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

Rodina protokolů TCP/IP,
verze 2.7

Část 6: IP směrování

Jiří Peterka, 2011

co je směrování (routing)?

- striktně vzato:
  - **volba směru pro další předání paketu/datagramu**
- ve skutečnosti zahrnuje:
  - výpočet optimální cesty
    - je to kombinatorický problém hledání nejkratší cesty v grafu
    - výsledkem jsou "podklady pro volbu směru"
  - uchovávání směrovacích informací ("podkladů")
    - vedení směrovacích tabulek
  - předávání paketů (forwarding)
    - používání výsledků výpočtů ("podkladů")
  - udržování směrovacích informací
    - aktualizace údajů pro výpočty cest, reakce na změny

- co všechno s tím dále souvisí?
  - celková koncepce směrování
  - celková koncepce internetu
    - katenetový model
    - které uzly se účastní
    - historický vývoj
  - přímé a nepřímé doručování
  - metody optimalizace směrovacích tabulek
  - řešení směrování v opravdu velkých systémech
    - autonomní systémy
  - směrovací politiky
  - …..

celková koncepce směrování

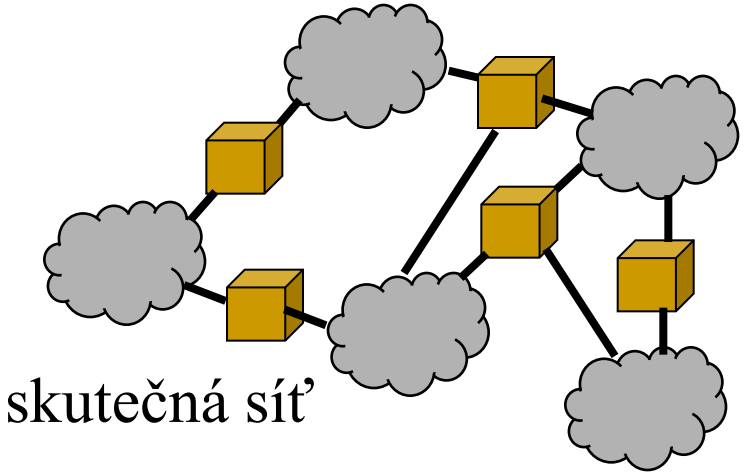
- **statické směrování**
  - obsah směrovacích tabulek má statický charakter a nemění se
    - vyžaduje to ruční konfiguraci směrovačů (jejich směrovacích tabulek)
      - což je pracné a náchylné k chybám
    - nereaguje to na změny v síti
      - dostupnost nějaké sítě není závislá na stavu spojení
- používá se jen výjimečně:
  - pro definování tzv. implicitních cest
    - default route
  - pro zavedení směrů které nejsou inzerovány
    - například v rámci firewallů
  - pro implementaci speciálních směrovacích politik
    - kdy je záměrem reagovat na směrovací informace jinak než obvykle
  - jako obrana proti nekorektním směrovacím informacím
  - …..

- **dynamické směrování**
  - obsah směrovacích tabulek má dynamický charakter a mění se
    - často je základ konfigurace vytvářen staticky, ruční konfigurací směrovačů
      - např. implicitní cesty
    - ostatní údaje se průběžně aktualizují
- existují dvě základní varianty dynamického směrování
  - vector-distance routing
    - sousední směrovače si předávají celé své směrovací tabulky (obsahující "vzdálenostní vektory")
    - je hůře škálovatelné a méně stabilní, přestává se používat
  - link-state routing
    - směrovače si předávají jen údaje o průchodnosti cest k sousedům
    - lépe škálovatelné, používá se ….

připomenutí: koncepce internetu

- Internet je budován na principu katenetu
  - je soustavou vzájemně propojených sítí
  - jednotlivé sítě jsou odděleny směrovači
- "předávání" paketů (forwarding):
  - má na starosti protokol IP
- aktualizaci směrovacích informací, výpočty cest:
  - zajišťují specializované protokoly jako RIP, OSPF, ..

představa katenetu



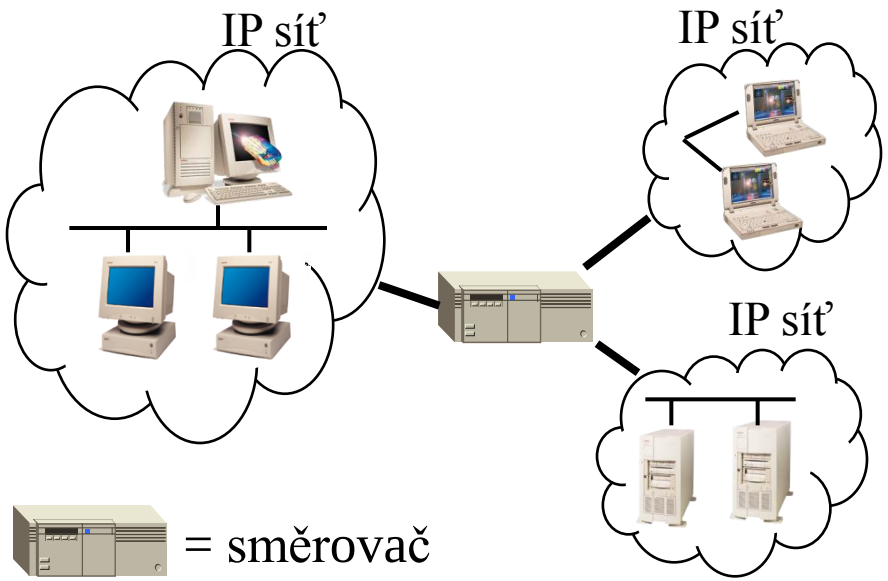
skutečná síť

= IP síť

= IP Router (směrovač)

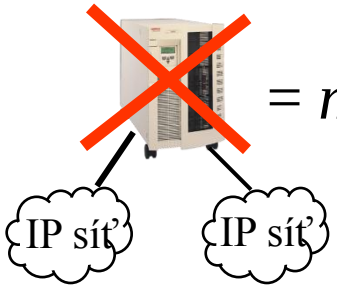
připomenutí: hostitelské počítače vs. směrovače

- TCP/IP předpokládá, dva typy uzlů v síti:
  - hostitelské počítače (host computers)
    - tj. koncové uzly, např. servery, pracovní stanice, PC, různá zařízení (tiskárny, …)
    - jsou připojeny jen do jedné IP sítě (mají jen jednu síťovou adresu)
  - směrovače (IP Routers)
    - jsou připojeny nejméně do dvou IP sítí
    - zajišťují "přestup" (směrování)
- teze:
  - **oba typy uzlů by se neměly prolínat**
    - směrovače by neměly plnit další funkce
    - hostitelské počítače by neměly fungovat jako směrovače
      - v podobě tzv. multihomed-hosts, kdy jsou připojeny do více sítí současně



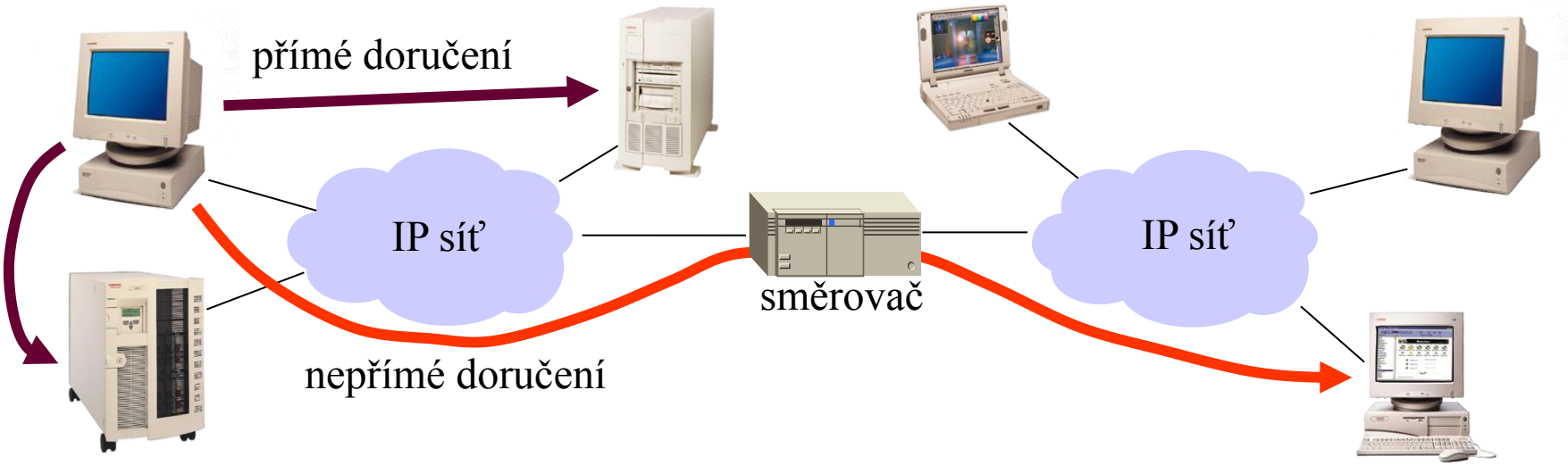
= směrovač


=hostitelské počítače (hosts)



= *multihomed host*

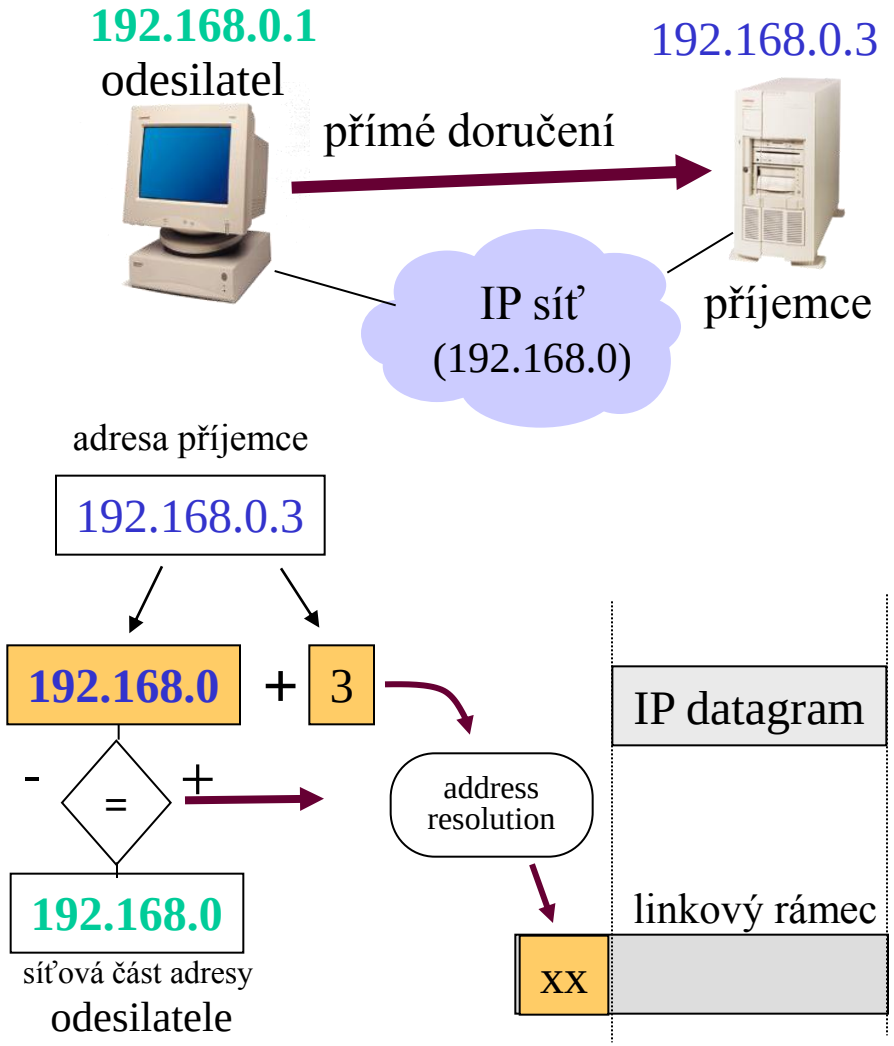
přímé a nepřímé doručování



- **přímé doručování:**
  - odesilatel a příjemce se nachází ve stejné IP síti
    - pozná se podle toho, že mají stejnou síťovou část své IP adresy
  - odpadá rozhodování o volbě směru, o doručení se dokáže postarat linková vrstva (vrstva síťového rozhraní)
    - odesilatel pošle datagram "přímo" koncovému příjemci

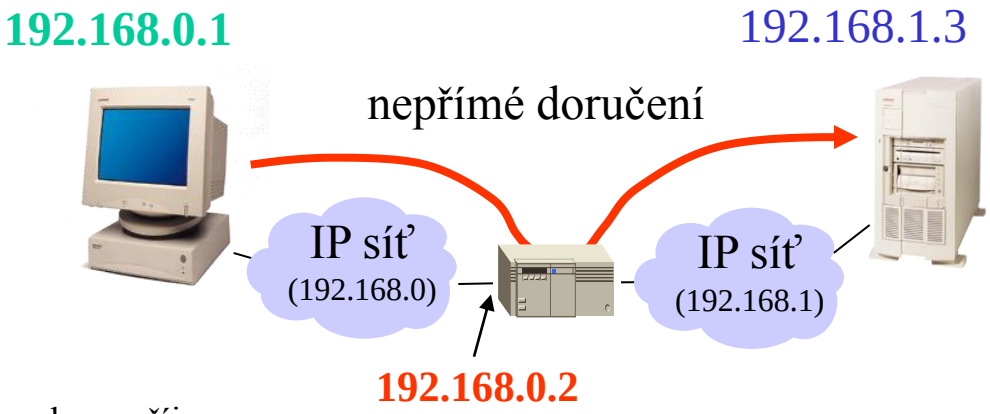
- **nepřímé doručování**
  - odesilatel a příjemce se nachází v různých IP sítích
  - odesilatel musí určit nejvhodnější odchozí směr (resp. směrovač ležící v tomto směru)
    - odesilatel pošle datagramu směrovači ve zvoleném odchozím směru

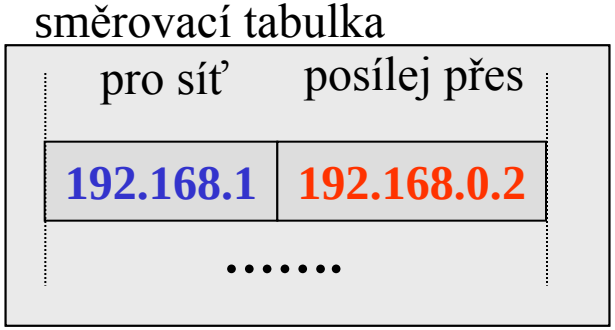
představa přímého doručování

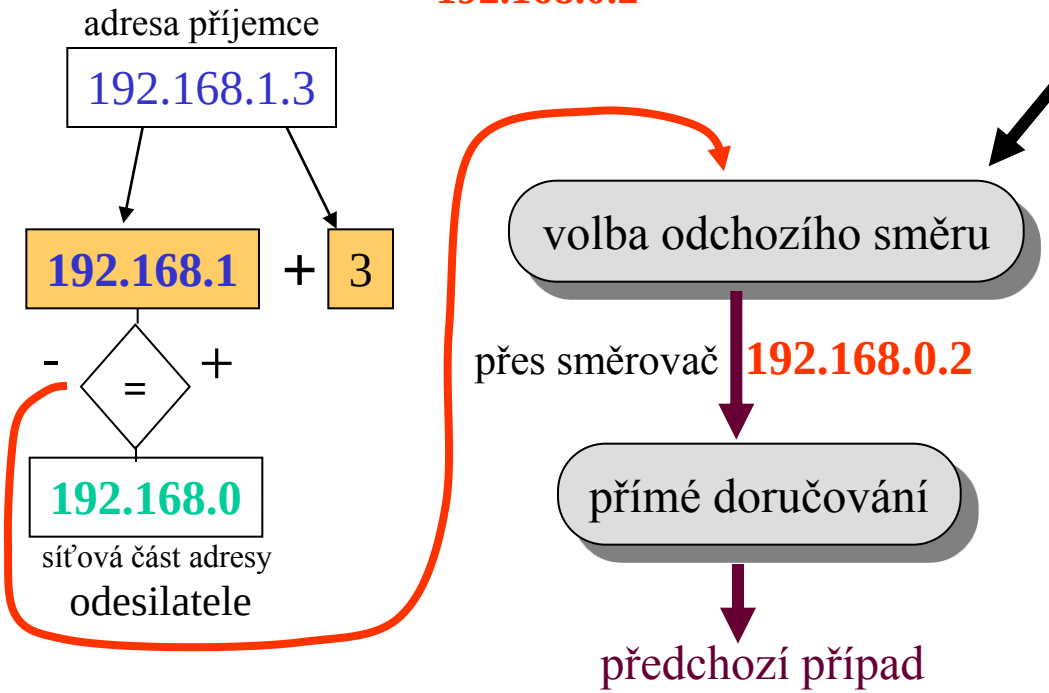


- odesilatel rozdělí cílovou adresu na její síťovou část a relativní část
  - použije dělení, platné pro jeho vlastní síť
    - masku sítě, CIDR prefix, event. vyjde z třídy adresy
  - získá síťovou část adresy příjemce
- pokud se síťová část adresy příjemce shoduje se síťovou částí vlastní adresy, jde o přímé doručování
- odesilatel převede IP adresu příjemce na jeho linkovou adresu
  - provede "Address Resolution", např. pomocí protokolu ARP
  - získá linkovou adresu XX
- odesilatel (jeho síťová vrstva) předá datagram vrstvě síťového rozhraní s požadavkem na doručení na adresu XX

představa nepřímého doručování

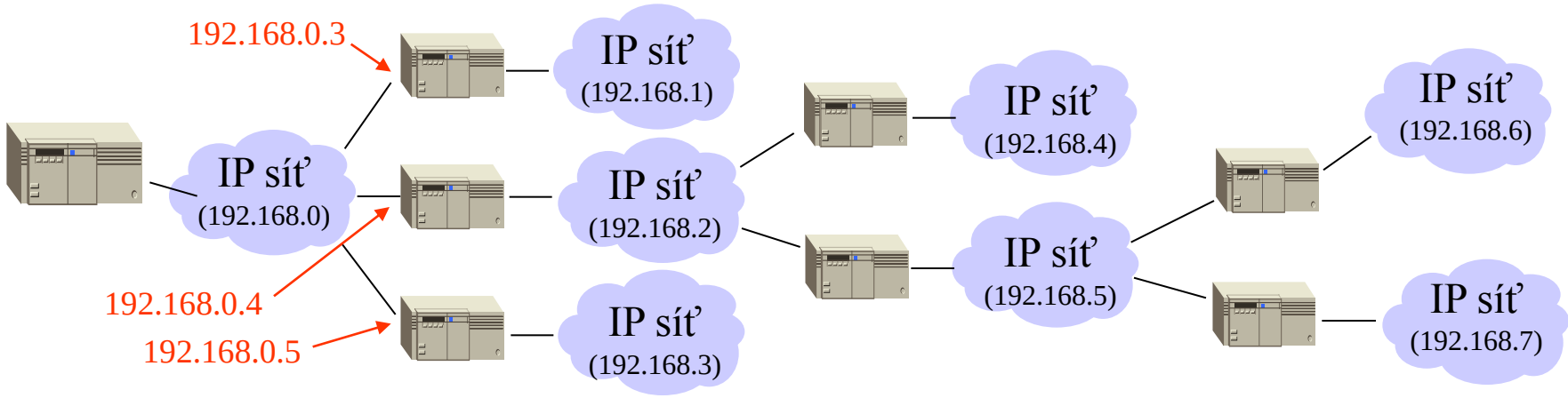






- porovnáním síťových částí adres odesilatel zjistí, že se příjemce nachází v jiné síti
- odesilatel se "podívá" do své směrovací tabulky a podle ní zvolí odchozí směr
  - směrovač v odchozím směru
- odešle datagram zvolenému směrovači
  - již se jedná o přímé doručení

představa směrovacích tabulek



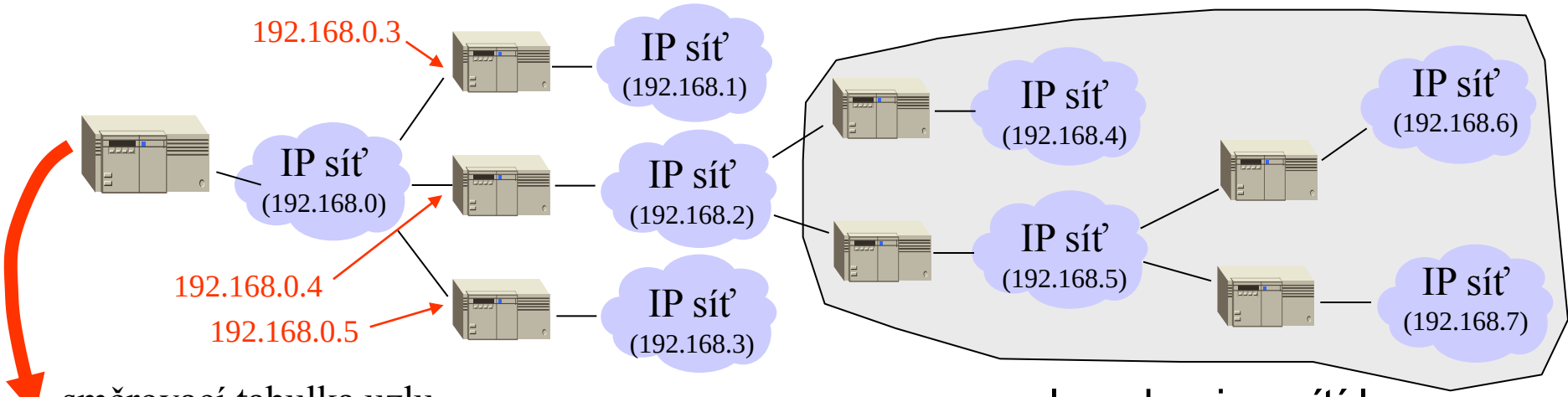
směrovací tabulka uzlu

cílová síť/prefix	posílej přes
192.168.0/24	směruj přímo
192.168.1/24	192.168.0.3
192.168.2/24	192.168.0.4
192.168.3/24	192.168.0.5
192.168.4/24	192.168.0.4
192.168.5/24	192.168.0.4
192.168.6/24	192.168.0.4
192.168.7/24	192.168.0.4

jsou to adresy nejbližšího přeskoku (next hop)

- ve směrovací tabulce se nenachází úplná cesta k cíli, ale pouze "next hop"
  - adresa nejbližšího směrovače
- prefix v adrese cílové sítě odpovídá masce
  - "CIDR prefix" vyjadřuje počet jedničkových bitu masky

optimalizace směrovacích tabulek (agregace položek)



směrovací tabulka uzlu

cílová síť/prefix	posílej přes
192.168.0/24	směruj přímo
192.168.1/24	192.168.0.3
192.168.2/24	192.168.0.4
192.168.3/24	192.168.0.5
192.168.4/24	192.168.0.4
192.168.5/24	192.168.0.4
192.168.6/24	192.168.0.4
192.168.7/24	192.168.0.4

192.168.00000100
192.168.00000101
192.168.00000110
192.168.00000111

192.168.000001xx

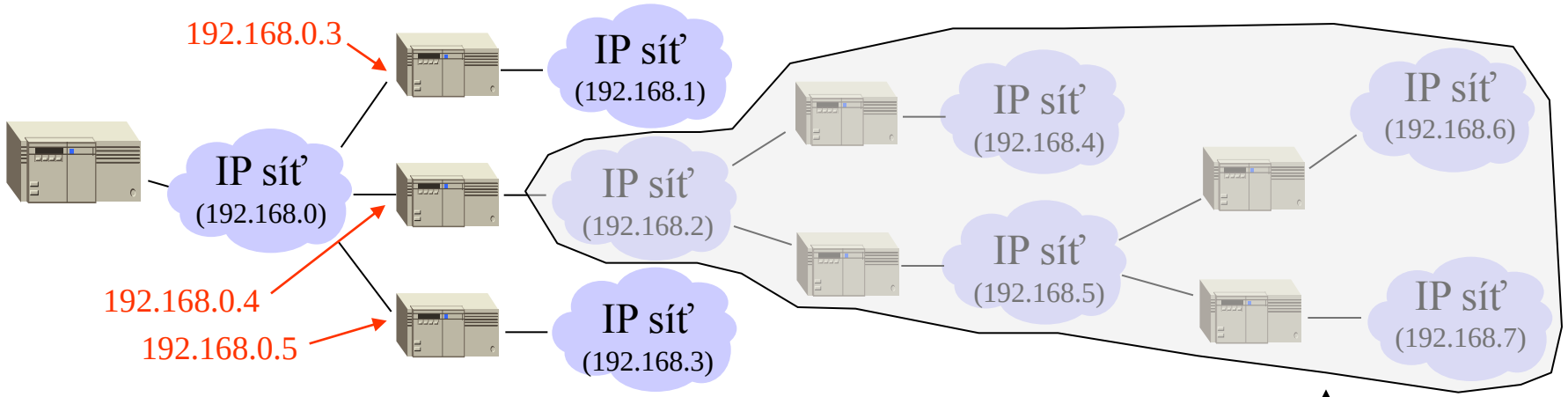
22 bitů

24 bitů

- celou skupinu sítí lze sloučit (**agregovat**) do většího CIDR bloku

cílová síť/prefix	posílej přes
192.168.0/24	směruj přímo
192.168.1/24	192.168.0.3
192.168.2/24	192.168.0.4
192.168.3/24	192.168.0.5
192.168.4/**22**	192.168.0.4

optimalizace směrovacích tabulek (implicitní cesty – default route)

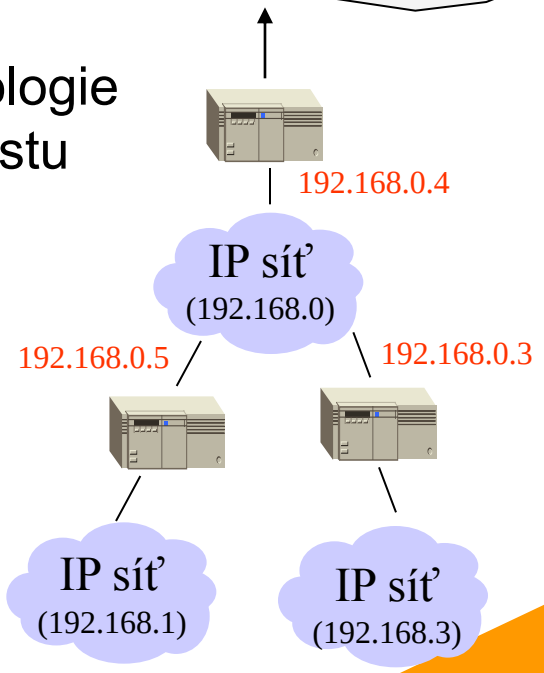


směrovací tabulka uzlu

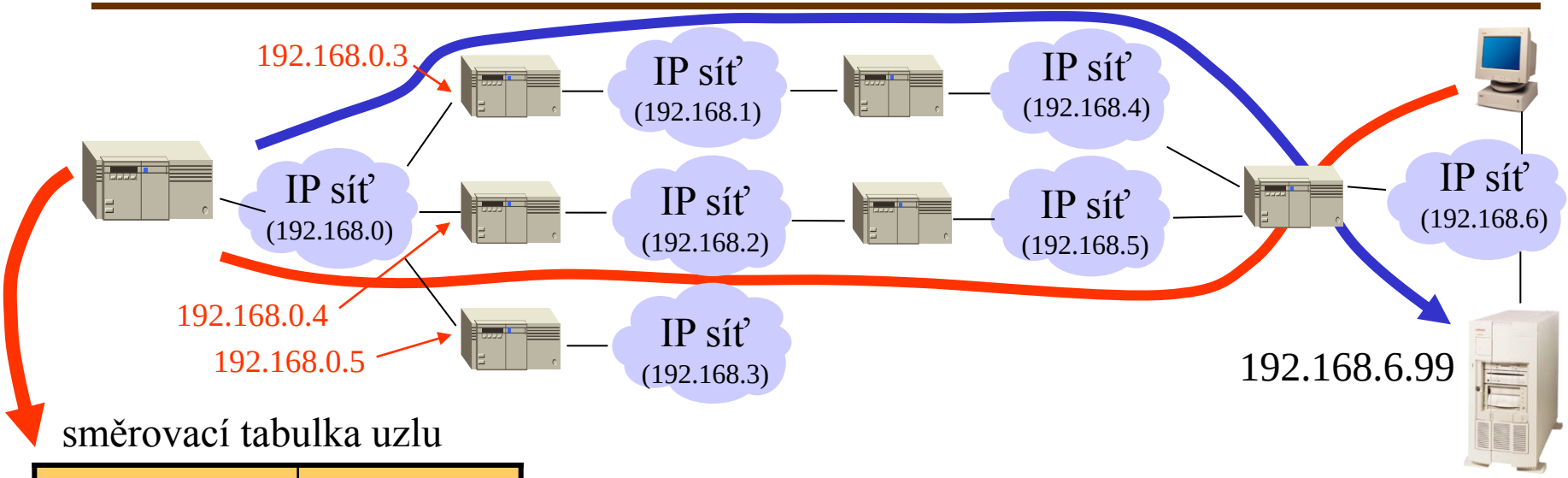
cílová síť/prefix	posílej přes
192.168.0/24	doruč přímo
192.168.1/24	192.168.0.3
192.168.2/24	192.168.0.4
192.168.3/24	192.168.0.5
192.168.4/**22**	192.168.0.4

- v případě stromovité topologie lze definovat implicitní cestu (default route), vedoucí "nahoru"

cílová síť/prefix	posílej přes
192.168.0/24	doruč přímo
192.168.1/24	192.168.0.3
192.168.3/24	192.168.0.5
všechno ostatní	192.168.0.4



host-specific route



směrovací tabulka uzlu

cílová síť/prefix	posílej přes
192.168.0/24	doruč přímo
192.168.1/24	192.168.0.3
192.168.2/24	192.168.0.4
192.168.3/24	192.168.0.5
….	….
192.168.6/24	**192.168.0.4**
192.168.6.99/32	**192.168.0.3**

- pomocí masky (prefixu) lze do směrovacích tabulek zavést i specifické směrovací informace, týkající se jednotlivých uzlů
  - tzv. **host-specific route**
- lze to využít při redundantním připojení například pro odlišné směrování dat směřujících k nějakému serveru

"host-specific route" k uzlu 192.168.6.99

pravidla směrování

- "host-specific route" by měly být používány jen výjimečně
  - velmi zvětšují objemy směrovacích tabulek
  - musí se vyhodnocovat jako první
- snaha je rozhodovat při směrování podle příslušnosti cílového uzlu k určité síti
  - pak postačuje menší počet položek směrovacích tabulek
- agregace položek pomáhá snižovat objem směrovacích tabulek
  - pomáhá i používání "default route"
    - default route odpovídá prefixu 0

- pravidlo pro prohledávání směrovacích tabulek:
  - postupuj od nejvíce konkrétního k nejméně konkrétnímu
  - tedy: nejprve hledej položku s největším prefixem, postupuj k menším prefixům

příklad:

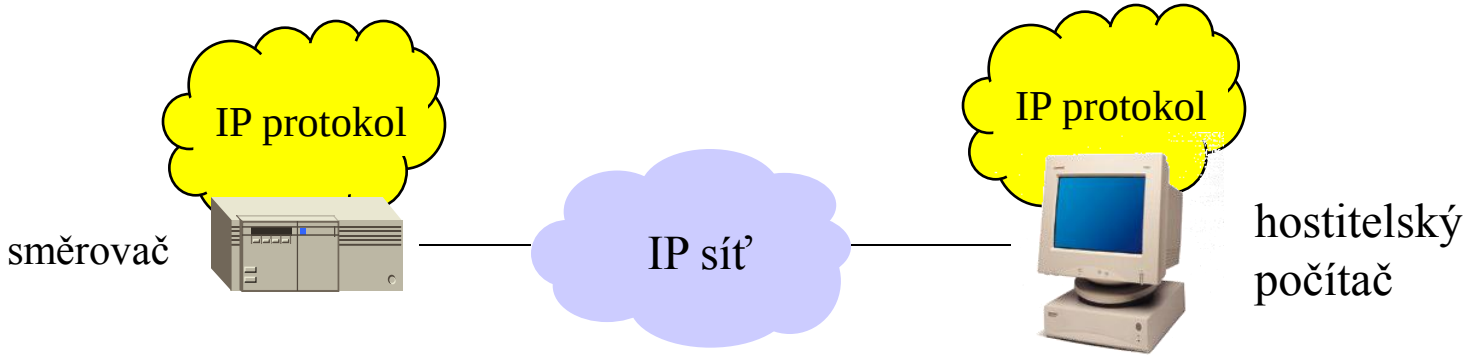
cílová síť/prefix	posílej přes	
192.168.6.99/32	192.168.0.3	← host-specific route
192.168.3/24	192.168.0.5	
192.168.4/22	192.168.0.4	
x/0 (ostatní)	192.168.0.1	← default route

postup prohledávání

základní algoritmus směrování

- vezmi I_d (“plnou” IP adresu příjemce), a zjisti zda se příjemce nachází ve stejné síti jako ty …
  - pokud ano, použij přímé doručování. Jinak ....
- začni prohledávat směrovací tabulku postupně podle velikosti prefixu
  - pokud se hodnota v prefixu právě prohledávané položky shoduje se stejnolehlou částí I_d (příslušným počtem vyšších bitů), doručuj nepřímo dle této položky. Jinak pokračuj další položkou, pokud existuje ...
- existuje-li implicitní cesta (default route)
  - použij tuto cestu. Jinak ...
- skonči chybou
  - generuj ICMP zprávu "Destination Unreachable"

role hostitelských počítačů a směrovačů

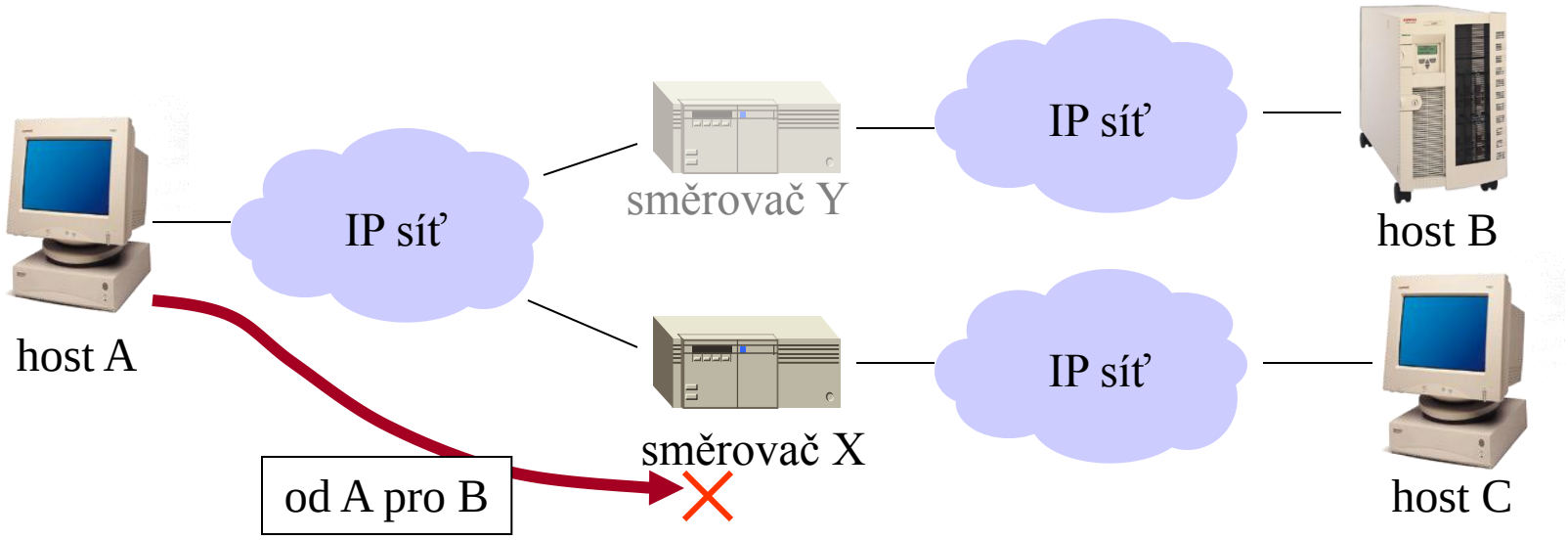


- směrovače:
  - účastní se všech činností v rámci směrování
    - včetně aktualizace směrovacích informací

- hostitelské počítače:
  - také musí volit směr přenosu paketu
  - vedou si směrovací informace ve svých směrovacích tabulkách
    - a využívají je – aplikují základní algoritmus směrování
  - **ale neúčastní se aktualizace směrovacích informací !!!**

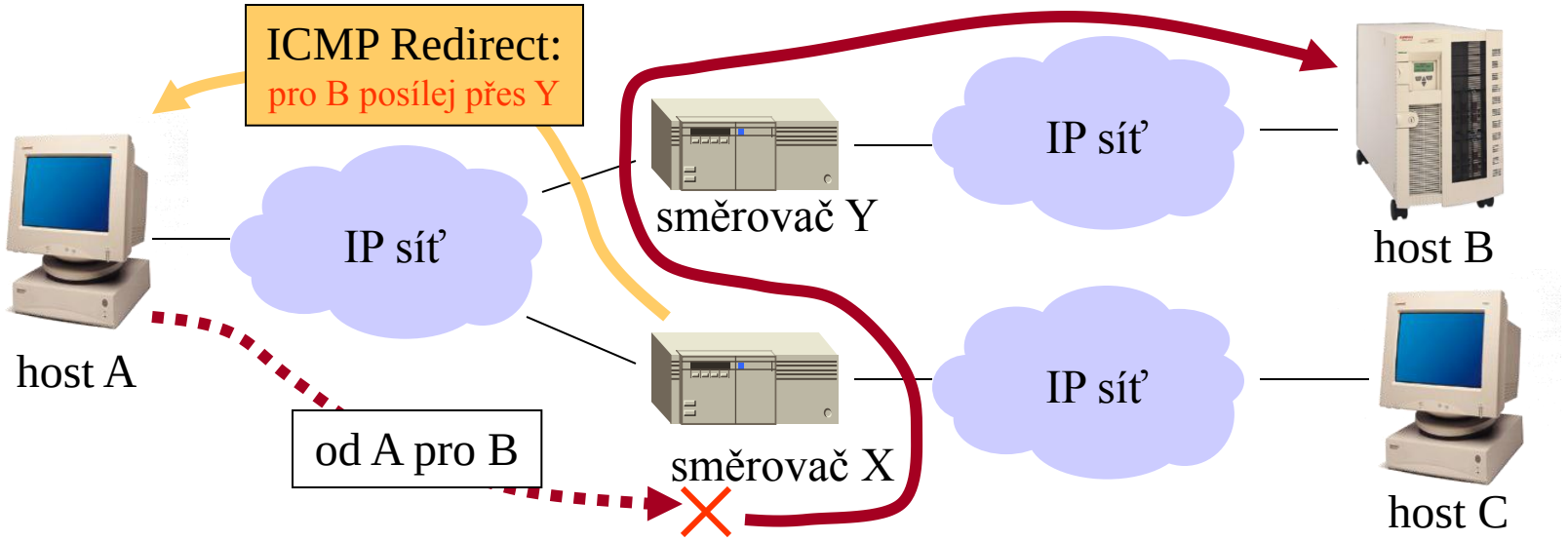
když se hostitelský počítač "chová špatně", směrovač jej "poučí" (poskytne mu správné směrovací informace)

příklad



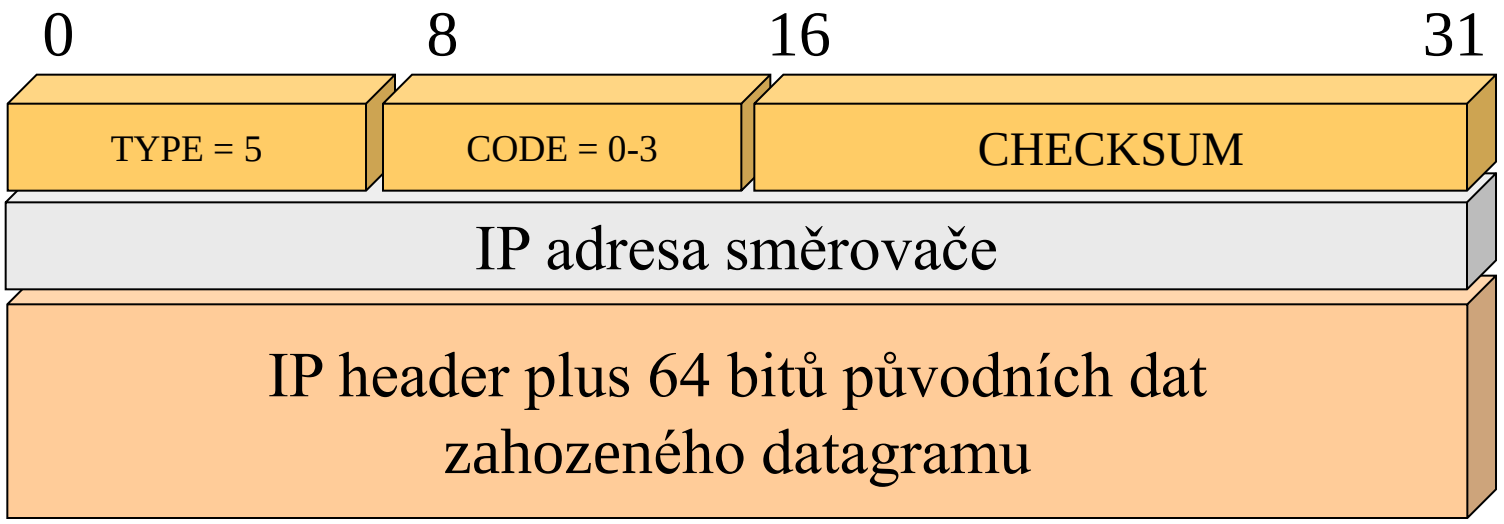
- "na počátku" musí každý hostitelský počítač znát alespoň jeden směrovač "vedoucí ven" ze sítě, ve které se nachází
  - nechť host A zná směrovač X (ale nikoli směrovač Y)
- potřebuje-li host A poslat něco hostu B, pozná že jde o nepřímé doručování a pošle to směrovači X
- směrovač X pozná, že neleží na nejvhodnější cestě mezi hostem A a hostem B
  - upozorní hosta A na vhodnější (kratší) cestu – na existenci směrovače Y

ICMP Redirect



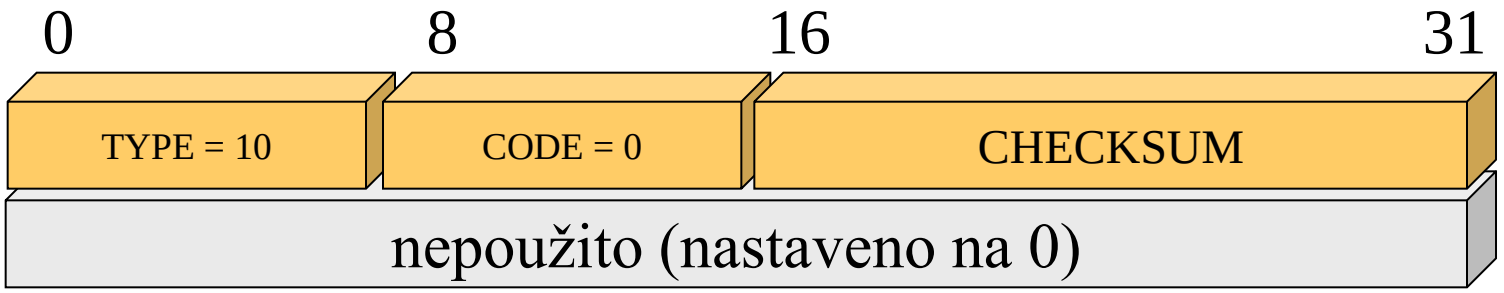
- směrovač X se postará o správné doručení IP datagramu k uzlu B
  - sám pošle data směrovači Y, ten se postará o doručení
- směrovač X pošle hostu A zprávu "ICMP Redirect" ve smyslu:
  - "*datagramy pro uzel B příště posílej přes směrovač Y*"
  - host A by se měl poučit
    - měl by si zanést směrovač Y do své směrovací tabulky a příště jej použít

ICMP Redirect



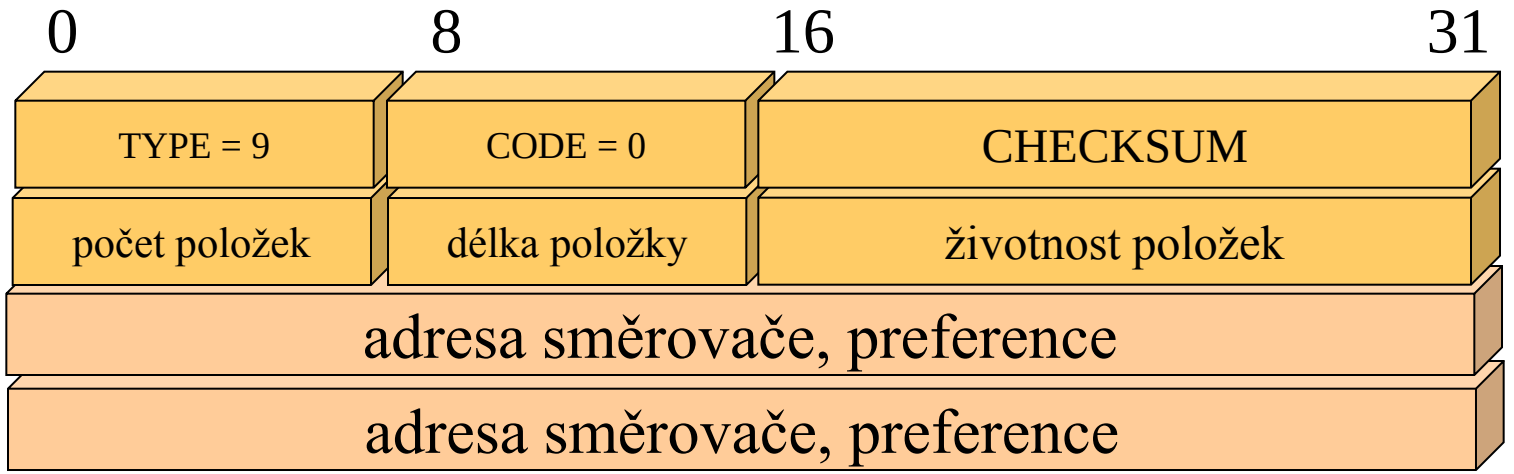
- jde o hlášení od směrovače, že existuje lepší cesta pro doručení IP datagramu a vede přes jiný směrovač
  - jeho IP adresa je uvedena
    - CODE=0: změň směrování pro síť, 1: změň směrování pro uzel
    - CODE=2: změň směrování pro síť pro daný typ služby, 3: dtto, uzel&služba
- odesilatel (hostitelský počítač) by měl zareagovat zanesením nového směrovače do své směrovací tabulky
  - pokud tak neučiní, nesprávně oslovený směrovač má právo jej znovu upozornit, ale nesmí jej odmítnout (musí vždy předat data správným směrem)

ICMP Router Solicitation



- jde o "dotaz do pléna": jaké jsou tady směrovače?
  - ICMP zpráva je rozesílána pomocí IP broadcastu všem uzlům dané sítě
- odpověď přináší informaci o dostupných směrovačích v síti
  - (zřejmě) je brána první odpověď která dorazí, eventuelní neúplnost je řešena pomocí ICMP Redirect
- umožňuje to, aby hostitelské počítače nemusely "na počátku" znát žádný směrovač
- směrovače odpovídají na dotazy
  - ale samy také generují odpovědi (advertisement) v náhodném intervalu mezi 450 až 600 vteřinami

ICMP Router Advertisement

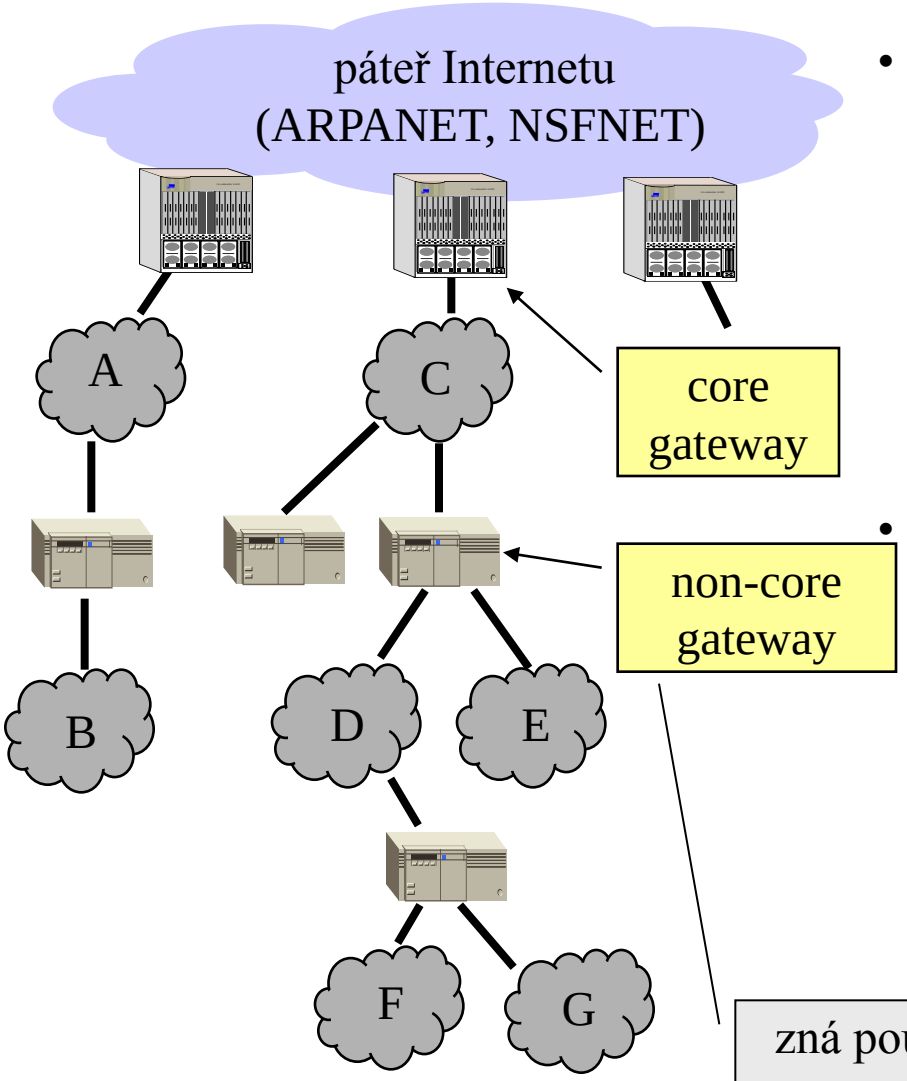


- jde o odpověď na Router Solicitation, nebo o samostatně generovanou "reklamu" (advertisement)
- preference umožňují příjemci stanovit, přes který směrovač vede implicitní cesta (default route)
  - životnost říká, jak dlouho má být záznam o směrovači ponechán ve směrovací tabulce příjemce

aktualizace směrovacích informací

- základní problém:
  - jak zajistit rychlou a správnou reakci na změny, tak aby s tím nebyla spojena příliš velká režie
    - navíc: jak to udělat v rozsahu dnešního Internetu?
- je třeba průběžně šířit aktualizační informace
  - ze kterých se průběžně vypočítávají údaje (next hop) ve směrovacích tabulkách
  - lze to řešit na principu "vector distance" nebo "link state"
- řešení tohoto problému se měnilo s vývojem Internetu
  - hlavně v důsledku jeho zvětšování
- zpočátku:
  - Internet byl malý, existovaly centrální směrovače s úplnou informací
- později:
  - vznikla 2-úrovňová struktura
    - core směrovače s úplnou informací
    - non-core směrovače s neúplnou informací
- ještě později
  - došlo k "dekompozici" Internetu
    - vzniku tzv. autonomních systémů (AS), které v sobě lokalizují detailní směrovací informace a nešíří je mimo sebe

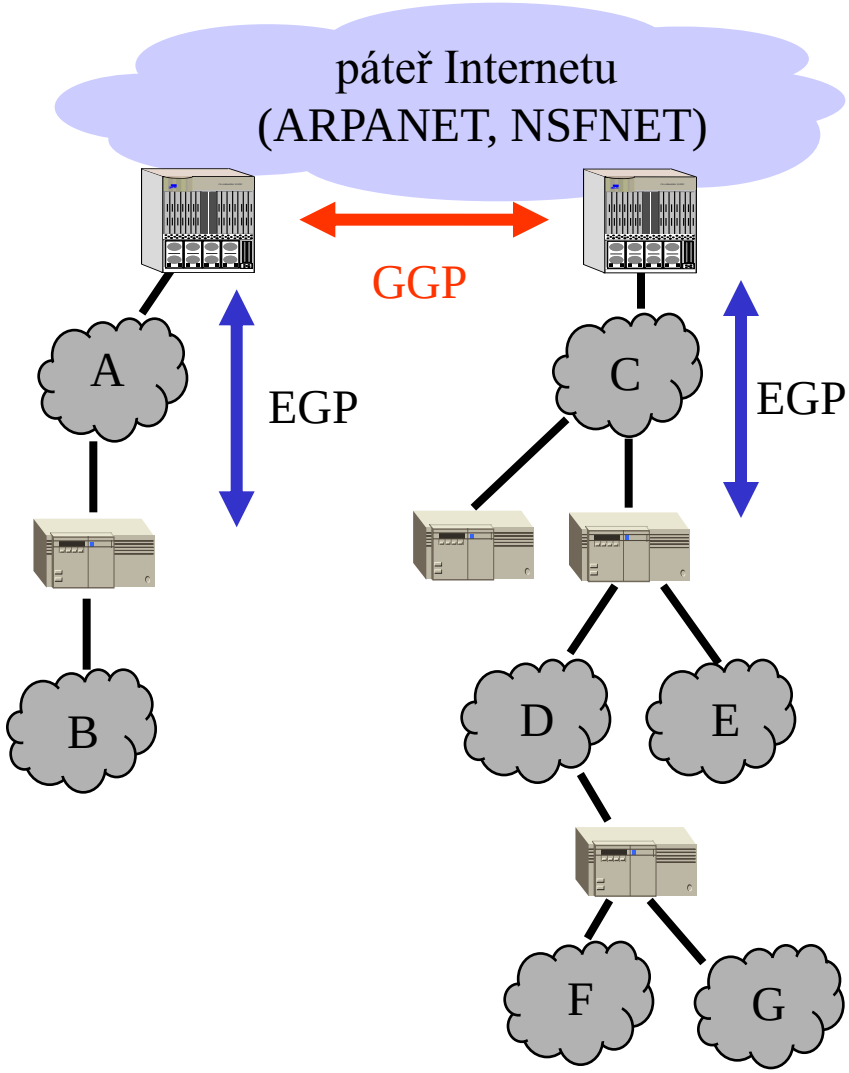
směrování v ranném Internetu



- existovala soustava tzv. core gateways (centrálních směrovačů), nacházejících se v páteřní části Internetu
  - tyto core gateways měly **úplnou informaci o celé topologii Internetu**
  - byly centrálně spravovány (pověřenou organizací)
- ostatní směrovače byly "non-core gateways"
  - pracovaly s neúplnou informací o topologii Internetu
    - "znaly" jen sítě "pod sebou", provoz do ostatních sítí směrovaly přes implicitní cesty do core gateways
  - inzerovaly existenci "svých" sítí (sítí "pod sebou") směrem ke core

zná pouze cestu k sítím D,E, F a G, ostatní posílá přes default route

směrování v ranném Internetu

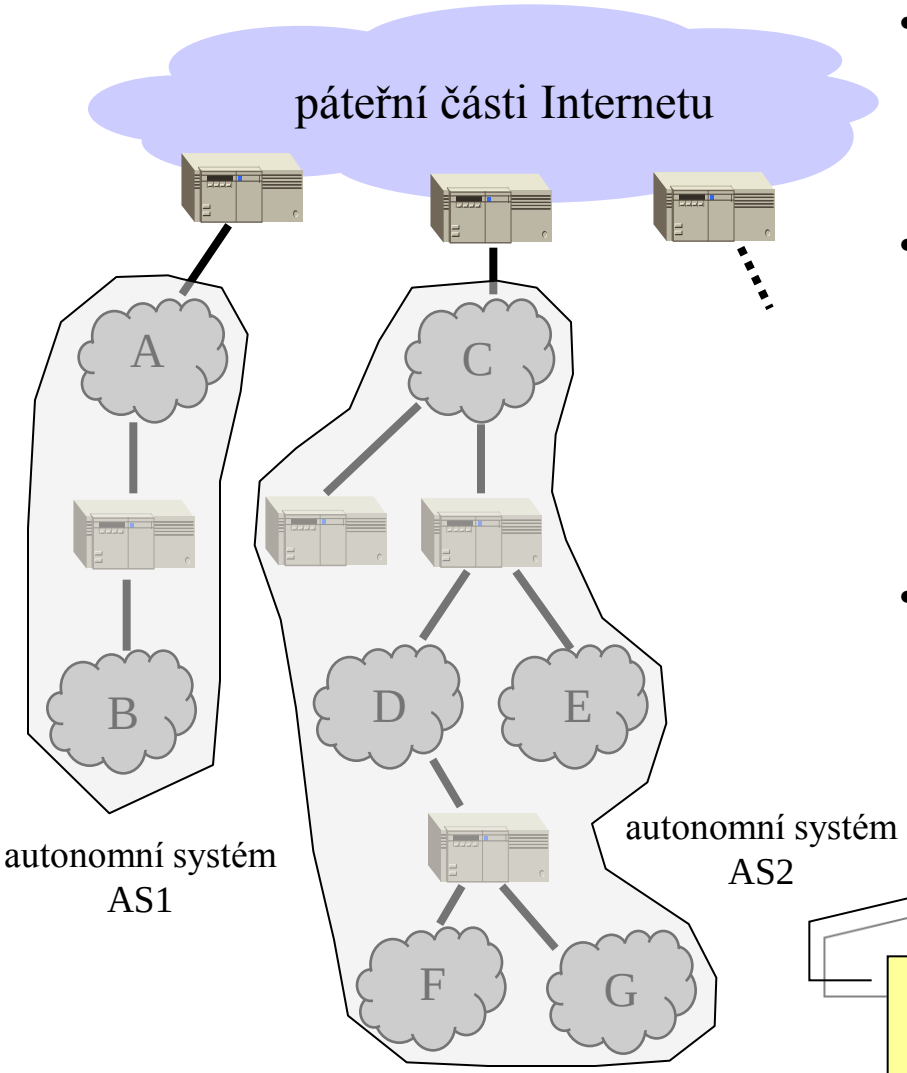


- pro vzájemnou komunikaci centrálních směrovačů ("core gateways") byl vytvořen protokol GGP
  - Gateway-to-Gateway Protocol
- pro komunikaci mezi centrálními a "ostatními" (vnějšími) směrovači byl vytvořen protokol EGP
  - Exterior Gateway Protocol
- terminologie:
  - původně se IP směrovačům říkalo "IP Gateways"
    - proto GGP a EGP
- problém tohoto řešení:
  - nebylo dostatečně škálovatelné

další vývoj – autonomní systémy

- s růstem Internetu se řešení s “core gateways” stalo neúnosné
  - úplná informace o celé topologii Internetu je příliš velká, režie na distribuci této informace mezi všemi “core gateways” neúnosná
- “core gateways” nešlo donekonečna “nafukovat”
  - muselo se najít jiné řešení
- souvislost:
  - Internet přešel do komerční sféry, "směrovací politika" jednotlivých částí Internetu již nemusela být stejná
    - bylo třeba vyhovět individuálním požadavkům jednotlivých providerům, požadavkům na peering, ….
- princip "jiného řešení"
  - "dekompozice" Internetu z hlediska směrování
  - detailní ("úplná") směrovací informace nebude šířena po celém Internetu
    - resp. po páteřní části
  - ale zůstane lokalizována v určitých oblastech
    - bude šířena pouze uvnitř těchto oblastí, ne mimo ně
  - tyto oblasti budou šířit kolem sebe pouze mnohem "menší" informace o dostupnosti
- jde o tzv. **autonomní systémy**

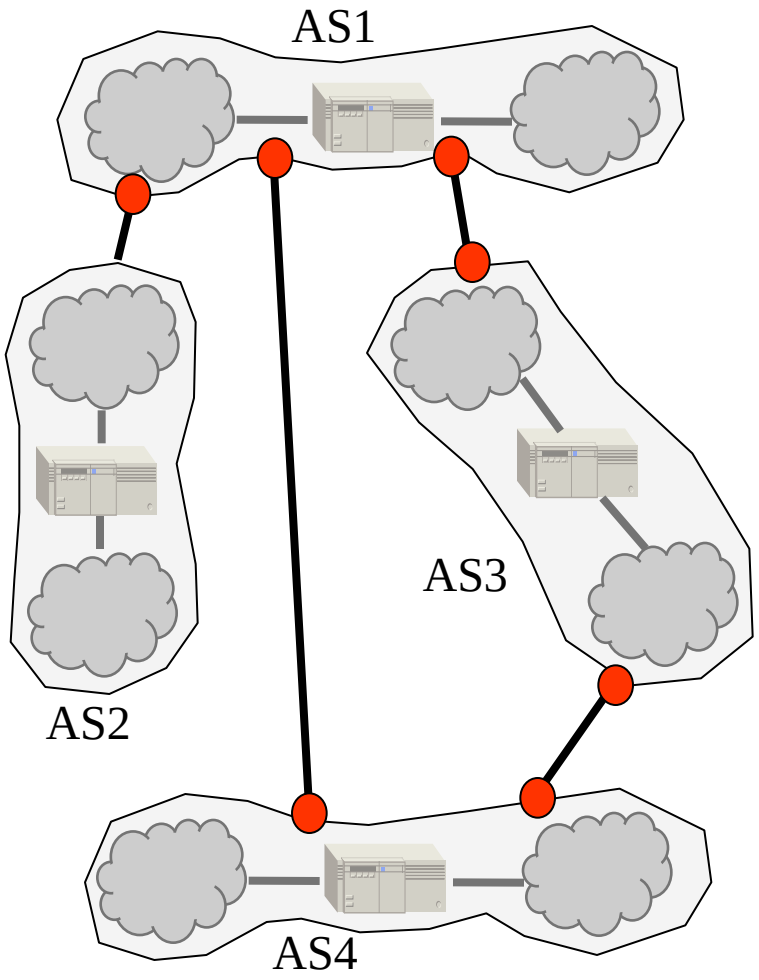
představa autonomního systému



- autonomní systém "navenek" neinformuje o své vnitřní struktuře
  - ani o detailních směrovacích informací
- je "autonomní" v tom smyslu, že si může sám stanovit svou vlastní směrovací politiku
  - včetně toho, jakým způsobem je uvnitř AS řešena aktualizace směrovacích informací
- navenek autonomní systém zveřejňuje pouze informace o dostupnosti
  - ve smyslu:
    - AS1: "uvnitř mne se nachází sítě A až B"
    - AS2: "uvnitř mne se nachází sítě C až G"

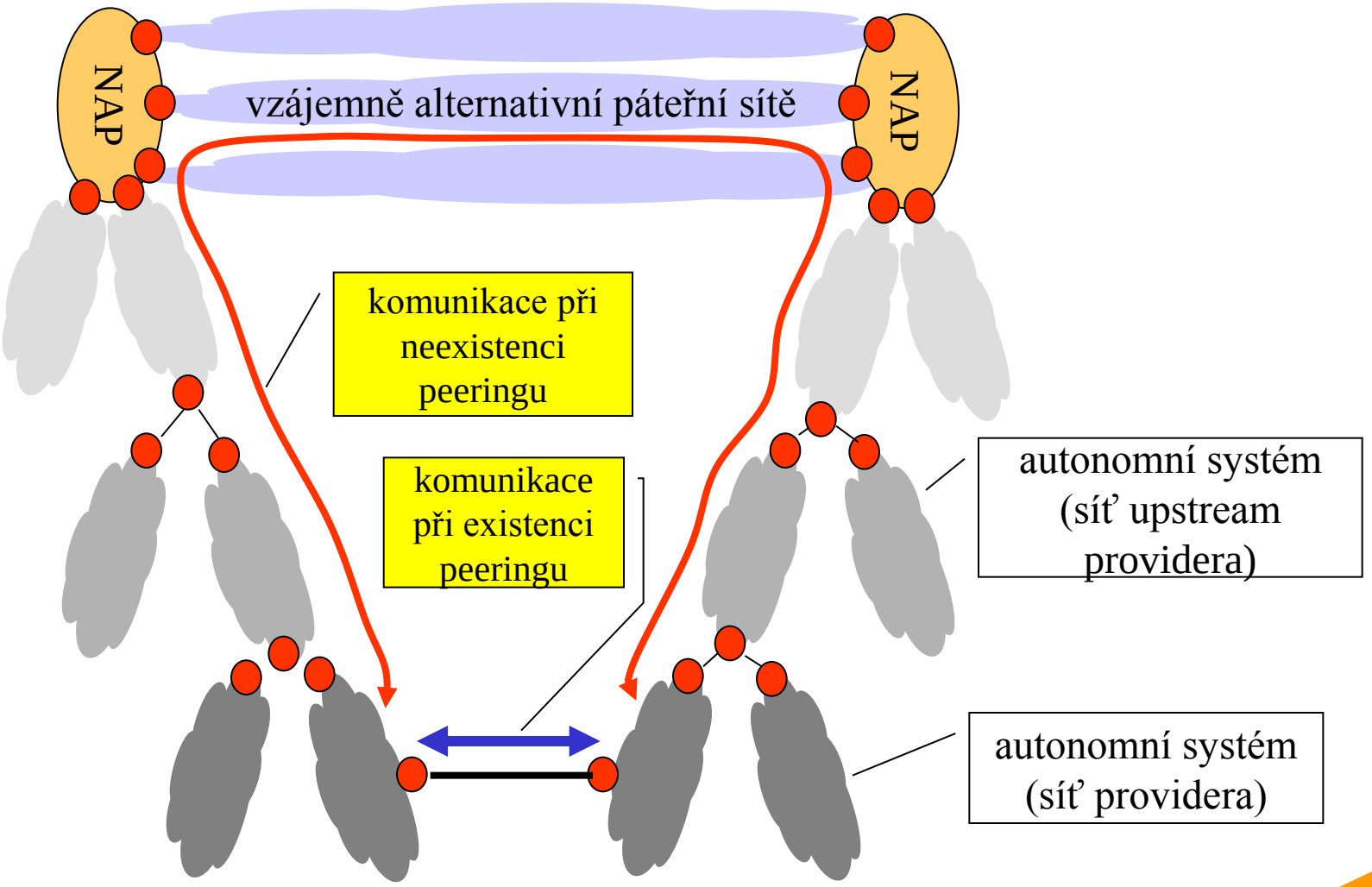
je to typicky "intervalová informace" (od-do), tvořená rozsahem IP adres (resp. CIDR bloků náležejících do AS)

představa autonomního systému



- každý autonomní systém má určitý (malý) počet vstupních/výstupních bodů
  - skrz tyto body se propojuje s ostatními autonomními systémy
  - skrz tyto body si vyměňuje informace o dostupnosti (o svém obsahu)
    - a také vzájemně testují svou existenci
- původně musela být struktura autonomních systémů striktně stromovitá
  - dnes již nemusí
  - každý AS si může sám zvolit, jak ("kudy") chce komunikovat s jinými autonomními systémy
    - díky tomu je možný peering – přímé propojení autonomních systémů, obcházející implicitní propojení přes páteřní části

dnešní struktura Internetu



Exterior Gateway Protocols

- mezi autonomními systém musí probíhat výměna informací
  - o dostupnosti, existenci, "navazování vzájemných vztahů", …)
- k tomu jsou zapotřebí vhodné protokoly
- dříve se používal protokol EGP (Exterior Gateway Protocol)
  - byl šit na míru “centralizovanému Internetu”, s jediným páteřním autonomním systémem
  - nepřipouštěl nic jiného než stromovitou strukturu
  - nedokázal využít více alternativních “páteřních AS”
- dnes je "Exterior Gateway Protocols" generické označení pro všechny protokoly, které zajišťují komunikaci mezi AS
- dnes se používá modernější protokol BGP (Border Gateway Protocol)
  - napravuje nedostatky EGP
  - připouští obecné propojení autonomních systémů
    - ne pouze "do stromu"
  - umožňuje stanovit různá kritéria při volbě mezi alternativními směry
    - správce AS může stanovit priority, například v závislosti na rychlosti, kapacitě linek, spolehlivosti atd.
  - podporuje CIDR
  - dnes verze BGP-4

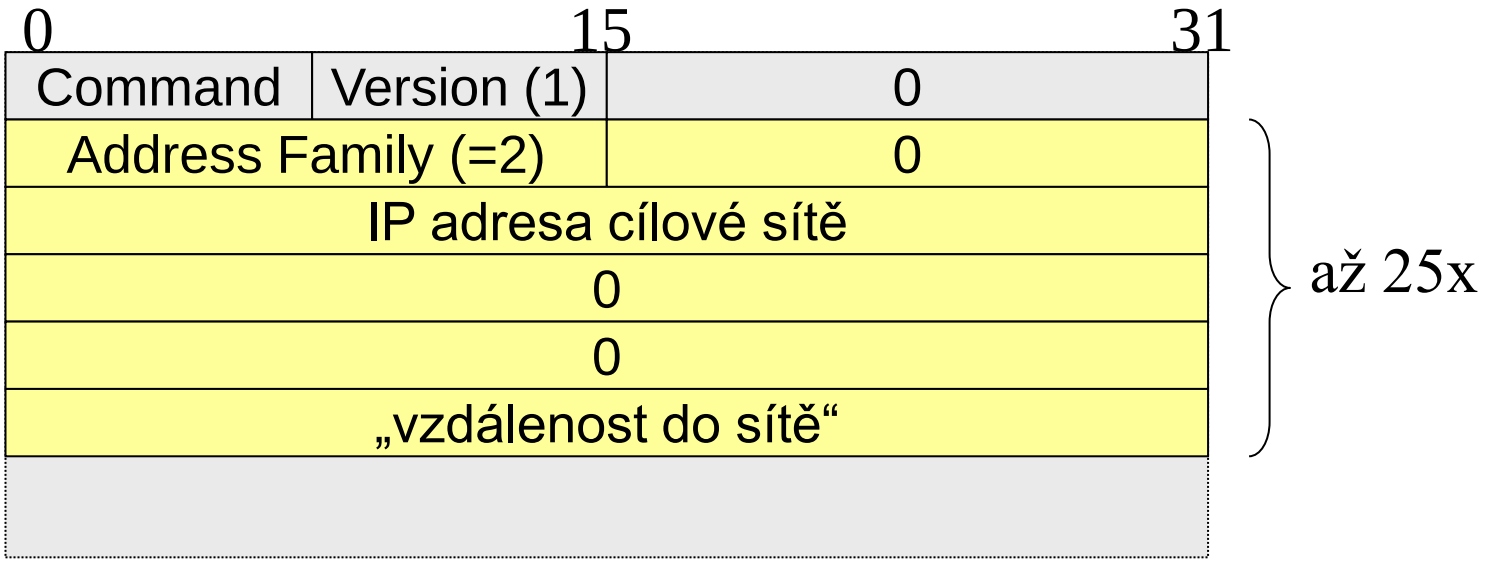
IGP – Interior Gateway Protocols

- připomenutí: uvnitř sebe sama si každý autonomní systém může řešit směrování tak jak uzná za vhodné
  - může aplikovat vlastní směrovací politiku
  - týká se to hlavně aktualizace směrovacích informací
- existuje více alternativních protokolů, které lze použít pro aktualizaci směrovacích informací uvnitř AS
  - obecně jsou označovány jako IGP (Interior Gateway Protocols)
- příklady protokolů IGP:
  - RIP (Routing Information Protocol)
    - pracuje na principu "vector distance"
    - vyvinut firmou Xerox ve středisku PARC, použit mnoha firmami, používal se již v původním ARPANETu
    - vhodný pro malé až střední sítě, ne pro velké
  - OSPF (Open Shortest Path First)
    - pracuje na principu "link state"
    - vhodný i pro větší sítě (větší autonomní systémy)

RIP – Routing Information Protocol

- je typu vector-distance
  - uzly si vyměňují aktualizace tvořené směrovým vektorem a jeho ohodnocením (vzdáleností k cíli)
    - metrika je pevná, a to počet přeskoků!!
- aktualizace (updaty):
  - se vysílají každých 30 sekund
    - když do 180 sekund nepřijde update od nějakého konkrétního (sousedního) směrovače, jsou všechny cesty vedoucí přes tento směrovač označeny jako nekonečně dlouhé.
    - po dalších 120 sekundách jsou odstraněny z tabulky (nastoupí jakýsi garbage collector).
- výpočet cest je distribuovaný
  - každý počítá kousek
  - algoritmus probíhá trvale, nikdy nekončí!!!
  - každý je závislý na ostatních, chyba jednoho ovlivňuje druhé
- aktualizace (updaty):
  - posílají se jen k přímým sousedům (směrovačům)
    - každý uzel se od svých sousedů dozvídá jen o dostupnosti cílových sítí (a metrice), ne o dalším směrování za svými sousedy (nevidí dál než ke svým sousedům)
    - nemá informace o celé topologii!!!
  - obsahují údaje o dostupnosti ostatních uzlů z daného uzlu (s jakou cenou)
    - v zásadě jde o obsah celé směrovací tabulky
  - alternativní cesty nejsou uvažovány, (cesty se stejným ohodnocením jsou ignorovány)
    - aby se zabránilo oscilacím, RIP nahradí již existující cestu pouze cestou, která má nižší metriku!!! (nestačí stejná)!!!

protokol RIP

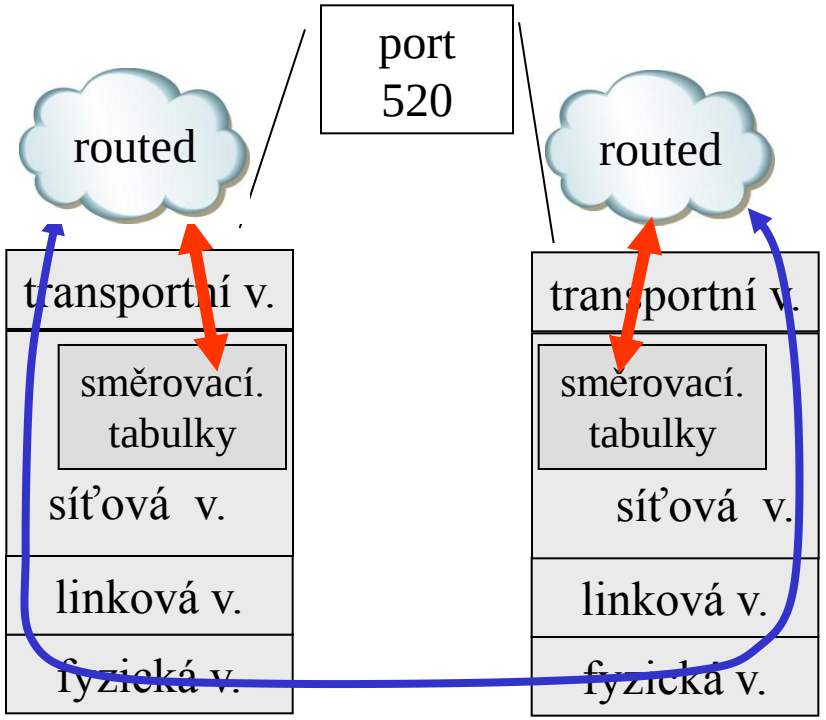


zpráva RIP-u obsahuje:

- pole **Command**, obsahuje buď výzvu k zaslání routovacích informací, nebo odpověď na tuto výzvu.
- pole **Address Family** (= 2 pro RIP)
- pole "vzdálenost" musí obsahovat číslo od 1 do 15, zatímco 16 je považována za nekonečno.

protokol RIP – představa fungování

- RIP je v TCP/IP je implementován jako aplikace (na aplikační úrovni)
  - jako démon "routed"
  - běží nad UDP
  - sedí na portu 520 (well-known portu)
  - velikost každého RIP paketu je max. 512 bytů
- výhoda:
  - je to jednoduché, nemusí se konfigurovat
    - stačí spustit démona routed, ten již nastaví směrovací tabulky



RIP2, RIPng

- v roce 1993 byl původní RIP updatován
  - na verzi RIP-2
- nové vlastnosti/schopnosti:
  - podpora IP adres s maskami a CIDR
  - "Next Hop Specification"
    - v RIP záznamu je explicitně uvedena IP adresa směrovače, přes který vede spojení do cílové sítě
      - zvyšuje efektivnost
      - umožňuje směrovat provoz i přes směrovače, které nepodporují RIP
  - autentizace
    - ochrana proti útokům skrze falešné RIP zprávy
  - "Route Tag"
    - další informace o inzerované cestě
  - použití multicastu pro rozesílání zpráv (RIP Response)
    - zasílají se na adresu 224.0.0.9, která je vyhrazena pro RIP
    - všechny uzly "v dosahu" musí podporovat multicast
- RIP-2 může koexistovat s RIP-1
  - RIP-2 vkládá svá nová data do nevyužitých částí zpráv RIP-1
- v roce 1997 byl RIP upraven i pro IPv6
  - RIPng, RIPv6
    - umožňuje používat IP adresy verze 6
    - má jiný formát zpráv

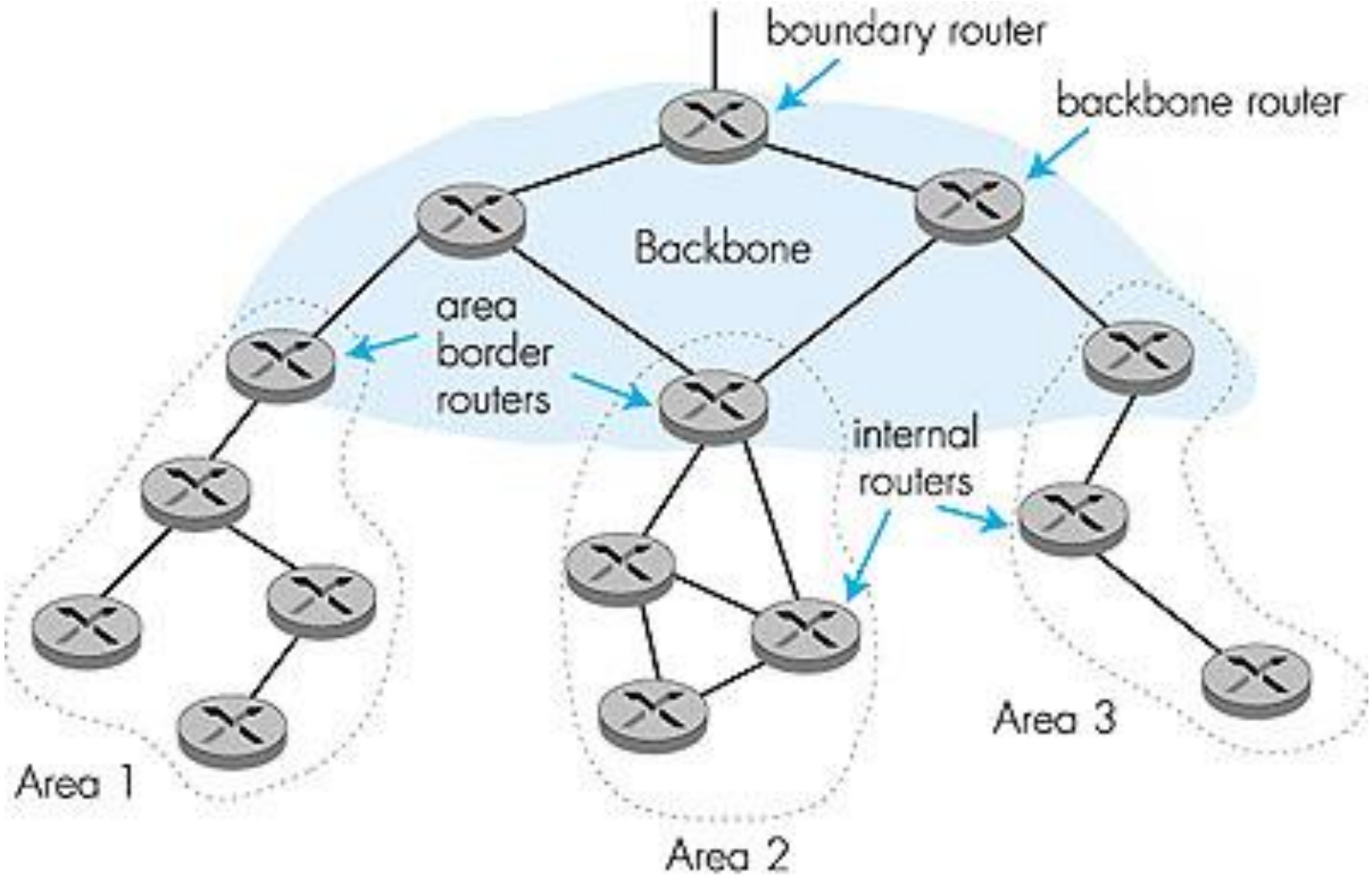
protokol OSPF (Open SPF)

- je "otevřenou verzí staršího protokolu SPF (Shortest Path First)
  - jeho specifickace jsou veřejně přístupné, pochází od IETF
- je typu link-state
  - každý uzel testuje dostupnost svých sousedů
    - stav linky
  - každý uzel sestavuje "link state paket", ve kterém uvede údaje o dostupnosti svých sousedů
    - stav linky a její ohodnocení
  - tyto pakety jsou rozesílány všem uzlům v síti/soustavě sítí
    - stačí ale jen při změně nějakého údaje !!!!
    - jinak pro osvěžení každých 30 minut
- všechny uzly v síti mají úplnou informaci o jednotlivých spojích a mohou si vypočítat optimální cesty
  - každý počítá "za sebe", chybou ovlivní jen sebe sama
- OSPF podporuje alternativní cesty
  - umožňuje definovat různé cesty pro různé druhy provozu
  - podporuje load balancing
- OSPF podporuje další "dekompozici"
  - umožňuje rozdělení sítě na menší "areas", které jsou analogické autonomním systémů v tom, že jejich topologie není šířena mimo danou "area"
    - minimalizuje to objemy aktualizačních informací

protokol OSPF – oblasti

- jde o vlastnost, která zvětšuje "dosah" OSPF
  - umožňuje větší škálovatelnost, tj. realizovat AS
- celý autonomní systém se rozdělí na (disjunktní) oblasti
  - jedna se prohlásí za páteřní (backbone)
- směrovače v oblastech se rozdělí na
  - interní
    - zajišťují směrování v rámci oblasti, mají stejné informace (navzájem)
  - páteřní (Backbone)
    - zajišťují směrování v rámci páteřní oblasti
  - na rozhraní (Area Border)
    - patří současně do oblasti i do páteře, vyměňují informace mezi nimi
  - hraniční (Boundary)
    - v páteřní oblasti, vyměňují směrovací informace s jinými AS

příklad: hierarchické OSPF



fungování OSPF

- každý OSPF směrovač si udržuje:
  - databázi přímých sousedů
    - každý ji má jinou
    - udržuje aktuální pomocí HELLO paketů, které pravidelně posílá svým sousedům
      - každých 10 sekund
  - každý směrovač si udržuje "topologickou databázi"
    - databázi s údaji o topologii celé sítě
    - všichni (v oblasti) by ji měli mít stejnou
    - pomocí této databáze počítá "nejkratší" cesty
  - směrovací tabulky
    - používají se pro samotné směrování IP paketů
- komunikace mezi OSPF směrovači probíhá pomocí OSPF paketů
  - vkládají se přímo do IP paketů
    - Protocol No. 89
  - existuje 5 druhů zpráv:
    - Hello
    - Database Description
    - Link State Request
    - Link State Update
    - Link State Acknowledgement

fungování OSPF

- "nový" směrovač:
  - nejprve zjistí, jaké má sousedy
    - řeší se jinak v prostředí s broadcastem, bez broadcastu a na dvoubodových spojích
  - s každým sousedem si synchronizuje svou topologickou databázi
    - pomocí příkazů
      - Database Description
      - Link State Request
      - Link State Acknowledgement
  - po úspěšné synchronizaci oba směrovače ve dvojici "ohlásí světu své sousedství"
    - pomocí broadcastu oba rozešlou všem ostatním směrovačům v síti tzv. LSA (Link State Advertisement)
      - informaci o existenci spojení (vazby, hrany) mezi nimi
      - pomocí příkazů Link State Update
- "již fungující" směrovač
  - trvale monitoruje dostupnost svých přímých sousedů
    - pomocí HELLO paketů, každých 10 sekund
  - pokud není změna:
    - každých 30 minut opakuje všem své "sousedství"
      - rozesílá LSA s údaji o dostupnosti souseda, pomocí broadcastu
  - pokud je změna
    - okamžitě informuje o změně pomocí LSA (Link State Advertisement)
      - OSPF příkaz "Link State Update"
- LSA se šíří jako inteligentní broadcast
  - fakticky jako záplava (záplavové směrování), s eliminací duplicitních paketů