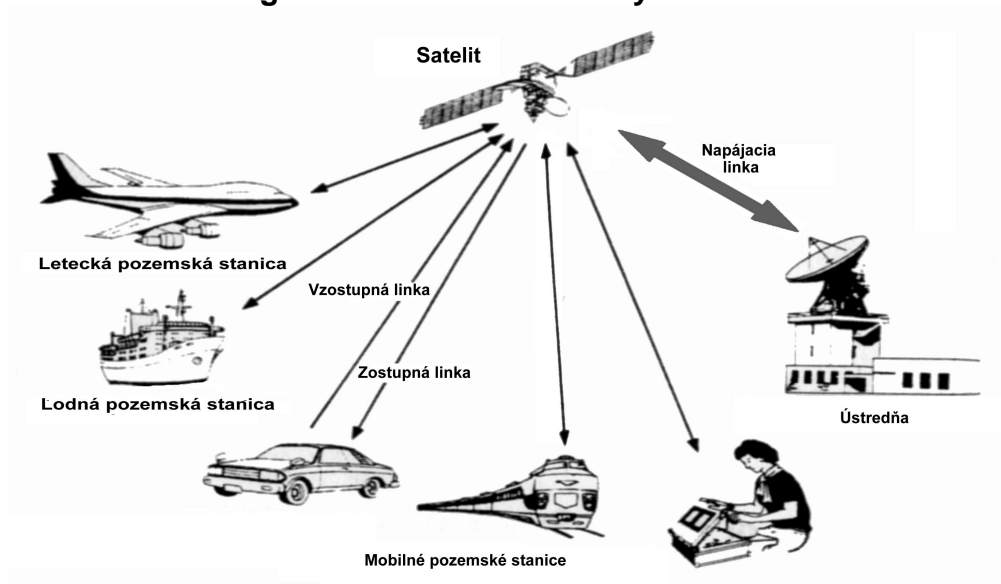


1. ÚVOD

1.1 Terminológia a klasifikácia satelitných rádiokomunikácií



1.2 Satelitné služby

V závislosti na funkcii, satelitné komunikácie môžu byť klasifikované na niekoľko kategórií, ako rádiové komunikácie, rádiová navigácia, determinácia, vysielanie rozhlasu a TV, meteorológia, štandardné frekvenčné a časové signály, amatérske služby. Tieto služby, terminológie a pridelené frekvenčné pásma boli definované Medzinárodnou telekomunikačnou úniou (ITU) a RR (Radio Regulations).

Klasifikácia satelitných služieb, je uvedená v tabuľke 1.1. Mobilné satelitné služby sú klasifikované ako námorné mobilné satelitné služby (MMSS), letecké mobilné satelitné služby (AMSS), pozemné mobilné satelitné služby (LMSS).

Tabuľka 1.1

Klasifikácia mobilných satelitných komunikačných služieb

| | | |
|--|---------------|--|
| Fixné satelitné služby | (FSS) | |
| Mobilné satelitné služby | (MSS) | <ul style="list-style-type: none"> ____ Námorné mobilné satelitné služby (MMSS) ____ Letecké mobilné satelitné služby (AMSS) ____ Pozemné mobilné satelitné služby (LMSS) |
| Rádiodeterminujúce satelitné služby | (RDSS) | |
| Rádionavigačné satelitné služby | (RNSS) | <ul style="list-style-type: none"> ____ Letecké rádionavigačné služby ____ Námorné rádionavigačné služby |
| Satelitné služby vysielania rozhlasu a TV | (BSS) | <ul style="list-style-type: none"> ____ Priame BSS služby (DBS) ____ Priame digitálne audio BSS služby (DAB) |
| Medzisatelitné služby | (ISS) | |

1.2.1 Frekvenčné označovanie

Rádiové frekvencie sú rozdelené do 9 frekvenčných pásiem, ktoré sú vypísané v tabuľke. V satelitných komunikačných oblastiach, sú frekvenčné pásma často označované abecednými symbolmi ako C, L, S, Ku, Ka pásma, ktoré sú zobrazené v tabuľke 1.2. Čísla a pomenovania pásiem sú definované organizáciou RR (Radio Regulations), abecedné symboly (L, S, C) sú definované organizáciou IEEE Standard Radar Definitions. Tabuľka 1.3 zobrazuje presne pridelené frekvenčné pásma pomocou abecedných symbolov spolu s ich šírkou pásma.

Tabuľka 1.2
Určenie frekvenčných pásiem

| Číslo pásma | Názov pásma | Abecedný symbol | Frekvencia |
|-------------|-------------|---------------------|---------------|
| 4 | VLF | | 3÷30 kHz |
| 5 | LF | | 30÷300 kHz |
| 6 | MF | | 300÷3GHz |
| 7 | HF | | 3÷30 MHz |
| 8 | VHF | | 30÷300 MHz |
| 9 | UHF | | 300 MHz÷3 GHz |
| | | L – pásmo | 1÷2 GHz |
| | | S – pásmo | 2÷4 GHz |
| 10 | SHF | | 3÷30 GHz |
| | | C – pásmo | 4÷8 GHz |
| | | X – pásmo | 8÷12 GHz |
| | | Ku – pásmo | 12÷18 GHz |
| | | K – pásmo | 18÷27 GHz |
| 11 | EHF | | 30÷300 GHz |
| | | Ka – pásmo | 27÷40 GHz |
| | | Milimetrové vlny | 40÷300 GHz |
| 12 | | Submilimetrové vlny | 300÷3000 GHz |

Poznámka: „Číslo pásma N“ rozšírime od 0.3×10^N Hz do 3×10^N Hz

Tabuľka 1.3
Pridelené frekvenčných pásiem pomocou abecedných symbolov

| Pásmo | Frekvenčný rozsah [GHz] | Smer žiarenia | Služba | Šírka pásma [MHz] |
|-------|-------------------------|---------------|------------------|-------------------|
| L | 1.50-1.60 | z družice | Pohyblivá | 100 |
| | 1.60-1.70 | na družicu | Pohyblivá | 100 |
| S | 2.50-2.60 | z družice | Rozhlasová | 100 |
| C | 3.40-4.20 | z družice | Pevná | 800 |
| | 4.50-4.80 | z družice | Pevná | 300 |
| | 5.90-7.00 | na družicu | Pevná | 1100 |
| X | 7.20-7.70 | z družice | Vojenská | 500 |
| | 7.90-8.40 | na družicu | Vojenská | 500 |
| Ku | 10.70-11.70 | z družice | Pevná | 1000 |
| | 11.70-12.50 | z družice | Rozhlasová | 800 |
| | 12.50-12.75 | z družice | Pevná (obchodná) | 250 |
| | 12.75-13.25 | na družicu | Pevná (obchodná) | 250 |
| | 14.00-14.80 | na družicu | Pevná | 800 |
| | 17.30-18.30 | na družicu | Pevná | 1000 |
| Ka | 17.70-20.20 | z družice | Pevná | 2500 |
| | 20.20-21.20 | z družice | Pohyblivá | 1000 |
| | 22.50-23.00 | z družice | Rozhlasová | 500 |
| | 27.00-30.00 | na družicu | Pevná | 3000 |
| | 30.00-31.00 | na družicu | Pohyblivá | 1000 |

Typické satelitné služby a ich určenie frekvenčnými pásmami sú zobrazené v tabuľke 1.4. Súčasne prevádzkované systémy sú zobrazené silne zvýraznenou čiarou, plánovacie systémy sú zobrazené hrubou čiarou a vyvíjané systémy sú označované tenkou čiarou. Tabuľka tiež zobrazuje časť frekvenčných pásiem, ktoré boli pridelené mobilným satelitným komunikačným službám.

1.2.2 Fixná satelitná služba (FSS)

Typickým príkladom FSS je systém INTELSAT. Prvá generácia systému INTELSAT pracuje v pásme C (6/4 GHz). V súčasnosti, niekoľko privátnych systémov, ako OPTUS v Austrálii, JCSAT v Japonsku, pracujú v Ku-pásme (14/12 GHz). Niekoľko systémov na svete sa používajú v Ka-pásme (30/20 GHz), ako OLYMPUS a CS, ktoré poskytujú pokrytie signálom väčšiny Európy a Japonska.

1.2.3 Mobilné satelitné služby (MSS)

Mobilné satelitné služby sú rozdelené do 3 kategórií: námorné, letecké a pozemné mobilné komunikácie. Typickým príkladom je systém INMARSAT. Systém INMARSAT pracuje v L-pásme (1.6/1.5 GHz), a skoro všetky domáce mobilné satelitné komunikačné systémy, ako American Mobile Satellite Corporation (AMSC) v USA a MSAT v Kanade, pracujú taktiež v L-pásme. Po prvý raz na svete, systém OPTUS v Austrálii začal poskytovať súkromné služby hlavne pre pozemné mobilné stanice v L-pásme vypustením satelitu OPTUS-B v roku 1993. Japonsko začalo poskytovať mobilné komunikačné služby pre súkromné námorné a pozemné mobilné stanice v S-pásme (2.5/2.0 GHz) vypustením satelitu N-STAR v roku 1997. Systém OmniTRACS v USA, je unikátny systém pracujúci v Ku-pásme (14/12 GHz), ktorý bol pridelený FSS. Systém OmniTRACS tiež poskytuje rádiodeterminujúce služby využitím 2 geostacionárnych satelitov. OmniTRACS systémy pracujú tiež ako JCSAT systémy v Japonsku a ako Eutelsat systémy v Európe, pod názvom EutelTracs.

1.2.4 Rádiodeterminujúce satelitné služby (RDSS)

Typickým systémom bude systém Irídium, ktorý bude poskytovať hlasovú komunikáciu a služby určenia pozície. Rádiodeterminácia má širší význam ako rádionavigácia. V rádiodeterminačnom systéme nielen iba ja, ale aj iní používatelia môžu vedieť moju polohu. RDSS systém je obojsmerný systém. Na druhej strane, v rádionavigačnom systéme, iba mobilná stanica môže poznať svoju polohu. Rádionavigačný systém je jednosmerný, a to buď zo satelitu k mobilnej stanici alebo naopak

1.2.5 Rádionavigačné satelitné služby (RNSS)

Typickým príkladom RNSS systému je námorný navigačný satelitný systém (NNSS), niekedy tiež známy pod názvom TRANSIT a navigačný systém s časovým a priestorovým určením NAVSTAR/GPS. Systém NNSS

bol prvým navigačným systémom na svete. Bol špeciálne vyvinutý pre Americkú armádu ako U.S.Navy Satellite System, ale od roku 1967 bol sprístupnený pre civilné účely. Pozícia mobilného terminálu je určená meraním posunu Dopplerovej frekvencie pre 150MHz a 400MHz signálov prenášaných z NNSS satelitu. NAVSTAR/GPS systém pracuje pomocou 2 frekvencií, 1.6 GHz a 1.2 GHz, pričom predstavuje rádionavigačný systém 2-generácie. Tento systém je najviac používaným rádionavigačným systémom na svete. V Rusku sa používajú systémy Tsikada a GLONASS, ktoré sú ekvivalentami k systémom NNSS a GPS.

Jedným z najzaujímavejších systémov sú jednosmerné rádionavigačné NNSS a GPS systémy zo satelitu smerom k Zemi. Mobilné terminály prijímajú iba signál zo satelitu, ale nikdy ho nevysielajú k satelitu. Takéto systémy sa nazývajú pasívne rádionavigačné systémy. Musíme poznamenať, že v týchto systémoch môže mobilná stanica poznať svoju polohu, ale nemôže ju nikomu inému poskytnúť. Rádionavigačné systémy sú obvyčajne sprostredkované pomocou MEO satelitov, pretože MEO satelity majú značné výhody pri získavaní informácií o polohe mobilnej stanici.

1.2.6 Rozhlasové a TV satelitné služby (BSS)

Tieto služby zahrňujú TV a rozhlasové vysielanie cez satelit k pozemným staniciam. Súčasné rozhlasové a TV satelitné systémy pracujú v 12GHz-pásme a sú navrhované pre individuálny príjem (fixné terminály s veľkými anténami). V prípade, že satelit má dostatok energie k príjmu signálov malými anténami vhodnými pre individuálny príjem, potom takýto systém sa nazýva priamy satelitný systém pre rozhlasové a TV vysielanie (DBS). Avšak súčasné systémy sú navrhované pre fixné terminály a nie pre mobilné terminály, niektoré veľké lode, vlaky alebo autobusy môžu prijímať TV programy z priamo vysielajúcich satelitov DBS. V Európe, USA a Japonsku, boli skúmané možnosti vyvinúť satelitné systémy v L a S pásmach s vysokou kvalitou programov, ktoré by boli porovnateľné s kompaktným diskom. Takéto systémy boli nazvané priame audio–digitálne vysielacie satelitné systémy (DAB). V súčasnosti je študovaný vyspelejší vysielací systém, využívajúci Ka-pásmo (21 GHz), pomocou programu COMETS.

1.2.7 Medzisatelitné služby (ISS)

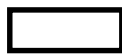
Existujú 2 typy ISS z pohľadu satelitných obežných dráh. Prvým je vytvorenie linky medzi GEO–GEO satelitmi a druhým je vytvorenie linky medzi GEO–LEO satelitmi. V súčasnosti je jediným pracujúcim systémom na svete Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS). Tento systém zabezpečuje dátové linky medzi GEO a LEO satelitmi v S-pásme (2.3GHz) a v Ku-pásme (15/13GHz). Z pohľadu mobilných satelitných komunikácií, systém Iridium vykonáva medzisatelitnú komunikáciu v Ka-pásme medzi jeho štyrmi susednými satelitmi.

Tabuľka 1.4
Satelitné služby a pridelenie frekvencií

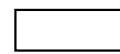
| | 1 GHz | 2 | 4 | 8 | 12 | 18 | 27 | 40GHz | 300GHz Laser | |
|------------------------|---|---------------------------|--------------------------|---|----------------------------|----|----------------------|---|--------------|-------------------|
| Služby | L | S | C | X | Ku | K | | Ka | MM-vlny | Sub-MM |
| Pevné (FSS) | | | skorý INTELSAT (6/4 GHz) | | Domáce systémy (14/12 GHz) | | | Zriedkavé domáce systémy CS (Japonsko) (30/20GHz) | | |
| Mobilné (MSS) | INMARSAT AMSC(USA) MSAT(CND) OPTUS(AUS) (1.6/1.5 GHz) | NSTAR (JPN) (2.5/2.0 GHz) | | | | | | ACTS (USA) (30/20GHz) COMETS (JPN) (30/20, 47, 44 GHz) | | |
| Rádio determin. (RDSS) | | Iridium (2.5/1.6 GHz) | | | OmniTRACS (14/12 GHz) | | | | | |
| Rádio navigačné (RNSS) | GPS (1.6 GHz) (1.2 GHz) | | | | | | | | | |
| Vysielanie (BSS) | Digital-Audio 1.5 GHz-Svet 2.3 GHz-USA 2.5 GHz-JPN | | | | TV 12 GHz | | COMETS(JPN) (21 GHz) | | | |
| Inter satelitné (ISS) | | TDRS(USA) | | | TDRS (USA) | | | ETS-VI (JPN) COMETS (JPN) | ETS-VI | ETS-VI ARTEMIS |
| | | ETS-VI | | | ARTEMIS (ESTEC) | | | | | |



Súčasnité systémy



Plánované systémy



R&D programy

2 Typy obežných dráh

Orbita reprezentuje dráhu satelitu pohybujúceho sa okolo Zeme. Všeobecne by sme mohli povedať, že všetky orbity sú eliptické, pretože aj kruh je špeciálny prípad elipsy. Potom môžeme orbitu popísať pomocou nasledujúcich parametrov:

- **Apogeum** - najvzdialenejší bod od Zeme
- **Perigeum** - najbližší bod od Zeme
- **Periód**a - doba, za ktorú satelit prejde jeden krát po celej orbite

V prípade kruhového orbitu je apogeum a perigeum rovnaké a v dôsledku pozemskej atmosféry nemôže byť perigeum menšie ako približne 130 km nad povrchom Zeme. Bežne však v závislosti od výšky a tvaru orbity delíme obežné dráhy na 4 špeciálne:

- **GEO** (**Geostationary Earth Orbit**) – geostacionárna obežná dráha
- **MEO** (**Medium Earth Orbit**), **ICO** (**Intermediate Earth Orbit**) – stredná obežná dráha
- **HEO** (**High Elliptic Earth Orbit**) – vysoko eliptická obežná dráha
- **LEO** (**Low Earth Orbit**) – nízka obežná dráha

Každá z týchto obežných dráh má výhodné použitie pre určitú skupinu služieb.

2.1 GEO



Geostacionárna obežná dráha je špeciálny typ obežnej dráhy, pre ktorú platí, že excentricita $e=0$, čo predstavuje kruhovú orbitu s inklináčným uhlom $i=0^\circ$ pre rovníkovú orbitálnu rovinu. Vzdialenosť obežnej dráhy od povrchu Zeme 35 786,1km s dobou obehu družice (23h 56m 4,091s). Z toho vyplýva, že ide o čas zhodný s dobou otočenia Zeme okolo svojej osi. Počas celého obehu je samotná družica v tom istom mieste nad zemským povrchom, ktorý je určený hodnotou zemepisnej dĺžky. Vďaka tomuto faktoru, nepotrebujú pozemské stanice zložité zariadenia, ktoré by zabezpečovali sledovanie satelitu pomocou antény. Toto je podstatný rozdiel v porovnaní s LEO, MEO a HEO satelitmi, pretože v tomto prípade pozemná stanica má pevne nastavenú anténu na satelit.

Jednou z výhod týchto obežných dráh je, že družica sa javí stacionárna, a preto vplyv Dopplerovho javu nieje až taký veľký. Ďalšou z výhod je, že vďaka relatívne vysokej obežnej dráhe je možné jednou družicou dosiahnuť pokrytie až 43% zemského povrchu, a teda na globálne pokrytie Zeme nám postačia 3 družice.

Jednou z nevýhod týchto obežných dráh je, že satelity nedokážu pokryť signálom polárne oblasti, ktoré sú už mimo dohľad, ktoré je spôsobené tlmením signálu zemskou atmosférou. Tlmenie môže miestami dosahovať

hodnoty až okolo 200dB. Ak je anténa pozemnej stanice umiestnená na rovníku, jej elevačný uhol je najväčší (90°), a teda tlmenie signálu zemskou atmosférou je najmenšie. S pribúdajúcou zemepisnou šírkou (ale aj dĺžkou) sa elevačný uhol znižuje a signál musí prekonať väčšiu hrúbku atmosféry, a tým pádom aj väčšiu vzdialenosť. Hranica nastáva pri elevačnom uhle okolo 10° (polárne oblasti), po ktorom sú oblasti neschopné prijímať signál zo satelitu.

Ďalšou z nevýhod je vysoká doba oneskorenia, ktorá sa v závislosti od umiestnenia pozemnej stanice pohybuje v rozsahu 240 ms až 280 ms. Práve takto veľké oneskorenie je nežiaduce pri požiadavke na komunikáciu v reálnom čase, ako je telefónna prevádzka, internet a pod. Avšak táto nevýhoda nieje rozhodujúca pri používaní geostacionárnych satelitov k šíreniu televíznych, rádiových signálov, alebo k poskytovaniu multimediálnych služieb ako je video-on-demand (VoD).

V súčasnosti je v prevádzke približne 150 družíc tohto typu. Medzi najznámejšie patria družice systémov **Astra** spoločnosti SES a **HotBird** spoločnosti Eutelsat.

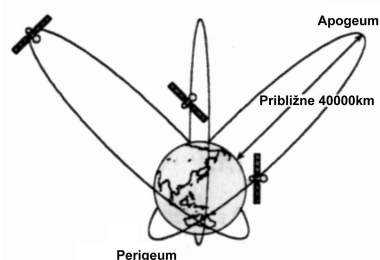
2.2 MEO, ICO



Družice stredných obežných dráh obiehajú po kruhových obežných dráhach ($e=0$), vo výške 10 000 km až 14 000 km nad zemským povrchom. Pri takýchto družiciach je obežná dráha v porovnaní s geostacionárnou obežnou dráhou nižšia, a preto obežná rýchlosť družice bude vyššia. Tiež sa skracaie aj doba viditeľnosti družice z pozemnej stanice, ktorá sa pohybuje v rozsahu niekoľkých hodín a zväčšuje sa vplyv Dopplerovho javu. Z nižšej obežnej dráhy tiež vyplýva aj kratšia dĺžka prenosovej cesty, ktorá predstavuje menšie oneskorenie signálu. Toto oneskorenie sa pohybuje v rozmedzí od 70 ms do 120 ms. Na globálne pokrytie Zeme je nutné použitie viac družíc, ktoré sú umiestnené v niekoľkých orbitálnych rovinách.

Typickým príkladom je systém **Inmarsat-P** používaný na globálnu telefónnu komunikáciu, ktorý je tvorený 10 družicami v 3 orbitálnych rovinách vo výške 13355 km nad povrchom Zeme, alebo **Odyssey** s 10 družicami v 3 orbitálnych rovinách.

2.3 HEO



Obežné dráhy tohto typu majú tvar elipsy ($e \neq 0$), preto družice obiehajúce po týchto obežných dráhach nemajú konštantnú rýchlosť. Táto vysoko eliptická orbita má perigeum vo výške okolo 500 km nad povrchom Zeme a apogeum okolo 50 000 km. Rýchlosť satelitu na tejto orbite nie je konštantná (veľká v perigeu a malá v apogeiu). Dôsledkom vysokej excentricity orbity je spôsobené, že satelit bude zotrvať asi $2/3$ periódy blízko apogea a

počas tohto času sa bude javiť takmer stacionárny pre pozorovateľa na Zemi. Družica sa zdržuje niekoľko hodín v blízkosti apogea, kde dosahuje najlepšiu viditeľnosť a potom mizne za horizontom. Podobne dosahuje najlepšiu viditeľnosť aj prechodom cez perigeu, ale tu sa zdrží len niekoľko desiatok minút. Doba obehu družice sa mení v intervale od 2 do 12 hodín, čo závisí od tvaru obežnej dráhy.

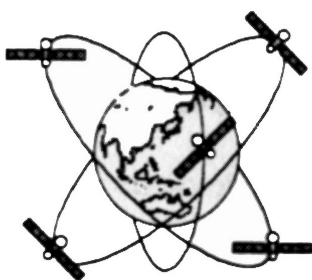
V dôsledku nekonštantnej výšky satelitu dochádza k oneskoreniu signálu počas jedného obehu družice po orbitálnej dráhe, ktoré sa pohybuje v rozsahu od 50 ms do 320 ms, čo je veľkou nevýhodou týchto systémov. Tiež sa mení aj tlmenie signálu počas prenosu, pričom sa mení aj tvar oblasti pokrytia signálom na Zemi, z ktorej je satelit viditeľný (footprint).

Výhodou satelitov s vysoko eliptickou obežnou dráhou je, že aj v oblastiach veľkých zemepisných šírok majú dostatočne veľký elevačný uhol, čo umožňuje poskytnúť komunikačné služby aj v oblastiach blízkych k zemepisným pólom.

Jednou z nevýhod je krátka životnosť satelitu, pretože orbitálna dráha prechádza cez radiačné pásma atmosféry (van Allenove radiačné pásma), ktoré veľmi nepriaznivo vplyvajú na elektroniku a solárne články. Ďalšou nevýhodou je veľký vplyv Doplerovho javu, ktorý je spôsobený už spomínanou nekonštantnou rýchlosťou družice.

Hlavnými predstaviteľmi týchto systémov sú družice **Tundra** (2 družice v 2 obežných dráhach so vzdialenosťou od zemského povrchu v perigeu 18000 km a v apogeu približne 53000 km) alebo **Molniya** (3 družice v 4 obežných dráhach so vzdialenosťou od zemského povrchu v perigeu 500 km a v apogeu 39105 km, s viditeľnosťou viac ako 8 hodín, s dobou obehu 12 hodín, inklináciou $63,4^\circ$ a s uhlom perigea -90°).

2.4 LEO



Nízke obežné dráhy sú kruhové orbity (výnimočne aj eliptické) umiestnené vo výške 500 km až 3000 km nad zemským povrchom. Systémy týchto obežných dráh patria v poslednej dobe k najdiskutovanejším hlavne kvôli malej vzdialenosti nad zemským povrchom, z čoho vyplývajú malé straty (malá energetická náročnosť – možnosť použitia malých príručných terminálov), veľmi malé oneskorenie (v rozsahu 6 ms až 30 ms), a teda výhodné využitie pre komunikáciu v reálnom čase. Výška LEO satelitov je vyberaná z rozsahu 500 až 1500 km, čo je pod dvoma van Allenovými vyžarovacími pásmami od 1500 do 5000 km a od 13000 do 20000 km. Na druhej strane, MEO alebo ICO satelity, ktoré sú umiestnené vo výške okolo 10000 km medzi vonkajším a vnútorným van Allenovým pásmom, majú prechodné charakteristiky medzi týmito GEO a LEO satelitmi. Z výšky obežnej dráhy ďalej vyplýva doba obehu, ktorá je v rozsahu 1 až 3 hodín (to znamená, že družice sa pohybujú veľkou rýchlosťou, a teda vplyv Doplerovho javu je veľmi výrazný) a doba viditeľnosti sa pohybuje v rozsahu len niekoľkých minút. Z tohto dôvodu je na zabezpečenie globálneho pokrytia zemského povrchu nutná prítomnosť veľkého počtu družíc v niekoľkých orbitálnych rovinách, a tiež je nutné

zabezpečiť komplikované prepínanie komunikácie medzi pozemskou stanicou a jednotlivými družicami, ako aj natáčanie antény pozemskej stanice za družicou.

Napriek veľkej zložitosti a náročnosti sa začínajú objavovať projekty, ktoré plánujú vybudovať takéto systémy. Jedným fungujúcim typickým príkladom je systém **Iridium**, ktorého hlavným podporovateľom je spoločnosť Motorola. Názov bol odvodený od názvu 77. prvku periodickej tabuľky prvkov, pretože projekt pôvodne predpokladal využitie 77 družíc. V skutočnosti však systém pracuje s 66 družicami, zoskupenými v 6 orbitálnych rovinách umiestnených vo výške 776 km nad povrchom Zeme. Základnou službou, ktorú Iridium poskytuje je globálna komunikácia v reálnom čase. To znamená, že systém zabezpečuje telefónnu komunikáciu z ktoréhokoľvek miesta na Zemi pomocou mobilných terminálov. Pre podobné účely bol navrhnutý systém **GlobalStar** spoločnosti Alcatel, ktorého komerčné nasadenie sa očakáva v najbližšej dobe. Systém využíva 48 družíc v 8 orbitálnych rovinách umiestnených vo výške 1414 km na povrchu Zeme. Na rozdiel od systému Iridium sa tu signál nedá prepájať priamo medzi družicami, ale len v pozemských staniách preto je potrebný ich väčší počet.

2.5 Zhrnutie základných parametrov orbít

Tabuľka 2.1

Základné parametre popísaných typov orbitálnych dráh

| | LEO | MEO | GEO | HEO |
|-------------------------------|----------------|-----------------|------------|----------------|
| výška [km] | 500 - 3 000 | 10 000 - 14 000 | 35 786 | 500 - 50 000 |
| perióda [h] | 1 - 3 | 6 - 8 | 23,93 | 3 - 24 |
| oneskorenie [ms] | 6 - 30 | 70 - 120 | 240 - 280 | 50 - 320 |
| viditeľnosť | niekoľko minút | niekoľko hodín | 24 h | 2 - 12 h |
| kvalita signálu | dobrá | stredne dobrá | slabá | slabá (kolíše) |
| príručné zariadenie | áno | áno | nie | nie |
| riadenie satelitu | zložitá | stredne zložitá | Jednoduché | zložitá |
| náklady na vynesenie satelitu | malé | veľké | veľké | veľké |
| oblasť pokrytia | široká | stredne široká | malá | široká |

Tabuľka 2.2

Výhody a nevýhody používaných orbitálnych dráh

| | Výhody | Nevýhody |
|-----|---|--|
| O | GE jednoduchá konfigurácia | výkonovo obmedzené linky |
| | relatívne časovo nezávislá terminálová geometria satelitného územia | oneskorenie šírenia pre zvuk a paketové dáta založené na ARQ |
| | jednoduchý systém kontroly priestorového segmentu | neschopnosť pokrytia polárnych oblastí |
| | pevné oneskorenie šírenia | |
| | široká stopa bodového lúča | |
| LEO | nízke oneskorenie šírenia | veľký počet satelitov |
| MEO | lepšie linkové hranice | menej satelitov zdržiavajúcich čas |
| ICO | | |

| | | |
|------------|---------------------------------------|--|
| | ľahšie spúšťanie | viacej frequent handoff |
| | podpora ručných (osobných) terminálov | viacej subsystémov komplexnej vstavanej kontroly |
| | | väčší Dopplerov posun |
| HEO | veľké elevačné uhly | veľké vstavané antény |
| | flexibilná systémová koncepcia | veľký Dopplerov posun |
| | | nižšie linkové hranice než MEO |
| | | kratšia životnosť, daň za periodické prechádzanie cez van Allenovo pásmo |

3 Energetická bilancia družicového spoja

3.1 Zisk antény

Je to dôležitý údaj, ktorý je potrebný pri posudzovaní možného rušiaceho vplyvu susedných družíc, a preto má vplyv aj na ďalšie parametre družicového spoja. Zisk antény (vztiahnutý k izotropnému žiariču) je vyjadrený ako závislosť od plochy prijímacej antény môžeme vyjadriť nasledujúcim vzťahom pre **PFA (Prime Focus Antenna)** anténu so žiaričom v ohnisku paraboly:

$$G_{\text{PFA}} = \eta \cdot \left(\frac{\pi \cdot D}{\lambda} \right)^2$$

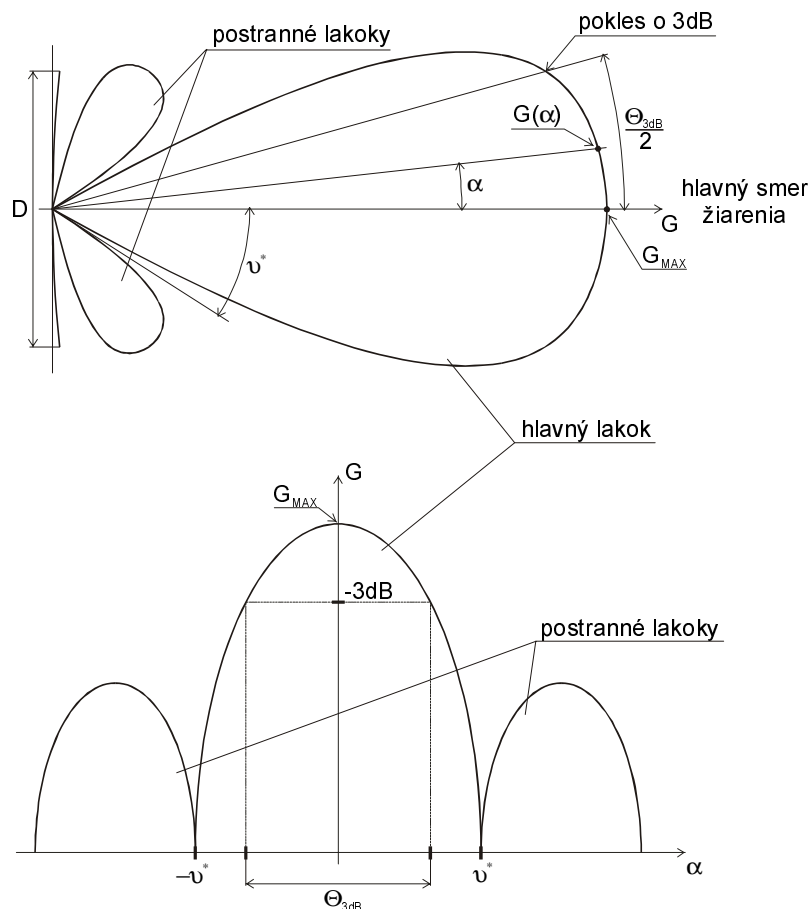
kde

η - účinnosť daná konštrukciou antény (55% až 70%)

λ - vlnová dĺžka prijímaného signálu.

D - priemer antény [m]

Tento typ antény má maximálny zisk iba v hlavnej osi vyžarovacieho diagramu.



Obr. 3.1 Vyžarovací diagram PFA antény

3.2 Výkonové straty

V ideálnom prípade, pri prenosovej ceste medzi vysielačou a prijímacou anténou, pôsobí na signál iba tlmenie signálu prechádzajúceho voľným priestorom. Toto tlmenie spôsobené prenosovou cestou môžeme vyjadriť nasledujúcim vzťahom:

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T \cdot G_R \cdot \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 R^2}$$

kde

$\left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot R}\right)^2$ - tlmenie signálu prechádzajúceho voľným priestorom

G_T - zisk vysielačej antény [dB]

G_R - zisk prijímacej antény [dB]

Pre tlmenie zapríčinené voľným priestorom medzi dvomi izotropnými anténami platí:

$$L_{FS} = 22 + 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{R}{\lambda} \right) \quad [\text{dB}]$$

V reálnych aplikáciách GEO družíc sa toto tlmenie pohybuje v pásme 4/30 GHz od 195 do 213 dB.

V skutočnosti musíme brať do úvahy rôzne javy pôsobiace na signál vo voľnom prostredí. Preto môžeme vzťah (21) prepísať do nasledovného všeobecného tvaru:

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{G_T \cdot G_R}{L}$$

Tento vzťah predstavuje všetky straty pôsobiace na signál a môžeme ich opísať vzťahom:

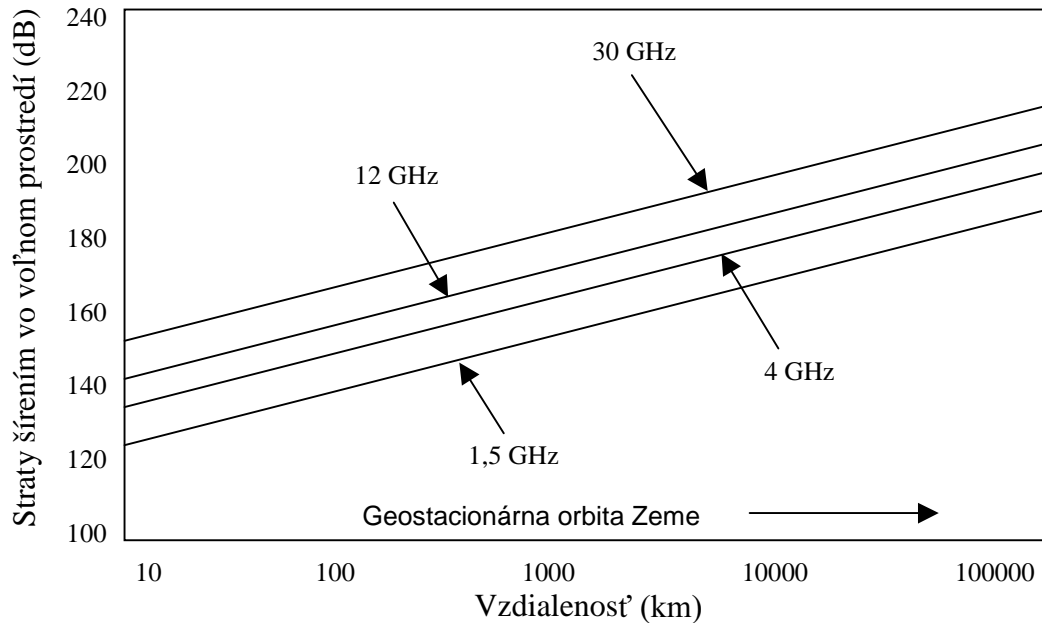
$$L = L_{FS} \times L_A$$

L_{FS} potom predstavujú straty voľného priestoru a L_A prídavné straty, ktoré môžeme rozdeliť do nasledujúcich častí:

$$L_A = L_{FT_x} \times A_{AG} \times A_{RAIN} \times L_{POL} \times L_{POINT} \times L_{FR_x}$$

kde

- L_{FT_x} - straty medzi výstupom vysielača a vysielačou anténou (tlmenie vodičov, výhybiek a pod.)
- A_{AG} - tlmenie zapríčinené atmosférou a ionosférou
- A_{RAIN} - tlmenie spôsobené dažďom a oblakmi
- L_{POL} - straty spôsobené zmenou polarizácie medzi vysielačou a prijímacou anténou
- L_{POINT} - straty spôsobené nepresným zameraním antény na družicu (prijímacia anténa na hranici ožiarenej oblasti, zlé zameranie antény, nedokonalá stabilizácia družice)
- L_{FR_x} - straty medzi prijímacou anténou a vstupom prijímača



Obr. 3.2 Straty šírením vo voľnom prostredí

3.3 Tepelný šum

Šum komunikačných systémov vzniká hlavne v elektrických obvodoch, spôsobený tepelným kmitaním elektrónov v súčiastkach obvodu rezistentného charakteru. Je známe, že šumový tepelný výkon nezávisí na konkrétnej hodnote odporu, ale len na absolútnej teplote T a šírke frekvenčného pásma B .

$$P_n = \frac{V_n^2}{4R} = kTB \quad [W]$$

kde

k - Boltzmanova konštanta (1.38×10^{-23} watt/sec/K)

T - šumová teplota okolia

B - šírka frekvenčného pásma

Odtiaľ hustota šumovej energie N_0 na jednotku šírky frekvenčného pásma je daná:

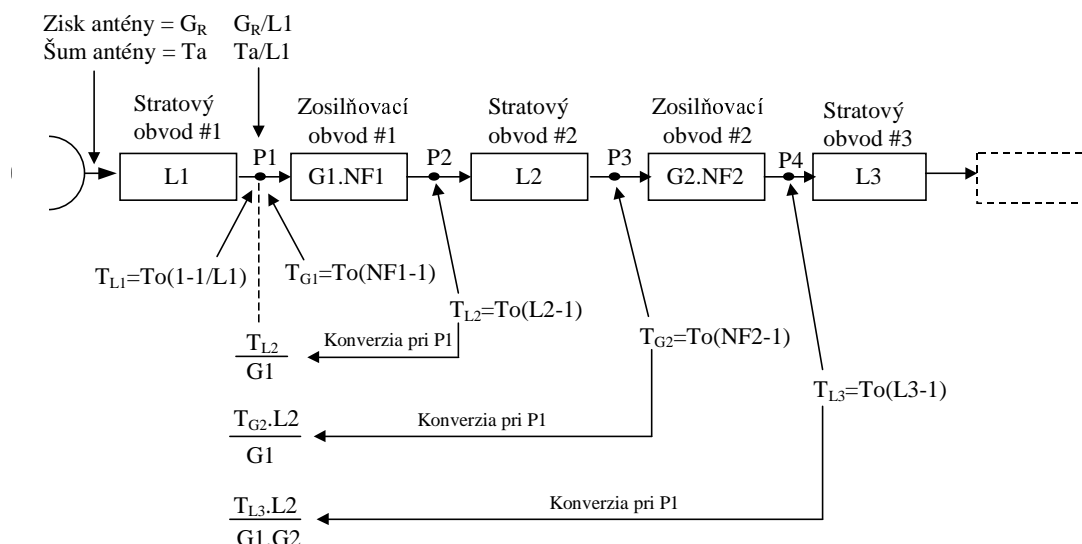
$$N_0 = kT \quad [W/Hz]$$

Pri výpočte parametrov satelitného spoja, je vhodnejšie vyjadrenie pomocou decibelovej miery. Podobne je vyjadrená aj šumová hustota energie.

$$\begin{aligned} [N_0] &= [k] + [T] \\ &= 10\log(k) + 10\log(T) \quad [dBW/Hz] \\ &= -228.6 + 10\log(T) \end{aligned}$$

3.4 Šumová teplota prijímača

Vo všeobecnosti, má prijímací systém kaskádne zapojenie stratových a zosilňovacích obvodov. ako je ukázané na obrázku 3.5. Signál zo satelitu je prijatá anténou so zosilnením G a ekvivalentnou šumovou teplotou antény na vstupe antény, ktorá je označovaná ako T_A .



Obr. 3.3 Kaskádne zapojenie stratových a zosilňujúcich obvodov

Celková ekvivalentná vstupná šumová teplota T_S na vstupnom prijímača môže byť vyjadrená ako:

$$T_S = \frac{T_A}{L_1} + T_{L1} + T_{G1}$$

$$= \frac{T_A}{L} + T_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{L}\right) + T_R$$

kde

T_A - ekvivalentná šumová teplota antény

T_R - ekvivalentnú šumovú teplotu prvého stupňa zosilňovača prijímača

T_0 - referenčná teplota okolia

L - tlmenie prenosovej cesty

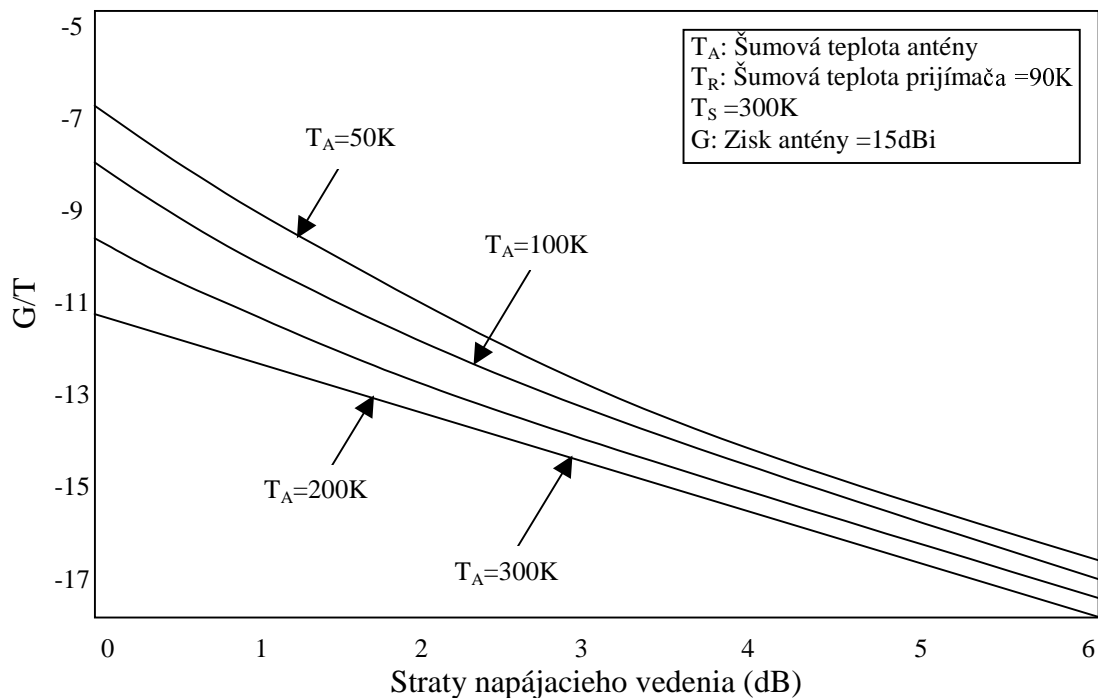
3.5 Činiteľ kvality prijímacej antény

Činiteľ kvality antény predstavuje pomer G/T vyjadrený v dBK^{-1} , ktorý slúži k ohodnoteniu kvality antény. Je to dôležitý parameter pretože napriek tomu, že anténa vykazuje vysoký zisk môže byť ešte značne degradovaná vysokou šumovou teplotou. Pre pomer G/T na vstupných svorkách prijímača, platí nasledujúci vzťah, kde G_S/T_S je niekedy jednoducho popísaný ako G/T :

$$\frac{G_S}{T_S} = \frac{\frac{G_R}{L}}{\frac{T_A}{L} + T_0 \left(1 - \frac{1}{L}\right) + T_R}$$

$$= \frac{G_R}{T_A + T_0(L-1) + T_R L}$$

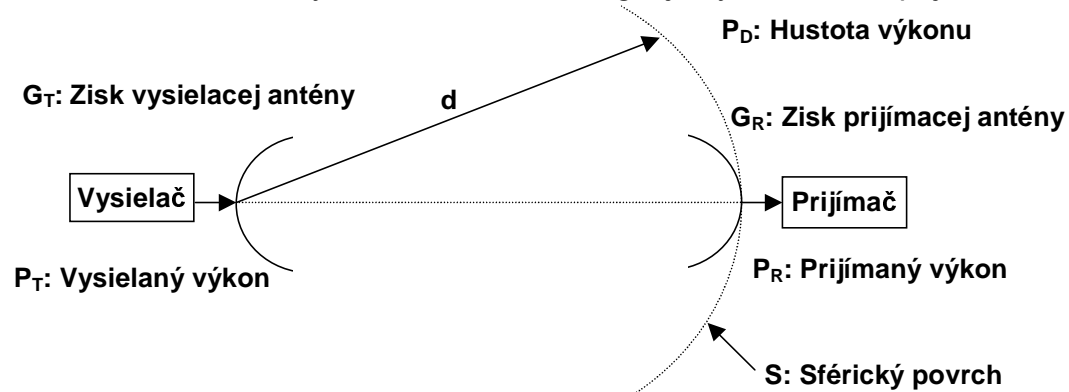
Z tohto vzorca teda vyplýva, že čím vyššiu hodnotu pomeru G/T dosiahneme, tým kvalitnejší signál nám anténa dodá na ďalšie spracovanie, a tým kvalitnejší bude aj výsledný signál.



Obr. 3.4 Vzťah medzi G/T a stratami napájacieho vedenia

3.6 Vzťah medzi prenášaným a prijímaným výkonom

Bolo ukázané, že citlivosť prijímača je určovaná pomerom G/T. Ďalej, budeme brať do úvahy, aké množstvo energie je využiteľné na prijímači.



Obr. 3.5 Pomer medzi vysielaným a prijímaným výkonom

Keďže nemôžeme dosiahnuť dokonalý vyžarovací diagram, ktorý by bol všesmerový, musíme použiť smerovú anténu. Ak má vysielač anténa v smere prijímača zisk G_T , potom plošná hustota výkonu **PFD (Power Flux Density)** je daná vzťahom:

$$P_{\text{PFD}} = \frac{G_T P_T}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2]$$

kde

P_T - prenášaný výkon

d - vzdialenosť medzi vysielačom a prijímačom

Súčin $G_T P_T$, použitý v predchádzajúcom vzťahu sa nazýva ekvivalentne vyžiarený izotropný výkon **EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)**. Tento výkon predstavuje výkon vyžiarený izotropným žiaričom, ktorý je ekvivalentný s výkonom vyžiareným satelitným vysielačom. Môže byť vyjadrený buď antilogaritmickej alebo decibelových výrazoch :

$$\text{EIRP} = G_T P_T \quad [\text{W}]$$

$$[\text{EIRP}] = [G_T] + [P_T] \quad [\text{dBW}]$$

3.7 Pomer signál/šum vzťah (C/No)

Pomer energie vstupného signálu (C) k hustote výkonu šumu (N_0) na vstupe antény, predstavuje nasledujúci vzťah:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{(P_T G_T) G_R}{L_{\text{FS}} k T_s} \quad [\text{Hz}]$$

Táto rovnica ukazuje kvalitu prijímaných signálov vysielačom zo satelitu smerom k pozemnej stanici. Nasledujúci vzťah C/N_0 v decibelovej mierke:

$$\left[\frac{C}{N_0} \right] = [P_T] - [L_{\text{FS}}] + [G_T] - [L_A] + [G_R] - [T_s] - [k] \quad [\text{dBHz}]$$

kde

P_T - vysielačový výkon

L_{FS} - tlmenie voľného priestoru

G_R - zisk prijímacej antény

G_T - zisk vysielačovej antény

L_A - prídavné tlmenia

T_s - šumová teplota $10 \log(300\text{K})$

k - Boltzmanova konštanta $228,6 [\text{dBWK}^{-1} \text{Hz}^{-1}]$

V predchádzajúcom vzťahu, sme uvažovali pomer C/N_0 pre kanál zostupnej linky. Pre celkový pomer C/N_0 vzostupnej aj zostupnej linky platí nasledujúci vzťah:

$$\left(\frac{C}{N_0} \right)_T = \frac{C}{(N_0)_U + (N_0)_D + I_0} \quad [\text{Hz}]$$

kde

I_0 - výkonová hustota interferenčného šumu

$(N_0)_U$ - výkonová hustota šumu pre vzostupnú linku

$(N_0)_D$ - výkonová hustota šumu pre zostupnú linku

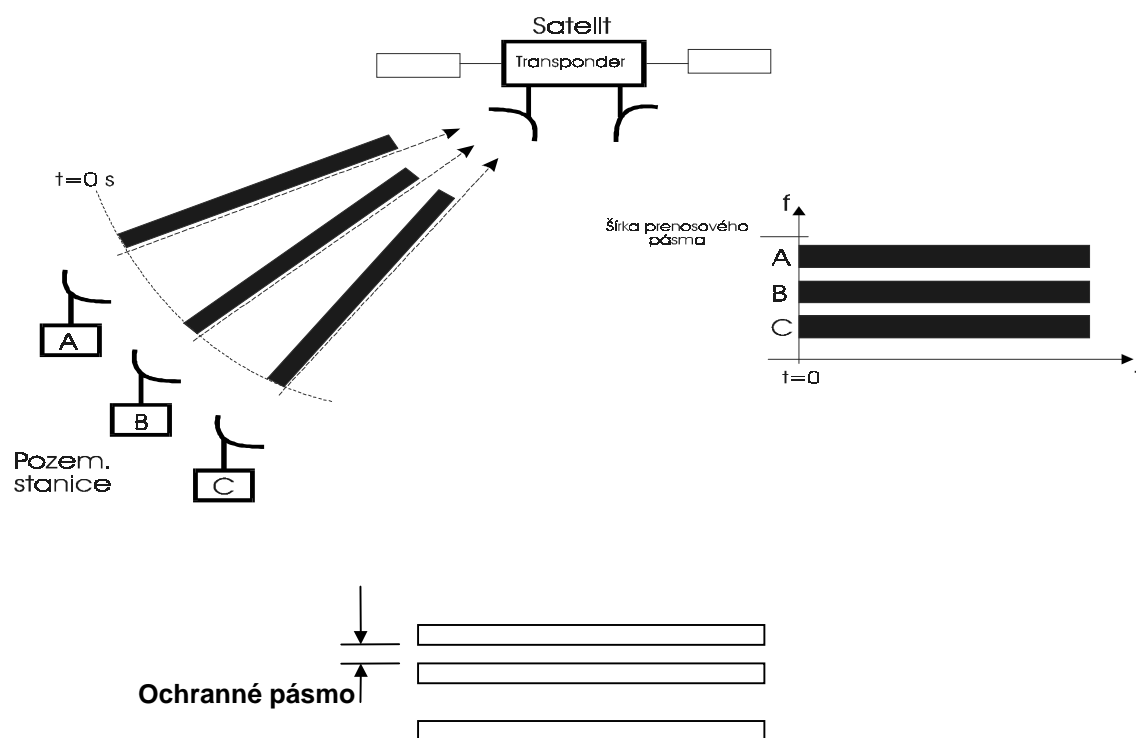
V praxi môže byť niektorý z parametrov menší v porovnaní s ostatnými, a preto môže byť zanedbaný. Z tejto podmienky potom vyplýva, že celková kvalita komunikačného kanála je určená najhoršou komunikačnou linkou.

4.1 FDMA – Frekvenčne delený viacnásobný prístup

FDMA je technika spoločného viacnásobného prístupu. FDMA bola prvá technika, ktorá bola použitá v skorších satelitných systémoch. Je založená na tom, že celé frekvenčné pásmo transpondéra je rozdelené na menšie frekvenčné subpásma a tie sú potom pridelené jednotlivým pozemným staniciam, ako zobrazuje obrázok č.8. Keďže každá pozemná stanica má pridelené svoje vlastné frekvenčné pásmo, nedochádza k interferencii medzi pozemnými stanicami. Jednotlivé subpásma sú oddelené ochranným pásmom, aby sa kompenzovali nedokonalosti oscilátorov a filtrov. Ďalšou výhodou je používanie menších antén.

Zvlášť jeden kanál pásma, v ktorom každý nosný kmitočet nesie hlasový alebo dátový kanál bol použitý vo viacerých mobilných satelitných systémoch poskytujú hlasové služby pretože táto technika dovoľuje frekvenčné preadresovanie dovoľujúce rast premávky a vývoj v modulačných schémach.

Nevýhodou je nedostatok flexibility v prípade rekonfigurácie (zmeny frekvenčného plánu). So zvyšovaním počtu prístupov sa znižuje kapacita systému.

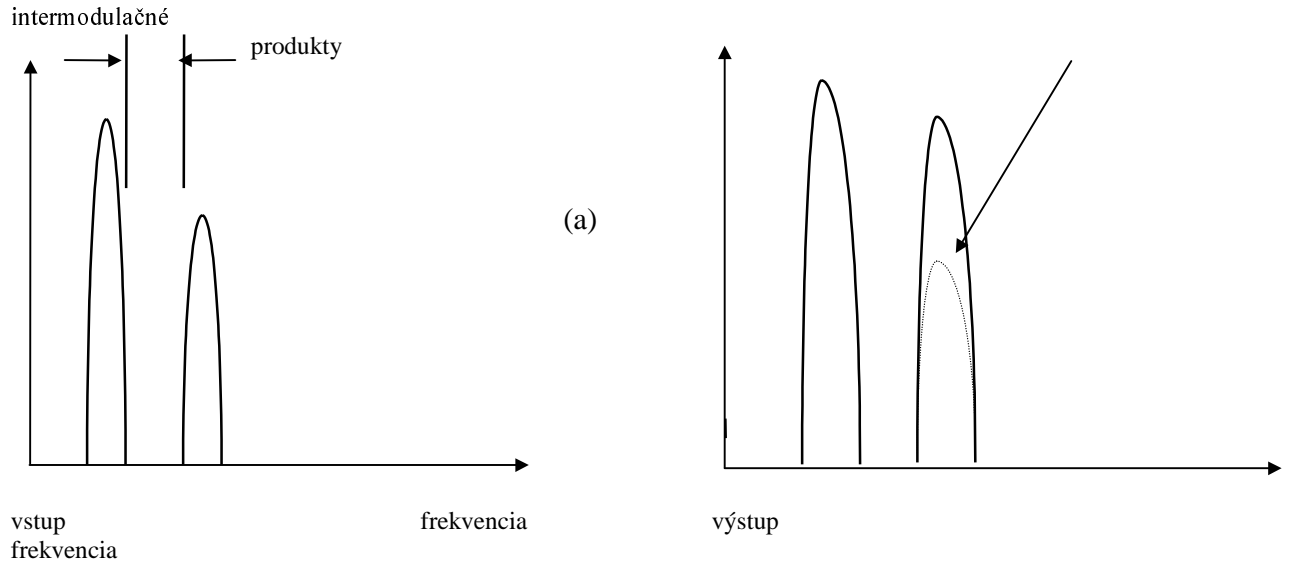


Obr. Princíp FDMA

Obrázok zobrazuje koncept FDMA, kde prenášané signály zaberajú neprekrývajúce sa frekvenčné pásma s ochranným pásmom medzi dvoma signálmi pre vyvarovanie sa medzikanálovej interferencie. Keď satelitný transponder pracuje blízko saturácie, nelineárne zosilnenie produkuje intermodulačné (IM) produkty, ktoré môžu spôsobiť interferenciu dvoch

signáloch rozličných užívateľov .V ďalšom znížiť IM , je nevyhnutné obsluhovať transponder redukciou celkového vstupného výkonu. To spôsobuje neefektívne využitie dostupného výkonu transpondéra. Niekoľko nelineárnych modelov pre satelitné vlnu prenášajúce elektrónkové zosilňovače , ktoré majú amplitúdovú a fázovú nelinearitu ,boli navrhnuté pre prepočítanie pásiem IM a vstupného backoff.

Ochranné pásmo



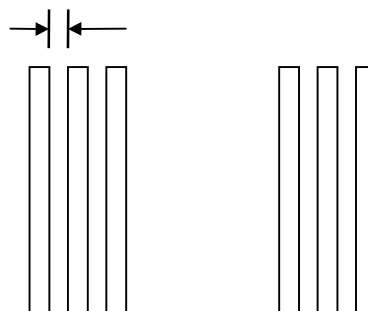
obr. Koncept FDMA

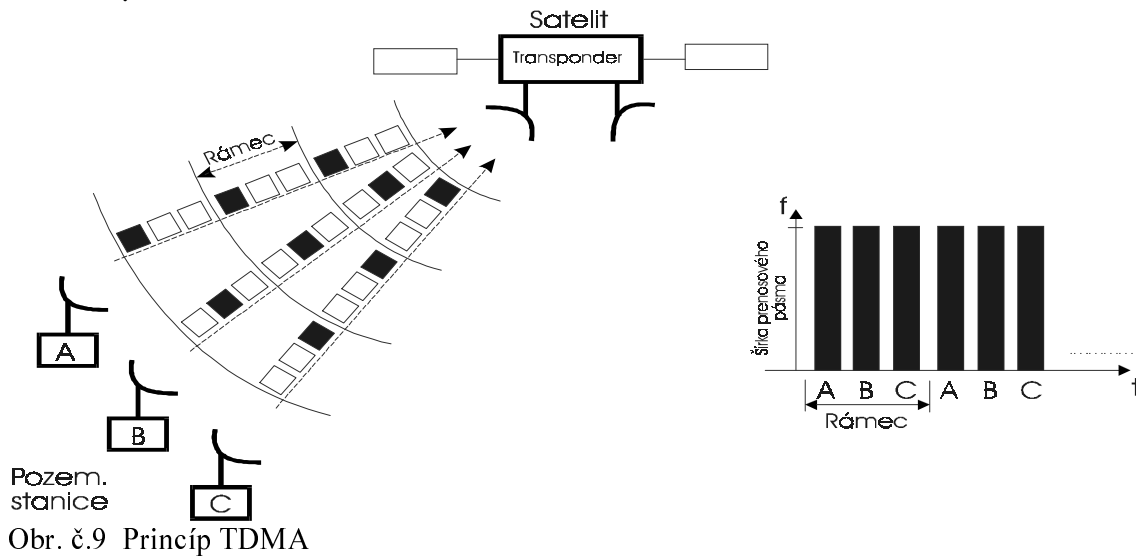
V plánovaných LEO systémoch , technológie mnohonásobného prístupu boli vyvinuté z FDMA do TDMA a do CDMA.

4.2 TDMA – Časovo delený viacnásobný prístup

V porovnaní s FDMA táto prístupová metóda prideluje každej stanici to isté frekvenčné pásmo, čiže v tomto prípade nie je rozdelené celé frekvenčné pásmo na subpásma. Sú definované tzv. rámce, z ktorých sa skladá celkový vysielací čas. Každý rámec je rozdelený na časové intervaly, ktorých je minimálne toľko, koľko je požadovaných prístupov. Jednotlivé časové intervaly rovnaké u každého rámca sú pridelené jednotlivým staniciam a každá stanica môže vysielat' iba počas svojho časového intervalu. Prípadne môže mať stanica pridelených aj viac časových intervalov. Podobne ako u FDMA aj tu sú intervaly (časové) oddelené ochrannou časovou medzerou kvôli nedokonalostiam systému, aby sa vyhlo vzájomnému prekryvaniu intervalov. Princíp činnosti FDMA systému je zobrazený na obrázku č.9

Ochranný čas. interval





Nevýhodou TDMA je potreba synchronizácie medzi stanicami spôsobujúca zvýšenie ceny pozemných staníc. Ďalšou nevýhodou TDMA je, že ak stanica nič nevysiela, ostáva nevyužité celé prenosové pásmo.

Obrázok ukazuje koncept TDMA , kde každý mobilný terminál prenáša dáta oddelené ochranným časovým intervalom na zabránenie prekrývania sa medzi dvoma TDMA blokmi. Keďže iba TDMA bloky zaberajú celú šírku pásma satelitného transpondéra v čase , Vstupný „backoff“ ktorý je potrebný na redukciu IM interferencie v FDMA nie je nevyhnutný v TDMA. TDMA zosilňovače teda môžu pracovať v plnej saturácii. Tieto výsledky významne zvýšia kapacitu kanála. Ďalšia výhoda FDMA je flexibilita. Pridelenia časových intervalov sú jednoduchšie ako pridelenia frekvenčných kanálov. Obrázok 6.42 Zobrazuje typický TDMA rámec , pozostávajúci z Pracovných-odkazových blokov a z blokov dátových. Prístupný signál ktorý zaberá nejaký označený blok v rámci je odovzdaný ako blok. Pracovný blok je prenášaný periodicky pre indikáciu štartu každého rámca pre kontrolu časovania prenosu všetkých dátových rámcov. Pre zlepšenie nedokonalosti časovania TDMA blokov boli vyvinuté niektoré synchronizačné „open-loop“ a „closed loop“ metódy náhodného prístupu . Základná stanica ktorá prenáša odkazové bloky sa volá odkazová stanica.

Počiatočná časť bloku pozostáva z obnovy pásma CR pre koherentnú demoduláciu , z obnovovacieho časovacieho symbolu STR , z osobitného slova UW , z identifikačného kodu stanice SIC , a kontrolných znakov . Ďalej obnovenie nosnej vlny a obnovenie hodín z prijatých TDMA blokov nemodulovaných nosných vln a obnovených hodinových symbolov ktoré boli modulované referenčnými hodinami sú zahrnuté. Dátová časť môže obsahovať časovo multiplexované dáta pre všetky ciele blokov. V prímachi tieto vysoko rýchlostné subbloky sú dodané do primeraných pružných bufrov kde sú dáta čítané na nízkych rýchlostiach.

Jako príklad funkčných TDMA systémov, INMARSAT používa TDMA pre vysielať telexu z námorných pozemských staníc do základní. Prenosová

rýchlosť TDMA blokov je 4,800 bit/s. Dĺžka rámca je 1,74 s a ochranný časový interval je 40 ms s využitím „open loop“ blokových synchronizačných metód.

4.3 CDMA – Kódovo delený viacnásobný prístup

Táto prístupová metóda využíva z oboch predchádzajúcich techník určitú vlastnosť. Stanica má pridelenú celú šírku pásma ako v TDMA a má ju pridelenú nepretržite v čase ako v FDMA. Pri tejto technike každý signál, ktorý sa vysielá k satelitu, obsahuje pridelený dodatočný kód. Na druhej strane prijímač musí poznať tento špecifický kód, lebo ináč nedokáže vybrať požadovaný signál.

Základné vlastnosti :

- nie je potrebné riešiť problém časovej synchronizácie ako u TDMA
- nevyskytuje sa tu problém s pridelením kanálov
- zlepšuje sa kvalita signálu
- rozširuje sa súkromie a bezpečnosť
- nevýhodou je nízka priepustnosť

V CDMA zdroje oboch frekvenčných pásem a času sú sdieľané všetkými účastníkmi použitím ortogonálnych kódov. Rozšírenie spektra viacnásobného prístupu (SSMA) ktoré sa dosahuje PN sekvenciami generovanými polynómami je najpopulárnejšia CDMA metóda. Bolo navrhnuté širšie spektrum metód , ktoré využívajú nízkorýchlostné chybukorigujúce kódy zahrňujúce ortogonálne kódy s Hadamarovými alebo vlnovými transformáciami.

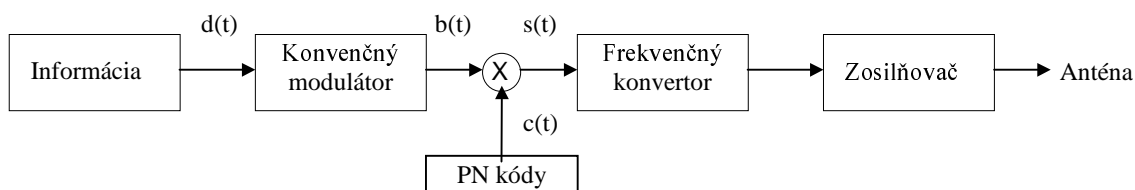
Rozšírené spektrum techník môže byť klasifikované v dvoch kategóriách : metódy priamej sekvencie (DS) a metódy „Frequency hopping“ (FH) .V DS je modulovaný signál násobený kódmi s čipovou rýchlosťou R_c o mnoho väčšou ako informácia bitová rýchlosť R_b . Výsledný signál mal väčšiu frekvenčnú šírku pásma ako originál modulovaný signál. Obrázok 6.43 zobrazuje typický DS vysielač a prijímač. Prenášaný signál môže byť vyjadrený ako

$$s(t) = Ad(t)c(t)\cos(2\pi f_c t)$$

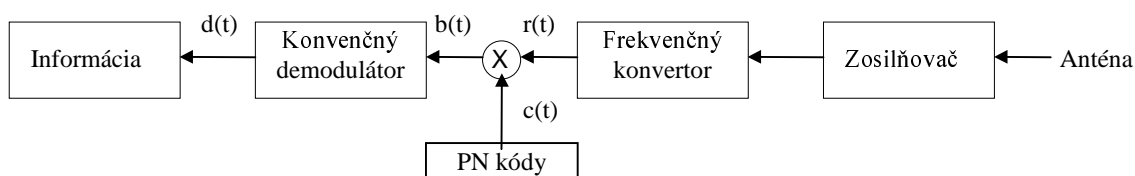
kde $d(t)$ je vstupný dátový signál a $c(t)$ je rozšírená PN sekvencia . V prijímacím terminále je prijatý signál zúžený použitím tej istej PN sekvencie

$$r(t) = Ad(t)c(t)\cos(2\pi f_c t) \times c(t) = Ad(t)\cos(2\pi f_c t)$$

a)



(b)



Obr. Blokova schéma (a) vysielača (b) prijímača.

$$r(t) = Ad(t)c(t)\cos(2\pi f_c t) \times c(t) = Ad(t)\cos(2\pi f_c t)$$

kde $\{c(t)\}^2 = 1$. Iba ten istý PN kód môže dosahovať rozšírenie na šírke pásma prijatého signálu. V tomto procese, interferencia alebo rušivé spektrum je šírené PN kódom a iné užívateľské signály šírené inými PN kódmi nie sú rozširované. Z tohto dôvodu, interferencia alebo hustota výkonu rušenia v pásme prijatého signálu klesá z ich pôvodných výkonov. Preto najviac možným prijatým meradlom potlačenia interferencie je spracovanie zisku G_p , ktorý je daný pomerom R_o/R_b , obyčajne v rozsahu $G_p = 20$ až 60 dB [9]. Vstupný a výstupný pomer signál/šum sú vo vzťahu :

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{output}} = G_p \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{input}}$$

V doprednej linke, uzol stanice vysiela rozšírené spektrum signalov, ktoré sú šírené so synchronizovanou PN sekvenciou k jednotlivým užívateľom. Od použitia ortogonálnych kódov, vzájomna interferencia v sieti je zanedbateľná a kapacita kanála je spojená s TDMA. To sa tiež týka synchronnej SSMA. Obratene, vo vracajúcej sa linke, signály vysielené od jednotlivých užívateľov nie sú synchronizované a nie sú ortogonálne. Týka sa to asynchrónnej SSMA. Neortogonálne prípady vnášajú rušenie do vysielenia od jednotlivých užívateľov v sieti. Takže pri zvyšovaní počtu simultánnych prístupov užívateľov, kvalita komunikácie postupne klesá, tento proces nazývame hladká degradácia.

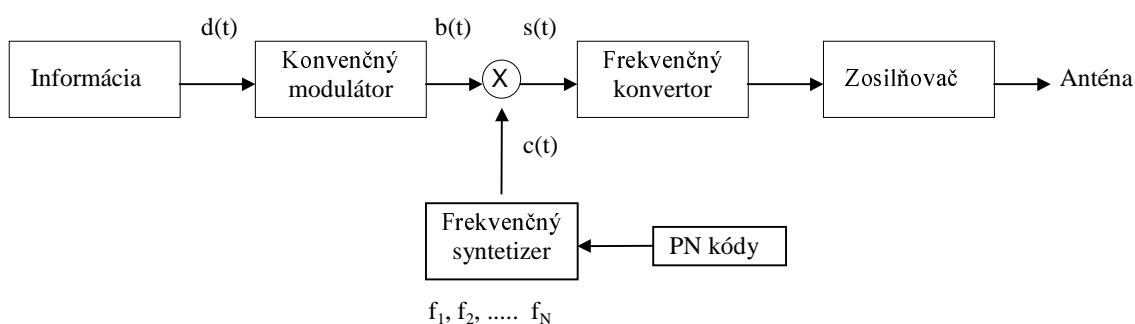
V FH systéme rozšíreného spektra, efekt rozšíreného pásma je dosiahnutý pseudo-náhodným preskakovaním frekvencie. Vzorka skákania a množstvo skokov sú popísané PN kódom a kódovou rýchlosťou. Nasled. obr. ukazuje FH rozšírené spektrum vysielača a prijímača. V prijímači frekvencia skokov z frekvenčného syntetizéra prijatého signálu je odstránená v demodulátore. Spracovaný zisk pre FH je daný vzťahom :

$$G_p = \frac{W}{\Delta f}$$

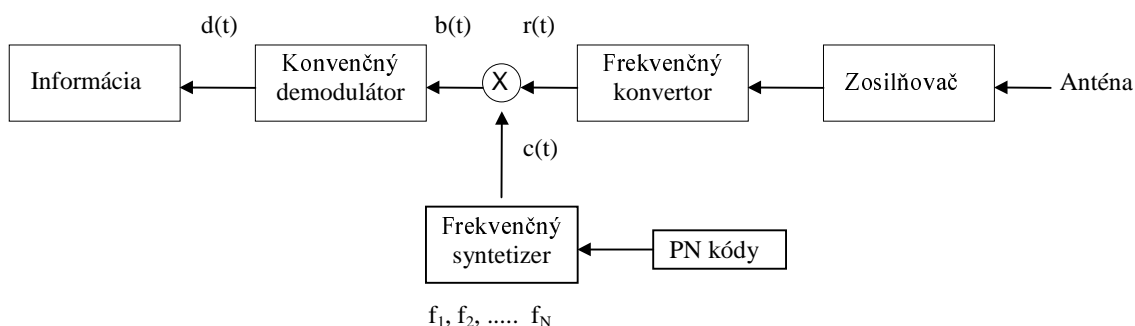
kde W je frekvenčná šírka pásma a Δf je šírka pásma pôvodného modulovaného signálu.

Kombinovaný systém z DS a FH sa nazýva hybridný systém, a spracovaný zisk sa môže zlepšiť bez zvyšovania množstva čipov. Hybridný systém je používaný v JTIDS (Joint Tactical Information Distribution System) a OmniTracs [87], ktoré sú mobilné satelitné komunikačné systémy pracujúce na Ku-pásme.

(a)



(b)



Obr. Bloková schéma (a) vysielača (b) prijímača.

4.4 MF-TDMA (MultiFrequency TDMA)

MF-TDMA je založená na tom, že pozemná stanica má k dispozícii na vysielanie/príjem nie iba jednu frekvenciu, ale viac. MF-TDMA redukuje veľkosť satelitnej antény, vysielací výkon a na druhej strane zväčšuje šírku satelitného pásma. Ak budeme uvažovať prenosovú rýchlosť pre ATM bunky na každom z N kanálov (frekvencií) R Mbit/s potom celková prenosová kapacita bude $N \cdot R$ Mbit/s.

Zhrnutie

Najlepšia voľba schémy viacnásobného prístupu závisí na charakteristikách premávky (prenosu) vysielanej v sieti, ako aj na pravidelnosti a trvaní hovorov, požadovanej dátovej rýchlosti, a tiež aj na prechodových charakteristikách v mobilných satelitných komunikačných systémov.

FDMA systémy majú relatívne jednoduchú sieťovú kontrolu a systémovú konfiguráciu, a flexibilitu pre budúce rozšírenie sieťovej konfigurácie a zdokonalenie modulačných schém. Digitálna satelitná sieť cez veľmi malé apertúrové terminály (VSAT) bude stále využívať FDMA, hoci nelinearita zosilňovačov môže obmedziť efektívnosť šírky pásma a výkonu.

TDMA požaduje komplexnosť pre burstovú synchronizáciu, vysoký EIRP pre mobilné vysielacie, ktorý vysielajú TDMA bursty pri vysokej symbolovej rýchlosti ako pôvodná informačná rýchlosť. Avšak daň za vysokú efektívnosť a flexibilitu je, že TDMA bude využité v osobných satelitných komunikáciách cez LEO a MEO, ako aj v diaľkových kanáloch, ktoré majú veľkú kapacitu.

CDMA má výhody v ainti-interferencii, podieľaní sa s inými rádio sieťami, frekvencii opakovania v onboard multibeam satelitných systémoch, a v kapacite náhodných prístupov. CDMA bude silný kandidát na výber mnohonásobných prístupových schém do budúcnosti v mobilných a osobných komunikačných systémov.

5.1 Globalstar

Už od roku 1991 je súčasťou konkurenčného prostredia v oblasti satelitnej komunikácie GlobalStar, konzorcium významných spoločností, ako je napr. France Telecom, Alcatel, Loral a ďalšie. Toto konzorcium prevádzkuje 48 stacionárnych komunikačných satelitov (tie neobiehajú okolo zemegule), ktoré svojím dosahom pokrývajú iba niektoré časti Zeme (od 70° severnej do 70° južnej zemepisnej šírky). Tieto satelity medzi sebou na rozdiel od satelitov Iridia nekomunikujú. Princíp spojenia sa v určitých aspektoch líši. Signál GlobalStaru napr. nemôže za pomoci samého satelitu "obehnúť" zemeguľu, ale musí byť vždy prostredníctvom retranslačnej stanice na Zemi presmerovaný na ďalší satelit.

Satelitné spojenie v mestách a horách.

Tak ako navigačný systém GPS, tak aj komunikačné systémy Iridium a Globalstar potrebujú ku svojej správnej činnosti vždy dostatočný výhľad na oblohu, smerom na niektorý z obiehajúcich satelitov. Problémy vznikajú hlavne u hlasového a dátového spojenia, ktoré sa rozpadne keď satelit minie uhol výhľadu na oblohu. Potom je nevyhnutné čakať na prelet ďalšieho satelitu a znovu nadviazať spojenie. Prevádzkovateľ pracuje na úprave SW tak aby spojenie ostalo aspoň pridržené. Tu vidíme výhody Iridium pageru pretože aj relatívne krátka doba preletu by mala stačiť na prenos potrebných na prenos informácií. Tieto problémy sa už vyskytli v krízových oblastiach sveta (Kosovo), kde telefonujúci nemôže vždy vyhľadať najvhodnejšie stanovište na spojenie. Výhodnejšie sa javí v týchto podmienkach

stacionárny systém Inmarsat M , najmä pre jeho geostacionárne satelity, kde raz zamerané a vytvorené spojenie sa nerozpadne.

Duálny mobil – GSM + Globalstar

Firma Ericson príjemne prekvapuje svojimi novinkami a začne dodávať úplnú novinku duálny mobil pre sieť GSM a sieť Globalstar . Jedná sa o najmenší telefón zatiaľ používaný pre satelitnú komunikáciu. Je to telefón Ericson R290, okrem hlasového prenosu umožňuje aj prenos dát, v GSM rýchlosťou 9,6 kbps a cez satelit Globalstar rýchlosťou 7,2 kbps. Je možné si zvoliť, ktorú sieť chce zákazník preferovať a pri strate pozemného signálu GSM sa dokáže automaticky prepojiť do satelitnej siete. Kvôli týmto kladným vlastnostiam je tolerovaná aj jeho hmotnosť a to 350 g, pretože sa nejedná o telefón, ktorý má každý vo vrecku.

Na záver je potrebné dodať, že sieť Globalstar začne pracovať behom tohoto roku a vznikne tak vítaná technická aj cenová konkurencia Inmarsatu a Iridiu v satelitných prenosoch hlasu a dát.

Pagery spoločnosti Iridium

Spoločnosť Iridium rozvíja okrem svojej satelitnej siete telefónov aj celosvetovú pagingovú službu, na frekvencii 1,626 GHz. Ak si obstaráte príslušný pager, potom už niekoľko sekúnd po odoslaní obdržíte správu na svoj pager v dĺžke až 200 znakov, nech ste kdekoľvek na planéte Zem (zatiaľ). Prenos sa však urýchly ak viete do ktorej oblasti je správa smerovaná, tzv. Message Delivery Areas (MDA) . Pager môže pracovať aj s pozemnými pagermi pracujúcimi na tejto frekvencii. Správy na pager môžu byť zaslané aj cez internet alebo obyčajný telefón. Na jednom pagery môžu byť až 4 rôzne adresy.

Vhodné pagery vyrába len firma Motorola, typ 9501 a firma Kyocera, typ SP – 66K.

Displaj obidvoch firiem má 4 riadky po 20 znakov, prístroje majú aj vibračné vyzváňanie, ich súčasťou sú aj hodiny a budík. Jedna aplikácia batérie veľkosti AA vydrží 30 dní . Váha tohoto modulu je približne 120 g , rozmery majú rovnaké a do svojej pamäti môže uložiť 99 osobných správ a ďalších 99 správ informačných alebo zaslaných vybranej skupine. Pracujú spoľahlivo pri teplote -10 °C až +50 °C, ale majú aj ďalšie klady. V prípade vašej nedostupnosti (jaskyňa , ponorka) je možné zadať až 5 miest na presmerovanie. Služby sú hradené mesačne, paušálnou čiastkou. Teoreticky je možné presmerovať si všetky krátke textové správy z vašej mailovej adresy, telefónu na svoj pager.

5.2 Inmarsat

Technické informácie

Inmarsat bol založený už v roku 1979 ako medzinárodná spoločnosť, ktorá mala za úlohu zabezpečiť spojenie pre námorné lode po celom svete. Dnes ma 82 členských krajín. Systém Inmarsat – Phone tvoria 4 satelity rozmiestnenie na obežnej dráhe GEO (Geostacionary Earth Orbit) vo výške 36 tisíc km nad zemským rovníkom. Vďaka tomu pokrýva 98 percent povrchu Zeme. Dovolať sa teda je možné takmer všade – s výnimkou malých oblastí okolo oboch zemských pólů. Zatiaľ posledný – tretia – generácia služieb Inmarsat bola predstavená na konci roku 1996. V súčasnosti jej prostredníctvom telefonuje okolo sto tisíc ľudí po celom svete. Tí môžu využiť nielen hlasovú komunikáciu, ale i prenos dát alebo faxov rýchlosťou 2,4 kbps a to všetko s pomocou prístroja, ktorý veľkosťou pripomína notebook a jeho hmotnosť neprekračuje dva kilogramy. Svet je z ich pohľadu rozdelený na štyri oceánske regióny: Východný a západný Atlantický oceánsky región (AOR – E a AOR – W), Indický oceánsky región (IOR) a Pacifický oceánsky región (POR), z ktorých každý pokrýva plochu cca 210 mil. km². Signály z družíc sa prekrývajú, najhustejšie je pokrytá euroatlantická oblasť. Zo stredoeurópskeho priestoru sú dostupné hneď tri družice Inmarsat (AOR-E, AOR-W, IOR).

Inmarsat – komplexné riešenie

Už v sedemdesiatych rokoch na podnet organizácie IMO (International Maritime Organization) vzniká zoskupenie Inmarsat. Systém Inmarsat bol uvedený do prevádzky vo februári v roku 1982. V tomto roku by sa mohol Inmarsat – medzivládna organizácia založená 1979 – stať spoločnosťou typu s.r.o., zaregistrovanou v určitom štáte, aj keď si podrží spoje, ktoré vyžadujú medzivládny dohľad nad jeho prevádzkou verejných služieb.

Nová štruktúra spoločnosti bude eliminovať prevádzkové privilégia, ktoré nemajú k dispozícii konkurenčné spoločnosti. Pre sprehľadnenie jednotlivých typov služieb, ktoré reprezentujú terminály systému Inmarsat; uvádzam názvy služieb/terminálov v abecednom poradí:

Inmarsat A. Od 1. augusta 1996 je rozšírením služby INMARSAT na službu INMARSAT Aero s tarifným pásmom INMARSAT A. Tato služba umožňuje nadviazať telefónne spojenie s cestujúcimi v lietadlách. Pretože telefónne čísla na palubách lietadiel nie sú zverejňované, je táto služba určená iba užším užívateľským skupinám disponujúcimi príslušnými telefónnymi číslami.

Služba ponúkajúca klasickú hlasovú službu, prenos dát, faxových správ, elektronickej pošty so štandardnou rýchlosťou do 4 800 b/s. Dá sa tiež uvažovať o rýchlosti prenosu 56 kb/s a 64 kb/s, pretože nedávny vývoj kompresných algoritmov dovoľuje prenášať v módu High Speed Data – HSD – fotografie s vysokým rozlíšením, videokonferencie a videosekvencie s

pomalým snímkovaním (obojsmerná prevádzka) či realizovať ISDN prípojku.

Terminály Inmarsat A komunikujú v pásme 1,5/1,6 GHz a komunikácia medzi družicami a 27 pozemnými stanicami (LES - Land Earth Stations) rozmiestnenými po povrchu zemegule je v pásme 4/6 GHz. V súčasnej dobe je v prevádzke 22 tisíc A-terminálov. Váha bežného A-terminálu sa pohybuje okolo 120 kg a prenosný A-terminál váži medzi 20 a 30 kg.

Inmarsat B – slúži k poskytovaniu telefónnych hovorov, prenosu faxových a datových správ s maximálnou prenosovou rýchlosťou 9 600 b/s. Počet B-terminálov, ktoré sú v prevádzke, presahuje tisíc kusov. Hmotnosť je zrovnateľná s hmotnosťou A-terminálov.

Inmarsat C – ponúka iba služby dátových prenosov (telex, fax, dáta) s maximálnou prenosovou rýchlosťou 600 b/s s dĺžkou správ do 32 kbyte (obojsmerne). Pretože metóda prenosu je založená na princípe „zapamätaj si“ a „postup“ bude doba prenosu každej správy od jej vyslania až po jej prijatie trvať päť až desať minút.

Špecialitou služby je prepracované rozosielanie správ na viac užívateľov súčasne (fax, dáta) a automatické generovanie aktuálnej polohy pri nehode či v núdzovej situácii. Dáta sú prenášané v malých paketoch o veľkosti 32 bytov.

V rámci služieb Inmarsat existuje virtuálna sieť **SafetyNET** s ochranou prenášaných dát proti zneužitiu pre pobrežné hliadky, meteorológov apod. druhá sieť má názov **FleetNET** a je určená pre poskytovanie správ určitej skupine užívateľov prostredníctvom hromadného rozosielania aktuálnych správ (burzové správy, novinky obecne, športové výsledky, poskytovanie informácií o polohe zo systémov GPS, Decca, Loran-C systémov apod.).

Pre zaistenie služby Inmarsat C existuje 15 pozemných staníc. Hmotnosť prenosných C-terminálov sa pohybuje okolo troch až štyroch kg, klasické terminály pre inštaláciu do lodných systémov dosahujú hmotnosť asi 10 kg. Existuje zhruba 69 rôznych typov C-terminálov od 34 rôznych výrobcov.

Inmarsat-M bol uvedený do prevádzky v r.1993; jedná sa o plne digitálny systém, ktorý poskytuje riadenie vysielacieho výkonu terminálu v závislosti na aktuálnych podmienkach pre zaistenie obojsmernej komunikácie. Komunikačné kmitočty sú zhodné so systémom Inmarsat A. Používajú sa prenosné mobilné stanice nazývané Inmarsat-M, ktoré umožňujú prenos hovoru, dát a faxových správ s maximálnou prenosovou rýchlosťou 2400 b/s (platí aj pre Inmarsat Mini-M).

Je dôležité vedieť, že **Inmarsat M nie je začlenený do systému GMDSS** (Global Maritime Distress and Safety System). Počet užívateľov staníc Inmarsat-M je asi 15 tisíc (koniec roku 1997). Tieto štandardné terminály majú hmotnosť približne 25 kg a prenosné typy asi 13 kg. V súčasnej dobe sa

zavádzajú do systému Inmarsat nové družice označované Inmarsat-3, ktoré umožňujú použiť miniatúrne terminály Inmarsat M (hmotnosť asi 2,3 kg) označované ako Inmarsat mini-M. Terminály mini-M budú môcť pracovať i so staršími družicami Inmarsat. Celkom existuje 51 modelov M-terminálov od sedemnástich výrobcov.

Inmarsat-P (tzv. ICO Inmarsat) predstavuje 10 družíc na dvoch obežných dráhach (2 x 5 družíc) vo výške 10 335 km. Ďalšie dve družice sú záložné, pre prípad poruchy niektorej z aktívnych družíc. Komunikačný kmitočet pre P-terminály bude 2,0/2,2 GHz a pre zabezpečenie prevádzky (komunikácia satelitov so stanicami LES na zemskom povrchu) budú pravdepodobne vybrané kmitočty z Ka pásma (tzn. nosné frekvencie rádovo 20 až 30 GHz).

P-terminály budú prenosné o hmotnosti asi 300 gramov s dĺžkou hovoru minimálne jedna hodina a dĺžkou stand by režimu nad 24 hodín pre jedno nabitie akumulátora, alebo v móde služby pagingu po dobu nie kratšiu než 160 hodín. P-terminál zaistí obojsmerný prenos dát faxových a textových. Aktivácia P-terminálov bude zaistená kartami SIM. Očakáva sa taktiež realizácia P-terminálov pre pripojenie do dvoch sietí (Inmarsat P a pozemné celulárne siete napríklad typu DECT, IMT-2000 či GSM).

Testovacia prevádzka siete P-Inmarsat je naplánovaná na rok 1999 a úplné sprevádzkovanie siete sa predpokladá v roku 2000. Pre nadviazanie spojenia s jednotlivými terminálmi siete INMARSAT z Českej republiky je potrebné po smerovacom čísle +87x rozlíšiť prístup k terminálom Inmarsat ďalšou číslicou takto:

1. **INMARSAT A**
3. **INMARSAT B**
4. **INMARSAT C** (služba je dostupná iba registrovaným účastníkom)
6. **INMARSAT M**

5.3 Iridium

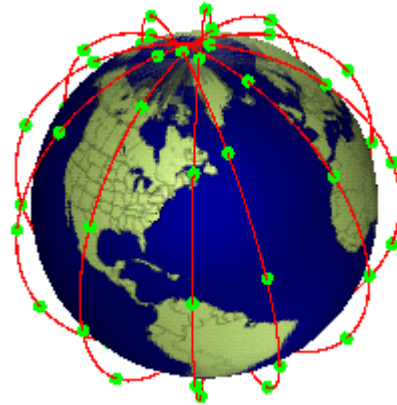
Iridium je prvá spoločnosť, ktorá chcela priblížiť satelitné telefonovanie koncovým zákazníkom a ktorej sa darí tento projekt najrýchlejšie realizovať. Vznikla v roku 1997 ako konzorcium pár veľikánov v oblasti mobilných telekomunikácií (napr. Motorola, Sprint, Kyocera a ďalší), ktoré chcú do spoločného projektu investovať okolo 5 miliárd dolárov. Iridium predpokladá v prvom roku fungovania cca 650 000 užívateľov s očakávaným nárastom na päť miliónov v roku 2002, pričom sa obecné predpokladá, že celkový počet užívateľov satelitnej komunikácie dosiahne v roku 2002 plných 12 miliónov.

Europejsku časť siete má *Iridium Communications Germany* v Düsseldorfu a *Iridium Italia*. Zámerom spoločnosti Iridium je vytvorenie medzinárodnej bezdrátovej komunikačnej siete mobilných telefónov a pagerov. Pomocou 66

satelitov a bezdrátovej pozemnej komunikačnej siete bude možné komunikovať z hociktorého miesta na Zemi.

Satelitná časť

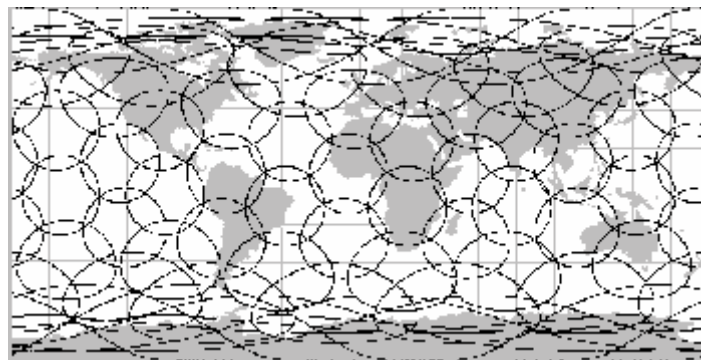
Satelitná časť tvorí nízkoorbitálnych na obežnú dráhu ktoré ich postupne a kontrolné centrá orbitálnu dráhu. Vo zemskom povrchom, dráhach v zoskupení satelitoch už všetky povrchom.



66 (+šesť záložných) satelitných stanic. Tie vyniesly nosné rakety, vypúšťaly do vesmíru ich navigovala na ich výške 780 km nad na šiestich orbitálnych po jedenáctich krúžia nad zemským

Obr. Obežné dráhy Iridium

družic v systéme



Obr. Prekrývanie buniek

Jeden satelit váži 689 kg a okolo Zeme obehne za 100 minút a 28 sekúnd. Orbitálne dráhy nezvierajú z rovníkom 90° a preto neprechádzajú priamo cez severný a južný pól, ale sú od kolmice odklonené o $3,6^\circ$. Zvierajú s rovníkom úhol $86,4^\circ$. Toto naklonenie zaisťuje, že v miestach severného a južného pólu môžu satelity krížiť a minú sa vo vzdialenosti cca 195 km. Tento spôsob sa nazýva *Satellite CrossLink*.

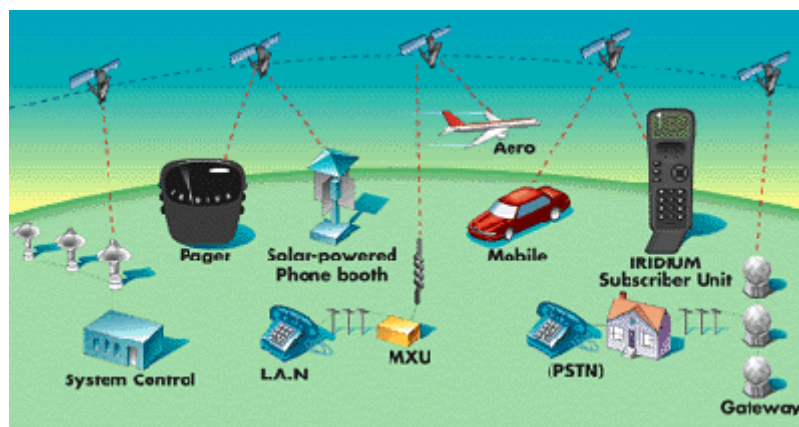
Plocha zemského povrchu, ktorú pokrýva svojím dosahom jeden satelit (*Satellite Fotoprint*) je 4400 km. Táto plocha je rozdelená na 48 kruhových buniek, na celú sieť Iridium pripadá 3168 buniek, napriek tomu by sa na pokrytie celej plochy zeme stačilo iba 2100 týchto buniek. Každý bod na zemeguli, z ktorého bude vysielaný signál určený pre satelit, je bunkou satelitu monitorovaný. V prípade, že pri pohybu satelitu dôjde k vychýleniu pozemského bodu, odkiaľ je signál vysielaný, z dosahu jednej bunky, satelit si automaticky najde najbližšiu bunku, ktorá si signál prevezme (*Cell Hand-off*).

Za prevádzky satelitu a jeho pohybu po orbitálnej dráhe však môže z dôvodu zakrivenia Zeme alebo priblíženia orbitálnych dráh dôjsť k vychýleniu z jeho obežnej dráhy. Pohyb všetkých satelitov je kontrolovaný tzv. centrom

telemetrie, dozoru a kontroly. Tieto centrá sú umiestnené na západnej poglobuli tak, aby bolo možné monitorovať pohyb akéhokoľvek satelitu na všetkých orbitálnych dráhach a budú tiež zaisťovať výmenu poškodených satelitov s navedením záložných na ich obežnú dráhu. Satelity medzi sebou komunikujú v pásme od 23,18 GHz do 23,38 GHz. Komunikácia medzi mobilným satelitným telefónom a satelitom prebieha v kmitočtovom rozsahu od 1,616 GHz do 1,6265 GHz.

Komunikácia

Potrebnou súčasťou medzinárodnej komunikačnej siete je tiež jej pozemná časť. Na zemskom povrchu sú umiestnené tzv. retranslačné stanice (*gateways*), ktoré zaisťujú prenos signálu z pozemnej bezdrôtovej siete na satelitnú v pásme od 29,1 GHz do 29,3 GHz a opačným smerom od satelitnej siete k pozemnej v pásme od 19,4 GHz do 19,6 GHz. Týchto je po celej zemeguli niekoľko.



Obr. Komunikácia v Iridiu

Ako vlastne celý systém pracuje? Ako prebieha komunikácia medzi satelitným telefónom a inými systémami, ako napríklad GSM alebo verejnou telefónnou sieťou? Na začiatok je nutné poznamenať, že dosiaľ stále platí, že s existenciou inej technológie pre mobilnú komunikáciu, pokiaľ ju chcete využívať, musíte mať špeciálny telefón. Takže pokiaľ chcete byť k zastihnutiu napríklad na mobilnom telefóne v USA, museli by ste si požičať špeciálny telefón pre komunikáciu v sieti IS41. Súčasne s týmto telefónom by ste dostali i iné telefónne číslo, ktoré by však nebolo nikomu z vašich partnerov známe, a tak by sa na vás nemohol nikto dovolať. Tento problém vyriešili satelitné telefóny Iridium. Sieť IS 41 vie rozpoznať signál Iridia a automaticky ho smeruje do retranslačnej stanice, odkiaľ ide ďalej na určené miesto. Pokiaľ nie ste v dosahu vysielača IS 41, potom ide signál priamo na satelit. Pre prevádzku IRIDT pomocou siete IS 41 teda IRIDT nemusí byť špeciálne upravený.

Iným prípadom je použitie IRIDT v krajinách, kde je funkčná sieť mobilných telefónov GSM. Zámerom spoločnosti Iridium je uzatvorenie roamingových zmlúv aspoň s tými najväčšími providermi GSM sietí v konkrétnom štáte. Teda budete mať satelitný mobilný telefón podporujúci duálnu prevádzku (satelitnú a GSM), máte dve možnosti:

1. Ak budete v dosahu GSM signálu roamingového partnera, môžete zo zapnutým automatickým vyhľadávaním siete na IRIDT telefonovať pomocou GSM alebo si IRIDT prepnete na satelitnú prevádzku a môžete "ísť" priamo cez satelit.
2. Ak nebudete v dosahu GSM signálu roamingového partnera, môžete telefonovať priamo cez satelit.

Služby

Prevádzku satelitného systému Iridium pre dva tisíc prvých užívateľov bol zahájený 23. septembra 1998. Záujemci o tento systém budú mať možnosť si zakúpiť jeden z dvoch základných balíkov služieb Iridia: **GSM Homed**

5.4 SATELITNÝ SYSTÉM SKYBRIDGE

Skybridge je širokopásmový satelitný systém, ktorý zabezpečí poskytovanie služieb, ako je rýchly prístup na Internet a videokonferencie pre užívateľov po celom svete, atď. Systém je rovnako vhodný pre vzdialené vidiecke, mestské aj neprístupné oblasti, ktoré ešte doposiaľ nie sú pripojené k širokopásmovým terestriálnym infraštruktúram a rovnako aj pre tie oblasti, ktoré nie je vhodné pokryť klasickými terestriálnymi infraštruktúrami z ekonomického hľadiska. Skybridge pozostáva z konštelácie 64 satelitov, ktoré slúžia na prepojenie používateľov k terestriálnym ústredňam. Používateľ je vybavený pomerne lacným terminálom. LEO satelity poskytujú výkonnosť, ktorá je porovnateľná s terestriálnymi širokopásmovými technológiami s časovým oneskorením šírenia sa cez kozmický segment okolo 20 ms [1][5]. To znamená, že Skybridge podporuje rýchle interaktívne služby, ako sú obojsmerné video v reálnom čase a interaktívne hry, ako aj zvuk.

Služby systému Skybridge

Skybridge bude poskytovať koncovým užívateľom šírku pásma na požiadanie. Systém bude ponúkať asymetrické širokopásmové spojenie k pevným sieťam s rýchlosťou do 60 Mbit/s k užívateľovi a s rýchlosťou do 2 Mbit/s na spätnom kanále. Návrh je optimalizovaný pre Internetovú komunikáciu, ktorá je charakterizovaná prenosom náhodných zhlukov asymetrických dát.

Základná koncepcia architektúry predurčuje Skybridge ako ideálny systém pre vysoko rýchle reálne aplikácie, ako sú:

- Rýchly internetovský prístup a najmä on-line služby
- Telekomunikácia prostredníctvom prístupu k pracovným serverom a k lokálnym sieťam, elektronická pošta, prenos súborov atď.

- Prepojenie LAN a WAN sietí
- Vysoko kvalitná videokonferencia a videotelefón
- Telemedicína
- Zábavné služby : video na požiadanie (VOD-Video On Demand), elektronické hry, atď ...

5.4.1 Skybridge a alternatívne technológie

V súčasnosti zabezpečuje širokopásmový prístup niekoľko pozemných spojovacích technológií a systémov. Skybridge však nie je určený ako konkurencia pre tieto systémy, ale ako komplementárne riešenie (Tabuľka č.8). Výkonnosť systému Skybridge je porovnateľná s digitálnymi bezdrôtovými technológiami, ako je ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) a opticky založenými prístupovými technológiami akými sú HFC (Hybrid Fiber Coax) a FTTC (Fiber To The Curb). Aj napriek cenovým rozdielom poskytuje Skybridge efektívnejšie riešenie v oblastiach s nižšou hustotou populácie a môže byť rýchlejšie zavedený v oblastiach s vyššou populáciou, než rozmiestnenie klasických sietí . Predpokladá sa, že Skybridge bude využívať 15 až 20 miliónov ľudí na celom svete a to už do konca nasledujúceho desaťročia [7].

| | Popis | Šírka pásma | Cieľové aplikácie |
|--------------------------------|---|--|---|
| POTS | Klasický drôtený telefón | 56,6 kbit/s | Telefón Nízko rýchlostné dáta |
| N-ISDN na zvýšenie šírky pásma | Využíva digitálnu technológiu | 128 kbit/s telefón | Stredne rýchlostné dáta |
| ADSL | Využíva kompresnú technológiu na úplné zúžitkovanie šírky pásma existujúcich medených dvojliniek | Do 9 Mbit/s k užívateľom Do 1,5 Mbit/s na spätnej linke | Rýchle dáta Telefón |
| HFC vylepšená / Nová štruktúra | Sieťové zúžitkovanie kombinácie optických káblov k uzlom(pripojenie do 500 domácností) a koaxiálnym káblom k domu | 64 kbit/s až po 30 Mbit/s | Rýchle dáta Telefón Vysielanie videa VOD |
| FTTC | Využitie všetkých opt. zariadení k uzlom obsluhujúcich 4 až 12 domácností | 80 až po 150 Mbit/s | Rýchle dáta Telefón Vysielanie videa VOD |

Tab.č.8 Aplikácie rôznych prístupových technológií

5.4.2 CHARAKTERISTIKA SYSTÉMU SKYBRIDGE

Systém Skybridge pozostáva z dvoch segmentov :

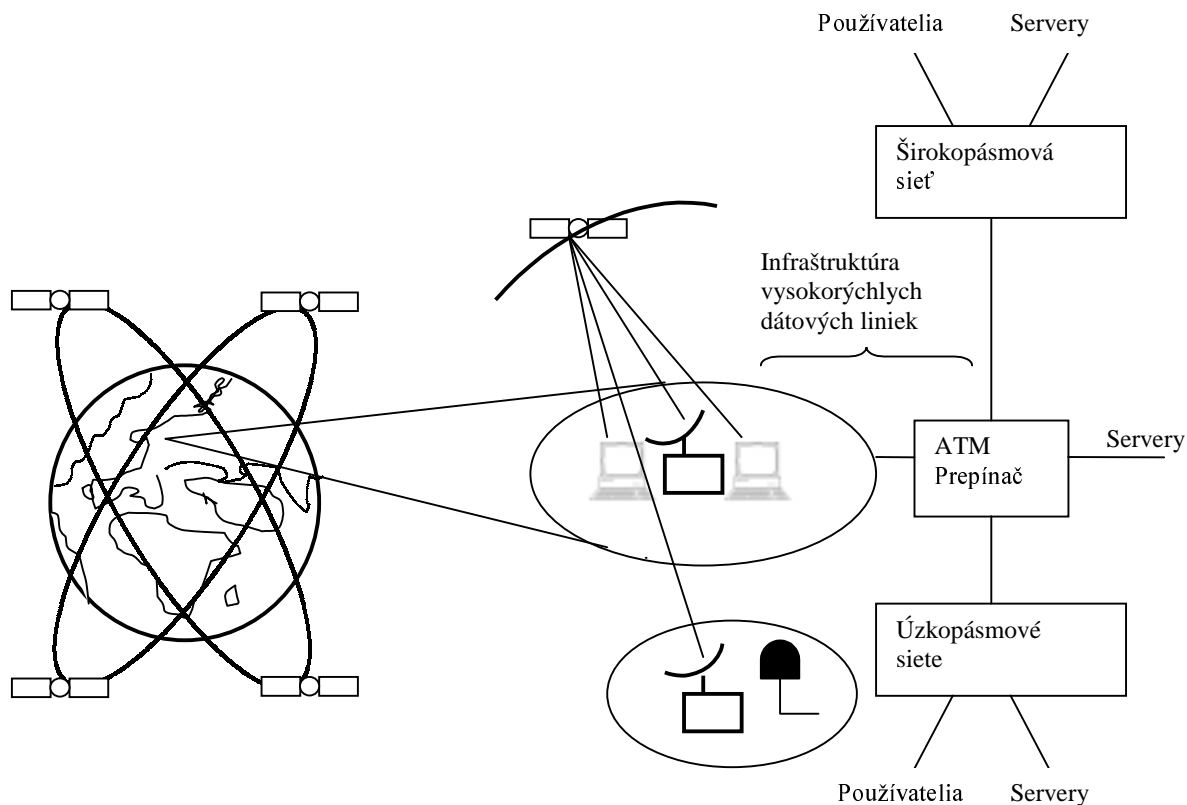
- . kozmického
- . pozemného

- Kozmický segment:

Tento segment obsahuje 64 LEO satelitov (plus náhradné) obiehajúcich vo výške 1457 km. Pozostáva z pozemného riadiaceho segmentu obsahujúceho Satelitné riadiace centrum (SOCC) a sledovacie, telemeracie a riadiace stanice (TT&C). Kozmický segment zabezpečuje stále pokrytie v pásme od +68 do -68 stupňov zemepisnej šírky. Tým sa zabezpečí prepojenie všetkých používateľov systému Skybridge so spojovacou ústredňou a tiež sa zabezpečí vysoko rýchle spojenie medzi ústredňami.

- Pozemný segment :

Pozostáva z ústredňovej pozemnej stanice a užívateľských terminálov. Táto ústredňa zabezpečuje spojenie cez ATM prepínač s lokálnymi servermi a so širokopásmovými a úzkopásmovými sieťami.



Obr. č.23 Princíp systému Skybridge

Skybridge je sieť, ktorá je založená na ATM prístupe, a ktorá zabezpečuje spojenie medzi užívateľmi a lokálnou ústredňou. Prevádzka z terminálov je transparentne prenášaná pomocou satelitu k ústredni, a naopak, ako je to znázornené na obrázku č.23. Ústredňa v sebe zahrňuje prepínacie funkcie a rozhranie pre terestriálne siete. Obrázok č.24 znázorňuje architektúru systému. V prípade komunikácie terminál-terminál, je prepojenie uskutočnené ústredňovým prepínačom pomocou dvojitého skoku (double hop). Každá ústredňa za pomoci kozmického segmentu zhromažďuje prevádzku terminálov z bunky v tvare kruhu s polomerom 350 km.

Bunky systému Skybridge sú trvalo iluminované minimálne jedným satelitným lúčom. V mnohých prípadoch sa vyžaduje, najmä v našich zemepisných šírkach, aby boli trvalo na dosah minimálne dva satelity. Keď je satelit v pohybe, čas od času musia ústredne prepínať prevádzku na iné satelity použitím užívateľsko – transparentnej handover procedúry [7].

5.4.3 Optimalizované využitie frekvenčného spektra

Skybridge nevyžaduje vyhradenú alokáciu špecifického frekvenčného pásma, naopak, optimalizuje využívanie spektra. Pre spojenia medzi užívateľskými terminálmi a ústredňami, ako aj pre rýchle infraštruktúrne spojenia medzi ústredňami bude systém Skybridge používať Ku pásmo (14/12 GHz) .

Podľa Medzinárodnej Telekomunikačnej Únie (ITU), geostacionárne siete majú byť chránené proti interferencii z iných nie geostacionárnych systémov. Za účelom dosiahnuť túto ochranu budú satelity a pozemné stanice tohto systému akceptovať „bezoperačné zóny“ okolo každého geostacionárneho satelitu. Prenos medzi Skybridge satelitom a bunkou sa zastaví, ak sa satelit nachádza vo vnútri tejto bezoperačnej zóny, ktorá pohlcuje oblasť rozprestierajúcu sa od +10 do -10 stupňov od geostacionárneho oblúka. Toto platí pre hociktorú pozemnú stanicu v bunke. Prevádzka bunky je potom prepnutá na iný Skybridge satelit, ktorý nie je v podobnej interferujúcej pozícii.

5.4.4 Kozmický segment

Konštelácia systému Skybridge je založená na kombinácii dvoch symetrických subkonštelácií. Každá subkonštelácia pozostáva z 32 satelitov umiestnených na ôsmich orbitálnych dráhach so štyrmi rovnomerne rozloženými satelitmi na obežnej dráhe. Satelity sú umiestnené vo výške 1457 km. Fázový posun medzi dvoma konšteláciami vedie k párovaniu satelitov. Tento návrh minimalizuje počet satelitov požadovaných na garanciu stáleho pokrytia v pásme zemepisnej šírky od +68 do - 68 stupňov, ak berieme do úvahy bezoperačnú zónu určenú na ochranu geostacionárnych systémov.

Skybridge patrí k „veľkej LEO“ kategórii: plánovaná hmotnosť satelitu je menej ako 800 kg vrátane 300 kg komunikačného zariadenia (payload). Výkonová spotreba satelitu je menej než 2,5 kW. Životnosť satelitu je 8 rokov.

Kľúčový element pri návrhu satelitu sa týka používania aktívnych antén. Aktívne antény sa použijú na generovanie bodového lúča, ktorý iluminuje bunku s polomerom 350 km. Každý satelit iluminuje priestor s polomerom 3000 km. Skybridge satelit môže súčasne generovať až 45 bodových lúčov.

5.4.5 Pozemný segment

Pozemný segment pozostáva z pozemných ústrední a používateľských terminálov.

Terestriálne ústredne poskytujú nasledujúce funkcie:

- Rádio-frekvenčný (RF-Radio Frequency) subsystém pre vysielanie
- Prístup k rádiovým zdrojom, vrátane manažmentu satelitných zdrojov
- Smerovanie a prepínanie prevádzky
- Štandardné rozhrania s terestriálnymi sieťami, ako sú PDH, SDH a ATM
- Spolupráca s Internet, Frame Relay a Širokopásmovou ISDN (B-ISDN)
- Prístup k lokálnym serverom cez smerovacie funkcie
- SAP pre užívateľské riadenie a pracovné rozhranie

Na pokrytie viac ako 90% celkového potenciálneho trhu systému Skybridge je potrebných približne 200 ústrední .

Plánuje sa, že systém Skybridge bude pracovať s rozdielnymi typmi používateľských terminálov v závislosti od typu aplikácií:

- Osobné terminály
- Terminály pre úrady a obytné budovy
- Medziuzlové terminály poskytujúce vyššie kapacity hromadným miestam

Návrh antén pre používateľské terminály je zjednodušený faktom, že pozície satelitov sú preddefinované a predprogramované; satelity pravidelne sledujú rovnaké trajektórie . Počas fázy inštalácie, každý terminál sonduje svoje rádio-elektrické okolie, to znamená, že zistí kedy sa musí uskutočniť handover.

5.5 SATELITNÝ SYSTÉM TELEDESIC

Sieť Teledesic používa konšteláciu 288 LEO satelitov, ktoré sú vzájomne prepojené a slúžia na poskytovanie prístupu k zvukovým, dátovým a video-komunikačným službám. Pomocou týchto satelitov zabezpečuje systém Teledesic prepínané digitálne spojenia (cez ústredňu) medzi užívateľmi rôznych sietí .

Teledesic sieť poskytuje kvalitné služby porovnateľné s modernými pozemskými komunikačnými systémami . Poskytuje bitovú chybovosť menšiu ako 10^{-10} a spojovaciu schopnosť na 99,9% územia Spojených štátov .

Systém umožňuje pokrytie viac ako 95% povrchu Zeme, takmer 100% zemskej populácie a to nepretržite počas 24 hodín .

V začiatkoch bude satelitná sieť Teledesic disponovať maximálnou kapacitou 1 milión plne obojsmerných E - 1 spojení a bude mať dostatočnú kapacitu pre milióny užívateľov .

KONŠTELÁCIA SIETE

Konštelácia projektu Teledesic spĺňa sieťové požiadavky kvality, kapacity a integrity. Poskytuje vysokú kvalitu, veľmi rýchly bezdrôtový prenos pri určitej maximálnej používateľskej hustote spojení, ktoré požadujú pevnú šírku pásma. Systém Teledesic bude pracovať v pásme Ka . V tomto pásme sa prejavuje veľký vplyv dažďa, terénne prekážky a iné pozemské prekážky. Tieto vplyvy spôsobujú chyby pri komunikácii pozemských terminálov so satelitom pod nízkym elevačným uhlom. Na potlačenie týchto problémov používa konštelácia Teledesic veľký elevačný uhol (nad 40 stupňov). Nízka výška orbitálnych rovín satelitov (700 km) sa používa pre splnenie požiadaviek malého oneskorenia a kvôli zabezpečeniu spoľahlivosti spojení, ktoré používajú malé výkony a malé antény. Kombinácia nízkej výšky satelitov a veľkého elevačného uhla má za následok pokrytie malej oblasti jedným satelitom, z toho vyplýva, potreba veľkého počtu satelitov na globálne pokrytie Zeme. Vysoký stupeň redundancie pokrytia a použitie orbitálnych rezerv podporuje sieťové požiadavky spoľahlivosti .

Elevačný uhol

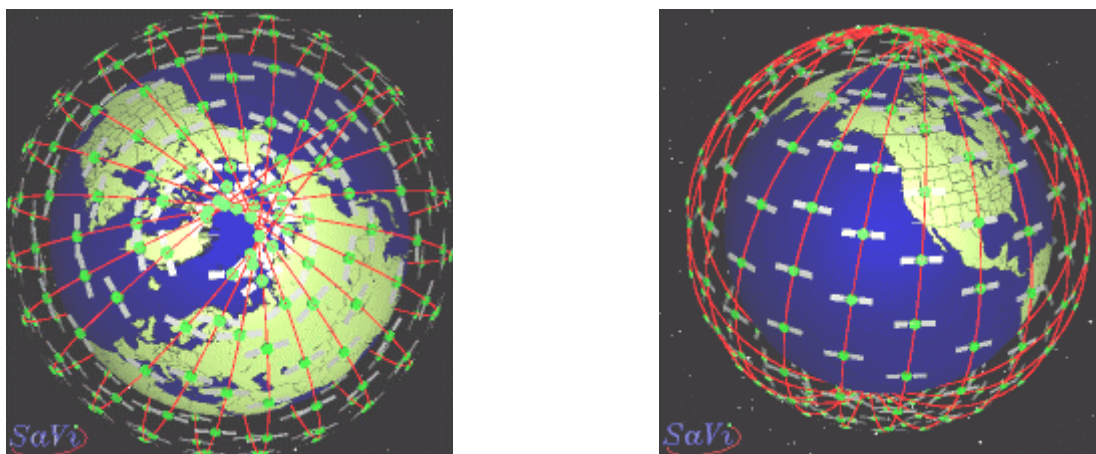
Teledesic sieť je navrhnutá tak, že ak sa nachádzame kdekoľvek na Zemi, tak komunikujúci satelit môžeme vždy pozorovať takmer priamo nad hlavou. Tým sa zabezpečí v každom čase a v každej pozícii elevačný uhol minimálne 40 stupňov. Tento elevačný uhol umožní užívateľom používať terminály vo väčšine úradov, na školách a v domácnostiach . Pri použití menšieho uhla sa rapídne zvyšuje pravdepodobnosť rušenia signálu susednými budovami, stromami a inými terénnymi prekážkami. Navyše, signál na vysokej frekvencii je tiež rušený dažďom a to hlavne vtedy, ak sa používajú malé elevačné uhly (signál musí prekonať väčšiu dráhu v rušivom prostredí).

5.5.1 ARCHITEKTÚRA SIETE TELEDESIC

Sieť Teledesic bude pozostávať z 288 operačných satelitov, ktoré budú rozdelené do 12 rovín, každá s 24 satelitmi. Satelity budú obiehať okolo Zeme vo výške 700 km. Každý satelit v konštelácii je uzlom v rýchlej paketovej-spínacej sieti a je prepojený pomocou medzisatelitných komunikačných liniek s 8 susednými satelitmi. Každý satelit je prepojený so 4 satelitmi v rovnakej rovine (2 vpredu a 2 vzadu) a so 4 v oboch susedných rovinách na oboch stranách (vpredu aj vzadu). Toto vzájomné prepojenie formuje viaccestnú sieť a poskytuje robustnú sieťovú konfiguráciu, ktorá je

odolná voči poruchám a miestnym preťaženiám. Na obrázku č.26 je znázornená konštelácia systému Teledesic .

Teledesic bude pracovať v Ka pásme na frekvenciách 28,6 – 29,1 GHz pre up-link a 18,8 – 19,3 GHz pre down-link.



Obr.č.26 Konštelácia systému Teledesic

Kvôli efektívnemu využívaniu rádiového spektra budú frekvencie pridelované dynamicky. Systém Teledesic podporuje šírku pásma na požiadanie, čím umožňuje používateľovi požiadať o priradenie kapacity akú potrebuje. Samozrejme, že používateľ bude platiť len za kapacitu, ktorú aktuálne využíva.

Sieť Teledesic, obdobne ako sieť Skybridge, pozostáva z pozemného segmentu a kozmického segmentu.

- Pozemný segment obsahuje :
 - . terminály
 - . sieťové ústredne
 - . sieťové operačné a riadiace systémy
- Kozmický segment obsahuje :
 - . satelitnú sieť založenú na prepínaní ,ktorá zabezpečuje spojenia medzi terminálmi

Terminály sú koncovými bodmi siete Teledesic a poskytujú rozhranie medzi:

- . satelitnou sieťou a koncovými používateľmi v terestriálnej sieti
- . satelitnou sieťou a inými sieťami.

Vykonávajú konverziu vnútorných protokolov siete Teledesic na štandardné protokoly terestriálnych sietí. Terminály v ústredniach a v užívateľských miestach komunikujú priamo cez satelitnú sieť Teledesic [9], ako je to znázornené na obrázku č.27.

Sieť používa rýchlu paketovú spíniacu technológiu založenú na ATM technológii, ktorá sa v súčasnosti využíva v LAN, WAN a B-ISDN sieťach. Celá komunikácia je vlastne tok krátkych buniek pevnej dĺžky. Každá bunka

pozostáva z hlavičky, ktorá obsahuje cieľovú adresu a zabezpečovaciu časť a z informačnej časti, ktorá prenáša digitálne zakódovaný zvuk, video alebo dáta. Konverzia do buniek a späť je vykonávaná v termináloch. Rýchla paketová-spínacia technológia je ideálna pre dynamickú povahu LEO siete.

Satelit používa 3-osovú stabilizáciu . Veľký solárny panel sa skladá z množstva článkov, za účelom lepšieho zužitkovania slnečnej energie.

KOMUNIKAČNÉ LINKY A TERMINÁLY .

Všetky komunikačné linky systému Teledesic prenášajú dáta, video a zvuk v paketoch pevnej dĺžky (512 bitov). Základná časť kapacity kanála sa volá „ základný kanál“, ktorý poskytuje 16 kbit/s dátovú rýchlosť a podporuje pridružený „ D- kanál“ s rýchlosťou 2 kbit/s pre signalizáciu a kontrolu. Základné kanály sa môžu zlučovať, aby sa dosiahli vyššie dátové rýchlosti. Napríklad, 8 základných kanálov môže byť zlúčených, čím získame ekvivalent linky 2B-D ISDN, alebo môže byť zlúčených 97 kanálov, čím získame ekvivalent T –1 (1,544 Mbit/s). Terminál Teledesic vie spracovať súčasne mnohonásobné sieťové spojenia. V konečnom dôsledku, dve sieťové spojenia môžu pracovať na rôznych rýchlostiach .

Linky sú zakódované kvôli ochrane proti nepovolenému odpočúvaniu. V termináloch sa vykonáva kódovanie/dekódovanie a konverzia do a z paketového formátu . Up-linky používajú dynamickú výkonovú kontrolu RF vysieláčov, takže na vykonávanie požadovanej komunikácie sa používa minimálne množstvo energie. Minimálny vysielací výkon je používaný pri vhodných podmienkach (bezoblačno, neprší) . Vysielací výkon sa zvyšuje v prípade zlých podmienok (dažď) .

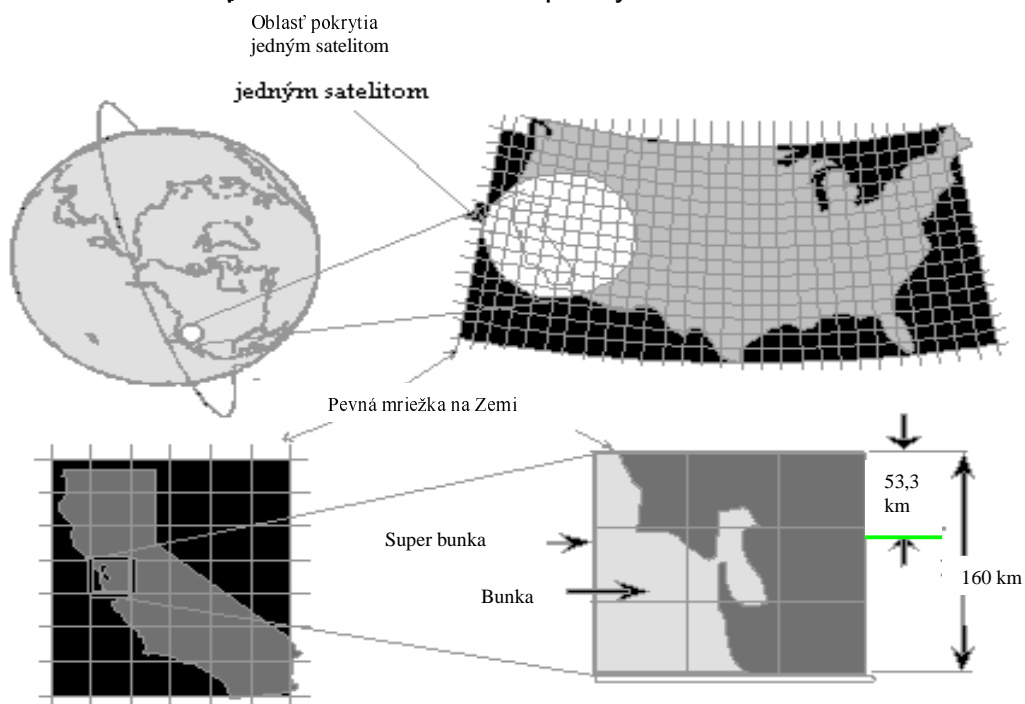
Sieť Teledesic vyhovuje širokému výberu terminálov a dátových rýchlostí . Štandardné terminály budú podporovať konfiguráciu , ktorá pracuje v násobkoch 16 kbit/s základného kanálu až po 2,048 Mbit/s (ekvivalent 128 základných kanálov) . Tieto terminály môžu používať antény s rozmermi od 16 cm do 1,8 m .Veľkosť antény závisí od maximálnej vysielacej rýchlosti terminálu a klimatických podmienok. Ich priemerný vyžarovací výkon sa mení od 0.01 W do 4.7 W a závisí od parametrov antény, prenosovej rýchlosti kanálu a klimatických podmienok . Všetky dáta s prenosovou rýchlosťou až do 2,048 Mbit/s môžu byť prenášané s priemerným výkonom 0,3 W pri použití vhodnej veľkosti antény .

Sieť taktiež podporuje určité množstvo pevných GIGALINK terminálov pracujúcich na OC-3 rýchlosti (155,52 Mbit/s) a násobkoch tejto rýchlosti až do OC-24 (1,24416 Gbit/s) . Antény pre takéto terminály sa menia od 28 cm do 1,6 m . Veľkosť antény, podobne ako u štandardných terminálov, závisí od maximálnej vysielacej rýchlosti terminálu a klimatických podmienok. Vyžarovací výkon sa mení od 1 W do 49W a závisí od parametrov antény, dátovej rýchlosti a klimatických podmienok .

GIGALINK terminály poskytujú prepájacie body pre NOCC (Network Operations and Control Centers) a COCC (Constellation Operations Control Centers). Tiež slúžia ako prepájacie body k iným sieťam a k iným vysoko rýchlostným terminálom. COCC koordinuje počiatkové rozmiestnenie satelitov, zabezpečuje rozloženie náhradných satelitov, diagnostikuje a odstraňuje poruchy, prípadne odstraňuje satelity z orbitálnej dráhy. Jeden satelit môže podporovať až do 16 GIGALINK terminálov, ktoré sú v jeho pracovnom priestore. Medzisatelitné linky prepájajú príslušný satelit s 8 satelitmi v jeho blízkosti. Každý satelit je prepojený so 4 satelitmi v rovnakej rovine (2 vpredu a 2 vzadu) a so 4 v oboch susedných rovinách na oboch stranách (vpredu aj vzadu). Každá medzisatelitná linka pracuje s rýchlosťou 155,52 Mbit/s a násobkami tejto rýchlosti až do 1,24416 Gbit/s závisiacej od požiadavky okamžitej kapacity .

BUNKY S PEVNÝM MIESTOM NA ZEMI

Jednou z výhod malého rozsahu satelitov je, že každý satelit môže obsluhovať celú svoju oblasť pokrytia s veľkým počtom vysoko účinných snímacích lúčov. Každý lúč sleduje iba jednu malú bunku. Malé bunky umožňujú efektívne opätovné využitie spektra, vysokú hustotu kanálov a nízku spotrebu energie na prenos. Ak máme takúto štruktúru malých buniek pokrývajúcu zemský povrch, tak pri rýchlosti satelitu (približne okolo 25 000 km/h) bude príslušný kanál satelitu pokrývať bunku iba pár sekúnd, kým nebude potrebné pridelenie kanálu ďalšej bunke. Tak ako v prípade pozemných bunkových systémov, príliš častá zmena kanálu má za následok jeho slabé využitie, vysokú náročnosť spracovania a nižšiu kapacitu systému. Sieť Teledesic využíva návrh buniek s pevným miestom na Zemi .



Obr.č.30 Mriežková štruktúra

Systém Teledesic mapuje povrch Zeme do pevnej mriežky s približne 20 000 super bunkami, z ktorých každá pozostáva z deviatich buniek. Každá super bunka je štvorec so stranou 160km. Super bunky sú usporiadané do skupín a tie sú umiestnené paralelne s rovníkom. V oblasti rovníka obsahujú skupiny približne 250 super buniek, ich počet však klesá s rastúcou zemepisnou šírkou (vzdialenosťou od rovníka). Pretože počet super buniek v skupine nie je konštantný, severné a južné okraje super buniek v susedných skupinách nie sú zarovnané. Mriežkovú štruktúru Zeme môžeme vidieť na obrázku č.30.

Oblasť pokrytia jedného satelitu obsahuje maximálne 64 super buniek alebo 576 buniek. Skutočné množstvo buniek pokrytých satelitom závisí od orbitálnej polohy satelitu a jeho vzdialenosti od susedných satelitov. Všeobecne platí, že satelit, ktorý je najbližšie ku stredu super bunky zodpovedá za jej pokrytie .