

1. Úvod do světa počítačových sítí

PB156: Počítačové sítě

Eva Hladká

Slidy připravil: Tomáš Rebok

Fakulta informatiky Masarykovy univerzity

jaro 2025

Představení kurzu

Představení kurzu PB156

Základní představení kurzu

- účast na přednáškách není povinná
- slidy k přednáškám budou průběžně vystavovány ve studijních materiálech předmětu
- zkouška je pouze písemná:
 - a to pouze na konci semestru
 - 1 řádný + 2 opravné termíny
 - běžná písemka (styl *otázka-odpověď*), nikoli test
- materiály ke studiu:
 - B. A. Forouzan: *Data Communications and Networking (4th Edition)*. McGraw Hill Higher Education. 2009.
 - J. F. Kurose, K. W. Ross: *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet (8th Edition)*. Addison-Wesley. 2021.
 - L. Dostálek, A. Kabelová: *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS*. Computer Press. 2008.
 - slidy, RFC dokumenty, . . .
 - literatura, která bude uvedena v relevantních částech přednášky

Přehled kurzu

- cíl kurzu:
 - poskytnout základní pohled do světa počítačových sítí (jejich architektury a funkcionality)
 - na tento přehled pak navážou další kurzy
 - *PV169: Základy přenosu dat* (Ing. Oujezský) – detaily k L1 a L2 ISO/OSI modelu
 - *PV183: Technologie počítačových sítí* (dr. Pelikán) – současné technologie využívané v počítačových sítích
 - *PV233: Počítačové sítě a směrovací protokoly* (dr. Pelikán et al.) – Cisco Academy I.
 - *PV234: Přepínání v LAN, bezdrátové sítě a rozsáhlé sítě* (dr. Pelikán et al.) – Cisco Academy II.
- témata probíraná v rámci PB156:
 - úvod do světa počítačových sítí, ISO/OSI vs. TCP/IP modely
 - ISO/OSI detailněji (po vrstvách)
 - základy bezpečnosti v počítačových sítích
 - atd.

Cvičení PB156cv

- cíl cvičení:
 - poskytnout základní dovednosti ze světa počítačových sítí
 - 6 cvičení po 4 hodinách
 - před cvičením společná hodina nutné teorie
 - cvičení zakončeno vypracováním protokolu
 - k absolvování předmětu nutno odevzdat nejméně 5 protokolů

Poděkování

Poděkování

Jako zdroje **informací** a **obrázků** posloužily:

- B. A. Forouzan: *Data Communications and Networking (4th Edition)*. McGraw Hill Higher Education. 2007.
- J. F. Kurose, K. W. Ross: *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet (5th Edition)*. Addison-Wesley. 2000.
- + webové zdroje

1. Úvod do světa počítačových sítí

1. Úvod do světa počítačových sítí

Struktura přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
 - ISO/OSI Model
 - Vrstvy ISO/OSI
 - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly
 - Motivace
 - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

Osnova přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
 - ISO/OSI Model
 - Vrstvy ISO/OSI
 - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly
 - Motivace
 - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

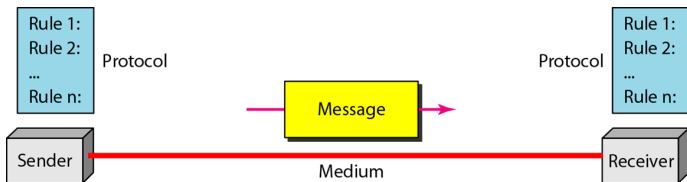
Počítačové sítě

Úvod

- skupina počítačů a zařízení propojená komunikačními kanály, které napomáhají vzájemné komunikaci mezi uživateli a umožňují jim sdílet dostupné zdroje
 - základní součástí je *přenos dat*
 - *data* = text, video, audio, atd.
- 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

Základní součásti komunikačního systému



- *Odesílatel (Sender)* – zařízení zasílající datovou zprávu (pracovní stanice, mobilní přístroj, videokamera, atd.)
- *Příjemce (Receiver)* – zařízení přijímající datovou zprávu (pracovní stanice, mobilní přístroj, videokamera, atd.)
- *Zpráva (Message)* – informace, která je mezi odesílatelem a příjemcem vyměňovaná (text, čísla, obrázky, audio, video, atd.)
- *Přenosové médium (Transmission medium)* – fyzické médium, skrze které je zpráva mezi odesílatelem a příjemcem přenesena (kroucená dvoulinka, optický kabel, bezdrátové médium (vzduch), atd.)
- *Protokol (Protocol)* – sada pravidel řídících komunikaci mezi zúčastněnými stranami (dohoda mezi stranami, jakým způsobem budou mezi sebou komunikovat)

Počítačové sítě

Základní parametry síťových toků

- **Propustnost (bandwidth)** – udává kapacitu přenosového kanálu (vyjadřuje maximální množství informace přenesené za jednotku času)
 - jednotky: *bps* (= *bit/sec*), *kbps* (= *kbit/sec*), *Mbps* (= *Mbit/sec*), *Gbps* (= *Gbit/sec*), atd.
- **Ztrátovost paketů (packet loss)** – průměrný počet ztracených paketů za určité období vyjádřený v % vzhledem k celkovému počtu přenesených paketů
- **Zpoždění přenosu (delay, latency)** – čas, který uplyne od odeslání zprávy zdrojovým uzlem po její přijetí na uzlu cílovém (nejčastěji uvedený v *ms*)
 - zahrnuje zpoždění v přenosové trase a na zařízeních, které jsou její součástí
 - někdy se také uvádí tzv. *RTT delay* (*Round-Trip-Time delay*)
 - = zpoždění obousměrného přenosu
 - tj. čas, který uplyne od odeslání zprávy zdrojovým uzlem, jejím přijetím na uzlu cílovém, zpětným odesláním na zdrojový uzel až po její přijetí na zdrojovém uzlu
- **Rozptyl/Kolísání zpoždění (jitter)** – představuje variabilitu v doručování paketů cílovému uzlu (tedy ve zpoždění při přenosu)
 - jednotky: *ms*, *μs*, atp.

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

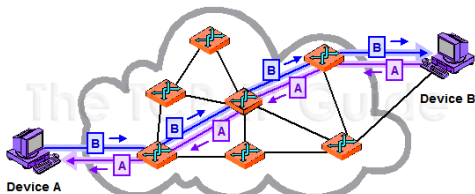
Počítačové sítě

Základní přístupy I.

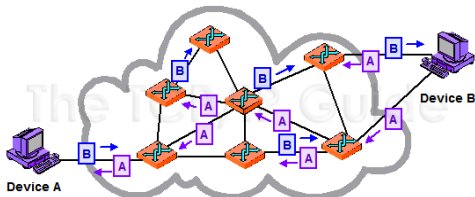
- **spojované sítě** (= přepínání okruhů)
 - mezi komunikujícími uzly je před začátkem přenosu ustaveno *spojení* (nazýváno též *okruh*), které je udržováno během celé komunikace
 - spojováno operátorkami či automatizovaně s využitím relé
 - informace o spojení jsou udržovány sítí – síť musí uchovávat *stav*
 - okruh může být buď pevný (předvytvořený) 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

Počítačové sítě

Implementace funkcionality

Jak lze v počítačových sítích implementovat požadovanou funkcionality?

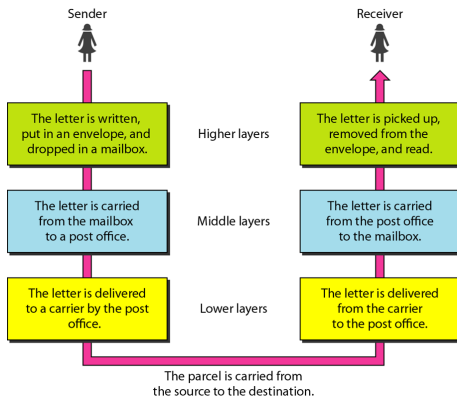
- **End-to-End (E2E) přístup – *E2E argument***
 - aplikací požadovanou funkcionality lze zajistit pouze se znalostí a prostřednictvím samotné aplikace
 - \Rightarrow pokud je to možné, měly by být operace komunikačního protokolu definovány tak, aby byly prováděny buď v koncových bodech komunikačního systému, nebo co nejbližší k nim
 - v nižších vrstvách systému mají být funkce protokolu implementovány pouze tehdy, pokud to zlepšuje výkon
 - vhodný pro aplikace, které vyžadují vysoký stupeň věrnosti přenesených dat a současně tolerují zpoždění
- **Hop-by-Hop (HbH) přístup**
 - opakováním určité funkcionality na úrovni každého dvoubodového přenosu lze dosáhnout výrazného zvýšení výkonu
 - vyžaduje se však uchování stavových informací na vnitřních prvcích sítě \Rightarrow limitovaná škálovatelnost
 - vhodný pro aplikace, kde minimalizace zpoždění je důležitější, nežli věrnost přenesených dat (tzv. real-time aplikace)

Osnova přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
 - ISO/OSI Model
 - Vrstvy ISO/OSI
 - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly
 - Motivace
 - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

Sítové modely – Motivace

- inspirace z reálného světa:
 - komplexní činnosti lze rozložit do podčinností (*vrstev*) a tyto pak provádět samostatně
 - v určité předdefinované hierarchii (každá z vrstev spolupracuje s vrstvou okolní)
 - viz zasílání dopisu poštou

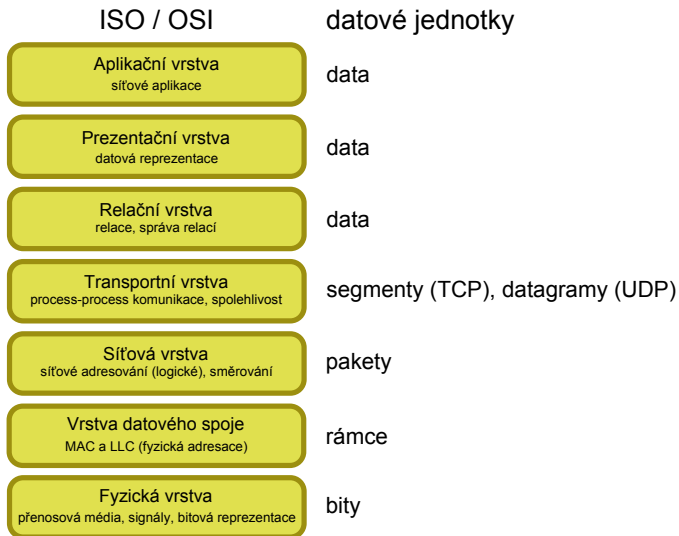


ISO/OSI Model I.

ISO/OSI Model: (ISO = název organizace, OSI = jméno modelu)

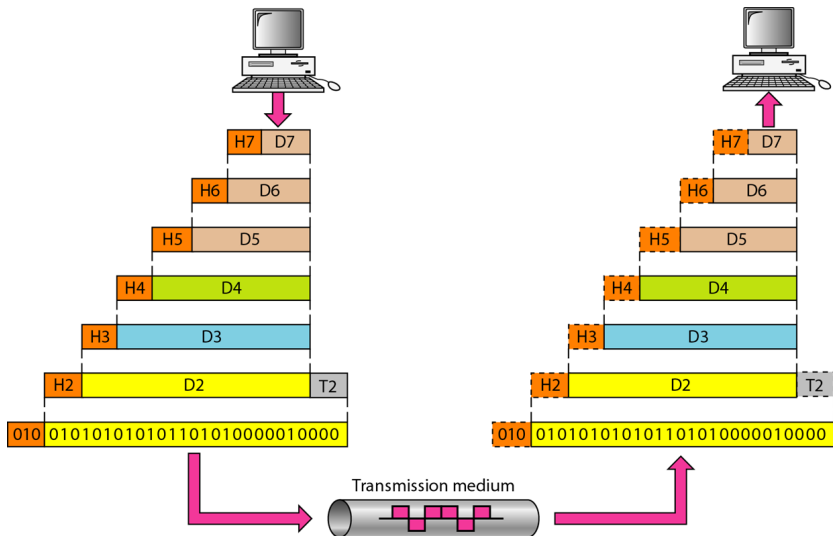
- **7-vrstvý model** navržen organizací OSI za účelem zajištění kompatibility a interoperability komunikačních systémů různých výrobců
- důvody vrstevnaté architektury:
 - každá z vrstev je **zodpovědná za určitou (definovanou) funkcionalitu**
 - aby mohla požadovanou funkcionalitu zajistit, přidává 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 Model III.

Umístění řídicích informací jednotlivých vrstev

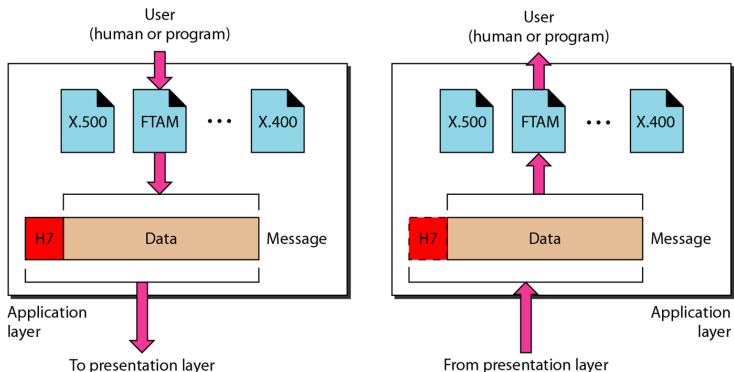


Vrstvy ISO/OSI

Aplikační vrstva

Aplikační vrstva

- představuje rozhraní mezi uživatelem (člověkem) a počítačovou sítí
- zahrnuje *síťové aplikace/programy* a *síťové protokoly*
 - síťovou aplikací požadovaná data jsou balena do aplikačních protokolů a předána prezentační vrstvě

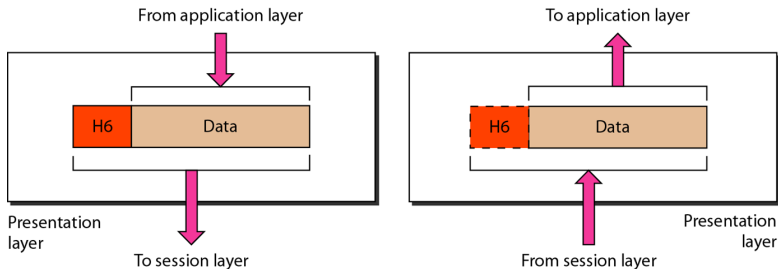


Vrstvy ISO/OSI

Prezentační vrstva

Prezentační vrstva

- zajišťuje jednotnou reprezentaci dat na obou komunikujících stranách
- v rámci TCP/IP modelu se předpokládá, že tato funkcionality je zajištěna samotnou aplikací

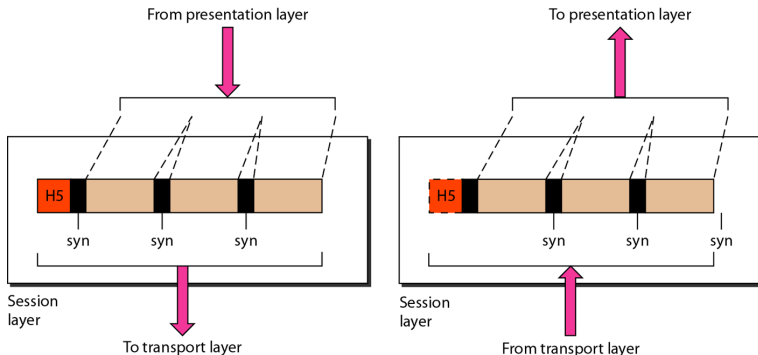


Vrstvy ISO/OSI

Relační vrstva

Relační vrstva

- spravuje ustavená spojení (= relace) mezi komunikujícími aplikacemi
- v rámci TCP/IP modelu se předpokládá, že tato funkcionality je zajištěna samotnou aplikací, resp. aplikačním protokolem

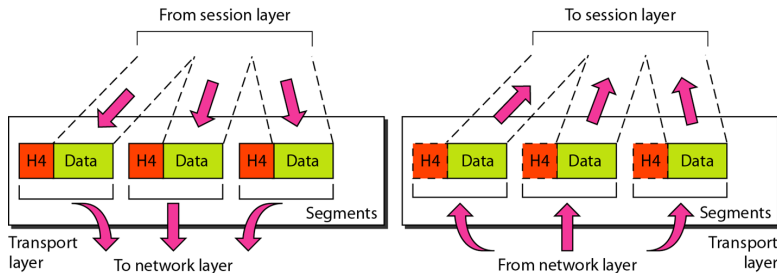


Vrstvy ISO/OSI

Transportní vrstva

Transportní vrstva

- zajišťuje identifikaci (= adresaci) a doručení dat (segmentů, datagramů) mezi dvěma komunikujícími procesy
 - s případným zajištěním spolehlivosti přenosu

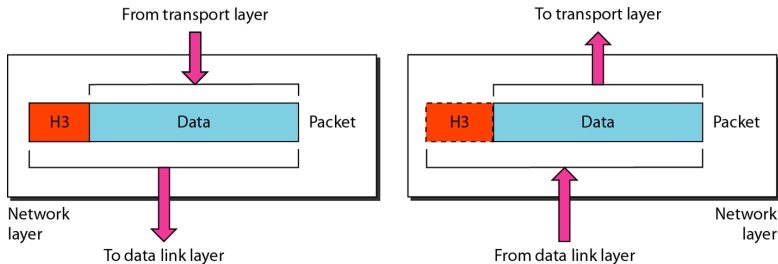


Vrstvy ISO/OSI

Síťová vrstva

Síťová vrstva

- zajišťuje identifikaci (= adresaci) a doručení dat (paketů) mezi dvěma komunikujícími uzly
 - součástí je také nalezení vhodné cesty mezi komunikujícími uzly (= *směrování*)

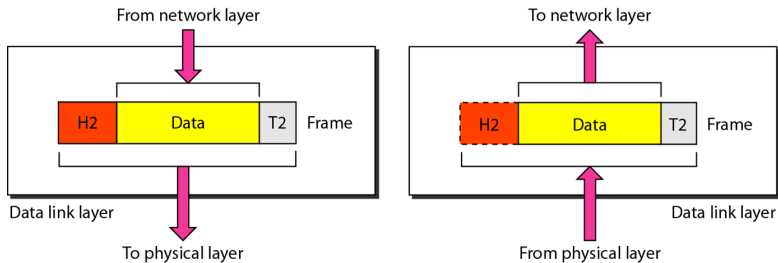


Vrstvy ISO/OSI

Vrstva datového spoje (Spojová vrstva)

Vrstva datového spoje (Spojová vrstva)

- zajišťuje přenos dat (rámců) mezi dvěma komunikujícími uzly propojenými sdíleným přenosovým médiem
 - včetně řízení přístupu k tomuto sdílenému médiu

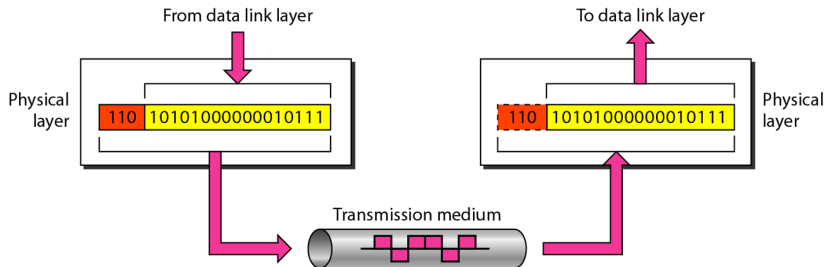


Vrstvy ISO/OSI

Fyzická vrstva

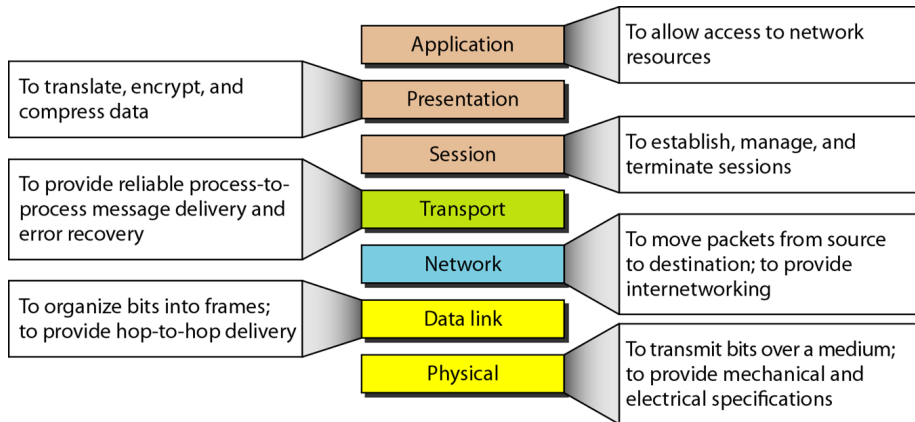
Fyzická vrstva

- řídí děje v přenosovém médiu
 - rozhoduje např. o vysílání/přijímů přenášených dat (bitů), kódování dat do signálů, atp.



Vrstvy ISO/OSI

Shrnutí



ISO/OSI Model vs. TCP/IP Model I.

ISO / OSI

Aplikační vrstva
síťové aplikace

Prezentační vrstva
datová reprezentace

Relační vrstva
relace, správa relací

Transportní vrstva
process-process komunikace, spolehlivost

Síťová vrstva
síťové adresování (logické), směrování

Vrstva datového spoje
MAC a LLC (fyzická adresace)

Fyzická vrstva
přenosová média, signály, bitová reprezentace

TCP/IP

Aplikační vrstva

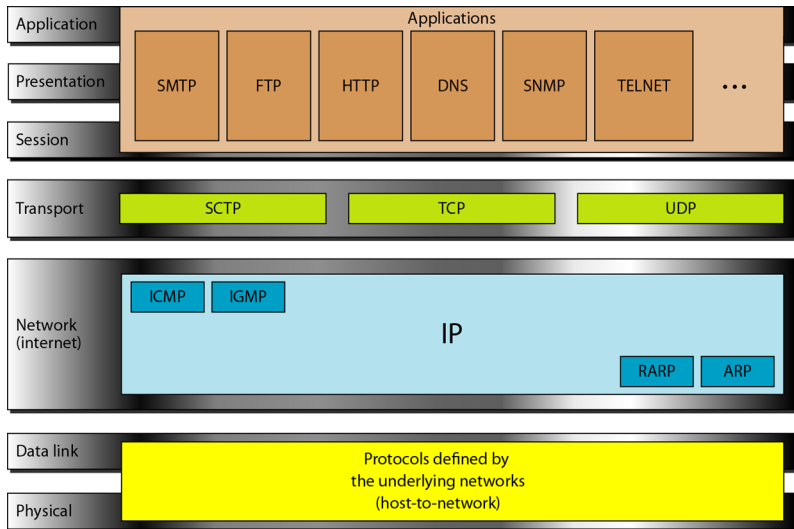
Transportní vrstva

Síťová (Internetová) vrstva

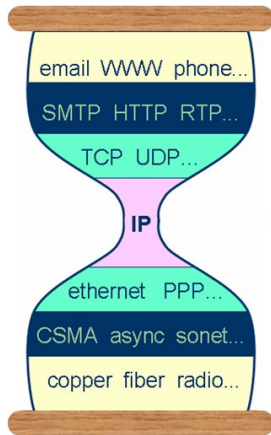
Vrstva přístupu k síti/médiu

ISO/OSI Model vs. TCP/IP Model II.

Ilustrace základních síťových protokolů



TCP/IP – Model přesýpacích hodin



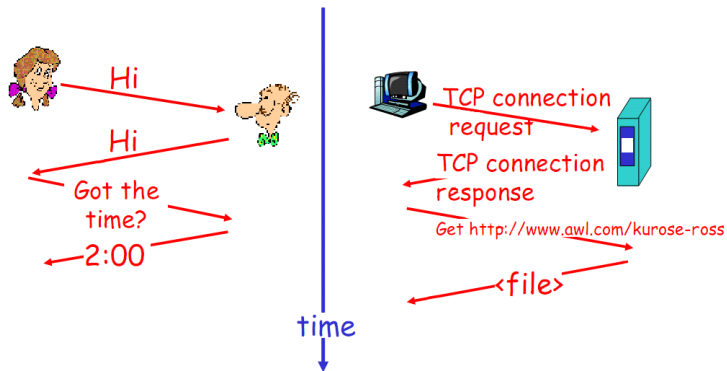
Nezávisle na využitých protokolech aplikační a transportní vrstvy, stejně jako nezávisle na využitých technologiích (protokolech) přenosu bitů po fyzickém médiu, je pro identifikaci uzlů v síti (za účelem směrování) vždy využit **IP protokol**.

Osnova přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
 - ISO/OSI Model
 - Vrstvy ISO/OSI
 - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly**
 - Motivace
 - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

Komunikační protokoly – Motivace

- potřeba komunikace a *domluvy* mezi (dvěma či více) entitami
- forma komunikace/domluvy musí být známa všem zúčastněným stranám
- analogie z lidského světa:



Komunikační protokoly – Analogie z běžného života

Průběh komunikace:

- 1 Výzva ke komunikaci:
 - Alice \Rightarrow Bob: *Hi!*
- 2 Akceptace komunikace (\sim ustavení komunikačního kanálu):
 - Bob \Rightarrow Alice: *Hi!*
 - forma odmítnutí komunikace: *Don't understand, Don't bother me!, ...*
- 3 Další postup v závislosti na přijaté zprávě:
 - komunikace akceptována \rightarrow dotaz na čas
 - komunikace odmítnuta \rightarrow konec spojení
 - timeout \rightarrow opakování žádosti o ustavení komunikace; později ukončení pokusů o spojení

Síťové komunikační protokoly

- obdobné lidským protokolům, komunikace však probíhá mezi HW/SW komponentami počítačové sítě
- jakákoliv aktivita dvou či více vzdálených komunikujících stran je řízena protokolem
 - protokoly v síťových kartách řídí tok bitů zasílaných drátem
 - protokoly ve směrovačích určují cestu paketu sítí
 - protokoly pro řízení zahlcení sítě řídí rychlost zasílaných paketů mezi odesílatelem a příjemcem
 - atd. atd.

Síťový protokol

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

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, ...

Osnova přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
 - ISO/OSI Model
 - Vrstvy ISO/OSI
 - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly
 - Motivace
 - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

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

Standardizační instituce působící v oblasti počítačových sítí

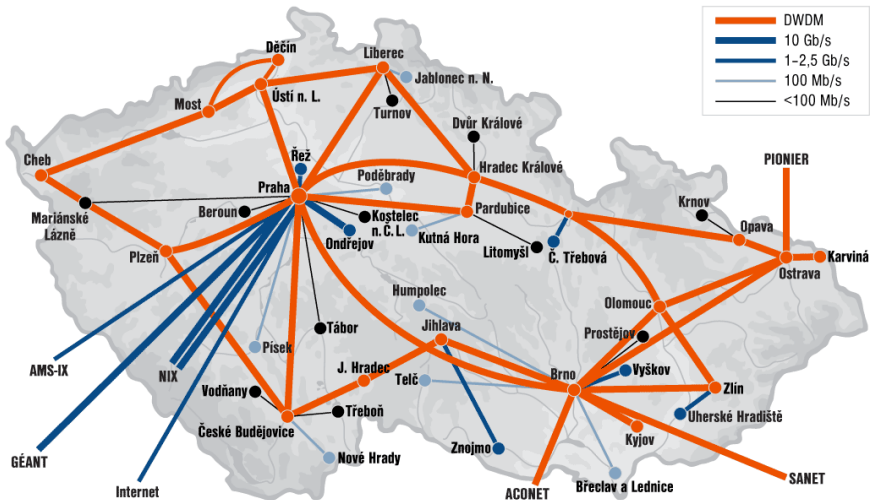
- ITU-T: International Telecommunications Union - Telecommunications Standardization Sector
 - původně CCITT; základní normalizační orgán pro oblast telekomunikací
- ISO: International Organization for Standardization
 - mezinárodní normalizační instituce pro mnoho oborů
- IEC: International Electrotechnical Commission
 - spolupráce s ISO v oblastech, která nejsou předmětem působení ISO (elektronika, elektrotechnika, informační technologie)
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
 - mezinárodní společnost profesionálů vyvíjejících normy pro elektrotechniku
- ANSI: American National Standards Institute
 - národní organizační instituce USA; vydává dobrovolné normy, koordinuje jejich vývoj
- IETF: Internet Engineering Task Force
 - příprava specifikací pro Internet (zpravidla nejsou přijaty oficiálními normalizačními institucemi); vydává tzv. **Request for Comments (RFC)**
- EIA: Electronics Industry Association
 - průmyslová organizace výrobců elektronických zařízení, normalizace zejména na úrovni fyzické vrstvy

Osnova přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
 - ISO/OSI Model
 - Vrstvy ISO/OSI
 - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly
 - Motivace
 - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

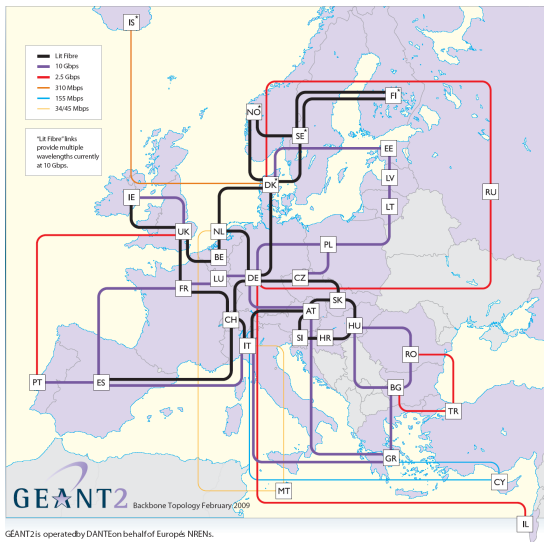
Příklady reálných sítí

Sít' CESNET2



Příklady reálných sítí

Síť GEANT2

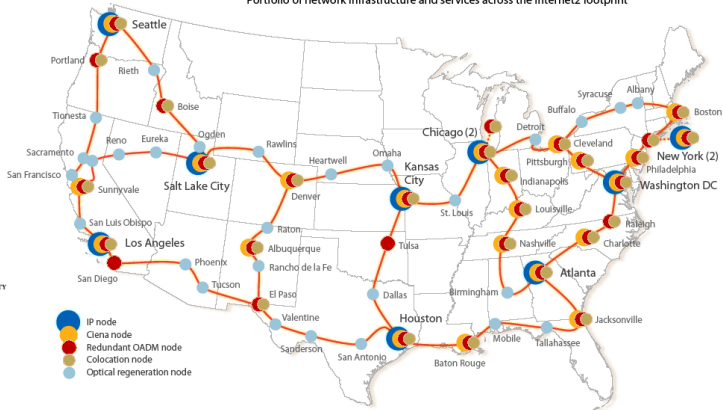


Příklady reálných sítí

Síť Internet2/Abilene

Internet2 Combined Infrastructure Topology

Portfolio of network infrastructure and services across the Internet2 footprint



NETWORK PARTNERS

ciena

INDIANA UNIVERSITY

infinera

Juniper

Level3

CONNECTORS

- 3iDC
- CINCO
- CIC CorePAP
- Drexel University
- GMU
- Indiana CorePAP
- KYRON
- LEARN
- LOM
- MASPI
- MAE
- MCNC
- Marl Network
- MREN
- NSC
- NRISNet
- Oregon CorePAP
- Pacific Northwest CorePAP
- SDSC
- University of Maryland
- University of New Mexico
- USF/FLA
- University of Utah/UTN