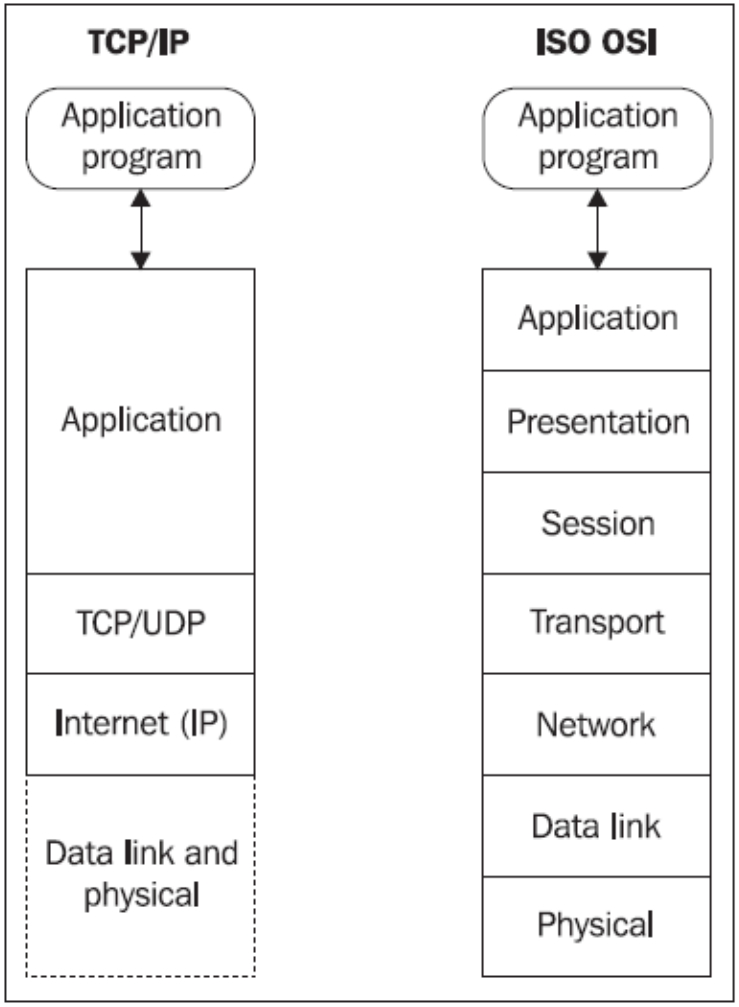
Protokoly pro přenos dat v síti
Směrování

Jaromír Plhák
xplhak@fi.muni.cz

TCP/IP (1)

- Rodina protokolů pro komunikaci v počítačové síti
- Protokol
  - Množina pravidel určující význam a syntaxi zpráv při komunikaci.
- Komunikace je rozdělena do vrstev
  - Analogicky, jako model ISO/OSI, ale vrstev je méně



TCP/IP (2)

- Počítačová síť není považována za 100% spolehlivou
  - Protokoly s tím musí umět pracovat
  - Zprávy rozděleny do menších zpráv – paketů
  - Pakety jsou nezávisle adresovány k cíli
  - Nezáleží na tom, kudy se tam dostanou
  - Příjemce potvrzuje přijetí každého paketu
  - Pakety se mohou ztrácet – posílání znovu

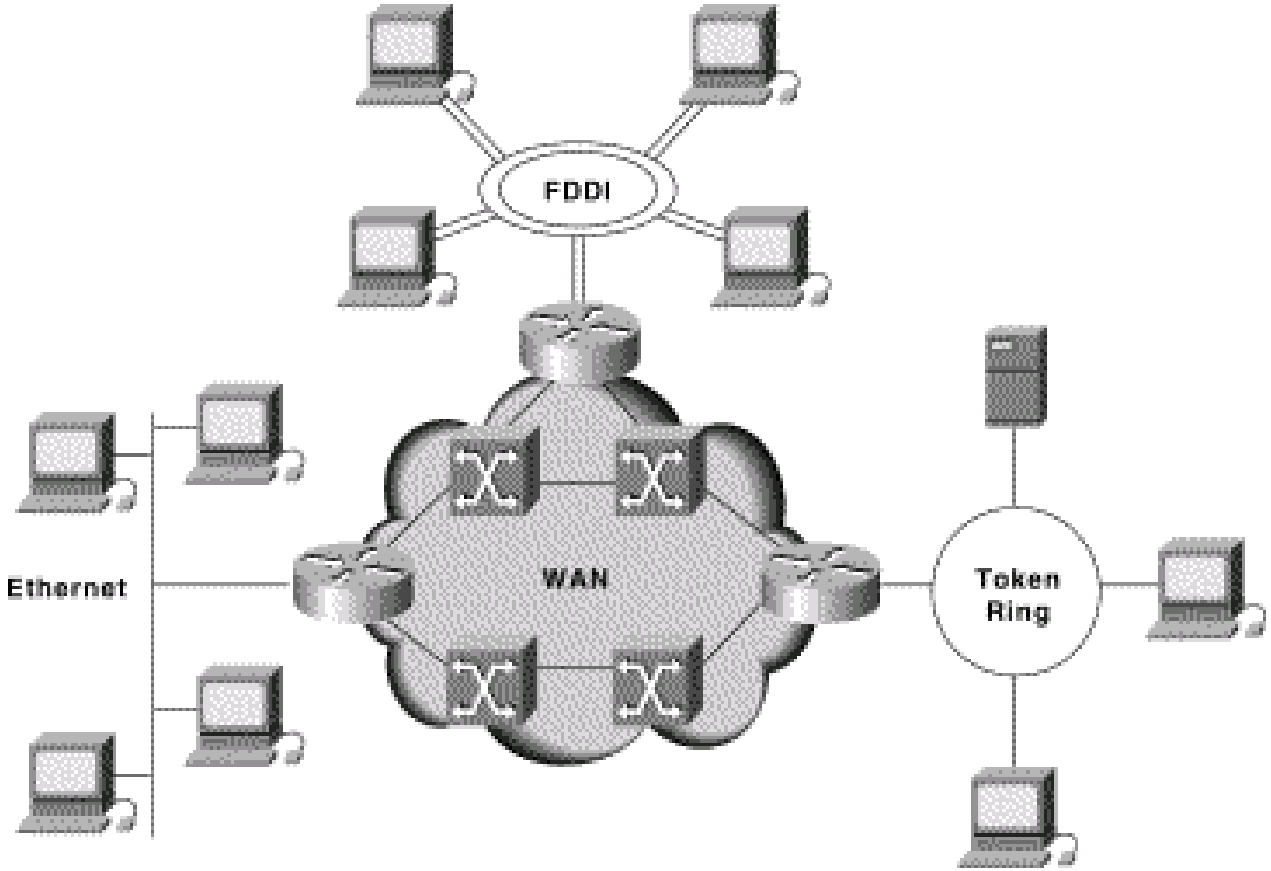
TCP/IP (3)

- Pracuje na transportní a síťové vrstvě OSI/ISO modelu a má několik „vlastních“ vrstev
  - Aplikační – DHCP, DNS, FTP, HTTP, Telnet
  - Transportní – TCP, UDP
  - Síťová – IP, ARP, ICMP, IPSec
  - Síťové rozhraní – Ethernet, Token ring…

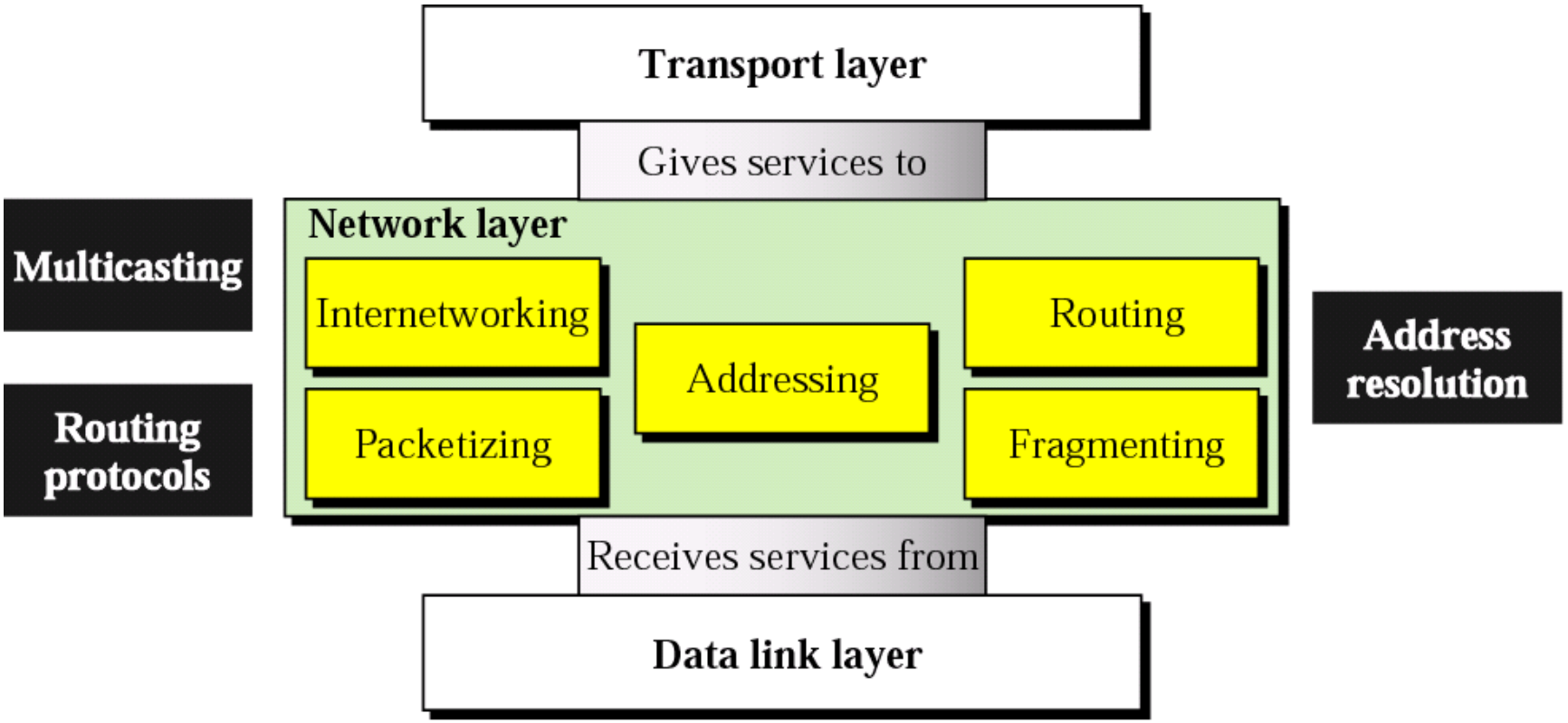
Síťová vrstva (1)

- Proč nám nestačí vrstva datového spoje?
  - Nemožnost vybudovat geograficky libovolně rozsáhlé sítě
  - Neuniformní prostředí různých sítí
- Chceme mít možnost vytvořit komunikační kanál mezi libovolnými stanicemi v Internetu
  - Skrze více samostatných fyzických sítí (LANs)

Síťová vrstva (2)



Služby síťové vrstvy

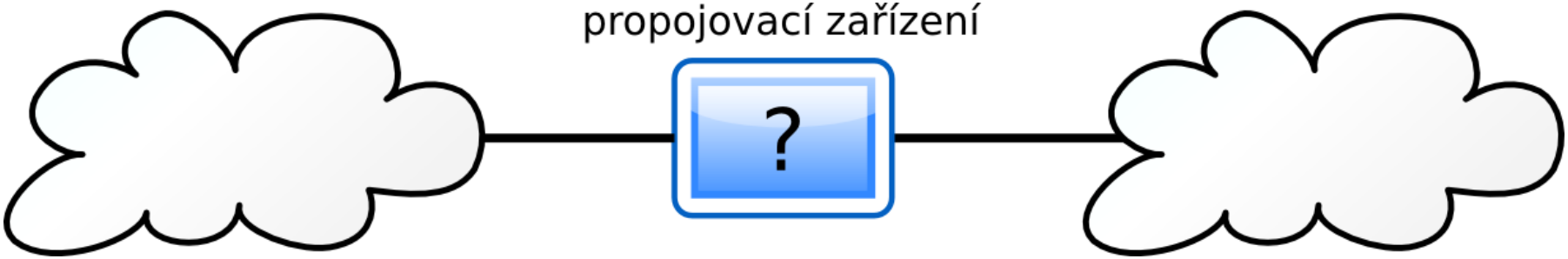


Důvody propojování sítí

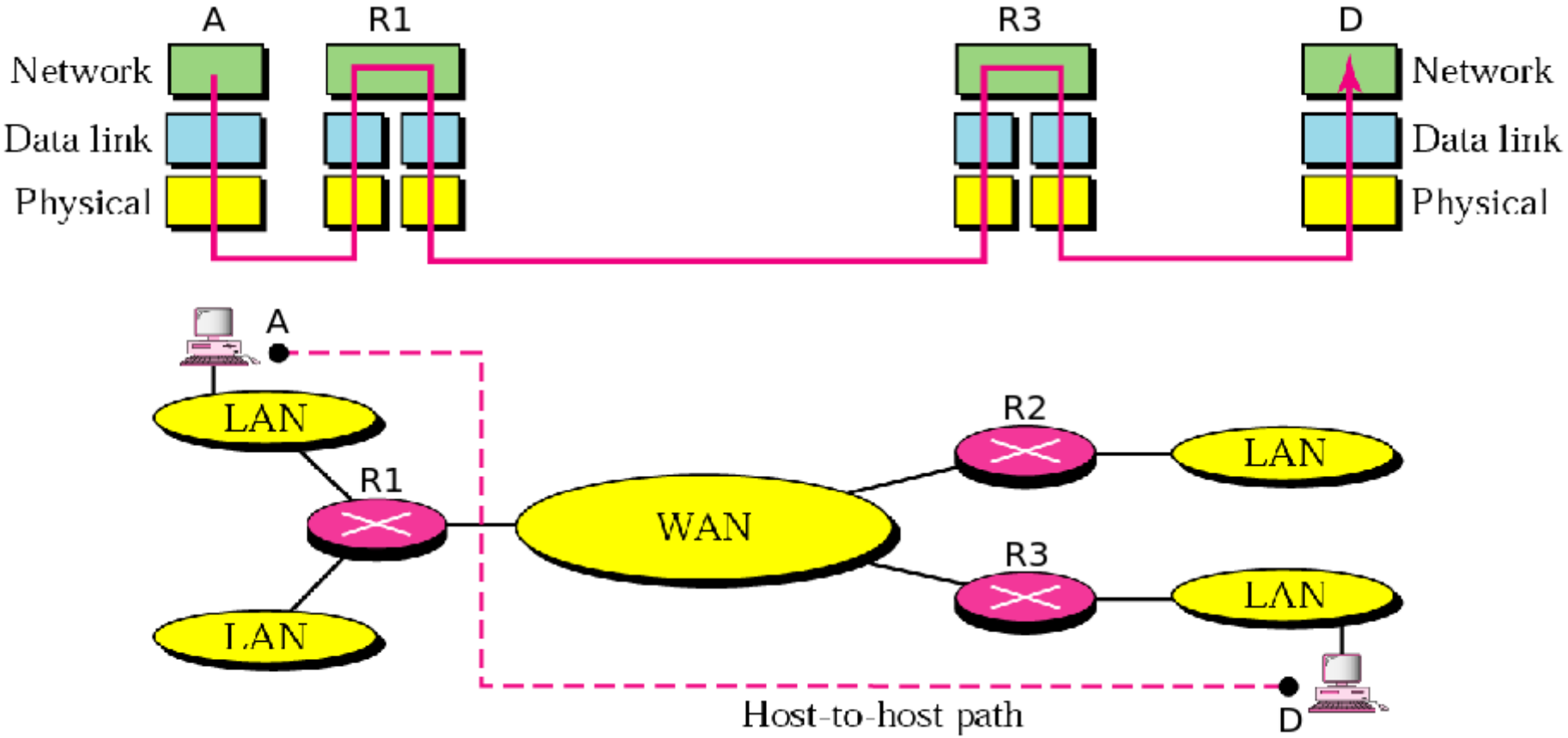
- Překonání technických omezení/překážek
  - Např. omezený dosah kabelových segmentů
- Optimalizace fungování sítě
  - Snaha regulovat tok dat, zamezení zbytečného šíření provozu
- Zpřístupnění vzdálených zdrojů
  - Přístup ke vzdáleným serverům
- Zvětšení dosahu poskytovaných služeb
  - Elektronická pošta, internetové telefonování atd.

Propojování sítí dle vrstev (1)

- Fyzická vrstva: opakovač (repeater)
- Vrstva datového spoje: můstek (bridge), přepínač (switch)
- síťová vrstva: směrovač (router)
- aplikační vrstva: brána (gateway)

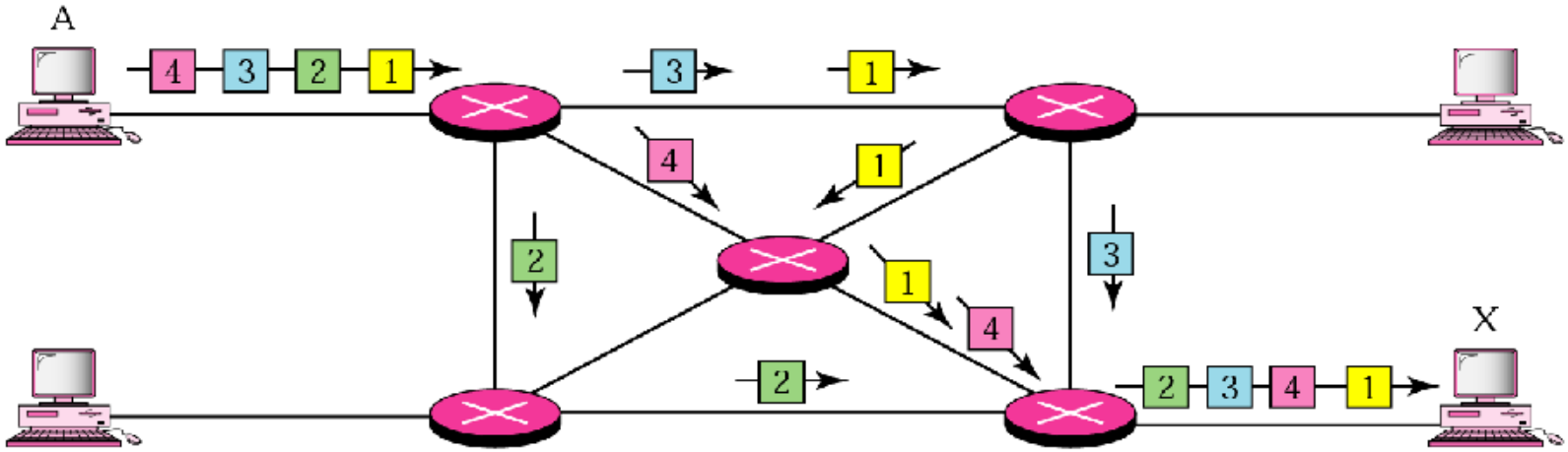


Propojování sítí dle vrstev (2)



Modely propojování sítí

- Přepínání okruhů (Circuit Switching):
  - Ustavení přímého fyzického spojení mezi odesílatelem a příjemcem
  - Fyzická vrstva, využito ve spojovaných sítích
- Přepínání paketu (Packet Switching):
  - Zaslání nezávislých datových jednotek (paketů)
  - Může být spojovaná i nespojovaná

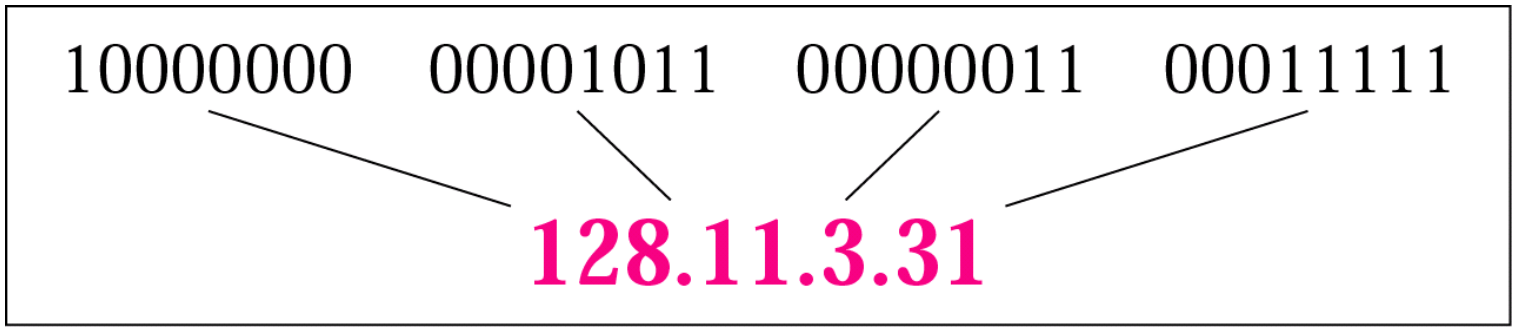


Protokol IP

- Zajišťuje směrování paketů (datagramů) na základě IP adres
  - Nejen v rámci jedné sítě
- Každý paket obsahuje informace o zdroji a cíli
- Zodpovědnost za pořadí a správné doručení má vyšší vrstva (TCP)
- Výběr optimální cesty v síti
- IPv4 a IPv6

Adresace IP

- Požadavek jednoznačné identifikace každého zařízení připojeného k Internetu
- Nutnost systematického přidělování adres za účelem snadnějšího směrování
- Každému zařízení/rozhraní přiřazena IP adresa
  - IPv4 adresa (32 bitů) vs. IPv6 adresa (128 bitů)



IPv6 – struktura adres

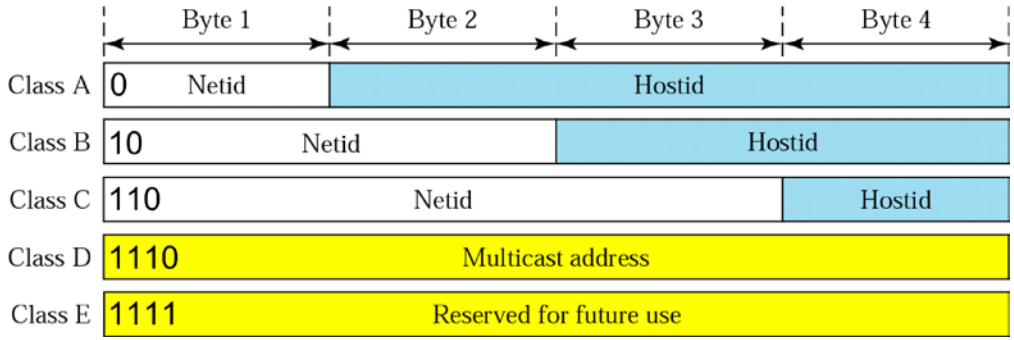
- Typicky se skládá z prefixu a adresy hosta (64b, 64b)
  - Adresa hosta je buď MAC adresa jeho síťové karty nebo je přiřazena jiným způsobem
- Notace
  - Skupiny hexadecimálních číslic
  - 2001:0db8:85a3:08d3:1319:8a2e:0370:7334
  - 2001:0db8:0000:0000:0000:0000:1428:57ab
  - 2001:0db8:0000:0000:0000::1428:57ab
  - 2001:0db8:0:0:0:0:1428:57ab
  - 2001:0db8:0:0::1428:57ab
  - 2001:0db8::1428:57ab
  - 2001:db8::1428:57ab
  - Poslední část adresy může obsahovat IPv4 adresu
    - ::ffff:12.34.56.78 (z důvodů smíšeného prostředí)

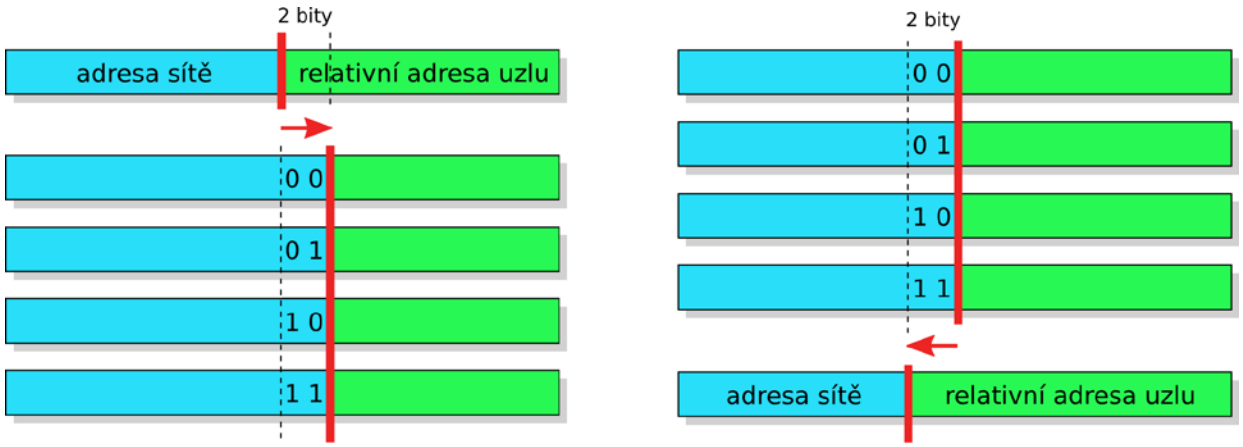
Typy adres

- Individuální (unicast) adresy
  - Identifikace jediného odesílatele/příjemce
- Broadcast adresy
  - Slouží pro zaslání dat všem možným příjemcům na dané LAN
- Skupinové (multicast) adresy
  - Slouží pro adresování skupiny příjemců, kteří o data projevili zájem
  - Data směrovači rozeslána všem členům skupiny
- Výběrové (anycast) adresy (IPv6)
  - Data se doručí jen jedinému členu ze skupiny příjemců – tomu, který je nejblíže

Přidělování adres (1)

- Classful Addressing
  - Rozdělení do tříd
    - Již se nepoužívá
  - Subnetting
  - Supernetting





(a) Subnetting (b) Supernetting

Maska sítě

- Oba způsoby vyžadují mechanismus pro identifikaci bitů, které identifikují síť
- Maska sítě
  - 32-bitový řetězec (v rámci IPv4)
  - Obsahuje 1 v těch bitech, které odpovídají síťové části adresy, 0 tam, kde jde o relativní adresu uzlu v rámci sítě
- IP adresa uzlu && maska sítě = adresa sítě

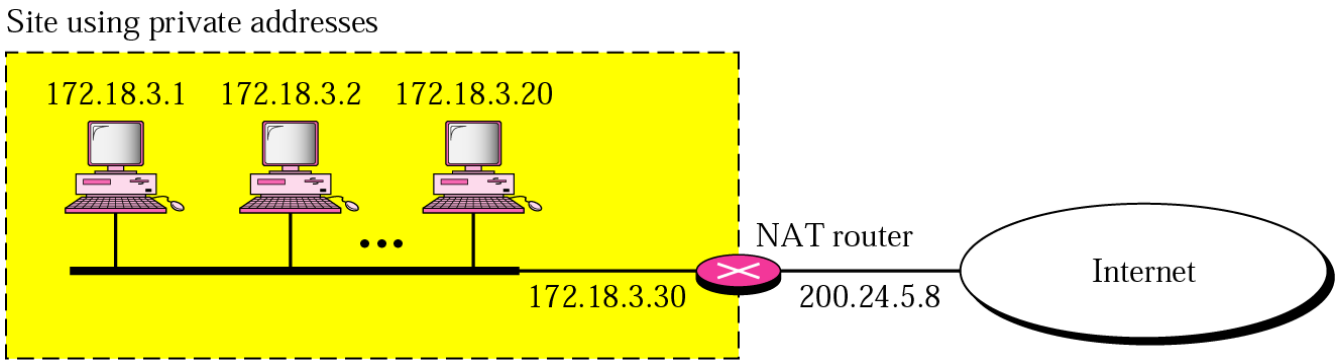
Class	Binary form	Decimal form	Using slash
A	11111111 00000000 00000000 00000000	255.0.0.0	/8
B	11111111 11111111 00000000 00000000	255.255.0.0	/16
C	11111111 11111111 11111111 00000000	255.255.255.0	/24
---	11111111 11111000 00000000 00000000	255.248.0.0	/13
---	11111111 11111111 11111111 10000000	255.255.255.128	/25

Přidělování adres (2)

- Classless Addressing
  - Zobecnění a rozšíření subnettingu/supernettingu
  - Zavádí zcela variabilní délku bloku adresy sítě
    - Identifikace sítě = adresa sítě a maska sítě
  - Adresy se přidělují hierarchicky
    - Umožnění agregace směrování
    - Snaha o minimalizaci velikosti směrovacích tabulek
  - Opodstatnění subnettingu zůstává

NAT (1)

- Překlad adres, síťová maškaráda
  - Způsob adresování ve vnitřní sítí
  - Router přepisuje zdrojovou nebo cílovou adresu
  - Využívá rezervované privátní adresy
  - Ve směrovací tabulce si udržuje informace o spojení a odpověď správně předá

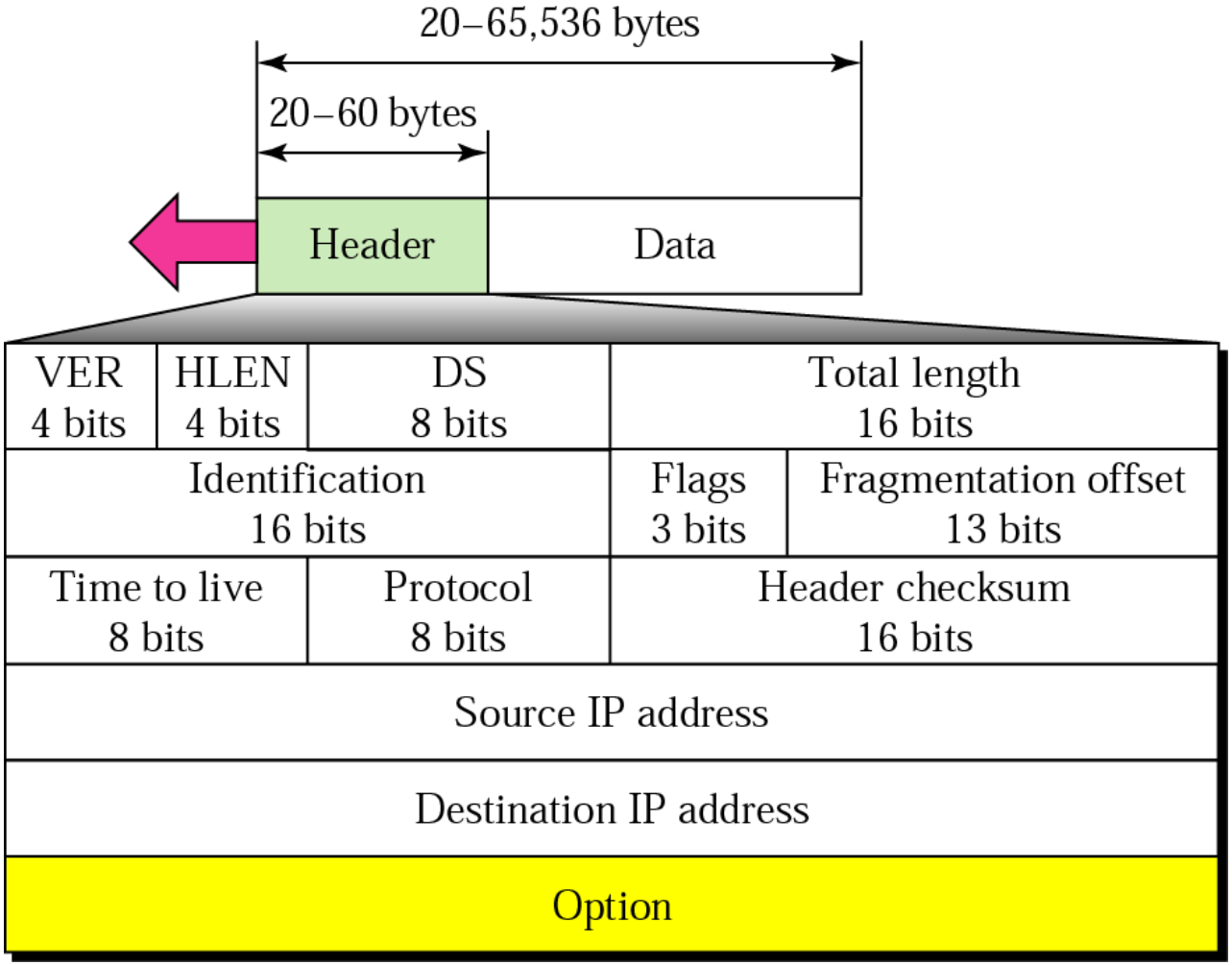


NAT (2)

- Umožňuje připojit více počítačů za jednu veřejnou IP
- Zvyšuje bezpečnost počítačů za NATem
- Problémy s příchozím provozem (FTP, HTTPd)
- Využívá překladové tabulky

Private Address	*Private Port*	*External Address*	*External Port*	*Transport Protocol*
172.18.3.1	1400	25.8.3.2	80	TCP
172.18.3.2	1401	25.8.3.2	80	TCP
...	...	...	...	...

Struktura datagramu



Fragmentace datagramů (1)

- Datagram při cestě k cíli prochází různými sítěmi
  - Všechny sítě (resp. využité protokoly linkové vrstvy) **nemohou** přenášet data stejné velikosti
- Maximum Transfer Unit (MTU)
  - Maximální velikost dat, které lze přenést využitým protokolem nižší vrstvy
  - Určuje maximální velikost přenositelného IP datagramu (Total size)

Fragmentace datagramů (2)

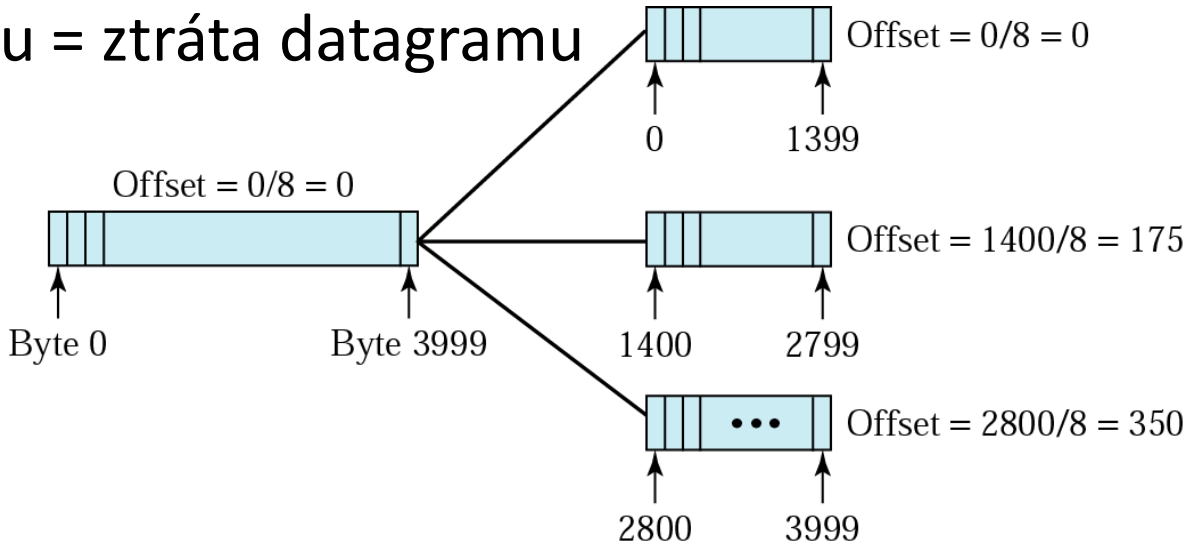
- Zdrojový uzel chce odeslat datagram, který je větší než MTU výstupní linky
- Směrovač přijme datagram, který je větší než MTU výstupní linky
- Lze řešit provedením tzv. fragmentace IP datagramu
- Původní datagram je rozdělen na několik menších datagramů (tzv. fragmenty)
- Každý fragment získá svou vlastní IP hlavičku
  - Stane se z něj nový, plnohodnotný datagram

Fragmentace datagramů (3)

- Fragmenty na cílovém uzlu jsou složeny do původního datagramu
  - Před předáním transportnímu protokolu
- Složení fragmentu do původního datagramu vyžaduje
  - Identikaci datagramu, kterému fragmenty náleží
  - Znalost počtu fragmentů
  - Znalost pozice každého fragmentu v původním datagramu

Fragmentace datagramů (4)

- Kde se fragmentace provádí?
  - Na zdrojovém uzlu
  - Na směrovači/směrovačích
- Kde se provádí skládání fragmentu?
  - Pouze na cílovém uzlu
  - Ztráta fragmentu = ztráta datagramu



IPv6 - motivace

- Prostor IPv4 dochází nebo už došel (Asie)
- Problémy IPv4
  - Slabá podpora přenosu aplikací reálného času
  - Žádná podpora zabezpečené komunikace na úrovni IP
  - Žádná podpora autokonfigurace zařízení
  - Žádná podpora mobility

IPv6

- Změny
  - Ohromný adresní prostor (128b adresa)
    - 2^{128} adres – 3,4 x 10^{38}
  - Jednodušší hlavička – 40B
  - Podpora přenosů reálného času – značkování toku, prioritizace provozu
  - Podpora zabezpečení přenosu - podpora autentizace, šifrování a verifikace integrity přenášených dat
  - Podpora mobility - skrze tzv. domací agenty
  - Podpora autokonfigurace zařízení
- Nejsou nutné drastické změny v aplikacích

Směrování

- Proces nalezení cesty v počítačové síti mezi dvěma uzly
  - Co možná nejefektivnější cesta pro doručení paketu
  - Cesta musí splňovat určité omezující podmínky
  - Je ovlivněna topologií a zátěží sítě
- V rámci směrování se řeší komu paket poslat dál, nikoliv celá cesta
  - Někomu blíže k cíli
  - A ten pak rozhoduje, co s paketem dál
- Analogie při rozhodování na křižovatkách
- Směrovače mají směrovací tabulky
- Na směrování lze nahlížet jako na problém teorie grafů

Cena komunikace

- Určení ceny (ohodnocení) linky - metrika
- Všechny linky mají stejnou cenu
  - Minimalizace ceny = minimalizace počtu skoků
  - Nejjednodušší, nejčastěji využívané
- Cena linky = převrácená hodnota kapacity
- Cena linky = zpoždění linky
- Cena linky = využití linky
- Cena linky = reálna cena (platba) za využití linky
  - Staticky přiřazeno administrátorem
- atd.

Směrovací tabulka

- Základní datová struktura
  - Sada ukazatelů, podle kterých se rozhoduje, co udělat s kterým paketem
  - Obsahuje cesty k prefixům (počáteční IP adresa a blok)
- Agregace záznamu
  - Hledá se nejdelší prefix, který vyhovuje požadavku

	Mask	Destination address	Next-hop address	Interface
	/8	14.0.0.0	118.45.23.8	m1
Host-specific →	/32	192.16.7.1	202.45.9.3	m0
	/22	193.14.4.0	84.12.6.20	m1
	/24	193.14.5.0	84.78.4.12	m2
Default →	/0	/0	145.11.10.6	m0

Problém globálního pohledu

- Získaní globální znalosti topologie celé sítě je problematické
  - Když už se to podaří, není aktuální
  - Musí být lokálně relevantní
- Lokalní představu o topologii reprezentuje směrovací tabulka
- Rozpor mezi lokalní a globalní znalostí může způsobit
  - Cykly (černé díry)
  - Oscilace (adaptace na zátěž)

Směrování – základní přístupy

- Statické
  - Směrovací tabulky jsou pevně (ručně) dané
  - Jednodušší, ale málo flexibilní
- Dynamické
  - Směrovací tabulky se upravují podle topologie sítě
  - Nutné pravidelné aktualizace směrovacích tabulek
  - Nezaručuje pořadí doručení
  - Síť musí poskytovat informace o svém stavu
    - Centralizovaně
    - Izolovaně
    - Distribuovaně

Centralizované směrování

- V síti je Routing Control Center (RCC)
  - Každý směrovač mu posílá zprávy o své situaci (stavu)
  - RCC informace sbírá, vypočte optimální cesty a rozešle směrovačům jejich tabulky
- Výhody:
  - Globální informace = optimální řešení
  - Ulehčení práce směrovačů
- Nevýhody:
  - Špatně škáluje - nelze využít pro velké sítě
  - Pomalé
  - Při výpadku centra se přestane aktualizovat

Izolované směrování

- Neposílají se žádné informace o stavu sítě, každý se rozhoduje sám za sebe
- Příklady:
  - Náhodná procházka – paket pošle do náhodně vybrané linky
  - Horký brambor (hot potatoe) – paket pošle do linky s nejkratší frontou
  - Záplava (flooding) – paket pošle do všech linek kromě té, po níž přisel
  - Zpětné učení (backward learning) – učí se z procházejících paketů
    - Směrovač se dozví, že příchozí linkou vede cesta k odesílateli nanejvýš dané délky

Distribuované směrování

- Směrovací informace si vyměňují sousedé či malé skupiny směrovačů
- Na základě periodicky šířených informací se (podle určitého algoritmu) vypočítávají mapy sítě
- Mezi směrovači musí být dohoda o implementaci určitého směrovacího algoritmu
- Dostatečně pružné a robustní, vhodné i pro rozlehlé sítě
- Standardní přístup ke směrovaní v síti Internet

Směrování v Internetu

distribuované	vs.	centralizované
"krok za krokem"	vs.	zdrojové
deterministické	vs.	stochastické
jedno	vs.	více cestné
dynamický	vs.	statický výběr cest

INTERNET

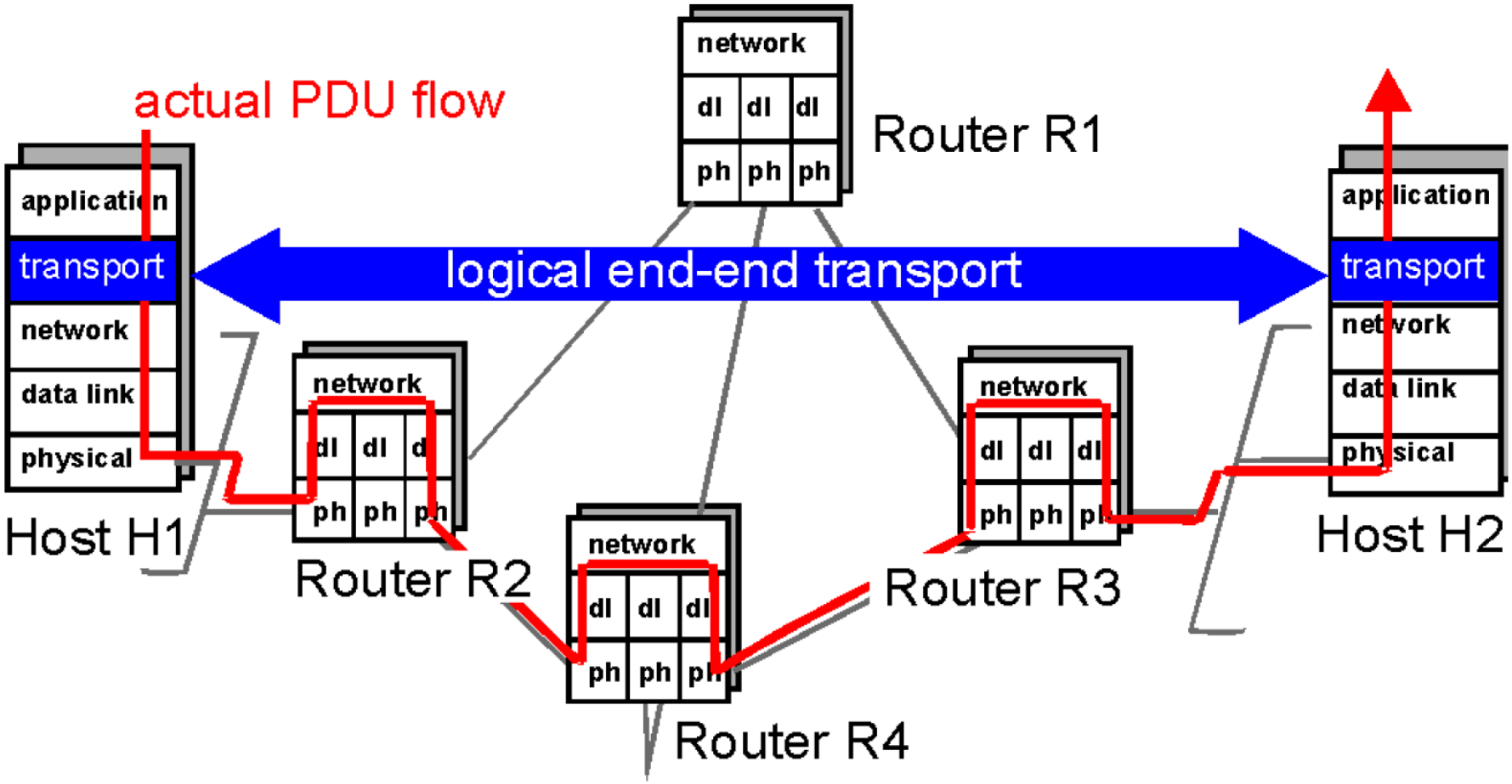
Transportní vrstva (1)

- Proč nám nestačí síťová vrstva?
  - Nelze identifikovat aplikaci, které jsou data určena
    - Na každém uzlu by tak mohla jet jen jedna aplikace
  - Neřeší defekty sítě (ztrátu/znásobení datagramu, zahlcení sítě, atp.)
- Dva protokoly na transportní vrstvě
  - TCP - Transport Control Protocol
  - UDP - User Datagram Protocol

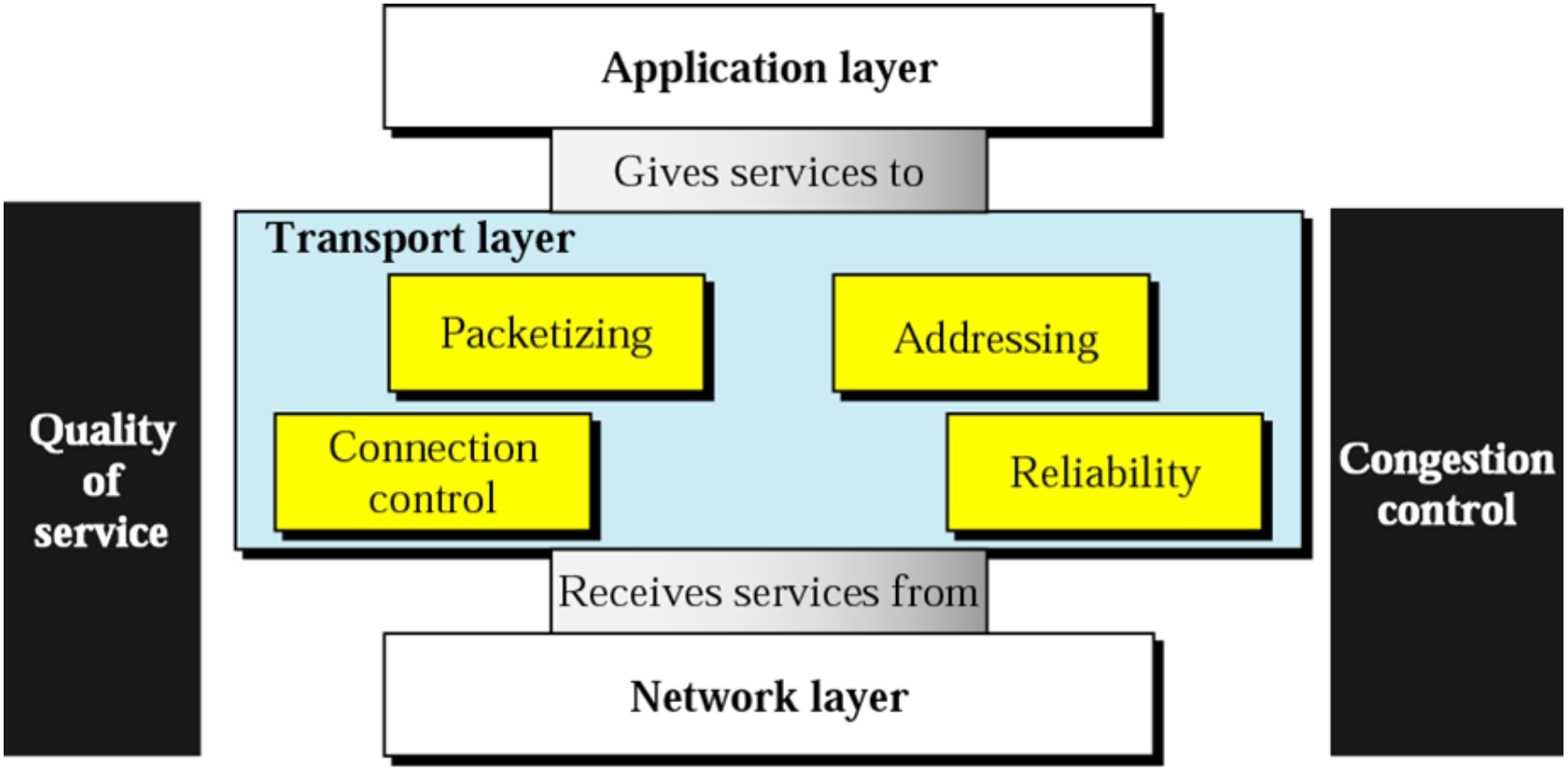
Transportní vrstva (2)

- Poskytuje služby pro aplikační vrstvu
  - Přijímá data odesílací aplikace, které transformuje do segmentu
  - Přijaté segmenty pak předává cílové aplikaci
- Ve spolupráci se síťovou vrstvou zajišťuje doručení dat (segmentů) mezi komunikujícími aplikacemi/procesy
  - S případným zajištěním spolehlivosti přenosu
  - Poskytuje jim logický komunikační kanál
  - Tzv. process-to-process delivery
- Nejnižší vrstva poskytující tzv. end-to-end služby
  - Hlavičky generované na straně odesílatele jsou interpretovány jen na straně příjemce
  - Směrovače vidí data transportní vrstvy jako payload přenášených paketů

Transportní vrstva (3)

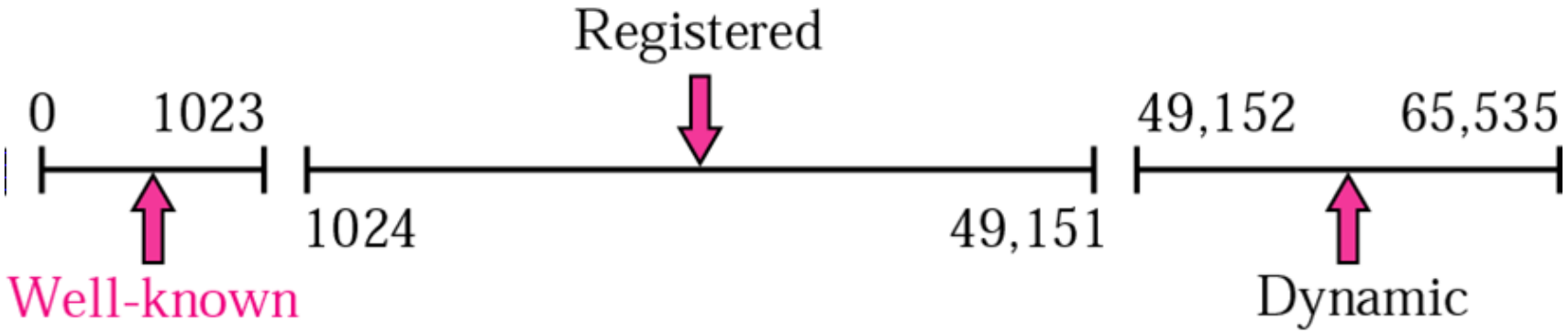


Služby transportní vrstvy

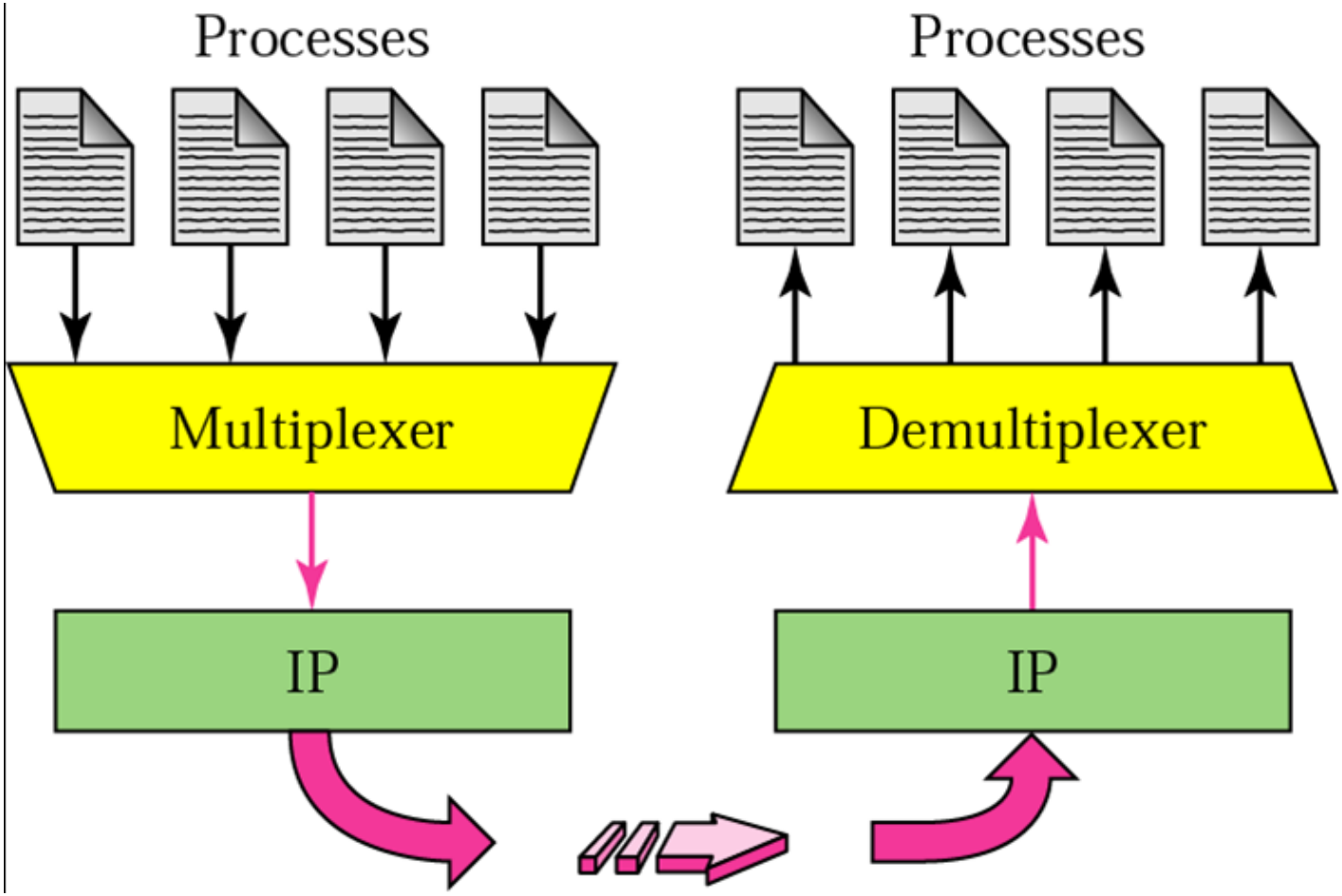


Adresace transportní vrstvy

- Adresy na transportní vrstvě - čísla portů (ports, port numbers)
  - Neboli adresy služeb
  - Identifikují odesílací aplikaci na zdrojovém uzlu (identifikován IP adresou)
  - Identifikují přijímající aplikaci na cílovém uzlu (identifikován IP adresou)
- Identifikace portu 16bitovým číslem
- Rozsah 0-65535



Adresace – Multiplexing vs. Demultiplexing

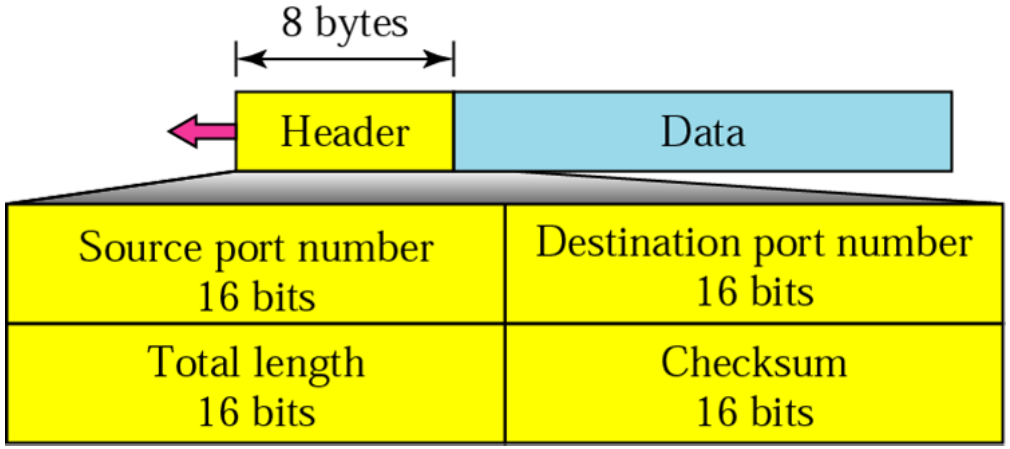


UDP

- User datagram protokol
- „Nespolehlivá“ transportní služba
- Využitelné pro aplikace, které nevyžadují spolehlivost přenosu
  - Streamované video, rádio, videokonference
  - DHCP, DNS
- Použití portů pro rozlišení různých aplikací

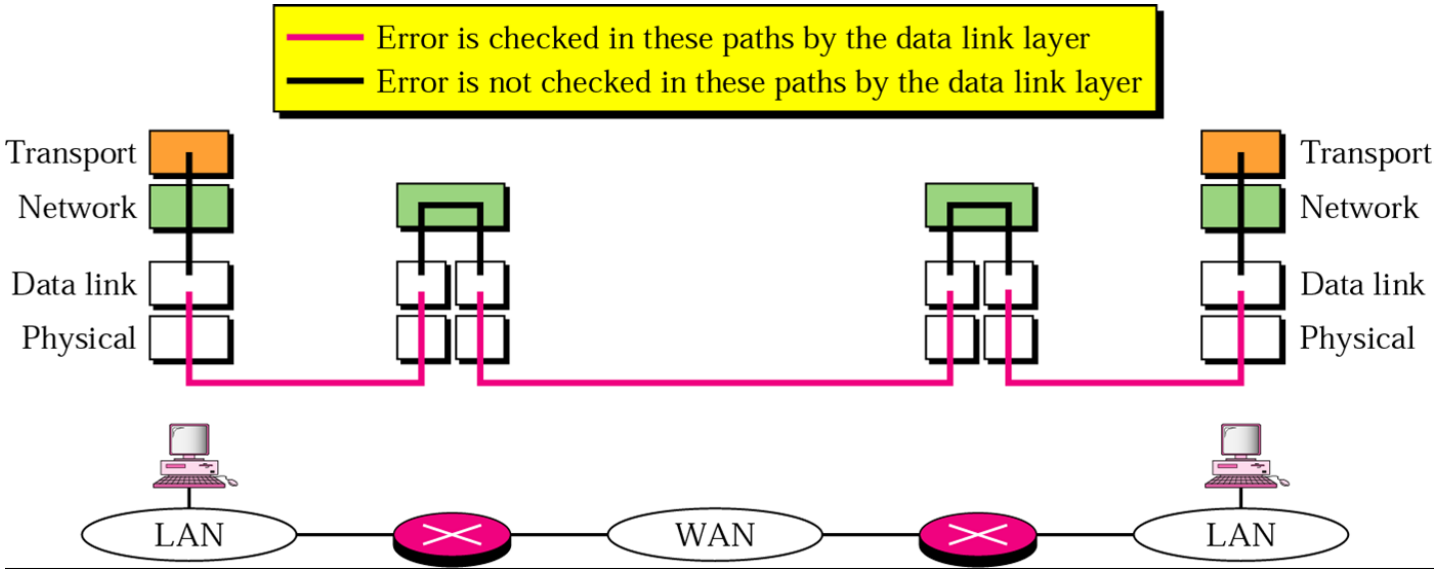
Přednosti UDP

- Nemá fázi navázání a ukončení spojení
- Žádná nutnost ustavení spojení (přináší zpoždění na začátku přenosu)
- Žádná nutnost uchovávání stavových informací na komunikujících stranách
- Malá hlavička



Zajištění spolehlivého přenosu (1)

- K čemu je řízení chyb na transportní vrstvě, když už je toto poskytováno linkovou vrstvou?
  - Linková vrstva poskytuje řízení chyb vždy pouze mezi dvěma uzly na cestě, ne mezi koncovými stanicemi



Zajištění spolehlivého přenosu (2)

- Spolehlivost přenosu zajištěna mechanismem potvrzování (acknowledgement)
  - Pakety číslovány tzv. sekvenčními čísly (Sequence Numbers, SEQ)
  - Pozitivní potvrzování (positive acknowledgement)
    - Potvrzení úspěšného přijetí paketu (přijato v pořádku)
  - Negativní potvrzování (negative acknowledgement)
    - Informace o neúspěšném přijetí/ztrátě datagramu (zopakuj)
- V případě výskytu chyby jsou data opětovně přeposlána
  - Mechanismy ARQ (Automatic Repeat reQuest)
  - Nutnost vypořádat se s duplicitami!

TCP (1)

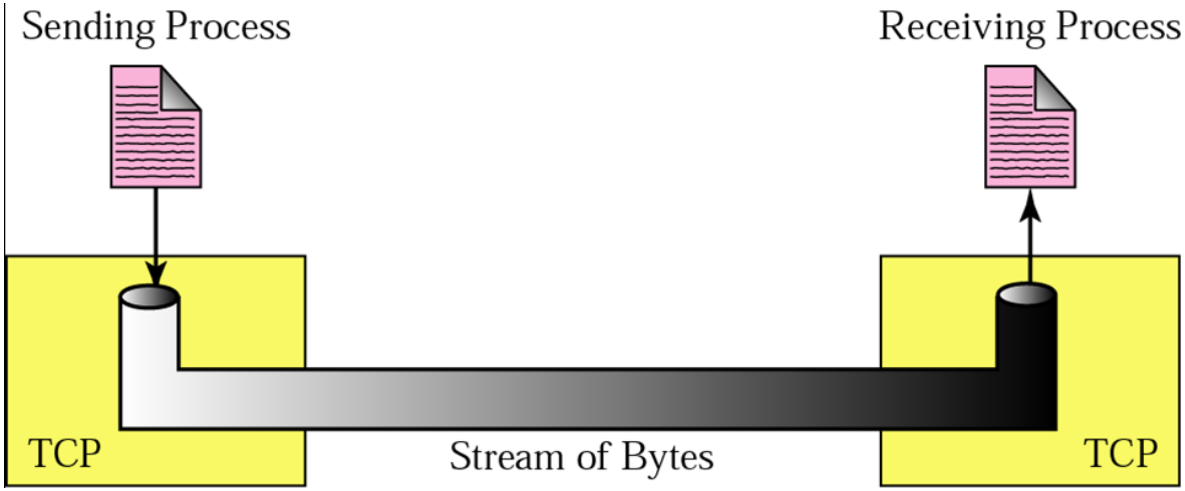
- Transportní protokol poskytující spojovanou a plně spolehlivou (= zajištěnou) službu
  - Pokud je to možné, odesílaná data budou přijímající aplikací doručena kompletní a ve správném pořadí
  - Oproti UDP orientován na přenos proudu bytů
- Multiplexing/demultiplexing a detekce chyb stejně jako v UDP
- Rozlišovaní aplikací pomocí portů (80, 21, 22)
- TCP neřeší bezpečnost přenosu dat

TCP (2)

- Před začátkem přenosu nutnost ustavení spojení mezi odesílací a přijímající stranou
  - Tzv. handshake před začátkem přenosu zahrnuje výměnu všech potřebných parametrů
  - Spojení rozeznatelné jen na koncových uzlech (end-to-end služba)
    - Směrovače tato spojení nevidí
  - Ustavené spojení možno využít pro plně duplexní komunikaci
    - Řídící data přibalována do dat jdoucích opačným směrem (Piggybacking)
  - Spojení může být pouze dvoubodové (point-to-point)
    - Komunikace mezi více partnery není podporována

Přenos dat v rámci TCP

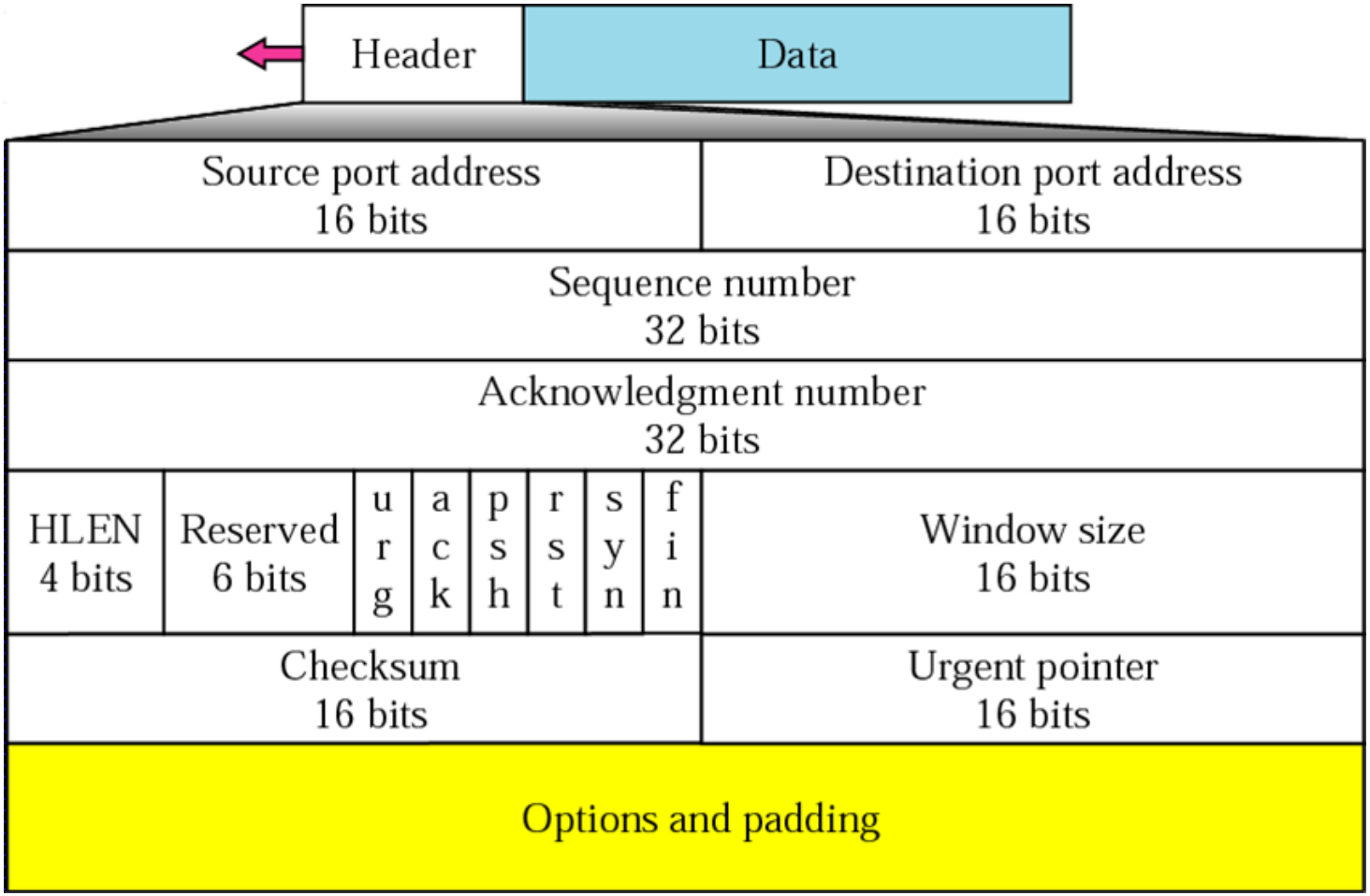
- Aplikace předává TCP protokolu proud bytů, které TCP segmentuje, opatřuje hlavičkou a předává síťovému protokolu
- Aplikacím poskytuje iluzi roury, která přenáší jejich data



TCP – segmentace dat

- Aplikace TCP protokolu předává proud bytů
- Síťová vrstva (IP protokol) očekává bloky dat
  - Nutnost tvorby bloku dat (segmentu)
  - Velikost segmentu omezena hodnotou Maximum Segment Size (MSS)
    - Identifikuje maximální velikost uživatelských dat v segmentu (ne velikost celého segmentu)
  - Segmenty následně opatřeny TCP hlavičkou a předány síťovému protokolu
  - Číslovány nejsou bloky dat (segmenty), ale jednotlivé přenášené bajty

TCP hlavička segmentů

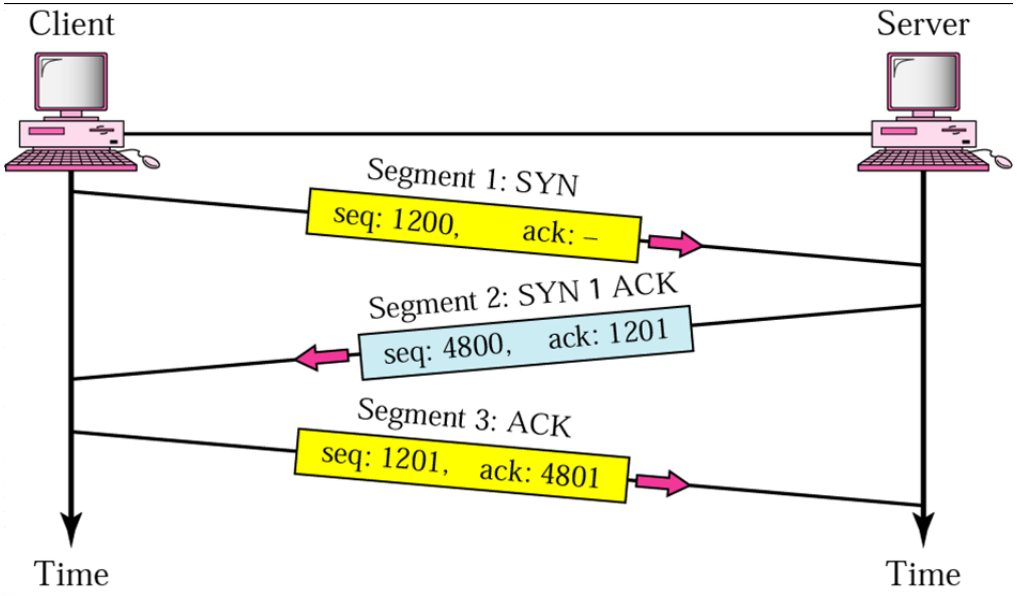


Well-known TCP aplikace

Port	Protocol	Description
7	Echo	Echoes a received datagram back to the sender
9	Discard	Discards any datagram that is received
11	Users	Active users
13	Daytime	Returns the date and the time
17	Quote	Returns a quote of the day
19	Chargen	Returns a string of characters
20	FTP, Data	File Transfer Protocol (data connection)
21	FTP, Control	File Transfer Protocol (control connection)
23	TELNET	Terminal Network
25	SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
53	DNS	Domain Name Server
67	BOOTP	Bootstrap Protocol
79	Finger	Finger
80	HTTP	Hypertext Transfer Protocol
111	RPC	Remote Procedure Call

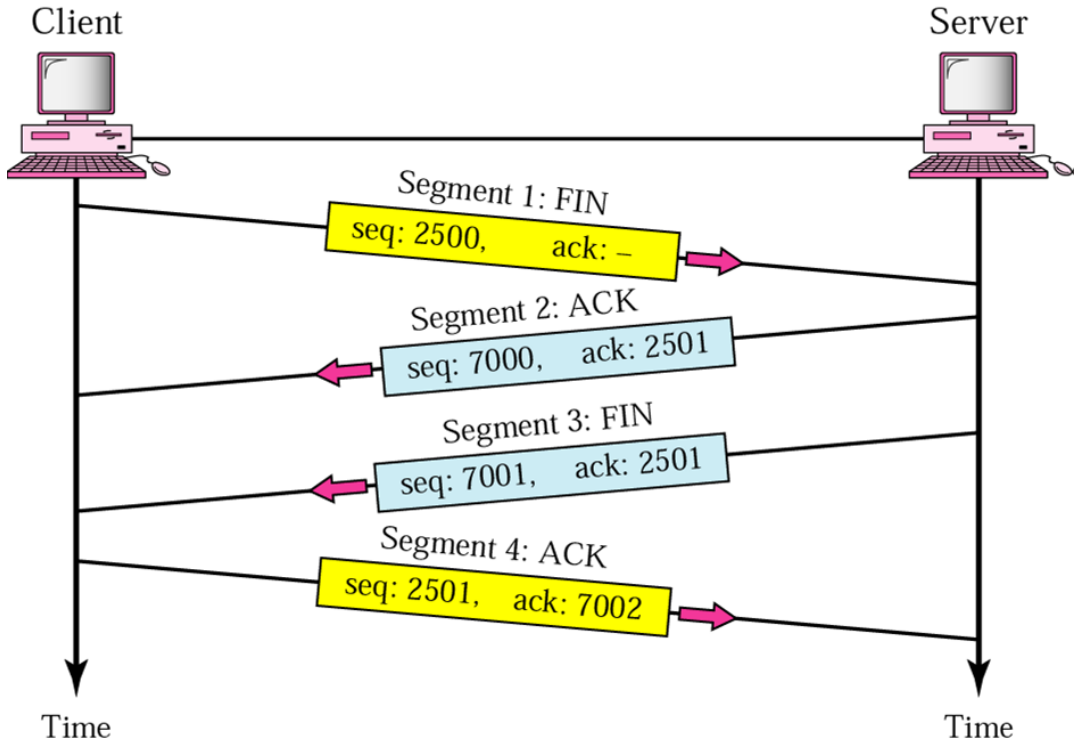
TCP – ustavení spojení

- Full-duplexní přenos
  - Obě strany musí iniciovat spojení
- Mechanismus známý jako třícestný handshake (three-way handshake)



TCP – ukončení spojení

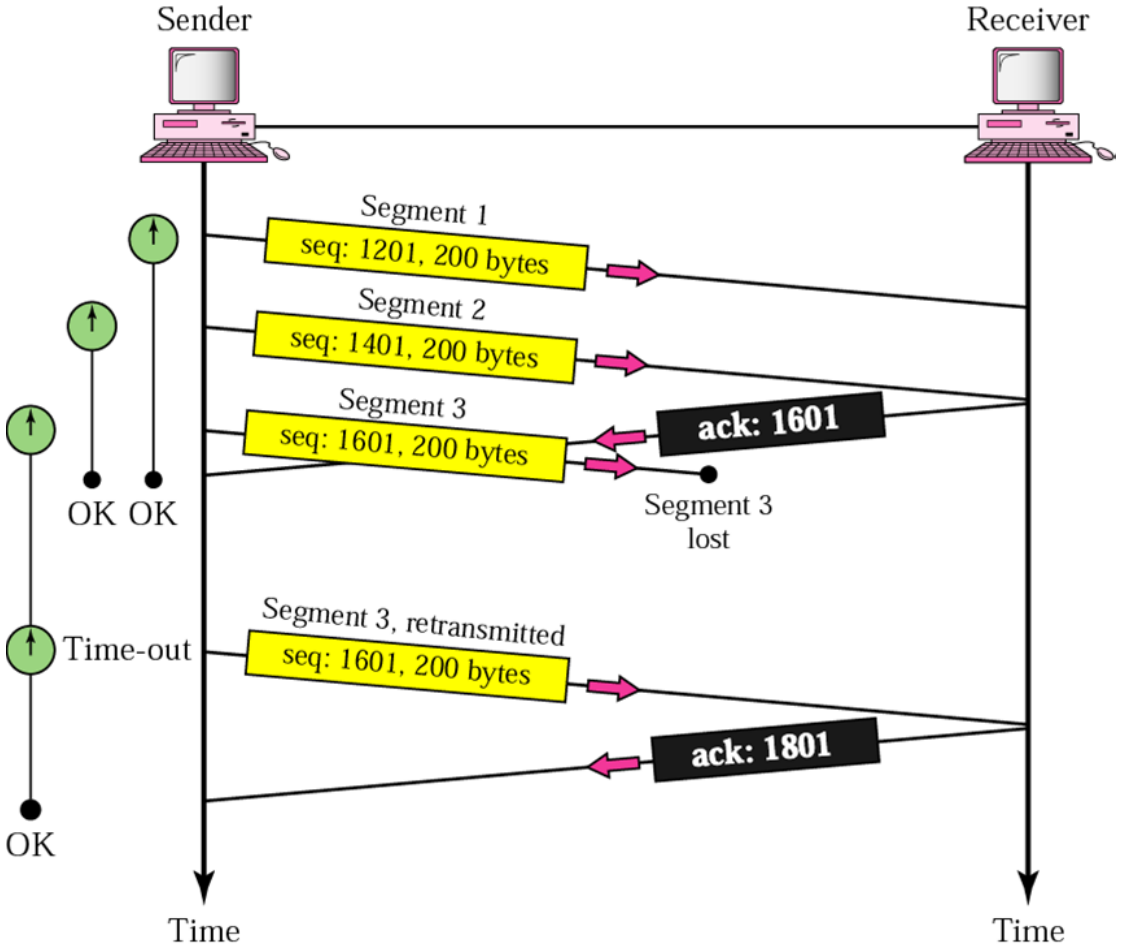
- Iniciováno jednou z komunikujících stran
- Spojení musí být uzavřeno oběma stranami



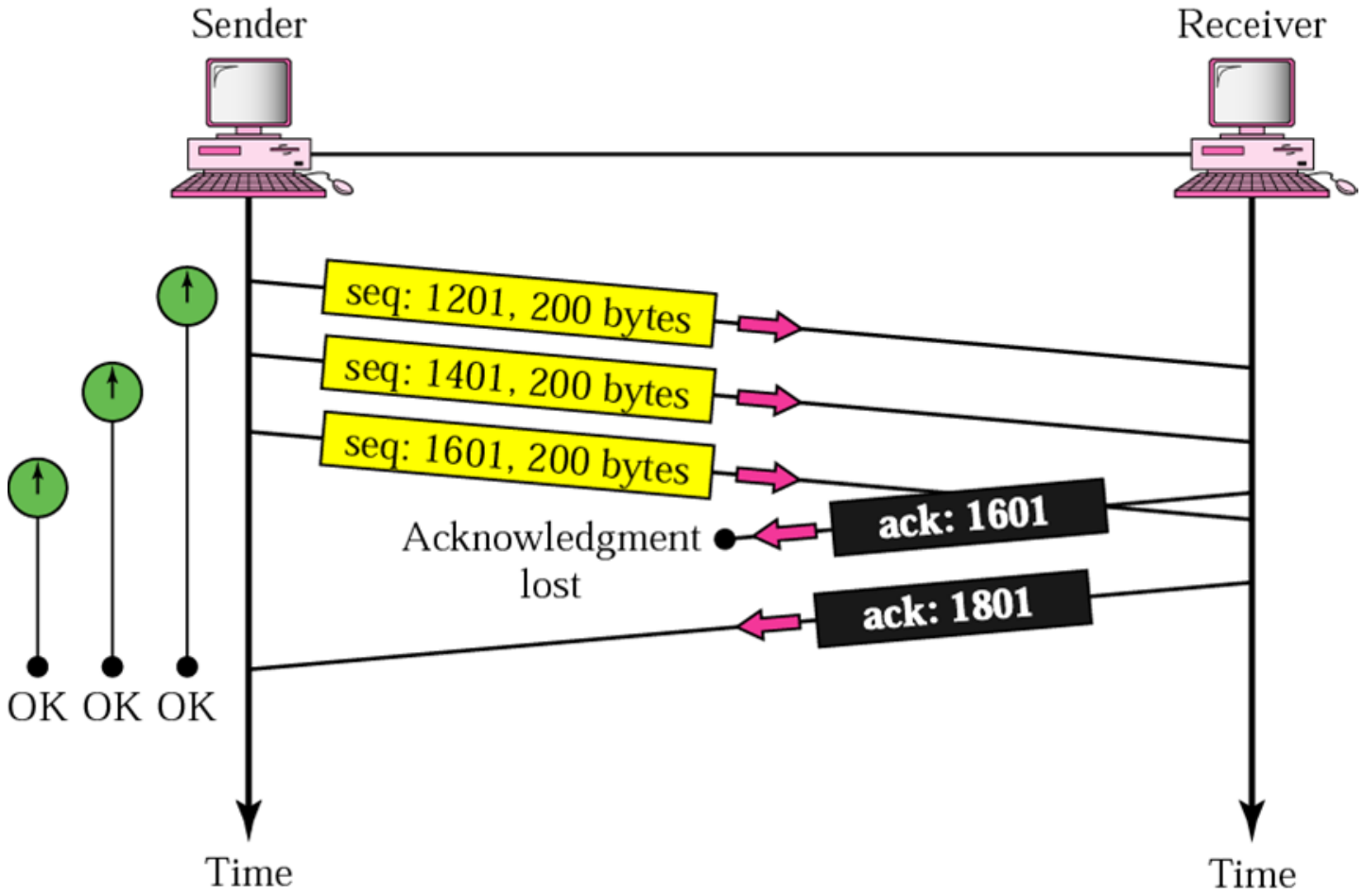
TCP - řízení chyb

- Během přenosu je nutno detekovat poškozené, ztracené, duplikované a out-of-order segmenty
- TCP mechanismy pro zajištění spolehlivého přenosu
  - Kontrolní součty (detekce poškozených segmentů)
  - Potvrzování přijatých segmentů (acknowledgements)
    - Detekce ztracených (na straně příjemce), duplikovaných a out-of-order segmentů
    - Zajištěno mechanismem pozitivního potvrzovaní
    - Využito kumulativní potvrzování
  - Timeouty
    - Detekce ztracených segmentu (na straně odesílatele)

Ztráta paketu

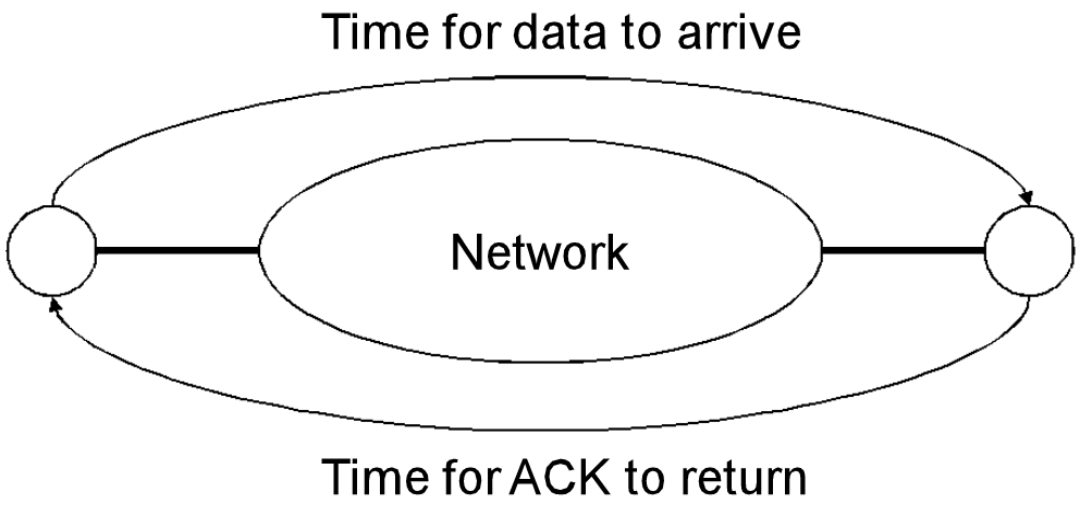


Ztráta potvrzení



Timeouty

- Timeout = doba, po kterou se čeká na potvrzení odeslaného segmentu
- Založeno na tzv. Round-Trip Time (RTT)
- Čas potřebný pro cestu segmentu od odesílatele k příjemci a zpět
- Typicky je timeout roven dvojnásobku RTT



ZAPOUZDŘENÍ DAT V SÍTI TCP/IP