

## 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 módami) 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 nadviazané 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

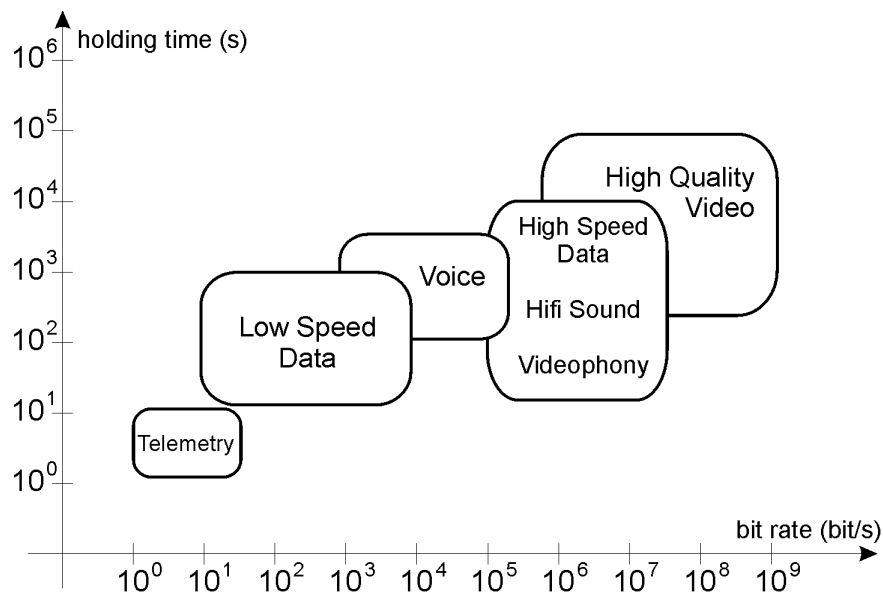
Keď sa požiadavka na spojenie počítačov a terminálov objavila ako aplikácia pre telekomunikačné siete, tak bola pôvodne používaná existujúca circuit-switched telefónna sieť. Boli potrebné modemy na konverziu digitálneho počítačového signálu na analógový signál telefónnej siete. Aj dnes veľká časť spojení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

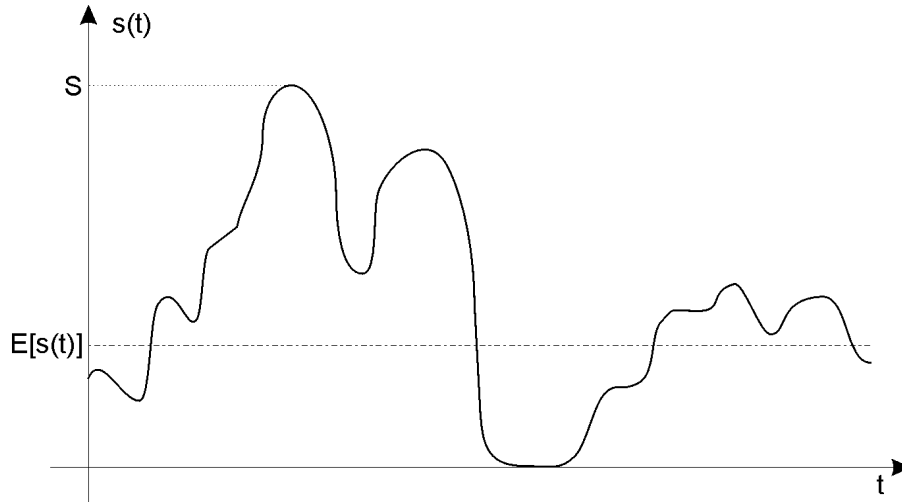
Za účelom definície prenosového módu pre širokopásmovú sieť je potrebné pochopiť charakteristiky existujúcich služieb a ich požiadavky na prenosový mód. Pre umožnenie zavedenia prípadných nových služieb v budúcnosti je potrebné charakterizovať čo najvšeobecnejšiu službu.

Pojmom *prirodená miera informácií* (*natural information rate*) nazývame mieru akou zdroj generuje informácie bez uvažovania ohraničení telekomunikačnej siete. Prirodzená 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 prirodzenú 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 prirodzenú bitovú mieru (peak natural bit rate)  $S$  a priemernú prirodzenú 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. Priebeh 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 priebeh  $s(t)$  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

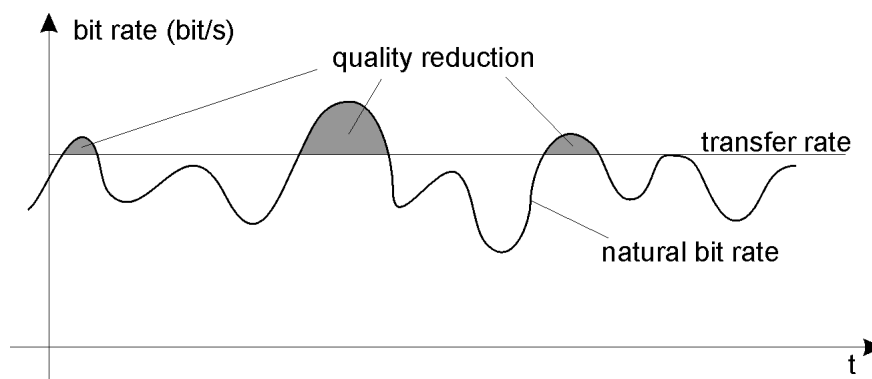
Z tabuľky 2.1. možno vyvodit' dva závery:

- 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).

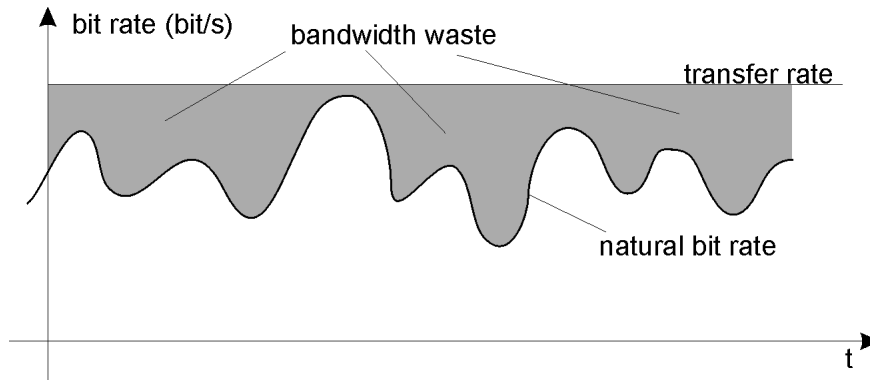
Na obr. 2.3a. je prenosová rýchlosť menšia ako maximálna prirodzená bitová miera. Toto spôsobuje zníženie kvality, pretože pri prenose informácie s vyššou prirodzenou bitovou mierou než je prenosová rýchlosť sú niektoré bity zarovnané k limitu prenosovej rýchlosti. Naopak, na obr. 2.3b. je prenosová 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.

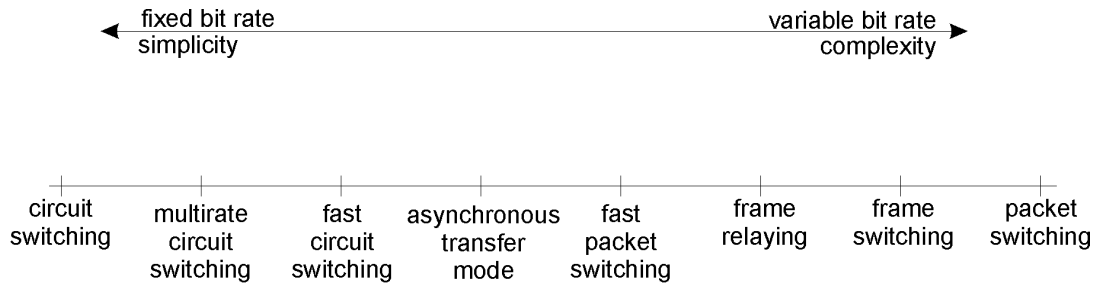


Obr. 2.3a. Redukcia kvality redukciami maximálnej bitovej miery



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, zadefinujeme 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).

	<b>X.25</b>	<b>SMDS</b>
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:

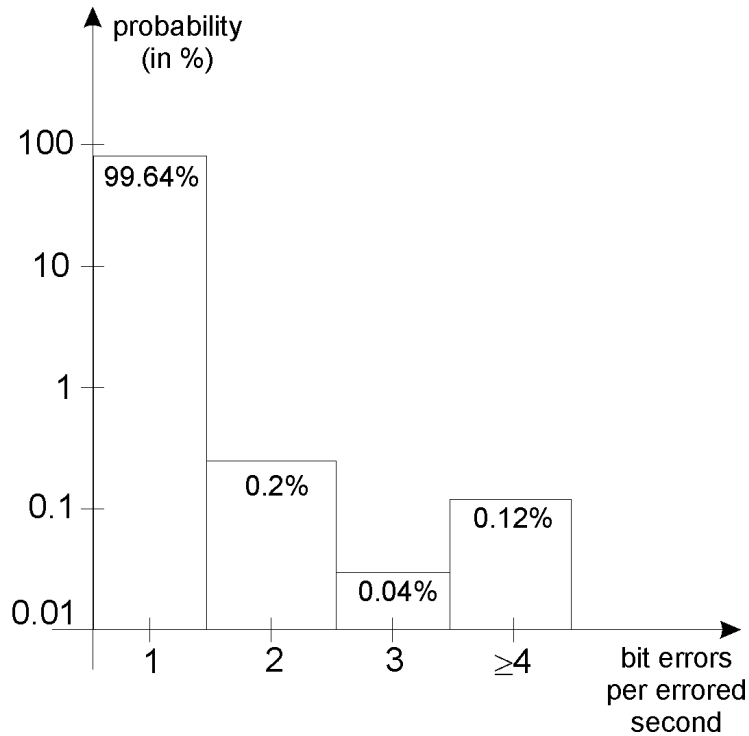
- 1) Pakety, ktoré sa stratili v dôsledku nesprávneho routovania alebo preťaženia. Môžeme teda definovať *PLR* (packet lost rate) ako pomer počtu stratených paketov a celkového počtu vyslaných paketov.
- 2) Pakety, ktoré prídu do nesprávneho cieľa, ktorý ich však akceptuje ako správne. Môžeme teda definovať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

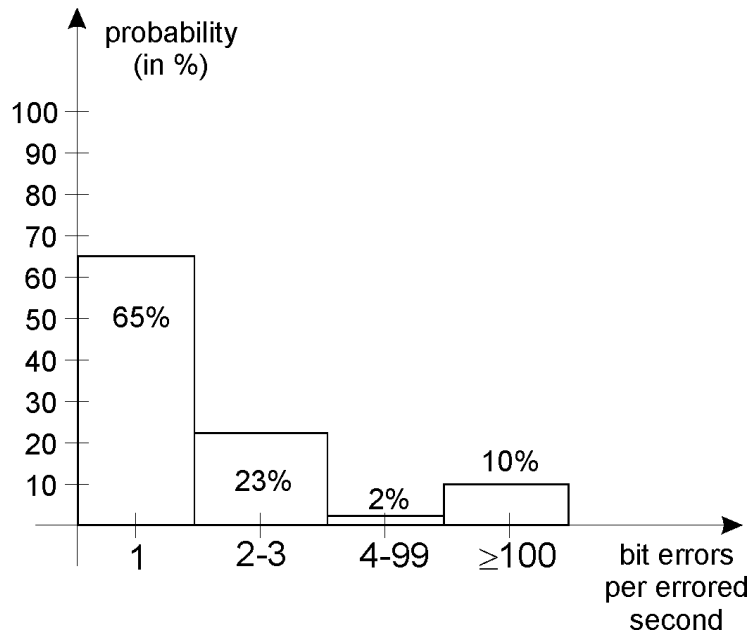
### **2.3.1.1. Chyby pri prenose**

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 cieli a prebytočný paket v nesprávnom cieli.

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

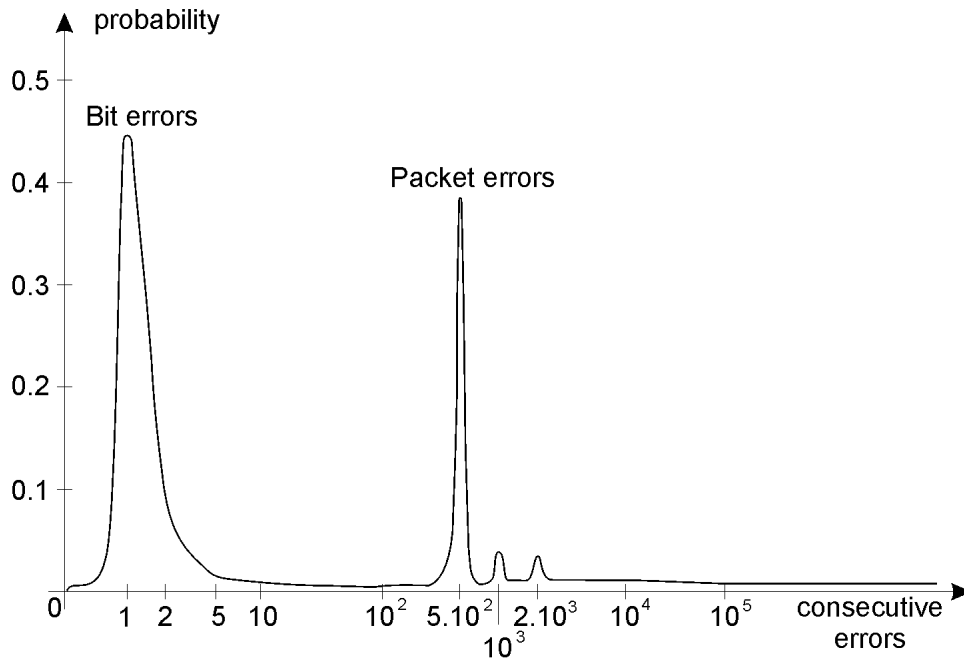
### 2.3.1.3. Distribučný model pravdepodobnosti chýb siete

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 pridanie 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 paketove 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 zrejmé, 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

paketon bude  $W \cdot P^2 \cdot (1-P)$ . Proces retransmisií 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.

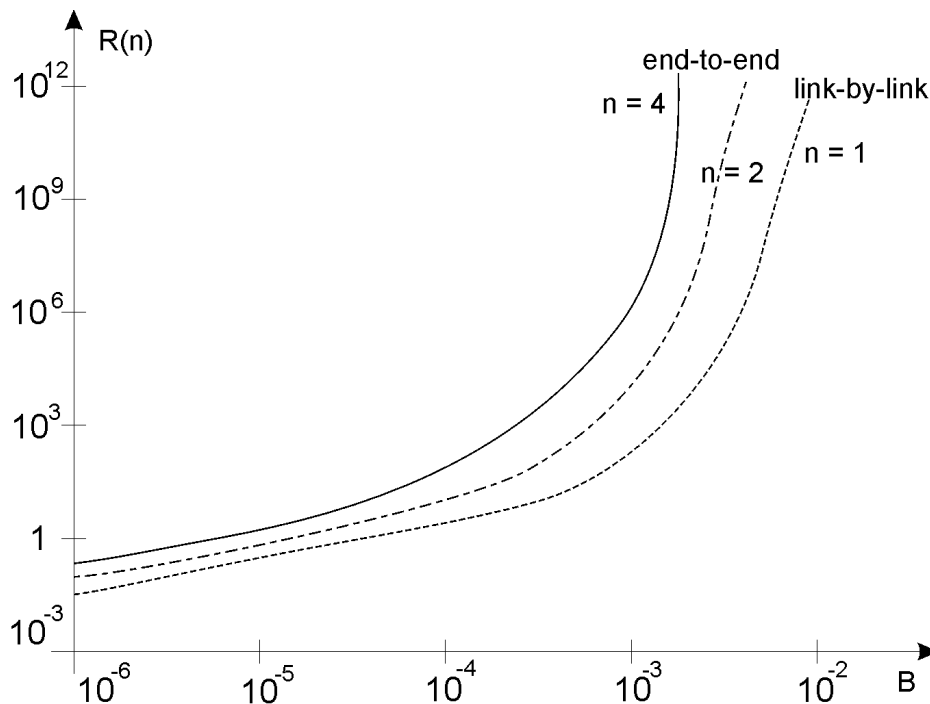
Pravdepodobnosť, že paket je správne doručený cez jednu linku je  $(1-B)^L$ ; cez  $n$  liniek je to  $(1-B)^{nL}$ . Pravdepodobnosť, že paket bude doručený chybne cez  $n$  liniek je teda

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

Dosadením do predchádzajúcej rovnice získame nárast premávky cez  $n$  liniek:

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

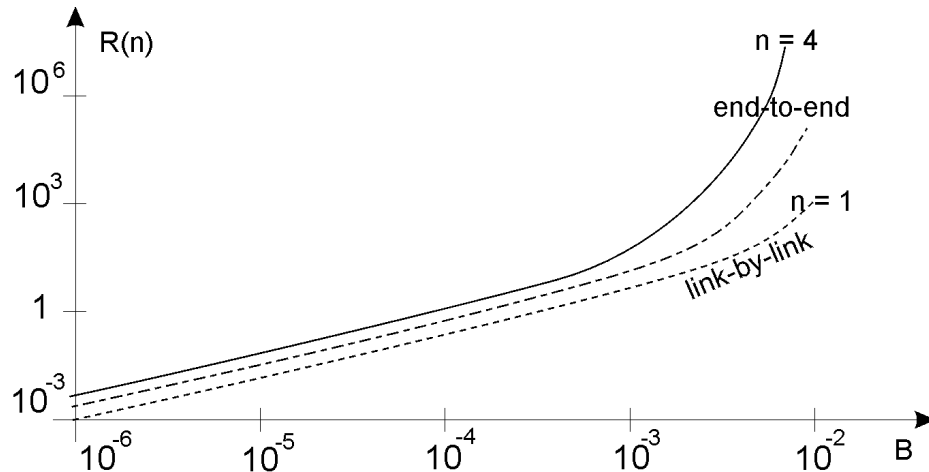
Absolútne hodnoty nárastu premávky (1 = 100%) sú uvedené na obr. 2.7a a 2.7b. pre dve dĺžky paketov  $L$ . Na obr. 2.7a. uvažujeme paket s dĺžkou 1000 bajtov, na obr. na obr. 2.7b. ATM paket s dĺžkou 48 bajtov. V oboch prípadoch uvažujeme veľkosť okna  $W=7$  a  $n=4, 2, 1$ .  $BER$   $B$  liniek sa 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)

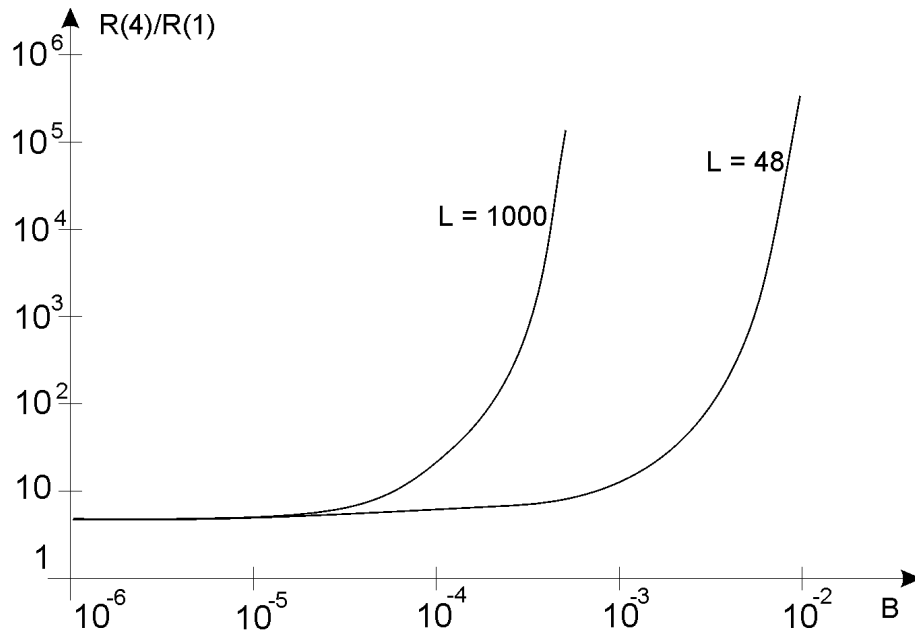
Vidíme, že u malých paketov (napr. u ATM) ostáva nárast premávky malý dokonca aj pre  $BER$  do  $10^{-4}$  a rastie exponenciálne pre vyššie  $BER$ . Pri veľkých paketoch je tento exponenciálny rast dramatický už pre  $BER$  horšie ako  $10^{-5}$ .

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 retransmisii 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.

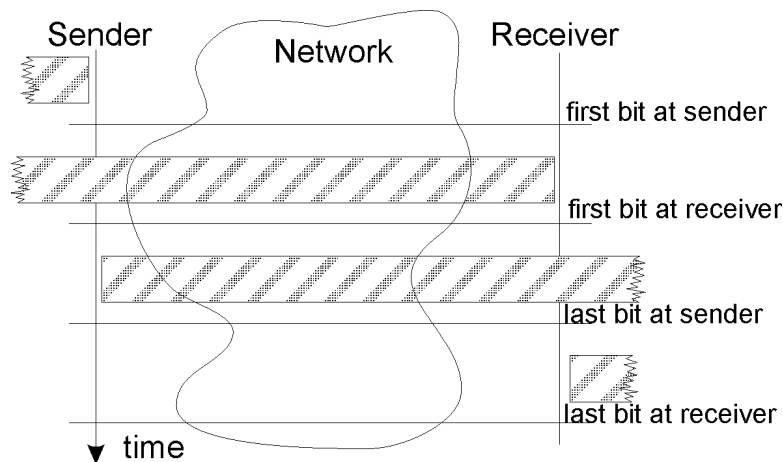
### 2.3.2. Časová transparentia

Časová transparentia 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.).

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

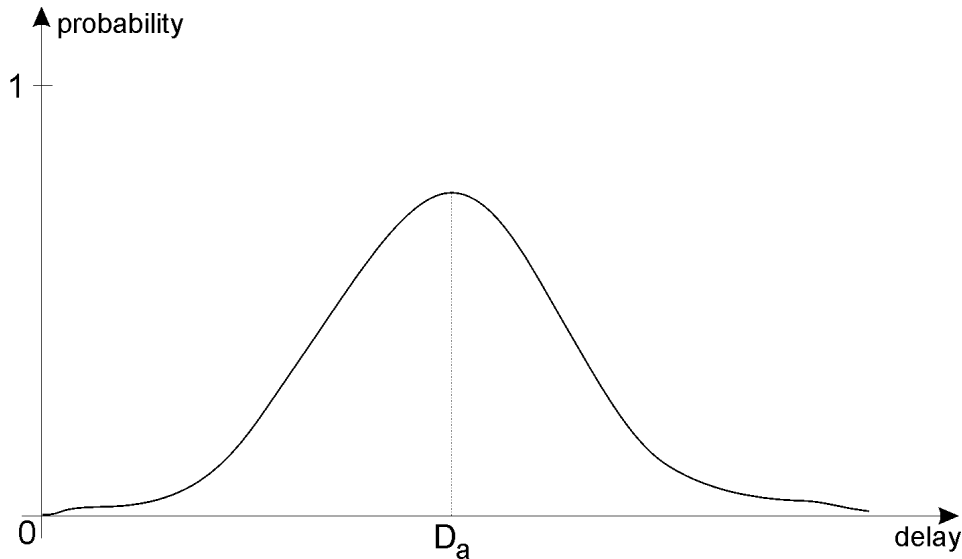
$$D_l = t_3 - t_2 \text{ pre posledný blok informácií}$$



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  $\mu$ 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).

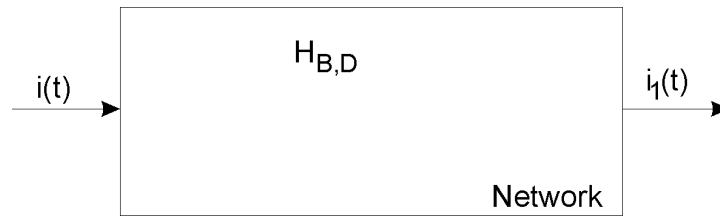
Stochastický charakter  $D_p$  je silne ovplyvnený použitým prenosovým módom, napr. ak sú informácie prenášané v paketoch a každý paket má iné oneskorenie,  $D_p$  môže byť rôzne pre rôzne informácie pri tom istom spojení.

### 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.

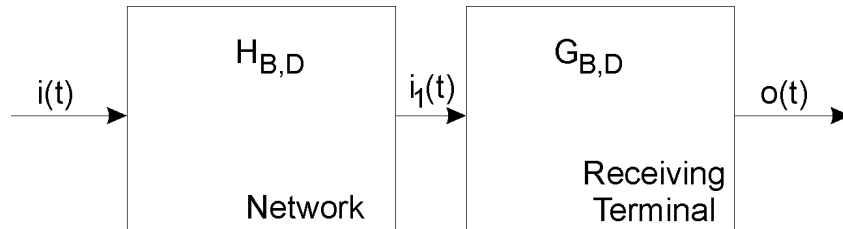
Služba	BER	PLR	PIR	Oneskorenie
Telefónia	$10^{-7}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	25 ms/500 ms
Prenos dát	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	1000 ms (50 ms)
Broadcast video	$10^{-6}$	$10^{-8}$	$10^{-8}$	1000 ms
Hi-Fi zvuk	$10^{-5}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	1000 ms
Vzdialené riadenie	$10^{-5}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	1000 ms

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

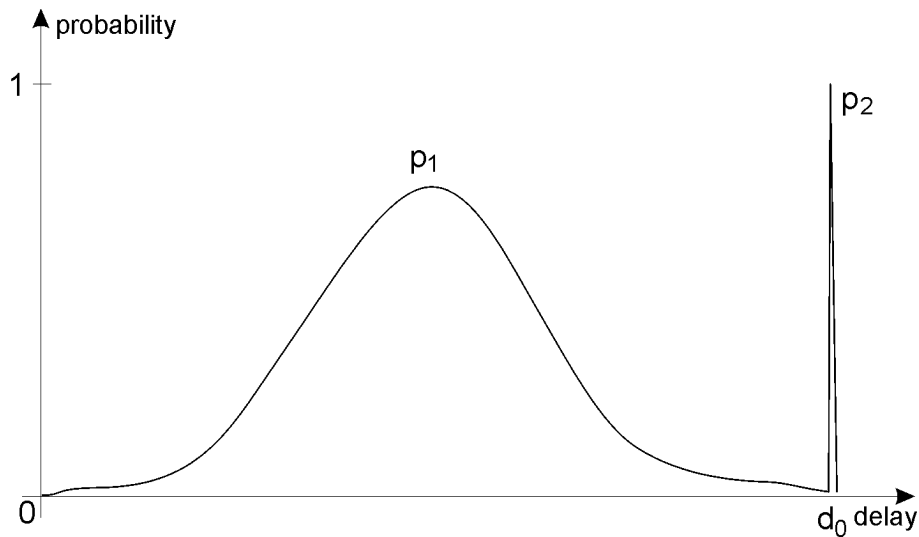
$$o(t) = G_{B,D} [H_{B,D}(i(t))]$$

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 ( $G, H$ )