



**Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť/
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ**

DIGITÁLNA TELEVÍZIA

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Stanislav Marchevský



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ



Táto publikácia vznikla za finančnej podpory z **Európskeho sociálneho fondu** v rámci Operačného programu **VZDELÁVANIE**.

Prioritná os 1 Reforma vzdelávania a odbornej prípravy

Opatrenie 1.2 Vysoké školy a výskum a vývoj ako motory rozvoja vedomostnej spoločnosti.

Názov projektu: **Balík doplnkov pre ďalšiu reformu vzdelávania na TUKE**

ITMS 26110230093

NÁZOV: Digitálna televízia

AUTORI: prof. Ing. Stanislav Marchevský, CSc.

RECENZENTI: prof. Ing. Dušan Repčík, CSc., Doc. Ing. Václav Moucha, CSc.

VYDAVATEL: Technická univerzita v Košiciach

ROK: 2015

ROZSAH: 229 strán

NÁKLAD: 70 ks

VYDANIE: prvé

ISBN: 978-80-553-0958-3

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

Za odbornú a obsahovú stránku zodpovedajú autori.

Abstrakt v SJ

Učebný text s názvom Digitálna televízia je určený pre študentov študijných programov Infoelektronika a Multimediálne telekomunikácie na FEI TUKE. Obsah študijného textu vychádza z aktuálnych učebných osnov, ktorých príprava zohľadňovala aktuálny stav v oblasti rozvoja systémov digitálnej televízie v Európe, v Amerike (USA, Kanada, Brazília) a v Ázii (Japonsko, Južna Kórea a Čína). Druhý významný moment, ktorý ovplyvnil obsah učebnej osnovy bola snaha disseminovať poznatky získané z nášho výskumu a vývoja v oblasti moderných technológií distribúcie digitálnych televíznych programov prostredníctvom telekomunikačných sietí s IP protokolom alebo tiež technológie známej pod názvom IPTV.

V prvých dvoch kapitolách sú vysvetlené základné princípy analógovej a digitálnej televízie. Stručný prehľad základných systémov digitálnej televízie DVB-S/S2, DVB-C/C2 a DVB-T/T2 zoznámi študentov s tým, aký má vplyv použitý komunikačný kanál na návrh kanálového kódovania a na výber typu digitálnej modulácie. V nasledujúcich dvoch kapitolách (3.kapitola a 4.kapitola) sú uvedené základné princípy štandardu H.264, ktoré sú potrebné pochopenie obsahu 4.kapitoly s názvom „Nástroje pre zabezpečenie vyššej odolnosti videotoku kódovaného prostredníctvom H.264/AVC“. 5.kapitola obsahuje podrobný prehľad techník určených pre maskovanie chýb v digitálnom televíznom signáli spôsobenými poruchami v prenosovom kanáli. Nasledujúca kapitola je venovaná internetovej televízii, t.j. prenosu videotokov v telekomunikačnej sieti s IP protokolom alebo tiež IP videostrímingu. V 7.kapitole sú uvedené základné princípy stereoskopie a podrobne sú vysvetlené spôsoby výroby a prijímania 3D videotokov s uvedením prehľadu aktuálnych a pripravovaných 3D videoštandardov. Učebný text uzatvárajú 2 krátke ale dôležité kapitoly, ktoré sú venované zariadeniam pre príjem digitálneho televízneho vysielania (8.kapitola) a princípom šifrovacích systémov používaných v digitálnych vysielacích systémoch (DVB-S/S2, DVB-C/C2, DVB-T/T2) (9.kapitola).

Abstrakt v AJ

Textbook entitled Digital TV is designed for students and study programs Infoelektronika and Multimedia Telecommunications at FEI TUKE. Content of educational texts are based on current curricula, the preparation of which reflects the current state of development of systems of digital television in Europe, the Americas (USA, Canada, Brazil) and Asia (Japan, South Korea and China). The second important moment that influenced the curriculum content was an effort to disseminate the knowledge gained from our research and development in advanced technology of distribution of digital television programs via telecommunications networks with IP protocol or technology, also known as the IPTV. In the first two chapters, explains the basic principles of analog and digital television. A brief overview of the basic systems of digital TV DVB-S / S2, DVB-C / C2 and DVB-T / T2 familiarize students with how it affects communication channel used for channel coding a proposal to choose the type of digital modulation. In the next two chapters (the 3rd chapter and the 4th chapter) contains the basic principles of the H.264 standard, which are necessary to understanding of the content of the 4th chapter titled "Tools for ensuring higher resistance encoded video stream via H.264 / AVC". The 5th chapter contains a detailed overview of techniques designed for masking errors (concealment) in digital television signals caused by disturbances in the transmission channel. The next chapter is devoted to internet TV, that is transmission of video streams over the telecommunications network with IP protocol or also IP videostreaming. The 7th chapter explains the basic principles of stereoscopy and gives the the detailed review of methods for making and receiving 3D video streams giving a summary of current and upcoming 3D video standards. Textbook concluded two short but important chapters that are dedicated to facilities for reception of transmitted digital television programs (the 8th chapter) and to the principles of encryption systems used in digital broadcasting systems (DVB-S / S2, DVB-C / C2, DVB-T / T2) (the 9th chapter)

Obsah

Zoznam obrázkov	11
Zoznam tabuliek	17
Glosár anglických skratiek, vybraných slov a výrazov a skratiek	18
1 Úvod.....	32
2 Úvod do digitálnej televíznej techniky	34
2.1 Stručná história televízie	35
2.2 Technické špecifikácie signálu spoločné pre analógovú a digitálnu televíziu	39
2.2.1 Základné princípy a charakteristiky analógového vysielania-TV norma	39
2.2.2 Televízia so štandardným (SDTV), zlepšeným (EDTV) a s vysokým rozlíšením(HDTV)	46
2.3 Základy pojmy digitalizácie videosignálu.....	48
2.4 Digitálna televízia - DVB/S/S2, DVB/C/C2, DVB/T/S2 – Základné princípy	51
2.4.1 Vznik DVB signálu.....	53
2.4.2 MPEG-2 - KOMPRESNÉ KÓDOVANIE VIDEO, ZVUKU A DÁT	54
2.4.3 Predikcia	56
2.4.4 Kompresný štandard MPEG-4	57
2.4.5 Základné špecifikácie DVB-S/S2,	58
2.4.6 DVB-S2.....	59
2.4.7 Základné špecifikácie DVB-C	60
2.4.8 MMDS a MVDS	61
2.4.9 DVB-C2	62
2.4.10 Prehľad základných špecifikácií DVB-T	63
2.4.11 DVB-T2	64

2.5	Opis systému DVB-T: kanálové kódovanie a niektoré základné technické parametre.....	66
2.6	Systémy digitálnej televízie používané v USA a Japonsku.....	72
2.6.1	USA – systém ATSC	72
2.6.2	Japonsko: ISDB a jeho deriváty.....	73
2.7	Zoznam použitej literatúry	74
3	Úvod do H.264	76
3.1	Vrstva sieťovej abstrakcie	76
3.2	Videokódovacia vrstva	78
3.3	Zoznam použitej literatúry	80
4	Nástroje pre zabezpečenie vyššej odolnosti videotoku kódovaného prostredníctvom H.264/AVC	83
4.1	Úvod	83
4.1.1	Segmentácia dát	85
4.1.2	Množiny parametrov	86
4.1.3	Segmentácia snímky	86
4.1.4	Flexibilné radenie makroblokov	87
4.1.5	Voľba referenčnej snímky	88
4.1.6	Redundantné rezy.....	89
4.1.7	Snímky SP a SI	90
4.1.8	Obnovovanie bloku kódovaného vo vnútrosnímkovom móde na základe R – D riadenia	91
4.1.9	Detekcia chýb.....	92
4.2	Zoznam použitej literatúry	93
5	Maskovanie chýb.....	96
5.1	Maskovanie chýb založené na dodatočnom spracovaní.....	97
5.1.1	Základné metódy maskovania chýb v priestorovej oblasti	98
5.1.2	Základné metódy maskovania chýb v časovej oblasti	105
5.2	Porovnanie jednotlivých metód maskovania.....	118
5.3	Zoznam použitej literatúry	118

6 IPTV: Základné technologické riešenie	127
6.1 Úvod do IPTV	127
6.2 Poskytované služby IPTV	128
6.3 Architektúra IPTV	128
6.4 Spôsoby distribúcie signálu v IP sieťach.....	130
6.4.1 Unicast	130
6.4.2 Broadcast.....	131
6.4.3 Multicast	131
6.5 Potrebná prenosová rýchlosť	133
6.6 Kvalita služby.....	134
6.7 Vplyv impulzového rušenia na vlastnosti audio/videosignálu	135
6.8 Porovnanie IPTV a internetovej TV.....	138
6.8.1 Médium.....	138
6.8.2 Koncové zariadenie.....	139
6.9 Sieťová štruktúra komunikačného modelu IPTVCM.....	139
6.9.1 Paketizácia a zapuzdrenie videoobsahu	139
6.10 IPTVCM a MPEG prenos videoobsahu	141
6.11 Vrstva videokódovania.....	141
6.12 Vrstva paketizácie videa.....	142
6.13 Vrstva zhotovenia transportného toku.....	144
6.14 Vrstva protokolu komunikácie v reálnom čase (RTP)	147
6.15 Transportná vrstva	153
6.15.1 Použitie TCP smerovania IPTV paketov	153
6.15.2 Použitie UDP smerovania IPTV paketov	158
6.16 Internetová vrstva	162
6.16.1 IP videopakety	163
6.17 Spojová vrstva	164
6.18 Fyzická vrstva.....	166
6.19 Zoznam použitej literatúry	167

7 Stereokopia- 3D televízia.....	172
7.1 Princíp vytvárania 3D obrazov	172
7.2 Systém 3D TV s využitím aktívnych okuliarov	174
7.3 Pasívny 3D TV systém využívajúci okuliare s polarizovanými sklami	175
7.4 3D displej bez okuliarov.....	176
7.4.1 Paralaxa.....	176
7.4.2 Mobilný telefón LG Optimus 3D.....	178
7.2 Technológia vytvárania obsahu 3D TV- postprocessing.....	180
7.2.1 Stereoskopická komfortná zóna.....	180
7.2.2 Kontrola absolútnej rozdielnosti.....	180
7.2.3 Adaptácia hĺbky ku scéne	181
7.2.4 3D adaptácia displeja	181
7.2.5 Lokálna disparitná adaptácia.....	182
7.2.6 Automatická korekcia a manipulácia živého stereoskopického vysielania.....	182
7.2.7 Kompozícia v 3D (reálny a animovaný obsah).....	183
7.3 Tvorba obsahu pre stereografické multiview obrazovky	184
7.3.1 Povolenie funkcie voľného pozorovacieho bodu vo videu.....	185
7.3.2 Virtuálna syntéza a všeobecný 3D video formát	185
7.4 Základné algoritmy v postprodukcii.....	185
7.4.1 Korekcia geometrického skreslenia	186
7.4.2 Porovnávanie farieb	187
7.4.3 Nastavenie stereo geometrie	189
7.5 Metódy založené na hĺbke	189
7.5.1 Odhad hĺbkovej štruktúry zo sterea	190
7.5.2 Metóda Depth-Image-Based Rendering (DIBR)	191
7.5.3 Príklad aplikácie hĺbkovo založených metód	191
7.6 Konverzia z 2D na 3D	192
7.6.1 Manuálne konverzné techniky	193
7.6.2 Automatické konverzné techniky	194

7.7	Vytváranie stereoskopických obrazov.....	201
7.7.3	Prístup založený na hĺbkových 2D mapách.....	201
7.8	Maskovanie chýb v stereoskopickom videu.....	203
7.8.1	Návrh hĺbkového modelu priestorového maskovania chýb.....	204
7.9	3D video formáty.....	207
7.9.1	Konvenčné stereo video (CSV).....	209
7.9.2	Multiview video + hĺbka (MV+D).....	211
7.9.3	Layered Depth Video (LDV).....	213
7.10	Zoznam použitej literatúry.....	215
8	Základná kategorizácia prijímačov DVB-T.....	217
8.1	Úvod.....	217
8.2	Set-Top-Boxy.....	217
8.2.1	Diverzitné prijímače na mobilný príjem DVB-T.....	218
8.2.2	Prijímače s podporou MHP.....	218
8.3	Integrovaný digitálny televízor IDTV.....	219
8.4	DVB-T prijímač v PC.....	220
8.5	Zoznam použitej literatúry.....	221
9	Šifrovanie TV vysielaania a podmienený prístup.....	222
9.1	Princípy šifrovacieho systému v DVB štandarde.....	223
9.2	Šifrovanie na transportnej úrovni.....	224
9.3	Šifrovanie na PES úrovni.....	224
9.4	Mechanizmy podmieneného prístupu (CA - Conditional Access).....	225
9.5	Základné systémy podmieneného prístupu.....	228
9.6	Zoznam použitej literatúry.....	229

Zoznam obrázkov

Obr. 2.1 Vľavo: rozklad obrazu na 625 riadkov a riadkových spätných behov v CRT obrazovke (Cathode Ray Tube). Vpravo: b) Skutočná dráha lúča v CRT-obrazovke v čase..

Obr. 2.2 TV kanály. Frekvenčné spektrum dvoch susedných analógových TV kanálov a typický obraz reálneho spektra TV kanála v norme NTSC

Obr. 2.3 Ilustrácia vzniku elektrického obrazového signálu vybraných riadkov. Výška napätia zodpovedá úrovni jasnosti na snímanej scéne. Viditeľná časť riadku sa nachádza medzi dvoma riadkovými zatemňovacími impulzmi. Riadkový synchronizačný impulz zaberá časť riadkového zatemnenia. Je to ukážka negatívnej obrazovej modulácie, t.j. bielej je priradená najnižšia, a čiernej najvyššia úroveň napätia. [3]

Obr. 2.4 Ilustrácia signálu farebnej modulácie spolu s jasovým signálom pri zvislých farebných pruhoch na obrazovke (každý riadok je rovnaký). V riadkovom zatemnení sa musí nachádzať synchronizačný rádioimpulz farby (burst). Polarita signálu na obr.1.4 je otočená a zodpovedá osciloskopickému zobrazeniu.

Obr. 2.5 Televízny kanál. Ilustrácia umiestnenia spektra signálu farby v norme NTSC a jeho vzájomného preloženia s jasovým signálom, keďže obe spektrá majú hrebeňovú štruktúru.

Obr. 2.6 Reálny tvar spektra v analógových TV kanáloch a povinné striedanie využitých a nevyužitých analógových kanálov v TV pásme jedného vysielateľa v záujme vzájomného nerušenia sa.

Obr. 2.7 Digitalizácia signálu $s(t)$: vzorkovanie v čase t (snímanie vzoriek $v(t)$ v pravidelných časových intervaloch T_{vz}), kvantizácia - úprava úrovní vzoriek na najbližšiu definovanú hodnotu napätia (kvantizačnú hladinu), kódovanie - vyjadrenie hodnoty vzorky po kvantovaní v podobe binárneho čísla PCM (pomocou skupiny núl a jednotiek). Voľba počtu bitov binárneho čísla je vopred definovaná a zodpovedá počtu úrovní, ktoré chceme prenášať, resp. ďalej spracovať. PCM – Pulse Code Modulation – Pulzná kódová modulácia – názov vyššie uvedeného princípu digitalizácie signálu, aj názov výstupného digitálneho signálu.

Obr. 2.8 Vznik DVB signálu

Obr. 2.9 Ilustrácia vzájomného usporiadania spektier troch susedných modulovaných nosných (f_{c-1} , f_c , f_{c+1}) v systéme OFDM. Maximum spektra jednej nosnej, napr. f_c je v mieste minima susedných spektier.

Obr. 2.10 Metódy kompresie videa v systémoch MPEG-2 [5].

Obr. 2.11 Ilustrácia úspornosti kompresných metód, ktoré pre prenos využívajú rozdiel za sebou nasledujúcich dát a nie dáta celé (v tomto prípade ide o rozdiel medzi dvoma susednými snímkami z videa)

Obr. 2.12 Bloková schéma kódovania a dekodovania kodekom H.264

Obr. 2.13 Ilustrácia architektúry satelitného príjmu digitálnej televízie DVB-S. Satelitné antény sú nastavené na definovaný satelit a výhľad naň nesmú mať ničím zatienený.

Obr. 2.14 Ilustrácia príjmu digitálnej televízie v štandarde DVB-C pomocou televízneho káblového rozvodu.

Obr. 2.15 Príklad parabolickej antény pre príjem MMDS (bezdrôtovej káblvej televízie) [4]

Obr. 2.16 Ilustrácia príjmu DVB-T

Obr. 2.17 Bloková schéma systému DVB-T

Obr. 2.18 Umiestnenie subnosných v časovej a frekvenčnej oblasti

Obr. 2.19 Vloženie ochranného intervalu

Obr. 2.20 Prenos pilotných symbolov

Obr. 2.21 Svetové systémy terestriálnej DTV [7]

Obr. 3.1 Videokódovacia vrstva a vrstva sieťovej abstrakcie

Obr. 3.2 Tok jednotky NAL

Obr. 3.3 Blokovo založený hybridný videokodér

Obr. 4.1 Mapa indikujúca radenie makroblokov v reze

Obr. 4.2 Flexibilné radenie makroblokov: Typ 0 – Typ 2

Obr. 4.3 Flexibilné radenie makroblokov: Typ 3 – Typ 5

Obr. 4.4 Prepínanie medzi dvoma bitovými tokmi použitím SP snímky

Obr. 5.1 Vážené priemerovanie a, na úrovni blokov b, na úrovni makroblokov

Obr. 4.2 Princíp metódy maximálneho vyhladzovania

Obr. 5.3 Obnovenie poškodeného makrobloku na snímke a, aplikovaním : b, makroblokovo založeného váženého spriemerovania c, blokovo založeného váženého spriemerovania d, metódy maximálneho vyhladzovania

Obr. 5.4 Estimácia hrán založená na korelácii medzi hraničnými pixelmi.

Obr. 5.5 Aplikovanie Sobelovho operátora na snímku a, b, bez použitia filtra c, s použitím filtra $(|G| > 100)$.

Obr. 5.6 Rozdelenie makrobloku na štyri rovnaké časti

Obr. 5.7 Obnova poškodeného makrobloku metódou smerovej interpolácie (prerozdelenie makrobloku na štyri rovnaké časti)

Obr. 5.8 Obnova poškodeného makrobloku v snímke a, použitím smerovej interpolácie s presným prerozdelením makrobloku na b, 4 časti c, 8 častí

Obr. 5.9 Estimácia pohybového vektora vyšetrením kritérií metódy zhody hrán po dekódovaní snímky

Obr. 5.10 Kopírovanie s kompenzáciou pohybu založené na metóde zhody hrán (2D snímanie)

Obr. 5.11 Obnova chýbajúcich makroblokov v snímke typu I (a) použitím algoritmu b, kopírovania bez kompenzácie pohybu c, kopírovania s kompenzáciou pohybu založenom na metóde zhody hrán

Obr. 5.12 Kopírovanie s kompenzáciou pohybu založené na metóde zhody blokov

Obr. 5.13 Obnova chýbajúceho makrobloku v snímke typu I (a) použitím algoritmu kopírovania s kompenzáciou pohybu založeného na b, metóde zhody hrán c, metóde zhody blokov

Obr. 5.14 Estimácia pohybu na ľavej hranici snímky

Obr. 5.15 Hlavné parametre používané algoritmom

Obr. 5.16 Proces dokresľovania na vybranej snímke

Obr. 5.17 Príklad doplnenia statického pozadia vo videu

Obr. 6.1 Infraštruktúra IPTV s použitím DSL ako prístupovej technológie

Obr. 6.2 Šírenie informácií v sieti metódou unicast

Obr. 6.3 Šírenie informácií v sieti metódou multicast

Obr. 6.4 Závislosť ADSL2+ over ISDN rýchlosti od vzdialenosti ústredňovej jednotky DSLAM (Priebehy získané zo Simulátora prípojok xDSL <http://matlab.feld.cvut.cz>)

Obr. 6.5 Schéma zapojenia pracoviska pre testovanie

Obr. 6.6 Príklad impulzového rušenia podľa doporučenia ITU-T G.996.1 (špičkové napätie $U_{pp} = 50$ mV, dĺžka opakovacej periódy $T = 1$ s, dĺžka jedného impulzu $t = 160$ μ s)

Obr. 6.7 Príklad poškodenia obrazu spôsobeného zmenou poradia paketov

Obr. 6.8 Príklad poškodenia obrazu spôsobeného stratou paketov

Obr. 6.9 Príklad poškodenia obrázkov spôsobeného stratou paketov a zmenou poradia paketov

Obr. 6.10 Príklad poškodenia obrázkov spôsobeného stratou paketov a zmenou poradia paketov

Obr. 6.11 IPTVCM referenčný model

Obr. 6.12 IPTVCM vrstva zapuzdrenia

Obr. 6.13 Štruktúra NAL jednotky

Obr. 6.14 Formát MPEG PES paketu

Obr. 6.15 Aplikácia časových značiek MPEG PES paketov

Obr. 6.16 Mapovanie AVC prístupových jednotiek do MPEG-2 PES paketov

Obr. 6.17 Formát MPEG TS paketu

Obr. 6.18 Vzájomný vzťah medzi PMT a PAT

Obr. 6.19 Typický formát RTP hlavičky

Obr. 6.20 MPEG-TS pakety zapuzdrené podľa ETSI TS 102 034

Obr. 6.21 Mapovanie H.264 / AVC obsahu ako jednej NAL jednotky priamo do RTP používateľskej informácie

Obr. 6.22 Mapovanie H.264 / AVC obsahu ako viacnásobnej NAL jednotky priamo do jednej RTP používateľskej informácie

Obr. 6.23 Mapovanie jednej H.264 / AVC NAL jednotky priamo do viacnásobnej RTP používateľskej informácie

Obr. 6.24 VC-1 vrstva zapuzdrenia

Obr. 6.25 Štruktúra VC-1 AU paketu

Obr. 6.26 Riadiaci tok TCP rozhodujúci o spracovaní postupného sťahovania

Obr. 6.27 Typický formát základného UDP IPTV datagramu

Obr. 6.28 Typický formát IPv4 videopaketu

Obr. 7.5 Základný princíp vytvárania 3D obrazov

Obr. 7.6 Polarizácia svetla

Obr. 7.7 Pasívne polarizované okuliare

Obr. 7.8 Princíp paralaxnej bariéry

Obr.7.9 LG Optimus 3D

Obr.7.10 Ilustrácia stereoskopickej komfortnej zóny

Obr. 7.11 Zmena hĺbky reprodukcie pri zmene vzdialeností očí

Obr. 7.12 DES, stereo s pokročilými funkciami založenými na syntéze pohľadov

Obr. 7.13 Príklad merania a geometrickej korekcie deformácie objektívom a chromatická odchýlka

Obr. 7.10 Príklad stereo farebného porovnávania a triedenia pomocou profesionálneho postprodukčného programu

Obr. 7.14 Úprava konvergenčnej roviny pomocou shift-crop-scale počas postprodukcie

Obr. 7.15 Hĺbkový estimátor s použitím hybridnej rekurzívnej adaptácie (HRM) v kombinácii s krížovo-trilaterálnym mediánovým filtrovaním (ACTMF)

Obr. 7.16 Ukážka manuálnej konverznej techniky v profesionálnom programe

Obr. 7.17 Diagram automatickej konverzie z 2D na 3D

Obr. 7.18 Použitie pohybových vektorov z MPEG4, ako počiatočný vstup pre výpočet optického toku

Obr. 7.19 Farebná segmentácia z referenčného obrazu

Obr. 7.20 Stereoskopická pohľadová syntéza s použitím planárnej homografie

Obr. 7.21 Riedka 3D štruktúra scény a pohyb kamery určená štruktúrou pohybu a polohovaním virtuálnej stereo – kamery

Obr. 7.22 Paralelné nastavenie kamery, ktoré sa využíva na tvorbu virtuálnych stereoskopických obrazov

Obr. 7.23 (a) 2D video (b) hĺbková informácia

-
- Obr. 7.24 Stereoskopický prehrávač
- Obr. 7.25 Formát 2D+hĺbka
- Obr. 7.26 Postup segmentácie hĺbkového obrazu
- Obr. 7.27 Časť maskovacieho procesu
- Obr. 7.28 Stereo pár
- Obr. 7.29 Tradičné MPEG-2/MPEG-4 aplikovaný na 3DTV
- Obr. 7.30 MPEG-2 MultiView profil a H.264/AVC SEI správy
- Obr. 7.31 Multiview video kódovanie s kombinovanou časovou a vnútrosnímkovou predikciou
- Obr. 7.32 Koncept MV+D
- Obr. 7.33 Generácie video kompresných technológií
- Obr. 7.34 Schéma činnosti LDV
- Obr. 7.35 Ukážky formátu LDV
- Obr. 8.1 Základná bloková schéma bežného set-top boxu
- Obr. 8.2 Príklad blokovej schémy diverzitého prijímača
- Obr. 8.3 Zapojenie set-top-boxu s podporou MHP
- Obr. 8.4 Bloková schéma PCI karty na príjem analógovej a digitálnej televízie
- Obr. 8.5 USB DVB-T prijímač
- Obr. 9.1 Schematická ilustrácia ECM a EMM generačných procesov
- Obr. 9.2 Princíp dešifrovania riadiacich slov z ECM a EMM
- Obr. 9.3 Proces pri ktorom sú nájdené ECM a EMM v transportnom toku

Zoznam tabuliek

Tab. 2.1 Príklad rozdelenia TV pásiem pre pozemskú analógovú televíziu v Európe

Tab. 2.2 Normy analógovej televízie a niektoré ich parametre. Hranaté zátvorky označujú normu, ktorá sa v súčasnosti už nepoužíva.

Tab. 2.3 Porovnanie hlavných špecifikácií systémov DVB-T/ T2

Tab. 2.4 Parametre OFDM 2k a 8k módov pre DVB-T

Tab. 2.5 OFDM mega rámeč

Tab. 2.6 Čas trvania symbolu pre prípustné ochranné intervaly, pre kanál so šírkou 8 MHz

Tab. 2.7 Parametre OFDM pre DVB-H so šírkou kanála 8 MHz

Tab. 6.1 Náročnosť prenosu digitálnej televízie

Tab. 6.2 Zloženie AU hlavičky paketu VC – 1

Tab. 6.3 Štruktúra TCP videosegmentu cez IP

Tab. 6.4 Štruktúra UDP IPTV datagramu

Tab. 6.5 Štruktúra IPv4 videopaketu

Tab. 6.6 Štruktúra hlavičky ethernetu

Tab. 6.7 Obmedzené funkčné porovnanie medzi tromi IPTV komprimačnými systémami

Tab. 9.1 Význam transportných_šifrovacích_príznakových bitov

Tab. 9.2 Význam PES_šifrovacích_riadiacich bitov

Tab. 9.3 Hlavné podmienené prístupové systémy

Glosár anglických skratiek, vybraných slov a výrazov a skratiek

1080i – 1080 interlaced (high-definition interlaced format with 1080 lines and 1920 pixels/line).

720p – 720 progressive (high-definition progressive format with 720 lines and 1280 pixels/line).

AAC – Advanced Audio Codec (a digital audio encoding/compression format also known as MPEG-2 Part 7; more efficient than MP3. A later improvement known as AAC+ or HE-AAC further improves compression efficiency).

AC-3 – multichannel digital audio system developed by the U.S. company Dolby®.

ADC – analog-to-digital converter (device converting an analog voltage into a binary number).

ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line (system exploiting the high-frequency transmission capabilities of a telephone line to enable an asymmetric broadband link method (up to 20Mb/s for the downlink and 1Mb/s for the uplink with ADSL2+).

AF – adaptation field (data field used to adapt the *PES* to transport packet length).

API – application programming interface (programming interface of middleware for its compatible applications; sometimes used to designate the middleware itself).

APSK – Amplitude and Phase Shift Keying (modulation in which phase and amplitude can both take more than two states). The DVBS2 standard foresees usage of 16-APSK and 32-APSK for point-topoint links.

ASK – amplitude shift keying (digital amplitude modulation with two states).

ATSC – Advanced Television System Committee (U.S. digital terrestrial TV system supporting *HDTV* and using 8-*VSF* modulation).

AVC – Advanced Video Coding (alternate name of *MPEG-4.10* or *H.264*).

AU – access unit (*MPEG* coded representation of a presentation unit: picture or sound frame).

B – bi-directional (picture): *MPEG* picture coded from the preceding and the following picture.

BAT – bouquet association table (optional table of *DVB-SI*).

BCH – Bose-Chaudhuri Hocquenghem (*external* error correction code used in *DVB-S2* instead of the Reed-Solomon code of *DVB-S*). Also used to protect DVI and HDMI connections.

BER – bit error rate (ratio of the number of erroneous bits to the total number of bits transmitted).

BPSK – bi-phase shift-keying (two-state phase modulation, carrying one bit per symbol).

CA – conditional access (system allowing to limit the access to pay TV broadcasts).

CABAC – Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding (the most efficient entropy coding of the *H.264* standard). Used only in the main and high profiles as it requires important computing resources.

CAM – conditional access message (specific messages for conditional access: *ECM* and *EMM*).

CAT – conditional access table (*MPEG-2* table indicating the *PID* of conditional access packets).

CAVLC – Context-Adaptative Variable Length Coding (“standard” entropy coding used in *H.264*).

CAZAC/M – constant amplitude zero auto correlation (reference symbol in the *DVB-T* proposal).

CBR – constant bitrate. Simplest operating mode of an *MPEG* encoder, generally used when its output stream is not multiplexed with other *MPEG* sources.

CCIR – Comité Consultatif International des Radiocommunications (now *IUT-R*).

CCIR-601 (ITU-R 601) – recommendation for digitization of video signals ($F_s = 13.5$ MHz, *YUV* signals in 4:2:2 format).

CCIR-656 (ITU-R 656) – recommendation for interfacing *CCIR-601* signals (most common variant: 8 bits parallel multiplexed *YUV* format).

CCITT – Comité Consultatif International du Télégraphe et du Téléphone (now *ITU-T*).

CIF – common intermediate format (360×288@30 Hz).

CNR – carrier-to-noise ratio (or *C/N*) ratio (in dB) between the received power of the carrier and the noise power in the channel bandwidth.

COFDM – coded orthogonal frequency division multiplex (see *OFDM*).

CSA – common scrambling algorithm (scrambling algorithm specified by *DVB*).

CVBS – Color Video Baseband Signal (color composite video, e.g., *NTSC*, *PAL*, or *SECAM*).

D1 – professional digital video recording format in component form (*CCIR-656*).

D2 – professional digital video recording format in composite form (*NTSC*, *PAL*, or *SECAM*).

D2-MAC – duobinary multiplex analog components (hybrid standard used on satellite and cable).

DAB – digital audio broadcasting (new European digital audio broadcasting standard).

DAC – digital-to-analog converter (device converting a binary value into an analog voltage or current).

DAVIC – digital audio visual council, a non-profit making association based in Geneva with members from all industries involved in digital technologies applied to audio and video, from content producer to service provider to hardware manufacturer. One of its goals is to define and specify open interfaces allowing maximal interoperability across countries, applications, and services.

DBS – direct broadcast satellite (satellite in the 11.7–12.5GHz band reserved for TV broadcast).

DC – direct current (coefficient of the null frequency in the *DCT*).

DCT – discrete cosine transform (temporal to frequency transform used in *JPEG* and *MPEG*).

DiSEqC™ – digital satellite equipment control (control protocol allowing a bidirectional digital communication between the set-top box and the antenna for complex switching functions by modulating the 22 KHz tone with digital messages). Two versions (1.0 and 2.0) currently exist.

DLI – device layer interface.

DOCSIS – data over cable service interface specifications (main standard of U.S. cable modems).

DPCM – differential pulse code modulation (coding of a value by its difference to the previous one).

DRAM – dynamic random access memory (read/write memory requiring a periodic refresh of the information, the most widespread due to its low cost).

DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer (device for multiplexing a few hundreds of ADSL lines and linking them to the internet by means of a very high-bit rate link; it is located in the telephone exchange of the incumbent telecom operator).

DSM – digital storage medium (mass storage devices such as hard disk, tape, or CD).

DSM-CC – Digital Storage Media-Command and Control (a toolkit intended for developing control channels associated with MPEG streams, defined in part 6 of the MPEG-2 standard, ISO/IEC 13818-6). Initially mainly intended for providing VCR like features, it is in fact mainly used to provide pseudo-interactivity features by means of data and object “carousels” sending these data repetitively (as in teletext).

DSNG – Digital Satellite News Gathering (point-to-point satellite link, generally temporary and transportable, intended for coverage of events).

DSP – digital signal processor (processor specialized in processing of digitized analog signals).

DSS – Digital Satellite System (main direct-to-home digital satellite TV system in the United States).

DTS – decoding time stamp (indicator of the decoding time of an MPEG access unit).

DVB – digital video broadcasting: European digital TV standard with three variants, DVB-C (cable), DVB-S (satellite), DVB-T (terrestrial).

DVB-C – Digital Video Broadcasting–Cable (cable digital TV standard using 16 to 256-*QAM*).

DVB-CI – common interface (DVB interface for conditional Access modules in PCMCIA form).

DVB-H – Digital Video Broadcasting–Handheld (terrestrial digital TV standard intended for reception on mobile terminals, derived from *DVB-T* ; it uses 2 k, 4 k, or 8 k *COFDM* and a time-slicing mechanism to reduce the power consumption of the mobile terminal).

DVB-S – Digital Video Broadcasting–Satellite (satellite digital TV standard using *QPSK* modulation).

DVB-S2 – Digital Video Broadcasting–Satellite 2nd generation (new transmission standard more flexible and bandwidth-efficient than *DVB-S* due to the possibility to use

higher-order 8 k to 32-state modulations and more powerful *LDPC+BCH* channel coding).

DVB-SI – Service information (group of tables specified by *DVB*, additional to *MPEG-2 PSI*).

DVB-T – Digital Video Broadcasting–Terrestrial (terrestrial digital TV standard using 2 k or 8 k *COFDM*).

DVD – unified optical disc format with 4.7–19 Gbyte capacity.

DVI – Digital Visual Interface (digital interface intended for connection of computer displays; it is electrically compatible with HDMI, with a different connector and without audio support).

E_b/N_o – ratio between the average bit energy E_b and noise density N_o (related to C/N).

EBU – European Broadcasting Union (French: Union Européenne de Radiodiffusion, UER). Organization grouping the main European broadcasters which, among other things, works on new broadcasting standards (ex: *DAB*, *DVB*) which are then approved by the ETSI.

ECM – entitlement control message (first type of conditional Access message of the *DVB* standard).

EICTA – European Information & Communications Technology Association (European interest group representing the Information Technology, Telecommunications, and Consumer Electronics industries).

EIT – event information table (optional table of *DVB-SI* indicating a new event).

ELG – European Launching Group (group at the origin of the *DVB* project in 1991).

EMM – entitlement management message (second type of conditional access message of the *DVB* standard).

EPG – electronic program guide (graphical user interface for easier access to *DVB* programs).

ES – elementary stream (output stream of an *MPEG* audio or video encoder).

ETSI – European Telecommunications Standards Institute (organization issuing the European standards in the field of telecommunications, ETS).

FCC – Federal Communications Commission (regulatory authority for telecommunications in the United States).

FEC – forward error correction (addition of redundancy to a digital signal before transmission, allowing errors to be corrected at the receiving end; synonym: channel coding).

FFT – fast Fourier transform (digital Fourier transform on sampled signals).

FIFO – first in, first out (type of memory often used as a buffer).

FRExt – Fidelity Range Extensions (extensions to the coding toolbox of H.264 used only in the “high” profiles of the standard).

FSK – frequency shift keying (digital frequency modulation with two states).

FSS – fixed service satellite (satellite in the 10.7–11.7GHz or 12.5– 12.75GHz bands originally reserved for telecommunications).

FTA – free-to-air (or free-to-view; designates free access TV programs).

GOP – group of pictures (MPEG video layer: succession of pictures starting with an I picture).

H.261 – compression standard used for ISDN videotelephony (bitrate of $p \times 64$ kb/s).

H.264 – alternative video compression standard to MPEG-2 chosen by the DVB to improve coding efficiency, for example for HDTV applications. Also known as AVC (Advanced Video Coding) or MPEG-4 part 10.

HDCP – High-Bandwidth Digital Content Protection (content protection standard encrypting the data transmitted on a *DVI* or HDMI link to prevent illegal copying).

HD-MAC – high definition MAC (high definition extension to the D2-MAC standard with 1250 lines).

HDTV – High Definition Television (television system with a picture resolution of 1280×720 or more).

HTML – HyperText Markup Language. The main coding standard used for creating web pages. Tags (codes) are used, for example, to specify text styles and color, display images, include links to other web pages and/or websites etc. **I** – in-phase; for QAM, designates the signal modulating the carrier following the 0_ axis.

I – intra (picture); MPEG picture coded without reference to other pictures.

I₂C – inter-integrated circuits (serial interconnection bus between ICs developed by Philips).

I₂S – inter-integrated sound (serial link between digital sound ICs developed by Philips).

iDTV – integrated digital TV (hybrid TV set able to receive analog and digital transmissions).

IDTV – Improved Definition TeleVision (TV system with a resolution between standard TV and *HDTV*).

IEC – International Electrotechnical Commission (international organization for standardization in the field of electrotechnics, electricity and electronics).

IEEE802.11b – wireless LAN standard at 2.4GHz and 11 Mb/s.

IEEE1284 – bidirectional high speed parallel interface (enhanced Centronics interface).

IEEE1394 – high speed serial interface (up to 400 Mb/s) which is the likely future standard for consumer digital A/V links (already used in some digital video recorders and camcorders).

IP – Internet Protocol (protocol used to transmit data in the form of IP datagrams by means of an encapsulation which, among other benefits, ensures source and destination addressing).

IRD – integrated receiver decoder; popular synonym: set-top box.

ISDB-T – Integrated Services Digital Broadcasting–Terrestrial (Japanese digital terrestrial TV and multimedia system also based on *COFDM* modulation).

ISI – inter-symbol interference (interference between successive symbols in a digital transmission).

ISO – International Standards Organization (international standardization organization within the UNO).

ITU – International Telecommunications Union (world regulation organization for telecommunications, previously *CCITT*).

JPEG – Joint Photographic Experts Group (standard for fixed pictures compression).

LDPC – Low-Density Parity Code (internal error correction code used in *DVB-S2* instead of the *Viterbi* convolutional coding of *DVB-S*).

LNC – low noise converter (down-converter situated at the focus of a satellite antenna). Synonym = LNB (low noise block).

LSB – Least Significant Bit. The bit which carries the lowest power of two ($2^0 = 1$) in a multibit word.

MAC – media access control (designates hardware and software parts of a network adapter or of an interactive cable receiver, in charge of management of network access and bandwidth sharing between users).

MBAFF – MacroBlock Adaptive Frame Field (coding option of H.264 allowing a better processing of interlaced pictures).

MHEG-5 – Multimedia and Hypermedia Expert Group version 5 (standard middleware based on the MHEG descriptive language requiring only limited resources; used in the UK for digital terrestrial TV).

MHP – multimedia home platform (standard, open middleware proposed by the DVB consortium for interoperability of all digital TV transmissions in Europe).

MP3 – MPEG-1 level 3 (audio compression format approximately two times more efficient than level 2; MP3 is the de facto standard for exchange of music files on the Internet).

MP@ML – main profile at main level (main video format of the DVB standard).

MPEG – Motion Pictures Experts Group (group which developed the MPEG-1 and MPEG-2 standards, currently working on MPEG-4 for very low bit-rate compression).

MSB – Most Significant Bit. The bit which carries the highest power of two in a multibit word.

MUSE – Japanese high definition television system (analog system with digital assistance).

MUSICAM – masking universal sub-band integrated coding and multiplexing (coding process of MPEG-1 audio, layer 2 used by *DAB* and *DVB*).

NICAM – near instantaneous companded audio multiplexing (digital sound system for analogue TV using a *QPSK* modulated carrier at 5.85 or 6.55 MHz).

NIT – network information table (optional table of *DVB-SI*).

MAC – media access control (designates hardware and software parts of a network adapter or of an interactive cable receiver, in charge of management of network access and bandwidth sharing between users).

MBAFF – MacroBlock Adaptive Frame Field (coding option of H.264 allowing a better processing of interlaced pictures).

MHEG-5 – Multimedia and Hypermedia Expert Group version 5 (standard middleware based on the MHEG descriptive language requiring only limited resources; used in the UK for digital terrestrial TV).

MHP – multimedia home platform (standard, open middleware proposed by the DVB consortium for interoperability of all digital TV transmissions in Europe).

MP3 – MPEG-1 level 3 (audio compression format approximately two times more efficient than level 2; MP3 is the de facto standard for exchange of music files on the Internet).

MP@ML – main profile at main level (main video format of the DVB standard).

MPEG – Motion Pictures Experts Group (group which developed the MPEG-1 and MPEG-2 standards, currently working on MPEG-4 for very low bit-rate compression).

MSB – Most Significant Bit. The bit which carries the highest power of two in a multibit word.

MUSE – Japanese high definition television system (analog system with digital assistance).

MUSICAM – masking universal sub-band integrated coding and multiplexing (coding process of MPEG-1 audio, layer 2 used by *DAB* and *DVB*).

NICAM – near instantaneous companded audio multiplexing (digital sound system for analogue TV using a *QPSK* modulated carrier at 5.85 or 6.55 MHz).

NIT – network information table (optional table of *DVB-SI*).

NTSC – National Television Standard Committee (color TV system used in the United States and most 60 Hz countries).

OFDM – orthogonal frequency division multiplex (digital modulation system based on a high number of carriers used for *DAB* and proposed for terrestrial *DVB-T*).

OOB – out of band (additional medium bit-rate downstream channel used for user interaction and signalling data in the *DVB/DAVIC* interactive cable standard).

P – predictive (picture) MPEG picture coded with reference to the preceding I or P picture.

PAL – phase alternating line (color TV system used in most European and 50 Hz countries).

PAT – program allocation table (*DVB* table indicating the *PID* of the components of a program).

PCM – pulse code modulation (result of the digitization of an analog signal).

PCMCIA – (now renamed PC-Card)–Personal Computer Memory Card Association (designates the format used for PC extension modules and proposed by *DVB* for the detachable conditional Access modules using the *DVB-CI* common interface).

PCR – program clock reference (information sent at regular intervals in *MPEG-2* to synchronize the decoder’s clock to the clock of the program being decoded).

PES – packetized elementary stream (*MPEG* elementary stream after packetization).

PID – packet identifier (*PES* identification number in the *DVB* standard).

PMT – program map table (*DVB* table indicating the *PID* of the *PAT* of all programs in a transport multiplex).

PRBS – pseudo-random binary sequence (used for signal scrambling).

PSI – program specific information (*MPEG-2* mandatory tables: *CAT*, *PAT*, *PMT*).

PSK – Phase-Shift Keying (multistate phase modulation with constant amplitude). *DVB-S2* allows the use of four state modulations (*QPSK* or 4-*PSK*) and 8 states (8-*PSK*) for broadcast applications.

PTS – presentation time stamp (information indicating the presentation time of a decoded image or sound).

PU – presentation unit (decoded picture or audio frame in *MPEG*).

PVR – Personal Video Recorder (hard disk-based recorder allowing conventional and time shift recording. It include most of the time a dual tuner receiver).

Q – quadrature; for QAM, designates the signal modulating the carrier following the 90° axis.

QAM – quadrature amplitude modulation (modulation of two orthogonal derivatives of a carrier by two signals).

QCIF – quarter common intermediate format (180×144@15Hz used for videotelephony).

QEF – quasi error-free (designates a channel with a $BER < 10^{-10}$).

QPSK – quadrature phase shift keying (phase modulation with four states, equivalent to 4-QAM).

RISC – reduced instruction set computer.

RLC – run length coding (data compression method exploiting repetitions).

RS(204, 188, 8) – abbreviated notation of the Reed–Solomon coding used by DVB.

RS232 – standardized asynchronous serial communication interface (relatively slow).

RST – running status table (optional table of *DVB-SI* informing on the current transmission).

RTTP – Real Time Transport Protocol (transmission protocol used to transmit time critical data such as TV over *IP*).

SCR – system clock reference (information sent at regular intervals in *MPEG-1* to synchronize the decoder’s clock to the system clock).

SDRAM – synchronous dynamic random access memory (a new kind of high speed *DRAM* (16 bits organized) used with recent *MPEG* decoders).

SDT – service description table (optional table of *DVB-SI*).

SECAM – séquentiel couleur à mémoire (color TV system mainly used in France and in eastern European countries).

SFN – single frequency network (terrestrial TV transmitter network using the same frequency on all its coverage area; it uses the 8K *COFDM* mode of the *DVB-T* standard and a relatively long guard interval).

SIF – source intermediate format (360 × 288@25 Hz or 360 × 240@30 Hz; basis for *MPEG-1*).

ST – stuffing table (optional table of *DVB-SI*).

STC – system time clock.

STD – system target decoder (hypothetical reference decoder used in *MPEG* standards).

TDT – time and date table (optional table of *DVB-SI*).

TPS – transmission parameter signalling (modulation and channel coding parameters transmitted on pilot carriers of the *OFDM* multiplex in the *DVB-T* proposal).

TSR – time shift recording (facility to watch a complete live TV transmission in spite of interruptions thanks to the simultaneous record and playback capability of a hard disk).

USALS – Universal Satellite Automatic Location System (software developed by the Italian STAB company and embedded on top of *DiSEqC™* 1.2 in satellite receivers in

order to calculate the rotation of a motorized antenna from the coordinates of the receiver's location and the orbital position of the satellite).

USB – universal serial bus (high speed serial bus—up to 11 Mb/s for version 1.1 and 480 Mb/s for version 2—replacing progressively the RS232 and IEEE1284 in PCs and now digital TV STBs).

VBS – video baseband signal (monochrome composite signal).

VBR – variable bitrate. When many programs are multiplexed to form a stream of a fixed bitrate, it is advantageous to use

statistical multiplexing to improve bandwidth usage, which results in a variable bitrate for each of the components of the stream.

VLC – variable length coding (data compression method consisting of coding frequent elements with fewer bits than infrequent ones).

VLIW – very long instruction word (new type of processor using parallelism).

VSB – vestigial sideband (AM with one of the two sidebands truncated); used by all analog TV standards and proposed for the terrestrial broadcasting of the digital “Grand Alliance” US HDTV system (8 or 16-VSB).

W & R – watch and record.

WSS – wide screen signalling (signalling information on line 23 of the *PALP* signal, also used on standard *PAL* or *SECAM*, to indicate the format and other characteristics of the transmission).

ZIF – see *zero IF*.

Vybrané slová a výrazy

aliasing – disturbance caused by spectrum mixing when sampling a signal with a bandwidth exceeding half of the sampling frequency (during an A-to-D conversion, for instance).

asynchronous – in IEEE1394 terminology, designates the mode specified for the transport of non-time-critical data (used, for example, for function control or storage).

baseband – original frequency band of an analog or digital signal before modulation or after demodulation.

block – in JPEG and MPEG this designates the portion of an 8×8 pixel picture to which the DCT is applied.

Bluetooth – RF communication standard at 2.4GHz for short distances (in the order of 10 m) and medium bit-rate (max. 1 Mb/s) allowing interconnection of up to seven participants forming a piconet. Different piconets can communicate between each other by means of participants belonging to two piconets.

burst errors – multiple errors occurring in a short time with relatively long error-free periods in between.

channel coding – addition of redundancy to a digital signal before transmission, allowing errors to be corrected at the receiving end (synonym: *FEC*).

comb filter – filter used in NTSC or PAL with “teeth” corresponding to the stripes in the chrominance and luminance spectra for optimum separation of chrominance and luminance.

components video – color video made of three elementary signals (e.g., RVB or YUV).

composite video – coded color video using one signal only (*NTSC*, *PAL*, or *SECAM*).

compression layer – in MPEG, designates the information at the output of the individual encoders (elementary streams, *ESs*).

constellation – simultaneous display in I/Q coordinates of the points representing all the possible states of a quadrature modulated signal (*QAM*, *QPSK*).

convolutional coding – inner part of the channel coding for satellite and terrestrial transmissions, increasing the redundancy by providing two bitstreams from the original one; it corrects mainly random errors due to noise.

digitization – conversion of an analog value into a (generally binary) number (synonym: analog-to-digital conversion, *ADC*).

downlink – communication link from a satellite to earth station(s) or consumer receivers.

echo equalizer – device designed for cancellation or attenuation of the echoes introduced by transmission (cable transmission mainly).

encryption – encoding of information with a key to control its access.

energy dispersal – logic combination of a digital bitstream with a pseudo-random binary sequence (*PRBS*) to obtain an evenly distributed energy after modulation.

entropy coding – coding principle using variable length words to encode information elements depending on their probability of occurrence (synonym: variable length coding, *VLC*); the most wellknown method for VLC is the Huffman algorithm.

Eurocrypt – conditional access system mainly used with the D2- MAC standard.

flash EPROM – non-volatile, electrically erasable and rewritable memory (in blocks).

flicker – disturbing periodic variation of the luminance of a picture when its refresh frequency is too low (below 50 Hz).

frame (audio) – elementary period during which the psychoacoustical coding is performed (corresponds to 12 times 32 PCM samples); its duration varies from 8 to 12ms depending on the sampling frequency; (*DVB-T*)-7 series of 68 OFDM symbols; four consecutive frames form a superframe.

granule – in MPEG audio (layer 2), designates a group of three consecutive sub-band samples (corresponds to 96 PCM samples).

HD-ready – label defined by the EICTA and granted to audiovisual equipment compatible with the minimum requirements of HDTV.

interlaced scanning – scanning of a picture in two successive fields, one with odd lines and the other with even lines, in order to reduce by a factor of 2 the bandwidth required for a given resolution and a given refresh rate compared to a progressively scanned picture.

isochronous – in IEEE1394 terminology, designates the quasisynchronous mode used to transport time-critical data (real time audio and video).

joint_stereo – MPEG audio mode exploiting the redundancy between left and right channels with two submodes (*MS_stereo*: coding of $L + R$ and $L - R$; *intensity_stereo*: coding of common sub-band coefficients for high bands of L and R).

layer – in MPEG audio, defines the algorithm used for compression (there are three different layers).

layer – in MPEG video, corresponds to the hierarchical decomposition (from sequence to block).

letterbox – broadcast format used to transmit wide screen films (16/9 or more) on a standard 4/3 TV screen, leaving two horizontal black stripes at the top and bottom of the picture.

level – in MPEG-2, defines the spatial resolution of the picture to be coded.

line-locked clock – clock synchronized by a PLL loop to the line frequency of a video signal.

lossless compression – same as reversible coding (see this phrase; opposite: lossy compression).

lossy compression – compression process which discards some imperceptible or hardly perceptible information elements (opposite: lossless or reversible compression).

macroblock – picture area of 16×16 pixels used for motion estimation. A macroblock is made up of six blocks: 4 Y , 1 C_b and 1 C_r .

masking – occultation of the perception of a sound by a more powerful one at a near frequency (frequency masking) and/or time (temporal masking).

Mediahighway – middleware developed and promoted by Canal+ Technologies and used among others by ITV Digital.

mini-DiSEqC – see *Toneburst*.

Monoblock (LNB) – specific type of dual universal LNB for the reception of two satellites located on nearby orbital positions (for example, Astra1 and Hotbird, distant from 6.2_) with the same dish and cable.

motion estimation – determination of a motion vector allowing an area of a picture to be deduced from an area of a previous picture.

multicrypt – one of the conditional access options in DVB, based on a detachable CA module connected via the common interface DVB-CI.

node – in IEEE1394 terminology, designates a participant connected to the bus.

OpenTV – middleware developed and promoted by the company OpenTV and used among others by BSkyB.

orthogonal sampling – sampling of a video signal by means of a clock locked to the line frequency in order to obtain samples with fixed positions on a rectangular grid.

orthogonality – property of a digitally modulated multiple carrier system when the spacing between consecutive carriers is equal to the inverse of the period of the modulating signal, so that the spectrum of any carrier presents zeroes for the central value of the neighboring carriers (*OFDM* modulation).

padding – non-significant bits added to adjust the duration of an audio frame (padding bits), or non-significant stream added to adjust the bit-rate of a bitstream (padding stream).

payload – for MPEG-2 transport packets (188 bytes), this designates the “useful” 184 bytes following the header.

peritel – 21 pin audio/video connector (also known as SCART plug or EUROCONNECTOR) used to interconnect audiovisual equipment (TV, VCR, set-top box, etc.).

pixel (or pel) abbreviation of picture element – the smallest element of an imaging or display device. In digital TV, it corresponds to the visual representation of one sample of a digitized picture.

profile – in MPEG-2, defines the toolbox used for video encoding.

progressive scanning – scanning of all the lines of a picture in numerical order in only one frame containing all picture lines (type of scanning used for computer monitors).

psychoacoustic model – mathematical model of the behavior of the human auditive system, based, among other things, on the frequency and temporal masking effects.

puncture – operation consisting of taking only a part of the bits generated by the convolutional coding to reduce its redundancy, at the expense of a reduced robustness (used in *DVB-S* and *DVB-T*).

quantization – measurement of a quantity with a limited number of discrete values (distant from the quantization step), for instance in an analog-to-digital conversion or a compression process.

quantization noise – noise introduced by an analog-to-digital conversion process, mainly due to the uncertainty on the least significant bit (representing the quantization step).

Reed–Solomon coding – outer part of the DVB channel coding, which adds 16 parity bytes to the 188 byte packets and allows correction of up to 8 bytes per packet; it is denoted RS(204, 188, 8).

reversible coding – coding allowing the recovery of the exact original information by applying the reverse process (synonym: lossless coding; opposite: lossy coding).

roll-off factor – characteristic of the steepness of the filtering applied to a digital signal in order to limit its bandwidth, generally with a view to modulation.

sampling – periodic acquisition of the value of an analog signal, generally with a view to converting it into a digital number.

scalable profile – MPEG-2 profile allowing different levels of quality to be obtained from the same bitstream (in terms of resolution for *spatially scalable profiles* or signal-to-noise ratio for *SNR scalable profiles*).

scaling factor – in MPEG audio, a 6-bit multiplying factor applied to each sub-band coefficient for the duration of a frame (giving a 128dB range with 64 values in steps of 2 dB).

sequence – in MPEG, an uninterrupted series of GOP defined with the same basic parameters.

set-top box – popular denomination of an integrated receiver decoder (*IRD*).

simulcast – simultaneous transmission of a program in two or more standards (e.g., *PAL* and *DVB*), generally during a transition period between these standards.

simulcrypt – principle consisting of sending ECM and EMM for more than one conditional access system for one program, in order to allow reception by different types of decoder.

slice – in MPEG, a slice is a portion of the picture made up of horizontally consecutive macroblocks (most of the time a complete row). It is used for intra-frame addressing and resynchronization.

source coding – ensemble of coding operations aiming to reduce the quantity of information delivered by a source (synonym: compression).

spectral efficiency – ratio (in bits/s per Hz) between the bit-rate of a bitstream and the bandwidth occupied by the RF signal modulated by this bitstream.

square pixels – name given to the pixels obtained when sampling results in an equivalent resolution along the two axes of the Picture (e.g., 640×480 for a 4/3 picture).

statistical multiplexing – when many TV programs are multiplexed in a single channel, it is possible to improve bandwidth efficiency based on the assumption that all programs do not need a maximum bitrate all at the same time. The bitrate of each of the programs is made variable (**VBR**) by changing the quantization step of the MPEG encoders according to the instantaneous requirements of the video contents. The gain of statistical multiplexing increases with the number of programs of the multiplex.

sub-band sample – in MPEG audio, output signal of one of the 32 sub-band filters (duration: 32 PCM samples, corresponding to 1ms at 32 kHz sampling rate).

symbol – in a digital transmission, this is the modulating information element. The number of bits/symbol depends on the modulation type (e.g., 2 bits/symbol for *QPSK*, 6 for 64-*QAM*).

symbol rate – number of symbols transmitted per second.

system layer – in MPEG-1, designates the form of the packetized information after multiplexing.

table (MPEG-2 PSI and DVB-SI) – descriptive information necessary to access DVB transmissions or making this access easier.

thresholding – elimination of values below a given threshold (used in video compression to reduce the amount of information to be transmitted).

Toneburst – (or Mini-DiSEqC) early and simplistic version of the DiSEqC™ protocol allowing switching between two orbital positions only. Equipment supporting only Toneburst are not permitted to carry the DiSEqC™ logo.

transponder – electronic device in a communication satellite receiving information from an earth station and re-sending it after frequency conversion and amplification to earth station(s) or consumers; there is generally one transponder per RF channel.

transport packet – packet of 188 bytes (4 header bytes P184 payload bytes) forming the elementary blocks of an MPEG-2 transport bitstream to which the error correction is applied.

uplink – communication link from an earth station to a satellite, supplying the information to be rebroadcast by one or more transponder(s).

zero IF (or direct conversion) – designates the concept of recent satellite tuners able to recover I and Q baseband signals by coherent demodulation directly at the incoming

frequency, resulting in a “zero IF” instead of the 480MHz IF of the conventional “superheterodyne” concept.

1 Úvod

Od začiatku sedemdesiatych rokov minulého storočia bolo zrejmé, že prednosti digitálnej techniky sú také významné, že digitálne systémy postupne nahradia v televízii a v rozhlase doterajšie analógové systémy. Digitálne systémy prinášajú celý rad výhod:

- Digitálny rádiový prenos má predovšetkým podstatne väčšiu energetickú účinnosť, ktorú môže ešte zvýšiť kanálové kódovanie a ďalšie formy ochrany prenosu. Energetickú bilanciu ďalej zlepšujú pozemské jednofrekvenčné siete (SFN). Toto všetko prispieva k súčasnému trendu vytvárania energeticky čo najmenej náročných „zelených rádiových systémov“.

- Digitálne modulácie, v súčinnosti s efektívnym zdrojovým kódovaním (redukciou bitovej rýchlosti), zabezpečujúcim potlačenie redundantnej a irelevantnej zložky v prenášanom signáli, potom majú aj podstatne vyššiu spektrálnu účinnosť, prejavujúcu sa vo výraznej úspore nedostatkových rádiových pásiem. Tieto uvoľnené pásma možno potom využiť nielen pre ďalšie TV programy, ale aj pre rýchlo sa rozvíjajúce pozemské mobilné komunikácie.

- Digitálne rádiové komunikácie umožňujú pomocou nových metód digitálneho spracovania signálov výrazne zlepšiť tiež všetky ďalšie kvalitatívne parametre rádiového prenosu a zabezpečiť tak zvýšenú kvalitu služieb QoS. Medzi tieto metódy patria nové koncepcie účinných zdrojových kodekov, turbo kódy, LDPC kódy, diversita MIMO a iné. Uvedené techniky zvyšujú kvalitu fixných TV prenosov, ktorú potom spoľahlivo zabezpečujú v celom prevádzkovanom území - včítane jeho okrajov, potlačajú vplyv viacnásobných príjmov, odstraňujú znenie a pod. Otvárajú tiež cestu k plnej mobilnej televízii s dokonalou interaktivitou, budovanej na báze „klasickej“ digitálnej televízie, alebo využívaním siete mobilných komunikácií tretej generácie. Implementácia digitálnych systémov je však podstatne komplikovanejšia, ako analógových systémov. Digitálne komunikácie začali byť preto nasadzované do praxe až v osemdesiatych rokoch minulého storočia. Koniec 20. a začiatok 21. storočia bol charakteristický veľkým pokrokom v oblasti mikroelektronických technológií, ktoré poskytujú efektívnu realizáciu celého spektra metód číslicového spracovania signálov (napr. obvody FPGA, signálové procesory, obvody ASIC, atď.), a ktoré tiež umožnili lacnú realizáciu aj zložitých digitálnych radiokomunikačných systémov. Základom digitalizácie obrazových signálov je celosvetový štandard ITU R 601 z roku 1982.

Európsky inštitút ETSI (European Telecommunications Standards Institute) a Európsky komitét CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), začali v roku 1991 koncipovať projekt vysielania digitálnej televízie DVB. Projekt DVB uvažoval digitálnu televíziu ako jediný systém, aplikujúci zdrojové kódovanie video a audio signálov v štandardoch MPEG-2. Ďalej sa tu predpokladala aplikácia ochranného kanálového kódovania s priamou korekciou chyb FEC (Forward Error Correction), využívajúcej blokové kódy RS (Reed - Solomon) a dierované konvolučné kódy, adaptujúce sa svojou rýchlosťou na parametre aktuálneho rádiového kanála. Pri rádiovom prenose se rozlišujú v systéme DVB tri verzie, lišiace se prenosovým médiom. Vďaka jednoduchšej legislatíve a technológii sa už v roku 1994 objavujú štandardy pre satelitné systémy DVB-S (DVB-Satellite) a kabelové systémy DVB-C (DVB-Cable). Až za nimi nasledoval v roku 1995 pozemský systém digitálnej televízie DVB-T (DVB-Terrestrial). Tieto systémy sa však v priebehu vývoja modifikovali rôznym spôsobom. Vznikli jednak pokročilejšie verzie DVB-S2 (2005), DVBC2 a DVB-T2 (2006), ale aj nové štandardy DVB-H a pod. Významnú úlohu hraje vo vývoji digitálnej televízie jej konvergencia s Internetom (IPTV) a s verejnými mobilnými sieťami 3G (TVo3G). Štandardy DVB-S a DVB-C majú k dispozícii kanály zabezpečujúce takmer bezchybný prenos QEF (Quasi Error Free), a proto môžu používať klasickú moduláciu QAM s jedinou nosnou vlnou SC (Single Carrier). Oproti tomu DVB-T používa pozemské kanály s viacestným šírením a intenzívnymi interferenciami, kde je na prenos vhodnejší vývojovo mladší ortogonálny frekvenčný multiplex OFDM, aplikujúci prenos na viacerých nosných MC (Multi Carrier).

2 Úvod do digitálnej televíznej techniky

Digitalizácia okrem skvalitnenia služieb už existujúcich priniesla aj služby nové, a to aj v televízii. To je možné len so súčasným vysokým stupňom integrácie elektronických obvodov - procesorov, s vysokou rýchlosťou operácií vykonávaných týmito obvodmi a s vysokovyvinutým matematickým aparátom, ktorý je základom týchto zložitých operácií. Matematická teória je základom digitalizácie vôbec, a teda aj základom digitálnej televízie. Treba si teda uvedomiť, že to, čo sa pri digitálnej televízii deje od vzniku signálu vstupujúceho do televízneho reťazca až po jeho príjem a reprodukciu zrozumiteľnú pre každého bežného človeka, sú v skutočnosti väčšinou matematické operácie prebiehajúce vysokou rýchlosťou v zložitých signálových procesoroch. Preto aj jednotlivé kapitoly tohto výučbového materiálu sa často týkajú hlavne matematických postupov, i keď pre rýchle pochopenie bol zvolený veľmi zjednodušujúci pohľad na túto matematiku.

Vývoj v oblasti digitálnej televízie je dnes už takmer na stupni, ktorý bol vytýčený v zmysle: umožniť divákovi televízny príjem kdekoľvek a v akýchkoľvek podmienkach. Pritom sa stále pracuje na tom, aby tento príjem bol pre diváka čo najdokonalejší, s čo najkomfortnejšími ďalšími službami, a zároveň čo najefektívnejší pre poskytovateľa. Jednotlivé princípy, ktoré sa pri takomto spracovaní televízneho signálu používajú, sú preto v podstate zamerané na tieto ciele.

Keďže splnenie podmienky dokonalého príjmu a kvality služieb sa v niektorých podstatných ohľadoch dosť líši pri porovnaní pozemského, káblového šírenia a šírenia pomocou satelitov, v Európe podliehajú tieto tri systémy trom odlišným skupinám štandardov. Štandardy obsahujú dohodnuté, podrobné technické špecifikácie jednotlivých televíznych systémov, čo je v záujme kompatibility prístrojov v rámci celého signálového reťazca a v neposlednom rade aj v záujme diváka. Použitie niektorých štandardov je obmedzené na menší, alebo väčší región zemského povrchu, niektoré sa používajú celosvetovo. Už spomínané viaceré matematické princípy môžu byť pritom súčasťou viacerých svetových, i keď navzájom nekompatibilných, štandardov.

V nasledujúcich podkapitolách sa budeme venovať skrátenému opisu predhistórie a histórie digitálnej televízie vo svete, v Európe a na Slovensku, opisu princípov

analogovej televízie, ktoré sú zatiaľ ešte stále v istej miere premietnuté aj v digitálnom signáli, veľmi skrátenej opisu jednotlivých európskych štandardov pozemskej, káblovej, satelitnej digitálnej televízie – DVB-T/C/S a ich vyšších verzií zavádzaných v súčasnosti. Budú stručne vysvetlené niektoré metódy kompresného kódovania a modulácie, použité pri spracovaní digitálneho televízneho signálu a nesúce hlavný podiel na efektívnom využití frekvenčného pásma, vysokých prenosových rýchlostiach a zvyšujúcej sa kvalite príjmu televízie a ďalších služieb.

Všetky opisy sa opierajú o známe fakty uvedené v medzinárodných štandardoch, resp. v renomovanej literatúre, ktorej zoznam sa nachádza na konci tohto celku.

2.1 Stručná história televízie

V roku 1923 prvé pokusy s televíznym vysielaním v USA uskutočnil rusko-americký inžinier a vynálezca Vladimir Zworykin. Predviedol a dal si patentovať elektrónkový televízny vysielací a prijímací systém.

V roku 1931 vznikli prvé pokusné TV stanice v USA.

V roku 1939 sa začala hromadná výroba televíznych prijímačov a uskutočnil sa prenos pre niekoľko stovák TV divákov zo slávnostného otvorenia svetovej výstavy v New Yorku prezidentom F. D. Roosveltom.

Ako jeden z míľnikov a jednu perličku za mnohé možno spomenúť schválenie štandardu NTSC (525 riadkov na TV snímku a 30 snímok za sekundu) a vysielanie prvej obchodnej reklamy z prvej komerčnej televízie WNBT (dnes NBC, New York) v roku 1941.

V tom čase sa už na viacerých bojiskách odohrávala omnoho väčšia dráma - druhá svetová vojna, ktorá spomalila vývoj techniky, ak sa práve netýkal vojny a zbraní.

Koniec vojny v roku 1945 priniesol oživenie aj v oblasti vývoja televízie. V roku 1946 sa v USA používalo už 6400 TV prijímačov.

V roku 1948 začali rýchlo pribúdať nové TV stanice aj ďalší žiadatelia o licencie pre vysielanie. Tento vývoj si vyžiadala usporiadanie frekvenčného spektra a dohody o jeho využívaní, aby sa zabránilo vzájomnému rušeniu jednotlivých vysielateľov a tiež aby sa signálom pokryli aj zatiaľ „biele“ miesta.

Keď preskočíme približne 15 rokov, môžeme uviesť, že v roku 1962 sa v USA uvádza už 58 miliónov zapojených TV prijímačov. V niektorých rodinách mali po dva

aj viac prijímačov; prijímače boli v každej izbe väčších hotelov, a údajne bolo v krajine viac TV prijímačov než telefónnych prístrojov.

V bývalom Československu v tom čase ešte neexistovala televízia ako samostatná inštitúcia. V roku 1953 bola televízia zaradená pod Čs. rozhlas, a od vlády dostala úlohu začať vysielat' do 3 mesiacov. S vysielaním sa teda začalo v Prahe 1. Mája 1953. Nové vysielacie štúdio sa za taký krátky čas postaviť nedalo, preto tento štart televízie u nás sa odohral v provizórnych priestoroch, v piatich miestnostiach Měšťanské besedy v Prahe. V štúdiu sa nachádzali 2 prototypové štúdiové kamery so snímacími elektrónkami - superikonoskopom čs. výroby a filmovým snímačom 35 mm so superikonoskopom sovietskej výroby.

V roku 1955 bol uvedený do prevádzky druhý TV vysielateľ v Československu - v Ostrave, a prvý prenosový voz čs. televízie.

V roku 1963 sa 1. mája uskutočnilo prvé priame TV spojenie Praha – Moskva.

Ďalší vývoj, zdokonaľovanie a rozširovanie TV vysielania pokračovali počas nasledujúcich desaťročí so všetkým, čo si už aj dnešní starší diváci pamätajú. Postupne pribúdali programy, do obrazu pribudla farba, pribudol druhý a ďalšie zvuky, v nevyužitých časových intervaloch TV signálu sa umiestnil teletext, televízia sa začala šíriť aj pomocou satelitu a TV káblových rozvodných systémov, mimo verejnoprávnej televízie vznikali rôzne súkromné, resp. regionálne TV stanice.

V rámci tohto vývoja bol ešte pre Slovensko zvlášť významný rok 1993, kedy vznikol nový samostatný štát, a s ním, okrem iného, sa začala samostatne vyvíjať aj slovenská verejnoprávna televízia.

Analógová televízia už bola v tomto období zrejme na hranici svojich možností a aj frekvenčné pásma už boli vyčerpané. Začalo byť jasné, že požiadavky na ďalšie zvyšovanie kvality TV vysielania, na vznik nových TV staníc, na možnosť kvalitného mobilného príjmu v dopravných prostriedkoch a ďalšie už dokáže splniť iba digitálna televízia.

V roku 1994 bolo v USA v rámci projektu „DirectTV“ spustené prvé digitálne vysielanie pre bežných účastníkov, ktorých počet sa do roka vďaka okamžitému úspechu rozšíril na číslo presahujúce milión.

Európska a slovenská digitálna televízia

Európa v roku 1991 zastavila práce na ďalšom vývoji analógového systému HDTV (HD-MAC) a vytvorila pracovnú skupinu s cieľom štandardizovať digitálny televízny systém.

V roku 1993 vznikla aliancia DVB Project (DVB - Digital Video Broadcasting), ktorá do postupne vznikajúcich štandardov DVB-S, C, T (Satellite, Cable, Terrestrial) začlenila medzinárodný štandard pre kompresiu videa MPEG-2. Prvé komerčné digitálne TV vysielanie bolo potom spustené v roku 1996 zo satelitu ASTRA 1 na kanáli Canal+, po ktorom rýchlo nasledovali ďalšie satelitné digitálne programy [2]. Koncom posledného desaťročia 20. storočia sa objavili systémy DVB-C a DVB-T, a nakoniec došlo aj na poskytovanie televízie IPTV (Internet Protocol TV) cez Internet aj cez telefónne účastnícke linky (systémy ADSL – Asymmetrical Digital Subscriber Line).

Prvý pilotný projekt v rámci strednej Európy, zameraný na urýchlenie spustenia vysielania digitálnej televízie (DVB-T) vznikol v roku 1999, a to na Slovensku – v Bratislave. Projekt však uviazol vďaka nezájmu našej vtedajšej politickej scény.

V roku 2004 boli vypísané ďalšie tri pilotné projekty DVB-T (pre Bratislavu, pre Banskú Bystricu a Zvolen, a pre Košice a Prešov), a po výzve Európskej komisie z mája 2005 bola na Slovensku stanovená stratégia prechodu k digitálnemu vysielaniu. Dokument s podobným názvom – „Stratégia prechodu z analógového na digitálne pozemské TV vysielanie v SR“ – zahŕňa konkrétne dátumy spustenia skúšobného a pravidelného digitálneho vysielania, až po úplné vypnutie analógového vysielania v členských štátoch Európskej únie, teda aj na Slovensku, do konca roku 2012.

V máji 2007 u nás nadobudol účinnosť „zákon o digitálnom vysielaní“ upravujúci

- a) podmienky pre digitálne vysielanie programových služieb a poskytovanie iných obsahových služieb poskytovaním digitálneho prenosu na území Slovenskej republiky,
- b) práva a povinnosti fyzických osôb a právnických osôb pri digitálnom vysielaní programových služieb a pri poskytovaní iných obsahových služieb prostredníctvom digitálneho prenosu, a c) pôsobnosť orgánov verejnej správy pri regulácii digitálneho vysielania programových služieb a iných obsahových služieb poskytovaných prostredníctvom digitálneho prenosu.

DVB – Digital Video Broadcasting

Voľný preklad tohto názvu do slovenčiny je digitálna televízia, doslovne by to bolo šírenie digitálneho videa.

Alianciu DVB Project so sídlom v Ženeve tvorí približne 300 spoločností, pôvodne len európskych a súkromných, satelitných a káblových spoločností a výrobcov televíznej techniky, v súčasnosti aj vládnych a mimoeurópskych inštitúcií. Aliancia vydala svoj štatút - dokument „Memorandum of Understanding“ (MoU, Memorandum o porozumení), ktorý bol poslednýkrát aktualizovaný v roku 2010. DVB Project je otvorená iniciatíva, a zmyslom jej pôsobenia je harmonizácia úsilia v oblasti vývoja digitálnej televízie (ďalej DTV), vytvorenie špecifikácií pre prenosové systémy digitálnych médií, a to DVB-S (satelitné), DVB-C (káblové) a DVB-T (pozemské) systémy, tiež pre bezdrôtový širokopásmový prístup (broadband wireless) typu MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System - viackanálový a viacbodový distribučný systém), LMDS (Local Multipoint Distribution Service – miestna viacbodová distribučná služba) a pod., pre interaktívne služby, a pre podporné linky spájajúce túto európsku aktivitu s podobnými v iných častiach sveta.

Predbežná špecifikácia pozemského digitálneho systému, DVB-T, bola schválená ako posledná - v roku 1995.

Systém DVB-T sa okrem Európy používa aj v Austrálii, Novom Zélande, Singapúre, Indii, Juhoafrickej republike a Kórei.

MPEG

MPEG (Moving Pictures Experts Group) je skupina expertov pre spracovanie zvuku a obrazu. Táto skupina v rámci medzinárodných normalizačných organizácií ISO (International Organization for Standardization) a IEC (International Electrotechnical Commission) pracuje na definovaní noriem pre digitálnu kompresiu obrazových a zvukových signálov.

V roku 1993 skupina publikovala normu MPEG-1 (ISO/IEC 11172) pre neprekladané obrazové formáty a kódovanie obrazu do bitovej rýchlosti 1,5 Mbit/s.

V roku 1994 vyšla norma MPEG-2 (ISO/IEC 13818) pre kódovanie obrazu s prekladaným riadkovaním, pre aplikácie s rýchlosťami 5 až 10 Mbit/s. Táto norma bola neskôr rozšírená o aplikácie HDTV prenášané rýchlosťami 15 až 30 Mbit/s.

Kompresný formát MPEG-4 s ďalšími prívlastkami Part 10, AVC (Advanced Video Coding – Zdokonalené kódovanie videa) bol štandardizovaný v roku 2004. Vyznačuje sa efektívnejšími kompresnými metódami oproti predchádzajúcim štandardom, pri minimálnej degradácii kvality obrazu oproti predchádzajúcim štandardom.

Požiadavky kladené na nový typ televízie

Nasledujúce požiadavky, ako zo strany užívateľov, tak zo strany poskytovateľov TV vysielania, ktoré analógová televízia už nedokázala naplniť, sa stali požiadavkami voči digitálnemu systému:

- stúpajúci počet požiadaviek prevádzkovateľov na pridelovanie frekvencií za stavu vyčerpanosti frekvenčného spektra určeného pre televíziu,
- stúpajúce nároky divákov na kvalitu obrazu (rozmer, rozlíšenie, odstránenie niektorých typov rušení – hlavne „duchov“ pri mnohocestnom šírení), zvuku a ďalšie (aj interaktívne) služby,
- požiadavka na možnosť sledovania televízie v rýchlych dopravných prostriedkoch,
- snaha o znižovanie energetickej náročnosti zariadení.

Metódy vyvinuté v oblasti číslicového spracovania signálov mali potenciál splniť uvedené požiadavky a ďalší vývoj zameraný na digitálnu televíziu v súčinnosti s vývojom v elektronike a materiáloch tento potenciál viac než potvrdili.

2.2 Technické špecifikácie signálu spoločné pre analógovú a digitálnu televíziu

2.2.1 Základné princípy a charakteristiky analógového vysielania-TV norma

Podstata vzniku analógového obrazového signálu, metódy jeho prenosu a vymedzenia frekvenčného spektra preň boli prevzaté aj digitálnou televíziou, resp. nejakým spôsobom sa premietli do jej princípov. Preto je potrebné aspoň v krátkosti tieto základné princípy opísať.

Rozklad obrazu na riadky

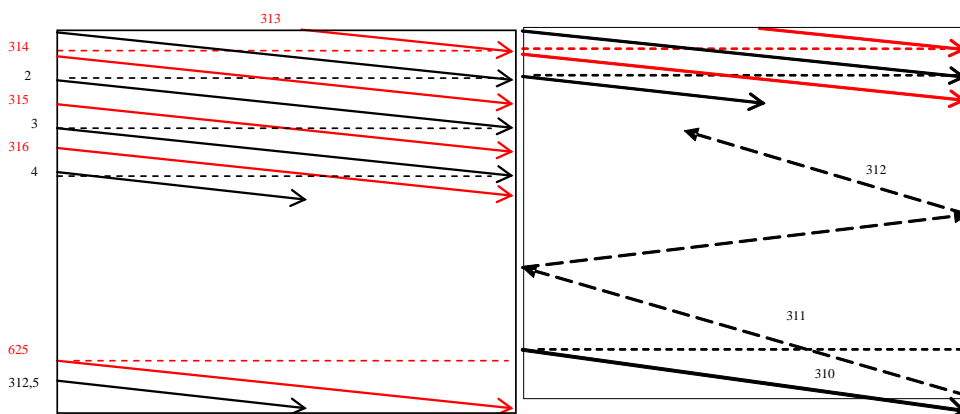
Obraz je pri snímaní aj pri reprodukcií v TV prijímači rozložený na riadky. V televízii sa preto hovorí o riadkovom rozklade alebo o riadkovaní, pričom sa používajú

dva spôsoby riadkovania - prekladané (interleaved), kde sa vykresľujú najprv nepárne a potom, pomedzi ne, párne riadky danej polsnímky, a postupné riadkovanie (progressive), pri ktorom sa vykreslia postupne všetky riadky danej snímky za sebou (Obr. 2.1).

Maximálna obrazová frekvencia, TV kanál a TV pásmo

Pri stanovení počtu riadkov na snímku (napr. 625) a pri obdĺžnikovom tvare TV obrazu s pomerom strán 4 : 3 musí byť v smere riadku (v horizontálnom smere) rovnako hustá štruktúra obrazu, z čoho vyplýva celkom konkrétny maximálny počet bodov pripadajúci na jednu TV snímku. Pri počte snímok napríklad 25 za sekundu (t.j. 50 preložených polsnímok; 50 Hz je tzv. polsnímková, alebo vertikálna frekvencia, ktorá bola vybraná takto zámerne, aby synchronizácia TV obvodov mohla byť zladená s frekvenciou elektrorozvodnej siete) je jednoduché určiť maximálnu obrazovú frekvenciu, t.j. maximálny počet zmien v obraze za 1 sekundu. Pri maximálne hustom striedaní napr. čiernej a bielej je to $(25 \times 625 \times 4/3 \times 625) / 2$ periodicky sa opakujúcich zmien v obraze za sekundu, čo je približne 6,5 milióna, čiže 6,5 MHz.

Pri voľbe amplitúdovej modulácie pre prenos takéhoto signálu na diaľku (vyššie opísaný TV signál moduluje amplitúdu, t.j. výšku vln nosného sínusového signálu) je nutné použiť frekvenciu nosnej vlny aspoň 8-krát vyššiu [3], z čoho vyplynula frekvencia prvého kanála v rámci spektra vyčleneného pre televíziu, a to približne 48 MHz, čo platí dodnes.



Obr. 2.1 Vľavo: rozklad obrazu na 625 riadkov a riadkových spätných behov v CRT obrazovke (Cathode Ray Tube). Vpravo: b) Skutočná dráha lúča v CRT-obrazovke v čase..

Ďalšie špecifikácie určené ešte pri zavádzaní analógovej televízie sú tiež ešte stále zohľadňované.

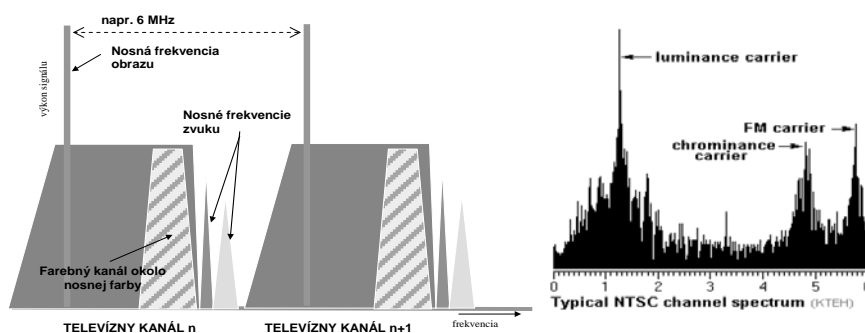
Šírka analógového TV kanála je rešpektovaná aj v súčasnosti s tým, že v rámci nej sa prenáša tzv. multiplex niekoľkých (4 alebo viacerých) digitálnych TV programov, plus ďalšie sprievodné, či prídavné digitálne dáta.

Táto šírka bola odvodená od maximálnej obrazovej frekvencie, jej určitého obmedzenia (a uspokojenia sa s istým vyhladením obrazu, ktoré však naše oči pri pohyblivej štruktúre obrazu a pri určitej pozorovacej vzdialenosti nepostrehnú) a od jej následného rozšírenia potrebného pre amplitúdovo modulovaný signál s čiastočne obmedzeným dolným postranným pásmom. Spomínaný typ amplitúdovej modulácie je tiež do určitej miery degradačný, ale opäť sa pri ňom počíta s istou „nedokonalosťou“ ľudského oka pri vnímaní chýb v obraze. Nuž a po pridaní určitého - relatívne úzkeho pásma pre sprievodný zvuk (prenášaný buď pomocou amplitúdovej – AM, alebo frekvenčnej – FM modulácie) sa tvorcovia TV noriem nakoniec dostali k šírke 6, 7 alebo 8 MHz pre 1 TV kanál (Obr.2.2).

TV kanály v rámci jedného TV pásma tesne susedia, takže vzdialenosť napr. dvoch susedných nosných obrazových frekvencií je tiež 6, 7, alebo 8 MHz.

TV pásiem pre prenos voľným priestorom je päť, označujú sa rímskymi číslicami a sú rozdelené na 3 pásma VHF (Very High Frequency) - VHF I, II, III, a 2 pásma UHF (Ultra High Frequency) - UHF IV, V. Ich rozpis je uvedený v Tab.2.1.

Pri zavádzaní káblovej televízie možno využiť aj predtým nevyužité medzery medzi týmito pásmami, a tak pribudli tzv. špeciálne alebo káblové pásma označované ako Superband a Hyperband (v Tab.1.1) s podobnými šírkami kanálov aj ďalšími parametrami.



Obr. 2.2 TV kanály. Frekvenčné spektrum dvoch susedných analógových TV kanálov a typický obraz reálneho spektra TV kanála v norme NTSC

Tab. 2.1 Príklad rozdelenia TV pásiem pre pozemskú analógovú televíziu v Európe

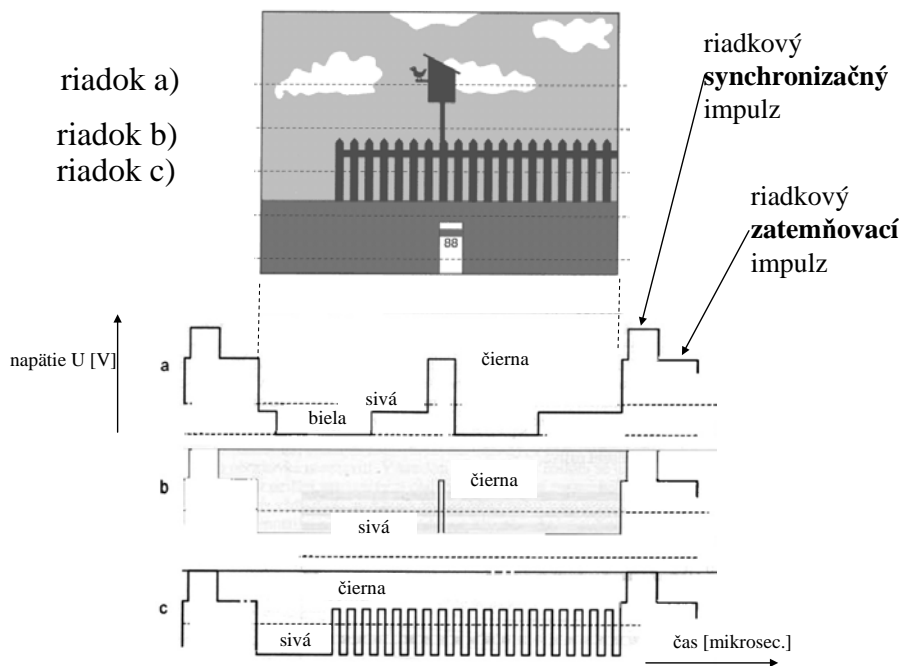
Spoločné označenie TV pásma	Číslo alebo označenie pásma	Čísla kanálov	Frekvenčný rozsah pásma [MHz]	Čísla kanálov a frekvencie platia pre normu:
VHF	I.	2,3,4	47 – 68	B (šírka kanála 7MHz)
	II.			Už sa nepoužíva pre TV
Káblové	Špeciálne – VHF Midband	S1- S10	104-174	B
VHF	III.	5-12	174-230	B
Káblové	Superband	S11- S20	230-300	B
	Hyperband	S21- S41	302-470	G (šírka kanála 8 MHz)
UHF	IV.	21 - 37	470-606	G
	V.	38 - 69	606-862	G

V Amerike a v niektorých ďalších krajinách sveta majú vyššie uvedené parametre TV signálu inú hodnotu z dôvodu inej sieťovej frekvencie (60 Hz), z dôvodu inej voľby počtu riadkov v snímke (525) a z dôvodu väčšieho obmedzenia obrazového pásma. Americké TV kanály majú šírku 6 MHz a o rovnaký interval sú vzdialené nosné obrazy, resp. zvuku dvoch susedných TV kanálov v amerických TV pásmach.

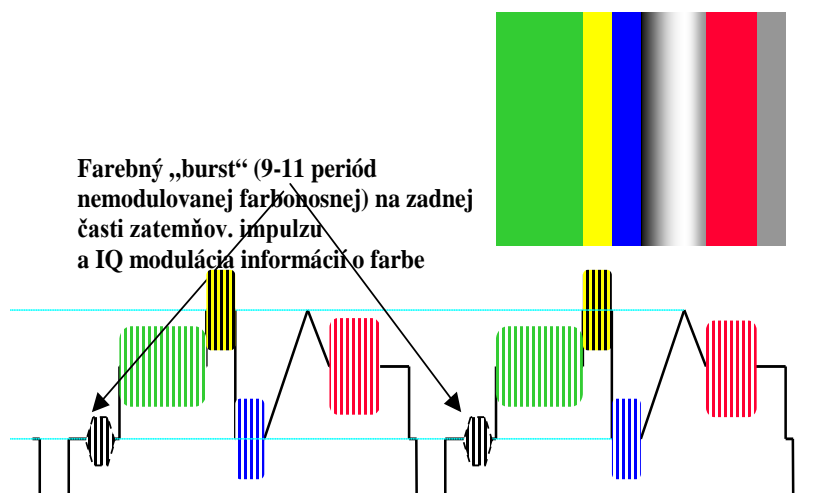
Synchronizácia obrazu

V krátkosti môžeme opísať aj ďalšie časti analógového TV signálu, ktoré spolu v TV prijímači zabezpečujú bezchybnú reprodukciu snímanej a vysielanej informácie.

Zo spomínaného počtu riadkov v snímke je istý počet (50) určených pre iné účely, ktoré tiež bolo nutné splniť. Počas ich trvania sa elektrónový lúč v starých snímacích zariadeniach aj v obrazovkách typu CRT (Cathode Ray Tube – elektrónka) musel vypnúť a vrátiť na presne definované miesto horného okraja obrazu (Obr.2.1), takisto sa musel vypnúť po vykreslení jedného viditeľného riadka pri návrate z pravého na ľavý okraj obrazovky, kde znova mohol začať „kresliť“. Doba zatemneného elektrónového lúča sa nazýva riadkovým alebo polsnímkovým zatemnením a je využitá, okrem iného, aj pre synchronizáciu elektronických obvodov. Tzv. riadkový synchronizačný impulz zaberá časť riadkového zatemňovacieho intervalu (Obr.2.3), a prenáša sa takto spolu so všetkými ostatnými informáciami potrebnými pre správne dekodovanie.



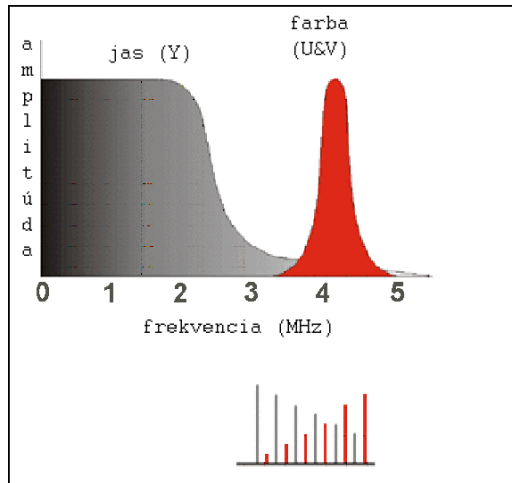
Obr. 2.3 Ilustrácia vzniku elektrického obrazového signálu vybraných riadkov. Výška napätia zodpovedá úrovňam jasu na snímanej scéne. Viditeľná časť riadku sa nachádza medzi dvoma riadkovými zatemňovacími impulzmi. Riadkový synchronizačný impulz zaberá časť riadkového zatemnenia. Je to ukážka negatívnej obrazovej modulácie, t.j. bielej je priradená najnižšia, a čiernej najvyššia úroveň napätia. [3]



Obr. 2.4 Ilustrácia signálu farebnej modulácie spolu s jasovým signálom pri zvislých farebných pruhoch na obrazovke (každý riadok je rovnaký). V riadkovom zatemnení sa musí nachádzať synchronizačný rádiopulz farby (burst). Polarita signálu na obr.1.4 je otočená a zodpovedá osciloskopickému zobrazeniu.

Pre synchronizáciu sa v analógovej televízii využívajú len hrany synchronizačných impulzov, preto zvyšná doba týchto impulzov, rovnako aj celá doba polsnímkového zatemnenia mohla byť využitá pre prenos iných než videoinformácií. V analógovom TV signáli bolo možné v presne definovaných zatemnených riadkoch nájsť synchronizáciu

farby v norme SECAM, teletext, meracie signály pre TV technikov, kódy pri zakódovaných kanáloch, prípadné ďalšie zvuky v zdokonalených sústavách; na nevyužitej časti riadkového zatemňovacieho impulzu sa prenášal synchronizačný impulz farby PAL, NTSC a pod. (Obr.2.4).



Obr. 2.5 Televízny kanál. Ilustrácia umiestnenia spektra signálu farby v norme NTSC a jeho vzájomného preloženia s jasovým signálom, keďže obe spektrá majú hrebeňovú štruktúru.

Farba v obraze

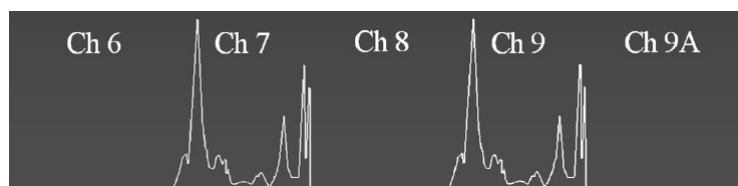
Keď v analógovej televízii pribudlo kódovanie farby, alebo presnejšie farebná modulácia, spektrum farebného signálu sa umiestnilo do už existujúceho jasového spektra (Obr.2.5).

Obe spektrá majú hrebeňovú štruktúru, t. zn. pravidelné striedanie maxím a miním s rovnakým odstupom (s odstupom rovným riadkovej frekvencii), čo sa využilo na vzájomné preloženie týchto spektier (maximá farebného do miním jasového spektra). Pritom to farebné sa umiestnilo do vyššej časti jasového spektra, pretože táto časť je štatisticky menej využitá. (Štúdiom teórie signálov a ich spektier je možné tomu porozumieť viac; pre jednoduchší výklad možno postačí, keď si uvedomíme, že v obrazoch, aj v tých pohyblivých, čiže vo videu, sa štatisticky vo väčšej miere vyskytujú veľké plochy s rovnakým jasom, čiže pomalšie striedanie jasových úrovní, čiže nižšie frekvencie spektra, než drobné, husto prestriedané plochy. Preto ten pomer väčšieho využitia jasového obrazového spektra v oblasti nižších frekvencií voči menšiemu využitiu vyšších frekvencií.) Voľba výšky frekvencie nosnej vlny farby (vzhľadom k obrazovej nosnej) je teda jasná, a modulácia bola zvolená kvadrátúrna amplitúdová (QAM) u noriem PAL, NTSC, a frekvenčná pri norme SECAM.

Príslušný tón farby TV obrazu, ako ho vníma divák na obrazovke, je vytvorený z bodov farebnej obrazovky, ktoré sú trojakého druhu pre každý zobrazovaný bod obrazu. Tento tón je vytvorený spolupôsobením (súčtovým zmiešavaním) zložky červenej - R, zelenej – G a modrej – B (Red, Green, Blue), každej s presne nastavenou intenzitou v každom bode. Informáciu o intenzite budenia týchto elementárnych obrazových bodov získavajú obvody TV prijímača demoduláciou a následným ďalším spracovaním TV signálu. Spôsobom „kódovania“ farebných zložiek v TV signáli sa jednotlivé farebné štandardy - PAL, NTSC a SECAM líšia. Všetky však musia zohľadňovať princíp aditívneho (súčtového) zmiešavania farieb. Z dôvodu efektívneho využitia spektra sa však vo všetkých farebných normách prenáša informácia o jase v obraze a nie o R, G, B ale o dvoch tzv. rozdielových zložkách R-Y, B-Y (rozdiel červeného a jasového signálu, a rozdiel modrého a jasového signálu). Rozdielové zložky bývajú označené napr. U, V alebo CR, CB. Ďalšie ušetrenie spektra sa pri všetkých farebných normách dosahuje tým, že ani informácia o zložkách U, V sa neprenáša v každom riadku, ale len striedavo U resp.V. Aj tieto princípy prebrala a ďalej prepracovala digitálna televízia.

Využitie TV pásma

Pri distribúcii analógového TV signálu z jedného fyzického miesta či už bezdrôtovo alebo káblom väčšinou nie je možné použiť 2 susedné frekvenčné kanály. Využívajú sa tzv. dovolené kombinácie kanálov a v záujme kvalitného príjmu by sa nemali používať tzv. zakázané kombinácie kanálov (Obr.2.6). Táto skutočnosť spolu s pribúdajúcimi záujemcami o vysielanie v podstate naplnila TV frekvenčné pásma a dalo by sa povedať, že analógová televízia aj týmto faktom takpovediac „narazila na strop“ .



Obr. 2.6 Reálny tvar spektra v analógových TV kanáloch a povinné striedanie využitých a nevyužitých analógových kanálov v TV pásme jedného vysielateľa v záujme vzájomného nerušenia sa.

Tab. 2.2 Normy analógovej televízie a niektoré ich parametre. Hranaté zátvorky označujú normu, ktorá sa v súčasnosti už nepoužíva.

Normy TV vysielenia									
Norma	Počet riadkov	Snímková frekvencia [Hz]	Šírka pásma [MHz]	Šírka obrazu [MHz]	Posun zvuku [MHz]	Postranné pásmo [MHz]	Polarita	Modulácia zvuku	Poznámky
[A]	405	25	5	3	-3,5	0,75	+	AM	UK
B	625	25	7	5	+5,5	0,75	-	FM	Európa
[C]	625	25	7	5	+5,5	0,75	+	AM	Belgicko
D	625	25	8	6	+6,5	0,75	-	FM	Európa
[E]	819	25	14	10	±11,15	2,00	+	AM	Francúzsko
[F]	819	25	7	5	+5,5	0,75	+	AM	Belgicko, Luxembursko
G	625	25	7	5	+5,5	0,75	-	FM	UHF/Európa
[H]	625	25	8	5	+5,5	1,25	-	FM	Belgicko, Luxembursko
I	625	25	8	5,5	+5,9996	1,25	-	FM	UK, Írsko...
J	525	29,97	6	4,2	+4,5	0,75	-	FM	Jap.
K	625	25	8	6	+6,5	0,75	-	FM	UHF/Európa
K'	625	25	8	6	+6,5	1,25	-	FM	Francúzske zámorie
L, L'	625	25	8	6	+6,5	1,25	+	AM	Francúzsko
M	525	29,97	6	4,2	+4,5	0,75	-	FM	Ameriky ...
N	625	25	6	4,2	+4,5	0,75	-	FM	J. Amerika...

2.2.2 Televízia so štandardným (SDTV), zlepšeným (EDTV) a s vysokým rozlíšením(HDTV)

SDTV - Standard Definition Television - Televízia so štandardným rozlíšením

Pôvodné princípy analógovej televízie opísané vyššie sa označujú ako televízia so štandardným rozlíšením – SDTV. Tento typ sa dnes ešte stále používa. Digitalizácii televízneho vysielenia, ktorá je dnes už prakticky realitou, však predchádzalo ešte niekoľko zdokonalených analógových systémov. V nich išlo najmä o zdokonalenie reprodukcie obrazu, ale aj o rozšírenie možností sprievodného zvuku, resp. prenos dvoch alebo viacerých zvukov. Jednotlivé analógové systémy – pôvodný aj pokročilé budú heslovite opísané nižšie.

Stručne by sa mohli hlavné princípy a nedostatky systému SDTV zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- Pôvodný a ešte stále existujúci televízny zobrazovací systém.

- V jednom 6- až 8 MHz- TV kanáli sa môže prenášať len 1 program - značné nároky na frekvenčné spektrum.

- Prekladané (i - interleaved) riadkovanie v obraze s pomerom strán 4:3.

- 625 riadkov, 720 bodov na riadok, 576 zobrazených riadkov (576i), 50 polsnímok / 25 snímok za sekundu (Austrália, Európa); 525 riadkov, 704 bodov, 480 zobrazených riadkov (480i), 60 polsnímok / 30 snímok za sekundu (USA, Japonsko).

- Degradácia signálu pri zlej viditeľnosti na vysielateľ (zrnenie v obraze) a pri mnohocestnom šírení z dôvodu príjmu viacerých odrazených signálov (tzv. „duchovia“ – viacnásobný obraz).

- Počas pohybu (v automobile) nekvalitný až nemožný príjem signálu; kvalita príjmu je zabezpečená len s pevne umiestnenou anténou pri stabilnom príjme.

- Vysielače s pomerne vysokým vyžiareným výkonom potrebné pre pokrytie územia.

- Susedné vysielače nemôžu vysielať na rovnakých frekvenciách (vzájomné rušenie), čo predstavuje značné nároky na frekvenčné spektrum.

- Nutné rešpektovať odporúčané a zakázané kombinácie kanálov pri distribúcii signálu, čo opäť predstavuje značné nároky na frekvenčné spektrum.

EDTV - Enhanced Definition Television - Televízia so zlepšeným rozlíšením

Týmto názvom bol označený analógový systém, ktorý znamenal prechodný krok k televízii HDTV. Nasledovné princípy využíval s cieľom poskytnúť divákovi vyššiu obrazovú kvalitu aj zvukový komfort v porovnaní s televíziou typu SDTV:

- dvojitá skenovacia rýchlosť (viac snímok za sekundu) – s cieľom znížiť efekt blikania

- možnosť progresívneho - p-riadkovania (nielen prekladaného i-riadkovania)

- dvojnásobok riadkov na obrázok – prepočítané v TV prijímači

- spracovanie obrazu – zrušenie duchov

- širší pomer strán - 16:9

- multikanálový zvuk.

HDTV - High Definition Television - Televízia s vysokým rozlíšením

V snahe čo najviac zdokonaľiť televíznu reprodukciu videa bolo urobených viacero pokusov a vylepšení a niektoré prešli aj do štandardov označovaných spoločným

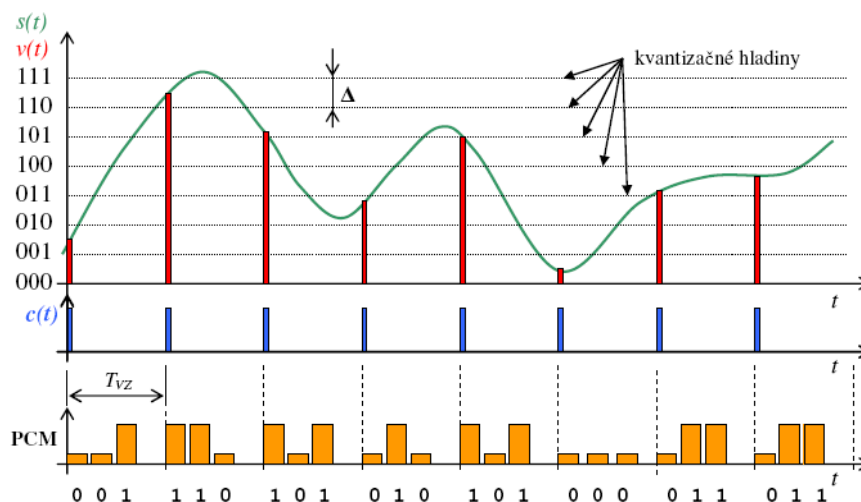
názvom „televízia s vysokým rozlíšením“, čiže HDTV. Tieto štandardy vzhľadom na paralelný rýchly vývoj digitálnych TV štandardov a novej elektronickej snímacej aj zobrazovacej techniky však nemali dlhé trvanie. V súčasnosti, keď sa hovorí o HDTV, ide už o digitálne štandardy.

Spoločné znaky štandardov HDTV sú nasledovné:

- systém s vyšším obrazovým rozlíšením, čo znamená aj viac ako 1000 riadkové rozlíšenie (napr. 1080i/1125), a tomu zodpovedajúce rozlíšenie v horizontálnom smere,
- okrem prekladaného riadkovania aj formáty s progresívnym riadkovaním (1080p/1125)
- obraz s nižším skreslením
- väčší obraz pre lepší rozhľad v zmysle širšieho pomeru strán pre využitie našej schopnosti periférneho videnia (napr. 5 : 3 alebo najčastejšie 16 : 9).

2.3 Základné pojmy digitalizácie videesignálu

Na Obr.2.7 je znázornený a opísaný princíp digitalizácie signálu všeobecne. Tento princíp je použitý aj pri digitalizácii analógového videesignálu, pred jeho ďalším spracovaním. Od voľby počtu vzoriek za sekundu a počtu napätových úrovní (kvantizačných hladín) obrazového signálu je závislá náročnosť digitálneho signálu na dátovú prenosovú rýchlosť, resp. na archivačnú kapacitu. Táto náročnosť je značná, aj keď, podobne ako pri analógovom signáli, ani pri digitálnom sa neprenášajú o každom z obrazových bodov všetky informácie o jase a farebných zložkách. Prenášajú sa vzorky jasové Y a rozdielové R-Y a B-Y v pomere 4:2:2, alebo 4:1:1. Veľký pokrok v digitálnej televízii umožnil však až vývoj kompresných kódovacích metód, ktoré okrem iného umožnili omnoho výraznejšie znížiť spomínanú náročnosť na prenosovú kapacitu digitálnych TV kanálov.



Obr. 2.7 Digitalizácia signálu $s(t)$: vzorkovanie v čase t (snímanie vzoriek $v(t)$ v pravidelných časových intervaloch T_{vz}), kvantizácia - úprava úrovní vzoriek na najbližšiu definovanú hodnotu napätia (kvantizačnú hladinu), kódovanie - vyjadrenie hodnoty vzorky po kvantovaní v podobe binárneho čísla PCM (pomocou skupiny núl a jednotiek). Voľba počtu bitov binárneho čísla je vopred definovaná a zodpovedá počtu úrovní, ktoré chceme prenášať, resp. ďalej spracovať. PCM – Pulse Code Modulation – Pulzná kódová modulácia – názov vyššie uvedeného princípu digitalizácie signálu, aj názov výstupného digitálneho signálu.

Na Obr.2.7 je znázornený a opísaný princíp digitalizácie signálu všeobecne. Tento princíp je použitý aj pri digitalizácii analógového videosignálu, pred jeho ďalším spracovaním. Od voľby počtu vzoriek za sekundu a počtu napät'ových úrovní (kvantizačných hladín) obrazového signálu je závislá náročnosť digitálneho signálu na dátovú prenosovú rýchlosť, resp. na archivačnú kapacitu. Táto náročnosť je značná, aj keď, podobne ako pri analógovom signáli, ani pri digitálnom sa neprenášajú o každom z obrazových bodov všetky informácie o jase a farebných zložkách. Prenášajú sa vzorky jasové Y a rozdielové $R-Y$ a $B-Y$ v pomere 4:2:2, alebo 4:1:1. Veľký pokrok v digitálnej televízii umožnil však až vývoj kompresných kódovacích metód, ktoré okrem iného umožnili omnoho výraznejšie znížiť spomínanú náročnosť na prenosovú kapacitu digitálnych TV kanálov.

Signál v digitálnej podobe (reťazec čísel) je možné ďalej zabezpečiť proti chybám, doplniť ho ďalšími dátami a modulovať na nosný systém elektromagnetických vln, ktorý je vysielaný anténou pozemského alebo satelitného vysielateľa. V modulovanej podobe sa signál distribuuje na miesta príjmu.

Digitalizácia analógového videosignálu tiež podlieha norme; konkrétne pre systém SDTV platí norma ITU-T BT.601, pre HDTV norma ITU-T BT.709. ITU je skratka

štandardov vydaných organizáciou s rovnakou skratkou a názvom - International Telecommunications Union (Medzinárodná telekomunikačná únia).

Signál v digitálnej podobe možno získať aj priamo z moderných digitálnych snímacích zariadení.

Digitálna podoba videosignálu teda predstavuje takmer neobmedzené možnosti jeho spracovania pre rôzne účely, a tieto možnosti sa aj patrične využívajú a neustále vyvíjajú. K číslicovým metódam spracovania videosignálu patria napr. rôzne druhy filtrácií, orientovaných na odstraňovanie šumu z obrazu, oprava poškodených archívnych filmových materiálov, vyhodnotenie kvality videa a pod. [8 – 12]. Digitalizácia aj ďalšie spracovanie sú možné iba vďaka počítačovej technike, a tá je čoraz rýchlejšia, a prakticky neustále prebiehajú práce aj na vývoji nových, rýchlejších a efektívnejších metód číslicového spracovania signálov.

Vlastnosti a výhody digitálnej televízie

Výhody digitalizácie v oblasti televízie a jej nové špecifické vlastnosti s tým súvisiace možno približne zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- signál zakódovaný pomocou „0“ a „1“ – vhodný pre číslicové / počítačové spracovanie
- možnosť kompresie dát a umiestnenie 4, 5 aj viacerých kanálov/programov do pôvodných analógových (prenáša sa tzv. programový kontajner alebo multiplex), pri rovnakej alebo lepšej kvalite obrazu a zvuku (až 5x viac obrazových elementov oproti štandardnej TV, a možnosť prenosu aj viacerých než 2 zvukov) plus prenos ďalších informácií a služieb (EPG – elektronický programový sprievodca, zábava, obchod, interaktívna televízia, VoD – Video-on-Demand -video na požiadanie, atď.),
 - pružná voľba kvality obrazu a zvuku (vrátane kvality HDTV),
 - neexistuje problém s „duchmi“ a zašumením („iba“ s výpadkami dát)
 - stabilita obrazu (žiadne chvenie hrán a blikanie riadkov),
 - vysoká bezpečnosť metód kódovania pre platené služby,
 - možnosť znížiť vyžiarený výkon vysielateľov a aj požiadavku na minimálnu úroveň signálu na vstupe TV prijímača pre kvalitný príjem,

-
- možnosť budovania 1-frekvenčnej siete SFN (Single Frequency Network - susedné vysielacie môžu vysielat' na rovnakej frekvencii; nerušia sa ale podporujú vďaka prenosovej metóde), čo má veľký podiel na ďalšom ušetrení spektra,
 - možnosť používať prenosné prijímače s jednoduchými anténami a mobilné prijímače v dopravných prostriedkoch.

Na rozdiel od analógového signálu, ktorý mohol byť postupne degradovaný a rušený, a aj napriek tomu sa prijímaný program dal sledovať, až kým od výbornej kvality neprešiel niekoľkými horšími stupňami po kvalitu nepoužiteľnú, digitálny príjem zostáva dlhšie kvalitný, ale potom už nie je žiadny. Ťažko povedať, či tento fakt možno nazvať nevýhodou digitálneho príjmu; je to na užívateľovi.

Za nevýhodu pri určitom pohľade možno považovať nutnosť náhrady analógových technických zariadení digitálnymi, čo si žiada nemalé investičné prostriedky. Finančná záťaž je na strane vysielacej, ale aj na strane prijímacej, i keď možno netrápi všetko obyvateľstvo, len niektoré jeho skupiny. Aj tento problém sa vláda aj poskytovatelia snažia odľahčiť zapožičaním dekóderov (Set-Top-Boxov - STB) za symbolickú sumu alebo dotáciou na jeho zakúpenie.

STB umožní digitálny signál konvertovať na formu spracovateľnú klasickým starým analógovým TV prijímačom. STB je v skutočnosti špeciálny účelový počítač a modem v jednom, vybavený špeciálnym softvérom (väčšinou sa používa softvérová platforma MHP – Multimedia Home Platform), vďaka ktorému má divák veľa možností ako využiť prijímaný signál, dať si zobrazit' množstvo informácií, ktoré sa v ňom cyklicky opakujú, za ďalší poplatok si vyžiadať zvolený film alebo iný program, prípadne sa pripojiť k Internetu a využívať tie služby širokopásmové aj úzkopásmové, ktoré Internet poskytuje.

2.4 Digitálna televízia - DVB/S/S2, DVB/C/C2, DVB/T/S2 – Základné princípy

Štandard DVB je určený na digitálny prenos obrazu, zvuku a dát k divákovi satelitným, káblovým a pozemským vysielaním. Pre každý z uvedených spôsobov prenosu má odlišné špecifikácie aj názov: DVB-S (- Satellite), DVB-C (- Cable) a DVB-T (- Terrestrial – pozemský). Uvedené poradie systémov –S, C, T sa zhoduje s poradím, v akom tieto systémy postupne vznikali, boli štandardizované a uvedené do

prevádzky. Systémy DVB-S, C, T však majú spoločné princípy a vlastnosti kódovania v základnom pásme, ako je uvedené ďalej.

Spoločné vlastnosti DVB-S, C, T

Pod spoločnými vlastnosťami odlišných prenosových systémov DVB máme na mysli metódy, ktorých hlbšie vysvetlenie je nad rámec určenia tejto knihy, resp. niektoré z nich sú vysvetlené v inej časti knihy. Na tomto mieste preto budú iba vymenované.

- Obrazové a zvukové dáta sú komprimované podľa štandardov MPEG-2 alebo MPEG-4.
- Využíva sa kanálové kódovanie FEC1 (Forward Error Correction; vonkajší ochranný kód – blokový Reed-Solomonov kód).
- Kanálové kódovanie FEC2 (vnútorný ochranný kód: konvolučný kód plus Interleaving, t.j. prekladanie); využité iba pri DVB-S, T.
- Spoločný kryptovací systém pre podmienený prístup k službám DVB.
- Scramblovanie dát (randomizing – „znáhodňovanie“ alebo tiež energie dispersal – rozptyl energie) pomocou pseudonáhodnej postupnosti za účelom zrovnomenenia spektra signálu.
- Spoločný systém služobných informácií (SI) o práve vysielanom programe.
- Systém frekvenčných kanálov a pásiem je rovnaký ako pre analógové vysielanie; šírka kanálov zostáva, no kanál prenáša multiplex viacerých programov, dát a služieb.
- Neexistujú – nie sú potrebné - tzv. zakázané pásma pri distribúcii signálu z jedného miesta.

Odlišnosti systémov DVB-S, C, T

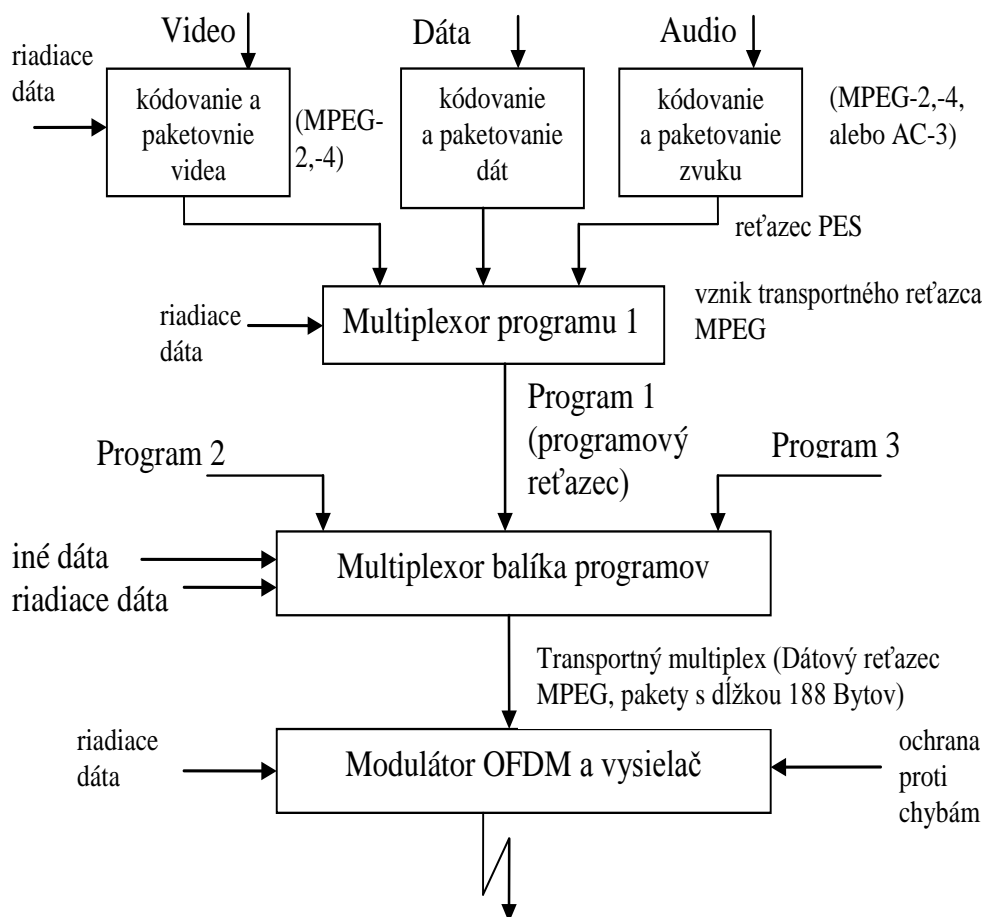
Niekoľkými poznámkami sa dajú zhrnúť hlavné odlišnosti troch DVB systémov využívaných pre 3 rôzne prenosové prostredia, ktorými sú voľný priestor v blízkosti zemského povrchu, káblové systémy, a priestor a veľká vzdialenosť medzi zemským povrchom a komunikačným satelitom. Práve charakter týchto prostredí je dôvodom nasledovných odlišností signálu:

- rôzne šírky frekvenčného prenosového pásma,
- rôzne úrovne skreslenia a rušenia v prenosovom kanáli,

- rôzne limity vyžiareného výkonu.

2.4.1 Vznik DVB signálu

Na Obr.2.8 je schematicky naznačený proces vzniku transportného multiplexného reťazca dát (jedného digitálneho multiplexu, obsahujúceho viac programov a ďalšie dáta) a signálu DVB vysielaného distribučným systémom smerom k užívateľom.

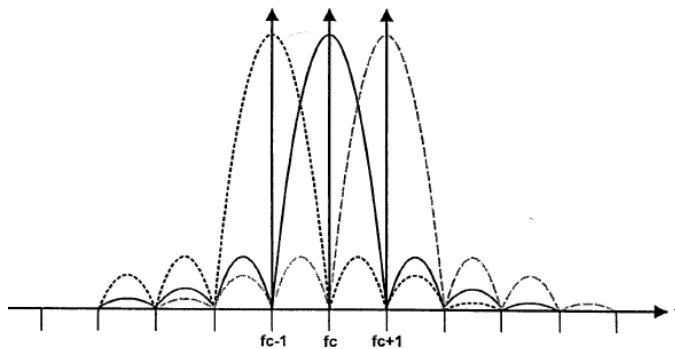


Obr. 2.8 Vznik DVB signálu

Tento proces možno opísať skráteno pomocou nasledujúcich krokov:

- digitalizácia elektrických signálov obrazu a zvuku
- redukcia, resp. kompresia dátového toku obrazových, zvukových a ďalších dát, paketovanie a vznik elementárnych paketových tokov (Packetized Elementary Stream-PES)
- multiplexovanie PES do transportného reťazca MPEG-2 (alebo MPEG-4) jedného programu
- zlúčenie viacerých programov a iných služieb do 1 balíka (multiplexu, kontajnera)

- vytvorenie ochrany dátového toku rôznymi metódami kódovania a tzv. prekladania (interleaving)
- aplikovanie technológie OFDM (modulácia tisícok ortogonálnych nosných, a to buď 1705 nosných – „mód 2k“, alebo 6817 nosných – „mód 8k“); každá nosná z OFDM systému je modulovaná digitálnou moduláciou QPSK alebo QAM
- vloženie ochranného intervalu
- vysielanie



Obr. 2.9 Ilustrácia vzájomného usporiadania spektier troch susedných modulovaných nosných ($fc-1$, fc , $fc+1$) v systéme OFDM. Maximum spektra jednej nosnej, napr. fc je v mieste minima susedných spektier.

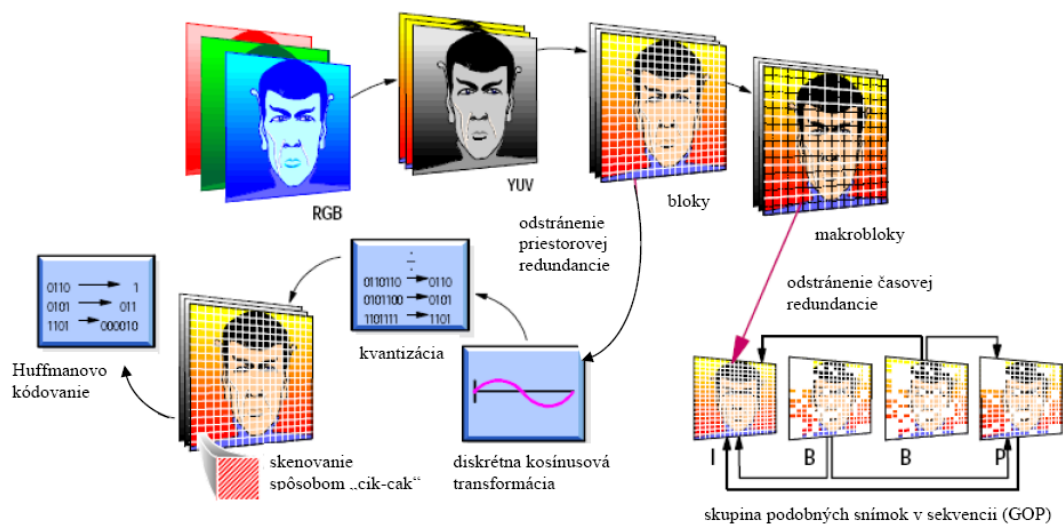
2.4.2 MPEG-2 - KOMPRESNÉ KÓDOVANIE VIDEO, ZVUKU A DÁT

Kódovanie MPEG-2 je v procese vzniku signálu DVB základom pre vznik „transportného reťazca MPEG 2“, ako bolo spomínané vyššie. Je súčasťou tzv. zdrojového kódovania digitálneho TV signálu, pričom je zamerané, okrem iného, na výrazné zmenšenie objemu (kompresiu) prenášaných dát. Kompresia dát, a s tým súvisiace zníženie nároku prenášaného digitálneho signálu na šírku frekvenčného pásma, boli nevyhnutné pre to, aby digitálna televízia vôbec mohla fungovať v takej podobe, ako ju dnes poznáme.

Ušetrenie prenosovej a archívnej kapacity sa samozrejme premietne do finančnej podoby pre poskytovateľov, ale ošoh z neho má aj druhá strana, čiže užívatelia.

Kompresné metódy pre kódovanie videa a sprievodného zvuku využívajú nasledovné skutočnosti (Obr.2.10):

- nadbytočnosť (redundanciu) a zbytočnosť (irelevanciu) niektorých dát a ich odstránenie
- veľkú mieru podobnosti obrazových dát v rámci jednej snímky - neprenáša sa informácia o všetkých dátach, len o skupinách dát (bloky a makrobloky), a o miere ich odlišnosti
- podobnosť dát susedných snímok v obrazovej sekvencii – neprenášajú sa kompletne informácie o všetkých snímkach, len o referenčných snímkach a o rozdieloch blízkyh snímok vzhľadom k referenčnej (snímky I, P, B v skupine GOP – Group of Pictures; I - Intra Picture – referenčná snímka, kóduje sa celá; P - Predicted picture – predikovaná, predpovedaná snímka, kóduje sa s ohľadom na predchádzajúcu snímku I alebo P; B - Bidirectional picture – predikuje sa obojsmerne, t.j. vzhľadom k predchádzajúcej aj nasledujúcej snímke typu I alebo P; predikcia pomocou rozdielových, pohybových vektorov a pod.)



Obr. 2.10 Metódy kompresie videa v systémoch MPEG-2 [5].

- kosínusovú transformáciu (matematická metóda, vyjadrenie obrazovej informácie v rámci snímky pomocou špeciálnych koeficientov, ďalšie výrazné zníženie objemu dát)
- Huffmanovo kódovanie (typ zdrojového kódovania, pri ktorom sa využívajú kódy rôznej dĺžky pre reprezentáciu symbolov, ktoré majú rôznu pravdepodobnosť výskytu)

2.4.3 Predikcia

V súvislosti s kompresnými metódami kódovania videa možno bude užitočné vysvetliť tento pojem trochu bližšie.

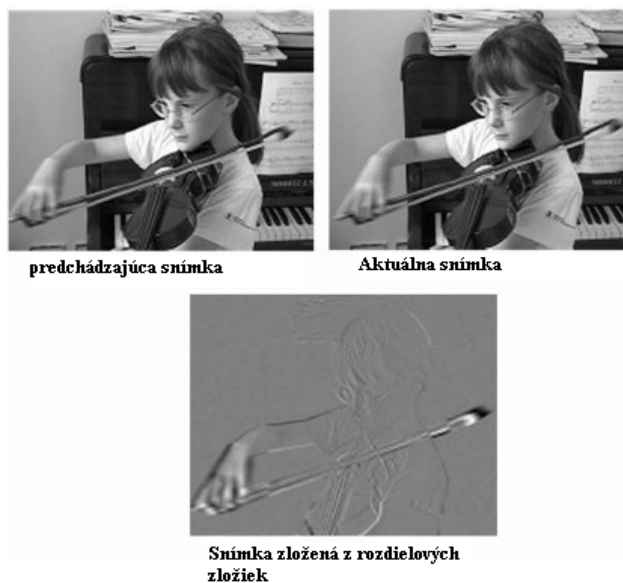
Predikcia, ako už bolo zmienené, znamená predpoveď. V súvislosti so spracovaním digitálneho obrazového signálu ide o predpoveď hodnoty obrazového prvku.

Predikcia v kompresných metódach využíva všeobecne silnú vnútrosnímkovú a medzissnímkovú koreláciu (podobnosť, mieru podobnosti) vo videu. Používajú sa teda dva typy predikcie - vnútrosnímková a medzissnímková.

Úspornosť predikcie je v tom, že nahradzuje obrazový prvok rozdielovou zložkou, ktorá vznikne, ako inak, vypočítaním, a to vypočítaním rozdielu medzi dvoma predmetnými bodmi v danej snímke, alebo medzi bodmi z dvoch susedných snímok, resp.

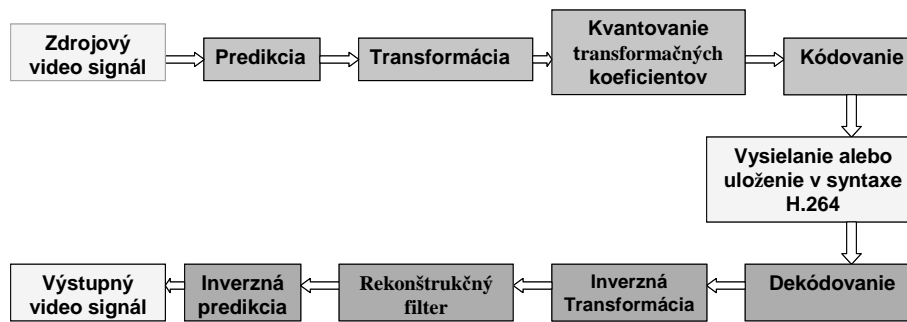
blízky snímok z danej skupiny snímok. Častejšie ide o výpočet rozdielu medzi dvoma blokmi bodov vybranými na základe vyššie zmieneného mechanizmu (v rámci jednej alebo dvoch snímok).

Na Obr.2.11 je uvedená ilustrácia rozdielu medzi dvoma susednými snímkami zo sekvencie, ktoré zobrazujú pohyb malej huslistky. Rozdielová snímka už na pohľad predstavuje veľmi málo dát.



Obr. 2.11 Ilustrácia úspornosti kompresných metód, ktoré pre prenos využívajú rozdiel za sebou nasledujúcich dát a nie dáta celé (v tomto prípade ide o rozdiel medzi dvoma susednými snímkami z videa)

2.4.4 Kompresný štandard MPEG-4



Obr. 2.12 Bloková schéma kódovania a dekódovania kodekom H.264

Štandard MPEG-4, presnejšie H.264 /MPEG-4 part10, AVC (Audio Video Coding) je v súčasnosti jeden z najpokrokovejších videoštandardov.

Bol vyvinutý skupinou Joint Video Team (JVT) skladajúcou sa z expertov štandardizačných organizácií ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) a ISO Moving Picture Experts Group (MPEG). Jeho prvá verzia bolo štandardizovaná v roku 2004. Dôvodom jeho vývoja je dosiahnutie efektívnejších kompresných metód v porovnaní s predchádzajúcimi štandardami zdrojového kódovania videa MPEG-1, MPEG-2 a H.263.

Podobne ako predchádzajúce kodeky aj tento je stratový, to znamená, že spôsobuje určitú stratu originálnej obrazovej informácie po dekódovaní, no táto strata je minimálna, menšia než u predchádzajúcich kodekov pri rovnakom stupni kompresie. Kompresný pomer pri MPEG-4 je nastaviteľný, a môže byť aj výrazne vyšší než pri predchádzajúcich kodekoch.

Metódy zdrojového kódovania a dekódovania použité v štandarde MPEG-4 (Obr.2.12) sú podobné tým z MPEG-2, no sú vždy v niečom inovované. Teda ide o:

- kompresiu (znižovanie dátového toku), ktorá využíva 4 metódy: predikciu, transformáciu, kvantovanie transformačných koeficientov a entropické kódovanie
- dekompresiu (operácie inverzné voči kompresii, ktoré sa vykonávajú na prijímacej strane): blok dekódovania, inverzná transformácia, inverzná predikcia a rekonštrukčný filter

Na výstupe dekodéra je potom žiadaný (rekonštruovaný) videosignál.

Kóder H.264 je pri predikcii viac flexibilný ako predchádzajúce kóдеры a uskutočňuje presnejšiu predikciu a vyššiu kompresiu. Okrem toho vykazuje zvýšenú odolnosť voči chybám.

Kompresný štandard MPEG-4 je vo svete už dosť rozšírený a zdá sa, že zatiaľ postupne vytlačá starší MPEG-2. Jeho náročnosť na rýchlosť operácií v elektronických zariadeniach už dávnejšie prestala byť problémom a podobne aj cena kódovacích a dekódovacích zariadení. Je preto už dosť dôležité, aby sa pri plánovanej kúpe nového prijímacieho zariadenia (STB alebo integrovaného TV prijímača) zákazník zaujímal aj o tento fakt. Prijímače s dekóderom MPEG-4 pritom môžu byť pripravené dekódovať aj starší kompresný systém MPEG-2, no staršie prijímače nový kompresný štandard nespracujú.

2.4.5 Základné špecifikácie DVB-S/S2,

Od roku 1994 je systém DVB-S štandardizovaný normou EN 300 421.

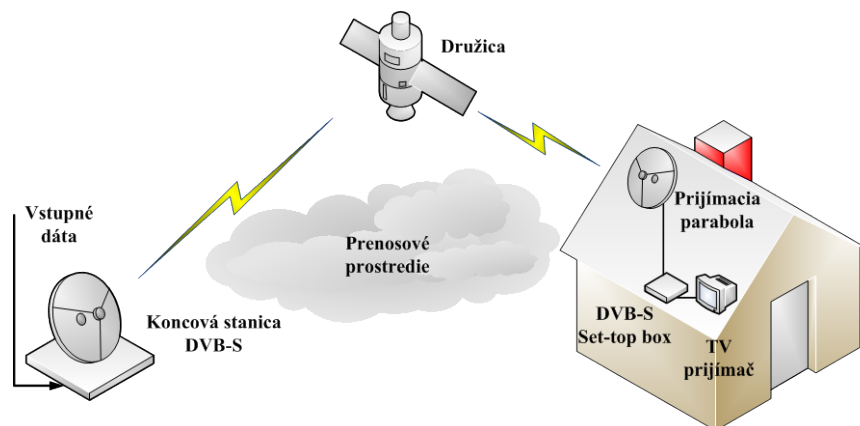
Satelitný DVB systém všeobecne umožňuje príjem televízneho signálu prakticky na celom území cieľovej krajiny, avšak pri splnení podmienky priamej viditeľnosti zo satelitnej antény na zvolený satelit. Je určený pre individuálny príjem (DTH - Direct-To-Home services), ale tiež pre príjem, konverziu a rozvod spoločným anténovým systémom alebo systémom TV káblového rozvodu.

Nutnou výbavou pre príjem satelitného systému DVB-S je parabolická anténa a satelitný prijímač (set-top-box) DVB-S (Obr.2.13). DVB-S prijímač je zapojený medzi anténu a klasický TV prijímač. DVB-S prijímač môže byť aj zabudovaný – integrovanou súčasťou výbavy niektorých drahších TV prijímačov. V každom prípade takýto prijímač okrem sprostredkovania vybraného digitálneho satelitného TV programu umožňuje zvoliť aj veľa iných komfortných doplnkových funkcií.

Uvedieme hlavné charakteristické vlastnosti satelitného príjmu digitálnej televízie v norme DVB-S:

- nízky vysielač výkon, veľká šírka pásma, zanedbateľný vplyv viacnásobného príjmu (čiže odrazov)
- 1 transpondér (prijímacie / vysielačie zariadenie) satelitu vysiela multiplex 4-6 digitálnych TV kanálov,
- protichybová ochrana FEC1 (vonkajší ochranný RS-kód),

- protichybová ochrana FEC2 (vnútorné konvolučné kódovanie s voliteľným kódovacím pomerom),
- základná chybovosť BER je 10⁻¹⁰ až 10⁻¹¹ (BER - Bit Error Rate – pomer počtu chybných bitov ku celkovému počtu bitov),
- digitálna modulácia QPSK s Grayovým kódovaním,
- bitový tok pre transpondér so šírkou pásma 33 MHz a s FEC2 3/4 je asi 39 Mbit/s.



Obr. 2.13 Ilustrácia architektúry satelitného príjmu digitálnej televízie DVB-S. Satelitné antény sú nastavené na definovaný satelit a výhľad naň nesmú mať ničím zatienený.

2.4.6 DVB-S2

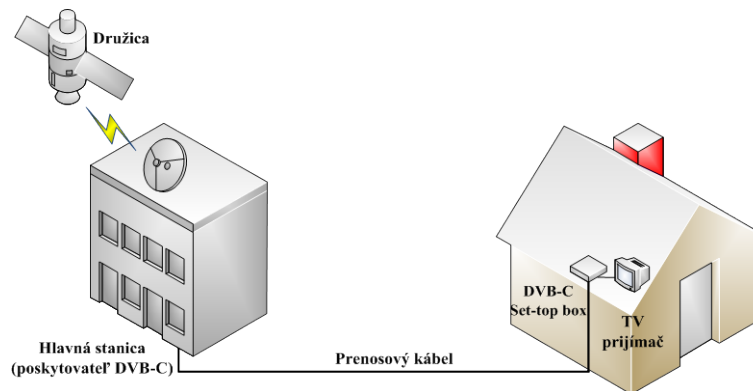
V súčasnosti je už rozšírený aj príjem novej verzie satelitnej digitálnej televízie – DVB-S2, ktorá bola v Európe ratifikovaná v podobe normy ETSI EN 302307 v marci 2005.

- Satelitná televízia vo všeobecnosti bola a je hlavným šíriteľom formátov HDTV, a nový štandard DVB-S2 v tom nie je výnimkou.
- Okrem toho umožňuje aj poskytnutie interaktívnych služieb vrátane prístupu k Internetu.
- Zahŕňa modernejší kompresný štandard pre video H.264 (MPEG-4 AVC), pričom podporuje aj spätnú kompatibilitu so starším MPEG-2.
- So zámerom efektívnejšie využívať dostupnú šírku pásma používa ďalšiu inováciu – výkonné kódovacie mechanizmy: módy VCM (Variable Coding and Modulation – premenlivé, variabilné kódovanie a moduláciu) a ACM (Adaptive Coding and Modulation – adaptívne kódovanie a modulácia, prispôsobujúce sa

aktuálnym podmienkam). Tento prístup umožňuje dynamicky meniť prenosové parametre systému s ohľadom na aktuálne požiadavky voči nemu. (Ide o požiadavky na dátové rýchlosti. Rovnaké snahy možno pozorovať v mobilnej telefónii pri vývoji a presadzovaní najnovšej technológie LTE.)

- V rámci prenosového systému sa používa zlepšená digitálna modulačná schéma – až do 32APSK (32 stavová amplitúdová a fázová modulácia – Amplitude and Phase-Shift Keying), umožňujúca vyššie dátové prenosové rýchlosti.

2.4.7 Základné špecifikácie DVB-C



Obr. 2.14 Ilustrácia príjmu digitálnej televízie v štandarde DVB-C pomocou televízneho káblového rozvodu.

Poskytovanie televízneho signálu cez káblovú rozvodnú sieť nie je novinkou (Obr.2.14). Tento typ šírenia je výhodný v husto obývaných miestach, pričom sa jedná hlavne o mestské sídliská, kde nie je problém pomocou koaxiálneho kábla rozviesť signál pre desiatky účastníkov v jednom obytnom dome, alebo pre stovky až tisícky účastníkov žijúcich v takýchto domoch postavených blízko seba.

Výhodou takéhoto systému - televízneho káblového rozvodu (TKR) - je, že pomocou združených finančných prostriedkov sa môže

- realizovať kvalitný príjem zvolených TV staníc (pozemských aj satelitných) na mieste s nerušeným signálom,
- konvertovať prijatý signál do najvýhodnejších kombinácií frekvenčných kanálov, ktorých je viac, než tých pre šírenie voľným priestorom,
- a šíriť signál bez ohrozenia akýmkoľvek rušením ku všetkým účastníckym zásuvkám.

Po nástupe digitálnej televízie bol vypracovaný digitálny štandard aj pre jej šírenie pomocou rozvodu typu TKR. Káblové rozvody však kvôli tomuto účelu väčšinou tiež museli prejsť určitými inovatívnymi úpravami. V roku 1994 bol systém DVB-C štandardizovaný normou ETS 300 429. Ako už bolo spomenuté, DVB-C má niektoré špecifikácie spoločné so všetkými DVB štandardmi, no pre zvláštnosť prenosového média (koaxiálneho kábla) sa niektorými špecifikáciami od ostatných dvoch líši.

- Využíva rovnaké šírky kanálov ako pozemské vysielanie DVB-T, t.j. 6, 7 alebo 8 MHz.
- Kompresné kódovanie sa uskutočňuje podľa schémy MPEG-2, ale i novšej MPEG-4.
- Vďaka nízkej úrovni rušenia pri tomto šírení sa nepoužíva protichybové kódovanie FEC2.
- Využíva sa kódovanie FEC1 (vonkajší ochranný RS-kód).
- Ako prenosová metóda sa používa digitálna modulácia 64 stavová QAM (64-QAM).
- Bitový tok pre 64-QAM je približne 35 Mbit/s.

2.4.8 MMDS a MVDS

Niektorým užívateľom je známe, že digitálnu televíziu môžu prijímať aj pomocou bezdrôtového systému MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System – Monohokanálový mnohobodový distribučný systém). Tento systém, aj keď v rámci neho sa signál šíri voľným prostredím, pre šírenie používa káblový štandard DVB-C, vďaka čomu sa zvykne tiež označovať paradoxným názvom „bezdrôtová káblovka“. Znamená to, že pre príjem je potrebná anténa, ale TV prijímač musí mať dekóder DVB-C, alebo pred ním musíme predať set-top-box DVB-C. Priama viditeľnosť prijímacej antény na vysieláciu je druhou nevyhnutnou podmienkou pre príjem takéhoto signálu. Systém MMDS sa napr. v USA využíva aj pre poskytovanie Internetu a v tom prípade sa signál z antény privádza ku káblovému modemu DOCSIS - Data Over Cable Service Interface Specification – Dáta poskytované pomocou špecifikácií pre interfejsy káblových služieb.

Signál v systéme MMDS sa šíri v pásmach okolo 2,2 GHz, alebo okolo 2,6 GHz, čo sú mikrovlnové pásma, takže anténa musí mať tomu zodpovedajúce prevedenie (Obr.2.15): konvertor, ktorý prevedie prijatý signál z mikrovlnového do nižšieho televízneho pásma, reflektor v prevedení parabolického sita a zdroj.

Systém umožňuje preniesť až 60 digitálnych programov. Tieto pásma pravdepodobne v budúcnosti budú pridelené iným službám, no v súčasnosti môžu byť v rámci konkrétnej lokality nevyužitú, čo dočasne, ale zjavne nie až tak krátkodobo využili niektorí poskytovatelia digitálnej televízie.

V niečom podobný je modernejší systém MVDS (Microwave Video Distribution System- Mikrovlnový distribučný systém pre šírenie videa), štandardizovaný normou ETSI EN 300 748. Na rozdiel od MMDS tu je zdrojový signál konvertovaný do multiplexu DVB-S, ktorý sa šíri ďalej z pozemských vysielačov. Z toho dôvodu pre príjem takéhoto signálu je potrebný prijímač s dekóderom DVB-S. Zdrojový multiplex môže byť rôzneho pôvodu (DVB – S, C, T), ale môže to byť aj analógový signál obrazový alebo zvukový. Pre systém MVDS sú vyhradené pásma 12 GHz a 40 GHz, a aj vďaka vyšším pásmam má tento mikrovlnový systém potenciál poskytnúť vysokú prenosovú kapacitu a v rámci nej nielen prenos digitálnej televízie, ale aj Internetu a hlasovej služby (triple-play služby).

Obidva spomínané mikrovlnové distribučné systémy sú vhodné predistribúciu TV programov a dát účastníkom situovaným na miestach z rôznych dôvodov neprístupných alebo nepokrytých iným TV signálom.

2.4.9 DVB-C2

Podobne ako v prípade satelitného štandardu aj v káblovej digitálnej televízii je v súčasnosti snaha efektívnejšie využiť dostupnú frekvenčnú kapacitu média a poskytnúť vyššie prenosové rýchlosti. Špecifikácie 2. generácie DVB-C boli schválené riadiacim orgánom DVB v apríli 2009, a systém má označenie DVB-C2. Využíva sa v ňom až 4096-stavová QAM, a v kanáli 8 MHz sa dosahujú rýchlosti do 83,1 Mbit/s. Počet stavov QAM aj rýchlosť sa do budúcnosti plánujú ešte zvýšiť.

Podobne ako pri DVB-S2 sa tu pre zefektívnenie využitia šírky pásma používajú variabilné a adaptívne kódovacie módy VCM a ACM, ďalej modulácia COFDM

(kódový OFDM), nová protichybová ochrana FEC, bitové, časové aj frekvenčné prekladanie a pod., výsledkom čoho je výkonnejší multiplex označený ako Multiple Transport Stream a tiež Generic Stream Encapsulation (zapuzdrenie, paketovanie) – (GSE)



Obr. 2.15 Príklad parabolickej antény pre príjem MMDS (bezdrátovoj káblovej televízie) [4]

2.4.10 Prehľad základných špecifikácií DVB-T

Tento štandard, určený pre pozemské šírenie a príjem digitálnej televízie, bol vydaný európskou organizáciou ETSI pod číslom ETSI EN 300 744. Vznikol a začal sa uplatňovať ako posledný zo štandardov DVB.

Používa rovnaké digitalizačné princípy a spracovanie signálov v základnom pásme ako štandard DVB-S. Vzhľadom na podmienky bezdrôtového šírenia v prostredí plnom prekážok a „bohatom“ na rôzne rušenia vyznačuje sa nasledovnými špecifikáciami:

- veľký vysielač výkon,
- úzky frekvenčný kanál v porovnaní s DVB-S, t.j. 7 alebo 8 MHz,
- digitálne modulačné metódy OFDM, resp. COFDM a QAM alebo QPSK;

znižujú vplyv rušení (hlavne odrazov, ktoré dokonca do istej miery sú schopné využívať),

- výskyt chýb (ISI – Inter Symbol Interference – medzisymbolová interferencia – ovplyvňovanie sa alebo skôr posun viacbitových slov – symbolov v rámci ich dohodnutej konštelácie vo vektorovom priestore, a to až do takej miery, že ich správne vyhodnotenie nie je možné)

- FEC1
- FEC2

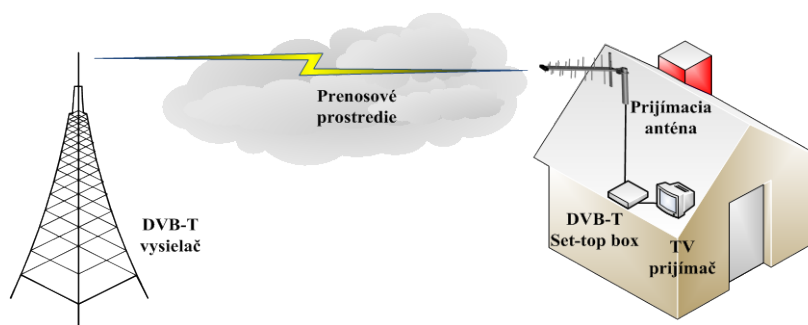
- pre príjem je potrebná anténa; postačí aj pôvodná anténa typu UHF otočená z horizontálnej na vertikálnu polarizáciu, v mieste s dobrým signálom dokonca aj nenápadná vnútorná štvrt'vlnová anténa (krátky „prútik“); a prijímač DVB-T v podobe

set-top-boxu. Prijímač DVB-T môže byť zabudovaný aj v tzv. integrovanom TV prijímači, čo už dnes nie je zvláštnosťou ale skôr bežnou záležitosťou.

- softvérová výbava set-top-boxu. Prevláda platforma MHP – Multimedia Home platform, ktorá umožňuje aj pri starom analógovom TV prijímači využívať sprievodné dáta programu EPG (Electronic Program Guide – elektronický programový sprievodca) a mnoho ďalších doplnkových interaktívnych služieb, ktoré sa postupne vyvíjajú a pribúdajú. Slovo „multimedia“ pritom znamená, že ku set-top-boxu je možné pripojiť nielen televízor ale aj počítač, klávesnicu, DVD prehrávač a pod. Softvér MHP umožňuje aj „samoaktualizáciu“ vo vhodných časových intervaloch pomocou aktualizácií doručených od poskytovateľa TV signálu.

- okrem televízie v štandardnom rozlíšení a vyššie spomínaných služieb systém DVB-T umožňuje prenášať aj televíziu s vysokým rozlíšením HDTV

- umožňuje zriadenie a fungovanie jednofrekvenčnej siete (SFN – Single Frequency Network). Znamená to, že v rámci určitej definovanej oblasti všetky vysielače vysielaajú príslušný programový multiplex na tom istom TV kanáli, ktorý sa označuje ako frekvenčné vyhradenie (Allotment); vysielače sa pri prijíme navzájom nerušia, naopak - použitý princíp modulácie (OFDM) a demodulácie využíva ich signály prichádzajúce s rôznym oneskorením. Ilustrácia prijímu DVB-T je znázornená na Obr.2.16.



Obr. 2.16 Ilustrácia prijímu DVB-T

2.4.11 DVB-T2

DVB-T2 je druhá generácia systému DVB-T. Ako štandard bola v ETSI vydaná v roku 2008.

Na fyzickej vrstve využíva pre prenos komprimovaných digitálnych video-, audiosignálov a ďalších dát technológiu OFDM, zret'azené kanálové kódovanie a prekladanie. Oproti DVB-T poskytuje vyššie prenosové rýchlosti, preto je vhodná pre šírenie terestriálnej HDTV, i keď zatiaľ sa k nej poskytovatelia stavajú „vložne“. Využíva sa už v Británii, v Taliansku a vo Švédsku (koniec roka 2010).

Pri vývoji tohto systému bola požiadavka na jeho použitie pri pevnom, prenosom aj mobilnom príjme terestriálnej DTV.

Špecifikácie systému DVB-T2 sú nasledovné:

- COFDM modulácia s QPSK a konšteláciami 16-QAM, 64-QAM alebo 256-QAM
- módy OFDM 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, a 32k (počet ortogonálnych nosných)
- dĺžka symbolu pre mód 32k je približne 4 ms (symbol je n-bitové slovo zložené z núl a jednotiek, a jedna nosná môže preniesť 2n rôznych symbolov)
- ochranné intervaly 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128 a 1/4 (pre mód 32k je maximálny ochranný interval 1/8.)
- protichybovú ochranu typu FEC (Forward Error Correction – dopredná oprava chýb) realizujú zret'azené LDPC a BCH kódy (ako v DVB-S2), s pomerom 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, a 5/6.
- je tu menej pilotných signálov (pre synchronizáciu) v 8 rôznych pilotných schémach
- DVB-T2 je špecifikovaný pre kanály široké 1,7; 5; 6; 7; 8 a 10 MHz
- využíva sa princíp diverzitého príjmu typu MISO (Multiple-Input Single-Output – viacnásobný vstup, jediný výstup). Diverzitný príjem znamená, že prijímač používa určitý mechanizmus získavania signálu najmenej z 2 antén.

Pre porovnanie so systémom DVB-T je uvedená Tab. 2.3.

Tab. 2.3 Porovnanie hlavných špecifikácií systémov DVB-T/ T2

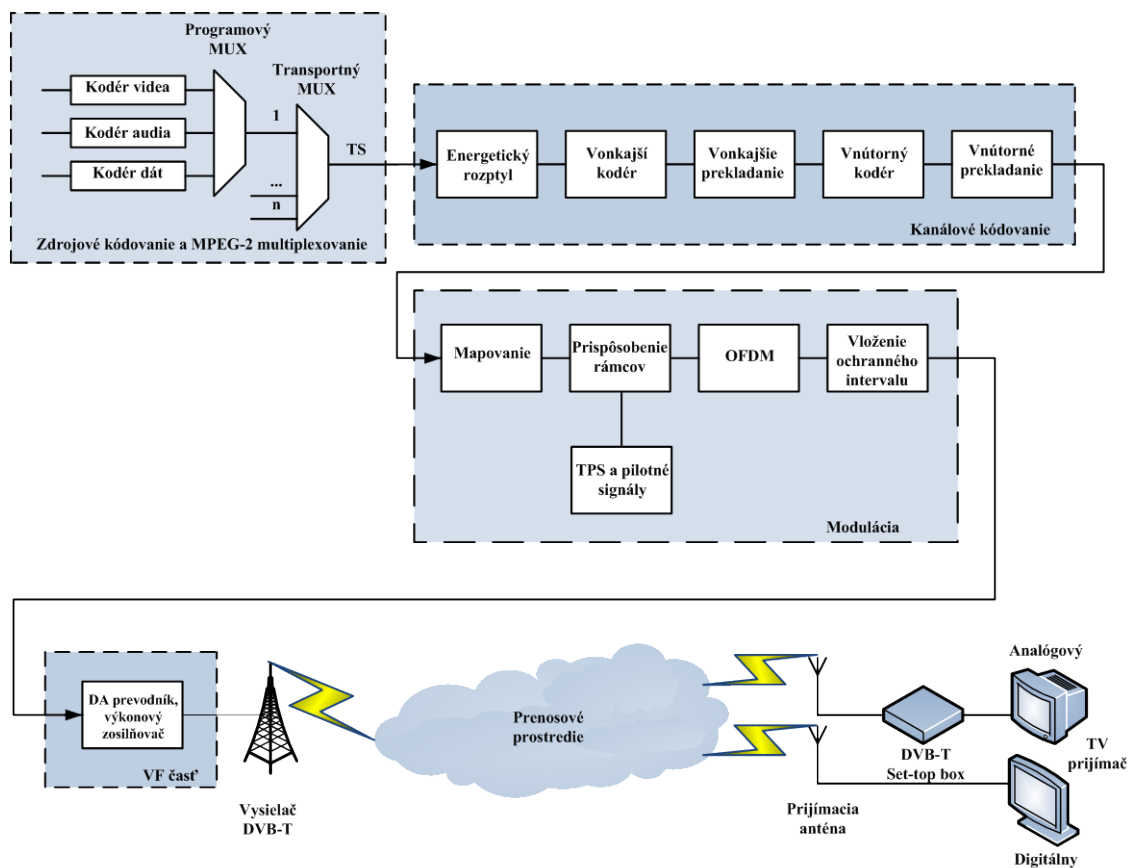
	DVB-T	DVB-T2
FEC	Konvolučný kód + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modulácie	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Ochranný interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
Počet nosných	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k

Rozptýlené pilotné symboly	8% z celkového počtu	1%, 2%, 4%, 8%
Spojité pilotné nosné	2.6% z celkového počtu	0.35%

2.5 Opis systému DVB-T: kanálové kódovanie a niektoré základné technické parametre

Bloková schéma systému DVB-T je na Obr.2.14. Dátové toky vychádzajúce z vyrovnávacích pamätí komprimovaného obrazového a zvukového signálu (zdrojové signály obrazu a zvuku) neprichádzajú do hlavného multiplexora v dlhom súvislom slede, ale sú rozdelené do menších jednotiek, tzv. paketov, ktoré sú zabezpečené informačnou hlavičkou. Toto rozdelenie umožňuje vzájomnú synchronizáciu obrazu, zvuku a iných prídavných dát v dekodéri. Vytváraním paketov sa jednotlivé signály multiplexujú do výsledného toku, ktorý môže obsahovať nielen jeden televízny program sprevádzaný zvukom (jedným, alebo niekoľkojazyčným či stereofónnym) a prídavnými dátami (teletextom), ale môže byť v hlavnom multiplexore spájaných niekoľko televíznych programov navzájom časovo nezávislých.

Prenos televízneho signálu v paketoch, predstavuje veľkú flexibilitu. Takéto krátke celky sa ľahko uchovávajú v pamäti a ľahko sa dajú skladať do rôznych podôb výsledného toku, pre rôzne prenosové cesty. Dekodér prijímača potom na základe povelov v hlavičke, t.j. dekodovacích (DTS) a prezentačných (PTS) značiek, vyberá pre dekódovanie a vo vhodnej časovej súvislosti reprodukuje k sebe prislúchajúce časti jednotlivých programov.



Obr. 2.17 Bloková schéma systému DVB-T

Aby sme zabezpečili prenos voči možným chybám, ktoré môžu vzniknúť pri vysielaní z vysielačnej antény cez prijímaciu anténu až do prijímača, realizuje sa na strane vysielača úprava komprimovaného (zdrojovo kódovaného) digitálneho signálu, ktorá sa označuje pojmom kanálové kódovanie. Táto úprava signálu predstavuje použitie rôznych metód na zabezpečenie signálu proti rušeniu a použitie vhodných modulačných metód za účelom efektívneho a účinného prenosu určitým prostredím, t.j. s čo najužším frekvenčným pásmom pre jeden televízny program. Takýmto spôsobom, spoločne s komprimáciou číslcového signálu, môžeme prenášať viacero programov v existujúcom analógovom televíznom kanáli.

V kapitolách 2.3 a 2.4 boli uvedené základné rozdiely medzi analógovou a digitálnou televíziou. Jednou z výhod digitálneho signálu je, že sa v obraze neobjavuje rušenie známe ako pásy v obraze, duchovia, alebo praskanie zvuku. Uvedme však, že pre tieto signály pri zhoršených podmienkach pri príjme, alebo pri silnom impulzovom rušení môže dôjsť až k úplnému výpadku reprodukcie (cliff effect). V takomto prípade je analógový signál zvýhodnený svojou pozvoľnou degradáciou.

Pre číslicový signál s moduláciou PCM (impulzová kódová modulácia) s prenosovou rýchlosťou 216 Mb/s je výpadok jedného bitu sotva postrehnuteľný, pretože je zle reprodukováný len jeden obrazový bod (pixel). V prípade komprimovaného signálu sa jednobitová porucha prejaví omnoho nepriaznivejšie, zlyhaním napr. celého dátového makrobloku, čo môže spôsobiť už pozorovateľné škvrny v reprodukovanom obraze.

Keď do dátového toku zaradíme nejaký druh ochrany, bude to síce predstavovať pridanú redundanciu, na druhej strane to môže účinne ochrániť dátový tok. Spôsob ochrany je prispôsobený prostrediu, ktorým sa signál šíri. Inú ochranu a spôsob modulácie vyžaduje vysielanie pozemskými vysielачmi (DVB-T a DVB-H), inú satelitnými, naproti tomu zrejme najjednoduchšia ochrana a iný druh modulácie postačí pre digitálny televízny káblový rozvod. Ak by sme chceli zoradiť všetky tri spôsoby šírenia televízneho signálu podľa potreby realizácie najväčšej ochrany, na prvom mieste bude pozemská televízia, na druhom satelitná a na treťom káblová s najjednoduchšou ochranou.

QPSK je zhruba 4 až 5-krát odolnejšia voči šumu ako modulácia 64-QAM, samozrejme na úkor prenosovej rýchlosti.

Mnohocestné šírenie je termín, ktorý sa používa pre vyjadrenie viacerých ciest, ktorými sa môže pozemský rádiový signál šíriť. Jedna z ciest môže byť priama, iná z ciest vznikne pri odraze od niektorej z prekážok. Vysielaný signál je preto cez jednotlivé cesty prenášaný vo všeobecnosti s rôznym oneskorením a s rôznym útlmom. Na užitočný signál môže pôsobiť okrem odrazených signálov tiež signál vzdialeného vysielачa pracujúceho v sieti SFN s rovnakou frekvenciou nosnej vlny. Odrazené signály majú v mieste príjmu vzhľadom k priamemu signálu rôzne časové oneskorenie, rôznu amplitúdu a fázu, čo pri prenose digitálneho signálu v systéme DVB-T môže spôsobiť silné poškodenie obrazu. Pri digitálnom prenose pozemskými vysielачmi je problém interferencie ISI (Inter Symbol Interference) riešený predĺžením šírky symbolu. Ak predĺžime trvanie bitovej periódy T_B na hodnotu $n \times T_B$ je pravdepodobné, že silne odrazené signály s malým oneskorením neovplyvnia susedné bity.

Pozemské prenosové kanály vykazujú v dôsledku mnohocestného šírenia a takzvaných frekvenčne selektívnych únikov nepriaznivé vlastnosti pre vyššie konštelácie QAM (16-QAM, 64-QAM). Aby bol zabezpečený kvalitný prenos obrazových a zvukových informácií používa pozemská digitálna televízia DVB-T už

uvedený systém OFDM (systém s vyšším počtom subnosných). Dáta sú tu prenášané niekoľko tisíc subnosnými, v prípade módu 8k je to 6817 subnosných, pozri Tab.2.2. Keďže sú dáta ďalej zabezpečené proti chybovosti RS kódom a konvolučným kódom, tento systém sa označuje ako kódovaná OFDM (COFDM, z ang. coded OFDM).

Tab. 2.4 Parametre OFDM 2k a 8k módov pre DVB-T

Parameter	Mód 8k	Mód 2k
Počet subnosných K	6817	1705
Hodnota subnosnej K_{\min}	0	0
Hodnota subnosnej K_{\max}	6816	1704
Trvanie T_u	896 μ s	224 μ s
Frekvenčný odstup subnosných $1/T_u$	1116 Hz	4464 Hz
Frekvenčný odstup medzi subnosnými K_{\min} a K_{\max} $(K-1)/T_u$	7,61 MHz	7,61 MHz

OFDM signál sa vysiela v rámcoch, z ktorých každý pozostáva zo 68 symbolov, ktoré sú tvorené referenčnými symbolmi prenášajúcimi dáta. Štyri rámce tvoria jeden super rámec a 2 super rámce jeden mega rámec (Tab.2.3).

Tab. 2.5 OFDM mega rámec

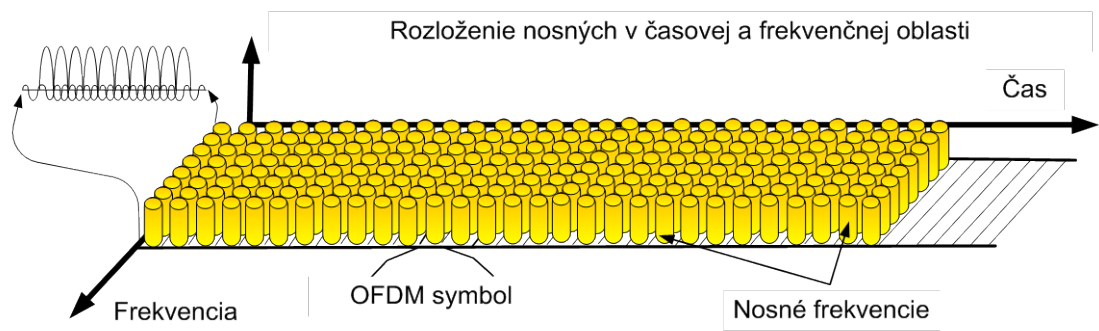
Frekvenčný odstup subnosných	2k mód- 4464 Hz, 8k mód- 1116 Hz
Symboly	2k mód- 1705 subnosných 8k mód- 6718 subnosných spolu s rozptýlenými, spojivými a TPS subnosnými
Rámec	68 symbolov
Super rámec	4 rámce (4 x 68 symbolov)
Mega rámec	2 super rámce- obsahujú synchronizačné informácie siete SFN prostredníctvom paketu MIP (Mega Frame Initialisation Paked)

Každý symbol je vytvorený z $K=6817$ subnosných v móde 8k a $K=1705$ v móde 2k a vysiela s časom trvania T_S . Skladá sa z dvoch častí: užitočnej časti s trvaním T_U a z ochranného intervalu s časom trvania Δ . Ochranný interval súvisí s cyklickým obnovovaním užitočnej časti T_U a vkladá sa pred užitočnú časť signálu. Podľa Tab.2.4 je možné použiť štyri hodnoty ochranného intervalu.

Tab. 2.6 Čas trvania symbolu pre prípustné ochranné intervaly, pre kanál so šírkou 8 MHz

Mód	Mód 8k				Mód 2k			
Ochranný interval Δ/T_u	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Čas trvania užitočnej časti T_u	8192 x T 896 μ s				2048 x T 224 μ s			
Trvanie ochranného intervalu Δ	2048xT 224 μ s	1024xT 112 μ s	512xT 56 μ s	256xT 28 μ s	512xT 56 μ s	256xT 28 μ s	128xT 14 μ s	64xT 7 μ s
Trvanie symbolu $T_S = \Delta + T_u$	10240xT 1120 μ s	9216xT 1008 μ s	8704xT 952 μ s	8448xT 924 μ s	2560xT 280 μ s	2304xT 252 μ s	2176xT 232 μ s	2112xT 231 μ s

Symboly obsahujú dáta a referenčné informácie. Pretože sa OFDM signál skladá z mnohých samostatne modulovaných subnosných frekvencií, každý symbol je možné postupne deliť do „buniek“, z ktorých každá zodpovedá modulácii prenášanej na jednej subnosnej jedného symbolu (Obr.2.18).

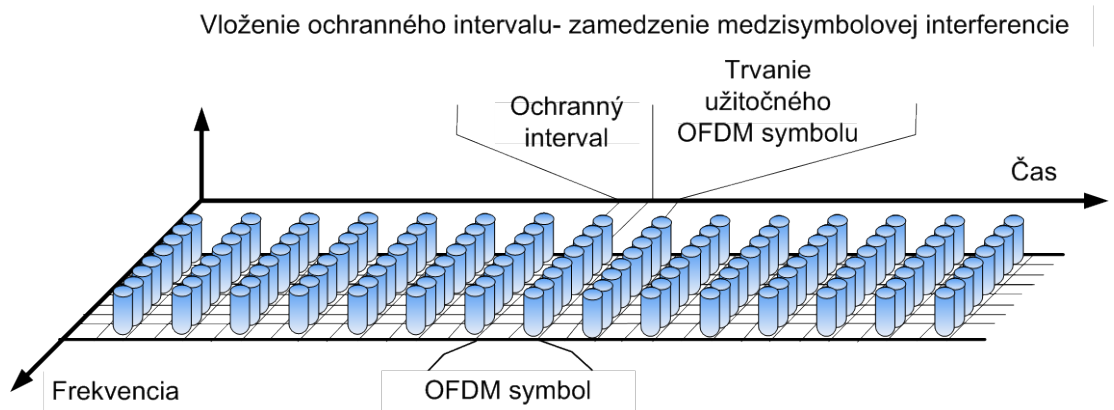


Obr. 2.18 Umiestnenie subnosných v časovej a frekvenčnej oblasti

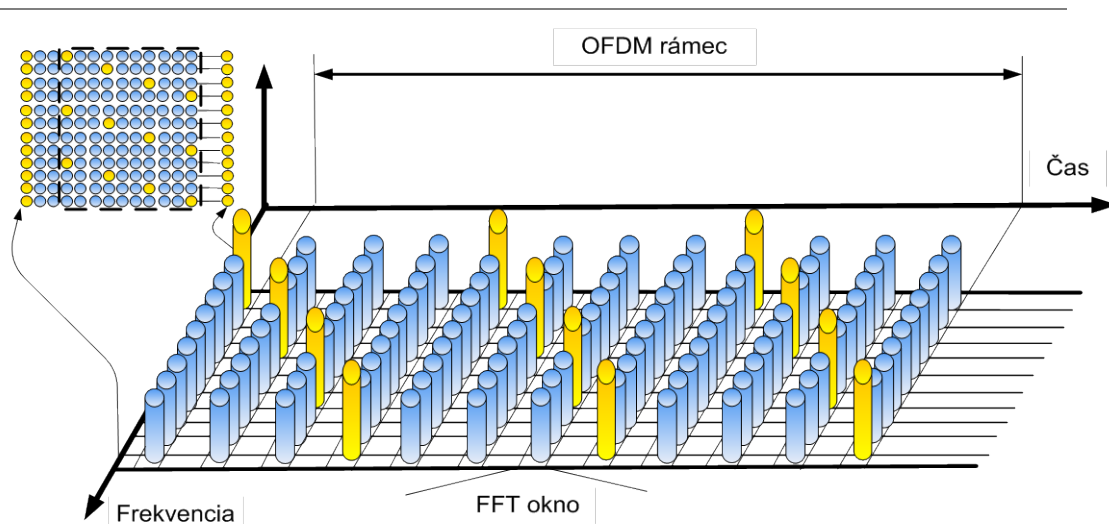
Okrem prenášaných dát OFDM rámec obsahuje:

- rozptýlené pilotné signály,
- spojité pilotné signály,
- nosné TPS (informácie o modulácii, ochrannom intervale, OFDM móde, ...).

Pilotné subnosné sa používajú na synchronizáciu rámcov, frekvencie, času, zistenie stavu kanála a na identifikáciu prenosového módu. Môžu sa tiež využiť na sledovanie fázového šumu. Frekvenčná vzdialenosť medzi susednými subnosnými je $1/T_U$. Tab.2.2 obsahuje popis základných módov OFDM pre DVB-T.



Obr. 2.19 Vloženie ochranného intervalu



Pilotné nosné rozptýlené v časovej a frekvenčnej oblasti

Obr. 2.20 Prenos pilotných symbolov

Obrázky 2.15 až 2.17 znázorňujú rozdelenie kanála v časovej a frekvenčnej oblasti a umiestnenie jednotlivých subnosných do „buniek“. Obrázok 2.16 ukazuje miesto vloženia ochranného intervalu a obrázok 2.17 ukazuje akým spôsobom sa vytvárajú rozptýlené pilotné subnosné.

Pre porovnanie sú v Tab.2.5 uvedené aj parametre OFDM pre DVB-H (mod 4k) so šírkou kanála 8 MHz.

Tab. 2.7 Parametre OFDM pre DVB-H so šírkou kanála 8 MHz

Mód	2k	4k	8k
Počet bodov IFFT	2048	4096	8192
Počet subnosných	1705	3409	6817
Počet aktívnych subnosných	1512=12 x 126	3024=24 x 126	6048=48 x 126
Počet spojitých (kontinuálnych) subnosných	45	89	177
Počet rozptýlených subnosných	131	262	524
Počet subnosných TPS	17	34	68
Užitočná časť symbolu [ms]	224	448	896
Odstup subnosných [kHz]	4,464	2,232	1,116
Ochranný interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Čas trvania ochranného intervalu [ms]	56 28 14 7	112 56 28 14	224 112 56 28
Čas trvania OFDM symbolu [ms]	280 252 238 231	560 504 478 462	1120 1008 952 924
Max. vzdialenosť vysielačov [km]	16,8 8,4 4,2 2,1	33,6 16,8 8,4 4,2	67,2 33,6 16,8 8,4

2.6 Systémy digitálnej televízie používané v USA a Japonsku

2.6.1 USA – systém ATSC

ATSC je označenie štandardov pre digitálnu televíziu vyvinutých organizáciou Advanced Television Systems Committee (Komisia pre zdokonalené televízne systémy), ktoré v súčasnosti nahrádzajú analógový systém NTSC v USA, postupne aj v Kanade, Mexiku a pod. ATSC vyvinula v 90-tych rokoch minulého storočia najprv štandard pre HDTV, a aj digitálny štandard bol určený najprv iba pre HDTV kvalitu. ATSC formáty (v súčasnosti ATSC A/72 z roku 2008) zahŕňajú aj štandardnú televíziu a prenos terestriálny, káblový aj satelitný.

Hlavné špecifikácie:

umožňuje HDTV rozlíšenie 1920 x 1080 pixelov (16 : 9)

možnosť viacerých rozmerov obrazu

keďže ide o Ameriku, šírka kanálov je 6 MHz, pričom jeden kanál môže preniesť až 6 digitálnych TV subkanálov so štandardným rozlíšením.

rýchlosti približne 19,3 Mbit/s pri terestriálnom a 38 Mbit/s pri káblovom prenose v 6 MHz kanáli

zdrojové kódovanie obrazu MPEG-2 aj MPEG-4 (H.264-AVC)

rovnaké protichybové zabezpečenie kanálového kódovania ako v Európe (randomizácia, FEC vo forme RS-kódu, prekladanie a trellisové kódovanie)

modulácia 8-VSB (Vestigial Sideband modulation with 8 discrete amplitude levels- osemstavová digitálna amplitúdová modulácia jedinej nosnej vlny s potlačeným postranným pásmom s 8 diskretnými amplitúdovými úrovňami); pre káblový prenos 16-VSB (vysokorýchlostný mód) alebo 256-QAM modulácia

surround zvuk – formát Dolby Digital AC-3

mnoho prídavných dátových služieb

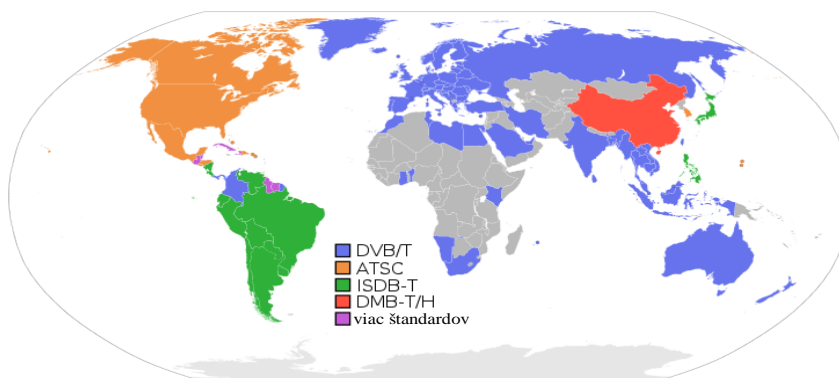
Systém mobilného príjmu televízie ATSC-M/H v poslednej dobe (v r. 2009) prijal spomedzi viacerých kandidátov riešenie založené na technológii LTE. Je však - asi podobne ako v Európe – ešte stále v štádiu vývoja a riešenia viacerých problémov typických pre tento typ prenosu (interferencie, rýchlo sa meniace podmienky viaccestného šírenia, atď.).

2.6.2 Japonsko: ISDB a jeho deriváty

ISDB - Integrated Services Digital Broadcasting – Digitálne šírenie integrovaných služieb nahradilo v Japonsku predchádzajúci analógový systém MUSE (typu HDTV). V Brazílii bol potom vyvinutý odvodený systém – ISDB-T International, ktorý sa rozšíril takmer v celej Južnej Amerike (Obr.2.17)

Špecifikácie japonských verzií ISDB sú veľmi pestré a rýchlo obmeniteľné. Uvádzame niekoľko charakteristických znakov týchto systémov:

- Používajú sa systémy ISDB – S, T, C (Satellite, Terrestrial, Cable), 2.6 GHz band mobile broadcasting (mobilné vysielanie v pásme 2,6 GHz), ISDB-T a ISDB-Tsb pre mobilný príjem v TV pásmach. Ďalší systém „1seg“ je názov služby ISDB-T prístupnej pre bezšnúrové telefóny, notebooky a automobily.
- Všade sa využíva transportný tok MPEG-2, a videokódovanie MPEG-2 aj MPEG-4.
- Všade je možnosť HDTV.
- Terestriálny systém má 6 MHz-kanály v pásmach VHF, UHF aj Super high band, v ktorých sa môžu prenášať 2 alebo 3 štandardné digitálne programy alebo 1 HDTV program. Používajú sa ešte aj ďalšie možnosti 6 MHz-multiplexu. Každý 6MHz-kanál je totiž rozdelený na 13 segmentov; z nich 1 môže byť určený napr. pre systém 1seg, a zvyšných 12 segmentov pre 1 HDTV program alebo 3 SDTV programy, alebo pre kombináciu 8-segmentového programu typu Medium Definition (stredné rozlíšenie) a 4-segmentového SDTV. Využíva sa QAM – modulácia v kombinácii s OFDM, konvolučné vnútorné kódovanie a RS-vonkajšie kódovanie, prekladanie časové, frekvenčné, bitové aj bajtové.
- Pri ISDB-T sa používa systém SFN (1-frekvenčná sieť).



Obr. 2.17 Svetové systémy terestriálnej DTV [7]

-
- Systém ISDB-S môže v 1 kanáli širokom 34,5 MHz prenášať až 2 HDTV programy spolu s nezávislým zvukom a inými dátami, využíva modulácie typu TC8PSK (Trellis Coding 8PSK), QPSK, BPSK (pri hierarchickom prenose), vnútorné protichybové zabezpečenie je pomocou TC8PSK a konvolučného kódovania, vonkajšie – pomocou RS-kódu.
 - Zrejme viac než inde vo svete je v japonskej novodobej televízii rozvinutá a v mnohých kanáloch sa využíva ochrana proti kopírovaniu TV obsahu, ale tiež aj proti konverzii digitálneho signálu na analógový. To robí nepoužiteľnými aj prijímače novšieho typu, plazmové a LCD, ktoré nie sú vybavené vstupom typu HDMI. Táto ochrana sa ďalej vyvíja a jej využívanie sa rozširuje, avšak nie pre radosť užívateľov.

2.7 Zoznam použitej literatúry

- [1] M. Legiň: Televizní technika DVB-T, BEN, Praha, 2006
- [2] H. Benoit: Digital Television, Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB Framework. Dunod, Paris, 2006/ Elsevier , 2008
- [3] V. Vít: Televizní technika – přenosové barevné soustavy, BEN, Praha 1997
- [4] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Mmds_dish1.jpg
- [5] Hewlett Packard: MPEG-2. The Basis of How It Works
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Digital_broadcast_standards.svg
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/ISDB>
- [8] Lukáč, R. - Stupák, C. - Marchevský, S. - Maceková, Ľ.: Order Statistic Filters in Dynamic Image Sequences, Radioengineering, Vol.9, No.3, Sept.2000, pp. 8-14. (zahr.)
- [9] Marchevský, S. - Maceková, Ľ.: Detection and Reconstruction of Missing Data in Damaged Image Sequences, Proc. of 5-th Scientif. Conf. on Dig. Signal Processing and Multimedia Communications DSP-MCOM 2001, Nov. 2001. Košice, Slovakia.
- [10] Marchevský, S. - Maceková, Ľ.: Detection and Reconstruction of Missing Data in Damaged Image Sequences, Acta Electronica et Informatica, Vol.2, No.1, 2002, pp. 65 – 68.
- [11] Maceková, Ľ. – Marchevský, S.: A New Image and Video Quality Criterion, Acta Electronica et Informatica, Vol.4 No.2, 2004, pp. 15 – 19.
- [12] Maceková, Ľ. – Marchevský, S.: Myriad Filters for Image Sequences Processing. Proceedings on the DSP-MCOM 2005, Košice, Slovak republic, 13-14 September 2005, pp. 122-125.
- [13] Drotár, P.- Gazda, J.- Kocur, D.- Galajda, P.: Effects of spreading sequences on the performance of MC-CDMA system with nonlinear models of HPA. Radioengineering, vol. 18, no. 1 (2009), p. 48-54.

-
- [14] Drotár, P.- Gazda, J.- Galajda, P.- Kocur, D.: Joint microstatistic multiuser detection and cancellation of nonlinear distortion effects for the uplink of MC-CDMA systems using golay codes. *International Journal of Electronics, Communications and Computer Engineering*, vol. 1, no. 1(2009), p. 87-92.
- [15] Drotár, P.- Gazda, J.- Kocur, D.- Galajda, P.: MC-CDMA performance analysis for different spreading codes at HPA Saleh model. *Radioelektronika 2008*, Praha: Czechoslovakia Section IEEE, 2008 4 p.
- [16] STM5105: Low-cost interactive set-top box decoder, katalógový list, STMicroelectronics, 2005, <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/11269.pdf>
- [17] Gazda, J.- Drotár, P.- Kocur, D.- Galajda, P.: Performance improvement of MC-CDMA microstatistic multi-user detection in nonlinear fading channels using spreading code selection. *Infocommunications Journal*, vol. LXV, no. III, 2010, pp. 53-61.
- [18] Gazda, J.-Peter Drotár, P.- Kocur, D.- Galajda, P.: Uplink Modulation Strategies in 4G Wireless Cellular Systems. *Acta Electrotechnica et Informatica*, vol. 10, No. 1, 2010, pp. 37-41.
- [19] Krajňák, J. - Deumal, M.- Pavelka, P.- Kocur, D.- Pijoan, J. L. - Galajda, P.: Multi-user Detection of Nonlinearly Distorted MC-CDMA Symbols by Microstatistic Filtering, *Wireless Personal Communications*, Springer Netherlands, vol. 47, no. 1, October, 2008, pp. 149- 160.
- [20] Drotar, P.-Gazda, J.-Kocur, D. -Galajda, P- Pavelka, P.: Receiver technique for iterative estimation and cancellation of nonlinear distortion in MIMO SFBC-OFDM Systems. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, no. 2, 2010, p. 471-475.
- [21] Gazda, J.- Drotár, P.- Deumal, M.- Galajda, P.- Kocur, D.: Tone reservation for SFBC-OFDM with no spectral broadening. *Frequenz*. vol. 64, no. 7-8 (2010), p. 140-143.
- [22] Drotár, P.- Gazda, J.- Galajda, P.- Kocur, D.: Receivers for spatially multiplexed MIMO transmission systems. *RTT 2009*, Praha: ČVUT, 2009 P. 1- 4.
- [23] DVB-T USB tuner s veľkosťou 16 mm x 23 mm x 8 mm, DSL.sk, 7.11.2009 <http://www.dsl.sk/article.php?article=8284>.

3 Úvod do H.264

Základnou technológiou, ktorá umožnila celosvetové rozšírenie digitálnej televízie, bol štandard MPEG-2. Táto metóda kódovania je používaná tak v televízii so štandardným rozlíšením, ako aj s vysokým rozlíšením, prenášanej cez satelit a pozemné vysielacie. Svoje uplatnenie našla aj v ukladaní videa na nosiče DVD.

Avšak s narastajúcim počtom služieb a rastúcou popularitou televízie s vysokým rozlíšením narastá aj potreba vysoko efektívnej metódy kompresie videosignálov. Navyše metódy prenosu ako sú napríklad UMTS a xDSL majú výrazne obmedzenú šírku pásma. V takýchto prípadoch, aj pri použití súčasnej prenosovej kapacity, použitie kódovacieho algoritmu s vysokou účinnosťou kompresie umožní vysielanie viacerých videokanálov, alebo vyššiu kvalitu prijímaného obrazu.

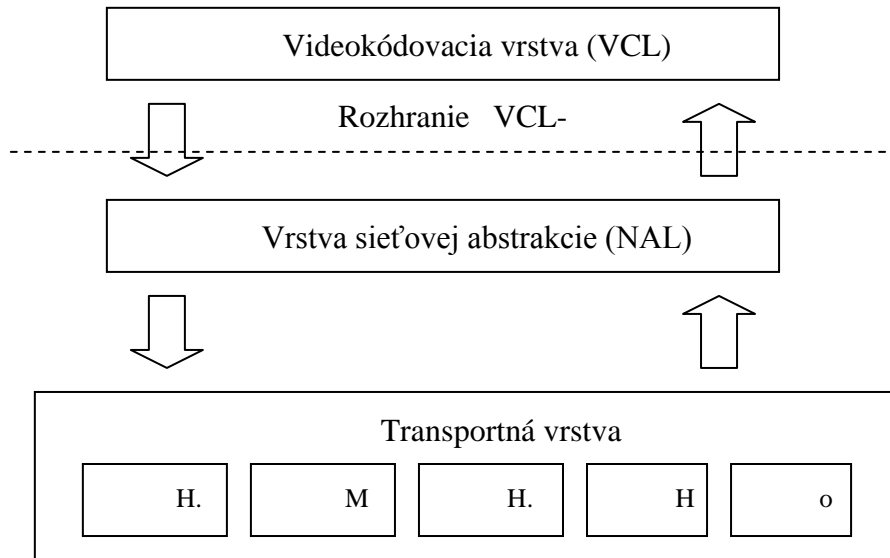
Videokódovacie metódy pre telekomunikačné aplikácie zastrešené ITU-T sa vyvíjali od štandardu H.261 až po štandard H.263 a jeho modifikácie známe ako H.263+ a H.263++. Počas tejto evolúcie bol stále kladený dôraz na zvyšovanie kódovacej účinnosti.

Na začiatku roku 1998 bola vytvorená v rámci ITU-T skupina združujúca videoexpertov (VCEG), ktorá začala pracovať na projekte nazývanom H.26L. Jeho cieľom bolo dvojnásobné zvýšenie kódovacej účinnosti v porovnaní s akýmkoľvek predchádzajúcim videokódovacím štandardom. Prvý návrh bol dokončený v októbri 1999. V decembri 2001 vytvorili ITU-T VCEG a skupina videoexpertov ISO, známa ako MPEG, spoločný tím (JVT). Hlavnou úlohou JVT bolo priviesť predbežný model H.26L k úplnému medzinárodnému štandardu. Výsledkom spoločnej práce bolo zverejnenie dvoch identických noriem v marci 2003, a to ISO MPEG-4 Part 10 a ITU-T H.264/AVC.

3.1 Vrstva sieťovej abstrakcie

Štandard H.264 je navrhnutý tak, aby ho bolo možné využiť v rôznych oblastiach, napr. televízne vysielanie, vysielanie videotokov, multimedialne služby, ukládanie videa na optické disky, atď. Aby H.264 mohla podporovať takéto široké spektrum aplikácií využíva videokódovaciu vrstvu (z angl. Video Coding Layer - VCL) a vrstvu sieťovej abstrakcie (z angl. Network Abstraction Layer - NAL), Obr. 3.1.

VCL je navrhnutá tak, aby efektívne reprezentovala videoobsah. Kódované video-dáta sú následne mapované do jednotiek NAL. Každá z týchto jednotiek predstavuje paket s premennou dĺžkou obsahujúci celočíselný počet bajtov.



Obr. 3.36 Videokódovacia vrstva a vrstva sieťovej abstrakcie

Prvý bajt každej jednotky NAL je hlavičkový. V hlavičke je prvých 5 bitov vyhradených na identifikáciu typu jednotky NAL (T) a môže nadobúdať hodnotu od 1 do 32. V súčasnosti sú definované typy 1-12. Typy 24 – 31 sa používajú napríklad v RTP na agregáciu a fragmentáciu paketov. Všetky ostatné hodnoty sú vyhradené pre budúce použitie. Ďalší bit označený R, `nal_reference_idc`, môže byť využitý na signalizáciu dôležitosti jednotky NAL pre dekodovací proces. Hodnota 0 označuje, že jednotka nie je použitá na predikciu. Hodnota vyššia ako 0 signalizuje nutnosť použitia danej jednotky pri dekodovaní, a teda nemôže byť odhodená dekodérom ako v predchádzajúcom prípade. Poslednou hodnotou v NAL hlavičke je `forbidden_bit`. V prípade ak je zistená chyba v jednotke NAL je tento bit nastavený na 1, ináč je rovný 0.

Ostávajúce bajty obsahujú užitočnú informáciu, ktorá reprezentuje kódovanú informáciu (z angl. raw byte sequence payload - RBSP). Tieto užitočné dáta môžu byť prekladané s bajtmi predchádzania emulácie (z angl. emulation prevention bytes), čo sú bajty určené na zabránenie náhodnej generácii štartovacieho kódu prefixu (z angl. start code prefix) [1]. Definícia formátu jednotiek NAL špecifikuje všeobecný formát pre použitie tak v paketovo orientovaných, ako aj v systémoch orientovaných na vysielanie bitových tokov (paketovo orientované a bitovo orientované). Viacero jednotiek NAL

generovaných enkodérom sa označuje ako tok jednotky NAL (z angl. NAL unit stream - Obr. 3.2) [1], [2].

Hlavička NAL	užitočná informácia	Hlavička NAL	užitočná informácia	Hlavička NAL	užitočná informácia
-----------------	---------------------	-----------------	---------------------	-----------------	---------------------

Obr. 3.37 Tok jednotky NAL

NAL zahŕňa tieto mechanizmy:

- reprezentácie dát, ktoré sú potrebné pre dekodovanie jednotlivých rezov
- predchádzanie emulácii štartovacieho kódu
- podpora prídavnej rozširujúcej informácie (SEI)
- rámcová synchronizácia bitových tokov, ktoré predstavujú kódované rezy, v bajtovo orientovaných sieťach

Návrh NAL, ktorý je špecifikovaný v odporúčaní, je vhodný pre prenos H.264 cez RTP/UDP/IP, H.324/M, MPEG-2 transportný tok a H.320 [3].

3.2 Videokódovacia vrstva

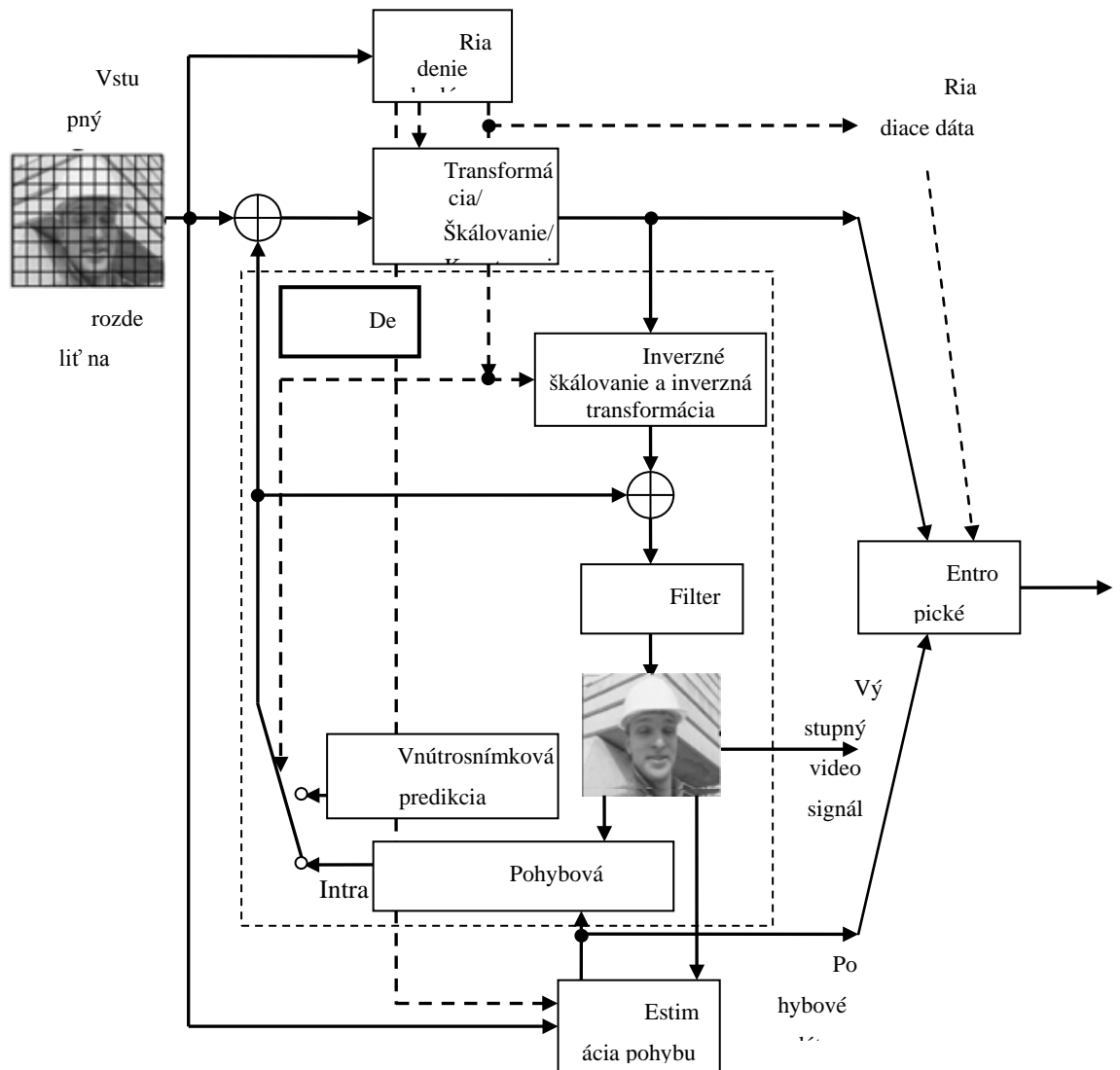
Koncepcia VCL, podobne ako vo všetkých predchádzajúcich ITU-T a ISO video štandardoch počnúc H.261, vychádza z blokovo založeného hybridného kódovacieho postupu, Obr. 3.3. Každý kódovaný obraz je reprezentovaný jasovými a chrominančnými zložkami usporiadanými do makroblokov zodpovedajúcich rozmeru 16x16 obrazových prvkov v originálnom obraze.

Prvá snímka sekvencie, alebo snímka v rámci sekvencie, ktorou môže začať efektívne dekodovanie, je zvyčajne kódovaná vo vnútrosnímkovom móde. To znamená, že pri kódovaní je použitá len informácia obsiahnutá v danej snímke a každý obrazový prvok v makrobloku je predikovaný použitím priestorovo susediacich obrazových prvkov z už zakódovaných makroblokov.

Pri zostávajúcich snímkach je použité medzislímkové kódovanie. Medzislímkové kódovanie využíva pohybovo kompenzovanú predikciu, a teda využíva časové štatistické závislosti. Rozdiel, ktorý je vypočítaný ako chyba medzi predikovaným a pôvodným blokom, je transformovaný použitím dekorelujúcej blokovej transformácie. Transformačné koeficienty sú následne škálované, kvantované a entropicky kódované.

V enkodéri je vykonávané aj spracovanie obrazu veľmi podobné spracovaniu obrazu v dekodéri, ktorého výsledkom je získanie referenčnej snímky pre ďalšiu

predikciu. Kvantované transformačné koeficienty sú inverzne škálované a inverzne transformované rovnakým spôsobom ako v dekodéri. Výsledkom týchto operácií je rozdielový makroblok. Ten je pripočítaný k predikcii a výsledný makroblok je spracovaný filtrom na odstránenie tzv. blokového efektu (z angl. deblocking filter) [4], [5].



Obr. 3.38 Blokov založený hybridný videokodér

Návrh VCL v štandarde H.264/AVC neprináša významné zlepšenie oproti predchádzajúcim štandardom, ale využíva viacero malých zmien, ktoré vedú k vyššej efektívnosti [1]:

- Vylepšená pohybová predikcia: možnosť použitia menších blokov na predikciu (rozmer bloku je od 4×4 do 16×16), presnosť predikcie je štvrt obrazového bodu, vektor pohybu môže ukazovať za hranice referenčnej snímky.

- Využitie celočíselnej transformácie vychádzajúcej z DCT, ktorá potláča chyby vznikajúce zaokrúhľovaním.
- Využitie filtra na odstránenie tzv. blokového efektu: tento filter umožňuje znížiť bitovú rýchlosť o 5% - 10%.
- Pokrokové metódy entropického kódovania: kódy s adaptívnou dĺžkou kódového slova (CAVLC), adaptívne binárne aritmetické kódovanie (CABAC) a Exp-Golombove kódy

3.3 Zoznam použitej literatúry

- [1] WIEGAND, T., - SULLIVAN G. J. – BJØNTEGAARD G. - LUTHRA, A.: Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol.13, no. 7, Júl 2003, s. 560 – 576.
- [2] WENGER, S.: H.264/AVC over IP, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 13, Júl 2003, s. 645–656.
- [3] JVT: Draft ITU-T recommendation and final draft international standard of joint video specification (ITU-T rec. H.264– ISO/IEC 14496-10 AVC). Marec 2003, JVT-G050, s.1 - 50. Dostupné na internete: <http://ip.hhi.de/imagecom_G1/assets/pdfs/JVT-G050.pdf>
- [4] OSTERMANN, J. – BORMANS, J. – LIST, P. – MARPE, D. – NARROSCHKE, M. – PEREIRA, F. – STOCKHAMMER, T. – WEDI, T.: Video coding with H.264/AVC: tools, performance and complexity, IEEE Cir. Syst. For Video Technol. Mag., vol. 4, 2004, s.7-28.
- [5] MARPE, D. – WIEGAND, T. – Sullivan, G. J.: The H.264 / MPEG4 Advanced Video Coding Standard and its Applications, IEEE Communications Magazine, vol. 44, no. 8, August 2006, s. 134-144.
- [6] WENGER, S. – STOCKHAMMER, T.: H.264 Over IP and H.324 Framework.. Dostupné na internete: <ftp://ftp.imtc-files.org/jvt-experts/0109_San/VCEG-N52.doc>
- [7] THOMOS, N. – ARGYROPOULOS, S. – BOULGOURIS, N.V. – STRINZIS, M.G.: Error-Resilient Transmission of H.264/AVC Streams Using Flexible Macroblock Ordering, in Proc. of the 2nd European Workshop on the Integration of Knowledge, Semantic, and Digital Media Techniques, EWIMT05, London, UK, November 2005, s.183 – 189.
- [8] DHONDT, Y. - LAMBERT, P. – VAN DE WALLE, R.: Flexible Macroblock Ordering an error resilience tool in H.264/AVC, *Fifth FTW PhD Symposium, Faculty of Engineering, Ghent University*, December 2004, s. 1-2.
- [9] ITU-T Recommendation H.263 Ver.1, Video coding for low bit rate communication, 1995

-
- [10] WENGER, S.: Video redundancy coding in H.263+, in *Proc. AVSPN 97*, Aberdeen, UK, 1997.
- [11] GIROD, B. - Farber, N.: Feedback-based error control for mobile video transmission, in *Proc. IEEE*, vol. 87(10), 1999, s. 1707-1723.
- [12] WENGER, S. – KNORR, G. D. – OTT, J. – KOSENTINI, F.: Error resilience support in H.263+, *IEEE Trans. Cir. Syst. Video Technol.*, vol. 8, November 1998, s. 867 -877.
- [13] KARCZEWICZ, M. – KURCEREN, R.: A proposal for SP-frames, *ITU-T SG16 Doc. VCEG-L27r1*, 2001, s. 1- 7. Dostupné na internete: <http://ftp3.itu.ch/arch/video-site/0101_Eib/>
- [14] KARCZEWICZ, M. – KURCEREN, R.: The sp- and si-frames design for h.264/avc, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 7, Júl 2003, s.637–644.
- [15] STOCKHAMMER, T. – HANNUKSELA, M. M. – WIEGAND, T.: H.264/AVC in wireless environments, *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.13, Júl 2003, s. 657–673.
- [16] WIEGAND, T. – FÄRBER, N. – STUHLMÜLLER, K. – GIROD, B.: Error-resilient video transmission using long-term memory motion-compensated prediction, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, December 2000, s. 1050 - 1062.
- [17] BARNI, M. – BARTOLINI, F. – BIANCO, P.: On the performance of syntax-based error detection in H.263 video coding: a quantitative analysis, *Electronic Imaging 2000 – SPIE Conf. on Image and Video Communications*, San Jose, CA, Január 2000, s. 949 - 956.
- [18] SUPERIORI, L. – NEMETHOVA – RUPP, O.: Performance of a H.264/AVC Error Detection Algorithm Based on Syntax Analysis, *4th Int. Conf. on Mobile Computing and Multimedia (MoMM)*, Yogyakarta, Indonesia, December 2006, s. 49–58.
- [19] SUPERIORI, L. – NEMETHOVA, O. – RUPP, M.: Detection of Visual Impairment in the Pixel Domain of Corrupted H.264/AVC Packets, *submitted to Int. Picture Coding Symposium*, Lisboa, Portugal, November 2007.
- [20] WEIDMANN, C. – KADLEC, P. – NEMETHOVA, O. – AL-MOHRABI, A.: Combined Sequential Decoding and Error Concealment of H.264 Video, in *Proc. of IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP)*, Siena, Italy, September 2004, s. 299–302.
- [21] NEMETHOVA, O. – CANADAS, J. – RUPP, M.: Improved Detection for H.264 Encoded Video Sequences over Mobile Networks, in *Proc. of Int. Symp. on Communication Theory and Applications (ISCTA)*, Ambleside, UK, Júl 2005, s. 343 – 348.

-
- [22] CHEN, M. – HE, Y. – LAGENDIJK, R.L.: A Fragile Watermark Error Detection Scheme for Wireless Video Communications, *IEEE Trans. on Multimedia*, vol. 7, no. 2, April 2005, s. 201-211.
- [23] COX, I.J. – KILIAN, J. – LEIGHTON, F.T. – SHAMOON, T.: Secure spread spectrum watermarking for multimedia, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 12, December 1997, s. 1673–1687.
- [24] CHIARALUCE, F. – CICCARELLI, L. – GAMBI, E. SPINSANTE, S.: Performance evaluation of error concealment techniques in H.264 video coding, *Proc. Picture Coding Symposium (PCS) 2004*, San Francisco, CA, 15-17 December 2004, s. 15-17.

4 Nástroje pre zabezpečenie vyššej odolnosti videotoku kódovaného prostredníctvom H.264/AVC

4.1 Úvod

V H.264/AVC sa operácie súvisiace so zabezpečením vyššej odolnosti videotoku voči chybám vykonávajú predovšetkým vo VCL. Niektoré z týchto metód zabezpečenia už využívali predchádzajúce štandardy. H.264/AVC však integruje aj nové spôsoby zabezpečenia, príp. využíva postup implementovaný už v predchádzajúcich štandardoch s určitými úpravami.

V starších videokódovacích štandardoch (H.261, H.263, MPEG-1 Part 2, MPEG-2 Part 2) pre zabezpečenie vyššej odolnosti boli použité tieto metódy [2]:

- rôzne formy segmentácie obrazu (rezy, GOB)
- makrobloky kódované vo vnútrostránkovom móde, rezy kódované vo vnútrostránkovom móde a obrazy kódované vo vnútrostránkovom móde

Novšie videokódovacie štandardy ako H.263 a MPEG-4 Part 2 integrujú ďalšie spôsoby zabezpečenia:

- voľba referenčnej snímky (so spätnou väzbou a bez nej)
- segmentácia dát

H.264/AVC rozširuje zoznam použitých metód o nasledujúce typy:

- množiny parametrov
- flexibilné radenie blokov (z angl. Flexible Macroblock Ordering - FMO)
- redundantné rezy

Zvyšujúci sa dopyt po multimedialných aplikáciách je jednou z hnacích síl pre neustálu expanziu moderných prenosových médií ako internet, či bezdrôtové siete. Jedným z problémov komunikačných systémov založených na TCP/IP protokoloch je poškodenie, respektíve strata informácií pri prenose vplyvom šumu, ako aj malá šírka pásma v porovnaní s množstvom dát potrebných pre prenos.

Prenos „surového“, respektíve nekomprimovaného videotoku zaberá obrovskú šírku pásma. Účinné kódovanie je preto jednou z kľúčových procesov pred samotným

prenosom komunikačným kanálom. Najúčinnnejším a najmodernejším štandardom na kódovanie videotokov je štandard H.264/AVC, ktorý je v súčasnosti neoddeliteľnou súčasťou pri kompresii videotokov v mnohých aplikáciách.

Všetky techniky videokompresie sú založené na eliminácii priestorovej a časovej redundancie vo videotoku. Videotok prenášaný zašumeným prostredím je citlivý na prenosové poruchy. Tie spôsobujú stratu časti obsahu videa, čo zapríčini výrazné zhoršenie výslednej kvality obrazu. Vizualne efekty týchto porúch sa šíria priestorovo do susedných oblastí v snímke a časovo do nasledujúcich snímok. Mechanizmus na odhalenie porúch môže byť integrovaný na stranu dekodéra, ktorý analyzuje prenosové chyby a lokalizuje chýbajúcu časť videosekvencie. Napriek znehodnoteniu celých balíkov dát však častokrát dokáže dekodér obnoviť stratenú informáciu zo správne prijatých dát. Ide o tzv. techniky maskovania chýb.

Hlavnou úlohou maskovania chýb je nahradiť chýbajúcu časť videa pomocou korektne dekodovanej časti videosekvencie. Zmierni sa tak efekt rušivých vizuálnych efektov prenosových chýb. Rozlišujeme maskovanie chýb v časovej a priestorovej oblasti. Maskovanie chýb v priestorovej oblasti využíva formu priestorovej plynulosti obrazu videa, kde každý chýbajúci pixel poškodenej časti snímky je interpolovaný z neporušených okolitých pixelov. Interpoláčny algoritmus môže byť zdokonalený napríklad pomocou ochrany spojitosti hrán použitím metód detekcie hrán. Maskovanie chýb v časovej oblasti využíva formu časovej plynulosti medzi susednými snímkami videosekvencie. Najjednoduchšia implementácia tejto metódy je nahradenie chýbajúcej časti snímky pomocou priestorovo odpovedajúcej časti z predchádzajúcej vhodnej dekodovanej snímky.

V H.264/AVC sa operácie súvisiace so zabezpečením vyššej odolnosti videotoku voči chybám vykonávajú predovšetkým vo VCL. Niektoré z týchto metód zabezpečenia už využívali predchádzajúce štandardy. H.264/AVC však integruje aj nové spôsoby zabezpečenia, príp. využíva postup implementovaný už v predchádzajúcich štandardoch s určitými úpravami.

V starších videokódovacích štandardoch (H.261, H.263, MPEG-1 Part 2, MPEG-2 Part 2) pre zabezpečenie vyššej odolnosti boli použité tieto metódy [2]:

- rôzne formy segmentácie obrazu (rezy, GOB)
- makrobloky kódované vo vnútrosnímkovom móde, rezy kódované vo vnútrosnímkovom móde a obrazy kódované vo vnútrosnímkovom móde

Novšie videokódovacie štandardy ako H.263 a MPEG-4 Part 2 integrujú ďalšie spôsoby zabezpečenia:

- voľba referenčnej snímky (so spätnou väzbou a bez nej)
- segmentácia dát

H.264/AVC rozširuje zoznam použitých metód o nasledujúce typy:

- množiny parametrov
- flexibilné radenie blokov (z angl. Flexible Macroblock Ordering - FMO)
- redundantné rezy

4.1.1 Segmentácia dát

Pri kódovaní bez použitia segmentácie dát sú všetky symboly z makrobloku spoločne zakódované a umiestnené do jedného bitového toku vytvárajúceho rez. Segmentácia dát vytvára viacero bitových tokov, ktoré nazývame partície, v rámci jedného rezu a umiestňuje všetky symboly rezu do jednotlivých partícií.

V H.264 existujú tri typy partícií. Partícia A obsahuje hlavičkovú informáciu, vrátane typu makroblokov, kvantizačného parametra a pohybových vektorov. Dáta v tejto partícií sú veľmi dôležité aj pre partície B a C, ak dôjde k ich strate nie je možné použiť dáta z týchto dvoch partícií. Partícia kódovaná vo vnútrostrímkovom móde, ktorú označujeme aj partícia B, obsahuje vnútrostrímkovo kódované vzorky blokov (identifikácia tých blokov o rozmere 8×8 , ktoré obsahujú transformačné koeficienty) a vnútrostrímkovo kódované koeficienty. Partícia B vyžaduje dostupnosť partície A z daného rezu. Keďže snímky kódované vo vnútrostrímkovom móde sú používané ako referenčné, táto partícia má väčší význam ako partícia C a jej strata výrazne ovplyvní šírenie sa chýb do nasledujúcich snímok. Partícia kódovaná v medzisímkovom móde, ktorú označujeme partícia C, obsahuje iba medzisímkovo kódované vzorky blokov a medzisímkovo kódované koeficienty. Napriek tomu je však vo väčšine prípadov najväčšia, keďže kódované videosekvencie obsahujú veľký počet P snímok. Jej význam je najmenší pretože informácia, ktorú obsahuje, nevedie k získaniu opätovnej synchronizácie medzi enkodérom a dekodérom. Pre jej použitie je vyžadovaná dostupnosť partície A, nie však partície B.

Ak sa používa segmentácia dát, zdrojový kodér umiestni symboly rozličného typu do troch rôznych vyrovnávacích pamätí. Dôvod pre vykonávanie segmentácie dát

vo VCL a nie NAL je nevyhnutnosť dodržať maximálnu veľkosť partície, ktorá nesmie byť väčšia ako MTU.

Ak sú v dekodéri prítomné všetky partície, môže sa začať dekódovanie podľa štandardu. Ak chýba buď partícia B, alebo partícia C, informácia z partície A môže byť stále použitá na zvýšenie efektivity maskovania chýb.

4.1.2 Množiny parametrov

Pre správne dekódovanie videotoku je nutné, aby dekodér bol synchronizovaný s enkodérom. Napríklad, dekodér potrebuje poznať veľkosť snímky, metódu entropického kódovania, presnosť s akou sú vytvárané pohybové vektory, atď. Tieto parametre, ktoré sa používajú pre skupinu rezov sa zvyčajne často nemenia [1]. H.264 enkodér a dekodér udržujú v pamäti rovnaké tabuľky parametrov. Tieto tabuľky obsahujú rozličné kombinácie týchto parametrov. Na signalizáciu konfigurácie použitej v enkodéri nie je následne použitá samotná hodnota parametra, ale pošle sa len index danej kombinácie z tabuľky.

Množiny parametrov môžu byť posielané mimo pásma prostredníctvom spoľahlivého riadiaceho protokolu a s dostatočným predstihom tak, aby množina parametrov bola v dekodéri prijatá ešte pred zachytením prvého rezu [6].

Ďalším spôsobom je posielanie v rámci pásma, ale s primeranou ochranou na aplikačnej vrstve (napr. vysielanie viacerých kópií).

4.1.3 Segmentácia snímky

H.264 enkodér inteligentne zoskupuje makrobloky do rezov, ktorých maximálna veľkosť je rovná MTU. Každý rez obsahuje celočíselný počet makroblokov, teda môže to byť len jeden makroblok z danej snímky, alebo aj všetky. Každý makroblok však môže byť súčasne len v jednom reze. Ak nie je použité FMO, potom sú makrobloky ukladané do rezu v rovnakom poradí v akom sú zobrazované.

Rovnako ako v predchádzajúcich štandardoch, aj H.264 využíva segmentáciu snímky na obmedzenie šírenia sa chýb z poškodeného paketu do nasledujúcich paketov.

4.1.4 Flexibilné radenie makroblokov

Flexibilné radenie makroblokov umožňuje ukladať makrobloky do rezov v inom poradí ako je poradie, v ktorom sú zobrazované. Hlavným cieľom tohto spôsobu zabezpečenia videotoku je rovnomerné rozptýlenie nožnej chyby do celej snímky. Pri použití tohto nástroja sa teda v určitej skupine rezov nenachádzajú spoločne makroblok so susediacimi makroblokmi.

Ak je použité FMO, parameter MBA_Map je pridaný k „Množina parametrov“. Jeho úlohou je indikácia radenia makroblokov v reze. MBA_Map predstavuje dátovú štruktúru, ktorá priradzuje priestorovej adrese makrobloku zodpovedajúcu skupinu rezu (Obr. 4.), [7], [8].

FMO pozostáva zo siedmich rôznych typov, ktoré sú označené Typ 0 až Typ 6. Typ 6 je náhodný, kým ostatné využívajú určité vzory (Obr. 4.2 - Obr. 4.3).

Typ 0 využíva na rozloženie makroblokov do rezov pevný počet bajtov. Snímka je rozdelená do niekoľkých rezov o fixnej dĺžke, čo má za následok tvorbu paketov s rôznym počtom makroblokov.

Typ 1 používa na rozloženie makroblokov matematickú funkciu, ktorá je známa tak enkodéru, ako aj dekodéru.

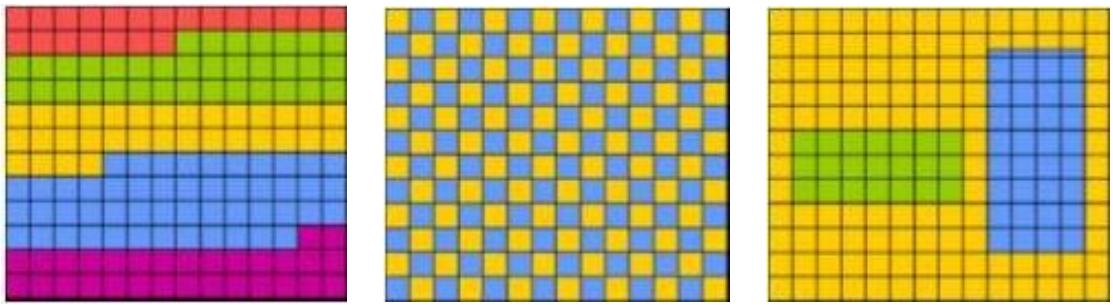
Typ 2 sa používa na označenie oblastí nazývaných oblasti záujmu

Typ 3-5 sú dynamické typy, ktoré umožňujú prerastať skupinám rezov až do susedných snímok.

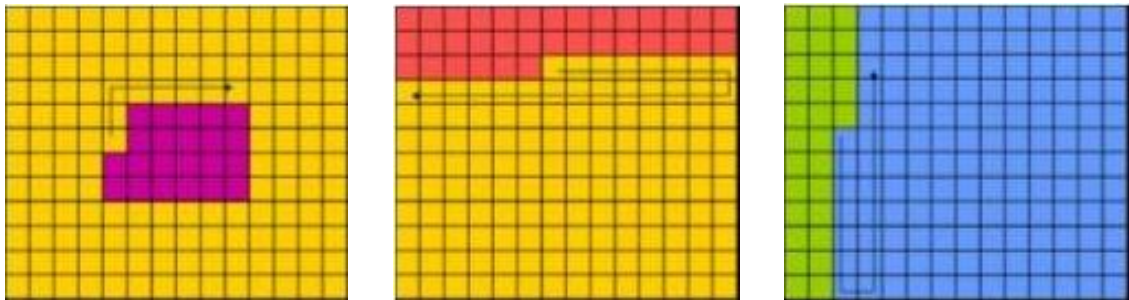
0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0

MBA_Map 0, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0

Obr. 4.1 Mapa indikujúca radenie makroblokov v reze



Obr. 4.2 Flexibilné radenie makroblokov: Typ 0 – Typ 2



Obr. 4.3 Flexibilné radenie makroblokov: Typ 3 – Typ 5

4.1.5 Voľba referenčnej snímky

Voľbu referenčnej snímky je možné použiť tak v systémoch so spätnou väzbou, ako aj v systémoch bez spätnej väzby. Tento spôsob zvýšenia odolnosti videotoku voči chybám je možné aplikovať na celú snímku, prípadne len na určitú časť tejto snímky, čím dosiahneme zníženie bitovej rýchlosti.

Úlohou voľby referenčnej snímky v systémoch bez spätnej väzby je minimalizácia rozdielu medzi referenčnou a predikovanou oblasťou.

V systémoch so spätným kanálom sa využíva referenčná snímka na základe spätnej odpovede. V referenčnom snímkovom móde sú definované štyri možné režimy [9]:

1. NEITHER: nebola prijatá žiadna spätná odpoveď z dekodéra
2. ACK: dekodér vrátil správu o korektnom príjme
3. NACK: dekodér vrátil správu o nekorektnom príjme
4. ACK + NACK: dekodér vrátil správu o korektnom, ako aj nekorektnom príjme

V prípade režimu ACK použije enkodér ako referenciu pre kódovanie v medzislímkovom móde len tú časť, ktorá bola označená dekodérom ako korektné prijatá. V dôsledku oneskorenia, ktoré vzniká pri prenose medzi enkodérom a dekodérom, medzi možnými referenčnými snímkami sú len tie, ktoré sú niekoľko

snímok pred súčasťou. Toto obmedzenie môže zhoršiť presnosť predikcie, v dôsledku čoho je zvýšenie bitového toku.

V NACK režime, po prijatí NACK je nová referenčná snímka vybratá zo snímok, ktoré boli kódované pred jej prijatím. V prípade poškodenia jednej referenčnej snímky je šírenie chýb oveľa väčšie ako v režime ACK, pretože všetky snímky kódované po referenčnej snímke a pred príchodom NACK môžu byť ovplyvnené.

V režime ACK + NACK prepína enkodér medzi týmito dvoma režimami na základe informácie z dekodéra [9]:

1. Po prijatí postupnosti N NACK správ sa prepne režim z NACK do ACK
2. Po prijatí postupnosti M ACK správ sa prepne režim z ACK do NACK

Hodnoty N a M sú určené dohodou medzi enkodérom a dekodérom.

V prípade aplikácii ako je videokonferencia je výhodnejšie použiť videoredundantné kódovanie [10], [11]. Video redundantné kódovanie rozdelí bitový tok sekvencie do niekoľkých vlákien. Vo vlákne P snímok je každá snímka kódovaná použitím predchádzajúcej P snímky ako referenčnej. Ľubovoľné dve nasledujúce snímky sú priradené do rôznych vlákien. Každé z vlákien začína a končí synchronizačnou snímku. Ak dôjde k poškodeniu snímky počas prenosu, ďalšie vlákno zostáva neporušené a na strane dekodéra bude znížená snímková frekvencia medzi dvoma synchronizačnými snímkami [12].

4.1.6 Redundantné rezy

Táto metóda zaistenia vyššej odolnosti videotoku voči chybám umožňuje enkodéru umiestniť do bitového toku jednu alebo viacero redundantných reprezentácií tých istých makroblokov. Základným rozdielom medzi pridávaním redundancie na transportnej úrovni, ako je napríklad opakovanie paketov a využitím redundantných rezov je možnosť kódovať tieto rezy s použitím iných parametrov kódovania. Napríklad primárny rez bude kódovaný s malou hodnotou kvantizačného parametra, a teda v dobrej kvalite, a redundantný rez bude kódovaný s vyššou hodnotou kvantizačného parametra, a teda v nižšej kvalite s nižším bitovým tokom. Ak sú korektne prijaté primárne rezy, dekodér zahodí redundantné a snímka je dekódovaná iba z primárnych rezov. V prípade straty primárneho rezu sa na dekódovanie využije redundantný rez.

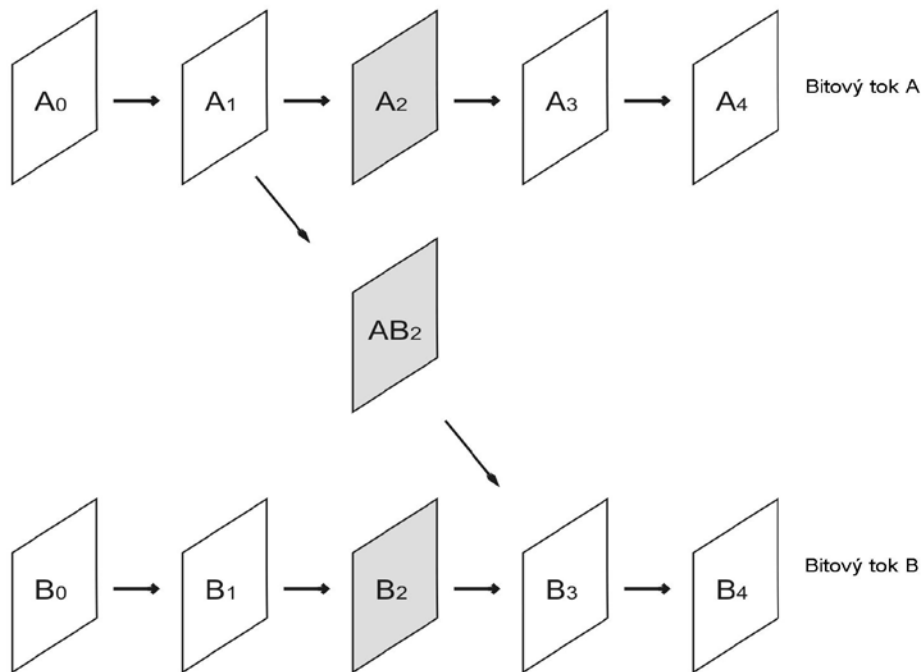
4.1.7 Snímky SP a SI

Škálovanie šírky pásma je možné dosiahnuť vytvorením viacerých nezávislých videotokov s rôznou kvalitou a šírkou pásma potrebnou na ich prenesenie. Server môže dynamicky prepínať medzi takýmito tokmi podľa šírky pásma, ktorú majú jednotliví užívatelia k dispozícii [13]. Spôsob fungovania SP/SI snímok je navrhnutý pre prepínanie jednotlivých bitových tokov, ale môže byť považovaný aj za nástroj pre zabezpečenie vyššej odolnosti videotokov v systémoch so spätným kanálom.

V prípade, že sa vo videotoku objaví chyba, tak dochádza k strate synchronizácie a dekódované snímky sú ovplyvnené touto chybou, až kým dekodér nezachytí ďalšiu I snímku. I snímka zvyšuje bitový tok, a preto ak je k dispozícii spätný kanál z dekodéra do enkodéra, dekodér má možnosť signalizovať enkodéru prítomnosť chyby a následne ten vygeneruje SP snímku na zotavenie sa po chybe.

Pri použití SP/SI snímok je vytvorených viacero bitových tokov z tej istej sekvencie, pričom sa použijú rôzne hodnoty pre množinu parametrov. Každý dekodér používa len jeden tok v danom čase. Ak sa v bitovom toku objaví chyba alebo sa zmenia podmienky v sieti, dekodér môže začať využívať iný tok (Obr.). Bitové toky A a B využívajú rôzne hodnoty z množiny parametrov, teda dekódované snímky z toku A nie sú identické so snímkami dekódovanými z toku B. Priame prepnutie z toku A na tok B za použitia predikčnej snímky AB_2 môže zaviesť chybu, ktorá sa bude šíriť do nasledujúcich snímok, až kým nie je zachytená I snímka. To by viedlo k viditeľným artefaktom v obraze, a preto v predchádzajúcich videokódovacích štandardoch nebolo možné prepínanie v predikčnej snímke. H.264/AVC rieši tento problém práve prostredníctvom SP snímky [14]. Na Obr. predstavuje B_2 SP snímku označovanú ako primárna SP snímka, AB_2 SP snímka je jej druhá reprezentácia a označujeme ju ako sekundárna SP snímka.

Enkodér môže vygenerovať sekundárnu reprezentáciu bez použitia referenčnej snímky, v tomto prípade hovoríme o SI snímke. Ak je bitový tok A poškodený, enkodér pošle SI snímku dekodéru. Tá zabráni ďalšiemu šíreniu chýb a prepne okamžite na bitový tok B. Ak sa použije SP snímka, tak referenčná snímka sekundárnej reprezentácie by mala byť korektne prijatá dekodérom.



Obr. 4.4 Prepínanie medzi dvoma bitovými tokmi použitím SP snímky

4.1.8 Obnovovanie bloku kódovaného vo vnútrostrímkovom móde na základe R – D riadenia

Šírenie chýb v dôsledku použitia predikčného kódovania môže byť eliminované periodickým vkladáním blokov kódovaných vo vnútrostrímkovom móde do bitového toku. Tento spôsob zabezpečenia používa štandard MPEG-4. Na rozdiel od periodického alebo náhodného obnovovania blokov, ktoré je použité v predchádzajúcich štandardoch, H.264 používa inteligentné obnovovanie bloku kódovaného vo vnútrostrímkovom móde na základe R-D riadenia. Výber vhodnej voľby pre kódovanie bloku (o^*) je realizované na základe minimalizácie Lagrangeovej funkcie [2], [15]:

$$o^* = \arg \min_{o \in X} (D(o) + \lambda R(o)) . \quad (1)$$

o predstavuje kódovací mód (vnútrostrímkový alebo medzistrímkový mód, veľkosť bloku) vybraný z množiny X kódovacích módov [16]. $D(o)$ je rušenie spôsobené kódovaním použitím kódovacieho módu o , $R(o)$ je zodpovedajúca kódovacia rýchlosť a λ je Lagrangeov parameter určujúci primeranú váhu pre rýchlosť, ako aj rušenie.

Pre videoaplikácie v reálnom čase a konverzačné videoaplikácie nie je vhodné umiestňovať snímky kódované vo vnútrostrímkovom móde do bitového toku, keďže

spôsobujú zvýšenie bitovej rýchlosti. Z tohto dôvodu je použitie obnovovania bloku kódovaného vo vnútrostrómkovom móde dôležité na zníženie šírenia sa chýb.

4.1.9 Detekcia chýb

Následky ovplyvnenia entropicky kódovanej jednotky NAL prenosovou chybou môžeme rozdeliť do štyroch kategórii:

- Nesprávne kódové slovo – postupnosť bitov, ktorá by mala byť dekódovaná nezodpovedá žiadnemu kódovému slovu. Nasledujúce jednotky NAL nemôžu byť dekódované, pretože nevieme rozlíšiť štart nasledujúceho kódového slova.
- Nesprávna dĺžka NAL – dĺžka NAL nesúhlasí s dĺžkou rezu. Tento problém je možné zachytiť ak už boli dekódované všetky makrobloky, ale v dekodéri čaká stále neprečítaná časť NAL, alebo ak NAL už bola cela prečítaná, ale v dekodéri stále čaká na dekódovanie určitý počet makroblokov.
- Chyba pri dekódovaní - je možné prečítať jednotku NAL, ale dekodér ju nedokáže dekódovať v dôsledku nepovolenej hodnoty dekódovacích parametrov.
- Chyba, ktorú nie je možné zachytiť – dekodér dokáže dekódovať jednotku NAL aj napriek tomu, že sa objavila chyba.

Charakter prvých troch skupín umožňuje použiť tieto následky priamo na zachytávanie chýb. Ak je napríklad v dekodéri zachytené nesprávne kódové slovo, je jasné, že došlo k chybe buď v aktuálnom kódovom slove, alebo v predchádzajúcom. Posledná skupina vyžaduje metódy založené na analýze skladby bitového toku, ktoré sa nazývajú aj kontrola syntaxe. Niektoré pravidlá pre kontrolu syntaxe pre H.263 boli navrhnuté v [17]. Keďže H.264 používa odlišnú VLC štruktúru, v [18] boli navrhnuté pravidlá vhodné práve pre tento štandard.

Ďalší spôsob ako zachytiť chybu je prostredníctvom detekcie zhoršenia video kvality. Chyby, ktoré sa objavia v I snímke sa v dôsledku priestorovej predikcie a VLC rozsynchronizovania šíria až na koniec rezu. V dôsledku časovej predikcie sú ovplyvnené tiež nasledujúce snímky, až kým sa neobjaví nová I snímka. Ďalšie šírenie chýb, ktoré sa objavia v P snímkach je zanedbateľné.

Zachytávanie chýb prostredníctvom detekcie zhoršenia kvality bolo navrhnuté v [19] a [20]. V prípade I snímkov, zhoršenie môže byť zachytené jednoduchým porovnaním dvoch snímkov. Ak je medzi nimi veľký rozdiel mohla nastať chyba. Problém môže

vzniknúť pri scénach s rýchlym pohybom, keď porovnaním dvoch snímok dostaneme podobný rozdiel ako v prípade chyby. Oblasť ovplyvnená chybou je zvyčajne limitovaná veľkosťou paketu. Teda artefakty, ktoré sa objavia v obraze majú zvyčajne pravouhlý tvar, ktorý zodpovedá niekoľkým ovplyvneným blokom.

V P snímkach dochádza k strate synchronizácie len zriedkavo, preto použitie kombinácie kontrola syntaxe a detekcie zhoršenia kvality, podobne ako pri I snímkach, je nepoužiteľné. Zhoršenie kvality v P snímkach je zvyčajne spôsobené stratou pohybových vektorov. To je možné vidieť v obraze ako nespojitý prechod medzi susednými blokmi. Zachytenie chyby v P snímkach je teda možné prostredníctvom detekcie horizontálnych/vertikálnych hrán v kombinácii s počítaním rozdielu medzi susednými snímkami.

Predchádzajúce metódy detekcie chýb majú obmedzenú schopnosť identifikovania chýb. Na zvýšenie pravdepodobnosti detekcie chýb môže byť v enkodéri pridané určité množstvo redundancie.

Metóda navrhnutá v [21] pridáva k paritných bitov k skupine M zakódovaných makroblokov. Teda sa jedná o pridávanie dodatočnej redundancie do bitového toku. Výhodou tejto metódy je schopnosť zachytenia chyby v rovnako veľkých častiach obrazu.

Alternatívnou metódou k predchádzajúcej metóde je pridávanie redundancie v obrazovej oblasti prostredníctvom využitia vodoznakov [22]. Vodoznak je vložený do každej snímky. Po prenose cez prenosový kanál je skontrolovaný v prijímači a ak je deformovaný je jasné, že došlo k chybe. Vodoznak môže byť vložený do snímky pred alebo po transformácii a kvantizácii. Pri vkladaní vodoznakov pred transformáciou a kvantizáciou vyžaduje použitie vodoznakov robustným voči týmto operáciám [23].

4.2 Zoznam použitej literatúry

- [1] WIEGAND, T., - SULLIVAN G. J. – BJØNTEGAARD G. - LUTHRA, A.: Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol.13, no. 7, Júl 2003, s. 560 – 576.
- [2] WENGER, S.: H.264/AVC over IP, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 13, Júl 2003, s. 645–656.
- [3] JVT: Draft ITU-T recommendation and final draft international standard of joint video specification (ITU-T rec. H.264– ISO/IEC 14496-10 AVC). Marec 2003, JVT-G050, s.1 - 50. Dostupné na internete:
<http://ip.hhi.de/imagecom_G1/assets/pdfs/JVT-G050.pdf>

-
- [4] OSTERMANN, J. – BORMANS, J. – LIST, P. – MARPE, D. – NARROSCHKE, M. – PEREIRA, F. – STOCKHAMMER, T. – WEDI, T.: Video coding with H.264/AVC: tools, performance and complexity, *IEEE Cir. Syst. For Video Technol. Mag.*, vol. 4, 2004, s.7-28.
- [5] MARPE, D. – WIEGAND, T. – Sullivan, G. J.: The H.264 / MPEG4 Advanced Video Coding Standard and its Applications, *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, no. 8, August 2006, s. 134-144.
- [6] WENGER, S. – STOCKHAMMER, T.: H.264 Over IP and H.324 Framework.. Dostupné na internete: <ftp://ftp.imtc-files.org/jvt-experts/0109_San/VCEG-N52.doc>
- [7] THOMOS, N. – ARGYROPOULOS, S. – BOULGOURIS, N.V. – STRINZIS, M.G.: Error-Resilient Transmission of H.264/AVC Streams Using Flexible Macroblock Ordering, in *Proc. of the 2nd European Workshop on the Integration of Knowledge, Semantic, and Digital Media Techniques, EWIMT05*, London, UK, November 2005, s.183 – 189.
- [8] DHONDT, Y. - LAMBERT, P. – VAN DE WALLE, R.: Flexible Macroblock Ordering an error resilience tool in H.264/AVC, *Fifth FTW PhD Symposium, Faculty of Engineering, Ghent University*, December 2004, s. 1-2.
- [9] ITU-T Recommendation H.263 Ver.1, Video coding for low bit rate communication, 1995
- [10] WENGER, S.: Video redundancy coding in H.263+, in *Proc. AVSPN 97*, Aberdeen, UK, 1997.
- [11] GIROD, B. - Farber, N.: Feedback-based error control for mobile video transmission, in *Proc. IEEE*, vol. 87(10), 1999, s. 1707-1723.
- [12] WENGER, S. – KNORR, G. D. – OTT, J. – KOSENTINI, F.: Error resilience support in H.263+, *IEEE Trans. Cir. Syst. Video Technol.*, vol. 8, November 1998, s. 867 -877.
- [13] KARCZEWICZ, M. – KURCEREN, R.: A proposal for SP-frames, *ITU-T SG16 Doc. VCEG-L27r1*, 2001, s. 1- 7. Dostupné na internete: <http://ftp3.itu.ch/arch/video-site/0101_Eib/>
- [14] KARCZEWICZ, M. – KURCEREN, R.: The sp- and si-frames design for h.264/avc, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 7, Júl 2003, s.637–644.
- [15] STOCKHAMMER, T. – HANNUKSELA, M. M. – WIEGAND, T.: H.264/AVC in wireless environments, *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.13, Júl 2003, s. 657–673.
- [16] WIEGAND, T. – FÄRBER, N. – STUHLMÜLLER, K. – GIROD, B.: Error-resilient video transmission using long-term memory motion-compensated prediction, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, December 2000, s. 1050 - 1062.
-

-
- [17] BARNI, M. – BARTOLINI, F. – BIANCO, P.: On the performance of syntax-based error detection in H.263 video coding: a quantitative analysis, *Electronic Imaging 2000 – SPIE Conf. on Image and Video Communications*, San Jose, CA, Január 2000, s. 949 - 956.
- [18] SUPERIORI, L. – NEMETHOVA – RUPP, O.: Performance of a H.264/AVC Error Detection Algorithm Based on Syntax Analysis, *4th Int. Conf. on Mobile Computing and Multimedia (MoMM)*, Yogyakarta, Indonesia, December 2006, s. 49–58.
- [19] SUPERIORI, L. – NEMETHOVA, O. – RUPP, M.: Detection of Visual Impairment in the Pixel Domain of Corrupted H.264/AVC Packets, *submitted to Int. Picture Coding Symposium*, Lisboa, Portugal, November 2007.
- [20] WEIDMANN, C. – KADLEC, P. – NEMETHOVA, O. – AL-MOGHRABI, A.: Combined Sequential Decoding and Error Concealment of H.264 Video, *in Proc. of IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP)*, Siena, Italy, September 2004, s. 299–302.
- [21] NEMETHOVA, O. – CANADAS, J. – RUPP, M.: Improved Detection for H.264 Encoded Video Sequences over Mobile Networks, *in Proc. of Int. Symp. on Communication Theory and Applications (ISCTA)*, Ambleside, UK, Júl 2005, s. 343 – 348.
- [22] CHEN, M. – HE, Y. – LAGENDIJK, R.L.: A Fragile Watermark Error Detection Scheme for Wireless Video Communications, *IEEE Trans. on Multimedia*, vol. 7, no. 2, April 2005, s. 201-211.
- [23] COX, I.J. – KILIAN, J. – LEIGHTON, F.T. – SHAMOON, T.: Secure spread spectrum watermarking for multimedia, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 12, December 1997, s. 1673–1687.

5 Maskovanie chýb

Poznáme tri základné spôsoby zvýšenia odolnosti videotokov voči prenosovým chybám. Odlišujú sa tým, či kodér a dekodér zohrávajú dominantnú úlohu, respektíve či navzájom spolupracujú. [87]: Odolnosť teda možno zvýšiť:

- pridaním zdrojových a kanálových kódov (metódy takzvaného “*Dopredného maskovania resp. opravy chýb*” – z angl. Forward error concealment - FEC)
- spolupracou medzi kodérom a dekodérom (takzvané *Interaktívne resp. “ARQ metódy maskovania*” – z angl. Automatic Repeat Request)
- schopnosťou dekodéra detegovať chyby a maskovať ich nežiaduce efekty (metódy “*Maskovania chýb založené na dodatočnom spracovávaní*” – z angl. Error concealment by post-processing)

FEC metódy sa vyznačujú tým, že prijímač sa snaží odhaliť chyby, ktoré vznikli pri prenose dát a detegované chyby odstraňuje pomocou samoopravných kódov. Ich nevýhodou je však skutočnosť, že použitím akokoľvek dobrého samoopravného kódu je možné odstrániť vždy len konečný počet chýb. Implementovanie samoopravného kódu vyžaduje tiež pridanie zabezpečovacích bitov k informačnej časti paketu, teda zvyšuje množstvo dát potrebných na prenos [70].

Ak je dostupný spätný kanál z dekodéra do kodéra, je možná ich vzájomná spolupráca za účelom dosiahnutia lepších výsledkov pri spracovávaní poškodeného videa. Tento princíp využívajú *Interaktívne resp. ARQ metódy*, nazývané tiež spätivozáobné metódy [70]. Tieto metódy sú charakteristické tým, že chyby, ktoré vznikajú pri prenose, sa na strane príjmu len detegujú pomocou detekčných kódov. Chybné dátové bloky sa opravujú opakovaným vysielaním. Zdrojový kodér dokáže tiež optimalizovať parametre kódovania na základe informácií získaných z dekodéra. Z hľadiska riadenia zabezpečenia i z hľadiska charakterizovania kanálu takýchto systémov nie je teda dôležité vedieť, koľko chýb vzniklo pri prenose bloku, nie je potrebné vedieť ani ich štruktúru. Stačí vedieť, či bol daný blok chybný alebo bezchybný. Použitý kód však musí mať schopnosť detegovať aj komplikované zhluky chýb [70]. Nevýhodou týchto metód je oneskorenie pri dekódovaní, čo môže byť neakceptovateľné pre aplikácie v reálnom čase. Jednou z možností, znižujúcou oneskorenie pri dekódovaní, je posielanie viacnásobných kópií stratených dát v každom opakovanom prenose, aby sa znížil počet vyžiadaných opakovaných prenosov [27].

Je dôležité poznamenať, že prvé dva spomínané prístupy ochrany videotoku voči chybám zvyšujú redundanciu bitového toku, čo na druhej strane znižuje efektívnosť kódovania, respektíve zvyšujú oneskorenie spracovania. Vo všetkých praktických aplikáciách je preto potrebné nájsť rovnováhu medzi znížením účinnosti kódovania a zvýšením robustnosti bitového toku.

Metódy maskovania chýb založené na dodatočnom spracovaní sú podrobnejšie popísané v nasledujúcej podkapitole.

No ešte predtým je vhodné spomenúť kritéria na posúdenie výhod a nevýhod spomínaných troch prístupov maskovania chýb [31]. Najdôležitejším parametrom je účinnosť danej metódy pokiaľ ide o kvalitu snímky. Požadované oneskorenie je ďalším kritériom pre dvojcestný a viaccestný prenos. Tretím faktorom je miera chybovosti vzniknutá pridaním redundancie maskovania na úrovni zdroja respektíve na transportnej úrovni. Náročnosť na spracovanie a výpočet je tiež významným faktorom [100]. Použitie jednotlivých metód sa mení v závislosti od aplikácií. Napríklad oneskorenie nie je až tak významné pre jednocestný videoprenos (prenos videa cez internet alebo video na požiadanie), ako je to pre dvojcestnú a viaccestnú videokonferenciu. Navyše niektoré metódy vedia pracovať iba pre niektorú špecifickú aplikáciu, zatiaľ čo iné môžu byť vhodné pre väčší počet aplikácií. Napríklad opakovaný prenos môže dokonalo pracovať pre prenos typu bod-bod, ale je náročné ho použiť pre viaccestné aplikácie. Na druhej strane maskovanie chýb dodatočným spracovaním v dekodéri môže byť nasadené v takmer každej aplikácii [86].

5.1 Maskovanie chýb založené na dodatočnom spracovaní

Tieto metódy využívajú priestorovú a časovú redundanciu obsiahnutú v každom videosignáli. Konkrétna metóda použitá na interpoláciu stratených blokov striktne závisí od množstva pohybu v maskovanej oblasti spracovávanej snímky [22].

Je známe, že snímky videa obsahujú predovšetkým nízkofrekvenčné zložky. Napríklad hodnoty farby priestorovo a časovo priľahlých pixelov sa okrem oblastí s ostrými hranami menia plynulo. Ľudské oko navyše dokáže viac tolerovať skreslenie vysokofrekvenčných zložiek ako nízkofrekvenčných zložiek. Táto skutočnosť je využívaná pri maskovaní artefaktov spôsobených prenosovými chybami [5], [3].

Ako už bolo spomenuté, všetky metódy dodatočného spracovania využívajú koreláciu medzi poškodeným makroblokom a jeho susednými makroblokmi v tej istej,

respektíve predošlej snímke. Metódy maskovania chýb sú preto realizované v priestorovej i časovej oblasti [24]-[26].

Maskovanie chýb realizované v priestorovej oblasti využíva na obnovu chýbajúcich pixelov (jasových a farebných hodnôt) v stanovenej oblasti (napríklad jeden alebo viac makroblokov) videoinformáciu zo susedných blokov tej istej snímky. Maskovanie chýb realizované v časovej oblasti využíva na obnovu chýbajúcich pixelov informácie z makroblokov ležiacich v predchádzajúcich a nasledujúcich snímkach. Časovo-priestorové maskovanie využíva kombináciu spomínaných prístupov [12].

5.1.1 Základné metódy maskovania chýb v priestorovej oblasti

Priestorová redundancia je vlastnosťou obrazu a videosignálov. Pri maskovaní chýb v priestorovej oblasti sa využíva odlišnosť medzi susednými pixelmi v danej snímke. Všetky metódy maskovania chýb v priestorovej oblasti sú založené na myšlienke, že hodnoty pixelov (jasových i farebných) v poškodenom makrobloku, môžu byť obnovené vhodnou kombináciou pixelov obkolesujúcich poškodený makroblok [57].

5.1.1.1 Metóda váženého spriemerovania

Princíp tejto metódy priestorového maskovania chýb spočíva v tom, že každý pixel v danom maskovanom makrobloku je vypočítaný ako lineárna kombinácia štyroch najbližších pixelov na hraniciach makrobloku (hornej, dolnej, ľavej a pravej hranici), zohľadňujúc vzdialenosť obnovovaného pixelu od jednotlivých hraníc makrobloku (Obr. 5.1)[34]. Algoritmus sa vyznačuje pomerne jednoduchou výpočtovou metódou, preto je to najčastejšie používaná metóda na priestorové maskovanie chýb pri strate videoinformácie [59]. Tento algoritmus je však vhodný len na maskovanie chýbajúcich makroblokov s homogénnym obsahom. Inak produkuje viditeľné artefakty.

V prípade, že používame makroblok s rozmermi $N \times N$ pixelov, vážené spriemerovanie na úrovni makrobloku (z angl. macroblock based weighted averaging) môže byť popísané vzťahom (1):

$$mb(i, k) = \frac{1}{d_L + d_R + d_T + d_B} [d_R mb_L(i, 2N) + d_L mb_R(i, 1) + d_B mb_T(2N, k) + d_T mb_B(1, k)] \quad (5.1)$$

kde $i, k = 1, 2, \dots, N$. Použité symboly sú uvedené na Obr. 4 [41] [23].

Iný spôsob, ako realizovať vážené spriemerovanie, sa nazýva vážené spriemerovanie na úrovni blokov (z angl. block based weighted averaging) [41].

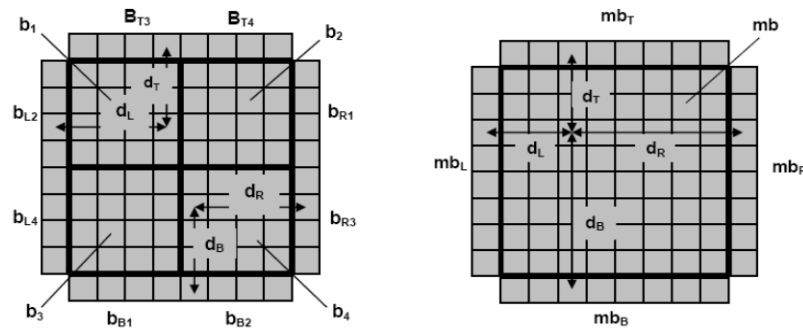
Poškodený makroblok je rozdelený do štyroch samostatných blokov. Každý pixel bloku je nahradený z dvoch pixelov z jeho dvoch najbližších hraníc. V prípade, že využívame makroblok s rozmermi $2N \times 2N$, vážené spriemerovanie na úrovni blokov je popísané vzťahmi (2) - (5), kde $i, k = 1, 2, \dots, N$ [23] [41].

$$b_1(i, k) = \frac{d_T b_{L2}(i, N) + d_L b_{T3}(N, k)}{d_L + d_T} \quad (5.2)$$

$$b_2(i, k) = \frac{d_T b_{R1}(i, 1) + d_R b_{T4}(N, k)}{d_R + d_T} \quad (5.3)$$

$$b_3(i, k) = \frac{d_B b_{L4}(i, N) + d_L b_{B1}(1, k)}{d_L + d_B} \quad (5.4)$$

$$b_4(i, k) = \frac{d_B b_{R3}(i, 1) + d_R b_{B2}(1, k)}{d_R + d_B} \quad (5.5)$$



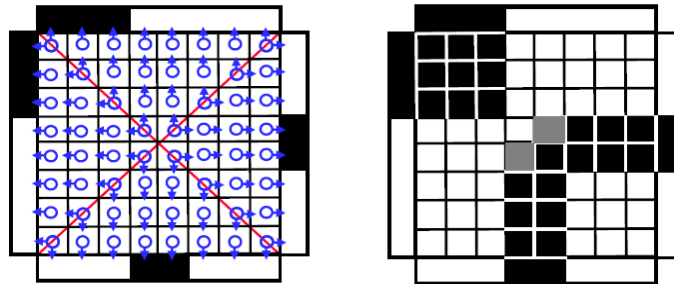
Obr. 5.1 Vážené spriemerovanie a, na úrovni blokov b, na úrovni makroblokov

Metóda váženého spriemerovania na úrovni makrobloku vykazuje dobré výsledky v prípade, keď sa chýbajúci makroblok nachádza v homogénnej oblasti (napríklad jasná obloha, hladké pozadie..). Na druhej strane metóda váženého spriemerovania na úrovni blokov negarantuje hladkosť obnoveného makrobloku a vykazuje jemný, takzvaný blokový efekt. Metóda na úrovni bloku je zase omnoho účinnejšia ako metóda na úrovni makrobloku, ak sa chýbajúci makroblok skladá z dvoch alebo viacerých častí, pričom každá časť patrí k inej homogénnej oblasti. Použitie váženého spriemerovania na úrovni makrobloku negarantuje homogénnosť videosignálu pozdĺž hraníc chýbajúceho makrobloku [23].

5.1.1.2 Metóda maximálneho vyhladzovania

Ďalšou metódou obnovy poškodeného makrobloku v priestorovej oblasti je metóda maximálneho vyhladzovania (z angl. maximal smoothing) [94].

Každý pixel pozdĺž hraníc poškodeného makrobloku musí byť hladko spojený s najbližším susedným pixelom v susednom makrobloku. Podobne aj ostatné pixely vnútri makrobloku musia byť hladko napojené na seba navzájom. Ako znázorňuje Obr. 39.2, vnútorná hladkosť je dosiahnutá tak, že hodnoty pixelov z každej 1-pixel širokej hranice sú kopírované do trojuholníka daného poškodeného makrobloku [23].



Obr. 40.2 Princíp metódy maximálneho vyhladzovania

Táto metóda prináša malé zlepšenie priestorového maskovania chýb v oblasti pri hraniciach chýbajúceho makrobloku. V niektorých prípadoch ale táto metóda v porovnaní s metódou váženého spriemerovania znižuje hladkosť vnútri obnoveného makrobloku (vnútorných pixelov).



Obr. 5.3 Obnovenie poškodeného makrobloku na snímke a, aplikovaním : b, makroblokovo založeného váženého spriemerovania c, blokovo založeného váženého spriemerovania d, metódy maximálneho vyhladzovania

Obr. 5.3 znázorňuje obnovu chýbajúceho makrobloku obklopeného niekoľkými hranami použitím tejto metódy maskovania chýb. Ako je možné vidieť, nie všetky použité metódy podporujú plnú obnovu, pretože negarantujú spojitosť hrán. Aby bolo možné obnoviť takýto makroblok, potrebujeme informácie o štruktúre obklopujúcej oblasti, ako sú pevnosť a smer hrán [23], [41].

5.1.1.3 Metóda smerovej interpolácie

Vylepšenie spomínaných metód maskovania chýb v priestorovej oblasti môže byť dosiahnuté, ak je v procese interpolácie uvažovaná spojitosť všetkých významných línií a hrán v susediacich blokoch, ktoré prechádzajú poškodeným makroblokom. Vyhľadzovanie musí byť teda vykonané pozdĺž všetkých významných hrán [43].

Túto metódu nazývame smerová interpolácia (z angl. directional interpolation) [42], pretože všetky chýbajúce pixely poškodeného makrobloku sú interpolované v špecifickom smere. Je to smer rovnobežky so smerom obkolesujúcich línií a hrán. Táto metóda však predpokladá len niekoľko jednoduchých dominantných hrán. Nedosahuje dobré výsledky pre zložitejšie štruktúry, ako sú nelineárne hrany a línie. Účinnosť metódy závisí na kvalite estimácie jednotlivých hrán.

5.1.1.4 Metódy detekcie hrán

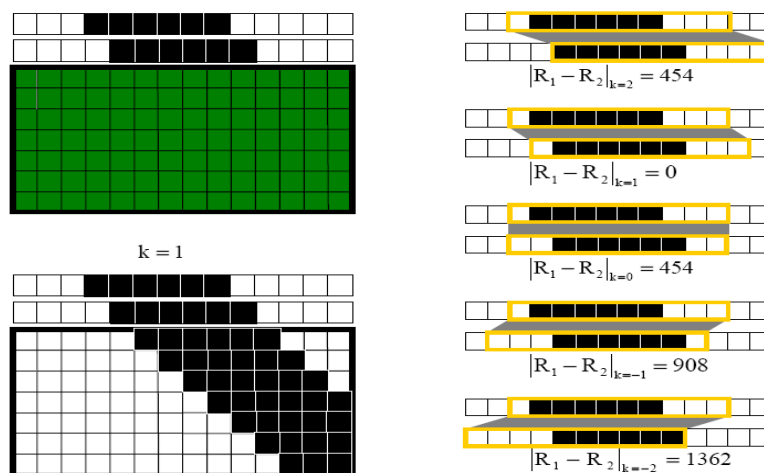
Prvým potrebným krokom pri detekcii hrán a línií susediacich blokov je vyšetrenie korelácie medzi dvoma a viacerými radmi pixelov obkolesujúcimi poškodený makroblok. Korelačné výpočty sú založené na hodnotách jasů každého pixelu, pretože pre ľudský zrak sú zmeny jasových hodnôt viditeľnejšie ako zmena farebných hodnôt. Farebné hodnoty hraničných susediacich pixelov vykazujú väčšiu hladkosť, preto mechanizmus detekcie hrán založený na hodnotách farby nie je taký účinný. Obr. 5.4 znázorňuje estimáciu hrán v oblasti nad poškodeným makroblokom. Vyšetrujú sa dva rady pixelov nad poškodeným makroblokom. Rad R_1 je použitý ako referenčný, rad R_2 je posunutý o k pixelov horizontálne v oboch smeroch doprava i doľava [23].

V každej posuvnej pozícii je korelácia medzi N pixelov širokými radmi počítaná pomocou vzťahu (6), kde $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm M$ je počet posuvných krokov a M je maximálny gradient smeru hrán, ktoré môžu byť rozpoznané touto metódou estimácie.

$$(R_1^* R_2)_k = \sum_{i=M}^{N-M} Pixel_{R_1}(i) Pixel_{R_2}(i, k) \quad (5.6)$$

Pixel R_1 a pixel R_2 sú jasové hodnoty pixelov v R_1 a R_2 , normalizované do sumy všetkých jasových hodnôt pixelov v riadkoch R_1 a R_2 , ako znázorňuje (7) [41]:

$$Pixel_{R_1}(i) = \frac{Y_{R_1}(i)}{\sum_{n=M}^{N-M} Y_{R_1}(n)} \quad Pixel_{R_2}(i, k) = \frac{Y_{R_2}(i+k)}{\sum_{n=M}^{N-M} Y_{R_2}(n+k)} \quad (5.7)$$



Obr. 5.4 Estimácia hrán založená na korelácii medzi hraničnými pixelmi.

Táto metóda má však stále určité obmedzenia znižujúce účinnosť priestorového maskovania chýb založeného na zachovaní hrán. Tieto nedostatky môžu byť odstránené použitím takzvaného Sobelovho operátora, ktorý poskytuje detailnejšiu informáciu o pevnosti a smere hrany. Operátor sa skladá z dvoch konvolučných masiek G_x a G_y s rozmermi 3x3, ktoré sú voči sebe pootočené o 90° [23].

Absolútna hodnota gradientu je daná vzťahom (8):

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (5.8)$$

Táto hodnota môže byť tiež stanovená za pevnosť hrany $|D|$ vzťahom (9):

$$|D| = |G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (5.9)$$

Uhol orientácie gradientu (vzhľadom na hranice) je daný vzťahom (5.10):

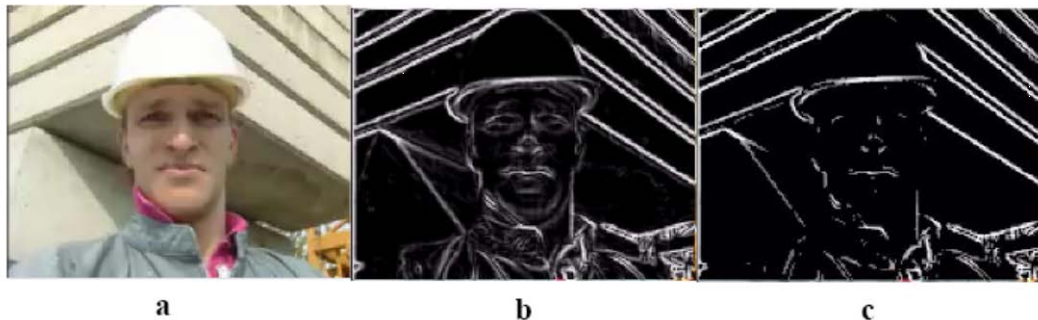
$$\theta_g = \arctan(G_y / G_x) \quad (5.10)$$

Uhol orientácie hrany (vzhľadom na hranice) je daný vzťahom (5.11):

$$\theta_{hrana} = \arctan(G_y / G_x) - \frac{\pi}{2} \quad (5.11)$$

Ak je ku detektoru hrán pridaný filter, Sobelov operátor rozpozná iba dominantné hrany. Všetky ostatné hrany budú odfiltrované. To, ktoré hrany sú dominantné, je definované nastavením prahovej úrovne. Všetky hrany s hodnotami gradientu pod touto úrovňou budú uznané ako hladká oblasť a hrany s hodnotami nad prahovou úrovňou

budú uznané ako dominantné hrany. Na Obr. 5.5c je použitý filter s prahovou úrovňou 100. Všetky hrany s hodnotou pod 100 znázornené na obrázku Obr. 5.5b sú odfiltrované a nahradené čiernymi pixelmi. Sobelov operátor bol použitý na každý pixel v snímke. Biele pixely znázorňujú maximálnu pevnosť hrán a čierna oblasť znázorňuje hladkú oblasť v snímke [23].

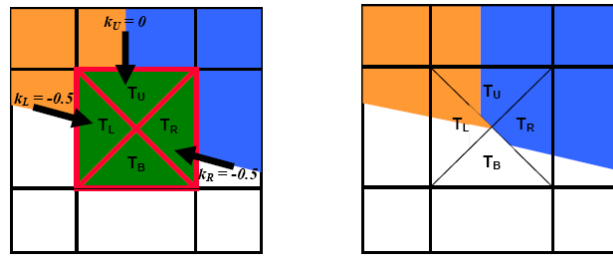


Obr. 5.5 Aplikovanie Sobelovho operátora na snímku a, b, bez použitia filtra c, s použitím filtra ($|G| > 100$).

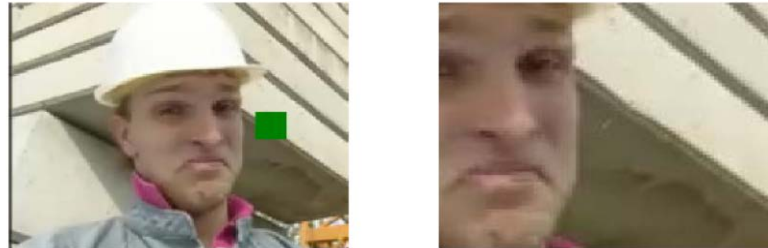
Vyšetrovanie smerového usporiadania $N \times N$ bloku aplikáciou Sobelovho operátora na každý pixel tohto bloku zvyšuje výpočtovú náročnosť procesu detekcie hrán, a to N^2 -krát. Výpočtová náročnosť môže byť znížená vynechaním niektorých pixelov pri zavedení Sobelovho operátora.

Keďže hlavnou úlohou priestorového maskovania chýb založeného na smerovej interpolácii je ochrana hrán na hraniciach chýbajúceho makrobloku, proces detekcie hrán môže byť ohraničený oblasťou blízko hraníc.

Pre každú dominantnú hranu priradíme časť chýbajúceho makrobloku, kde smerová interpolácia je aplikovaná adekvátne ku danému smeru hrany. Prerozdelenie chýbajúceho makrobloku môže byť nezávislé od pevnosti hrany a smerovania. V takomto prípade chýbajúci makroblok je rozdelený na rovnaké časti, ktoré majú rovnaké rozmery a formu. Na Obr. 5.6 je rozdelený chýbajúci makroblok na štyri rovnaké trojuholníky. Každý trojuholník je obnovený interpoláciou chýbajúcich pixelov z pixelov v rámci 1-pixel širokých hraníc v smere detegovanej hrany susediaceho makrobloku. Napríklad chýbajúci horný trojuholník je obnovený interpoláciou chýbajúcich pixelov z pixelov v rámci 1-pixel širokej hornej hranice v smere k_U detegovanej hrany horného susedného makrobloku. Obr. 5.7 znázorňuje realizáciu maskovania chýb smerovou interpoláciou chýbajúceho makrobloku prerozdelením na štyri rovnaké časti. Obr. 11 znázorňuje rozdelenie chýbajúceho makrobloku na štyri a osem rovnakých častí [23] [41].



Obr. 5.6 Rozdelenie makrobloku na štyri rovnaké časti



Obr. 5.7 Obnova poškodeného makrobloku metódou smerovej interpolácie (prerozdelenie makrobloku na štyri rovnaké časti)



Obr. 5.8 Obnova poškodeného makrobloku v snímke a, použitím smerovej interpolácie s presným prerozdelením makrobloku na b, 4 časti c, 8 častí

Ďalšie rozdeľovanie makrobloku na vždy menšie rovnaké časti neznamená automaticky zlepšenie procedúry maskovania chýb [93]. Závisí to od spôsobu rozdeľovania chýbajúceho makrobloku. Často sa to iba zvýši náročnosť výpočtov.

V predchádzajúcom predstavení metód priestorového maskovania chýb sa predpokladalo, že chýbajúci makroblok je obklopený štyrmi makroblokmi. Tiež sa predpokladalo, že štyri susedné makrobloky sú už dekódované bez akýchkoľvek porúch alebo akýchkoľvek strát na pôvodnej kvalite. No tento predpoklad je správny, iba ak sa chýbajúci makroblok nenachádza na okraji snímky a ak maskovanie chýb je uskutočnené po dekódovaní všetkých makroblokov aktuálnej snímky [46]. Posledná požiadavka môže byť splnená, ak aktuálna snímka je typu B alebo P. V prípade snímky typu I tieto požiadavky nemôžu byť splnené, pretože všetky makrobloky nachádzajúce sa vedľa chýbajúceho makrobloku v poradí dekódovania (v smere napravo a dole) sú

závislé na predtým dekodovaných makroblokoch. Tieto makrobloky sú automaticky ovplyvňované (rôznym spôsobom závisiacom na type predikcie použitej na ich zakódovanie) poruchami detegovanými v poškodenom makrobloku, a preto nemôžu byť použité pri maskovaní chýb na obnovu poškodeného makrobloku [23].

Vo všetkých uvedených metódach maskovania chýb v priestorovej oblasti platilo, že estimácia stratených pixelov dosiahne maximálnu hladkosť na hraniciach strateného makrobloku. Stratené pixely blízko neporušených hraníc môžu byť preto maskované lepšie ako tie, ktoré nie sú obklopené neporušenými hranami. Maskovanie chýb priberie viac tých stratených pixelov, ktoré sú vzdialené od neporušených hraníc. Menší počet susediacich makroblokov znamená menší počet zúčastnených pixelov, ktoré môžu byť použité na obnovu chýbajúceho pixelu porušeného makrobloku. Pravdepodobnosť plnej obnovy strateného makrobloku bude teda menšia [23].

Ako už bolo spomenuté, maskovanie chýb strateného makrobloku v snímke typu I smie byť realizované iba počas dekodovania snímky. Stratený makroblok je preto obklopený maximálne dvoma makroblokmi na hornej a ľavej strane. Ak stratený makroblok je prvý makroblok v aktuálnej snímke typu I, počet dostupných susediacich makroblokov je rovný 0. Obnova takéhoto makrobloku nie je možná. Odporúča sa preto použiť bezpečnostné opatrenie na zabezpečenie bezchybného prenosu takýchto makroblokov. Tiež je rozumné použiť režim prerozdelenia snímky a obmedziť tak šírenie priestorových porúch za hranice postihnutého rezu a zvýšiť množstvo neporušených makroblokov okolo chýbajúceho makrobloku v danom reze [23], [41].

5.1.2 Základné metódy maskovania chýb v časovej oblasti

Popri priestorovej korelácii každej videosnímky má tiež videesignál významnú vlastnosť, a tou je korelácia medzi susednými snímkami v čase. Táto redundancia je využívaná pri maskovaní chýb. V nasledujúcich častiach je opísaných niekoľko techník maskovania chýb v časovej oblasti. Metódy sú rozdelené na dve skupiny. Prvá skupina súvisí s poruchami bitového toku inter-snímky. Patrí sem obnova takzvaných doplnkových informácií ako vektory pohybu a čísla referenčných snímok. Druhá skupina súvisí s obnovou úplne zničených makroblokov v intra-snímках aj inter-snímках [45].

5.1.2.1 Obnova doplnkovej informácie inter snímok

Dekodér H.264/AVC využíva v procese dekódovania doplnkovú informáciu inter snímok a DCT koeficienty reziduí. Táto doplnková informácia zahŕňa pohybové vektory, odpovedajúci počet referenčných snímok, či režim predikcie. Strata pohybových vektorov degraduje dekódovaný obraz [16]. Poškodenie sa šíri do nasledujúcich inter-snímok až po najbližšiu dekódovanú intra-snímku.

Pohybový vektor je určený bloku s minimálne 4x4 pixelmi, preto všetky pixely patriace tomu istému 4x4 bloku majú rovnaký pohybový vektor. Ako už bolo spomenuté, H.264/AVC kodér využíva kompresiu informácie pohybového vektora danú rozdielom medzi aktuálnymi pohybovými vektormi a pohybovými vektormi už zakódovaných susediacich makroblokov [54]. Údaj o tom, ktorých susediacich makroblokov sa týka táto rozdielová hodnota, je pridaný ku inej doplnkovej informácii inter snímky. Preto sa strata pohybového vektora makrobloku šíri do nasledujúcich makroblokov v snímke alebo v reze.

Ak sa jedná o videosekvenciu obsahujúcu pomaly sa meniace scény, hodnoty väčšiny pohybových vektorov makrobloku sú blízke 0. Zle interpretované pohybové vektory, ktoré majú hodnotu odlišnú od pôvodnej nulovej hodnoty, môžu spôsobiť posunutie skupiny makroblokov z ich pôvodnej pozície v snímke do všetkých nasledujúcich inter-snímok. Toto posunutie naruší hladkosť v okolí postihnutého makrobloku, čo vedie ku značnému zhoršeniu kvality videa. Najjednoduchší spôsob obnovy stratených pohybových vektorov poškodeného makrobloku je nastaviť ich hodnotu na 0. Nežiaduce vizuálne javy, ktoré by mohli vzniknúť, závisia od detegovaného pohybu. Pre maximálnu hodnotu jedného pixelu na snímku nemôžu byť tieto javy rozpoznateľné, pretože sa vyskytujú na veľmi malej ploche blízko pri sebe [23].

V niektorých situáciách môže byť rozpoznávaný homogénny pohyb všetkých objektov videosnímky. Taká situácia nastane, ak je v pohybe snímajúca kamera. Rozdiel medzi pohybovými vektormi príslušných makroblokov je blízky 0. Tieto odlišné hodnoty sú vyňaté videokompresorom. Zlá interpretácia tejto hodnoty na strane prijímača znamená automaticky zlú interpretáciu aktuálneho pohybového vektora a vedie ku globálnemu posunutiu skupiny makroblokov v aktuálnej snímke [23].

Podobná situácia nastáva aj v prípade súvislého pohybu skupiny makroblokov pohybujúceho sa objektu vo videoscéne. Všetky makrobloky patriace tomuto objektu

majú ten istý pohybový vektor. Prenosová chyba pohybového vektora patriaca prvému dekódovanému makrobloku tejto skupiny môže spôsobiť lokálne posunutie objektu.

V týchto dvoch prípadoch je najjednoduchším spôsobom obnovy pohybových vektorov použitie toho pohybového vektora, s ktorým súvisí poškodený makroblok. To sa dá dosiahnuť nastavením hodnoty pohybového vektora, ktorý bol poškodený poruchou bitového toku na 0. Výsledná hodnota pohybového vektora je taká istá ako referenčná hodnota pohybového vektora. Táto metóda môže byť tiež použitá na videosnímky vo videosekvencii s pomalým pohybom [5].

5.1.2.1.1 *Estimácia pohybu : interpolácia pohybových vektorov*

Vo všeobecnosti je videosekvencia kombináciou scén s pomalým pohybom a scén s rýchlym pohybom. Videoscéna môže tiež obsahovať objekty s odlišným dynamickým obsahom. Preto je potrebné použiť metódy estimácie pohybu, ktoré využívajú hladkosť v priestorovej i časovej oblasti.

Pohybový vektor bloku 4x4 môže byť získaný interpoláciou tejto hodnoty z pohybových vektorov v okolitých makroblochoch [45]. Vzdialenosť medzi blokom 4x4 a okolitým 4x4 blokom môže byť použitý ako činiteľ zaťaženia.

Ako bolo spomenuté, zlá interpretácia pohybového vektora vedie ku posunutiu makrobloku. Hladkosť na hraniciach postihnutého makrobloku už nie je viac splnená. Hladkosť môže byť obnovená nájdením najlepšej pozície makrobloku v referenčnej snímke, kde odlišnosť hodnôt pixelov medzi vonkajšou hranicou postihnutého makrobloku a hranicou nájdeného makrobloku je minimálna. Rozdiel medzi nájdenou pozíciou a súradnicovou pozíciou postihnutého makrobloku tvorí chýbajúci pohybový vektor. Táto metóda sa nazýva metóda zhody hrán (z angl. boundary matching) a bude popísaná v nasledujúcej časti [23].

Ďalšou významnou doplnkovou informáciou inter snímky je číslo referenčnej snímky. Strata tejto informácie môže degradovať kvalitu dekódovaného obrazu nahradením pôvodného bloku iným blokom, ktorý nevyhovuje aktuálnej snímke. Ak má byť pohybový vektor prijatý správne, stratené číslo referenčnej snímky môže byť obnovené prehladávaním všetkých dostupných referenčných snímkov na pozícii indikovanej pohybovým vektorom až pokiaľ nenájdeme blok, ktorý sa hodí do aktuálnej snímky. Táto metóda je pomerne komplikovaná, ak je použitá veľká vyrovnávacia

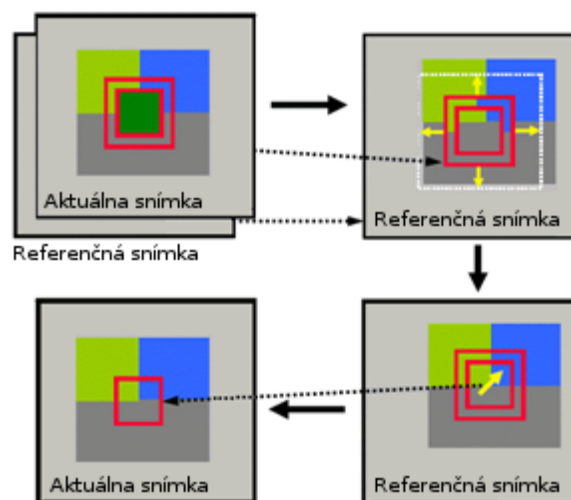
pomáť referenčnej snímke. Proces obnovy môže byť jednoduchší použitím najčastejšie používaných čísel referenčných snímok v susediacich blokoch [23].

5.1.2.1.2 *Estimácia pohybu : zhoda hrán*

Hlavnou úlohou v prípade metódy zhody hrán je hľadanie makrobloku v referenčnej snímke, ktorý vhodne padne do aktuálnej snímky. Mechanizmus vyhľadávania je znázornený na Obr. 5.9 [41].

Červený štvorec reprezentuje 1 pixel široký štvorec okolo postihnutého bloku. Zahŕňa všetky hraničné pixely na každej strane (pravej, ľavej, hornej, dolnej) poškodeného bloku. Tento štvorec je prenesený do referenčnej snímky na tej istej pozícii, na ktorej sa nachádza v aktuálnej snímke. Z tejto pozície sa bude posúvať v 1-pixelových krokoch horizontálne a vertikálne po referenčnej snímke. Táto pozícia bude opakovaná v rámci vyhľadávacieho okna, až kým nie je nájdená maximálna korelácia medzi štvorcem a prekrytou oblasťou [23].

Proces vyhľadávania môže byť zjednodušený použitím len hraničných pixelov na ľavej a hornej strane. Vypočítanie korelácie medzi aktuálnou a referenčnou snímkou použitím tejto zjednodušenej metódy však nie je možné, ak pôsobiaci blok je umiestnený na hraniciach snímky. Najlepšie výsledky dosahuje táto metóda v prípade, ak počet posunutí v oboch smeroch, v horizontálnom i vertikálnom, je čo najväčší. Zabezpečí sa tak čo najpravdepodobnejšie nájdenie zhodnej pozície. To však znamená vyššiu náročnosť na výpočet [23], [41].



Obr. 5.9 Estimácia pohybového vektora vyšetrovaním kritérií metódy zhody hrán po dekódovaní snímky

5.1.2.2 Obnova úplne zničených makroblokov

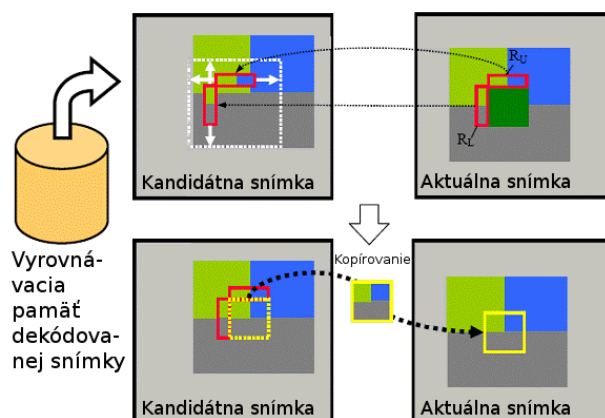
V tejto časti je popísaná obnova úplne zničeného makrobloku. Tento prípad znamená, že všetky informácie patriace poškodenému makrobloku (doplnková informácia intra/inter snímky, ale i reziduá) sú stratené. Metódy maskovania chýb môžu byť použité na obe inter- aj intra-snímky. Využívajú vlastnosť časovej nadväznosti jednotlivých snímkov videosekvencie, zvlášť v prípade scén s pomalým pohybom [23].

5.1.2.2.1 Kopírovanie bez kompenzácie pohybu

Najjednoduchší spôsob využitia časovej korelácie medzi snímkami videosekvencie je nahradenie poškodeného makrobloku priestorovo odpovedajúcim makroblokom z predošlej dekodovanej snímky. Táto metóda je známa ako metóda kopírovania (z angl. copy-paste) [61]. Účinnosť kopírovacieho algoritmu závisí od množstva pohybu v danej videosekvencii. Ak sa maskujú stratené makrobloky vo videosekvencii s minimálnym pohybom, ktorá je charakterizovaná vysokou koreláciou medzi príslušnými snímkami, výsledné maskovanie chýb je takmer dokonalé. V prípade videosekvencie s pohybom však nedochádza k účinnému maskovaniu a vznikajú nežiaduce viditeľné artefakty.

5.1.2.2.2 Kopírovanie s kompenzáciou pohybu – zhoda hrán

Výrazné zlepšenie výslednej kvality môže byť dosiahnuté aplikovaním pohybovej kompenzácie na kopírovaný makroblok. Inak povedané, hľadá sa ten makroblok v odpovedajúcej susednej snímke, ktorý sa najlepšie hodí do chýbajúcej časti aktuálnej snímky. Poškodený makroblok sa nahrádza týmto makroblokom tak, aby neprispôsobenie pozdĺž hraníc bolo minimálne. Na určenie pozície hľadaného bloku je možné použiť mechanizmus vyhľadávania založený na kritériách metódy zhody hrán [1]. Keďže sa v tejto časti opisuje problematika úplne zničených makroblokov, reziduálny signál a všetky ostatné doplnkové informácie (ako číslo referenčnej snímky, pohybové vektory a režim predikcie), nie sú dostupné. Preto sa namiesto použitia referenčných snímkov použijú najzhodnejšie snímky uložené vo vyrovnávacej pamäti dekodovanej snímky. Vypočítané pohybové vektory označujú pozíciu, kde môžeme nájsť makroblok, ktorý sa najlepšie hodí do chýbajúcej časti v aktuálnej snímke. Proces znázorňuje Obr. 5.10 [23], [41].



Obr. 5.10 Kopírovanie s kompenzáciou pohybu založené na metóde zhody hrán
(2D snímanie)



Obr. 5.11 Obnova chýbajúcich makroblokov v snímke typu I (a) použitím algoritmu b, kopírovania bez kompenzácie pohybu c, kopírovania s kompenzáciou pohybu založenom na metóde zhody hrán

Táto metóda môže byť použitá pre maskovanie chýb oboch inter- aj intra-snímok v rovnakom čase. Ako je vidno z Obr. 5.11, algoritmus kopírovania s kompenzáciou pohybu založený na metóde zhody hrán dosahuje značné zlepšenie výslednej kvality v porovnaní s metódou kopírovania bez kompenzácie pohybu.

5.1.2.2.3 *Kopírovanie s kompenzáciou pohybu – zhoda blokov*

Vo všetkých spomínaných prípadoch používame maskovanie chýb založené na metóde zhody hrán len pre vnútorné makrobloky. Pre stratené makrobloky na hranici snímky nie je možné vyšetriť prípad zhody hrán použitím iba jednej hranice. Počas dekódovania snímky má každý makroblok na ľavej a hornej hranici nanajvýš jeden dostupný susediaci makroblok (vľavo alebo nad). Snímanie kandidátnych snímok môže byť preto použité iba vo vertikálnom alebo horizontálnom smere. Zhoda hrán na jednej hranici makrobloku automaticky neznamená, že zhoda hrán na druhej hranici makrobloku je zobrazená v rovnakom čase. Toto obmedzenie môže byť prekonané použitím ďalšieho mechanizmu zlepšujúceho estimáciu pohybu, ktorý vyšetruje

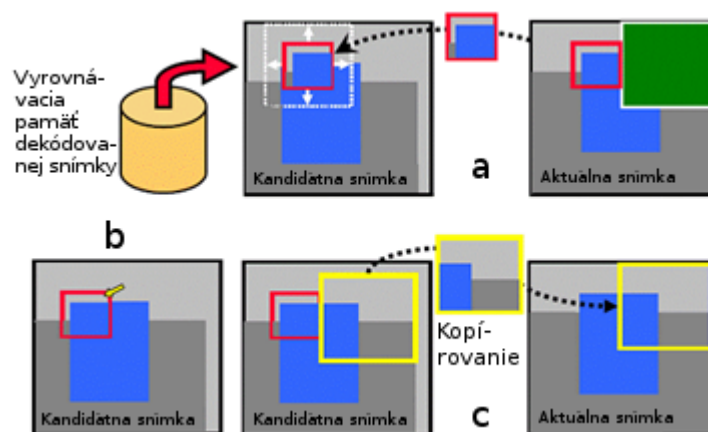
koreláciu medzi blokom susediaceho makrobloku s priestorovo odpovedajúcim blokom v kandidátnej snímke. Obr. 5.12 znázorňuje algoritmus kopírovania s kompenzáciou pohybu založený na metóde zhody blokov (z angl. block matching) [18]. Červenou farbou označené bloky susedného makrobloku majú rozmer $(N-K) \times (N-K)$, kde $N \times N$ je rozmer makrobloku. Tento blok bude prenesený do kandidátnej snímky na tej istej pozícii, v akej sa nachádza v aktuálnej snímke. Z tejto pozície bude premiestnený do inej pozície $(4.K^2)$ v bloku, ktorý je označený bielou farbou [23].

Pozícia (X_c, Y_c) najvhodnejšieho makrobloku v kandidátnej snímke, ktorý nahradí chýbajúci makroblok v aktuálnej snímke, je vypočítaný pomocou vzťahov (12),(13) [41]:

$$X_c = X_a + V_x \quad (5.12)$$

$$Y_c = Y_a + V_y \quad (5.13)$$

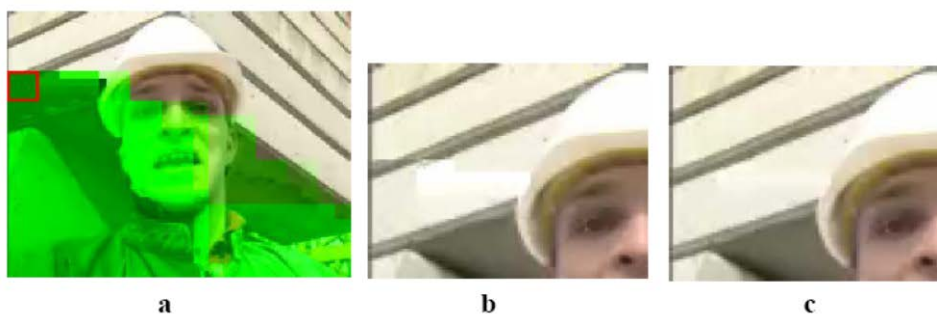
(X_a, Y_a) je pozícia strateného makrobloku.



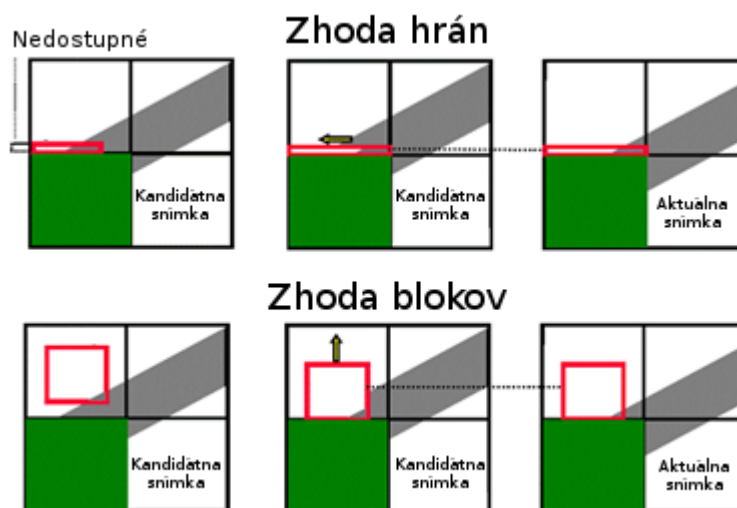
Obr. 5.12 Kopírovanie s kompenzáciou pohybu založené na metóde zhody blokov

Obr. 5.13 znázorňuje obnovu chýbajúceho makrobloku na ľavej hranici snímky. Použité bolo maskovanie chýb založené na metóde zhody hrán (Obr. 5.13b) a na metóde zhody blokov (Obr. 5.13c).

Ako vidno na Obr. 5.13b, obnovený makroblok nie je pohybovo kompenzovaný. Stále nie je vhodný do aktuálnej snímky. To vedie ku degradácii kvality v okolí obnovovaného makrobloku. Scéna v danej snímke bola natočená kamerou, ktorá sa pohybuje vertikálne, v smere zhora nadol. Použitie iba hornej hranice na estimáciu vertikálneho pohybu nie je možné. Proces zhody hrán zaznamená posunutie o 5 krokov, čo znamená, že časť makrobloku, ktorá musí byť kopírovaná na nahradenie strateného makrobloku, nie je dostupná (pozri Obr. 5.14)[23], [41].



Obr. 5.13 Obnova chýbajúceho makrobloku v snímke typu I (a) použitím algoritmu kopírovania s kompenzáciou pohybu založeného na b, metóde zhody hrán c, metóde zhody blokov



Obr. 5.14 Estimácia pohybu na ľavej hranici snímky

Tejto poruche sa zabráni použitím metódy zhody blokov. Ako vidno na Obr. 5.13c, metóda dosiahla estimáciu oboch pohybov - vertikálneho i horizontálneho, čo zlepšilo výslednú kvalitu snímky. V snímkach s veľkým množstvom rôznych detailov prináša prerozdelenie strateného makrobloku vylepšenie metódy maskovania chýb založenej na tejto metóde [23].

5.1.2.3 Image/Video “inpainting” – metóda dokresľovania obrazu/videa

Určitú špecifickú skupinu metód maskovania chýb tvoria metódy takzvaného dokresľovania obrazu/videa [6]. Digitálne dokresľovanie zohráva kľúčovú úlohu pri obnove digitálneho videa. Napríklad únik signálu počas prenosu kódovaného videa zašumeným kanálom môže viesť k stratám paketov, čo spôsobí výrazné poškodenie prenášaných dát. Zálohované filmy a videá sú tiež vystavené chemickým a fyzickým

vplyvom ako aj okolitým prírodným podmienkam, čo spôsobí stratu vizuálnej informácie a vznik rušivých artefaktov v danom digitálnom obsahu [58].

Dokresľovanie videa sa vzťahuje na oblasť počítačového videnia, ktorého cieľom je odstrániť objekty alebo obnoviť chýbajúce alebo chybné oblasti videosekvencie použitím priestorovej a časovej informácie zo susedných scén.

Záujem o dokresľovanie videa značne vzrástol v posledných niekoľkých rokoch vďaka rôznym dôležitým aplikáciám. Medzi kľúčové aplikácie patrí :

- *Odstránenie nežiaducich objektov* : niektoré statické a dynamické objekty nemusia byť žiaduce, napríklad ak režisér zmení svoj názor po natočení nejakej videoscény alebo ak bolo nevhodné alebo nemožné odstrániť objekty počas počítačového nakrúcania (napríklad ak lietadlo preletelo na oblohe počas nakrúcania scény z 18. storočia) [7].

- *Modifikácia príbehu* : algoritmus dokresľovania videa môže byť použitý aj na zmeny správania jednotlivých objektov vo videu, napríklad na cenzúru gest alebo skutkov nevhodných pre cieľové publikum, kedy by bolo nemožné alebo príliš nákladné danú scénu natočiť znova.

- *Obnova videa* : Video môže byť poškodené rôznymi škrabancami spôsobenými prachom alebo jednoducho môžu byť poškodené jednotlivé snímky. Je tiež možné, že počas prenosu cez nezabezpečené prostredie dôjde ku strate informácie týkajúcej sa značnej časti snímky. Aby bolo možné si pozrieť video znovu v pôvodnom tvare, je nevyhnutné obnoviť tieto zničené časti scény aspoň do miery akceptovateľnej pre nedokonalé ľudské oko.

Tieto procesy sú často využívané profesionálmi manuálnym spôsobom, čo je nielen pomalé, ale aj finančne náročnejšie. Preto akékoľvek prostriedky automatizácie sú prínosom aj pre komerčné organizácie, ako napríklad vysielacie a filmové štúdiá, ale aj pre súkromné osoby na úpravu a udržiavanie kvality ich videozbierky [71].

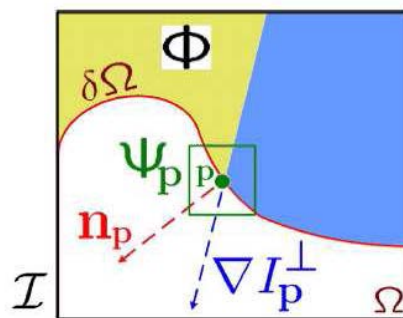
5.1.2.4 Dokresľovanie blokujúcich a blokovaných objektov vo videu

Rozlišujeme dva základné prípady. Prvý prípad súvisí s odstránením nestacionárnych objektov, ktoré blokujú stacionárne pozadie. Druhým a náročnejším prípadom je dopĺňanie pohybujúcich sa objektov, ktoré sú čiastočne blokované [69]. V takom prípade sa najskôr uskutoční dokreslenie blokovaných pohybujúcich sa objektov a následne dokreslenie chýbajúcej oblasti stacionárnym pozadím. Dokreslenie

pohybujúceho sa objektu je realizované pomocou kopírovania takzvanej “záplaty“ z nepoškodených snímok. Kopírovanie je nezávislé na pozadí pohybujúcich sa objektov oboch snímok. Tento proces má uplatnenie v rôznych aplikáciách ako sú špeciálne videoefekty alebo obnova, prípadne vylepšenie poškodeného videa.

5.1.2.4.1.1 Dokresľovanie oblastí a odstránenie objektov

Algoritmus dvojrozmernej syntézy textúr realizuje výber oblasti Ω v obrázku, ktorý bude odstránený a dokreslený. Zdrojová oblasť, resp. Φ je definovaná ako celý obrázok mínus cieľová dokresľovaná oblasť, resp. $\Phi = I - \Omega$, kde I reprezentuje oblasť záujmu. Obr. 5.15 ilustruje hlavné parametre používané algoritmom.



Obr. 5.15 Hlavné parametre používané algoritmom

Ψ_p označuje dokresľovanú záplatu, n_p je kolmica na obrys $\delta\Omega$ cieľovej oblasti Ω , I označuje celý obrázok [7]. Ako znázorňuje Obr. 5.15, cieľová oblasť, v ktorej bude realizované dokreslenie, je označená Ω s jej obrysom $\delta\Omega$. Tento obrys sa pohybuje v smere dovnútra, počas realizácie algoritmu syntézy textúr. Je použitý najlepší možný postup na vyplnenie požadovanej oblasti, a to výpočet priorít. Výpočet týchto priorít sprevádzajú dve kľúčové myšlienky :

- 1, Sú uprednostnené záplaty na ostré hrany
- 2, Sú uprednostnené tie záplaty, ktoré sú obklopené významnými pixelmi (z pohľadu ich hodnôt).

Priorita $P(p)$ tejto záplaty Ψ_p je definovaná v (14) :

$$P(p) = C(p)D(p) \quad (5.14)$$

$C(p)$ je takzvaný dôverný člen a $D(p)$ je dátový člen. Intuitívne tak dôverný člen reprezentuje spoľahlivosť informácie obklopujúcej pixel p . Záplaty sú považované za spoľahlivé, ak je splnené jedno alebo viacero z nasledujúcich kritérií :

- 1, Je dokreslených už viacero pixelov v príslušnej záplate

2, Pixely v záplatach boli vyplnené v skoršom štádiu implementácie algoritmu

3, Záplaty obsahujú pixely, ktoré neboli počiatočnou súčasťou cieľovej oblasti

Naproti tomu dátový člen dáva prioritu najskôr na dokresľovanie lineárnych štruktúr (napríklad ľudia pred textúrami). Matematicky je to vyjadrené vo vzťahoch (5.15) a (5.16) :

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \Psi_p} \alpha}{|\Psi_p|} \quad (5.15)$$

$$D(p) = \frac{|\nabla I|}{n_p} \quad (5.16)$$

$|\Psi_p|$ je oblasť Ψ_p , α je normalizačná konštanta, n_p je jednotkový vektor ortogonálny na hranicu $\delta\Omega$ v bode p . Záplata je pridružená ku každému bodu na hranici.

Algoritmus šíri dáta zo zdrojovej záplaty ku cieľovej, kde cieľová záplata je tá záplata, ktorá má najvyššiu vypočítanú prioritu p použitím vzťahu (5.15). Zdrojová záplata je nájdená aplikovaním miery vzdialenosti na stanovenie podobnosti medzi záplatami zo zdrojovej oblasti a cieľovou záplatou. Záplata v zdrojovej oblasti, ktorá má najvyššiu podobnosť so záplatou v cieľovej oblasti je vybraná pre kopírovanie do cieľovej oblasti [58].

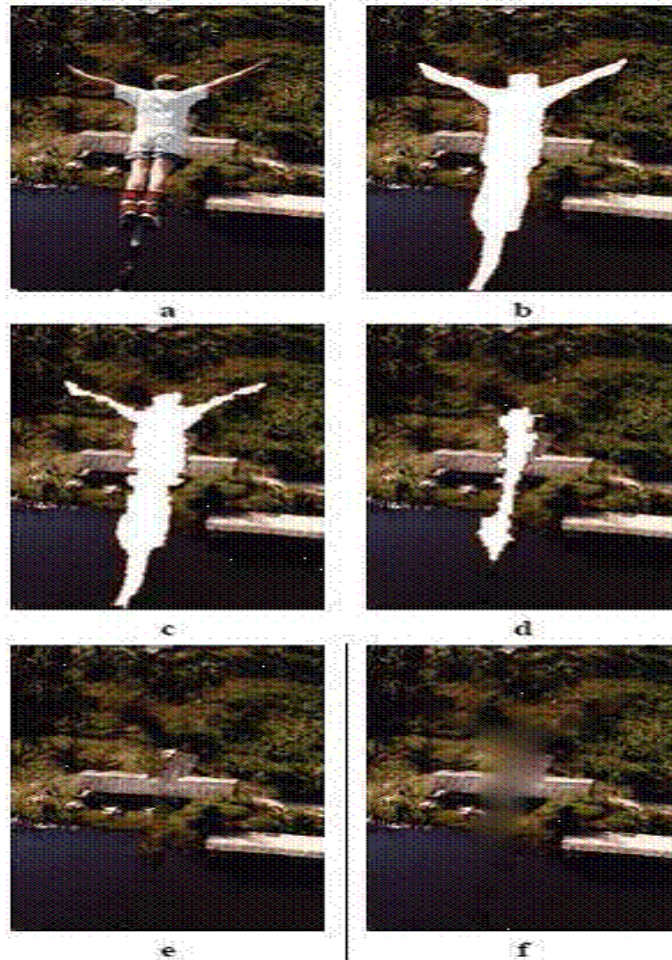
Ak je kopírovanie zrealizované, významné hodnoty všetkých pixelov na priesečníku cieľovej oblasti a oblasti zakrytej záplatou sú následne nastavené na významnú hodnotu s najvyššou prioritou. Algoritmus pokračuje týmto spôsobom až dovtedy, kým nie je v požadovanej oblasti zrealizované dokreslenie. Obr. 19 ilustruje proces dokreslenia na vybranej snímke.

5.1.2.4.1.2 Dokresľovanie statického pozadia

Algoritmus dokreslenia statického pozadia najskôr priradí podľa dôležitosti jednotlivých pixelov v každej snímke hodnoty. Hodnota 0 je priradená pixelom reprezentujúcich pohybujúce sa objekty v popredí a poškodené pixely, hodnota 1 je priradená ostatným pixelom [29].

Na Obr. 5.16(a) je znázornený originálny neupravovaný obrázok. Obr. 5.16(b) znázorňuje cieľovú oblasť bielou farbou, na ktorú bude implementované dokresľovanie, Obr. 5.16(c) a Obr. 5.16(d) ukazujú rôzne štádiá dokresľovania s konečným výsledkom

znázorneným na Obr. 5.16(e). Obr. 5.16(f) znázorňuje konkurenčný algoritmus, ktorý nie je taký efektívny vzhľadom ku nedokonalnej syntéze textúr [58].



Obr. 5.16 Proces dokresľovania na vybranej snímke

Ako protiklad ku dátovým členom vo vzťahu (17) boli špecificky navrhnuté modifikované dátové členy na meranie prebytku časovej informácie na pozícii p . Je to dané vzťahom (5.17) :

$$D(p) = \frac{\sum_{p \in \delta \Omega, t = -\delta n \dots \delta n} \delta \Omega_t}{\beta} \quad (5.17)$$

Kde M_t je nastavené na 0, ak je p poškodené, inak je nastavené na hodnotu 1. Parameter t meria relatívnu pozíciu akejkoľvek snímky z aktuálnej snímky, ktorá pripadá do úvahy, β je normalizačná konštanta a n je počet predchádzajúcich a nasledujúcich snímok videa.

Vzťah (15) je použitý na výpočet priority pixelov p , s výslednou prioritou označujúcou snímku a pixel, ktorý bude doplnený ako prvý s informáciou o pozadí. Tie záplaty v rámci najbližších časových lokalít (napríklad snímka) aktuálnej snímky s najvyšším

významom, sú kopírované do pozície p . Tento proces je opakovaný, kým $D(p)=0$, čo indikuje, že žiadna ďalšia časová informácia nie je dostupná na kopírovanie.

V tomto štádiu bude diera nájdená na tej istej pozícii vo všetkých snímkach videa. Priestorové dopĺňanie dier potom pokračuje podľa vzťahu (17) – je nájdená pozícia s najvyššou prioritou a najzhodnejšia záplata z tejto oblasti je potom kopírovaná na nahradenie dier vo všetkých snímkach, čím sa zabezpečí konzistentné pozadie v celej sekvencii [47]. Obr. 5.17 znázorňuje príklad doplnenia statického pozadia vo videu.



Obr. 5.17 Príklad doplnenia statického pozadia vo videu

5.1.2.4.1.3 Dokresľovanie objektov pohybujúcich sa v popredí

Jedná sa o proces dokresľovania pohybujúceho sa objektu, ktorý je čiastočne blokovaný iným statickým alebo pohybujúcim sa objektom. Algoritmus najskôr identifikuje oblasti s najvyššou prioritou na dokresľovanie. Táto priorita je vypočítaná opäť použitím vzťahu (15), no s pozmeneným dátovým členom definovaným vzťahom (18) [58] :

$$D(p) = \frac{|\nabla M_C^1|}{\alpha} \quad D(p) = \frac{|\nabla M_C^1|}{\alpha} \quad (18)$$

M_C označuje takzvaný pohybovo významný objekt. Jeho hodnota je 0, ak pixel p patrí statickému pozadiu alebo 1, ak pixel patrí pohybujúcemu sa objektu v popredí. Suma štvorcov vzdialeností (SSD) je potom použitá na nájdenie najzhodnejšej záplaty spomedzi ostatných snímkov videa [47]. SSD je vypočítané pre záplatu, ktorá bude doplnená, ako aj pre takzvané kandidátne záplaty pre nahradenie. Priorita nepohybujúcich sa pixelov v skopírovanej záplate je v tomto kroku nastavená na 0.

5.2 Porovnanie jednotlivých metód maskovania

Aby bolo možné vybrať ten najvhodnejší algoritmus maskovania pre konkrétny scenár, je dôležité porovnať jednotlivé metódy z hľadiska možnosti nasadenia, kvality rekonštrukcie, či náročnosti na výpočet [61].

V literatúrach zaoberajúcich sa maskovaním chýba regulárne porovnanie týchto metód. Väčšinou je novonavrhnutá metóda porovnaná len s konkrétnou existujúcou metódou maskovania chýb pracujúcom na podobnom princípe. Je to spôsobené najmä veľkým množstvom existujúcich techník maskovania. Na objektívne ohodnotenie jednotlivých metód maskovania sa využívajú najmä objektívne metriky hodnotenia kvality. Na uskutočnenie hodnoverného porovnania by však museli byť všetky metódy maskovania chýb realizované počas dekódovacieho procesu [41]. To si vyžaduje použitie rovnakej postupnosti oboch inter- i intra-snímkov. Znamená to, že proces obnovy chýbajúceho makrobloku využíva iba informácie z predošlých dekódovaných makroblokov.

Výpočtovú náročnosť je veľmi náročné porovnávať, pretože závisí predovšetkým od implementácie. Dosiahnutá náročnosť je založená na množstve dostupných dát. Objektívnou metódou porovnania by bolo použitie počítačovej resp. počítača, ktorý by počítal, koľkokrát program používal premennú na vykonanie rôznych operácií [41].

5.3 Zoznam použitej literatúry

- [1] AL-MUALLA, M.E. – CANAGARAJAH, C.N. – BULL, D.R.: Video Coding for Mobile Communications – Efficiency, Complexity and Resilience, *Academic Press*, 2002
- [2] APOSTOLOPOULOS, G.J. – TAN, W. – WEE, S.: Video streaming: Concepts, Algorithms, and Systems. *Technical report*, HP Laboratories, 2002
- [3] ATZORI, L. – NATALE, F.G.B.D. – PERRA, C.: A spatio-temporal concealment technique using boundary matching algorithm and mesh-based warping (bma-mbw), *IEEE Transactions on Multimedia*, 2001, vol.3, no.3, s.326–338
- [4] AZIZ, H.M. – GRAHN, H. – LUNDBERG, L.: Eliminating the freezing frames for the mobile user over unreliable wireless networks. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Technology, Application and Systems, Mobility '09*, pp.1-4, 2009
- [5] BELFIORE, S. – GRANGETTO, M. – OLMO, G.: An error concealment algorithm for streaming video, in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, September 2003, s. 649–652

-
- [6] BERTALMIO, M. et al.: Simultaneous structure and texture image inpainting, *IEEE Transactions on Image Processing*, 2003, vol. 12, s. 882-889
- [7] BERTALMIO, M. et al.: Image Inpainting, Electrical and Computer Engineering and University of Minnesota, Escola Superior Politecnica, Universitat Pompeu Fabra, IMA Preprint series, June 2009
- [8] CASTELLA, C.T.: RLC based Distortion Model for H.264 Video Streaming, Vienna University of Technology, June 2006.
- [9] DAN, G.: Internet Video Transmission, *Doctoral Thesis*, Department of Signals and Systems, KTH, Stockholm, Sweden, 2/2006
- [10] DE SIMONE, F. et al.: H.264/AVC video database for the evaluation of quality metrics. In: *Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), 2010, IEEE International Conference on*, s. 2430-2433, 2010
- [11] DHONDT, Y. – LAMBERT, P. – VAN DE WALLE, R.: Flexible Macroblock Ordering an error resilience tool in H.264/AVC, *Fifth FTW PhD Symposium, Faculty of Engineering, Ghent University*, December 2004, s. 1-2.
- [12] DOVROLIS, C. – TULL, D. – RAMANATHAN, P.: Hybrid Spatial/Temporal Loss Concealment for Packet Video, s. 1 – 9. Dostupné na internete: <<http://www.static.cc.gatech.edu/~dovrolis/PV99/pv99.html>>.
- [13] Error detection for packet video, EDV Orientierte Projektarbeit, TU Wien, dostupné na internete : http://www.nt.tuwien.ac.at/rapid_prototyping/
- [14] FFMPEG. Dostupné na: <http://www.ffmpeg.org>
- [15] FORTE, G.C. : Robust Error Detection for H.264/AVC Using Relation Based Fragile Watermarking, Universitat Politecnica de Catalunya, *Diploma thesis*.
- [16] GAMCOVÁ, M: Číslíkové filtre pre obnovu poškodených vektorov pohybu, *Písomná práca ku dizertačnej skúške*, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, 2003
- [17] GARCIA, B.L. : Segmentation of Sport Video Sequences, *Diploma thesis*, Vienna University of Technology, October 2005
- [18] GENNARI, G. – MIAN, G. A. – CELETTO, L. : A H.264 Robust decoder for wireless environment, Department of Information Engineering, University of Padova, 35131 Padova Italy.
- [19] GENNARI, G. – MIAN, G. A. – CELLETO, L.: A H.264 decoder robust to transmission errors, in *Proceedings of EUSIPCO 2003*, Toulouse, September 2003
- [20] GIROD, B. – Farber, N.: Feedback-based error control for mobile video transmission, in *Proc. IEEE*, vol. 87(10), 1999, s. 1707-1723.
- [21] HEMMINGER, S.: Network emulation with NetEm, *Open Source Development Lab*, April 2005.
-

-
- [22] HRUŠOVSKÝ, B. – MOCHNÁČ, J. – MARCHEVSKÝ, S.: Error concealment method based on motion vector prediction using particle filters, In: *Radioengineering*. Vol. 20, no. 3 (2011), p. 692-702. - ISSN 1210-2512
- [23] HRUŠOVSKÝ, B.: Metódy maskovania chýb spôsobených prenosom videotokov cez bezdrôtové prostredie, *Diplomová práca*, Technická univerzita Košice, 2009
- [24] HRUŠOVSKÝ, B.: Návrh a implementácia algoritmov pre maskovanie chýb prenášaných snímok v bezdrôtovom prostredí, *Písomná práca k dizertačnej skúške*, Technická univerzita Košice, 2010
- [25] HRUŠOVSKÝ, B. – MOCHNÁČ, J. – MARCHEVSKÝ, S.: Temporal-spatial error concealment algorithm for Intra-frames in H.264/AVC coded video, in *Proc. of 19th international conference Radioelektronika 2010*, Brno, Czech Republic, 2010, s. 1 – 4. ISBN 978-1-4244-6320-6.
- [26] HRUŠOVSKÝ, B. – MARCHEVSKÝ, S. – LIPTAJ, M.: Prehľad základných metód maskovania stratených paketov v priestorovej oblasti pri prenose videa zašumeným prostredím, In: *Electrical Engineering and Informatics 2 : Proceeding of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice*. - Košice : FEI TU, 2011 S. 125-130. - ISBN 978-80-553-0611-7
- [27] HUDEC, R. – BOJMIR, M. – BENCO, M.: Video concealment method using detection of damaged watermarks in frequency domain, *RTT 2010* september 2010, Velké Losiny, Czech Republic, ISBN 978-80-248-2261-7, (Thomson Reuters)
- [28] HUSZAK, A. – IMRE, S.: Analysing GOP structure and packet loss effects on error propagation in MPEG-4 video streams. In: *4th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP)*, s.1-5, 2010
- [29] CHEN, L.Y. – CHAN, S.C. – SHUM, H.Y. : A Joint Motion-Image Inpainting Method for Error Concealment in Video Coding, The University of Hong Kong, ICIP, 2006
- [30] CHEN, M. J. – CHEN, C. S. – CHI, M. C: Recursive block-matching principle for error concealment algorithm, in *International Symposium on Circuits and Systems*, Máj 2003, s. II-528 – II-531.
- [31] CHIARALUCE, F. et al.: Performance evaluation of error concealment techniques in H.264 video coding, *Proc. Picture Coding Symposium (PCS) 2004*, San Francisco, CA, 15-17 December 2004, s. 15-17
- [32] CHOI, L.U. et al.: Analysis of distortion due to packet loss in streaming video transmission over wireless communication links. In: *IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 189-192, 2005
- [33] ITU-T: Advanced video coding for generic audiovisual services, Series H: Audiovisual and Multimedia Systems-Infrastructure of audiovisual services-Coding of moving video, ITU-T Recommendation H.264, 11/2007
-

-
- [34] JM Reference software. Dostupné na internete: <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/>.
- [35] JURGELIONIS, A. et al.: An Empirical Study of NetEm Network Emulation Functionalities, Computer Communications and Networks (ICCCN), 2011 Proceedings of 20th International Conference on, 31.July-4 August 2011.
- [36] KARLSSON, L.S: Spatio-temporal pre-processing methods for region-of-interest video coding, Department of Information Technology and Media, Mid Sweden University, *Licenciate Thesis No.21*, Sundsvall, Sweden, 2007
- [37] KARNER, W. et al.: Link Error Analysis and Modeling for Video Streaming Cross-Layer Design in UMTS Mobile Communication Networks, *Dissertation thesis*, Vienna University of Technology, December 2007
- [38] KARNER, W. – NEMETHOVA, O. – RUPP, M. : The Impact of Link Error Modeling on the Quality of Streamed Video in Wireless Networks, *ISWCS, Third International Symposium*, September 2006
- [39] KAUP, A. – MEISINGER, K. – AACH, T.: Frequency selective signal extrapolation with applications to error concealment in image communication, *in International Journal of Electronics and Communications*, 2005, vol. 41, no. 12, s. 147 – 156.
- [40] KELLY, B.: Quality of Service in Internet Protocol (IP) Networks. Wainhouse Research, 2002
- [41] KOCAN, P. – MOCHNÁČ, J.: Mobile wireless clients streaming, *in Proc. of 9th Scientific Conference of Young Researchers – SCYR 2009*, Košice, Slovak Republic, 2009, s. 176 – 178. ISBN 978-80-553-0178-5.
- [42] KUNG, W.Y. – KIM, Ch.S. – C.JAY KUO, C. : A Spatial-Domain Error Concealment Method with Edge Recovery and Selective Directional Interpolation, dostupné na: <http://www.icme2003.com>.
- [43] KWOK, W. – SUN, H.: Multi-directional Interpolation For Spatial Error Concealment, *in Proceedings Of ICCE 1993*, Jún 1993, s. 220–221.
- [44] LAGUNAS, O.A.G.: Analysis of H.264 Sensitivity to Packet Loss and Delay Variation, *Master thesis*, School of Computing, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden, 2010
- [45] LAM, W. – REIBMAN, A. R. – LIU, B.: Recovery of lost or erroneously received motion vectors, *in Proc. ICASSP'93*, Minneapolis, Apríl 1993, s. V417–V420.
- [46] LEE, Y.X.: A Hybrid Video Error Concealment Algorithm with Data Reuse Approach, A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of master of science in Electrical Engineering, 7/2003
- [47] LEVIN, A. – ZOMET, A. – WEISS, Y.: Learning how to inpaint from global image statistics, *in 9th IEEE International Conference on ComputerVision*, 2003, vol. 1, s. 305-312.
-

-
- [48] LIN, T.L. et al.: A versatile model for packet loss visibility and its application to packet prioritization. In: *IEEE Transaction on Image Processing*, 19(3) :722-735, 2010
- [49] LOGUINOV, D. – RADHA, H.: Measurement study of low-bitrate internet video streaming. In: *Proceedings of the 1st ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement*, pp. 281-293, 2001
- [50] LSI Logic Corporation : H.264/MPEG-4 AVC Video Compression Tutorial, dostupný na internete http://asicfpga.com/site_upgrade/asicfpga/pds/image_pds_files/H.264_MPEG4_Tutorial.pdf
- [51] MARPE, D. – WIEGAND, T. – SULLIVAN, G. J.: The H.264 / MPEG4 Advanced Video Coding Standard and its Applications, *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, no. 8, August 2006, s. 134-144.
- [52] MOCHNÁČ, J.: Hybridný priestorovo-časový algoritmus maskovania strát vznikajúcich pri paketovo orientovaných internetových videoslužbách. *Diplomová práca*, Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2007. 75 s
- [53] MOCHNÁČ, J.: Metóda maskovania chýb založená na predikcii pohybových vektorov prostredníctvom čiastkových filtrov. *Dizertačná práca*, Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2010. 154 s
- [54] MOCHNÁČ, J. – KOCAN, P.: Performance evaluation of error resilience and error concealment in H.264, in *Proc. of 9th Scientific Conference of Young Researchers - SCYR 2009*, Košice, Slovak Republic, 2009, s. 64 – 65. ISBN 978-80-553-0178-5.
- [55] MOCHNÁČ, J. – MARCHEVSKÝ, S. – KOCAN, P.: Simulation of packet losses in video transfers using real-time transport protocol, in *Proc. of 19th international conference Radioelektronika 2010*, Brno, Czech Republic, 2010, s. 1 – 4. ISBN 978-1-4244-6320-6.
- [56] MOCHNÁČ, J. – KOCAN, P. – HRUŠOVSKÝ, B.: Packet loss modeling, in *Proc. of 10th Scientific Conference of Young Researchers – SCYR 2010*, Košice, Slovak Republic, 2010, s. 288 – 289. ISBN 978-80-553-0423-6.
- [57] MOCHNÁČ, J. – MARCHEVSKÝ, S.: Error concealment scheme implemented in H.264/AVC, in *Proc. of 50th International Symposium ELMAR-2008 (Croatian Society Electronics in Marine)*, Zadar, Croatia, 2008, s. 13 - 16. ISBN 978-953-7044-08-4.
- [58] MORAN, S. : Video Inpainting, University of Cambridge, April 2009
- [59] MOŠČÁK, T.: Maskovanie chýb videotokov na báze Markovových polí, *Bakalárska práca*. Košice, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2010, s. 1 - 41.
-

-
- [60] NASIOPOULOS, P. et al.: An Improved Error Concealment Algorithm for Intra-frames in H.264/AVC. Department of Electrical and Computer Engineering. The University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada
- [61] NEMETHOVA, Olivia: Error Resilient Transmission of Video Streaming over Wireless Mobile Network, *Dissertation thesis*, Wien, May, 2007
- [62] NEMETHOVA, Olivia: Error concealment methods for video transmission over wireless networks. *Diploma thesis*. Wien: Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik, Máj 2005 86s.
- [63] NEMETHOVA, Olivia – AL-MOGHRABI, Ameen – RUPP, Markus: Flexible error concealment for H.264 based on directional interpolation. TU Wien, Institute of Communications and RF Engineering Gusshausstrasse 25/389, Wien, Austria, Jún 2005
- [64] NEMETHOVA, O. – CANADAS, J. – RUPP, M.: Improved Detection for H.264 Encoded Video Sequences over Mobile Networks, in *Proc. of Int. Symp. on Communication Theory and Applications (ISCTA)*, Ambleside, UK, Júl 2005, s. 343 – 348
- [65] NEMETHOVA, O. – MOGHRABI, A.A. – RUPP, M : An Adaptive Error Concealment Mechanism for H.264/AVC Encoded Low-Resolution Video Streaming, *14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, September 4-8, 2006, Florence, Italy
- [66] OMNIVERGENT communication corp.: Insuring UDP security, Proprietary Information and Privacy Statement. - Page 1 of 4.
- [67] OSTERMANN, J. et al.: Video coding with H.264/AVC: tools, performance and complexity, *IEEE Cir. Syst. For Video Technol. Mag.*, vol. 4, 2004, s.7-28.
- [68] PECÚCH, M.: Bezdrôtové senzorové siete, *Diplomová práca*, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, UK v Bratislave, 2010
- [69] PHILL, M. – LIYONG, CH. : Joint Image/Video Inpainting for Error Concealment in Video Coding, The University of Hong Kong, December 2009
- [70] POLEC, J. – KARLUBÍKOVÁ: Stochastické modely v telekomunikáciách 1., 1999, ISBN 80-968125-0-5.
- [71] RAGHAVENDRA, K. : Video Inpainting and Object Separation, Indian Institute of Technology, KANPUR, December 2009
- [72] RICHARDSON, I.E.G. : H.264 and MPEG-4 Video Compression, The Robert Gordon University, Aberdeen, UK, 2003
- [73] RICHARDSON, I.E.G. : The H.264-Advanced Video Compression Standard, 2nd-ed., John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, UK, 2010
- [74] RICHARDSON, I.E.G. : White paper: An overview of H.264 Advanced Video Coding, Onecodec.com–the future of video coding, Vcodex/Onecodec, 2007-2011

-
- [75] RIES, M. – NEMETHOVA, O. – RUPP, M. : Motion Based Reference-free Quality Estimation for H.264/AVC Video Streaming, *ISWPC, Second International Symposium on*, February 2007
- [76] RIES, M. – NEMETHOVA, O. – RUPP, M. : Video quality estimation for mobile H.264/AVC video streaming. In: *Journal of Communications*, 3(1): 41-50, 2008.
- [77] RODRIGUES, E. : Robust Error Detection Methods for H.264/AVC Videos, Technical University of Vienna, Vienna, 2008
- [78] RODRIGUES, J. C. : Improved Error Detection in H.264 Encoded Video Stream for Mobile Networks, Vienna University of Technology, January 2004
- [79] RODRIGUES, E.R. et al.: Performance of Watermarking as an Error Detection Mechanism for Corrupted H.264/AVC Video Sequences, *17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2009)* Glasgow, Scotland, August 24-28, 2009
- [80] RUPP, M.: Video and Multimedia Transmission over Cellular Networks – Analysis, Modelling and Optimization in Live 3G Mobile Communications, Vienna University of Technology, Austria, May 2009
- [81] SALSANO, S. – LUDOVICI, F. – ORDINE, A.: Definition of a general and intuitive loss model for packet networks and its implementation in the Netem module in the Linux kernel, University of Roma “Tor Vergata“, september 2010, dostupné na <http://netgroup.uniroma2.it/TR/TR-loss-netem.pdf>.
- [82] SHAIKH, J. et al.: Evaluation of delay performance of traffic shapers. In: *Second International Workshop on Security and Communication Networks*, pp. 1-8, 2010
- [83] SHIRANI, S. – KOSENTINI, F. – WARD, R.: A concealment method for video communications in an error-prone environment, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, vol. 18, s. 1122-1128
- [84] SCHOLZ, V.: New Editing Techniques for Video Post-processing, *Dissertation*, Max Planck Institute, Saarbrücken, 2007
- [85] SPIROU, S.: Packet reordering effects on the subjective quality of broadband digital television, pp. 1-6, 2006
- [86] STOCKHAMMER, T. – HANNUKSELA, M.M. – WIEGAND, T.: H.264/AVC in wireless environment. In: *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 13(7): 657-663, 2003
- [87] SUPERIORI, L. – NEMETHOVA, O. – RUPP, M. : Performance of a H.264/AVC Error Detection Algorithm Based on Syntax Analysis, *Proc. of Int. Conf. on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM)*, Yogyakarta, Indonesia, Dec. 2006.
- [88] SUPERIORI, L. et al.: Content-aware Scheduling for Video Streaming over HSDPA networks, *IWCLD-Second International Workshop*, 2009
- [89] THOMOS, N. et al.: Error-Resilient Transmission of H.264/AVC Streams Using Flexible Macroblock Ordering, in *Proc. of the 2nd European Workshop on the*
-

-
- Integration of Knowledge, Semantic, and Digital Media Techniques*, EWIMT05, London, UK, November 2005, s.183 – 189.
- [90] TODOLI, I.C. : Performance of Error Concealment Methods for Wireless Video, *Diploma thesis*, Vienna University of Technology, February 2006
- [91] VASSILIOU, V. et al.: Requirements for the transmission of streaming video in mobile wireless networks. In: *Artificial Neural Networks ICANN 2006*, volume 4132 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 528-537, 2006
- [92] VideoLAN. Dostupné na: <http://www.videolan.org/vlc/>
- [93] WANG, Y. - ZHU, Q.F.: Error Control and Concealment for Video Communication - A Review, *Proceedings of the IEEE*, Dept. of Electr. Eng., Polytech. Univ., Brooklyn, NY, May 1998, vol. 86, pp. 974-997
- [94] WANG, Y. - ZHU, Q.F. – SHAW, L.: Maximally smooth image recovery in transform coding, *IEEE Trans. Commun.*, vol. 41, Október. 1993, s. 1544–1551.
- [95] WEIDMANN, C. – NEMETHOVA, O. : Improved Sequential Decoding of H.264 Video with VLC Resynchronization, Vienna University of Technology, *Proc. of IST Mobile Summit 2006*, Mykonos, Greece, 4-8 June 2006
- [96] WEIDMANN, et al.: “Combined Sequential Decoding and Error Concealment of H.264”, *Proceedings of IEEE MMSP’04 workshop*, 28 September – Október, 2004, Sienna, Italy.
- [97] WENGER, S. : H.264/AVC over IP, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 7, July 2003
- [98] WIEGAND, T. et al.: Error-resilient video transmission using long-term memory motion-compensated prediction, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, December 2000, s. 1050 - 1062.
- [99] WIEGAND, T. et al.: Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard. *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, vol.13, no. 7, Júl 2003.
- [100] WINKLER, S. – DUFAUX, F: Video quality evaluation for mobile applications. In: *Proceedings of SPIE Conference on Visual Communications and Image Processing*, volume 5150, pp. 593-603, 2003
- [101] WU, D. et al.: Streaming video over the internet: Approaches and directions. IN: *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 11(3): 282-300, 2001
- [102] XUE, F. – MARKOVSKI, V. – TRAJKOVIČ, L.: Packet Loss in Video Transfers over IP Networks, *Circuits and Systems*, 2001, ISCAS 2001. The 2001 IEEE International Symposium on, 6-9 May 2001.
- [103] ZÁVODSKÝ, M. : Time-Variant Video Quality Evaluation for Mobile Networks, *Diplomová práca*, Slovenská Technická univerzita v Bratislave, 2006
- [104] ZHANG, G.: Robust Multimedia Communications over Packet Networks, *Thesis for the degree of Doctor of Philosophy*, Sound and Image Processing Laboratory,
-

School of Electrical Engineering, KTH (Royal Institute of Technology),
Stockholm, 2010.

6 IPTV: Základné technologické riešenie

6.1 Úvod do IPTV

Jednou z možností, ako sledovať digitálne vysielanie je technológia IPTV (Internet Protocol Television). Z pohľadu poskytovateľa IPTV služba predstavuje spracovanie a bezpečné poskytovanie video obsahu prostredníctvom dátových sietí založených na IP protokole, dnes často prostredníctvom prípojok ADSL2+ [1] - [15].

V dnešnej dobe analógové vysielanie končí a nastupuje rozvíjajúce sa digitálne vysielanie. Digitálne televízne vysielanie má niekoľko podôb – satelitné vysielanie (DVB-S, DVB-S2), káblové vysielanie (DVB-C), pozemné digitálne vysielanie (DVB-T) a mobilné vysielanie (DVB-H) [1] - [15].

Ďalšou možnosťou, ako sledovať digitálne vysielanie je technológia IPTV. IPTV (Internet Protocol Television) predstavuje televízne vysielanie, video na požiadanie (VoD) a audio obsah (rádia) cez vysokorychlostné siete. Pre koncového používateľa IPTV služba vyzerá a funguje ako štandardné televízne vysielanie. Z pohľadu poskytovateľa IPTV služba predstavuje spracovanie a bezpečné poskytovanie video obsahu prostredníctvom dátových sietí založených na IP protokole.

Vo všeobecnosti sa pod pojmom IPTV rozumie vysielanie televízie, videa, hlasu prípadne ďalších služieb prenášané širokopásmovou sieťou pomocou IP protokolu. V každom prípade sa jedná o kvalitnejšie vysielanie v porovnaní s analógovou televíziou. IPTV tiež prináša rad výhod ako pridanú hodnotu oproti bežným, v minulosti používaným metódam prenosu, v podobe interaktivity, ktorá koncovému užívateľovi umožňuje napríklad pozastavenie vysielania a jeho pokračovanie neskôr alebo možnosť individuálneho vytvárania vysielaného programu v podobe služby Video On Demand (VOD) – video na požiadanie.

Oficiálna definícia IPTV, podľa skupiny ITU FG IPTV, ktorá je časťou medzinárodnej telekomunikačnej únie so zámerom na IPTV je nasledovná: IPTV je definovaná ako multimedialná služba, ako napríklad televízia, video, zvuk, text, grafika, dáta dodávané cez siete založené na protokole IP schopné poskytnúť požadovanú úroveň služieb (QoS), dojmu (QoE), bezpečnosť, interaktivitu a spoľahlivosť [14].

6.2 Poskytované služby IPTV

Spomínaná skupina medzinárodnej telekomunikačnej únie tiež vypracovala zoznam služieb a skupín služieb, ktoré by mali byť podporované pod hlavičkou IPTV. Sú to napríklad nasledujúce služby:

- Vysielanie televízie s videom a zvukom: jedná sa o klasické vysielanie podobné tomu analógovému avšak s rozdielom v kvalite. V IPTV tento druh vysielania ponúka kvalitu obrazu podobnú kvalite obrazu na diskoch DVD (Digital Versatile Disk) alebo vyššiu. Video a zvukový signál sú vysielané a prenášané v reálnom čase zostupným smerom (downlink).
- Vysielanie televízie s videom, zvukom a dátami: táto služba je podobná klasickému audiovizuálnemu vysielaniu v predošlom bode, ale je navyše skombinované s interaktívnymi dátami pre doplnenie vysielaného A/V programu, využívajúc obojsmernú linku. Koncový užívateľ môže využívať zostupný smer audiovizuálneho vysielania a zároveň má pomocou vzostupného smeru prístup k ďalším detailnejším informáciám, ktoré pre neho predstavujú pridanú hodnotu.
- Platený obsah formou Pay Per View: voliteľný typ služby, pomocou ktorej si užívateľ môže vybrať z multimedialnej databázy poskytovateľa služby program, film alebo športový prenos, zakúpiť si jeho prezretie pomocou sprievodcu na obrazovke alebo po telefóne a zaplatiť za tento výber neskôr, napríklad v najbližšej faktúre za služby.
- Služba viacerých uhlov: použiteľné napríklad pri športových prenosoch, kedy pohľad kamery si volí užívateľ sám podľa svojich preferencií a nie podľa inštrukcií režiséra prenosu.
- Elektronický sprievodca programom: obľúbený doplnok ku klasickému vysielaniu. Na obrazovke si pomocou neho môže užívateľ prezerat' naplánovaný program vysielaný televíziou, triediť si ho podľa času, televízie alebo žánru [6] - [10].

6.3 Architektúra IPTV

Cieľom tejto kapitoly je vysvetliť a opísať architektúru používanú na poskytovanie služby IPTV, aby sa dal jednoduchšie pochopiť rozdiel medzi IPTV a internetovou televíziou. V opise je ako prístupová technológia pre prenos signálu až ku zákazníkovi použitá technológia DSL (Digital Subscriber Line), ktorá využíva už existujúce telefónne rozvody, čo ju predurčuje k vysokej rozšírenosti, keďže nie je potrebné k domácnostiam koncových užívateľov privádzať ďalšie rozvody [11] - [15].

Základom IPTV infraštruktúry je Hlavná stanica (Head end). Sú to prvky v systéme poskytovateľa služby, ktorých úlohou je spracovať šírený televízny signál, prípadne aj rádiový signál, jeho kódovanie, multiplexovanie a distribúcia do siete.

V Hlavnej stanici sa signál kóduje do formátu MPEG2 alebo MPEG4. Výstupom je multicastový signál, kde každý televízny alebo rádiový kanál ma svoju vlastnú multicastovú adresu.

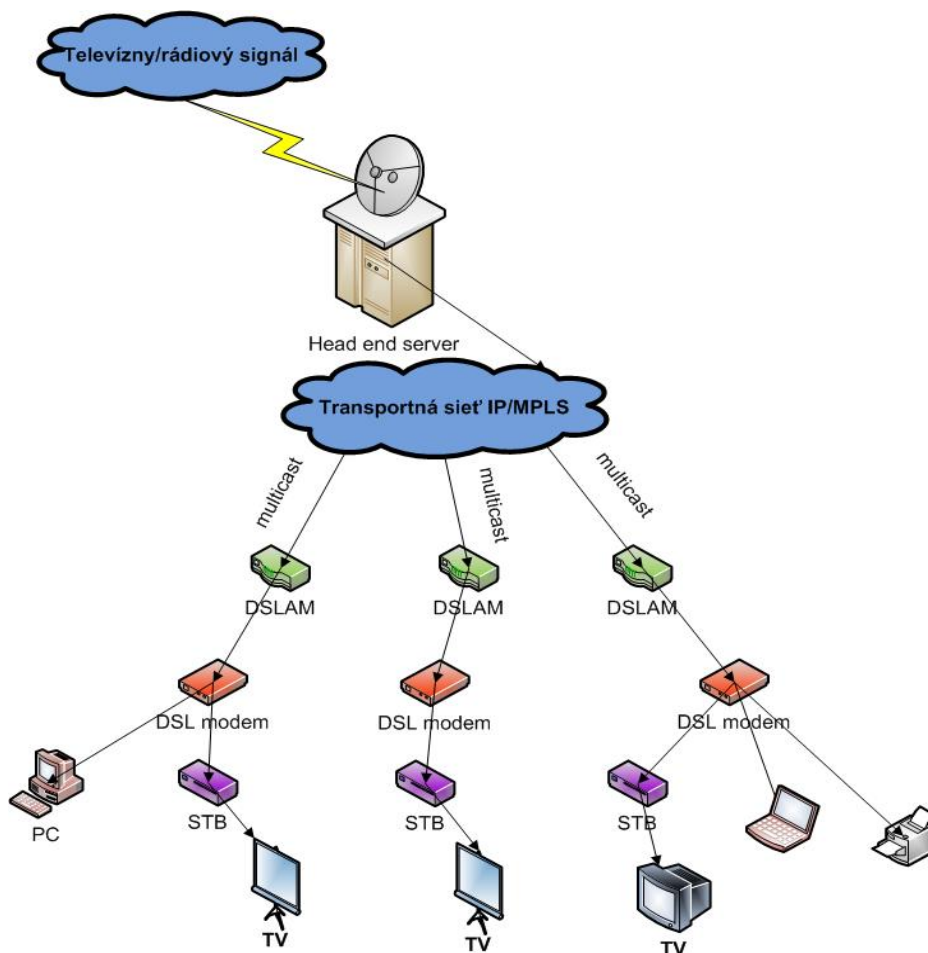
Distribúcia signálu ďalej pokračuje po chrbticovej sieti poskytovateľa služby, prípadne po prenajatých súkromných okruhoch (MPLS) v geografických oblastiach, kde je služba IPTV poskytovaná.

Hranicu medzi chrbticovou sieťou a prístupovou sieťou v prípade DSL technológie tvoria zariadenia nazývané DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer). Sú to zariadenia umiestnené v telefónnych ústredniach telekomunikačných operátorov. Obsluhujú viacero DSL prípojok koncových zákazníkov a umožňujú ich telefónnym linkám využívať rýchlejšie pripojenie do Internetu.

Od DSLAMu v ústredni sa signál prenáša po existujúcich metalických vedeniach až ku koncovým domácnostiam. Koncový bod v domácnosti je ADSL modem, na ktorý je následne napojené elektronické zariadenie nazývané Set Top Box (STB).

STB je elektronické zariadenie, ktoré sa pripája ku komunikačnému kanálu (v našom prípade k DSL linke pomocou ADSL modemu) a vytvára výstup spracovateľný v televíznom prijímači. Výstupom STB je modulovaný televízny signál, ktorý vedľa spracovať aj staršie televízne prijímače. Výstup z STB sa pripája do anténneho vstupu alebo do SCART vstupu televízora. Niektoré typy STB sú vybavené výstupom VIDEO, S-VIDEO alebo HDMI. Súčasťou STB je aj tuner a teda aj kanálový volič, preto sa kanály (programy) prepínajú priamo na ňom. Dokonalejšie STB sú vybavené aj možnosťou spracovať pridané digitálne dáta, napr. televízny program, popis práve vysielaného programu, viackanálový zvuk, možnosť nahrávať programy na pevný disk a pod. STB sa rozlišujú podľa typu signálu, ktorý sú schopné spracovať napr. pre pozemné digitálne vysielanie (DVB-T), káblové vysielanie (DVB-C), satelitné vysielanie (DVB-S), internetové (IPTV) cez Ethernet, alebo priamo cez ADSL, optické pripojenie a pod.

Opísaná infraštruktúra je znázornená na *Obr. 6.1*.



Obr. 6.1 Infraštruktúra IPTV s použitím DSL ako prístupovej technológie

6.4 Spôsob distribúcie signálu v IP sieťach

Dôležitým aspektom pri IPTV je spôsob vysielania a s tým súvisiace požiadavky na šírku pásma. Aj keď sa v prípade klasického analógového vysielania nejedná o IP sieť, dá sa tu tiež aplikovať rozdelenie vysielania signálu podobne ako v prípade IP sietí. Zatiaľ čo pri klasickom analógovom televíznom vysielaní je použitý spôsob vysielania typu broadcast, t.j. každému užívateľovi je vysielaný každý televízny kanál, čo má za následok obrovské kapacitné nároky pri prenose na každý prvok v infraštruktúre. Pri IPTV je použitá technológia multicast, ktorej princípom je komunikácia všetkými smermi, ale len tým koncovým bodom, ktoré o to požiadajú [30] - [32].

6.4.1 Unicast

Unicast je proces prenosu signálu (v prípade IP sietí posielania paketov) od jedného odosielateľa jednému príjemcovi. Unicast komunikácia je používaná pre bežnú

komunikáciu medzi dvoma aktívnymi prvkami v sieti či už vo forme klient/server alebo peer-to-peer (**Obr. 6.2**). Unicastové pakety používajú ako cieľovú adresu IP adresu zariadenia, ktorému má byť paket doručený. Naproti tomu, v prípade broadcast a multicast sa používajú nie adresy zariadení, ktorým ma byť paket doručený, ale špeciálne IP adresy. Použitím týchto špeciálnych IP adries je broadcast vysielanie vymedzené iba pre lokálnu sieť. Rozsah multicast prevádzky môže byť tiež limitovaný iba na lokálnu sieť, ale môže byť tiež smerovaný do ďalších sietí.

6.4.2 Broadcast

Pretože broadcast prevádzka je používaná na posielanie paketov všetkým staniciam na sieti, paket v tomto prípade používa ako cieľovú adresu špeciálnu broadcast adresu. Keď stanica prijme takýto paket s broadcast cieľovou adresou, paket spracuje rovnakým spôsobom, ako by spracovala paket adresovaný unicast cieľovej adrese stanice.

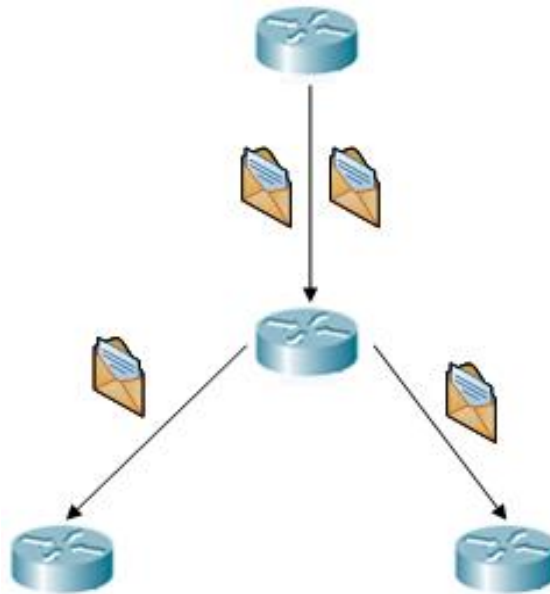
6.4.3 Multicast

Multicast prevádzka je navrhnutá na zníženie prevádzky prípadne šetrenie pásma na sieti. Prevádzku znižuje umožnením jednej stanice poslať paket iba vybranej skupine príjemcov. Na dosiahnutie zaslania paketu viacerým príjemcom použitím unicast komunikácie, vysielajúca stanica by musela poslať individuálne pakety adresované každému príjemcovi. Využitím multicastu vysielajúca stanica môže poslať jediný paket, ktorý sa dostane ku všetkým adresátom. Šírenie informácií v sieti metódou multicast je znázornený na **Obr. 6.3**.

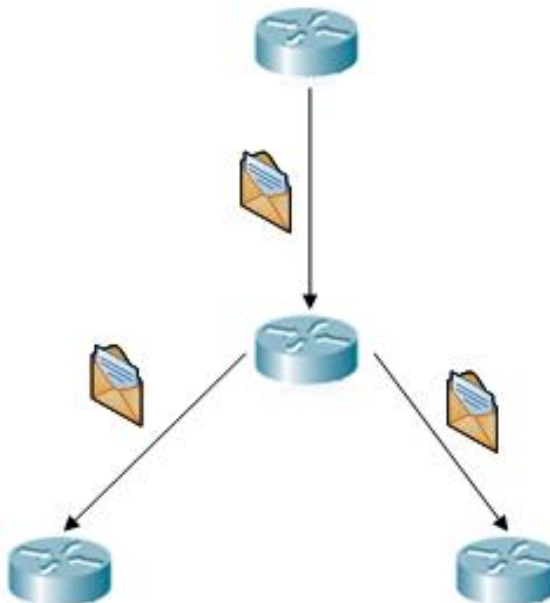
Hlavnou oblasťou, kde sa vysielanie metódou multicast používa je vysielanie videa a hlasu v sieťach.

Stanice, ktoré chcú byť súčasťou danej multicast komunikácie sú nazývané multicast klienti a používajú služby iniciované klientskym softvérom na „prihlásenie sa“ do multicast skupiny. Každá multicast skupina je reprezentovaná jedinou IPv4 multicast cieľovou adresou. Keď sa cieľová stanica prihlási do danej multicast skupiny, stanica prijíma pakety adresované danej multicast skupine a zároveň prijíma aj pakety adresované jej unicast adrese. Protokol IPv4 má pre adresovanie multicast skupín vyhradený špeciálny blok IP adries od 224.0.0.0 do 239.255.255.255.

Aplikované do praxe – namiesto toho, aby sme každému koncovému bodu (koncovému zákazníkovi) strímovali každý televízny kanál vo vysokej kvalite (to by bolo metódou broadcast), strímujeme kanály na multicastové IP adresy. Následne sa signál dostane iba k tým koncovým užívateľom, ktorí o to požiadali vo forme prepnutia na daný kanál na svojom TV prijímači, presnejšie na STB, čo v terminológii IP sietí znamená prihlásenie sa do danej multicast skupiny.



Obr. 6.2 Šírenie informácií v sieti metódou unicast



Obr. 6.3 Šírenie informácií v sieti metódou multicast

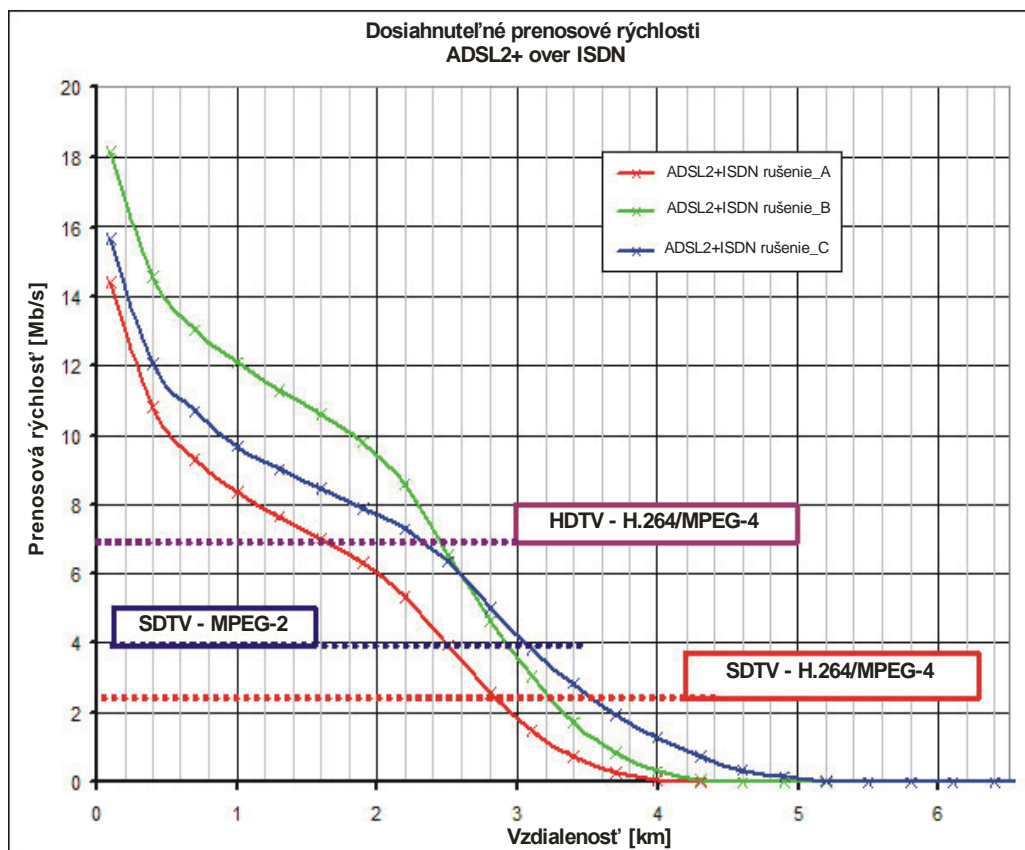
6.5 Potrebná prenosová rýchlosť

Možnosti súčasných video aplikácií, sú ovplyvnené požadovanou prenosovou rýchlosťou a vzdialenosťou používateľa od ústredňovej jednotky DSLAM (ak sa jedná o prístupovú sieť na technológií DSL). Pre prenos video signálu sa používajú rôzne druhy kompresie obrazu a rôzne obrazové formáty (SDTV, HDTV) (Tab. 6.2).

Tab. 6.3 Náročnosť prenosu digitálnej televízie

TYP VYSIELANIA	SDTV	SDTV	HDTV	HDTV	
Typ kompresie	MPEG-2	H.264/MPEG-4 AVC	MPEG-2	H.264/MPEG-4 AVC	
Prenosová rýchlosť [Mb/s]	4 až 7	2 až 3	18 až 20	5 až 7 (720p/25) 8 až 14 (1080i/50)	Priamy prenos futbalového stretnutia až 22 (1080p/50)

Obr. 6.4 zobrazuje graf, ktorý predstavuje potrebnú prenosovú rýchlosť pri prenose IPTV na technológii ADSL2+ over ISDN a možnú dosiahnuteľnú vzdialenosť. Graf ukazuje predpokladané prenosové rýchlosti ovplyvnené rušiacim profilom A, B a D (vplyv presluchov od ostatných prípojok v kábli) pri miestnom vedení s priemerom medeného jadra 0,4 mm. Pre prenos IPTV v HDTV kvalite je potrebná technológia ADSL2+. Dosah sa pohybuje cca 2 – 2,5 km. Prenos IPTV v SDTV kvalite (kompresia MPEG2) je ešte uspokojivá na vzdialenosť cca 3 km, pre kompresiu H.264 je možné dosiahnuť vzdialenosti až cca 3,5 km.



Obr. 6.4 Závislosť ADSL2+ over ISDN rýchlosti od vzdialenosti ústredňovej jednotky DSLAM (Priebehy získané zo Simulátora prípojok xDSL <http://matlab.feld.cvut.cz>)

6.6 Kvalita služby

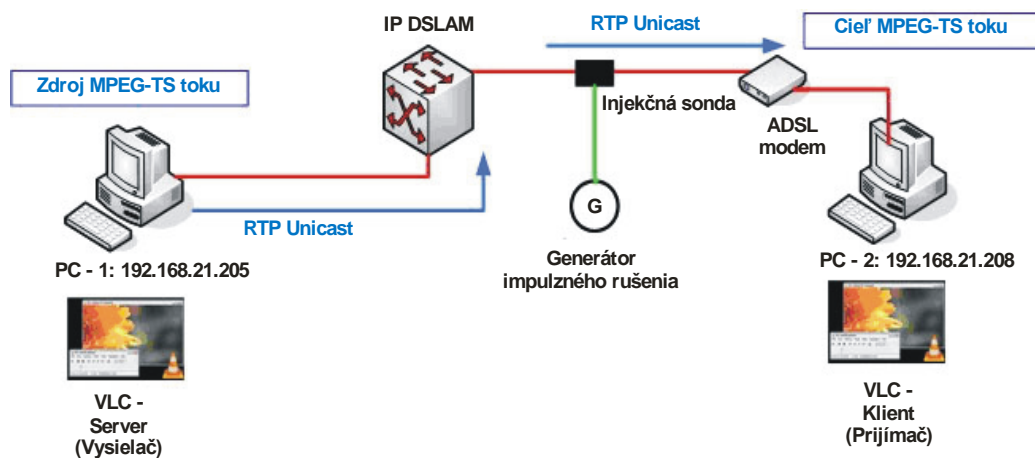
Kvalita služby (QoS – Quality of Service) je súbor opatrení, ktoré zaistia určitý stupeň spokojnosti koncového používateľa s danou službou. Paketový režim prenosu dát použitý v IP sieťach predstavuje skutočnosť, ktorá negatívne ovplyvní kvalitu prenášaného video toku v niekoľkých smeroch. Ide najmä o oneskorenie (latency), zmenu poradia paketov (packet order), kolísanie oneskorenia (jitter) a stratu paketov (packet loss) (**Obr. 6.4**, **Obr. 6.6** - **Obr. 6.10**).

- Oneskorenie – je čas, ktorý uplynie od odoslania správy zdrojovým uzlom po jej prijatie v cieľovom uzle; zahrňuje oneskorenie v prenosovej trase a na zariadeniach, ktoré sú jej súčasťou.
- Zmena poradia paketov – je priamym dôsledkom existencie oneskorenia a princípom individuálneho smerovania každého paketu.
- Kolísanie oneskorenia – predstavuje variabilitu v doručovaní paketov cieľovému uzlu (teda v oneskorení pri prenose). Spôsobuje pretečenie alebo podtečenie vyrovnávacej pamäte v set-top boxe.

- Stratovosť paketov – je priemerný počet stratených paketov za určitý čas vyjadrený v % vzhľadom k celkovému počtu prenesených paketov.

6.7 Vplyv impulzového rušenia na vlastnosti audio/videosignálu

Pre testovanie vplyvu impulzného rušenia na prenos IPTV cez digitálnu účastnícku prípojku bolo použité zapojenie podľa Obr. 6.5. Na vysielanie bol použitý voľne šíriteľný softvér (VLC media player). PC1 slúži ako server a odosiela video tok cez VLC program metódou multicast do ústredňovej jednotky IP DSLAM a ďalej potom cez injekčnú sondu do ADSL2+ modemu a následne potom do PC2, kde sa nachádza VLC program (klient). Pri testovaní neboli merané žiadne kvantifikovateľné parametre prenosu ako napr. stratovosť paketov. Jedine bola subjektívne hodnotená kvalita prenášaného obrazu a zvuku. Test prebiehal tak, že bol na vedení injektovaný časový priebeh impulzného rušenia podľa doporučenia ITU-T G.996.1 s týmito parametrami: napätie špička-špička $U_{pp} = 50 \text{ mV}$, dĺžka periódy $T = 1 \text{ s}$, pri meraní sa menil počet cyklov v perióde $N = 1, 15, 100, 500$. (Obr. 6.5).



Obr. 6.5 Schéma zapojenia pracoviska pre testovanie

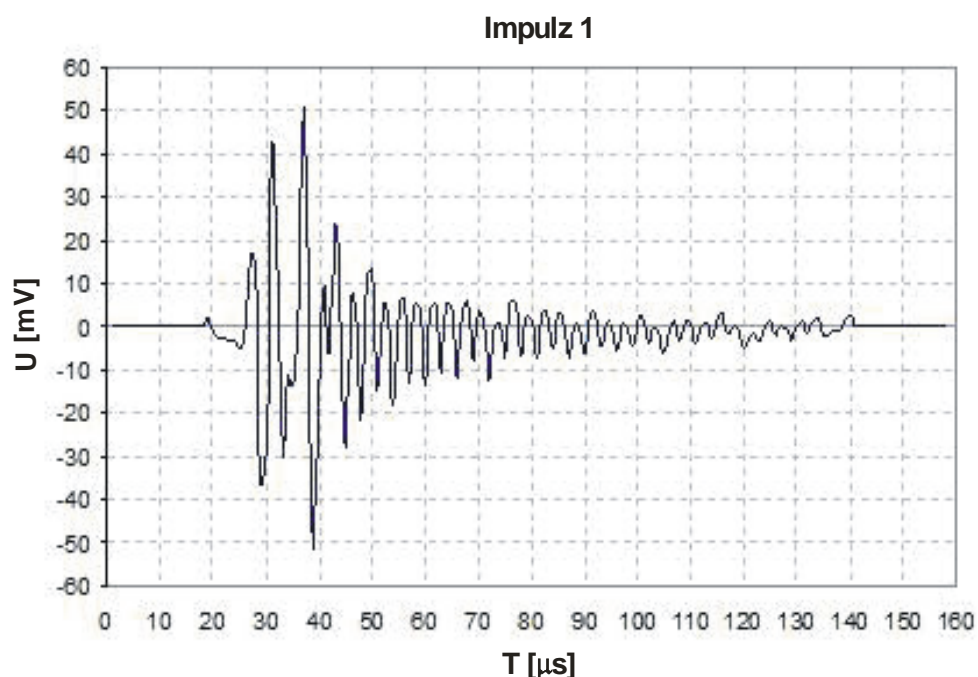
Meranie bolo realizované na prípojke ADSL2+ over ISDN v režime bez prekladania, o dĺžke vedenia 1,2 km. Na testovanie bola použitá nahrávka v kvalite SDTV zapuzdrená do transportného toku MPEG-TS (kompresia MPEG-2, pomer strán 16:9, rozlíšenie 720x576, bitová rýchlosť 4-5 Mbit/s) zaobstaraná zo satelitu ASTRA 19,2°E a FTA programu Simul SD.

Cieľom pozorovania bolo zistiť, ako impulzové rušenie ovplyvní vysielanie prenášaného televízneho programu. Modem sa pri testovaní spojil s prenosovou rýchlosťou 16272/998 Mbit/s (zostupný/vzostupný smer). Pôsobením impulzového

rušenia vznikali v obraze rôzne artefakty ako sú: „štvorčekovanie vplyvom straty paketov, „štvorčekovanie“ vplyvom zmeny poradia paketov, zamrznutie obrazu, trhanie obrazu.

Vzniknutá chyba „štvorčekovaním“ pretrváva v obraze pri prenose tzv. P a B snímok, ktoré pri danom kódovaní prenášajú iba informácie o zmene v obraze. Vzniknutá chyba sa tak opraví najskôr až pri príchode I snímky, ktorá obsahuje úplné informácie pre rekonštrukciu obrazového rámca.

Zvyšovaním počtu cyklov impulzov dochádzalo k častejším artefaktom v obraze a zvuku. Bola zistená hranica, keď dôjde k rozpadu spojenia, čo odpovedá počtu cyklov $N=6200$ pre $U_{pp} = 50$ mV a dobe opakovacej periódy $T = 1$ s. Dá sa predpokladať, že zvýšenie napätia špička-špička U_{pp} pri zachovaní opakovacej periódy $T = 1$ s a testovaní pri rovnakých hodnotách cyklov impulzov N , bude mať za následok vyššiu početnosť výskytov rôznych artefaktov v obraze. Pri zvýšení doby opakovania T , je možné očakávať menší výskyt týchto artefaktov v obraze a tým aj lepší subjektívny dojem TV programu.



Obr. 6.6 Príklad impulzového rušenia podľa doporučenia ITU-T G.996.1 (špičkové napätie $U_{pp} = 50$ mV, dĺžka opakovacej periódy $T = 1$ s, dĺžka jedného impulzu $t = 160$ μs)



Obr. 6.7 Príklad poškodenia obrazu spôsobeného zmenou poradia paketov



Obr. 6.8 Príklad poškodenia obrazu spôsobeného stratou paketov



Obr. 6.9 Príklad poškodenia obrázkov spôsobeného stratou paketov a zmenou poradia paketov



Obr. 6.10 Príklad poškodenia obrázkov spôsobeného stratou paketov a zmenou poradia paketov

6.8 Porovnanie IPTV a internetovej TV

6.8.1 Médium

Ak máme porovnať vysielanie televízie po internete oproti vysielaniu formou IPTV, základným rozdielom je cesta, po ktorej sa signál šíri. Pri internetovej televízii je médium internet, to znamená všetky verejné okruhy a uzly, po ktorých paket putuje od vysielajúceho servera ku koncovému užívateľovi. Keďže v prípade internetu ide o verejný komunikačný prostriedok, nie je garantované, že každý vyslaný paket sa v stanovenom čase dostane ku prijímateľovi, ale práve naopak, je možné a aj pravdepodobné, že nie všetky pakety sa dostanú k adresátovi, prípadne prídu oneskorene alebo v nesprávnom poradí. V prípade IPTV sa signál šíri prostredníctvom infraštruktúry vo väčšine prípadov vlastnanej poskytovateľom služby. Z toho vyplývajú možnosti nastavovania QoS, t.j. garantovania, v akej kvalite sa dáta dostanú do koncového bodu a z toho vyplývajúci údaj QoE.

Pojem QoE v kontexte telekomunikačných sietí znamená čisto subjektívne meranie celkovej hodnoty poskytovanej služby z pohľadu užívateľa. To znamená, že QoE nemôže byť braný ako priamy dopad kvality služby (QoS), ale pri jeho posudzovaní musí byť braný do úvahy každý faktor, ktorý vplýva na celkovú hodnotu pre užívateľa ako sú vhodnosť, prenositeľnosť, bezpečnosť, náklady, možnosti personalizácie, či možnosť výberu.

6.8.2 Koncové zariadenie

Ďalším rozdielom medzi IPTV a internetovou TV je koncové zariadenie, ktoré slúži na príjem signálu. V prípade internetovej televízie ide vo väčšine prípadov o počítač, resp. pracovnú stanicu, na ktorej musí byť nainštalované potrebné softvérové vybavenie v podobe internetového prehliadača s vhodným zásuvným modulom na prehrávanie videa prípadne samostatný multimedialny prehrávač spolu s kodekom. Pod pojmom kodek rozumieme zariadenie alebo v tomto prípade počítačový program umožňujúci kódovanie a/alebo dekódovanie digitálneho dátového strému. Slovo „codec“ je spojením dvoch slov compressor-decompressor alebo bežnejšie coder-decoder resp. kodér-dekodér.

Ak sa jedná o prezeranie plateného obsahu, je potrebná ďalšia vrstva v spracovaní signálu a to DRM (Digital Rights Management). DRM je možné preložiť ako Správa digitálnych práv. DRM je zastrešujúcim pojmom pre technické metódy, ktorých účelom je kontrolovať či obmedzovať používanie obsahu digitálnych médií. Cieľom takejto ochrany je predovšetkým zaistiť používanie obsahu v súlade s autorskými právami, respektíve v súlade s licenčnými podmienkami, vzťahujúcimi sa k obsahu.

Pri IPTV je koncovým zariadením Set top box, ktorý rieši všetky nedostatky- detské nemoci a softvérové komplikácie, ktoré môžu nastať pri použití IPTV. Set top box má vstavaný dekodér a zodpovedá za celú agendu spracovania signálu tak, aby televíznemu prijímaču, na ktorého vstup je napojený postúpil spracovaný signál.

6.9 Sieťová štruktúra komunikačného modelu IPTVCM

6.9.1 Paketizácia a zapuzdrenie videoobsahu

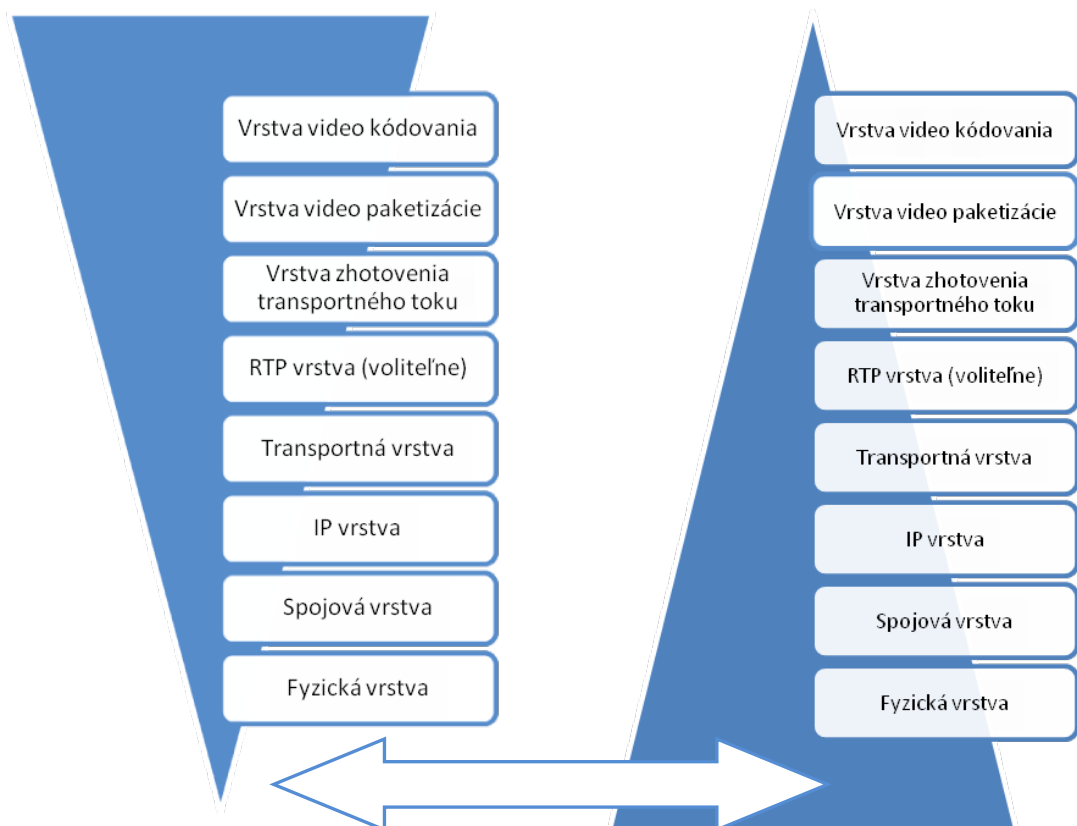
Paketizácia a zapuzdrenie videoobsahu zahŕňa vkladanie a organizáciu videodát do individuálnych paketov. Termín zapuzdrenie je použitý pre popísanie procesu formátovania videoobsahu do datagramov. Existujú dva odlišné prístupy k zapuzdreniu videoobsahu, a to MPEG cez IP a VC - 1 cez IP. Skôr ako budú opísané obidva tieto prístupy, je užitočné najskôr porozumieť sieťovej štruktúre nazývanej IPTV komunikačný model (IPTVCM) [21] - [28].

IPTV komunikačný model je sieťová štruktúra zložená zo siedmich (prípadne ešte jednej voliteľnej) vrstiev, ktoré sú naskladané postupne na sebe, ako je vidieť na **Obr. 6.11**. Videodáta sú odovzdávané nižším typom od poslednej vrstvy k ďalším vrstvám na

odoslanie, až pokiaľ nie sú prenesené cez širokopásmovú sieť protokolmi fyzickej vrstvy. Dáta prichádzajú cez spodnú vrstvu IPTVCM umiestnenú na cieľovej stanici a smerujú nahor cez IPTVCM. To znamená, že ak má kóder preniesť videoobsah na IPTV miesto zákazníka (IPTVCD), musia prejsť tieto dáta cez IPTVCM štruktúru vrstiev na oboch miestach.

Každá vrstva v komunikačnom modeli je obvykle samostatná a má špecifické funkcie. Akonáhle splní svoju úlohu, videodáta sú odovzdané ďalšej vrstve IPTVCM. Každá vrstva pridáva alebo zapúzdruje určitú doplnkovú riadiacu informáciu videopakétom počas spracovania. Táto riadiaca informácia obsahuje špecifické inštrukcie a je väčšinou formátovaná buď ako hlavička, alebo päta na konci. Na vzdialenom konci sú dáta odovzdané vyššiemu komunikačnému modelu.

Podľa tohto prístupu je zavedené logické komunikačné spojenie medzi odpovedajúcimi alebo seberovnými vrstvami. Sedem a v určitých implementáciách až osem IPTVCM vrstiev môžu byť rozdelené do dvoch kategórií: vyššie a nižšie vrstvy. Vyššie vrstvy sa zaoberajú špecifickými IPTV aplikáciami a formátmi súborov, kým nižšie hladiny modelu pojednávajú najmä o efektívnom prenose obsahu.



Obr. 6.11 IPTVCM referenčný model

6.10 IPTVCM a MPEG prenos videoobsahu

Obr.6.12 poskytuje podrobnejší náhľad na to, čo sa stane s videoobsahom, keď je skomprimovaný použitím MPEG schémy podľa zapuzdrenia a ako tečie nadol cez IPTVCM protokolové usporiadanie.

Nasledujúce časti práce podrobne objasnia rôzne zapuzdrenia zobrazené na **Obr. 6.12**.

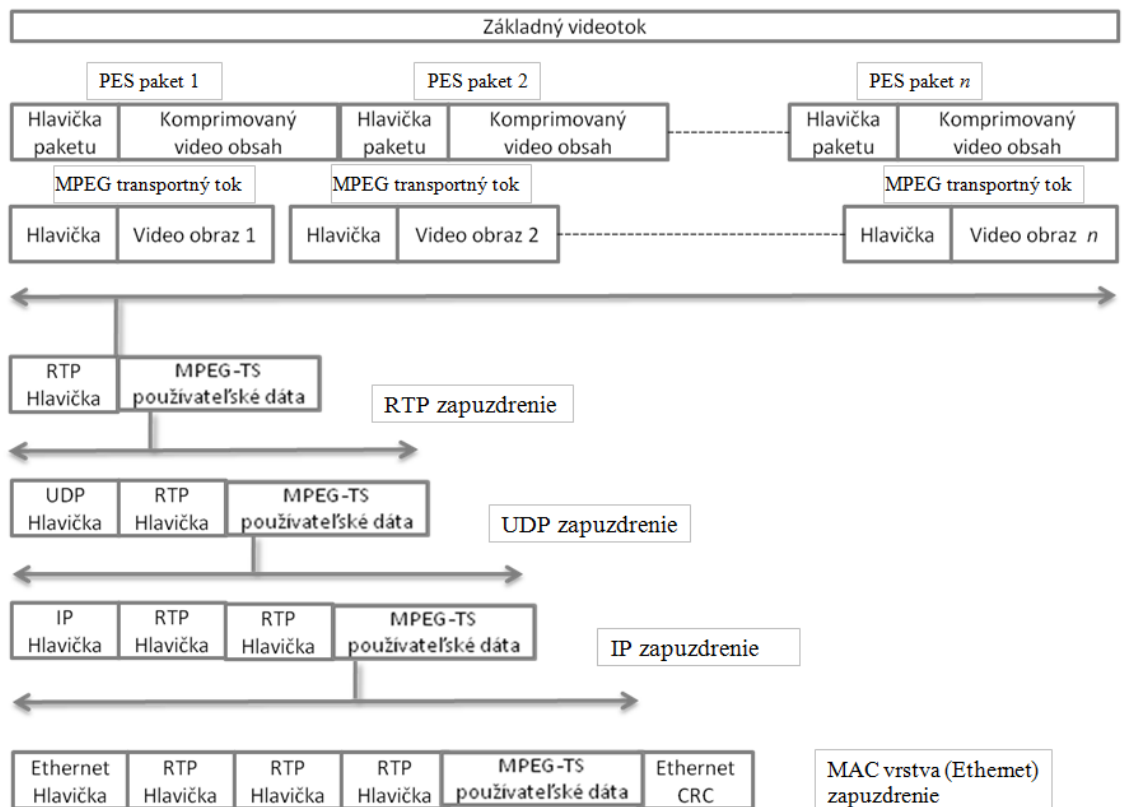
6.11 Vrstva videokódovania

Komunikačný proces začína v kódovacej vrstve, kde neskomprimovaný analógový alebo číslicový signál je skomprimovaný a výstupom z kódera je MPEG základný tok. Základný tok definuje v reálnom čase nepretržitý číslicový signál. Existujú odlišné typy základných tokov. Napríklad, audio kódované použitím MPEG je nazvané "audio základný tok". Základný tok je efektívny, neupravený výstup z kódera. Tok je väčšinou usporiadaný do videorámecov v tejto vrstve IPTVCM modelu. Druhy informácie zahrnuté v základnom toku môžu obsahovať:

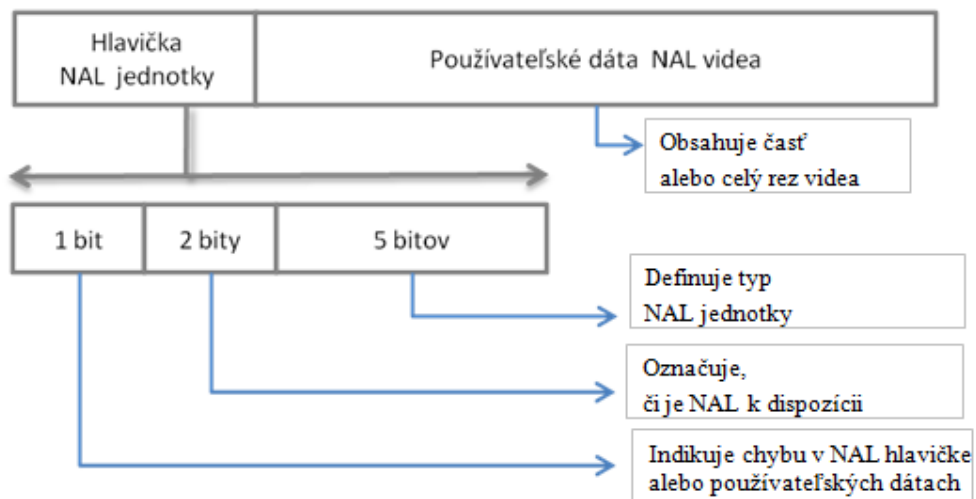
- typ snímky a jej rýchlosť
- umiestnenie dát blokov na obrazovke
- pomer strán

Základné toky tvoria základ pre vytváranie MPEG tokov.

Je dôležité všimnúť si, že táto vrstva je efektívne rozdelená na dve podvrstvy H.264 / AVC popísané ako: vrstva videokódovania (VCL) a sieťová abstrakčná vrstva (NAL). VCL podvrstva sa stará o komprimovanie videoobsahu. Výstupom z tejto vrstvy je séria rezov obrazu. Tok bitov v NAL vrstve je usporiadaný do množstva prerušovaných paketov nazývaných NAL jednotky. Formát NAL jednotky je opísaný na **Obr. 6.13**. Schéma na **Obr. 6.13** znázorňuje NAL jednotku nesúcu používateľské dáta (payload) videoobsahu. Termín VCL - NAL bol použitý na definovanie tejto jednotky. Je taktiež možné zahrnúť iný typ používateľských dát v tomto poli, ako napríklad riadiacu informáciu. Tieto jednotky nie sú roztriedené ako VCL jednotky. Poznamenajme, že NAL používaný H.264 / AVC poskytuje podporu pre obe - na IP a na nie-IP založené sieťové infraštruktúry.



Obr. 6.12 IPTVCM vrstva zapuzdrenia



Obr. 6.13 Štruktúra NAL jednotky

6.12 Vrstva paketizácie videa

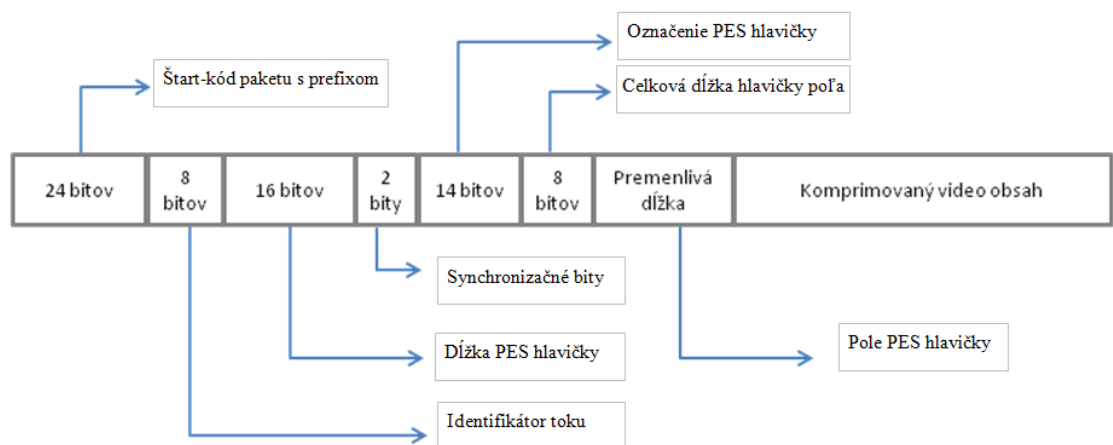
Aby základné toky - audio, dáta ako aj video - boli prenesené cez digitálnu sieť, každý základný tok je prevedený do prekladaného toku označeného v čase paketizovaný základný tok (PES) paketov. PES tok obsahuje len jeden typ dát z jedného zdroja. PES

paket môže mať pevnú (alebo variabilnú) veľkosť bloku, maximálne 65536 bajtov na každý paket. Toto zahŕňa vyhradenie 6 bajtov pre hlavičku so zvyškom paketov používaných na prenosu obsahu. Prvky PES hlavičky sú objasnené na **Obr. 6.14**.

Vzhľadom na povahu sietí, poradie alebo postupnosť výstupných videorámcoz z IPTV dátového centra môže byť odlišné od poradia prijatého IPTVCD. Teda pomocou synchronizácie sa systémy založené na MPEG opakovane časovo označované rôznymi PES paketmi, pridelia špecifickému postupne sťahovanému videu.

Existujú dva typy časových značiek, ktoré môžu byť aplikované na každý PES paket: časová značka prezentácie (PTS) a časová značka dekodovania (DTS).

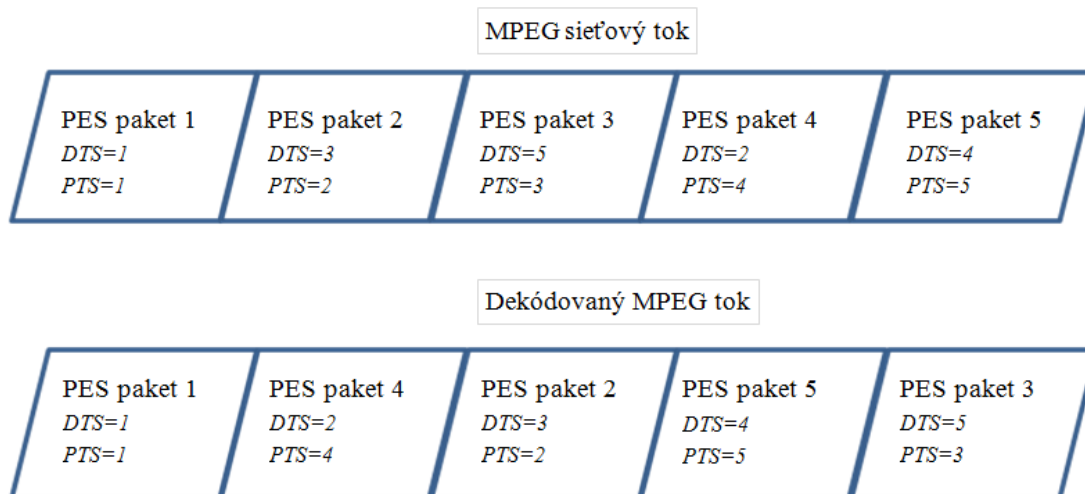
- PTS - je 33-bitová časová hodnota, ktorá je pridaná v PES hlavičke poľa. Cieľom použitia PTS ku každému paketu je definovať, kedy a v akom poradí má byť video zobrazené divákovi.
- DTS - Cieľom použitia DTS ku každému paketu je dávať pokyn IPTVCD dekodéru, kedy spracuje pakety.



Obr. 6.14 Formát MPEG PES paketu

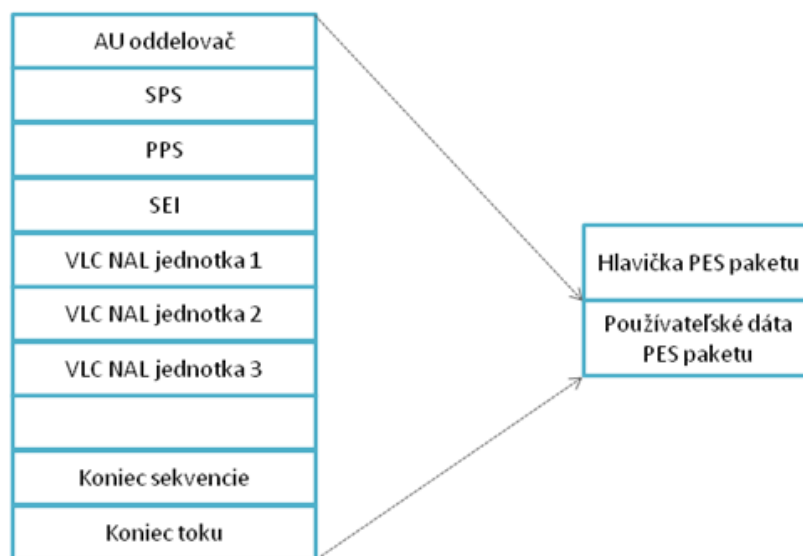
Koncept používa rozdielne typy časových značiek PES paketov v MPEG kódovanom toku objasnenom na **Obr. 6.15**.

Ako je ukázané, poradie, v ktorom sa pakety postupne sťahujú cez sieť, je odlišné od poradia, v ktorom sú prijaté na vstupe IPTVCD. Následkom toho IPTVCD používa PTS a DTS označenia k rekonštrukcii pôvodného videoobsahu.



Obr. 6.15 Aplikácia časových značiek MPEG PES paketov

Okrem prevodu MPEG - 2 skomprimovaného obsahu je PES taktiež schopný prenášať H.264 / AVC jednotky cez IPTV sieť. Detaily mapovania spojeného s týmto postupom sú vysvetlené na Obr. 6.16.



Obr. 6.16 Mapovanie AVC prístupových jednotiek do MPEG-2 PES paketov

6.13 Vrstva zhotovenia transportného toku

Ďalšia vrstva IPTVCM komunikačného modelu sa zaoberá stavbou prenášaného toku, ktorý sa skladá zo spojitého toku paketov. Tieto pakety, zvyčajne nazývané TS pakety, sú tvorené rozložením PES paketov do pevnej veľkosti TS paketov o veľkosti 188 bajtov, ktoré sú vyjadrené nezávislou časovou základňou. Použitie nezávislého času základne v porovnaní s rovnakým časom základne pomáha zmenšiť potenciálny paketový útlm alebo poškodenie šumom.

Každý TS paket obsahuje jeden z troch formátov média - video, audio alebo dáta. Preto transportné pakety nepodporujú kombináciu médií. Každý TS paket obsahuje 184 bajtov z používateľských dát a 4 bajty pre hlavičku. Prvky MPEG TS hlavičky sú zobrazené na **Obr. 6.17**.

Nasledujúce typy dát môžu byť zapuzdrené priamo v používateľských dátach poľa MPEG transportného toku paketu.

- MPEG- 1 Video (ISO/IEC 11172- 2)
- MPEG- 2 Video (ISO/IEC 13818- 2)
- MPEG- 1 Audio (ISO/IEC 11172- 3)
- MPEG- 2 Audio (ISO/IEC 13818- 3)

Poznamenajme, že táto vrstva taktiež poskytuje funkčnosť, ktorá umožní vytvorenie programových tokov. Programový tok je PES paketový multiplex, ktorý nesie viacero základných tokov, a tie sú kódované použitím rovnakých riadiacich hodín alebo systémom kontrolných hodín. Tieto typy tokov sú vyvinuté pre voľné aplikácie, ako je napríklad uloženie videoobsahu na optické disky alebo pevné disky. Preto programové toky sú zriedkavo používané v koncových IPTV nasadeniach.

Okrem skomprimovaného audio a videoobsahu obsahuje prenášaný tok veľké množstvo programových špecifických informácií (PSI), či metadát popisujúcich bitový tok. Táto informácia je uvedená v štyroch PSI tabuľkách.

Tabuľka programového priradenia (PAT) - Prenos PAT tabuľky je povinný a je miestom vstupu pre PSI tabuľky. PAT majú vždy programový identifikátor (PID) 0. Táto tabuľka dáva spojenie medzi číslom programu a PID transportného paketu nesúcim tabuľku programového zobrazenia (PMT).

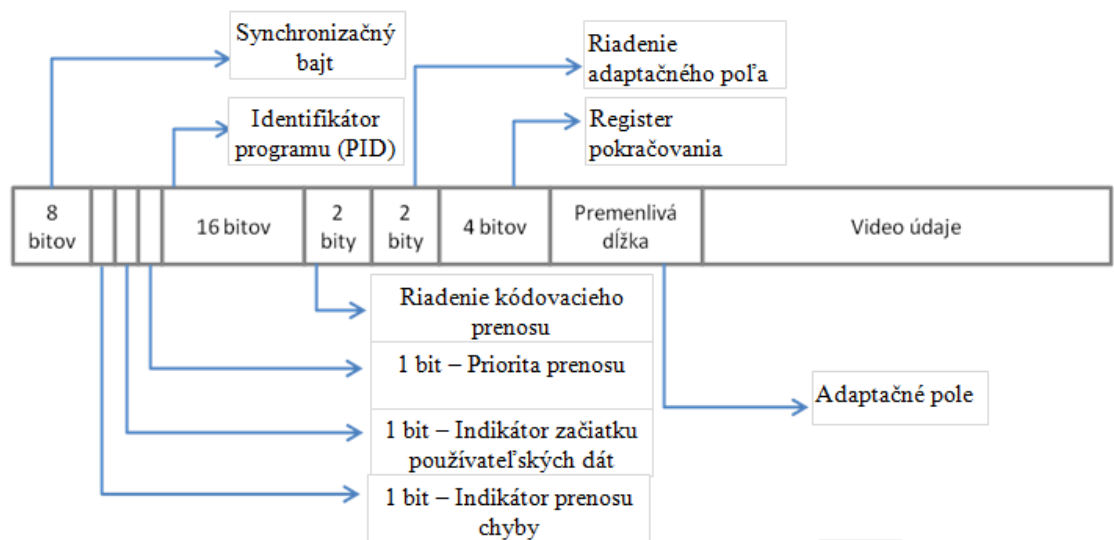
Tabuľka programového zobrazenia (PMT) - PMT je taktiež povinná a obsahuje informácie týkajúce sa niektorého konkrétneho programu. V PMT sú zoznamy všetkých PID paketov obsahujúcich prvky konkrétneho programu (audio, video, dáta a PCR informácie). **Obr. 6.18** graficky zobrazuje príklad vzájomného vzťahu medzi PAT a PMT.

Teda IPTVCD požiada nejaký konkrétny program, PAT poradí a vypýta si PMT k označeniu PID pre audio, video a dátové pakety spojené s týmto programom. V tomto

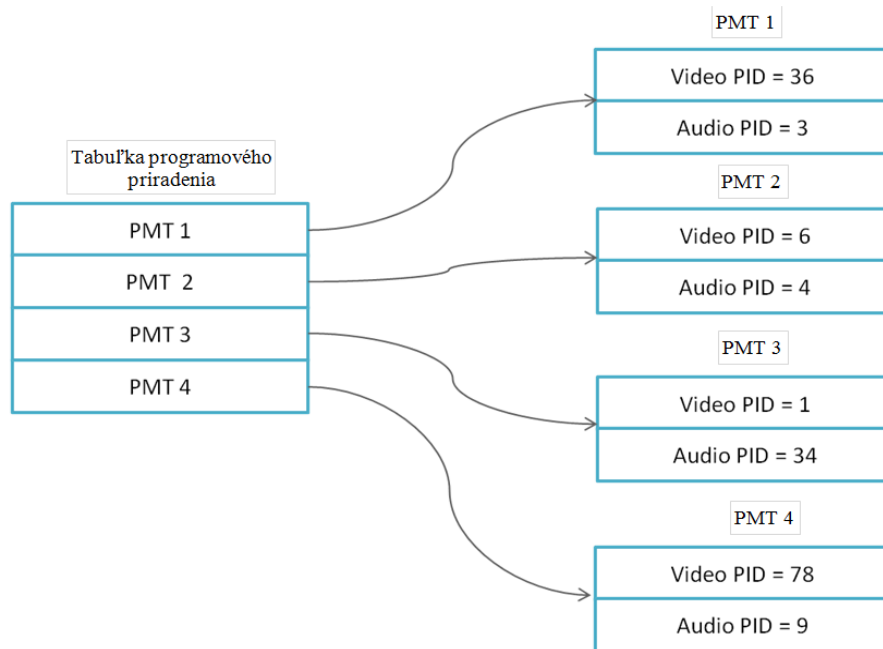
príklade si TV predplatiť vyberie program 1 a IPTVCD vyhľadá všetky transportné toky paketov s PID 36 pre video časti programov a pakety s PID 3 pre audio časti programov. Ak sú dáta odvysielané s programom, potom PMT bude taktiež obsahovať detaily o tom, kde sú umiestnené dáta paketov transportného toku.

Tabuľka podmieneného prístupu (CAT) - CAT je nepovinná PSI tabuľka, ktorá obsahuje PID pre EMM (nárokové spravovanie správ). EMM ovláda autorizačnú úroveň informácie pre podmienený prístup systémov. CAT je vždy nesený paketmi s PID 1.

Sieťová informačná tabuľka (NIT) - NIT je taktiež voliteľnou tabuľkou, ktorá ukladá informácie, ako napríklad kanálové frekvencie a množstvá transportných tokov. Set – top box používa túto informáciu pre optimalizovanie špecifických programov. NIT tabuľka je málokedy používaná pre IPTV nasadenia.



Obr. 6.17 Formát MPEG TS paketu



Obr. 6.18 Vzájomný vzťah medzi PMT a PAT

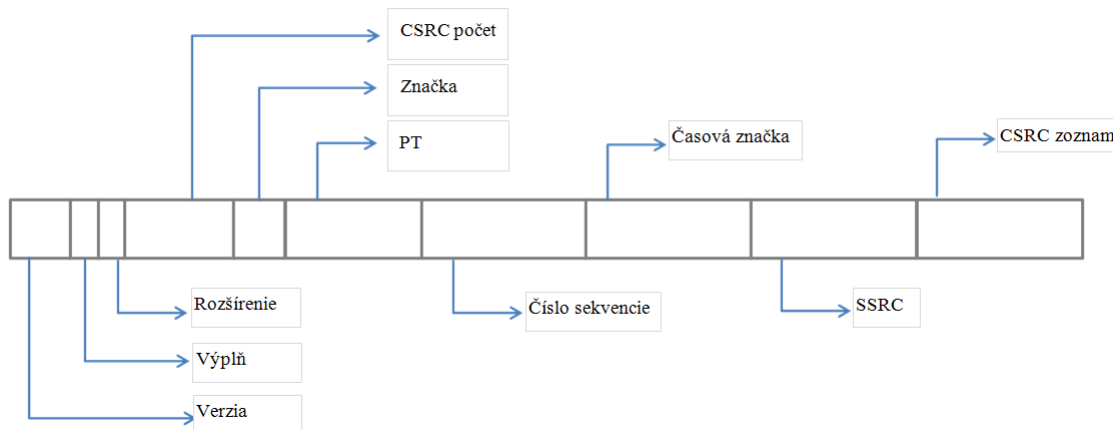
Ako náhle bol TS usporiadaný a formátovaný, je schválený IPTVCM k buď transportnej vrstve priamo, alebo k vrstve, ktorá používa protokol komunikácie v reálnom čase (RTP).

6.14 Vrstva protokolu komunikácie v reálnom čase (RTP)

Táto nepovinná vrstva je používaná širokou škálou IPTV aplikácií. Pôsobí ako medzičlánok medzi H.264 / AVC, MPEG-2 alebo VC-1 kódovaným obsahom vo vyšších vrstvách a nižších častiach IPTVCM. RTP protokol reprezentuje jadro tejto vrstvy a je často základným blokom, ktorý podporuje v reálnom čase tok mediálneho obsahu cez IP sieť.

RTP prenáša koncové toky audio a video zapuzdreného obsahu konkrétnym formátom nazývaným paket. Každý paket pozostáva z hlavičky a používateľských dát IPTV dát. Za účelom vylepšenia účinnosti pásmovej priepustnosti obsahujú používateľské dáta väčšinou viac ako jeden MPEG - TS paket.

Hlavička obsahuje tie funkcie, ktoré sú nevyhnutné pre úspešný prenos dát v reálnom čase cez sieť. RTP hlavička je identifikovateľná hodnotou 5004 v hlavičke UDP protokolu a obsahuje veľký počet polí. Detaily týchto rôznych polí sú vysvetlené na **Obr. 6.19**.



Obr. 6.19 Typický formát RTP hlavičky

Je tiež potrebné zvýrazniť, že RTP nemá dĺžku poľa vo svojej hlavičke, pretože sa spolieha na nižšie transportné protokoly poskytujúce tento typ informácie. Dve hlavné výhody vkladania skomprimovaného videoobsahu do RTP paketov sú:

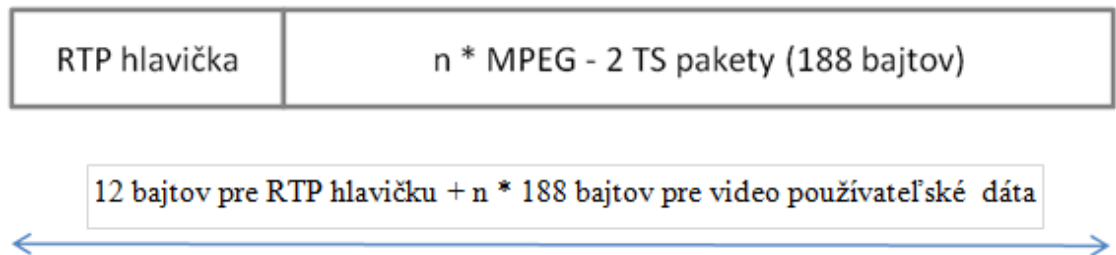
- Pridáva číslo postupnosti k paketom slúžiacim ako serveru, tak aj IPTVCD pre zistenie stratených paketov. Navyše, toto číslo môže byť tiež použité IPTVCD dekódrom k preskupeniu paketov, ktoré prišli z IP siete v nesprávnom poradí.
- Časová značka poľa pomáha riešiť problémy ako je napríklad časová nestabilita a nesprávna synchronizácia medzi zdrojom a cieľovou stanicou.

Po pridaní RTP hlavičky k používateľským dátam videa je RTP paket poslaný TCP alebo UDP protokolu pre ďalšie spracovanie.

V určitých prípadoch je možné preniesť MPEG-2, H.264 / AVC, alebo VC – 1 skomprimované video, audio a dátový obsah cez IP sieť, čím sa vyhne niektorým vrchným vrstvám IPTVCM ako aj usporiadaniu tohto obsahu do RTP paketu. Nasledujúce časti sa venujú stručnému prehľadu použitia RTP vrstvy k prenosu týchto troch odlišných kompresných videoformátov.

RTP je formát používateľských dát pre zapuzdrenie MPEG - 2 skomprimovaných bitových tokov. Častejšie ako použitie UDP protokolu pre prenos MPEG - 2 TS paketov používajú niektoré IPTV systémy RTP vrstvu. Usporiadanie MPEG - TS paketov do RTP paketov je celkom jednoznačné. Na **Obr. 6.20** je vyobrazená štruktúra používaná pre prenos na MPEG - 2 zložených DVB obsahov cez IP.

Ako je ukázané, štruktúra prispôsobí hlavičku a používateľské dáta MPEG-2 TS paketov. Každý paket má dĺžku 188 bajtov a bežne používa sedem MPEG-2 TS paketov v každom ETSI TS 102 034 zhodnom pakete.



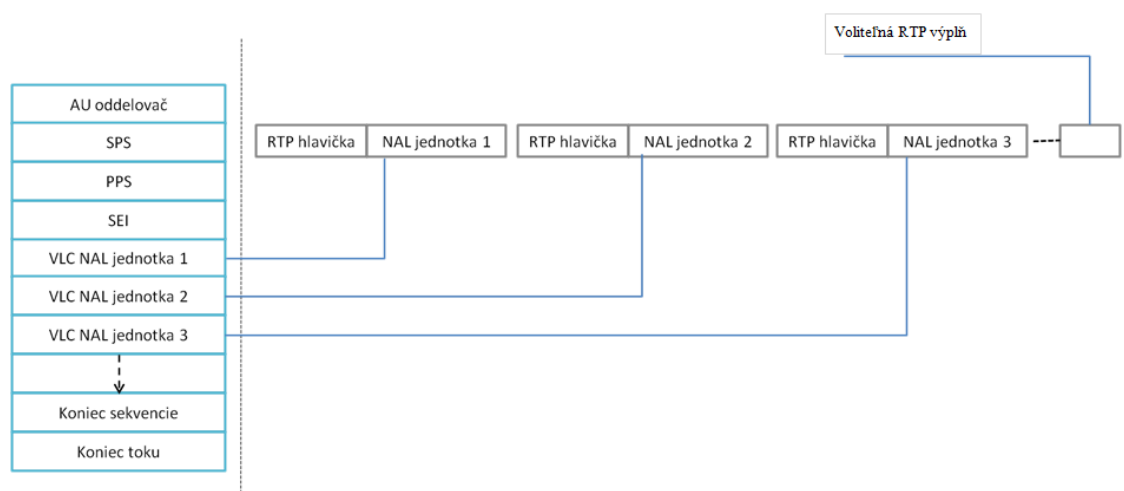
Obr. 6.20 MPEG-TS pakety zapuzdrené podľa ETSI TS 102 034

RTP je formát používateľských dát tiež pre zapuzdrenie H.264 / AVC skomprimovaných bitových tokov.

RFC 3984 poskytuje špecifické odporúčania k tejto metóde prenosu pre H.264 / AVC obsahu a definuje tri mechanizmy pre vkladanie NAL jednotky do RTP používateľských dát:

Jedna NAL paketová jednotka: Tento mechanizmus definuje zobrazenie jednej NAL jednotky do jednej RTP používateľskej informácie. Zloženie jednej NAL paketovej jednotky je graficky zobrazené na **Obr. 6.21**.

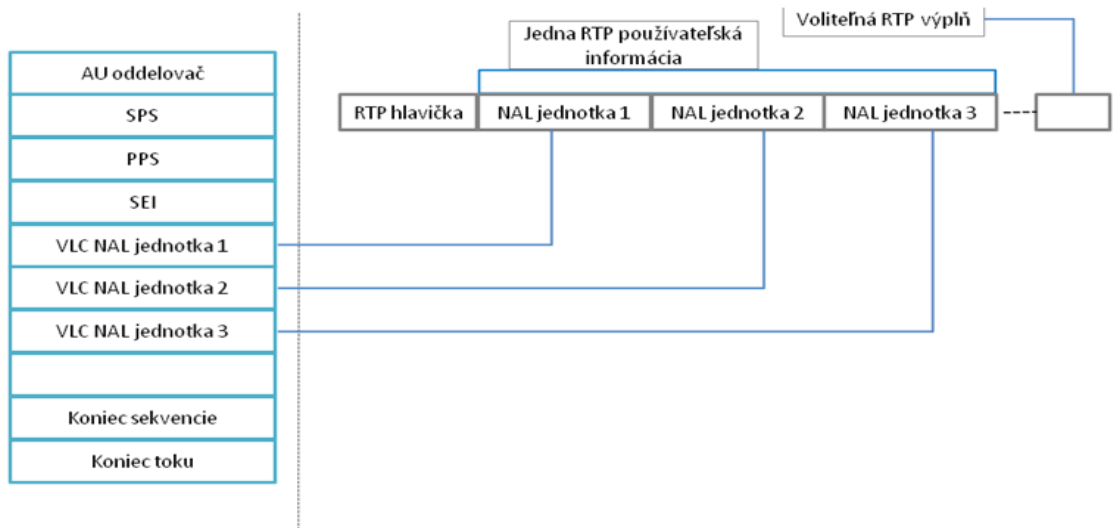
Zoskupenie NAL paketových jednotiek: Tento mechanizmus definuje zobrazenie viacnásobných NAL jednotiek do jednej RTP používateľskej informácie. Zloženie zoskupenia paketovej jednotky je graficky zobrazené na **Obr. 6.22**.



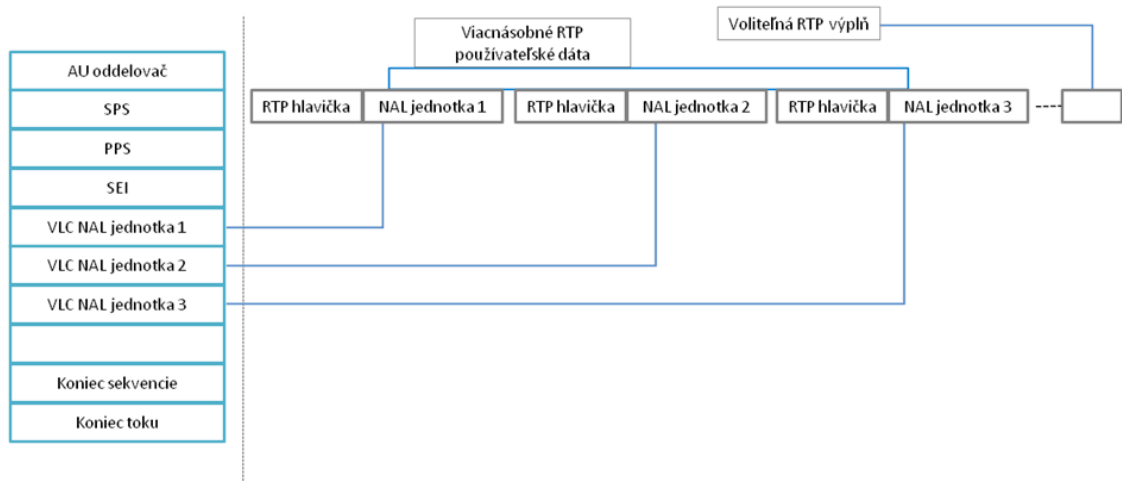
Obr. 6.21 Mapovanie H.264 / AVC obsahu ako jednej NAL jednotky priamo do RTP používateľskej informácie

Zoskupenie NAL jednotiek je definované prispôbením maximálnych prenosových jednotiek (MTU) pri odlišných typoch distribučnej sieťovej technológie. Napríklad, MTU ethernetového pripojenia je 1500 bajtov, zatiaľ čo ATM systémy používajú MTU 54 bajtov. Schopnosť používať zoskupenia ako mechanizmus mapovania viacnásobných NAL jednotiek do RTP používateľskej informácie eliminuje potrebu transkódovania a nadmernej paketizácie pri nasadení IPTV cez viaceré platformy.

Fragmentácia NAL paketovej jednotky: Ako názov naznačuje, tento mechanizmus definuje mapovanie jednej NAL jednotky cez viacnásobné RTP používateľské dáta. Zloženie fragmentácie jednotky paketu je graficky zobrazené na Obr. 6.23.



Obr. 6.22 Mapovanie H.264 / AVC obsahu ako viacnásobnej NAL jednotky priamo do jednej RTP používateľskej informácie

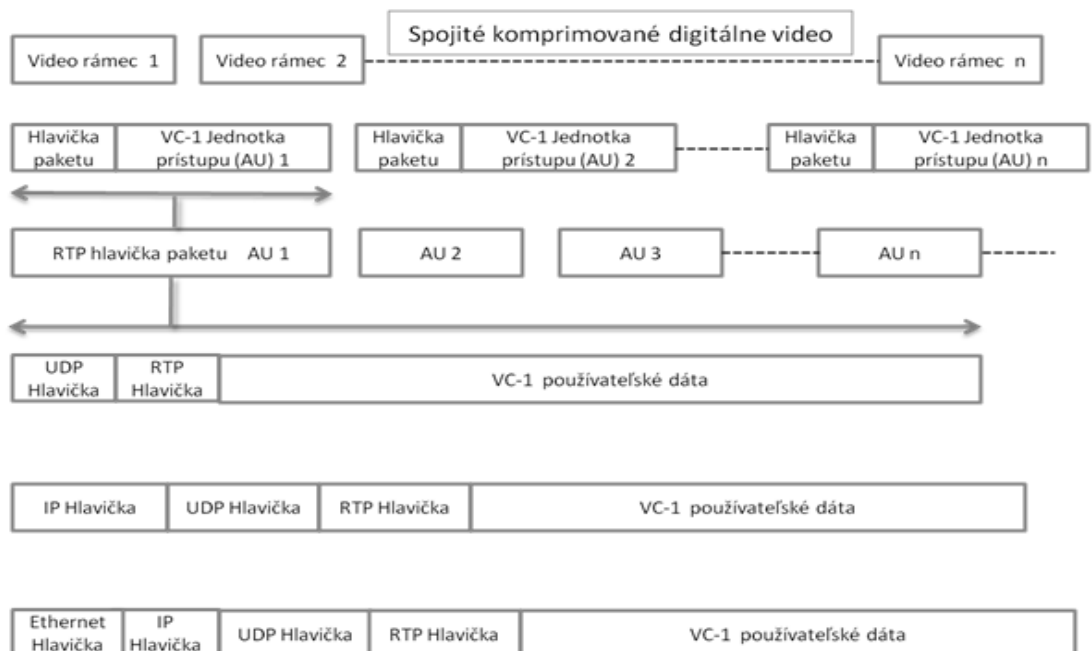


Obr. 6.23 Mapovanie jednej H.264 / AVC NAL jednotky priamo do viacnásobnej RTP používateľskej informácie

Je dôležité všimnúť si, že NAL jednotka fragmentov potrebuje byť odoslaná cez sieť v postupnosti a za sebou nasledujúcim poradí. Toto je umožnené pomocou vzostupných čísel obsiahnutých vnútri RTP hlavičky. Tento mechanizmus má niekoľko výhod pre IPTV poskytovateľov služby. V prvom rade pomáha preniesť väčšie množstvo obsahu s vysokým rozlíšením cez IP a po druhé, pomáha zlepšiť účinnosť techniky korekcie chyby, ako napríklad zabezpečenie so samoopravným kódom (FEC).

RTP je formát používateľskej informácie taktiež aj pre zapuzdrenie VC-1 skomprimovaným bitovým tokom. Prenos VC - 1 cez IP je možný taktiež pri IPTVCM. Existujú určité variácie v tom, ako je model aplikovaný na prenos VC-1 obsahu. Jedným z hlavných rozdielov je, že video dáta sú väčšinou prenesené priamo RTP paketmi z dôvodu vyhnutia sa použitiu MPEG zapuzdrenia. Obr. 6.24 poskytuje podrobnejší pohľad na to, čo sa stane s VC-1 skomprimovaným obsahom v zmysle zapuzdrenia a ako prechádza nadol cez IPTVCM protokolové usporiadanie.

Ako obrázok znázorňuje, mechanizmy zapuzdrenia sú celkom podobné MPEG procesu. V skutočnosti však nižšie prenosové vrstvy rozšírené od RTP smerom nadol k fyzickej vrstve sú presne rovnaké. Sú tam ale určité jemné rozdiely medzi vrchnými vrstvami IPTVCM, ktoré sa týkajú dátovej štruktúry a použitej terminológie.



Obr. 6.24 VC-1 vrstva zapuzdrenia

Prenos VC-1 skomprimovaných bitových tokov cez RTP je definovaný v RFC 4425. Ako je znázornené, RFC transportný mechanizmus zahŕňa zapuzdrenie VC-1

vstupných jednotiek (AU) do série RTP paketov. Každá AU obsahuje hlavičku a variabilnú dĺžku používateľskej informácie videa. Zloženie AU hlavičky paketu je zobrazené na Obr. 6.25 a objasnené v Tab. 6.2.

Všimnime si, že RTP mechanizmy zapuzdrenia sú všeobecne rozmiestnené cez siete, ktoré nie sú schopné zaručiť dostatočné hodnoty požadovanej kvality pre prenos IPTV služieb. Aj keď RTP pomáha vylepšiť pravdepodobnosť tokov prichádzajúcich do bodov na cieľovom mieste, nebol navrhnutý na to, aby zaručil požadovanú úroveň kvality. Preto je v správe poskytovateľa služby zabezpečiť prenos videa, ktorý je považovaný za prioritu tak ako prechádza sieťovou infraštruktúrou.



Obr. 6.25 Štruktúra VC-1 AU paketu

Tab. 6.2 Zloženie AU hlavičky paketu VC – 1

Názov poľa	Popis funkčnosti
Riadenie AU	Toto pole pozostáva z niekoľkých znakov, ktoré umožňujú nastaviť rôzne funkcie. Napr. nastavenie jednej dĺžky znaku bitu informuje dekóder, že jednotka prístupu dĺžky používateľských dát je obsiahnutá v hlavičke.
Súčet RA	Je to skratka pre jednotku prístupu dĺžky používateľských dát. Je teda stanovený prírastok hodnoty každého jedného RA bitu v AU riadiacom poli.
AUP len	Je to skratka pre jednotku prístupu dĺžky používateľských dát. Teda pole definuje veľkosť videoobsahu používateľských dát obsiahnutých v AU.
PTS delta	Predstavuje čas delta, ako PST definuje skrátenejší čas ako posun (delta alebo rozdiel) od časovej značky poľa obsiahnutého v hlavičke RTP paketu.
DTS delta	Toto pole definuje delta čas medzi zobrazením a dekódovaním časovej hodnoty.

6.15 Transportná vrstva

RTP pakety tvoria vo všeobecnosti vstupné dáta k transportnej vrstve IPTVCM. Môžeme si všimnúť, že je tiež možné mapovať MPEG - TS pakety priamo do transportnej vrstvy protokolu používateľskej informácie. Tým sa kompletne vyhne RTP vrstve. Transportná vrstva IPTV bola navrhnutá, aby kryla zložitosti IP sieťovej štruktúry procesov od vrchnej vrstvy. Štandardy v tejto vrstve zabezpečia spoľahlivosť a celistvosť koncového spojenia komunikačnej linky. Ak videodáta nie sú doručené IPTVCD bezchybne, transportná vrstva môže inicializovať opakovaný prenos. Alternatívne to môže oznámiť vrchným vrstvám, ktoré potom môžu previesť potrebnú opravnú činnosť. TCP a UDP sú dva najdôležitejšie protokoly používané v tejto vrstve IPTV komunikačného rozdelenia. Nasledujúce časti vysvetlia funkčnosti tejto transportnej vrstvy protokolov, používanej v IPTV infraštruktúre.

6.15.1 Použitie TCP smerovania IPTV paketov

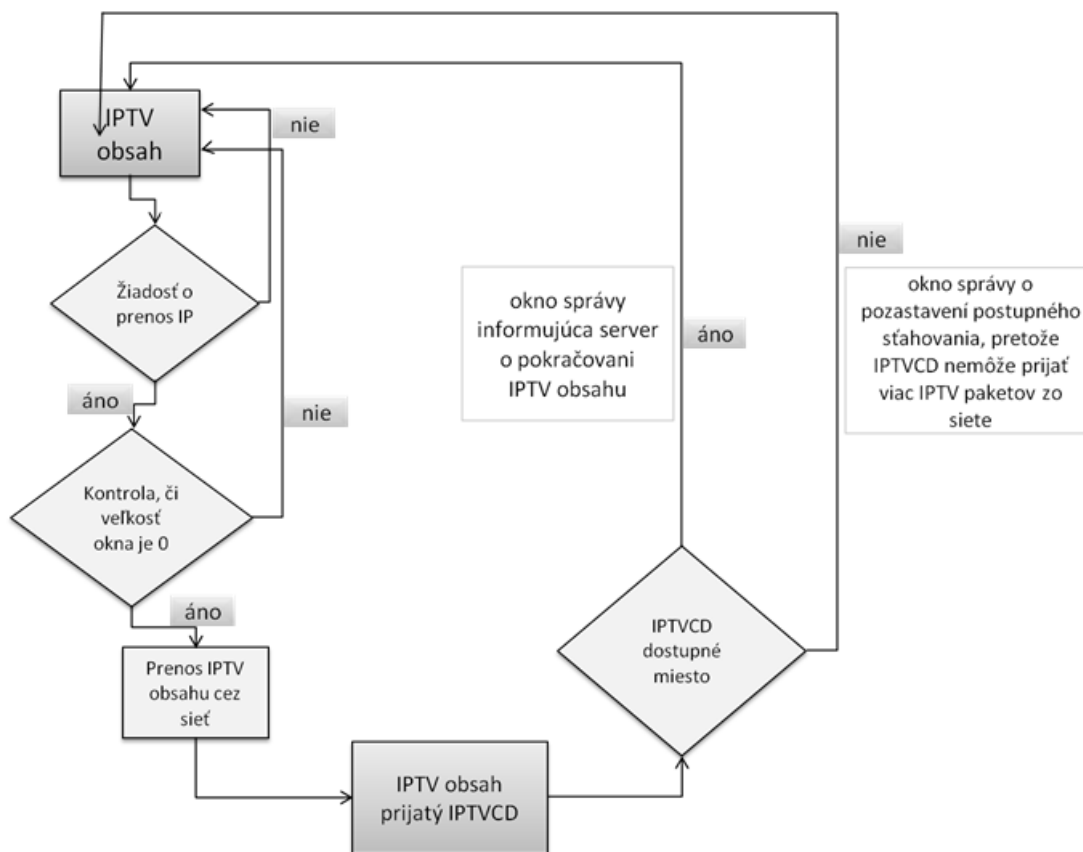
V roku 1968 Ministerstvo obrany USA začalo výskum sieťovej technológie v súlade s Agentúrou pre progresívne výskumné projekty (ARPA), ktorý viedol k vývoju TCP. Výskumný tím pracoval na sieťových protokoloch a technológiách, teraz známych ako prepojovanie paketov, až objavili pojem TCP. Od jeho vývoja v šesťdesiatych rokoch sa TCP stal synonymom prenosu dát cez internet a bol zdokumentovaný ako RFC 793 štandard. TCP je základným protokolom patriacim k balíku internetových protokolov a je klasifikovaný ako spojovo orientovaný. To v zásade znamená, že je potrebné zaviesť spojenie medzi IPTV koncovými servermi a IPTVCD pred prenášaním obsahu cez sieť.

TCP dopĺňa nedokonalosti a nedostatky IP a zároveň sa zaoberá chybami, ktoré nastanú počas prenosu obsahu cez sieť. Stratené, poškodené a tiež zdvojené pakety, to sú tri hlavné typy chýb, s ktorými sa možno stretnúť v prostredí IPTV. Pre vyrovnanie sa s touto situáciou používajú TCP systém postupnosti číslovania umožňujúci zasielanie nástroja opakovaného prenosu videodát, ktoré boli stratenými alebo poškodenými. Systém postupnosti číslovania je zrealizovaný v paketovej štruktúre pomocou dvoch 32 bitových polí. Prvé pole obsahuje štartovaciu postupnosť počtu dát v tomto pakete a druhé pole obsahuje hodnotu ďalšieho počtu postupnosti, ktorú video server očakáva späť od IPTVCD.

Okrem maskovania chýb (concealment), ktoré môžu nastať počas prenosu video dát cez IP širokopásmovú sieť, TCP môže tiež ovládať tok dát križujúcich sieťou. To je dosiahnuté prostredníctvom použitia oknového rozmeru poľa spoločne s algoritmom nazvaným posuvné okno. Ako je ukázané na **Obr. 6.26**, hodnotu v tomto poli určuje počet bajtov, ktorý môže byť prenesený cez sieť predtým ako je požadované potvrdenie príjmu zo strany prijímača.

V IPTV prostredí hodnota oknového rozmeru poľa sa rovná odkladaciemu priestoru vyrovnávacích pamätí (bufferov) v IPTVCD bez množstva videoobsahu, ktorý je umiestnený načas v bufferi v špecifickom prípade. Dáta v tomto poli sú zadržané priebežne až do príjmu správ prichádzajúcich späť od IPTVCD, nazývaných oknové oznámenia.

Ak hodnota tohto poľa je nulová, potom je IPTVCD na prijímajúcom koncovom bode spojenia neschopný spracovávať IPTV dáta v dostatočnej rýchlosti. Keď to nastane, TCP dá pokyny videoservertu, ktorý zastaví alebo spomalí rýchlosť zasielania paketov dát k IPTVCD. To zabezpečí, že IPTVCD sa nezaplaví prichádzajúcimi paketmi dát, ktoré by mohli mať za následok zlyhanie zariadenia a spôsobili by vážne narušenie pre IPTV užívateľa. Akonáhle IPTVCD spracuje niektoré z videodát vo vyrovnávacej pamäti, IPTV server je informovaný o tejto skutočnosti a hodnota v okennom rozmere poľa sa zvýši a zároveň videoservert spúšťa prenášanie obsahu znova. V ideálnom IPTV prostredí počet okenných oznámení prichádzajúcich späť od IPTVCD oznamuje serveru, ktorý vyrovnávací priestor bol uvoľnený a porovnáva rýchlosť uvoľnenia s rýchlosťou odovzdávania IP videoobsahu od videoservertov v dátovom centre IPTV.



Obr. 6.26 Riadiaci tok TCP rozhodujúci o spracovaní postupného sťahovania

6.15.1.1 Porty TCP a kombinácie IP adresy stanice a čísla portu

Každý koncový bod IPTV pripojenia má IP adresu a priradený port. Teda typické spojenie bude mať štyri rozdielne identifikátory:

- IP adresa videoservera
- číslo portu videoservera
- IP adresa IPTVCD
- číslo portu IPTVCD

Kombinácia adresy s číslom portu umožňuje procesu na IPTVCD priamo komunikovať s procesom bežiacim na jednom zo serverov nachádzajúcich sa v IPTV dátovom centre. Port je definovaný ako 16 bitové číslo, ktoré identifikuje smer priebehu správy medzi sieťovými vrstvami. Porty patria do dvoch rozsiahlych kategórií: dobre známych a krátko trvajúcich.

Známe porty majú hodnotu medzi 1 a 1023. Táto kategória portov je obvykle používaná servermi a riadená organizáciou nazývanou Autorita internetového pridelenia čísla (IANA).

Krátko trvajúce porty sú zriadené IPTVCD na dočasných základoch, pokiaľ komunikácia neprejde späť do IPTV servera. Porty sú priradené vložím IP k programovému usporiadaniu. Tieto hodnoty sú spravidla väčšie ako 1024 a menšie než 65535. IANA nevedie, respektíve neriadi krátko trvajúce porty.

Kombinácie IP adresy stanice a čísla portu sú ďalším kľúčovým prvkom IP komunikačného modelu. Táto kombinácia je v podstate rozhranie aplikačných programov (API) a má napomáhať komunikácii medzi procesmi prebiehajúcimi na IP zariadeniach.

Vzťah medzi IP adresami a kombináciou IP adresy stanice a čísla portu v bližšom pohľade na poradie krokov sú spojené so zriadením komunikačného kanálu medzi procesom prebiehajúcim na IPTVCD a procesom prebiehajúcim na serveri IPTV dátového centra. Tieto kroky sú objasnené a popísané nižšie.

Príprava dát: Odoslanie procesu prebiehajúceho na IPTV serverovom systéme pre postupné sťahovanie pripravuje obsah a vyzýva TCP / IP komunikačný modul pre prenos dát k procesu, ktorý prebieha na vzdialenom klientskom IPTVCD. Začína proces komunikácie a informačná hlavička je pridaná k obsahu a celý obsah križuje nadol cez IPTVCM.

Zriadenie logického TCP spojenia: Oba koncové body spojenia sú identifikované IP adresou a číslom portu. Táto kombinácia IP adresy a čísla portu sa nazýva soket. Metóda adresovania pre túto komunikačnú linku pozostáva z nasledovných premenných:

- Protokol
- IPTV serverová IP adresa
- ID proces prebiehajúci na IPTV serveri
- IPTVCD IP adresa
- ID proces prebiehajúci na IPTVCD

Začiatok dátovej konverzácie: Komunikácia štartuje prostredníctvom kombinácie IP adresy stanice a čísla portu medzi oboma procesmi a dáta sú odovzdávané od zaslania IPTV serverom k prijímaniu IPTVCD.

Riadenie toku IPTV obsahu: TCP protokol sa stará o riadenie IPTV toku, pokiaľ je spojenie zriadené.

Ukončenie TCP spojenia: Akonáhle je prevod IPTV obsahu kompletný, IPTVCD alebo obsahový server uzavrie soket a ukončí sieťové spojenie.

6.15.1.2 TCP segmenty

TCP rozdelí súvislý IPTV tok do menších častí nazývaných "segmenty" a pošle ich oddelene cez širokopásmovú sieť. Akonáhle všetky tieto segmenty prídu na miesto určenia k IPTVCD, TCP ich naspäť pospája v pôvodnú postupnosť. Každý segment má dve zložky, a to: hlavičku a videodáta.

- Hlavička: Je to informácia pripevnená k segmentu, ktorá umožňuje riadiť cestu zo zdroja do jeho cieľového miesta. Hlavnou informáciou danou v záhlaví je číslo portu zdroja a cieľového miesta, počet postupností segmentov a kontrolný súčet. Číslo portu zabezpečí, že dáta dosiahnu a vrátia sa z procesov prebiehajúcich na každom IP zariadení. Poradové číslo napomáha TCP, aby vedelo, ako vrátiť dáta do pôvodného tvaru, predtým ako bol fragmentovaný do segmentov.
- Videoúdaje: V IPTV prostredí udržiava toto pole aktuálny videoobsah.

Technický popis TCP formátu segmentu je popísaný v **Tab. 6.3**. TCP mapuje segment do IP protokolu po vložení nevyhnutnej informácie do jej hlavičky. Ako je popísané vyššie, TCP poskytuje celý rozsah užitočných možností na prenos dát cez IP sieť. Ďalším známym protokolom, ktorý je tiež používaný rozsiahlym IPTV odvetvím prenosu dát a obzvlášť videoprenosu cez IP sieť je UDP protokol.

Tab. 6.3 Štruktúra TCP videosegmentu cez IP

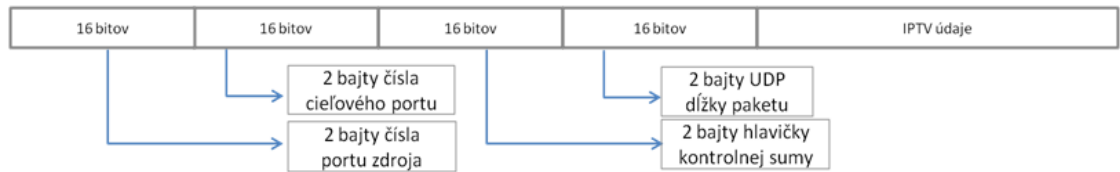
Názov poľa	Popis funkčnosti
Zdrojový port	Toto pole označuje číslo portu zdroja odoslaného IPTV aplikáciou.
Cieľový port	16-bitové pole použité na označenie čísla portu miesta určenia.
Číslo postupnosti	Toto pole označuje poradie TCP segmentu. Napomáha TCP sledovať každý IPTV paket, ktorý prechádza sieťou.

Číslo potvrdenia	Pole obsahuje počet nasledujúcich postupností, zasielaných zariadením, pre očakávaný príjem. Bude obsahovať hodnotu iba ak je stanovený riadiaci bit ACK.
Posun dát	Toto krátke pole indikuje umiestnenie, kde začínajú videodáta v segmente.
Obsadenie	Toto pole je väčšinou vyhradené pre budúce použitie a má hodnotu 0.
Riadiace bity	Pole obsahuje 6 riadiacich bitov: URG –ukazovateľ naliehavosti; ACK –pole potvrdenia PSH –funkcia stlačenia; RST –vynulovanie spojenia SYN–synchronizuje postupnosť čísel; FIN –žiadne ďalšie dáta
Okno	Toto pole označuje veľkosť okna pre doručované dáta medzi potvrdením.
Kontrolný súčet	Pole pre meranie jednoduchej detekcie chýb; používa ochranu dát, ktoré sú poslané po sieti. Tvorí ho číslo vypočítané pridaním oktetu k TCP segmentu.
Ukazovateľ naliehavosti	Pole je popísané, len ak je ukazovateľ naliehavosti aktivovaný.
Voliteľné možnosti a výplň	Možností zahrnuté v tomto poli sú dostupné v niekoľkých 8-bitoch a môžu obsahovať rozdielne typy premenných. Zvolené možnosti určujú dĺžku TCP segmentu. Výplň je na konci tvorená z núl.

6.15.2 Použitie UDP smerovania IPTV paketov

UDP je protokol, patriaci k internetovej sade protokolov, ktorý umožňuje serverom pre postupné sťahovanie, pripojeným k širokopásmovej sieti, posielat' prijateľne vysielanú kvalitnú televíznu službu do IPTVCD. Je podobný ako TCP, avšak ponúka minimum transportných služieb. UDP je spojovacím protokolom, významným v tom, že pre spojenie medzi videoserverom a IPTVCD nepotrebuje byť zriadený pred samotným uskutočnením videoprenosu cez sieť. Videoserver jednoducho pridáva IP adresu miesta určenia a číslo portu k datagramu a ďalej smeruje do sieťovej infraštruktúry pre doručenie do IP adresy cieľového miesta. Akonáhle je v sieti, UDP používa najlepšiu možnosť prístupu k nadobudnutiu dát do bodu jeho cieľového miesta. Všimnime si, že UDP používa dátové jednotky nazývané "datagram" prepravujúce obsah cez sieť. Ďalšia časť zhodnotí základnú štruktúru týchto dátových jednotiek.

UDP datagram pozostáva z hlavičky, ktorá je 8 bajtov dlhá, a z pridružených videodát. Kľúčové prvky na UDP založeného IPTV datagramu sú vysvetlené na Obr. 6.27 a popísané v Tab. 6.4.



Obr. 6.27 Typický formát základného UDP IPTV datagramu

UDP má niekoľko výhod ako aj nedostatkov. Zhrnutie výhod UDP v postupne sťahovaných médiách:

- Doručovanie IPTV obsahu je bez prestávky: Doručovanie IPTV obsahu nie je oneskorené, aj keď sa oneskoria alebo poškodia pakety obsiahnuté v prenosovej sieti. Pri TCP používaní TV diváci čelia prestávke, keď čakajú na oneskorený paket alebo na dodanie obrazového rámca, či čakajú kým bude vymenený poškodený paket.
- Nízke výdavky: Veľkosť hlavičky je len 8 bajtov v porovnaní s TCP hlavičkou, ktorá obsahuje 20 bajtov dát.
- Rýchle usporiadanie spojenia: Zriadenie a kompletne rozloženie spojenia medzi sieťovými komponentmi IPTVCD a IPTV dátovým centrom prebieha veľmi krátky časový úsek. Preto doručenie videopakotov používajúcich UDP protokol je všeobecne rýchlejšie v porovnaní s použitím TCP protokolu.
- Podporuje jednosmerný prenos: UDP nevyžaduje spätnú cestu, a teda dovoľuje spoločnostiam, ako sú satelitní operátori, vysielanie IPTV obsahu k ich zákazníkom.
- Jednoduchá implementácia: Z technického pohľadu je UDP dosť jednoduché pre implementovanie, pretože nie je požadované sledovanie videopakotov, ktoré boli poslané do IP siete.

Napriek tomu, že UDP je rýchly a účinný pre tie aplikácie, kde je čas podstatný, v určitých oblastiach zlyháva.

Integrita dát: Integrita dát nie je v UDP zaručená, pretože jediné služby, ktoré poskytuje, je kontrolný súčet a multiplexovanie čísel portu. Hociktorý komunikačný problém, ktorý môže nastať na ktoromkoľvek koncovom bode komunikácie, potrebuje byť zvládnutý samostatne IPTV aplikáciami. Problémy, ako opakovaný

Tab. 6.4 Štruktúra UDP IPTV datagramu

Názov poľa	Popis funkčnosti
Zdrojový port	Pole označuje číslo portu, na ktorom posiela datagram. Je voliteľným portom a ak je použitý, väčšinou je označený 0.
Cieľový port	Pole označuje číslo portu miesta určenia na IPTVCD.

Dĺžka	Pole napomáha IPTVCD identifikovať dĺžku a veľkosť prichádzajúceho UDP datagramu. Dĺžka poľa obsahuje 8-bitovú hodnotu, ktorá zahŕňa obe –hlavičku ako aj aktuálne videodáta.
Kontrolný súčet	Toto 2-bajtové pole obsahuje preddefinované číslo, ktoré umožňuje IPTVCD overiť neporušenosť prichádzajúcich UDP IPTV datagramov.
Videodáta	Táto časť datagramu obsahuje video údaje. V prípade IPTV prostredia sú dáta v tejto časti formátované audio a video postupne sťahovaným protokolom použitým v IPTV dátovom centre.

prenos, paketizácia a kompletizácia, opakovaný prenos stratených paketov, preťaženie a riadenie toku, to je všetko nad dosah schopností UDP spracovať chyby.

- Problém v prenikaní cez firewall: Ďalším nedostatkom UDP je, že zlyháva funkcia efektivity v prítomnosti určitých sieťových firewallov. Mnohé z týchto firewallov blokujú UDP informácie, čo vytvára problémy. Nie je to hlavným problémom pre IPTV poskytovateľov služieb, ale má to dopad na spoločnosti, ktoré ponúkajú služby internetovej TV.

V súvislosti s IPTV je UDP užitočným, keď dátové centrum potrebuje zaslať IP videoobsah viacnásobným IPTVCD a je najobľúbenejším transportným vyváženým protokolom používaným IPTV poskytovateľmi služieb.

Keď poskytovatelia služieb doručujú IPTV obsah k zákazníkovi, je rozhodujúce, aby videoobsah prišiel načas a v dobrom stave, inými slovami, aby videopakety zostali neporušené. Preto sa potrebujú uistiť, aby rozmiestnený protokol podporoval túto úroveň schopnosti doručovania cez sieťovú infraštruktúru. Hoci TCP poskytuje aplikácie s rozsiahlou škálou sieťových funkcií, v porovnaní s UDP nie je obľúbenou voľbou transportného protokolu pre poskytovateľov služieb, ktorí sú zapojení do doručovania IPTV obsahu. Tu nastáva skutočnosť, že IPTV je aplikáciou v reálnom čase a netoleruje oneskorenia. TCP môže často predstavovať oneskorenie doručovania IP videoobsahu kvôli skutočnosti, že protokol zamestnáva riadiace mechanizmy toku.

V nasledujúcej časti budú popísané funkcie a obmedzenia TCP, ktoré zasahujú do doručovania v reálnom čase IPTV obsahu.

Kompromisné riešenie v porovnávaní medzi citlivosťou a oneskorením. IPTV je menej citlivý na stratu alebo poškodené pakety ako na časové oneskorenia. Opakovaný prenos paketov zlepšuje spoľahlivosť spojenia medzi serverom a IPTV prístupovým zariadením, aj keď takáto činnosť zvyšuje oneskorenie. Tieto oneskorenia robia TCP menej žiaducim pre prenos IPTV obsahu.

TCP je spojovo orientovaný protokol. Ako bolo objasnené skôr, TCP vyžaduje zriadenie logického spojenia medzi serverom a IPTVCD predtým, ako sa prenos IPTV obsahu môže uskutočniť. To spôsobuje neprijateľné zdržania pre koncových užívateľov, ktorí prechádzajú z jedného kanála k ďalším v živých vysielaniach v IPTV prostredí.

Podpora pre korekciu chýb. TCP poskytuje podstatne viac prostriedkov, obzvlášť korekciu chyby a riadenie toku. Avšak, oprava chýb, ktoré nastanú na videu v IP sieti môže v niektorých prípadoch degradovať kvalitu služieb doručených klientom. Kvôli porozumeniu, prečo tento problém nastáva, je potrebné nazrieť do základnej charakteristiky pre prenos videa. Predovšetkým, video pozostáva z nepretržitého sledu obrázkov. Každé prerušenie rýchlosti, v ktorej sú tieto obrázky spracované a zobrazené IPTVCD, spôsobuje znehodnotenie videozobrazenia a ovplyvňuje dojem zo sledovania koncovému užívateľovi. Typická doba spracovania pre každý obraz je len zlomok sekundy. Ak teda bol použitý TCP v tomto type prostredí pre korekciu poškodeného IPTV paketu, nastane:

- IPTVCD dá znamenie, že bol prijatý dátový paket, ktorý obsahuje chyby.
- Správa je poslaná IPTV serveru a informuje, ktorý z paketov bol prijatý poškodený.
- Podľa zariadenia TCP sa server pokúsi nájsť a opakovane preniesť ten istý IPTV paket.
- IPTVCD prijíma nový paket do svojej vyrovnávacej pamäti a zobrazuje videoobsah obsiahnutý v pakete.

Počas TCP periódy cez kroky uvedené vyššie má IPTVCD buď čakať na opakovaný prenos paketu a urobiť rozdiel v postupne sťahovanom videu, alebo vyradí opakovaný prenos paketu a poprie potrebu TCP mechanizmu korekcie chyby.

Proces so stratenými IPTV paketmi je v podstate rovnaký ako s opravovaním pokazených IPTV paketov. Pakety je potrebné prenášať, a to následne spôsobuje oneskorenie v sieti, čo má negatívny dopad na doručovanie IPTV služieb.

Okrem korekcie chýb a zariadenia logického spojenia má TCP podporu pre regulovanie bitovej rýchlosti toku poslania serverom, čo môže tiež spôsobovať ťažkosti v prenášaní a prijíme IPTV obsahu. Problém nastane, ak vyrovnávacia pamäť v IPTVCD sa začne naplňať IPTV paketmi alebo sa sieť stane preťaženou. Ak tieto situácie nastanú, server prijíma inštrukcie pre zníženie rýchlosti, ktorou posiela pakety ďalej do siete. Ak inštrukcia pre spomalenie je vykonaná IPTV serverom, potom je možné, že

rýchlosť klesne na hodnotu, ktorou bude znemožnené zobrazenie videoobrazu na TV obrazovke. Ak je vydaná správa pre zastavenie, IPTV služba sa kompletne vypne.

Nedostatok podpory pre vysielanie - TCP je neschopný zvýšiť účinnosť v prostredí vysielania. Preto je UDP lepšou voľbou ako TCP, keď sa jedná o komunikačné služby ako vysielanie IPTV aplikácii a doručovanie vysielania, pretože tieto neexistujú na TCP.

Dĺžka hlavičky - dĺžka TCP hlavičky je 20 bajtov v porovnaní s 8 bajtmi použitými pre UDP hlavičku, a teda TCP hlavička je väčšia než UDP hlavička. Aj keď rozdiel 12 bajtov nevyzerá byť v súvislosti s dopravovaním videodát cez vysoko kapacitné linky dôležitým, celkovo v sieti, ktorá môže prenášať desiatky miliónov paketov denne, je rozhodujúcim.

Toto sú hlavné dôvody, prečo je TCP málokedy používaný v živých IPTV prostrediach. TCP je však značne používaný inými aplikáciami, ako napríklad e-mail a sťahovanie internetového TV obsahu pre prehrávanie v neskoršom období. UDP je teda najčastejšie používaný takmer pre všetky IPTV implementácie po celom svete. UDP je transportným protokolom vhodným pre doručovanie IPTV služieb, avšak má niekoľko nedostatkov, a to najmä neschopnosť riešiť detekciu a korekciu chybových hlásení. Táto záležitosť je prekonaná stávaním funkcie pre obnovu chyby do IPTV aplikácie naprieč chodom siete alebo vnútri v samotnom postupne sťahovanom videu.

6.16 Internetová vrstva

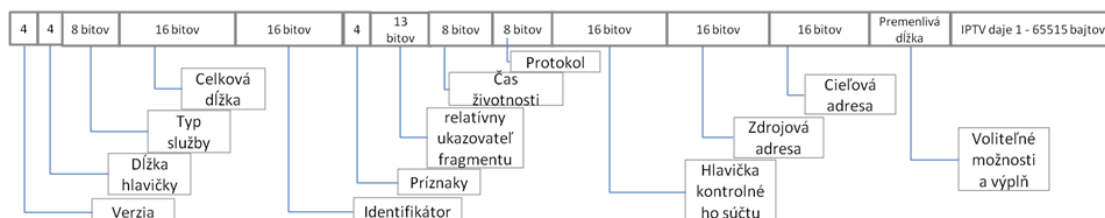
Vrstva pod transportnou vrstvou je nazývaná internetová vrstva (tiež známa ako IP vrstva). Jej hlavným cieľom je presun dát špecifickými sieťovými lokalitami cez viacnásobne nezávislé prepojené siete nazývané sieťové rozhranie (tiež aj internet). Je použitá pre posielanie dát špecifickými cestami do miesta ich určenia. IP je najznámejší protokol nachádzajúci sa vo vrstve sieťového rozhrania, ktorý poskytuje základné služby paketového doručovania pre všetky IPTV služby. Typy služieb sa odlišujú od systémov unicast, kde pakety sú poslané zo zdroja k jedinému miestu určenia IPTVCD až po multicast systémy, ktoré pošlú pakety z jediného kódera alebo servera pre postupné sťahovanie k viacnásobným IPTVCD.

IP verzia 4, taktiež skrátene IPv4, je najčastejšie používaný protokol v IPTV sieťach v súčasnosti. Špecifikácie pre verziu 4 IP štandardu môžeme nájsť v RFC 791, 950, 919 a 922, s aktualizáciami v RFC 2474. Nemožno zabudnúť ani na poslednú

verziu protokolu, IPv6 zverejnenej prostredníctvom RFC 2460. Hlavnou funkciou IP je dodávať bity segmentových dát v paketoch zo zdrojového zariadenia k zariadeniu miesta určenia. IP používa mechanizmus najlepšej snahy („best effort“) pre doručovanie dát. Inými slovami, nemá vstavané postupy pre garanciu prenosu informácie cez sieť. Základom blokov IP protokolu je segmentácia dátových bitov do paketov a adresovanie. Nasledujúce riadky sa venujú krátkemu prehľadu IP videopakotov a pridružených schém adres.

6.16.1 IP videopakety

IP videopaket je jednotka, ktorá obsahuje aktuálne videodáta a detaily získania videa od IPTV servera dátového centra k IPTVCD miesta určenia. Kľúčové prvky IPv4 videopaketu sú ilustrované na **Obr. 6.28** a popísané v **Tab. 6.5**.



Obr. 6.28 Typický formát IPv4 videopaketu

Tab. 6.5 Štruktúra IPv4 videopaketu

Názov poľa	Popis funkčnosti
Verzia	Identifikuje verziu IP používanú v sieti – IPv4 alebo IPv6
Dĺžka hlavičky	Pole popisuje veľkosť hlavičky. Napomáha IPTVCD identifikovať, kde začínajú používateľské videodáta.
Typ služby	Pole tiež ako miesto kódovania diferencovaných služieb (DSCP) je dôležité pri doručovaní IPTV obsahu, pretože umožňuje poskytovateľom služieb nastaviť typ obsahu prenášaného v pakete. Umožňuje smerovačom aplikovať a prispôbiť úroveň QoS pre rozdielne typy prenosu.
Celková dĺžka	Pole oznámi IPTVCD celkovú dĺžku IPTV paketu. Má hodnotu dĺžky 16-bitov, čo znamená, že paket môže mať max. veľkosť 65535 bajtov.
Identifikácia	Pole je zvyčajne použité smerovačmi na roztrhnutie veľkých paketov do menších fragmentov. Po fragmentovaní smerovač používa toto pole k označeniu rôznych fragmentov z pôvodných

	packetov.
Značka	Toto pole označuje odlišné typy fragmentácie, najmä ak paket je fragmentom, či môže byť fragmentovaný a ak paket je posledným fragmentom alebo sú tam viac fragmentov.
Posun fragmentu	Ak je IPTV paket fragmentovaný a doručený cez širokopásmovú sieť, funkcia IPTVCD znovu poskladá fragmenty do správneho poradia. Toto pole počíta každý fragment, ktorý dovoľí IPTVCD správne znovu poskladať.
Čas životnosti	Ako IP paket prechádza širokopásmovou sieťou, pole životnosti je vyšetrované cestou každým smerovačom a nastáva pokles v hodnote poľa. Proces pokračuje, pokiaľ hodnota poľa nedosiahne 0. Funkciou poľa je odstrániť IPTV pakety, ktoré nedosiahnu cieľ.
Protokol	Toto 8-bitové pole označuje typ protokolu obaleného v IP datagrame. (ICMP=1, IGMP=2, TCP=6, UDP=17)
Kontrolný súčet hlavičky	Toto pole umožňuje IPTVCD zistiť datagram s poškodenými hlavičkami. Poškodené pakety sú väčšinou zničené, či odhodnené.
Zdrojová adresa	V tomto poli je IP adresa zariadenia, ktorý poslal IPTV paket.
Cieľová adresa	Pole obsahuje IP adresu prijímača, pre ktorý je paket určený.
Možnosti a výplň	Pole je používané IPTV poskytovateľmi pre prídavne funkcie a výplň.
Dáta	Pole s videoobsahom.

6.17 Spojová vrstva

Spojová vrstva preberá prvotné dáta z IP vrstvy a formátuje ich do paketov vhodných pre doručovanie naprieč fyzickou sieťou. Spojová vrstva sa rozlišuje medzi sieťové protokoly. Ethernetová technológia je jednou z najčastejšie používaných mechanizmov v IPTV systémoch. Typy funkcií vykonaných spojovou vrstvou pre siete ethernet obsahujú:

- Zapuzdrenie - táto vrstva pridáva hlavičku k IPTV paketom. Ethernetové hlavičky sú najbežnejším typom zapuzdrenia, ktoré nastane na spojovej vrstve IPTVCM. Prvky ethernetovej hlavičky sú vysvetlené v **Tab. 6.6**.
- Adresovanie - spojová vrstva sa zaoberá fyzickými adresami IPTV siete klienta a serverového zariadenia. Schémy adres sa odlišujú od sieťovej topológie. Pri schéme adresovania pre riadenia prístupu média (MAC) býva napríklad používaný ethernet. MAC adresovanie umožňuje každému zariadeniu pripojenému k IPTV sieti mať jednoznačný identifikátor. Dĺžka MAC adresy je 48 bitov a je najčastejšie

reprezentovaná ako 12 hexadecimálnych číslic. Z týchto 12 hexadecimálnych číslic prvých šesť číslic identifikuje výrobcu IPTV zariadenia a zostávajúce číslice identifikujú skutočné sieťové rozhranie.

- Kontrola zabezpečenia proti chybe – táto funkcia je rozprestretá cez viacero IPTVCM vrstiev, vrátane spojovej vrstvy. Poškodené pakety sú najbežnejším druhom chyby, ktoré nastanú počas prenosu videoobsahu cez sieť IP. Schéma korekcie chyby, nazývaná kontrola cyklickým redundantným kódom (CRC), je väčšinou používaná v IPTV nasadeniach pre detekciu a vymazanie týchto poškodených videopakotov. Podľa CRC mechanizmu kontroly chýb vysielač IPTV zariadenie vykonáva matematický výpočet na paket a uloží vyplývajúcu hodnotu do paketu. Rovnaký výpočet je vykonaný znova prijímacím IPTV zariadením po prijatí paketu. Ak sú hodnoty rovnaké, paket je spracovaný ako zvyčajne. Ak sa ale hodnoty odlišujú, paket obsahuje chyby a je vyradený. Následne sa zostaví nový videopakot a vysielačím zariadením je opakovane prenesený. Informovanie vrchných vrstiev IPTVCM pri nastaní chyby je hlavným podielom vyrobeným spojovou vrstvou k celkovému mechanizmu kontroly chýb použitej koncovými IPTV systémami.
- Riadenie toku - správou riadenia toku sa v prvom rade zaoberá transportná vrstva. V súvislosti s IPTV sieťovým prostredím použitie riadenia toku zabezpečí, že server pre postupné sťahovanie nezahltí obsahom prijímacie IPTV zákaznícke zariadenie. Spojová vrstva vykonáva určité požadované riadiace požiadavky prietoku v spojení s transportnou vrstvou.

Okrem adresovania, kontroly zabezpečenia proti chybe a regulácii toku sa táto vrstva taktiež stará o zapuzdrenie IP vrstvy paketov do formátu, ktorý je vhodný pre prenos cez fyzickú sieť. Vo väčšine prípadov sú pakety formátované do ethernetových rámcov. Následkom pridania hodnôt pre typický ethernetový rámec, ktorý pozostáva z niekoľkých MPEG-2 TS paketov, celkový počet bajtov uchovávaných vnútri tohto ethernetového rámca je 1370 bajtov.

Tab. 6.6 Štruktúra hlavičky ethernetu

Názov poľa	Veľkosť (bit)	Popis funkčnosti
Cieľová ethernetová adresa	48	Toto pole označuje cieľovú adresu rozhrania.
Zdrojová ethernetová adresa	48	Toto pole označuje zdrojovú adresu rozhrania.

Typ kódu	16	Toto pole označuje protokol použitý na vytvorenie paketu. Napr. TCP/IP obsahuje hodnotu „0 x 80 0 x 00”.
----------	----	--

V prípade veľkosti rámca, zloženého zo siedmich TS paketov, pohodlne zapadne do rozsahu maximálneho limitu veľkosti 1518 bajtov presadzovaného v ethernetovom štandarde.

6.18 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva súvisí s usmernením pravidiel pre prenášanie digitálnych bitových tokov cez sieť. Zaoberá sa získavaním dát špecifickým typom fyzickej siete (ako napríklad DOCSIS, xDSL, alebo bezdrôtovej). Defínuje fyzické sieťové štruktúry (topológie), mechanické a elektrické špecifikácie pre používanie prenosového média.

Akonáhle je prenášaný IPTV tok bitov cez sieť, pakety sú zálohované prijímacím zariadením IPTVCM a proces zapuzdrenia je obrátený. Spojová vrstva napríklad kontroluje paket, odstraňuje z toho ethernetovú hlavičku a CRC polia. Ďalej preveruje charakteristické kódové pole ethernetovej hlavičky a určuje, ktorý paket je potrebné spracovať IP protokolom. A teda pakety smerujú nahor do sieťovej vrstvy. Sieťová vrstva potom pakety prekontroluje, odstraňuje IP hlavičku a následne ich smeruje do transportnej vrstvy. Táto metóda presunutia a odizolovania hlavičky v rôznych vrstvách je nazývaná odpuzdrenie. Ďalšie vrstvy pokračujú v tomto procese, až pokiaľ pakety nedosiahnu vrchol IPTVCM a prvotné video bude zobrazené divákovi na TV obrazovkách.

Komprimácia (kompresia) videa je proces použitý IPTV poskytovateľmi služieb pre zníženie množstva dát obsiahnutých vo videosúbore k zvládnuteľnej veľkosti, ktorá môže byť prenášaná cez IP širokopásmovú sieť. Odlišné komprimačné technológie sú vhodné pre odlišné účely. Napríklad MPEG-2 je široko používanou komprimačnou technológiou pre digitálne televízne aplikácie. MPEG-4 je nástupcom MPEG-2 a obsahuje množstvo zdokonalených funkcií v rozsahu od vylepšených rýchlostí kompresie až po podporu interaktívnych multimedialných aplikácií.

VC-1 je technológia kódovania, ktorá bola štandardizovaná medzinárodnou organizáciou nazývanou SMPTE. Je zverejnená ako SMPTE 421 M a je sprevádzaná dvoma sesterskými publikáciami, ktoré definujú transportné mechanizmy a rovnaké

smernice pre technológiu. VC-1 je navrhnutá pre kompresiu videa pri rôznych odlišných bitových rýchlostiach, vrátane najčastejšie používaných v IPTV aplikáciách.

Tab. 6.7 poskytuje obmedzené funkčné porovnanie medzi tromi hlavnými IPTV komprimačnými systémami.

Tab. 6.7 Obmedzené funkčné porovnanie medzi tromi IPTV komprimačnými systémami

Technická charakteristika	MPEG-2	H.264 / AVC	VC-1
Pohybový kompenzátor veľkosti bloku	16 x 16 16 x 8	16 x 16 16 x 8, 8 x 16 8 x 8 8 x 4, 4 x 8 4 x 4	16 x 16 16 x 8, 8 x 16 8 x 8
P – funkcia porovnávacieho rámca	Jeden porovnávací rámec	Schopný porovnávania zložených rámcov	Jeden porovnávací rámec
B – funkcia porovnávacieho rámca	Porovnávací rámec na oboch stranách	Schopný porovnávania zložených rámcov	Porovnávací rámec na oboch stranách

IPTVCM je sieťová infraštruktúra, ktorá sa skladá zo siedmich a v určitých implementáciách ôsmich vrstiev, v ktorých každá presne špecifikuje protokoly a sieťové funkcie, používané pre komunikáciu medzi IPTV zariadeniami. Najvyššie vrstvy modelu implementujú rôzne služby ako napríklad kódovanie a paketizáciu video obsahu. Nižšie úrovne modelu sú zodpovedné za transportne orientované funkcie, ako napríklad smerovanie, adresovanie, riadenie toku a fyzické doručovanie.

6.19 Zoznam použitej literatúry

- [1] O’Driscoll, Gerhard: Next Generation IPTV Services and Technologies. John Wiley & Sons, 2008. 81 s. ISBN 978-0-470-16372-6
- [2] Minoli, Daniel: IP Multicast with Applications to IPTV and mobile DVB-H. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. 234 s. ISBN 978-0-470-25815-6
- [3] Lo, Anthony - Heijenk, Geert – Niemegeers, Ignas: Evaluation of MPEG-4 Video Streaming over UMTS/WCDMA Dedicated Channels. Netherlands: Delft University of Technology, 2005.
- [4] Ameen, Al Moghrabi: Error detection for H.264 packet Video in UMTS Network, 2004. [online], 14.2.2009. Dostupne na internete: <<http://www.citeulike.org/user/Dyomich/article/2280675>>.

-
- [5] Singh, Kamal Deep – Orozco, Julio - ROS, David - Rubino, Gerardo: Streaming of H.264 Video over HSDPA: Impact of MAC-Layer Schedulers on User-Perceived Quality. ENST Bretagne, 2007. ISSN 1255-2275 Dostupne na internete: <<http://enstbretagne.wordpress.com>>
- [6] Procházka, Juraj: IPTV dáva telekomunikáciám nový zmysel. [online], 27.9.2007. Dostupné na internete: <<http://www.zive.sk/Spravy/IPTV-dava-telekomunikaciam-novy-zmysel/sc-30-a-274074/default.aspx>>
- [7] Lescuyer, Pierre – Lucidarme, Thierry: Evolved Packet System. England: John Wiley & Sons, 2008. ISBN 978-0-470-05976-0. Dostupné na internete: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470059761,descCd-google_preview.html >
- [8] Simpson, Wes: Video over IP. 2.vydanie. Focal Press, 2008. 188 s. ISBN 978-0-240-81084-3
- [9] VideLAN manual [online]. Publikovaný 2001. Dostupný na internete: <<http://www.videolan.org/doc/>>.
- [10] Holováč, Ľuboš: Prenos IPTV v prostredí bezdrôtových sietí UMTS-HSDPA. Diplomová práca. Košice : Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009. 65 s.
- [11] Mikoczy,Eugen –Sivchenko,Dmitry- Rakocevic,Veselin : IMS based IPTV services- Architecture and Implementation. MobiMedia '07 Proceedings of the 3rd international conference on Mobile multimedia communications, ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering) ICST, Brussels, Belgium,pp.1-6
- [12] Shumann,Sebastian-Mikoczy,Eugen-Massner,Stephan-Maruschke,Michal : Presence service integration using interconnected Multimedia Core Networks (IM-CN).)," Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities, International Conference on, 2009 5th International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities and Workshops, 2009, pp. 1-6
- [13] Mikoczy, Eugen :NGN based IPTV.IPTV world forum 2009,Technical Symposium, Olympia, London,UK, 25th March 2009,
- [14] International Telecommunication Union. FG.IPTV-C-0132 : Proposed Definition and Description of IPTV services for IPTV service scenario [online]. Busan : 2006. [s.a.] [cit. 2010-05-18]. Dostupné z WWW: <http://www.itu.int/md/dologin_md.asp?lang=es&id=T05-FG.IPTV-C-0132!!MSW-E>.
- [15] Bernard, Pavel. Princip prenosové technologie IPTV. Bakalárska práca. Praha : České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2008. 59 s.
- [16] Digital Subscriber Line Access Multiplexer In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-18].
-

-
- Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Subscriber_Line_Access_Multiplexer>.
- [17] Set-top box In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-18]. Dostupné z WWW:
<http://sk.wikipedia.org/wiki/Set-top_box>.
- [18] Quality of experience In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Quality_of_experience>.
- [19] Codec In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW:
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Codec>>.
- [20] Digital rights management In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW:
<http://sk.wikipedia.org/wiki/Digital_rights_management>.
- [21] Topbits.com Tech Community [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. OSI Model. Dostupné z WWW:
<<http://www.topbits.com/osi-model.html>>.
- [22] Protocol Independent Multicast In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Protocol_Independent_Multicast>.
- [23] Juniper Networks, Inc. Introduction to IGMP for IPTV Networks : Understanding IGMP Processing in the Broadband Access Network. 2007 [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW:
<http://www.juniper.net/solutions/literature/white_papers/200188.pdf>.
- [24] Transport Layer In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Transport_Layer>.
- [25] Session Layer In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Session_Layer>.
- [26] Real-time Transport Protocol In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_Transport_Protocol>.
- [27] Tutorials Web [online]. 2009 [cit. 2010-05-19]. OSI Model Application Layer. Dostupné z WWW:
<<http://www.tutorialsworld.com/networking/osi-model-application-layer.htm>>.
- [28] International Telecommunication Union. IPTV-ID-0087 : RTP/UDP/MPEG2 TS as a means of transmission for IPTV Streams. [online]. Geneva : [s.a.], 2006 [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW:
<<http://www.itu.int/ITU-T/IPTV/events/072006/docs/ID/FGIPTV-ID-0087e.doc>>
-

-
- [29] Dream Multimedia GmbH. Dream Multimedia [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. DM 8000 HD PVR. Dostupné z WWW: <<http://www.dream-multimedia-tv.de/en/dm-8000-hd-pvr>>.
- [30] Videolan [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. VLC Media Player. Dostupné z WWW: <<http://www.videolan.org/vlc/>>.
- [31] VideoLAN Wiki [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. Documentation:Play HowTo/Advanced Use of VLC. Dostupné z WWW: <http://wiki.videolan.org/Documentation:Play_HowTo/Advanced_Use_of_VLC>.
- [32] VideoLAN Wiki [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. Documentation:Streaming HowTo/Advanced streaming with samples, multiple files streaming, using multicast in streaming. Dostupné z WWW: <http://wiki.videolan.org/Documentation:Streaming_HowTo/Advanced_streaming_with_samples,_multiple_files_streaming,_using_multicast_in_streaming>.
- [33] Marchevský,S.-Maceková,L.: Detection and Reconstruction of Missing Data in Damaged Image Sequences. Acta Electrotechnica et Informatica. Vol.2, No.1, 2002, pp.65-67.
- [34] Maceková,L.- Marchevský,S.: A New Image and Video Quality Criterion. Acta electrotechnica et Informatica, Vol.4, No.2, 2004, ISSN 1335-8243, pp.15-19.
- [35] Mochnáč, Ján : Hybridný priestorovo-časový algoritmus pre maskovanie strát vznikajúcich pri paketovo orientovaných internetových videoslужbách, Diplomová práca, Technická univerzita v Košiciach, 2007
- [36] Marchevský,S.- Mochnáč,J.: Hybrid Concealment Mechanism. In: Acta Electrotechnica et Informatica, Košice, Vol.8, No.1, 2008, 11 -15.
- [37] Mochnáč, J.-Marchevský, S.: Error Concealment Scheme Implemented in H.264/AVC. In: 50th International Symposium ELMAR-2008, Zadar, Croatia, September 10-12, 2008, 13-16.
- [38] Mochnáč,J.-Marchevský, S.: Error Resilience Tools in the MPEG-4 and H.264 Video Coding Standards. In: Proceedings of the 18th International Conference Radioelektronika 2008, Prague, Czech Republic, April 24-25, 2008, 187-190.
- [39] Mochnáč, Ján :, Dizertačná práca, Technická univerzita v Košiciach, 2010
- [40] Hrušovský, Branislav : Metódy maskovania chýb spôsobených prenosom videa cez bezdrôtové prostredie, Diplomová práca, Technická univerzita v Košiciach, 2009
- [41] NEMETHOVA, Olivia - AL-MOGHRABI, Ameen - RUPP, Markus: Error concealment methods for video transmission over wireless networks. Diploma thesis. Wien: Institut fur Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik, Máj 2005 86s.

-
- [42] Hrušovský, Branislav : Návrh a implementácia algoritmov pre maskovanie chýb prenášaných snímok v bezdrôtovom prostredí, Písomná práca k dizertačnej skúške, Technická univerzita v Košiciach, November 2010
- [43] Mochnáč, J. – Marchevský, S. – Gamec, J.: Kalman filter based error concealment algorithm, in Proc. of Internationales Wissenschaftliches Kolloquium – 54. IWK, (Information Technology and Electrical Engineering - Devices and Systems, Materials and Technologies for the Future), Ilmenau, Germany, 2009, s. 1 – 4. ISBN 978-3-938843-44-4.
- [44] Pillár, S.: Príspevok k modelovaniu prenosu videesignálov cez chybové kanály. Doktorandská dizertačná práca, Technická univerzita v Košiciach, október 2010
- [45] Hrušovský, B.- Mochnáč, J.- Marchevský, S.: Extended Error Concealment Algorithm for Intra Frames in H.264/AVC. Acta Electrotechnica et Informatica, Vol. 10, No. 4, 2010, 59–63 59

7 Stereoskopia- 3D televízia

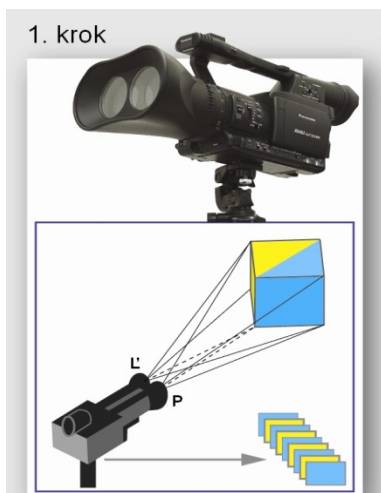
História stereoskopie siaha až do roku 1838, kedy sir Charles Wheatstone vydal jeho základný dokument o binokulárnom videní [2]. Hoci základný princíp stereoskopie je pomerne jednoduchý, môže nesprávne stereo ľahko vyústiť do zlej užívateľskej skúsenosti. Nesprávne stereo môže byť spôsobené technickými problémami, napr. zobrazovacích systémov. V skutočnosti, dojem hĺbky z 3D zobrazenia vzniká v nedokonalom ľudskom vizuálnom systéme. Produkcia stereo 3D obsahu je preto zložitá a vyžaduje si celý rad technických, psychologických a kreatívnych zručností. Musíme brať do úvahy ľudské vnímanie a tiež zobrazovacie schopnosti. Postprocessing a spracovanie zahŕňa celý rad pokročilých algoritmov spracovania signálu. Často to znamená manipuláciu zachytených signálov a konverziu do iných reprezentácií na zodpovedajúce údaje [1,21].

7.1 Princíp vytvárania 3D obrazov

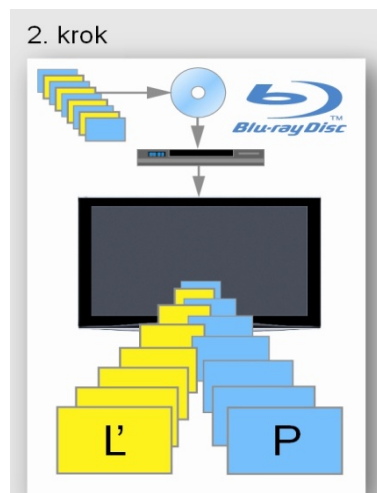
Keď sa ľudia na niečo pozerajú, ich ľavé a pravé oko vnímajú obraz trochu rozdielne. Keď takéto rozdielne obrazy spracuje ľudský mozog, vznikne priestorový vnem, teda vnímanie hĺbky. Základným princípom 3D obrazov je zámerné vytvárať tento vizuálny rozdiel. Aj keď sa obraz premieta na ploché obrazovky, divákov mozog interpretuje vizuálne rozdiely vytváraním priestorového efektu a divák tak vidí aj do hĺbky.

Ak chceme umelo vytvoriť tento vizuálny rozdiel, musí byť samotný obraz zaznamenaný zvlášť pre ľavé a pravé oko. Špeciálne 3D kamery používané pri natáčaní 3D filmov to umožňujú. Kamera má dva objektívy a je navrhnutá tak, aby zachytila obraz zvlášť pre pravé aj ľavé oko.

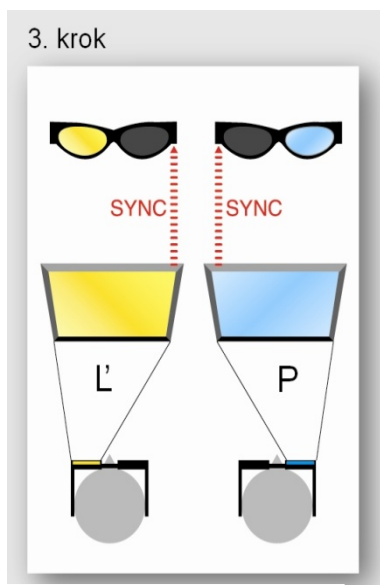
Ak človek jedno oko zavrie, vníma svet okolo seba len dvojrozmerné. Presne tak, ako ho vykreslí bežná obrazovka. Obraz nie je priestorový napriek tomu, že sa tak možno zdá. Je to však iba klam spôsobený skúsenosťou. Dlhoročným pozorovaním sveta sa mozog naučil odhadnúť, ako sa mení veľkosť siluety predmetov, keď sa od nás vzdávajú či približujú. A preto vytvára akúsi ilúziu tretieho rozmeru. Základný princíp je zobrazený na Obr. 7.1.



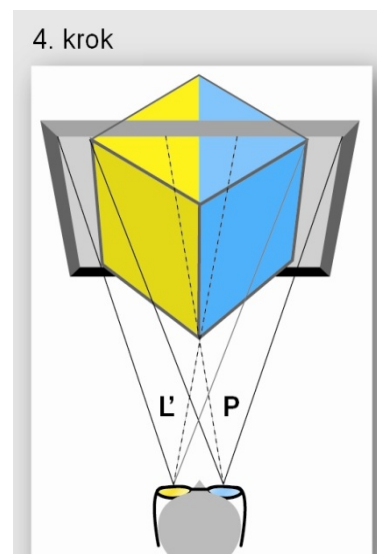
3D-kamera s dvoma objektívmi zaznamenáva obraz zvlášť pre ľavé a pravé oko.



3D technológia umožňuje uloženie dvoch oddelených dátových tokov pre ľavé a pravé oko na 3D Blu-ray disk.



3DTV zobrazuje sekvenčné snímky pre ľavé a pravé oko. Diváci používajú špeciálne 3D okuliare, ktoré presne určujú ktorá snímka sa zobrazí ľavému a ktorá pravému oku.



Obrazy zobrazené pre každé oko zvlášť sú spracované ľudským mozgom rozdielne, čo vo výsledku znamená vysoko kvalitné, skutočné 3D obrazy.

Obr. 7.41 Základný princíp vytvárania 3D obrazov

7.2 Systém 3D TV s využitím aktivních okuliarov

Touto cestou sa na poli televízorov vydali výrobcovia Samsung, LG, Panasonic, Sony a Toshiba. Podmienkou pre využitie tejto technológie je displej, ktorý má obnovovaciu frekvenciu minimálne 120 Hz. To znamená, že obraz sa znovu vykreslí 120 krát za sekundu. Bežné LCD panely majú 60 Hz. Takýto 3D displej vykresľuje obraz striedavo pre ľavé a pravé oko. Zobrazuje 120 krát za sekundu, spôsobom „obraz pre ľavé oko, obraz pre pravé oko, obraz pre ľavé, obraz pre pravé...“. Každému oku je určených 60 obrazov za sekundu. Čím je frekvencia vyššia, tým je pohyblivá scéna pre oko plynulejšia. Aj preto sú na trhu displeje s frekvenciou 240 či 480 Hz.

Druhým krokom je dostať správny obraz do správneho oka. A to pri 120, 240 či 480 obnoveniach za sekundu nie je ľahká úloha. Používateľ má pri sledovaní takejto obrazovky nasadené špeciálne, aktívne okuliare. Sú skutočne aktívne, pretože namiesto bežného skla používajú priehľadný LCD displej. Ten pracuje v dvoch stavoch. Keď je vypnutý, sklo je takmer priehľadné. Keď sa aktivuje, okamžite stmavne a takmer cez neho nevidieť.

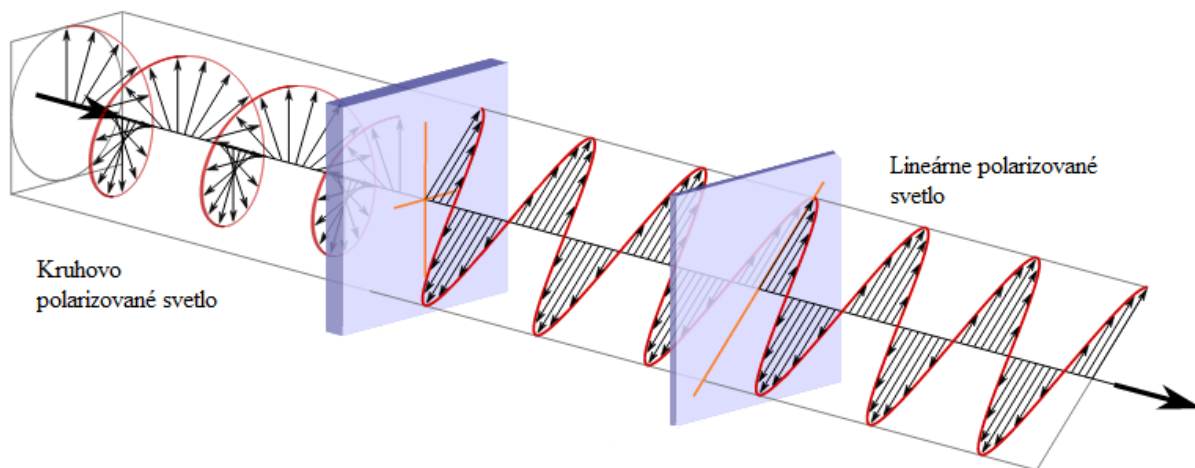
Aktivita okuliarov spočíva v tom, že veľmi rýchlo, presne vo frekvencii sledovanej obrazovky, striedavo stmavnú sklá tak, aby obraz pre ľavé oko skutočne videlo len oko ľavé a naopak. Mimoriadne dôležitá je tu presnosť – okuliare musia presne vedieť, kedy zakryť ktoré oko. Rieši to synchronizácia medzi okuliarmi a televízorom prostredníctvom infračerveného rozhrania. To je v televízore integrované, alebo sa použije externý modul. Okuliare sú napájané malou, výmennou batériou umiestnenou zväčša v ich ráme. Cena okuliarov sa pohybuje okolo 100 eur.

Technológia aktívnych okuliarov stále nie je dokonalá. Rýchle scény, kde sa obraz počas sekundy mení veľmi výrazne, pôsobia trhaným dojmom. Rýchle blikanie skiel aktívnych okuliarov unavuje oči a vyvoláva bolesti hlavy.

Okuliare menia i farebnosť obrazu. Vypnutý priehľadný LCD displej totiž nie je dokonale číry. Úbytkový odtieň sivej farby znižuje jas, kontrast a mení celkové farebné podanie. Výhodou technológie je, že obraz si pre každé oko zachováva plné rozlíšenie a televízor môže z rôznych uhlov naraz sledovať viacero divákov.

7.3 Pasívny 3D TV systém využívajúci okuliare s polarizovanými sklami

Pri tomto systéme nie je rozhodujúca obnovovacia frekvencia displeja. Pracuje sa tu totiž s vertikálnym rozlíšením displeja, teda s riadkami. Displej podporujúci full HD rozlíšenie zobrazuje 1920×1080 bodov. Čiže 1 920 stĺpcov a 1 080 riadkov. V 3D režme zobrazenia je polovica riadkov určená pre ľavé a polovica pre pravé oko. Najsilnejším zástupcom pasívnej technológie je firma JVC.



Obr. 7.42 Polarizácia svetla

Oba obrazy sa teda zobrazujú súčasne. Na ich oddelenie sa využívajú polarizované sklá okuliarov (Obr. 7.3), ktoré poznáme aj z bežného života, napríklad z takto upravených slnečných okuliarov. Eliminujú odrazy svetla od mokrej cesty, vodnej hladiny, či kapoty auta. Sklá môžu byť polarizované lineárnou a kruhovou polarizáciou. Kým v slnečných okuliaroch postačí lineárna, v okuliaroch na sledovanie 3D obrazu sa používa kruhová (Obr. 7.43).



Obr. 7.44 Pasívne polarizované okuliare

Vďaka kruhovej polarizácii sa obraz nemení ani pri miernom naklonení hlavy a môže ho sledovať viacero divákov. Pozorovacie uhly sú ale menšie, ako pri okuliaroch aktívnej technológie.

Polarizované sklá do každého oka prepustia len príslušné riadky z displeja. Žiadne blikanie, ani synchronizácia. Okuliare s polarizovanými sklami stoja menej ako 10 EUR. Avšak ani ich sklá nie sú úplne číre. Znižujú jas, ovplyvňujú kontrast i farebné podanie. Prax však ukázala že obraz je v tomto ohľade kvalitnejší ako pri sledovaní 3D filmu aktívnymi okuliarmi. Keďže počet riadkov je delený pre dve oči, nastáva jav, ktorý je najväčšou nevýhodou tejto technológie. Polovičná strata vertikálneho rozlíšenia. Každé oko vníma obraz v mriežke $1\,920 \times 540$ bodov. Riadky z oboch očí nemožno sčítať, pretože „oči“ kamery sú na rovnakej úrovni optickej osi, líši sa len ich vzdialenosť na šírku. Riešenie by mohlo prísť napríklad v podobe zdvojnásobenia vertikálneho rozlíšenia. To by si však vyžadovalo špeciálne monitory, kamery a mnoho ďalších komplikácií.

7.4 3D displej bez okuliarov

Firma Sharp predstavila 3D displej, na sledovanie ktorého nie sú potrebné okuliare. Vyžarujúce svetlo totiž ovplyvňujú vertikálne štrbiny, ktoré obraz pre každé oko vysielajú jeho smerom. Práve preto sa naň používateľ musí pozeráť v správnom uhle a vzdialenosti (optimálna je asi 30 cm). Na rozdiel od spomínaných 3D technológií tu obraz nevystupuje z displeja von, ale naopak. Oko pozorovateľa vníma hĺbku. Táto technológia bola použitá v mobilnom telefóne značky Sharp.

Metóda 3D zobrazovania nevyžadujúca 3D okuliare je nazývaná autostereoskopia. Displej takisto vytvára dva obrazy, na ich sledovanie však stačí voľné oko. Problémom je, že priestorové zážitky môžete sledovať len z určitého uhla. Pri väčších obrazovkách, napríklad televízoroch, sa problém rieši vysielaním viacerých obrazov pre rôzne uhly, čo vyžaduje mnohonásobne výkonnejší hardvér. V prípade, že výrobca silnejší procesor nepoužije, nutným následkom je znižovanie rozlíšenia a kvality obrazu oproti 3D televízorom vyžadujúcim okuliare.

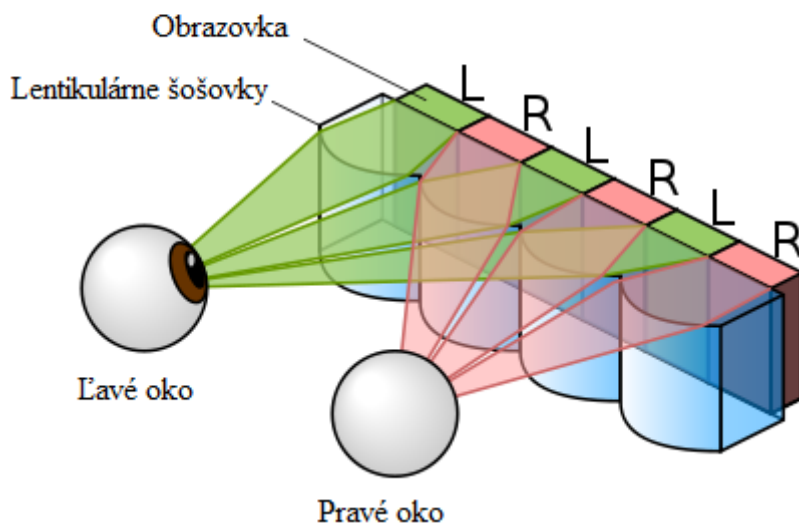
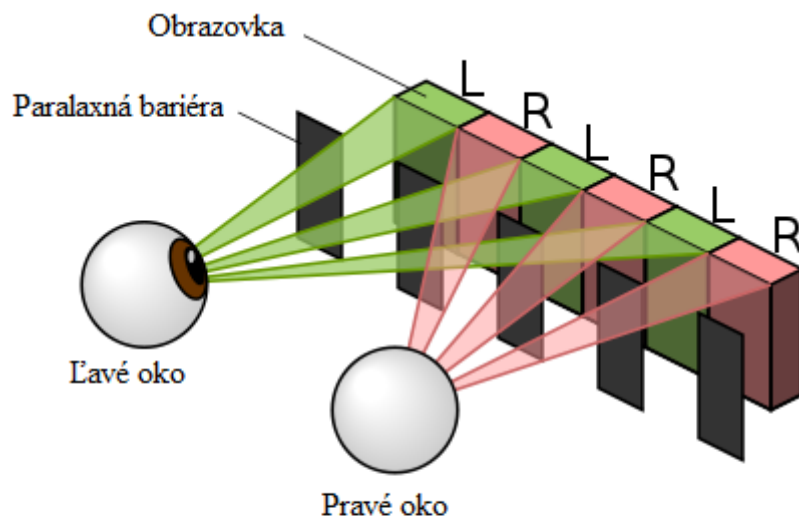
7.4.1 Paralaxa

Paralaxa je uhol, pod ktorým sa optické lúče v oboch očiach pretínajú v určitom mieste v 3D priestore. Binokulárna paralaxa je zmena v pozícií objektu pri pohľade z rôznych uhlov napr. z dvoch očí, alebo z dvoch rôznych polôh. V stereoskopickom 3D je paralaxa často používaná na popis malých relatívnych posunov medzi homogénitami.

Homogenity majú totožné vlastnosti v ľavej aj pravej polovici obrazového páru. Vzdialenosť medzi ľubovoľnými dvoma homogenitami v pohľade sa odvoláva na separáciu dvoch obrazov. Separácia môže byť použitá pri určovaní správneho umiestnenia obrazov pri zobrazení stereo páru. Blízke objekty majú väčšiu paralaxu ako tie vzdialenejšie pri pozorovaní z rôznych pozícií. Keďže oči človeka sú na hlave v rôznych pozíciách, majú súčasne rôzne pohľady. Čo je základom stereoskopie, procesu pri ktorom mozog využíva paralaxy kvôli rôznym uhlom pohľadu a tak získa hĺbkové vnímanie a odhad vzdialenosti k objektom.

Paralaxa dodáva ľuďom pocit vizuálnej hĺbky, alebo aspoň ilúziu hĺbky. Uholové rozlíšenie určuje najmenší uhol medzi nezávisle vyžarovanými svetelnými lúčmi z jedného obrazového bodu. Ten môže byť vypočítaný rozdeľovaním vyžarovaného spektra s počtom nezávisle adresovaných svetelných lúčov emitovaných z obrazového bodu. V reálnom svete majú ľudia horizontálne oddelené oči a preto dávame prednosť horizontálnej paralaxe. Vertikálna paralaxa môže spôsobiť únavu očí.

Paralaxová bariéra je zariadenie, ktoré sa používa na povrchu 3DTV systémov bez okuliarov. Je to systém s medzerami, ktoré umožňujú divákovi vidieť iba niektoré zvislé stĺpce pixelov v určitej dobe. V zariadení sú použité lentikulárne šošovky. Je to vlastne zakrivená optika, ktorá umožňuje vidieť iný obraz toho istého objektu v presne rovnakom čase. Princíp paralaxovej bariéry je na **Obr. 7.4**.



Obr. 7.45 Princíp paralaxovej bariéry

7.4.2 Mobilný telefón LG Optimus 3D

Displej LG Optimus 3D používa autostereoskopický displej, pracujúci na princípe tzv. paralaxovej bariéry (Obr.7.46). Ako vidno na obrázku 4, displej sa skladá z dvoch zobrazovacích vrstiev, každá pre jedno oko. Tesne pred krycím sklíčkom displeja je umiestnená paralaxová bariéra, ktorá sa skladá z množstva štrbín, takže divák vidí každým okom inú množinu pixelov. Tento proces vytvára dojem hĺbky, ktorý je synonymom 3D zobrazovania. Nevýhodou je spomínaná nutnosť sledovania obrazu z určitého uhla. Keďže má LG Optimus 3D displej s uhlopriečkou len 4,3 palca, problém s pozorovacími uhlami nie je až tak vážny. Na malý displej sa väčšinou bude pozerat'

len jeden, maximálne dvaja diváci. Displej si teda vystačí s dvoma zobrazovacími vrstvami a rozlíšenie sa udržalo na štandardných 800 x 480 bodoch. Samozrejme ale dva obrazy znamenajú dvakrát vyššiu záťaž na procesor i grafiku.



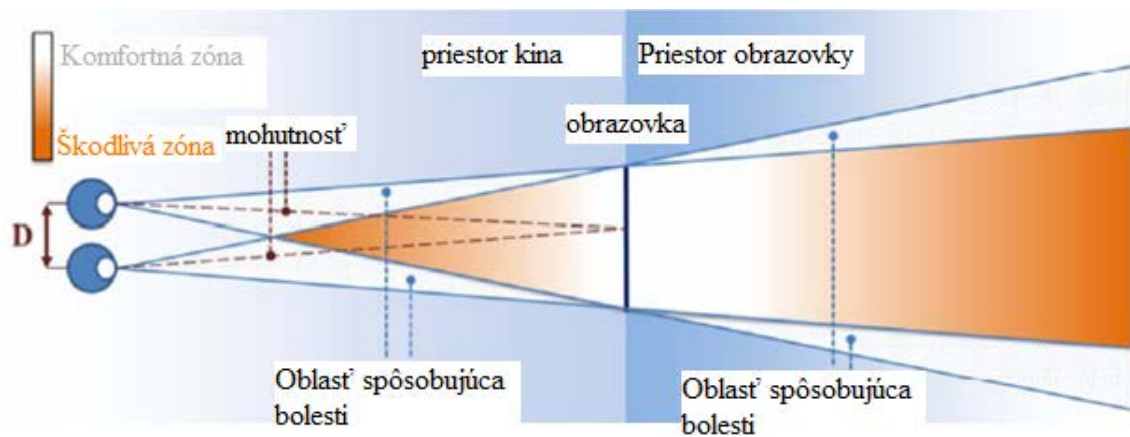
Obr.7.47 LG Optimus 3D

Prepracovanejšie 3D autostereoskopické displeje, predovšetkým na väčších uhlopriečkach, disponujú aj systémom sledovania tváre. Webkamera nad displejom sleduje polohu diváka a v závislosti od neho mení uhol zobrazovania. Pomerne veľkým problémom je však stály nedostatok 3D obsahu. Oproti televízorom však majú 3D mobily veľkú výhodu, a to prítomnosť dvojice kamier/fotoaparátov, ktorými si môžete zhotoviť vlastný priestorový obsah. Významnou prednosťou je aj operačný systém Android.

7.2 Technológia vytvárania obsahu 3D TV- postprocessing

7.2.1 Stereoskopická komfortná zóna

Stereografia musí vziať do úvahy celý rád podmienok a pravidiel pre vytvorenie dobrého sterea, čo vyžaduje značné skúsenosti. Dôkladným plánovaním a realizáciou sa zabezpečí obsah, ktorý bude spĺňať požiadavky a nebude spôsobovať bolesti hlavy. Stereografia musí zabezpečiť, aby bol obraz vnímaný v komfortnej zóne, ako je znázornené na Obr.7.6.



Obr.7.48 Ilustrácia stereoskopickej komfortnej zóny

3D zážitok je všeobecne dobrý, ak sa nápadné objekty udržiavajú v blízkosti obrazovky (svetlé plochy na Obr.7.6). Tmavšie oblasti by mali byť využité iba pre špecifické účely, napr. zdôraznenie scény filmu atmosférou z hĺbky, alebo aby objekty boli ďaleko od obrazovky v smere k divákovi a tak vytvorili chytľavú scénu. Dostupný objem hĺbky je obmedzený v porovnaní s reálnym 3D svetom. Preto hlavnou úlohou stereografie je priniesť celý skutočný svet do virtuálneho priestoru komfortnej zóny [1].

7.2.2 Kontrola absolútnej rozdielnosti

Konvergenciu je možné ľahko ovládať zmenami zobrazení, ktoré sa navzájom rešpektujú. Preto produkcia môže byť všeobecne vykonaná s paralelnými kamerami v digitálnom čase súčasne a riadenie konvergenzie môže byť pridané v postprodukcii podľa potreby. Zmena hĺbky pozície objektov bez zmeny ich horizontálnej a vertikálnej veľkosti na obrazovke zmení 3D veľkosť vnímania, ktorá obmedzuje množstvo zmeny konvergenzie [1].

7.2.3 Adaptácia hĺbky ku scéne

V závislosti od veľkosti displeja a jeho rozlíšenia, môžeme maximálnu rozdielnosť intervalu vypočítať tak, aby nebola prekročená komfortná zóna [2]. Čo sa vlastne vzťahuje na vzdialenosť ľudských očí. Obvykle režiséri využívajú celý rozsah len príležitostne, a tak dávajú divákovi dostatok času na odpočinok vo vizuálnych scénach. Prechody scén s rôznou hĺbkou musia byť starostlivo zvážené. Je potrebné vyhnúť sa drastickým zmenám hĺbky [1].

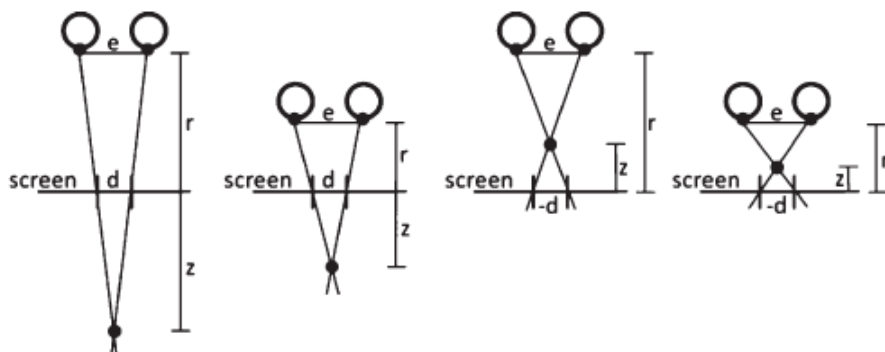
7.2.4 3D adaptácia displeja

Trojrozmerný obsah, ktorý bol optimalizovaný pre určité vizuálne podmienky pozostávajúce z veľkosti displeja a vizuálnej vzdialenosti budú vyzerat' inak v iných podmienkach. Pri natáčaní stereoskopického videa sa zvolí tzv. „baseline“ počas snímania s prihliadaním na pomer šírky obrazu a vizuálnej vzdialenosti. Aby bol udržaný dobrý 3D dojem a aby sa zachoval umelecký zámer, hĺbka kompozície má byť modifikovateľná tak, aby sa dala prispôbiť vizuálnym podmienkam. 3D reprodukcia a binokulárne 3D vnímanie veľmi závisia na vizuálnych podmienkach, čo je vizuálna vzdialenosť r a rozdiel veľkosti obrazovky d . Čo je znázornené na Obr. 7.7. Vnímaná hĺbka vzdialenosti z sa mení v závislosti od r . Hĺbkový dojem sa mení v závislosti od polohy (napr. v kine), objekty môžu byť skreslené [1].

Vzdialenosť z je vyjadrená ako:

$$z = \frac{r \cdot d}{e - d}$$

Reprodukcia hĺbky z je lineárnou funkciou vizuálnej vzdialenosti r . To znamená, že ak zmeníme veľkosť r , tak aj rozšírenie z , zatiaľ čo horizontálne a vertikálne rozšírenie na obrazovke budú zachované v pôvodnej podobe [1].



Obr. 7.49 Zmena hĺbky reprodukcie pri zmene vzdialeností očí [1].

V teórií, vzťah medzi skutočnou 3D geometrickou scénou a 3D reprodukciou pri stereoskopických obrazovkách je ešte zložitejší a známy z odbornej literatúry, ako stereoskopické 3D skreslenie. V zásade je však možné tieto rozpory kompenzovať a 3D dojem môže byť prispôsobený na vizuálnu vzdialenosť, ak je známa hĺbková informácia. V tomto prípade sa používa virtuálny pohľad interpolácie na to, aby sa nový stereo pár s vhodne zvolenou úrovňou adaptoval na veľkosť obrazovky a pozorovaciu vzdialenosť. Rovnaké algoritmy môžu byť použité k tomu, aby používateľ (napr. 3DTV) mohol ľahko nastaviť správnu hĺbku obrazu [1].

7.2.5 Lokálna disparitná adaptácia

Umiestnenie objektov v rámci stereoskopickej obrazovky je tiež potrebné starostlivo zvážiť. Určité objekty, ktoré sa pohybujú v popredí obrazovky a pretínajú sa s hranicou obrazu, spôsobujú takzvané stereoskopické porušenie okna. Toto môže byť korigované v postprocesingu pomocou techniky tzv. plávajúceho okna, čo je vlastne virtuálny posun obrazovej roviny smerom k divákovi [2]. V aplikáciách na priamy prenos je automatická detekcia a opravný mechanizmus nevyhnutný. Umelecká sloboda a redizajn hĺbkovej štruktúry a scény na objektovom základe v postprodukcii je všeobecne veľmi požadovanou funkciou a mala by umožňovať zmenu hlasitosti, veľkosti a tvaru objektu pri zmene hĺbky. Pre dosiahnutie tejto flexibility, sú scény niekedy zachytávané viacerými kamerovými súpravami. Každá je vhodná pre určitý rozsah hĺbok (pokiaľ ide o objekt hlasitosti) a potom sa skladajú do konečného stereo páru tzv. multirigging [1].

7.2.6 Automatická korekcia a manipulácia živého stereoskopického vysielania

Živé vysielanie je veľmi dôležitá aplikácia pre 3DTV služby. Živé športové akcie boli často hnacou silou pre prijatie a distribúciu nových televíznych technológií. Živý športový stereo prenos je tiež veľmi zložitý. Kvôli tomu nie sú prípustné žiadne opravy v reálnom čase, čo znamená, že akákoľvek chyba v stereoskopii bude priamo viditeľná pre divákov a môže vyvolať zlý dojem. Napríklad pri futbale, kde stredný uhol záberu slúži na pokrytie nejakej akcie na poli a kamera sa otáča rýchlo, môže sa stať, že hráči, rozhodcovia, diváci, ktorí sú príliš blízko ku kamere sa dostanú do obrazu. Čím sa stávajú zlou súčasťou obsahu a narušením. 3D dojem sa stratí a zanechá nepríjemný zážitok. Takéto prípady sa stávajú pomerne často v živých športových prenosoch. Je

veľmi ťažké zabrániť takýmto nepredvídateľným situáciám v priamom prenose, ktorý sa koná v širokom rozsahu hĺbky. V záujme zachovania dramaturgickej slobody podobnej z 2D produkcie, zachytením všetkých vzrušujúcich akčných dianí živých prenosov je potrebná technológia, ktorá by zabránila nežiaducim situáciám a opravila stereoskopické chyby automaticky v reálnom čase. To je veľmi náročná úloha, ktorá by si vyžiadala výskum v oblasti syntézy opravy chýb [1].

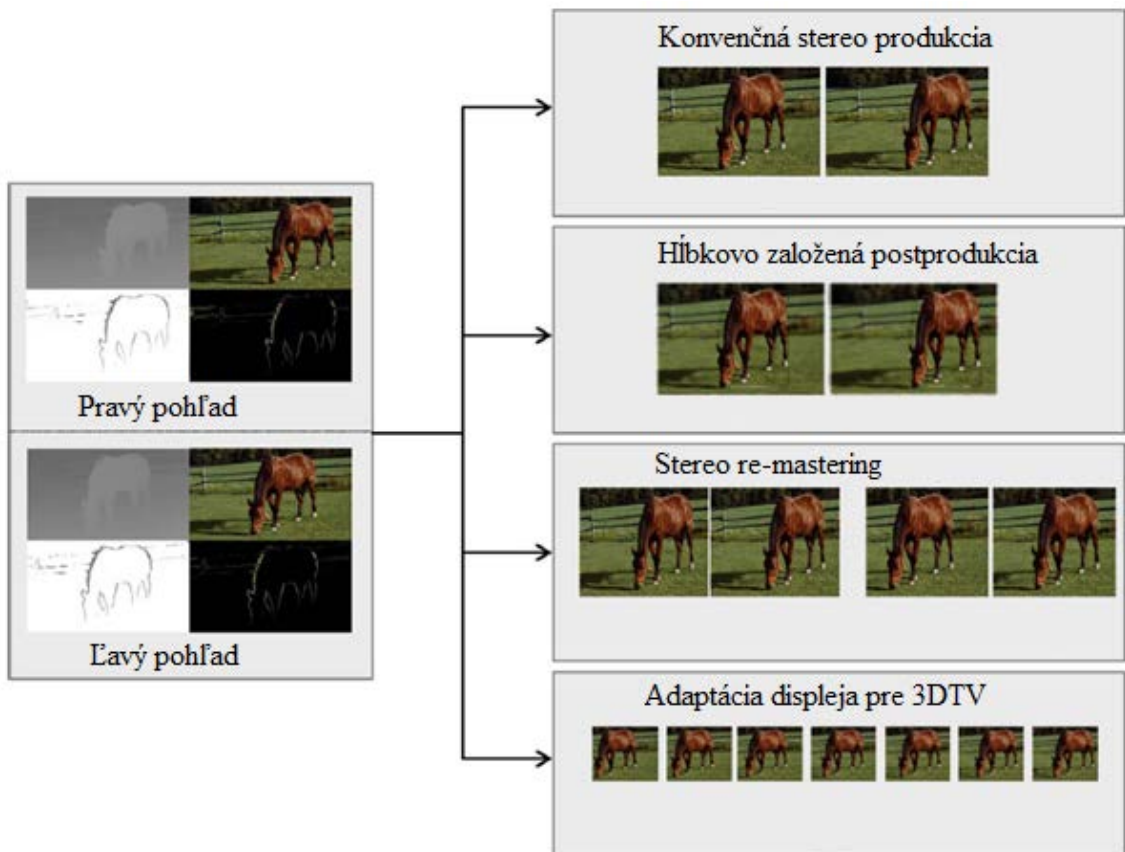
7.2.7 Kompozícia v 3D (reálny a animovaný obsah)

Prakticky dnes už všetky animované filmy sú povolené v kinách v 2D a 3D verzií. V tomto prípade, je možné slobodne navrhnuť 3D scénu, tak aby bola príjemná bez toho, aby boli porušené pravidla stereografie. Algoritmy, nástroje a pracovné postupy sú stanovené, no neustále sa rozširujú a zlepšujú.

Tretí rozmer dodáva novú dimenziu a to komplikuje ďalšie veci. Napríklad, grafické presahy nemožno jednoducho vložiť cez iné zábery. Musíme brať do úvahy aj hĺbkovú kompozíciu. Ak grafické prekrytie je umiestnené cez nejaký element scény, resp. za ním smerom od diváka, výsledky budú konfliktné a nereálne. Aby sa tomu zabránilo, grafika alebo titulky sú umiestnené oveľa viac von z obrazovky, aby bolo overené, že všetky ostatné akcie na scéne zostávajú v pozadí za elementom. Znalosti o hĺbkovom zložení všetkých zdrojových materiálov sú nevyhnutné v miešaní a kompozícií v 3D. Spoľahlivý odhad hĺbky a vizuálna syntéza je rozhodujúca pre stereografiu [1].

7.3 Tvorba obsahu pre stereografické multiview obrazovky

Technológia a vytváranie obsahu pre stereoskopické 3D dosiahla vysokú úroveň, čo je dôvodom, prečo vidíme rýchly rast 3D zariadení na trhu. Avšak, dnešná 3D stereoskopická technológia má tiež svoje medze. Nutnosť nosiť okuliare a neschopnosť reprodukovať pohyb paralaxy sú často hlavnými prekážkami. Pokročilejšie zobrazovacie systémy, ako sú autostereoskopické multiview obrazovky, alebo holografické systémy sú schopné prekonať tieto bariéry. Nevýhodou je najmä cena týchto zariadení, ktorá je v porovnaní so stereoskopickým zobrazením asi dva krát drahšia. Tvorba obsahu pre tieto obrazovky je stále vo vývoji. Pre mnoho aplikácií sa zdá nereálne, aby zachytili všetky uhly pohľadu potrebné pre dokonalé zobrazenie. Spoločná idea je použiť podmnožinu reálnych pohľadov a generovať zvyšok obsahu syntézou pohľadu [3]. Tento princíp je znázornený na Obr. 7.8.



Obr. 7.50 DES, stereo s pokročilými funkciami založenými na syntéze pohľadov

Vnímanie a hĺbka reprodukcie je otázkou autostereoskopického multiview a ďalších pokročilých 3D displejov, ktoré sú odlišné od stereoskopických systémov

vyrábaných zo skla. Napríklad, dostupný rozsah hĺbky môže byť oveľa viac limitovaný. Inak môžu byť viditeľné viacnásobné artefakty, čo je výsledok rôznych pravidiel stereografie, ktoré je tiež potrebné vziať do úvahy pri formátovaní stereo obsahu na autostereoskopické multiview displeje. Preto je potrebná kompresia na základe hĺbky v syntéze pohľadu [1].

7.3.1 Povolenie funkcie voľného pozorovacieho bodu vo videu

Termín "free viewpoint video" (FVV) znamená funkciu známu z počítačovej grafiky, kde užívateľ má možnosť voľne sledovať 3D scenériu z rôznych uhlov a smerov pohľadu v určitom prevádzkovom rozsahu. Na rozdiel od počítačovej grafiky, FVV súvisí s reálne natočeným svetom, tak ako ho zachytia skutočné kamery. Dnes sa niektoré FVV systémy používajú pri výrobe na vytvorenie špeciálnych efektov. Poskytovanie FVV koncovým užívateľom, je stále v oblasti výskumu [4].

7.3.2 Virtuálna syntéza a všeobecný 3D video formát

Virtuálna syntéza je kľúčová algoritmická funkcia pre 3D postprocessing a spracovanie. Robustnosť a kvalita syntetizovaných pohľadov sú rozhodujúce faktory pre špecifické aplikácie, ktoré môžu byť automatické alebo ovládané používateľom v reálnom čase, alebo offline. Pokračujúci výskum definuje všeobecný 3D video formát pre výrobu a distribúciu, ktorý by mohol v ideálnom prípade podporovať všetky rozšírené funkcie 3D videa. Takýto formát môže zahŕňať napr. stereo pár a ďalšie súvisiace údaje, ako hĺbkovú mapu, oklúzne vrstvy, kalibračné informácie z kamery. DES umožňuje rad pokročilých funkcií, cez pohľad syntézy, vrátane základného prispôsobenia, podpora autostereoskopických displejov, funkcia voľného prístupu k pohľadu atď. [1].

7.4 Základné algoritmy v postprodukcii

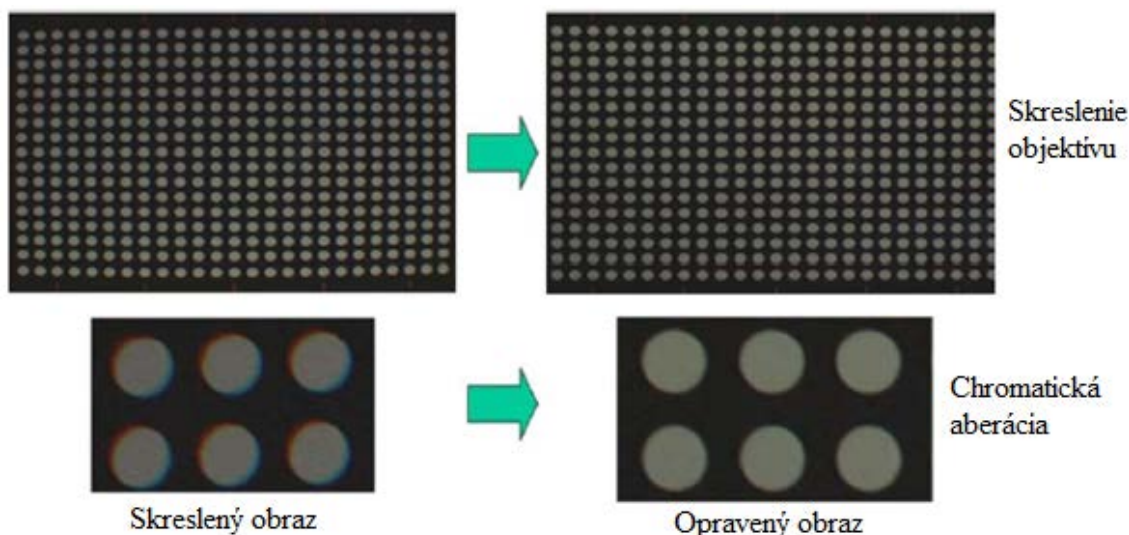
Základné spracovanie signálu je požadované v konvenčnej stereo produkcii, aby sa zabránilo niektorým problémom, ktoré sú spomenuté vyššie. Táto kapitola obsahuje prehľad základného spracovania. Algoritmy opísané v nasledujúcej časti, nepotrebujú špeciálne informácie o hĺbkovej štruktúre zachytenej scény, alebo o bodoch korešpondujúcich medzi dvoma stereo obrazmi. Sústreďujú sa najmä na korekciu geometrického skreslenia, porovnávanie farieb, pomocný systém na získanie správnej stereo geometrie [1].

7.4.1 Korekcia geometrického skreslenia

Jedná z hlavných požiadaviek na kvalitnú stereo produkciu je, že stereo obraz musí byť bez akýchkoľvek geometrických skreslení, môže obsahovať iba horizontálne rozdiely. To sa očakáva od klasického stereo pozorovacieho prostredia, kde divák sedí rovno a v strede priamo pred obrazovkou. Každá stereo výbava obsahuje hotové časti s mechanickou presnosťou, tak aby stereo snímky nemuseli byť nevyhnutne kompenzované vo vertikálnom smere. Ak sú kamery nastavené konvergentne namiesto paralelnej stereo geometrie, tak spôsobujú ďalšie korekcie lichobežníkového skreslenia narušeného obrazu. Reálne používané objektívy zvyčajne ukladajú radiálne deformácie. Ohnisková vzdialenosť medzi dvoma kamerami sa môže mierne líšiť a pri zaostrovaní, môžu byť ovplyvnené vnútorné parametre šošovky. Ak sa používa zoomovací objektív, ohnisková vzdialenosť sa zemení v širokom rozmedzí. Problémy s ohniskovou vzdialenosťou môžu nastať aj vtedy, ak zoomovacie motory nie sú synchronizované dokonale [5].

Tieto narušenia môžu byť opravené v nasledujúcich krokoch. V prvom kroku, možno merať vzdialenosť samostatne pomocou profesionálnych fotometrických nástrojov. To sa týka predovšetkým porušenia obrazu šošovkami, odchýlky ohniskovej vzdialenosti a pozície hlavného bodu. V niektorých prípadoch, narušenie závisí aj na nastavení objektívu. Meranie musí byť vykonané za rôznych prevádzkových podmienok a merané výsledky musia byť uložené vo vyhľadávacích tabuľkách pre neskoršie spracovanie [5].

Po tom, čo sú narušené parametre známe pre daný operačný tzv. „shooting mod“, môžu byť použité na opravu a normalizáciu stereo zobrazenia počas postprodukcie. Použitie procesu na RGB oddelené kanály, tiež umožňuje korekciu chromatických odchýlok, čo je znázornené na **Obr. 7.9**.



Obr. 7.51 Príklad merania a geometrickej korekcie deformácie objektívom a chromatická odchýlka [1].

Osobitný problém v 3D „shooting mode“ je opraviť skreslenie spôsobené objektívom pre obe kamery. Samostatná aplikácia fotometrických, alebo iných optických meracích nástrojov pre jednotlivé objektívy je dostačujúca pre korekcie. Výrobcovia kamier preto v súčasnej dobe tieto meracie zariadenia zabudovali priamo do objektívu kamier. Po geometrickej normalizácii sú obidva stereo pohľady bez skreslenia, ktoré bolo spôsobené objektívom a chromatickou odchýlkou. Majú rovnakú ohniskovú vzdialenosť a priesečník optickej osi s obrazovou rovinou je vždy v strede obrazu [5].

7.4.2 Porovnávanie farieb

Korekcia farieb a farebné triedenie sú významné kroky spracovania v bežnej 2D postprodukcii a všetky postprodukčné sady ponúkajú väčšinou sofistikované nástroje pre tieto účely. V stereo postprodukcii je tento proces oveľa zložitejší. Okrem skutočnosti, že tento proces musí byť vykonaný dvakrát a obidva procesy musia byť koordinované uspokojivým spôsobom, tak vzniká nový problém porovnávania farieb. Jedným z hlavných dôvodov binokulárnej rivality je asymetria v jase, kontraste a farbe. Významné kolorimetrické rozdiely v stereoskopickom vnímaní obrazového páru môžu viesť k únave očí. Hoci vplyv kolorimetrických rozdielov nie je úplne preskúmaný,

napriek tomu vieme z literatúry, že dva stereo obrázky by mali byť totožné najviac ako je to možné, a to hlavne v kontraste [6].

Porovnanie farieb možno uskutočniť na rôznych miestach v postprodukčnom reťazci. Ak to dovoľuje stereo súprava zariadení, mala by byť vykonaná kolorimetrická úprava dvoch kamier pred záznamom a to ručne, alebo špeciálnymi vizualizačnými režimami, prípadne automatickým analyzovaním farebných odchýlok. Jednoduchá metóda pre automatické úpravy je histogramové filtrovanie. RGB histogramy sú merané v dostatočne veľkom množstve zodpovedajúcich charakteristických bodov predstavujúcich rovnaké časti scény. Jemné kolorimetrické nastavenie je potom založené na úprave kvantil medzi RGB histogramami oboch kamier a odvodení súvisiacich prevodových tabuliek z kvantilovej úpravy na nelineárnu korekciu farieb [6].

Sofistikované porovnávanie farieb možno vykonať počas primárneho a sekundárneho triedenia v profesionálnej postprodukcii. Súčasné postprodukčné sady ponúkajú súbežné spracovanie dvoch stereo sekvencií počas triedenia farieb. Vizualizačné nástroje, ako napríklad RGB prehľadávanie, Vektroskop, atď. sa používajú na porovnávanie farieb (viď Obr. 7.10).



Obr. 7.10 Príklad stereo farebného porovnávania a triedenia pomocou profesionálneho postprodukčného programu [1].

7.4.3 Nastavenie stereo geometrie

Väčšina stereo produkcie je zachytávaná pomocou stereogeometrických kamier s paralelnými osami a rovnakou orientáciou. Aj v prípade konvergentných kamier je geometria prevedená na zodpovedajúce paralelné nastavenia. Ak nie je použitý postprocessing pri snímaní kamerou s paralelnou geometriou, tak sa konvergenčná plocha zdá ako nekonečná. Ak je stereo zachytené s paralelným nastavením a bolo by priamo zobrazené na 3D obrazovke, tak celá scéna sa objaví v prednej časti obrazovky. Ak sa chceme vyhnúť tejto nežiaducej situácii, tak konvergencia je zvyčajne upravená počas postprodukcie posúvaním obrazu horizontálne v protismere. Ak ľavý a pravý obraz nesedí, tak musia byť obrazy orezané a znovu bude vyplnený celý obrazový rámeček. Preto je tento proces často nazývaný shift-crop-scale (**Obr. 7.11**). Konvergenčnú úpravu shift-crop-scale možno vykonať počas postprodukcie. Výber správnej základnej línie (baseline) má podobný význam ako výber správnej konvergenčnej roviny [1].



Obr. 7.52 Úprava konvergenčnej roviny pomocou shift-crop-scale počas postprodukcie.

7.5 Metódy založené na hĺbke

V 3D postprodukcii sa úloha hĺbkovej informácie stáva veľmi dôležitou. Mnohé funkcie v rámci stereo spracovania vyžadujú virtuálny pohľad syntézy. Dnes DIBR je najdôležitejšia trieda algoritmov pre vysokokvalitné virtuálne pohľady syntézy. Preto táto časť poskytuje prehľad súvisiacich algoritmov a niektoré príklady estimácie hĺbkovej a pohľadovej syntézy.

7.5.1 Odhad hĺbkovej štruktúry zo sterea

Extrakcia informácií o hĺbke z dvoch alebo viacerých pohľadov z pevne nastavenej kamery a zachytenie danej scény z rôznych uhlov pohľadu súčasne - tiež známa ako structure-from-stereo (SfS) bola dôležitou otázkou výskumu počítačového videnia. Často má tento proces za následok hustú hĺbkovú mapu pre každý pohľad kamery. Všeobecne je tento výpočet hĺbkových máp trojstupňový proces pozostávajúci z kalibrácie kamery, stereo porovnávania a hĺbkovej rekonštrukcie. Ak sú známe vnútorné a vonkajšie parametre kamery od počiatočnej kalibrácie, môžu byť rozdiely stereo porovnávania otočené priamo do hĺbkovej hodnoty pri konečnej hĺbkovej rekonštrukcii [1].

Ak je známa počiatočná kalibrácia kamery a konečná hĺbková rekonštrukcia, riešenie korešpondenčného problému v stereo porovnaní je stále vo vyšetovaní a posúdení v komunite počítačového videnia. Najdôležitejším kritériom pre hĺbkovo založené spracovanie obrazových dát je časová konzistencia obmedzenia hĺbkových máp. Časovo nekonzistentné hĺbkové údaje môžu spôsobiť nepríjemné blikajúce artefakty počas obrazového vykresľovania. Globálna optimalizácia všeobecne nie je vhodná pre 3D spracovanie obrazu, vzhľadom na svoju vysokú výpočtovú zložitosť [8].

Preto sú zvyčajne vhodnejšie priestorovo lokálne metódy, ktoré sú menej zložené a lepšie pre 3D spracovanie obrazu. Väčšina týchto metód je založená na zhode blokov, ktoré využívajú implicitné priestorové a časové obmedzenia plynulosti resp. hladkosti a umožňujú vysoký stupeň priestorovej a časovej konzistencie v hĺbkových mapách za použitia rekurzívnej zhody štruktúry v horizontálnom, vertikálnom a časovom smere pri skenovaní 3D videosekvencie [8].

Hlavnou nevýhodou priestorových lokálnych metód je tzv. "foreground fattening", čo vedie k slabým výsledkom na hranici objektov. Čo znamená, že prechod v odhadnutej hĺbkovej mape neseďi dobre s hranicou reálneho objektu. Ďalšie problémy sú nezhody spôsobené nejednoznačnosťou v netextúrovaných oblastiach či pravidelných textúrach, alebo oblasti s podobnou štruktúrou. Tieto problémy sa riešia použitím farebnej segmentácie a použitím informácií o segmentoch pre spresnenie rozdielov na hraniciach objektu. Tiež usporiadaním rozdielov v oblastiach s nízkou alebo periodickou štruktúrou [1].

7.5.2 Metóda Depth-Image-Based Rendering (DIBR)

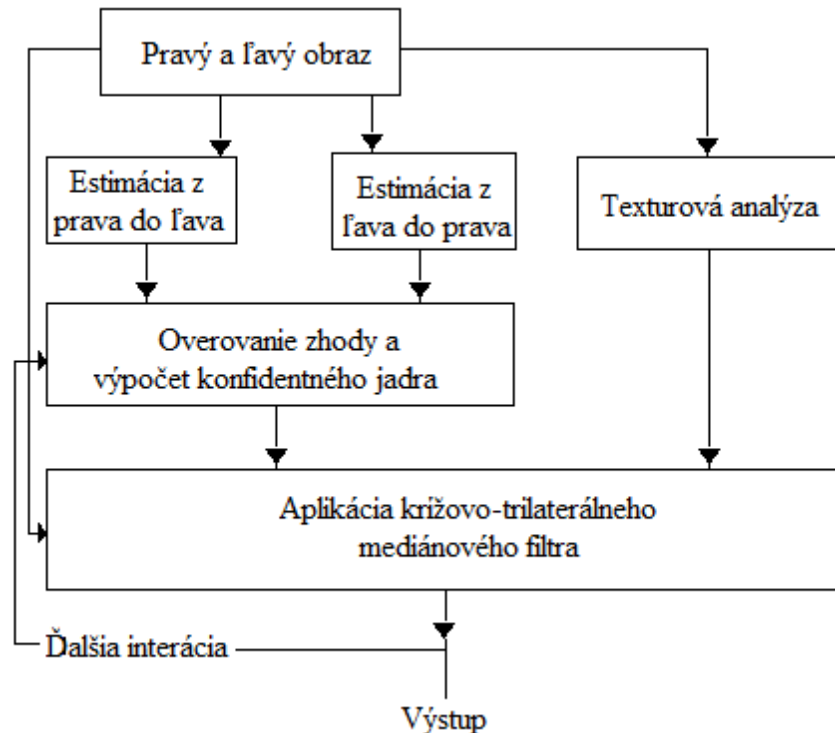
Je doplnková metóda k hĺbkovej estimácii. V závislosti od známych geometrických vlastností, existujú rozdielne prístupy v literatúre, napr. image-based rendering (IBR), layered-depth images (LDI), alebo Intermediate view reconstruction (IVR). DIBR, LDI a IVR potrebujú husté bipixelové hĺbkové mapy na uvedenie nepreskúmaných pohľadov. LDI ukladá niekoľko farebných a hĺbkových hodnôt pre každý pixel na kompenzáciu situácie, keď natáčanú scénu vidí iba jedna z dvoch kamier. IVR predkladá pomocný pohľad medzi susednými obrazmi s hustou hĺbkovou informáciou. To znamená, že oklúzny problém v IVR takmer neexistuje [1].

7.5.3 Príklad aplikácie hĺbkovo založených metód

Príklad je na **Obr. 7.12**. Schéma zobrazuje hĺbkový estimátor s použitím hybridnej rekurzívnej adaptácie (HRM) v kombinácii s krížovo-trilaterálnym mediánovým filtrovaním (ACTMF) pre postprocessing.

HRM algoritmus, ktorý sa používa pre počiatočnú hĺbkovú estimáciu je založený na hybridnom riešení s využitím priestorovej a časovej rekurzívnej zhody blkov a pixelovej rekurzivity hĺbkovej estimácie. HRM algoritmus vďaka svojej rekurzívnej štruktúre produkuje takmer hladké a časovo konzistentné tzv. „pixel-to-pixel“ disparitné mapy. Dva nezávislé HRM procesy odhadujú dve počiatočné disparitné mapy, jednu pre každé stereo zobrazenie. Konfidencia disparitnej estimácie je potom meraná overovaním zhody medzi dvoma disparitnými mapami a tak vypočítané konfidentné jadro z normalizovanej krížovej korelácie použitím HRM. Paralelne, textúrová analýza deteguje kritické oblasti, ktoré by mohli spôsobiť nezhody. Nakoniec, dve počiatočné disparitné mapy sú predspracované použitím ACTMF.

Na **Obr. 7.12** ACTMF používa interaktívne a pravo-ľavé overovanie zhody a spolu so súvisiacim výpočtom konfidencie sa opakujú v každom interačnom kroku. Konečný výsledok sa dosiahne po niekoľkých interáciách [1]. Tento druh odhadu hĺbky je zvyčajne dostačujúci pre produkciu robustných hĺbkových máp a dosahuje dobré výsledky kvality obrazu pri DIBR.



Obr. 7.53 Hĺbkový estimátor s použitím hybridnej rekurzívnej adaptácie (HRM) v kombinácii s krížovo-trilaterálnym mediánovým filtrovaním (ACTMF).

Súčasné nové 3D kamery obsahujú špecifické hĺbkové senzory, ktoré priamo zachytávajú hĺbku scény. Typický time-of-flight (ToF) hĺbkový senzor má relatívne malé rozlíšenie (napr. 204x204 pixelov). ToF senzory sú veľmi citlivé na hluk a teplotu a možnosť zachytenia hĺbkového obsahu je relatívne obmedzený [1].

7.6 Konverzia z 2D na 3D

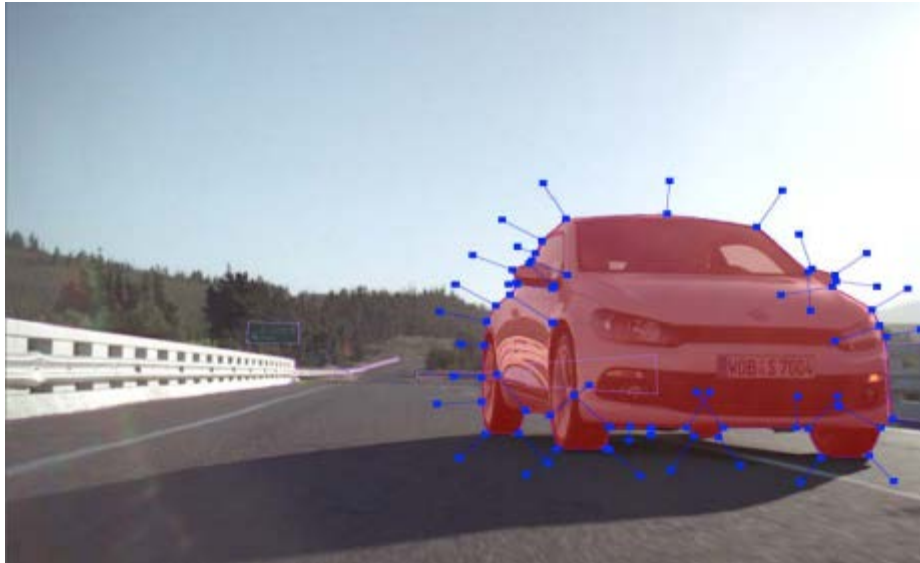
Konverzia 2D videa na 3D je v súčasnej dobe veľmi horúcou témou pre 3DTV aplikácie, 3D kiná a zábavný priemysel z dôvodu nedostatku 3D obsahu. Môžeme si všimnúť, že trh sa akoby člení na dva rôzne odvetvia. Prvé odvetvie sa zaoberá 3D zábavou určenou pre domácich užívateľov a druhé pre verejnú 3D zábavu, ako napr. kino.

Konverzné prístupy môžeme rozdeliť na manuálne a automatické. Spoločnosti ako JVC, Samsung a iné sa zameriavajú na automatické konverzné algoritmy pracujúce v reálnom čase a prispôbujú svoje technológie s novými 3D zobrazovacími systémami. To umožňuje spotrebiteľom sledovať svoju obľúbenú DVD či Blu-ray knižnicu v stereoskopickom 3D. Je potrebné podotknúť, že kvalita konvertovaného

video nie je na vysokej úrovni a môže spôsobovať napr. bolesti hlavy. Zložitejšie konverzné systémy dokážu vernejšie prekonvertovať video, čo sa využíva hlavne v kinách.

7.6.1 Manuálne konverzné techniky

Manuálne konverzné techniky sú časovo veľmi náročné a zároveň aj finančne nákladnejšie (Obr. 7.54). Výhodou manuálnej konverzie je najmä vyššia kvalita oproti



Obr. 7.55 Ukážka manuálnej konverznej techniky v profesionálnom programe.

automatickým konverzným technikám. Preto sú manuálne techniky využívané hlavne na filmovú produkciu.

Konverzia pozostáva z troch základných krokov: segmentácia, priradenie hĺbky a inpainting. V prvom kroku je každý snímok sekvencie segmentovaný do jednotlivých objektov, alebo fragmentov v závislosti na ich umiestnení v 3D priestore. Existuje veľa komerčných softvérových programov ako napr. Silhouette, Eyeon Fusion, Adobe After Effect a iné [1].

Ak je objekt segmentovaný, tak je potrebné znovu rekonštruovať scénu podľa hĺbky objektov. Tento produkčný krok sa nazýva práca s hĺbkou, alebo 3D kompozícia. Najjednoduchší spôsob, ako vytvárať stereoskopické zobrazenie je presunúť objekty doľava alebo doprava (v závislosti na hĺbke a nulovom nastavení paralaxy). Týmto jednoduchým posunom sa však vnímané objekty javia ako rovinné plochy v popredí. Priradzovaním individuálnej hĺbky každému pixelu v čase sa zamedzuje nežiaducemu efektu. Následne každý pixel môže byť posunutý podľa hodnoty hĺbky pomocou DIBR. Posledným krokom manuálnej konverzie je vyplnenie oklúzných oblastí. Pretože sú

objekty ľubovoľne posunuté v hĺbke, oblasť medzi podkladom objektom nie je známa. Tieto oblasti sa musia prevziať z okolitých snímok v čas priamo z priestorových informácií v rámci aktuálnej snímky. Spájanie oblastí predstavuje určité riziko generovania hĺbkových artefaktov. Proces plnenia oklúzných oblastí je tiež známy ako inpainting [1].

7.6.2 Automatické konverzné techniky

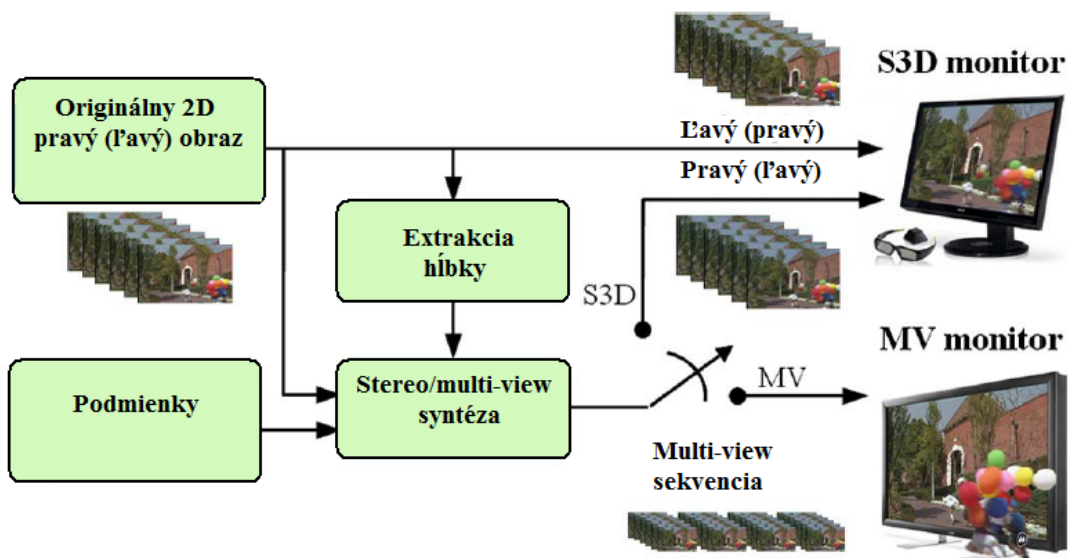
7.6.2.1 Rámcová štruktúra pre automatickú 2D/3D konverziu

Obrazové modelovanie možno rozdeliť na tri hlavné kategórie. Modelovanie závisí na množstve geometrických informácií použitých v konverzii.

1) Metódy, ktoré používajú plný 3D model scény: Táto kategória úplne a presne rekonštruje geometrický model zachytenej scény. Takýto model bude obsahovať všetky požadované informácie pre vykresľovanie nových virtuálnych pohľadov. Bežne používanou technikou je aj využitie štruktúry siluety na vytvorenie 3D objektov. V konverznej technike, kde máme k dispozícii štruktúru jednej snímky, alebo videosekvencie sa často vyskytujú chyby a technika nie je dokonalá [3].

2) Metódy, ktoré používajú iba obrazy a žiadne explicitné geometrické informácie: Táto kategória priamo vykresľuje nový virtuálny pohľad zo zachytenej sady obrazov. Zvyčajne je potrebných niekoľko stoviek až tisícou obrazov, ktoré nenesú žiadnu, resp. malú geometrickú informáciu. V praxi je často dostupný počet snímok malý a nepostačuje na správnu 2D/3D konverziu obrazu [9].

3) Hybridné metódy, ktoré explicitne používajú niektoré geometrické informácie: Táto kategória používa kombináciu dvoch predchádzajúcich popisovaných kategórií. Nové virtuálne pohľady sú vytvárané z obmedzeného počtu snímok a neúplných geometrických informácií, ktoré sú poskytované scénou. Najznámejšia metóda je DIBR [9].



Obr. 7.56 Diagram automatickej konverzie z 2D na 3D

Rámcová štruktúra pre automatickú 2D/3D konverziu videa sa v podstate skladá z dvoch prvkov, ako je vidieť na Obr. 7.14. V prvej časti sa extrahuje informácia o hĺbke a v druhej sa vytvára stereoskopický obraz. Extrakcia informácií o hĺbke má za cieľ využiť obrazové stopy a pohyb paralaxy. Získané hĺbkové informácie sú potom konvertované do vhodnej reprezentácie pre použitie konverzie z 2D na 3D. Riedka štruktúra 3D scény a hĺbková mapa sú dve reprezentácie s neúplnou geometriou zachytenej scény, ktoré sa bežne používajú. Riedka 3D štruktúra sa obvykle skladá z niekoľkých reálnych 3D súradníc. Hĺbková mapa je v podstate dvojrozmerná funkcia, ktorá poskytuje informáciu o hĺbke s prihliadaním na pozíciu kamery [9].

7.6.2.2 Extrakcia hĺbkovej informácie zo scény

Ľudské vnímanie môžeme rozdeliť na binokulárne a monokulárne. Binokulárne hĺbkové stopy poskytujú hĺbkovú informáciu pri prezeraní scény oboma očami. Využívajú rozdiely vo vnímanom obraze. Monokulárne hĺbkové stopy poskytujú detailné informácie pri prezeraní scény jedným okom. Ľudské vnímanie môžeme rozdeliť na binokulárne a monokulárne. Binokulárne hĺbkové stopy poskytujú hĺbkovú informáciu pri prezeraní scény oboma očami. Využívajú rozdiely vo vnímanom obraze. Monokulárne hĺbkové stopy poskytujú detailné informácie pri prezeraní scény jedným okom. Extrakcia hĺbky zo scény si kladie za cieľ previesť monokulárne hĺbkové stopy z videosekvencie na kvantitatívne hĺbkové hodnoty [9].

7.6.2.3 Hĺbka z obrazových stôp

Obrazové hĺbkové stopy sú prvky v obraze, ktoré nám umožňujú vnímať hĺbku v 2D scéne. Zobrazovaná perspektivita, uhol pohľadu, tieň, výška objektov a iné obrazové vnemy vytvárajú v 2D obraze dojem hĺbky. Generácie obrazových hĺbkových stôp môžeme rozdeliť na dva základné prístupy. Prvý prístup sa týka extrakcie reálnej hĺbkovej informácie z dostupných obrazových stôp v obraze. Reálnou hĺbkovou informáciou sa myslí relatívna hĺbka medzi objektmi v scéne. Druhý prístup vytvára umelú scénu s použitím informácií z obrazových stôp, ktoré sa bežne vyskytujú vo všetkých scénach, ako napr. krajina alebo prostredie v budovách [9].

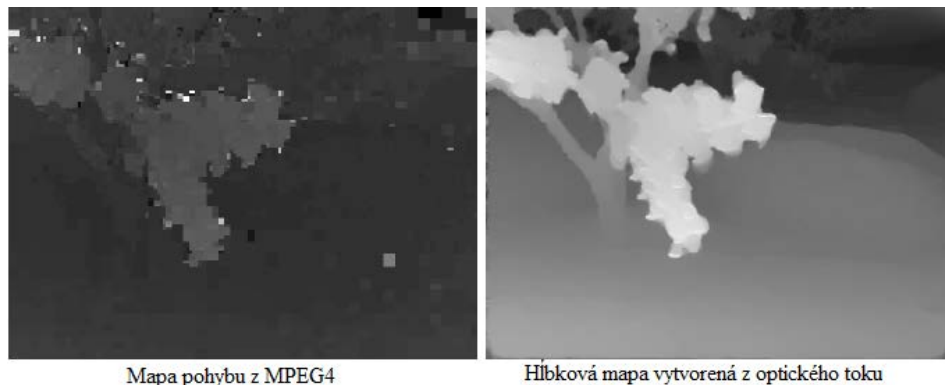
Mechanizmus prispôsobenia ľudského oka slúži na zaostrenie do danej roviny v hĺbke. Reálna kamera funguje na podobnom princípe. Zostrovaním môžeme dosiahnuť rozmazanie pozadia. Tento mechanizmus zaostrovania môže byť použitý na produkciu hĺbkových informácií z obrazu [10]. Iné prístupy sa snažia získať rozostrené informácie z jednej snímky na základe merania množstva rozostrených spojitéch oblastí z každého pixelu. Mapovaním rozmazania sa meria hĺbka každého pixelu.

Hĺbku je možné extrahovať aj pomocou farby a intenzity stôp v obraze. Zmeny v množstve svetla prichádzajúceho do oka môžu poskytnúť informácie a hĺbke objektov. K hĺbkovým podnetom, ktoré sú založené na tomto mechanizme patrí: atmosférický rozptyl, rozdelenie svetla a tieňov a kontrast. Atmosférický rozptyl je rozptyl svetelných lúčov v atmosfére, ktoré produkujú modrastý nádych. Vytvára menší kontrast s objektmi, ktoré sú v diaľke a väčší kontrast s blízkymi objektmi. Farebná extrakcia sa používa hlavne pri scéne, kde je zobrazovaná príroda, hory a krajina. Tento prístup potom určí objekty do šiestich oblastí, ako napr. obloha, najvzdialenejší bod kopca, bližšie oblasti pri kopci, polia, blízke lúky. Každý oblasti je následne priradená hodnota hĺbky [11].

7.6.2.4 Generovanie hĺbky na základe pohybovej informácie

V navrhovanom prístupe sa generuje hĺbková mapa na základe pohybovej informácie. Pohybová informácia sa tu rozumie, ako pohyb paralaxy, ktorý sa vzťahuje k relatívnemu pohybu medzi pohľadom kamery a pozorovanou scénou. Pre pozorovateľa sa blízke objekty pohybujú rýchlejšie, ako rovnako sa pohybujúce objekty, ktoré sú v diaľke. V tomto prípade, pohyb paralaxy poskytuje dôležité údaje pre vytváranie hĺbky. Nevýhodou je, že nie všetky video sekvencie poskytujú pohyb

paralaxy, iba tie, ktoré sú zachytené pohyblivou kamerou. Ak je kamera na fixnom bode, scéna môže obsahovať nezávislé sa pohybujúce objekty. Pohybové informácie z týchto objektov môžu určiť nesprávne údaje pre odhad hĺbky [11].



Obr. 7.57 Použitie pohybových vektorov z MPEG4, ako počítačový vstup pre výpočet optického toku.

informácie. Pohybová informácia sa tu rozumie, ako pohyb paralaxy, ktorý sa vzťahuje k relatívnemu pohybu medzi pohľadom kamery a pozorovanou scénou. Pre pozorovateľa sa blízke objekty pohybujú rýchlejšie, ako rovnako sa pohybujúce objekty, ktoré sú v diaľke (Obr. 7.58). V tomto prípade, pohyb paralaxy poskytuje dôležité údaje pre vytváranie hĺbky. Nevýhodou je, že nie všetky video sekvencie poskytujú pohyb paralaxy, iba tie, ktoré sú zachytené pohyblivou kamerou. Ak je kamera na fixnom bode, scéna môže obsahovať nezávislé sa pohybujúce objekty. Pohybové informácie z týchto objektov môžu určiť nesprávne údaje pre odhad hĺbky [11].

7.6.2.5 Farebná segmentácia

Objektové hrany sú veľmi dôležitou informáciou pre hĺbkové mapy. Objekty vytvorené v hĺbkovej mape pomocou optického toku nemajú jasné hranice. Preto sa využíva farebná segmentácia. Táto metóda je založená na predpoklade, že obsah obrazu je konštruovaný skupinou neprekrývajúcich sa rovín v hĺbkovom priestore. Každá rovina obsahuje aspoň jednu homogénnu farebnú oblasť. Súvislosť je prerušená iba na hraniciach týchto oblastí. Farebná segmentácia z referenčného obrazu je znázornená na Obr. 7.16 [11].



Originálny obraz



Farebne segmentovaný obraz

Obr. 7.59 Farebná segmentácia z referenčného obrazu.

7.6.2.6 2D rekonštrukcia hĺbkovej mapy

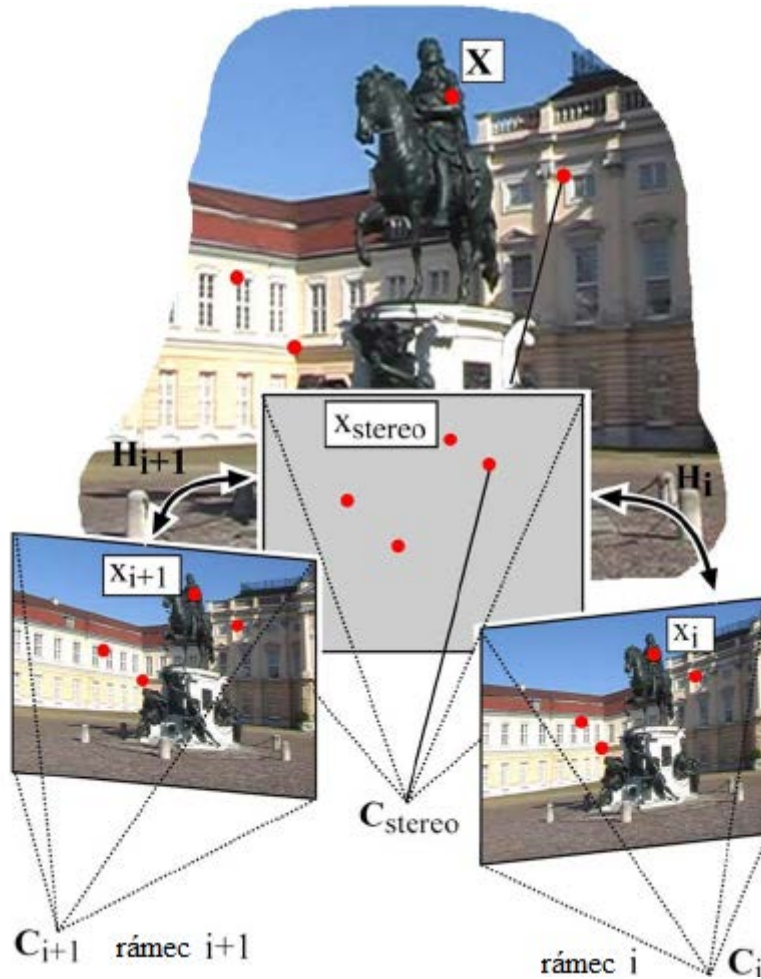
2D hĺbková mapa môže byť zrekonštruovaná z vektorov pohybu. Veľkosti vektorov pohybu v každom snímku videa sa považujú priamo za hĺbkové hodnoty. Takéto vytváranie hĺbkovej mapy nemusí byť veľmi presné, najmä ak scéna neobsahuje nezávislé pohybujúce sa objekty. Niektoré navrhované mechanizmy umožňujú priamo výpočet pohybových vektorov. Nelineárne hĺbkové mapovanie sa používa na zvýšenie hĺbkového vnemu. Celá scéna je rozdelená do niekoľkých hĺbkových vrstiev a každej vrstve je priradená iná hodnota.

7.6.2.7 Rekonštrukcia riedkej 3D štruktúry scény

Základnou myšlienkou je určiť transformáciu medzi originálnymi a virtuálnymi pohľadmi, na základe riedkych 3D štruktúr scény, s cieľom umožniť vytváranie virtuálnych pohľadov. Tento postup sa skladá z troch základných krokov, ktoré budú následne popísané.

1) Nastavenie virtuálneho stereo vybavenia: Prvým krokom je určiť projekčnú maticu virtuálnej kamery. Virtuálna stereoskopická kamera môže byť definovaná pre každý originálny video rámeček. Virtuálna kamera je obvykle umiestnená tak, že obe kamery tvoria stereoskopickú paralelnú konfiguráciu. Rotačná matica virtuálnej kamery je totožná s jedným zodpovedajúcim originálnym pohľadom, ktorý je odhadovaný pri rekonštrukcii riedkej 3D štruktúry scény. S týmto nastavením kamery sa určí projekčná matica P_{stereo} pre virtuálnu kameru C_{stereo} [9].

2) Určenie planárnej homografie pre obrazovú deformáciu: Druhým krokom je určiť vzťah medzi virtuálnymi a susednými originálnymi pohľadmi na aktivovanie obrazovej deformácie. V prípade malých nosných čiar, môže vzťah medzi virtuálnymi a susednými originálnymi pohľadmi reprezentovať rovinnú homografiu H (Obr. 7.60) [9].



Obr. 7.61 Stereoskopická pohľadová syntéza s použitím planárnej homografie

Planárna homografia je perspektívna transformácia, ktorá prevádza pixelový bod x_i z pôvodného pohľadu na pixelový bod x_{stereo} virtuálneho pohľadu, takto:

$$X_{stereo} = Hx_i \quad (7.1)$$

Na spustenie transformácie musí byť zadaná planárna homografia H . To je možné urobiť použitím hĺbkovej informácie reprezentovanej v oblasti rekonštruovaných riedkych 3D bodov scény X (Obr. 7.62), ktoré sa premietajú do každej virtuálnej obrazovej roviny podľa zodpovedajúcich projekčných matíc P_{stereo} .

$$X_{stereo} = P_{stereo}X \quad (7.2)$$

Tieto body X_{stereo} vo virtuálnej obrazovej rovine zodpovedajú X_i v originálnom zobrazení. S týmito zodpovedajúcimi párami (X_{stereo}, X_i) , môže byť odhadnutá planárna homografia H .

H je matica rozmeru 3×3 a má 8 nezávislých parametrov. Minimálny počet štyroch bodov zodpovedajúcich párov ($N=4$) je potrebných na zabezpečenie riešenia v rámci dovoleného rozsahu. Na spoľahlivé riešenie je potrebné mať viac ako 4 páry. V tomto prípade, planárna homografia sa odhaduje pomocou regresnej metódy, aby sa minimalizovali chyby.

$$e_i = X_{stereo} - HX_i \quad (7.3)$$

t.j.

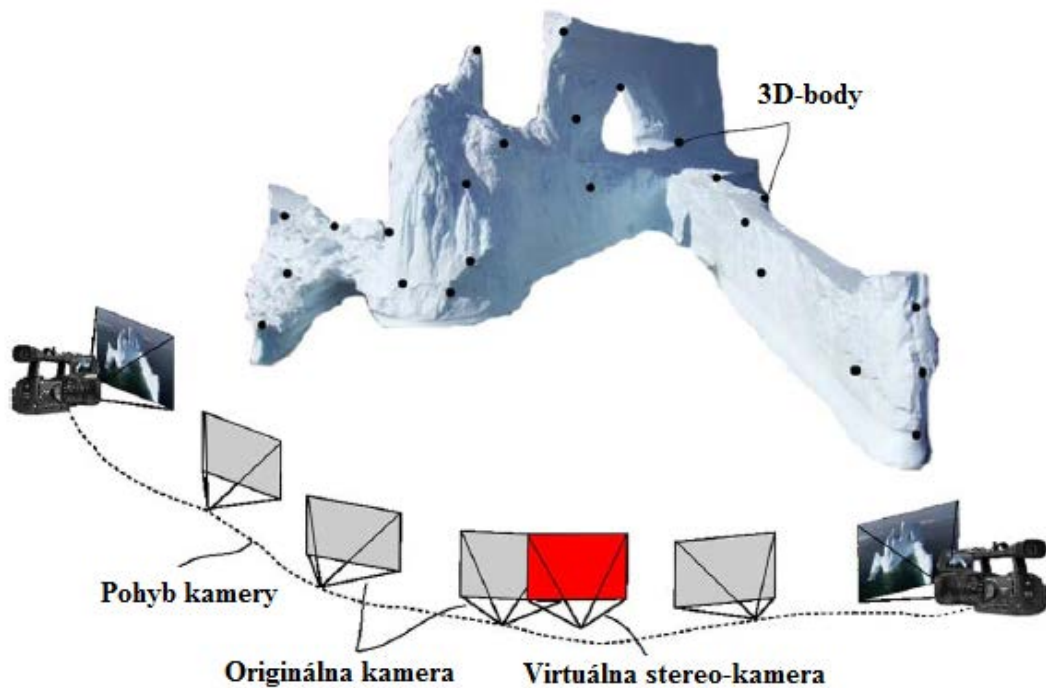
$$\arg \min_H \left\{ \sum_{i=1}^N c(e_i) \right\} = \arg \min_H \left\{ \sum_{i=1}^N c(X_{stereo} - HX_i) \right\}$$

kde $c(e_i)$ je funkcia ohodnotenia, ako je stredná kvadratická chyba (MSE).

3) Vykreslenie virtuálnych pohľadov: Posledným krokom je vykreslenie virtuálnych pohľadov z pôvodného cieľu vybudovať stereoskopický obrazový pár. Keď je určená planárna homografia medzi virtuálnym a originálnym pohľadom, tak všetky pixelové hodnoty originálneho pohľadu sú premietané na jeho zodpovedajúce umiestnenie vo virtuálnom pohľade. Normálne tieto pozície nekorešpondujú presne s pixelovou mriežkou vo virtuálnom pohľade. Hodnota pixelov pri umiestnení v pixelovej mriežke sa potom získa vykonaním bilineárnej alebo bikubickej interpolácie [9].

Popisovaná rekonštrukcia je výpočtovo veľmi náročná, hlavne ak sa vykonáva pre každý snímok vo videu. Alternatívny prístup je použitie prioritnej sekvenčnej 3D rekonštrukcie [9].

Hlavným prvkom tohto prístupu je to, že kľúčové snímky sú vyberané na základe prioritnej metriky. To znamená, že nie sú rekonštruované všetky snímky idúce za sebou. Tým sa zvýši aj rýchlosť spracovania a rekonštrukcie obrazu.



Obr. 7.63 Riedka 3D štruktúra scény a pohyb kamery určená štruktúrou pohybu a polohovaním virtuálnej stereo - kamery [9].

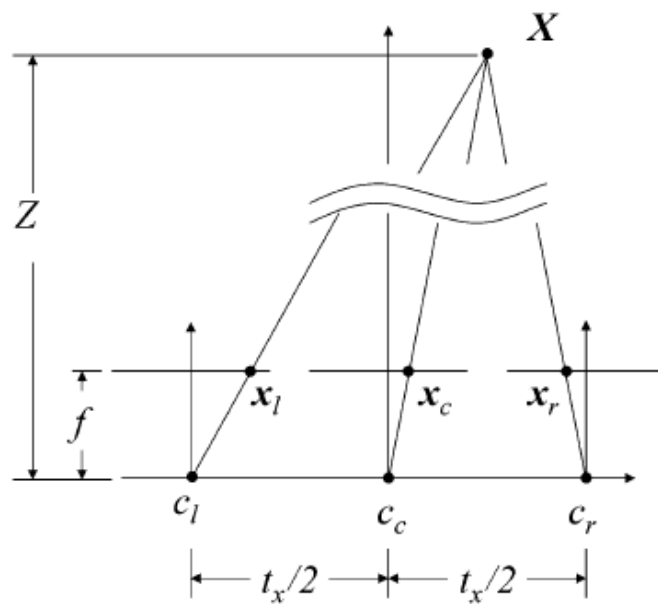
7.7 Vytváranie stereoskopických obrazov

Postupy pre vytváranie stereoskopických obrazov sa líšia v závislosti od hĺbkovej informácie. V tejto kapitole sa budeme zaoberať spôsobmi, ktoré sa opierajú o 2D hĺbkovú mapu a riedku 3D štruktúru scény.

7.7.3 Prístup založený na hĺbkových 2D mapách

DIBR umožňuje vytváranie nových obrazov s využitím informácie z hĺbkovej mapy. Metóda DIBR pozostáva obvykle z troch krokov: 1) predspracovanie hĺbkovej mapy 2) 3D deformácia obrazu 3) maskovanie.

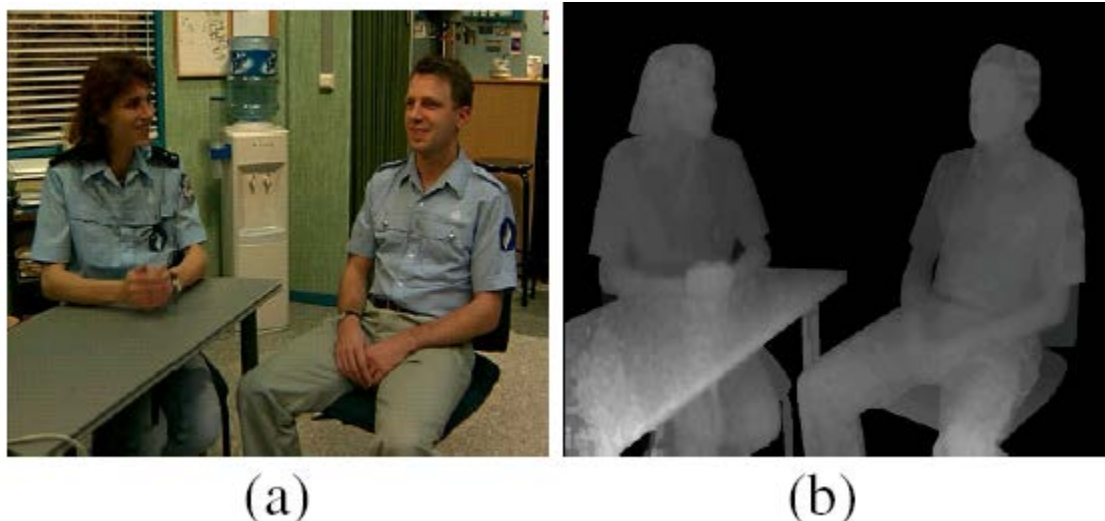
Prvý krok zahŕňa zvolenie nulového nastavenia paralaxy a prevod hĺbkovej mapy z 8-bitových hodnôt šedej do metrických hĺbkových hodnôt. Prípadne vyhladenie hĺbky ostrých prechodov na hraniciach objektov a redukovanie vzniknutých artefaktov. 3D obrazový deformačný krok vykreslí virtuálny obraz akéhokoľvek blízkeho bodu pohľadu premietnutím pixelov pôvodného obrazu na správnu 3D polohu (Obr. 7.19). Virtuálna kamera sa obvykle vytvára a polohuje tak, aby mala paralelné stereoskopické nastavenia z pôvodnou. Virtuálna kamera má rovnaký vnútorný parameter a optický smer. Posledným krokom je vyplnenie chýbajúcich oblastí maskovaním [12].



Obr. 7.64 Paralelné nastavenie kamery, ktoré sa využíva na tvorbu virtuálnych stereoskopických obrazov [12].

Na

Obr. 7.19 veličina f znamená ohniskovú vzdialenosť kamery, c_c je bod pohľadu na stred originálneho obrazu. Veličiny c_l a c_r sú body pohľadu virtuálneho pravého a ľavého obrazu, ktoré budú generované. Vzdialenosť medzi dvoma virtuálnymi kamerami je udávaná ako t_x . Na základe tejto konfigurácie kamery, jeden bod X s hĺbkou Z sa premieta do obrazovej roviny z troch kamier na pixely x_l , x_c a x_r .



Obr. 7.65 (a) 2D video (b) hĺbková informácia

7.8 Maskovanie chýb v stereoskopickom videu

V tejto podkapitole je popísaný konkrétny algoritmus. Ten používa vytvorenie dvoch pohľadov pre užívateľa, pre každé oko vytvára 3D dojem. Tieto dva prezentované pohľady (pre ľavé a pravé oko) potom možno prehrať pomocou stereoskopického prehrávača, ako je znázornené na obr.7.21. Video je vidieť pomocou stereoskopických okuliarov. Model rámca pre maskovanie 2D videa môže byť priamo alebo nepriamo aplikovaný na 3D obraz v závislosti na tom, ako vzniká 3D video. Jednoduchý spôsob, ako realizovať opravu 2D+hĺbka, je použitím pohybovej kompenzácie časovej predikcie pre 2D+hĺbku. Je to jednoduchá metóda, ktorá má dobre výsledky, ak sú k dispozícii pohybové vektory z poškodeného makrobloku. Väčšina metód v literatúre sa sústreďuje na maskovanie chýb v pravom a ľavom stereoskopickom obraze. Maskovací algoritmus bol navrhovaný pre pravé a ľavé zobrazenie stereoskopického videa pomocou doplnujúcich údajov zo zodpovedajúcej obrazovej sekvencie [13].



Obr. 7.66 Stereoskopický prehrávač

7.8.1 Návrh hĺbkového modelu priestorového maskovania chýb

Tento model môžeme rozdeliť do dvoch častí: a) segmentácia hĺbky obrazu b) maskovanie chýb v 2D obraze [13].

7.8.1.1 Segmentácia hĺbky obrazu

Hlavným cieľom segmentácie hĺbky obrazu je využiť údaje o hĺbke k dosiahnutiu robustnej objektovej segmentácií v rozhádzanom pozadí alebo s nízkou kvalitou videa na vstupe.

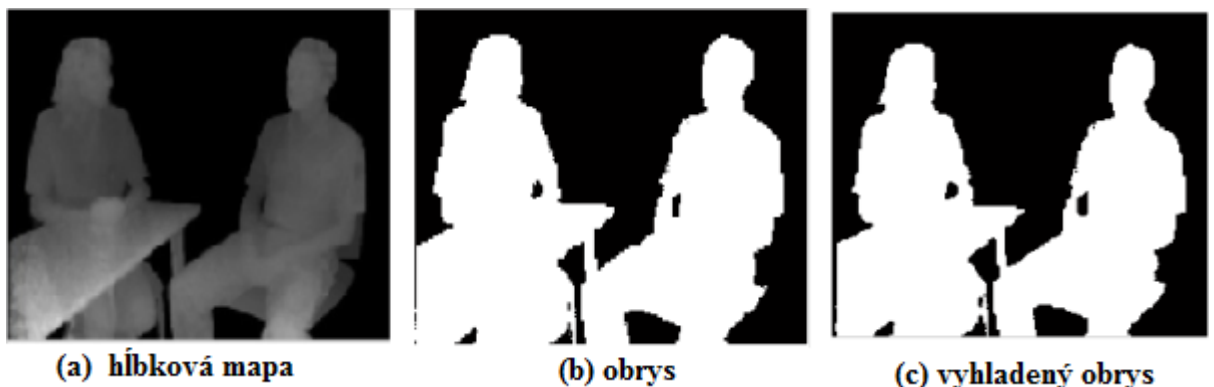


Obr. 7.67 Formát 2D+hĺbka.

Vľavo na **Obr. 7.22** je klasický farebný 2D obraz a vpravo 8-bitový hĺbkový obraz s rovnakým časovým aj priestorovým rozlíšením. Normalizácia na Z_d a Z_b .

Každý z týchto hĺbkových obrazov je zásobníkom hĺbkovej informácie reprezentovaný ako 8-bitová šedá hodnota so šedou úrovňou 0 pre poslednú hodnotu šedej a 255 úroveň, ako najbližšiu hodnotu. V blízkosti hraničnej roviny Z_b (šedá úroveň 255) definuje najmenšiu metriku hĺbkovej hodnoty Z , ktoré môžu byť zastúpené v údajoch hĺbkového obrazu [13]. Taktiež, hraničná rovina Z_d (šedá úroveň 0) definujeme najväčšiu metriku hĺbkovej hodnoty ako je znázornené na **Obr. 7.22**.

Pomocou segmentácie hĺbky sa vyhýbame náročným výpočtovým úlohám ako je dilatácia a hranová detekcia. Tento zjednodušený proces zahŕňa iba dva kroky. Na začiatku bude vytvorený hraničný hĺbkový obraz. Pre tento krok je potrebné obraz binarizovať, pre pomocné použitie v maskovaní. Nakoniec, aby segmentovaný obraz vyzeral dobre, vyhladíme hrany. Na **Obr. 7.23** je znázornený postup segmentácie hĺbkového obrazu [13].

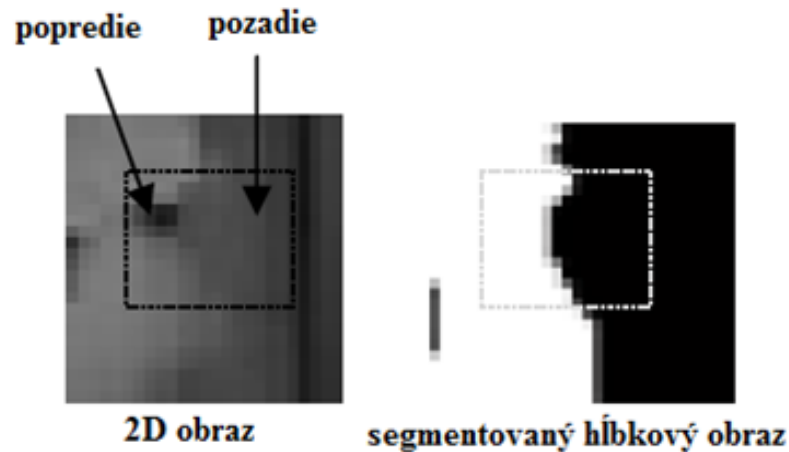


Obr. 7.68 Postup segmentácie hĺbkového obrazu

Navrhované priestorové maskovanie chýb pre 2D video je rozdelené do dvoch častí. Úlohou prvej časti je maskovací proces. Úlohou je rozhodnúť, ktoré oblasti budú použité pre maskovanie chýb na oblasti popredia alebo oblasti pozadia. Úlohou v druhej časti je použiť frekvenčnú extrapoláciu a maskovať poškodené oblasti.

7.8.1.2 Proces rozhodnutia o maskovaní

Segmentovaný obraz bude pomáhať maskovaciemu procesu za predpokladu, že sú známe hranice pre extrapoláciu. Ak sa blok vyskytuje predovšetkým na oblasti, ktorá zahŕňa popredie aj pozadie hĺbkového obrazu, segmentovaný obraz bude určovať oblasť extrapolácie tak, aby extrapolácia popredia bola iba extrapolovanou informáciou pre popredie a naopak. **Obr. 7.24** ukazuje časť maskovacieho procesu.



Obr. 7.69 Časť maskovacieho procesu.

Oblasť v bodkovanom štvorčeku je oblasť, ktorá bude maskovaná. Pred maskovaním sa segmentovaný hĺbkový obraz kontroluje, či oblasť patrí k výstupu popredia alebo pozadia. Ak oblasť patrí k pozadiu, napr. 2D poškodená plocha bude maskovaná pomocou pixelov z pozadia [13].

7.8.1.3 Frekvenčná extrapolácia

Existujú dva typy interačných metód pri riešení poškodeného obrazu v maskovaní a obnove stratenej informácie. Tieto interačné metódy sú interpolácia a extrapolácia. Interpolácia opravuje poškodené makrobloky pomocou existujúcich informácií z okolitých pixelov. Princíp extrapolácie je v podstate extrapolácia chýbajúcich údajov z približnej oblasti v rovnakom rámci. Myšlienkou použitia priestorovej predikcie je zvýšiť kódovaciu účinnosť. Furierová spektrálna analýza je často používaná v interačných prístupoch. Tieto prístupy extrapolujú časovo rámcové signály so známou hraničnou šírkou pásma pred transformáciou signálov do časovej oblasti [13].

Vzhľadom k tomu, že obrazový údaj sa mení pixel po pixeli je predpoklad, že pixely budú mať hladké sekvenčné prepojenie, ktoré predpovedá obsah každého pixelu z dostupných susedných pixelov. Preto bude daná podporná oblasť spektrálne

analyzovaná, aby sa extrapoloval chýbajúci priestor. Extrapolácia je interaktívny proces budovania nových dátových bodov mimo diskrétného rádu známych dátových bodov. Nové dátové body predstavujú chýbajúci priestor, zatiaľ čo jednotlivý súbor známych dátových bodov predstavuje podpornú oblasť. Podporná oblasť obsahuje vzorové signály, ktoré sú približne veľké ako lineárna kombinácia základných funkcií definovaných v celej oblasti. Takže, aproximácia podpornej oblasti poskytuje predpoveď nasledujúcej estimácie stratenej oblasti.

Aby bolo možné konštruovať poškodené údaje, musíme poznamenať všeobecne základné extrapoláčne vlastnosti touto funkciou $\phi_{k,l}[m,n] = e^{j2\pi/Mmk} \cdot e^{j2\pi/Nnl}$. Ak funkcia f je periodická s periódou P , potom pre všetky x z oblasti f a všetky celé čísla n , $f(x+nP)=f(x)$. Ak $f(x)$ je funkcia s periódou P , potom $f(ax+b)$, kde a je periodická kladná konštanta, čo znamená, že funkcia je schopná rozšíriť signál periodicky, použitím kladného násobku alebo konštanty. Táto vlastnosť sa používa v celom vývoji algoritmov, pretože pomáha rekonštrukcii a obnove stratenej informácie v poškodených blokoch [13].

Existujú dva hlavné kroky v interaktívnom postupe. Po prvé, pôvodný signál bude spolu so zvyšným chybným signálom vypočítaný za účelom zníženia energie pre vybrané základné funkcie. Základné funkcie budú vybrané, aby zabezpečili maximálny pokles energie, kde sa vyráta zvyšná chyba. Po druhé, interačný proces prebieha, keď minimalizácia zvyškovej chyby spúšťa výpočet DFT koeficientu. Interačný proces sa zastaví, ak hodnota zníženej zvyškovej chyby je nižšia ako pred danou hranicou [13].

7.9 3D video formáty

Príklady, ktoré súvisia s videonormami sú Beta - VHS a HD DVD, alebo Blu-Ray. Aby bolo možné nasadenie 3DTV služieb v širokom rozsahu, musia byť k dispozícii štandardy. Štandardy pre 3D prenos sú obzvlášť dôležité, pretože poskytovatelia obsahu sa snažia vytvoriť jeden hlavný súbor, ktorý môže obsahovať stereo 3D obsah všetkých rôznych distribučných kanálov. V nasledujúcej podkapitole sú uvedené niektoré MPEG štandardy, na ktorých sa stále pracuje [14].

Simulcast kódovanie je samostatné kódovanie a prenos z dvoch video scén v konvenčnom stereo videu, tzv. CSV formát. Prenosová rýchlosť je zvyčajne dvakrát vyššia ako pri 2DTV. Video plus hĺbka V+D (tzv. 2D+hĺbka) vyžaduje väčšiu šírku

pásma. Štúdie ukazujú, že hĺbková mapa môže byť komprimovaná na 10% až 20% farebnej informácie. H.264/AVC (advanced video coding) štandard bol rozšírený o stereo dodatočné informácie, tzv. SEI správy. Táto správa môže byť použitá na implementáciu predikčnej schopnosti, ktorá znižuje požiadavky na celkovú šírku pásma. Aj keď štandard nie je navrhnutý pre stereo-view video kódovanie, môžu byť H.264 kódovacie nástroje prispôsobené na využitie korelácie medzi dvojicou pohľadov v stereo-view videu. Poskytujú veľmi spoľahlivý a efektívny kompresný výkon rovnako pre stereo ako aj mono-view video. Koncept škálovateľného video kódovacieho systému umožňuje kódovanie video streamu, ktorý obsahuje jeden alebo viac podmnožín bitového toku. Škálovateľné video kódovanie bolo definované v roku 2007 ako príloha ku H.264/AVC štandardu. Pomocou SEI správy definovanej v štandarde H.264, môže dekodér ľahko synchronizovať pohľady a streamovací server, alebo tiež dekodér môže ľahko detegovať škálovateľné kódovanie. Video a hĺbka (V+D) bol štandardizovaný v MPEG ako rozšírenie pre 3D registrovanú v ISO/IEC FDIS 23002-3:2007(E). V roku 2007, bol MPEG špecifikovaný ako kontajnerový formát ISO/IEC 23002-3 v časti 3, ktorý môže byť využitý pre dáta V+D. Formát 2D+hĺbka podporuje začlenenie hĺbky pre generovanie zvyšného počtu zobrazení. Aj keď to je určitou výhodou, pretože je kompatibilný so staršími zariadeniami, no je schopný vykresliť iba obmedzený hĺbkový rozsah. Veľký záujem je tiež o formát MV+D (multiview+depth). Multiview video kódovanie je kľúčovou technológiou pre širokú škálu budúcich aplikácií, vrátane FVV (free-viewpoint video), 3DTV a iných aplikácií. MPEG štandard, multiview video kódovanie (MVC), na podporu MV+D (a tiež V+D) a reprezentácie vo vnútri MPEG-2 transportného toku boli vyvinuté tímom JVC. MVC umožňuje konštrukciu bitových tokov, ktoré predstavujú rôzne pohľady. MVC podporuje efektívne kódovanie video sekvencií zachytených súčasne z viacerých kamier pomocou jediného video streamu. MVC môže byť použité pre kódovanie stereoskopickú a multiview 3DTV [14].

MVC je rozšírenie štandardu H.264/AVC, ktorý poskytuje efektívne kódovanie videa multiview. Kodér dostane N časovo synchronizovaných video streamov a vytvára jeden bitový tok. Dekodér po prijatí bitového toku dekoduje signál na N video signálov. Multiview video obsahuje veľké množstvo vnútrosnímkových štatistických závislostí, pretože všetky kamery zachytávajú rovnaké scény z rôznych uhlov pohľadu. Preto kombinácia časovej a vnútrosnímkovej predikcie je kľúčom pre efektívne MVC. MVC

podporuje priame kódovanie viacerých pohľadov a využíva redundanciu na zníženie prenosovej rýchlosti. Rýchlosť kódovania MVC je úmerná počtu zobrazení[14].

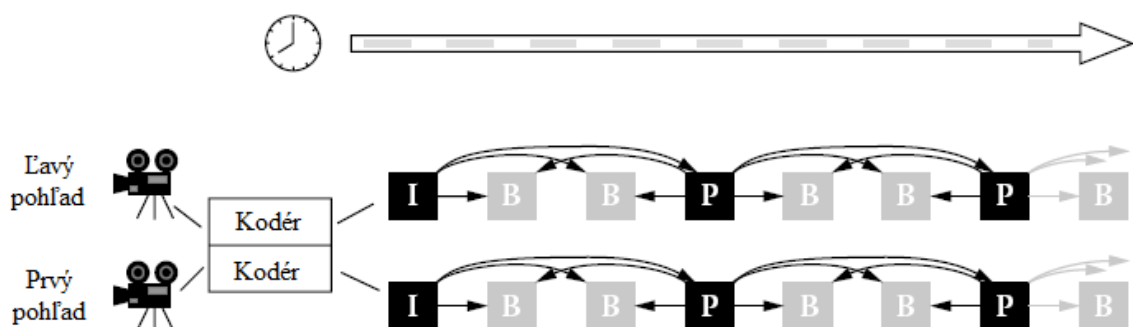
7.9.1 Konvenčné stereo video (CSV)

CSV je najlepšie vyvinuté a najjednoduchšie 3D video zobrazenie. Tento prístup sa zaoberá len farebnými pixelmi z video snímok, ktoré nie sú geometricky spracovávané. Video signál je určený na priame zobrazenie pomocou 3D zobrazovacieho systému. **Obr. 7.25** znázorňuje príklad stereo obrazového páru. Rovnaká scéna je viditeľná z odlišných uhlov pohľadu. 3D zobrazovací systém zaisťuje, že divák vidí iba ľavý pohľad ľavým okom a pravý pohľad pravým okom, tak vytvára 3D dojem [14].



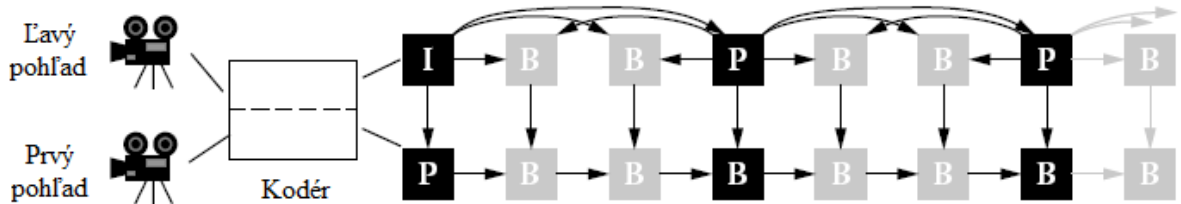
Obr. 7.70 Stereo pár

V porovnaní s inými 3D video formátmi, algoritmy spojené s CSV sú minimálne komplexné. Typické algoritmy robia samostatné kódovanie a dekódovanie viacerých video signálov, ako je znázornené na **Obr. 7.26**. Nevýhodou je skutočnosť, že množstvo dát sa zvyšuje v porovnaní s 2D videom. Štandard MPEG-2 obsahuje profilové multiview



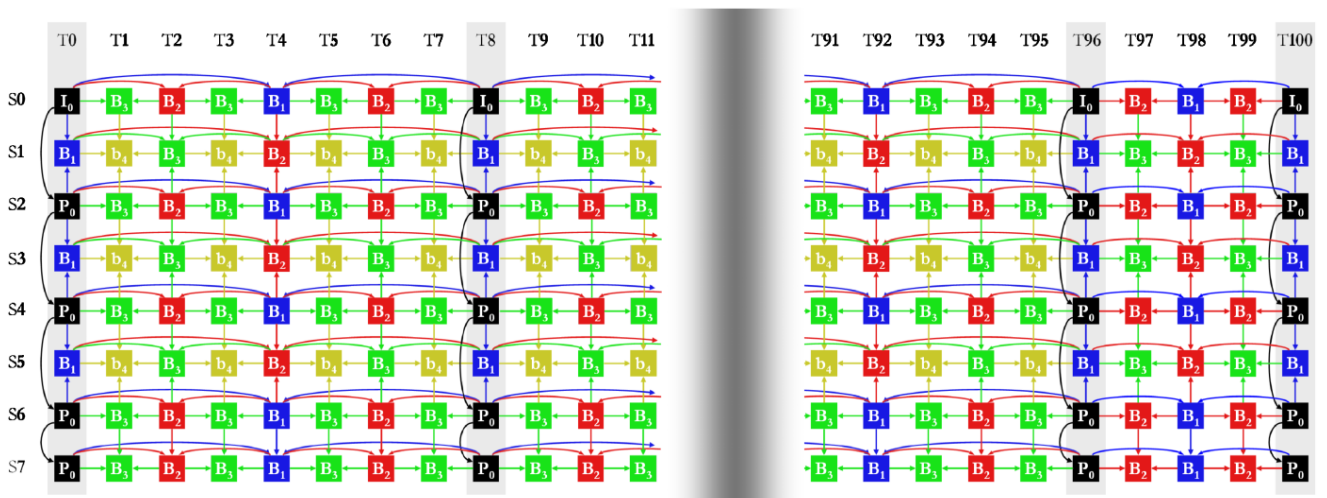
Obr. 7.71 Tradičné MPEG-2/MPEG-4 aplikovaný na 3DTV

kódovanie, ktoré umožňuje zvýšenie účinnosti tým, že kombinuje časovú a vnútrostránkovú predikciu, ako ukazuje Obr. 7.27. Ako už bolo spomínané, H.264 kódovacie nástroje môžu byť prispôbené na využitie korelácie medzi dvojicou pohľadov v stereo-view videu a tak poskytujú účinnú kompresiu [14].



Obr. 7.72 MPEG-2 MultiView profil a H.264/AVC SEI správy.

Pre viac ako dva pohľady, môže byť prístup rozšírený na MVC, ako je znázornené na Obr. 7.28. Tento režim používa predikciu štruktúry z hierarchických B snímok pre každý pohľad. Vnútrostránková predikcia je aplikovaná na každý druhý pohľad (S1, S3 a S5). Kým B snímky v párnych pohľadoch nepoužívajú žiadne vnútrostránkové referencie, B snímky v poslednom pohľade používajú jednu vnútrostránkovú referenciu. Ak chceme povoliť náhodný prístup, začneme každú skupinu obrazov (S0/T0, S0/T8) s I-snímkom. MVC je v súčasnej dobe najúčinnjší spôsob, ako kódovať multiview video. Očakáva sa, že MVC sa stane novým MPEG štandardom kódovania pre realizáciu budúcich grafických aplikácií, ako je 3D video [15].



Obr. 7.73 Multiview video kódovanie s kombinovanou časovou a vnútrostránkovou predikciou

MVC algoritmy by mali splňať určité požiadavky, ktoré sú z veľkej časti rozdelené na požiadavky súvisiace s kompresiou a požiadavky na systémovú podporu.

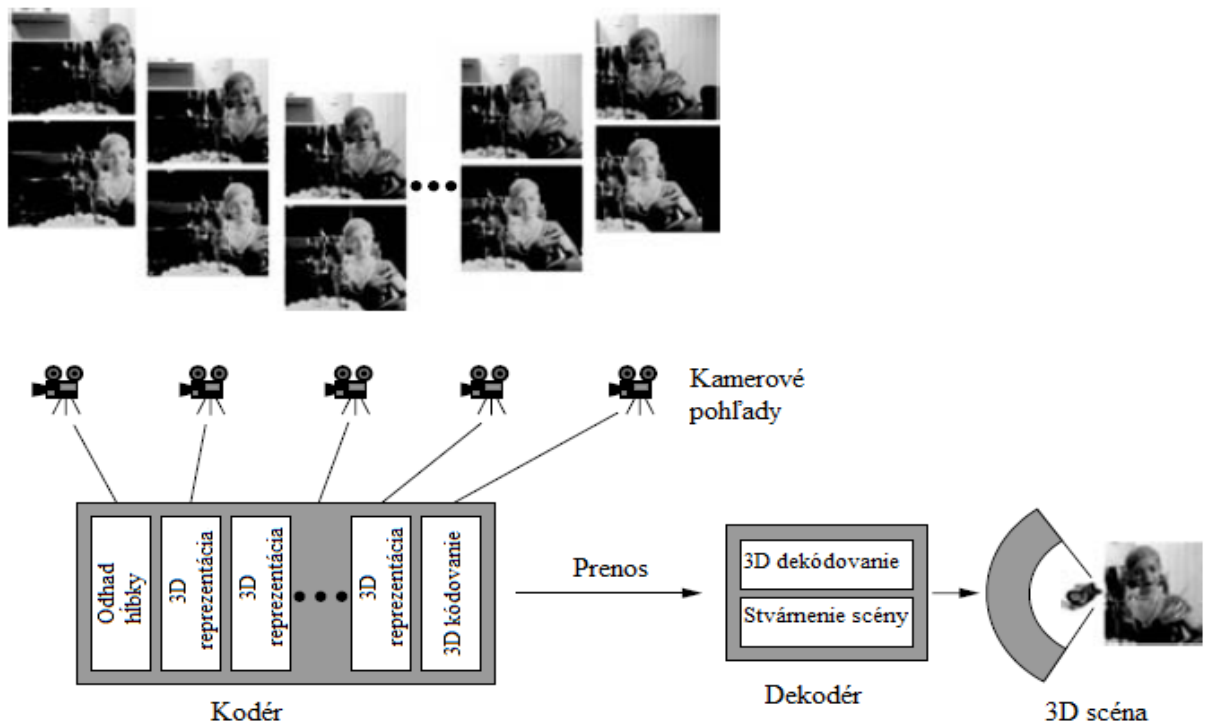
MVC poskytuje relatívne vysokú účinnosť kompresie nezávislým kódovaním každého pohľadu s rovnakým obsahom. Niektoré doplňujúce informácie, ako napr. parametre kamery môžu uľahčiť zobrazenie interpolácie. MVC podporuje rozšírenie štruktúry bitového toku, umožňuje prístup k vybraným pohľadom s minimálnym dekódovacím úsilím. Tým je umožnené zobrazenie videa na rôznych termináloch v sieti s rôznymi podmienkami. MVC podporuje nízkoúrovňové kódovací a dekódovací oneskorovací mód. Malé oneskorenie je veľmi dôležité pre aplikácie v reálnom čase, ako je live stream pomocou multiview [15].

7.9.2 Multiview video + hĺbka (MV+D)

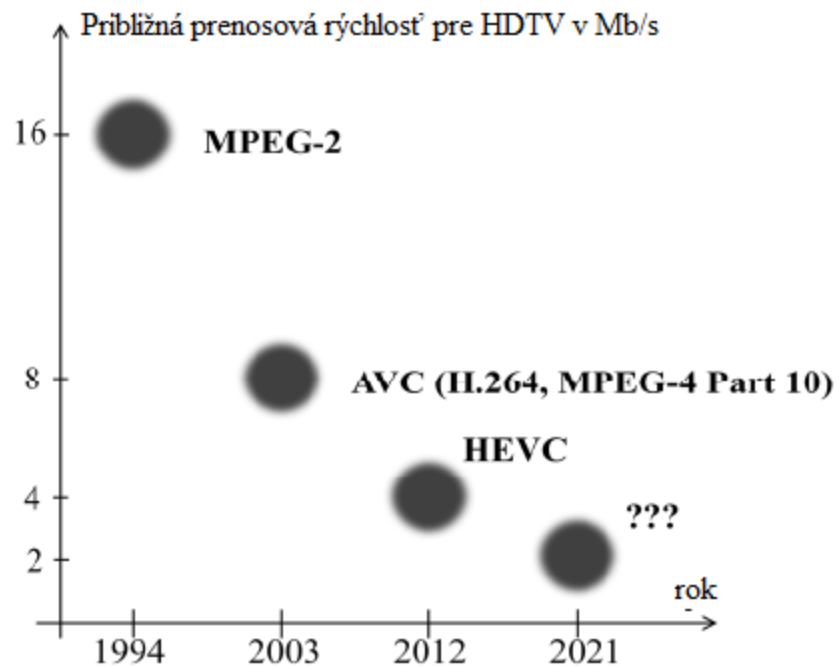
Existujú pokročilé 3D aplikácie, ktoré nie sú podložené žiadnymi existujúcimi normami, ako napr. wide-range multiview autostereoskopický displej a free-viewpoint video. Tieto 3D aplikácie vyžadujú 3D formát videa, ktorý umožňuje vykresľovanie veľkého počtu výstupných pohľadov z dekodéra. V reakcii na tieto požiadavky sa MPEG podujal vytvoriť nový pokročilý 3D video štandard.

MV+D zahŕňa rád zložitých procesných krokov, kde je odhadnutá hĺbka na N pohľadov k zachyteniu bodov. Údaje na prijímači musia byť dekódované a virtuálne pohľady rekonštruované, čo je znázornené na **Obr. 7.29**. MV+D môže byť použitý na podporu multiview autostereoskopického displeja relatívne efektívnym spôsobom.

Nová technológia pre kompresiu videa, ktorá v súčasnosti čaká na schválenie sa nazýva HEVC (High Efficiency Video Coding). Inak nazývaná aj H.265. Táto technológia využíva takmer polovicu prenosovej rýchlosti v porovnaní s AVC (**Obr. 7.30**). Nová HEVC štruktúra kódeku je veľmi podobná ako pri AVC [16].



Obr. 7.74 Koncept MV+D

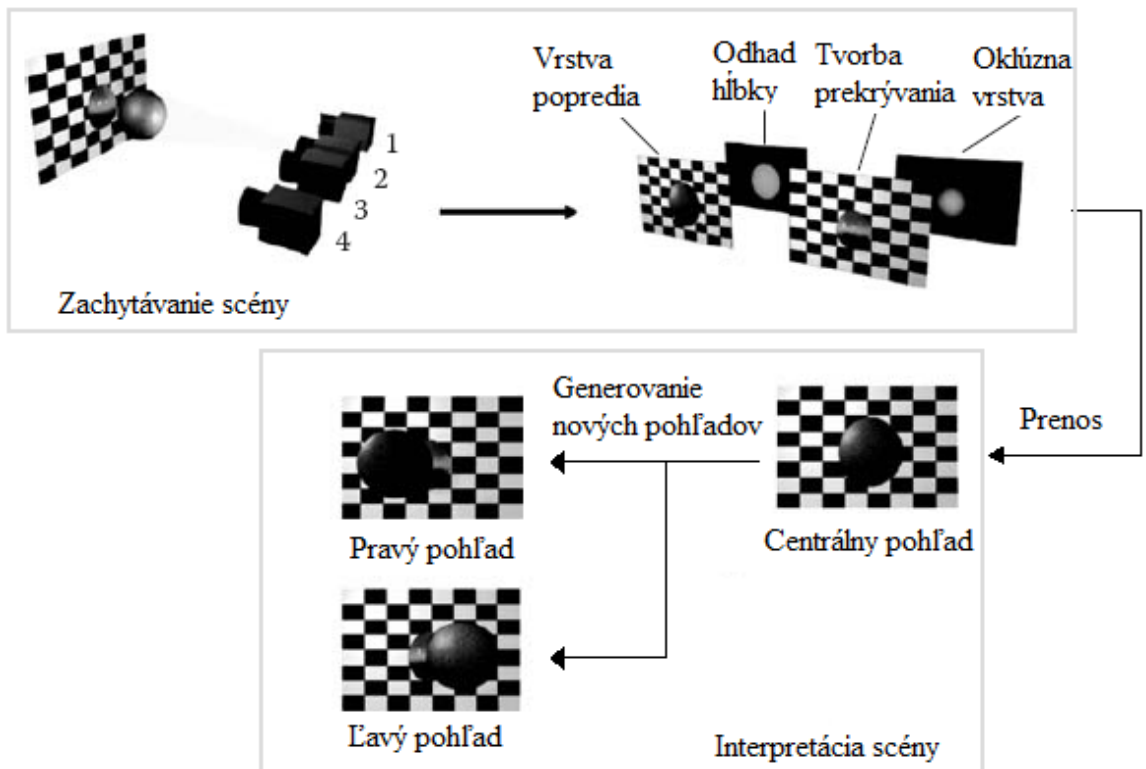


Obr. 7.75 Generácie video kompresných technológií

7.9.3 Layered Depth Video (LDV)

LDV je odvodenie, resp. alternatíva k MV+D. LDV je účinnejší ako MV+D, pretože sa prenáša menej informácií. LDV používa: 1) jednu farbu videa s pridruženou hĺbkovou mapou 2) vrstvy pozadia s pridruženou hĺbkovou mapou (vrstva pozadia obsahuje obraz, ktorý sa vzťahuje na objekty v popredí v hlavnej vrstve). Oklúzna informácia je konštruovaná na deformáciu dvoch alebo viacerých susedných V+D pohľadov z MV+D reprezentácie na definovaný centrálny pohľad. LDV stream alebo substreami môžu byť kódované vhodným LDV kódovacím profilom [14].

Všimnime si (**Obr. 7.31**), že LDV môžu byť generované z MV+D deformáciou hlavnej vrstvy obrazu na iné pomocné vstupné obrazy (ako dodatočný ľavý a pravý pohľad). Odčítaním sa potom určí, ktoré časti iných príspevkových činiteľov vstupného obrazu sú zahrnuté v hlavnej vrstve obrazu. Tie sú potom priradené a prenášané ako zvyškové obrazy, zatiaľ čo zvyšok je vynechaný [17].



Obr. 7.76 Schéma činnosti LDV



Obr. 7.77 Ukážky formátu LDV

7.10 Zoznam použitej literatúry

- [1] Aljoscha Smolic, Peter Kauff, Sebastian Knorr et al.: Three-Dimensional Video, Vol. 0018-9219, No. 4, April 2011, Proceedings of the IEEE Postproduction and Processing, str. 607-618.
- [2] B. Mendiburu: 3D Movie Making Stereoscopic Digital Cinema from Script to Screen. New York: Elsevier, 2008978-0-240-81137-6.
- [3] A. Smolic, K. Dix, et al.: Intermediate view interpolation based on multiview video plus depth for advanced 3D video systems, in Proc. IEEE Int. Conf. Image Process., San Diego, CA, Oct. 2008, str. 2448–2451.
- [4] A. Smolic, P. Kauff: Interactive 3D video representation and coding technologies, Proc. IEEE, vol. 93, Special Issue on Advances in Video Coding and Delivery, no. 1, Jan. 2005, str. 98–110.
- [5] H. Wu and H. Yu: Projective rectification with reduced geometric distortion for stereo vision and stereoscopic video, J. Intell. Robot. Syst., vol. 42, no. 24, str. 71–94.
- [6] S. Pastoor, B3D-television: A survey of recent research results on subjective requirements, Signal Process., Image Commun., 1991, no. 1, str. 21–32.
- [7] F. Zilly, M. Muller, et al.: The Stereoscopic Analyzer An image-based assistance tool for stereo shooting and 3D production, in Image Process. (ICIP), 2010 IEEE Int. Conf., str. 4029–4032, ICIP.2010.5649828.
- [8] D. Scharstein and R. Szeliski: A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms, Int. J. Comput. Vis., 2002, no. 47, str. 7–42.
- [9] Liang Zhan, Carlos Vázquez, et al.: 3D-TV Content Creation: Automatic 2D to 3D Video Conversion, IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, VOL. 57, NO. 2, JUN 2011, str. 373 - 380.
- [10] J. Ens and P. Lawrence: An investigation of methods of determining depth from focus,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 15, no.2, str. 523–531, 1993.
- [11] Yu Zhang, Xuezhi Xiang, Jiyang Zhao: 2D to 3D Video Conversion Based on Color Segmentation and Hight Quality Motion Information, School of Electrical Engineering and Computer Science University of Ottawa, ISBN 978-1-4503-1587-6/12/11, str. 22-23.
- [12] Wa James Tam, Liang Zhang: 3D-TV CONTENT GENERATION: 2D-TO-3D CONVERSION, Communications Research Centre Canada, ISBN 1424403677/06
- [13] Abidah Ali, H. A. Karim, et al.: Depth Image-Based Spatial Error Concealment for 3-D Video Transmission, IEEE 2010, ISBN 978-1-4244-8648-9, str.421-424.
- [14] Daniel Minoli, „3DTV Content Capture, Encoding and Transmission“, John Wiley & Sons, Canada, 2010, ISBN 978-0-470-64973-2, str. 145-157.

-
- [15] Yo-Sung Ho and Kwan-Jung Oh: „Overview of Multi-view Video Coding“,Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), 2007 UM FERI IWSSIP & EC-SIPMCS, Slovenia, str. 9-16.
- [16] Marek Domański, Tomasz Grajek, Damian Karwowski: Coding of Multiple Video+Depth Using HEVC Technology and Reduced Representations of Side Views and Depth Maps ,Poznań University of Technology , IEEE Picture Coding Symposium 2012, ISBN 978-1-4577-2049-9/12
- [17] Seung-Uk Yoon, Eun-Kyung Lee, Sung-Yeol Kim: Coding of Layered Depth Images Representing Multiple Viewpoint Video, GIST Korea, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI).
- [18] A. Buchowicz: Video coding and transmission standards for 3D television – a survey, Institute of Radioelectronics, Warsaw University of Technology, Poland, 2013, str. 45-48.
- [19] Otto Zeman: Modelování síťových aplikací a měření provozu v prostředí OPNET, Vysoké učení technické v Brně, 2006 Brno, str. 2-6.
- [20] Lukáš Sendrei: H.264 Video prenos vo WLAN v prostredí Opnet Modeller, Diplomová práca, Košice, TU FEI, 2012.
- [21] Božik,M.: Simulácia prenosu 3D videotokov pomocou programu Opnet Modeler. Diplomová práca, Košice, TU FEI, 2013.

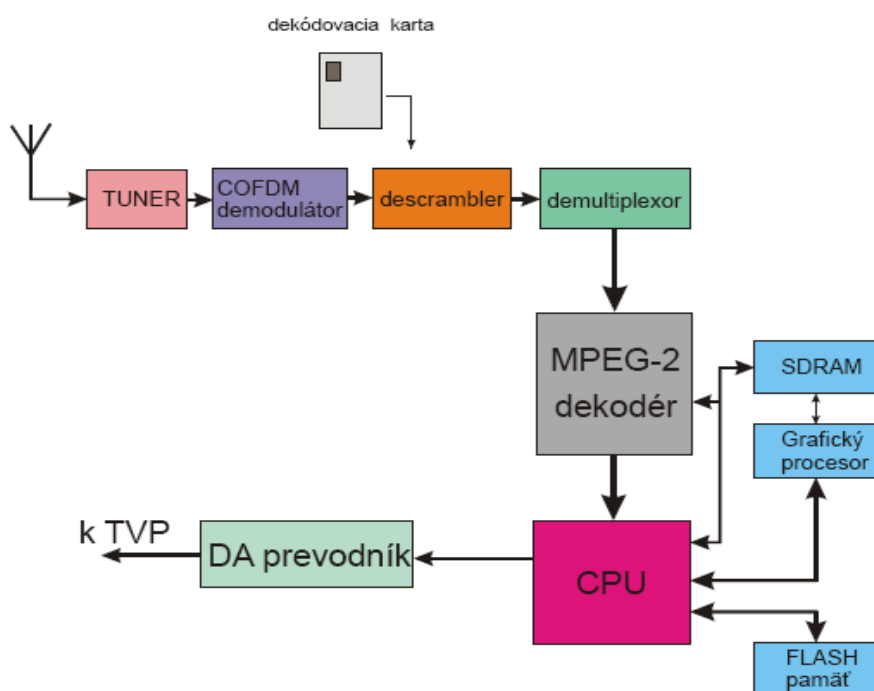
8 Základná kategorizácia prijímačov DVB-T

8.1 Úvod

DVB-T prijímače môžeme v zásade rozdeliť na prijímače určené pre individuálny a skupinový príjem. Základný DVB-T prijímač pre individuálny príjem je koncipovaný ako digitálno-analógový prevodník (Set-Top-Box, v skratke STB), ktorý v spojení s bežným analógovým TV prijímačom tvorí základné riešenie na príjem DVB-T. Ďalšou možnosťou, ako prijímať signály DVB-T, je tzv. integrovaný digitálny televízor (IDTV – Integrated Digital TV), t.j. TV prijímač, ktorý má obvody na spracovanie DVB-T signálu zabudované už v samotnom zariadení.

8.2 Set-Top-Boxy

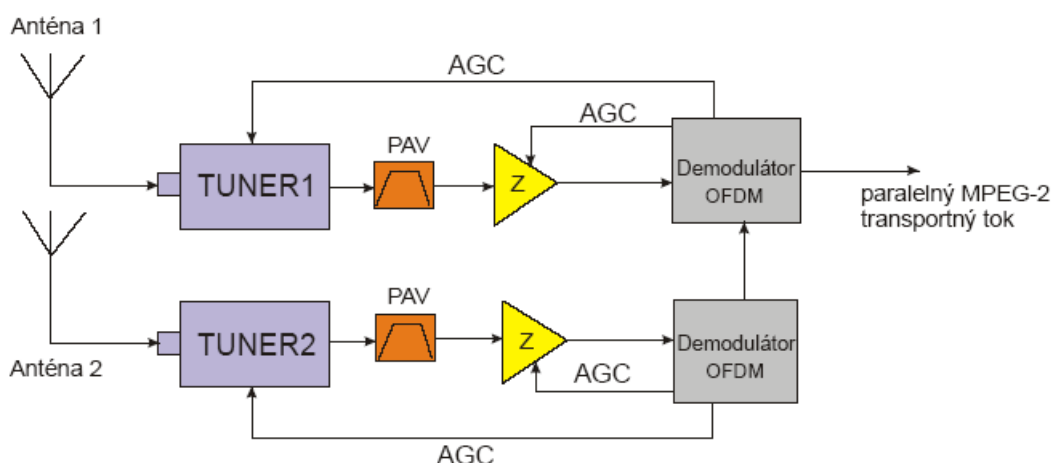
Digitálny prijímač (Set-Top-Box - STB) DVB-T je samostatný prijímač pozemského digitálneho TV vysielania (Obr.8.1), ktorý je koncipovaný ako doplnok k analógovému televíznym prijímačom, zaraďovaný medzi prijímaciu anténu a tento analógový prijímač. STB konvertuje digitálny signál na analógový (do normy PAL, SECAM, NTSC). Výstupný obrazový signál sa privádza pomocou konektora RCA (kompozitný signál), S-VHS, SCART, alebo modulovaného výstupu (kanál 21 až 69 UHF) do klasického televízneho prijímača.



Obr. 8.1 Základná bloková schéma bežného set-top boxu

8.2.1 Diverzitné prijímače na mobilný príjem DVB-T

Diverzitné prijímače (Obr.8.2) sú zariadenia určené na mobilný príjem DVB-T v automobile, prípadne na vnútorný príjem. Z výsledkov zahraničných výrobcov, ktorí sa zaoberajú výrobou digitálnych LCD prijímačov a prijímačov vhodných na príjem DVB-T, vychádza príjem v miestnosti s použitím diverzitého prijímača ďaleko spoľahlivejší ako v prípade prijímača bez tejto možnosti. Diverzitné prijímače sú dvojtunerové DVB-



Obr. 8.2 Príklad blokovej schémy diverzitého prijímača

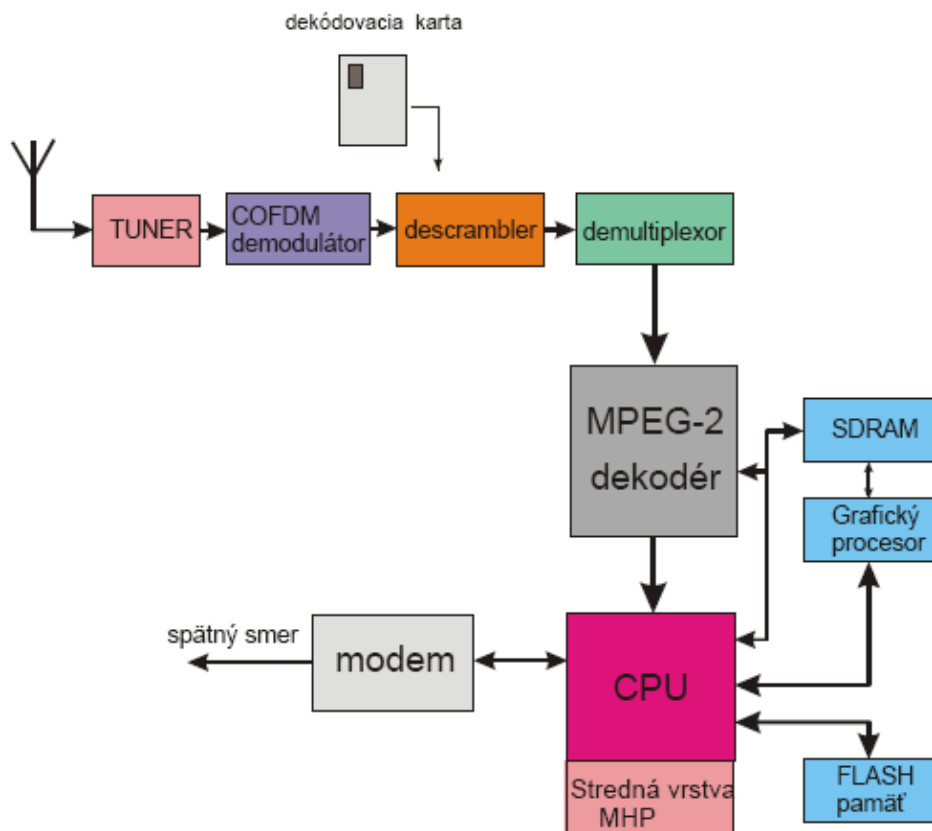
T prijímacie zariadenia pracujúce výhradne s priestorovou diverzitou. Úroveň signálov prijaté z minimálne dvoch antén sú na základe parametra MRC (Maximum Ratio Combining) porovnávané a celý princíp spoľahlivejšieho príjmu je postavený na tom, že je pomerne malá pravdepodobnosť, že na obidvoch anténach nebude dostupný požadovaný signál.

8.2.2 Prijímače s podporou MHP

Takýto prijímač (Obr.8.3) má na rozdiel od obyčajného prijímača vstavané obvody pre spracovanie platformy MHP a modem pre pripojenie spätného smeru.

8.2.2.1 Middleware

- ide o spoločnú softwarovú platformu pre aplikácie v prostredí C alebo JAVA jazyku,
- každá „middleware“ platforma má základné spoločné vlastnosti, ako je práca s grafikou a obrazom, spätný kanál, prístup k tabuľkám SI a pod.
- medzi otvorené platformy „middleware“ patrí okrem MHP tiež OCAP, ACAP, alebo JavaTV.



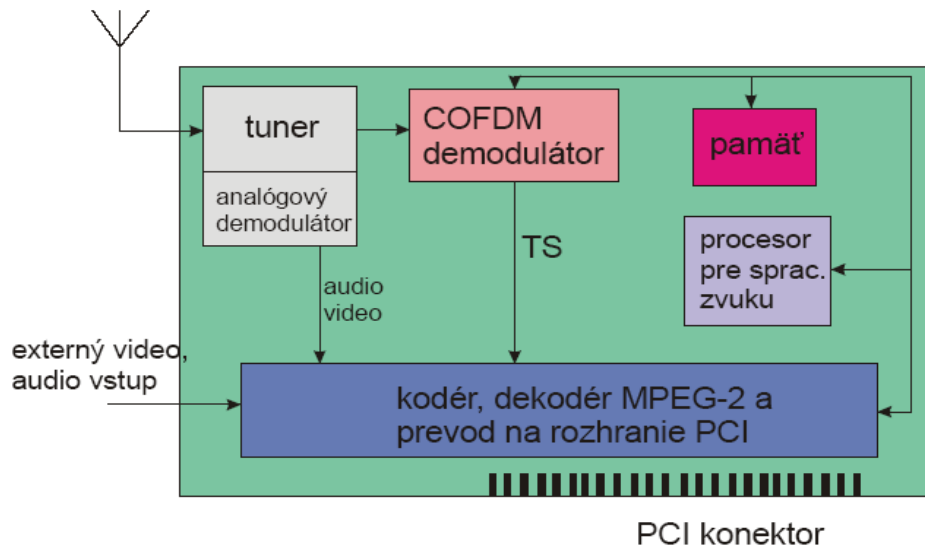
Obr. 8.3 Zapojenie set-top-boxu s podporou MHP

8.3 Integrovaný digitálny televízor IDTV

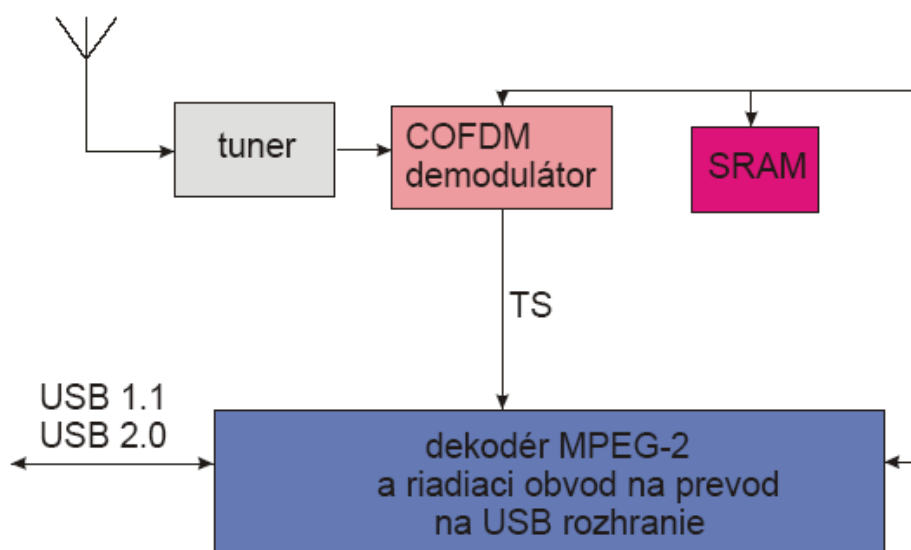
Sú to televízory, ktoré majú zabudovaný analógový i digitálny tuner, prípadne už len digitálny tuner. Súčasťou takeého TV prijímača môže byť vstavané USB rozhranie, rozhranie HDMI (rozhranie pre vysoko rýchlostný prenos videa s vysokým rozlíšením so zabezpečením ochrany kopírovania), VGA vstup na pripojenie PC, zvukové výstupy domáceho kina, zabudovaný pevný disk, funkcie platformy MHP (spätňý smer cez telefónnu linku) a vstup na pripojenie externej klávesnice. Podkategóriou IDTV sú prenosné digitálne prijímače. Tieto sú menších rozmerov, pričom ide o samostatné digitálne televízory na príjem DVB-T niekedy kombinované s DVD prehrávačom. Ako monitor slúži LCD obrazovka zabudovaná priamo v zariadení. Napájanie prijímača je vstavanou batériou, alebo adaptérom napojeným na elektrickú sieť. Takéto zariadenie má všetky funkcie bežného set-top-boxu a je možné ho dokonca ako set-top-box použiť. K prijímaču sa zvyčajne dodáva externá prúťová anténa na prenosný príjem.

8.4 DVB-T prijímač v PC

Na sledovanie DVB-T v počítači (softvérový DVB-T prijímač) slúžia PCI a PCMCIA karty (Obr.8.4) a USB externé zariadenia (niekedy veľkosti bežného USB kľúča) (Obr.8.5). Prijímač obsahuje tuner, obvody pre spracovanie COFDM, FEC; výstupný transportný dátový tok je privedený do MPEG dekodéru. Odtiaľ potom na rozhranie PCI alebo USB. PCI karty nemusia obsahovať vlastný dekodér MPEG - na dekódovanie môže byť použitý softvérový dekodér pracujúci ako súčasť užívateľského programového vybavenia.



Obr. 8.4 Bloková schéma PCI karty na príjem analógovej a digitálnej televízie



Obr. 8.5 USB DVB-T prijímač

8.5 Zoznam použitej literatúry

- [1] Ibrahim K.F.: Newnes Guide to Television and Video Technology, ELSEVIER, 2007
- [2] Collins, G.W.Fundamentals of digital television transmission, John Wiley & Sons,Inc.,JOHN WILEY & SONS, INC. New York, 2001
- [3] Joanne Tracy, J.-Ward, A.: A practical guide to video and audio compression, Elsevier, 2005

9 Šifrovanie TV vysielania a podmienený prístup

Rozsah voľne dostupných programov poskytovaných analógovým TV vysielaním cez kábel alebo satelit je trvalo klesajúci, zároveň ako tento počet klesá, je takmer isté, že rozsiahle množstvo digitálnych TV programov bude platenými (pay-TV) službami, za účelom zisku. Vysoké investície vyžadujú spustenie týchto služieb tak rýchlo ako je to možné. Formy fakturácie budú oveľa viac diverzifikované (bežný poplatok, pay per view – pláť za čo pozeráš, near video on demand – blízke video na požiadanie) ako ich poznáme dnes, stane sa ľahšie dostupná vysoká bitová rýchlosť systému a „spätný kanál“ (k vysielateľovi alebo banke) poskytovaný modemom.

DVB štandard predstavuje prenos prístupových riadiacich dát (access control data) prenášaných podmienenou prístupovou tabuľkou (**CAT** - conditional access table) a ďalšími privátnymi dátovými paketami indikovanými programovou mapovou tabuľkou (**PMT** - program map table). Štandard taktiež definuje spoločný kódovací algoritmus (**CSA** - common scrambling algorithm) pri ktorom dohoda medzi cenou a komplexnosťou bola vybratá tak, aby pirátstvo mohlo byť potlačené na primerane dlhú dobu (rovnakú ako je predpokladaná životnosť systému).

Podmienený prístup (CA - conditional access) sám o sebe nie je definovaným štandardom, lebo väčšina operátorov nechce spoločný systém, každý si starostlivo chráni svoj vlastný systém pre obidva komerčné (manažment predplatiteľskej databázy) a bezpečnostné dôvody (viac otvorený systém, skôr pravdepodobnejšie je jeho rýchlejšie cracknutie). Avšak, za účelom vyvarovania sa problému predplatiteľa, ktorý si želá prístup do siete využitím odlišných systémov podmieneného prístupu (conditional access systems) majúceho množstvo boxov (jeden set-top box pre sieť), DVB štandard predstavuje nasledujúce dve možnosti:

- 1) **Simulcrypt**. Táto technika, vyžaduje dohodu medzi sieťami využívajúcimi odlišné systémy podmieneného prístupu, ale rovnaký kódovací algoritmus (napríklad, CSA z DVB), umožňujúci prístup k danej službe, alebo programu, niektorým zo systémov podmieneného prístupu, ktoré sú súčasťou dohody. V tomto prípade, transportný multiplex bude musieť prenášať pakety podmieneného prístupu pre každý zo systémov, ktorý môže byť použitý pre prístup k tomuto programu.
- 2) **Multicrypt**. V tomto prípade, všetky funkcie vyžadované pre podmienený prístup a dekódovanie sú obsiahnuté vo výmennom module v **PCMCIA** forme, ktorý je

vložený do cesty dát transportného toku. Toto je urobené prostredníctvom štandardizovaného rozhrania (common interface - spoločné rozhranie, **DVB-CI**), ktoré zároveň zahrňuje procesorovú zbernicu pre výmenu informácií medzi modulom a set-top boxom. Set-top box môže mať viac než jeden DVB-CI slot, k umožneniu spojenia s mnohými podmienenými prístupovými modulmi. Pre každý odlišný podmienený prístup a/alebo požadovaný kódovací systém, používateľ môže pripojiť modul všeobecne obsahujúci rozhranie pre inteligentnú kartu (smart card interface) a vhodný dekóder.

Multicrypt prístup má výhodu v tom, že nevyžaduje zmluvy medzi sieťami, avšak je viac nákladnejší na implementáciu (cena prípojok, umiestnenie modulov, atď.). DVB-CI prípojka môže byť taktiež použitá na iné účely (napríklad prenos dát). Iba budúcnosť nám povie, ktorá z týchto možností sa uplatní v praxi a ako bude využitá.

9.1 Princípy šifrovacieho systému v DVB štandarde

Daná veľmi delikátna podstata tejto časti štandardu, je zrozumiteľná len preto, že sú dostupné veľmi všeobecné princípy; implementačné detaily sú dostupné len pre sieťových operátorov a výrobcov zariadení pod dôvernými zmluvami.

Šifrovací algoritmus predpokladá odolnosť voči útokom od hackerov na tak dlho ako bude možné poskladať šifru s dvomi vrstvami (úrovňami), každú zmenšovaním slabín z ďalších:

- *bloková vrstva* využívajúca bloky 8 bajtov (reverzný šifrový blok zreťazeného módu),
- *streamová (toková) vrstva* (pseudo-náhodný bajtový generátor).

Šifrovací algoritmus používa dve riadiace slova (párne a nepárne) striedajúce sa s frekvenciou poradia vzniku 2 s za účelom urobenia pirátskej práce viac obtiažnejšej. Jedno z dvoch zakódovaných riadiacich slov je prenášané v subjektívnych riadiacich správach (**ECM** - entitlement control messages) počas periódy zatiaľ čo druhé sa používa, rovnako sa riadiace slová zapíšu dočasne do registrov dekódovacieho zariadenia. Je tu taktiež predvolené (východzie) riadiace slovo (ktoré môže byť použité na voľný prístup ku kódovanému prenosu) ale to je málo dôležité.

DVB štandard predvída možnosť šifrovania na dvoch rôznych úrovniach (transportná úroveň a PES úroveň), ktoré nemôžu byť použité simultánne.

9.2 Šifrovanie na transportnej úrovni

Transportná (prenosová) paketová hlavička zahrňuje 2-bitové pole nazývané „transportné_šifrovacie_príznamy.“ Tieto bity sú využité na indikáciu či transportný paket je šifrovaný a s ktorým riadiacim slovom, podľa Tab. 9.1.

Tab. 9.1 Význam transportných_šifrovacích_príznamových bitov

TRANSPORTNÉ_ŠIFROVACIE_PRÍZNAKY	VÝZNAM
00	Bez šifrovania
01	Šifrovanie s PREDVOLENÝM riadiacim slovom
10	Šifrovanie s PÁRNÝM riadiacim slovom
11	Šifrovanie s NEPÁRNÝM riadiacim slovom

Šifrovanie na transportnej úrovni je vykonané po multiplexingu celej užitočnej informácie transportného paketu, PES na vstupe multiplexera sa nachádza „mimo nebezpečia.“ Pretože transportný paket môže obsahovať iba dáta prichádzajúce z jedného PES, je z toho dôvodu možné šifrovať na transportnej úrovni všetko alebo iba časť z PES tvoriacej časť z programu multiplexu.

9.3 Šifrovanie na PES úrovni

V tomto prípade, šifrovanie obvykle zaberá miesto pri zdroji pred multiplexingom a jeho prítomnosť a riadiace slovo sú indikované 2-bitovým PES_šifrovacím_riadením (PES_scrambling_control) v PES paketovej hlavičke. Tab. 9.2 zobrazuje možné voľby. Nasledujúce obmedzenia sa týkajú šifrovania na PES úrovni:

- hlavička sama o sebe, samozrejme, nie je šifrovaná; dešifrovacie zariadenie pozná kde sa má začať dešifrovanie vďaka informáciám obsiahnutej v dielci poľa PES_hlavičky (PES_header) a kde sa má zastaviť vďaka paketovej_dĺžke (packet_length) poľa;

- šifrovanie by malo byť aplikované na 184-bajtové časti a iba posledný transportný paket môže obsahovať adaptačné pole;
- PES paketová hlavička by nemala presiahnuť 184 bajtov, aby sa zmestila do jedného transportného paketu;
- Východzie šifrovacie slovo nie je prípustné v šifrovaní na PES úrovni.

Tab. 9.2 Význam PES_šifrovacích_riadiacich bitov

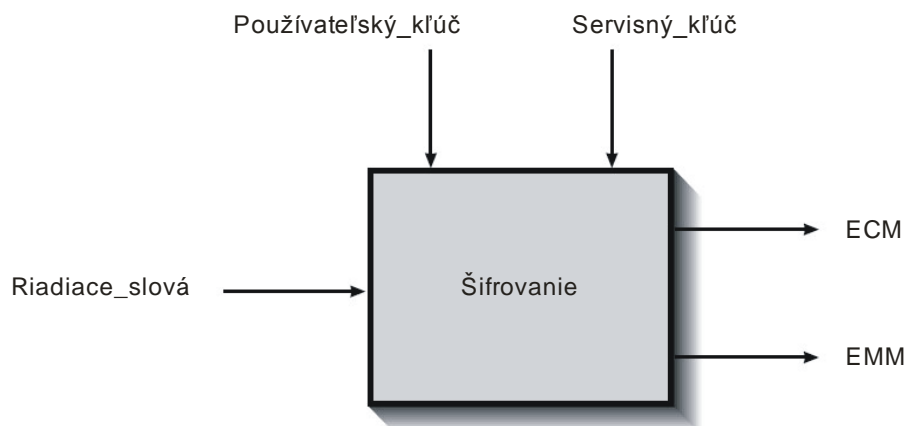
PES_RIADENIE_ŠIFROVANIA	VÝZNAM
00	Bez šifrovania
01	Bez šifrovania
10	Šifrovanie s PÁRNÝM riadiacim slovom
11	Šifrovanie s NEPÁRNÝM riadiacim slovom

9.4 Mechanizmy podmieneného prístupu (CA - Conditional Access)

Informácia potrebná pre dešifrovanie je prenášaná v špecifických podmienených prístupových správach (**CAM** - conditional access messages), ktoré sú dvoch typov: subjektívne riadiace správy (**ECM** - entitlement control messages) a subjektívne manažovacie správy (**EMM** - entitlement management messages). Tieto správy sú generované z troch rôznych typov vstupných dát:

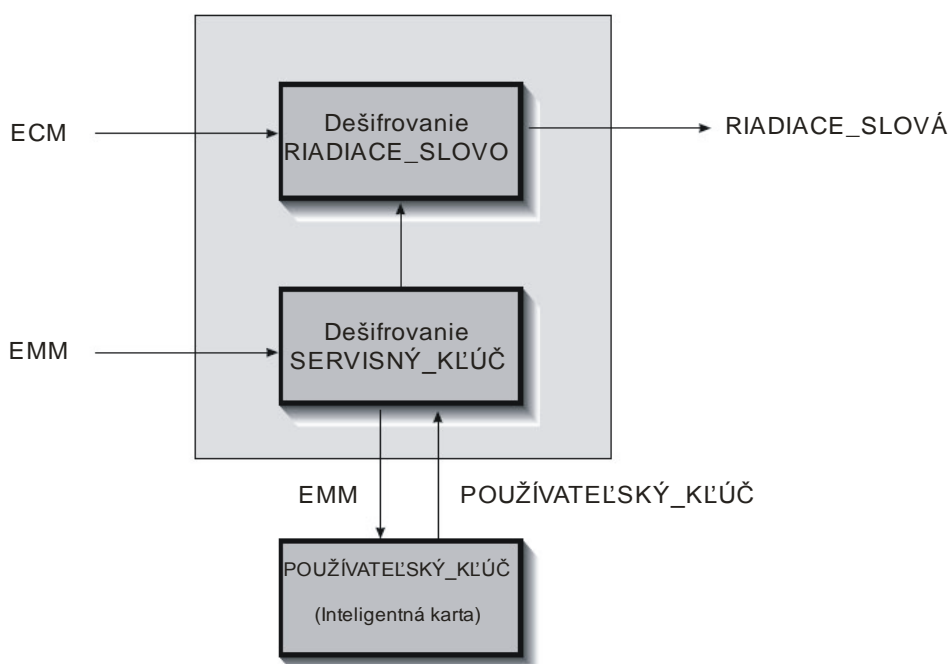
- *riadiace_slovo* (*control_word*), ktoré je použité k inicializácii dešifrovacej sekvencie;
- *servisný_kľúč* (*service_key*), použitý k zašifrovaniu riadiaceho slova pre skupinu jedného alebo viacerých používateľov;
- *používateľský_kľúč* (*user_key*), použitý k zašifrovaniu servisného kľúča.

ECM sú funkciou riadiaceho_slova (*control_word*) a servisného_kľúča (*service_key*) a sú prenášané približne každé 2 s. EMM sú funkciou servisného_kľúča (*service_key*) a používateľského_kľúča (*user_key*) a sú prenášané približne každých 10 s. Proces generovania ECM a EMM je objasnený na **Obr. 9.11**.



Obr. 9.1 Schematická ilustrácia ECM a EMM generačných procesov

V set-top boxe, princíp dešifrovania pozostáva zo získania servisného_kľúča (service_key) z EMM a používateľského_kľúča (user_key), obsiahnutého napríklad v inteligentnej karte (smart card). Servisný_kľúč (service_key) je následne použitý k dešifrovaniu ECM za účelom získania riadiaceho_slova (control_word) umožňujúceho inicializáciu dešifrovacieho zariadenia. Obr. 9.2 vykresľuje schematicky proces pre získavanie riadiacích_slov (control_words) z ECM a EMM.



Obr. 9.2 Princíp dešifrovania riadiacich slov z ECM a EMM

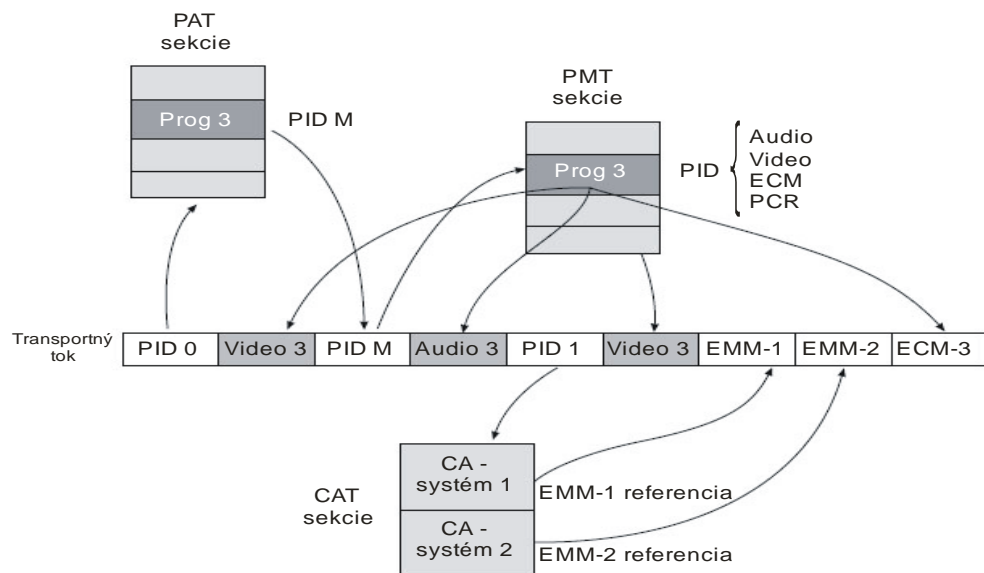
Dešifrovanie:

$$\text{riadiace_slovo} = f(\text{ECM}, \text{servisný_kľúč})$$

servisný_kľúč = f(EMM, používateľský_kľúč)

Obr. 9.3 objasňuje proces smerujúci k nájdeniu ECM a EMM potrebných k dešifrovaniu daného programu (tu je to program č. 3):

- 1) programová alokačná tabuľka (**PAT** - program allocation table), vybudovaná zo sekcii v paketoch s PID = 0×0000, indikuje PID (M) z paketov prenášajúcich programové mapové tabuľkové (**PMT** - program map table) sekcie;
- 2) PMT indikuje, okrem PID paketov, prenášanie video a audio PES-ov a PCR, PID paketov prenášajúcich ECM;
- 3) tabuľka podmieneného prístupu (**CAT** - conditional access table), vybudovaná zo sekcii v paketoch s PID = 0×0001, indikuje ktoré pakety preniesli EMM pre jeden (alebo viacero) prístupový(ch) riadiaci(ch) systém(ov) (access control system)(s);
- 4) z tejto informácie a používateľského_kľúča (user_key) obsiahnutého na inteligentnej karte (smart card), dešifrovací systém môže vypočítať riadiace_slovo (control_word) potrebné k dešifrovaniu ďalšej série paketov (PES alebo transportných v závislosti na šifrovacom móde).



Obr. 9.3 Proces pri ktorom sú nájdené ECM a EMM v transportnom toku

Vyššie opísaný proces je vskutku veľmi schematický; podpora obsahujúca používateľský_kľúč (user_key) a reálnu implementáciu systému sa môže meniť od

jedného operátora k druhému. Detaily týchto systémov sú samozrejme, nie verejnou doménou, avšak ich princípy sú podobné.

9.5 Základné systémy podmieneného prístupu

Tab. 9.3 ukazuje hlavné systémy podmieneného prístupu (conditional access systems) používané Európskymi digitálnymi platenými TV poskytovateľmi služieb.

Množstvo týchto systémov využíva DVB-CSA šifrovací štandard špecifikovaný v DVB. Prijímač má interný dekodér riadený zabudovaným softvérom podmieneného prístupu, ktorý vypočítava dešifrovacie riadiace slová ECM správ a kľúčov obsiahnutých na predplatiteľskej inteligentnej karte (smart card) s platnými prístupovými právami obnovovanými EMM.

Systémy umožňujúce službu „plať-za-čo-pozeráš“ (pay-per-view) majú často druhý slot pre čítačku karty pre bankovú kartu ako aj modem k objednávke programov ako aj k platbám z bankového účtu.

Tab. 9.3 Hlavné podmienené prístupové systémy

SYSTÉM	PÔVOD	POSKYTOVATELIA SLUŽIEB (PRÍKLADY)
Betacrypt	Betasearch (zastaralý)	Premiere World, German cable
Conax	Conax AS (Nórsko)	Scandinavian operators
CryptoWorks	Philips	Viacom, MTV Networks
IrDETO	Nethold	Multichoice
Mediaguard 1 & 2	SECA (momentálne Kudelski S.A.)	Canal+, Canal Satellite, Top Up TV
Nagravision 1 & 2	Kudelski S.S.	Dish Network, Premiere, German cable
Viaccess 1 & 2	France Telecom	TPS, AB-Sat, SSR/SRG, Noos
Videoguard/ICAM	News Datacom (NDS)	BskyB, Sky Italia

9.6 Zoznam použitej literatúry

- [1] Andre Kudelski. Method for scrambling and unscrambling a video signal. United States Patent 5375168, 20 December 1994.
- [2] Access control system for the MAC/packet family: EUROCRYPT. European Standard EN 50094, CENELEC, December 1992.
- [3] Vincent Lenoir. EUROCRYPT, a successful conditional access system. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 37(3):432-436, August 1991.
- [4] Michael Cohen and Jonathan Hashkes. A system for controlling access to broadcast transmissions. European Patent Application 0 428 252 A2, 22 May 1991.
- [5] Ross J. Anderson and Markus G. Kuhn. Tamper resistance - a cautionary note. In The Second USENIX Workshop on Electronic Commerce Proceedings, pages 1-11, Oakland, California, 18-21 November 1996.
- [6] V. Mangulis. Security of a popular scrambling scheme for TV pictures. RCA Review, 41(3):423-432, September 1980.
- [7] D. Raychaudhuri and L. Schi_. Unauthorized descrambling of a random line inversion scrambled TV signal. IEEE Transactions on Communications, 31(6):816-821, June 1983.