

24. Směrování

Ve větších sítích již není možné propojit všechny počítače přímo. Limitujícím faktorem je zde množství paketů všesměrového vysílání – broadcast, omezené množství IP adres... Jednotlivé sítě se proto oddělují směrovači.

Směrování je proces, který určí cestu, jakou se data dostanou k cíli. Směrování musí být podporováno protokolem, kterým se přenáší data. Probíhá na 3. vrstvě OSI. Největší sítí, která by bez směrování nefungovala, je bezesporu síť internet.

- Router – směrovač
- Routing table – routovací tabulka obsahuje záznamy o jednotlivých cestách
- Next hop – další směrovač, přes který se dostane k cíli

Směrování v počítačových sítích a v Internetu

Aby bylo možné paketovou sítí směrovat pakety od zdroje k cíli, je potřeba správným způsobem naplnit směrovací tabulky všech routerů na trase.

Static routing

Při statickém směrování administrátor manuálně vloží směrovací informace do směrovací tabulky. Statické směrovací cesty jsou používány v malých sítích.

Router posílá pakety podle pevně dané tabulky. Je důležité statické cesty nastavit obousměrně.

Dynamic routing

Dynamicky se vytváří záznamy ve směrovací tabulce, používají se při tom informace získané směrovacími protokoly.

Zpočátku router nemá úplnou znalost o síti. Pomocí zpráv zasílaných mezi routery si router vytvoří představu o topologii sítě, takže ví, kam má pakety posílat.

Dynamické směrování je zapotřebí použít tam, kde existuje více cest k cíli nebo v rozlehlějších sítích s měnící se topologií (z nichž největší je bezesporu Internet). Ve větších sítích již statické směrování není vhodné, protože by znamenalo příliš mnoho ručně přidaných záznamů na velkém počtu směrovačů. I drobná změna by pak znamenala velkou námahu.

Default routing

Díky výchozí bráně není zapotřebí mít ve směrovací tabulce explicitně definovanou cestu ke všem sítím. Výchozí brána může být definována staticky nebo dynamicky. (pokud neexistuje jiná cesta, tak se použije defaultní)

Směrovací tabulka; Routing table

Tabulka, kterou má každý uzel sítě. Tato tabulka říká, na které rozhraní poslat paket podle jeho cílové adresy. Jedná se tedy o směrování podle cíle. Rozhraní představuje cestu a směrové cedule představují směrovací tabulku. Dále existuje speciální položka, která říká, jakým směrem se vydat, když nebyl nalezen odpovídající záznam.

Směrování funguje tak, že router, přijme datový rámec → podívá se, ze kterého protokolu obsahuje paket a nezná-li daný protokol, rámec zahodí. Pokud router tento protokol zná, např. v případě IP, přečte si z jeho hlavičky cílovou IP adresu.

Pak podle předem daných pravidel projde směrovací tabulku a najde rozhraní, ke kterému má připojenou síť, do níž paket přepošle. Může, ale také nemusí, jít přímo o cílový uzel, jemuž byl paket určen. Stejně tak ani nemusí jít o cílovou síť, v níž je uzel, jemuž byl paket určen. Především jde o to, přeposlat paket tím správným směrem. A pokud se nenajde vhodné rozhraní, zvolí výchozí bránu.

Je důležité podotknout, že routovací tabulka ve skutečnosti nemusí vypadat jako tabulka, ale může vypadat jako strom. Např. 0.0.0.0 je ve skutečnosti SuperNet, takže výchozí brána má tu samou strukturu jako IP adresa. Všechny ostatní sítě jsou proto její podsítě. Výchozí brána nemusí být vždy nastavena, ale v tomto případě se pak lze dostat jen na router známé sítě.

RRAS-ROUTER1 - tabulka směrování IP						
Cíl	Maska sítě	Brána	Rozhraní	Metrika	Protokol	
10.57.76.0	255.255.255.0	10.57.76.1	Připojení k mís...	1	Místní	
10.57.76.1	255.255.255.255	127.0.0.1	Zpětná smyčka	1	Místní	
10.255.255.255	255.255.255.255	10.57.76.1	Připojení k mís...	1	Místní	
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	Zpětná smyčka	1	Místní	
127.0.0.1	255.255.255.255	127.0.0.1	Zpětná smyčka	1	Místní	
192.168.45.0	255.255.255.0	192.168.45.1	Připojení k mís...	1	Místní	
192.168.45.1	255.255.255.255	127.0.0.1	Zpětná smyčka	1	Místní	
224.0.0.0	224.0.0.0	192.168.45.1	Připojení k mís...	1	Místní	
224.0.0.0	224.0.0.0	10.57.76.1	Připojení k mís...	1	Místní	
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.45.1	Připojení k mís...	1	Místní	
255.255.255.255	255.255.255.255	10.57.76.1	Připojení k mís...	1	Místní	

Cíl

Obsahuje číslo cílové podsítě, pro kterou je záznam v tabulce proveden ve formátu IP adresy.

Maska podsítě

Maska ve spojení s číslem podsítě vymezuje rozsah IP adres, pro které je záznam platný

Brána

IP adresa routeru, kterému má případně být IP datagram předán (není vyplněno v případě, že je podsít přímo dosažitelná)

Rozhraní

Skrze které síťové rozhraní je nutné IP datagram odeslat, pokud záznam odpovídá hledanému cíli.

Typ protokolu

Typ směrovacího protokolu, který vytvořil danou položku

Směrovací metrika (administrative distance)

Je využita k určení vhodnosti cesty a liší se dle použitého směrovacího protokolu. Číslo mezi 0 a 255, čím menší tím lepší

Protokoly

Směrované protokoly (Routed)

Protokol, který se dá směrovat. Přenáší data mezi sítěmi.

- Definují formát a využití polí v paketu
- Internet Protocol (**IP**)
- Novell Internetwork Packet Exchange (**IPX**),

Směrovací protokoly (Routing)

Routery využívají směrovací protokoly k výměně směrovacích tabulek a sdílení směrovacích informací. Směrovací protokoly umožňují směrovačům směrovat směrované protokoly. Poskytují procesy ke sdílení směrovacích informací a umožňují routerům vzájemně komunikovat za účelem údržby směrovacích tabulek.

- | | |
|---|---|
| • Routing Information Protocol (RIP) | • Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP) |
| • Interior Gateway Routing Protocol (IGRP) | |
| • Open Shortest Path First (OSPF) | • Border Gateway Protocol (BGP). |

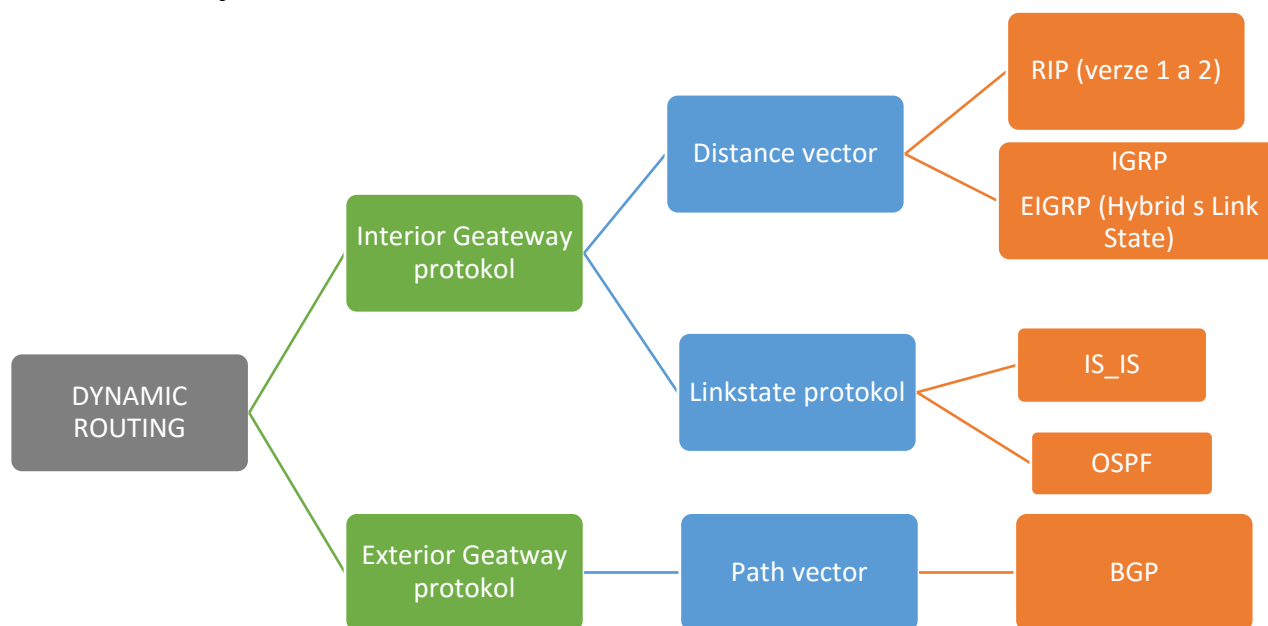
Jsou důležité pro směrování, U jednoduchých sítí lze směrovací tabulku vyplnit "ručně". Ve složitějších sítích je to velice složité. Pokud vypadne linka, směrovací protokol se postará o nalezení nejvhodnější náhradní linky.

Velice důležité je v tomto případě také **konvergence**, kdy směrovač zná statické cesty, které jsou ručně zadány administrátorem. Dále pak dynamické cesty, které se sám směrovač naučil, nebo je získal od jiného směrovače. A v neposlední řadě přímé připojení, což je sousední směrovač. V okamžiku, kdy dojde ke změně v topologii sítě, může být nezbytné upravit směrovací tabulky. Tabulky směrovačů v síti nebudou vzájemně konzistentní, a tudíž mohou obsahovat chyby. Rychlost konvergence charakterizuje čas, za jaký se tabulky jednotlivých směrovačů shodnou na topologii sítě. Čím rychleji, tím lépe. A za tímto účelem spolu routery spolupracují.

Dalším důležitým pojmem je **metrika**. To znamená ohodnocení nákladů na konkrétní cestu. Vypočítává se 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 také používá jinou metriku a ty nelze porovnávat. Právě proto, že se počítají jiným způsobem a zohledňují tak různé atributy cesty, jako např. vzdálenost, přenosovou kapacitu, ... Obecně platí, že čím nižší číslo, tím lepší cesta. Různé protokoly však produkují čísla v různých řádech, a tak je nelze porovnávat.

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

Jednotlivé Protokoly a dělení



Dynamické protokoly se dělí podle toho, zda jsou určeny pro nasazení uvnitř lokální sítě (přesněji řečeno uvnitř autonomního systému, který může obsahovat několik LAN) nebo fungují napříč sítěmi (spojují AS dohromady)

Autonomní systém; Autonomous System

Skupina IP sítí a routerů, které jsou pod správou jedné (nebo více) jednotek. Typickým příkladem je síť jednoho poskytovatele Internetu a jeho připojených zákazníků

Autonomní číslo – číslo, kde se router vyskytuje

- **Interior Gateway Protocol** – směrování uvnitř autonomního systému (RIP, OSPF, EIGRP)
- **Exterior Gateway Protocol** – směrování mezi autonomními systémy, např. v internetu (BGP)

Interior protokoly se dělí:

Distance-vector routing protocol

Distance vector routing, také „směrování podle délky vektoru“, je typ algoritmu používaný směrovacími protokoly pro zjištění trasy v síti. Počítá se zde, přes kolik routerů se přešlo. Protokoly využívající metody distance vector jsou například **RIP** (Routing Information Protocol) nebo protokoly od firmy CISCO **IGRP** (Interior Gateway Routing Protocol) a **EIGRP** (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol). Routery udržují routovací tabulku s informací o (vektoru) vzdálenosti do dané sítě, periodicky routovací tabulku zasílají sousedům, ti si upraví svoji tabulku a tu opět odešlou dál. (Zná svoje sousedy).

Při obdržení údajů ze směrovací tabulky svého souseda, každý směrovač přepočítá vzdálenostní vektory. A zašle svoji směrovací tabulku sousednímu routeru. Když všechny routery v oblasti disponují aktuálními informacemi, lze říci, že síť zkonvergovala. Každý router inseruje směr cesty jako vektor směru (next hop) a vzdálenosti (metric). Protokoly typu distance-vector (výjimkou je EIGRP) používají k výpočtu cesty Bellman-Fordův algoritmus.

Link-state routing protocol

Je určen pro rozsáhlejší síť – pro síť do velikosti autonomního systému.

Link state protokoly rychle reagují na změny v síti tak, že zasílají spouštěné aktualizace směrovacích tabulek ve chvíli, kdy nastane změna v síti. Pravidelné aktualizace nazývané link state refreshe zasílají v dlouhých intervalech např. 30min. Když nastane změna v síti, zařízení zašle všem svým sousedům **Link State Advertisement (LSA)** paket, který obsahuje informace o této změně. Každé zařízení, které jej přijme, si vytvoří jeho kopii, na základě které aktualizuje svoji databázi informací o síti (link state database), a pošle jej dál do všech svých sousedů.

Protože link state protokoly používají svoji databázi k vytváření směrovacích tabulek tak, že jejich algoritmy volí nejkratší cesty, jsou tyto algoritmy nazývány shortest path first (SPF).

Jelikož zaplavit pakety by mohlo síť zatěžovat, tak se rozsáhlejší síť dělí na oblasti (Area). Routing se pak vyřizuje na dvou úrovních: uvnitř oblasti a mezi oblastmi.

Posílá „Hello“ pakety, na kontrolu funkčnosti linek. Sem patří OSPF

Path Vector Protocol – u Exterior

Tento protokol uchovává cestu, kterou „update information“ prošla od svého zdroje. Detekce vlastní zprávy, která se dostala do smyčky. Takovéto zprávy je třeba ignorovat. Položka směrovací tabulky obsahuje cílovou síť, další směrovač v cestě a cestu k cíli.

RIP (Routing Information Protocol) – Interior Gateway Protocol, Distance-vector

Jedná se asi o nejběžnější vnitřní směrovací protokol.

Metrika, kterou používá protokol RIP, je počet routerů na cestě k cíli. Nejnižší metrika je pro přímo připojené síť ke směrovači, nejdelší cesta je **15 skoků** (routerů), vyšší metrika (16) označuje neplatnou cestu (nedostupnou síť). Protokol RIP ovšem nebere v potaz reálné parametry sítě (rychlost...) bere jen počet přeskoků přes routery (čím méně tím lépe).

RIP vysílá aktuální směrovací informace na všeobecnou adresu v periodě 30 s.

RIP lze výhodně použít jako vnitřní směrovací protokol v sítích, které jsou homogenní a mají maximálně střední velikost, neboť jeho jednoduchost i z hlediska konfigurace tam vyváží pomalou konvergenci a nepříliš vhodnou metriku.

Každý router sítě vysílá v pravidelných intervalech pakety se směrovacími informacemi, která aktualizují směrovací tabulky příslušných uzlů v síti. Je dobré pokud jsou stejně rychlé linky (nebere v potaz rychlosti linky).

Administrative Distance je 120. Používá Bellmanfordův algoritmus.

Výhody:

- Jednoduchý
- Málo náročný na HW

Nevýhody:

- Pomalá konvergence

RIP2

Poskytuje prefixové směrování, což znamená, že ve svých aktualizacích zasílá i podsíťovou masku. Toto směrování je také označováno jako beztržní směrování (classless), při kterém mohou mít jednotlivé podsítě v jedné síti různou masku (tato technika je označována jako variable-length subnet masking (VLSM)).

Zůstalo omezení 15 skoků. Při správné konfiguraci může být RIPv2 plně kompatibilní se starší verzí.

IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) – Interior Gateway Protocol, Distance-vector

Je proprietární protokol vyvinutý firmou CISCO. Proto není otevřený (jen routery od CISCA). Patří také do rodiny distance-vector směrovacích protokolů. Odstraňuje některé limitace RIP protokolu (zvládá více hopů než 15) a vylepšuje vypočítávání metriky (zahrnuje více parametrů). Tento protokol používá rozdělení sítí na třídy (classful), které vede k plýtvání IP adresami. V současné době je tento protokol považován za zastaralý a byl nahrazen EIGRP. Aktualizace se posílají broadcastem každých 90s.

EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) – Interior Gateway Protocol, hybrid

Nástupce IGRP. Též od firmy CISCO, není otevřený (jen pro routery od CISCA). Pracuje s takzvaným beztrždním směrováním (classless), umožňující vytvoření různě velikých sítí.

Jedná se o takový hybrid – od distance vector i link-state si bere to dobré.

Mezi distance-vector patří z důvodu, protože posílané zprávy (pakety), které jsou posílány mezi routery, obsahují vektor vzdálenosti (metric). Administrative distance je 90. Vlastní algoritmus pro výměnu informací Reliable Transport Protocol (RTP).

Pro určení metriky se používá šířka pásma, delay (zpoždění), zatížení linky, spolehlivost.

Jedná se o classless protokol, používá CIDR a VLSM (Variable-length subnet masking) – jako masku zasílá délku prefixu pro každý cílový subnet. Patří mezi link-state z důvodu, že posílá „Hello“ pakety.

Také implementuje Diffusing Update Algorithmus (DUAL algoritmus), který zlepšuje routování a zabraňuje vytvoření smyček.

Princip

Hledá sousedy (sousední směrovače) jako OSPF, poté vyměňuje informace o topologii sítě. Dále analyzuje „neighbor table“ a vybere acyklické cesty s nejmenší vzdáleností.

Výhody:

- Rychle konverguje

Má tři tabulky:

- Routovací (routing) – nejlepší routy do destinací
- Topologie (topology) – routovací záznamy do všech destinací
- Sousedé (neighbor) – informace o sousedních routerech (adjacent)

Výpočet metriky

$$M = \left\{ \left(K_1 * Bandwidth + \frac{K_2 * Bandwidth}{256 - Load} + K_3 * Delay \right) * \frac{K_5}{K_4 + Reliability} \right\}$$

Pokud se K_5 rovná 0 \rightarrow celý poslední zlomek se ruší.

Bandwidth se počítá ze vzorce: $BW = \frac{10^7}{\text{rychlost v kb/s}}$

OSPF (Open Shortest Path First) – Interior Gateway Protocol, Distance-vector

Otevřený standard, asi nejrozšířenější IGP protokol ve větších firmách. Podporuje VLSM (Variable-length subnet mask). Využívá se k vytvoření efektivního a přizpůsobení schopného adresného schématu. VLSM je jedním ze způsobů, jak přemostit propast mezi IPv4 a IPv6.

Velké OSPF sítě je vhodné rozdělovat do oblastí (areas) - sníží se výpočet SPF, menší routovací tabulky, snížení LSU (link-state update).

Základní oblast je Area 0, **Area border router** – Router, který je mezi oblastmi.

Ostatní oblasti musí být přímo propojené s Area 0. (pokud ne, tak musí být propojeny přes virtuální linku s Area 0)

Každý router má celou databázi (tabulku) topologie + databázi (tabulku) svých sousedů + routovací tabulku.

Metrika se počítá z počtu přeskoků, rychlosti linky a šířky pásma. Používá Dijkstrův algoritmus nejkratší cesty (náročný na výkon).

Po spuštění sítě si protokoly vyměňují pakety, aby zjistili sousedy.

Pokud dojde ke změně v síti, pošle se všude multicast o tom že došlo ke změně.

Každých 10s se posílá „Hello“ paket, který zjišťuje, zda je linka funkční, pokud zjistí, že je někde chyba tak počká ještě 40s kdyby to nebylo třeba kvůli rušení, jinak považuje linku za vypnutou.

Pak následuje přepočítání tras a router hledá cestu jinudy. O tomto však informuje i všechny své sousedící routery.

LSA se odesílá každých 30min nebo při změně – paket, který obsahuje informace o změně

Vybírá se taky **dosazovaný router (Designated Router; DR)**, který posílá ostatní informace o změnách (jen on), aby se nezahlucovala síť. Pro každou oblast se volí jeden DR.

Pro případ výpadku DR tam je ještě **BDR – Backup Designated Router**.

Když DR selže, tak BDR se stane DR a zvolí se nový BDR, pokud původní DR naběhne, tak se nestane automaticky DR (pouze až selže DR i BDR)

Pokud spadnou oba, volí se nový Designated router:

- Podle nastavené priority (0-255), většinou 1; když je výkonný dá se mu větší číslo; 0 – nemůže být zvolen
- Ten, který je nejbližší (nejvyšší IP adresa)
- Popřípadě podle MAC adresy

Cena linky pro OSPF

$$cost = \frac{100Mb}{bandwidth}$$

Výhody:

- Otevřený standard (lze doplňovat moduly – ne zdarma)
- Rychle konvergující (než se pošlou všechny informace routerům)
- Možnost členit velké oblasti na menší zóny

Nevýhody:

- Routery musí mít stejné parametry
- Velmi náročné na paměť a CPU

IS-IS – Interior Gateway Protocol, Link-state; Protokol ISO/OSI

Cisco; moc se nepoužívá.

BGP (Border Gateway Protocol) – Exterior Gateway Protocol, Path-vector

Dynamický směrovací protokol používaný pro směrování mezi autonomními systémy (AS). Je základem propojení sítí různých ISP (Internet service provider).

Směrování mezi autonomními systémy má charakteristické požadavky, které se nevyskytují v interním směrování.

Směrovací tabulky obsahují stovky tisíc záznamů, nejdůležitějším kritériem nebývá vzdálenost, ale posuzují se nastavitelné parametry zohledňující například cenu a dodatečná pravidla aplikovaná v závislosti na zdroji, cíli, seznamu tranzitních autonomních systémů a dalších atributech.

Vzhledem k velkému počtu záznamů se v případě změn v topologii vyměňují pouze informace o změnách, nikoliv celé směrovací tabulky jako je tomu v případě protokolu RIP.

Směrovací algoritmy využívají směrovací metriky k určení nejlepší cesty. Každý algoritmus interpretuje co je nejlepší svým vlastním způsobem. Směrovací algoritmy generují číslo nazvané metrická hodnota pro každou cestu skrz síť. Sofistikované algoritmy využívají k výpočtu tohoto čísla více metrik, které skládají do kompozitní metrické hodnoty. Menší metrická hodnota typicky značí lepší cestu.

Mezi nejběžnější metriky patří:

- **Šířka pásma**
 - Datová kapacita linky
 - Typicky je 10Mbps Ethernet preferován před 64kbps pronajatou linkou
- **Zpoždění**
 - Doba potřebná k pohybu paketu podél každé linky ze zdroje do cíle
 - Závisí na šířce pásma použitých linek, množství dat, které může být dočasně uloženo na každém směrovači, síťových zácpách a fyzické vzdálenosti
- **Počet přeskoků**
 - Počet routerů, skrze které paket musí projít, než dorazí k cíli
- **Cena**
 - Libovolná hodnota, která je přiřazena síťovým administrátorem
 - Obvykle je založená na šířce pásma, peněžní ceně, nebo ostatních měřeních