

PRACOVISTĚ:  
ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ  
PŘI FAKULTĚ INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

# Modelování OSPFv3 v prostředí OMNeT++

Autor:  
Vedoucí:  
Datum:

Jakub Mrázek  
Ing. Vladimír Veselý  
Srpen 2012

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>OSPF</b>	<b>3</b>
2.1	OSPFv2	3
2.2	SPF algoritmus	3
2.2.1	OSPF cena	4
2.3	OSPF oblasti a hraniční směrovače	4
2.4	Link-state Paket	4
2.5	Páteřní oblast (oblast 0)	4
2.6	Virtuální linka	5
2.7	Sousedé (Neighbors)	5
2.8	Sousedství (Adjacency)	5
2.8.1	Výběr DR směrovače	5
2.8.2	Ustanovení sousedství	6
2.8.3	Sousedství na point-to-point segmentu	6
2.8.4	Sousedství na non-broadcast multi-access segmentu	6
2.9	OSPF Sumarizace cest	6
2.10	Oblast Stub	6
<b>3</b>	<b>OSPFv3</b>	<b>8</b>
3.1	Linka	8
3.2	Sémantika adresy	8
3.3	Předávání LSA	8
3.4	Více instancí na lince	9
3.5	Linkové adresy	9
3.6	Autentizace	9
3.7	Formát paketu	9
3.8	Změny v LSA	10
3.9	Zacházení s neznámými typy LSA	11
3.10	Podpora <i>Stub/NSSA</i> oblasti	11
3.11	Identifikace sousedů podle <i>router ID</i>	11
3.12	Potlačení link LSA	11
<b>4</b>	<b>Závěr</b>	<b>12</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Složitost sítí a používaných technologií stále roste. Projekt OMNeT++ poskytuje vývojové a simulační prostředí pro diskrétní simulace sítí. Pro modelování lze použít některý z dostupných rozšíření, například framework INET, který se zaměřuje na TCP,UDP a IP sítě. Projekt ANSA na FIT VUT v Brně se zabývá rozšiřováním funkcionality INET, se snahou obsáhnout komplexní modely síťových zařízení, které by bylo možné využít pro formální analýzu sítí. Tato práce se zabývá modelováním protokolu OSPF pro IPV6 v prostředí omnet.

## Kapitola 2

# OSPF

V této kapitole budou vysvětleny principy používající OSPF verze 2 pro IPv4. Většina těchto technik je stejná v OSPF verze 3 pro IPv6. Změny, změny které jsou v OSPFv3 vysvětluje další kapitola 3.

### 2.1 OSPFv2

Open Shortest Path First (OSPF) protokol je definovaný v RFC 2328 [2]. Slouží k distribuci směrovacích informací uvnitř jednoho autonomního systému (Interior Gateway Protocol, IGP). OSPF je vysoce funkční směrovací protokol patřící do rodiny protokolů TCP/IP. Na rozdíl od staršího směrovacího protokolu RIP, který využívá pro určení počet směrovačů v cestě (distance-vector routing protocols) a cestu určuje algoritmem Bellman-Ford, OSPF využívá znalosti stavu linek v celé síti (link-state routing protocols) a cestu počítá Dijkstrovým algoritmem. Stav linek jsou informace z rozhraní směrovačů o stavu linky, ceně linky, IP adrese, ty informace jsou uloženy v link-state databázi. OSPF zavedlo nové vlastnosti jako ověřování směrovacích informací, proměnou délku podsítě (Variable Length Subnet Masks, VLSM), sumarizaci cest, rozdělení sítě do hierarchických částí, odesílání částí směrovacích informací a další.

### 2.2 SPF algoritmus

OSPF používá Shortest Path First algoritmus, kterým je vypočítána nejkratší cesta ke všem známým cílům. Nejkratší cesta je vypočítána Dijkstrovým algoritmem.

Přehled SPF algoritmu

- Po inicializaci nebo změně směrovacích informací, směrovač generuje link-state inzerci (advertisement). Inzerce obsahuje všechny linky připojené na tomto směrovači.
- Všechny směrovače odesílají link-state aktualizaci (update). Po obdržení aktualizace si směrovač uloží informace do své link-state databáze a po té šíří aktualizaci dalším směrovačům v síti.
- Po té co je upravena link-state databáze směrovač počítá cestu do všech sítí. Pro výpočet se používá Dijkstrův algoritmus pro určení nejkratší cesty ve stromu. IP adresa sítě spojená s cenou za její dosažení a příštím směrovačem (next hop) v cestě jsou uloženy do směrovací tabulky.

- Pokud nenastanou žádné změny, OSPF neodesílá žádné pakety. Pokud nastanou změny v síti, jsou odeslány prostřednictvím link-state paketů.
- Algoritmus klade každý směrovač do kořene stromu a provádí vlastní výpočet nejkratší cesty, a má tedy vlastní obraz topologie. Nicméně všechny cesty se budou směřovat stejným směrem, protože se schoduje link-state databáze.

### 2.2.1 OSPF cena

OSPF cena (cost, metric) je údaj, podle kterého se směrovač určuje cestu paketu. OSPF cena je nepřímě závislá na šířce pásma (rychlosti linky). Vzorec pro výpočet OSPF ceny je uveden ve vzorci 2.1.

$$cena = 100000000 / rychlost\_linky\_v\_bps \quad (2.1)$$

Cena linek v síti se postupně sčítá. Pokud do stejné sítě vedou dvě cesty se stejnou cenou, pakety směřující do této sítě budou rovnoměrně rozdělovány mezi obě cesty.

## 2.3 OSPF oblasti a hraniční směrovače

OSPF rozděluje síť hierarchicky do oblastí (areas). Směrovače v rámci jedné oblasti mají stejnou link-state databázi a vyměňují si informace pomocí link-state aktualizací. Oblast je specifická pro rozhraní směrovače. Směrovač, který spojuje oblasti (patří do více oblastí) se nazývá hraniční směrovač (area border router, ABR). Směrovač spojující protokol OSPF a jiné směrovací protokoly (např. RIP, BGP, IS-IS, EIGRP) se nazývá hraniční směrovač autonomního systému (autonomous system boundary router, ASBR).

## 2.4 Link-state Paket

Existují různé typy link-state paketů, které vysílají směrovače v různých pozicích.

- Router Links - Popisují stavy a ceny linek (rozhraní) v rámci oblasti (Intra-area).
- Network Links - Pocházejí z designated směrovače (DR) a obsahují informace o linkách na Multi-access segmentu sítě.
- Summary Links - Pocházejí z hraničního ABR směrovače šíří sumarizované informace z oblasti do jiné oblasti.
- External Links - Pocházejí z hraničního ASBR směrovače a obsahují informace z jiných protokolů nebo staticky zadané.

## 2.5 Páteřní oblast (oblast 0)

Pokud je v OSPF použito více oblastí, jedna z těchto oblastí musí být oblast 0 (páteřní, backbone). Do této oblasti musí být připojeny všechny oblasti. Všechny ostatní oblasti předávají do páteřní své směrovací informace (pakety Summary links) a páteřní oblast předává informace ze všech oblastí do jednotlivých oblastí stejným způsobem.

## 2.6 Virtuální linka

Virtuální linka lze zkonstruovat prostorem jedné oblasti. Linka se konstruuje mezi dvěma směrovači ABR, přičemž musí být alespoň jeden z nich připojen k páteřní oblasti. Používá se pouze ve výjimečných případech (např. dočasné zprovoznění sítě při poruše). Lze použít ve dvou případech:

- Připojení oblasti, která není fyzicky připojena k páteřní oblasti, přes jinou oblast, která je připojena páteřní oblasti.
- Propojení nespojitě páteřní oblasti přes jinou oblast.

## 2.7 Sousedé (Neighbors)

Směrovače, které sdílejí segment sítě jsou sousedy na segmentu. Sousedství se navazuje pomocí Hello protokolu. Každý směrovač odesílá hello pakety pomocí IP multicastu. Pokud směrovač obdrží hello paket z jiného směrovače, začne ve svém hello paketu odesílat informace o tomto směrovači. Když směrovač nalezne v cizím hello paketu svou identifikaci je sousedství navázáno.

Sousedy se směrovače nemohou stát pokud:

- Na nich neběží stejná instance protokolu OSPF.
- Nejsou ve stejné oblasti.
- Hello interval není stejně dlouhý. Interval po kterém je odeslán další hello paket.
- Dead interval není stejně dlouhý. Interval po kterém, pokud po jeho dobu nepříjde další hello paket, je sousedství ztraceno.
- Vlajka Stub oblasti není shodná. Stub oblast je vysvětlena dále.

## 2.8 Sousedství (Adjacency)

Sousedství je dalším krokem po zjištění existence souseda. Směrovače po zjištění souseda, určují designated směrovač (DR) a záložní směrovač (backup designated router, BDR) na multi-access segmentu sítě (např ethernet). Centralizace předávání dat, směrovače nemusí komunikovat každý s každým ( $n \times n$  spojení), ale komunikuje pouze jeden se všemi ( $n \times 1$  spojení), tím se šetří přenosové pásmo i rychlost konvergence OSPF protokolu. Pro zamezení výpadku DR směrovače, je stanoven BDR směrovač, který poslouchá a vytváří si stejnou databázi a při výpadku DR se BDR stává DR a komunikuje s ostatními směrovači.

### 2.8.1 Výběr DR směrovače

Jako DR směrovač je nastaven směrovač s největší OSPF prioritou, při nerozhodném výsledku se určuje podle router-ID. BDR je určen směrovač s druhou největší prioritou (router-ID). Výchozí priorita je jedna. V případě, že nechceme aby se směrovač mohl stát DR (BDR) nastavíme prioritu nula.

### 2.8.2 Ustanovení sousedství

Směrovače, které mezi sebou určují sousedství, prochází několika stavy. Po dokončení budou mít schodné link-state databáze.

- Down - Směrovač neobdržel žádné informace ze segmentu.
- Attempt - Na non-broadcast multi-access segmentech označuje, že od souseda nebyly přijaty nové informace. Pokouší se kontaktovat souseda zvýšením frekvence odesílání hello paketů.
- Init - Rozhraní přicházejí informace od souseda, ale obousměrná komunikace nebyla stanovena.
- Two-way - Existuje obousměrná komunikace se sousedem (směrovač viděl sebe v hello paketu). Volby DR, BDR byly provedeny. Na konci fáze se směrovač rozhoduje jestli pokračuje v ustanovování sousedství (DR) nebo ne (point-to-point spojení).
- Exstart - Vytvářejí pořadového čísla pro zajištění aktuálních směrovacích informací.
- Exchange - Směrovač odešle svůj link-state databáze popisující paket (link-state database description paket).
- Loading - Směrovač si vybudoval link-state dotaz (request) na jemu zastaralé neúplné informace, odeslal jej a čeká na odpověď.
- Full - sousedství je stanoveno, informace vyměněny, směrovače mají stejné link-state databáze.

### 2.8.3 Sousedství na point-to-point segmentu

Směrovače budou tvořit vždy sousedství, nevolí DR, BDR.

### 2.8.4 Sousedství na non-broadcast multi-access segmentu

Na multi-access segmentu musí vždy DR (BDR) směrovač mít plnou konektivitu se všemi směrovači na segmentu. Směrovače, které takovouto konektivitu nemají je třeba nastavit s OSPF prioritou nulovou aby nemohli být DR (BDR) a nenastala tak chyba v konvergenci.

## 2.9 OSPF Sumarizace cest

Pro zmenšení objemu přenášených dat můžeme využít sumarizaci cest. Lze využít na hraničních směrovačích, můžeme místo několika sítí nastavit jednu cestu pro síť obsahující menší sítě. V OSPF můžeme sumarizovat při přechodu z oblasti do oblasti (inter-area route sumarization). Nebo při zavádění externích cest (external route sumarization).

## 2.10 Oblast Stub

OSPF umožňuje nakonfigurovat oblast jako stub, tato oblast nezná žádné informace o směrování v jiných oblastech a má nastavenou pouze výchozí bránu do páteřní oblasti. V případě propojení sítě s více směrovači do jiných oblastí, paket nemůže jít optimální cestou, protože musí projít přes odchozí směrovač stanoven výchozí bránou. Přes stub oblast

nemůže být konfigurována virtuální linka. Všechny směrovače oblasti musí být konfigurovány jako stub, protože hello paket obsahuje informace o stub oblasti, a pokud by informace nebyla stejná, směrovači nedokážou ustanovit sousedství.



## Kapitola 3

# OSPFv3

Nová verze 3 protokolu OSPF vznikla pro IPv6 a je definována v RFC 5340 [1]. V OSPFv3 byla zachována většina algoritmů, ale některé změny musely být upraveny, kvůli pozměněné funkčnosti v IPv6 nebo jen kvůli délce adres v tomto protokolu, která se změnila ze 32 bitů na 128 bitů.

### 3.1 Linka

V IPv6 lze jednomu rozhraní přiřadit více adres IPv6, zatím co v IPv4 každé rozhraní mělo jednu adresu. Když v IPv4 komunikovali zařízení přes médium po linkové vrstvě musely být v jedné síti, v IPv6 mohou zařízení komunikovat ve více sítích (oba směrovače jsou ve stejných sítích) přes médium nad linkovou vrstvou, proto se označuje, že zařízení komunikují po lince (per-link), zatím co v IPv4 bylo označováno, že zařízení komunikují po podsíti (per-subnet).

### 3.2 Sémantika adresy

V OSPFv2 obsahovaly pakety adresové informace, v OSPFv3 jsou všechny adresové informace předávány LSA pakety. Pakety opouštějící směrovač jsou nezávislé na typu jádra protokolu (IPv4/IPv6).

- IPv6 adresy se objevují jen v *Link State Advertisements* (LSA) paketech.
- *Router-LSA* a *network-LSA* obsahují síťové adresy, pro zjednodušení vyjádření topologie sítě.
- OSPF *Router ID*, *Area ID*, a *LSA ID Link State* zůstávají na původní velikosti IPv4 (32 bitů).
- Sousední směrovače jsou vždy označovány *router ID*, v OSPFv2 byly označovány IPv4 adresou odchozího rozhraní.

### 3.3 Předávání LSA

V OSPFv3 jsou tři hranice předávání LSA.

- LSA je předáván na lokální lince, pro navázání nového spojení.

- LSA je předávané v rámci jedné oblasti (část směrovací domény).
- LSA je předávané do celé směrovací domény, předávání provádí směrovače na krajích oblastí (ASBR).

### 3.4 Více instancí na lince

V OSPFv3 lze jednu linku přiřadit do více spuštěných instancí OSPF. Tato podpora vznikla z důvodu potřeby překrytí jedné a více linek do více instancí, tyto linky pro jednotlivé instance jsou společné, ale ostatní části sítě se v obou instancích nespojují.

### 3.5 Linkové adresy

Rozhraní na jedné lince v IPv6 si automaticky konfiguruje lokální linkovou adresu (*link-local address*). Tato adresa se použije pro navázání spojení se sousedem. Linková adresa v IPv6 má prefix FE80/10 a není nesměrována na směrovačích. Směrovače při odesílání paketů nastavují jako zdrojovou adresu svou linkovou adresu na odchozím rozhraní. Výjimku tvoří virtuální rozhraní, která používají globální IPv6 adresu. Směrovač se učí linkové adresy všech ostatních směrovačů a používá je pro určení dalšího skoku.

### 3.6 Autentizace

V OSPFv3 byla odstraněna autentizace. Autentizaci zajišťuje protokol IPv6.

### 3.7 Formát paketu

OSPFv3 běží nad protokolem IPv6. Všechna adresová sémantika byla odstraněna z OSPF hlavičky. Adresové informace jsou přenášeny pouze v LSA paketech.

- Číslo verze protokolu bylo zvýšeno ze dvou na tři.
- V paketech *Hello* a *Database Description* bylo zvětšeno políčko volby (Option) na 24 bitů.
- Políčko autentizace a políčko typ autentizace byla odstraněna.
- *Hello* paket neobsahuje adresové informace. Paket obsahuje *interfaces-ID* (rozhraní ID), které jedinečně označuje směrovač na lince. *Interfaces-ID* je použito pro *link-state ID* v *network-LSA* pokud je směrovač *Designated Router* na lince.
- Byly přidány dva bity R-bit a V6-bit do políčka volby. V6-bit specializuje R-bit.
  - R-bit je nulový, OSPF směrovač může distribuovat topologii bez toho, aby předával tranzitní komunikaci.
  - V6-bit je nulový, OSPF směrovač může distribuovat topologii bez toho, aby předával IPv6 pakety.
  - R-bit je nastaven a V6 bit je nulový, OSPF směrovač nesmí předávat dále IPv6 pakety, ale může předávat pakety jiných protokolů.

- OSPFv3 paket obsahuje *Instance ID*, sloužící pro označení běhu více instancí OSPF na jedné lince.

### 3.8 Změny v LSA

V OSPFv3 neobsahují hlavičky OSPF v *router-LSA* a *network-LSA* žádné informace o směrování. Popisují tak síť více nezávislým způsobem. Byly přidány nové informace pro určení následujícího směrovače. Jména IPv4 LSA byla upravena tak aby odpovídala i jiným protokolům (IPv6).

- Políčko volby bylo odstraněno z OSPF hlavičky. Políčko volby bylo přidáno do těla *router-LSA*, *network-LSA*, *inter-area-router-LSA*, a *link-LSA*.
- V OSPF hlavičce bylo pole typ LSA rozšířeno na 16 bitů (použito místo po poli volby). Nejvyšší tři bity určují rozsah přeposílání a zacházení s neznámými typy LSA.
- Adresy v LSA jsou vyjádřeny jako prefix sítě a délka prefixu (místo adresy a masky sítě). Výchozí brána je prefix s délkou nula.
- *Router-LSA* a *network-LSA* nemají žádné adresové informace jsou tak protokolově nezávislé.
- Směrovač rozhraní informace můžou být rozděleny do více *router-LSA*. Směrovač příchozí *router-LSA* musí nejdříve pospojovat a pak předat směrovači, který provede SPF výpočet.
- Nová zpráva LSA byla zavedena *link-LSA*. Zpráva je předávaná pouze na lince.
  - Informuje směrovač o linkových adresách ostatních směrovačů.
  - Informuje odstaní směrovače, jaké prefixy adres jsou přiřazeny na lince.
  - Umožňuje předávat informace o nastavení bitů voleb pro linku.
- V IPv4 při odesílání *router-LSA* je použita IPv4 adresa dalšího rozhraní, tato adresa je ekvivalentní linkové adrese v IPv6 (není třeba využívat globální adresy, paket nepřekračuje linku). Při sestavování OSPF sousedství posíláním *hello* paketů (zjištění linkové adresy souseda), může nastat problém v sítích *NBMA*, kde musí být ustaven *Designated router* (DR), který dokáže navázat sousedství se všemi okolními směrovači.
- V poli volby LSA paketu je použit logický OR, tak že každý směrovač odesílá *link-LSA*.
- Typ 3 *summary-LSA* je v OSPFv3 označován jako *inter-area-prefix-LSA*. A typ 4 *summary-LSA* je označován jako *inter-area-router-LSA*.
- *Link state ID* v *inter-area-prefix-LSA*, *inter-area-router-LSA*, *NSSA-LSA*, a *AS-external-LSA* již nepřenáší adresní informace. Slouží k identifikaci jednotlivých položek v *link-state-database*.
- V *network-LSA* a *link-LSA* nese *link-state ID* další význam. V těchto zprávách LSA Link-state-ID popisuje rozhraní směrovače. Network-LSA nese seznam všech směrovačů, které jsou připojeny na linku. Link-LSA přenáší seznam všech adres směrovačů připojených na linku.

- Nový typ LSA byl zaveden *intra-area-prefix-LSA*. Nese informace o všech IPv6 prefixech sítí, které jsou v IPv4 zahrnuty v *router-LSA* a *network-LSA*.
- Adresa pro přeposlání nebo externí směrovací označení je nyní přidáno v *AS-router-LSA* jako volba. Lze se odkazovat na další LSA pro přidání informací o cestě která není zahrnuta v OSPF.

### 3.9 Zacházení s neznámými typy LSA

Zavedením specifického chování směrovačů s neznámými typy LSA, je zaručena lepší přizpůsobivost protokolu. Pakety s neznámými typy LSA mohou být odeslány v linkovém rozsahu a nebo mohou být zpracovány a přeposlány dále jako kdyby byl pochopen jejich obsah. K rozlišení zacházení paketu souží U-bit v hlavičce paketu. Tato vlastnost umožňuje propojit směrovače s plně implementovanou funkcí s jinými směrovači, které mají omezenou funkčnost.

Zavedení této vlastnosti ale umožňuje neřízený růst *link-state-database* v *stub* oblasti. OSPFv3 směrovače přeposílají do *stub* a *NSSA* oblastí zprávy LSA, jen když LSA typ je rozpoznán a U-bit nastaven na 1.

### 3.10 Podpora *Stub/NSSA* oblastí

V OSPFv2 byly tyto oblasti zavedeny pro snížení zpracovávaných informací ve velmi rozsáhlých sítích (zmenšení *link-state-database* a směrovacích tabulek). V OSPFv3 tato funkcionality byla zachována. V OSPFv3 mohou chodit ve *stub* oblasti pouze zprávy *router-LSA*, *network-LSA*, *inter-area-prefix-LSA*, *link-LSA*, a *intra-area-prefix-LSA*. V *NSSA* oblasti je navíc zpráva *NSSA-LSA*.

### 3.11 Identifikace sousedů podle *router ID*

V OSPFv3 je pro identifikaci sousedů použito vždy *router ID* (označení formou IPv4 adresy). V OSPFv2 bylo také použito *router ID* ale ne v případech na NBMA a point to multi-point sítích, kde se používala adresa rozhraní. Tato změna má vliv na příjem paketů, vyhledávání sousedů a příjem *hello* paketů. *Router ID* 0.0.0.0 je vyhrazeno a nesmí se používat.

### 3.12 Potlačení link LSA

Pokud je tato vlastnost nastavena na rozhraní a linka není broadcast nebo NBMA, vznik spojení *link-LSA* bude potlačeno.

## Kapitola 4

# Závěr

Tato práce se zabývá detaily protokolu OSPF, především jeho verzí pro IPv6. V rámci této práce vzniklo rozšíření pro framework INET, který je použitelný v simulačním prostředí OMNeT++.

Tato práce vznikla v rámci projektu ANSA výzkumné skupiny Nes@FIT, dále vznikla za podpory projektu MŠMT CZ.1.07/2.3.00/09.0067 TeamIT - Budování konkurenceschopných výzkumných týmů pro IT.

# Literatura

- [1] Coltun, R.; Ferguson, D.; Moy, J.; aj.: OSPF for IPv6, RFC 5340. July 2008.
- [2] Moy, J.: OSPF version 2, RFC 2328. April 1998.