

## SÚVISLOSŤ MEDZI PARAMETRAMI KVALITY PRENOSU CONNECTION BETWEEN TRANSMISSION QUALITY PARAMETERS

Andrej Súlovec

Orange Slovensko, a.s., Dolná 10, 974 01 Banská Bystrica

**Abstrakt** Prevládajúcim zdrojom zhoršovania kvality v telekomunikačnej sieti sú chyby v digitálnom prenose informácií, ktoré spôsobujú skreslenie hlasu, alebo stratu, či nepresnosť prenášanej informácie u služieb prenosu dát. Preto Medzinárodná telekomunikačná únia ITU-T ustanovila určité ukazovatele, umožňujúce číselne vyjadriť mieru kvality digitálneho prenosu informácií. Z praktického hľadiska sa ukazuje ako užitočné poznať súvis medzi týmito parametrami.

**Summary** Errors occurring in digital transmission are the major source of degradation in that they affect voice services in terms of distortion of voice, and data type services in terms of lost or inaccurate information or reduces throughput. Therefore International Telecommunication Union ITU-T defined some objectives that enable to express the measure of digital transmission quality. It is often necessary to know the connection between these parameters.

### 1. PARAMETRE CHYBOVOSTI

Odporúčaniami [1], [2], [3] boli ustanovené nasledovné parametre chybovosti:

- bitová chybovosť (početnosť chybných bitov) BER [1],
- bloková chybovosť (početnosť chybných bitových blokov) BBER [3],
- početnosť chybných sekúnd ESR [2],
- početnosť vážne chybných sekúnd SESR [2], [3].

#### 1.1 Bitová chybovosť

V digitálnej prenosovej technike každý bit prijatý ako chybný môže zhoršiť kvalitu prenosu. Kvalita prenosu klesá s narastajúcim počtom chybných prijatých bitov. Preto pomer počtu chybných prijatých bitov  $n$  k celkovému počtu bitov  $N$  prenesených v určitom časovom rozmedzí  $T$  je tým parametrom, ktorý môže slúžiť na vyjadrenie miery akosti digitálneho prenosu:

$$p_N^* = \frac{n}{N}. \quad (1)$$

Vzorec (1) udáva bitovú chybovosť. Je to základný ukazovateľ kvality prenosu. Jeho nedostatkom je však to, že môže byť vyhodnotený, len ak je skladba prijímanej postupnosti bitov známa. Používa sa pseudonáhodná postupnosť PRBS, ktorá nahrádza tok informácií zasielaný v skutočnej prevádzke. Preto bitová chybovosť môže byť vyhodnotená správne len v mimo prevádzkovom stave, lebo bitová skladba akejkoľvek informácie prenášanej v skutočnej prevádzke je neznáma.

#### 1.2 Bloková chybovosť

V [3] je ustanovená bloková chybovosť na pozadí BBER, čo je pomer počtu bitových blokov  $b$ , v ktorých sa vyskytne aspoň 1 chybný bit, ale ktoré nie sú súčasťou vážne chybných sekúnd, k celkovému počtu bitových blokov  $B$  prenesených v čase dostupnom pre prenos počas pevného časového úseku vymedzeného na meranie:

$$p_B^* = \frac{b}{B}. \quad (2)$$

V tomto prípade budeme predpokladať, že vážne chybové sekundy sa nebudú vyskytovať, takže  $b$  bude predstavovať počet všetkých chybných blokov a budeme hovoriť o blokovej chybovosti. Pojem „bloková chybovosť“ bol zavedený preto, aby bolo možné merať parametre kvality prenosu počas prevádzky. Totiž mnohé moderné prenosové systémy zabezpečujú prenášané údaje voči chybám tým, že ich zoskupujú do blokov, ku ktorým pridávajú zabezpečovacie bity (paritné bity, bity cyklického zabezpečenia CRC, bity samoopravných kódov FEC,...), ktoré sú súčasťou kódov odhaľujúcich a opravujúcich chyby. Tieto kódy umožňujú zaznamenať, či sa v danom bloku dát vyskytla 1 alebo viacero chybných bitov. No presný počet v bloku sa vyskytnutých chybných bitov nie je možné rozpoznať.

#### 1.3 Početnosť chybných sekúnd a vážne chybných sekúnd

Početnosť chybných sekúnd je pomer počtu 1 sekundových intervalov  $\tau$ , v ktorých sa vyskytuje 1 alebo viac chybných bitov alebo chybových blokov, k celkovému počtu sekúnd  $T$  v čase dostupnom pre prenos počas pevného časového úseku vymedzeného na meranie.

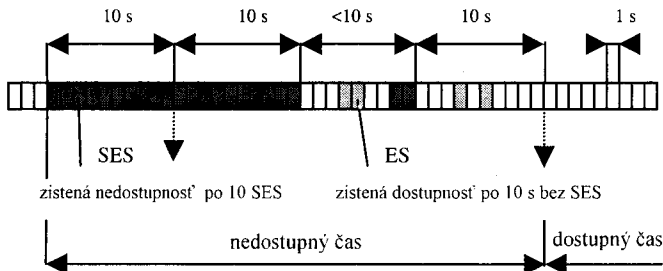
Početnosť vážne chybných sekúnd je pomer počtu 1 sekundových intervalov  $\tau$ , v ktorých bitová chybovosť je väčšia alebo rovná 0,001 alebo ktoré obsahujú 30 % a viac chybných blokov, k celkovému počtu sekúnd  $T$  v čase dostupnom pre prenos počas pevného časového úseku vymedzeného na meranie.

Pre obe uvedené početnosti platí:

$$p_S^* = \frac{\tau}{T}. \quad (3)$$

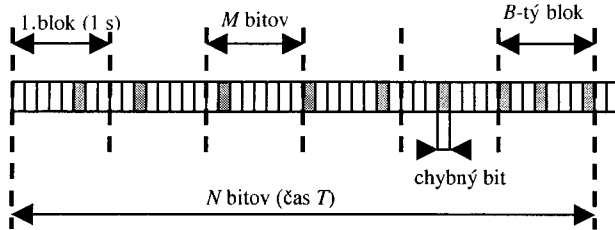
### 1.4 Čas dostupný pre prenos

Časom dostupným pre prenos sa rozumie čas mimo času, ktorý je pre prenos nedostupný. Nedostupný čas sa začína nástupom úseku 10 bezprostredne za sebou nasledujúcich vážne chybných sekúnd SES. Nový úsek času dostupného pre prenos, ktorý nasleduje po nedostupnom čase, začína až nástupom 10 bezprostredne po sebe nasledujúcich sekúnd, ktoré nie sú vážne chybné (obr. 1).



Obr. 1: Vymedzenie času dostupného na prenos

## 2. ODHAD BITOVEJ CHYBOVOSTI Z BLOKOVEJ CHYBOVOSTI A Z POČETNOSTI CHYBNÝCH SEKÚND



Obr. 2: Bity, chybné bity a bitové bloky

Pretože u bitového bloku a u chybných sekúnd ES nie je možné stanoviť počet vyskytnuvších sa bitových chýb, je vhodné mať nástroj, pomocou ktorého by bolo možné odhadnúť základný parameter kvality – bitovú chybovosť z blokovej chybovosti alebo z početnosti chybných sekúnd bez prerušenia prevádzky prenosového zariadenia.

Ak bitový tok má dĺžku  $M$  bitov, je považovaný za chybný, ak z týchto  $M$  bitov je chybný aspoň 1 bit (1 a viac bitov). Pravdepodobnosť, že medzi  $M$  bitmi sa vyskytne práve  $m$  chybných bitov, je daná binomickým rozdelením:

$$\pi_m = \binom{M}{m} p_M^m (1 - p_M)^{M-m} \quad (4)$$

kde  $p_M$  je pravdepodobnosť výskytu chybného bitu v bitovom bloku a  $M$  je počet bitov v bitovom toku.

Pravdepodobnosť, že v bloku  $M$  bitov sa nevyskytne ani 1 chybný bit (0 chybných bitov), je:

$$\pi_0 = (1 - p_M)^M \quad (5)$$

a pravdepodobnosť, že v bloku  $M$  bitov sa vyskytne aspoň 1 chybný bit, je:

$$\pi_{\geq 1} = 1 - \pi_0 = 1 - (1 - p_M)^M \quad (6)$$

Ak sa chybné bity nevyskytujú v zhlukoch, ale náhodne v celom bitovom toku, potom pravdepodobnosť výskytu chybného bitu v bitovom bloku  $p_M$  sa rovná pravdepodobnosti výskytu chybného bitu v celom skúmanom bitovom toku  $p_N$ , takže platí:

$$\pi_{\geq 1} = 1 - (1 - p_N)^M \quad (7)$$

Pritom pravdepodobnosť  $p_N$  sa rovná bitovej chybovosti  $p_N^*$  za predpokladu, že počet bitov  $N$  odpozorovaných počas doby merania  $T \rightarrow \infty$  je nekonečne veľký:

$$p_N = \lim_{N \rightarrow \infty} p_N^* = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N} \quad (8)$$

kde  $n$  je počet chybných bitov zachytených počas celej doby merania  $T$ .

Podobne ako u chybných bitov predpokladajme, že aj výskyt chybných bitových blokov sa riadi binomickým rozdelením. Potom pravdepodobnosť, že medzi  $B$  bitovými blokmi sa vyskytne práve  $b$  chybných bitových blokov, je:

$$\pi_b = \binom{B}{b} p_B^b (1 - p_B)^{B-b} \quad (9)$$

kde  $p_B$  je pravdepodobnosť výskytu chybného bitového bloku,  $B$  je počet bitových blokov a  $b$  je počet chybných bitových blokov. To je ale pravdepodobnosť, že v skupine  $M$  bitov sa vyskytne 1 a viac chybných bitov, a túto pravdepodobnosť udáva (7).

Priemerná hodnota binomického rozdelenia (9) je:

$$\bar{b} = B \cdot p_B = B \cdot \pi_{\geq 1} = B \cdot [1 - (1 - p_N)^M] \quad (10')$$

Podľa (2) je bloková chybovosť

$$p_B^* = \frac{b}{B} \approx \frac{\bar{b}}{B} = 1 - (1 - p_N)^M \quad (11)$$

lebo  $b \approx \bar{b}$ , ak počet odpozorovaných bitových blokov  $B$  je dostatočne veľký. Pritom obdobne ako u (8) platí:

$$p_B = \lim_{B \rightarrow \infty} p_B^* = \lim_{B \rightarrow \infty} \frac{b}{B} \quad (12)$$

Z (11) vyjadríme bitovú chybovosť pomocou blokovej chybovosti:

$$p_N^* \approx p_N = 1 - \sqrt[M]{1 - p_B^*} \quad (13)$$

Ak je  $p_B^* \ll 1$ , potom v (4) môžeme namiesto binomického rozdelenia použiť Poissonovo rozdelenie:

$$\pi_m = \frac{(M \cdot p_M)^m}{m!} e^{-M p_M} \quad (14)$$

odkiaľ aj v súlade s (11):

$$\pi_{\geq 1} = 1 - \pi_0 = 1 - e^{-M p_M} = 1 - e^{-M p_N^*} \approx 1 - e^{-M p_N^*} = p_B^* \quad (15)$$

Odtiaľ

$$p_N^* = \frac{1}{M} \ln \frac{1}{1 - p_B^*} \quad (16)$$

Logaritmus  $\ln[1/(1 - p_B^*)]$  je pre  $p_B^* \ll 1$  blízky k

hodnote  $p_B^*$  a približne platí:

$$p_N^* \approx \frac{p_B^*}{M}. \quad (17)$$

U chybovej sekundy je bitovým blokom  $M$  počet bitov prenesených za 1 s, čiže prenosová rýchlosť  $v_p$ . Potom pre odhad bitovej chybovosti  $p_N^*$  z početnosti chybných sekúnd  $p_S^*$  platí:

$$p_N^* = \frac{1}{v_p} \ln \frac{1}{1 - p_S^*} \approx \frac{p_S^*}{v_p}. \quad (18)$$

Početnosť vážne chybných sekúnd, teda takých sekúnd, v ktorých bitová chybovosť  $p_M^* \in \langle 0,001, 1 \rangle$  alebo v ktorých bloková chybovosť  $p_B^* \in \langle 0,3, 1 \rangle$ , je pre pomyselný vzťahový spoj HRP udávaná v [3] hodnotou  $p_S^* = 0,002$ . Potom za predpokladu, že chybné bity sa vyskytujú len vo vážne chybných sekundách, môžeme označiť:

$P\{S\} = p_S \approx p_S^* = 0,002$  – pravdepodobnosť, že sa vyskytne vážne chybná sekunda

$P\{M/S\} = p_M \approx p_M^* = 0,001 \div 1$  – pravdepodobnosť, že sa vyskytne chybný bit vo vážne chybnéj sekunde

$P\{B/S\} = p_B \approx p_B^* = 0,3 \div 1$  – pravdepodobnosť, že sa vyskytne chybný blok vo vážne chybnéj sekunde

$P\{M \cap S\} = p_N \approx p_N^*$  – hľadaná pravdepodobnosť (bitová chybovosť)

Ak uvažujeme bitovú chybovosť vo vážne chybnéj sekunde, platí:

$$P\{M \cap S\} = P\{S\} \cdot P\{M/S\} \quad (19)$$

$$p_N^* = p_S \cdot p_M^* = 0,002 \cdot (0,001 \div 1) = 0,000\,002 \div 0,002 \quad (20)$$

Ak uvažujeme blokovú chybovosť vo vážne chybnéj sekunde, hodnotu  $p_M^*$  nepoznáme, ale ju môžeme určiť pomocou  $p_B^*$  zo (6), lebo podľa definície a (12) je bloková chybovosť  $p_B^*$  blízka pravdepodobnosti  $\pi_{\geq 1}$  toho, že v bloku  $M$  bitov sa vyskytne 1 a viac chybných bitov:

$$p_M^* \approx p_M = 1 - \sqrt[M]{1 - \pi_{\geq 1}} = 1 - \sqrt[M]{1 - p_B^*}. \quad (21)$$

Potom

$$\begin{aligned} p_N^* &= p_S \cdot p_M^* = 0,002 \cdot (1 - \sqrt[M]{1 - 0,3}) \div 0,002 \cdot (1 - \sqrt[M]{1 - 1}) = \\ &= 0,002 \cdot (1 - \sqrt[M]{0,7}) \div 0,002. \end{aligned} \quad (22)$$

### 3. SPOLEHLIVOSŤ MERANIA

Čím viacej bitov  $N$  alebo bitových blokov  $B$  odporúčame, tým nameraná chybovosť bude vierohodnejšia. Dá sa ukázať [5], že na to, aby s výrokovou istotou  $P$  sme mohli tvrdiť, že nameraná hodnota  $p^*$  parametra  $p$  sa nebude líšiť o viac než  $\pm d$  od svojej skutočnej hodnoty  $p$ , je potrebné zosnímať

$$N = \left[ \frac{\Phi_{-1}\left(\frac{1+P}{2}\right)}{d} \right]^2 \left( \frac{1}{p} - 1 \right) \quad (23)$$

bitov, bitových blokov alebo sekúnd.

Funkcia  $\Phi_{-1}[(1+P)/2]$  je inverznou funkciou k funkcii normovaného normálneho rozdelenia a jej hodnoty pre najpoužívanejšie výrokové istoty sú:

$P$	$\Phi_{-1}[(1+P)/2]$
0,90	1,643
0,95	1,960
0,99	2,576

Ak bolo zosnímaných  $N$  bitov, potom pri známej prenosovej rýchlosti  $v_p$  môžeme odhadnúť potrebnú dobu merania bitovej chybovosti:

$$N = v_p \cdot T, \quad (24)$$

$$T = \frac{1}{v_p} \left[ \frac{\Phi_{-1}\left(\frac{1+P}{2}\right)}{d} \right]^2 \left( \frac{1}{p} - 1 \right). \quad (25)$$

### 4. ZÁVER

Z nameraných hodnôt blokovej chybovosti alebo početnosti chybných sekúnd vyplývajú podstatne väčšie nároky na bi-tovú chybovosť, zvlášť pri väčších bitových blokoch alebo pri vyšších prenosových rýchlostiach. Napríklad u vysokých prenosových rýchlostí rádovo stovky Mbit/s cez svetlovodné vlákna sa v podstate predpokladá bezchybný prenos počas dlhého časového obdobia.

Ak je bloková chybovosť alebo početnosť chybných sekúnd malé číslo ( $<0,01$ ), potom bitovú chybovosť odhadneme s dostatočnou presnosťou, ak nameranú blokovú chybovosť jednoducho podelíme počtom bitov v bloku alebo nameranú početnosť chybných sekúnd podelíme prenosovou rýchlosťou. To však za predpokladu, že chyby sa nevyskytujú v zhlukoch.

### SÚPIS SKRATIEK

BBER	Background Block Error Ratio bloková chybovosť na pozadí
BER	Bit Error Ratio bitová chybovosť
CRC	Cyclic Redundancy Check zabezpečenie kolobežným kódom
ES	Errored Second chybná sekunda
ESR	Errored Second Ratio početnosť chybných sekúnd
FEC	Forward Error Correction kód s opravou chýb
HRP	Hypotetical Reference Path pomyselný vzťahový spoj

PRBS	Pseudo Random Bit Sequence pseudonáhodná postupnosť bitov
SES	Severely Errored Second vážne chybná sekunda
SESR	Severely Errored Second Ratio početnosť vážne chybových sekúnd

#### LITERATÚRA

- [1] CCITT Blue Book, Fascicle I.3
- [2] ITU-T Recommendation G.821 (08/96)
- [3] ITU-T Recommendation G.826 (02/99)
- [4] Čepčiansky, G.: Hodnotenie technickej akosti digi-tálnej siete. Telekomunikace, 4, 1995, s. 55-56
- [5] Čepčiansky, G.: Quality Parameters Detection in Telecommunication. T&P, 2, 2000, s. 42-43
- [6] Schwartz, L.: Príspevok k problematike širokopás-mových sietí, Hab. práca, Žilinská univerzita, 1998