



PRÍSTUPOVÉ SIETE

prednášky

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Ľudmila Maceková

2018

NÁZOV: Prístupové siete - prednášky
AUTOR: Ing. Ľudmila Maceková, PhD.
LEKTORI: prof. Ing. Stanislav Marchevský, CSc., prof. Ing. Dušan Kocur, CSc.
VYDAVATEL: Technická univerzita v Košiciach
ROK: 2018
ROZSAH: 144 strán
NÁKLAD: 50 ks
VYDANIE: prvé
ISBN: : 978-80-553-2747-1

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.
Za odbornú a obsahovú stránku zodpovedá autor.

Predhovor

Táto publikácia vznikla z textov prednášok predmetu Prístupové siete, ktorý bol vytvorený na požiadavku v rámci bakalárskeho študijného programu Multimediálne telekomunikácie na Katedre elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. Materiál bol čerpaný zo zdrojov uvedených pri každej prednáške v texte, prípadne priamo pri obrázkoch, za čo patrí vďaka všetkým príslušným pôvodným autorom. Téma je to rozsiahla, prístupových sietí je, dá sa povedať, obrovské množstvo, a preto nebolo v silách autorky vytvoriť výlučne vlastný obrazový materiál k tejto publikácii. Obrázky sú pritom pri vysvetľovaní nevyhnutné, a nie sú to vždy jednoduché obrázky. Jednotlivé témy – typy, alebo triedy širokopásmových prístupových sietí sú tu vysvetlené v značne skrátenej podobe a len v podobe krátkych opisov a najdôležitejších špecifikácií. Mnohé z týchto sietí sú obsahom výučby ďalších špecializovaných predmetov v spomínanom študijnom programe, a tu sú napriek tomu uvedené tiež, a to pre vytvorenie čo najkompletnejšieho obrazu možností prístupu k širokopásmovým službám.

autorka

Obsah

Prednáška 1

- Úvod
- Pojem a vývoj telekomunikačných sietí
- Úlohy telekomunikačnej siete
- Parametre telekomunikačných sietí
- Základné pojmy z oblasti telekomunikačných sietí
- Druhy telekomunikačných sietí

Prednáška 2

- Prístupové siete
- Úvod
- Architektúra prístupových sietí z viacerých pohľadov
 - Všeobecná architektúra
 - Funkčná architektúra prístupových sietí
 - Fyzické topológie prístupových sietí
 - Logické topológie
- Metódy prístupu na spoločné prenosové médium
 - Stochastické metódy prístupu
 - Metódy s minimalizáciou kolízie
 - Deterministické prístupové metódy
 - Multiplexné prístupové metódy
 - Prístupová metóda TDMA (Time Division Multiple Access)
 - Frekvenčne delený viacnásobný prístup (FDMA)
 - WDMA - Vlnovo delený viacnásobný prístup (Wavelength Division Multiple Access)
 - Prístupová metóda SCMA
 - Prístupová metóda CDMA

Prednáška 3

- Metódy prenosu v prístupových sieťach
 - Rozdelenie metód prenosu digitálneho signálu
- Linkové kódy
 - AMI - Alternate Mark Inversion
 - HDB3 – High Density Bipolar of order 3
 - Dvojúrovňové bipolárne NRZ-kódy sú kódy Manchester a CMI (Coded Mark Inverted).
 - Kód 2B1Q (Two Binary-One Quaternary)
- PAM (Pulse Amplitude Modulation)
- Digitálne modulácie - metódy digitálneho prenosu v preloženom pásme
 - Princíp PSK; 2- a 4-stavová PSK, QPSK
 - QPSK
 - QAM
 - CAP – modulácia – (Carrierless Amplitude and Phase)
 - Diskrétna multitónová modulácia – DMT
 - OFDM

- Trellisové kódovanie
- Paketový a bunkový spôsob prenosu
 - ATM
 - Ethernet
 - TCP/IP siete
- Media streaming
- Kandidátske metódy prenosu pre 5G-mobilnú komunikáciu

Prednáška 4

- Druhy prístupových sietí
 - Účastnícke siete
 - Hybridné siete
 - ISDN – Digitálna sieť integrovaných služieb
 - BRI (Basic Rate Interface) – Základná prípojka ISDN
 - PRA (Primary Rate Access) - Prípojka ISDN-PRA
 - Rozhrania V5.x pre pripojenie účastníckych systémov

Prednáška 5

- Druhy prístupových sietí - pokračovanie
 - Systémy kábelovej televízie v úlohe prístupových sietí
 - DVB-C
 - DOCSIS
 - Systémy „bezdrôtovej kábelovky“ MMDS a MVDS
 - Využitie energetických vedení pre prístup k širokopásmovým službám
 - IPTV a Internet cez elektrické zásuvky (v rámci domácej siete)

Prednáška 6

- Druhy prístupových sietí – pokračovanie:
 - Rádiový širokopásmový prístup
 - Bezšnúrový telefón
 - Mobilná bunková sieť
 - Prehľad generácií mobilnej komunikácie v skratke
 - Mobilné rádiové technológie trochu podrobnejšie
 - Mobilná rádiová sieť GSM
 - LTE – Long Term Evolution (dlhodobý vývoj) – 3GPP Release 8, a LTE-Advanced
 - LTE – Advanced
 - Satelitné prístupové siete
 - Parametre satelitných systémov
 - LEO – Low Earth Orbit (Systémy s nízkou obežnou dráhou)
 - MEO-satelitné systémy (Middle Earth Orbit)
 - Satelitné systémy GEO (Geostationary Earth Orbit)
 - Systémy HEO (Highly Elliptical Orbit)

Prednáška 7

- Druhy prístupových sietí – Rádiové siete - pokračovanie:

- Pevné bezdrôtové širokopásmové prístupové systémy - WLAN (Wireless Local Area Network)
 - FWA (Fixed Wireless Access)
 - LMDS
 - MMDS
 - MVDS
 - Wi-Fi
 - WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
 - WPAN – Wireless Personal Access
 - Bluetooth: do 10 m
 - ZigBee – 802.15.4
 - HomeRF

Prednáška 8

Optické prístupové siete (OAN – Optical Access Networks)

- Architektúra OAN
- Referenčná konfigurácia OAN a vlastnosti zakončení OLT a ONU
- Technológia PON (Pasívna optická sieť)
- Štandardy PON
- Komponenty OAN
 - Optické vlákna a ich vlastnosti
 - Plastové optické vlákna (POF)
 - Väzobné členy
 - Vlnové multiplexory (WDMs)
 - Spojky
 - Optické konektory
 - Ďalšie komponenty PON
 - Aktívne optické komponenty
 - Optické zdroje
 - Optické detektory
 - Optické zosilňovače
 - Ďalšie komponenty OAN
- Duplex v OAN
- Príklady profesionálnych prístupových systémov s PON:
- Optické smerové spoje - FSO
 - FSO - Moderný vývojový trend v oblasti – predmet viacerých výskumných projektov

Prednáška 9

- Technológie xDSL - využitie telefónnych vedení
 - Úvod
 - História
 - Klasifikácia
- IDSL (ISDN DSL)
- Skupina HDSL
- HDSL (High bit rate DSL)

- HDSL2
- SDSL
- MSDSL (Multirate Symmetric DSL)
- SHDSL (Single Pair HDSL)

Prednáška 10

- Technológia ADSL
 - Modulácie
 - Referenčný model ADSL (architektúra)
 - ADSL-modem
- ADSL 2 a ADSL 2+
- ADSL 2+
- RE-ADSL
- RADSL (Rate Adaptive DSL)
- Bonded ADSL

Prednáška 11

- Technológia VDSL (Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line)
 - VDSL2
 - VDSL2 - profil 35b
- Ďalšie DSL
 - FDSL
 - BDSL – Broadcast DSL

Prístupové siete

Prednáška 1

Obsah

*Úvod**Pojem a vývoj telekomunikačných sietí**Úlohy telekomunikačnej siete**Parametre telekomunikačných sietí**Základné pojmy z oblasti telekomunikačných sietí**Druhy telekomunikačných sietí**Literatúra*

Úvod

Telekomunikácie sú dnes jednou z najrýchlejšie sa rozvíjajúcich oblastí výskumu, ale tiež oblasťou, kde výsledky výskumu sa veľmi rýchlo uvádzajú do praxe a sú poskytnuté koncovému užívateľovi. Projektantom sietí neustále poskytujú nové výzvy a možnosti, a koncovým užívateľom nové služby a zvyšovanie pridanej hodnoty. Spolu s tzv. telekomunikačným priemyslom tvoria významnú časť svetovej ekonomiky.

Prístupové siete ako časť telekomunikačných sietí pripájajúca užívateľov k poskytovateľovi (tzv. prvá míľa zo strany užívateľa), sa vyvinuli z *účastníckych sietí*, pôvodne realizovaných z metalických krútených párov vytvárajúcich spojenie typu P2P a poskytujúcich obmedzené, hlasové a neskôr aj telexové služby (fax, ďalekopis).

Mimochodom, *krútený pár* je nutné si zapamätať ako technický pojem, označujúci konkrétny typ vedenia (2 medené izolované drôty, pravidelne stáčané s definovaným stúpaním. Väčšinou sú uložené s ďalšími párami v spoločnom kábli – UTP a iné –pričom každý pár je stáčaný s iným konkrétnym stúpaním, drôty v ňom sú farebne odlíšené od iných párov, a ich pozícia v kábli je definovaná, rovnako aj ich použitie.

Prístupové siete sa vyvíjali paralelne niekoľkými cestami. Najmodernejší, a ešte stále najspoľahlivejší, ale aj najdrahší je prístup realizovaný optickými vláknami. Médiá pre prístup k širokopásmovým službám budú opísané podrobnejšie neskôr pri jednotlivých typoch prístupových sietí. Jednou z ciest, ktorou sa vývoj uberal, bola snaha využiť existujúcu starú telefónnu sieť (PSTN – Public Switched Telephone Network). Tá bola zavedená takmer všade, ostávalo len vyvinúť spôsob, ako ju využiť na prenos širokopásmového signálu. (Prístupové siete sa nazývajú tiež *širokopásmovými*. Prečo? Lebo: hlas - analóg- do 4 kHz; digitálne dáta – stovky až tisícky kHz; to súvisí s digitalizáciou, kódovaním, kompresiou, zabezpečením a metódou prenosu.) Využitie káblov starej PSTN bolo lacnejšie a, síce v závislosti od konkrétneho miesta, nemuselo byť horšie než využitie iných dnes známych technológií, vrátane optiky.

Základnou myšlienkou *telekomunikácie* je výmena informácií, pričom ide o asistovanú výmenu a na diaľku. Informácie môžu byť obsiahnuté vo zvuku/hlase, reči, texte, dátach, obrázkoch a vo videu.

Telekomunikačná sieť je dnes systémom, ktorý by mal spomínané a ďalšie služby poskytnúť veľkému počtu koncových užívateľov.

Pojem a vývoj telekomunikačných sietí

Pojem *sieť* sa často stotožňuje s pojmom systém. Je však medzi nimi istý rozdiel:

systém = hardvér, viacero telekomunikačných zariadení (prenosové, spojovacie, ...)

sieť = väzba medzi týmito zariadeniami.

Telekomunikačná sieť v širšom zmysle je súbor technických prostriedkov slúžiacich na vysielanie, prenos, premenu, príjem a spracovanie signálu (alebo inak: ... súbor zariadení potrebných na poskytovanie telekomunikačných služieb)

V súčasnosti do telekomunikačnej siete zahrňame aj *počítačové siete*, a vývoj smeruje k vytvoreniu jednotnej siete integrujúcej všetky služby. V podstate sme sa už k tomu cieľu veľmi priblížili. Vývoj telekomunikačných sietí sa opiera o vynálezy v oblasti elektrotechniky, elektroniky, optoelektroniky a výpočtovej techniky. Od pôvodných *špecializovaných sietí* a služieb (telefónna, ďalekopisná, dátová, televízna, rozhlasová, atď.) sa prechádza k *integrovaným sieťam*. Podmienky tohto „mega“ vývoja vytvorila digitalizácia, pričom veľký skok v tomto vývoji sa mohol uskutočniť hlavne po digitalizácii v prenosovej a spojovacej technike.

Pri integrácii sú však problémom rôzne požiadavky jednotlivých služieb na potrebnú *šírku pásma* (*prenosovú rýchlosť*). Dostatočná *informačná kapacita* (*priepustnosť* – throughput) prenosových ciest, ktorá s touto šírkou pásma tiež priamo súvisí, sa potom prejaví v priaznivejšej (menšej) hodnote *oneskorenia* prenesenej správy.

História telekomunikačných sietí je zaujímavo opísaná napr. v [1]. V tomto texte sa obmedzíme len na veľmi skrátenú verziu tohto opisu.

Potreba oznamovať informácie existuje odpradáva. Spôsoby ich prepravy však úzko súviseli s technickými prostriedkami, ktoré boli v danej dobe k dispozícii. Spoločná bola vždy snaha o rýchle doručenie neskreslenej správy, podľa možnosti v úspornej forme, prípadne utajenej, a k správne adresátovi. Možno konštatovať (žiaľ), že hnacou silou vývoja v tejto oblasti boli väčšinou tragické udalosti – hlavne vojnové konflikty alebo ich príprava. Spomedzi mnohých historických míľnikov spomenieme aspoň poštovú službu (najprv len doručovanie prostredníctvom poslov), optické signály (dymové, svetelné, ..., semafóry), akustické signály (aj s pomocou akustických meničov a zvukovodov).

Skutočné *telekomunikácie* možno spomínať až v súvislosti s vynálezmi v elektrotechnike, ako bol telegraf, Morseova abeceda, ďalekopis (z telegrafu pri 16 slovách za minútu až po 500 slov za minútu, dierna páska, bezdrôtový telegraf), telefón (A.G. Bell) a jeho rôzne vývojové stupne a princípy až po dnešný zložitý inteligentný prístroj s mnohými funkciami (smartfón), prakticky už takmer naplňajúci ideu koncového zariadenia integrovanej siete.

S vývojom telekomunikácií je prepojený vývoj prenosových médií (medené vodiče, 2-vodičové vedenia, 1-vodičové vedenia so zemou ako spätným vodičom pri železničnej komunikácii, nadzem-

né/podzemné/podmorské vedenia a káble, koaxiálne vedenie, optické vlákna a káble) a zariadení a systémov (okrem koncových zariadení aj zosilňovače, opakovače, ústredne – reléové spoje, elektronické logické obvody, modulácie, multiplexy, digitalizácia, automatizácia, využitie mikroprocesorov) a teória hromadnej obsluhy (A.K. Erlang).

Úlohy telekomunikačnej siete

Z pohľadu koncových užívateľov má telekomunikačná sieť nasledujúce hlavné úlohy:

- umožniť spojenie medzi koncovými používateľmi
- umožniť výmenu informácií v želanej forme (koncové zariadenia/stanice)
- posilať / prijímať signály ku/od koncového používateľa s cieľom zriadiť, udržať a rozpojiť spojenie
- poskytnúť prídavné služby (napr. budenie, zúčtovacie informácie, a pod.) aplikácie a rôzne formy a druhy vzdialenej komunikácie (prístup k informačným zdrojom, inteligentné vyhľadávače, preklady v reálnom čase, dištančné vzdelávanie a virtuálna škola, zábava, komunikácia, obchod, bankovníctvo, telemedicína, telemetria, bezpečnostné služby a ďalšie)

Z pohľadu poskytovateľov služieb a operátorov je úlohou telekomunikačnej siete prinášať zisk. S tým súvisia nasledujúce skutočnosti.

- Poskytovatelia sú nútení sledovať vývoj v tejto oblasti, aby mohli čo najrýchlejšie zaviesť do praxe nové technológie, a tým zvýšiť kvalitu poskytovaných služieb a zahrnúť do svojej ponuky aj služby nové.
- Rýchlymi zmenami prechádza aj profil prevádzky, preto sa od siete vyžaduje aj istá *pružnosť*, resp. schopnosť prispôsobenia. V istom zmysle to znamená, že sieť má byť schopná aj prispôbiť šírku pásma požiadavke (on demand).
- Z pohľadu operátorov (z dôvodu konkurencie a z dôvodu oddelenia operátora siete od poskytovateľa služby) je potrebné poznať a špecifikovať požiadavky na systém, ktorých splnenie väčšinou úzko súvisí:
 - minimalizácia investičných a prevádzkových nákladov na sieť
 - nasadzovanie vysokokapacitných multiplexných prenosových systémov (náklady na prenos výrazne klesajú so stúpajúcou kapacitou prenosového systému)
 - zabezpečenie vysokej pružnosti siete z hľadiska jej rozširovania a zmeny architektúry
 - riešenie diaľkovej diagnostiky, dohľadu a konfigurácie siete
 - možnosť operatívneho zavádzania nových služieb alebo zrušenia služieb, o ktoré už nie je zo strany účastníkov záujem.

Parametre telekomunikačných sietí

Jedná sa o parametre presnejšie definujúce, prípadne aj kvantifikujúce požiadavky kladené na sieť:

- prenosová rýchlosť
- symetria služby (v smeroch od a ku účastníkovi)
- možný stupeň kompresie digitálneho toku
- maximálna prípustná chybovosť digitálneho signálu medzi koncovými zariadeniami siete
- maximálne akceptovateľné oneskorenie signálu pri prenose (napr. pre videokonferencie menšie než pre textové správy)
- miera využitia prenosového kanála (napr. pri hlasovej telefónnej službe asi 50%)

- priemerná dĺžka relácie
- dopyt po službe a jeho časové rozloženie.

Schopnosť poskytovať služby na určitej úrovni pomocou telekomunikačnej siete sa posudzuje pomocou parametrov QoS (Quality of Services).

Kvalita služieb – QoS predstavuje komplexný pojem. Je definovaná v medzinárodných telekomunikačných štandardoch ITU (ITU-T G.1000, E.800, ...) a ETSI.

QoS obsahuje základné kritériá:

- rýchlosť (speed)
- presnosť (accuracy)
- dosiahnuteľnosť (availability)
- spoľahlivosť (reliability)
- bezpečnosť (security)
- jednoduchosť (simplicity)
- pružnosť (flexibility)

Štandard ITU-T G.1010 definuje ďalšie kritériá ako:

- oneskorenie
- kolísanie oneskorenia pri prenose
- stratovosť informácie (PLR – Packet Loss Rate)

Nasledujúce tabuľky (Tab. 1, Tab. 2) výstižne ilustrujú rôzne nároky rôznych služieb v podobe spomínaných parametrov.

Tab. 1 Základné kvalitatívne ukazovatele pre prenos zvukovej a obrazovej informácie

aplikácia	Symetria	Typická rýchlosť [kbps]	Oneskorenie [s]	Kolísanie onesk.[ms]	PLR (Packet loss rate)
Prenos zvuk. informácie					
Telef.	Symetricky	4 - 64	<0,4 (0,15)	< 1	< 3%
Hlas.správy	Jednosm.	4 – 32	< 1	< 1	< 3%
Audio on dem.	Jednosm.	16 – 128	< 10	<<1	< 1%
Prenos obrazovej informácie					
Videotelef.	Symetr.	16 - 384	<0,4 (0,15)		< 1%
VoD	Jednosm.	16- Mbps	< 10		< 1%

Tab. 2 Základné kvalitatívne ukazovatele pre prenos dát [3]

aplikácia	Symetria	Typ.obje m dát[kB]	Onesk. [s]	Chybovo st' BER
Hľadanie inf. (browsing)	Asym.	~10	< 2 Prípustné <4	~ 0
Sťahovanie súb. a stat.obrázokv	Asym.	10 – 10 000	< 15 Prípustné <60	~ 0
Obch.transak cie	Symetricky	< 10	< 2 Prípustné <4	~ 0
Ďialk.riadenie a interakt.hry	Asym.	< 1	< 0,2	~ 0
E-mail (prístup k serveru)	Jednosmerne	< 10	< 2 Prípustné <4	~ 0
E-mail (medzi servermi)	Jednosmerne	< 10	Niekoľko min.	~ 0
Telefax	Jednosmerne	~ 10	Niekoľko min.	< 10 ⁻⁶

Základné pojmy z oblasti telekomunikačných sietí

V tejto podkapitole sú uvedené niektoré definície z Medzinárodného elektrotechnického slovníka IEC. V inej literatúre však môžu byť tieto pojmy vyjadrené aj iným spôsobom.

Duplex – spôsob prevádzky, pri ktorom sa informácia môže prenášať medzi dvoma bodmi v oboch smeroch súčasne.

Dvojdrotový prenos (spojovanie) - prenos (spojovanie), pri ktorom sa pre oba smery prenosu používa tá istá prenosová cesta.

Informácie - správy alebo poznatky, ktoré môžu byť vyjadrené v tvaroch vhodných pre komunikáciu, uloženie alebo spracovanie.

Kanál (prenosový) - súhrn technických prostriedkov umožňujúcich prenos signálov v jednom smere medzi dvoma bodmi.

Koncentrátor - spojovacie zariadenie umožňujúce súčasne rôzne spojenia medzi okruhmi na jednej strane a iným počtom okruhov na strane druhej.

Modulácia - proces, pri ktorom sa niektorá charakteristická veličina signálu mení podľa charakteristickej veličiny iného signálu.

Multiplexor (demultiplexor) - zariadenie uskutočňujúce multiplexovanie (demultiplexovanie).

Multiplexovanie - vratný proces združovania signálov od niekoľkých samostatných zdrojov do jedného zloženého signálu, určeného na prenos cez spoločný prenosový kanál.

Okruh (telekomunikačný) - kombinácia dvoch prenosových kanálov, umožňujúca prenos medzi dvoma bodmi v oboch smeroch.

Prenosová cesta - priebeh signálu pri jeho prenose medzi dvoma bodmi.

Prepájanie (komutácia) okruhov - spájovanie spočívajúce v požadovanom prepojení koncových zariadení, prenosových kanálov alebo telekomunikačných okruhov kvôli poskytnutiu spojenia používaného výhradne počas doby trvania volania alebo služby.

Prepájanie (komutácia) paketov - proces smerovania správ v telekomunikačnej sieti, pri ktorom sa správa najprv rozdelia na pakety (presne definované skupiny číslicových dát – bitov) vybavené adresami. V určitých uzloch siete sa tieto pakety prijímajú, ukladajú sa do pamäti a vysielajú sa do príslušných prenosových kanálov. Na prijímacom konci sa správa obnovia z prijatých paketov do pôvodnej správy.

Rádiokomunikácia - telekomunikácia prostredníctvom rádiových vln.

Signál - fyzikálny jav, pri ktorom jedna alebo viac charakteristických veličín môžu svojou zmenou vyjadriť informáciu.

Simplex - spôsob prevádzky, pri ktorom sa informácia môže prenášať medzi dvoma bodmi v oboch smeroch, avšak nie súčasne.

Smerovanie - podľa určitých pravidiel výber zväzku okruhov, ktoré majú byť použité na zostavenie daného spojenia od určitej ústredne kvôli konkrétnemu pokusu o volanie.

Spoj - telekomunikačné prostriedky s určitými vlastnosťami medzi dvoma bodmi.

Spojenie - dočasné zoskupenie prenosových alebo telekomunikačných okruhov, spojovacích alebo iných funkčných jednotiek, usporiadaných kvôli uskutočneniu prenosu informácie medzi dvoma alebo viacerými bodmi v telekomunikačnej sieti.

Spojovanie (komutácia) - proces dočasného prepojenia funkčných jednotiek, prenosových kanálov alebo telekomunikačných okruhov s cieľom dosiahnuť požadované spojenie.

Štvordrôtový prenos (spojovanie) - prenos (spojovanie), pri ktorom sa pre každý smer prenosu používa samostatná prenosová cesta.

Telekomunikácia - a) prenos informácie podľa dohodnutých pravidiel prostredníctvom drôtových, rádiových, optických alebo iných elektromagnetických systémov.

b) vedecký a technický odbor oznamovacej elektrotechniky, vytvárajúci teoretické a praktické podmienky pre realizáciu sietí určených na vysielanie, prenos, príjem a spracovanie informácií.

Telekomunikačná sieť - súhrn všetkých prostriedkov umožňujúcich poskytovanie telekomunikačných služieb medzi radom miest, kde prístup k týmto službám poskytujú príslušné zariadenia.

Ústredňa (v telekomunikáciách) - súhrn spojovacieho a prídavného zariadenia uzla telekomunikačnej siete, umožňujúci zostavovanie jednotlivých spojení podľa požiadaviek individuálnych používateľov.

Volanie - zostavenie a použitie spojenia, ktoré nasleduje po pokuse o volanie....

Druhy telekomunikačných sietí

V nasledujúcej tabuľke (Tab. 3) je uvedená klasifikácia telekomunikačných sietí podľa viacerých rôznych hľadísk. Jednotlivé konkrétne typy telekomunikačných sietí potom podľa rôznych hľadísk môžu

tvoriť skupiny vždy s inými sieťami. Toto delenie však platilo skôr v minulosti. Dnes sa takpovediac stiera z dôvodu uvedeného vyššie (postupná integrácia, príp. až zánik niektorých starších technológií).

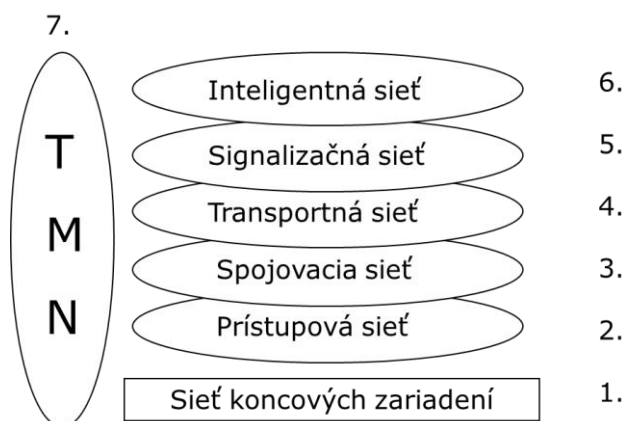
Tab. 3 Delenie telekomunikačných sietí podľa rôznych hľadísk

	Hľadisko	Druhy sietí podľa hľadiska
1.	miesto v oznamovacom reťazci	individuálne okruhy (účastnícke), spoločné okruhy (spojovacie), miestne, medzimestské, medzinárodné, prístupová sieť, prepravná (transportná).
2.	prenosové médium	vodičové, t.j. drôtové/metalické, optické, bezdrôtové
3.	prístup používateľov k sieti	verejná sieť, neverejná (pobočkové, privátne)
4.	prenosové a spojovacie prostriedky	s oddelením priestorovým, frekvenčným, časovým, kódovým; siete analógové, digitálne, hybridné
5.	druh koncových zariadení	špecializované, integrované
6.	vytvorenie spojenia	pevná sieť, komutovaná; jednosmerná, obojsmerná
7.	spôsob prenosu	2-drôtová, 4-drôtová sieť
8.	spôsob prepojovania	s komutáciou okruhov, s komutáciou správ alebo paketov
9.	topológia	pavúčia, hviezdicová, mrežová, zložená, zmiešaná, stromová, kruhová, tandemová
10.	postup digitalizácie	digitálne „ostrov“, prekrývajúce sa siete, úplná výmena analógovej za digitálnu sieť

V tabuľke sú len vymenované druhy sietí. Nasleduje podrobnejší komentár k jednotlivým druhom, resp. ich krátky opis.

1. Miesto v oznamovacom reťazci

Z tohto hľadiska sme si hlavne v minulosti mohli predstaviť architektúru telekomunikačných sietí ako hierarchické usporiadanie jej jednotlivých vrstiev (Obr.1)

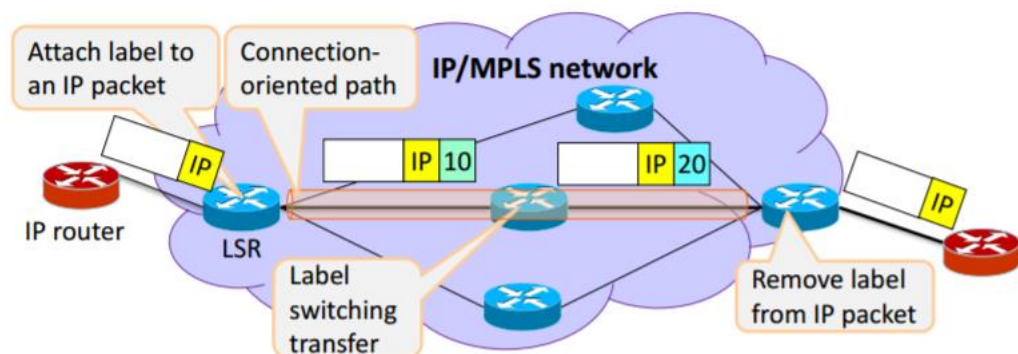


Obr. 1. Vrstvový model architektúry telekomunikačných sietí (TMN-Telecommunication Management Network)

- *Sieť koncových zariadení* (terminálov) tvoria koncové zariadenia a prenosová sieť, ktorá ich pripája k rozhraniu (koncovému bodu) prístupovej siete. V starej terminológii telefónnych sietí bol koncovým bodom tzv. *účastník*.
- *Prístupová sieť* realizuje prístup terminálov k spojovacej sieti; na to používa všetky druhy prenosových médií. V starých telefónnych sieťach (PSTN) sa na tejto úrovni hovorilo o *účastníckej sieti*, ktorá realizovala pripojenie k *ústredni*.

- *Spojovacia sieť* realizuje prepojuvacie funkcie; tvoria ju jednotlivé spojovacie uzly, ktorých dominantnou funkciou je *smerovanie a prepojovanie tokov volaní (switched network)*. V PSTN prepojovala ústredne navzájom. Keďže klasické ústredne (*Central Office*) už odchádzajú do minulosti, s nimi zrejme aj spojovacia sieť a aj niektoré súvisiace pojmy (spojovacie polia, prepínanie/spojovanie telefónnych okruhov, a pod.). Do minulosti však zrejme neodchádza pojem *spojovanie (switching, doslova prepínanie)*, ako proces, ktorý premiestňuje dáta z jedného interfejsu a doručuje ich k inému interfejsu, pričom vyberá najlepšie cesty medzi strojmi, ktoré uchovávajú správy. Spojovanie sa však už nedeje na úrovni obvodov, často už ani na úrovni kanálov, ale väčšinou na úrovni správ, paketov, príp. bitov. V prípade prestupu medzi rôznymi špeciálnymi sieťami zároveň dochádza k transformácii signálu. Prepojuvacie funkcie spojovacej siete a ďalšie funkcie prevzali centrá mobilných sietí a v prípade integrovaných sietí a služieb centrá ďalších väčších, menších alebo globálnych poskytovateľov týchto služieb.
- *Transportnú sieť* tvoria prostriedky umožňujúce prenos a smerovanie správ medzi prvým a posledným uzlom siete. Prepája navzájom všetky spojovacie uzly; je ku nim pripojená cez príslušné koncové uzly. Jej dominantnou funkciou je prenos klientskej prevádzky informácií, no okrem toho aj jej vlastnej prevádzky (funkcie OAM - operation, administration, and maintenance, NMSs –network management systems, a ochrana), na čo využíva *prenosové systémy a prenosové médiá*. V minulosti pri zabezpečení okruhovo prepájaného spojenia bolo v transportnej sieti výrazne odlišných viac úrovní. V pomeroch Slovenskej republiky to boli 2 úrovne:
 - *národná transportná sieť*- realizovala prepojenie hlavných uzlov národnej siete a prestup do siete medzinárodnej
 - *regionálna transportná sieť* – realizovala prepojenie miestnych spojovacích uzlov a prístup do národnej siete.

V súčasnosti sa transportná sieť preorientováva na optické prenosové médiá, a namiesto digitálnych systémov SDH (Synchronous Digital Hierarchy) a PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) prechádza na systém ATM (Asynchronous Transfer Mode) a všeobecne na paketovo orientovanú transportnú technológiu zahŕňajúcu Ethernet a tzv. MPLS (MultiProtocol Label Switching – prepájanie medzi viacerými protokolmi využívajúce návestia). Systém a sieť MPLS (Obr. 2) zodpovedá zvyšujúcim sa nárokom na internetovú sieť s jej charakterom čoraz viac sa približujúcim integrovanej sieti. Opis filozofie a parametrov MPLS možno nájsť napr. v dokumente ITU [2]. V takejto novej podobe a úlohe transportnej siete sa mení aj jej členenie.



Obr. 2 IP/MPLS sieť – situácia v súčasnosti, kde už nie je vidno pôvodné hierarchické, alebo vrstvomé usporiadanie telekomunikačnej siete. (LSR – Label Switched Router)

Niekedy sa ešte možno stretnúť s pojmami *základná (jadrová, chrbticová – core) sieť*, ktorú tvorí transportná sieť spolu so spojovacou, alebo *prenosová sieť*, ktorú tvorí spolu prístupová a transportná sieť.

- *Signalizačná sieť* v minulosti zabezpečovala výmenu riadiacich informácií, t.j. prenos signalizácie a synchronizácie medzi uzlami spojovacej siete. Fyzicky využívala technické prostredie transportnej siete, logicky tvorila samostatnú, paketovo orientovanú sieť. Signalizácia sa uskutočňovala prostredníctvom spoločného signalizačného kanála s využitím napr. signalizačného systému CCITT č.7. Signalizačná sieť bola nevyhnutnosťou pri ISDN (Integrated Services Digital Network – Digitálna sieť integrovaných služieb) ako jedného z prvých typov prístupovej siete. V súčasnosti úlohu signalizácie preberajú funkcionality nového typu transportnej siete – paketovej siete, prenášajúcej hlavne IP-služby (IP- Internet Protocol). V novom type sietí sa realizuje aj migrácia funkcií signalizačnej siete ako dedičstva existujúceho súčasne so zvyškami sietí PSTN.
- *Inteligentná sieť* opäť ako časť telekomunikačných sietí vchádzajúca do minulosti nebola už fyzicky samostatnou sieťou, ale jej logickou nadstavbou, obsahujúcou už nové zákaznicky orientované funkcie ako smerovanie volania k optimálnemu cieľu, prenositeľnosť osobných oprávnení v rámci národnej a medzinárodnej siete.
- *Telekomunikačná riadiaca sieť (TMN – Telecommunication Management Network)* – opäť zanikajúca časť telekomunikačnej siete pohlcovaná súčasnými novými integrovanými transportnými IP-sieťami. Bola prostredím integrujúcim dohľadové a riadiace systémy všetkých sieťových prvkov. Poskytovala možnosť celosieťového riadenia bez ohľadu na typy použitých technológií, v konkurenčnom prostredí viacerých operátorov sietí a prevádzkovateľov služieb. Predpokladom pre to, aby to fungovalo, tak v minulosti ako aj dnes, je, aby jednotliví výrobcovia sieťových systémov dodržiavali medzinárodne dohodnuté štandardy pre rozhrania a protokoly.

1. Typy prenosových médií

Prenosové médiá sú fyzikálne nosiče signálu. Rozlišujeme rôzne prenosové médiá podľa materiálu, konštrukčných vlastností, prenosových vlastností, frekvenčných charakteristík, šírky efektívneho prenosového pásma.

Takže podľa materiálu sú to drôtové /vodičové a bezdrôtové (bezvodičové) médiá. Drôtové ďalej delíme na metalické (väčšinou medené) a svetlovodivé (optické).

Podľa konštrukcie rozlišujeme vodičové médiá symetrické (dvojlinky, krútené páry, ...) a nesymetrické (koaxiálny kábel, vlnovod). Poznáme ďalej rôzne konštrukcie určené pre nadzemné, zemné, podmorské realizácie signálového prenosu.

Symetrické vodičové médiá sú miestne telefónne káble nepupinované obsahujúce krútené páry (dnes využívané pre prístupové siete, Cu 0,4 až 0,8 mm), a štrukturovaná kabeláž (s krútenými párami) CAT5 (příp. 5E) – do 100MHz (100Mbit/s), CAT6 (do 250MHz), CAT7 (do 600MHz), UTP, STP, FTP.

Koaxiálne káble (50 alebo 75 ohm) sa delia podľa rozmerov v priereze na - stredné 2,6/9,5 mm - desiatky MHz, malé, a mikrokoaxiálne káble – jednotky MHz. Okrem toho sa líšia preve-

dením vnútorného aj vonkajšieho vodiča (lanko/drôt, fólia/výplet), použitými kovovými, resp. dielektrickými materiálmi, a tým aj útlmom, rozsahom frekvencií a typom cieľového určenia. Svetlovodné (optické vláknové) médiá majú hrúbku vlákna rádovo v mikrometroch $0,85 - 1,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ - jednojvlnové - 10 GHz, až do približne jedného milimetra - mnohovidové. Mnohovidové sú schopné prenášať viac vlnových dĺžok alebo určitý spojité interval vlnových dĺžok svetla, a tento parameter súvisí zároveň s parametrom skoková zmena indexu lomu, alebo – gradientná zmena. Môžu byť vyrobené z kremičitého skla (drahšie, krehkejšie, menší útlm) alebo z plastov/polymérov (robustnejšie).

Optické bezvláknové spojenie (FSO – Free Space Optics) sa realizuje laserovým lúčom vysielaným z hlavice vysielача cez voľný priestor.

Bezdrôtové (rádiové) spoje zahŕňajú: - mikrovlnové (aj RR – rádio-reléové) spoje v oblasti jednotiek až desiatok GHz, vyžadujú priamu viditeľnosť a sú schopné prenášať pomerne široké frekvenčné kanály obsahujúce množstvo multiplexovaných služieb.

- troposférické

- satelitné

- stratosférické (HAP – High Altitude Platforms - bezpilotné vzducholode, lietadlá a balóny realizujúce prístupový bod v prípade nárazového nárastu množstva účastníkov pri rôznych spoločenských, športových a iných akciách, nečakaných pohromách rôzneho druhu a podobne).

2. Delenie telekomunikačných sietí podľa typu koncových zariadení, je znova pohľad, ktorý platil hlavne v minulosti a podľa ktorého sa siete delili na rôzne *špecializované typy* (televízne, rozhlasové, telefónne, satelitné, telegrafné,...). Tieto siete vznikali postupne, mali rôznu šírku pásma, a prenášali signál v rôznych odlišných podobách (moduláciách). Jednu sieť bolo v neďávnej/“prechodnej“ fáze vývoja telekomunikačných sietí možné s pomocou modemu použiť na prenos signálu charakteristického pre iný druh siete, a pripojiť tak k nej iný druh koncového zariadenia (napr. sieť PSTN, modemy, digitálny signál/signál v telefónnej sieti, a počítačová sieť). Tento prechodný stav, ktorý ešte celkom nezanikol, je na ceste k vytvoreniu *integrovanej siete*, na ktorú možno pripojiť všetky druhy koncových zariadení. Prepájanie a integrácia sietí je možná len na nejakom „integrujúcom“ princípe. Týmto princípom sa stala digitalizácia.

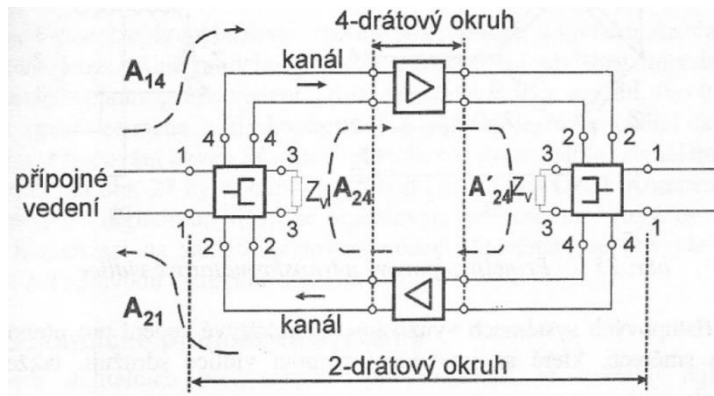
3. Delenie telekomunikačných sietí podľa typu vytvoreného spojenia.

Z tohto pohľadu sme hlavne v minulosti mohli rozlíšiť siete pevné a komutované. *Pevné* spojenia a siete boli a sú vytvorené pre veľké prevádzkové zaťaženie; vyznačujú sa vyššou spoľahlivosťou, pohotovosťou, za istých podmienok možnosťou stopercentného utajenia, a kvalitou. *Komutovaná sieť* obsahuje spojenia (pomocou paketov alebo okruhov) vytvorené len počas doby trvania volania alebo služby. Jej výhodou je lepšia vyťažiteľnosť.

4. Podľa spôsobu prenosu rozlišujeme prenos len jedným smerom (*simplex*), napr. down (smer k účastníkovi), alebo prenos obojsmerný (*duplex*). Simplexné služby sú napr. distribúcia televízneho alebo rozhlasového signálu. Duplexný prenos je v prípade interaktívnych služieb, pričom požiadavky na prenášané pásmo v oboch smeroch môžu, ale nemusia byť rovnaké. Pri duplexnom prenose je nutné odlišiť tieto dva smery, a to sa môže diať fyzicky (oddelené fyzické cesty, t.j. 2 páry alebo 4-vodičové vedenie, 2 optické vlákna) alebo duplexnou metódou najčastejšie vo frekvenčnej oblasti (FDD – frekvenčne delený duplex – iné frekvenčné

pásma pre up a down- smer) alebo v časovej oblasti (TDD – Time Division Duplex – striedanie časových intervalov pre vysielanie up a down).

Pri prenose oboch smerov po tom istom páre vodičov môže byť trasa signálu prerušená v mieste, kde je potrebné tieto dva smery oddeliť, uskutočniť príslušnú operáciu (zosilnenie, spojovacie polia) a/alebo transformáciu signálu, a oba smery opäť zlúčiť. Zariadenie, kde sa táto transformácia 2-vodičového vedenia na 4-vodičové a potom opäť na 2-vodičové uskutočňuje, sa volá *telekomunikačná vidlica* (*telecommunication hybrid*). Je to elektronický obvod (Obr. 3), ktorý môže byť realizovaný niekoľkými rôznymi spôsobmi (diskrétnymi súčiastkami aj integrovanými obvodmi) a v ktorom je vyriešené aj čiastočné a dostatočné potlačenie vzájomného prenikania signálov do opačného smeru (potlačenie echa).



Obr. 3 Telekomunikačná vidlica - bloková schéma

5. Podľa spôsobu prepojovania (spojovania, komutácie) rozdeľujeme siete na siete s komutáciou kanálov, resp. okruhov a s komutáciou správ, resp. paketov.

Pri komutácii okruhov sa predpokladajú fyzické okruhy; prenosová cesta je úplne k dispozícii počas celej doby prenosu správy. To je z pohľadu poskytovateľov veľmi neekonomické riešenie, pretože štatisticky je prístup jednotlivých užívateľov požadovaný len počas určitého percenta z 24-hodinového intervalu (zdáleka nie 100 %), a pri digitálnom signáli napr. reč potrebuje prenosovú kapacitu len asi 40 bps z celkových 64 kbps pri jednej relácii.

V digitálnych sieťach bola predchodcom paketovej komutácie komutácia správ, kde jednotlivé správy pri jednotlivých „preskokoch“ medzi switchmi/routrami, boli na týchto zariadeniach uchovávané. Pred vyslaním každej novej správy sa vytvorila vždy nová cesta. Nedalo sa hovoriť o prenose v reálnom čase; problematické bolo oneskorenie, takže tento spôsob nebol vhodný pre typ dát požadujúcich určité maximálne oneskorenie (pre reč je prípustné oneskorenie maximálne niekoľko desiatok milisekúnd). Príkladom komutácie správ bola elektronická pošta, resp. telegraf.

Paketová komunikácia tvorí základ súčasných počítačových/paketových sietí. Pakety (určitý počet bitov, usporiadaný do definovaných polí s presným určením: záhlavie, samotné dáta, protichybové zabezpečenie) sa v prepojovacom uzle zaznamenajú, prečíta sa ich záhlavie (adresa cieľa, priorita a pod.), a zaradia sa do fronty. Ich prenos sa môže uskutočniť po rôznych cestách, ich poradie na strane príjmu sa musí obnoviť na základe poradového čísla, a potom sa až môžu odovzdať.

V istých prípadoch sa môže vytvoriť tzv. virtuálny kanál (okruh), čo je rovnaká cesta pre všetky pakety danej správy a v správnom poradí. Podobne možno vytvoriť aj virtuálnu sieť.

9. Delenie telekomunikačných sietí podľa *topológie (štruktúry)*.

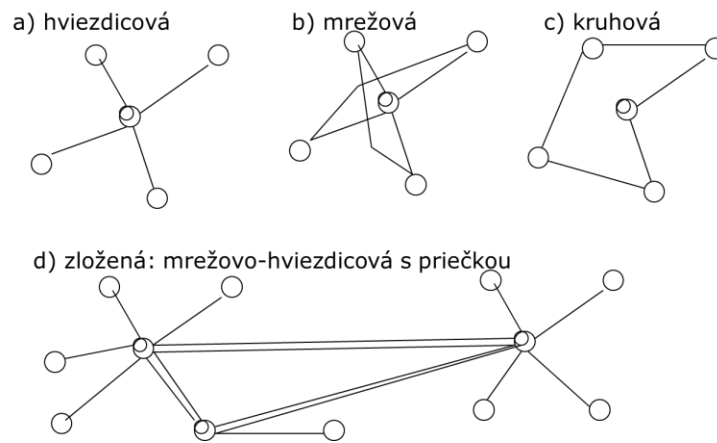
Štruktúra sietí môže byť všeobecne rôzna. Pri jej analýze a optimalizácii sa využíva teória grafov, a z tejto teórie sa v tejto problematike používajú pojmy *uzol* (spojovacie zariadenia, ústredne) a *hrana* (zväzky vedení, okruhov). Základnou podmienkou pre prepojenie ľubovoľných koncových zariadení je celistvosť siete.

Kritériá pre návrh topológie možno rozdeliť na ekonomické a prevádzkové. K ekonomickým patria počty vedení, ich dĺžky, počty zariadení. K prevádzkovým kritériám patrí *spoľahlivosť*, čiže schopnosť zabezpečiť prenos aj pri výpadku niektorých zväzkov/trás alebo pri preťažení.

- *Pavúčia sieť* vznikala prepojením najbližších uzlov pri postupnom rozširovaní siete. Takýmto spôsobom mohlo dôjsť k chybnému výsledku
- *Hviezdicová (radiálna) sieť* (Obr. 4a) tvorí základ hierarchickej štruktúry siete, kde sú niektoré ústredne nadradené iným (systém hlavnej ústredne a podústrední). Takúto štruktúru bolo možné nájsť v menších miestnych sieťach aj v nižších úrovniach medzimestskej a medzinárodnej siete. V digitálnych sieťach sa používa pre pripojenie vzdialených účastníckych jednotiek (RSU – Remote Subscriber Unit) ku hlavnej ústredni (HOST). Má najmenší počet zväzkov a trás; poskytuje lepšie využitie okruhov.

Jej nevýhodou je zraniteľnosť, čo je opak spoľahlivosti z pohľadu výpadku trasy, ktorá je jedinou pre daný koncový uzol.

- *Mrežová (mesh, úplná mrežová alebo polygonálna) sieť* (Obr. 4b) je protipólom hviezdicovej siete. Má najviac zväzkov (trás). Je však najodolnejšia k možným poruchám na trasách. Kvôli veľkej prevádzka sa používala a používa v najvyšších úrovniach miestnych sietí, medzimestskej aj medzinárodnej siete.
- *Zložená sieť* (Obr. 4d) sa môže nazvať aj viacnásobnou hviezdicovou/mrežovou, alebo môže byť ich kombináciou (*zmiešaná sieť*). Často je doplnená *priečkami* tam, kde je medzi príslušnými ústredňami veľká prevádzka.
- *Kruhová sieť* (Obr. 4c) má rovnaký počet uzlov a vetiev; vždy 2 vetvy pripadajú na 1 uzol. Je schopná preniesť veľkú tranzitnú prevádzku. Má o 1 hranu viac než hviezdicová sieť. Môže pri nej dôjsť k prerušeniu ľubovoľnej 1 hrany bez vyradenia ktoréhokoľvek uzla. Zavádza sa do celej digitálnej telekomunikačnej siete takým spôsobom, že sa použije niekoľko kruhov, ktoré sa stýkajú v určitých uzloch, alebo majú spoločné niektoré vetvy (viac hrán v miestach styku).
- *Tandemová sieť* (zariadenia zapojené za sebou) má najmenší počet vetiev, vznikne prerušením kruhovej siete. Takáto sieť je značne zraniteľná, uzly sú zaťažované veľkou prevádzkou, a jej uplatnenie možno nájsť v železničnej sieti, kde uzly sú umiestnené pozdĺž trate.
-



Obr. 4 Príklady topológií sietí

10. Postup digitalizácie siete (história).

Spôsob oddeľovania kanálov v prenosovej technike postupoval od *priestorového* ku *frekvenčnému*, ktorý sa udržal dlho. V spojovacej technike pritom zotrvalo priestorové oddeľovanie kanálov (analogové ústredne). Časové oddelenie kanálov sa najprv uplatnilo v prenosovej technike; v spojovacej až vtedy, keď bolo vyvinuté spoľahlivé spínanie pre digitálne spojovacie pole (*digitálne ústredne*). Potom mohlo dôjsť k integrácii prenosovej a spojovacej techniky na jednotnom princípe. Postup zavádzania digitálnej techniky pritom závisel od ekonomických možností, takže často vznikali najprv tzv. *digitálne ostrovy* (v rámci ktorých bolo všetko zdigitalizované) s menším počtom uzlov a postupne sa zväčšujúcou kapacitou.

Niekde existovala digitálna sieť paralelne ku analogovej. Problémom bola voľba miesta a počtu prechodov medzi oboma sieťami, a tým aj možnosť preťaženia analogovej časti. Prinieslo to so sebou nutnosť prečíslovania (účastníckych prípojok). V takýchto typoch sietí sa analogová časť postupne ruší, a dochádza aj k využitiu optických trás.

Literatúra

[1] V.Kapoun: Přístupové a transportní síte. VUT v Brně, 1999.

[2] ASIA-PACIFIC TELECOMMUNITY 2nd APT/ITU Conformance and Interoperability Workshop (C&I-2): Packet Transport Networks: Overview and Future Direction. 26 August 2014, Bangkok, Thailand.

Prednáška 2

Obsah

Prístupové siete

Úvod

Architektúra prístupových sietí z viacerých pohľadov

- Všeobecná architektúra
- Funkčná architektúra prístupových sietí
- Fyzické topológie prístupových sietí
- Logické topológie

Metódy prístupu na spoločné prenosové médium

- Stochastické metódy prístupu
- Metódy s minimalizáciou kolízie
- Deterministické prístupové metódy

Multiplexné prístupové metódy

- Prístupová metóda TDMA (Time Division Multiple Access)
 - Frekvenčne delený viacnásobný prístup (FDMA)
 - WDMA - Vlnovo delený viacnásobný prístup (Wavelength Division Multiple Access)
 - Prístupová metóda SCMA
 - Prístupová metóda CDMA
-

Prístupové siete

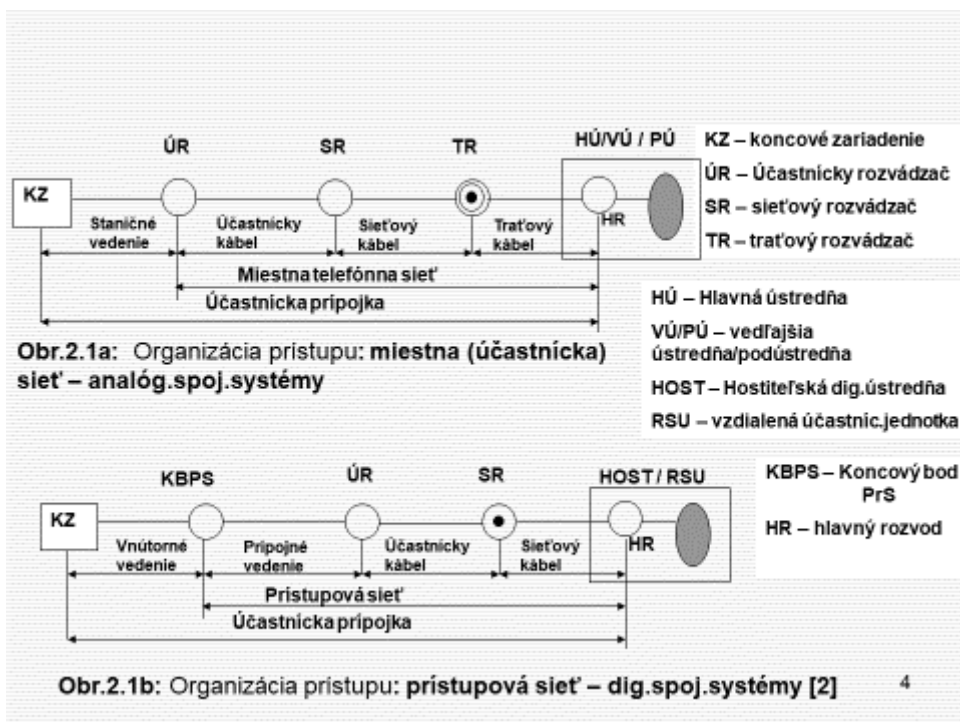
Úvod

Pojem *prístupová sieť* (Access Network - AN) sa začal používať so vznikom novších druhov koncových zariadení, než bol pôvodný ďalekopis a telefón. Pri týchto spomínaných sa hovorilo o *prípojnej*, resp. *účastníckej* alebo *miestnej* sieti (Obr. 2.1a).

Celkovo sa bývalá stará telekomunikačná sieť označovala pojmom „verejná“, v angličtine podobne (Public Switched Telephone Network), z čoho vyplýva aj skratka PSTN. Pri porovnaní PSTN a prístupovej siete si na začiatok treba uvedomiť:

- PSTN slúžila na prepojenie telefónnych prístrojov a faxov, internet slúži na prepojenie počítačov (PC).
- PC sa mohli (môžu) tiež prepojiť pomocou PSTN, ale potrebujú k tomu *modem*, prístroj, rozhranie, ktoré konvertuje zvuk (hluk) na bity (digitálny signál) a naopak.
- PSTN vie prenášať len zvuk; aj prejav faxu, keď omylom vytočíme jeho číslo, je v PSTN tiež zvukový (neprijemný...).
- Hlavné prvky PSTN sú *spínače* (switches), v internete sú to *route*.

- Využitie PSTN pre prepojenie PC alebo pre pripojenie k internetu sa stávalo problematickým: poskytovaná frekvenčná šírka pásma nestačila (požiadavky na prenosovú rýchlosť).



Vznik prístupovej siete si vyžiadala potreba takej účastníckej siete, ktorá umožňuje centralizovaný dohľad nad jej stavom, pružnú rekonfigurovateľnosť, a prístup k službám poskytovaným z vyšších sieťových úrovni s požadovanou prenosovou kapacitou.

Prístupová sieť predstavuje všetky prostriedky, ktoré slúžia na prenos signálu medzi užívateľom a prvým uzlom, umožňujúcim vzájomné prepojenie všetkých smerov (nezahŕňajú sa už však pobočkové ústredne). Keďže v prístupovej sieti je koncové zariadenie (KZ) pripojené väčšinou individuálnym vedením (kanálom, okruhom) k tzv. prípojnej ústredni (ktorá je koncovým uzlom prepravnej siete), je prístupová sieť zjavne nedostatočne využitá (to je jej nedostatok). Z tohto dôvodu je jej *dosah* len taký, aby neboli potrebné dodatočné prenosové zariadenia pre obnovu signálu (zosilňovače, opakováče).

Vývoj médií od metalických k optickým sa prejavil najprv v transportnej sieti (lacnejšia vysokokapacitná sieť), no s rozširovaním širokopásmových služieb sa aj prístupové siete budujú ako optické, alebo sa to aspoň predpokladá, a preto sa napr. pri zemných prácach ukladajú často aj plastové trubice pre budúce *zafúknutie* optického vlákna.

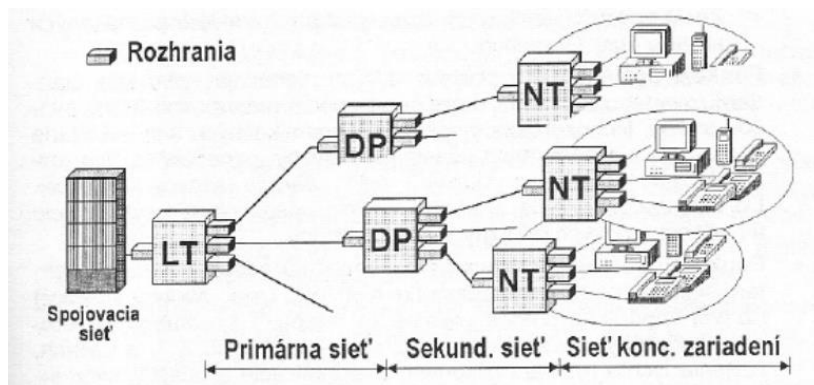
Od začiatku sa odhadovalo, že využitie prenosu signálu voľným priestorom (*rádiový prenos*) má v prístupových sieťach značnú perspektívu, pretože to umožňuje mobilitu užívateľa v duchu hesla „všetky služby dosiahnuteľné pre všetkých a kdekoľvek“. Problémom pri rádiovom prenose ešte aj dnes (r. 2018) sú obmedzené kapacitné možnosti, aj keď sa to intenzívne rieši, riešenia rýchlo vchádzajú do praxe, a tá sa doslova viditeľne zlepšuje. V transportnej sieti sa rádiové spoje tiež využívajú, a to v menšej miere na tzv. rádio-reléových pozemských trasách, vo väčšej miere pri satelitných obojsmerných spojoch.

Architektúra prístupových sietí z viacerých pohľadov

Jednou z úloh prístupových sietí je *koncentrácia prevádzky* z účastníckych terminálov do spojovacej siete, z čoho vyplýva, že jej *logická architektúra* je *stromová*, prípadne *hviezdicová*. Fyzická architektúra pritom môže byť iná, napr. *kruhová*.

Všeobecná architektúra

Prístupová sieť je rozdelená na 2 úrovne – *primárnu a sekundárnu* (Obr. 2.2).



Obr. 2.2 Všeobecná architektúra prístupovej siete [2]

Primárna úroveň zabezpečuje transport informačných tokov spoločným prenosovým prostredím medzi *jednotkou zakončenia* (LT – Line Termination), pripojenou k spojovacej sieti, a *distribučným bodom* (DP – Distribution Point). DP rozdeľuje prevádzkové toky k jednotlivým sekundárnym podsietiam. Distribučný bod možno chápať ako vnútorné rozhranie prístupovej siete, a môže byť realizovaný:

- optickými prvkami
- optoelektronickými prvkami
- základňovou rádiovou stanicou.

Sekundárna sieť zabezpečuje transport k zakončeniam prístupovej siete (NT – Network Termination). Z druhej strany sú k NT pripojené *účastnícke koncové zariadenia*, a to cez *účastnícke rozhrania*. (Pozn.: primárna a sekundárna sieť tvoria zároveň najnižšie úrovne prenosovej siete – tretiu a štvrtú.)

Funkčná architektúra prístupových sietí

Pod touto sa rozumie súbor nevyhnutných funkcií vykonávaných v prístupovej sieti, a to sú:

- *prenosové funkcie* (transport informačných tokov medzi spojovacou sieťou a koncovými účastníckymi zariadeniami, koncentrácia *prevádzkového zaťaženia* smerom ku spojovacej sieti, *multiplexovanie* čiastkových tokov v priebehu transportu, čím sa využíva prenosová kapacita).
- *Funkcie systémových portov* – vytvorenie štandardizovaného rozhrania medzi PrS a spojovacou sieťou – ide o rozhranie služieb SNI (Service Network Interface); sú to funkcie prispôbenia signalizácie a riadenia fyzických prípojných miest – portov.
- *Funkcie účastníckych portov* – prispôbenie charakteru signálov na rozhraní účastník-sieť (UNI = User-Network Interface) na tvar vhodný pre prenos cez PrS. Súto štandardné účastnícke rozhrania U, Z, ..., ďalej A/D prevod, príjem slučkovej signalizácie, riešenie napájania koncového zariadenia (KZ – koncové zariadenie),

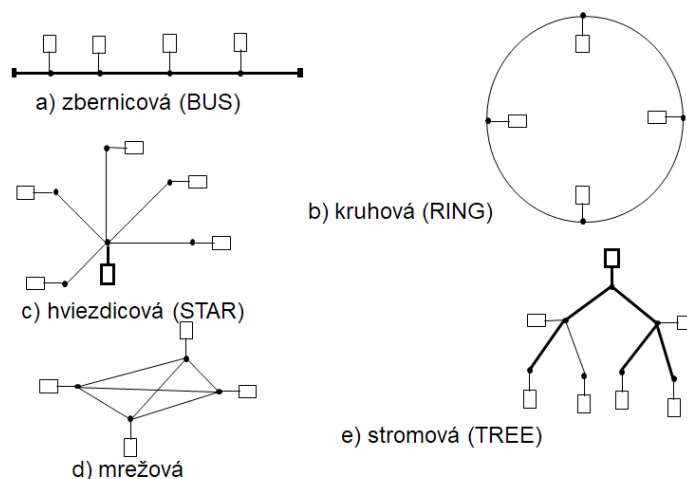
- *Spoločné funkcie* (riadiace, dohľadové a konfiguračné funkcie s podporou TMN vzhľadom ku všetkým častiam PrS); rozhranie Q3.

Fyzické topológie prístupových sietí

Základnou a najnižšou úrovňou počítačovej siete je *miestna PC sieť* = LAN (Local Area Network).

V ďalšom texte budú opísané jej fyzické topológie, t.j. rôzne štruktúry sieťového hardvéru.

K základným patrí *lineárna zbernica*, *kruh*, *hviezda*; menej sa už používajú *stromová* a *mrežová (úplná) topológia* (Obr. 2.3)



Obr. 2.3 Fyzické topológie LAN [1]. LAN - Local Area Network – miestna sieť – základná a najnižšia úroveň siete.

Pri *lineárnej zbernici (BUS)* je každý PC (okrem krajných) pripojený na dva susedné PC (Obr.2.3a). Nemusia byť zapnuté všetky PC; prevádzka sa uskutočňuje po jednom kábli, z čoho vyplýva nižší výkon takejto siete. Prerúšením kábla sa sieť rozdelí na dve časti a potom môžu vzniknúť problémy z dôvodu impedančného neprispôsobenia. Takáto topológia sa používa v systémoch „klient-server“.

Kruhová topológia (Ring) (Obr.2.3b) je akoby lineárna so spojenými koncami. Väčšinou umožňuje len jednosmerný prenos, poskytuje vyšší výkon než lineárna a všetky PC sú v nej rovnocenné (sieť „Peer-to-Peer“ – rovný s rovným).

Radiálna topológia (hviezdicová – Star). Tvorí ju centrálny server s vysokým výkonom; spotreba káblov je vyššia, prevádzka na nich však minimálna, čo je z pohľadu ekonomičnosti nevýhodou. V miestach rozdelenia siete sa používajú rozbočovače.

Mrežová – úplná sieť (Obr.2.3d). Všetky stanice sú prepojené navzájom, čo predstavuje vysokú spotrebu káblov, no zároveň možnosť vyšších prenosových výkonov.

Stromová topológia (Tree). Je to vlastne viacnásobná hviezdicová topológia (Obr. 2.3e). Obsahuje riadiaci počítač (*koreň*) + stanice (*listy*). Žiada sa tu vysokovýkonný PC vo funkcii koreňa.

V rozľahlejších LAN sa vytvárajú zmiešané topológie, a v nich sa môžu použiť rôzne prístupové metódy. Pre prepojenie viacerých LAN sa používa *chrbtica (Backbone)*, čo je lineárna zbernica s veľkou prenosovou rýchlosťou. Pri väčších vzdialenostiach sú nutné *opakovače* pre obnovy signálu.

Logické topológie

Logické topológie popisujú spôsob, akým operačný systém riadi tok informácií medzi uzlami siete.

Väčšinou sa používa *lineárna topológia* alebo *Token Ring*.

Lineárna topológia je taká, kde sa k adresám jednotlivých uzlov pristupuje sekvenčne; t.j., informácie sú odovzdávané podľa zoznamu adres na obe strany, kým sa nenájde miesto určenia.

Token Ring znamená „kruhový“ prístup, pričom logické adresy nemusia zodpovedať fyzickému umiestneniu a poprepájaniu podľa fyzickej topológie.

Metódy prístupu na spoločné prenosové médium

Pre spoločné využívanie prenosového média je nevyhnutné tento prístup efektívne riadiť.

Vrstva MAC (Medium Access Control) v rámci komunikačného protokolu definuje mechanizmy prístupu k spoločnému médiu.

V každej metóde ide o *rozdelenie celkovej prenosovej kapacity* média na časti, ktoré sú pridelené jednotlivým spojeniam/reláciám *terminál-sieť*, pričom sa žiada úplná *bezrizikovosť* (z hľadiska kolízií viacerých terminálov) alebo aspoň jej minimalizácia. Žiada sa tiež *rovnomé pridelenie* (o *symetrickom pridelení* hovoríme vtedy, keď všetky terminály majú rovnakú pravdepodobnosť prístupu).

Klasifikácia prístupových metód

Hlavným delením prístupových metód je delenie na *stochastické* a *deterministické* prístupy.

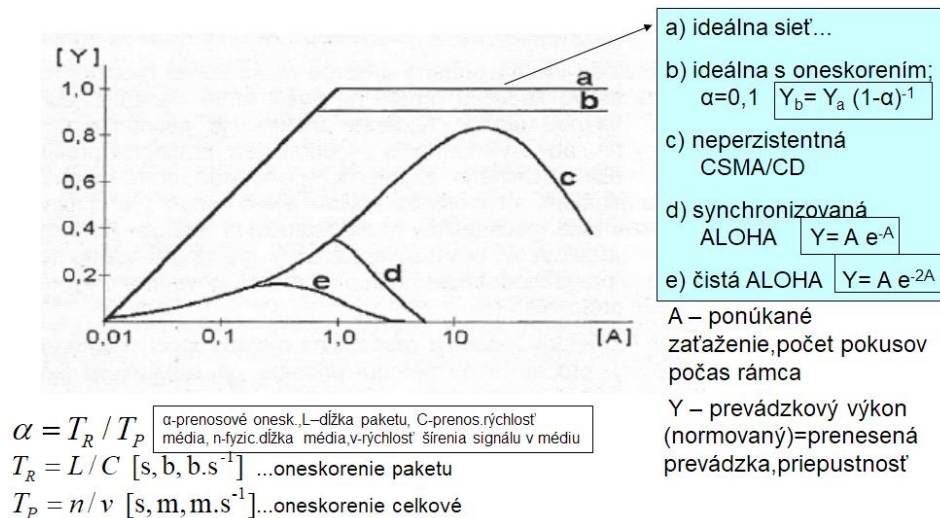
Stochastické metódy prístupu

Najjednoduchšou metódou je ALOHA (Additive Link On-Line Hawaii Area). Je to plne stochastická metóda, čo znamená že náhodný je začiatok komunikácie aj čas oneskorenia pri kolízii. Pri nej sa vysielanie dát (paketov) začne bez ohľadu na situáciu na médiu. Ak nedôjde do stanoveného času potvrdenie, vysielanie sa opakuje. Je to vhodné pri veľkom počte zdrojov, ktoré nepravidelne generujú krátke zhluky dát. S nárastom prevádzky však tu rastie riziko kolízie aj počet opakovaných prenosov, a tým aj ďalšia prevádzka, čo už v istej fáze začne byť neefektívne (krivka „e“ na Obr. 2.4, kde veličina Y predstavuje normovanú mieru využitia prenosovej kapacity).

Zlepšenie priepustnosti sa dá dosiahnuť zavedením deterministických prvkov do riadenia prístupu.

Systém *Slotted ALOHA*, čo prekladáme ako synchronizovaná ALOHA, je už určitou formou časovo deleného prístupu, a to *periodickým vymedzením časových úsekov pre začiatok vysielania a pevnou dĺžkou prenášaných paketov*. Tento systém si už vyžaduje synchronizáciu. Spätne možno pôvodnú ALOHA nazvať „čistá ALOHA“.

Na Obr. 2.4 krivka „a“ predstavuje ideálnu sieť bez prenosového oneskorenia. Pri stúpajúcom *ponúkanom zaťažení* rastie prenesný výkon, až dôjde k saturácii (média). Keď sledujeme krivku „b“, pri ktorej je zohľadnené prenosové oneskorenie, tak vidíme, že k saturácii dôjde skôr.



Obr.2.4 Porovnanie stochastických prístupových metód [2]

Metódy s minimalizáciou kolízie

Tieto metódy sú na rozhraní medzi stochastickými a deterministickými metódami. Používajú čiastočne riadený prístup na prenosové médium. Patria k nim rôzne typy metód označovaných skratkou CSMA (Carrier Sense Multiple Access, čo možno voľne preložiť ako prístup na základe aktuálnej situácie na médiu).

CSMA: Terminál pred začatím vysielania monitoruje stav prenosového média, a vysielá až vtedy, keď je voľné.

Rozlišujeme ďalšie variácie typov metód CSMA:

- *perzistentné* (nátlakové, alebo vytrvalostné) metódy: Keď terminál po trvalom (persist = vytrvať, nedať sa odradiť) monitorovaní kanála zistí, že je voľný, okamžite začne vysielat'. Táto metóda sa tiež označuje ako „1-perzistentná“.
- *neperzistentné CSMA metódy*: Terminál po detekcii obsadeného kanála chvíľu čaká, a potom znova testuje. Tento spôsob máva väčšie oneskorenia ako perzistentná metóda.
- *p-perzistentné*: S pravdepodobnosťou p sa predpokladá, že kanál je voľný, a terminál vtedy testuje obsadenosť... Táto metóda predstavuje dobré využitie prenosového média pri prijateľnom oneskorení.
- *CSMA/CD* (CD – collision detection; CSMA s detekciou kolízie) (IEEE 802.3): Pri výskyte kolízie, každý terminál, ktorý ju rozpozná, vyšle špeciálny signál JAM („dopravná zápcha“; 32 bitov), ktorý rozpoznajú všetky terminály vrátane vysielajúceho, ktorý preruší vysielanie. Po náhodnom časovom úseku sa znovu pokúsi o vysielanie. Tento systém sa používal v bývalej lokálnej dátovej sieti ETHERNET; v súčasnosti ešte existuje podobný systém v rádiových frekvenčných systémoch pri frekvenčnom zdieľaní. V Ethernete pri použití svičov sa tento systém už nepoužíva (info z okt. 2013).
- *CSMA/CA* (CSMA with Collision Avoidance): Vysielanie začne vtedy, keď je kanál „idle“ (nečinný). Vysielajú sa kompletne pakety; dôležitý systém v bezdrôtovej sieti; využitie protokolu na 2. vrstve OSI.

Okrem metód typu CSMA sa používa aj adaptívne dynamické rozdelenie terminálov do hierarchických úrovní podľa rizika vzniku kolízie (pri asymetrických hierarchických protokoloch typu „Tree Walk Protokol“).

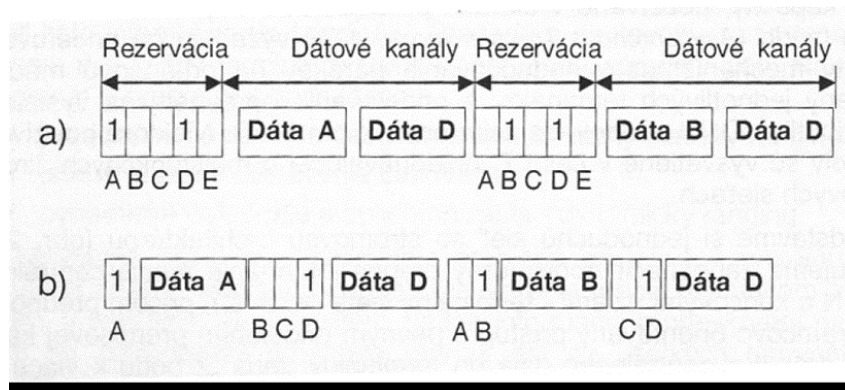
Deterministické prístupové metódy

V prístupových sieťach sú uprednostňované deterministické metódy prístupu k spoločnému prenosovému médiu, pretože z pohľadu možnosti kolízií sú v podstate „bezkonfliktné“. Determinizmus je realizovaný pridelovaním práv v rámci zlomku prenosovej kapacity média. Výhodou týchto metód je zanedbateľná chybovosť a prakticky ideálne správanie sa siete (Obr. 2.4 – čiara a). Nevýhodou je zvýšenie oneskorenia.

Deterministické metódy môžeme rozdeliť do 3 skupín:

- *multiplexné metódy*, vychádzajúce zo starších metód s pevným priradením kapacity média pri spojeniach typu bod-bod. Sú to metódy prístupu na základe časovo-, frekvenčne-, vlnovo- alebo kódovo deleného multiplexu (TDMA, FDMA, WDMA, CDMA; skratky budú vysvetlené v ďalšom texte).
- metódy s pridelovaním prenosovej kapacity *na požiadanie*, a tiež metódy *výzvy* alebo metódy *centrálneho pridelovania*. Pri posledných spomínaných jeden z terminálov plní funkciu riadiaceho uzla, ktorý generuje výzvy - postupne, napr. v hviezde zapojeným terminálom zašle výzvu (Roll Call Polling); oslovený terminál vyšle dáta k riadiacemu uzlu; po skončení vysielania pošle ešte správu „hotovo“, a riadiaci uzol osloví ďalší terminál. Tento opísaný postup môže mať viaceré menšie modifikácie.
- štandardizované „tokenové“ metódy *Token Ring* (pri kruhovej topológii; IEEE 802.4) a *Token Bus* (pri fyzickej architektúre zbernicovej). Ide o princíp postupného odovzdávania oprávnenia (tokenu – špeciálneho dátového slova). Ak dáta nie sú určené pre daný terminál, ten ich len bit po bite prijme a ďalej vysiela z vysielacieho portu; ak sú určené preň (detekuje svoju adresu), prime ich. Ak má dáta určené na vysielanie, počká na „voľný token“, označí ho a pripojí svoje dáta. Daný token opäť označí ako voľný, keď sa k nemu dostanú ním vyslané dáta. A opäť sú možné ďalšie modifikácie opísaného postupu.
- metódy *s rezerváciou prenosovej kapacity* (bitmapové protokoly s časovým rámcom, v ktorom je postupne pre každý kanál vyhradený 1 bit na indikáciu rezervácie, a určitý *kanálový interval* pre dáta. Účastníci majú pevne nastavenú prioritu. Nevýhodou takéhoto postupu je zbytočné oneskorenie v prípade nevyužitia pridelených kanálov a *nesymetria* daná pevnými, nemennými prioritami terminálov. Opísaný postup a jeho menšia modifikácia sú znázornené na Obr.2.5.

Objavili sa aj ďalšie modifikácie, ako BRAP – Broadcast recognition with Alternating Priorities a MLMA – Multi-Level Multi_Access protocol.



Obr. 2.5 Príklady protokolu s rezerváciou kapacity prenosového média [2]

Multiplexné prístupové metódy

- Prístupová metóda TDMA (Time Division Multiple Access)



Obr. 2.6 Ilustrácia časovo deleného multiplexu (TDM) a prístupu na jeho princípe (TDMA).

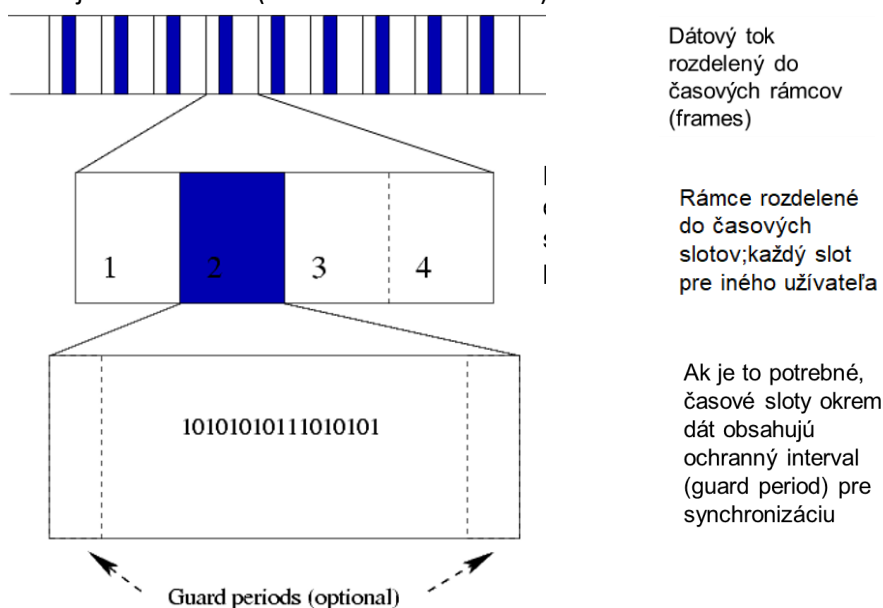
TDMA je *časovo delený viacnásobný prístup* na prenosové médium. Je to metóda, ktorá umožňuje zdieľať ten istý frekvenčný kanál tak, že signály viacerých účastníkov rozdelí do rôznych časových pozícií (*slotov*). Vychádza principiálne z časovo deleného multiplexu (TDM – Time Division Multiplex), vid' Obr. 2.6. Je jeho špeciálnym prípadom, keď namiesto 1 vysielača je vysielačov viac.

TDMA sa používa (používal) v 2G-mobilných systémoch GSM (Global System for Mobile communication). V 3G-mobilných systémoch sa používa tiež, a to v kombinácii s CDMA, čo je ďalšia multiplexná prístupová metóda. Ďalej sa využíva v systémoch IS-136 (Interim Standard – USA štandard s TDMA pre služby v rámci bunkových systémov a pre služby osobnej komunikácie), PDC (Personal Digital Cellular), iDEN, DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications – štandard pre prenosné bezšnúrové telefóny), v satelitných systémoch, v „Combat Net Radio systems“ (CNR; poloduplexná rádiová komunikácia v ozbrojených zložkách - vysielačky; hovoriť v danom okamihu môže len jedna strana; strany sa striedajú vedomým prepínaním/riadením komunikácie; komunikácia prebieha iba na jednej frekvencii, príp. sa využíva *frekvenčné skákanie*, t.j. striedanie viacerých nosných frekvencií), a tiež v komunikácii v pasívnych optických sieťach (PON).

V rámci TDMA prístupov rozlišujeme

- multiplexovanie *orientované bitovo*: čo bit, to iný terminál, zdieľajúci spoločné prenosové médium. Tento spôsob vyžaduje plnú synchronizáciu terminálov a zanedbateľné oneskorenie prenosového média. Z týchto dôvodov je využiteľný iba pri nízkych prenosových rýchlostiach.

- multiplexovanie *orientované blokovo*: účastnícke dáta sú zoskupené do blokov oddelených navzájom medzerou (ilustrované na obr. 2. 7).



Obr. 2.7 TDMA orientovaný blokovo.

Pri tomto spôsobe ešte môžeme rozlíšiť 2 typy pridelovania časových slotov, a to

- *pevné pridelovanie prenosovej kapacity* - prenos je organizovaný v rámcoch
- *dynamické pridelovanie* – asynchrónny prenosový mód (ATM- Asynchronous Transfer Mode). Tento spôsob vyžaduje mechanizmus vyhodnocovania nárokov na prenosové médium zo strany jednotlivých terminálov. Pridelovanie oprávnení na vysielanie sa uskutočňuje podľa protokolu MAC (Medium Access control) (Obr. 2.8). Rámec paketu podľa MAC má vyhradených 14 Bytov pre adresu cieľa a adresu zdroja, 46 až 15000 Bytov pre dáta, a nakoniec 4 ochranné Byty typu CRC (Cyclic Redundancy Check).



Obr. 2.8 MAC – usporiadanie dát v pakete [5]

Pri downstreame sa každý terminál bitovo a rámcovo musí zasynchronizovať na prichádzajúci dátový tok. V smere upstreamu (smerom od terminálov do centrálného bodu) sa musí na vstupe centrálného uzla zostaviť podobný rámec z kanálových intervalov prichádzajúcich od jednotlivých terminálov. Keďže fyzická vzdialenosť u každého môže byť veľmi odlišná, aj oneskorenie ich podrámčov býva rôzne, a takisto aj tlmenie trás. Preto je nutné zabezpečiť:

- *optimálne časovanie* vysielania terminálov, aby v centrálnom uzle nedochádzalo k prekryvaniu ich kanálových intervalov, a to ani pri kolísaní oneskorenia (určitý interval kolísania je povolený) (Ranging).
- *bitovú synchronizáciu* prijímača na začiatku príjmu každého informačného bloku
- *kompensovanie premenlivej hodnoty tlmenia* jednotlivých trás.

(Pozn.: Viac v lit. [2].)

- **Frekvenčne delený viacnásobný prístup (FDMA)**

Podobne ako FDM (Frequency Division Multiplex – frekvenčne delený multiplex) pracuje na princípe delenia celkovej kapacity prenosového média na väčší počet frekvenčných segmentov. Každý segment je pevne priradený jednému prenosovému kanálu. Medzi segmentmi je určité „ochranné“ pásmo, čo znižuje efektivitu využitia kapacity kanála.

Táto metóda nie je vhodná v prípade, keď treba súčasne vyslať dáta všetkým účastníkom („broadcast“), pretože každý účastník má pridelený iný frekvenčný kanál.

Jej hlavné použitie je v oblasti rádiových prístupových systémov; používa sa v kombinácii s inými metódami (TDMA, WDMA, ...).

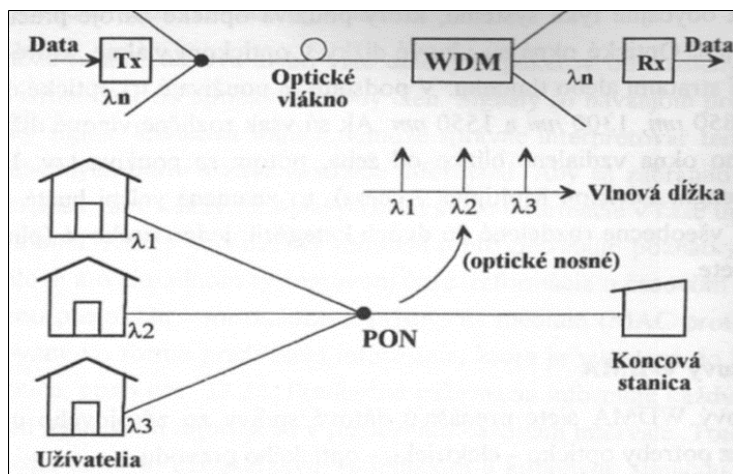
- **WDMA - Vlnovo delený viacnásobný prístup (Wavelength Division Multiple Access)**

WDMA sa využíva v optických prístupových sieťach (OAN – Optical Access Network). Jedno optické vlákno (svetlovodivý materiál – sklo, plast; v závislosti od typu) je schopné preniesť aj viac informačných signálov namodulovaných na rôzne optické nosné (vlnové dĺžky). Je to vlastne určitá forma FDMA, ale v optických frekvenčných pásmach. Vlnové dĺžky - *farby* – sú pôvodom laserovými svetlami.

Optické okno v tejto súvislosti je skupina vlnových dĺžok v rámci určitého pásme, kde daný typ optického vlákna umožňuje prenos svetla s menšími stratami (menšími než mimo okna). Sú známe 3 optické okná pri kremičitých vláknach (okno 850 nm, 1300 nm a 1550 nm), ku ktorým sa v poslednom období pridávajú ďalšie (1, 2 alebo až 3 nové).

Okrem základného vlnovo deleného prístupu (okolo 40 nosných v intervale asi 100 GHz), boli vyvinuté techniky DWDMA (Dense WDMA – „hustý“ ..., 80 nosných na 50 GHz), HD-WDMA (High Density-WDMA – prístup na základe veľmi husto deleného vlnového multiplexu) a CWDMA (Coarse WDMA). Posledný vyzerá v porovnaní s predchádzajúcimi ako krok späť (coarse – hrubý, hrubozrný), ale opak je pravdou. Je to moderný pohľad na efektivnosť prenosu aj zariadení (širšie prenosové kanály a lacnejšia, jednoduchšia technika, transceivery).

Najjednoduchší prípad WDMA je oddelenie doprednej a spätnej prenosovej cesty tým, že každá sa realizuje v inom optickom okne (dopredný smer, downstream – 1550nm, spätný smer, upstream 1380 nm).



Obr. 2.9 Systém WDMA PON [6]. PON=Passive Optical Network.

Na Obr. 2.9 je znázornená pasívna optická sieť (PON). Na začiatku spojenia bod-bod (horná časť obrázku) sú jednotlivé čiastkové optické toky zlúčené do celkového toku *pasívnym optickým multiplexom*. Na strane prijímačov *rozbočovač* rozdelí signály prenášané jedným vláknom do jednotlivých ciest. (Každý T_x - transmitter – vysielateľ - má svoj kanál = samostatnú vlnovú dĺžku; R_x – Receiver – je prijímač).

Pridelenie prenosových kanálov môže byť *pevné* alebo *flexibilné*. Pri flexibilnom musia byť jednotlivé zdroje optického žiarenia a prijímače alebo multiplexory preladiteľné. Pri viacnásobnom prístupe minimálne jeden koniec musí byť preladiteľný.

Pri klasifikácii optických prístupov ešte rozlišujeme WDMA

- *jednoúsekový* (prenos správy zo zdrojového uzla do cieľového bez potreby *opticko-elektricko-optického* prevodu, napr. WDMA PON)
- *viacúsekový*, kde sa vyžaduje jeden alebo viac medziľahlých uzlov na trase prenosu optických dát zo zdrojového uzla do cieľového. Každý uzol využíva osobitné vstupné a výstupné vlnové dĺžky pre príjem a prenos. Každý medziľahlý uzol alebo úsek uskutočňuje O-E-O –prevod dát. Táto metóda je podobná klasickým paketovým prepojovacím sieťam. Aplikácia samostatných vysielacích a prijímacích frekvencií odstraňuje potrebu použitia laditeľných prijímačov a vysielateľov.

Prístupová metóda SCMA

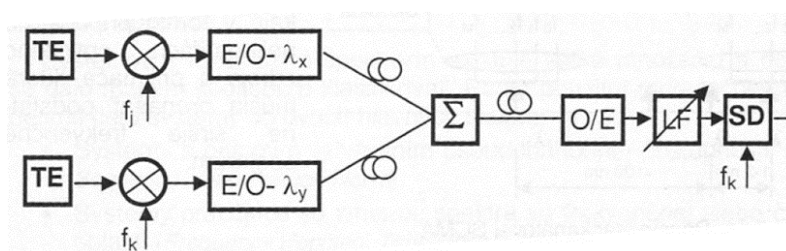
SCMA - SubCarrier Multiple Access

Metóda SCMA využíva princípy frekvenčne deleného viacnásobného prístupu v elektrickej a optickej oblasti. Rovnako ako v FDM sú jednotlivé kanály modulované na elektrické *subnosné* vlny, a takto vzniknutými elektrickými signálmi sú následne modulované optické nosné. Čiže tu je separácia kanálov presunutá do elektrickej oblasti, čo umožňuje nahradiť preladiteľné *optické* prijímače a vysielateľe *elektronickými* obvodmi (je to jednoduchšie a lacnejšie).

Výhody: tento spôsob zvyšuje multiplexnú rýchlosť, maximalizuje využitie prenosovej kapacity a stabilitu generovaných frekvencií (čo ďalej dáva možnosť minimalizovať ochranné intervaly medzi kanálmi). Zároveň sa na transport zachováva využitie optického prenosového média.

Rozlišujeme

- *jednakanálovú SCMA* metódu: Každý terminál využíva vlastnú *elektrickú frekvenčnú nosnú*, tá moduluje potom optickú nosnú. Jednotlivé optické nosné (vlnové dĺžky) sú pomerne blízke; sčítavajú sa optickým zlučovačom, čím vzniká *kompozitný signál*. ten sa prenáša optickou prenosovou cestou (Obr. 2.10). Na prijímacej strane sa optický signál mení na elektrický (blok O/E), prejde selektívnym filtrom (DP) a/alebo synchronným demodulátorom. Problém: V dôsledku *nelinearít* optoelektrickej konverzie dochádza k interferencii jednotlivých nosných, z čoho vznikajú *intermodulačné produkty, zázneje*. A tie spôsobujú prídavný šum v signáli. Riešenie: Riešením spomínaného problému je voľba väčších odstupov medzi optickými nosnými, zaradenie selektívnych optických prvkov a oddelená demodulácia jednotlivých optických nosných (čo je už prechod ku viackanálovej SCMA alebo WDMA).



Obr. 2.10 Princíp metódy jednakanálovej SCMA pre spojenie „viac bodov - bod“.

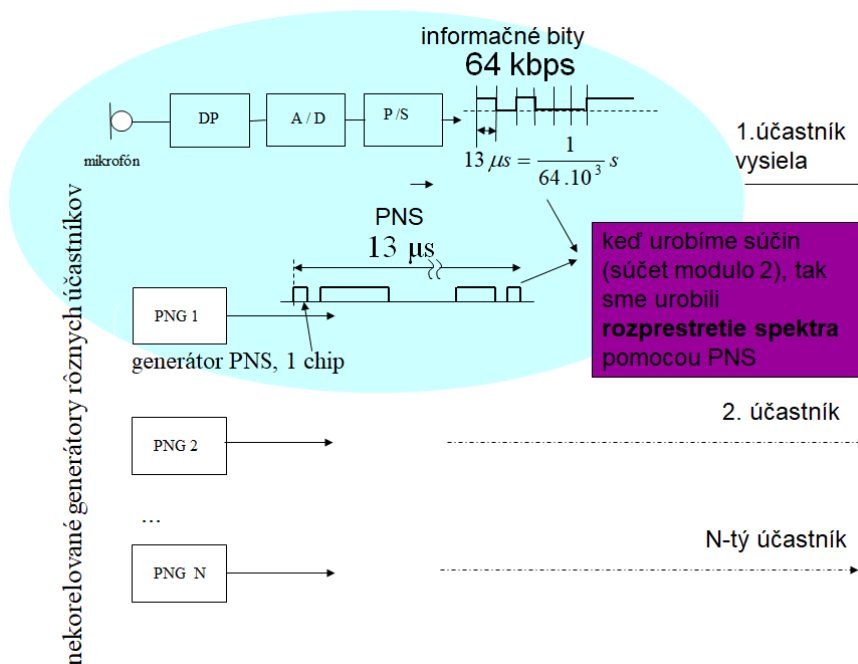
- a *viackanálová SCMA*: Rozdiel oproti jednakanálovej SCMA je v tom, že optický signál sa namoduluje na elektrickú subnosnú, a elektrické subnosné sa zlúčia do *jedného širokopásmového FDM* signálu. FDM signál potom moduluje *jedinú* optickú nosnú vlnu λ_i . Takže jednej λ_i zodpovedá vlastne skupina terminálov.

Prístupová metóda CDMA

- CDMA - Code Division Multiple Access – Prístup na základe kódovo deleného multiplexu.

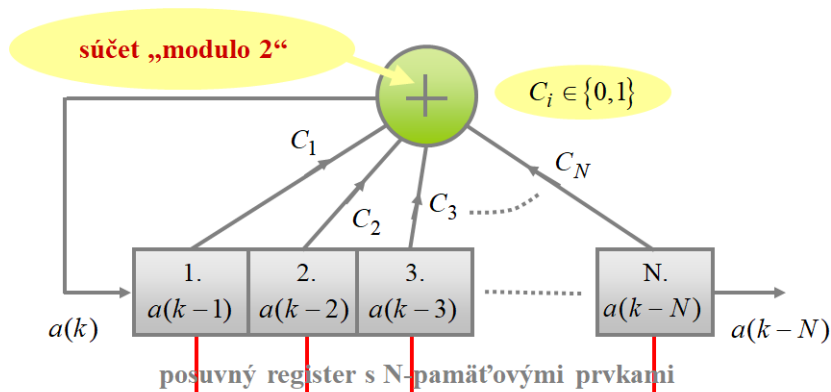
V prípade metódy CDMA ide o čisto digitálnu záležitosť. Je to metóda pracujúca s *rozprestretým spektrom* (Spread Spectrum), a potom hovoríme o prenosových systémoch s rozprestretým spektrom (PSRS).

Kódom, ktorý je pridelený v okamihu začatia komunikácie každému účastníkovi, je tzv. *pseudonáhodná postupnosť* (PNS – Pseudo-Noise Sequence). Jedná sa o postupnosť veľkého počtu bitov (núl a jednotiek), prenášaných pri pomerne nízkom výkone, čo pri neznalosti kódu budí dojem náhodnej postupnosti alebo šumu (Obr. 2.11).



Obr. 2.11 Vznik signálov s rozprestretým spektrom

Jednotlivé bity PNS sa nazývajú *chipy*. Takáto postupnosť v podstate obsahuje všetky spektrálne zložky (preto rozprestreté spektrum), a pravdepodobnosť núl a jednotiek v nej je približne rovnaká. PNS je, samozrejme, deterministická, čo znamená, že sa dá presne opísať a vygenerovať (Obr.2.12).



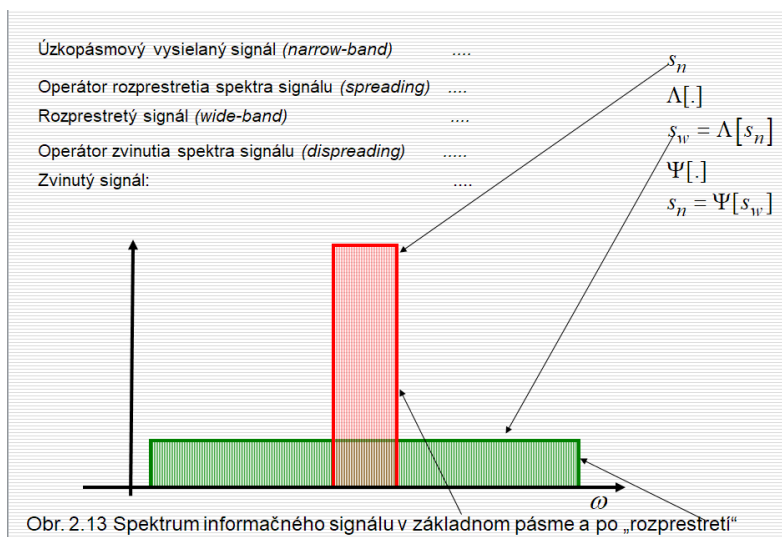
$$a(k) = C_1 a(k-1) \oplus C_2 a(k-2) \oplus C_3 a(k-3) \oplus \dots \oplus C_N a(k-N)$$

$$a(k) = \sum_{i=1}^N C_i a(k-i)$$

Obr.2.12 Lineárny generátor PNS (využitie v systémoch CDMA pre rozprestretie spektra užitočného signálu) [7].

Kódovaný signál vznikne tak, že informačný digitálny signál s pomerne nízkou prenosovou rýchlosťou sa vynásobí postupnosťou PNS, zodpovedajúcou príslušnému kanálu (účastníkovi). Vzniknutý nový signál má oproti pôvodnému signálu v základnom pásme mnohonásobne rozvinuté, rozšírené spektrum, a jeho spektrálna výkonová hustota $\Delta P/\Delta f$ je relatívne nízka (Obr. 2.13). Tiež má charakter podobný šumu, čo umožňuje efektívne utajenie správy. Dekódovať (*zvinúť*) ho možno spoľahlivo, ale len na základe poznania konkrétnej PNS. *Korelačná metóda* na strane príjmu je vlastne dekodovanie na

princípe násobenia prijatého signálu (s rozprestretým spektrom) rovnakou PNS, aká bola použitá na zakódovanie.



Všetky terminály takto môžu využívať tú istú (rovnakú) frekvenčnú aj časovú oblasť; líšia sa priradením špecifického kódového slova *pri každom novom spojení*. Kódové slovo obsahuje n bitov (chipov), kde n sa nazýva *faktor rozprestretia* (Spread Factor), alebo tiež systémový zisk.

Literatúra a referencie:

- [1] V. Kapoun: Přístupové a transportní síte. VUT v Brně, 1999.
- [2] M. Vaculík: Přístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.
- [3] J. Vodrážka: Přenosové systémy v přístupové síti. ČVUT, 2003.
- [4] Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Tdma-frame-structure.png#file>
- [5] G. Fairhurst: MAC. <http://www.erg.abdn.ac.uk/users/gorry/course/lan-pages/mac.html>
- [6] K. Blunár, Z. Diviš: Telekomunikačné siete, časť IV..- skriptum ŽU v Žiline, 2000.
- [7] D. Kocur: Prenosové systémy pre nové generácie komunikačných systémov – prezentácia prednášky, TU v Košiciach, 2007.

Prístupové siete

Prednáška 3

Obsah

Metódy prenosu v prístupových sieťach

Rozdelenie metód prenosu digitálneho signálu

Linkové kódy

AMI - Alternate Mark Inversion

HDB3 – High Density Bipolar of order 3

Dvojúrovňové bipolárne NRZ-kódy sú kódy Manchester a CMI (Coded Mark Inverted).

Kód 2B1Q (Two Binary-One Quaternary)

PAM (Pulse Amplitude Modulation)

Digitálne modulácie - metódy digitálneho prenosu v preloženom pásme

Princíp PSK; 2- a 4-stavová PSK, QPSK

QPSK

QAM

CAP – modulácia – (Carrierless Amplitude and Phase)

Diskrétna multitónová modulácia – DMT

OFDM

Trellisové kódovanie

Paketový a bunkový spôsob prenosu

ATM

Ethernet

TCP/IP siete

Media streaming

Kandidátske metódy prenosu pre 5G-mobilnú komunikáciu:

DOPLNKOVÁ A REFERENČNÁ LITERATÚRA

Metódy prenosu v prístupových sieťach

Na úvod je potrebné si vymenovať niektoré základné parametre charakterizujúce digitálny prenos, zopakovať si vzťahy medzi nimi, ako aj jednotky, v ktorých sa vyjadrujú. Zavedieme tiež symboliku, ktorú budeme používať.

- *Prenosová rýchlosť* v_p vyjadruje prenos určitého objemu informácie za čas. Ako jednotky sa pre jej vyjadrenie používajú bity za sekundu (bps – bits per second) alebo ich násobky, pričom predpony kilo, Mega a Giga znamenajú to, na čo sme zvyknutí. Takže:
 - 1 Gbps = 1000 Mbps = 1000 000 kbps = 10^9 bps

- 1 Mbps = 10^6 bps
- 1 kbps = 10^3 bps

Rýchlosť je vždy limitovaná vlastnosťami prenosového prostredia. Jednou z týchto vlastností pri digitálnom prenose je obmedzená *šírka frekvenčného pásma*. V literatúre si možno všimnúť, že pojmy prenosová rýchlosť alebo *informačná kapacita* (čo nemusí byť to isté, ale vyjadruje sa v rovnakých jednotkách) sa bežne zamieňajú veličinou *šírka pásma*, s jednotkami [bps, kbps a pod.]. Neskôr si uvedieme vzťah, medzi prenosovou rýchlosťou a frekvenčnou šírkou pásma, ktorý poukazuje na to, že ani veľkosťou svojej hodnoty sa tieto veličiny nemusia rovnať.

- *Modulačná rýchlosť* v_m , často nazývaná tiež *symbolová rýchlosť*, predstavuje počet digitálnych symbolov, znakov, prenesených za určitý čas, a vyjadruje sa v symboloch/sek. alebo tiež v [Bd] (Baud; čítaj bód). Keďže digitálny symbol sa vyjadruje určitým počtom elementárnych digitálnych znakov (núla a jednotiek), čiže bitov, pri danom počte N bitov na symbol môžeme získať až 2^N rôznych symbolov (abeceda symbolov, kódová abeceda, alebo jednoducho kód). Keďže pri digitálnej modulácii sa často jedná o vyjadrenie okamžitej fázy vektora nosnej vlny – stavu nosnej vlny (pri určitej frekvencii), symbol sa nazýva tiež *stav*.

Z uvedeného vyplývajú vzťahy medzi v_p a v_m :

N ... počet bitov na symbol; máme N -miestny kód; M ... maximálny počet symbolov kódovej abecedy, alebo stavov danej nosnej

$$M = 2^N \text{ [symbols]}$$

$$N = \log_2 M \text{ [bits]}$$

$$v_p = v_m \cdot N = v_m \cdot \log_2 M \text{ [bps; Bd]}$$

Prenosová, alebo tiež *bitová* rýchlosť je teda N -krát väčšia ako symbolová rýchlosť.

Pri prenose v základnom pásme (napr. pri prenose hlasu je základné pásmo od 0 do 4 kHz) *sa minimálna frekvenčná šírka pásma f_m odhaduje tak, že $f_h = v_m$. Avšak vieme už, že kvôli rušeniu je nutné počet stavov zvoliť menší; je nutné zabezpečiť medzi nimi určitý, aspoň minimálny odstup*, aby boli pri prijíme bezchybne rozlíšiteľné. Pri rôznych prenosových prostrediach je potrebné zvoliť vhodnú metódu prenosu, aby spektrum signálu bolo čo najužšie, a pomer S/N (SNR) dodržaný aspoň na minimálnej úrovni.

Rozdelenie metód prenosu digitálneho signálu

Metódy prenosu rozdeľujeme podľa niekoľkých hľadísk.

Rozlišujeme prenos:

- v *základnom pásme*: linkové kódy (AMI, HDB3, 2B1Q)
- v *preloženom pásme*: modulované signály, resp. digitálne modulácie (PSK, QAM, CAP, DMT)

Využitie dostupnej šírky spektra je možné:

- využitím viacstavového kódu, alebo moduláciou
- použitím viacerých paralelných prenosových ciest (tzv. *inverzný multiplex*)

Zrovnomenie hustoty výkonového spektra sa dosiahne *scramblovaním* (pomocou pseudonáhodnej postupnosti, čím vznikne nová pseudonáhodná postupnosť).

Pri komunikácii sa spravidla realizuje *duplexný* prenos (súčasne v oboch smeroch), čo v digitálnom okruhu znamená 2 protismerné digitálne kanály. Tento duplexný digitálny prenos môže mať *symetrický* alebo *asymetrický* charakter (pri porovnaní maximálnych dátových priepustností a rýchlostí, čo tiež patrí k dôležitým špecifikáciám prenosovej metódy).

Duplexný prenos možno realizovať rôznymi spôsobmi:

- zvláštnou prenosovou cestou pre každý smer:
 - 2 optické vlákna
 - 2 Cu-páry (čo je 4-drôtový prenos)
- spoločnou prenosovou cestou, *zdieľanou* pomocou jednej z metód:
 - FDM (hovoríme o FDD – frekvenčne delenom duplexe)
 - TDM (TDD – časovo delený duplex)
 - WDM (vlnové delenie v optických systémoch.

a využitím *vidlice* s potlačením ozvien (EC-hybrid – Echo Cancellation ...) pri medených vedeniach, alebo *polarizáciou vlny* pri rádiových systémoch.

Ďalej k metódam prenosu zaraďujeme aj použitie *obvodov pre zabezpečenie obnovy signálu* na prijímacej strane:

- *adaptívne filtre vo frekvenčnej oblasti*
- *adaptívne filtre v časovej oblasti*
- *kódovanie*
- *zabezpečenie proti chybám pomocou*
 - *detekčných kódov alebo*
 - *opravných mechanizmov*

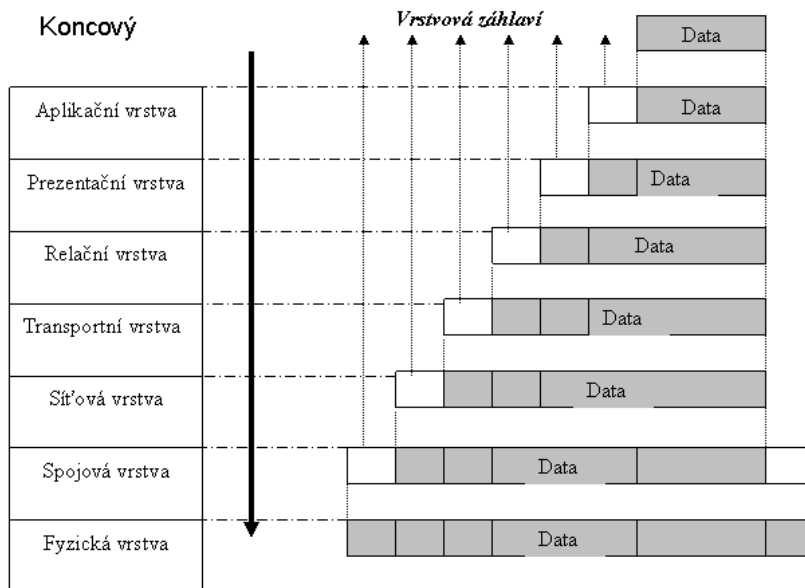
Nasleduje opis jednotlivých vymenovaných metód podrobnejšie.

Linkové kódy

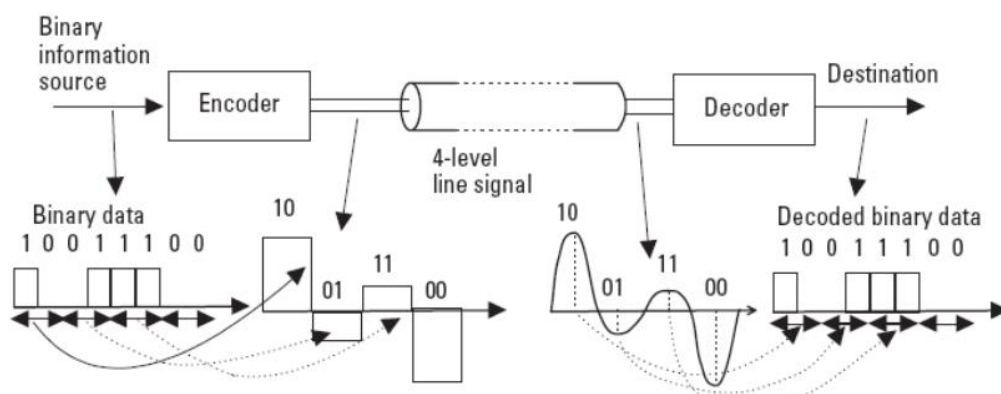
Linkový kód je vyjadrením digitálneho signálu v podobe (Obr. 2), ktorá je vhodná pre prenos v základnom pásme na *fyzickej vrstve* (najnižšia vrstva ISO/OSI vrstvového modelu komunikácie; Obr. 1).

Z toho sa odvíjajú základné požiadavky kladené na linkové kódy. Mal by to byť

- signál bez jednosmernej zložky (z dôvodu oddeľovacích transformátorov na trase a diaľkového napájania opakovačov; prenos jednosmernej zložky si vyžaduje galvanické spojenie koncových zariadení),
- signál v oblasti nižších frekvencií,
- signál s čo najmenšou chybovosťou detekcie,
- signál s dobre obnoviteľnou taktovacou frekvenciou.



Obr.1 ISO/OSI vrstvový model sieťovej komunikácie a organizácie dát



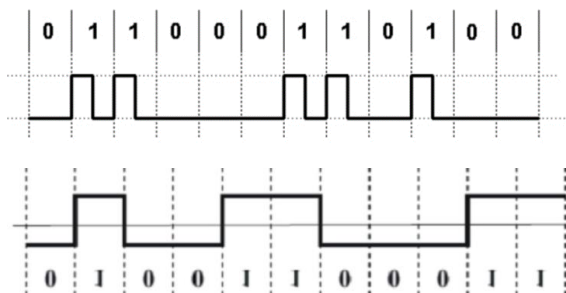
Baud rate on the line is half of the bit rate seen by the source and the destination

Obr. 2 Ilustrácia linkového kódovania; prenos v základnom pásme (nízke frekvencie, príp. aj jednosmerná zložka) [2].

Klasifikácia linkových kódov:

- podľa počtu úrovní: 2-úrovňové, 3-úrovňové (bipolárne – AMI, trojkové – 4B3T), viacúrovňové (2B1Q)
- podľa použitej polohy signálových prvkov: unipolárne (iba jedna polarita), polárne (2 polarity)
- skupina signálov
 - *s návratom k nule* - RZ – Return to Zero codes; jedna z logických úrovní je vyjadrená krátkym pulzom a druhá nulovou úrovníou – unipolárny RZ, alebo každý bit je oddelený neutrálnou polohou – bipolárny RZ; ten druhý spôsob nepotrebuje taktovacie hodiny, no zaberá väčšiu šírku pásma napr. oproti NRZ; signálny prvok má šírku menšiu ako T_0

- a *bez návratu k nule* (NRZ - Non Return to Zero- okrem polohy pre „1“ a „0“ nemajú žiadnu tretiu, neutrálnu polohu signálu); signálny prvok zaberá celú periódu T_0 (Obr. 3).



Obr.3 Linkový kód s návratom k nule (hore) a bez návratu k nule

Špecifikácie niekoľkých vybraných linkových kódov:

AMI - Alternate Mark Inversion

AMI je bipolárny kód, ktorý sa využíval napr. v časovom multiplexnom systéme PCM30/32 (30 dátových + 2 riadiace kanály v základnom časovom rámci). Používa 3 úrovne, a to nasledovným spôsobom: „0“ - 0 V

„1“ - $\pm U_0$ [V] (Obr.4). Napätové úrovne dvoch logických jednotiek nasledujúcich za sebou (aj keď sú medzi nimi nuly) musia byť opačné. Ak nasledujú za sebou 2 impulzy s rovnakou polaritou, je to chyba a systém to ľahko vyhodnotí.

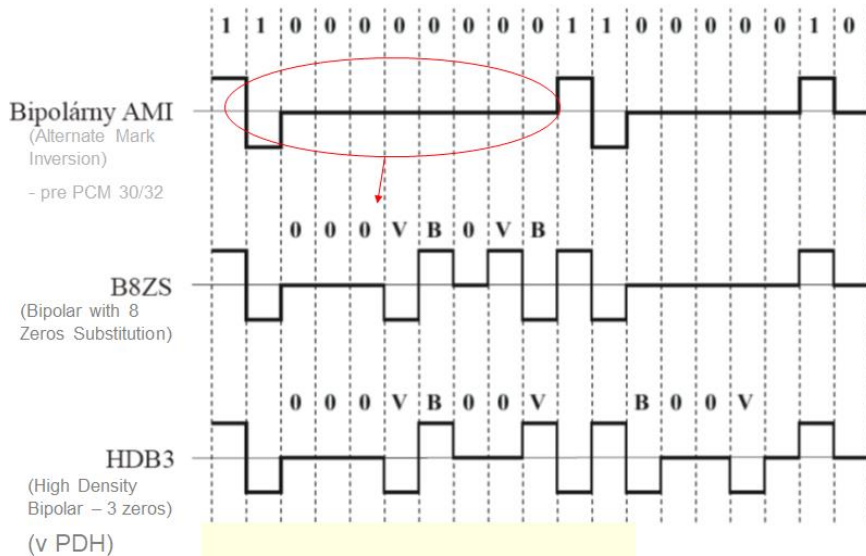
Pri menšom počte núl za sebou takýto kód zabezpečuje *synchronizmus* bez špeciálneho taktovacieho priebehu. Vyšší počet núl (napr. vyšší ako 3) je však už z pohľadu synchronizácie problém. Ďalšie kódy sa tento problém snažia rôznym spôsobom riešiť.

HDB3 – High Density Bipolar of order 3

Kód HDB3 (Obr.4) je príkladom zlepšenia oproti AMI. Ak sa v signáli nachádza väčší počet núl za sebou ako 3, tie ďalšie sa nahrádzajú tzv. *narušiteľskými* bitmi (*violation bits*). Prvý narušiteľský bit má rovnakú polaritu ako posledná „1“, čo systém rozpozná.

Pri AMI aj HDB3 jeden vstupný prvok predstavuje zároveň 1 symbol kódu, takže môžeme povedať, že $v_m=v_p$. Kód HDB3 je oproti AMI modernejší; dokáže lepšie zachovať synchronizáciu.

Podobným spôsobom ako v HDB3 sa synchronizmus snažia zachovať aj v amerických kódoch B6ZS (Bipolar with 6-Zeros Substitution) a B8ZS (Obr.4).



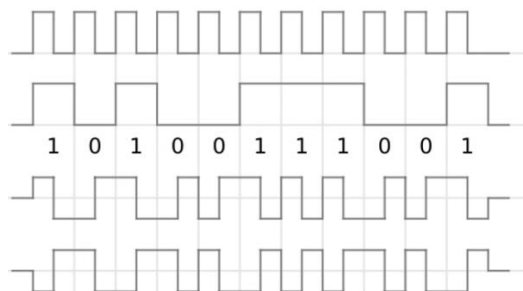
Obr. 4 Ukážky linkových kódov a spôsobu riešenia dlhšej postupnosti núl (V - Violation bit, B – správny bit)

Dvojúrovňové bipolárne NRZ-kódy sú kódy Manchester a CMI (Coded Mark Inverted).

Sú príkladom, kde $v_m=2 v_p$, pretože 1 dátový symbol je tu vyjadrený dvoma signálovými úrovňami (Obr. 5 a 6), keďže prechod signálu medzi úrovňami $+U_0$ a $-U_0$ sa realizuje uprostred charakteristického intervalu T_0 .



Obr. 5 Kód CMI



Obr. 6 Kód Manchester podľa G.E.Thomasa (tretí priebeh zhora) a podľa IEEE 802.3 (štvrtý priebeh).

Tieto kódy sú však zároveň „samosynchronizovateľné“, neobsahujú jednosmernú zložku, a pri preno- se týchto kódov môžu byť oba konce linky galvanicky oddelené.

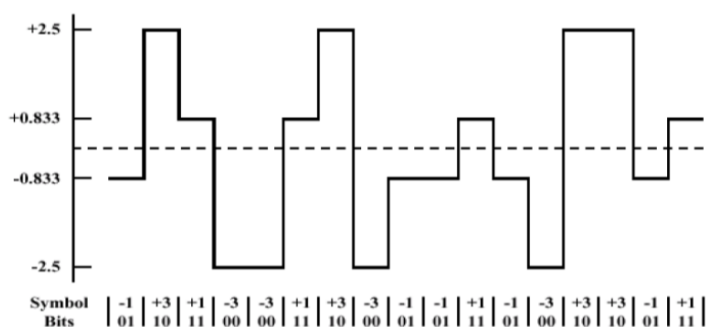
Presnejší opis je ilustrovaný na obrázkoch. Manchester kódy sa využívali na magnetické digitálne záznamy (pásky, bubny), v starších ethernetových štandardoch (10 Base-T LAN), dnes sa používajú ešte v spotrebných IR-protokoloch (IR – Infra Red - diaľkové ovládanie), v RFID (Radio Frequency IDentification – elektronické označovanie a identifikácia tovarov a pod.) a „near-field“ komunikácii (komunikácia zariadení umiestnených v tesnej vzájomnej blízkosti). CMI kód sa využíval v európskom TDMA - hierarchickom systéme PDH na úrovni rámcov 4. rádu (PDH-E4 – Plesiochronous Digital Hierarchy, E4 frame).

Kód 2B1Q (Two Binary-One Quaternary)

Kód 2B1Q a ďalšie viacstavové kódy vznikli v snahe znížiť modulačnú rýchlosť v_m použitím viacerých stavov. Nižšia modulačná rýchlosť má nižší nárok na šírku frekvenčného pásma (užšie frekvenčné pásmo). Opis kódu vysvetľuje Tab. 1. a Obr. 7.

Tab.1 Opis kódu 2B1Q

Symbol (binárne číslo)	1. bit (polarita)	2. bit (polarita)	Quaternárny symbol (jeden zo štyroch)	Napätie [V]
10	1	0	+3	2.5
11	1	1	+1	0.833
01	0	1	-1	-0.833
00	0	0	-3	-2.5



Obr. 7 Opis kódu 2B1Q. Napríklad quaternárny symbol +3, ktorý môže predstavovať a prenášať dvojicu bitov 1,0, je na fyzickej vrstve reprezentovaný napätím +2,5 V.

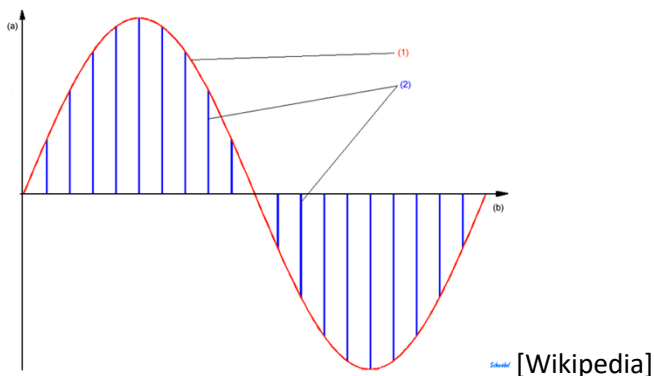
Tento kód je štandardizovaný pre rozhranie U základnej prípojky ISDN (BRA) a prípojky HDSL.

V tomto prípade platí: $M=4$; $v_p=2 v_m$; $v_m=(1/2) v_p$. Šírka pásma oproti AMI je polovičná .

V snahe o ušetrenie šírky pásma, resp. jeho lepšie využitie, sa vyvíjali kódy s vyšším počtom stavov elektrickej veličiny. K *viacstavovým metódam prenosu v základnom pásme* patrí modulácia PAM.

PAM (Pulse Amplitude Modulation)

Pulzná amplitúdová modulácia na prenos 5, 8 alebo aj 16 stavov na fyzickej vrstve využíva „vzorky“ nízkofrekvenčnej napätovej vlny odobraté v presne definovaných fázach (Obr. 8).



Obr. 8 Ilustrácia princípu PAM (vzorky nosnej vlny reprezentujú rôzne, viac-menej ľahko odlišiteľné stavy elektrickej veličiny na fyzickej vrstve).

Komunikačný štandard Ethernet 100 BASE-T2 využíva 5-úrovňovú PAM-moduláciu pri 25 megapuloch za sekundu cez 2 páry vodičov. Pre potlačenie medzisymbolovej interferencie medzi netienenými párami sa využíva špeciálna technika. Neskoršie sa prešlo na 4-párový prenos x 125 MB/s (1000 BASE-T, t.j. Gigabit Ethernet, 1 Gbps) stále s 5-stavovou PAM na každom páre.

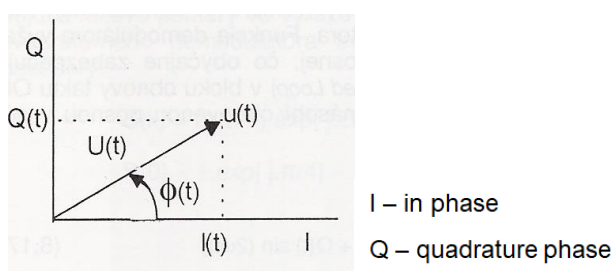
Digitálne modulácie - metódy digitálneho prenosu v preloženom pásme

Pre prenos digitálneho signálu v *preloženom pásme* sa používajú digitálne modulácie založené na ovplyvňovaní fázy, frekvencie a amplitúdy *nosnej* (nosnej harmonickej vlny). Keďže ide o moduláciu diskretným signálom zloženým iba zo symbolov „0“ a „1“, hovoríme tiež o „*kľúčovaní*“ (*keying*), čo môžeme chápať ako prepínanie lebo zapínanie, či vypínanie.

Tab. 2 Porovnanie niekoľkých používaných variantov PSK a QAM z hľadiska potrebnej šírky pásma pre základnú prenosovú rýchlosť $v_p = 2$ Mbps [Vodr./45...]

označenie	názov	Typická šírka pásma pre dig. tok 2Mbps
BPSK	Bipolárna binárna) PSK	2,8 MHz
QPSK	Quadratúrna PSK	1,4 MHz
DQPSK	Diferenčná (rozdielová) PSK	1,4 MHz
8-PSK	8 stavová PSK	0,8 MHz
4-QAM	4 stavová QAM	1,4 MHz
16-QAM	16 stavová	0,6 MHz
64-QAM	64 stavová	0,4 MHz

Najčastejšie používané digitálne modulácie sú modulácie PSK (*Phase Shift Keying* – fázová modulácia, kľúčovanie) a QAM (*Quadrature Amplitude Modulation* – kvadratúrna AM). Porovnanie niekoľkých používaných variantov PSK a QAM z hľadiska potrebnej šírky pásma pre základnú prenosovú rýchlosť $v_p = 2$ Mbps je uvedené v Tab.2. Týmto moduláciám sa hovorí tiež *vektorové*, alebo *I,Q- modulácie*, keďže sa jedná o moduláciu fázy alebo aj amplitúdy zložkových *vektorov I,Q*, ktorých súčet tvorí výsledný signál (Obr. 9).



Obr. 9 Princíp vzniku vektorového signálu I-Q (tak sa v praxi získava *stav* $u(t)$ - I,Q-modulácia, kvadratúrna modulácia, vektorová modulácia). Symbol, reprezentovaný polohou $u(t)$, môže mať „ľubovoľnú“ polohu, vyjadriteľnú súradnicami $I(t)$, $Q(t)$.

Keď uvažujeme, že modulujeme amplitúdu A_c a zároveň aj fázu Φ nosnej vlny, získame modulovanú vlnu:

$$A_c \cos(2\pi f_c t + \Phi).$$

Pokračujeme ďalej:

Chceme: $A_c \cos(2\pi f_c t + \Phi)$

Keď použijeme vhodné substitúcie, t.j.

$$\alpha = 2\pi f_c t$$

$$\beta = \Phi(t)$$

a vzorec:

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha)\cos(\beta) - \sin(\alpha)\sin(\beta),$$

dostaneme:

$$A_c \cos(2\pi f_c t + \Phi) = A_c \cos(2\pi f_c t)\cos(\Phi) - A_c \sin(2\pi f_c t)\sin(\Phi)$$

Kde použijeme ďalšie substitúcie:

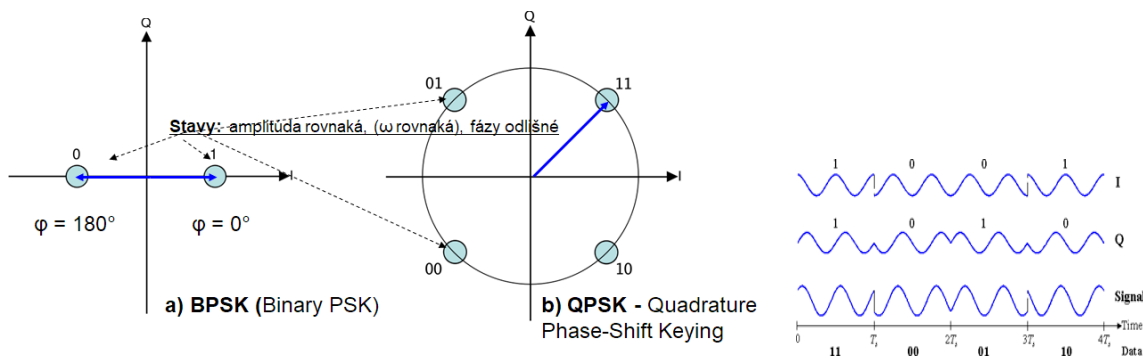
$$A_c \cos\Phi = I$$

$$A_c \sin\Phi = Q.$$

Potom harmonický priebeh môžeme predstaviť v tvare:

$$A_c \cos(2\pi f_c t + \Phi) = I \cdot \cos(2\pi f_c t) - Q \cdot \sin(2\pi f_c t)$$

Princíp PSK; 2- a 4-stavová PSK, QPSK



Obr.10 Porovnanie BPSK a QPSK v rovine I,Q, a časové priebehy zložiek I,Q. Dvojbítové stavy sa nazývajú *dibity*.

Treba si všimnúť, že pri PSK všetky stavy „ležia“ na tej istej kružnici so stredom v počiatku, ktorú opisuje vektor nosnej f_c uhlovou rýchlosťou $2\pi f_c$. Koncový bod vektora (*symbol*) je výsledkom okamžitej amplitúdy a fázy signálu s konštantnou ω_c :

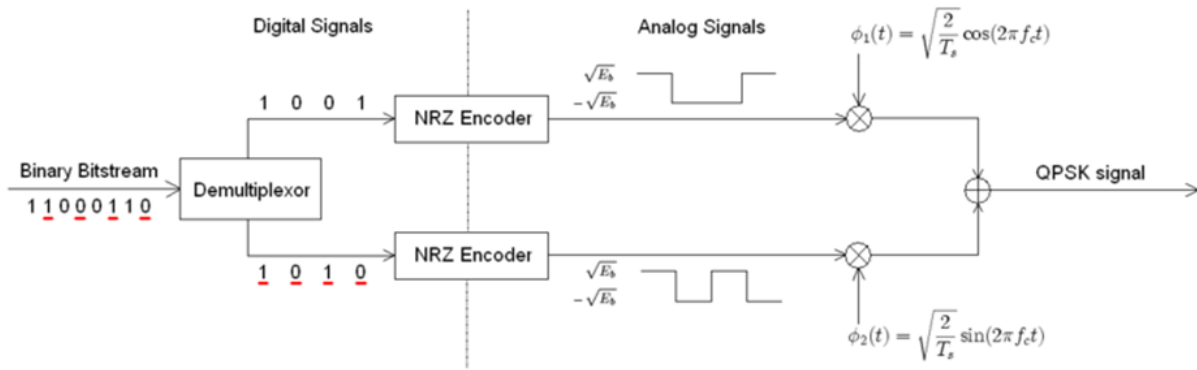
$$u(t) = U(t) \cdot \sin[\omega t + \Phi(t)]$$

Tento bod môžeme dosiahnuť súčtom dvoch zložiek s rovnakou ω , ale vzájomným posunom o $\pi/2$ (pravý uhol; kvadrátne zložky) a s amplitúdami $I(t)$, $Q(t)$:

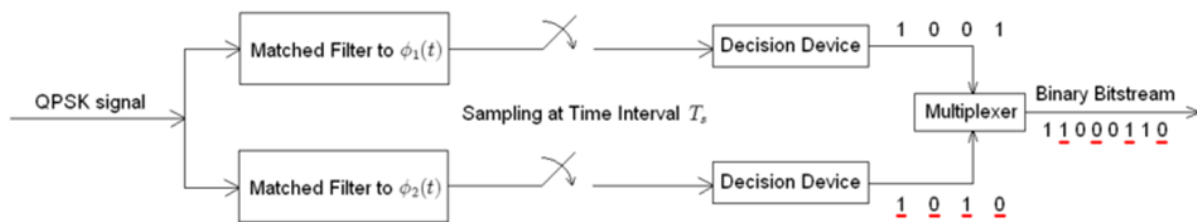
$$u(t) = I(t) \cdot \sin(\omega t) + Q(t) \cdot \cos(\omega t).$$

QPSK

QPSK pri pohľade na obrázky 11, 12 je modifikáciou 4-PSK. Líši sa od nej pootočením konštelácie stavov o $\pi/4$. Touto konšteláciou je totožná so 4-QAM.



Obr. 11 Vysielač QPSK

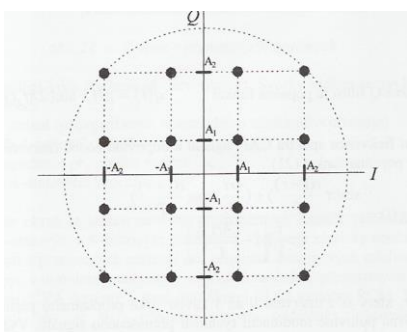


Obr. 12 Prijímač QPSK

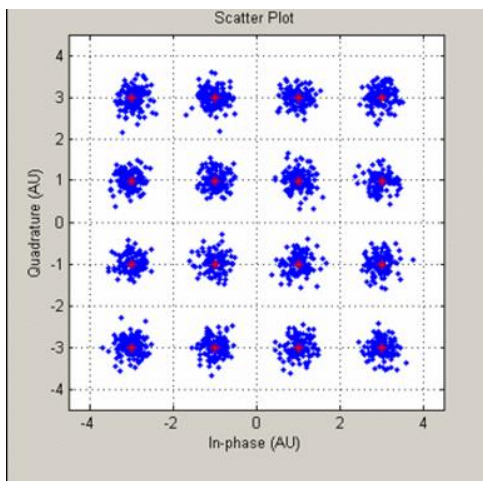
QAM

QAM – Kvadrátúrna amplitúdová modulácia v praxi používa väčší počet stavov v porovnaní s PSK. Každý zo stavov nosnej vlny má inú amplitúdu (čím sa QAM líši od PSK) aj fázu, viď Obr. 14. Takto sa dosiahlo ušetrenie frekvenčného spektra a zároveň zvýšenie prenosovej rýchlosti v_p . Treba si však uvedomiť dôležitý fakt, že pri zväčšovaní počtu stavov sa zvyšuje náchylnosť signálu na rušenie (Obr.15).

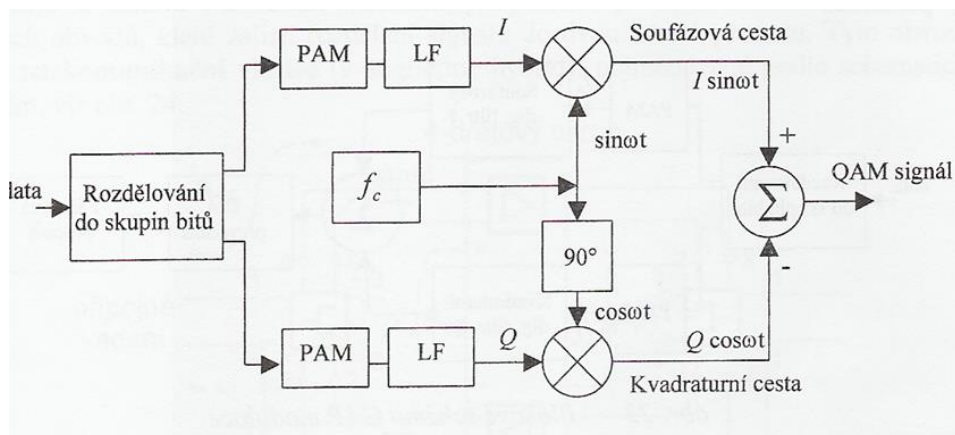
Je dôležité dodržiavať stanovený odstup SNR (napr. pri 16-QAM je to 21,5 dB pri konkrétnom systéme, a pri každom ďalšom bite na stav je táto požiadavka ešte o 3 dB vyššia). Preto pri voľbe počtu stavov je nutné urobiť kompromis medzi prípustnou chybovosťou (typ kodekov), prenosovou rýchlosťou a šírkou frekvenčného pásma.



Obr.14 Znáznornenie stavov 16-QAM modulácie (o frekvencii tam nie je reč – všetky vektory „rotujú“ na tej istej frekvencii. Zobrazené body vyjadrujú ich stav v jednom okamihu. Pri DMT sa to isté deje na každej z mnohých nosných frekvencií, v každom subkanáli. DMT = Discrete MultiTone.)



Obr. 15 Rozptyl stavov IQ-modulácie v dôsledku šumu, rušení a nelinearít



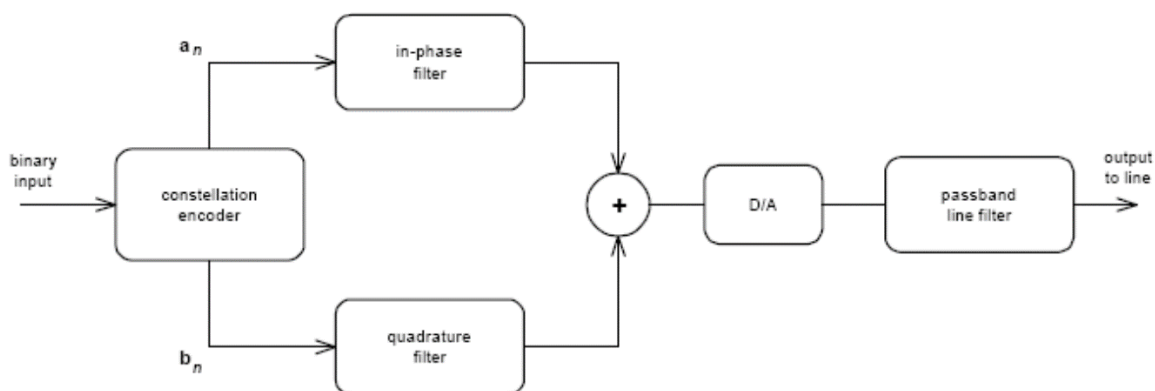
Obr.16 Bloková schéma modulátora QAM

CAP – modulácia – (Carrierless Amplitude and Phase)

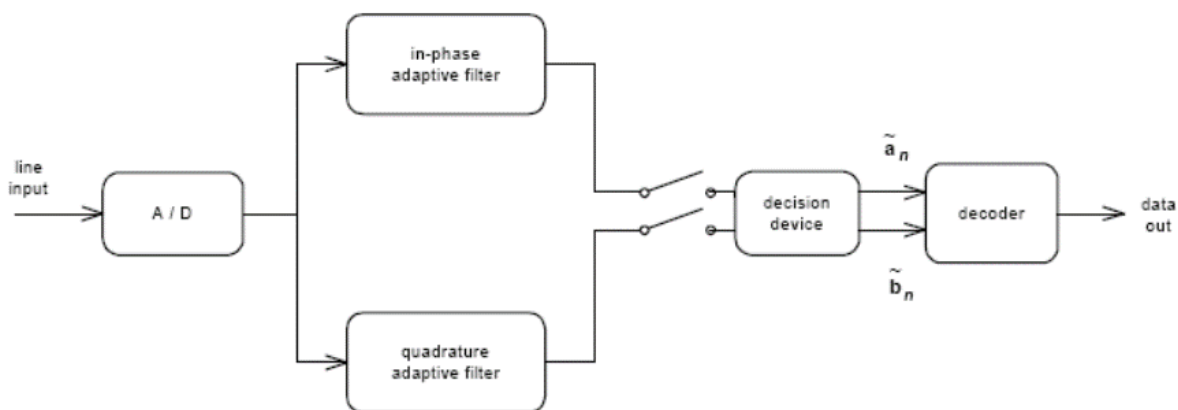
Názov modulácie CAP v slovenčine znie: Amplitúdová modulácia bez nosnej.

Modulácia CAP je vhodná pre *plne digitálnu implementáciu pomocou signálových procesorov*. Je podobná QAM (Obr. 18), no namiesto amplitúdy 2 nosných sa tu QAM–signál generuje pomocou kombinácie dvoch PAM signálov (Obr. 17), filtrovaných dvoma filtermi navrhnutými ako *Hilbertov pár* (t.j.

ich odozvy sú ortogonálne, čiže posunuté o $\pi/2$).



Obr. 17 Princíp vysielača CAP signálu

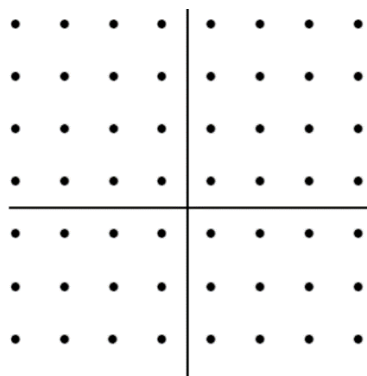


Obr.18 Princíp prijímača CAP signálu

Výstupný signál potom vzniká odčítaním oboch (filtrovaných) priebehov s následným D/A-prevodom. V časovej oblasti je vysielačný signál v tvare:

$$s_{CAP}(t) = \left[\sum_n I_n g(t - nT) \right] \cos(2\pi f_c t) - \left[\sum_n Q_n g(t - nT) \right] \sin(2\pi f_c t)$$

kde: n – číslo stavu, f_c – nosná frekvencia, I_n a $Q_n = \pm 1, 3, 5$ nezávisle na sebe



Obr.19 Typická konštelácia stavov CAP signálu (64-CAP)

Na rozdiel od QAM, tu sa nejedná o moduláciu nosnej, ale o rozdiel 2 signálov PAM v základnom pásme (nemáme prenos mnohých nosných).

Frekvencia pomyselné nosnej f_n vo vzťahu k symbolovej rýchlosti v_m spĺňa vzťah:

$f_n \cdot v_m = k$, kde k je celé číslo, konštanta.

Frekvenčné spektrum signálu CAP je symetrické okolo f_n a neobsahuje nízkofrekvenčné zložky.

Na prijímacej strane nie je nutné používať demodulátory. Vstupný tok symbolov prechádza analógovým filtrom DP, prevodníkom A/D, korektorom amplitúdovej a fázovej charakteristiky. Komparátory detekujú úroveň jednotlivých zložiek, a potom sa dvojzložkové symboly premenia na výstupný dátový tok.

Diskrétna multitónová modulácia – DMT

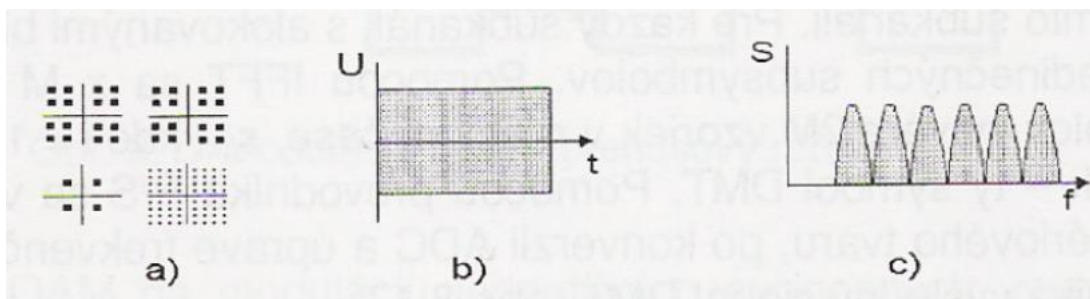
DMT (Discrete MultiTone) – modulácia patrí tiež (ako PSK a QAM) k vektorovým moduláciám. Je to QAM aplikovaná na každú zo systému mnohých ortogonálnych nosných.

Vlastnosti DMT, a z nich vyplývajúce výhody:

- DMT-signal nezaberá súvislé široké frekvenčné pásmo, ale prenáša sa v mnohých subkanáloch, ktorých šírka nevyžaduje korekciu útlmu pri prenose,
- z rovnakého dôvodu ako vyššie ani šum sa v úzkych subkanáloch nemá možnosť uplatniť, z čoho vyplýva, že sa v nich ľahšie dosiahne vhodný pomer S/N

Princípy: Použiteľné frekvenčné pásmo sa rozdelí na veľký počet subkanálov so šírkou rádovo v jednotkách kHz. Každý *subkanál* je rozložený okolo *subnosnej*, ktorá je modulovaná moduláciou QAM. Keďže subnosných je veľa, každej stačí prenášať menší počet stavov (4 až 64) [3]. Nie je nutné korigovať útlmy (ekvalizáciu) jednotlivých subkanálov pri ich prenose. Pred demoduláciou sa však výkonovo všetky kanály vyrovnávajú.

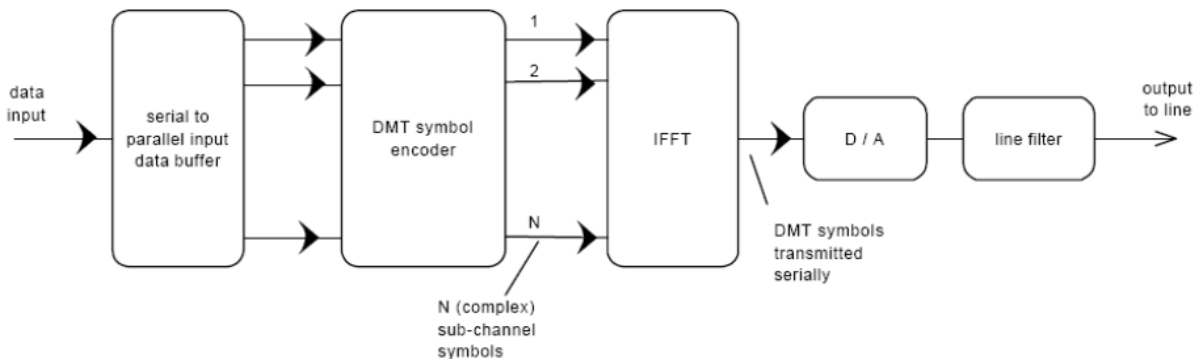
Na Obr.19 je vyobrazenie modulácie DMT v rôznych rovinách: IQ (čiže vo vektorovej rovine), v časovej a v spektrálnej (frekvenčnej). Časový priebeh DMT signálu na prvý pohľad nedáva žiadnu informáciu. Využíva sa však na získanie informácie o dodržaní / nedodržaní obmedzujúcich napäťových podmienok, pri ktorých smú vysielateľ pracovať. Signál nesmie napäťovo vstúpiť do tzv. zakázaného pásma, aby takto nespôsobil rušenie iných systémov.



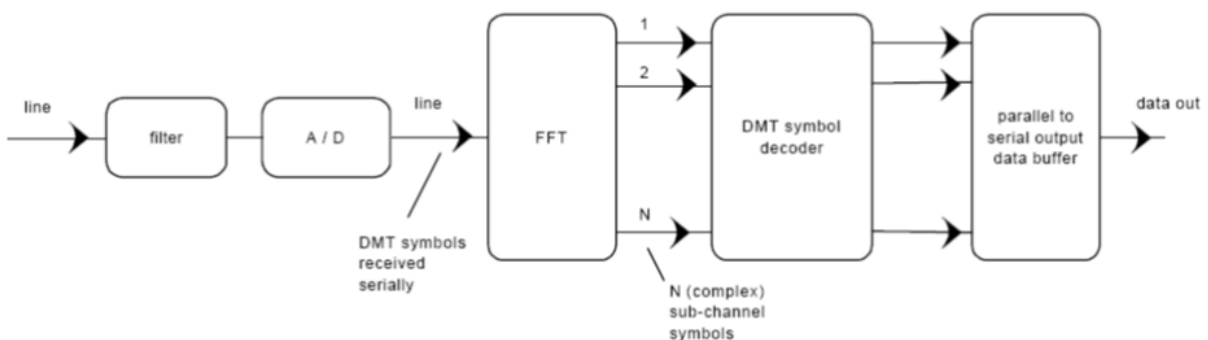
Obr.19 Rôzne formy zobrazenia signálu DMT: a) konštelčné diagramy niektorých nosných v rovine IQ, b) časový priebeh (na pohľad nič nehovoriaci - súčet mnohých časových zložkových signálov), c) frekvenčné spektrum – systém mnohých nosných, navzájom ortogonálnych (OFDM) a modulovaných viacstavovou moduláciou QAM – subkanály široké cca 4 kHz alebo 8 kHz.

Problémy: Pri QAM–modulácii vznikajú postranné pásma jednotlivých subkanálov, a dochádza k ich vzájomnému rušeniu, čo sa v digitálnej oblasti prejaví a vyhodnocuje v podobe *parametra ISI* (Inter-Symbol-Interference). Ako opravný/protichybový prostriedok sa pre tento prípad dáta dopĺňajú *cyklickým prefixom* (cyklická predpona – nadbytočné bity a zároveň časové oddelenie susedných kanálov) alebo sa využíva *waveletová transformácia* (tzv. vlnková transformácia) namiesto Fourierovej. Waveletová transformácia má rádovo menšie modulačné „splodiny“. Potom hovoríme o DWMT – Discrete Wavelet Multitone.

Vysielač a prijímač DMT sú na Obr. 20 a 21.



Obr.20 Princíp vysielača DMT



Obr. 21 Prijímač DMT [1]

Porovnanie CAP (modulácia, ktorá je konkurenčná pri systémoch ADSL a VDSL):

- zložitost realizácie; vysoká výpočtová náročnosť
- výkonová náročnosť: napájanie stoviek až tisícok vysielačov, čo predstavuje uvoľňovanie tepla a nutnosť chladenia
- vyššia latencia: z dôvodu úzkych subpásim žiadny bit nemôže „prebehnúť“ rýchlejšie než dovoľuje 64-QAM – vid’ rovnica (informačná kapacita a priepustnosť) nižšie:

$$C_i = \int_0^B \log_2 \left(1 + \frac{S(f)}{N(f)} \right) df \quad [\text{bps}],$$

alebo pri vyrovnanom priebehu pomeru S/N (pomer signál-šum) môžeme jednoduchšie napísať (Shannon-Hartleyov vzťah):

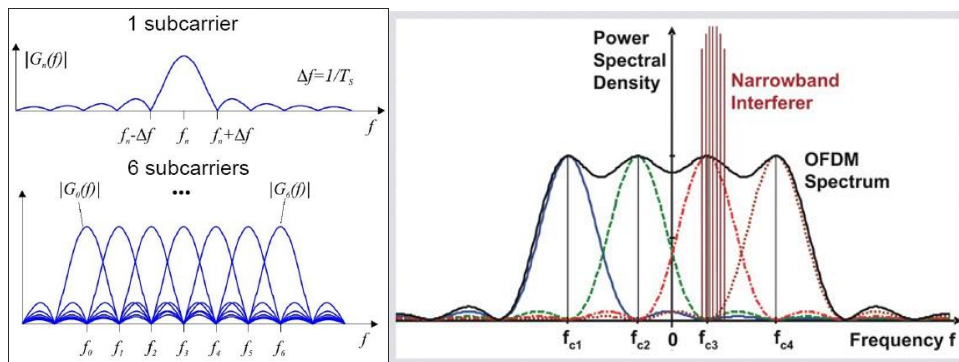
$$C_i = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S(f)}{N(f)} \right) \quad [\text{bps}],$$

kde C_i je informačná kapacita v jednotkách bity za sekundu (bps), B je frekvenčná šírka pásma v Hz, S je výkon užitočného signálu vo Watoch, N je výkon šumu a rušení vo Watoch, f je frekvencia v Hz.

Dátová rýchlosť a informačná priepustnosť kanála spolu úzko súvisia, a priamo závisia na frekvenčnej šírke daného kanála.

OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex - Ortogonálny frekvenčne delený multilex) je metóda prenosu signálu v podobe FDM-systému nosných, ktoré sú navzájom ortogonálne (Obr. 22) . Čiže uplatňuje sa tu Fourierova transformácia a predstava signálu vo frekvenčnej oblasti, t.j. predstava jeho frekvenčného spektra. Jednotlivé frekvenčné zložky (nosné) signálu sú generované a modulované fázovo aj amplitúdovo I-Q moduláciou, čiže QAM. Vo svojej teoretickej podstate je tento systém aj základom modulácie DMT.



Obr. 22 OFDM. Zľava: amplitúdové spektrum jednej nosnej, spektrum viacerých nosných navzájom ortogonálnych, spektrálna výkonová hustota systému OFDM.

Ortogonalita signálov (funkcií) je v matematike opísaná nasledovným spôsobom:

Funkcie f, g v priestore L_2 sú ortogonálne na intervale $\langle a, b \rangle$, keď platí:

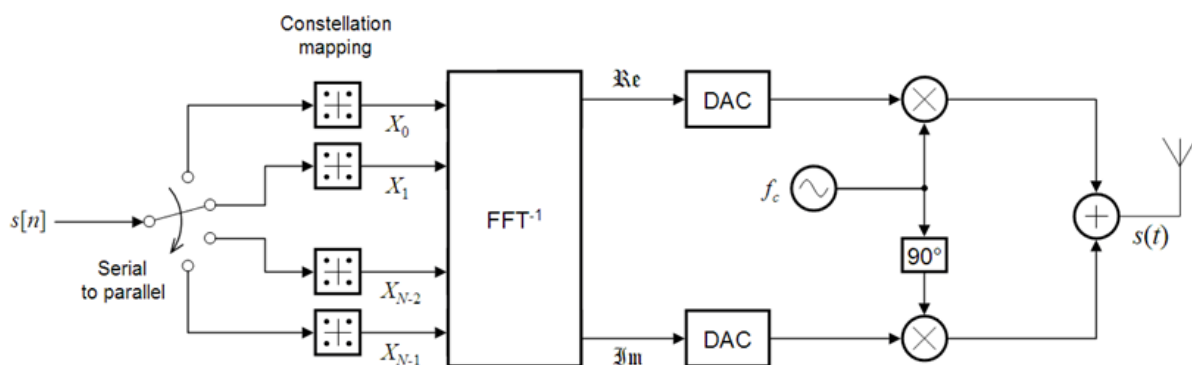
$$f \cdot g = 0$$

(skalárny súčin f, g)

Pričom podmienku pre skalárny súčin vyjadrujeme ako:

$$\int_a^b f(x)g(x) dx = 0$$

OFDM je ortogonálny systém funkcií, kde pre každú jeho dvojicu funkcií platí, že sú ortogonálne. Zjednodušená schéma vysielača OFDM je na Obr. 23 .



Obr. 23 Zjednodušený vysielač OFDM

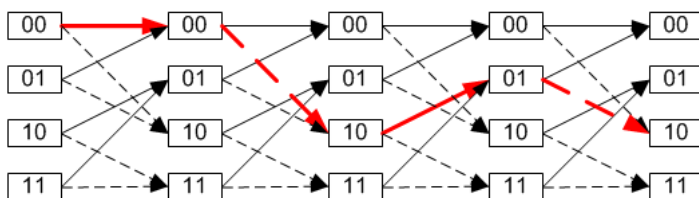
$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi kt/T}, \quad 0 \leq t < T,$$

{ X_k } sú dátové symboly, N je počet subnosných, T je časový interval symbolu OFDM. Vzdialenosť medzi nosnými je $1/T$, a zaručuje ortogonalitu.

Trellisové kódovanie

TCM (Trellis-Coded modulation) by sme mohli charakterizovať ako metódu „2 v 1“: uskutočňuje sa tu totiž zároveň kódovanie a mapovanie symbolov (modulácia). Je to vysokoefektívna metóda prenosu informácie cez obmedzené frekvenčné pásmo (kanál), čo je aj prípad prenosu cez telefónne linky.

Túto metódu vyvinul Gottfried Ungerboeck (1982). Je vhodná pre počítačové spracovanie, poskytuje digitálny signál s protichybovými vlastnosťami; patrí ku *konvolučným kódom*, ktoré z princípu zaručujú málo chýb. *Trellis* – mriežka – je grafická ilustrácia princípu vytvárania symbolov tohto kódu, *stavový diagram* (Obr.24), a protichybovosť symbolov je tu zabezpečená dodržaním zásady veľkej „kódovej vzdialenosti“ (odlišnosti) susedných symbolov kódu. Stav sa potom mapujú na nosné (M-QAM, MPSK, M-ASK).



Obr.24 Trellisový stavový diagram konkrétneho konvolučného kódera. Plná čiara – ak vstup je „0“, prerušovaná – ak vstup je „1“. [Wikipedia].

Paketový a bunkový spôsob prenosu

Prv, než opíšeme v nadpise spomínané dva princípy prenosu, utriedime si niektoré pojmy a princípy. Vieme už, že spôsoby komunikácie z istého pohľadu môžeme rozdeliť podľa spôsobu vytvárania prenosových ciest a súčasne podľa formy prenášaných informácií. V starých telekomunikačných sieťach sa komutovaním (prepínaním, spínaním) pevných okruhov vytvárali pevné elektrické cesty; v digitálnych sieťach dochádza už len ku komutácii „virtuálnej“, ku komutácii správ. Rozlišujeme pritom, o ktorú vrstvu vrstvomého komunikačného modelu ide (prepojenie na fyzickej úrovni - typické je použitie opakovačov pre spojenie sietí s technológiou Ethernet, prepojenie na linkovej úrovni – zariadenia nazývané bridge – most, spojenie na sieťovej úrovni pomocou routerov - smerovačov paketov, spojenie na aplikačnej úrovni - gateway – brána), a tiež, či vytvorená virtuálna cesta slúži pre prenos celej správy, alebo menšie štandardizované celky digitálnej správy sú prenášané rôznymi fyzickými aj virtuálnymi cestami, a skompletované sú až v mieste príjmu. Poznáme komunikáciu so spojovaním a prenosom buniek, paketov a rámcov.

Poznáme aj spôsob komunikácie bez spojovania (*nespojovo orientované siete služby*), teda bez fázy nadviazania spojenia a fázy rozpadu spojenia, teda bez vytvorenia logickej cesty medzi koncovými bodmi. Služby nespojovaných paketových sietí majú len jednu fázu, a to fázu prenosu dát. V nespojovanej službe je každý paket spracovaný nezávisle, a preto musí obsahovať všetky informácie nutné pre jeho vyslanie, prenos a doručenie vrátane cieľovej adresy (siete IP).

Podľa formátu organizovania dát a signalizácie pri prenose rozlišujeme *synchronne* a *asynchronne* prenosové módy. Asynchronne sú *bunkové* (obsadené a prázdne bunky) a *paketové* – umožňujú štatistické multiplexovanie, a tým lepšie využitie prenosového média.

ATM

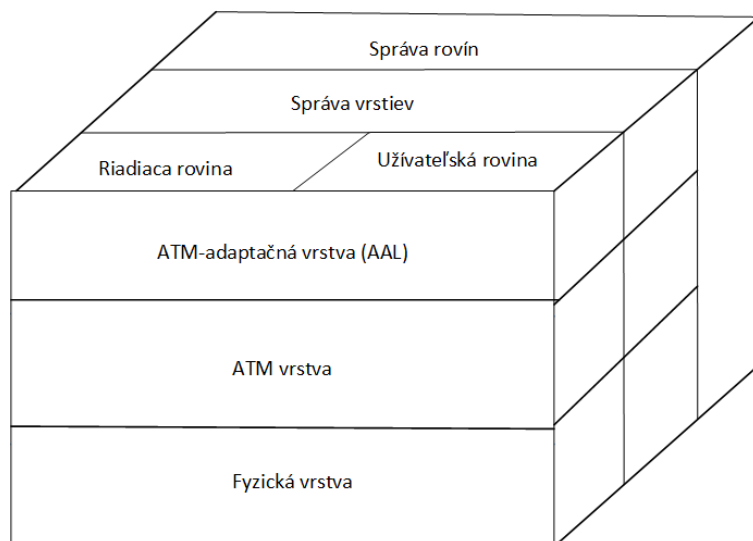
ATM (Asynchronous transfer mode) je prenosová technológia využívaná v telekomunikačných sieťach, pri ktorej sa využíva asynchrónne časovo delené multiplexovanie. Dáta sú rozdelené do malých paketov, zvaných *bunky*, ktoré majú konštantnú veľkosť. Tento fakt odlišuje ATM siete od Ethernetu a Internetu, ktoré používajú pakety s premenlivou dĺžkou alebo rámce. ATM protokol sa používal v sieťach ISDN (Integrated Services Digital Network) a v chrbticových systémoch SDH (Synchronous Digital Hierarchy) typu SONET (Synchronous Optical Network). Pokrýva 3 najnižšie vrstvy modelu OSI.

Bunky ATM majú dĺžku 53 B (= 5B záhlavie + 48 B dáta), a pre ich prenos sa využíva spojovo orientovaný model (virtuálny okruh vytvorený pred začiatkom relácie), ale zároveň sa aplikuje princíp „best effort“ (čo najrýchlejšie obsluhuje všetkých užívateľov, bez spomaľujúcich procedúr zaisťujúcich spoľahlivosť; „opak“ QoS).

Systém bol zavedený organizáciami ITU + ATM Forum, používal a používa sa pre rôzne typy služieb (videokonf., zvuku, obrazových a textových súborov). Bol vybraný pre B-ISDN (Broadband – širokopásmová), predstavuje univerzálny prístup k službám v spojitosti s optickými vláknami rýchlosti do Gbps (ATM-PON).

Tab.3 Triedy služieb vo vzťahu k adaptačným vrstvám ATM

Trieda	A	B	C	D
v čase	kontinuálny		nekontinuálny	
rýchlosť	konštantná	premenlivá		
druh komunikácie	so zostavením spojenia			bez zostavenia
Typ služby a adaptácia AAL	emulácia synchrónneho módu (voice – hlas)	komprimované video, audio, hlas	dátový prenos X.25, Frame Relay	dátový prenos IP
	1	2	3/4	
			5 (jednoduchšia adaptácia)	



Obr. 25 Vrstvový referenčný model ATM

Ethernet

Ethernet je skupina počítačových technológií pre siete LAN a väčšie. Popísané sú v štandarde IEEE 802.3. Je to konkurenčná technológia ku Token-ring, FDDI (Fiber Distributed Data Interface – prenos cez optické vlákna; štandard), Arcnet (80-te roky) a dnešnej WiFi. Pre prenos v sieťach typu Ethernet sa využívali najprv koaxiálne káble, dnes krútené páry a optické vlákna (medzi switchmi a hubmi).

Dáta sú rozdelené do rámcov: užitočné dáta + adresy zdroja a cieľa, kontrola chýb (pre príp. opakovanie).

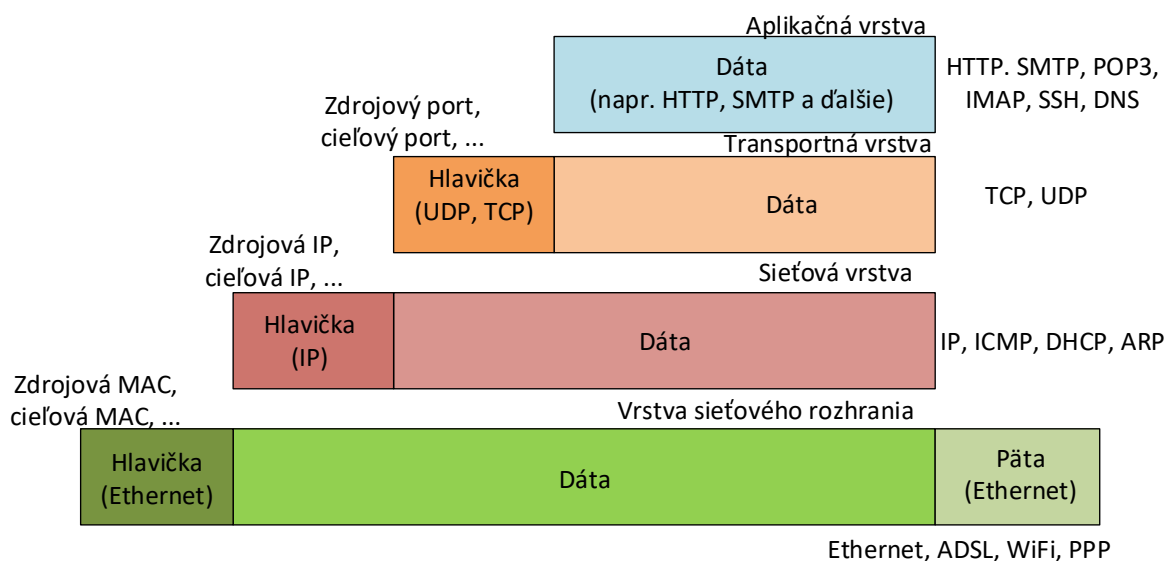
Tab. 4 Typy (rády) ethernetových technológií s použitím krútených párov [2]

Technológia	Mód	Priepustnosť/pripojenie	Médium
1000BaseTX	Full duplex	2 x 1 Gbps	4p UTP 5
1000BaseTX	Half duplex	1 Gbps	4p UTP 5
100BaseTX	Full duplex	2 x 100 Mbps	2p UTP 5/STP
100BaseT2	Half duplex	100 Mbps	2p UTP 3/4/5
100BaseT4	Half duplex	100 Mbps	4p UTP 3/4/ 5
100BaseTX	Half duplex	100 Mbps	2p UTP 5/STP
10BaseT	Full duplex	2 x 10 Mbps	2p UTP 3/4/5
10BaseT	Half duplex	10 Mbps	2p UTP 3/4/5

TCP/IP siete

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) je základná sada protokolov pre prístup k Internetu a spojenie end-to-end (paketovanie, adresovanie, vysielanie, smerovanie, prijímanie). Využíva sa tiež ako komunikačný protokol v privátnych intranetových a extranetových sieťach.

TCP/IP je organizovaný do 4 vrstiev (Obr. 26), nie celkom zhodných s vrstvami ISO/OSI, je považovaný za praktickejší a menej teoretický/vedecký než ISO/OSI.



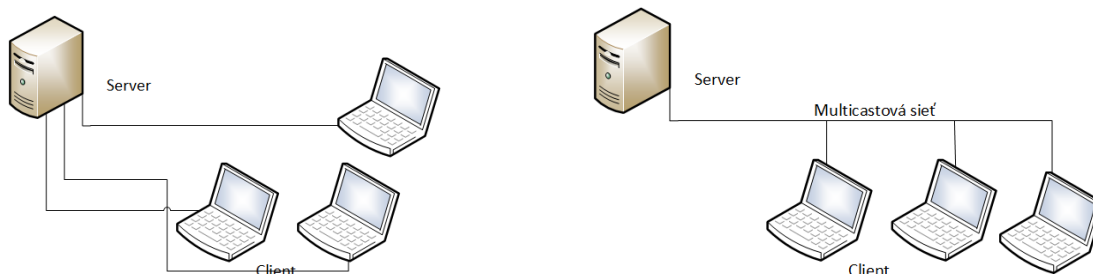
Obr. 26 Vrstvy a zapúzdrenie dát v sieti TCP/IP

Media streaming

Media streaming je metóda zdieľania a prenosu videa a/alebo hlasu v prístupovej sieti. V počítačových sieťach je multimediálny obsah, poskytovaný v reálnom čase bez nutnosti jeho kompletného stiahnutia na zákazníckovo úložisko (streaming), zdieľaný v zásade tromi spôsobmi, ktoré sa líšia viacerými parametrami, možnosťami siete, zariadením poskytovateľa (serverom), atď. (viac na špecializovanom predmete, venovanom len technológiám počítačových sietí). Sú to technológie:

- unicast (Obr. 27),
- multicast a
- broadcast.

Posledná zo spomínaných je používaná najväčším počtom klientov, bez možnosti spätnej väzby. Broadcastové šírenie signálu sa používalo aj v analógových špecializovaných sieťach, ako sú rozhlasové a televízne siete, ktoré zatiaľ ešte pretrvávajú v istom rozsahu aj pri poskytovaní digitálneho signálu. Pri rýchлом napredovaní vývoja sieťových technológií a zariadení, ako sieťových tak klientskych, však špecializované siete vo svojej pôvodnej podobe a funkcii počítačovým sieťam značne ustúpili, a tento trend stále pokračuje.



Obr. 27 Media streaming (strímovanie multimédií – hudby, videí, a pod.); vľavo unicast, vpravo – multicast.

Kandidátske metódy prenosu pre 5G-mobilnú komunikáciu:

V mobilnom prístupe k širokopásmovým službám sa aktuálne (r. 2018) využíva technológia LTE-Advanced (pokročilá LTE – Long Time Evolution – „pomalý vývoj“), označovaná ako generácia 4G. Označenie 4G zodpovedá pritom ITU-štandardu, definovanému pomocou hraničných parametrov ešte predtým, než bola táto technológia technicky realizovaná a spustená v praxi.

Na generáciu 5G sa ešte len čaká, pričom sa, samozrejme skúmajú a vyvíjajú viaceré možnosti, ktoré by napríklad efektívnejšie využili dostupnú frekvenčnú šírku pásma, poskytl vyššie dátové rýchlosti aj pri vysokej mobilite účastníkov, pri vyššej bezpečnosti dát a efektívnejšej spotrebe energie, atď. Medzi spomínané viaceré smery vývoja môžeme zaradiť nižšie uvedené technológie, ktoré sa snažia naplniť aspoň jeden, skôr však súčasne viacero z vytýčených cieľov. Sú to technológie:

- a) FBMC – Filter Bank based Multi Carrier – banka filtrov subnosných vln modulovaných QAM
- b) BFDM – Biorthogonal Frequency Division Multiplexing – dlhé symboly; vhodné pre náhodný prístup
- c) FMC – Universal Filtered Multi-Carrier – kombinácia OFDM a FBMC – ortogonalita v rámci frekvenčných blokov, nie však medzi nimi; filtrácia blokov alebo subpásim
- d) GFDM – Generalized Frequency Division Multiplexing – tiež systém subnosných, ale bez ortogonalita; banka filtrov v digitálnej implementácii (slabé vyžarovanie mimo pásma), menší PAPR (parameter: pomer špičkového a stredného výkonu), kratší CP (Cyclic Prefix)

Ďalšie uvažované špecifikácie 5G:

- využitie bielych pásiem – pásiem uvoľnených televíziou (približne od 470 do 800 MHz)
- využitie mm-vln (až do 100 a viac GHz, v súčasnosti do cca. 30 GHz) – nárok na LOS (Line-of-Sight – priama viditeľnosť), avšak lepšia smerovosť antén (vyšší zisk) a priestorové potlačenie interferencií
- možnosť využiť systémy viacerých antén (malých rozmerov; antenna array) s elektronickým riadením vyžarovacieho zväzku (beamforming)
- MIMO – diverzitné vysielanie a príjem (systém Multiple Input – Multiple Output – viac prijímacích a vysielacích antén aj obvodov; a rôzne variácie: MISO, SIMO, ...)
- kooperatívne režimy činnosti

DOPLNKOVÁ A REFERENČNÁ LITERATÚRA

[1] http://www.nextep.com.au/upload/DSL_Modulation_Techniques.pdf

[2] T. Anttalainen: Introduction to Telecom. Network Engineering, Norwood (USA - MA), 2003.

[3] M. Vaculík: Prístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.

[4] J. Vodrážka: Přenosové systémy v přístupové síti. ČVUT, 2003.

[5] www.ktl.elf.stuba.sk/~oravec/folie/Linkove%20kody.pdf

[6] V. Žalud: Rádiové komunikační systémy 5G. Sdělovací technika 09,10,11/2014.

Prístupové siete

Prednáška 4

Obsah:

Druhy prístupových sietí

Účastnícke siete

Hybridné siete

ISDN – Digitálna sieť integrovaných služieb

BRI (Basic Rate Interface) – Základná prípojka ISDN

PRA (Primary Rate Access) - Prípojka ISDN-PRA

Rozhrania V5.x pre pripojenie účastníckych systémov

Literatúra a referencie

Druhy prístupových sietí

V nasledujúcom texte budú stručne, v podobe základných špecifikácií opísané najrozšírenejšie druhy prístupových sietí spolu s účastníckymi sieťami, ktoré mnohým z nich predchádzali. Budú to tieto typy sietí:

- účastnícke
- hybridné
- optické
- rádiové
- TKR – Televízny kábelový rozvod
- energetické

Účastnícke siete

Účastnícke siete sú starý typ telekomunikačných sietí, ktoré poskytovali hlasovú službu. Z laického pohľadu sú známe skôr pod názvom telefónne siete. V zahraničnej literatúre sa tieto siete uvádzajú často pod skratkou *PSTN* (Public Switched Telephone Network – verejná spínaná/prepínaná/prepojovaná telefónna sieť), a služba ktorú poskytovali, pod skratkou *POTS* (Plain Old Telephone Service – jednoduchá stará telefónna služba; analógový signál).

Tieto siete pôvodne zahŕňali *účastníkov* v obvode jednej ústredne. Až neskôr sa ústredne prepájali tzv. *spojovacími* sieťami.

Účastnícka sieť je realizovaná medenými kábelovými vedeniami, a to *nadzemnými* (vonkajšími závesnými, v menej husto osídlených oblastiach) alebo *podzemnými* (v husto obývaných miestach). Káble majú *párovú štruktúru*; počet žíl v kábli býva od 20 až do 2400, a priemer vodičov 0,4 až 0,8 mm.

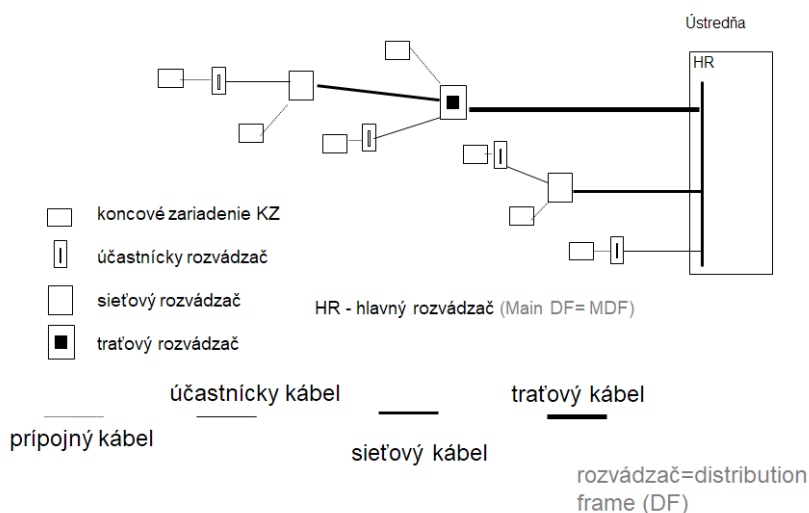
Pri klasifikácii sietí PSTN rozlišujeme:

- *pevnú účastnícku sieť* – to je taká, ktorá neobsahuje vonkajšie rozvádzače (Obr. 1) a prepája koncové zariadenie účastníka priamo s hlavným rozvádzačom v ústredni. Takáto sieť nedávala možnosť rozšírenia o ďalších účastníkov. Ako si aj na obrázku možno všimnúť, pevná sieť je časťou pružnej siete.
- *pružná účastnícka sieť*. O pružnej sieti možno hovoriť, ak medzi koncovým zariadením a ústredňou sú umiestnené vonkajšie rozvádzače (*distribution frame – DF*). Rozvádzače sú miesta (rámy, stojany, skrine), kde sú umiestnené *kábelové závery* káblov z ústredňovej a účastníckej strany. Pritom sú príslušné dvojice vodičových párov prepojené krútenou dvojlínkou. Rozvádzače poskytovali obvykle voľné miesta pre budúce ďalšie rozšírenie siete, čo je dôvod, prečo sa takáto sieť nazývala pružnou. Aj keď rozširovanie siete často prebiehalo dosť „živelne“, predsa možno takúto sieť rozdeliť do niekoľkých hierarchických úrovní.

Medzi hlavným rozvádzačom (HR – hlavný rozvod, MDF – Main Distribution Frame) v ústredni a koncovým zariadením môžu byť tri druhy vonkajších rozvádzačov, ktoré tvorili príslušnú úroveň v spomínanej hierarchii, a prepojenia od týchto úrovní smerom k ústredni boli realizované káblami, ktoré mali rovnaký prívlastok v mene a aj príslušnú hrúbku, konštrukciu (počet párov vedení) :

- o *traťový rozvádzač* (TR) – nachádzal sa obvykle v suteréne budov, bola to miestnosť, a bola zriadená v blízkosti budúcej ústredne
- o *sieťový rozvádzač* (SR) – tvorila ho skriňa buď v stene budovy alebo na samostatnom podstavci. Býval umiestnený vo vzdialenosti minimálne 300 m od ústredne.
- o *účastnícky rozvádzač* (UR; , subscriber DF) – tvorila ho menšia skriňa, umiestnená buď v stene alebo na stĺpe pri nehnuteľnosti patriacej účastníkovi. Koncové zariadenie bolo pripojené k UR prostredníctvom *pripojného vedenia*.

Na Obr. 1 je pre dobrú predstavu znázornené umiestnené ostatných príslušných typov káblov – *účastníckeho* (medzi SR a UR), *sieťového* (pripojenie SR ku TR alebo k ústredni) a *traťového* (obsahoval vedenia s hrúbkou vodičov až do 8 mm, viedol od SR k TR alebo k ústredni).

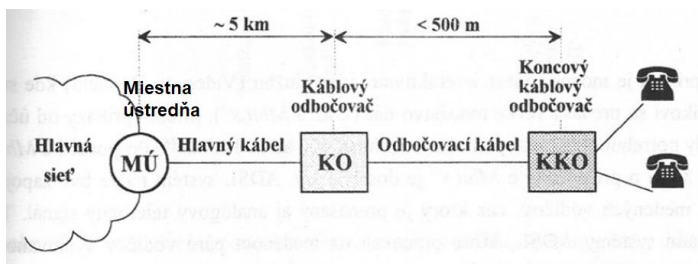


Obr.1 Príklad pružnej účastníckej siete [1]

Okrem možnosti ďalšieho rozširovania siete mal rozvádzač ďalšie 2 dôležité funkcie:

- umožniť vstup do trasy medzi koncovým zariadením (KZ) a ústredňou pre účely merania, lokalizácie poruchy a pod.
- realizácia *koncentrácie* počtu žíl (rozdielny počet na strane ústredne a na strane účastníka; býval to pomer 4 : 1 až po 1 : 1 po postupnom dopĺňovaní).

V oblasti starých telefónnych sietí sa ešte možno stretnúť s pojmi *hlavný kábel* (medzi miestnou ústredňou a káblovým odbočovačom) a *odbočovací kábel* (medzi káblovým odbočovačom a koncovým káblovým odbočovačom (Obr.2). Z koncového káblového odbočovača vedú vedenia do KZ. Hlavný kábel môže byť dlhý až 5 km, odbočovací asi 500 m.



Obr.2 Architektúra siete prípojných vedení

Hybridné siete

Hybridné siete sú tvorené kombináciou viacerých odlišných technológií; v tomto prípade budem hovoriť o kombinácii optického systému a medených párov. Na Obr. 3 je uvedený príklad technológie ADSL (Asymetrica Digital Subscriber Line) a VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line) ako dvoch hybridných systémov, ktoré sa líšia vzdialenosťou ONU (Optical Network Unit – zakončenie optickej siete na strane ústredne) od ONT (Network Termination – Optical Network Termination – zakončenie na strane účastníka), z ktorého vychádza medené vedenie k zákazníkovi cez rozhranie UNI (User Network Interface).

Všeobecne sa teda hybridné systémy nazývajú systémami xDSL, kde namiesto „x“ sa použije jedno z písmen I, A, H, S, V podľa konkrétneho typu technológie. Komokrýtny typ xDSL- systému sa volí podľa *dosahu* a požiadaviek na *prenosovú rýchlosť*. Účastnícke prípojky sa nasadením príslušného xDSL- systému stávajú *digitálnymi účastníckymi prípojkami xDSL*. Nasadenie xDSL-systému je niekedy možné v existujúcej sieti telefónnych prístupov aj bez zásadnej rekonštrukcie.

Pojmy uvedené na Obr.3 sú súčasťou všeobecných schém prístupových sietí, či už optických alebo medených, preto je potrebné si ich pozorne všimnúť. V budúcich textoch sa s nimi ešte stretne.

Jednotlivé xDSL-systémy budú prebraté podrobnejšie, no prechod k nim tvorila sieť ISDN (*Integrated Services Digital Network*), ktorej základné špecifikácie budú uvedené najprv.

ISDN – Digitálna sieť integrovných služieb

Skratka ISDN je vytvorená z anglického výrazu uvedeného vyššie. Tento systém je tvorený sadou celosvetových komunikačných štandardov pre digitálny simultánny prenos hlasu, videa, dát, paketov a iných sieťových služieb cez tradičné obvody verejnej telefónnej siete (PSTN) v digitálnom formáte. Predstavuje snahu o premenu existujúcej analógovej telefónnej siete na digitálnu. Zároveň bol výsledkom snahy vytvoriť jednotnú sieť pre všetky služby.

ISDN – systém bol definovaný v r. 1984 organizáciou CCITT a neskôr, v r. 1993 aj štandardizačnou sekciou ITU-T.

Vyššou verziou systému ISDN bola B-ISDN (Broadband ISDN- širokopásmová ISDN), ktorá poskytovala všetky služby cez jedno rozhranie podobne ako predtým ISDN, ale rýchlejšie. Káble metalického vedenia boli na časti trasy nahradené optickým vláknom.

ISDN bola tzv. *vytáčaná* služba. Táto vlastnosť zahŕňa viaceré dôležité špecifikácie, medzi inými aj tarifickú, ktorá sa realizovala podľa času pripojenia k službe.

V rámci tohto systému sa rozlišujú 2 typy kanálov: signalizačné a dátové (s užívateľskými informáciami). Sú označené písmenami A (analogový so šírkou 4 kHz), B (digitálny 64 kbps pre hlas, dáta, video, s možnosťou pripojenia až do 8 sériových zariadení ako počítač, terminál, fax), C, D, E, H.

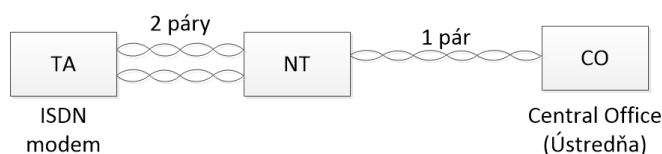
V ISDN sieti sa využívali 2 typy účastníckych rozhraní: BRI a PRI.

BRI (Basic Rate Interface) – Základná prípojka ISDN

- slúži pre prenos digitalizovaných telefónnych signálov po symetrických pároch
- je založená na prenose 2B + D – kanálov (to sú dva kanály typu B so 64 kbps-rýchlosťou pre prenos telefónneho signálu, D-kanál so 16 kbps pre signalizáciu + služobný 16kbps-kanál s rámcovou synchronizáciou + dohľadací kanál. Spolu to tvorí tok 160 kbps)
- využitie 4-stavového kódu 2B1Q
- duplexný prenos po 2-drôtovom vedení (1 pár) s použitím *vidlice s potlačením ozvien*
- *prekľuteľný útlm* je 37 až 50 dB na $f_{ref} = 80$ kHz. Minimálny dosah je 6 km pri ϕ 0,4 mm a 12 km pri ϕ 0,8 mm (priemer žíl)
- môže sa použiť aj pre prenos dát v sieti IDSL alebo DSL, alebo ako účastnícky systém pripojenia viacerých telefónnych účastníkov
- pozná možnosti: 2 x 64 kbps-telefónne kanály pri štandardnej PCM (ITU-T G.711)
 - 4 x 32 kbps-telefónne kanály pre ADPCM (ITU-T G.721)
 - 8 x 16 kbps-telefónnych kanálov pre kompresiu LD-CELP (ITU-T G.728)

PRA (Primary Rate Access) - Prípojka ISDN-PRA

- poskytuje prenosovú rýchlosť až 2048 kbps,
- využíva linkový kód HDB3 pri 4-drôtovom prenose (separátne symetrické páry pre oddelenie smerov up/down, Obr. 3)
- prekľuteľný útlm 40 dB na $f_{ref} = 1$ MHz
- dosah 1-2 km pri ϕ 0,4 mm
- poskytuje 30 telefónnych kanálov (PCM 30/32)



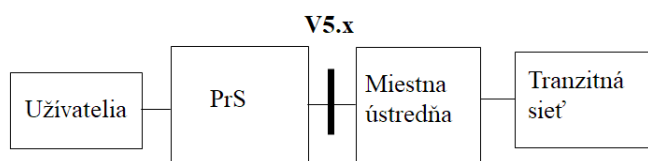
Obr. 3 Ilustrácia architektúry so 4-vodičovým vedením v prípade prípojky ISDN-PRA

Spomínané účastnícke prístupové systémy privedú multiplexovaný zväzok telefónnych prípojok ku telefónnej ústredni. Keďže väčšina prípojok je dosť málo využitá (prevádzkový výkon ...), je možné využiť kapacitu koncentráciou.

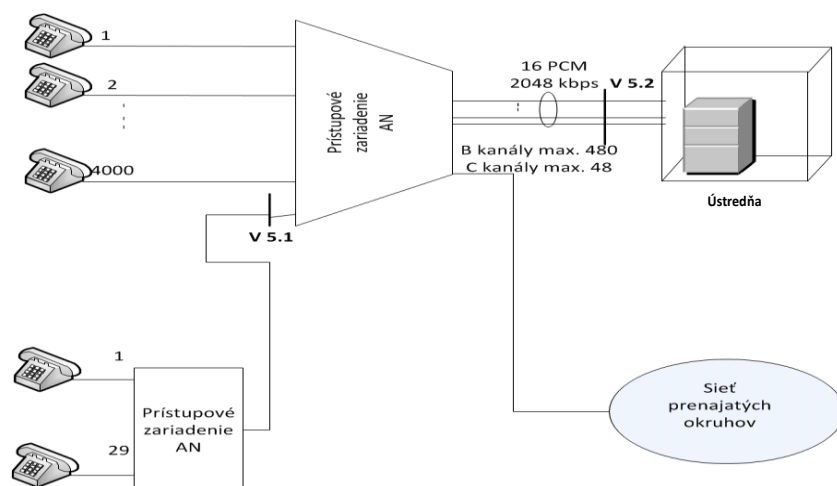
V prípade týchto prípojok je nutné riešiť aj prenos signalizácie medzi nimi a ústredňou, na čo sa využívajú štandardizované rozhrania V5.1 a V5.2.

Rozhrania V5.x pre pripojenie účastníckych systémov

Rozhrania V5.x a s nimi súvisiace protokoly, umožňujúce komunikáciu medzi telefónnou ústredňou a účastníckou slučkou boli definované v štandarde ETSI aj ITU (ITU-T G.964/965). Sú nezávislé od výstupov prístupových sietí, ktoré môžu byť rôzneho typu. Tieto rozhrania sú umiestnené medzi hlavnou sieťou (Core Network) a prístupovou sieťou (Obr. 7).



Obr. 7 Usporiadanie siete a lokácia rozhrania V5.x



Obr. 8 Príklad usporiadania prístupovej siete s oboma typmi rozhrania V5.x

Rozhrania V5.x na rozdiel od predchádzajúcich verzií (V4 a nižšie) podporujú pripojenie aj analógových telefónov. Ďalej podporujú pripojenie pobočkových ústrední a prípojky ISDN-BRA. V5.2 podporuje aj pripojenie ISDN-PRA a prenajaté okruhy.

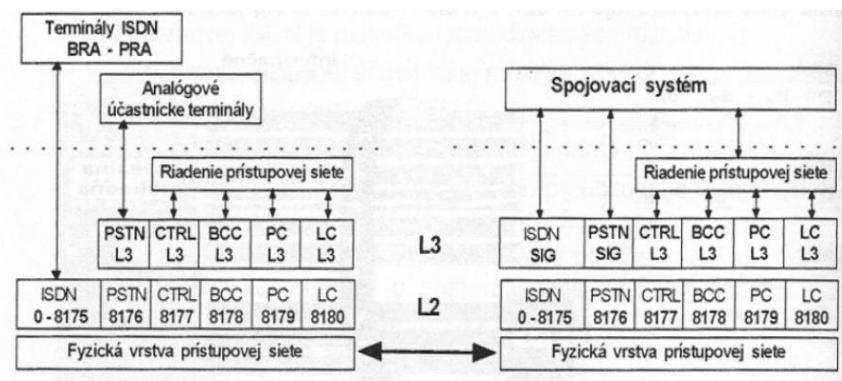
Generácie .1 a .2 rozhraní V5.x sa líšia viacerými funkcionalitami, ktoré sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Rozdiely medzi rozhraniami V 5.1 a V 5.2

V 5.1	V 5.2
1 x PCM 30/32 po 2048 kbps	16 x PCM 30/32 po 2048kbps
Nemá koncentráciu (jediná linka medzi ústredňou a prístupovou sieťou)	Vďaka koncentracii a dynamickej alokácii slotov – pripojenie tisícok užívateľov
Pevné pridelenie B-kanálov	Dynamické pridelenie – protokol BCC

Neumožňuje pripojenie ISDN-PRA, iba –BRA (15xPOTS+15xISDN, alebo 30xPOTS)	ISDN-BRA aj -PRA
Signalizácia bez zálohovania	...ochrana pri „spadnutí“ kanála

Rozhrania V 5.x umožňujú prenášať analógovú linkovú signalizáciu a ISDN signalizáciu, uvádzať a vyradovať z prevádzky účastnícke prístupy (zablokovanie/ odblokovanie účastníckeho portu), konfigurovanie a rekonfigurovanie siete. Súčasťou ich protokolov (Obr. 9) je aj protokol pre dynamickú alokáciu kanálov, diagnostiku linkových rozhraní, ochranný protokol pre nepretržité sledovanie prenosových prostriedkov pre prenos riadiacich informácií (kanály C) a pri prerušení prenosovej cesty automatické prepnutie na záložné toky.

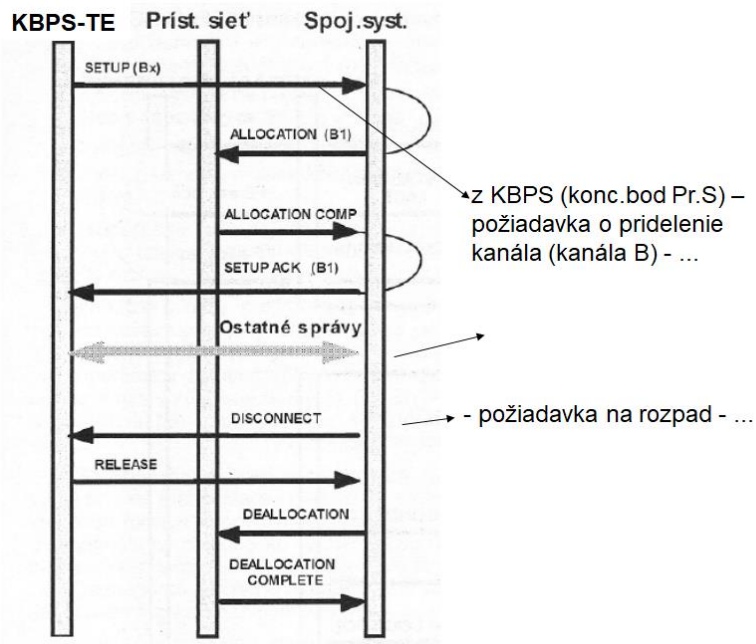


Obr. 9 Architektúra protokolov rozhrania V5.2

- CTRL – Control Protocol – riadi vytváranie a základnú správu V5 linky z prístupovej siete na miestnu ústredňu (MÚ)
- PSTN Protocol – riadi prevod signalizácie POTS do digitálnej formy pre prenos medzi prístupovou sieťou a MÚ
- BCC Protocol – riadi priradenie ľubovoľného kanála jednotlivému hovoru
- LC – Link Control – protokol uskutočňujúci správu 16 liniek E1; riadi status
- PC – Protection Control – protokol pre spájanie dvoch alebo viacerých kanálov na dvoch alebo viacerých linkách pre okamžité zotavenie v prípade zlyhania niektorého z nich

Na Obr. 10 je znázornený proces pridelenia kanála a jeho uvoľnenie v prípade digitálnej účastníckej prípojky.

Staršie typy rozhraní V (V1 až V4) sa používali pri úzkopásmovej ISDM, podporovali iba digitálne účastnícke prípojky (analógové nie), obsluhu RSU (Remote Subscriber Unit – vzdialená účastnícka jednotka), privátne ústredne. Umožňovali multiplex 12 x BRA.



Obr. 10 Procedúra pridelenia a uvoľnenia kanála, ak volanie je aktivované digitálnou účastníckou prípojkou (podľa protokolu BCC-časť V5.2)

Literatúra a referencie

- [1] V.Kapoun: Přístupové a transportní síte. VUT v Brně, 1999.
- [2] M. Vaculík: Přístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.
- [3] J. Vodrážka: Přenosové systémy v přístupové síti. ČVUT, 2003.
- [4] Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Tdma-frame-structure.png#file>
- [5] G.Fairhurst: MAC. <http://www.erg.abdn.ac.uk/users/gorry/course/lan-pages/mac.html>
- [6] K.Blunár, Z. Diviš: Telekomunikačné siete, časť IV.- skriptum ŽU v Žiline, 2000.

Prístupové siete

Prednáška 5

Obsah

Druhy prístupových sietí - pokračovanie

Systémy kábelovej televízie v úlohe prístupových sietí

DVB-C

DOCSIS

Systémy „bezdrôtovej káblvky“ MMDS a MVDS

Využitie energetických vedení pre prístup k širokopásmovým službám

IPTV a Internet cez elektrické zásuvky (v rámci domácej siete)

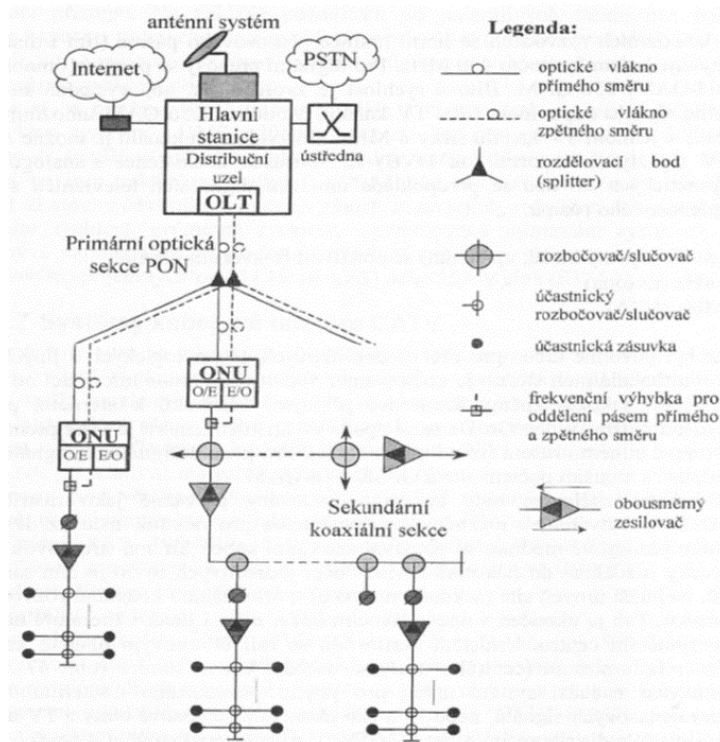
Literatúra a referencie

Druhy prístupových sietí - pokračovanie

Systémy kábelovej televízie v úlohe prístupových sietí

CATV – Community Access Television alebo tiež Community Antenna Television – je jednosmerný systém pre poskytovanie televíznej služby systémom koaxiálnych káblov. Na našom území (SR a ČR) sa používala skratka TKR – *televízny kábelový rozvod*. Ako z anglického názvu výstižnejšie vyplýva, tento systém sa realizoval v mieste, kde existovalo blízko seba viac účastníkov, ktorí z dôvodu vzájomného rušenia nemohli mať kvalitný individuálny príjem televízie, zato však mohli využiť výhody kvalitného spoločného príjmu na vhodnom mieste (spoločná anténa, antény), konverziu signálu na vhodné frekvenčné TV-kanály (pásma Superband a Hyperband, medzi II. a III. a medzi III. a IV. televíznym pásmom) a rozvod pomocou kvalitne navrhnutého systému koaxiálnej siete do všetkých účastníckych domácností. Tento, už existujúci systém sa stal podkladom pre návrh širokopásmového prístupu, t.zn. dobudovaním spätného kanála a realizovaním ďalších nutných súvisiacich úprav (modemy, rozbočovače, zosilňovače a niekde aj kvalitnejšie koaxiálne káble). Niektoré siete boli doplnené o optickú primárnu časť, a tak vznikli *hybridné opticko-koaxiálne siete* (Obr. 11), alebo boli úplne prebudované na optickú sieť.

V 90-tych rokoch 20. storočia bol v USA štandardizovaný systém DOCSIS, ktorý bol už niekoľkokrát aktualizovaný. V Európe bol vyvinutý digitálny systém DVB-C (Digital Video Broadcasting – Cable) práve pre tento účel - pre poskytovanie niekoľkých digitálnych TV-programov plus ďalších služieb, vrátane Internetu cez 1 pôvodný TV-kanál určený pôvodne iba pre 1 TV-program. Niektorí poskytovatelia ponúkali a ponúkajú balík zvaný Triple-Play, čo znamená, že z 1 účastníckej zásuvky má užívateľ možnosť pomocou modemu získať televízny signál, Internet aj hlasovú/telefonickú službu vo vysokej kvalite.



Obr. 11 Štruktúra CATV s optickou primárnou sekciou [V. Vít]

DVB-C

Tento európsky štandard pre digitálnu televíziu šírenú cez systém koaxiálneho kábelového rozvodu má dnes (r. 2018) už 2. verziu (DVB-C2), ktorá oproti prvej poskytuje vyššie rýchlosti, lepšie protichybové zabezpečenie, a vďaka tomu aj vyššie rozlíšenie, až do 4K. Kým prvá verzia využívala QAM moduláciu na jedinej nosnej, v súčasnosti sa pomocou QAM, s vyšším počtom stavov, moduluje ortogonálny systém nosných (OFDM) v rámci pôvodných 8-MHz-kábelových kanálov. Ďalšie porovnanie týchto dvoch systémov je uvedené v Tab. 2.

Tab. 2 Porovnanie hlavných špecifikácií systémov DVB-C a DVB-C2 [Wikipedia]

	DVB-C	DVB-C2
Input Interface	Single Transport Stream (TS)	Multiple Transport Stream and Generic Stream Encapsulation (GSE)
Modes	Constant Coding & Modulation	Variable Coding & Modulation and Adaptive Coding & Modulation
FEC	Reed Solomon (RS)	LDPC + BCH 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 ^[4]
Modulation	Single Carrier QAM	absolute OFDM ^[5]
Modulation Schemes	16- to 256-QAM	16- to 4096-QAM
Guard Interval	Not Applicable	1/64 or 1/128
Inverse Fast Fourier transform (IFFT) size	Not Applicable	4k ^[6]
Interleaving	Bit-Interleaving	Bit- Time- and Frequency-Interleaving
Pilots	Not Applicable	Scattered and Continual Pilots

Kanály v pásmach od 65 do 850 MHz (v USA od 42 do 850 MHz; šírka 6 MHz) sa pritom používajú pre smer Down, a kanály 5 – 65 MHz Eu. /5 – 42 MHz USA pre smer Up. Smer od užívateľa (Up) je z dôvodu spomínaných frekvencií náchylný na rušenia (*ingress*), preto sa tu na prenos používa menší počet stavov QAM, resp. QPSK. Kábelový rozvod má zdedenú stromovú štruktúru siete, danú pôvod-

ným distribučným zámerom, a má viac hierarchických úrovní podľa počtu účastníkov (primárna, sekundárna a terciárna sieť. V *hlavnej stanici* (HS) sa nachádza systém antén pre príjem rôznych signálov (aj satelitných, viď Obr. vyššie), a odtiaľ sa signál cez *konvertory, zosilňovače, náklonové členy/ekvalizéry* distribuuje k účastníkovi. HS je kvôli využitiu v prístupovej sieti prepojená s telefónnou sieťou a internetovou sieťou. Existujú aj realizácie širokopásmového prístupu pomocou TKR, kde spätný (Up) kanál je realizovaný pomocou telefónnej prípojky. Nižšia prenosová rýchlosť v tomto prípade nie je až takým problémom.

Realizácia modemov pre takýto prístup k širokopásmovým službám je preto pestrá, ako vyplýva z opisov vyššie. Modemy pritom môžu byť externé, alebo zabudované v TV-prijímačoch, a môžu disponovať rôznymi ďalšími funkciami a rozhraniami (ukladanie a archivácia zvolených programov, ich opätovné prehrávanie, prezeranie web-stránok, a ďalšie).

Štandard IEEE 802.14 (Eu.) opisuje MAC protokol pri takejto obojsmernej komunikácii pri dodržaní parametrov QoS. Podobne slúži štandard ETSI ETS 300 800 (DVB pre obojsmernú komunikáciu v CATV), DOCSIS (čítaj doksis) – štandard USA neskôr prijatý aj ITU (ITU-T J.112 pre kábelové modemy).

DOCSIS

Špecifikácie tohto štandardu zhrnieme do niekoľkých najdôležitejších bodov:

Štandard DOCSIS je určený pre systémy CATV v regióne USA a v Európe (EuroDOCSIS). Posledná verzia je DOCSIS 3.1 Full Duplex:

- využitie celého spektra od 0 do cca. 1,2 GHz súčasne pre Up/Down
- multigigabitové symetrické služby
- spätná kompatibilita s DOCSIS 3.1

Staršie verzie:

DOCSIS 3.1 (2013): 10 Gbps Down/ 1 Gbps Up, 4096-QAM, nevyužíva sa už delenie na 6 alebo 8 MHz TV-kanály, ale pre prenos digitálnych multiplexov sa používajú prenosové pásma široké až do 200 MHz (systém spájania kanálov - Channel bonding) , Down: 16-QAM, 128-QAM, 512-QAM, 1024-QAM, 2048-QAM a 4096-QAM, s voliteľnou podporou of 8192-QAM/16384-QAM, Upstream: QPSK, alebo až do 1024-QAM, s voliteľnou podporou pre 2048-QAM a 4096-QAM, lepší energetický manažment.

DOCSIS 3.0: 1,2 Gbps down/ 200 Mbps Up, Channel bonding, podpora pre IPv6,

- šírka kanála – down: 6 MHz USA / 8 MHz „Euro DOCSIS“, up: 6,4 MHz, ale aj spätne kompatibilné užšie pásma
- modulácia –down: 64 alebo 256 QAM, up: QPSK alebo až do 128 QAM
- trellisové kódovanie, S-CDMA,
- priepustnosť – down: 42,88 Mbps / 6 MHz, 55,62 Mbps / 8MHz , up: 30,72 Mbps pri 6,4 MHz kanáli
- počet kanálov na modem bežne: až 4 up/ 8 down.

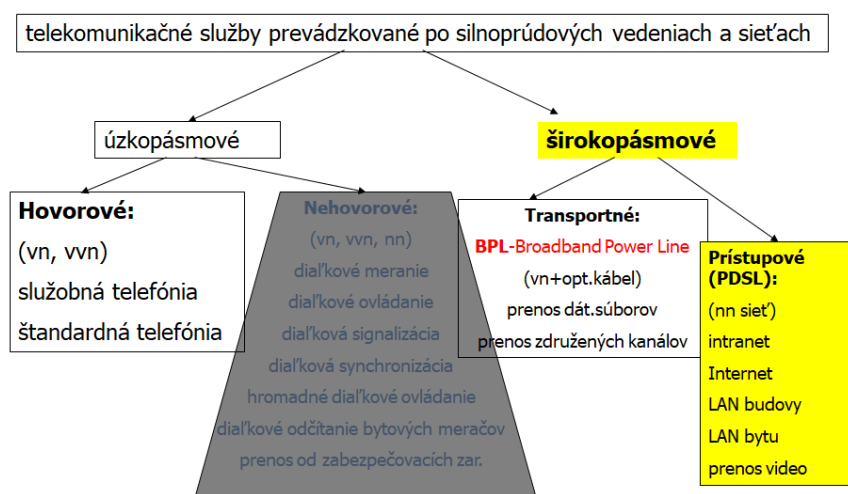
Systemy „bezdrôtovej káblvky“ MMDS a MVDS

Tento paradoxný názov pomenúva systémy, v ktorých sa signál prenáša voľným priestorom v rádiových pásmach, konkrétne v pásme mikrovln (okolo 5 GHz), ale využíva sa pritom kódovanie a modulácia navrhnutá pre CATV, čiže DVB-C alebo DOCSIS. To znamená, že pre príjem takéhoto signálu je nutné mať mikrovlnovú anténu (s parabolickým reflektorom) a prijímač schopný demodulovať CATV, resp. DOCSIS signál.

Využitie energetických vedení pre prístup k širokopásmovým službám

PLC – Power Line Communication (komunikácia cez energetické vedenia), BPL – Broadband Power Line, PDSL – Power DSL

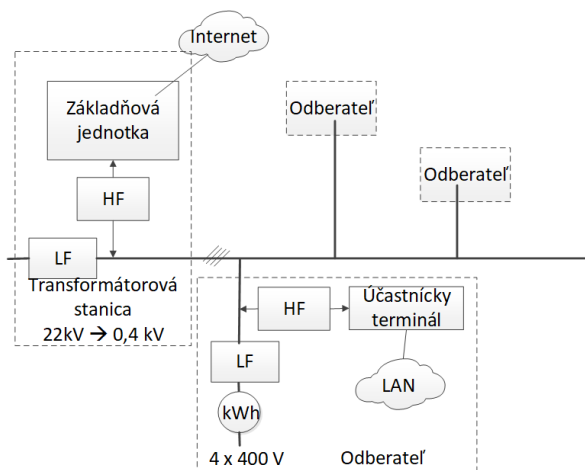
Na Obr. 12 sú znázornené možnosti a využívanie energetických vedení pre komunikáciu. Pridruženie širokopásmového signálu do energetickej siete sa môže realizovať „pred meracími hodinami“ odberateľa a „za hodinami“, t.j. vo vnútornej sieti domácnosti. Tento typ prístupu je ďalším príkladom, ako využiť už existujúce vedenie, i keď pôvodne určené pre iný účel. Nové využitie však v tomto prípade znamená odlišné frekvenčné pásmo. Energetické vedenie prenáša len tzv. *technickú frekvenciu* 50 Hz, no je schopné prenášať aj iné. Pre účely signalizácie a ovládania sa už dlho používajú veľmi vysokonapäťové vedenia (VVN, magistrály), čo je špecifická oblasť. Služi to pre komunikačné potreby prevádzkovateľa energetickej siete, nie však pre širokopásmový prístup.



Obr. 12 Klasifikácia využitia energetických vedení pre komunikáciu

Pre poskytnutie širokopásmového prístupu sú vhodné distribučné vedenia VN (vysokého napätia) a NN (nízkeho napätia), pretože vedú prakticky do každého objektu. Majú rôzne topológie, a problémy ich využitia sú rôzne, podľa pomeru λ/l vedenia.

Na Obr.13 je príklad riešenia prístupovej siete s využitím energetických rozvodov: základňová jednotka (zariadenie poskytovateľa širokopásmových služieb) je umiestnená v mieste trafo-stanice 22 kV/0,4 kV. Je to „brána“ medzi transportnou sieťou (zakončenie optického vlákna) a energetickou rozvodnou sieťou. Prenosovú kapacitu potom zdieľajú viacerí účastníci do vzdialenosti stoviek m od transformátora. Na prenos sa používajú dvojfázové vodiče s využitím nízkofrekvenčných a vysokofrekvenčných filtrov (NF, LF), ktoré spĺňajú požiadavku na vysokú bezpečnosť oddelenia. Napriek zaručenej bezpečnosti (pri správnej inštalácii) panuje voči tomuto typu riešenia nedôvera zo strany zákazníkov.

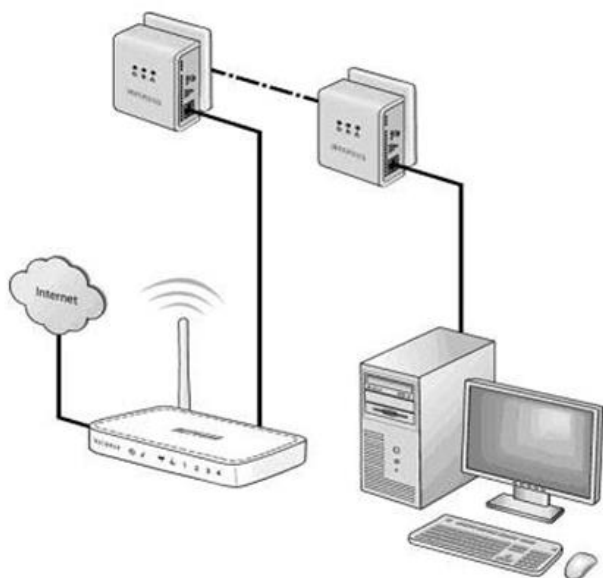


Obr.13 Principiálne riešenie prístupovej siete s využitím energetických rozvodov (HF – hornopriepustný filter, LF – dolnopriepustný filter)

Európska norma EN50065-1 opisuje takýto prenos dát. V Tab. 2 sú vymenované typy komunikácie po energetických vedeniach pri frekvenciách do 150 kHz.

Tab. 2 Pásmo povolené európskou normou pre komunikáciu do 150 kHz

Pásmo	Pásmo [kHz]	Poznámka
	3 - 95	Len pre dodávateľov el. energie
A	9 – 95	Pre dodávateľov el. energie a po ich súhlase i pre odberateľov
B	95 -125	Privátne účely odberateľov
C	125 – 140	Pre odberateľov – vyžaduje sa protokol o prístupení k dohode.
D	140 – 148,5	privátne účely odberateľov



Obr. 14 Ilustrácia architektúry zapojenia domácej distribúcie širokopásmového prístupu pomocou energetického rozvodu. Internet je cez špecializovaný adaptér prístupný všade tam, kde sa vyskytuje elektrická zásuvka [3]

Pre poskytnutie prístupu PDSL sa požadujú frekvencie až do desiatok MHz. Pri narastajúcej vzdialenosti je frekvenčné pásmo linky zhora čoraz viac obmedzované. Pre vzdialenejších účastníkov je možné poskytnúť šírku pásma do 10 MHz. Maximálne prenosové rýchlosti dosahujú desiatky Mbps, pričom sa využíva prenosový systém OFDM.

Využitie energetických vedení rozširuje možnosti ako uskutočniť distribúciu Internetu, TV a rozhlasu aj do odľahlých miest krajiny, keďže elektrina je tam už väčšinou zavedená. Pokračuje tu však vývoj v oblasti elektromagnetickej kompatibility a potlačania vzájomného rušenia rôznych telkom. systémov aj rušenia od energetickej siete (stanovujú sa medzné hodnoty a pod.).

IPTV a Internet cez elektrické zásuvky v rámci domácej siete

Architektúra distribúcie širópásmového prístupu obsahuje (Obr. 14):

- internetové pripojenie (môže byť aj linka DSL)
- router (alebo DSL modem) pripojený k Internetu aj k elektrickej sieti
- adaptéry technológie Powerline pripojené k elektrickým zásuvkám v byte (za trafostanicou, v rovnakom fázovom okruhu),

Táto možnosť prístupu má dosah rádovo desiatky metrov a poskytuje rýchlosti do 200 Mbps a viac. Nevhodné sú tu však prepäťové ochrany a filtre, ktoré je nutné vyradiť.

Literatúra a referencie

- [1] M. Vaculík: Prístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.
- [2] J. Vodrážka: Přenosové systémy v přístupové síti. ČVUT, 2003.
- [3] Internet (<http://pocitace.sme.sk/clanok.asp?cl=4110031>)
- [4] V. Vít: Televizní technika 3 -- kniha A - přenosové barevné soustavy. BEN- Technická literatura, 2002

Prístupové siete

Prednáška 6

Obsah:

Druhy prístupových sietí – pokračovanie:

Rádiový širokopásmový prístup

Bezšnúrový telefón

Mobilná bunková sieť

Prehľad generácií mobilnej komunikácie v skratke

Mobilné rádiové technológie trochu podrobnejšie

Mobilná rádiová sieť GSM

LTE – Long Term Evolution (dlhodobý vývoj) – 3GPP Release 8, a LTE-Advanced

LTE – Advanced

Satelitné prístupové siete

Parametre satelitných systémov

LEO – Low Earth Orbit (Systémy s nízkou obežnou dráhou)

MEO-satelitné systémy (Middle Earth Orbit)

Satelitné systémy GEO (Geostationary Earth Orbit)

Systémy HEO (Highly Elliptical Orbit)

Literatúra a referencie

Rádiový širokopásmový prístup

RAN – Radio Access Network, RITL – Radio In The Loop, aj iné názvy (RLL - Radio Local Loop, WLL - Wireless Local Loop)

Rádiová komunikácia všeobecne predstavuje šírenie signálu voľným priestorom pomocou (neviditeľných) elektromagnetických vln v takých frekvenčných pásmach, pre ktoré je to v danom prípade efektívne.

Hovoríme o šírení rádiových vln. Rádiové vlny majú svoju známu klasifikáciu – dlhé vlny (DV), stredné vlny (SV), krátke (KV) a veľmi krátke vlny (VKV), s príslušným rozdelením frekvenčného spektra, a samozrejme, v anglickej verzii s ekvivalentným názvoslovím. Nad pásmom VKV sa v spektre ďalej nachádzajú televízne pásma, až do približne 1 GHz, pásma mobilných telekomunikačných sietí, pásma pre satelitné spoje, rádio-reléové spoje (RRS), širokopásmové prístupové siete a ďalšie.

Táto komunikácia môže byť

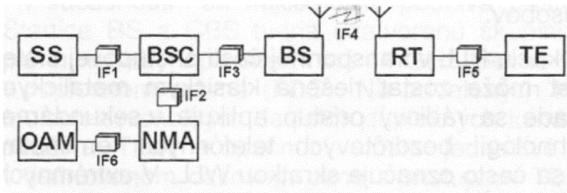
- výlučne rádiová, s prípadnými retranslačnými stanicami, slúžiacimi na obnovu signálu (pozemnými alebo satelitnými, pričom satelitné môžu byť aktívne alebo len odrazové),

- alebo rádiové spoje môžu dopĺňať káblové prostriedky tam, kde je to výhodné, alebo sa pomocou nich vytvára špecializovaná mobilná alebo pevná sieť s mnohými službami.

Rádiové prístupové siete sú **výhodné** v ťažko prístupných oblastiach a v oblastiach s riedkym osídlením, kde sa nevyplatí budovať káblové rozvody. Sú výhodné aj pre operatívne nasadenie v krízových resp. iných situáciách, kde vznikne náhla potreba poskytovať komunikačné služby väčšiemu počtu používateľov.

K **nevýhodám** rádiovkej komunikácie patrí obmedzenie prenosovej kapacity, zmena prenosových parametrov s časom (*úniky – fading*), možnosť neoprávneného ovplyvňovania prenosu (*rušenie*), možnosť *odposluchu* (nelegálny príjem). Niektoré nepriaznivé okolnosti sa dajú obmedziť: smerovaním signálu v úzkom lúči, vhodným kódovaním správy, vhodnou moduláciou.

Všeobecné vlastnosti RLL popisuje európska norma ETSI ETR 139. *Referenčný model* na Obr. 1 definuje základné časti RLL a zodpovedajúce rozhrania.



Obr. 1 Referenčný model RLL všeobecne

Legenda:

- SS – pevná sieť,
- BSC- Base Station Controller,
- BS – Base Station (základňová stanica),
- RT- Radio termination (zakońčenie rádiovkej siete),
- TE - Terminal equipment (účastnícky terminál),
- IF – rozhrania (Interface), IF1 (V5.x, V2) – v závislosti od kapacity alebo individuálneho účastníckeho analógového alebo digitálneho rozhrania, IF2 – vnútorné systémové rozhranie, IF3 – systémové rozhranie na fyzickej vrstve; má charakter digitálnej účastníckej prípojky, IF4 – rádiové rozhranie, IF5 – štandardizované účastnícké rozhranie pre pripojenie účastníckych terminálov TE, IF 6 - rozhranie Q2 alebo Q3,
- OAM-Operation, Administration and Maintenance (súbor funkcií pre riadenie prevádzky, administráciu a údržbu),
- NMA-Network Management Agent

Prostredie pevnej siete SS je cez rozhranie IF1 pripojené k jednotke riadenia základňovej stanice BSC. Ku nej je pripojená minimálne jedna BS, ktorá obsahuje rádiovú časť systému. Jednotka BSC súčasne zabezpečuje prístup k riadiacim funkciám OAM prostredníctvom svojho „agenta“ NMA cez rozhrania IF6 a IF2.

Zakońčenie rádiovkej siete (RT) obsahuje rádiovú časť účastníckeho prípoja, ktorá komunikuje s BS cez rádiové rozhranie IF4. RT poskytuje rozhrania IF5, ku ktorým možno pripojiť TE.

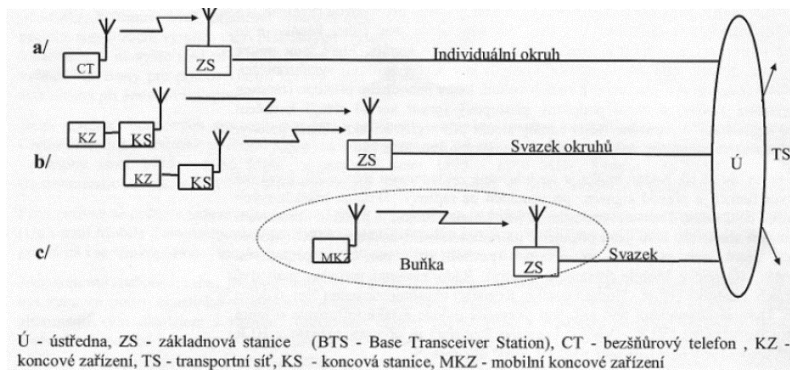
Rádiové komunikačné siete môžeme klasifikovať (deliť do tried, skupín) podľa viacerých hľadísk. Niektoré z týchto hľadísk a delení sú uvedené v Tab. 1.

Ďalšie delenie:

- podľa poskytovaných služieb: telefónne, dátové, ...
- podľa metódy zdieľania prenosovej kapacity: FDM, TDM a prístupy FDMA, TDMA, CDMA...
- modulačné metódy: PSK (fázové kľúčovanie), QAM
- privátne a verejné
- podľa možnosti včlenenia rádiového úseku do prístupovej vrstvy telekomunikačnej siete môžeme hovoriť o delení na (Obr. 2) [1]:
 - bezšnúrový telefón
 - pevné bezdrôtové prístupové siete (RLL – Radio in the Local Loop)
 - mobilná bunková sieť

Tab.1 Delenie rádiových prenosových prostriedkov

Typ delenia	Druh rádiových prostriedkov	
Šírka pásma	Úzkopásmové	Širokopásmové
Smer prenosu	Distribučné – jednosmerné	S obojsmernou komunikáciou
Usporiadanie	bod - bod	Bod – mnoho bodov
Mobilita účastníka	Pevná bezdrôtová prípojka	Mobilný terminál
Využitie prostriedky	Pozemné	Družicové (aj iné...)



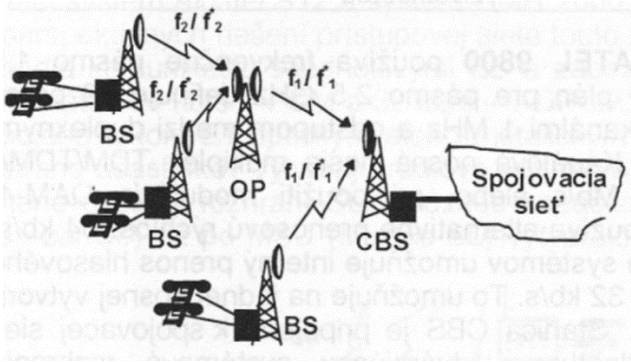
Obr.2 Rádiová prístupová sieť: a) bezšnúrový telefón s individuálnym pripojením, b) bezšnúrový telefón so spoločným pripojením, c) mobilná bunková sieť

Väčšina spomínaných tried rádiových sietí sa delí ešte podrobnejšie, resp. patria do nej konkrétne rádiové systémy, ktoré sa navzájom líšia svojimi jednotlivými špecifikáciami a nie sú navzájom kompatibilné.

V transportnej vrstve telekomunikačných sietí sa využívajú RRS (rádio – reléové spoje) (Obr. 3), ktoré takto nahrádzajú zväzky niektorej časti pevnej siete. Slúžia pre klasické telekomunikačné služby, ale aj

pre televízne prenosy. V týchto prípadoch (z dôvodu frekvenčného pásma) je pri prenose medzi dvoma stanicami nutná priama viditeľnosť (tzv. podmienka LOS – Line-of-Sight).

V ďalších podkapitolách uvidíme špecifikácie najrozšírenejších typov rádiových prístupových sietí.

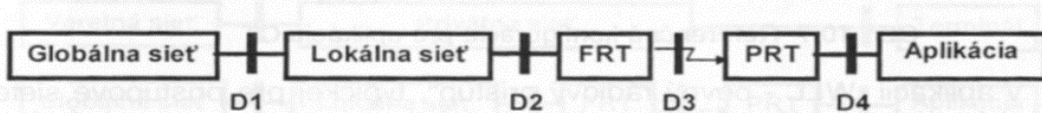


Obr.3 Princíp RLL v transportnej časti prístupovej siete

Bezšnúrový telefón

(CT – Cordless Telephone - bezšnúrový telefón)

Pre bezšnúrové telefóny sa používa štandard a systém DECT (Digital European Cordless Telecommunication). Je to bunkový systém zabezpečujúci bezdrôtové spojenie typu bod-viac bodov medzi pevnou časťou systému FRT (Fixed Radio Termination – pevné rádiové zakončenie) a prenosnou časťou (PRT – Portable Radio Termination). Medzi nimi je rádiové rozhranie D3 (Obr. 4).



Obr. 4 Všeobecný referenčný model systému DECT

Rozmer bunky je asi 50 m až 3 km podľa aplikácie a podmienok.

Systém je určený pre zabezpečenie úzkopásmového bezdrôtového prístupu k verejnej alebo privatej telekomunikačnej sieti, a to v jednoduchých aj zložitých aplikáciách (rozľahlé multibunkové siete s lokáciou polohy účastníka – *roaming*, prechodom medzi bunkami, adaptívnou zmenou kanálového intervalu, atď.). Ako vidno tento systém, hlavne v jeho poslednej verzii je už veľmi podobný mobilnej telefónii.

Pevné rádiové rozhranie je umiestnené v základňovej stanici (BS – Base Station), s ktorou komunikuje prenosné zakončenie rádiovkej siete PRT, umiestnené v mobilnom koncovom zariadení CT (v „bezšnúrovom telefóne“). Tento systém umožňuje zvýšenie mobility užívateľa, no s obmedzením iba na priestor budovy, resp. jej bezprostredné okolie. Problém napájania prenosnej časti je riešený

akumulátorom, ktorý sa nabíja v čase uloženia CT na BS. Napájanie BS môže byť *realizované prúdom z miestnej ústredne*, alebo z domácej elektrickej prípojky.

Nevýhodou z pohľadu poskytovateľa takejto služby je malé využitie individuálneho okruhu.

História vývoja štandardov bezšnúrového telefónu:

CT1 – analógový FM-prenos, 40 kanálov, 914-915 MHz, 959-960 MHz,

CT2 – digitálny štandard, 40 kanálov, TDD - duplex s časovým delením (down/up na rovnakej frekvencii ale v oddelených časových slotoch); 864-868 MHz, 32 kbps,

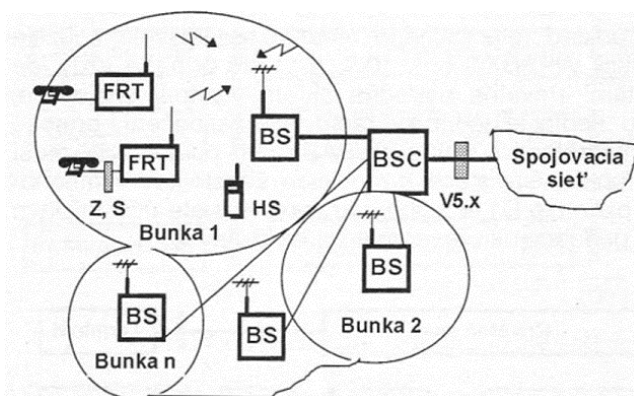
CT3 – DCT 900 – predchodca DECT – pre bezšnúrové pobočkové ústredne,

DECT (Digital European Cordless Telecommunication, alebo Digital Enhanced Cordless Telecommunication) – vznik: 1992, niekoľko fáz (generácií):

- 1. architektúra ako na Obr. 2-b, telefón, fax, dátový prenos do 28,8 kbps; 1880-1900 MHz, 120 kanálov s časovým duplexom, dosah medzi ZS a KS je do 5 km, v architektúre sa začalo používať názvoslovie DAN (DECT Access Node, FAU – Fixed Access Unit),

- 2. *Cordless in the home*, zväčšená mobilita koncových zariadení pomocou jednotky FRU (Fixed Repeater Unit), rozšírená ponuka služieb (len v okruhu 1 BS)

- 3. *Cordless in the Neighbourhood* – zväčšenie mobility aj do susedných DAN a poskytovanie služieb ISDN, zvýšená možnosť vzniku preťaženia niektorej BS. Je základom pre UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 3. generácia mobilného bunkového systému pre siete založené na štandarde GSM).



Obr. 5 Architektúra DECT v prístupovej sieti

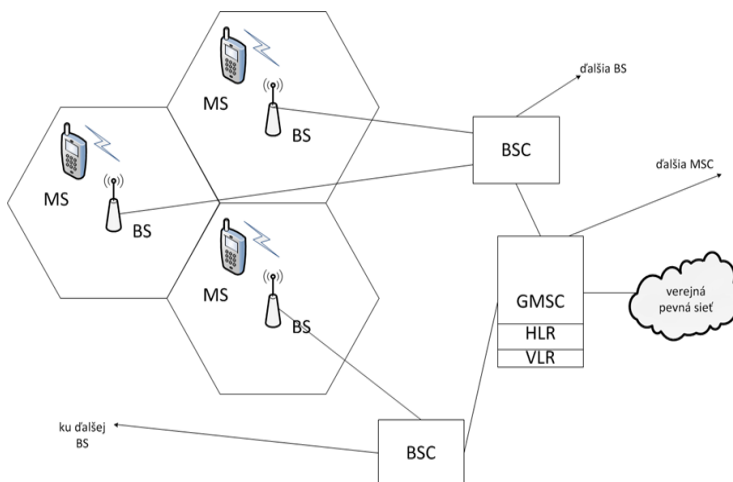
Ďalším stupňom mobility je už mobilná bunková sieť.

Ekvivalentné systémy bezšnúrových telefónov v USA sú PACS (Personal Access Communication System) a v Japonsku PHS (Personal Handyphone System; pre súkromné aj verejné používanie, ktoré sa líšia frekvenčnými pásmami okolo 1900 MHz).

Mobilná bunková sieť

Oblasť mobilného príjmu pomocou malých prenosných (vreckových) zariadení - telefónov, a využívanie rôznych typov služieb v rámci tohto systému a pomocou jediného spomínaného zariadenia, je predmetom samostatných výučbových disciplín. Na tomto mieste budú uvedené len niektoré základné fakty a špecifikácie týchto sietí.

Mobilné koncové zariadenia (KZ) majú samostatný zdroj energie (batériu, akumulátor), a ich pohyb je možný dnes už prakticky voľne po celom území krajiny, aj cudzej krajiny, aj za oceánom, pričom plocha tohto územia je pomyslene rozdelená na malé segmenty – *bunky*. Bunkami sa nazývajú priestorové jednotky pokryté rádiovým signálom zo základňovej stanice BS (alebo ZS) (Obr. 6). BS vďaka tejto architektúre vystačia pri pokrytí bunky svojimi vysielačmi s pomerne malým výkonom.



Obr. 6 Bunková štruktúra siete GSM

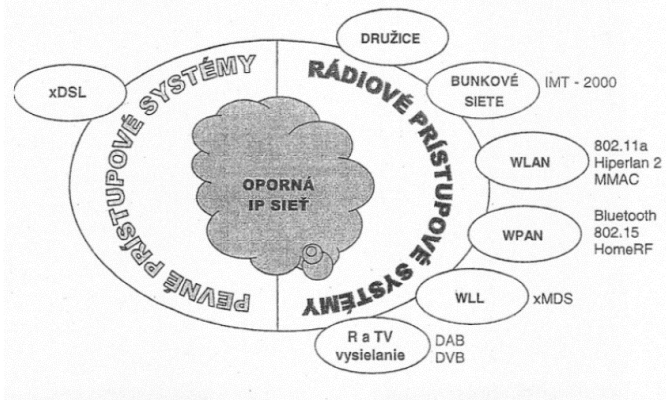
Pretože susedné bunky sa čiastočne prekrývajú, je nutné pre ich pokrytie voliť rôzne frekvenčné pásma, čo je záležitosťou tzv. *frekvenčného plánovania*. Na jednu bunku pripadá skupina frekvenčných kanálov pridelovaných pre aktuálne komunikujúcich účastníkov; tieto kanály sa však nemôžu použiť v susedných bunkách. Tie isté frekvenčné kanály sa môžu použiť až o bunku ďalej (*frekvenčné opakovanie*).

Účastníci (s výnimkou prvých fáz existencie týchto sietí) môžu voľne prechádzať z jednej bunky do druhej, pričom bázové stanice si ich „odovzdávajú“ (*handover* a *handoff* – čo je riadený proces prepnutia, presúvania hovoru medzi rôznymi kanálmi pri prechode do susednej bunky). Pri prechode na územie inej krajiny (iní poskytovatelia, iné dohodnuté podmienky využívania služieb) sa komunikácia podľa možnosti vôbec neprerušuje, a operátori si zákazníka odovzdávajú v rámci tzv. systému *roamingu*.

Veľkosť buniek sa navrhuje na základe *teórie hromadnej obsluhy* (na výpočtoch sa podieľajú parametre ako maximálny počet súčasných spojení a veľkosť *intenzity ponúkaného zaťaženia*) rádovo od stoviek metrov po desiatky kilometrov. S priemerom bunky súvisí potom maximálny výkon BS.

Prehľad generácií mobilnej komunikácie v skratke

1. Prvá generácia využívala analógovú úzkopásmovú frekvenčnú moduláciu (FM; prístup FDMA) v pásme 450 až 900 MHz. Komunikácia bola možná len v rámci národných systémov.
2. „2G“ - Druhá generácia (GSM – Groupe Spécial Mobile / Global System for Mobile Communications, 2G-GSM); digitálny signál, 890-915 MHz up / 935 – 960 MHz down, šírka kanálov 200 kHz, úzkopásmový TDMA, neskoršie CDMA.
3. „2,5-tá“ generácia, „2,5 G“, alebo GSM 2+: Pre túto generáciu, ktorú ešte štandardy nepovažovali za 3G, je charakteristické zavedenie systému *GPRS* (General Packet Radio Service – paketovo orientované služby), čo je mobilná *dátová* služba, prístupná pre používateľov GSM (a mobilov IS-136 – v USA a Kanade), a poskytujúca vysokorýchlostný prenos dát, služby WAP (Wireless Application Protocol), SMS, MMS a internetové služby (e-mail, www-prístup); TDMA-prístup. K 2,5-tej generácii sa radí tiež systém HS-CSD (High Speed Circuit Switched Data – prepojovanie okruhov); 57,6 kbps.
4. Generácia „2,75 G“ - EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution, alebo Enhanced GPRS - EGPRS, alebo IMT Single Carrier - IMT-SC, alebo Enhanced Data rates for Global Evolution) je štandard medzi GSM a IMT-2000, pre zaujímavosť označovaný tiež „2,75 G“, navrhnutý pre rozšírenie dátových rýchlostí, čo sa dosiahlo efektívnejším kódovaním (8-PSK).
5. „3G“ - Tretia generácia: *UMTS* (Universal Mobile Telecommunications System, vyvinutý organizáciou ETSI, označovaný niekedy R99 – Release 99) a iné (IMT-2000 - International Mobile Telecommunications for the year 2000, vyvinutý ITU), označovaná tiež 3GSM alebo 3G-cellular RADIO SYSTEM. Využíva prístup W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), v kombinácii s FDD a DS-CDMA; podporuje SMS a MMS, ako aj vysokorýchlostné prenosy pre prístup k Internetu. Systém UMTS uprednostnil *evolúciu*, čiže postupný vývin od 2G, a hlavne využitie vysoko rozvinutého GSM. Pre rádiové rozhranie sa využíva CDMA, pre prenos v rámci UMTS v pozemnej prístupovej sieti prenos ATM. Oporná sieť pozostáva zo zdokonalených prvkov siete GSM (zdokonalená architektúra-bázových staníc - NodeB, atď.); rýchlosť do 14 Mbps - pri obmedzenej mobilite; 348 kbps v dopravných prostriedkoch do 120 km/h. Ďalšie vývojové stupne smerom k zvyšovaniu rýchlosti: *HSDPA* - High Speed Downlink Packed Access, 14,4 Mbps, *HSUPA* - High Speed Uplink Packed Access, 28,8Mbps, *HSPA+*(štandard Rel.7) - ďalšie navýšenie vďaka viacstavovým moduláciám QAM, *MIMO*-technike (Multiple Input Multiple Output - technika viacnásobného vysielania a príjmu), novým typom prijímačov. Prešiel vývinom: R4,R5,R6,R7, nakoniec k R8 (LTE).
6. „4G“
Systém 3G mal byť *globálny* pre pokrytie všetkých typov sietí – družicových aj pozemných, so zdokonaleným bunkovým systémom. No dopadlo to tak, že vzniklo asi 5 nekompatibilných štandardov „3G“. Konferencia WARC'92 /ITU (World Administrative Radio Conference) vyčlenila pre 3G pásmo 1885-2200 MHz, čo však nebolo dostupné všade. Preto s pojmom „4G“ sa zaobchádzalo opatrne. Zo začiatku si 4G-prognóza dávala za cieľ nie globálny štandard, ale ekonomický úspech na základe splnenia „túžob“ zákazníka (služby s vysokou bezpečnosťou a spoľahlivosťou, cenovo výhodné terminály s dlhou životnosťou batérií).



Obr. 7 Niekdajšia predstava 4G: nie globálny štandard (snaha o spoločný 3G štandard stroskotala), ale kombinácia rôznych prístupových technológií navzájom sa dopĺňajúcich, v rôznych rádiových prostrediach a prepojených flexibilnou opornou sieťou.

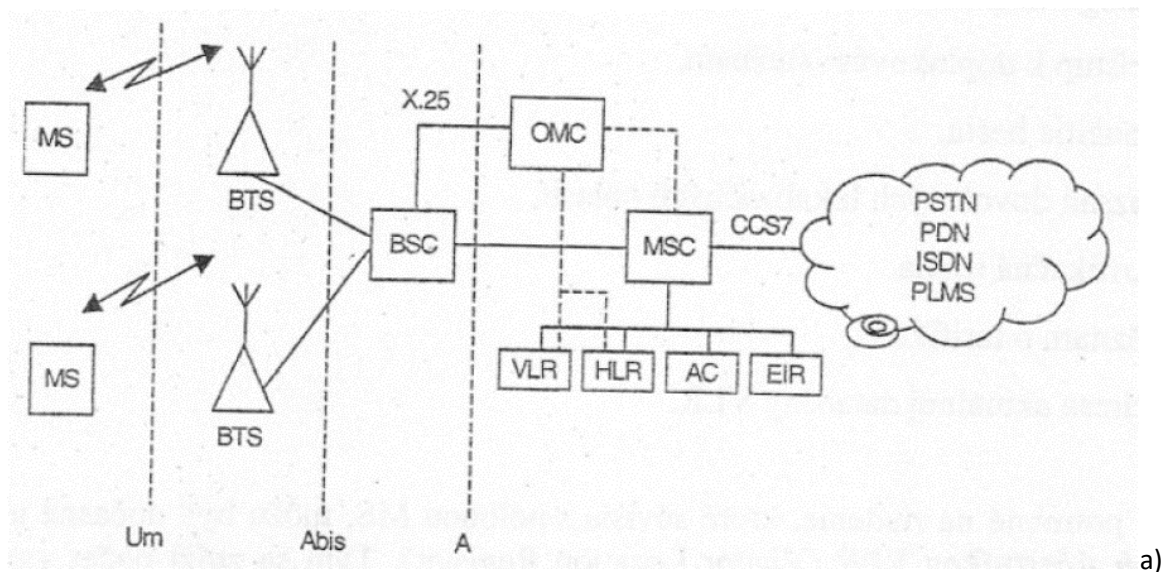
V *horizontálnom modeli* malo 4G predstavovať rôzne prístupové technológie kombinované do spoločnej platformy, navzájom sa dopĺňajúce a pre rôzne služby v rôznych rádiových prostrediach, prepojené flexibilnou opornou sieťou (viď Obr.7).

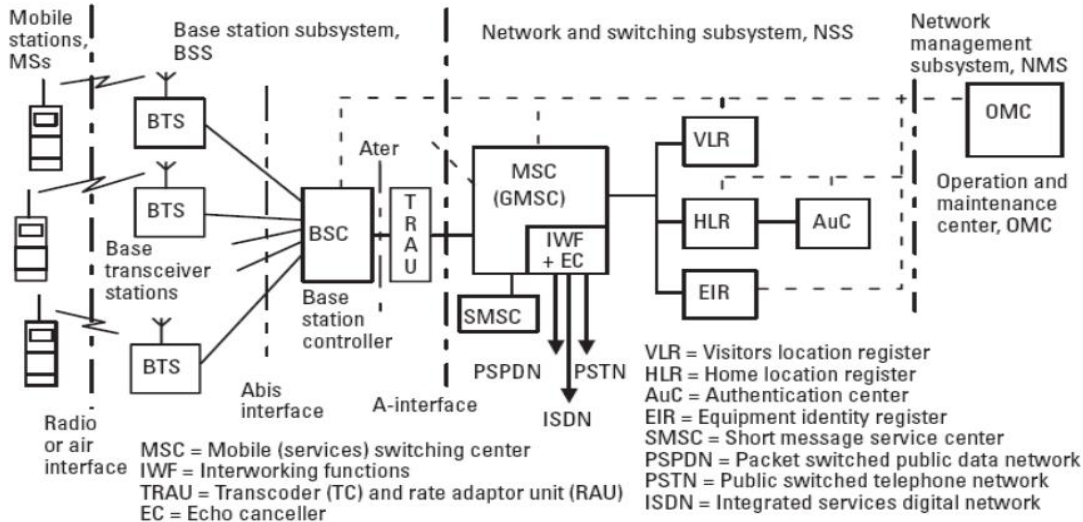
Vývoj systémov nakoniec dospel k štandardu LTE (Long Term Evolution – „3,9 G“) a k jeho vyššej verzii LTE-Advanced („4G“). Ako majú v názve, tieto štandardy stavili nie na úplne prevratné zmeny všetkého existujúceho, ale tiež na evolučný vývoj, na využitie toho dobrého, čo bolo zdedené, na jeho vylepšenie, a na aplikáciu moderných vedeckých poznatkov, spracovania signálov, materiálov a riešení, umožňujúcich naplniť parametre stanovené pre 4. generáciu.

Mobilné rádiové technológie trochu podrobnejšie

Mobilná rádiová sieť GSM

Architektúra systému GSM spolu s názvoslovím je uvedená na Obr. 8.





b)

Obr. 8 Bloková schéma siete GSM menej podrobne - a), a trochu podrobnejšie - b)

Každá bunka je obsluhovaná základňovou stanicou ZS (BS), ktorá má len malú inteligenciu. Hlavnou úlohou BS je prevod signálu elektrického na rádiový. Skupina BS je pripojená k riadiacemu stupňu BSC (Base Station Controller), ktorého hlavnou funkciou je *hľadanie, obsadzovanie a uvoľňovanie kanálov v BS*. Viaceré BSCs sú pripojené na MSC (Mobile Switching Centre - rádio-telefónna ústredňa). Ak je MSC pripojená k verejnej pevnej sieti, potom je to *pripojná rádiotelefónna ústredňa* (GMSC - Gateway MSC).

MSCs majú 2 základné databázy:

- Register domácich účastníkov (HLR – Home Location Register)
- Register návštevníkov (VLR – Visitor Location Register)

Okrem týchto má aj register EIR (Equipment Identity Register – uchováva identifikačné čísla zariadení) a AC (Authentication Center – autentifikácia, overovanie). Spomínané registre slúžia na zaznamenanie a aktualizáciu základných údajov o MS (Mobile Station).

(Pozn.: Proces signalizácie a vytvárania prenosovej cesty v rámci tohto kurzu vynecháme.)

GSM je *verejná rádiová mobilná sieť*. Označuje sa ako mobilný komunikačný systém 2. generácie. Ako prístupové metódy využíva FDMA a TDMA. Oddelenie smerov up/down sa realizuje pomocou FDD / TDD (duplexný prenos). používa 2 frekvenčné pásma so šírkou 25 MHz (890 až 915 MHz down / 935 až 960 MHz up).

LTE – Long Term Evolution (dlhodobý vývoj) – 3GPP Release 8, a LTE-Advanced

LTE sa nazýva tiež E-UTRAN – Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network, alebo 3GPP Rel-8 a -9. Systém LTE sa v reklamách prezentoval ako “4G”, ale jeho prvá verzia v skutočnosti ešte ciele stanovené ITU pre 4G nenaplnila, preto ju technickí odborníci označovali ako generáciu “3,9 G”.

Požiadavky 4G alebo *IMT-Advanced* (International Mobile Telecommunications - pokročilé) stanovila ITU v roku 2008: majú poskytovať úplné širokopásmové služby, bezpečne, prostredníctvom IP-protokolu, a poskytovať ich aj *mobile* – pomocou osobných počítačov, bezdrôtových modemov, smartfónov a ďalších mobilných zariadení aj v rýchlych dopravných prostriedkoch (autá, vlaky). Medzi spomínanými služ-

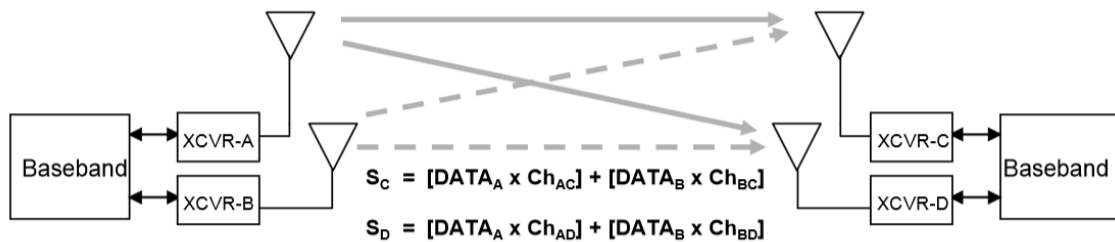
bami má byť ultraširokopásmový Internet do 300 Mbps v dopravných prostriedkoch a do 1 Gbps pri pomalej mobilite účastníka, IP-telefónia, hry a strímované multimédiá, systém má umožňovať roaming vo WLAN a integráciu s DVB-systémom (príjem digitálnej televízie, a to aj vo formáte HD). 4G-systém nemal byť a nie je spätne kompatibilný s 3G systémami.

Vyššia verzia LTE, s názvom *LTE-Advanced* už môže byť považovaná za generáciu 4G. Poskytuje vyššie prenosové rýchlosti ako LTE, a je s LTE spätne kompatibilná. Využíva rovnaké pásma ako LTE.

Firmy METRO PCS, Verizon Wireless, AT&T Mobility v USA spustili prevádzku LTE v roku 2010, Telia Sonera v Stockholme a v Oslo už koncom r. 2009; Airtel (India) v apríli 2012.

V súčasnosti je už LTE globálnym systémom, no v rôznych regiónoch využíva rôzne frekvenčné pásma. Obsahuje rad vylepšení oproti systému UMTS / GSM. Jeho hlavnými špecifikáciami sú nasledovné (viď aj Tab. 2):

- rýchlosť down: min. 100 Mbps,; up: 50 Mbps
- RAN round-trip-time < 10 ms (RTT je čas potrebný na prenos signálu + potvrdenie, že bol prijatý, tiež ping-time)
- škálovateľné nosné pásma od 1,25 MHz do 20 MHz (t.zn. „dostaneš takú šírku, akú potrebuješ, ale podľa vyťaženia siete), niekde uvádzané od 1,4 do 20 MHz.
- podporuje duplex typu FDD aj TDD
- sieťová architektúra GPRS (paketovo orientované služby v 2G, a 3G, platilo sa za objemy dát, služba typu „best effort“) sa nahrádza IP sieťovou architektúrou, má byť jednoduchá (čo má podporovať nízku cenu služieb); systém má umožňovať „bezšvíkové“ prechody do oblastí so staršími technológiami (GSM, cdmaOne, UMTS, CDMA 2000)
- to všetko s využitím nových techník digitálneho spracovania signálov a efektívnych modulácií (*MIMO technológia* na fyzickej vrstve – Obr. 9: *smart antény*, viacnásobný prijímač/vysielač a princíp MRC – Maximal Ratio Combining – maximálne vyťaženie výkonu prijatého signálu z viacerých antén, keď je slabý signál; OFDMA a až 64-stavová QAM).



Obr. 9 Systém MIMO – Multiple Input – Multiple Output - Dáta vysielané súčasne z 2 antén a prijímané dvoma anténami [4].

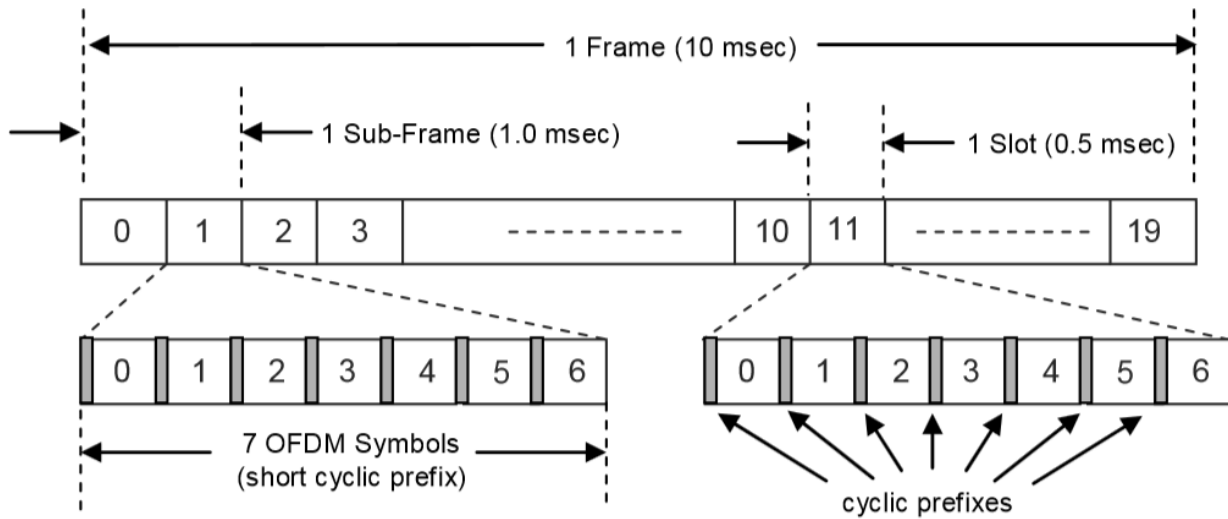
Tab. 2 Prehľad hlavných špecifikácií LTE

Parameter	Požiadavka
Špičková dát.rýchlosť	DL:100 Mbps UL: 50 Mbps (pre 20 MHz spektrum)
Podpora mobility	Do 500 km/h, ale optimalizované pre malé rýchlosti 0-15 km/h
Control plane latency (odozva...)	<100ms (prechod do aktívneho stavu)
Odozva užívateľskej vrstvy	<5ms
Kapacita kontrolnej roviny	>200 užívateľov na bunku (pri 5MHz spektre)
Pokrytie	5-100 km s malou degradáciou nad 30 km
Flexibilita spektra	1,25; 2,5; 5; 10; 15 a 20 MHz

LTE – Advanced

Vyššia verzia LTE (LTE – Advanced) bola štandardizovaná v r. 2011, a formálne už spĺňa požiadavky ITU-T pre 4G (True 4G). Tento štandard sa tiež označuje ako 3GPP Release 10. Jeho špecifikácie sú nasledovné:

- špičkový down 326,4 Mbps pri 4 x 4 anténach (up 75 Mbps)
 - o 172,8 Mbps pri 2 x 2 anténach
 - o v súčasnosti (r. 2017) až 2998,6 Mbps pri 8 x 8 anténach
- opäť využívanie flexibilnej šírky pásma od 1,4 do 20 MHz, a tam kde je to možné až do 100 MHz
- agregácia nosných v súvislom aj v nesúvislom využívanom pásme
- až do 200 užívateľov v každej bunke (pri 5 MHz-komunikačných kanáloch)
- podpora QoS
- neustávajúce vylepšovanie rádio-technológie LTE a jej architektúry
- spätná kompatibilita s LTE (koncové zariadenia LTE môžu pracovať v sieti LTE-Advanced a naopak)
- MIMO, diverzitný príjem na princípe *viacerých prijímačov*, nielen viacerých antén (výsledný signál je potom kombinovaný z 2 alebo viacerých prijímačov, šum je *nekorelovaný*, takže po lineárnej kombinácii zložkových signálov klesne, a SNR stúpne – napr. o 3dB pri 2 prijímačoch), smart antény, OFDMA na fyzickej vrstve
- „Kognitívne rádio“
- automatická a autonómna konfigurácia a činnosť siete
- využitie MRC (viacnásobné „vysielanie“ pri mnohonásobných odrazoch) v BS aj v UE (User Equipment – užívateľské zariadenie pre robustnosť linky)
- a ďalšie moderné vlastnosti siete, systému a zariadení.



Obr. 10 Štruktúra generického rámcu LTE (PRB) [4]

OFDM v downlinku: pre užívateľa je alokovaný špecifický počet subnosných v preddefinovanom časovom intervale, t. zn. že *PRB (Physical Resource Block)* má časový aj frekvenčný rozmer, o čo sa stará 3GPP-bázová stanica (*e-NodeB*).

PRB (generická štruktúra rámcu LTE, Obr. 10) je 10-ms rámeček, ktorý obsahuje 10 *subrámcov po 1 ms*, a každý z nich má 2 časové sloty po 0,5 ms. Tieto sloty obsahujú 6 alebo 7 OFDM symbolov prenesených pomocou 12 subnosných OFDM. PRB je najmenšia časť alokovaných zdrojov, určená plánovačom v básovej stanici. V PRB je vložený aj referenčný signál, a to v 2 presne určených symboloch zo spomínaných 6 alebo 7 (nepoužíva sa zvlášť kanálová estimácia, časová synchronizácia a pod.)

Satelitné prístupové siete

Dosah satelitných sietí je väčšinou globálny, takže ich v skutočnosti nemôžeme označiť ako typické prístupové siete (úsek „poslednej míle“ od poskytovateľa smerom k užívateľovi), avšak okrem iných špeciálnych služieb aj ony umožňujú užívateľom pripojiť sa aj k Internetu a ku všeobecným širokopásmovým službám.

Satelitné siete boli v prvom rade určené pre medzikontinentálne komunikačné spojenie, pre komunikáciu pri lodnej a leteckej doprave, ale tiež pre pokrytie neprístupných a riedko osídlených území na zemskom povrchu.

Architektúru satelitnej komunikačnej siete môžeme rozdeliť na dve podstatne odlišné časti – *pozemný a vesmírny sektor*. Pozemný sektor je tvorený prvkami, ktoré zabezpečujú obsah, pozemné riadenie a monitoring, a tiež užívateľskými stanicami. Vesmírny sektor je tvorený vesmírnou platformou (satelitom, plošinou) a jej užitočným zaťažením (antény, prijímače, vysielacie, a ďalšie zariadenia). Celá architektúra a aj signálové komunikačné prostriedky, metódy a vlastnosti služieb sa dosť zásadne líšia v závislosti od typu a výšky obežnej dráhy, na ktorej sa vesmírna platforma nachádza. Pozemné prostriedky môžeme rozdeliť na *pevné, prenosné a mobilné* v závislosti od polohy, ktorú zaujímajú na zemskom povrchu a od možnosti meniť alebo nemeniť ju počas komunikácie (Obr. 11).

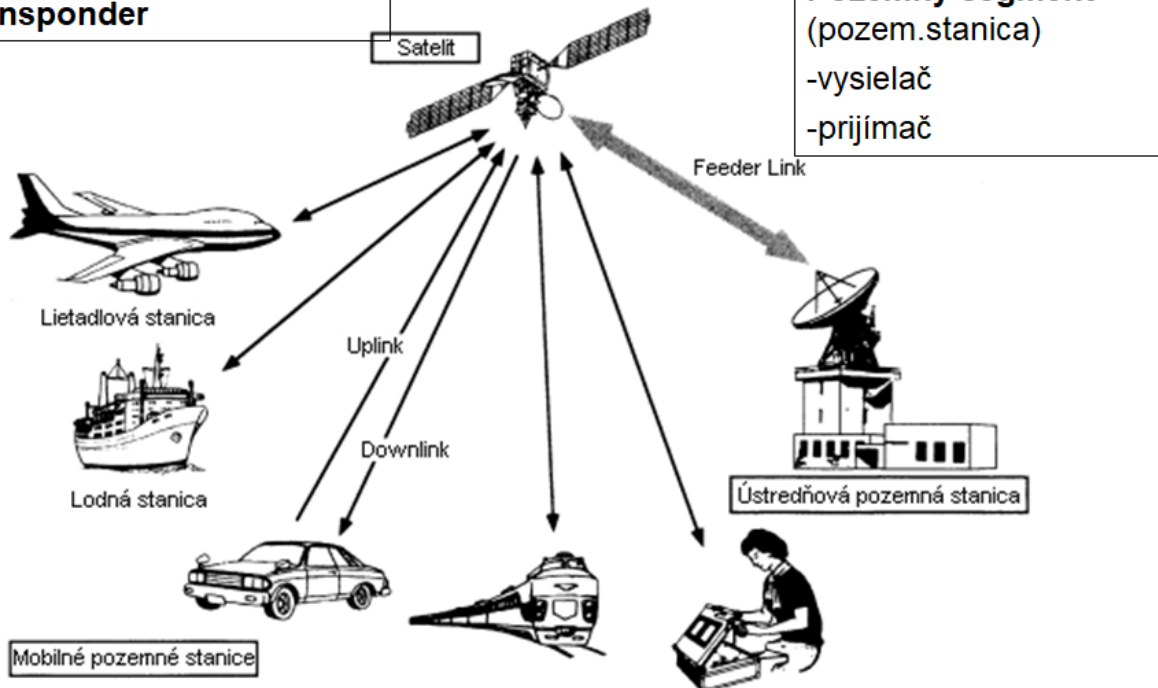
- *Pevné satelitné služby* sú svojím charakterom analogické ku RRL (rádio-reléovým linkám) v tom zmysle, že poskytujú istú záruku kvality (sú, samozrejme, náročnejšie na zriadenie, údržbu a manažment, a tým aj na finančné prostriedky), väčšie objemy dát a služieb pre väčší počet účastníkov, aj pre veľkých zákazníkov.
- *Pohyblivé satelitné služby* sú zase do istej miery analogické službám pozemných mobilných sietí; umožňujú prepojenie medzi mobilnými užívateľmi väčšinou pomocou siete družíc, ktoré sú často vzhľadom k zemskému povrchu tiež pohyblivé (systémy MEO, LEO).

Na začiatku éry satelitných komunikácií služby poskytovali zariadenia veľkých rozmerov, náročné na napájanie, vysielajúce signál s vysokou energiou (1 až 10 kW) pomocou antén veľkých rozmerov (antény s parabolickým reflektorom s veľkým priemerom a aktívnou vyžarovacou plochou – apertúrou (priemer viac než 3 metre). Systémy, ktorým neskôr stačili antény s priemerom menším než 3 m patrili k tzv. systémom VSAT (Very Small Aperture Terminal – terminál s veľmi malou apertúrou). To bol, samozrejme názov, ktorý vznikol ešte predtým, než bolo možné napr. televízny signál prijímať individuálne parabolickou anténou s priemerom 1,2 m a menším.

Satelitné komunikácie sa oproti pozemským vyznačujú svojou *vyššou technickou náročnosťou* vo všetkých ohľadoch (výskum, vývoj, materiály, riadenie, manažment, atď.), *cenou, oneskorením odozvy signálu* (až do 0,25 s), *vysokým tlmením trasy* (zrážkami, vzdialenosťou), *depolarizáciou signálu* (deformácia polarizácie – pravo/lavo-točivej kruhovej), náchylnosťou na rušenie *interferenciami*. To všetko možno prirátat k nevýhodám.

Kozmický segment (satelit):

- pohonný systém
- riadenie a telemetria
- **transponder**

**+ Prenosové systémy (kódovanie, modulácie, zabezpečenie,...)**

Obr. 11 Základné časti satelitného komunikačného systému

Výhody oproti tomu sú však nesporné. Satelitné siete poskytujú distribúciu dát (televízia, rozhlas), pokrytie signálom v oblastiach, kde žiadny iný signál sa nevyskytuje, rýchlu inštaláciu prijímu, odolnosť voči prírodným katastrofám a možnosť poskytovať aj mobilné služby.

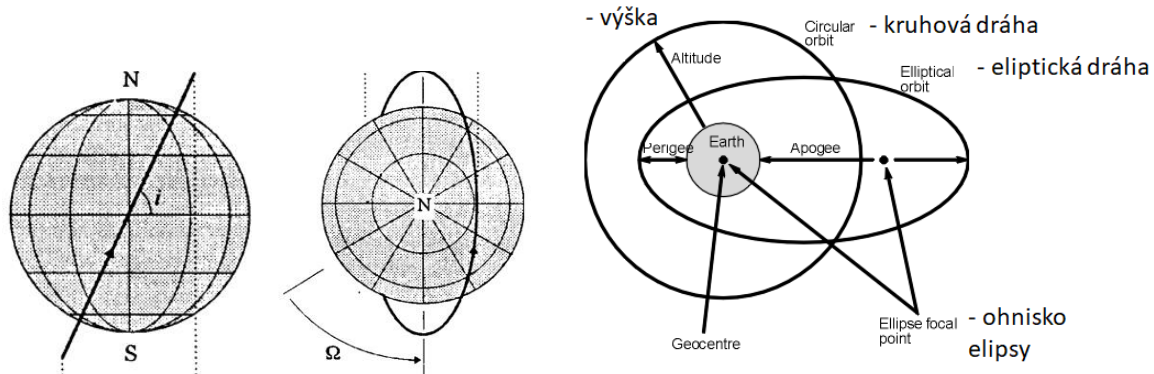
Parametre satelitných systémov

Parametre, ktorými je satelitný systém špecifikovaný, sú nasledovné:

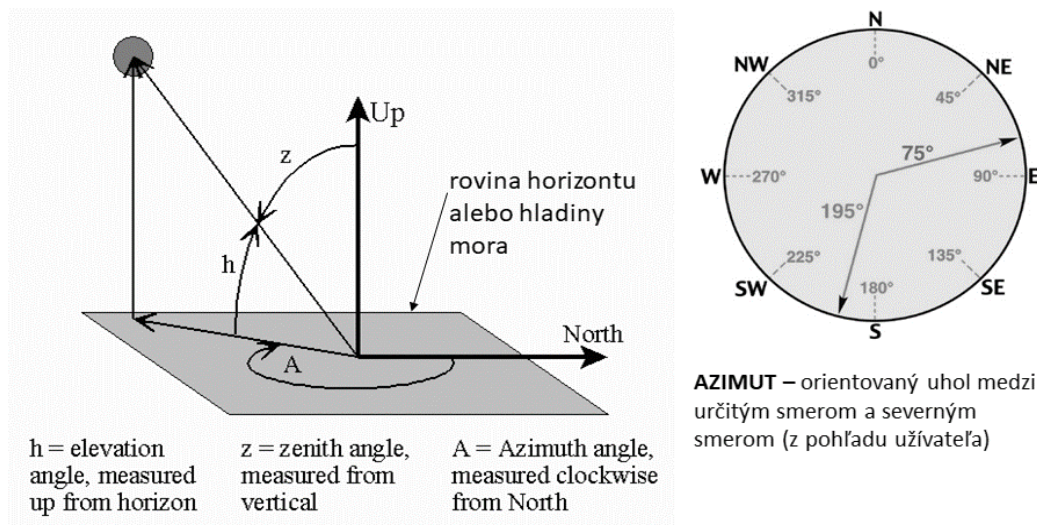
- typ obežnej dráhy (systémy LEO, MEO, GEO, HEO, Obr. 3),
- frekvenčné pásmo pre komunikáciu,
- typ pokrytia (veľkosť a tvar plochy na zemskom povrchu, a stálosť, resp. premenlivosť jej polohy),
- užitočné zaťaženie satelitu,
- prístupová metóda.

Pre úplnosť dopĺňame obrázok (Obr. 12) s vysvetlením pojmov, ktorým je nutné v oblasti satelitnej techniky rozumieť. Sú to pojmy: *orbíta* (obežná dráha), výška a polomer kruhovej orbity, *inklinácia* (uhol medzi rovinou orbity a rovinou rovníka Zeme), *perigeum*, *apogeum orbity* (najbližšia, resp. naj-

vzdialenejšia poloha satelitu voči Zemi pri eliptickej orbite, kde Zem leží v jednom z ohnísk orbity), *azimut a elevácia* (uhly nastavenia satelitnej prijímacej antény) (Obr. 13), a ďalšie.



Obr. 12 Orientácia obežnej roviny a obežnej dráhy satelitu v priestore - dôležité pojmy a parametre: inklinácia i – uhol medzi rovinou obehu satelitu a rovinou rovníka Zeme, uzol (node) – bod, v ktorom satelit prechádza rovinou rovníka, vzostupný uzol (ascending node) – uzol, v ktorom satelit prechádza z juhu na sever, orientácia vzostupného uzla (Ω) – vzhľadom k referenčnému smeru, ktorým je smer od stredu Zeme k jar-nému bodu v čase jarnej rovnodennosti premietnutý na rovníkovú rovinu.



Elevácia (h) - uhol vo zvislej rovine meraný od vodorovnej roviny k smeru pohľadu

AZIMUT – orientovaný uhol medzi určitým smerom a severným smerom (z pohľadu užívateľa)

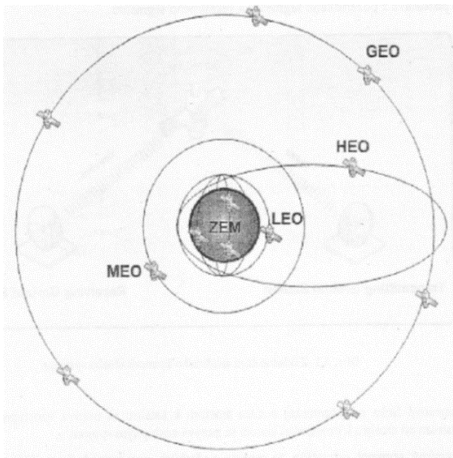
Obr. 13 Uhly nastavenia pozemskej satelitnej antény (azimut a elevácia)

LEO – Low Earth Orbit (Systémy s nízkou obežnou dráhou)

Zástupcovia skupiny LEO-systémov sú systémy Orbcomm, Iridium (celosvetové hlasové a dátové prenosy), Argos (oceánografický výskum životného prostredia), Teledesic, Globalstar, Skybridge. Špecifické vlastnosti týchto systémov sú nasledovné:

- obežná dráha (*orbíta*) je kruhová
- výška obežnej dráhy nad zemským povrchom je 500 až 2000 km

- jeden obeh Zeme (perióda obehu) trvá 1 až 3 hodiny, to znamená, že je kratší ako 1 deň pozemského času, a to znamená, že doba viditeľnosti každého takéhoto satelitu z prijímacej stanice na zemskom povrchu je pomerne krátka (okolo 20 minút). A to ďalej znamená, že satelit má nad obzorom premenlivú polohu, čo musí prijímacia anténa sledovať, a že ak má daný systém poskytovať služby danému účastníkovi „nepretržite“, tak systém musí obsahovať viac takýchto obiehajúcich satelitov, a ich obežné dráhy a vzájomné rozostupy musia byť dômyselne navrhnuté, kontrolované a korigované. Z uvedeného výpočtu vlastností v tomto odstavci vidno, že všetky navzájom súvisia a súvisia s typom a polomerom obežnej dráhy.



Obr. 14 Príklad tvarov a rozmerov rôznych typov obežných dráh

Tab. 3 Klasifikácia podľa veľkosti družice

Skupina	Hmotnosť	Poznámka
Veľké družice	> 1000 kg	
Stredne veľké družice	500 – 1000 kg	
Mini družice	100 – 500 kg	Malé družice
Mikro družice	10 – 100 kg	
Nano družice	1 – 10 kg	
Piko družice	0,1 – 1 kg	
Femto družice	< 100 g	

LEO-systémy rozdeľujeme ďalej podľa celkovej veľkosti satelitov na

- o malé (Little) – poskytujú väčšinou dátové služby. Škála veľkostí malých satelitov je omnoho širšia, vid' Tab.3, a medzi nimi nie sú výnimkou ani poloamatérske výskumné experimentálne satelity.
- o veľké (Big) – poskytujú hlasové, faxové, telexové a vyhľadávacie služby, širokopásmové služby a vysokorýchlostný prístup.

K výhodám LEO-systémov patrí ich nízka výška obežnej dráhy, vďaka ktorej je signál komunikácie málo oneskorený (okolo 40 ms) aj málo utlmený. Náklady na vývoj, výrobu satelitov sú relatívne najnižšie oproti ostatným systémom.

Nízka obežná dráha však je zároveň *nevýhodou* pri posudzovaní iného hľadiska. Satelity typu LEO pokrývajú svojim signálom relatívne najmenšiu plochu na zemskom povrchu, preto je potrebné umiestniť na obežné dráhy viac satelitov daného systému, ak má systém poskytovať nepretržité služby. Uhlová rýchlosť LEO-satelitov *musí byť* vyššia ako otáčanie Zeme okolo vlastnej osi (fyzikálne zákony). Preto ich zo Zeme vidno len relatívne krátky čas, počas ktorého sa na jednom mieste nad horizontom vynoria, na inom zase zmiznú, a je potrebné ich pohyb pri prijíme sledovať, čo pridáva na komplexnosti riadenia týchto systémov.

MEO-satelitné systémy (Middle Earth Orbit)

Ako z názvu vyplýva, sú to systémy, ktorých súčasťou sú satelity umiestnené na tzv. stredných obežných dráhach. Stredná výška v tomto prípade znamená okolo 20 000 km pri kruhovom tvare orbity. Opäť, ako pri LEO systémoch, satelity musia mať vyššiu uhlovú rýchlosť a kratšiu periódu obehu než je rotácia Zeme. Periódy obehu majú však širokú škálu hodnôt od 2 hodín po 24 hodín, a pokrytie povrchu Zeme je asi 33%. Oneskorenie signálu je tiež stredné, čo znamená okolo 100 ms.

Tieto satelity poskytujú *služby* ako navigácia, komunikácia a služby pre geodetický a vesmírny výskum. Čiže, známe navigačné systémy ako GPS (Global Positioning System – pôvodne USA, teraz globálny), Glonass (ruský) alebo Galileo (európsky) patria tiež k nim. MEO orbity mal aj prvý umelý satelit Zeme Sputnik 1, prvé experimentálne satelity Telstar (televízny prenos, prenos telefonických hovorov a telegrafných obrázkov), a majú ju aj rôzne satelitné systémy pokrývajúce polárne oblasti.

Satelitné systémy GEO (Geostationary Earth Orbit)

Názov GEO-satelitov súvisí s ich uhlovou rýchlosťou na orbite, ktorá je zhodná s uhlovou rýchlosťou rotácie Zeme okolo vlastnej osi. Z toho vyplýva skutočnosť, že daný satelit vidíme zo zemského povrchu vždy na tom istom mieste na oblohe (sú *geostacionárne*).

GEO- satelity sú všetky umiestnené *na rovine rovníka* v približne 36 000 km-vzdialenosti od rovníka (trochu presnejšie: 35 800 km). Túto vzdialenosť už dávnejšie (okolo r. 1945) vypočítal britský spisovateľ a amatérsky bádateľ a nadšenec Arthur C. Clarke s tým, že práve v tejto vzdialenosti umiestnené tri satelity na obežnej dráhe pokrývajú maximum plochy zemského povrchu - súvislý pás medzi približne 75. severnou a južnou rovnobežkou. V oblastiach zemských pólův a polárnych oblastí sa ich signál nevyskytuje.

Záujem o poskytovanie *služieb pomocou GEO satelitov je veľký (satelitná televízia, komunikácia v ľudoprázdných oblastiach – na oceánoch systém Inmarsat, na púštiach systém Thuraya, a ďalšie)*, a preto je na ich orbite pomerne veľká „tlačnica“, čo znamená že satelity sú na nej „umiestnené“ v minimálnych možných uhlových rozstupoch (*separáciách*). Pri dnešnom stave techniky to predstavuje približne 1,5 až 2 priestorové uhlové stupne. Táto separácia je podmienená nutnosťou vylúčenia vzájomného rušenia sa signálov (*interferencií*) jednotlivých satelitov a služieb.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že GEO-satelity sú najvhodnejšie na poskytovanie *pevných satelitných služieb*. Ďalej je jasné, že signál týchto služieb je oproti LEO a MEO službám výrazne viac *tlmený* z dôvodu prekonávania relatívne omnoho väčšej vzdialenosti (približne 200 dB- tlmenie), a výrazne viac *oneskorený* (odozva je asi 240 ms). To všetko spolu s *Dopplerovým posunom* frekvencie (až + a – 1 kHz) možno zaradiť medzi *nevýhody* týchto systémov. Kvôli nízkej intenzite prijímaného elektromagnetického satelitného signálu je nutné zhotovovať antény väčších rozmerov. I keď aj rozmerové hľadisko ako problém sa účinne rieši, a boli vyvinuté nielen prenosné, ale aj príručné prijímacie zariadenia a zariadenia pre mobilnú komunikáciu a navigáciu v jednom.

Systémy HEO (Highly Elliptical Orbit)

Z názvu systémov HEO vyplýva, že na rozdiel od ostatných vymenovaných tieto majú výrazne eliptickú dráhu. (Pozn.: Aj kružnica je z matematického hľadiska špeciálnym prípadom elipsy.) Zem leží v jednom z ich ohnísk, pričom *apogeum* (najvzdialenejší bod elipsy), a tým aj najdlhší čas viditeľnosti týchto satelitov zo Zeme sú nasmerované na oblasti záujmu. Periódy ich obehu sú rôzne - od niekoľkých hodín po 1 deň (24 hodín). Dva satelity na obežnej dráhe HEO môžu zaistiť celodenné pokrytie danej oblasti signálom. Známym zástupcom týchto systémov je systém Molniya, pôvodne sovietsky pre polárne oblasti, alebo tiež Sirius Satellite Radio, poskytujúci rozhlasové služby pre územie Severnej Ameriky.

Prehľad spomínaných špecifikácií jednotlivých druhov satelitných systémov uvádza Tab. 4.

Tab. 4 Základné parametre satelitných systémov podľa typu orbity.

Parameter	LEO	MEO	GEO	HEO
výška [km]	500 – 3000	10 000 – 14 000	35 786	500 - 50 000
perióda [h.]	1 - 3	6 – 8	23.93	3 – 24
oneskorenie [ms]	6 – 30	70 – 120	240 – 280	50 – 320
viditeľnosť	niekoľko min.	niekoľko min.	24 h.	2 – 12 h.
kvalita signálu	dobrá	stredne dobrá	slabá	slabá (kolísajúca)
riadenie satelitu	zložitá	stredne zložitá	jednoduché	zložitá
náklady na vynešenie satelitu	nízke	vysoké	vysoké	vysoké
oblasť pokrytia	veľká	stredne veľká	malá	veľká
Poznámka	<ul style="list-style-type: none"> - nutný <i>hand-off</i> - veľa satelitov kvôli súvislému pokrytiu - nutnosť sledovať satelit (steerable antenna – riadená) alebo všesmerová prijímacia anténa na Zemi 			

Literatúra a referencie

- [1] M. Vaculík: Prístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.
- [2] J. Vodrážka: Prenosové systémy v prístupové síti. ČVUT, 2003.

- [3] J. Zyren: Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer. White paper. Document Number: 3GPPEVOLUTIONWP, Rev 0, 07/2007, Freescale Semiconductor.

Prístupové siete

Prednáška 7

Obsah:

Druhy prístupových sietí – Rádiové siete - pokračovanie:

Pevné bezdrôtové širokopásmové prístupové systémy - WLAN (Wireless Local Area Network)

FWA (Fixed Wireless Access)

LMDS

MMDS

MVDS

Wi-Fi

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

WPAN – Wireless Personal Access

- Bluetooth: do 10 m
- ZigBee – 802.15.4
- HomeRF

Referenčná literatúra

Pevné bezdrôtové širokopásmové prístupové systémy - WLAN (Wireless Local Area Network)

Niekedy sa pre túto, postupne sa rozrastajúcu skupinu prístupu zaviedlo označenie FWA (Fixed Wireless Access – pevný bezdrôtový prístup).

Tieto prístupové systémy sú v rámci bezdrôtového prístupu protikladom k mobilným sieťam. Ich *architektúru* charakterizuje nepohyblivý, *pevný* prístupový bod (AP – Access Point), čiže zariadenie, router, na jednej strane spojený s klasickou káblovou LAN (najčastejšie Ethernet), na druhej disponujúci rádiovým rozhraním a vysielačom pokrývajúcim istú, viac-menej obmedzenú, plochu širokopásmovým signálom (Internet) v niektorom z existujúcich bezdrôtových štandardov. Užívateľovo koncové zariadenie (koncová stanica), väčšinou nie mobilné (notebook, desktop) ale aj mobilné (tablet, smartfón), musí byť vybavené rozhraním a aplikáciou pre príjem a spracovanie takéhoto signálu (klient obsahujúci sieťový adaptér, vysielač, prijímač, anténu, atď.). Linka, spoj takto realizovaný sa zvykne tiež označovať *rádio-reléový spoj* (RRL – Radio Relay Link).

Okrem verzií s pevným AP (alebo WAP – Wireless Access Point), existujú aj verzie pre spojenie a vytvorenie sietí ad-hoc, teda bez centrálného zariadenia. V takom prípade koncové stanice medzi sebou komunikujú priamo.

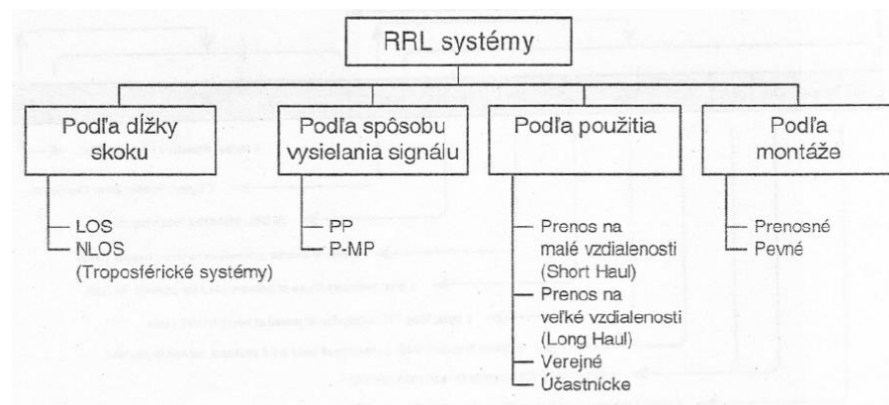
Okrem rádiových prístupových sietí patria k bezdrôtovým aj optické bezdrôtové/bezkáblové spoje. Pri nich je signálom modulované svetlo, väčšinou infračervené (IR), pochádzajúce z lasera, alebo z lacnejšieho – diódového zdroja. Optickým prístupových sieťam však bude venovaná samostatná kapitola.

Ako z už uvedeného vyplýva, používa sa viacero odlišných typov a štandardov pevného rádiového prístupu, z ktorých niektoré sa využívajú v obmedzenom rozsahu a niektoré už vôbec nie:

- IEEE 802.11 – Wi-Fi
- IEEE 802.15 – WPAN – Bluetooth, ZigBee, HomeRF
- IEEE 802.16 – WMAN (Wireless Metropolitan Access Network) – napr. WiMAX
- IEEE 802.20 – MBWA (Mobile Broadband Wireless Access) – publikovaný v r. 2008, v súčasnosti sa už nevyvíja
- IEEE 802.21 – Media Independent Handoff – vypracovaný a vydaný v r. 2008 pre handover, čiže prechod medzi pevnou a mobilnou prístupovou sieťou, resp. medzi rôznymi typmi sietí. V súčasnosti už nie je podporovaný bežne využívanými štandardmi 802.
- IEEE 802.22 – WRAN – (Wireless Regional Area Network) - pre vidiecke, riedko osídlené oblasti, využíva nevyužitú časť televízneho spektra, s dosahom až 100 km, plánovaný pre systém Cognitive Radio.

Okrem individuálneho pevného širokopásmového bezdrôtového prístupu sa rádiový prenos používa aj v transportnej, chrbticovej sieti.

RRL-systémy môžeme teda rozdeliť do viacerých skupín a podskupín, ako je to znázornené v schéme na Obr. 1.



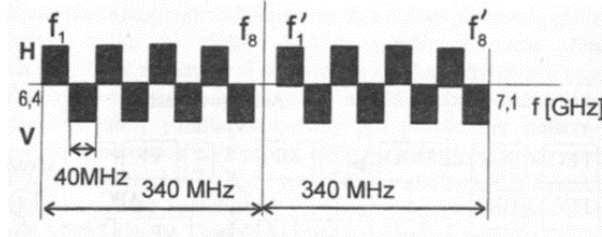
Obr. 1 Rozdelenie RRL systémov (RRL - Radio Relay Link)

Väčšinou ide o spojenie typu P2P (*Point-to-Point* – bod-bod), no niektoré štandardy umožňujú aj typ spojenia PMP (*Point-to-MultiPoint*).

Pri RR (rádio-reléových) spojoch typu P2P sú charakteristické ďalšie skutočnosti a zákonitosti:

- prenosové rýchlosti sa volia od E1 (2 Mbps) cez E3 (34 Mbps) až k STM-1 (155 Mps). Sú aj nižšie rýchlosti : STM-0 / 52 Mbps a sSTM – subSTM. (STM - Synchronous Transport Mode-prenosová metóda, synchronná, časový multiplex, STM-1 – základný časový rámeček STM a základná prenosová rýchlosť, využíva sa ešte pri prenose v optickej sieti) [2].
- využívajú sa :

- 1. v spojoch na veľké vzdialenosti (40 až 60 km) - využívajú pásma 3,6 až 10,86 GHz.
- 2. v regionálnych a prístupových sieťach – pásma 13, ..., 38 GHz. Šírky pásiem na 1 kanál sú 20, 40 alebo 80 MHz.



Obr. 2a

Chrbtové siete – do 11 GHz		Prístupové siete - nad 11 GHz	
Označenie	Rozsah [GHz]	Označenie	Rozsah [GHz]
0,8	0,79 až 0,96	13	12,7-13,3
1,5	1,43 – 1,53	15	14,5-15,3
2	1,7–1,9 a 1,9-2,3	18	17,7-19,7
2,4	2,3-2,5	23	22-23,6
2U	2,5-2,7	26	24,5-26,5
4	3,6-4,2	29	27,5-29,5
5	4,4-5	38	37-39,5
6LL	5,6-6,2	55	54-57,5
6L	5,9-6,4		
6U	6,4-7,1		
7	7,1-7,4 a 7,4-7,7		
8	7,7-8,2 a 8,2-8,5		
8U	7,1-8,4		
10	10,5-10,7		
11	10,7-11,7		

Šírka pásma	Digitálny tok	Počet stavov - modulácia
20 MHz	STM-1	256 (512)-QAM
40 MHz	STM-1	32 (64)-QAM
	2 x STM-1	32(64)-QAM / XPIC
	2 x STM-1	512-QAM
80 MHz	2 x STM-1	64-QAM
	4xSTM-1	64-QAM / XPIC
	STM-4	64-QAM / XPIC

XPIC – prídavné obvody pre potlačenie interferencií pri využití rozdielnych polarizácií vlny na 1 frekvencii

Obr. 2 Pásma používané pre RR (rádio-reléový) prenos bod-bod, a príklad frekvenčnej schémy RR kanálov v pásme 6U. Frekvenčne sú tesne vedľa seba, líšia sa polarizáciou: H-Horizontal, V-Vertical- Obr.2a.

Pásma sú štandardizované, majú svoje názvy (Obr.2), rozdelené sú na tesne susediace subkanály, líšiac sa polarizáciou vlnenia (horizontálna/vertikálna). Pri duplexnom prenose sa používa iný kanál pre jeden smer a iný pre opačný smer. Napríklad, pásmo 6U má 16 kanálov po 40 MHz (f_1 až f_8 , f'_1 až f'_8), pričom

susedné f_x, f_x' sú oddelené aj polarizáciou H/V, alebo to môžu byť aj rovnaké frekvencie s rôznou polarizáciou.

FWA (Fixed Wireless Access)

Pevný bezdrôtový prístup bol v minulosti a je aj dnes mostom (bridge), viac-menej dočasným, alebo viac-menej trvalým, a je riešením pre zákazníkov, ktorí ešte nemajú pevné kábelové internetové pripojenie. Je vhodný hlavne pre vidiecke, riedko osídlené oblasti. Je zároveň príležitosťou pre operátorov rozšíriť svoje pôsobenie. V minulosti bol tento názov (FWA) vyhradený pre licencované širokopásmové služby vo frekvenčnom pásme 26/28 GHz. Bolo to drahé pripojenie, a bolo vhodné hlavne pre väčších zákazníkov (organizácie), dnes (2018) však je marketingovým trhákom mobilných operátorov, poskytujúcich služby hlavne jednotlivcom.

Obsluhovaná oblasť je rozdelená na bunky, a tie na sektory, pokrývané signálom z *bázových staníc*, spojených s chrbticovou internetovou sieťou. Pri tomto pripojení bola garantovaná QoS, no existovali aj nelicencované verzie (frekvencie 2,4 GHz, 3,5 GHz), čo platí aj dnes. Ako prenosová technológia sa používala väčšinou ATM, a prístupy TDMA, FDMA aj CDMA. Bezdrôtové pripojenie všeobecne, a pri takýchto vysokých frekvenciách zvlášť, je náchylné na rušenia spôsobené znížením viditeľnosti, teda zrážkami, vegetáciou a pod. Dosah má do 3 až 5 kilometrov. V súčasnosti sa pri poskytovaní tohto prístupu využíva technológia LTE-A, a veľké očakávania sa vkladajú do technológií nie vzdialenej 5G-budúcnosti (formovanie lúča, frekvencie v desiatkach GHz, agregácia pásiem, atď.).

LMDS

Local Multipoint Distribution Systems

Technológia LMDS je svojou podstatou zhodná s FWA. Bola pôvodne navrhnutá pre poskytovanie televízneho signálu, a pracuje pri frekvenciách 26 a 29 GHz.

MMDS

Multichannel Multipoint Distribution System

Systém MMDS je ďalší zo systémov pevného bezdrôtového širokopásmového prístupu operujúceho v pásmach 2 až 3 GHz. Tiež bol pôvodne určený pri licencovaní šírenie digitálneho TV-signálu (na strane účastníka zakúpený modem a vysokofrekvenčná anténa Yagiho tvaru, alebo s parabolickým reflektorom – často mriežkového prevedenia). Digitálny signál bol pritom kódovaný v *štandarde pre káblovú televíziu (DVB-C)*, preto sa táto služba tiež nazývala „*bezdrôtová káblovka*“. Pásmo, v ktorých bezdrôtové káblovky operovali, boli v konkrétnych regiónoch v danom období nevyužitými inými službami, čo bol len dočasný stav. Z toho dôvodu táto služba nie všade ešte môže existovať.

MVDS

MVDS-Multipoint Video Distribution Service

Systém MVDS bol podobný MMDS, a pracoval v pásmach 10,7 – 13,5 a 40,5 – 43,5 GHz.

Wi-Fi

Značka Wi-Fi bola zavedená spoločnosťou Wi-Fi Alliance, a všetky zariadenia alebo softvérové riešenia s týmto označením podliehajú schvaľovaciemu konaniu tejto spoločnosti. WiFi, druženie spoločností, ktoré malo za cieľ vytvoriť novú bezdrôtovú sieť a platformu poskytujúcu ľubovoľnému užívateľovi čo najlepší zážitok alebo službu, využiteľnú kdekoľvek na celom svete [1], vzniklo v roku 1999. V r. 2000

začalo používať názov Wi-Fi Alliance, a značku Wi-Fi® pre všetky svoje technické produkty. Všeobecne možno povedať, že Wi-Fi je technológia, ktorá umožňuje rozšírenie prepojenia v rámci LAN, resp. WLAN. Cieľ spomenutý vyššie sa darí naplňať k čoraz väčšej spokojnosti užívateľov, a to vďaka neustále napredujúcemu vývoju a zdokonaľovaniu už dosť početných štandardov 802.11.

Táto technológia patrí k *pevným rádiovým prístupovým technológiám*, a má nelicencované aj licencované verzie. Na rozdiel od vyššie spomínaných pevných bezdrôtových prístupov je použiteľná na kratšie vzdialenosti, uvádzajú sa desiatky metrov, väčšinou vo vnútri budov, i keď pri dobrej viditeľnosti môže fungovať aj na vzdialenosť okolo 1 kilometra. Problémom pri väčších vzdialenostiach však je zhoršená viditeľnosť, ale aj rušenie inými systémami (hlavne v pásme 2,4 GHz), či elektromagnetickým smogom. Technológia bola určená na poskytnutie širokopásmového pripojenia väčšiemu počtu účastníkov v rámci LAN. Dnes sa často využíva na poskytnutie dočasného nelicencovaného (autorizovaného alebo neautorizovaného) pripojenia anonymným účastníkom na verejných miestach, alebo pod heslom v rôznych organizáciách, školách, zariadeniach, aj v malých súkromných priestoroch.

Tab. 1 Prehľad vybraných špecifikácií jednotlivých verzií WiFi-protokolov

802.11 protokol	Dátum uvedenia	Frekvencia [GHz]	Bandwidth [MHz]	Data rate [Mbps]	MIMO	Modulácia	Dosah [m]	
							V budove	Vonku
802.11	Jún 97	2,4	22	1,2		FHSS	20	100
a	Sept 99	5	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54		OFDM	35	120
a	Sept 99	3,7	20	6,9,12,18,24,36,48,54		OFDM	-	5000
b	Sept 99	2,4	22	1, 2, 5.5, 11		DSSS	35	140
g	Jún 03	2,4	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54		OFDM	38	140
n	Okt 09	2,4 / 5	20	Up to 288.8	4	MIMO-OFDM	700	250
			40	Up to 600				
ad	Dec 12	60	2160	Up to 6,7		OFDM	60	100
ac	Dec 13	5	20	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2, 86.7, 96.3	8	MIMO-OFDM	35	
ac	Dec 13	5	40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150, 180, 200	8	MIMO-OFDM	35	
ac	Dec 13	5	80	32.5, 65, 97.5, 130, 195, 260, 292.5, 325, 390, 433.3	8	MIMO-OFDM	35	
ac	Dec 13	5	160	65, 130, 195, 260, 390, 520, 585, 650, 780, 866.7	8	MIMO-OFDM	35	
ah	Sept 16	0,9	40	up to 347		MIMO-OFDM		
aj	Nov 16	45/60	4320					
ay	2017	60	8000	Up to 100 000 (100 Gbit/s)	4	OFDM	10	100
ax	2019	2,4/5	40			MIMO-OFDM		

Špecifikácie

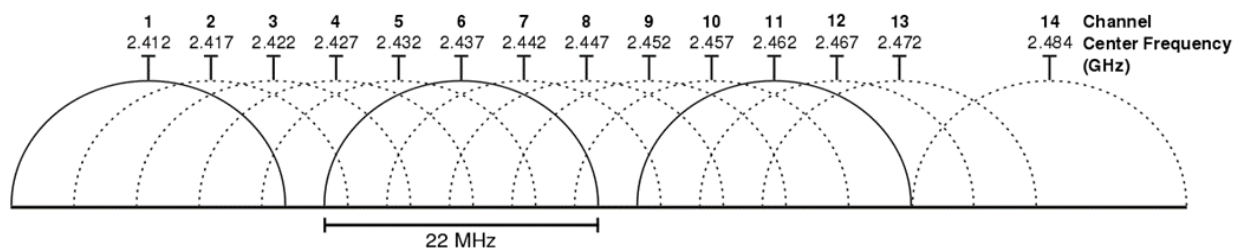
- Špecifikácie jednotlivých verzií Wi-Fi-technológie sú štandardizované v literatúre IEEE, a patria do skupiny tzv. štandardov alebo protokolov 802.11. Za týmto označením nasleduje malé písmeno/písmená (Tab .1). Najznámejšie sú 802.11a, b, g, n, ac.
- Štandardy vznikali postupne, líšia sa *frekvenčným pásmom*, v ktorom operujú (výška frekvencie, okolo ktorej je rozložené frekvenčné pásmo; väčšinou 2,4 alebo 5 GHz),
- *šírkou pásma* (20 MHz, 40 MHz a podobne),
- *maximálnou prenosovou rýchlosťou* (okolo 1 Mbps až do 100 Gbps), atď., viď Tab. 1,
- *typom modulácie* (OFDM, FHSS, DSSS) a

- počtom použitých antén (jednoanténová komunikácia, MIMO-systém – Multiple Input-Multiple Output – viac vstupov, viac výstupov, teda aj antén).

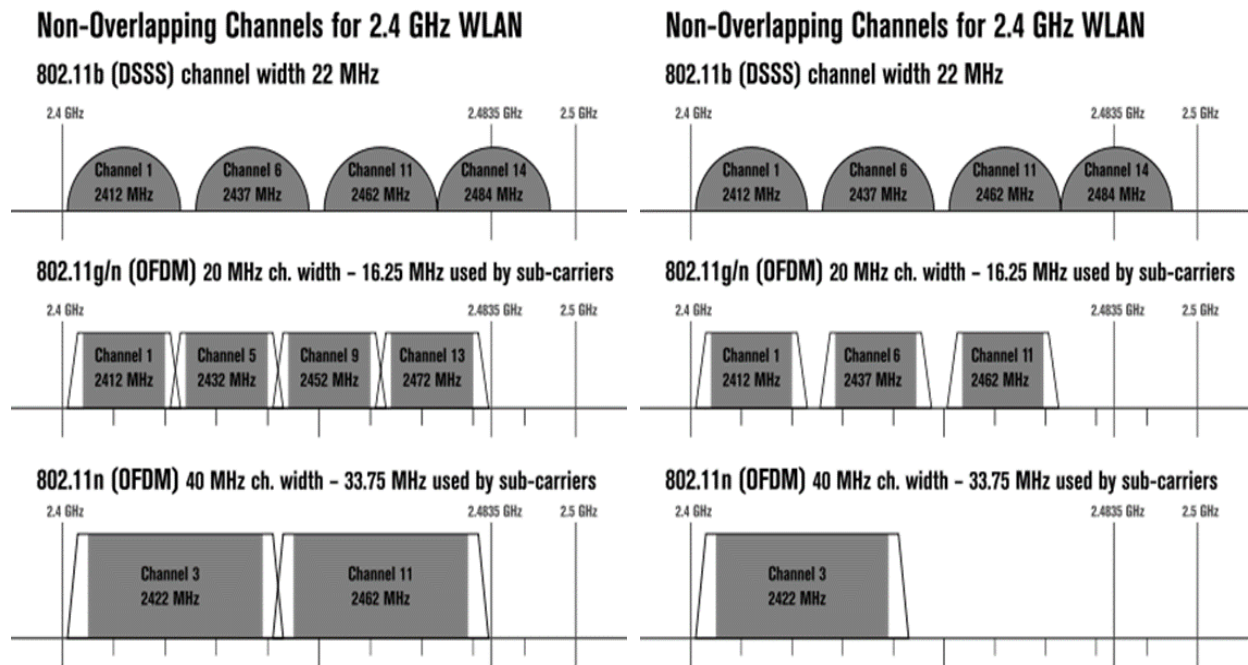
Prvým používaným štandardom bol štandard 802.11b (Tab.2). Využíval pásmo okolo frekvencie 2,4 GHz, prenosovú technológiu DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum – rozprestretie spektra priamou aplikáciou pseudonáhodnej postupnosti), prístup CDMA na princípe FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum - tzv. frekvenčné skákanie, a to v rytme pseudonáhodnej postupnosti), a moduláciu QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Prístup pomocou tohto b-štandardu bol (a je) *rušený* inými systémami pracujúcimi v pásme 2,4 GHz, ako napr. mikrovlnnými rúrami, systémom Bluetooth, a tiež bezšnúrovými telefónmi (CT). Maximálna prenosová rýchlosť pri ňom je 11 Mbps, a na slovenskom území je pri tomto štandarde (b) k dispozícii 13 kanálov. Na Obr. 3 je uvedená ilustrácia rozloženia týchto kanálov: sú široké 22 MHz, a ak sa *nemajú navzájom rušiť (prekrývať), tak je možné v danom mieste využívať naraz len 3* z nich.

Tab. 2 Nosné frekvencie jednotlivých kanálov v norme 802.11b

Číslo kanála	Frekvencia [GHz]
1	2,412
2	2,417
3	2,422
4	2,427
5	2,432
6	2,437
7	2,442
8	2,447
9	2,452
10	2,457
11	2,462
12	2,467
13	2,472



Obr. 3 Rozloženie Wi-Fi kanálov v norme 802.11b. Ich šírka je 22 MHz, sú symetricky rozložené okolo nosných (väčšinou ich je k dispozícii len 13), a v danom priestore sa môžu využívať vždy len 3 neprekrývajúce sa kanály (nepreštruhovanou čiarou zvýraznený jeden príklad).



Obr. 4 Porovnanie spektier Wi-Fi komunikácie 802.11b,g,n/2,4 GHz; väčšina sveta – vľavo, USA - vpravo

Architektúra

Architektúra Wi-Fi siete je tvorená jedným alebo viacerými *prístupovými bodmi* (AP – Access Point), ktoré sú navzájom prepojené a pokrývajú oblasť nazývanú *hotspot*. Wi-Fi sieť funguje aj v konfigurácii *P2P*, teda bez routera, a vtedy hovoríme o bezdrôtovej *ad-hoc sieti*. Takúto je možné vytvoriť si napríklad v domácnosti aj bez pripojenia k Internetu. Je dôležité, aby komponenty siete patrili k rovnakému štandardu 802.11 (b,a, n, ac,...). Ďalej, napr. pri štandarde *n*, ktorý je navrhnutý ako pre pásmo 2,4 GHz, tak pre 5 GHz, si treba všimnúť aj tieto frekvencie. Niektoré routery, aj keď sú duálne, je potrebné prepínať (pri konfigurácii) z jednej na druhú frekvenciu; niektoré (*true dual* – skutočne duálne), dokážu súčasne pracovať v oboch pásmach, a takto slúžiť v podstate pre dve siete zariadení, pracujúcich vo dvoch odlišných frekvenčných pásmach.

Služby

Služby, ktoré Wi-Fi-prístup poskytuje, sú prakticky všetky známe širokopásmové služby: prístup k internetu, VoIP (Voice over IP – hlasová služba/telefonovanie s VoIP-telefónom s využitím IP-protokolu a pripojenia k internetovej sieti), TV, DVD-prehrávanie, digitálne kamerové systémy, bezdrôtové pripojenie projektora k počítaču, a pod.

Rýchlosti

Platí: čím väčšia vzdialenosť – tým nižšia rýchlosť; závisí to aj od konkrétneho štandardu – od 1 Mbps (štandard *b*) do 100 Gbps (štandard *ay*), čo súvisí s výrazne odlišnou výškou a šírkou frekvenčného pásma, použitou moduláciou a použitím/nepoužitím diverzitého vysielania a príjmu (MIMO) pri jednotlivých štandardoch.

Bezpečnostné protokoly

- WEP (Wired Equivalent privacy)
 - bol súčasťou 802.11 od r. 1999; od 2004 od neho spoločnosť WiFi upustila
 - symetrická streamovaná šifra RC4 a metóda kontrolného súčtu CRC-32
 - šifrovanie podľa kľúča (64-bitový, 128-bitový, 256 b.)
 - dá sa nabúrať (prilžižne v priebehu 3 minút),
- WPA (Wi-Fi Protected Access), WPA2
 - viac metód
 - najnovšia - štandard 802.11i (v najnovších zariadeniach),
- AES - Advanced Encryption Standard
- Šifrovacie algoritmy, manipulácia s kľúčmi – dočasné kľúče (TKIP – Temporal Key Integrity Protocol), kontrola integrity správ, autentifikačné protokoly.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

- publikované v r. 2001, skupina WiMAX Forum - organizácia, ktorá certifikuje všetko, čo má byť WiMAX
- štandard IEEE 802.16 (novší 802.16j-2009) [3]
- Wireless MAN (... Metropolitan Area Network – bezdrôtové siete pre veľké sídla) – bezdrôtová alternatíva ku káblom, k DSL, aj k optickým sieťam
- využíva sa tam, kde nedosiahne Wi-Fi; prenos na veľkú vzdialenosť
- poskytuje možnosť surfovať na internete bez káblového pripojenia počítača k hubu, routeru, switchu
- architektúra P2P aj úplný bunkový prístup mobilný (technológia podobná mobilnej telefónii), VoIP, IPTV, smartgrid a metering
- scaling of FFT, OFDM, antenna diversity, MIMO, HARQ (protichybové zabezpečenie), QoS pre VoIP
- 30 až 40 Mbps, od r. 2011 1 Gbps pre pevné stanice (802.16m),
- môže slúžiť ako *backhaul* technológia pre 2G, 3G a 4G siete, najmä v oblastiach, kde sa ešte len vyvíjajú (sprostredkúva časť linky medzi jadrovou /chrbtovou sieťou a malou subsieťou na hranici hierarchie siete)

WPAN – Wireless Personal Access

- štandard 802.15
- toto označenie je všeobecné pre siete malého (osobného) dosahu, rádovo jednotky metrov
- nie všetky sa využívajú na širokopásmový prístup
- Patria k nim:
 - Bluetooth: do 10 m
 - prepojenie zariadení v 1 miestnosti (náhrada káble)
 - väčšinou v nelicencovanom ISM pásme (Industrial, Scientific and Medical band) 2400 až 2483,5 MHz
 - riziko vzájomného rušenia (napr. bezdrôtové myši a klávesnice vo väčšom množstve v jednej miestnosti)

- prenos pomocou modulácií ASK, PSK, FSK, alebo modulácie OOK (On/Off Key – počas nuly je neprítomná nosná)
- šírka kanála je max. 1MHz
- ZigBee – 802.15.4
 - maximálny dosah 75 m
 - komunikácia prístrojov (senzorov, meracích prístrojov – WSN – Wireless Sensor Network)
- HomeRF
 - tento štandard bol prekonaný štandardmi Bluetooth a Zigbee – už sa nevyvíja
 - používal sa na zdieľanie dát domácimi zariadeniami

Referenčná literatúra

- [1] Stránky WiFi Alliance – „Who We Are – History“ , prístupné na <https://www.wi-fi.org/who-we-are/history>
- [2] Networks: internet, telephony, multimedia : convergences and complementarities By Daniel Hardy, Guy Malléus, Jean-Noël Méreur
- [3] Working Group on Broadband Wireless Access Standards: IEEE 802.16
- [4] M. Vaculík: Prístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.
- [5] J. Vodrážka: Přenosové systémy v přístupové síti. ČVUT, 2003.

Prístupové siete

Prednáška 8

Obsah: Druhy prístupových sietí – pokračovanie:

Optické prístupové siete (OAN – Optical Access Networks)

Architektúra OAN

Referenčná konfigurácia OAN a vlastnosti zakončení OLT a ONU

Technológia PON (Pasívna optická sieť)

Štandardy PON

Komponenty OAN

- Optické vlákna a ich vlastnosti
 - Plastové optické vlákna (POF)
- Väzobné členy
- Vlnové multiplexory (WDMs)
- Spojky
- Optické konektory
- Ďalšie komponenty PON

Aktívne optické komponenty

- Optické zdroje
- Optické detektory
- Optické zosilňovače
- Ďalšie komponenty OAN

Duplex v OAN

Príklady profesionálnych prístupových systémov s PON:

Optické smerové spoje - FSO

FSO - Moderný vývojový trend v oblasti – predmet viacerých výskumných projektov

Literatúra a referencie

Optické prístupové siete (OAN – Optical Access Networks)

V súčasnom období masívneho rozširovania širokopásmových sietí hrá významnú úlohu požiadavka na vysokokapacitné komunikačné prenosy. Pri spĺňaní tejto požiadavky zo strany zákazníka medzi sebou súťažia siete VDSL (využitie metalických telefónnych vedení), siete mobilných operátorov a čisto optické prístupové technológie. V nedávnej dobe sa zdalo, že práve optika bude hrať prím, no zdá sa, že mobilní operátori dohnali vývoj, a kombinácia optiky a pevných telefónnych liniek tiež nezaostáva. Veľmi časté je tiež využitie kombinovaného, tzv. hybridného prístupu, pri ktorom je možné získať prístup k širokopásmovým službám kombináciou snád' všetkých možných technológií. Vlastne už aj technológia VDSL je takýmto kombinovaným prístupom, pretože pre zákazníka, vzdialeného od miesta poskytovateľa viac než asi 300 metrov, je nutné vysokorýchlostné dáta "priblížiť" pomocou optickej technológie.

Pri optickom prístupe sa jedná o prenos pomocou vhodne navrhnutej modulácie a kódovania určenej pre oblasť optických vlnových dĺžok, t.j. v pásme, ale skôr pod hranicou pásma opticky viditeľného svetla (v pásme infračervených vlnových dĺžok; IR – infrared – infračervený, približne 700 nm a viac).

Prenos svetla je možný:

- bezdrôtovo, teda *voľným priestorom* (FSO – Free Space Optics); ide fakticky o *optické smerové spoje*,
- ale hlavne sa pre prenos využívajú špeciálne – *optické vlákna* (*Optical Fiber*), väčšinou organizované do veľkých skupín – optických káblov.

Najprv sa budeme venovať opisu rôznych typov optických prístupových systémov, a nakoniec uvedieme samostatnú podkapitulu venovanú vlastnostiam optických vlákien, všetko v rozsahu potrebnom pre, takpovediac, encyklopedické znalosti v oblasti prístupových sietí.

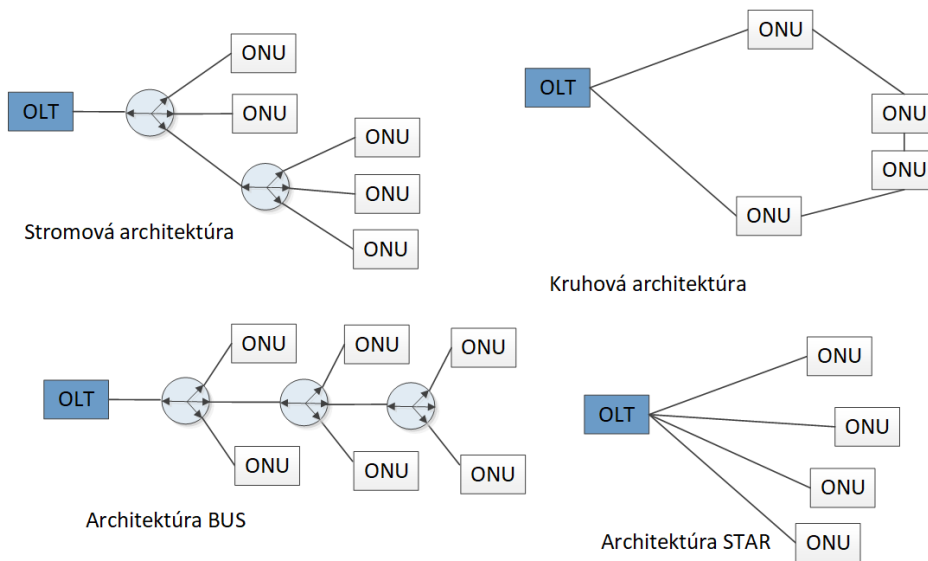
Realizácia prístupu k telekomunikačným službám pomocou optického vlákna spĺňa aj náročné požiadavky na prenosovú rýchlosť dát doručovaných do koncových bodov siete. Pri veľkých zákazníkoch sa jedná až o rýchlosti v rozsahu jednotiek až stoviek Gbps, čo znamená rozšírenie použitia optického vlákna z úrovne chrbticových sietí až ku koncovému užívateľovi. Pre porovnanie so schopnosťou ethernetovej siete, ktorá môže poskytnúť takéto vysoké rýchlosti tak do 100 m ethernetového kábla, optické vlákno môže vysokokapacitné dáta preniesť až na vzdialenosť niekoľkých kilometrov bez použitia opakovačov.

Optickou prístupovou sieťou nazývame súbor technologických zariadení medzi koncovými bodmi spojovacej siete a siete účastníckeho rozvodu, v ktorom sa ako dominantné prenosové médium používa optické vlákno (OF – optical fiber – optické vlákno). Často sa pre optickú sieť používa označenie FITL (Fiber in the Loop – „vlákno v slučke“). Optické vlákna prekonávajú všetky obmedzenia iných typov médií, čo sa týka frekvenčnej šírky pásma, prenosovej rýchlosti a s tým súvisiacich možností. Zo začiatku predstavovali pre domácnosť a malé firmy vysoké náklady spojené s pripojením každého účastníka k ústredni. No tento problém už je v súčasnosti (r. 2018) len relatívny, a treba ho posudzovať z hľadiska pomeru cena/výkon, resp. cena/kvalita služieb. Použitím optického vlákna v prístupovej sieti je možné obslúžiť rozsiahle prístupové oblasti a integrovať doteraz existujúce siete.

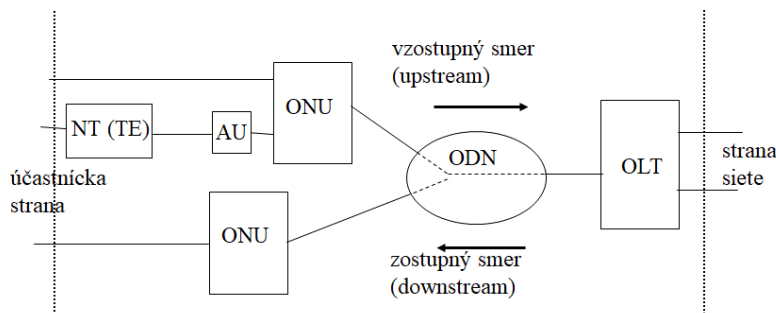
Architektúra OAN

Fyzická architektúra siete býva najčastejšie stromová, hviezdicová (Star), prípadne kruhová (Obr. 1). Logická architektúra býva najčastejšie *stromová*, ktorá realizuje *koncentráciu* prevádzky do prípojného bodu spojovacej siete.

Hlavné časti architektúry optickej prístupovej siete vidíme podrobnejšie na Obr. 2. Na strane ústredne, siete, je *optické zakončenie* OLT (Optical Line Terminal); niekedy sa označuje tiež LTU (Line Termination Unit). Zabezpečuje príslušné elektrické rozhranie na strane miestnej ústredne, a optické rozhranie na strane optickej siete ODN (Optical Distribution Network), čiže elektronicko-optické rozhranie medzi ústredňou a optickou sieťou.



Obr. 1 Architektúry optickej prístupovej siete



ODN = Optical Distribution Network

NT = Network Terminal , **AU** = Auxiliary Unit , **TE** = Terminal Equipment

ONU = Optical Network Unit – zakončenie ODN v mieste pripojenia úč. prípojek (niekedy tiež NTU)

OLT = Optical Line Termination – zakončenie v mieste pripojenia na spoj.sieť (LTU-line termination unit)

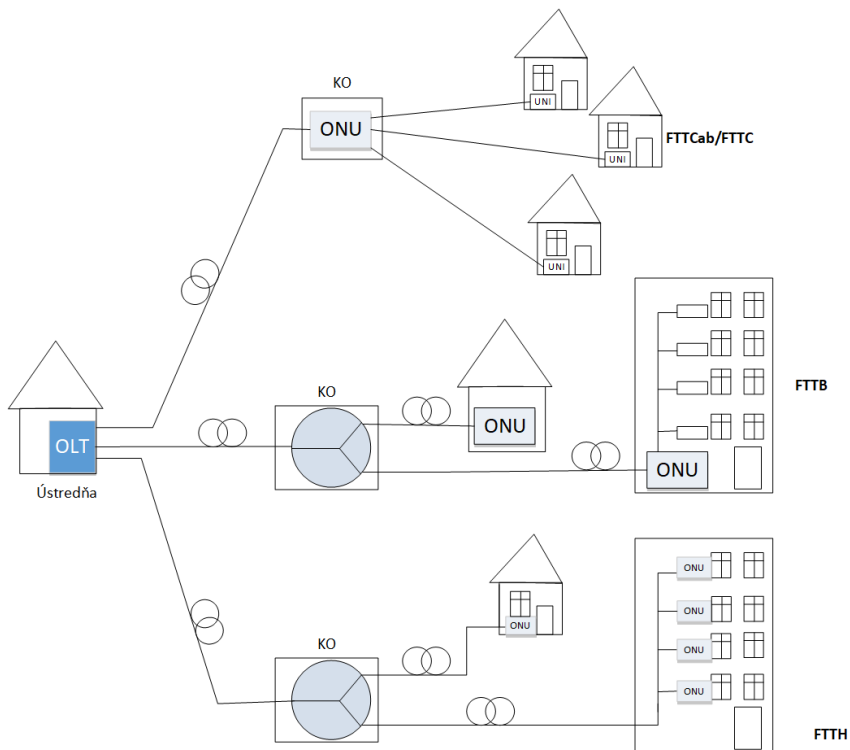
Obr. 2 Funkčná štruktúra OAN

Optická sieť prenáša signály od OLT ku *jednotke sieťového zakončenia ONU* (tiež NTU – Network Termination Unit). Tá prevedie optický signál na elektrický, prípadne na ten účel použije *adaptér AU*. Z ONU vstupuje signál do *koncového zariadenia TE*.

V uvedenej podobe je optický signál privedený len do určitej vzdialenosti od TE, zvyšok sa realizuje metalickou sieťou. Na to sa väčšinou využíva existujúca účastnícka sieť. Táto technológia sa označuje OAN-FITL. Podľa umiestnenia ONU, resp. spôsobu pripojenia TE ku ODN, rozlišujeme viac *variantov FITL* (ukážka na Obr. 3):

- FTTH (Fiber to the Terminal) – pripojenie TE priamo optickým rozhraním. Toto riešenie ponúka neobmedzené možnosti služieb, predstavuje však vysoké náklady na zriadenie.
- FTTP – (Fiber to the Premises - ... priestory) môže byť to isté alebo veľmi podobné ako nasledujúca technológia FTTH.

- FTTH (Fiber to the Home) – „vlákno až do domu“. ONU je umiestnená v ÚR (účastnícky rozvádzač), v blízkosti terminálu, ktorý je na zakončenie pripojený metalickým vedením s dĺžkou v jednotkách až desiatkach metrov.
- FTTB – Fiber to the Building (... k budove). Metalický úsek je relatívne krátky; nepresahuje stovky metrov. Ide o optický prístup až k ÚR.
- FTTC – Fiber to the Curb (curb – obrubník, okraj chodníka). Zakončenie optickej siete je situované do exteriéru v blízkosti účastníka (účastníkov), maximálne do vzdialenosti 1 km. Čiže „posledná míľa“ je realizovaná metalickým párom alebo koaxiálom.
- FTTCab - Fiber to the Cabinet (cabinet – skrinka). Riešenie pre väčší počet (200 až 300) účastníkov. Niekde sa zvykne označovať ako FTTN (Fiber to the Node alebo Fiber to the Neighborhood – k uzlu, alebo k väčšej skupine susediacich účastníkov). Podobná technológia je HFC (Hybrid Fiber-Coaxial), kde už z názvu vyplýva, že od zakončenia optickej siete signál pokračuje k účastníkom prostredníctvom koaxiálnej metalickej siete, ktorá pôvodne slúžila len pre doručenie televízneho signálu. Pri HFC ide o poskytovanie prístupu pre väčší počet účastníkov, a optické káble sú použité namiesto traťových a sieťových káblov (skupín telefónnych krútených párov).



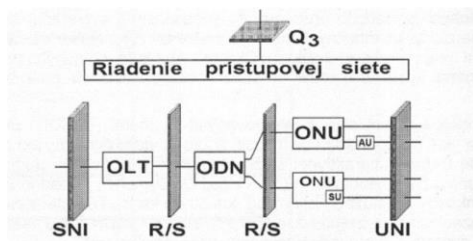
Obr. 3. Ilustrácia architektúry niektorých typov optických prístupových technológií (KO – káblový odbočovač). Na metalickej časti, využiteľnej z pôvodnej POTS, sa väčšinou aplikuje systém VDSL.)

- FTTO - Fiber to the Office. Optické vlákna sú zavedené do priestorov dôležitých zákazníkov s vysokými nárokmi na prenosovú kapacitu.
- FTTE - Fiber to the Exchange. Je možné sa stretnúť aj s takýmto označením, no aby sme boli dôslední, tu sa nejedná o prístupovú technológiu, ale o technológiu *prepojenia ústrední*, alebo bývalých ústrední. Zakončenie ODN je umiestnené v objekte, kde bol predtým spojovací systém a kde končia prípojné vedenia (telefónna ústredňa).

Okrem architektúry FTTH sú všetky spomínané architektúry tzv. *hybridné*, pretože ide o kombináciu optického a metalického vedenia. Pritom na metalickom vedení sa väčšinou aplikuje systém VDSL. Ale tiež, ako vidno z predchádzajúceho textu aj z dostupnej literatúry, možností týchto hybridných kombinácií je viac, a ich názvy, ako názvy produktov rôznych dodávateľov a poskytovateľov, sa môžu líšiť, alebo v sebe ukrývať trochu odlišné vlastnosti. Spoločné majú jedno: priblíženie alebo až doručenie vysokorýchlostného prístupu k užívateľovi pomocou optického média.

Referenčná konfigurácia OAN a vlastnosti zakončení OLT a ONU

Nasleduje trochu podrobnejší opis komponentov optickej siete v rámci jej referenčnej schémy. Tá je znázornená na Obr. 4, a je uvedená v odporúčaní ETSI 300 463. Na obrázku sú okrem ODN, OLT a ONU zobrazené aj rozhrania siete, a to SNI a UNI, zabezpečujúce prístup k sieti, resp. k účastníckym terminálom. Jednotky SU (Service Unit) zabezpečujú adaptačné funkcie rozhraní z hľadiska služieb, a AU (Auxiliary Unit) slúži pre neštandardné typy rozhraní. R/S (Receive/Send) sú vnútorné referenčné body, predstavujúce elektro-optickú konverziu (EOC).



Obr. 4 Referenčná konfigurácia OAN

OLT – Optické linkové zakončenie:

- zabezpečuje funkcie sieťového rozhrania medzi prístupovou sieťou a sieťami telekomunikačných služieb; je to brána medzi PON a chrbtovými telekomunikačnými sieťami (SDH, PSTN, Ethernet, VoIP, IP/ATM-smerovače),
- ONU discover, metóda ranging, parametre prenosu, ...).

Jednotka ONU:

ONU - zabezpečuje funkcie rozhrania medzi optickou a metalickou (alebo bezdrôtovou) časťou prístupovej siete – na rozhranie je pripojený Ethernet, xDSL, WiFi.

Jednotky SU (Service Unit) zabezpečujú adaptačné funkcie rozhraní z hľadiska služieb.

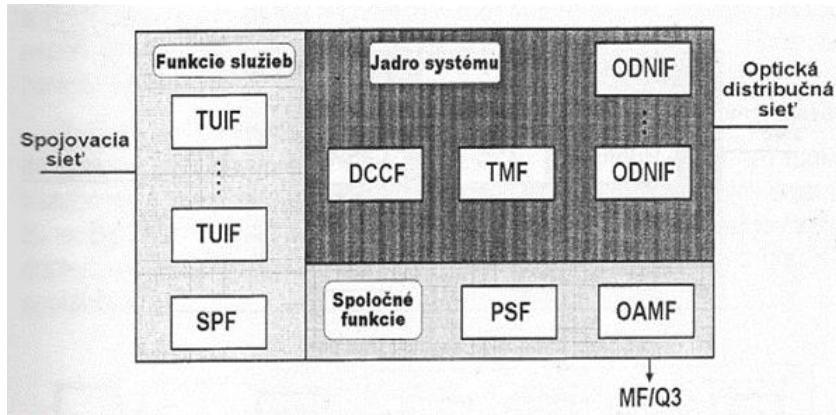
Medzi OLT a ONU sa nachádza *ODN* (Optická distribučná sieť). Tá obsahuje :

- optické vlákna,
- konektory,
- spojky,
- zvary,
- optické rozbočovače (splittery),
- útlmové články a
- optické filtre.

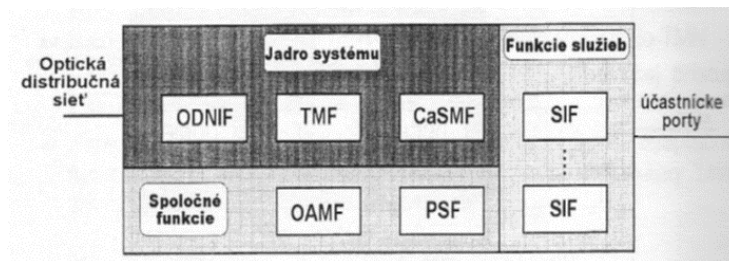
OLT a ONU sú zložité opto-elektronické zariadenia, ktorých bloková schéma obsahuje menšie funkčné bloky, ktoré v oboch prípadoch môžeme rozdeliť na 3 skupiny:

- jadro systému,
- funkcie prístupu k službám a
- spoločné funkcie.

Nasleduje ich zoznam a veľmi stručný popis (Obr. 5 a Obr. 6):



Obr. 5 OLT- Optical Line Termination – zakončenie optickej linky na strane siete.



Obr. 6 ONU – Optical Network Unit – zakončenie optickej siete na strane užívateľa

Legenda k obrázkom:

Jadro systému:

DCCF – Digital Cross Connect Function,

TMF – Transport and Multiplexing Function – spolu s DCCF realizujú komutáciu a multiplexing.

ODNIF – Optical Distribution Network Interface Function – funkcie EOC

CaSMF – Customer and Service Multiplex Functions - demultiplexing

Funkcie služieb:

TUIF – Tributary UNIT Interface Function – rozhranie V5

SPF – Signalling Processing Function - konverzia signalizácie spojovacieho systému na signalizáciu prístupovej siete

SIF – Service Interface Function - distribúcia tokov pre jednotlivé služby.

Spoločné funkcie :

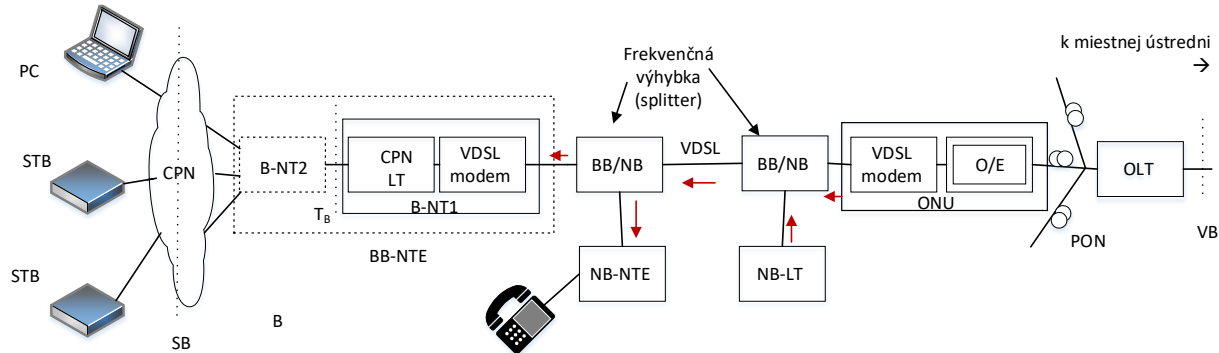
OAMF – Operation, Administration and Maintenance Function – administrácia a údržba

PSF - Power Supply Function – napájanie

Tento model je všeobecný, spoločný pre rôzne typy OAN, no jednotlivé bloky sa pri rôznych typoch OAN líšia z hľadiska svojich funkčných vlastností. (Model bol pôvodne navrhnutý pre PON – pasívnu optickú sieť, no uplatňuje sa i pri aktívnej optickej sieti.)

Činnosť optickej prístupovej siete možno zjednodušene opísať takto (Obr. 7) : Na strane siete, v ústredni (LEX – Local EXchange – miestna ústredňa) sú širokopásmové dáta pomocou OLT vkladané do pasívnej OAN (PON). Potom, v ONU, sa uskutočňuje premena optického signálu na elektrický a jeho odovzdanie do VDSL-modemu. Tento pripravuje dáta na prenos cez Cu-páry (medené krútené páry). Vo frekvenčnej výhybke (*splitter*) sú zlučovateľné toky: *úzkopásmový* (NB – Narrow Band – úzke pásmo; napr. základný

prístup ISDN) a širokopásmový (BB – Broad Band - široké pásmo). Podobne, na konci vedenia sú opäť v splitteri tieto toky znovu rozdeľované, NB-tok je privedený do úzkopásmovej ukončovacej jednotky (NB-NTE) a BB-dáta cez BB-NTE a cez domácu kabeľáž CPN (Customer Premises Network – sieť v zákazníkových priestoroch) ku koncovým zariadeniam (PC, STB-TVP).



Obr. 7 Referenčný model prístupovej siete a káblovej inštalácie v budove

Legenda:

STB-SetTopBox

CPN-Customer Premises Network

BB...Broadband

NB...Narrow Band

NTE-Network Termination Equipment

V referenčnom modeli na Obr. 7 je použitý VDSL-systém pre spojenie bod-bod, kde je jednoznačne oddelená kompetentnosť prevádzkovateľa siete a zákazníka: BB-NTE patrí prevádzkovateľovi, a tam je on zodpovedný za kvalitu prenosu informácií. Zákazníkovi je poskytnuté štandardizované rozhranie, ku ktorému si môže na vlastnú zodpovednosť pripojiť svoje koncové zariadenie. Prevádzkovateľ siete (poskytovateľ) môže zmeniť technológiu prístupu bez toho, aby zákazník musel meniť svoje KZ (koncové zariadenie).

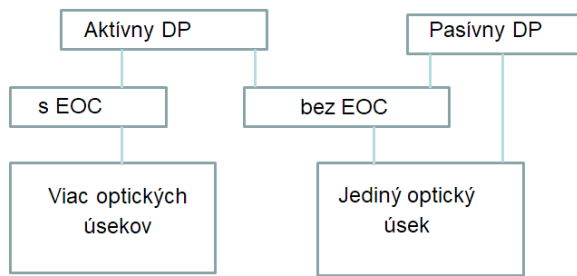
ODN – Optická distribučná sieť je prenosový systém medzi OLT a jednotlivými ONU. Obsahuje primárnu (transportnú) časť a sekundárnu (distribučnú) časť. Tieto časti sú oddelené *distribučným bodom* (DP – Distribution Point), čo môže byť *optická káblková spojka* v šachte alebo v kabinete, alebo to môžu byť *optické vláknové spojky* v skrini. DP môže byť tiež realizovaný súčasne s *optickým splitterom* (optický rozbočovač/zlučovač).

V závislosti od typu realizácie DP rozlišujeme

- *pasívnu (PON)* a
- *aktívnu (AON)* optickú sieť. Pri aktívnej sú DP sú aktívne a majú 2 funkcie – opto-elektrickú konverziu a spojovanie.

Pri PON je optické spojenie tvorené *jediným optickým úsekom* (bez EO-konverzie).

Pri AON (aktívna optická sieť) môže byť optické spojenie realizované *viacerými úsekmí optickej siete*. To znamená, že optická trasa je prerušovaná, a v mieste jej prerušenia sa okrem iných operácií uskutočňuje EO-konverzia, zosilnenie v elektrickej oblasti (opakovanie), a podobne (Obr. 8).



Obr. 8 Klasifikácia ODN podľa vlastností DP (pozn.: ODN – Optical Distribution Network – optická distribučná sieť, Distribution Point – distribučný bod, EOC – elektro-optická konverzia)

Technológia PON (Pasívna optická sieť)

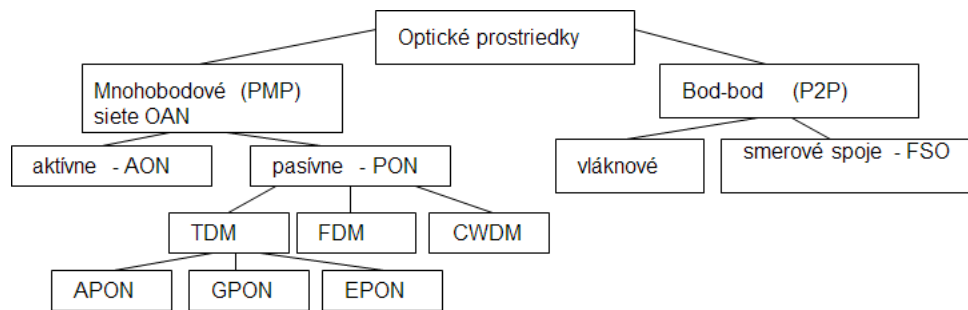
PON je charakterizovaná jednoduchými architektúrami, jednoduchými činnosťami a službami. Nevyskytuje sa tu *spojuvanie a riadenie*. Z uvedených dôvodov vyplývajú tiež relatívne nízke náklady na zriadenie a prevádzkovanie takejto siete, dobrá *spoľahlivosť* (komponenty v ONU sú realizované bez kompenzácie teploty; i keď vybavenie OLT je trochu sofistikovanejšie) a jednoduchá údržba. PON *nepotrebuje napájacie zdroje* (všetky jej komponenty sú pasívne, okrem vysielačov a prijímačov, samozrejme), a tým pádom nie je citlivá na výpadky dodávky elektrickej energie.

PON rozdeľuje signál z jedného centrálného vysielača medzi veľa výstupných vlákien. Na zákazníkovej strane každý zákazník má svoj oddelený vysielač, ktorý vysiela do centrálného DP. Všetko sa väčšinou nachádza iba vo vnútri budov, bez aktívnych komponentov.

Charakteristika zostupného smeru (downstream): Štandardná PON pracuje na 2 alebo 3 vlnových dĺžkach. OLT má *laser*, ktorý vysiela down-signál v oblasti 1550 nm (*optické okno 1550 nm*; IR – infračervená oblasť svetla) s výkonom viac než 1 mW do výstupného vlákna. Každá dátová bunka alebo paket v zostupnom signáli nesie aj adresu cieľového terminálu. Pasívne rozdeľovače (rozbočovače, splitters, muldex) rozdeľujú svetlo medzi všetky terminály, ale každý terminál číta iba tie pakety, ktoré sú určené preňho (na základe adresy). V *downstreame* sú aj *časovacie signály*, potrebné na *riadenie vzostupného prenosu*. OLT môžu používať relatívne drahé 1550-nm-vysielače (laserové zdroje) na rozdiel od ONT.

Upstream (vzostupný smer, od užívateľa k poskytovateľovi): V ONT je vysielač svetla s vlnovou dĺžkou okolo $\lambda = 1310$ nm (*optické okno 1310 nm*) pre vzostupný kanál. Z pohľadu užívateľa ide o sieť typu *viac bodov – bod*. Ako prístupová metóda sa využíva TDMA (každý ONT má pomocou OLT pridelený svoj prenosový časový interval, *časový slot*). Synchronizácia prenosu od viacerých ONT prichádza v *downstreame*. Synchronizácia sa musí prispôbiť vzdialenostiam jednotlivých ONT od centrálného OLT, alebo inak, jednotlivým *oneskoreniam*, závislým od týchto vzdialeností. Ako zdroj svetla sa pri vysielaní upstreamu využívajú LED-diódy, a vysielanie môže preklenúť maximálne asi 20-kilometrovú vzdialenosť. Okrem TDMA sa môže využívať aj prístupová metóda SCMA, a možné sú aj kombinácie TDM/SCMA alebo SCM / TDMA pre down/up-stream (Obr. 9).

Dnes sa využíva viacero komunikačných štandardov zahŕňajúcich pasívne optické siete. V nasledujúcich riadkoch ich v krátkosti opíšeme.



Obr. 9 Rozdelenie optických prístupových metód a systémov

Štandardy PON

ITU-T G.983

APON (ATM Passive Optical Network) - prvý štandard v oblasti PON – hlavne pre aplikácie pre firmy; je založený na ATM.

BPON (Broadband PON) – štandard založený na APON. Prenos je symetrický, s vyššími prenosovými rýchlosťami, dvoma vláknami, alebo jediným vláknom pre oba smery s aplikáciou WDM, dynamickú alokáciu šírky pásma pri vyšších nárokoch upstreamu. Bol vytvorený tiež štandardný manažérsky interfejs zvaný OMCI, a to medzi OLT a ONU/ONT, umožňujúci vytvárať siete so zmiešanými poskytovateľmi.

ITU-T G.984

GPON (Gigabit PON) – vyvinutý zo štandardu BPON – podporuje vyššie rýchlosti (1,244 a 2,488 Gbps), zvýšenú bezpečnosť, a voľbu protokolu 2. vrstvy (ATM, GEM, Ethernet). Začiatkom r. 2008 začala spoločnosť Verizon inštalovať zariadenia tohoto štandardu, po nich aj British Telecom a AT&T.

IEEE 802.3ah

EPON alebo GEPON (Ethernet PON) - to je štandard IEEE/EFM prenos paketových dát cez Ethernet (na prvej míli) – v súčasnosti je časťou štandardu IEEE 802.3.

IEEE 802.3av

10G-EPON (10 Gigabit Ethernet PON) – IEEE štandard pre 10 Gbps obojsmernú komunikáciu; je kompatibilný s 802.3ah EPON; používa odlišné vlnové dĺžky pre 10 G a 1G downstream, a jedinou vlnovú dĺžku pre 10 G a 1G upstream s TDMA oddelením. Je kompatibilný tiež s WDM-PON (v závislosti od jej definície). Je schopný využívať aj viac vlnových dĺžok v oboch smeroch.

SCTE IPS910

RFoG (RFOverGlass) je štandard podskupiny SCTE Interface Practices Subcommittee, vyvíjaný pre operácie bod-viac bodov (P2MP), ktoré môžu mať schému vlnových dĺžok kompatibilnú s dátovými PON, ako sú napr. EPON, GEPON, 10G-EPON. RFoG poskytuje architektúru typu FTTH PON pre MSOs (Multiple System Operators – spoločnosti v USA, ktoré vlastnia veľa káblových systémov, pôvodne len televíznych).

V pasívnych optických sieťach, o ktorých je reč v tejto podkapitole, sa väčšinou používajú *jednovidové (jednomódové) vlákna* a rozdeľovače bez aktívnych častí. Tým sme sa dostali k otázke komponentov optických sietí a ich vlastností, ktoré postupne opíšeme.

Komponenty PON sú *pasívne*. To znamená, že pre ich činnosť nie je potrebný zdroj energie. Patria k nim:

- optické vlákna,
- väzobné členy,
- multiplexory,
- spojky,
- optické konektory.

Komponenty OAN

Optické vlákna a ich vlastnosti

Optické vlákna sa vyrábajú na báze kremičitého skla alebo plastu. Kremičité („sklenené“) optické vlákna majú oproti plastovým niekoľko výhod – nízky útlm, čo je veľká výhoda (viď Tab. 1), mnohovidovosť a presnejšie definované parametre. Ich veľkou nevýhodou oproti plastovým vláknam je ich krehkosť, čo vyplýva z materiálu a čo má za následok veľký polomer ohybu, náročnosť ich nasadzovania a manipulácie s nimi. Sú tiež drahšie ako plastové. Plastovým vláknam sa budeme venovať na konci podkapitoly o optických vláknoch.

Tab. 1 Charakteristické útlmy pre jednotlivé vlnové (optické) okná [6]

Vlnové okno	Vlnová dĺžka	Špecifické straty
1.	850 nm	3 dB/km
2.	1310 nm	0,4 dB/km
3.	1550 nm (pásmo C)	0,2 dB/km
4.	1625 nm (pásmo L)	0,2 dB/km

Konštrukcia

Konštrukcia optického vlákna je ilustrovaná na Obr. 10 a Obr.12. Vlákno je zložené z 2 hlavných materiálov (*jadro – core, a obal, plášť, obloženie – cladding*) s odlišnými optickými vlastnosťami, t.j. s odlišnými indexami lomu i , ktoré zabezpečujú totálny odraz svetla naviazaného do vnútorného materiálu. Totálny odraz je podmienený tiež správnym uhlom naviazania svetla do vlákna. Pri totálnom odraze dochádza k najmenším stratám energie signálu. Z nasledujúcich úvah vyplýva, že odlišné vlnové dĺžky signálu majú odlišný uhol odrazu, a teda aj odlišnú dĺžku dráhy v jadre, a čas, za ktorý túto vzdialenosť prekonajú. S tým potom súvisí viac alebo menej nepriaznivá zmena charakteristík signálu na výstupe vlákna (obr. 16).

Materiály, rýchlosť šírenia svetla a index lomu i

Z optickej fyziky vieme, že svetlo je elektromagnetické vlnenie, ktoré sa šíri vo voľnom priestore, ale aj v iných materiáloch. Ďalej vieme, že optické materiály sa odlišujú parametrom, ktorý charakterizuje ich schopnosť šíriť svetlo. Je to index lomu i , ktorý súvisí s *rýchlosťou šírenia svetla* v a s elektrickou permitivitou a magnetickou permeabilitou materiálu podľa vzťahov:

$$n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \quad (1)$$

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

$$v = \frac{c}{n} = f \cdot \lambda \quad (3)$$

Ďalej platí:

$$v = \frac{\omega}{k} = f \lambda \quad (4),$$

kde

$$k = 2\pi/\lambda \quad (5)$$

Jednotlivé symboly v rovniciach predstavujú známe veličiny:

n (alebo i) – index lomu (bezjednotkové číslo)

μ_r, ϵ_r – relatívna magnetická permeabilita, resp. elektrická permitivita prostredia

c – rýchlosť šírenia svetla vo vákuu (299 792 458 m/s, t.j. približne $3 \cdot 10^8$ m/s)

v – rýchlosť šírenia v materiálnom prostredí [m/s],

ω - uhlová rýchlosť [grad/s]

f - frekvencia vlnenia [Hz]

λ – vlnová dĺžka [m]

k - vlnové číslo,

Φ fázová konštanta (počiatočná fáza) [grad],

Pozn.: Najjednoduchšie elektromagnetické vlny – sínusové – možno opísať rovnicou napr. pre elektrickú zložku:

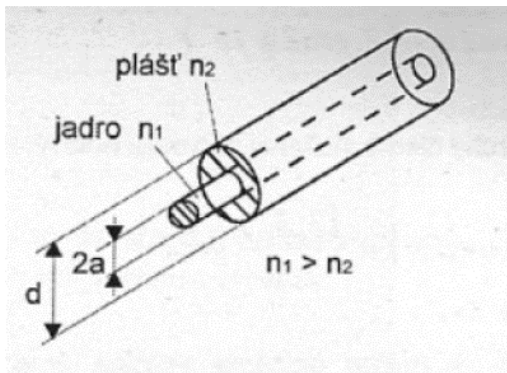
$$E(x,t) = E_0 \cos(\omega t - kx + \Phi) \quad (6),$$

širiacu sa v smere x . Rýchlosťou v sa pri všesmerovom šírení pohybujú body s rovnakou fázou, čiže *vlnoplochy*.

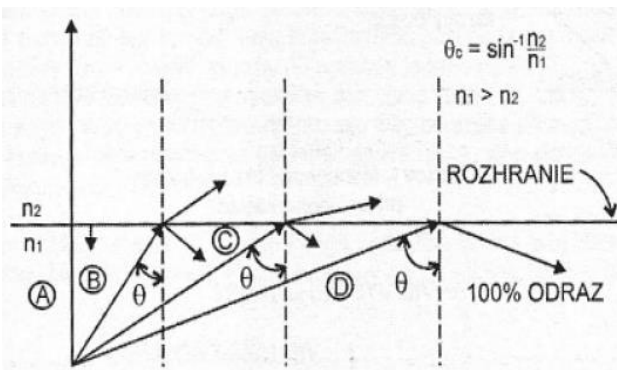
A aby sme boli úplní, doplníme pojem *skupinová rýchlosť* (často uvádzaná aj ako „grupová rýchlosť“). To je tá, ktorou sa šíri tzv. *skupina vln* (*vlnový balík*), t.j. vln s blízkou vlnovou dĺžkou, a pre ktorú platí:

$$v_g = \delta\omega / \delta k \quad (7).$$

Skupinová rýchlosť je určite zaujímavá, ak si predstavíme signál v podobe spektra susedných harmonických, alebo dokonca v podobe spojitého spektra, ktorý sa má šíriť daným prostredím.



Obr. 10 Stupňovité mnohovidové optické vlákno

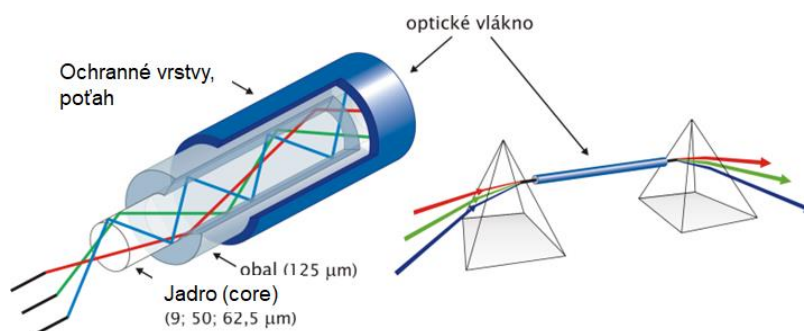


Obr. 11 Čiastočný a úplný odraz na rozhraní jadro – plášť.

Legenda:
n-index lomu

Numerická apertúra; parameter vlákna dôležitý pre naviazanie svetla do vlákna (napr. NA = 0,11) :

$$NA = n \cdot \sin \theta \dots \quad (8)$$



Obr. 12 Konštrukcia optického vlákna so skokovou zmenou indexu lomu, a ilustrácia šírenia viacerých optických vidov v ňom. Vpravo: ilustrácia skladania (kompozície, adície) viacerých vidov do jedného zloženého optického signálu (ide vlastne o WDM – vlnovo delený multiplex) pre účel šírenia jediným vláknom.

Vlnová dĺžka λ

Ako vlnenie je svetlo charakterizované vlnovou dĺžkou, ktorá samozrejme jednoznačne súvisí s frekvenciou a rýchlosťou šírenia v danom prostredí (rovnice 3, 4), no v optike sa používa častejšie než frekvencia. Pri prechode lúča svetla z jedného homogénneho prostredia do druhého sa jeho dráha mení, „láme sa“, čo sa vyhodnocuje porovnaním *uhla dopadu a uhla lomu*, meraných k normále plochy rozhrania. Pri zväčšujúcom sa uhle dopadu môže dôjsť k čiastočnému alebo až *úplnému odrazu* svetla späť do prostredia, z ktorého prichádza, a tak získavame na posúdenie ďalší uhol – *uhol odrazu*.

Podľa počtu prenášaných *vidov* (svetelných lúčov s konkrétnou vlnovou dĺžkou λ , modulovaných digitálnou informáciou) môžeme optické vlákna rozdeliť do 2 veľkých skupín:

- *1-vidové*; prenášajú iba jedinú vlnovú dĺžku – jeden vid, väčšinou základný vid okna, majú relatívne úzky priemer jadra (do 10 μm). Používajú sa v PON, prednostne pre optické okno 1310nm, čo je interval približne medzi 1260 a 1360 nm; pri použití diplexu od OLT k ONU sa používa aj okno 1550 nm, čo je približne 1480 až 1580 nm.
- *mnohovidové* – sú schopné prenášať naraz viac vlnových dĺžok λ , navzájom odlišných viac alebo menej, podľa čoho potom rozlišujeme hustotu optického multiplexu (viď kapitola o metódach prenosu/multiplexoch). Majú relatívne väčší priemer Φ – od asi 50 μm do stoviek μm . Počet prenášaných vidov závisí od pomeru Φ/λ .

Mnohovidové vlákna ďalej rozlišujeme podľa ich technologického vyhotovenia, a to

- so *skokovou zmenou* indexu lomu (pri Φ 100 až 400 μm),
- s *gradientnou zmenou* indexu lomu.

Ich pôsobenie na frekvenčné vlastnosti prenášaného signálu je znázornené na Obr. 16, kde vidíme, že z toho hľadiska sú vlákna s gradientnou zmenou n výhodnejšie.

Disperzia

Disperzia znamená *rozptyl*. V optickej oblasti ide konkrétne o rozptyl uhlov odrazu, lomu a rozptyl rýchlostí šírenia svetiel rôznych vlnových dĺžok v danom prostredí, čo má veľký (negatívny) vplyv na prenos signálu so širším frekvenčným spektrom, a musí sa s tým počítať, resp. kompenzovať to.



Obr. 13 Dúha pri vodopádoch – rozklad slnečného svetla na rozhraní prostredí ako viditeľný prejav chromatickej disperzie [Majka]

Ak je svetlo zložené z viacerých vlnových dĺžok, na rozhraní materiálov pozorujeme jeho *rozklad* na jednotlivé *spektrálne zložky*. Tento jav poznáme aj z prírody v podobe dúhy, ktorú vidíme za vhodných

podmienok na oblohe otočení chrbtom k slnku, ak slnko svieti súčasne s padajúcim dažďom. Dúha je slnečné svetlo rozložené na rozhraniach kvapiek dažďa na jednotlivé farebné zložky, plynule prechádzajúce od červenej, cez oranžovú, žltú, zelenú, modrú až k fialovej (Obr. 13).

Rýchlosť svetla

Rýchlosť svetla vo vákuu je $c = 299\,792\,458$ m/s, t.j. približne $3 \cdot 10^8$ m/s, čo je známa vec. V materiáloch používaných na prenos optického signálu v optických sieťach má svetlo rýchlosť približne $(2/3)c$, teda asi 200 000 km/h. Je pomalšie, tým pomalšie, čím kratšiu má vlnovú dĺžku λ , vid' (4).

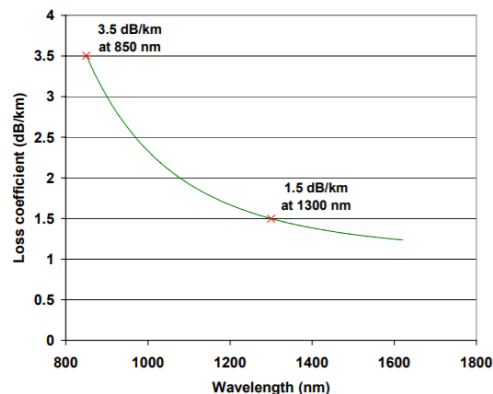
Tlmenie

Tlmenie je ďalší významný parameter z hľadiska prenosu signálu. Vzťah pre jeho výpočet v [dB] je známy. Je spôsobený *rozptylom* svetla na atómovej a molekulovej štruktúre materiálu, a *absorpciou* vodnými parami vyskytujúcimi sa v materiáli. S rozptylom nie je možné veľa urobiť, a preto sa tlmenie ním spôsobené niekedy nazýva *nepodleziteľnou hranicou* tlmenia. Na eliminácii vodných pár, či iónov OH, sa pracuje a špecifické tlmenie vlákien sa stále znižuje. Celkové tlmenie (vložené tlmenie) je závislé od dĺžky vlákna, V špecifikáciách sa uvádza skôr *špecifické tlmenie* α , alebo tlmenie na jednotku dĺžky:

$$\alpha = \{10 \log (P_1/P_2)\} / \text{dĺžka} \quad [\text{dB/km}] \quad (9),$$

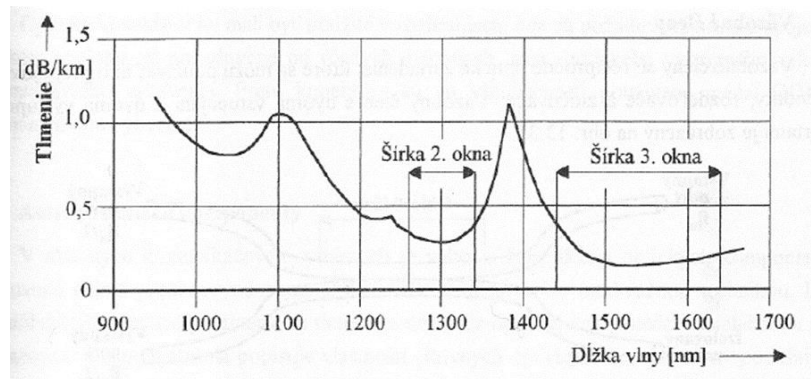
kde P_1, P_2 sú vstupný a výstupný výkon vo [W].

So zmenšujúcou sa vlnovou dĺžkou λ optického signálu tlmenie narastá (Obr. 14).



Obr. 14 Vzťah medzi vlnovou dĺžkou (wavelength) a merným tlmením (loss coefficient – koeficient straty) svetla vo vlákne

Vzťah medzi vlnovou dĺžkou a tlmením bol určujúci pre používané *optické okná* (Obr. 15), ako sme to už spomínali pri vlnovo delenom multiplexe WDM. Nepoužiteľné pásma medzi týmito oknami sa výrobcovia snažia potlačiť novými výrobnými technológiami a materiálmi, čo sa im aj darí. Aj keď od využívania 1. okna (oblasť 850 nm) sa už upúšťa, vďaka novým technológiam, ktoré zdokonaľujú štruktúru a eliminujú prímеси iónov OH⁻, sa zužujú nepoužiteľné oblasti medzi pôvodnými optickými oknami, resp. vznikajú nové optické okná (štvrté a piate).

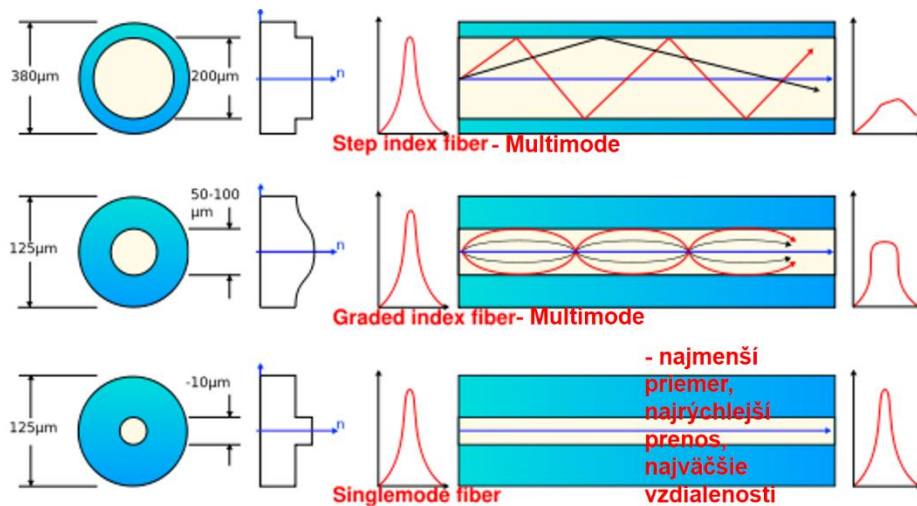


Obr. 15 Ilustrácia tlmenia optického materiálu v závislosti od vlnovej dĺžky svetla a vymedzenie optických okien

Maximálna modulačná šírka pásma

Maximálnu modulačnú šírku pásma signálu je potrebné uvažovať ako výsledok obmedzenia daného vzdialenosťou preklopenou vláknom, navrhovaným materiálom spôsobujúcim okrem útlmu aj disperziu, a priemerom vlákna.

Späťne si môžeme uvedomiť, že všetky spomenuté veličiny - parametre svetla, jeho šírenia ako aj parametre prostredia navzájom úzko súvisia. Teda úzko súvisia aj s materiálom a konštrukciou vlákna.



Obr. 16 Rôzne hrúbky vlákien. Skoková (step) a gradientná (graded) zmena indexu lomu vlákna a jej vplyv na vlastnosti signálu (impulzová charakteristika).

Rôzne úrovne sietí kladú na prenosové médium odlišné požiadavky, a preto sa na nich využívajú odlišné typy vlákien. Pri chrbticovej sieti ide o prenos rádovo v desiatkach Gbps (na úrovni rámca STM-64) na väčšie vzdialenosti. Tam sa využívajú relatívne najkvalitnejšie a najdrahšie typy vlákien. V prístupových sieťach často ide o lacnejšie jedno- alebo mnohovidové vlákna, resp. plastové vlákna.

Kladenie optických káblov do zeme je relatívne náročná a drahá záležitosť, za ktorou je hĺbka výkopov 600 – 800 mm, kvalitné ochranné potrubie, a technológia zaľúknutia kábla do trubice. Vývoj však zasahuje aj do tejto oblasti, a v obývaných zónach je možné použiť tzv. *mikrokabelážny systém* (MCS - Micro

Cabling System) (Obr. 17). Ten je lacnejší a rýchlejší vďaka inštalácii káblov do úzkych, pomerne plytkých (60 až 100 mm hlbokých) vyfrézovaných kanálov v priestore chodníkov a vozoviek pozdĺž obrubníkov. Kábel pre MCS je robustný, s malým priemerom a s dobrými tepelnými vlastnosťami. Iné typy káblov sú navrhnuté a vyrábané pre inštaláciu *do potrubí odpadových vôd*, kde sa napnú na strop týchto potrubí spolu s ťahovým lanom. Špeciálny ochranný obal majú optické káble pre inštaláciu v prostredí s nebezpečenstvom poškodenia hmyzom (termitmi), atď.



Obr. 17 Montáž optických káblov do plytkých úzkych drážok. [Zdroj: EMTELLE.]

Plastové optické vlákna (POF)

POF sú ekvivalentné mnohovidovým skleneným vláknám. Sklenené sa zásadne využívajú pre veľké vzdialenosti a vysoké dátové rýchlosti, plastové sa využívajú v LAN pre prenos dát a signálov – v technológii FTTH pre domáce a kancelárske siete (tzv. konzumné vlákna).

Útlm plastových vlákien (napr. 12 dB/50 m) je značne vyšší než pri sklenených vláknach, a má iné spektrálne rozloženie (Obr. 18). V tomto sa však technológia POF ďalej vyvíja.

Konštrukcia POF zahŕňa plastové jadro a plášť. Jadro máva priemer 1 mm a viac, a tvorí viac než 90 % prierezu. Profil vlákna je skokový (stupňový, indexový), plášť je vyhotovený z PVC, a celkový priemer vlákna býva asi 2 mm.

Plastové optické vlákna sa vyznačujú viacerými výhodnými vlastnosťami oproti skleneným: jednoduchšou manipuláciou (rezanie a vytváranie spojok), majú dobré vlastnosti, resp. sú odolnejšie v nepriaznivých okolitých podmienkach (blízkosť staníc vysokého napätia), sú pružné, na ich ukončenie je možné použiť štandardný F-SMA konektor.

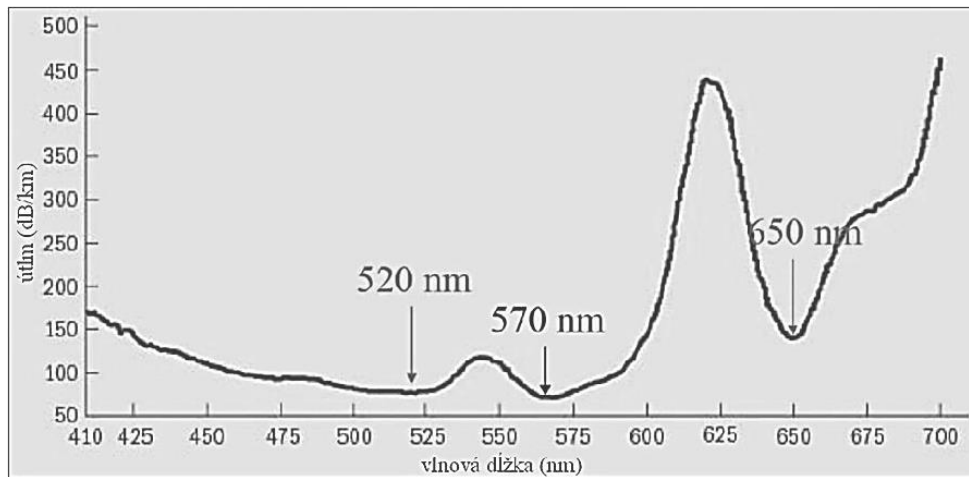
Materiály, z ktorých sú POF vyrobené, sú *polyméry* (napr. perfluorinový polymér pre jadro s priemerom 130 μm a plášť 300 μm , útlm 33 dB/km /1300 nm; šírka pásma 1 až 2 GHz).

Tlmenie absorpciou pri POF je nižšie pri kratších vlnových dĺžkach (520, 570 a 650 nm), ktoré sa tu pre prenos používajú.

Prenosy cez POF je možné uskutočniť pri rýchlostiach 100 Mbps až do 1 Gbps.

POF sú lacnejšie než kremičité vlákna, a preto sa považujú za perspektívne vhodnejšie pre použitie v OAN.

Sieťový štandard EoPOF (Ethernet over POF) zahŕňa využitie POF v lokálnych sieťach.



Obr. 18 PMMA POF so skokovým indexom; znížený útlm na vlnových dĺžkach 520 a 650 nm, ktoré boli vybrané na prenos, 100 Mbit/s, resp. 1 Gbit/s.

Nasleduje veľmi krátky opis ďalších komponentov používaných v optických sieťach. Všetky pasívne komponenty majú v špecifikáciách uvedený útlm a príslušné ďalšie parametre, charakterizujúce ich funkciu.

Väzobné členy

Väzobné členy (couplers) sú recipročné optické zariadenia, ktoré sa môžu použiť ako prepojovacie jednotky, rozdeľovače (rozbočovače, odbočovače, splitters) a zlučovače.

Vyrábajú sa *tepelnou fúziou* (spájaním, zlepovaním) alebo zahrotením (tepelným zúžením – *tapering*) viacerých vlákien. Svetlo naviazané do jedného vlákna sa potom šíri (nezmeneným smerom) aj v ostatných pripojených vláknach.

Väzobné členy sa vyrábajú v rôznych prevedeniach čo do počtu spájaných vlákien, počtu vidov aj čo do úpravy smeru šírenia svetla za spojením.

Vlnové multiplexory (WDMs)

WDM je väzobný člen závislý od vlnovej dĺžky. WDM sú určené pre rozdeľovanie a zlučovanie signálov s rozličnou vlnovou dĺžkou. V PON je to člen s reciprokými vlastnosťami, čo znamená že jedným smerom svetlo rozdeľuje s ohľadom na vlnovú dĺžku, opačným smerom združuje optické signály rozličných vlnových dĺžok.

Okrem tlmenia je ich najdôležitejším parametrom *oddelenie λ* , čo je schopnosť oddeliť dva signály s odlišnou λ .

Využívajú sa v PON, ktoré používajú 2 optické okná (napr. 1310 nm pre interaktívny dátový prenos a 1550 nm pre televízny rozvod v tej istej PON).

Spojky

Spojky sú optické členy používané pre spojenie vláknových prívodov väzobných členov s vláknami ODN (optickej distribučnej siete).

Môžeme rozlišovať

- *mechanické* spojky – jednoduchšie, no menej spoľahlivé spojenie 2 vlákien vo V-drážkovej objímke
- *taviteľné* – so špeciálnym taviacim zariadením; majú menšie straty, vyššiu spoľahlivosť.

Optické konektory

Konektory sú prvky určené pre použitie pri rozhraniach, kde sa požadujú rozoberateľné spojenia. To sú miesta, kde má byť uľahčený prístup pre meranie a pod. Nachádzajú sa napr. medzi ODN a terminálom.

Tab. 2 Typické hodnoty útlmu optických komponentov v OAN (μ –stredná hodnota, σ -štand.odchýlka) [3]

Komponent	Typické hodnoty [dB]		Počet / dĺžka
Opt.vlákno 1550nm	$F_{\mu}=0,27$ dB/km	$F_{\sigma}=0,05$	L = 0+30 km
Opt.vlákno 1310nm	$F_{\mu}=0,7$ dB/km	$F_{\sigma}=0,15$	L = 0+30 km
Spojka	$S_{\mu}=0,1$ dB	$S_{\sigma}=0,05$	m=1,2+2/km; m \geq 2
Konektor	$C_{\mu}=0,4$ dB	$C_{\sigma}=0,1$	n \geq 2
Distrib.bod 1:2	$D_{\mu}=3,8$ dB	$D_{\sigma}=0,50$	
1:4	$D_{\mu}=6,7$ dB	$D_{\sigma}=0,42$	
1:8	$D_{\mu}=9,8$ dB	$D_{\sigma}=0,55$	
1:16	$D_{\mu}=13,1$ dB	$D_{\sigma}=0,67$	
1:32	$D_{\mu}=17,0$ dB	$D_{\sigma}=0,90$	
WDM	$W_{\mu}=0,5$ dB	$W_{\sigma}=0,1$	

Ako už bolo spomenuté, z hľadiska návrhu OAN je základným parametrom hodnota *optického tlmenia celej optickej trasy* medzi vysielateľom a prijímačom. Tabuľka 2 uvádza typické stredné hodnoty (μ) a štandardné odchýlky (σ) hodnoty útlmu pre najbežnejšie komponenty ODN.

Stredná hodnota tlmenia B_{μ} ODN (alebo skôr trasy v rámci ODN) je daná súčtom jednotlivých tlmení $B_{\mu i}$ komponentov, z ktorých je trasa zložená, vrátane vlákien:

$$B_{\mu} = \sum B_{\mu i}$$

Smerodajná odchýlka útlmu:

$$B_{\sigma} = \sqrt{\sum (B_{\sigma i})^2}$$

Ďalšie komponenty PON

- *Optické izolátory* – 2-portové – umožňujú prechod 1 smerom, a zabraňujú v smere opačnom.
- *Optické cirkulátory* – spätný prechod je smerovaný na tretí port.
- *Vláknový optický filter* – obsahuje 2 alebo viac portov. Je to vlnovo citlivá súčiastka fungujúca na selektívnom tlmení, izolácii alebo odraze.

Aktívne optické komponenty

Špecifikácia aktívnych komponentov je určovaná prenosovými parametrami siete a aplikovanou modulačnou technikou. Najdôležitejšími pre výber a návrh komponentov sú *tlmenie* a *disperzia* optickej cesty medzi vysielateľom a prijímačom.

Optické zdroje

- LED (Light Emitting Diode) – má menšiu modulačnú rýchlosť, širšie výstupné spektrum a menšie vyžarovanie (výkon)
- Laserová dióda – súčiastka s optickým rezonátorom, zdroj koherentného vyžarovania (všetky vlny majú rovnakú frekvenciu a fázu), drahší, smerový, výkonnejší zdroj.

Optické detektory

Optické detektory menia prijímanú optickú energiu na elektrickú (elektrický prúd). Elektrický prúd je potom zosilnený a spracovaný v užívateľskom formáte.

Pre PON sa používajú *PIN-diódy* (p-materiál, vnútorná vrstva, n-materiál) a *lavínové fotodiódy* (APD – Avalanche Photodiode).

Optické zosilňovače

Optické zosilňovače rozdeľujeme na

- zosilňovače s OE/EO-konverziou. Sú to tzv. *opakovače*, a patria ku drahým komponentom.
- *erbiové* zosilňovače (doping). Erbium je chemický prvok zo skupiny vzácnych zemín. Optický signál pumpovaný (zmiešaný) svetlom s vysokou energiou a s výrazne odlišnou vlnovou dĺžkou vybudí ióny erbia, ktoré svoju energiu odovzdajú optickému signálu a vrátia sa do kludového stavu. V extrémnom prípade výsledným efektom zosilnenia je laserové svetlo. Tieto zosilňovače majú malé rozmery, sú výkonné a relatívne lacné, takže veľmi výhodné.
- laserové zosilňovače (pumping)
- zosilňovače v pevnej fáze (rôzne typy dopovaného materiálu a rôzne geometrické tvary - disky, šošovky, ...)

Ďalšie komponenty OAN

V optických sieťach sa využívajú aj ďalšie optické členy:

- *Switche* – spínače, prepínače, ktoré fungujú ako smerovače (router). Presmerujú optický signál do zvoleného smeru. Ich podstatnými zložkami sú *šošovky* a *optické hranoly*.
- *WADM* – *Wavelength Add-Drop Multiplexor* Optický WADM-multiplexor poskytuje komunikáciu medzi dvoma optickými linkami s podporou mutliplexu WDM. Na rozdiel od tzv. vlnového „no-

ža“ (slicer), ktorý priestorovo rozdelí vstupný signál do 2 výstupných skupín kanálov, a od *optického filtra*, ktorý priestorovo rozdelí podmnožinu vstupných kanálov do radu oddelených kanálov, WADM (väčšinou programovateľný) predstavuje spínacie pole, ktoré selektívne smeruje kanály z radu vstupných portov na rad portov výstupných (drop).

Komponenty optických sietí sú rozhodne zložitejšie a zaslúžia si viac priestoru, než sme im venovali vo vyššie uvedenom texte. Tejto oblasti sa však podrobne venuje niekoľko ďalších špecializovaných predmetov v rámci telekomunikačných a sietiarских študijných programov. Na tomto mieste ide len o pripomenutie, čo všetko môže byť súčasťou pestrej mozaiky širokopásmových prístupových sietí.

Duplex v OAN

Pre úplnosť ešte doplníme metódy obojsmerného prenosu (duplexu) v OAN. Ten je zabezpečovaný niekoľkými spôsobmi:

- *dvojláknovo* s priestorovo deleným multiplexom, alebo skôr duplexom (SDM – Space division Multiplex), čo znamená dve vlákna, pre každý smer jedno.
- *jednovláknovo so striedaním časových úsekov* („ping – pong“) s využitím určitého typu TCM (Time Compression Multiplex)
- *jednovláknovo na 2 vlnových dĺžkach, 1310 a 1550 nm* (WDM),
- *jednovláknovo s FDM* (rovnaké optické okno ale iná frekvencia pre up/down)

Voľba konkrétneho spôsobu realizácie obojsmerného prenosu súvisí s požadovanou prenášanou kapacitou aj s požadovaným dosahom v sieti.

Príklady profesionálnych prístupových systémov s PON:

- Alcatel 1570 - širokopásmový hybridný opticko-koaxiálny prenosový systém,
- Alcatel 1575, HYTAS - hybridný, s možnosťou začleniť metalické okruhy,
- SIEMENS Fast Link – hybridný, vonkajšie aj vnútorné použitie, spojovacie členy, sklené aj plastové vlákna.

Optické smerové spoje - FSO

Optické smerové spoje majú tiež niekoľko ďalších regulérnych alebo firemných názvov, z nich najznámejší je FSO (Free Space Optics – prenos optického signálu voľným priestorom), ale aj ďalšie: Cable Free System, No-Fiber Optical Data Link, a pod. Ako vidno z anglických názvov, ide o bezkáblový, bezvláknový prenos, prenos vzduchom alebo voľným priestorom. Slovenský názov zas hovorí o tom, že to je smerový spoj, čiže niečo ako rádio-reléový spoj využívaný vo vysokofrekvenčnej oblasti, ibaže tentoraz v oblasti optických frekvencií.

Hneď z názvu nás napadne niekoľko *výhod* takéhoto prenosu: *nie je potrebná kabeláž*, výkopy, stĺpy, stačí umiestniť koncové stanice, nastaviť ich a spustiť komunikáciu. Dokonca *ani legislatíva* zatiaľ zavádzanie a používanie takýchto spojov veľmi neobmedzuje.

Nevýhodou je závislosť optického bezdrôtového prenosu na zmenách parametrov prostredia. To znamená krátkodobé aj dlhodobé prerušenia prevádzky spôsobené rôznymi príčinami: útlm absorpciou, rozptylom, refrakciou na molekulách vody, plynu a pevných častíc, útlm spôsobený odchýlkou zamerania koncových staníc v závislosti od teploty nosných konštrukcií, prelety vtákov, turbulencia atmosféry spôsobujúca kolísanie kvality signálu.

V dnešnej dobe sa jedná o digitálny, úplne *duplexný spoj s priamou intenzitnou moduláciou*.

Pre prenos sa využívajú *úzke optické zväzky*, najčastejšie na *vlnových dĺžkach* $\lambda = 785$ a 850 nm.

Dosah FSO-spojenia môže byť 2 km a viac.

FSO-systémy sa *využívajú* najčastejšie pre vysokorýchlostné prepojenie lokálnych sietí pre prenos dát aj hovorov.

Uvedieme ďalšie technické výhody FSO-systémov oproti rádiovým:

- Vysokosmerový zväzok zaručuje vysokú priestorovú selektivitu. Nehrozí tu interferencia s inými spojmi.
- Veľká šírka pásma umožňuje vysoké prenosové dátové rýchlosti.

Komunikácia pri FSO prebieha medzi *vonkajšími jednotkami – hlavicami*. Hlavice pozostávajú z optickej časti a OE-prevodníka. Pritom

- optický prijímač obsahuje lavínové alebo PIN-fotodiódy, plus nízkošumový zosilňovač,
- vysielateľ obsahuje výkonový budič a EO-prevodník, optický zdroj (Laser-, alebo LED-diódy), automatiku na presné zameranie lúča.

Vnútorne jednotky obsahujú: kodeky, obvody riadenia a služobnej komunikácie, obvody účastníckeho rozhrania E1, E3, STM-1, STM-4, Ethernet 10BASE-T alebo 100BASE-T, a pod.

FSO - Moderný vývojový trend v oblasti – predmet viacerých výskumných projektov

Vývoj moderných komunikačných technológií v rámci FSO smeruje aj do oblasti IoT a inteligentných domacností a podobne.

- Vyvíja sa aj už používa „*inteligentné osvetlenie*“, pri ktorom sa využívajú zdroje viditeľného svetla (LED žiarovky).
- Vyvíjajú sa systémy pre využitie FSO pre domácu širokopásmovú sieť (vo vnútri, v rámci miestnosti), v zmysle vety „*Stačí rozsvietiť žiarovku pripojenú k AP, a môže sa začať komunikácia*“.
- Pre vonkajšiu komunikáciu sa vyvíjajú rôzne druhy obojsmernej signalizácie a komunikácie v do-prave, v záchranných systémoch a pod.

K výhodám takýchto riešení okrem vysokých dátových rýchlostí môžeme prirátať aj ďalší nezanedbateľný fakt: nezvyšovanie e-m smogu.

Výskum v spomínanom duchu prebieha hlavne v rámci projektov v USA (Troy, Boston, Nové Mexico, Baltimor, Washington, Terre Haute).

Literatúra a referencie

[1] <http://www.oftc.usyd.edu.au/edweb/devices/networks/coupler8.html>

[2] V.Kapoun: Přístupové a transportní síte. VUT v Brně, 1999.

[3] M. Vaculík: Prístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.

[4] J. Vodrážka: Přenosové systémy v přístupové síti. ČVUT, 2003.

[5] J. Turán: Optoelektronika, Harlequin (s podporou FEI_TU-KE), 2002.

[6] NBN, Australia: HFC - How it works. <https://www.nbnco.com.au/blog/the-nbn-project/hfc-how-it-works.html>.

[6] Cisco Systems, Introduction to Optical Fibers, dB, Attenuation and Measurements

Prístupové siete

Prednáška 9

Obsah:

Technológie xDSL - využitie telefónnych vedení

Úvod

História

Klasifikácia

IDSL (ISDN DSL)

Skupina HDSL

HDSL (High bit rate DSL)

HDSL2

SDSL

MSDSL (Multirate Symmetric DSL)

SHDSL (Single Pair HDSL)

Literatúra a referencie

Technológie xDSL - využitie telefónnych vedení

Úvod

DSL – Digital Subscriber Line - Digitálna účastnícka linka – je moderná technológia, ktorá používa existujúce telefónne linky, realizované medenými *krútenými párami (twisted pair telephone lines)* na prenos širokopásmových dát, ako sú multimédiá a video, k účastníkom. Hoci informácia je digitálna (väčšinou), prenosový nosný signál je väčšinou analógový (jedna nosná alebo kombinácia mnohých nosných).

Z uvedeného vidno, že pohľad na *typ informácie* a prenosového signálu je súčasťou riešenia tejto problematiky (informácia aj signál môžu byť digitálne aj analógové).

Frekvenčné pásmo je ďalšie hľadisko; reč zaberá pásmo približne od 300 do 3000 Hz. Nad touto hranicou sa v telefónnej sieti často obmedzovalo (v USA až nad 3300Hz). Iné informácie, služby a interaktivita si väčšinou vyžadujú iné a širšie pásmo.

So širokopásmovým prístupom súvisí parameter *oneskorenie* (latency – čakacia doba alebo odozva) digitálnej služby. Pojem oneskorenie teda môže mať dva významy - môže sa chápať ako jednosmerné („first bit in“ to „last bit out“ - definícia ITU) alebo aj so spätnou *odozvou (round trip)*. Druhý zo spomínaných je merateľný z jedného bodu, používa sa častejšie a je známy ako nástroj *ping test* pri analýze a návrhu konfigurácie siete.

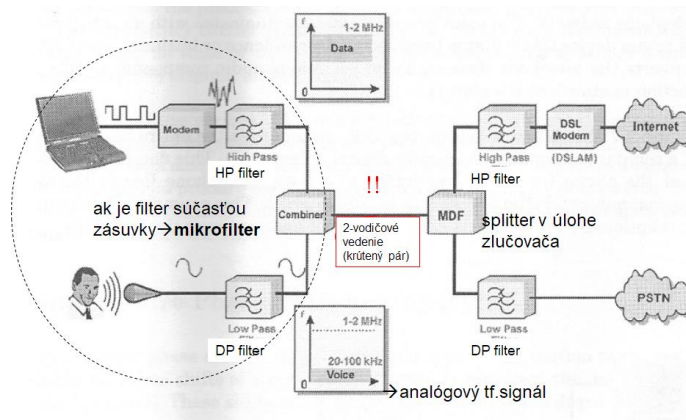
Čas obsadenia okruhu (z neho je odvodená intenzita prevádzky) bol pri prenose reči nepretržitý, a v prípade pomalého toku reči, alebo dokonca mlčania, aj nevyužitý. Pri dátach sa používa iná stratégia

využitia prenosového média. Ide o nejakú formu / metódu *pridelovania spoločnej kapacity kanála*, a prenos sa uskutočňuje väčšinou dávkovo – po *paketoch*.

Termín xDSL

Termín xDSL pokrýva viacero podobných, istý čas konkurenčných, foriem technológie DSL, ako sú ADSL, SDSL, HDSL, HDSL-2, G.SHDSL, IDSL a VDSL. Zoznam všetkých technológií a im zodpovedajúcich štandardov uvádza tabuľka na Obr. 1. Nie úplne o všetkých bude v tejto publikácii reč.

ADSL	ANSI T1.413 Issue 2
	ITU G.992.1 (G.DMT)
	ITU G.992.2 (G.Lite)
ADSL 2	ITU G.992.3/4
	ITU G.992.3 Annex J
	ITU G.992.3 Annex L
ADSL 2+	ITU G.992.5
	ITU G.992.5 Annex M
HDSL	ITU G.991.1
HDSL 2	
IDSL	
MSDSL	
PDSL	
RADSL	
SDSL	
SHDSL	ITU G.991.2
UDSL	
VDSL	ITU G.993.1
VDSL 2	ITU G.993.2



Obr. 1 Zoznam technológií xDSL a zodpovedajúce čísla medzinárodných štandardov podľa abecedy. Vpravo: DSL: zdieľaný prenos hlasu a dát (na poslednom úseku smerom k účastníkovi prostredníctvom pôvodných telefónnych vedení – krútených párov) – sú v oddelených pásmach [5].

Ako naznačuje obrázok, krútené páry, pôvodne poskytujúce iba analógovú hlasovú službu, sa v prípade nasadenia DSL-služby využívajú na súčasný prenos hlasu aj dát.

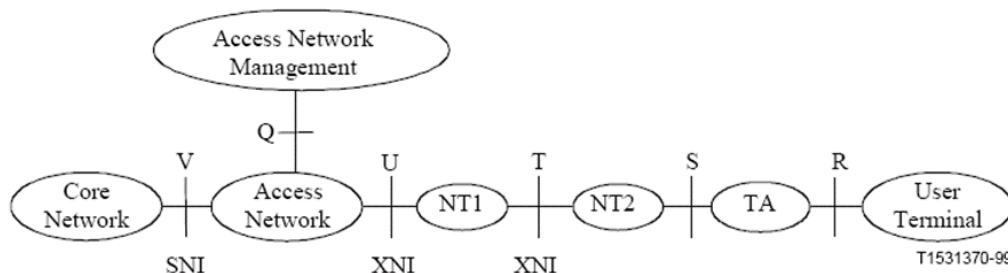
- Ak sú pásma hlasu (analógový signál) a dát oddelené, a prenášajú sa tým istým prenosovým médium, hovoríme o *zdieľanom prenose* na spoločnom médiu (Obr.1, prípad ADSL alebo VDSL) a o nutnosti použitia *frekvenčných* filtrov, resp. *mikrofiltro*v (ak sú súčasťou telefónneho konektora).
- Ak je zdigitalizovaný aj hlas, a prenášané pásmo je súvislé (pásmo hlasu nie je spektrálne oddelené), zvykne sa hovoriť o tzv. čisto digitálnom prenose („*digital only*“) – čo bol prípad ISDN, HDSL, SDSL.

Technológia xDSL je zaujímavá pre realizátorov a poskytovateľov služieb, pretože umožňuje distribuovať širokopásmové služby pomocou už existujúcej telekomunikačnej infraštruktúry pri jej relatívne malých zmenách. Technológia xDSL vlastne vznikla a vyvíjala sa so zámerom využiť existujúce metalické vedenia, do ktorých boli investované nemalé prostriedky. Samozrejme, takýto zámer si vyžaduje určité elektronické zariadenie na začiatku linky (v ústredni) aj na jej konci (u zákazníka), čiže *DSLAM*, resp. *modem*. Modemy v *DSLAM*-e konvertujú digitálny signál z Internetu na vysokofrekvenčné signály, ktoré sa prenášajú telefónnou linkou ku DSL-modemu. Ten konvertuje tieto vysokofrekvenčné signály späť na ich pô-

vodnú digitálnu podobu tak, aby sa mohli využiť v počítači (alebo inom zariadení) užívateľa. Nutné sú aj ďalšie dôležité súčasti, aby sme mohli hovoriť o DSL-systéme:

- poskytovateľ lokálneho prístupového vedenia,
- poskytovateľ DSL-prístupu,
- agregátor chrbtovej siete,
- ISP (Internet Service Provider) – poskytovateľ, „provider“,
- poskytovatelia ďalších médií. DSL-služby môžu byť poskytované jedným alebo viacerými špecializovanými providermi (ISP, poskytovateľ obsahu, ...).

Referenčná konfigurácia xDSL-linky je definovaná napr. v štandarde ITU-T [6] (Obr. 2), a pomáha pri vytváraní názvoslovia a návrhu týchto systémov. Obsahuje všeobecné označenia sietí, oboch zakončení linky a rozhraní. Všetky tieto komponenty architektúry potom v jednotlivých konkrétnych typoch prístupových sietí môžu mať ešte iné, pre tieto siete charakteristické označenia a názvy.



Obr. 2 Referenčná konfigurácia platná všeobecne pre xDSL systémy podľa ITU [6]. Legenda: NT1 – Network Termination 1, NT2 – Network Termination 2, TA – Terminal Adapter.

xDSL-služby znamenajú *vyhradený prístup typu bod-bod (point-to-point)* pomocou verejnej siete krútených párov medených vodičov na *úseku poslednej míle*, alebo *účastníckej slučky*. Účastnícku slučku tvorí spojenie medzi *ústredňou* poskytovateľa sieťových služieb (NSP- Network Service Provider) a *zákazníckym miestom*. xDSL-služby môžu byť poskytnuté aj prostredníctvom *lokálnej slučky* vo vnútri budovy alebo areálu.

V oblasti dostupných technológií bola situácia ešte donedávna charakteristická silnou konkurenciou rôznych technológií. Tie vznikali aj ako dopad vývoja nových techník digitálneho spracovania signálov, ako sú kódovanie a modulácie, ktoré boli vypracované pre komunikáciu pomocou špecifického média (pomocou voľného priestoru, ale aj metalických, energetických, či optických rozvodov). Ani teraz sa nedá predpokladať, že by v blízkej budúcnosti niektorá z technológií vytlačila ostatné, preto tieto technológie musia spolupracovať.

Prvou výzvou, ktorej museli čeliť poskytovatelia, bola nízka priepustnosť v prístupovej sieti. Vznikli technológie xDSL, ktoré okrem úzkopásmových telefónnych služieb POTS a ISDN ponúkajú aj širokopásmové služby. V súčasnosti väčšinu prevádzkovaných systémov xDSL tvorí niektorý z variantov alebo vyšších verzií ADSL alebo VDSL. Sú výhodné najmä pre bytové zákaznícke stanice (residential customers). Zákazníci, ktorí sú vo väčšej vzdialenosti, môžu byť pripojení použitím kombinácie metalického a optického digitálneho systému, a mať takýmto spôsobom vo veľmi krátkom čase tiež poskytnuté vysokorýchlostné služby.

Technológie xDSL sú charakterizované viacerými parametrami, ktoré spolu úzko súvisia:

- *rýchlosť downstreamu* – závisí od viacerých faktorov, napr. od dĺžky medenej linky, priemeru vodičov, prítomnosti premošťujúcich odbočení a od presluchovej interferencie (NEXT, FEXT).
- *presluchy typu NEXT, FEXT (Near End Crosstalk* – presluch na blízkom konci, *Far End Crosstalk* – presluch na vzdialenom konci; vysvetlené na cvičení) – vzájomné ovplyvňovanie 2 liniek (alebo viacerých) alebo obvodov,
- *signal ingress* (Interference to DSL) – absorpcia energie rádiového signálu z externého zdroja do komunikačného obvodu alebo linky (napr. rádiové impulzy z blízkeho vysielača alebo blesky)
- Podľa zhodnosti alebo odlišnosti rýchlostí v smeroch down a up rozdeľujeme xDSL technológie na symetrické a asymetrické.
- *útlm linky* – zväčšuje sa s jej dĺžkou a s frekvenciou, znižuje sa so zväčšujúcim sa priemerom vodiča.

Ďalej sa pri technológiách xDSL môžeme stretnúť s metódou využitia kombinácie viacerých komunikačných kanálov s cieľom vytvoriť kanál nový – *spojené kanály (bonded channels)*. Pre riadenie spojených kanálov sa používajú tzv. „*bonding protocols*“ (BACP – bandwidth allocation control protocol). Napr. ADSL 2+ spája 2 x 1,1 MHz-pásmo kvôli zvýšeniu rýchlosti.

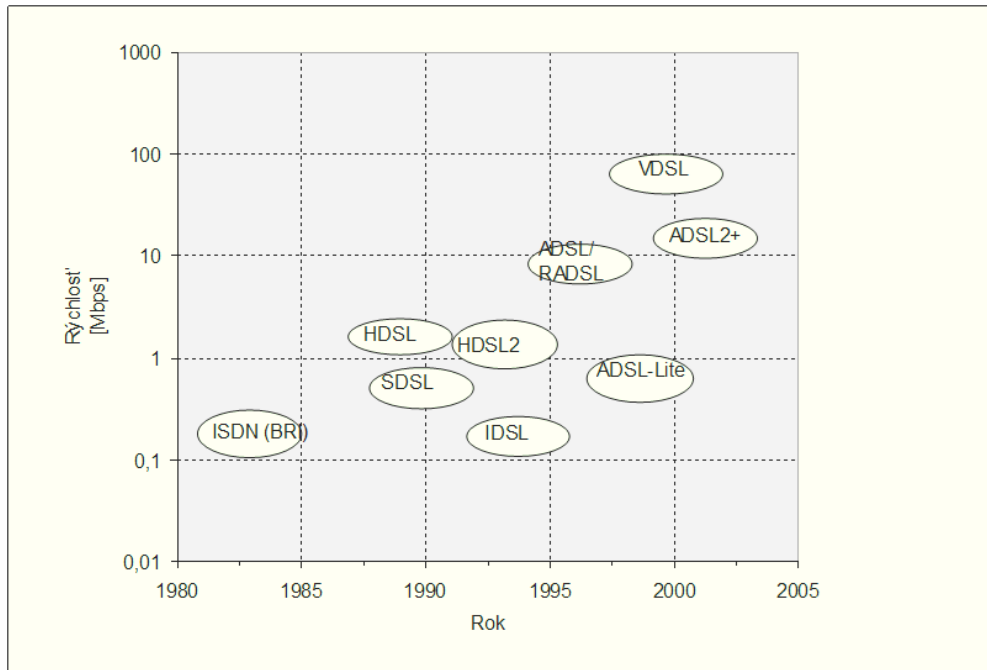
Frekvenčná šírka pásma prenosových médií je dôležitým parametrom pri posudzovaní linearity systému a jeho výkonnosti. Pre krútené páry je to približne 2 MHz a pre koaxiálne káble aj nad 1 GHz (podľa druhu kábla).

Metódy vyhodnocovania parametrov krútených párov pre účely ich použitia v systémoch xDSL sú predmetom cvičení.

História

Chronologickú históriu technológií xDSL charakterizuje graf na Obr. 3. Technológia DSL bola pôvodne implementovaná ako časť špecifikácií *ISDN* (Integrated Services Digital Network – digitálna sieť integrovaných služieb). Bol to systém vytvorený na okruhovo prepájanej telefónnej sieti, kvôli možnosti digitálneho prenosu hlasu a dát na štandardných telefónnych medených vedeniach. Tento prenos bol rýchlejší a kvalitnejší než analógový. Presnejšie, bola to sada protokolov pre vytvorenie spojenia a jeho uvoľnenie (pri spínaných okruhoch) a pre nový spôsob komunikácie užívateľov. ISDN bola zavedená na konci 80-tych rokov. Poskytovala aj možnosť *videokonferencie*, t.zn. súčasný prenos hlasu, videa a textu medzi zúčastnenými stranami.

Potom vznikli HDSL a SDSL ako rýchlejšie DSL, ktoré zároveň rozšírili možnosti služieb cez medené linky (vyžitie DS1 = T1 = DS-1; v Európe E1 – protokol pre prenos dát: 24 kanálov, atď.). HDSL-systém vyžadoval 2 až 3 páry medených vodičov pre prenos rýchlosťou do 2 Mbps. ISDN sa neskôr pretransformovali na IDSL. SDSL (Symmetric DSL) vznikli po HDSL v snahe o využitie jediného páru vodičov na prenos (72 až 2320 kbps; dosah do 3 km). Ďalej vznikli HDSL2 s 2 párami pre duplexný prenos redukovaným efektom typu *egress* (rušivé emisie). ADSL vznikli ako *zákaznícky orientované* s možnosťou využiť prípojku BRI ISDN. Postupne v ďalšom texte opíšeme jednotlivé xDSL-technológie trochu viac než len jednou vetou.



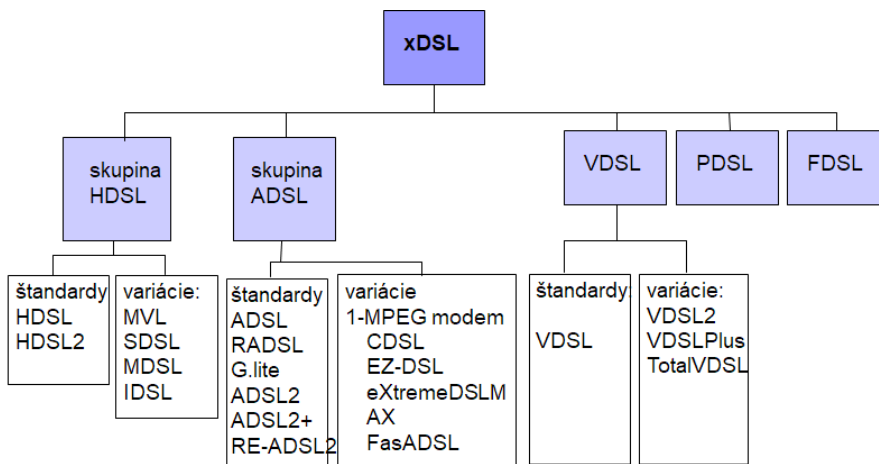
Obr. 3 Vývoj DSL

Klasifikácia

Technológie xDSL môžeme deliť

- podľa šírky pásma (a prenosovej rýchlosti),
- podľa symetrie up/down (symetrické sú IDSL, HDSL, SDSL, SHDSL, VDSL, asymetrické sú ADSL, VDSL),
- na xDSL pracujúce v *základnom pásme* (IDSL, HDSL, SDSL, SHDSL) a xDSL pracujúce v *preloženom pásme* (ADSL, VDSL).

Určitý prehľad špecifikácií technológií xDSL poskytuje Obr. 4 a Tab.1. K tým je užitočné vrátiť sa po oboznamení sa so všetkými typmi xDSL, a to pre lepšie pochopenie súvislostí.



Obr.4 Prehľad technológií xDSL

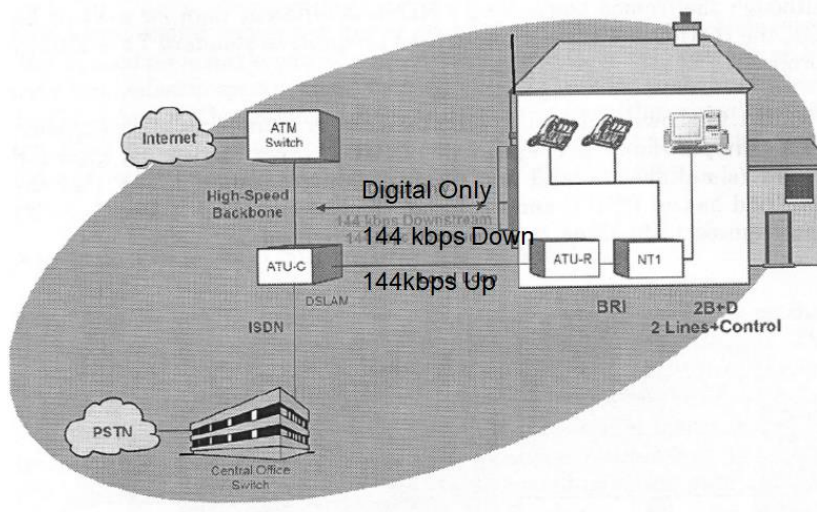
Tab. 1 Prehľad technológií xDSL a ich špecifikácií [3]

označenie	Štandard ITU-T	Rýchlosť down [Mbps]	Rýchlosť up [Mbps]	Linkový kód	Dosah [km]	Použitie
DSL (IDSL)	ITU-T1.430	0,128	0,128	2B1Q	6	Videokonf., prístup k Internetu
HDSL	G.991.1	2	2	CAP 2B1Q	2-3... 1 pár 42 páry 5,5.....3 páry	Prenos E1, prepojenie LAN, Frame Relay
SDSL	-	do 2,3	do 2,3	2B1Q	2 až 5	
SHDSL	G.991.2	do 2,3	do 2,3	16 PAM	3 až 6	
ADSL Lite	G.992.1	do 1,5	do 0,5	DMT	4 až 7	Prístup k Internetu
ADSL R-ADSL	G.992.2	1,5 až 8	do 1	DMT	3 až 6	Prístup k Internetu, Video na požiad.
VDSL	G.993.1	13 až 52 alebo 26	1,5 až 6,4 al. 26	QAM DMT	0,3 až 1,5	Multimed.prístup k Internetu, HDTV

IDSL (ISDN DSL)

Niekedy sa táto technológia označuje ako nulový variant xDSL alebo len jednoducho DSL. V systéme IDSL sa využíva *prenos v základnom pásme* (linkový 2B1Q-kód) pri priamom pripojení účastníka na dátovú sieť využívajúc zariadenia z technológie ISDN (ISDN U interface, ISDN BRI terminálové adaptéry, mosty a routre). Na rozdiel od ISDN, nevyužíva signalizáciu ISDN ani neplatí za čas pripojenia k vysokorýchlostným dátam (ISDN-linka bola tzv. "vytáčaná linka" – *dial-up*), ale mesačný poplatok za *permanentné pripojenie*.

Linka IDSL neprechádza ani spojovacím poľom analógovej ústredne, keďže je čisto digitálna. Pri DSL sú reč a dáta oddelené v mieste lokálnej ústredne; dáta sú potom prepojené na dátovú sieť (prístup k Internetu). *Nie je tu možný súčasný prenos analógového telefónneho (hlasového) signálu.*



Obr. 5 Systém IDSL [5]

Potlačenie echa sa tiež uskutočňuje v digitálnej oblasti. Využíva sa tiež metóda *doprednej aj spät-noväzobnej protichybovej korekcie* (FFE a DFE). Reč a dáta sú oddelené v mieste lokálnej ústredne (Obr. 5, ATU-C - DSLAM).

Technológia IDSL predstavuje prechod medzi technológiou ISDN a xDSL, no niekedy sa označuje ako nultý variant xDSL, alebo len jednoducho *DSL*. Poskytuje rýchlosti 144 kbps down/144 kbps up, užitočná rýchlosť z toho je len 128 kbps. Formát rámca zodpovedá základnému prístupu ISDN-BRA.

Maximálna prekenuiteľná vzdialenosť je vyše 10 km.

Systém je špecifikovaný v štandarde ITU-T I.430 a v ETSI ETR 80.

Podporuje existujúce ISDN-terminálové adaptéry a smerovače.

Pri prevádzke sa využíva koncentrácia prevádzky a *štatistické multiplexovanie* (typ zdieľania komunikačného kanála, ktorý je rozdelený do ľubovoľného počtu digitálnych kanálov premenlivými dátovými rýchlosťami. Linka je zdieľaná podľa momentálnych požiadaviek prevádzky v jednotlivých kanáloch.

Skupina HDSL

HDSL (High bit rate DSL)

Viac-menej heslovitou formou opíšeme špecifikácie tejto digitálnej prípojky, ktorej názov – vysokorýchlostná, ako aj každá zmienka o vysokorýchlostnom prenose z tých čias, treba chápať v rámci dobových súvislostí.

HDSL je prenosová technológia pre dátové prenosi s maximálnou prenosovou rýchlosťou 2048 kbps po netienených medených pároch v miestnych kábloch.

Na prenos a poskytnutie maximálnej rýchlosti využíva 1, 2 alebo 3 krútené páry podľa lokality pripojenia (podľa útlmu). Z toho vyplýva, že je použiteľná len tam, kde sú k dispozícii voľné symetrické páry pôvodného telefónneho vedenia.

Vznikla koncom 80-tych rokov; opísaná je v štandardoch ETSI ETR 152 a ITU-T G.999.1.

Pri jej vývoji sa vychádzalo z ISDN-BRA s cieľom nahradiť linkový kód HDB3 výkonnejším kódovaním. Prešlo sa k PCM typu PDH E1 resp. T1 (európsky resp. americký štandard hierarchie časových rámcov, Plesiochrónna digitálna hierarchia).

Využíval sa linkový kód 2B1Q (4-stavový kód) alebo modulácia 64- alebo 128-stavová CAP (ale tá až neskôr). CAP umožňuje spojenie v hlasovom pásme v tej istej slučke, *linkový kód nie*.

Prípojka HDSL využívala malú frekvenčnú šírku pásma, z čoho vyplynula možnosť prenosu na vzdialenosť až 8 km.

Využitie:

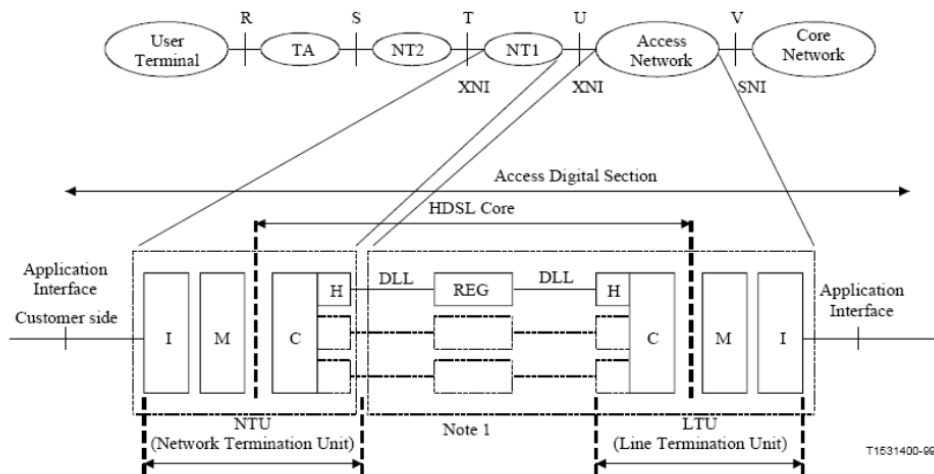
- pripojenie k pobočkovej ústredni
- súkromné podnikové siete
- vzdialený prístup k LAN
- spojenie základňových staníc bunkových sietí

Tabuľka 2 ilustruje možnosti využitia 1, 2 alebo 3 párov krútených párov, každého pre duplexný prenos a pre poskytovanie plnej dátovej rýchlosti v rámci systému HDSL.

Tab.2 Porovnanie HDSL na 1, 2 a na 3 pároch

Počet párov	Celková rýchlosť [kbps]	Rýchlosť na pár [kbps]	Služobný kanál [kbps]	Prenosová rýchlosť [kbps]	Modulačná rýchlosť [kBd]	Prekľuteľný útlm pri 150 kHz
1	2304	2304	16	2320	1160	24 dB
2	2304	1152	16	1168	584	27 dB
3	2304	768	16	784	392	31 dB

Na Obr.6 je v podobe *referenčnej schémy HDSL* ilustrovaný proces rozdeľovania (*mapovania*) dát na jednotlivé páry pri prenose.



Description of functional blocks:

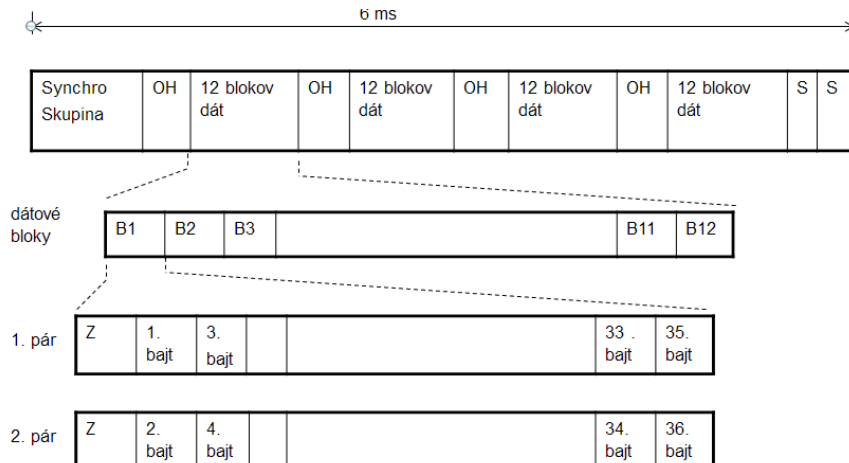
C	Common circuitry
H	HDSL transceiver
I	Interface
M	Mapping
REG	Regenerator
DLL	Digital Local Line

Obr. 6 Referenčný model HDSL (DLL – Digital Local Line; HDSL môže pozostávať z 1, 2 alebo 3 ks. obvodov H, REG a DLL, v závislosti na intenzite prenosu dát; REG nie je povinný) [6]

V odporúčaníach sú špecifikované dva typy jednotiek HDSL: ústredňová LTU (Line Termination Unit) a koncová NTU (Network termination). LTU zabezpečuje generovanie taktu zo svojho vnútorného zdroja, prípadne jeho odvodenie z taktu siete. NTU odvodzuje taktovaciu frekvenciu z prenášaného dátového toku smerujúceho od LTU. Na Obr. 6 je bloková schéma prenosového reťazca vrátane oboch jednotiek. Spôsob prenosu možno opísať nasledovne:

- Dátový tok je vo funkčnom bloku I (application Interface) usporiadaný do *aplikačného rámca* (napr. 32-kanový E1, alebo ISDN-PRA) s dĺžkou 125 μ s.
- V bloku M dochádza k *mapovaniu* aplikačného rámca 2048 kbps do rámca TU-12 o veľkosti 36 B a do multirámca 144 B (prenos 2304 kbps).
- Obvody bloku C rozdeľujú dátový tok (podľa počtu párov; 1x 2320 kbps, alebo 2 x 1168 kbps, alebo 3 x 784 kbps) a pridávajú k dátovým blokom synchronizačné bity a záhlavie. Vznikne hotový rámec HDSL s dĺžkou 6 ms.
- Vyslanie signálu uskutočňujú vysielacie H (HDSL-transceiver).

- Na druhej strane systému HDSL sa uskutočňujú opačné operácie pri príjme.



Obr. 7 Zloženie rámca HDSL pre 2-párový systém.

Legenda:

B1 až B12 – bloky užívateľských dát

OH – záhlavie

S – vyrovnávacie symboly stuffingu

Z – bity pre identifikáciu páru a dátového bloku

Ďalší vývoj HDSL

V snahe konštruktérov zlepšovať parametre (zvýšiť dosah pri zvýšení odolnosti voči rušeniu, obmedziť frekvenčné spektrum), aby sa redukovalo rušenie od ostatných systémov v kábli, rozšíriť rozsah prenosových rýchlostí a zvýšiť efektívnosť využitia dát rámca, vzniklo niekoľko vzájomne nezlúčiteľných systémov, až nakoniec bol štandardizovaný systém SHDSL.

HDSL2

2. generácia HDSL

- využitie jedného krúteného páru pri rovnakej rýchlosti a rovnakej vzdialenosti ako základný systém HDSL
- zvýšenie počtu stavov (64-CAP a potom 8- a 16-PAM) v pásme 0 až 356 kHz, mriežkové kódovanie (TC)
- predchodca SHDSL
- nebol celosvetovo štandardizovaný, iba v ANSI (American National Standards Institute)

SDSL

Symmetric Digital Subscriber Line - snáď ani netreba prekladať. Je to verzia HDSL s prispôbením rýchlostí. Podobne ako HDSL je symetrická. Umožňuje downstream s rovnakým pásmom z NSP-centrály ku zákazníkovi, aj upstream opačným smerom. SDSL podporuje na *jedinej* linke dáta (iba dáta); nepodporuje analógové hovory. Používa 2B1Q- linkové kódovanie, a dokáže preniesť až 1,54 Mbps smerom k účastníkovi aj od neho. Môže byť konfigurovaná pre poskytovanie premenlivej šírky pásma do 1,54 Mbps. Symetria, ktorú SDSL ponúka, kombinovaná s nepretržitým prístupom (*always-on-access*), ktorý eliminuje nastavovanie volania, robila SDSL uprednostňovanou WAN-technológiou pre malé až stredné

firmy a kancelárie. SDSL bola zároveň cenovo prístupnou alternatívou k účelovým prenajatým linkám a službám s prepínaním rámcov.

MSDSL (Multirate Symmetric DSL)

- tiež patrí do skupiny HDSL
- viacrýchlostná, symetrická, 1 metalický pár,
- 2,048 Mbps a menej ($N \times M \times 64$ kbps; $N \dots$ počet kanálov, $M \dots$ počet účastníkov)
- podpora integrovaného hlasu aj dát, videokonferencie s rýchlosťami MPEG2/MPEG2

SHDSL (Single Pair HDSL)

- štandardizovaný: ITU T G.991.2
- prenos po 1 metalickom páre, možnosť použiť opakovače
- duplexný symetrický prenos 192 kbps – 2312 kbps
- 16 PAM s TC kódovaním (16-TCPAM)
- zložitejšia funkčná štruktúra s prísny delením prenosovej aplikačnej časti
- mnohostranné použitie

Literatúra a referencie

[1] V. Kapoun: Přístupové a transportní síte. VUT v Brně, 1999.

[2] M. Vaculík: Prístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.

[3] J. Vodrážka: Přenosové systémy v přístupové síti. ČVUT, 2003.

[4] T. Anttalainen: Introduction to Telecom. Network Engineering. Norwood (USA - MA), 2003.

[5] L. Harte: Introduction to Digital Subscriber Line (DSL): Technologies, Operation and Systems. ALTHOS, 2005.

[6] Odporúčanie ITU_T G.995.1

[7] veľa informácií na adrese:

<http://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/technology/handbook/Intro-to-WAN.html>

Prístupové siete

Prednáška 10

Obsah: Technológie xDSL - pokračovanie:

Technológia ADSL

Modulácie

Referenčný model ADSL (architektúra)

ADSL-modem

ADSL 2 a ADSL 2+

ADSL 2+

RE-ADSL

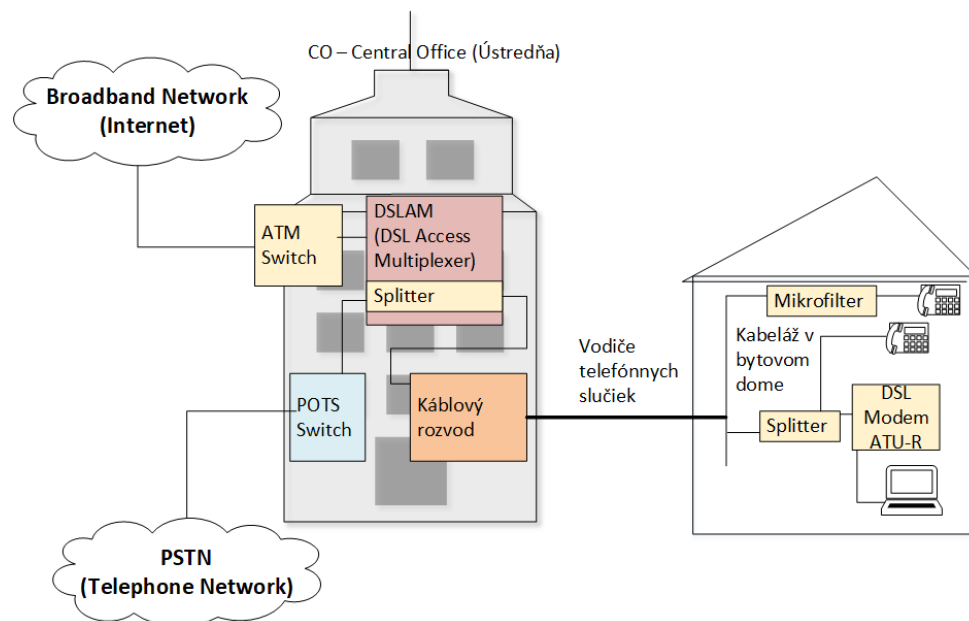
RADSL (Rate Adaptive DSL)

Bonded ADSL

Literatúra a referencie

Technológia ADSL

Architektúra ADSL prípojky je znázornená na Obr. 1.



Obr. 1 Architektúra prípojok ADSL

Technológia ADSL - *Asymmetric* digital subscriber line patrí k prístupovým systémom pracujúcim v preloženom pásme. Názov DSL znamená, že na prenos digitálneho signálu využíva pôvodné *krútené metalické (Cu) páry*, slúžiace v minulosti na prenos hlasu v starých telefónnych sieťach. V tomto prípade,

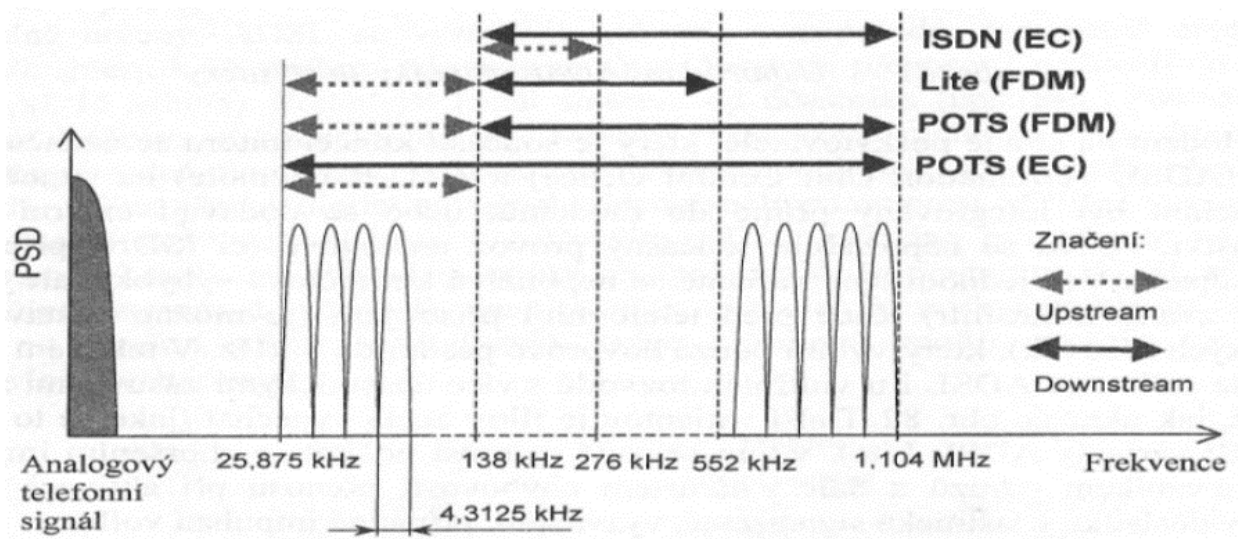
ako už z názvu vyplýva, ide o prístup k službám s výrazne *nerovnomerne rozdelenou prenosovou kapacitou* (asymmetric – nesymetrický) – down do desiatok Mbps / up rádovo do jednotiek až desiatok kbps.

ADSL je štandardom pre bitovo synchrónne aplikácie, ktoré sú *asymetrické* (VoD, prístup na Internet, vzdialený prístup LAN, multimedialný prístup).

Vďaka frekvenčnému oddeleniu sa môže vysokorýchlostný digitálny prenos uskutočňovať na tom istom vedení *súčasne s pôvodnou analógovou telefónnou prípojkou* zabezpečujúcou službu POTS alebo s prípojkou ISDN-BRA. Základný systém ADSL má maximálnu rýchlosť v smere down 1,5 až 8 Mbps (premenlivú), a v smere up 16 kbps až 832 kbps, a to v závislosti od vzdialenosti, rušenia a nastavenia od poskytovateľa.

Asociácie a štandardy:

- ANSI – skupina T1E1.4 – štandard DMT/ANSI Standard T1.413 (pre rýchlosti do 6,4 Mbps)
- ETSI – európske požiadavky pridané ku T1.413
- ITU - T G.992.1, 992.2, 992.3, .4, .5 (medzi nimi sú aj posledné vydania obsahujúce opis moderných generácií ADSL)



Obr. 2 Obsadenie spektra jednotlivými variantmi ADSL [2]

Ďalšie špecifikácie základnej ADSL:

- ADSL bola pôvodne navrhnutá pre dátovú komunikáciu, preto nemá funkciu signalizácie pri spracovaní hovorov.
- Prenáša na Cu-vedeniach pásmo do 1,1 MHz, ktoré je rozdelené na mnoho kanálov s využitím modulácie *DMT* (Discrete Multitone Transmission); *každý kanál je široký približne 4 kHz* (presne 4,3125 kHz), z čoho vyplýva že v pásme ADSL sa môže prenášať max. 256 DMT-kanálov. V každom z týchto kanálov je na jeho subnosnej vlne namodulovaný QAM-signal. Na Obr. 2 je znázornené spektrum DMT-signálu rôznych variantov ADSL.

- Nižšie frekvenčné pásmo je určené pre prenos hlasu v rámci služby POTS (analogový signál) alebo ISDN (digitálny signál), pričom pre ISDN musí byť vyhradená väčšia šírka pásma (až do 80 kHz; potom menej spektra zostane pre ADSL dáta).
- Typická vzdialenosť je 5,5 km, čo tiež závisí od situácie (od priemeru vodičov, ich inštalácie, prítomnosti odbočiek a pod., a od interferencií).
- Digitálne signály ADSL sú formátované do *rámcov*, ktoré umožňujú rýchly prenos niektorých dát, napr. digitálneho hlasu (*fast bytes, fast data*) a tiež pomalší prenos časti dát, ktoré sú s chybovou korekciou, resp. ochranou (*error protected*), napr. prenos dátových súborov. Veľkosť rámcov sa môže meniť.
- ADSL-prípojka sa vyskytuje v niekoľkých rôznych variantoch s rôznymi parametrami podľa vlastností vedenia, ako už bolo naznačené skôr. Základné sú ADSL Full a ADSL Lite. *Zásadný rozdiel medzi plným a redukovaným variantom (full / lite)* je v celkovej šírke využívaného frekvenčného pásma: Full obsadzuje pásmo do 1104 kHz; Lite len do polovice tejto šírky, čiže do 552 kHz a neprenáša ISDN, iba ak POTS. Tomu, samozrejme, zodpovedajú aj nižšie dosahované prenosové rýchlosti downstreamu. Pozn.: ADSL Lite (G.Lite) bola vyvinutá ITU; nevyžaduje filter u účastníka, iba tzv. *mikrofilter* a štandardný linkový telefón, max. down je 1,5 Mbps a up 640 kbps.

Poznámka: Vzťah medzi *šírkou pásma a dátovou prenosovou rýchlosťou* opisuje Shannonova-Hartleyova teoréma:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad [bps],$$

kde

C je informačná kapacita kanála

B ... šírka pásma [Hz]

S ... výkon signálu v danom pásme [V²]

N...výkon šumu v danom pásme [V²]

S/N . . . pomer signál/šum [bezrozmerné!].

Na Obr. 2 je zároveň naznačený smer down/up, z čoho vidno riešenie prenosu týchto dát, totiž princíp FDM (alebo FDD); nosné č. 0 až 31 up/ č. 32 až 255 down, č.16 - pre pilotný signál.

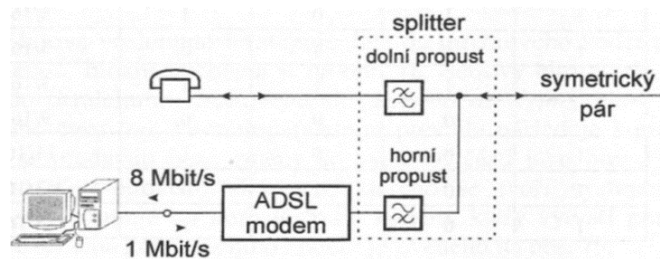
Metóda potlačenia ozveny EC (Echo Cancelling) umožňuje pritom prekrývanie pásiem down/up, čím sa dosiahne rozšírenie frekvenčného pásma pre rýchly kanál smerom k účastníkovi (down). Zároveň však môže spôsobiť vznik NEXT (Near End CrossTalk – presluch na blízkom konci (vysvetlené na cvičeniach), čo obmedzuje počet ADSL prípojok v jednom kábli.

Tab. 1 Porovnanie variantov ADSL

směr Varianta ADSL	Upstream				Downstream			
	Počet subkanálů	Od kHz	Do kHz	Rychlost kbit/s	Počet subkanálů	Od kHz	Do kHz	Rychlost kbit/s
POTS (FDM)	26	25	138	32-1500	224	138	1104	32-13380
POTS (EC)	26	25	138	32-1500	250	25	1104	32-14940
Lite (FDM)	26	25	138	32-1500	96	138	552	32-5700
ISDN (EC)	32	138	276	32-1860	198	276	1104	32-11820
Jen data	32	0	138	32-1860	256	0	1104	32-15300

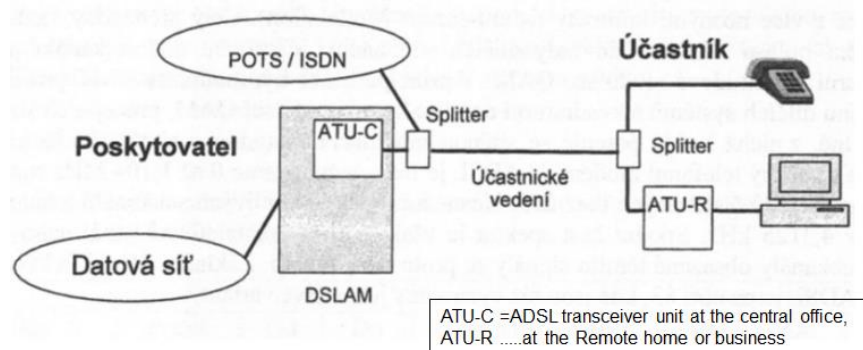
Prehľad špecifikácií najčastejších variantov systému ADSL je zhrnutý v Tab. 1.

Koncové zariadenia ADSL (ADSL modem) je nutné (okrem ADSL Lite) inštalovať na oboch stranách účastníckeho medeneho vedenia cez rozbočovače (*splitter*), ktoré fungujú ako trojbrany (Obr.3). Splitter vstupnú cestu zo strany symetrického páru pomocou pasívneho dolného priepustu (DP filter) a horného priepustu (HP filter) rozdelí na brány smerom k telefónu, resp. ISDN-telefónu (3,4 alebo 80 kHz), resp. smerom k ADSL modemu, a za ním zaradeným zariadeniam.



Obr.3. Typické ukončenie ADSL prípojky na strane účastníka [2]

Na ďalšom obrázku (Obr. 4) je znázornené usporiadanie ADSL prípojky *na strane poskytovateľa* v účastníckom koncentrátore *DSLAM* (DSL Access Multiplexor). DSLAM sústreďuje digitálne toky od všetkých prípojok v danej lokalite.

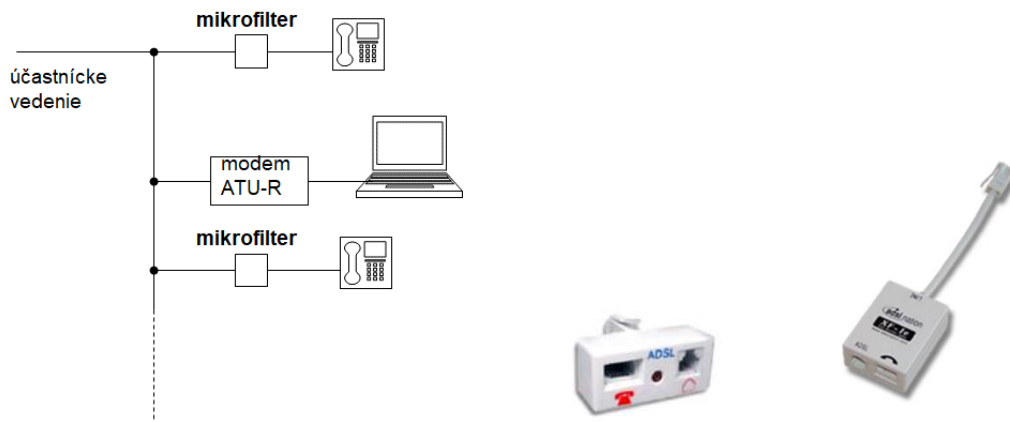


Obr.4. Usporiadanie ADSL prípojky so splittermi

Označenie modemu ADSL na strane účastníka je ATU-R (ADSL Termination Unit – Remote, viď Obr. 4) a na strane poskytovateľa, čiže DSLAM je ATU-C (ADSL Termination Unit – Central office).

Filtre môžu a nemusia byť integrované v modemoch, a vôbec (pri ADSL Lite) nemusia byť, ak sa analógová alebo ISDN-telefónna prípojka neprevádzkuje.

Mikrofilter (Obr.5) je zjednodušený variant filtra, ako súčasť účastníckej zásuvky. Používa sa len pred telefónom, čiže obsahuje len DP.



Obr. 5 Usporiadanie ADSL prípojek s mikrofilterami; ukážky komerčných prevedení mikrofiltrov.

Vyberá len 4 kHz-hovorové pásmo, vyššie frekvencie potláča. Je to zjednodušené riešenie pre paralelného účastníka, ktorý nechce širokopásmové dáta, alebo jednoducho – pre pripojenie telefónneho zariadenia k linke ADSL. Niektorí výrobcovia označujú svoje výrobky ako mikrofiltre, aj keď ide v podstate o splitre, pretože rozbočujú signál na telefónne a dátové pásmo.

Modulácie

Pri technológii ADSL od začiatku súperia dve modulačné prenosové metódy, CAP a DMT.

Modulácia CAP (Carrierless Amplitude Phase modulation) bola presadzovaná americkou spoločnosťou AT&T, no nie je štandardizovaná v medzinárodnom štandarde. Umožňuje prenos 1,544 Mbps-rýchlosťou, má nízke náklady z dôvodu konštrukčnej jednoduchosti, no je náchylnejšia na rušenie a má kratší dosah v porovnaní s DMT.

Modulácia DMT (Discrete Multitone Transmission) je štandardizovaná ADSL Fórum, ANSI, ITU aj ETSI. Predstavuje rozdelenie prenosového frekvenčného pásma na subpásma (subkanály) široké 4,3125 kHz, v rámci ktorých je subnosná vlna modulovaná moduláciou M-QAM (M-stavová QAM). Takto je možné celým pásmom ADSL prenášať dáta pomerne vysokou rýchlosťou.

Porovnanie CAP a DMT

CAP je technika s jednou nosnou, ktorá zaberá široké pásmo. DMT je technika s mnohopočetnými nosnými, ktorá používa veľa úzkopásmových kanálov.

Pri CAP je nutná *adaptívna ekvalizácia* (kompenzovanie charakteristiky zosilňovača s cieľom kompenzovať útlm a fázovú chybu), pretože šumová charakteristika sa v rámci pásma výrazne mení. Pri DMT nie je nutná, pretože v rámci každého 4-kHz-subpásma nedochádza k takejto zmene šumových charakteristík naprieč pásmom. Pri porovnaní DMT a CAP je rozhodujúci bod, kedy zložitnosť adaptívnej ekvalizácie pri CAP prekročí zložitnosť výpočtov Fourierovej transformácie pri DMT.

Výkonová spotreba: Hoci DMT nevyžaduje adaptívnu ekvalizáciu, potrebuje 256 (prípadne viac) kanálov, čo je energeticky náročné. Má vyššie výpočtové nároky, čo vedie k vyššej zložitosti procesorových jednotiek, vývinu tepla pri operáciách a nutnosti chladič. DMT má tiež vysoký pomer špičkového a priemerného výkonu (PAPR – Peak-to-Average Power Ratio).

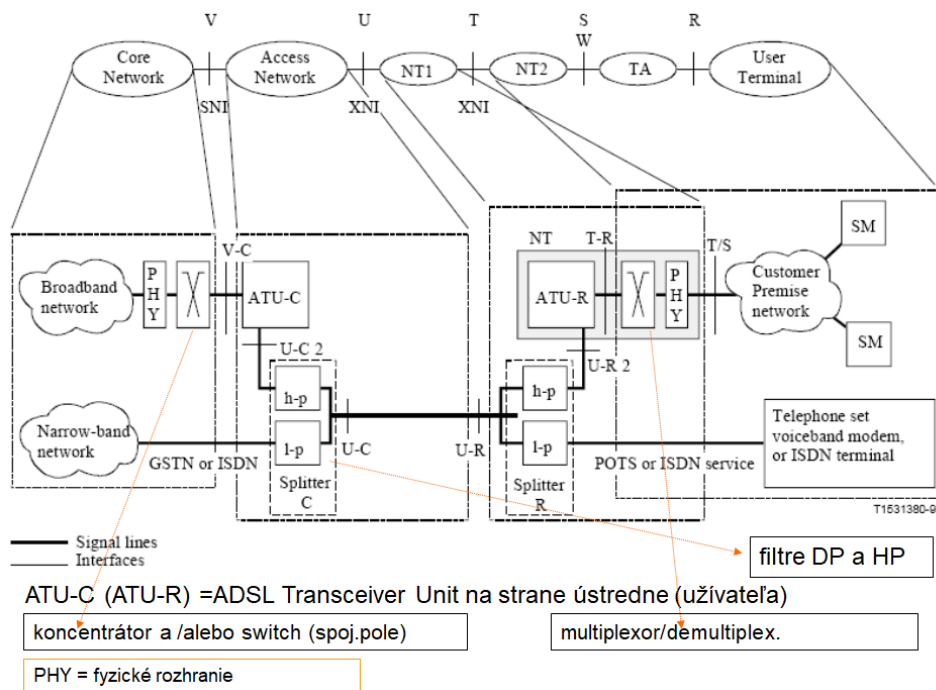
Oneskorenie (latency – doba odozvy) – pri DMT je o niečo väčšie než pri CAP. Keďže každé subpásmo používa len 4 kHz, žiadny bit nemôže „putovať“ rýchlejšie, než to dovoľuje napr. 64-QAM v tomto pásme. Kompromis medzi *priepustnosťou* a *oneskorením* je už z tohto pohľadu historickým.

Rýchlosť (speed): DMT má v tomto výhodu oproti CAP. Pretože úzke subnosné kanály majú relatívne malé ekvalizačné problémy, v každom kanáli môžu byť použité agresívnejšie modulačné techniky. Aby sa pri CAP dosiahla porovnateľná rýchlosť, je potrebná ešte väčšia šírka pásma, omnoho väčšia než 1 MHz. To by spôsobilo nové problémy spojené s vysokými frekvenciami na vodičoch a mohlo by znížiť výhodu CAP vo výkonovej spotrebe.

Obe techniky majú veľa technických odlišností, no obe môžu ponúknuť podobné služby v sieťových vrstvách.

Referenčný model ADSL (architektúra)

Na Obr. 6 [5] je znázornený *referenčný model ADSL*, definovaný odporúčaním ITU-T G.995.1. Podobný obrázok (veď musí byť podobný) je v odporúčaní TR001 vydanom fórom ADSL. Popis je na obrázku, pričom na strane užívateľa funkcie ukončenia NT1 (Network Termination 1) môžu byť čiastočne alebo úplne zdieľané ukončením NT2, terminálovým adaptérom TA a účastníckym terminálom UT (čiže KZ).



Obr. 6 Referenčný model ADSL vo vzťahu ku všeobecnému modelu xDSL [6]

Rozhrania U-C, U-R sú plne definované v ITU-T G. 992.1 (ADSL). V nich sú jednoznačne definované prenášané signály (asymetrické).

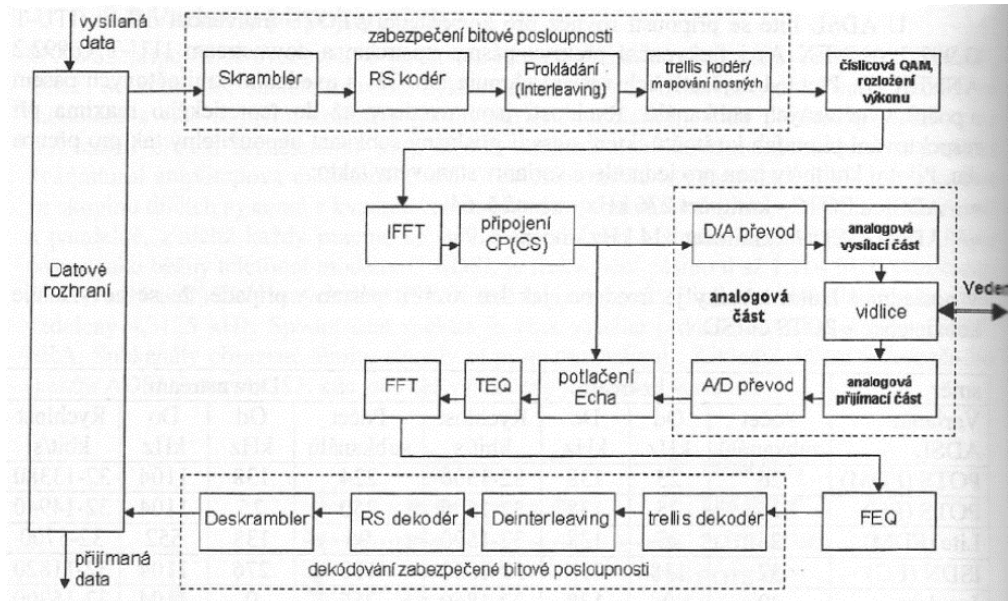
Rozhrania V-C, T-R sú definované len v zmysle logických funkcií. V-C môže byť zložené z rozhraní k jednému alebo viacerým (STM alebo ATM) spojovacím systémom, a môže tam byť vsunutá aj funkcia pre SONET/SDH.

Rozhranie T/S môže byť rôzne, podľa typu pripojenej zákazníckej siete (Bus, Star) alebo podľa typu média.

Aj rozhranie T/R môže byť rôzne z podobných dôvodov.

ADSL-modem

Bloková schéma ADSL-modemu (Obr. 7) je zároveň vhodná pre vysvetlenie postupnosti operácií, ktorým signál pri tejto technológii podlieha.



Obr. 7 Bloková schéma modemu ADSL, a zároveň postupnosť procesov vzniku signálu ADSL, resp. jeho demodulácie /dekódovania [6]

Modem okrem modulácie DMT uskutočňuje viacero ďalších operácií so signálom, čo je možné len vďaka digitálnym integrovaným obvodom, t.j. signálovým procesorom:

Prichádzajúce dáta sú najprv zostavené do rámca ADSL, ďalej *skramblované* („zašifrované“ – v analógovej oblasti; ide tiež o zrovnomenenie výkonového spektra) a zabezpečené Reed-Solomonovým kódom RS (samoopravný kód; korekcia typu FEC – Forward Error Correction). Dáta medzi rámcami môžu byť vzájomne preložené (*interleaving*) v záujme redukcie zhukov chýb pri impulzovom rušení. Nasleduje *trellisové kódovanie* (rámce sú rozdelené do subblokov a mapované na jednotlivé nosné, čiže do jednotlivých subkanálov DMT), a po ňom *QAM* (kvadrátúrna amplitúdová modulácia). Signály modulovaných subnosných sa sčítajú (máme signál digitálny, vo frekvenčnej oblasti, a pomocou *IFFT* - Inverse Fast Fourier Transformation - sa prevedie *do časovej oblasti* na postupnosť vzoriek). Pridáva sa *cyklická predpona* (*CP – Cyclic Prefix*) ako ďalší typ protichybového zabezpečenia. Jeho podstatou je skopírovanie posledných vzoriek bloku na jeho začiatok. Tento postup *potláča medzysymbolovú interferenciu* (*ISI*) aj *medzikanálovú interferenciu*, a využíva sa tiež na *synchronizáciu*. CP môže pozostávať z 8, 32 alebo 40 vzoriek, a v prijímači je odstránená.

Na *prijímačej strane* sú najprv potlačené ozveny (*EC*), a potom prebehnú inverzné operácie vzhľadom k tým vo vysielači. Sú tam navyše adaptívne korektory pre frekvenčnú oblasť (*FEQ – Frequency Domain Equalizer*) aj pre časovú oblasť (*TEQ – Time Domain Equalizer*).

Popísané činnosti sa realizujú v zariadeniach ATY-C a ATU-R referenčnej schémy ADSL, pričom tieto zariadenia môžu byť konfigurované na synchronný prenos alebo asynchronný (*ATM*) prenos buniek, alebo aj na oba typy prenosu (každý však pomocou iného dátového kanála).

Na zvýšenie flexibility systému ADSL sa celková prenosová kapacita (definovaná *transportnou triedou*) delí na čiastkové jednosmerné kanály AS a duplexné kanály LS (AS0 / 6144 kbps, AS1 / 6408 kbps, AS2, AS3; LS0 / 640 kbps, LS1, LS2 všetko 640kbps). Kanály sú usporiadané do rámcov, ktorých štruktúra závisí od smeru prenosu a od prenosového režimu.

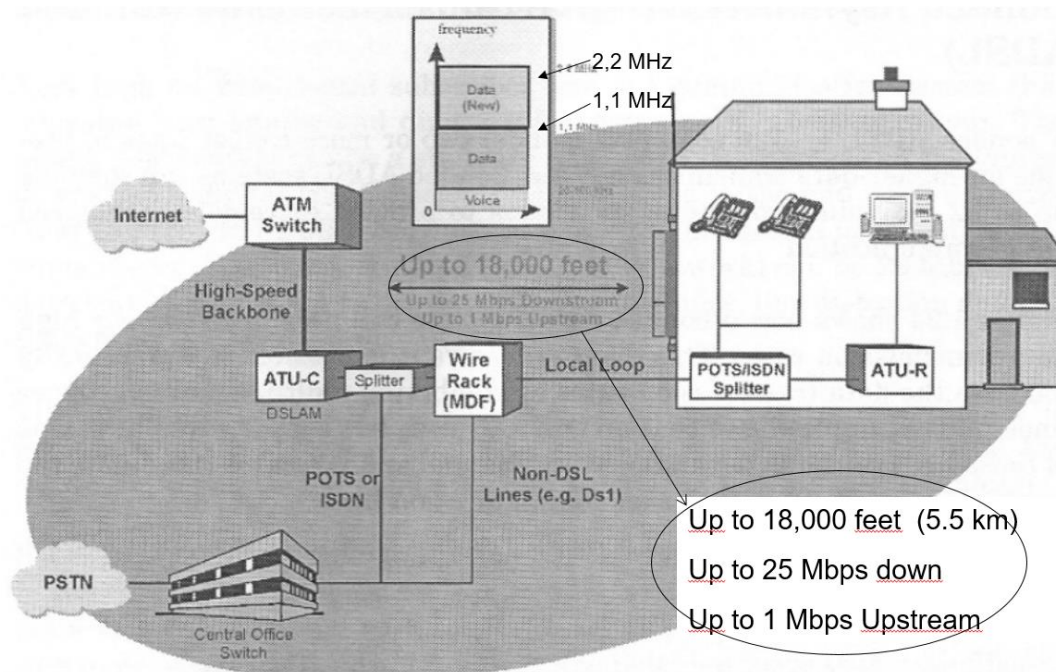
Príkladom riešenia účastníckej prípojky ADSL pre verejné spojovacie systémy bol napr. ALCATEL A 1000 AN.

Ďalší členovia skupiny ADSL:

ADSL 2 a ADSL 2+

ADSL2 (štandardy G.992.3, 992.4) a ADSL2+ (992.5) sú novšie štandardy ADSL druhej generácie; ich spoločnou črtou je posun hornej hranice prenosovej rýchlosti (12 Mbps, resp. 24 Mbps), modulácia DMT, rozšírenie prenosového pásma (do 2,2 MHz), ale zároveň skrátenie maximálneho dosahu na 1,5 až 2 km, definovanie troch režimov činnosti L0, L1, L2 (líšiacich sa energetickou náročnosťou) a možnosť prenášať hlas prostredníctvom CVoDSL (Channelized Voice over DSL).

ADSL 2+



Obr. 8 Systém ADSL 2+ - architektúra [4]

Architektúra systému ADSL 2+ je na Obr. 8, a jeho špecifikácie sú nasledovné:

- DMT modulácia, každý subkanál má šírku 4,3125 kHz a je ich 512 (v pásme do 2,2 MHz)
- menší dosah je spôsobený vyšším útlmom vyšších frekvencií na krútených pároch
- plná kapacita downstreamu (24 Mbps) je možná hlavne v *blízkosti* DSLAM-u (t.j. do 1,5 km).

RE-ADSL

Reach Extended ADSL (ITU-T G.992.3, Annex L)

- Je to zlepšený ADSL systém, dodatok ku ADSL2
- optimalizované DMT prenosové kanály s cieľom dosiahnuť väčšiu vzdialenosť (mení sa PSD – Power Spectral Density – niektorých DMT kanálov, a tým sa zlepší ich priepustnosť) - sú určené pre dlhé linky (nie pre krátke) do 5,5 km, pri zachovaní rýchlostí platných pre ADSL2

RADSL (Rate Adaptive DSL)

Táto technológia predchádzala štandardu ADSL. Bola predstavená v r. 1996 (AT&T Paradyne), no nebola štandardizovaná a zrejme upadla do zabudnutia. Predpokladala symetrický aj asymetrický prenos a prenosovú rýchlosť adaptívnu v závislosti od prenosových podmienok a vzdialenosti do 8 Mbps down /do 1 Mbps up pri QAM alebo CAP modulácii. DSL modem mal upravovať šírku pásma pre upstream kvôli rozšíreniu pásma pre down. Pomocou RADSL mali byť poskytované služby nevyžadujúce bitovú synchrónnosť (služby IP, Frame Relay, ATM).

Adaptívna zmena poskytovanej rýchlosti počas prevádzky je dnes vlastnosťou ADSL2, ADSL2+, VDSL2.

Bonded ADSL

S technológiou uvedenou v názve podkapitoly sa možno stretnúť pri hľadaní spôsobu, ako navýšiť prenosovú rýchlosť už zavedeného pripojenia typu ADSL bez optiky, a to aj na vyššie rýchlosti než pri ADSL 2+.

Tento systém kombinuje (bonded – „zlepený“, spojený) dve alebo viac medených liniek s cieľom poskytnúť vyššie dátové rýchlosti. Môže kombinovať až 32 individuálnych komunikačných liniek ADSL, alebo ADSL2+ pre poskytnutie extrémnych rýchlostí.

Literatúra a referencie

[1] M. Vaculík: Prístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.

[2] J. Vodrážka: Přenosové systémy v přístupové síti. ČVUT, 2003.

[3] T. Anttalainen: Introduction to Telecom. Network Engineering, Norwood (USA - MA), 2003.

[4] L. Harte: Introduction to Digital Subscriber Line (DSL): Technologies, Operation and Systems. ALTHOS, 2005.

[5] ITU_T G.995.1 Recommendation, Geneva, 2001

[6] B. Šimák, J. Vodrážka, J. Svoboda: Dig. účastnícke přípojky xDSL, díl.1

a ďalšie ITU-T štandardy.

Prístupové siete

Prednáška 11

Obsah: Technológie xDSL - pokračovanie:

Technológia VDSL (Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line)

VDSL2

VDSL2 - profil 35b

Ďalšie DSL

FDSL

BDSL – Broadcast DSL

Literatúra a referencie

Technológia VDSL (Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line)

Táto technológia má v názve slovo „vysokorýchlostná“, a v tomto prípade už ide naozaj o aktuálne (r. 2018) vysoké prenosové rýchlosti v desiatkach Mbps. Pri verziách VDSL2 a VDSLplus dokonca už v stovkách Mbps. Vysokorýchlostné dáta sú tu však prenášané aj v širšom frekvenčnom pásme. Technológia VDSL sa ešte stále dopĺňa o nové výkonnejšie verzie. Parametre v nasledujúcom texte majú často hodnotu vychádzajúcu zo základného štandardu a môžu pôsobiť takmer archaicky. V niektorých konkrétnych prístupových sieťach už môžu byť prekonané.

Podobne, ako pri ADSL, aj VDSL umožňuje súčasne s dátami prenášať aj analógovú hlasovú službu (POTS). V prípade, že ju neprenáša, frekvenčné pásmo POTS môže byť tiež využité na prenos digitálnych služieb. Pri VDSL je charakteristické, že frekvenčné pásmo môže byť pridelené vo voliteľnej šírke a môže byť voliteľne rozdelené na smery Up/Down. Pri technológii „Zipper DSL“ toto rozdelenie znamená až striedanie 4 kHz-subpásiem pre jednotlivé smery.

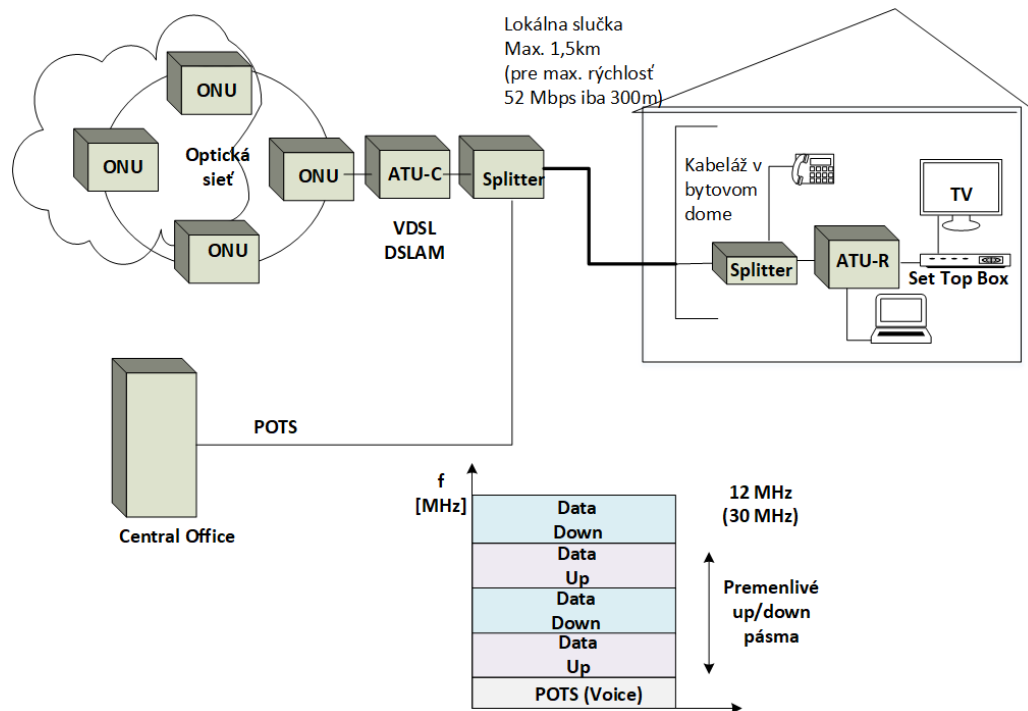
Stále však si treba uvedomiť, že ide o linky DSL, a to znamená, že na poslednom úseku pred zákazníkom sa signál prenáša cez metalické (medené – Cu) krútené páry. Keďže nám je už známe, že krútené páry so zväčšujúcou sa vzdialenosťou majú až neprijateľne vysoký útlm, v prípade VDSL to znamená, že dosah týchto liniek je maximálne 1,5 km, a pre poskytnutie maximálnych rýchlostí dokonca nemôže byť väčší ako približne 300 m. Do tejto vzdialenosti od účastníka, do skrinky káblového odbočovača, musí byť signál privedený vysokorýchlostnou technológiou, teda „optikou“ (optickou linkou). Z miesta káblového odbočovača sa potom signál distribuuje k jednotlivým účastníkom. Takže VDSL je už skutočne hybridnou technológiou, využívajúcou ako optické vlákna (niektorú z technológií FTTx) tak Cu-krútené páry, ako dedičstvo starej telefónnej siete.

Štandardizácia: ETSI TS 101 270, ETSI TS 101 270-2, ITU-T G.993.1 (VDSL), G.993.2 (VDSL2).

Spektrum: Oproti ADSL a ADSL 2+ je spektrum systémov VDSL rozšírené do 12, resp. do 30 až 35 MHz. Ak však v rovnakom zväzku párov má VDSL koexistovať s ADSL, dolná hranica VDSL je až pri 1,1 MHz.

Prenosová rýchlosť: V smere Down základnej VDSL je rýchlosť do 52 Mbps a v smere Up do 16 Mbps. Verzia VDSL2 je schopná súčasne prenášať 100 a 100 Mbps v oboch smeroch (avšak len na vzdialenosť 300 m).

Vyššie vymenované fakty sú ilustrované na Obr. 1 spolu s *architektúrou* VDSL-prípojky.



Obr. 1 Architektúra VDSL

Spektrum, a tým aj poskytované rýchlosti sú podľa typu služby na základe regulácie spektra selektívne pridelené pre up aj down (Tab. 1). V Tab. 1 si možno všimnúť okrem iného, že ETSI definuje dve *triedy prevádzky*:

- I. – asymetrickú – pre malých, domácich užívateľov (Tab.1)
- II. – symetrickú – pre veľkých zákazníkov (organizácie a podnikateľské subjekty).

Tieto triedy prevádzky sú nastavované providerom.

Dosah: Všeobecne majú systémy VDSL *dosah* 1,5 km, nie však pri najvyšších rýchlostiach. Najvyššie rýchlosti sa poskytujú len do vzdialenosti asi 300 m.

VDSL, ako už sme viackrát uviedli, umožňuje *nesymetrickú aj symetrickú prevádzku*. Nesymetrická je vhodná pre službu VoD (Video-on-Demand) aj pre prenos televízie v HD-rozlšení.

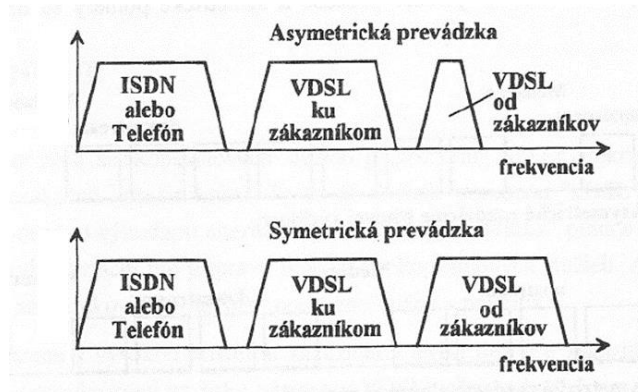
Prenosová metóda: FDD (frekvenčne delený duplex). Nie je možné zdieľanie pásiem pre Up/Down ani systém EC (Echo Cancellation), a to kvôli ohrozeniu vysokým presluchom typu NEXT.

Štandardizácia pripúšťa dve vzájomne nekompatibilné prenosové metódy:

- MCM (Multi-Carrier Modulation) typu DMT: 4096 kanálov po 4,3125 kHz; modulačná rýchlosť v subkanáli je 4 kBd, pri 8 až 15 bitoch na subnosnú.
- SCM – (Single-Carrier Modulation; modulácia v rámci jedného pásma) typu CAP; 2 až 10 bitov na nosnú, čo predstavuje 4- až 1024-stavovú moduláciu.

Tab. 1 Rýchlosti a dosah VDSL podľa ETSI (Európa); pre Cu-vodiče Φ 0,4 mm

Trieda VDSL prevádzky	Typ služby	Downstream speed [Mbps]	Upstream speed [Mbps]	Dosah najlepší/najhorší [m]
I (asymetrická)	A4	23,268	4,096	995 / 453
	A3	14,464	3,072	1344 / 729
	A2	8,576	2,048 (E1)	1691 / 789
	A1	6,4	2,048 (E1)	1791 / 843
II (symetrická)	S5	28,288	28,288	298 / 212
	S4	23,168	23,168	397 / 261
	S3	14,464	14,464	845 / 575
	S2	8,576	8,576	1294 / 820
	S1	6,4	6,4	1444 / 876

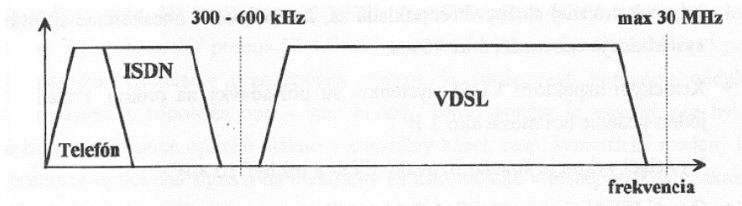


Obr. 2 Ilustrácia rozvrhnutia spektra pri asymetrickej (hore) a pri symetrickej (dolu) prevádzke na linke VDSL

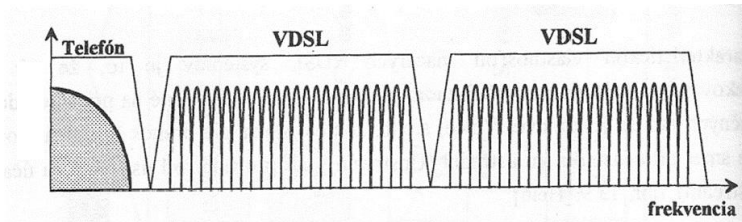
Služby: Vďaka oveľa väčšej šírke pásma VDSL umožňuje doručiť zväzok viacerých služieb, a to súčasne aj niekoľko hlasových kanálov a niekoľkých videokanálov s dostatočnou kvalitou. Napr. minimálne 2 televízne kanály pri asymetrickej triede alebo podnikový Ethernet pri symetrickej prevádzke min. 10 Mbps.

Architektúra: Na Obr. 1 je znázornená architektúra systému VDSL, ktorá je bežná, t.j. prípad, keď optická distribučná sieť je privedená až k skupine domov alebo sídlisku. Vlákno končí v ONU (Optical Network Unit). ONU konvertuje optický signál na elektrický, ktorý je použiteľný v modeme DSLAM. Ďalej, za DSLAM-om nasleduje splitter, ktorý zlučuje („kombinuje“) analógový a digitálny signál do jedného prenosového kanála, prenášaného metalickou prístupovou linkou. Splitter je umiestnený až pred poslednými niekoľko sto metrami medenej linky, pričom POTS-signál z lokálnej telefónnej spoločnosti môže byť predtým prenášaný aj na vzdialenosť viacerých kilometrov. V budove, alebo na pozemku zákazníka (angl.: „premise“) VDSL-signál vstupuje znova do splitteru, ktorý ho rozdeľuje na analógový (telefónny) a vysokorýchlostný digitálny. Digitálny signál smeruje do televízneho STB (Set-Top-Box), počítača a podobne.

Na Obr. 3, 4 sú znázornené spektrá VDSL-systému a služieb POTS / ISDN, pričom na Obr. 4 je symetrická verzia VDSL.

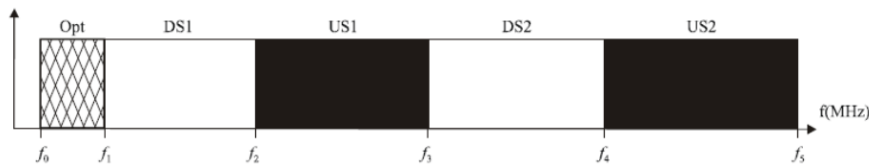


Obr.3 Koexistencia analógového telefónu alebo ISDN a VDSL



Obr.4 Spektrum DMT – VDSL [7]

Na obrázkoch 5, 6 sú znázornené rôzne frekvenčné plány VDSL-linky, čiže rozdelenie spektra pre Up/Down, pričom Up a Down-pásma sú tvorené dielčimi subpáskami, ktoré sú navzájom prestriedané (DS1, US1, DS2, US2, ...). Rieši sa tým zároveň problém rušenia typu NEXT, ktorý môže byť takto do určitej miery potlačený. Pásmo „Opt“, ktoré začína na $f_o = 25$ kHz, je pritom voliteľne použité buď pre Up alebo Down.



Obr.5 Alokácia dielčích pásiem pre downstream (DS) a upstream (US) v spektre VDSL [1]

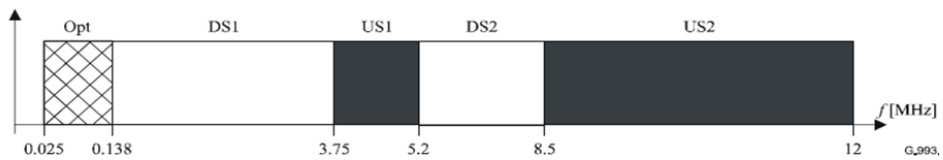


Figure A.1/G.993.1 – Bandplan A

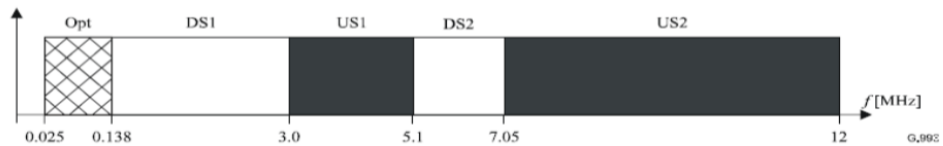


Figure B.1/G.993.1 – Bandplan B

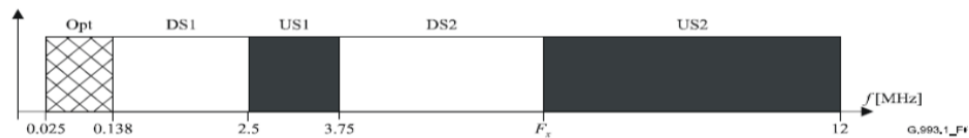


Figure C.1/G.993.1 – Bandplan C

Obr.6 Rôzne frekvenčné plány pre VDSL podľa ITU. Konkrétny rozpis frekvencií pre rôzne frekvenčné plány (plán A, B, C); Opt = Optional - voliteľný (áno/nie, DS/US).

Ďalším opatrením je zamedzenie vzájomných rušení s rozhlasovým a rádioamatérskym vysielaním, ako aj s ADSL v tom istom zväzku. Kvôli tomu sú stanovené *presné obmedzenia vysielaných výkonov* v konkrétnych frekvenčných pásmach, ako si možno všimnúť na príklade Tab. 2 prevzatej z odporúčania ITU-T G.993.1.

Tieto obmedzenia zároveň súvisia s frekvenčným plánom iných služieb, vyskytujúcich sa v danom regióne (v rámci sveta), a teda líšia sa v odlišných regiónoch (Európa sa označuje ako Región B).

Tab. 2 Ukážka predpisu obmedzenia výkonov (PSD – Power Spectral Density – Spektrálna výkonová hustota) v rámci vysielaných pásiem VDSL–down v štandarde ITU-T G.993.1; VDSL sa nachádza nad pásmom POTS.

Band attribute	Frequency band f [MHz]	Maximum PSD limitation (PSD mask) [dBm/Hz]	Maximum power limitation in a 1-MHz sliding window [dBm]	Average wideband power limitation [dBm]
	$0 < f < 0.12$	-120	-	8.4
	$0.12 \leq f \leq 0.138$	$-60 + (50/0.018) \times (f - 0.138)$	-	
DS1	$0.138 < f < 3.75$	$-60 + 3.5 (= -56.5)$	-	
	$3.75 \leq f \leq 3.925$	$-80 - (20/0.175) \times (f - 3.75)$	-	
	$3.925 < f < 5.025$	-100	-50	
	$5.025 \leq f \leq 5.2$	$-80 + (20/0.175) \times (f - 5.2)$	-	
DS2	$5.2 < f < 8.5$	$-60 + 3.5 (= -56.5)$	-	
	$8.5 \leq f \leq 8.675$	$-80 - (20/0.175) \times (f - 8.5)$	-	
	$8.675 < f < 30$	-100	-52	
	$30 \leq f < \infty$	-120	-	

NOTE 1 – All PSD and power measurements are in 100 Ω .
 NOTE 2 – The maximum PSD shall be measured with a 10-kHz resolution bandwidth.
 NOTE 3 – The maximum power in a 1-MHz sliding window is measured with a 1-MHz resolution bandwidth.
 NOTE 4 – The requirements for the stop-band PSD are compliant to those in 6.2.2, excepting transition band below 138 kHz.

V špecifikáciách ITU-T sú dané tiež napr. záväzné hodnoty parametrov RL (Return Loss – útlm odrazu; viac než 12 dB v užitočných pásmach), LB (Longitudinal Balance – dĺžková nesymetria; viac než 35 dB), aj metóda ich merania a definície. Ďalej, v špecifikáciách je definovaná metóda *scramblovania* (napr. $x(n) = m(n) + x(n-18) + x(n-23)$; kde $m(n)$ je vzorka správy v čase n , $x(n)$ je výstup, použitá je aritmetika „modulo 2“ a pseudonáhodná postupnosť s dĺžkou ($2^{23}-1$)), FEC (Forward Error Correction) pomocou RS-kódu, spôsob prekladania (*interleaving*), rámcovania, synchronizácie, časovania, transformácia IDFT aj konštelácia QAM-stavov. Taktiež je definovaný protokol riadenia (OAM functional model) VDSL-linky s hláseniami chýb a anomálií, elektrické požiadavky aj metódy testovania liniek.

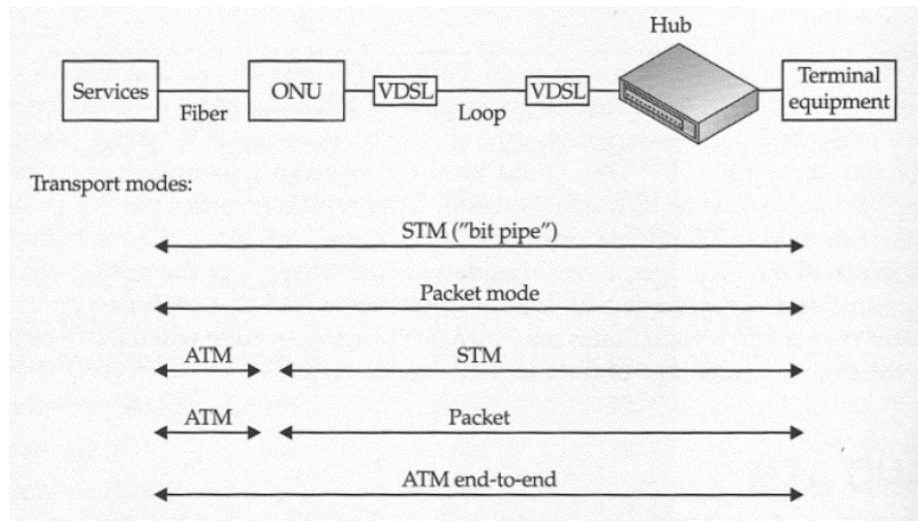
VDSL by mala koexistovať s NB-službami (NB – Narrow Band – úzkopásmový) na tom istom páre bez toho, aby ich ovplyvňovala. Poruchy alebo výpadky napájania BB-NT (Broadband Network Termination – širokopásmové koncové zariadenie) nemajú mať vplyv na NB-signály. POTS má byť naďalej napájaná z ústredňového uzla (to zn. DC-napájanie z ústredne do užívateľského telefónu). Podobne je to aj s napájaním ISDN-BA. (POTS a ISDN-BA nemôžu existovať súčasne na tom istom páre.) BB môžu byť poskytované aj bez NB-služieb, ak sa tak sieťový operátor rozhodol; BB-NT nemusia byť napájané vzdialene.

K špecifikáciám prenosovej metódy VDSL-technológie patria aj typy transportných módov (Obr. 7):

- STM (synchronný transportný mód – PDH, SDH)

- ATM (napr. pre digitálny videesignál)
- paketový (PTM) – pre prístup k internetu.

Sú možné aj ich kombinácie pri prepojení na optickú sieť.



Obr. 7 Možnosti transportných módov vo VDSL (STM – synchronný transportný mód) [2]

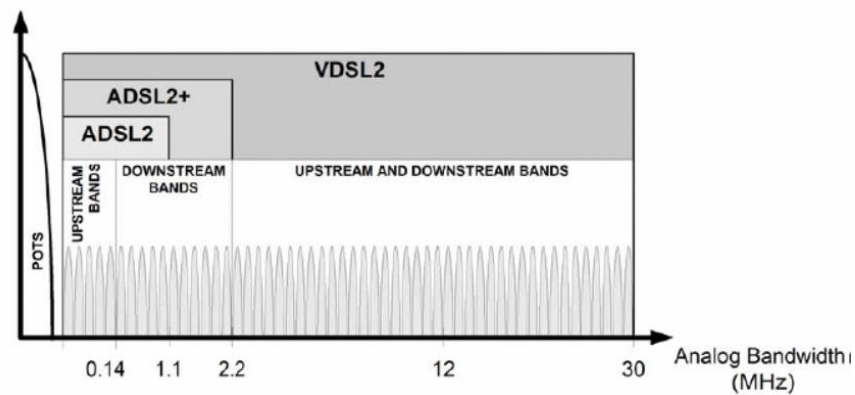
VDSL2

V krátkosti a heslovite vymenujeme hlavné špecifikácie tejto vyššej generácie systému VDSL:

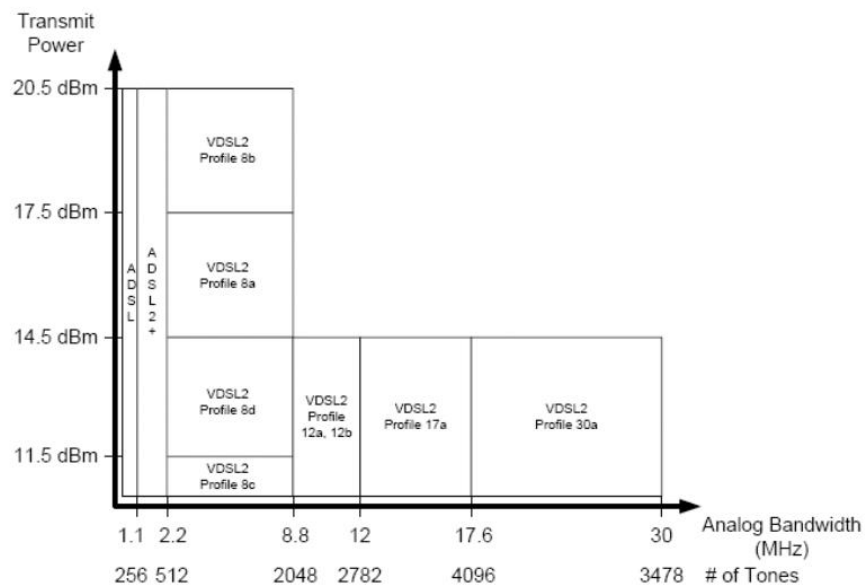
- štandard ITU-T G.933.2 (2006, opravy až do 2011), štandard ITU-T G.993.5 - "Self-FEXT cancellation (vectoring) pre VDSL2-vysielače (2010), známy tiež ako G.vector (metóda riadenia signálu s cieľom potlačiť FEXT),
- je to vylepšenie VDSL – v snahe udržať si zákazníkov v konkurencii s „káblovými“ poskytovateľmi VoIP, Internetu a digitálnej TV a HD-videa (triple play),
- pásmo do 35 MHz (profil 35b, Tab.3)
- dosah do 2,5 km (pásmo US0 - do 276 kHz, EC, TEQs- Time domain Equalizer), ale s narastajúcim dosahom sa zákonite znižuje poskytovaná rýchlosť
- maximálny symetrický Up- a Downstream do 200 Mbps (agregovaná rýchlosť, t.j. 100/100) (pri zdroji max., 100 Mbps do 500 m, 50 Mbps pri 1 km, nad 1,5 km, do 4 – 5 km, podobné systému ADSL2+. Možnosť použiť viac párov (bonding) pre zvýšenie kapacity alebo dosahu Cu-siete)
- rôzne profily (Obr. 10, Tab. 3)
- *technika Zipper DMT* (duplex založený na DMT v oddelených subnosných pásmach, zaberajúcich 4 alebo 8 kHz – od 2048 do 4096 subkanálov, viď Tab.3) – na rozdiel od obvyčajnej DMT alokuje subnosné a prispôsobuje tak prenosové rýchlosti okamžitým požiadavkám zo strany aplikácií. Smery Up/Down môžu byť alokované aj v každom subpásme inak (vzhľad zipsu), a môžu byť z hľadiska kapacity symetrické alebo asymetrické prakticky v ľubovoľnom pomere.
- trellisové kódovanie
- podpora STM, PTM
- interoperabilný so zariadeniami ADSL
- tiež definuje viac profilov (spolu 9) pre rôzne aplikácie - viď Tab.3. a obrázky ďalej

Tab. 3 Profily VDSL2

Profile	Bandwidth (MHz)	Number of carriers	Carrier bandwidth (kHz)	Power (dBm)	Max. Throughput (Mbit/s, downstream)
8a	8,832	2048	4,3125	+17,5	50
8b	8,832	2048	4,3125	+20,5	50
8c	8,5	1972	4,3125	+11,5	50
8d	8,832	2048	4,3125	+14,5	50
12a	12	2783	4,3125	+14,5	68
12b	12	2783	4,3125	+14,5	68
17a	17,664	4096	4,3125	+14,5	100
30a	30	3479	8,625	+14,5	100
35b	35.324	8192	4.3125	+17.0	300



Obr. 9 Využitie spektra VDSL2 a jeho porovnanie s ADSL2 a ADSL2+



Obr. 10 Profily VDSL2 v porovnaní s ADSL a ADSL2+

VDSL2 - profil 35b

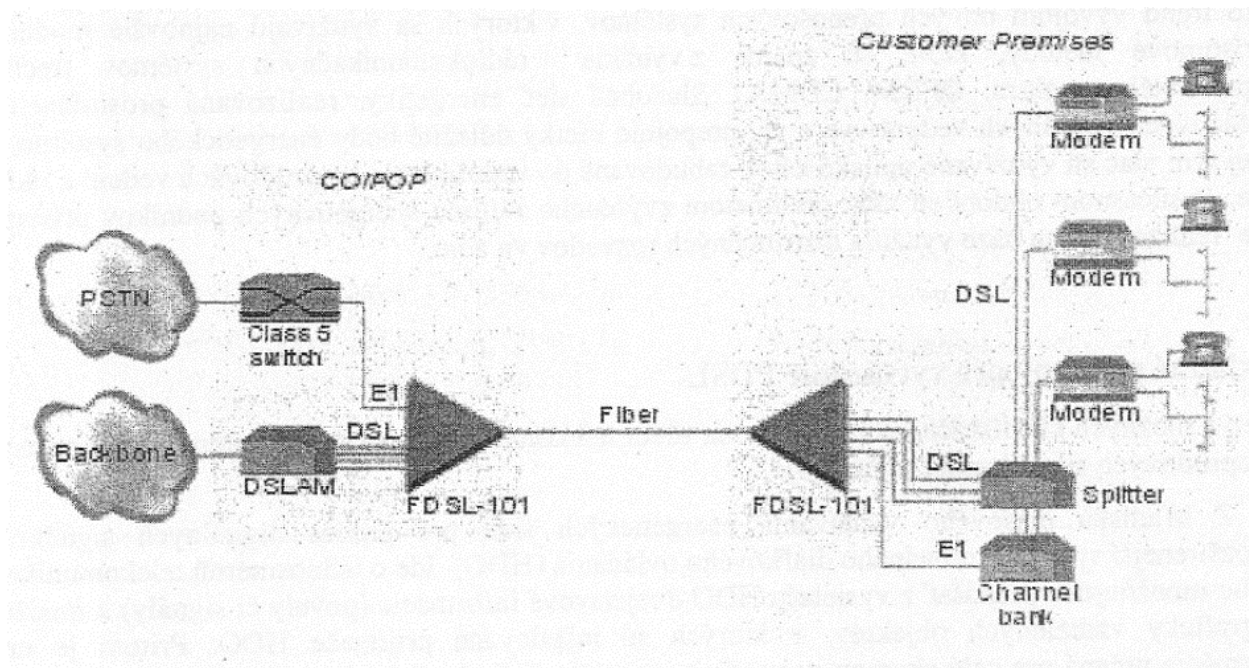
- v r. 2015, štandard ITU-T G.993.2 Amendment 1 (v súčasnosti Amendment 3 02/2018) ako VDSL2 profile 35b
- pásmo až do 35 MHz, agregovaná rýchlosť do 400 Mbps (300 Down, 100 Up) pri dosahu do 250 m.

Ďalšie DSL

V praxi a firemných materiáloch sa môžeme stretnúť s ďalšími názvami a typmi liniek DSL.

FDSL

V starších materiáloch [5] sa spomína názov *FDSL (Fiber DSL)*, pri ktorej sa signál na výstupe DSLAM-u (v mieste ústredne, od mnohých účastníkov) konvertuje do optickej podoby, a po prekonaní veľkej vzdialenosti (do 20 km), v objekte zákazníka, opäť do elektrickej podoby. Následne sa distribuuje ku digitálnym koncovým zariadeniam, resp. s prípadným použitím splittrov aj ku analógovým telefónom (Obr. 11).

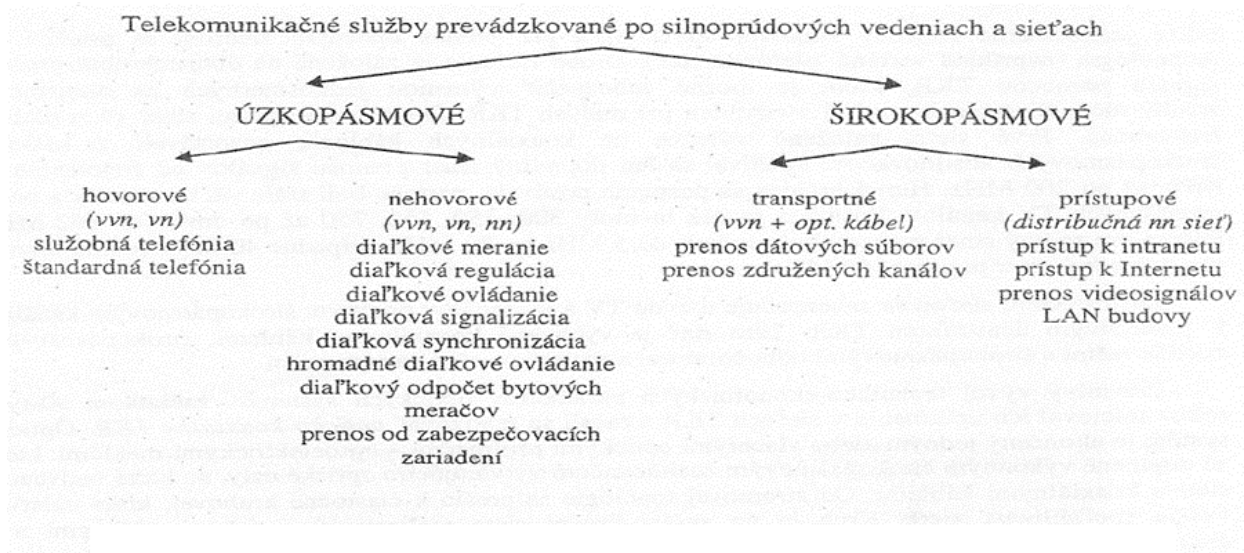


Obr. 11 FDSL (Fiber DSL) PDSL

Technológia PDSL (Power DSL) predstavuje poskytovanie telekomunikačných služieb cez „silnopráúdové“ vedenia a siete. Klasifikácia takýchto služieb je zobrazená na Obr.12. Už sme spomínali (kapitola „Rôzne typy prístupových sietí“) distribúciu širokopásmového signálu PLC (Power Line Communication) alebo BPL (Broadband over Power Lines), doručeného k užívateľovmu modemu, cez domáci elektrický rozvod, elektrické zásuvky (230 V) a za nimi umiestnené ďalšie PLC-modemy.

Hromadnému nasadeniu tejto technológie vo vysokonapäťovej sieti v súčasnosti bráni problém s transformáciou dát pre prenos vysokonapäťovými vedeniami.

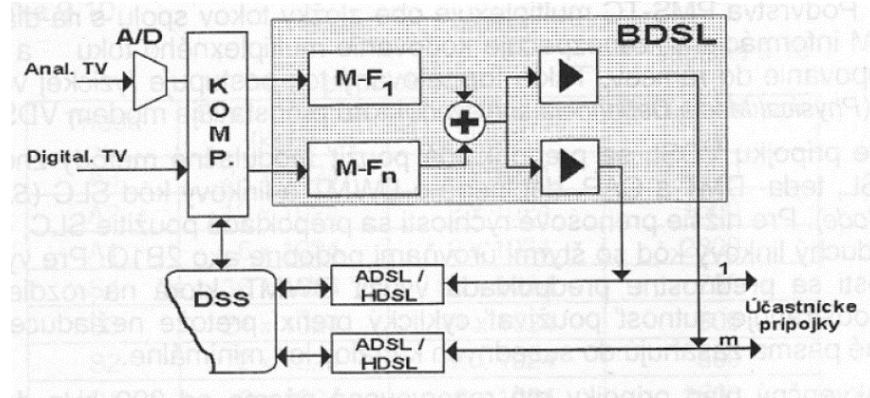
Doteraz nie je štandardizovaná.



Obr. 12 Klasifikácia telekomunikačných služieb poskytovaných pomocou silnoprúdových vedení

BDSL – Broadcast DSL

Technológia BDSL [4] bola vyvinutá pre distribúciu väčšieho počtu televíznych kanálov cez metalický pár spolu s analógovou účastníckou prípojkou alebo ostatnými technológiami xDSL.



Obr.13 Konceptia prípojky BDSL [4]

Analógové signály sú zdigitalizované a spolu s digitálnymi TV sú podrobené videokompresii (MPEG). Pri použití troch subnosných frekvencií (400 kHz , 800 kHz , 1,2 MHz) a dĺžke prípojného vedenia okolo 400 je možné prenášať do 40 TV kanálov v štandardnej kvalite [9].

Literatúra a referencie

- [1] ITU-T G.993.1 Recommendation, 2004
- [2] W. J. Goralski: ADSL and DSL Technologies. Sec. Edition. Osborne Mc.Graw-Hill, 2002.
- [3] ITU-T G.933.2 Recommendation, 2006.
- [4] M. Vaculík: Prístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.
- [5] J.Dúha, P. Podhradský, P. Trúchly: Technológie v prístupových sieťach a procesy ich integrácie do NGN. (Projekt: NGN- multimédiá, multimed.ICT technológie,...) Bratislava, 2007.
- [6] L. Harte: Introduction to Digital Subscriber Line (DSL): Technologies, Operation and Systems. ALTHOS, 2005.

[7] K.Blunár, Z. Diviš: Telekomunikačné siete, časť IV..- skriptum ŽU v Žiline, 2000.

[8]

http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/dsl_prod/gsol_dsl/dsl_arch/gdslarch.htm#1002608

[9] ITU-T G.993.2 Amendment 3 (02/2018) - Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2) Amendment 3