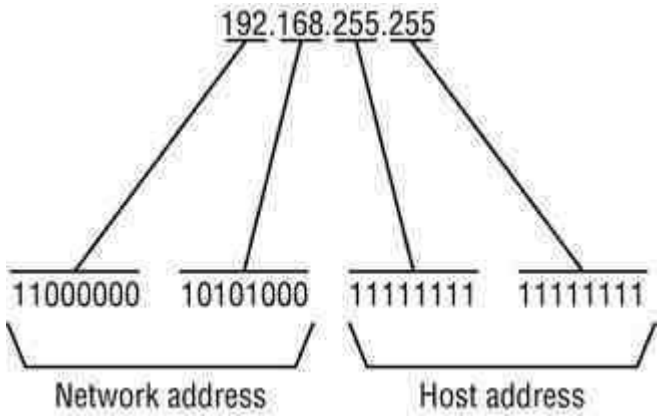
8. prednáška

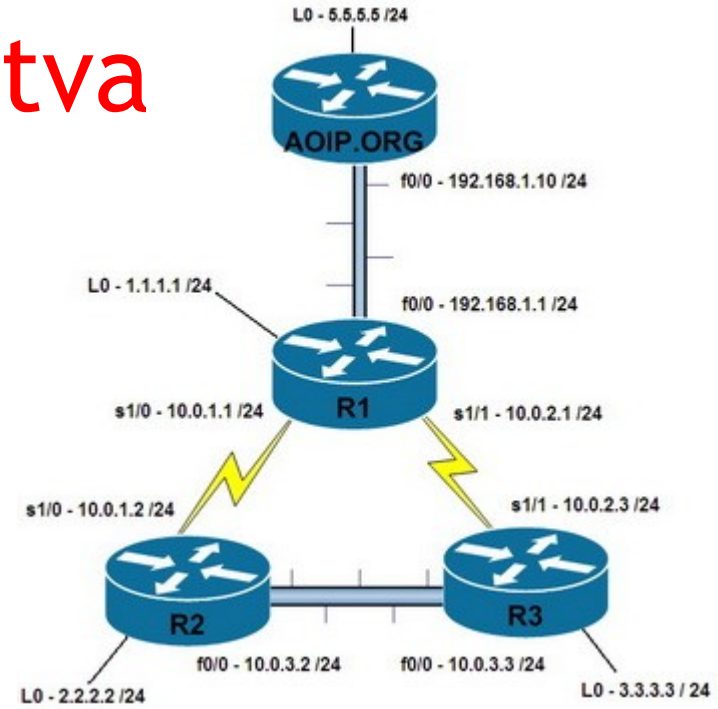
4-bit	8-bit	16-bit	32-bit	
Ver.	Header Length	Type of Service	Total Length	
Identification			Flags	Offset
Time To Live	Protocol		Checksum	
Source Address				
Destination Address				
Options and Padding				

158.197.31.4/24

fe80::231:5cff:fe64:db91/64

Sieťová vrstva 3.časť

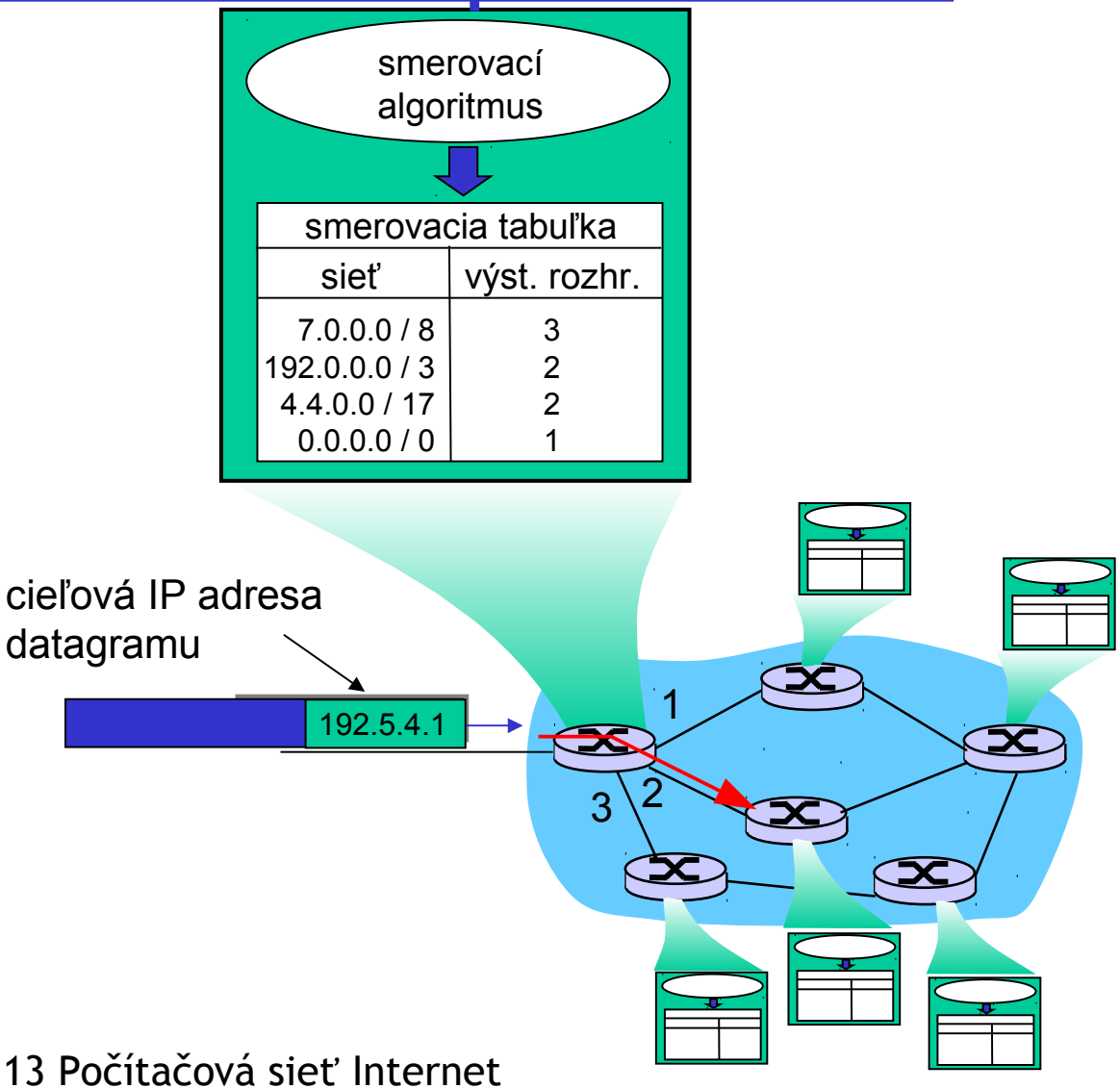




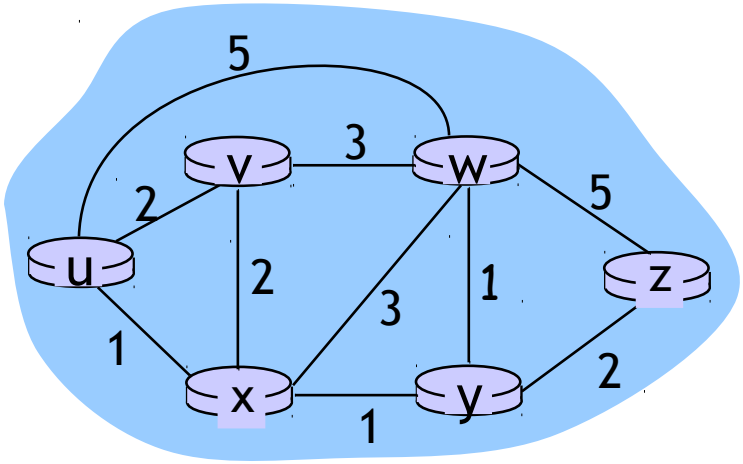
Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

Cieľ smerovacieho algoritmu a smerovacích protokolov



Sieť routrov ako graf

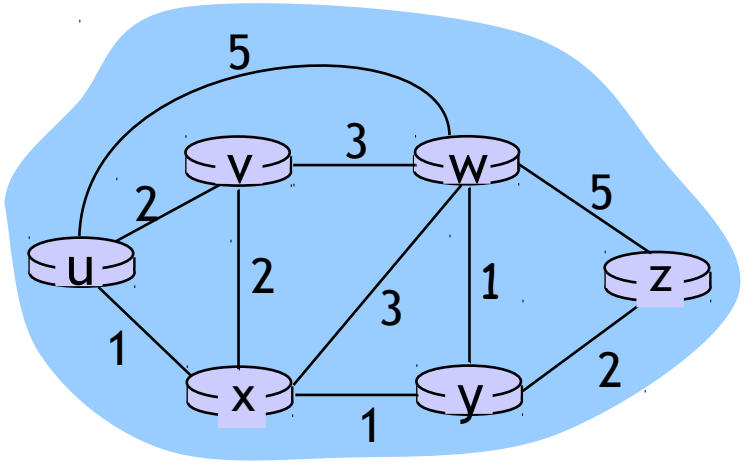


Graf: G = (V,E)

V = množina vrcholov/uzlov/routrov = { u, v, w, x, y, z }

E = množina hrán/spojení = { (u,v), (u,x), (u,w), (v,x), (v,w), (x,w),
(x,y), (w,y), (w,z), (y,z) }

Ceny (váhy) hrán grafu



$c(v_1,v_2)$ = cena hrany (v_1,v_2)

- napr. c(w,z) = 5

- cena každej hrany môže byť 1, ale môže byť nastavovaná napr. podľa šírky pásma alebo zahltenia spoja

Cena cesty $(v_1, v_2, v_3,\ldots, v_p) = c(v_1,v_2) + c(v_2,v_3) + \ldots + c(v_{p-1},v_p)$

Otázka: Aká je najkratšia cesta medzi routrami u a w ?

Smerovací algoritmus: nastaví smerovaciu tabuľku tak, aby cesty datagramov k cieľom boli čo najlacnejšie

Klasifikácia smerovacích algoritmov

S globálnym prehľadom:

- všetky routre majú kompletnú informáciu o topológii siete a cenách hrán
- "link state" algoritmus

Decentralizovaný alg.:

- router pozná iba fyzicky naňho napojených susedov a ceny týchto hrán
- iteratívny proces výpočtu
- výmena (medzi-)výsledkov medzi susedmi
- "distance vector" algoritmus

Statický:

- riadky smerovacej tabuľky sa menia zriedka

Dynamický:

- riadky smerovacej tabuľky sa aktualizujú často
  - periodické obnovovanie tabuľky
  - reaguje na zmeny cien hrán

Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

“Link-State” algoritmus (LSA)

Dijkstrov algoritmus

- všetky uzly vedia celú topológiu siete aj ceny hrán
  - získané broadcastovými alebo multicastovými správami
  - všetky uzly vedia to isté
- počíta najkratšie (najlacnejšie) cesty z daného uzla ku všetkým ostatným
  - získame smerovaciu tabuľku daného uzla
- v každej iterácii cyklu algoritmu zistíme najkratšiu cestu k ďalšiemu uzlu

Označenia:

- c(x,y): cena cesty z uzla x do uzla y; =∞ ak nie sú spojené žiadnou cestou, alebo cestu z x do y ešte nepoznáme
- D(v): aktuálne najmenšia zistená cena cesty zo štartovacieho uzla do uzla v
- p(v): predchodca uzla v na ceste zo štartovacieho uzla do uzla v
- N: množina uzlov, ku ktorým už poznáme najlacnejšiu cestu

Dijkstrov algoritmus

Inicializácia:

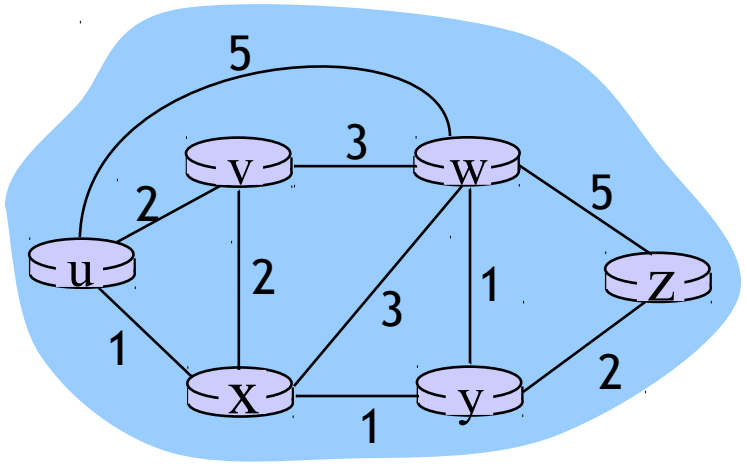
N = {u} // u je štartovací uzol
pre všetky uzly v
ak v je susedom u tak
D(v) = c(u,v)
inak D(v) = ∞

Výpočet:

opakuj
vezmi w∉N také, že ∀x∉N: D(w)≤D(x)
pridaj w do N
zmeň D(v) pre v∉N, ktoré sú susedom w:
D(v) = min(D(v), D(w) + c(w,v))
ak sa D(v) zmenilo nastav p(v)=w
pokiaľ N neobsahuje všetky uzly

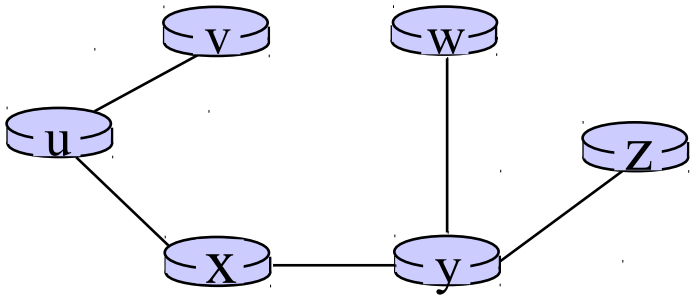
Dijkstrov algoritmus: príklad

iterácia	N	D(v),p(v)	D(w),p(w)	D(x),p(x)	D(y),p(y)	D(z),p(z)
0	u	2,u	5,u	1,u	∞	∞
1	ux	2,u	4,x		2,x	∞
2	uxy	2,u	3,y			4,y
3	uxyv		3,y			4,y
4	uxyvw					4,y
5	uxyvwz					



Dijkstrov algoritmus: príklad

Dostaneme strom najkratších ciest z uzla u:



Nastavíme smerovaciu tabuľku routra u:

cieľ	spoj (rozhranie)
v	(u,v)
x	(u,x)
y	(u,x)
w	(u,x)
z	(u,x)

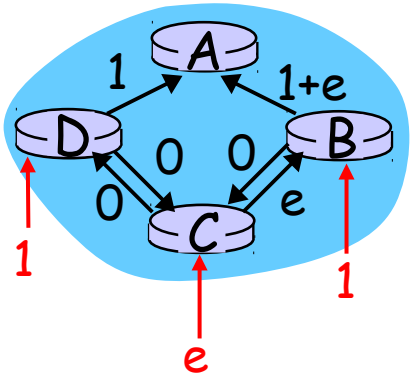
Dijkstrov algoritmus: diskusia

Zložitosť algoritmu: máme |V| uzlov (routrov) – 1 iteráciu pre každý

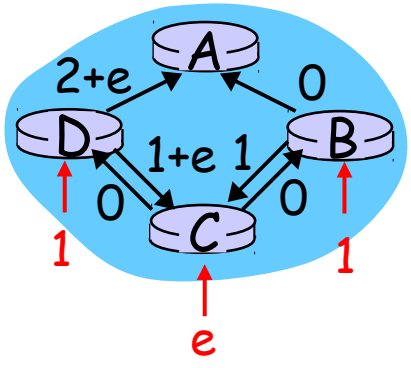
- v každej iterácii: potrebujeme nájsť minimálny uzol $w \notin N$ - treba čas O(|V||V|) alebo O(log(|V|)) ak použijeme haldu
- Dokopy prerátame cesty pre |E| hrán pre novopridané uzly
- Celkovo ak použijeme haldu: O(|E| log(|V|))

Nedostatok tohto prístupu: možné oscilácie

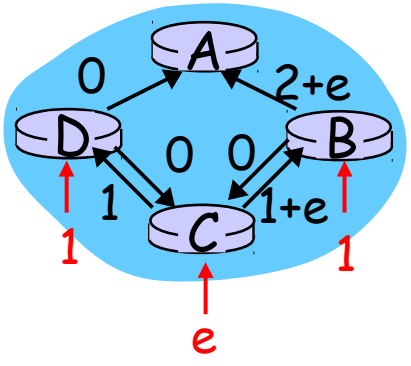
- Napríklad, ak cena spoja = množstvo prenášaných dát za nejaký čas



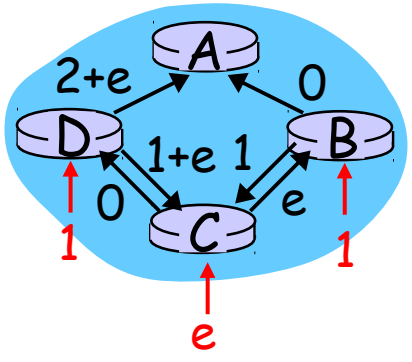
začiatok vysielania k uzlu A



… prepočítame vzdialenosti



… prepočítame



… prepočítame

Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

Distance Vector Algoritmus (DVA)

Bellman-Fordova rovnica (z dynamického programovania)

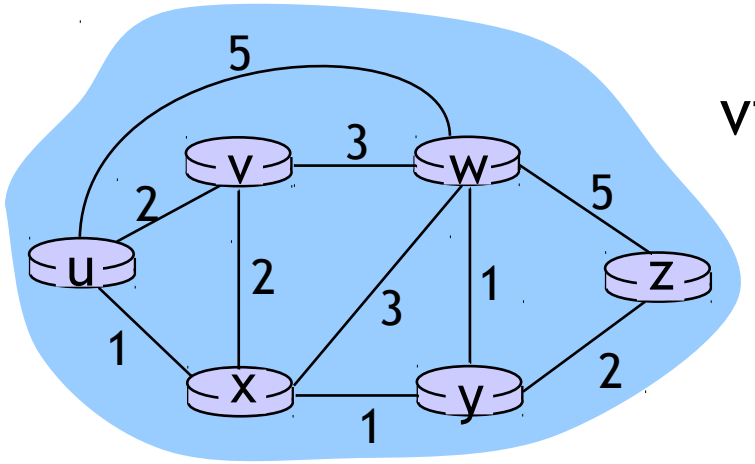
$d_x(y)$:= cena najlacnejšej cesty z uzla x do uzla y

Potom

$$d_x(y) = \min_v \{c(x,v) + d_v(y)\}$$

kde minimum je cez všetkých susedov v uzla x

Bellman-Ford: príklad



vieme, že $d_v(z) = 5$, $d_x(z) = 3$, $d_w(z) = 3$

z B-F rovnice vieme:

$$d_u(z) = \min \{ c(u,v) + d_v(z),$$
$$c(u,x) + d_x(z),$$
$$c(u,w) + d_w(z) \}$$
$$= \min \{2 + 5,$$
$$1 + 3,$$
$$5 + 3\} = 4$$

Uzol, cez ktorý získame nové minimum, bude určovať smer pre smerovaciu tabuľku

Distance Vector Algoritmus (DVA)

- $D_x(y)$ = očakávaná najmenšia cena cesty z x do y
- Uzol x vie cenu spojenia k svojim susedom v: $c(x,v)$
- Uzol x si uchováva vektor vzdialeností k všetkým uzlom $\mathbf{D}_x = [D_x(y): y \in N]$
- Uzol x si uchováva aj vektory vzdialeností svojich susedov
  - Pre každého suseda v má: $\mathbf{D}_v = [D_v(y): y \in N]$

Distance Vector Algoritmus (DVA)

Základná idea:

- Každý uzol periodicky posiela svoj vektor vzdialeností svojim susedom
- Keď uzol x dostane nejaký vektor vzdialeností, obnoví si svoj vektor vzdialeností pomocou B-F rovnice:

$$D_x(y) \leftarrow min_v\{c(x,v) + D_v(y)\} \quad pre\ každý\ uzol\ \ y \in N$$

- Priebežné vektory vzdialeností $D_x(y)$ postupne konvergujú k skutočne najmenším vzdialenostiam $d_x(y)$

Distance Vector Algoritmus (DVA)

Iteratívny, asynchrónny:

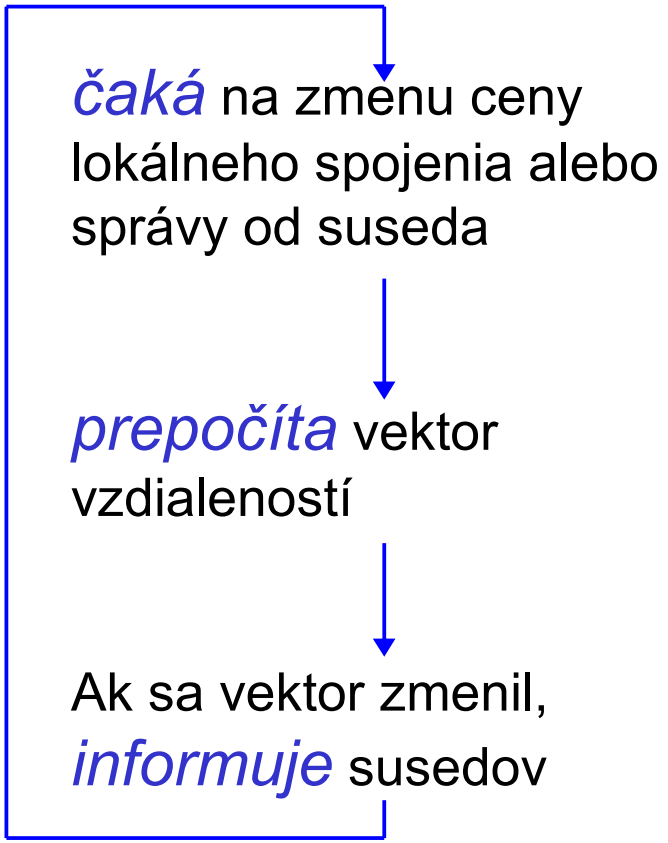
každá iterácia je spôsobená:

- zmenou ceny lokálneho spojenia so susedom
- zmenou vektora vzdialeností a jeho zaslaním susednému uzlu

Distribuovaný:

- každý uzol informuje svojich susedov, *iba* keď sa zmení jeho vektor vzdialeností

Každý uzol:



$D_x(y) = \min\{c(x,y) + D_y(y),\ c(x,z) + D_z(y)\}$
$= \min\{2+0\ ,\ 7+1\} = 2$

$D_x(z) = \min\{c(x,y) + D_y(z),\ c(x,z) + D_z(z)\}$
$= \min\{2+1\ ,\ 7+0\} = 3$

uzol x

cena k

od	x	y	z
x	0	2	7
y	∞	∞	∞
z	∞	∞	∞

cena k

od	x	y	z
x	0	2	3
y	2	0	1
z	7	1	0

uzol y

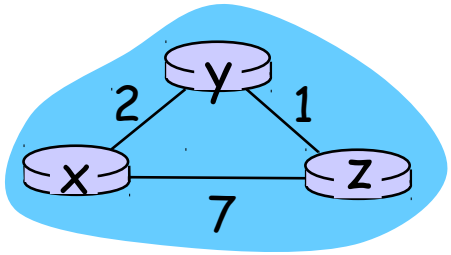
cena k

od	x	y	z
x	∞	∞	∞
y	2	0	1
z	∞	∞	∞

uzol z

cena k

od	x	y	z
x	∞	∞	∞
y	∞	∞	∞
z	7	1	0



čas

$D_x(y) = \min\{c(x,y) + D_y(y),\ c(x,z) + D_z(y)\}$
$= \min\{2+0\ ,\ 7+1\} = 2$

$D_x(z) = \min\{c(x,y) + D_y(z),\ c(x,z) + D_z(z)\}$
$= \min\{2+1\ ,\ 7+0\} = 3$

uzol x

cena k

od	x	y	z
x	0	2	7
y	∞	∞	∞
z	∞	∞	∞

cena k

od	x	y	z
x	0	2	3
y	2	0	1
z	7	1	0

cena k

od	x	y	z
x	0	2	3
y	2	0	1
z	3	1	0

uzol y

cena k

od	x	y	z
x	∞	∞	∞
y	2	0	1
z	∞	∞	∞

cena k

od	x	y	z
x	0	2	7
y	2	0	1
z	7	1	0

cena k

od	x	y	z
x	0	2	3
y	2	0	1
z	3	1	0

uzol z

cena k

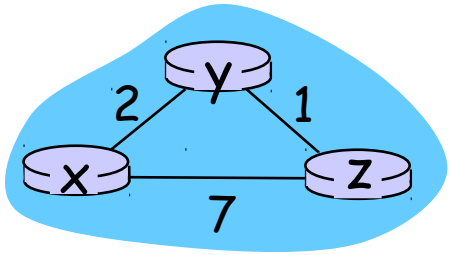
od	x	y	z
x	∞	∞	∞
y	∞	∞	∞
z	7	1	0

cena k

od	x	y	z
x	0	2	7
y	2	0	1
z	3	1	0

cena k

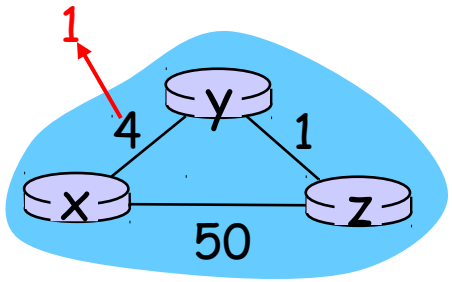
od	x	y	z
x	0	2	3
y	2	0	1
z	3	1	0



čas

DVA: zmena cien spojení

- uzol zistí zmenu ceny lokálneho spojenia
- obnoví vektor vzdialeností a smerovaciu tabuľku
- ak sa smerovacia tabuľka zmenila, informuje susedov

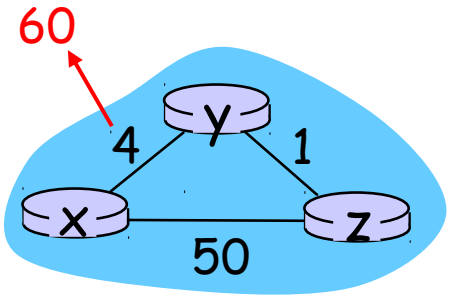


V čase t_0, *y* zistí zmenu ceny spojenia , zmení svoj vektor vzdialeností, a informuje svojich susedov

V čase t_1, *z* dostane vektor od *y* a zmení svoju tabuľku.
z vypočíta novú najmenšiu cenu k *x* a pošle susedom svoj vektor vzdialeností

V čase t_2, *y* dostane vektor od *z* a obnoví svoju tabuľku.
Vektor vzdialeností uzla *y* sa nezmenil a teda *y* už neposiela nič

DVA: zmena cien spojení



Zmena ceny spojenia:

- zníženie ceny sa prejaví rýchlo
- zvýšenie ceny sa prejaví pomaly- "count to infinity" problém!
- v našom príklade 47 iterácií pokiaľ sa dosiahne stabilný stav

Poisoned reverse:

- Ak z smeruje pakety pre *x* cez *y* :
  - uzol *z* povie uzlu *y*, že jeho vzdialenosť (uzla *z*) k uzlu *x* je nekonečno (takže *y* nebude smerovať pre *x* cez *z*)
- Vyrieši to úplne "count to infinity" problém ?

Na začiatku:
y má (4,0,1); z má (5,1,0)

y -> z (min{60+0,1+5}=6, 0, 1)
y posiela správy pre x cez z

z -> y (min{50+0,1+6}=7, 1, 0)
z posiela správy pre x cez y

y -> z (min{60+0,1+7}=8, 0, 1)
y posiela správy pre x cez z

...

Porovnanie LSA (Dijkstra) a DVA

Počet správ

- LSA: pre |V| uzlov a |E| hrán posielame O(|V||E|) správ
- DVA: správy iba medzi susedmi
  - čas konvergovania môže byť rôzny

Čas výpočtu do ustáleného stavu

- LSA: O(|E| log(|V|))
  - môžeme skončiť pri oscilácii
- DVA: záleží od stavu siete
  - môžeme mať dočasne smerovacie cykly
  - "count to infinity" problém

Prispôsobiteľnosť: čo sa stane, ak sa nejaké spoje pokazia?

LSA:

- uzol, ktorý to spozoruje môže rozoslať žiadosť o prepočítanie
- každý uzol si vypočíta novú tabuľku

DVA:

- uzol vie rozosielať iba nesprávnu cenu cesty (nie spoja)
- táto zmena sa môže postupne prejaviť u susedov a následne ďalej

Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

Smerovanie vnútri-AS

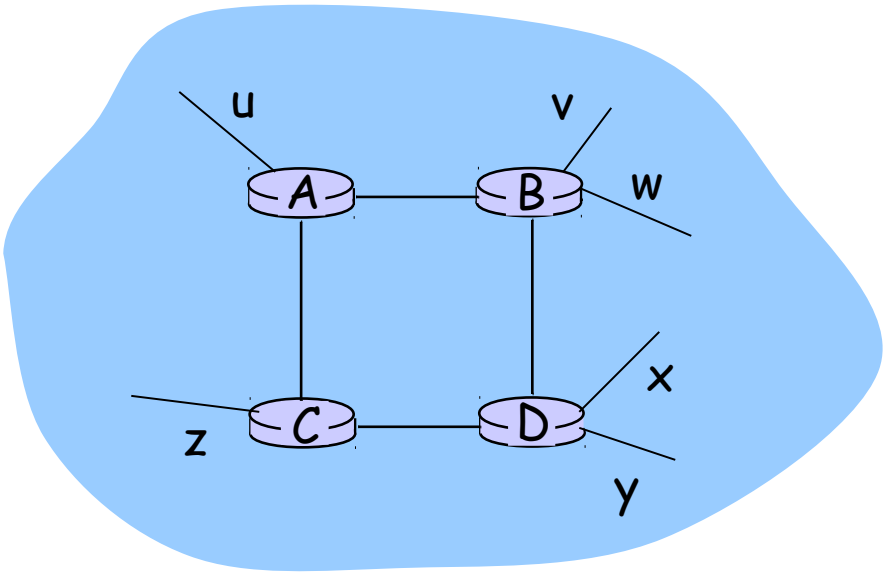
- alebo Interior Gateway Protocols (IGP)
- najznámejšie IGP protokoly:
  - RIP: Routing Information Protocol
  - OSPF: Open Shortest Path First
  - IGRP: Interior Gateway Routing Protocol (proprietárny Cisco protokol)

Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

RIP = Routing Information Protocol

- distance vector algoritmus
- súčasť BSD-UNIXu už v roku 1982
- maximálna vzdialenosť 15 hopov (15 routrov na ceste)
  - vzdialenejšie routre majú vzdialenosť 16, ktorá sa považuje za nekonečno



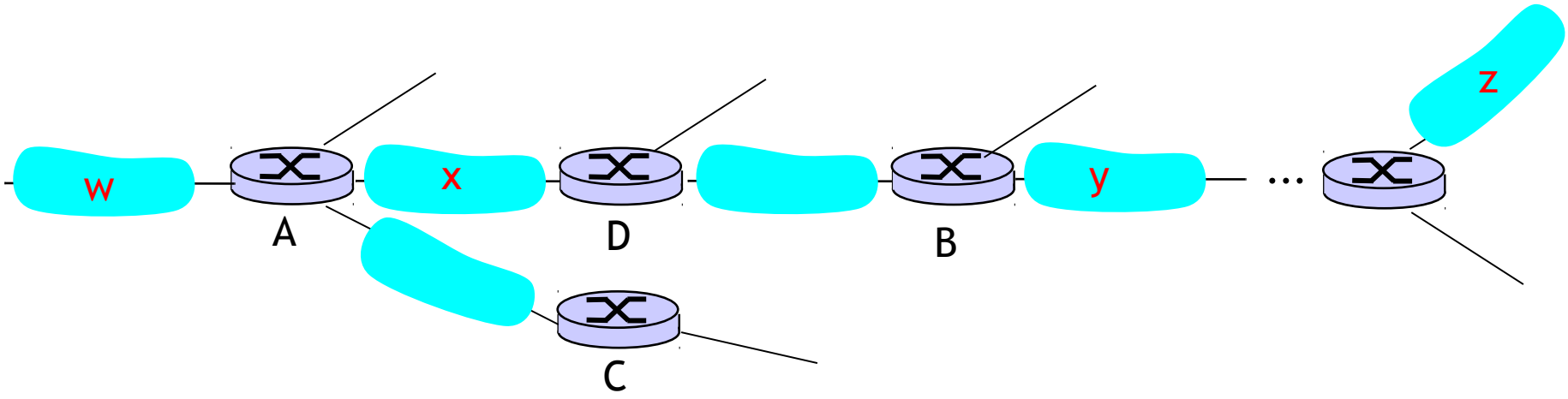
Vzdialenosť od routra A do sietí:

sieť	hopov
u	1
v	2
w	2
x	3
y	3
z	2

Výmena vektorov v RIP

- vektory vzdialeností sa vymieňajú medzi susedmi každých 30 sekúnd cez “Response Message”
- v každej výmene je zoznam maximálne 25 záznamov z vektora vzdialeností vo vnútri AS

RIP: Príklad



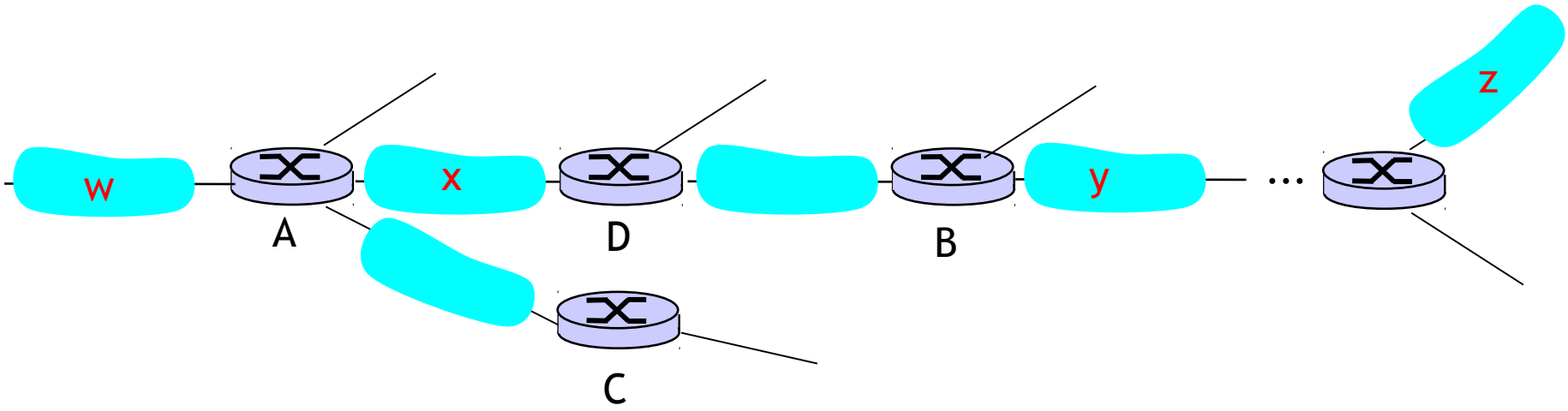
cieľová sieť	ďalší router	počet hopov k cieľovej sieti
w	A	2
y	B	2
z	B	7
x	-	1
...	...	...

smerovacia tabuľka routra D

RIP: Príklad

cieľ	ďalší	hopov
w	-	1
x	-	1
z	C	4
...	...	...

dôjde vektor z A ku D



cieľová sieť	ďalší router	počet hopov k cieľovej sieti
w	A	2
y	B	2
z	~~B~~ A	~~7~~ 5
x	-	1
...	...	...

smerovacia tabuľka routra D

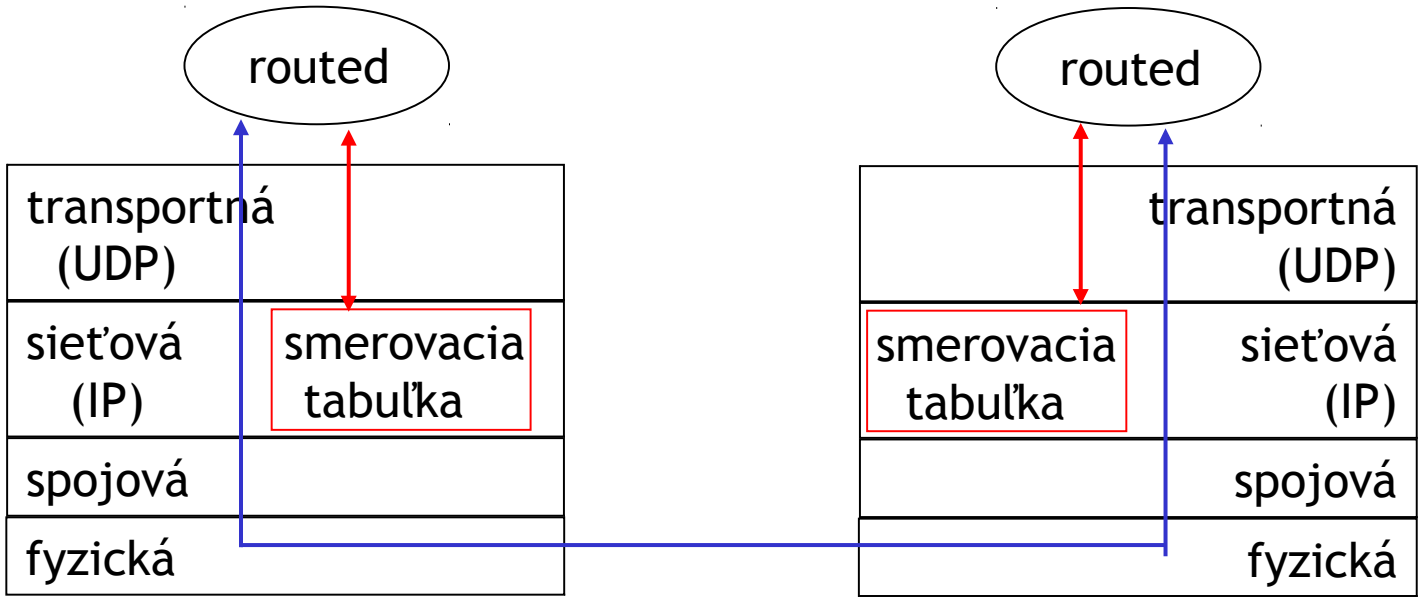
RIP: zotavenie z vypadnutia spoja

Ak neprídu od suseda žiadne vektory po dobu 180 s --> spojenie sa považuje za “mŕtve”

- cesty cez tohto suseda sa stanú neplatnými
- nový vektor je zaslaný susedom
- susedia zase pošlú svoje vektory, ak sa im zmenili tabuľky
- informácia o chybe spoja sa postupne šíri po “celej” sieti

RIP je aplikačný protokol

- RIP smerovanie je riadené aplikáciou `routed`
- vektory sú transportované v UDP segmentoch



Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

OSPF (Open Shortest Path First)

- "open": otvorený softvér
- používa LSA
  - rozposielanie susediacich stavov všetkým uzlom
  - topológia je známa všetkým uzlom, aktualizovaná aspoň raz za 30 minút
  - počítanie ciest cez Dijkstrov algoritmus
- rozposielané dáta idú priamo v dátach IP datagramu

“prídavné” funkcie OSPF oproti RIP

- bezpečnosť: všetky OSPF správy sú autentifikované (aby sa zabránilo neoprávneným odosielateľom)
- umožňuje uchovať viac ciest s rovnakou cenou
- pre každý spoj viac metrík pre rôzne typy služieb
- integrovaná podpora pre unicast aj multicast
- hierarchická verzia OSPF pre veľa routrov.

Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

Hierarchické smerovanie

- RIP a OSPF sa nedajú použiť globálne pre všetky routre sveta
- nie všetky routre sú rovnaké a rovnako výkonné

na svete sú milióny routrov:

- nemôžeme si uchovávať všetky v tabuľke
- správy na výpočet cien ciest by zahltili internet!

nezávislosť administrácie:

- internet = sieť sietí
- každý sieťový administrátor môže potrebovať vlastné riešenie routovania jeho sietí

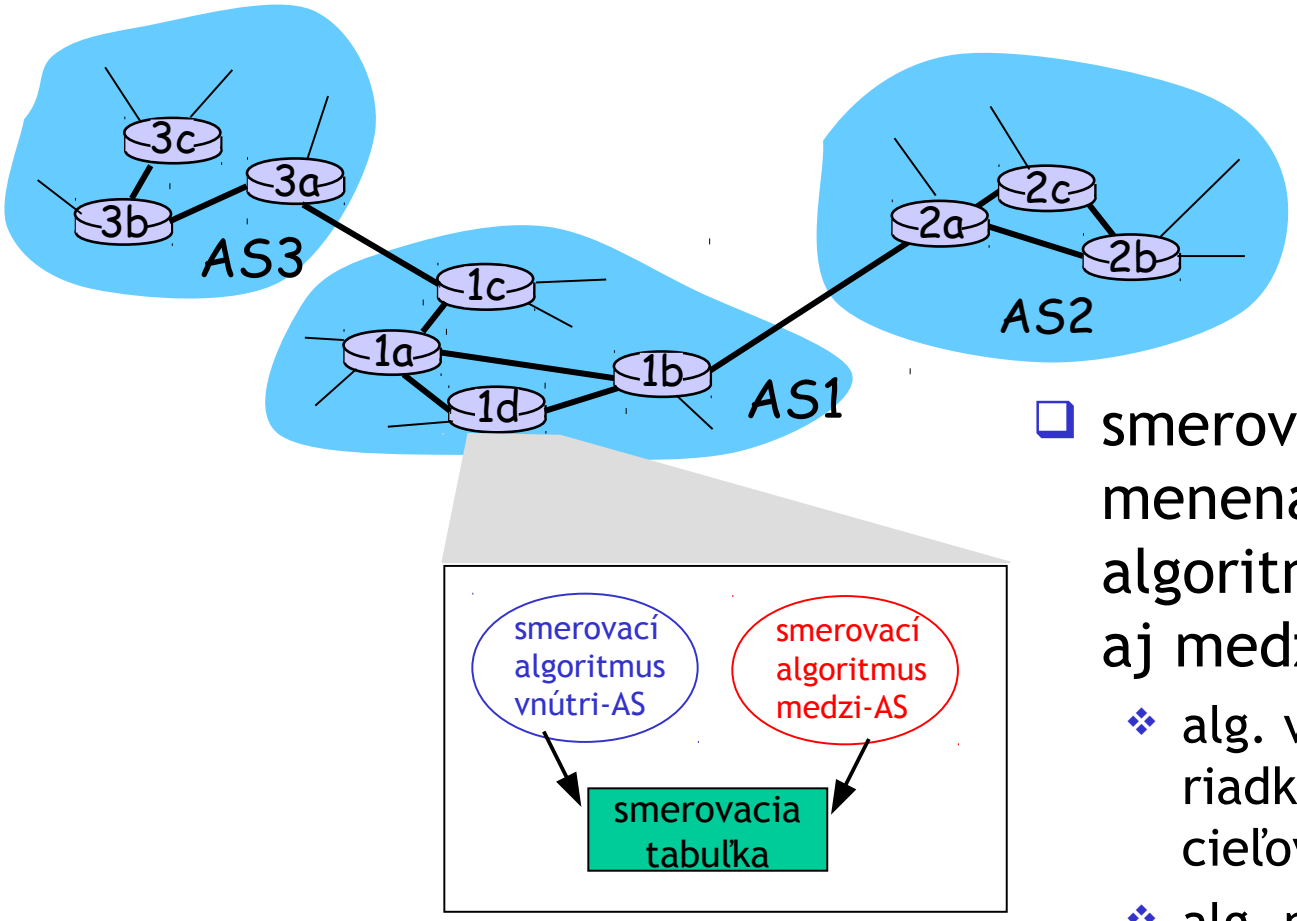
Hierarchické smerovanie

- spájanie routrov do regiónov: "autonómnych systémov" (AS)
- routre v tom istom AS komunikujú rovnakým smerovacím protokolom
  - smerovací protokol "vnútri-AS"
  - routre v rôznych AS môžu používať rôzny smerovací protokol vnútri-AS

Gateway router

- má priame spojenie s routrom z iného AS

Prepojené autonómne systémy



- smerovacia tabuľka je menená smerovacím algoritmom aj vnútri-AS aj medzi-AS
  - alg. vnútri-AS nastavuje riadky pre vnútorné cieľové uzly
  - alg. medzi-AS aj vnútri-AS nastavujú riadky pre externé cieľové uzly

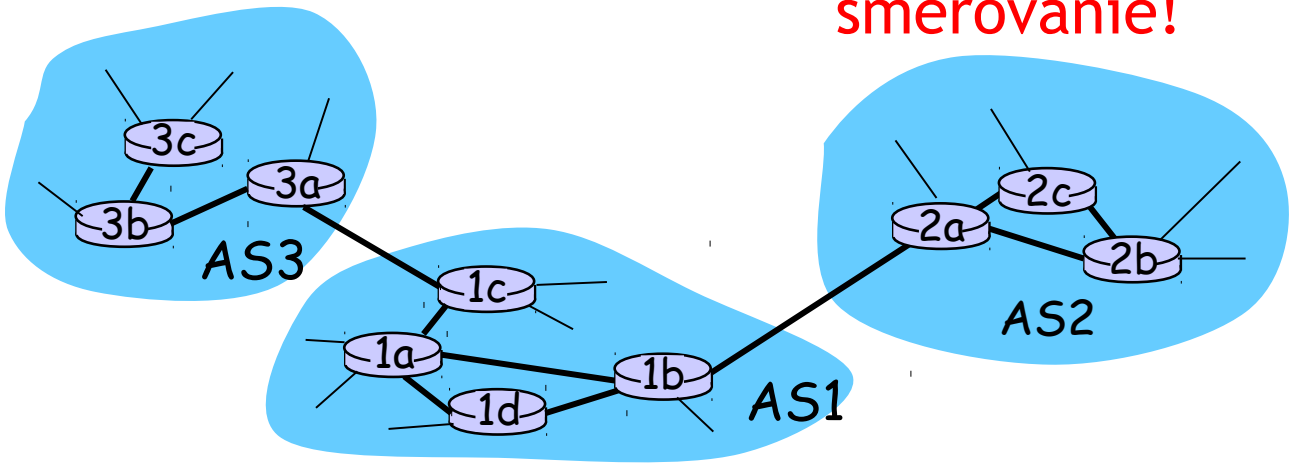
Úlohy algoritmov medzi-AS

- predpokladajme, že router v AS1 dostane datagram pre sieť mimo AS1
  - router by mal nasmerovať paket ku gateway routru jeho AS1, ale ku ktorému?

AS1 musí:

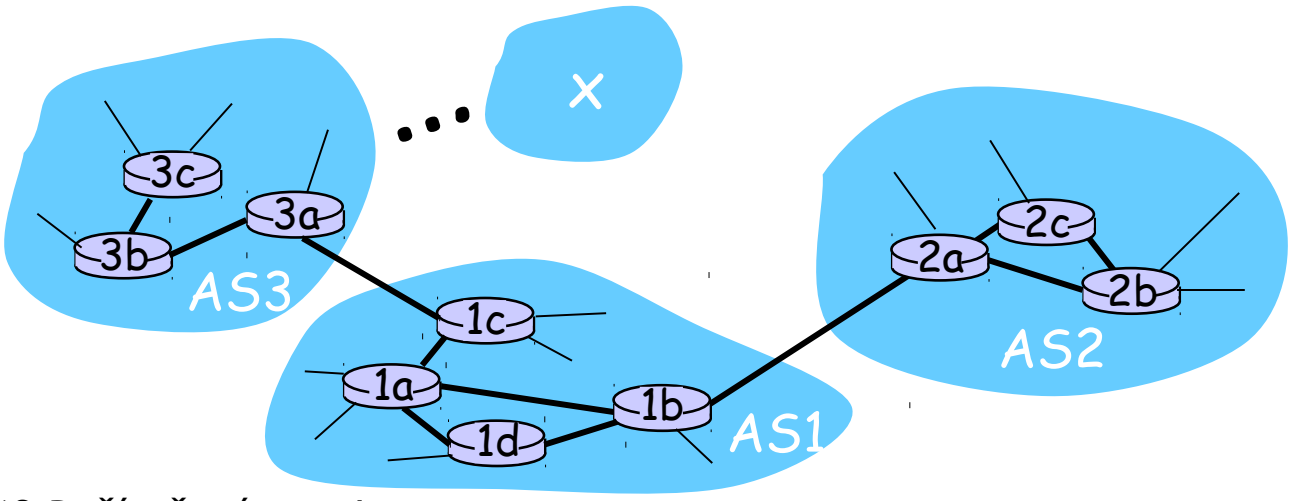
1. naučiť sa, ktoré adresy sú dostupné cez AS2 a ktoré cez AS3
2. zaznamenať túto dostupnosť na všetkých routroch v AS1

Práca pre medzi-AS smerovanie!



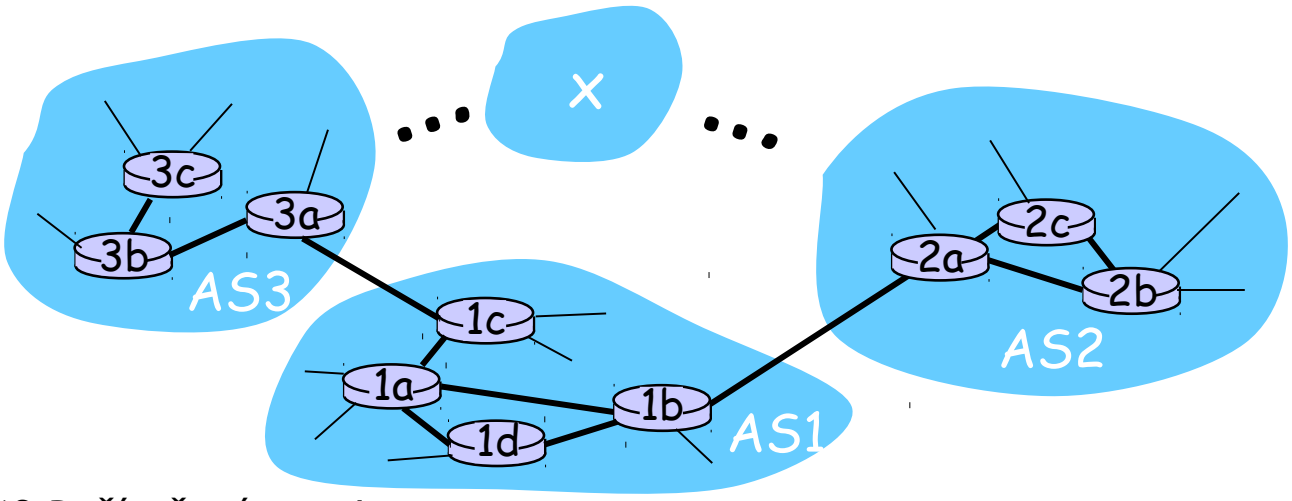
Príklad nastavenia smerovacej tabuľky v routri 1d

- predpokladajme, že AS1 sa naučí (cez medzi-AS protokol), že sieť *x* je dostupná cez AS3 (gateway 1c), ale nie cez AS2 (gateway 1b)
- medzi-AS protokol informuje všetky vnútorné routre o tejto dostupnosti.
- router 1d zistí cez protokol vnútri-AS, že jeho rozhranie *r* smeruje na najkratšiu cestu k 1c.
  - pridá do smerovacej tabuľky záznam *(x,r)*



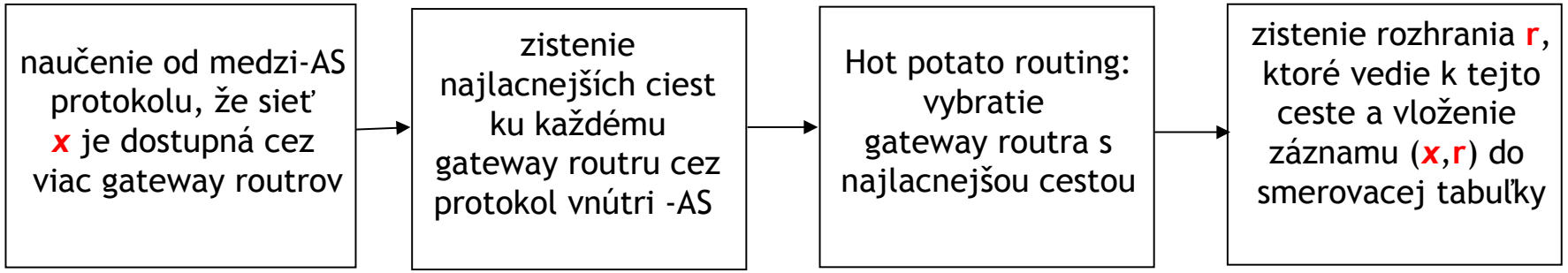
Príklad: výber z viacerých AS

- teraz predpokladajme, že AS1 sa naučilo od medzi-AS protokolu, že sieť *x* je dostupná cez AS2 aj AS3
- router 1d musí zistiť, cez ktorý gateway router má posielať pakety do siete *x*
  - aj toto je úloha pre protokol vnútri-AS



Príklad: výber z viacerých AS

- teraz predpokladajme, že AS1 sa naučilo od medzi-AS protokolu, že sieť *x* je dostupná cez A2 aj A3
- router 1d musí zistiť, cez ktorý gateway router má posielať pakety do siete *x*
  - aj toto je úloha pre protokol vnútri-AS
- Hot potato routing (smerovanie horúceho zemiaku)
  - poslanie paketov cez bližší gateway router



Prehľad prednášky

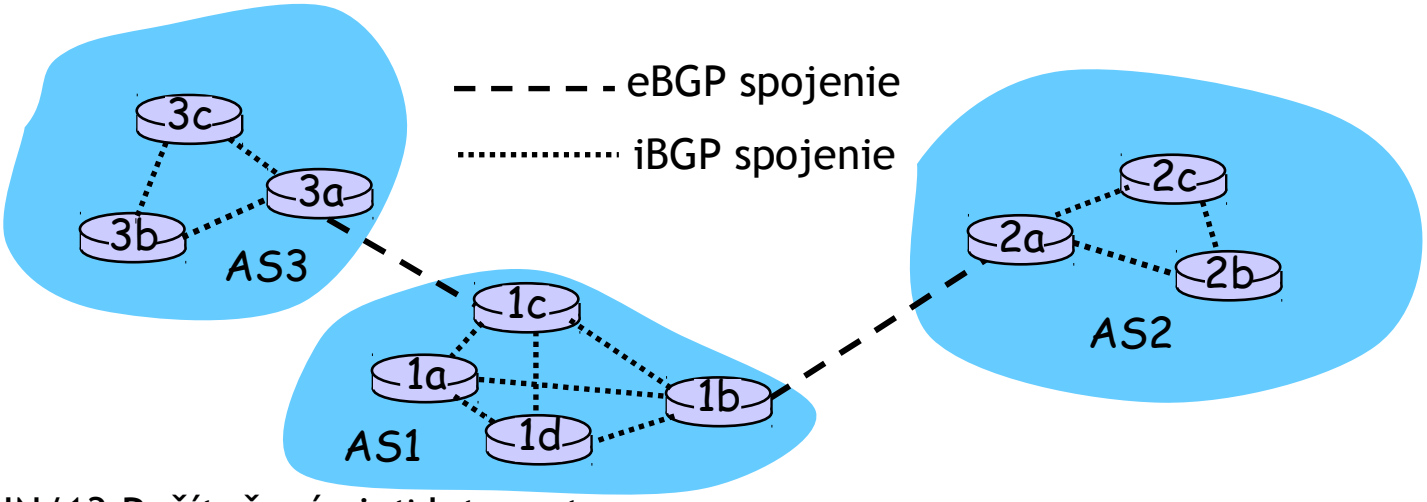
- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

Internetové medzi-AS smerovanie: BGP

- BGP (Border Gateway Protocol)
- BGP poskytuje každému AS:
  1. možnosť získať dostupnosti sietí od okolitých AS
  2. rozoslanie dostupností k všetkým routrom vnútri AS
  3. určenie "vhodných" ciest k cudzím sieťam na základe dostupnosti a pravidiel
- umožňuje sieti rozširovať informáciu o svojej existencii zvyšku internetu (oznámenie - advertisement)

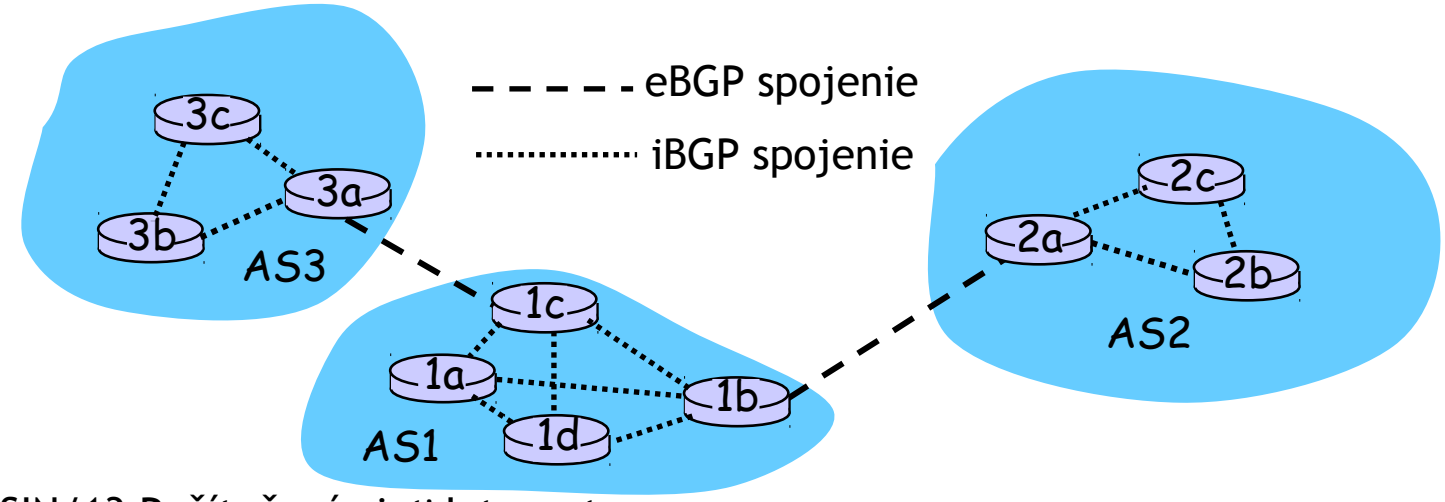
Základy BGP

- dvojice routrov (BGP peerov) si vymieňajú smerovacie informácie cez semi-permanentné TCP spojenia: BGP spojenia
  - BGP spojenia nemusia zodpovedať fyzickým spojom
- keď AS2 odošle oznámenie, že má dostupnosť na nejakú sieťovú adresu pre AS1:
  - AS2 sľúbi, že bude smerovať datagramy pre túto sieť
  - AS1 môže zahrnúť túto sieť v oznámeniach o dostupnosti iným AS cez seba



Distribúcia oznámenia o dostupnosti

- AS3 pošle oznámenie o dostupnosti k AS1 pomocou eBGP spojenia medzi 3a a 1c
  - 1c môže použiť iBGP spojenia na distribúciu nových informácií k všetkým routrom v AS1
  - 1b môže postúpiť informácie o novej dostupnosti pre AS2 cez eBGP spojenie medzi 1b a 2a
- v routroch AS1 sa pre novú sieť vytvorí príslušný záznam v smerovacích tabuľkách



BGP: atribúty k informáciám o dostupnosti sietí

- dva dôležité atribúty:
  - AS-PATH: obsahuje postupnosť AS, cez ktoré informácia o dostupnosti danej siete prechádzala: napr. AS 67, AS 17
  - NEXT-HOP: označuje konkrétny gateway router v danom AS, cez ktorý sa dá dostať von z AS smerom k danej sieti (reálne môže byť viac možností dostupnosti danej siete – cez viac gateway routrov)
- keď gateway router dostane informáciu o dostupnosti siete, použije importnú politiku na jej akceptovanie alebo zamietnutie.

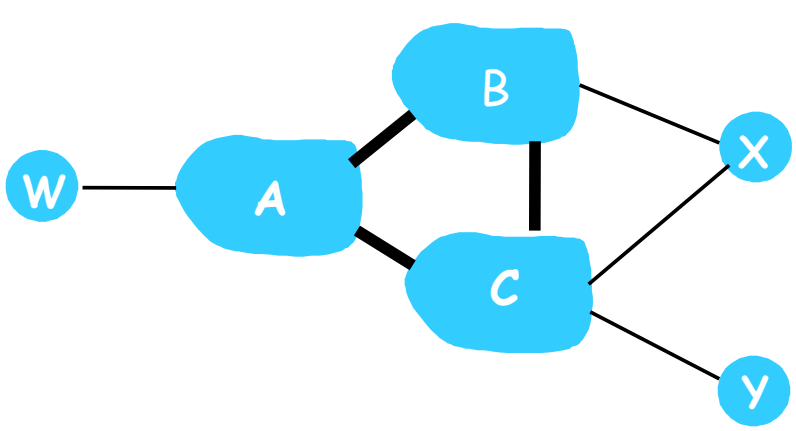
BGP: výber smeru

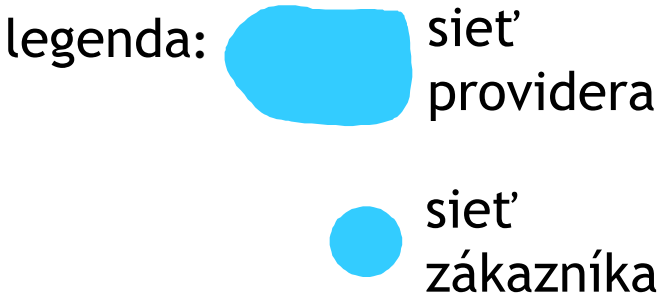
- router sa môže naučiť viac smerov k rovnakému cieľu a musí sa pre niektorý rozhodnúť
- pravidlá akceptovania/vylúčenia smeru:
  1. podľa politiky smerovania (administrátorské alebo dokonca manažérske rozhodnutia)
  2. najkratšia dĺžka postupnosti v AS-PATH
  3. najbližší NEXT-HOP router: hot potato routing
  4. ďalšie kritériá

BGP správy

- BGP správy sa prenášajú cez TCP
- BGP správy:
  - OPEN: otvorí TCP spojenie k peerovi a autentifikuje sa
  - UPDATE: pošle nové oznámenie dostupnosti alebo zruší staré
  - KEEPALIVE: udržuje spojenie v prípade, že nie sú žiadne UPDATE správy; tiež potvrdzovacia správa na OPEN správu
  - NOTIFICATION: oznamuje chyby; zatvára spojenie

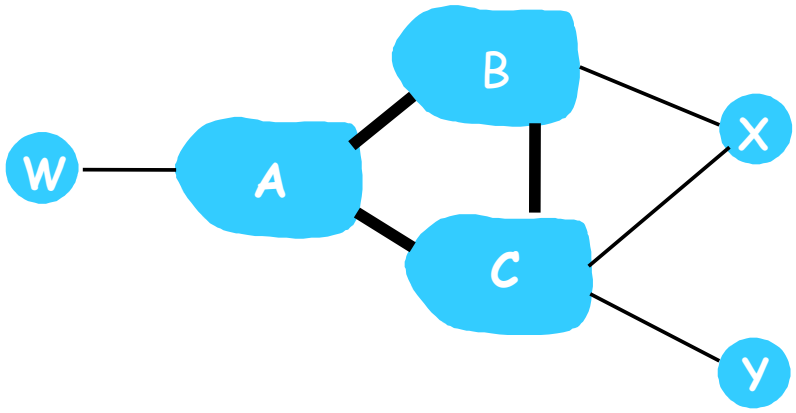
BGP: politika smerovania

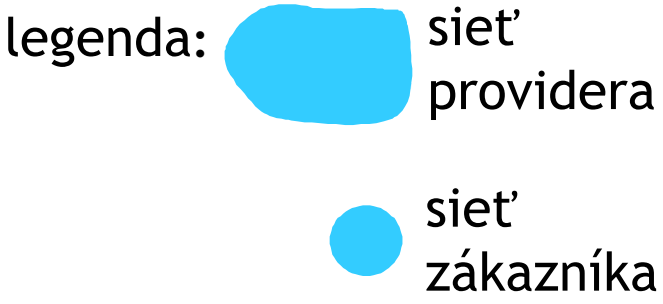




- A,B,C sú siete providerov (poskytovateľov pripojenia)
- X,W,Y sú zákazníci daného providera
- X je pripojená do dvoch sietí providerov
  - X nechce smerovať pakety z B do C cez svoju sieť
  - .. takže X nebude posielať do siete B oznámenie dostupnosti siete C

BGP: politika smerovania





- A posiela cestu AW do siete B
- B posiela cestu BAW do siete X
- Má B posielať cestu BAW aj do siete C?
  - Nie! B nemá žiaden záujem na tom, aby fungovala cesta CBAW, keďže ani W ani C nie sú jeho zákazníci
  - B chce prinútiť C, aby používalo cestu k W cez A
  - B chce smerovať datagramy iba pre svojich zákazníkov !
  - Na druhej strane ak padne spojenie A-C, tak C nemá alternatívu

Prečo rôzne smerovacie algoritmy vnútri-AS a medzi-AS?

Politika:

- **vnútri-AS:** administrátor chce kontrolu nad smerovaním vo vlastnom AS a kto smeruje cez jeho AS
- **medzi-AS:** mnoho administrátorov, nie je potrebné rozhodovanie o politike

Množstvo routrov:

- hierarchické smerovanie zmenšuje veľkosti tabuliek a množstvo potrebných smerovacích správ

Výkon:

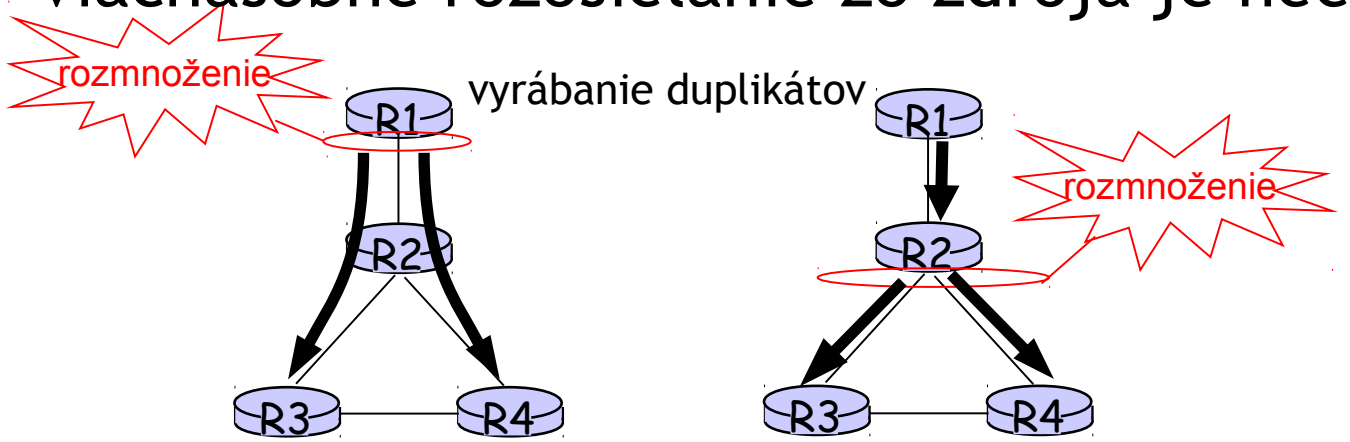
- **medzi-AS:** zameriava sa na výkon
- **vnútri-AS:** politika môže dominovať nad výkonom

Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

Smerovanie broadcastu

- doručenie paketu ku všetkým uzlom
- viacnásobné rozosielanie zo zdroja je neefektívne:



rozmnoženie v zdroji

rozmnoženie v sieti

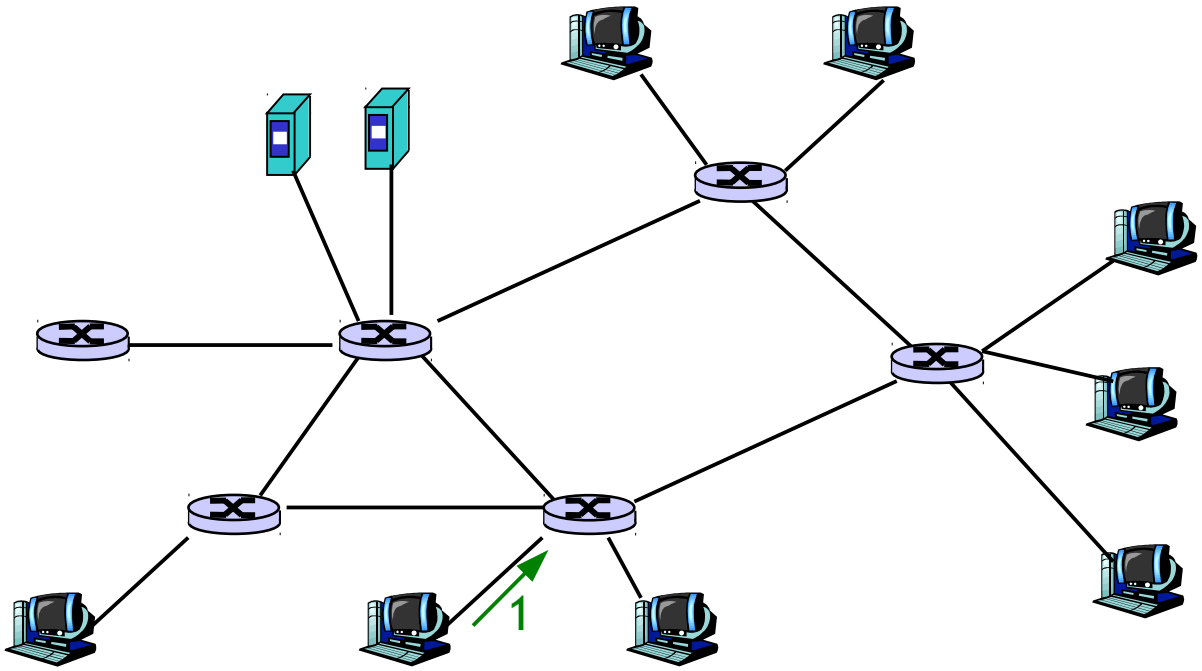
- rozmnoženie správy: ako zistíme, komu každému treba poslať správu?

Rozmnožovanie správy v sieti

- **zaplavenie:** keď router dostane broadcastový paket, pošle kópiu všetkým susedom, okrem toho, odkiaľ paket prišiel
  - problémy: cykly a broadcastová búrka
- **kontrolované zaplavenie:** router rozosiela správu, iba pokiaľ už túto správu neposielal pred tým
  - router si musí pamätať pakety, ktoré už rozosielal
  - alebo reverse path forwarding (RPF): rozosielame paket, iba ak prišiel z najkratšej cesty zo zdroja
- **spanning tree (minimálna kostra grafu)**
  - žiadne redundantné pakety nedôjdu do žiadneho uzla

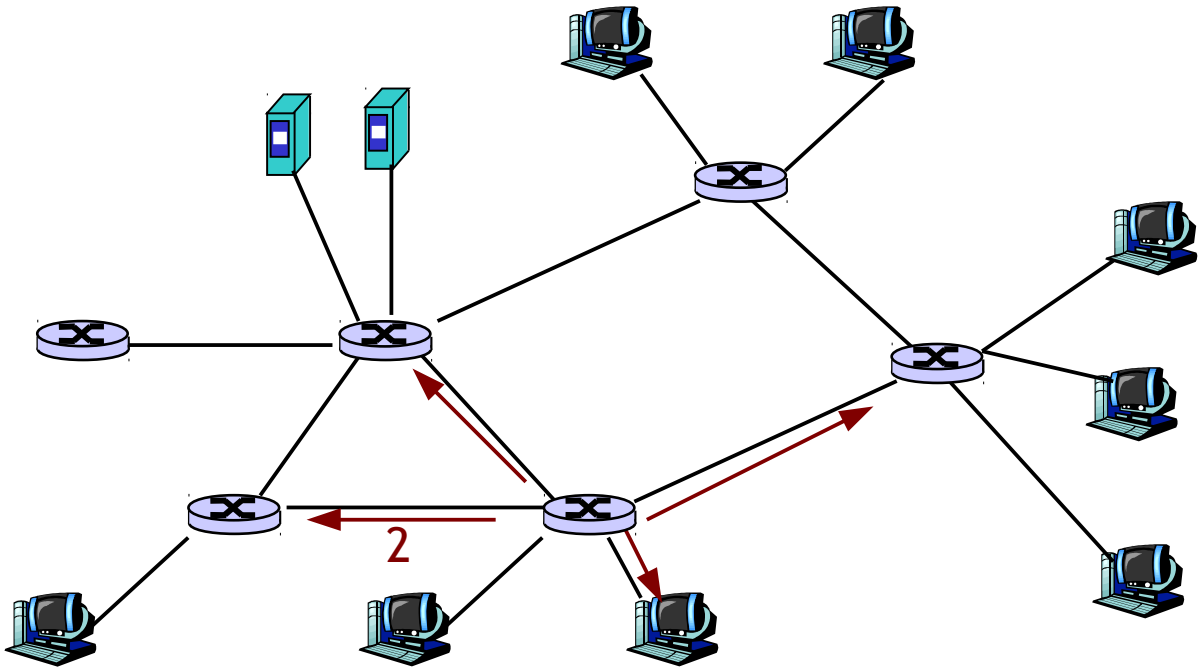
Zaplavenie - broadcastové búrky

- cykly zabezpečujú redundanciu v prípade poškodenia spoja
- broadcast však môže spôsobiť vážne problémy !



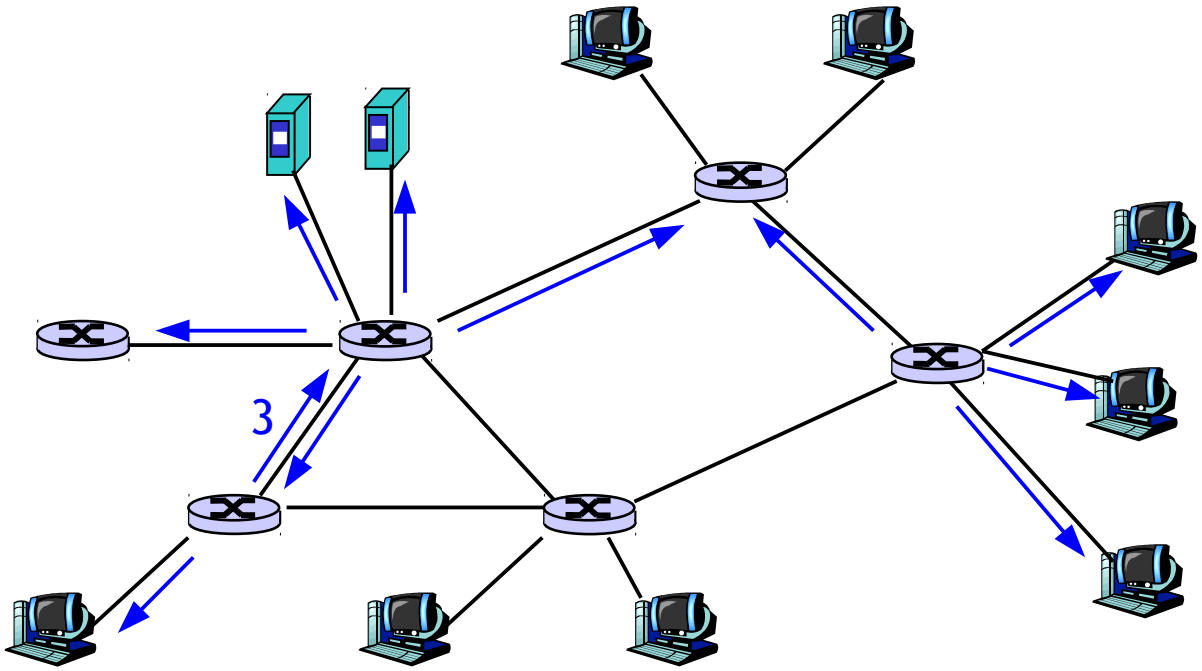
Zaplavenie - broadcastové búrky

- cykly zabezpečujú redundanciu v prípade poškodenia spoja
- broadcast však môže spôsobiť vážne problémy !



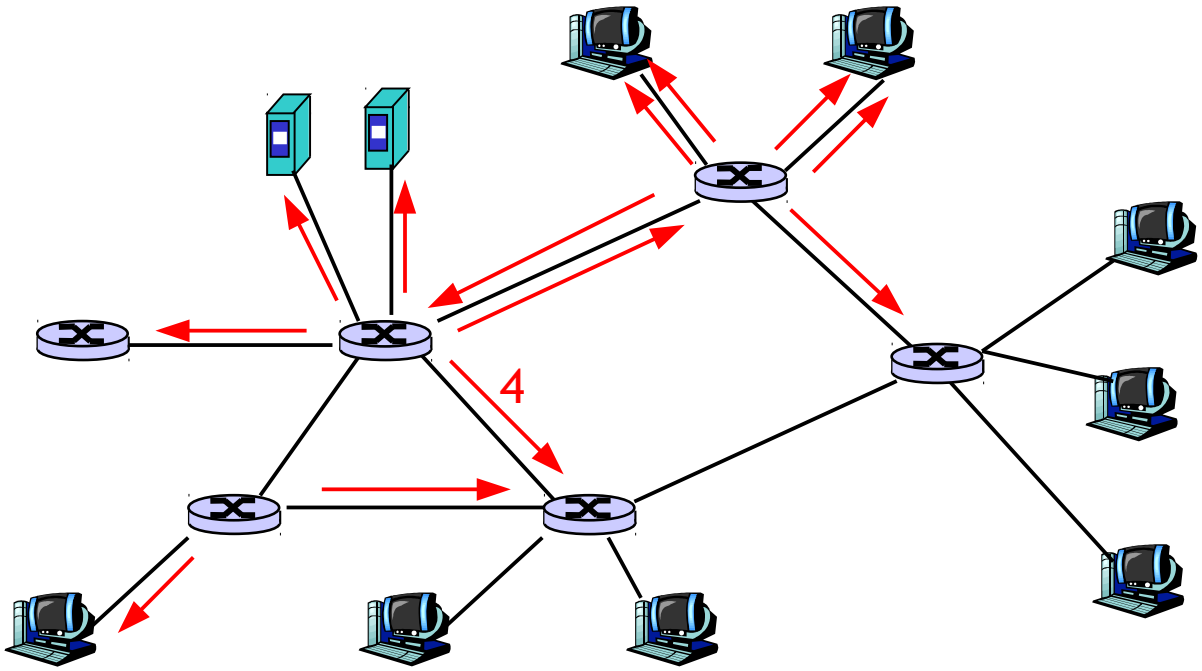
Zaplavenie - broadcastové búrky

- cykly zabezpečujú redundanciu v prípade poškodenia spoja
- broadcast však môže spôsobiť vážne problémy !



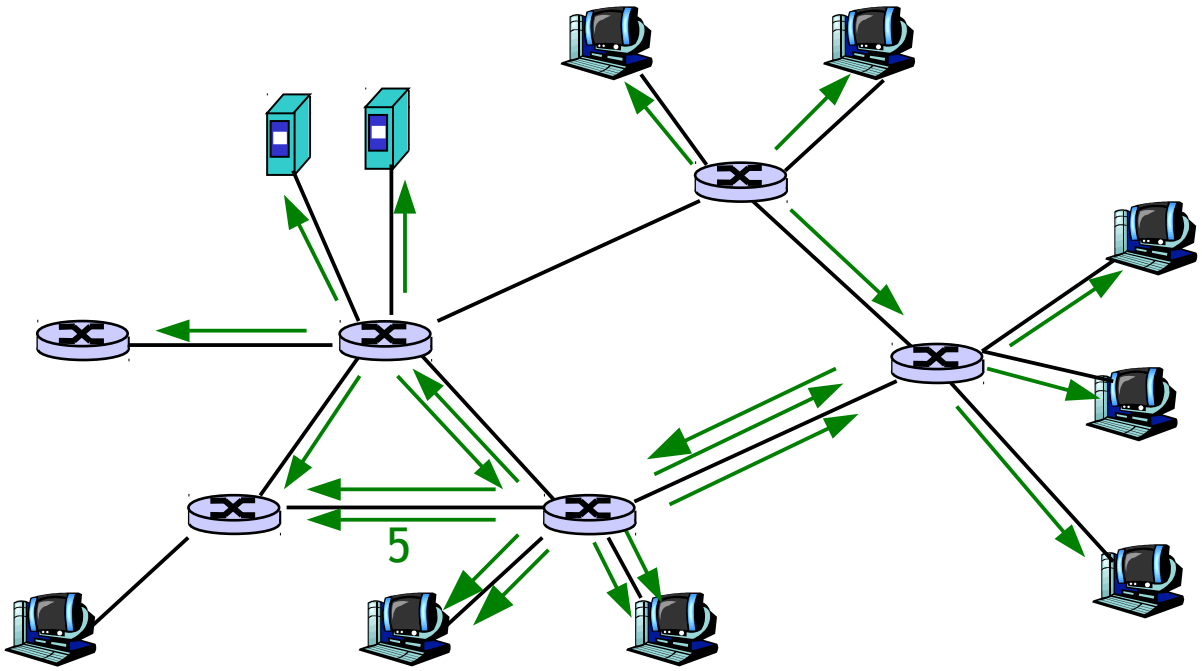
Zaplavenie - broadcastové búrky

- cykly zabezpečujú redundanciu v prípade poškodenia spoja
- broadcast však môže spôsobiť vážne problémy !



Zaplavenie - broadcastové búrky

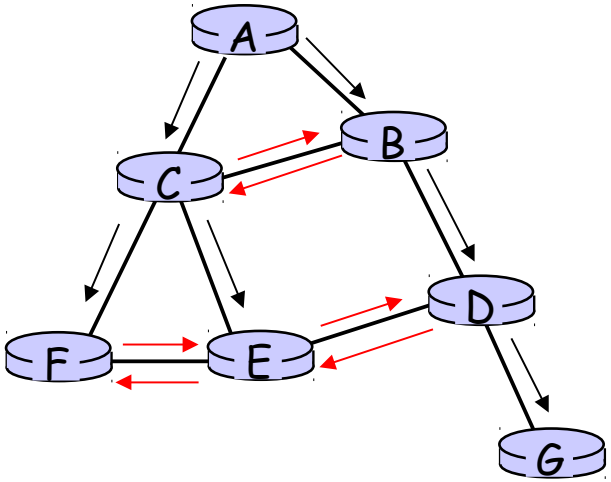
- cykly zabezpečujú redundanciu v prípade poškodenia spoja
- broadcast však môže spôsobiť vážne problémy !



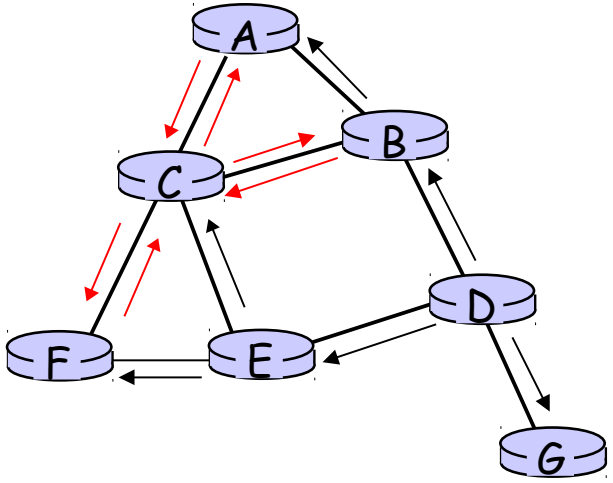
Reverse path forwarding

- rozosielajú sa iba správy, ktoré prišli z najkratšej cesty od zdroja

červené správy nebudú preposielané ďalej



(a) Broadcast z uzla A



(b) Broadcast z uzla D

Reverse Path Forwarding

- spoliehanie sa na znalosť najkratšej cesty k zdroju zo smerovacích tabuliek routrov
- každý router spúšťa nasledovný algoritmus:

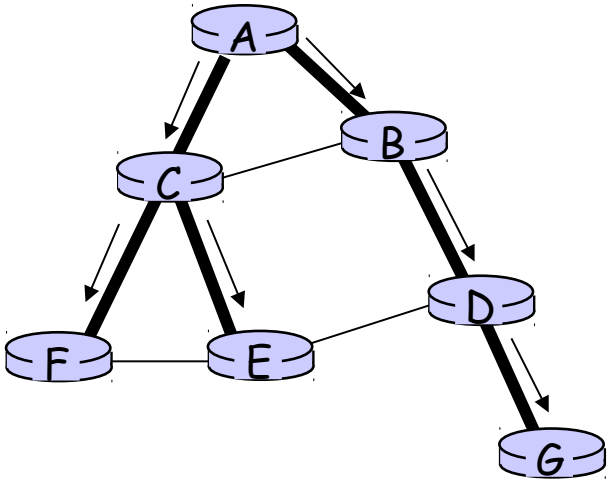
ak (broadcastový paket prišiel po spoji na najkratšej ceste k odosielateľovi)

potom rozpošli paket všetkým ostatným susedom

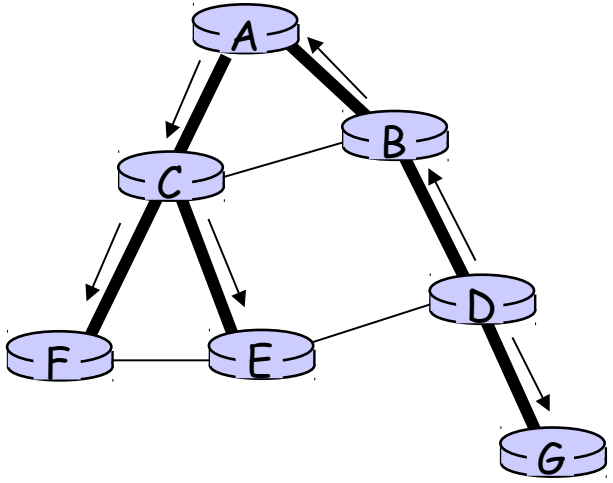
inak ignoruj paket

Spanning Tree (minimálna kostra grafu)

- Najprv sa vyrobí strom
- Uzly potom posielajú kópie správy iba pozdĺž hrán vytvoreného stromu



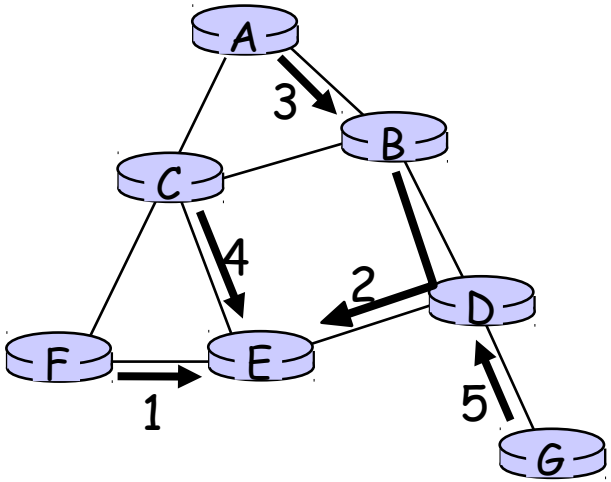
(a) Broadcast z uzla A



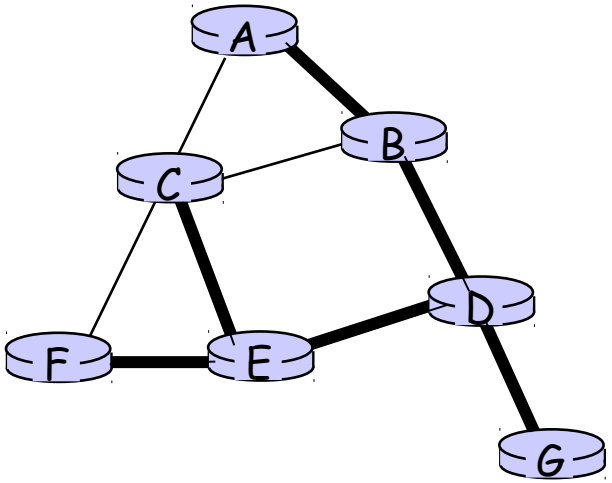
(b) Broadcast z uzla D

Spanning Tree: vytvorenie

- Centrálny uzol (rendezvous point)
- Každý z uzlov pošle správu k centrálnemu uzlu o pripojení do broadcastového stromu
  - Správa je posielaná ďalej, iba pokiaľ nedôjde do uzla, ktorý už je v strome



(a) postup vytvorenia spanning tree

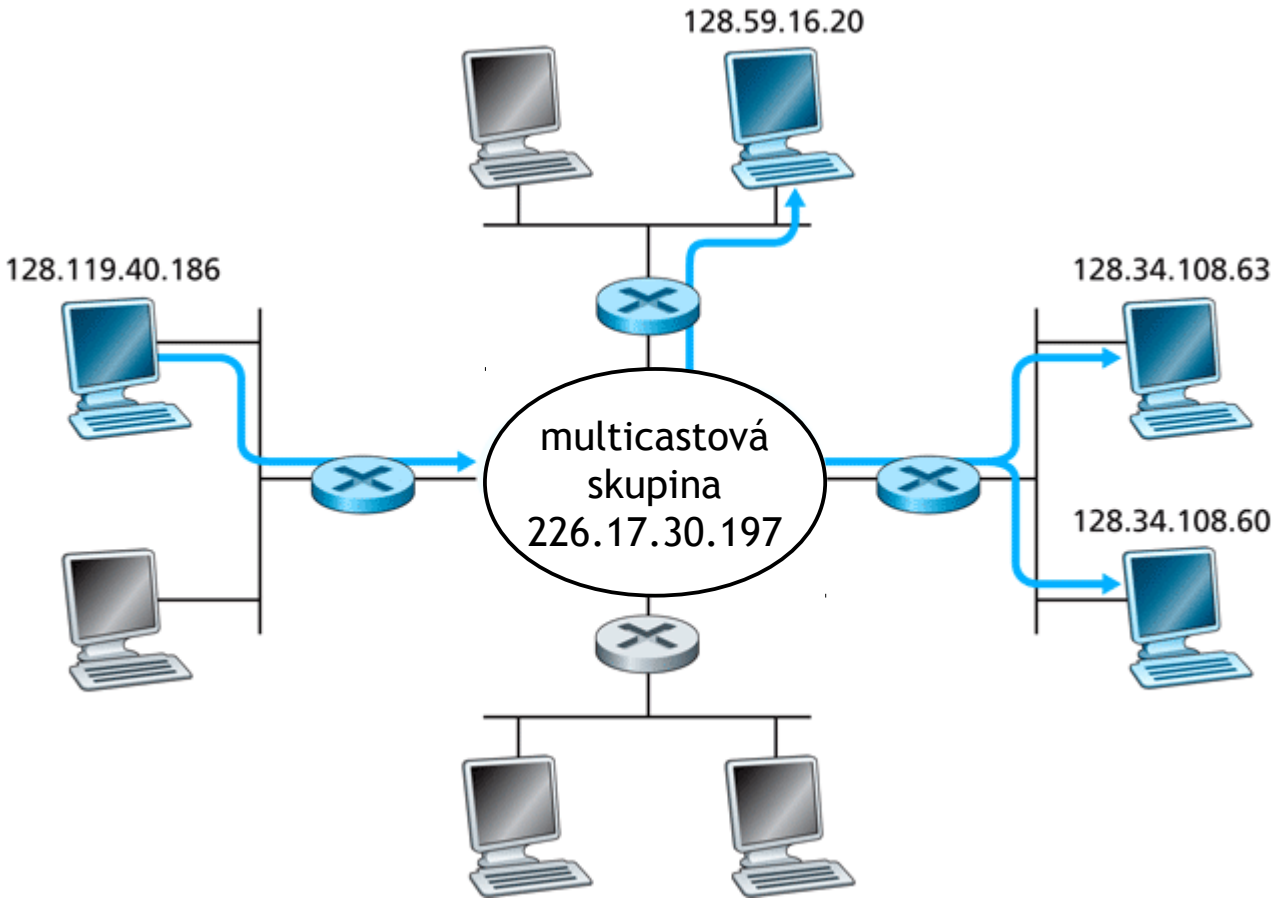


(b) Vytvorený spanning tree

Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

Multicastové skupiny

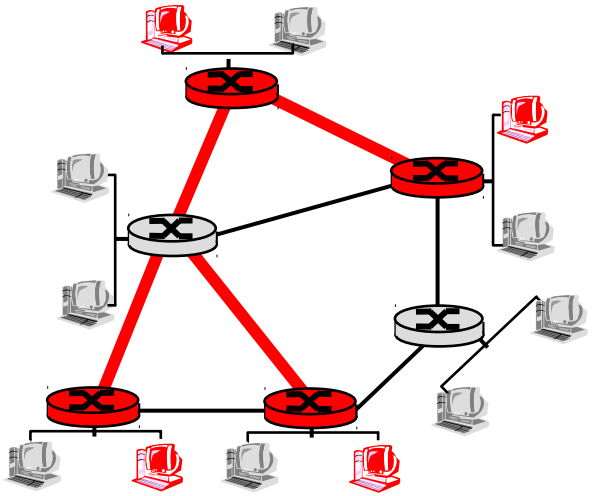


IGMP: Internet group management protocol

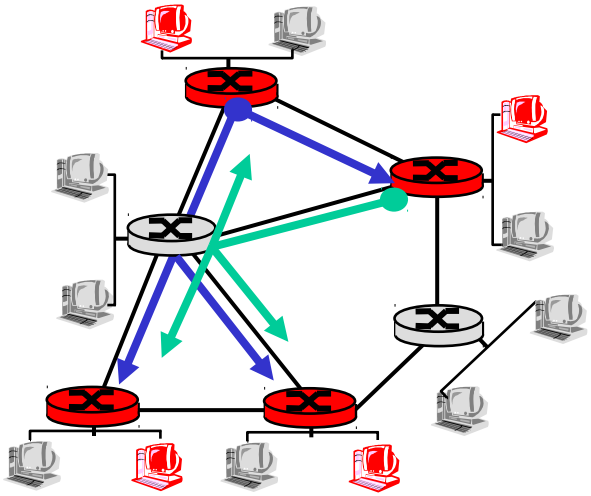
- podobne ako ICMP je prenášaná v tele IPv4 datagramu
- slúži na komunikáciu stanice s najbližším routrom, aby ho informovala o požiadavke na pripojenie alebo odpojenie od multicastovej skupiny
- router periodicky informuje o možných multicastových skupinách, o ktorých vie (napríklad preto, že iné stanice sú pripojené do týchto skupín)
- ak stanica neodpovie na informácie od routra, je automaticky odpojená zo skupiny.

Multicastové smerovanie

- ***Cieľ:*** nájsť strom prepojených routrov, ktoré majú v lokálnej podsieti členov multicastovej skupiny
  - *strom:* nepoužijeme všetky cesty medzi routrami
  - *závislé od zdroja:* strom môže byť pre každého odosielateľa v skupine iný
  - *zdieľaný strom:* rovnaký strom pre všetkých členov



zdieľaný strom



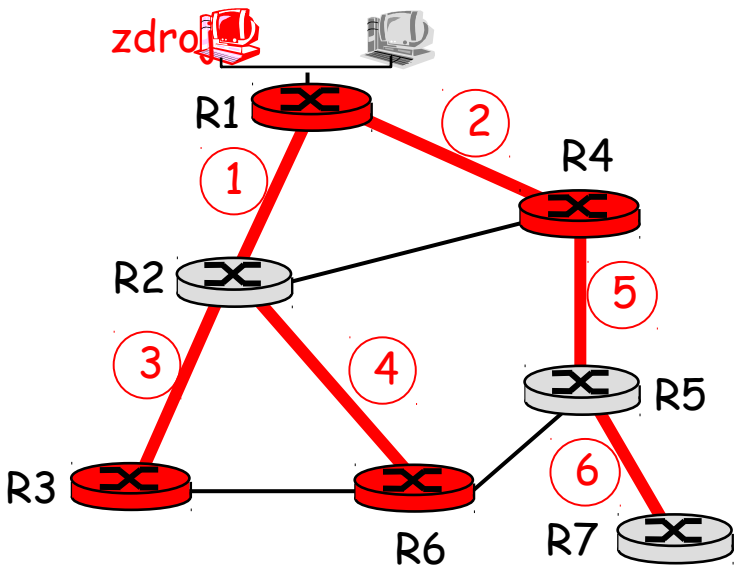
závislé od zdroja

Prístupy k budovaniu multicastových stromov

- závislé od zdroja: jeden strom pre každý zdroj vysielania
  - stromy najkratších ciest
  - reverse path forwarding
- zdieľaný strom: všetci vysielatelia majú rovnaký strom
  - stromy založené na centrálnom uzle

Strom najkratších ciest

- Dijkstrov algoritmus



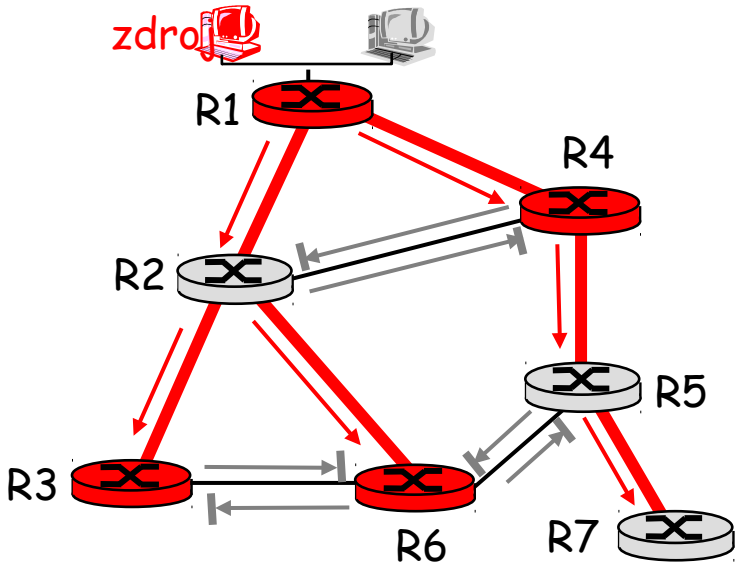
LEGENDA

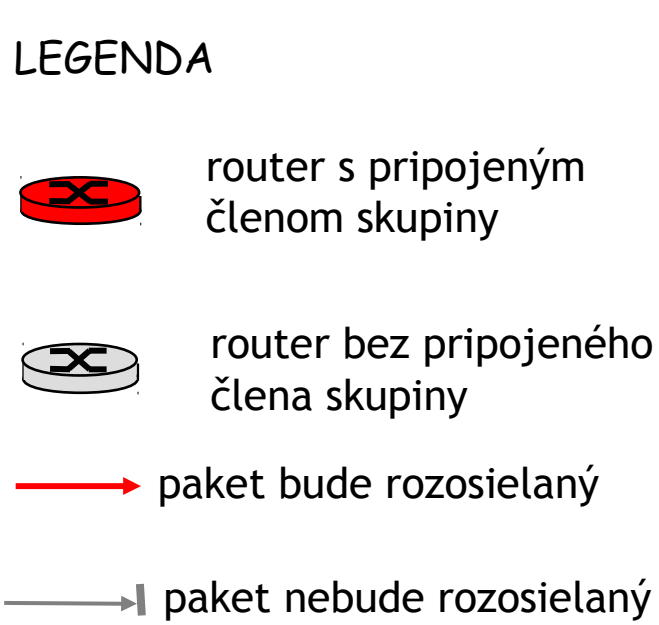
router s pripojeným členom skupiny

router bez pripojeného člena skupiny

i — spojenie použité na rozosielanie i určuje poradie hrany pridanej algoritmom

Reverse Path Forwarding: príklad

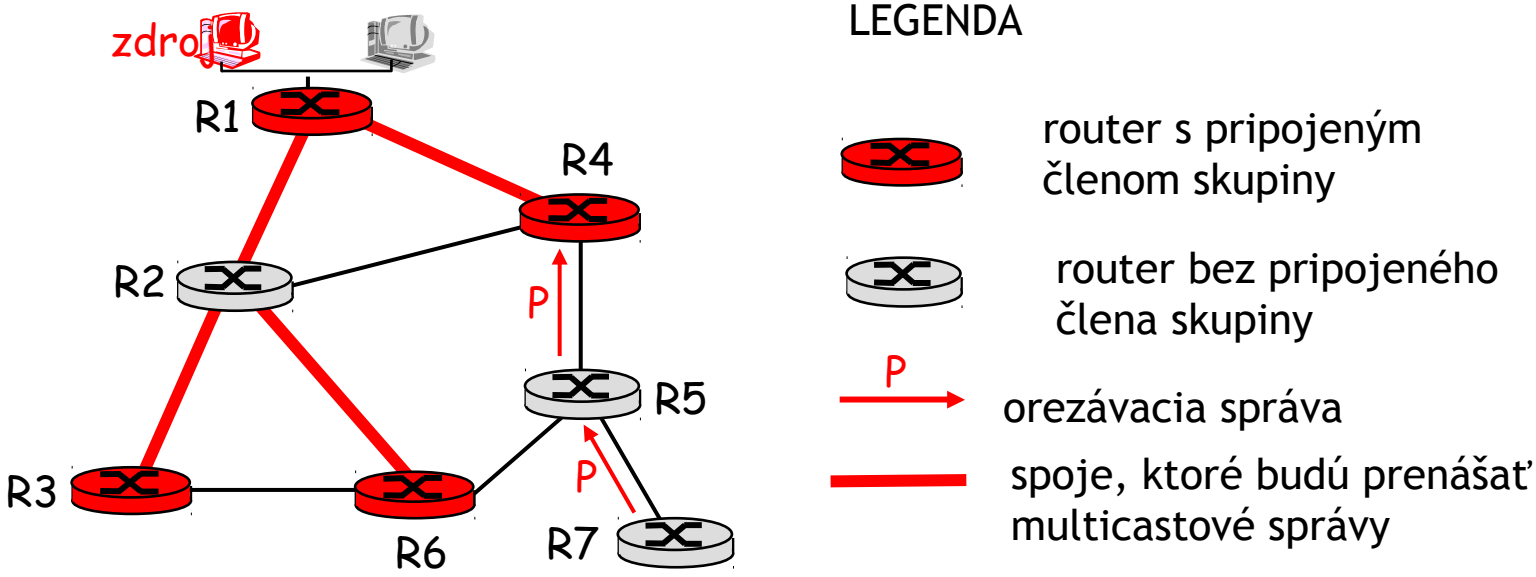




- výsledkom je strom závislý od zdroja
  - môže to byť nevýhoda pri nesymetrických spojeniach

Reverse Path Forwarding: orezávanie

- vzniknutý strom obsahuje podstromy, ktoré nemajú členov multicastovej skupiny
  - nepotrebujeme do nich rozposielať multicastové správy
  - uzly bez pripojených členov multicastovej skupiny v podstrome posielajú "orezávacie" správy (prune message)

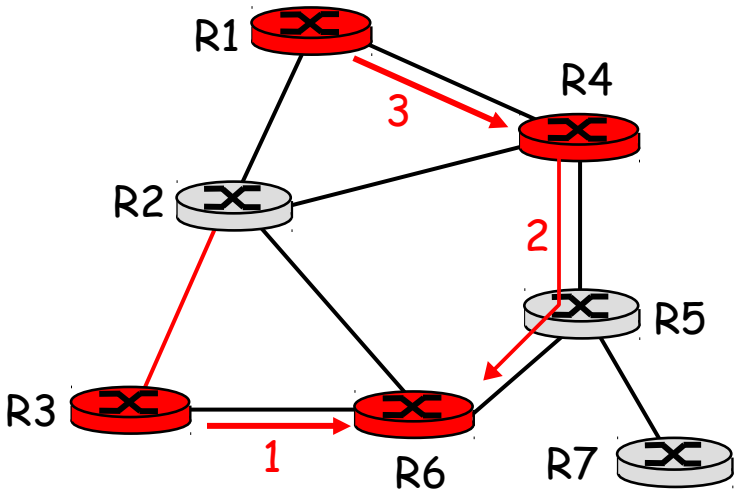


Stromy založené na centrálnom uzle

- jediný strom rozosielania pre všetky zdroje
- jeden z routrov je určený ako ”stred” stromu
- napojenie (ako spanning tree):
  - router s pripojeným členom pošle pripájaciu správu smerom k centrálnemu uzlu
  - pripájacia správa sa spracuje na routroch na ceste
  - cesta, ktorou išla pripájacia správa, sa stane novou vetvou stromu
  - ak sa pripájacia správa dostane na router, ktorý už je pripojený v strome (v najhoršom centrálny uzol), správa sa už neposiela ďalej

Stromy založené na centrálnom uzle

Nech R6 je vybraný za centrálny uzol:



LEGENDA

router s pripojeným členom skupiny

router bez pripojeného člena skupiny

1 pripájacie správy s poradím odoslania v čase

Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

Multicastové smerovanie na Internete: DVMRP

- DVMRP: distance vector multicast routing protocol, RFC1075
- *zaplav a orež:* reverse path forwarding, strom závislý od zdroja
  - DVMRP má vlastné smerovacie tabuľky v routroch na komunikáciu medzi DVMRP routrami
  - nespolieha sa na normálne smerovacie tabuľky
  - úvodný paket na pripojenie je rozoslaný všetkými smermi cez reverse path forwarding
  - routre, ktoré nechcú byť súčasťou danej multicast skupiny, posielajú späť orezávacie správy

DVMRP: ďalšie vlastnosti

- DVMRP router periodicky (1 min.) “zabúda”, ktoré vetvy boli orezané:
  - multicastové dáta sú opäť odoslané do pred tým orezaných vetiev
  - router, ktorému začínajú prichádzať tieto dáta môže opäť poslať žiadosť o odrezanie, alebo začať prijímať dáta
- routre sa môžu pripojiť aj rýchlejšie, nemusia čakať na zabudnutie
  - ak sa naňho napojená stanica chce pripojiť (cez IGMP)

Prehľad prednášky

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

PIM: Protocol independent multicast

Dva režimy:

Hustý

- routre sú automaticky pripájané do skupiny pokiaľ sa tieto routre explicitne neodpoja
- predpokladáme, že takmer všetky routre sú zapojené do skupiny
- podobné ako DVMRP
- nepripojené routre sú "zbytočne" zaťažované

Riedky

- routre sa musia sami aktívne pripájať
- stromy založené na centrálnom uzle
- ideálne pre skupiny s jediným odosielateľom
- nepripojené routre nemusia robiť nič

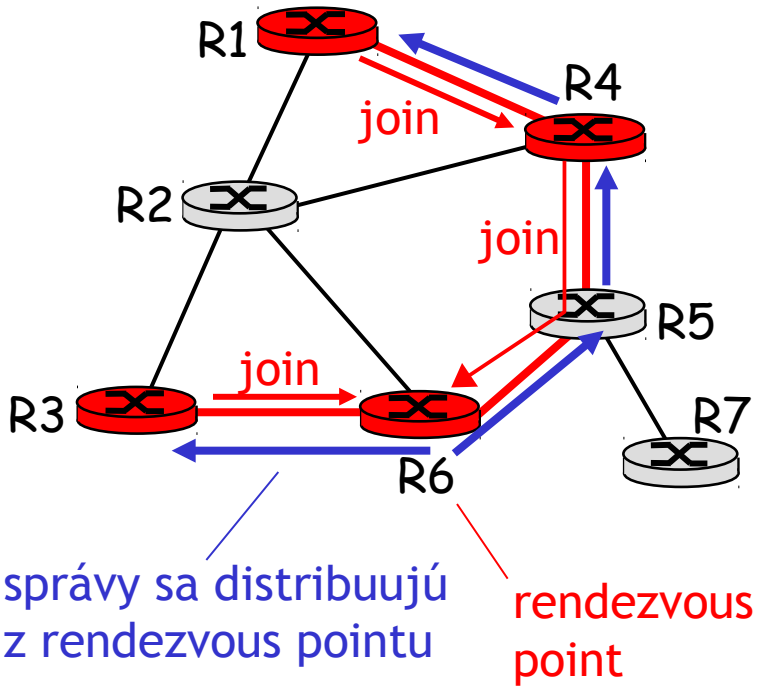
PIM-DM (hustý režim)

zaplav a orež, podobné ako DVMRP, ale

- využívajú sa tradičné smerovacie tabuľky routra na určenie, či správa prišla z najkratšej cesty
- menej komplikované a menej efektívne zaplavovanie ako DVMRP
- má mechanizmus na to, aby router zistil, že je listom multicastového stromu

PIM – SM (riedky režim)

- centrálny uzol = rendezvous point
- pripájanie sa do skupiny paketom smerom k tomuto uzlu
- odosielateľ najprv pošle správu na centrálny uzol a tá sa odtiaľ distribuuje do celého multicastového stromu



Zhrnutie

- Smerovacie algoritmy
  - LSA
  - DVA
- Protokoly smerovania vnútri autonómnych systémov
  - RIP
  - OSPF
- Hierarchické smerovanie
- Protokol smerovania medzi autonómnymi systémami : BGP
- Princípy smerovania broadcastu
- Princípy smerovania multicastu
- Protokoly multicastového smerovania
  - DVMRP
  - PIM

Ďakujem za pozornosť

Modifikované slajdy z knihy:

Computer Networking: A Top Down Approach ,
4th edition.
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley, July 2007.