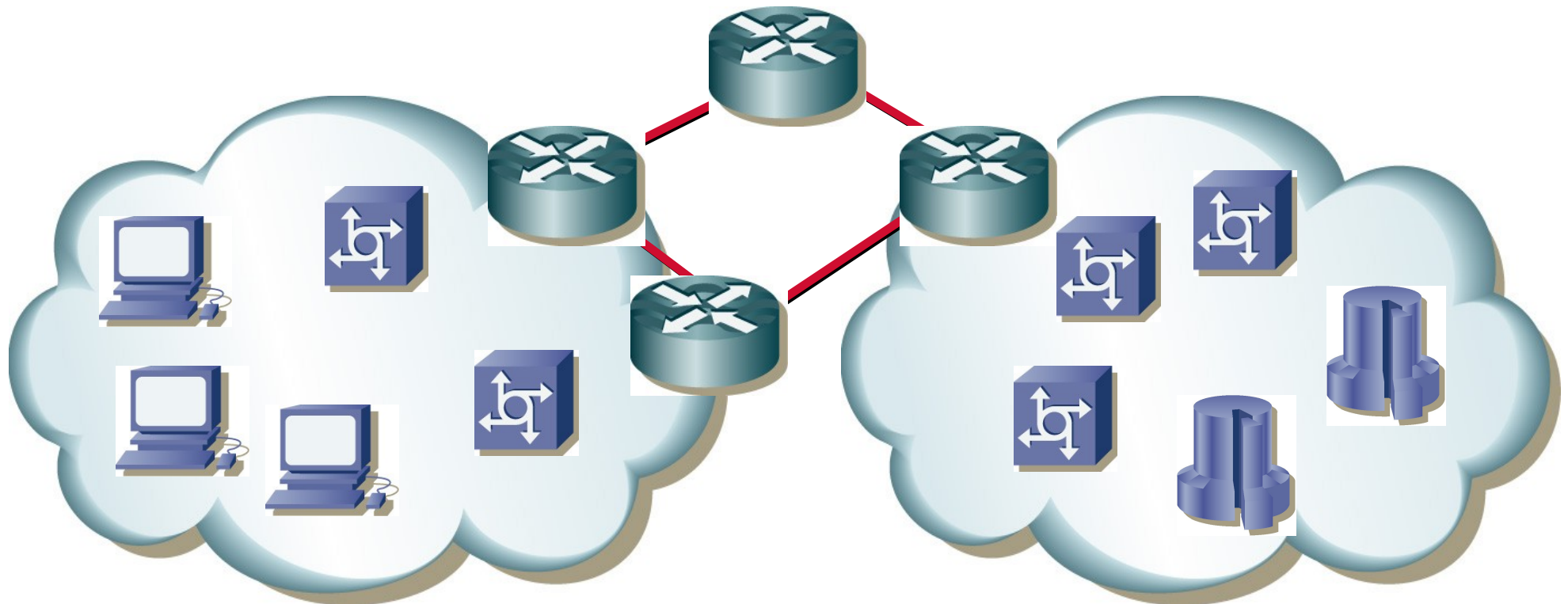


Počítačové sítě I

3. Přenos informace

Miroslav Spousta, 2005

<qiq@ucw.cz>, <http://www.ucw.cz/~qiq/vsfs/>



Základy: bit a byte

- bit (kousek) nabývá hodnoty 0 nebo 1
 - jedna binární číslice, jedno paměťové místo
- oktet je 8 bitů
- byte (bajt) je základní adresovatelná jednotka
 - může se (teoreticky) lišit počítač od počítače
 - dneska je všude 8 bitů, tedy oktet = bajt
 - může nabývat hodnot 0 – 255
- word (2 bajty, 16 bitů)
- double word (4 bajty, 32 bitů)

1	0	1	1	0	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

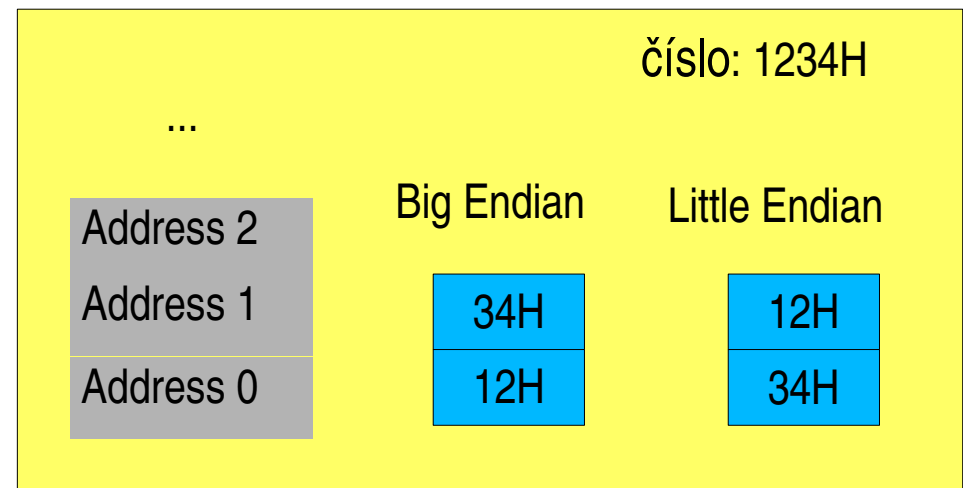
Základy: početní soustavy

- Desítková (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, ...)
 - *dekadická*, všichni známe, základ tvoří deset cifer (deset prstů)
- Dvojková (0, 1, 10, 11, 100, 101, 110, 111, 1000, ...)
 - *binární*, používá dvě cifry 0 a 1
 - vhodné pro kódování digitálního signálu: dva stavy signálu (např. je signál/není)
- Šestnáctková (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F, 10, 11, ...)
 - *hexadecimální*, základ šestnáct cifer
 - vhodné v datových komunikacích, protože $2^4 = 16$, tedy jedna hexadecimální číslice určuje 4 bity. Neboli bajt vyjádříme jako dvě hexadecimální číslice
 - 0 – 255 můžeme zapsat jako 0x00 – 0xFF

Big vs Little Endian

Jak uložit data do paměti?

- nejmenší adresovatelná část paměti – bajt (256 hodnot)
- větší čísla? více bajtů!
- jak je poskládat do paměti?
- big endian: SPARC, Motorola
- little endian: Intel x86
- obojí: IA64, MIPS, ARM
- v TCP/IP i Ethernetu se používá **big endian** (nejvyšší byte první)



Analogový vs digitální přenos

Data se přenáší (téměř) vždy analogově

- zda je přenos analogový nebo digitální rozhoduje interpretace
- analogový přenos není nikdy ideální
 - tj. nedokáže přenést veličinu s neomezenou přesností
 - ani vysílač a přijímač
 - projevuje se vliv šumu a zkreslení
 - chyby se akumulují (sčítají)
- digitální přenos může být „ideální“
 - odolnější proti šumu a zkreslení

Šířka přenosového pásma

základní vlastnost přenosového kanálu: *šířka kmitočtového pásma*

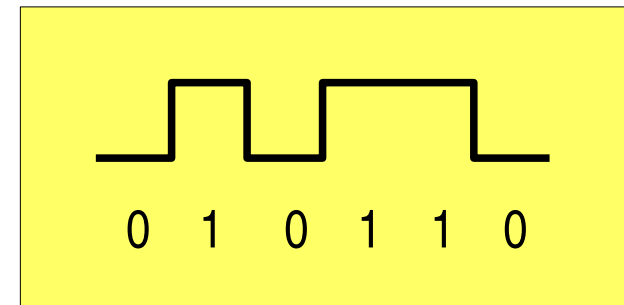
- interval, kde zkreslení není výrazné
 - zdola i shora omezen
- čím větší šířka pásma, tím větší schopnost přenášet data
- pokud se nepřenáší harmonický signál, je potřeba širší přenosové pásmo
 - podle Fouriera: periodický signál můžeme rozložit na harmonické složky
 - pro dokonalý „digitální“ přenos je potřeba nekonečně velké přenosové pásmo
- zkreslení:
 - vlivem útlumu (zeslabení signálu), impedance (deformace)
 - rušení z vnějších zdrojů, přeslechy (prolínání signálu ze sousedních vedení)

Šířka přenosového pásma

- veřejná telefonní síť přenáší signál o kmitočtu 300 Hz – 3400 Hz
 - tedy s šířkou pásma 3100 Hz
 - uměle zavedené omezení kvůli skládání hovorů pro komunikaci mezi ústřednami
- kroucená dvoulinka: 100 MHz
- koaxiální kabel: stovky MHz
- optická vlákna: THz
- bezdrátové sítě: desítky až stovky MHz

Přenos v základním pásmu

- neboli bez modulace
- přenášíme přímo data (bity) bez modulace
- obdélníkové impulzy, snažíme se je modulovat (binárními) daty
 - mění se napětí nebo proud
- problém: na přenášení obdélníkových impulzů je potřeba velké kmitočtové pásmo (mnoho harmonických) => vzniká velké zkreslení
- může mít velkou stejnosměrnou složku
 - snaha o eliminaci ss
- jak synchronizovat vysílač a přijímač?
- používá se v LAN, na krátké vzdálenosti
 - Ethernet na koaxiálním kabelu, kroucené dvoulince, TokenRing, ...

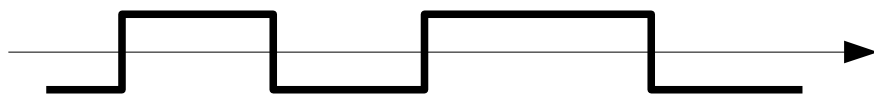


Přenos v základním pásmu

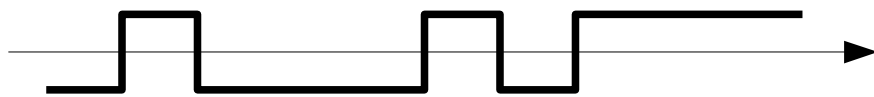
- jak odstranit stejnosměrnou složku:
 - vadí dlouhé sekvence „jedniček“
 - vhodným kódováním se zaručeným výskytem hran (fázová modulace PSK)
- jak synchronizovat vysílač a přijímač
 - další „drát“
 - zaručený dostatečný počet změn v datech (opět PSK)
 - tzv. fázový závěs

Kódování datového signálu

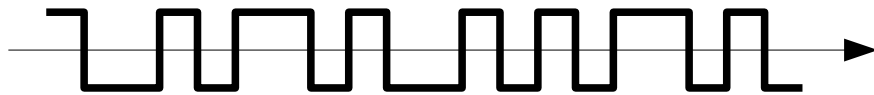
0 1 1 0 0 1 1 1 0 0



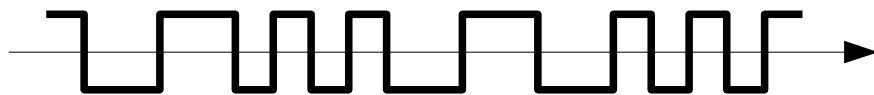
NRZ (Non Return Zero)



NRZI (Non Return Zero Inverted)
[0 – nic, 1 – změny]



PSK (Phase Shift Keying, Manchester)
[fázová modulace]



DPSK (Differential PSK, Diff. Manchester)
[0 – fáze zůstává, 1 – změna fáze]



PSK RZ (PSK Return Zero)

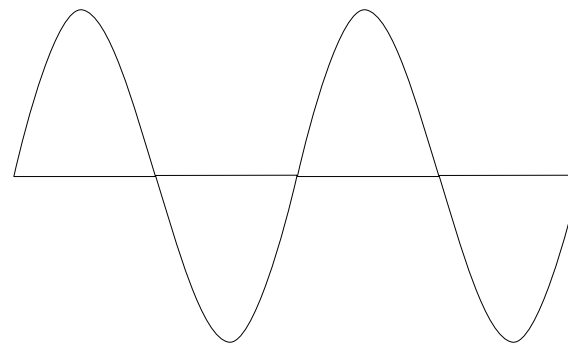
Kódování datového signálu

- NRZ používá např. SONET (synchronní optické přenosy)
 - optická vlákna, nutná přesná synchronizace obou stran
- blokové kódování: zakódujeme určitý počet užitečných bitů pomocí více bitů
 - můžeme si vybrat hezké kombinace (např. ty s dobrým poměrem 0 a 1, vhodných pro synchronizace, atd.)
 - poté data zakódujeme např. pomocí Manchesteru
 - 4B5B, 5B6B (FDDI, FastEthernet)
- synchronizace na úrovni rámců
 - speciální posloupnost, která se nemůže vyskytnout při běžném přenosu dat
 - nedatové kombinace bitů (může chybět datová hrana, nepoužité kombinace)

Přenos v přeloženém pásmu

- pro přenos použijeme harmonický signál (sinusovku)
 - takový signál se přenáší nejlépe po daném médiu
 - má podstatně menší zkreslení
 - základní frekvence nenese žádná data
 - jak reprezentovat binární data? Modulací!
- modulací ovlivňujeme:
 - amplitudu (U): optické sítě
 - kmitočet (ω): metalické sítě
 - fázi (φ): metalické sítě

$$u(t) = U \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$



Modulace

- amplitudová modulace

- měníme velikost U

- frekvenční modulace

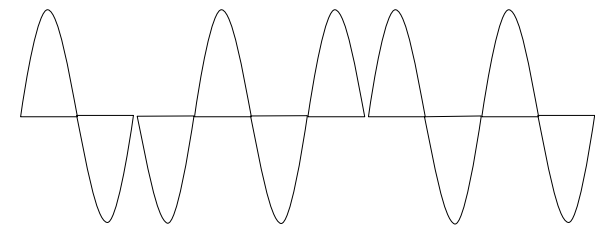
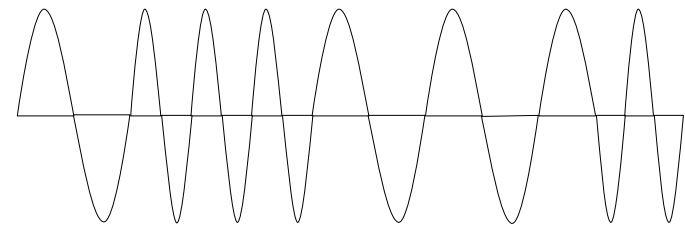
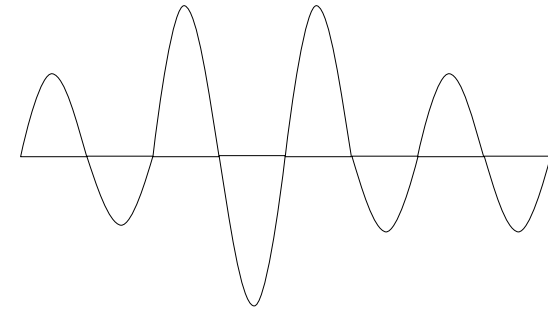
- změna frekvence ω

- fázová modulace

- měníme posunutí sinusoidy v čase φ

- mohou se kombinovat (QAM)

- quadrature amplitude modulation (např. 4x4)
- kombinace fázové a amplitudové modulace
- 4 posuvy (o 90°), 4 úrovně, 16 stavů, najednou se zakódují 4 bity
- můžeme brát stavy, které jsou dostatečně vzdálené



Modulační rychlost

- vyjadřuje počet změn za sekundu, jednotka Baud
- jak rychle se mění vstupní signál (baseband) nebo modulovaná veličina (broadband)
- každá změna signálu nese určité množství informace, záleží na velikosti stavového prostoru
- Nyquistovo kritérium
 - máme-li periodický signál s max. frekvencí f , musíme vzorkovat rychlostí alespoň $2x$ větší
 - neboli stačí vzorkovat $2x$ za každou periodu, více signálu komunikační kanál s max. frekvencí f nepojme

Přenosová rychlost

- kolik dat (bitů) se přenesou za jednotku času (sekundu)
 - měří se tedy v bitech za sekundu (bps)
- může být nižší i vyšší než modulační
- vztah mezi modulační a přenosovou rychlostí:

$$v_{\text{přenosová}} = v_{\text{modulační}} * \log_2(N)$$

- N ... počet stavů přenášeného signálu
- pokud $N = 2$, jsou si rychlosti rovny (dvoustavová modulace)
- Ethernet (PSK): na zakódování jednoho bitu je potřeba dvou změn signálu – modulační rychlost je dvojnásobná
- RS-232 (sériový port): $N = 2$ (tedy rychlosti se rovnají)
- Modem 56kbps, 8000 Bd, $N = 128$

Zvýšení přenosové rychlosti

Jakým způsobem dosáhneme zrychlení přenosu?

- zvětšením přenosového pásma
 - použít médium s větším pásmem (také většinou s vyšší cenou)
- zvýšením počtu stavů modulace
 - nelze donekonečna, čím více stavů, tím větší problém je rozeznat
- Shannonova věta:

$$\max(v_{\text{přenosová}}) = \text{šířka_pásma} * \log_2(1 + \text{signál/šum})$$

- není závislé na přenosové technologii(!)

Přenosový výkon

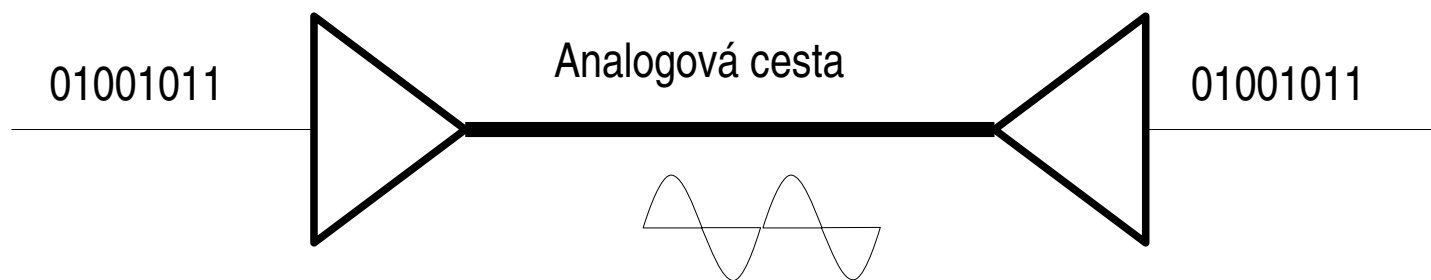
- přenosová rychlost udává rychlost přenosu jednoho bitu po médiu
 - bity se nemusí přenášet souvisle
 - některé nemusí sloužit k přenosu dat
- přenosový výkon měří počet přenesených *užitečných* dat za 1 sekundu
- zvýšení výkonu: komprese (např. běžné telefonní modemy až 4:1)
- snížení výkonu: reže

Duplexní komunikace

- komunikace mezi partnery může být jednosměrná nebo obousměrná
- jednosměrná: kanál (simplexní přenos)
- obousměrná: okruh (duplexní přenos)
 - dvojice protisměrných kanálů
- střídavě obousměrná (poloduplexní přenos (half duplex))
 - také se může směr po jednom kanálu střídat
- Pozor, někdy se udává přenosová rychlost jako součet rychlostí oběma směry
 - např. switchovaný FastEthernet: 200 Mbps

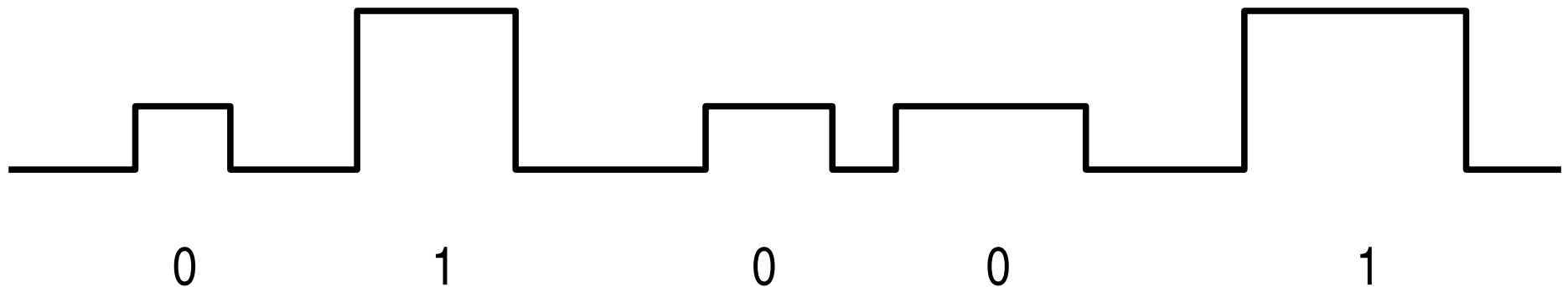
Modem a codec

- MODulátor – DEModulátor
- slouží k přizpůsobení signálů pro přenos médiem
- modulace: digitální signál se mění na analogový
- demodulace: na druhé straně zase zpět na digitální
- obdobně CODEC (COder-DECoder) pro přenos analogového signálu digitální cestou (VoIP)



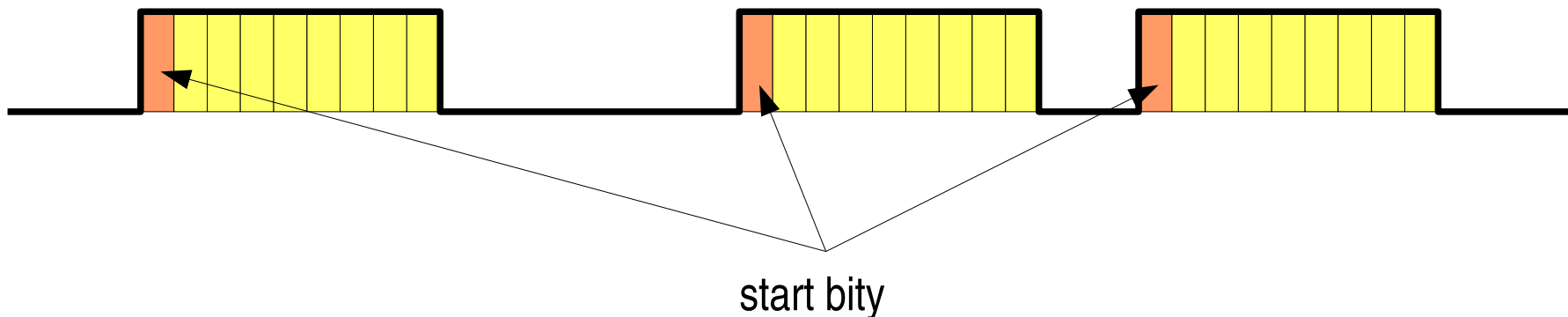
Asynchronní přenos

- chybí synchronizace
- každý přenášený bit může trvat různě dlouho
- začátek i konec bitu musí být nějak signalizován (stavem různým od 0 a 1)



Arytmický přenos

- znakový přenos
- jednotlivé bity v rámci znaku se přenášejí synchronně
- časové prodlevy mezi znaky mohou být libovolné
- počáteční synchronizaci zajišťuje tzv. *start bit*
- když se řekne asynchronní, většinou se myslí arytmičkový



Synchronní přenos

- při asynchronním přenosu se příjemce synchronizuje s odesilatelem na úrovni znaků, mezi znaky se hodiny můžou rozsynchronizovat
- při synchronním přenosu se synchronizují komunikující strany po dobu přenosu celého bloku dat (případně stále)
- synchronizace samostatným hodinovým signálem (po samostatném vodiči)
 - příliš se nepoužívá
- odvozováním časování z dat
 - přijímač se synchronizuje například na hraně dat
 - je potřeba zajistit dostatečný výskyt změn v datech
 - nejčastěji se „smíchají“ data a časování do jednoho signálu

Mnohonásobný přístup

- Máme jeden velký kanál, chceme ho rozdělit na více menších
 - neboli skládáme menší kanály do větších: multiplexování
 - např. telefonní hovory
- techniky multiplexování
 - analogové (frekvenční FDM, vlnový WDM)
 - digitální (časový TDM, kódový CDM)
- inverzní multiplexování
 - spojujeme několik kanálů do jednoho (většího)

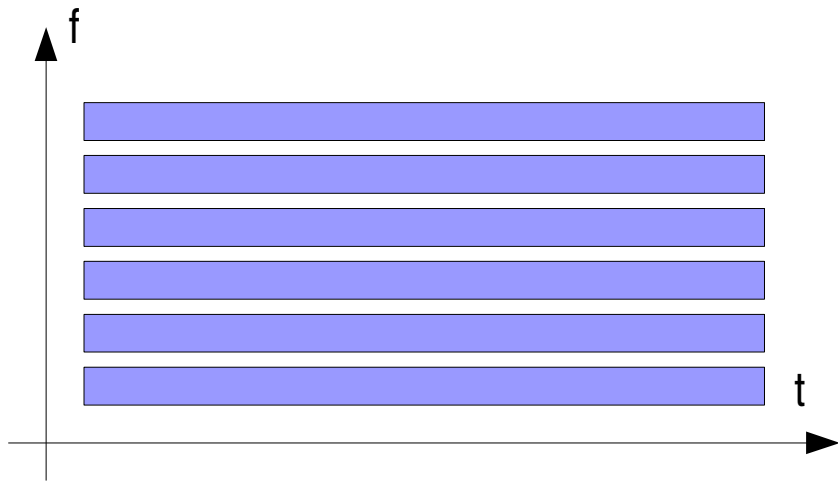
Kmitočtový multiplex

- FDMA, Frequency Division Multiple Access
- kmitočtové pásmo se rozdělí na části (rozsahy frekvencí) o určité velikosti – kanály
- každý kanál může být využit nezávisle
- na obou koncích přenosového kanálu je modem s kmitočtovým filtrem
- původně pro propojení telefonních ústředen, dnes např. u ADSL
 - jednotlivé hovory se posunou do různých frekvenčních poloh a sloučí
 - na koncové straně jsou kmitočtové filtry na jednotlivá pásma
- náročný na realizaci (posun frekvencí)
- je neefektivní – je potřeba velký odstup mezi kanály

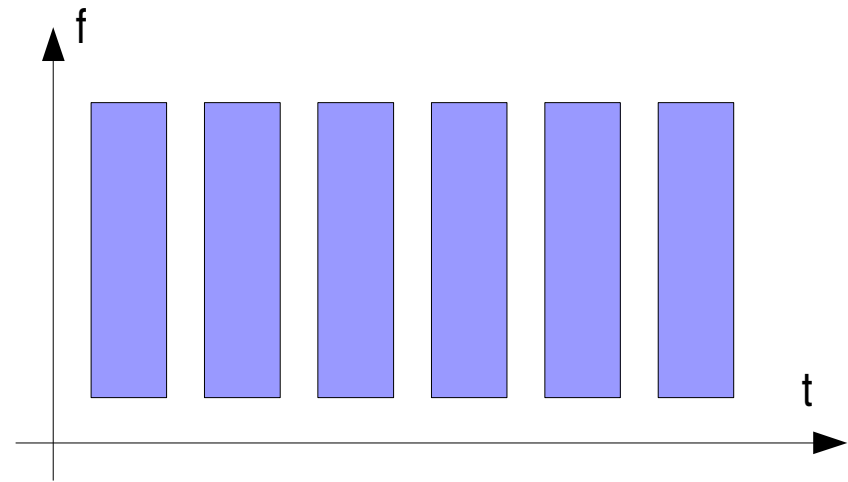
Časový multiplex

- TDMA, Time Division Multiple Access
- celá přenosová cesta je postupně přidělována jednotlivým kanálům (stanicím) na omezenou dobu (slot)
 - dělení není nutně rovnoměrné, ale je pevně dáno předem (data není třeba identifikovat, stačí, že se vysílají v okamžiku přiděleném danému kanálu)
 - potřeba přesné synchronizace
 - nevyužité sloty leží „ladem“
- Sítě GSM pracují v pásmu 900 a 1800 MHz
 - FDM: jednosměrné kanály o šířce 200 kHz
 - v rámci kanálů TDM na 8 slotů
 - hovor potřebuje 2 sloty (každý jedním směrem)

FDMA a TDMA



FDMA



TDMA

Statistický multiplex

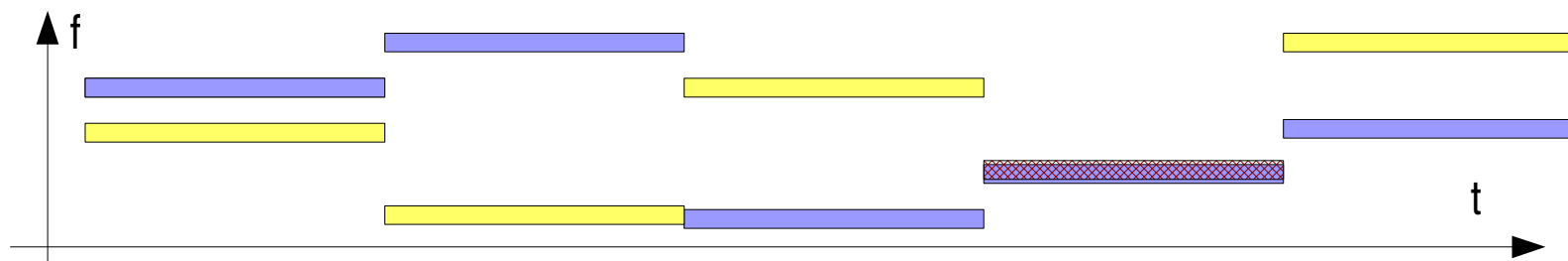
- část pásma může zůstat nevyužitá
 - uzel, kterému je slot přidělen nemusí mít data k vyslání
 - volná kapacita není dostupná těm, kteří chtějí vysílat více dat
 - problém pro přenosy, které neprodukují stále stejný objem dat
 - datové přenosy
- STDM (Statistical Time Division Multiplex)
 - kanál je přidělován podle potřeb, používá se vyrovnávací paměť
 - v zásadě se jedná o variantu paketového přenosu
 - data musí být opatřeny identifikací (aby bylo možné určit, komu byl daný slot přidělen)

WDM

- WDM (Wavelength Division Multiplex)
 - v optických sítích
 - přenáší se více nosných délek (barev) najednou
 - každá barva nese jiné informace (samostatný komunikační kanál)
 - kapacita vlastně znásobena počtem barev
 - v praxi desítky až stovky frekvencí (barev)
 - dokonce je možné použít jedno vlákno pro obousměrný provoz

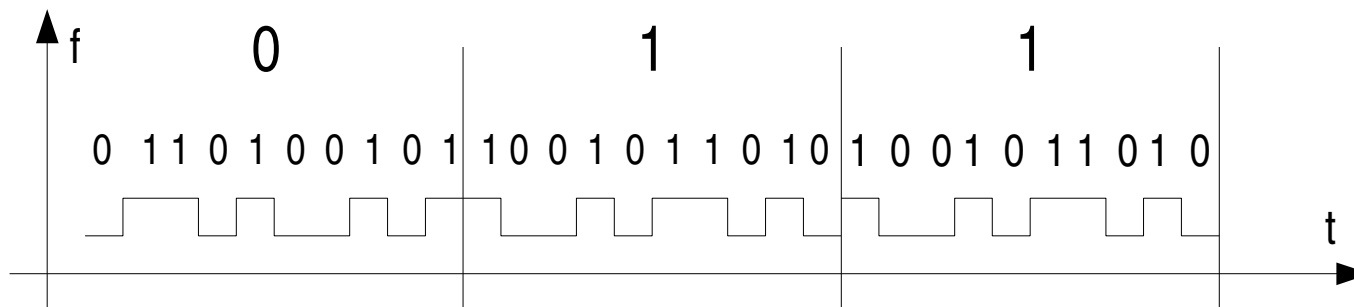
Rozprostřené spektrum

- FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum
- většinou pro bezdrátovou komunikaci, využívá více kanálů
- během práce mění kmitočet, na každém kanále pracuje omezenou dobu, pak přeskočí na jiný kanál
- komunikující stanice mění frekvence synchronně, pro vnějšího pozorovatele náhodně
- různé (ortogonální) posloupnosti umožňují práci více stanic současně (kolize se považuje za rušení)
- např. Bluetooth přeskakuje 1600x za sekundu



Kódový multiplex

- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) neboli CDMA (Code Division Multiple Access)
- kapacita spoje se využívá celá (každý vysílač používá celé přenosové pásmo) => může být velmi efektivní
- na nosnou frekvenci jsou namodulovány pseudonáhodné posloupnosti bitů
 - jedna posloupnost pro 0, inverzní pro 1
 - posloupnosti mají desítky až stovky bitů (WiFi používá 11 bitů)



Kódový multiplex

- přijímač dokáže rozpoznat i částečně zarušený signál (korekční algoritmus)
- pomocí volby ortogonálních kódů (chip) je možné provozovat několik nezávislých vysílání
- odolné proti rušení
- rozprostřené spektrum
- v ČR se používá např. v síti Eurotelu CDMA (a bude v UMTS)

OFDM

- Orthogonal Frequency-Division Multiplex
- jako FDM
- používá pro vysílání několik (hodně) sousedních frekvencí
 - frekvence jsou nezávislé => neruší se
 - některé (zarušené) frekvence se nemusí používat
 - => různé rychlosti přenosu
- IEEE 802.11a/g, WiMax, ADSL