



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



Lekce 6: Základy datových komunikací – II.

Jiří Peterka, 2004

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 přenese za delší časový interval
- modulační rychlost (symbolová rychlost, Baudy)
 - říká, kolikrát se změní stav modulovaného signálu za jednotku času
 - neříká, kolik dat se tím přenese
- šířka pásma (bandwidth)
 - rozsah frekvencí, využitelných pro přenos
- omezování (zužování) 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,

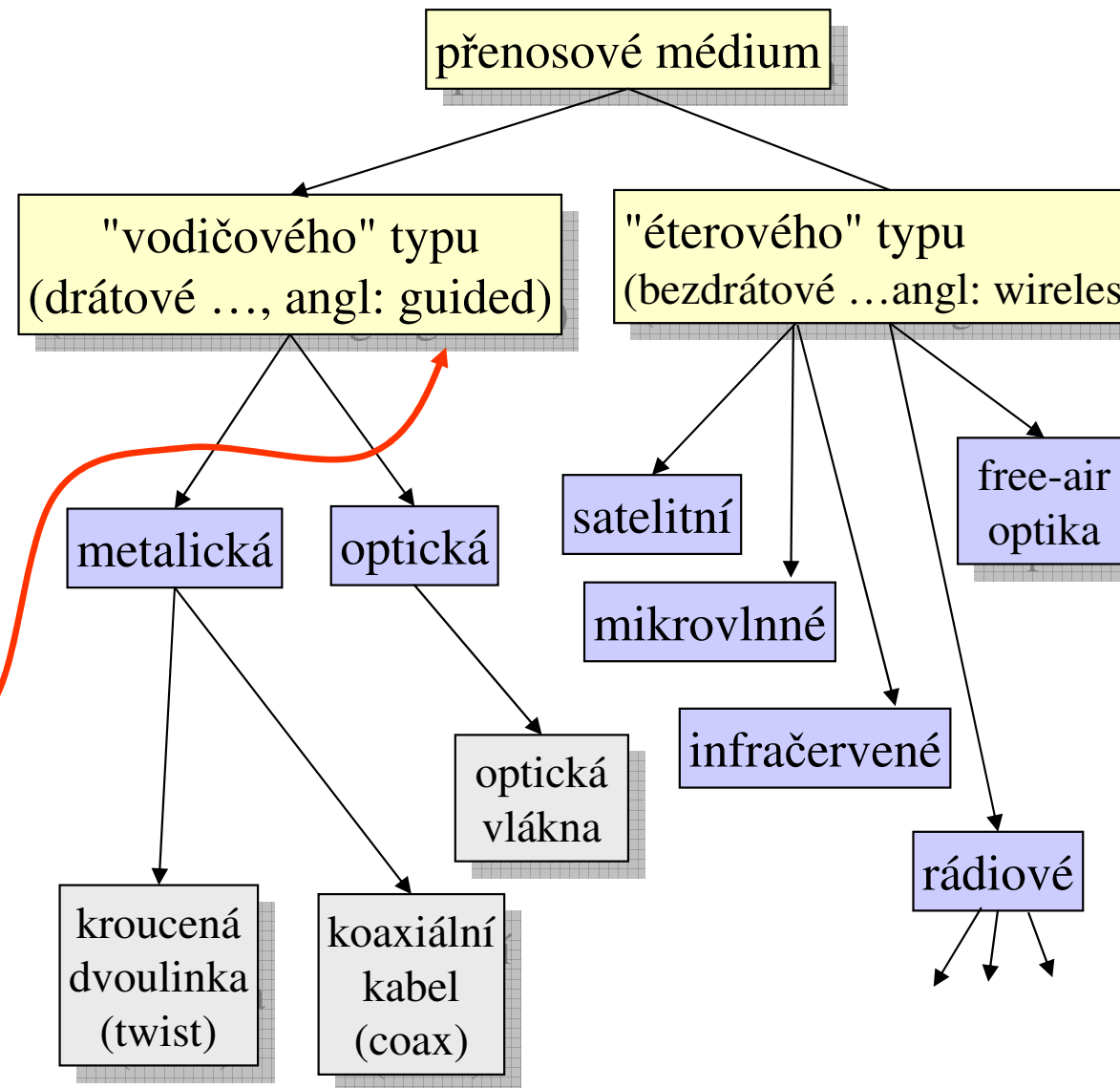
- deformují přenášený signál

- drátová (vodičová) média:

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

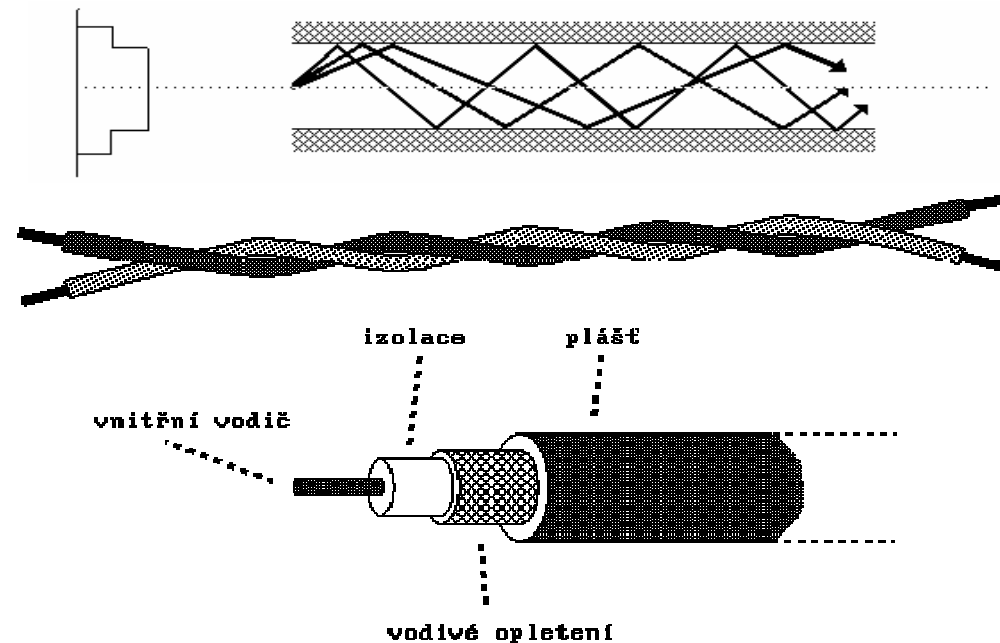
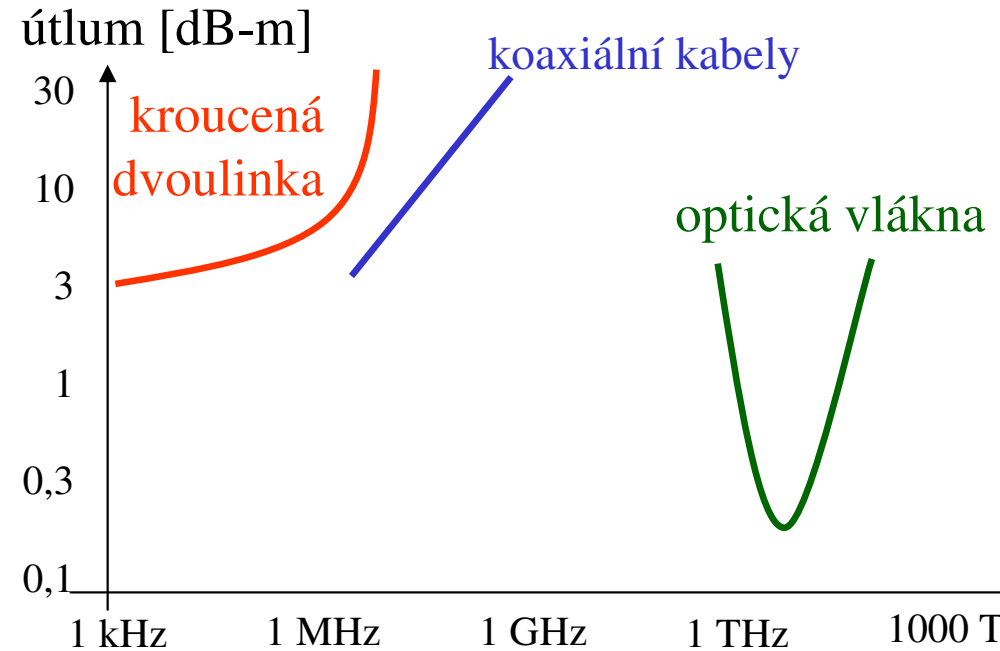
- bezdrátová přenosová média:

- 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 moc se nepoužívají



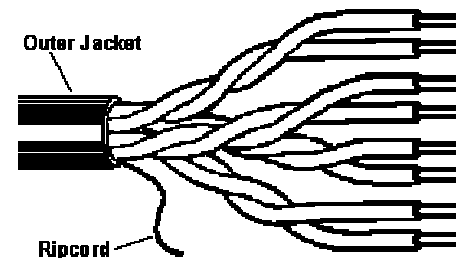
Kroucená dvoulinka, twist

- 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: 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

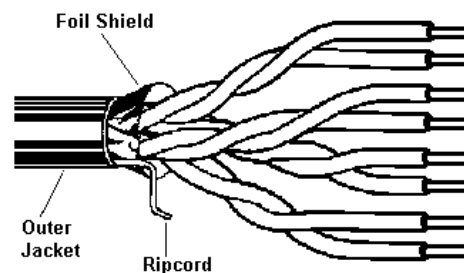
- pro omezení efektu antény ze používá také stínění
 - žádné (UTP, Unshielded TP)
 - všech párů v kabelu, Screened TP)
 - každého páru (STP, Shielded TP)

UTP Cable (4-pair)

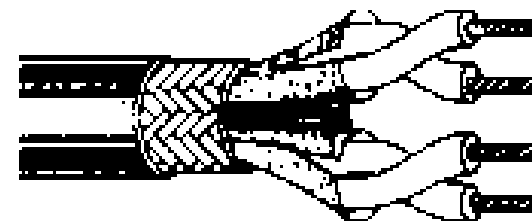


UTP,
Unshielded
Twisted Pair

ScTP Cable (4-pair)

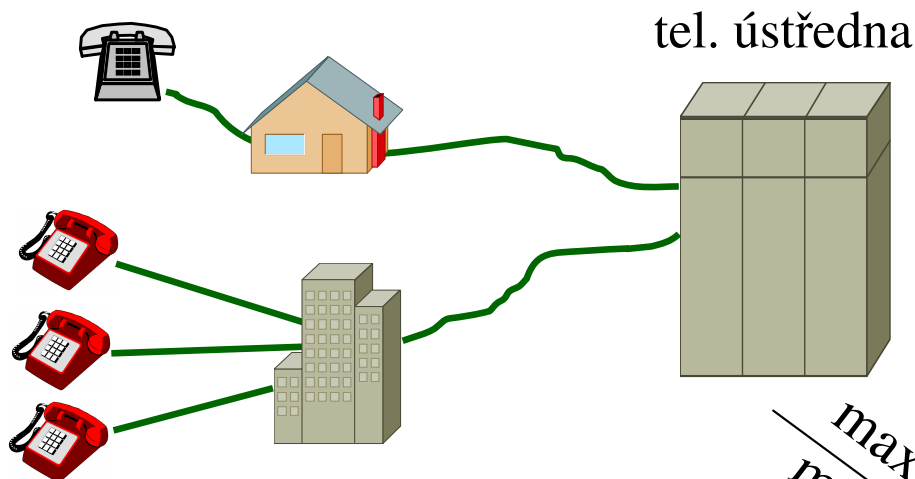
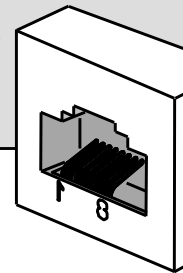


ScTP,
Screened
Twisted Pair



STP,
Shielded
Twisted Pair

Využití kroucené dvoulinky



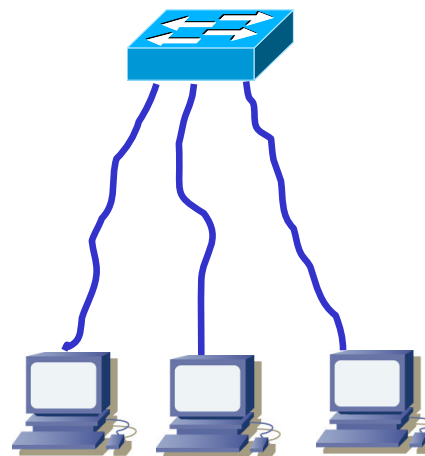
- tradičně:
 - pro realizaci tzv. místní smyčky (účastnického vedení)
 - 2-bodové spojení mezi telefonní ústřednou a telefonní zásuvkou v bytě, kanceláři atd.

- 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

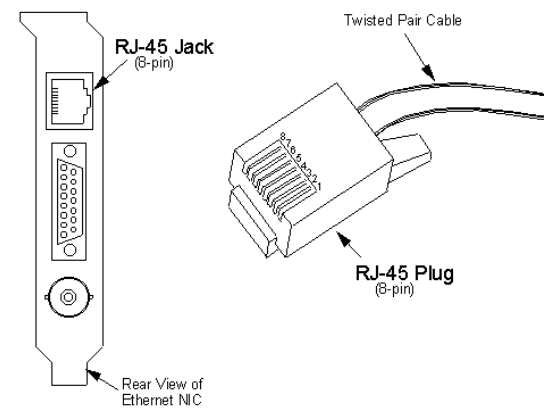
- dnes také:

- 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

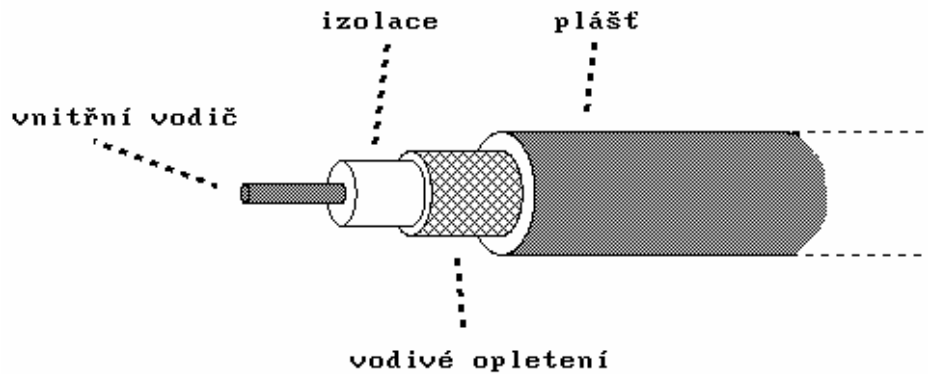
max. stovky metrů
max. kilometry



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 vlákne, část nejbližší 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 nepoužívaní verze 10Broad36

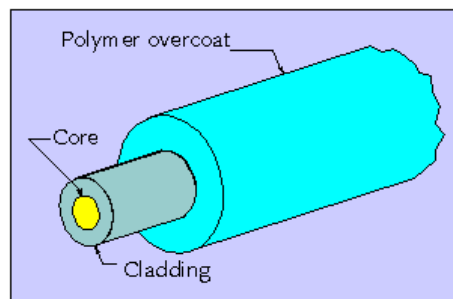
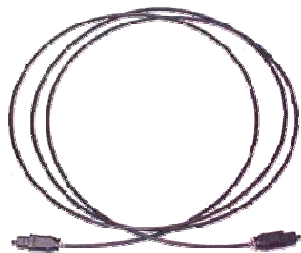


Optická vlákna

- 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 **10⁸MHz!!**
 - nabízí obrovskou šířku přenosového pásma
 - dle Shannonova teorému mohou dosahovat velmi vysokých přenosových rychlostí

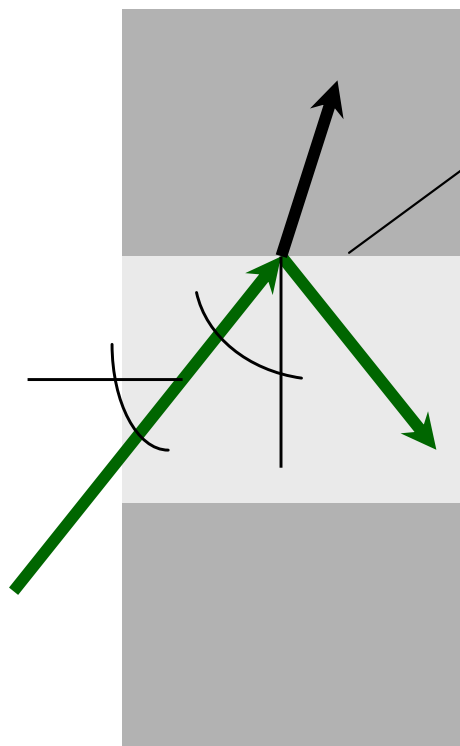
- další přednosti:
 - velmi malý odpor / nízký útlum
 - dosah až desítky/stovky kilometrů
 - žádné elektromagnetické vyzařování
 - lze použít kdekoli
 - necitlivost na vnější elektromagnetické rušení
 - lze použít kdekoli
 - díky tzv. vlnovému multiplexu (technologii WDM, resp. DWDM) lze jedno vlákno 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

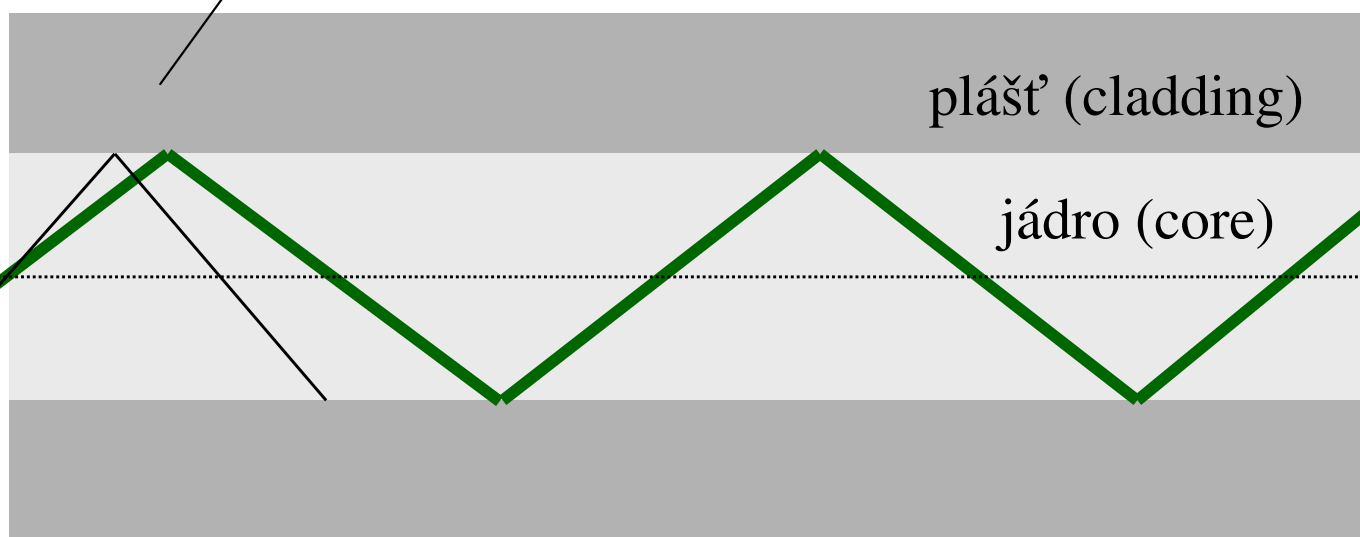


Snellův zákon lomu: část paprsku, která dopadá na rozhraní dvou prostředí s různou optickou hustotou, se odrazí zpět a část prostupuje do druhého prostředí

pokud ale dopadne pod dostatečně malým úhlem (měřeno od osy, tzv. numerická apertura), pak se celý paprsek odrazí!!!!

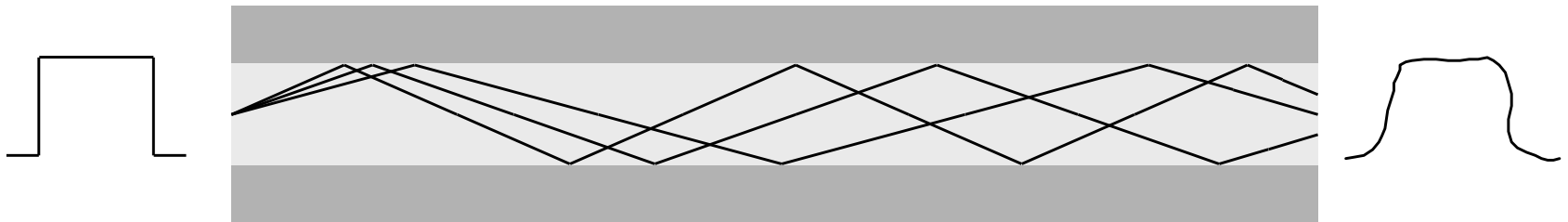
praktické využití: v optickém vlákně dochází jen k samým (úplným) odrazům

tzv.
numerická
apertura



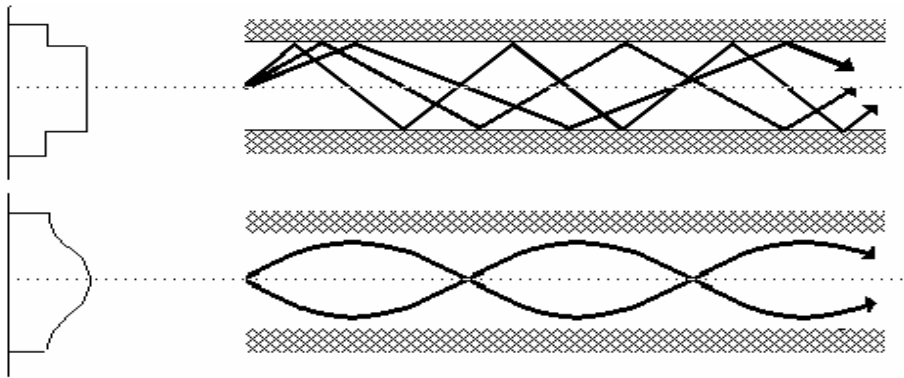
mnohovidová vlákna

- 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 μm , nebo
 - 50/125 μm
- 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 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

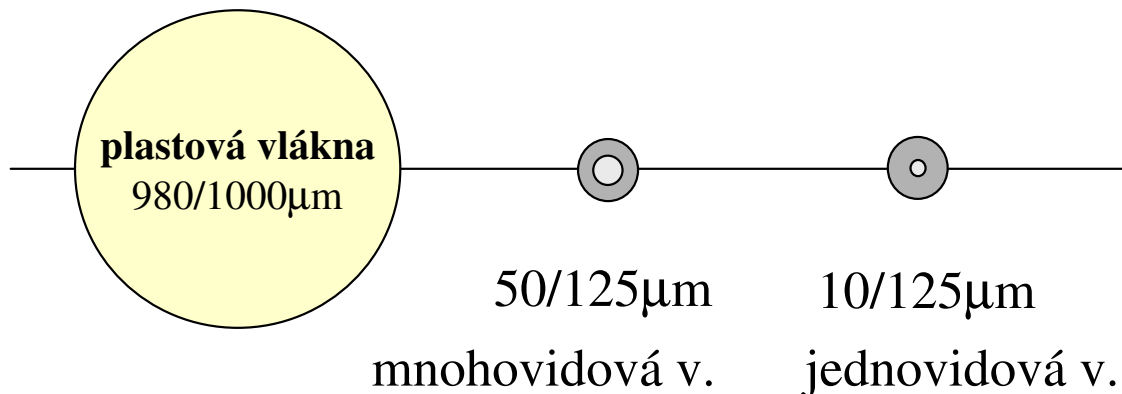
- jádro optického vlákna je z čistého SiO_2
 - a je velmi křehké
 - plášť (obalující jádro) je sám obalen izolační vrstvou (neprůsvitnou)
 - mechanické vlastnosti se zlepšují různým „vyztužováním“
 - např. přidáním kovového drátku
- optické kabely
 - obsahují desítky (až stovky) vláken
 - obsahují i 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

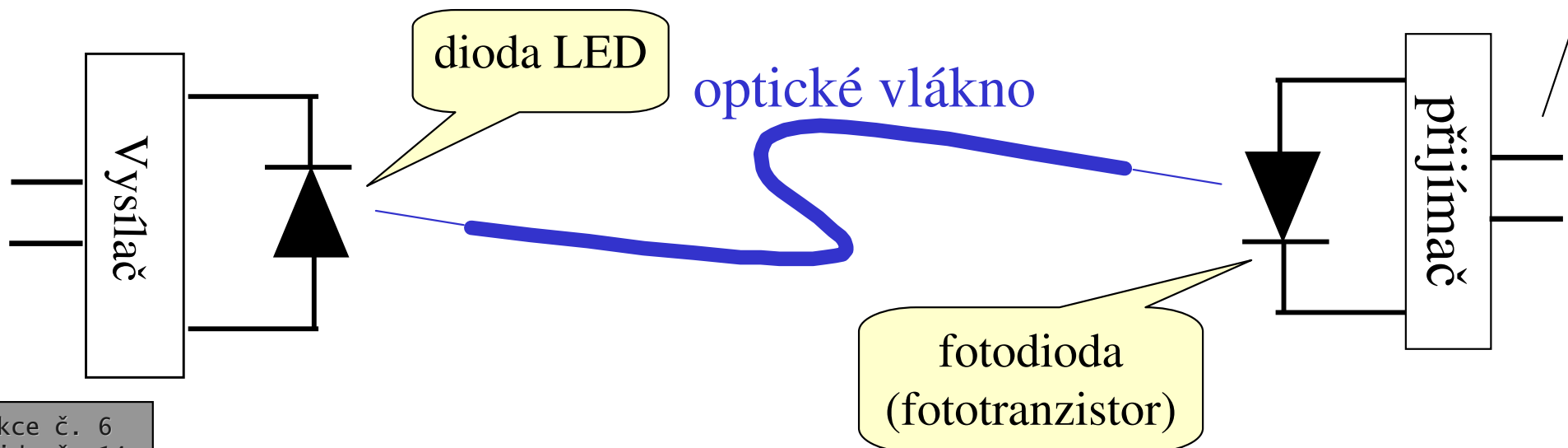
- schopnosti optických technologií se neustále zdokonalují
 - zvětšuje se dosah souvislého úseku optického kabelu, bez nutnosti regenerace (zesilovače)
 - původně jednotky až desítky kilometrů,
 - dnes i stovky kilometrů
 - zvyšují se i přenosové rychlosti
 - Gbit/s nejsou vzácností
 - klesá i cena optických 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.



optické přenosové systémy

- optické vlákno zajišťuje pouze vedení světelného paprsku, nesoucího data
 - je nutné ještě zajistit"
 - zdroj (generování) světla
 - příjem (detekci) světla
 - pak jde o celý **optický přenosový systém**
 - způsob realizace se liší pro jednovidová, mnohovidová, optická vlákna
 - nejjednodušší je pro plastová vlákna
 - i pro mnohovidová stačí LED dioda na straně zdroje světla, a fotodioda či foto tranzistor na straně příjmu
 - pro jednovidová vlákna musí být světlo generováno laserem

stále však dochází k převodu signálu mezi optickou a elektronickou podobou



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 metastabilní 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 základě vnějšího působení (např. měnící se svuj 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: λ [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

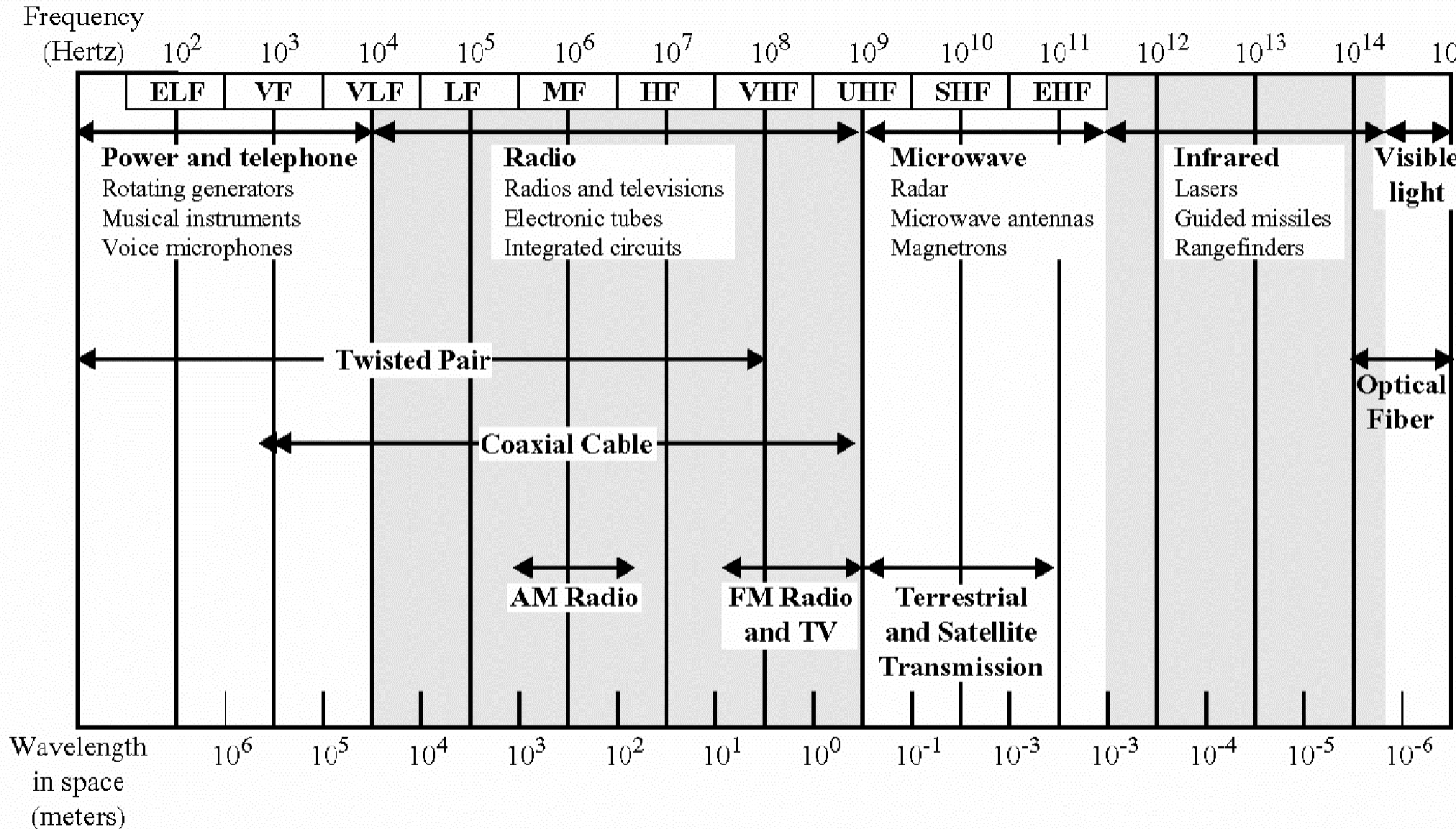
(NMT – 450 MHz, GSM – 900, 1800 MHz
UMTS: 2 GHz)

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
 - podmínky využití jsou určeny tzv. generální licencí
 - 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)
 - (do budoucna snad) 5 GHz (pro Wi-Fi 802.11h)

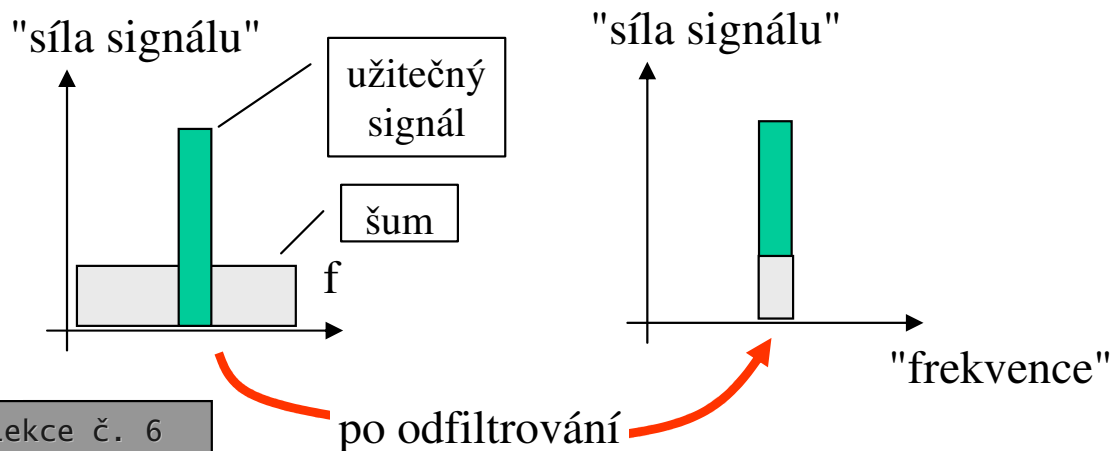
problémy bezdrátových přenosů

- 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 spektra"
- 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 rznými sítěmi – např. GSM a UMTS
- jak zajistit "portabilitu"
 - např. aby koncová zařízení vydržela s napájením
 - regulací vysílacího výkonu)
- jak zajistit kvalitu služeb?
 - spolehlivost, pravidelnost doručování, nízkou latenci, ...

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

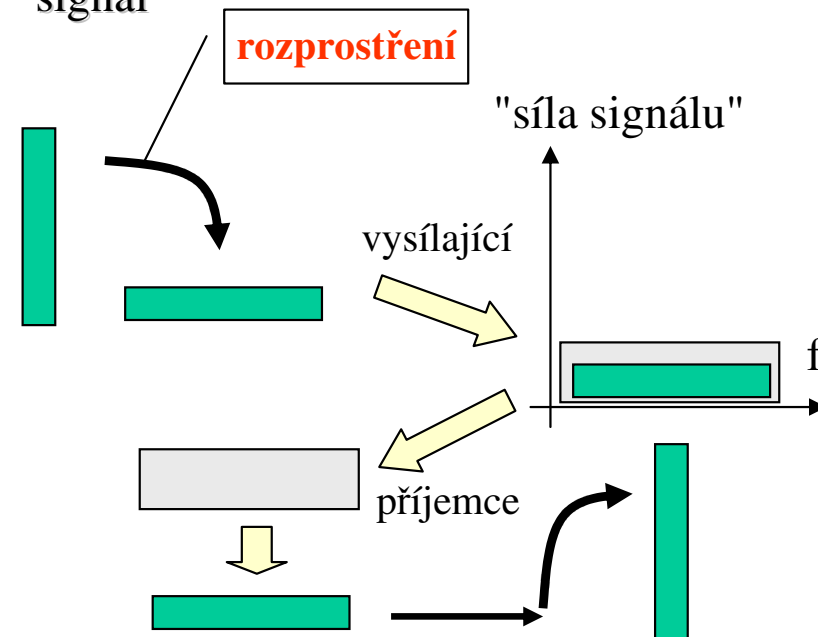
• vysílání v úzkém pásmu

- 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"

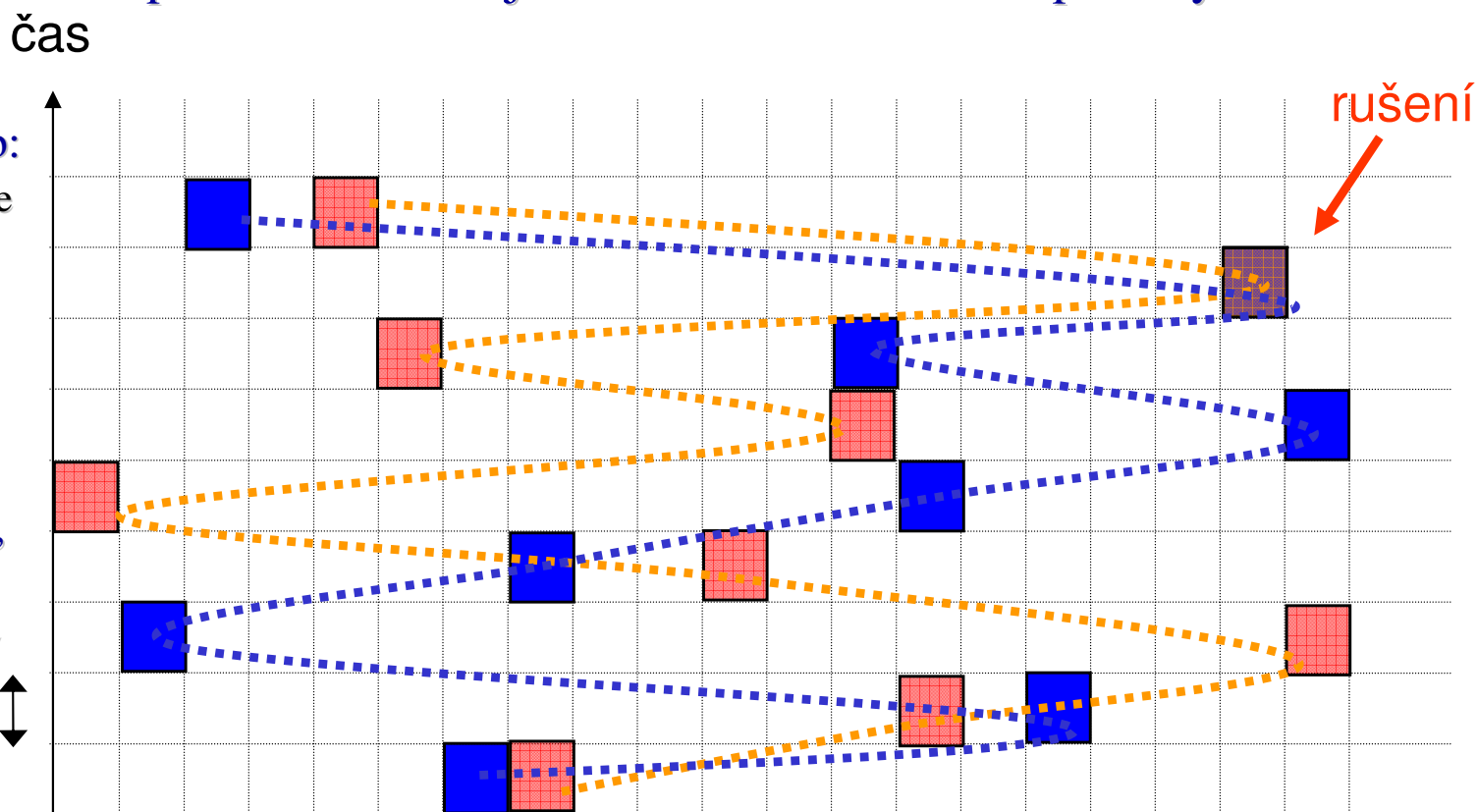


techniky vysílání v rozprostřeném spektru (Spread Spectrum)

- **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

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

Wi-Fi: 400 ms \updownarrow



Direct Sequence Spread Spectrum - představa fungování

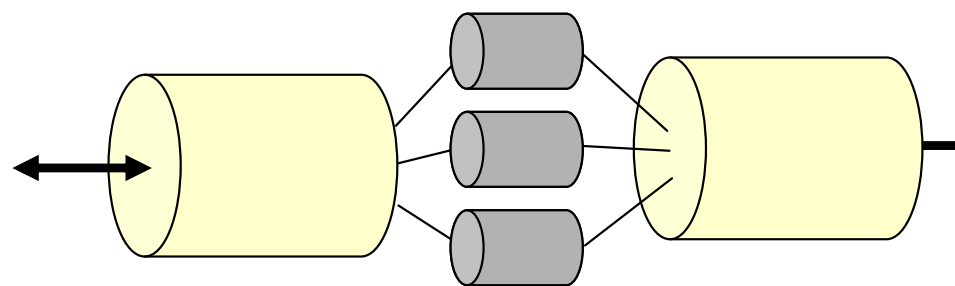
- vysílač místo 1 bitu vyšle n bitů
 - kde n je šířka tzv. chipu (úlomku)
 - příklad (bipolární):
 - je-li je chipping kód roven:
 - $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$
 - pro 1 vyšle $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$
 - pro 0 vyšle $-c_1, -c_2, -c_3, -c_4, -c_5, -c_6$
- tím "zabere" n * větší šířku přenosového 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 v 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)!!

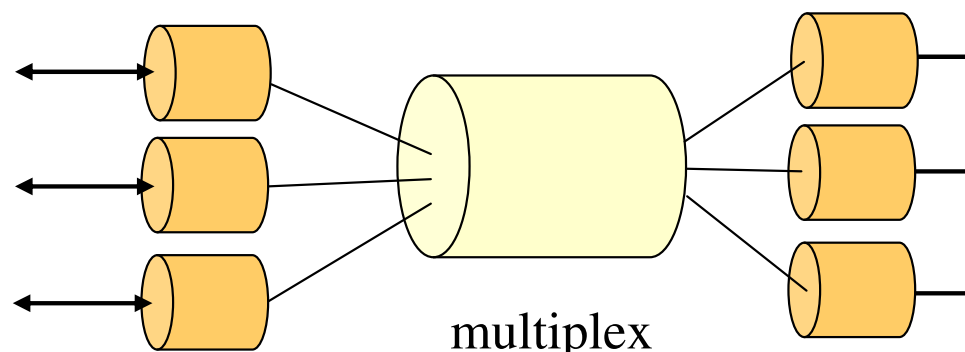
multiplex a inverzní multiplex

- 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)

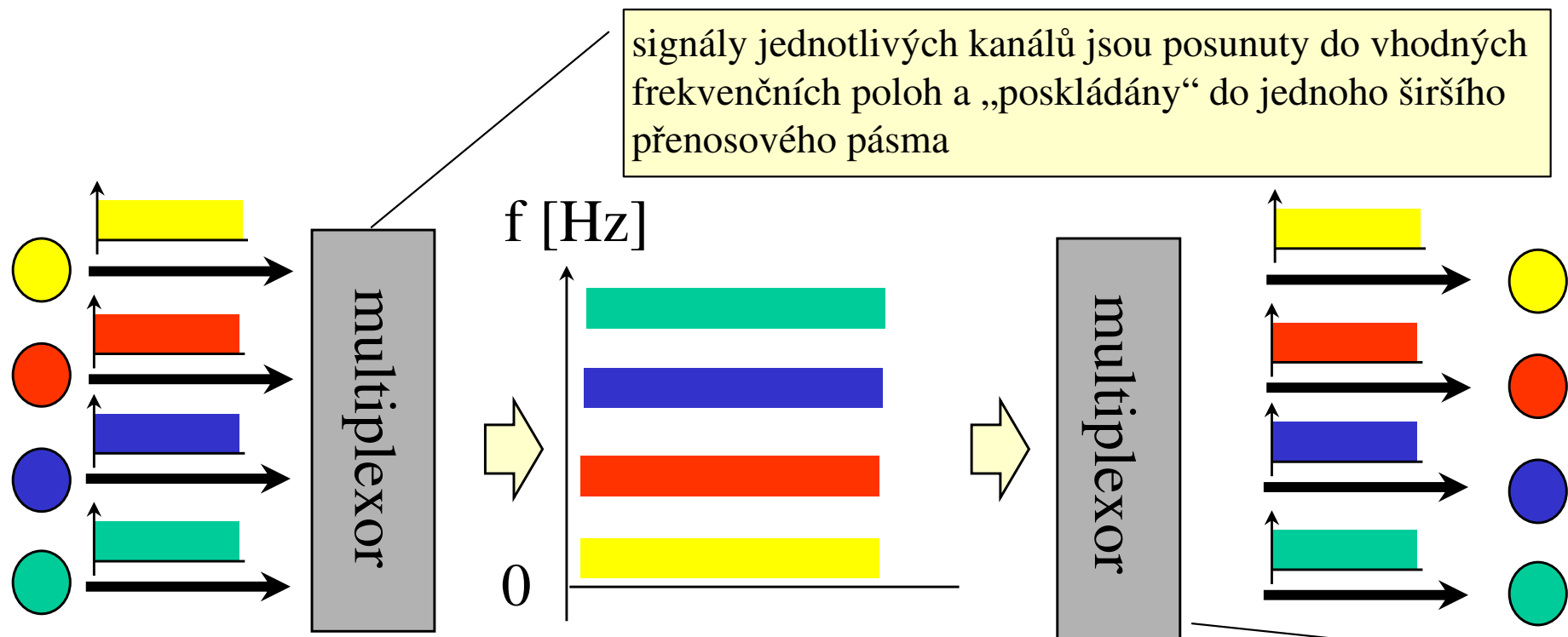


inverzní multiplex

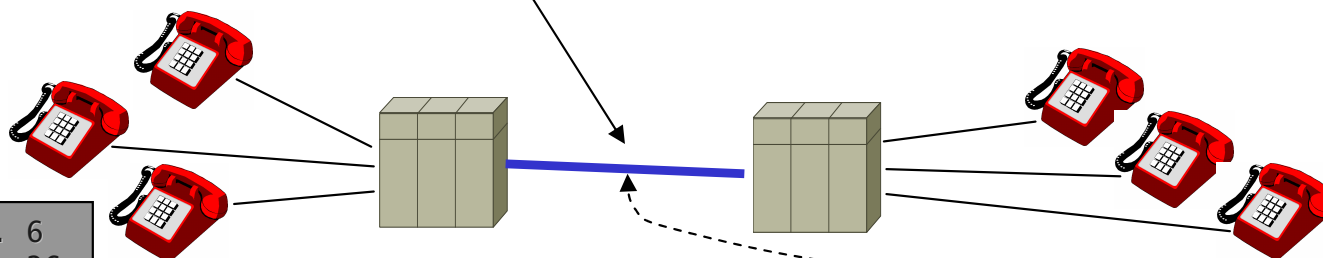


multiplex

Představa frekvenčního multiplexu



- je to analogová technika
- používala se například v analogových telefonních sítích, pro vzájemné propojení telefonních ústředí

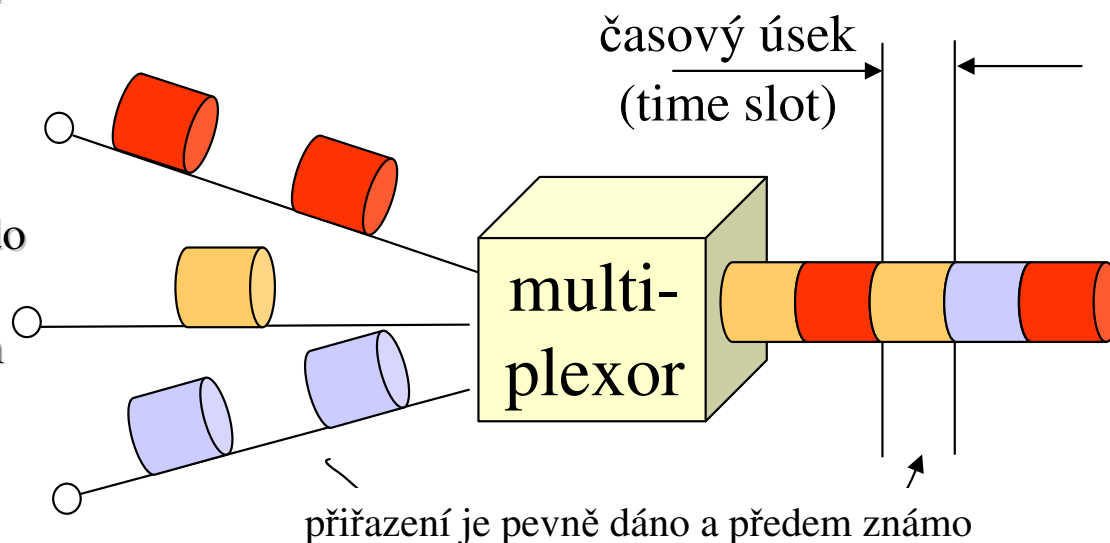


jednotlivé složky jsou „vyextrahovány“ a vráceny do původní frekvenční polohy

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

Časový multiplex (TDMA, Time Division Multiplexing)

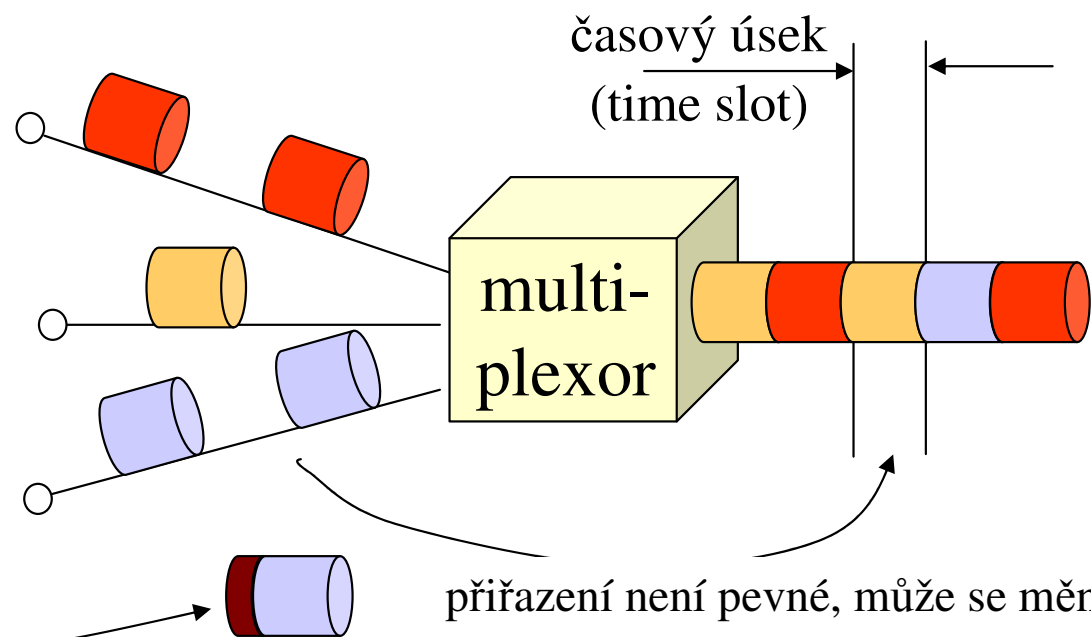
- je to digitální technika
 - představa: přenosová cesta se rozdělí v čase na "časová okna" (time slots) a ty se napevno přiřadí jednotlivým vstupům
 - během každého časového okna se celá přenosová cesta věnuje výhradně přenosu dat z daného vstupu
 - celková přenosová kapacita se tak dělí v poměru, v 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

- 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



- musí říkat, komu patří - **musí mít hlavičku**

Kódový multiplex

(CDM, Code Division Multiplexing, CDMA)

- základní myšlenka:
 - disponibilní přenosová kapacita se nebude dělit, ale použije se celá (najednou)
 - 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: 0 (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:

- (-1, 1, -3, 3, 1, -1, -1, 1)
- * (-1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1)
- = (1, 1, 3, 3, 1, -1, 1, -1)

- součet je 8, děleno 8 je 1

- uzel C přenášel bit 1 !!!

- pokračování:

- A: 1 (-1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, 1)
- B: 0 (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:

- (1, -1, -1, 1, -1, -3, 1, 3)
- * (-1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1)
- = (-1, -1, 1, 1, -1, -3, -1, -3)

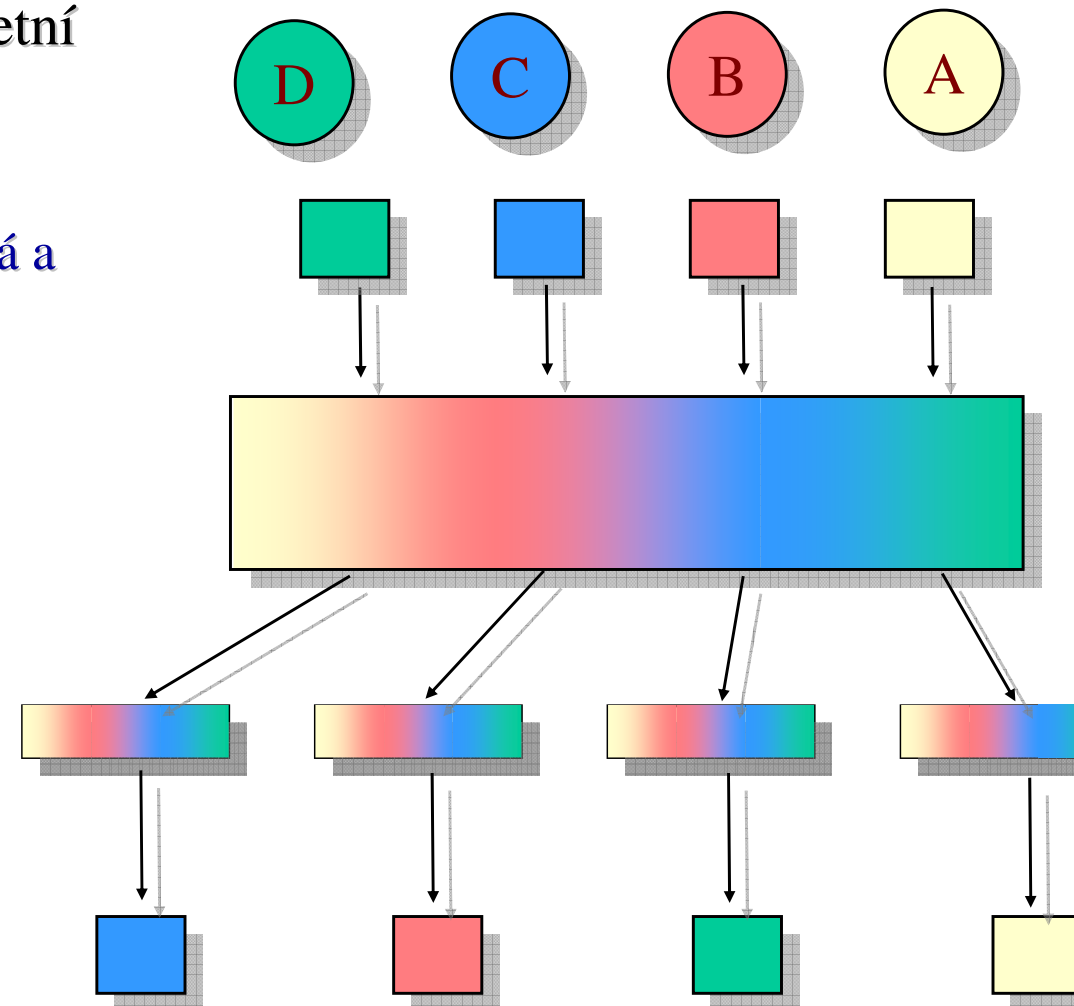
- součet je -8, děleno 8 je -1

- 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 odesílatele i u příjemce
 - tato výpočetní kapacita je ale laciná a snadno dostupná
 - zatímco frekvence jsou striktně omezeným zdrojem!!
- využívá se u mobilních sítí 2. generace
 - předpokládá se že bude použit u mobilních sítí 3. generace
 - UMTS

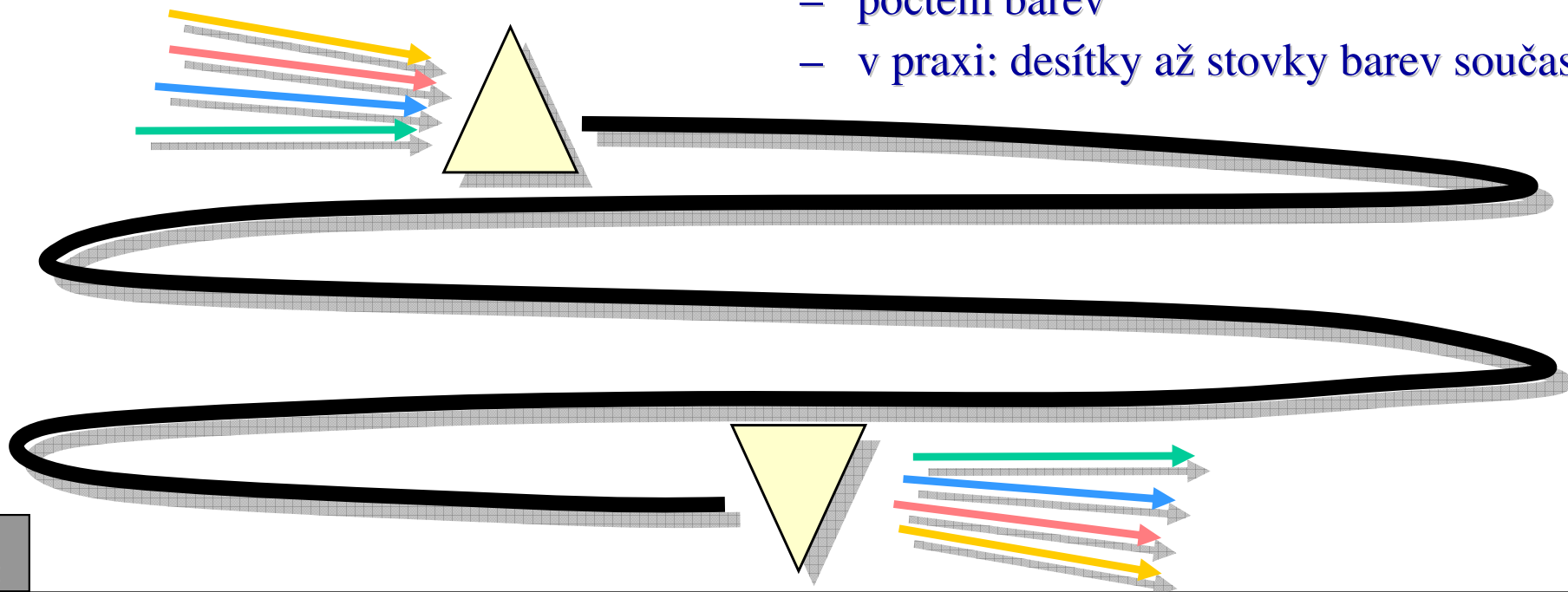
- v ČR použití v rámci služby Eurotel Data Expres
 - CDMA2000 1xEV-DO



Vlnový multiplex

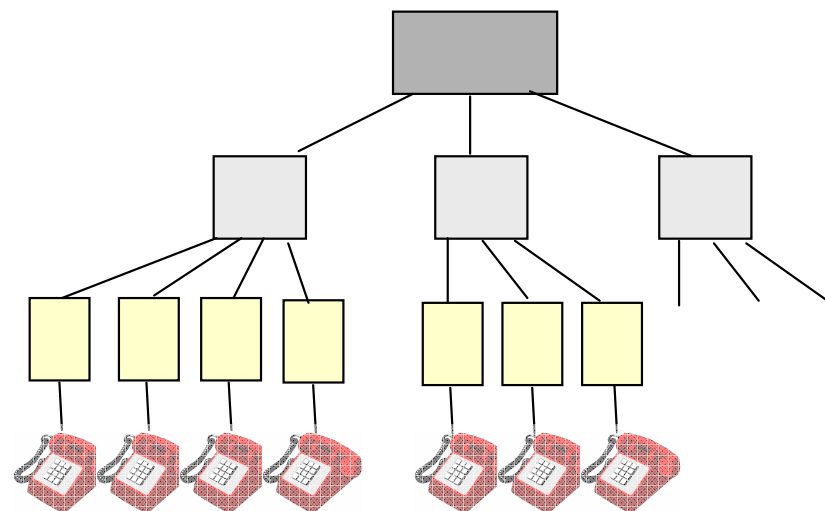
WDM – Wavelength Division Multiplexing

- 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 – **rámců**
 - na principu časového multiplexu (TDM)
 - je to hierarchické, s více "patry"
 - vzniká celá tzv. **digitální hierarchie**
- existují dva druhy digitálních hierarchií:
 - starší **plesiochronní hierarchie (PDH)**
 - novější **synchronní 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

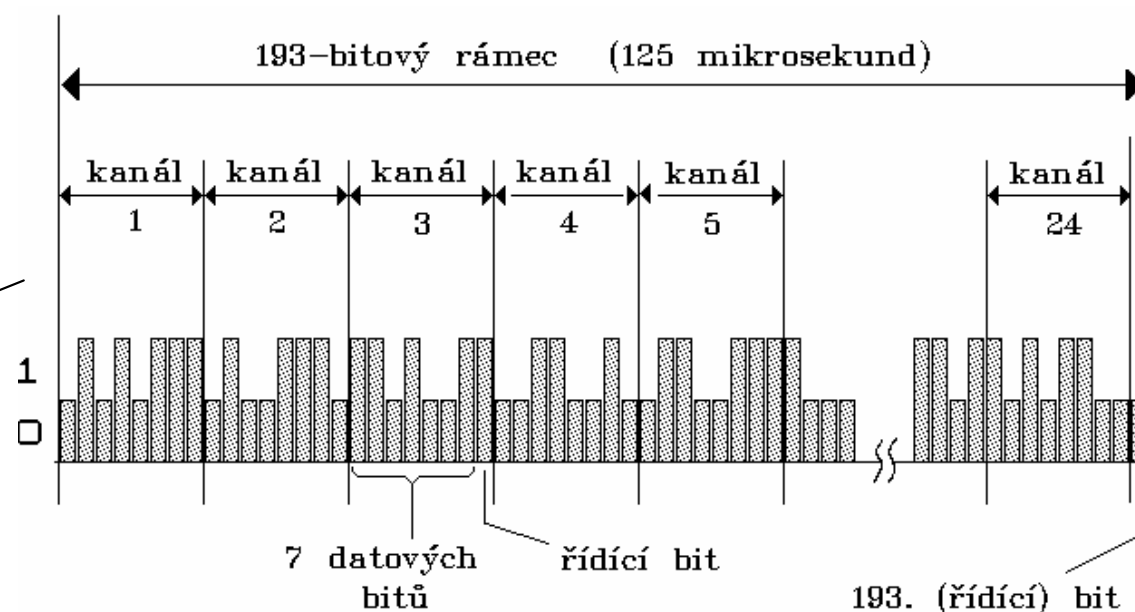
| Řád | Přenosová rychlost | Počet kanálů 64 kbps |
|---------|--------------------|-------------------------|
| 0. (T0) | 64 kbit/s | 1 |
| 1. (T1) | 1,544 Mbit/s | 24x EO |
| 2. (T2) | 6,312 Mbit/s | 96x EO |
| 3. (T3) | 44,736 Mbit/s | 672x EO |
| 4. (T4) | 274,176 Mbit/s | 4032x EO |

Evropa

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

formát rámce E1

(opakuje se 8000x za sekundu, tj. každých 125 μ s)



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 ...

