

CATV a Internet

v rámci předmětu X36MTI

vypracoval Vít Mach-Žižka

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. Úvod | 3 |
| 2. Architektura | 3 |
| 3. Zařízení pro datové přenosy a připojení k Internetu | 4 |
| 3.1. CMTS | 4 |
| 3.2. Kabelové modemy | 5 |
| 3.3. Funkce kabelových modemů | 5 |
| 4. Standardy pro komunikaci | 6 |
| 4.1. MCNS DOCSIS | 7 |
| 4.2. Způsob navazování spojení pro přenos dat | 8 |
| 5. Závěr | 10 |
| 6. Použité zdroje | 10 |

1. Úvod

Využití rozvodů kabelové televize i k jiným účelům než jenom k distribuci televizních programů se stalo aktuální teprve s mohutným rozvojem Internetu, ke kterému došlo v posledních letech. Vznikl dostatečně veliký segment potenciálních uživatelů, pro něž tyto dodatečné služby začínají být zajímavé. Kabelové společnosti tak mohou relativně jednoduše ještě více zhodnotit své nemalé investice do vybudované infrastruktury. Využitím kabelových rozvodů pro poskytování datových či telefonních služeb se ovšem tyto společnosti dostaly také do nové role Internet providerů či telekomunikačních operátorů a ne všechny se s těmito zásadními změnami v předmětu jejich činnosti vyrovnaly bez problémů. Postupem času se však vytvořila nová skupina poskytovatelů služeb označovaných také jako MSO (Multiple Service Operator). K tomu často docházelo formou velkých akvizic a fúzí.

Třebaže spektrum možností, jak využít kabelových sítí, je vcelku široké, zatím až na výjimky zcela dominuje připojování k Internetu, občas doplněné o telefonní služby. Pro MSO je poskytování Internetu přes CATV o to zajímavější, že mohou z velké části využít již vybudovanou infrastrukturu a s relativně malými dodatečnými náklady jejím prostřednictvím nabídnout uživatelům další službu a zvýšit tak výnosy z jedné CATV přípojky. Na druhé straně však působí problémy některé starší sítě CATV, které kromě jiných nedostatků umožňují přenos dat (signálu) pouze směrem k uživateli. Poněkud krkolomným řešením, jenž se však někde skutečně používá(lo), je tzv. telco-return varianta, kdy přenos dat ve zpětném směru zabezpečuje obyčejný modem po telefonní lince (stejně řešení se používá i u některých typů Internetu přes satelit). Rada MSO proto musela do upgrade svých sítí starých třeba i třicet let investovat značné sumy.

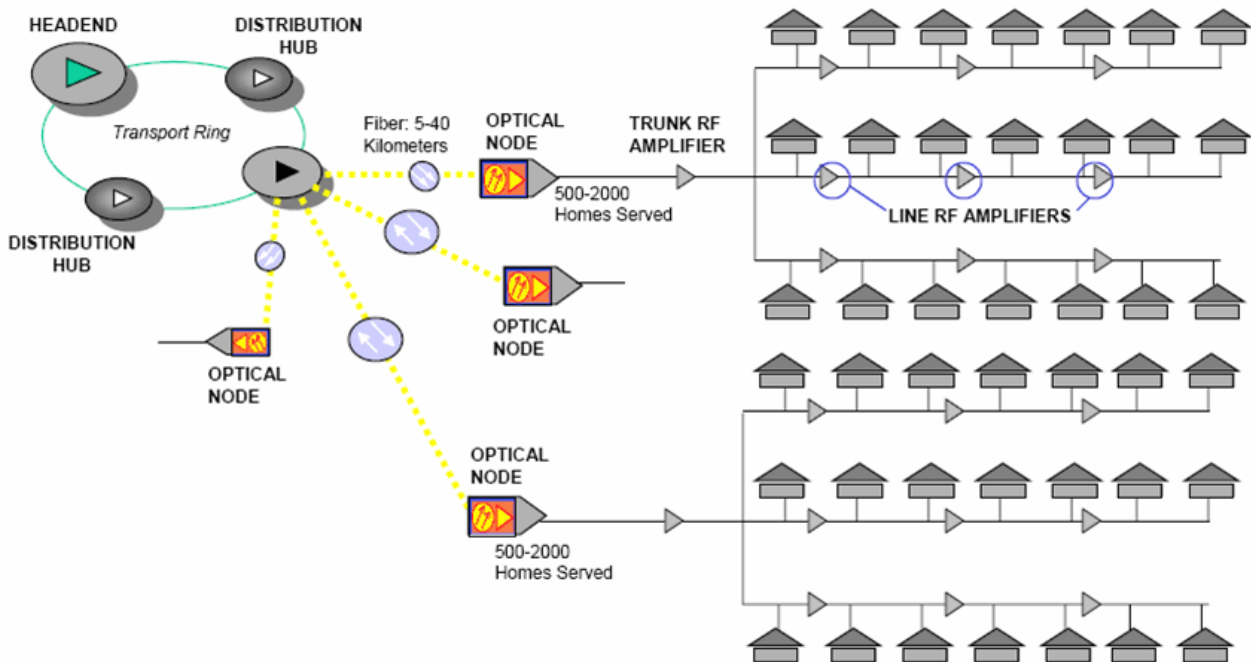
2. Architektura

Celá architektura typické CATV sítě určené pro poskytování Internetových služeb je znázorněna na obrázku 2.1.

Nejvyšší centrálním prvkem je tzv. Headend, který je přes výkonný IP switch/router napojen na zbytek Internetu. Pokud operátor poskytuje na své síti VoIP telefonní služby, je zde rovněž IP Telephony gateway napojená na PSTN telefonní síť. Kromě toho bývá součástí headendu tzv. serverová farma, kde jsou různé další servery, především ty, jež jsou potřebné pro poskytování Internetových služeb - proxy, DNS, DHCP, e-mail, web hosting atd. Kromě toho jsou součástí headendu nástroje pro management celé sítě. V našich poměrech jeden takový headend vystačí pro celé město.

Headend je napojen na optickou síť, kde se přenáší IP protokol na nějaké vhodné transportní vrstvě (SDH, ATM apod.). Topologie bývá obvykle kruhová, přičemž optická vlákna jsou zálohována. Takovýchto kruhů (ringů) může být k headendu připojeno i více. Jinak řečeno se jedná o standardní metropolitní optickou síť (MAN) určenou pro přenos IP (tj. pro Internet), která s kabelovou televizí jako takovou nemá zatím skoro nic společného (klidně může vypadat i úplně jinak).

Na zmiňovaném ringu je umístěno několik dalších uzlů označovaných jako Distribution HUB. Ty už jsou z našeho pohledu mnohem zajímavější, protože právě na nich začíná vlastní HFC (Hybrid Fiber Coax) síť kabelové televize. Nejdůležitější částí distribution HUBu je zařízení označované jako CMTS (Cable Modem Termination System). Tento CMTS je na jedné straně připojen přes IP router/switch do výše zmiňované optické IP sítě (MAN) a na druhé straně je připojen na HFC síť, která se částečně skládá z optických vláken a částečně z metalických koaxiálních kabelů (proto se jí říká hybridní), které vedou až do jednotlivých domů a poté ke každému kabelovému modemu (a TV přijímači).



Obrázek 2.1: Architektura hybridní CATV sítě

HFC síť musí kvůli Internetu umožňovat obousměrný přenos signálu, což není nutné pro pouhou distribuci televizních kanálů. Starší sítě (jejich aktivní prvky) toto často neumožňovaly, případně nevyhovovaly z hlediska frekvenčních rozsahů. Proto bylo nutné je dosti nákladně upgradovat. Stejně problémy působilo i použití bezdrátového přenosu, kterým se nahrazoval optický kabel tam, kde to bylo technicky či cenově výhodnější.

Jak je patrné na obrázku 2.1, hlavní "optický kmen" stromu je dosti často tvořen optickým ringem (zálohovaným pro případ překopnutí kabelu či jiné poruchy). Rozhraní mezi optikou a koaxem se nazývá Fiber Node, přičemž na jednom optickém ringu jich mohou být desítky až stovky.

CMTS je z hlediska architektury sítě důležitý také proto, že právě na něm dochází k přeměně způsobu přenosu signálu. Z CMTS do HFC sítě jsou totiž data přenášena již analogově. Přenos dat (Internetu) tedy nadále probíhá vybraným typem modulace v kmitočtových pásmech pro tento účel vyhrazených. To současně znamená, že na úrovni distribution HUBu se v CATV síti slučují data s televizními kanály (ty se do distribution HUBu dostanou jinou cestou). Vybrané frekvence jsou "odkloněny" do CMTS, který se stará o komunikaci s jednotlivými kabelovými modemy. Na koncích HFC sítě v domech či bytech je pak umístěn splitter, jenž obdobným způsobem oddělí analogový signál určený pro kabelový modem od signálu, který jde do TV přijímače.

3. Zařízení pro datové přenosy a připojení k Internetu

3.1 CMTS

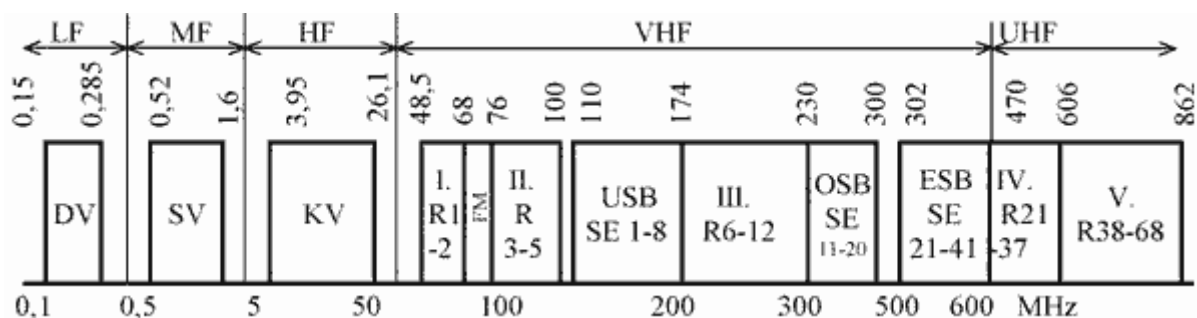
Ve většině případů bývá toto zařízení umístěno v hlavní stanici provozovatele CATV. Zařízení CMTS se vyrábí široká řada, od zařízení s jedním dopředným a zpětným směrem, až po zařízení, které jsou samy o sobě řídicí stanicí s procesorem, pevným diskem a dalšími PC komponenty. Tyto zařízení jsou pak modulární a lze je osadit několika jednotkami reprezentujícími dopředné a zpětné kanály.

Hlavním úkolem CMTS je modulace signálu ze vstupního rozhraní ethernet na výstupní rozhraní, které je zde reprezentováno koaxiálním výstupem do sítě CATV. Tento směr je označován jako dopředný (downstream). Ve zpětném směru dochází k demulaci signálu z rozhraní reprezentované koaxiálním vstupem zpět na rozhraní ethernet.

Koaxiální vstup a výstup zařízení CMTS je kvůli odlišnému nastavování útlumových poměrů realizován odděleně. Po správném nastavení útlumových poměrů se obě dvě koaxiální rozhraní sloučí v pasivním slučovači. Dále se tento signál, složený ze dvou kmitočtově oddělených kanálů (upstream a downstream), slučuje s TV kanály podle předem schváleného kmitočtového plánu. Je tedy zřejmé, že downstream a upstream se v koaxiální síti chovají jako dva TV kanály umístěné na speciální kmitočty dané použitými standardy. Kabelové modemy mají při modulaci a demulaci signálu samozřejmě přesně obrácenou úlohu.

Jelikož v CATV sítích je kladen velký důraz na bezpečnost, je nutné CMTS nějakým způsobem řídit. K řízení a správě sítě se používá protokol SNMP, který zpřístupňuje velké množství informací o celé datové síti. Provozní informace lze shromažďovat a analyzovat na centrálním místě a je tak možné účinně zabránit přetěžování datové sítě. Dále to umožňuje síť efektivně řídit, spravovat a snadno diagnostikovat problémy celého systému z jednoho centrálního místa. Každé zařízení má z výroby určenou svou unikátní MAC adresu, podle které jsou o každém zařízení a jeho umístění vedeny podrobné údaje a neautorizovaná zařízení nemohou v síti pracovat.

Následující obrázek ukazuje rozdělení kmitočtového pásma počínaje dlouhovlnnými rozhlasovými pásmy přes střední, krátké, velmi krátké a ultra krátké vlny.



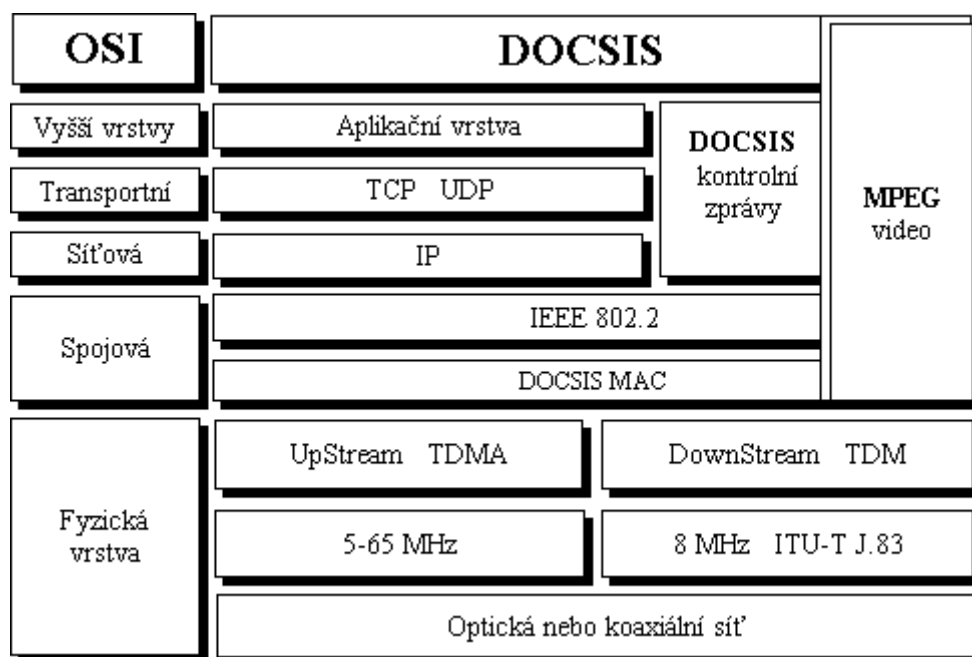
Obrázek 4.2: Rozložení kmitočtového pásma kabelové televize

3.2 Kabelové modemy

Kabelové modemy pracují na první a druhé vrstvě modelu RM/OSI, nad kterou pak fungují protokoly IP, TCP, UDP atd. (viz obrázek 4.3). Většina kabelových modemů jsou externí zařízení, ale existují již kabelové modemy ve formě PCI karet a softwarových emulací. Jednou z hlavních otázek u kabelových modemů je otázka standardizace. Do poloviny devadesátých let nedokázaly příslušné orgány (v tomto případě ITU-T a jím určená pracovní skupina) dostatečně rychle reagovat na rozvíjející se požadavky trhu a sdružení podnikatelů předběhlo tvorbu oficiálních norem a vypracovalo průmyslový standard DOCSIS a EuroDOCSIS.

3.3 Funkce kabelových modemů

Kabelové modemy používají několik typů modulací, nejpoužívanější je však QAM (kvadrurní amplitudová modulace) a QPSK (kvadrurní klíčování fázovým posuvem). QPSK modulace je ve své podstatě více odolná proti vnějším rušením, která se objevují na přenosové trase. Ze zkušenosti plyne, že nejvíce se uplatňuje rušení vzniklé blízko modemu, protože tato



Obrázek 4.3: OSI model komunikace přes CATV.

rušení se špatně kompenzují. Vysílací frekvence kabelových modemů je možno nastavit v krocích po 250 kHz v rozmezí 5 MHz až 42 MHz (zpětný kanál, tzv. upstream) a přijímací frekvence v rozsahu 54 MHz až 750 MHz (dopředný kanál, tzv. downstream) v krocích po 250 kHz. Šířka přenosového kanálu v dopředném směru je 6 MHz, tedy stejně jako je šířka jednoho TV kanálu.

Připojení k počítači je obvykle realizováno přes standardní rozhraní Ethernet. Množství dat, které je možno v 6 MHz kanálu přenést, závisí na použitém druhu modulace. Přesné hodnoty jsou různé a nejsou snadno přepočitatelné mezi modulační rychlostí, počtem stavů a přenosovou rychlostí. Ve vícecestavových modulacích se obvykle uplatňují redundance (konvoluční kódování, dopředná oprava chyb - FEC). Záleží na efektivitě využití rámců, na velikosti záhlaví, které se k užitečným datům připojují. Upstream provoz, který se musí spokojit s úzkým pásmem 5 - 42 MHz, bývá extrémně zarušen (vinou elektromagnetického rušení od bezdrátových uživatelů těchto frekvencí). Proto se používají modulační schémata s vyšší odolností proti rušení (a tedy menší dosažitelnou rychlostí), nejčastěji QPSK, případně 16-QAM.

Protože síť (nebo jen její segment) má stromovou strukturu a přenosové médium je sdílené všemi aktivními uživateli pomocí časového multiplexu, musí se o celkovou přenosovou rychlost podělit více uživatelů. Reálnou průchodnost zpětného kanálu snižuje fakt, že tento směr je kolizní, i když použitím vhodného MAC protokolu lze kolize omezit na minimum.

Modemy se vyrábějí se symetrickými rychlostmi (stejně rychlosti v obou směrech přenosu) i nesymetrickými rychlostmi. Modemy se symetrickými rychlostmi se používají k přístupu a k vzájemnému propojování sítí LAN. Modemy s nesymetrickými rychlostmi se používají pouze pro distribuci dat.

4. Standardy pro komunikaci

V rámci Mezinárodní telekomunikační unie (ITU) vznikla v roce 1994 skupina s názvem „802.14 Cable TV Media Access Control and Physical Protocol Working Group“, jež měla do konce roku 1995 vypracovat příslušný standard. Princip měl být založen na ATM technologii s pevnou délkou paketů a se zaručenou kvalitou přenosu (QoS - Quality of Service), který by vyhovoval pro přenos multimediálních dat. Přijetí standardu se stále oddalovalo, až v roce 1998 ITU schválilo doporučení ITU-T J.112, které však prakticky znamenalo pouze vylepšení již

existujícího průmyslového standardu DOCSIS. Následovalo vylepšené doporučení ITU-T J.122, které se však opět opíralo o průmyslový standard DOCSIS, tentokrát vyšší verze.

4.1 MCNS DOCSIS

Tento průmyslový standard vyvinuly americké kabelové společnosti, které chtěly přes rozvody kabelových televizí začít poskytovat připojení k Internetu. V lednu 1996 se provozovatelé CATV sdružili pod názvem Multimedia Cable Network Systems Partners (MCNS), aby vytvořili neoficiální průmyslový standard. Cílem tohoto standardu bylo rychle získat jednoduché a levné řešení pro připojení k Internetu přes síť CATV. Tento průmyslový standard dostal název Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) verze 1.0 a byl k dispozici v dubnu 1997. Nevýhodou, vzniklou rychlým vývojem tohoto standardu je, že nejsou implementovány funkce pro zajištění QoS. Ty jsou ale nezbytné, pokud chce provozovatel poskytovat další typy služeb jako např. video na přání, IP-telefonii aj. S novými verzemi doporučení byly implementovány další funkce, které již QoS zajišťují.

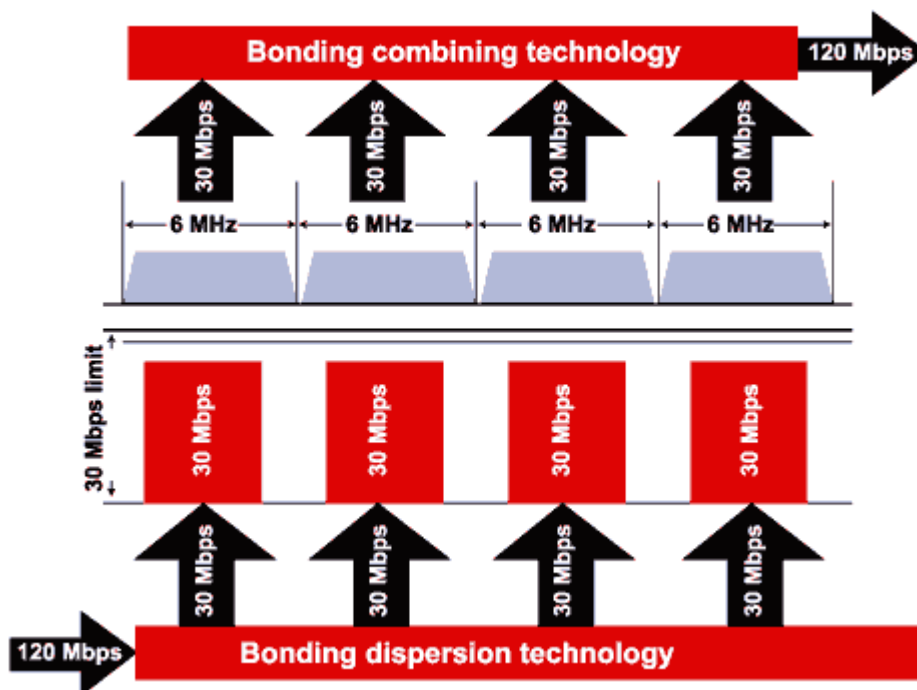
DOCSIS 1.0 – dopředný kanál má šířku 6 MHz, což odpovídá jednomu televiznímu kanálu, a poskytovatel jej může „umístit“ kamkoliv do frekvenčního rozsahu 91 až 857 MHz. Někdy se uvádí odlišné hodnoty, zejména u horní frekvence pásma. Zde záleží na parametrech sítě a použitých zařízeních. Je zřejmé, že maximální přenosová rychlost dopředného kanálu závisí na šířce pásma a typu použité modulace. Nejvíce používané varianty jsou 64-QAM s maximální rychlostí 27,9 Mbit/s nebo 256-QAM s rychlostí 39,4 Mbit/s.

Zpětný kanál leží v rozsahu frekvencí 5 až 42 MHz a pro jeho sdílení je použito časového multiplexu (TDMA – Time division multiple access), přičemž použitá šířka pásma může být 200, 400, 800, 1600 nebo 3200 kHz. Používají se modulace QPSK nebo 16-QAM; existuje tak 10 možných kombinací přenosových rychlostí ve zpětném kanálu. Při použití modulace QPSK a šířce pásma 3,2 MHz činí přenosová rychlost 5,12 Mbit/s. Modulace QPSK se používá častěji, neboť je odolnější proti rušení. Právě zpětný kanál je na vnější rušení citlivý, což je dáno jeho frekvenčním rozsahem.

DOCSIS 1.1 – vylepšená verze standardu DOCSIS 1.0 se týká především kvality služeb a vylepšení vlastností zpětného kanálu. Standard DOCSIS 1.1 je schopný spolupracovat v obou směrech se standardem DOCSIS 1.0, je zvětšená bezpečnost přenosu dat a možnost managementu sítě. DOCSIS 1.1 má na rozdíl od standardu DOCSIS 1.0 možnost různých profilů QoS v rámci jednoho modemu a je možné zavádět multimediální služby a VoIP. Zpětný kanál má podobné vlastnosti jako předchozí standard (pásmo 5 až 42 MHz, sdílení pomocí TDMA), ale použitá šířka pásma může být až 6400 kHz. Opět se používají modulace QPSK a 16-QAM a maximální přenosová rychlost činí 10,24 Mbit/s. Následující obrázek ukazuje vztah mezi doporučením DOCSIS a RM OSI modelem.

DOCSIS 2.0 – tento standard je opět plně kompatibilní s předchozími verzemi a po certifikaci v lednu 2003 dostal označení Q1 2002/Q4 2003. Má především vylepšený zpětný kanál, který je díky přístupovým metodám A-TDMA (Advanced TDMA) a S-CDMA (Synchronous CDMA) vhodný pro multimediální aplikace. DOCSIS 2.0 s přístupovou metodou A-TDMA používá ve zpětném kanálu pásma široká 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 kHz a použité modulace jsou QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM. DOCSIS 2.0 s přístupovou metodou S-CDMA používá ve zpětném kanálu pásma široká 1600, 3200, 6400 kHz a použité modulace jsou QPSK, 8-QAM TCM, 16-QAM TCM, 32-QAM TCM, 64-QAM TCM, 128-QAM TCM (Trellis code modulation). Podle použité šířky pásma a typu modulace pak existuje 30 možných kombinací přenosových rychlostí. Maximální rychlost v upstream kanálu lze dosáhnout 30,72 Mbit/s.

DOCSIS 3.0 – standard schválený v druhé polovině tohoto roku, vnáší do prostředí CATV tzv. bonding (nebo-li inverzní multiplexing). Umožňuje sloučit přenosovou kapacitu více kanálů do jednoho virtuálního.



Obrázek 5.1: Ukázka bondingu 4 kanálů.

Výše uvedený způsob je výhodný především v tom, že nevyžaduje žádné velké zásahy do infrastruktury CATV sítě. Operátor musí pouze instalovat nové aktivní prvky CMTS (Cable Modem Termination System) a uživatelé zase potřebují nové kabelové modemy. Jak již bylo řečeno, je zde vyšší přenosová rychlost dosažena patřičným znásobením šířky pásma, takže na rozdíl některých od jiných technologií není třeba do krajnosti napínat fyzikální zákony. Díky tomu se tedy poskytovatelé služeb nemusí obávat, že by pro ně přechod na DOCSIS 3.0 byl příliš nákladný či riskantní.

Ve výsledku DOCSIS 3.0 nabídne uživatelům maximální (sdílenou) přenosovou rychlost 160 Mbps pro downstream a až 120 Mbps pro upstream. Pozornost si zaslouží především velmi výrazné posílení zpětného kanálu, které dělá novou službu téměř symetrickou. Protože prakticky všechny služby nové generace jsou založeny na IP, nabízí DOCSIS 3.0 rovněž plnou podporu pro Internet Protocol version 6 (IPv6).

4.2 Způsob navazování spojení pro přenos dat

Datové přenosy podle doporučení DOCSIS a EuroDOCSIS jsou určeny pro zajištění obousměrného transparentního přenosu IP mezi kabelovým modemem a CMTS (CMTS - Cable Modem Termination System). Toto zařízení je na jedné straně připojeno do metalické nebo optické IP sítě a na druhé straně je připojeno na HFC síť, která vede až do jednotlivých domů a poté ke každému kabelovému modemu. Kabelové modemy jsou koncipovány tak, aby nevyžadovaly žádnou konfiguraci ze strany uživatele. Veškeré potřebné parametry si automaticky stahují ze sítě (včetně maximální povolené rychlosti) pomocí protokolu TFTP. Stejným způsobem je možné provést rovněž upgrade software/firmware.

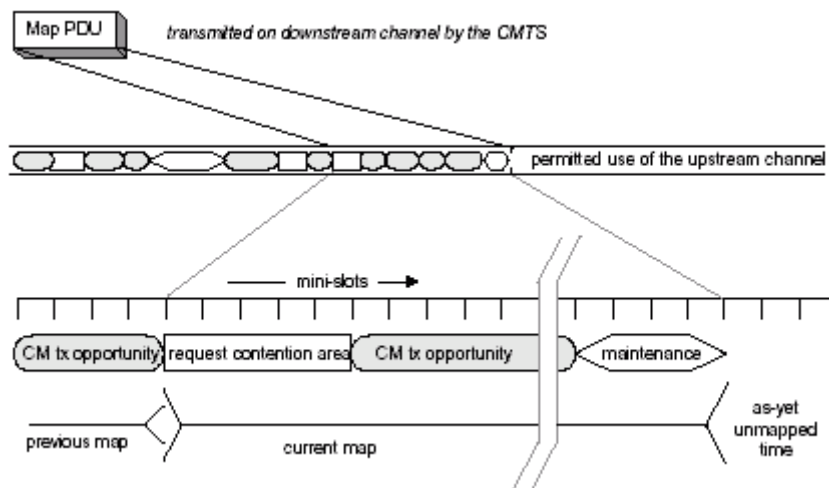
Přidělování IP adres zajišťuje DHCP server a management může být založen na SNMP. Je snaha, aby se spojová vrstva chovala vůči síťové vrstvě (tj. IP) podobně jako Ethernet, který byl v mnoha ohledech inspirací. DOCSIS/EuroDOCSIS proto používá obdobný systém MAC adres, jaký známe z Ethernetu. Každý kabelový modem dostane už ve výrobě svou unikátní MAC adresu (stejně jako třeba Ethernet síťové karty), která mimo adresování zároveň slouží pro identifikační a autorizační procedury. Kromě individuálního adresování je v dopředném kanálu možný rovněž broadcast (souhrn informací vysílaných z jednoho zdroje většinu množství adresátů) i multicast (způsob posílání zprávy z jedné stanice vybrané skupině stanic).

Dopředný kanál – downstream:

Při inicializaci kabelového modemu (většinou po zapojení do sítě CATV nebo zapnutí napájení) dochází ke spojení s CMTS nejprve v dopředném kanálu. Každý kabelový modem zapojený v síti CATV má v paměti uloženy informace o naposledy použitém dopředném kanálu, na který se pokusí opět napojit. Pokud tak neučiní, provádí hledání v celém frekvenčním pásmu (scanování kmitočtového pásma) vyhrazené pro dopředný kanál, dokud není dopředný kanál nalezen. CMTS periodicky posílá kromě samotných dat do dopředného kanálu také služební pakety, jež slouží k navazování a řízení spojení. Jedním z takovýchto paketů je UCD (Upstream Channel Descriptor), ze kterého si modem zjistí pro něj potřebné údaje pro navázání spojení ve zpětném (upstream) kanálu. Dopředný kanál je jednoduchý, tvoří ho nepřetržitý tok MPEG-2 (podle ITU-T H.222) paketů, přesněji pakety PDU (Protocol Data Unit) o pevné délce 188 bytů, které CMTS posílá do sítě. V záhlaví těchto paketů (4 byte) je specifikován typ dat, která se přenášejí. Může to být například digitální video nebo další služby, takže tímto způsobem lze do MPEG-2 streamu multiplexovat více datových služeb, které CMTS umí poskytovat prostřednictvím MPEG.

Zpětný kanál – upstream:

Zpětný kanál je komplikovanější, neboť do něj může posílat data mnoho zařízení (kabelových modemů) a je tedy důležité zajistit jeho sdílení. Potřebné údaje o zpětném kanálu (frekvenční pásmo, typ modulace atd.) získá kabelový modem z výše zmíněného UCD. Sdílení zpětného kanálu je založeno na principu časového multiplexu TDMA (u doporučení DOCSIS 2.0 se používá i kódový multiplex CDMA), kde nejmenší používanou jednotkou jsou úseky o délce 6,25 μ s nazývané time-tick. Z toho vyplývá, že mezi CMTS a kabelovým modemem musí být velmi přesně synchronizováno sdílení zpětného kanálu. Jednotkou pro přenos dat jsou tzv. minislots. Počet byte, které se vejdu do jednoho minislota může být různý, závisí na šířce pásma a použitém typu modulace. V současnosti se minislots skládá ze čtyř time-ticks a má délku 16 byte. PDU pak v závislosti na své velikosti zabírají příslušný počet minislotsů (v mocninách 2 až 128) a je tedy možné ve zpětném kanálu přenášet PDU různé délky a lépe tak využít jeho kapacitu.



Obrázek 5.2: Detail komunikace po upstream kanálu.

Jak funguje mechanismus sdílení upstream kanálu, je patrné z výše uvedeného obrázku. V downstreamu běhají kromě UCD další služební pakety nazývané Map PDU, které definují využití jednotlivých minislotů. CM Tx Opportunity je doba, kdy může modem posílat data. Request Contention Area je vyhrazena pro přihlašování nových modemů k CMTS a Maintenance slouží pro přenos řídicích informací.

5. Závěr

Kabelový internet v české republice jistě ještě poroste. Jako další služby může nabídnout přenos TV kanálů ve vysokých rozlišení (HDTV), nebo video na přání (Video On Demand). Oproti ADSL technologii může nabídnout díky vyšší přenosové kapacitě více služeb s vyšší kvalitou. V budoucnu bych viděl konkurenta zejména v optických sítích, jejichž cena neustále klesá, nebo v nějaké bezdrátové technologii. Porovnáme-li nejlepší nabídky dvou největších kabelových operátorů s možnostmi, které poskytují poslední normy, je jasné, že prostor ke zlepšování služeb tady určitě je.

6. Zdroje

| | |
|---|--|
| Access server | <i>http://access.feld.cvut.cz</i> |
| Wikipedia | <i>http://www.wikipedia.org</i> |
| Neutral Internet eXchange (NIX.CZ) | <i>http://www.nix.cz</i> |