

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

2008

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 Praze dne 18.5. 2008

Lukáš Slivka

*Slivka*

# Obsah

<b>1</b>	<b>Zmeny v sieťach vo všeobecnosti</b>	<b>5</b>
1.1	Nová doba, nové potreby, nové výzvy . . . . .	5
1.2	Riešenia nedostatku IP adries . . . . .	6
1.3	Prenosové média . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Optické siete</b>	<b>19</b>
2.1	História a základné princípy . . . . .	19
2.2	SONET/SDH . . . . .	22
2.3	Optické siete budúcej generácie . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Bezdrôtové siete</b>	<b>26</b>
3.1	Systém mobilných telefónov . . . . .	26
3.2	WiMAX . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Hodnotenie sieťových prevedení</b>	<b>35</b>
4.1	Dôležité idey a okamihy . . . . .	35
4.2	Tlaky vplývajúce na vývoj . . . . .	37
	<b>Záver</b>	<b>41</b>
	<b>Použité obrázky</b>	<b>42</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>43</b>

Název práce: Co se změnilo na sítích za posledních 10 let  
Autor: Lukáš Slivka  
Katedra (ústav): Katedra softwarového inženýrství  
Vedoucí bakalářské práce: Doc. RNDr. Pavel Pyrih, CSc.,  
Katedra matematické analýzy  
e-mail vedoucího: Pavel.Pyrih@mff.cuni.cz

Abstrakt: Bakalářská práce je zameraná na vývoj počítačových sietí za posledných 10 rokov. Súčasťou je aj krátky vývoj jednotlivých technológií. Rozoberá problémy vznikajúce v dôsledku narastajúceho záujmu o Internet a komunikačné služby. Ide predovšetkým o nedostatok IP adries a zmeny vyvolané dopytom zákazníkov po nových službách. Konkrétne môžeme spomenúť záujem o multimedialne dáta, vyššie prenosové rýchlosti, pohodlie mobility a globálne pokrytie siete. Spomenuté sú aj niektoré konkrétne projekty a faktory ovplyvňujúce vývoj komunikácie. Veľká časť je venovaná prenosovým médiám. Zhodnotené sú ich výhody, nasadenie a perspektíva.

Klíčová slova: počítačové siete, technológie, vývoj, prognóza

Title: What has changed in the networks during the last 10 years  
Author: Lukáš 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. Part of it shortly describes development of individual technologies. It deals with problems caused by enormous interest of using Internet and other communication services. In the main, there is shortage of IP addresses and the changes awakened by customer's demand for new services. Specifically, we can mention interest in multimedia, higher bandwidth, comfort of using mobile devices and global roaming. Big section is devoted to the transport media and used technologies. I evaluate their advantages and disadvantages. There are also some specific projects and factors in the end, which had impact on general evolution of communication.

Keywords: computer networks, technologies, development, prognosis



# Kapitola 1

## Zmeny v sieťach vo všeobecnosti

### 1.1 Nová doba, nové potreby, nové výzvy

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. A hoci je táto oblasť ľudského bádania stále mladá, na zaznamenanie jej celého vývoja by bolo potreba snáď desaťtisíce kníh. Preto sa v mojej práci zameriam na vyzdvihnutie podstatných zmien, nápadov, problémov a riešení v počítačových sieťach za posledné desaťročie.

Pri prenose informácií je najdôležitejšia rýchlosť, prípadne záruka doručenia. Tá závisí hlavne na použitých prenosových médiách a technikách. Ich vývoju venujem svoju pozornosť vo väčšine mojej práce. Začnime však s problémom, ktorý trápi zainteresovaných ľudí už dlhšiu dobu. Je nim neočakávaný nárast počtu počítačových zariadení a s ním spojený nedostatok adries pre ne.

## 1.2 Riešenia nedostatku IP adres

Keď bol v roku 1981 vydaný štandard TCP/IPv4 pre IP adresy o veľkosti 32 bitov, umožňujúci teoreticky až výše 4 miliardy rôznych adres, zrejme nikto nepredpokladal že ich počet bude niekedy nedostačujúci. Stalo sa, a k riešeniu alebo aspoň oddialeniu tohto problému viedlo niekoľko ciest. [8]

IP adresu tvorí časť, ktorá určuje príslušnú sieť a časť identifikujúca konkrétny počítač. Pôvodne bola hranica medzi nimi daná pevne na troch možných miestach. Podľa toho sa vedelo či ide o sieť typu A (najväčší počet adres -  $2^{24}$ ), B ( $2^{16}$  adres) alebo C ( $2^8$  adres). Tento koncept však viedol k veľkému plytvaniu. Ak by napríklad nejaká firma potrebovala 500 adres, musela by dostať sieť typu B (najbližšia vyššia trieda). Využívala by však reálne menej než jedno percento z poskytnutých adres. Problémom bola mala granularita tried. A keďže sa predpoklad malého záujmu o tieto triedy vôbec nepotvrdil, začalo hroziť ich rýchle vyčerpanie.

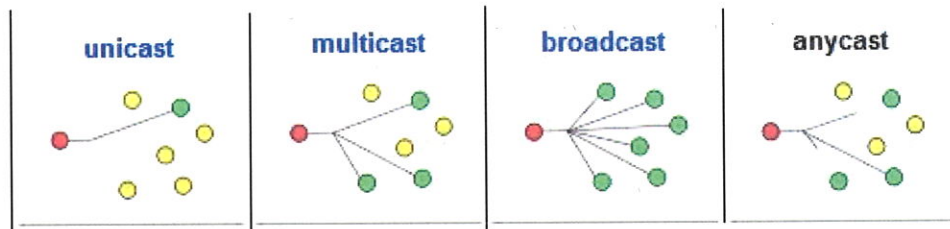
Síce rýchlym, ale len dočasným riešením bolo pridelovanie IP adres v násobkoch. Takže zatiaľ čo v predchádzajúcom prípade by dostala firma jeden B rozsah, tento krát by jej priradili dvakrát C. Ďalšie šetrenie znamenala technika *subnetting*. Išlo vlastne o lokálne delenie skupín IP adres v podsieťach. Toto rozdelenie nie je viditeľné pre vonkajší svet. Môžeme to použiť na miestach, kde sústava siete má jeden vstupný bod. Tuto požiadavku splňuje napríklad stromovitá topológia. CIDR (Classless Interdomain Routing) priniesol väčšiu granularitu adresných tried. Prakticky znamenal zrušenie pevného rozdelenia na 3 hlavné triedy a možnosť prideliť rozsah rovný mocnine dvojky. Novou myšlienkou bola možnosť použiť určité adresy viackrát. A síce len v privátnych, pre svet neviditeľných, sieťach. Rozhranie medzi privátnou a verejnou sieťou môže byť riešené na aplikačnej vrstve pomocou firewallov alebo na sieťovej vrstve pomocou prekladu adres (NAT/PAT).

Pri všetkých riešeniach sa hľadí na dve hlavné veličiny. Rýchlosť implementácie a časový horizont úspešnosti. U všetkých doteraz spomenutých bola výhodou rýchlosť, no z dlhodobejšieho hľadiska je ich úspešnosť viac ako otázna. V kategórii ťažšie implementovateľných, no s obrovskou pravdepodobnosťou už definitívnym riešením je nová verzia IP adres - IPv6.

## IPv6

Má veľkosť 128 bitov. Teoreticky teda až  $2^{128}$  rôznych adries. To je číslo, ktoré si človek len ťažko predstaví. Existujú preto rôzne príklady pre lepšie priblíženie veľkosti tohto čísla. Tak napríklad istý Simson Garfinkel napísal pre magazín Technology Review, že je to cca 5000 adries pre každý štvorcový mikrometer zemského povrchu. Často sa hovorí o tom, že IPv6 adresy sú zbytočne veľké a internet ich nikdy toľko nebude potrebovať. Treba poznamenať, že dôvodom použitia 128-bitových adries nie je v prvom rade zabezpečenie, aby sa nikdy neminuli, ale zaistenie hladkého priebehu smerovania tým, že bude adresný priestor čo najmenej fragmentovaný. Na rozdiel od súčasného stavu s IPv4, kedy môže byť a často býva viacero intervalov adries priradených jednej organizácii. Zväčšenie adresného priestoru však nie je ani zďaleka jediným plusom. IPv6 prináša rôzne vylepšenia, napravnú nedostatky, eliminuje komplikácie (napr. nutnosť NAT/PAT) a pridáva aj rad nových vlastností (podpora QoS, vyššia bezpečnosť, mobilita, anycast, lepšie riešenie fragmentácie a defragmentácie). Vysvetlime si aspoň niektoré z nich. QoS (Quality of Service) je v skratke požiadavka užívateľa respektíve hlavne jeho multimedialných aplikácii o zabezpečenie a zaručenie dostatočného množstva zdrojov. Jedná sa hlavne o šírku prenosového pásma, malé oneskorenie paketov a záruka ich doručenia. Otázka QoS bola komplikovane riešená aj v IPv4. Niektoré prístupy však vyžadovali značný zásah nie len v koncových uzloch ale aj do siete. Vo verzii IPv6 slúži k manažmentu QoS časť paketovej hlavičky s názvom značka toku. Anycast patrí medzi skupinové komunikácie rovnako ako multicast a broadcast. To znamená že dátový tok sa nevysiela každému účastníkovi zvlášť (unicast), ale celej skupine účastníkov. Pri anycaste odpovedá najbližší resp. najvýhodnejší účastník. Vid' obr. 1.1. Mobilita umožňuje jednoduchý presun účastníka medzi rôznymi počítačovými sieťami so zachovaním si adresy, ktorú mal vo svojej domácej sieti. Nový protokol má tiež zjednodušenú hlavičku, čo zvyšuje rýchlosť jeho spracovania v routeroch. K ďalšiemu zvyšovaniu rýchlosti prispieva aj to, že fragmentáciu majú na starosti koncové stanice a nie routre. Navyše protokol podporuje mobilné zariadenia, ako napríklad mobilné telefóny. Práve podpora mobilných zariadení by mala prispieť k jeho rýchlejšiemu presadeniu. Aktuálna situácia je ale iná. Napriek mnohým predpovediam o vyčerpaní adresného priestoru IPv4 sa tak doteraz nestalo. Môže za to až prekvapujúci úspech vyššie spomenutých oddiaľujúcich riešení.





Obrázok 1.1: Spôsoby komunikácie

Spätnú kompatibilitu so sieťami verzie 4 riešia dual-stack zariadenia. Tie podporujú IPv4 ako aj IPv6 a preto môžu byť využité v routeroch na preklad medzi verziami. Druhou možnosťou je tzv. tunelovanie, pri ktorom sa pakety IPv6 pred prechodom do staršej siete zapuzdria do paketov IPv4 a takto sa môžu šíriť ďalej.

128-bitová IPv6 adresa sa zvyčajne zapisuje ako osem skupín po štyroch hexadecimálnych čísliciach oddelených dvojbodkou. Ak je v skupine sekvenčia 0000, môžeme ju nahradiť jednou nulou alebo túto skupinu úplne vynechať. Ako príklad nech nám slúži nasledujúca adresa s tromi ekvivalentnými zápismi (a ich názvami):

2008:abcd:0000:a1b3:1985:stro:pkov:1234 (straight-hex)

2008:abcd:0:a1b3:1985:stro:pkov:1234 (leading zero suppressed)

2008:abcd::a1b3:1985:stro:pkov:1234 (zero-compressed)

Existuje ešte jeden spôsob zápisu. Je nim zmiešaný zápis (mixed notation). To znamená, že sa použijú obe verzie.

Formát `::ffff:1.2.3.4` sa nazýva IPv4-mapovaná adresa  
 a `::1.2.3.4` je IPv4-kompatibilná adresa

Pomyselný prevod IPv4 adresy na IPv6 je jednoduchý. Ak pôvodná adresa bola napríklad desiatkovo zapísaná IPv4 adresa 135.75.43.52 (hexadecimálne 0x874B2B34), skonvertujeme ju na 0000:0000:0000:0000:0000:0000:874B:2B34 alebo ::874B:2B34. Potom je zasa možné použiť hybridný zápis, kedy by adresa bola ::135.75.43.52 (IPv4-kompatibilná adresa). Tento typ adres sa používa v duálnych IPv4/IPv6 sieťach. Avšak tie si nenašli veľkú podporu.

Prednosť dostali siete s už spomenutými dual-stack zariadeniami, ktoré používajú mapované adresy.

Logicky sú IPv6 adresy dvojzložkové. Relatívna časť adresy (Interface Identifier) a sieťová časť, ktoré majú zhodne po 64 bitov. Sieťová sa skladá z Global Routing Prefix (identifikuje koncového zákazníka) a Subnet ID (rozlišuje podsiete u zákazníka).

Podobne ako v IPv4, aj v IPv6 sú niektoré adresy vyhradené pre špeciálne účely. Tie, ktoré začínajú na FE (1111 1110) sú privátne. Delia sa na:

- site-local - sú prenášané len v rámci sústavy sieti zákazníka začínajú na FEC, FED, FEE alebo FEF
- link-local - routre ich v rámci jedného segmentu neprepúšťajú vôbec začínajú na FE8, FE9, FEA alebo FEB

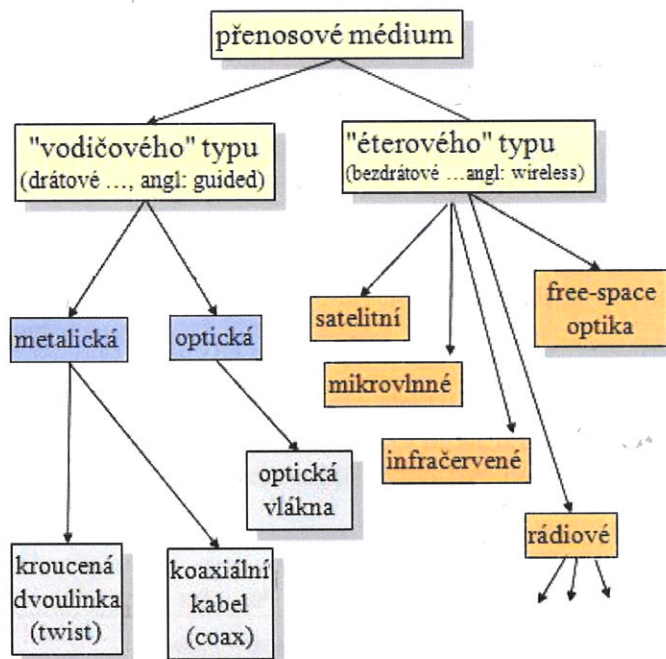
Skupinové (multicast) adresy začínajú na FF. Adresa ::1 označuje loop-back (vlastná adresa).

Poslednou novinkou, ktorú pri IPv6 adresách spomeniem je schopnosť ich autokonfigurácie. Postup je nasledovný. Uzol si zvolí dočasnú link-local IP adresu, otestuje či je unikátna a ak nie, skúsi si zvoliť inú. Potom kontaktuje miestny router a vyžiada si od neho ďalšie informácie. Napríklad od koho ma dostať definitívnu IP adresu, alebo ako rozšíriť link-local adresu na site-local.

Pozrime sa však už spomínané prenosové média, ktorým sa budem venovať vo zvyšnej časti mojej práce.

## 1.3 Prenosové média

V tejto časti kapitoly by som chcel predstaviť najpoužívanejšie druhy prenosových médií. Ich prehľadné rozdelenie nám ponúka obr. 1.2 .



Obrázok 1.2: Druhy prenosových médií

Najprv však stručné zhrnutie základných vlastnosti médií:

- prenosová rýchlosť (bit/s) - hovorí o tom, ako dlho trvá prenos jedného bitu
- prenosový výkon - udáva koľko "užitočných dát" sa preniesie za dlhší časový interval
- modulačná rýchlosť - koľkokrát sa zmení stav modulovaného signálu za jednotku času
- šírka pásma (bandwidth) - rozsah frekvencií využiteľných pre prenos

### Metallické média

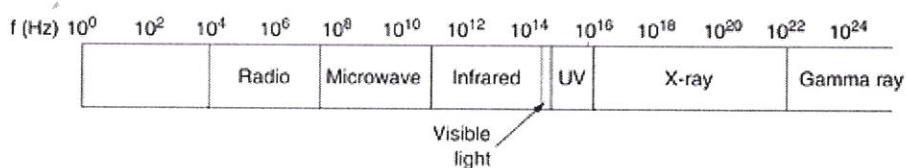
Metallické média boli na počiatku vývoja nie len internetu, ale aj všetkých ostatných komunikačných sietí. Avšak zatiaľ čo v časoch minulých mali dôležité uplatnenie aj v chrbticových častiach sietí, dnes nachádzajú využitie hlavne v preklenutí tzv. poslednej míle. Ich prenosový potenciál sa dnes využíva maximálne a preto nemajú z dlhodobého hľadiska svetlu budúcnosť.



### Bezdrôtový prenos

Naša doba priniesla množstvo ľudí ktorí by chceli mať prístup k on-line službám neustále a pokiaľ možno z akéhokoľvek miesta. Pre takýchto mobilných užívateľov sú krútená dvojlinka, koaxiálny kábel a optické vlákna nedostačujúce. Potrebujú prísun dát do svojich notebookov, laptopov, palmtopov a ďalších zariadení bez viazania sa na pozemnú komunikačnú infraštruktúru. Pre priaznivcov mobilných technológií je riešením bezdrôtová komunikácia.

Keď sa elektróny hýbu, vytvárajú elektromagnetické vlny, ktoré sa šíria vzduchom. Rýchlosť kmitania takýchto vln sa nazýva frekvencia. Obrázok 1.3 nám odhalí, akú frekvenciu majú jednotlivé bezdrôtové technológie. [9]



Obrázok 1.3: Frekvencie

### Rádiová komunikácia

Rádiové vlny sa ľahko generujú, dokážu prejsť dlhé vzdialenosti a bez problémov prenikať múrmi. Preto majú široké použitie v budovách ako aj vo voľných priestranstvách. Navyše sa rádiové vlny šíria rovnomerne všetkými smermi, takže nie je potrebné precízne nastavovať vysielateľ a prijímač aby sa prenos vydaril. Tento spôsob prenosu signálu si našiel najväčšie uplatnenie pri prenose zvukového záznamu.

### Mikrovlnná komunikácia

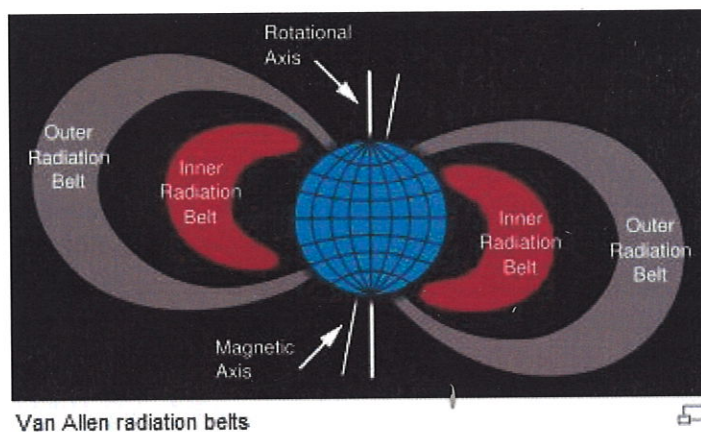
Škála mikrovln zahŕňa UHF (ultra-high), SHF (super-high) a EHF (extremely high) frekvencie. Šíria sa takmer po priamke a je možné ich sústrediť do lúča, čím sa získa lepší pomer medzi signálom a jeho rušením. Pred príchodom optických vlákien mali hlavné postavenie pri prenose telefónnych hovorov ale aj iných dát na veľké vzdialenosti.

### *Infračervené a milimetrové vlny*

Ich vlnová dĺžka je kratšia ako u mikrovln a ich vlastnosti sa už viac podobajú viditeľnému svetlu. To okrem iného znamená, že sa nedokážu šíriť cez pevné telesá. Využitie našli v komunikácii na krátku vzdialenosť. Poznáme ich hlavne z diaľkových ovládačov k našim audiovizuálnym spotrebičom. Sú pomerne lacné a na ich používanie nepotrebujeme žiadnu licenciu.

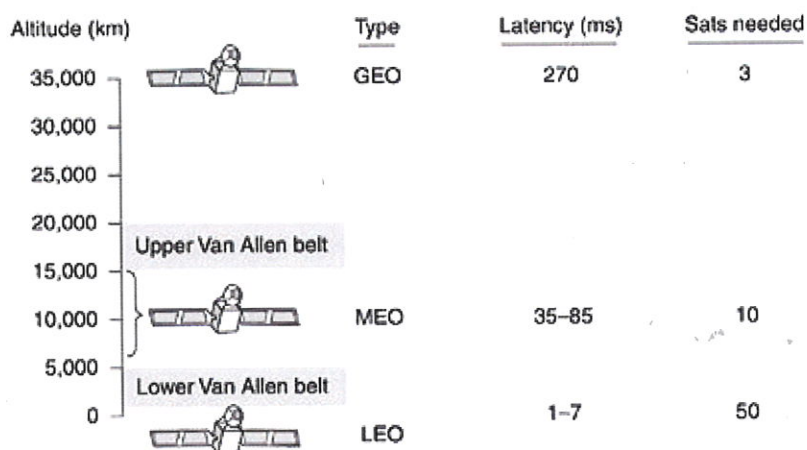
### *Satelitná komunikácia*

Tento druh komunikácie 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 prepošle ho v inej frekvencii aby sa tak vyhol rušeniu s pôvodným signálom. 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, v ktorých sa nachádzajú obrovské množstvá vysoko nabitých častíc uviaznutých v magnetickom poli Zeme. Tie by mohli letiace satelity veľmi ľahko znefunkčniť. Obrázok 1.4 nám ukazuje, že existujú dva takéto škodivé pásma. Vnútornejšie a vonkajšie.



*Obrázok 1.4: Van Allenove pásma*

Satelity musia byť umiestnené mimo nich.



Obrázok 1.5: Možné umiestnenia satelitov

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

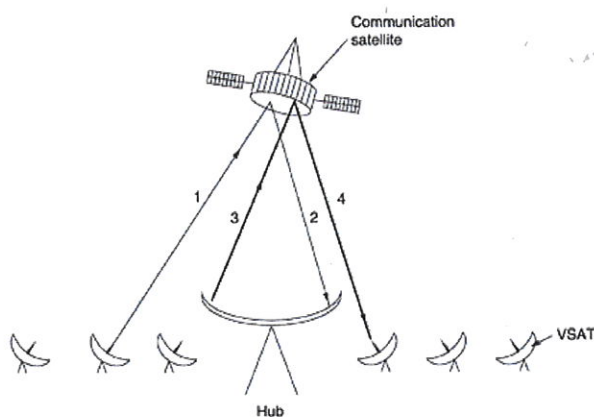
#### Geostacionarne satelity (GEO - Geostationary Earth Orbit)

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.

Klasické satelity pracovali v štýle ohnutého potrubia. To znamená, že odrazený signál vysielali v staticky rozdelených frekvenciách. Mali jednoduchý priestorový lúč osvetľujúci približne 1/3 zemského povrchu. S obrovským poklesom cien, veľkosti a energetických požiadaviek, prišla premyslenejšia vysielacia stratégia. Moderné satelity sú vybavené viacnásobnými anténami a opakovačmi ale aj vlastnou výpočtovou jednotkou. Každý dole smerujúci lúč môže byť sústredený na malý kúsok územia. Navyše je tento lúč rozdelený do časových slotov. Vďaka tomu je možný súčasný viacnásobný prenos smerom dole aj hore. Tieto tzv. bodové lúče majú na povrchu oválny tvar s priemerom niekoľko sto kilometrov.



Nový vývoj vo svete komunikačných satelitoch sa uprel smerom k nízko-nakladovým mikrostaniciam, nazývaným VSATs (Very Small Aperture Terminals). Tieto drobné terminály majú antény, ktoré nie sú zvyčajne väčšie ako 1 meter. Štandardné GEO antény mali 10 metrov. V mnohých VSAT systémoch nemajú mikrostanice dostatok energie pre vzájomnú komunikáciu. Preto sa na prenos medzi nimi používajú špeciálne pozemne stanice, huby, s veľkou anténou. Dochádza pri tom ku kompromisom medzi oneskorením signálu a lacnejšími koncovými stanicami.



Obrázok 1.6: Použitie pozemných hubov

VSAT satelity majú obrovsky potenciál vo vidieckych oblastiach. V krajinách tretieho sveta je zapojenie telefónnych káblov do tisícov dedín vysoko nad štátnym rozpočtom. A tak inštalácia metrových VSAT parabol napájaných solárnou energiou je často najlepšou voľbou.

Komunikačné satelity majú v porovnaní s pozemnými linkami niekoľko radikálne odlišných vlastností. Aj keď sa signál šíri takmer rýchlosťou svetla, veľká vzdialenosť od Zeme spôsobuje oneskorenie radovo 250 až 300 milisekúnd. Pre porovnanie, pozemne mikrovlny sa šíria s oneskorením 3 mikrosekundy na jeden kilometer a v optických linkách je to približne  $5 \mu s/km$ . Ďalšou ich "vrodenu" vlastnosťou je nešírenie signálu jedinému užívateľovi, ale prakticky všetkým na ktorých lúč smeruje. Je to síce napríklad pri multicastingu lačnejšie, no na druhej strane sa vynárajú problémy so zabezpečením pred odpočúvaním. Pre diskretnú komunikáciu je tak šifrovanie nevyhnutné. Pri použití satelitov je jedno či komunikujete s osobou na druhej strane

oceánu alebo ulice. Majú veľmi nízky výskyt chýb a môžu byť použité takmer okamžite. Uplatnenie nachádzajú napríklad v armádnej komunikácii.

#### **Satelity v strednej obežnej dráhe (MEO - Medium-Earth Orbit)**

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 dvoch do 12 hodín.

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

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. [5]

Rozoberme si 3 projekty založené na týchto LEO satelitoch:

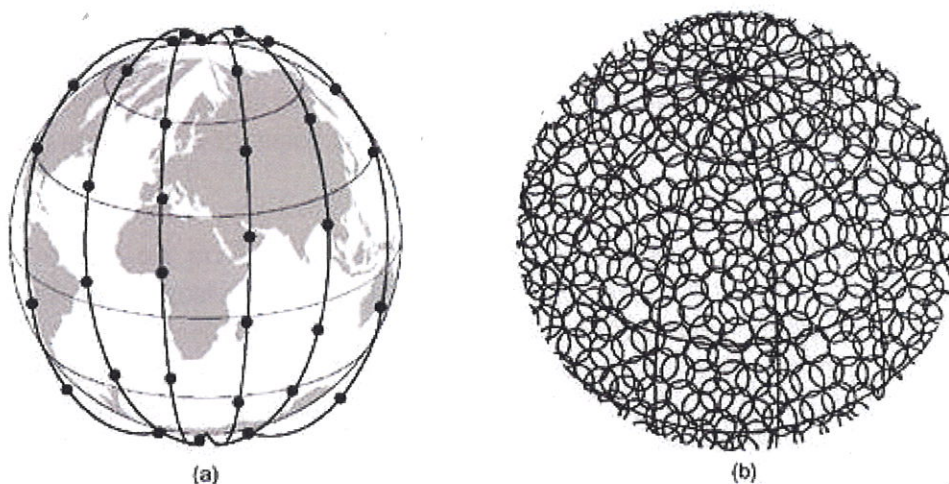
##### **Iridium**

V roku 1990 požiadala Motorola Federálnu komisiu pre komunikáciu o povolenie vypustenia 77 nízkoorbitných satelitov v rámci projektu Iridium (prvok Irídiium má 77 protónov). Plán sa neskôr prepracoval na použitie 66 satelitov, takže projekt by sa mal teoreticky 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 patrí námorné letectvo, ropné prieskumné 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. Každý satelit má kapacitu 3840 kanálov, spolu to činí 235 440. Niektoré z nich sa používajú pre navigáciu, iné na prenos hlasu a dát.

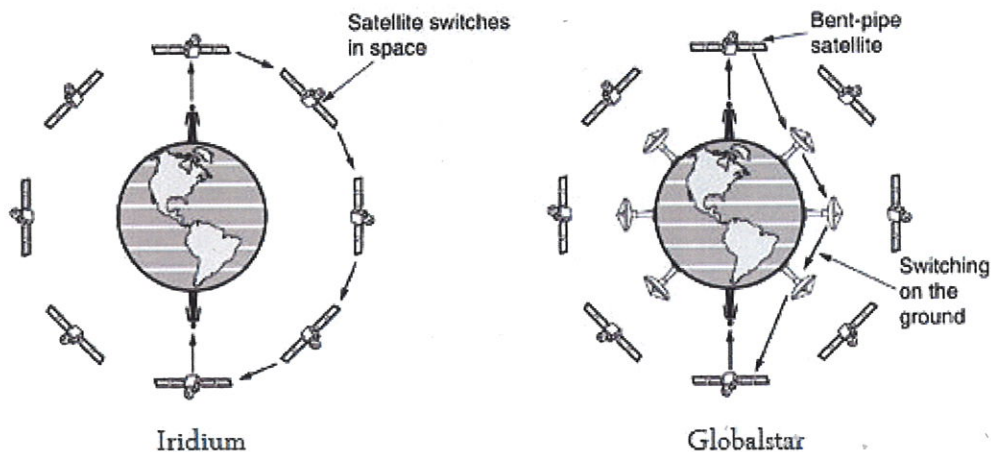


Obrázok 1.7: (a) 6 náhrdelníkov Iridia (b) 1628 bodových lúčov

#### Globalstar

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 vyšle k príslušnému satelitu, ktorý pokrýva požadované územie. Pre lepšie pochopenie nám posluží obrázok 1.8.





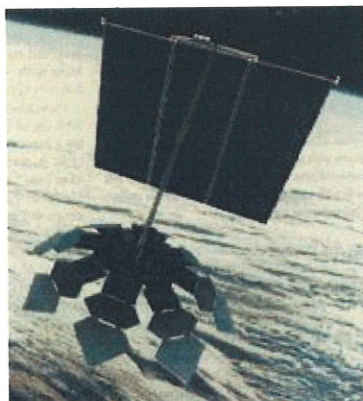
Obrázok 1.8: Rozdielne techniky prenosu

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.

#### Teledesic

Na rozdiel od predchádzajúcich projektov, ktorých služby boli zamerané najmä na nehostinne miesta, Teledesic bol navrhnutý pre internetových užívateľov tužiacich po rýchlom internete po celom svete. Spoločnosť Teledesic bola založená v roku 1990 priekopníkom mobilných telefónov Craigom McCawom a zakladateľom Microsoftu Billom Gatesom, ktorý nebol spokojný s tempom akým telefónne spoločnosti zriaďujú vysokú prenosovú šírku zákazníkom. Cieľom bolo poskytnúť miliónom internetovým nadšencom uplink až 100 Mbps a downlink 720 Mbps s použitím malej fixovanej antény bez akéhokoľvek použitia telefónneho systému.

V roku 1995 vznikol prvý návrh počítajúci s 840 satelitmi. Bol extrémne ambiciózný a mal stáť vyše 9 miliárd dolárov. V roku 1997 sa plán zmenil. Počítal s 288 satelitmi s malým záberom lúča v 12 úrovniach. To sa neskôr zmenilo na 30 satelitov s väčším záberom. Z obrázka 1.9 vidíme ako mali vyzerat'.



*Obrázok 1.9: Dizajn satelitu*

Avšak 1.10. 2002 boli všetky práce na týchto satelitoch pozastavené. V roku 2003 sa Teledesic vzdal svojich frekvencií a následne bol tento projekt ukončený.

Niektorí ľudia veria, že budúcnosť komunikácie je v optike a bezdrôtovom prenose. Preto sa týmto technikám budem venovať v nasledujúcich kapitolách.

# Kapitola 2

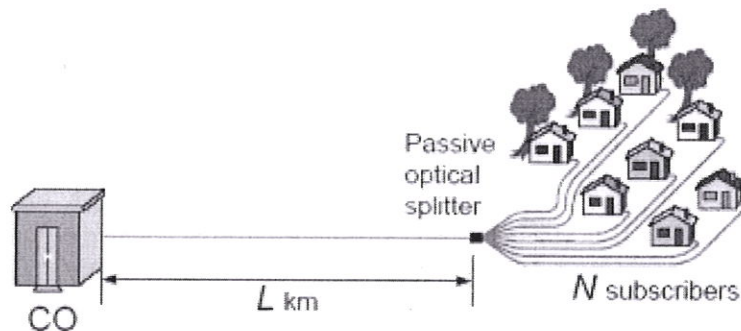
## Optické siete

### 2.1 História a základné princípy

80-té roky minulého storočia boli svedkom prvej optickej dátovej siete FDDI (Fiber Distributed Data Interface) a prvej optickej synchronnej siete SONET/SDH (Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy). Vyskúšali sa najprv v lokálnej (LAN) sieti s duálnou kruhovou topológiou. S postupným vylepšovaním záujem o vysokú prenosovú kapacitu s rýchlosťou svetla enormne narástol. Optické káble nahradili tie metalické vo všetkých hlavných linkách.

V poslednom období však narastá záujem o optické pripojenie aj priamo ku koncovému zákazníkovi (FTTH - Fiber To The Home). Táto technika je rozšírená hlavne v Ázii a Severnej Amerike. U nás v Európe sa skôr používa kombinácia optickej siete s inými druhmi.

Princíp spočíva v tom, že pomocou jedného optického kábla sa signál prenesie čo najbližšie k väčšej skupine klientov. V tomto mieste sa použije optický rozbočovač, z ktorého sa už inými médiami dostáva ku koncovému zákazníkovi. Tým sa zníži celková dĺžka drahých optických vlákien a počet optických transceiverov.



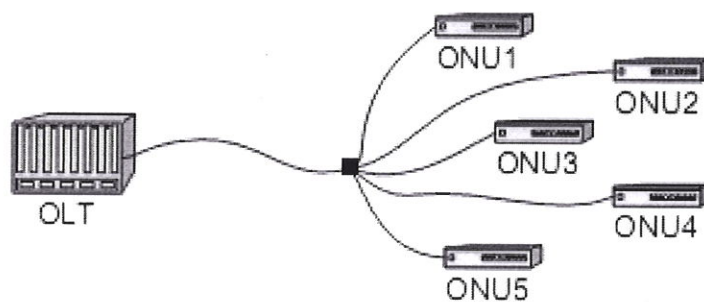
Obrázok 2.1: Použitie optiky s inými médiami

Spomínané rozbočovače sú zariadenia ktoré nepotrebujú napájanie a preto sa takéto siete označujú ako pasívne (PON Passive Optical Network).

Ďalšími prvkami optickej siete sú:

- OLT (Optical Line Termination), ktorý zaisťuje náväznosť na back-bone sieť.
- ONT (Optical Network Termination) umožňuje priame napojenie užívateľského rozhrania.
- ONU (Optical Network Unit) - pri hybridnej sieti zabezpečuje prevod medzi optickým a metalickým vedením.

Najčastejšie sa používa stromová topológia zobrazená na obrázku 2.2.



Obrázok 2.2: Stromová topológia



Ako vidíme z obrázku, pri downstreame (smer OLT → ONUs) je PON sieť typu point-to-multipoint. Pri upstream je to naopak. Teda viacero ONUs zariadení vysiela signál jednému OLT. To môže viesť ku kolíziám. K ich odstráneniu vedu 2 metódy: vlnový (WDM - wavelength-division multiplex) a časový (TDM - Time Division Multiplex). V prvom prípade používa každé ONU zariadenie rozdielnu vlnovú dĺžku. Teoreticky je toto riešenie jednoduché, no v skutočnosti si vyžaduje drahé a zložitejšie zariadenia. Princíp odlišnej vlnovej dĺžky sa využíva na rozlíšenie upstreamu od downstreamu. Pri TDM sa umelo vytvoria časové intervaly zvané okna, a tie sú priradené jednotlivým upstreamovým signálom.

Prvý použitý štandard v takejto sieti bol založený na asynchrónnom prenose (ATM - asynchronous transfer mode). Nazýval sa APON (ATM PON). Neskôr bol premenovaný na BPON (Broadband PON). Ponúkal 10/100 Mbit/s ethernet. Jeho nástupcom bol GPON (Gigabit), ktorý priniesol gigabitové rýchlosti.

Väčšiu zmenu znamenal EPON (Ethernet) ktorého základom bol priamo Ethernet. V súčasnosti sa v najvyspelejších krajinách používa hlavne jeho nástupca GEAPON (Gigabit EPON). Obrázok 2.3 nám ukazuje použitie časových okien pre ethernetove framy.

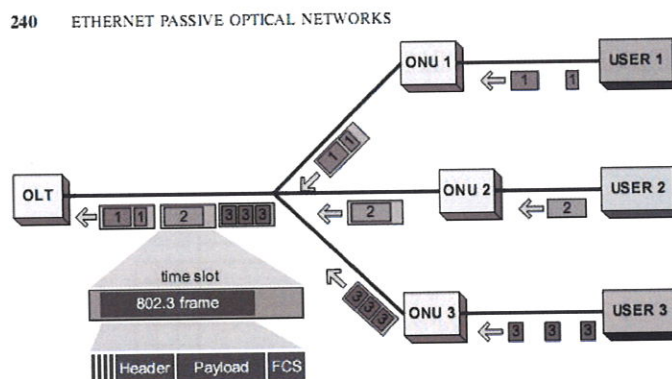


Figure 8.7 Upstream traffic in EPON.

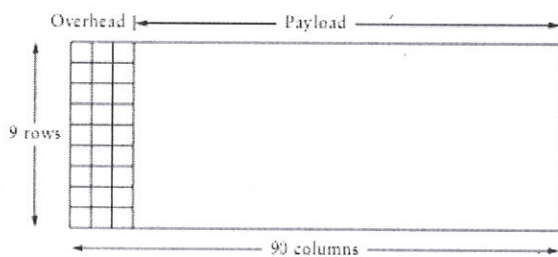
Obrázok 2.3: Upstream v EPONe

## 2.2 SONET/SDH

SONET (Synchronous Optical NETWORK) je štandard pre digitálnu komunikáciu za pomoci lasera alebo LED diód pomocou optických vlákien. Používa sa v USA a Kanade. Umožňuje prenášať signály rôzneho formátu optickým káblom.

Komunikácia medzi sieťami po celom svete je zložitá kvôli rozdielom v hierarchii digitálnych signálov, kódovacím technikám a multiplexným stratégiám. Preto sa signál medzi jednotlivými sieťami musí niekoľkokrát konvertovať a prispôbovať danej rýchlosti. SONET tento problém rieši štandardizovaním rýchlosti, formátu framu, signalizovania a ukončenia medzi SONET zariadeniami. [1]

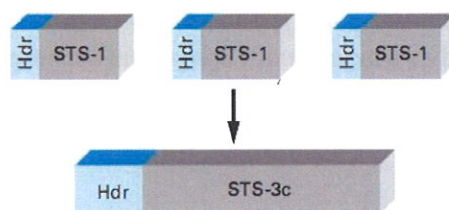
Začnime so schémou framu a vezmime si najpomalšie prepojenie, základnú prenosovú jednotku, SONET STS-1 (Synchronous Transport Signal one). STS-1 frame je zobrazený na obrázku 2.4. Je rozložený do deviatich riadkov obsahujúcich 90 bytov. Prvé 3 byty z každého riadku sú režijné a tvoria hlavičku (transport overhead). Zvyšné sú k dispozícii pre dáta, preto sa táto časť nazýva informačné pole (synchronous payload envelope - SPE). Prvé dva byty framu obsahujú špeciálny vzor indikujúci prijímaču, že sa jedná o začiatok rámca. Tento vzor sa však môže vyskytnúť aj v oblasti prenášaných dát a tým viesť k chybe na strane prijímacieho zariadenia. Aby k takýmto chybným interpretáciám nedochádzalo, prijímač hľadá daný reťazec neustále dúfajúc, že ho bude nachádzať každých 810 bytov. To zodpovedá veľkosti jedného STS-1 rámca ( $9 \times 90 = 810$ ). Keď sa mu to podarí niekoľko krát v rade usúdi, že je zosynchronizovaný a môže tak interpretovať framy správne.



Obrázok 2.4: SONET STS-1 frame



SONET podporuje zoskupenie (multiplexing) viacerých nižších rýchlostných liniek nasledujúcim spôsobom. Spojenie prebieha na jednej z konečného množstva rýchlostí, pohybujúcich sa od 51,84 Mbps (STS-1) po 2488,32 Mbps (STS-48) alebo dokonca vyššej. Všetky tieto rýchlosti sú celočíselným násobkom základnej STS-1. Dôležitým faktom pri framovaní je, že jediný SONET frame môže obsahovať podframey pre viacnásobne kanály nižších rýchlostí. Napríklad do jedného STS-3 framu sa zmestia presne tri STS-1 framey. Prakticky by šlo len o zoskupenie menších rámcov do väčšieho. Novšie sa však používa STS-3c rámec v ktorom sa STS-1 rámce prekladajú. Znázorňuje nám to obrázok 2.5. Pri šírení po sieti sa tak neprenesie prvý frame, potom druhý a nakoniec tretí, ale najprv prejde prvý bit z prvého rámca, prvý z druhého a tak ďalej.



Obrázok 2.5: Tri STS-1 ramce v jednom STS-3c

K pridaniu a vypusteniu signálov sa používa multiplexer. Z obrázku 2.6 môžeme vidieť SONET multiplexer zariadenie ADM (Add Drop Multiplexer), ktoré prijíma rôzne TDM signály a zoskupuje ich bez konverzie. Tie môžu byť neskôr rozdelené na ktoromkoľvek uzle v sieti.



Obrázok 2.6: Začlenenie TDM signálov

**SDH** (Synchronous Digital Hierarchy) je modernejším štandardom použitým vo zvyšku sveta. Základnou prenosovou jednotkou je STM-1 (Synchronous Transport Module-level 1), ktorá pracuje na trojnásobnej rýchlosti v porovnaní s STS-1.

Oba štandardy sú náhradou za PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). To bol typ sietí, ktoré boli tiež synchronné, no nie až tak dokonalo. Analógiou

nám môžu byť dvoje hodiny. Obe môžu ísť na prvý pohľad rovnako, no nemáme istotu že to je naozaj tak. Prenosové rýchlosti v SONET/SDH sieťach sú zosynchronizovane pomocou atómových hodín. To nám už záruku dáva. Významne sa týmto redukuje potreba bufferovania medzi sieťovými elementmi. SONET aj SDH definujú všetky vrstvy od fyzickej po aplikačnú a obe používajú ako prenosové médium SMF (single-mode fiber).

SONET/SDH znamenali spočiatku veľký úspech. Časom však vyplávali na povrch viaceré nedostatky a obmedzenia. Napríklad v sieti, ktorá kombinovala synchronne a asynchronne služby bolo potrebné zabezpečiť prenosové kontajnery rôznej veľkosti, QoS (quality of service), inteligentnejšie smerovanie, spoľahlivosť a bezpečnosť. K odstráneniu týchto nedostatkov viedli dve možnosti. Zásadný upgrade existujúcich dátových sietí alebo významne zjednodušiť optickú synchronnu sieť tak, aby podporovala QoS ako aj prenos hlasu pri nízkych nákladoch a zároveň používala WDM technológiu. Druhá možnosť pojmovo zlučuje synchronnu (voice-based) a asynchronnu (data-based) sieť na inteligentnú sieť spájajúcu viaceré výhody. Nízkou nákladovosť Ethernetu, spoľahlivosť a QoS synchronnej optickej siete a vysokú kapacitu a škálovateľnosť WDM technológie.

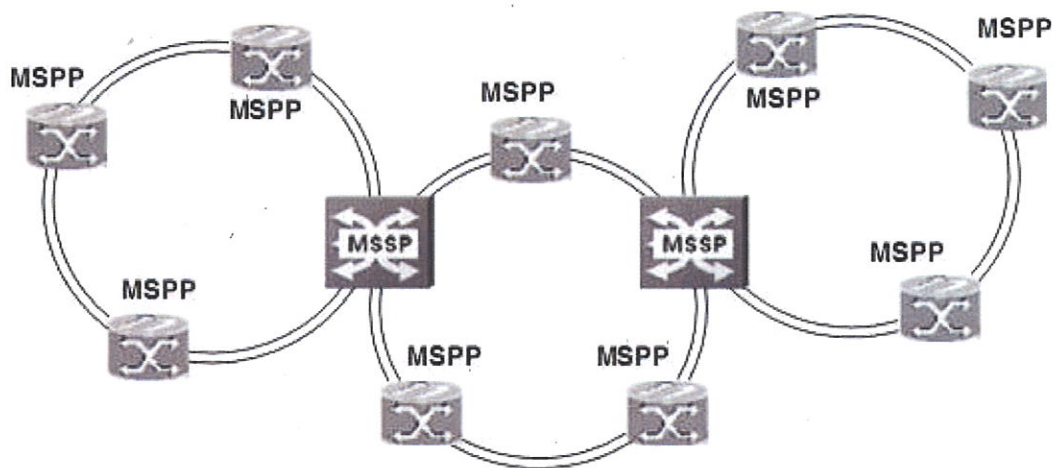
## 2.3 Optické siete budúcej generácie

Aby mohla technológia SONET/SDH v spojení s WDM konkurovať dátovým sieťam čo sa týká efektivity prenosu, flexibility a cene, muselo dôjsť k jej vylepšeniu. Vznikla tak nová generácia - New Generation SDH/SONET (NG-S), ktorá bola závislá na iných špecifických protokoloch ako napríklad GMPLS (Generic Multi-Protocol Label), LAPS (Link Access Procedure SDH) a ďalších. Pomocou týchto protokolov je NG-S schopná prenosu synchronných dát (hlas, video), asynchronných (Internet, Ethernet), IP/PPP, ATM, FC (fiber channel), FICON (fiber connectivity), ESCON a iných inteligentne a efektívne. [7]

**NG-OR** (next generation optical ring) bude podporovať predchádzajúce kruhové topológie ako sú jedno vlákno s jednosmernou alebo obojsmernou komunikáciou, dve a štyri vlákna s obojsmernou. Uzly v sieti budú pozostávať z OADM (optical add-drop multiplexer) a sieťového prvku ktorý nakopí/rozdeli prenosy v elektronickom režime. Budú reagovať na chyby

a podporovať MSPP (multi-service provisioning platform). Niektoré uzly poskytnú riadenie šírky pásma a vlnovej dĺžky a prepoja dve alebo viac NG-OR sieti podporujúcich MSSP (multiservice switching platform). Prinesú taktiež pokročilú detekciu chýb a protokoly pre signalizáciu.

Hoci originálny SONET/SDH bol navrhnutý len pre kruhovú topológiu, nová generácia funguje aj nad mesh topológiou. Tá vzniká prepojením niekoľkých NG-OR sietí a je známa pod skratkou PPMN (protected mesh network). V tomto prípade budú spoločné uzly dvoch okruhov veľké MSSP zariadenia ktoré budú prenášať obrovské množstvá nahromadených signálov z kruhu do kruhu. Vid' obrázok 2.7.



Obrázok 2.7: Mesh topológia PPMN

Popri NG-S sa vyvinula aj nová technológia s názvom OTN (Optical Transport Network). Bola navrhnutá pre prenos dát na veľké vzdialenosti s rýchlosťou od 2.5 do 40 Gbps. Podporuje jednosmerné a obojsmerné point-to-point spojenie ako aj jednosmerné point-to-multipoint spojenie.



# Kapitola 3

## Bezdrôtové siete

### 3.1 Systém mobilných telefónov

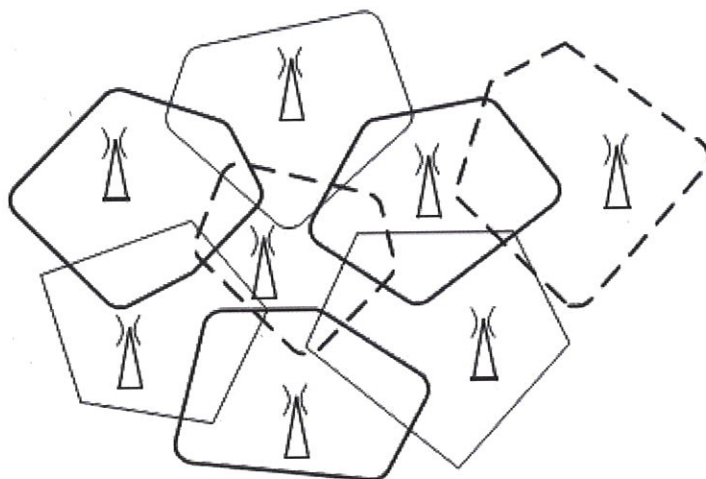
#### Prvá a druhá generácia (1G a 2G)

Za posledných 30 rokov bol náš svet svedkom ohromného pokroku v oblasti telekomunikácií. Jeden z najrýchlejších vzostupov zaznamenala práve bezdrôtová komunikácia. Prvá generácia (1G) označovaná tiež ako AMPS (Advanced Mobile Phone System) uzrela svetlo sveta v roku 1979 v USA. Začiatkom 80-tých rokov sa v západnej Európe objavilo niekoľko mobilných systémov. Tie však boli navzájom nekompatibilné a tak roaming medzi krajinami nebol ani len teoreticky možný. 1G bola síce zameraná len na prenos ľudského hlasu, no veľkosť týchto mobilných zariadení bola v porovnaní s dnešnými novinkami niekoľkonásobne väčšia. Na prenos sa využívala technika analógovej frekvenčnej modulácie (FDM - Frequency Division Multiple Access). Princíp je v tom, že sa frekvenčné pásmo rozdelí na niekoľko menších kanálov a tie sa používajú pre jednotlivé prenosy. [4]

V roku 1982 bola v Európe založená komisia známa pod názvom Groupe Special Mobile (GSM). Jej cieľom bolo vytvorenie spoločného mobilného systému pre západnú Európu. Pre svoje pôsobenie mala pridelené obojsmerné pásmo vo frekvencii 900MHz. Neskôr sa tato organizácia premenovala na Global System for Mobile communications. V tom čase už mala cca 300 miliónov zákazníkov. Dôležitým krokom bola architektúra založená na princípoch otvoreného prepojenia, ktorá poskytovala nezávislosť medzi sieťovými elementmi. To umožňovalo meniť, odstraňovať alebo pridávať nové zariadenia bez veľkého dopadu na ostatne prvky systému. Taktiež sa

zvýšila konkurencia medzi výrobcami týchto elementov, pretože systémový operátor mohol bez problémov zakúpiť a používať vysielače od jedného a prijímače od druhého výrobcu.

Základnou myšlienkou GSM architektúry bolo rozdelenie územia na takzvané bunky. Znázorňuje to obrázok 3.1. Každá takáto časť územia je samostatne obsluhovaná BTS (Base Transceiver Station) zariadením. Zjednodušene povedané je to anténa ktorá vysiela a prijíma signály od zariadení v jej dosahu. Jednotlivé bunky sa vzájomne čiastočne prekrývajú čo umožňuje pohyb zákazníka, pretože susedne BTS stanice si informácie o dianí navzájom predávajú.



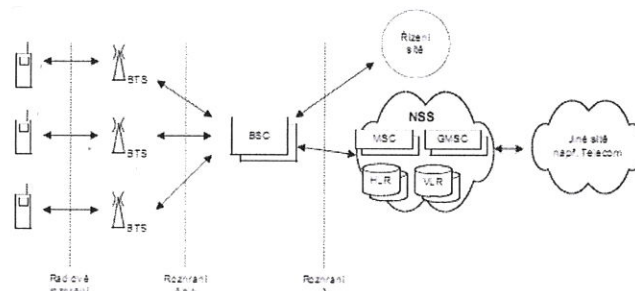
Obrázok 3.1: BTS stanice

Postupne vznikli GSM systémy v iných frekvenčných pásmach (GSM 1800 a GSM 1900), no dôležitá pre zákazníkov bola existencia tzv. SIM modulu (Subscriber Identity Module) ktorý umožňoval vzájomné prepojenie. Takto vlastne vznikol roaming celosvetových rozmerov. Tento SIM modul nie je v skutočnosti nič iné ako čipová karta ktorú poznáme dnes. Dalo by sa povedať, že je to počítač riadiaci mobilný telefón. Okrem procesoru obsahuje pamäť RAM a trvalú pamäť pre úschovu napríklad telefónneho zoznamu ale aj na uloženie používaného softwaru. Dôležité pre ochranu osobných údajov je fakt, že zo SIM karty sa dá zistiť napríklad už spomínaný telefónny zoznam alebo denník posledných hovorov, no dôverné informácie ako je meno

užívateľa v nej uložené nie sú. Tie sa nachádzajú na inom bezpečnom mieste. Po zapnutí mobilného telefónu je potrebné zadať PIN kód, ktorý nám umožní používanie GSM siete. Na SIM karte sa nachádza aj identifikačné číslo ICCID vďaka ktorému máme prístup do databázy HLR, opísanej nižšie v texte.

Primárnou frekvenciou však ostala 900MHz-ová. Z nej sa operátorovi priradí rozsah o šírke 25MHz, ten sa rozdelí po 200kHz, a tie sa používajú pre vysielače v BTS a v mobilných telefónoch. Teoreticky tak môžeme dostať  $(25000/200)-1=124$  rôznych frekvencií. Krajné sa však spravidla nepoužívajú.

Okrem BTS staníc sa infraštruktúra GSM skladá aj z BSC (Base Station Controller) staníc a NSS (Network and Switching Subsystem) zariadení a systémov pre riadenie siete. Ich miesto v hierarchickom rebríčku nám pomôže pochopiť obrázok 3.2. Ako môžeme vidieť, BSC riadi niekoľko BTS staníc v jednej oblasti. NSS má za úlohu prepínať hovory a to nie len medzi rôznymi bunkami ale aj v rámci jednej a tej istej. Taktiež je schopné prepnúť hovor do inej siete. [3]



Obrázok 3.2: Infraštruktúra GSM

NSS má niekoľko častí:

- MSC (Mobile services Switching Centre) ktoré riadi niekoľko BSC staníc.
- HLR (Home Location Register) - ide o databázu informácií o užívateľoch a nimi používaných služieb. Zároveň zabezpečuje autentifikáciu týchto klientov.



- VLR (Visitors Location Register) taktiež obsahuje databázu. Na rozdiel od HLR si dočasne uchováva informácie o cudzích užívateľoch. T.j. takých ktorí nie sú v HLR.
- GMSC je brána, cez ktorú sú smerované prichádzajúce hovory. Tá vyhľadá potrebné informácie z HLR a prepojí hovor na konkrétne MSC.

Pre komunikáciu medzi mobilným telefónom a BTS sa používajú komunikačné kanály TCH (Traffic Channel). Existujú 3 typy v závislosti na rýchlosti. Môže ísť o plnú, polovičnú alebo osminovú rýchlosť. Ku všetkým je priradený aj pomaly SACCH kanál, ktorý funguje nezávisle. Navyše existuje viacero služobných kanálov, ktoré neslúžia k prenosu užívateľských informácií ale k pomocným funkciám.

Rodina týchto GSM systémov tvorí druhú generáciu (2G) a na rozdiel od prvej je založená na digitálnom prenose.

### **Tretia generácia (3G)**

Pozornosť tretej generácie bola zameraná na obmedzenia spôsobené konečným množstvom dostupného rádiového spektra. Dôsledkom dopytu zákazníkov po nových a lepších službách poskytujú aj prenos dát a videa.

Hlavný rozdiel medzi 2G a 3G systémami je v hierarchickej bunkovej štruktúre. Tá už podporuje širokú škálu multimediálnych služieb medzi rôznymi typmi buniek použitím pokrokovejších prenosných technológií a protokolov.

2G systémy používali jeden typ buniek a každá sa starala o vlastnú zónu vrátane riadenia prenosu. Maximálny prenos dát v každej bunke bol limitovaný frekvenciou. Ak sa v určitej oblasti po čase zvýšilo množstvo prenášaných informácií, museli sa okolité bunky rozdeliť a prekonfigurovať tak, aby spravovali menšiu oblasť. To však bolo veľmi nákladné. 3G systémy prekonávajú tento problém viacvrstvou bunkovou štruktúrou. Veľká oblasť je pokrytá takzvanou makrobunkou a pod ňou fungujú piko- a mikrobunky. Rozdiely medzi nimi nie sú len vo veľkosti spravovanej oblasti ale aj v iných parametroch. Zatiaľ čo pikobunky podporujú vysokú rýchlosť a väčšiu prenosovú šírku, makrobunky zabezpečujú väčšiu mobilitu zákazníkom.

V dôsledku neustále narastajúceho dopytu po mobilnej komunikácii a fakte, že rádiové spektrum je veľmi drahé a vzácné, sa kľúčovou otázkou stal spôsob viacnásobného prístupu. Jedným z riešení bolo použitie hybridnej techniky spájajúcej výhody frekvenčného, časového a kódového rozdelenia. Nevýhodou tejto metódy bola veľká zložitosť, ktorá neumožňovala zníženie potrebnej energie a nákladov pre vysielače a prijímače.

Po čase zvíťazila samotna CDMA technika, ktorá sa postupne zlepšovala. Jej nástup začal v USA roku 1990 spoločne s vývojom štandardu IS-95 (cdmaOne). Patril ešte k 2G a znamenal lepšie hlasové a dátové služby. V roku 2000 bol vyvinutý štandard cdma2000, ktorý opäť zvýšil rýchlosť a umožnil dátové služby založené na prepínaní paketov ako aj na prepínaní obvodov. Ako sa koncept bezdrôtového internetu stával reálnym, vznikla potreba efektívnych vysokorýchlostných dátových systémov. Z riešením prišla firma Qualcomm. Ponúkla CDMA-HDR (High Data Rate) dnes nazývaný 3G 1X EV-DO (3G 1X Enganced Version Data Only). Ten zlepšuje systémovú priepustnosť použitím rýchlych spätných odoziev, dvojitými prijímačmi a plánovacími algoritmami, ktoré využívajú rôznorodosť užívateľov. Oproti cdma2000 má v prípade download linkov lepšiu amplitúdovú moduláciu, algoritmus pre automatické opakovanie požiadaviek a zrýchlené kódovanie. Uplinky sa veľmi nelíšia.

Existuje však aj alternatíva vyvinutá Siemensom a čínskou vládou. Nazýva sa TD-SCDMA (Time Division-Synchronous CDMA) a využíva prispôsobujúcu sa moduláciu a taktiež turbo kódovanie. Výhodou je najmenšia spotreba rádiového spektra pomedzi všetkých 3G technológií.

Zatiaľ čo v minulom storočí kládli GSM operátori dôraz na rozvoj technológie pre základné pokrytie a umožnenie mobilnej technológie, výzvou 21. storočia je zvýšenie rýchlosti, pokrytia, jednoduchosti a spoľahlivosti služieb pre obrovský a rýchlo sa rozvíjajúci internetový trh.

K splneniu požiadaviek zákazníkov dostať sa nie len k multimediálnym informáciám bez ohľadu na jeho polohu, slúžia v podstate dve možnosti. Prvou je použitie technológií v existujúcom rádiovom spektre. Sem patria u nás dobre známe EDGE (Enganced Data rates for GSM Evolution), ktorý môžeme nazvať aj generáciou 2.5G a GPRS (General Packet Radio Service). Obe zaisťujú dátové služby v GSM. Druhou možnosťou je využitie nového



spektra, konkrétne 2GHz-ve pásmo. Použitá technológia má označenie W-CDMA/UMTS. Oba prístupy znamenajú úsporu investícií vďaka možnosti použitia už existujúcich sieťových zariadení.

Ďalším krokom k zvýšeniu prenosovej rýchlosti bolo zavedenie HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), čo je vlastne možnosť použiť viacero prenosových kanálov v rámci jedného spojenia zákazníka. Použitím tejto techniky sa rýchlosť bezdrôtovej komunikácie priblížila k tej drôtovej.

Jednou z fáz evolúcie 3G systémov bol vývoj SMS (Short Message Service) správ. Služba posielania jednoduchých neštruktúrovaných dát sa postupne menila až k spomínanému GPRS, dátovej službe, ktorá funguje nad TCP/IP a X.25 protokolmi. Služby GPRS umožňujú posielanie väčšieho množstva dát a zároveň znížili čas potrebný na nadviazanie spojenia ako aj spotrebu zdrojov.

Hlavnou výhodou GPRS je poskytnutie koncového dátového spojenia založeného na prepájaní paketov. Tento prístup je dominantný v celom internete, pretože umožňuje zákazníkovi platiť za aktuálny prenos dát namiesto platenia za dĺžku spojenia. GPRS sa časom stalo jadrom sieťovej platformy pre súčasných GSM operátorov ale je aj platformou pre UMTS využívajúcu W-CDMA (Wideband CDMA). To slúži hlavne k sťahovaniu hudby, videokonferencii a live TV. Od roku 2006 sa pracuje na jeho vylepšení v spojení s HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). Spolu majú tieto technológie obrovský potenciál.

V súčasnosti je už viac užívateľov GSM siete ako užívateľov internetu. Môže za to hlavne fakt, že technológia použitá v GSM sieťach sa natoľko zdokonalila, že surfovanie po internete pomocou mobilného zariadenia poskytuje minimálne takú zábavu ako pri použití káblového pripojenia. O prepojenie k internetu ale aj iným sieťam sa stará GGSN (Gateway GPRS Service Node) zariadenie.

Splniť požiadavku 3G systémov na prístup z každého miesta a v každom čase pomáhajú aj satelity. Tie poskytujú pokrytie na miestach kde by výstavba vysielateľov bola príliš drahá alebo dokonca nemožná. Ich včlenenie sa do terestriálnych mobilných sietí je ešte v štádiu výskumu. V súčasnosti musí užívateľ vlastniť mobil, ktorý podporuje komunikáciu so satelitmi ako aj s

pozemnou sieťou.

#### **4G a predpoveď do budúcnosti**

Aj keď vidíme dnes v televízii reklamy operátorov ponúkajúcich 4G internet vedzme, že je to len reklamné zavádzanie. 4G technológia ešte neexistuje a nie je ešte ani jasné, aká vôbec bude. Niektoré predstavy a požiadavky, ktoré by mala spĺňať však už sú.

4G siete môžeme definovať ako bezdrôtové ad hoc peer-to-peer prepojenie s efektívnym využitím, globálnym roamingom, distribuovanými výpočtami a multimediálnou podporou. Využívajú distribuovanú architektúru. Každé zariadenie bude slúžiť nielen ako prijímač a vysielač, ale aj ako smerovač pre ostatné zariadenia v sieti. Pokrytie a kapacita sa budú meniť dynamicky podľa potrieb užívateľov. Pri upchaní určitých ciest sa automaticky presunu na iné a tak umožnia samoobnovu balancie. Dôležitým cieľom je konvergencia bezdrôtovej komunikácie s tou drôtovou. To znamená, že sieť bude založená na IP protokole, bude bezpečná a poskytne rýchlosť od 100 do 1000 Mbit/s.

Nedávno sa objavilo niekoľko bezdrôtových širokopásmových technológií ktorých spoločným cieľom je dosiahnutie vysokých rýchlostí a kvality služieb. Tu sú niektoré z nich.

Navini Networks vyvinuli systém založený na TD-SCDMA a nazvali ho Ripwave. Využíva techniku zvanú beamforming, ktorá umožňuje viacerým užívateľom v rôznych častiach jedného sektoru súčasne používať väčšinu šírky spektrálneho pásma. Použitie môže nájsť hlavne v husto osídlených oblastiach, pretože umožňuje efektívne znovupoužitie rádiového spektra. Firma Flarion Technologies presadzuje svoje riešenie. Je nim Flash-OFDM (Flash-orthogonal frequency-division multiple). Tato technológia používa FHSS (frequency hopping spread spectrum) pre obmedzenie rušivých vplyvov. BeamRach je technológia spájajúca techniky dvoch predchádzajúcich.

Od roku 2006 sa v mnohých krajinách pracuje na vylepšení siete založenej na UMTS, používajúcej W-CMDA. Tá sa spoločne technikou HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) a HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) označuje ako technológia 3.5G. Cieľom projektu 3GPP LTE (Third Generation Partnership Project Long Term Evolution) je zdokonaľiť UMTS



na 4G použitím OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) prístupu. Na technológii UMTS sú založené aj siete SOMA, ktoré v súčasnosti patria k najrýchlejším.

Bezdrôtové systémy novej generácie budú pravdepodobne pozostávať z rôznych technológií. Tie sa budú navzájom prelínať a kombinovať. Pôjde hlavne o existujúce 2G a 3G systémy (veľká mobilita), WLANs (použitie v budovách), WiMAX a WPANs.

## 3.2 WiMAX

WiMAX (Worldwide interoperability for microwave Access) je telekomunikačná technológia zameraná na poskytovanie bezdrôtového prenosu dát na veľké vzdialenosti. Ponúka pritom viaceré možnosti od point-to-point liniek po plne mobilný prístup. Názov WiMAX bol vytvorený skupinou WiMAX Forum, ktorá vznikla v roku 2001. Jej cieľom bola konformita a interoperabilita tohto štandardu. 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". [10]

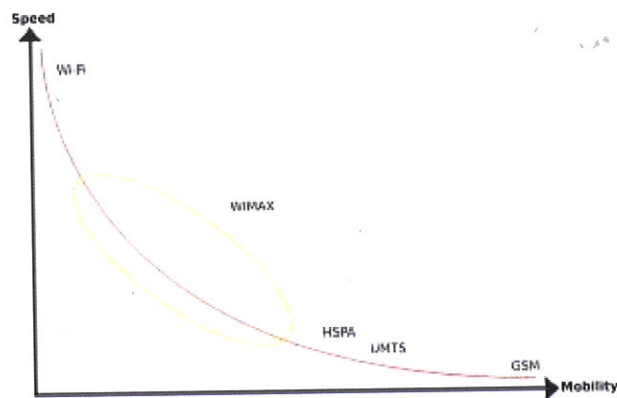
Je založený na štandarde IEEE 802.16, ktorý sa tiež nazýva ako WirelessMAN. Skoršie WirelessMAN štandardy ako napríklad európsky HIPERMAN alebo kórejský WiBro, sa postupne zladili a zaradili do WiMAX-u.

Vďaka svojej veľkej prenosovej šírke a dosahu je možné nasadiť WiMAX vo viacerých prípadoch:

- Na prepojenie Wi-Fi hotspotov navzájom ale aj k iným častiam internetu.
- Poskytnutie bezdrôtovej alternatívy za káble a DSL techniky pre preklenutie poslednej míle.
- Prenos vysokorýchlostných dát a telekomunikačné služby.

- Poskytnutie rôznorodého zdroja internetového pripojenia. To znamená, že ak by došlo k vypadnutiu napríklad drôtového spojenia, bezdrôtové by ho dokázalo plne nahradiť.

WiMAX podporuje aj priame prepojenie koncových uzlov. Spočiatku sa predpokladalo že tie sa nebudú vôbec pohybovať. Neskôr sa však štandard rozšíril o podporu mobility a umožnil fungovanie pri rýchlosti až do 250 km/h. Postupne sa tak stáva konkurencieschopný voči 3G systémom. Jeho približné postavenie čo sa týka rýchlosti a mobility znázorňuje obrázok 3.3.



Obrázok 3.3: Postavenie WiMAX-u

## Kapitola 4

# Hodnotenie sieťových prevedení

### 4.1 Dôležité idey a okamihy

V tejto časti by som chcel vyzdvihnúť niektoré nápady, ktorých uskutočnenie znamenalo významný krok smerom k pohodlnému prístupu k informáciám respektíve k bezproblémovej komunikácii.

Začnime udalosťami znamenajúcimi pokrok v mobilnej komunikácii. Prvou komerčnou sieťou [11] bola holandská Landelijk Openbaar Net (OLN), ktorej prevádzka začala v roku 1949. Mala 2600 užívateľov. Problémom bolo, že komunikácia nebola tak komfortná ako dnes. Hovor bolo možné uskutočniť len cez operátorku a bol simplexný (len jeden mohol hovoriť, druhého nebolo počuť). V osemdesiatych rokoch minulého storočia nebol vývoj mobilných sietí príliš vzdialený od OLN. Bolo už ale možné telefonovať bez pomoci operátorky a komunikovať duplexne (obaja mohli hovoriť a bolo oboch počuť). Tieto siete mali ale veľmi nízku kapacitu, obmedzené pokrytie a mobilné stanice boli príliš veľké. Neskôr však v Bellových laboratóriách (Bell Labs) začali pracovať na systéme, ktorý by spomínane nevýhody nemal. Práve v týchto laboratóriách vznikol systém celulárnej siete, kde je územie rozkúskované medzi mnoho malých buniek obsluhovaných základovými stanicami. Dostupné frekvencie boli rozdelené medzi jednotlivé bunky tak, aby sa dala použiť tá istá frekvencia viackrát, iba sa muselo dodržiavať pravidlo stanovujúce vzdialenosť medzi bunkami používajúcimi rovnakú frekvenciu. Dnes to vyzerá ako samozrejmosť, ale v tom čase išlo o prelomovú a tak-



tiež technicky náročnú záležitosť. Dovtedy totiž každá základná stanica mala svoju pridelenú frekvenciu a iná stanica ju už nemohla použiť. Ak ste napríklad vyšli z dosahu jednej stanice, hovor sa prerušil a bolo potrebné zavolať znova pre pripojenie na inú stanicu. Znovu použitie frekvencie vďaka bunkovej architektúre bol teda prelomový krok. Aby bolo možné tento krok urobiť, museli tvorcovia vyriešiť dva problémy. Bolo potrebné vymyslieť automatický spôsob určovania polohy mobilnej stanice v mobilnej sieti, aby do nej mohli smerovať hovory z inej stanice. Problémom číslo dva bolo predanie hovoru pri prechode z dosahu jednej bunky na dosah druhej bunky. Až v roku 1970 sa dostali na trh mikroprocesory schopné bežného nasadenia na takéto úlohy. Preto sa vývoj novej mobilnej siete v Bell Labs predĺžil cez celé sedemdesiate roky a až v roku 1983 bola k dispozícii prvá mobilná sieť založená na novom štandarde AMPS (Advanced Mobile Phone System). Aj keď je táto analógová sieť už minulosťou, jej nasledovník D-AMPS (digital) prevzal mnoho jej základných princípov.

Ďalším dôležitým krokom vo vývoji bola digitalizácia hlasu sprevádzaná lepšou kompresiou. Predtým sa používala jednoduchá delta modulácia prevádzajúca analógový signál na digitálny a späť. Klasická PCM (Pulse-code) modulácia, ktorá si vyžaduje 56 kbps priestor sa pomocou zariadenia nazvaného vocoder kóduje od čias D-AMPS. Výsledkom sú kanály o veľkosti 8 kbps alebo menej. Tým sa výrazne šetrí množstvo prenášaných bitov. Dôkazom toho je aj fakt, že použitím časového multiplexu môžu až traja užívatelia zdieľať tú istú frekvenciu. Ak sa použije ešte dokonalejšia kompresia zaberajúca 4kbps, využitie spektra sa oproti AMPS zšesťnásobí. [9]

Úplný odklon od konvenčných systémov ako sú D-AMPS a GSM používajúcich frekvenčný (FDM) a časový (TDM) multiplex, znamenalo nasadenie kódového multiplexu (CDMA). Ten namiesto rozdelenia poskytnutého frekvenčného rozsahu na niekoľko stoviek úzkych kanálov, umožňuje každej stanici vysielat' po celom príslušnom frekvenčnom spektre neustále. Využíva sa k tomu teória kódovania.

Pre lepšie pochopenie týchto troch techník umožňujúcich prenos viacerých signálov naraz si uveďme analógiu v podobe hovoriacej skupiny ľudí. V prípade TDM by sa ľudia v rozprávaní striedali. V každom okamihu by hovoril iba jeden. FDM by sme mohli prirovnat' k ľuďom rozdeleným do menších skupín. V každej prebieha konverzácia nezávislá od ostatných. CDMA je

porovnateľné k skupine ľudí v jednej miestnosti rozprávajúcich naraz, no každý komunikujúci pár používa iný jazyk. Aj keď sa navzájom prekrikujú, začuť svoj materinsky jazyk nie je veľký problém. Preto kľúčovou úlohou je extrahovať príslušný signál (jazyk) a nevnímať si ostatné.

Zvýšením rýchlosti a kvality bezdrôtovej komunikácie sa počet jej používateľov neuveriteľne zvýšil. Za tento nárast môže aj schopnosť poskytnúť užívateľom komfort a potešenie vyplývajúce z neobmedzujúcej mobility. Aj poskytovateľov služieb láka svojími vrozenými vlastnosťami. Jej inštalácia nie je totiž príliš drahá, pretože vysielacie možno vybudovať na rôznych miestach bez potreby ťahania drahých káblov cez rozsiahle územia.

Na druhej strane je však stále nižšia prenosová rýchlosť oproti iným formám komunikácie. Preto ak chce človek sťahovať z internetu veľké multimediálne dáta za rozumný čas, mal by sa zamyslieť nad inými alternatívami. Sú nimi predovšetkým pevné siete, medzi ktorými už hrá dôležitú úlohu cena. V dnešnej dobe už nie je problém platiť mesačný paušál za pripojenie s rýchlosťou niekoľkých Mb/s. Pre tých náročnejších dokonca existuje aj v našej oblasti možnosť zaviesť si optiku až domov. A pre priaznivcov adrenalínu je na nehostinných miestach k dispozícii spojenie pomocou satelitov.

## 4.2 Tlaky vplývajúce na vývoj

Politika a marketing majú vplyv pravdepodobne v každej oblasti. Nevyhol sa im teda ani vývoj počítačových a komunikačných systémov. Spomeňme niektoré prípady.

Prvý mobilný systém navrhnutý v USA firmou AT&T nariadila federálna komisia pre komunikáciu používať po celej krajine. V dôsledku toho mali Spojené štáty jednotný (analogový) systém, v ktorom otázka kompatibility mobilných zariadení nemala opodstatnenie. Európske krajiny šli presne opačným smerom. Ako náhle vznikol priestor pre zavedenie mobilného systému, každá krajina sa snažila vytvoriť svoj vlastný, svoj najdokonalejší. To samozrejme viedlo k úplnej nekompatibilite a fiasku. [9]

Poučený touto chybou sa pri nástupe digitálnej komunikácie predstaviteľia



jednotlivých vládnych organizácii stretli a dohodli na jednotnom systéme - GSM. Následkom toho je pre nás použitie jedného mobilného telefónu v celej Európe samozrejmosťou. Naopak, v USA sa rozhodli, že vláda by nemala zasahovať do procesu šandardizácie. Ten bol ponechaný trhu. Výsledkom sú rôzni výrobcovia produkujúci rôzne druhy telefónov. Preto dodnes v USA fungujú dva hlavne nekompatibilne mobilne systémy.

Napriek počiatočnému vedeniu Spojených štátov je teraz vo výhode Európa. Okrem spomenutej (ne)kompatibility systémov môže za nižšie používanie mobilov v USA aj otázka telefónnych čísel. Zatiaľ čo v Európe sú mobilné čísla dobre odlišiteľné od pevných predvoľbou, v USA medzi nimi rozdiel nie je. Preto ak človek z domu niekomu volá a nevie či ide o pevnú linku alebo mobil, vyšší účet môže neraz spôsobiť vrásky na čele. V snahe znížiť túto nervozitu prišli telefónne spoločnosti k "skvelej" myšlienke. Rozhodli sa, že majiteľ mobilného telefónu bude platiť časť za prichádzajúci hovor. Mnoho ľudí však od zakúpenia mobilu odradil strach platenia vysokých účtov len za prijímanie hovorov. V Európe sa za prijímanie neplatí nič. Výnimkou je len použitie roamingu v cudzej krajine.

Ďalšou oblasťou, v ktorej majú vlády jednotlivých krajín rozhodovacie a pridelovacie právo je elektromagnetické spektrum. Aby nedošlo k úplnému chaosu, musí sa používanie frekvencií riadiť rôznymi dohodami. Vlády pridelujú spektra pre AM a FM rádio, televízie, mobilné telefóny, ale aj pre telefónne spoločnosti, políciu, armádu či navigáciu. Celosvetová organizácia ITU-R (International Telecommunication Union-Radiocommunication sector) sa snaží tieto rozdelenia koordinovať tak, aby sa dali vyrobiť zariadenia fungujúce vo viacerých krajinách. Jej odporúčania však nie sú záväzné a preto sa niekedy z rôznych dôvodov nedodržia.

Niektoré frekvencie sa ponechávajú nepridelené. Využitie nachádzajú v priemysle, vede a medicíne. Môžeme ich nájsť aj pod skratkou ISM (Industrial, Scientific, Medical). Hračky na diaľkové ovládanie, bezdrôtové myši a klávesnice, a množstvo iných domácich zariadení využíva práve toto pásmo.

Určitým protipólom vlády je trh. Ten nie je na rozdiel od nej riadený malou skupinou ľudí, ale vplýva na neho množstvo faktorov. Tvorí ho nie len rôzne firmy a organizácie, ale aj každý z nás. Ak sa na komunikáciu pozrieme z ekonomickej stránky, nás obyčajných ľudí bude zaujímať hlavne



jej cena, kvalita a jej spoľahlivosť. Na druhej strane sú poskytovatelia týchto služieb, ktorí kalkulujú s počiatočnými nákladmi na novú sieť, jej pokrytím, potenciálnymi zákazníkmi či predpokladaným ziskom.

Zatiaľ čo v minulých desaťročiach bola snaha informačne spojiť celý svet, v tom poslednom je na prvom mieste rýchlosť a kvalita komunikácie. Neustále narastajúci záujem ľudí ísť s dobou núti poskytovateľov premýšľať nad novými možnosťami a tým sa vlastne urýchľuje pokrok. Nie vždy sú však na papieri dokonalo vyzerajúce projekty úspešné. Poďme sa pozrieť na niektoré z nich.

Začnime pravdepodobne s najviac nákladnými a teda aj rizikovými projektmi. Sú nimi komunikačné satelity. Už v 2. kapitole som spomenul projekt Iridium. Jeho služby boli spustené v novembri 1998 a prvý hovor uskutočnil vice-prezident USA Al Gore. No už v polovici roku 1999 bol vyhlásený bankrot. Zlyhanie tohto projektu bolo spôsobené najmä nedostatočným dopytom a obrovskými počiatočnými nákladmi vo výške niekoľkých miliárd dolárov. Tie navýšila aj zlá architektúra, ktorá neumožnila fungovanie pokiaľ neboli na orbite všetky satelity. Ďalším faktorom zlyhania bol zlý manažment projektu. Snahy predajcov boli nedostačujúce a dokonca na oficiálnych web stránkach sa neraz vyskytovali problémy.

Tento počiatočný komerčný neúspech mal stlmujúci dopad na ďalšie satelitne projekty vrátane spomínaného Teledesicu a Globalstaru. V jednej fáze dokonca hrozilo, že sa satelity z obežnej dráhy navrátia na zem. Avšak k tomuto kroku nedošlo a nakoniec boli služby znovu spustene. Nový investor kúpil zariadenia v odhadovanej hodnote 6 miliárd za 25 miliónov amerických dolárov. V súčasnosti sa počet užívateľov odhaduje na 225 tisíc. Cena hovoru stojí v prepočte od 60 do 300 SK/min.

Ako komerčne veľmi úspešné sa na druhej strane javia navigačné systémy. Nemajú takú konkurenciu v pozemných systémoch, a tak táto oblasť rozkvitá. Začiatky najznámejšieho navigačného systému GPS (Global Positioning System) sa datujú už do roku 1972, kedy sa testovali prototypy GPS prijímačov. Úplná funkčnosť 24-prvkového satelitného modelu bola deklarovaná v roku 1995. Od vtedy prešiel rôznymi vylepšeniami a našiel si milióny spokojných užívateľov. Dopomohla k tomu hlavne užívateľská prívetivosť (ľahké ovládanie malých zariadení, ktoré môžu byť aj súčasťou mobilov) a

vysoká spoľahlivosť (náklady na jeho údržbu zahŕňajúcu aj výmenu starých satelitov dosahuje okolo 750 miliónov dolárov ročne).

V poslednej dobe sa z veľkého záujmu teší európsky navigačný systém Galileo, ktorého spustenie služieb je naplánované na rok 2013. Mal by poskytovať presnejšie merania a kvalitnejšie služby v porovnaní s americkým GPS alebo ruským GLONASS. Aj v tomto prípade sa však z času na čas vynárajú problémy s financovaním alebo oneskorením časového plánu.

## Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo prehľadne spracovať vývoj v jednotlivých oblastiach prenosu informácií. Dôležitým poznatkom v tomto vývoji je otázka konvergencie. Aj keď jednotlivé technológie na jednej strane súpria, na tej druhej sa vzájomne dopĺňujú. Takto vzniká postupne sieť, v ktorej sa všetky prvky integrujú. Akýmsi konečným štádiom tohto vývoja by mohla byť sieť, spájajúca všetky výhody. Rýchlosť optiky, mobilitu bezdrôtových systémov a globálne pokrytie satelitov. Na to, čo nás čaká vo svete počítačových sietí o 10 alebo 20 rokov, si však musíme počkať. Vplyv na zmeny budú mať totiž hlavne požiadavky novej doby a fyzické hranice používaných materiálov.



## Použité obrázky

Obrázok 1.1 - <http://en.wikipedia.org/wiki/Anycast>, dňa 5.4.2008.

Obrázok 1.2 - <http://earchiv.cz/l218/slide.php3?&l=6&me=3>,  
dňa 14.3.2008.

Obrázok 1.3 - Kniha [9], kapitola 2.3.

Obrázok 1.4 - [http://en.wikipedia.org/wiki/Van\\_Allen\\_radiation\\_belt](http://en.wikipedia.org/wiki/Van_Allen_radiation_belt),  
dňa 10.4.2008.

Obrázok 1.5 - Kniha [9], kapitola 2.4.

Obrázok 1.6 - Kniha [9], kapitola 2.4.

Obrázok 1.7 - Kniha [9], kapitola 2.4.

Obrázok 1.8 - Kniha [9], kapitola 2.4.

Obrázok 1.9 - <http://en.wikipedia.org/wiki/Teledesic>, dňa 14.4.2008.

Obrázok 2.1 - <http://www.isdn.cz/clanek.php?cid=7648>, dňa 24.2.2008.

Obrázok 2.2 - Kniha [2], strana 233.

Obrázok 2.3 - Kniha [2], strana 239.

Obrázok 2.4 - Kniha [8], strana 85.

Obrázok 2.5 - Kniha [8], strana 87.

Obrázok 2.6 - Kniha [1], kapitola 5.1.

Obrázok 2.7 - Kniha [7], strana 105.

Obrázok 3.1 - Kniha [3], strana 48.

Obrázok 3.2 - Kniha [3], strana 50.

Obrázok 3.3 - <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>, dňa 6.3.2008.

# Literatura

- [1] Alwayn V.: *Optical Network Design and Implementation*, Cisco Press, 2004.
- [2] Dixit S.: *IP OVER WDM, Building the Next-Generation Optical Internet*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003.
- [3] Dostálek L., Kabelová A.: *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS*, Computer Press, Praha, 2000.
- [4] Garg V. K.: *Wireless Communications and Networking*, 2007, str. 2-16.
- [5] Jamalipour A.: *Low Earth Orbital Satellites for Personal Communication Networks*, Artech House, INC., 1998.
- [6] Karlson B.: *Wireless Foresight: Scenarios of the Mobile World in 2015*, John Wiley & Sons, 2003.
- [7] Kartalopoulos S. V.: *Next Generation Intelligent Optical Networks, From Access to Backbone*, Springer, 2008, str. 104.
- [8] Peterson L. L., Davie B. S.: *Computer Networks - A Systems Approach, Edition 3*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2003, str. 299.
- [9] Tanenbaum A. S.: *Computer Networks, Fourth Edition*, Prentice Hall, 2003, kap. 2.3 a 2.4.
- [10] Wikipédia,  
<http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>, citované dňa 30.4.2008.
- [11] Wikipédia,  
[http://sk.wikipedia.org/wiki/Global\\_System\\_for\\_Mobile\\_Communications](http://sk.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications),  
citované dňa 5.5.2008.