



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



Lekce 6: Základy datových komunikací – II.

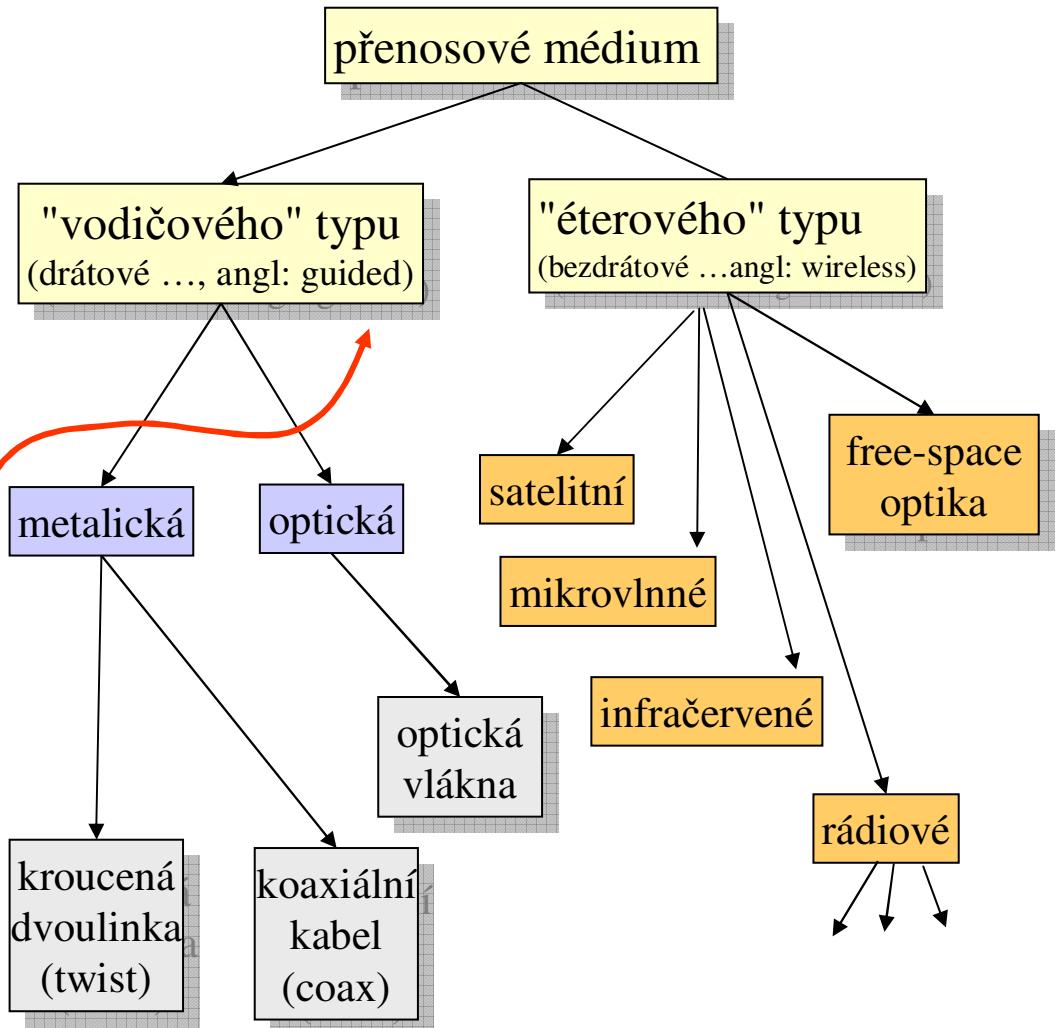
Jiří Peterka, 2005

Připomenutí

- přenosová rychlosť (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 rychlosť
- přenosový výkon, efektivní přenosová rychlosť
 - vypovídá o tom, kolik "užitečných dat" se přenese za delší časový interval
- modulační rychlosť (symbolová rychlosť, 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 $v_{modulační} = 2 * \text{šířka pásma}$
- na čem závisí schopnost přenášet data?
 - na šířce přenosového pásma a na odstupu signálu od šumu (C. Shannon)
 - $\max(v_{přenosová}) = \text{š.p.} * \log_2(1+S/N)$
 - (limit) nezávisí na použité technologii a technikách přenosu

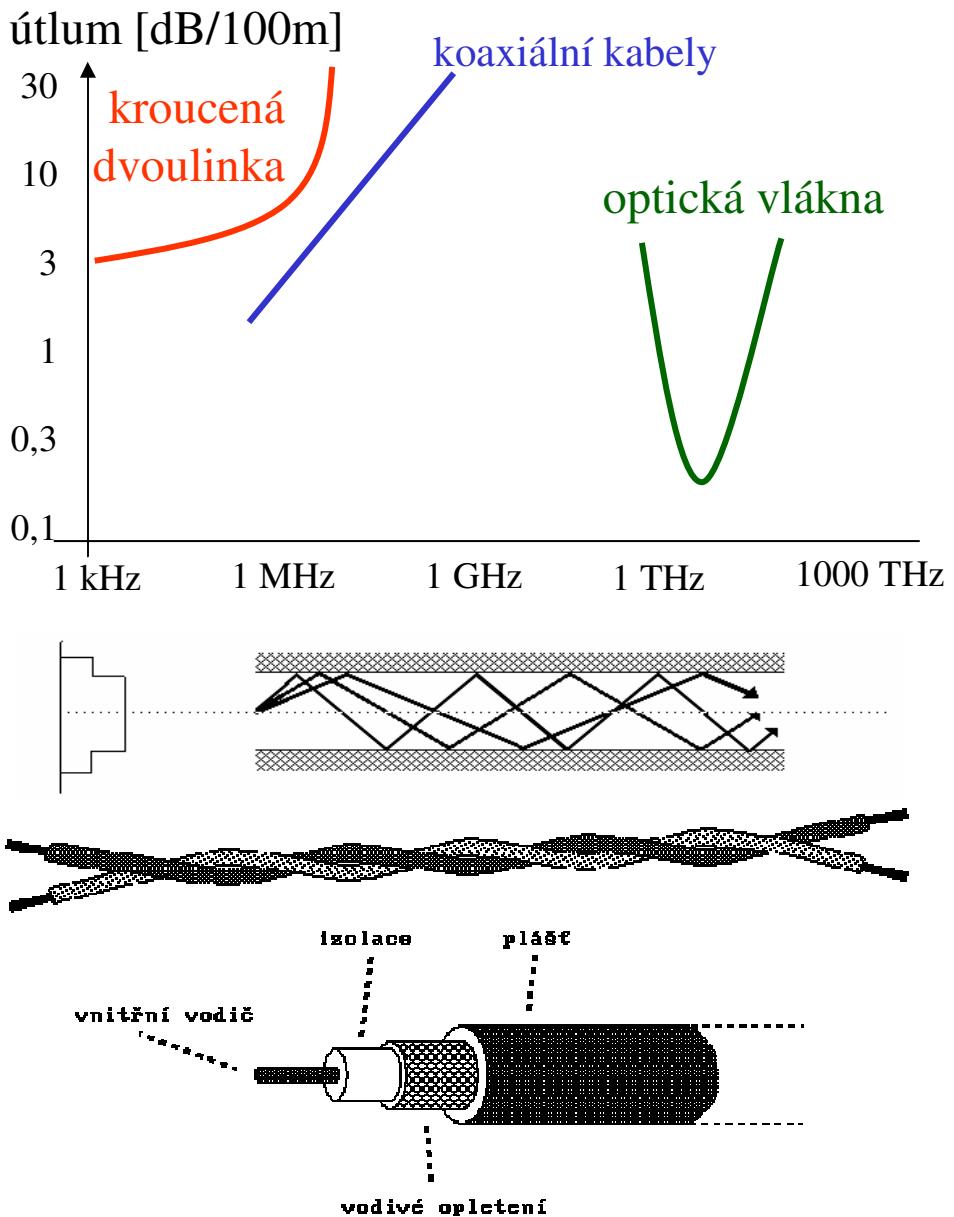
Přenosová média

- 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 médií

- 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 ...



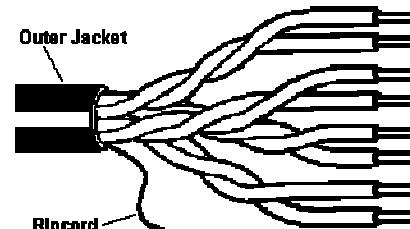
Kroucená dvoulinka, twist

- 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: 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

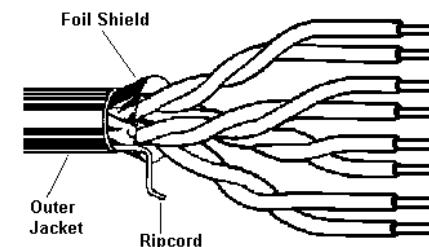
- pro omezení efektu antény ze používá také stínění
 - žádné (UTP, Unshielded TP)
 - všech párů v kabelu, Screened TP)
 - každého páru (STP, Shielded TP)

UTP Cable (4-pair)

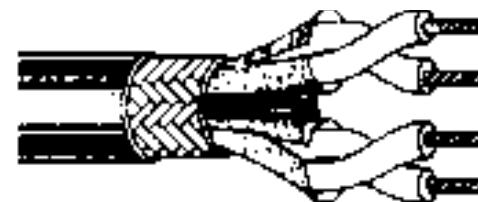


UTP,
Unshielded
Twisted Pair

ScTP Cable (4-pair)

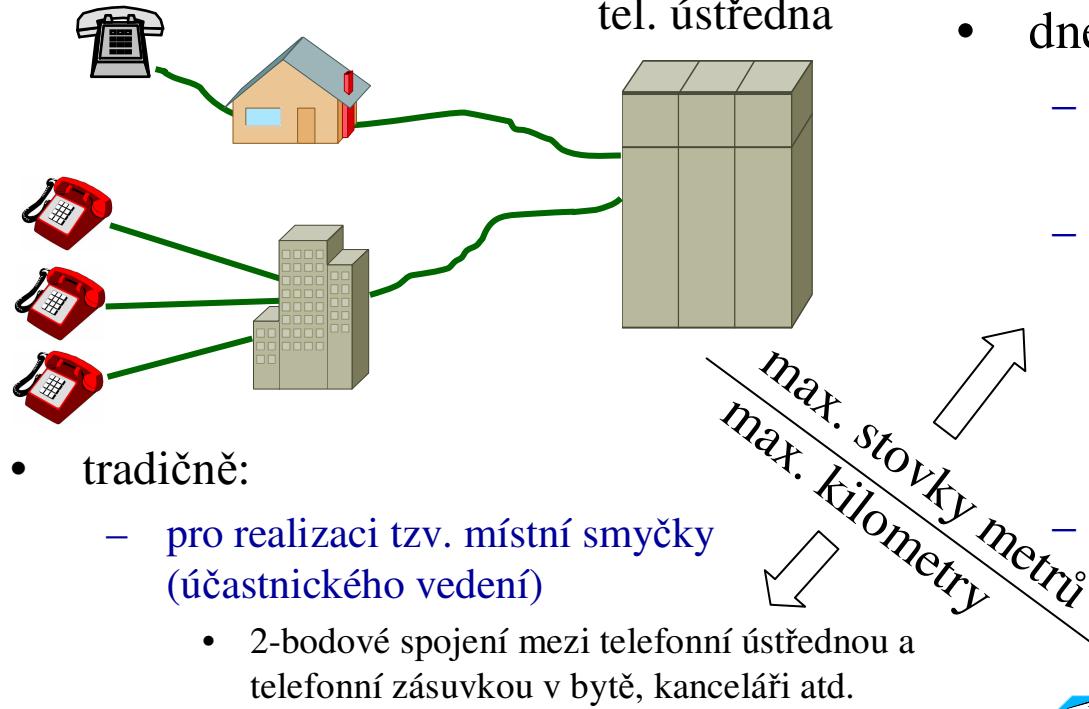
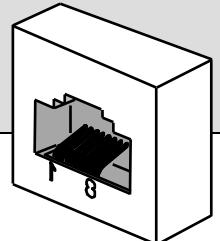


ScTP,
Screened
Twisted Pair



STP,
Shielded
Twisted Pair

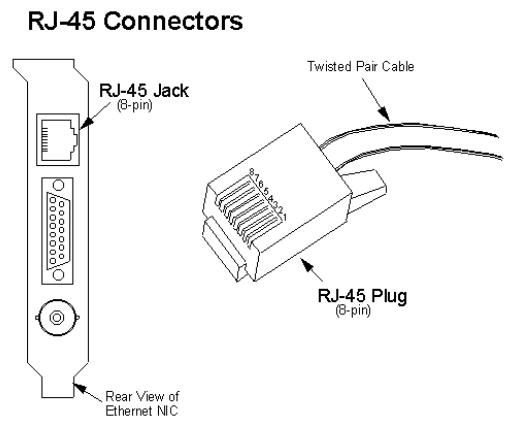
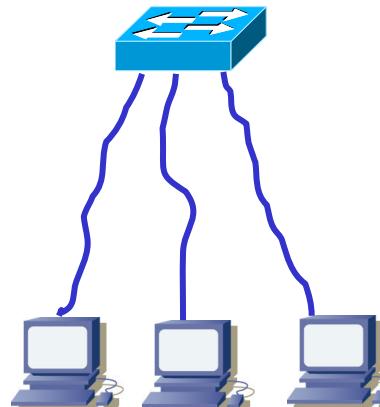
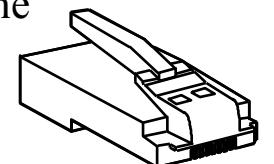
Využití kroucené dvoulinky



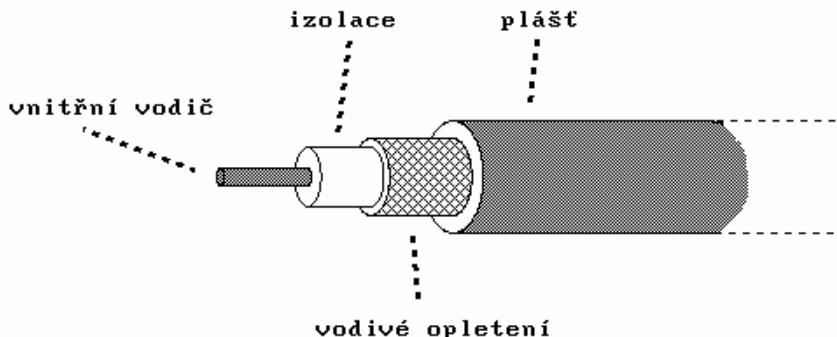
- tradičně:
 - pro realizaci tzv. místní smyčky (účastnického vedení)
 - 2-bodové spojení mezi telefonní ústřednou a telefonní zásuvkou v bytě, kanceláři atd.
- nověji:
 - pro (redundantní) telefonní rozvody v rámci objektů, od pobočkové tel. ústředny (PBX)
 - používá se tzv. "voice grade" (hlasová, 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 "prokabelovalo" hodně redundantně
- topologie je stromovitá
 - kroucená dvoulinka umožňuje vytvářet pouze dvoubodové spoje



koaxiální kabely



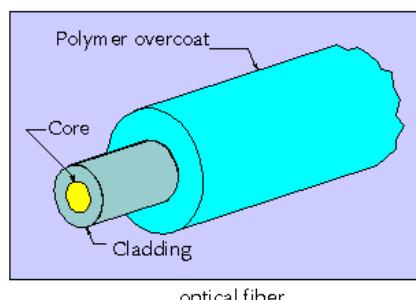
- koaxiální kabel tvoří dva soustředné (co-axialní) vodiče
 - vnitřní (středový) vodič
 - vodivé opletení
 - současně slouží jako stínění
- vlastnosti:
 - díky stínění méně vyzařuje
 - vyšší odolnost proti vyzařování a interferenci
 - lze využít na větší vzdálenosti
 - řádově kilometry
 - lze využít 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 nejblíže 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 sběrnicovou topologii
 - existují dvě verze Ethernetu (10Base5 a 10Base2) pro koaxiální kabel
 - plus již nepoužívaní verze 10Broad36

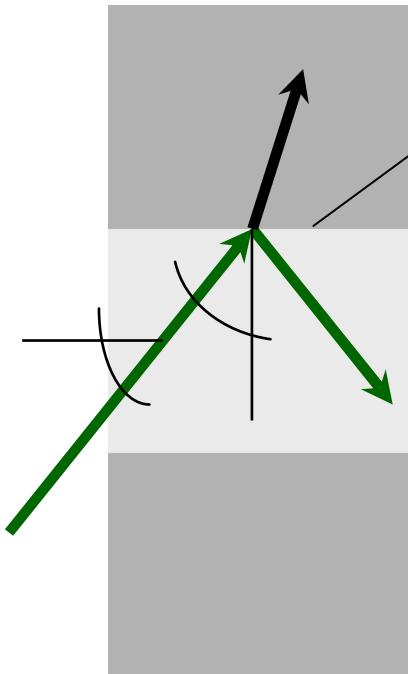


Optická vlákna

- optická vlákna mají stálé 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
 - **zádné elektromagnetické vyzařování**
 - lze použít kdekoli
 - **necitlivost na vnější elektromagnetické rušení**
 - lze použít kdekoli
 - díky tzv. vlnovému multiplexu (technologií 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 konektorování**



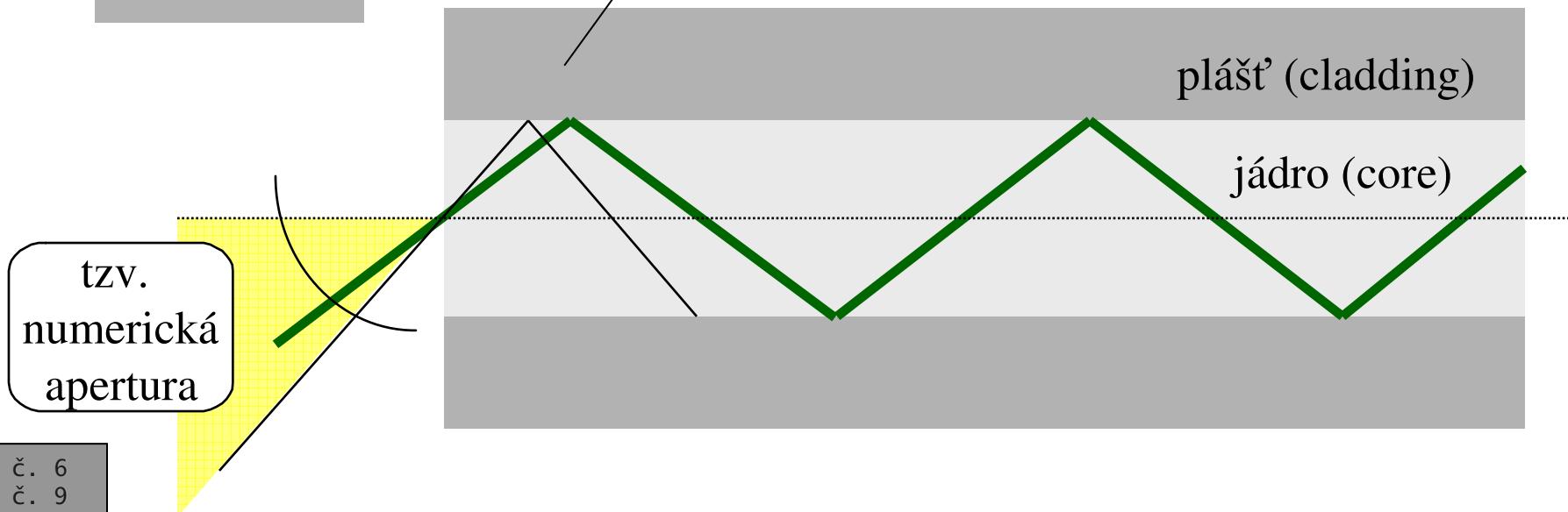
Princip vedení světla optickým vláknem



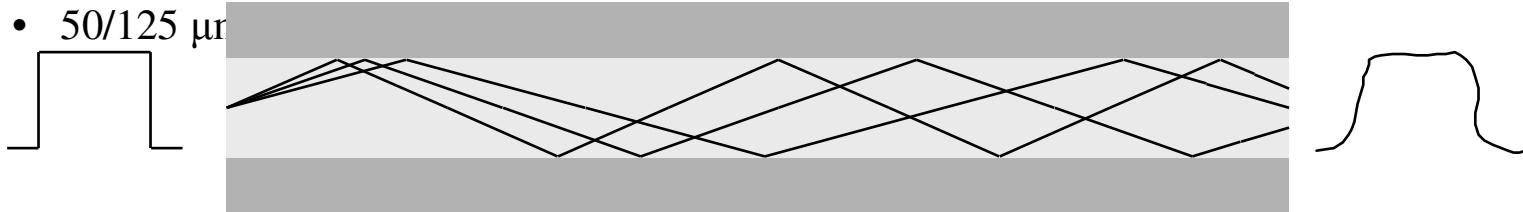
Schnellův zákon lomu: část paprsku, která dopadá na rozhraní dvou prostředí s různou optickou hustotou, se odráží zpět a část prostupuje do druhého prostředí

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

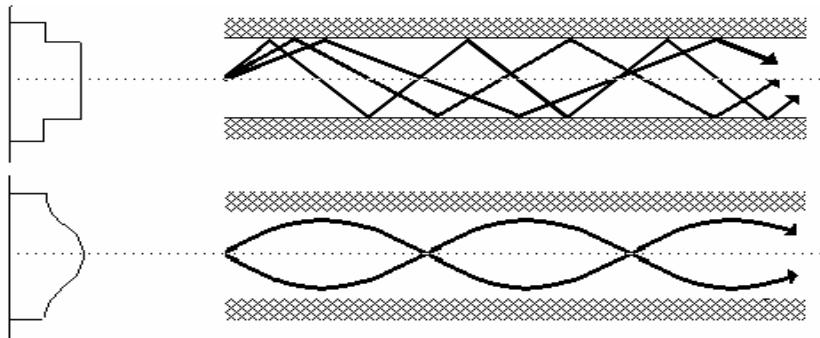
praktické využití: v optickém vlákně dochází jen k samým (úplným) odrazům



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 vánka* (multimode fiber)
 - přenáší "užitečný signál" pomocí více vidů současně
 - jádro/plášt':
 - 62.5/125 μm , nebo
 - 50/125 μm
- A diagram illustrating multimode fiber dispersion. It shows a cross-section of a fiber core with several light rays entering from the left. These rays follow different paths through the core due to internal reflection at the core-cladding boundary. The rays emerge from the right side at different times, creating a spread-out pattern. To the left of the fiber, there is a square pulse representing the input signal. To the right, there is a corresponding multi-peaked output signal, representing the dispersed light.
- 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 rychlos**
 - použití je lacinější
 - kabely jsou lacinější
 - konektorování 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 deformauje 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

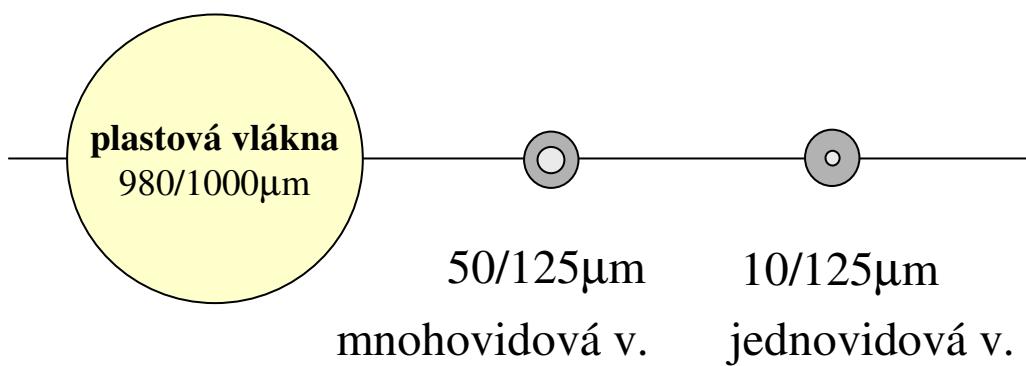
- jádro optického vlákna je z čistého SiO_2
 - a je velmi křehké
 - plášť (obalující jádro) je sám obalen izolační vrstvou (neprůsvitnou)
 - mechanické vlastnosti se zlepšují různým „vyzkužováním“
 - např. přidáním kovového drátka
- optické kabely
 - obsahují desítky (až stovky) vláken
 - obsahují i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

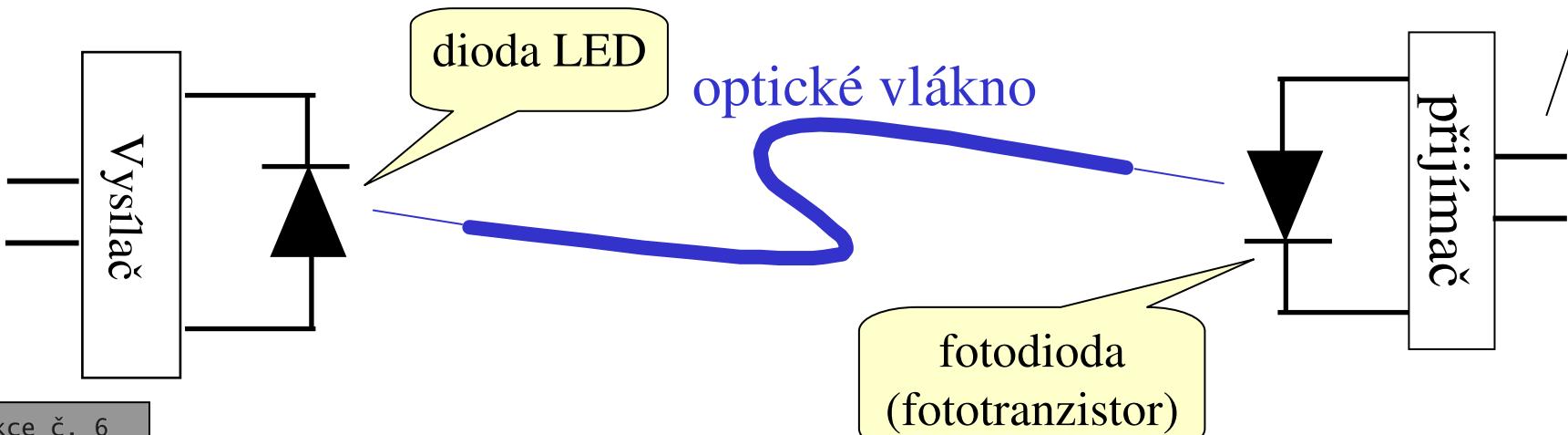
plastová optická vlákna

- 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 plášt' 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



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
 - rychlosť 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 $c \approx 300 000$ 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 směrovat
 - 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

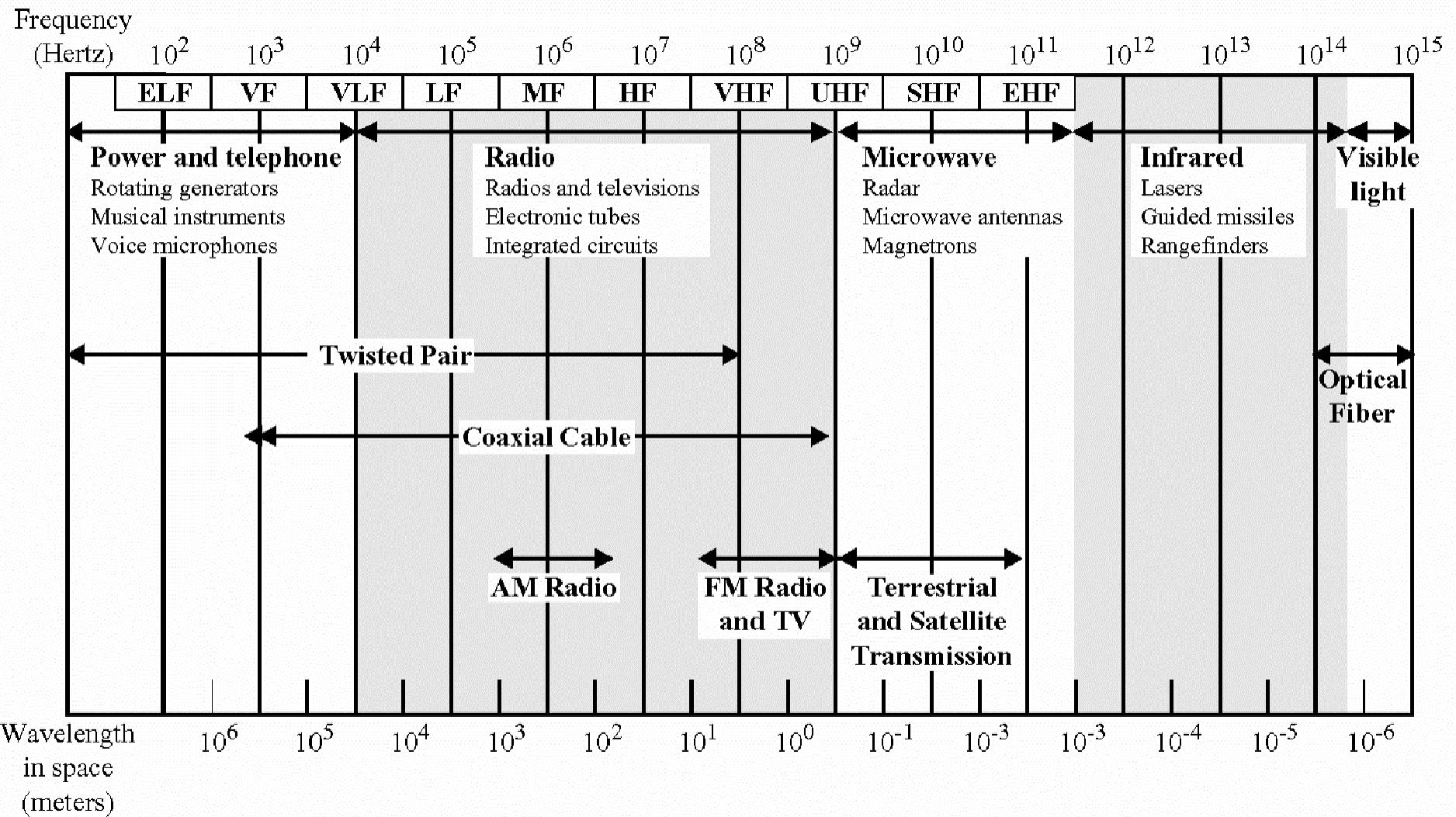
(NMT – 450 MHz, GSM – 900, 1800 MHz,
UMTS: 2 GHz)

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

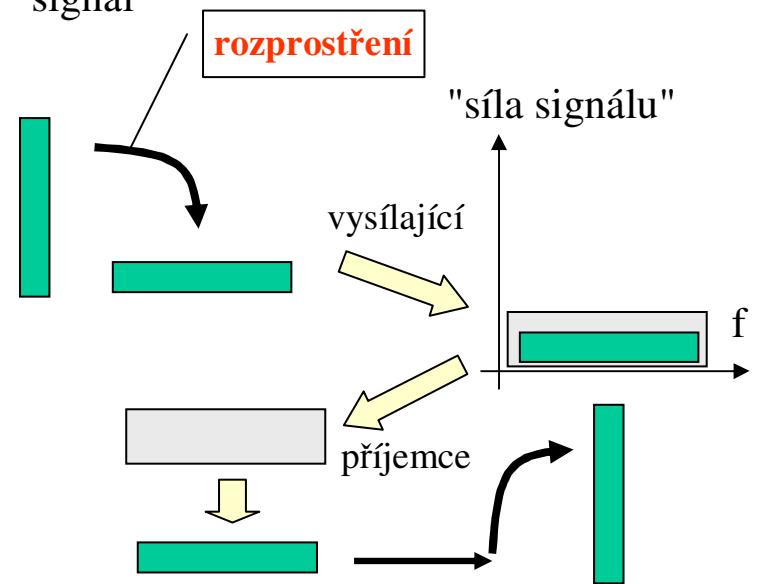
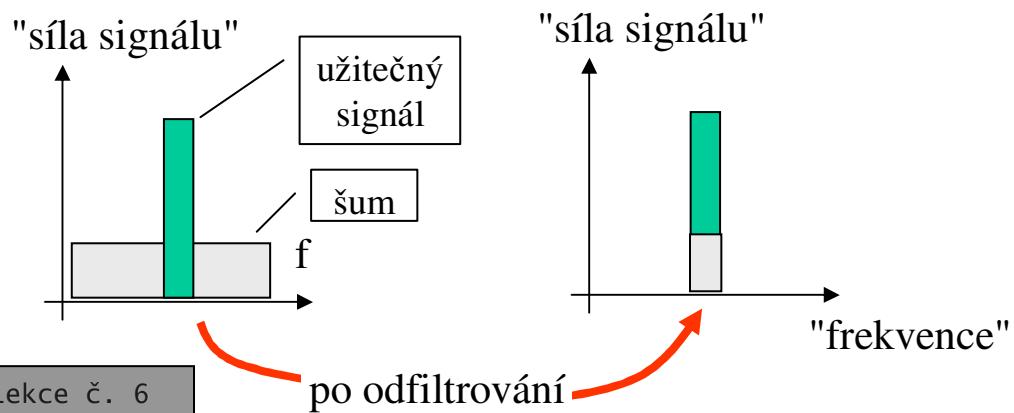
- frekvence (kmitočty) jsou omezeným přírodním zdrojem
 - je nutné s nimi pečlivě hospodařit
 - správcem kmitočtového spektra v ČR je ČTÚ (Český telekomunikační úřad)
 - spolupracuje se zahraničními subjekty a je vázán mezinárodními dohodami, úmluvami atd.
 - provádí tzv. koordinaci kmitočtů se zahraničím
 - vydává "národní kmitočtovou tabulkou"
 - 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,g)
 - 5 GHz (pro Wi-Fi 802.11h)

problémy bezdrátových přenosů

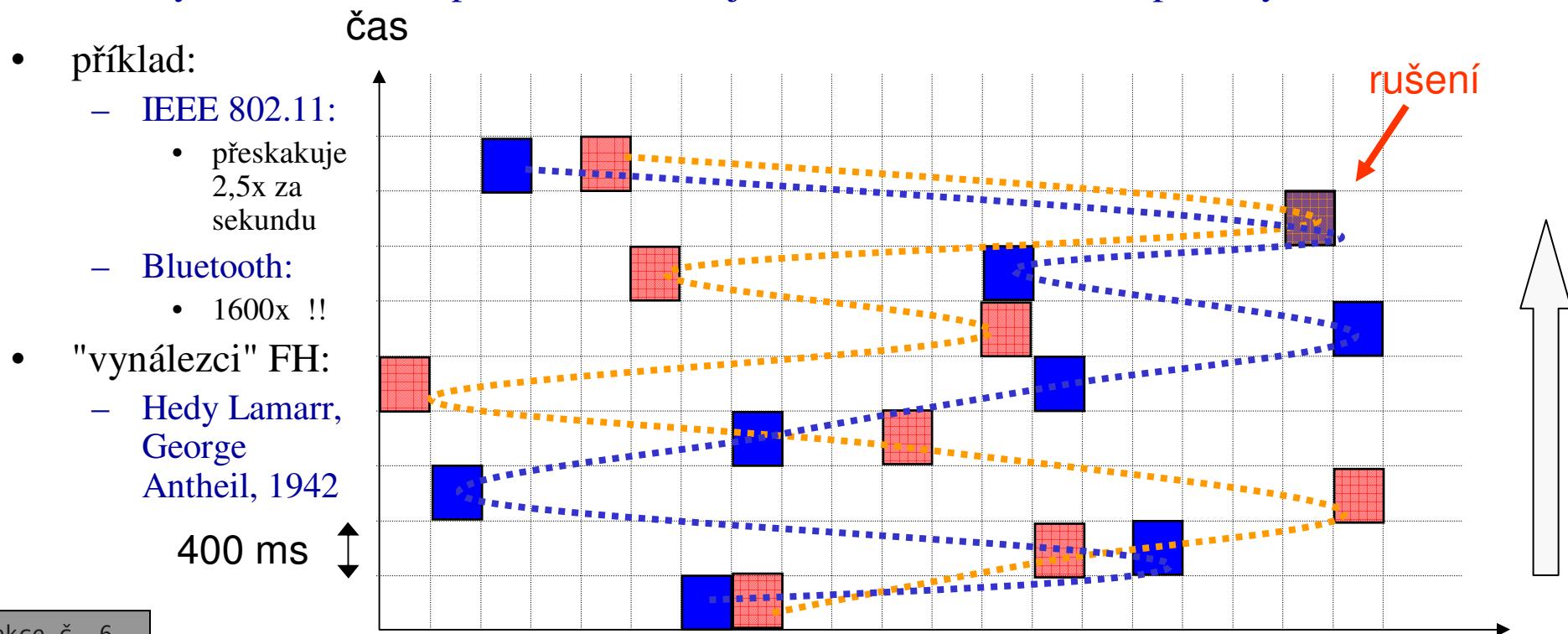
- jak se vyrovnat s omezeným rozsahem frekvencí?
 - opakováním použitím stejných frekvencí, na buňkovém principu
 - používají hlavně mobilní sítě (NMT, GSM, UMTS, ...)
 - alternativa: trunkové sítě
- jak se vyrovnat s náhodným rušením?
 - s tzv. bílým šumem, s různými interferencemi
 - řeší se tzv. rozprostřením 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"



- **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 stejně 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



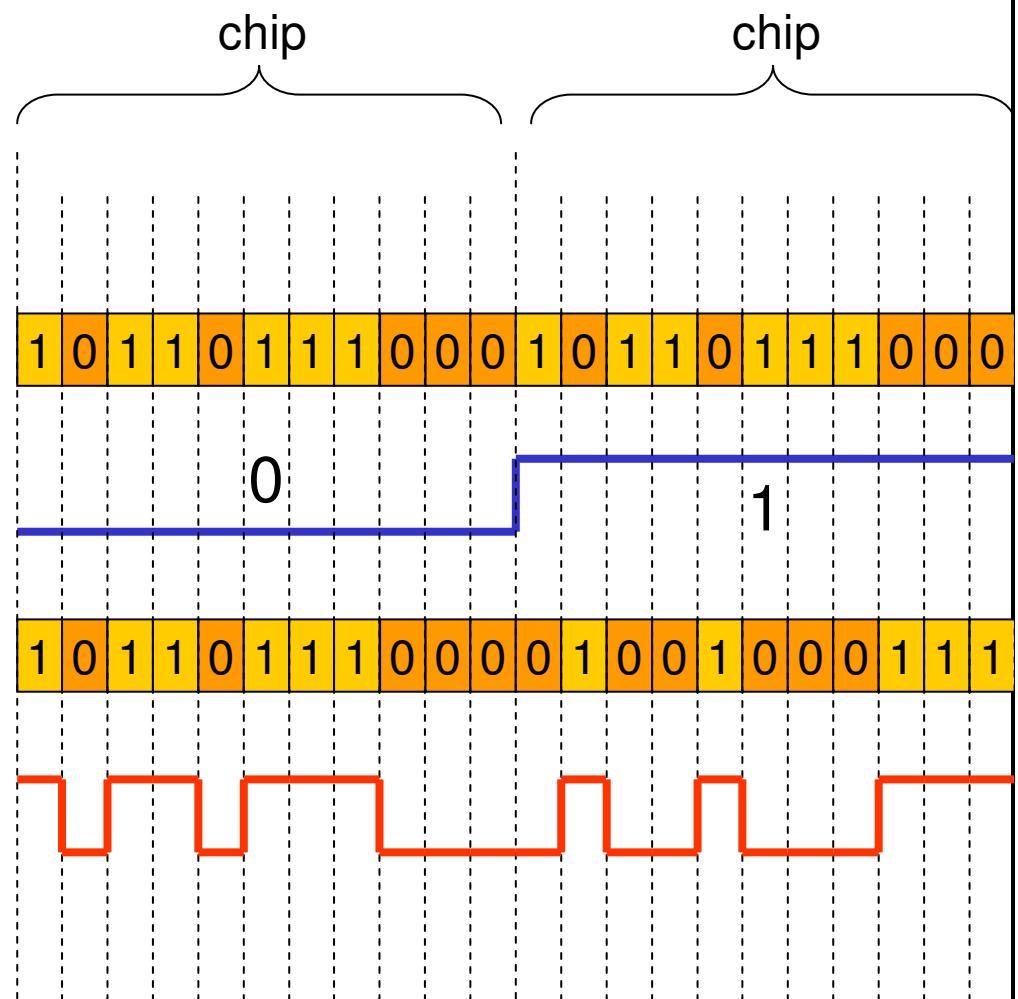
techniky vysílání v rozprostřeném spektru

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

pseudonáhodná sekvence
(11-bitový Barker kód,
chipping kód)
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 odesilatele!!!
 - příjemce přijme celý chip (posloupnost n bitů)
 - např. d₁, d₂, d₃, d₄, d₅, d₆
 - může být zatížen chybami v důsledku rušení

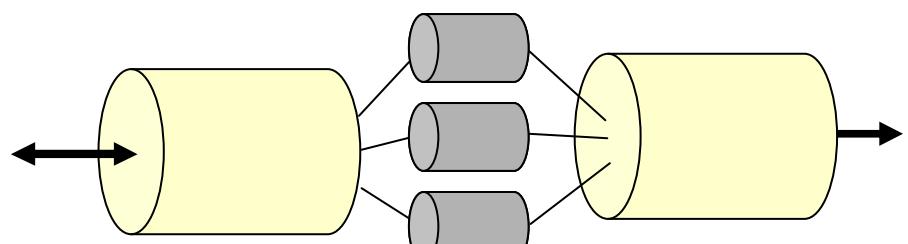
technika Direct Sequence SS je určena hlavně pro eliminaci šumu a rušení, nikoli pro sdílení (multiplex)!!

 - příjemce aplikuje na přijatý "úlomek" (chip) chipping kód odesilatele
 - 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 !!!

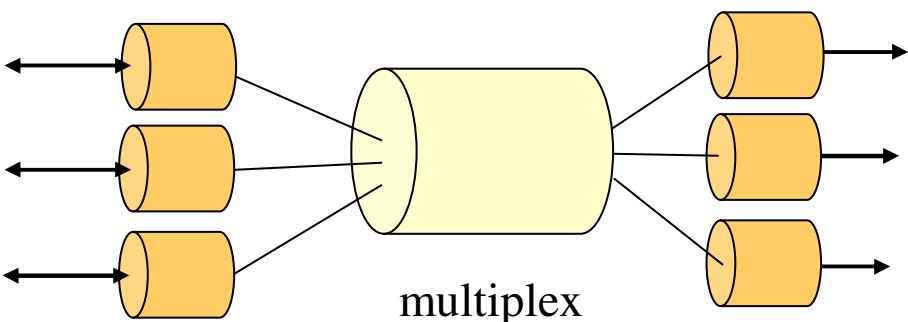
multiplex a inverzní multiplex

- 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
 - "rozdelení 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)

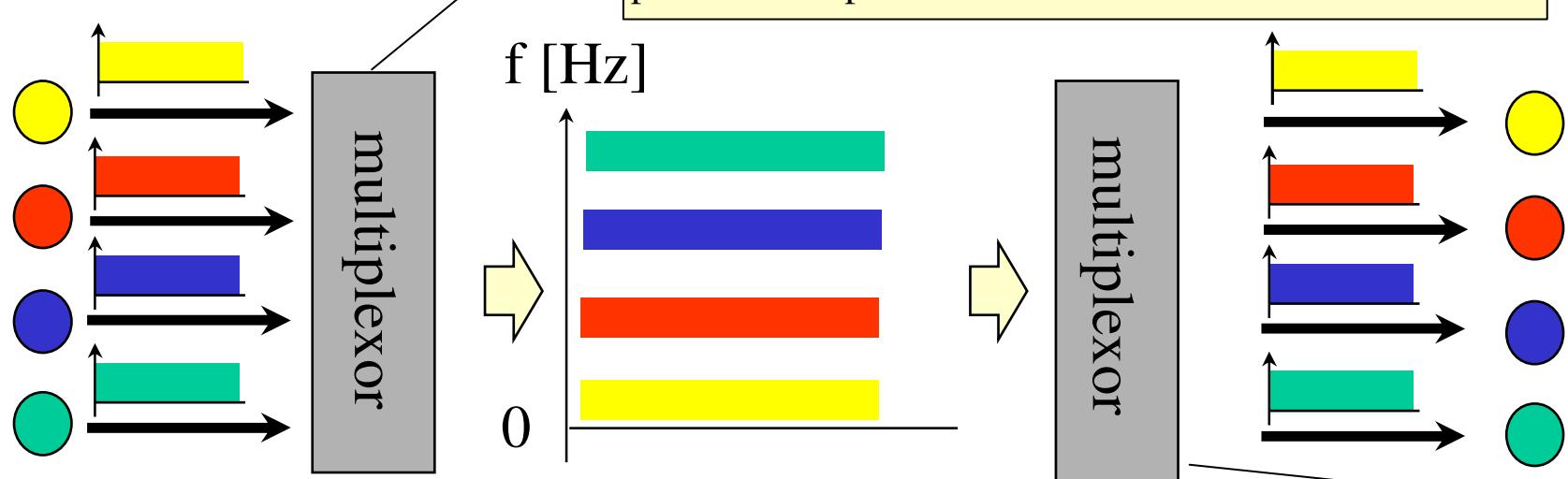


inverzní multiplex



multiplex

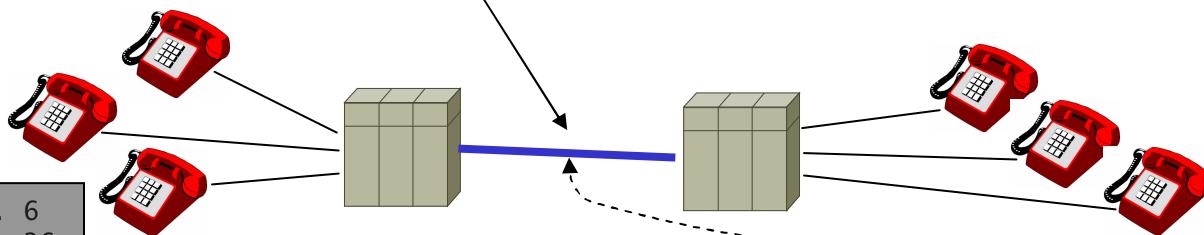
Představa frekvenčního multiplexu



signály jednotlivých kanálů jsou posunuty do vhodných frekvenčních poloh a „poskládány“ do jednoho širšího přenosového pásma

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

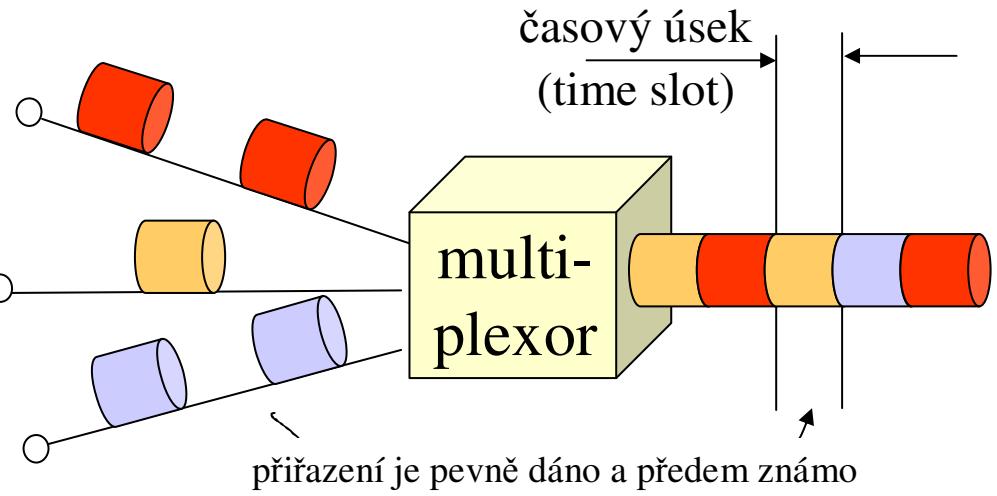
jednotlivé složky jsou „vyextrahovány“ a vráceny do původní frekvenční polohy



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

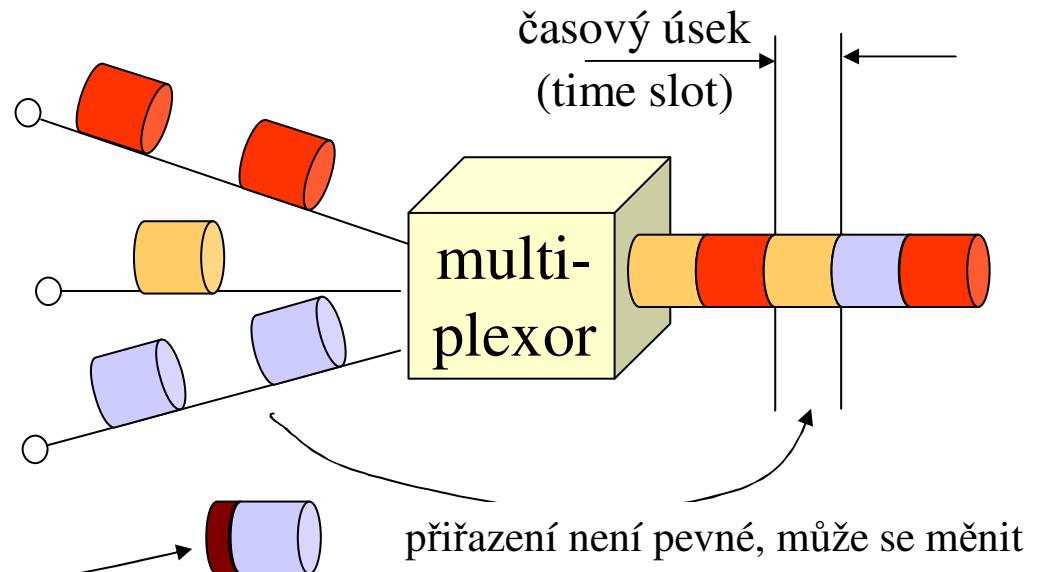
Časový multiplex (TDMA, Time Division Multiplexing)

- je to digitální technika
 - představa: přenosová cesta se rozdělí v čase na "časová okna" (time sloty) a ty se napevno přiřadí jednotlivým vstupů
 - během každého časového okna se celá přenosová cesta věnuje výhradně přenosu dat z daného vstupu
 - celková přenosová kapacity 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 vyhrazenu pevně danou přenosovou kapacitu
 - pokud tuto kapacitu nevyužije, nemůže být přeneháná 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 nestejnoměrnou zátěž je vhodný statistický multiplex (STDM)
 - nepřiřazuje 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 (najednou)
 - každý zdroj (odesilatel) 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)
 - 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:

$$\begin{aligned} & (-1, 1, -3, 3, 1, -1, -1, 1) \\ * & (-1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1) \\ = & (1, 1, 3, 3, 1, -1, 1, -1) \end{aligned}$$

- 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:

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

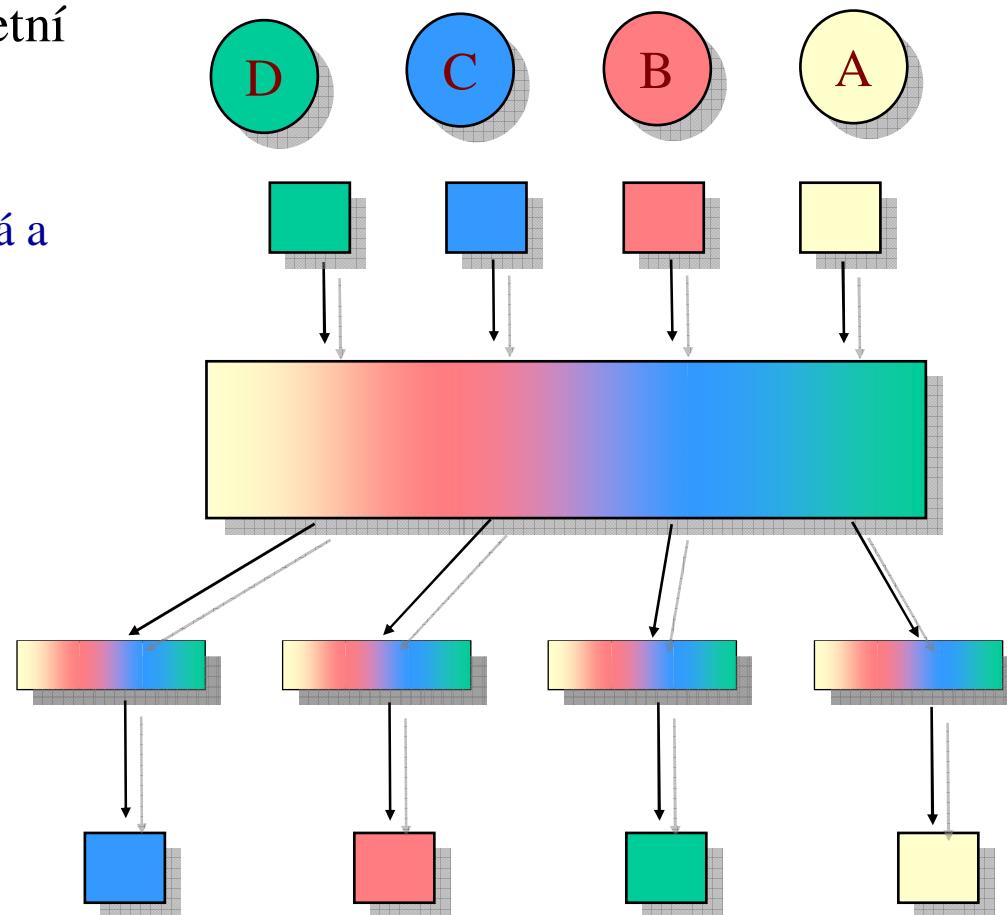
- příjemce, který chce přijmout signál od uzlu C:

$$\begin{aligned} & (1, -1, -1, 1, -1, -3, 1, 3) \\ * & (-1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1) \\ = & (-1, -1, 1, 1, -1, -3, -1, -3) \end{aligned}$$

- součet je -8, děleno 8 je -1
- uzel C přenášel bit 0 !!!

Vlastnosti kódového multiplexu

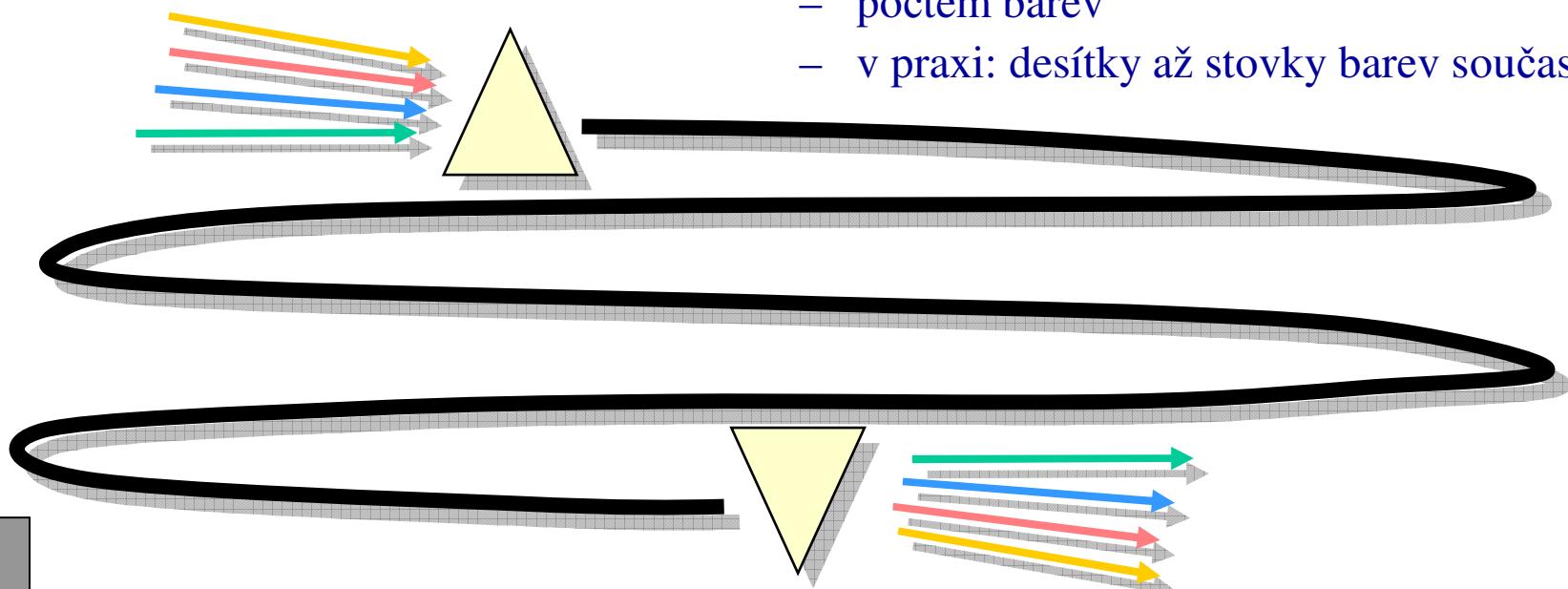
- je maximálně efektivní
 - co do využití frekvenčního spektra
 - využívá je celé, nedělí jej
- "složitost" a režii přenáší do výpočetní kapacity
 - u odesilatele i u příjemce
 - tato výpočetní kapacita je ale laciná a snadno dostupná
 - zatímco frekvence jsou striktně omezeným zdrojem!!
- využívá se u (některých) mobilních sítí 2. generace
 - i u (některých) mobilních sítí 3. generace (UMTS)
- v ČR použiti v rámci služby Eurotel Data Expres
 - CDMA2000 1xEV-DO



Vlnový multiplex

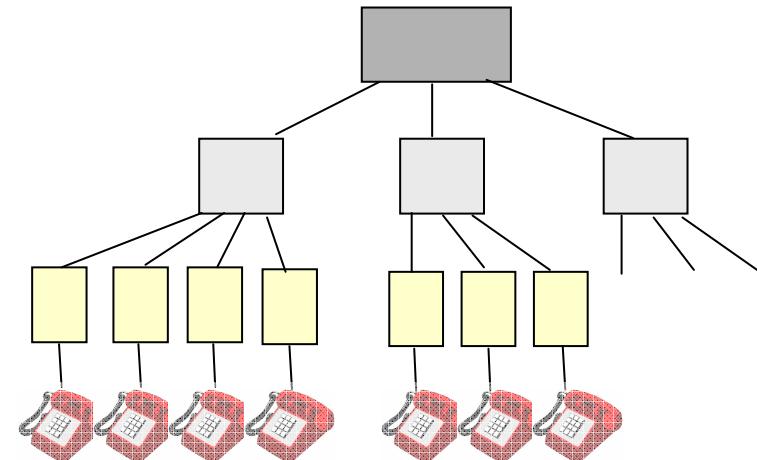
WDM – Wavelength Division Multiplexing

- 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



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)

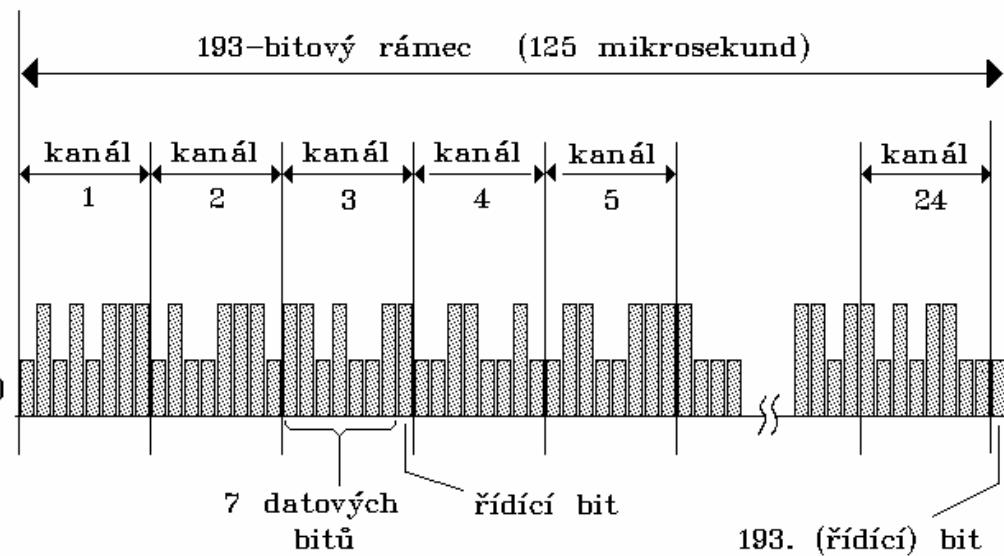


Hierarchie PDH

- 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

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

USA			Evropa		
Řád	Přenosová rychlosť	Počet kanálů	Řád	Přenosová rychlosť	Počet kanálů
0. (T0)	64 kbit/s	1	0. (E0)	64 kbit/s	1
1. (T1)	1,544 Mbit/s	24x EO	1. (E1)	2,048 Mbit/s	32x EO
2. (T2)	6,312 Mbit/s	96x EO	2. (E2)	8,448 Mbit/s	128x EO
3. (T3)	44,736 Mbit/s	672x EO	3. (E3)	34,368 Mbit/s	512x EO
4. (T4)	274,176 Mbit/s	4032x EO	4. (E4)	139,264 Mbit/s	2048x EO



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 rychlosť
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

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

SDH

příklady využití:
IP over ...

