

# 1. Počítačové sítě

PB002: Základy informačních technologií

Eva Hladká

Fakulta informatiky Masarykovy univerzity

Podzim 2010

# Osnova přednášky

- 1 Úvod
  - Počítačové sítě
  - Komunikační protokoly
  - Standardizace
- 2 Síťové modely
  - ISO/OSI Model
  - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 TCP/IP Model
  - L1 – Fyzická vrstva
  - L2 – Vrstva datového spoje
  - L3 – Síťová vrstva

# Osnova přednášky

- 1 Úvod
  - Počítačové sítě
  - Komunikační protokoly
  - Standardizace
- 2 Síťové modely
  - ISO/OSI Model
  - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 TCP/IP Model
  - L1 – Fyzická vrstva
  - L2 – Vrstva datového spoje
  - L3 – Síťová vrstva

# Počítačové sítě

## Úvod

- skupina počítačů a zařízení propojená komunikačními kanály, které napomáhají vzájemné komunikaci mezi uživateli a umožňují jim sdílet dostupné zdroje
- mohou být využity k mnoha účelům:
  - podpora komunikace (různé způsoby – přenos textu, řeči, videa, atd.)
  - sdílení hardwarových zdrojů
  - sdílení souborů, dat a informací
  - sdílení software
- základní vlastnosti počítačové sítě:
  - *Vlastní doručení dat (Delivery)* – systém musí data doručit správnému příjemci
  - *Správnost doručení (Accuracy)* – systém musí data doručit nepoškozená
  - *Včasnost doručení (Timeliness)* – systém musí data doručit včas

# Počítačové sítě

## Ideální vs. skutečné sítě

### Ideální sítě

- transparentní pro uživatele/aplikace
  - pouze tzv. *end-to-end vlastnosti*
- neomezená propustnost
- žádné ztráty
- žádné zpoždění a rozptyl zpoždění
- zachovává pořadí paketů
- data nemohou být poškozena

### Skutečné sítě

- mají vnitřní strukturu, která ovlivňuje doručení dat
- omezená propustnost
- (občas) dochází ke ztrátám dat
- (občas) poskytuje variabilní zpoždění a rozptyl zpoždění
- (občas) nezachovává pořadí paketů
- data mohou být poškozena

# Počítačové sítě

## Požadované vlastnosti

- *efektivita* – efektivní/maximální využití dostupné přenosové kapacity
- *spravedlivost* – stejný přístup ke všem datovým tokům všech uživatelů (se stejnou prioritou)
- *decentralizovaná správa*
- *rychlá konvergence při adaptaci na nový stav*
- *multiplexing/demultiplexing*
- *spolehlivost*
- *řízení toku dat* – ochrana proti zahlcení sítě a přijímajícího uzlu

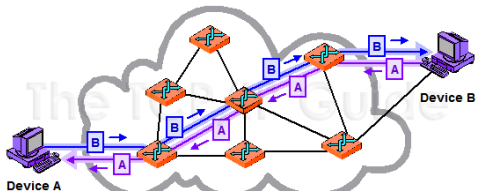
# Počítačové sítě

## Základní přístupy I.

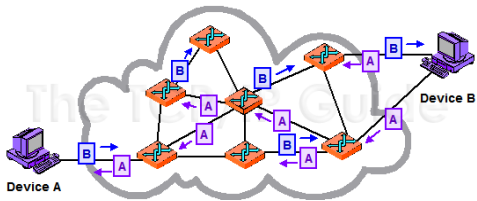
- **spojované sítě** (přepínání okruhů)
  - mezi komunikujícími uzly je před začátkem přenosu ustaveno *spojení* (nazýváno též *okruh*), které je udržováno během celé komunikace
  - informace o spojení jsou udržovány sítí – síť musí uchovávat *stav*
  - okruh může být buď pevný (předvytvořené) nebo vytvářen na žádost
  - jednoduchá (víceméně automatická) implementace kvality služby
  - např. analogové telefonní sítě
- **nespojované sítě** (přepínání paketů)
  - pro přenos dat není využita definovaná cesta – data jsou rozdělena do malých částí (nazývány *pakety*), které jsou odeslány do sítě
    - pakety mohou být v síti směrovány libovolnými/různými cestami, slučovány či fragmentovány
  - na přijímající straně jsou z paketů extrahovány příslušné části dat, které jsou následně znovusloženy do původní podoby
  - není potřeba uchovávat stav v síti
  - velmi problematická implementace QoS (tzv. *best-effort služba*)
  - např. Internet

# Počítačové sítě

## Základní přístupy II.



*spojované síť*

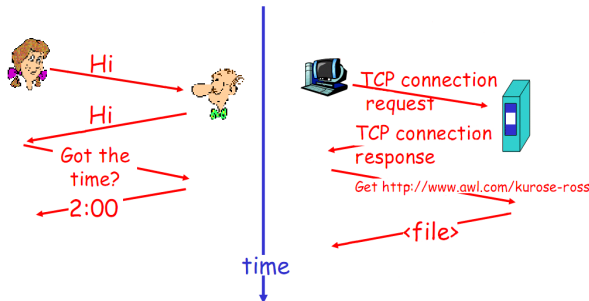


*nespojované síť*



# Komunikační protokoly – Motivace

- motivovány potřebou komunikace a *domluvy* mezi (dvěma či více) entitami
  - *entita* = cokoli, co je schopno přijímat a odesílat informace
- forma komunikace/domluvy musí být známa všem zúčastněným stranám
  - musí se **domluvit na komunikačním protokolu**
- analogie z lidského světa:



## Síťové komunikační protokoly II.

- protokol určuje „*Co*“ je předmětem komunikace, „*Jak*“ daná komunikace probíhá a „*Kdy*“ probíhá
- definuje:
  - *syntaxi* = strukturu/formát zasílaných dat
  - *sémantiku* = význam každé sekce bitů (jak mají být daná data interpretována, jaká akce má s nimi být provedena, atd.)
  - *časování* = kdy je potřeba zaslat kterou zprávu
- příklady síťových protokolů:
  - UDP, TCP, IP, IPv6, SSL, TLS, SNMP, HTTP, FTP, SSH, Aloha, CSMA/CD, ...

### Síťový protokol

**Síťový protokol** definuje formát a pořadí zpráv vyměňovaných mezi dvěma či více komunikujícími entitami, stejně jako akce vykonané při odeslání/příjmu daných zpráv.

# Standardizace

- stanovení norem/standardů popisujících nejrůznější akce, činnosti, formy či způsoby komunikace, atp. (nejen v IT)
- hlavní cíle standardizace:
  - kvalita
  - bezpečnost
  - kompatibilita
  - interoperabilita
  - portabilita
- typy standardů:
  - *de facto* – technická řešení, která se svým úspěchem na trhu prosadila do té míry, že jsou akceptována většinou výrobců jako příklad hodný následování
  - *de jure* – standardy vypracované a schválené oficiálním mezinárodním nebo národním normalizačním orgánem
- nejznámější standardizační instituce působící v oblasti IT:
  - ISO, ITU-T, ANSI, IEEE, IETF (*RFCs*), IEC, etc.

# Osnova přednášky

- 1 Úvod
  - Počítačové sítě
  - Komunikační protokoly
  - Standardizace
- 2 Síťové modely
  - ISO/OSI Model
  - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 TCP/IP Model
  - L1 – Fyzická vrstva
  - L2 – Vrstva datového spoje
  - L3 – Síťová vrstva

# ISO/OSI Model I.

- **7-vrstvý model** navržen organizací OSI za účelem zajištění kompatibility a interoperability komunikačních systémů různých výrobců
- důvody vrstevnaté architektury:
  - každá z vrstev je **zodpovědná za určitou (definovanou) funkcionalitu**
    - aby mohla požadovanou funkcionalitu zajistit, přidává si do přenášených dat své řídicí informace
  - každá vrstva **komunikuje pouze se svými přímo sousedícími vrstvami**
    - každá vrstva využívá služeb poskytovaných vrstvou nižší a poskytuje své služby vrstvě vyšší
    - funkcionalita je **izolována** v rámci příslušné vrstvy (pokud dojde ke změně vrstvy, je zapotřebí upravit pouze vrstvy s ní přímo sousedící)
  - z logického pohledu se komunikace odehrává pouze mezi stejnými vrstvami (tzv. *peery*) obou komunikujících stran; ve skutečnosti však zasílaná data prochází všemi nižšími vrstvami
  - vrstvy jsou pouze abstrakcí funkcionality – skutečné implementace se více či méně liší
- 7 vrstev nebylo komunitou široce akceptováno ⇒ TCP/IP model

# ISO/OSI Model II.

## ISO / OSI

Application Layer  
network applications

Presentation Layer  
data representation

Session Layer  
sessions, session restoration

Transport Layer  
process-process communication, reliability

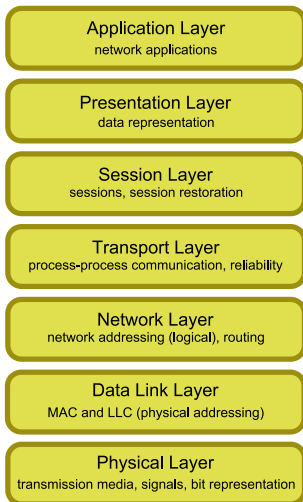
Network Layer  
network addressing (logical), routing

Data Link Layer  
MAC and LLC (physical addressing)

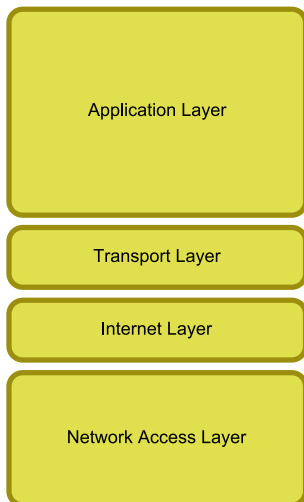
Physical Layer  
transmission media, signals, bit representation

# ISO/OSI Model vs. TCP/IP Model

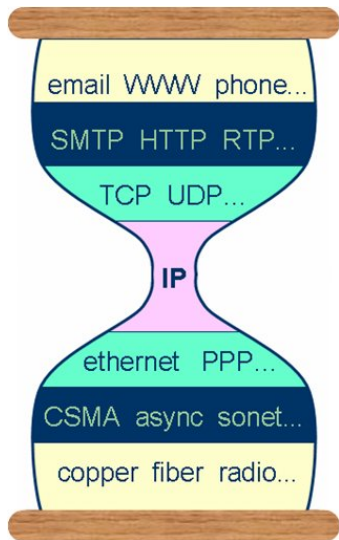
## ISO / OSI



## TCP / IP



# TCP/IP model přesýpacích hodin





# Osнова přednášky

- 1 Úvod
  - Počítačové sítě
  - Komunikační protokoly
  - Standardizace
- 2 Síťové modely
  - ISO/OSI Model
  - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 TCP/IP Model
  - L1 – Fyzická vrstva
  - L2 – Vrstva datového spoje
  - L3 – Síťová vrstva

# Fyzická vrstva – Přehled

## ISO / OSI

Aplikační vrstva  
Síťové aplikace

Prezentační vrstva  
Reprezentace dat

Relační vrstva  
Relace, meziuzlová komunikace

Transportní vrstva  
End-to-end spoje, zajištění spolehlivosti

Síťová vrstva  
Výběr cesty a IP (logické adresování)

Vrstva datového spoje  
MAC a LLC (fyzické adresování)

Fyzická vrstva  
Přenosová média, signály, přenos binárních dat

## Co nás nyní čeká...

- představení L1, poskytované služby
- analogové/digitální signály
- přenos binárních dat – modulace, kódování
- přenosová média, multiplexing

# Fyzická vrstva z pohledu sítě – kde se pohybujeme?



- pouze point-to-point spoje
- bez možnosti adresace stanic

# Fyzická vrstva – Úvod I.

- data mezi komunikujícími uzly přenášeny *přenosovým médiem*
  - přenosové médium = pasivní entita, žádná logika řízení
- **Fyzická vrstva:**
  - poskytuje služby pro *vrstvu datového spoje*
    - vrstva datového spoje předává do (získává z) fyzické vrstvy data vyjádřená posloupností 0 a 1, seskupená do *rámců*
    - fyzická vrstva transformuje bitový obsah rámců do *signálů* šířených přenosovým médiem
  - poskytuje funkcionalitu pro spolupráci s přenosovým médiem
  - řídí děje v přenosovém médiu; rozhoduje např. o:
    - vysílání/přijmu přenášených dat (signálů)
    - kódování dat do signálů
    - počtu logických kanálů přenášejících data z různých zdrojů souběžně

## Fyzická vrstva – Úvod II.

- **hlavní cíl:** zajistit přenos jednotlivých bitů (= obsahu předaných rámců) mezi odesílatelem a příjemcem
  - zprostředkovává tak logickou cestu, kterou cestují zasílané bity
- nejrůznější standardy (RS-232-C, CCITT V.24, CCITT X.21, *IEEE 802.x*) definující elektrické, mechanické, funkční a procedurální vlastnosti rozhraní pro připojení různých přenosových prostředků a zařízení; například:
  - parametry přenášených signálů, jejich význam a časový průběh
  - vzájemné návaznosti řídicích a stavových signálů
  - zapojení konektorů
  - a mnoho dalšího

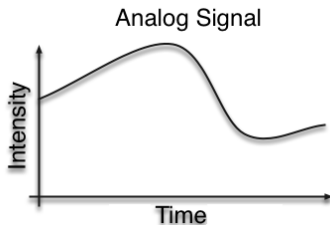
# Fyzická vrstva – Signály

- data jsou přenosovým médiem přenášeny ve formě (elektromagnetických) *signálů*
  - binární data (přenášené bity) musí být na signály transformována
- *signál* = časová funkce reprezentující změny fyzikálních (elektromagnetických) vlastností přenosového média
- data určená k přenosu – *digitální* (binární)
- signály šířené přenosovým médiem – *analogové* nebo *digitální*
  - některá média vhodná pro analogový i digitální přenos – drátový vodič (koaxiál, kroucená dvoulinka), optické vlákno
  - některá média vhodná pouze pro analogový přenos – éter

# Fyzická vrstva – Signály

## Analogový signál

- spojitý v čase (mění se hladce)
- lze jej šířit jak vodiči, tak bezdrátovým prostředím
- např. hlas, hudba, ...

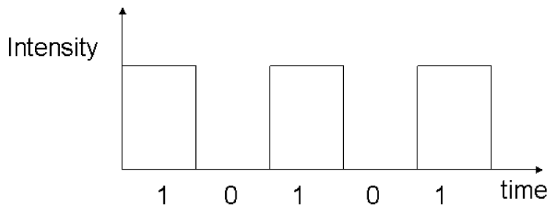


Přenášené bity jsou *modulovány* na analogový signál (např. amplitudová/frekvenční/fázová modulace).

# Fyzická vrstva – Signály

## Digitální signál

- diskrétní v čase (mění se skokově)
- lze jej šířit pouze vodiči
- data diskrétní v hodnotách, např. znaky, prvky abecedy, ...



Přenášené bity musí být *transformovány* do specifického kódování přenášeného digitálním signálem (přímé kódování, NRZ, Manchester, 4B/5B, aj.).

- nezbytné pro překonání problému *synchronizace vysílače a přijímače*



# Fyzická vrstva – Přenosová média

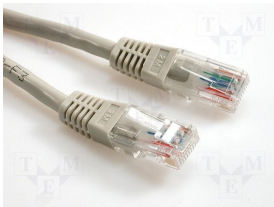
- poskytují prostředí pro činnost fyzické vrstvy
- základní členění:
  - *voděná média*
    - poskytují fyzický kanál od jednoho zařízení ke druhému
    - kroucená dvoulinka (LANs, až 10 Gbps), koaxiální kabel, optické vlákno (páteře, stovky Gbps), atp.
  - *nevoděná média*
    - přenáší elektromagnetické vlnění bez použití fyzického vodiče
    - signály se šíří éterem (vzduch, vakuum, voda)
    - rádiové vysílání, mikrovlnné vysílání, infračervené vysílání, atp.
- detaily viz *PV183: Technologie počítačových sítí*

# Fyzická vrstva – Přenosová média

## Voděná média



(a) Optický kabel.



(b) Kroucená dvoulinka.

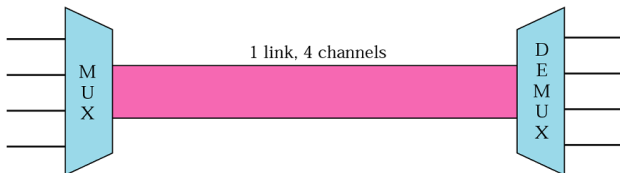


(c) Koaxiální kabel.

Obrázek: Vybraná voděná přenosová média.

## Fyzická vrstva – Multiplexing

- *multiplexing* – technika sdílení dostupné přenosové kapacity přenosového média souběžnými komunikacemi
  - cílem je efektivnější využití média
  - uplatněn zejména u optických vláken a bezdrátů



- pro analogové signály:
  - *Frequency-Division Multiplexing (FDM)*
  - *Wave-Division Multiplexing (WDM)*
- pro digitální signály:
  - *Time-Division Multiplexing (TDM)*

# Fyzická vrstva – Rekapitulace

- zajišťuje přenos jednotlivých bitů mezi odesílatelem a příjemcem
- přenášené bity jsou transformovány do signálů šířených přenosovým médiem
  - pro přenos analogovým signálem je zapotřebí modulace
  - pro přenos digitálním signálem je zapotřebí transformace kódování
    - zejména kvůli problémům synchronizace
- média mohou být voděná (např. kroucená dvoulinka, optické vlákno) a nevoděná (éter)
  - každé z nich vhodné pro jiné přenosové prostředí
  - sdílení média souběžnými přenosy provedeno technikou multiplexingu
- *další informace:*
  - PB156: Počítačové sítě (doc. Hladká)
  - PV169: Základy přenosu dat (doc. Staudek)
  - PV183: Technologie počítačových sítí (dr. Pelikán)

# Vrstva datového spoje – Přehled

## ISO / OSI

Aplikační vrstva  
Síťové aplikace

Prezentační vrstva  
Reprezentace dat

Relační vrstva  
Relace, meziuzlová komunikace

Transportní vrstva  
End-to-end spoje, zajištění spolehlivosti

Síťová vrstva  
Výběr cesty a IP (logické adresování)

Vrstva datového spoje  
MAC a LLC (fyzické adresování)

Fyzická vrstva  
Přenosová média, signály, přenos binárních dat

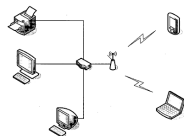
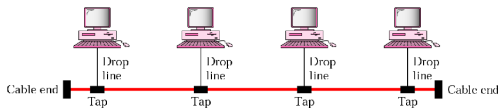
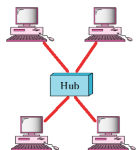
## Proč nestačí L1?

- nezajišťuje opakování chybně přenesené informace
- nepodporuje určení entity mající právo vysílat do média
- nepodporuje ovládání toku dat ze zdroje do média
- nepodporuje komunikaci mezi definovanými partnery

## Co nás nyní čeká...

- představení L2, poskytované služby
- detekce a korekce chyb
- řízení přístupu k médiu
- L2 síť

# Vrstva datového spoje z pohledu sítě – kde se pohybujeme?



- lokální síť – *Local Area Networks (LAN)*
- přenosové médium sdíleno více stanicemi (nutnost adresace stanic)
- tzv. *node-to-node delivery*

# Vrstva datového spoje – Úvod

## ● Vrstva datového spoje:

- přijímá *pakety* od síťové vrstvy, které transformuje do *rámců*
- ve spolupráci s fyzickou vrstvou zajišťuje přenos rámců mezi dvěma komunikujícími uzly propojenými (*sdíleným*) *přenosovým médiem*
  - tj. pouze doručení na stejném segmentu (stejně LAN)
- zaručuje spolehlivost přenosu mezi těmito uzly
- zajišťuje, aby cílový uzel nebyl zahlcován proudícím tokem dat
- řídí přístup uzlů ke sdílenému přenosovému médiu

# Vrstva datového spoje – Služby

- *Tvorba rámců (Framing)*
  - pakety přicházející ze síťové vrstvy jsou „baleny“ do *rámců (frames)*
- *Adresování (Addressing)*
  - adresy entit vrstvy fyzického spoje – *fyzické/MAC adresy*
  - rámce obsahují zdrojovou a cílovou fyzickou adresu komunikujících entit
- *Chybové řízení (Error Control)*
  - chyby ve fyzické vrstvě nelze zcela eliminovat
  - L2 vrstva zajišťuje požadovanou úroveň spolehlivosti datového spoje (detekce a korekce chyb)
- *Řízení přístupu k médiu (Medium Access Control – MAC)*
  - nezbytné v prostředí, ve kterém přenosové médium sdílí více entit
  - eliminuje kolize způsobené násobným vysíláním



# Vrstva datového spoje – Služby

Tvorba rámců, adresace

- příklad Ethernetového rámce:



- preamble:
  - identifikace počátku rámce (synchronizační prvek)
- adresace:
  - každá stanice (síťová karta) „jednoznačně“ identifikována MAC adresou
  - např. 01:23:45:67:89:ab

# Vrstva datového spoje – Služby

## Chybové řízení

- fyzická vrstva je vždy (s určitou pravděpodobností) předmětem chyb
  - chyba = změna hodnoty bitu
  - např. optická vlákna cca  $10^{-12}$ , wireless cca  $10^{-5}$
- vrstva datového spoje provádí detekci/korekci chyb
  - vysílač přidá bity, jejichž hodnota je funkcí přenášených dat
  - přijímač spočte stejnou funkci a v případě rozdílu hodnoty detekuje (pokouší se opravit) chybu
    - v případě detekce (nemožnosti opravy) je vyžádáno opakování přenosu
  - *Error Detection, Automatic Request for Retransmission (ARQ)*
    - detekce chyby a zajištění opakování přenosu
    - vhodné pro málo chybuující přenosová média
    - např. sudá/lichá parita
  - *Forward Error Correction (FEC)*
    - detekce chyb a snaha o jejich korekci (s využitím redundance dat)
    - vhodné pro často chybuující přenosová média či média s velkou latencí
    - např. *Hammingův kód*
    - detaily viz *PV169: Základy přenosu dat*

# Vrstva datového spoje – Služby

## Řízení přístupu k médiu (MAC)

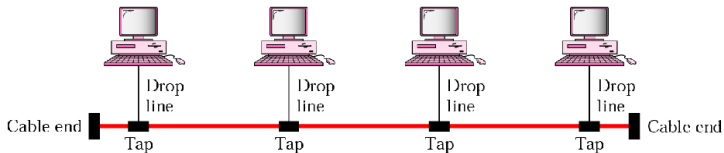
- funkcionality odpovědná za koordinaci přístupu více stanic ke sdílenému přenosovému médiu
- *Cíl*: eliminace kolizí (konfliktů) při vysílání
  - tj. souběžného vysílání do jediného přenosového prostředí
- protokoly řízení přístupu:
  - *protokoly neřízeného přístupu* – Aloha, CSMA/CD, CSMA/CA
  - *protokoly řízeného přístupu* – založeny na rezervacích, vyptávání se, tokenech, atp.
  - *protokoly multiplexově-orientovaného přístupu* – FDMA, TDMA, atd.

# Vrstva datového spoje – L2 síť

- lokální počítačové sítě (LANs)
  - systematická topologie pro jednoduché sítě
    - topologie = fyzické uspořádání stanic na médiu
    - sběrnice, kruh, hvězda, strom, mesh atp.
  - rozlehlejší sítě tvořeny vzájemným propojováním jednoduchých topologií
- *kolizní doména*
  - určena stanicemi sdílejícími přenosové médium
  - kdykoliv začne v kolizní doméně více stanic vysílat, dojde ke *kolizi* (znehodnocení signálu ⇒ nutnost opakování přenosu)

# Vrstva datového spoje – L2 síť

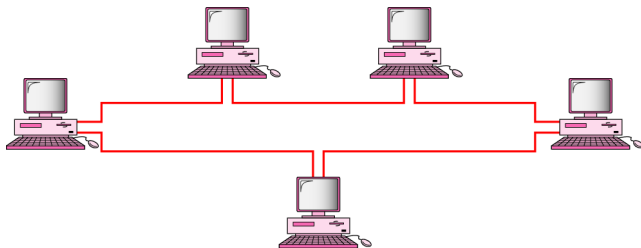
## Sběrníková topologie (*bus topology*)



- relativně jednoduše instalovatelná
- kolizní doména tvořena všemi připojenými stanicemi
- CSMA/CD jako protokol řízení přístupu k médium
- náchylná k defektům (výpadek kabelu = výpadek celé sítě)

# Vrstva datového spoje – L2 síť

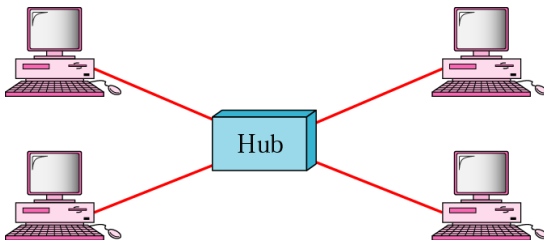
## Kruhová topologie (*ring topology*)



- všechny zprávy putují v jednom směru
- kolizní doména tvořena všemi připojenými stanicemi
- právo vysílat určuje metoda „peška“
- velmi náchylná k defektům (výpadek kabelu/zařízení = výpadek celé sítě)

# Vrstva datového spoje – L2 síť

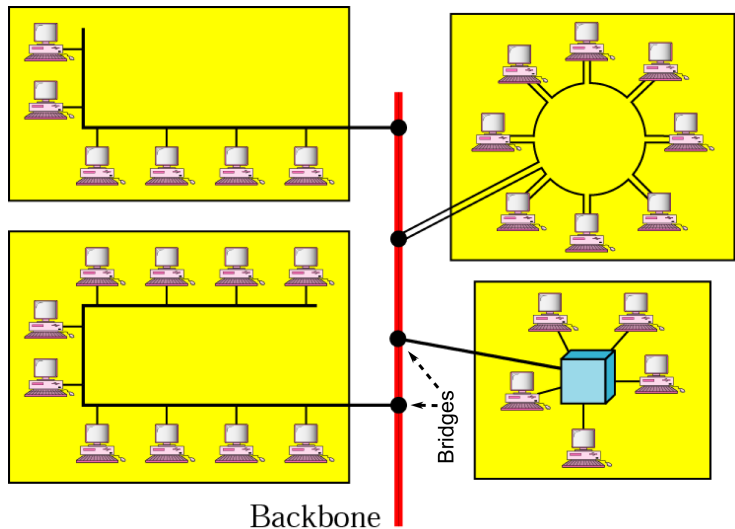
## Hvězdicová topologie (*star topology*)



- centrální propojovací bod (hub, bridge, switch)
- hůře instalovatelná
- kolizní doména v závislosti na propojovacím bodu
  - *hub* – operuje na L1 – kolizní doména tvořena všemi připojenými stanicemi
  - *bridge, switch* – operují na L2 – kolizní doména vždy tvořena pouze dvěma sousedícími stanicemi
- nepřilíš náchylná k defektům (výpadek kabelu = výpadek pouze

# Vrstva datového spoje – L2 síť

## Ilustrace budování L2 sítě





# Vrstva datového spoje – Rekapitulace

- zajišťuje přenos rámců mezi dvěma komunikujícími uzly (určeny MAC adresami) propojenými sdíleným přenosovým médiem
  - se zajištěním spolehlivosti přenosu
  - s ochranou přijímajícího uzlu proti zahlcení
  - s řízením přístupu k médiu (MAC protokoly)
- L2 síť (LANs):
  - sběrníková, kruhová, hvězdicová topologie
  - základní stavební prvky pro rozsáhlé síť: můstky, switche
- *další informace:*
  - PB156: Počítačové síť (doc. Hladká)
  - PV169: Základy přenosu dat (doc. Staudek)
  - PV183: Technologie počítačových sítí (dr. Pelikán)
  - grafové algoritmy – PB165: Grafy a síť (prof. Matyska, doc. Hladká, dr. Rudová)

# Síťová vrstva – Přehled

## ISO / OSI

Aplikační vrstva  
Síťové aplikace

Prezentační vrstva  
Reprezentace dat

Relační vrstva  
Relace, meziuzlová komunikace

Transportní vrstva  
End-to-end spoje, zajištění spolehlivosti

**Síťová vrstva**  
Výběr cesty a IP (logické adresování)

Vrstva datového spoje  
MAC a LLC (fyzické adresování)

Fyzická vrstva  
Přenosová média, signály, přenos binárních dat

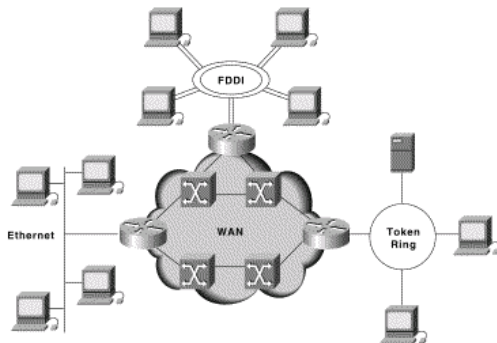
## Proč nestačí L2?

- nemožnost vybudování geograficky libovolně rozlehlé sítě
- neuniformní prostředí

## Co nás nyní čeká. . .

- představení L3, poskytované služby
- Internetworking, modely zajištění síťových služeb
- adresace na L3, přidělování adres
- protokoly IPv4, ARP, ICMP
- protokoly IPv6, ICMPv6
- směrování, směrovací techniky

## Síťová vrstva z pohledu sítě – kde se pohybujeme?



- propojování lokálních sítí do větších, komplexních sítí (např. Internet)
- možnost ustavení komunikačního kanálu mezi „libovolnými“ stanicemi v Internetu
  - skrze více samostatných fyzických sítí (LANs)
  - tzv. *host-to-host delivery*

# Síťová vrstva – Úvod

## ● Síťová vrstva:

- poskytuje služby pro *transportní vrstvu*:
  - přijímá *segmenty* od transportní vrstvy, které transformuje do *paketů*
  - ve spolupráci s vrstvou datového spoje zajišťuje přenos paketů mezi komunikujícími uzly (*i mezi různými fyzickými LAN sítěmi*)
- logicky spojuje samostatné heterogenní LAN sítě
  - vyšším vrstvám poskytuje iluzi uniformního prostředí jediné velké sítě (*WAN – Wide Area Network*)
- poskytuje možnost jednoznačné identifikace (adresace) každého PC/zařízení na Internetu
- zajišťuje *směrování* procházejících paketů
- ve spolupráci s vrstvou datového spoje mapuje adresy síťové vrstvy na fyzické adresy (MAC adresy)
- další služby: multicast

## Síťová vrstva – Služby

- *Propojování fyzických sítí (Internetworking)*
  - iluze uniformního prostředí jediné velké sítě
- *Tvorba paketů (Packetizing)*
  - přijaté segmenty transformovány na pakety (IP protokol)
- *Fragmentace paketů (Fragmenting)*
  - rozdělování segmentů na pakety s délkou závislou na vlastnostech/schopnostech sítě
- *Adresace (Addressing)*
  - adresy entit síťové vrstvy – tzv. *IP adresy*, jedinečné skrze celou síť
  - pakety obsahují zdrojovou a cílovou IP adresu komunikujících entit
- *Mapování IP adres na/z fyzické adresy (Address Resolution)*
  - ARP, RARP protokoly
- *Směrování (Routing)*
  - nalezení nejvhodnější cesty mezi komunikujícími entitami, reakce na chyby
- *Metody základního monitoringu stavu sítě (Control Messaging)*
  - základní informace o nedoručitelnosti paketů, stavu sítě, uzlů, atp. – ICMP protokol

# Síťová vrstva – Služby

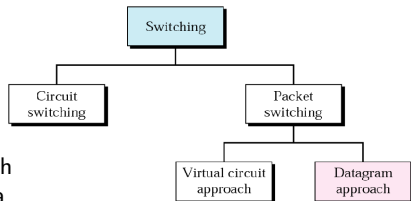
## Propojování sítí (Internetworking)

- vzájemné propojování celých sítí i jednotlivých kabelových segmentů (hierarchie)
- propojením vzniká tzv. *internetwork*, zkráceně *internet*
  - **internet** = jakékoliv propojení dvou či více sítí
  - **Internet** = jméno jedné konkrétní sítě (celosvětového Internetu)
- důvody pro internetworking:
  - překonání technických omezení/překážek – např. omezený dosah kabelových segmentů
  - optimalizace fungování sítě – snaha regulovat tok dat, zamezení zbytečného šíření provozu
  - zpřístupnění vzdálených zdrojů – přístup ke vzdáleným serverům
  - zvětšení dosahu poskytovaných služeb – elektronická pošta, internetové telefonování, ...

# Síťová vrstva – Internetworking

## Modely zajištění síťových služeb

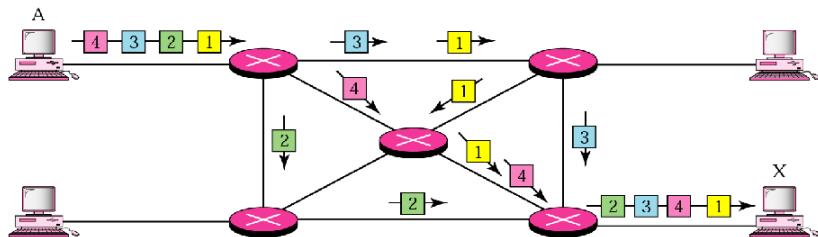
- přepínání okruhů (*Circuit Switching*):
  - ustavení přímého fyzického spojení mezi odesílatelem a příjemcem
  - bez potřeby paketizace
  - vrstva L1, využito ve spojovaných sítích
  - spojovaná (*connection-oriented*) služba
- přepínání paketů (*Packet Switching*):
  - zaslání nezávislých datových jednotek (paketů)
  - *virtuální kanály (Virtual Circuits Approach)*:
    - na začátku přenosu ustavena cesta (implementováno na L2/L3)
    - všechny pakety jedné relace putují po stejné trase
    - spojovaná (*connection-oriented*) služba
  - *datagramový přístup (Datagram Approach)*:
    - každý paket obsluhován zcela nezávisle na ostatních
    - nespojovaná (*connectionless*) služba
    - pakety jsou zde nazývány *datagramy*
    - Internet



# Síťová vrstva – Internetworking

## Datagramový přístup

Internet **na síťové vrstvě** využívá *datagramový přístup* k přepínání paketů, komunikace je *nespojovaná*.

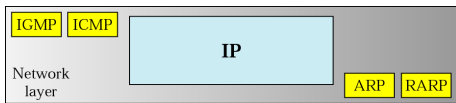


Obrázek: Ilustrace datagramového přístupu k přepínání paketů.



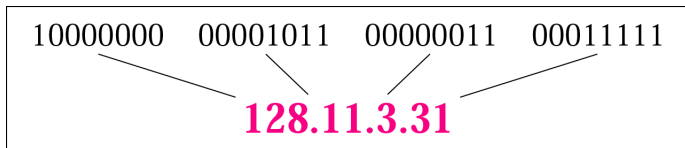
# Internet Protocol (IP protokol)

- nejrozšířenější protokol síťové vrstvy
  - doprava dat (datagramů) na místo jejich určení, a to i přes mezilehlé uzly (směrovače) – *host-to-host delivery*
    - uzly/rozhraní v rámci IP protokolu jednoznačně identifikovány IP adresami
    - využívá *datagramový přístup* k přepínání paketů, komunikace je *nespojovaná*
    - ⇒ směrování (příští přednáška)
  - poskytuje nespolehlivou (tzv. *best-effort*) službu
  - doplněn dalšími podpůrnými protokoly (ICMP, ARP, RARP, IGMP)
    - ošetření nestandardních situací, šíření informací potřebných ke korektnímu směrování, identifikace rozhraní na LAN atd.
- navržen a standardizován ve dvou verzích:
  - *Internet Protocol verze 4 (IPv4)* – 1981, RFC 791
  - *Internet Protocol verze 6 (IPv6)* – 1998, RFC 2460



# IPv4 – Adresace

- požadavek *jednoznačné identifikace* každého zařízení připojeného k Internetu
- nutnost *systematického přidělování adres*
  - za účelem snadnějšího směrování
- každému zařízení/rozhraní přiřazena *Internetová adresa (IP adresa)*
  - *IPv4 adresa (32 bitů) vs. IPv6 adresa (128 bitů)*



# IPv4 – Adresace

## Typy adres

- *Individuální (unicast) adresy* – identifikace jednoho síťového rozhraní
  - identifikace jediného odesílatele/příjemce
- *Broadcast adresy* – slouží pro zasílání dat všem možným příjemcům na dané LAN („all-hosts broadcast“)
  - zdrojová adresa datagramu (identifikace odesílatele) je unicastová
- *Skupinové (multicast) adresy* – slouží pro adresování skupiny příjemců (síťových rozhraní), kteří o data **projevili zájem**
  - data směrovači rozesílána všem členům skupiny
  - zdrojová adresa datagramu (identifikace odesílatele) je unicastová

# IPv4 – Fragmentace datagramů

- *situace:*
  - zdrojový uzel chce odeslat datagram, který je větší než MTU výstupní linky
  - směrovač přijme datagram, který je větší než MTU výstupní linky
- *řešení:* provedení tzv. *fragmentace IP datagramu*
  - původní datagram je rozdělen na několik menších datagramů (tzv. *fragmenty*)
  - každý fragment získá svou vlastní IP hlavičku (= stane se z něj nový, plnohodnotný datagram)
  - fragmenty na cílovém uzlu složeny do původního datagramu (před předáním transportnímu protokolu)
- složení fragmentů do původního datagramu vyžaduje:
  - identifikaci datagramu, kterému fragmenty náležejí
  - znalost počtu fragmentů
  - znalost pozice každého fragmentu v původním datagramu

# IPv4 – Internet Control Message Protocol (ICMP)

- IP protokol poskytuje nespolehlivou (best-effort) službu
  - bez mechanismů pro informování odesílatele o vzniklých chybách
  - bez podpůrných mechanismů pro zjišťování stavu sítě
- *Internet Control Message Protocol (ICMP)*
  - RFC 792
  - doprovodný protokol IP protokolu
  - poskytuje informace o chybách při přenosu IP datagramů
  - poskytuje základní informace o stavu sítě
- např.
  - oznamy o chybách:
    - *Destination unreachable* – „Destination“ může být protokol, port, uzel nebo celá síť
    - *Time exceeded* – informace o vypršení TTL či informace o vypršení času pro znovusložení fragmentů IP datagramu
  - dotazy na stav sítě/uzlu:
    - *Echo request/reply* – požadavek na odpověď

# IP protokol verze 6 (IPv6) – Proč nový protokol?

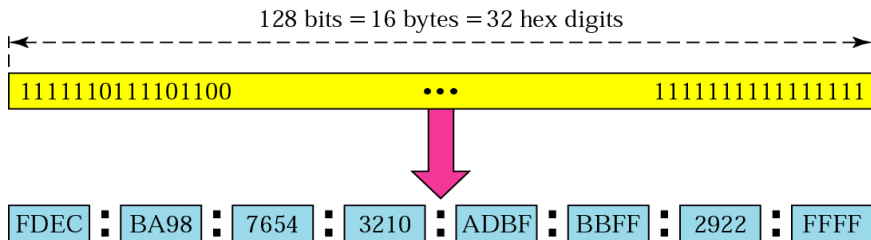
- *hlavní impulz pro návrh nového IP protokolu*: relativně rychlé vyčerpávání adresního prostoru IPv4 protokolu
- další důvody: problémy IPv4, které vyvstaly s rozvojem Internetu, zejména
  - slabá podpora přenosů aplikací reálného času
  - žádná podpora zabezpečené komunikace na úrovni IP
  - žádná podpora autokonfigurace zařízení
  - žádná podpora mobility
  - atp.
- (mnoho vlastností do IPv4 zpětně doimplementováno)

# IP protokol verze 6 (IPv6) – Vlastnosti

- *rozšířený adresní prostor* – 128-bitová IPv6 adresa,  $2^{128}$  jedinečných adres
- *jednodušší formát hlavičky* – základní 40B hlavička obsahující pouze nejnnutnější informace
- *možnosti dalšího rozšíření* – skrze tzv. *rozšiřující hlavičky*
- *podpora přenosů reálného času* – značkování toků, prioritizace provozu
- *podpora zabezpečení přenosu* – podpora autentizace, šifrování a verifikace integrity přenášených dat
- *podpora mobility* – skrze tzv. *domácí agenty*
- *podpora autokonfigurace zařízení* – stavová a bezstavová konfigurace

# IPv6 – Adresace

- adresy využívané protokolem IPv6 (viz dále)
- (prozatím) finální řešení nedostatku IP adres
- IPv6 adresa má 128 bitů (= 16 bajtů):
  - $2^{128}$  možných adres ( $\approx 3 \times 10^{38}$  adres  $\Rightarrow \approx 5 \times 10^{28}$  adres na každého obyvatele Země)
  - hexadecimální zápis místo dekadického (po dvojicích bajtů oddělených znakem „:“)





# IPv6 – Adresace

## Zkracování zápisu

Úvodní nuly lze ze zápisu každé skupiny vynechat:

- 0074 lze psát jako 74, 000F jako F, ...
- 3210 **nelze** zkracovat!

Unabbreviated

FDEC : BA98 : 0074 : 3210 : 000F : BBFF : 0000 : FFFF



FDEC : BA98 : 74 : 3210 : F : BBFF : 0 : FFFF

Abbreviated

Sekvenci po sobě jdoucích nulových skupin lze vynechat:

- vždy však **pouze jednu sekvenci** takovýchto nulových skupin!

Abbreviated

FDEC : 0 : 0 : 0 : 0 : BBFF : 0 : FFFF



FDEC : : BBFF : 0 : FFFF

More Abbreviated

# IPv6 – Adresace

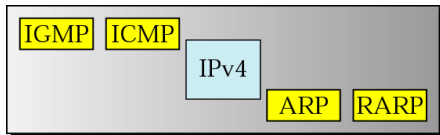
## Typy adres

- *Individuální (unicast) adresy* – totéž co v IPv4, identifikace jednoho síťového rozhraní
- *Skupinové (multicast) adresy* – totéž co v IPv4, slouží pro adresování skupin počítačů či jiných síťových zařízení
  - data jsou vždy doručena všem členům skupiny
  - prefix `ff00::/8`
- *Výběrové (anycast) adresy* – novinka v IPv6
  - také označují skupinu příjemců
  - data se však doručí jen jedinému jejímu členovi (tomu, který je nejbližší)
- broadcast adresy IPv4 protokolu se v IPv6 nevyužívají
  - nahrazeny speciálními multicastovými skupinami (např. všechny uzly na dané lince)

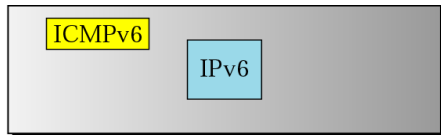
# IPv6 – ICMP protokol verze 6

- **ICMP protokol verze 6 (ICMPv6)**

- založen na stejných principech/mechanismech jako ICMPv4
- navíc zahrnuje funkcionalitu protokolů ARP a IGMP
  - s využitím *Neighbour Discovery* protokolu operujícím nad ICMPv6



Network layer in version 4



Network layer in version 6