

## Prenosová a modulačná rýchlosť

**Prenosová rýchlosť (bit rate, bitová rýchlosť)** udáva počet bitov prenesených za sekundu, jednotkou je bit/sekunda. Pri vyšších rýchlostiach sa používajú násobky (kbit/s, Mbit/s, Gbit/s). Používa sa aj skrátenejší zápis, napr.: Gb. V takom prípade, ale nemusí byť jasné, či sa jedná o Gbit alebo GByte, úzus  $b = \text{bit}$  a  $B = \text{Byte}$  nedodržiava každý. Množstvo dát, ktoré dostanete nejakým prenosom, nebude zrejme zodpovedať prenosovej rýchlosti. Do tej je totiž započítaná aj réžia, napr.: opakovanie chybných prenosov, kontrolné redundantné dáta, riadenie prístupu, agregácia, ale aj komprimácia a pod.

**Modulačná rýchlosť (baudová rýchlosť)** vyjadruje počet zmien signálu za sekundu, t. j. ako rýchlo sa mení prenášaný signál. Jednotkou je 1 Bd (baud, podľa Émile Baudota). Vzťah prenosovej a modulačnej rýchlosti zobrazuje nasledujúca rovnosť:

$$V_{\text{prenosová}} = V_{\text{modulačná}} * \log_2(n), \text{ kde } n \text{ je počet rozlišovaných stavov}$$

Vzťah hovorí, že prenosová rýchlosť závisí od modulačnej rýchlosti a od počtu rozlišovaných stavov. Ak rozlišujeme dva stavy (0 alebo 1, t. j. 1bit), tak je prenosová rýchlosť rovná modulačnej rýchlosti,  $\log_2(2) = 1$ . Ak by sme dokázali rozlíšiť štyri stavy, tak by sme preniesli naraz dva bity (dva bity sú štyri možnosti: 00, 01, 10, 11) a prenosová rýchlosť by sa zdvojnásobila. Vo všeobecnosti potrebujeme na prenos  $n$  bitov rozlišovať  $2^n$  stavov.. Počet stavov bohužiaľ nemôžeme zvyšovať do nekonečna, pretože by ich príjemca už nedokázal rozlíšiť.

Claude Elwood Shannon: Maximálna prenosová rýchlosť je daná

- šírkou prenosového pásma
- „kvalitou“ prenosovej cesty:

$$\max(V_{\text{prenosová}}) = \text{šírka pásma} * \log_2(1 + \text{signál/šum})$$

To znamená, keďže šum (rušenie prenosu) nie je možné odstrániť, že **maximálna prenosová rýchlosť daná šírkou pásma**.

**Príklad:** Prevádzkujme svoj vlastný cvičný prenos. Môžeme si ho predstaviť ako drôt (nejaký prenosový kanál), na ktorého začiatku niekto mení napätie<sup>1</sup> a my na konci napätie meriame. Bolo by pekné, ak by niekto nastavil napätie napríklad 3,0004 Voltu a my by sme ho na konci namerali rovnako. To by bol analógový<sup>2</sup> prenos, mohli by sme poslať na jedenkrát ľubovoľné číslo. Pretože je malá šanca, že na konci sa odmeria to, čo bolo poslané (existujú bohužiaľ útlm, šum, obmedzená presnosť meracieho zariadenia, škriatkovia, ...), tak je nutné vymyslieť to inak.

Z praktických dôvodov nemôže byť napätie ľubovoľné, ale dajme tomu iba 0V až 5V. Náš protokol (dohoda medzi obsluhami z koncov drôtu) hovorí, že odosielateľ nastaví 0V pre bitovú 0 a 5V pre bitovú 1. Na konci drôtu napätie odmeriame a podľa protokolu budeme všetky hodnoty pod 2,5V považovať za bitovú 0 a ostatné za bitovú 1. Rozpätia 0V až 2,5V a 2,5V - 5V sú dosť široké na to, aby to vyššie spomínané javy nekazili. Je nám jedno, ak odoslaných 5V klesne po ceste o 1,5V. Na konci odmeriame 3,5V, čo bude správne interpretované ako logická 1.

<sup>1</sup> Mohli by sme meniť aj teplotu, ale zdá sa, že elektrina je lepšia.

<sup>2</sup> Napríklad vodovodný kohútik je „analógový“, môžeme ho nastaviť na ľubovoľnú hodnotu prietoku vody v jeho rozpätí. Digitálne zariadenia umožňujú použiť z rozpätia iba vybrané hodnoty, resp. hodnota reprezentuje nejaký úsek z rozpätia. Známkovanie je digitálne, pretože hodnota FX reprezentuje vedomosti v rozpätí 0% až 60%.

Je tu ale ďalší problém. Majú byť odoslané bity 10111. Odosielateľ postupne mení napätia 5V, 0V, 5V, 5V, 5V. My odmeriame 4V, 1V, 3V. Nevieme aké „bity“ boli posielané a preto nevieme, či niektorá nameraná hodnota predstavuje jednu, dve, tri alebo viac skutočných hodnôt. Preto musí byť v protokole definované ako odlišiť, že aj keď sa napätie (razantne) nezmení, že meriame ďalšiu hodnotu. Základom je, ako obvykle, dohoda oboch strán, že každý bit sa prenáša pevne danú dobu. Pretože takéto časové úseky trvajú naozaj krátko, maličká odchýlka v hodinách komunikujúcich strán sa fatálne prejaví. Preto treba hodiny vhodne synchronizovať. To sa môže vyriešiť ďalším drôtom a zmenou napätia na ňom informovať, kedy vysielame a kedy nie. Ak nemožno použiť ďalší „drôt“, môžeme na signalizáciu stavu/synchronizáciu vyčleniť časť z rozpätia (napr. 2V-3V) alebo špeciálnu postupnosť bitov.

Rozlišovanie dvoch stavov signálu umožňuje preniesť na jedenkrát jeden bit (to je náš súčasný cvičný prenos: nad 2,5V a pod 2,5V). Ak by sme dokázali rozlíšiť štyri stavy (napr.: pod 1V, 1V-2V, 2V-3V a nad 3V), preniesli by sme naraz dva bity (dva bity sú štyri možnosti: 00, 01, 10, 11).

Dôležitá je teda otázka **synchronizácie** vysielača a prijímača, t. j. určenie časového úseku, kedy je stav signálu dôležitý = kedy je hodnota ktorú zaznamenáva prijímač platná. Pri paralelných prenosoch sa to obvykle rieši prídavnými riadiacimi signálmi („drôt“ navyše nie je veľká komplikácia, keď už ich je napr. 16). Pri sériových prenosoch to nebýva obvykle možné/efektívne. Rieši sa to dvomi spôsobmi.

- Pri **asynchrónnom prenose** dát sa posielajú každý znak zvlášť (samozrejme, pri sériovom prenose po bitoch) a každý znak má svoju vlastnú synchronizáciu. Pred odoslaním znaku sa pošlú tzv. *start bity* – (zmena signálu s definovanou dobou trvania alebo definovaným priebehom), potom sú odoslané jednotlivé bity znaku (s definovanou dobou prenosu jedného bitu), nasledovať môže napr. paritný bit a prenos ukončia tzv. *stop bity* (podobne definované ako start bity). Asynchrónny prenos je relatívne neefektívny, réžia spojená so synchronizáciou každého znaku zvlášť je príliš veľká. Asynchrónny prenos sa používa najmä pre pomalšie prenosi alebo pre menšie objemy dát.
- Pri **synchrónnom prenose** sa posielajú väčšie bloky bitov, každý blok je uvedený synchronizačnými bitmi. Keď sa neprenášajú dáta, prenášajú sa špeciálne znaky. Synchronný prenos vyžaduje vyrovnávaciu pamäť. Používa sa hlavne pre vysoké rýchlosti.

**Synchronizácia** znamená, že vysielač a prijímač robia všetko preto, aby bolo možné rozpoznať hranice prenášaných znakov.



Obrázok 1 Prenosová rýchlosť závisí od šírky pásma. (Bandwidth = šírka pásma).

## Bonus

Prenos dát sa odohráva v jednom z dvoch režimov:

- **Paralelný prenos.** Prenáša sa niekoľko (obvykle 8, 16, ...) bitov súčasne (Každý bit po inom vodiči). Používa sa iba na menšie vzdialenosti (všetky súčasne prenášané bity musia totiž doraziť v rovnakom čase (synchronizovane), väčšie vzdialenosti splneniu tejto požiadavky pre možné oneskorenie čo i len jediného bitu bránia). Paralelný prenos je rýchly, pretože prenáša napr. 8bitový znak na jedenkrát.
- **Sériový prenos** znamená prenos bit po bite. Prenesené znaky je potrebné na začiatku previesť na postupnosť bitov a na konci ich opäť zložiť. Sériový prenos je rýchly, pretože nemusí riešiť synchronizáciu. ☺

## Kontrola

Situácia: Uzol prijal bity 1000 1111. Teší sa. Ale potom radosť zatieni mrak pochybností. Čo ak sa po ceste niečo pokazilo, čo ak bolo pôvodne odoslané 1100 1110 alebo nedajbože 1111 0000? Je to nepríjemná situácia, na ktorú je možné reagovať viacerými spôsobmi:

- Nerobiť nič. Asi to nie je dobrá reakcia, pretože žijeme v reálnom svete, kde nie sú ideálne prenosy a chyby sa nevyplácajú.
- Nechať si poslať všetko dvakrát. Lepšie riešenie, ale stále veľmi zlé. Drvivá väčšina prenosov je bez chýb, takže to je zbytočné mrhanie prenosovou kapacitou.
- Poslať s každým prenosom niečo navyše. Využiť redundanciu = „nadbytočnosť“, niečo navyše. Nie je to ideálne, ale je to najlepšie, čo máme k dispozícii. Nasleduje princíp troch kontrol, ktoré využívajú tento spôsob: Kontrolný súčet, parita a CRC.

### Kontrolný súčet

Aj keď sa v počítačoch všetko deje v dvojkovej sústave, v príklade použijeme desiatkovú sústavu, aby to bolo ľahšie. Majú sa poslať čísla 1234, 5633, 0022, 1611, 3514.

Odosielateľ ich [sčíta](#) dostane číslo 12014. Odosielateľ pošle pôvodných 5 čísel a ešte aj ich súčet (12014). Ak by bolo možné poslať iba štvorciferné číslo, tak odsekne zľava to čo je navyše, v takom prípade by poslal 2014.

Adresát sčíta všetky čísla okrem posledného a súčet porovná s posledným číslom. Ak sú rôzne, je jasné, že je niekde chyba<sup>3</sup> a treba prenos opakovať. Ak sa zhodujú, tak je prenos asi v poriadku<sup>4</sup>.

### Kontrola paritou.

Odosielateľ odošle namiesto bitov 1111000 bity 1111000X, teda zasa niečo navyše. X je 0 alebo 1, podľa toho na čom sa dohodli zúčastnené strany (alebo čo je dané protokolom).

- Pri **párnej** parite sa X nastaví tak, aby bol celkový počet jednotiek párný.
- Pri **nepárnej** parite sa X nastaví tak, aby bol celkový počet jednotiek nepárny.
- Pri **jednotkovej** parite sa X nastaví na 1.
- Pri **nulovej** parite sa X nastaví na 0.

Prijemca opäť na základe posledného bitu dokáže odhaliť nejaké chyby a nejaké nie. Napr.: ak sa dohodli na párnej parite a dostane 11100011, je jasné, že nastala chyba. Ak by dostal 00001111, tak musí predpokladať, že je všetko v poriadku.

### CRC – cyclic redundancy check

Podstatou metódy je interpretácia postupnosti bitov ako polynómu. Napríklad, postupnosť 110101 je považovaná za polynóm  $1 \cdot x^5 + 1 \cdot x^4 + 0 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 0 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0$ .

Protokolom je určený polynóm. Odosielateľ ním predelí, to čo chce odoslať. Zistí zvyšok po delení<sup>5</sup>. To je opäť polynóm, ktorý je prevedený na postupnosť bitov a pošle sa s dátami.

<sup>3</sup> Smutné je, že pôvodné čísla môžu byť v poriadku a zle sa prijalo iba to posledné (samotný kontrolný súčet). Adresát to ale nemá ako zistiť. Táto možnosť môže nastať aj v ostatných metódach kontroly.

<sup>4</sup> Môže sa stať, že posledné číslo sa chybou zmení na 2013 a prvé na 1233. Táto možnosť môže nastať aj v ostatných metódach kontroly.

<sup>5</sup> V skutočnosti je to troška zložitejšie pre človeka a o moc jednoduchšie pre počítač.

Adresát si tiež zistí zvyšok po delení, porovná ho so zvyškom po delení, ktorý dostal. Ak sú rôzne, je jasné, že je niekde chyba a treba prenos opakovať. Ak sa zhodujú, tak je prenos asi v poriadku.

Kontrola pomocou CRC je omnoho efektívnejšia ako prvé dve. Umožňuje v niektorých prípadoch zistiť, kde na stala chyba, opraviť ju a pokračovať v prenose bez jeho opakovania.