



Katedra softwarového inženýrství,  
Matematicko-fyzikální fakulta,  
Univerzita Karlova, Praha



## Lekce 5: Základy datových komunikací – II.

# připomenutí

- přenosová rychlost (bit/s)
  - vypovídá o tom, jak dlouho trvá přenos bitu
    - je to nominální veličina
  - neříká nic o tom, jak často se mění signál
    - jaká je modulační rychlost
- přenosový výkon, efektivní přenosová rychlost
  - vypovídá o tom, kolik "užitečných dat" se přenesou za delší časový interval
- modulační rychlost (symbolová rychlost, Baudy)
  - říká, kolikrát se změní stav modulovaného signálu za jednotku času
  - neříká, kolik dat se tím přenesou
- šířka pásma (bandwidth)
  - rozsah frekvencí, využitelných pro přenos
- omezování (zúžování) šířky pásma způsobuje větší zkreslení a deformaci přenášeného signálu
  - jsou "ořezávány" vyšší harmonické složky Fourierova rozvoje
  - ryze digitální signál (ideální obdélníky) by vyžadoval nekonečnou šířku přenosového pásma
- vztah mezi šířkou pásma a modulační rychlostí:
  - optimálně  $v_{\text{modulační}} = 2 * \text{šířka pásma}$
- na čem závisí schopnost přenášet data?
  - na šířce přenosového pásma a na odstupu signálu od šumu (C. Shannon)
    - $\max(v_{\text{přenosová}}) = \text{š.p.} * \log_2(1+S/N)$
  - (limit) nezávisí na použité technologii a technikách přenosu

# přenosová média

- všechna přenosová média mají reálné obvodové vlastnosti

- útlum

- snižuje amplitudu přenášeného harmonického signálu
- bývá přímo úměrný délce přenosového média

- zkreslení, přeslechy, interference, ....

- deformují přenášený signál

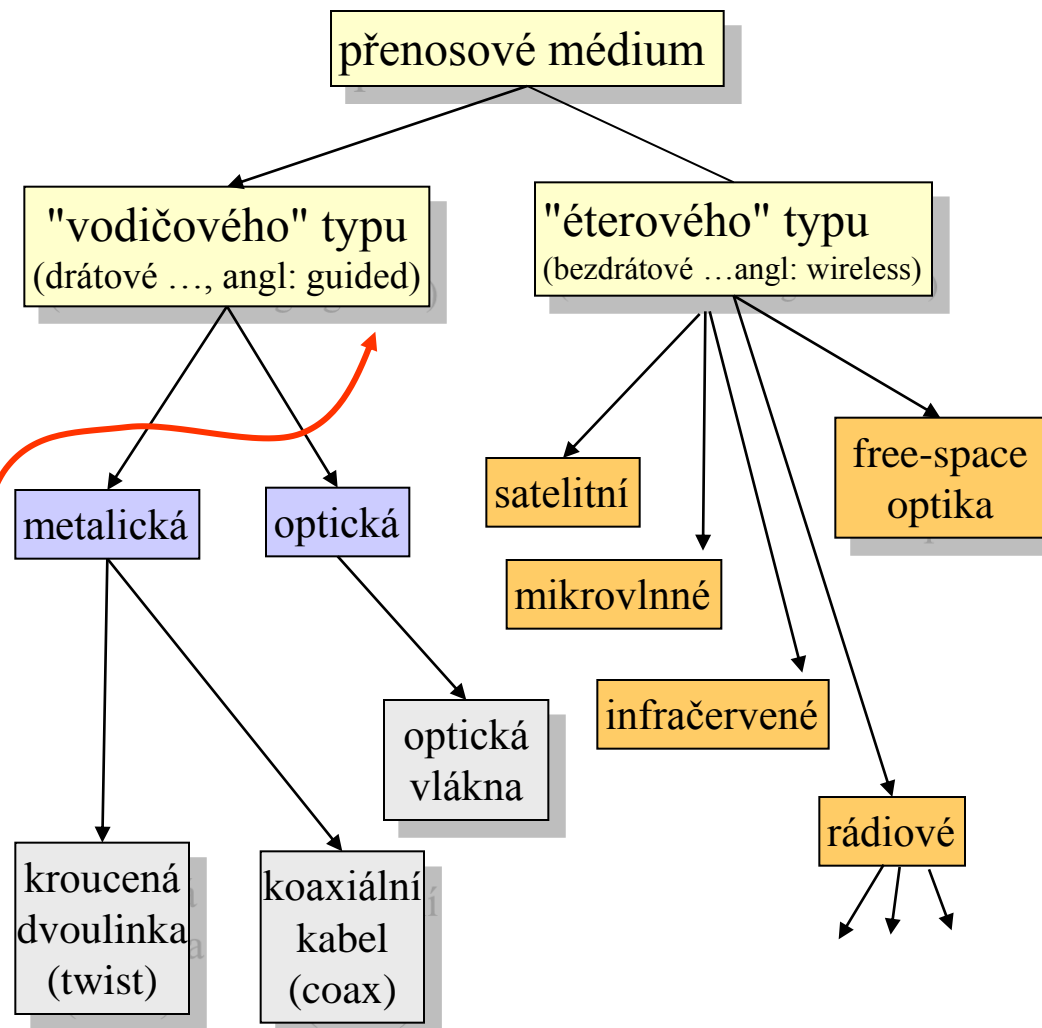
- drátová (vodičová) média:

- signál (elmag. vlnění) se šíří podél pevného média, jsou jím "vedeny"

- bezdrátová přenosová média:

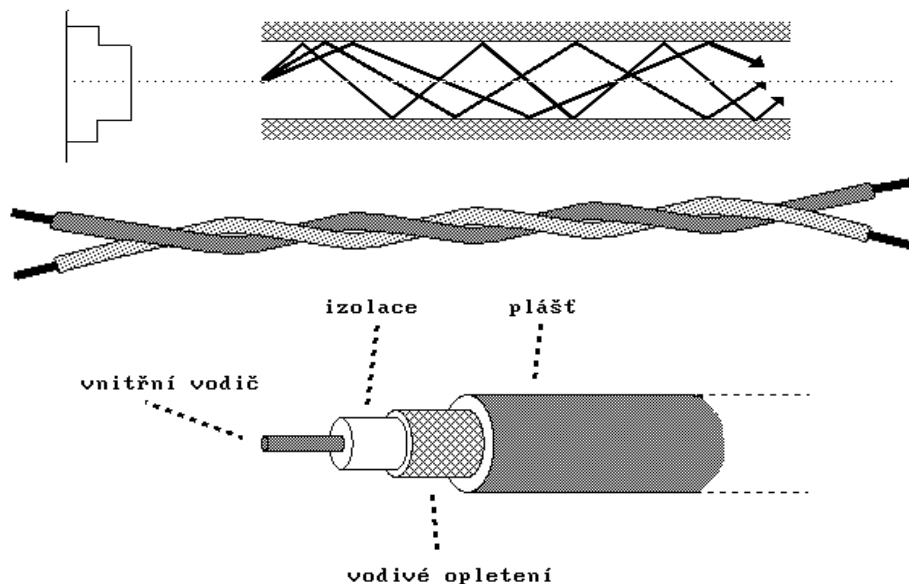
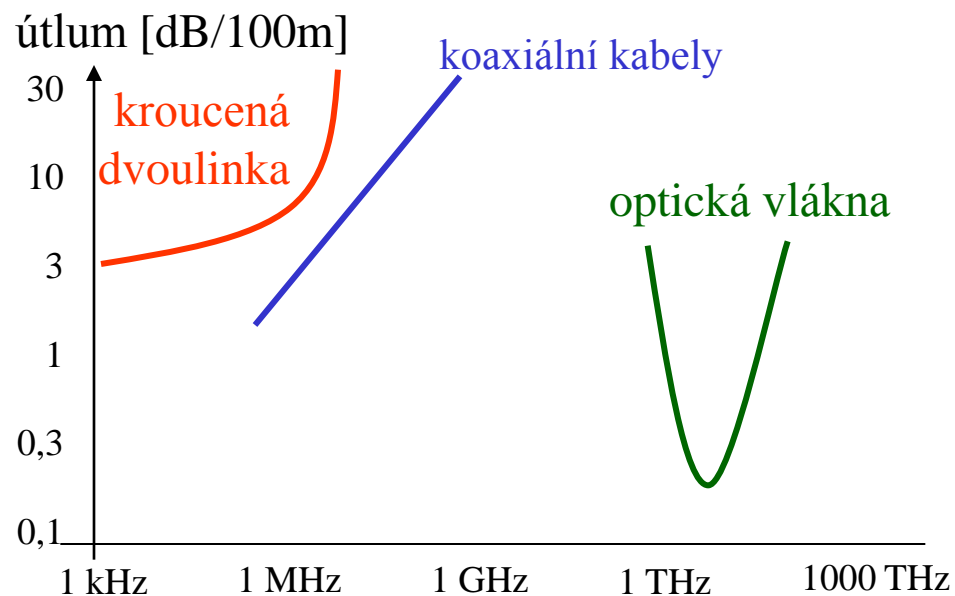
- signál se šíří volně prostorem, nemá žádnou pevnou cestu

- ?? vlnovody ??



# vlastnosti "drátových" přenosových médiích

- nejmenší měrný odpor mají optická vlákna
  - navíc na vysokých kmitočtech
  - díky tomu poskytují také největší šířku přenosového pásma
    - mají také největší "přenosový potenciál"
    - teze: **dnes využíváme přenosové schopnosti optických vláken jen na zlomek procent**
- kroucená dvoulinka
  - největší měrný odpor, na nejnižších kmitočtech
  - nejmenší šířka přenosového pásma
    - nejmenší přenosový potenciál
    - dnes je tento potenciál využíván téměř "nadoraz"
- koaxiální kabely
  - mají ještě rezervu .....
  - ... ale už se tolik nepoužívají ...



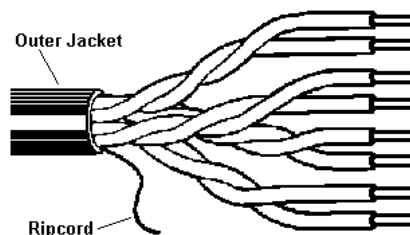
# kroucená dvoulinka, twist

- teze:
  - každé dva vodiče, vedené souběžně vedle sebe, fungují jako anténa
    - něco vyzařují do svého okolí, něco ze svého okolí přijímají
- opatření:
  - oba vodiče pravidelně (rovnoměrně) zkroutit
  - zmenšuje to "efekt antény"
    - vyzařované elmag. vlny se navzájem vyruší
    - nutné dodržet pravidelné a vhodně dimenzované zkroucení (typicky 1x za každých 7,5 až 10 cm)
- kategorie kroucené dvoulinky:
  - kategorie 3: do 10 MHz
    - používá se až do 10 Mbit/s
  - kategorie 5, 5e: do 100-120 MHz
    - používají se až do 100 – 150 Mbit/s
  - kategorie 6: do 200 MHz
  - kategorie 7: vyšší frekvence.
- kabely typicky obsahují více kroucených párů
  - "počítačové" nejčastěji 4 páry
  - telefonní až stovky párů

dnes nej-  
používanější

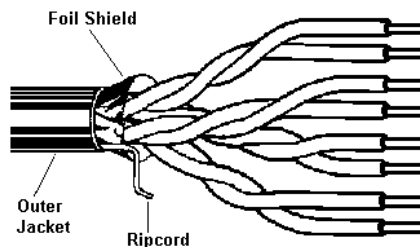
- pro omezení efektu antény ze používá také stínění
  - žádné (UTP, Unshielded TP)
  - všech párů v kabelu, Screened TP)
  - každého páru (STP, Shielded TP)

## UTP Cable (4-pair)

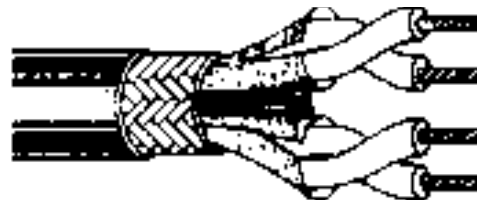


**UTP,**  
Unshielded  
Twisted Pair

## ScTP Cable (4-pair)

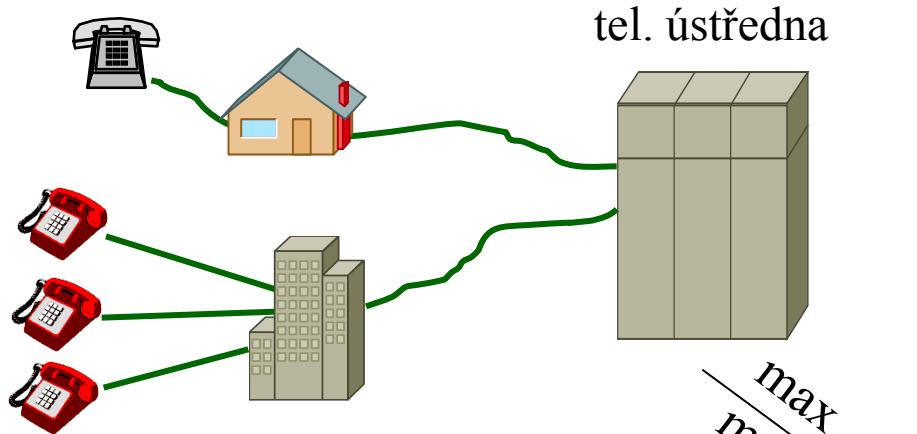
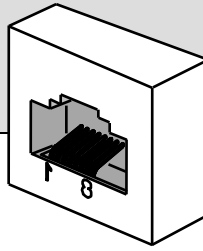


**ScTP,**  
Screened  
Twisted Pair



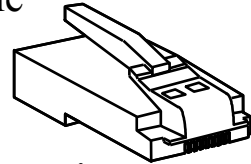
**STP,**  
Shielded  
Twisted Pair

# využití kroucené dvoulinky

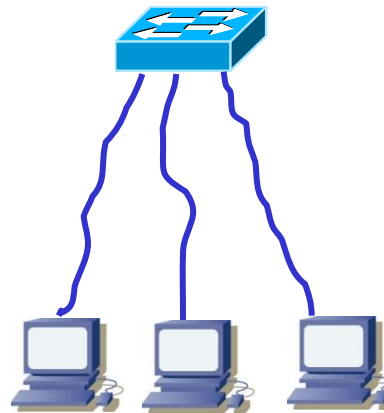


- tradičně:
  - pro realizaci tzv. místní smyčky (účastnického vedení)
    - 2-bodové spojení mezi telefonní ústřednou a telefonní zásuvkou v bytě, kanceláři atd.
- nověji:
  - pro (redundantní) telefonní rozvody v rámci objektů, od pobočkové tel. ústředny (PBX)
- používá se tzv. "voice grade" (hlasová, telefonní) dvoulinka
  - odpovídá spíše UTP kategorie 3

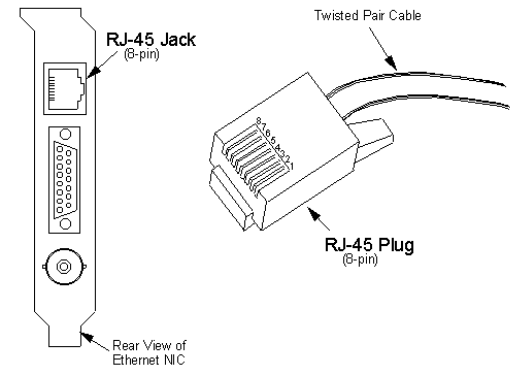
- dnes také:
  - pro síťové rozvody sítí LAN v rámci objektů
  - snaha využít již existující rozvody
    - dvoulinku "voice grade"
    - hlavně v USA, kde se "prokabelovávalo" hodně redundantně
  - topologie je stromovitá
  - kroucená dvoulinka umožňuje vytvářet pouze dvoubodové spoje



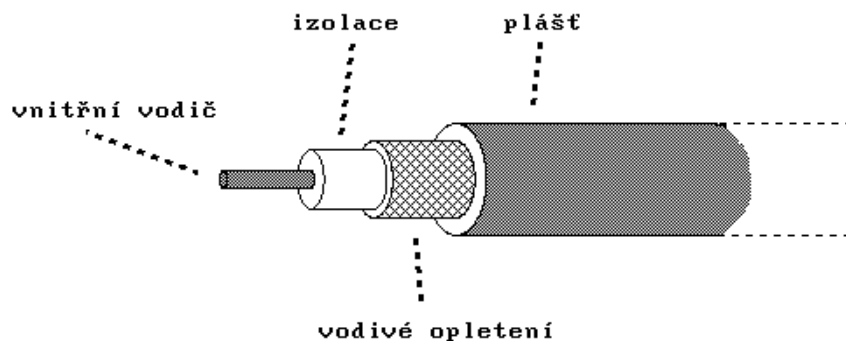
max. stovky metrů  
max. kilometry



RJ-45 Connectors

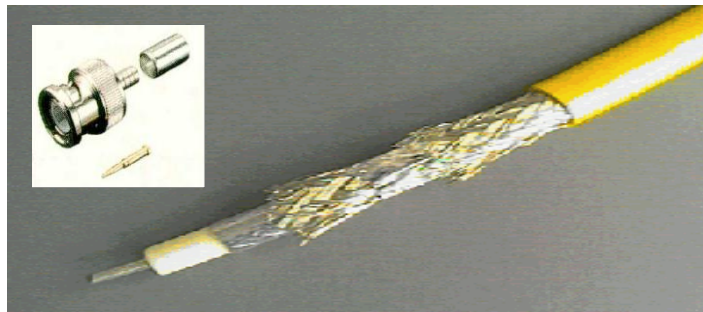


# koaxiální kabely



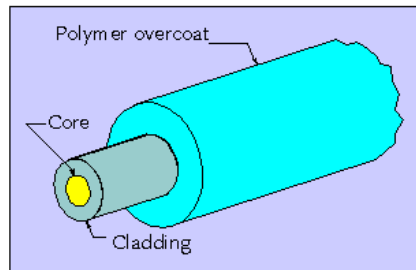
- koaxiální kabel tvoří dva soustředné (coaxiální) vodiče
  - vnitřní (středový) vodič
  - vodivé opletení
    - současně slouží jako stínění
- vlastnosti:
  - díky stínění méně vyzařuje
    - vyšší odolnost proti vyzařování a interferenci
  - lze využít na větší vzdálenosti
    - řádově kilometry
  - lze využít na vyšších frekvencích
    - než kroucená dvoulinka
  - konstrukčně robustnější, odolnější
    - ale např. málo ohebný
  - dražší než kroucená dvoulinka

- stále se používá v oblasti telekomunikací
  - pro rozvody CATV (antény), ve sdělovacích sítích, ...
  - pro rozvody kabelových televizí
  - v rámci sítí HFC
    - Hybrid Fiber-Coax, část sítě (směrem k páteři) je realizována na optickém vlákně, část nejbliže k uživateli pomocí koaxiálního kabelu)
- dříve se používal i v sítích LAN
  - Ethernet vznikl s předpokladem, že bude používat koaxiální kabel
    - jako sdílené médium, kvůli tomu měl sběrníkovou topologii
  - existují dvě verze Ethernetu (10Base5 a 10Base2) pro koaxiální kabel
    - plus již nepoužívaná verze 10Broad36



# optická vlákna

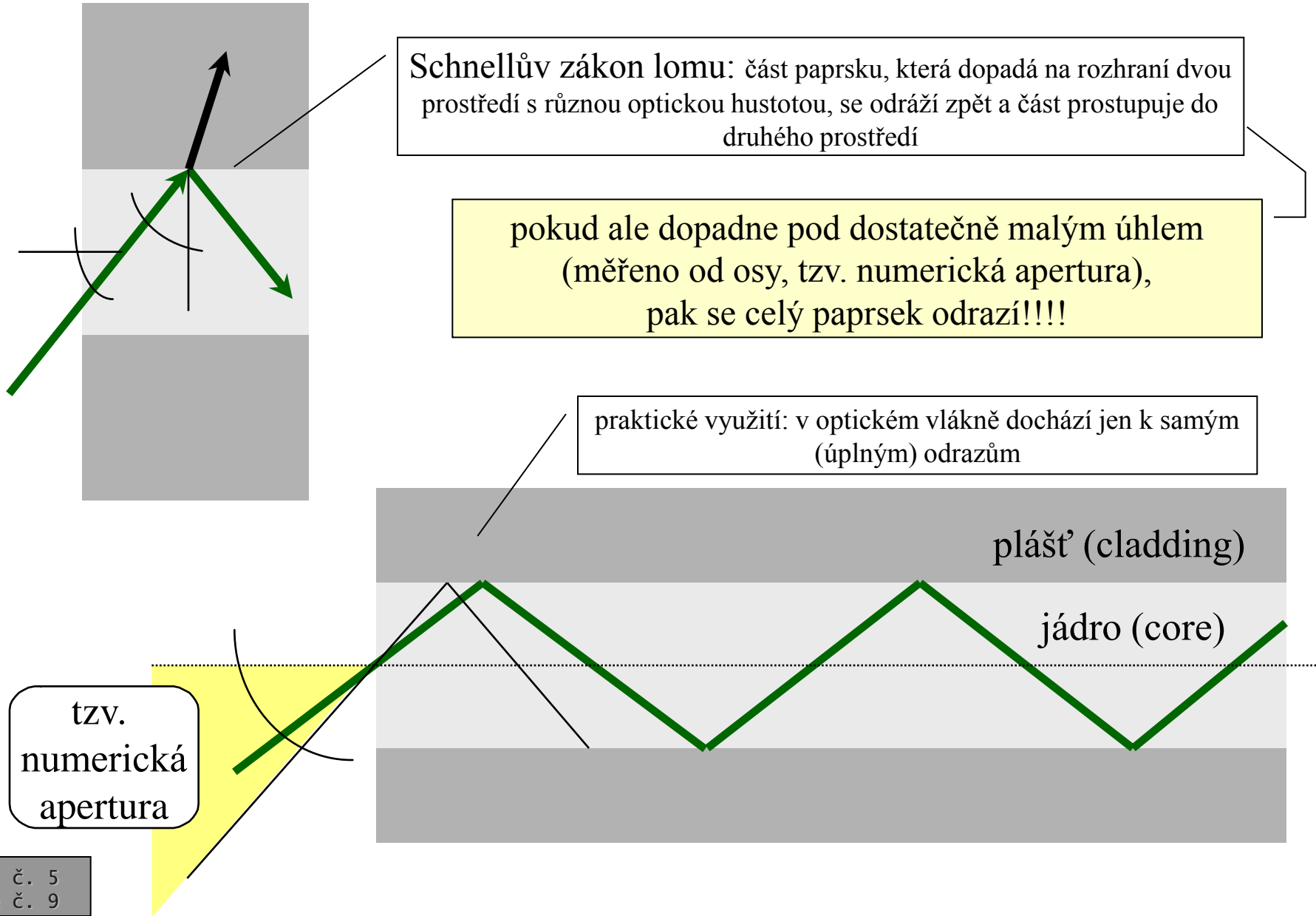
- optická vlákna mají stále obrovskou rezervu přenosové kapacity
  - možnosti optických vláken jsou dnes využívány jen z malé části
  - teze:
    - *dnes nikdo přesně neví, kam až možnosti optických vláken sahají*
- důvod:
  - pracují s vysokými frekvencemi
    - viditelné světlo cca **10<sup>14</sup>MHz!!**
  - nabízí obrovskou šířku přenosového pásma
    - dle Shannonova teoremu mohou dosahovat velmi vysokých přenosových rychlostí
- další přednosti:
  - velmi malý odpor / nízký útlum
    - dosah až desítky/stovky kilometrů
  - žádné elektromagnetické vyzařování
    - lze použít kdekoli
  - necitlivost na vnější elektromagnetické rušení
    - lze použít kdekoli
  - díky tzv. vlnovému multiplexu (technologie WDM, resp. DWDM) lze jedno vlákno rozdělit na několik částí, využitelných pro samostatné přenosy
    - tzv. barvy, každá barva nese samostatný signál / data
    - přenosová kapacita se tím násobí
    - přenos může být i obousměrný
- nevýhody:
  - vyšší cena
  - křehkost, malá mechanická odolnost
  - náročné konektování



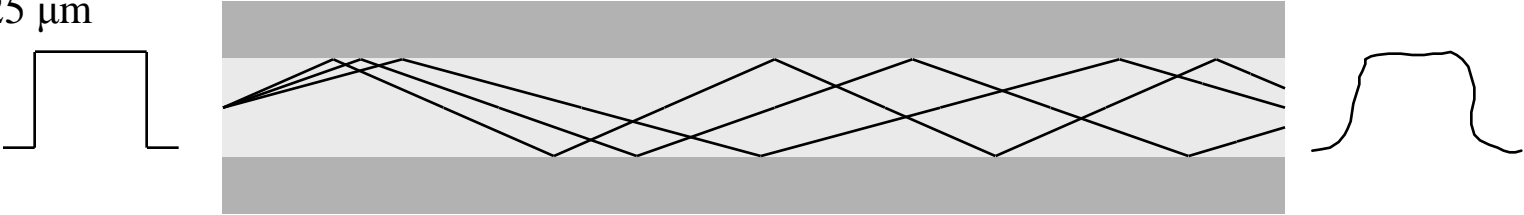
optical fiber



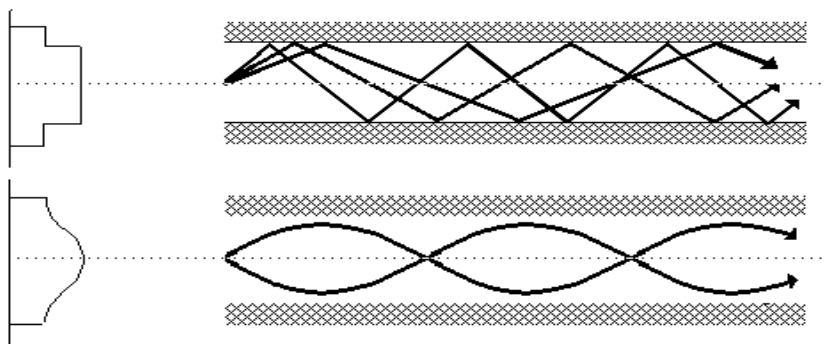
# princip vedení světla optickým vláknem



# mnohovidová vlákna

- světlo se optickým vláknem šíří „ve svazcích“
    - tzv. **videch** (angl.: mode)
      - některá vlákna přenáší více vidů současně, jiná jen 1 vid
  - tzv. **mnohovidová vlákna** (multimode fiber)
    - přenáší "užitečný signál" pomocí více vidů současně
    - **jádro/plášť**:
      - 62.5/125  $\mu\text{m}$ , nebo
      - 50/125  $\mu\text{m}$
- 
- používají světlo v rozsahu 850 to 1,300 nm
    - lze generovat z LED diod
  - přenosové schopnosti jsou obecně horší než u jednovidového vlákna:
    - **kratší dosah**
    - **nižší dosažitelná přenosová rychlost**
  - použití je lacinější
    - kabely jsou lacinější
    - konektování je jednodušší
    - světlo stačí budit diodami LED
- různé vidy se šíří vláknem po různých dráhách, trvá jim různě dlouhou dobu než dorazí ke svému cíli.
    - tím vzniká tzv. **vidová disperze**, která deformuje přijatý signál

# mnohovidová a jednovidová vlákna



- mnohovidová vlákna existují v provedení se stupňovitým nebo gradientním indexem lomu
  - mezi jádrem a pláštěm
- obecně umožňují jen nižší přenosové rychlosti a kratší dosah než vlákna jednovidová
  - ale jsou lacinější, jednodušší na instalaci atd.

- tzv. *jednovidová vlákna* (monomode, single mode fiber)
  - přenáší "užitečný signál" pomocí jediného vidu
    - nemají zkreslení vznikající vidovou disperzí
    - mají obecně větší dosah !!!
    - umožňují dosahovat vyšší rychlosti
  - „jednovidovosti“ se dosahuje
    - malým rozdílem optických vlastností jádra a pláště
    - zmenšováním průměru jádra
      - na 4 až 10 mikronů
  - pracují se světlem v rozsahu 1300 až 1550 nm
  - jsou dražší, více náročné na instalaci, ještě více křehké



jednovidové (monomode) vlákno

# optické kabely

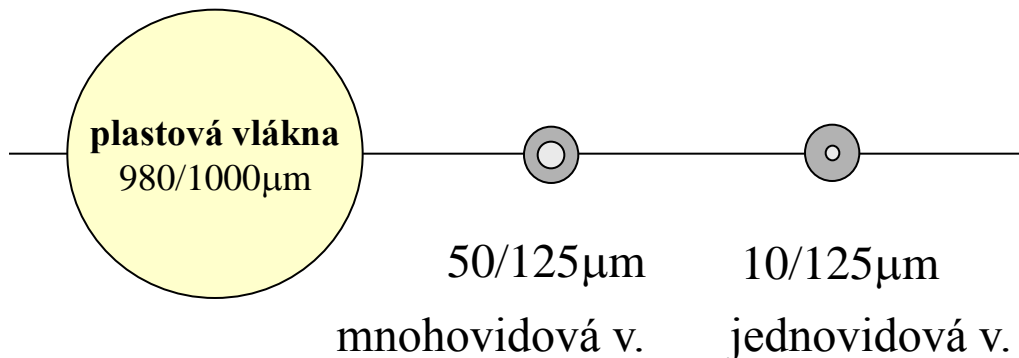
- jádro optického vlákna je z čistého  $\text{SiO}_2$ 
  - a je velmi křehké
  - plášť (obalující jádro) je sám obalen izolační vrstvou (neprůsvitnou)
  - mechanické vlastnosti se zlepšují různým „vyztužováním“
    - např. přidáním kovového drátku
- optické kabely
  - obsahují desítky (až stovky) vláken
  - obsahují i výztuž
  - existují i kombinované opticko-metalické kabely
    - obsahují optická vlákna a např. koaxiální kabel



- optické kabely se dnes instalují do trubek (tzv. chrániček)
  - do země se zakopávají chráničky, optické kabely se do nich instalují dodatečně, podle skutečné potřeby
    - kabely se zase dají měnit
- optické sítě mají nejčastěji kruhovou topologii

# plastová optická vlákna

- schopnosti optických technologií se neustále zdokonalují
  - zvětšuje se dosah souvislého úseku optického kabelu, bez nutnosti regenerace (zesilovače)
    - původně jednotky až desítky kilometrů,
    - dnes i stovky kilometrů
  - zvyšují se i přenosové rychlosti
    - Gbit/s nejsou vzácností
  - klesá i cena optických vláken
- existují však i optické kabely s jádrem z plastů
  - nikoli z křemíku
  - jádro má průměr až 1 mm
    - naopak plášť je relativně tenký
  - používají viditelné světlo (650 nm)
    - ke generování stačí dioda LED
- smysl plastových vláken:
  - laciná a odolnější alternativa ke křemíkovým vláknům
    - na kratší vzdálenosti (např. několik metrů) mohou postačovat, například pro použití v rámci spotřební elektroniky, pro domácí sítě atd.





# čistě optické přenosové systémy

- čím je dnes limitováno využití optických vláken?
  - především nutností převádět elektrické impulsy na optické a naopak
    - to zatím nedokážeme dělat výrazně rychleji
- čistě optické systémy budou moci být (jsou) výrazně rychlejší
  - princip:
    - veškeré zpracování probíhá optickou cestou, bez nutnosti převodu z/do elektronické podoby
  - dnes již existují čistě optické:
    - zesilovače signálu
      - Optical Amplifiers
    - převaděče vlnových délek
      - Wavelength Converter
    - optické přepínače
    - optické rozbočovače
    - .....
- představa o základních principech:
  - zesílení optického signálu: zesilovače EDFA
    - Erbium Doped Fiber Amplifier
      - látka (Erbium) se "nabije" ozářením, elektrony se dostanou do metastabilních poloh
      - po dopadu světla se elektron vrací do své původní polohy a přitom je uvolněno světelné záření – silnější než byl počáteční podnět na uvolnění elektronu z metastabilní pozice
  - zpracování (změna směru, rozbočení atd.)
    - odrazem paprsků od vhodně natočených zrcadlových ploch
      - průchod paprsku prostředím s optickými vlastnostmi, které se mění na základě vnějšího působení (např. mění svůj index lomu působení vnějšího elmag. pole apod.)

# bezdrátové (radiové) přenosy

- signál se šíří "volný prostorem" (éterem) prostřednictvím elektromagnetických vln
  - rychlost šíření cca 300 000 km/s
- parametry:
  - frekvence, kmitočet:  $f$  [Hz]
    - měří se v Hz (Hertz)
  - perioda,  $T$  [s]
    - platí  $f = 1 / T$
  - vlnová délka:  $\lambda$  [m]
    - platí:  $\lambda = c * T = c / f$
    - kde  $c \cong 300\,000$  km/s,
      - resp. 300 000 000 m/s
- obecné vlastnosti:
  - omezená dostupnost frekvencí
    - omezená přenosová kapacita
  - větší vliv prostředí
    - rušení, interference, podmínky příjmu
  - větší zranitelnost
    - vůči odposlechu, útokům ...
  - "éter" je vždy sdílené médium
- jedno možné (neformální) dělení bezdrátových přenosů:
  - optické (světelné přenosy, přenosy ve viditelné části spektra)
    - využívá se viditelná část spektra + okolí
      - optické přenosy, optická vlákna
  - infra(červené):
    - frekvence nižší než červené světlo
    - použitelné na krátkou vzdálenost s přímou viditelností
      - např. pro dálkové ovladače, IrDa
    - nevhodné při denním světle
      - slunce září i v infra oblasti, rušení
  - mikrovlnné:
    - extrémně krátké vlnové délky, resp. vysoké frekvence (nad 100 MHz)
    - lze soustředit energii vln do svazku a ten směřovat
      - lze vytvářet směrové spoje
      - vhodná/nutná přímá viditelnost
  - rádiové:
    - ostatní (nebo všechny)



# rozdělení frekvenčního spektra

Délka vlny	Frekvence [Hz]	Vlny ...	Vlny ...	zkratka
		myriametrové		
10-1 km	30 - 300 kHz	kilometrové	dlouhé	LW, LF
1000 – 100 m	300 – 3000 kHz	hektometrové	střední	MW, MF
100 – 10 m	3 – 30 MHz	dekametrové	krátké	SW, HF
10- 1 m	30 – 300 MHz	metrové	velmi krátké	VHF
10 – 1 dm	300 – 3000 MHz	decimetrové	ultra krátké	UHF
10 – 1 cm	3 – 30 GHz	centimetrové	centimetrové	SHF
10 – 1 mm	30 – 300 GHz	milimetrové	milimetrové	EHF
1 mm – 780 nm	0,3 – 385 THz		Infračervené světlo	
780 až 380 nm	385 – 790 THz		viditelné světlo	
380 nm – 100 nm	790 – 3000 THz		ultrafialové světlo	
			ionizující záření, RTG, gamma ...	

**mobilní telefonie**

(NMT – 450 MHz, GSM – 900, 1800 MHz, UMTS: 2,1 GHz)

**bezdrátové LAN (WLAN)**

(Wi-Fi: 2,4 GHz, 5 GHz ...)

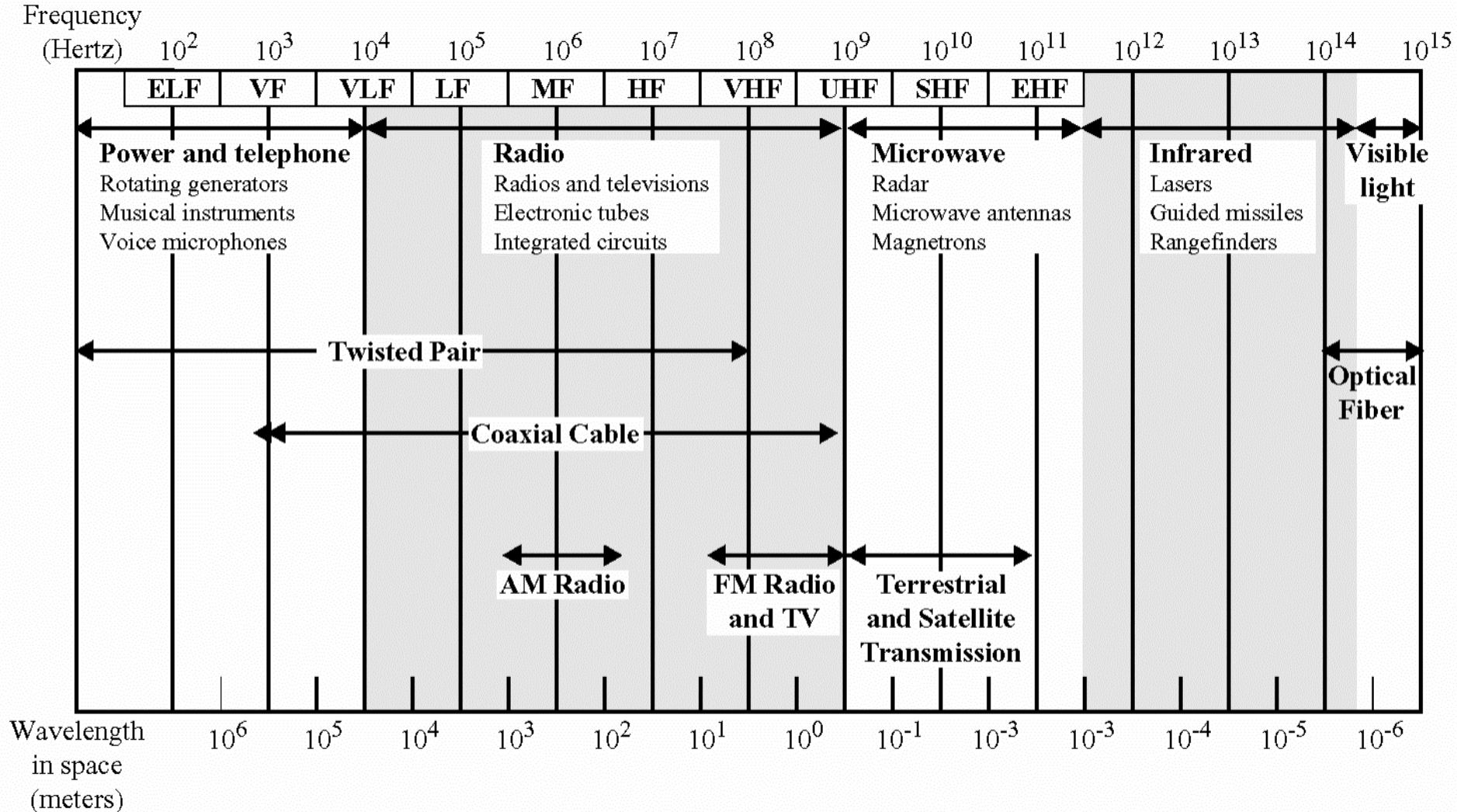
**rádiové a mikrovlnné spoje**

(FWA: 3,5 GHz, 10 GHz, 28 GHz, ...)

**optické spoje**

(kolem  $10^8$  MHz)

# rozdělení frekvenčního spektra



# hospodaření s frekvencemi

- frekvence (kmitočty) jsou omezeným přírodním zdrojem
  - je nutné s nimi pečlivě hospodařit
- správcem kmitočtového spektra v ČR je ČTÚ (Český telekomunikační úřad)
  - spolupracuje se zahraničními subjekty a je vázán mezinárodními dohodami, úmluvami atd.
  - provádí tzv. koordinaci kmitočtů se zahraničím
- vydává "národní kmitočtovou tabulku"
  - formálně: "Plán přidělení kmitočtových pásem"
    - naposledy v říjnu 2004
  - určuje, jak a kým smí být využity různé části frekvenčního spektra
    - za jakých podmínek atd.
- licenční pásmo:
  - část frekvencí, jejichž využití vyžaduje licenci od ČTÚ
    - přiděluje se na žádost, pokud je více zájemců pak v soutěži (výběrovém řízení)
- bezlicenční pásmo:
  - není nutná individuální licence (oprávnění)
  - podmínky využití jsou určeny tzv. generálními licencí (dnes: všeobecné oprávnění)
    - určuje například přípustné vysílací výkony a další parametry
    - může vyžadovat registraci uživatele/provozovatele u ČTÚ
- příklady:
  - licence na GSM (900 MHz, 1800 MHz), FWA (3,5 GHz, 26 GHz), UMTS ...
  - bezlicenční pásmo:
    - 2,4 GHz (pro Wi-Fi 802.11b,g)
    - 5 GHz (pro Wi-Fi 802.11a,h)

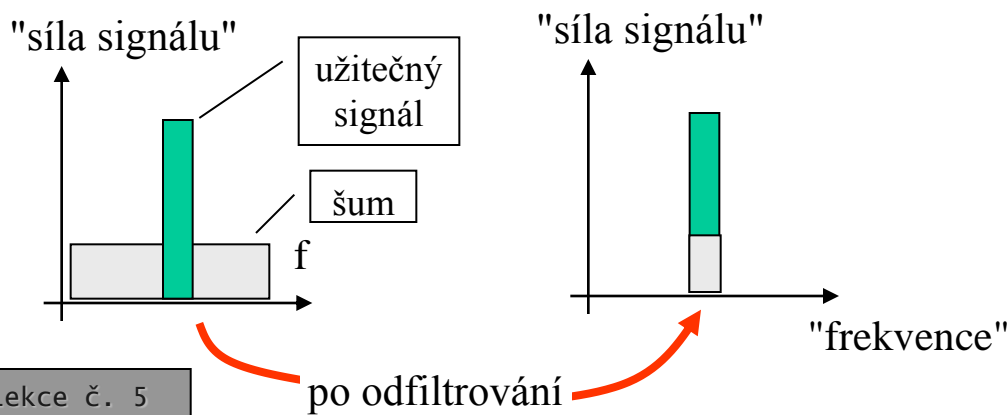
# problémy bezdrátových přenosů

- jak se vyrovnat s omezeným rozsahem frekvencí?
  - opakovaným použitím stejných frekvencí, na buňkovém principu
    - používají hlavně mobilní sítě (NMT, GSM, UMTS, ...)
  - alternativa: trunkové sítě
- jak se vyrovnat s náhodným rušením?
  - s tzv. bílým šumem, s různými interferencemi
    - řeší se tzv. rozprostřením do širokého spektra
- jak se vyrovnat s rušením od jiných přenosů?
  - licenční pásma:
    - nemělo by se stávat
  - bezlicenční pásma:
    - řeší se směrováním vysílání
    - mechanismy pro volbu vhodné (nezarušené) frekvence
    - regulací vysílacího výkonu
    - domluvou a koordinací
    - technikami "rozprostření do spektra"
    - pravidlem "kdo dřív přijde ..."
- jak zajistit bezpečnost přenosů
  - šifrováním přenášených dat
  - ....
- jak se vyrovnat s vlivem atmosferických podmínek?
  - hodně obtížné ....
  - obecně: čím vyšší frekvence, tím se signál šíří více směrově, vyžaduje lepší podmínky pro své šíření (přímou viditelnost), a je citlivější na různé atmosferické vlivy
- jak zajistit mobilitu?
  - u buňkových sítí je nutné "předávání" (handover-y)
    - zajišťuje plně síť (GSM, ...)
    - zajišťuje koncové zařízení (Wi-Fi)
  - "vertikální handover"
    - předávání mezi různými sítěmi – např. GSM a UMTS
- jak zajistit "portabilitu"
  - např. aby koncová zařízení vydržela s napájením
    - regulací vysílacího výkonu
    - využitím časového multiplexu
- jak zajistit kvalitu služeb?
  - spolehlivost, pravidelnost doručování, nízkou latenci, ...

# vysílání v úzkém pásmu a v rozprostřeném spektru (Narrowband, vs. Spread Spectrum)

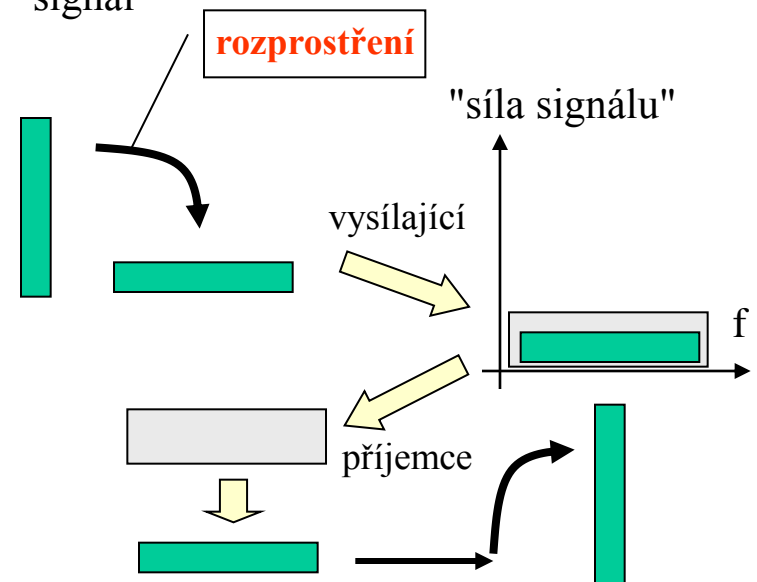
- vysílání v úzkém pásmu

- vysílá se v úzkém rozsahu frekvencí
  - energie vysílače je soustředěna do úzkého rozsahu frekvencí
- rušení (šum) je širokopásmové
  - rozprostřené do širšího spektra
  - rušení ale může být i "úzkopásmové"
    - např. od nějakého jiného vysílání, od spínání v okolí apod.
- řeší se dostatečným odstupem signálu od šumu
  - poměr S/N je zde větší než 1



- vysílání v rozprostřeném spektru

- vysílá se v širokém rozsahu frekvencí
  - energie vysílače může být stejná, ale je rozprostřena do širšího rozsahu frekvencí
- "síla signálu" nemusí být vyšší než "síla šumu"
  - poměr "signál/šum" může být i menší než 1
  - důležité je, aby příjemce dokázal z přijatého signálu extrahovat "užitečný signál"



# techniky vysílání v rozprostřeném spektru (Spread Spectrum)

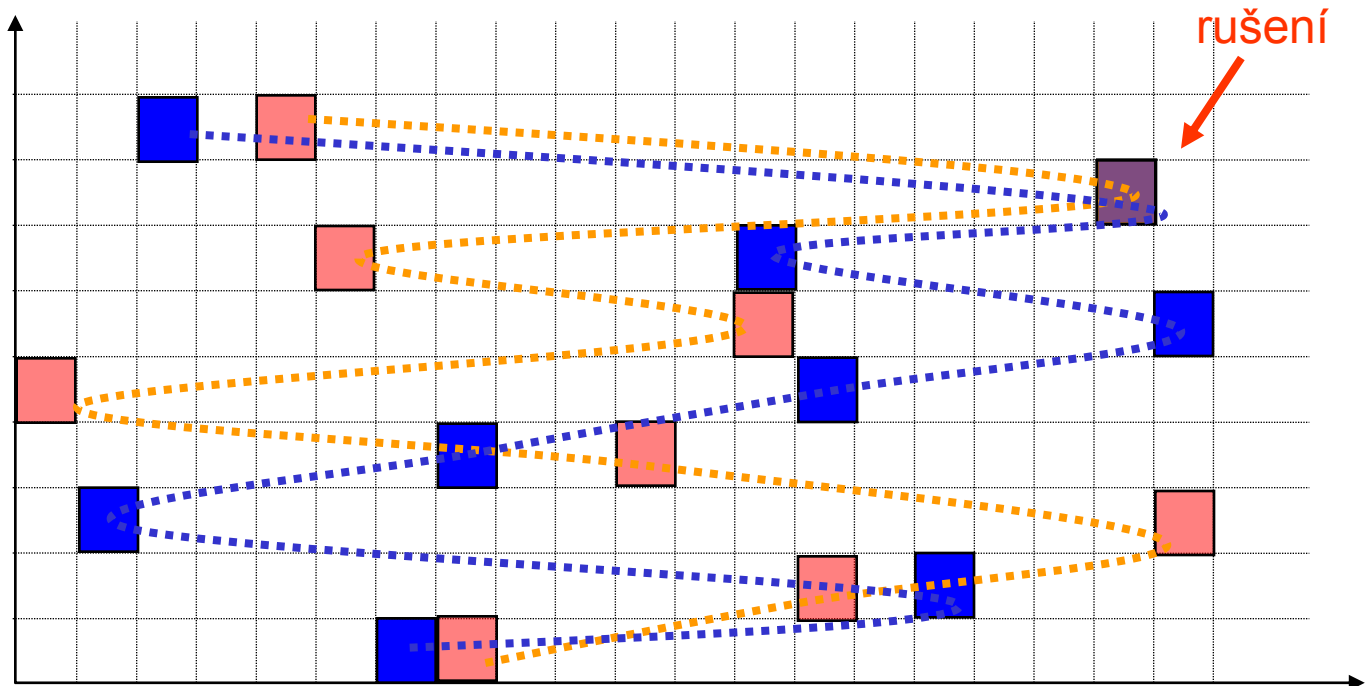
- **Frequency Hopping** (s kmitočtovým skákáním nosné)
  - vysílá se na (úzkopásmové) nosné frekvenci, která se ale pravidelně přeladuje, podle (vhodně volené) pseudonáhodné posloupnosti
    - kterou musí znát vysílač i přijímač
  - může dojít k "souběhu" více vysílání na stejné frekvenci (a ke vzájemnému rušení)
    - ale je to krátké a lze se z toho zotavit !!!
  - využívá se hlavně pro eliminaci vzájemného rušení mezi více přenosy

čas

• příklad:

- IEEE 802.11:
  - přeskakuje 2,5x za sekundu
- Bluetooth:
  - 1600x !!
- "vynálezci" FH:
  - Hedy Lamarr, George Antheil, 1942

400 ms



# techniky vysílání v rozprostřeném spektru

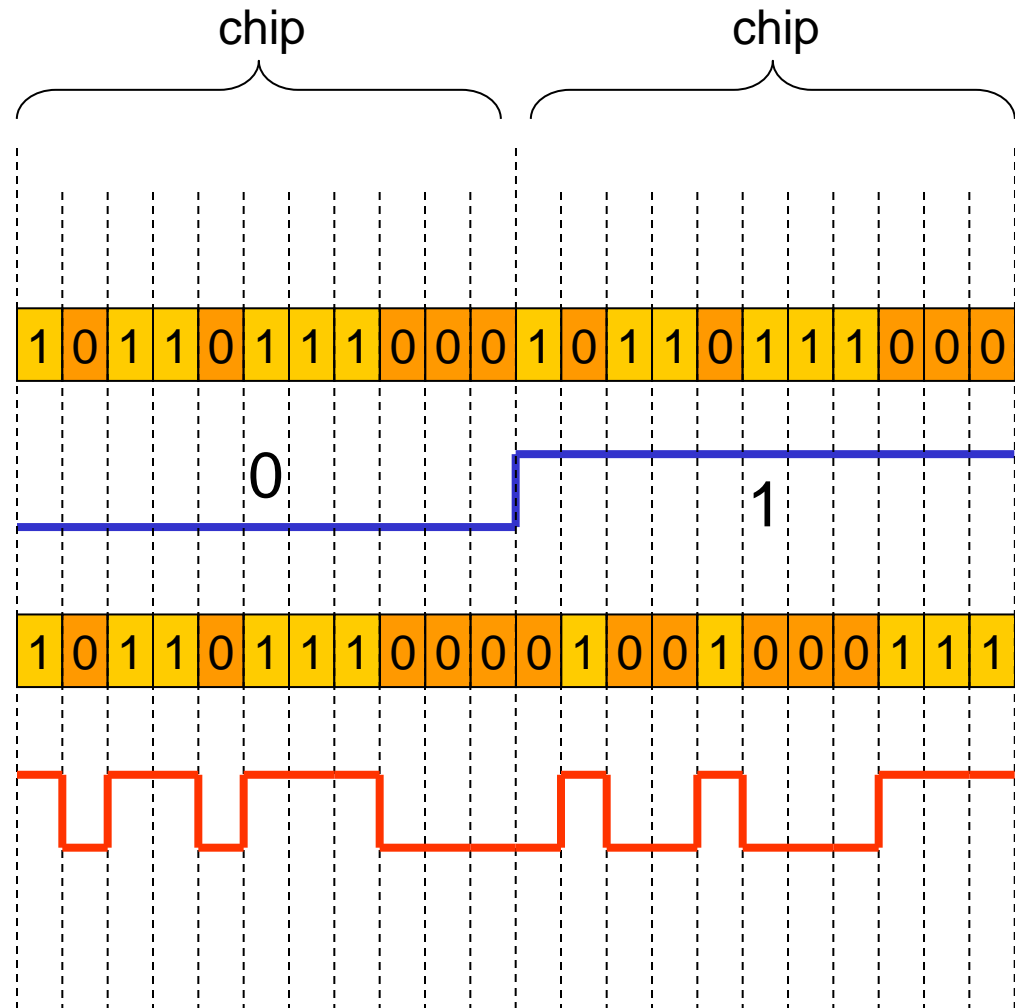
- **Direct Sequence Spread Spectrum** (s přímou modulací kódovou posloupností)
  - princip: vysílá se sekvence bitů (tzv. chipping code, chip, „úlolek“) o vyšší modulační rychlosti (zabírá větší šířku pásma). Na ni se modulují (pomocí XOR) přenášovaná data
- jiný pohled:
  - místo 1 "užitečného bitu" se vyšle  $n$  pseudonáhodných bitů (tzv. 1 chip, "úlolek"), buďto v základním tvaru nebo invertovaný (XOR)

pseudonáhodná sekvence  
(11-bitový Barker kód,  
chipping kód, chip)

**data k přenesení (01)**

vysílané bity

vysílaný signál



# Direct Sequence Spread Spectrum - představa fungování

- vysílač místo 1 bitu vyšle  $n$  bitů
  - kde  $n$  je šířka tzv. chipu (úlomku)
  - příklad (bipolární):
    - je-li je chipping kód roven:
      - $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$
    - pro 1 vyšle  $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$
    - pro 0 vyšle  $-c_1, -c_2, -c_3, -c_4, -c_5, -c_6$
- tím "zabere"  $n$ \* větší šířku přenosového pásma
  - "rozprostře se" do širšího spektra
- příjemce musí znát chipping kód odesílatele!!!
- příjemce přijme celý chip (posloupnost  $n$  bitů)
  - např.  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$
  - může být zatížen chybami v důsledku rušení
- příjemce aplikuje na přijatý "úlolek" (chip) chipping kód odesílatele
  - udělá s ním XOR
    - $d_1 \text{ XOR } c_1, d_2 \text{ XOR } c_2, \text{ atd.}$
  - při nezarušeném signálu vyjde:
    - $\sum d_i \text{ XOR } c_i = 6$ , pokud byla přenášena 1
    - $\sum d_i \text{ XOR } c_i = -6$ , pokud byla přenášena 0
  - při zarušeném signálu mohou být součty jiné
    - $0 \leq \Sigma \leq 6$  pro 1,
    - $-6 \leq \Sigma \leq 0$  pro 0,
  - přijímač vyhodnocuje 0 nebo 1 podle toho, zda
    - $\Sigma > 0$  (přijme 1)
    - $\Sigma < 0$  (přijme 0)
- pozor: rušení může být i od jiného přenosu ve stejném rozsahu frekvencí
  - pokud jsou chipping kódy vhodně voleny (jsou ortogonální), pak příjemce dokáže "odseparovat" od sebe jednotlivé přenosy
    - princip kódového multiplexu, CDMA !!!

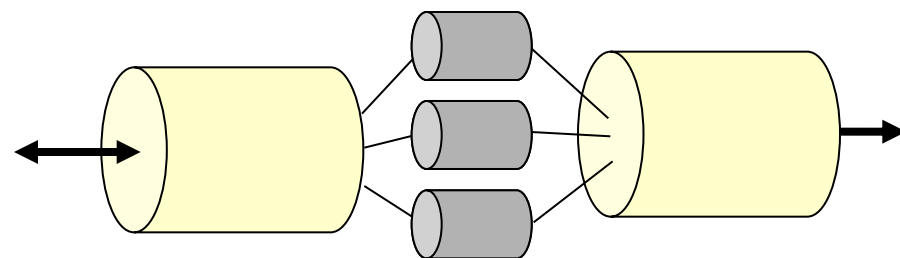
technika Direct Sequence SS je určena hlavně pro eliminaci šumu a rušení, nikoli pro sdílení (multiplex)!!



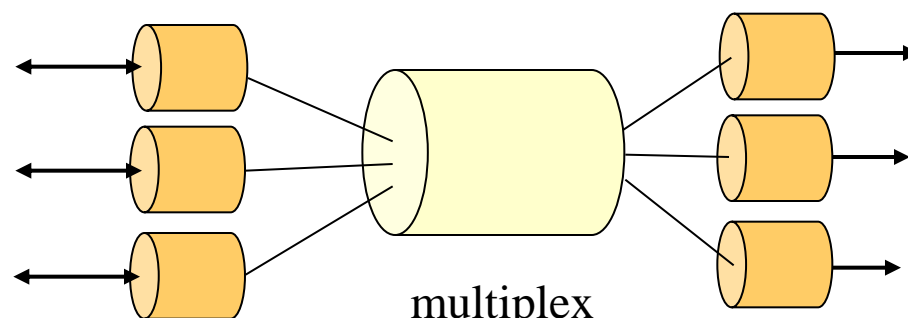
# multiplex a inverzní multiplex

- multiplex:
  - jde o to, jak jeden (širší) přenosový kanál rozdělit na několik (užších, menších) přenosových kanálů
    - které bude možné využívat samostatně a nezávisle na sobě
    - "rozdělení větší přenosové kapacity na několik menších kousků"
- analogového techniky multiplexu
  - frekvenční multiplex
    - FDM, Frequency Division Multiplexing
  - vlnový multiplex
    - WDM, Wavelength Division Multiplexing
- digitální techniky multiplexu
  - časový multiplex
    - TDM, Time Division Multiplexing
  - statistický multiplex
    - STDM, Statistical TDM
  - kódový multiplex
    - CDM, Code Division Multiplexing, CDMA

- inverzní multiplex:
  - jde o to, jak několik (menších, užších) přenosových kanálů sdružit do jednoho celku, aby se choval jako jeden (širší, větší) přenosový kanál
  - nejčastější technika:
    - channel bundling (souběžné použití více kanálů)

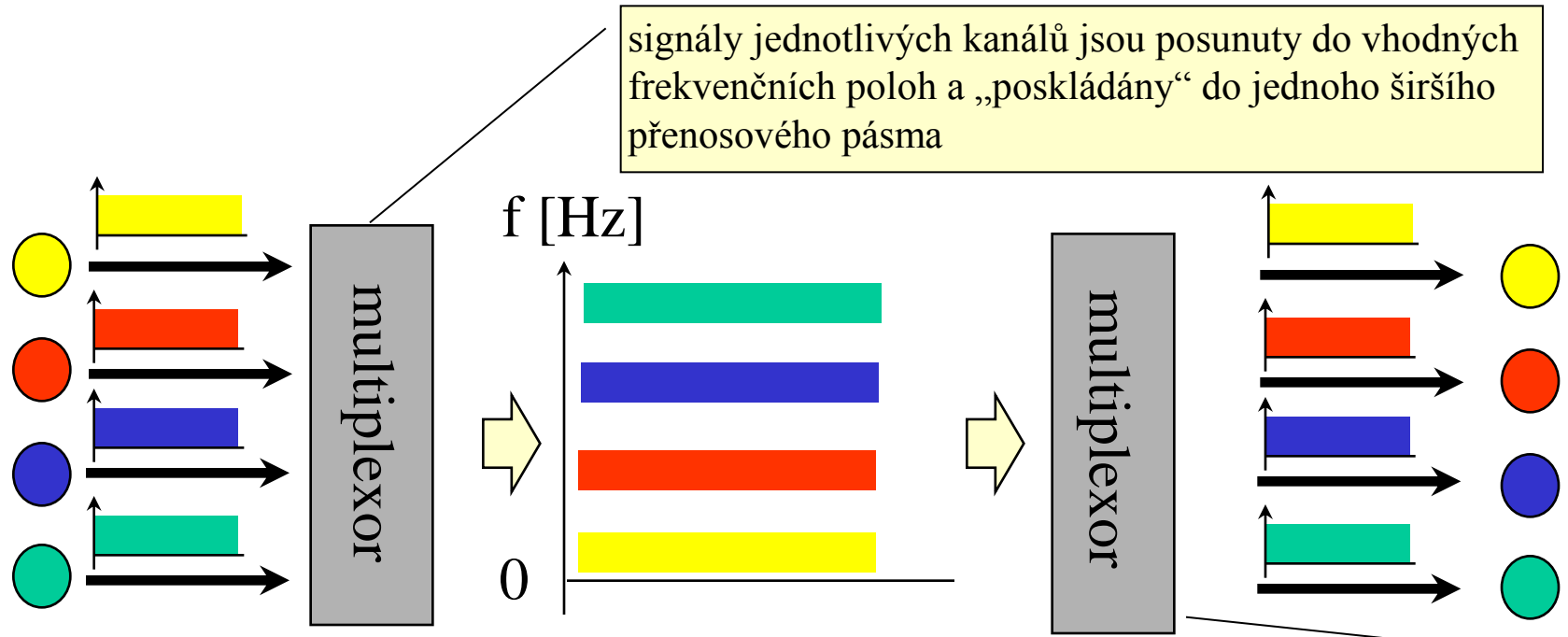


inverzní multiplex



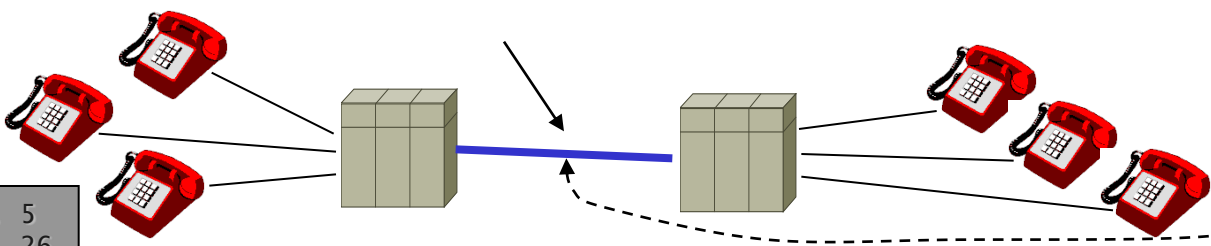
multiplex

# představa frekvenčního multiplexu



- je to analogová technika
- používala se například v analogových telefonních sítích, pro vzájemné propojení telefonních ústředí (tzv. trunking)

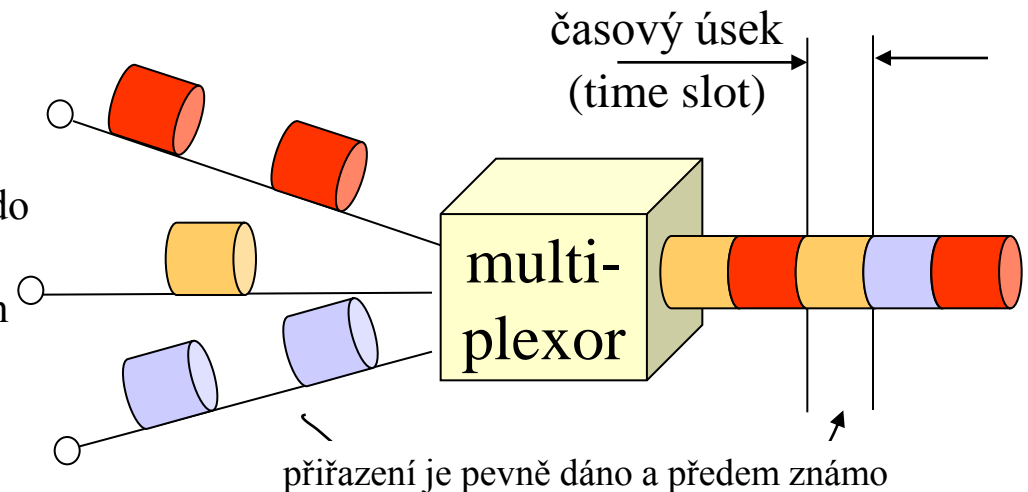
jednotlivé složky jsou „vyextrahovány“ a vráceny do původní frekvenční polohy



1 (analogový) telefonní pro telefonní hovor zabral pásmo 4 kHz

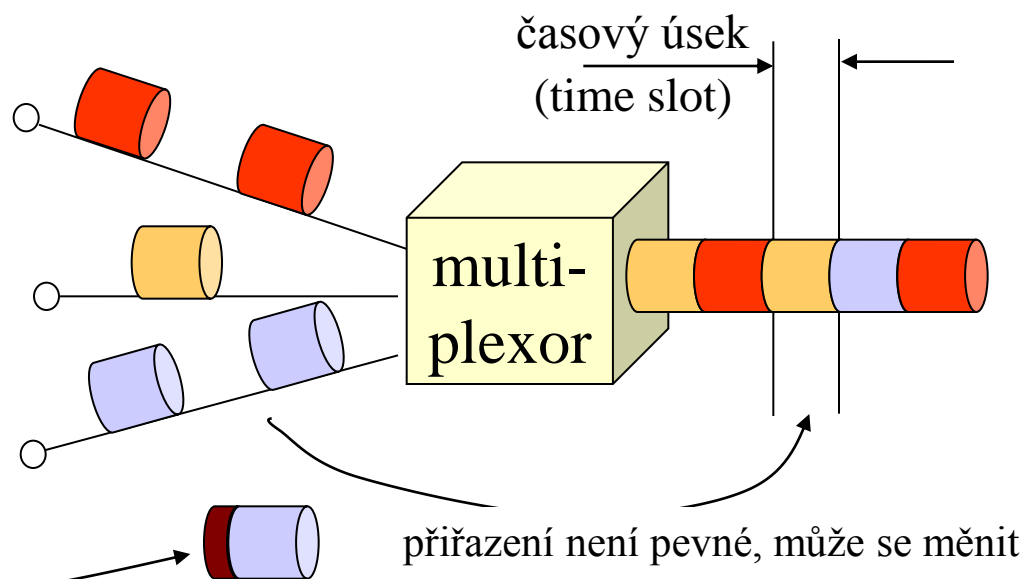
# časový multiplex (TDM, Time Division Multiplexing)

- je to digitální technika
  - představa: přenosová cesta se rozdělí v čase na "časová okna" (time slots) a ty se napevno přiřadí jednotlivým vstupům
    - během každého časového okna se celá přenosová cesta věnuje výhradně přenosu dat z daného vstupu
    - celková přenosová kapacita se tak dělí v poměru, v jakém jsou rozdělena jednotlivá časová okna
  - rozdělení časových oken mezi jednotlivé vstupy nemusí být rovnoměrné
    - někdo může mít větší podíl, někdo menší
    - toto rozdělení je ale dáno předem a nemění se v čase !!!
- rozdělení slotů mezi jednotlivé vstupy je pevné a je dáno předem!!!!
  - proto nemusí být přenášená data opatřena žádným identifikátorem (hlavičkou)
  - každý "vstup" má vyhrazenou pevně danou přenosovou kapacitu
    - pokud tuto kapacitu nevyužije, nemůže být přenechána nikomu jinému !!!
- režie časového multiplexu je relativně malá
  - ale významná je druhotná režie, z nevyužitých slotů



# statistický multiplex (STDM)

- časový multiplex (TDM) je v zásadě digitální technika
- je vhodná tam, kde jednotlivé kanály (vstupy) produkují rovnoměrnou zátěž
  - pak má relativně malou režii
- není výhodná při kolísající zátěži
  - jednotlivé kanály si nedokáží „přenechat“ svou vyhrazenou přenosovou kapacitu
- pro nestejnou zátěž je vhodný statistický multiplex (STDM)
  - nepřirazuje časové sloty jednotlivým kanálům pevně, ale až na základě skutečné potřeby
  - každý "kus dat", který je přenášen v časovém okně, musí sám sebe identifikovat
    - musí říkat, komu patří - **musí mít hlavičku**
- negarantuje 100% dostupnost přenosové kapacity pro jednotlivé kanály (jen statisticky)
  - jde v zásadě už o variantu paketového přenosu
- součet (nominálních) přenosových rychlostí všech vstupů může být vyšší, než u sdíleného spoje
  - u časového multiplexu platí rovnost



# kódový multiplex

## (CDM, Code Division Multiplexing, CDMA)

- základní myšlenka:
  - disponibilní přenosová kapacita se nebude dělit, ale použije se celá (nejednou)
  - každý zdroj (odesílatel) vysílá v celé dostupné šířce pásma
  - **!!! je to zařízeno tak, že jednotlivá vysílání se vzájemně neruší, ale lze je opět oddělit !!!**
    - odseparovat jejich obsah
  - princip řešení:
    - každý vysílač vysílá v rozprostřeném spektru technikou Direct Sequence
    - pseudonáhodné posloupnosti (chipping kódy) jednotlivých vysílačů musí být různé a **vzájemně ortogonální !!!!**
  - každý příjemce má možnost přijímat vysílání všech vysílačů
    - a je schopen si z toho vybrat právě a pouze ta vysílání, která potřebuje
- představa/příklad (bipolární):
  - jsou 4 uzly, A, B, C a D
  - jejich chipping kódy jsou:
    - A: 0 0 0 1 1 0 1 1 (-1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, 1)
    - B: 0 0 1 0 1 1 1 0 (-1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, -1)
    - C: 0 1 0 1 1 1 0 0 (-1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1)
    - D: 0 1 0 0 0 0 1 0 (-1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, -1)
  - když uzel chce vyslat přenést 1, vyšle svůj chipping kód tak jak je, když chce vyslat 0 tak jej vyšle invertovaný (s opačnými hodnotami)
    - když chce A přenést 1, vyšle posloupnost (-1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, 1)
    - když chce A přenést 0, vyšle posloupnost (1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, -1)
    - pokud A nechce přenést nic, nevysílá
  - **"v éteru" se vysílané hodnoty sčítají !!!**
    - kladné i záporné!!!

# kódový multiplex - příklad

- pokračování:

- A: 1 (-1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, 1)
- B: 1 ( 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, 1)
- C: **1** (-1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1)
- D: nic
- výsledný signál bude:

(-1, 1, -3, 3, 1, -1, -1, 1)

- příjemce, který chce přijmout signál od uzlu C:

$$\begin{array}{r} (-1, 1, -3, 3, 1, -1, -1, 1) \\ * (-1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1) \\ = ( 1, 1, 3, 3, 1, -1, 1, -1) \end{array}$$

- součet je 8, děleno 8 je 1

- uzel C přenášel bit 1 !!!

- pokračování:

- A: 1 (-1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, 1)
- B: 1 ( 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, 1)
- C: **0** ( 1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, 1)
- D: nic
- výsledný signál bude:

( 1, -1, -1, 1, -1, -3, 1, 3)

- příjemce, který chce přijmout signál od uzlu C:

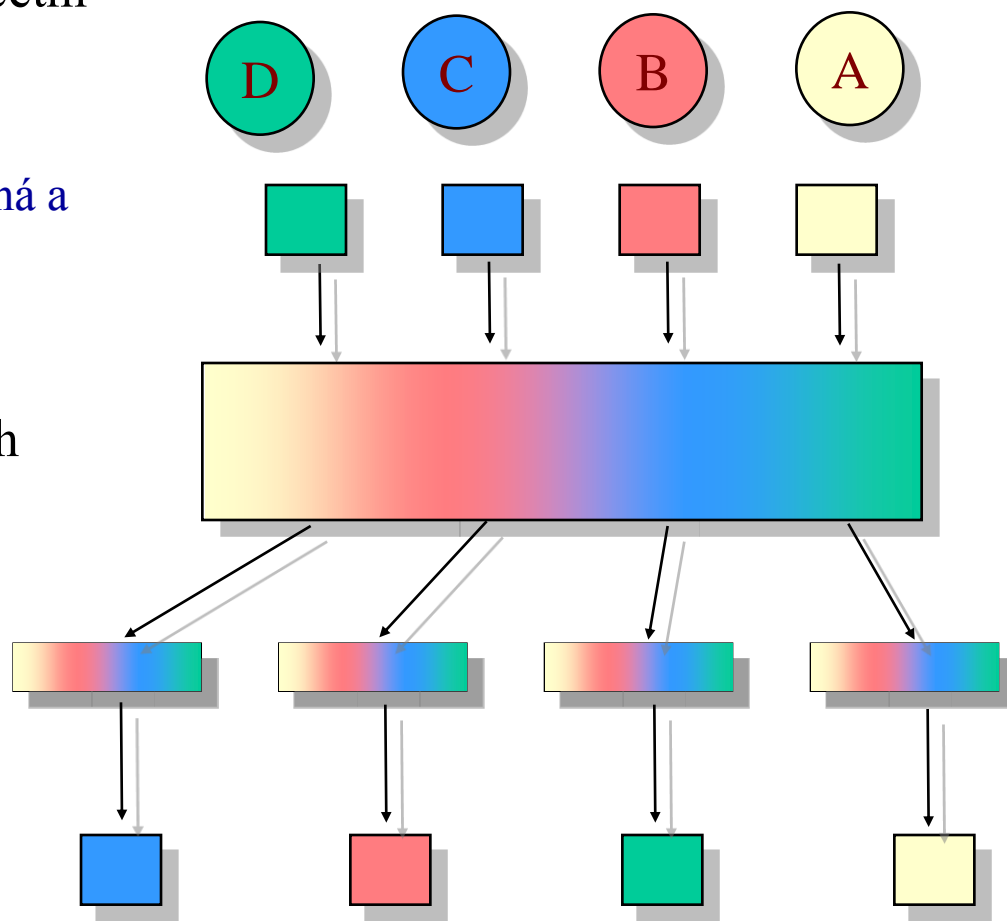
$$\begin{array}{r} ( 1, -1, -1, 1, -1, -3, 1, 3) \\ * (-1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1) \\ = (-1, -1, 1, 1, -1, -3, -1, -3) \end{array}$$

- součet je -8, děleno 8 je -1

- uzel C přenášel bit 0 !!!

# vlastnosti kódového multiplexu

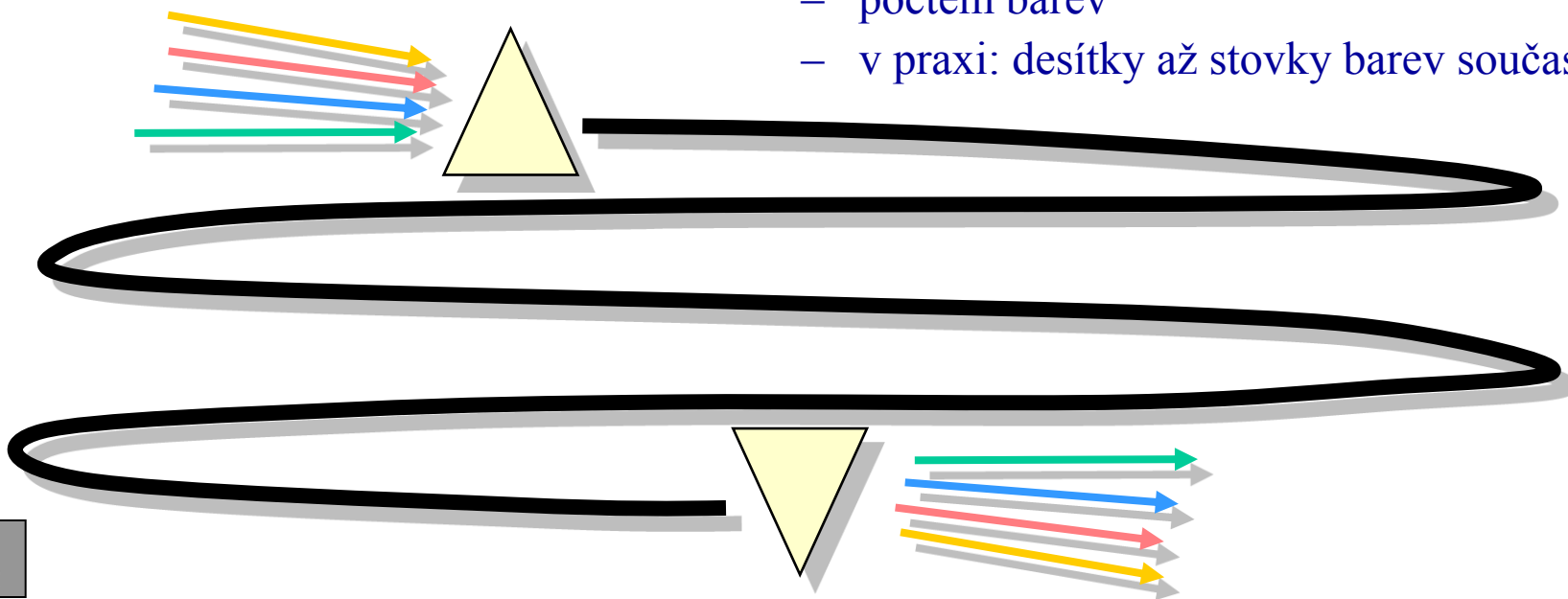
- je maximálně efektivní
  - co do využití frekvenčního spektra
    - využívá je celé, nedělí jej
- "složitosť" a režii přenáší do výpočetní kapacity
  - u odesilatele i u příjemce
  - tato výpočetní kapacita je ale laciná a snadno dostupná
    - zatímco frekvence jsou striktně omezeným zdrojem!!
- využívá se u (některých) mobilních sítí 2. generace
  - i u (některých) mobilních sítí 3. generace (UMTS)
- v ČR: síť MobilKom/U:fon
  - 1x síť CDMA 1xRTT, 1x síť CDMA2000 1xEV-DO
- v ČR též v rámci sítě Telefóniky O2 CR
  - CDMA2000 1xEV-DO



# vlnový multiplex

## WDM – Wavelength Division Multiplexing

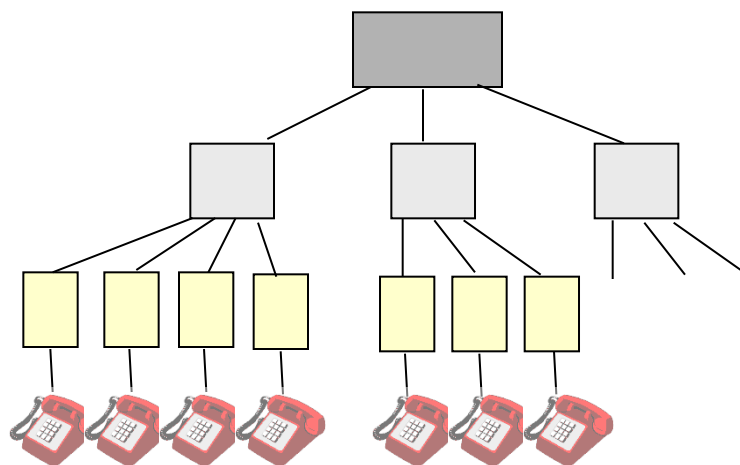
- týká se vedení světla skrze optická vlákna
  - původně: nešlo rozlišit jednotlivé "barvy" světla
    - světlo o různé frekvenci
  - dnes: již je to možné
    - díky technikám WDM
- dříve bylo možné použít optické vlákno pouze k 1 přenosu
  - všemi "barvami" současně
- dnes již může být každá barva přenášena samostatně
  - může přenášet samostatná data
    - a tím představovat samostatný přenosový kanál
  - dokonce i v opačném směru
    - optické vlákno se stává obousměrné
- celková přenosová kapacita optického vlákna se tím násobí
  - počtem barev
  - v praxi: desítky až stovky barev současně





# hierarchie (digitálních) multiplexů

- ve světě telekomunikací je potřeba pracovat s většími přenosovými kapacitami
  - hlavně pro potřeby přenosu (digitalizovaného) hlasu
  - 1 hlasový kanál v digitální podobě "zabírá" 64 kbit/s
    - vzhledem ke kódování PCM
- proto se vymyslel způsob sdružování jednotlivých hlasových kanálů (á 64 kbit/s) do větších celků
  - včetně způsobu "skládání" jednotlivých kanálů 64 kbit/s do větších celků – **rámce**
    - na principu časového multiplexu (TDM, Time Division Multiplexing)
  - je to hierarchické, s více "patry"
  - vzniká celá tzv. **digitální hierarchie**
- existují dva druhy digitálních hierarchií:
  - starší **plesiochronní hierarchie (PDH)**
  - novější **synchrónní hierarchie (SDH)**
- hierarchie se používají i pro dimenzování nejrůznějších přenosových kapacit
  - příklad: zákazník si objedná okruh E1 (T1)



# hierarchie PDH

- starší hierarchie
  - je nižší, má jen 4 patra
  - je tzv. "plesiochronní"
- je zastaralá
  - ale dodnes se podle ní dimenzují nejrůznější přenosové kapacity
- liší se v USA a v Evropě
  - 1. patro má v Evropě 32 kanálů á 64 kbit/s
    - spoj E1
  - v USA pouze 24
    - spoj T1
  - podle toho se také v USA a v Evropě liší přípojka ISDN BRI

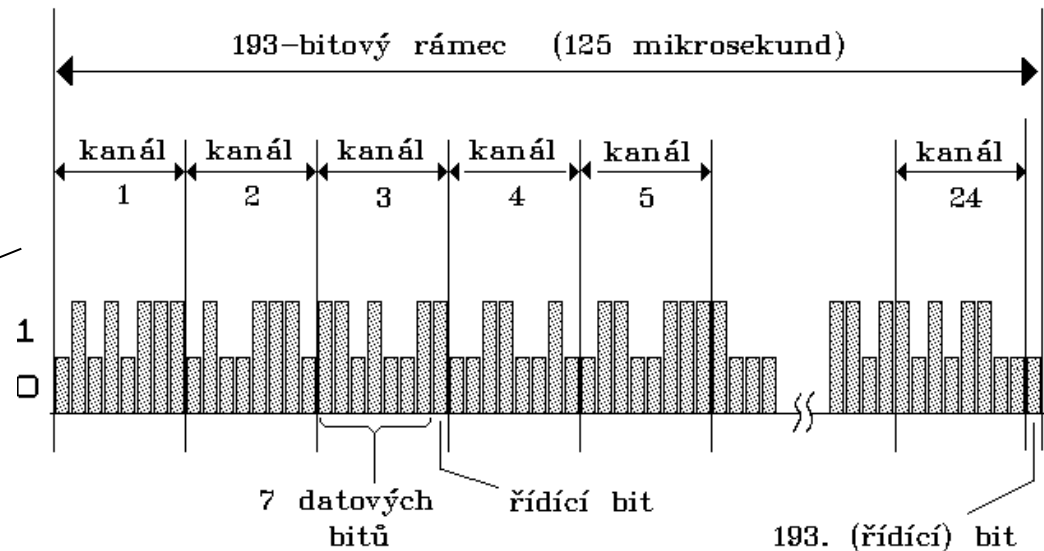
## USA

Řád	Přenosová rychlost	Počet kanálů 64 kbps
0. (T0)	64 kbit/s	1
1. (T1)	1,544 Mbit/s	24x T0
2. (T2)	6,312 Mbit/s	96x T0
3. (T3)	44,736 Mbit/s	672x T0
4. (T4)	274,176 Mbit/s	4032x T0

## Evropa

Řád	Přenosová rychlost	Počet kanálů 64 kbps
0. (E0)	64 kbit/s	1
1. (E1)	2,048 Mbit/s	32x E0
2. (E2)	8,448 Mbit/s	128x E0
3. (E3)	34,368 Mbit/s	512x E0
4. (E4)	139,264 Mbit/s	2048x E0

formát rámce E1  
(opakuje se 8000x za sekundu,  
tj. každých 125 μs)



# hierarchie SDH

- novější, plně synchronní
  - SDH, Synchronous Digital Hierarchy
  - je "vyšší" než PDH
- má jednodušší způsob sestavení svých rámců
  - umožňuje přímé "vkládání" a "vyjímání" jednotlivých 64 kbit/s kanálů
    - není nutné k tomu "rozkládat" celé rámce
- vychází z amerického standardu pro SONET Synchronous Optical Network)
- podle SDH bývají dimenzovány vysokorychlostní páteřní přenosové trasy
  - např. také ATM
    - 155 Mbps, 622 Mbps atd.

Řád	Přenosová rychlost
0. (E0)	64 kbit/s
1. (E1)	2,048 Mbps
2. (E2)	8,448 Mbps
3. (E3)	34,368 Mbps
4. (E4)	139,264 Mbps

PDH

SDH

Řád	Přenosová rychlost
STM-1	155 Mbit/s
STM-2	622 Mbps
STM-3	2,488 Gbps
STM-4	9,95 Gbps

příklady využití:  
IP over ...

