

1. Vývoj smeruje k IBCN

1.1 Úvod

Vývoj súčasných komunikačných sietí smeruje k Integrated Broadband Communication Network (IBCN). Tieto sa často dávajú do súvislosti s Broadband Integrated Services Digital Network (BISDN), pretože je to považované za logickú nadstavbu ISDN , teda digitálnej siete s integrovanými službami. Dôvodom, prečo sa vývoj ubera týmto smerom, je podpora množstva telekomunikačných služieb s rôznymi požiadavkami, ba dokonca aj podpora služieb budúcnosti, ktorých presné požiadavky teraz ani nepoznáme. Možné služby, ktoré budú v budúcnosti veľmi rozšírené, sú napríklad HDTV (High Definition TV), video konferencie, rýchly dátový prenos, videotelefony, videoknižnice atď.

K rýchlejšiemu vývoju v oblasti BISDN prispeli najmä dva parametre: veľký pokrok v polovodičovej a v optickej technike. Vďaka tomuto pokroku je možné, aby na jednom čipe boli podporované viaceré funkcie ako doteraz, navyše s oveľa vyššou rýchlosťou.

Toto všetko viedlo k vytvoreniu nového princípu prenosu dát: Asynchronous Transfer Mode (ATM), ktorý je organizáciou CCITT (International Consultative Committee for Telecommunications and Telegraphy) akceptovaný ako finálne riešenie prenosu dát pomocou IBCN .

1.2 Súčasná situácia vo svete telekomunikácií

Dnešné telekomunikačné siete sú charakteristické špecializáciou. To znamená, že pre každú telekomunikačnú službu existuje (aspoň) jedna sieť zabezpečujúca túto službu. Napríklad:

telex network - prenáša znakové správy veľmi malou rýchlosťou (do 300 bit/s). Znaký sú kódované 5-bitovým kódom (Baudot code).

POTS (Plain Old Telephone Service) - podporuje klasickú dvojsmernú hlasovú komunikáciu. Táto služba je prenášaná prostredníctvom siete PSTN (Public Switched Telephone Network).

prenos počítačových dát je realizovaný cez dva druhy sietí:

PSDN (Packet Switched Data Network) založená na protokole X: 25

CSDN (Circuit Switched Data Network) založená na protokole X: 21

televízny signál je prenášaný

rádiovými vlnami s využitím televíznych antén (terestriálne vysielanie)

sieťou koaxiálnych káblov, CATV (Community Antenna TV)

satelitmi použitím DBS (Direct Broadcast System)

v súkromnom sektore je na prenos počítačových dát používaná sieť LAN (Local Area Network)

Každá z týchto sietí bola špeciálne navrhovaná pre danú službu a je veľmi problematické alebo nemožné prevádzkovať na nej inú službu. Napríklad sieť CATV nepodporuje POTS , sieť PSTN nepodporuje prenos TV signálu, prenos hlasu cez sieť X: 25 je z dôvodu vznikajúcich dlhých oneskorení veľmi problematický.

V špeciálnych prípadoch sa dá prevádzkovať služba na sieti navrhovanej pre inú službu.

Príkladom môže byť prenos počítačových dát sieťou PSTN pomocou modemu ale obmedzenou rýchlosťou.

Prvým vyvrcholením úsilia o vytvorenie siete podporujúcej integráciu služieb bola NISDN (Narrow ISDN), ktorá integruje prenos hlasu a dát. Prenos TV signálu nie je možný kvôli obmedzenej šírke pásma, preto je naďalej potrebná nezávislá sieť pre TV . Pri používaní hlasového aj dátového prenosu sa NISDN javí rovnako, vo vnútri je to však naďalej riešené použitím dvoch technológií: packet switched network a circuit switched network, pričom jedna je dimenzovaná na prenos dát protokolom X: 25 a druhá na prenos hlasu.

Ďalším dôležitým aspektom špecializácie sietí na jednotlivé služby je neschopnosť využívať pokrok v kódovacích technológiách. Napríklad NISDN je navrhovaná pre hlasový kanál

s prenosovou rýchlosťou 64kbit/s. Avšak vďaka súčasnej kompresii hlasu stačí rýchlosť 32kbit/s, dokonca v rámci mobilnej siete sa používa kompresia, pre ktorú stačí 13kbit/s. Teda NISDN nedokáže efektívne využiť svoju šírku pásma.

Doteraz spomenuté fakty môžeme zhrnúť do nasledujúcich nevýhod súčasných sietí:

Service Dependence - Každá sieť je navrhovaná a schopná prenášať len špecifické služby. V málo prípadoch sa dajú použiť aj na iné služby ale len za pomoci prídavných zariadení (modem) a nie je to efektívne.

Inflexibility - špecializované siete nie sú schopné adaptovať sa na zmenené prenosové rýchlosti, ktoré sa objavujú v závislosti na pokroku v kompresii hlasu, audio, video ... , akoaj na vývoji VLSI (Very Large Systems Integration).

Inefficiency - Vnútročné prostriedky siete sú využívané neefektívne. Prostriedky, ktoré sú využívané jednou službou, nie sú dostupné pre druhú službu v rámci jednej siete. Všetky tieto nevýhody vedú k myšlienke vytvoriť jednu univerzálnu sieť (Broadband ISDN) nezávislú na službách, ktoré podporuje. Od tejto siete budeme požadovať odstránenie všetkých nevýhod, ktoré sme spomenuli vyššie, teda bude ponúkať nasledovné výhody:

Flexible - schopnosť využívať nové kompresné technológie a VLSI .

Efficient - optimálne využívanie všetkých zdieľaných prostriedkov medzi službami.

Less Expensive - náklady na návrh výrobu a podporu BISDN budú menšie, keďže namiesto veľa sietí sa budeme zaoberať len jednou.

1.3 Technologický pokrok

Rozvoj siete nezávislej na podporovaných službách bol umožnený vďaka pokroku v telekomunikačných technológiách (polovodiče a optika) a novej systémovej koncepcii. Tieto nové črty umožňovali vyvíjať sieťové komponenty efektívnejšie, čím sa znížili ich ceny a stali sa dostupnejšími. Tým sa otvorila cesta budovaniu systémov, ktoré by v minulosti neboli vôbec realizovateľné alebo by boli príliš drahé.

1.3.1 Polovodiče

V ostatných rokoch sme zaznamenali veľký rozvoj v elektronike, čo výrazne pomohlo vývoju veľmi rýchlych telekomunikačných sietí. širokopásmové komunikačné systémy sú vyvíjané na báze rôznych technológií:

CMOS (Complementary Metal Oxid Semiconductor)

Je to najpoužívanejšia technológia, umožňuje veľkú zložitosť obvodov, rozumne vysokú rýchlosť (200-300Mbit/s), malú spotebu energie. To všetko vedie k rýchlym systémom na malých čipoch. Navyše, vďaka veľkej hustote dosahovanej na čipoch, zložitosť čipov enormne rastie, čo prináša rýchlejšie a lacnejšie systémy.

ECL (Emitter Coupled Logic)

Je založená na silicon bipolar technology a používa sa vo vysokorýchlostných analógových aj digitálnych sieťach s malou zložitosťou. Dosahované rýchlosti sa pohybujú v rozmedzí 5-10GHz, čo je veľmi efektívne pre rýchle prenosové systémy.

Kombináciou CMOS a ECL je technológia **BICMOS (Bipolar CMOS)**, ktorá využíva veľkú rýchlosť ECL a malú spotrebu a veľkú zložitosť CMOS .

GaAs (Gallium Arsenide)

Ešte to nie je vyspelá technológia oproti technológiám založeným na silikónovej báze a je zatiaľ veľmi drahá. Má však ambície dosahovať vyššie rýchlosti ako sa dosahujú v ECL .

1.3.2 Optika

Optická technológia takisto zaznamenáva veľký pokrok. V BISDN sa používajú jednovidové vlákna (monomode fiber), pretože ich potenciál v širokopásmových prenosoch je takmer neob-

medzený.

Najdôležitejšími faktormi pri optickom prenose sú: prenosová rýchlosť, dosiahnuteľná vzdialenosť, kvalita. Všetky tieto faktory sa neustále zlepšujú. To nám umožňuje budovať optické systémy schopné prenosu veľkého množstva dát v krátkom čase na dlhé vzdialenosti s malým počtom výskytu chýb. Tieto systémy však stále potrebujú dosť drahé terminálne zariadenia (lasery, optické a elektrické prijímače : : :). Napriek tomu vzhľadom na parametre ponúkajú lepšiu cenu prenosu oproti klasickým systémom.

Podľa toho v akej oblasti (domácnosti, podniky) sú optické systémy nasadzované sa používajú rôzne druhy zdrojov svetla. Môžu to byť LED (Light Emitting Diod), 800nm lasery (používané v CD prehrávačoch) alebo 1500nm lasery. Už pri použití najlacnejšej alternatívy LED je možné dosahovať rýchlosti rádovo 600Mb/s.

1.3.3 Nová systémová koncepcia

Ako sme už spomínali, sieť budúcnosti musí byť flexibilná. Z dnešného pohľadu sa zdá, že najlepším kandidátom je sieť založená na packet switching. Avšak protokol X: 25 je z dôvodu nedostatočnej kvality prenosových liniek dosť zložitý. Z toho plynú aj veľké časové oneskorenia, a teda neschopnosť podporovať služby citlivé na časové odozvy. Preto je vyvíjaný tlak na zmenu v packet-oriented networks, z dôvodu podpory aj iných ako len dátových prenosov, špeciálne prenosov veľkého objemu dát v krátkom čase.

Základná myšlienka novej koncepcie je fakt, že funkcie, ktoré vyžaduje nejaká služba, nebudú v sieti podporované opakovane na viacerých miestach, ale treba zabezpečiť, aby služba garantovala podporu týchto funkcií, aj keď budú implementované na hranici siete (koncových bodoch prenosu). Toto môžeme pretaviť do podpory dvoch základných funkcií: semantic transparency a time transparency.

1. Semantic transparency

Je funkcia zabezpečujúca správne doručenie dát od zdroja k cieľu. Samozrejme sieť nie je ideálna a pri prenose sa vyskytujú chyby s nejakou (malou) pravdepodobnosťou.

Pri pôvodnom návrhu packet switched networks sa počítalo s malou kvalitou prenosových liniek, preto bola v návrhu zahrnutá plná korekcia chýb (Full Error Control) medzi každými dvoma susednými uzlami siete (obr.1.1a). Realizované to bolo na úrovni HDLC (High-Level Data Link Control) protokolu, ktorý poskytoval funkcie ako: frame delimiting, bit transparency, error checking (CRC Cyclic Redundancy Check), error recovery (retransmission).

S rozvojom ISDN sa linky skvalitnili, preto bol protokol X: 25 upravený na frame relaying, v ktorom medzi susednými uzlami siete boli podporované len niektoré funkcie z HDLC protokolu ako frame delimiting, bit transparency, error checking. Ostatné funkcie (error recovery) boli podporované až na úrovni end-to-end komunikácie.

Pre BISDN sa táto myšlienka ďalej rozvinula. Nadalej sa používajú pakety (teraz nazývané cells), ale celá správa chýb je presunutá do end-to-end komunikácie, teda jednotlivé uzly siete (switching nodes) už ďalej nepodporujú kontrolu chýb. Táto koncepcia sa nazýva Asynchronous Transfer Mode (ATM). Keďže sme celú správu chýb presunuli do end-to-end komunikácie, tak uzly siete majú minimálnu zložitosť, a teda prenos môže byť veľmi rýchly (600Mbit/s).

2. Time transparency

Je funkcia zabezpečujúca včasné doručenie dát prijímateľovi. Niektoré služby požadujú, aby ďalší prúd bitov (resp. paket) prišiel k prijímateľovi po (veľmi) krátkom čakaní po predchádzajúcom. Takéto služby nazývame real time napr. voice alebo video telephony. Packet switching a frame relaying systémy majú problémy s podporou real time služieb, pretože majú zložitú sieťovú štruktúru, na ktorých sa generujú relatívne dlhé čakania, a preto nemôžu garantovať time transparency.

Naopak ATM používa minimálne zložené uzly, preto je prenos veľmi rýchly a ATM môže garantovať time transparency, lebo časové straty sa generujú až na koncoch komunikačnej cesty. Teda na ATM sieťach možno prevádzkovať real time služby.

1.4 Služby budúcnosti

Zákazníkov telekomunikačných služieb budúcnosti môžeme rozdeliť do dvoch hlavných skupín: domácnosti a podniky. Obe skupiny očakávajú od týchto služieb niečo iné. Domácnosti sa zaujímajú skôr o služby zamerané na zábavu, podniky majú záujem o zvýšenie produktivity práce.

1.4.1 Služby pre domácnosti

Dôležitou službou, ktorej podpora je nevyhnutná najmä pre domácnosti, je prenos televízneho signálu, a to vo viacerých formách kvality. Možno uvažovať o TV signále v kvalite porovnateľnej so súčasťou CATV, alebo o digitálnom TV signále v oveľa vyššej kvalite. Takýto signál nazývame SDTV (Standard Digital TV) a jeho požiadavky na prenosovú rýchlosť sa pohybujú v rozmedzí 1.5 až 15MBit/s. V budúcnosti je očakávaný ešte kvalitnejší formát TV signálu. Tento formát je známy ako HDTV (High Definition TV) a jeho požiadavky na prenosovú rýchlosť dosahujú 15 až 150MBit/s v závislosti od kompresie a požadovanej kvality. Dôležitým faktorom tohto formátu je jeho kompatibilita s SDTV.

Všetky spomínané služby prenosu TV signálu môžu byť poskytované v rôznych módoch:

Najjednoduchší prístup vychádza z koncepcie **CATV**, kde sa neustále vysielajú všetky programy.

Rozumnejším modelom je **switched access TV**, keď si užívateľ najskôr zvolí program, ktorý chce sledovať, a teda po sieti sa prenáša oveľa menšie množstvo dát.

Zlepšením predchádzajúcej myšlienky je **video on demand**. Použitím video knižníc si užívateľ vyberie video alebo program, ktorý chce sledovať.

Ďalšou zaujímavou službou pre domácnosti je video telefón. Požadovaná prenosová rýchlosť je v tomto prípade od 0.5 do 5MBit/s. Zaujať by mohli ešte služby video shopping a home education. Je zjavné, že keď bude BISDN domácnostiam plne dostupná, objavia sa mnohé ďalšie služby.

1.4.2 Služby pre podniky

Požiadavky podnikovej sféry na BISDN sú v zásade odlišné od domácností. Jedinou spoločnou požiadavkou je video telefón, ale v podnikoch je aj táto služba rozšírená na možnosť videokonferencií s viacerými účastníkmi.

V podnikoch sa veľmi dobre ujala technológia LAN, preto je veľmi pravdepodobné, že podniky budú od BISDN očakávať vysokorýchlostné dátové prenosy. Takéto prostredie je možné využívať napríklad v distribuovaných databázových systémoch, pri distribuovaných multimediálnych školeniach a konferenciách.

2. Prenosové módy

2.1. Úvod

V oblasti telekomunikácií sa v budúcnosti ráta s rozšírením súčasných služieb, akými sú prenos hlasu (POTS), distribúcia TV signálu a nízko-rýchlostné dáta (low speed data) o nové služby ako video telefonovanie, video knižnice, vysoko-rýchlostné dáta apod. Zavedenie nových telekomunikačných služieb so sebou prináša nové požiadavky na telekomunikačné siete. Môžu byť potrebné nové telekomunikačné techniky (nazývané prenosovými módmami) a tieto môžu ponúkať rôzne výhody v porovnaní s existujúcimi technikami. Nové techniky vznikajú na základe neustále sa zvyšujúcich technologických možností vzhľadom na rýchlosť a zložitosť. Vybrané prenosové módy sa menili niekoľkokrát v histórii.

Vzhľadom na požiadavky nových služieb a dostupné technológie bol pre budúcnosť definovaný nový štandard *broadband ISDN*. V tejto kapitole budú popísané všetky prenosové módy uvažované pre BISDN spolu s ich výhodami a nevýhodami. Špeciálne bude popísaná technika *ATM (Asynchronous Transfer Mode)*, ktorú v roku 1987 vybrala CCITT ako prenosový mód pre BISDN. V roku 1990 CCITT vydala prvý súbor odporúčaní (Recommendations), špecifikujúci detaily ATM pre použitie v BISDN. Tieto odporúčania boli doplnené v rokoch 1991 a 1992.

2.2. História

Teraz sa pozrieme trochu histórie na dôvody prečo boli niektoré prenosové módy v minulosti úspešné a prečo sa niektoré vôbec neujali.

2.2.1. Telegrafia

Prvý prenosový mód v telekomunikačnom prenose bol akýsi druh packet-switching-u. V telegrafii bol "packet" (v tomto prípade správa) prenášaný z jednej relay stanice na druhú. Tento "packet" obsahoval adresu odosielateľa a príjemcu, ako aj obsah správy. Vtedajšia technológia spočívala v súbore vodičov a kľúči na generovanie pulzov. Operátor riadil prenos každej správy. Správy boli kódované de facto digitálne, pretože bolo možné použiť len diskkrétne hodnoty (krátke a dlhé pulzy).

2.2.2. Telefónia

Nasledujúci prenosový mód, zavedený na konci minulého storočia, bol "circuit switching" používaný v POTS. V tejto aplikácii je spojenie naviazané na celú dĺžku konverzácie. Použitie tohto prenosového módu bolo zapríčinené dvoma priamymi dôvodmi:

- Použitie relay stanice ako u telegrafie (t.j. operátor opakuje celú konverzáciu) je nepraktické nielen z dôvodu, že je tým prerušený priamy kontakt medzi používateľmi, ale aj pre skreslenie informácií prichádzajúcich do cieľa.
- Existencia telefónneho aparátu už nevyžadovala „digitálne“ kódovanie signálu, pretože signál mohol byť priamo analógovo prenášaný. Jedinou požiadavkou bolo, aby boli v sieti zopnuté spínače zabezpečujúce end-to-end spojenie pre prenos signálu medzi používateľmi.

Pôvodne bolo spínanie obvodov zabezpečované manuálne operátorom. Po vynájdení automatických spínačov bolo ich otváranie a zatváranie riadené mechanicky, neskôr elektromechanicky a nakoniec elektricky. Ani tento enormný technologický pokrok však nezmenil prenosový mód siete POTS, ktorý je stále "circuit switching". Nebol a stále nie je dôvod meniť prenosový mód siete, ktorá prenáša len hlasový signál, pretože jedinou požiadavkou POTS je aby bolo spojenie naviazané na celú dĺžku konverzácie.

Pre niektoré špecifické aplikácie, napr. spojenia na veľkú vzdialenosť (ako u satelitov), môže byť circuit switching nevýhodný. Niektoré konverzácie obsahujú až 50% ticha, teda efektívnosť môže byť zvýšená odstránením tichých úsekov konverzácie. Tiché úseky jednej konverzácie môžu byť zaplnené aktívnymi úsekmi inej konverzácie. Táto technika sa nazýva TASI (Time Assignment by Speech Interpellation).

2.2.3. Dátové prenosy

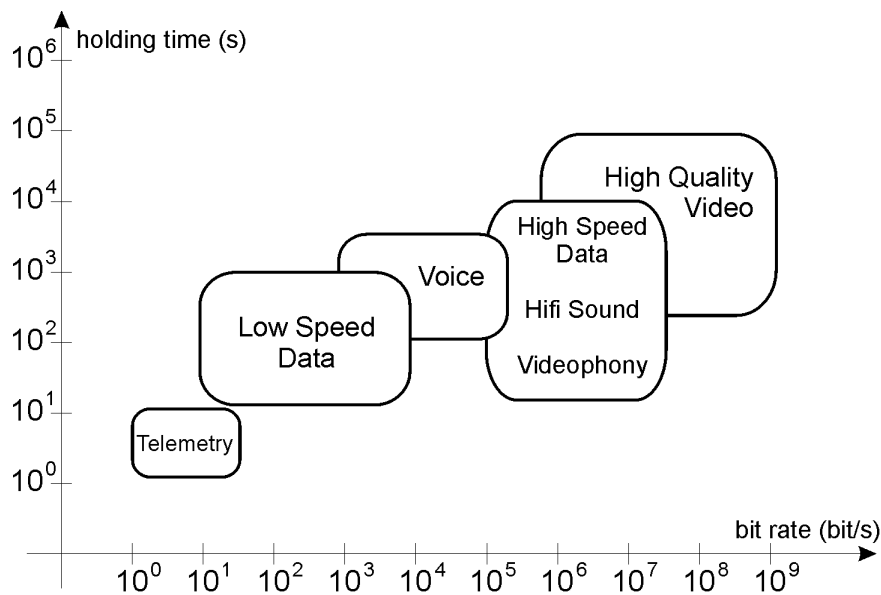
Keď sa požiadavka na spojenie počítačov a terminálov objavila ako aplikácia pre telekomunikačné siete, tak bola pôvodne používaná existujúca circuit-switched telefónna sieť. Boli potrebné modemy na konverziu digitálneho počítačového signálu na analógový signál telefónnej siete. Aj dnes veľká časť spojení počítačov a terminálov využíva telefónnu sieť.

Obrovskou výhodou telefónnej siete je jej prístupnosť takmer na akomkoľvek mieste, čím bol spôsobený veľký úspech jej využitia pre dátové aplikácie. Circuit switching však už nie je ideálny z dôvodu ešte väčšieho množstva tichých úsekov ako u POTS (bursty charakter).

Už v šesťdesiatych rokoch si ľudia začali uvedomovať, že existujú riešenia lepšie vyhovujúce pre bursty charakter dátových aplikácií. Boli uvažované dve techniky: circuit switching a packet switching. Tieto riešenia boli štandardizované ako X.21 a X.25. Bursty charakter dátového prenosu zabezpečil úspech packet switching-u. Zdroje packet switched siete sú využívané len vtedy, keď sa skutočne prenášajú dáta (počas burst-u), naopak u circuit switched siete sú obsadené počas celého trvania spojenia.

2.3. Požiadavky na výkon

V širokopásmovej sieti je potrebné poskytovať mnoho služieb. Tieto služby môžu byť nízko-rýchlostné, stredno-rýchlostné a vysoko-rýchlostné. Prenosový mód takejto siete preto nemôže byť navrhnutý špecificky pre jednu službu. Na obr. 2.1. je zobrazené spektrum služieb s bitovou mierou od niekoľkých bitov za sekundu po stovky Mbit/s. Holding časy sa tiež líšia od sekúnd po hodiny.



Obr. 2.1. Služby očakávané v širokopásmovej sieti

Preferuje sa inštalácia jednej siete schopnej prenosu všetkých druhov služieb pred inštaláciou overlay siete pre každú službu, pretože takáto sústava sietí by bola náročná na vývoj, inštaláciu a údržbu. Okrem toho by bolo potrebné zabezpečiť komunikáciu medzi všetkými sieťami, čím by sa toto riešenie ešte viac skomplikovalo. Preto je potrebné definovať univerzálnu širokopásmovú sieť schopnú splniť požiadavky očakávaných, ale aj neočakávaných služieb.

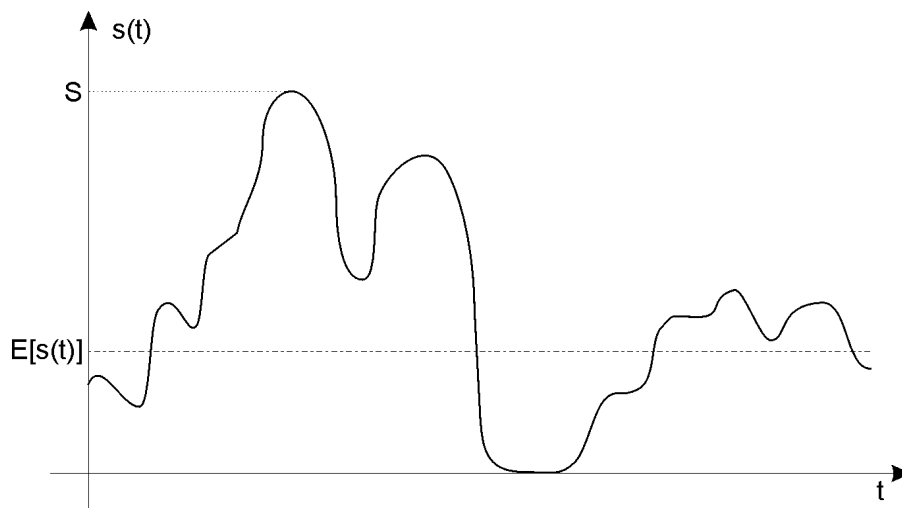
Za účelom definície prenosového módu pre širokopásmovú sieť je potrebné pochopiť charakteristiky existujúcich služieb a ich požiadavky na prenosový mód. Pre umožnenie zavedenia prípadných nových služieb v budúcnosti je potrebné charakterizovať čo najvšeobecnejšiu službu.

Pojmom *prírodná miera informácií* (*natural information rate*) nazývame mieru akou zdroj generuje informácie bez uvažovania ohraničení telekomunikačnej siete. Prírodná miera informácií každého zdroja (napr. hlas, video, ...) je veľmi závislá od použitej techniky kódovania a kompresie, a tým aj od technológie spracovania signálu a ekonomických možností.

Túto prírodnú mieru informácií možno reprezentovať stochastickým priebehom $s(t)$ (obr. 2.2.). Tento stochastický priebeh trvá čas T počas prenosu informácií: môže to byť čas T trvania telefonickej konverzácie cez POTS, čas trvania spojenia dátovej komunikácie medzi počítačmi, atď. Z tohto stochastického priebehu možno zistiť dve hodnoty: maximálnu prírodnú bitovú mieru (peak natural bit rate) S a priemernú prírodnú bitovú mieru (average natural bit rate) $E[S(t)]$ počítanú za čas T .

$$S = \max s(t)$$

$$E[s(t)] = \frac{1}{T} \int s(t) dt$$



Obr. 2.2. Priebek prirodzenej bitovej miery v čase

Pomer medzi maximálnou a priemernou prirodzenou bitovou mierou sa nazýva burstiness B .

$$B = \frac{S}{E[s(t)]}$$

Je zrejmé, že počas rôznych prenosov bude stochastický priebek $s(t)$ správať inak, ale priemerná a maximálna hodnota budú pre službu typické. V tabuľke 2.1. sú uvedené typické hodnoty pre niektoré služby. Burstiness u hlasového prenosu je spôsobený tichými úsekmi, ktorých je asi 50% času, u videa sa často používajú kódovacie techniky, ktoré generujú bity len pri neredundantných informáciách, atď.

Služba	$E[s(t)]$	B
Hlas	32 kbit/s	2
Interaktívne dáta	1–100 kbit/s	10
Bulk data	1–10 kbit/s	1–10
Video štandardnej kvality	1,5–15 Mbit/s	2–3
High Definition TV	15–150 Mbit/s	1–2
Vysokokvalitné video-telefonovanie	0,2–2 Mbit/s	5

Tabuľka 2.1. Charakteristiky služieb širokopásmovej siete

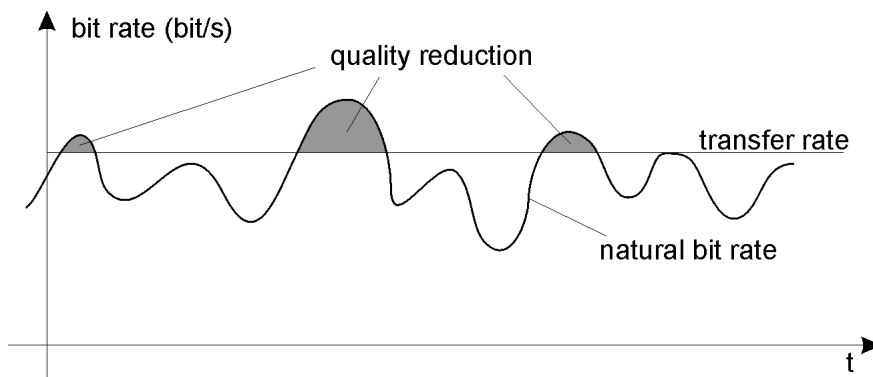
Z tabuľky 2.1. možno vyvodit' dva závery:

- Neexistuje „typická“ charakteristika služby: všetky služby majú rôzne charakteristiky aj v priemernej bitovej miere aj v burstiness faktore.
- Žiadna služba nemá burstiness rovný 1. Pri kódovaní signálu je vždy možné transformovať prirodzenú bitovú mieru na pevnú hodnotu, buď na úkor kvality (pri redukcii maximálnej bitovej miery) alebo na úkor efektivity (prenášajú sa zbytočné informácie).

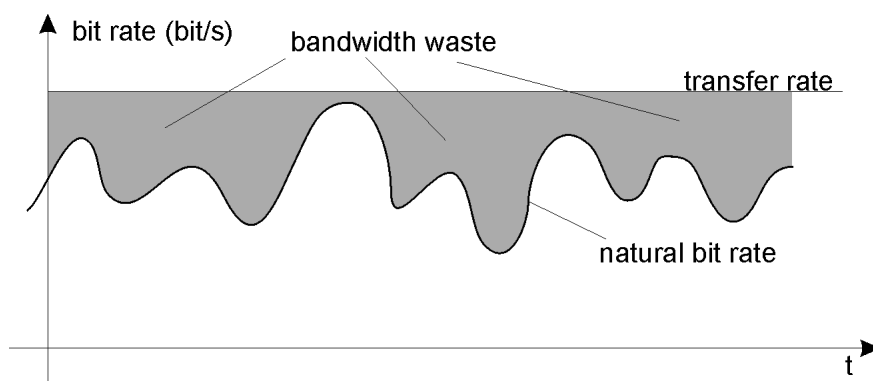
Na obr. 2.3a. je prenosová rýchlosť menšia ako maximálna prirodzená bitová miera. Toto spôsobuje zníženie kvality, pretože pri prenose informácie s vyššou prirodzenou bitovou mierou než je prenosová rýchlosť sú niektoré bity zarovnané k limitu prenosovej rýchlosti. Naopak, na obr. 2.3b. je prenosová rýchlosť vždy väčšia alebo rovná prirodzenej bitovej miere. Zvyšné voľné miesto je vyplnené prázdnyimi informáciami, teda sa plytvá prostriedkami siete.

Prenosový mód schopný prenášať všetky spomenuté a iné služby musí byť veľmi flexibilný, pretože musí byť schopný prenášať široké spektrum prirodzených bitových mier a služby s fluktuujúcim charakterom.

Optimálny prenosový mód by mal teda podporovať prenos rôznych informácií prostredníctvom integrovaného prístupu, ktorý by nemal takmer žiadne obmedzenia na spôsob používania.

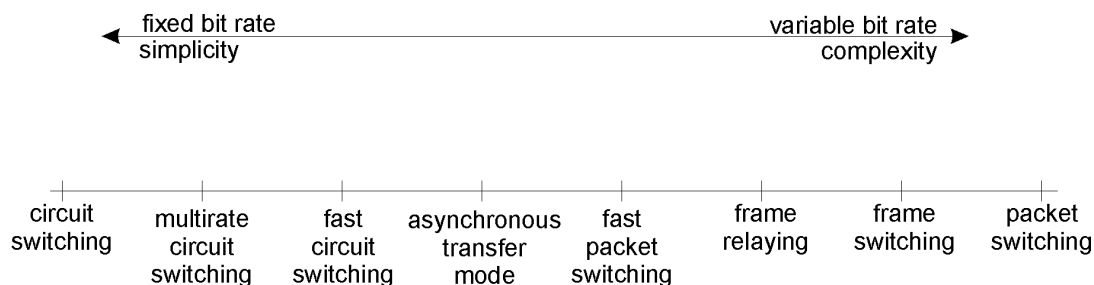


Obr. 2.3a. Redukcia kvality redukcíou maximálnej bitovej miery



Obr. 2.3b. Nevyužitie prenosového pásma alokáciou maximálnej bitovej miery

Prenosový mód je v podstate charakterizovaný technikou prepínania použitou v prepínacích uzloch siete. Na obr. 2.4. sú uvedené prepínacie techniky pre prenos informácií v telekomunikačnej sieti. Vo všeobecnosti techniky smerom vľavo ponúkajú pevnú bitovú mieru a malú flexibilitu a smerom vpravo väčšiu flexibilitu pre variabilnú bitovú mieru a bursty informácie, ale aj väčšiu zložitosť.



Obr. 2.4. Spektrum prepínacích techník

Skôr než začneme popisovať rôzne prenosové módy, zdefinujeme niektoré pojmy. Nasledujúce dve definície charakterizujú výkonnosť a funkčnosť siete:

- Sémantická transparentia: popisuje schopnosť siete prenášať informácie bezchybne, t.j. počet end-to-end chýb spôsobených sieťou bude službou akceptovateľný.
- Časová transparentia: popisuje schopnosť siete prenášať informácie zo zdroja do cieľa v čase akceptovateľnom pre službu.

2.3.1. Sémantická transparentia

Sémantická transparentia určuje schopnosť siete prenášať informácie s ohraničeným výskytom chýb. Typy chýb sa môžu líšiť pre každý prenosový mód. Pre službu X.25 špecifikovanú CCITT, dnes využívanú vo väčšine krajín na nízko- až stredno-rýchlostnú dátovú komunikáciu, a službu SMDS (Switched Multimegabit

Data Services) špecifikovanú spoločnosťou Bellcore (1989), boli definované tri druhy chýb: miera reziduálnych chýb (počet nezistených chýb), miera nesprávne doručených dát (pomer počtu dátových jednotiek dopravených do nesprávneho cieľa a počtu vyslaných dátových jednotiek) a miera nedoručených dát (pomer počtu dátových jednotiek nedopravených do cieľa a počtu vyslaných dátových jednotiek).

	X.25	SMDS
Miera reziduálnych chýb	10^{-10}	10^{-10}
Miera nesprávne doručených dát	–	$5 \cdot 10^{-8}$
Miera nedoručených dát	–	10^{-4}

Tabuľka 2.2. Akceptovateľné chybové miery pre X.25 a SMDS

Žiaden systém nie je dokonalý. Väčšina nedokonalostí v telekomunikačných systémom je spôsobená šumom (white noise, impulse noise, ...). K zníženej kvalite však prispievajú aj iné faktory, ako napr. obmedzené zdroje spôsobujúce preťaženie a zablokovanie, ako aj nedokonalosti materiálu. Každý systém má chyby vlastného druhu, pretože je navrhnutý na základe určitého pomeru cena/výkon. Čím sú vyššie požiadavky na výkon (t.j. je požadovaná menšia chybovosť), tým drahší bude systém. Ale aj najdrahšie systémy budú mať chyby, aj keď len s malou pravdepodobnosťou. Pre každý systém môže byť definovaná pravdepodobnosť výskytu chyby za určitú časovú jednotku.

Jedným z najdôležitejších parametrov charakterizujúcich nedokonalosti v digitálnych komunikačných systémoch je *BER* (bit error rate–miera bitových chýb), t.j. pomer medzi chybnými a vyslanými bitmi za reprezentatívnu časovú jednotku. Bitové chyby môžu byť izolované (singulárne) alebo skupinové (burst).

V telekomunikačných sieťach, v ktorých sa s bitmi narába po skupinách (napr. paketové siete), môžu vzniknúť skupiny chýb spôsobené stratou alebo nesprávnym doručením týchto tzv. paketov. Môžeme teda definovať *PER* (packet error rate–miera paketových chýb) ako pomer medzi nesprávne doručenými alebo stratenými paketmi a vyslanými paketmi. Existuje však viac druhov chybných paketov:

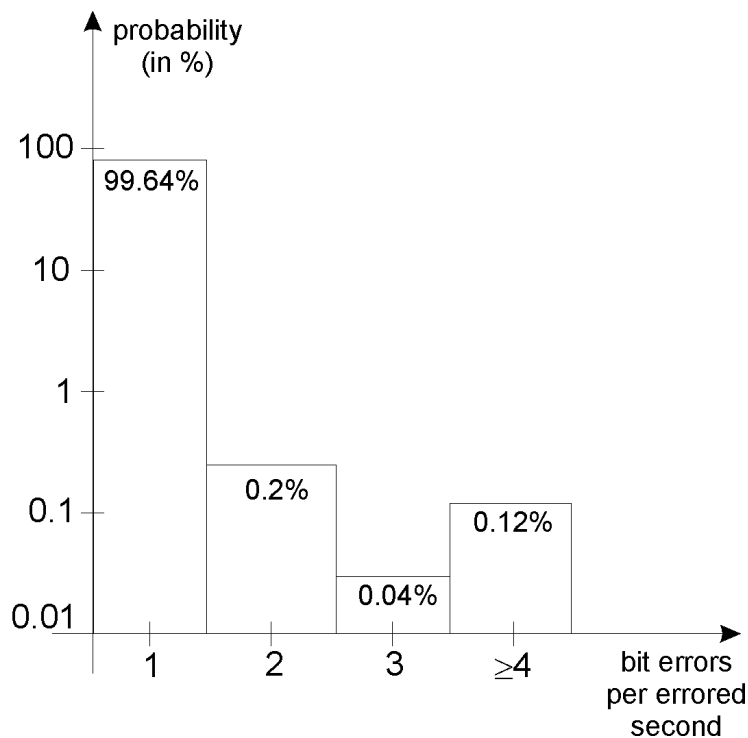
- 1) Pakety, ktoré sa stratili v dôsledku nesprávneho routovania alebo preťaženia. Môžeme teda definovať *PLR* (packet lost rate) ako pomer počtu stratených paketov a celkového počtu vyslaných paketov.
- 2) Pakety, ktoré prídu do nesprávneho cieľa, ktorý ich však akceptuje ako správne. Môžeme teda definovať *PIR* (packet insertion rate) ako pomer počtu takýchto paketov a celkového počtu vyslaných paketov.

Sieť sa skladá z dvoch druhov entít vykonávajúcich špecifické funkcie: prenos a prepínanie/multiplexovanie. Keďže prenosové systémy poznajú len bity, tak uvažujeme len bitové chyby. V prepínaní a multiplexovaní uvažujeme bitové aj paketové chyby.

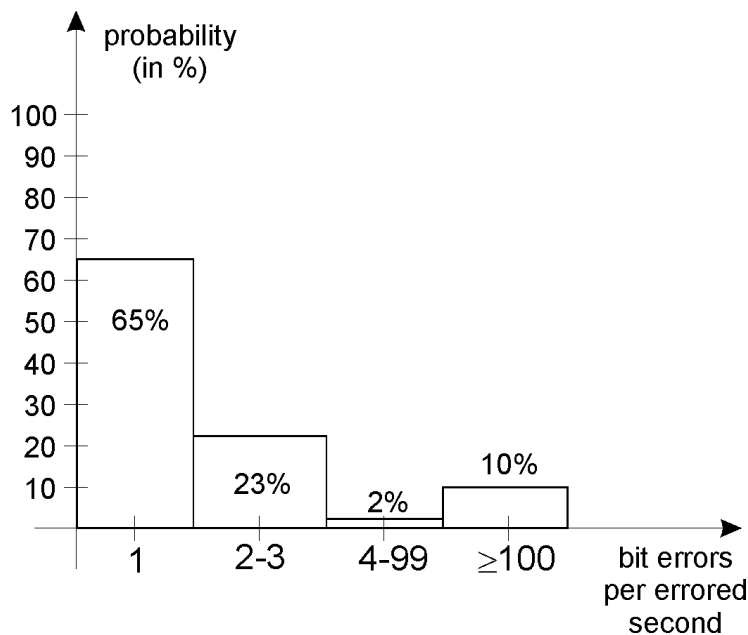
2.3.1.1. Chyby pri prenose

Prenosové systémy pracujú hlavne na bitovej úrovni a podľa ISO môžu byť zaradené do prvej vrstvy modelu OSI. Existujú rôzne druhy chýb: niektoré sú spôsobené nedokonalosťou samotného prenosového systému, iné operatívnym zásahom. Prvý druh teda závisí od faktorov ako je druh prenosového systému (koaxiál, optické vlákno, optické zariadenia, ...) alebo aké kódovanie bolo použité.

Keďže sa predpokladá, že širokopásmová sieť bude vybavená najmä optickými vláknami, popíšeme teraz chybovú charakteristiku optického systému. Tieto výsledky boli získané z meraní vykonanými ATT a Bellcore na optickom prenosovom systéme. Ukazujú počet bitových chýb v chybných sekundách a burstiness chýb.



Obr. 2.5a. Pravdepodobnostná distribúcia chýb na optickom prenosovom systéme pracujúcom v normálnych podmienkach



Obr. 2.5b. Pravdepodobnostná distribúcia chýb na optickom prenosovom systéme počas údržby

Tieto výsledky boli získané meraním len jedného systému, takže nie sú presné pre všetky systémy, ale možno ich považovať za trendy reprezentujúce všetky optické systémy. Z týchto meraní možno vyvodit' dva závery:

- (1) V normálnych operačných podmienkach (obr. 2.5a.) sa väčšina chýb vyskytuje samostatne. V tomto prípade bolo 99,64% chýb samostatných. V niekoľkých málo prípadoch sa v jednej sekunde vyskytla viac než jedna chyba. Treba si však uvedomiť, že 2 chyby v jednej chybnnej sekunde sa nerovnajú dvom po sebe nasledujúcim chybám.

- (2) Počas údržby bolo zistené úplne rozdielne správanie systému (obr. 2.5b.). Stále sa vyskytovali väčšinou samostatné chyby, ale už len v 65% prípadov. Je zaujímavé, že 10% chybných sekúnd obsahovalo viac než 100 chýb. Tieto chyby môžeme nazvať burst chybami.

2.3.1.2. Chyby pri prepínaní/multiplexovaní

Prepínacie a multiplexovacie systémy pracujú na vyššej úrovni (2–3) než prenosové systémy. Vrstvy 2 a 3 paketovo prepínaného systému pracujú na úrovni paketov, takže okrem bitových chýb môžu vznikáť aj paketové chyby.

Paketové chyby sú spôsobené najmä chybami v hlavičke. To znamená, že prepínací systém môže zrušiť paket na základe nesprávnej informácie v hlavičke alebo ju nesprávne interpretovať. Nesprávna interpretácia spôsobí nesprávne routovanie paketu a následne chýbajúci v paket v správnom ciele a prebytočný paket v nesprávnom ciele.

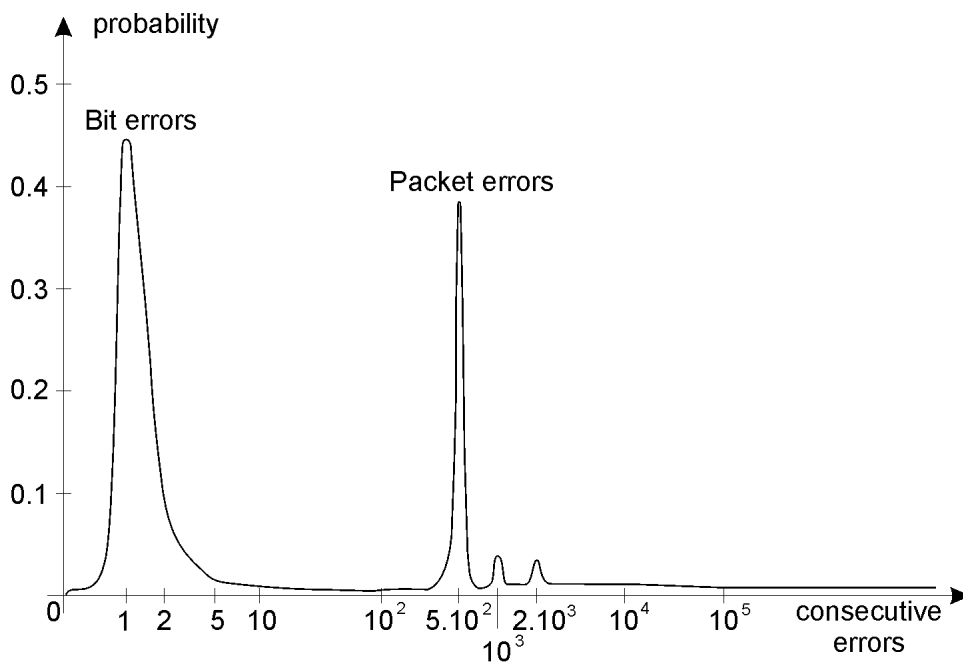
Ďalšou dôležitou príčinou výskytu paketových chýb je nedostatok zdrojov v prepínacom/multiplexovacom systéme, keď príliš mnoho paketov potrebuje využiť tie isté zdroje.

2.3.1.3. Distribučný model pravdepodobnosti chýb siete

Vo všeobecnej sieti musíme brať do úvahy chyby prenosového systému, ako aj chyby prepínacieho/multiplexovacieho systému. Namiesto modelu na základe *BER* a *PER* sa pokúsime charakterizovať ich pravdepodobnostnou distribučnou funkciou počtu po sebe nasledujúcich bitových chýb. Paketová chyba môže byť interpretovaná ako n po sebe nasledujúcich bitových chýb, kde n je veľkosť paketu v bitoch. Musíme preto určiť *BER* presnejšie.

Presná matematická reprezentácia miery bitových chýb je distribučnou funkciou pravdepodobnosti výskytu 1, 2, ..., n po sebe nasledujúcich chýb za jednotku času. Vo všeobecnosti sú bitové chyby spôsobené chybami na bitovej úrovni v prenosových a prepínacích systémoch a chybami na vyššej úrovni, ako sú strata paketu (*PLR*) a prídanie paketu (*PIR*).

Pravdepodobnostná distribučná funkcia bude mať potom maximá na násobkoch dĺžky paketu (v bitoch) a v bode 1 (obr. 2.6.). Tento diagram reprezentuje typickú distribúciu paketovej siete. Všimnime si, že okolo 45% tvoria samostatné bitové chyby a okolo 45% paketové chyby. Prepínacie a prenosové systémy majú teda porovnateľnú kvalitu.



Obr. 2.6. Pravdepodobnostná distribúcia chýb v typickej paketovej sieti (veľkosť paketu = 512 bitov)

Zvýšenie sémantickej transparentie

Ak sieť neposkytuje kvalitatívnu úroveň vyžadovanú nejakou službou, je možné túto úroveň zvýšiť použitím end-to-end protokolov transportnej vrstvy. Takéto zvýšenie kvality môže byť dosiahnuté napr.

technikami FEC (forward error correction) alebo retransmisiou informácií ak bola detekovaná chyba použitím tzv. ARQ (Automatic Repeat Request) protokolov.

Techniky FEC používajú komplexné kódovacie schémy na pridanie redundancie na bitovej úrovni. Príkladmi sú kódy Hamming, Golay, BCH (Bose-Chadhuri-Hocquenghem), ktoré poskytujú rôzne možnosti opravy chýb v závislosti od pridanej redundancie.

Techniky ARQ sú založené na retransmisii informácií, ktoré neboli správne doručené. Na detekciu chybných informácií v cieľi sa používajú techniky kódovania bitov príbuzné technikám FEC. Tieto techniky je často možné použiť na detekciu chýb, na opravu chýb alebo oboje.

V dnešných sieťach založených na medených vodičoch nie je zaručená dostatočná úroveň end-to-end sémantickej transparentie. Opravné mechanizmy sú v sieti zavedené na báze link-to-link, napr. v sieťach X.25 s použitím HDLC (High Level Data Link Control) na každej linke.

Je zrejme, že ak je kvalita siete nízka, tak strata mnohých paketov vyvolá ich retransmisiu, čím sa zvýši premávka. Predpokladaný nárast premávky možno vypočítať pre sliding window protokol s veľkosťou okna W . Skutočný počet retransmitovaných paketov závisí od typu ARQ protokolu a počtu ešte neprijatých paketov. Ak budeme predpokladať Go-Back-N algoritmus s priemerným počtom ešte neprijatých paketov $W/2$, môžeme vypočítať nárast premávky, pričom P je pravdepodobnosť straty alebo poškodenia paketu.

Ak je paket retransmitovaný raz a správne doručený (s pravdepodobnosťou $P \cdot (1-P)$), tak predpokladaný počet retransmitovaných paketov je $W/2 \cdot P \cdot (1-P)$.

Ak po prvej retransmisii nie je paket správne doručený, tak je opäť retransmitovaný a pravdepodobnosť správneho doručenia je $(1-P) \cdot P^2$. Predpokladaný počet retransmitovaných paketov bude $W \cdot P^2 \cdot (1-P)$. Proces retransmisii bude pokračovať až kým bude paket správne doručený.

Môžeme teraz sčítať všetky predpokladané retransmisie, čím získame takýto nárast premávky:

$$R = \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot \frac{W}{2} \cdot P^k \cdot (1-P) = \frac{W}{2} \cdot \frac{P}{1-P}$$

Predpokladajme, že systém má v end-to-end spojení n liniek, že L predstavuje počet bitov v pakete a B predstavuje BER prenosovej linky (takže predpokladáme len chyby na bitovej úrovni a ich náhodnú distribúciu). Potom môžeme vypočítať P nasledovne.

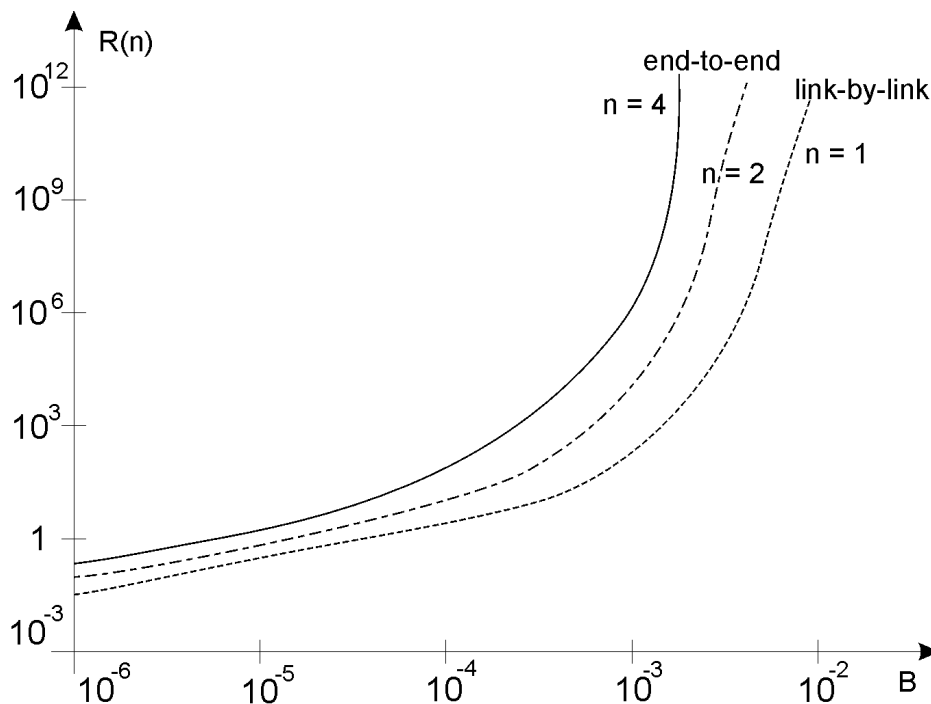
Pravdepodobnosť, že paket je správne doručený cez jednu linku je $(1-B)^L$; cez n liniek je to $(1-B)^{nL}$. Pravdepodobnosť, že paket bude doručený chybné cez n liniek je teda

$$P = 1 - (1-B)^{nL}$$

Dosadením do predchádzajúcej rovnice získame nárast premávky cez n liniek:

$$R(n) = \frac{W}{2} \cdot \frac{1 - (1-B)^{nL}}{(1-B)^{nL}}$$

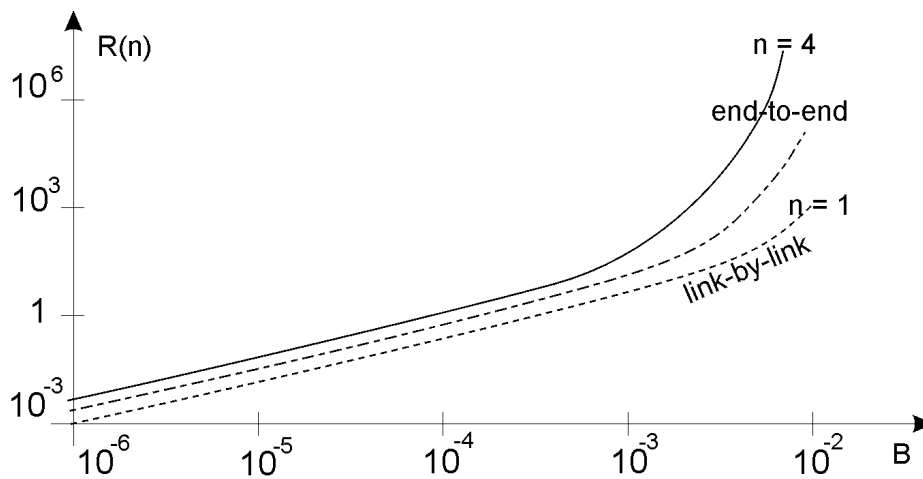
Absolútne hodnoty nárastu premávky ($1 = 100\%$) sú uvedené na obr. 2.7a a 2.7b. pre dve dĺžky paketov L . Na obr. 2.7a. uvažujeme paket s dĺžkou 1000 bajtov, na obr. na obr. 2.7b. ATM paket s dĺžkou 48 bajtov. V oboch prípadoch uvažujeme veľkosť okna $W=7$ a $n=4, 2, 1$. BER B liniek sa pohybuje medzi 10^{-6} a 10^{-2} . Pre BER menšie než 10^{-6} je nárast premávky zanedbateľne malý.



Obr. 2.7a. Nárast premávky $R(n)$ ako funkcia $BER (B)$ ($L=1000$ bajtov)

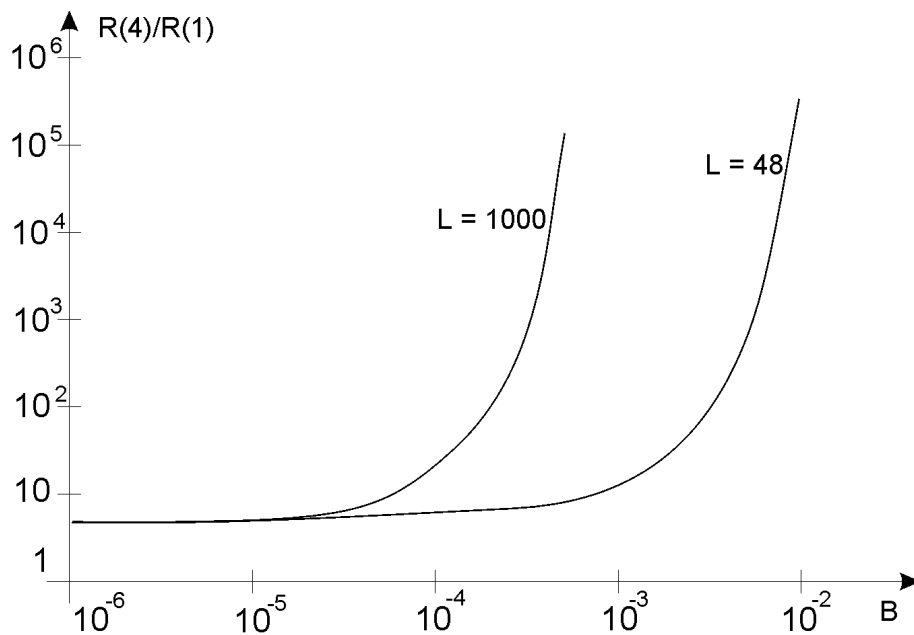
Vidíme, že u malých paketov (napr. u ATM) ostáva nárast premávky malý dokonca aj pre BER do 10^{-4} a rastie exponenciálne pre vyššie BER . Pri veľkých paketoch je tento exponenciálny rast dramatický už pre BER horšie ako 10^{-5} .

Je zaujímavé aj porovnanie nárastu premávky pre end-to-end retransmisiu a link-to-link retransmisiu.



Obr. 2.7b. Nárast premávky $R(n)$ ako funkcia $BER (B)$ ($L=48$ bajtov)

Na obr. 2.8. porovnáваме nárast premávky pre systém s end-to-end retransmisiou (v tomto príklade $n=4$) a systém s retransmisiou na každej linke ($n=1$). Tento diagram zobrazuje pomer $R(4)/R(1)$ pre $L=1000$ bajtov a $L=48$ bajtov. Opäť vidíme, že nárast premávky pre dlhé pakety a end-to-end retransmisiu je dramatický oproti link-to-link retransmisiu už pri $BER=10^{-4}$. Pre krátke pakety je tento nárast zaujímavý len u liniek s veľmi zlou kvalitou ($BER 10^{-3}$). U liniek s kvalitou aspoň 10^{-5} je absolútny nárast premávky taký malý (obr. 2.7a.), že relatívny nárast (obr. 2.8.) môže byť zanedbaný.



Obr. 2.8. Pomer chybovosti end-to-end a link-to-link retransmisie ako funkcia BER (B)

So zavedením optických vlákien prichádza prenosové médium s veľmi vysokou kvalitou (B je zvyčajne lepšie než 10^{-8}), čím sa odstraňuje potreba zvyšovania link-to-link kvality prostredníctvom retransmisie, najmä pre malé pakety.

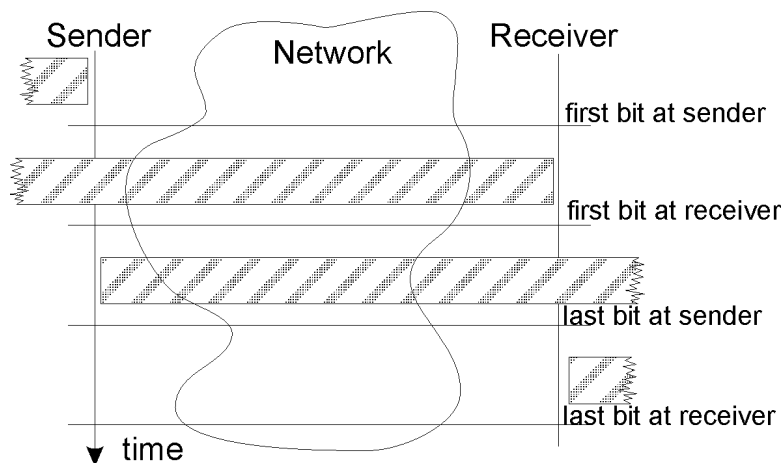
2.3.2. Časová transparentnosť

Časová transparentnosť môže byť definovaná ako absencia oneskorenia (delay) a rozdielu oneskorenia (delay jitter—rôzne časti informácie sú doručené do cieľa s rôznym oneskorením).

Oneskorenie je definované ako časový rozdiel medzi poslaním informácie zo zdroja (t_0) a doručením informácie prijímateľovi (t_1) (obr. 2.9.).

$$D_f = t_1 - t_0 \text{ pre prvý blok informácií}$$

$$D_l = t_3 - t_2 \text{ pre posledný blok informácií}$$

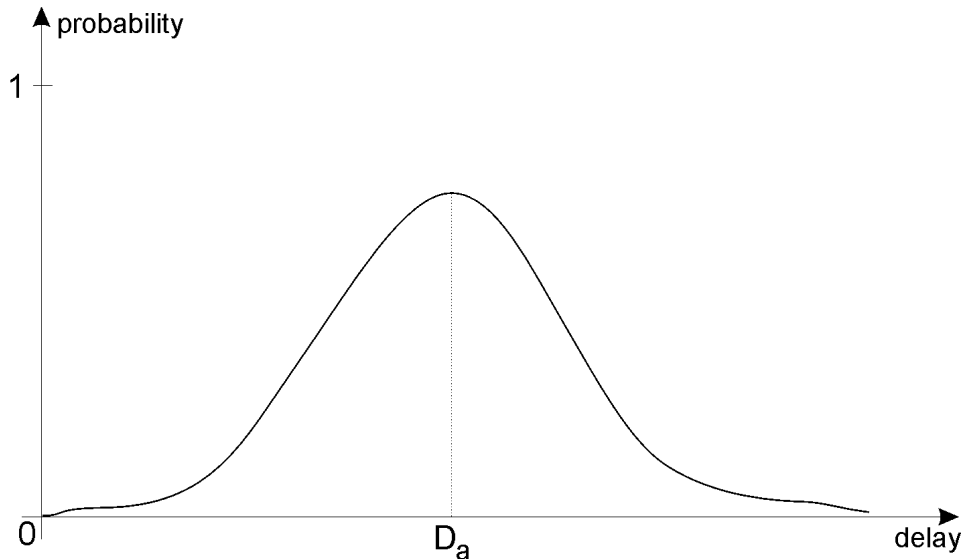


Obr. 2.9. Oneskorenie v sieti

Vo všeobecnosti môže byť oneskorenie D rôzne pre každý blok informácií (bit alebo paket) a je teda štatistickou premennou s minimálnou hodnotou D_m a maximálnou hodnotou D_M . Rozdiel $D_M - D_m$ sa nazýva rozdiel oneskorenia, ale reprezentatívnejšia je variácia oneskorenia D za určitú časovú jednotku. Nasledujúci

diagram znázorňuje pravdepodobnosť, že sa vyskytlo každé oneskorenie a ukazuje, že D je stochastická premenná.

Hodnota end-to-end oneskorenia je dôležitý parameter pre real-time služby ako hlas a video. Ak je oneskorenie príliš veľké, môžu v hlasovom spojení vzniknúť problémy s ozvenou a vytvárať nepríjemný pokles kvality. CCITT napríklad špecifikuje, že ak end-to-end oneskorenie v POTS prekročí 25 ms, tak musia byť použité eliminátory ozveny.



Obr. 2.10. Funkcia hustoty pravdepodobnosti oneskorenia

Parametre spôsobujúce oneskorenie

Oneskorenie siete sa skladá z viacerých zložiek, ktoré môžu byť rozdelené do dvoch kategórií: oneskorenie prenosu D_t (spôsobené prenosom informácie zo zdroja do cieľa) a oneskorenie spracovania D_p (spôsobené spracovaním v prepínacích uzloch, multiplexoroch, ...).

$$D = D_t + D_p$$

Oneskorenie prenosu D_t je určené fyzickou rýchlosťou média a vzdialenosťou medzi odosielateľom a príjemcom. Ak existuje len jedna cesta medzi zdrojom a cieľom, tak stochastická premenná D_t môže byť reprezentovaná Diracovou funkciou s jedinou hodnotou; v prípade, že existuje viac ciest, D_t má ohraničený počet diskretných hodnôt.

Oneskorenie spracovania D_p v uzloch je určené fyzickou implementáciou uzlov na ceste medzi zdrojom a cieľom, ale aj spôsobom manipulácie s informáciami. Napríklad v starých systémoch prenosu správ boli správy uložené niekoľko minút až hodín, až potom boli poslané ďalej. V súčasných úzkopásmových ISDN systémoch je oneskorenie spracovania veľmi krátke.

Napríklad digitálne prepínače musia mať oneskorenie v priemere menšie než 450 μ s. V budúcich prepínacích systémoch pre širokopásmové ISDN by sa malo toto oneskorenie ešte zmenšiť, pretože rýchlosť spracovania sa ešte zväčšila (150 Mbit/s a viac).

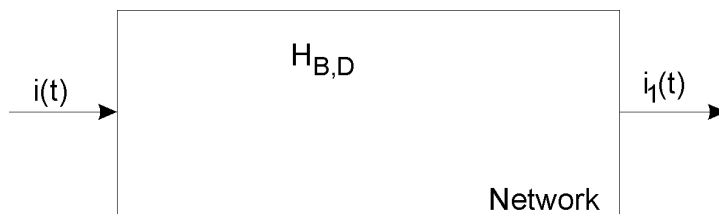
Stochastický charakter D_p je silne ovplyvnený použitým prenosovým módom, napr. ak sú informácie prenášané v paketoch a každý paket má iné oneskorenie, D_p môže byť rôzne pre rôzne informácie pri tom istom spojení.

2.3.3. Upravovanie

Dôležitým záverom tejto diskusie o časovej a sémantickej transparentii je fakt, že každá telekomunikačná sieť môže byť v podstate charakterizovaná dvoma nezávislými stochastickými premennými B (pravdepodobnostná distribučná funkcia po sebe nasledujúcich bitových chýb) a D (funkcia hustoty pravdepodobnosti oneskorenia). Sieť teda môže byť charakterizovaná prechodovou funkciou H , ktorá je funkciou B a D .

$$i_1(t) = H_{B,D}(i(t))$$

Toto znamená, že ak signál vstúpi do siete v zdroji ako $i(t)$, tak bude modifikovaný (chybami a oneskorením) a doručený do cieľa ako $i_1(t)$.



Obr. 2.11. Sieť ako prechodová funkcia

Ideálne by výstupný signál mal byť presne rovnaký ako vstupný signál, t.j. $i_1(t)=i(t)$. V praxi však nastane modifikácia signálu spôsobená zmenou alebo stratou niektorých bitov a celkovým oneskorením. Rozdiel medzi vstupným a výstupným signálom však musí ostať v určitých hraniciach. Akceptovateľný rozdiel sa líši podľa konkrétnej služby.

Niektoré real-time služby akceptujú len veľmi malú alebo žiadnu variabilitu v oneskorení. Tieto služby sa nazývajú *CBR* (continuous bit rate oriented) alebo izochrónne.

Celkové oneskorenie je tiež dôležitým parametrom. Oneskorenie nie je problémom pre jednosmerné video a hlas, stáva sa však rušivým pri obojsmerných službách. Napríklad telefónne oneskorenie nesmie byť väčšie ako 25 ms, ináč musia byť použité eliminátory ozveny, ale ani s ich použitím nemôže byť väčšie ako zhruba 500 ms, pretože už by bola narušená interaktivita konverzácie.

Na druhej strane musia ostať pod kontrolou bitové chyby. Napríklad u video aplikácií nemôže byť počet bitových chýb príliš veľký, pretože ináč bude porušená kvalita reprodukcie video signálu.

Pre každú službu je možné špecifikovať akceptovateľnú funkciu hustoty pravdepodobnosti bitových chýb a oneskorenia. Napríklad tabuľka 2.3. popisuje akceptovateľné oneskorenie, pomer bitových chýb, pomer strát paketov a pomer pridania paketov pre niektoré služby akceptovateľné v ATM sieti. Pre dátový prenos bolo pridaných ďalších 50 ms k oneskoreniu, pretože pre distribuované výpočty je treba počítať s oveľa menším oneskorením.

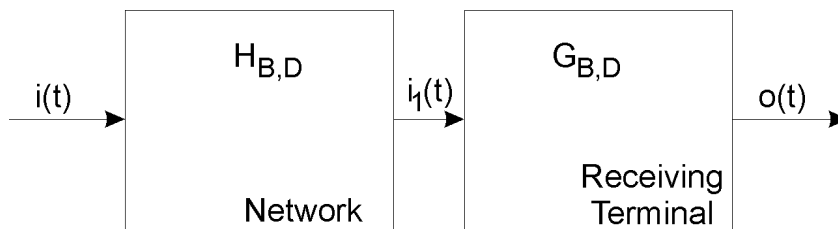
Služba	BER	PLR	PIR	Oneskorenie
Telefónia	10^{-7}	10^{-3}	10^{-3}	25 ms/500 ms
Prenos dát	10^{-7}	10^{-6}	10^{-6}	1000 ms (50 ms)
Broadcast video	10^{-6}	10^{-8}	10^{-8}	1000 ms
Hi-Fi zvuk	10^{-5}	10^{-7}	10^{-7}	1000 ms
Vzdialené riadenie	10^{-5}	10^{-3}	10^{-3}	1000 ms

Tabuľka 2.3. Atribúty služieb pre ATM sieť

V prípade, že niektoré parametre siete nespĺňajú požiadavky služieb, na cieľovom termináli je možné vykonať dodatočné spracovanie (obr. 2.12.). Dodatočná prechodová funkcia $G_{B,D}$ na cieľovom termináli skonvertuje prichádzajúci signál $i_1(t)$ na $o(t)$. V ATM sa toto dodatočne spracovanie nazýva *ATM adaptation layer*. Toto dodatočné upravovanie (conditioning) možno reprezentovať ako

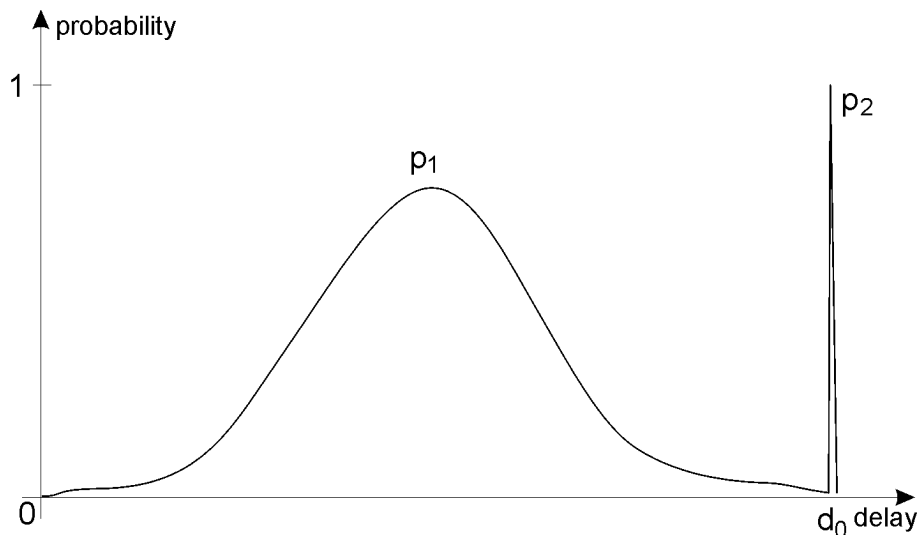
$$o(t) = G_{B,D} [H_{B,D}(i(t))]$$

Toto dodatočné spracovanie, ktoré musí byť inštalované na cieľovom termináli, je niekedy schopné s pomocou vysielajúceho terminálu (FEC, dodatočné informácie na odstránenie rozdielu oneskorenia) transformovať signál prichádzajúci zo siete na signál $o(t)$ spĺňajúci požiadavky služby.



Obr. 2.12. Sieť a terminál ako prechodová funkcia

Napríklad ak je rozdiel oneskorenia príliš veľký pre špecifickú službu, môže byť odstránený dodatočným oneskorením prichádzajúcich informácií na hodnotu d_0 (obr. 2.13.). Tento spôsob sa nazýva *circuit emulation*, pretože vzhľadom na rozdiel oneskorenia poskytuje rovnakú službu ako circuit switching.



Obr. 2.13. p_1 : funkcia hustoty pravdepodobnosti oneskorenia siete (H), p_2 : funkcia hustoty pravdepodobnosti oneskorenia po upravení na termináli (G, H)

KAPITOLA 2.4

Popis prenosových módov.

Slovami „prenosový mód“ označujeme určitú techniku používanú pri prenose, multiplexovaní a switchovaní informácií. V telekomunikačnom svete existuje veľa rôznych prenosových módov; opíšem len najdôležitejšie z nich, ktoré by sa mohli teoreticky hodiť pre použitie v BISDN.

1. CS - Circuit switching (Prepínanie okruhov)

Circuit switching sa v minulosti dosť dlho používal v telefónnych sieťach. V súčasnosti je ešte stále implementovaný napr. v NISDN. Jeho podstata spočíva vo vytvorení komunikačného okruhu medzi zdrojom a cieľom a to na celú dĺžku trvania komunikácie. Založený je na TDM (Time Division Multiplexing) metóde prenosu informácie medzi dvoma uzlami. Techniku circuit switching nazývame aj STM (Synchronous Transfer Mode).

Pri circuit switching technike sa informácie prenášajú v určitých cykloch. Základnú informačnú jednotku v jednom cykle nazývame time slot. Niekoľko spojení sa multiplexuje cez jednu linku spojením niekoľkých time slotov do frame-u, ktorý sa takisto opakovane prenáša s určitou frekvenciou.. Jedno spojenie vždy používa ten istý time slot (t.j. slot na tej istej pozícii) vo frame počas celej dĺžky spojenia. Circuit switching môže byť v switching node vnútorne implementovaný ako space switching, time switching alebo ich kombináciou.

Chyby, ktoré môžu nastať:

- chyby v jednotlivých bitoch spôsobené zlyhaním prenosových médií, burst errors – chyby vznikajúce pri protaktívnom switchovaní
- nepriame chyby vznikajúce pri strate synchronizácie frameov.

Pri prenose informácií nastáva oneskorenie, ktoré môžeme rozdeliť na oneskorenie vzniknuté pri prenose cez prenosovú linku a oneskorenie vzniknuté pri spracovaní informácie v switchi (napr. v digital narrowband switchi musí byť oneskorenie v priemere menej ako 450 μ s).

Nevýhodou circuit switchingu spočíva v tom, že je veľmi neflexibilný, pretože ak sa raz pevne stanoví dĺžka time slotu, s ním súvisiaca prenosová rýchlosť je už tiež fixná. Čiže všetky služby musia používať rovnaký počet bitov na prenos informácie a teda musia mať rovnakú prenosovú rýchlosť.

2. MCS - Multirate circuit switching

Pri tejto metóde sa používa rovnaký TDM formát ako v predchádzajúcom prípade, teda s fixovanou prenosovou rýchlosťou kanála. Rozdiel však spočíva v tom, že jedno spojenie môže používať naraz n základných kanálov (v súčasnosti sa táto možnosť využíva napr. na implementáciu služby pre videofón v NISDN).

Switchovací systém je v tomto prípade takisto zložitejší, pretože musí zabezpečovať synchronizáciu všetkých kanálov, tvoriacich jedno spojenie. Veľkým problémom je i správne zvoliť prenosovú rýchlosť základného kanála. Ak by sme ju napr. zvolili na úrovni 1kbit/s a niektorá služba by vyžadovala prenosovú rýchlosť napr. 140 Mbit/s (High Definition Television), museli by sme spojiť veľké množstvo kanálov, pričom ich synchronizácia by bola veľmi zložitá. Na druhej strane, ak by sme ju zvolili príliš veľkú, mohla by ostať značná časť jej prenosovej kapacity nevyužitá. Istým riešením, týchto problémov môže byť použitie viacerých základných prenosových rýchlostí. Každý frame sa potom skladá z time slotov o rôznych dĺžkach. Switchovací systém pozostáva z niekoľkých switchov, každý z nich dizajnovaný pre určitý typ kanálu (prenosovej rýchlosti). Ani tu sa však nevyhneme istým obmedzeniam, ako napr., že i keď by sme mali voľný kanál so základnou prenosovou rýchlosťou väčšou ako požaduje nejaká služba, ale nie je voľný kanál so základnou prenosovou rýchlosťou rovnakej veľkosti, spojenie nemôže byť vytvorené. Situácia sa môže ešte viac skomplikovať ak zoberieme do úvahy vývoj technológií a s tým súvisiace zmeny požiadaviek na veľkosti prenosových rýchlostí. Do tretice, spoločnou nevýhodou CS ako aj MCS, je, že služba po nadviazaní spojenia okupuje danú prenosovú rýchlosť i v prípade, že ju vôbec nevyužíva.

3. FCS - Fast circuit switching.

FCS vznikla ako reakcia na požiadavku rozšíriť CS, tak aby sa lepšie vyrovnávala so zdrojmi v sieti, ktoré majú kolísavou a nárazovú povahu vysielania dát. T.j. zdroje v FCS sieťach sú pridelené len ak je informácia vyslaná a odobraté hneď ak žiadna informácia vyslaná nie je.

Na začiatku si používateľ vyžiada spojenie so šírkou pásma zodpovedajúcej niekoľkým kanálom so základnou prenosovou rýchlosťou; systém nealokuje zdroje siete ihneď, ale si poznačí požadovanú šírku pásma a cieľ a na príslušnom kanále alokuje header identifikujúci dané spojenie. Header vždy signalizuje príchod informácií, na čo sú danému spojeniu poskytnuté príslušné zdroje.

Keďže zdroje sa pridávajú len na požiadanie, môže sa stať, že nebudú v danej chvíli dostatočné zdroje na uspokojenie všetkých požiadaviek.

Jednou z možností ako vylepšiť túto metódu, je použitie MFCS (Multirate FCS – je to analogické rozšírenie FCS, tak ako je MCS rozšírením CS). Samozrejme to so sebou prináša okrem výhod i množstvo problémov (zložitosť dizajnu, kontroly, neflexibilitnosť vzhľadom na vývoj požiadaviek na prenosovú rýchlosť služieb atď.)

Kvôli zrejším problémom všetkých predchádzajúcich módov, žiaden z nich nebol vybraný ako kandidát pre BISDN.

4. PS - Packet switching

V packet switching sieťach sú informácie zapuzdrené v packetoch, ktoré okrem nich nesú i dodatočné informácie potrebné vo vnútri siete pre routing, opravu chýb, kontrolu toku (flow control).

Siete tohto druhu, ako napr X.25, vznikali v 60-tych rokoch, kedy bola ešte chybovosť liniek dosť vysoká. To si vyžadovalo kontrolu chýb a toku medzi každými dvomi linkami a teda i zložitý protokol.

Packet môže mať premenlivú dĺžku, technika PS musí teda implementovať buffer management. Prenosové rýchlosti spočiatku neboli veľké, to spôsobovalo značné omeškanie prenosu, čo však nebol problém, pretože real time služby sa cez tieto siete aj tak neprenášali.

Zložitosť protokolu ešte zvyšuje oneskorenie vo vnútri siete a tým viac sťažuje implementáciu real time služieb a služieb vyžadujúcich veľké prenosové rýchlosti (desiatky/stovky Mbit/s), no napriek tomu je packet switching ešte stále veľmi efektívna metóda pre nízkorýchlostné prenosy dát, ako je to aj napr. v X.25.

Siete ako X.25 a pod. tvoria prvú generáciu packet switching sietí. Zvyšovanie kvality prenosových médií umožnilo vzniknúť druhej generácii sietí založených na technikách ako frame relay, či frame switching. Tieto techniky implementujú menej funkcií ako je to v X.25 (a to i vďaka väčšej spoľahlivosti, pretože nemusia zahŕňať takú zložitú detekciu a korekciu chýb) čo im umožňuje dosahovať vyššie prenosové rýchlosti. (napr. pre podmienky, v ktorých X.25 dosahuje 2Mbit/s, je to pre frame switch 2 až 4 krát viac a pre frame relay okolo 140 Mbit/s)

5. Fast packet switching-asynchronous transfer mode

Je to koncept, ktorý zahŕňa niekoľko alternatív s rovnakými základnými charakteristikami. Patria sem ATM (Asynchronous Transfer Mode), ATD (Asynchronous Time Division), FPS (Fast Packet Switching). Ide tu vlastne o packet switching s minimálnou implementovanou funkcionalitou v sieti. Slovo asynchronous sa v názvoch objavuje vďaka tomu, že sú tu dovolené asynchrónne operácie medzi odosielateľom a prijímateľom. Asynchrónnosť možno dosiahnuť vkladáním/vyberaním packetov neobsahujúcich žiadnu užitočnú informáciu.

Všetky z predchádzajúcich alternatív majú jednu výhodu, ktorá im zabezpečila úspech. A to možnosť prenosu akejkoľvek služby, bez ohľadu na jej požiadavky týkajúce sa rýchlosti prenosu, kvality, či bursty charakteru (ak chvíľu dáta nechodia a potom ich príde veľa). Netrpia teda na nedostatky všetkých predchádzajúcich prenosových módov: závislosť od služby, nedostatočné využitie zdrojov, bursty charakter, neprispôsobivosti k vývoju služieb (future-save), ale naopak, sú:

(1) Flexibilné a future-save

Môže sa meniť veľkosť požadovanej šírky pásma jednotlivých služieb, môžu sa objaviť služby s novými charakteristikami. ATM systém dokáže podporovať všetky z nich, bez straty efektívnosti a bez nutnosti vykonania zmien vo svojom vnútri.

(2) Efektívne využitie voľných zdrojov

Každá služba môže využívať ľubovoľný voľný zdroj.

(3) Jediná univerzálna sieť

Keďže stačí navrhnuť, spravovať a vybudovať jedinú sieť, celkové náklady na ňu budú menšie.

Základná definícia ATM, ATD a FPS

(1) Neexistencia kontroly chýb a toku na úrovni link-by-link

Vďaka vysokej kvalite liniek, vhodnej správe zdrojov a dimenzovaniu čakacích radov nie je na úrovni link-by-link (t.j. medzi dvoma uzlami na koncoch jednej linky) potrebná kontrola chýb a dosahuje sa nízky počet straty packetov, spôsobených pretečením.

Možné chyby:

- Chyby pri prenose (zmena bitov, strata pri nárazovom prísune dát) sú spôsobené "šumom", chyby pri protektívnom switchovaní, pri strate synchronizácie. V CS sieťach, na rozdiel od PS sietí, neexistuje ochrana (ako CRC, ARQ) pred takýmito chybami. V ATM je možnosť kontroly týchto chýb ale to až v rámci end-to-end protokolu.
- Strata packetov a vkladanie packetov spôsobená chyba v hlavičke packetu. V klasických PS sieťach sa problém rieši možnosťou znovu prenesenia packetu (ARQ). Táto však v ATM neexistuje. ATM poskytuje len preventívne akcie, ako je pridelenie zdrojov pri set-upe a kontrola, či ich je dostatok. Môže teda nastať strata packetu spôsobená pretečením bufferu, keďže neexistuje kontrola toku. Vďaka connection-oriented módu, je však potlačená na požadovanú úroveň.

(2) ATM pracuje v connection-oriented móde

Pred prenosom informácií z terminálu do siete sa musí najskôr vytvoriť logický/virtuálny okruh. To sa udeje, len ak je dostatok voľných zdrojov (aby sa zaručila minimálna strata packetov). Pričom to, či bude voľných zdrojov dostatok, sa vyhodnocuje štatisticky.

(3) Funkčnosť hlavičky je zredukovaná

Aby sa dosiahlo rýchlejšie spracovanie v sieti (150 Mbit/s). Slúži hlavne na identifikáciu virtuálnych spojení pri routerovaní, a to identifikátorom zvoleným pri set-upe. Umožňuje i multiplexovanie viacerých spojení cez jeden kanál.

Keďže chyba v hlavičke môže spôsobiť zlé routerovanie packetu, existujú techniky na detekciu, či korekciu chýb v hlavičke.

(4) Množstvo informácií v packete, je relatívne malé

Aby sa predišlo priveľkým buffrom a veľkému zdržaniu pri práci s ním.

ATM dovoľuje použitie niekoľkých druhov switchov. Základný princíp však ostáva vždy rovnaký: číslo vstupnej linky packetu a jeho hlavička (identifikátor z nej) sa použijú na prístup do translation table. Z nej sa získa číslo výstupnej linky a nová hodnota identifikátora do hlavičky.

Charakteristika výkonu

(1) Time transparency

Vďaka vysokej rýchlosti broadband sietí a malému množstvu informácií v packete sú charakteristiky ATM sietí dosť odlišné od klasických PS sietí.

Charakteristika oneskorenia v ATM

Na oneskorenie v ATM sieťach má vplyv viacero častí siete, ktoré spolu dávajú celkové oneskorenie. Oneskorenie takto môžeme rozdeliť na:

(a) Transmission delay (TD)

Závisí od vzdialenosti koncových bodov a typu prenosového média. Nezávisí od prenosového módu. Zdržanie je tu približne 4 až 5 μ s.

(b) Packetization delay (PD)

Vzniká zakaždým, keď sa real-time služba (zvuk, video) konvertuje do packetov. V jednoduchých ATM sieťach je konverzia potrebná len na začiatku. V zmiešaných sieťach sa packetizacia vykonáva na každom prechode z neATM do ATM siete.

(c) Switching delay (SD)

Skladá sa z pevnej časti fixed switching delay (FD) a premenlivej časti, súvisiacou s buferovaním, queuing delay (QD):

- FD - Spôsobená spracovaním a prenosom packetu cez hardware. Keďže switche pracujú na veľkých rýchlostiach, možno dosiahnuť aby toto oneskorenie bolo dosť malé.
- QD – Toto oneskorenie závisí od zaťaženia siete a od správania sa čakacích radov. Ich správanie charakterizuje pdf (probability density function) dĺžky radu a vlastne popisuje správanie sa radu zo štatistického hľadiska. Namiesto popisu pdf budeme používať len quantil q . To je oneskorenie, ktoré sa presiahne s pravdepodobnosťou 10^{-q} .

(d) Depacketization delay (DD)

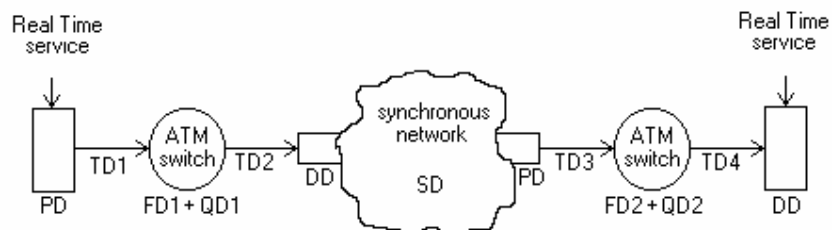
Real-time služby vyžadujú v cieľovom bode, alebo pri prechode do synchronných neATM sietí dodatočné oneskorenie, aby sa tak zrekonštruoval pôvodný synchronný dátový tok. Toto oneskorenie môžeme opäť popísať pomocou quantilu q . Samozrejme ak oneskorenie spôsobené prechodom packetu sieťou je väčšie ako DD, packet sa uvažuje akoby bol stratený. To nastane s pravdepodobnosťou 10^{-q} . Keďže táto strata sa zaráta do celkovej straty packetov v sieti, hodnotu 10^{-q} sa musíme snažiť držať nízku.

$$D_1 = \sum_i TD_i + \sum_j FD_j + \max q \int QD_j + PD$$

$$D_2 = \sum_i TD_i + \sum_j FD_j + \sum_k \max q \int QD_{jk} + k.PD + \sum_l SD_l$$

Celkové oneskorenie v ATM sieti teda vypočítame ako D_1 a v zmiešanej sieti ako D_2 :

i = počet prenosových liniek, j = počet ATM switchov, k = počet ATMovských častí siete, j_k = počet ATM switchov v k -tej časti, l = počet synchronných výmen, SD = oneskorenie pri prenose v synchronnej neATM sieti.



Hodnoty v ATM sieťach

Uvažujme vzdialenosť medzi zdrojom a cieľom 1000 km, spôsobujúcu oneskorenie 4500 μ s; 2 synchrónne switche, každý s oneskorením 450 μ s; 3 typy dĺžok pre informácie v packete (16, 32, 64 byte); 2 typy prenosových rýchlostí (150, 600 Mbit/s); 8 ATM výmen (ATM switchov). TD závisí len od dĺžky, takisto SD neATM switch-ov nezávisí od ATM siete.

Packetization delay (PD)

Závisí od dĺžky packetu a rýchlosti zdroju. Čím dlhší je packet, tým je PD väčšie. Čím je kratší, tým je menšia efektívnosť prenosu (veľkú časť prenosu zaberajú hlavičky). Ak uvažujeme úplné využitie packetu, potom pri zvuku s rýchlosťou 64 kbit/s je výsledok od 2 (16 byte) do 8 (64 byte) ms. Pre vysokorýchlostné služby (2 Mbit/s a viac) sa PD stáva veľmi malým (125 μ s).

Fixed switch delay (FD)

Závisí od implementácie, no v závislosti od dĺžky packetov je to rádovo desiatky packetov na jednu výmenu (switching exchange). Pre naše dĺžky a rýchlosti dosahujeme výsledky medzi 2 až 32 μ s na jednu výmenu.

Queuing delay (QD)

Vo veľkej miere závisí od vytťaženia liniek v sieti a od povolenej pravdepodobnosti straty packetov. Platí, že pri vytžaní siete na 80% začína dĺžka bufferu a oneskorenia rásť exponenciálne. Preto sa typicky uvažuje hodnota v rozmedzí do 80%. Väčšina switching architektúr vyžaduje maximálne niekoľko desiatok packetov na jeden buffer. V jednoduchej architektúre stačí jeden takýto buffer (16 in a 16 out linek v switchi), v zložitejších (tisíciky in a out) je ich viacero usporiadaných za sebou. Typické oneskorenie pri vytžaní 80%, pravdepodobnosti stray packetu 10^{-10} a 50 po sebe idúcich radov, je 235 packetov. Pre dĺžku packetu medzi 16 – 64 byte rýchlosťou spracovania radu 150 – 600 Mbit/s, znamená 235 packetov oneskorenie medzi 50 až 800 μ s.

Depacketization delay (DD)

Odstraňuje delay jitter (nerovnosti v oneskoreniach jednotlivých packetov). Jej veľkosť závisí od konvolúcie oneskorenia v čakacích radoch. Pri rovnakých predpokladoch ako sme mali pri QD, potom jitter, ktorý treba odstrániť je v rozmedzí 50-800 μ s. Túto hodnotu ako takú neprípočítavame, pretože sme už predpokladali maximálnu hodnotu QD (takže jitter je už v tej hodnote započítaný).

Záver o oneskoreniach

Vo všeobecnosti platí, že najdôležitejší faktor, vplývajúci na veľkosť oneskorenia, je PD, a to najmä pri sieťach s dlhšími packetami, nízkymi prenosovými rýchlosťami a väčším počtom ATM-neATM prechodov.

Ak sa chceme vyhnúť príliš veľkým oneskoreniam, dĺžka packetov by nemala byť veľmi veľká. Problém nastáva ak sa presiahne hodnota oneskorenia 24 ms, vtedy totiž začne vznikať efekt ozveny a je treba inštalovať rušiče ozveny. Takisto DD bude v príjemcovi väčšia, čo si vyžiada zložitejší buffering. Riešenie sú kratšie packety.

(2) Semantic transparency

Chovanie sa chýb v ATM je odlišné ako v klasických PS sieťach. Na celkovú chybovosť ATM systému vplývajú 3 faktory:

- Prenosové chyby v poli informácií

- Pretečenie bufferu v switchi
- Strata a vloženie packetu chybou v hlavičke

Prvý typ chyby nesúvisí s ATM architektúrou, rozoberieme si preto bližšie len druhé dve chyby:

Strata packetov spôsobená chybou v hlavičke

Táto chyba môže spôsobiť, že hodnota v hlavičke sa bude zhodovať s číslom nejakého iného spojenia, vtedy vlastne vznikne dvojnásobná chyba vinou zlého prerouterovania. Ak spojenie s takýmto číslom neexistuje, packet sa zničí a nastáva tak chyba len v jednom spojení. Predpokladajme, že hodnota BER prenosového systému je B . Môžeme uvažovať 2 prípady:

- Ak je táto chybovosť sústredená tak, že vznikne chybný úseku s dĺžkou väčšou ako jeden packet. Vtedy je informácia v payloade chybná tak či tak, takže každá chyba v hlavičke zapríčiňuje stratu packetu, nespôsobuje priamo násobnú chybu.
- Chybovosť je rovnomerne rozložená na všetky prenášané bity. V prípade zmeny jedného bitu v hlavičke nastáva strata packetu a multiplikácia (t.j. malá chyba v hlavičke spôsobila stratu všetkých prenášaných informácií) chyby. Toto môžeme spočítať nasledovne:

Predpoklady:

H = priemerná dĺžka packetu

i = dĺžka poľa informácií v packete

h = dĺžka hlavičky

$H = i + h$

ATM switch používa všetky bity v hlavičke na zistenie cieľa.

Potom pravdepodobnosť, že chyba sa objaví v hlavičke je:

$$\frac{h}{h+i} \cdot B$$

Pravdepodobnosť, že sa chyba vyskytne v poli informácií:

$$\frac{i}{i+h} \cdot B$$

Majme zjednodušený model pozostávajúci z jedného ATM switcha, prijímajúci informácie, ktorých chybovosť je B a sám už ďalšie chyby nespôsobuje. Celková chybovosť je teda súčet chybovosti hlavičky a poľa informácií. Ak switching systém interpretuje hlavičku, môžu nastať 3 prípady:

(1) *Chyby v hlavičke nie sú detekované ani opravené* – vykoná sa nesprávne routerovacie rozhodnutie. V najhoršom prípade, ak každá chyba spôsobí zlé prerouterovanie bude chybných $2 \cdot i$ bitov. To vyústi do celkovej chybovosti:

$$B_1 = \frac{h}{h+i} \cdot B \cdot 2i + \frac{i}{h+i} \cdot B = \frac{i(2h+1)}{h+i} \cdot B$$

Multiplifikačný efekt chybovosti je teda $M_1 = B_1/B = \frac{2h+1}{1+h/i}$

(2) *Chyby v hlavičke sú detekované, ale neopravené* – i bitov nedorazí do cieľa. Celková

Broadband ATM Switching

$$B_2 = \frac{h}{h+i} \cdot B \cdot i + \frac{i}{h+i} \cdot B = \frac{i(h+1)}{h+i} \cdot B$$

chybovosť:

Multiplifikačný efekt:

(3) Chyby v hlavičke sú opravené – všetky bity sú doručené správne.

$$B_3 = \frac{h}{h+i} \cdot B \cdot \frac{1}{1+h/i} = \frac{h+1}{h+i} \cdot B = \frac{i}{h+i} \cdot B$$

Celková chybovosť:

Multiplifikačný efekt: je menší, ako jedna, teda žiadna

multiplikácia $M_3 = \frac{1}{1+h/i}$ nenastane.

T.j. čím je hlavička dlhšia (vzhľadom na konštantnú dĺžku dát), tým je multiplifikačný efekt väčší. Takže vidíme, že v prípade (1) sa ľahko dosiahne multiplifikačný faktor okolo 100, v prípade (2) je to stále ešte okolo 50. V prípade (3) dokážeme opraviť všetky (i viacnásobné) chyby. Avšak oprava všetkých chýb použitím FEC (forward error correction) je zložitá a vyžaduje príliš veľa dodatočných informácií. Používajú sa preto jednoduchšie metódy.

Väčšina chýb, ktoré sa vyskytnú, sú buď jednobitové, alebo viacnásobné. Vtom druhom prípade, je ich oprava zložitejšia. Zvyčajne, sú však pri nich poškodené aj dáta, takže oprava hlavičky nemá veľký význam. Implementuje sa preto len oprava jednobitových chýb, ktorá má však v prípade, viacnásobnej chyby, za následok nesprávnu opravu, zlé prerouterovanie, multiplifikačný efekt a teda celkovo opačný účinok.

Vďaka tomu je veľmi zaujímavý adaptívny mechanizmus detekcie/opravy chýb: Pracuje v dvoch módoch, *korekčnom* a *detekčnom*. Normálne sa nachádza v korekčnom móde a opravuje jednobitové chyby. Po každej oprave sa prepne do detekčného módu a ostáva v ňom, pokiaľ nepríde prvá bezchybová hlavička. Všetky doterajšie packety zničí. Tým sa dosiahlo, že v prípade nárazových chýb sa zle prerouteruje len prvý chybný packet. V prípade, že to bola len jednobitová chyba a ďalší packet je správny routovanie prebehlo korektne.

Z detekčného do korekčného sa prepne i v prípade, že dorazil packet s jednobitovou chybou. Tento algoritmus je jednoduchý na implementáciu vhodný pre jednobitové chyby v hlavičke a nárazové chyby.

Definícia veľkosti paketov

Pri návrhu ATM bolo treba určiť, či sa budú používať pakety pevnej alebo variabilnej dĺžky a taktiež špecifikovať ich veľkosť (to v prípade, ak sa rozhodneme pre pevnú dĺžku), alebo rozsah ich veľkosti (pre prípad výberu variabilnej dĺžky paketov). Ukážeme si, že tento výber ovplyvnilo viacero faktorov.

Variabilná verus fixná dĺžka paketov

Prvotná definícia ATD (*Asynchronous Time Division*) uvažovala iba o veľmi krátkych paketoch pevnej dĺžky (16 bytov). Naproti tomu FPS (*Fast Packet Switching*) bolo zase navrhnuté pre pakety variabilnej dĺžky. Najhlavnejšie faktory, ktoré ovplyvňujú výhody a nevýhody oboch riešení sú využitie šírky pásma, výkonnosť prepínania (tu treba brať ohľad aj na zložitosť prepínačov) a oneskorovanie.

Využitie šírky pásma

Pretože pakety obsahujú aj hlavičku, efektívnosť prenosu vypočítame ako

$$\eta = \frac{\# \text{ dátových bytov}}{\# \text{ dátových bytov} + \# \text{ bytov hlavičky}}$$

Pakety pevnej dĺžky

Vďaka tomu, že pakety majú pevnú dĺžku, efektívnosť prenosu vypočítame ako

$$\eta^F = \frac{X}{\left\lceil \frac{X}{L} \right\rceil \cdot (L + H)}$$

kde L = Veľkosť dátovej časti paketu v bytoch

H = Veľkosť hlavičky v bytoch

X = Celková veľkosť prenášaných dát v bytoch

Efektívnosť je optimálna pre násobky veľkosti dátovej časti paketu t.j. $\left\lceil \frac{X}{L} \right\rceil \cdot L = X$.

V optimálnom prípade efektívnosť vypočítame $\eta_{FOPT} = \frac{L}{L + H}$.

Efektívnosť teda závisí od veľkosti prenášaných dát – pri veľkom dátovom bloku možno dosiahnuť optimálnu efektívnosť. Naproti tomu pri použití malého bloku dát je efektívnosť dosť nízka. Posúdme teraz efektívnosť prenosu vzhľadom na možné aplikácie:

- *Prenos zvuku* – je to CBR (Continuous Bit Rate) služba. Ak chceme dosiahnuť optimálnu efektívnosť, musíme kompletne vyplňať pakety, čím do prenosu zvuku zavedieme akési oneskorenie. Čím bude veľkosť paketu väčšia, väčšie bude aj oneskorenie.
- *Prenos videa* – ak použijeme kódovanie s konštantným dátovým tokom, dostávame situáciu ako pri prenose zvuku. Pri kódovaní s variabilným dátovým tokom môže nastať situácia, keď dátový paket nebude vyplnený úplne, čo znižuje efektívnosť prenosu. Avšak pri prenose videa sa jedná o veľké množstvá dát, a teda dospejeme skoro k optimálnej efektívnosti.
- *Dáta* – tu je rozdiel medzi nízko a vysokorýchlostnými aplikáciami. V prvom prípade (napr. vstup z klávesnice) sa dosahuje pomerne malá efektívnosť (10%). Pri vysokých rýchlostiach (napr. FTP) je opäť vysoká efektívnosť, napríklad prenos 1000b súboru sa dosahuje efektívnosť 89%.

Keďže prenos vo vysokorýchlostných sieťach bude tvoriť prenos zvuku, videa a dát, celková efektívnosť bude optimálna aj pri použití paketov pevnej dĺžky.

Pakety variabilnej dĺžky

Pri variabilnej dĺžke paketov musíme do hlavičky zahrnúť aj pár bitov na indikáciu dĺžky prenášanej informácie, prípadne aj kontrolný bit na detekciu chýb. Efektívnosť prenosu

potom vypočítame ako $\mu^V = \frac{X}{X + H + h_v}$, kde h_v sú spomínané pridané bity. Pri prenose

paketmi variabilnej dĺžky dosahujeme opäť veľmi vysokú efektívnosť (skoro 100%), a to hlavne pre veľké pakety.

Záver

S ohľadom na efektívnosť prenosu môžeme skonštatovať, že pakety variabilnej dĺžky poskytujú lepšiu efektívnosť ako pakety pevnej dĺžky. Avšak ak sa pozrieme na konkrétne využitie širokopásmových sietí, zistíme, že tento prínos nie je až taký výrazný.

Rýchlosť prepínania a jeho zložitosť

Zložitosť prepínania paketov pevnej alebo variabilnej dĺžky závisí na funkciách, ktoré chceme vykonávať, a na ich technologických požiadavkách. Najdôležitejšie faktory, ktoré ovplyvňujú zložitosť prepínačov sú rýchlosť operácií a veľkosť pamäte použitej na frontu v nich.

Rýchlosť operácií

Rýchlosť závisí na vykonávaných funkciách a čase dostupnom na ich vykonanie.

- *Spracovanie hlavičky*

Spracovanie hlavičky je dôležitou časťou ATM prepínačov. Predpokladajme identické funkcie hlavičky pri paketoch ako pevnej, tak i variabilnej dĺžky. V prvom prípade pri paketoch veľkosti 48 + 5 bytov musí prepínač spracovať hlavičku za 2.8 μ s, ak chce dosiahnuť rýchlosť 150 Mbits/s.

Pri variabilnej dĺžke paketov musíme zobrať do úvahy najhorší prípad (t.j. 5 + 5 bytov) pri rýchlosti 150 Mbits/s, z čoho dostávame iba 533 ns.

- *Manažment fronty*

V prípade paketov pevnej dĺžky je tu situácia jednoduchšia, pretože bloky v pamäti sú rovnako veľké. Preto stačí použiť jednoduché algoritmy na správu pamäte. Pri variabilnej dĺžke paketov už treba použiť rýchle implementácie algoritmov FindBest, FindFirst a podobne. Tu je tiež náročnejší aj pamäťový manažment.

Veľkosť pamäte použitej na frontu

Pamäťové nároky systému pre pakety s pevnou dĺžkou závisia od zaťaženia siete a prijateľného stratového pomeru. Pre systém s variabilnou dĺžkou paketov je určenie veľkosti pamäte ešte komplikovanejšie a závisí aj od aktuálneho mixu dĺžok paketov. Opäť je najjednoduchšie uvažovať o najhoršom prípade, teda pre najväčšiu dĺžku paketu. Preto pri tomto pohľade je výhodnejšia pevná dĺžka paketu oproti dlhým paketom variabilnej dĺžky. Lepší odhad možno urobiť len veľmi ťažko, pretože nepoznáme aktuálny mix dĺžok paketov.

Záver

Obidva parametre, t.j. rýchlosť operácií aj veľkosť pamäte sa dajú lepšie dosiahnuť pri použití paketov pevnej dĺžky.

Oneskorenie

Je dobré, keď veľkosť ATM paketov nie je príliš veľká, aby sa do systému nevneslo príliš veľké oneskorenie, čo je nevhodné zvlášť pre systémy bežiacie v reálnom čase (napr. prenos zvuku).

Súhrn o použití pevnej alebo variabilnej dĺžky

Pre širokopásmové siete, ktoré sú určené hlavne na prenos zvuku, videa a dát, je prínos z použitia paketov variabilnej dĺžky zanedbateľný oproti výhodám použitia fixnej veľkosti paketu, čo umožní hlavne menšiu zložitosť prepínačov. Preto sa aj experti z CCITT zhodli na použití paketov fixnej veľkosti, ktoré nazvali cell.

Veľkosť ATM cellu

Keď sme sa rozhodli pre pevnú veľkosť paketu, treba určiť jeho veľkosť. Zasa tu máme viacero faktorov, ktoré musíme brať do úvahy. Sú to efektívnosť prenosu, oneskorenie (ktoré vzniká pri vytváraní plných paketov ako aj pri ich čakaní vo frontách prepínačov) a zložitosť implementácie.

Efektívnosť prenosu

Efektívnosť prenosu je daná pomerom medzi veľkosťou hlavičky a veľkosťou dátovej časti. Ak predpokladáme kompletne vyplnený paket, dostávame $\eta_H = \frac{L}{L+H}$. Teda čím väčšia je dátová časť, tým väčšiu efektívnosť dostávame.

Oneskorenie

Niektoré parametre oneskorenia sú ovplyvňované veľkosťou paketu viac, iné menej. Medzi hlavné kategórie oneskorenia patria:

Oneskorenie pri naplňaní paketov

Toto oneskorenie sa zväčšuje tým viac, čím väčšia je dátová časť paketu. Keďže táto veľkosť podstatne ovplyvňuje celkový výkon siete, môžu tu nastať problémy s jej časovou transparentnosťou, čo často vyžaduje použitie techník na rušenie ozvien hlavne pri prenose zvuku.

Oneskorenie pri prechode sieťou

Toto oneskorenie musí byť čo najmenšie hlavne pre hlasové prenosy. CCITT odporúča, že maximálne akceptovateľné oneskorenie by malo byť 24 ms (bez potreby rušičiek ozveny). Ak oneskorenie prekročí túto hodnotu, treba už použiť spomínané rušičky ozvien. Pri národných hovoroch možno dosiahnuť oneskorenie okolo 4 ms, avšak ak by sa prenos realizoval kombináciou ATM a inej siete, hodnotu 24 ms veľmi ľahko prekročíme.

Zoberme si príklad 1000 km prenosu s použitím 8 ATM prepínačov a 2 ATM-to-NonATM zariadení. Oneskorenie, ktoré nastane pre 32 bytové celly je okolo 14 ms, ale už pri použití 64 bytových cellov bude oneskorenie až 22 ms. Toto je dosť reálny prípad použitia, preto pri voľbe veľkých cellov by ATM nebolo vhodným médium na prenos zvuku. Preto sa na výber veľkosti cellu môžeme pozrieť z viacerých pohľadov:

- Malý cell (32 a menej bytov), ktorý je vhodný skoro pre všetky zvukové prenosy
- Veľký cell (64 a viac bytov), kde môžeme uvažovať o dvoch prípadoch:
 - Použiť rušičky ozvien pre väčšinu zvukových prenosov.
 - Celly naplňať iba sčasti, čím znížime oneskorenie pri naplňaní paketov, ale to na úkor prenosovej efektívnosti. Na druhej strane zasa nepotrebujeme rušičky ozvien.
- Stredný cell (32 – 64 bytov). Použitím takýchto cellov sa môžeme vyhnúť rušičkám ozvien vo väčšine prípadov, kde počet ATM uzlov a prechodov na inú sieť nie je príliš veľký. Tiež môžeme aplikovať čiastočné vyplňanie cellov.

Oneskorenie vo frontách a pri depaketizácii

Oneskorenie vo frontách je ovplyvnené pomerom veľkostí dátovej časti L a hlavičky H . Ak zväčšíme veľkosť dátovej časti, zväčšíme aj toto oneskorenie. Na druhej strane ak dátovú časť zmenšíme, oneskorenie sa opäť zväčší, pretože vlastne relatívne zväčšíme veľkosť hlavičky, a preto čas potrebný na prenos nejakého množstva dát bude dlhší. Avšak celkový rozdiel medzi veľkosťami cellu 32 a 64 bytov je zanedbateľný, a to hlavne pri vysokej prevádzke na sieti (jedná sa asi o 40 μ s).

Oneskorenie pri depaketizácii je akýmsi spojením oneskorenia vo viacerých frontách. Je taktiež ovplyvňované veľkosťou cellu. Ak by celkové oneskorenie bolo príliš veľké, vyžaduje si to veľký buffer na strane príjemcu.

Implementačná zložitosť

Táto je určená dvoma faktormi a to sú rýchlosť a počet cellov krát jeho veľkosť. Na garanciu zvoleného stratového pomeru musíme poznať počet cellov vzhľadom na frontu. Toto číslo nezávisí od veľkosti cellu, ale na druhej strane čím väčší cell máme, tým väčšiu pamäť na frontu musíme použiť. Zväčšenie cellu tiež zväčšuje aj čas potrebný na jeho spracovanie, a teda znižuje možnú dosiahnuteľnú prenosovú rýchlosť.

Napríklad ak zoberieme do úvahy rýchlosť 150 Mbit/s, frontu veľkosti 50 cellov a hlavičku veľkosti 4 byty, dospejeme k takýmto výsledkom:

- pre 16-bytový cell potrebujeme 8.000 bitov pamäte, ale na spracovanie cellu máme maximálne 1 μ s.
- pre 256-bytový cell potrebujeme viac ako 64.000 bitov pamäte, a na spracovanie cellu máme už 15 μ s.

Čas, ktorý sme zistili, však nie je rozhodujúci, pretože aj za 1 μ s sa dá cell spracovať. Preto sa orientujeme hlavne na pamäťovú zložitosť.

Záver

Na veľkosť cellu vplyvajú protichodné faktory, ale najpreferovanejšie veľkosti sú medzi 32 a 64 bytov. Výber je teda ovplyvnený hlavne celkovým oneskorením, efektívnosťou prenosu a zložitosťou implementácie.

Pri konečnom rozhodnutí boli preferované veľkosti 32 bytov (Európa) a 64 bytov (USA a Japonsko). Výsledná veľkosť 48 bytov bola schválená aj v CCITT a bol to kompromis medzi oboma možnosťami.

Funkčnosť hlavičky (Kap. 2.4.5.4)

Virtuálne spojenia

ATM používa iba malú hlavičku. Ostatné potrebné informácie boli poskytnuté už pri vytvorení spojenia. Informácie ako adresa prijímateľa, sekvenčné číslo a podobne nie sú preto treba tak, ako je to nutné pri nespájaných sieťach. Každé virtuálne spojenie je identifikované číselným identifikátorom, ktorý má iba lokálny význam pre spojenie.

Mechanizmus na kontrolu toku cellov (*flow control*) ako napríklad ARQ (Automatic Repeat reQuest) ATM nepodporuje, pretože pri rýchlosti od 150 Mbit/s by sa prenieslo veľké množstvo dát, kým by sa dostavila reakcia, čo by spôsobilo nízku efektívnosť.

Hlavička teda musí identifikovať virtuálne spojenie. Na to sú v nej obsiahnuté dva identifikátory a to: VCI (*Virtual Channel Identifier*), ktorý identifikuje dynamicky alokované spojenia a VPI (*Virtual Path Identifier*), ktorý identifikuje staticky alokované spojenia.

Virtuálne kanály

Na identifikáciu virtuálneho kanálu v hlavičke slúži VCI. V budúcnosti sa budú vo veľkom používať optické káble, ktoré sú schopné prenášať stovky Mbit/s, ale virtuálne kanály budú často prenášať iba kbit/s. Preto po jednom optickom spojení môžu byť prenášané rádovo až niekoľko desiat tisícov virtuálnych kanálov. Toto vyžaduje až 16 bitový VCI identifikátor. Pretože ATM je založená na spojitých komunikáciách, každé spojenie je charakterizované VCI a toto je vybrané pri vytváraní kanálu. VCI má iba lokálny význam pre spojenie medzi uzlami ATM. Po ukončení komunikácie niektorým kanálom sa uvoľní aj jeho VCI, ktorý bude opäť použiteľný.

Virtuálne cesty

Sú to polopermanentné spojenia medzi dvomi koncovými uzlami. Cez ne sa budú prepravovať viaceré simultánne spojenia (teda viaceré kanály). Takýto návrh umožňuje vytvárať virtuálne siete. Ďalšou výhodou takto alokovaných ciest je menšia náročnosť riadenia siete a sieťových zdrojov. Na vytvorenie takýchto virtuálnych sietí slúži VPI.

Manažment týchto virtuálnych ciest neprebíha iba nad jedným spojením, ale väčšinou je na úrovni zväzkov takýchto spojení. Preto VPI má 8 – 12 bitov, čo umožňuje 256 až 4096 virtuálnych ciest. Každá z týchto ciest môže obsahovať až 64 K virtuálnych kanálov určených pomocou VCI.

Priorita

Ďalšou funkciou, ktorú hlavička cellu zabezpečuje, je určenie rôznych priorít logických spojení. Priorita je požadovaná kvôli tomu, že pomocou nej sa dá sieť lepšie štrukturovať na logické podsiete. Priorita je užitočná aj pri vysokom zaťažení siete, kde môžeme v prípade potreby obetovať celly s nízkou prioritou.

Rozlišujeme dva druhy priorít, a to časová priorita a sémantická priorita. Časová priorita predpokladá, že niektoré celly môžu byť v sieti pozdržané dlhšie ako iné, teda pre niektoré spojenia sa vytvorí lepšia časová transparentnosť na úkor iných. Sémantická priorita zasa určuje celly, ktorých strata nie je až taká významná, teda sa tým definuje rôzna sémantická transparentnosť.

Prioritu môžeme priradiť či už celej virtuálnej ceste, kanálu prípadne aj samotným cellom. Prioritu možno definovať explicitne v hlavičke alebo implicitne pri nadviazaní virtuálneho spojenia.

Riešením s implicitnou prioritou môžeme definovať viacero úrovní priorít, ale na jeho implementáciu treba použiť tabuľky v prepínačoch, čo môže byť náročnejšie na implementáciu. Explicitné priority síce zaberú miesto v hlavičke, ale ich vyhodnocovanie bude oveľa jednoduchšie. Preferovaný je malý počet explicitných prioritných bitov (0 – 4 bity).

Údržba

Na podporu správy siete a na monitorovanie výkonu sú pridané do hlavičky ešte ďalšie informačné bity. Výhodné je použiť bit na rozlíšenie normálnych a údržbových dát. Táto technika sa volá PTI (Payload Type Identification). V takto odlišených celloch môže sieť posielat rôzne informačné a testovacie dáta (napr. pre CRC, kvalitu spojenia).

Do cellu je vhodné umiestniť aj paritný bit, ktorým dokážeme monitorovať chyby (nepárneho počtu bytov). ATM používa v súčasnosti 0 – 2 údržbové bity.

Viacnásobný prístup

Ide vlastne o spojenie typu *point-to-multipoint*, keď z jednej fyzickej adresy možno dáta smerovať k viacerým koncovým užívateľom a to len za použitia toho istého spojenia. Na takúto funkciu opäť treba rozšíriť hlavičku cellu o nejaké ďalšie bity (0 – 8 bitov, čo závisí od MAC – *Medium Access Control*).

Ochrana hlavičky proti chybám

Ak nastane pri prenose hlavičky cellu chyba, toto môže mať negatívny vplyv na výkon siete, pretože zrejme nedorazí na správne miesto, ale môže nastať aj rozšírenie ďalších chýb. Preto je výhodné hlavičku doplniť o mechanizmus detekcie aspoň jednobitových chýb. Vhodným mechanizmom je použitie cyklického BCH kódu (Bose-Chadhuri-Hocquenghem). Napríklad ak chceme ochrániť 64bitový blok proti chybe jedného bitu, ktorú chceme vedieť aj opraviť, použijeme navyše 7 bitov. Tieto navyše ešte umožnia detekovať aj chyby väčšieho počtu bitov (ale už nie opraviť). Percentuálnu úspešnosť detekcie chýb a korekcie chýb jedného bitu je uvedená v nasledujúcej tabuľke.

# pridaných bitov → # chránených bitov ↓	6	7	8
32	48%	74%	89%
40	36%	68%	84%
48	23%	62%	81%

Hlavička ATM cellu je rozdelená podľa nasledovnej tabuľky. Špecifikácia podľa CCITT rozlišuje dva druhy hlavičiek, a to pre NNI (*Network Node Interface*) a pre UNI (*User Network Interface*).

funkcia	potrebné bity	CCITT (NNI / UNI)
VCI	8 – 16	16
VPI	8 – 12	12 / 8
Priorita	0 – 4	1
Údržba a typ cellu	0 – 2	2
Point-to-multipoint	0 – 8	0 / 4
HEC	0 – 8	8
RESERVED	0 – 6	1
SPOLU	16 – 56	40

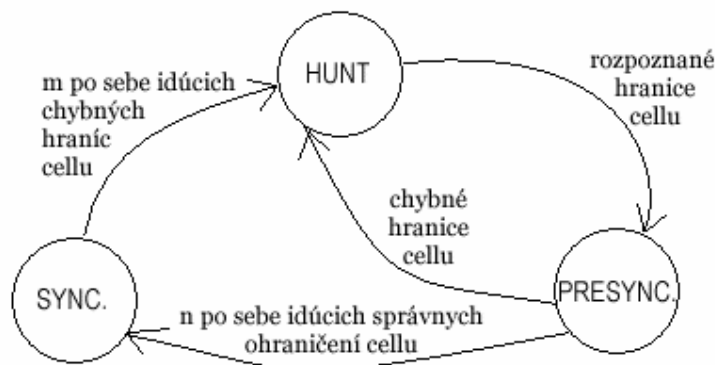
Podporné funkcie (Kap. 2.4.5.5)

Vo všetkých systémoch založených na prepínaní paketov musí byť prijímateľ schopný určiť hranice paketu. Napríklad HDLC, kde sú povolené pakety variabilnej dĺžky sa na označenie konca paketu používa istá vzorka bitov. Treba však zaručiť, aby sa nevyskytovala súčasne aj v pakete (to je zabezpečené technikou „bit stuffing“).

Vzorku bitov možno použiť aj v ATM, ale „bit stuffing“ je kvôli vysokým rýchlostiam ATM nevhodné. Avšak vďaka pevnej veľkosti paketov tu možno použiť namiesto „bit stuffing“ aj iné techniky. Ich podstatou je:

- Použiť prázdne celly
- Kontrolovať HEC (Header Error Code)
- Periodická synchronizácia cellov

Každé z týchto riešení možno opísať stavovým diagramom zo stavmi HUNT, PRESYNC a SYNC. V stave HUNT iba monitoruje linku a hľadá (napr. bit po bite), či nenájde nejaké hranice cellu. Ak ich nájde, prejde do stavu PRESYNC, kde kontroluje cell po celle ich hranice. Ak ich nájde n , potom sa prepne do stavu SYNC. Z tohto stavu odíde, iba keď stratí m po sebe nasledujúcich hraníc cellov. Parametre n a m určujú, ako rýchlo sa systém zosynchronizuje, a ako rýchlo odhalí opak.



Použitie prázdnych cellov

Prázdne celly sú charakterizované použitím špecifickej hodnoty v hlavičke. V stave HUNT hľadáme vo vstupných dátach špecifickú hodnotu hlavičky. Treba zabezpečiť, aby sa táto postupnosť nevyskytovala v ostatných regulárnych dátach.

V stave PRESYNC sa opäť hľadá táto hodnota na potvrdenie hraníc cellu. Pretože prázdne celly prichádzajú po linke iba keď neprebíha žiadna iná komunikácia, niekedy sa bude na ne musieť čakať dlhšie. Podobná situácia je aj v stave SYNC.

Kontrola HEC

Táto metóda využíva vzájomný vzťah medzi bitmi hlavičky a nasledovnými bitmi cyklického HEC kódu.

V stave PRESYNC kontrolujeme bit po bite blok, ktorý by vyhovoval pravidlám HEC kódu. Ak nevyhovuje, presunieme sa o bit ďalej. Ak takýto blok nájdeme, prepne sa do PRESYNC, kde potom ich rátame až do n takýchto blokov a prepne sa do SYNC. Zo stavu SYNC odchádzame po m chybných HEC kódoch do stavu HUNT.

Problémom je, keď sa blok, ktorý spĺňa HEC kód nachádza aj v dátovej časti cellu. Vtedy ľahko stratíme synchronizáciu, prípadne ju ťažšie obnovíme. Preto sa používa technika scramblingu, ktorá zabezpečí, že dátový blok je pseudonáhodnou postupnosťou, čím sa zníži pravdepodobnosť výskytu vzorky, ktorá by bola aj HEC kódom.

Periodická synchronizácia cellov

Môže sa stať, že predchádzajúce riešenia z nejakých dôvodov nevyhovujú. Ďalšou možnosťou je použiť periodickú synchronizáciu cellov, ktorá je založená na periodickom vkladaní synchronizačných cellov do dátového toku. Takýto cell je charakterizovaný napríklad špeciálnou hlavičkou. Tento druh synchronizácie je vlastne špeciálnym prípadom prvého riešenia, s tým rozdielom, že namiesto posielania prázdnych cellov použijeme celly so špeciálnou hlavičkou. Opäť sa tu klasicky aplikuje prechod stavmi HUNT → PRESYNC. → SYNC. a späť. Toto riešenie nie je nepriaznivo ovplyvňované ani vkladaním „rušivých“ blokov dát – teda prázdnych hlavičiek do dátového bloku, pretože systém pravidelne posiela synchronizačné celly automaticky. Perióda T je zvolená ako kompromis medzi efektívnosťou prenosu a potrebného synchronizačného času. Malá perióda znižuje efektívnosť, ale znižuje čas potrebný na synchronizáciu.

Záver

CCITT nakoniec vybrala druhé riešenie, t.j. synchronizácia založená na HEC a scrambling informračného bloku.

3 ATM Štandardy

3.1 Úvod

3.1.1 Prehľad

Táto kapitola vysvetlí vrstvomý model ATM-u, určí hranice medzi jednotlivými vrstvami a podvrstvami ako ich definuje CCITT. Viac detailne opíše physical a adaptation layer. Nakoniec sa zaoberá údržbou a prevádzkou systému BISDN.

3.1.2 Činnosti CCITT

Definícia ATM-u so všetkými detailmi je zachytená SGXVII z CCITT. Niektoré časti štandardu boli navrhnuté čisto technicky, pre niektoré boli zosúladené technické záležitosti regionálnymi požiadavkami niektorých krajín. Napr. niektoré krajiny zdôrazňovali potrebu zabudovania obrazových a zvukových služieb, iné zase žiadali rýchlu komunikáciu medzi používateľmi. Nie sú však všetky otázky dostatočne vyriešené, treba ich postupne skompletizovať.

V júni 1992 CCITT dohodol sa na nasledujúcich návrhoch:

- I.113 Slovník pojmov pre Broadband-ISDN
- I.121 Broadband ISDN
- I.150 Funkcionálna charakteristika BISDN
- I.211 Služby BISDN

- I.311 Základné sieťové vlastnosti BISDN
- I.321 Modely protokolov BISDN a ich aplikácie
- I.327 Funkcionálna štruktúra BISDN sietí
- I.361 Špecifikácia vrstvy ATM v BISDN
- I.362 Funkcionálny popis Adaptation Layeru (AAL)
- I.363 Špecifikácia Adaptation Layeru
- I.364 Podpora služby connectionless spojenia
- I.371 Kontrola premávky a zaťaženia sietí v BISDN
- I.413 BISDN User-Network interface
- I.414 Prehľad užívateľských procesov v Layer 1 pre ISDN a BISDN
- I.432 BISDN User-Network interface – špecifikácia fyzickej vrstvy
- I.610 Základy OAM prístupu

3.1.3 Fórum o ATM

CCITT plánuje realizáciu štandardizácie ATM na dlhodobú prevádzku, čo by predstavoval základ verejnej BISDN služby. V skutočnosti potreba pre širokopásmovú komunikáciu rastie veľmi rýchlo, čo prinútilo výrobcov súkromných komunikačných systémov zrýchliť štandardizáciu. Predpokladá sa, že ATM sa objaví najprv vo privátnom, obchodovateľskom a podnikovom sektore.

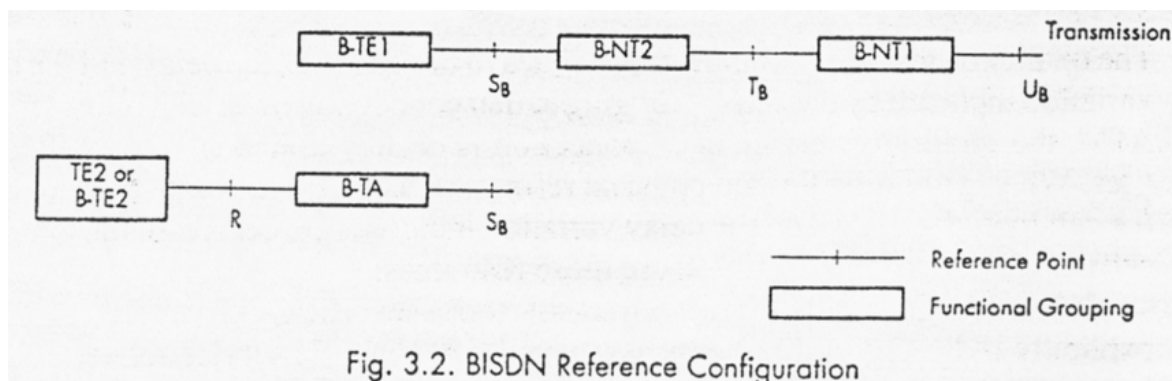
V októbri 1991 skupina CPE dodávateľov, telekomunikačných prevádzkovateľov a užívateľov založili ATM Forum s cieľom zrýchlenia vývoja a vybudovania ATM-ovských produktov a služieb v súkromnom sektore. Prvé výsledky v tomto smere boli spracovávanie súkromnej (lokálnej) UNI medzi ATM používateľom a súkromnej ATM switch, a verejnej UNI medzi ATM používateľom a verejnou sieťou. Ďalším cieľom ATM Forumu je uskutočniť špecifikáciu v odbore operácií, signaling, Network-to-network interface, congestion control (kontrola preťaženia), traffic management (riadenia premávky), fyzických médií, nové aplikácie a adaptation layeru.

Kým CCITT pozoruje ATM z hľadiska operátorov sietí a národných administrátorov, ATM Forum z hľadiska užívateľov a CPE výrobcov.

3.2 BISDN Reference Configuration

Reference configuration je praktický nástroj na definovanie rozhraní (interfaces) medzi rôznymi entitami siete a na definovanie funkcií týchto entít. Tieto konfigurácie pre user-network interface použité v ISDN CCITT zadefinovala v návrhu I.411 a vyhovuje všetkým požiadavkám BISDN.

Referenčné body BISDN sú zadefinované podobne ako v NISDN: R,S,T,U, ako aj skupiny B-NT1 B-NT2 (Broadband network termination_{1,2}), B-TE1, B-TE2 (Broadband terminal equipment_{1,2})



and B-TA (Broadband terminal adapter) **fig3.2.** Iba S_B a T_B sú štandardizované.

B-NT1 obsahuje funkcie nižšej úrovne, ako sú line transmission termination, transmission interface handling, OAM functions.

B-NT2 obsahuje funkcie pre rôzne topológie siete, funkcie vyššej úrovne ako cell delineation (synchronizácia) a concentration, buffrovanie, multiplexovanie/demultiplexovanie cell, priradenie zdrojov, signalling, protocol handling, signalling adaptation layer functions, switching local connections and OAM functions. Implementácia funkcií B-NT2 môžu byť fyzicky zoskupené ale aj rozdelené.

B-TE1 ukončuje user interface (S_B alebo T_B) a vykonáva ukončenia všetkých protokolov od najnižších po najvyššie úrovne. B-TE2 ešte nie je štandardizované.

Reference configuration môže byť fyzicky realizovateľná veľa spôsobmi. Niekoľko príkladov vidíme na **fig3.3**

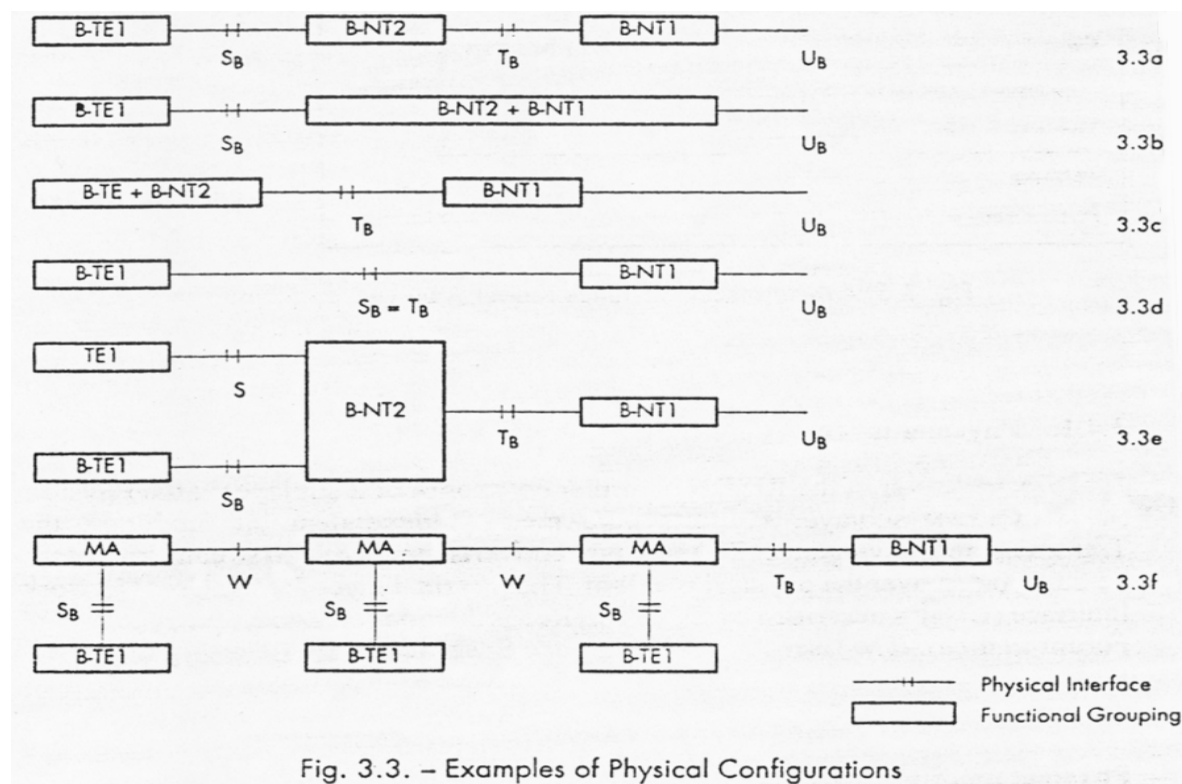


Fig. 3.3. – Examples of Physical Configurations

3.3.1 Reference points

pozn: Keď knihu vydali CCITT štandard splnilo požiadavky pre prenos 155.520 Mbit/s. Zvolili to preto, lebo vysokokvalitná televízia požadovala takú prenosovú rýchlosť. 622.080 Mbit/s sa dosiahne štyrmi 155 Mbps kanálmi, čo používa AT&T Sonet. (Mederly)

Prenosovú rýchlosť 155Mbps poskytuje T_B aj S_B . Pretože data môžu tiecť aj po bitoch aj v bunkách, navrhli dva alternatívy: cell based a SDH (Synchronous Digital Hierarchy) based.

T_B a S_B sú point-to-point orientované, to znamená, transmitter a receiver sú vždy spárované. Na vyšších úrovniach je predstaviteľná aj point-to-multipoint hierarchia. (ale to je ešte predmetom štúdia.)

3.3 BISDN Layere

OSI ISO model je veľmi populárne a použité vo viacerých komunikačných systémoch. Podobná logická hierarchia je navrhnutá v I.321 pre ATM ISDN. Žiaľ zatiaľ len nižšie úrovne sú vysvetlené. CCITT zatiaľ nevyjadril reláciu medzi ATM a OSI.

V tomto modeli sa používa pojem oddelených plôch (separated planes) na oddelenie user, control a management funkcií. Takýto prístup bol použitý aj v NISDN aj v CCITT Recommendation I.320 v čom je popísaný ISDN Protocol reference model.

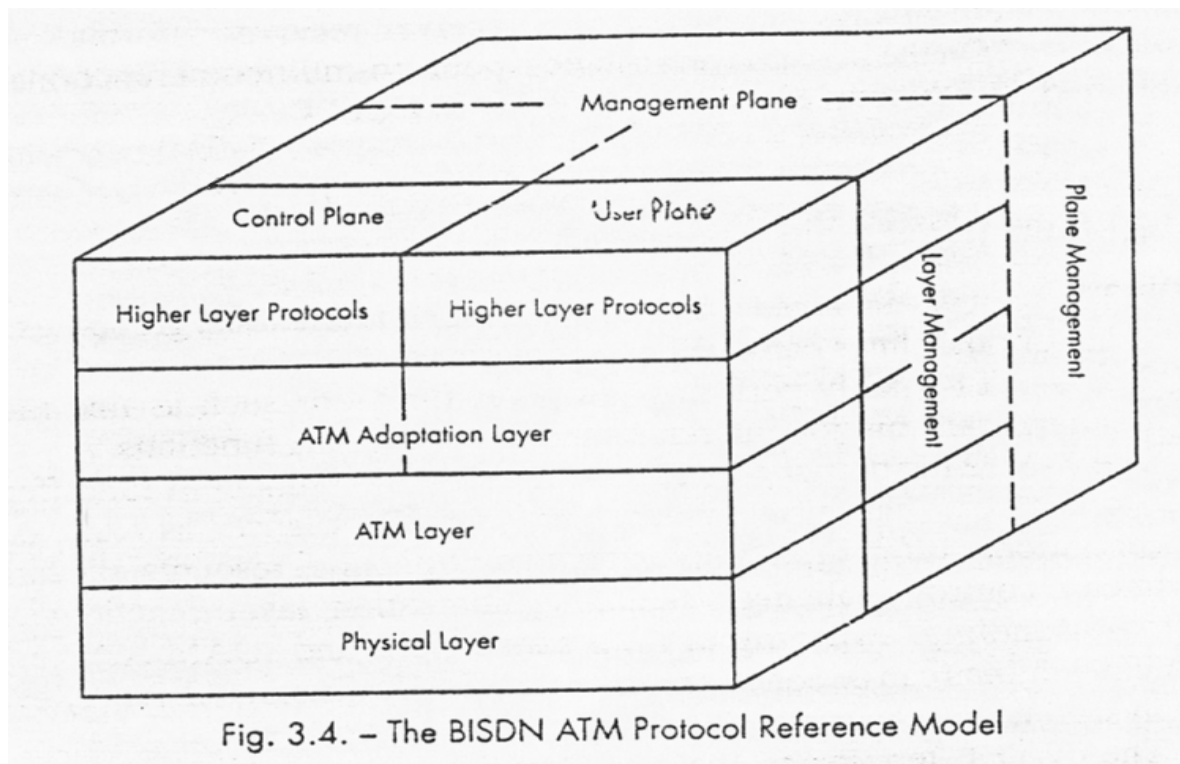


Fig. 3.4. – The BISDN ATM Protocol Reference Model

Model je nakreslený na **FIG 3.4.** Podobne ako v NISDN obsahuje tri plochy: user plane na prenos užívateľských informácií, control plane vykonáva hlavne signaling a management plane je použitá na prevádzku systému. Ďalej tretia dimenzia modelu, layer management, čo zosúladzuje tri plochy. Plochy sú rozdelené - podobne ako v OSI ISO modelu – na vrstvy. CCITT nešpecifikuje reláciu medzi vrstvami BISDN ATM protokol modelu a OSI modelu. Takto môžeme dva modely porovnávať: PHY layer je viac-menej ekvivalentný fyzickej úrovni OSI modelu, oba vykonávajú funkcie na bitovej úrovni. ATM layer môžeme umiestniť na nižšej úrovni vrstvy 2 v OSI. AAL layer predstavuje operácie vyššej úrovni, tak ako signaling, user information, až po ATM cells. Funkcie control plane zodpovedajú časti data link vrstvy, a user plane je najvýhodnejšie zaradiť do transport layeru, pretože vykonávanie funkcií adaptation vrstvy s užívateľskými dátami sa deje na okraji siete – v termináloch.

3.4.1 Physical Layer

Fyzická vrstva v BISDN je rozdelená na dve podúrovne: Physical Medium (PM) sublayer ponúka bitové funkcie závisiace od prenosového média, Transmission Convergence (TC) sublayer prekonvertuje ATM cell do bitových tokov, ktoré budú posielané cez fyzické médium. Fyzická vrstva pre User Network Interface (UNI) je popísaná v I.432.

PM sublayer

Táto vrstva je zodpovedná pre korektné posielanie a doručovanie bitových tokov po fyzickom médií. Funkcie najnižšej úrovne sú čisto závislé od média a volá sa tak ako tento sublayer Physical Médium (Physical network access – Mederly) . Táto podúroveň je zodpovedná aj pre správne bit timing reconstruction u príjemcu. Táto vrstva je definovaná v CCITT Recommendations G.703, G.957.

Transmission Convergence Sublayer

Táto vrstva spĺňa úlohu data link layeru v OSI modelu, má 5 základných funkcií. Prvá funkcia po prijatí bitov je adaptácia bitov na použitý prenosný systém, tj SDH, PDH, alebo cell based. ATM Forum tiež pridáva možnosť FDDI. Táto vrstva generuje Header Error Check informácie u posielateľovi, a robí kontrolu správnosti u receivera. Robí aj napríklad rozpoznávanie hraníc buniek u príjemcu - synchronizáciu.

Po rozpoznávaní bunky sa použije algoritmus na zistenie prípadne opravu chýb v hlavičke. Zistené jednobitové chyby sa opravujú, pokiaľ sa v za sebou idúcich objavujú takéto chyby, tak oprava sa vzdá a skúša sa oprava chýb na vyššej úrovni. Týmto sa zabráni aby viacbitové chyby ostali nepovšimnuté. Táto vrstva musí zabezpečiť vkladanie a potláčanie prázdnych buniek. Toto slúži na zachovanie prenosovej rýchlosti. Táto funkcia sa volá cell rate uncoupling. Ďalej táto vrstva musí OAM informáciu vymeniť s management plane-om.

3.4.2 ATM Layer

Hlavné funkcie ATM layeru sú:

- Multiplexovanie/demultiplexovanie buniek rôznych spojení do jedného toku buniek.
- Translácia identifikátora cell, čo je potrebné vo viacerých prípadoch, keď sa cell switchuje z jednej linky na druhú. Táto translácia sa môže spraviť na VCI a na VPI zvlášť aj spolu.
- Poskytovanie užívateľovi VCC/VPC jednej z viacerých tried QOS. Niektoré služby môžu požadovať určitú QOS pre jednu časť toku spojenia a nižšiu QOS pre zvyšnú časť spojenia. Tento rozdiel je napr. v CLP bite v hlavičke.
- ???
- Rozbalenie/pridanie hlavičky bunky po tom/pred tým, čo cell bola doručená od/poslaná adaptation layeru.
- Implementácia flow control mechanizmu user-network interfacu nastavením GFC bitu v hlavičke cell.

3.4.3 ATM Adaptation Layer

AAL poskytne služby pre user, control a management planu.

Je rozdelené na dva sublayer: segmentation a reassembly sublayer (SAR) a na convergence sublayer.

Úloha SAR sublayeru je segmentácia (rozdelenie) informácie na kúsky prijateľnej veľkosti pre nákladovú časť bunky pre virtuálne spojenie, a opačná funkcia, skladanie doručených cell na pôvodnú informáciu, ktorá bude poslaná ďalej na vyššiu úroveň.

Convergence sublayer poskytuje také služby, ako sú identifikácia správy, time/clock recovery atď. V niektorých typoch AAL je convergence sublayer ďalej rozdelený na Common Part Convergence sublayer (CPCS) a na Service Specific Convergence sublayer (SSCS).

Pre niektorých užívateľov služby ATM layeru môžu byť postačujúce, preto niekedy AAL layer môže byť prázdny.

Doteraz boli v CCITT zadefinované 4 AAL pre každý typ služby jeden. AAL3 navrhli pre connection-oriented služby, AAL4 pre connectionless, ktoré spojili a zabudovali do nich aj CPCS sublayer. ATM Forum tiež zadefinoval samostatný AAL pre rýchle prenosy AAL5.

3.5 Fyzická úroveň

3.5.1 Vo všeobecnosti

Vo všeobecnosti v CCITT sú zadefinované tri typy prenosu framov. Na základe SDH, PDH a cell. ATM Forum sformuloval ešte jeden typ, FDDI.

3.5.2 Synchronous digital hierarchy based interface

Charakterizácia fyzického média

Uprednostňované médium je optické vlákno, ale koaxiálne kábla sú tiež prijateľné.

V T_B reference point je zvolená 155 Mbit/s prenosová rýchlosť v oboch smeroch. Aj optické aj elektrické zariadenia sú použiteľné, rozhodujúce faktory sú vzdialenosť, spoľahlivosť, cena atď. Pre elektrické zariadenia sú požiadavky popísané v G.703. Maximálna vzdialenosť závisí od zoslabení prenosového média, pohybuje sa medzi hodnotami 100-200m. Optické riešenie môže byť od 800-2000m. Optická média obsahuje 2 jednosmerné vlákna podľa G.652, ale niektoré národné aplikácie môžu užívať aj multimode fibers.

Charakteristika Transmission Convergence Layeru

Prenosová rýchlosť využiteľná pre prenos information cell, signaling cells a OAM cells je 149,760 Mbaud na prenosovom systéme 155,520 Mbit/s a 599,040 na systéme 622,080 Mbaud.

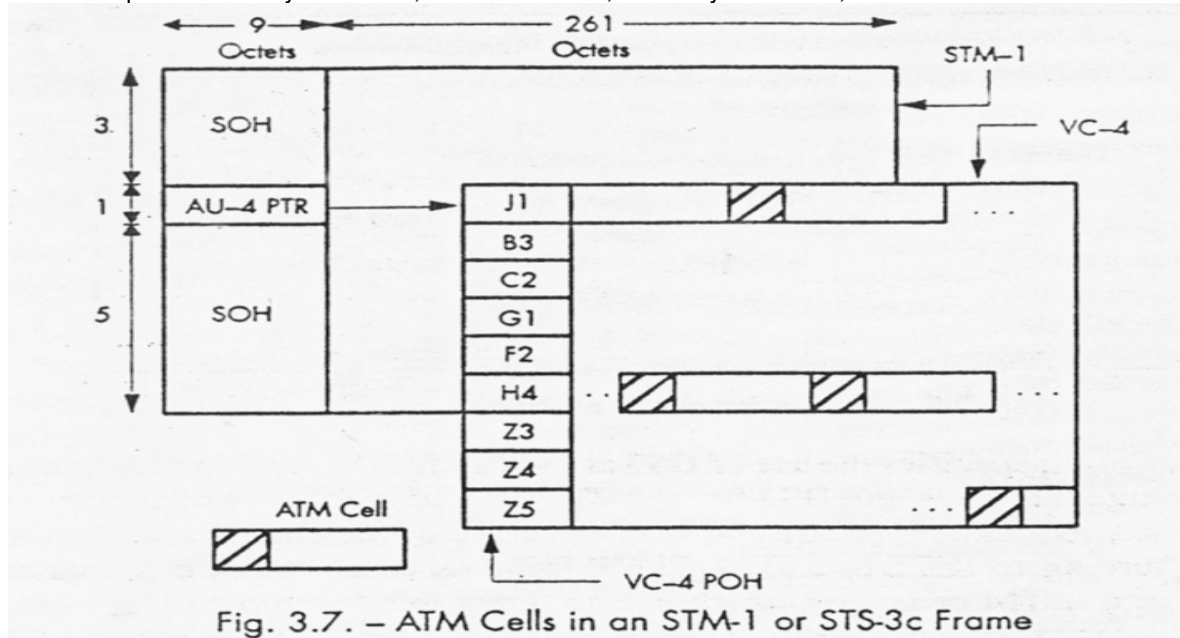


Fig. 3.7. – ATM Cells in an STM-1 or STS-3c Frame

ATM celly sú prepravené ako SDH frame, ako je znázornené na **Fig 3.7**, v tzv STM-1 frame. Postupnosť ATM-ovských buniek je zabalená do C-4, čo spolu s POH tvorí VC-4 kontajner. Celly sú rozbité na oktety, pretože do C-4 (260x9 bytov) nezmestí celý počet cell ($N \times (48+5)$ bytov, trochu viac ako 44 buniek). Existujú aj SDH framy na prepravu buniek.

Transmission convergence sublayer je zodpovedný za generovanie a zachytenie framov, scrambling a descrambling...

Implementácia OAM funkcií je v súlade so špecifikáciou prenosu na báze SDH v CCITT (G.708, G.709). Tieto funkcie robia zabudovanie cell do framov, detekujú chyby, posielajú chybové hlášky. Vykonanie prenosu je kontrované per section a per path pomocou overhead octets (POH,SOH). Z hľadiska prenosu ATM cell v SDH frames je dôležitý iba C2 byte: označuje, že v kontajnery sú prepravované ATM-ovské bunky.

ATM Forum špecifikuje SONET-ovské STS-3c frame pre privátne a verejné UNI v synchronnej sieti. SONET je prakticky kompatibilné s SDH. Jediný rozdiel je v H4 byte v POH. Posielateľ týmto bytom označuje hranicu prvej celly vo VC-4. Prijemca túto informáciu môže využiť v synchronizačnom algoritmu (cell delineation).

3.5.3 Cell Based interface

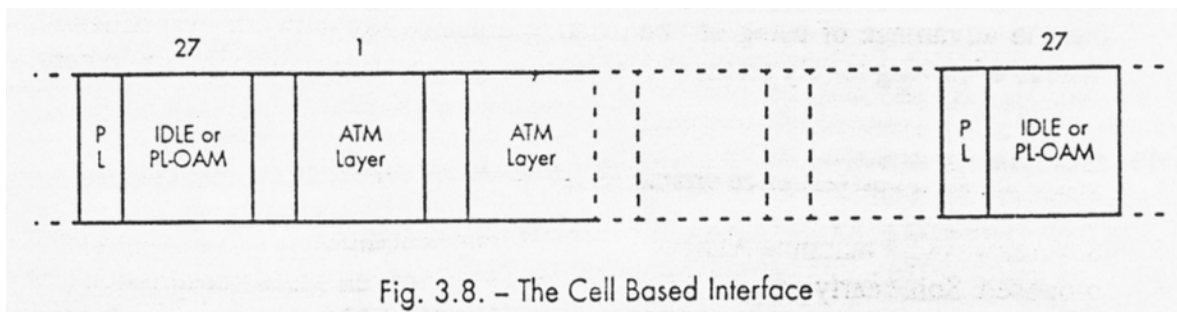
Charakterizácia fyzického média

V CCITT predpísané vlastnosti fyzického média sú identické ako pre SDH based interface. ATM Forum špecifikuje a multimode fiber ako jedno z možností.

Charakterizácia Transmission convergence sublayeru

V tomto prípade celly sú posielané priebežne, bez zabalenia do hocijakých framov.

TC sublayer je zodpovedný za synchronizáciu (cell delineation), za generovanie a kontrolu HEC, za nastavenie cell rate medzi ATM layerom a fyzickým layerom a za OAM (riadiace) funkcie. Prenosová rýchlosť využiteľná pre prenos information cell, signaling cells a OAM cells je 149,760 Mbaud na prenosovom systéme 155,520 Mbit/s a 599,040 na systéme 622,080 Mbit/s. Tieto hodnoty sú identické s SDH prenosom.



Fyzická vrstva prepravuje aj špeciálne physical layer (PL) bunky, ktoré nie sú v kontakte s ATM layerom. Tieto bunky sú generované a spracované v samotnej fyzickej vrstve. Maximálna vzdialenosť medzi dvoma PL bunkami sú 26 ATM cell. **Fig 3.8** Tieto bunky môžu byť PL-OAM alebo aj nečinné (idle) bunky. Idle celly sú zaradené iba kvôli zachovania prenosovej rýchlosti. PL-OAM bunky prenášajú riadiace informácie týkajúce sa fyzickej vrstvy, ako regenerator level (F1) a transmission path(F3). Minimálna periodičita výskytu každého typu buniek je 513 cell. Digital level flow (F2) nie je použité jeho funkcie zastupuje F3 flow, kvôli neprítomnosti transmission framov v cell based UNI

3.5.4 Plesiochronous digital hierarchy

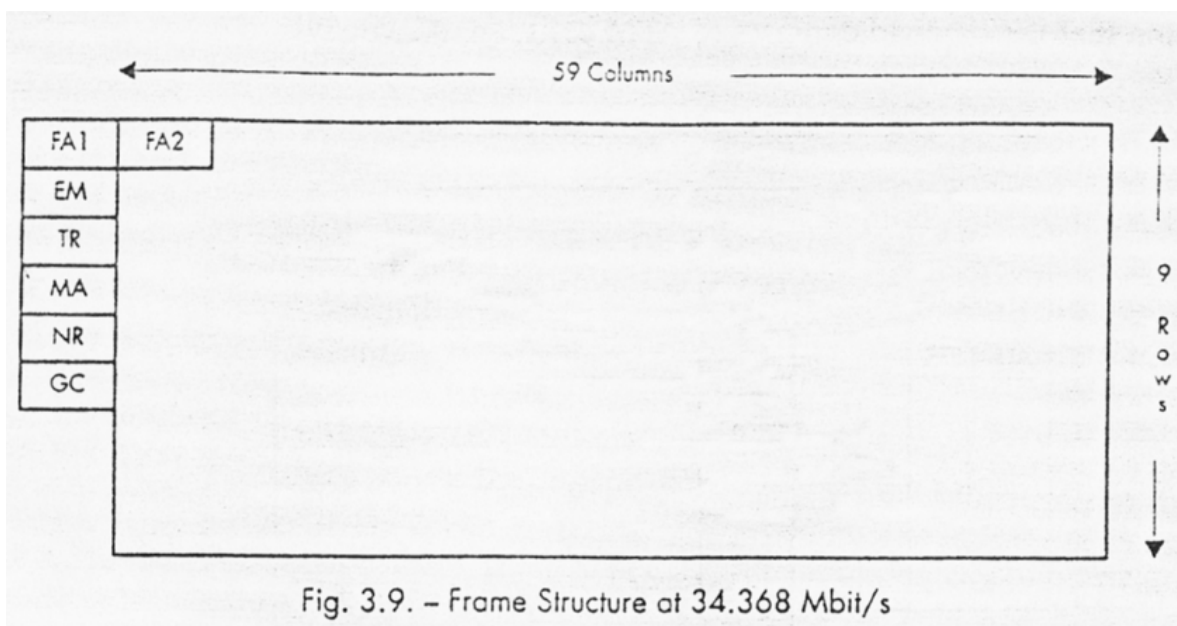
Fyzické médium

Veľká výhoda prepravy buniek v PDH framoch v CCITT je, že Odporúčanie G.703 povoľuje využitie existujúcej siete, netreba nainštalovať sieť ako sú predpísané napr. pre SDH transmission.

Charakterizácia TC

Eixtuje viacerých spôsobov pre zmapovanie ATM cell v PDH frames pre variable bit rate. Niektoré skoré implementácie využívali jednu formu prenosu na základe buniek (cell based).

V súčasnosti tieto metódy sa nepoužívajú, prednosť dostal SDH-ovský prístup, t.j. riadiace informácie a hlášky obsahujú špeciálne oktety priradené do nejakého framu. Zvyšná časť framu je naplnené ATM cellami, ktoré sú prispôbené štruktúry framu. (Sú rozbité na oktety, a s nimi je vyplnené každé voľné miesto vo framu. Hranice cell sú synchronizované (delineated) pomocou HEC. Úplný popis framov pre rôzne bit raty, ktoré sú spomenuté v Recommendation G.703 bude vysvetlený v sérii



doporučení G.7xx.

Ako príklad **Fig 3.9** ukazuje štruktúru framu pre 34,368 Mbit/s-ovej PDH interface.

Nasledujúce POH funkcie sú definované:

FA: Frame Alignment

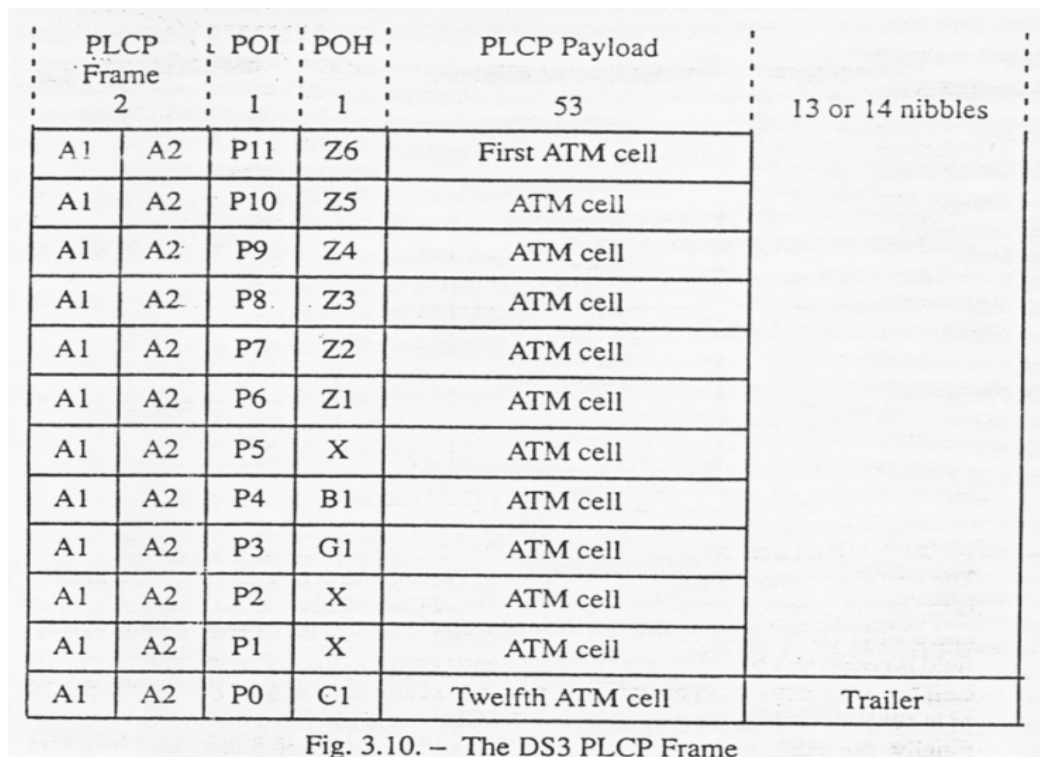
EM: Bit Interleaved Parity (BIP-8)

TR: Trail Trace

MA: Far End Service Failure (FERF), Far End Block Error (FEBE), Payload type

NR: Network operator byte

GC: General purpose Communications channel (e. g data or voice for maintenance)



ATM Forum špecifikuje DS3-PLCP frame, čo obsahuje celý počet ATM cell. V tomto modeli každú ATM bunku predchádzajú dva PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) rámovacie oktety, path overhead indicator (POI) oktety, a POH oktety. Rámovacie oktety umožňujú určenie ATM buniek bez použitia HEC, ktoré sú len pre kontrolu a opravu hlavičky. POI oktety identifikujú nasledujúce POH oktety, tj BIP-8 stuffing (plnka) counter, path status, POH identifier, octets for future use. Trailer (príves) PLCP framu obsahuje nibble (štvorbity). Maximálna prenosová rýchlosť pre tento frame je 40,704 Mbit/s. **Fig 3.10**

3.5.5 FDDI based interface

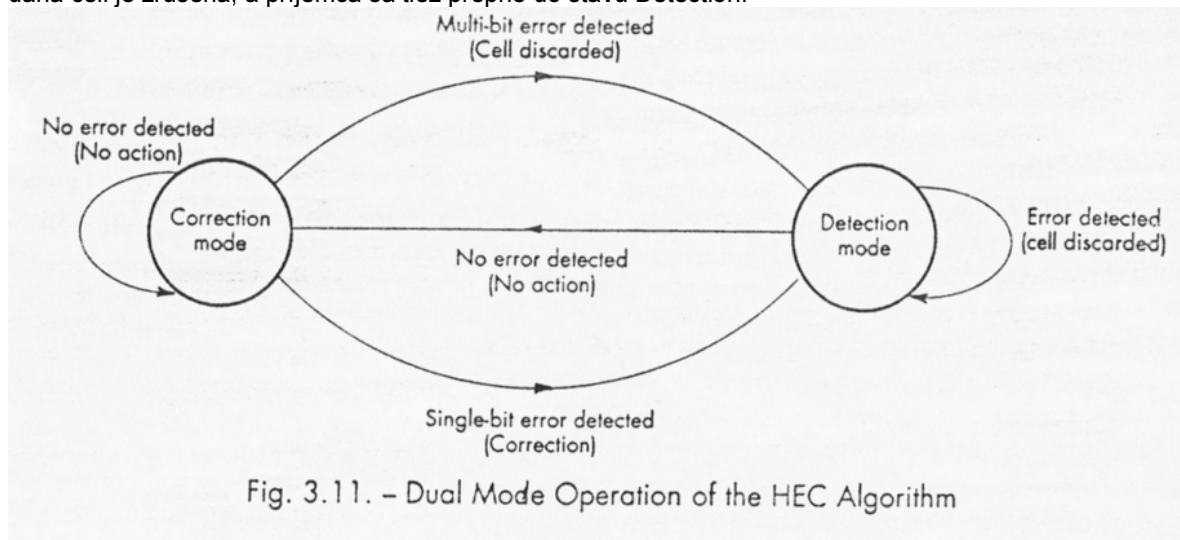
ATM Forum špecifikuje 125 Mbaudové multimode fiber interface v súkromnom UNI. Physical Media Dependent sublayer užíva 4B/5B line code, z čoho vyplýva prenosová rýchlosť 100 Mbit/s. Synchronizácia je vyriešená špeciálnym lineárnym kódom, nie pomocou HEC. Žiadne OAM podpora nie je plánovaná v PHY layer. HEC môže byť použitý na detekovanie chýb nie na opravu, pretože pri delináciách sa chybovosť znásobí.

3.5.6 Funkcie transmission convergence sublayeru

Header error control HEC

HEC spracuje celú hlavičku bunky. Táto 8bitová informácia stačí nielen na opravu 1 bitových chýb, alebo na detekciu viacbitových chýb. Pre každú verziu TC podvrstvy je použité identické riešenie.

V normálnom (default) móde príjemca pracuje v Correction stave. **FIG3.11** Ak je detekovaná chyba jediného bitu, opraví sa, a príjemca sa prepne do stavu Detection. Ak sa nájde chyba viac bitov, daná cell je zrušená, a príjemca sa tiež prepne do stavu Detection.



V tomto stave je zrušená každá bunka, ktorá obsahuje chybu v hlavičke. Ak sa objaví cell s korektnou hlavičkou, tak sa príjemca prepne do stavu Correction.

Vysielač vypočíta hodnotu HEC nasledovne: Polynóm, ktoré generujú bity hlavičky (bez HEC) vynásobí s 8 a celý polynóm vydolí s polynómom x^8+x^2+x+1 . Zvyšok po delení sa priraduje do HEC.

Cell delineation (synchronizácia)

Podľa recommendation I.432 synchronizačný algoritmus má byť nezávislý od prenosných systémov (cell based, SDH based, PDH based ...), má byť adaptovateľný na každý network interface. Algoritmus je navrhnutý na základe vzťahu medzi HEC bitmi a bitmi hlavičky. Stavový diagram pre delineation vyzerá nasledovne :

- V stave Hunt delineačný proces kontroluje bit po bite správnosť HEC bitov v predpokladanej hlavičke cely. V niektorých prípadoch (SDH transmission), je možné kontrolovať HEC oktety.
- Ak je správny, prepína sa do stavu Presync. V tomto stave skúša, či sa našla správna delineačia. Preto sa skontroluje HEC položka hlavičky. Ak je nesprávna, tak system sa vráti do stavu Hunt.
- Systém prejde do stavu Sync, ak sa potvrdí správnosť hlavičky Delta krát. Vtedy system sa vyhlási za synchronizovaný.
- Ak systém v tomto stave dostane po sebe Alpha cell s nesprávnou hlavičkou, tak sa vyhlási nesynchronnosť, a prepne sa do stavu Hunt.

Hodnoty Alpha a Delta v CCITT

SDH based PHY layer: Alpha = 7 Delta = 6

Cell based PHY layer: Alpha = 7 Delta = 8.

Cell payload scrambling (pomiešanie dát)

Pre zvýšenie spoľahlivosti a robustnosti synchronizačného procesu pred zlomyseľnými užívateľmi a neplánovanými napodobňovaniami správnej HEC položky v dátovej časti bunky, bity v dátovej časti sú znáhodnené.

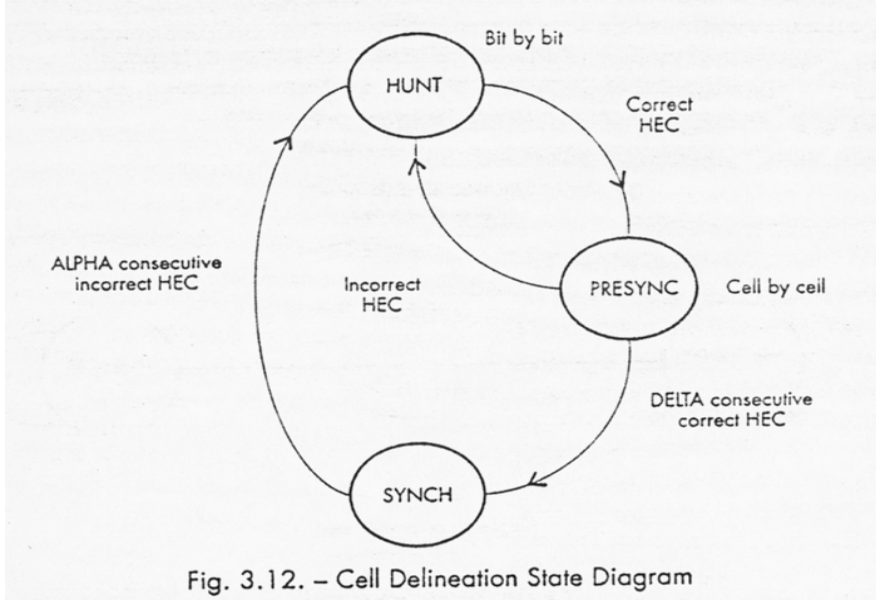


Fig. 3.12. – Cell Delineation State Diagram

Pre fyzickú úroveň s SDH based transmission je odporúčaný samosynchronizačný scrambler s polynómom $x^{43}+1$. Tento scrambler má stupeň znásobenia chýb 2. Tento fakt nemá vplyv na kvalitu detekovania chyby v hlavičke, lebo hlavička samotná nie je pomiešaná. Pre cell based PHY layer je odporúčaný distribuovaný scrambler, ktorý užíva cyklickú pseudonáhodnú postupnosť na miešanie. Dekódovanie u príjemcu sa uskutoční pomocou identickej pseudonáhodnej postupnosti, ktorá sa synchronizuje na základe prvej doručenej bunky. Tento scrambler nemá vplyv na detekciu chýb v hlavičke.

3.6 The Asynchronous Transfer Mode Layer

V špecifikácii I.361 je kódovanie ATM buniek popísané do detailov. Štruktúru bunky tvorí 48 oktetový informačný blok a 5-oktetová hlavička. Tieto oktety sú posielané v vzostupnom poradí, teda ako prvý je posielaný 1. Oktet hlavičky. Vo vnútri oktetu sú bity posielané v zostupnom poradí, teda počnúc bitom č.8. Tento bit je tiež nazývaný najvýznamnejší bit.

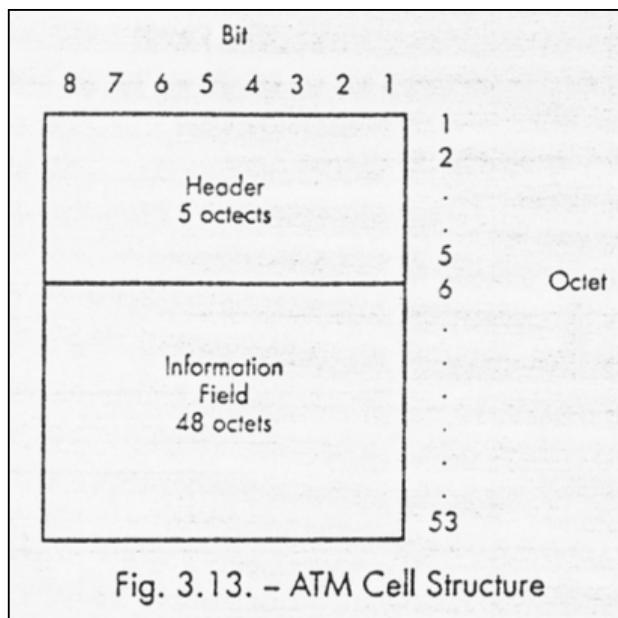
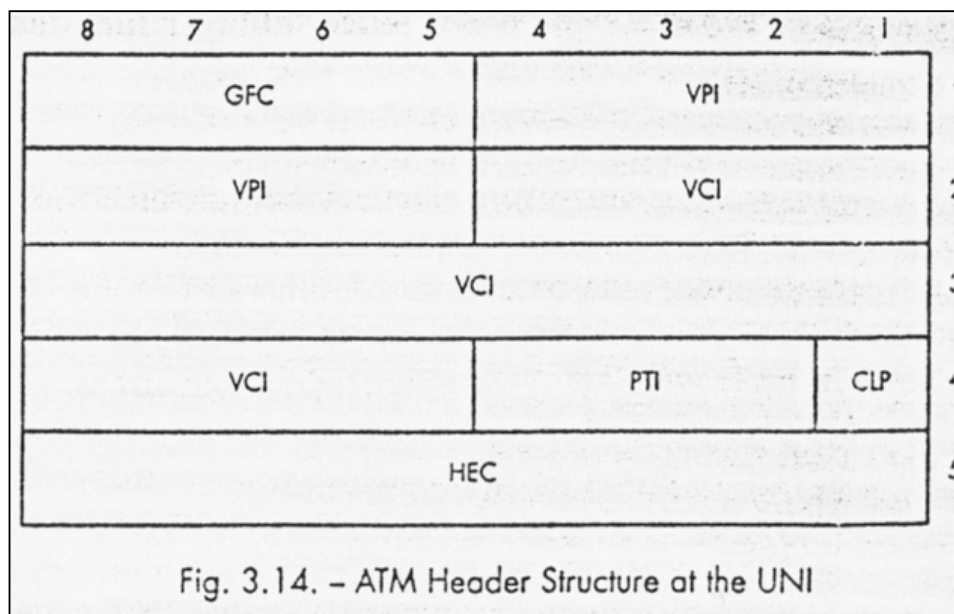


Fig. 3.13. – ATM Cell Structure

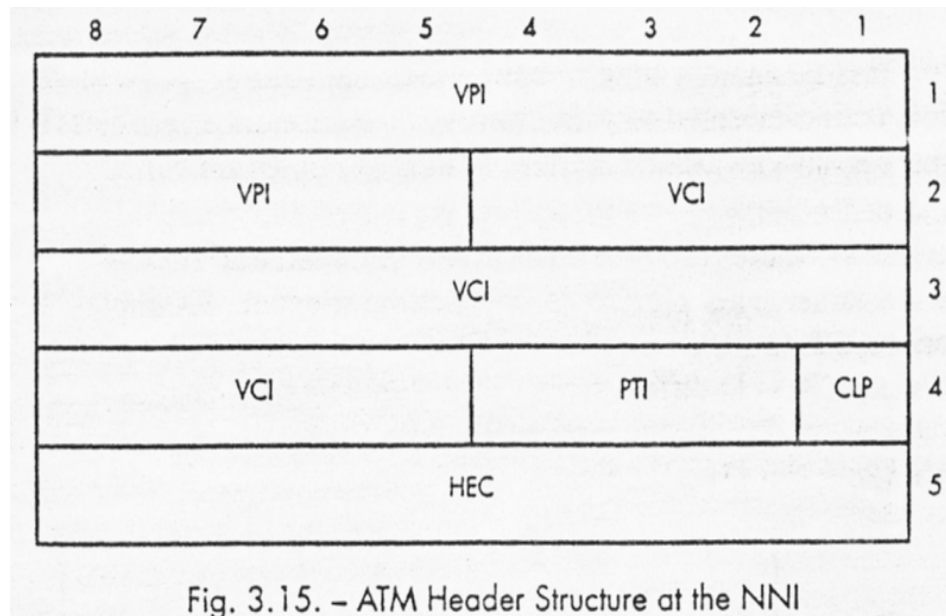
(Most Significant Bit)

Štruktúra hlavičky v UNI (User Network Interface):

Prvé 4 polia obsahujú 4 bity na Generic Flow Control. Druhé pole je routovacie pole, ktoré sa ďalej delí na VCI (Virtual Channel Identifier) 16 bitov a VPI (Virtual Path Identifier) 8 bitov. Payload Type Identifier je kódovaný v 3 bitoch. (už bol vysvetlený) Cell Loss Priority je iba jednobitový a značí, či bunka môže byť zahodená pri preťažení siete. Header Error Control obsahuje 8 bitov a taktiež už bol vysvetlený.



V NNI (Network Node Interface) je štruktúra hlavičky identická ako v prípade UNI iba GFC pole v UNI bolo nahradené pridaním ďalších 4 bitov k poľu VPI.



V 2. kapitole sme používali pre nepridelené bunky slová prázdne a nečinné bunky. CCITT však medzi unassigned a IDLE bunkami robí rozdiely.. IDLE bunky sú viditeľné iba vo fyzickej vrstve (PHY) a nie sú zasielané vrstve ATM. Sú používané na zaplnenie nepoužitého miesta vo fyzickej vrstve. Unassigned cells sú viditeľné aj vo vrstve ATM. Ukazujú nepoužité miesta v toku ATM buniek vo fyzickej vrstve sa s nimi však zaobchádza ako s normálnymi bunkami. ATM. Obe IDLE a unassigned cells umožňujú synchronné spojenie medzi vysielačom a príjemcom. Rozdiel medzi nimi je v 1. bite oktetu 4 hlavičky (CLP) IDLE bunky nemôžu využívať GFC pole, pretože GFC nie je vo fyzickej vrstve. Unassigned cells naopak GFC využívať môžu.

Meta-signalling bunky sa používajú na dohodnutie medzi VCI a zdrojom.

General broadcast bunky nesú informáciu, ktorá má byť vysielať všetkým účastníkom UNI.

Point-to-Point signalling bunky sú používané na konfiguráciu spojenia medzi oboma bodmi. **Segment** a **End-to-End** F4 bunky sú kódované VCI 0003H a 0004H vo vnútri Virtuálnej cesty, ktorú obsluhujú.

Segment a **End-to-End** F5 bunky sú kódované PTI 4H a 5H vo vnútri Virtuálneho kanála, ktorý obsluhujú.

Hodnota 6H je rezervovaná pre Fast Resource Management vo Virtuálnom kanály.

Cell Type	VPI	VCI	PTI	CLP
Unassigned cells	00000000	00000000 00000000	-	0
Meta-signalling cells	xxxxxxx	00000000 00000000	0 A 0	B
General broadcast cells	xxxxxxx	00000000 00000000	0 A A	B
Point-to-point signalling cells	xxxxxxx	00000000 00000000	0 A A	B
Segment OAM flow F4 cells	yyyyyyyy	00000000 00000000	0 A 0	A
End-to-end OAM flow F4 cells	yyyyyyyy	00000000 00000000	0 A 0	A
Segment OAM flow F5 cells	yyyyyyyy	zzzzzzzz zzzzzzzz	1 0 0	A

End-to-end OAM flow F5 cells	yyyyyyyy	zzzzzzzz zzzzzzzz	1 0 1	A
Resource management cells	yyyyyyyy	zzzzzzzz zzzzzzzz	1 1 0	A
User information cells	yyyyyyyy	vvvvvvvv vvvvvvvv	0 C U	L

A : Bit je k dispozícii pre vrstvu ATM

B : Bit je nastavený na 0 východziu entitou, ale pri prechode sa hodnota môže zmeniť

C : Bit preťaženia

L : Cell Loss Priority bit

U : Indikačný bit ATM vrstvy užívateľa

x : Ľubovoľná VPI hodnota. Ak VPI = 0 potom vo VCI je signalizácia lokálnej výmeny.

y : Ľubovoľná VPI hodnota.

z : Ľubovoľná VPI hodnota rôzna od 0.

v : Ľubovoľná VPI hodnota väčšia ako 0015H.

ATM Forum sa mierne odchyľuje od tohto predpisu tým, že všetky PTI a CLP Meta Signalling-u a General Broadcastu sú voľné pre využitie ATM vrstvou. Forum taktiež definovalo ďalšiu prednastavenú hodnotu v ATM vrstve.

Cell Type	VPI	VCI	PTI	CLP
ILMI cells	xxxxxxx	00000000 00010000	0 A A	B

Cieľom je informovanie užívateľa ATM o stave a konfigurácii virtuálnej cesty a možných spojeniach v sieti v prechodnom období, kým nie sú prístupné lokálne managementové sieťové procedúry.

3.7. Adaptačná vrstva ATM

3.7.1. Funkcie a typy adaptačných vrstiev

AAL môže rozšíriť služby poskytované ATM vrstvou na požiadavky špecifickej služby. AAL mapuje user/control/management PDU (Protocol Data Unit) do informačného poľa ATM bunky, prípadne viacerých nasledujúcich buniek virtuálneho spojenia. Tieto služby sú rozdelené na 4 triedy z ktorých má každá iné požiadavky na AAL. Tieto triedy sa dajú rozdeliť podľa 3 parametrov :

1. **Časový posun medzi odoslaním a prijatím** - Prenos dát medzi počítačmi napr. nemá ohraňenie narozdiel od telefonovania, keď požadujeme real-time služby.
2. **Prenosová rýchlosť** - Niektoré služby majú konštantnú prenosovú rýchlosť, u iných sa môže meniť.
3. **Typ spojenia** - Služba môže byť connectionless alebo connection oriented.

Z týchto parametrov by mohlo vzniknúť teoreticky 8 rôznych služieb, ale iba 4 kombinácie sú prípustné:

Typ A : Existuje časové ohraňenie prenosu, prenosová rýchlosť je pevná a spojenie je connection oriented.

Typ B : Také isté ako A, ale prenosová rýchlosť nie je pevná - prenos videa a audia

Typ C : Nemáme časové ohraňenie, prenosová rýchlosť nie je pevná a spojenie je connection oriented - príklad connection oriented data transfer.

Typ D : Líši sa od C tým že je connectionless oriented - data transport Switched Multimegabit Data Services.

	A	B	C	D
Časové ohraňenie	Požadované		Nepožadované	
Prenosová rýchlosť	Konštantná	Premenná		
Typ spojenia	Connection oriented			Connectionless

Vrstva AAL je rozdelená na 2 podvrstvy SAR a CS. Primárna funkcia SAR je rozdelenie PDU do buniek ATM a následné zloženie PDU z buniek ATM. SAR a CS môžu byť aj prázdne.

Existujú 4 typy AAL protokolov : AAL1,AAL2,AAL3/4,AAL5.

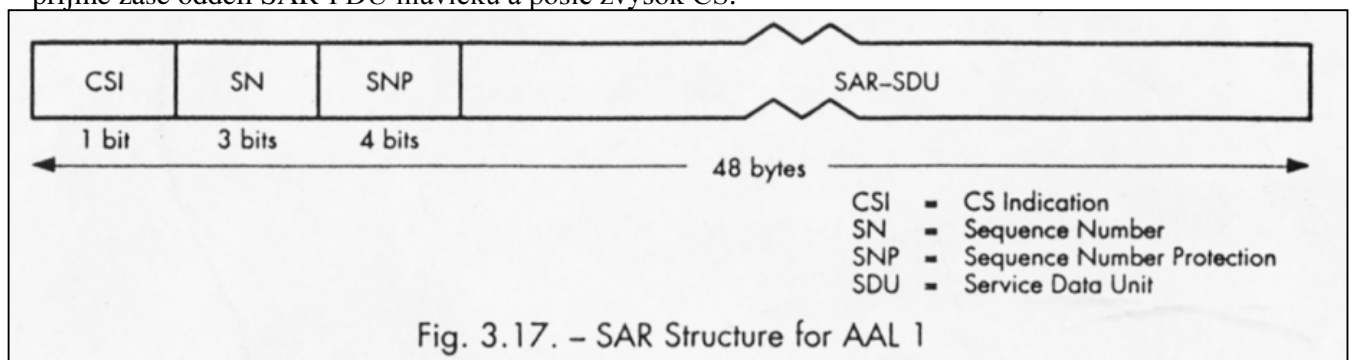
3.7.2. AAL1 pre konštantnú prenosovú rýchlosť:

CBR - Constant bit rate služby poskytujú prenos a doručenie informácii konštantnou prenosovou rýchlosťou.

Prenos časovej informácie, prenos informácie o štruktúre dát a indikácia chýb alebo stratených dát, ktoré neboli zachránené.

Funkcie SAR (Segmentation and Reassembly)

SAR dostane 47 bytový blok od CS, pridá 1 byteovú hlavičku a vznikne SAR-PDU. Pri prijíme zase oddelí SAR-PDU hlavičku a pošle zvyšok CS.



SNP je schopné opraviť 1 bitovú chybu a zistiť viacbitovú chybu.

Funkcie CS (Convergence Sublayer)

- Ošetrenie meškania buniek
- Ošetrenie preťaženia skladania
- Získanie času príjemcom - používa sa od CCITT odporúčaná metóda Synchronous Residual Time Stamp (SRTS). Používa RTS na zmeranie a získanie informácii pre príjemcu o čase u odosielateľa a rozdielu hodín medzi príjemcom a servisným časom odosielateľa. RTS je prenášaná v CSI bitoch nasledujúcich SAR-PDUs.
- Ošetrenie štruktúry dát u príjemcu.
- Monitorovanie stratených a zle vsunutých buniek a nápravy
- Monitorovanie AAL Protocol Control Information (PCI) chybných bitov a nápravy.
- Monitorovanie datovej časti a chybných údajov v nej.
- Hlásenie stavu spojenia

3.7.3. AAL 2 pre premennú prenosovú rýchlosť.

AAL2 ponúka premennú prenosovú rýchlosť. Týmto sa ale môže stať že niektoré bunky nebudú úplne plné a je treba viacero funkcií v SAR.

CCITT ešte nedospela k dohode ohľadom tohto formátu, takto by to ale malo vyzerat':

SN obsahuje sekvenčné číslo na ošetrovanie zablúdených buniek.

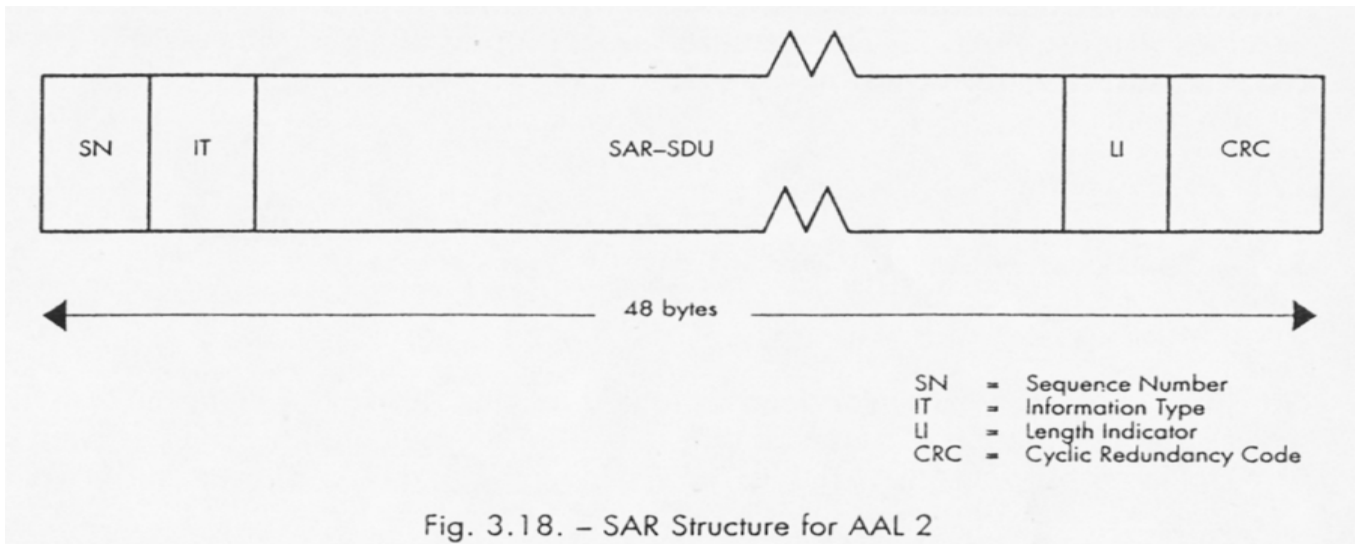
IT Information Type obsahuje jednu z hodnôt BOM,COM,EOM. Začiatok , stred a koniec správy.

LI indikátor obsahuje počet zaplnených byte-ov v bunke.

CDC môže pomôcť ošetriť chyby v SAR-SDU.

V podvrstve CS musia byť implementované tieto funkcie:

- Ošetrovanie časových údajov, extrakcia a vkladanie časových údajov.
- Ošetrovanie stratených a zle doručených buniek.
- FEC Forward Error correction pre audio a video služby.



SN- Sequence number **IT** - Information type **LI** - Length indicator **CRC** - Cyclic redundancy code

3.7.4. AAL 3/4 pre data služby

CCITT odporúča tento protokol pre prenos dát, ktorý je citlivý na stratu ale nie na oneskorenie doručenia informácií. Môže byť connection oriented ako aj connectionless oriented. AAL neuskutočňuje všetky funkcie potrebné connectionless servisom, pretože o toto sa stará vrstva siete.

Existujú 2 módy:

- Message mode :
AAL-SDU je prenesená práve v jednom AAL Interface Data Unite. Používa sa na prenos dát konštantnej ako aj premennej dĺžky.
- Streaming mode:
AAL-SDU je prenesená vo viacerých IDUs oddelene. Taktiež ponúka služby zahodenia čiastočne prenesenej AAL-SDU. Používa sa na prenos dlhých AAL-SDU.

Oba módy ponúkajú tieto rovnocenné procedúry:

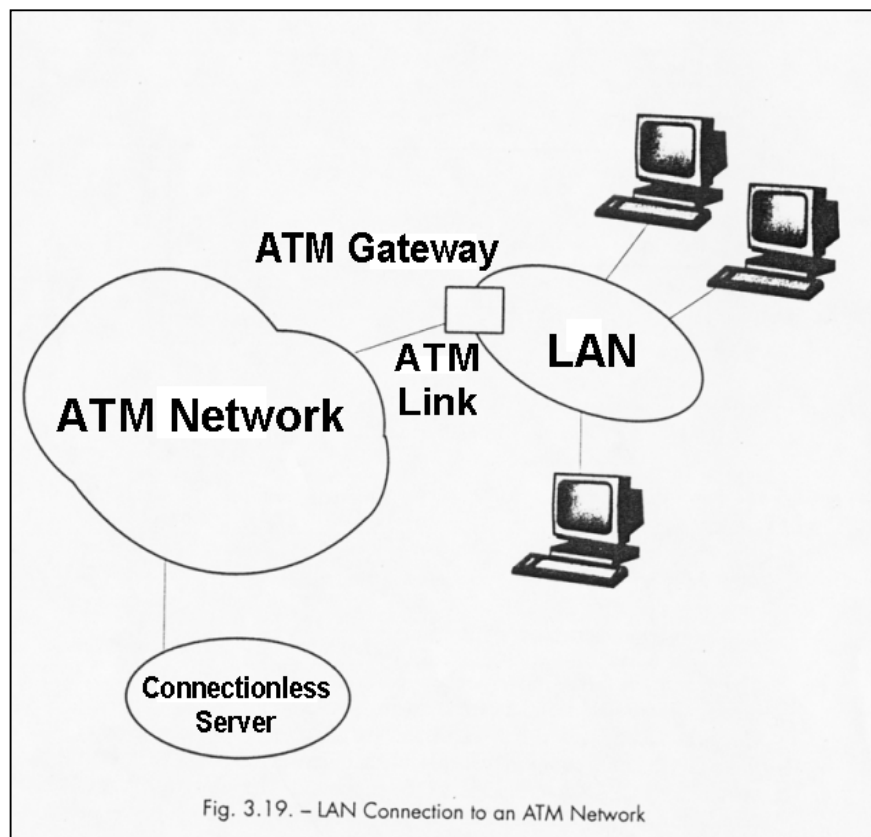
- Assured operation :
Každá SDU je prenesená bez opráv a ak sa vyskytli chyby, tak je znova zaslaná.
- Non-assured operation
V tomto prípade sa SDU vôbec nemusí doručiť, alebo môže byť doručená s chybami. V takomto prípade sa znovu nezasiela.

Funkcie SAR podvrstvy:

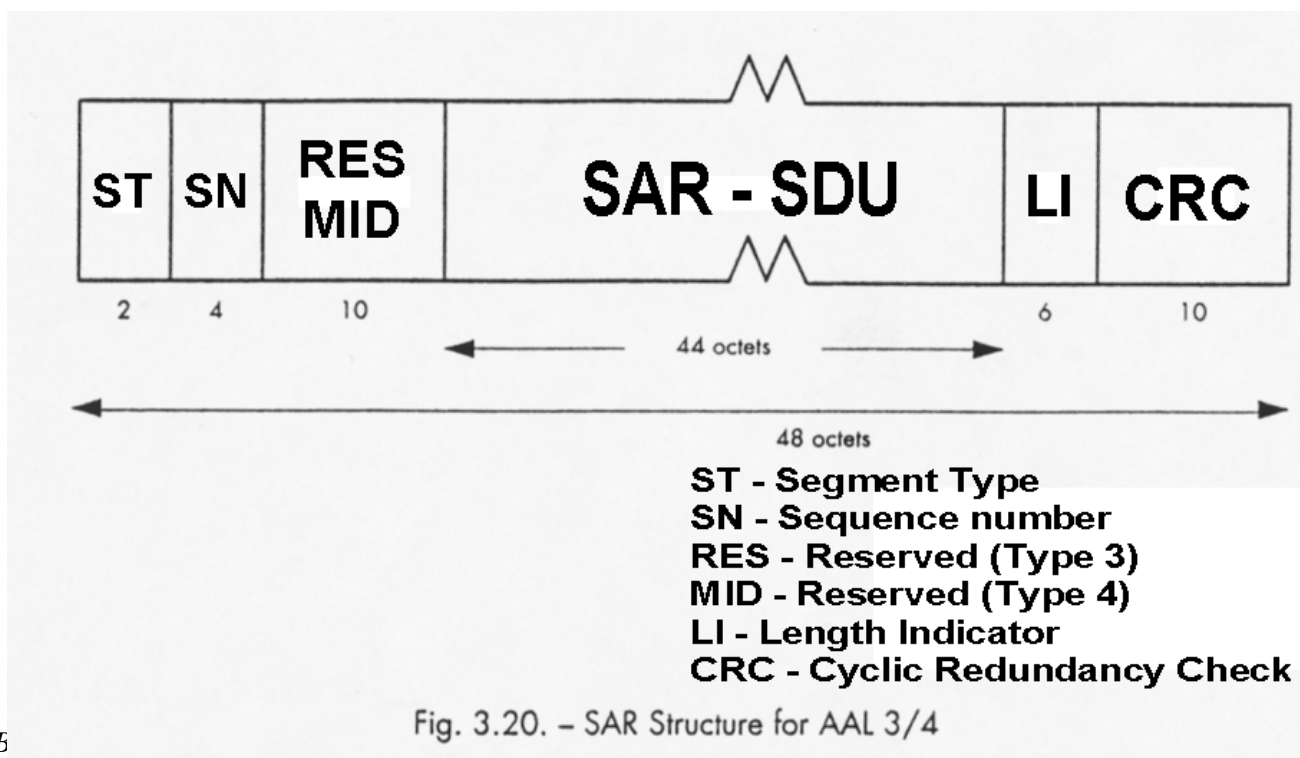
- Skladanie a rozkladanie rôzne dlhých CS-PDUs
Na toto používa SAR-PDU dve polia :
ST Segment Type - 2 bity - BOM, COM Continuation of Message ,EOM,SSM Single Segment Message.
Length Indicator LI - 6 bitov - EOM a SSM môžu obsahovať menej platných bytov ako je maximum 44, takže tu je uschovaná hodnota platných bytov.
- Detekcia chýb
Používa sa CRC pole 10 bitov. Kódovanie CDC je založené na generovaní polynomickej funkcie $G(x)=1+x+x^4+x^5+x^9+x^{10}$

Taktiež by mali byť nájdené aj zle vložené ako aj stratené bunky. Táto funkcia je vytvorená pomocou SN poľa 4 bitov

- Multiplexovanie viacerých CS-PDU na spoločného doručovateľa v ATM vrstve. Multiplexing používa 10 bitový Multiplex Identifier (MID) v SAR-PDU. Toto umožňuje multiplexovať 210 spojení na user to user na connection-oriented komunikácii.



V tomto prípade je niekoľko terminálov pripojených na LAN (Connectionless) a táto LAN pripojená jednou ATM Gateway. Všetky informácie sú prenášané cez jediné ATM spojenie, ktoré na základe MID bude doručovať na daný terminál. Informácia na základe ktorej je urobené spojenie medzi serverom a MID je podaná iba v BOM.

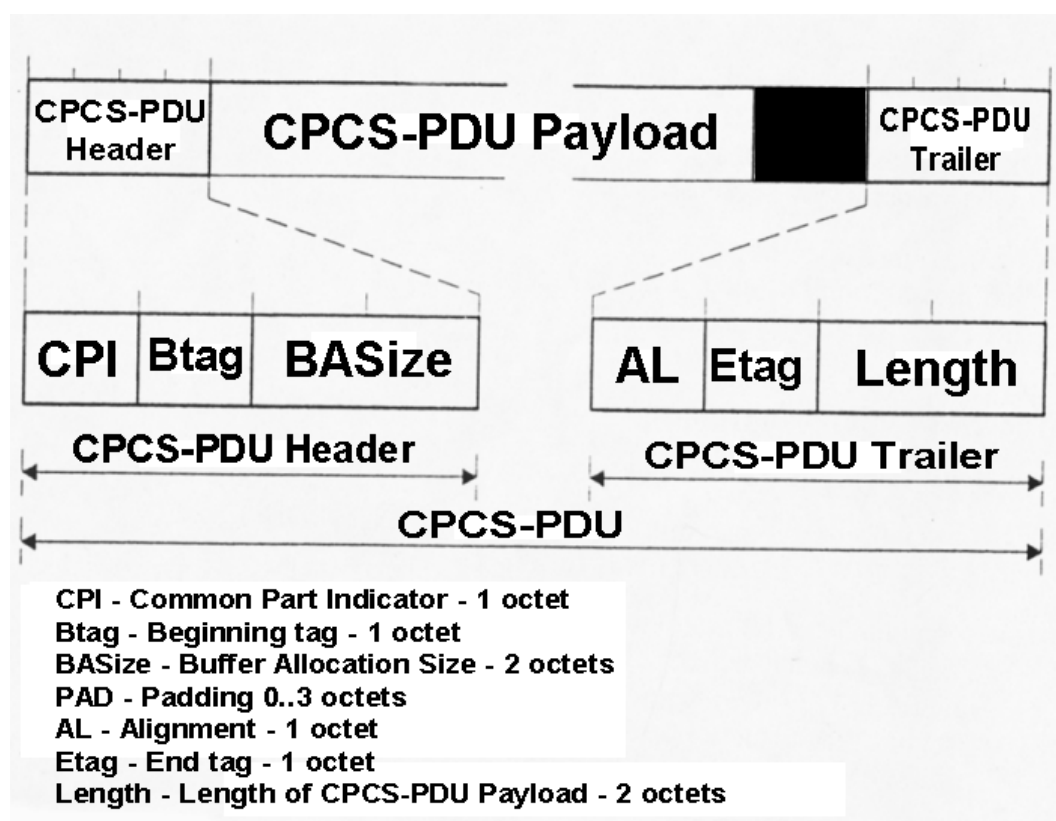


Funkcie Convergence Sublayer

Spoločná časť podvrstvy Convergence Sublayer (CPCS) pre AAL3/4 umožňuje prenos data-frame-ov dĺžky 1 až 65535 bytov. CPCS spojenie je nadviazané managementom alebo control plane???. Medzi dvoma rovnocennými CPCS entitami môže byť 1 a viac CPCS spojení avšak prepínanie týchto spojení nie je podporované. Úplnosť CPCS-SDU postupnosti je zaručovaná oboma stranami CPCS spojenia.

- **Ochrana CPCS-SDU** - Zaručuje zobrazovanie a prehľadnosť CPCS-SDU.
- **Detekcia a ošetrovanie chýb** - Pri prípadnej chybe je CPCS-SDU buď zahodené alebo doručené Service Specific Sublayer-u. Taktiež sem patria aj chyby zistené v SAR.
- **Alokácia potrebnej pamäte** - Každá CPCS-SDU si so sebou nesie aj informáciu o minimálnych požiadavkách na pamäť potrebnú pre prijatie.
- **Terminácia** - Každý prenos môže byť terminovaný, aj keď ešte nie je dokončený.

Formát CPCS-PDU :



- **CPI Pole** - Toto pole sa používa na popis funkcií ďalších polí CPCS v hlavičke a FOOTERi. Napr. môže obsahovať jednotky v ktorých sú vyjadrené veľkosti v BASI a Length poli.
- **Beginning Tag pole** - Umožňuje spojenie CPCS-PDU Headera a Traileru u príjemcu. Tá istá hodnota je odosielateľom nastavená do BTagu a ETagu pre dané CPCS-PDU. Pre nasledujúce CPCS-PDU je iná, napr. inkrementnutá. Tento mechanizmus je však zbytočný popri BOM, EOM, MID a mechanizmami na detekciu chýb v SAR.

- **Buffer Allocation Size Indication pole** - Informuje príjemcu o maximálnych možných požiadavkách pri prijímaní tohto CPCS-PDU. Je to číslo ktorého jednotky sú dané v CPI. V message-mode je BAsize rovnaká ako dĺžka nákladu v streaming mode môže byť aj väčšia.
- **Padding field** - Medzi CPCS-PDU nákladom a Trailerom môže byť 0 až 3 nevyužité byte. Volajú sa Padding Field a nenesú žiadnu informáciu.
- **Alignment field** - Vyrovnáva dĺžku Trailera na 32 bitov. Nemá niesť žiadnu informáciu a mal by byť nastavený na 0.
- **End Tag field** - Pre daný CPCS-PDU by odosielateľ mal nastaviť rovnakú hodnotu ako je v BTag.

3.7.5. AAL5 pre data služby

Základy

Pre spojenia s veľkou prenosovou rýchlosťou a pre väčšie data je AAL3/4 nevýhodná. Má 4 byte pre každých 48 bytov SAR-PDU na hlavičku a taktiež iba 10 bitov na detekciu chýb. Toto sa zdalo byť málo. Preto bol vymyslený nový typ AAL5, ktorý mal poskytovať väčšiu schopnosť detekcie chýb a menšie predĺženie dát.

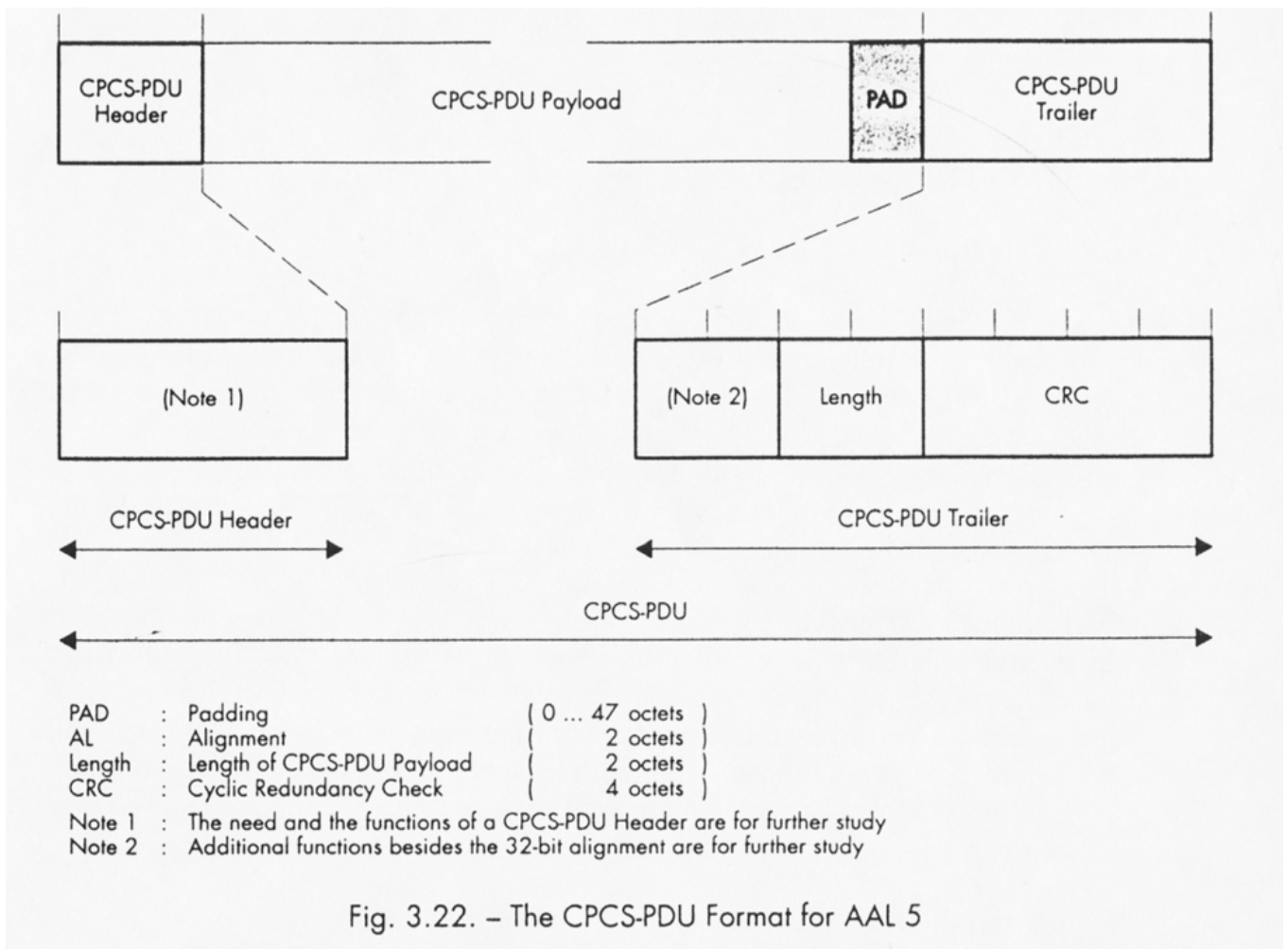
AAL5 je identické ako AAL3/4 ale nevyskytujú sa v ňom služby pre multiplexovanie. Ak je zapotreby bude v SSCS vrstve.

Funkcie SAR podvrstvy

Dostane SAR-PDU variabilnej dĺžky celočíselných násobkov 48 bytov CPCS a vygeneruje SAR-PDU obsahujúcich 48 bytov SAR dát. Zakódovanie a odkódovanie je robené na "koniec SAR-SDU indikáciou" ktorá nesie hodnotu 1 v ATM layer user to ATM layer user indikácii bite v PTI pre User information bunke. Hodnota 0 znamená začiatok alebo pokračovanie SAR-SDU.

Convergence sublayer funkcie

Je taká istá ako v AAL3/4 ale AAL5 neposkytuje neposkytuje BAsize indication. Taktiež detekcia chýb je ošetrovaná čisto v CPCS vrstve.



Polia s rovnakými názvami majú aj rovnaké funkcie, iba pole CRC je nové. Obsahuje hodnotu CRC, ktorá je počítaná na celom CPCS-PDU od hlavičky cez náklad až po Trailer. Polynóm generujúci CRC-32 je:

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

3.7.6. Adaptation for signalling

Vrstva ATM vybraná na signalling medzi UNI a NNI je AAL5.

3.8. Maintenance functions - Funkcie udržovania

3.8.1. Základy

Základný princíp OAM je založený na udržovaní a obsluhu ktorá sa skladá z dozoru-Supervision, testing a monitorovania výkonu tak aby preventívna ochrana bol čo najmenšia a aby sa zmenšila aj opravná údržba.

Fázy:

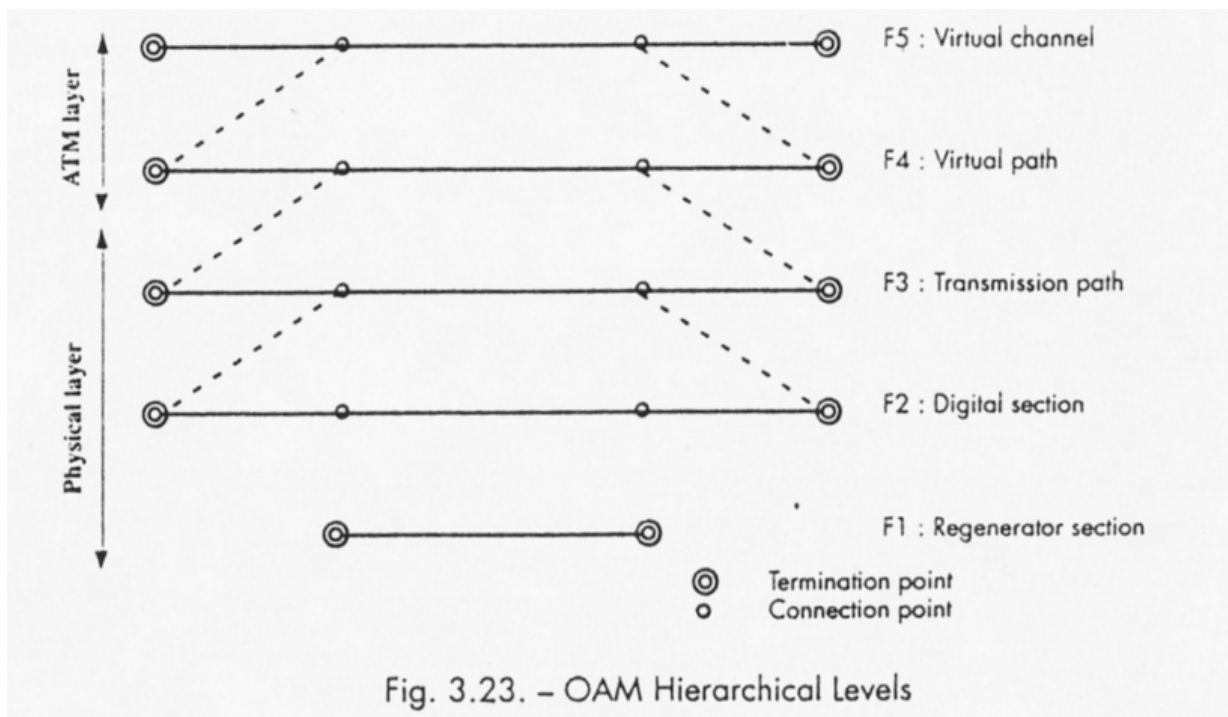
- **Performance monitoring** - Pri normálnej operácii zaručuje priebežná alebo periodická kontrola funkcií zabezpečenie informácie. Informácie o výkone sú potom prenesené do OAM entít, ktoré použijú tieto informácie na dlhodobé systémové rozhodnutia, krátkodobé kontroly a preventívne opatrenia.
- **Defect and failure detection** - Pri priebežnej alebo periodickej kontrole funkcií môžu byť zistené chyby. Ako výsledok takejto chyby je správa o takejto chybe alebo výstražná hláška.

- **System protection** - Pokiaľ je zistená chyba, poškodená jednotka je vylúčená z operácie. Týmto sa zmenší možnosť prenesenia chyby ďalej.
- **Failure or performance information** - Pokiaľ nastane chyba, ostatné jednotky sú v čase informované. Informácia o tomto je užívaná systémom na vylúčenie poškodených jednotiek, ale je tiež zaslaná susedom aby ich upovedomila, že bola vyslaná poškodená jednotka.
- **Fault localization** - Interné alebo externé systémové testy ohraničia miesto chybných jednotky. Keď je lokalizovaná system protection zaručí, že poškodené jednotky budú vynechané.

3.8.2. OAM network layering

OAM toky

Ošetrovanie a operácie ATM založenej siete sú organizované vrstevne. Existuje 5 hierarchických úrovní OAM, spojených tokom informácií. 2 vrstvy sú definované v ATM a 3 vrstvy vo fyzickej vrstve. V špecifických prípadoch sa môže stať, že nie všetky vrstvy sú prítomné. Potom sa potrebné funkcie z chýbajúcej vrstvy vykonávajú vo vyššej vrstve.



- **Virtual channel - VC** - Oba konce vykonávajú termináciu VCI u BISDN spojenia. Takéto spojenie pozostáva z viacerých virtuálnych ciest. OAM funkcie sú vykonávané na úrovni VCI a môžu dávať vstup pre ľubovoľnú z 5 fáz popísaných vyššie na monitorovanie.
- **Virtual path - VP** - Oba konce vykonávajú termináciu VPI pri BISDN spojení. Zase máme niekoľko prenosových ciest. Taktiež môže byť používaná jedna z 5 fáz na monitorovanie VP.
- **Transmission path - TP** - Oba konce vykonávajú rozkladanie a skladanie nákladu a OAM funkcie prenosu. Keďže bunky musia byť rozoznateľné v tejto úrovni aby bolo možné zložiť OAM bunky, skladanie buniek a HEC funkcie sú požadované v terminačných bodoch TP. TP je zložená z viacerých Digital sections

- **Digital section - DS** - Oba konce sú section termination points. Digital section zahrňuje udržovacia jednotku. Je možné preniesť OAM informáciu z príslušných DS.
- **Regenerator section - RS** - Najmenšia rozpoznateľná jednotka pre OAM. je lokalizovaný medzi zosilovačmi.

OAM funkcie sú pridelené Layer Managementu BISDN Protocol Reference Modelu. OAM funkcie týkajúce sa úrovniám OAM sú nezávislé od OAM funkcií iných vrstiev a sú poskytované v každej vrstve. Taktiež každá vrstva, v ktorej sú OAM funkcie požadované je schopná vykonávať vlastné spracovávanie a vyhodnocovanie informácií o stave a kvalite. Výsledky môžu byť potom predané Plane Managementu, alebo vyššej vrstve. Všetko závisí od danej vrstvy.

Physical layer mechanism

Vo physical layer-i závisia OAM informačné toky (TP,DS,RS) od typu prenosového systému a tiež od riadiacich funkcií v NT1 a NT2 pre section crossing the Tb reference point.

V SDH, špeciálne byte-y v SOH nesú informácie o RS a DS toku. Tok TP je prenášaný v POH transmission framu.

V cell-based transmission systéme RS a TP sú prenášané špeciálnymi OAM bunkami nazývanými PL-OAM bunkami a rozlíšiteľnými hlavičkou bunky. Tok DS nie je poskytovaný, ale jej funkcie sú pridružené, resp. poskytované TP. Tieto bunky sú platné iba v physical layer-y a nie sú posielané do ATM layer-u.

ATM layer mechanism

V ATM vrstve (VC,VP) sú bunky, ktoré vykonávajú VC a VP údržbu. Tieto bunky prenášajú AOM informácie medzi rovnakými úrovňami management-plane-u. Existujú dva typy VP a VC tokov.

- End-to-End tok, ktorý je použitý na End-to-End VPC alebo VCC komunikácie.
- Segmentový tok, použitý na VPC alebo VC komunikáciu medzi vnútornými bodmi spojenia, alebo pri viacnásobnom spojení, kde všetky spojenia spadajú pod jednu administráciu resp. organizáciu. Tieto toky sú ukončené v koncových bodoch VCC,VPC alebo v spojovacích bodoch VPC,VCC segmentov.

Adapatation layer mechanisms

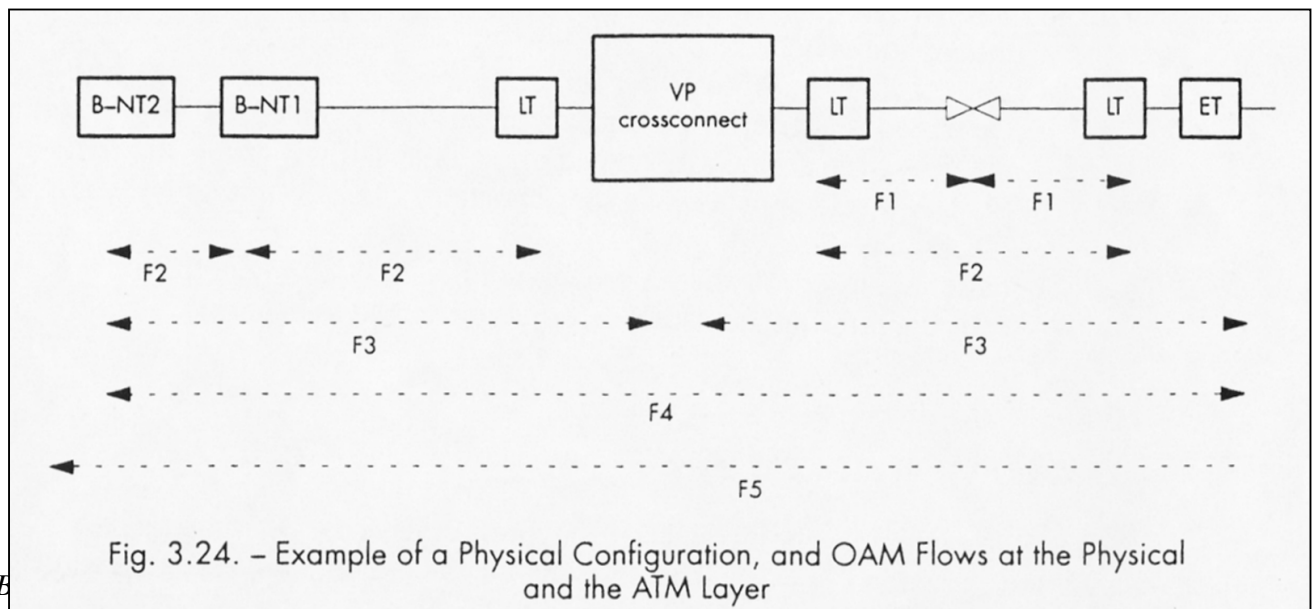
CS AAL-u obsahuje monitorovanie výkonu opravy a záznamy vhodné podľa typu AAL.

3.8.3. OAM of the physical layer

Rôzne časti physical layer-u musia byť udržiavané.

Príklad :

F1 tok je ohraničený LT (Line termination) a regeneratorom, a F2 je tiež ohraničený LT. Tok F3 potrebuje rozpoznať ATM bunky celého toku. Rôzne chyby môžu byť rozpoznané a pridelené F1,F2,F3 vrstve . Nasledujúce chyby môžu byť detekované v SDH based



transmission systéme:

F1:

- Strata signálu, alebo frame-u: SDH frame synchronizácia sa neuskutočnila

F2:

- Degraded error performance: Kvalita prijatého bitového toku je neakceptovateľná (veľa chýb) Môže to byť zapríčinené slabým signálom, zlým uzamykaním PLL. Meria sa to v BIP v SOH.

F3:

- **Loss of cell delineation:** Algoritmus na skladanie buniek nie je v stave SYNC. (fig 3.12)
- **Degraded error performance:** Zlá kvalita, používa sa BIP v SOH
- **Incorrigible header:** Hlavička má viac chýb, ako sa dá opraviť
- **Degraded header error performance:** Kvalita bitov hlavičky je malá, používa sa HEC mechanizmus
- **Loss of AU4 pointer:** AU4 pointer v SDH-SOH nebol nájdený, ukazuje teda na nerozpoznaný SDH náklad.
- **Failure of insertion and suppression of IDLE cells:** Pokiaľ prichádza priveľa IDLE buniek, nemôžu byť normálne informácie prenesené.

V cell-based prenosovom systéme to môžu byť nasledovné chyby:

F1:

- **Loss of signal**
- **Loss of F1 PL-OAM cell recognition:** Prijímateľ nevie rozpoznať PL-OAM bunky a teda nemôže byť vykonávané monitorovanie výkonu.
- **Degraded error performance**

F3:

- **Loss of cell delineation**
- **Incorrectable header**
- **Loss of F3 PL-OAM cell recognition**
- **Degraded header error performance:** Dá sa zistiť pomocou BIP, alebo používaním špec. informácie v IDLE bunkách.
- **Failure of insertion and suppression of IDLE cells**

3.8.4. OAM of the ATM layer

Možné chyby:

F4: Virtual Path

- **Path not available:** Virtuálna cesta nemôže byť zabezpečená a je zapotreby systémovej ochrany.
- **Degraded performance:** Bunky ATM prichádzajúce do VCI/VPI spracovávajúcich vrcholov nemajú dostatočný výkon. - napr. stratou buniek, pridaním buniek, priveľa chýb

...

F5: Virtual Channel

- **Channel not available**
- **Degraded performance**

Skratky	
SAR	Segmentation and Reassembly
CPCS	Common part of Convergence Sublayer
PDU	Protocol Data Unit
SDU	Service Data Units
AAL	ATM Adaptaion Layer
OAM	Operations and Maintenance
VCI	Virtual channel Identifier
HEC	Header Error Check
SDH	????
SOH	Section Overhead
POH	Path overhead
PL-OAM	Physical layer OAM
BIP	
PLL	

4. Broadband ATM Switching

Úvod

V minulosti boli vyvinuté rôzne prepínacie architektúry pre rôzne aplikácie ako sú hlasové a dátové prenosy založené na transferových módoch ako STM (Synchronous Transfer Mode) a prepínaní paketov. Tieto technológie boli adaptované v priebehu minulosti na stále sa vyvíjajúce technológie, ktoré dovoľovali cenovo výhodnejšie riešenia.

Prepínacia architektúra vyvinutá pre STM nie je priamo aplikovateľná na širokopásmové ATM. Sú dva hlavné faktory ovplyvňujúce implementáciu ATM prepínacej architektúry:

- ◆ vysoká rýchlosť ATM (od 150 až do 600Mbit/s),
- ◆ štatistické správanie sa ATM streamov prechádzajúcich cez ATM prepínací systém.

Prepínanie architektúru ovplyvňuje aj definícia malých buniek a obmedzená funkcionálna hlavička v ATM.

V literatúre bolo opísaných veľa prepínacích architektúr. Viacero z nich sa používa aj vo veľkých komerčných systémoch (telekomunikácie,...). Počet vstupov a výstupov v systémoch sa pohybuje od 4 po niekoľko tisíc.

Rozlišujeme public inštalácie ATM prepínačov, t.j. **ATM Central Office**, a privátne inštalácie nazývané **ATM LAN**.

V tejto kapitole sa budeme venovať iba transportnej časti prepínačov nie kontrolnej.

Transportná časť sa nazýva **transport network** a je to vlastne všetok hardware zodpovedný za korektný prenos dát. Kvalita prenosu sa hodnotí parametrami ako **cell loss rate**, **bit error rate**, **cell delay**, **cell delay jitter** a iné.

Kontrolná časť sa nazýva **control network** a kontroluje transport network, t.j. napríklad ktorý inlet (vstup) spojiť s ktorým outletom (výstup).

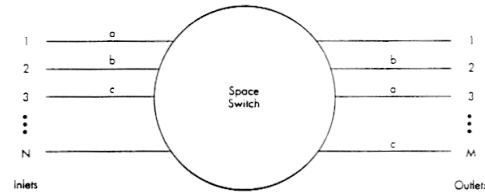
V **ATM prepínači** (*ATM switch*) musia byť ATM bunky transportované z jedného vstupu (*inlet*) do jedného alebo viacerých výstupov (*outlet*). Stretávame sa s pojmami ako prepínanie, multiplexovanie,... ktoré teraz vysvetlíme.

Prepínanie (*Switching*) je prenos informácie z **vstupného logického ATM kanála** (*incoming logical ATM channel*) do **výstupného logického ATM kanála** (*outgoing logical ATM channel*). Logický ATM kanál je charakterizovaný:

- ⇒ **Fyzický vstup/výstup** (*inlet/outlet*) s prislúchajúcim číslom portu
- ⇒ **Logický kanál** na fyzickom porte (*logical channel*) s prislúchajúcim **Virtual Channel Identifier** a/alebo **Virtual Path Identifier** (VPI)

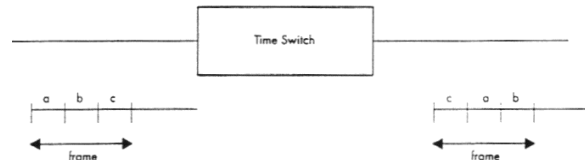
Na uskutočnenie prepínania treba dve funkcie podobné tým používaným v klasických prepínacích systémoch.

Space switching function (obr.1) Je vidieť, že informácia zo vstupu 1 je transportovaná do výstupu 3, atď. Dôležitý aspekt spojený s touto funkciou je routing, t.j. ako je informácia interne routovaná zo vstupu na výstup.



Obr. 0-1 - Space Switching

Time Switching (obr.2) Ide o to, že informácia z jedného time slotu na vstupe je prepnutá do iného time slotu na výstupe. Na jednom vstupe a výstupe je pritom viac rôznych time slotov.



Obr. 0-2 - Time Switching

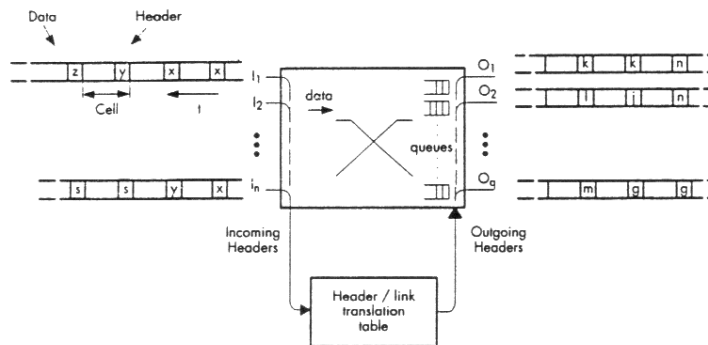
V ATM je identifikácia time slotov v prenášaných paketoch nahradená identifikáciou logických kanálov. Problém nastane, ak 2 a viac logických kanálov chce pristúpiť na jeden time slot. Toto sa rieši frontou (*queing*) ATM buniek.

Koncentrácia/Multiplexing – nastáva vtedy, ak informácie z N vstupov musia byť rozdelené do M výstupov, pričom $N > M$.

Expanzia/Demultiplexing – opačná operácia k predchádzajúcej.

Základný princíp ATM prepínača je na obr.3. Prichádzajúce bunky sú podľa ich hlavičky fyzicky prepínané na výstupné linky. Na každej vstupnej aj výstupnej linke sú hlavičky jedinečné, ale rovnaké hlavičky môžeme nájsť na viacerých linkách. Keďže v rovnakom čase môžu prísť z rôznych vstupných liniek bunky, ktoré smerujú do rovnakého výstupu, je potrebné zabezpečiť frontu pre bunky, ktoré sa ešte nespracovali.

Takže zhrnieme: ATM prepínače vykonávajú tri základné funkcie: *Routing* (space switching), *queing* a *header translation*.



Translation table

Incoming link	Time slot	Outgoing link	Timeslot
i ₁	x	O ₁	k
	y	O _q	m
	z	O ₂	l
i _n	x	O ₁	n
	y	O ₂	i
	s	O _q	g

Obr. 0-3 ATM Princíp prepínania

Definície

Switching Fabric (Prepínacia sieť) – je zložené z rovnakých *basic switching building blocks*, ktoré sú nejakým spôsobom poprepájané. Teda switching fabric je určené topológiou siete a jej základným a jediným elementom.

Basic Switching Building Block (Prepínač) – jednoduchý element používaný na konštrukciu ATM switching fabric. Ďalšie pomenovanie: **switching element**.

Switching system – systém, ako sa prepínajú ATM bunky, t.j. môže to byť len jediný switching element alebo aj switching fabric.

Switching requirements

ATM musí byť schopné zabezpečiť prenos informácií rôznych druhov s rôznymi požiadavkami na rýchlosť, chybovosť atď.

Information rates

Rýchlosť prenosu sa v ATM pohybuje od niekoľkých kbit/s až po 150Mbit/s (napríklad pre HDTV). To ale neznamená, že ATM prepínače operujú na danej rýchlosti. Prepínanie môže byť realizované paralelnými spojeniami, vtedy je operačná rýchlosť nižšia, alebo je realizovaných viacero prenosov cez jeden prepínač a vtedy musí prepínač operovať na rýchlosti potencionálne Gbit/s.

Broadcast/Multicast

Klasické STM majú len point-to-point konektie, kým ATM má:

Broadcast – poskytovanie informácií z jedného zdroja všetkým ostatným.

Multicast – poskytovanie informácií z jedného zdroja viacerým destináciám.

Tieto služby su typicky požadované pre distribúciu TV, video knižníc, atď.

Výkon

Výkon môže byť hodnotený z viacerých pohľadov, typicky sa hovorí o **priepustnosti** (*throughput*), connection blocking probability, bit error rate, switching delay. V ATM sa upriamuje pozornosť najmä na connection blocking, cell loss/cell insertion probability a switching delay.

Connection Blocking – určuje pravdepodobnosť, že nie je dostatok prostriedkov na vytvorenie novej konektie – či už spôsobené fyzickým obmedzením rýchlosti liniek, alebo prepínačov (keďže ATM sú connection-oriented). **Internal connection blocking** je podobné, ale ide len o obmedzenie prepínačov. Niektoré implementácie nemajú toto interné blokovanie, ale iné áno, lebo prepínač si musí pre každú konektiu alokovať nejaké prostriedky.

Cell loss/cell insertion probability – do ATM prepínača môže prísť v rovnakom čase viac buniek, ako je kapacita jeho zásobníka, preto sa niektoré bunky stratia (*cell loss*). Pravdepodobnosť tejto straty je v ATM v rozmedzí 10^{-8} až 10^{-11} . Cell insertion je nesprávne routovanie bunky. Pravdepodobnosť tejto udalosti by mala byť asi 1000-krát menšia ako pravdepodobnosť cell loss.

Switching delay – je to čas, ktorý trvá spracovanie bunky v prepínači. Hodnota býva okolo 10 až $1000 \cdot 10^{-9}$ s s rozplytom okolo $100 \cdot 10^{-9}$ s a menej.

Basic Switching Building Blocks

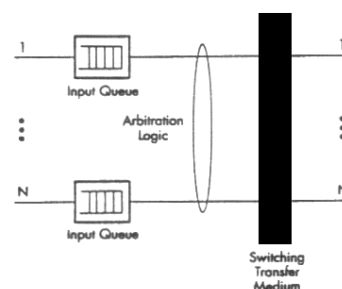
Switching element – prepínač – pozostáva väčšinou z 2 až 16 vstupov a výstupov, operačná rýchlosť je 150Mbit/s až 2.4Gbit/s. V tejto kapitole sa budeme zaoberať funkciami switching elementov, čo je hlavne **queuing** (**udržiavanie fronty, radenie**), pretože prepínač vlastne pracuje v ATM ako multiplexer.

Fronta buniek môže byť na vstupoch, na výstupoch, vo vnútri elementu, alebo žiadna (používa sa iba ak sieť prepínačov nie je konektiovo orientovaná).

Input queuing

V tomto riešení má každá vstupná linka svoj buffer, kde si ukladá prichádzajúce ATM bunky. Za týmito buffermi nasleduje

Broadband ATM Switching



Obr. 0-4 Switching element with input queuing

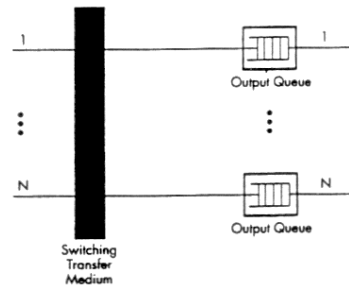
rozhodovacia logika, ktorá určuje poradie obsluhovania vstupov a ich bufferov. Posledné je switching transfer medium, ktoré len prepojí daný vstup z daným výstupom (obr. 4)

Nevýhodou tohto spôsobu bufferovania buniek je tzv. **Head of the Line (HOL) blocking**. Tento stav nastáva vtedy, ak sú napr. v bufferi pre vstupnú linku 1 správy **a,b**. Nech **a** je určená pre výstup č.1 a správa **b** pre výstup č.2. Nech správa **a** je na vrchu buffera a ešte nech výstup 1 je obsadený a výstup 2 voľný.

Potom ale správa **b** musí čakať, až sa uvoľní výstup 1, hoci je určená pre voľný výstup 2, lebo je blokována správou **a**. V *one cell time* nemusí byť prepnutých všetkých N buniek.

Output queuing

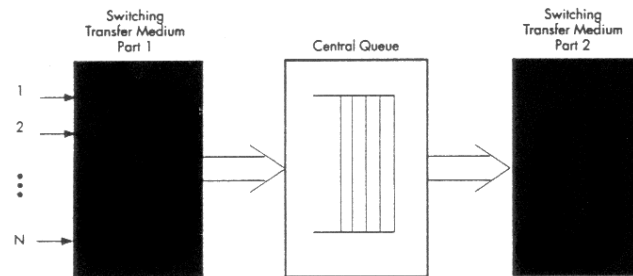
V tomto riešení má zase každá výstupná linka svoj buffer, kde si ukladá ATM bunky určené pre tieto výstupy. Žiadna rozhodovacia logika nie je potrebná, pretože všetky prichádzajúce bunky idú priamo do bufferov výstupných liniek. V *one cell time* môže byť prepnutých všetkých N buniek (obr.5).



Obr. 0-5 Switching element with output queuing

Central queuing

V tomto riešení existuje len jediný spoločný centrálny buffer pre spracovávané bunky. Každá výstupná linka si z neho vyberá „svoje“ bunky FIFO radením. Na obsluhu buffera existuje špeciálny systém, nie len obyčajný FIFO, lebo do buffera je potrebné pristupovať náhodne na rôzne miesta (obr.6)



Obr. 0-6 Switching Element with Central Queuing

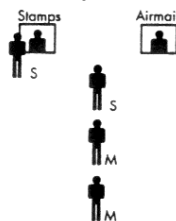
Výkon spôsobov radenia

Je charakterizovaný cell loss, delay a potrebnou veľkosťou všetkých bufferov.

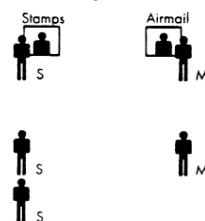
Intuitívne, stredná veľkosť buffera pre input queuing je väčšia ako pre output queuing a tá je ešte stále väčšia ako pri central queuing. Takisto aj s cell delay je to najhoršie pri input queuing. Dobře to ilustruje nasledujúci príklad.

Predstavme si poštu a 2 úradníkov, ktorí obsluhujú klientov. Jeden predáva známky (stamps), druhý obsluhuje airmail.

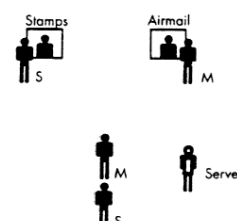
1. Predpokladajme, že existuje iba jedna fronta s FIFO obsluhou (obr.7). Potom osoba, ktorá má airmail musí čakať, kým nie je vybavená osoba čakajúca na známky, aj keď je úradník pre airmail voľný.
2. Na obr.8 sú dve samostatné „výstupné“ fronty – pre známky aj pre airmail. Osoba čakajúca na airmail nie je blokována osobou čakajúcou na známky. Taktiež vidíme, že úradníci musia pracovať usilovnejšie.
3. Na obr.9 máme znovu len jednu frontu, ale je tam ďalšia osoba – server, ktorá posieľa ľudí k obom priečinkom. Pritom osobu čakajúcu na airmail pustí k danému priečinku aj vtedy, ak je pred ňou vo fronte niekoľko ľudí čakajúcich na známky. Úradníci majú tak isto práce ako na obr.8, ale celková kapacita rezervovaná na fronty sa zmenšila dvakrát (keďže na obr.8 každá z front musí byť teoreticky dizajnovaná na tú istú maximálnu záťaž ako jediná fronta na obr.9).



Obr. 0-7 Input Queuing na pošte



Obr. 0-8 Output Queuing na pošte



Obr. 0-9 Central Queuing na pošte

Analytický model

Uvažujme zjednodušený model pre príchod buniek na vstupných linkách – založený na nezávislom a identickom Bernoulliho procese.

To znamená, že v ľubovoľnom time slot je pravdepodobnosť, že bunka príde na určitú vstupnú linku p ($0 <= p <= 1$). Nech máme N vstupných a N výstupných liniek. Každá bunka príde na určitú vstupnú a je prepnutá na určitú výstupnú linku s pravdepodobnosťou $1/N$.

Output queuing

Pravdepodobnosť (x_i) že bunka i príde na určitý výstup počas one cell time je $x_i = \binom{N}{i} \left(\frac{p}{N}\right)^i \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N-i}$

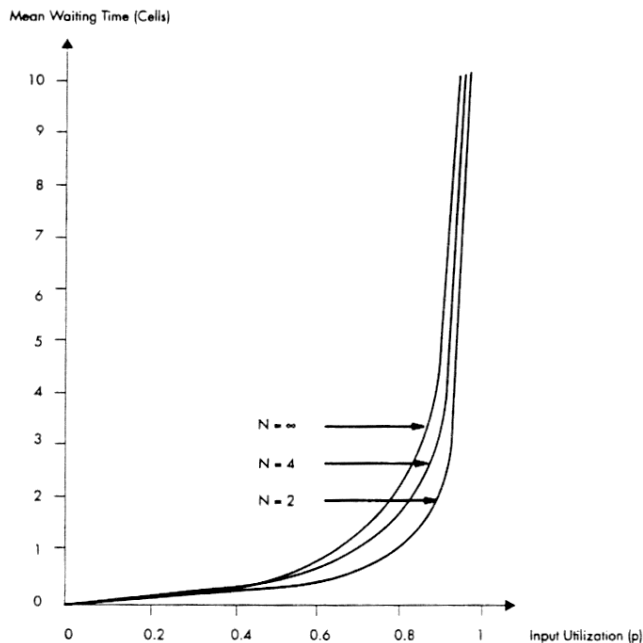
Určíme generujúcu funkciu náhodnej premennej $X(z)$ $X(z) = \sum_{i=1}^N z^i x_i = \left(1 - \frac{p}{N} + z \frac{p}{N}\right)^N$

Podľa literatúry (Kleinrock) vieme určiť počet $Q(z)$ buniek vo fronte $Q(z) = \frac{(1-p)(1-z)}{X(z) - z}$

integrovaním dostávame priemernú veľkosť fronty $\bar{Q} = \frac{(N-1)}{N} \frac{p^2}{2(1-p)}$

pre priemerné čakanie bunky platí vzťah $\bar{W} = \bar{Q} \frac{1}{p}$

Na obr.10 je vývoj čakania nakreslený, pričom Input Utilization je koeficient počtu užitočných správ k prázdny správam (keď nič netreba prepájať).



Obr. 0-10 Stredný čas čakania buniek pre Output Queuing

Input queuing

Rovnaké predpoklady ako v predchádzajúcom prípade. Nech B_n^i je počet buniek v na hlavičke vstupných bufferov určených pre výstup i , ale blokováných, lebo neboli zvolené pre spracovanie (keďže iba jedna bunka v danom čase môže byť dopravená na výstup i). Nech A_n^i je počet nových buniek v hlavičke bufferov čase n určených pre výstup i . Potom platí: $B_n^i = \max(B_{n-1}^i - 1 + A_n^i, 0)$

Celkový počet čakajúcich buniek v čase n je: $L_n = N - \sum_{i=1}^N B_{n-1}^i$, priemerný stav L_n je potom $\bar{L} = N \cdot p$, keď p reprezentuje priepustnosť linky.

Ak sa N blíži k nekonečnu správa sa buffer takisto ako pri output queuing, teda pre priemernú dĺžku buffera

$$\text{pre konkrétnu vstupnú linku platí: } \bar{B}^i = \frac{p^2}{2(1-p)}$$

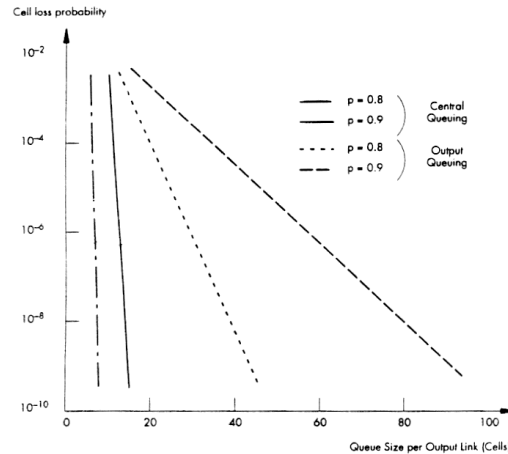
Z daných vzťahov odvodíme maximálny koeficient Input Utilization $p_{\max}=0.586$.

Central queuing

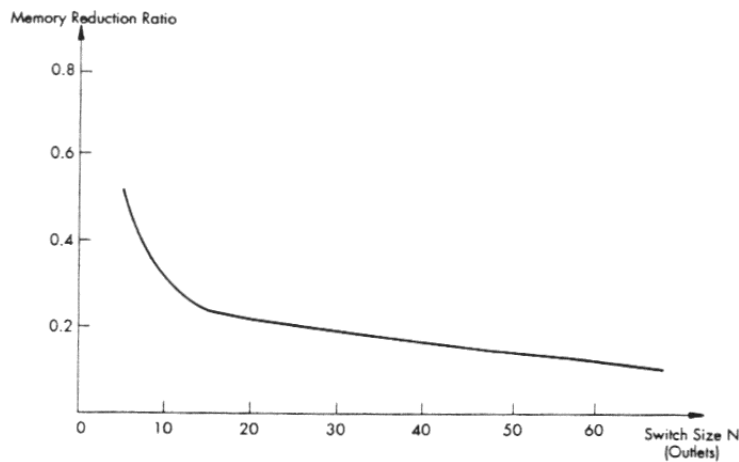
Centrálne bufferovanie sa správa presne ako output queuing. Ale hlavná výhoda v central queuing je spoločný zdieľaný buffer. Môžeme urobiť odhad zisku voľnej pamäte. Potom môžeme vypočítať cell loss probability useknutím chvosta distribučnej funkcie náhodnej premennej, ktorú získame, keď budeme uvažovať nekonečnú dĺžku výstupných bufferov.

Výsledok je na obr.11. Môžeme vidieť výrazný zisk voľnej pamäte pri použití centrálného bufferovania oproti výstupnému. Zisk závisí od počtu vstupov a výstupov na prepínači.

Na obr. 12 je zobrazený pomer redukcie pamäte.



Obr. 0-11 Cell loss probability

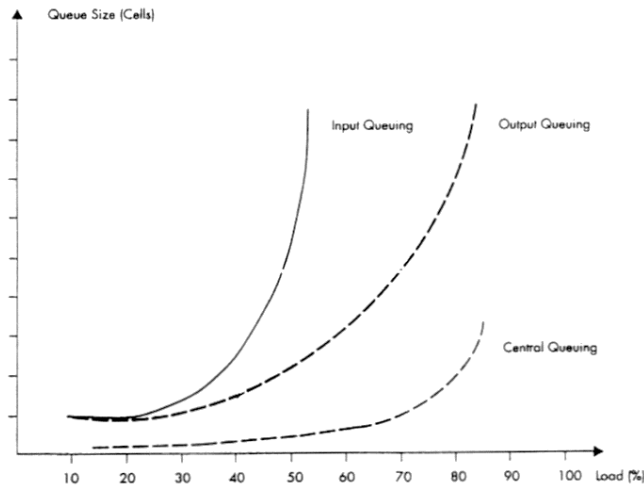


Obr. 0-12 Redukcia pamäte pre Central Queuing pre Cell loss probability 10⁻⁹ a p=0.8

Počítačová simulácia

Analytický model platí iba pri určitých predpokladoch, preto sa situácia prepínania simulovala na počítačoch. Takéto testy sú veľmi náročné na výpočtovú silu počítača, lebo je potrebné testovať veľmi nízke cell loss probability. Simulácia potvrdila výsledky dosiahnuté v analýze.

Na obr.13 je výsledok takejto simulácie.



Obr. 0-13 Veľkosť fronty ako funkcia zaťaženia

Parametre implementácie základných ATM switching building blocks

Požiadavky pri fyzickej implementácii troch uvedených spôsobov radenia sú veľmi odlišné. Je to spôsobené nielen veľkosťou fronty ale aj rôznymi požiadavkami na rýchlosť a prídavnú rozhodovaciu logiku. Teda sú tri hlavné parametre pri implementácii týchto blokov: veľkosť fronty, rýchlosť pamäte, správa pamäte.

- **Output queuing** - $N+1$ operácií v *one cell time* pre jednu výstupnú frontu (N potenciálnych zápisov zo všetkých N vstupov a jedno čítanie na poslanie správy ďalej). Pri použití dual ported memory treba vykonať N operácií – zisk je preto minimálny. Riadiaca logika je celkom jednoduchá, iba implementácia FIFO. Všetky vstupy a výstupy sú pripojené cez *transfer medium* (Obr.5). Najjednoduchšia implementácia je TDM (Time Division Multiplexing). Ak nemá byť stratená ani jedna bunka, TDM musí pracovať na rýchlosti N.F.
- **Input queuing** - Len 2 operácie simultánne v *one cell time* pre jednu frontu (1 zápis, 1 čítanie). Netreba používať dual ported memory. *Transfer medium* (Obr.4) môže operovať na menšej rýchlosti ako N.F, lebo sa môže „spofahnúť“ na riadiacu logiku pre input fronty. Riadiaca logika je tiež celkom jednoduchá (FIFO).
- **Central queuing** - $2.N$ operácií simultánne (N potencionálnych zápisov a N čítaní), treba dual-ported memory (dvojnásobný zisk rýchlost). Obe transfer mediá (Obr.6) musia operovať na rýchlosti N.F. Riadiaca logika je zložitejšia.

Memory Access Time for the 3 Queuing Disciplines

	Input queuing	Output queuing	Central queuing
Single ported memory Príklad (ns)	$W/1.F$ 53.3	$W/(N+1).F$ 6.3	$W/2.N.F$ 3.8
Dual ported memory Príklad (ns)	W/F 106.6	$W/N.F$ 6.7	$W/N.F$ 6.7

Predpoklady príkladu:

Cell size = 53 bytes, $W = 16$ bit (šírka pamäte), $F = 150$ Mbit/s, $N = 16$ (počet vstupných liniek)

4.1 ATM Switching fabrics

Keď sa niekoľko switching elements spojí do siete, hovoríme o tzv. „**switching fabric**“. Táto switching fabric má väčšinou veľký počet vstupov a výstupov (až niekoľko 100 tisíc). V prípade že je táto switching fabric tvorená identickými **switching elements** ide o Multistage Interconnection Network (**MIN**).

Napríklad taká MIN sa môže skladať z elementov typu 2x2, alebo 32x32 organizovaných v niekoľkých úrovniach (stages). Povačšine sa rozsiahlejšie switching fabrics skladajú z elementov typu 32x32.

Na počiatku boli MIN používané v sieťach s prepájaním okruhov (1950) a až neskôr (1970) v paketových sieťach – napr. Banyan network, Delta network. Delta network je zaujímavou podtriedou Banyan network. Má tzv. samoroutovaciu vlastnosť, čo znamená, že nezávisle na tom do ktorého vstupu dorazí paket, vždy dorazí na správny výstup. Funguje to na základe reťazca číslíc nazývaným **routing tag**, ktorý obsahuje zakódovanú adresu výstupu, pričom každá úroveň MIN interpretuje časť z nich tak, že pošle paket na výstup v poradí aké určila odseknutá časť. Keďže takto definované routovacie pravidla zakomponované do hardware sú veľmi rýchle dajú sa dosahovať vysoké rýchlosti prepojenia. Navyše pakety môžu prechádzať routovacou sieťou paralelne.

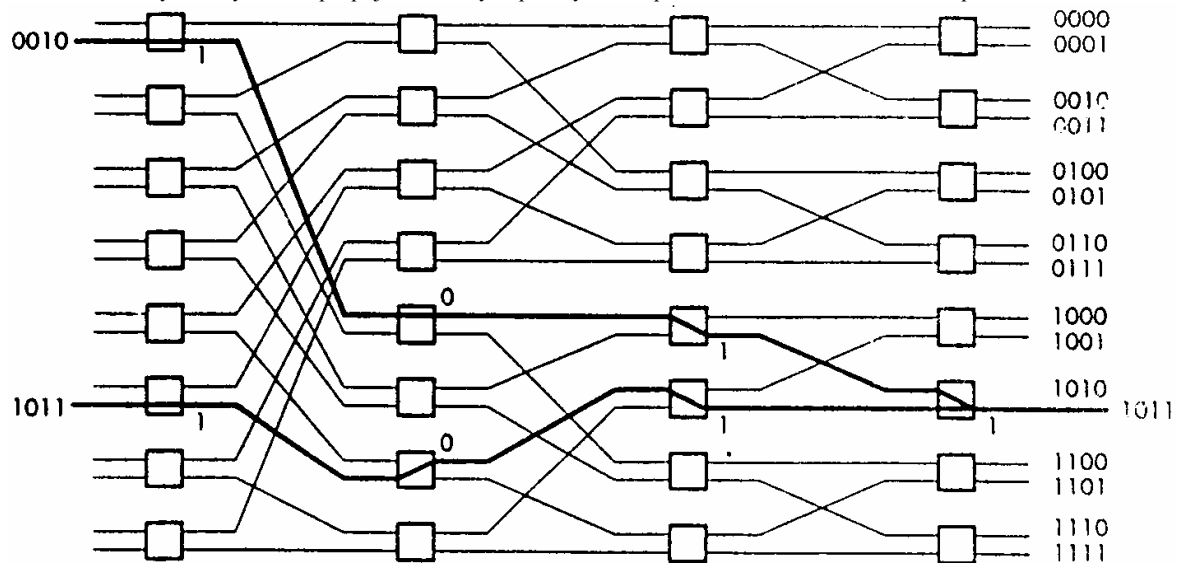


Fig. 4.27. – Self-Routing Properties of a Delta Network

Práve vlastnosť paralelného prechodu buniek (paketov) cez switching network prináša problém. Jednotlivé bunky môžu vo vnútri siete doraziť súčasne do toho istého switching element a spôsobiť tak kolíziu.

Podľa typu(miesta) kolízie hovoríme o vnútornom blokovaní (**internal blocking**, MIN with internal cell loss) – kolízia nastala vo vnútri MIN, alebo blokovanie na výstupe – bunky dorazili súčasne do toho istého výstupu, ale to sa už nepovažuje za problém MIN. Problém blokovania sa rieši rôznymi spôsobmi:

- Umožnenie „buffrovania“ v každom switching element
- Zvýšenie vnútornej rýchlosti liniek vzhľadom na vonkajšiu rýchlosť
- Použitie mechanizmu na zdržanie prenosu kolidujúcich buniek
- Použitie paralelných MIN
- Použitie viacerých liniek medzi jednotlivými uzlami

Tieto metódy sa považujú, aby sa dosiahla čo najvyššia priepustnosť a spoľahlivosť MIN.

Multistage interconnection networks with internal cell loss

Ide o MIN, kde nastáva vnútorné blokovanie buniek. Vnútorné blokovanie sa dá vhodným dizajnom MIN dostať na akceptovateľnú hodnotu – hodnoty okolo 10 na –10 sú dosiahnuteľné. Routovanie prostredníctvom MIN with internal cell loss môže byť implementované rôzne. Tieto riešenia sa dajú rozdeliť vzhľadom na tieto parametre:

- Čas, kedy routovacie rozhodnutie bolo urobené
- Miesto, kde sú uložené informácie o routovaní

Toto rozdelenie charakterizuje nasledujúca tabuľka.

Routing information place Routing decision time	Cell based (Routing tag)	Network based (Routing table)
Connection based	I	III
Cell based	II	IV

Table 4.2. – Routing in a Multistage Interconnection Network

Routing time

V prípade skupiny I a III pri tvorbe spojenia je cesta cez MIN zvolená raz pre celú dobu trvania spojenia. To znamená, že všetky bunky sledujú tú istú cestu cez MIN, teda poradie buniek ostáva zachované. Pri určitom vyťažení vnútorných zdrojov sa môže stať, že žiadosť o nové spojenie bude zamietnutá. Platí, že nové spojenie môže byť vytvorené, iba ak sa dá vytvoriť vnútorná cesta z dostatkom zdrojov. Na zvolenie cesty existuje viacero techník. Niektoré časti cesty môžu byť náhodne zvolené, aby bola sieť rovnomerne vyťažená a ďalšie časti zaručia správne doručenie bunky. Toto rozloženie zaťaženia znižuje pravdepodobnosť vnútorného blokovania. Cesta môže byť vypočítaná v centrálnom počítači, alebo môže byť počítaná postupne, tak že každý switching element si testuje voľné zdroje, ktoré má k dispozícii. Keď sa cesta vypočíta, tak sa rozdeľuje do jednotlivých switching elements vo forme routing tag, alebo ako routing table.

V II a IV je routovacie rozhodnutie vykonáva pre každú bunku nezávisle. To znamená že jednotlivé bunky spojenia môžu prechádzať MIN v rôznych cestách. V závislosti na implementácii MIN môžu bunky prichádzať na výstup v inom poradí ako boli na vstupe. V tomto prípade je nutné robiť preusporiadanie. Na rozdiel od prípadov I a III, kde sú zdroje v MIN zdieľané medzi jednotlivými spojeniami na každej ceste zvlášť, v typoch II a IV sú zdroje zdieľané medzi všetkými bunkami spojení na všetkých cestách.

Routing information place

V prípade I a II je routovacia informácia uložená v routing tag, ktorý je pridaný ku každej bunke. Routing tag musí obsahovať informáciu pre každú úroveň v MIN. V type I musí byť v routing tag úplná informácia pre všetky úrovne vrátane znáhodňovacích úrovní. To znamená, že keď sa určí cesta pre spojenie dá sa vypočítať kompletný routing tag. V type II routing tag obsahuje len informácie pre routovacie úrovne. Znáhodňovacie úrovne si volia náhodný výstup, takže tu nie je potrebná routovacia informácia.

V typoch III a IV routovacia tabuľka poskytuje potrebnú routovaciu informáciu. Tento spôsob je vhodný pri predpoklade multicastingu.

Roxanne switching fabric

Jedná sa o MIN typu II, pokiaľ ide o spojenie point-to-point(singlecasting). Aby bolo zabezpečené rovnomerné vyťaženie zdrojov siete, tak sa bunky v prvých úrovniach náhodne rozdeľujú do všetkých liniek. S toho dôvodu routing tag neobsahuje kompletnú informáciu o ceste. Nasledujúce kľúčové nastavenia zabezpečujú akceptovateľnú úroveň blokovania:

- Vnútorné buffrovanie v switch elements
- Pre spoľahlivé zabezpečenie viacerých ciest sa používajú viacnásobné MIN

– Pre maximálne rozvrstvenie zátáže sa používajú viacnásobné cesty
Výsledná switching fabric je paralelne zložená z troch úrovní a je ľahko rozšíriteľná čo sa týka počtu liniek pridaním ďalších úrovní a čo priepustnosti pridaním ďalších **planes**.

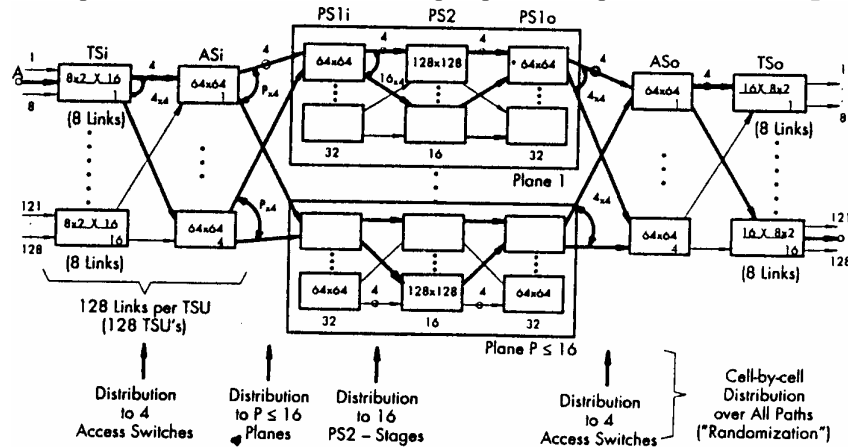


Fig. 4.29. – Distributed or Directed Routing in Successive Stages of the Roxanne Switching Fabric

V prípade multicastingu je Roxanne typu IV. Routovacia tabuľka je umiestnená v najdôležitejších úrovniach siete. Obsahuje počet kópií vzhľadom na spojenie a úroveň. To umožňuje urobiť sieti toľko kópií koľko potrebuje.

Athena switching fabric

MIN typu III. To znamená, že určenie cesty sa vykoná raz pre celú dobu trvania spojenia a táto informácia je uložená v routovacích tabuľkách v switching elements. Pokým sa nájde cesta cez switching fabric pravdepodobnosť blokovania je nenulová a v prípade existencie routovacích tabuliek sa ľahko implementuje multicasting.

Multistage interconnection networks without internal cell loss

MINs, v ktorých nenastáva vnútorné strácanie buniek. Môže sa ale stať, že bunky kolidujú na okrajoch MIN. Tieto siete sa dajú rozdeliť do dvoch kategórii:

- obsahujúce vnútorný buffering
- bez vnútorného buffering

Siete s vnútorným buffernigom musia kontrolovať vyťaženosť buffrov, aby nenastalo preťaženie a tým strata bunky.

St. Louis switching fabric

Pôvodne táto switching fabric nebola navrhnutá pre bunky fixnej veľkosti, ale pre pakety premennej veľkosti. Jedná sa selfrouting MIN typu II.

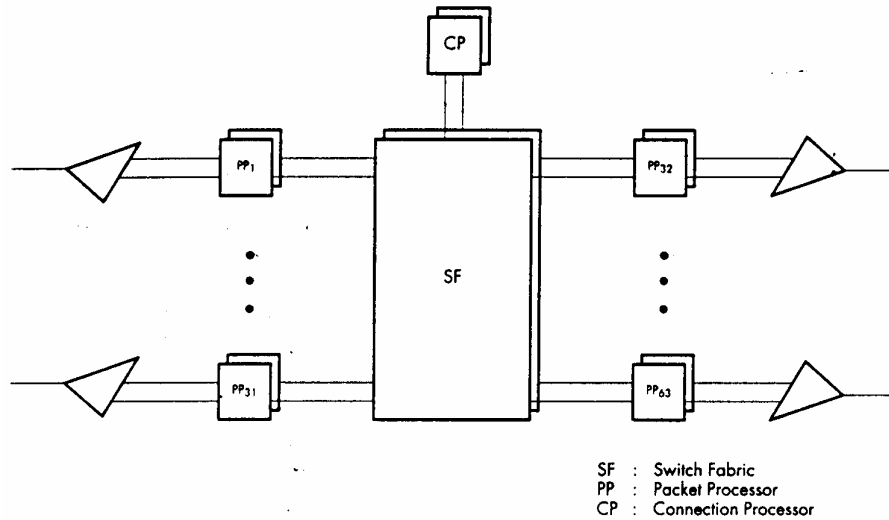


Fig. 4.34. – St. Louis Switching Fabric

Paket procesor PP pridáva routing tag k prichádzajúcim paketom. Switching fabric SF poskytuje viacero ciest medzi vstupom a výstupom, čím umožňuje multicasting. Spojovací procesor CP vytvára spojenia typu point-to-point, alebo multicast.

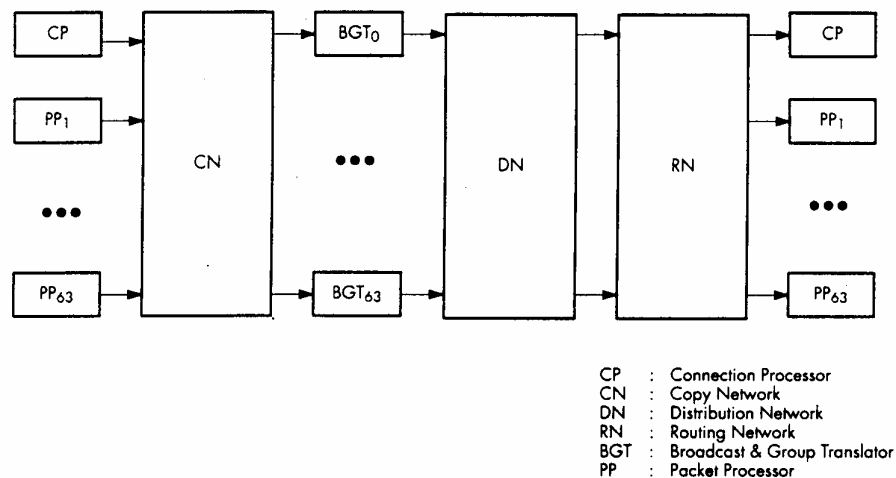


Fig. 4.35. – St. Louis Switching Fabric Building Blocks

Switching fabric St. Louis je zložená zo 4 hlavných častí:

- Copy network CN. zodpovedajú za vytváranie potrebných kópií prichádzajúcich paketov. V point-to-point spojeniach nemajú žiadnu funkciu.
- Distribution network DN. Zabezpečuje rovnomerné rozloženie prichádzajúcich paketov.
- Routing network RN. Zaručuje správne doručenie paketov.
- Viacerých broadcast a skupinových prekladačov BGT. Vykonávajú preklad a vytváranie routing tags.

Batcher-Banyan based MINs

Špeciálna trieda MIN obsahujúca switching fabrics, v ktorých neexistuje možnosť vnútornej kolízie buniek. Nie je treba robiť buffrovanie. Takéto switching fabrics sa nazývajú neblokujúce (**non-blocking**). Táto vlastnosť sa dá dosiahnuť vhodnou topológiou a zároveň treba zaručiť, aby viaceré bunky neboli adresované do jedného výstupu. Najznámejšie siete

tohto typu sú založené na Batcher-Banyan topológii. Táto topológia znázornená na nasledujúcom obrázku sa skladá z Batcher siete nasledovanej Banyan sieťou.

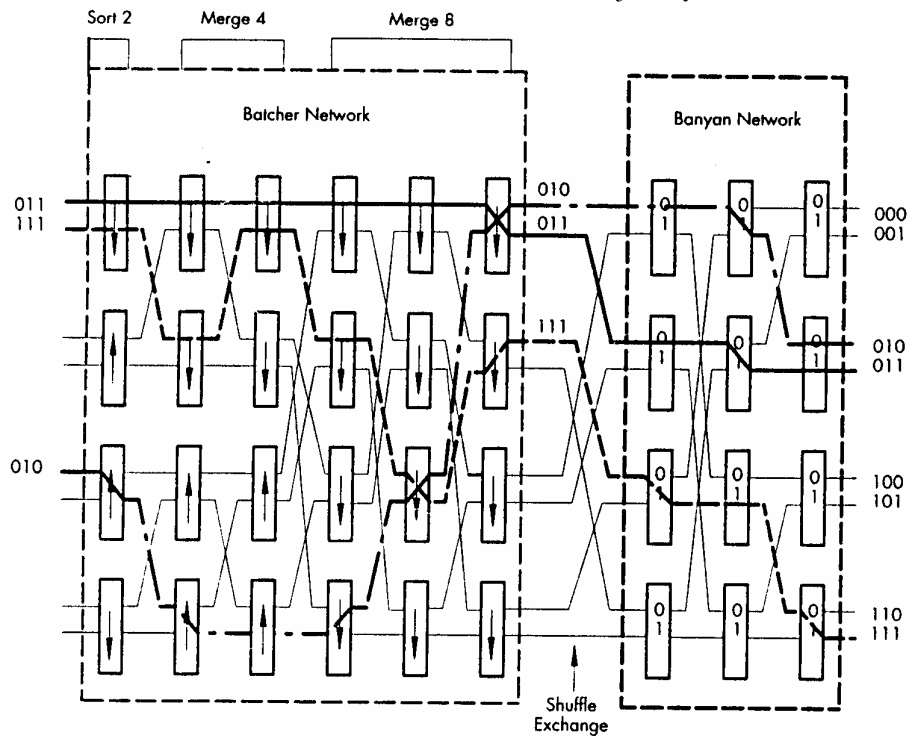


Fig. 4.38. – Batcher–Banyan Network Topology

Batcher network

Utrieduje bunky vzhľadom na ich cieľovú adresu. Bunky z najnižšou adresou na najvyšší výstup siete. Ide vlastne o nejakú triediacu sieť, ktorá sa skladá z blokov typu 2x2

Banyan network

Je jednoduchá samoroutovacia sieť, ktorá zaručuje, že všetky bunky dorazia na adresu zaznamenanú v routing tag, ktorá je identická s konečnou adresou. Keďže na jeden výstup nie sú smerované viaceré bunky nevzniká tu možnosť kolízie.

Starlite

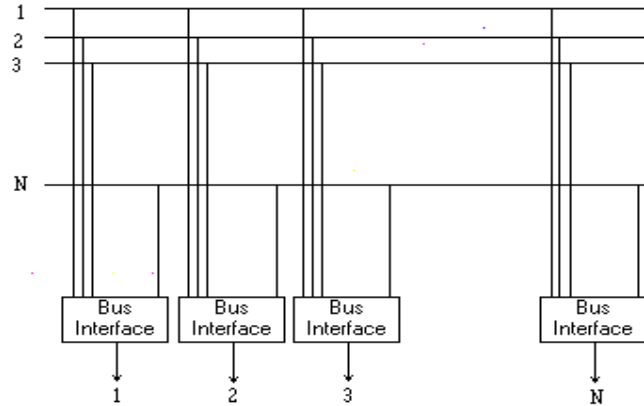
Prvý switch založený na Batcher-Banyan spomenutý v literatúre. Switch je navrhnutý s konštantným oneskorením a skladá sa s postupnosťou rovnomerne rozvrstvených routing networks. Konkrétne: Concentrator + Batcher(Sort) + Trap + Banyan(Expander). Umožňuje nárast vonkajších vstupov a hodnoty šírky pásma na užívateľa. Tento switch používa bunky pevnej veľkosti, ku ktorým na vstupe pridáva routing tag. Na prekonanie výstupnej kolízie buniek sa používa Trap network medzi Batcher a Banyan. Táto sieť rozpoznáva bunky s tou istou cieľovou adresou, odelí ich od seba a pošle znova na vstup, kde sa pokúsia o nový prechod.

Moonshine

Tiež je založená na Batcher-Banyan topológii, ale používa iný spôsob riešenia konfliktu na výstupe ako Starlite. Je navrhnutá pre pakety premennej dĺžky, takže nie je určená len pre ATM. Používa sa tu troj-fázový algoritmus. V prvej fáze – Arbitration sa testuje, či kolidujúce bunky čakajú na vstupe. Robí to pomocou špeciálnych správ volaných „request“. Raz za čas sa tieto správy utriedia a určí sa víťazná bunka, ktorá potom môže vstúpiť na vstupný port.

4.3 Knockout switching element

Tento element bol prvý krát predstavený v 1987. Ako neskôr uvidíme, Knockout switch môžeme skladať do väčších častí pomocou menších. Je založený na výstupnej fronte, avšak má aj črty centrálného frontovania. Pozrime sa detailne na prácu tohto switchu, ktorý je zobrazený na nasledujúcom obrázku.

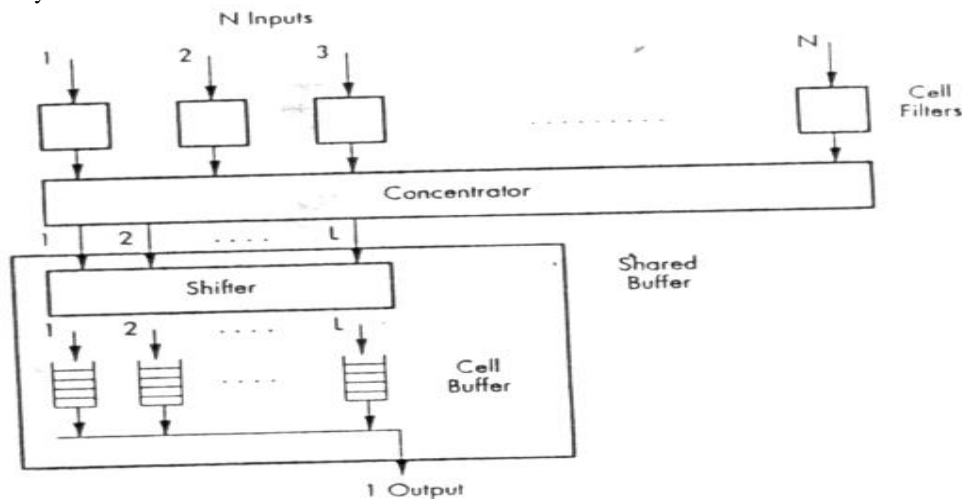


Obr. Knockout Switch

Knockout switch má N vstupov a n výstupov, pracujúcich na rovnakej rýchlosti. Bunky pevne danej veľkosti prichádzajú na každý vstup v časovej jednotke.

Pozostáva z N broadcastových zberníc, jedna pre každý vstup. Čiže každý výstup má spojenie z každým vstupom. Ďalšou časťou je Bus Interface. Je jeden pre každý výstup.

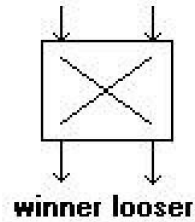
Do jedného Bus Interfacu môže prísť naraz viac buniek, ktoré sa potrebujú dostať na daný výstup. Preto sa tu potrebujú tieto bunky bufrovať. Ak má byť zabezpečená nulová strata buniek (cell loss probability), musí vedieť pamäť zapísať v jenej časovej jednotke N -krát. Táto požiadavka je znížená inteligentnou časťou Bus Interfacu, nazývanou Concentrator.



obr. Bus Interface

Do Bus Interfacu vstupuje N vstupov, z každej zbernice jeden. Tieto sú napojené na Cell Filtre, ktoré preskúmajú adresu prichádzajúcej bunky, a ak je adresovaná na výstup, ktorý patrí tomuto Bus Interfacu, tak je presunutá do Concentratora, inak sa zruší.

Concentrator má N vstupov a L výstupov. Je postavený z jednoduchých blokov, ako je zobrazené na obrázku.



obr. Contention Switch

Tieto bloky majú dva vstupy a dva výstupy, kde jeden výstup je označený ako víťazný. Ak na vstup príde len jedna ATM bunka, tak je zvolená za víťaza, inak sa zvolí bunka z ľavého vstupu. Na zostrojenie Concentratora z týchto blokov sa zostaví turnaj. Víťaz vždy postupuje do ďalšieho kola.

Obrázok ukazuje štruktúru turnaja s 8 vstupmi a 4 výstupmi. Sú tu aj ďalšie bloky, tkz. Delay elementy, ktoré pozdržia bunku na určitej úrovni.

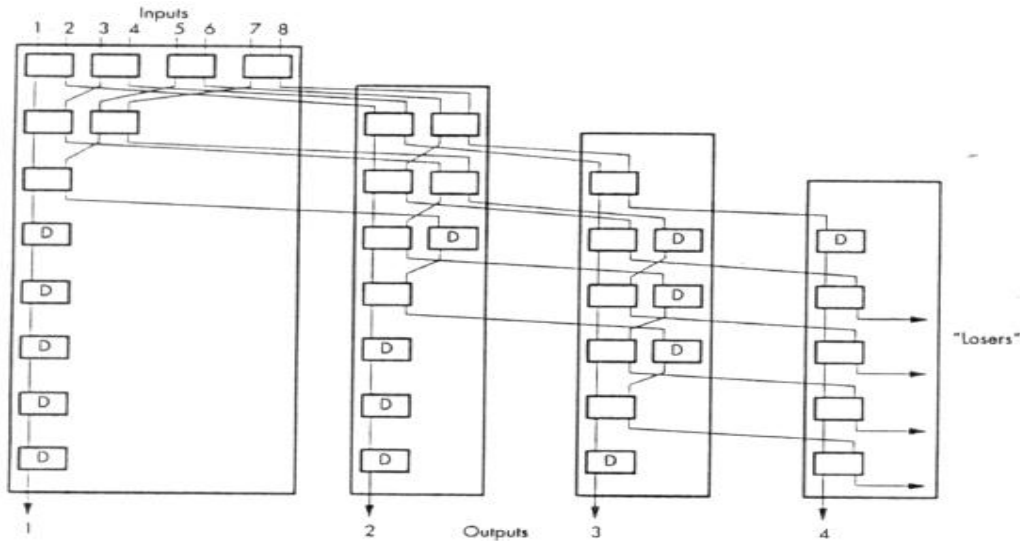


Fig. 4.13. – 8-Input/4-Output Concentrator
obr. Concentrator

Všetkých 8 vstupov vchádza do prvej úrovne turnaja. Z nich vziať 4 víťazi, postupujúci do ďalšieho kola na tej istej úrovni a 4 porazení, ktorí prechádzajú do ďalšej úrovne turnaja. Z každej úrovne teda vziať len jeden víťaz, a keďže je L úrovní, tak máme max L buniek, ktoré prejdú Concentratorom.

Ďalšou časťou Bus Interfacu je buffer zodpovedný za uchovávanie buniek, ktoré prejdú Concentratorom. Tento buffer je zložený z L malých buffrov, jeden pre každý výstup z Concentratora. Na zabezpečenie rovnakej záťaže každého malého buffra sa používa Shifter. Ten rovnomerne rozdeľuje bunky medzi buffre.

Broadcast je na tomto switchi jednoduchý, pretože každý vstup je napojený na všetky výstupy. Na zabezpečenie multicastu sa pridajú špeciálne multicast moduly a multicast zbernice.

4.3.5 Roxanne switching element

Je tiež nazývaný Integrated Switching Element (ISE). Bol predstavený v Alcateli v 1990.

Rýchlosť a veľkosť ISE závisí od použitej technológie výroby čipu. ISE je schopný routovať bunky z jedného vstupu na jeden a viac výstupov, takže multicast a broadcast nie sú veľký problém.

Architektúra ISE je založená na centrálnej fronte. Táto centrálna fronta (shared buffer memory SBM) uchováva bunky a je napojená na všetky vstupy a výstupy.

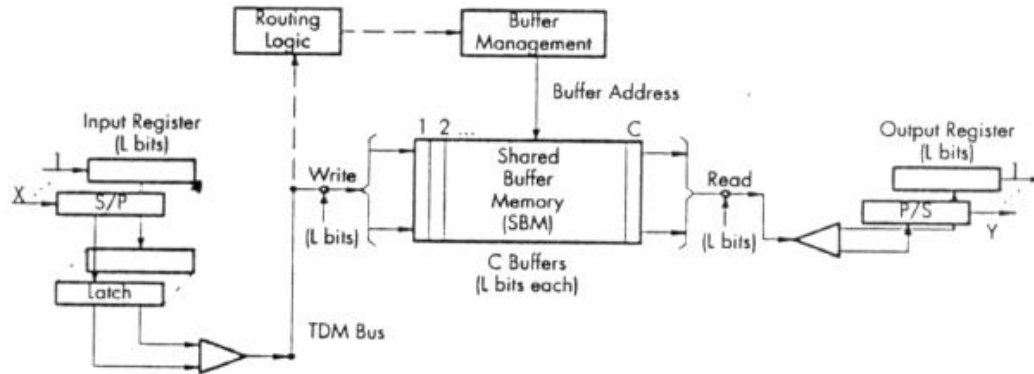


Fig. 4.18. - ISE Functional Block Diagram
obr. Roxanne Switch

Keď bunka príde na vstup ISE, je najprv prekonvertovaná na L bitov dlhé bloky a celá bunka sa ohraničí. Takto rozdelená sa uchová v Latch registri. Odtiaľto je následne presunutá cez TDM bus (time division multiplexing) do SBM. Pri ISE 32x32 sa musí za jednu časovú jednotku vykonať 32 zápisov do SBM. Avšak pred zápisom bunky do SBM sa musí ešte vykonať routovanie tejto bunky. Toto vykonáva Routing Logic, ktorá za jednu časovú jednotku obsluží 32 buniek. Následne sa bunka pošle do fronty v SBM, ktorú využíva 4, 8, 16, 32 výstupov na základe ISE routovacieho módu. Z tejto fronty sa potom obsluhuje príslušná skupina výstupov.

O správu voľných a obsadených miest v SBM sa stará Buffer Management jednotka. Každý výstup následne dostáva bunky z SBM a tie sa spájajú a odchádzajú.

Pri multicaste sa počet kópií a destinácie udržiavajú v špeciálnej pamäti. A routovacia informácia v bunke obsahuje odkaz do tejto pamäti.

ISE má zaujímavú črtu. Totiž nie je závislý od dĺžky buniek, pretože si ich rozdeľuje na fixné úseky. Môže teda pracovať s rôznymi formátmi buniek a paketov.

4.3.6 Corpin switching element

Bol predstavený v 1987 vo French CNET.

Routovanie v Corpin switchi je založené na hlavičke bunky. Hlavička obsahuje referenčné číslo, ktoré je prednastavené pre každé spojenie. Toto číslo sa využíva v switchi na zistenie odpovedajúceho výstupu a zároveň sa prekladá na nové referenčné číslo.

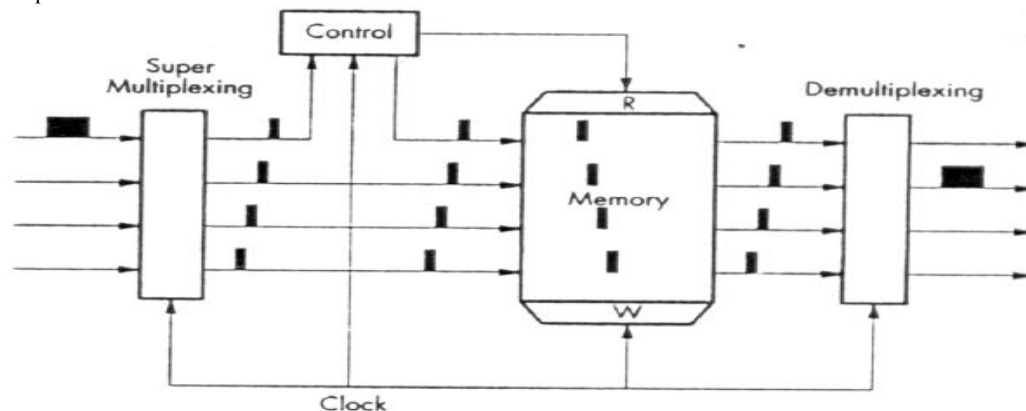


Fig. 4.20. - Coprin Switch
obr. Corpin Switch

Corpin switch sa chová k bunkám ako k paralelnému toku informácií. Hlavičky buniek sa sekvenčne obsluhujú v Control jednotke. Corpin switch má 4 funkcie:

- Super multiplexing blok je zodpovedný za transformáciu prichádzajúcich buniek na paralelný dátový tok a transformáciu hlavičky do špeciálneho toku.
- Demultiplexing blok vykonáva reverznú operáciu k super multiplexingu a konštruuje ATM bunky z paralelného toku.
- Buffer Memory ukladá ATM bunky, ale keďže ich dostáva v špeciálnej forme, tak toto sa musí brať do úvahy pri jej vnútornej organizácii.
- Control blok spravuje použité a voľné miesta vo frontách v Buffer Memory

Do super multiplexing bloku vchádzajú vstupy switchu a tento z každého vstupu pomocou space switchu rozdeľuje prichádzajúce bunky nasledovne. Hlavičku bunky posielajú na prvý špeciálny výstup, ktorý vedie do Control bloku. Prvý informačný byte na prvý informačný výstup, druhý informačný byte na druhý výstup, atď.

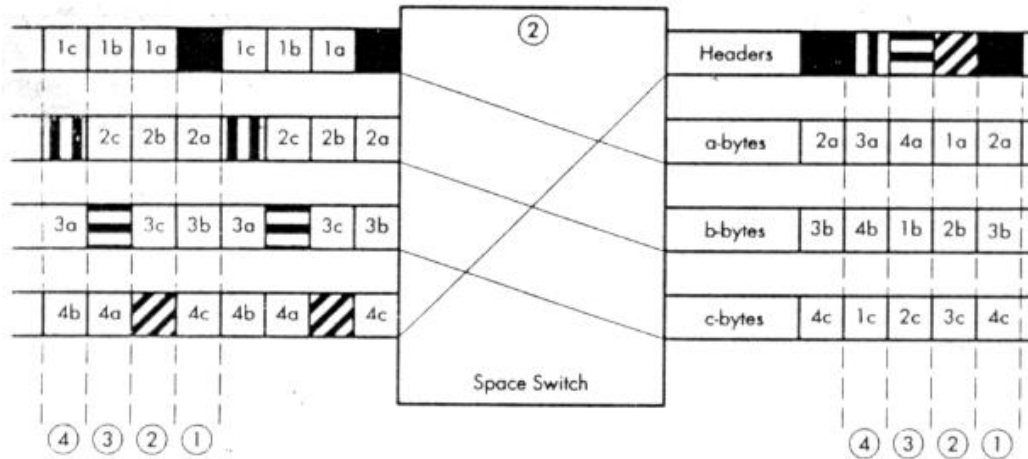


Fig. 4.21 a. – Super Multiplexing Function in Coprin
obr. Space Switch

Takto upravené informácie sa posielajú do buffra. Tu sú pre každý byte informácie samostatné fronty. Teda pre prvé byty buniek je jedna fronta atď. Nasleduje demultiplexing časť, kde sa znovu konštruujú bunky a to znovu pomocou space switchu. Bunky odchádzajú na výstup, ktorý bol vypočítaný v Control bloku, do ktorého prúdia jednotlivé hlavičky.

4.3.7 Athena switching element

Bol predstavený v 1987 a používa techniku výstupnej fronty. Je to jeden čip so 16 vstupmi a 16 výstupmi, pracujúci rýchlosťou 600 Mbit/s.

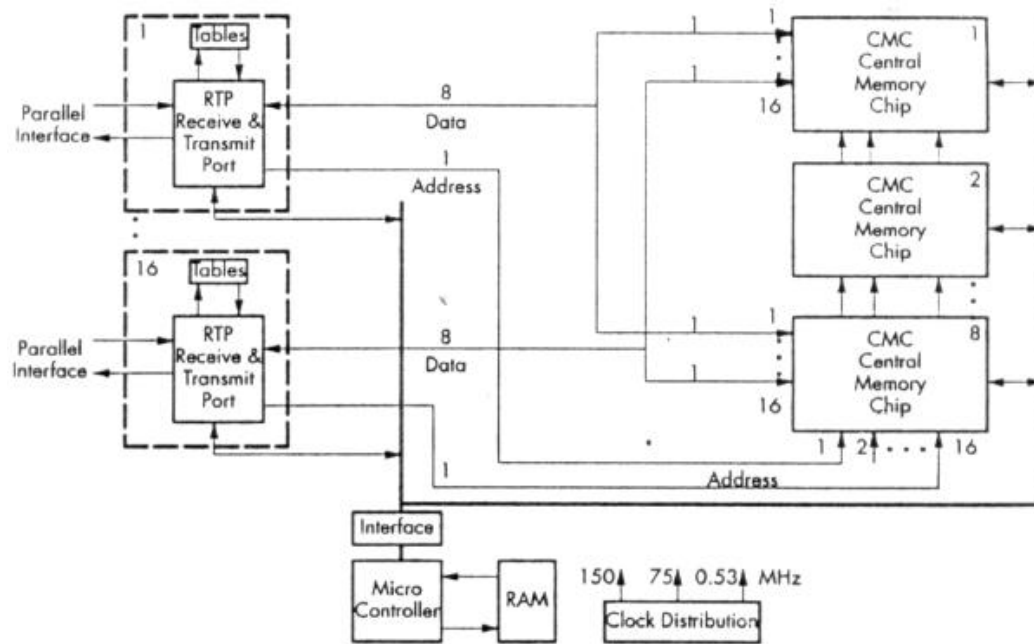


Fig. 4.24. – The Athena Basic Switching Block
obr. Athena Switch

Skladá sa zo 16 RTP (Receive and Transmit Port) a z 8 CMC (Central Memory Chip). Každé RTP je spojené s každým CMC jednou linkou na prenos dát a jednou linkou na prenos adresy.

RTP sa stará o prijímanie buniek, dekódovanie hlavičky, správu chýb, odosielanie buniek, atď.

Každé CMC uchováva 1/8 bunky z každého vstupu. Preto musí každá táto 1/8 dát vedieť aj adresu, kde má byť poslaná. Na to slúži práve jedna adresná linka z RTP do každého CMC. Multicast sa rieši pomocou 16 bitovej masky, ktorá označuje, na ktorý výstup sa má skopírovať daná bunka.

Tento switch je súčasťou celej switchovacej fabriky a obsahuje časť, ktorá zabezpečuje komunikáciu medzi ostatnými časťami tejto fabriky. Takzvaný Microcontroller. Ten je napojený na všetky RTP aj CMC. Dopĺňa do ATM buniek prídavnú informáciu pre ostatné elementy fabriky. Napríklad akú má bunka prioritu.

Jeden CMC má 16 dátových a 16 adresových vstupov a pre každý tento vstup do CMC je v CMC buffer. Tie sú napojené cez zbernicu na samotné výstupné fronty. Podľa adresy v adresnom buffri sa informácia z informačného buffra zbernicou preniesie do odpovedajúcej výstupnej fronty. Tá je schopná uchovať 47 buniek a 5 buniek s vysokou prioritou.

CMC obsahuje aj 17. frontu, ktorá spolupracuje s Microcontrollerom.

5. Impact of ATM on terminals and services

5.1 INTRODUCTION

Táto kapitola sa zaoberá výhodami ktoré ponúka asynchrónny prenosový mód pre služby jako

- variable bit rate video coding
- layered video coding
- práca s nezávislými hodinami

Tiež sa zaoberá problémami ktoré sa v ATM sieťach vyskytujú a ktoré je potrebné riešiť (cell loss, cell delay jitter, source policing).

5.2 VARIABLE BIT RATE VIDEO CODING

Výsledkom kódovania video signálu pri použití PCM (Pulse Code Modulation) je fixná veľkosť výstupného kódovaného signálu. Pri použití kompresných algoritmov je veľkosť výstupného kódovaného signálu premenlivá. Dôvodom sú premenlivá vizuálna irrelevancia video snímku a premenlivé množstvo redundancie prítomnej v PCM zdrojovom signále. Premenná irelevancia je spôsobovaná nedokonalosťou ľudského oka, ktoré nie je schopné vnímať všetky detaily.

Súčasný kompresný algoritmus je založený na kombinácii týchto dvoch fenoménov. Niektoré kódovacie techniky, ktoré prispievajú ku kolísaniu veľkosti výstupného signálu :

- priestorová súvislosť medzi susednými pixelmi v obrázku je relatívne vysoká. To znamená, že pravdepodobnosť, že susedné pixle majú rovnakú alebo skoro rovnakú farbu a svetlosť je vysoká. To sa využíva v intrafield video coding technikách.
- Tiež časová následnosť medzi postupnými časťami obrázku je dosť vysoká. To znamená, že pravdepodobnosť, že pixel v obrázku je rovnaký ako prislúchajúci pixel v predošlom obrázku je vysoká. Z tohoto profitujú interframe kódovacie techniky.
- Ak sa časť obrázku hýbe, postupne obrazové polia obsahujú prebytočné informácie aj keď na rôznych miestach. Táto prebytočnosť môže byť odstránená technikou založenou na predpovedaní pohybov objektov (motion compensation technique).
- FFT Fast Fourier Transform or DCT Discrete Cosine Transform – ďalšia kódovacia technika
- Na konečné kódovanie obrazových informácií sa používa Huffmanovo kódovanie (najmenší počet bitov pre signály s vysokou pravdepodobnosťou výskytu a opačne).

Je pravdepodobné, že budúce riešenia ATM video kóderov budú založené na kombinácii techník popísaných vyššie. Bitová veľkosť výstupného signálu bude teda časovo premenlivá a bude závisieť aj od kvality video snímkov ako v MPEG I,II,III .

Štúdia pána Verbiesta ukázala, že video signál experimentálneho kódera sa menil od 8 po 28 Mb za s. obr 5.1

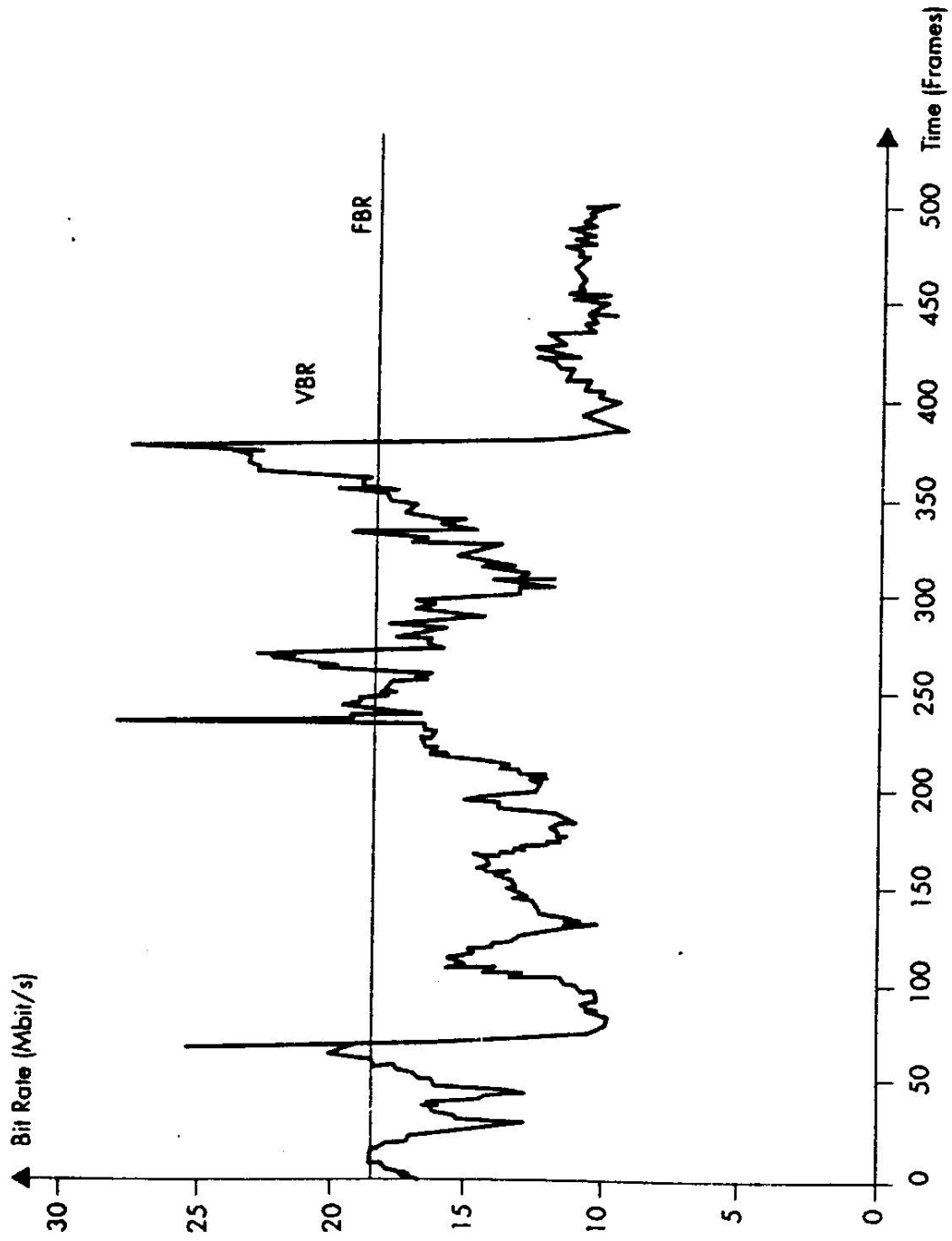
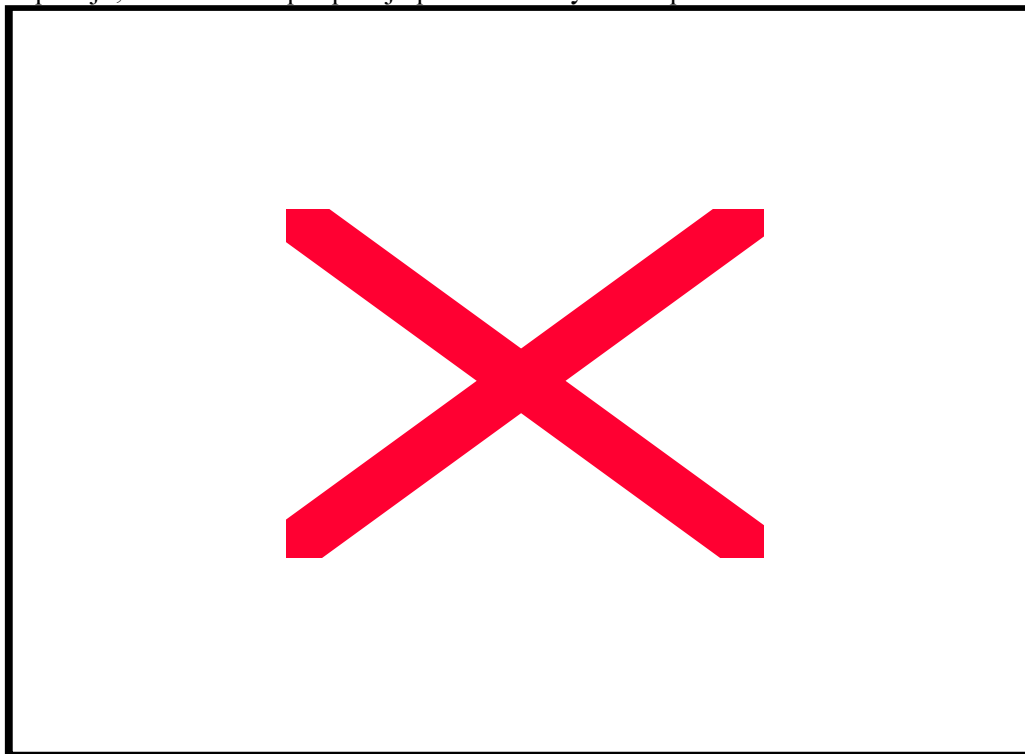


Fig. 5.1. – Fluctuations in Time of a Video Signal

V klasických STM sieťach by bolo nutné konvertovať premenlivý video signál na konštantný signál veľkosti danej vlastnosťami siete. Na to sa používa výstupný buffer, ktorý na svojom výstupe produkuje signál fixnej veľkosti vyhladzovaním premenlivého signálu kódera.. Správny chod buffera sa obsluhuje feedback signálom. Pri ATM sieťach tieto problémy odpadajú, keďže ATM podporuje premenlivú rýchlosť prenosu dát.



Dva hlavné porovnávacie parametre pre VBR a FBR kódovanie sú veľkosť a kvalita obrázkov. Každý kódovací algoritmus robí kompromis medzi veľkosťou a kvalitou signálu. Pri kódovaní s fixnou veľkosťou signálu je možná veľkosť signálu daná vlastnosťami siete. To môže na jednej strane spôsobiť zvýšenú deformáciu obrázkov pre niektoré scény (ak sa výstupný buffer prepĺňa, je nutné znížiť kvalitu) a na druhej strane aj možné plytvanie zdrojmi pre iné scény (ak je buffer prázdny aj tak sa prenášajú redundantné informácie). Pri VBR kódovacej schéme môže byť deformácia, kvalita obrazu daná požiadavkami špecifickej služby. Teda kvalita obrazu bude väčšia pre TV ako pre video telefón. Veľkosť kódovaného signálu bude teda závisieť od zložitosti obrázkov a zvolenej kvality. Signál ale bude prenášaný efektívne. Obr 5.3

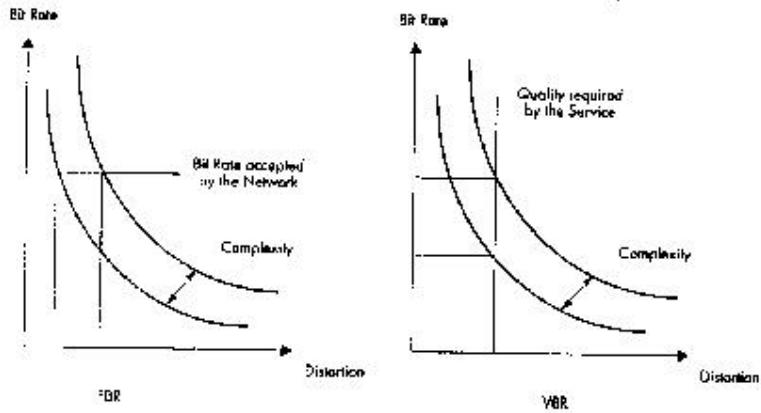


Fig. 5.3. - Bit Rate versus Distortion for VBR and FBR

Keďže veľkosť signálu sa mení je vhodné vedieť predpovedať vývoj veľkosti signálu video kóderu v čase. Na to slúži pdf (probability density function). Obr 5.4 reprezentuje pdf funkciu pre 3 rôzne služby. Použitý bol identický kóder a kvalita obrázkov bola prispôbená požiadavkám danej služby. Priemerná veľkosť signálu pre štandardnú TV bola okolo 16 Mb/s, 5 Mb/s pre video telefón a video konferencie. Tieto hodnoty sú len príkladné, keďže závisia vo veľkej miere od použitého kódera.

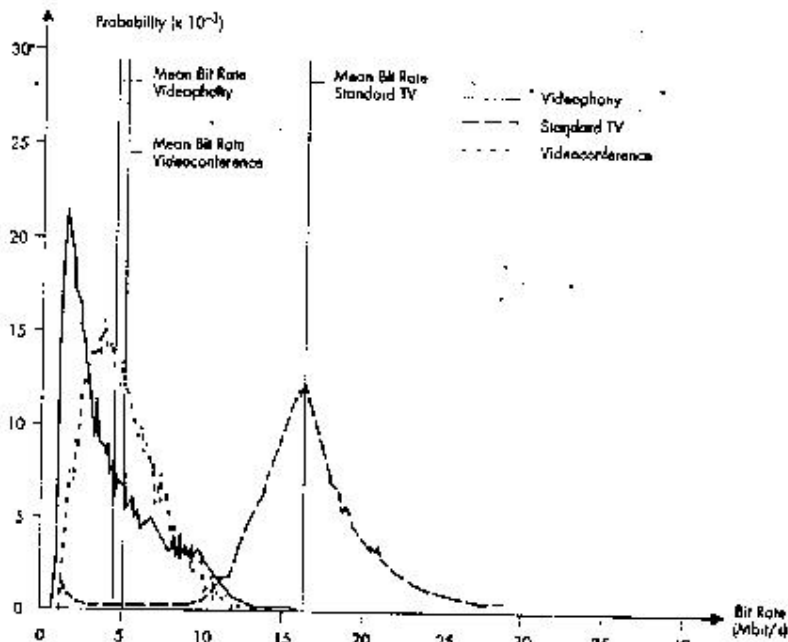


Fig. 5.4. - Bit Rate Probability Distribution Function for Various Sources

Záver : Takže ATM sieť v spolupráci s VBR kódermi prenáša iba neredundantné informácie a ponúka možnosť výberu kvality signálu.

5.3 STATISTICAL MULTIPLEXING

V ATM sieťach môže byť niekoľko zdrojových signálov prenášaných na jednej linke. V STM sieti alebo sieti s FBR kódovaním požadovaná veľkosť linky bude suma jednotlivých pevných požadovaných veľkostí . V ATM sieťach sa ponúka možnosť získať na efektívite využitím

štatistického multiplexovania zdrojových signálov, pri podmienke, že zdroje vzájomne nekorelujú.

Obr. 5.5 znázorňuje n-násobok rovnakej pdf (video konferencia) pre n=16, 32, 64 zdrojov ktoré nekorelujú. Graf vlastne ukazuje pravdepodobnosť s akou n nekorelujúcich zdrojov multiplexovaných na jedinej linke presiahne určitú bitrate.

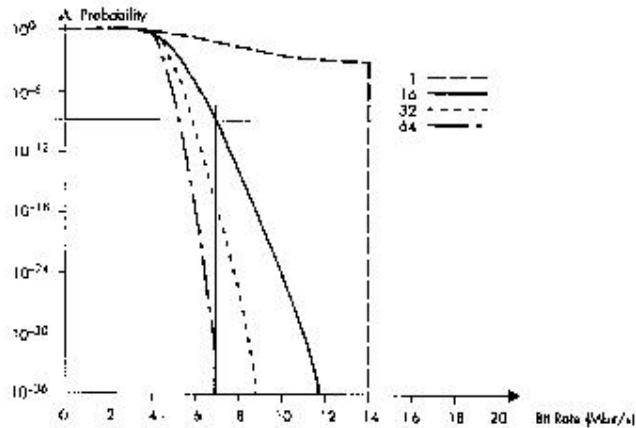


Fig. 5.5. – Statistical Multiplexing of Video Conference Sources

Z obrázku vidíme, že pravdepodobnosť toho, že požadovaná šírka pásma pre 16 nekorelujúcich multiplexovaných zdrojov presiahne 7 Mb/s je menšia ako 10^{-9} . Teda ak je ATM sieť dimenzovaná cell loss rate 10^{-9} a multiplexný faktor je väčší ako 16, sieť bude schopná akceptovať približne dvojitú množstvo spojení ako porovnateľná sieť s FBR.

Toto multiplexovanie môže byť uskutočnené iba ak poznáme pdf jednotlivých zdrojov, čo nie je vždy jednoduchá úloha. Namiesto toho sa preferujú jednoduchšia metóda, ktorá pri každej novej požiadavke na pripojenie umožňujú zistiť, či je dostupné požadované množstvo prostriedkov. Táto kontrola je nutná pre zabezpečenie požadovanej kvality služieb. Metóda je založená na parametrizácii pdf. Dobré reprezentácie pdf sa dajú získať na základe hodnôt generujúcich funkcií a z nich určených vlastností ako priemer, rozptyl... Ak uvažujeme len priemer a rozptyl (zmena) celková pdf môže byť vypočítaná ako

$$\begin{aligned} \text{Average (sum pdf)} &= \text{Sum average (pdf)} \\ \text{Variance (sum pdf)} &= \text{Sum variance (pdf)} \end{aligned}$$

Každopádne je ale zaujímavejšie poznať celú pdf funkciu ako len jej niektoré charakteristiky. Ak je počet multiplexovaných zdrojov dostatočne vysoký sum pdf pripomína Gaussovo rozdelenie. Na porovnanie slúži tab. 5.1. Uvádza rozdiel medzi Gaussovým rozdelením a nameranými hodnotami pre video konferenciu. Vidíme, že rozdiel sa s narastajúcim množstvom video spojení znižuje a pri 128 spojeniach je menší ako 0,8 %.

Problém štatistického multiplexovania a algoritmov na alokáciu požadovanej šírky pásma sú stále objektom výskumu.

Number of connections	16	32	64	128
μ (Mbit/s)	4,13	4,13	4,12	4,12
σ (Mbit/s)	0,130	0,067	0,034	0,017
Measured distribution (Mbit/s)	6,50	5,65	5,15	4,81
Gaussian distribution (Mbit/s)	5,93	5,42	5,04	4,77
Difference (%)	8,73	4,00	2,10	0,79

Tabuľka 5.1 – porovnanie medzi Gaussovým a nameraným rozdelením

5.4 SERVICE MULTIPLEXING

V budúcich BISDN sieťach budú skoro všetky prenášané služby pozostávať viac ako z jedného komponentu. Každý komponent bude prenášať špecifický druh informácií. Tab. 5.2 znázorňuje služby a príslušné komponenty.

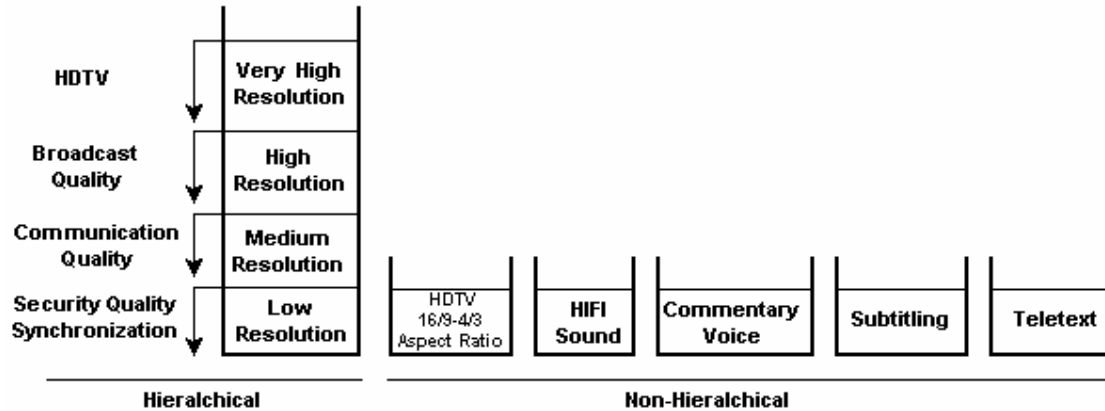
- Audio : Tento komponent prenáša zvukový signál rôznej kvality, od klasickej PCM (64 kbit/s) až po vysoko kvalitný HIFI zvuk generovaný CD prehrávačom.
- Standard video : Tento komponent prenáša štandardný video signál. Veľkosť signálu sa môže pohybovať v rozpätí 1,5 až 15 Mb/s pre bežný video signál, pre kvalitnejšie služby môžu nároky stúpať.
- High definition video overhead : Tento komponent obsahuje dodatkové informácie požadované pre HDTV. Tie v kombinácii so štandard video komponentom dávajú HDTV signál..
- Teletext : Tento komponent prenáša teletextové informácie.
- Data : Tento komponent prenáša dáta. Sú to dáta spojené s typom prenášaného programu alebo s typom služby.

Všetky tieto komponenty môžu byť v ATM sieťach prenášané samostatne, rôznymi virtuálnymi kanálmi. Musia sa však dodržiavať určité obmedzenia. Napr. Časový rozdiel medzi zvukovým a obrazovým signálom nesmie byť väčší ako 100 ms. (pre dobrú synchronizáciu obrazu a zvuku).

Component	Dáta	Telete xt	Audio	Štandard video	High def. Video overhead
Služba					
Telefón			X		
Video telefón	X		X	X	
Štandard TV	X	X	X	X	
High definition TV	X	X	X	X	X
Video knižnica	X		X	X	
High quality ratio	X		X		
High speed data	X				

Tabuľka 5.2 – Služby a Komponenty

Ďalším krokom pri delení prenášanej informácie je rozdelenie jednoduchého typu informácie na niekoľko vrstiev. Tieto vrstvy môžu byť prispôbené kvalite služby a požadovanej citlivosti na chyby. Obr. 5.6 znázorňuje takýto vrstvomý model . Obsahuje už popisované nehierarchické komponenty a tiež hierarchické video komponenty.



Najspodnejšia vrstva obsahuje nízko kvalitný video signál, použiteľný napr. pre bezpečnostné účely. Druhá vrstva je vrstva so strednou kvalitou obrazu vhodná napr. pre video telefóny a video konferencie. Tretia vrstva je vrstva s vysokým rozlíšením pre šírenie televízie po sieti. Najvyššia vrstva je HDTV.

Každá vrstva využíva informácie nižších vrstiev na skonštruovanie obrázku požadovanej kvality. Dôležitá výhoda vrstvomého princípu je kompatibilita medzi rôznymi službami. Je teda možné sledovať program prenášaný ako HDTV signál na štandardnom TV zariadení využitím len troch spodných vrstiev na konštruovanie obrazu.

Ďalšou výhodou vrstvomého princípu je možnosť lepšie sa vysporiadať so stratami buniek (cell loss) v ATM sieťach. Tab. 5.3 ukazuje priemerný čas medzi po sebe nasledujúcimi chybami siete (bit error rate, cell loss) pre rôzne prenosové rýchlosti. Vidíme že pre prenosovú rýchlosť 135 Mb/s a pri cell loss rate 10^{-8} nastane chyba (cell loss) raz za 4,7 minúty, ale pre 64 kbit/s je to 6,9 dňa. Vrstvomá architektúra ponúka efektívny spôsob ako sa s týmto vysporiadať.

- ak sa stratí informácia vo vyššej vrstve, stále je možné nahradiť ju príslušnou informáciou z vrstiev nižších. Tým sa zníži viditeľný efekt takejto chyby. Preto vo vyšších vrstvách nevystáva potreba FEC (forward error correction).
- Pretože nižšie vrstvy operujú pri nižších prenosových rýchlostiach, priemerný čas medzi chybami je väčší.
- Nižšie vrstvy môžu byť ľahšie chránené proti strate buniek použitím FEC (forward error correction) metódy pretože ich prenosová rýchlosť je nižšia. Teda implementácia ochrany proti strate buniek alebo bitovej chybe je jednoduchšia ako pri vyšších vrstvách.

Priemerná	Prenosová	64 kbit/s	256 kbit/s	1,5 Mbit/s	10 Mbit/s	45 Mbit/s	135 Mbit/s
	rýchlosť						
Bit Error Rate	10^{-6}	16 sek.	3,9 sek.	0,7 sek.	0,1 sek.	22,0 ms	7,4 ms
	10^{-9}	4,3 hod.	65 min.	11 min.	1,7 min.	22 sek.	7,4 sek.
	10^{-12}	6 mes.	1,5 mes.	7,7 dňa	1,2 dňa	6,2 hod.	2,1 hod.
Cell Loss Rate	10^{-6}	1,7 hod.	25 min.	4,3 min.	38 sek.	8,5 sek.	2,8 sek.
	10^{-8}	6,9 dňa	1,7 dňa	7,1 hod.	1,1 hod.	14 min.	4,7 min.
	10^{-10}	1,9 roka	5,8 mes.	1 mes.	4,4 dňa	1 deň	7,9 hod.

Tabuľka 5.3 – Priemerný čas medzi po sebe nasledujúcimi stratami buniek (cell loss) a bitovými chybami (bit error).

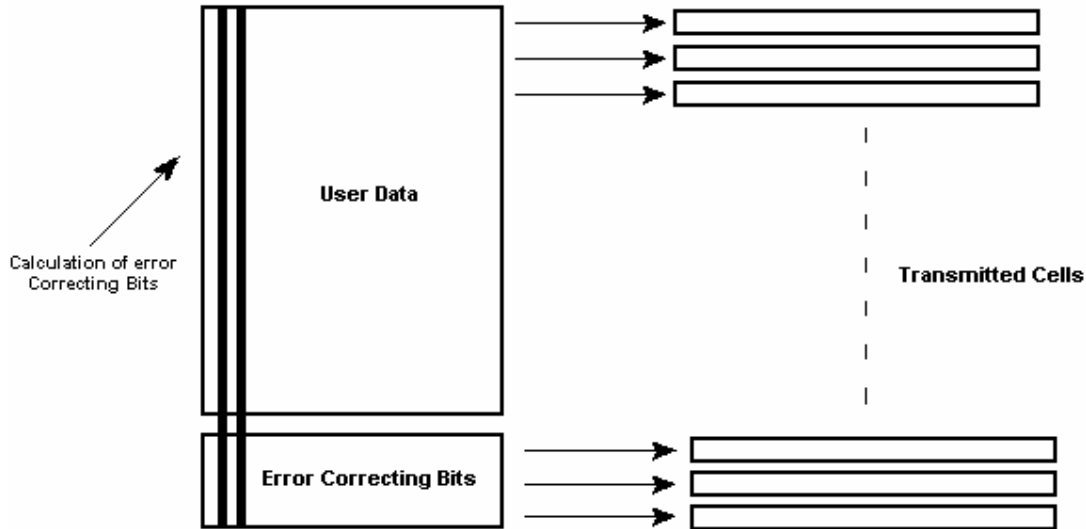
Delenie signálu na vrstvy môže byť založené na rôznych technikách. Napr. vyžitie DCT (discrete cosine transform) koeficientov. Pr tejto technike je priestor na obrázku transformovaný na dve množiny frekvenčných komponentov : nízko frekvenčné komponenty môžu byť použité nižšími vrstvami keďže obsahujú nižšie rozlíšenie, vysoko frekvenčné komponenty sú používané vyššími vrstvami.

Iný prístup posielá pôvodný signál cez sériu dvoch nízko priepustných a dvoch vysoko priepustných filtrov. Nízko a vysoko priepustný filter pre horizontálne rozlíšenie a rovnako pre vertikálne rozlíšenie. Výsledkom sú 4 rôzne signály, ktoré môžu byť brané ako vrstvy.

5.5 CELL LOSS PROTECTION

Použitím switching systému zo 4. Kapitoly môžeme pre ATM sieť cell loss rate okolo 10^{-8} až 10^{-9} . Táto hodnota je vyhovujúca pre väčšinu služieb. Napriek tomu existujú služby, ktorých kvalita by mohla výrazne utrpieť aj při takejto nízkej chybovosti. (napr. bankové prevody...). Takéto služby sa dajú rozdeliť do dvoch skupín :

- služby, ktoré nevyžadujú real time prenos dát
Tieto služby môžu akceptovať rozumné zdržanie a preto oprava nekorektných dát a doplnenie chýbajúcich môže byť ošetrené ich retransmisiou. Môžu používať napr. ARQ (automatic repeat request) protocol alebo jednoduchší XTP (eXpress Transport Protocol) vhodnejší pre rýchly prenos dát.
- služby vyžadujúce real time prenos dát (napr. video)
Tieto služby nemôžu spoliehať na retransmisiu dát ale potrebujú metódy na odhalenie a korekciu chýb v prenose. Typické FED (forward error detection) metódy sú založené na číslovaní buniek. Použitím číslovania modulo N sme schopní detekovať N-1 po sebe idúcich strát buniek. Takáto metóda nie je náročná a pre niektoré služby je úplne postačujúca (napr. prenos hlasu). FEC (forward error correction) môžu byť založené na viacerých princípoch. BCH kódovanie jednotlivých buniek nedetekuje stratu buniek. Aby to bolo možné, musí byť BCH implementované na viacerých bunkách, čo môže vyžadovať väčšie množstvo overhead bits a zložitú implementáciu. Jednoduchšia metóda je založená na kombinácii prekrývania buniek a BCH kódovania. Prekrývanie zabezpečuje, že BCH nemusí pokrývať príliš veľa bitov a nie je preto veľmi komplikované. Obr. 5.7 ukazuje, že informácie a korekčný kód sú prenášané v rôznych bunkách.



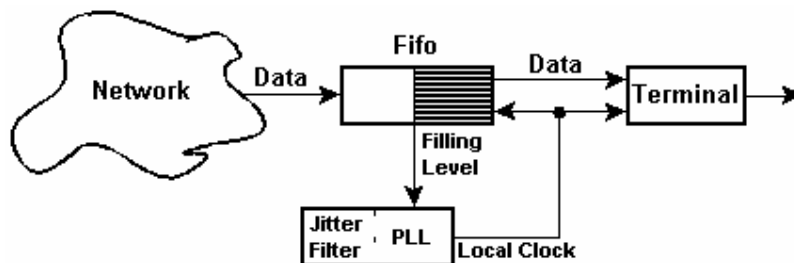
V predchádzajúcej sekcii spomínané vrstevné kódovanie video signálu je tiež možným nástrojom na vykonávanie ochrany proti strate buniek.

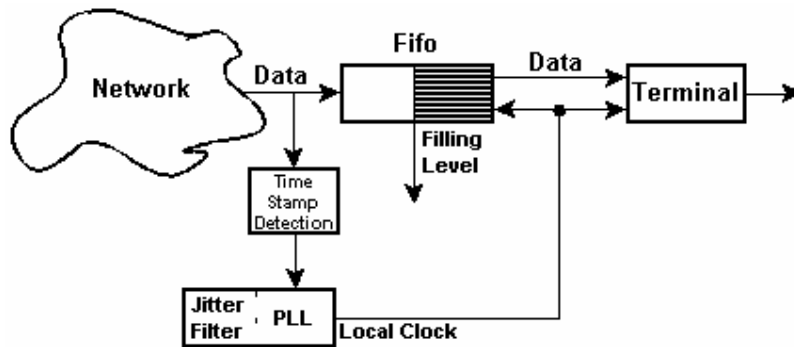
5.6 SERVICE SYNCHRONIZATION

V ATM sieťach vo všeobecnosti nevystáva potreba synchronizácie siete a služieb vďaka asynchrónnemu prenosovému módu. Je len potrebné synchronizovať vysielač a prijímací terminál. Lokálne hodiny terminálu môžu byť rekonštruované na prijímacom terminále pomocou prichádzajúceho prúdu informácií. Toto umožňuje terminálom pracovať s frekvenciou a prenosovou rýchlosťou nezávislou na prenosovom médiu=sieti. Na rekonštrukciu hodín sa používajú rôzne techniky. Jedna metóda rekonštruje lokálne hodiny na základe plnenia cell bufferu na strane prijímača. Obr 5.8a.

Dáta sa doručujú terminálu rýchlosťou určenou lokálnymi hodinami. Tieto hodiny sú generované PLL(phase local loop), tá je kontrovaná úrovňou plnenia buffra. Ak buffer podteká PLL sa spomalí, ak preteká PLL zrýchli. Na uistenie, že buffer nepodteká keď dorazí prvá bunka, je buffer pred použitím naplnený na určitú úroveň.

Iná metóda využíva špecifické informácie posielané zdrojovým terminálom. Tento posielá časové známky (time stamp) v pravidelných časových intervaloch podľa svojich lokálnych hodín. Prijímač tieto značky rozpozná a PLL podľa nich generuje lokálne hodiny.





6.0 mal poslat 6sykora@st.fmph.uniba.sk

7. Kontrola priepustnosti (traffic control) v sieťach ATM

7.1 Úvod

Hlavná úloha kontroly priepustnosti – Traffic Control (TC) v sieťach BISDN je chrániť sieť a užívateľa, aby sa dosiahli preddefinované ciele výkonnosti siete, napr. pravdepodobnosť straty bunky alebo oneskorenia pri prenose bunky. Ďalšia úloha kontroly priepustnosti je v optimalizovaní používania zdrojov siete, aby sa dosiahla lepšia efektívnosť siete.

Ciele kontroly priepustnosti (TC) vrstvy ATM v BISDN:

- Flexibilita: mala by podporovať QoS (Quality of Service) vrstvy ATM, kde QoS kontroluje všetky existujúce aj budúce možné služby
- Jednoduchosť / Simplicity : jednoduchá TC vrstvy ATM, ktorá minimalizuje komplexnosť návrhu siete, pričom maximalizuje použiteľnosť siete
- Robustnosť: dosiahnutie veľké využítie zdrojov za akýchkoľvek podmienok

Základné funkcie ATM KP

Na splnenie horeuvedených cieľov sú nutné dve funkcie ATM KP:

- CAC – Connection Admission Control (Kontrola prístupu k spojeniu)
- UPC – Usage Parameter Control (Kontrola parametrov)

CAC Connection Admission Control

CAC reprezentuje sadu akcií, ktoré vykonáva sieť vo fáze set-up-u, aby sa rozhodla, či má povoliť alebo zamietnuť spojenie ATM. Žiadosť o spojenie sa povoľuje iba ak existujú dostupné zdroje, aby toto spojenie mohlo byť prenesené cez celú sieť tak, aby spĺňalo QoS, pričom ďalej budú splnené podmienky QoS vo všetkých existujúcich spojeniach. Počas tohto nadväzovania spojenia, sa “user”(používateľ) a “network”(sieť) musia dohodnúť na nasledovnom:

- Limity na objem prenášaných údajov
- Požadovaná trieda QoS (t.j. povolené oneskorenie, povolený pomer stratených buniek, atď.)

- Toleranciu variácie týchto dohodnutých povolených limitov

UPC Usage Parameter Control

UPC reprezentuje sadu akcií, ktoré vykonáva sieť, aby monitorovala a kontrolovala priepustnosť spojenia ATM (veľkosť bunky, správnosť routovania buniek). Zaručuje dodržiavanie dohodnutých limitov (dohodnutých v CAC).

Má tieto funkcie:

- Schopnosť detekovať situáciu ilegálneho prenosu
- Rýchla odozva prekročenia parametrov
- Jednoduchosť implementácie

Špecifikácia parametrov prenosu

Definície

Traffic parameters (Parametre prenosu)

Sú špecifikáciami aspektu prenosu. Napr. kvantitatívny aspekt môže byť priemerný čas trvania spojenia, rýchlosť prenosu bunky v najväčšej prevádzke, priemerná rýchlosť prenosu bunky. Kvalitatívny aspekt môže byť typ zdroja (videofón, telefón).

ATM traffic descriptor (Opisný parameter Spojenia ATM)

Zoznam parametrov spojenia, ktoré zachytávajú charakteristické črty tohoto spojenia (rýchlosť prenosu bunky v najväčšej prevádzke, priemerná rýchlosť prenosu bunky).

Source Traffic Descriptor (Opisný parameter Zdroja)

Sada parametrov spojenia, ktoré patria do ATM traffic descriptor-, a ktoré sa používajú počas fázy nadviazania spojenia, aby sa nimi špecifikovali charakteristické črty spojenia, ktoré sú požadované zdrojom (rýchlosť prenosu bunky v najväčšej prevádzke).

Charakteristika parametrov spojenia

Každý parameter v ATM traffic descriptor musí byť:

- Jednoduchý a zrozumiteľný pre usera/terminál a sieť jednoznačným spôsobom.
- Potrebný v schémach CAC, aby sa efektívne dosiahli ciele výkonnosti siete.
- Zabezpečiteľný pomocou UPC

Štatistické vs. Operačné špecifikácie spojenia

Štatistický prístup

Zameriava sa na stochastické parametre, jako priemerná rýchlosť prenosu bunky. Je to tradičný prístup, avšak tieto parametre sa ťažko získavajú. Vyžadujú dlhý čas pozorovania, kým určia, či sa prekročil niektorý z parametrov.

Operačný prístup

Natvrdo definuje povolené parametre a prepúšťa iba tie bunky, ktoré ich spĺňajú. Pravidlo definovania parametrov sa štandardizovalo podľa CCITT a budeme ho volať Generic Cell Rate Algorithm.

Generic Cell Rate Algorithm

Algoritmus má dve špecifikované premenné L , I (increment a limit), a vyhodí hodnotu GCRA (I, L). Keď príde bunka z jedného zdroja, algoritmus vypočíta predpokladaný príchod ďalšej bunky z toho zdroja (TAT – Theoretically predicted Arrival Time), ktorý vypočíta podľa I , čo je dĺžka času medzi dvomi po sebe

nasledujúcimi bunkami. Ak ďalšia bunka príde v čase t_a , algoritmus ju prepustí, ak rozdiel medzi TAT a t_a je v limite L . Ak príde skôr, algoritmus je označí ako nevyhovujúcu.

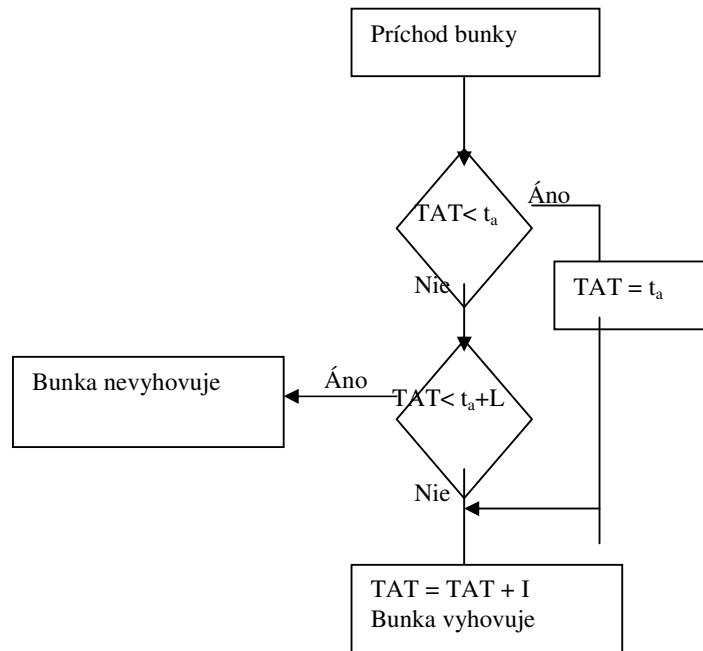


Schéma 7.1. Generic Cell Rate algorithm

Špecifikácia zmluvy o spojení (Traffic Contract)

Dohodnutie zmluvy TC sa skladá z opisných parametrov spojenia (Connection traffic descriptor), požadovanej triedy QoS a definície vyhovujúceho spojenia.

Connection traffic descriptor

TD spojenia je definovaný opisnými parametrami zdroja (Source Traffic Descriptor) a jeho toleranciami podľa UNI/NNI. Tolerancie definuje užívateľ pri adviazaní spojenia a obsahuje Peak Cell Rate (rýchlosť prenosu bunky v najväčšej prevádzke), toleranciu variácie oneskorenia bunky (cell delay variation tolerance) a niekedy aj najnižšiu možnú rýchlosť prenosu bunky (sustainable cell rate) a burst tolerance.

Peak cell rate (najvyššia rýchlosť prenosu bunky)

Je definovaná na fyzickej vrstve ako prevrátená hodnota minimálneho času T medzi výkytmi za sebou nasledujúcich dvoch udalostí. T je najväčší interval medzi dvoma emisiami v spojení ATM. PCR je povinný parameter zdroja.

Cell delay variation tolerance (tolerancia variácie oneskorenia bunky)

Keď sú bunky dvoch rôznych spojení ATM multiplexované, môžu byť bunky jedného zo spojení oneskorené. Takisto bunky môžu byť oneskorené, keď dávajú prednosť bunkám OAM. Teda musíme zadať parameter tolerancie oneskorenia, τ . τ je definované v súvislosti s PCR podľa algoritmu GCRA (T , τ), kde T je prevrátenou hodnotou R_p (Peak cell rate – najnižšej rýchlosti prenosu bunky).

Ak je $\tau > T-1$, potom je maximálny počet buniek B , ktoré môžu byť prenesené na rýchlosti spojenia:

$$(7.1.) \quad B = \left\lfloor 1 + \frac{\tau}{T-1} \right\rfloor \text{ pre } T > 1, \text{ kde } \lfloor x \rfloor \text{ je dolná celá hodnota } x.$$

Hodnotu tolerancie CDV si môže zvoliť používateľ v UNI/NNI.

Sustainable cell rate (najnižšia možná rýchlosť prenosu bunky)

Je potrebná na to, aby sme mohli alokovať zdroje efektívnejšie. Nie je nutná pri definovaní parametrov, ale užívateľ si ju môže definovať na hodnotu nižšiu ako rýchlosť prenosu v najväčšej prevádzke PCR. SCR je

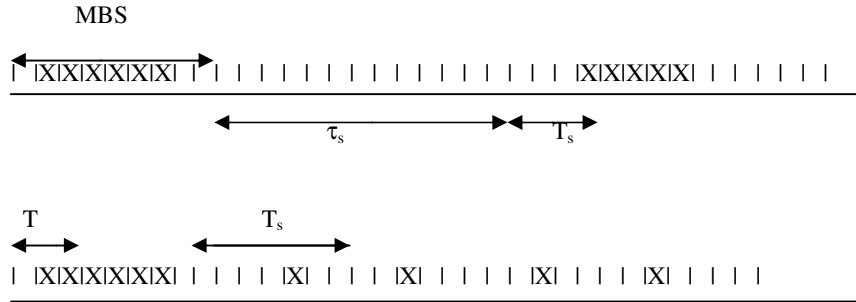
jednoznačne definovaná algoritmom GCRA s dvomi parametrami, T_s a τ_s , ktoré sú obidva špecifikované v PHY-SAP.

Burst tolerance (tolerancia rozdielov v rýchlostiach)

Hodnota τ_s , označovaná ako τ_s , je parameter zdroja a ukazuje „hodnoty času“, v rámci ktorých sú tolerované výchylky v rýchlosti prenosu bunky. Je definovaná ako GCRA (T_s, τ_s) a určuje horné ohraničenie dĺžky rýchlej sekvencie transmisíí v súlade s PCR spojenia.

Maximálny počet buniek, ktoré môžu transparentne prejsť cez GCRA v PCR je daný ako:

$$BMS = \left\lceil 1 + \frac{\tau_s}{T_s - T} \right\rceil, \text{ kde MBS je maximálna veľkosť rýchlej sekvencie.}$$



Požadovaná trieda QoS

Špecifikuje požadovaný pomer stratených buniek, oneskorenie počas prenosu buniek a delay jitter.

Defícia vyhovujúceho spojenia

CAC a UPC, ktoré sú obidve špecifické podľa operátora, by mali zobrať do úvahy CTD (connection traffic descriptor) a požadované QoS na to, aby boli efektívne. Keď už bolo nadviazané spojenie, QoS je zabezpečené tak dlho, ako dlho je spojenie vyhovujúce podľa zmluvy o prenose.

Spojenie je definované ako vyhovujúce, pokiaľ počet nevyhovujúcich buniek neprekročí isté stanovené číslo, ktoré bolo špecifikované v zmluve o prenose operátorom siete. Pri nevyhovujúcich spojeniach sieť nerešpektuje dohodnuté QoS, pri vyhovujúcich vždy dodržiava QoS.

Granularita parametrov TC

Kvôli hardwarovým obmedzeniam sú hodnoty všetkých parametrov diskrétny. Dôležité je určiť, akú množinu diskrétnych hodnôt, teda granularitu, im určíme. Napríklad PCR a SCR budú mať rovnakú granularitu.

Tolerancia CDV τ bude mať hodnoty ako násobky času medzi emisiami buniek (napr. 2.73 μ s, pri 155.52 Mbit/s).

Obmedzenia na variáciu onsekorenia bunky (cell delay variation) a τ_s (burst tolerance)

Aby sa dodržali QoS, musíme vhodne obmedziť τ_s , cell delay variation. Najhorší prípad je, keď jedno spojenie má štruktúru ON/OFF, teda, že po krátkych rýchlych sekvenciách rýchlosťou PCR nadsedujú pauzy bez emisií. Počas fázy ON UPC funkcia s premennými T (T_s) a $\tau(\tau_s)$ monitoruje PCR(SCR). V prípade PCR, ON fáza je charakterizovaná sekvenciami s najvyššou možnou rýchlosťou, v prípade SCR sú to sekvencie s rýchlosťou PCR.

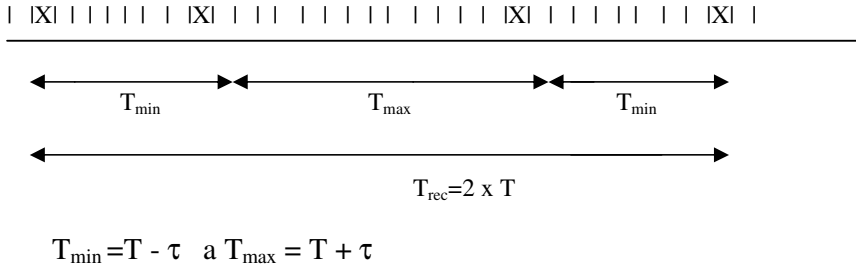
Ďalšie odstavce ukazujú závislosť τ na zdrojov sieti a požadovanej QoS.

Simulačný model

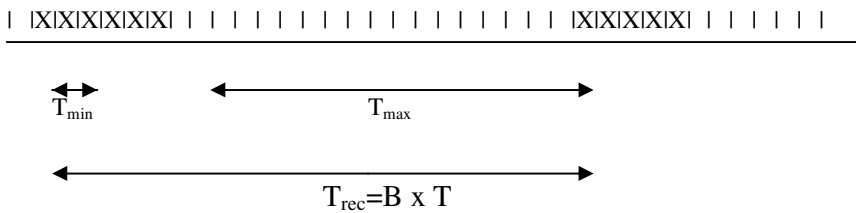
Každý zdroj je charakterizovaný štruktúrou podľa (7.1.) UNI má parametre:

- T_{\min} = minimálny čas medzi dvoma príchodmi buniek
- T_{\max} = maximálny čas medzi dvoma príchodmi buniek

- T_{rec} = čas, po ktorý je štruktúra medzičasov príchodu rovnaká



Obr. 7.4. Predpokladaný najhorší prípad štruktúry ON/OFF ($B=1$) (Nie sú povolené hneď za sebou idúce bunky – back-to-back)



Obr. 7.5. Predpokladaný najhorší prípad štruktúry ON/OFF ($B>1$) (Sú povolené hneď za sebou idúce bunky – back-to-back)

Tieto ON/OFF typy ďalej postupujú do jednoúrovňového FIFO multiplexora, v ktorom predpokladáme nekonečnú kapacitu a random rozhodenie fáz vstupov. Z tohto môžeme vypočítať reprezentatívne výsledky distribúcie naplnenia buffera.

Potrebujeme vedieť kapacitu K buffera, aby zaručil požadovanú CLR (cell loss ratio – pomer stratených buniek) 10^{-10} . Tú odhadneme cez funkciu CDV tolerancie τ . Získané pravdepodobnosti overflow-u sú potom extrapolované meodou najmenších štvorcov a potom sú z nich odvodené hodnoty CLR.

Referenčný model

Podľa neho získavame vplyv tolerancie τ na alokáciu zdrojov CBR. Algoritmus pre povolenie nadviazania spojenia pre zdroje CBR by mal byť nezávislý od svojej polohy v sieti. Používa sa tu Geo(N)/D/1 model.

Niektoré výsledky

Uvažujme linku s rýchlosťou 150 Mbit/s, PCR 2 Mbit/s, T 75 bunkových jednotiek. Buffer s kapacitou 54 buniek ATM s CLR 10^{-10} .

τ (jednotka δ)	B	Nmax (max. Počet spojení)	Náklad (Erlang)
25	1	60	0.80
50	1	60	0.80
75	2	60	0.80
150	3	42	0.56
225	4	33	0.44
300	5	27	0.36
375	6	22	0.29

Z tabuľky vyplýva, že čím väčšia tolerancia τ , tým menej spjení N môže byť akceptovaných, tak aby sa zachovala veľkosť buffera 0.8 Erlangov a CLR 10^{-10} . Podobné experimenty môže urobiť aj s burst toleranciou τ , a SCR.. Teda, keď máme k dispozícii malé buffre pre bunky, nemôžeme očakávať dobré výsledky, ak dovoľíme veľké tolerance burst tolerance.

Tieto výsledky ukázali, že je dobré mať toleranciu silnejšie ohraničenú.

Ohraničenie pre toleranciu CDV

Toleranciu CDV môžeme ohraničiť na hodnotu odvodenú z príslušného referenčného modelu, ako funkciu zmluvne dohodnutej PCR. Napríklad, ak máme ATM sieť s iba jedným multiplexorom, môžeme použiť model M+D/D/1 FIFO.

Keďže potrebujeme UPC/NPC také, aby mohlo byť použité vo všetkých (aj budúcich) modeloch, horné ohraničenie CDV je dosť dôležité. Takéto horné ohraničenie môžeme získať z modelu s prioritami HoL (Head of the Line), pretože tieto najlepšie simulujú ozajstný priebeh v LAN a iných ATM switchov, kde sa z času na čas objavia veľké sekvencie pospájaných buniek.

Niektoré typické hodnoty z tohto modelu sú v tabuľke.

Náklad (Erlang)	τ (jednotka času prenosu bunky)	τ (ms)
0.5	93	0.263
0.6	162	0.458
.07	317	0.896
.08	775	2.19
.085	1433	4.05

Meranie výkonu UPC/NPC

Umiestnenie UPC

UPC sa vykonáva na VCC alebo VPC v bode, kde sú ukončené prvé linky VP alebo VC v sieti. Máme tri možnosti:

- Užívateľ je pripojený priamo k funkcii Virtual Channel Relater Funktion CRF(VC) a EPC sa vykonáva vo vnútri CRF(VC) na VCC predtým, ako sa vykoná funkcia prepínania.
- Keď je používateľ pripojený priamo k CRF(VC) cez CRF(VP), potom je UPC vykonané iba vo vnútri CRF(VP) na VPC a vo vnútri CRF(VC) na VCC.
- V prípade, že užívateľ je pripojený na ďalšieho užívateľa alebo na sieťového providera cez CRF(VP), UPC sa vykoná iba vo vnútri DRF(VP) na VPC. Kontrola parametrov VCC sa vykoná iným sieťovým providrom, keď bude prítomné CRF(VC).

Činonosti UPC/NPC

Cieľ UPC/NPC je zaručiť, aby užívateľ neprekročil zmluvu o prenose. Na úrovni buniek to môže znamenať:

- a) Nechá bunku prejsť
- b) Pridá bunke tag (na CLP=0 bunkách tým, že prepíše CLP na 1)
- c) Zruší bunku

Meranie výkonu UPC

Na meranie výkonu UPC sa zatiaľ určili dve hodnoty:

- Čas odozvy – čas, za ktorý určí danú nevyhovujúcu situáciu na spojení za daných okolností.
- Transparenca – Pri tých istých podmienkach, presnosť, s akou iniciuje potrebné kontrolné aktivity na nevyhovujúcom spojení a vyhne sa kontrolným aktivitám na vyhovujúcom spojení.

Ďalšie kontrolné funkcie

Okrem už spomenutých kontrolných funkcií, ešte ďalšie môžu byť použité na podporu a dopĺňanie už definovaných funkcií UPC/NPC a CAC:

- Priority Control (PC)
- Traffic shaping (TS)
- Network Resource Management (NRM)
- Feedback Controls (FC)

Priority Control (PC)

Keď ATM používa možnosť CLP na požiadanie užívateľa, zdroje siete sú nastavené na prioritu CLP=0 (vysoká priorita) a CLP=1 (nízka priorita). Keď sa kontrolujú CLP=0 a CLP=1 priepustnosti, a alokujú sa adekvátne zdroje a vhodne sa routuje, potom operátor siete môže poskytnúť 2 triedy QoS pre toky s CLP=0 a CLP=1. Ak sa o CLP=0 bunke zistí, že nevyhovuje na toku s CLP=0, táto bunka je konvertovaná na CLP=1 a ide do toku s CLP=1 ešte predtým, ako toky CLP=0+1 vojdú do kontroly UPC/NPC. Bunka, o ktorej UPC/NPC rozhodne, že nevyhovuje na CLP=0+1, sa vyradí.

Ak neboli pridelené žiadne zdroje pre tok CLP=1, potom bunky s CLP=0, o ktorých UPC zistí, že nevyhovujú na toku s CLP=0, sú vyradené.

Traffic shaping (TS)

Traffic shaping (TS) kompenzuje efekt CDV na PCR v spojení ATM. Napríklad dá nové rozostupy bunkám na individuálnych spojeniach ATM, podľa ich PCR alebo vhodných schém.

Ak sa používa na konci ATM, TS zaručuje požadované vlastnosti toku buniek do VCC alebo VPC. Ak sa používa v ATM switch-i, TS mení vlastnosti toku na VCC alebo VPC, aby sa dosiahla požadovaná modifikácia vlastností toku. TS musí zachovať sekvenčnú integritu buniek.

Npar. TS môže redukovať PCR, limitovať dĺžku burstov, alebo redukcia CDV, tým, že vhodne rozostúpi bunky v čase.

TS je voliteľná funkcia, môže byť nastavená v zhode s traffic descriptorom a parametrami, ktoré boli dohodnuté v zmluve so sieťou.

Network Resource Management (NRM)

Dôležitý komponent TC a NRM v BISSDN sú Virtual Paths. Môžu:

- Zjednodušiť CAC
- Implementovať druh kontroly priority tým, že segregujú typy tokov, ktoré požadujú rôzne QoS
- Efektívne distribuovať správy pre operáciu jednotlivých schém kontroly priepustnosti
- Agregovať user-to-user služby, aby UPC mohla byť aplikovaná agregovanému toku

8. Stratégie nasadenia ATM

8.1. Úvod

Technológia ATM znamená výrazný krok vpred v ponúkaných telekomunikačných službách v porovnaní s existujúcimi technológiami. Neponúka len množstvo rýchlejších služieb ale aj možnosť ich integrácie do jedného všeobecného riešenia.

Pretože ale súčasné terminálne zariadenia (TV, telefón, router, počítač...) a telekomunikačné siete (LAN, PABX...) nie sú založené na ATM, je nutné vymyslieť opatrný plán zavedenia ATM, aby sa zaistil hladký prechod na cieľové riešenie, kedy všetky terminálne zariadenia majú priamy ATM interface a všetky služby sú prenášané po ATM sieti.

Aby sa mohlo dosiahnuť takéto konečné riešenie, ATM by sa malo zavádzať na niekoľkých miestach siete, ktorými sú:

- sieť zákazníka (customer's network)
- prístupová sieť (access network)
- sieť prepínačov a ústrední (switching and trunk network)

Teraz opíšeme spôsob nasadenia ATM v týchto troch častiach siete nezávisle. Môže sa tak stať v rôznych časových okamihoch. Je zrejmé, že ak sa podarí nasadenie týchto troch elementov časovo zladit', vyhneme sa tým problémom prepojenia, znížime náklady a tým zvýšime šancu na úspech širokopásmového ATM riešenia.

8.2 ATM v privátnej sieti zákazníka

V tejto sieti je viditeľný čoraz väčší nárast výkonnosti pracovných staníc a serverov spolu s nástupom multimédií, čo má za následok zväčšenie požiadaviek na šírku prenášaného pásma. Súčasná sieť sa kapacitne blížia svojim limitom (bit /sek., vzdialenosť), čo vytvára predpoklady pre nasadenie ATM v tomto prostredí.

8.2.1. Vývoj inteligentných hubov

Dnešné inteligentné huby sú priamymi nasledovníkmi jednoduchých montovaných hubov (wiring hubs), ktoré sa začali používať v polovici osemdesiatych rokov. Tieto huby znamenali významný pokrok, pretože zdieľané LAN siete sa presunuli na chrbticu hubu oproti predchádzajúcej spleti káblov ťahajúcej sa budovami. Siete sa mohli odvtedy zapájať do hviezdicových topológií. Zjednodušilo to údržbu a zväčšilo spoľahlivosť. Aj keď je topológia siete fyzicky odlišná, logicky boli wiring hubs zariadenia so zdieľaným médiom.

Ďalším prínosom hubov bolo zavedenie možností sieťovej administrácie priamo do hubu. Tak sa z jednoduchých hubov stali inteligentné huby (viď obr. 8.1). Tieto podporujú viacnásobne segmenty LAN rôznych typov (Ethernet, Token Ring, FDDI atď.) a poskytujú funkcie premostenia a routovania.

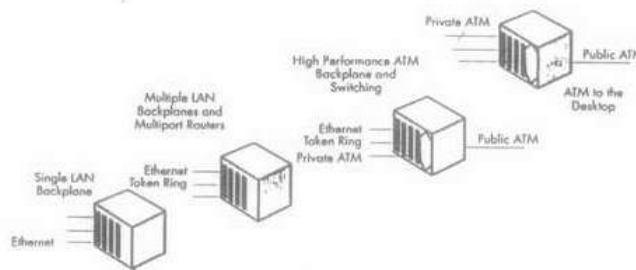


Fig. 8.1. – Evolution of Wiring Hubs

Ale aj táto generácia hubov mala ten istý nedostatok – celá šírka pásma je zdieľaná takže aj vysokorýchlostné sieťové moduly musia zdieľať pásmo s pomalými používateľmi. Aby sa zabránilo tomuto nedostatku, boli vyvinuté 2 prístupy, oba s využitím ATM v hube.

Prvý z nich spočíva v pridaní paketovo-orientovanej chrbtice k súčasným hubom (cell-based backplane). Tieto systémy sa potom nazývajú ATM huby a dosahujú gigabitové rýchlosti na chrbtici.

Druhý prístup využíva ATM gateway alebo ATM routovací modul (ten vykonáva funkciu AAL pre celý hub). To dovoľuje aby sa tieto huby prepojili so súkromými alebo verejnými ATM sieťami.

8.2.2. Počiatkové nasadenie ATM hubov

V prvom kroku by mali byť k ATM hubu cez ATM interface nasadené len veľmi výkonné systémy (servery, pracovné stanice). Hlavná časť ostane pripojená cez vyhradené LAN interface. ATM hub bude podporovať lokálne prepínanie a koncentráciu. Vyhradený LAN interface poskytuje každému používateľovi „súkromnú“ alebo „osobnú“ sieť, pretože poskytuje ekvivalent jeden užívateľ na jednu sieť. V dnešnej dobe možno očakávať hlavne dopyt po vyhradených Ethernet interface-och. Úplný ATM interface sa použije len na podporu malej skupiny aplikácií s potrebou veľkej šírky pásma, napr. výkonné servery pre multimediálne aplikácie, tam kde je to ekonomicky výhodné.

Ako vidieť na obr. 8.2., pracovné stanice sú pripojené ku ATM hubom cez Ethernetové point-to-point spojenia. Len jeden výkonný server je pripojený priamo cez súkromný ATM UNI interface. Takýmto spôsobom ATM postupne vstúpi do zákazníkovej povedomia.

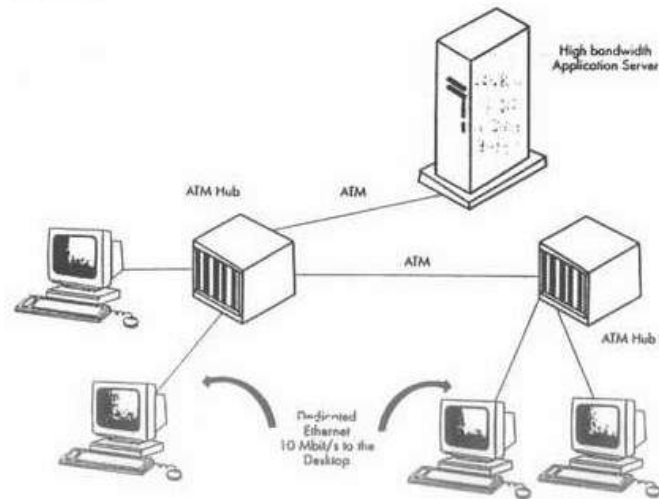


Fig. 8.2. – Dedicated LAN Interfaces and ATM UNI

8.2.3. Použitie ATM LAN sietí

ATM huby budú podporovať existujúcu sadu sietí LAN (Ethernet, Token Ring...), ale poskytnú každému terminálnemu zariadeniu plnú kapacitu s využitím výkonných prepínačov schopností. (viď obr.8.3.). Viacnásobné huby (jeden na každé poschodie) sa navzájom prepoja pomocou routera.

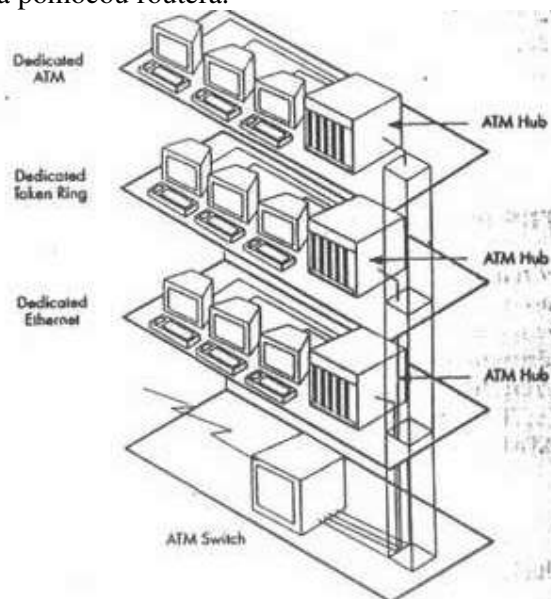


Fig. 8.3. – ATM Hubs Connected to an ATM Switch

Keďže možnosti a výkon routera sú obmedzené, nakoniec by sa mal nainštalovať ATM prepínač. Tento prepínač potom môže poskytovať výkonné prepojenie medzi hubmi ako aj priamy prístup k výkonným pracovným staniciam a serverom prostredníctvom ATM interface-u. Navyše bude tento ATM prepínač poskytovať potrebné rozhranie do verejnej ATM siete.

V nadchádzajúcich rokoch sa budú všetky terminálne zariadenia stávať výkonnejšie terminálne zariadenia s čoraz väčšími požiadavkami na šírku pásma, takže nakoniec budú

mať všetky tieto zariadenia vlastný ATM interface tak ako teraz majú vlastný Ethernet interface.

8.3. ATM v prístupovej sieti

Domáci zákazníci majú záujem hlavne na klasickej telefónnej službe (POTS) a distribúcii TV signálu. Potenciálne môžu takisto požadovať distribúciu videa (Video-on-demand, VOD). POTS a TV služby sa už dnes distribuujú hlavne existujúcimi káblovými rozvodmi (krútená dvojlinka, koaxiál). Niekoľko operátorov začalo aj so zavádzaním optického kábla, tzv. Fiber-in-the-loop riešenie. Takéto riešenie ale nie je dostatočné, pretože veľké investície ktoré sa vložia do infraštruktúry by sa mali využiť na generovanie ďalších príjmov zo služieb ktoré umožňuje BISDN.

Na druhej strane podnikatelia dnes často využívajú pobočkové ústredne PABX (NISDN) pre hlasové služby a routery pre dáta v LAN. Potrebujú preniesť obe tieto typy informácií cez WAN. Zaujímajú sa najmä o prenos prostredníctvom zdieľaného prístupu, pretože to môže znížiť prevádzkové náklady vďaka lepšiemu využitiu zdrojov, menšej údržbe a podpore. Taktiež sa očakáva, že v budúcnosti budú chcieť nainštalovať ATM LAN a preto budú potrebovať verejné BISDN rozhranie.

Aby sa zabezpečil plynulý prechod na BISDN systémy, môže sa použiť lokálna prístupová architektúra, ktorá je plne bezpečná s ohľadom na budúcnosť a nie je nákladnejšia ako porovnateľné riešenia, ktoré poskytujú len existujúce služby (POTS, NISDN, a TV distribúcia). Takúto architektúru ilustruje obr.8.4. Na jednej strane je to FITL systém, ktorý sa dobre hodí na poskytovanie dnešných úzkopásmových služieb (POTS, NISDN, frame relay, T1/E1) a distribúciu TV. Na strane druhej je to tzv. BISDN local loop systém, ktorý môže poskytovať budúce služby ako SMDS (štandard od Bellcore), CBDS (od ETSI), frame relay, ATM, Video on Demand.

Hlavné znaky tejto vybranej architektúry je paketovo-orientovaný ATM prenos cez topológiu pasívnej optickej siete (Passive Optical Network), so zdieľaním celkovej šírky pásma viacerými účastníkmi (subscribers). Túto architektúru budeme ďalej nazývať APON (ATM PON).

8.3.1. FITL s technológiou PON

Technológia PON založená na pasívnych optických rozdeľovačoch je výhodná z hľadiska nízkej ceny, tak pre súčasné FITL, ako aj pre budúce BISDN aplikácie. Výhodou je tiež flexibilné zdieľanie šírky pásma. Otázky súkromia a bezpečnosti sa dajú zabezpečiť šifrovaním posielaných informácií.

8.3.2 Vysokokapacitný point-multipoint transportný systém

Všetky interaktívne služby (POTS, NISDN, frame relay, VOD...) sa prenášajú v 1:3 μ m okienku v paketoch ATM (ATM cells). Smerom od používateľa do siete (upstream) je možný efektívny prenos 150Mbit/s, naopak 150 alebo 600 Mbit/s. Výber 150 alebo 600 závisí od očakávaných služieb.

Používa sa paketovo orientovaný transportný systém, pretože ATM poskytuje dobrú základňu na multiplexing a prístup typu point-multipoint (z jedného zdroja veľa účastníkom, čiže multicasting). Takisto je tento formát výhodný z hľadiska vyžadovaného miesta na vyrovnávaciu pamäť (buffer space), implementačnej zložitosti a teda aj nákladov. Takisto je zaručená kompatibilita s budúcimi BISDN zariadeniami.

V rámci systému sa budú existujúce služby ako POTS a NISDN takisto prenášať prostredníctvom ATM, a teda toto riešenie nie je overlay ale integrovaný systém. Účastnícke zariadenia inštalované v blízkosti zákazníka môžu byť vybavené toľkými adaptérami (Line Interface Module, viď obr. 8.4.), ako požaduje zákazník. Môže začať povedzme s POTS a postupne pridať adaptéry LIM pre VOD atď.

Navyše je možné si predstaviť transport distribučných služieb v 1.55 μ m okienku s použitím lineárnych laserov a optických zosilňovačov na zabezpečenie dostatočného výkonu na strane prijímateľa. TV kanály sa prenášajú v analógovom formáte.

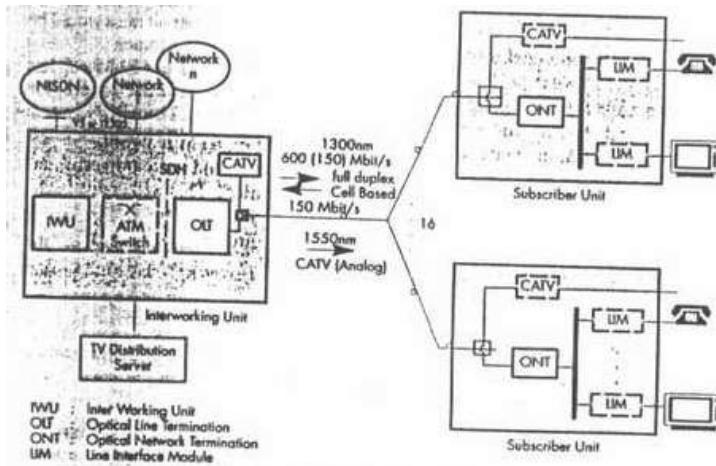


Fig. 8.4. – ATM in the Access Network

8.3.2.1 Transportný systém

Transportný systém zahŕňa nasledovné časti:

- OLT (Optical Line Termination – ukončenie optickej linky) na strane ústredne
- Pasívny rozdeľovač (Passive splitter)
- ONT (Optical Network Termination – ukončenie optickej siete) v blízkosti zákazníka

Najkritickejší element tohoto ATM PON systému je modul ONT, pretože bude nainštalovaný u každého zákazníka (až 16 krát), v porovnaní s jedným OLT na strane siete. Jeho cena preto veľmi ovplyvní cenu výsledné náklady systému. Preto je potrebné tento modul optimalizovať s ohľadom na spotrebu, spoľahlivosť a cenu.

(1) Multiplexing

Použitá je paketovo-orientovaná TDM/TDMA technika, ktorá zabezpečuje full-duplex prístupovú topológiu a viacnásobný prístup k jednému optickému zdroju. (Obr. 8.5.)

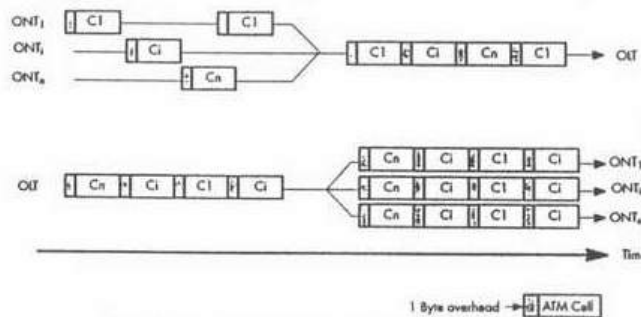


Fig. 8.5. – The TDM/TDMA Technique for the APON System

Obidvomi smermi sú ATM pakety zapuzdrené v paketoch APON. Ku každému paketu ATM je pridaná malá extra informácia na synchronizáciu a funkcie spojené so sieťovým transportom, napr. identifikácia ONT v protokole viacnásobného prístupu pri prístupe upstream. Na túto informáciu postačuje oktet bitov.

V smere downstream sú jednotlivé pakety identifikované pomocou svojich polí VCI/VPI, a je na nich založené adresovanie účastníka. V smere upstream môže naraz vyslať len jeden účastník. To je zapríčinené OLT, ktorý generuje povolenia (grants) pre jednotlivé ONT. Tieto povolenia sú prenášané práve v spomínaných oktetoch. Povolenia a prenos upstream multiplexované spôsobom pri ktorom je kontinuálny prúd paketov oddelený len malým pomocným pásmom povolení – je to 8 bitov na jeden ATM paket. Povolenia sa teda udeľujú zvlášť pre každý paket.

(2) Kapacita

Systém je navrhnutý na max. deliaci faktor 16. Limitujúcim faktorom je hlavne dostupná šírka pásma a rozpočet na optický kábel. Navrhne sa aby 16 účastníci zdieľali pásmo 155 Mbit/s pre upstream, 622 Mbit/s kvôli dostatočnej šírke pásma pre distribúciu TV. Systém APON poskytuje vynikajúce možnosti pre nasadenie služieb Video-on-demand.

8.3.2.2. Techniky nasadenia

Aby sa dosiahli nízke náklady, vysoký výkon a flexibilný prenosný systém, je možné nasadiť nasledovné techniky:

(1) Komunikácia full-duplex

Bola zvolená komunikácia full duplex na jednej vlnovej dĺžke 1300nm z nasledovných dôvodov:

- Prístup na jediný optický kábel
- Nie sú náročné požiadavky na stabilitu vlnovej dĺžky (ako by to bolo v prípade Wave Division Multiplexing)
- 100% dostupnosť pásma (oproti 30% pri operáciách ping pong)
- 1550nm okienko je voľné pre analógovú TV alebo budúce rozšírenia

(2) Synchronizácia

Pakety v smere upstream sú prekladané v optickom rozdeľovači. Aby sa zredukovala zbytočná informácia medzi po sebe nasledujúcimi paketmi bola vyvinutá rýchla synchronizačná metóda, ktorá dovoľuje nájdenie fázy hodín veľmi krátkym 3-bitovým úsekom.

Neistota príchodu paketu z určitého účastníckeho modulu je najprv redukovaná na +/- pomocou mechanizmu ranging. (viď ďalej)

Spomínaný úsek 3 bitov sa nazýva Clock Phase Alignment (CPA) a je to postupnosť 010. Tento úsek je samplovaný n hodinovými signálmi s posunom $360/n$ stupňov. Nájde sa stred úseku a hodiny, ktoré s ním korešpondujú sa použijú na získanie samotných dát.

Takéto hodinové merania sú časovo integrované aby sa zabránilo násobeniu bitovej chyby pri poškodení úseku CPA.

(3) Vyrovnávanie optického výkonu

Kvôli rozdielom v dĺžke vlákna a rozdeľovaciemu pomeru je optický výkon z účastníckych modulov vo všeobecnosti rozdielny. Maximálny rozdiel je okolo 20dB (1:2 rozdeľovač pri krátkej vzdialenosti verus 1:16 pri maximálnej vzdialenosti). Polovica tohto rozdielu je odstránená vyrovnaním laserového výstupu na strane ONT. Druhá polovica je vyrovnaná obmedzujúcim zosilňovačom prijímača na strane OLT.

(4) Technika ranging

Je použitá dvoj-stupňová technika ranging, ktorá dovoľuje rýchlo vkladať účastnícke moduly a ktorá nevyrába zbytočne veľa paketov pri prístupe (tzv. access jitter).

(5) Prístupový mechanizmus

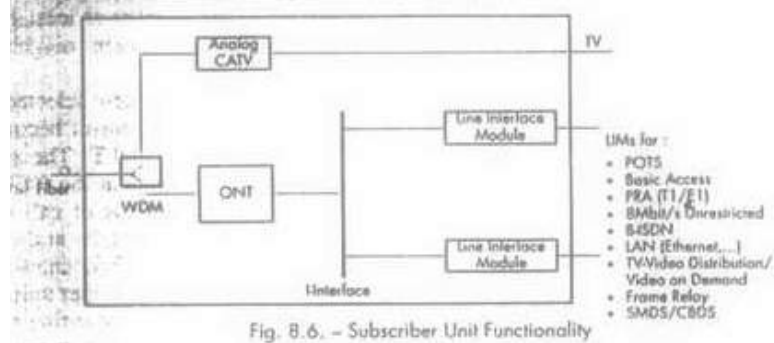
Kvôli fyzickej topológii je ťažké vyvinúť výkonný connectionless prístupový mechanizmus pre sieť PON. Hlavný problém je v tom, že komunikácia medzi susednými účastníckymi modulmi je možná len cez OLT. Takto vznikajúce oneskorenie je až 10 μ s (10km).

Preto bol vyvinutý iný semi-statický prístup centralizovaný v OLT. Maximálne požiadavky na pásmo od účastníckych modulov sú známe už v čase inicializácie, či nadviazania hovoru. Preto je možné na strane OLT vyvinúť špeciálny scheduler, ktorý posiela v smere downstream povolenia vo form TEA (Transmit Enable Address) sekvencie do obálky APON-u. Keď tento TEA obsahuje rovnakú fyzickú adresu ako účastnícky modul, tento modul môže v nasledujúcom paketovom slotе vysielat' v smere upstream.

8.3.3. Modulárne vybavenie na strane účastníka

Evolučná stratégia systému je z veľkej miery založená na modulárnej rozširiteľnosti účastníckeho vybavenia v podobe tzv. plug-in LIM (Line Interchange Modules), každý vyvinutý špeciálne pre inú technológiu, všetky so zdieľanou ATM zbernicou. Konverzia dát na ATM formát a naopak dekomponovanie ATM paketov sa deje v tomto účastníckom moduli použitím príslušnej AAL (viď obr.8.6).

Toto vybavenie môže byť jednoducho rozšírené dokúpením ďalších modulov podľa potrieb zákazníka.



8.4 ATM v prepínacej sieti

V súčasnosti je bežné, že veľké podniky tvoria vlastné virtuálne siete (Virtual Private Networks – VPN) použitím prenajatých liniek verejného operátora. Širokopásmová sieť im môže v tomto smere poskytnúť oveľa väčšie možnosti (viď obr.8.8):

- Semi-permanentné virtuálne spojenia medzi rôznymi účastníckymi modulmi
- Tieto virtuálne spojenia sú kontrolované operátorom podľa rezervačnej schémy, preto je možné takúto sieť vždy zreorganizovať od 1Kbit/s do 150Mbit/s
- Viacnásobné virtuálne spojenia môžu byť priradené rôznym destináciám, môžu byť point-point alebo multicast

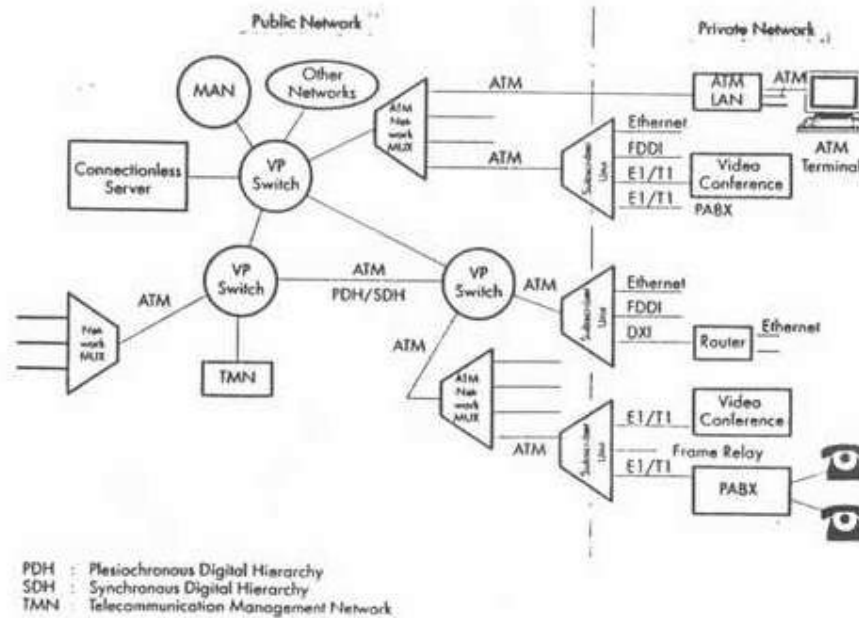


Fig. 8.8. – ATM Cross-connect Network

Existujúce služby a ich rozhrania sa konvertujú do ATM v servisnom multiplexeri, ktorý sa takisto volá účastnícky modul. Ako vidno na obr.8.9., takýto modul kombinuje prenos z rôznych lokálnych komunikačných zdrojov ako LAN (Ethernet, FDDI...), PABX, frame relay, ATM LAN, video konferenčné miestnosti. Všetko sa prevádza na ATM pakety a transportuje po sieti do správneho miesta určenia.

Zdroje dát z rôznych účastníckych modulov môžu byť prípadne skombinované v sieťovom multiplexeri, ktorý môže pridávať a uberať virtuálne spojenia. Nakoniec je všetok prenos prepájaná pomocou VP (Virtual Path) prepínača, ktorý môže takisto kopírovať jeden zdroj do viacerých miest (multicast).

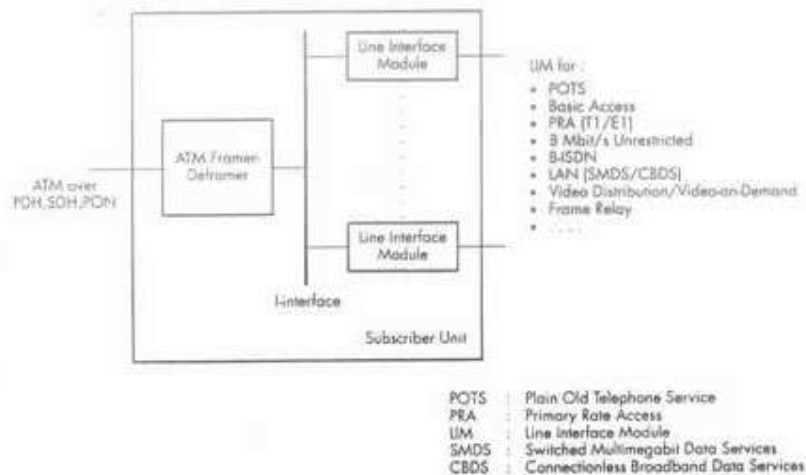


Fig. 8.9. – Subscriber Unit

Celá sieť je kontrolovaná v sieťovom riadiacom centre (Network Maintenance Center – TMN). Toto centrum kontroluje pridelovanie virtuálnych spojení a zodpovedajúci bitový prenos.

Hlavným problémom je vznik semi-permanentných spojení, čo má za následok zabratie zdrojov, ktoré nie sú vždy plne zaťažené.

Jedným z riešení je zapojenie connectionless servera na chrbticu ATM, ktorý prijíma všetky dáta od účastníkov a rozhoduje sa, ktoré a kam bude posielat'. Takýto server môže navyše splnať tieto funkcie, čím odbremeni účastnícke moduly:

- Routing
- Obmedzenie prístupu na zákazníkovi požadovaný maximálny výkon
- Preverovanie adres (address screening)
- Rozvinutie skupinovej adresy

8.5.Záver

Ako sme ukázali, ATM môže byť nasadené krok za krokom v rozličných častiach siete. Tieto fázy môžu byť úplne nezávislé, ale je zrejmé, že koordinované úsilie zväčší šance na úspech BISDN.