

Slovenská technická univerzita
Fakulta elektrotechniky a informatiky v Bratislave
Katedra telekomunikácií

Daniel IMRIŠKA

Analýza spätného kanálu komunikacného prostredia

Písomná práca k dizertacnej skúške

Obsah

1	Úvod	3
2	Multimediálne služby	5
2.1	Módy komunikácie	5
2.2	Triedy multimediálnych služieb	6
2.2.1	Distributívne služby	6
2.2.2	Interaktívne služby	6
2.3	Požiadavky služieb	7
2.4	Popis požiadaviek vybraných služieb	7
2.5	DVB	8
3	Spätný kanál	10
3.1	Spätný kanál z pohľadu niektorých existujúcich technológií a služieb	10
3.1.1	Telefónna sieť	11
3.1.2	ISDN	11
3.1.3	B-ISDN	13
3.1.4	xDSL	13
3.1.4.1	HDSL	14
3.1.4.2	ADSL	14
3.1.4.3	VDSL	15
3.1.4.4	Zhrnutie xDSL technológií	15
3.1.5	Televízne káblové rozvody	15
3.1.6	Silové vedenia	16
3.1.7	GSM	17
3.1.8	LMDS	18
3.1.9	VSAT	19
3.2	Porovnanie prístupových technológií	20
4	Analýza satelitného prostredia	22
4.1	Satelitné orbity	23
4.1.1	Geostacionárna obežná dráha	24
4.1.2	Vysoko eliptická obežná dráha	25
4.1.3	Nízka obežná dráha	25
4.1.4	Stredná obežná dráha	26
4.1.5	Porovnanie satelitných obežných dráh	26
4.2	Služby a frekvencné pásma	27
4.3	Vplyv prostredia	28
4.3.1	Tlmenie vplyvom šírenia voľným prostredím	28
4.3.2	Tlmenie atmosferickými plynmi	28
4.3.3	Tlmenie vplyvom dažďa	29
4.3.4	Cross-polarizácia v dôsledku dažďa	30
4.3.5	Tlmenie vplyvom hmly a mrakov	31
4.3.6	Tlmenie vplyvom snehu	31
4.3.7	Ostatné vplyvy	31
4.3.8	Porovnanie niektorých vplyvov	31
4.3.9	Kompenzácia vplyvov prostredia a dostupnosť linky	32
4.4	Satelitný komunikačný kanál	32
4.5	Energetická bilancia satelitného spoja	35
4.5.1	Výkon prijatého signálu	36
4.5.2	Výkon šumu na vstupe prijímaci	37
4.5.3	Pomer výkonu signálu a šumu na vstupe prijímaci	38
4.6	Možnosti jednotlivých skupín užívateľov	38
4.7	Payload satelitu	39
4.8	Typy pokrytia	41
4.9	Prístupové techniky	42

OBSAH

4.9.1	FDMA	42
4.9.2	TDMA	43
4.9.3	CDMA	44
4.9.4	SDMA	44
4.9.5	Pridelovanie kapacity	44
4.10	Satelitné systémy	46
5	Otvorené problémy	47
5.1	Ciele dizertacnej práce	48
6	Záver	49
7	Zoznam skratiek	50
8	Referencie	53

1 Úvod

Vývoj v oblasti výpočtovej techniky, komunikácie, informacných technológií, spracovania signálov a špeciálne v oblasti kompresie dát a kódovania v priebehu niekoľkých posledných rokov, vytvoril základy na integrovanie hlasu, obrazu a dát. Výraz multimédia označuje takúto integráciu dvoch alebo viacerých médií v rámci jednej služby alebo na jednom produkte (napr. videokonferencia alebo CD ROM).

Nové digitálne prenosové technológie sú schopné pracovať oveľa efektívnejšie v porovnaní s konvenčnými analógovými technológiami a otvárajú tiež priestor pre vznik nových služieb. Do popredia sa dostávajú interaktívne multimedialné služby, teda služby, kde užívateľ má možnosť ovplyvňovať priebeh poskytovanej služby.

V mnohých prípadoch ale existujúca komunikačná infraštruktúra neumožňuje poskytovanie týchto služieb. Niekedy je nepostacujúca kapacita, inokedy, vzhľadom na miesto kde sa má služba používať, neexistuje pozemská komunikačná sieť vôbec. Na poskytovanie interaktívnych služieb v takýchto oblastiach sú vhodné satelitné technológie.

S myšlienkou využitia satelitov na komunikačné účely prišiel už v roku 1945 Arthur C. Clarke. Bolo to 12 rokov pred vypustením prvého priemyselného satelitu (Sputnik) a 18 rokov pred vypustením prvého geosynchrónneho satelitu (Syncom).

V počiatočných éry satelitnej komunikácie sa ľudia snažili využívať pri komunikácii odraz signálu od „reflektorov“. Ako reflektory sa používali pokovované balóny (Echo1) alebo Mesiac. Obrovské parabolické antény, výkonné koncové zosilnovace a nízkošumové prijímacie boli potrebné, aby sa prijaté veľmi slabé signály vôbec dali použiť. Až použitie aktívnych opakovačov, zariadení na palube satelitu, ktoré prijímu slabý signál, zosilnia ho a pošlú späť smerom k Zemi, akcelerovalo vývoj satelitnej technológie na úroveň, s akou sa stretávame dnes. Súčasný typ satelitov využívajú moderné prenosové technológie a moderné postupy spracovania signálu. Podobne ako v iných oblastiach, aj v oblasti satelitnej komunikácie možno sledovať orientáciu smerom na digitálne techniky.

Satelitné technológie pokrývajú širokú oblasť služieb. Najznámejšie sú pravdepodobne prenos telefónnych hovorov od pevných a mobilných užívateľov a televízne a rozhlasové vysielanie. Avšak satelitná technológia sa využíva aj napríklad pri prenose dát pre uzavreté skupiny užívateľov, dohľade nad objektmi, komunikácii s vesmírnymi sondami, navigácii lodí, ľudí a iných objektov (napr. striel), prístupe na Internet a pri verifikácii kariet.

Ak sa pozrieme na svetové štatistiky, tak na svete je niekoľko desiatok miliónov ľudí pripojených k Internetu a niekoľko miliárd ľudí s TV prijímacom. Na základe vývojových trendov sa tieto čísla neustále zvyšujú a stále viac a viac ľudí bude požadovať interaktívne služby. Navyše, väčšina dnešných televíznych divákov je z pohľadu interaktivity pasívnych. Čísla potenciálnych užívateľov interaktívnych služieb sú obrovské. Výzvou zostáva poskytovanie služieb množstvu užívateľov s veľkými nárokmi na kapacitu, ktorá sa dá očakávať. Čo sa týka bežných užívateľov, charakter zaťaženia siete bude rozdielny v závislosti od geografickej polohy a času a na efektívne zvládnutie takéhoto zaťaženia, bude potrebný vhodne dimenzovaný adaptívny systém.

Je zrejmé, že všetky komunikačné požiadavky nebudú realizované len satelitnými technológiami. Satelitné a pozemské systémy budú navzájom spolupracovať a bude medzi nimi existovať určité zdravé súťaženie.

Táto práca sa zaoberá analýzou komunikačného prostredia pre poskytovanie interaktívnych služieb s dôrazom na satelitné prostredie. V kapitole 2 je spracovaná kategorizácia multimedialných

služieb a užívateľov, ako aj požiadavky niektorých služieb z hľadiska prenosovej rýchlosti, prenosového oneskorenia a povolenej chybovosti v závislosti na smere komunikácie. V ďalšej časti sú analyzované možnosti realizácie komunikácie v spätnom smere. Obsiahnutá je väčšina bežne dostupných služieb a prenosových médií s ohľadom na číslicové prenosové technológie. V kapitole 4 je následne detailnejšie analyzované satelitné komunikčné prostredie, jednotlivé vplyvy s ktorými je treba uvažovať pri prenose voľným prostredím ako aj spôsob komunikácie prostredníctvom satelitného kanála. Spomenuté sú tiež základné typy satelitných transpondérov, typy pokrytia a prístupové metódy používané pri satelitnej komunikácii. V poslednej časti sú popísané niektoré otvorené problémy a ciele dizertacnej práce.

2 Multimedialne služby

Komunikacné služby umožňujú prenos informácií ľubovoľného typu (napr.: obrázky, zvuk, rec, počítačové dáta). Forma prezentácie informácií je veľmi dôležitý faktor pre realizáciu samotného prenosu. Na základe separačného princípu teórie informácií nedochádza k strate optimálnosti, ak je úloha preniesť signál zo zdroja cez kanál rozdelená na úlohu vyjadrenia signálu v binárnej podobe a na úlohu preniesť príslušnú binárnu postupnosť cez kanál [1]. V nasledujúcej časti budeme uvažovať s číslicovou (digitálnou) formou prezentácie údajov.

Kategorizáciu služieb je možné urobiť na základe rôznych hľadísk. Možno zohľadňovať požiadavky na mobilitu, prenosovú rýchlosť, dostupnosť služby a mnohé ďalšie.

Rozdielne skupiny užívateľov majú zvyčajne odlišné požiadavky na kvalitu služieb a často sú aj ochotné platiť (ak je to potrebné) rôzne množstvo peňazí za poskytovanie tej ktorej služby [2]. Z tohto hľadiska možno rozlišovať viacero skupín užívateľov.

Jedným z možných prístupov delenia užívateľov je rozdelenie do troch skupín:

? Skupina A:

Malí užívatelia (napr. fyzické osoby). Vyžadujú prístup k štandardným typom služieb s garantovanou kvalitou. Chceli by tiež prístup k novým, aktuálnym službám, ale nie sú ochotní za ne príliš veľa platiť. Preto sú malí užívatelia zvyčajne spokojní s poskytovaním nových služieb s čiastočne degradovanou kvalitou, čo umožňuje poskytovať službu so zníženou cenou a zvyšuje ich inklináciu k týmto službám.

? Skupina B:

Strední užívatelia (napr. stredne veľké firmy). Požadujú kvalitnejšie služby ako Malí užívatelia a taktiež sú ochotní platiť za ne viac. Služba je pritom zvyčajne zdieľaná viacerými užívateľmi, čo takisto zvyšuje požiadavky na kvalitu poskytovanej služby.

? Skupina C:

Veľkí užívatelia (napr. veľké firmy, vládne organizácie, univerzity). Požadujú ešte vyššiu kvalitu ako strední užívatelia a sú takisto schopní platiť relatívne veľké poplatky za poskytované služby. Služby sú zvyčajne zdieľané veľkým množstvom užívateľov, alebo jeden užívateľ, resp. viacerí vyžadujú vysokú kvalitu.

Niektorí individuálni užívatelia pravdepodobne nekorešpondujú so skupinami uvedenými v predchádzajúcom texte, avšak títo môžu byť zaradení do niektorej inej skupiny. Napríklad malý výskumný podnik orientujúci svoje aktivity do výskumu ATM bude mať pravdepodobne požiadavky podobné ako užívatelia zo Skupiny C, preto môže byť zaradený do tejto skupiny.

2.1 Módy komunikácie

Komunikácia môže byť uskutočňovaná v rôznych módoch líšiacich sa v spôsobe toku informácií. Možno pritom rozlišovať štyri nasledujúce módy komunikácie:

? Distribúcia (Distribution)

Informácia je len doručovaná (distribuovaná) príjemcom (napr.: distribúcia správ). Pre tento spôsob komunikácie je charakteristický jednosmerný tok informácií. Príjemca pritom môže, ale nemusí mať určitú obmedzenú možnosť lokálneho riadenia informácií.

? Dotazovanie (Retrieval)

Informácia je doručovaná príjemcom ako odpoveď na ich otázku (dotaz). Pre dosiahnutie tohto spôsobu komunikácie je potrebný obojsmerný tok informácií. Charakteristickou

vlastnosťou toku informácií je, že je rozdielny v smeroch komunikácie. Relatívne veľké množstvo informácií je dopravovaných k príjemcom a len malé množstvo informácií korešponduje dotazom od príjemcov.

? Systém správ (Messaging)

Informácia je od odosielateľa poslaná príjemcovi a príjemca zväčša pošle späť odosielateľovi odpoveď (napr.: systém pošty). Zvyčajne sa nevyžaduje doručenie informácie v reálnom čase a dočasné uloženie informácie je akceptovateľné. Informačný tok možno potom charakterizovať ako obojsmerný a väčšinou trvajúci len krátky časový okamih.

? Konverzácia (Conversation)

Ide o obojsmerný prenos informácií v reálnom čase (napr.: telefónna komunikácia). Informácia sa vymieňa medzi účastníkmi komunikácie a informačný tok je zvyčajne rovnaký v oboch smeroch.

2.2 Triedy multimediálnych služieb

V závislosti na módoch komunikácie môžeme rozlišovať dve základné skupiny služieb (Distributívne a Interaktívne) a celkovo rozoznávame štyri základné triedy služieb:

? Trieda A – Distributívne služby

Podskupina A1 – Distributívne služby s kontrolou užívateľa

Podskupina A2 – Distributívne služby bez kontroly užívateľa

? Trieda B – Vyhľadávacie služby

? Trieda C – Výmena správ

? Trieda D – Konverzačné služby

<i>Multimediálne služby</i>	
<i>Distributívne služby</i>	<i>Interaktívne služby</i>
? s kontrolou užívateľa	? Vyhľadávacie
? bez kontroly užívateľa	? Výmena správ
	? Konverzačné

Tabuľka 1 Rozdelenie multimediálnych služieb

2.2.1 Distributívne služby

Distributívne služby realizujú distribúciu údajov k užívateľovi alebo užívateľom. Sem zahrnujeme napríklad nasledujúce služby:

? Distribúcia (vysielanie) televízie

? Distribúcia televízie s vysokým rozlíšením

? Platená televízia

? Distribúcia dokumentov

? Distribúcia dát

? Near video on demand (poskytovanie videa na požiadanie)

2.2.2 Interaktívne služby

Interaktívne služby tvoria skupinu služieb, kde má užívateľ možnosť ovplyvňovať priebeh služby. Sú založené na interakcii s užívateľom. V podstate je možné dosiahnuť poskytovanie interaktívnej

služby na ľubovolnom type siete¹. V praxi hovoríme o interaktivite v takom prípade, ak existuje aj možnosť prenosu dát od užívateľa k poskytovateľovi služby.

Ako bolo uvedené v predchádzajúcej časti, rozlišujeme nasledujúce interaktívne služby:

- ? Vyhľadávacie služby. Napríklad:
 - o Prístup na Internet (World Wide Web)
 - o Video on demand (poskytovanie videa na požiadanie)
 - o Distančné vzdelávanie
 - o Teleshopping
 - o Služba informácií na požiadanie
- ? Výmena správ. Napríklad:
 - o Hlasová pošta
 - o Obrazová pošta
- ? Konverzačné služby. Napríklad:
 - o Telefónna služba
 - o Videotelefónna služba
 - o Prístup na Internet
 - o Telemedicina
 - o Videokonferenčná služba
 - o Teleworking

2.3 Požiadavky služieb

Jednotlivé triedy služieb, uvedené v predchádzajúcom texte, majú rozdielne základné požiadavky na vlastnosti komunikačnej infraštruktúry. Príslušné požiadavky sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

<i>Trieda služieb</i>	<i>Požiadavka</i>
Distributívne služby	Jednosmerný prenos
Vyhľadávacie služby	Obojsmerný (asymetrický) prenos
Výmena správ	Obojsmerný (store and forward) prenos
Konverzačné služby	Obojsmerný prenos (v reálnom čase)

Tabuľka 2 Požiadavky služieb na komunikačnú infraštruktúru

2.4 Popis požiadaviek vybraných služieb

V nasledujúcej tabuľke je súhrn vybraných požiadaviek niektorých multimediálnych služieb [2] z pohľadu:

- ? Prenosovej rýchlosti
- ? Maximálne prípustnej bitovej chybovosti (BER – Bit Error Rate)
- ? Prenosového oneskorenia
- ? Prenosového formátu

¹ V prípade distribúcie dát možno takisto hovoriť o interaktivite, ak používateľ má možnosť určitej kontroly nad službou. Kontrola sa však prejavuje len lokálne a zvyčajne je obmedzená na možnosť výberu z viacerých alternatív.

Služba	Prenos v smere od poskytovateľa služby				Prenos v smere od užívateľa			
	Formát	Prenosová rýchlosť [bit/s]	Prenosové onesk. [s]	BER [1]	Formát	Prenosová rýchlosť [bit/s]	Prenosové onesk. [s]	BER [1]
Hlasová komunikácia	PCM G.711	64k	0.4	10^{-3}	PCM G.711	64k	0.4s	10^{-3}
	ADPCM 2bit G.727	16k	0.4	10^{-4}	ADPCM 2bit G.727	16k	0.4	10^{-4}
	CS-ACELP G.729	8k	0.4	10^{-5}	CS-ACELP G.729	8k	0.4	10^{-5}
	G.723.1	5.3k, 6.3k	0.4	10^{-6}	G.723.1	5.3k, 6.3k	0.4	10^{-6}
	G.728	16k	0.4	10^{-5}	G.728	16k	0.4	10^{-5}
	Musicam	384k	0.4	10^{-5}	Musicam	384k	0.4	10^{-5}
Video telefónia	MPEG1, Layer 3	32k-320k	0.4	10^{-10}	MPEG1, Layer 3	32k-320k	0.4	10^{-10}
	H.320	64k-1.92M	0.4	10^{-4}	H.320	64k-1.92M	0.4	10^{-4}
	MPEG 4	14.4k-1M	0.4	10^{-4}	MPEG 4	14.4k-1M	0.4	10^{-4}
Distribúcia videa	H.323, H.324	14.4k-1M	0.4	10^{-4}	H.323, H.324	14.4k-1M	0.4	10^{-4}
	MPEG 2	1.5M-25M	1	10^{-10}	-	-	-	-
Video on demand	MPEG 2	1.5M-25M	1	10^{-10}	TBD ²	16k-64k	0.5	10^{-4}
Telenákup	TBD	16k-1.5M	0.5	10^{-6}	TBD	16k-128k	0.5	10^{-6}
Prístup na Internet	'IP pakety'	16k-10M	0.5	10^{-8}	'IP pakety'	16k-10M ³	0.5	10^{-8}
Telemedicína	TBD	64k-10M	0.5/6000	10^{-8}	TBD	64k-10M	0.5/6000	10^{-8}
Email	X.400	2.4k-128k	6000	10^{-5}	X.400	2.4k-128k	6000	10^{-5}

Tabuľka 3 Požiadavky niektorých typov služieb

Pri samotnom poskytovaní služby je potrebné brať do úvahy aj oneskorenie spôsobované napr. algoritmom spracovania signálu, kódovaním, konečnou rýchlosťou šírenia sa signálu v prostredí, prístupovou metódou.

2.5 DVB

V súvislosti so zavádzaním digitálnych technológií do vysielania a za účelom definovania medzinárodného štandardu v tejto oblasti vzniklo konzorcium DVB (Digital Video Broadcasting). V súčasnosti je jeho členmi viac ako 300 spoločností z oblasti vysielania, výroby, prevádzky a normalizácie [52]. DVB definovalo viacero špecifikácií, okrem iného aj špecifikácie, týkajúce sa vysielania prostredníctvom satelitu, káblových rozvodov, terestriálnych vysielacov a špecifikácie z oblasti poskytovania interaktívnych služieb. Najnovšie špecifikácie sa týkajú domácej multimediálnej platformy MHP (Multimedia Home Platform) a spätného kanálu realizovaného prostredníctvom satelitu DVB-RCS (Digital Video Broadcasting – Return Channel Satellite) [53].

V nasledujúcich bodoch je zoznam niektorých služieb, ktoré možno prevádzkovať na platforme DVB [59]:

- ? Vysielanie videa (televízia so štandardným alebo vysokým rozlíšením)
- ? Vysielanie audia
- ? Vysielanie dát
- ? Streaming audia a videa

² TBD (To Be Defined) – bude definovaný neskôr

³ V smere od používateľa je zvyčajne postacujúca zhruba 3 až 10 krát nižšia prenosová rýchlosť ako je rýchlosť v smere od poskytovateľa služby

- ? Poskytovanie hier
- ? Video na požiadanie
- ? Elektronické bankovníctvo
- ? Stávkovanie, kvízy, súťaže, hlasovanie
- ? Interaktívna reklama
- ? Virtuálne nakupovanie
- ? Prístup na Internet

3 Spätný kanál

Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, nevyhnutným predpokladom na realizáciu multimediálnych interaktívnych prenosových služieb je, okrem existencie dopredného komunikačného kanálu v smere od poskytovateľa služby k používateľovi, aj existencia komunikačného kanálu umožňujúceho realizovať prenos v smere od užívateľa k poskytovateľovi služby. Takýto prenosový kanál sa v literatúre označuje ako spätný kanál (return channel alebo upstream).

Technologické riešenie dopredného a spätného kanálu nemusí byť nevyhnutne také isté. Práve naopak, často dochádza ku kombinácii jednotlivých technológií. Vytvorená kombinovaná sieť je potom v závislosti od daných technológií viac alebo menej vhodná na poskytovanie príslušných komunikačných služieb. V prípade kombinovania technológií je nevyhnutné riešiť komplexný problém spolupráce jednotlivých sietí (napr. smerovanie, konverziu protokolov, zabezpečenie proti chybám).

V minulosti bola väčšina budovaných sietí stavaná pre potrebu poskytovania niektorej konkrétnej služby. Vznikali siete dedikované pre prenos reči (telefónna sieť), pre distribúciu televízneho signálu (pozemné vysielanie, satelitné vysielanie, káblové televízie) a mnohé iné. V snahe poskytovať ďalšie služby a zvýšiť záujem o už poskytované služby či upevniť svoju pozíciu na trhu, sa prevádzkovatelia postupom času usilujú o pokiaľ možno najefektívnejšie zhodnotenie prostriedkov investovaných do už existujúcich sietí, prípadne o využitie iných existujúcich služieb či prenosových médií. Dochádza k prebudovávaniu klasických televíznych káblových rozvodov na rozvody umožňujúce prenos v spätnom smere, rovnako tak dochádza k efektívnejšiemu využívaniu už položených účastníckych telefónnych vedení prostredníctvom nových xDSL technológií.

V nasledujúcej časti sú uvedené niektoré možnosti realizácie spätného kanálu v prostredí terestriálnych a satelitných sietí. Spracované sú len technológie prenosu prostredníctvom elektromagnetickej vlny⁴. Z hľadiska užívateľa je uvedená len prístupová časť komunikačnej infraštruktúry.

3.1 *Spätný kanál z pohľadu niektorých existujúcich technológií a služieb*

Z hľadiska prenosového média použitého na realizovanie spätného kanálu, môžeme hovoriť predovšetkým o kanáloch využívajúcich:

- ? Metalické vedenia
- ? Optické vlákna
- ? Volný priestor

Každé prostredie má svoje charakteristické vlastnosti a technológie, ktoré sa využívajú na komunikáciu a tvorí primárny faktor ovplyvňujúci komunikáciu z hľadiska fyzickej vrstvy referenčného modelu OSI [4].

Nasledujúca časť popisuje niektoré technológie umožňujúce realizáciu komunikácie v spätnom smere. Súčasťou všeobecného popisu technológií je aj popis najčastejšieho nasadenia v prípade interaktívnej multimediálnej komunikácie (IMK).

⁴ James Clerk Maxwell opísal elektromagnetickú vlnu ako elektrické pole oscilujúce v jednej dimenzii priestoru, magnetické pole oscilujúce v smere kolmom na dimenziu elektrického pola a elektromagnetickú vlnu šíriacu sa rýchlosťou svetla v smere kolmom na druhé dve dimenzie priestoru [3].

3.1.1 Telefónna sieť

Klasická telefónna sieť (POTS = Plain Old Telephony System) vznikla pre potreby prenosu hlasu (telefónnej služby), ktorý bolo treba prenášať obojsmerne a v reálnom čase. Pri určovaní frekvencnej charakteristiky sa vychádzalo z frekvencných zložiek reci a vtedajších technologických možností. V súčasnosti sa telefónna sieť používa aj na veľké množstvo nehlasových služieb, na prenos dát a faxových správ. Realizuje spojovo orientovanú službu. V prístupovej časti siete sa používajú metalické vedenia a frekvencná charakteristika telefónneho kanálu umožňuje prenos v rozsahu hovorového pásma 300Hz až 3400Hz.

Telefónny modem umožňuje použiť telefónny kanál na dátové prenosy [5], [6], [7], [11]. ITU-T definuje viacero protokolov upravujúcich pracovné frekvencie, techniky modulácie dát, spôsoby nadväzovania spojenia, atď.

<i>Odporúčanie</i>	<i>Rýchlosť [bit/s]</i>	<i>Modulácia</i>	<i>Prenos</i>	<i>Poloduplex / duplex</i>
V.21	300	2st. FSK	asynchrónny	poloduplex
V.22	1200	4st. DPSK	asynch./synch.	duplex
V.22bis	2400	16st. QAM	asynch./synch.	duplex
V.23	1200/75	2st. FSK	asynch./synch.	poloduplex
V.26bis	2400/75	4st. DPSK	synchronný	poloduplex
V.27ter	4800/75	8st. DPSK	synchronný	poloduplex
V.29	9600	16st. QAM	synchronný	poloduplex
V.32	9600	32st. QAM+TCM	synchronný	duplex
V.32bis	14400	32st. QAM+TCM	synchronný	duplex
V.33	14400/75	128st. QAM+TCM	synchronný	duplex
V.34	33600	1664st. QAM+TCM	synchronný	duplex
V.90	33600/56000	1664st. QAM+TCM+PAM	synchronný	duplex

Tabulka 4 Základné parametre modemov pre telefónnu sieť

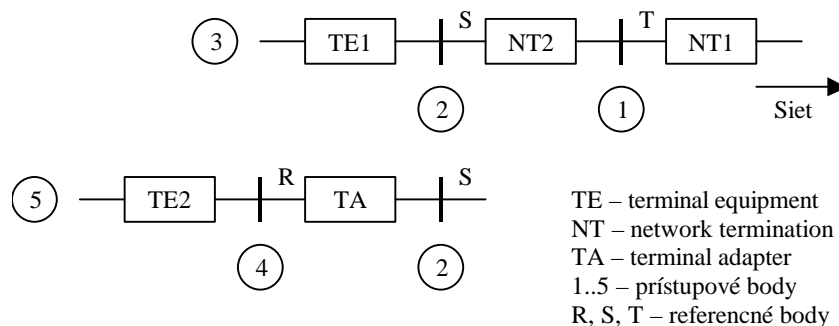
Klasická telefónna sieť je najrozšírenejšou sieťou na svete. Vzhľadom na využívané frekvencné pásmo a výkonovo-šumové pomery liniek, umožňuje dosahovať pri dátovej komunikácii maximálnu prenosovú rýchlosť⁵ rádovo 33(56) kbit/s. Neumožňuje mobilitu terminálov a pripojenie do siete je možné len v mieste existencie telefónnej prípojky. V prípade, keď prenos nie je realizovaný v rámci prenosovej trasy prostredníctvom satelitného spojenia, prenosové oneskorenie je v priemere rádovo do niekoľko desiatok milisekúnd.

Z hľadiska využitia v IMK sa telefónna sieť využíva na hlasovú, faxovú a v neposlednom rade aj na dátovú komunikáciu. Keďže komunikácia je cenovo relatívne nenáročná, využívajú ju hlavne užívatelia skupiny A. Telefónny kanál sa veľmi často používa pri prístupe na Internet, ale aj ako spätný interaktívny kanál v súčinnosti napr. s dátovými prenosmi cez káblové siete alebo cez satelit.

3.1.2 ISDN

ISDN (Integrated Services Digital Network) – Digitálna sieť integrovaných služieb, vznikla v snahe o vytvorenie univerzálnej celosvetovej siete integrovaných služieb [8]. ISDN vychádza z digitálnej telefónnej siete a je jej pokračovaním. Definuje transportné služby (bearer services) a štandardné služby (teleservices). Univerzálne užívateľské rozhranie UNI je schematicky zobrazené na nasledujúcom obrázku.

⁵ Kapacita Gaussovho kanála (kanál s AWGN) so šírkou 3000 Hz a odstupom signál šum 30 dB je 30000 bit/s [1].



Obrázok 1 Užívateľské rozhranie

Na UNI rozhraní sú definované dva základné typy kanálov:

- ? B - kanál – základný kanál pre prenos užívateľskej informácie, má prenosovú kapacitu 64kbit/s a pri prenose s prepájaním okruhov nikdy nenesie signalizačnú informáciu
- ? D - kanál – slúži hlavne na prenos signalizácie v móde prepájania okruhov. Jeho rýchlosť môže byť 16 kbit/s alebo 64 kbit/s v závislosti od typu prístupu do siete. Môže slúžiť aj na paketový prenos dát.

Vo všeobecnosti môže byť prístup prostredníctvom jediného D kanálu, alebo kombináciou B a H⁶ kanálov. Najrozšírenejšími prístupmi sú:

- ? Základný prístup na užívateľskom rozhraní je tvorený dvoma B kanálmi a jedným D kanálom. B kanál má rýchlosť 64 kbit/s, D kanál 16 kbit/s. B kanály môžu byť používané nezávisle na sebe.
- ? Prístup primárnym multiplexom v konfigurácii 30B+D (2048 kbit/s) alebo 23B+D (1544 kbit/s).

Prenos na rozhraní U⁷ nie je plne štandardizovaný. Ak ide o prenos primárnym multiplexom, referenčný bod U je vždy realizovaný štvordrôtom, optickým káblom, alebo rádio-releovým spojom. Pri základnom prístupe sa využíva:

- ? Štvordrôt – pre každý smer komunikácie je použitý samostatný pár vodičov
- ? Dvojdrt
 - o Frekvencný multiplex
 - o Prístup casovým delením (ping pong metóda)
 - o Súčasný obojsmerný prenos s echo kompenzáciou.

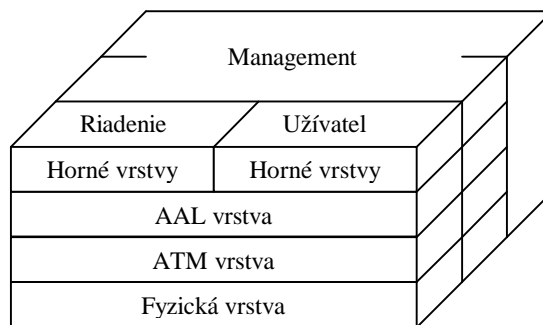
Z hľadiska využitia ISDN siete na realizáciu spätného smeru možno principiálne použiť ktorýkoľvek z prístupov na užívateľskom rozhraní. Rýchlosť prenosu potom môže byť maximálne 16 kbit/s - 2048 kbit/s v závislosti od používaného prístupu. Siet neumožňuje mobilitu terminálov. Umožňuje pripojiť viacero terminálov na jednu prípojku. ISDN sieť však zatiaľ nie je natoľko rozšírená ako klasická telefónna sieť a je aj cenovo náročnejšia.

⁶ H kanál poskytuje prenos rýchlostami, ktoré sú násobkami základného B kanála.

⁷ U rozhranie je medzi LT (Line Termination) na strane ústredne a NT (Network Termination) na strane účastníka.

3.1.3 B-ISDN

B-ISDN (Broadband ISDN) – širokopásmová ISDN sa snaží prekonávať nedostatky ISDN a je vhodná na prenos a prepájanie všetkých existujúcich a očakávaných komunikačných služieb. B-ISDN využíva ATM⁸ (Asynchronous Transfer Mode) ako prenosový mód [8], [9], [10]. B-ISDN referenčný protokolový model je zobrazený na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 2 B-ISDN referenčný model

Hlavnou úlohou fyzickej vrstvy je vytvoriť transportný mechanizmus pre služby v horných vrstvách. Mechanizmus prenosu na užívateľskom rozhraní môže byť realizovaný:

- ? Prenosom multiplexom ATM
- ? Prenosom pomocou SDH⁹

Pri prenose na UNI sa používajú prenosové rýchlosti 155.520 Mbit/s a 622.080 Mbit. Rozhranie pritom môže byť symetrické alebo asymetrické. Ako preferované prístupové médium sa používa optické vlákno, ale použiť možno aj koaxiálny kábel. Služba B-ISDN neumožňuje mobilitu terminálov a pripojenie je možné len v mieste existencie prípojného bodu. Vzhľadom na svoju cenovú náročnosť je využívaná hlavne veľkými spoločnosťami. V budúcnosti možno očakávať jej rozšírenie aj medzi bežných užívateľov.

3.1.4 xDSL

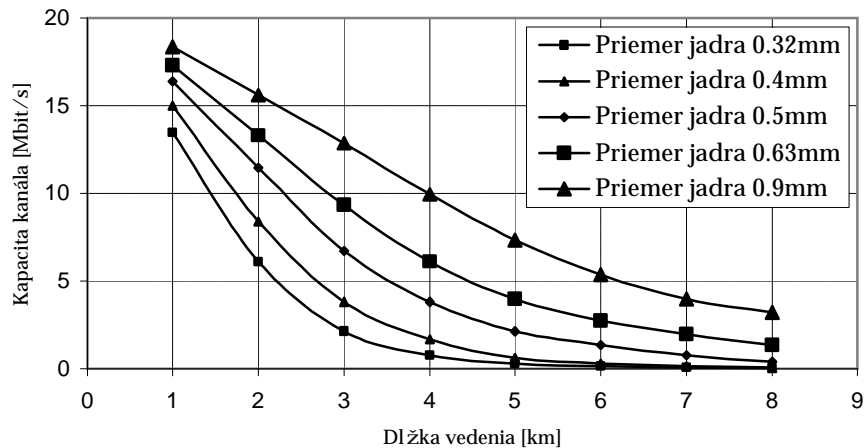
xDSL je spoločný názov pre technológie typu DSL (Digital Subscriber Line) – Digitálne účastnícke vedenie [11], [12], [13], [14]. Ide o technológie nasadené na účastníckych vedeniach (prístupová časť siete, časť vedenia od účastníka po telekomunikačnú ústredňu) a umožňujúce dosahovať relatívne veľké prenosové rýchlosti. Ich dosah je vo všeobecnosti obmedzený a klesá so vzdialenosťou na ktorú sú použité [15].

Skupinu xDSL technológií môžeme rozdeliť na 2+1 podskupiny:

- ? HDSL - High data rate DSL – Vysoko rýchlostné digitálne účastnícke vedenie
- ? ADSL - Asymmetrical DSL – Asymetrické digitálne účastnícke vedenie
- ? VDSL - Very high rate DSL – Veľmi vysoko rýchlostné účastnícke vedenie

⁸ ATM je spojoivo orientovaná služba, využíva technológiu asynchrónneho časového delenia a rýchle paketové prepájanie. Spolieha sa na kvalitné prenosové médiá a paket v ATM má 53 bajtov a je označovaný ako bunka (cell).

⁹ SDH – Synchronous Digital Hierarchy – Synchronná digitálna hierarchia, ide o synchronný prenosový systém používaný v telekomunikačnej technike.



Obrázok 3 Kapacita metalických liniek v závislosti od priemeru jadra a dĺžky vedenia [15]

3.1.4.1 HDSL

HDSL je symetrická rodina technológií, ktorá vznikla skôr ako asymetrické verzie. Základné parametre HDSL sú špecifikované v nasledujúcich bodoch:

- ? Prenosová rýchlosť 1.5 Mbit/s (T1) alebo 2 Mbit/s (E1)
- ? Dva (tri) páry vodičov do dĺžky zhruba 4 km
- ? Prenosový kód 2B1Q, prípadne niekedy modulácia CAP (Carrierless amplitude/phase modulation)¹⁰
- ? Odpor slucky musí byť do 900 Ohm
- ? Celkové tlmenie slucky musí byť menšie ako 35 dB

V súčasnosti sa pracuje na verzii tejto technológie (HDSL2) umožňujúcej dosahovať rovnaké rýchlosti a preklenúť rovnaké vzdialenosti ako pôvodná HDSL použitím 16 úrovňovej modulácie PAM (Pulse Amplitude Modulation).

Okrem základnej verzie HDSL existujú aj iné varianty. Sú to hlavne nasledujúce:

- ? MVL - Multiple Virtual Line
- ? SDSL - Single line DSL
- ? MDSL - Moderate bit rate DSL
- ? IDSL - ISDN DSL

3.1.4.2 ADSL

ADSL je asymetrická rodina technológií. Najdôležitejším členom tejto rodiny je ADSL, niekedy nazývaná tiež plná ADSL (full ADSL). Základné parametre ADSL sú špecifikované v nasledujúcich bodoch:

- ? Linkové kódovanie DMT¹¹ (Discrete Multi Tone) alebo modulácia CAP

¹⁰ CAP je podobná kvadrátúrnej amplitúdovej modulácii QAM. Ortogonálna signálová modulácia sa deje digitálne, používajú sa dva transversálne filtre s rovnakou amplitúdou a fázovým posunom $\pi/2$. Signály sú potom skombinované a prevedené na analógové prostredníctvom D/A prevodníkov.

- ? Prenosové pásmo 1.1 MHz delené na 255 kanálov
- ? Downstream 8-9 Mbit/s a upstream 800 kbit/s¹²
- ? Prenosové vedenie do dĺžky zhruba 6 km

Popri základnej verzii ADSL existujú aj iné varianty. Napríklad:

- ? RADSL – Rate Adaptive DSL
- ? G.lite (G.922.2).

Okrem toho existujú verzie špecifické pre jednotlivých výrobcov (napr. : CDSL, 1-Meg Modem).

3.1.4.3 VDSL

VDSL vychádza s ADSL a aplikuje sa v oblastiach, kde signál je dopravovaný po optických vláknach a kde existuje len veľmi krátke metalické vedenie. Základné parametre VDSL sú špecifikované v nasledujúcich bodoch:

- ? Prenosové vedenie do dĺžky zhruba 1.3 km
- ? Downstream 13-52 Mbit/s and upstream 1.5-2.3 Mbit/s
- ? Odpor slucky musí byť do 325 Ohm
- ? Prenosové pásmo zhruba 30 MHz

3.1.4.4 Zhrnutie xDSL technológií

Nasledujúca tabuľka obsahuje zhrnutie parametrov niektorých xDSL technológií.

<i>Technológia</i>	<i>Rýchlosť downstream</i>	<i>Rýchlosť upstream</i>	<i>Približný dosah</i>
HDSL	~ 2 Mbit/s	~ 2 Mbit/s	4 km
ADSL	~ 8 Mbit/s	~ 1 Mbit/s	6 km
VDSL	~ 50 Mbit/s	~ 2 Mbit/s	1 km

Tabuľka 5 Porovnanie jednotlivých xDSL technológií

Nasadenie jednotlivých xDSL technológií je limitované existenciou kvalitných účastníckych vedení. Neumožňuje mobilitu terminálov a z hľadiska použitia pre komunikáciu v spätnom smere umožňuje dosahovať rýchlosti rádovo jednotky Mbit/s a to len na vzdialenost maximálne niekoľkých kilometrov. Maximálna dosiahnuteľná rýchlosť vo všeobecnosti klesá so vzdialenosťou. Vzhľadom na využívanie už existujúcich účastníckych vedení, môže byť xDSL zaujímavou alternatívou pre bežných užívateľov pri poskytovaní interaktívnych multimediálnych služieb.

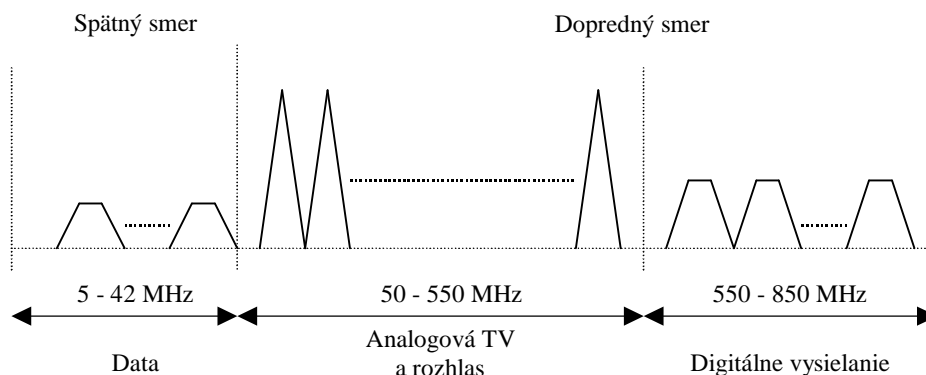
3.1.5 Televízne káblové rozvody

Klasické káblové rozvody (TKR) umožňujú šírenie signálu len zo strany poskytovateľa služby (headend) k užívateľovi [23]. TKR boli primárne stavané pre potreby distribúcie televízneho a rozhlasového signálu. Pre účely dopredného smeru sa používa frekvenčné pásmo rádovo 50 MHz - 550 (650, 750, 900) MHz z dôvodu kompatibility s bežnými TV a rádiovými prijímacmi. Ako prenosové médium slúži koaxiálny kábel, eventuálne optické vlákno. Optika je použitá väčšinou len na nosnej časti siete. Kombinovaná opticko-metalická kabeľáž sa v literatúre označuje ako HFC – Hybrid Fiber Coaxial. Vývoj smeruje k nasadzovaniu optických trás stále bližšie k účastníkovi.

¹¹ DMT využíva frekvencne delené multiplexovanie. Má 249 kanálov pre downstream v pásme 26 kHz - 1.1 MHz a 25 kanálov pre upstream v pásme 26 kHz - 134 kHz. Na prekryvajúcich sa kanáloch je využívaná echo kancelacná technológia.

¹² Typické hodnoty, v praxi sa zvyčajne používajú nižšie rýchlosti.

Pre účely komunikácie v spätnom smere sa väčšinou využíva pásmo 5 - 42 (65) MHz. Nasledujúci obrázok zobrazuje príklad rozloženia jednotlivých kanálov vo frekvenčnom spektre.



Obrázok 4 Príklad rozloženia kanálov v TKR

Existencia spätného smeru je podmienená použitím v rozvodoch zosilnovacov spracovávajúcich signál v oboch smeroch [19], [20]. Vzhľadom na topológiu siete je spätný kanál zdieľaný viacerými účastníkmi. Ich počet závisí od dizajnu siete. V rámci frekvenčného pásma 5 - 42 MHz je účastník (čiastočne aj okolie) zdrojom vysokého rušenia. K rušeniu prispieva vo veľkej miere aj pásmo 27 MHz, ktoré je vyhradené pre bezdrôtovú občiansku komunikáciu (CB - Citizen Band). Celkový šum sa potom kumuluje v smere od účastníkov. Pre účely samotnej dátovej komunikácie sa používajú káblové modemy. V tejto oblasti existujú dva základné štandardy:

- ? **DOCSIS** (Data Over Cable Service Interface Specification) [22]
 - o Prenosová rýchlosť v doprednom smere 27 Mbit/s (64 QAM) alebo 38 Mbit/s (256 QAM), v spätnom smere od 320 kbit/s do 10.24 Mbit/s
 - o Prenosové pásmo v doprednom smere 6 MHz
 - o Prenosové pásmo v spätnom smere používa sloty 200 kHz, 400 kHz, 800 kHz, 1.6 MHz a 3.2 MHz, modulácia QPSK alebo 16 QAM, prístupové schéma TDMA
 - o Prenosové oneskorenie v doprednom smere musí byť do 0.8 ms
- ? **DVB-RCC** (DAVIC-Digital Audio Visual Council) [21]
 - o Prenosová rýchlosť v doprednom smere 38 Mbit/s (64 QAM) alebo 52 Mbit/s (256 QAM), v spätnom smere 256 kbit/s, 1.544 Mbit/s a 3.088 Mbit/s
 - o Prenosové pásmo v doprednom smere 8 MHz, v spätnom smere 2 MHz
 - o V spätnom smere sa používa diferenciálna QPSK modulácia

TKR neumožňujú mobilitu terminálov. Komunikáciu v spätnom smere možno využívať len na systémoch s oživeným spätným smerom (nie všetky TKR splňajú túto podmienku). Dosiahnuteľná rýchlosť v spätnom smere je rádovo do 10 Mbit/s, avšak rýchlosť je zdieľaná medzi viacerými užívateľmi. Pri konfigurácii spätného kanálu sa zvyčajne uvažuje s rýchlosťou 64 (128) kbit/s pripadajúcou na jedného účastníka.

3.1.6 Silové vedenia

Dátová komunikácia prostredníctvom elektrickej rozvodnej siete sa používa na komunikáciu v rámci jednej budovy alebo na kratšie vzdialenosti [18]. Pri komunikácii na väčšiu vzdialenosť je treba uvažovať s transformátormi rozvodných závodov. Tieto transformátory umožňujú dobrý prenos energie pri frekvencii 50 (60) Hz, ale značne utlmia nosnú frekvenciu aj v relatívne

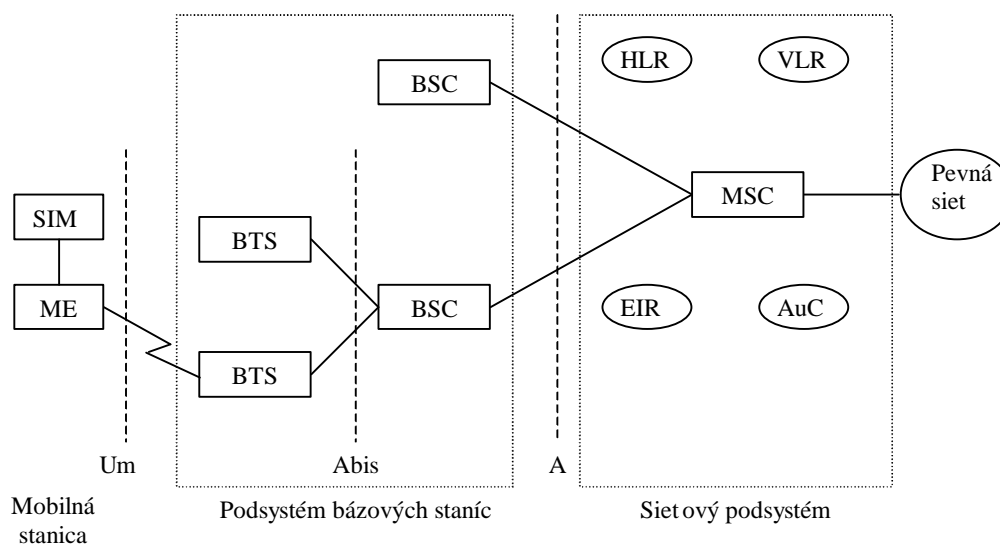
pomalejš dätovej komunikácii. Riešením môže byť vhodné premostenie transformátora. Problematická zostáva otázka rušenia [16], [17]. Hlavnými zdrojmi rušenia sú:

- ? Spínané zdroje
- ? Tyristorové regulátory – používané k regulácii otáčok a v stmievacoch. Produkujú impulzy s frekvenciou 100 alebo 120 Hz a obsahujú množstvo harmonických zložiek.
- ? Univerzálne sériové motory
- ? Komunikácia rozvodných závodov – hromadné diaľkové ovládanie.

Vzhľadom na rušenie je pre účely dätovej komunikácie použiteľná až frekvencia nad 100 kHz. Horná medzná frekvencia je daná požiadavkou neinterferovania s rozhlasovými stanicami (AM) a s ohľadom na ďalšie vplyvy predstavuje 450 kHz. K dispozícii je tak pásmo 100 – 450 kHz. V závislosti od použitej modulacnej a kódovacej technológie možno prakticky dosiahnuť rýchlosti rádovo do 10 kbit/s do vzdialenosti jednotiek kilometrov¹³. Na menšie vzdialenosti možno uvažovať s rýchlosťami do 100 kbit/s. V prípade, ak je malá prenosová rýchlosť postacujúca a vzhľadom na veľkú rozšírenosť silových vedení, možno aj so silovými vedeniami uvažovať ako s alternatívou pri poskytovaní niektorých typov interaktívnych služieb.

3.1.7 GSM

GSM (Global System for Mobile communication) je celulárny mobilný komunikacíny systém druhej generácie¹⁴, pracujúci na digitálnom princípe prenosu signálu a zameraný na účely prenos hlasu a dát pri malých rýchlostiach. Nasledujúci obrázok zobrazuje všeobecnú architektúru siete GSM.



Obrázok 5 Všeobecná architektúra siete GSM

Rádiové rozhranie siete Um využíva dve 25 MHz pásma alokované zvlášť pre uplink a pre downlink. Pásma sú 890 – 915 MHz a 935 – 960 MHz [24], [25]. Pri prístupe na pásmo sa používa

¹³ Príkladom takejto technológie je technológia „LonWorks“ od firmy Echelon. V USA sa používa štandard X-10, ktorý pracuje s amplitúdovou moduláciou 120 kHz nosnej frekvencie.

¹⁴ Systémy prvej generácie boli analógové mobilné systémy na prenos hlasu (napr. NMT, AMPS). Systémy druhej generácie sú digitálne a umožňujú prenosy do rýchlosti cca 14.4 kbit/s (napr. GSM, CDMA). Systémy tretej generácie umožňujú multimediálne prenosy do rýchlosti 2 Mbit/s (napr. UMTS).

frekvencne delený viacnásobný prístup s nosnou frekvenciou o šírke pásma 200 kHz. K dispozícii tak je 124 subpásiem. Každá nosná navyše obsahuje 8 časových slotov o dĺžke 577 ?s používaných na časovo delený prístup. Cyklicky opakovaná sekvencia 8 slotov sa nazýva TDMA rámec. Na ochranu proti chybám sa využíva dopredné kódovanie FEC (Forward Error Correction) a interleaving. Kódované dátové bloky sú delené, kryptované a modulované pomocou GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Uplink je oneskorený o 3 časové sloty voči downlinku. Dáta (aj kódovaná rec) sa prenášajú technológiou prepájania okruhov. Kanál s rýchlosťou 12 kbit/s je k dispozícii po FEC. Hrubá dátová rýchlosť kanálu na rozhraní Um je 22.8 kbit/s. Pre dátové prenosy je k dispozícii užívateľská rýchlosť 9.6 kbit/s. Zoslabením mechanizmu opravy chýb možno dosiahnuť rýchlosť 14.4 kbit/s.

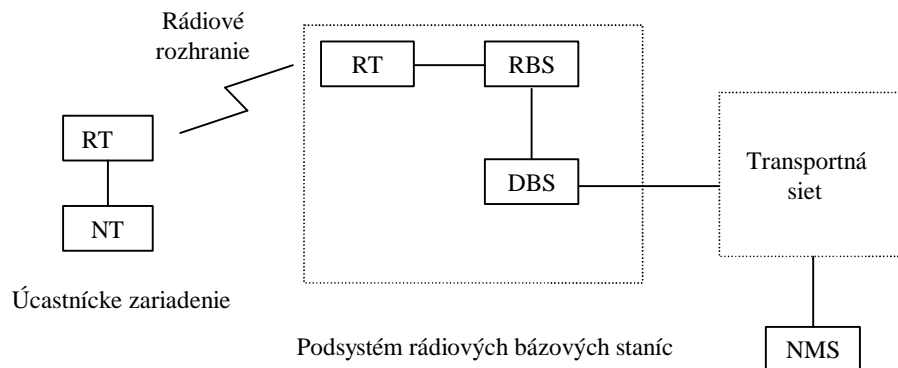
GSM sieť podporuje mobilitu terminálov (do rýchlosti zhruba 250 km/hod), roaming a handover, ako aj posielanie krátkych textových správ (SMS - Short Message System). GSM umožňuje tiež kombinovať niekoľko 9.6 kbit/s (14.4 kbit/s) kanálov do jedného rýchleho kanálu HSCSD (High Speed Circuit Switch Data). Dosah GSM siete možno uvažovať rádovo niekoľko kilometrov od BTS stanice.

GRPS (General Packet Radio Service) – všeobecná paketová rádiová služba je v podstate rozšírenie systému GSM, ktoré umožňuje prenos dátových paketov prostredníctvom rádiového rozhrania siete GSM [26]. Vzhľadom k teoretickej možnosti alokovať až 8 kanálov v rámci jedného spojenia jedného užívateľa, teoretická maximálna rýchlosť je 171.2 kbit/s. Podobne možno technológiou EDGE (Enhanced Data Rates) dosiahnuť rýchlosť 384 kbit/s.

Z hľadiska bežných užívateľov sú GSM služby pomerne cenovo výhodné. Ich pokrytie stále narastá a práve GSM sieť sa tak môže stať vhodnou alternatívou na poskytovanie spätného smeru pri IMK.

3.1.8 LMDS

LMDS¹⁵ (Local Multipoint Distribution System) je bunkový širokopásmový bezdrôtový prístupový systém realizujúci dvojcestné komunikačné služby (napr.: hlas, dáta, prístup na Internet). Zvyčajne pracuje na frekvenciách nad 10 GHz (25, 28, 40 GHz) v závislosti na krajine a alokovanom frekvencnom pásme [27], [28]. Vzhľadom na tieto frekvencie sa používajú smerové antény a je nevyhnutné, aby pri komunikácii bola zabezpečená priama viditeľnosť medzi vysielačom a prijímačom anténou. Dosah technológie je rádovo do 10 km. Bloková schéma LMDS systému je zobrazená na nasledujúcom obrázku.



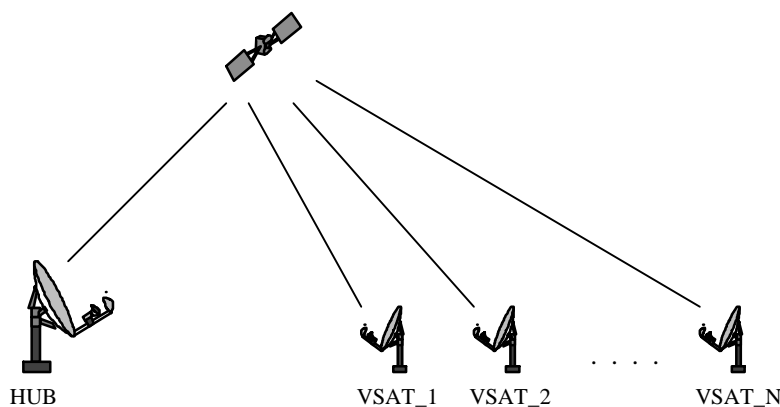
Obrázok 6 Bloková schéma LMDS systému

¹⁵ LMDS je niekedy tiež označovaná ako WLL (Wireless Local Loop) alebo FWA (Fixed Wireless Access) technológia

Tvar bunky (pokrytie) je závislý od anténneho systému použitého v básovej stanici. Mobilita terminálu nie je podporovaná. V závislosti od alokovanej šírky pásma (rádovo do 1.3 GHz), použitej modulácie (QPSK, 16QAM, prípadne inej) a prístupovej technológie, teoretická prenosová rýchlosť môže byť od niekoľkých kbit/s do niekoľkých Mbit/s. V súčasnosti sa v praxi najčastejšie stretávame s rýchlosťou rádovo 34 Mbit/s pre downlink a 2 Mbit/s pre uplink.

3.1.9 VSAT

Sieť terminálov VSAT (Very Small Aperture Terminal) je satelitný komunikačný systém využívajúci relatívne lacné a jednoduché satelitné terminály. Komunikácia sa zvyčajne uskutočňuje prostredníctvom centrálnej stanice označovanej ako HUB. Priama komunikácia medzi VSAT stanicami zvyčajne nie je možná. Počet VSAT terminálov býva rádovo do niekoľko sto terminálov. HUB stanica je na rozdiel od jednotlivých terminálov technologicky zložitejšia a využíva väčšiu parabolickú anténu, ktorá umožňuje znížiť požiadavky na rozmery antén jednotlivých terminálov. Komunikačný kanál vysielaný z HUB stanice, označovaný ako outbound, je spoločný pre všetky VSAT terminály. Jeho rýchlosť závisí od konfigurácie konkrétnej technológie a pohybuje sa zhruba od 64 kbit/s do niekoľkých Mbit/s, najčastejšie sa však používajú nižšie prenosové rýchlosti (napr. 128 kbit/s, 256 kbit/s). Dáta zo strany VSAT terminálov sa prenášajú prostredníctvom kanálu označovaného ako inbound. Jeho rýchlosť býva rádovo niekoľko desiatok kbit/s. Takýchto kanálov môže byť využívaných viacero. Pri prístupe na inbound kanál je potrebné použiť niektorý z MAC protokolov. Nasledujúci obrázok zobrazuje typickú topológiu siete VSAT.



Obrázok 7 Bloková schéma VSAT siete

Niektoré VSAT technológie nepotrebujú pri komunikácii HUB stanicu a komunikácia môže potom prebiehať priamo medzi VSAT terminálmi. Minimalizuje sa tak prenosové oneskorenie. Takéto terminály sú však technologicky náročnejšie a drahšie v porovnaní s hore spomínanými terminálmi. Zvyčajne sa používajú v sieťach s nižším počtom staníc.

Pri satelitnej komunikácii typu bod-bod sa zvyčajne používajú fixne alokované kanály a prenosová rýchlosť môže dosahovať rýchlosti rádovo desiatky Mbit/s prípadne viac.

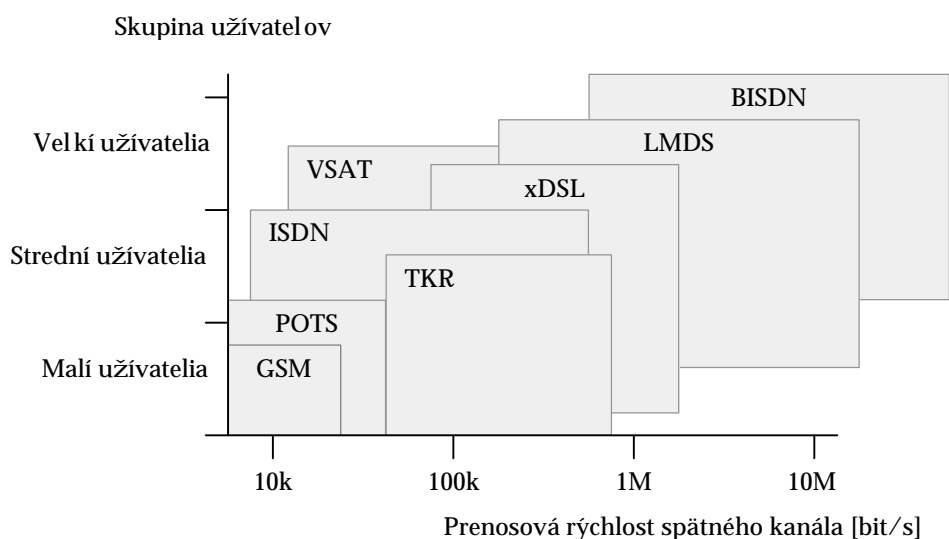
3.2 Porovnanie prístupových technológií

Nasledujúca tabuľka obsahuje porovnanie niektorých prístupových technológií.

Technológia	Rýchlosť - downstream [bit/s]	Rýchlosť - upstream [bit/s]	Kapacita - upstream	Prenosové médium	Podpora mobility	Cenová náročnosť ¹⁶
POTS	33.6k / 56k	33.6k	dedikovaná	metalické	nie	velmi nízka
ISDN - BRA	128k (144k)	128k (144k)	dedikovaná	metalické	nie	nízka
ISDN - PRA	2M	2M	dedikovaná	metalické	nie	stredná
B-ISDN	620M	155M	dedikovaná	optický kábel	nie	velmi vysoká
GSM	9.6k (14.4k)	9.6k (14.4k)	dedikovaná	voľný priestor	áno	nízka
GRPS	171.4k	171.4k	dedikovaná	voľný priestor	áno	stredná
EDGE	384k	384k	dedikovaná	voľný priestor	áno	stredná
Silové vedenia	10k	10k	zdieľaná	metalické	nie	nízka
TKR	52M	3M	zdieľaná	metalické	nie	nízka
HDSL	2M	2M	dedikovaná	metalické	nie	stredná
ADSL	8M	1M	dedikovaná	metalické	nie	stredná
VDSL	50M	2M	dedikovaná	metalické	nie	vysoká
LMDS	>100M	>100M	zdieľaná / dedikovaná	voľný priestor	nie	stredná
VSAT	>50M	10M	zdieľaná / dedikovaná	voľný priestor	nie	vysoká

Tabuľka 6 Porovnanie prístupových technológií

Nasledujúci obrázok ukazuje pozíciu niektorých technológií na trhu, tak ako ich využívajú jednotlivé skupiny užívateľov.



Obrázok 8 Pozícia na trhu

¹⁶ Z pohľadu užívateľa.

Z hľadiska realizácie komunikácie v spätnom smere môže byť veľmi výhodné použiť technológiu využívajúcu na prenos voľný priestor. Takáto technológia môže byť nasadená v relatívne veľmi krátkom čase (nevyžaduje sa zdĺhavá a finančne náročná pokládka káblov) a služba sa môže poskytovať na geograficky rozľahlejších územiach.

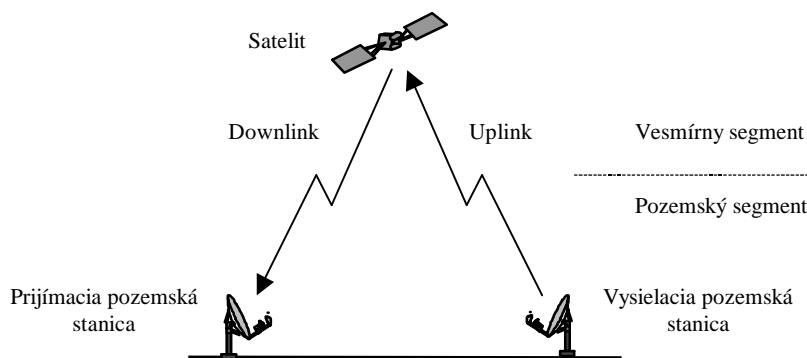
Pri nasadzovaní jednotlivých technológií sa zvyčajne berie ohľad na geografický výskyt potenciálnych zákazníkov v snahe rentabilne poskytovať komunikačné služby. Z tohto hľadiska sú potom väčšinou uprednostňovaní tí zákazníci, ktorí sa nachádzajú v oblastiach s vyššou koncentráciou potenciálnych zákazníkov (napr.: mestské časti). Zákazníci nachádzajúci sa v oblastiach s nižšou koncentráciou (napr. dediny, chaty, samoty) sú potom znevýhodňovaní.

4 Analýza satelitného prostredia

Satelitná komunikácia prešla veľkú cestu vývoja od svojich počiatkov až po dnes. Pre svoje charakteristické vlastnosti sa satelitné technológie a satelity stali neoddeliteľnou súčasťou nášho života.

Satelitná služba môže byť k dispozícii na ľubovoľnom mieste, kde je priama viditeľnosť satelitu. Priama viditeľnosť satelitu je nevyhnutná kvôli spôsobu šírenia sa rádiových vln na frekvenciách používaných pri satelitnej komunikácii. Satelity s ich typickou vlastnosťou distribúcie signálu, popri súčasnej minimalizácii nákladov, sú veľmi vhodné na distribúciu dát, televíznych a rozhlasových programov tisíckam užívateľov (resp. pozemným staniciam). Poskytovanie komunikacných služieb prostredníctvom satelitnej technológie môže byť alternatívou v regiónoch bez existujúcej komunikačnej infraštruktúry alebo so slabou pozemskou komunikačnou infraštruktúrou. Iba veľmi krátky čas (rádovo niekoľko minút) je potrebný na inštaláciu satelitnej stanice na strane užívateľa a nie je pritom nevyhnutné žiadne zdlhavé plánovanie. Satelitné systémy sú značne odolné voči prírodným katastrofám (napr. zemetraseniam) a v prípade poškodenia stanice je možné obnoviť prevádzku behom krátkeho času. Ďalšou z výhod satelitnej technológie je možnosť poskytovať službu na geograficky rozľahlých územiach, čo okrem iného ponúka taktiež možnosť poskytovania mobilných služieb. S poskytovaním satelitných služieb sú spojené aj niektoré nevýhody. Prevádzka satelitného komunikačného systému vyžaduje vysoké prvotné náklady. Údržba satelitu (vesmírneho segmentu) je veľmi zložitá a často prakticky nemožná. Signály prenášané na satelitných linkách sú často spojené s veľkým časovým oneskorením a niekedy možno pozorovať tiež variáciu tohto oneskorenia. Kvalita satelitnej linky je degradovaná viacerými činiteľmi (napr. tlmenie dažďom, depolarizácia, interferencie), ktoré musia byť zohľadňované pri návrhu a prevádzke satelitného komunikačného systému.

Nasledujúci obrázok zobrazuje základné časti satelitného komunikačného systému. Satelitný komunikačný systém pozostáva z pozemského segmentu a vesmírneho segmentu.



Obrázok 9 Základné časti satelitného komunikačného systému

Prenosová linka od pozemskej stanice smerom k satelitu sa nazýva uplink a prenosová linka smerom od satelitu k pozemskej stanici sa nazýva downlink.

Vesmírny segment pozostáva zo satelitu a všetkých pozemských častí slúžiacich na riadenie a monitoring satelitu [29]. Satelit tvorí:

- ? payload - užitočná časť (komunikačný podsystem), ktorá pozostáva z antén a elektroniky podporujúcej prenos signálu

- ? platforma (podporná časť), ktorá pozostáva zo subsystémov umožňujúcich činnosť payload, napr.: zdroj elektrickej energie, pohonný systém, termoregulačný systém.

Pozemský segment pozostáva zo všetkých zemských staníc, ktoré sú zvyčajne pripojené na zariadenia užívateľov. Niektoré stanice môžu pracovať aj ako vysielajúce a aj ako prijímajúce, niektoré však len ako prijímajúce alebo vysielajúce. V závislosti od mobility môžeme rozlišovať pevné, prenosné a pohyblivé stanice.

Základné parametre satelitného systému, ktoré je potrebné zohľadňovať pri poskytovaní komunikačných služieb sú:

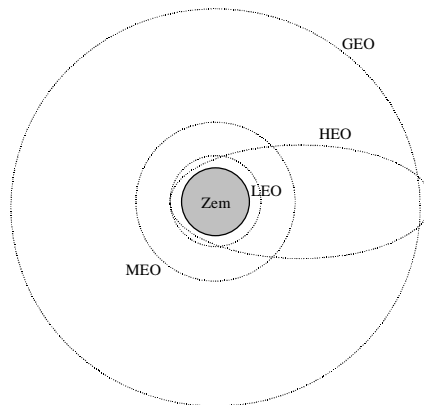
- ? Typ orbitálnej (obežnej) dráhy
- ? Frekvencné pásmo používané pri komunikácii
- ? Typ pokrytia
- ? Payload satelitu
- ? Prístupová metóda

4.1 Satelitné orbity

Orbita je trajektória, po ktorej sa pohybuje satelit v rovnováhe síl, ktoré naň pôsobia. Medzi takéto sily patrí napr. príťažlivá sila zemskej gravitácie a gravitácie iných planét, odstredivá sila vznikajúca vplyvom krivosti trajektórie satelitu, sila vznikajúca v dôsledku slnečného žiarenia a aerodynamická sila.

Vo všeobecnosti sa trajektória nachádza v rovine a je elipticky tvarovaná. Najvzdialenejší bod dráhy satelitu od Zeme sa nazýva apogeum (apogee) a najbližší bod dráhy satelitu od Zeme sa nazýva perigeum (perigee).

Principiálne môže mať rovina orbity ľubovoľnú orientáciu a orbita môže mať ľubovoľný eliptický tvar. Parametre obežnej dráhy sú určené počiatočnými podmienkami v čase vypustenia satelitu na obežnú dráhu. V dôsledku perturbácií sa parametre obežnej dráhy postupom času menia, a preto je potrebné udržiavať satelit na príslušnej obežnej dráhe.



Obrázok 10 Príklad tvarov a rozmerov rôznych typov obežných dráh

Nasledujúce typy obežných dráh majú užitočné vlastnosti z hľadiska telekomunikačného využitia [29]:

- ? GEO (Geostationary Orbit) – Geostacionárna obežná dráha
- ? MEO¹⁷ (Medium Earth Orbit) – Stredná obežná dráha

¹⁷ Niekedy tiež označovaný ako ICO (Intermediate Circular Orbit).

- ? LEO (Low Earth Orbit) – Nízka obežná dráha
- ? HEO (Highly Elliptical Orbit) – Vysoko eliptická obežná dráha

4.1.1 Geostacionárna obežná dráha

Satelit sa nachádza nad rovníkom, v nadmorskej výške približne 36000 km a obieha okolo Zeme v smere jej rotácie. V tejto nadmorskej výške je obežná doba satelitu na orbite zhodná s časom otáčania sa Zeme (23 hodín, 56 minút a 4 sekundy). Z pohľadu stacionárneho pozorovateľa nachádzajúceho sa na povrchu Zeme sa satelit javí ako keby bol fixne umiestnený na oblohe. Z dôvodu rôznych perturbácií by bolo ale veľmi nákladné a takmer nemožné udržiavať satelit absolútne nemobilný vo vzťahu k Zemi, a tak je prípustná určitá voľnosť. Satelit sa udržiava v definovanom priestore označovanom ako „station keeping window“¹⁸.

Vypustenie satelitu na geostacionárnu obežnú dráhu si vyžaduje použitie finančne nákladného druhu rakiet. Samotné umiestnenie na konečnú pozíciu sa pritom deje niekoľkými manévrami v snahe minimalizovať spotrebu paliva satelitu [29].

V prípade malých pozemských staníc je na komunikáciu prostredníctvom GEO satelitov postacujúca fixná anténa a nie je potrebné smerovacie zariadenie (tracking system). Elevačný uhol antény sa znižuje s narastajúcim rozdielom v zemepisnej šírke alebo rozdielom v zemepisnej dĺžke medzi pozemskou stanicou a satelitom. Prenosové podmienky sa pritom zhoršujú postupným znižovaním elevačného uhla z dôvodu perturbáčnych efektov (napr.: tlmením v atmosfére). Špeciálnym prípadom je prevádzka pri elevačných uhloch menších ako 10 stupňov. Z tohto dôvodu sú oblasti v blízkosti severného a južného pólu nedosiahnuteľné GEO satelitmi.

Vzhľadom na nadmorskú výšku, jeden GEO satelit môže pokryť relatívne veľké geografické územie (približne 43% zemského povrchu), zatiaľ čo 3 GEO satelity môžu zabezpečiť kontinuálne celosvetové pokrytie (s výnimkou oblastí blízko pólů)¹⁹.

GEO satelit môže byť použitý na globálne alebo regionálne pokrytie. Regionálne systémy majú redukované pokrytie a vyžadujú použitie lúče s menším uhlom vyžarovania, dôsledkom čoho narastá zisk antény satelitu a možno použiť menšie antény na pozemských stanicách.

Keďže GEO satelity umožňujú pokryť relatívne veľké územia, sú veľmi vhodné na poskytovanie distribučných služieb (napr.: vysielanie televízie) a komunikačných služieb typu point-to-multipoint (napr.: VSAT siete).

Z dôvodu veľkej vzdialenosti medzi pozemskými stanicami a satelitom, je aj prenosové oneskorenie medzi stanicami pomerne vysoké a dosahuje hodnoty rádovo okolo 260 ms. Toto vyžaduje použitie echo kancelačných zariadení na telefónnych kanáloch a v porovnaní s dátovými pozemskými prenosmi, ďaleko sofistikovanejšie protokoly. Situácia sa stáva komplikovanejšou so vzrastajúcim produktom súčinu prenosovej rýchlosti a prenosového oneskorenia [30].

Veľká vzdialenosť medzi pozemskými stanicami a satelitom spôsobuje aj veľké tlmenie pri šírení signálu a prakticky znemožňuje použitie ručné terminály, ktoré majú obmedzený vyžiarovaný výkon, na komunikáciu prostredníctvom GEO satelitov. Použitie prenosných terminálov je možné.

Vzhľadom na to, že vzdialenosť medzi satelitom a pevnou pozemskou stanicou je takmer casovo invariantná, Dopplerov efekt²⁰ je zanedbateľný. Casová invariantnosť sa poruší, keď satelit na konci svojej životnosti začne inklinovať.

¹⁸ Povolená je nepresnosť $\pm 0.1^\circ$ zemepisnej dĺžky pre FSS a BSS služby. Tolerancia $\pm 0.5^\circ$ zemepisnej dĺžky je prípustná pre satelity, ktoré nepoužívajú frekvencné pásma alokované pre služby FSS a BSS.

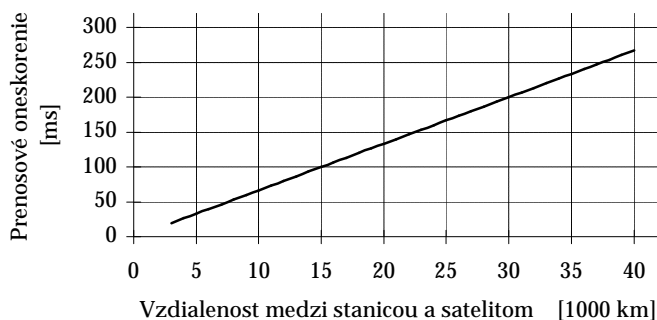
¹⁹ S touto myšlienkou prišiel už Arthur C. Clarke v roku 1945.

V súčasnosti je v prevádzke na obežnej dráhe okolo 200 GEO satelitov v rámci 360° orbitálneho oblúka (napr.: satelit IS707 na pozícii 1° W, alebo satelity Astra 1A až 1F na pozícii 19.2° E).

4.1.2 Vysoko eliptická obežná dráha

Pre satelit na eliptickej dráhe platí, že jeho rýchlosť nie je konštantná. Rýchlosť je maximálna v perigeu a minimálna v apoge. Samotná vzdialenosť medzi satelitom a Zemou sa mení a je v rozsahu 500 km - 45000 km, pričom pomer apogeum / perigeum je relatívne vysoký. Z tohto dôvodu je satelit viditeľný pre stanice nachádzajúce sa pod apogeom dlhšiu časť svojej obežnej doby, čo umožňuje zriadiť relatívne dlhotrvajúce komunikačné spojenia. Keď chceme, aby sa dali spojenia zostavovať opakovane, je potrebné, aby sa satelit systematicky vracal do apogea nad tým istým územím. Obežná doba satelitu preto musí byť celou časťou doby rotácie Zeme. Aj napriek tomu, že satelit zostáva počas niekoľkých hodín v blízkosti apogea, pohybuje sa s ohľadom na Zem a po určitom čase, závislom na polohe stanice, sa stratí za horizontom. Ak chceme mať možnosť zriadiť permanentné spojenia, je potrebné použiť niekoľko vhodne časovo zosynchronizovaných HEO satelitov na podobných orbitách.

Vzhľadom na vysokú nadmorskú výšku v apoge a pohyb satelitu, prenosové oneskorenie a tlmenie šírením sú relatívne veľké a časovo premenlivé. Je potrebné poznamenať, že aj samotné pokrytie je funkciou času. Pri komunikácii prostredníctvom HEO satelitov je možné dosiahnuť vysoké elevačné uhly (nad 55°) a prostredníctvom týchto satelitov je možné komunikovať aj s polárnymi oblasťami.



Obrázok 11 Prenosové oneskorenie stanica-satelit-stanica

HEO satelity vyžadujú použitie anténnych smerovacích systémov ak chceme uskutočňovať kontinuálnu komunikáciu počas prenosu. Okrem toho je treba uvažovať s handover procedúrami, ak sa používa viacero satelitov na kontinuálne pokrytie určitej oblasti. Nevýhodou HEO je veľký Dopplerov posun a znížená životnosť satelitov z dôvodu prechodu cez radiacné pásy.

Vypustenie satelitu na vysoko eliptickú obežnú dráhu si vyžaduje použiť takmer rovnako finančne nákladný druh rakiet ako pri GEO.

Orbity typu MOLNYA alebo TUNDRA sú príkladom vysoko eliptických obežných dráh.

4.1.3 Nízka obežná dráha

Satelity sa nachádzajú v nadmorských výškach v rozsahu 500 km – 3000 km na kruhových alebo eliptických orbitách. Vzhľadom na malú nadmorskú výšku, vyžiatý výkon môže byť menší v porovnaní s prípadmi GEO alebo HEO a možno použiť ručný terminál na komunikáciu

²⁰ Dopplerov efekt je efekt zníženia alebo zvýšenia pozorovanej frekvencie prenášaného signálu pri relatívnom pohybe prijímacej a vysielačkej strany.

prostredníctvom LEO satelitov. Zároveň je minimalizované aj prenosové oneskorenie na rádovo pár milisekúnd.

Kedže satelit sa nachádza v nízkej nadmorskej výške, obežná doba satelitu je malá (1 - 3 hodiny) a priemerná doba viditeľnosti satelitu na Zemi je len niekoľko minút. Preto ak je nevyhnutné zabezpečiť kontinuálne pokrytie určitého územia, treba použiť mnoho satelitov a zabezpečiť častý handover. V prípade pozemských staníc so smerovými anténami je potrebné použiť smerovacie zariadenia. V súvislosti s LEO satelitmi a ich relatívne malou obežnou dobou je treba rátať s dost veľkým Dopplerovým efektom.

V rámci LEO systémov môžeme rozlišovať dva základné prístupy:

- Použitie jedného alebo viacerých satelitov na globálne pokrytie. Satelit vtedy pracuje v móde prijatia správy, jej odpamätania a vyslania, keď sa nachádza nad miestom, kam je správa určená, alebo odkiaľ bude smerovaná ďalej. Satelit preto musí disponovať pamäťovým systémom. Takýto spôsob prenosu môže byť využitý pri komunikácii v systéme výmeny správ (napr.: email), alebo na pozorovacie a prieskumné účely (napr.: prieskum Zeme).
- Použitie množstva satelitov s dômyselným riadením obežnej dráhy a zabezpečením globálneho kontinuálneho pokrytia (napr.: systém Iridium).

Na umiestnenie LEO satelitu na obežnú dráhu postacuje, v porovnaní s GEO alebo HEO, finančne menej nákladný druh rakiet.

4.1.4 Stredná obežná dráha

Obežná dráha sa nachádza v nadmorskej výške z rozsahu 10000 km – 14000 km a zvyčajne je umiestnená medzi dvoma Van Allen-ovými²¹ radiácne pásy. Vlastnosti takýchto konštelácií sú niekde medzi tými, aké majú konštelácie LEO a GEO (priemerná viditeľnosť 1 - 2 hodiny, prenosové oneskorenie menšie ako pri GEO a väčšie ako pri LEO, a pod.).

4.1.5 Porovnanie satelitných obežných dráh

Nasledujúca tabuľka obsahuje porovnanie základných parametrov jednotlivých typov orbít.

Parameter	Obežná dráha			
	GEO	MEO	LEO	HEO
Nadmorská výška [km]	35 786	10000 - 14000	500 - 3000	500 – 45000
Obežná doba [hod]	23.9347	6 - 8	1 - 3	3 - 24
Prenosové oneskorenie [ms]	240 - 280 ²²	70 - 120	6 - 30	50 - 320 ²³
Dopplerov efekt	zanedbateľný	áno	áno	áno
Ručný terminál	nie	áno	áno	nie
Viditeľnosť	24 hod	niekoľko hodín	niekoľko minút	2-12 hod
Anténny smerovací systém (tracking)	nie	áno	nie (ručný t.). áno (stanica)	áno
Trieda vypúšťacích rakiet	vysoká	vysoká	nízka	vysoká

Tabuľka 7 Porovnanie základných parametrov obežných dráh

²¹ Van Allen-ové pásy sú dva toroidné pásy nachádzajúce sa v nadmorských výškach od 1500 km do 5000 km a od 13000 km do 20000 km. Nie je medzi nimi ostrý prechod. Principiálne sa môže obežná dráha nachádzať v zóne pásu. Pásy sú škodlivé pre solárne články a elektroniku na palube satelitu [31].

²² Závisí od vzájomnej polohy stanice a satelitu.

²³ Možno pozorovať veľkú zmenu prenosového oneskorenia.

4.2 Služby a frekvencné pásma

Použitie jednotlivých frekvencných pásiem z hľadiska komunikačných účelov (aj iných) je medzinárodne koordinované. Rozlišujú sa pritom nasledujúce satelitné služby:

- ? FSS (Fixed Satellite Service) - Fixná satelitná služba
- ? MSS (Mobile Satellite Service) - Mobilná satelitná služba
 - o MMS (Maritime Mobile Satellite Service) - Námorná mobilná satelitná služba
 - o AMS (Aeronautical Mobile Satellite Service) - Letecká mobilná satelitná služba
 - o LMS (Land Mobile Satellite Service) - Pozemná mobilná satelitná služba
- ? BSS (Broadcasting Satellite Service) - Vysielacia satelitná služba
- ? EES (Earth Exploration Satellite Service) - Pozemská výskumná satelitná služba
- ? SRS (Space Research Service) - Kozmická výskumná služba
- ? SOS (Space Operation Service) - Kozmická prevádzková služba
- ? ISS (Inter Satellite Service) - Medzisatelitná služba
- ? ASS (Amateur Satellite Service) - Amatérska satelitná služba

Samotné priradenie frekvencného pásma k danej službe závisí od regiónu. Svet je rozdelený do troch regiónov:

- ? Región 1: Európa, Afrika, Blízky Východ a krajiny bývalého Sovietskeho zväzu
- ? Región 2: Amerika
- ? Región 3: Ázia, okrem krajín bývalého Sovietskeho zväzu, Oceánia

Frekvencné pásma v jednotlivých regiónoch môžu byť alokované exkluzívne, alebo zdieľané viacerými službami. Jednotlivé krajiny majú pritom určité špecifiká, čo sa týka využitia spektra. O príslušnom využití v danej krajine potom hovorí národná frekvencná tabuľka. Niektoré frekvencné pásma sú uvedené v nasledujúcej tabuľke spolu s abecedným označením, ktoré sa používa pre dané pásmo.

Oznacenie pásma	Uplink / Downlink frekvencie
L	1.6 GHz / 1.5 GHz
C	6 GHz / 4 GHz
X	8 GHz / 7 GHz
Ku	14 GHz / 12 GHz, 14 GHz / 10 GHz, 18 GHz / 12 GHz
Ka	30 GHz / 20 GHz
Q	47 GHz / 44 GHz
V	50 GHz / 40 GHz

Tabuľka 8 Označenie niektorých frekvencných pásiem

V súčasnosti sú najpoužívanějšími frekvencnými pásmami pásma L, C, X a Ku. Súčasne však možno sledovať migráciu smerom k vyšším frekvencným pásmam. Stále viac satelitných operátorov začína prejavovať záujem o Ka frekvencné pásmo a vznikajú projekty na preverenie možností využitia ešte vyšších frekvencií. Dôvodov tejto migrácie je niekoľko:

- ? Existujúce frekvencné pásma sú takmer plne obsadené
- ? Ďalšie geostacionárne pozície nie sú voľné (špeciálne pozície nad Amerikou a Európou)
- ? Snaha ponúknuť nové, interaktívne služby
- ? Použitie vyšších frekvencií umožňuje použitie širšieho pásma na prenos
- ? Možno používať väčšie prenosové rýchlosti

- ? Vyššie frekvencie umožňujú používať menšie antény na vysielanie a príjem (zisk parabolických antén rastie s frekvenciou).

4.3 Vplyv prostredia

Pri satelitnej komunikácii sa prenos realizuje voľným priestorom. Zaujímavé je sledovať, aký vplyv má voľné prostredie, predovšetkým však atmosféra (troposféra²⁴ a ionosféra²⁵), na signál v závislosti od frekvencie a iných faktorov.

Pri prechode signálu zemskou atmosférou dochádza k zmene amplitúdy a fázy signálu, mení sa smer šírenia, dochádza k zmene polarizácie roviny šíriacej sa elektromagnetickej vlny a k iným nežiadúcim vplyvom. Veľkosť vplyvu týchto javov závisí tiež od dĺžky prenosovej cesty a elevačného uhla. Znižovaním elevačného uhla sa zvyšuje dĺžka prenosovej cesty cez atmosféru. Všetky tieto faktory majú významný vplyv na energetickú bilanciu satelitného spoja a v konečnom dôsledku môžu znehodnotiť kvalitu linky pod akceptovateľnú úroveň. Signál pritom prechádza atmosférou na vzostupnej ceste k satelitu a rovnako tak na zostupnej ceste od satelitu.

Dominantnými javmi, vzhľadom na svoj vplyv sú strata vplyvom šírenia voľným prostredím, ako aj tlmenie a cross-polarizácia vplyvom dažďa a snehu.

4.3.1 Tlmenie vplyvom šírenia voľným prostredím

Tlmenie vplyvom šírenia voľným prostredím (clear sky free space loss) vzniká v dôsledku smerového rozptylu energie lúča pri jeho šírení sa voľným prostredím a je definované ako [29]:

$$L_{FS} = \frac{4\pi^2 R^2}{\lambda^2} \quad [1] \quad (4.1)$$

kde R [m] je vzdialenosť medzi vysielacom a prijímacom a λ [m] je vlnová dĺžka signálu (nosnej) použitého pri komunikácii.

Praktickú prezentáciu tohto tlmenia je treba hľadať v skutočnosti, že zisk smerových žiaricov ako aj prijímacov sa porovnáva s izotropným žiaricom a tlmenie vplyvom šírenia sa voľným priestorom popisuje vlastne tlmenie vplyvom rozptylu v prípade všesmerového žiarica.

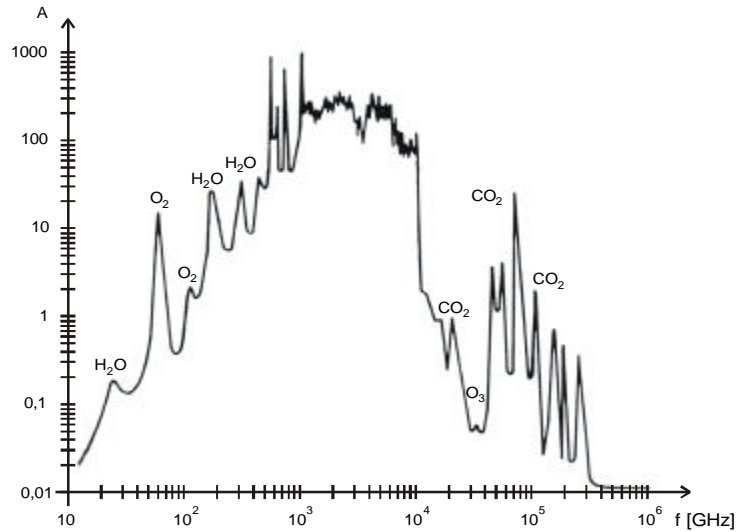
Dôležité je, že veľkosť tlmenia rastie úmerne so štvorcom vzdialenosti medzi vysielacom a prijímacom. Energeticky výhodnejšie sú preto satelitné konštelácie, kde je táto vzdialenosť menšia (prípady LEO satelitov).

4.3.2 Tlmenie atmosferickými plynmi

Prechodom signálu cez nízke vrstvy atmosféry dochádza k absorpcii vplyvom plynov (napr.: O_2 v pásme 53 GHz – 65 GHz a H_2O v pásme 22.235 GHz) nachádzajúcich sa v atmosfére. Úroveň absorpcie je závislá na frekvencii, v dôsledku čoho vznikajú určité frekvencné pásma, tzv. rádiové okná, v rámci ktorých je tlmenie nižšie. Typické hodnoty tlmenia sú zobrazené na nasledujúcom obrázku. Na frekvenciách pod 10 GHz a pri elevačných uhloch väčších ako 10 stupňov úroveň tlmenia nepresahuje 1 dB až 2 dB [29].

²⁴ Troposféra je situovaná prakticky od zemského povrchu do nadmorskej výšky 15 km.

²⁵ Ionosféra je situovaná približne v nadmorskej výške 70 km až 1000 km.



Obrázok 12 Tlmenie A [dB/km] nižších vrstiev atmosféry

4.3.3 Tlmenie vplyvom dažďa

Tlmenie vplyvom dažďa sa významnejšie prejavuje na frekvenciách nad 10 GHz. Jeho veľkosť závisí od frekvencie, polarizácie signálu, početnosti zrážok, veľkosti a rozloženia kvapiek ako aj dĺžky prenosovej cesty. Výsledné tlmenie vplyvom dažďa A_{RAIN} pre požadované percento času sa určuje ako:

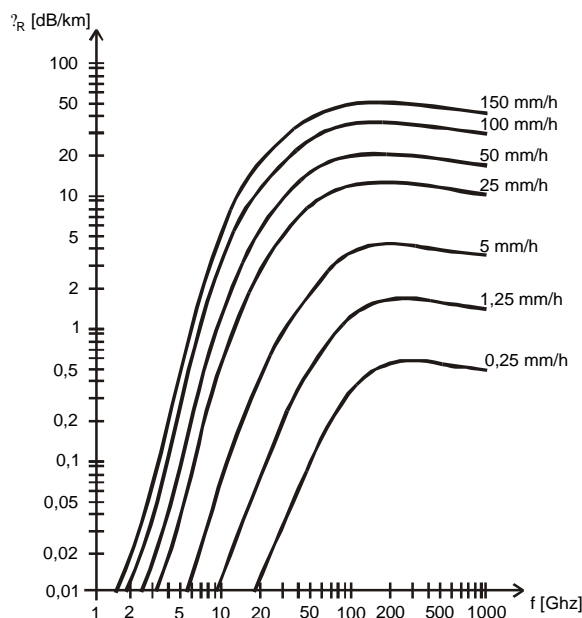
$$A_{RAIN} = \gamma_R \gamma_e L_e \quad [\text{dB}] \quad (4.2)$$

kde γ_R je špecifické tlmenie [dB/km] a L_e je efektívna dĺžka prenosovej cesty [km], na ktorej treba rátať s účinkami dažďa. Požadovaným percentom času sa myslí percento času priemerného roka, počas ktorého je príslušná početnosť zrážok prekročená. A_{RAIN} potom predstavuje hodnotu tlmenia, ktoré je prekročené pre dané percento času. Inak povedané, zo štatistického hľadiska počas celého roka tlmenie dažďom v danej lokalite neprekročí vypočítanú hodnotu až na uvažované percento času.

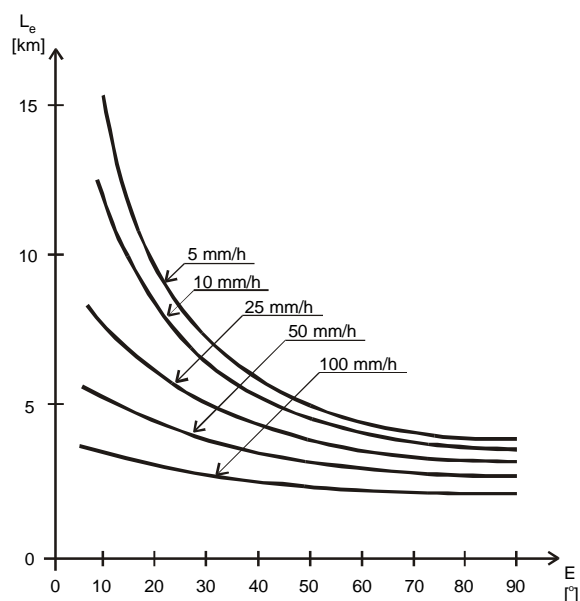
Vzhľadom na štatistickú závislosť početnosti intenzity zrážok v určitom bode na Zemi od percenta času priemerného roka, počas ktorého sa daná početnosť vyskytuje, svet bol rozdelený do viacerých klimatických regiónov.

Hodnoty koeficientov γ_R a L_e sa určujú na základe empiricky získaných modelov (napr.: Crane Global Attenuation Model, Climate Zone CCIR Model) a postupov tomu prislúchajúcich.

Na nasledujúcich obrázkoch je možné vidieť graf závislosti špecifického tlmenia od frekvencie pre niektoré intenzity zrážok [32] a graf závislosti efektívnej dĺžky prenosovej cesty od elevačného uhla a intenzity zrážok [33].



Obrázok 13 Špecifické tlmenia ako funkcia intenzity zrážok a frekvencie



Obrázok 14 Efektívna prenosová cesta ako funkcia intenzity zrážok a elevačného uhla

4.3.4 Cross-polarizácia v dôsledku dažďa

Pri prechode atmosférou sa časť energie prenášanej v jednej polarizácii transformuje do ortogonálnej polarizácie. Tento jav vzniká v dôsledku rôzneho tlmenia a rôzneho fázového posunu medzi dvoma ortogonálnymi polarizáciami. Podstatou javu je negulový tvar dažďových kvapiek a jeho veľkosť vo všeobecnosti narastá so vzrastajúcou frekvenciou.

4.3.5 Tlmenie vplyvom hmly a mrakov

Tlmenie vplyvom hmly a mrakov je v porovnaní s tlmením vplyvom dažďa malé. Výnimkou sú hmly a mraky s vysokou koncentráciou vody. Pre elevačné uhly okolo 20° je tlmenie okolo 0.5 - 1.5 dB pri 15 GHz a okolo 2 dB - 4.5 dB pri 30 GHz, navyše treba počítať s dlhším trvaním výskytu tohto javu [29].

4.3.6 Tlmenie vplyvom snehu

Tlmenie vplyvom snehu je relatívne malé. Suchý sneh má veľmi malý efekt, mokrý sneh môže spôsobiť väčšie tlmenie ako dažď s porovnateľnou intenzitou, ale tento jav sa vyskytuje veľmi zriedkavo. Oveľa väčším problémom je degradácia charakteristiky antény (pokles zisku) vplyvom zachytávania sa snehu a ľadu na povrchu antény.

4.3.7 Ostatné vplyvy

Okrem vyššie uvedených vplyvov možno uvažovať aj s inými, napr.:

- ? Tlmenie vplyvom pieskových búrok
- ? Refrakcia (vplyvom rôznych hustôt vrstiev atmosféry, je rôzny index lomu, čo zapríčiniuje zmenu smeru šírenia a zmenu rýchlosti šírenia)
- ? Scintilácie (rýchle zmeny tlmenia)
- ? Farradajov jav (rotácia roviny polarizácie lineárne polarizovanej vlny)
- ? Cross-polarizácia vplyvom kryštálov ľadu
- ? Šírenie odrazmi
- ? Interferencia s pozemskými zdrojmi žiarenia (mikrovlné spojenia).

4.3.8 Porovnanie niektorých vplyvov

Nasledujúca tabuľka porovnáva vplyv niektorých javov na satelitné spojenie v závislosti od používaného frekvencného pásma [2], [55], [56].

Jav	Frekvencné pásmo			
	L	C, X	Ku	Ka
Interferencia s pozemskými systémami	áno	áno	nie	nie
Atmosferický šum	veľmi malý	veľmi malý	malý	malý
Galaktický šum	vysoký	malý	malý	malý
Tlmenie vplyvom dažďa	veľmi malé	malé	stredné	veľmi veľké
Cross-polarizácia v dôsledku dažďa	malá	stredná	vysoká	vysoká
Troposferické scintilácie	malé	malé; stredné pri malých elevačných uhloch	malé; stredné pri malých elevačných uhloch	stredné; vysoké pri malých elevačných uhloch

Tabuľka 9 Porovnanie vplyvu niektorých javov v rámci L, C, X, Ku a Ka pásma.

V súvislosti s využívaním vyšších frekvencií treba počítať s veľkým vplyvom prostredia, predovšetkým v dôsledku tlmenia vplyvom dažďa, ktoré významným spôsobom ovplyvňuje dostupnosť satelitného komunikačného kanálu.

4.3.9 Kompenzácia vplyvov prostredia a dostupnosť linky

Dostupnosť satelitnej linky, a tým aj komunikačnej služby, je do značnej miery určená dimenzovaním energetických parametrov spoja²⁶. Vhodné dimenzovanie, či už statické alebo adaptívne, musí kompenzovať jednotlivé zmeny a zachovávať predpísaný minimálny odstup úrovne signálu a šumu ak chceme dosiahnuť určitú minimálnu dostupnosť kanála. Co sa týka nákladov na realizáciu, vo všeobecnosti platí, že tieto rastú exponenciálne so zvyšujúcimi sa požiadavkami na dostupnosť.

Kompenzácia natocenia polarizačnej roviny sa robí, v prípade:

- ? Uplinkového spojenia, nastavovaním polarizácie vysielačnej antény
- ? Downlinkového spojenia, nastavovaním polarizácie prijímacej antény

Toto nastavovanie môže byť automatické a využívajú sa pri ňom špeciálne signály vysielať zo satelitu – tzv. beacons (majáky).

Kompenzácia tlmenia vplyvom dažďa sa môže uskutočňovať:

- ? Dimenzovaním výkonových parametrov spoja tak, keď už vopred uvažujeme s tlmením vplyvom dažďa a pre uvažovanú dostupnosť spoja. V podstate ide o zvýšenie vyžiaréného výkonu v snahe zachovať, pre príslušné percento času roka, úroveň odstupe výkonu signálu a šumu aj v prípade výskytu dažďa.
- ? Diverzifikačným prístupom. Tento prístup predpokladá použitie viacerých (v praxi najčastejšie 2) pozemských staníc, ktoré sa nachádzajú v geograficky rozdielnych lokalitách. V dôsledku geograficky rozdielnych lokalít možno v danom okamihu predpokladať aj rozdielne intenzity zrážok a následne aj rozdielne úrovne tlmenia spôsobené dažďom. Pre komunikáciu prostredníctvom satelitu sa potom použije tá stanica, ktorá má v danom okamihu menšie tlmenie.
- ? Adaptívnou metódou. Táto metóda predpokladá dočasnú zmenu niektorého parametra komunikačného spoja (napr.: zvýšenie prenosového času, použitie nižšej frekvencie, použitie silnejšieho opravného kódu, zvýšenie vyžiaréného výkonu), počas trvania tlmenia tak, aby sa zachovala požadovaná hodnota odstupe výkonu signálu a šumu.
- ? Kombináciou hore uvedených spôsobov (napr. čiastočným navrhnutím výkonu a dočasnou zmenou kódovania v prípade vzniku tlmenia).

4.4 Satelitný komunikačný kanál

Komunikačný kanál predstavuje základný element v procese prenosu informácie. Prostredníctvom komunikačného kanála sa realizuje samostatný prenos. Na fyzikálnej úrovni je bežný komunikačný kanál spojitý v case aj v hodnote. Na základe separačného princípu teórie informácií pritom nedochádza k strate optimálnosti, ak je úloha preniesť signál zo zdroja cez kanál rozdelená na úlohu vyjadrenia signálu v binárnej podobe a na úlohu preniesť príslušnú binárnu postupnosť cez kanál.

Ak sa obmedzíme na číslicové (digitálne) komunikačné kanály, tak ich vlastnosti možno vo všeobecnosti charakterizovať na základe nasledujúcich parametrov:

- ? Prenosová rýchlosť – počet bitov prenesených kanálom za jednotku času. Základná jednotka je bit za sekundu [bit/s].
- ? Bitová chybovosť – pomer počtu chybné prenesených bitov k celkovému počtu prenesených bitov. Základná jednotka je bezrozmerné číslo [1].

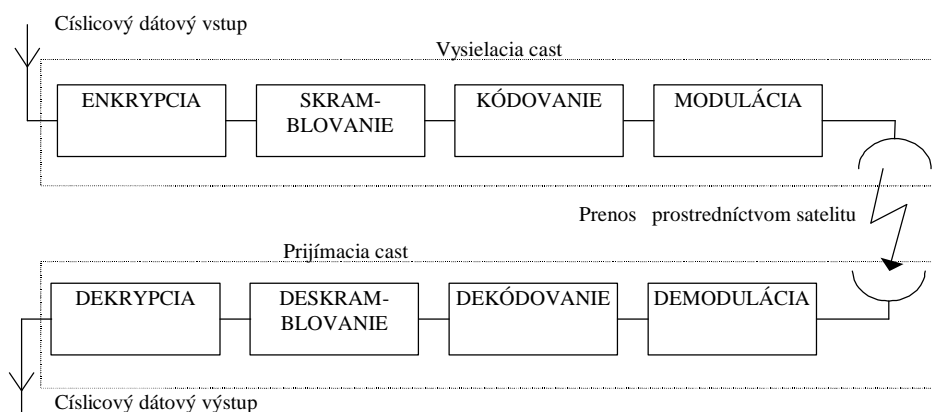
²⁶ Celková dostupnosť spoja je nižšia, ak uvažujeme aj vplyv ostatných činiteľov ovplyvňujúcich dostupnosť satelitného spoja (napr.: poruchovosť pozemských staníc, satelitu).

- ? Prenosové oneskorenie – čas potrebný na to, aby sa informácia preniesla komunikacným kanálom. Základná jednotka je sekunda [s].

Hore uvedené parametre však nie sú postačujúce pre komplexné popísanie vlastností reálneho komunikacného kanála. V praxi, pre lepšiu charakterizáciu vlastností kanála, sa preto doplnujú ďalšími parametrami ako napríklad:

- ? Bloková chybovosť - pomer počtu chybné prenesených blokov (zoskupenie viacerých bitov) k celkovému počtu prenesených blokov.
- ? Kolísanie (variácia) prenosového oneskorenia
- ? Dostupnosť prenosového kanála – pomer času, keď je kanál možné použiť pre účel komunikácie k celkovému uvažovanému času.

Na nasledujúcom obrázku možno vidieť všeobecnú blokovú schému digitálneho satelitného komunikacného kanálu.



Obrázok 15 Digitálny satelitný komunikacný kanál

Enkryptcia sa používa na zabránenie prístupu neautorizovaných osôb k prenášaným údajom. Realizuje sa aplikovaním určitého algoritmu na prenášané dáta. Algoritmami takéhoto druhu sú napríklad RSA (Ron Rivest, Adi Shamir, Leonard Adleman) alebo DEC (Data Encryption System). Inverznou operáciou ku enkryptcii je dekryptcia.

Skramblovanie sa používa za účelom rozloženia energie signálu cez celé modulované pásmo, za účelom dodržania limitov výkonovej hustoty na zemskom povrchu a za účelom minimalizácie interferencie komunikacných systémov. Podstatou je generovanie postupností, ktoré majú pseudonáhodný charakter nezávisle na vstupnej postupnosti a pri zachovaní informacného obsahu. Inverznou operáciou ku skramblovaníu je deskramblovanie.

Samotný prenos prostredníctvom satelitu sa realizuje v preloženom pásme a v prípade císlicového prenosového systému je nevyhnutné použiť niektorú z modulacných techník, umožňujúcu prenos císlicového signálu prostredníctvom satelitného kanálu, ktorý je vo svojej podstate analógovým kanálom (je spojitý v čase a aj v hodnote). Jednotlivé modulacné techniky sa líšia v zložitosti implementácie, v spektrálnej efektívitve, v náchylnosti na rušenie, v požiadavkách na minimálnu energiu na bit pre určitú hodnotu bitovej chybovosti, v požiadavkách na synchronizáciu, prípadne v iných parametroch. Z hľadiska príjmu, v náväznosti od znalosti fázy prijímaného signálu, môžeme navyše hovoriť o koheretnej a nekoheretnej demodulácii.

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené niektoré modulacné techniky a vzťahy používané na výpočet bitovej chybovosti [54].

Modulacná technika	Pravdepodobnosť chyby ²⁷
BPSK	$P_b \approx \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$
BFSK	$P_b \approx \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}} \right)$
QPSK	$P_b \approx \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$
MPSK	$P_b \approx \frac{1}{\log_2 M} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\log_2 M \sin^2 \frac{\pi}{M}} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$
M-QAM	$P_s \approx \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_{\min}}{N_0}} \right)$
GMSK	$P_b \approx \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{0.68 E_b}{N_0}} \right)$
MSK	$P_b \approx \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{0.85 E_b}{N_0}} \right)$
DBPSK (diferenciálna) nekoherentná.	$P_b \approx \frac{1}{2} \exp \left(-\frac{E_b}{N_0} \right)$
BFSK nekoherentná.	$P_b \approx \frac{1}{2} \exp \left(-\frac{E_b}{2N_0} \right)$

Tabuľka 10 Bitové chybovosti niektorých modulácií

V satelitných systémoch sa veľmi často používajú modulácie MPSK (špeciálne BPSK a QPSK) vzhľadom na výhodu konštantnej obálky výsledného modulovaného signálu oproti ASK a lepšiu spektrálnu efektivitu v porovnaní s FSK.

Kódovanie sa používa za účelom zabezpečenia prenášaných údajov proti chybám. Z tohto dôvodu sa na vysielačnej strane pridávajú určité nadbytočné údaje, ktoré umožňujú potom prijímačnej strane pri dekódovaní detekovať alebo detekovať a aj opraviť chyby vzniknuté počas prenosu. Pritom je teoreticky možné dosiahnuť ľubovoľne nízku mieru bitovej chybovosti satelitného kanálu. Existujú dve základné skupiny metód slúžiacich na zabezpečenie prenášaných údajov proti chybám [57]. Tieto metódy možno používať simultánne (hybridné metódy) alebo oddelene a sú to:

- ? Metódy ARO (Automatic Repeat Request)
- ? Metódy FEC (Forward Error Correction)

Metódy FEC vychádzajú z použitia tzv. korekčných kódov a pre svoju činnosť im postačuje jednosmerný komunikačný kanál. V prípade príjmu chybných údajov sa využije redundancia vnesená na vysielačnej strane a chyby sa opravujú. Ak korekčné schopnosti kódu nepostačujú na opravu vzniknutého počtu chýb, neposiela sa žiadna špecifická informácia vysielačnej strane.

²⁷ Pri PSK moduláciách sa predpokladá Grayové kódovanie.

Ako korekčné kódy pri FEC sa používajú napr.:

- ? Konvolučné kódy
- ? BCH kódy
- ? Reed-Solomon kódy
- ? Turbo kódy

Jednotlivé kódy pridávajú k prenášaným údajom relatívne veľké množstvo redundantných informácií, ktoré je potrebné prenášať cez kanál spolu s užitočnými údajmi. Toto je potrebné zvážiť pri definovaní požadovanej prenosovej rýchlosti kanálu.

Kódovanie spôsobuje aj nežiadúce zvýšenie celkového oneskorenia. Toto oneskorenie je závislé od typu použitého kódu, kódovacieho a dekódovacieho algoritmu, ako aj od rýchlosti prenášaných údajov. Špeciálne pre malé prenosové rýchlosti môže byť toto oneskorenie pomerne veľké [2].

Metódy ARQ vychádzajú z použitia detekčných kódov (napr.: parita, CRC) a pre svoju činnosť potrebujú aj spätný kanál [4], [57]. V prípade detekcie prijatia chybných údajov sa prostredníctvom spätného kanálu inicializuje opätovné odvysielanie chybných dát. Spätným kanálom sa posielajú pozitívne alebo negatívne potvrdenia s účelom informovania vysielajúcej strany o bezchybnom alebo chybnom prijatí príslušného bloku alebo blokov údajov v prijímaci. V porovnaní s FEC metódami je pridávané množstvo redundantných údajov pomerne malé. ARQ metódy sa používajú hlavne pri paketovo orientovaných prenosoch údajov a rozoznávame tri základné techniky ARQ:

- ? Stop and Wait (S&W). Vyslanie ďalšieho paketu na vysielacej strane je podmienené prijatím kladného potvrdenia z prijímacej strany.
- ? Go back N (GBN). Vysielacia strana nepretržite vysiela postupnosť paketov a v prípade prijatia negatívneho potvrdenia určitého paketu sa vysielanie inicializuje od daného paketu.
- ? Selective repeat. Podobne ako GBN, ale nedochádza k inicializácii vysielania od vadne prijatého paketu, ale len k selektívnemu odvysielaniu tohto paketu a v pokračovaní nepretržitého vysielania.

Výkonnosť ARQ metód je veľmi závislá na prenosovom oneskorení a na zmenách tohto oneskorenia. Závislosť na veľkosti paketov, chybovosti linky a prenosovej rýchlosti je tiež dost významná.

4.5 Energetická bilancia satelitného spoja

Hlavným výkonnostným kritériom digitálneho satelitného kanálu je jeho bitová chybovosť pri určitej prenosovej rýchlosti a pri určitej miere dostupnosti tohto kanála. Návrh satelitného spoja musí byť taký, aby umožňoval dosiahnuť požadovanú maximálne prípustnú celkovú chybovosť a danú prenosovú rýchlosť a dostupnosť. Hlavnými parametrami súvisiacimi s návrhom satelitného spoja sú:

- ? Výstupný výkon vysielacej jednotky
- ? Rozmery antén:
 - o Vysielacej jednotky
 - o Prijímacej jednotky

Na základe znalosti pomeru prijatej energie na bit E_b a jednostrannej výkonovej hustoty šumu N_0 ²⁸, za použitia príslušného kódovania a modulacnej a demodulacnej techniky, je možné vypočítať

²⁸ Jednostranná výkonová hustota šumu N_0 je definovaná ako súčin ekvivalentnej šumovej teploty T [K] a Boltzmanovej konštanty $k=1.38E-23 \text{ JK}^{-1}$.

korešpondujúcu bitovú chybovosť. Preto, ak chceme dosiahnuť určitú kvalitu satelitného komunikačného kanálu, musíme garantovať dostatočne veľký pomer E_b/N_0 na vstupe prijímaca. V nadväznosti na parameter E_b/N_0 sa používajú aj nasledovné parametre:

- ? Pomer C/N , definovaný ako pomer prijatého výkonu C na vstupe prijímaca k celkovému ekvivalentnému výkonu šumu N na vstupe prijímaca.
- ? Pomer C/N_0 , definovaný ako pomer prijatého výkonu C na vstupe prijímaca k výkonovej hustote šumu.
- ? Pomer C/T , definovaný ako pomer prijatého výkonu C na vstupe prijímaca k celkovej ekvivalentnej šumovej teplote prijímacieho systému.

Charakteristické parametre uvedené v predchádzajúcom odstavci sú navzájom previazané. Ich vzájomné previazanie je dané prostredníctvom nasledujúcich vzťahov:

$$\frac{C}{N_0} \approx \frac{E_b \cdot R_b}{N_0} \quad (4.3)$$

$$N \approx N_0 \cdot B \quad (4.4)$$

$$N_0 \approx k \cdot T \quad (4.5)$$

kde C je prijatý výkon na vstupe prijímaca, N je ekvivalentný výkon šumu na vstupe prijímaca, N_0 je výkonová hustota šumu, T je ekvivalentná šumová teplota prijímacieho systému, E_b je energia signálu pripadajúca na bit na vstupe prijímaca a B je šírka pásma prijímaca.

4.5.1 Výkon prijatého signálu

Predpokladajme, že vysielac dodáva do antény výkon P_t [W]. Nech vysielacia anténa má zisk $G(\theta)$ v smere θ , kde θ je uhol od osi antény. Zisk antény $G(\theta)$ je definovaný ako pomer výkonu vyžiareného v danom smere ku priemernému výkonu vyžiarenému v danom smere izotropným žiaricom.

Nakoľko zisk antény je funkciou uhla a anténa má zisk $G_t = G(\theta = 0)$, potom prijímaná výkonová hustota W_d v ľubovoľnom bode vo vzdialenosti R , v smere osi antény v smere žiarenia je:

$$W_d \approx \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.6)$$

Výraz $P_t G_t$ sa označuje ako EIRP (Effective Isotropic Radiated Power).

Keby sme mali ideálnu prijímaciu anténu s plochou A_r [m²], mohli by sme prijať výkon:

$$P_r = W_d A_r \quad [\text{W}] \quad (4.7)$$

Pre reálne antény musíme uvažovať s efektívnou plochou A_e , ktorá je závislá na účinnosti η_a antény. Účinnosť antén s parabolickým reflektorom je približne 0.5 až 0.75, účinnosť antén typu "horn" môže byť až do 0.9. Pre výkon prijatý anténou s efektívnou plochou A_e potom platí:

$$P_r \approx \frac{P_t G_t A_e}{4\pi R^2} \quad [\text{W}] \quad (4.8)$$

Vychádzajúc zo základnej teórie o anténach, zisk prijímačnej antény s efektívnou plochou A_e je:

$$G_r \approx \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad [1] \quad (4.9)$$

kde λ je vlnová dĺžka elektromagnetickej vlny signálu. Kombináciou predchádzajúcich vzťahov dostávame:

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (4.10)$$

co použitím (4.1) môžeme prepísať ako:

$$P_r = P_t G_t G_r \frac{1}{L_{FS}} \quad (4.11)$$

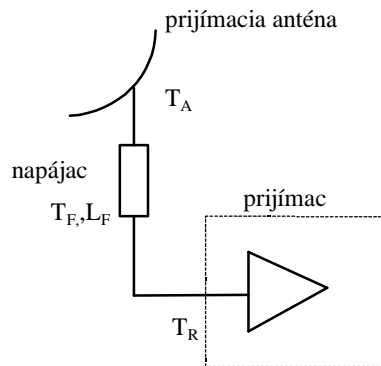
alebo v decibelovej forme:

$$P_r = EIRP + G_r - L_{FS} \quad (4.12)$$

Táto rovnica predstavuje idealizovaný stav, kde okrem strát šírením nie sú žiadne iné straty. V skutočnosti ale musíme uvažovať aj s inými stratami (napr.: stratami v atmosfére, stratami vplyvom dažďa, stratami vplyvom nedokonalého nasmerovania antén, stratami vplyvom nepresného nastavenia polarizácie) a použiť pre straty všeobecný výraz L , daný súčtom všetkých uvažovaných strát.

4.5.2 Výkon šumu na vstupe prijímaca

Na nasledujúcom obrázku je znázornená zjednodušená reprezentácia prijímacieho systému. T_A predstavuje šumovú teplotu prijímacej antény, L_F predstavuje tlmenie spôsobené napájacím pri teplote T_F a T_R je šumová teplota prijímaca.



Obrázok 16 Prijímací systém

Je možné ukázať, že ekvivalentná šumová teplota (systémová teplota) na vstupe prijímaca je:

$$T_S = \frac{T_A}{L_F} + T_F \left(1 - \frac{1}{L_F} \right) + T_R \quad (4.13)$$

Potom výkon šumu na vstupe prijímaca je:

$$N = k T_S B \quad (4.14)$$

kde k je Boltzmanova konštanta, T_s je ekvivalentná šumová teplota a B je ekvivalentná šírka pásma prijímaca.

Šumová teplota prijímaca T_R je urcovaná hlavne kvalitou, šumovými vlastnosťami prijímacieho systému (jeho vstupnej časti). Šumová teplota antény T_A predstavuje ekvivalentnú šumovú teplotu odpovedajúcu všetkým šumom, ktoré anténa prijíma. Patrí sem hlavne šum pozadia (pochádzajúci z oblohy), šum vznikajúci vplyvom vyžarovania zemského povrchu a šum v dôsledku dažďa.

Vzhľadom na vzájomnú polohu prijímacej antény, satelitu a slnka, môže nastať situácia, keď sa slnko z pohľadu prijímacej antény nachádza presne v osi za satelitom. Vtedy dochádza k veľkému zvýšeniu šumu pozadia, v praxi až ku degradácii takéhoto satelitného komunikačného kanálu. V prípade GEO satelitov sa tento jav vyskytuje dvakrát do roka.

4.5.3 Pomer výkonu signálu a šumu na vstupe prijímaca

Na základe vzťahov pre výkon signálu na vstupe prijímaca (4.11) a výkon šumu na vstupe prijímaca (4.14), možno ukázať, že pre pomer výkonu signálu a šumu na vstupe prijímaca platí:

$$\frac{C}{N} \approx \frac{EIRP * G_r}{k T_s B} * \frac{1}{L} \quad (4.15)$$

Výraz G_r/T_s je označovaný ako „figure of merit“ a charakterizuje kvalitu prijímacieho zariadenia.

4.6 Možnosti jednotlivých skupín užívateľov.

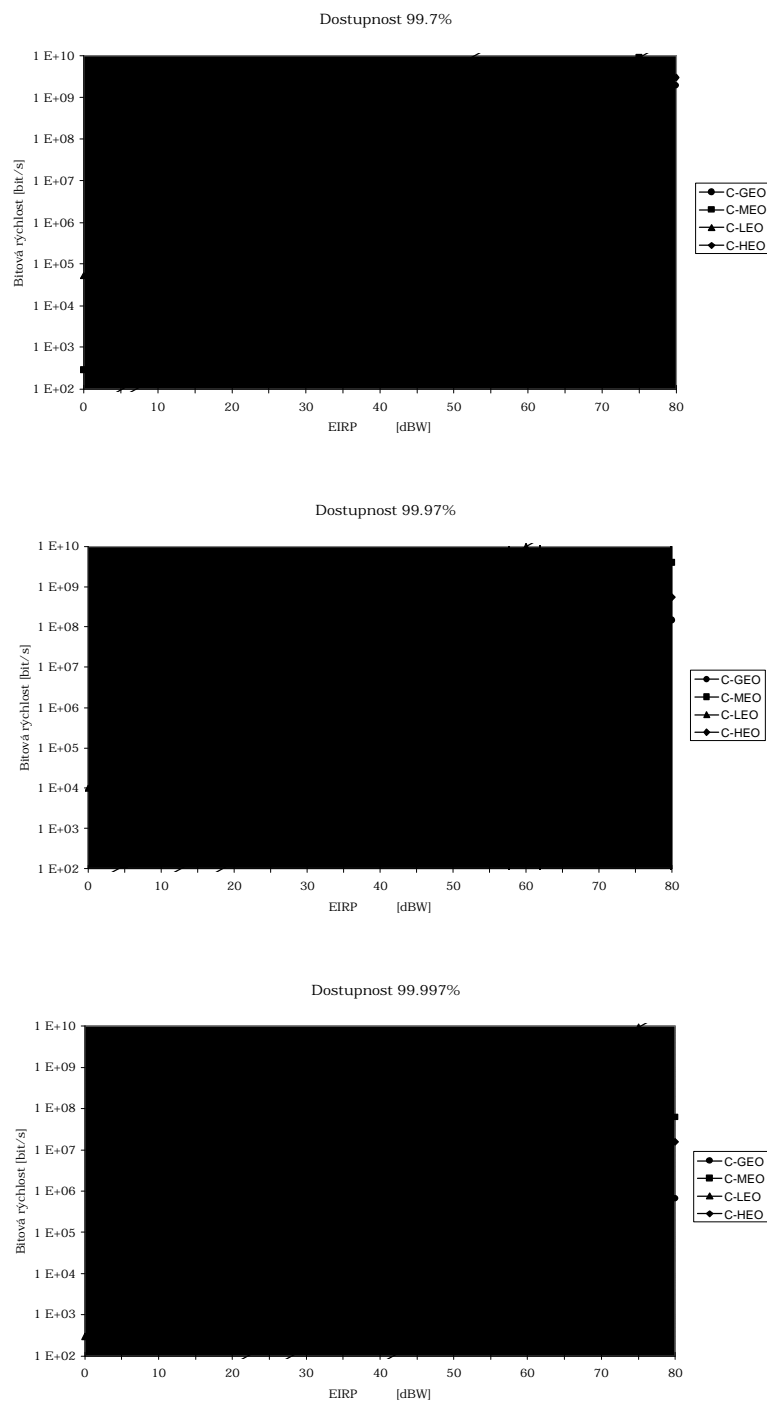
Vzhľadom na obmedzené možnosti (financné, priestorové) jednotlivých skupín užívateľov, ceny technológií a súčasnú úroveň technológií v Ka frekvenčnom pásme, sú možnosti jednotlivých skupín užívateľov uvedené v nasledujúcej tabuľke [36].

Skupina	Max. priemer antény [m]	Max. výkon vysielača [W]	Max. EIRP ²⁹ [dBW]
Malí užívatelia	2.0	2.0	57.4
Strední užívatelia	3.3	2.0	61.7
Veľkí užívatelia	8.0	20.0	79.4

Tabuľka 11 Možnosti jednotlivých skupín užívateľov

V prípade realizácie komunikácie v Ka frekvenčnom pásme v rámci modelových GEO, MEO, LEO a HEO konštelácií [36] a s prihliadnutím na požadovanú dostupnosť kanálu, možnosti dosiahnutia jednotlivých prenosových rýchlostí v spätnom smere sú zobrazené na nasledujúcom obrázku.

²⁹ Pri prenosnom terminály by priemer antény nemal presiahnuť 50 cm, výkon je obmedzený na cca 2 W a uvažovaný maximálny vyžarený výkon je EIRP = 45 dBW.



Obrázok 17 Dosiahnuteľná bytová rýchlosť v jednotlivých konšteláciách

4.7 Payload satelitu

Payload (komunikačný subsystém) satelitu zabezpečuje spojenie medzi prijímacou a vysielačou pozemskou stanicou. Pozostáva z prijímacej a vysielačích antén a elektroniky na palube satelitu, ktorá podporuje prenos signálu. Hlavné funkcie payload sú [3]:

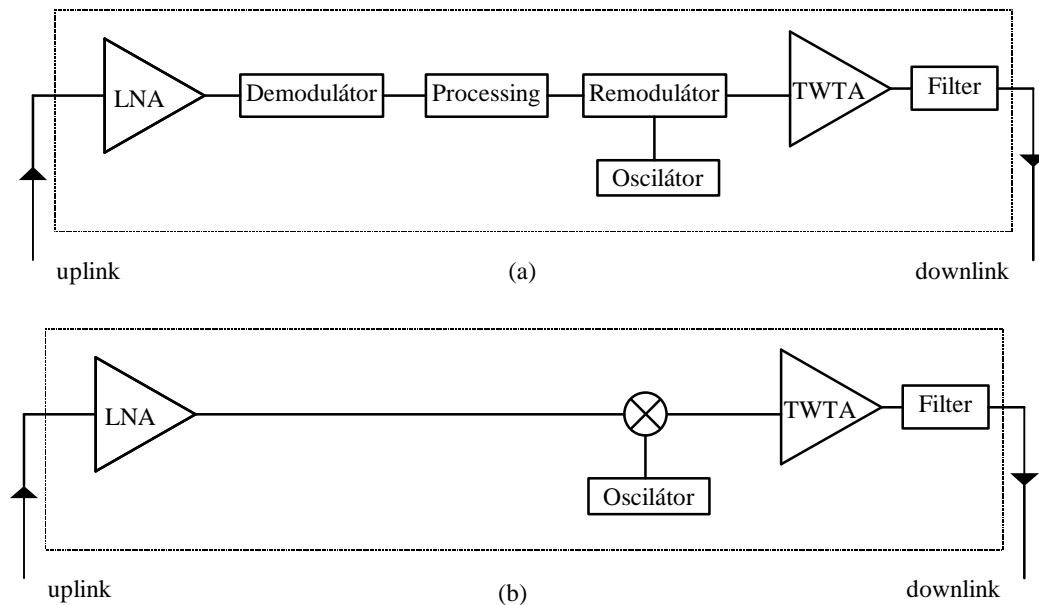
- Zachytiť signály vysielač v danom frekvencnom pásme a s danou polarizáciou

- ? Zachytiť pokiaľ možno čo najmenej nežiadúcich signálov (šumov)
- ? Realizovať potrebné spracovanie, čo predstavuje:
 - o Zosilnenie a filtrovanie prijímaných signálov
 - o Zmenu frekvencie
 - o Smerovanie nosných prijatých na príslušnom spoji
 - o Demoduláciu a remoduláciu
 - o Regeneráciu (obnovu) dát
 - o Výkonové zosilnenie
- ? Vyslať signály v danom frekvencnom pásme a s danou polarizáciou

Satelity zvyčajne rozdeľujú celkové frekvencné pásmo, ktoré majú k dispozícii do niekoľkých subpásim. Každé takéto subpásmo sa spracováva samostatne zariadením, ktoré sa nazýva transpondér. Existujú dva základné typy transpondérov:

- ? Konvenčné (transparentné) transpondéry (opakovacie)
- ? Regeneratívne transpondéry

Nasledujúci obrázok zobrazuje dva základné typy transpondérov.



Obrázok 18 Bloková schéma (a) regeneratívneho a (b) konvenčného typu transpondéra

V prípade konvenčného typu transpondéra, ak chceme zhodnotiť celkovú kvalitu komunikačného systému (uplink a downlink), musíme poznať celkový pomer signálu a šumu. Jednotlivé linky majú pritom svoj vlastný príspevok k celkovému C/N. Je možné ukázať, že pre celkový pomer signálu a šumu platí:

$$\frac{C}{N}_{TOTAL} = \frac{C}{N}_{UPLINK} + \frac{C}{N}_{DOWNLINK} \quad (4.16)$$

V prípade regeneratívneho satelitu, vzhľadom na demoduláciu a remoduláciu na palube, nemôžeme použiť hore uvedený vzťah a jednotlivé linky musíme uvažovať ako samostatné, nie kaskádované. Pre celkovú chybovosť komunikačnej linky platí, že:

$$BER_{TOTAL} \approx BER_{UPLINK} (1 + BER_{DOWNLINK}) + BER_{DOWNLINK} (1 + BER_{UPLINK}) \quad (4.17)$$

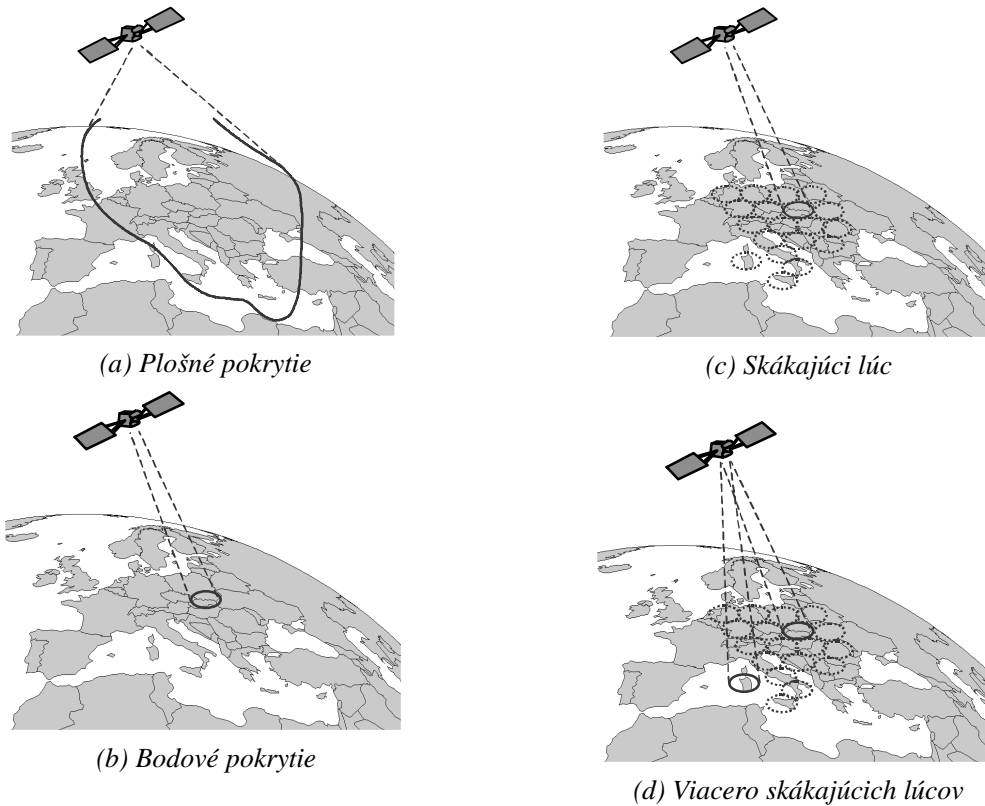
Použitie satelitov s regeneratívnymi transpondérmi umožňuje tolerovať väčšiu mieru interferencií v porovnaní s konvencnými transpondérmi. Menšie nároky na celkové energetické pomery liniek, v prípade použitia regeneratívnych transpondérov, tiež umožňuje redukciu požiadaviek na vysielacie a prijímacie stanice, čo v konečnom dôsledku znižuje cenu týchto staníc. Navyše regeneratívny transpondér umožňuje použitie rôznych prenosových rýchlostí, kódovacích, modulacných či multiplexných techník na vzostupnom a zostupnom spoji. Spojovanie (switching) na palube satelitu sa potom uskutočňuje v základnom pásme a nie v preloženom pásme. Satelity realizujúce na palube určitú manipuláciu so signálom (napr.: spojovanie, zmenu rýchlostí) sa v literatúre označujú ako satelity s OBP (On Board Processing). V porovnaní s konvencnými transpondérmi je však návrh regeneratívneho transpondéra ďaleko komplexnejší a takýto transpondér je citlivým miestom z pohľadu dostupnosti (poruchovosti) satelitného segmentu.

4.8 Typy pokrytia

Satelitné pokrytie (coverage) závisí hlavne na type orbitálnej dráhy satelitu a od návrhu anténneho systému satelitu. Vo všeobecnosti môžeme hovoriť o globálnom alebo regionálnom pokrytí. Ak sa obmedzíme na GEO satelity, tak v podstate existujú štyri možnosti realizácie [58]:

- ? Plošné pokrytie (foot print coverage)
- ? Bodové pokrytie (spot beam coverage)
- ? Pokrytie jedným skákajúcim lúčom (hopping beam coverage)
- ? Pokrytie viacerými skákajúcimi lúčmi (multiple hopping beam coverage)

Jednotlivé formy pokrytia sú schematicky znázornené na nasledujúcich obrázkoch.



Obrázok 19 Formy pokrytia

Klasický prístup je použitie satelitu s plošným pokrytím. V tomto prípade všetky pozemské terminály, nachádzajúce sa na relatívne veľkom území, musia zdieľať danú kapacitu satelitu. Ak uvažujeme, že na komunikáciu je vyhradené len určité pásmo, tak toto pásmo je zdieľané uvažovaným počtom terminálov. Ak by sme ale napríklad chceli poskytovať služby pre bežných užívateľov, tak je treba rátať s veľmi veľkým počtom terminálov. V prípade použitia satelitu s bodovým pokrytím, je rovnako veľké pásmo zdieľané na menšom území a teda aj menším počtom terminálov. Ak ale chceme poskytovať službu na väčšom území, ako je územie dané pokrytím bodového lúča, tak môžeme nechať lúč „skákať“ a použiť určitú formu časového multiplexovania. Technologicky možno zabezpečiť, že viacero lúčov bude skákať súčasne, čím vznikne určitá forma bunkového systému. Pri takejto komunikácii, z dôvodu priestorovej izolácie lúčov, možno viackrát použiť to isté frekvencné pásmo, čím dochádza k násobnému zvýšeniu využiteľnej kapacity satelitu. Využitie techniky viacerých skákajúcich lúčov ale predpokladá použitie satelitu s OBP.

Rovnaký prístup k pokrytiu môžeme použiť aj na strane príjmu satelitu a aj na strane vysielania satelitu. Z hľadiska realizácie spätného kanálu prostredníctvom satelitu, použitie techniky viacerých skákajúcich lúčov umožňuje obsluhovať a zvládnuť násobne väčšie množstvo pozemských terminálov, prípadne používať vyššie prenosové rýchlosti ako v prípade klasického prístupu s plošným pokrytím.

Ak napríklad použijeme na satelite 2.2 metrovú parabolickú prijímaciu anténu, tak korešpondujúca šírka lúča je približne 0.32 stupňa a korešpondujúce pokrytie územia je zhruba 200 km v priemere, pri frekvencii 30 GHz (Ka pásmo).

Praktická realizovateľnosť pokrytia s viacerými skákajúcimi lúčmi bola overená napríklad v rámci NASA projektu ACTS [34].

4.9 Prístupové techniky

Prístup na transpondér (určité frekvencné pásmo) môže byť vyhradený jedinej stanici, alebo viacero staníc môže mať simultánne povolený prístup. V prípade, keď viacero staníc má povolený prístup na transpondér, je potrebné dodržiavať určité pravidlá, aby nedochádzalo k vzájomnému rušeniu. Tieto pravidlá predstavujú techniky viacnásobného prístupu.

Rozoznávame štyri základné techniky viacnásobného prístupu:

- ? FDMA (Frequency Division Multiple Access) – frekvencne delený viacnásobný prístup³⁰
- ? TDMA (Time Division Multiple Access) – casovo delený viacnásobný prístup
- ? CDMA (Code Division Multiple Access) – kódovo delený viacnásobný prístup
- ? SDMA (Space Division Multiple Access) – priestorovo delený viacnásobný prístup

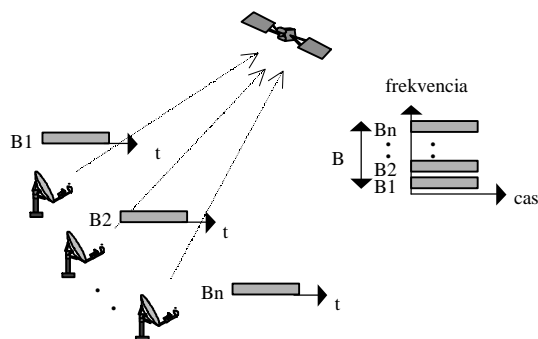
V praxi sa najčastejšie stretávame s kombináciou jednotlivých techník.

4.9.1 FDMA

Pri frekvencne delení viacnásobným prístupom je spoločné frekvencné pásmo rozdelené do subpásiem. Každý účastník má pridelenú jedinečnú časť frekvencného pásma, ktorú využíva pri prenose informácií. Prijemca informácie potom rozlišuje informácie od rôznych účastníkov na základe filtrovania korešpondujúceho frekvencného pásma.

³⁰ V literatúre sa možno stretnúť aj s pojmom WDMA (Wave Division Multiple Access) – vlnovo rozdelený viacnásobný prístup používaný hlavne pri optických prenosoch. Z fyzikálneho hľadiska ale ide o FDMA princíp, na základe známeho vzťahu medzi vlnovou dĺžkou a frekvenciou.

Vzhľadom na nedokonalosti oscilátorov a filtrov, je potrebné medzi jednotlivými frekvencnými subpásmami ponechať určité „ochranné“ frekvencné pásma.

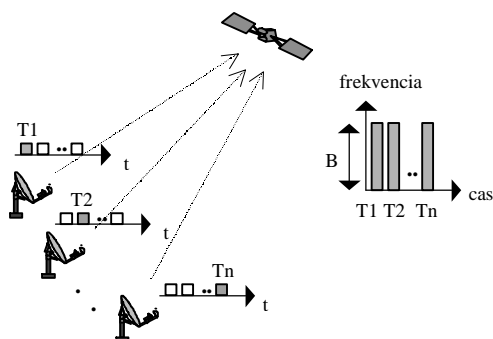


Obrázok 20 Princíp FDMA

Výhodou FDMA techniky je jej jednoduchosť. Nie je však flexibilná čo sa týka rekonfigurácie (zmeny frekvencného plánu) a kapacita systému prudko klesá so vzrastajúcim počtom prístupov. Navyše je potrebné riadiť vyžiarovaný výkon pozemskej stanice, aby nedochádzalo k tzv. „capture“ efektu.

4.9.2 TDMA

Pri casovo delenom viacnásobnom prístupe jednotlivý účastník zaberá v danom okamžiku vždy celú šírku uvažovaného frekvencného pásma. Každý účastník komunikácie pritom vysiela len v exkluzívne priradenom casovom intervale. Trvanie intervalu môže byť rozdielne, aby sa zohľadnil objem informácií príslušného účastníka. V danom okamžiku však môže vysielať len jeden účastník.



Obrázok 21 Princíp TDMA

Medzi jednotlivými casovými intervalmi, keď účastník vysiela, je potrebné ponechať určité „ochranné“ casové intervaly. Pre správnu funkciu systému je nevyhnutná precízna casová synchronizácia a účastníci musia byť schopní vysielať na relatívne vysokých prenosových rýchlostiach.

Výhodou TDMA je skutočnosť, že priepustnosť systému zostáva vysoká aj pri veľkom počte účastníkov. Systém je už svojou podstatou vhodný pre číslicové prenosy a veľmi dobre využíva

frekvencné pásmo transpondéra. Nevýhodou je relatívne zložitejšie riešenie účastníckeho terminálu a potreba riadenia vyžiareného výkonu pozemskej stanice.

4.9.3 CDMA

Pri kódovo delenom viacnásobnom prístupe je celé frekvencné pásmo prenosového kanála simultánne zdieľané medzi účastníkmi. Každý účastník pritom využíva svoj jedinečný pseudonáhodný kód na „rozloženie“ vysielaného signálu. Následne, každý účastník prijímača musí disponovať príslušným identickým kódom na „zloženie“ prijímaného signálu. Na „zloženie“ pritom nie je možné použiť jedinečný kód iného účastníka. Účastníci môžu pracovať simultánne v tom istom frekvencnom pásme, ak používajú takmer ortogonálne kódy na „rozloženie“ a „zloženie“. Z dôvodu použitia ortogonálnych kódov je efekt interferencie minimalizovaný, ale zväčšuje sa s pribúdajúcim počtom prístupov účastníkov.

Rozlišujú sa dve základné techniky CDMA:

- ? Frequency hopping (FH-CDMA)
- ? Direct sequencing (DS-CDMA)

Základnou podmienkou pre realizáciu CDMA je synchronizácia prijímacieho a vysielacieho účastníka a riadenie vysielacieho výkonu. CDMA prístup je jednoduchý čo sa týka prevádzky, je veľmi málo náchylný na interferenciu od iných systémov a na odrazy pri šírení. Jeho nevýhodou je relatívne nízka priepustnosť a spotreba veľmi veľkej šírky frekvencného pásma v porovnaní s prenosom „nerozloženého“ signálu.

4.9.4 SDMA

Pri priestorovo delenom viacnásobnom prístupe sa využíva ortogonalita v geometrii na umožnenie zdieľania prenosového média. Účastníci môžu využívať na komunikáciu rôzne komunikačné kanály alebo používať rôznu polarizáciu signálu pri prenose (bud lineárnu vertikálnu a horizontálnu, alebo kruhovú ľavotocivú a pravotocivú).

SDMA sa zvyčajne používa v kombinácii s FDMA, TDMA alebo CDMA a umožňuje opätovné využitie frekvencií.

4.9.5 Pridelovanie kapacity

MAC (Medium Access Control) protokoly sa používajú na pridelovanie prenosovej kapacity jednotlivým účastníkom komunikácie v snahe jej efektívneho využívania. Dôraz sa pritom môže klásť napr. na vysokú priepustnosť kanála, malé prenosové oneskorenie, stabilitu systému alebo komplexivitu realizácie algoritmu. Existuje veľké množstvo MAC protokolov a vo všeobecnosti neexistuje protokol, ktorý by bol optimálny v celom rozsahu výkonnostných kritérií. Výkonnosť protokolu pre príslušnú aplikáciu je okrem iného závislá aj na štatistike prenášaných údajov, chybovosti kanála a jeho prenosového oneskorenia.

Samotné pridelovanie sa pritom môže diať na základe nasledujúcich spôsobov:

? Fixné pridelovanie

Kapacita je pridelená fixne (zvyčajne proporcionálne na základe požiadaviek) jednotlivým účastníkom a proportionalita pridelovania zostáva fixná počas celej doby uskutočňovania komunikácie. Takýto spôsob pridelovania je najvhodnejší pre siete s pravidelne rovnakým objemom výmeny informácií.

? Pridelovanie na základe požiadaviek

Kapacita sa prideluje na základe požiadaviek od jednotlivých účastníkov komunikácie. Takýto spôsob pridelovania je veľmi výhodný pre realizáciu prenosu, kde objem prenášaných údajov je nepravidelný a fixné pridelenie kapacity nie je efektívne z dôvodu casovo závislého

využívania komunikačného média. Vo všeobecnosti však dosahuje táto technika relatívne vysokú priepustnosť kanála. Nevýhodou môže byť zvýšenie prenosového oneskorenia.

? Náhodné pridelovanie

Pri tomto spôsobe pridelovania kapacity môže účastník komunikácie používať kapacitné zdroje takmer bez akéhokolvek obmedzenia, počas časovo ohrančených intervalov. Takýto spôsob pridelovania je vhodný pre prípad, keď je veľa účastníkov komunikácie a každý z účastníkov potrebuje prenieť len krátke správy, pričom existuje relatívne veľká doba, keď príslušný účastník nepotrebuje komunikovať

Nasledujúca tabuľka porovnáva vlastnosti niektorých MAC protokolov [35].

<i>Protokol</i>	<i>Priepustnosť</i>	<i>Stredné oneskorenie</i>	<i>Stabilita</i>	<i>Poznámka</i>
S-ALOHA	0.368	malé	stredná	Vhodný pre správy konštantnej dĺžky, najjednoduchšia sektorovaná technika
Tree CRA	0.43 - 0.49	stredné	dobrá	Vhodný pre systémy s možnosťou zahltenia
ARRA	0.5 - 0.6	malé	stredná	Používa dodatočnú informáciu na zlepšenie S-ALOHA
P-ALOHA	0.13 - 0.18	malé	slabá	Vhodný pre správy s premenlivou dĺžkou, nevyžaduje časovanie a synchronizáciu
R-ALOHA	0.60 - 0.70	stredné	vysoká	Implicitná rezervácia, vhodný pre streamový typ dát, nemusí byť spravodlivý
MSAP	vysoká	stredná	vysoká	Nevyžaduje synchronizáciu, vhodný pre malý počet staníc
BBM	vysoká	nízke	stredná	Vyžaduje synchronizáciu medzi stanicami, vysoká komplexivita
Urn	vysoká	nízke	vysoká	Niektoré stanice majú plný prístup na kanál, niektoré žiaden
FIFO	0.50 - 0.6	stredné	vysoká	Explicitne robí exkluzívnu rezerváciu

Tabuľka 12 Porovnanie niektorých MAC protokolov

4.10 Satelitné systémy

V nasledujúcej tabulke je uvedený prehľad vlastností niektorých existujúcich ale aj plánovaných satelitných komunikačných systémov.

<i>Použitie</i>	<i>Systém</i>	<i>Satelity</i>	<i>Frekvencné pásmo</i>	<i>Pokrytie</i>	<i>Poznámka</i>
Hlas, dáta	Iridium [37]	66 LEO	1.6 GHz, (29GHz / 19GHz)	globálne	Komerčne nasadený
	Globalstar [38]	48 LEO	1.6 GHz, 2.4 GHz, (5 / 7 GHz)	v pásme +/- 68? zemepisnej šírky	CDMA, systém v prevádzke (nie všetky satelity)
	ICO [39]	10+2 MEO	2 GHz, (5 / 7 GHz)	globálne	Spolupráca s GSM
	Inmarsat [40]	4 GEO	1.6 GHz / 3.6 GHz	globálne	Dlhodobá v prevádzke
	Ellipso [41]	4+3+5 MEO	1.6 GHz	globálne	CDMA
Širokopásmový prenos dát	Teledesic [42]	pôvodne 840 LEO, teraz 288 LEO	30 GHz / 20 GHz	globálne	MF-TDMA na uplinku, asynchrónny TDMA na downlinku
	SkyBridge [43]	80 LEO (niekoľko GEO)	10 - 18 GHz	globálne	Využíva ATM
	Spaceway (Galaxy) [44]	Niekoľko GEO satelitov, zatiaľ pridelených 8 slotov	Ka	Globálne, okrem polárnych oblastí	Prvé regionálne pokrytie Severnej Ameriky sa očakáva v roku 2002
	Euroskyway [45]	5 GEO	Ka	Postupne globálne	Prvý satelit by mal byť vypustený v roku 2003
Rozhlasové vysielanie	XMradio [46]	2 GEO	-	USA	Predpokladaný je veľmi vysoký vyžiarovaný výkon
Posielanie správ	Orbcomm [47]	48 LEO	148 MHz / 137 MHz a 400 MHz	globálne	Tracking, dohľad
	Final Analysis (FAISAT) [48]	26 LEO, plánujú zvýšiť na 32 LEO	VHF, UHF, L	globálne	-
Navigácia	GPS [49]	24 MEO	1.5 GHz, 1.2 GHz	globálne	Vyvinutý pre vojenské účely
	Glonass [50]	21	1.6 GHz, 1.2 GHz	globálne	„Sovietska“ verzia GPS
Prieskum	Feugo [51]	12 LEO	-	globálne	Prieskum v súvislosti s požiarom lesov

Tabulka 13 Parametre niektorých satelitných systémov

5 Otvorené problémy

Niektoré z otvorených problémov spojených s poskytovaním interaktívnych služieb v satelitnom prostredí sú uvedené v nasledujúcich bodoch.

Dostupnosť kanála

Komunikácia uskutočňovaná vo vyšších frekvenčných pásmach (napr. Ka, Q, V) je do značnej miery ovplyvňovaná prostredím. Vyššie frekvenčné pásma ponúkajú kapacitu na poskytovanie širokopásmových služieb, ale na druhej strane, vzhľadom na súčasne zaužívané technologické postupy je neekonomické poskytovať služby v týchto pásmach pri požiadavkách na vysokú dostupnosť. Samotné tlmenie vplyvom dažďa, ako jeden z hlavných faktorov ovplyvňujúcich dostupnosť, sa vyskytuje náhodne, s rôznou intenzitou a rôznou dobou trvania a môže degradovať kvalitu kanála až pod použiteľnú úroveň.

Komunikačné protokoly, zabezpečenie proti chybám

Voľný priestor je na rozdiel od metalického vedenia, alebo optického kábla pomerne nekvalitné médium. Voľný priestor je používaný práve pri komunikácii prostredníctvom satelitu. Preto je potrebné venovať zvýšenú pozornosť výberu vhodných komunikačných protokolov a kódovacích algoritmov. Navyše, prenosové oneskorenie satelitnej môže byť v porovnaní s pozemným komunikačným kanálom pomerne veľké. Obojsmerná komunikácia, na kanáloch s veľkou hodnotou súčinu prenosovej rýchlosti a prenosového oneskorenia vyžaduje modifikáciu parametrov protokolov voči parametrom používaným v pozemských sieťach. Optimalizácia výberu parametrov, prípadne modifikácie algoritmov, je potrebná, ak chceme dosiahnuť efektívne využitie kapacity satelitného kanálu.

Kryptovanie, autentifikácia

Signál zo satelitu sa šíri smerom k pozemským staniciam. Princípiálne môže ktorákoľvek stanica prijímať takto šírený signál, ak sa nachádza v rámci pokrytia daného satelitu. Ak pracujeme s údajmi, ktoré sú určené len určitej stanici (staniciam) s oprávnením, je potrebné prístup k kryptovaniu údajov a použitiu systému podmieneného prístupu. Pri poskytovaní interaktívnych služieb prostredníctvom satelitu, je navyše potrebné jednoznačne identifikovať účastníka (napr. pre potreby zpoplatnenia služby) a zamedziť prípadnému zneužitiu jeho profilu iným účastníkom. Preto bude potrebné použiť vhodný systém autentifikácie.

DVB versus ATM versus IP

Digitálne satelitné vysielanie vychádzajúce zo štandardov DVB je veľmi rozšírenou formou šírenia dát, digitálnej televízie a rozhlasu prostredníctvom satelitov. ATM prenosový mód je odporúčaný na prenos rôznych typov služieb, súčasných ale potenciálne aj budúcich, v rámci B-ISDN. Čo sa týka prenosu dát, tak najrozšírenejšou formou je architektúra TCP/IP.

Pri vzájomnom prepájaní jednotlivých sietí je potrebné riešiť spoluprácu protokolov jednotlivých protokolových architektúr. Pre jednoduchosť sa však v praxi najčastejšie používa tunelovanie jedného protokolu protokolom iným. Takýto spôsob prenosu je však veľmi neefektívny. Otvorenou otázkou do budúcnosti je tiež koncepcia protokolov na poskytovanie interaktívnych multimediálnych služieb v oblasti satelitných komunikácií.

OBP

So servisovaním space segmentu sa v praxi neuvažuje a predpokladaná životnosť satelitu by mala byť niekoľko rokov. To sú faktory, ktoré je nevyhnutné zohľadňovať pri návrhu satelitného systému. Satelity s OBP sú technicky komplikovanejšie ako satelity s klasickými transpondérmi a pri návrhu takéhoto satelitu je treba klásť dôraz na funkčnosť technológie počas celej doby životnosti satelitu. Otvorená je otázka výberu technológie spojovania, architektúry spojovacieho pola, spôsob práce s vyrovnávacími pamätami, dimenzovanie veľkostí vyrovnávacích pamätí a ako aj otázka technickej nezastaralosti o niekoľko rokov.

Efektívne využívanie

Satelit je pri svojej činnosti limitovaný čo do šírky použiteľného frekvencného pásma, ako aj čo do možností maximálne vyžiarého výkonu (spotreby energie). Navyše, zhotovenie satelitu a jeho vypustenie je cenovo veľmi náročné. Efektívne využívanie zdrojov, je preto veľmi dôležité pre ekonomické poskytovanie služieb. S rastúcimi požiadavkami na počet užívateľov a prenosovú rýchlosť sa efektívne využívanie zdrojov dostáva stále do popredia. Výberom modulacnej technológie, kódovacieho systému, spôsobu viacnásobného prístupu, formou prenášania dát možno zásadným spôsobom ovplyvňovať efektívnosť celého satelitného komunikačného prístupu. Samotný výber však nemusí byť nemenný počas celej doby uskutočňovania komunikácie, ale môže sa meniť v priebehu komunikácie a prispôbovať celkovým potrebám.

Prenos TCP/IP cez satelit

Vďaka popularite Internetu sa protokoly TCP/IP stali jednými z najpoužívanějších komunikačných protokolov vo svete. Ich priame nasadenie v satelitnom prostredí umožňuje poskytovať komunikačné služby prostredníctvom satelitu, neumožňuje však optimálne využívať prenosovú kapacitu. Komplikovanými sa stávajú hlavne prenosy na linkách s veľkým oneskorením a veľkou prenosovou rýchlosťou. Chybovosť satelitnej komunikačnej linky a povaha chýb tiež zásadným spôsobom ovplyvňujú výkonnosť TCP/IP protokolov. Otvorenou oblasťou je aj použitie OBP satelitov na prenos a spracovanie IP paketov, prípadne smerovanie paketov pri broadcastingu a multicastingu.

Okrem hore spomenutých problémov existuje celý rad iných, spojených napríklad s: interferenciami medzi viacerými lúčmi, hardwarovou realizáciou satelitu a satelitných terminálov, intersatelitnými linkami, vypúšťaním satelitov na obežnú dráhu, užívateľským rozhraním komunikačných služieb a smerovaním dát v LEO systémoch.

5.1 Ciele dizertacnej práce

Cieľom dizertacnej práce bude návrh a analýza adaptívnej prístupovej metódy pre prístup na satelit z hľadiska realizácie interaktívnej komunikácie v spätnom smere. Komunikácia v doprednom smere nebude predmetom záujmu dizertacnej práce. Vzhľadom na predpokladané poskytovanie interaktívnych komunikačných služieb prostredníctvom satelitu, bude sa prihliadať na efektívne využívanie satelitnej kapacity a na celkové prenosové oneskorenie. Poskytovanie služieb sa predpokladá širokému spektru užívateľov nachádzajúcim sa na geograficky rozľahlom území. Hlavne však užívateľom, u ktorých sa nepredpokladá že majú prístup k podobným službám poskytovaným na inej platforme alebo ktorí sú nespokojní s kvalitou služieb poskytovaných na inej platforme.

Dizertacná práca bude orientovaná na:

- ? Vývoj modelu satelitného prostredia
- ? Formulovanie požiadaviek užívateľov
- ? Navrhnutie adaptívnej prístupovej metódy
- ? Simuláciu správania sa tejto metódy
- ? Vyhodnotenie dosiahnutých výsledkov

Komunikácia bude prebiehať prostredníctvom GEO satelitu s regeneratívnym transpondérom, spracovávaním signálu v základnom pásme a viacerými skákajúcimi lúčmi. Všeobecným predpokladom je existencia spoločného dopredného kanálu. Uvažovanými interaktívnymi službami bude hlavne interaktívna TV (napr. video na požiadanie, televízne relácie) a prístup na Internet (napr. prístup k WWW stránkam).

6 Záver

Poskytovanie interaktívnych služieb so sebou prináša vyriešenie otázky realizácie komunikácie v spätnom smere. Rôzne skupiny ľudí môžu mať rôzne požiadavky na kvalitu poskytovaných služieb a v snahe dosiahnuť určitú kvalitu služby, môžu mať rôzne typy služieb rôzne požiadavky na komunikačnú infraštruktúru. Kapitola 2 sa zaoberá kategorizáciou užívateľov a služieb spolu s popisom požiadaviek niektorých vybraných služieb z hľadiska prenosovej rýchlosti, prenosového oneskorenia a povolenej chybovosti v závislosti od smeru komunikácie.

Kapitola 3 obsahuje analýzu komunikačného prostredia s ohľadom na číslicové prenosové technológie a realizáciu komunikácie v spätnom smere. Obsiahnutá je analýza vlastností technológií a služieb ako sú telefónna sieť, ISDN, B-ISDN, xDSL, televízne káblové rozvody, silové vedenia, GSM, LMDS a VSAT. Vo všeobecnosti možno povedať, že bezdrôtové technológie umožňujú poskytovať služby aj v miestach so slabou alebo neexistujúcou prístupovou sieťou. Rovnako tak sú jedinou alternatívou pre poskytovanie mobilných služieb. Satelitné technológie ako špeciálny prípad bezdrôtových technológií navyše umožňujú poskytovanie služieb na geograficky veľkých územiach. Užívatelia nachádzajúci sa v menej husto obývaných oblastiach pritom nie sú znevýhodňovaní pri poskytovaní služieb cez satelit oproti užívateľom nachádzajúcim sa v husto obývaných oblastiach. Bezdrôtové technológie pracujú v určitom frekvenčnom pásme. Šírka jednotlivých pásiem je limitovaná a použitie je medzinárodne koordinované. Naproti tomu, káblové prístupové vedenia sú relatívne menej frekvencne obmedzované, ale pokládka nových prístupových káblových vedení je pomerne finančne náročná. Efektivita narastá v miestach s vyššou hustotou potencionálnych užívateľov a z hľadiska efektivity je veľmi výhodné, keď ako médium možno použiť už existujúce médiá používané inými službami a vybudované pre tieto služby, alebo keď možno použiť tieto služby samotné.

V kapitole 4 je podrobnejšie analyzované satelitné komunikačné prostredie, jednotlivé vplyvy, s ktorými je potrebné uvažovať pri prenose voľným prostredím, ako aj spôsob komunikácie prostredníctvom satelitného kanála. Obsiahnutý je tiež popis základných typov satelitných transpondérov, typov pokrytia a prístupových metód používaných pri satelitnej komunikácii.

Kapitola 5 obsahuje popis niektorých otvorených problémov, spojených s poskytovaním interaktívnych služieb v satelitnom prostredí, ktoré môžu byť predmetom záujmu ďalšieho výskumu. V tejto kapitole sú tiež formulované aj ciele dizertacnej práce.

7 Zoznam skratiek

AAL	ATM Adaptation Layer
ACTS	Advanced Communications Technology Satellite
ADPCM	Adaptive Delta Pulse Coded Modulation
ADSL	Asymmetrical DSL
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AMS	Aeronautical Mobile Satellite Service
ARQ	Automatic Repeat Request
ARRA	Announce Retransmission Random Access
ASS	Amateur Satellite Service
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AuC	Authentication Center
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BBM	Basic Bit Map Protocol
BCH	Bose Chaudhuri Hocquenghem
BER	Bit Error Rate
BFSK	Binary Frequency Shift Keying
B-ISDN	Broadband ISDN
BIT	Binary Digit
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BSC	Base Station Controller
BSS	Broadcasting Satellite Service
BTS	Base Transceiver Station
CAP	Carrierless Amplitude / Phase modulation
CB	Citizen Band
CCIR	Consulativ Committe International Radio
CDMA	Code Division Multiple Access
CDSL	Consumere DSL
CRA	Contention Resolution Algorithm
CRC	Cyclic Redundancy Check (Code)
CS-ACELP	Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction
DAVIC	Digital Audio Video Council
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DBS	Data Base Station
DEC	Data Encryption System
DMT	Discrete Multi Tone
DOCSIS	Data Over Service Service Interface Specification
DPSK	Differential Pulse Shift Keying
DS-CDMA	Direct Sequencing CDMA
DSL	Digital Subscriber Line
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-RCC	Digital Video Broadcasting – Return Channel Cable
EDGE	Enhanced Data Rates
EES	Earth Exploration Satellite Service
EIR	Equipment Identity Register
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Corection
FH-CDMA	Frequency Hopping CDMA
FIFO	First In First Out
FSK	Frequency Shift Keying
FSS	Fixed Satellite Service

FWA	Fixed Wireless Access
GBN	Go Back N
GEO	Geostationary (Geosynchronous Earth) Orbit
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPS	Global Positioning System
GRPS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
HDSL	High data rate DSL
HEO	Highly Elliptical Orbit
HFC	Hybrid Fiber Coaxial
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit Switch Data
ICO	Intermediate Circular Orbit
ISDL	ISDN DSL
IMK	Interaktívna Multimediálna Komunikácia
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISS	Inter Satellite Service
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunications
LEO	Low Earth Orbit
LMDS	Local Multipoint Distribution System
LMS	Land Mobile Satellite Service
LNA	Low Noise Amplifier
LT	Line Termination
MAC	Medium Access Protocol
MDSL	Moderate bit rate DSL
ME	Mobile Equipment
MEO	Medium Earth Orbit
MF-TDMA	Multi Frequency TDMA
MMS	Maritime Mobile Satellite Service
MPEG	Moving Picture Expert Group
MPSK	M stage Phase Shift Keying
M-QAM	M stage Quadrature Amplitude Modulation
MSAP	Mini Slotted Alternating Protocol
MSC	Mobile Switching Center
MSK	Minimum Shift Keying
MSS	Mobile Satellite Service
MVL	Multiple Virtual Line
NASA	National Aeronautical and Space Association
NMS	Network Management System
NMT	Nordic Mobile Telephone
NT	Network Terminal
NT	Network Termination
OBP	On Board Processing
OSI	Open System Interconnection
P-ALOHA	Pure ALOHA
PAM	Pulse Amplitude Modulation
PCM	Pulse Coded Modulation
POTS	Plain Old Telephony System
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RADSL	Rate Adaptive DSL
R-ALOHA	Reservation ALOHA
RBS	Radio Base Station
RSA	Ron Rivest, Adi Shamir, Leonard Adleman

RT	Radio Terminal
S&W	Stop and Wait
S-ALOHA	Slotted ALOHA
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDMA	Space Division Multiple Access
SDSL	Single line DSL
SIM	Subscriber Identity Module
SMS	Short Message System
SOS	Space Operation Service
SRS	Space Research Service
TA	Terminal Adapter
TBD	To Be Defined
TCM	Trellis Coded Modulation
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Terminal Equipment
TKR	Televízny Káblový Rozvod
TWTA	Traveling Wave Tube Amplifier
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNI	User Network Interface
VDSL	Very high rate DSL
VLR	Visitor Location Register
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WDMA	Wave Division Multiple Access
WLL	Wireless Local Loop
WWW	World Wide Web
xDSL	“x” Digital Subscriber Line

8 Referencie

- [1] Farkaš, P.: Kódovanie a modulácie, KTL FEI STU, Bratislava, 1995
- [2] Imriška, D.: Multimedia by satellite, interactive services and return channel, Diploma Thesis, KTL FEI STU, Bratislava, 1997
- [3] Sobotka, J. a kolektiv: Telekomunikací technika, Díl 1., Zprávy, signály, prenosová prostředí, Hüntig & Beneš, Praha, Česká Republika, 2000
- [4] Tanenbaum, S., A.: Computer Networks, Third Edition, Prentice Hall, New Jersey, USA, 1996
- [5] Compaq, Modem Communications, An Overview of Analog Dialup Modem Performance, Environments, and Impairments, Document number PRT/005A/0798
- [6] Hanovec, P.: 56Kb/s komunikace po veřejných komutovaných sítích, LANcom, 10/1997
- [7] Modemy, PC Space, 2/200
- [8] Kukura, P.: ISDN, B-ISDN, ATM, Digitálne siete s integrovanými službami, Faber, Bratislava 1997
- [9] Kyas, O.: ATM-Netzwerke, Aufbau, Funktion, Performance, Datacom Verlag, Bergheim, Germany, 1993
- [10] Gerd Siegmund: Die Technik des Breitband-ISDN, R.v.Decker's Verlag, Heidelberg, 1994
- [11] PE: Malá encyklopedie prenosu dat 2, Sdelovací Technika 6/2000
- [12] Cuchran, J.: Telekomunikacné vedenia, KTL FEI STU, Bratislava,
- [13] Valášek, M.: xDSL: Rýchle prenosy po medenných kábloch, Infotrendy 12/1998
- [14] Broadhead, S.: DSL, Telecommunications, March 1999
- [15] Cuchran, J., Róka, R.: Limiting conditions of the xDSL technologies utilization for the multimedia service exploitation in the access networks, 7th International Scientific Conference, Cofax-Telekomunikácie 2001, Proceedings, pp. 135-138, apríl 2001
- [16] Prenos dat po elektrorozvodné síti, Sdelovací technika, 10/1999
- [17] Kolomazník, J.: Univerzální dráty, CHIP, červen 1999
- [18] www.hw.cz/docs/prenos_dat_po_220/prenos_dat_uvod.html
- [19] Acterna: Mastering the return path, Wavetek Wandel Golterman (Acterna) training program, 2000
- [20] Acterna: TCP/IP over HFC networks, Wavetek Wandel Golterman (Acterna) training program, 2000
- [21] www.dvb.org
- [22] www.docsis.org
- [23] TKR – Quo vadis `01, zborník príspevkov z konferencie, Apríl 2001
- [24] Wandel&Goltermant, GSM pocket guide
- [25] Hamalainen, J.: GSM data services, Thesis, Tampere, Finland, 08/1996
- [26] Knot, M.: GRPS – nová dimenze bezdrátové komunikace, Sdelovací Technika 12/1999
- [27] Alcatel LMDS solution, Technical description
- [28] User and service aspects of LMDS, Acts Project 215 (CRABS)
- [29] Bouquet, G., Bousquet, M.: Satellite communication systems, second edition, John Wiley & Sons, 1994
- [30] DC Palter: Beyond TCP/IP, Satellite Communications, February 1999
- [31] Pritchard W.: Geostationary versus non geostationary orbits, Space communications, volume 11, number 3, 1993
- [32] CCIR Report 721
- [33] CCIR Report 564
- [34] <http://acts.lerc.nasa.gov/>
- [35] Peyravi., H.: Multiple access control (MAC) protocols for the Mars regional network
- [36] Imriška, D., Podhradský, P., Loktu, H., Nordbotten, A.: Multimedia by satellite, interactive services and return channel, 2nd International Conference on Multimedia Technology and Digital Telecommunication Services, Proceedings, pp. 157-166, October 1997

- [37] www.iridium.com
- [38] www.globalstar.com
- [39] www.ico.com
- [40] www.inmarsat.org
- [41] www.ellipso.com
- [42] www.teledesic.com
- [43] www.skybridgesatellite.com
- [44] http://www.hns.com/products/advanced_platforms/spaceway/overview.htm
- [45] <http://www.alespazio.it/program/tlc/eurosk/eurosk.htm>
- [46] www.xmradio.com
- [47] www.orbcomm.com
- [48] <http://www.finalanalysis.com/>
- [49] <http://www.aero.org/publications/GPSPRIMER/>
- [50] <http://leonardo.jpl.nasa.gov/msl/QuickLooks/qlonassQL.html>
- [51] <http://www.insa.es/fuego/>
- [52] <http://www.dvb.org>
- [53] Surveying the state of the DTV around the world, Special supplement of World Broadcast Engineering, December 2000 / January 2001
- [54] Žalud, V.: Moderní Radioelektronika, BEN technická literatura, Praha, 2000
- [55] Fitzpatrick, E., J.: Spaceway System Summary, space communications, volume 13, number 1, 1995
- [56] Stutzman, W., L.: The special section on propagation effects on satellite communication links, Proceedings of the IEEE, volume 81, number 6, 1993
- [57] Kotocová: Počítacové siete, prednášky, FEI STU, Bratislava, 1996/1997
- [58] Imriška, D.: Interactive Services, Satellite Return Channel and On Board Processing, 12th Management Committee meeting, May 2000, COST-257, Final Report
- [59] Imriška, D.: Nové aplikácie v satelitných komunikáciách, 7th International Scientific Conference, Cofax-Telekomunikácie 2001, Proceedings, pp. 73-78, apríl 2001