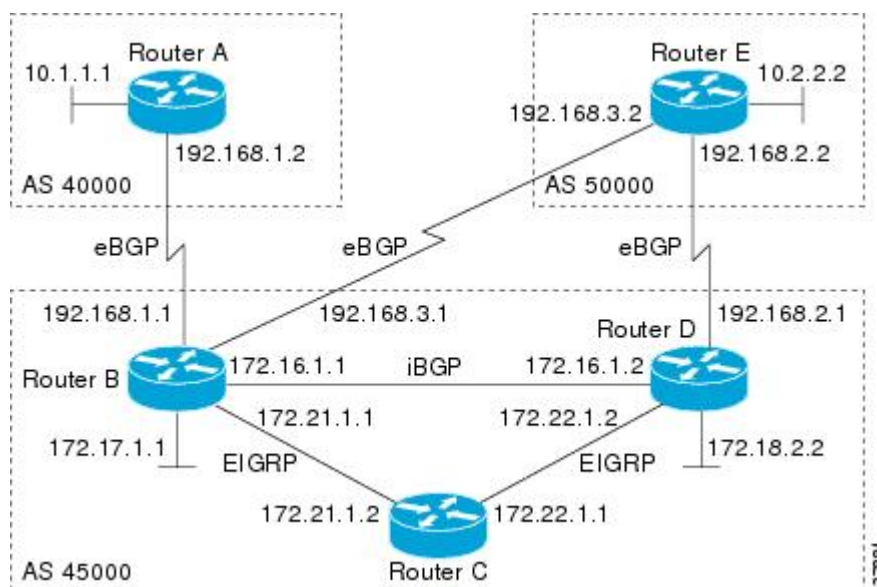


Směrování

- Z pohledu uživatele sítě je směrování proces, kterým se určí cesta paketu z výchozího uzlu do cílového uzlu
- Z pohledu směrovače (routeru) jde o
 - Přijmutí paketu na jednom ze svých rozhraní a předání ho na jedno ze svých rozhraní
 - Získání potřebných informací o topologii sítě
- Internet se skládá ze
 - Segmentů, kde jsou uzly propojeny např. pomocí Ethernetu, Wi-Fi, atd. a tvoří autonomní oblasti
 - 10.1.x.x
 - 172.17.x.x
 - Atd.
 - Autonomních oblastí, které jsou propojeny protokolem IP, stejně jako jejich vnitřní uzly
 - AS 40000
 - AS 50000
 - AS 45000



http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_4t/ip_route/configuration/guide/brbpeer.html

- Na úrovni segmentů
 - Všesměrové adresování
 - Zpráva je doručena všem uzlům – vlastnost média
 - Neplatí však např. u Ethernetu se switchem
 - Uzly, kterým není určena, ji uvědoměle zahodí
 - Pokud zrovna neodposlouchávají provoz na síti

 - Adresy zde nejsou strukturované tak, aby obsahovaly číslo sítě a proto se na této úrovni nesměruje
 - Další úrovně už používají IP protokol
 - IP adresa obsahuje číslo sítě a číslo počítače

- Uvnitř autonomní oblasti
 - Interior Gateway Protocol (název typu protokolu)

 - Jedna autonomní oblast může obsahovat několik sítí, mezi kterým se směruje
 - Zároveň se přes ní ale i směrují pakety do jiných autonomních oblastí

 - RIP, OSPF
 - EIGRP, IS-IS

- Mezi autonomními oblastmi
 - Exterior Gateway Protocol (název typu protokolu)
 - Nezaměňovat s protokolem stejného jména

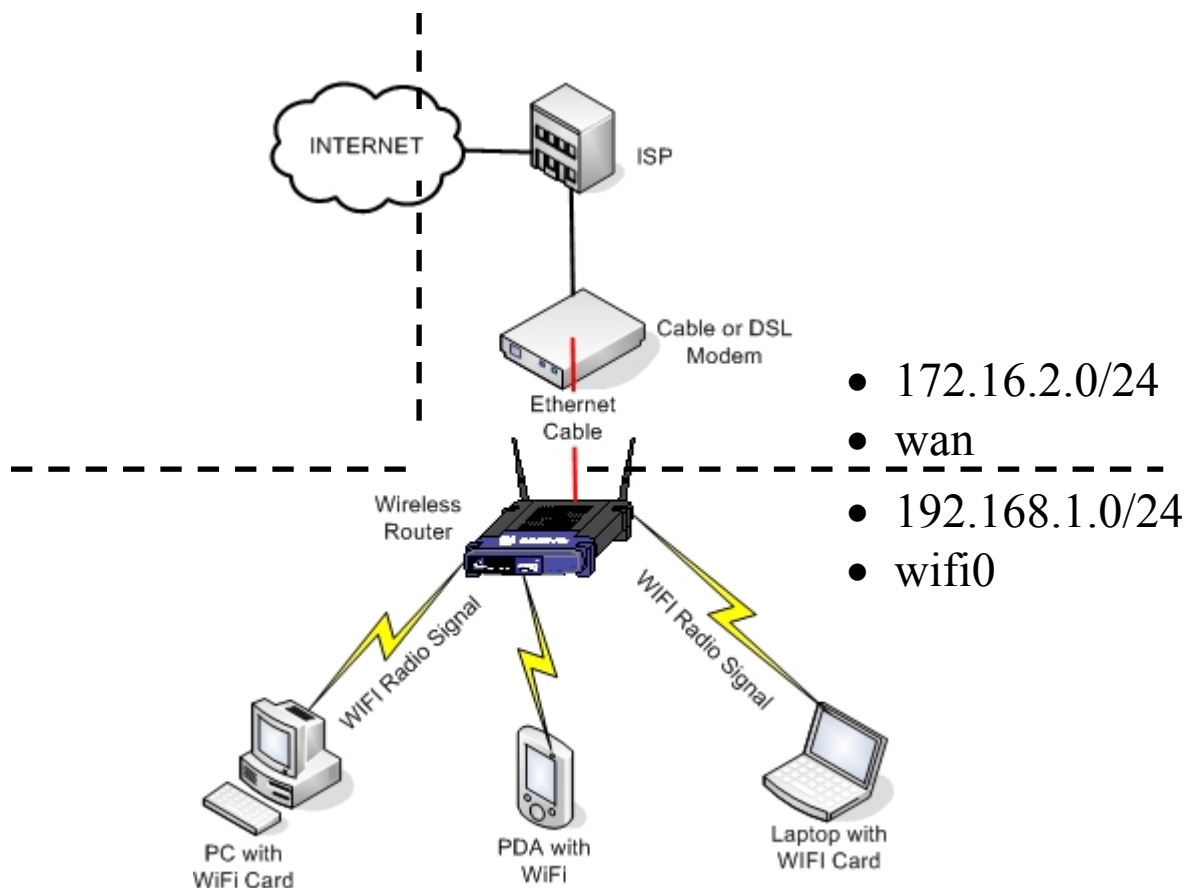
 - Směrování paketů v Internetu na úrovni autonomních oblastí

 - BGP, dříve EGP

- Autonomní oblast
 - označuje se AS (Autonomous System)
 - Je identifikována 32-bitovým číslem
 - Původně 16-bitovým
 - Pokud bychom udělali jednu velkou počítačovou síť o velkém množství počítačů, tak by doručení každého (např. Ethernetového) rámce představovalo velkou režii
 - V porovnání s případem, kdy takto velkou síť rozdělíme na několik podsítí
 - Analogie: než sám řídit chod velké firmy, je efektivnější rozdělit ji na oddělení a řídit jejich vedoucí
 - Segment např. s Ethernetem: dostatečně malý kolektiv je efektivnější řídit sám
 - Autonomní oblast tak sdružuje několik sítí
 - Mimo rozsah KIV/ZPS
 - Stub AS
 - Z pohledu veřejně viditelné topologie je připojena pouze k jedné AS
 - Ve skutečnosti může být připojena k další AS
 - Multihomed AS
 - Je připojena k několika AS
 - Když vypadne jedno připojení, je k dispozici náhradní, kterým se lze dostat do Internetu
 - Transit AS
 - A-B-C: transit AS B umožňuje připojit A do C
 - ISP

Směrovací tabulka

- Routing Table – má ji každý uzel sítě, i vaše PC
- Říká, na které rozhraní poslat paket podle jeho cílové adresy – směrování podle cíle
 - Existuje i Source Routing
 - Mimo rozsah KIV/ZPS
 - Cesta sítě se určí na začátku
 - SSRR, LSRR
- Analogie je např. rozcestník na křižovatce
 - Rozhraní představuje cestu
 - Směrové cedule představují směrovací tabulku
- Existuje speciální položka, která říká jakým směrem se vydat, když nebyl nalezen odpovídající záznam
 - 0.0.0.0, Default Route, Gateway of Last Resort, Výchozí brána
- Router (směrovač) přijme datový rámeček (např. Ethernet)
- Podívá se, kterého protokolu obsahuje paket
 - Nezná-li daný protokol, rámeček zahodí
- Jde-li o routeru známý protokol, např. IP, přečte si z jeho hlavičky cílovou IP adresu
- Podle předem daných pravidel projde směrovací tabulku a najde rozhraní, ke kterému má připojenu síť do níž paket přepoše
 - Může, i nemusí, jít přímo o cílový uzel jemuž byl paket určen
 - Stejně tak ani nemusí jít ještě o cílovou síť, v níž je uzel jemuž byl paket určen
 - Jde o to, přeposlat paket tím správným směrem
 - Nenažde-li vhodné rozhraní, zvolí výchozí bránu



<http://www.networkingreviews.com/2008/03/04/home-network-setup-wireless-home-network/>

- wifi0 – Wi-Fi rozhraní routeru doma
- wan – Rozhraní domácího Wi-Fi routeru, kterým je připojen k modemu ISP
- Routovací tabulka domácího Wi-Fi routeru
 - Všechny pakety do sítě 192.168.1.0/24 budou odeslány na rozhraní wifi0
 - Všechny pakety do jakékoliv jiné sítě budou odeslány na rozhraní wan
 - Výchozí brána

Cíl	Brána	Maska	Metrika	Rozhraní
192.168.1.0	192.168.1.1	255.255.255.0	1	wifi0
0.0.0.0	172.16.2.1	0.0.0.0	1	wan

- Ve skutečnosti by tabulka byla přece jenom složitější např. o 240.0.0.0 pro multicast k přijímání videa

- Pro zajímavost
 - Mimo rozsah KIV/ZPS
 - Linux

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric	Ref	Use	Iface
localnet	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
default	ic-cat6509-gw.z	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth0

- Windows

Network	Destination	Netmask	Gateway	Interface	Metric
	0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.2.1	192.168.2.2	10
	127.0.0.0	255.0.0.0	On-link	127.0.0.1	306
	127.0.0.1	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
127.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
	192.168.2.0	255.255.255.0	On-link	192.168.2.2	266
	192.168.2.2	255.255.255.255	On-link	192.168.2.2	266
	192.168.2.255	255.255.255.255	On-link	192.168.2.2	266
	224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	127.0.0.1	306
	224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	192.168.2.2	266
255.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
255.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	192.168.2.2	266

- IOS

```
172.30.0.0/16 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
D    172.30.32.0/20 [90/4879540] via 10.1.1.2
D    172.30.32.0/24 [90/25789217] via 10.1.1.1
S*  0.0.0.0/0 [1/0] via 10.1.1.3
```

- Routovací tabulka ve skutečnosti nemusí být implementovaná jako tabulka, ale jako strom
- 0.0.0.0 je ve skutečnosti SuperNet, takže výchozí brána má tu samou strukturu jako IP adresa
 - 0.0.0.0/0
 - Všechny ostatní sítě jsou tak její podsítě
 - Subnets
- Výchozí brána nemusí být (vždy) nastavena
 - Pak se dostanete ale jenom na routeru známé sítě
- Lze kombinovat Classless i Classfull Routing, ale ne vždy bude výsledkem routovatelná síť

Směrovací protokoly

- Proč
 - Pro jednoduchou síť bez záložních linek je možné směrovací tabulku vyplnit „ručně“
 - Ve složitých sítích je to úmorná práce
 - Pokud by vypadla linka, administrátor by ani nestihl přepsat směrovací tabulky rychlostí nutnou ke spokojenosti uživatelů
 - Pokud vypadne linka, směrovací protokol se postará o nalezení nejvhodnější náhradní linky

- Konvergence
 - Směrovač zná
 - Statické cesty – ručně zadány administrátorem
 - Dynamické cesty – sám se je naučil, nebo je získal od jiného směrovače
 - Přímé připojení – sousední směrovač

 - V okamžiku, kdy dojde ke změně v topologii sítě, může být nezbytné upravit směrovací tabulky
 - Špatná konfigurace směrovače může vést např. ke smyčkám
 - Tabulky směrovačů v síti nebudou vzájemně konzistentní a tudíž mohou obsahovat chyby
 - Např. paket může procházet po cestě A-B-C-A dokud nevyčerpá TTL

 - Rychlost konvergence charakterizuje čas, za jaký se tabulky jednotlivých směrovačů shodnou na topologii sítě
 - Čím rychleji, tím lépe
 - Za tímto účelem spolu routery spolupracují

- Metrika
 - Ohodnocení nákladů na konkrétní cestu
 - Je vypočítávána pro každou, routeru známou cestu
 - Umožňuje zvolit mezi různými cestami ke stejnému cíli tu nejvýhodnější

 - Jeden směrovač může používat několik směrovacích protokolů najednou
 - Např. pro každou připojenou síť jiný
 - Každý směrovací protokol používá jinou metriku a ty nelze porovnávat
 - Protože se počítají jiným způsobem a zohledňují tak různé atributy cesty
 - Vzdálenost, přenosová kapacita ...

$$metric = \left[K_1 \times bandwidth + \frac{K_2 \times bandwidth}{256 - load} + K_3 \times delay \right] \times \left[\frac{K_5}{reliability + K_4} \right]$$

- Metrika EIGRP, mimo rozsah KIV/ZPS
- Obecně platí čím nižší číslo, tím lepší cesta
 - Různé protokoly však produkují čísla v různých řádech a tak je nelze porovnávat

- Směrovač má pro každý směrovací protokol nadefinovanou prioritu
 - Dává přednost cestám, které našel protokol s vyšší prioritou
 - Metriky se porovnávají pouze v rámci jednoho protokolu

- Pro zajímavost
 - Mimo rozsah KIV/ZPS
 - Jak se určí cesta
 - IOS směrovače Cisco

```
D      172.30.32.0/20  [90/4879540]  via  10.1.1.2
D      172.30.32.0/24  [90/25789217] via  10.1.1.1
```

- D je dynamická cesta
- 90 je priorita protokolu EIGRP
- Číslo za lomítkem je metrika protokolu EIGRP

- 172.30.32.0/20 je Supernet 172.30.32.0/24
- 172.30.32.0/24 je Subnet 172.30.32.0/20

- Cesta k 172.30.32.10/24 má sice větší metriku, ale paket se pošle na 10.1.1.1 protože číslo sítě cíle se shoduje na 24 bitů
 - V opačném případě by se mezi směrovači mohla vytvořit smyčka a paket by nikdy nebyl doručen

- Paket pro adresu 172.30.44.10 by se odeslal na 10.1.1.2, protože se číslo sítě shoduje pouze na prvních 22 bitů
 - Tj. na /24 to neseďí a tak se zvolí nejbližší možná existující supernet – zde /20

- Metrika hraje roli, pokud by se směrovač měl rozhodovat např. z těchto dvou cest:

```
D      172.30.32.0/24  [90/4879540]  via  10.1.1.2
D      172.30.32.0/24  [90/25789217] via  10.1.1.1
```

- Pak by pro 172.30.32.10/24 zvolil 10.1.1.2

Typy směrovacích protokolů

- Rozdělení podle metody naplnění směrovací tabulky
- U všech uvedených protokolů směrovače navzájem spolupracují a vzájemně se informují o topologii sítě
 - Update information
- Distance Vector Protocol
 - Distanční protokol
 - RIP, EIGRP



<http://www.ceskedalnice.cz/znaceni.htm>

- Analogií je jízda po silnici s navigací výhradně podle dopravního značení
 - Vzdálenost v k/m (metrika) a
 - Šipka/id silnice (rozhraní)
- Obecně je výpočetně méně náročný než linkový protokol
- Router přijímá od sousedních routerů jak daleko (metrika) a kudy (rozhraní) je to do konkrétních sítí
 - RIP jako metriku používá TTL/Hop Count
 - Kolika uzly sítě paket projde, než se dostane do cíle

- Router se vždy spoléhá na to, že přijatá informace je korektní, aktuální a správná
 - Může vést k neplatným tabulkám

- Mimo rozsah KIV/ZPS
 - Jsou tři za sebou zapojené routery A-B-C
 - RIP – metrika je počet uzlů
 - A přestane reagovat
 - B si všimne a odepíše ho
 - C ještě o ničem neví a myslí si, že A je 2 skoky od něj a „naživu“
 - C pošle svou informaci B
 - B zvýší metriku k A o 1 přepíše si tabulku, že k A se jde přes C
 - B pošle informaci C (že A je od něj nyní 3 skoky a „naživu“)
 - C zvýší svou metriku o 1 a situace se opakuje

- Protokoly kvůli tomu obsahují speciální techniky
 - Např. Split-Horizon a Path-Reverse u RIP

- Rozsah možných problémů závisí na protokolu
 - Např. v RIPu mohou vzniknout smyčky, v EIGRP ne
 - EIGRP je také ovšem podstatně komplexnější než RIP

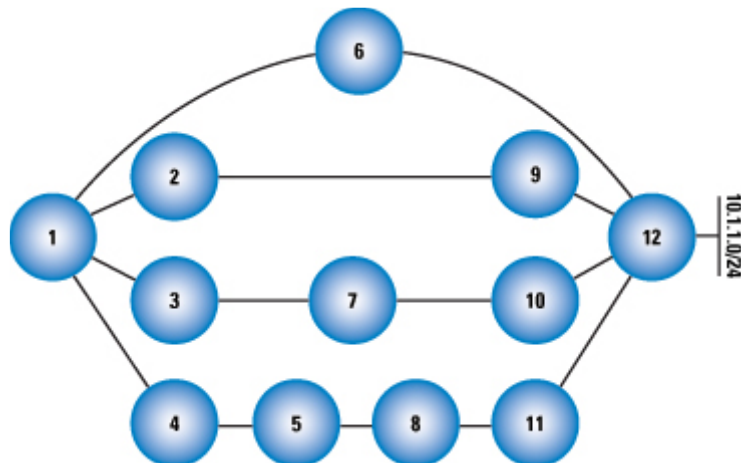
- Link-State Protocol
 - Linkový protokol
 - OSPF, IS-IS



<http://www.mapy.cz/#x=130998272@y=134733312@z=11@mm=ZP>

- Analogií je jízda po silnici s navigací výhradně podle mapy
 - Před výjezdem si zjistíte trasu, po které pojedete
- Směrovače si vyměňují informace o všech směrovačích a linkách, které znají
- Každý směrovač tak má k dispozici topologii sítě a z ní vypočítá optimální hodnoty do směr. tabulky
- Obecně jsou komplexnější, škálovatelnější a mají lepší konvergenci než distanční protokoly

- Path Vector Protocol
 - Pro zajímavost
 - Mimo KIV/ZPS
 - Příbuznost s Distance Vector Protocol
 - Uchovává cestu, kterou update information prošla od svého zdroje
 - Detekce vlastní zprávy, která se dostala do smyčky – takové zprávy je třeba ignorovat
 - Položka směrovací tabulky obsahuje
 - Cílovou síť
 - Další směrovač v cestě
 - Cestu k cíli
 - BGP
 - Často klasifikován jako Distance Vector Protocol

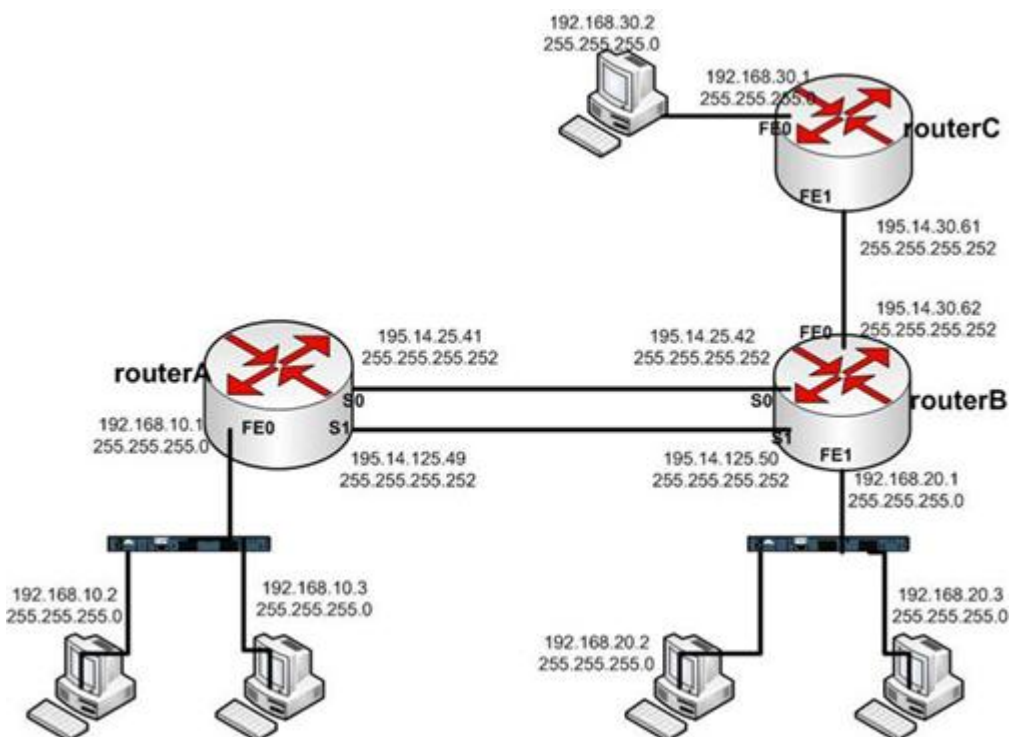


http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_8-2/graph_overlays.html

- Čísla 1..12 jsou autonomní oblasti
- Path Vector Protocol jako BGP říká, přes které autonomní oblasti se musí jít
 - Např. z 5 do 10.1.1.0/24 je cesta 8, 11, 12

Protokol RIP

- Pro zajímavost
- Mimo rozsah KIV/ZPS
- <http://www.trainingsignaltraining.com/cisco-ccent-how-to-configure-routing-information-protocol-part-1/2007-11-19/>



- Síť

Routing Table ROUTERA			Routing Table ROUTERB			Routing Table ROUTERC		
Network	Exit Interface	Hop count	Network	Exit Interface	Hop count	Network	Exit Interface	Hop count
192.168.10.0	FE0	0	192.168.20.0	FE1	0	195.14.25.60	FE1	0
195.14.25.40	S0	0	195.14.25.60	FE0	0	192.168.30.0	FE0	0
195.14.125.48	S1	0	195.14.25.40	S0	0			
			195.14.125.48	S1	0			

- Směrovací tabulky po zapnutí routerů
- Každý router zná pouze svého souseda

Routing Table			Routing Table			Routing Table		
ROUTERA			ROUTERB			ROUTERC		
Network	Exit Interface	Hop count	Network	Exit Interface	Hop count	Network	Exit Interface	Hop count
192.168.10.0	FE0	0	192.168.20.0	FE1	0	195.14.25.60	FE1	0
195.14.25.40	S0	0	195.14.25.60	FE0	0	192.168.30.0	FE0	0
195.14.125.48	S1	0	195.14.25.40	S0	0	195.14.25.40	FE1	1
192.168.20.0	S0	1	195.14.125.48	S1	0	195.14.125.48	FE1	1
192.168.20.0	S1	1	192.168.10.0	S0	1	192.168.20.0	FE1	1
195.14.25.60	S0	1	192.168.10.0	S1	1			
195.14.25.60	S1	1	192.168.30.0	FE0	1			

- Směrovací tabulky po výměně prvních update information
 - Objevily se záznamy s HopCount=1 o routerech, které nejsou přímými sousedy

Routing Table			Routing Table			Routing Table		
ROUTERA			ROUTERB			ROUTERC		
Network	Exit Interface	Hop count	Network	Exit Interface	Hop count	Network	Exit Interface	Hop count
192.168.10.0	FE0	0	192.168.20.0	FE1	0	195.14.25.60	FE1	0
195.14.25.40	S0	0	195.14.25.60	FE0	0	192.168.30.0	FE0	0
195.14.125.48	S1	0	195.14.25.40	S0	0	195.14.25.40	FE1	1
192.168.20.0	S0	1	195.14.125.48	S1	0	195.14.125.48	FE1	1
192.168.20.0	S1	1	192.168.10.0	S0	1	192.168.20.0	FE1	1
195.14.25.60	S0	1	192.168.10.0	S1	1	192.168.10.0	FE1	2
195.14.25.60	S1	1	192.168.30.0	FE0	1			
192.168.30.0	S0	2						
192.168.30.0	S1	2						

- Směrovací tabulky poté, co routery dokonvergovaly ke shodě o topologii sítě
- Nedosažitelnou síť by identifikoval HopCount = 15 (Infinity)
 - Nízký limit je také jedna z možností jak se vypořádat s Counting to Intimity
 - Viz výše routery A-B-C

Typy spojení koncových bodů

- Intuitivně se předpokládalo, že se paket směřuje pouze jednomu uzlu, určenému jeho IP adresou
- Ve skutečnosti může být požadováno doručit paket několika uzlům
 - Např. vysílání TV pořadu po Internetu
 - Z jednoho studia několika divákům
- Unicast
 - Paket jde z jednoho konkrétního uzlu pouze jednomu konkrétnímu uzlu
- Broadcast
 - Paket je odeslán z jednoho konkrétního uzlu všem uzlům v jeho síti
- Multicast
 - Paket je odeslán z jednoho uzlu několika různým uzlům v několika různých sítích
 - Existují speciální protokoly, které to umožňují
 - Mimo rozsah KIV/ZPS
- Anycast
 - Mimo rozsah KIV/ZPS
 - Paket je odeslán z jednoho konkrétního uzlu jinému uzlu, který je identifikován jinak než svou adresou
- PAMCast
 - Mimo rozsah KIV/ZPS
 - Podobně jako Anycast, ale paket je doručen všem uzlům, které vyhovují zadanému kritériu identifikace uzlu
 - Programovatelné sítě – např. Active Networks