

KAPITOLA 2.4 (po odsek 2.4.5.2.)

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 vynikajúce pri protaktívnom switchovaní
- nepriame chyby vynikajúce 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 zákl. prenosovou rýchlosťou väčšou ako požaduje nejaká služba, ale nie je voľný kanál so zákl. prenosovou rýchlosťou rovnakej veľkosti, spojenie nemôže byť vytvorené. Situácia sa môže ešte viac skomplikovať ak zoberieme do úvahy vývoj technológií a 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, neflexibilita 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 packetizácia 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)

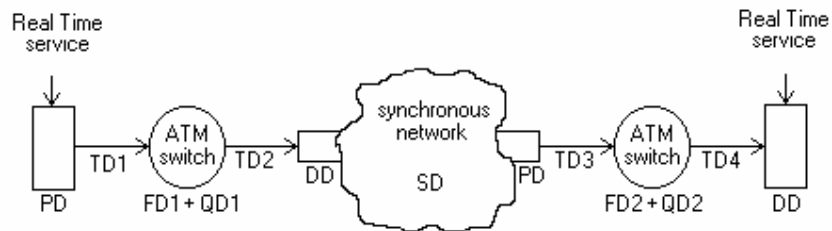
Real-time služby vyžadujú v cieľovom bode, alebo pri prechode do synchronných neATM sietí dodatočné oneskorenie, aby sa tak zrekonštruoval pôvodný synchronný dátový tok. Toto oneskorenie môžeme opäť popísať pomocou quantilu q . Samozrejme ak oneskorenie spôsobené prechodom packetu sieťou je väčšie ako 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 synchronné 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 vyťaženia liniek v sieti a od povolenej pravdepodobnosti straty packetov. Platí, že pri vyťaženi sieti 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 jednoduchšej

architektúre stačí jeden takýto buffer (16 in a 16 out linek v switchi), v zložitejších (tisícky in a out) je ich viacero usporiadaných za sebou. Typické oneskorenie pri vyťažení 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 neprípocítavame, pretože sme už predpokladali maximálnu hodnotu QD (takže jitter je už v tej hodnote započítaný).

Záver o oneskoreniach

Vo všeobecnosti platí, že najdôležitejší faktor, vplyvajúci 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 vplyvajú 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 úsek 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 chybovosť:

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

Multiplifikačný efekt: $M_2 = \frac{h+1}{1+h/i}$

(3) *Chyby v hlavičke sú opravené* – všetky bity sú doručené správne. Celková chybovosť:

$$B_3 = \frac{h}{h+i} \cdot B \cdot 0 + \frac{i}{h+i} \cdot B = \frac{i}{h+i} \cdot B$$

Multiplifikačný efekt: je menší, ako jedna, teda žiadna

multiplifikácia $M_3 = \frac{1}{1+h/i}$ 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 routrovanie 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.