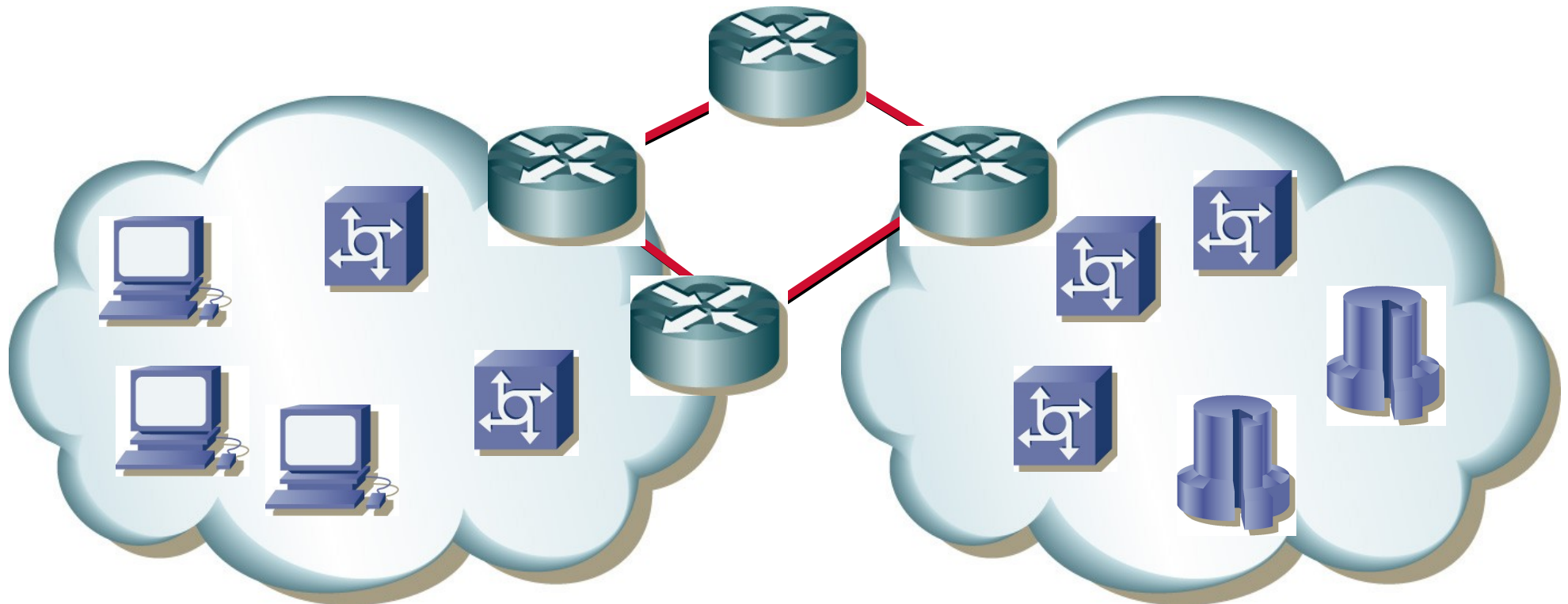


Počítačové sítě I

4. Fyzická a linková vrstva sítí

Miroslav Spousta, 2005

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



Fyzická vrstva

- podle ISO/OSI nejnižší vrstva sítí
- fyzické parametry
 - kabeláž, konektory, ...
- závislé na konkrétní architektuře
 - Ethernet, TokenRing, ATM, ...

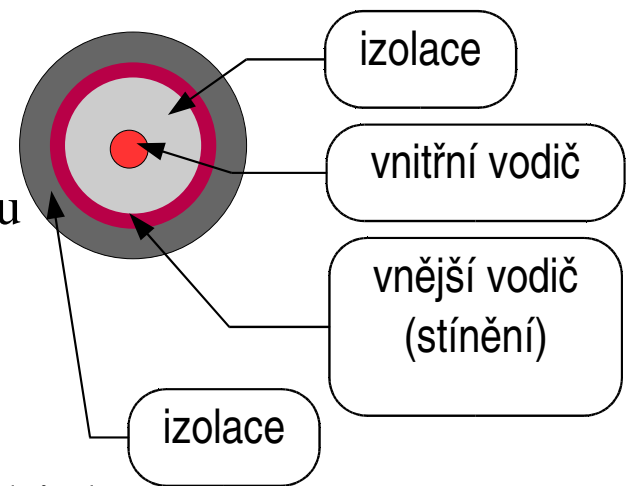


Přenosová média

- médium ... prostředek použitý pro přenos informace
- na počátku: koaxiální kabely (podobné jako u televizních rozvodů)
- bezdrátový přenos (rádiové vlny): médium je atmosféra
- symetrické vedení (kroucená dvojlinka) podobné jako u telefonních rozvodů
 - umožňuje strukturovanou kabeláž
- optické kabely (různé průměry a kvality)
- opět bezdrátové, ale tentokrát pomocí laseru/infračerveného světla (na krátké vzdálenosti, přímá viditelnost)
- působí negativní jevy: rušení, útlum, ...

Koaxiální kabel

- nesymetrické vedení
- v základním pásmu: 0 – 150 MHz
 - max. cca 50 Mbps
 - problém s elektrickými vlastnostmi kabelu
- v přeloženém pásmu: 50 – 750 MHz
 - vysoký útlum při vyšších frekvencích
- několik typů: 50 Ω , 70 Ω , 93 Ω , thin, thick
- dlouho typické médium LAN (Ethernet 10BASE-5 a 10BASE-2)
- ustoupilo se od něj, protože kabely jsou drahé
 - a hůře se spojují (BNC)
 - ale v přenosových rychlostech jsou ještě rezervy
 - dnes se využívá u CATV, HFC (Hybrid Fibre-Coax)



Symetrická vedení

Kroucená dvojlinka (Twisted Pair)

- kabel s páry stočených měděných vodičů
 - proč stočené? omezení rušení a vyzařování (anténa)
- původně telefonní kabeláž (=> dvoubodové spoje)
 - vynucení stromovité topologie
- různý počet párů (pro sítě se používají 2 – 4 páry)
- stíněná dvojlinka (STP, Shielded Twisted Pair)
 - každý pár zvlášť + celý kabel
- nestíněná (UTP, Unshielded Twisted Pair)
 - páry pouze obtočeny



UTP a STP

- UTP: Požadovány různé vlastnosti (kvalita) podle standardu EIA/TIA:
 - kategorie 1 – 6
 - čím vyšší číslo, tím vyšší kvalita (pravidelnost zatočení, průměr vodičů, ...)
 - parametry přenosové: útlum, impedance, zpoždění
 - parametry vazební: šum, přeslechy, rušení
- síťové kabely mívají 4 páry (8 vodičů)
 - telefonní kabely pak stovky...
- rušení se „vyruší“, ovlivní oba páry
- STP: devět kategorií
 - navrženo IBM, používá se u sítí Token Ring

Kategorie UTP

- Cat 1: žádné požadavky
- Cat 2: do 1 MHz, telefonní vedení
- Cat 3: do 16 MHz (10 Mbps), Voice Grade Cable
 - Ethernet 10BASE-T, 100BASE-T4
- Cat 4: do 20 MHz (20 Mbps)
 - Token Ring, Ethernet
- Cat 5: do 100 MHz (100 Mbps), Data Grade Cable
 - Ethernet 100BASE-TX, 1000BASE-T, Cat 5e
- Cat 6: do 250 MHz
 - pro 10Gbps Ethernet je potřebná šířka pásma 500 MHz
 - pomáhá stínění, Cat 7

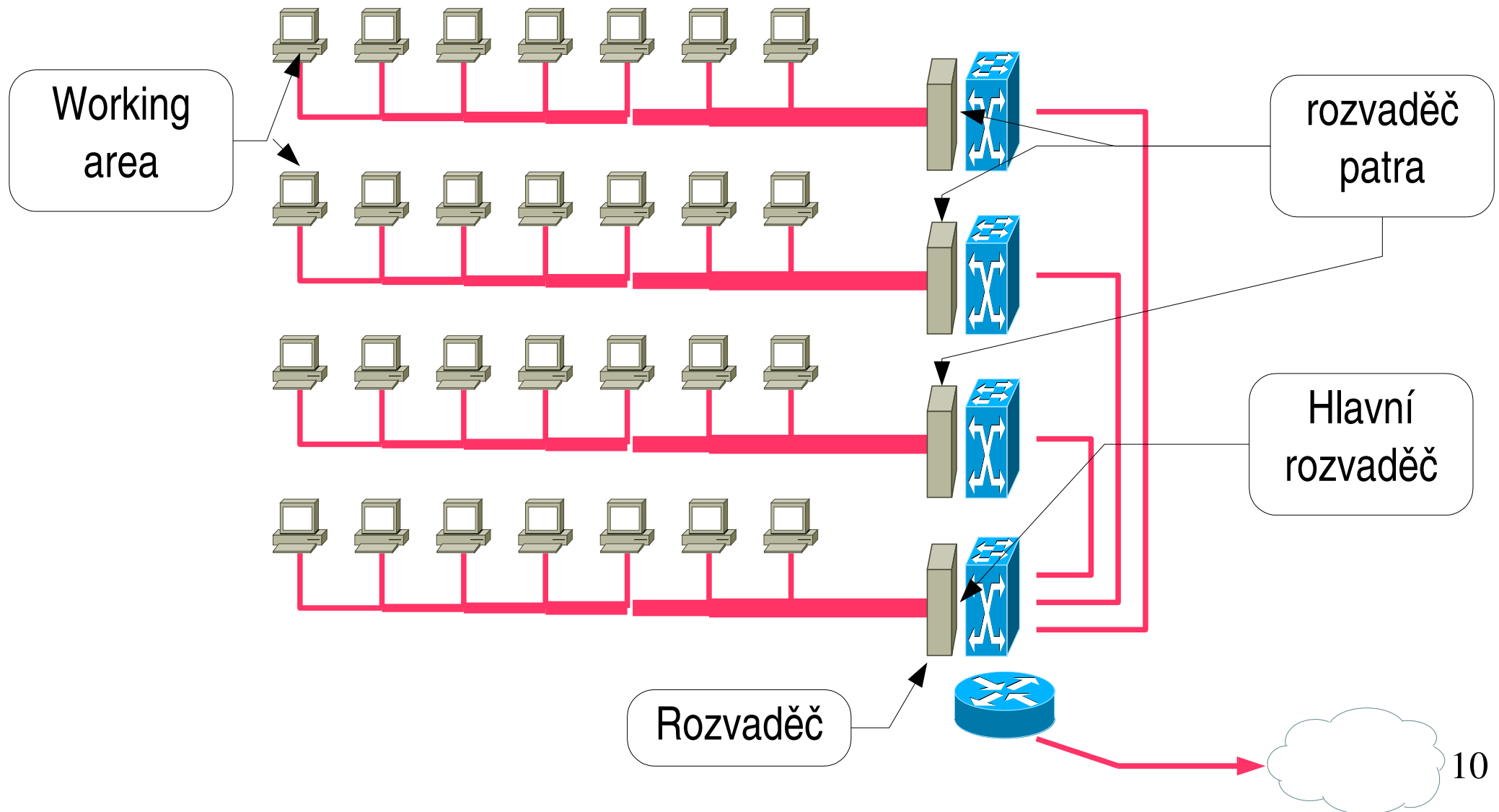
TP: Strukturovaná kabeláž

- původní použití (U)TP: připojení koncových účastníků do telefonní sítě („poslední míle“)
 - až jednotky kilometrů
- dnes: rozvod datové i hlasové kabeláže (telefonní a počítačová síť)
- daná struktura, vyhrazené kanály v podlaze/stěnách
- kabely jsou u uživatelů ukončeny zásuvkami
- na druhé straně je rozvaděč, tzv. patch–panel s vyústěním všech kabelů
- pomocí patch–kabelů se propojí zásuvky do switche/hubu
- snadná rekonfigurace podnikových sítí
- správa síťových prvků je centralizována

Strukturovaná kabeláž: doporučení

- rozvaděč
 - jeden pro každé patro nebo 1000 m²
 - propojeny s hlavním rozvaděčem vertikálním rozvodem
 - často umístěn v racku společně s aktivními prvky (switchi)
- uživatelské stanice – v tzv. working area
 - 6 m², 3 zásuvky
 - propojeny s rozvaděčem horizontálním rozvodem
 - zakončení zásuvkou pro RJ45 konektory
- kabely neohýbat více než 90°, rozplétat max. 13 mm

Strukturovaná kabeláž



Optická vlákna

Světlovodná vlákna

- **výhody**

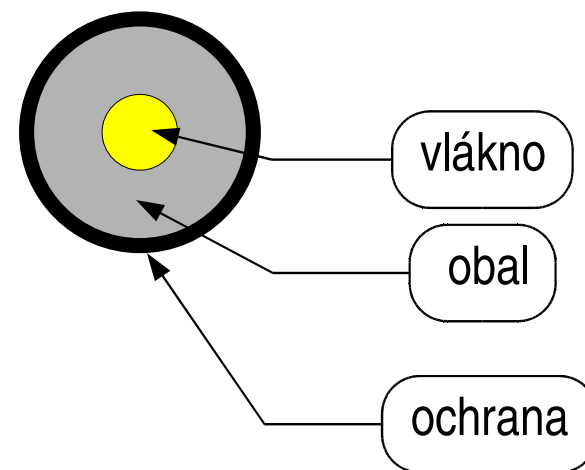
- velká šířka pásma (THz)
 - umožňuje přenášet data obrovskou rychlostí
- malý odpor (útlum)
- odolná proti rušení (a nevyzařující)
- dá se multiplexovat (WDM) – několik barev

- **nevýhody**

- vyšší cena (20 – 160 Kč/m)
- menší mechanická odolnost (při instalaci i použití – ohyb)
- složitější konektrování

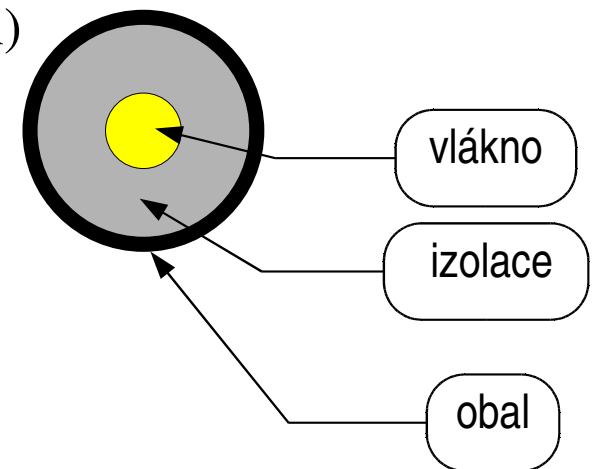
Optická vlákna

- fungují na principu úplného odrazu
 - pokud světlo dopadá pod malým úhlem, odráží se „dokonale“
- jádro většinou skleněné (SiO_2)
 - velmi křehké
- paprsek se odráží na rozhraní vlákna a obalu
- průměr určuje vlastnosti vlákna (útlum)
- používají se dva druhy vláken:
 - jednovidová, mnohavidová (+ gradientní)
- vlákna se spojují buď svařováním nebo pomocí speciálních konektorů
 - typ ST, SC



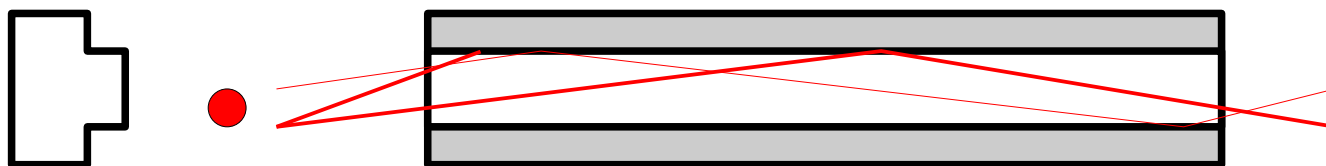
Single a multi mode vlákna

- jednovidová (single mode)
 - 9 μm /100 μm [pro srovnání lidský vlas: cca 30 μm]
 - zdroj světla: laserová dioda (ILD), prochází jen jeden paprsek (vid)
 - větší vzdálenosti (desítky kilometrů)
 - menší vlákno, hůře se napojuje (svařování, prach)
- mnohavidová (multi mode)
 - 62,5 μm /125 μm (případně 50 μm /125 μm)
 - vzniká vidová disperze
 - zdroj světla: LED (levnější)
 - větší průměr vlákna, lépe se svařuje
 - max. 2 km

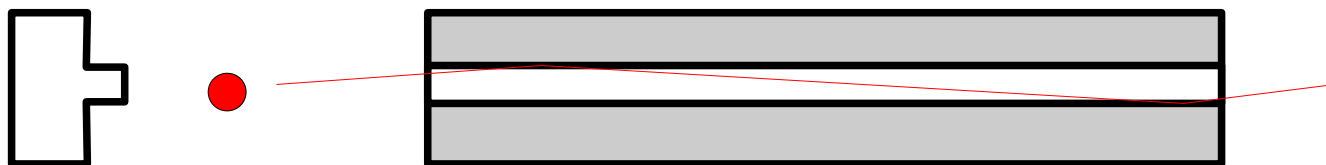


Optická vlákna

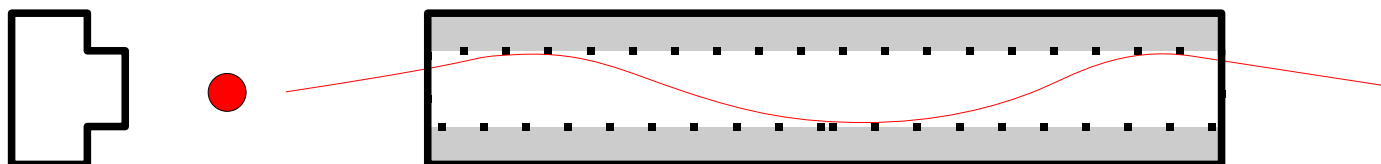
Mnohavidová
(multimode)



Jednovidová
(singlemode)



Gradientní



Použití optických vláken

- kabely obsahují desítky až stovky vláken
- optické kabely se instalují do „chrániček“
 - trubky, do kterých se teprve později „zafukují“ kabely
- každé vlákno je možné použít několikanásobně (WDM)
 - různé „barvy“, dokonce obousměrně
- zákazník si může pronajmout:
 - chráničku, kabel (dark fibre), barvu, část kapacity
- umožňují budovat rozlehlé sítě
 - vlákna dlouhá desítky km, poté je potřeba signál obnovit (zesílit)
 - často mají podobu propojených kruhů (EuroRings)
- pro malé nároky je možné použít i plastová vlákna
- převod světlo => el. => světlo omezuje, čistě optické systémy

Optická vlákna



(foto: KPNQuest)

Bezdrátové spojení

- využívá přenos elektromagnetického vlnění atmosférou
- může být velmi ovlivněno rušením
- používají se různé frekvence s rozdílnými vlastnostmi
- 30 MHz – 1 GHz
 - rádiové vysílání, mobilní sítě, u nižších frekvencí všesměrové)
 - 2 GHz – 40 GHz
 - mikrovlnné spojení, směrové vysílání, nutná (téměř) přímá viditelnost
 - WLAN, mikrovlnné a satelitní spoje (a mikrovlnné trouby)
- 10^{11} – 10^{14} Hz
 - infračervené světlo
 - PAN (v jedné místnosti), lokální sítě – bezpodmínečná přímá viditelnost

Srovnání

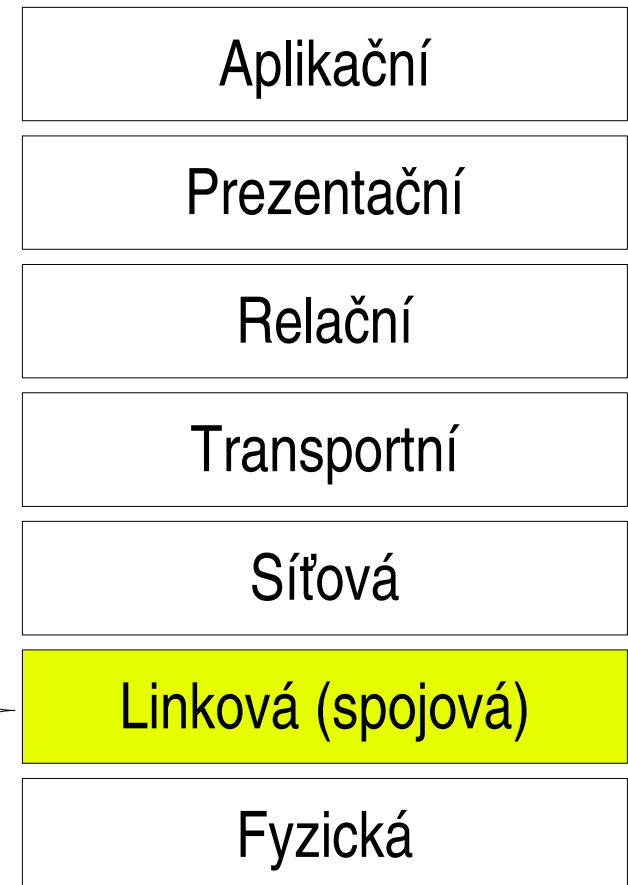
	UTP/STP	Koaxiální kabel	Optické vlákno	Wireless
Instalace (náklady)	nízké	střední	vysoké	nízké
Instalace (obtížnost)	malá	malá	střední	nízká
Rychlost max.	do 1 Gbps	do 1 Gbps	Tbps	do 100 Mbps
Délka max	90 – 150m	600 – 1200	desítky km	kilometry
Odolnost proti rušení	nízká/střední	střední	vysoká	nízká

Řízení přístupu ke sdílenému médiu

- médium, které sdílí více komunikujících uzlů
 - bezdrátové sítě, koaxiální kabel
- více vysílajících bodů současně se vzájemně ruší
 - vznikají kolize
- je potřeba zajistit, aby vysílal vždy pouze jeden uzel
 - ostatní ho mohou slyšet
 - řízení média
 - součástí linkové vrstvy (Medium Access Control)

LLC

MAC



Řízení přístupu

Řízení přístupu ke sdílenému přenosovému kanálu

- statické

- předem dané dělení kanálu na několik částí
- např. frekvenční/časový multiplex

- dynamické

- kanál (celý) je přidělován na žádost, podle potřeby
- přiděluje se pro vysílání, příjem nikoho neomezuje
- jak se bude sdílený kanál přidělovat říká metoda řízení přístupu

(Ne)deterministické řízení

Chceme, aby vysílal vždy jen jeden uzel, jak toho dosáhnout?

- deterministický přístup

- vždy bude mít právo vysílat jen jeden uzel
- toto právo si budou uzly periodicky předávat
- jasně definovaná pravidla, výsledek není ovlivněn náhodou

- nedeterministický přístup

- zkusím poslat data a počkám, co se stane
- nastávají kolize, které je třeba řešit (poslat data znovu)
- výsledek chování sítě je ovlivněn náhodou (čekání náhodně dlouho)

Centrální a distribuované řízení

Jak se řídí přidělování média?

- centrálně

- v síti existuje zařízení, které rozhoduje, komu bude médium přiděleno
- většinou se jedná o deterministické řízení
- např. Token Ring, 100VG-AnyLan, CATV

- distribuovaně

- uzly spolupracují, domlouvají se na obsazení kanálu
 - předpokládá, že se stanice budou chovat slušně
- centrální prvek chybí
- např. původní Ethernet (CSMA/CD)

Polling

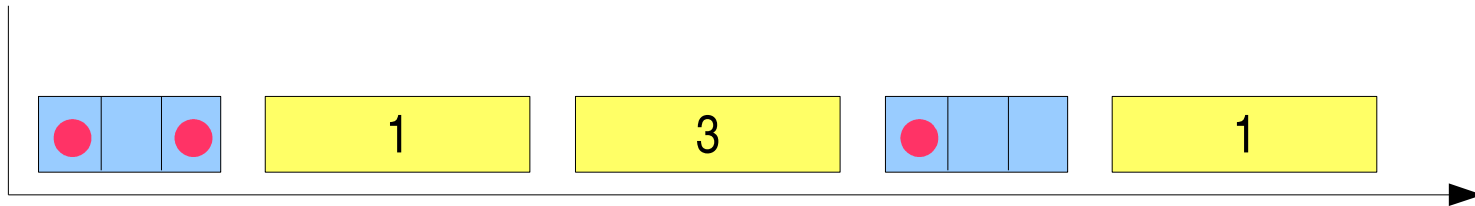
- centrálně řízená metoda
- arbitr se postupně ptá stanic, zda chtějí vysílat
- pokud ano, přidělí stanici sdílený kanál
- ne, ptá se další stanice
- výhody:
 - deterministické, každá stanice se časem dostane k vysílání
 - pro řízení je možné použít sdílený kanál (stejný jako pro data)
- nevýhody:
 - citlivost na výpadek arbitra, velká režie

Explicitní žádost

- opět centrálně řízená metoda
- stanice arbitrovi signalizuje žádost o vyslání dat
- arbitr potvrzuje (povoluje vysílání)
- nevýhody:
 - opět citlivost na výpadek arbitra
 - režie (pokud nejsou na signalizování využity speciální kanály)
- výhody:
 - stabilní při velké zátěži
- např.: 100VG-AnyLan (zamýšlený Fast Ethernet)

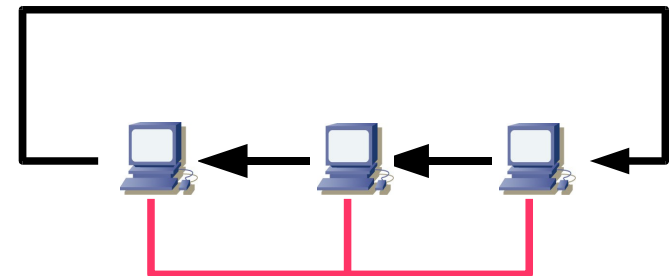
Rezervační metody

- přidělování na žádost: distribuovaná verze
- síť koluje rezervační rámeček, v něm si stanice rezervují časové sloty
- stanice vysílají postupně podle rezervací
 - všichni vědí, jak vypadal rezervační rámeček



Logický kruh

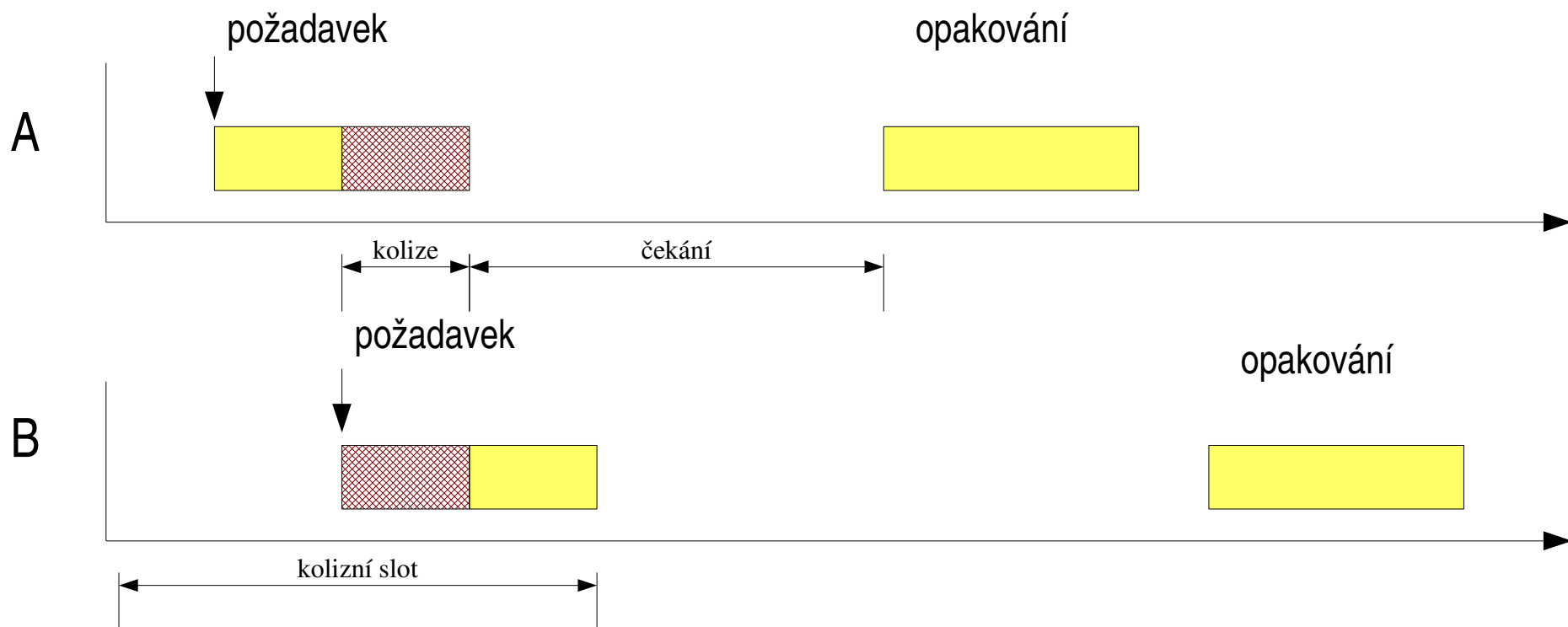
- distribuovaná metoda
- právo vysílat má stanice, která vlastní tzv. token (speciální data)
- každá stanice vyšle svá data a pak token předá stanici následující
 - v logickém kruhu
 - nesouvisí s fyzickou topologií
- stanice musí vědět o svém následníkovi
- problém s výpadkem stanice, tokenu
- Např. TokenRing, FDDI



Historie: Aloha

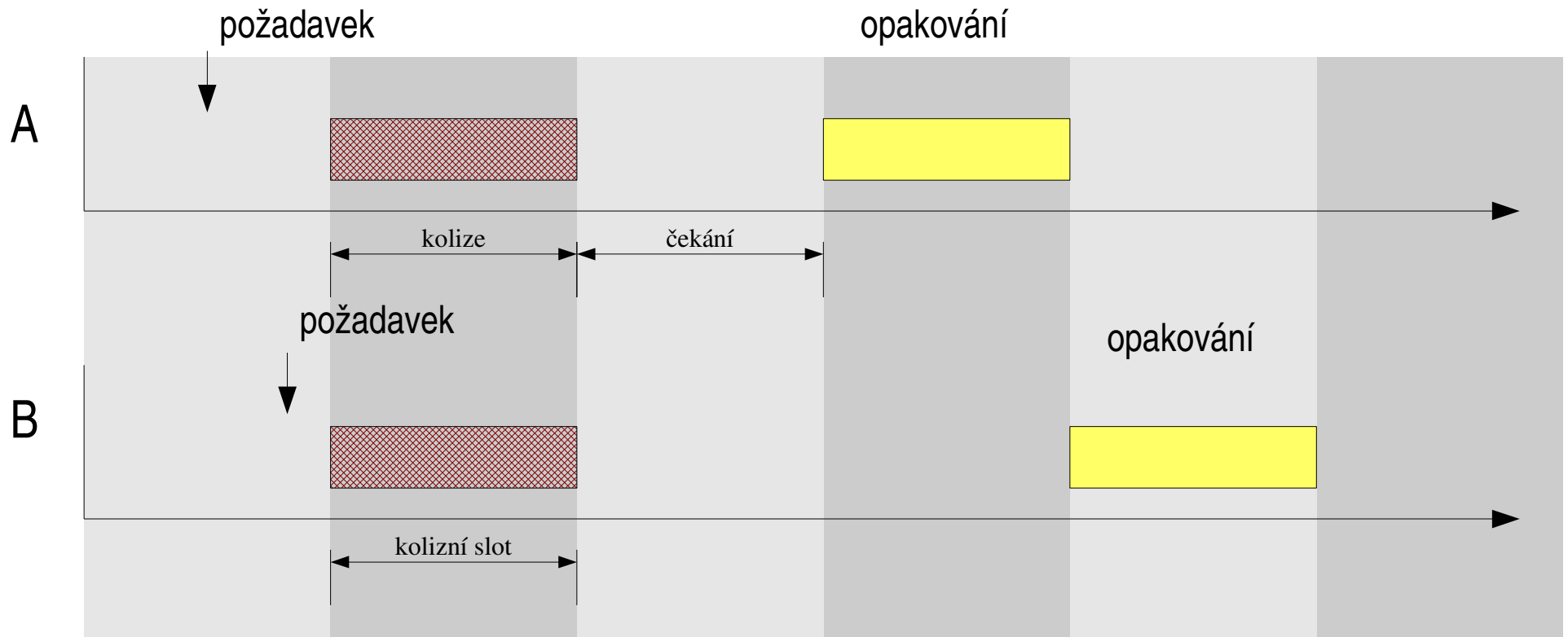
- neřízená distribuovaná metoda
- na propojení částí univerzity na Havajských ostrovech
 - rádiová síť
- data se odesílají bez ohledu na ostatní
- mohou nastávat kolize (vysílá více stanic najednou)
 - řeší se přeposláním zprávy (po vypršení doby na potvrzení)
- malá efektivita (max. kolem 18%)

Aloha



Taktovaná Aloha

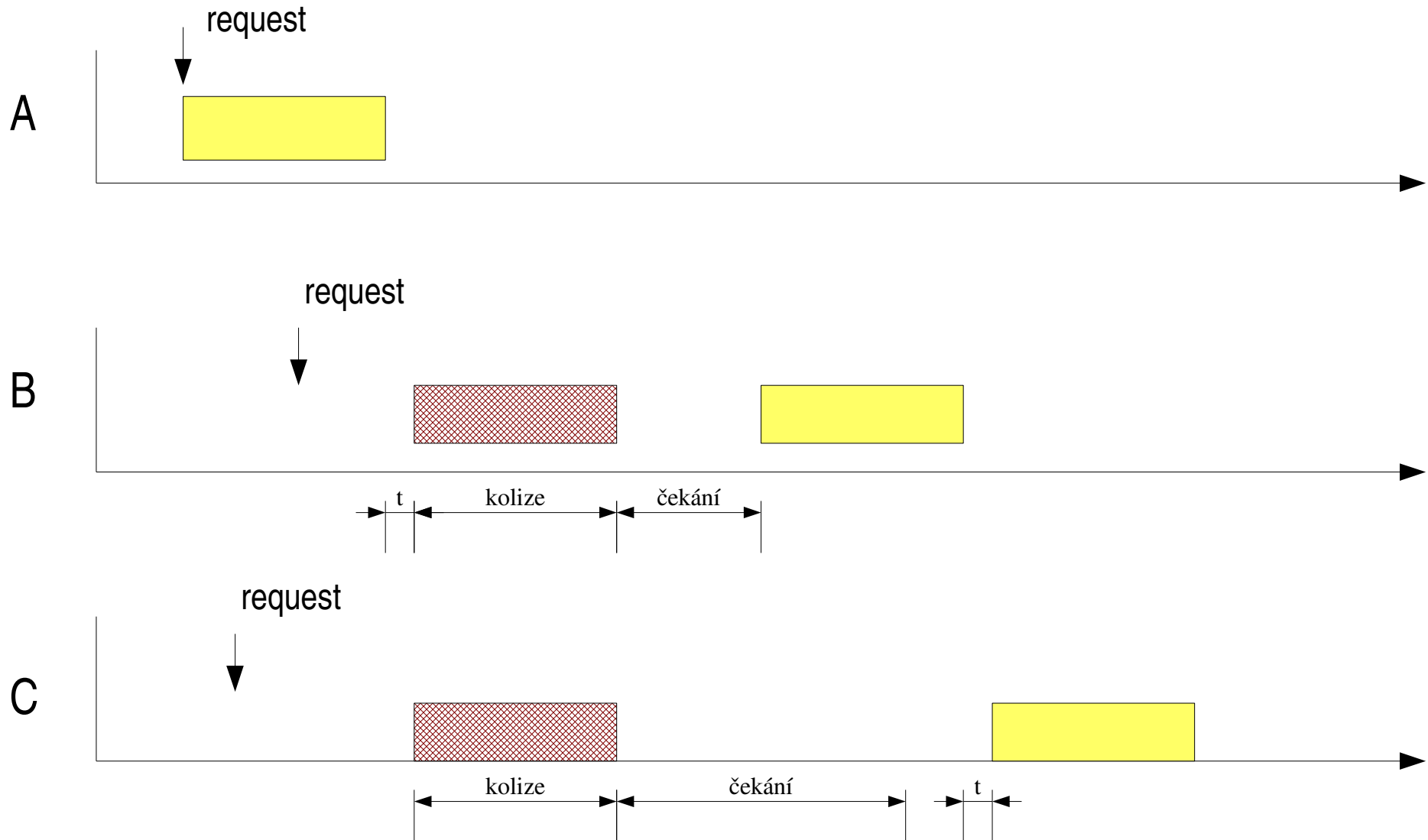
- zmenšení velikosti kolizního slotu
- potřeba synchronizace



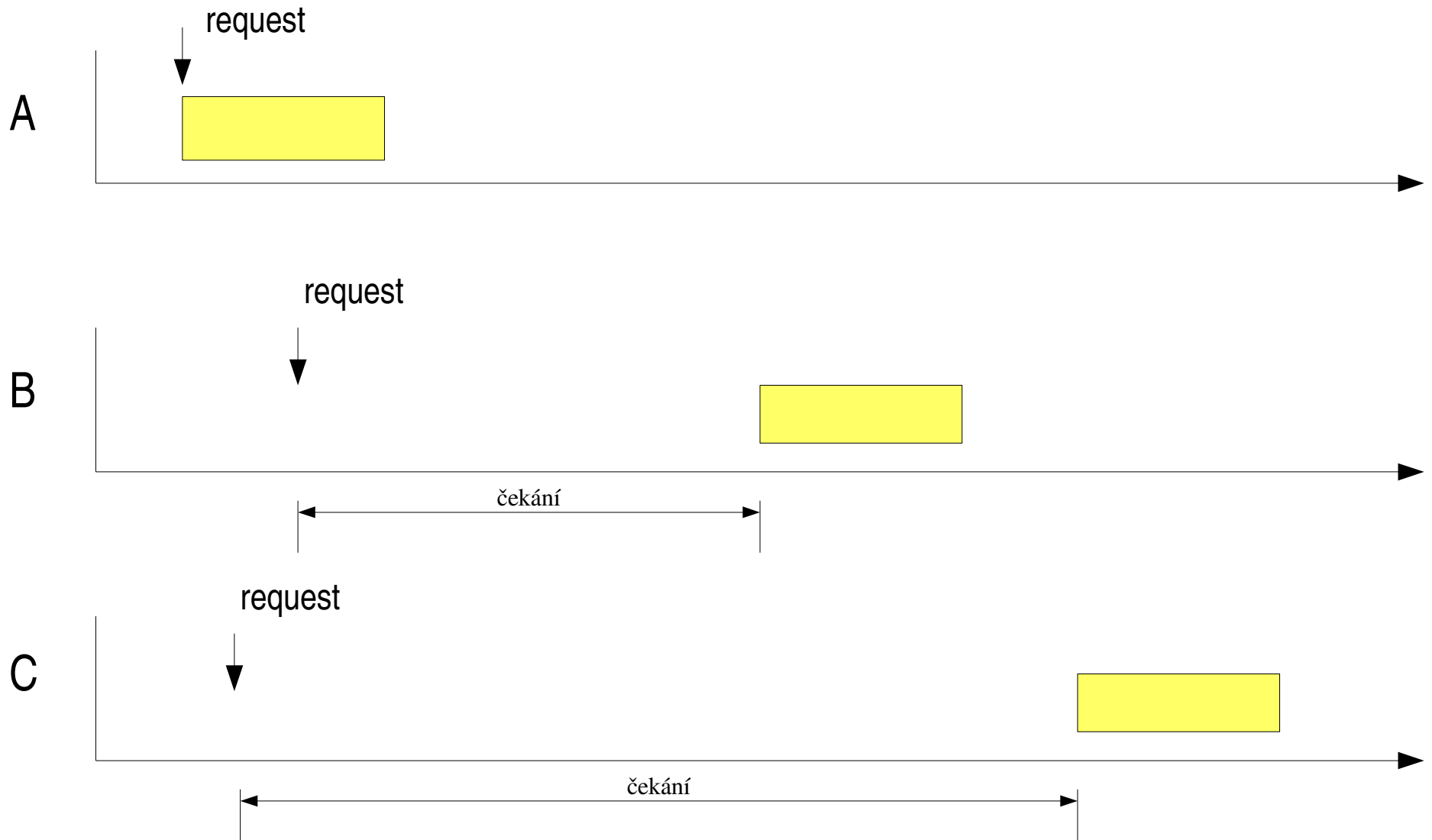
CSMA

- CSMA = Carrier Sense Multiple Access
- Aloha nedetekovala vysílání ostatních stanic
- Carrier Sense = odposlech nosné (frekvence)
 - stanice poslouchá, co se děje na médiu a zbytečně neruší vysílání ostatních
- Multiple Access = může vysílat více stanic najednou
- kdy dochází ke kolizi
 - více stanic současně detekuje, že médium je volné a začne vysílat
 - nejčastěji těsně po skončení vysílání nějaké stanice
- n-perezistentní ($0 \leq n \leq 1$)
 - říká, s jakou pravděpodobností budu čekat na konec vysílání

Naléhající CSMA (1-persistentní)



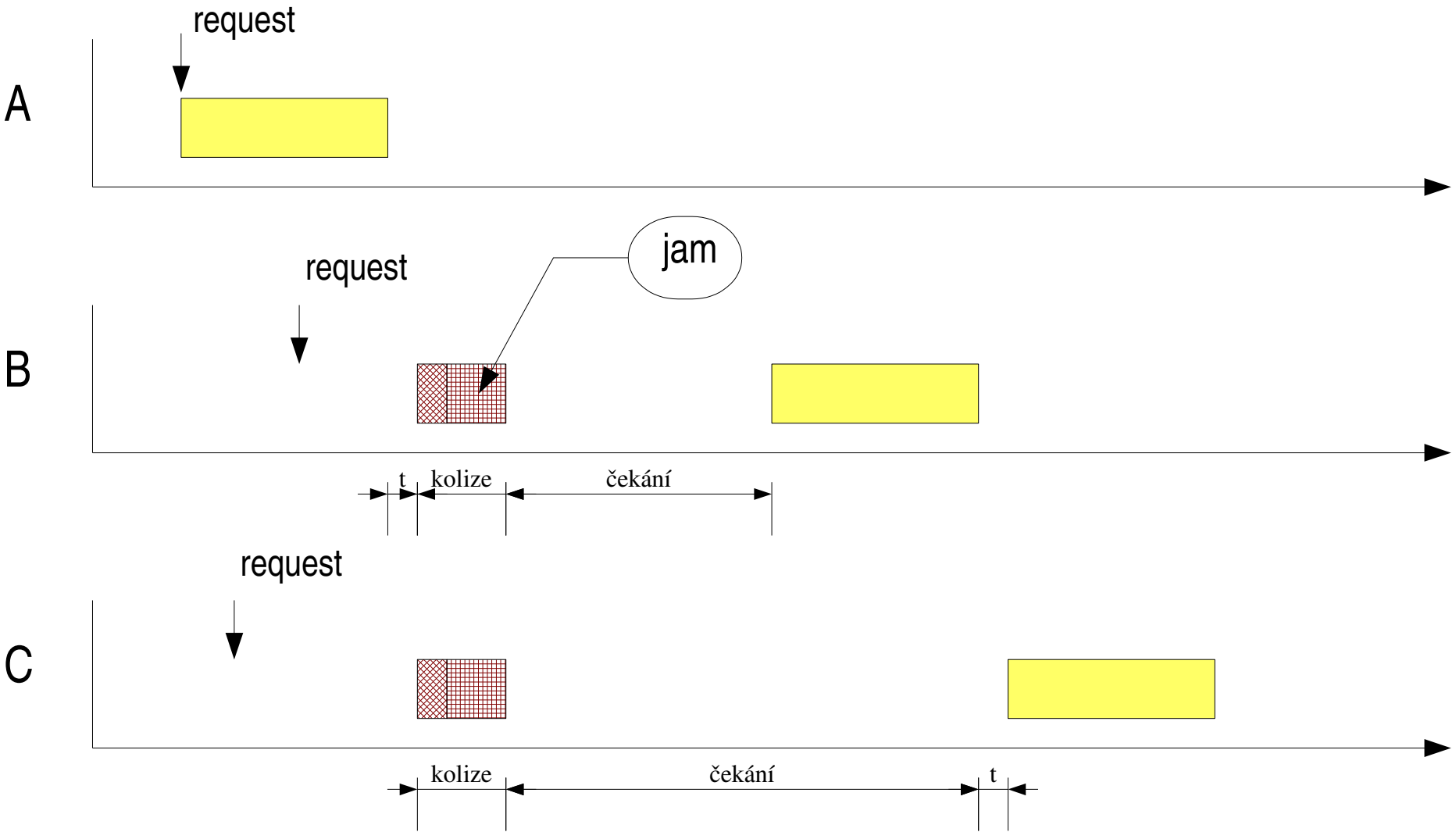
Nenaléhající CSMA (0-persistentní)



CSMA/CD

- CSMA Collinsi Detection (detekce kolize)
 - pokud vysílající stanice detekuje kolizi, nedokončí vysílání
- používá se např. u klasického Ethernetu
- Algoritmus:
 - stanice chce vyslat rámeček: detekuje klid na médiu (po dobu kolizního slotu) - začne vysílat rámeček, jinak musí počkat do skončení přenosu
 - je naléhavější
 - pokud stanice při vysílání rozpozná kolizi, vyšle jam signál, aby i ostatní stanice poznaly, že nastala kolize
 - o opakování se stanice pokusí po náhodné době, střední doba čekání se prodlužuje
 - u Ethernetu max. 10 pokusů, doba narůstá exponenciálně

CSMA/CD



CSMA/DCR

- Deterministic Collision Resolution (deterministické řešení kolizí)
 - jedna z možností, jak řešit kolize
- při detekci kolize se stanice rozdělí do skupin
 - např. podle bitů adres – binární strom
- nejdříve vysílají data stanice, které kolizi způsobily
- poté se médium uvolní pro všechny stanice
- v praxi se nepoužívá

CSMA/DCR



Řízení v bezdrátových sítích

- odlišné vlastnosti proti „drátovým“:
 - není možné spolehlivě detekovat obsazenost kanálu
 - nelze detekovat kolize během vysílání (vysílací kanál bývá poloduplexní)
 - => nelze použít CSMA/CD
- používá se CSMA/CA (Collision Avoidance – předcházení kolizí)
- zájemce o vysílání poslouchá, jestli někdo vysílá
 - ano – náhodně se odmlčí; ne, začne vysílat, po skončení čeká na potvrzení
 - kolize stále mohou nastávat (problém skryté stanice)
- RTS/CTS (Ready to Send, Clear To Send)
 - vysílající pošle rezervační rámec (RTS), ostatní uzly zachytí
 - příjemce potvrdí rámcem CTS, ostatní se odmlčí na dobu přenosu dat
 - CTS a RTS rámce jsou krátké, ale mohou při nich nastat kolize

Další metody CSMA/CA

- po skončení vysílání nějaké stanice n má další stanice m právo vysílat až po uplynutí času: $((m - n) \bmod N) * t$
 - N je počet stanic v síti, t je doba šíření signálu médiem
- je to vlastně virtuální kruh na sdíleném médiu
- nevyužívá plně přenosovou kapacitu média, ale zabraňuje kolizím
- používá se v rádiových sítích, v sítích AppleTalk

CATV

- kabelové televize, sdílené médium
- centrální prvek (CMTS), který přiděluje právo vysílat
- dopředný kanál slouží pouze k vysílání CMTS
- zpětný kanál sdílený všemi prvky
- centralizované řízení, TDM, přiděluje na základě rezervací
- žádosti mohou kolidovat s ostatními modemy
 - čekání náhodnou dobu, ustupování

Metody linkové vrstvy

LLC: Link Layer Control, druhá část linkové vrstvy

Mezi úkoly linkové vrstvy LLC patří:

- synchronizace rámců
 - aby bylo jasné, kde začínají a končí vysílaná data
- spolehlivost přenosu
 - řeší poškození nebo ztrátu rámců
- řízení toku
 - aby vysílající nezahltl příjemce
 - používá se i ve vyšších vrstvách

Synchronizace rámců

Znakově orientovaný přenos

- data: posloupnost znaků (o pevném počtu bitů)
- Jak rozpoznat začátek a konec?
 - speciální (řídící) znaky, které se nemohou vyskytovat v datech
 - případně může být uvedena délka dat, pak odpadá detekce konce rámce
 - pokud se řídící znaky můžou v datech vyskytnout, musíme to ošetřit
 - character stuffing, před řídícím znakem se vyšle jeden speciální
 - v datech se speciální znak zdvojuje
 - má jistou režii

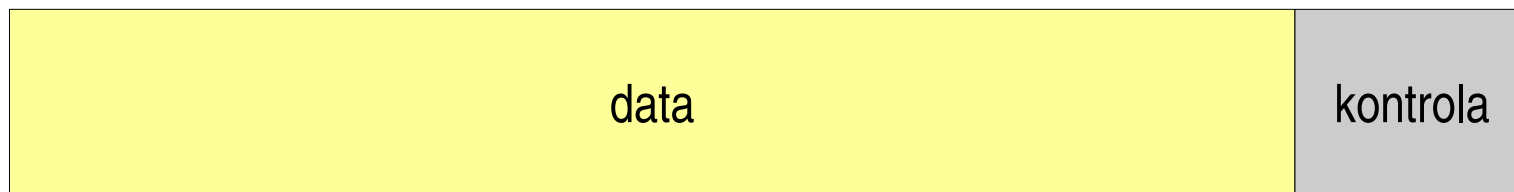
Synchronizace rámců

Bitově orientovaný přenos

- opět chceme poznat začátek (konec) rámce
- posuvný registr, hledáme speciální posloupnost
 - která se nevyskytne v datech (např. 01111110)
 - opět problém co s daty, aby se tam sekvence nevyskytovala
 - řešení: např. vkládání 0 po pěti jedničkách (bit stuffing)
 - menší režie než u znakových přenosů

Zajištění spolehlivosti

- ISO/OSI: všechny vrstvy od linkové výše
 - mechanismy jsou podobné
- TCP/IP: transportní vrstva
- nutnost *detekovat* chyby
 - pokud zjistím, že nastala chyba, mohu se pokusit ji opravit
 - samoopravné kódy (např. Hammingovy kódy)
 - velká „stálá“ režie
 - přeposlání poškozených dat
 - pokud to jde a má to smysl (nehodí se např. v real-time přenosech (telefon))



Detekce chyb

- Data se mohou při přenosu poškodit
 - dostaneme jiná data
- chceme pokud možno spolehlivě detekovat, zda k poškození došlo
- detekce chyb: k datům se přidá navíc:
- parita (sudá, lichá, jedničková, nulová)
 - přidá se k určitému bloku dat (bajtu, slovu, ...) další bit
 - celkový počet jedniček v bloku musí být sudý/lichý
 - napevno 0/1 – nezabezpečuje nic
- kontrolní součet
 - např. součet mod 32, případně operace XOR

Detekce chyb: CRC

- Cyclic Redundant Check
 - různé druhy (podle velikosti polynomu)
- posloupnost bitů (data) je brána jako polynom nad tělesem mod 2
 - např. 01001001 bereme jako $x^7 + x^4 + x^1$
- tento polynom se vydělí jiným (pevně daným) polynomem
 - pro CRC32 je to $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$
- zbytek po dělení je zabezpečení, které se připojí ke zprávě
- dělení je možné provést pomocí jednoduchých operací (i v HW)
 - shift (posun) a XOR
- vybereme-li vhodný polynom, můžeme detekovat:
 - jedno- a dvoubitové chyby, chyby s lichým počtem bitů, několik bitů za sebou