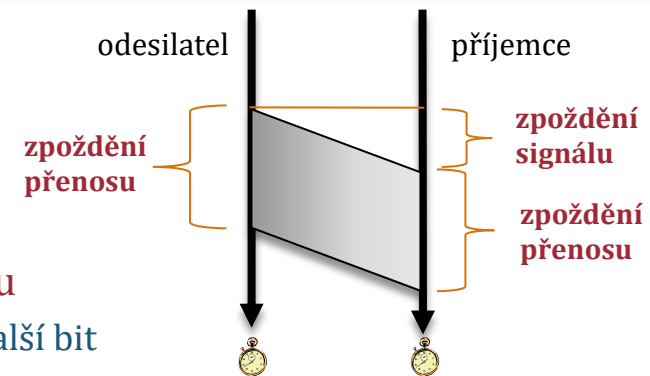


# Lekce 5: Základy datových komunikací - II

*Jiří Peterka*

# zpoždění při přenosech

- **při přenosech dat dochází ke zpoždění, kvůli:**
  - omezené rychlosti šíření signálu přenosovým médiem
  - omezené přenosové rychlosti
    - přenosová rychlost (v bitech za sekundu) vypovídá o tom, jak dlouho trvá přenos (odesílání / příjem) 1 bitu
      - jinými slovy: jak dlouho musíme čekat, než můžeme vyslat další bit



## zpoždění signálu

- : **propagation delay**
- vypovídá o tom, jak dlouho trvá přenášenému signálu, než se dostane ze začátku na konec
  - je to dáno (konečnou) rychlostí šíření signálu v daném přenosovém médiu
    - blízkou rychlosti šíření světla ve vakuu
      - cca 300 000 km/s
    - v praxi:
      - vyjadřuje se jako násobek rychlosti šíření světla ( $c$ )
- počítá se jako:  $t_{prop} = \text{délka} / v_{\text{šíření}}$

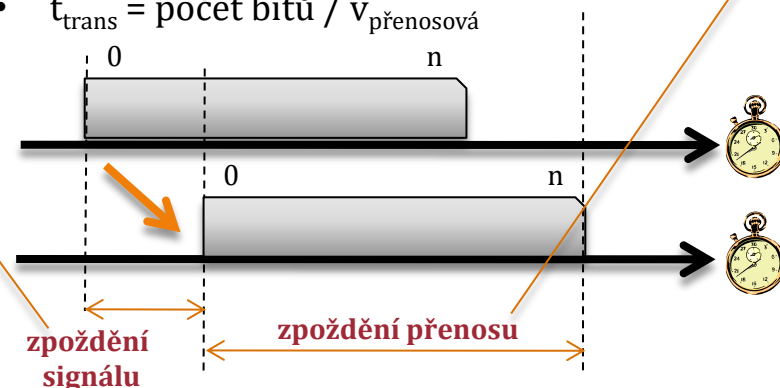
přenosové médium	vůči světlu	km/s
tlustý koaxiální kabel	$0,77 * c$	231 000 km/s
tenký koaxiální kabel	$0,65 * c$	195 000 km/s
kroucená dvoulinka (twist)	$0,59 * c$	177 000 km/s
optické vlákno	$0,66 * c$	198 000 km/s

závisí na délce

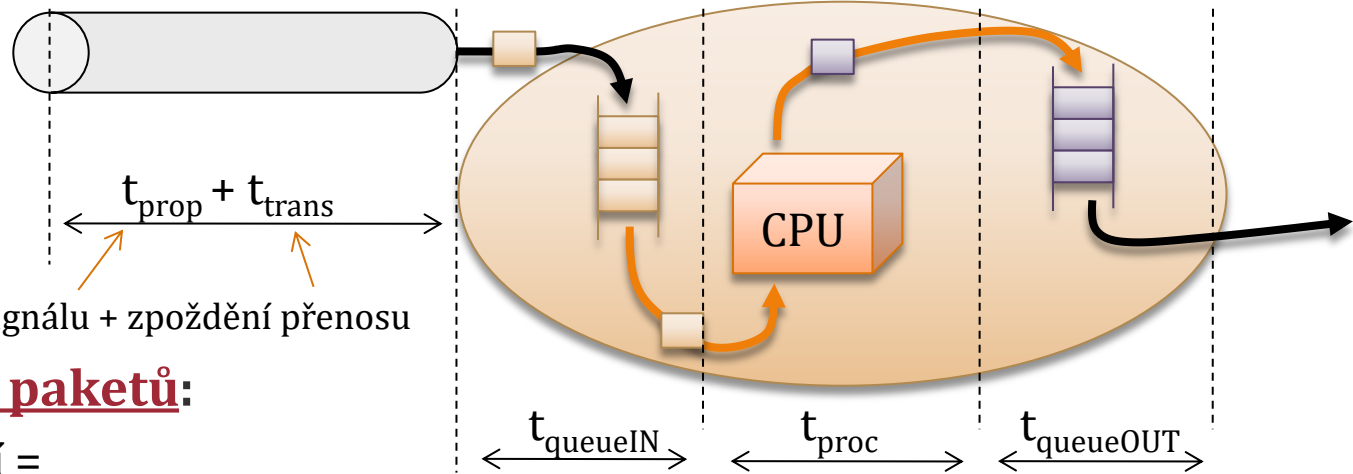
## zpoždění přenosu

- : **transmission delay**
- vypovídá o tom, za jak dlouho se podaří odeslat celý přenášený blok dat
- závisí na době, kterou trvá odesílání 1 bitu
  - tj. na přenosové rychlosti
    - v bitech za sekundu
- počítá se jako:
  - $t_{trans} = \text{počet bitů} / v_{\text{přenosová}}$

nezávisí na délce média



# zpoždění při přenosech



zpoždění signálu + zpoždění přenosu

- při **přepojování paketů**:

celkové zpoždění =

zpoždění signálu + zpoždění přenosu + zpoždění při zpracování + zpoždění ve frontách

**nemění se, lze predikovat**

**mění se, nelze predikovat !!!!**

- zpoždění při zpracování ( $t_{proc}$ )

- představuje dobu, po kterou se procesor rozhoduje a manipuluje s přenášenými bloky dat (pakety)

- pokud na ně vůbec má čas/kapacitu
- jinak bloky čekají ve frontách

- zpoždění ve frontách ( $t_{queue}$ )

- představuje dobu, po kterou bloky dat čekají ve vstupních či výstupních frontách, než na ně přijde řada


co dělat, když nemá???

- **důsledek:**

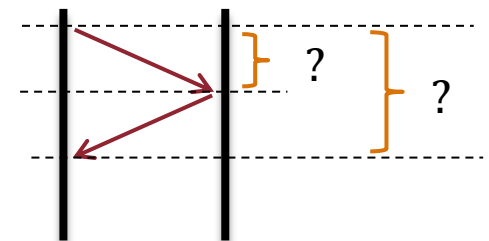
- u přepojování paketů nelze dopředu odhadnout, jak dlouho se blok dat zdrží v přepojovacím uzlu

**přepojování paketů není izochronní !!**

# latence

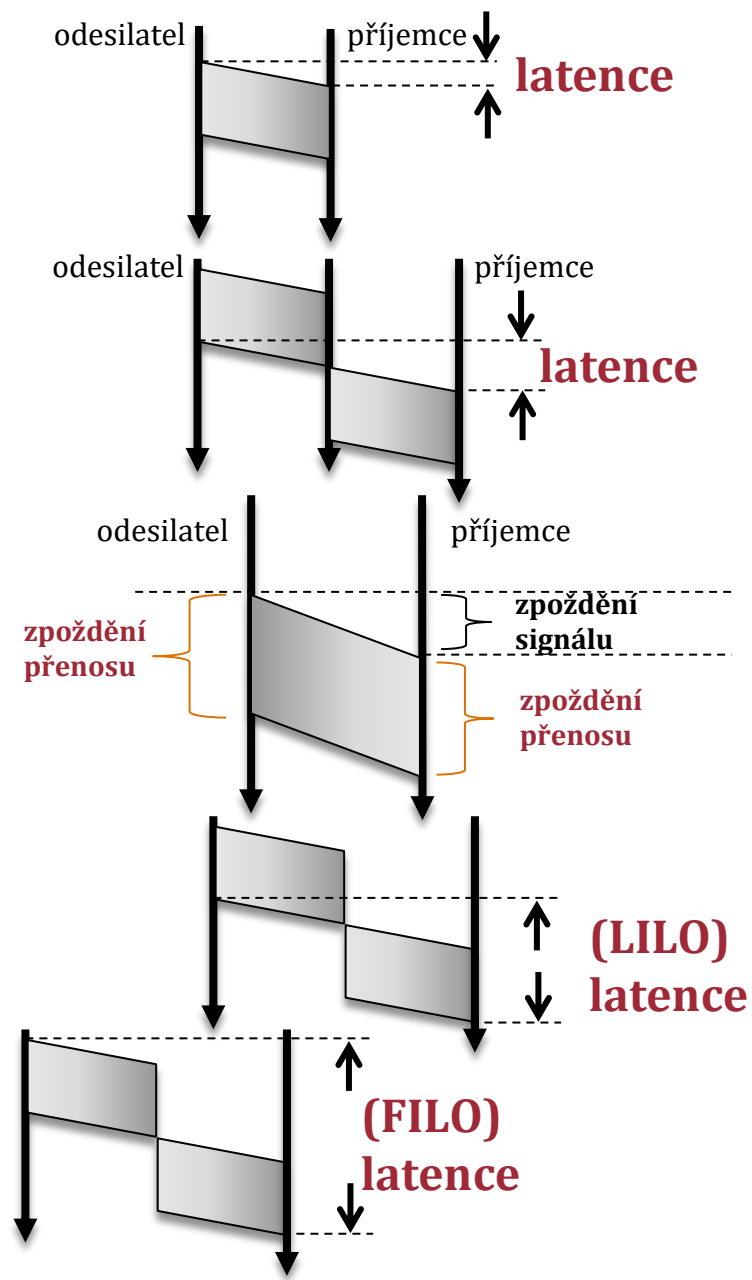
- **latence** ( latency)
  - parametr, kterým se v praxi vyjadřuje „míra zpoždění“ při přenosech či zpracování
    - požadavky:
      - telefonie, byznys kvalita: latence do 200 ms (nad 500 ms se již nedá použít)
      - hraní on-line her: záleží na charakteru hry, obvykle se očekává méně než 100 ms
    - příklady dosahované latence:
      - dial-up přenos: kolem 100 ms
      - ISDN přenos: kolem 10 ms
      - xDSL, kabel: desítky ms
      - Ethernet: typická propojka kolem 0,3 ms
      - metalický (měděný) vodič: 5,48 nanosekund na 1 metr délky kabelu
      - GSM (GPRS, EDGE): až 800 ms
      - UMTS/3G: 200-400 ms
      - LTE: i pod 100 ms
- **ale:**
  - ne vždy se pod pojmem „latence“ chápe stejná veličina
    - například:
      - někdy jde o **jednosměrnou latenci** (one-way latency)
      - jindy o **obousměrnou latenci** (round-trip latency)
  - existuje více různých definic latence
    - které se ještě mohou dělit podle druhu přenosu či zpracování
      - zda jde o prostý přenos, bez bufferování, nebo zda jde o přenos s bufferováním
        - na principu store&forward

často se plete s dobou obrátky  
(RTT, Round Trip Time)



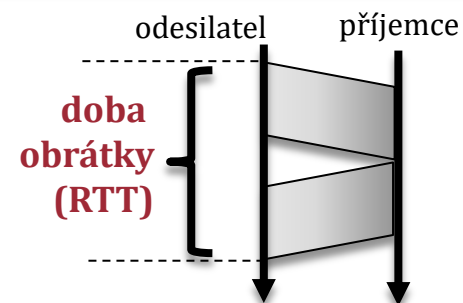
# definice (jednosměrné) latence

- „jednosměrná“ latence, dle RFC 1242:
  - pro nebufferovaný přenos („bit forwarding“):
    - doba od (konce) prvního odeslaného bitu
    - vstupujícího do přenosu (proto: First In) **FIFO**
    - do (začátku) prvního přijatého bitu (First Out)
  - pro bufferovaný přenos (store&forward):
    - doba od (konce) posledního odeslaného bitu
    - do (začátku) prvního přijatého bitu **LIFO**
- teoreticky (pro tuto definici):
  - latence není závislá na přenosové rychlosti
    - je dána jen zpožděním signálu (které závisí na délce)
- existují i alternativní definice latence
  - které již jsou závislé na přenosové rychlosti (zpoždění přenosu), či zpoždění zpracování
  - LILO: Last In, Last Out (dle RFC 4689)
    - doba od (konce) posledního odeslaného bitu
    - do (konce) posledního přijatého bitu
  - FILO: First In, Last Out
    - doba od (začátku) prvního odeslaného bitu
    - do (konce) posledního přijatého bitu



# doba obrátky, RTT

- **doba obrátky** ( RTT, Round Trip Time) je další veličina, která popisuje chování přenosové sítě
  - definice z RFC 2681: doba od odeslání prvního bitu paketu P, který příjemce nejprve celý přijme a pak jej ihned odešle zpět, do příjmu posledního bitu tohoto paketu
    - doba obrátky je závislá na velikosti paketu (bloku) P i na přenosové rychlosti (skrže dobu přenosu)



- **doba obrátky nezahrnuje reakční dobu příjemce**

– dobu na zpracování přijatého paketu P

- předpokládá se, že příjemce paket nezpracovává
  - a že jeho „vrácení“ je realizováno v HW, případně na úrovni SW ovladače / protokolového stack-u
    - aby bylo maximálně rychlé

fragmentace

velikost P	PING
32 B	10 ms
1024 B	12 ms
1460 B	12 ms
1470 B	18 ms
2048 B	20 ms
16536 B	1406 ms
32768 B	2837 ms

příklad:  
kabelová přípojka, 30 Mbit/s  
PING na [ksi.ms.mff.cuni.cz](http://ksi.ms.mff.cuni.cz)

- **v praxi:**

– doba obrátky (RTT) se měří utilitou PING

- odesílají se zprávy ICMP Echo Request
- přijímají se zprávy ICMP Echo Reply
  - které generuje TCP/IP stack

- **zjednodušeně:**

- doba obrátky (RTT) se bere jako obousměrná latence
  - či jako 2x jednosměrná latence
  - i když to není správné/přesné

# jitter (kolísání, rozptyl)

-  jitter vyjadřuje nežádoucí odchylky od očekávané pravidelnosti

-  kolísání, rozptyl, fázová neurčitost, ....

– lze aplikovat na řadu různých veličin:

- na (jednosměrnou) latenci, na dobu obrátky (RTT, Round Trip Time), .....

- otázka:

– jak jitter definovat a hodnotit?

- možnosti:

Přibližná doba do přijetí odezvy v milisekundách:  
Minimum = 680ms, Maximum = 1465ms, Průměr = 1435ms

– jako rozmezí (min – max), ve kterém se sledovaná veličina pohybuje

- přístup ITU, obvykle preferovaný od ISP

– statistickými metodami: jako rozptyl/rozdělení sledované veličiny

- dle RFC 3393

- obecně:

– čím nižší (menší) je jitter, tím je sledovaná veličina pravidelnější

- a naopak: čím vyšší jitter, tím je větší míra nepravidelnosti sledované veličiny

- připomenutí:

– multimediální aplikace/služby potřebují nízký jitter (pravidelně doručovaná data), protože je zpracovávají průběžně

- například přehrávají či zobrazují

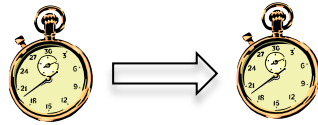


– datovým aplikacím/službám vyšší jitter nevádí, protože čekají na doručení všech dat

čas=1455ms  
čas=1456ms  
čas=1455ms  
čas=1451ms  
čas=1454ms  
čas=1452ms  
čas=1455ms  
čas=1453ms  
čas=1454ms  
čas=1457ms  
čas=1452ms  
čas=1384ms  
čas=1445ms  
čas=1455ms  
čas=1451ms  
čas=1458ms  
čas=1450ms  
čas=1456ms  
čas=1453ms  
čas=1455ms  
čas=1451ms  
čas=1456ms  
čas=1454ms

příklad  
nepravidelnosti  
RTT při PINGu

# izochronní přenos, bitstream



- **izochronní**

- : isochronous

= probíhající ve stejném čase

- *iso* = stejný, *chronos* = čas
- ve smyslu: s konstantní latencí
  - tj. jitter = 0
  - latence nemusí být nulová
    - a nikdy není
- v praxi:
  - izochronní přenos doručuje data s ideální pravidelností
  - vyhovuje to multimediálním přenosům
- obecně:
  - přepojování paketů (packet switching) není izochronní
    - protože přenášená data se mohou zdržet v mezilehlých (přepojovacích) uzlech po předem neznámou, neodhadnutelnou – a hlavně různou - dobu

- **bitstream**

- proud bitů, bitový proud
- taková přenosová služba, která:
  - přenáší jednotlivé bity
    - proto: „bit“ stream (proud)
  - funguje izochronně
    - latence = konst., jitter = 0
- platí pro něj:
  - přenosová rychlost = přenosový výkon (throughput)



- v praxi:

- bitstream lze využít k realizaci garantovaných přenosových služeb
  - s garantovanou latencí a jitterem
- hodí se pro implementaci multimediálních služeb

- v ČR:

- bitstream není nabízen



# techniky multiplexu a demultiplexu

## • co je multiplex(ování)?

- způsob, jak využít jednu přenosovou cestu pro více samostatných přenosů
  - jak ji rozdělit na více částí, které se chovají jako samostatné a lze je samostatně využít

### – existují různé způsoby/techniky multiplexování:

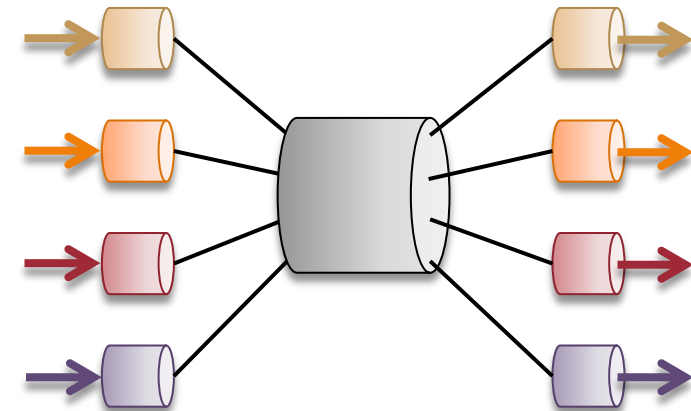
#### • analogové:

- frekvenční multiplex
  - FDM, Frequency Division Multiplexing
- vlnový multiplex
  - WDM, Wavelength Division Multiplexing

#### • digitální:

- časový multiplex
  - TDM, Time Division Multiplexing
- statistický multiplex
  - STDM, Statistical TDM
- kódový multiplex
  - CDM, Code Division Multiplexing

rozdělí se podle frekvencí  
(na menší frekvenční kanály)

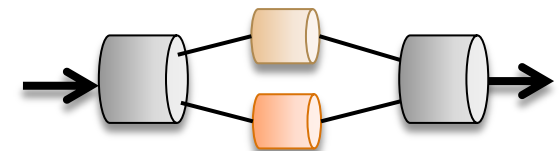


rozdělí se v čase  
(na časové úseky: timesloty)

## • co je demultiplexování?

- způsob, jak sdružit více přenosových cest, tak aby se výsledek choval jako jedna jediná přenosová cesta

- anglicky: aggregation, channel bonding, channel bundling

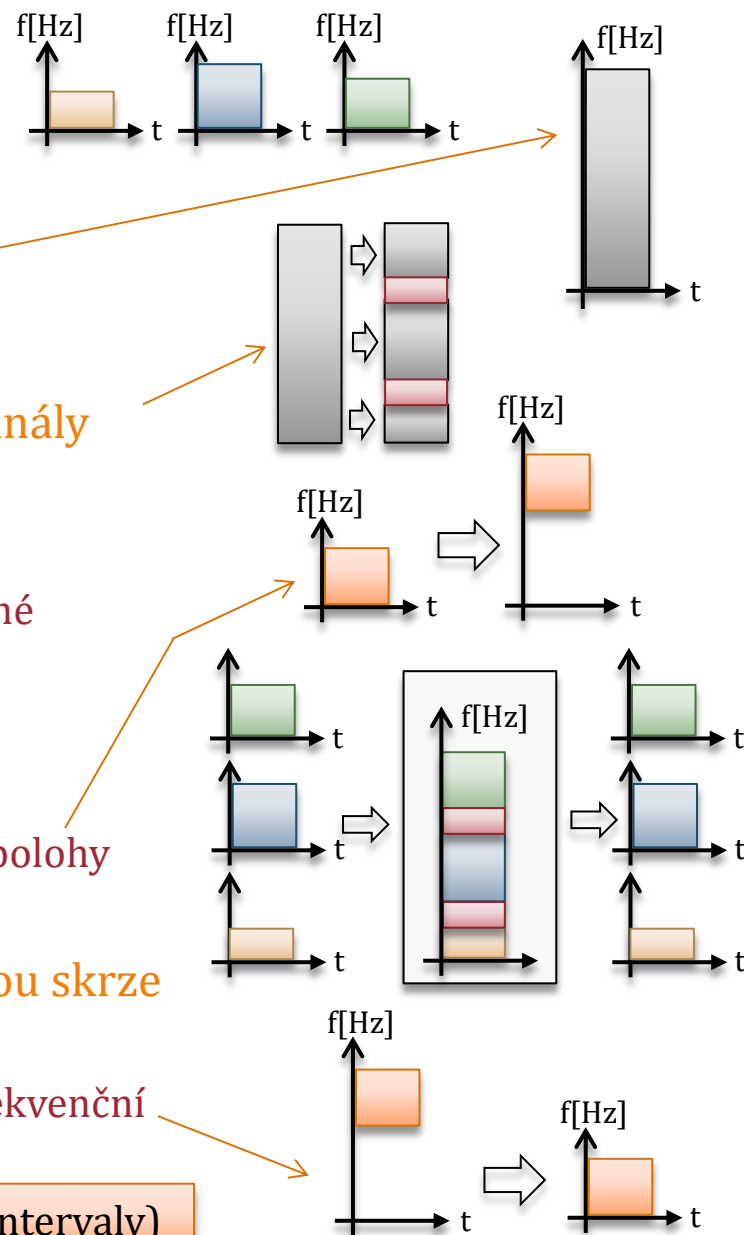


# frekvenční multiplex (FDM)

- analogová technika multiplexu

- princip:

- vstupní signály jsou analogové
  - a mají užší šířku pásma
- k dispozici je „širší“ analogová přenosová cesta
  - s větší šířkou přenosového pásma,
- dostupné pásmo se rozdělí na dílčí frekvenční kanály
  - toto rozdělení je pevné a nemění se v čase
  - jednotlivé dílčí části nemusí být stejné !!!
  - mezi jednotlivými kanály musí ještě být tzv. ochranné intervaly (guard intervals)
    - nutné kvůli nedokonalosti technologie
- každý vstupní signál se „vloží“ do jiného kanálu
  - každý vstupní signál se přesune do jiné frekvenční polohy
    - k jeho frekvenci se přičte (jiná) konstanta
- jednotlivé (posunuté) signály se sloučí a přenesou skrze (společnou) přenosovou cestu
  - příjemce vrátí každý dílčí signál do jeho původní frekvenční polohy



relativně velká režie na oddělení kanálů (na ochranné intervaly)

# frekvenční multiplex (FDM)

- **frekvenční multiplex se v praxi používá například:**

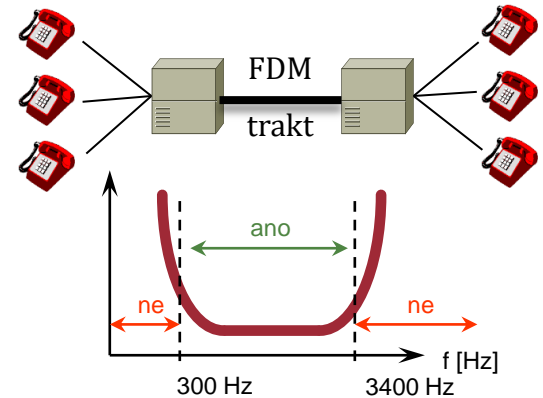
- **pro (analogové) rozhlasové a televizní vysílání**

- každý program je vysílán na jiném (frekvenčním) kanálu
  - a každý zabírá pro sebe celý kanál:
    - TV v systému PAL/SECAM zabírá 8 MHz, v systému NTSC 6 MHz



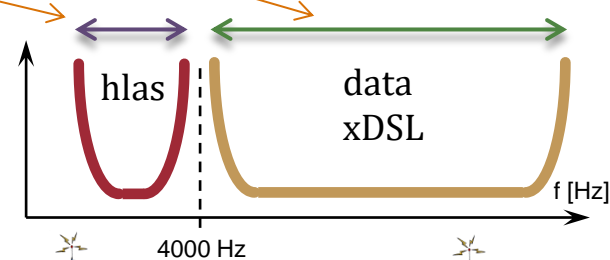
- **v (analogové) pevné telefonní síti: mezi ústřednami**

- mezi ústřednami je vedeno více hovorů po jedné (“širší”) přenosové cestě (analogovém linkovém traktu)
  - teze: čím „užší“ je každý hovor, tím více se jich tam vejde
    - proto: omezení každého hovoru na 300 až 3400 Hz, což ještě stačí pro srozumitelnost !!



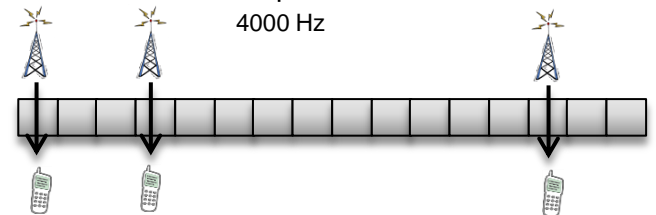
- **na místní smyčce: pro oddělení ..... hovorového pásma a nadhovorového pásma**

- v hovorovém pásmu je veden (analogový) hlasový hovor
  - 0 až 4 kHz
- v nadhovorovém pásmu jsou vedeny datové přenosy
  - pomocí technologií xDSL: ADSL až do 1,1 MHz



- **v (analogové) mobilní telefonní síti:**

- 1 hovor = 1 frekvenční kanál
  - v NMT: kanál má šířku 25 kHz



# časový multiplex (TDM)

- digitální technika multiplexu

- princip:

- vstupy mají digitální podobu

- jsou to „proudy dat“ o určité přenosové rychlosti

- k dispozici je „širší“ digitální přenosová cesta

- s větší přenosovou kapacitou (přenosovou rychlostí)
  - neboli: s kratším bitovým intervalem
- fungující jako bitstream

- rozdělí se „v čase“, na pevně dané časové úseky

- časové sloty,  timeslots

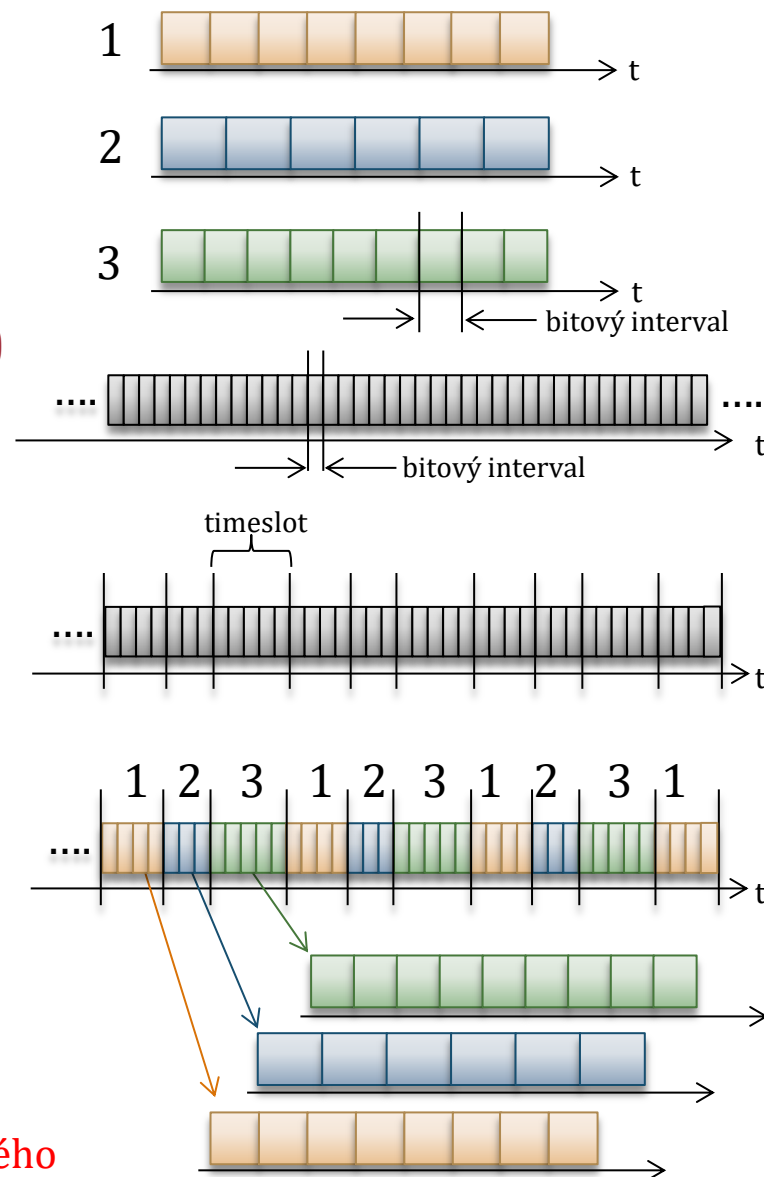
- každému jednotlivému vstupu je přidělena a vyhrazena určitá pevně daná posloupnost časových úseků (timeslotů)

- obecně: „každý n-tý“ timeslot

- příslušný vstup vkládá svá data do přidělených timeslotů

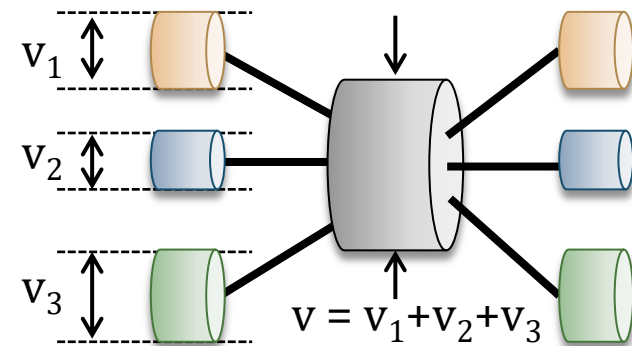
- a nechá je přenést skrze přenosovou cestu
- na druhé straně je zase vyjímá ....

- příjemce dopředu ví, komu patří obsah toho kterého časového úseku (timeslotu), protože přiřazení se v čase nemění



# časový multiplex (TDM)

- **rozděluje (společnou) přenosovou kapacitu pevně daným způsobem**
  - **který se v čase nemění !!!**
    - může se jednat o rozdělení na různě velké části (časové úseky/timesloty)
      - ale podstatné je, že se toto rozdělení v čase nemění
      - je to nutnou podmínkou k tomu, aby příjemce věděl, komu „patří“ obsah toho kterého timeslotu a nepotřeboval k tomu jakoukoli dodatečnou informaci
  - **jde fakticky o přepojování okruhů**
    - výsledkem je rozdělení jednoho („většího“) přenosového okruhu či kanálu na několik menších přenosových okruhů (kanálů), které se chovají (a dají využít) zcela samostatně
      - původní (společný) přenosový okruh či kanál má vyhrazenou přenosovou kapacitu
      - časový multiplex zachovává vyhrazený charakter přenosové kapacity
        - i jednotlivé přenosové okruhy či kanály mají vyhrazenou (a garantovanou) přenosovou kapacitu
      - zachovává také izochronní charakter přenosu
  - **jde o vhodné řešení pro takové vstupy, které generují stabilní (stále stejnou) zátěž**
    - které přenáší svá data stále stejnou rychlostí
  - **není to vhodné řešení tam, kde vstupy „kolísají“ (generují proměnnou zátěž)**
    - protože nelze měnit rozdělení na časové úseky/timesloty dle aktuální zátěže ani nějak „vrátit“ nevyužitou kapacitu



# využití časového multiplexu (TDM)

- **obecně:**

- všude tam, kde se hodí fungování na principu přepojování okruhů (circuit switching) 

- **konkrétně (například):**

- v (klasické) pevné i mobilní telefonii - označované také jako „switched telephony“
  - kde je pro každý hovor vyhrazena (a také garantována) určitá přenosová kapacita
    - vytvořená technikami, které fungují jako přepojování okruhů – jako je právě TDM
  - kde (díky vyhrazené kapacitě) hovor může mít garantovanou kvalitu
    - přepojování okruhů

alternativou jsou zejména IP technologie (VOIP, Voice over IP)

kde se přenáší data po síti, fungující na principu přepojování paketů (IP síti), a kde není vyhrazena ani garantována přenosová kapacita, a nemůže být ani garantována kvalita hovoru


- **TDM systém, TDM řešení:**

- obecné označení pro všechna řešení, která fungují na principu časového multiplexu (TDM)

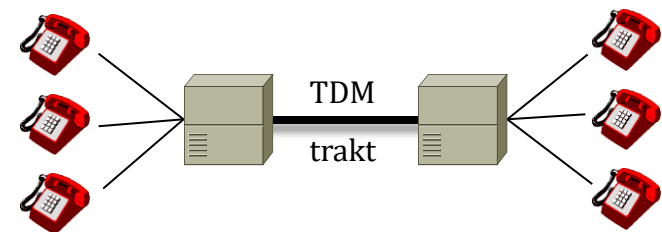
- příklad:

- TDM ústředna (alternativou je IP ústředna)

- příklad:

- TDM trakt (mezi ústřednami), alternativou je IP (SIP) trakt ( SIP trunk)
- okruhy E a T (tzv. digitální hierarchie), SONET, .....

a tím i na přepojování okruhů



# duplexing: TDD a FDD

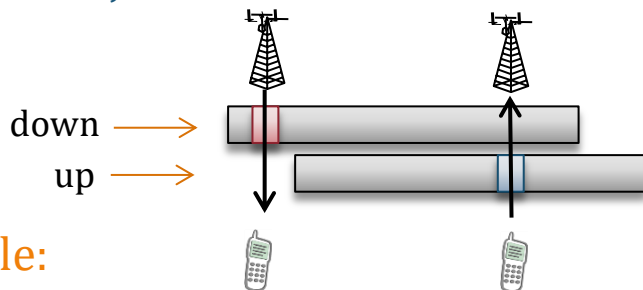
- **duplexing, duplex:**

- jde o to, jak je řešen obousměrný (duplexní) přenos



- **FDD: Frequency Division Duplex**

- pro každý směr je použit samostatný (jednosměrný) frekvenční kanál
  - jinými slovy: v každém směru se komunikuje na jiných frekvencích
- používá se při rádiových přenosech
  - je zapotřebí tzv. **párové pásmo**
    - dvojice frekvenčních rozsahů, každý pro komunikaci jedním směrem
  - například: GSM, UMTS
    - přesněji: UMTS FDD

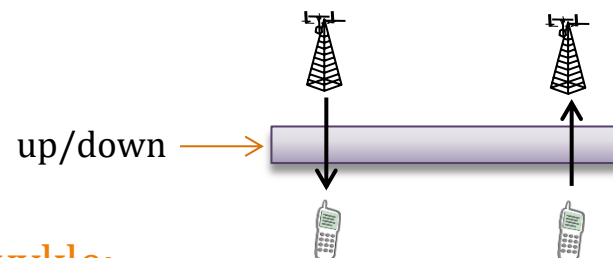


- **obvykle:**

- frekvenční kanály jsou stejně velké, tudíž i přenosové kapacity v obou směrech jsou stejně velké

- **TDD: Time Division Duplex**

- jeden (obousměrný) okruh je využíván pro přenos oběma směry
  - pomocí časového multiplexu je rozdělen na timesloty
  - každý timeslot může být využit pro přenos jedním nebo druhým směrem
    - lze volit dynamicky, dle potřeby
- používá se při rádiových přenosech
  - stačí pro něj tzv. **nepárové pásmo**
    - jen jeden rozsah frekvencí
  - například: UMTS TDD, WiMAX

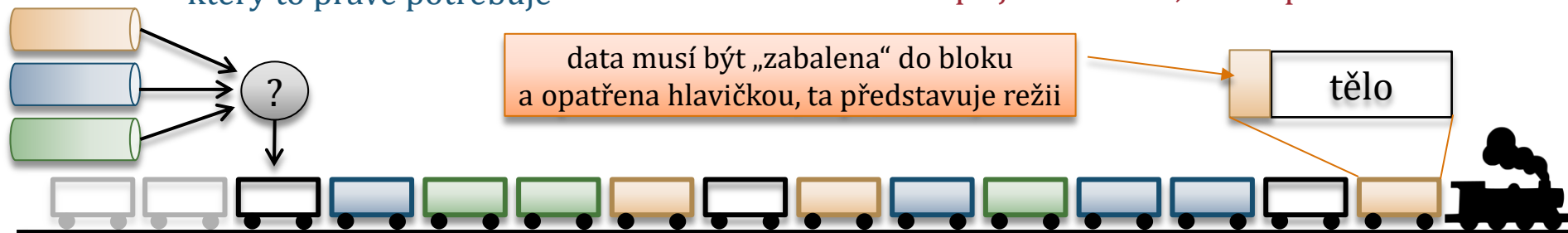


- **obvykle:**

- kapacity v obou směrech jsou různé

# statistický multiplex (STDM)

- **digitální technika multiplexu**
- **rozdíl oproti časovému multiplexu:**
  - přidělení jednotlivých časových úseků (timeslot-ů) konkrétním vstupům není pevné a neměnné v čase
    - ale mění se podle potřeby
      - podle toho, kolik který vstup právě potřebuje přenést dat
    - každý jednotlivý timeslot je přiřazován dynamicky
      - svá data do něj může vložit ten (vstup), který to právě potřebuje
- **představa:**
  - společná přenosová kapacita se chová jako nekonečný vlak
    - pohybuje se (vpřed) konstantní rychlostí
    - všechny jeho vagony (timesloty) jsou stejně velké
  - každý vstup může umístit svá data do vagonu (timeslotu), který je právě volný
    - ale: musí svá data označit, aby příjemce věděl, komu patří !!!!



- **důsledek:**
  - ne vždy musí být k dispozici volný vagon (timeslot) → je nutné počkat !
    - proto: statistický multiplex negarantuje přenosovou kapacitu ani konstantní zpoždění!
      - nezachovává pravidelnost, není izochronní !!!

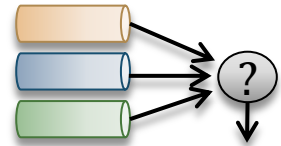


# vlastnosti statistického multiplexu (STDM)

## • obecně:

– hodí se tam, kde jednotlivé vstupy generují nerovnoměrnou zátěž

- kde rychlost přenosu (resp. objem dat, které potřebují přenést za jednotku času) není pevná, ale mění se v čase



## • princip fungování:

– požadavky jednotlivých vstupů jsou vyřizovány na principu „kdo první přijde .... „

- ale mohou být použity i jiné strategie

– cílem je efektivní využití společné přenosové kapacity

- aby nezůstávaly nevyužity timesloty, pokud příslušný vstup právě nemá co odeslat
  - a tak se timeslot přidělí někomu jinému

– jde v zásadě o princip přepojování paketů

- data musí být „zabalena“ do určitého bloku (rámce, paketu, buňky) a opatřena hlavičkou
  - podle hlavičky příjemce pozná, komu obsah timeslotu (blok dat) patří
    - na rozdíl od časového multiplexu toto neví (a nemůže vědět) dopředu !!!



- timesloty obvykle mají stejnou délku

– ale nemusí tomu tak být – z hlavičky pak musí vyplývat, jak je timeslot veliký






– rozdíl oproti (skutečnému) přepojování paketů

- u STDM jednotlivé sloty následují bezprostředně po sobě (a obvykle jsou stejně velké)
- u přepojování paketů nemusí



– mezi jednotlivými pakety (bloky) mohou být libovolně velké odstupy

# přenosová média

- vždy šíří nějakou podobu elektromagnetického vlnění
- dělí se podle toho, jak se vlnění šíří:
  - **vedená** („drátová“, „vodičová“ média,  **guided, bounded**):
    - elektromagnetická vlnění jsou „vedena“ nějakým hmotným prostředím, které se chová jako vodič a vymezuje dráhu, po které dochází k šíření
    - zejména:
      - kroucená dvoulinka ( **twist**)
        - šíří signál do jednotek/desítek MHz
      - koaxiální kabel ( **coax**)
        - šíří signál až do stovek MHz
        - větší přenosový potenciál než kroucená dvoulinka
      - optické vlákno ( **fiber**)
        - šíří signál od 180 do 370 THz (infrachervené světlo)
          - 850 nm až 1665 nm
        - největší přenosový potenciál
      - vlnovody
        - „prázdné trubky“, bez hmotného vnitřku
  - **nevedená** ( **unguided, wireless, bezdrátová**)
    - není žádný „hmotný vodič“, vlnění se volně šíří hmotným či nehmotným prostorem mezi anténami
      - může jít o šíření vakuem, ale třeba také vodou, atmosférou, ...
      - může být problém se „zacílením“
        - určitým směrováním šířícího se signálu
    - obvyklé dělení na:
      - rádiové: frekvence do 300 GHz
        - mikrovlnné: 300 MHz až 300 GHz
      - infračervené : 300 GHz až 430 THz
        - 700 nm až 1 mm
      - optické (400 THz až 1 PHz)
        - FSO, Free Space Optics

viz Shannonův  
teorém

zpoždění signálu cca 4-5  $\mu$ s/km

# kroucená dvoulinka (twisted pair)

- dva metalické vodiče, vedené vedle sebe

- obvykle měděné, o průměru 0,4 až 0,9 mm

- vždy se chovají jako anténa:



- něco vyzařují do svého okolí, a tím ovlivňují jiná média a na nich probíhající přenosy

- něco „přijímají“ ze svého okolí (elmag. indukce), což ovlivňuje probíhající přenos

- konstrukční provedení:

- pro dat. přenosy se nejčastěji používají kabely se 4 páry (nestíněné) kroucené dvoulinky

- v pevné telefonii se používají kabely s mnohem většími počty párů

- provedení vodičů: „drát“ (1 homogenní vodič) nebo licna (splétaný vodič, z více vláken)

- možnosti minimalizace efektu antény:

- zkroucení (🇬🇧 twisting), odsud: kroucená dvoulinka (🇬🇧 twisted pair)

- zkroucení musí být pravidelné, v závislosti na frekvenci přenášeného signálu

- typicky 1 zkroucení na 0,6 až 0,85 cm (Cat 5) či 7,5 až 10 cm (Cat 3)

- stínění (🇬🇧 shielding)

- nestíněná kroucená dvoulinka (UTP, Unshielded Twisted Pair)

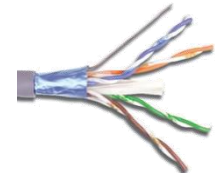
- nejlevnější, nejvíce používané – ale nejhorší obvodové vlastnosti

- stíněná kroucená dvoulinka (STP, Shielded Twisted Pair)

- nejdražší, nejlepší obvodové vlastnosti – každý pár v kabelu má vlastní stínění

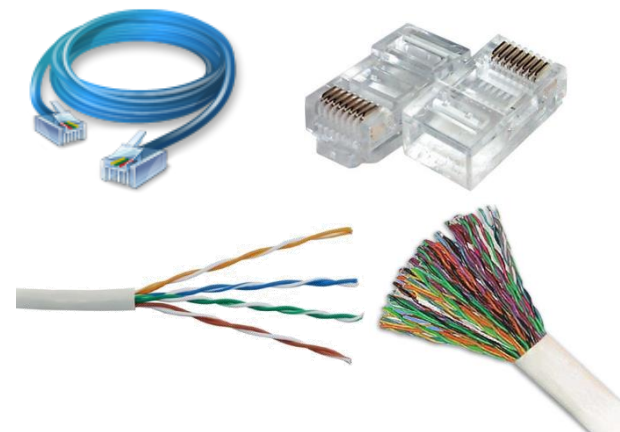
- ScTP, Screened Twisted Pair

- kompromis, jedno společné stínění na všechny páry v kabelu



# kroucená dvoulinka (twisted pair)

	frekvence do	využití	další možnosti využití		
Cat 3	16 MHz	10BaseT	100BaseT4 (4 páry)	100BaseT2 (2 páry)	100VG-AnyLAN (4 páry)
Cat 5 (5e)	100 (350) MHz	100BaseTX	1000BaseT (4 páry)		
Cat 6 (6a)	250 (500) MHz	1GBaseT	10GBaseT (jen 37/55 metrů)		
Cat 7 (7a) (STP)	600 (1000) MHz	10GBaseT	40GBaseT (40 metrů)	100GBaseT (15 metrů)	
Cat 8 (STP)	1400 MHz	100GBaseT			



- **kategorie kroucené dvoulinky:**

- liší se materiálem, provedením i očekávanou frekvencí přenášeného signálu
  - mají různý dosah, lze na nich dosahovat různé rychlosti
  - podle frekvence je také volen počet zkroucení na jednotku délky
- dosahované přenosové rychlosti závisí hlavně na použitém kódování

- **praktické problémy:**

- hlavně s vyzařováním a přeslechy

- **typická nasazení:**

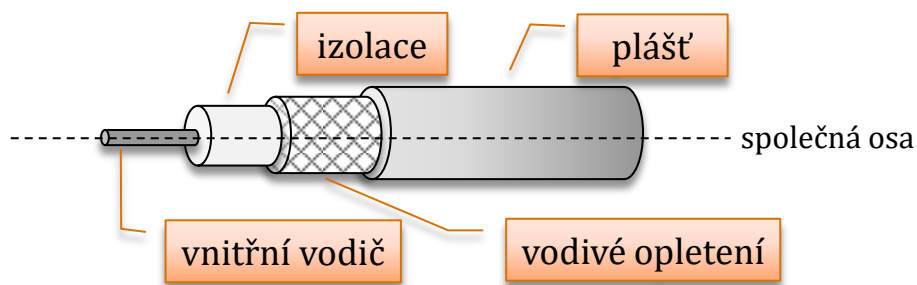
- jako místní smyčky (pevná tel. síť)
  - Cat3 nebo horší
  - délka: jednotky kilometrů
    - problémy s útlumem a přeslechy
  - využití pro hlas i data (xDSL)
- propojovací kabely (v sítích LAN)
  - dnes Cat5 a vyšší
  - jednotky/desítky metrů, do 100 m
- síťové rozvody (zabudované)
  - např. v rámci strukturované kabeláže
  - dnes Cat 5 a vyšší
  - délka: jednotky metrů

# koaxiální kabel (coax)

- **ko-axiální, neboli souosý (  co-axial)**

- má dva vodiče uspořádané tak, že mají stejnou osu

- vnitřní vodič + vodivé opletení, které slouží současně jako stínění vnitřního vodiče
  - vodivé opletení může být i dvojitě



- má lepší obvodové vlastnosti

- než kroucená dvoulinka, díky dobrému stínění (skrže vodivé opletení)
  - hlavně menší přeslechy mezi kabely

- **obecně:**

- větší přenosová kapacita než u kroucené dvoulinky
  - může přenášet signály vyšších frekvencí

do 500 MHz, ev. i vyšší

- **použití:**

- v audio/video technice

- rozvody TV antén

- první verze Ethernetu

- 10Base5

- (žlutý) koax. kabel  $\phi$  1 cm

- 10Base2

- (černý) koax. kabel,  $\phi$  0,5 cm

- rozvody HFC (Hybrid Fiber-Coax)

- na větší vzdálenost vedena optika
  - překlenutí poslední míle
- na kratší vzdálenost veden koaxiální kabel
  - rozvody ke koncovým účastníkům

- **dříve též:**

- „dálkové kabely“, např. podmořské



# optická vlákna a optické přenosy

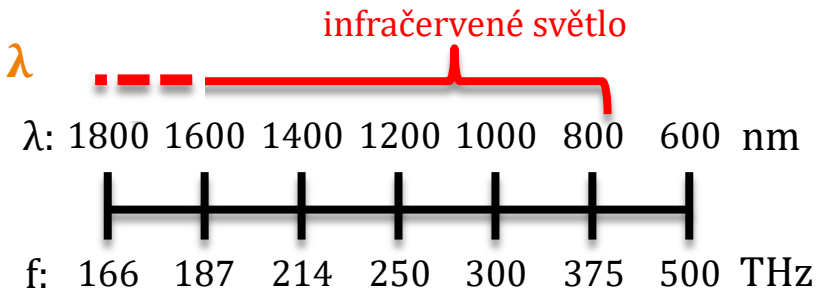
## optika, optické přenosy

- mají obrovský potenciál, dosud využitý jen z velmi malé části
  - důvodem je obrovská šířka přenosového pásma, daná (rozsahem) frekvencí přenášeného signálu (stovky THz =  $X \cdot 10^8$  MHz =  $X \cdot 10^{14}$  Hz)

- spíše než frekvence  $f$  se vyjadřuje vlnová délka  $\lambda$

- přičemž  $f \cdot \lambda = c$

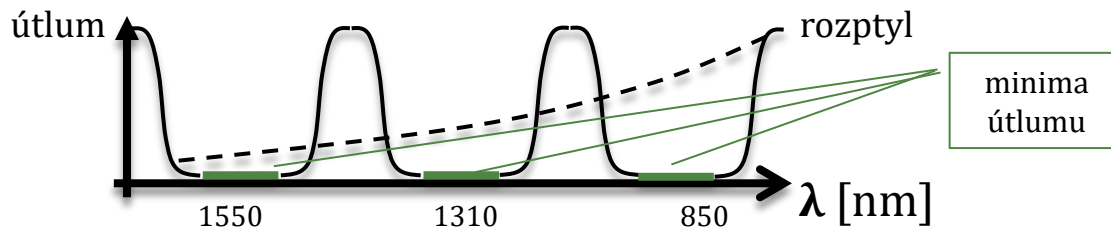
$c$  = rychlost světla, cca 300 000 km/s



## přenášené světlo

- nejde o viditelné světlo – kvůli vyšším hodnotám útlumu
  - lidské oko (obvykle) vnímá rozsah 430 až 790 THz (390 – 700 nm)
- ale o infračervené světlo – kvůli příznivějšímu (nižšímu) útlumu

- hlavně v pásmech 1550 a 1310 nm
  - **jednovidová** optická vlákna (🇬🇧 single mode)
- a v pásmech 1300 a 850 nm
  - **mnohovidová** optická vlákna (🇬🇧 multimode)
    - snesou i větší rozptyl



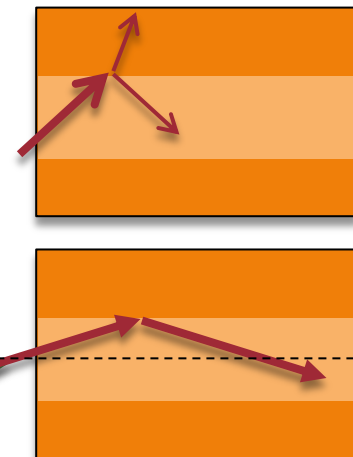
frekvence	vlnová délka
480-405 THz	625-740 nm
510-480 THz	590-625 nm
530-510 THz	565-590 nm
580-530 THz	520-565 nm
600-580 THz	500-520 nm
670-600 THz	450-500 nm
790-700 THz	380-430 nm

# princip optického přenosu

- **využívá Snellův zákon lomu:**

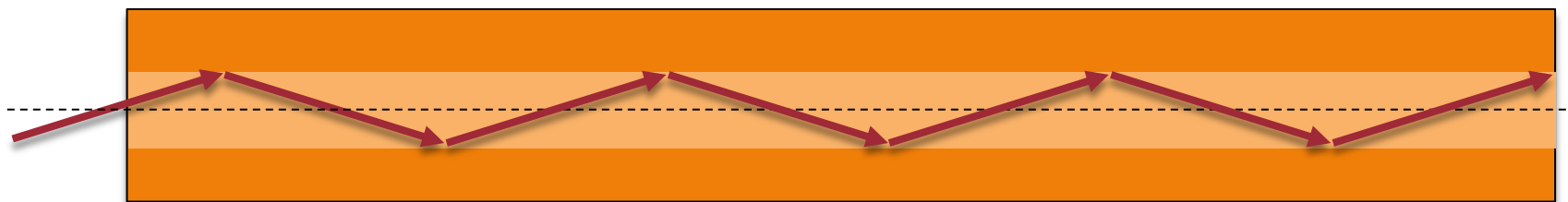
- při dopadu paprsku na rozhraní dvou optických prostředí se část odráží zpět a část prostupuje do druhého prostředí
- ale: pokud se vhodně zvolí úhel dopadu paprsku, neprostupuje nic a celý paprsek se odráží zpět

- tzv. numerická apertura: rozsah úhlů, kdy dochází k úplnému odrazu



- **princip vedení světla optickým vláknem**

- paprsek „vstupuje“ do vlákna pod dostatečně malým úhlem (v rámci numerické apertury) a opakovaně se celý odráží - po celé délce vlákna



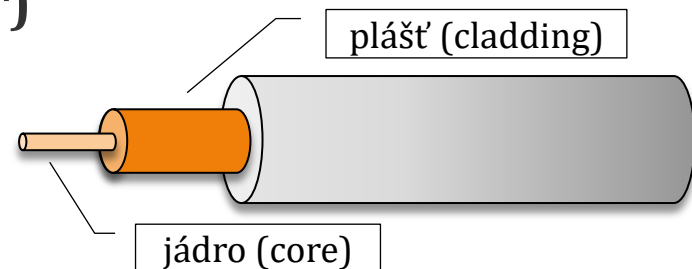
- **konstrukce optického vlákna (🇬🇧 optical fiber)**

- je tvořeno 2 prostředími s různou optickou hustotou

- jádro (🇬🇧 core)
- plášť (🇬🇧 cladding)

- plus dalším vhodným „ochranným obalem“

- který ale u samotných vláken nezajišťuje dostatečnou mechanickou tuhost

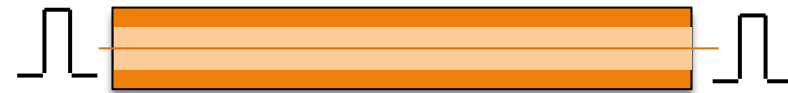
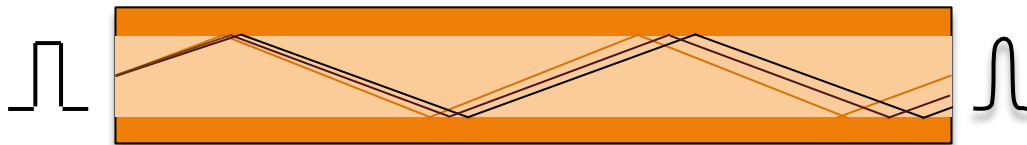


# optická vlákna vs. kabely

- **jádro i plášť optických vláken jsou vyráběny z křemíku**
  - a jsou velmi křehké – proto je třeba je mechanicky chránit proti ohybu/zlomu
  - připojování konektorů (tzv. konektorování) je velmi náročnou záležitostí
    - konektory se musí velmi pečlivě navařovat
- **v praxi:**
  - často se používají celé optické kabely, které obsahují více (křemíkových) vláken
    - a zajišťují potřebnou mechanickou tuhost
      - představa: uprostřed je tuhá mechanická výztuha, kolem jsou jednotlivá vlákna
        - uprostřed může být i koaxiální kabel




- **mnohovidová vlákna (multimode fiber)**
  - přenáší „širší“ paprsky
    - více „svazků“ (vidů) světla, každý se šíří po trochu jiné dráze
    - ale vyhodnocuje se jejich součet
      - proto dochází k tzv. vidové disperzi
        - která „rozostřuje“ (zaobluje) přijatý signál
- **jednovidová vlákna (single mode, monomode fiber)**
  - přenáší velmi úzké paprsky
    - pouze 1 vid (→ jednovidové)
    - přenáší se po ose vlákna, zcela bez odrazů
      - nedochází k vidové disperzi





# optický přenosový systém

- **samotné optické vlákno nestačí – je potřeba ho „nasvítit“**
  - jinak se jedná o tzv. nenasvícené optické vlákno (  dark fiber)
    - nenasvícené vlákno (dark fiber) se také pronajímá – nájemce si ho „nasvítí“ sám

- **„nasvícení“ vyžaduje:**



- zdroj světla

- pro jednovidová vlákna je nutný dostatečně kvalitní laser
- pro mnohovidová vlákna stačí jednodušší zdroj (např. obyčejná LED dioda)

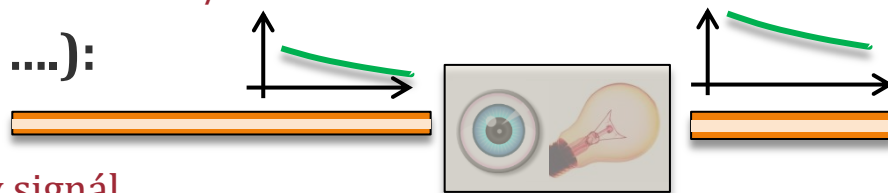
- detektor světla

- pro jednovidová vlákna je nutný kvalitní detektor
- pro mnohovidová vlákna stačí např. obyčejná fotodioda/fototranzistor

- **na delší vzdálenosti (km, desítky km, ....):**

- může být zapotřebí opakovač

- který zregeneruje a zesílí přenášený optický signál
  - skrze jeho převod na elektrické signály a zase zpět na optické

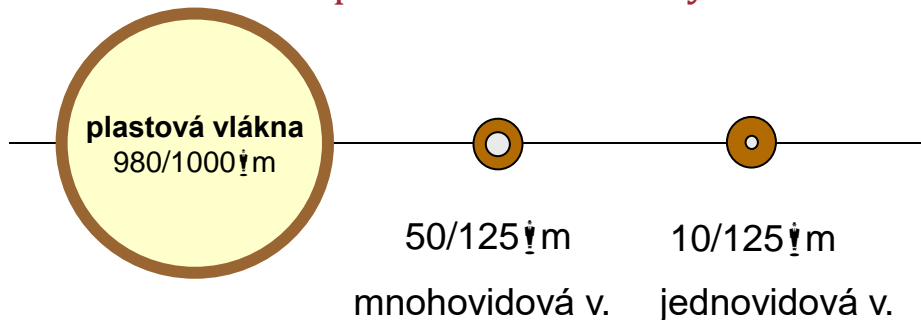


	průměr jádro/plášť	přenášené světlo	dosah	rychlost	konektorování
mnohovidová vlákna	62.5/125 $\mu\text{m}$ , 50/125 $\mu\text{m}$	1310/1550 nm	větší	nižší	méně náročné, levnější
jednovidová vlákna	9/125 $\mu\text{m}$	850/1310 nm	menší	vyšší	více náročné, dražší

# plastová vlákna, chráničky

## • alternativa pro krátké vzdálenosti

- pro velmi krátké vzdálenosti (max. desítky metrů) jsou křemíková optická vlákna „overkill“
- stačí vlákna z plastu (místo křemíku)
  - jsou levnější
  - nejsou zdaleka tak náročná na:
    - osazování konektory
      - zapojování, spojování, rozpojování
    - mechanickou ochranu
      - jsou pružná, lze je ohýbat
  - mají větší průměr
- využívají se:
  - pro datové přenosy na krátké vzdálenosti
  - v rámci spotřební elektroniky



## • jak to chodí v praxi?

- cca 85% nákladů na pokládku optických kabelů jde na zemní práce a nejrůznější povolení
  - samotná kabeláž má stále menší podíl

## • řešení:

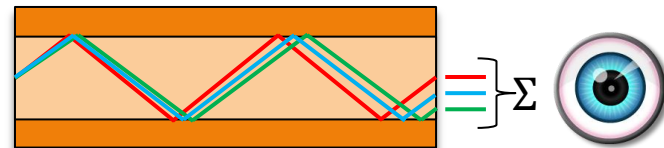
- když už se „rozkope zem“, tak se tam položí i tzv. chráničky
  - „prázdné trubky“, do kterých lze dodatečně zasunout kabel, bez nutnosti znovu „kopat do země“
- chráničky lze následně i pronajímat
  - pro zavedení „cizích“ kabelů




# vlnový multiplex (WDM)

## „klasické“ optické přenosy:

- technologie „příjmu“ světla jsou nedokonalé, vnímají jen „součet“ světelných toků na všech přenášených vlnových délkách
  - nedokáží od sebe oddělit světla různých frekvencí
    - proto vnímají jen jejich součet
- optický přenos je jednosměrný
  - do stejného vlákna nelze „pustit“ paprsek světla, který se šíří opačným směrem



## podstata vlnového multiplexu

-  WDM, Wavelength Division Multiplexing
- technologie příjmu (ale i generování) světla jsou dokonalejší, dokáží rozlišovat paprsky světla na různých frekvencích – a pracovat s nimi nezávisle
  - každý paprsek (tzv. kanál) může být využit (modulován) nezávisle na ostatních
    - proto: chová se jako samostatný přenosový kanál, nezávislý na ostatních
- důsledek: celková přenosová kapacita optického vlákna se násobí počtem kanálů
  - v praxi: kanálů mohou být desítky, stovky či tisíce !!!!
- představa: jde o různé barvy světla
  - ve skutečnosti jde o světlo v infračervené části spektra

navíc: možnost obousměrného přenosu po jednom vlákně

odstupy: desítky až desítky nm



# rádiové přenosy

- signál či data, které potřebujeme přenést, jsou obvykle „úzké“

- mají omezenou šířku pásma



- při jejich rádiovém přenosu lze postupovat dvěma různými způsoby

- „nerozprostírat je“

- použít pouze tak široký (resp. úzký) rozsah frekvencí, jaký odpovídá přenášenému signálu/datům

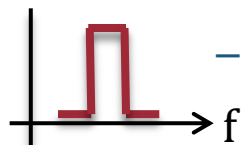
- jde o **úzkopásmový přenos**,

 narrowband

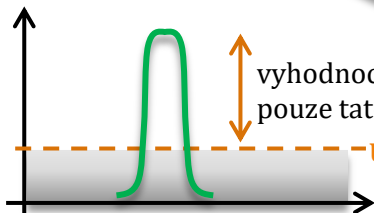
- nevýhodou je menší odolnost vůči negativním vlivům

- snazší rušení, interference, odposlech
- nutnost vysílat „nad“ šum

- silněji než je hladina přirozeného šumu



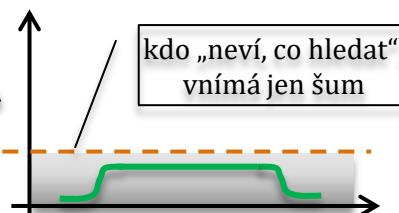
intenzita (síla) signálu



vyhodnocuje se pouze tato část

úroveň šumu

intenzita (síla) signálu



- „rozprostříť je do šířky“

- záměrně použít širší rozsah frekvencí, než jaký by byl nezbytně nutný

- jaký by byl zapotřebí při úzkopásmovém přenosu

- jde o **přenos v rozprostřeném spektru**,

 spread spectrum (wideband)

- důvodem může být:

- snaha znesnadnit neoprávněný příjem / odposlech / rušení

- snaha o vyšší robustnost přenosu

- odolnost vůči nepříznivým přírodním podmínkám

- přírodní šum, interference ...

- možnost vysílat podstatně nižším výkonem než při úzkopásmovém přenosu

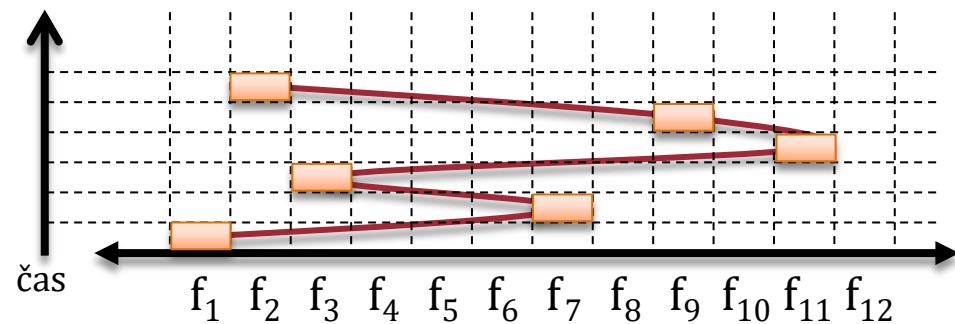
- i pod úrovní šumu

# techniky rozprostření

- **existuje více možností (technik), jak rozprostřit přenos do širšího spektra**
  - **FSSS: Frequency Hopping Spread Spectrum**
    - technika frekvenčního přeskokování
  - **DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum**
    - technika přímo rozprostřeného spektra, rozprostírání přímou posloupností, .....
  - **FDM (Frequency Division Multiplexing) a OFDM (Orthogonal FDM)**
    - technika (ortogonálního multiplexu)
  - **UWB (Ultra Wide Band)**
  - .....

- **princip FHSS:**

- **efektu rozprostření se dosahuje přeskokováním**
  - vysílá se „úzký“ signál, který ale pravidelně přeskakuje mezi různými frekvenčními polohami (kanály)
    - v rámci širšího rozsahu pásma
- **v praxi:**
  - FHSS používá např. technologie Bluetooth:
    - přeskakuje se 1600x za 1 sekundu



- **představa fungování FHSS:**

- obě strany dopředu znají posloupnost přeskoků
  - tato posloupnost je pseudonáhodná
- vysílač krátkou dobu vysílá na jednom (úzkém) frekvenčním kanálu, pak rychle přejde na jiný kanál a zde pokračuje ve vysílání
  - příjemce jeho činnost napodobuje

# FDM a OFDM

- **představa:**

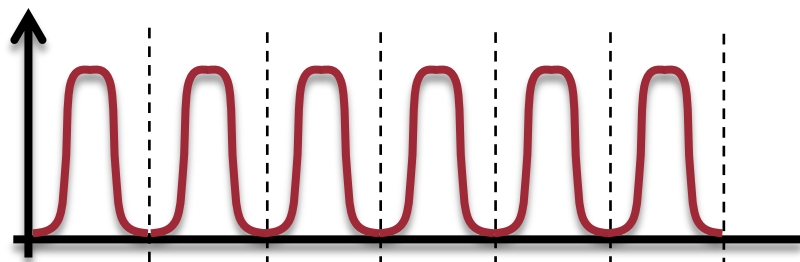
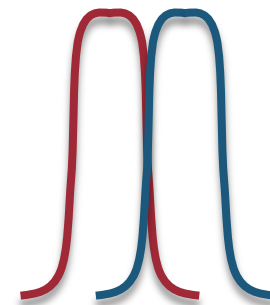
- místo přeskokování mezi různými frekvenčními kanály se využijí všechny kanály současně
  - každý z nich může být modulován samostatně – a nést tak „vlastní“ data
    - resp. část širšího toku dat

- **FDM: frekvenční multiplex**

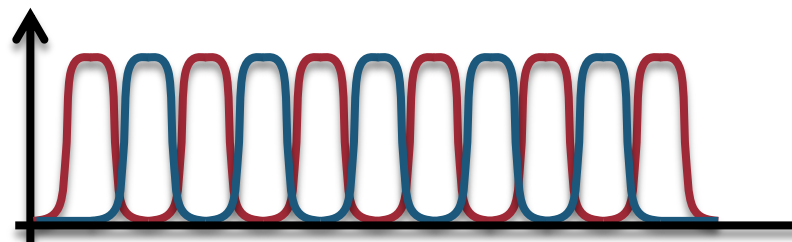
- Frequency Division Multiplexing
- jednotlivé nosné využívají vždy celý kanál a nepřekrývají se
  - v praxi se už tolik nepoužívá
    - kvůli relativně velké režii na oddělení jednotlivých kanálů

- **OFDM: ortogonální FDM**

- Orthogonal FDM
- jednotlivé nosné jsou „nahuštěny“ tak, aby se maximum jedné nosné překrývalo s minimem druhé nosné
  - výhoda: na stejnou šířku pásma se „vejde“ podstatně více nosných, a tím lze dosáhnout i podstatně vyšší propustnosti (přenosové rychlosti)
  - používá se velmi často, například v rámci xDSL technologií, Wi-Fi apod.



stejná  
šířka pásma



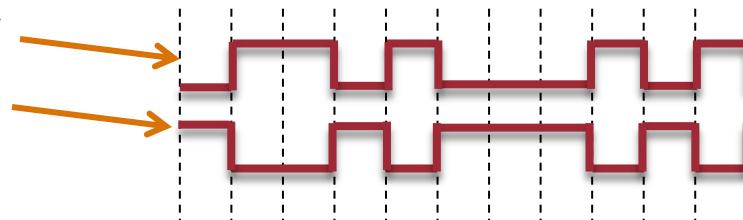
# představa DSSS

## • DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum

- technika přímo rozprostřeného spektra, rozprostírání přímou posloupností, .....
- využívá se například u IEEE 802.11b (Wi-Fi), .....

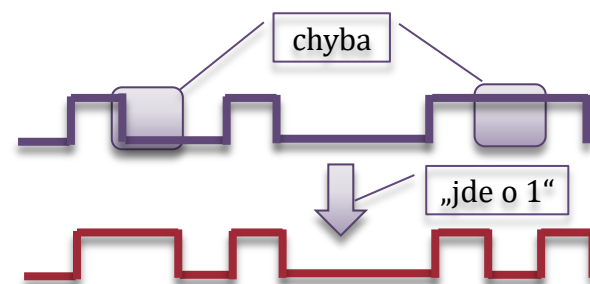
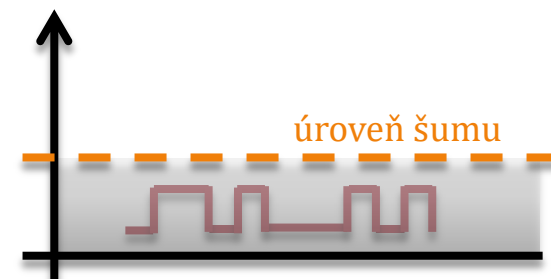
## • podstata

- místo jednoho bitu se přenese celý **symbol** (jakýsi „vzorek“) předem známého tvaru, tvořený posloupností tzv. **chipů** („úlomků“)
- v případě hodnoty 1 se přenáší tento „vzorek“
- v případě hodnoty 0 jeho invertovaná podoba



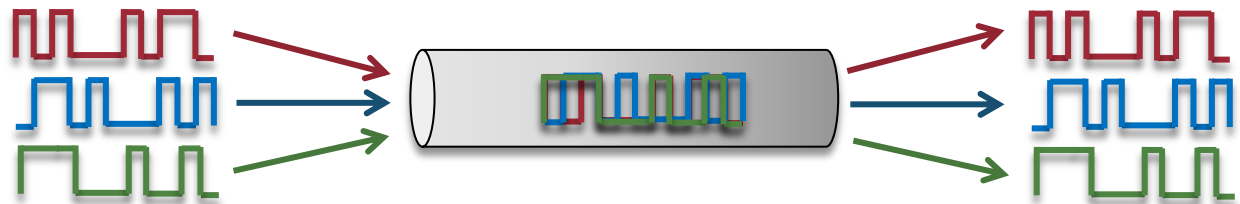
## • představa fungování

- symbol („vzorek“) nemusí přesahovat úroveň šumu
  - může být vysílán i s nižší „silou“ – ale příjemce jej dokáže rozpoznat díky tomu, že „ví, co má hledat“
    - dosahuje se efektu úspory energie / malého rušení jiných přenosů / utajení
- přijatý symbol (vzorek) může být i poškozen
  - příjemce hledá i „podobné“ vzorky, které ještě dokáže rozpoznat a odlišit od sebe
    - poznat, zda jde o 1 (symbol) nebo 0 (invert. symbol)
    - dosahuje se efektu robustnosti – určitá míra poškození symbolů (vzorků) nenaruší přenos



# odbočení: kódový multiplex (CDM)

- **princip kódového multiplexu (  CDM, Code Division Multiplexing)**
  - místo jednotlivých bitů se přenáší celé čipy („vzorky“)
    - stejně jako u DSSS – ale zde za jiným účelem, než je rozprostření do spektra a větší robustnost
      - u DSSS jsou všechny čipy (vzorky) stejné
  - zde jsou naopak čipy různé (pro každou komunikující dvojici) !!!!!
    - ale nemohou být libovolné – musí být vzájemně ortogonální !!!!
      - ortogonální = mají nulový skalární součin (jsou na sobě nezávislé / na sebe kolmé)
- **důsledek**
  - jednotlivé přenosy se mohou v přenosovém médiu (např. éteru) smíchat, ale stále je možné je zase od sebe oddělit !!!!!
    - viz algebra a ortogonální báze vektorových prostorů: použité čipy musí tvořit ortogonální bázi



- **výhoda**
  - režie na „oddělení“ jednotlivých přenosů má charakter výpočetní kapacity
    - tato kapacita ale není omezeným přírodním zdroje, lze ji snadno a levně zvyšovat
- **využití**
  - například v mobilních komunikacích – technologie CDMA



# UWB: Ultra Wide Band

## • myšlenka:

- využít extrémně (ultra) široké pásmo, i když ho už používá někdo jiný
  - více jak 500 MHz, což umožňuje dosahovat rychlosti v řádu stovek Mbit/s
    - ale jen na velmi krátkou vzdálenost – jednotky metrů
- ale: vysílat zde tak slabě, že to „tomu jinému“ nebude vadit
  - otázka: jak slabě to musí být?

## • modulace:

- pomocí pulzů („pulzní rádio“)
  - pulzy, využívající celé široké pásmo
- mění se (moduluje):
  - délka pulzu, četnost pulzů

## • využití:

- technologie UWB měla být základem pro Bluetooth 3 – ale nestalo se tak

## • v USA

- rozhodnutí FCC z roku 2004 povoluje UWB v pásmu 3,1 až 10,6 GHz
  - s maximální "silou" -42,3 dBm/MHz

## • v Evropě

- Evropská komise vydala své doporučení v únoru 2007
  - 4,8 až 6 GHz: - 42,3 dBm/MHz
  - ostatní frekvence: ještě slabší signál

