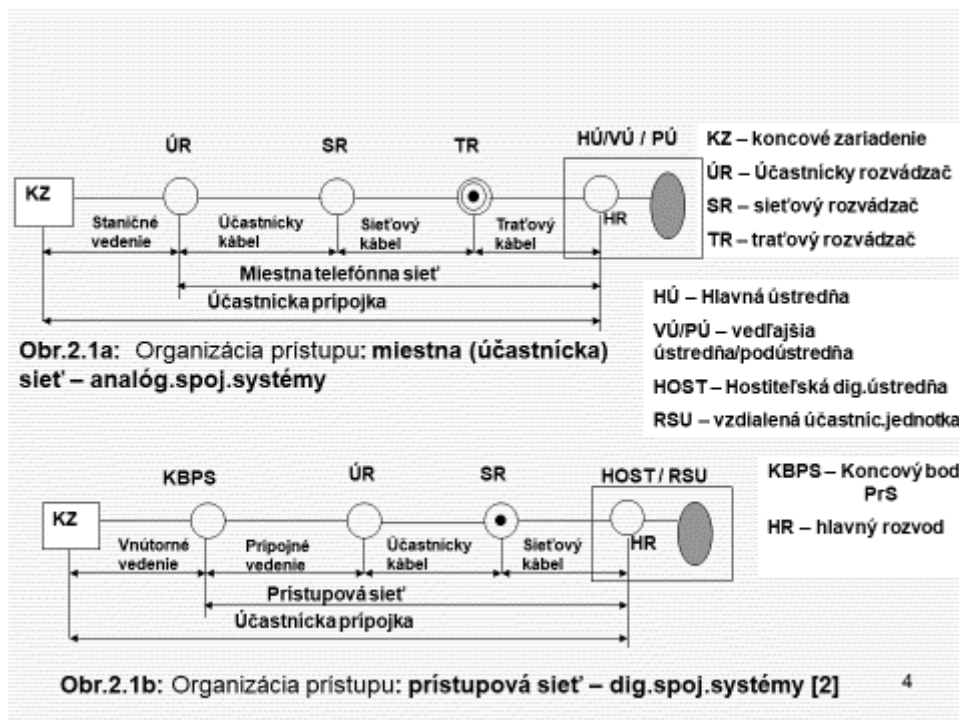


Prednáška 2

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).



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 úrovní 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 *zafúknuťie* optického vlákna.

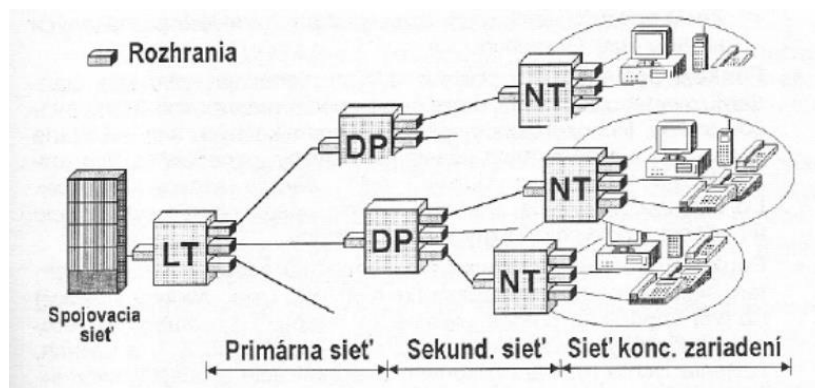
Od začiatku sa odhadovalo, že využitie prenosu signálu voľným priestorom (*rádiový prenos*) má v prístupových sieťach značnú perspektívu, pretože to umožňuje mobilitu užívateľa v duchu hesla „všetky služby dosiahnuteľné pre všetkých a kdekoľvek“. Problémom pri rádiovom prenose ešte aj dnes (r. 2018) 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. rádioreléových 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 sie-

ti, *multiplexovanie* čiastkových tokov v priebehu transportu, čím sa využíva prenosová kapacita.

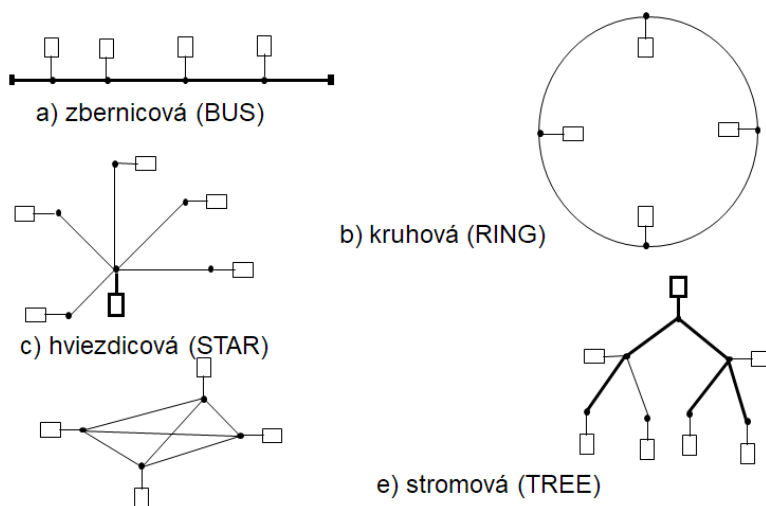
- *Funkcie systémových portov* – vytvorenie štandardizovaného rozhrania medzi PrS a spojovacom sieťou – ide o rozhranie služieb SNI (Service Network Interface); sú to funkcie prispôsobenia signalizácie a riadenia fyzických prípojných miest – portov.
- *Funkcie účastníckych portov* – prispôsobenie charakteru 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 pridelované jednotlivým spojeniam/reláciám *terminál-sieť*, pričom sa žiada úplná *bezrizikovosť* (z hľadiska kolízií viacerých terminálov) alebo aspoň jej minimalizácia. Žiada sa tiež *rovnomé pridelovanie* (o *symetrickom pridelovaní* 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

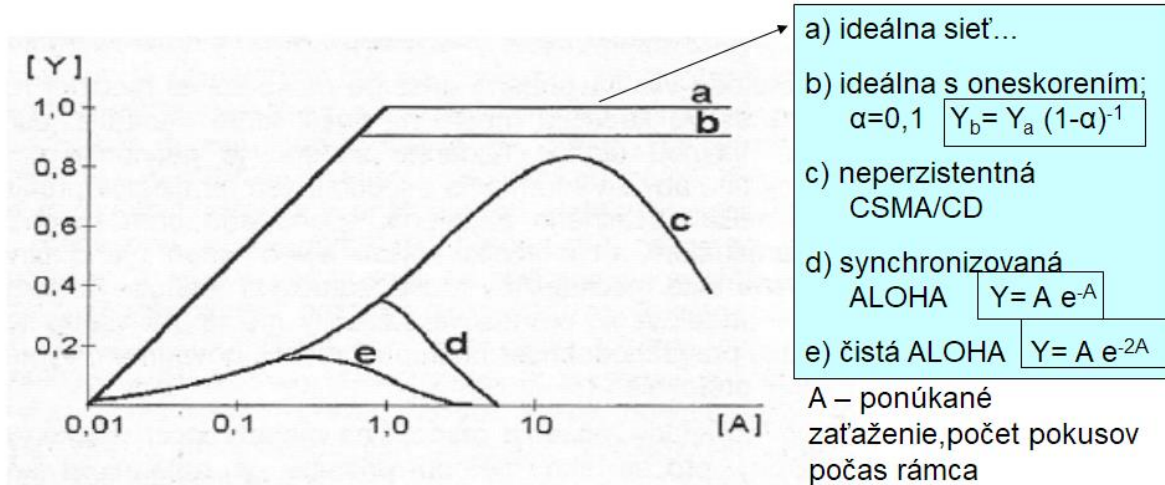
Najjednoduchšou metódou je ALOHA (Additive Link On-Line Hawai Area). Je to plne stochastická metóda, čo znamená že náhodný je začiatok komunikácie aj čas oneskorenia pri kolízii. Pri nej sa vysielanie dát (paketov) začne bez ohľadu na situáciu na médiu. Ak nedôjde do stanoveného času potvrdenie, vysielanie 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. Späťne možno pôvodnú ALOHU nazvať „čistá ALOHA“.

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



$$\alpha = T_R / T_P$$

$T_R = L / C$ [s, b, b.s⁻¹] ...oneskorenie paketu
 $T_P = n / v$ [s, m, m.s⁻¹]...oneskorenie celkové

a) ideálna sieť...
 b) ideálna s oneskorením;
 $\alpha=0,1$ $Y_b = Y_a (1-\alpha)^{-1}$
 c) neperzistentná CSMA/CD
 d) synchronizovaná ALOHA $Y = A e^{-A}$
 e) čistá ALOHA $Y = A e^{-2A}$

A – ponúkané zaťaženie, počet pokusov počas rámca
 Y – prevádzkový výkon (normovaný)=prenesená prevádzka, priepustnosť

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

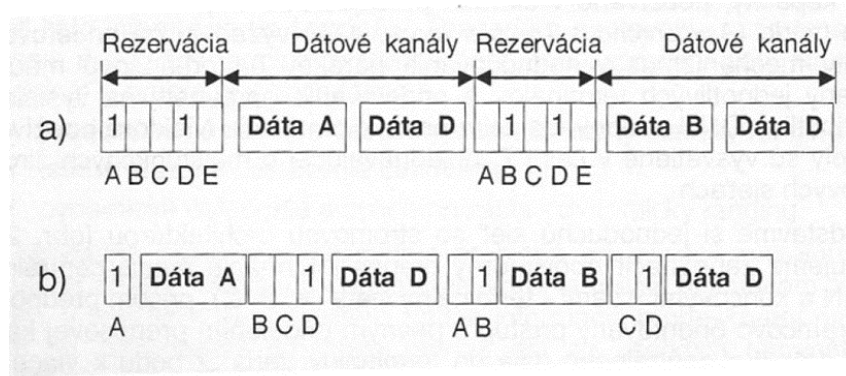
V prístupových sieťach sú uprednostňované deterministické metódy prístupu k spoločnému prenosovému médiu, pretože z pohľadu možnosti kolízií sú v podstate „bezkonfliktné“. Determinizmus je realizovaný pridelovaním práv v rámci zlomku prenosovej kapacity média. Výhodou týchto metód je zanedbateľná chybovosť 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 pev-

nými, nemennými prioritami terminálov. Opísaný postup a jeho menšia modifikácia sú znázornené na Obr.2.5.

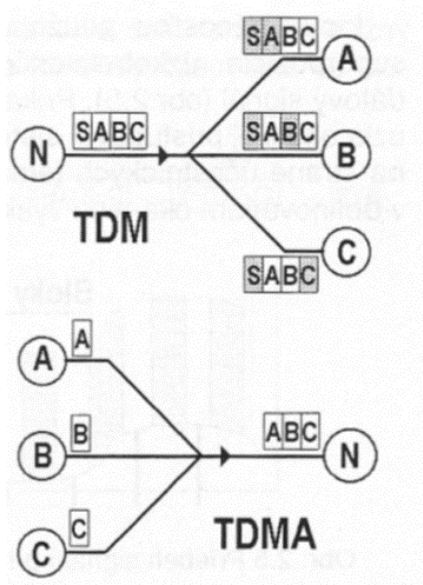
Objavili sa aj ďalšie modifikácie, ako BRAP – Broadcast recognition with Alternating Priorities a MLMA – Multi-Level Multi_Access protocol.



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

Multiplexné prístupové metódy

- Prístupová metóda TDMA (Time Division Multiple Access)



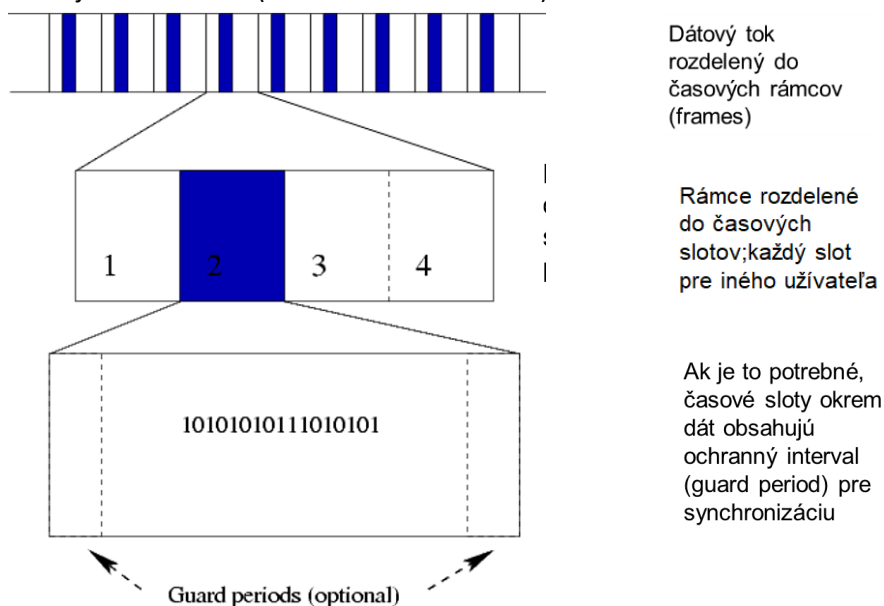
Obr. 2.6 Ilustrácia časovo deleného multiplexu a prístupu na jeho princípe.

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 - vysielajú; 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 podrámocov býva rôzne, a takisto aj tlmenie trás. Preto je nutné zabezpečiť:

- *otimálne 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 efektívnosť využitia kapacity kanála.

Táto metóda nie je vhodná v prípade, keď treba súčasne vysielat' 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, ...).

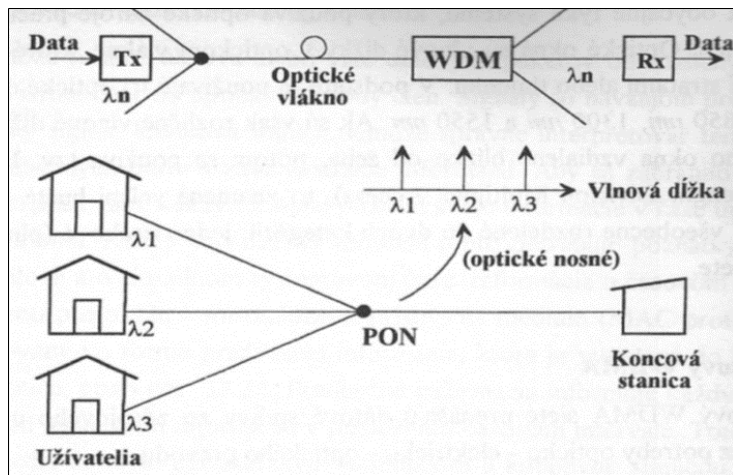
- **WDMA - Vlnovo delený viacnásobný prístup (Wavelength Division Multiple Access)**

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, hrubozrnný), ale opak je pravdou. Je to moderný pohľad na efektívnosť 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 multiplexorom*. 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

- *jednoušekový* (prenos správy zo zdrojového uzla do cieľového bez potreby *opticko-elektricko-optického* prevodu, napr. WDMA PON)
- *viacúšekový*, kde sa vyžaduje jeden alebo viac medziúhlých 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 medziúhlý 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

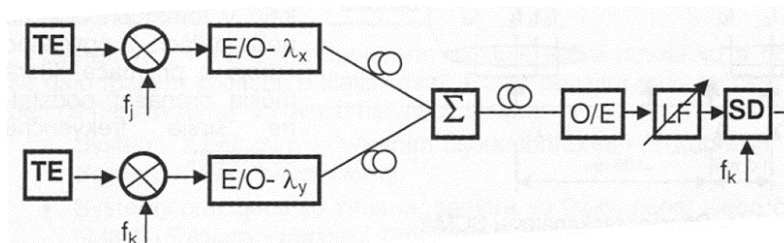
SCMA = SubCarrier Multiple Access

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* obvody (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

- *jednokanálovú 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 jednokanálovej SCMA pre spojenie „viac bodov - bod“.

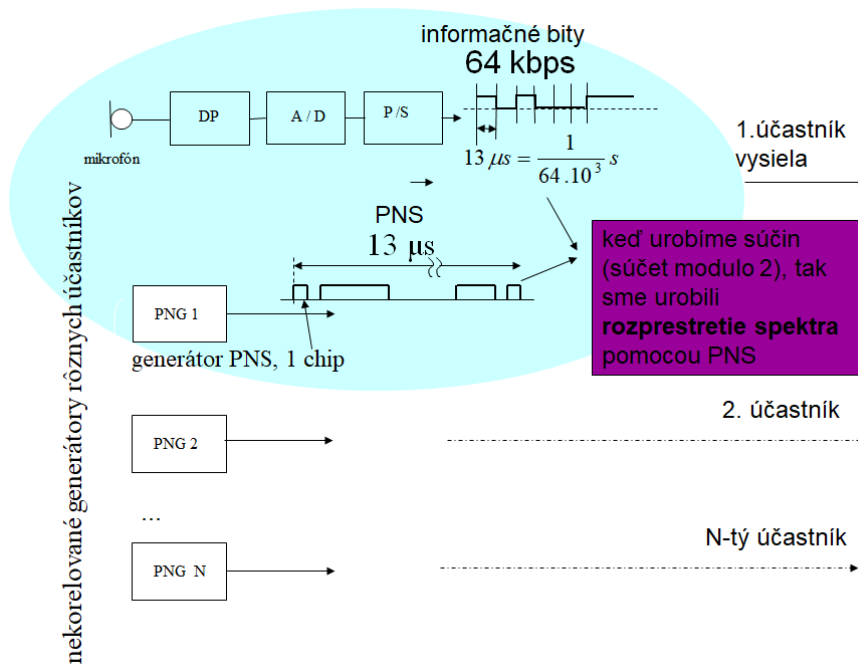
- a *viackanálová SCMA*: Rozdiel oproti jednokanálovej SCMA je v tom, že optický signál sa namoduluje na elektrickú subnosnú, a elektrické subnosné sa zlúčia do *jedného širokopásmového FDM* signálu. FDM signál potom moduluje *jedinú* optickú nosnú vlnu λ_i . Takže jednej λ_i zodpovedá vlastne skupina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

Prístupová metóda CDMA

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

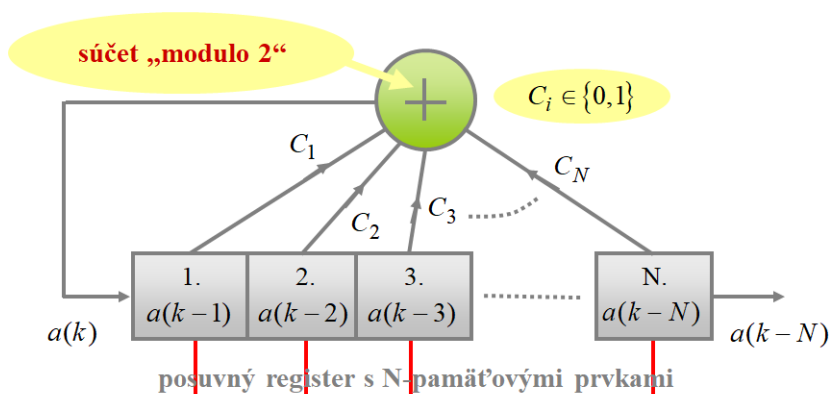
V prípade metódy CDMA ide o čisto digitálnu záležitosť. Je to metóda pracujúca s *rozprestretým spektrom* (Spread Spectrum), a potom hovoríme o prenosových systémoch s rozprestretým spektrom (PSRS).

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).



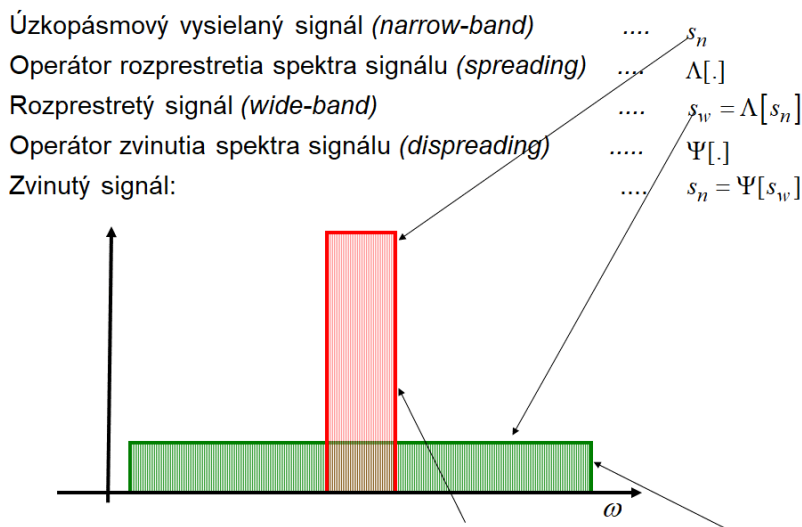
$$a(k) = C_1 a(k-1) \oplus C_2 a(k-2) \oplus C_3 a(k-3) \oplus \dots \oplus C_N a(k-N)$$

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

Obr.2.12 Lineárny generátor PNS (využitie v systémoch CDMA pre rozprestretie spektra užitočného-signalu)

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

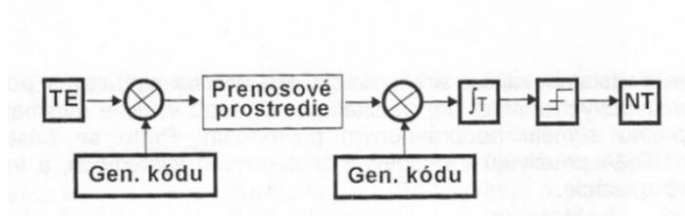


Obr. 2.13 Spektrum informačného signálu v základnom pásme (červená farba) a po „rozprestretí“ (zelená).

Pri CDMA teda všetky terminály 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.

Sú aj ďalšie možnosti rozšírenia spektra, než len vyššie spomínaný princíp. Rozlišujeme potom 2 skupiny modulačných metód:

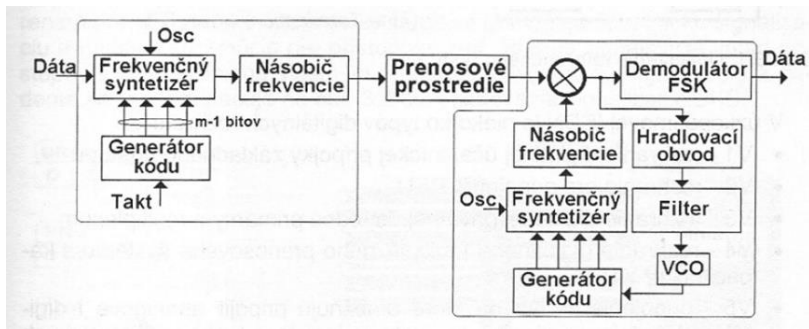
- systémy s priamym vytváraním PNS (Obr. 2.14) (DS-CDMA - Direct-Sequence CDMA)
- systémy so zmenou spektra vo frekvenčnej alebo časovej oblasti („frekvenčné skákanie“ - Frequency Hopping; Time Hopping). Metóda nazvaná Frequency Hopping CDMA (FH-CDMA) predstavuje zmeny nosnej frekvencie skokom podľa PNS a ešte sa môže ďalej deliť na
 - o FH-CDMA s rýchlymi zmenami (väčší počet skokov ako je počet dátových bitov) a
 - o FH-CDMA s pomalými zmenami (menší počet ...).



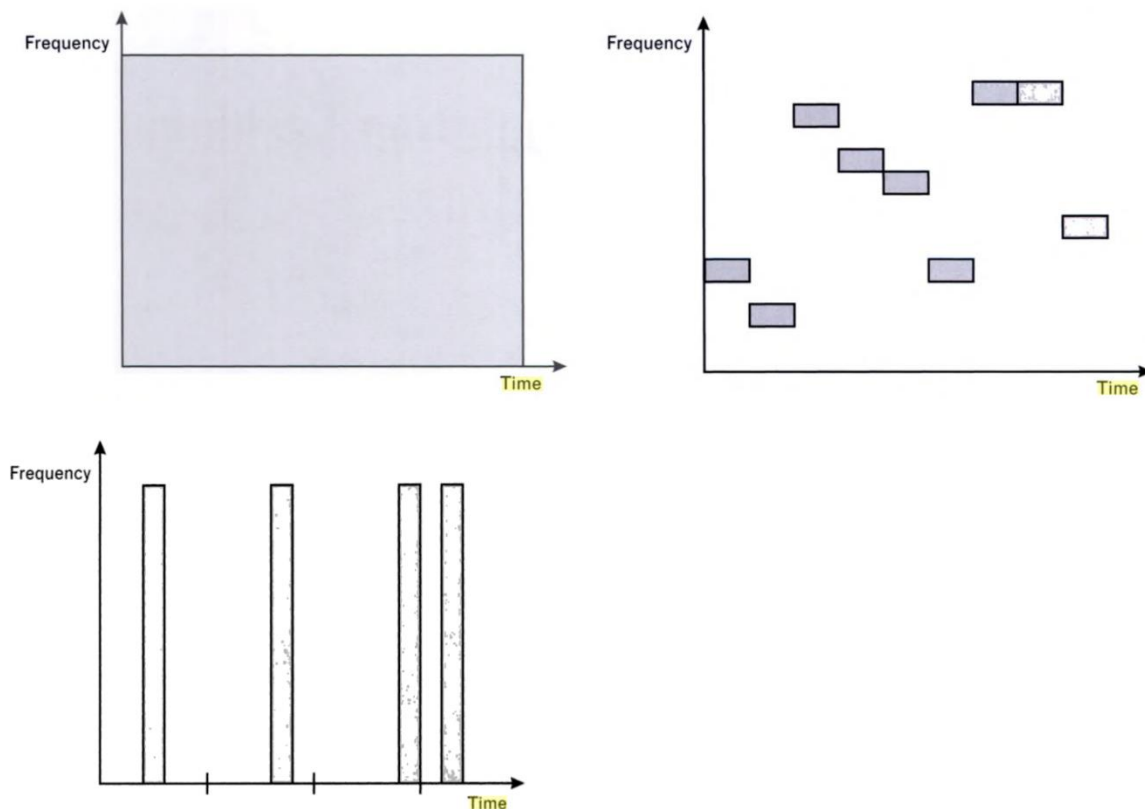
Obr.2.14 Princíp CDMA s priamym sekvenčným kódovaním

Time Hopping je metóda CDMA (TH-CDMA), pri ktorej časové kanály v časovom rámci sú priradované užívateľom podľa PNS, ale vždy inak (priradovanie sa mení od rámca k rámcu). Prenos sa uskutočňuje nie kontinuálne, ale v krátkych zhlukoch (*bursts*), a v danom časovom intervale má užívateľ k dispozícii celé dostupné pásmo.

Predstava využitia pásma pri DS-CDMA, FH-CDMA a pri TH-CDMA je na Obr. 2.15.



Obr. 2.15 Princíp prijímača a vysielača FH-CDMA (s frekvencným skákaním – frequency hopping)



Obr. 2.16 Využitie dostupného frekvencného spektra pri rôznych metódach CDMA. Zľava doprava: DS-CDMA, FH-CDMA a TH-CDMA [8]

Základné vlastnosti CDMA - výhody:

1. Zvýšená odolnosť proti úzkopásmovému rušeniu (narrow-band interference, jamming).
2. Nižšia citlivosť na vplyv viaccestného šírenia sa signálov (*multi-path*).
3. Vytvorené komunikačné kanály sú do určitej miery utajené a chránené pred neautorizovaným príjmom.
4. Zložitá štruktúra prenášaných signálov, relatívne nízka spektrálna výkonová hustota. Zistenie ich prítomnosti bežným prijímačom je komplikované.
5. Presné meranie vzdialenosti, poskytovanie jednotného a presného času. Aplikácie: integrované spojovacie, navigačné a riadiace systémy.

Nevýhody:

Komplikovanejšie obvody synchronizácie.

Väčšia zložitosť obvodov vysielajú a najmä prijímača.

Ďalšie multiplexné prístupy

- PDMA - Polarization Division Multiple Access

Pri tomto type prístupu k využívaniu spoločného média ide o zmenu *orientácie vektora* $E \rightarrow$ elektromagnetického vlnenia (*lineárna polarizácia, kruhová – pravo/lavo-točivá*). Využíva sa v rádiových oblastiach.

- V satelitnej komunikácii sa používajú metódy s názvami PAMA a DAMA.

Pri PAMA (pulse-address multiple access) satelit môže prijímať signál z viacerých pozemských staníc, zosilňovať, preložiť a znova posielat' na Zem; každá stanica má pritom jedinečnú kombináciu časového a frekvenčného slotu. DAMA (Demand Assigned Multiple Access) je tzv. rezervačný riadený prístup podobný TDMA; komunikačný frekvenčný kanál (2 frekvencie – Up a Down) sú z centra pridelené užívateľom len dočasne - na požiadanie.

Referenčná literatúra

- [1] V.Kapoun: Přístupové a transportní síte. VUT v Brně, 1999.
- [2] Vaculík: Prístupové 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: Přenosové syst. pre nové generácie kom. systémov – prezentácia prednášky, TU v Košiciach, 2007.
- [8] J. Korhonen: Introduction to 3G Mobile Communications. Artech House, 2003.