

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

Bakalářská práce



Lukáš Slivka

Co se změnilo na sítích za posledních 10 let

Katedra softwarového inženýrství

Vedoucí bakalářské práce: Doc. RNDr. Pavel Pyrih, CSc.,

Katedra matematické analýzy

Studijní program: Informatika, správa počítačových systémů

Na tomto mieste by som sa chcel poďakovať svojmu vedúcemu bakalárskej práce pánovi Doc. RNDr. Pavlovi Pyrihovi, CSc. za jeho rady, nápady a pripomienky k vypracovaniu tejto bakalárskej práce a za pravidelné e-maily, výborne motivujúce k ďalšiemu písaniu.

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu napísal samostatne a výhradne s použitím citovaných prameňov. Súhlasím so zapožičiavaním práce a jej zverejňovaním.

V Prahe dňa 4.8. 2008

Lukáš Slivka



Obsah

1	Úvod	5
1.1	Sieťový model ISO/OSI	5
1.2	Delenia sieti	7
2	Vývoj sieti	9
2.1	Metalické siete	9
2.2	Optické siete	16
2.3	Bezdrôtové (terestriálne) siete	18
2.4	Satelitné siete	48
3	Zhodnotenie	52
	Použité obrázky	56
	Literatúra	57

Názov práce: Co se změnilo na sítích za posledních 10 let

Autor: Lukáš Slivka

Katedra (ústav): Katedra softwarového inženýrství

Vedúci bakalárskej práce: Doc. RNDr. Pavel Pyrih, CSc., Katedra matematické analýzy

e-mail vedúceho: Pavel.Pyrih@mff.cuni.cz

Abstrakt: Bakalárska práca je zameraná na vývoj počítačových sietí za posledných 10 rokov. Konkrétne ide hlavne o predstavenie nových technológií a zachytenie vývoja nových aj starých za posledné desaťročie. Zameraná je pritom na fyzickú a data-linkovú vrstvu v rámci sieťového modelu ISO/OSI. Zmeny sú viditeľné hlavne vo zvyšovaní rýchlosti, ale aj v nových možnostiach nasadenia jednotlivých technológií. Tie sú rozdelené primárne podľa používaného prenosového média, pričom technickejšie detaily sú obsiahnuté predovšetkým v bezdrôtových (terestriálnych) sieťach. Súčasťou práce je aj prognóza vývoja počítačových sietí do budúcnosti.

Kľúčové slová: počítačové siete, technológie, vývoj, prognóza

Title: What has changed in the networks during the last 10 years

Author: Lukas Slivka

Department: Department of Software Engineering

Supervisor: Doc. RNDr. Pavel Pyrih, CSc., Department of Mathematical Analysis

Supervisor's e-mail address: Pavel.Pyrih@mff.cuni.cz

Abstract: Bachelor thesis is focused on the evolution of computer networks during past 10 years. It presents new technologies and deals with changes of the new and the old ones. It orients mostly on physical and data-link layer of the ISO/OSI Reference Model. The changes are obvious mainly in higher data rates and in new possibilities of new versions of the technologies. These are divided according to the medium they use. More technical details are concentrated mostly in wireless networks. Thesis includes also prognosis of the future development.

Keywords: computer networks, technologies, development, prognosis.

Kapitola 1

Úvod

Posledné tri storočia mali spoločné to, že im dominovala jedna technológia. V 18. storočí to bola éra obrovských mechanických zariadení, sprevádzaná priemyselnou revolúciou, 19. storočie bolo érou parných strojov a v priebehu 20. storočia sa kľúčovou úlohou stalo zhromažďovanie, spracovanie a distribuovanie informácií. Okrem iného bolo ľudstvo svedkom zavedenia celosvetovej telefónnej siete, vynájdenia rádia a televízie a zrodu neslýchaného „boomu“ počítačového priemyslu. V rámci neho zohrávajú jednu z najdôležitejších úloh práve počítačové siete. Boli vytvorené s cieľom pohodlnej výmeny informácií, k čomu patrí nie len napr. výmena štatistických, spravodajských, vojenských či obchodných informácií, ale aj bežná komunikácia medzi ľuďmi.

1.1 Sieťový model ISO/OSI

Pretože implementácia počítačovej siete je veľmi komplikovaná, za dôležitých okamihov z historického kontextu sa považuje rozdelenie fungovania siete na menšie časti – vrstvy. Každá vrstva má pritom vykonávať pomerne jasne špecifickú úlohu. Ucelenej predstave o tom, koľko vrstiev sa použije a čo budú mať na starosti sa hovorí *sieťový model*.

Pre potreby mojej práce som si vybral sieťový model ISO/OSI (International Standards Organization resp. International Organization for Standardization), ktorý v krátkosti predstavujem. ISO/OSI pozostáva zo siedmych vrstiev:

Aplikačná	Pôvodne mala obsahovať aplikácie. Tých bolo neúnosne veľa, a tak sa zredukovala len na ich spoločné „jadro“.
Prezentačná	Má na starosti konverzie, ktoré zabezpečujú, aby sa dáta na rozdielnych počítačoch zobrazovali a interpretovali rovnako.
Relačná	Zaisťuje vedenie relácií. K tomu patrí napr. synchronizácia, šifrovanie a znovunadviazanie spojenia.
Transportná	Jej úlohou je zaistiť potrebné prispôsobenie nižších vrstiev požiadavkám vyšších vrstiev. Zabezpečuje komunikáciu medzi koncovými uzlami.
Sieťová	Prenáša bloky dát označované ako pakety. Zaisťuje ich doručenie cez medziľahlé uzly siete (tzv. smerovače).
Data-linková	Prenáša bloky dát nazývané rámce (framy). Využíva rôzne prenosové technológie pre synchronizovanie rámcov, prístup k zdieľanému médiu a zaisťuje prenos k priamym susedom.
Fyzická	Zaoberá sa prenosom bitov. To zahŕňa moduláciu, kódovanie, synchronizáciu a veličiny ako prenosová rýchlosť či šírka pásma. Ďalej k tomu patrí samotné „fyzické“ zloženie siete - architektúra.

Data-linková vrstva sa postupom času rozpadla na dve podvrstvy. MAC (Media Access Control) rieši prístupové metódy k zdieľanému médiu. T.j. aby nedochádzalo k situácii, pri ktorej dve zariadenia použijú zdieľané médium zároveň. Podvrstva LLC (Logical Link Control) má na starosti zvyšok pôvodnej vrstvy (riadene toku a kontrola chýb).

Ďalej nasleduje vysvetlenie niektorých pojmov v rámci fyzickej vrstvy, ktoré budem v práci používať.

Signál určený na prenos môže byť prevedený na médium v stave v akom vznikol, t.j. bez nejakých zmien. Prenášané bity (0,1) sú tak priamo reprezentované (*kódované*) napr. hodnotou napätia vo vodiči. Hovoríme pritom o tzv. prenose v základnom pásme alebo o nemodulovanom prenose. Ten je použiteľný len na malé vzdialenosti. Pri veľkých dochádza k jeho narušeniu (útlm, deformácia), ktoré môže viesť až k nečitateľnosti signálu na strane príjemcu. Je to spôsobené fyzikálnymi vlastnosťami médií. Riešením tohto problému je prenášanie signálu, ktorý je proti takýmto rušeniam najviac odolný (napr. sínusový priebeh). Nazývame ho nosným signálom alebo nosnou. Ten sám o sebe nenesie žiadne informácie. Dáta určené k prenosu sa na neho „naložia“. Tým sa vlastne pôvodný (nosný) signál pred vstupom na médium pozmení. Tomu procesu sa vraví *modulácia* signálu.

Mieru narušenia prenášaného signálu ovplyvňuje predovšetkým *šírka prenosového pásma* (angl. bandwidth), cez ktoré sa prenáša. Tá je závislá na použitom médiu. Označuje rozsah frekvencii, ktoré je schopné konkrétne médium preniesť. Čím je tento rozsah väčší, tým je prenos kvalitnejší a umožňuje tak namodulovať viac dát.

V mojej práci sa zameriavam hlavne na zmeny v starších technológiách a na predstavenie a následný vývoj tých nových v spojení s ich nasadením. Ako hlavný faktor zmien som si vybral neustále sa zvyšujúcu rýchlosť prenosu úzko spätú so šírkou pásma (fyzická vrstva) ale aj použitie prístupových metód (MAC podvrstva). Ako je vidieť, ide teda hlavne o dve najnižšie vrstvy modelu. Okrem toho sa zameriam aj na štandardy definujúce jednotlivé technológie a v neposlednom rade aj na komerčné hľadisko, ku ktorému patri konkurencia ako aj súčasná spolupráca sietí.

Za účelom zoradenia konkrétnych technológií do určitého systému je potrebné najprv komplikovanú zmes počítačových sietí rozdeliť. K tomuto účelu slúži nasledujúca podkapitola.

1.2 Delenia siete

Počítačové siete predstavujú tak obrovskú oblasť, že existuje viacero delení podľa rôznych kritérií. V tejto kapitole predstavujem tie, na ktoré sa budem v mojej práci odkazovať.

Podľa „pôvodu“ rozdeľujeme siete na dve hlavné skupiny:

- *telekomunikačné siete* (napr. telefónna sieť) – sú najstaršie, vznikli s cieľom garantovať poskytované služby (aj za cenu plytvania zdrojov), sú preto drahšie (pre zákazníka), myšlienka „hlúpych koncových uzlov a inteligentnej siete“ (t.j. všetko čo potrebujú uzly zariadi samotná sieť)
- *počítačové siete* (napr. Internet) – vznikli neskôr, reakcia na drahé telekomunikačné siete, snaha o čo najefektívnejšiu, a tak aj najlacnejšiu komunikáciu, myšlienka „hlúpej siete a inteligentných uzlov“ (t.j. ak konkrétny uzol vyžaduje určitý druh služby, musí si ju sám zabezpečiť)

V rámci telekomunikačnej siete rozlišujeme:

- *chrbticová (backbone) sieť* – jej úlohou je prepojiť určitý relatívne malý počet centrálnych zariadení (ústredne, serveri) patriacim poskytovateľom služieb (tzv. provideri). Charakteristická je pre ňu je vysoká prenosová rýchlosť, spoľahlivosť a zabezpečenie na veľké vzdialenosti. Ústi do veľmi malého počtu bodov, na ktoré sa dá napojiť. Označujeme ich ako POP (Point Of Presence). Z pohľadu providerov predstavujú prvý úsek na ceste k zákazníkovi, a preto sa o nich hovorí ako o tzv. prvej míli.
- *prístupová sieť* – rozvádza telekomunikačné služby až k jednotlivým zákazníkom (domy, byty, firmy). Tých je obrovský počet, a tak musí byť čo „najhustejšia“. Začína(la) prístupovými bodmi (POP) a končí u zákazníka. Preto sa označuje ako posledná míľa.
- *prepojovacia sieť* – logicky patrí medzi dve predchádzajúce, no vyčlenila sa až postupom času. Má riešiť problém veľkého rozdielu medzi malým počtom POP a veľkým počtom požadovaných miest pre vytvorenie prístupových sietí. Označuje sa preto ako stredná míľa.

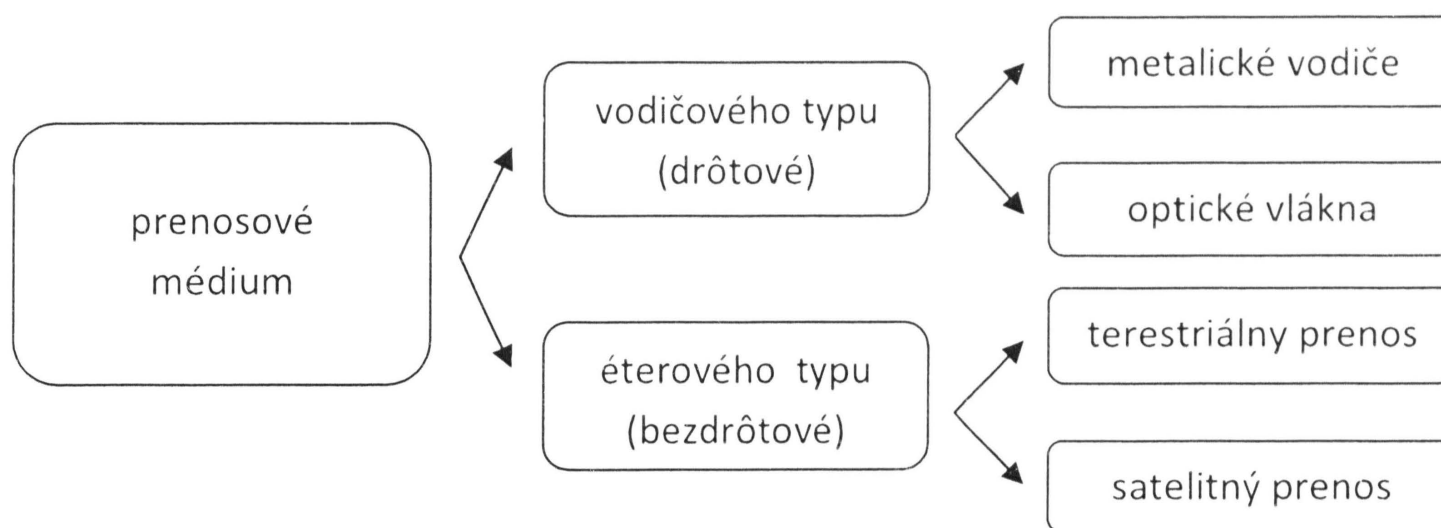
Ako je vidieť, telekomunikačná sieť má hierarchickú štruktúru, a v zásade ponúka zákazníkovi komunikačné služby na veľké vzdialenosti.

Vzdialenosť je ďalším kritériom pri delení sietí „zo sveta“ počítačov. Rozlišujeme:

- PAN (Personal Area Network) alias osobná sieť - je sieť s najmenším dosahom, typicky do 10 metrov. Používa sa na prepojenie zariadení (napr. mobil, PDA, notebook) alebo pre pripojenie k iným sieťam (napr. k internetu).

- LAN (Local Area Network) alias lokálna sieť – je charakteristická vysokou prenosovou rýchlosťou a použitím typicky v rámci jednej budovy.
- WAN (Wide Area Network) alias rozľahlá sieť – pokrýva plochy presahujúce hranice mesta alebo štátu. Používajú sa na prepojenie ďalších typov sietí (napr. LAN).
- MAN (Metropolitan Area Network) alias metropolitná sieť – zaviedla sa kvôli nejasným hraniciam medzi LAN a WAN sieťami. Tvorí teda akýsi medzistupeň s rozlohou o veľkosti mesta.
- GAN (Global Area Network) alias globálna sieť – používa sa na označenie sietí s ešte väčšou rozlohou ako majú WAN siete. Ako GAN sieť môžeme označiť Internet.

Ako posledné kritérium delenia v tejto časti som si vybral použité prenosové médium. Toto delenie zohráva v rámci členenia mojej práce najdôležitejšiu úlohu. Obrázok 1.1 tak neznamená len hrubé rozdelenie médií, ale aj prehľad nasledujúcej kapitoly resp. jej podkapitol.



Obrázok 1.1: Rozdelenie sietí podľa média

Skôr ako prejdem na konkrétne technológie rozdelené primárne podľa použitého média, chcel by som poznamenať, že rozdiely medzi jednotlivými sieťami sa postupom času strácajú. Zatiaľ čo napríklad svet telekomunikácií bol dlhú dobu zameraný hlavne na prenos hlasu a garantované služby, a naopak svet počítačov na efektívny prenos dát, v súčasnosti je jednoznačným trendom ich konvergencia. Zákazníci požadujú hlasové aj dátové služby súčasne, a tak poskytovateľom služieb neostáva nič iné, ako tieto dva svety postupne prepojiť. Ďalším príkladom „učebnicového“ rozdelenia sú LAN a WAN siete. Stále novšie technológie umožňujú zväčšovanie dosahu LAN sietí, zatiaľ čo WAN siete môžu byť z rôznych dôvodov viac lokalizované. Ako poslednú, no veľmi dôležitú, uvádzam konvergenciu sietí rozdelených podľa média. Zatiaľ čo v minulosti si vzájomne konkurovali, v súčasnosti si väčšiu ucelenú sieť tvorenú len jedným typom média hádam ani nevieme predstaviť. Operátori sú si vedomí výhod, ktoré ponúka optika, bezdrôtové siete a metalické siete. Ich prepojenie tak tvorí dôležitý faktor z hľadiska globálneho vývoja.

Prejdime ale už na samotný vývoj sietí predstavený pomocou zlepšení starších technológií a vzniku nových.

Kapitola 2

Vývoj sietei

Počítačové siete nie sú z hľadiska študovania veľmi vďačnou témou. Dôvod je prostý. Nadobudnuté vedomosti sa behom krátkeho obdobia stanu zastaranými, a tak držať vedomostný krok so stále novými trendmi je v skutku náročné. Na druhej strane však osvedčené myšlienky a postupy zotrývajú pri navrhovaní pomerne dlhú dobu, až kým sa neobjavia novšie, dokonalejšie.

V porovnaní s niekoľkými desaťročiami minulého storočia sa tých nových myšlienok, zmien a technológií v sieťach objavilo niekoľkonásobne viac až v posledných rokoch. Bolo ich toľko, že podrobne popísanie všetkých (aj keď len tykajúcich sa dvoch vrstiev) by bolo nad rámec jednej práce. Rozhodol som sa preto venovať najviac priestoru bezdrôtovému (terestriálnemu=pozemnému) prenosu, pri ktorom rozoberám jednotlivé technológie a zmeny podrobne, a pri zvyšných vyberám len tie najdôležitejšie.

Pri jednotlivých podkapitolách resp. obsiahnutých technológiách je krátka časť venovaná základným myšlienkam a princípom. Je to z toho dôvodu, aby som mal základ, na ktorom môžem prezentovať konkrétne zmeny a vývoj. V závere týchto častí sa pokúšam prognózovať očakávaný vývoj do budúcnosti.

2.1 Metalické siete

Metalické vodiče boli v „dávnej“ minulosti najpoužívanejším médiom a tvorili základ počítačových (počítačové + telekomunikačné) siete. V súčasnosti sa využívajú hlavne na tzv. preklopenie poslednej míle, teda v prístupovej sieti. Tá by mala viesť do veľkého počtu miest, a tak inštalácia novej kabeláže pre nové služby by bola veľmi nákladná. Snahou poskytovateľov služieb je preto maximálne využiť už existujúce – metalické vedenia.

V tejto kapitole sa preto zameriam na technológie DSL využívajúce pre prenos dát telefónnu linku a štandard DOCSIS definujúci komunikáciu na kábloch uložených po predošlej inštalácii káblovej TV. Okrem toho sa venujem aj technológii Ethernetu, aj keď tá nie je viazaná na konkrétny typ média, no jej dôležitosť je v súčasnosti obrovská.

Telefónna linka bola inštalovaná primárne pre analógový prenos hlasu. Ten využíva frekvenčné pásmo od 300 do 3400 Hz. Neskôr sa začalo s digitalizáciou nie len telefónnych ústrední, ale aj koncových užívateľských zariadení. Tak vznikla už roku 1984 koncepcia

digitálnej siete s integrovanými službami ISDN (Integrated Services Digital Network) využívajúca frekvencie až do 50 kHz.

Nevýhodou tejto technológie bolo, že dátové prenosy prechádzali cez telefónnu sieť (aj v rámci ústrední), ktorej kapacita nebola pre vyššie rýchlosti dostatočná. Kvôli tomu sa potenciál miestnych vedení využíval len minimálne. Dôležitou myšlienkou preto bolo použiť pre vzdialený prenos dát inú (dátovú) sieť, a v rámci poslednej míle maximalizovať možnosti týchto liniek.

Riešením ako takto dosiahnuť rýchlosti až niekoľko Mbps sú práve technológie DSL.

DSL (Digital Subscriber Line)

DSL využívajú na rozdiel od ISDN omnoho väčšiu šírku pásma. Rozdeľujeme ich podľa toho, či ponúkajú rovnakú rýchlosť downloadu a uploadu (symetrické/asymetrické) respektíve či využívajú celé frekvenčné pásmo telefónnej linky alebo len jeho časť.

Najznámejšou technológiou je ADSL (Asymmetric DSL), ktorej vývoj začal už roku 1989, no štandardizovaná bola až v roku 1998. Ponúka rýchlosti až 8 Mbps pre download a 800 kbps pre upload. Tie závisia od vzdialenosti telefónnych ústrední. Zvyčajne neprekračuje 4 km. ADSL pritom necháva možnosť fungovania predošlým (hlasovým) službám, pretože používa len tzv. nadhovorové pásmo. Konkrétne ide o frekvencie od 26 do 138 kHz pre upload a 138 kHz až cca 1,1 MHz pre download. Aby tieto dve služby mohli fungovať zároveň, používa sa zariadenie splitter, ktoré hovorové a nadhovorové pásma vhodne oddeľuje.

Pre moduláciu signálu sa používa technika DMT (Discrete Multi-Tone). Ta rozdeľuje frekvenčné pásmo na 256 subkanálov o šírke cca 4,3 kHz. Tie poskytujú samostatne rýchlosti 6,5 až 50 kbps. Ide pri tom o podobný princíp ako u metódy OFDM popísanej pri bezdrôtových sieťach.

ADSL štandardizovala medzinárodná organizácia ITU (International Telecommunication Union) pod označením ITU G.992.x, kde x predstavuje čísla jednotlivých verzii a vylepšení. Pokrýva pritom len komunikáciu v rámci miestneho vedenia. Týka sa zariadení ATU-R (ADSL Transmission Unit – Remote), ktoré predstavujú zákazníkov modem a ATU-S (ATU – Central), ktoré sú v role modemov telefónnych ústrední.

Každému „R modemu“ pritom prislúcha jeden „C modem“. C modemy sú združované do tzv. DSLAM (DSL Access Multiplexor) zariadenia, ktoré zlučuje dáta od niekoľkých ATU-R do jedného toku a posiela ich dátovou sieťou. Predstavuje odklon resp. vybočenie z telefónnej siete.

Od DSLAM zariadení vedú linky k prístupovým serverom BRAS (Broadband Remote Access Server), ktoré fungujú aj ako agregáčny smerovač¹. Medzi ATU-R modemom a BRAS vedie virtuálny okruh (spoj). Pre prenos paketov sa pri tom využíva protokol PPP (Point-to-Point Protocol).

BRAS zaisťuje autentifikáciu užívateľov, sprostredkováva konfiguračné údaje (napr. IP adresy a QoS) a umožňuje vybrať si služby rôznych internetových poskytovateľov.

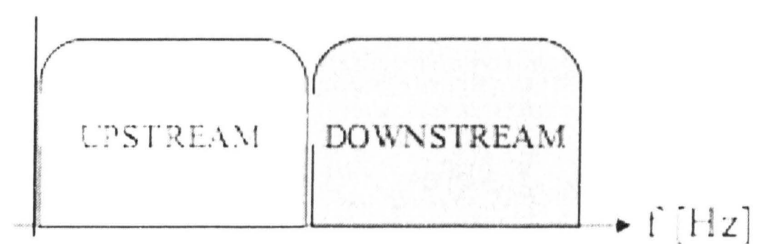
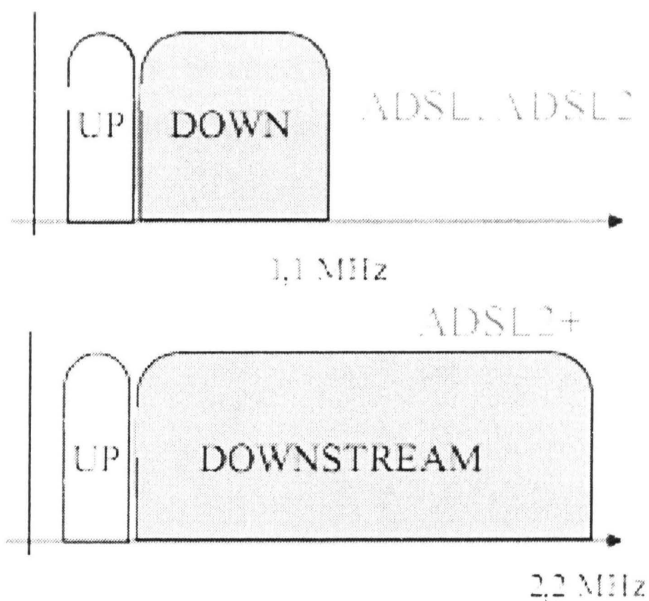
¹ Vykonáva združovanie signálov a zisťuje ďalšiu cestu dát.

Ďalší vývoj viedol k nástupcovi ADSL2. Ten využíva rovnaké frekvenčné rozsahy, no poskytuje vyššie prenosové rýchlosti až o 4 Mbps pri ešte väčšom dosahu. Môže za to dokonalejšia modulácia a kódovanie. Okrem toho ponúka ADSL2 aj úsporný režim. Zatiaľ čo pri ADSL pracovali zariadenia naplno nepretržite, pri 2-ke sa výkon zvyšuje len ak je potreba. Taktiež priniesol rýchlejší štart služieb (3s oproti predchádzajúcim 10s) a možnosť úplného digitálneho režimu ADM (All Digital Mode), pri ktorom sa využíva aj hovorové pásmo.

Pre ďalšie zvyšovanie rýchlosti už technologické vylepšenia nestačili. Bolo potrebné využiť ďalšie - vyššie frekvencie. Standard G.992.5 z roku 2003 definuje použitie frekvencií až do 2,2 MHz a dosahuje tak (teoreticky) rýchlosť downloadu až 24 Mbps. Keďže pritom zahrňuje všetko zo štandardu ADSL2, hovoríme o jeho vylepšení ako o ADSL2+.

Zo symetrických DSL technológií vyberám tú, ktorá bola prvá štandardizovaná medzinárodne. Je ňou SHDSL (Single pair High speed DSL) z roku 2001. Ponúka rýchlosti od 192 kbps po 2,3 Mbps na vzdialenosť 3 km. Jej zdokonalená americká verzia dokonca až 5,7 Mbps.

Pri všetkých symetrických riešeniach sa využíva celé frekvenčné spektrum, teda vrátane hovorového pásma. Pre porovnanie využívaných frekvencií nám poslúžia nasledujúce obrázky.



Obrázok 2.1: Zväčšenie pásma

Obrázok 2.2: Frekvencie u symetrických DSL

Zatiaľ najrýchlejšou DSL technológiou je v súčasnosti VDSL (Very high speed DSL). Na vzdialenosť 300 metrov ponúka rýchlosť až 52 Mbps. Využíva ešte širšie frekvenčné pásmo (až 30 MHz) a dáva možnosť výberu symetrických a asymetrických rýchlostí.

Tým končí prehľad využitia telefónnych liniek a prejdime teraz na oblasť tykajúcu sa káblových TV.

DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification)

Pôvodné koaxiálne rozvody pre káblovú televíziu boli jednosmerné a mali jednoduchú štruktúru zahrňajúcu hlavne zosilňovače. Okrem koaxiálnych káblov sa postupne začali využívať aj optické vlákna (aj keď ďalej od zákazníka), takže potenciál tejto siete sa zvýšil. Po

čas sa vytvárala zložitejšia hierarchická štruktúra. Ta obsahovala zakončovací systém (Head End), ktorý slúžil ako vstupný bod do celej tejto siete, optické rozbočovače (hierarchicky vyššie/nížšie), optické uzly zabezpečujúce prechod z optiky na koaxiál, zosilňovače a koncové zariadenia (TV prijímač). Komunikácia bola však stále jednosmerná. Cieľom preto bolo využiť potenciál tejto siete aj na obojsmernú komunikáciu. Zavedenie spätného kanálu si síce vyžiadalo úpravu všetkých prvkov káblovej siete, no umožnilo to zrod dátového prenosu. Novým vstupom do tejto siete sa stalo CMTS (Cable Modem Termination System) zariadenie. Každý CMTS „spravuje“ určitý počet káblových modemov (na strane užívateľa). Všetky tieto modemy zdieľajú spoločnú kapacitu. Poskytovateľ tak môže reagovať na zvyšujúce sa nároky užívateľov pridaním ďalších CMTS, čím dosiahne zníženie počtu modemov na jednu zdieľanú oblasť.

Práve pre komunikáciu medzi CMTS a káblovými modemami bol vyvinutý štandard DOCSIS. K dispozícii má frekvenčné kanály navrhnuté pre potreby TV prenosu ². Niektoré frekvenčné kanály sú naďalej využívané pre šírenie TV signálu, no ostatné slúžia pre dátový prenos. Pre download využíva frekvenčné kanály v rozsahu 108-862 MHz pri rýchlosti 39 až 57 Mbps (na kanál), a pre upload rozsah 5-65 MHz pri rýchlosti až 10 Mbps. Táto kapacita je však zdieľaná viacerými modemami.

Spomenutá verzia je základný (prvotný) DOCSIS 1.0 z roku 1997. Verzia 1.1 z roku 1999 pridáva k pôvodnej podpore QoS. DOCSIS 2.0 zvyšuje rýchlosť uploadu na 35 Mbps. Využíva lepšie formy modulácie (efektívnejšie využitie frekvenčného spektra). Najnovšou verziou je 3.0 z roku 2006, ktorá ponúka rýchlosti až 200/100Mbps vďaka možnosti použitia viacerých kanálov súčasne.

Okrem spomenutých technológií používaných pre prístup k internetu zohrávajú metalické vedenia dôležitú rolu aj v lokálnych sieťach. Za predstavenie stojí hlavne vývoj Ethernetu, ktorý približujem ako posledný v tejto podkapitole. Ethernet síce nie je obmedzený na konkrétne médium, no jeho počiatky sú spojené práve s metalickými sieťami.

Ethernet

Ethernet je prenosovou technológiou zaisťujúcou prenos na fyzickej vrstve a pokrýva taktiež prístup k médiu, ktorý rieši podvrstva MAC (Media Access Control). Jej koncept bol zverejnený už roku 1976. O jej štandardizovanie sa postarala skupina IEEE 802.3. Prvé verzie boli určené len pre lokálne siete, no v súčasnosti sa nasadzuje aj v metropolitných či rozľahlých sieťach.

Aký býval ?

Používa(l) nedeterministickú prístupovú metódu CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), pri ktorej zariadenie plánujúce vysielanie najprv zisťuje, či je médium momentálne používané iným zariadením (CS). Ak áno, buď sa pokúsi vyselať ihneď po jeho uvoľnení, alebo sa odmlčí na dlhšiu dobu (náhodná doba = nedeterminizmus). Metóda CD

² V Európe sú široké 8 MHz a v klasickom (americkom) DOCSISe majú 6 MHz.

využíva schopnosť detekovania vzniku kolízií – stavov, kedy sa o vysielanie pokúsilo viacero uzlov (MA) zároveň.

CSMA/CD síce nezaručuje uzlu prístup na médium za určitý maximálny čas, no vďaka tomu je celý systém lacný a ľahko implementovateľný. Čo sa týka použitého média, Ethernet prešiel od koaxiálnych káblov cez krútenú dvojlinku až k optickým vláknam. Do roku 1995 na nich dosahoval rýchlosť 10 Mbit/s. V tom čase došlo k schváleniu Fast Ethernetu s 10-násobnou rýchlosťou pod označením 802.3u. Zrýchlenie sa dosiahlo efektívnejším kódovaním a skrátením maximálnej veľkosti „kolízneho“ segmentu (viď nasledujúci odstavec). Okrem toho priniesol mechanizmy pre rozoznanie rýchlosti, čím umožnil produkciu sieťových kariet podporujúcich obe (10/100 Mbps) rýchlosti.

Segment resp. kolízna doména v Ethernete je časť siete prepojená repeatermi (opakovačmi). Tie nerozlišujú aký signál nimi prechádza. Ich úlohou je jeho zosilnenie. Segmenty sú oddelené resp. prepojené „vyššími“ zariadeniami ako sú napr. switche. Fungovanie CSMA/CD vyžaduje, aby sa informácia o vzniku kolízie dostala k všetkým uzlom v rámci tohto segmentu ³ za určitý čas. Ten je definovaný na 51,2 μ s a označuje sa ako *slot time*. Aby sa šíriaca informácia stihla dostať aj „na druhý koniec“ segmentu, musí byť jeho veľkosť obmedzená. Napríklad pri krútenej dvojlinke je maximum 100 metrov a pri použití optických vlákien 412 metrov.

Čo sa zmenilo ?

Metoda CSMA/CD je založená na poloduplexnom⁴ charaktere komunikácie, ktorou je tradičný Ethernet typický. V roku 1997 sa však v dôsledku novej kabeláže umožnila aj duplexná komunikácia definovaná v štandarde 802.3x. Prestali sa tak používať koaxiálne káble a navyše sa repeatre (opakovače) nahradili switchami (prepínačmi). Podmienkou duplexu bolo, aby v každom segmente bol len jeden uzol, a všetky uzly spolu so sieťovými rozhraniami museli podporovať túto duplexnú komunikáciu.

To viedlo k zásadnej zmene. Uzly už nezdieľali médium, čím sa vlastne odstránila potreba riadenia prístupu k nemu. Nedochoádza pri tom k vzniku kolízií, takže metóda CSMA/CD sa mohla vypustiť. To ale viedlo k odstráneniu obmedzenia dosahu takejto siete, pretože už nie je nutné, aby sa informácia a vzniknutej kolízií rozšírila do celého segmentu. Umožnilo sa tak preniknutie Ethernetu aj do väčších sietí.

Okrem toho priniesol štandard 802.3x aj nový spôsob riadenia toku. Pôvodný Ethernet nemal pre riadenie žiadne mechanizmy, pretože nepočítal s veľkou zaťaženosťou, a tak to nebolo zapotreby. Novšie verzie sa však často stretávajú s veľkým zaťažením hlavne (ethernetových) switchov. Kvôli tomu bol zavedený nový druh rámca s názvom PAUSE. Preťažený switch tak pomocou neho posiela odosielateľovi dát časový údaj, na ktorý sa má odmlčať. Buď po jeho uplynutí alebo po prijatí rámca PAUSE 0 sa k vysielaniu môže vrátiť. Rámec pritom môže byť odoslaný jednému uzlu (unicast) alebo všetkým naraz (broadcast).

Nadalej však pokračovali aj snahy o ďalšie zvyšovanie rýchlosti. V roku 1998 bol prijatý štandard gigabitového Ethernetu. Opätovné znásobenie rýchlosti by tak malo zase znížiť

³ Táto informácia „prechádza“ cez repeatre, no nedostáva sa do iného segmentu.

⁴ Môže sa vysielateľ oboma smermi, no nie súčasne. Pri plnom duplexe to ide zároveň.

veľkosť segmentu, a to až na neúnosných 10 metrov. Riešenia tohto problému boli dve. Prvým bolo zavedenie spomínaného duplexu, ktoré úplné (až na fyzické vlastnosti média) odstraňuje obmedzenie dosahu. Druhé zachovávalo poloduplex s metódou CSMA/CD. To si ale vyžiadalo predĺženie slot time-u na jeho osemnásobok (409,6 μ s). Správa o kolízii tak „mala viac času“ dostať sa k všetkým uzlom v segmente.

Duplexný gigabitový Ethernet má niekoľko variant.

Použitie nekrytej krútenej dvojlinky (UTP cat. 5) definuje štandard IEEE 802.3ab a tento Ethernet označujeme ako 1000Base-T (prvé číslo pri tomto označení znamená dosahovanú rýchlosť a písmeno za „Base“ použité médium). Vyžaduje 4 páry vodičov spomenutej dvojlinky, na ktorých prebieha súčasne vysielanie aj príjem. Dátový tok sa do nich rozloží po 250 Mbps. Technológia je spätne kompatibilná. Dosah zostáva obmedzený len fyzikálnymi vlastnosťami UTP linky na 100 metrov.

Standard 802.3z definuje 3 ďalšie druhy gigabitového Ethernetu.

Na krytej krútenej dvojlinke (STP) je založený Ethernet 1000Base-CX s maximálnym dosahom 25 metrov.

Zvyšné dva varianty počítajú s použitím optických vlákien, pri ktorých rozlišujeme mnohovidové (prenáša viacero svetelných zväzkov naraz) a jednovidové (len jeden) vlákna. Konkrétne 1000Base-SX definuje použitie 850nm svetla na mnohovidovom vlákne s dosahom až 550 metrov. 1000Base-LX ráta s použitím 1300nm svetla (laser) buď na jedno- alebo mnohovidovom vlákne s dosahmi 3 km resp. 550 metrov. Pomocou lepších zariadení sa však tento dosah neustále zvyšuje. Ethernet sa tak stal technológiou použiteľnou aj v rámci preklenutia poslednej míle či dokonca v chrbticovej sieti.

V roku 2002 bol prijatý štandard 802.3ae prinášajúci 10-gigabitový Ethernet s dosahom až 40 km. Funguje už zásadne duplexne (bez metódy CSMA/CD) a len na optických vláknach. Rozlišuje pritom použitie „celých“ vlákien, alebo len jednotlivých farieb svetla získaných technikou DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Existujú pri tom varianty určené pre LAN ako aj WAN siete. V roku 2006 bol vydaný aj štandard definujúci 10-gigabitový Ethernet aj na krútenej dvojlinke. Jej fyzické možnosti uchovávajú dosah 100 metrov. Zaujímavosťou je, že má najvyššie oneskorenie a spotrebuje najviac energie zo všetkých 10-gigabitových ethernetových technológií.

Vývoj Ethernetu nepriniesol len vyššie rýchlosti a dosah. Za zmienku stoja aj nové možnosti jeho využitia či nasadenia.

Zariadenia s malým príkonom (napr. webkamery) potrebujú pre fungovanie buď batérie alebo sieťový (elektrický) adaptér. V roku 1999 vznikol prvý zámer napájať tieto zariadenia použitím „dátových“ káblov a odstrániť tak prebytočnú (elektrickú) kabeláž. V roku 2003 bol schválený štandard 802.af nazývaný tiež ako PoE (Power over Ethernet). Pre takéto zariadenia ponúka príkon až 13 W pri napätí 48 V. Musí byť pritom samozrejme zaručené, aby PoE nepoškodilo zariadenia, ktoré túto technológiu nepodporujú. Zabezpečuje sa to spôsobom, že napájacie zariadenie najprv skúsi vyslať napájanému zariadeniu bezpečne malé napätie a čaká na odozvu. Ak zisti, že zariadenie PoE podporuje, zvýši napájanie na požadovaný príkon. Využíva sa pritom

krútená dvojlinka kategórie 5⁵ s dvoma variantmi. Buď sa pre dáta používajú 2 stredné páry a pre napájanie 2 krajné, alebo sa 2 stredné páry využívajú súčasne pre dáta aj napájanie.

Ethernet sa vďaka svojmu vylepšeniu stal konkurenciou pre technológie v rámci chrbticovej siete, ale aj pre preklopenie poslednej míle. Pri použití jednej technológie v rámci celého prenosu (od prvej po poslednú míľu) by sa tak znížila réžia prevodu. Ethernet tak konkuruje aj spomenutým DSL technológiám.

Použitie Ethernetu práve v prvej a poslednej míli definuje štandard EFM (Ethernet in the First Mile) známy tiež ako 802.3ah. Ponúka niekoľko druhov.

EFMC (EFM over Copper) počíta s dvojbodovým spojením na metalickom vedení. Môže pri tom koexistovať s predošlými technológiami ako napr. ISDN. Na rozdiel od ADSL je symetrický a ponúka rýchlosť 10 Mbps na 750 metrov a 2 Mbps na 2700 metrov. Oproti ADSL má nižšiu réžiu.

EFMF (EFM over Fiber) definuje dvojbodové spojenie po jednoivových optických vláknach s rýchlosťami 100 až 1000 Mbps na 10 km.

EFMP (EMF over Passive Optical Networks) ponúka viacbodové spojenie po optických vláknach s pasívnym rozbočením (pomocou pasívneho optického rozbočovača, ktorý signál nijako nemení, len distribuuje). Aj táto technológia ponúka symetrické rýchlosti, a to až 1 Gbps na 20km.

Čo sa plánuje ?

Čo sa týka použitia Ethernetu v MAN resp. vo WAN sieťach, má podobnú myšlienku zníženia réžie pri prechode medzi rôznymi technológiami. Pre prepojenie LAN sieti sa používajú rôzne technológie založené na vyššej – sieťovej vrstve. Zámerom je tak umožniť prepojenie aj na vrstve data-linkovej.

Okrem toho, niet divu, že ďalšími zámermi a prognózou je opätovné zvyšovanie rýchlosti. Pre použitie síce hlavne v optických WAN sieťach sa od roku 2006 pripravuje 100-gigabitový Ethernet. Jeho príchod sa očakáva v rokoch 2009-2010. Dosahovať by mal 100m na mnohovidových a 10km na jednoivových vláknach. Použitie krútenej dvojlinky sa ešte zvažuje.

Dá sa preto predpokladať, že budovanie nových metalických sieti sa bude spájať hlavne s lokálnymi sieťami, a že svoje postavenie bude hájiť nejakú dobu aj v rámci prístupových sieti.

⁵ TP (Twisted Pair) cat. 5 je tvorený 4 (obkrútenými) párami vodičov a podporuje prenos pri frekvenciách do 100 MHz.

2.2 Optické siete

Optické siete tvoria značnú časť infraštruktúry chrbticových počítačových sietí. V rámci postupnej modernizácie telekomunikačných sietí sa však postupne dostávajú aj do blízkosti zákazníkov, a tým aj do ich väčšieho povedomia.

Ich základnými prvkami sú: zdroj svetla (LED dióda alebo laser), prijímač svetla (fotodióda) a optické vlákna.

Optické vlákna majú niekoľko dobrých vlastností:

- veľmi malý odpor umožňujúci dosah až niekoľko sto kilometrov
- nevyžarujú elektromagnetické vlny, a tým nerušia a nie sú rušené inými prenosmi
- ponúkajú obrovské prenosové rýchlosti

Na rozdiel od všetkých ostatných médií bolo však využitie potenciálu optických vlákien veľmi nízke. Dôvodom sú/boli ostatné prvky optickej siete, ktoré sa musia starať o smerovanie alebo o prevod signálu medzi optickou a elektronickou podobou.

Pre celkový výkon optickej siete je okrem iného dôležitá aj otázka obojsmernej komunikácie a prenášania viacerých signálov pomocou jedného optického vlákna.

Pre obojsmerný resp. viacnásobný prenos sa spočiatku používala metóda TDM (Time Division Multiplexing), pri ktorej sa strany resp. uzly v krátkych intervaloch striedajú. To sa však postupom času stalo obmedzujúcim faktorom, a tak prišla na rad technika využívajúca "dobré" vlastnosti svetla. Konkrétne ide o použitie rozdielných vlnových dĺžok (farieb) svetla pre prenos viacerých signálov. Z násobuje sa tak celková kapacita vlákna a umožňuje to súčasnú obojsmernú komunikáciu, pri ktorej majú smery rozdielnu vlnovú dĺžku. Táto technika sa označuje ako WDM (Wavelength Division Multiplexing) a zodpovedá technike FDM (Frequency Division Multiplexing), ktorá je spoločne s TDM podrobnejšie vysvetlená v nasledujúcej podkapitole o bezdrôtových sieťach.

Prvé systémy založené na WDM vznikli už okolo roku 1980 a podporovali len 2 rôzne signály. Postupom času sa však zariadenia zdokonaľovali, a tak dnešné moderné systémy zvládajú až niekoľko desiatok signálov. Ide pritom konkrétne o technológie DWDM (Dense WDM) a CWDM (Coarse WDM). Líšia sa hlavne minimálnym rozdielom medzi dvoma „farbami“, a tak aj počtom prenášaných signálov [1].

CWDM systémy používajú laser poskytujúci rýchlosť až 2,5 Gbps a dovoľujú prenos 18 vlnových dĺžok súčasne. Tým dostávame maximálnu rýchlosť až 45 Gbps na jedno vlákno. Presnejšie, používa sa svetlo v pásme s vlnovou dĺžkou od 1270 do 1610 nanometrov. Jednotlivé vlnové dĺžky použité na prenos signálu sú oddelené 20-nanometrovým „bezpečnostným“ pásmom. CWDM je ideálne pre siete do veľkosti 50 km. Ich výhodou je, že nepotrebujú prenášaný signál zosilňovať.

DWDM ponúka prenos 240-tich vlnových dĺžok s rýchlosťou až 10 Gbps. Dokopy teda až 2,4 Tbps. Novšie systémy majú podporovať dokonca 40 Gbps a 300 kanálov, čo predstavuje

neuveriteľných 12 Tbps na jedno vlákno. To všetko vďaka menším rozdielom medzi jednotlivými vlnovými dĺžkami. Táto technológia si však vyžaduje viac energie v porovnaní s CWDM. Tým vytvára viac tepla, a tak je potrebné zaoberať sa opatreniami pre chladenie systému. DWDM sa používa na prenos do vzdialenosti až niekoľko tisíc kilometrov. Pritom je však potrebné prenášané signály zosilňovať.

Vráťme sa ale ešte k ich počiatkom.

WDM technológie sa spočiatku nasadzovali hlavne u dvojbodových spojeniach, pretože to bolo najjednoduchšie realizovateľné. Pri zložitejších sieťach však vznikol problém so pracovaním viacerých farieb v medziuzloch. Zariadenia, ktoré to robili pomocou prevodu na elektronickú formu a späť boli veľmi drahé a navyše limitovali celkovú rýchlosť.

Cestou k zdokonaľovaniu boli tak čisto optické systémy, v ktorých spracovanie signálov prebieha bez nutnosti prevodu. Vzniklo niekoľko zariadení podporujúcich túto snahu. Sú nimi optické rozbočovače (splitter - jeden signál rozvádza do viacerých smerov), prepínače (switch - pracuje na fyzickej vrstve, prepája niekoľko vstupov a výstupov s rozdielnymi farbami), prevádzače vlnových dĺžok (converter – mení požadovaným spôsobom vlnovú dĺžku signálu), multiplexori (združujú viac signálov rôznej vlnovej dĺžky do jedného "prúdu"), demultiplexori (rozdeľujú ich späť), či zosilňovače signálu (amplifier). Svoje úlohy riešia pomocou vhodne uložených a natočených zrkadlových plôch, použitím chemických reakcií, alebo vďaka fyzikálnym zákonom.

Ako príklad uvádzam pre zvýšenie rýchlosti kľúčový vynález - EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) zosilňovač. Ten je schopný zosilniť súčasne niekoľko signálov s rôznymi vlnovými dĺžkami. A to všetko bez spomínaného prevodu na elektrický signál a späť. Pozostáva z vlákna, ktoré je rovnomerne nabité iónmi Erbium (chemický prvok). Tie môžeme chápať ako dvojstavový systém: 1. základný a 2. excitovaný stav. Pri zosilňovaní sa používa laser, ktorý zasiahnuté ióny excituje. Tie sa následne „zrazia“ so vstupným signálom (ktorý sa má zosilniť) a jednoducho povedané mu odovzdajú svoju nadobudnutú energiu. Tým sa vrátia do pôvodného základného stavu.

Jednou z najpoužívanejších prenosových technológií nasadzovanou výhradne v rámci optických sietí je SONET/SDH (Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy)⁶. Bola vyvinutá už roku 1984 a štandardizovaná o 4 roky neskôr. Umožňuje prenášať signály rôzneho formátu optickými vláknami. Okrem iného pritom špecifikuje rýchlosť, formát rámcov, signalizovanie a zakončenie v zariadeniach podporujúcich túto technológiu. Spočiatku podporovala synchronný prenos len pomocou jedinej vlnovej dĺžky na základe TDM. Pre nasadenie techník založených na WDM sa preto jeho fungovanie muselo upraviť. Podpora WDM spolu so zvýšením efektivity, flexibility a znížením nákladov viedla k novej generácii nazvanej NG-S (Next Generation SONET/SDH). NG-S priniesla podporu nových topológií sietí a technológií, vyššiu bezpečnosť, lepšie riadenie a monitorovanie prenosu a aj ďalšie služby.

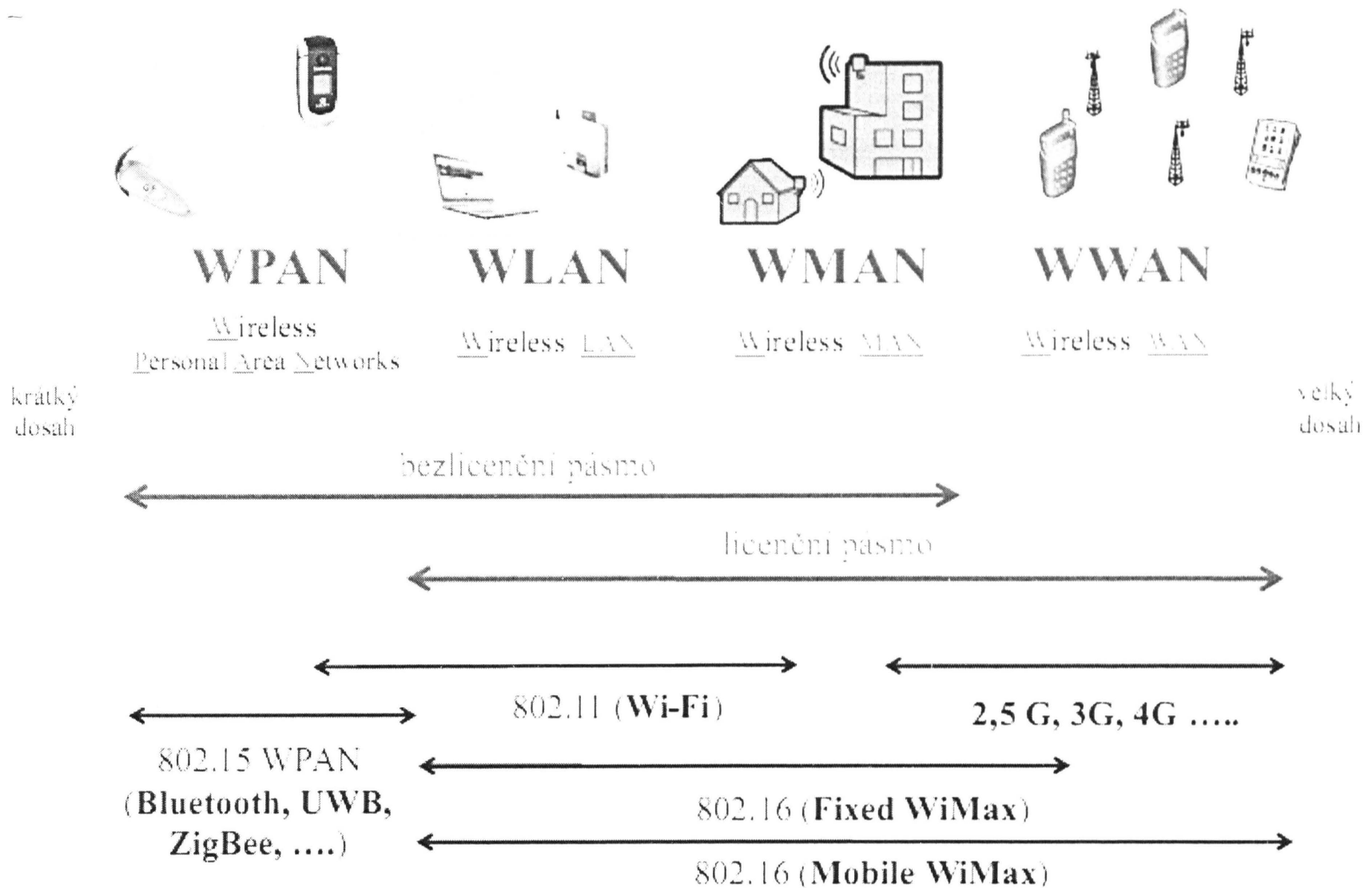
Do budúcnosti sa dajú predpokladať dokonalejšie a efektívnejšie sieťové zariadenia prinášajúce čoraz vyššie prenosové rýchlosti po existujúcich optických kábloch.

⁶ SONET sa používa v USA a Kanade, modernejší SDH vo zvyšku sveta

2.3 Bezdrôtové (terestriálne) siete

Bezdrôtové počítačové siete zaznamenali v poslednom desaťročí hádam najvýraznejší vzostup. Aj to je jedným z dôvodov, prečo sa im v mojej práci venujem detailnejšie. Ich dnešné nasadenie, rýchlosť, spoľahlivosť a bezpečnosť však prešli strastiplnou cestou a práve tu opisujem v tejto podkapitole.

Keďže je aj samotná bezdrôtová komunikácia veľmi obsiahla, existuje viacero delení podľa rôznych kritérií. Niekoľko z nich prehľadné zobrazuje Jiří Peterka vo svojom earchive ⁷.



Obrázok 2.3: Rozdelenie bezdrôtových sieti

Vychádzajúc z rozdelenia sieti podľa dosahu, som sa rozhodol venovať sa najprv technológiám v rámci WWAN (Wireless Wide Area Network), pretože vznikli najskôr. Reprezentujú siete mobilných operátorov (svet telekomunikácii), a tak by mal byť záujem bežného čitateľa o ne najväčší. V druhej časti predstavím zvyšné triedy sieti, ktorých spoločnou črtou je pôvod zo sveta počítačov. Na záver popíšem bezpečnosť tohto druhu sieti, pretože má viaceré špecifické vlastnosti.

⁷ <http://earchiv.cz>

Siete mobilných operátorov

Úlohou týchto sietí je poskytnutie bezdrôtovej komunikácie na veľké vzdialenosti. Keďže je záujem o túto službu obrovský, vzniklo mnoho poskytovateľov snažiacich sa tento dopyt uspokojiť. Pretože je prenosové médium (rádiové spektrum) obmedzené a množstvo prenášaných signálov obrovské, je dôležité aby sa navzájom nerušili. K tomu sú potrebné určité pravidla pre využívanie rádiových frekvencií. Pásmo s takými to pravidlami označujeme ako licenčné (pre ich používanie je potrebná zmluva – licencia). Siete mobilných operátorov fungujú zásadne v nich. Uvediem základné princípy ich použitia.

Mobilný operátor získa na základe licencie frekvenčné pásmo, obsahujúce obmedzený počet frekvencií. Jeho úlohou je zabezpečiť obojsmernú komunikáciu. Problémom je, že sa nedá komunikovať obojsmerne na jednej frekvencii súčasne. Riešenie ponúkajú dve metódy:

FDD (Frequency Division Duplexing) – frekvenčné pásmo sa rozdelí na malé rádiové (frekvenčné) kanály. Každý takýto kanál pozostáva z páru frekvencií. Jedna frekvencia sa používa na prenos smerom od vysielača k mobilnému zariadeniu a nazýva sa downlink. Kanál používaný pre opačný smer voláme uplink. Pritom je dôležité, aby sa na každý smer využívala iná („dostatočne“ rozdielna⁸) frekvencia.

TDD (Time Division Duplexing) – oba smery využívajú rovnakú frekvenciu (resp. frekvenčný kanál), no tá je rozdelená na tzv. časové sloty (malé intervaly). Uplink a downlink sa pri tejto metóde striedajú.

Obe techniky sú na tom čo sa týka využitého množstva rádiového spektra rovnako. Rozdiel je v tom, že technika FDD si vyžaduje dve pásma s rozdielnou frekvenciou, zatiaľ čo TDD stačí pásmo jedno, aj keď so šírkou rovnajúcou sa súčtu linkov pri FDD. Dá sa preto predpokladať, že získanie pásma pre techniku TDD je jednoduchšie. TDD má výhodu aj v tom, že dokáže dynamicky rozdeľovať spotrebu spektra medzi oboma smermi, a tak poskytnúť rôzne prenosové rýchlosti. Na druhej strane však táto technika ponúka „len“ pseudoduplexnú komunikáciu. V každom okamihu sa signál vysiela len jedným smerom. Pri dostatočnej prenosovej rýchlosti je sa však toto obmedzenie prejavuje len nepatrným omeškaním komunikácie.

Nie len zabezpečenie duplexnej komunikácie, ale aj spôsob využitia frekvencií pre viacnásobný prístup⁹ je kritickým faktorom ovplyvňujúcim kvalitu, rýchlosť a celkový úspech mobilných technológií. Pri skúmaní jednotlivých techník zistíme, že všetky vznikli na základe rôznych kompromisov. Pre príklad zvažovaných kritérií môžeme spomenúť prenosovú šírku na jedného užívateľa, bezpečná veľkosť (medzi)pásmo medzi jednotlivými kanálmi (opäť kvôli novej interferencii), znovupoužitie frekvencií, pomer medzi požadovaným a rušivým signálom, metódy kódovania hlasu či komplexnosť celého systému.

Najjednoduchšou a najstaršou schémou pre viacnásobný prístup je technika FDMA (Frequency Division Multiple Access) – frekvenčný multiplex, ktorý delí frekvencie na spomínané menšie časti - kanály.

⁸ Taká, aby nedochádzalo k interferencii medzi downlinkom a uplinkom.

⁹ Tzv. multiplexing, zabezpečujúci prenos viacerých signálov naraz.

Technika TDMA (Time Division Multiple Access) – časový multiplex deliaci využívané frekvencie na časové sloty.

CDMA (Code Division Multiple Access) – kódový multiplex, ktorý využíva celé frekvenčné pásmo na základe interferencii signálov a metód kódovania.

Podrobnejšie si jednotlivé technológie rozoberieme neskôr, no pre základné pochopenie nám poslúži analógia skupiny hovoriacich ľudí. V prípade TDMA by sa ľudia v rozprávaní striedali. V každom okamihu by hovoril iba jeden. FDMA by sme mohli prirovnať k ľuďom rozdeleným do menších skupín. V každej prebieha konverzácia nezávislá od ostatných. CDMA je zásadnou zmenou, a môžeme ju prirovnať k skupine ľudí v jednej miestnosti rozprávajúcich naraz, no každý komunikujúci pár používa iný jazyk. Aj keď sa navzájom prekrikujú, začuť svoj (materinsky) jazyk (použitý medzi dvoma ľuďmi) nie je veľký problém. Preto kľúčovou úlohou tejto techniky je signál zakódovať tak, aby sa dal extrahovať bez ohľadu na ostatné.

Tieto doterajšie poznatky nám umožňujú začať prehliadku vývoja siete mobilných operátorov. Ten je pomerne jasne rozdelený na jednotlivé etapy - generácie systémov. A hoci vývoj mobilných siete siaha hlboko do minulého storočia, a teda nespadá do vymedzeného obdobia mojej práce, považoval som za dôležité oboznámiť čitateľa so základnými myšlienkami a princípmi jej vzniku.

Aké to bolo ?

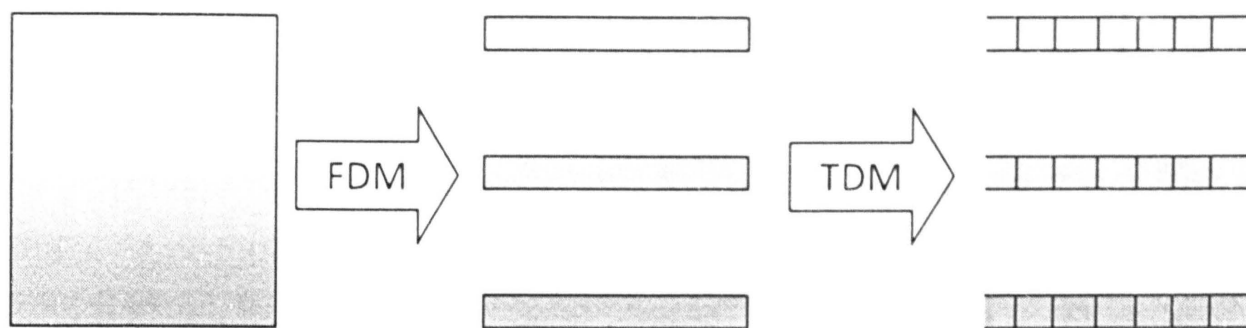
Stručný prehľad vývoja (prvá a druhá generácia)

Za posledných 30 rokov bol náš svet svedkom ohromného pokroku v oblasti telekomunikácií. Technológia prvej generácie (1G) označovaná tiež ako AMPS (Advanced Mobile Phone System) uzrela svetlo sveta roku 1979 v USA. Bola navrhnutá firmou AT&T a federálna komisia pre komunikáciu FCC (Federal Communications Commission) nariadila jej používanie v celej krajine. Začiatkom 80-tých rokov šla Európa opačným smerom a jednotlivé krajiny priniesli niekoľko mobilných systémov tejto generácie (najznámejší bol NMT – Nordic Mobile Telephone). Ich rôznorodosť viedla k úplnej vzájomnej nekompatibilite.

Sieť 1G bola analógová a zameraná len na prenos ľudského hlasu. Pre zaistenie obojsmerného prenosu používala FDD a pre viacnásobný prístup techniku FDMA.

Dôležitým okamihom vo vývoji mobilnej komunikácie bolo rozdelenie územia na oblasti zvané bunky. Drahé licenčné pásma majú obmedzené množstvo frekvencií, a práve bunkový systém umožnil ich znovupoužitie. Princíp spočíva v tom, že rovnaká frekvencia sa kvôli rušeniu nesmie používať len v susedných bunkách. Ak sú (nesusedné) bunky dostatočne vzdialené, k interferencii nedochádza.

Mobilne siete 2. generácie (2G) vznikajúce od 80-tých rokov minulého storočia sú už digitálne. Pre zaistenie obojsmerného prenosu používajú buď FDD alebo TDD a pre delenie frekvenčného pásma kombinuje techniku FDMA s TDMA (obr. 2.4) alebo novšiu techniku CDMA.



Obrázok 2.4: Techniky FDMA a TDMA

Európa si z fiaska 1. generácie (nekompatibilita systémov) zobrala ponaučenie. Krajiny zistili, aké dôležité je ísť spoločnou cestou (napr. USA pri AMPS). Preto vlády európskych krajín založili v roku 1982 komisiu známu pod názvom Groupe Spécial Mobile (GSM). Jej cieľom bolo vytvorenie spoločného mobilného systému pre západnú Európu. Pre svoje pôsobenie mala pridelené pásmo vo frekvencii 900 MHz (následne aj 1800 MHz). Neskôr sa tato organizácia premenovala na Global System for Mobile communications. Výsledkom jej snahy bolo vytvorenie najrozšírenejšieho štandardu 2. generácie [2].

Keďže sa GSM siete začali používať v Európe od roku 1992 a v USA (v pásme 1900 MHz) od roku 1996, pri ich stavbe a fungovaní spomeniem len veci nevyhnutné pre vysvetlenie ďalšieho vývoja komunikácie v rámci posledného desaťročia [5].

Architektúra GSM

Územie s GSM sieťou je rozdelené na bunky, každá s vlastnou základňovou stanicou BTS (Base Transceiver Station). Niekoľko BTS staníc je ovládaných jedným „dozorcom“ BSC (Base Station Controller). Spomenuté zariadenia tvoria jeden BSS (Base Station System) systém. Niekoľko týchto systémov má na starosti mobilná ústredňa MSC (Mobile Switching Centre), ktorá taktiež zabezpečuje komunikáciu po chrbticových (backbone) linkách. Prechod k iným sieťam zabezpečuje GMSC (Gateway MSC) brána. Okrem toho musí mať GSM sieť viacero centier. Tie uchovávajú informácie o užívateľoch a mobilných zariadeniach, zabezpečujú ich autentifikáciu, zaznamenávajú ich umiestnenie alebo podporujú funkčnosť celého systému.

900 MHz-ová GSM používa 124 + 124 frekvenčných kanálov pre uplink a downlink o šírke 200 kHz (technika FDMA). Operátori fungujúci v tomto pásme dostanú (po zakúpení) časť z nich. Každý frekvenčný kanál je ďalej delený do 8 časových slotov tvoriacich jeden rámeček (TDMA). Pre časovú predstavu, skupina 26 TDMA rámečkov tvorí jeden multirámeček, ktorý trvá 120 ms. Hlasový hovor zaberá vždy len 1 časový slot¹⁰. Tento slot trvá cca 0,577 ms a obsahuje 114 bitov (pre užitočné dáta). Multirámeček je potom tvorený 24x114=2736 bitmi. Tým dostávame teoretickú rýchlosť 2736 bitov za 120 ms, t.j. 22,8 kbps. Pre digitálny prenos hlasu sa používajú viaceré metódy jeho snímania (napr. metóda PCM-Pulse Code Modulation¹¹). Obecne sa vzorka hlasu zaznamenáva 8000x za sekundu a každá sa vyjadruje pomocou 13 bitov. Celkovo tak dostávame potrebu 8000x13=104 kbit za sekundu. Táto forma zaznamenania hlasu sa

¹⁰ V zmysle: 1 slot pre vysielanie a 1 pre príjem signálu

¹¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-code_modulation

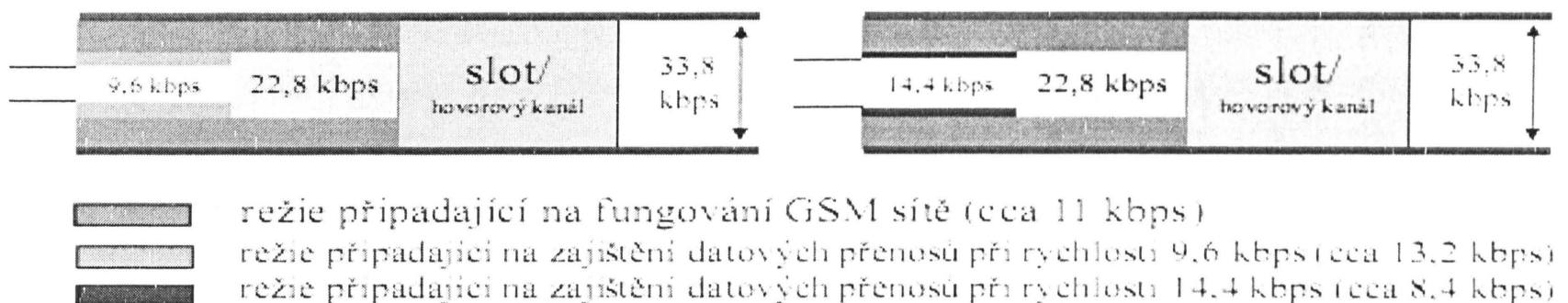
komprimuje (zhusťuje), čím sa dátový tok zníži na 13 kbit/s. Následne sa pridávajú zabezpečovacie údaje (napr. samoopravné kódy) a celkový tok sa tak ustali na 22,8 kbps, čo presne zodpovedá kapacite časového slotu.

Reálne sa síce používajú iné postupy snímania a časový slot ma ešte „miesto“, do ktorého sa vkladajú riadiace a pomocne bity, no princíp je rovnaký. Celková kapacita slotu je tak v skutočnosti 33,8 kbps. Réžia GSM si z toho „berie“ cca 11 kbps a réžia vedenia hovoru okolo 10 kbps (záleží na voľbe operátora). ($33,8 - 11 - 9,8 = 13$, t.j. záznam pre hlas). Tieto počty zohrajú dôležitú úlohu o chvíľu.

Z hľadiska mojej práce je dôležitá **cesta** od mobilných sietí 2. generácie (navrhnutých pre prenos hlasu) cez tzv. 2,5G siete (hlas + dáta) k 3G sieťam (hlavne dáta + hlas), až po navrhované 4G technológie. Pozrime sa teda na ňu.

Čo sa zmenilo ?

Technológia GSM bola primárne navrhnutá na prenos hlasu. Tomu zodpovedá šírka používaných kanálov. Postupom času však výrazne vzrastala potreba prenosu dát. Najjednoduchším spôsobom ako tomuto dopytu aspoň čiastočne vyhovieť bolo prenášanie obecných dát pomocou týchto „hlasových“ kanálov. Každý takýto tok zaberá jeden časový slot (rovnako ako pri hlase). Táto metóda sa označuje ako CSD (Circuit Switched Data). Nemení teda fungovanie siete. Jej teoretická rýchlosť je teda 13 kbps (ako pri predchádzajúcich počtoch). V skutočnosti však záleží na tom, koľko režijných (zabezpečovacích) nákladov použijú operátori. Pri väčšom zabezpečení dosahuje rýchlosť 9,6 kbps a pri nižšom, no o to citlivejšom prenose, dosahuje rýchlosť 14,4 kbps. Pre pochopenie prenosových dispozícií GSM kanálov a predchádzajúcich počtov nám slúži obrázok 2.5.



Obrázok 2.5: Režijné náklady

Pre zvýšenie týchto rýchlostí bola navrhnutý jej variant HSCSD (High Speed CSD). Ten spočíva v možnosti používať pre dátový spoj viac časových slotov naraz. Maximom je 8 slotov na každý smer. Nevýhodou oboch týchto technik je fakt, že užívateľ neplatí za skutočné množstvo prenášaných dát, ale za dĺžku spojenia. Je to kvôli tomu, že časové sloty sú pre neho po celú dobu spojenia rezervované. Hovoríme o technike prepájania okruhů, ktorá je typická pre svet telekomunikácii. Ak by poskytovateľ ponúkal týmito metódami trvalý prístup k internetu, za krátku dobu by sa jeho časové sloty vyčerpali.

Riešením týchto problémův je technológia GPRS (General Packet Radio Service). Základnou zmenou je princíp, že pokiaľ zariadenie neprenáša nijaké dáta, nespotrebuje pri tom žiadne sloty. Vďaka tomu sú služby pre zákazníka výhodnejšie a ponúkajú mu možnosť byť pripojený

k internetu aj trvalo. Nefunguje už teda na prepájaní okruhov ale na prepájaní tzv. paketov (kúskov dát) charakteristického pre svet počítačov.

GPRS si však na rozdiel od predchádzajúcich metód vyžaduje zásah do infraštruktúry mobilnej siete. Potrebuje akúsi paralelnú sieť s pôvodnou GSM. Ku každému MSC (ústredňa) prislúcha nová SGSN (Serving GPRS Support Node). Tie majú na starosti smerovanie paketov v danej oblasti. Napojenie na iné dátové siete sprostredkujú GGSN (Gateway GSN) brány. BTS a BSC stanice si vyžadujú len softwarový upgrade. Zmena sa týka aj zákazníkov, ktorí si musia zakúpiť nové mobilné zariadenie podporujúce túto technológiu.

GPRS negarantuje priepustnosť (prenosovú kapacitu). Tá je daná aktuálnym zaťažením celej siete. Operátor prideluje časové sloty podľa priority. Najväčšiu majú hlasové hovory, nasleduje HSCSD, a až po ňom GPRS.

Čo sa týka prenosovej rýchlosti, tá je stále viazaná možnosťami časového slotu. GPRS však dokáže prenosovú kapacitu 22,8 kbps (po odčítaní GSM režie) využiť efektívnejšie. Ponuka až 4 spôsoby¹² rozdelenia tejto kapacity medzi užitočné a režijné dáta. Jeden časový slot tak môže poskytovať rýchlosť 9,05, 13,4, 15,6 alebo až 21,4 kbps. Jednotlivé kódovacie schémy sa využívajú podľa okolitých podmienok. Podobne ako u HSCSD, aj pri GPRS môže dochádzať k „združovaniu“ kanálov pre dosiahnutie násobných rýchlostí. Ich počet závisí na schopnosti mobilného zariadenia ale aj na ich pridelovaní zo strany operátora. Predpokladá sa pritom 8-slotove maximum.

Pred začatím GPRS prenosu sa mobilné zariadenie (MZ) do tejto siete musí prihlásiť¹³. SGSN overí identitu a oprávnenosť užívateľa. Jedná sa o tzv. GPRS attach (pripojenie), ktorého opakom je GPRS detach. Aby mohlo MZ komunikovať, potrebuje tzv. PDP (Packet Data Protocol) kontext. Ten mu okrem iného prideluje PDP adresu a dohodnuté parametre QoS (3 úrovne priority, 3 úrovne spoľahlivosti, 4 úrovne oneskorenia, maximálna a priemerná priepustnosť). Po vyplnení (tzv. aktivácii) PDP kontextu sa MZ stáva pre sieť „viditeľné“ a je jej súčasťou až kým sa neodhlási.

Aby sa zariadenia podporujúce GPRS mohli pripojiť k internetu, je potrebná ešte akási brána. Označuje sa ako APN (Access Point Name) a definuje parametre pripojenia, pridelovanie IP adries (statické/dynamické), QoS atd. Vytvára teda plnohodnotného užívateľa internetu.

Ďalším krokom pre zvýšenie rýchlosti dát nad GSM sieťami bola technológia EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution). Tá zahŕňala vylepšenie GPRS -> EGPRS ako aj HSCSD -> EHSCSD. EDGE na rozdiel od jeho predchodcov mení rádiovú časť komunikácie medzi mobilným zariadením a BTS stanicou. Preto pre jeho funkčnosť už nestačí len softwarový upgrade, ale aj ten hardwarový. Zmeny komunikácie sa netýkajú viacnásobného prístupu (techniky FDMA a TDMA), ale spôsobu kódovania. Doteraz sa používala tzv. 2-stavová fázová modulácia, pri ktorej sa signál reprezentoval dvoma hodnotami (0 a 1). Jeden stav signálu tak predstavuje 1 bit. Pri EDGE sa zavádza 8-stavová fázová modulácia. Znamená to, že jeden stav udáva 3 bity. Tým sa rýchlosť prenosu teoreticky strojnásobuje. Okrem toho pridáva EDGE 9 nových kódovacích schém MCS (rozdelenie užitočných a režijných dát).

¹² tzv. kódovacie schémy CS (Code Scheme)

¹³ princíp prihlasovania je realizovaný aj v samotnej GSM sieti

GPRS sa spoločne s EDGE zaraďujú do „medzigenerácie“ 2,5G.

Okrem tejto GSM vetvy sa však paralelne rozvíjali aj ďalšie 2G technológie. Zatiaľ čo (európske) siete založené na GSM využívajú techniku FDMA spolu s TDMA, v USA vyvinula firma Qualcomm riešenie na báze CDMA. Táto nová technika bola štandardizovaná pod označením IS-95 (v roku 1995) a prezentovaná ako ďalšie digitálne riešenie 2G sietí pod značkou cdmaOne. Jej medzistupňom 2,5G k 3G bola vylepšená verzia s označením cdma2000.

Práve použitie kódového multiplexu (CDMA) zohralo dôležitú úlohu v ďalšom vývoji mobilnej komunikácie. Ide pri tom o techniku rozpestreného spektra, kedy sa namiesto jedného „užitočného“ bitu vysiela skupina bitov. Umožňuje tak prenášať viac informácií (rôzne signály) cez jeden komunikačný kanál pomocou ich zakódovania.

Tretia generácia - 3G

Zatiaľ čo 2G siete boli projektované primárne na prenos hlasu (tomu zodpovedá hlavne šírka kanálu), siete novej 3. generácie sa od začiatku navrhovali hlavne pre prenos dát (s hlasovými službami).

Už v roku 1985 začali práce na projekte s názvom IMT2000 (International Mobile Telecommunications). Číslo 2000 malo znamenať predpokladaný rok spustenia, plánovanú prenosovú rýchlosť (2000kbit/s) a plánované využitie frekvencií v pásme 2000 MHz. Práce na tomto projekte však prebiehali pomaly, a tak v roku 1998 vzniká projekt 3GPP (Third generation Partnership Project), ktorý mal za úlohu dokončiť vývoj a technické špecifikácie. Jeho výsledkom bola vetva využívajúca techniku WCDMA (Wide CDMA). V roku 1999 vznikol projekt 3GPP2, ktorý vychádzal z „americkej“ vetvy cdma2000. Obe tieto vetvy sa môžu „pýšiť“ označením technológie 3G.

Pozrime sa najprv na projekt 3GPP, z ktorého vzišlo UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), označujúce jednu z najvýznamnejších 3G technológií.

Vyvíjal sa postupným prijímaním nových štandardov. Jeden z nich definoval k pôvodnej GERAN (GPRS/EDGE Radio Access Network) sieti novú rádiovú sieť UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Namiesto základňových staníc BTS používa tzv. Node B stanice a niekoľko NodeB staníc ovláda RNC (Radio Network Controller). Zvyšok siete prakticky nemení, pretože pre svoje potreby využíva prvky zriadené už pre techniky GPRS a EDGE (napr. SGSN a GGSN). Využíva frekvenčné kanály o šírke až 5 MHz, vďaka čomu sa použitá technika multiplexingu nazýva WCDMA (Wide). Ma väčšiu kapacitu nie len pre dátové ale aj pre hlasové prenosy.

UMTS systém mal dosiahnuť požadovanú prenosovú rýchlosť 2000 kbit/s. To sa však nenaplnilo a realitou bolo maximum 384 kbit/s. Pre splnenie zámeru (ešte z čias IMT2000) sa začali používať techniky efektívnejšie využívajúce rádiový prenos. Konkrétne ide o techniku zvanú HSPA (High Speed Packet Access), ktorá sa skladá z techník pre zrýchlený download HSDPA + upload HSUPA. HSPA tak má (nominálne) dosahovať rýchlosti 1,2 až 14,4 Mbit/s pre downlink a 0,73 až 5,76 Mbit/s pre uplink. Dôležitou zmenou bolo aj presunutie niektorých funkcií medzi RNC a NodeB stanicami. Nasledujúcim krokom je technológia HSPA+ (označovaná

tiež ako HSPA Evolution). Tá má dosahovať rýchlosti až 42/11 Mbit/s (DOWN/UP). Predpokladá sa, že väčšie rýchlosti sa už pri použití techniky CDMA nedosiahnu.

Čo sa týka projektu 3GPP2, už samotný variant CDMA2000 sa niekedy považuje za 3G technológiu. Označuje sa tiež ako 1xRTT (Radio Transmission Technology). Oproti cdmaOne (2G) ma dvojnásobnú kapacitu (max. 307/153 kbit/s). Ďalší vývoj priniesol varianty CDMA2000 1xEV-DO (Evolution - Data Only) optimalizovanú na prenos dát, CDMA 1xEV-DV (Evolution Data & Voice) zvládajúcu aj prenos hlasu a CDMA 3xRTT využívajúcu širšie frekvenčné kanály.

Čo sa plánuje ?

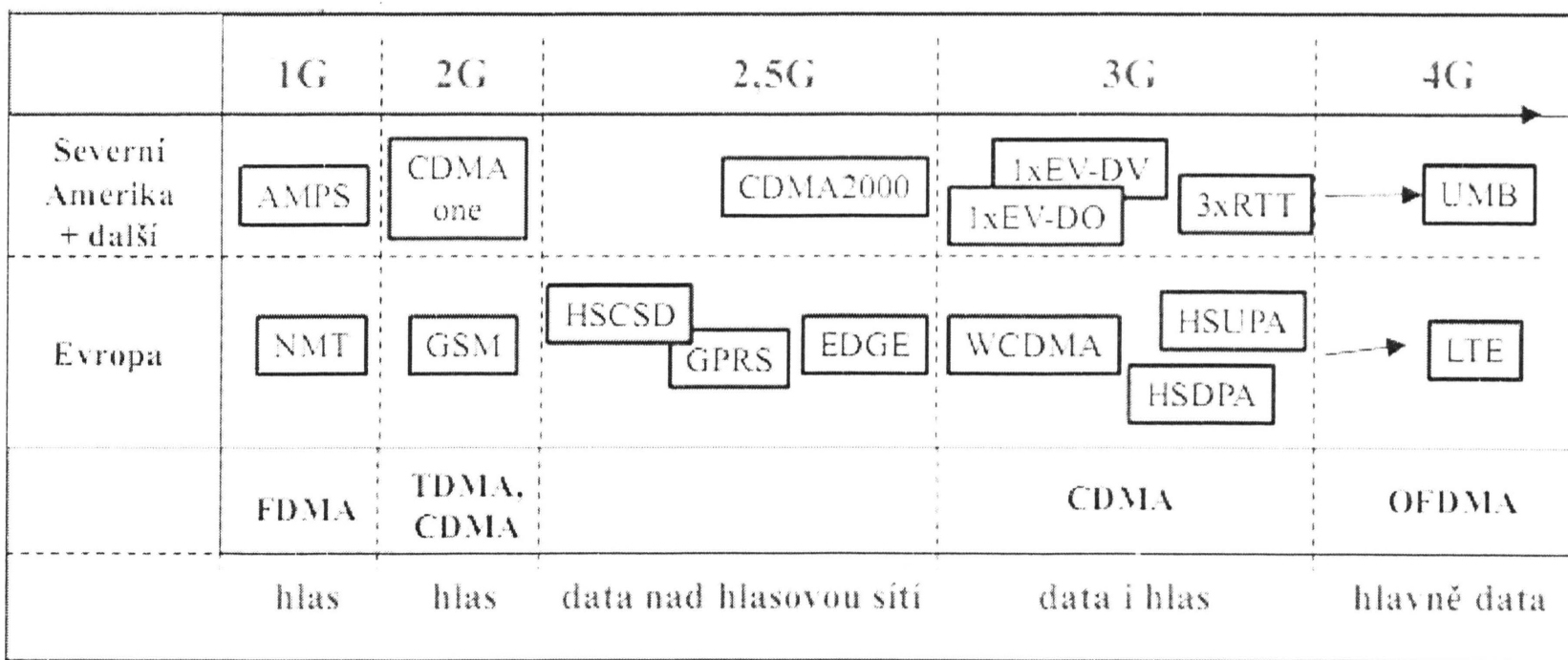
Štvrtá generácia – 4G

Oba predchádzajúce projekty postupne smerujú k vízii, ktorou sú 4G technológie. Tie sice ešte nie sú ani definované, no určitú predstavu môžeme získať z ďalšej (pripravovanej) vývojovej fázy v rámci spomenutých projektov.

V projekte 3GPP ma budúca technológia označenie LTE (Long Term Evolution). Mala by dosahovať rýchlosti 100/50 Mbit/s s využitím premenlivej šírky kanálov (od 1,25 do 20 MHz). Hlavnou zmenou je prechod od techniky CDMA k OFDMA a použitie viacerých antén (technika MIMO¹⁴). Stretnúť sa preto môžeme aj s označením HSOPA (High Speed OFDM Packet Access) alebo Super 3G. Predpokladá sa aj použitie pomocnej siete SAE (System Architecture Evolution) zabezpečujúcej paketový prenos čisto na protokole IP (Internet Protokol, používaný v internete).

Projekt 3GPP2 má na svojej ceste k 4G technológii dosiahnuť rýchlosti cez 275/75 Mbit/s. Má využívať premenlivú šírku kanálov (ako u LTE), OFDMA a techniky MIMO. Čisté IP služby majú byť v tejto sieti už integrované. Hovoríme o UMB (Ultra Mobile Broadband).

Prehľadný vývoj mobilných sietí od 1G po predpokladané 4G zachytáva obrázok 2.6.



Obrázok 2.6: Vývoj mobilných sietí

¹⁴ viac vysvetlená v časti o Wi-Fi

Bezdrôtové siete zo sveta počítačov

Na rozdiel od siete mobilných operátorov (svet telekomunikácii), boli tieto siete vyvíjane od začiatku pre prenos dát. Ich počiatky neboli veľmi úspešné, no v súčasnosti zaznamenávajú jeden úspech za druhým. Môžeme ich chápať ako konkurenciu k mobilným sieťam, ale zároveň aj ako určitý doplnok k ich službám.

Skôr ako predstavím jednotlivé technológie [2][5] rozdelené podľa veľkosti pokrytia, priblížim základné prenosové techniky, ktoré používajú.

Najjednoduchším spôsobom je tzv. úzkopásmový prenos (Narrowband), pri ktorom vysielateľ používa čo najužšiu frekvenciu a prijímač je na ňu čo najpresnejšie naladený. Tento spôsob je však veľmi citlivý na rôzne rušenia a nebezpečenstvo odpočúvania.

Oveľa viac využívanou alternatívou sú širokopásmové prenosy, pri ktorých sa využíva tzv. rozprestrete spektrum (SST - Spread Spectrum Transmissions). Keďže sú vysielané signály rozprestrete (prenášajú sa viacerými frekvenciami, teda menia ich), ich odposluch je zložitejší. Okrem toho sú menej citlivé na rušivé vplyvy. Vysvetlime si 2 základné techniky.

DSSS (Direct Sequence Spread Spektrum)

Nahrádza každý bit určený k prenosu za určitú postupnosť bitov¹⁵, ktorá sa potom v skutočnosti prenáša. Ide o podobný princíp ako u samoopravných kódov¹⁶ využívaných pri dátových prenosoch, kedy sa zavádza umelá redundancia (nadbytočné dáta). Signál rozprestretý do väčšieho spektra sa tak ostatným užívateľom javí ako náhodný šum.

Ak by viaceré zariadenia používali rovnaké frekvencie, no „vhodne“ odlišné chipy, signály by sa dali dobre rozlíšiť. Na tom je postavená technika CDMA, pri ktorej sa chipy volia ortogonálne.

FHSS (Frequency Hopping Spred Sppectrum)

Signál je vysielaný na určitej frekvencii resp. na úzkom frekvenčnom pásme (sub-kanále) len veľmi krátku dobu, po uplynutí ktorej „preskočí“ a pokračuje na inej („dostatočne vzdialenej“). Tento proces sa opakuje, pričom vysielací aj prijímací uzol vedia sekvenciu týchto preskokov dopredu. Snahou tejto techniky je vyhnúť sa použitiu rovnakej frekvencie viacerými prenosmi. Ak k nim preda len ojedinele dôjde, poškodené dáta tvoria len malú, až zanedbateľnú časť, a dá sa preto z tejto situácie zotaviť.

Existuje ešte jeden technika, ktorá nepatri ku klasickým SST, pretože prenášaný signál pri nej nemení svoju frekvenciu. Princíp rozprestretia však má.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Frekvenčné pásmo rozdeľuje sub-kanály, po ktorých pomocou modulačných techník (nosných) prenáša konkrétne dáta. Tým vznikajú nezávislé prenosové kanály. Dáta sú do nich priebežne

¹⁵ takuto postupnosť označujeme ako chip

¹⁶ Ak sa pri prenose dát zmení bit 1 na 0 alebo opacne, tieto kody to zistia či dokonca napravia

rozkladané, pričom sa pri výbere kanálu môže hľadiť na ich aktuálne vyťaženie či spoľahlivosť. Ortogonalita súvisí s prekrývaním maxima jednej nosnej s minimom susednej nosnej.

Na tieto techniky sa budem odkazovať v nasledujúcich technológiách, rozdelených vzostupne podľa dosahu.

WPAN (Wireless Personal Area Networks)

WPAN siete sú navrhnuté na bezdrôtové prepojenie rôznych domácich zariadení ako sú stolové počítače, notebooky, tlačiarne či webkamery. Dosah týchto sietí je typicky do 10 metrov. Rýchlosť prenosu je v rozmedzí od niekoľkých desiatok kbps (napr. nízkorychlostná technológia ZigBee) až po 1 Gbps (ponúka ho technológia UWB – UltraWideBand). V dnešnej dobe je však najviac známou technológia Bluetooth, ktorú predstavujem ako prvú.

Bluetooth

Prvé práce na tejto technológii začali v roku 1994 firmou Ericsson. Projekt s názvom MC Link sa neskôr premenoval na počesť dánskeho kráľa Blatanda (v preklade “modrozub” = Bluetooth). V roku 1998 boli okrem Ericssonu zapojené do vývoja viaceré firmy ako Intel, IBM, Microsoft, Nokia, Motorola či Toshiba. Tvorili tzv. SIG (Special Interest Group) skupinu. Na začiatku tohto tisícročia sa už produkty používajúce Bluetooth predávali masovo. Verzia 1.1 poskytovala rýchlosť až 1 Mbps a verzia 2.0 (z roku 2004) dokonca až 3 Mbps.

Motiváciou pre vznik tejto technológie bola snaha vytvoriť jednotný štandard pre bezdrôtovú komunikáciu na krátku vzdialenosť nahradzujúcu tradičné káble. V súčasnosti ma niekoľko využití:

- Pripojenie periférnych zariadení k počítačom (klávesnice, myši, sluchátka).
- Realizácia tzv. ad-hoc sietí (koncové zariadenie je súčasne v role sieťového uzlu). Napríklad spojenie dvoch PDA zariadení alebo mobilov.
- Prepojenie rôznych sietí (poskytujúce tak prístup k internetu). Napr. spojenie počítač-mobil-internet.

Jej vznik bol doprevádzaný niekoľkými požiadavkami:

- Jednoduché nasadenie – veľká odolnosť voči rušeniu, využitie bezlicenčného pásma
- Prevádzkové parametre – nízka spotreba energie, malé rozmery, nízka cena
- Ponúkané služby – podpora prenosu hlasu aj dát, podpora P2P komunikácie (medzi 2 zariadeniami bez prostredníka)

Bluetooth využíva spomínané bezlicenčné pásmo 2,4 GHz. Rozdeľuje ho na 79 frekvenčných kanálov o šírke 1 MHz (kanál 0: 2402MHz, kanál 78: 2480 MHz). Používa techniku FHSS. Preskakuje medzi frekvenčnými kanálmi 1600x za sekundu. Sekvencia týchto preskokov je pseudonáhodná. Pracuje na princípe TDD. Časové sloty majú veľkosť 626 μ s. Čo sa týka maximálneho dosahu, rozlišujeme 3 triedy s dosahom 100, 10 a 1 meter.

Pri prenose hlasu sa používa synchronný spojovaný prenos SCO (Synchronous Connection Oriented). To znamená, že funguje na princípe prepojovania okruhov. Ponuka obojsmerné

dvojbodové spojenie s rýchlosťou 64 kbit/s, vhodné napríklad pre komunikáciu handsfree sad s mobilom.

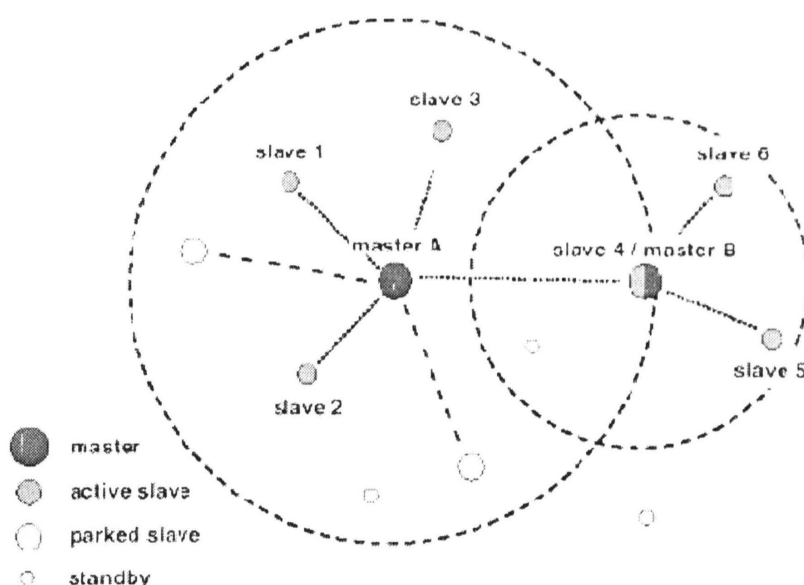
Pre prenos dát sa používa asynchrónny nespojový prenos ACL (Asynchronous ConnectionLess). Ten môže byť symetricky (rýchlosť až 433,8 kbit/s) alebo asymetricky (až 723,2 kbit/s jedným smerom a 57,6 kbit/s opačným). Oba fungujú na princípe prepojovania paketov a vyžadujú si tak aj určité režijné náklady počas prenosu¹⁷. Bez nich by nominálna rýchlosť dosahovala 1 Mbit/s. Okrem dvojbodového spojenia (point-to-point) je k dispozícii aj viacbodové (point-to-multipoint) spojenie.

Pre šetrenie energie sa používajú 3 módy úspory napájania zariadení:

- Sniff mode – zariadenie spi, ale periodicky sa prebúdzá (každých 1,25 ms až 40,9 s)
- Hold mode – šetrnejší ako sniff mód
- Parked mode – zariadenie je „zaparkované“ (spi, ale uzol v roli master ho môže zobudiť)

Architektúra Bluetooth

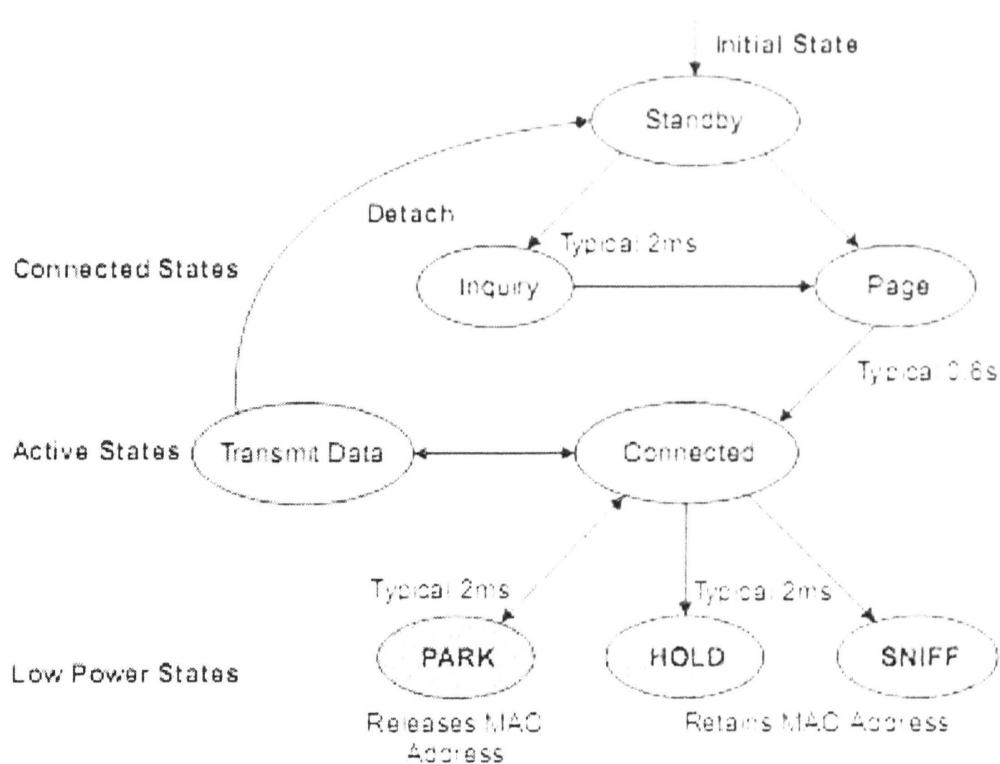
Sústavu zariadení prepojených pomocou Bluetooth technológie nazývame *piconet*. Po založení piconetu sa vždy jeden uzol stane mastrom (hlavný) a zvyšné (maximálne 7) sú slaves (podriadené). Všetky tieto uzly sú adresované 3-bitovou adresou aktívnych zariadení AMA (Active Member Address). Ďalšie uzly môžu byť v režime Parked. Tie sú adresované 8-bitovou adresou PMA (Parked Member Address). Master zabezpečuje synchronizáciu (určuje postupnosť preskokov, ostatní sa s ním synchronizujú) a má možnosť budiť „zaparkované“ uzly. Existuje ešte jedna skupina uzlov. Nachádzajú sa v režime Standby. Nemajú pridelenú žiadnu adresu a fungujú v Sniff móde. To znamená, že master ich nedokáže zobudiť. Sú v šetriacom móde a budia sa samé. Dve alebo viac nezávislých piconet sietí, ktoré spolu komunikujú tvoria *Scatternet*. Tak ako master, tak aj slave môže zahájiť toto spojenie tým, že sa stane slave-om v inom piconete. Jednotlivé piconety majú v rámci scatternetu vlastnú postupnosť preskokov. Scatternet tvorený dvoma piconetmi nám zobrazuje obrázok 2.7.



Obrázok 2.7: Scatternet

¹⁷ Okrem iného, adresovanie každého paketu cieľovému uzlu.

Skôr ako sa vytvorí v piconete nejaké spojenie, všetky zariadenia sú v standby móde, v ktorom sa opakovane každých 1.28 sekundy (doba budenia) budia a počúvajú na pridelenej množine 32 frekvenčných kanálov (hopov). Spojenie môže iniciovať ktorékoľvek zariadenie. To sa následne stane masterom. Spojenie sa vytvára pomocou *page* správy ak je adresa prijímateľa známa, alebo INQUIRY (prieskumnou) správou nasledovanou *page* správou ak je adresa neznáma. Funguje to tak, že master na začiatku pošle sériu 16tich identických správ na 16 rôznych hop frekvencií definovaných pre prijímacie zariadenie (slave). Ak master nedostane odpoveď, pošle ďalšiu sériu správ na zvyšných 16 hopov pričom pridá do správy sekvenciu pre zobudenie zariadenia. Maximálny čas založenia spojenia sa tak rovná dvojnásobku doby budenia (2,56 s), zatiaľ čo priemerný čas sa rovná polovici doby budenia (0,64 s). INQUIRY správa sa typicky používa na vyhľadanie Bluetooth zariadení, ktorými môžu byť verejné tlačiarne alebo faxy v neznámych oblastiach. Pre pochopenie stavov, v ktorých sa zariadenia môžu nachádzať na poslužni obrázok 2.8.



Obrázok 2.8: Prechody medzi stavmi v Bluetooth

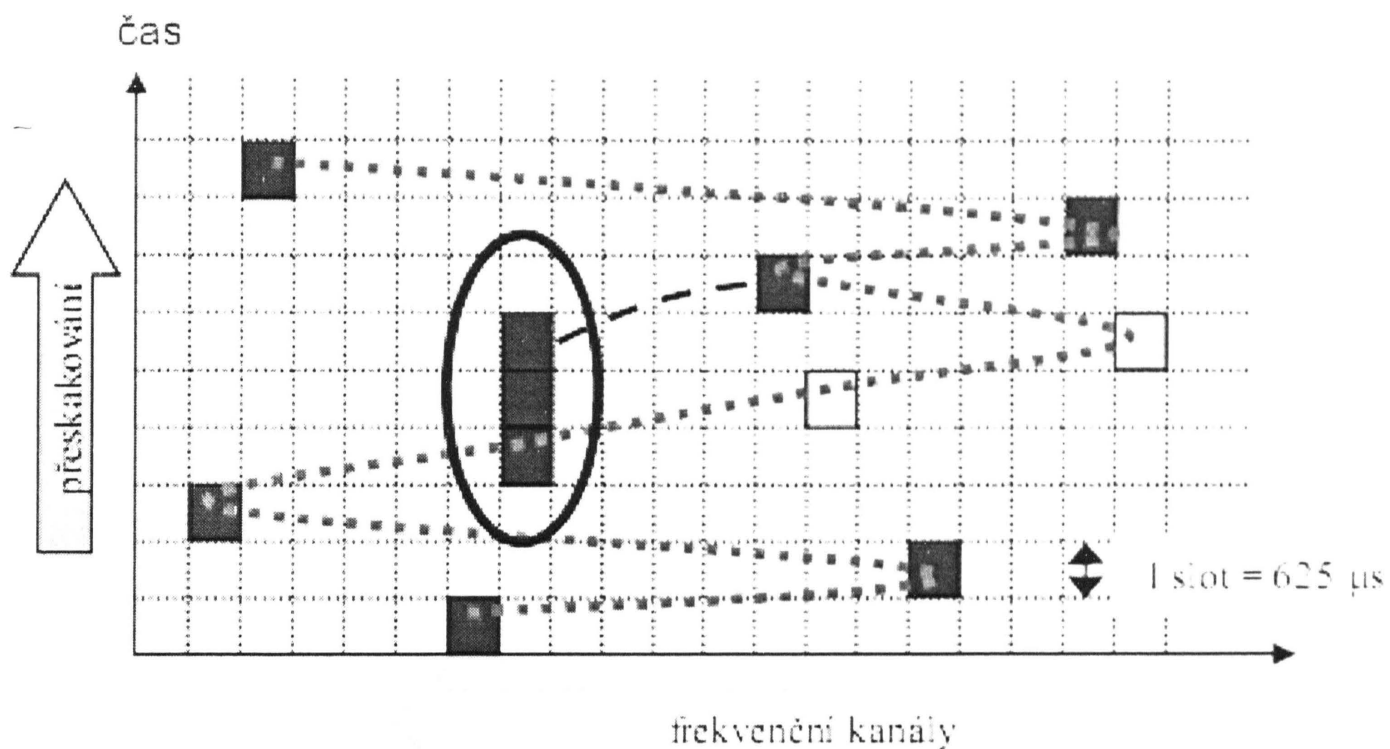
Keďže v piconete môže existovať viacero spojení naraz, je potrebné sa vyhnúť vzájomnému rušeniu. Riešením je práve nasadenie jedného uzla do roly mastera, ktorý sa pravidelne dotazuje uzlov, či nechcú vysielat (tzv. polling).

Pakety majú fixný formát. Sú tvorené troma hlavnými časťami. Access Code (72 bitov) sa odvodzuje z mastera. Každý paket prislúchajúci jednému piconetu začína rovnakým Access kódom. Prijímateľ v piconete porovná prichádzajúci signál s Access kódom. Ak tie nie sú rovnaké, paket sa považuje za neplatný a jeho zvyšok sa ignoruje. Po tejto časti nasleduje v každom pakete klasicky hlavička a užitočné dáta.

Šetriace módy sa používajú v čase keď nie je potrebné vysielat žiadne dáta. Master môže slave uzol prepnúť do hold módu, v ktorom funguje iba vnútorný časovač. Do tohto stavu sa môže slave dostať aj na vlastné požiadanie. Pri sniff móde je interval budenia programovateľný a záleží na použitej aplikácii. Tak ako v predchádzajúcich módoch, tak aj v park móde sú zariadenia stále zosynchronizovane s piconetom. V tomto prípade sa však už nejedná o aktívne zariadenie podieľajúce sa na prenose resp. sledujúce prenos. Ojedinele len zisťujú, či sú stále

zosynchronizované alebo či nevznikla broadcast (pre všetkých) správa. Ak by sme mali zoradiť tieto šetriace módy podľa spotreby, vzostupne by sme dostali park, hold a nakoniec sniff mód.

Ako som už spomenul, v priebehu komunikácie dochádza medzi používanými frekvenčnými kanálmi k 1600 preskokom za sekundu a na každej frekvencii sa uzly zdržia 625 ms (1 slot). Dáta sa však môžu prenášať v rámci 1, 3 alebo 5 slotov. V prípade použitia 3 alebo 5 slotov sa frekvencia behom tejto doby vysielania nemení. Po dokončení prejde na frekvenciu, ktorá mala vyjsť pôvodne. Pochopiť situáciu nám opäť pomôže obrázok.



Obrázok 2.9: Preskok pri použití 3 slotov

Pri prenose sa pre nápravu vzniknutých chýb môže použiť schéma ARQ (Automatic Retransmission Query), kedy sa po prijatí paketu vykoná jeho kontrola (CRC + kontrola hlavičky) a ak sa zistí chyba, daný uzol to indikuje odosielateľovi. Ten odošle poškodený paket ešte raz. Alternatívou je použitie FEC (Forward Error Correction) kódu¹⁸. Jeho úlohou je obmedziť opakované vysielanie paketov. Avšak v prostredí s nízkym počtom chýb vznikajú zbytočné režijné náklady redukujúce priepustnosť siete. Preto je použitie FEC kódu na dáta voliteľné. Naopak, použitie tejto ochrany pred bitovými chybami v hlavičke paketu je povinné.

Bezpečnostné mechanizmy Bluetooth technológie zabezpečujú taktiež šifrovanie ako aj autentifikáciu. Tie sú založené na spoločných tajných kľúčoch medzi každým párom zariadení. Procedúra párovania sa používa keď dve zariadenia medzi sebou komunikujú po prvýkrát a jej výsledkom je vygenerovanie týchto kľúčov. Rozoznávame 3 bezpečnostné módy:

- bez zabezpečenia – zariadenie neiniciuje žiadnu bezpečnostnú procedúru
- na úrovni služieb – procedúry sú použité až po vytvorení prenosového kanálu
- na úrovni spoja – zabezpečenie ešte pred založením spoja

¹⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Forward_error_correction

Aj keď už verzia Bluetooth 1.1 zaznamenala obrovský úspech, práce na ďalšom vývoji sa nezastavili. Ich výsledkom bolo zlepšenie dátových prenosov (verzia 2.0 z roku 2004 s nominálnou rýchlosťou 3 Mbit/s a efektívnou 2,1 Mbit/s), zníženie spotreby (v2.0 a v2.1) či zvýšenie bezpečnosti (v2.1). Budúca verzia 3.0 by mala mať možnosť používať aj alternatívne techniky prenosu akou je napr. UWB, a tým dosiahnuť rýchlosti až do 480 Mbit/s.

UWB (Ultra WideBand)

Táto bezdrôtová technológia nahrádza rýchle drôtové prepojenia na krátku vzdialenosť. Využíva k tomu veľmi veľkú šírku frekvenčného pásma (minimálne 500 MHz). V nej pracujú aj iné technológie, a preto musí kvôli možnému rušeniu vysielat' signály len veľmi slabo. Použitie nachádza pri prenose videa či hudby.

Štandardy pre túto technológiu definujú rýchlosť 110 Mbps na 10 metrov, 200 Mbps na 4 metre a 480 Mbps na 2 metre.

V súčasnosti sa pre prenos používajú 2 techniky:

MB- OFDM (MultiBand Orthogonal Frequency Division Multiplexing) je podporovaná alianciou WiMedia (nezisková organizácia, ktorá podporuje rýchlejšie zavedenie štandardov a celosvetovú interoperabilitu výrobcov UWB). WiMedia UWB je optimalizovaná na vysokú rýchlosť (480 Mbps a viac) a nízku spotrebu pre počítače, spotrebnú elektroniku, mobily a automobilový trh. Bola vybratá Bluetooth SIG skupinou.

IR (Impulse Radio) Spread Spectrum sa vyvíja pod záštitou UWB fórum a nasadiť by sa mala v novej generácii spotrebnej elektroniky.

Pri MB-OFDM UWB sa používajú kanály o šírke 538 MHz (3 povinné pásma s nižšou frekvenciou a 4 voliteľné pásma s vyššou frekvenciou).

Pri IR metóde sa používajú dve bezlicenčné pásma (jedno sa nachádza nad 5,2 GHz a druhé je medzi 3,1GHz a 5,2GHz). Návrh tejto techniky používa DSSS s 24-bitovým chipom. Jej využitie spektra je efektívnejšie v porovnaní s MB-UWB. Na druhej strane je však menej prispôsobivá čo sa týka regulácii spektra v rôznych krajinách¹⁹ a menej škálovateľná.

Ak by sme si od Bluetooth nezvolili cestu k vyšším rýchlostiam (pri približne rovnakej spotrebe), ale smerom k zníženiu spotreby energie, došli by sme k technológii ZigBee.

ZigBee

Tato technológia patrí do skupiny LR-WPAN (Low Rate) a využitie nachádza v priemyselných, domácich či lekárskech zariadeniach s veľmi malou spotrebou energie. Opäť musí spĺňať požiadavky nízkej nákladovosti. Potreby pre prenosovú rýchlosť či QoS sú značne obmedzené.

¹⁹ V niektorých krajinách nie je použitie potrebných pásiem povolené.

V porovnaní s Bluetooth je rýchlosť niekoľko krát pomalšia. Nízka spotreba energie má však ponúknuť životnosť zariadení (ich batérii) niekoľko mesiacov až rokov.

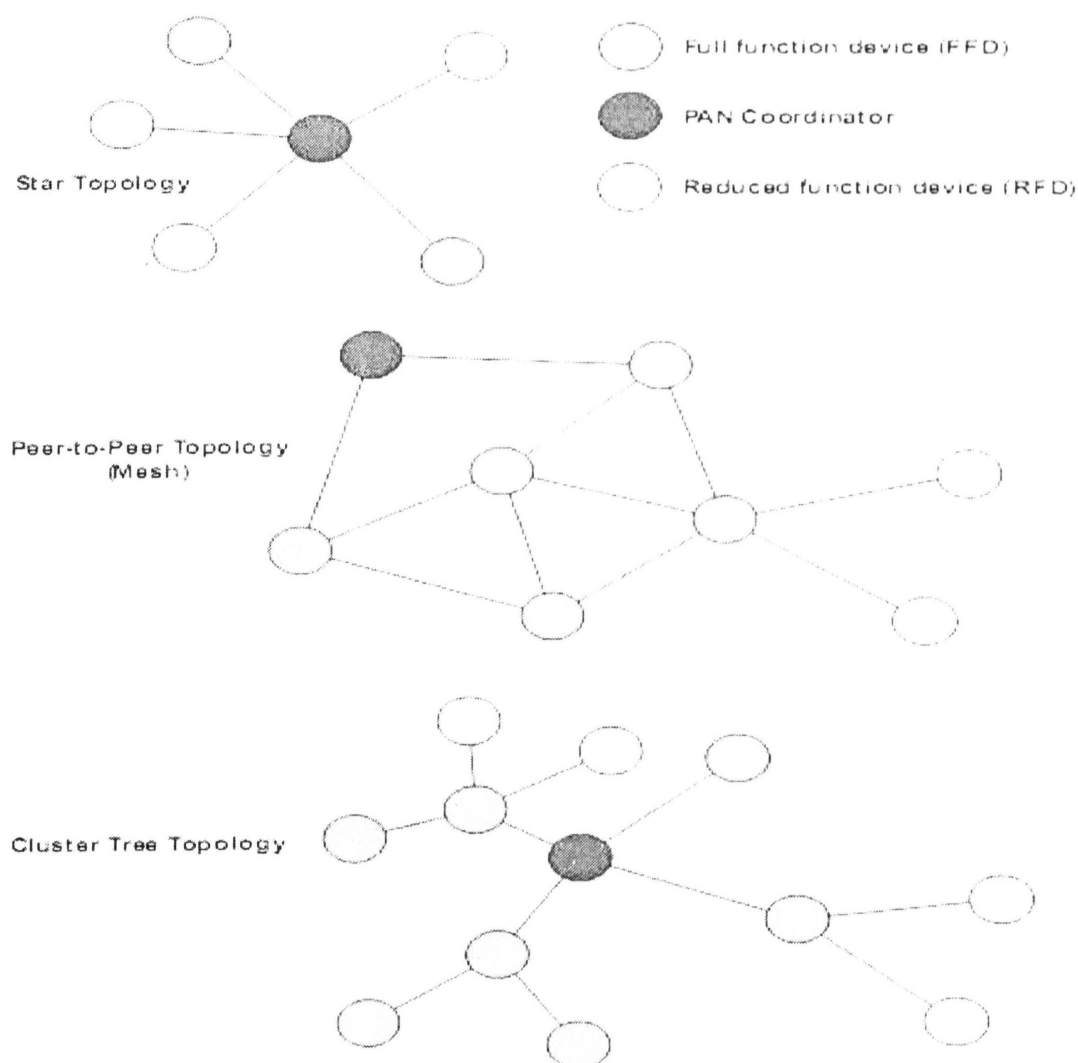
Bezdrôtové zariadenie využívajúce ZigBee by malo dosahovať vysielač čas od 10 do 75 minút v závislosti od okolitých podmienok a fungovať v bezlicenčnom pásme (2,4 GHz celosvetovo + 915 MHz v Amerike a 868 MHz v Európe). Dosahované rýchlosti pri týchto frekvenciách sú 250, 40 a 20 kbps. Využíva pri tom techniku DSSS, pri ktorej sa každý vysielačný bit reprezentuje 15-miestnym chipom.

O špecifikácie fyzickej a data-linkovej vrstvy sa stará IEEE skupina s označením 802.15.4. O zaistenie celosvetovej kompatibility, vydávanie štandardov a vývoj sa stará ZigBee Alliance.

Architektúra ZigBee

Podobne ako Bluetooth, aj ZigBee používa master-slave schému. Tá je prispôbena na hviezdicovú sieť tvorenú množstvom zariadení (až 254) nepravidelne komunikujúcich pomocou malých dátových paketov. Okrem hviezdicovej topológie môžu byť použité mesh alebo klastrové stromové siete. Zobrazené sú na obrázku 2.10.

ZigBee systém pozostáva z viacerých komponentov. Pripojené zariadenie môže byť plne funkčné (FFD – Full-Function Device) alebo s redukovanou funkčnosťou (RFD – Reduced-Function Device). V každej sieti musí byť jedno FFD zariadenie zastávajúce funkciu PAN koordinátora. Ďalšie FFD zariadenia môžu byť v móde („slabšieho“) koordinátora alebo v móde bez špeciálnych funkcií (device móde). RFD sú navrhnuté pre veľmi jednoduché aplikácie, ktoré nepotrebujú posielat veľké množstvo dát. Pri komunikácii môžu byť zariadenia v spojení ľubovoľne, až na výnimku RFD – RFD.



Obrázok 2.10: ZigBee topológie

Pri hviezdicovej topológii sa komunikácia zriadi medzi zariadeniami a centrálnym kontrolným zariadením (PAN koordinátor). Ten môže byť napájaný elektrickou sieťou, zatiaľ čo ostatné zariadenia sú väčšinou napájané batériou. Potom čo sa FFD aktivuje po prvýkrát, má možnosť založiť si vlastnú sieť a stáť sa tak ďalším PAN koordinátorom. Navzájom ich odlišuje PAN identifikátor. Každá hviezdová sieť si vyberá svoj PAN identifikátor čo umožňuje každej hviezdicovej sieti pracovať nezávislé. Tento spôsob komunikácie sa využíva pri počítačových perifériách alebo hračkách.

V P2P sieti je taktiež jeden PAN koordinátor. Na rozdiel od predchádzajúceho spôsobu, zariadenia komunikujú medzi sebou priamo (ak sú v dosahu). V prípade potreby ponúka tento spôsob aj smerovanie správy cez viacero zariadení (multiple hops). Uplatnenie nachádza v priemyselnom riadení a monitorovaní či bezdrôtových senzoročoch.

Špeciálnym prípadom P2P siete je klastrová (strapcová) stromová topológia. Obsahuje prevažne FFD zariadenia, ktoré môžu fungovať ako koordinátori a poskytovať tak synchronizačné služby ostatným zariadeniam a koordinátorom. RFD sa môže pripojiť k tomuto „stromu“ ako „list“ (v terminológii grafových stromov). PAN koordinátorom je aj v tomto prípade len jeden. Ten vytvára prvý klaster (strapec) tak, že ustanoví seba za hlavu klastra s klastrovým identifikátorom 0. Následne vysielá broadcast (pomocou beacon rámca) do okolia. Zariadenie prijímajúce tento ramec môže požiadať o pripojenie k tejto sieti (na daný klaster). Ak PAN koordinátor prijme túto žiadosť, pridá nové zariadenie do zoznamu susedov. Novoprijaté zariadenie si do svojej tabuľky susedov pridá daný uzol (koordinátora) ako rodiča a začne pravidelne vysielat beacon framy umožňujúce pripojenie ďalším kandidátom. Po čase nastáva situácia, že PAN koordinátor povýši iné zariadenie na hlavu susedného (novovznikajúceho) klastra. Výhodou tejto klastrovej štruktúry je tak možnosť zväčšiť pokrytie za cenu predĺženého oneskorenia.

Podľa IEEE 802.15.4 sa pri prenose používajú 4 rôzne typy rámcov (framy na data-linkovej vrstve): beacon („maják“), data, acknowledgment (potvrdzovacie) a command (príkazové) framy. Len prvé dva z nich obsahujú „užitočné“ dáta (z vyšších vrstiev). Zvyšné dva vznikajú na data-linkovej vrstve a slúžia k potrebám P2P komunikácie.

Tým by som skončil prehľad technológií s krátkym dosahom a prešiel na technológie pokrývajúce oblasti o veľkosti niekoľko 100 metrov.

WLAN

Skôr ako začnem detailnejšie rozoberať jednotlivé technológie, ponúkam prvotné oboznámenie sa s použitými pojmami v rámci tejto oblasti (podľa obrázku 2.3). WLAN (Wireless LAN) označuje obecné bezdrôtové LAN siete. Číslo 802.11 (presnejšie IEEE 802.11) je označenie štandardu, ktorý vypracovala pracovná skupina s obdobným názvom. Tento štandard definuje najpoužívanejšiu technológiu v rámci WLAN siete, ktorou je bezdrôtový Ethernet. Wi-Fi (Wireless Fidelity) je akási obchodná známka udeľovaná produktom, ktoré tomuto štandardu vyhovujú a splňujú požiadavky vzájomnej kompatibility. Udeľuje ju

organizácia Wi-Fi Alliance, ktorá nahradila predchádzajúcu WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance).

Z historického hľadiska znamenal pre bezdrôtové technológie (zo sveta počítačov) rok 1985 obrovský impulz. Americký regulátor FCC (Federal Communications Commission) sa vtedy rozhodol uvoľniť 3 frekvenčné pásma (900 MHz, 2,4 GHz a o čosi neskôr aj 5,8 GHz). Umožnil tak ich použitie bez licencie (bezlicenčné pásma). Jedinou podmienkou ich používania pre prenos signálov bolo vyhnutie sa vzájomnému rušeniu. To okrem iného obmedzuje výkon vysielateľov a tým pádom aj dosah. Už o rok nato vzniklo niekoľko proprietárnych (vlastných, patentovaných) riešení, ktoré neboli navzájom kompatibilné. Dôležitú zmenu priniesol práve štandard IEEE 802.11, ktorý bol uznaný medzinárodne.

IEEE 802.11

V roku 1988 vznikla spomínaná pracovná skupina IEEE 802.11, ktorá po takmer desiatich rokoch hľadania technického riešenia dosiahla konsenzus na spoločnom štandarde bezdrôtového Ethernetu IEEE 802.11. Ten pokrýva podvrstvu MAC (riadenie prístupu) s centralizovanou a distribuovanou variantou a fyzickú vrstvu s 3 možnými moduláciami signálu (FHSS, DSSS, DFIR). Maximálna prenosová rýchlosť mala dosahovať 1 alebo 2 Mbit/s (podľa riešenia fyzickej vrstvy).

FHSS delila prenosové pásmo (2,4 až 2,4835 GHz) do 75 sub-kanálov o šírke 1 MHz. Rýchlosť 1 Mbps bola povinná, rýchlosť 2 Mbps voliteľná.

DSSS používala 11-bitový chip (tzv. Barkerov kód). Rovnaké pásmo ako v predchádzajúcom prípade delila na 14 kanálov po 22 MHz. Obe rýchlosti boli povinné. Nižšia sa chápala ako záloha pri veľkom rušení.

DFIR (Diffused Infrared) variant bol obmedzený kvôli fyzickým vlastnostiam infračerveného svetla. To totiž neprechádza pevnými predmetmi (stenami), a preto boli riešenia založené na tejto technike ojedinele.

Standard 802.11 bol už pri svojom schválení štandard zastaraný, a tak ihneď začali práce na jeho vylepšení. Pracovná skupina s označením Task Group „A“ pracovala na pásme 5,8 GHz a vyvinula novú techniku modulácie OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing), pri ktorej sa dosahuje nominálna rýchlosť 54 Mbit/s. Task Group „B“ ostala v pásme 2,4 GHz. Upustila od modulácii DFIR a FHSS (ostala DSSS). Dosiahla nominálnu rýchlosť 11 Mbit/s. V roku 1999 boli schválené príslušné štandardy pod označením 802.11a respektíve 802.11b.

Zariadenia používajúce „Bečkový“ štandard sa ohromne rozšírili. Ich výroba neustále stúpala a cena klesala. K jeho všeobecnému presadeniu ako hlavnej WLAN technológie prispelo hlavne dodržiavanie nariadení štandardu výrobcami vedúceho k celosvetovej kompatibilite. Zásľuhu na získaní zákazníkov malo aj premenovanie štandardu na ľahšie zapamätateľné označenie Wi-Fi.

Aj keď sa štandardy IEEE 802.11 používajú po celom svete, považujú sa skôr za americké riešenie. Spomeniem preto aj európsku vetvu. Patria tu štandardy RLAN (Radio LAN) z roku 1991 resp. HIPERLAN 1 (High Performance RAN) z roku 1997. Tieto boli pôvodne samostatné

a teda nekompatibilné s IEEE 802.11. Až štandard HIPERLAN 2 z roku 2000 bol založený na IEEE 802.11a, a tak tieto vetvy prepojil.

Skôr ako prejdem k podrobnejším detailom a ďalším vylepšeniam štandardu IEEE 802.11, ponúkam pohľad na zloženie siete, v ktorej sa používa.

Architektúra IEEE 802.11

Sieť s touto technológiou môže fungovať v jednom z dvoch základných režimoch. Pri dvojbodovom spojení komunikujú dva terminály priamo medzi sebou. Obecne sa tento spôsob označuje ako P2P mód (v rámci IEEE 802.11 ide o *ad-hoc* mód). Pri režime „do hviezdy“ (podľa IEEE 802.11 - označenie *infrastructure* mód) existuje v sieti 1 prístupový bod AP (Access Point) a niekoľko terminálov STA (Station). Tie nekomunikujú medzi sebou priamo, ale len s AP resp. cez AP. AP je analógiou základňových staníc v mobilných sieťach.

Najmenší prvok architektúry tejto siete je BSS (Basic Services Set) bunka obsahujúca 2 alebo viac komunikujúcich uzlov. Ak BSS neobsahuje AP, ide o tzv. IBSS (Independent BSS) v režime ad-hoc. Častejšie sa však AP v BSS nachádza, a ide teda o režim infraštruktúry. V tomto prípade sú BSS siete obvykle spojené (cez AP) k ďalším sieťam. K vzájomnému prepojeniu BSS siete slúži tzv. Distribučný Systém (DS). Ten je väčšinou „drôtový“. Pripojením niekoľkých BSS siete vzniká ESS (Extended Service Set). Všetky AP v jednej ESS sieti majú rovnaký identifikátor siete SSID, ale rozdielny identifikátor bunky (BSSID). SSID (Service Set Identifier) je 32-znakové meno siete. BSSID (Basic SSID) má 6 bytov. V režime infraštruktúry zodpovedá MAC adrese príslušného AP. V režime ad-hoc je generované náhodne. Každá stanica patrí vždy do jednej BSS, pričom im je umožnený prechod (mobilita). Tá môže byť medzi rôznymi BSS ale v rámci jednej ESS (BSS-prechod), alebo medzi rôznymi ESS (ESS prechod).

Štandard IEEE 802.11 požaduje možnosť spojenia bezdrôtových siete s drôtovými. Tento prechod medzi nimi zabezpečujú zariadenia označované ako *portály*.

Vráťme sa už ale k technickým detailom tohto štandardu (a jeho vylepšení) definovaných najprv na MAC (časť data-linkovej) podvrstve a potom sa vrátíme k vrstve fyzickej.

Podľa IEEE 802.11 je MAC podvrstva zodpovedná za asynchrónny prenos dát a bezpečnostné služby (dôvernosc, autentifikácia, kontrola prístupu na médium). Využíva pri tom rôzne druhy MAC rámcov (Control, Management a Data frames).

Riadiace rámce (**Control Frames**) zabezpečujú fungovanie prístupových metód na médium a využívajú sa aj pri potvrdzovaní prijatých dátových rámcov.

Spôsob kontroly prístupu na médium nemohol byť prebratý z pôvodného (drôtového) Ethernetu. Ten používal techniku CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), teda schopnosť detekcie prípadných kolízií. Pri bezdrôtovom vysielaní je však detekovanie vysielania iných staníc náročné. Preto sa zvolila iná metóda, ktorá vzniku kolízií predchádza – CSMA/CA (CSMA with Collision Avoidance) + RTS/CTS. Funguje nasledovne. Uzol, ktorý chce vyslať dáta pošle najprv paket so žiadosťou o vysielanie RTS (Request To Send) s požadovanou dobou trvania dátového toku. Ak príjemca tento paket zachytí, odpovie naň paketom CTS (Clear To Send). Následne môže žiadateľ o vysielanie dáta skutočne poslať

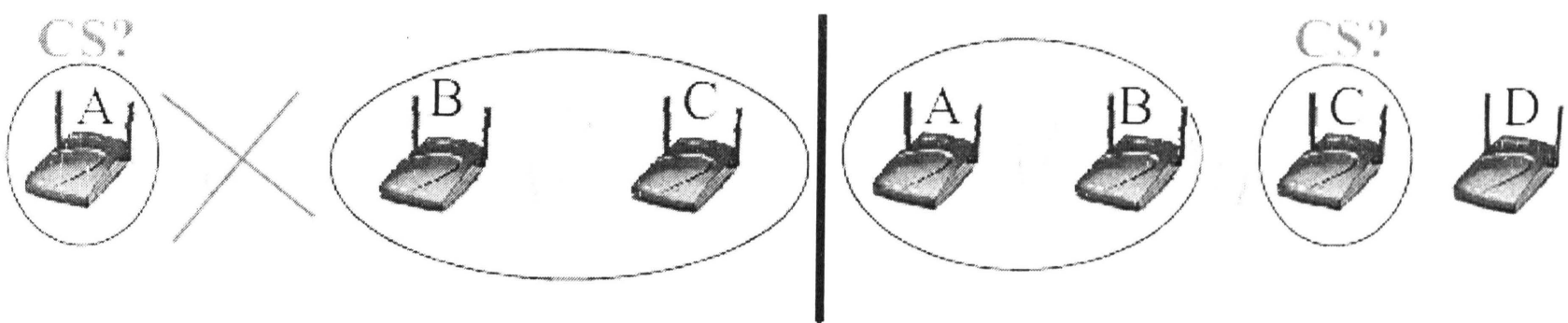
a počkať si na potvrdenie ACK (Acknowledgement). Detailnejší popis prístupových metód ponúkajú nasledujúce odstavce.

Riadenie prístupu v rámci metódy 802.11 môže byť centrálné alebo distribuované. Centrálny variant má označenie PCF (Point Coordination Function) a je voliteľný. Všetku komunikáciu pri nej riadi AP, ktorý sám zabraňuje akýmkoľvek kolíziám. Toto riešenie má však zatiaľ problémy s implementáciou. Distribuované riešenie DCF (Distributed Coordination Function) nemá už podľa názvu žiadny centrálny prvok. Používa spomenutú techniku CSMA/CA, ktorá je povinná + jej doplnenie o RTS/CTS, ktoré je implementované v lepších produktoch. Dokopy sa celý tento mechanizmus MAC vrstvy označuje ako DFWMAC (Distributed Foundation Wireless Medium Access Control).

Pri týchto metódach sa používajú 3 časové konštanty, ktoré závisia od spôsobu prenosu (FHSS, DSSS). SIFS (Short Inter-Frame Spacing) je doba, po ktorú príjemca čaká než pošle po prijatí paketu potvrdenie. PIFS (PCF IFS) – čakanie AP (pri PCF) než začne vysielat'. DIFS (DCF IFS) – analogicky čakanie odosielateľa (pri DCF).

Pri samotnej metóde DCF CSMA/CA (bez RTS/CTS) záujemca o vysielanie sleduje, či je médium obsadené (CS – Carrier Sense). V prípade, že je médium voľné, musí počkať po dobu DIFS. Až keď je voľné aj po jej uplynutí, môže začať vysielat'. Nezistuje pritom pripadne kolízie (ako vznikajú je rozobraté nižšie). Ak je médium obsadené, alebo sa obsadí v priebehu čakania (DIFS), zariadenie si zvolí náhodnú dobu, počas ktorej čaká. Počas čakania musí prejsť DIFS, v rámci ktorého nik iný nevysielal. Inak sa preprogramuje znovu (na dvojnásobnú dobu). Táto metóda nedokáže garantovať výsledok (QoS) ani skutočné doručenie, pretože sa dopredu nevie kedy bude médium voľné, a navyše stále môže dôjsť ku kolízii. Je implementovaná aj v najlačnejších zariadeniach.

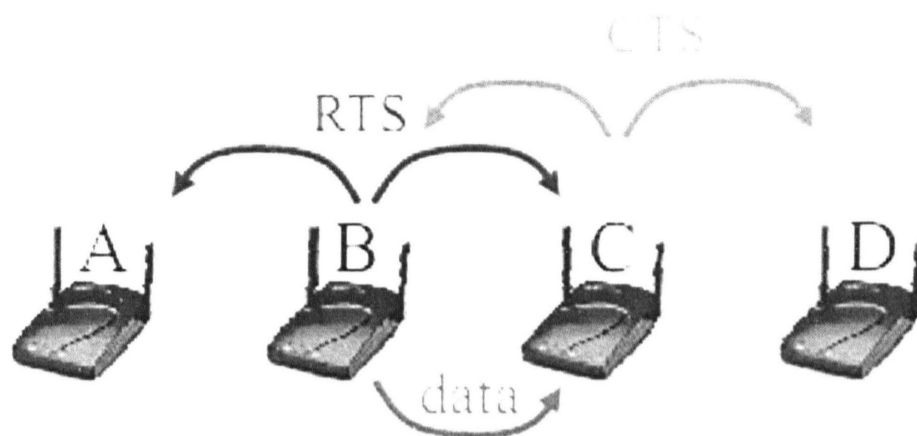
Kolízie vznikajú v dôsledku problému predsunutých a skrytých staníc. O čo pri tom vlastne ide nám ukazuje obrázok 2.11.



Obrázok 2.11: Problém skrytej a predsunutej stanice

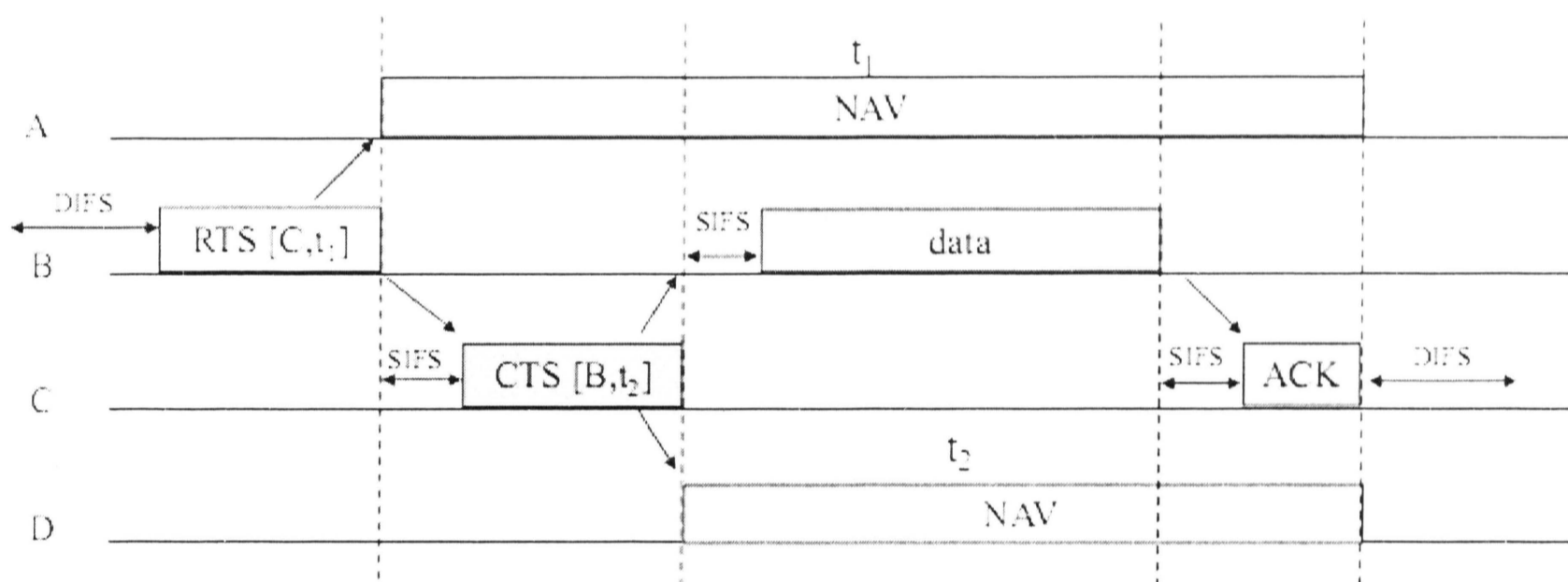
V prvom prípade chce A vysielat' k B, ale nevie o prebiehajúcom vysielaní C k B. V druhom prípade B vysielala signál k A. C by chcel vysielat' k D, ale zisti, že už vysielala B. Domnieva sa preto, že médium je obsadené. Práve kvôli týmto prípadom sa používa technika RTS/CTS.

Príkladom prenosu použitím metódy DCF CSMA/CA s RTS/CTS je nasledujúca situácia.



Obrázok 2.12: Prenos metódou CSMA/CA s RTS/CTS

B chce vysielat' dáta uzlu C. Po uplynutí DIFS pošle B uzlu C paket RTS (žiadosť o vysielanie k C) a svojim ďalším susedom (uzol A) info o plánovanom vysielaní obsahujúce dĺžku celého prenosu. Po prijatí paketu a po uplynutí SIFS doby pošle C info o plánovanej dĺžke prijímania signálu svojim susedom (uzol D) a odpovie uzlu B CTS paketom. Ten začne vysielat' dáta a počká si na odpoveď. Tento príklad znázorňuje obrázok 2.13, kde NAV (Network Allocation Vector) si pre jednoduchosť môžeme predstaviť ako časové stopky.



Obrázok 2.13: RTS/CTS s časovými konštantami

Ani jedna z týchto distribuovaných metód (DCF) však nedokáže garantovať čas, po uplynutí ktorého môže zariadenie pristúpiť k médiu. Túto schopnosť má metóda PCF. Riadenia sa ujíma AP. Teda nie je dostupná v ad-hoc režime. AP rozdeľuje čas na tzv. superrámce (superframe) s dobou od niekoľkých milisekúnd po niekoľko desiatok sekúnd. Každý takýto časový úsek má dve časti. Contention-free (bez súťaže) period a po nej Contention (so súťažou) period. Tie sa skladajú z niekoľkých časových slotov. Vždy v prvom slotu každého superframu sa nachádza špeciálny beacon frame slúžiaci na synchronizáciu, identifikovanie siete a popíšanie štruktúry tohto superframu. Behom prvej (nesúťažnej) fázy sa AP (koordinátor komunikácie) dotazuje jednotlivých uzlov, či chcú niečo vysielat'. Podľa potrieb a možnosti im dáva priestor. Samé však začať vysielat' nemôžu. Inak tomu je vo fáze druhej, v ktorej sa využíva DCF (predchádzajúca) metóda.

K rámcom pre správu (**Management Frames**) patria viaceré framy:

- Beacon („maják“) využívajú AP k inzerovaniu svojej prítomnosti

- Probe a Probe Response zisťujú prítomnosť a schopnosti uzlov
- Association Request/Response - pre asociovanie uzlov k inému AP v rámci jednej ESS
- Disassociation – pre ukončenie asociácie stanice s AP
- Authentication – žiadosť o autentizáciu uzlu voči AP
- De-authentication – ukončenie autentizácie uzlu voči AP

Dátové rámce (**Data Frames**) slúžia k prenosu užitočných dát.

Všetky tieto MAC rámce obsahujú kontrolnú časť (Frame Control) a až 4 adresy (teda nie len adresa odosielateľa a príjemcu). Je to spôsobené tým, že komunikácia môže prebiehať cez AP a prechádzať cez DS. Logickou adresou je tak pôvodný prijímateľ/odosielateľ a fyzickou adresou (kto signál v skutočnosti prijal/vyslal) môže byť adresa iného prvku siete (AP alebo DS).

Význam týchto 4 adries (1., 2., 3., 4.) závisí od druhu komunikácie. Pri režime ad-hoc je priame spojenie medzi dvoma uzlami a pri režime infraštruktúry rozlišujeme prenos od AP k stanici, od stanice k AP a prenos cez DS (od AP k inej AP). K rozlíšeniu týchto možností slúžia 2 bity vo Frame Control časti. (To DS a From DS). V každom z týchto prípadov je prvá adresa fyzickou adresou príjemcu (zároveň môže byť aj logická).

Pri IBSS (ad-hoc) sieti je bit To DS = 0 (t.z. príjemcom je obyčajná stanica, nie AP alebo DS) a bit From DS = 0 (odosielateľom je taktiež stanica). Druhá adresa je tak adresou odosielateľa. Fyzické a logické adresy sú totožné, preto sa zvyšné dve nepoužívajú (nie sú za potreby).

Pri BSS je to zložitejšie:

od AP (To DS = 0, From DS = 1): Adresa 1 označuje adresu prijímacej stanice (fyzická = logická), Adresa 2 obsahuje fyzickú adresu odosielateľa (v tomto prípade AP). Používa sa BSSID identifikátor príslušného AP. Adresa 3 je logickým odosielateľom (MAC adresa pôvodcu správy).

K AP (To DS = 1, From DS = 0): Adresa 1 – fyzická adresa príjemcu (teda MAC adresa AP = BSSID). Adresa 2 – logický (=fyzický) odosielateľ. Adresa 3 – logický príjemca, ku ktorému sa má sprava dostať cez AP.

cez DS (To DS = 1, From DS = 1): dáta prechádzajú cez dva rôzne AP. Adresa 1 – fyzický príjemca (AP1), adresa 2 – fyzický odosielateľ (AP2), adresa 3 – logický príjemca a adresa 4 – logický odosielateľ.

Okrem bitov na rozlíšenie prenosu sa vo Frame Control nachádzajú aj údaje o verzii protokolu, príznaky (či ide o opakovaný prenos, alebo či sa budú vysielat' ešte ďalšie dáta), ale aj údaj o použití zabezpečenia (WEP resp. WPA²⁰).

Aj pri tejto technológii je snaha o šetrenie energie použitím úsporných módov zariadení. Tie sa tak nachádzajú buď v awake (sú hore, prebudené) alebo v sleep (spia) režime. Keď prebudená stanica prijme rámec, zistí si podľa príznaku, či má očakávať ďalšie. Podľa toho sa rozhodne či má ešte ostať hore alebo môže „zaspať“. „Spiaca“ stanica sa musí pravidelne prebúdzat' a zisťovať, či pre ňu nie sú nejaké dáta. Mechanizmus zaisťujúci ich prebúdzanie sa označuje

²⁰ Viac v časti o bezpečnosti.

ako TSF (Timing Synchronization Function) a pre zistenie na ňu "čakajúcich" dát slúži TIM (Traffic Indication Map). TIM je v podstate vektor (jeho položky prislúchajú jednotlivým staniciam) vytvorený príslušným AP, ktorý musí bufferovať (uschovávať) časť dát určených pre spiaci uzol do jeho prebudenia. Nazretím do príslušnej časti vektora si stanica overí nutnosť prebudenia. Mechanizmus TSF pravidelne rozosiela beacon rámce. Vysiela ich AP, ktoré si interval medzi nimi volí sám (obvykle každých 100ms). Pri ad-hoc sieťach sa snažia tento rámec vysielat' všetky stanice, no podarí sa to vždy len jednému. Prijímať by ho mali všetky stanice v príslušnej BSS. Teda aj spiace stanice, ktoré sa preto musia budiť.

Beacon ramec obsahuje beacon interval (pomocou neho sa stanice vedia načasovať na ďalšie prebudenie), časové razitko (slúži k synchronizácii staníc), TIM (pozn. viac vyššie), SSID (meno siete), podporované rýchlosti (podľa možnosti AP), schopnosti (napr. pre použite WEP) a iné (napr. plán preskokov u techniky FHSS).

Všetky tieto údaje zabalené do MAC rámcov sa vkladajú ešte do tzv. PLCP rámca vytváraného podvrstvou fyzickej vrstvy. Tá je rozdelená na hornú PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) a dolnú PMD (Physical Media Dependent) podvrstvu. PLCP zaisťuje akúsi podporu príslušnému spôsobu bezdrôtového prenosu. Jej rámce sú odlišné pre DSSS, FHSS a DFlr. Zaisťujú synchronizáciu príjemcu a odosielateľa (nastavujú technické parametre) a zisťujú prenosovú rýchlosť (podľa kódovania a modulácie v PMD). PMD sa stará o konečne rozdelenie PLCP rámcov na bity a ich prenos (modulácia a kódovanie signálov).

Pri použití techniky DSSS sa namiesto 1 „užitočného“ bitu vyšle n pseudonáhodných bitov (chip). Tento reťazec označujeme aj ako symbol. Prenášaný signál je klasicky reprezentovaný dvoma stavmi. Jednotka a nula. V takomto prípade je každý bit symbolu reprezentovaný jedným stavom. Výsledkom toho je, že každý užitočný bit zodpovedá jednému symbolu. Ak by sme však použili 4-stavovú moduláciu (signál má 4 rôzne stavy), do jedného symbolu sa nám „vojdú“ 2 užitočné bity. Toto zhustenie spočíva v reprezentácii stavov signálu. Tie sú chápané ako 00,01,10 a 11. Tento spôsob použitia nám objasňuje dosahovane rýchlosti 1 resp. 2 Mbit/s u prvotného štandardu a 5,5 resp. 11 Mbit/s pri „b“ štandarde (teda dvojnásobky). Rozdiel rýchlosti medzi nimi je spôsobený použitím rozdielneho chipping kódu. 11-bitový chip v prvotnom verzus 8-bitový chip v „b“.

Ako som už spomenul, v „b“ variante sa používa pásmo 2,4000 – 2,4835 GHz, čo nám dáva šírku 83,5 MHz. 14 kanálov o šírke 22 MHz je usporiadaných s odstupom 5 MHz. Z toho vyplýva, že sa kanály navzájom prekrývajú. Môžeme však vybrať 3 z nich tak, aby k prekrývaniu nedochádzalo. To nám dáva možnosť používať 3 nezávislé siete vedľa seba.

Štandard IEEE 802.11a fungujúci v 5,8 GHz pásme pracuje s frekvenčnými kanálmi o šírke 20 MHz. Každý z nich je rozdelený na 52 dielčích časti (48 pre prenos dát + 4 pomocne). Použitá technika OFDM ponúka rôzne prenosové rýchlosti od 6 do 54 Mbit/s. Tie závisia od použitej modulácie (koľko bitov sa „vojde“ do jedného symbolu podobne ako pri DSSS). Od prenesených (užitočných) dát treba však ešte odpočítať režijné bity zabezpečujúce doprednú opravu chýb (FEC).

Ďalší vývoj štandardov priniesol bud':

Zvýšenie rýchlosti - IEEE 802.11b -> IEEE 802.11g, teoretické maximum je 54 Mbit/s, efektívna rýchlosť môže byť ako u všetkých len polovičná. Používa DSSS, OFDM alebo novú techniku prenosu PBCC (Packet Binary Convolution Coding).

Šetrnejšie správanie – IEEE 802.11a -> IEEE 802.11h, možnosti dynamickej voľby frekvencií a regulácia vysielacieho výkonu.

Obe vylepšenia sú spätne kompatibilné (nie však medzi sebou), aj keď s určitými obmedzeniami.

Čo sa plánuje ?

Ďalší stupeň vývoja má priniesť štandard IEEE 802.11n (n ako Nová generácia). Jeho cieľom je dosiahnutie nominálnej rýchlosti 100 Mbit/s a viac. Zachovať sa však majú doterajšie frekvencie ako aj šírka frekvenčných kanálov. Cestou je tak zvýšenie efektivity používania spektra. Jednou z možností je nájdenie spôsobu, ako využiť nepotrebné alebo inak rušivé signály vo svoj prospech. Pri analógovom televíznom vysielaní vyvolávajú tzv. duchov. Teda nesú podobnú informáciu ako hlavný (požadovaný) signál, no v konečnom dôsledku pôsobia rušivo. Pri digitálnom prenose sa tieto signály musia tradične od pôvodného signálu extrahovať, no použitím rôznych techník by sa mohli k nemu akoby pričítať. Získal by sa tak ešte kvalitnejší signál. Obecne sa takýmto technikám hovorí MIMO (Multiple Input, Multiple Output) a vyznačujú sa použitím viacerých antén v rámci jedného zariadenia.

Takýto jednotný štandard zatiaľ stále chýba, no na trhu sa objavilo už niekoľko „poloriešení“. Je to chápané v zmysle, že tieto „pred-n“ verzie splňujú len tie požiadavky, na ktorých sa kompetentní doteraz stihli zhodnúť.

Spomalenie „kompletnej“ „n“ verzie spôsobujú aj cudzie patenty v rámci techník MIMO, a tak sa nedá predpovedať čas jej definitívneho príchodu.

Pri toľkých technológiách sa človek môže pomaly strácať. Preto ponúkam krátku časť o tom, ako sa v praxi jednotlivé verzie rozlišujú.

Nálepky Wi-Fi

Nástup bezdrôtových technológií založených na štandarde 802.11 viedol už v roku 1999 k vzniku asociácie WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), snažiacej sa o medzinárodnú kompatibilitu zariadení a interoperabilitu. Táto spoločnosť si nechala zaregistrovať značku Wi-Fi (Wireless Fidelity), ktorú následne udeľovala produktom vyhovujúcim jej testom kompatibility podľa štandardu IEEE 802.11b. Po splnení kritérií obsiahnutých v rámci IEEE 802.11a udeľovala certifikát Wi-Fi5. Požiadavky pre ich úspešné „zvládnutie“ boli samozrejme zverejnené. Označenie Wi-Fi sa ujalo až tak, že pôvodná väzba na bezdrôtový Ethernet (obsiahnutý v nazve WECA) sa úplne strácala. Preto sa táto aliancia rozhodla zmeniť názov intuitívnejšie Wi-Fi Alliance v roku 2002. Okrem zmeny loga došlo aj k upusteniu označenia Wi-Fi5, ktoré mohlo viesť ľudí k názoru, že je to vylepšenie (nástupca) zariadení Wi-Fi. To samozrejme nie je pravda, pretože Wi-Fi a Wi-Fi5 sú navzájom

nekompatibilné. V dôsledku toho, ale aj nástupom nových štandardov sa Wi-Fi Alliance rozhodla rozlišovať jednotlivé technológie Wi-Fi pomocou písmena použitého v príslušnom štandarde (a,b,g,h,n) alebo položkou pre rozlíšenie použitých frekvencií.



Obrázok 2.14: Wi-Fi nálepky

Spomením ešte jednu nálepku súvisiacu s Wi-Fi, a tou je Wi-Fi Zone. Ta označuje miesto s (verejným) prístupom k týmto mobilným službám, tzv. hotspot. Poskytovateľom týchto služieb ju udeľuje taktiež Wi-Fi Alliance po splnení niekoľkých požiadaviek (vyberám len niektoré):

- Všetky použité zariadenia musia byť „Wi-Fi Certified“ (mať nálepku Wi-Fi)
- Musí garantovať rýchlosť najmenej 2 Mbps v okruhu 15 metrov od tohto loga
- Súčasná podpora 802.11a aj 802.11b
- Neobmedzovanie bezpečnostných mechanizmov (na strane užívateľa)
- Názov siete (SSID) by mal byť mnemotechnický



Obrázok 2.15: Wi-Fi zóna

Tým by som skončil časť venovanú bezdrôtovým LAN (WLAN) sieťam a prešiel k väčším bezdrôtovým sieťam, ktoré označujeme ako WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks).

WMAN

Zatiaľ čo sa WLAN siete nasadzujú v rámci budovy (domácnosť, firma) samotnými užívateľmi bez potreby získavania nejakých oprávnení (licencií)²¹, pri WMAN sieťach je dosah až niekoľko desiatok kilometrov (typicky medzi budovami), sú určené pre poskytovateľov služieb a používajú bezlicenčné ale aj licenčné pásma.

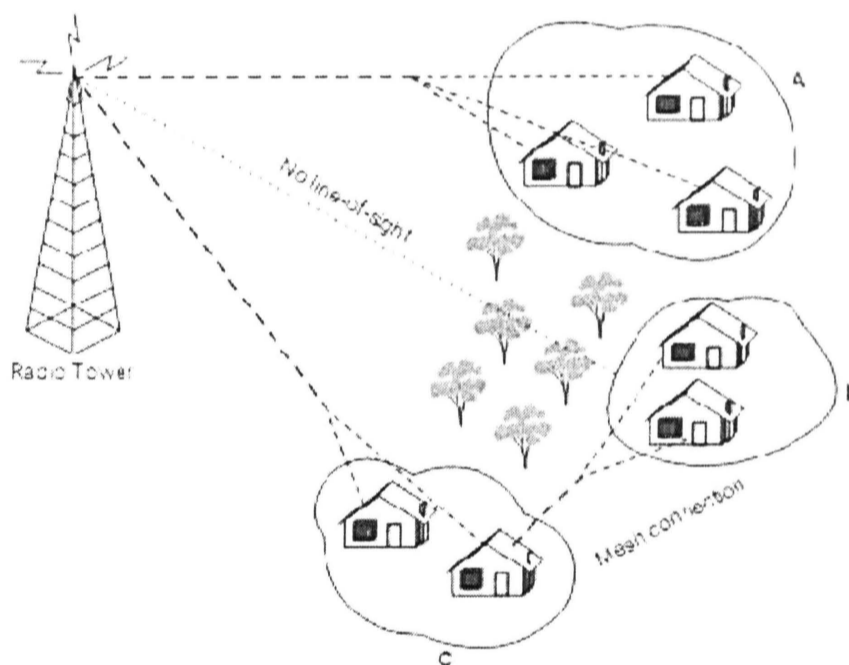
O štandardizáciu bezdrôtových metropolitných sietí sa stará pracovná skupina IEEE 802.16 založená v roku 1999.

²¹ Vďaka použitiu bezlicenčného pásma.

Prvý štandard (IEEE 802.16a) z roku 2002 obsahoval okrem iného použitie frekvenčného pásma (10 – 66 GHz), šírku frekvenčných kanálov (20, 25 alebo 28 MHz), maximálnu rýchlosť (32 až 134 Mbit/s) a dosah (až 5 km). Požadoval taktiež podmienku priamej viditeľnosti zariadení (vysielača a prijímača). Práve kvôli nej, ale aj kvôli vysokým frekvenciám²², sa tento štandard do praxe nepresadil.

Štandard z roku 2004 označovaný ako IEEE 802.16REVd (revízia „D“) alebo len IEEE 802.16d resp. správnejšie IEEE 802.16-2004 priniesol odstránenie nie len týchto obmedzení. Zariadenia teda nepotrebujú priamy (vizuálny) kontakt (NLOS – Non Line Of Sight) a využíva sa pásmo 2 až 11 GHz. Okrem toho definuje šírku kanálu (max. 25 MHz), techniky pre zabezpečenie duplexnej komunikácie (FDD alebo TDD) a maximálnu rýchlosť až 75 Mbit/s.

Odstránenie nutnosti priameho vizuálneho kontaktu BS stanice zo zariadením prinieslo definovanie mesh topológie. Stanica, ktorej takéto spojenie chýba, môže komunikovať pomocou „susedných“ staníc (tie už v priamom kontakte sú).



Obrázok 2.16: Mesh topológia vo WiMAXe

Zatiaľ čo štandard z roku 2004 nepočítal s mobilitou zariadení, štandard z roku 2005/2006 označovaný ako IEEE 802.16e už možnosť mobility zahrňuje. Teoreticky mala komunikácia fungovať pri pohybe rýchlosťou do 150km/h, no reálne je to len 60km/h. Ďalšími zmenami je použitie jedine licenčných pásiem, užšie kanály (1,25 až 20 MHz) a maximálna rýchlosť 30 Mbit/s.

O dodržiavanie týchto štandardov a o interoperabilitu výrobcov sa začalo starať WiMAX Forum založené roku 2001. Preto sa postupom času začali štandardy neformálne označovať ako WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Presnejšie išlo o tzv. *fixed WiMAX* (z roku 2004) a *mobile WiMAX* (2005/2006). Keďže tieto WiMAX technológie nie sú vzájomne kompatibilné (používajú iné frekvenčné pásma a rôzne šírky kanálov), rozlišujú sa pomocou tzv. profilov (podobne ako sa pri Wi-Fi používajú písmena).

²² ich spoľahlivosť viac závisí na atmosférických podmienkach

Tí výrobcovia, ktorí prejdú ich testovacím procesom získajú certifikáciu a môžu používať na svojich zariadeniach známku „WiMAX Forum Certified“. Niektorí obchodníci, ktorí nie sú certifikovaní, používajú označenia „WiMAX-ready“, „WiMAX-compliant“ alebo „pre-WiMAX“.

Prejdime už ale k stavbe WiMAX siete.

Architektúra WiMAXu

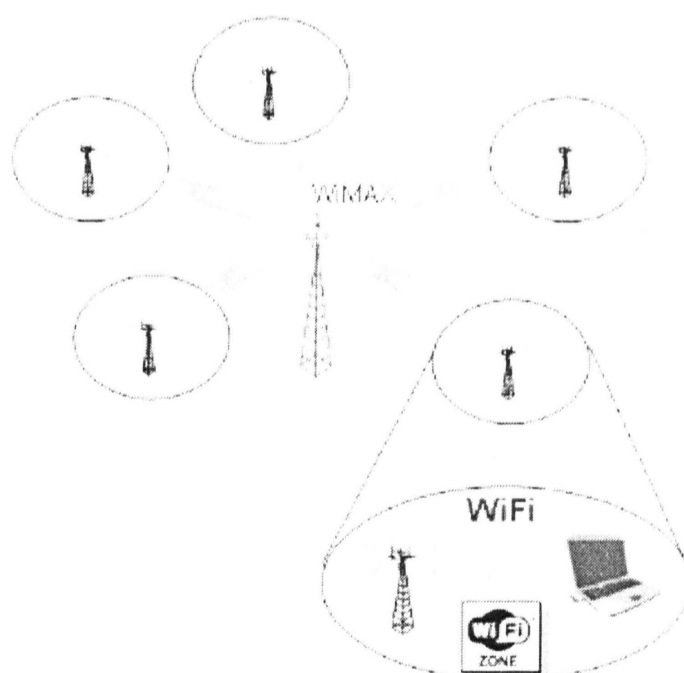
Hlavnými komponentmi architektúry WiMAX sú koncové účastnícke zariadenia a základňová stanica (BS). Okrem toho sa v nej nachádzajú špeciálne centrá ako ASN (Access Service Network) a CSN (Connectivity Service Network) slúžiace na prepojenie k iným sieťam (napr. k internetu).

Pre samotný prenos signálu využíva „fixný“ WiMAX metódu OFDM pracujúcu s 256 sub-kanálmi. V prípade mobilného WiMAXu ide o novú SOFDMA (Scalable Orthogonal FDMA) techniku využívajúcu podľa potrieb pre každý kanál 128, 512, 1024 alebo až 2048 sub-kanálov.

MAC vrstva pokrýva šifrovanie prenášaných dát a výmeny kľúčov, riadenie komunikácie a šetrenie energie (sleep a idle mód).

Veľkou výhodou WiMAXu je spôsob hospodárenia s prenosovou kapacitou. Základňová stanica (BS) prideluje určitú kapacitu pre jednotlivé spojenia (toky). Tok sa priradzuje jedna z tried, vďaka čomu má WiMAX v sebe zabudovanú podporu QoS. Tok s triedou UGS (Unsolicited Grant Service) má vyhradenú konštantnú kapacitu (žiaden iný ju nemôže využiť). Pri triede rtPS (real-time Polling Service) dostáva tok toľko kapacity koľko práve potrebuje. Trieda nrtPS (non-real-time PS) garantuje určitú minimálnu kapacitu a posledná trieda BE (Best Effort) negarantuje nič.

Technológia WiMAX má vďaka svojim vlastnostiam (hlavne schopnosť garancie prenosu a spoju point-to-multipoint) viacero možností nasadenia. Môže byť použitá pre tzv. backhaul, pri ktorom stanica poskytuje (internetové) napojenie prístupových bodov (často Wi-Fi hotspotov) na chrbticovú sieť poskytovateľa. Inak povedané, prenáša (internetové) spojenie na miesta, z ktorých sa ďalej rozvádza koncovým užívateľom. V terminológii poskytovateľov služieb ide o preklopenie poslednej míle. Na rozdiel od Wi-Fi, ktoré slúži k preklopeniu posledného metra.



Obrázok 2.17: Prepojenie hotspotov pomocou WiMAXu

Zariadenia užívateľov sa však môžu pripojiť k WiMAX sieti aj priamo (bez použitia Wi-Fi).

Je taktiež alternatívou pre drôtové technológie. Či už ide o použitie vo vidieckych oblastiach (bez optickej či metallickej kabeláže), alebo poskytovaných služieb zaručujúcich určitú úroveň (QoS hlavne pre firmy). V neposlednom rade sa používa ako záložná sieť pre prípad poškodenia drôtovej siete v dôsledku prírodnej katastrofy (poškodenie káblov).

Tento fixný WiMAX je teda skôr zaujímavý pre poskytovateľov služieb, ktorým pri stavbe siete dáva o jednu možnosť viac. Zaujímavé služby pre bežného zákazníka však môže priniesť mobilný WiMAX. Ten na rozdiel od fixného ponúka služby „za pochodu“. Znamená to možnosť prechádzať so svojim zariadením z oblasti spravovanej jednou BS stanicou (bunky) do inej (bunky) bez prerušenia spojenia. To pripomína spôsob fungovania siete mobilných operátorov. Keďže jej cieľom je poskytnutie prenosu hlasu a rýchlych dát, niet divu, že 3G sieťam vzniká vážny konkurent. Je totiž zo sveta počítačov, ktorý je „garanciou“ efektívnosti, adaptívnosti a čo najlačnejšej implementácie. Navyše ju netrápia „pozostatky“ predchádzajúcich generácií, s ktorými musia operátori chtiac nechtiac počítať.

Technológia príbuzná mobilnému WiMAXu (resp. jeden z jej profilov) bola spustená v Južnej Kórei roku 2006. Ide o tzv. WiBRO (Wireless Broadband). Používa pásmo 2,3-2,4 GHz, šírku kanálov 8,75 MHz a techniku TDD. Jej cieľom je dosiahnutie rýchlosti až 100 Mbit/s.

O mobilný broadband sa pokúša aj skupina IEEE 802.20 založená v roku 2002. Technológie ako MBWA (Mobile Broadband Wireless Access) alebo MobileFi mali už od začiatku za cieľ konkurovať mobilným sieťam 2.5G a 3G. Mobilita má byť zaručená pri pohybe rýchlosťou až 250 km/h. Nevychádza pritom zo štandardu 802.16 (WiMAX) ale vzniká úplne nanovo.

Aj keď sa práce na ňom viac-menej zasekli, predstava o technickom riešení známa je. Používať sa má licenčné pásmo pod 3,5 GHz (tj. nižšie ako WiMAX), NLOS, rôznu šírku kanálov (1,25 až 40 MHz), obe techniky TDD aj FDD a techniku OFDMA.

Spomeniem ešte jednu pracovnú skupinu v rámci IEEE založenú v roku 2004. Má označenie IEEE 802.22 a pripravuje štandard pre WRAN siete (Wireless Regional Area Networks). Tie majú dosah väčší ako metropolitne.

Hlavnou myšlienkou je využiť momentálne voľných TV kanálov (pásma UHF/VHF s frekvenciou 54 až 862 MHz) na prenos dát. Niektoré frekvencie sú totiž už pridelené, no nevyužívajú sa vždy a všade. Pre zrealizovanie tohto nápadu má poslúžiť tzv. cognitive (poznávacie) rádio. To nemá pevne definované frekvencie, ale mení ich podľa situácie. Tú vie samo zistiť.

Cieľom je preniesť v rámci jedného TV kanálu (v Európe má 8 MHz) dáta rýchlosťou 19 Mbit/s na vzdialenosť 30 km.

Okrem zvyšovania rýchlosti a použitia nových technológií je v rámci všetkých sietí dôležitá aj otázka bezpečnosti. Tej sa venujem len v oblasti bezdrôtového prenosu preto, lebo má významné odlišnosti a zaznamenala v poslednom desaťročí najväčšie zmeny.

Bezpečnosť mobilných sietí

Pri použití siete operátorov zaujíma užívateľov hlavne diskretnosť a presnosť účtovania hovoru. Pri drôtovej komunikácii existuje fyzické spojenie káblom medzi poskytovateľom a účastníkom hovoru. Preto je jednoduchšie zasociovať hovor s konkrétnym volajúcim či volaným. Taktiež pri odpočúvaní je nevyhnutné „napichnúť“ ten správny kábel. Pri bezdrôtovom prenose sa však prenosové médium (rádiové spektrum) zdieľa, teda používa viacerými objektmi. To znamená, že každý kto má prístup k médiu môže prenášaný signál počúvať alebo vysielat' vlastný. Komunikácia tak prestáva byť privátna a vzniká tiež problém s autentifikáciou užívateľov. Tento problém bolo potrebné riešiť kryptovaním komunikácie. Pri kryptovaní je potrebné šifrovať nie len signál vysielaný medzi mobilom a základňovou stanicou, ale vyžaduje si to aj určitý stupeň bezpečnosti databázových systémov, či informácii zdieľaných medzi viacerými systémami. Cieľom bezdrôtových mobilných systémov je tak ponúknuť bezpečnosť rovnajúcu sa klasickým telefónnym sieťam.

Požiadavky bezpečnej komunikácie:

- diskretnosť pomocných informácií – počas hovoru sa prenášajú aj vedľajšie informácie ako je telefónne číslo, číslo karty či požadovaná služba. Systém ich musí prenášať bezpečným spôsobom.
- diskretnosť hlasu a dát – systém musí zašifrovať veškerú komunikáciu tak, aby narušiteľ nemohol získať dáta počúvaním rádiových vln.
- diskretnosť užívateľovho umiestnenia – užívateľ by nemal vysielat' informácie, pomocou ktorých by odpočúvateľ mohol zistiť jeho umiestnenie. Zvyčajne sa to rieši zašifrovaním užívateľovho ID.

Čo sa týka zmien v bezpečnosti nových UMTS sietí (najrozšírenejšie 3G), majú len aditívny (doplňujúci) charakter. Vychádza teda z GSM a GPRS.

Rieši napríklad problém podvrhutej základovej stanice. Zatiaľ čo pri GSM prebieha autentizácia len jedným smerom (mobilného zariadenia voči základňovej stanici), pri UMTS sa zaviedla už obojstranná. Okrem toho sa pri šifrovaní zvýšila aj dĺžka používaných kľúčov a pridali sa aj zabezpečenia potrebné pre prevádzku nových služieb.

Čo sa týka vývoja bezpečnosti za posledné desaťročie, vďačnejšou témou je nasledujúca oblasť.

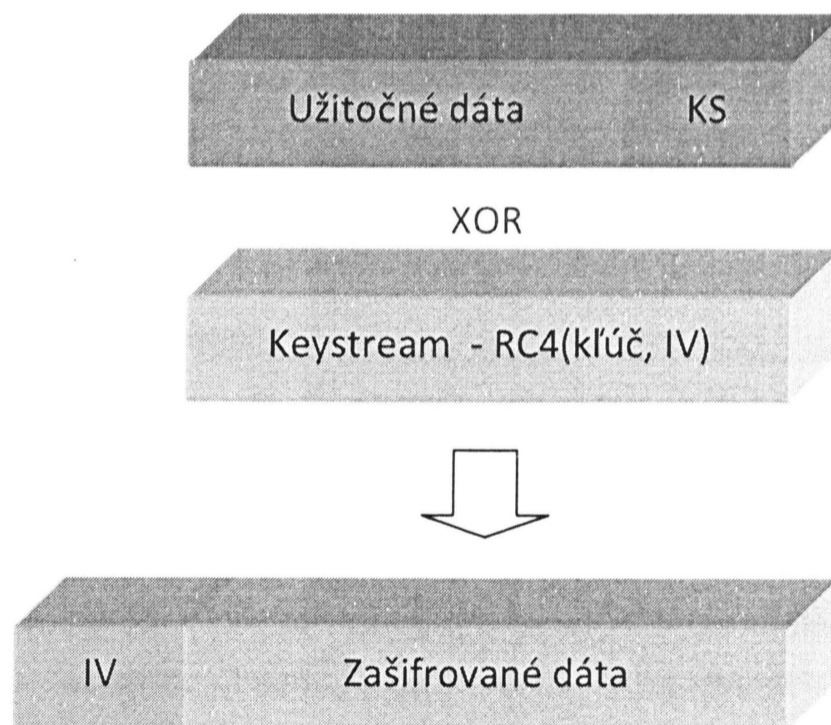
Bezpečnosť sietí zo sveta počítačov

Ako príklady som si vybral siete Wi-Fi a čiastočne aj WiMAX, pretože sú ukázkou toho, ako to dopadne keď sa na bezpečnosť kladie dôležitý význam už pri návrhu technológie, a aké problémy môžu vzniknúť v opačnom prípade.

Bezpečnosť nie len vo Wi-Fi sieti môžeme rozdeliť do dvoch hlavných skupín. Autentizácia a šifrovanie. V rámci štandardu 802.11 sa jedná o jednosmernú autentizáciu, čo znamená, že autentizovať sa musí len stanica voči sieti a nie naopak. Pre bezpečnosť bol pôvodne určený protokol WEP (Wired Equivalent Privacy) pracujúci na data-linkovej vrstve. Ten bol navrhnutý ako vidieť podľa jeho názvu pre poskytnutie bezpečnosti porovnateľnej s drôtovými sieťami. Neskôr sa však ukázalo, že tento cieľ nebol ani zďaleka dosiahnutý.

Účelom WEP nie je celkové zabezpečenie siete, ale ochrana dát pred odpočúvaním komunikácie. Pri použití WEP zabezpečenia má každá stanica tajný kľúč, ktorý zdieľa so základňovou stanicou. Ich distribúcia ale špecifikovaná nie je. Môže ho zaviesť už výrobca, môžu si ho vymeniť inou (drôtovou) sieťou, alebo si výberu náhodný kľúč a pošlú ho zašifrovaný pomocou kryptovacích metód s verejným kľúčom.

WEP je založený na prúdovej symetrickej šifre známeho RC4 algoritmu a na metóde kontrolného súčtu CRC-32²³. Podstatou tejto šifry je, že sa odosielaná správa šifruje podľa tajného kľúča a na cieľovom uzle sa zase podľa rovnakého kľúča dešifruje. Konkrétne to prebieha tak, že sa kľúč rozšíri na pseudonáhodný tok (tzv. keystream). Rozdelené dáta sa do jednotlivých paketov vkladajú spolu s kontrolným súčtom (KS). Následne sa na nich a na keystreame vykoná operácia XOR. Tak vznikne šifra, ktorá sa posiela spolu s inicializačným vektorom (IV) použitým pre pseudonáhodnosť keystreamu.



Obrázok 2.18: Princíp WEP

²³ <http://en.wikipedia.org/wiki/RC4> resp. http://en.wikipedia.org/wiki/Cyclic_redundancy_check

Pôvodný WEP pracoval so 64-bitovým kľúčom. Presnejšie, 40 bitov tvorí kľúč a zvyšných 24 bitov inicializačný vektor. Tento spôsob šifrovania môže vyzerať na prvý pohľad dobre, avšak už v roku 2001 (teda 2 roky po jeho uvedení) bolo publikovaných niekoľko metód na jeho prelomenie.

Slabosťou WEP protokolu nebola len veľkosť kľúča, ktorá sa dá rýchlo zlomiť aj „hrubou silou“, ale aj použitie inicializačného vektoru. Pri jeho opakovanom použití („len“ 2^{24} možnosti) môže útočník zistiť keystream, a tak generovať a podstrčiť svoje vlastne dáta. Prvotným riešením týchto problémov malo byť vylepšenie WEP2. To rozšírilo veľkosť kľúča aj inicializačného vektora na 128 bitov. Toto riešenie však nebolo ani štandardizované, pretože v rovnakom roku boli publikovane aj „diery“ v samotnej RC4 šifre. Potrebné preto bolo vytvoriť úplne nové bezpečnostné opatrenia.

Čo sa týka autentizácie, existovali dve metódy spojené s týmto protokolom.

V *Open System* autentifikácii nemusel klient voči AP (Access Point) predkladať žiadne dôkazy (certifikáty). Mohol sa pokúsiť o pripojenie k sieti bez ohľadu na jeho WEP kľúč. Nešlo teda v skutočnosti o žiadnu reálnu autentifikáciu.

V *Shared Key* móde sa pre autentifikáciu používa tzv. 4-cestný handshake založený na spôsobe výzva – odpoveď:

1. Klient pošle AP žiadosť o autentifikáciu.
2. AP pošle naspäť výzvu v čistej (nezašifrovanej) forme.
3. Klient musí výzvu zašifrovať pomocou svojho nakonfigurovaného WEP kľúča a poslať v ďalšej žiadosti.
4. AP rozšifruje správu a porovná ju s tou pôvodnou. Podľa toho pošle klientovi pozitívnu alebo negatívnu odpoveď.

Oba tieto spôsoby sú však čo sa týka bezpečnosti a dôveryhodnosti veľmi slabé. Aj tu preto bola potrebná zmena.

O niekoľko mesiacov neskôr vznikla pracovná skupina IEEE 802.11i, ktorá mala tieto problémy vyriešiť. V roku 2003 oznámila Wi-Fi aliancia výmenu protokolu WEP za nový WPA (Wi-Fi Protected Access). Bol to akýsi medzistupeň pred dokončením štandardu 802.11i.

WPA síce stále používa šifru RC4, no s 128 bitovým kľúčom a 48 bitových inicializačným vektorom (IV). Jeho hlavným vylepšením oproti WEP je dynamické menenie kľúčov pomocou TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) protokolu. V kombinácii s väčším IV tak efektívne odoláva útokom, ktoré boli úspešné pri WEP. WPA taktiež vylepšuje zabezpečenie integrity dát. Pri spomínanom CRC-32 mohol útočník pozmeniť správu a následne aj kontrolný súčet bez znalosti WEP kľúča. Preto bola táto metóda nahradená bezpečnejšou MAC (Message Authentication Code)²⁴, v tomto prípade nazývanou MIC (Message Integrity Code).

²⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Message_integrity_code

Wi-Fi aliancia vytvorila WPA vychádzajúc z ešte nedokončeného štandardu 802.11i. Snahou bolo čo najskôr odstrániť hlavné bezpečnostné diery, a tak sa už pri jeho návrhu počítalo zo zavedením WPA2. Ten už upustil od šifry RC4 a prešiel na blokovú šifru AES ²⁵(Advanced Encryption Standard), ktorá sa dodnes považuje za bezpečnú. Vyžaduje si však už nový, výkonnejší hardware, a je preto nekompatibilný s predošlou generáciou bezdrôtových zariadení.

O autentizácia sa v rámci protokolu 802.11i stará podmnožina s označením 802.1X, ktorá umožňuje autentizáciu na portoch (v kontexte fyzickej vrstvy). Rieši ju tak, že na danom porte blokuje všetku komunikáciu až do doby, kým sa klient neautentizuje prostredníctvom údajov, ktoré sú uložené na tzv. back-end serveri. Pre overenie nepoužíva len užívateľské meno a heslo (pri WEP ponúka protokol PPP), ale ponúka aj autentizáciu pomocou certifikátov, čipových kariet, biometricky a iných. To všetko vďaka nasadeniu EAP (Extensible Authentication Protocol) protokolu.

WiMAX

Bezpečnosť je vo WiMAXe doslova zabudovaná. V rámci MAC podvrstvy bola vytvorená časť venovaná šifrovaniu paketov a spravovaniu používaných kľúčov. Využíva pri tom buď AES šifru (ako WPA2) alebo tzv. trojitú DES ²⁶ (3DES). V rámci distribúcie kľúčov využíva šifru s verejným kľúčom RSA, ktorá je v súčasnosti pri použití 1024 bitového kľúča považovaná za bezpečnú.

Čo sa týka autentizácie, podobne ako u WPA, aj pri WiMAXe sa využíva protokol EAP pre možnosť overovania viacerými spôsobmi (nie len heslom). Okrem toho ponúka aj metódu autentifikácie pre jednotlivé správy v kombinácii so zaistením integrity týchto dát. Využíva k tomu CMAC (Cipher-based Message Authentication Code) kód založený na algoritme HMAC (keyed-Hash Message Authentication Code) ²⁷. Ten používa hashovacie funkcie spolu s tajnými šifrovacím kľúčom.

3.4 Satelitné siete

Čo sa týka spôsobu riešenia komunikácie, použitie satelitných sietí patrí k tým najnovším. A to aj napriek tomu, že myšlienka použitia „mimozemských“ telies pre odrazenie signálu sa objavila už v 50-tých rokoch minulého storočia.

Keďže využívajú rovnaké médium ako predchádzajúci (terestriálny) typ sietí, je logické, že používajú aj podobné techniky prenosu. Kvôli tomu sa v tejto podkapitole zameriam skôr na podstatu a rozdelenie satelitov, a predstavím taktiež projekty (z posledného desaťročia), ktorých cieľom je poskytnúť alternatívnu možnosť komunikácie.

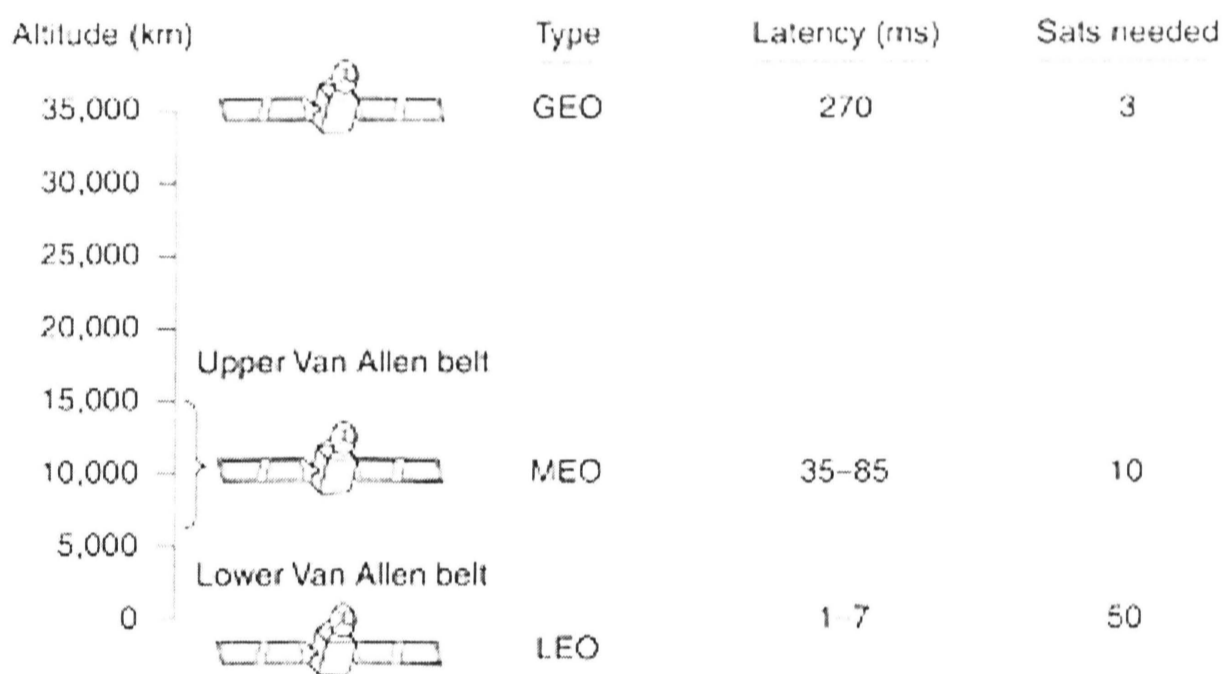
²⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard

²⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Data_Encryption_Standard

²⁷ <http://en.wikipedia.org/wiki/CMAC> + <http://en.wikipedia.org/wiki/HMAC>

Satelitná komunikácia má niekoľko zaujímavých vlastností pre mnoho aplikácií. Pri najjednoduchšej forme sa môžeme na satelit dívať ako na veľký mikrovlnný repeater (opakovač) kdesi na oblohe. Obsahuje niekoľko tzv. transpondérov, ktoré po zachytení rádiového signálu začnú odpovedať. Každý z nich počúva na určitej časti spektra, zosilní prichádzajúci signál a predošle ho ďalej. Aj keď sa signál šíri takmer rýchlosťou svetla, veľká vzdialenosť od Zeme spôsobuje oneskorenie rádovo desiatky milisekúnd. Pre porovnanie, pozemné mikrovlny sa šíria s oneskorením 3 mikrosekundy na jeden kilometer a v optických linkách je to približne 5 μ s/km.

Pri umiestnení satelitov sa hľadí na ich obežnú dobu okolo Zeme. Čím sú nižšie, tým je doba kratšia. Ďalším faktorom na zváženie pri umiestnení sú tzv. Van Allenove pásma (vonkajšie a vnútorné), v ktorých sa nachádzajú obrovské množstvá vysoko nabitých častíc. Tie by mohli letiace satelity veľmi ľahko znefunkčniť. Satelity preto musia byť umiestnené mimo nich [4].



Obrázok 2.19: Umiestnenie satelitov

Podľa toho v akej výške obiehajú ich delíme na 3 skupiny.

Geostacionárne satelity (GEO – Geostationary Earth Orbit)

V roku 1945 sci-fi spisovateľ Arthur C. Clarke vypočítal, že satelit obiehajúci okolo rovníku vo výške 35,800 km sa bude javiť ako nehybný. Sám popísal kompletný komunikačný systém, no kvôli rôznym technickým otázkam sa mu využitie takýchto satelitov zdalo nepraktické. Až vynájdenie tranzistora všetko zmenilo. Prvý geostacionárny satelit Telstar bol vypustený v roku 1962.

Satelity v strednej obežnej dráhe (MEO – Medium-Earth Orbit Satellites)

Nachádzajú sa medzi dvoma Van Allenovými pásmami. Najbežnejšie sa používajú pre navigáciu. Príkladom sú systémy GPS (20 200 km), Glonass (19 100 km) a Galileo (23 222 km). Doba obehu trvá od 2 do 12 hodín.

Satelity v nízkej obežnej dráhe (LEO - Low-Earth Orbit Satellites)

Kvôli ich rýchlemu pohybu a menšiemu záberu je potrebné nasadiť do kompletného systému veľké množstvo takýchto satelitov. Avšak vďaka tomu že oblietajú tak blízko pri Zemi, pozemne stanice nepotrebujú toľko energie a oneskorenie signálu je len niekoľko milisekúnd.

Rozoberme si 2 projekty založené na týchto LEO satelitoch:

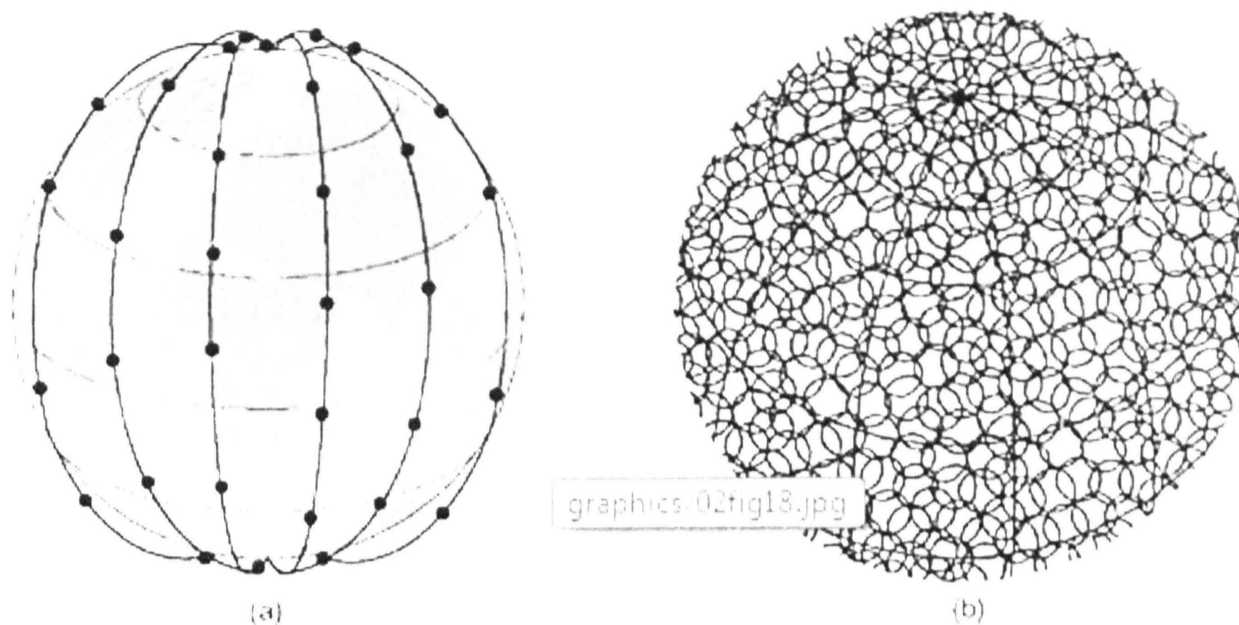
Iridium

V roku 1990 požiadala Motorola Federálnu komisiu pre komunikáciu o povolenie vypustenia 77 nízkoorbitných satelitov v rámci projektu Iridium (prvok Irídium má 77 protónov). Plán sa neskôr prepracoval na použitie 66 satelitov, takže projekt by sa mal premenovať na Dysprozium (má 66 protónov). To však znelo dosť zvláštne a tak názov Iridium ostal. Jeho myšlienka bola založená na princípe, že ako náhle prestane mať jeden satelit dosah na určitú časť povrchu, druhý ho v momente nahradí. Tento návrh rozpútal „šialenstvo“ v ostatných komunikačných spoločnostiach. Odrazu chcel každý vypustiť sieť vlastných nízkoorbitných satelitov.

V priebehu siedmich rokov sa spoločnosti dohodli na spolupráci a spoločnom financovaní a rakety vyniesli satelity na obežnú drahú. Komunikačné služby boli spustené o rok nato. Avšak dopyt po veľkých a ťažkých satelitných telefónoch bol zanedbateľný, pretože mobilná telefónna sieť zaznamenala od roku 1990 veľkolepý rozmach. Dôsledkom toho bol projekt Iridium neziskový a odkázaný na bankrot v auguste 1999. Zapísal sa ako jeden z najväčších korporáčnych fiask v histórii. Satelity a ostatný majetok v hodnote 5 miliárd dolárov sa následne rozpredal v akomsi mimozemskom „garážovom“ výpredaji. Služby Iridia sa obnovili v marci 2001. Do dnešnej doby ponuka celosvetové telekomunikačné služby s využitím dostatočne malých zariadení komunikujúcich priamo so satelitmi. Medzi tieto služby patri hlasový a dátový prenos, fax a navigácia kdekoľvek na pevnine, oceáne alebo vo vzduchu. Medzi hlavných zákazníkov patri námorné letectvo, ropne prieskumne odvetvia ale aj ľudia cestujúci v častiach sveta kde je nedostačujúca telekomunikačná infraštruktúra. Príkladom môžu byť púšte, hory, džungle ako aj krajiny tretieho sveta.

Satelity Iridia sa nachádzajú v nadmorskej výške 750km, usporiadané v tvare náhrdelníka smerujúceho zo severu na juh vo vzdialenosti 32 stupňov. Šesť takýchto satelitných náhrdelníkov pokrýva celú Zem podľa pôvodného návrhu. Každý satelit môže disponovať maximálne 48 bunkami (bodovými lúčmi). Dokopy ich teda môže byť až 1628 po celom zemskom povrchu (obr. 2.20). Každý satelit má kapacitu 3840 kanálov, spolu to činí 235 440. Niektoré z nich sa používajú pre navigáciu, iné na prenos hlasu a dát.

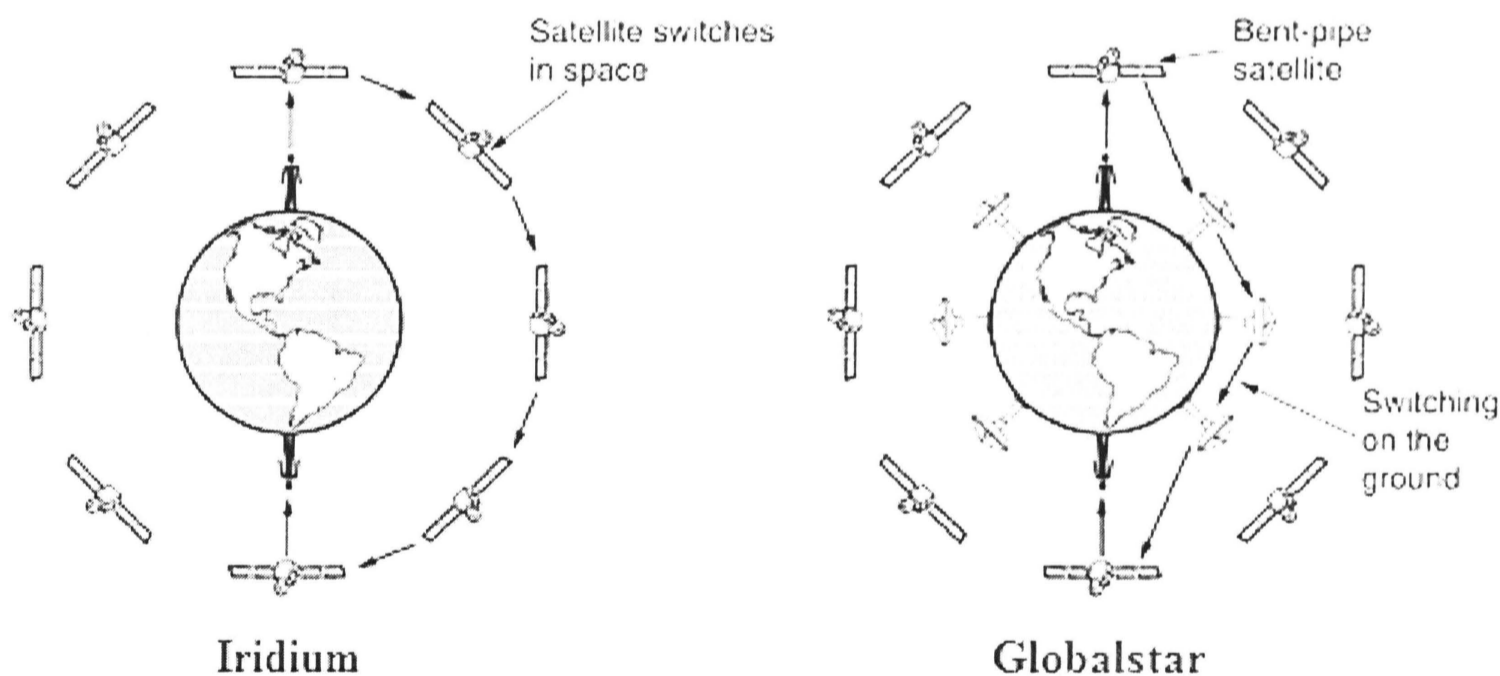
Iridium ako jediný používa techniky TDM pre obojsmernú komunikáciu a TDMA pre viacnásobný prístup. Vďaka tomu si pre fungovanie vyžaduje len jedno frekvenčné pásmo (1616 - 1626,5 GHz) [3].



Obrázok 2.20: a) 6 náhrdelníkov Iridia b) 1628 bodových lúčov

Globalstar

Satelity tohto projektu boli vypustené na obežnú dráhu v rokoch 1998-2000. Je alternatívou k Iridiu, založenej na 48 LEO satelitoch. Používa rozdielnu prepínaciu schému. Zatiaľ čo v Iridiu sa signál prenáša zo satelitu na satelit, Globalstar využíva tradičný dizajn založený na tzv. ohnutej rúre. Signál volajúceho smeruje k satelitu a vráti na zem. Tu sa šíri pozemnou sieťou k stanici čo najbližšie k volanému. Nakoniec sa vyše k príslušnému satelitu, ktorý pokrýva požadované územie. Pre lepšie pochopenie nám posluži obrázok 2.21.



Obrázok 2.21: Rozdielne techniky prenosu

Výhodou Globalstaru je, že zložitejšie zariadenie nie sú sústredené v satelitoch ale v pozemných staniciach, kde sa jednoduchšie riadia a prípadne opravujú. Navyše takýto návrh umožnil používanie telefonických zariadení nižšej spotreby a menších rozmerov.

Od Iridia sa líši aj tým, že pre prenos používa techniku CDMA.

Dá sa predpokladať, že počet satelitných projektov bude neustále narastať a dôležitým faktorom pritom bude aj životnosť týchto stále drahých systémov.

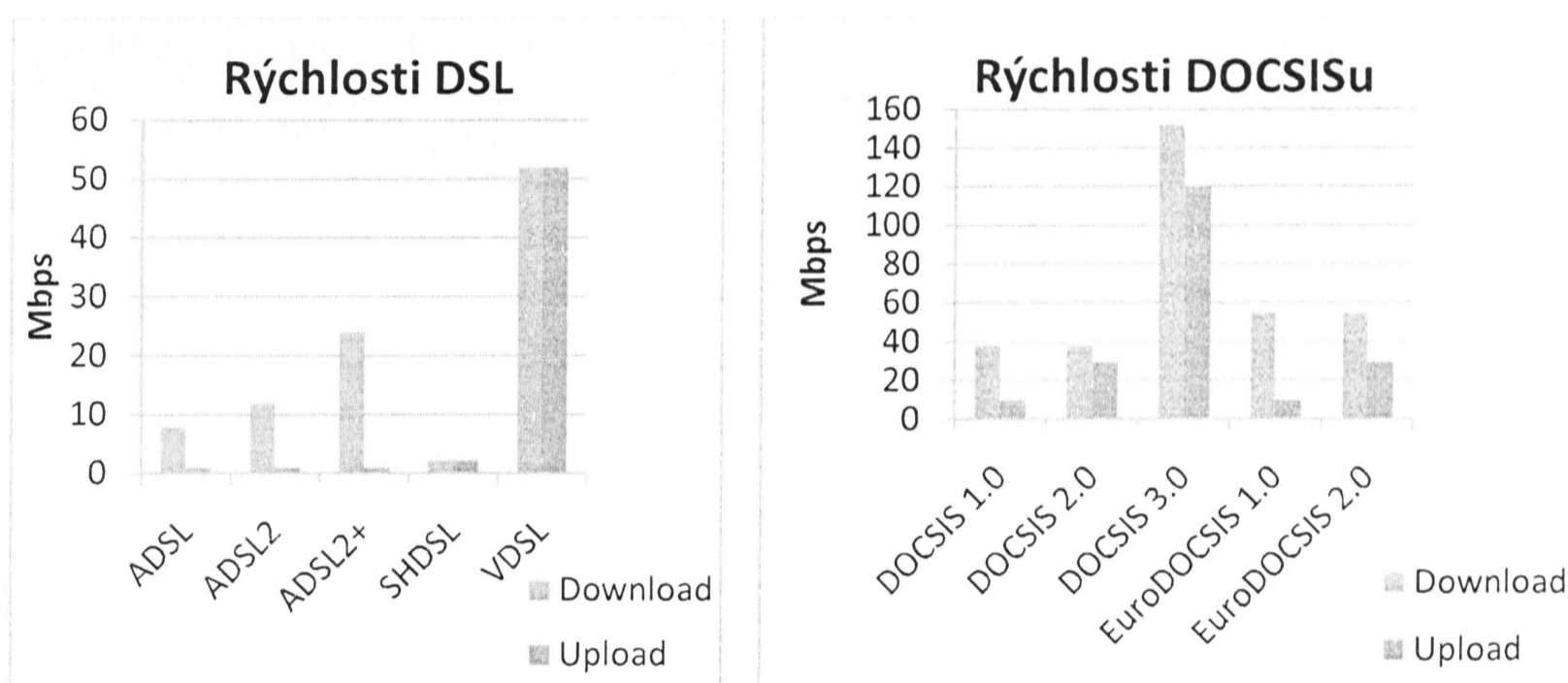
Kapitola 3

Zhodnotenie

Cieľom tejto kapitoly je zhrnutie dôležitých zmien v poslednom desaťročí a poukázanie na význam prepojení jednotlivých druhov sietí.

Metalické siete

Čo sa týka nasadenia metalických sietí, trendom je ich nahradzovanie v rámci chrbticových sietí optikou, ktorej prenosové možnosti nie sú ani zďaleka tak limitované fyzickými vlastnosťami. Svoje dôležité postavenie však stále majú v prístupových sieťach. Aby použité technológie držali krok s konkurenciou (napr. bezdrôtovou), museli sa vylepšovať. V rámci ADSL ide o dokonalejšie modulovanie a kódovanie signálu resp. a využitie vyšších frekvencií. Pri DOCSISe šlo taktiež o zlepšenie modulácie ale aj o možnosť použiť okrem časového multiplexu aj kódový (vo verzii 2.0), či prídanie podpory kvality služieb (QoS). Porovnajme ich zvyšovanie rýchlosti.



Obrázok 3.1: Porovnanie rýchlosti

Dá sa očakávať, že k “prežitiu” metalických sietí budú prispievať hlavne vylepšenia terajších technológií, a stratíť by sa v najbližšej dobe nemali vďaka Ethernetu ani v rámci lokálnych sietí.

Optické siete

Operátori používajúci optické siete majú tú výhodu, že v prípade potreby môžu kapacitu siete znásobiť aj bez pridávania ďalších resp. nahradzania nových káblov. Napríklad v prípade Ethernetu je možné zdesaťnásobiť rýchlosť aj pri krútenej dvojlinke, no tých existuje niekoľko druhov resp. generácií. Tie majú trochu odlišné vlastnosti, a preto by sa staršie museli vymeniť za nové. U optických vlákien tento problém rieši technika WDM. Jej novšie varianty podporené novými optickými zariadeniami zásah do optických káblov nevyžadujú. Ak si predstavíme, že tie sú položené aj na oceánskom dne, výmena koncových zariadení sa až taká náročná nezdá. Navyše, technologický pokrok spôsobuje neustále zvyšovanie kvality optických sieťových zariadení pri rovnakej alebo dokonca nižšej cene.

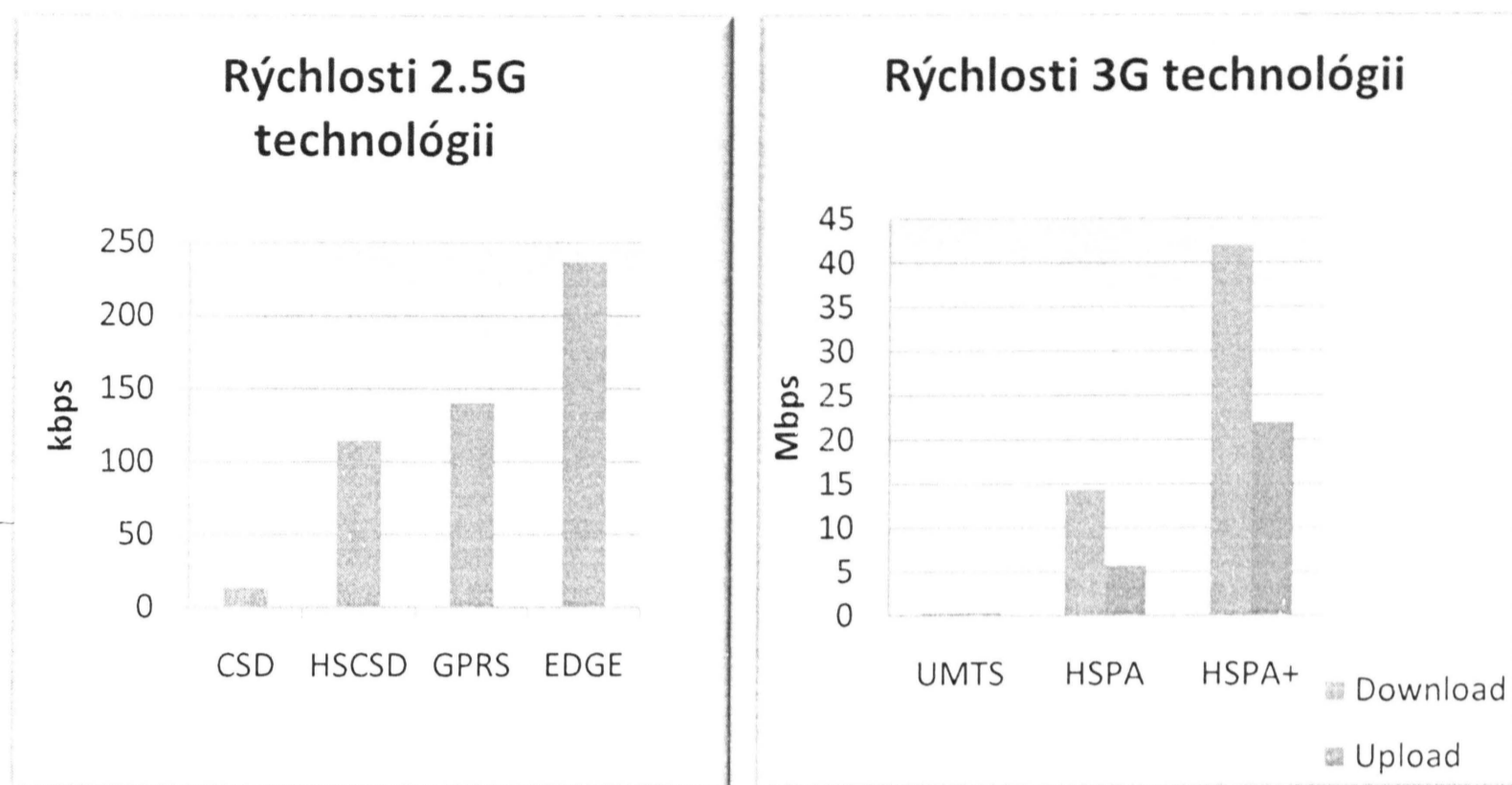
Bezdrôtové siete

Vývoj bezdrôtových sietí je najzaujímavejší. Niekoľko desaťročí existovali len siete zo sveta telekomunikácií, a tak zmeny prichádzali postupne a pomerne pomaly. Až príchodom prvých prakticky použiteľných bezdrôtových technológií zo sveta počítačov sa zvýšila konkurencia, ktorá viedla k búrlivému vývoju v tejto oblasti.

Dopyt zákazníkov po neustálom zvyšovaní prenosových rýchlostí viedol operátorov k maximálnemu využitiu pôvodných sietí druhej generácie. Množstvo multimediálnych dát spojených s príchodom nového milénia si však vyžadovalo väčšie zásahy do sieťovej infraštruktúry nasledované opätovným zvyšovaním efektivity prenosu. Pre prehľadné zopakovanie a zhodnotenie jednotlivých vylepšení „Európskej vetvy“ nám posluží nasledujúca tabuľka.

Technológia	Krátky popis	Hodnotenie	Zaujímavosti
2.5G			
CSD (Circuit Switched Data)	Metóda pre prenášanie obecných dát pomocou „hlasových“ kanálov (GSM) siete.	* jednoduché, priamočiare riešenie	Nevýhodou je cena prenosu. Nepočítajú sa prenesené dáta ale dĺžka spojenia.
HSCSD (High Speed CSD)	Metóda založená na CSD. Umožňuje súčasné použitie viacerých kanálov.	* Opäť je to „očakávané“ vylepšenie.	Cena za dáta by sa takto mohla až znásobovať.
GPRS (General Packet Radio Service)	Používa rovnaké kanály, no je založený na prepínaní paketov. (na rozdiel od predchádzajúcich – prepínanie okruhov) Vyžiadalo si vybudovanie nových sieťových prvkov (centier)	*** Komplikovanejšie vylepšenie. Prevzatie myšlienky zo sveta počítačov.	Zákazník už neplatí za dĺžku spojenia ale za množstvo prenesených dát. Nedostatkom sú stále pomalé rýchlosti.
EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution)	Zvýšenie rýchlostí predchádzajúcich metód pomocou lepšej modulácie a kódovania. Potrebný hardwarový upgrade základňových staníc.	** Zvyšovanie efektivity prenosu je vždy dobrá voľba.	Na svoju dobu ponúkala postačujúcu rýchlosť. Spolu s GPRS priniesla dôležité zmeny siete pre 3G siete.
3G			
UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)	Vytvorenie novej rádiovkej siete (nové základňové a kontrolné stanice). Využíva širšie (pre dáta „šité“) frekvenčné kanály.	* Zvýšenie rýchlostí za cenu nákladného zásahu do infraštruktúry.	Cena nových frekvencií je tak obrovská, že môže brzdiť ďalšie investovanie a rozvoj.
HSPA (High Speed Packet Access)	Techniky pre docielenie takých rýchlostí, ktoré sa čakali od samotnej UMTS.	** Ďalší príklad zvýšenia efektivity prenosu.	Priniesla lepšie rozdelenie funkcií medzi RCN a NodeB stanicami.
HSPA+	Ďalšie zvyšovanie rýchlostí pomocou lepšej modulácie ale aj novej techniky MIMO.	** Významné zvýšenie rýchlostí.	MIMO technika sa stala dôležitým faktorom pre ďalší celkový vývoj.
4G			
LTE (Long Term Evolution)	Plánovaná technológia využívajúca nové spektrum. Má byť postavená na rodine protokolov TCP/IP (zo sveta počítačov)	*** Jasný príklad toho, kam všetky siete smerujú – ku konvergencii.	Potvrdenie faktu, že svet počítačov ponúka viac výhod ako svet telekomunikácií.

Pre porovnanie ich maximálnych teoretických rýchlostí nám poslúžia nasledujúce grafy [6].



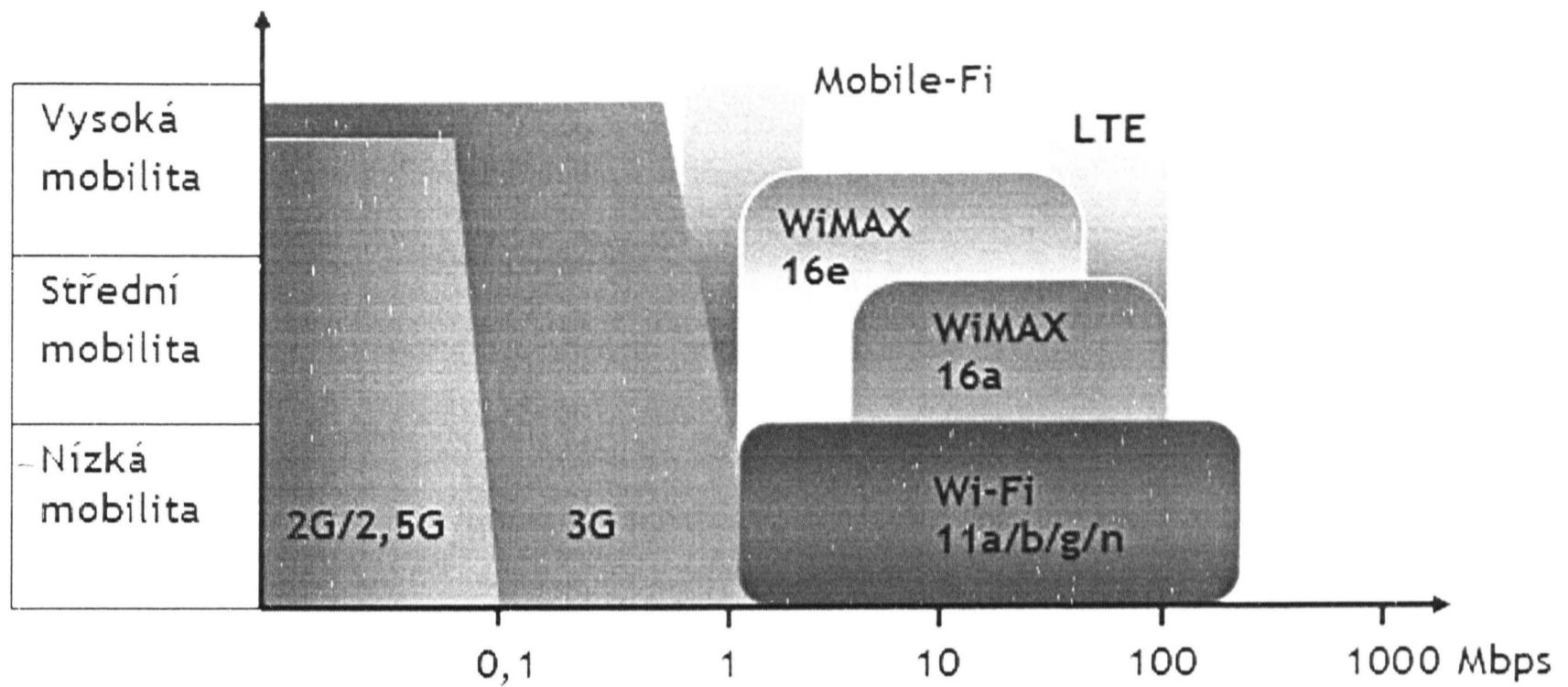
Obrázok 3.2: Maximálne teoretické rýchlosti

Bezdrôtové technológie zo sveta počítačov boli dlhú dobu v akomsi tieni mobilných sietí. Za posledné desaťročie sa však rapídne zvyšovala rýchlosť a dostupnosť týchto sietí pri neustálom klesaní cien. Ich prvotným cieľom bolo nahradenie resp. ponúknuť alternatívu hlavne pre lokálne drôtové siete, a tak poskytnúť výhody vyplývajúce z možnosti mobility. Za naplnenie tohto cieľu môže určite aj jednoduchosť a rýchlosť vybudovania takejto siete v porovnaní s inštalovaním kabeláže.

Ohromný úspech dosiahli bezdrôtové lokálne a metropolitné siete aj vďaka tomu, že na rozdiel od mobilných sietí ich nezaťažujú predchádzajúce generácie, s ktorými musia ostať tie nové čo najviac kompatibilné. Ich vysoké prenosové rýchlosti spolu s možnosťou mobility tak začali spĺňať požiadavky telekomunikačných 3G sietí. Samozrejme, že mobilita je obmedzená na menšie územie, no efektívnosť prenosu a nižšia nákladovosť môžu hrať v konkurenčnom boji veľmi dôležitú úlohu.

Ďalšie rozdiely vyplývajú z použitia rozdielnych pásiem. 3G siete využívajú výhradne licenčné pásma a ponúkajú tak dokonalejšie (garantované) no drahšie služby. WLAN sú založené na bezlicenčných pásmach, čo prináša na jednej strane možnosť väčšej konkurencie s následnými lacnejšími aj keď menej dokonalými službami, no na strane druhej môže dôjsť aj k výraznejšiemu vzájomnému rušeniu. Pri WMAN sieťach je dôležité už aj licenčné pásmo, no mobilita a efektívnosť v kombinácii s QoS otvárajú dvere do významného konkurenčného boja.

Zaujímavý prehľad technológií v spojení s mobilitou a prenosovou rýchlosťou ponúka obrázok 3.3.



Obrázok 3.3: Vzťah mobility a rýchlosti pre rôzne technológie

Konvergencia

Okrem vedomia, že si tieto technológie konkurujú alebo sa tak v najbližšej dobe môže stať, je dôležité uvedomiť si, že pri ich vzájomnej "spolupráci" vzniká obrovský potenciál. Preto skôr (keď vôbec) ako dôjde v ďalekej budúcnosti k použitiu jednotnej bezdrôtovej technológie pýšiacej sa všetkými "dobrými" vlastnosťami spomenutých technológií, predpokladá sa, že sa tie terajšie budú čo najviac prelínať, prepájať a tak sa vzájomne dopĺňovať.

Myšlienku vzájomnej podpory a dopĺňania sa predstavujú jednoznačne aj technológie založené na satelitnom prenose. Ich najvýznamnejším príspevom do globálnej počítačovej siete je určite 100%-né pokrytie. Obidva spomenuté projekty (Iridium a Globalstar) slúžia ako doplnenie a podpora terestriálnych komunikačných sietí. Mobilné zariadenia, ktoré tieto služby podporujú sa snažia najprv využiť pozemne stanice, a až v prípade neúspechu (kvôli nedostupnosti alebo preťaženosti siete) sa použije satelitný prenos.

Použitie existujúcich metalických sietí v prístupovej časti siete a lokálnych sieťach, optických sietí pre obrovské prenosové rýchlosti, bezdrôtových sietí pre možnosť mobility a satelitných sietí pre dopĺňujúce globálne pokrytie vytvárajú komplexnú štruktúru dnešnej celosvetovej siete. Či sa jej zložitosť bude postupom času zväčšovať alebo znižovať predpovedať neviem. Jasné však je, že vývoj technológií sa nezastaví minimálne do doby, kým nebudú uspokojené všetky potreby náročných zákazníkov.

Použité obrázky

- Obrázok 1.1 - vlastný
- Obrázok 2.1 - <http://earchiv.cz/l218/slide.php3?&l=21&me=20>, dňa 18.7. 2008.
- Obrázok 2.2 - <http://earchiv.cz/l218/slide.php3?&l=21&me=21>, dňa 18.7. 2008.
- Obrázok 2.3 - <http://earchiv.cz/l218/slide.php3?&l=23&me=3>, dňa 3.7. 2008.
- Obrázok 2.4 - vlastný
- Obrázok 2.5 - <http://earchiv.cz/l218/slide.php3?&l=22&me=26>, dňa 6.7. 2008.
- Obrázok 2.6 - <http://earchiv.cz/l218/slide.php3?&l=23&me=31>, dňa 11.7. 2008.
- Obrázok 2.7 - <http://en.wikipedia.org/wiki/Scatternet>, dňa 16.7. 2008.
- Obrázok 2.8 - Kniha [2], strana 670.
- Obrázok 2.9 - <http://earchiv.cz/l218/slide.php3?&l=23&me=11>, dňa 12.7. 2008.
- Obrázok 2.10 - Kniha [2], strana 690.
- Obrázok 2.11 - <http://earchiv.cz/l218/slide.php3?&l=8&me=29>, dňa 17.7. 2008.
- Obrázok 2.12 - <http://earchiv.cz/l218/slide.php3?&l=8&me=32>, dňa 17.7. 2008.
- Obrázok 2.13 - <http://earchiv.cz/l218/slide.php3?&l=18&me=9>, dňa 17.7. 2008.
- Obrázok 2.14 - http://www.wi-fi.org/files/WFA_Brand_StyleGuide_May2007.pdf,
dňa 19.7. 2008. (oba)
- Obrázok 2.16 - Kniha [2], strana 769.
- Obrázok 2.17 - <http://www.earchiv.cz/b05/b0500302.php3>, dňa 19.7. 2008.
- Obrázok 2.18 - vlastný
- Obrázok 2.19 - Kniha [4], kapitola 2.4.
- Obrázok 2.20 - Kniha [4], kapitola 2.4.
- Obrázok 2.21 - Kniha [4], kapitola 2.4.
- Obrázok 3.1 - vlastný
- Obrázok 3.2 - vlastný
- Obrázok 3.3 - http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=11182&Itemid=48&limit=1&limitstart=3, dňa 26.7. 2008.

Literatúra

- [1] Alwayn V.: *Optical Network Design and Implementation*, Cisco Press 2004, kap. 4.

- [2] Garg V. K.: *Wireless Communications and Networking*, 2007, kap. 1, 13, 15, 19, 20, 21.

- [3] Jamalipour A.: *Low Earth Orbital Satellites for Personal Communication Networks*, Artech House, INC., 1998, str. 22-25.

- [4] Tanenbaum A. S.: *Computer Networks, Fourth Edition*, Prentice Hall, 2003, kap. 2.4.

- [5] earchiv, <http://earchiv.cz/l218/index.php3>, citované dňa 2.7.2008.

- [6] Wikipédia, <http://en.wikipedia.org>, citované dňa 27.7.2008.