

**Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií**

**Vliv parametrů časovačů OSPF na konvergenci sítě
Diplomová práce**

Autor: Bc. Petr Slezák
Studijní obor: Aplikovaná informatika (ai2)

Vedoucí práce: Mgr. Josef Horálek Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně (pod vedením vedoucího diplomové práce) a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne

Petr Slezák

Anotace

Cílem diplomové práce je podrobně zmapovat konfiguraci povinných a volitelných parametrů směrovacího protokolu OSPF s důrazem na časovače a jejich vliv na konvergenci sítě. Konkrétně se jedná o parametry Hello a Dead interval, SPF Delay a Holdtime, Minimum LSA interval a Arrival a změna hodnoty MTU. V teoretické části jsou podrobně představeny principy a konfigurace protokolu OSPF pro jednu a více oblastí a podrobně popsány a vysvětleny jednotlivé parametry OSPF. V praktické části je navržena kruhová topologie s jednou oblastí a páteří s více oblastmi. Na daných topologiích byla sledována doba konvergence celé sítě a vyhodnoceno, jak vysoký vliv mají jednotlivé parametry na rychlost konvergence.

Annotation

Title: Effect parameters timers of OSPF network convergence

The aim of Diploma Thesis is configuration in detail of mandatory and optional OSPF routing parameters with emphasis on timers and their influence on network convergence. Specifically, there are these parameters: Hello and Dead interval, SPF Delay and Holdtime, Minimum LSA interval and Arrival and change value of MTU. In theoretical part OSPF principles and configuration are presented in detail for one or more areas and OSPF parameters are described and explained in detail. In practical part there is designed circular topology with one area and backbone with multiarea. In these topologies there was monitored time of network convergence and evaluate measure of impact of each parameter on the convergence.

Obsah

SEZNAM ZKRATEK	1
1. ÚVOD	2
2. ÚVOD DO OSPF	3
2.1. PŘEDSTAVENÍ OSPF A JEJICH VERZE.....	3
2.2. DATOVÁ STRUKTURA OSPF.....	5
2.3. NALEZENÍ NEJKRATŠÍ CESTY.....	9
2.3.1. DIJKSTRŮV ALGORITMUS	9
2.3.2. METRIKA A JEJÍ VÝPOČET	10
2.4. KONFIGURACE OSPF	11
2.4.1. KONFIGURACE OSPF PRO JEDNU OBLAST	11
2.4.2. KONFIGURACE OSPF PRO VÍCE OBLASTÍ	14
3. KONVERGENCE OSPF.....	16
3.1. CO TO JE KONVERGENCE SÍŤE	16
3.1.1. TYPY ROLÍ SMĚROVAČŮ V OSPF.....	16
3.1.2. TYPY LSA PAKETŮ PRO AKTUALIZACI SÍŤE.....	17
3.1.3. OSTATNÍ TYPY OSPF PAKETŮ	19
3.2. PRŮBĚH KONVERGENCE SÍŤE	22
3.2.1. NASTAVENÍ ID SMĚROVAČE	22
3.2.2. PŘIDÁNÍ ROZHRAŇÍ A ZPRÁVY HELLO	23
3.2.3. URČENÍ VZTAHU MASTER – SLAVE.....	23
3.2.4. VÝBĚR DR A BDR SMĚROVAČE	24
3.2.5. DIAGRAM KONVERGENCE SÍŤE	24
4. PARAMETRY PRO OPTIMALIZACI KONVERGENCE SÍŤE.....	26
4.1. NASTAVENÍ INTERVALŮ ČASOVAČŮ	27
4.1.1. HELLO A DEAD INTERVAL.....	27
4.1.2. SPF DELAY A HOLDDTIME	28
4.1.3. MINIMUM LSA INTERVAL A MINIMUM LSA ARRIVAL.....	28
4.2. MTU – MAXIMUM TRANSMISSION UNIT	29
4.2.1. PROBLÉM PŘI IGNOROVÁNÍ MTU.....	30
4.3. OSTATNÍ VOLITELNÉ PARAMETRY	30
4.3.1. ZMĚNA PRIORITY	30
4.3.2. MAX LIMIT LSA.....	31
5. KONFIGURACE PRO TESTOVÁNÍ PARAMETRŮ	33
5.1. KONFIGURACE TOPOLOGIE PRO JEDNU OBLAST	34
5.2. KONFIGURACE TOPOLOGIE PRO VÍCE OBLASTÍ	37

6. TESTOVÁNÍ ČASOVAČŮ PRO KONVERGENCI SÍŤE.....	41
6.1. TESTY KONVERGENCE SÍŤE PRO JEDNU OBLAST	41
6.1.1. DOBA KONVERGENCE MEZI SOUSEDY	42
6.1.2. DOBA VÝPOČTU ZMĚNY TRASY BĚHEM PŘENOSU.....	43
6.1.3. DOBA ÚSPĚŠNÉHO ODESÍLÁNÍ DAT PŘI OBNOVENÍ ROZHRAŇÍ	45
6.2. TESTY KONVERGENCE SÍŤE PRO VÍCE OBLASTÍ.....	46
6.2.1. DOBA KONVERGENCE MEZI SOUSEDY	46
6.2.2. DOBA VÝPOČTU ZMĚNY TRASY BĚHEM PŘENOSU.....	47
6.2.3. DOBA ÚSPĚŠNÉHO ODESÍLÁNÍ DAT PŘI OBNOVENÍ ROZHRAŇÍ	48
6.2.4. DOBA ÚSPĚŠNÉHO ODESÍLÁNÍ DAT PŘI OBNOVENÍ ABR SMĚROVAČE.....	49
7. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ TESTŮ DOBY KONVERGENCE SÍŤE.....	51
7.1. ZÁKLADY POPISNÉ STATISTIKY	51
7.2. VYHODNOCENÍ DOBY KONVERGENCE MEZI SOUSEDY	53
7.3. VYHODNOCENÍ DOBY VÝPOČTU ZMĚNY TRASY.....	54
7.4. VYHODNOCENÍ DOBY ÚSPĚŠNÉHO ODESÍLÁNÍ DAT PO OBNOVĚ ROZHRAŇÍ.....	56
7.5. VYHODNOCENÍ DOBY ÚSPĚŠNÉHO ODESÍLÁNÍ DAT PŘI OBNOVENÍ ABR SMĚROVAČE	57
7.6. TABULKA VLIVU PARAMETRŮ PRO KONVERGENCI SÍŤE	59
8. OPTIMÁLNÍ KONFIGURACE ČASOVAČŮ PRO MAXIMÁLNÍ EFEKTIVNOST KONVERGENCE SÍŤE	60
9. ZÁVĚR.....	61
SEZNAM OBRÁZKŮ	63
SEZNAM TABULEK	64
ZDROJE	65

Seznam zkratek

ABR	–	Area Border Router
BDR	–	Backup Designated Router
DBD	–	Database Description
DR	–	Designater Roudet
IA	–	Inter-Area
LSA	–	Link State Advertisement
LSACK	–	Link State Acknowledgement
LSR	–	Link State Request
LSU	–	Link State Update
MTU	–	Maximum Transmission Unit
OSPF	–	Open Shortest Path First
RID	–	Router Identification
SPF	–	Shortest Path First

1. Úvod

V současné době střední a velké firmy využívají pro chod velkou síťovou infrastrukturu a jsou na ni víceméně závislí. Je vyžadována velká spolehlivost a rychlost dostupnosti sítě a při náhlých výpadcích je nutné, aby bylo síťové připojení obnoveno v co nejkratší dobu. Proto je důležité při tvorbě síťové topologie velmi dobře zvážit, jakou technologii zvolit, popřípadě jaký vybrat směrovací protokol, který bude pro danou topologii spolehlivý a rychlý. Existují různé směrovací protokoly, ale pro požadavky rychlé dostupnosti sítě a spolehlivosti při směrování se jeví protokol OSPF jako vhodné řešení. Jeho hlavní předností je, že je to linkovací protokol, který reaguje velice rychle na změnu stavu linky. Pro rychlé a spolehlivé fungování si udržuje následující tabulky.

- Tabulka sousedů – Obsahuje záznamy směrovačů, se kterými je připojen.
- Topologická tabulka – Obsahuje kompletní mapu sítě.
- Směrovací tabulka – Obsahuje nejkratší cesty ke všem směrovačům v síti.

Tato práce je zaměřena na to, jak probíhá naplnění jednotlivých tabulek protokolu OSPF, poté jak dlouho probíhá kompletní konvergence sítě neboli, jak dlouho trvá OSPF protokolu, než naplní svoje tabulky, aby je měl aktuální. Je podrobně vysvětlena komunikace pomocí Hello paketů mezi sousedy, pravidelné odesílání LSA – Link-state Advertisement paketů, které slouží pro pravidelnou aktualizaci tabulek, jaké jsou typy LSA paketů a jednotlivé kroky samotné konvergence sítě, než se směrovače přepnou do stavu FULL a díky tomu jsou připraveni odesílat a přijímat data.

Dále jsou popsány a vysvětleny jednotlivé povinné a volitelné parametry, převážně časovače, které úzce souvisí se samotnou konvergencí. Jsou zmíněny například Hello a Dead intervaly, časovače pro výpočet nejkratší cesty neboli SPF časovače. Intervaly pro zpracování příchozích LSA paketů a doba zpoždění pro zpracování následujících paketů nebo taky změna hodnoty maximální přenosové rychlosti – MTU.

V praktické části jsou tyto parametry otestovány na dvou topologiích sítě a je změřena doba konvergence sítě při jejich změně nastavení. Cílem je zjistit, jak vysoký mají vliv na rychlost aktualizace tabulek například při změně topologie sítě. Na konci jsou tyto testy vyhodnoceny na jednotlivých parametrech a vše je shrnuto v samotném závěru.

2. Úvod do OSPF

2.1. Představení OSPF a jejich verze

Open Shortest Path First, zkráceně OSPF, je směrovací protokol, který je implementován v různých směrovačích včetně směrovačů od společnosti Cisco [1]. Jak uvádí (EL-SAYED, Ayman a Ahmed ABO-GHAZALA. *Optimizing Weights of Open Shortest Path First (Ospf)*. Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. ISBN 9783846520420.), vývoj automatického systému OSPF začal v roce 1988, který by poskytl vysokou funkčnost pro uživatele v TCP/IP odvětví. Nazývá se IGP – Internal Gateway Protocol, do kterého spadá OSPF a v roce 1991 bylo navrženo a schváleno, aby se stal standardem ve směrovacím odvětví.

Protokol OSPF funguje na principu Link-state protokolu. Směrovač si zaznamenává mapu celé sítě, která se označuje jako topologická databáze. Také vybírá nejkratší cestu do všech cílových sítí v topologii. Svoje záznamy neaktualizuje v pravidelných intervalech, ale když nastane změna v topologii.

Tento princip fungování je založen a Dijkstrově algoritmu. Vytvoří si strom nejkratších cest a poté si zaznamená do směrovací tabulky nejkratší trasy k cílovým směrovačům.

Základní funkce OSPF [38]:

- Rozdělení sítě na autonomní oblasti
- Škálovatelnost
- Minimální provoz pro aktualizace
- Omezený počet přeskoků
- Možnost využití i u jiných dodavatelů než Cisco

Podrobnější princip fungování Link-state technologie v OSPF protokolu by se dal rozdělit na 3 hlavní funkce. Nejprve protokol zjišťuje, se kterými sousedy je směrovač připojen. Najde nejbližšího souseda a vymění si s ním všechny potřebné informace pro směrování v síti. Pošle Hello paket, který obsahuje informace uložené v tabulce sousedů (Neighbor table).

Druhá funkce je, že směrovače si mezi sebou vyměňují informace o topologii sítě, aby měly aktuální strukturu. Ta je uložena v topologické tabulce, která obsahuje tyto informace:

- Link ID
- ADV Router
- Age
- Sequence number
- Checksum
- Link
- Count

Poslední funkcí je, že směrovač analyzuje topologii a vybere tu nejoptimálnější cestu ke směrovači, po které bude pakety odesílat a uloží ji do směrovací tabulky. Obsahuje trasu ke každému cílovému směrovači. Výpočet nové trasy je početně náročný proces, proto se provádí výpočet jen minimálně, například když na jedné lince jsou vysoké výkyvy nebo samotná linka vypadává [10].

OSPF představuje mnoho vylepšení oproti například směrovacímu protokolu RIP:

- Aktualizace topologické tabulky při změně v síti. Díky tomu zajišťuje lepší přístupnost šířky pásma.
- Konvergence je rychlejší než u protokolu RIP, protože změny se provádí okamžitě.
- Zajišťuje Load balancing, pro optimální vyváženost sítě. Rozhoduje se podle aktuální ceny (cost) linky.
- Nabízí logickou strukturu sítě rozdělenou na jednotlivé oblasti (Area). Tím se omezí přetížení sítě, kvůli aktualizacím tabulek.
- Umožňuje provádět síťový přenos s externími směrovači injektované do autonomního systému OSPF.

V současné době se používá OSPF v2 pro IPv4 a OSPF v3 pro IPv6. Verze 1 sloužila jako koncept a nikdy se nedostala do oběhu. Nejprve byla verze 1 vyvinuta pro operační systém Linux. Další variantou bylo rozšíření procesu s názvem GATED. Po dostatečných úpravách vznikla v roce 1991 verze 2 a stala se standardem pro směrování podle stavu linky.

Vývoj počítačových sítí jde stále dopředu. Bylo potřeba zareagovat na adresování sítě IPv6, proto v roce 1999 vznikla nová verze 3, která využívá pro směrování IPv6. Princip

fungování obou verzí je velice obdobný, přesto existují rozdíly, které prezentuje následující tabulka.

Popis	OSPFv2	OSPFv3
Směrovací protokol	IPv4	IPv6
Propagace síťových adres v rámci oblastí	Ne	Ano
Adresy pro odeslání informací	Vlastní	Vlastní
Konfigurace	Standardní	Odlišná
Unicastové směrování	Automaticky	Musí se aktivovat
Podpora autentifikace	Téměř žádná	Autentifikace IPv6

Tabulka 1: Rozdíly OSPFv2 a OSPFv3.

2.2. Datová struktura OSPF

Protokol OSPF se dá použít i na jiné směrovače než jen od firmy Cisco. Stejně jako jiné směrovací protokoly, tak i OSPF ukládá potřebné informace pro směrování do různých databází a neustále je udržuje aktualizované. Pro pochopení protokolu OSPF jsou zavedeny následující pojmy [1]:

- Linka
- ID směrovače
- Sousedí
- Přilehlost
- Hello protokol
- Databáze sousedů
- Databáze stavu linky (topologická)
- Směrovací databáze
- Paket LSA
- Oblasti OSPF

Linka

Je to označení pro rozhraní sítě, které má přiřazeno libovolnou síť. Po přidání protokolu OSPF k rozhraní je v té chvíli považován za linku. K dané lince souvisí stavové informace a IP adresy.

ID směrovače

Je to IP adresa, která identifikuje směrovač. V Cisco směrovačích se vybírá nevyšší IP adresa nastavena v rozhraní loopback daného směrovače. Pokud není nakonfigurována, v OSPF je vybrána nejvyšší hodnota IP adresy z aktivních rozhraní.

Sousedí

Označují dva nebo více směrovačů, které mají rozhraní ve stejné síti jako například dva směrovače propojené sériovým spojením.

Přilehlost

Přilehlost neboli Adjacency umožňuje přímou výměnu informací mezi směrovači. OSPF sdílí svoje trasy pouze se svými sousedy, které mají mezi sebou vztah přilehlosti.

Hello protokol

Slouží pro zjišťování nových sousedů a udržování aktuálních informací mezi nimi. Součástí protokolu jsou Hello a LSA pakety, které vytvářejí a udržují topologickou databázi. Níže je tabulka s informacemi, které jsou obsaženy v Hello paketu [11].

Název parametru	Popis
Version: 2	Verze OSPF protokolu.
Type: Hello	Typ paketu, který odesílá směrovač.
Packet length: 48 [bytes]	Velikost paketu.
Router ID: 192.168.1.1	Identifikační číslo směrovače.
Area ID: 0.0.0.0	Identifikační číslo oblasti.
Checksum	Kontrolní součet celého obsahu.
Autype	Typ ověřování.
Authentication	64-bit ověřovací kód podle schématu.
Network mask	Maska sítě.
Hellointerval: 10	Interval pro znovu odeslání Hello paketu.
Router Priority: 1	Priorita směrovače.
Router Deadinterval: 40	Doba pro určení, zda již směrovač není přítomen v topologii.
DR router	IP adresa DR směrovače.
BDR router	IP adresa BDR směrovače.
Neighbor: 192.168.1.2	IP adresa souseda, se kterým si mění informace.

Tabulka 2: Informace, které si směrovač vymění se sousedem.

Databáze sousedů

V této databázi má směrovač uloženy informace o všech sousedech, se kterými je připojen. V prvním kroku přes aktivní rozhraní směrovač pošle Hello paket s informacemi o sobě, aby vyhledal sousedy. Pokud takový soused existuje, odpoví odesláním Hello paketu [2]. Informace doručené od souseda má směrovač uložené v tabulce sousedů. Tabulka se dá zobrazit příkazem **show ip ospf neighbor**.

The neighbor table records all OSPF-speaking neighbors.

```
Monet#show ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.30.70	1	FULL/DR	00:00:34	192.168.17.73	Ethernet0
192.168.30.254	1	FULL/DR	00:00:34	192.168.32.2	Ethernet1
192.168.30.70	1	FULL/BDR	00:00:34	192.168.32.4	Ethernet1
192.168.30.30	1	FULL/ -	00:00:33	192.168.17.50	Serial0.23
192.168.30.10	1	FULL/ -	00:00:32	192.168.17.9	Serial1
192.168.30.68	1	FULL/ -	00:00:39	192.168.21.134	Serial2.824
192.168.30.18	1	FULL/ -	00:00:30	192.168.21.142	Serial2.826
192.168.30.78	1	FULL/ -	00:00:36	192.168.21.170	Serial2.836

Obrázek 1: Příklad tabulky sousedů OSPF. Převzato z [7]

Databáze stavu linky (topologická)

Po nalezení sousedů si směrovače vymění informace o topologii, které jsou uloženy v topologické databázi. Každý směrovač využívající protokol OSPF odesílá topologické informace, aby všechny směrovače měly aktuální informace o topologii sítě. Každý směrovač má stejnou topologickou tabulku v rámci oblasti. Topologická tabulka zahrnuje níže uvedené informace, které se dají zobrazit příkazem **show ip ospf database**.

- Existence a identifikace každého směrovače.
- Rozhraní, IP adresa, maska sítě a podsítě.
- Seznam směrovačů, které jsou dosažitelné každým směrovačem v daném rozhraní.

```
R1# show ip ospf database
```

OSPF Router with ID (10.0.0.11) (Process ID 1)

Router Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
10.0.0.11	10.0.0.11	548	0x80000002	0x00401A	1
10.0.0.12	10.0.0.12	549	0x80000004	0x003A1B	1
100.100.100.100	100.100.100.100	548	0x800002D7	0x00EEA9	2

Net Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
172.31.1.3	100.100.100.100	549	0x80000001	0x004EC9

Summary Net Link States (Area 0)

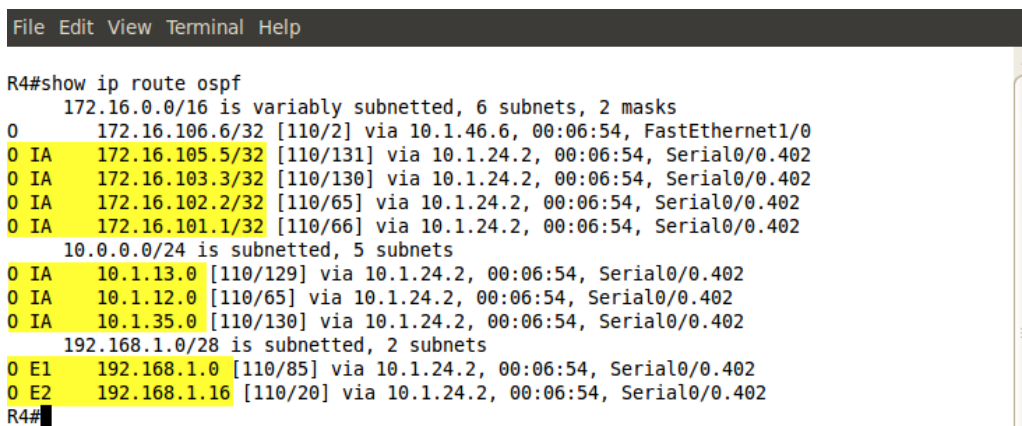
Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
10.1.0.0	10.0.0.11	654	0x80000001	0x00FB11
10.1.0.0	10.0.0.12	601	0x80000001	0x00F516

<output omitted>

Obrázek 2: Příklad topologické tabulky OSPF. Převzato z [8]

Směrovací databáze

Poslední informace, které směrovač uchovává, jsou nejkratší cesty ke všem směrovačům, které jsou uloženy ve směrovací tabulce. Pro nalezení nejkratších cest využívá topologické informace a po výpočtu ceny přes každé aktivní rozhraní nalezne nejkratší cestu pomocí Dijkstrova algoritmu. Výpis směrovacích cest se dá zobrazit pomocí **show ip route**.



```
File Edit View Terminal Help
R4#show ip route ospf
 172.16.0.0/16 is variably subnetted, 6 subnets, 2 masks
0       172.16.106.6/32 [110/2] via 10.1.46.6, 00:06:54, FastEthernet1/0
0 IA    172.16.105.5/32 [110/131] via 10.1.24.2, 00:06:54, Serial0/0.402
0 IA    172.16.103.3/32 [110/130] via 10.1.24.2, 00:06:54, Serial0/0.402
0 IA    172.16.102.2/32 [110/65] via 10.1.24.2, 00:06:54, Serial0/0.402
0 IA    172.16.101.1/32 [110/66] via 10.1.24.2, 00:06:54, Serial0/0.402
 10.0.0.0/24 is subnetted, 5 subnets
0 IA    10.1.13.0 [110/129] via 10.1.24.2, 00:06:54, Serial0/0.402
0 IA    10.1.12.0 [110/65] via 10.1.24.2, 00:06:54, Serial0/0.402
0 IA    10.1.35.0 [110/130] via 10.1.24.2, 00:06:54, Serial0/0.402
 192.168.1.0/28 is subnetted, 2 subnets
0 E1    192.168.1.0 [110/85] via 10.1.24.2, 00:06:54, Serial0/0.402
0 E2    192.168.1.16 [110/20] via 10.1.24.2, 00:06:54, Serial0/0.402
R4#
```

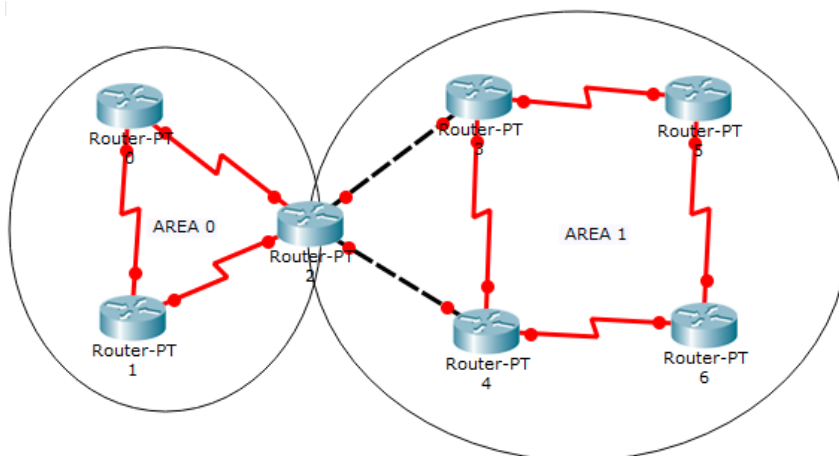
Obrázek 3: Příklad směrovací tabulky OSPF. Převzato z [9]

Paket LSA

Paket, který obsahuje informace o stavu linky a směrování, které jsou sdíleny mezi směrovači s OSPF protokolem. Hello pakety odesílá směrovač jen směrovačům, se kterými má příležitost.

Oblasti OSPF

Sjednocuje sítě a směrovače do stejné oblasti a všechny mají společné ID oblasti (Area ID) [12]. Směrovač může být přítomen ve více oblastech, proto se ID oblasti přiřazuje ke konkrétnímu aktivnímu rozhraní. Jedno rozhraní může patřit do oblasti 1 a zbývající mohou být přiřazeny k oblasti 0. V konkrétní oblasti mají všechny směrovače stejnou topologickou databázi. Při konfiguraci protokolu OSPF musí existovat oblast 0, která se obvykle konfiguruje u směrovačů připojených k páteřní části sítě. Tato funkce zvyšuje škálovatelnost sítě s protokolem OSPF.



Obrázek 4: Příklad oblastí při použití protokolu OSPF.

2.3. Nalezení nejkratší cesty

Základním principem OSPF při směrování je vytvoření stromu nejkratších cest a poté jsou nalezené optimální cesty ke každému cíli uloženy do směrovací tabulky.

Směrovač vypočítá nejkratší cestu ke každé síti, která je ve stejné oblasti. Pro výpočet využívá informace z topologické databáze a algoritmus nalezení nejkratší cesty (shortest path first – SPF). Každý směrovač v oblasti vytváří stromovou strukturu, ve kterém je příslušný směrovač umístěn na nejvyšším bodě stromu a od něho se větví další směrovače. Říká se tomu strom nejkratších cest, pomocí kterého směrovač ukládá trasy do směrovací tabulky. Podstatné je, že strom obsahuje pouze sítě, které se nacházejí ve stejné oblasti jako samotný směrovač. Pokud má směrovač aktivní rozhraní, která každý patří do jiné oblasti, vytvoří pro každou oblast samostatné stromy. Pro zjištění nejkratších cest je využíván Dijkstrův algoritmus [3].

2.3.1. Dijkstrův algoritmus

Algoritmus patří do sekce prohledávání grafu do šířky s cílem nalézt nejkratší cestu od počátečního vrcholu grafu k cílovému vrcholu. Základním předpokladem použití algoritmu je mít ohodnoceny všechny hrany grafu.

Principem algoritmu je, že si vytvoří frontu, ve které má uloženy všechny nenavštívené vrcholy řazené podle vzdálenosti od počátečního vrcholu. V prvním kroku má vrchol hodnotu 0 a ostatní nekonečno. V každém dalším kroku algoritmus vybere vrchol s nejnižší hodnotou hrany a uloží ho do fronty navštívených vrcholů.

Poté zkontroluje všechny jeho nenavštívené vrcholy, se kterými sousedí, a vypočítá vzdálenost od počátečního vrcholu. Pokud je vzdálenost menší než naposledy zaznamenaná hodnota, přepíše se menší hodnotou.

Jakmile jsou zkontrolovány všechny sousední vrcholy, je aktuální vrchol označen jako navštívený a algoritmus se k němu již nevrátí. Poté se cyklus opakuje vybráním dalšího vrcholu s nejnižší hodnotou hrany a pokračuje do té doby, než navštíví všechny vrcholy grafu.

V každém směrovači se provede algoritmus, který se reprezentuje v daném stromu na nejvyšším bodě a z daného bodu vyhledává nejkratší cestu ke každému směrovači v síti. I když každý směrovač používá stejné informace z topologické databáze, má jiný pohled na topologii.

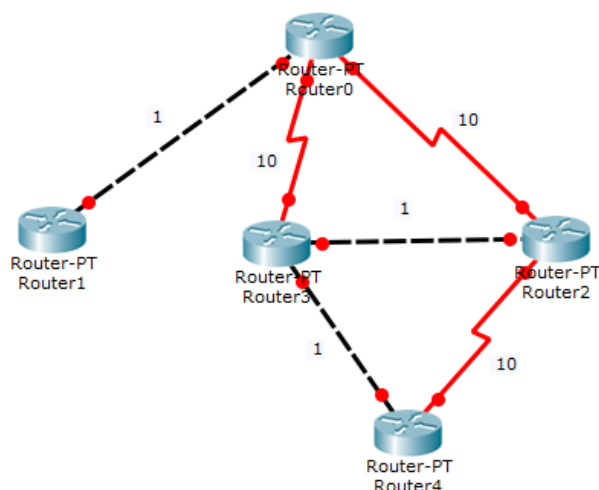
2.3.2. Metrika a její výpočet

Pro vyhodnocení nejkratší cesty k cílovému směrovači využívají protokoly kritérium, kterému se říká metrika. Každý směrovací protokol má různá kritéria pro zjištění nejvhodnější cesty. OSPF jako metriku využívá cenu linky, která určuje náklady k dosažení cíle od daného směrovače přes rozhraní. Je v číselném rozsahu 1 až 65535. Čím nižší je tato hodnota, tím je cesta výhodnější [13]. Vypočítá se jednoduchou rovnicí uvedenou níže:

$$\frac{100}{\text{šířka pásma v Mb}}$$

Tímto výpočtem se nastaví ceny přes každé aktivní rozhraní. Většinou jsou směrovače připojeny pomocí fast ethernetu, který má šířku pásma 100 Mb. Při dosazení do rovnice je výsledek 1, proto bude přenos probíhat přes rozhraní s touto cenou než přes rozhraní připojené sériovým portem, který má šířku pásma 115Kb. Jeho cena bude po dosazení do rovnice vyšší.

Směrovač si v prvním kroku zjistí síť, se kterými je připojen. Odešle se Hello paket, aby se vytvořila příležitost. Poté se sestaví pakety o stavu každé aktivní linky. Při každé změně topologie se opět odešlou pakety všem sousedům o stavu linky. Tyto informace se ukládají do topologické databáze. Směrovač vytváří mapu topologie sítě a vypočítá nejkratší cestu do každé sítě.



Obrázek 5: Stromová topologie z pohledu Router0.

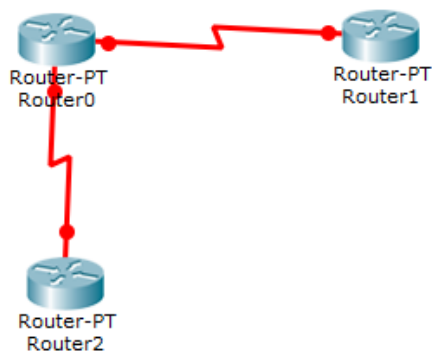
Na obrázku 5 je zobrazena stromová topologie z pohledu Router0. V této chvíli se spustí Dijkstrův algoritmus na hledání nejkratších cest ke každému směrovači. K Router1 je připojen jen jednou cestou. K Router2 vedou dvě cesty. Buď přímo s hodnotou 10 nebo přes Router3 s hodnotou 11. Do databáze se uloží cesta s hodnotou 10. K Router3 je přímé spojení jako s Router1 a náklady na přenos jsou 10. Několik cest je k dispozici k Router4 s hodnotami 11 (cesta přes Router3 = $10 + 1$), 12 (přes Router2 -> Router3 = $10 + 1 + 1$), 20 (přes Router2 = $10 + 10$) nebo 21 (přes Router3 -> Router2 = $10 + 10 + 1$). Z možných kombinací je vybrána ta, která má nejnižší cenu, v tomto případě to bude 11 ($10 + 1$).

2.4. Konfigurace OSPF

Základní konfigurace OSPF je mnohem komplexnější než například u protokolů EIRGP nebo RIP, kde se pouze aktivuje protokol, a přidají se sítě pro směrování. OSPF nabízí mnohem víc možností ke konfiguraci zahrnující nastavení pro více oblastí v rozsáhlých sítích. Nejprve bude ukázána konfigurace pro jednu oblast, a potom i pro více oblastí [14].

2.4.1. Konfigurace OSPF pro jednu oblast

Pro reprezentaci konfigurace protokolu OSPF byla zvolena jednoduchá topologie zahrnující tři směrovače spojené sériovým kabelem, jak je vidět níže na obrázku:



Obrázek 6: Topologie pro konfiguraci OSPF pro jednu oblast.

Pro aktivaci protokolu v jedné oblasti, která není tak škálovatelná při konfiguraci sítě, je potřeba zadat alespoň dva příkazy, aby OSPF fungovalo správně. Musí se směrovači říct, že má používat protokol OSPF a nastavit jeho ID, které může být v rozsahu 1 až 65535. Nastavené ID sjednotí příkazy konfigurace pro spuštěný proces. Důležité je, že nemůže začínat hodnotou 0, ale 1.

V jednom směrovači může být spuštěno více OSPF procesů. Poté je možné přerozdělit funkce mezi jednotlivé procesy, a to z několika důvodů:

- Filtrování OSPF trasy z části domény
- Rozdělení na různé OSPF domény
- Sjednocení mezi rozdělené domény

Příkazem **router ospf 1** je povoleno směrování přes OSPF protokol. Tímto příkazem se zobrazí konfigurace protokolu OSPF, kde se nastaví IP adresy, masky a oblasti sítě, ve kterých bude protokol komunikovat. Pro přidání sítě slouží příkaz **network**, který obsahuje tři argumenty. Nejprve jako první argument se zadá IP adresa sítě a jako druhý argument wildcard maska.

Wildcard masky se používají k určení rozsahu síťových adres [40]. Je dlouhá 32 bitů a zadávají se jako obrácené masky sítě. Princip je ale v tom, že bit v hodnotě 0 ve wildcard masce označuje, že pozice bitu se musí shodovat s pozicí bitu v IP adrese. S hodnotou 1 označuje, že se nemusí shodovat pozice bitu.

Do jaké oblasti budou zahrnuty, určuje třetí argument **area 0**. Pokud se zadá takto, budou všechna rozhraní umístěna do oblasti 0. Příkaz potom vypadá například takto: **network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0**.

Než se začne konfigurovat směrování pomocí protokolu OSPF je potřeba provést základní konfiguraci směrovačů. Topologie se nastavena podle níže uvedené tabulky.

Směrovač	Rozhraní	Síť	Maska
R0	Serial2/0	192.168.1.1	255.255.255.0
	Serial3/0	192.168.2.1	255.255.255.0
R1	Serial2/0	192.168.1.2	255.255.255.0
R2	Serial2/0	192.168.2.2	255.255.255.0

Tabulka 3: Základní konfigurace rozhraní.

Pro každé rozhraní je potřeba nastavit síťovou adresu a masku sítě, která bude sloužit jako výchozí brána pro ostatní směrovače při směrování. Pro nastavení sériového portu serial2/0 pro Router0 slouží příkaz **interface serial2/0**. Poté stačí zadat **ip address 192.168.1.1 255.255.255.0**. Adresa je nastavena pro daný port. Hlavně se nesmí zapomenout rozhraní aktivovat, protože je defaultně vypnuté. To se provede příkazem **no shutdown**. Celá série příkazů bude potom vypadat takto:

```
R0(config)# interface serial2/0
R0(config-if)# ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
R0(config-if)# no shutdown
```

Tato konfigurace se provede pro každé připojené rozhraní u všech směrovačů podle uvedené tabulky. Jednotlivé směrovače nyní mohou odesílat a přijímat data. Pro směrování je vybrán OSPF protokol, který pro každý směrovač se musí aktivovat a nastavit síť pro směrování. Pro Router0 se zadá následující posloupnost příkazů.

```
R0(config)# router ospf 1
R0(config-router)# network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
R0(config-router)# network 192.168.2.0 0.0.0.255 area 0
```

Stejná série příkazů se zadá i u ostatních směrovačů. Pro Router1 a Router2 stačí do směrování OSPF přidat jen jednu síť. Provede se konvergence sítě, kdy směrovače vyhledají svoje sousedy, zjistí informace o topologii a naleznou nejkratší cestu k cílovým rozhraním. Vše si uloží do příslušných tabulek, které je možné si zobrazit pomocí již zmíněných příkazů. Níže jsou zobrazeny naplněné tabulky pro Router0.

```
R0#sh ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.2.2	0	FULL/ -	00:00:33	192.168.2.2	Serial2/0
192.168.1.2	0	FULL/ -	00:00:37	192.168.1.2	Serial3/0

Obrázek 7: Výsledek příkazu show ip ospf neighbor.

```

R0#sh ip ospf database
      OSPF Router with ID (192.168.2.1) (Process ID 1)

      Router Link States (Area 0)

Link ID        ADV Router      Age          Seq#           Checksum Link count
192.168.2.1    192.168.2.1    1310        0x80000005    0x0012b1  4
192.168.2.2    192.168.2.2    1310        0x80000003    0x00f2b1  2
192.168.1.2    192.168.1.2    1310        0x80000003    0x00e2c5  2

```

Obrázek 8: Výsledek příkazu show ip ospf database.

```

R0#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

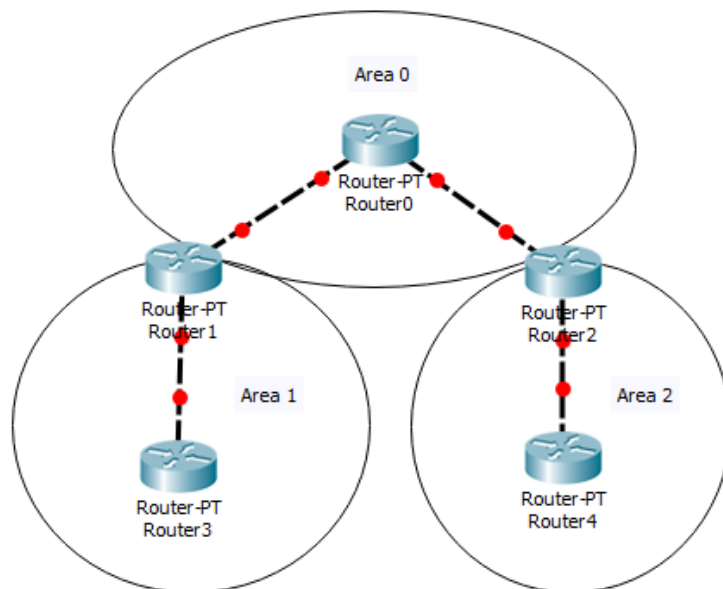
C     192.168.1.0/24 is directly connected, Serial3/0
C     192.168.2.0/24 is directly connected, Serial2/0

```

Obrázek 9: Výsledek příkazu show ip route.

2.4.2. Konfigurace OSPF pro více oblastí

Pro ukázkou konfigurace pro více oblastí byla zvolena stromová topologie, kde Router0 je v páteřní oblasti 0 a ostatní směrovače se větví do dalších oblastí. Router1 a Router2 jsou směrovače mezi oblastmi.



Obrázek 10: Ukázková topologie pro konfiguraci více oblastí.

Směrovač	Rozhraní	Síť	Maska
R0	Fa0/0	192.168.1.1	255.255.255.0
	Fa1/0	192.168.2.1	255.255.255.0
R1	Fa0/0	192.168.1.2	255.255.255.0
	Fa1/0	192.168.3.1	255.255.255.0
R2	Fa0/0	192.168.4.1	255.255.255.0
	Fa1/0	192.168.2.2	255.255.255.0
R3	Fa1/0	192.168.3.2	255.255.255.0
R4	Fa0/0	192.168.4.2	255.255.255.0

Tabulka 4: Základní konfigurace rozhraní pro více oblastí.

Nastavení IP adresy a masky sítě pro každé aktivní rozhraní se konfiguruje stejným způsobem jako pro jednu oblast. Rozdíl je při aktivaci protokolu OSPF. Na Router0 se nastavuje směrování pro oblast 0. Pro Router1 se provede série příkazů uvedený níže, kde pro rozhraní fa0/0 je nastavena oblast 0 a pro fa1/0 oblast 1. Obdobně se provede nastavení pro Router2.

```
R1(config)# router ospf 1
R1(config-router)# network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
R1(config-router)# network 192.168.3.0 0.0.0.255 area 1
```

```
R2(config)# router ospf 1
R2(config-router)# network 192.168.2.0 0.0.0.255 area 0
R2(config-router)# network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 1
```

Ve směrovací tabulce se potom ukazují jednotlivé trasy k cílovým směrovačům. Cesty k sítím z jiné oblasti jsou ze summary LSA paketu a jsou označeny zkratkou IA. Ukázka směrovací tabulky pro Router3 zobrazuje tyto cesty [39].

```
R3#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

O IA 192.168.1.0/24 [110/2] via 192.168.3.1, 00:37:40, FastEthernet1/0
O IA 192.168.2.0/24 [110/3] via 192.168.3.1, 00:37:30, FastEthernet1/0
C    192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
O IA 192.168.4.0/24 [110/4] via 192.168.3.1, 00:37:30, FastEthernet1/0
```

Obrázek 11: Výsledek příkazu show ip route pro Router3 v topologii s více oblastmi.

3. Konvergence OSPF

3.1. Co to je konvergence sítě

Při využití protokolu OSPF potřebuje směrovač informace o dané síti, aby mohl správně a nejspolehlivěji odesílat data k cílovému směrovači.

Konvergence sítě je proces, kdy směrovač shromažďuje potřebné informace o ostatních směrovačích v dané topologii [2]. Jeho znalost jiných směrovačů se týká jen těch, které jsou ve stejné oblasti.

V předchozí kapitole byly zmíněny tabulky, které jsou naplňovány pro optimální směrování dat v síti. Když jsou všechny tabulky naplněné, má směrovač detailní přehled o topologii sítě, jaké směrovače jsou jeho sousedé a má uložené neoptimálnější cesty ke každému směrovači v oblasti sítě. Tento proces se neprovádí jen při inicializaci sítě, ale pravidelně jsou tyto informace aktualizovány nejčastěji při změně topologie.

Pro úspěšnou konvergenci OSPF sítě se musí provést následujících 5 věcí:

- Nalezení a vznik příležitosti se sousedy.
- Volba DR a BDR směrovače
- Sjednocení topologické tabulky
- Nalezení nejkratších cest pomocí Dijkstrova algoritmu
- Udržovat aktualizované směrovací tabulky

3.1.1. Typy rolí směrovačů v OSPF

Při průběhu konvergence sítě se určitým směrovačům přiřazují specifické role. Každý směrovač s jinou rolí má jiné funkce. Níže jsou role vyjmenovány a popsány [37].

Area Border Router (ABR)

Hraniční směrovač mezi oblastmi v topologii. Při použití OSPF protokolu musí být ABR směrovač členem páteřní oblasti 0. Jeho hlavním cílem je shromažďovat, filtrovat a rozšiřovat informace mezi oblastmi.

Autonomous System Boundary Router (ASBR)

Hlavní rolí směrovače je obdobná jako pro ABR – Shromažďuje, filtruje a rozšiřuje informace. Rozdíl je v tom, že je připojen jedním rozhraním do autonomního systému a jiným rozhraním do vnějšího světa.

Designated Router (DR)

Je určen pokaždé, když jsou směrovače připojeny do multi access sítě. Důvodem zvolení DR směrovače je, aby se v síti nevytvářelo příliš mnoho příležitostí a tento směrovač se potom stará o šíření a přijímání směrových informací od ostatních směrovačů.

Backup Designated Router (BDR)

Ten přijímá stejné informace jako DR směrovač, ale neodesílá hromadné aktualizace ostatním směrovačům. Je určen k tomu, aby zastoupil místo DR směrovači, pokud nečekaně vypadne v síti.

3.1.2. Typy LSA paketů pro aktualizaci sítě

Pro pravidelnou aktualizaci informací jsou v OSPF využívány LSA pakety (Link-state Advertisement), které se odesílají sousedům. Jsou to základní komunikační prostředky, které OSPF odesílá prostřednictvím internetového protokolu IP. Obsahuje směrovací informace, které si předávají směrovače připojeny ve stejné oblasti dané topologie. Je navržen pro škálovatelnost, proto některé LSA pakety se neposílají přes všechna rozhraní, ale pouze přes ty, které patří do dané oblasti. Díky tomu jsou podrobné informace udržovány aktuální, zatímco souhrnné informace putují po celé síti. Níže jsou uvedené všechny typy LSA paketů, které se přes rozhraní odesílají [13].

Typ LSA	Jméno	Popis
1	Router LSA	Směrovač oznamuje svoji přítomnost v topologii a uvádí odkazy na další směrovače nebo sítě ve stejné oblasti spolu s metrikami. Obsahuje aktivní rozhraní připojený k sousedům. Tento typ paketu se odesílá po síti v dané oblasti. Jako ID linky je nastaveno ID směrovače, který daný paket odeslal po síti.
2	Network LSA	DR směrovač vytváří list ostatních směrovačů, které jsou mezi sebou spojeny ve stejné oblasti. ID LSA paketu je IP adresa DR směrovače.
3	Net Summary LSA	ABR směrovač, který propojuje jednotlivé oblasti, shromáždí informace o jedné z připojených oblastí a tyto informace odešle do ostatních připojených oblastí. Při shromažďování informací

		umožňuje škálovatelnost díky odstranění detailních topologických informací pro ostatní oblasti. Obsahuje pouze prefix IP adres a metriku, která označuje cenu.
4	ASBR-Summary LSA	Funguje na podobném principu jako Typ 3. Posílá je ABR směrovač, který se nachází ve stejné oblasti jako ASBR směrovač a popisuje k němu cestu. ASBR směrovač propojuje OSPF oblast s oblastí, kde je využit jiný směrovací protokol. Díky tomuto LSA se informace dostanou do celé topologie.
5	External LSA	Obsahuje informace z oblasti, kde směrovače používají jiný směrovací protokol. Beze změny jsou odeslány do ostatních oblastí. ID LSA paketu je použito externí síťové číslo.
6	Multicast OSPF LSA	Tento typ byl určen pro multicastové vysílání OSPF. V základu se nevyužívá. Možná bude nasazen v budoucnu.
7	Non-stubby-area (NSSA) LSA	Směrovače s tímto typem LSA nepřijímají externí LSA od ABR směrovačů, ale mohou odesílat externí informace pro redistribuci. Používají tento typ 7, aby oznámily okolním ABR o externích směrovačích. Daný ABR pak informace převede do LSA typu 5 a odešle je směrovačům s OSPF protokolem.
8	Link-local only LSA	Je využíván jen pro OSPFv3. Shromažďuje odkazy místních adres IPv6. V OSPFv2 byl však typ 8 původně určen k použití jako tzv. External-Attributes-LSA pro tranzitní autonomní systémy, kde by OSPFv2 mohl nahradit vnitřní protokol BGP (Border Gateway). V těchto sítích budou cílové BGP uloženy v LSA typu 5, zatímco jejich atributy v LSA typu 8. Většina OSPFv2 nepodporuje tento typ LSA, tudíž není standardem.
9	Intra-Area-Prefix LSA	Tento typ LSA také používá OSPFv3. Pro v2 je název link-local "opaque" LSA. Obsahuje prefixy pro transitní síť v ID linky.
10	area-local "opaque" LSA	Obsahuje informace, které putují k ostatním směrovačům, i když jim směrovače nemusí rozumět. Většinou se typ 10 využívá pro odesílání informací o linkách za hranice jejich metriky, jako je například šířka pásma.

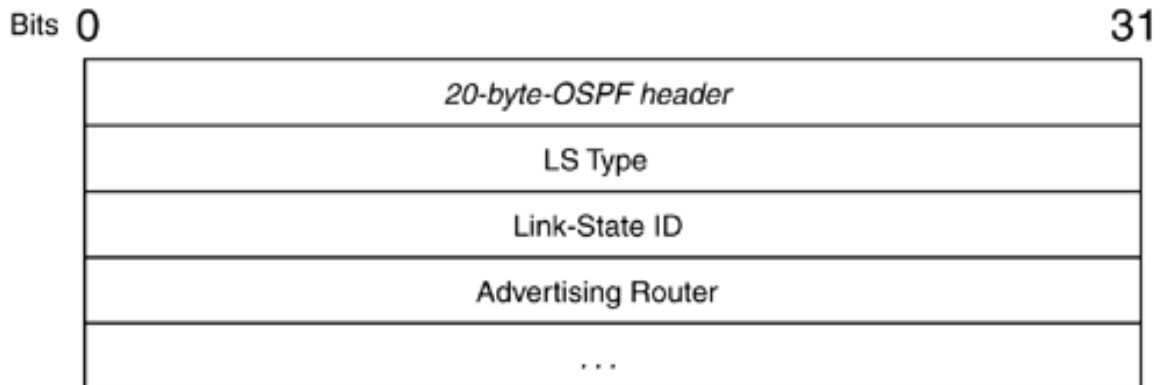
- **Version #:** Označuje, na jaké verzi protokolu OSPF směrovač komunikuje.
- **Packet length:** Obsahuje velikost Hello paketu v bajtech.
- **Router ID:** Obsahuje unikátní identifikační číslo směrovače, které může být buď nejvyšší IP adresa nebo adresa loopback. Pokud směrovač obsahuje více loopback adres, vybere se nejvyšší loopback adresa.
- **Area ID:** Obsahuje číslo oblasti prezentováno jako 32bitové číslo.
- **Checksum:** Zajišťuje integritu paketu, že během přenosu se žádná část neztratila. Stejná metoda je i u Ethernetu a IP.
- **Network Mask:** Maska sítě, která je přiřazena k rozhraní. Pokud sítě nejsou nastaveny, je v tomto poli nastaveno v bitech číslo síťové části adresy.
- **HelloInterval:** Číslo v sekundách označující dobu odeslání mezi jednotlivými pakety při přenosu.
- **Rtr Pri:** Priorita směrovače je použita při výběru DR a BDR. Pokud není ručně nastaven, je defaultně 1. Pokud pole obsahuje 0, je vyřazen z výběru DR a BDR.
- **RouterDeadInterval:** Číslo v sekundách, kdy naposledy směrovač přijal předchozí Hello paket. Při hodnotě 0 je druhý směrovač již nedosažitelný.
- **Designated Router:** IP DR směrovače, pokud již je přítomen. Defaultně je nastaven na IP 0.0.0.0, pokud ještě nebyl DR směrovač určen.
- **Backup Designated Router:** IP adresa BDR směrovače, pokud již je přítomen. Defaultně je nastaven na IP 0.0.0.0, pokud ještě nebyl BDR směrovač určen.
- **Neighbor:** Obsahuje ID směrovačů, od kterých naposledy přišel Hello paket. Pole může mít více vstupů.

Database Description (DBD)

Cílem nových sousedů je synchronizovat si topologickou databázi. Po přijetí Hello paketu se vytvoří obousměrná komunikace pro získání aktuálních informací. K odeslání informací slouží Database Description paket, který obsahuje seznam sítí, jejich popis a jaký je aktuální stav linky. Tyto informace si posílají sousedé navzájem.

Link-State Update (LSU)

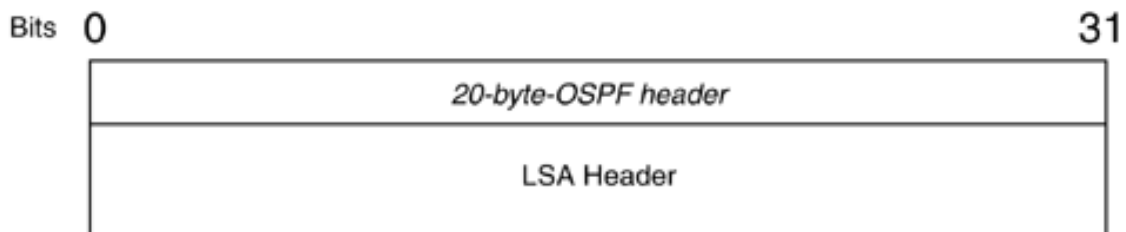
Směrovač po přijmutí LSR paketu shromáždí informace o sítích, které byly vyžádány, do LSA paketů a celé to zabalí do LSU paketu. Ten pak odešle směrovači, který dané informace požadoval. Poté jsou informace mezi sousedy úplné.



Obrázek 15: Obsah LSU paketu. Převzato z [16]

Link-State Acknowledgement (LSACK)

OSPF na transportní vrstvě nepoužívá pro potvrzení odeslání paketu TCP, ale má vlastní protokol. Po každém odeslání jakéhokoliv paketu kromě Hello paketu, je odeslán LSACK pro potvrzení přijetí paketu.



Obrázek 16: Obsah LSACK paketu. Převzato z [16]

3.2. Průběh konvergence sítě

3.2.1. Nastavení ID směrovače

Po zapojení nově nakonfigurovaného směrovače do sítě, bude zjišťovat informace o svých sousedech [4]. Směrovač má nastavené ID jako IP adresu loopback. Pokud není loopback nakonfigurován, směrovač si nastaví ID jako nejvyšší IP adresu z aktivních rozhraní [18].

3.2.2. Přidání rozhraní a zprávy Hello

Pro směrování přes OSPF je potřeba nastavit, že má směrovač komunikovat pomocí OSPF protokolu, přes jaké sítě má směřovat a do jaké oblasti rozhraní patří. Slouží na to dva příkazy [5]. **Router ospf 1 a network ip adresa wildcard masky sítě area hodnota.** Tím směrovači řekne, v kterých sítích bude komunikovat [15].

Dále se do databáze nakonfigurují IP adresy rozhraní, přes které směrovač hledá svoje sousedy a předává si mezi nimi informace. Přes tyto rozhraní posílá zprávy Hello, které nesou informace o daném směrovači, a vytváří příležitost se sousedy. V té chvíli je směrovač ve statusu tzv. „Down state“, protože čeká na odpověď [20].

Směrovač, který přijme Hello paket, se automaticky přepne do statusu „Init state“. Zkontroluje svoje informace s těmi, které přišly v Hello paketu.

- Intervaly zpráv hello/dead
- Masky sítě
- Oblast sítě
- Heslo

Pokud se shodují, směrovač má potvrzené, že má nového souseda a přepne se do stavu „2-Way State“. Zkontroluje, jestli souseda má uloženého v tabulce sousedů. Pokud ano, znamená to, že je s ním stále připojen a resetuje Dead interval. Pokud ne, aktualizuje si tabulku přidáním nového souseda s parametry, které přišly s Hello paketem. Zároveň odešle potvrzovací Hello paket, a nový směrovač si přidá do tabulky sousedů.

3.2.3. Určení vztahu Master – Slave

Směrovače mají informace o svých sousedech a přepnou se do stavu „Exstart State“. To označuje, že jsou oba směrovače připraveni si mezi sebou poslat svoje topologické tabulky [6].

Nyní je potřeba určit, který ze směrovačů bude master a který bude slave. K výběru, kdo bude master, slouží atribut „Router Priority“. V defaultním nastavení mají všechny směrovače prioritu 1. Tím pádem se shodují, a proto se vybere směrovač podle jeho ID, který byl určen na začátku konfigurace. Ten, kdo má vyšší ID se stane master [21].

Master odešle „Database Description“ (DBD) paket, ve které je uložen seznam sítí z topologické tabulky. Slave si zkontroluje, zda tyto sítě už má ve své topologické tabulce, a zároveň odešle svůj DBD paket k master směrovači. Směrovače změní svůj status na „Loading State“ a kontrolují svoje informace z příchozích DBD paketů.

Pokud Slave směrovač nalezne síť, kterou nemá ve své topologické tabulce, odešle „Link State Request“ (LSR) paket, ve kterém žádá potřebné informace, aby mohl aktualizovat svoji topologickou tabulku. Master směrovač přijme LSR paket a veškeré informace odešle v „Link State Update“ (LSU) paketu. To samé proběhne i obráceně až mají oba směrovače aktualizované svoje topologické tabulky. Tímto procesem jsou sousedé synchronizováni a přejdou do stavu „Full State“.

3.2.4. Výběr DR a BDR směrovače

Pro celou síť není určen jen jeden DR směrovač, ale pro každou oblast dané topologie. Určen je ještě BDR směrovač. Ten neprovádí žádnou akci, dokud DR směrovač nespadne. Poté zastoupí jeho místo [22].

Když nastane stejná situace, že se změní topologie, tak ten směrovač, který změnu zaznamená, neodešle aktualizace všem ostatním, ale změnu odešle jen DR a BDR směrovači. V OSPF se využívá multicastové vysílání a pro odesílání nových informací je zarezervována IP adresa 224.0.0.6. DR a BDR směrovače poslouchají tuto adresu pro příjem aktualizací. Níže je v bodech popsán průběh aktualizace změny v topologii.

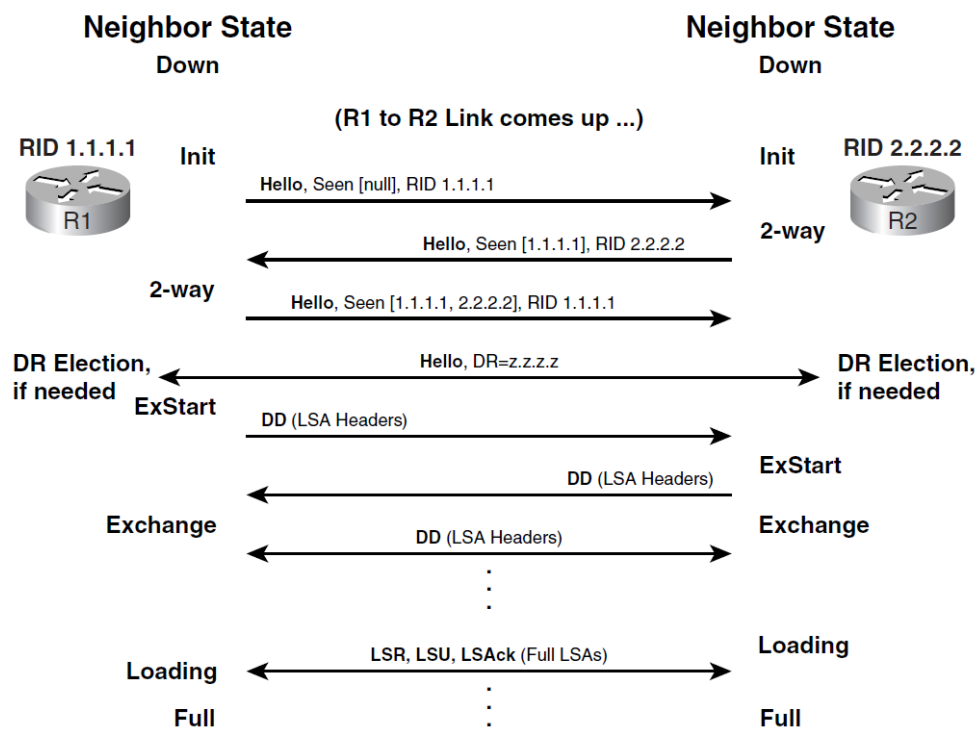
- Směrovač zaznamená výpadek souseda.
- Odešle přes multicast s IP 224.0.0.6. aktualizaci DR a BDR směrovači.
- DR vyhodnotí aktualizaci.
- Odešle změnu všem ostatním směrovačům přes IP 224.0.0.5.

Výběr, který směrovač bude DR a který bude BDR, je ovlivněn parametrem „Router Priority“, který je obsažen v hlavičce Hello paketu. Ten směrovač, který má nejvyšší prioritu, se stane DR. Problém je v tom, že je defaultně – jak již bylo řečeno – nastaven na hodnotu 1. Z toho vyplývá, že každý směrovač může být určen jako DR nebo jako BDR, protože všechny Hello pakety mají stejnou prioritu. Proto jako druhý parametr, který se používá pro výběr, je ID směrovače. Kdo má nejvyšší hodnotu ID, stane se DR.

Z celkového hlediska není potřeba manuálně určovat, který směrovač bude DR a BDR, protože v klasické Ethernetové síti to nezmění rychlost konvergence sítě – vybere se tedy náhodně při první komunikaci mezi směrovači.

3.2.5. Diagram konvergence sítě

Stručně, jak probíhá komunikace mezi dvěma novými směrovači je shrnut na obrázku, který rekapituluje již známé poznatky.



Obrázek 17: Diagram komunikace směrovačů při konvergenci sítě. Převzato z [19]

- Směrovač (R1) s ID 1.1.1.1 odešle Hello paket směrovači (R2) s ID 2.2.2.2. Oba jsou ve stavu Init.
- R2 Odešle Hello paket se svým ID a přepne se do stavu 2-way state.
- R1 potvrdí přijetí informací a také se přepne do stavu 2-way state.
- R1 je vybrán jako DR směrovač, pokud je potřeba a jsou ve stavu ExStart.
- R1 odešle Database Description paket se seznamem svých sítí z topologické tabulky. To samé odešle i R2.
- Přepnou se do stavu Exchange a zkontrolují seznam sítí se svojí topologickou tabulkou.
- R1 se přepne do stavu Loading a posílá LSU pakety s detailními informacemi o sítích, které R2 nenalezl ve své tabulce. Totéž se provede opačným směrem.
- Po přijetí LSU paketu odesílají LSACK pro potvrzení přijetí.
- Po výměně všech potřebných informací se přepnou do stavu Full State a stanou se novými sousedy.

4. Parametry pro optimalizaci konvergence sítě

Vzhledem tomu, že OSPF byl navržen pro kabelové sítě, má minimální opatření pro výpadky linek. OSPF k rozpoznání a obnovení linky v síti používá časovače konvergence, které jsou ve výchozím nastavení řádově v desítkách sekund. Toto zpoždění je hlavně díky Hello protokolu, který zjišťuje výpadek linky se sousedem [23].

Směrovače mezi sebou sdílí informace o topologii sítě a udržují je v aktuálním stavu. Odesílají si v pravidelných časových intervalech aktualizace, pokud v síti nastane nějaká změna. Hello protokol odesílá Hello pakety pro zjištění, zda je sousední směrovač stále přítomen v síti. Posílá je v pravidelných intervalech, které jsou určeny parametrem **Hello interval**.

Dead interval je defaultně 4x delší než Hello interval a je to doba, kdy směrovač čeká, než dorazí od souseda Hello paket. Pokud v daném intervalu přijme od souseda Hello paket, restartuje Dead interval. Pokud v rámci intervalu nedorazí Hello paket, soused se odpojil od topologie.

Další parametry, které se dají nastavit pro konvergenci sítě:

- **SPF Delay** – Čas, než OSPF odešle aktualizace stavu linky a vypočítá nejkratší cesty k směrovačům.
- **SPF Holdtime** – Minimální zdržení po úspěšném výpočtu nejkratší cesty.
- **Minimum LSA interval** – Minimální interval odeslání jednotlivých LSA paketů pro zjištění odlišností v jednotlivých linkách.
- **Minimum LSA Arrival** – Minimální zpoždění pro přijetí stejného LSA paketu od souseda.

V OSPF jsou i další parametry, které mohou mít nepřímý vliv na celkovou konvergenci sítě a je možné je ručně nastavit:

- **MTU – Maximum Transmission Unit** – Maximální velikost jednotky, která nese data pro komunikaci v síti.
- **Change Priority** – Změna priority směrovače pro určení DR a BDR.
- **Max Limit LSA** – Nastavení omezení počtu vytvořených LSA paketů k zabránění zahlcení sítě.

4.1. Nastavení intervalů časovačů

Parametry, které přímo ovlivňují konvergenci sítě, byly představeny. V následující tabulce jsou vyjmenovány s výchozími hodnotami. Pro zrychlení aktualizací je možné je nastavit podle potřeby, například snížit jejich intervaly.

OSPF časovač	Defaultní nastavení času v sekundách
Hello interval	10
Dead interval	40
SPF Delay	5
SPF Holdtime	10
Minimum LSA interval	5
Minimum LSA Arrival	1

Tabulka 6: OSPF Časovače s defaultním nastavením.

4.1.1. Hello a Dead interval

Pro zjišťování nových sousedů směrovač odesílá Hello paket v pravidelných intervalech. Z tabulky je vidět, že defaultní nastavení Hello intervalu je 10 vteřin. Tímto způsobem udržuje topologii aktuální a aktualizuje tabulky, pokud nějaká změna v topologii nastane.

V tomto nastavení jsou ale pravidelné aktualizace pomalé, a proto je potřeba snížit interval odesílání Hello paketu. V této práci se bude testovat optimální nastavení intervalu, aby aktualizace probíhaly co nejrychleji, když nastane změna, ale zároveň aby Hello pakety nezahlcovaly síť. Je potřeba, aby časovače mezi sousedy na určitém rozhraní byly nastaveny na stejnou hodnotu, jinak komunikace mezi nimi selže. Pro nastavení Hello intervalu slouží příkaz: **ip ospf hello-interval hodnota** [24].

Dead interval se spouští tehdy, když od souseda dorazí Hello paket. Zkontroluje, zda má daný směrovač v tabulce sousedů a pokud ano, restartuje Dead interval a pokud do té doby nedorazí další Hello paket, znamená to, že směrovač se odpojil od topologie a odebere informace z tabulek. V defaultním nastavení je 40 vteřin dlouhá doba, proto pro rychlejší zjišťování, zda směrovač už není součástí topologie, se nastaví na menší hodnotu příkazem: **ip ospf dead-interval hodnota** [21].

4.1.2. SPF Delay a Holdtime

Časovač pro SPF Delay je standardně nastaven na 5 vteřin a je to doba mezi zjištěním změny technologie a nové vypočítání nejkratší cesty pro směrovače k dosažení konvergence sítě. Čím menší je zpoždění, tím rychlejší je konvergence. Pokud se hodnota nastaví na 0, směrovač začne okamžitě počítat nejkratší cestu [26].

SPF Holdtime je doba, kdy směrovač čeká mezi po sobě jdoucími výpočty nejkratších cest. Defaultně je nastaven na 10 vteřin. Pokud se nastaví na 0, zařízení nebude čekat mezi jednotlivými výpočty. V Cisco existuje jeden příkaz, kterým lze nastavit oba tyto časovače **timers throttle spf start-interval hold-interval max-interval**, kde *start-interval* označuje SPF Delay a *hold-interval* SPF Holdtime.

4.1.3. Minimum LSA interval a Minimum LSA Arrival

Minimum LSA interval je doba, kdy mají být přijaty jednotlivé LSA pakety. Defaultně je nastaven na 5 vteřin. Minimum LSA Arrival je čas mezi přijetím LSA paketů se stejným ID a nalezením jednotlivých změn v topologii. V základním nastavení je 1 vteřina a dá se změnit pomocí obdobného příkazu jako u SPF parametrů **timers throttle lsa all start-interval hold-interval max-interval** [33].

Pro zobrazení nastavení základních časovačů na určitém rozhraní se dá zobrazit příkazem **show ip ospf interface**. Níže je uveden obrázek, který zobrazuje příklad zobrazení nastavení časovačů.

```
R2# show ip ospf interface

GigabitEthernet0/0 is up, line protocol is up
Internet address is 192.168.1.2/24, Area 0
Process ID 1, Router ID 172.16.1.2, Network Type BROADCAST, Cost: 1
Transmit Delay is 1 sec, State DR, Priority 1
Designated Router (ID) 172.16.1.2, Interface address 192.168.1.2
No backup designated router on this network
Timer intervals configured, Hello 10, Dead 40, Wait 40, Retransmit 5

<output omitted>

Loopback0 is up, line protocol is up
Internet address is 172.16.1.2/24, Area 0
Process ID 1, Router ID 172.16.1.2, Network Type LOOPBACK, Cost: 1
Loopback interface is treated as a stub Host
R2#
```

Obrázek 18: Zobrazení nastavení časovačů na rozhraní. Převzato z [27]

4.2. MTU – Maximum Transmission Unit

V počítačové síti MTU znamená maximální přenosová jednotka, která určuje maximální velikost datové jednotky v síťové vrstvě při samostatném komunikačním procesu. Fixní parametry MTU jsou standardizovány na komunikačním rozhraní. Některé systémy mohou rozhodnout o velikosti MTU během samotného přenosu. Velikost MTU se neshoduje s velikostí rámce, který je přenášen přes datovou vrstvu.

Například směrovač má nastaveno MTU defaultně na 1500 bajtů. V rámci 2 vrstvy referenčního modelu velikost rámce pro přenos nepřekročí 1526 bajtů.

Z hlediska datové roviny, pokud směrovač odesílá větší paket, než je maximální velikost MTU, buď rozdělí paket na menší části, nebo paket vyřadí. Pokud je nastaveno, že se nemá fragmentovat IP hlavička, směrovač paket zahodí. Pokud to není nastaveno, směrovač předá paket síťové vrstvě, aby ho rozdělila na menší pakety se stejnou IP hlavičkou. Data z hlavičky jsou pak použita pro znovu sestavení u cílového směrovače.

Z designového hlediska je potřeba, aby hodnoty MTU v rámci protokolu OSPF byly nastaveny shodně. Pokud by shodné nebyly, směrovače by si nemohli předat aktualizované topologické informace na OSPF. To je potřeba pohlídat při samotné konfiguraci.

Nastavení větší velikosti MTU přináší vyšší účinnost při přenosu dat, protože každý paket může nést více informací o směrovači, zatímco informace v hlavičce jsou fixní a jejich velikost se nemění. Výsledkem je i vyšší propustnost po síti. Větší velikost také znamená méně paketů ke zpracování směrovače [28].

Zvýšení přenosové jednotky má také nevýhodu. Větší pakety se pomaleji přenáší po síti a déle trvá, než se dostanou k cílovému směrovači. Tím se zvyšuje latence a zpoždění pro zpracování.

Velké pakety jsou náchylnější na chyby během přenosu. Pokud není nastavena oprava chyb během přenosu, musí se celý paket odeslat znovu a vzhledem k velikosti paketu, může být přenos nákladný. I přes negativa může mít efekt na zrychlení konvergence sítě vliv zvýšení přenosné jednotky [29].

Základní jednotka MTU se nastavuje v bajtech a tato hodnota se mezi směrovači přenáší v Database Description paketech a aby správně přijímaly pakety, musí oba směrovače mít stejnou hodnotu MTU. V Cisco směrovačích existují dva příkazy na nastavení MTU. Je to **mtu hodnota** a **ip mtu hodnota**.

Prvním příkazem se nastavuje tzv. hardwarová MTU a jeho cílem je zajistit, aby fyzické rozhraní dokázalo zvládnout celý objem dat, když se do maximální velikosti IP paketu přidá režie z linkové vrstvy.

Druhým příkazem se nastavuje maximální velikost paketu, který se bude přenášet přes aktivní rozhraní. Pokud směrovač překročí nastavený limit, musí pakety rozdělit na menší části. V základním nastavení u Cisco směrovače je 1500 bajtů jak pro MTU, tak i IP MTU. Aby se pro hardwarový MTU vešla i hlavička, tak je navíc zarezervováno 24 bajtů.

4.2.1. Problém při ignorování MTU

V OSPF existuje příkaz **mtu-ignore**, který se nejčastěji používá, pokud mezi dvěma směrovači je MTU rozdílné. Tím se zajistí, aby se sousedi dostali do stavu FULL, ale není dobré tento příkaz používat. Tento problém je popsán na stránce blogu *Darren's Blog* [30], kde je popsáno, že při použití **mtu-ignore** je zásadní problém, že pokud směrovač odešle Hello paket s větší velikostí než má druhý směrovač MTU, potom tento směrovač nikdy Hello paket nepřijme a vždy ho zahodí. Proto si směrovače nedokážou vyměnit topologické informace.

4.3. Ostatní volitelné parametry

4.3.1. Změna priority

Při použití směrovacího protokolu OSPF má směrovač nastavenou prioritu. Ta slouží při konvergenci sítě, když se vybírá, který ze směrovačů v topologii bude DR směrovač a který BDR směrovač. Problém nastává v tom, že při aktivaci OSPF protokolu je priorita nastavena defaultně na 1. OSPF vybírá směrovač podle nejvyšší priority. Pokud se tato hodnota nenastaví ručně, mají všechny směrovače hodnotu 1 a je potřeba vybrat směrovač podle nejvyššího ID [31].

Pro nastavení priority slouží příkaz **ip ospf priority hodnota**, která se dá nastavit v rámci 0 až 255. Když se u směrovače nastaví vyšší hodnota než 1 a ostatní necháme v základním nastavení, stane se automaticky DR směrovač. Pokud se ale nastaví hodnota 0, daný směrovač se nikdy nemůže stát DR ani BDR směrovač. Pro vrácení na defaultní hodnotu, stačí použít příkaz **no ip ospf priority hodnota**.

4.3.2. Max Limit LSA

Nastavení hodnoty Max Limit LSA slouží pro omezení množství vygenerovaných LSA pro OSPF, aby příliš nezahltil procesor a paměť směrovače. Tomuto nastavení se říká Link-State Database Overload Protection [32].

Tato funkce poskytuje mechanismus na OSPF, který omezuje počet generovaných LSA pro daný proces. Pokud by tato možnost nebyla v jiných směrovačích nakonfigurována, mohou generovat velké množství LSA. Níže je postup, jak daná funkce pracuje po krocích:

- Směrovač si zaznamenává počet přijatých LSA od ostatních směrovačů.
- Po dosažení nastavené hodnoty, OSPF vyhodí chybu.
- Při překročení limitu, směrovač odešle oznámení.
- Pokud je po jedné minutě počet přijatých LSA stále vyšší, než je limit, OSPF smaže celou databázi a směrovač je ve stavu ignore.
- V tomto stavu negeneruje LSA pakety ani jiné nepřijímá.
- Ve stavu ignore je po dobu nakonfigurovaného ignore-time.
- Při dalším dosažení stavu ignore, je počet dosažení stavu (ignore-count) zvýšeno o 1.
- Pokud počet dosažení překročí hodnotu nastavenou v ignore-count, zůstává trvale ve stavu ignore a je potřeba ruční nastavení.
- Ignore-time se restartuje na 0, pokud OSPF zůstane v normálním stavu po dobu, která je nastavena v reset-time.

Pro nastavení limitu generování LSA paketu se používá příkaz **max-lsa hodnota**. Pokud je potřeba zrušit daný limit, stačí použít **no max-lsa hodnota**.

Pro zabránění, aby se OSPF neustále měnil z normálního stavu do stavu ignore hned poté, co se vrátil ze stavu ignore do normálního stavu, tak si zaznamenává do proměnné Ignore count, kolikrát přešel z normálního stavu do ignore stavu. Pokud tato hodnota překročí hodnotu nakonfigurovanou příkazem ignore-count, zůstává trvale OSPF ve stavu ignore. Aby se vrátil do normálního stavu je potřeba zadat příkaz **clear ip ospf**.

Je potřeba zjistit důvod, proč OSPF se dostalo do trvalého stavu ignore, aby se tomu zabránilo. Je doporučeno navýšit Max Limit LSA, než se vrátí příkazem zpět do normálního stavu.

Může nastat problém, že směrovač, který generuje velké množství LSA, není dosažitelný pro ostatní směrovače. Tyto LSA nemohou být smazány z oblasti OSPF.

Výsledkem je pak, že jiný směrovač, který přešel do normálního stavu, může brzy přejít opět do ignore stavu. Proto Cisco doporučuje provést následující 3 věci:

- Dočasně zvýšit limit LSA.
- Počkat na odstranění LSA od směrovače, až dostáhnou max věku.
- Ujistit se, že směrovač je připojen v síti a již negeneruje velké množství LSA.

Při prvním zadání max-lsa nebo při změně volitelných parametrů (například ignore-time), OSPF provádí tzv. soft reset.

V tabulce jsou uvedeny příkazy a jejich defaultní nastavení.

Příkaz	Popis	Defaultní nastavení
Ignore-time	Čas v minutách, jak dlouho má směrovač ignorovat sousedy po dosažení max limit LSA.	5 minut
Ignore-count	Počet kolikrát může být OPSF ve stavu ignore.	5x
Reset-time	Čas v minutách, kdy má být ignore-count nastaven na 0.	10 minut

Tabulka 7: Volitelné možnosti pro nastavení Max Limit LSA.

5. Konfigurace pro testování parametrů

Pro samotné testování budou vybrány jen některé relevantní parametry. Byly otestovány dvě topologie sítě. Jedna byla nakonfigurována celá v jedné oblasti a druhá pro více oblastí, aby bylo vidět, jak parametry ovlivní rychlost konvergence mezi oblastmi přes ABR směrovač. Pro konvergenci sítě se budou nastavovat parametry:

OSPF časovač	Defaultní nastavení
Hello interval	10 vteřin
Dead interval	40 vteřin
SPF Delay	5 vteřin
SPF Holdtime	10 vteřin
Minimum LSA interval	5 vteřin
Minimum LSA Arrival	1 vteřina
MTU	1500 bajtů

Tabulka 8: Defaultní hodnoty testovaných parametrů.

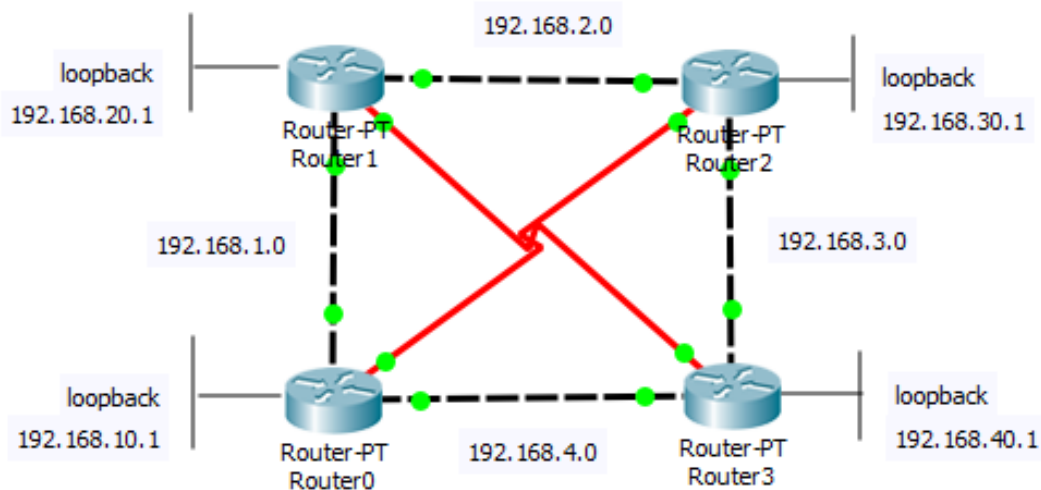
Z hardwaru byly použity směrovače od společnosti Cisco ze série 2800 konkrétně verze 2801, která je určena pro malý nebo střední byznys [34]. Obsahuje 2 rozhraní pro Fast Ethernet a 2 rozhraní pro sériovou linku. Klíčové vlastnosti směrovače:

- Střední / vysoká hustota, vysoce výkonné služby
 - Zabezpečení: šifrování přenosu, až 800 VPN tunelů (AIM); IOS FW, NAC, IPS nebo zabezpečení obsahu
 - Volání: Analogový / digitální volání s IP telefonii, hlasová schránka; Podpora CallManager Express nebo Survivable Remote Phone, podporuje až 24 IP telefonů
- Vysoce výkonné paralelní zabezpečení, hlasové a pokročilé služby pro více tarifů T1 / E1 WAN
- Integrovaná rozhraní Dual 10/100
- Volitelná integrace přepínání L2 s PoE
- Zvýšená modularita
- Flexibilní rozšíření (2 HWIC sloty), další paralelní služby
- Existující podpora WIC / VIC / VWIC, AIM
- Funkce rozšíření a dostupnosti škálovatelných služeb

Testovalo se v rámci možností a dostupnosti hardwaru školní síťové laboratoře.

5.1. Konfigurace topologie pro jednu oblast

Pro testování konvergence byla zvolena kruhová topologie se čtyřmi směrovači, které jsou připojeny pomocí Fast Ethernetu. Každý směrovač má nakonfigurovaný loopback, který simuluje další připojenou síť.



Obrázek 19: Kruhová topologie pro testování rychlosti konvergence.

V následujících tabulkách jsou zobrazeny nastavení IP adresy pro jednotlivá rozhraní a nastavení OSPF protokolu, přes které síť bude směrovač vypočítávat nejkratší cestu.

Směrovač	Rozhraní	IP adresa sítě	Maska sítě
R0	fa0/0	192.168.1.1	255.255.255.0
	fa0/1	192.168.4.2	
	Se0/1/0	192.168.5.1	
	Loopback 1	192.168.10.1	
R1	fa0/0	192.168.1.2	255.255.255.0
	fa0/1	192.168.2.1	
	Se0/1/0	192.168.6.1	
	Loopback 2	192.168.20.1	
R2	fa0/0	192.168.3.1	255.255.255.0
	Se0/1/0	192.168.5.2	
	fa0/1	192.168.2.2	
	Loopback 3	192.168.30.1	
R3	fa0/0	192.168.3.2	255.255.255.0
	fa0/1	192.168.4.1	

	Se0/1/0	192.168.6.2	
	Loopback 4	192.168.40.1	

Tabulka 9: Konfigurace jednotlivých rozhraní na směrovačích.

Směrovač	Adresa sítě	Maska sítě	oblast
R0	192.168.1.0	0.0.0.255	0
	192.168.4.0		
	192.168.5.0		
	192.168.10.0		
R1	192.168.1.0	0.0.0.255	0
	192.168.2.0		
	192.168.6.0		
	192.168.20.0		
R2	192.168.2.0	0.0.0.255	0
	192.168.3.0		
	192.168.5.0		
	192.168.30.0		
R3	192.168.3.0	0.0.0.255	0
	192.168.4.0		
	192.168.6.0		
	192.168.40.0		

Tabulka 10: Nastavení sítí pro směrování pomocí OSPF.

Následující posloupnost příkazů je ukázka kompletní konfigurace jednoho směrovače, která bude podobná i pro ostatní směrovače se změnami jen v IP adresách a nastavení směrování.

```
Router>en
Router#conf t
Router(config)#hostname R0
R0(config)# int fa0/0
R0(config-if)# ip add 192.168.1.1 255.255.255.0
R0(config-if)# no sh
R0(config-if)# int fa0/1
R0(config-if)# ip add 192.168.4.2 255.255.255.0
R0(config-if)# no sh
```



```

R0(config-if)# int se0/1/0
R0(config-if)# ip add 192.168.5.1 255.255.255.0
R0(config-if)# no sh
R0(config-if)# int loopback 1
R0(config-if)# ip add 192.168.10.1 255.255.255.0
R0(config-if)# router ospf 1
R0(config-router)# network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
R0(config-router)# network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 0
R0(config-router)# network 192.168.6.0 0.0.0.255 area 0
R0(config-router)# network 192.168.10.0 0.0.0.255 area 0

```

Poté, co se na všech směrovačích objeví, že jsou ve stavu FULL, je konvergence hotová a směrování probíhá v pořádku pomocí protokolu OSPF. Pro kontrolu je možnost si zobrazit jednotlivé tabulky. Níže jsou zobrazeny pro směrovač R0.

```

R0#sh ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

    192.168.1.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L       192.168.1.1/32 is directly connected, FastEthernet0/0
O       192.168.2.0/24 [110/2] via 192.168.1.2, 00:05:16, FastEthernet0/0
O       192.168.3.0/24 [110/2] via 192.168.4.1, 00:04:26, FastEthernet0/1
    192.168.4.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.4.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
L       192.168.4.2/32 is directly connected, FastEthernet0/1
    192.168.5.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.5.0/24 is directly connected, Serial0/1/0
L       192.168.5.1/32 is directly connected, Serial0/1/0
O       192.168.6.0/24 [110/782] via 192.168.4.1, 00:03:11, FastEthernet0/1
        [110/782] via 192.168.1.2, 00:03:11, FastEthernet0/0
    192.168.10.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.10.0/24 is directly connected, Loopback1
L       192.168.10.1/32 is directly connected, Loopback1
    192.168.20.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       192.168.20.1 [110/2] via 192.168.1.2, 00:06:34, FastEthernet0/0
    192.168.30.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       192.168.30.1 [110/3] via 192.168.4.1, 00:04:26, FastEthernet0/1
        [110/3] via 192.168.1.2, 00:05:16, FastEthernet0/0
    192.168.40.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       192.168.40.1 [110/2] via 192.168.4.1, 00:04:26, FastEthernet0/1

```

Obrázek 20: Směrovací tabulka směrovače R0 pro kruhovou topologii v jedné oblasti.

```
R0#sh ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.20.1	1	FULL/DR	00:00:34	192.168.1.2	FastEthernet0/0
192.168.40.1	1	FULL/DR	00:00:37	192.168.4.1	FastEthernet1/0
192.168.30.1	0	FULL/ -	00:00:39	192.168.5.2	Serial2/0

Obrázek 21: Tabulka sousedů směrovače R0 pro kruhovou topologii v jedné oblasti.

```
R0#sh ip ospf database
```

OSPF Router with ID (192.168.10.1) (Process ID 1)

Router Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
192.168.10.1	192.168.10.1	403	0x80000008	0x00EA68	5
192.168.20.1	192.168.20.1	350	0x80000007	0x001D10	5
192.168.30.1	192.168.30.1	409	0x80000007	0x00FE2B	5
192.168.40.1	192.168.40.1	350	0x80000005	0x005CA2	5

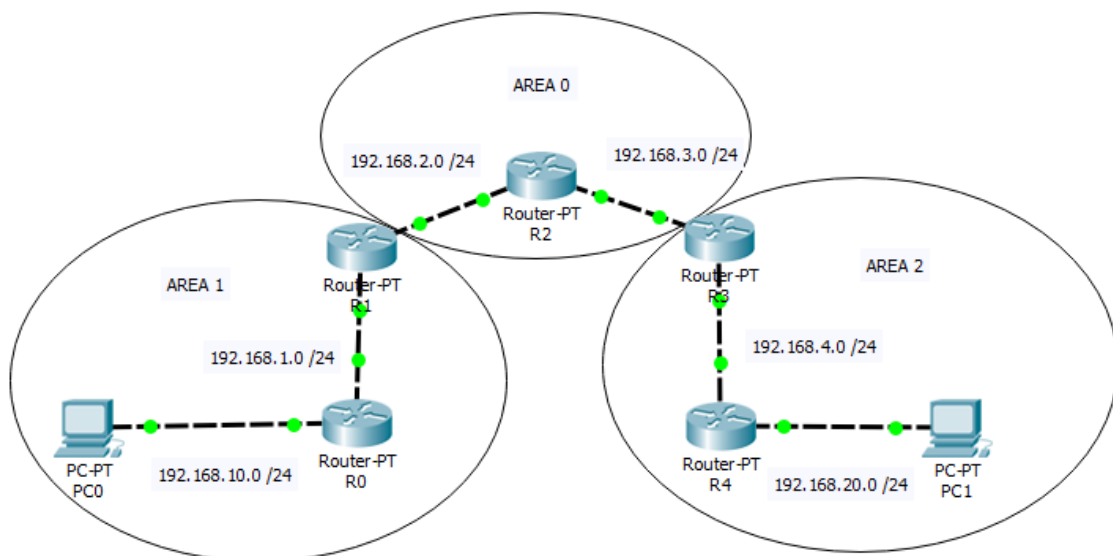
Net Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.1.2	192.168.20.1	553	0x80000001	0x003A22
192.168.2.2	192.168.30.1	475	0x80000001	0x00C577
192.168.3.2	192.168.40.1	437	0x80000001	0x0051CC
192.168.4.1	192.168.40.1	432	0x80000001	0x004BE6

Obrázek 22: Tabulka topologie směrovače R0 pro kruhovou topologii v jedné oblasti.

5.2. Konfigurace topologie pro více oblastí

Pro testování konvergence sítě je vhodné otestovat její optimalizaci a topologii s více oblastmi, protože obsahují ABR směrovače, které se starají o směrování do různých oblastí a distribuují potřebné informace [35].



Obrázek 23: Topologie s více oblastmi pro testování konvergence.

Stejně jako v předchozí topologii jsou níže tabulky pro konfiguraci sítě a nastavení směrování.

Směrovač	Rozhraní	IP adresa sítě	Maska sítě
R0	fa0/0	192.168.10.1	255.255.255.0
	fa0/1	192.168.1.1	
R1	fa0/0	192.168.2.1	255.255.255.0
	fa0/1	192.168.1.2	
R2	fa0/0	192.168.2.2	255.255.255.0
	fa0/1	192.168.3.2	
R3	fa0/0	192.168.4.2	255.255.255.0
	fa0/1	192.168.3.1	
R4	fa0/0	192.168.4.1	255.255.255.0
	fa0/1	192.168.20.1	
PC1	Fast Ethernet	192.168.10.2	255.255.255.0
PC2	Fast Ethernet	192.168.20.2	255.255.255.0

Tabulka 11: Konfigurace jednotlivých rozhraní na směrovačích.

Směrovač	Adresa sítě	Maska sítě	oblast
R0	192.168.1.0	0.0.0.255	1
	192.168.10.0	0.0.0.255	1
R1	192.168.1.0	0.0.0.255	1
	192.168.2.0	0.0.0.255	0
R2	192.168.2.0	0.0.0.255	0
	192.168.3.0	0.0.0.255	0
R3	192.168.3.0	0.0.0.255	0
	192.168.4.0	0.0.0.255	2
R4	192.168.4.0	0.0.0.255	2
	192.168.20.0	0.0.0.255	2

Tabulka 12: Nastavení sítě pro směrování pomocí OSPF pro více oblastí.

Základní konfigurace je obdobná jako v předchozí topologii. Změna se liší při konfiguraci R1 a R3 směrovače. Pro správné fungování sítě s více oblastmi je potřeba, aby byli připojeni k páteřní oblasti 0, kde je nakonfigurován směrovač R2. Níže jsou kroky pro konfiguraci směrovače R1 a R3.

```

Router(config)# hostname R1
R1(config)# int fa0/0
R1(config-if)# ip add 192.168.2.1 255.255.255.0
R1(config-if)# no sh
R1(config-if)# int fa0/1
R1(config-if)# ip add 192.168.1.2 255.255.255.0
R1(config-if)# no sh
R1(config-if)# router ospf 1
R1(config-router)# network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 1
R1(config-router)# network 192.168.2.0 0.0.0.255 area 0

```

```

Router(config)# hostname R3
R3(config)# int fa0/1
R3(config-if)# ip add 192.168.3.1 255.255.255.0
R3(config-if)# no sh
R3(config-if)# router ospf 1
R3(config-router)# network 192.168.3.1 0.0.0.0 area 1
R3(config-router)# int fa0/0
R3(config-if)# ip add 192.168.4.2 255.255.255.0
R3(config-if)# no sh
R3(config-if)# router ospf 1
R3(config-router)# network 192.168.3.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)# network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 1

```

Tabulka sousedů pro R0 je prakticky totožná jako u předchozí topologie, jen bude vypisovat 2 sousedy, se kterými je přímo připojen. V tomto případě se sousedem s IP adresou 192.168.1.2 a 192.168.10.2. Změna se nachází až ve směrovači R1 v topologické tabulce, kde jsou zaznamenány cesty do oblasti 0 a 1. Po zobrazení směrovací tabulky je na obrázku vidět, že paket, který je poslán do sítě 192.168.4.0, která je v jiné oblasti, má síť označení IA – inter-area.

```

R1#sh ip ospf database
      OSPF Router with ID (192.168.2.1) (Process ID 1)

      Router Link States (Area 0)

Link ID      ADV Router    Age           Seq#          Checksum Link count
192.168.2.1  192.168.2.1   693          0x80000002   0x00049c  1
192.168.3.2  192.168.3.2   685          0x80000004   0x00ccl  2
192.168.4.2  192.168.4.2   685          0x80000003   0x00d9be  1

      Net Link States (Area 0)

Link ID      ADV Router    Age           Seq#          Checksum
192.168.2.2  192.168.3.2   693          0x80000001   0x00ea57
192.168.3.1  192.168.4.2   685          0x80000001   0x00bd6e

      Summary Net Link States (Area 0)

Link ID      ADV Router    Age           Seq#          Checksum
192.168.1.0  192.168.2.1   740          0x80000001   0x00b6d0
192.168.10.0 192.168.2.1   688          0x80000002   0x005b21
192.168.4.0  192.168.4.2   673          0x80000001   0x0081ff
192.168.20.0 192.168.4.2   673          0x80000002   0x00d896

      Router Link States (Area 1)

Link ID      ADV Router    Age           Seq#          Checksum Link count
192.168.2.1  192.168.2.1   701          0x80000003   0x00efb1  1
192.168.10.1 192.168.10.1  701          0x80000003   0x00c648  2

      Net Link States (Area 1)

Link ID      ADV Router    Age           Seq#          Checksum
192.168.1.1  192.168.10.1  701          0x80000001   0x002a0c

      Summary Net Link States (Area 1)

Link ID      ADV Router    Age           Seq#          Checksum
192.168.2.0  192.168.2.1   688          0x80000001   0x00abda
192.168.3.0  192.168.2.1   688          0x80000002   0x00a8da
192.168.4.0  192.168.2.1   668          0x80000003   0x00a5da
192.168.20.0 192.168.2.1   668          0x80000004   0x00fc71

```

Obrázek 24: Topologická tabulka směrovače R1 pro topologii s více oblastmi.

```

R1#sh ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

      192.168.1.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
L       192.168.1.2/32 is directly connected, FastEthernet0/1
      192.168.2.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L       192.168.2.1/32 is directly connected, FastEthernet0/0
O       192.168.3.0/24 [110/2] via 192.168.2.2, 00:09:27, FastEthernet0/0
O IA    192.168.4.0/24 [110/3] via 192.168.2.2, 00:09:15, FastEthernet0/0
O       192.168.10.0/24 [110/2] via 192.168.1.1, 00:11:10, FastEthernet0/1
O IA    192.168.20.0/24 [110/4] via 192.168.2.2, 00:08:38, FastEthernet0/0

```

Obrázek 25: Směrovací tabulka směrovače R1 pro topologii s více oblastmi.

6. Testování časovačů pro konvergenci sítě

Pro obě topologie byla na začátku otestována konvergence sítě v defaultním nastavení parametrů časovačů. K parametrům testování byl zahrnut i parametr MTU, zda má vliv na konvergenci a naplnění tabulek.

6.1. Testy konvergence sítě pro jednu oblast

Pro testování konvergence sítě byly vybrány tyto parametry:

- Hello a Dead interval
- SPF Delay a Holdtime
- Minimum LSA interval a Arrival
- MTU

Změna priority pro určování DR a BDR z principu nemá vliv na konvergenci, a proto nebyl zahrnut do testování.

Pro testování konvergence v jedné oblasti byly vybrány tři scénáře:

- Doba konvergence mezi sousedy.
- Doba výpočtu změny trasy během přenosu.
- Doba úspěšného odesílání dat při obnovení rozhraní.

Ze směrovače R0 byla odeslána série paketů k cílovému směrovači R2 s nastavenou loopback3 192.168.30.1 a testovalo se, za jak dlouho směrovač R0 zaznamená ve směrovací tabulce síť s IP adresou 192.168.30.0. Při odesílání byl použit standardní příkaz **ping**, který umožňuje rozšířená nastavení. Pro testování byly parametry ping nastaveny takto:

- Protocol [ip]:
- Target IP address: 192.168.30.1
- Repeat count [5]: 1000
- Datagram size [100]:
- Timeout in seconds [2]: 1
- Extended commands [n]:
- Sweep range of sizes [n]:

Repeat count označuje, kolikrát odešle paket cílovému směrovači. V tomto případě 1000 paketů. Každý paket má velikost 100 bajtů a při výpadku čeká 1 vteřinu, než odešle další paket. Tím pádem počet ztracených paketů určuje, kolik vteřin trvalo směrovači R0,

než si do tabulek zaznamenal cestu k cílovému rozhraní nebo než se přepnul při konvergenci do stavu FULL a díky tomu mohlo odesílání paketů pokračovat.

Všechny výsledky testů jsou časy ve vteřinách.

6.1.1. Doba konvergence mezi sousedy

Pro tento test se vypnulo rozhraní fa0/1 na směrovači R3 pomocí příkazu shutdown a po opětovném zapnutí rozhraní se testovala doba, kdy R0 se přepne do stavu FULL se sousedem R3.

V daném scénáři se testovala změna časovače Hello interval z defaultních 10 vteřin na 1 vteřinu a Dead interval ze 40 vteřin pouze na 4 vteřiny. Výsledek v tabulce níže zobrazuje, že tak vysoké snížení intervalu není efektivní, protože doba konvergence silně kolísá. Proto byl test opakován a intervaly se z defaultního nastavení snížily pouze o polovinu. Hello interval na 5 vteřin a Dead interval na 20 vteřin. Výsledek testu je stabilnější než v předchozím případě.

Poté se parametry Hello a Dead interval obnovily do defaultního nastavení a pro daný scénář se testoval vliv konvergence pouze na změnu časovače SPF Delay z 5 vteřin na 1 vteřinu a Holdtime z 10 vteřin na 5 vteřin. Výsledek testů předběžně ukazuje, že SPF Delay a Holdtime nemá vliv na dobu konvergence směrovače se sousedem.

V závěrečném testování se obnovilo defaultní nastavení parametrů a změnil se časovač minimálního zdržení odeslání následujícího LSA paketu a doba mezi příchozími LSA pakety se stejným ID. Defaultně je Minimum LSA nastaveno na 5 vteřin a Arrival na 1 vteřinu. Pro účely testu rychlosti konvergence sítě bylo nastaveno Minimum LSA na 1ms a Arrival na 0ms. To znamená, že nebude čekat a okamžitě může zpracovat následující LSA se stejným ID. Od společnosti CISCO [36] je doporučeno nastavit LSA Arrival na stejnou nebo nižší hodnotu, než je Minimum LSA interval. Výsledek testů ukazuje, že změna LSA intervalů mají negativní vliv na stabilitu rychlosti konvergence sítě.

Poté byla i otestována změna MTU z 1500 bajtu na minimální hodnotu a to na 68 bajtů. Výsledek testů ukazuje, že změna MTU nemá vliv na konvergenci sítě. Níže je kompletní přehled testů pro jednotlivé parametry. Každý test se opakoval dvacetkrát. V posledním testu se nastavily všechny parametry.

Stejně jako v předchozím scénáři se testovala změna parametrů Hello a Dead intervalu. Použilo se již nastavení Hello intervalu 5 vteřin a Dead intervalu 20 vteřin a výsledek dopadl stejně. Z toho vyplývá, že změna Hello a Dead intervalu na topologii s jednou oblastí nemá vliv na výpočet změny trasy během přenosu.

Ze samotné teorie by měly mít parametry SPF Delay a Holdtime velký vliv na rychlosti výpočtu změny trasy při náhlém výpadku rozhraní, který je součástí trasy přenosu. Výsledky testů to potvrzují. Během přenosu nebyly odeslány 2 pakety, a proto výpočet nové trasy trval pouze 2 vteřiny.

Pro LSA interval a MTU jsou výsledky testů obdobné jako u prvního scénáře, že LSA interval mají negativní vliv na stabilní rychlost konvergence sítě a MTU naopak vliv nemá.

V posledních testech se opět testovala změna všech parametrů a výsledky dopadly stejně jako při změně SPF Delay a Holdtime.

Číslo testu	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval a Arrival	MTU	Změna všech parametrů
1	6	6	2	6	6	2
2	6	6	2	5	6	2
3	6	6	2	7	6	2
4	6	6	2	7	6	2
5	6	6	2	5	6	2
6	6	6	2	6	6	2
7	6	6	2	8	6	2
8	6	6	2	6	6	2
9	6	6	2	8	6	2
10	6	6	2	7	6	2
11	6	6	2	5	6	2
12	6	6	2	5	6	2
13	6	6	2	6	6	2
14	6	6	2	7	6	2
15	6	6	2	6	6	2
16	6	6	2	7	6	2
17	6	6	2	6	6	2
18	6	6	2	5	6	2
19	6	6	2	8	6	2
20	6	6	2	8	6	2

Tabulka 14: Výsledky při testování změny trasy během přenosu.

6.1.3. Doba úspěšného odesílání dat při obnovení rozhraní

Pro testování bylo odpojeno rozhraní loopback3 na R2. Při zahájení přenosu se v té samé chvíli rozhraní obnovilo. Výsledek poté ukazuje, jak dlouho trvalo směrovači R0, než úspěšně odeslal data k cílovému rozhraní loopback3. V defaultním nastavení se úspěšně odeslalo 991 paketů z 1000, a proto doba k úspěšnému odeslání paketu trvala 9 vteřin.

Stejně jako při změně trasy, nemá vliv změna Hello a Dead intervalu na úspěšné odeslání dat k obnovenému cílovému rozhraní.

Testy během změny SPF Delay a Holdtime ukázaly, že při obnovení cílového rozhraní loopback3 na směrovači R2 směrovač R0 rychleji zjistí, že cíl je opět k dispozici a díky tomu může rychleji obnovit přenos dat.

Výsledky testů pro LSA a MTU v tomto scénáři jsou opět totožné jako v předchozích scénářích – LSA má negativní vliv a MTU nemá žádný vliv.

Testy se změnou všech parametrů ukazují celkové zrychlení obnovy přenosu dat k cílovému směrovači.

Číslo testu	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval a Arrival	MTU	Změna všech parametrů
1	9	9	5	9	9	5
2	9	9	5	10	9	5
3	9	9	5	9	9	5
4	9	9	5	9	9	5
5	9	9	5	8	9	5
6	9	9	5	11	9	5
7	9	9	5	10	9	5
8	9	9	5	9	9	5
9	9	9	5	9	9	5
10	9	9	5	10	9	5
11	9	9	5	8	9	5
12	9	9	5	11	9	5
13	9	9	5	9	9	5
14	9	9	5	9	9	5
15	9	9	5	10	9	5
16	9	9	5	9	9	5
17	9	9	5	11	9	5
18	9	9	5	9	9	5
19	9	9	5	9	9	5
20	9	9	5	8	9	5

Tabulka 15: Výsledky při testování obnovení cílového rozhraní.

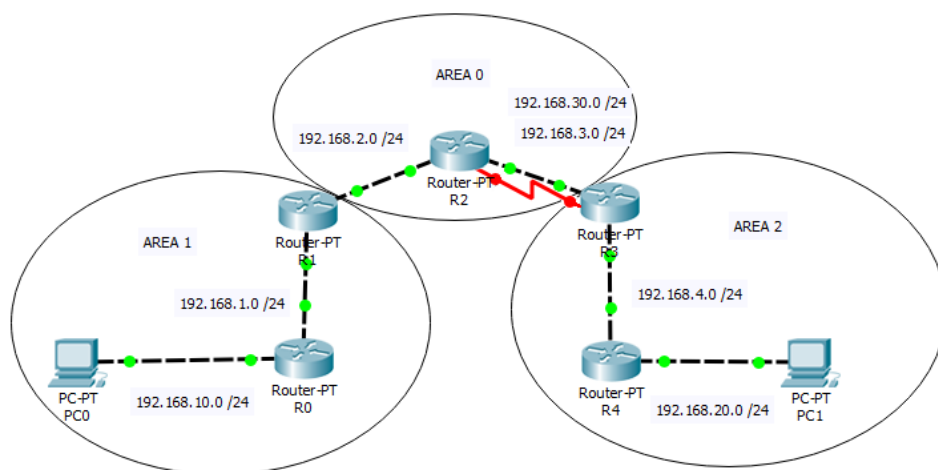
6.2. Testy konvergence sítě pro více oblastí

Pro testování byly zvoleny stejné scénáře, aby se porovnálo, zda konvergence mezi sousedy v oblasti jsou totožné a přidán se jeden test, když se obnoví ABR směrovač, jak velký má vliv na obnovu přenosu k cílovému rozhraní v jiné oblasti.

Pro testování konvergence s více oblastmi byly tedy vybrány čtyři scénáře:

- Doba konvergence mezi sousedy.
- Doba výpočtu změny trasy během přenosu.
- Doba úspěšného odesílání dat při obnovení rozhraní.
- Doba úspěšného odesílání dat při obnovení ABR směrovače.

Hlavní testování bylo odesílání sérii paketů ze směrovače R0, který patří do oblasti 1, k cílovému směrovači R4 konkrétně k aktivnímu rozhraní s IP adresou 192.168.20.1, který je v oblasti 2. Nastavení příkazu ping je totožné jako u předchozích testů. Pro testování SPF Delay a Holdtime se upravila topologie.



Obrázek 27: Změna topologie pro testování SPF Delay a Holdtime.

6.2.1. Doba konvergence mezi sousedy

Test je totožný s testem pro jednu oblast, aby se ověřilo, zda i pro více oblastí dopadnou podobné výsledky. U směrovače R1 se vypnulo rozhraní fa0/1 a po opětovném zapnutí rozhraní se opět testovala doba, kdy R0 se přepne do stavu FULL se sousedem R1.

V důsledku testů v jedné oblasti se již testovalo pouze snížení Hello intervalu na 5 vteřin a Dead intervalu na 20 vteřin. Test se opět opakoval dvacetkrát a výsledek v tabulce ukazuje podobné výsledky jako v topologii s jednou oblastí.

Pro SPF Delay a Holdtime bylo v předchozí topologii vidět, že nemá takový vliv na konvergenci mezi sousedy a v testech pro více oblastí se to potvrdilo.

Pro LSA interval a Arrival je výsledek testů obdobný jako v testování v jedné oblasti, že změna LSA intervalů na 1 ms způsobuje nestabilní konvergenci sítě mezi sousedy i ve více oblastí. Změna MTU na 68 bajtů neovlivňuje rychlost konvergence ve více oblastí.

Po změně všech parametrů vypadá doba konvergence stabilní, ale zároveň rychlejší než v defaultním nastavení.

Číslo testu	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval a Arrival	MTU	Změna všech parametrů
1	43	23	44	45	40	23
2	43	19	40	40	39	23
3	39	23	43	42	42	23
4	40	19	40	42	42	22
5	42	23	42	42	43	23
6	41	23	43	43	40	19
7	43	23	39	46	41	23
8	43	19	42	39	40	23
9	40	23	40	40	39	19
10	39	23	39	42	39	23
11	42	23	42	42	42	23
12	40	20	43	40	42	23
13	43	22	43	43	20	19
14	43	23	39	39	43	22
15	43	23	40	39	40	23
16	42	20	42	40	39	23
17	39	19	40	44	40	22
18	40	23	42	42	40	19
19	42	23	39	29	42	23
20	41	23	40	40	43	23

Tabulka 16: Výsledky testování konvergence mezi sousedy ve více oblastí.

6.2.2. Doba výpočtu změny trasy během přenosu

Opět ze směrovače R0 se odesílaly pakety pomocí příkazu ping, ale jako cílové rozhraní bylo fa0/1 na R4 s IP adresou 192.168.20.1. Po úspěšném odeslání několika paketů se vypnulo rozhraní fa0/1 na R3. Pro test se přidala trasa mezi R2 a R3 pomocí sériového portu a nejprve se provedly testy v defaultním nastavení. Výsledky testů ukazují, jak dlouho směrovači R0 trvalo vypočítat novou trasu přes toto rozhraní.

Poté se nastavily časovače Hello interval na 5 vteřin a Dead interval na 20 vteřin. Výsledek je stejný jako při testů v jedné oblasti, že nemá vliv na rychlost výpočtu změny trasy při výpadku rozhraní.

Při změně SPF Delay a Holdtime se doba výpočtu nové trasy k cílovému směrovači zrychlila bez ohledu na to, zda cíl je ve stejné nebo v jiné oblasti.

Pro LSA interval se výsledky ve scénářích příliš nemění. Při změně se výpočet nové trasy provádí v různých časových intervalech a obecně rychlejší není.

Potvrzuje se, že změna MTU opět nemá vliv na rychlost výpočtu nové trasy.

Po změně všech parametrů se rychlost konvergence zrychlila a stabilizovala na 2 vteřiny jak v případě topologie v jedné oblasti.

Číslo testu	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval a Arrival	MTU	Změna všech parametrů
1	6	6	2	5	6	2
2	6	6	2	7	6	2
3	6	6	2	8	6	2
4	6	6	2	7	6	2
5	6	6	2	5	6	2
6	6	6	2	7	6	2
7	6	6	2	5	6	2
8	6	6	2	7	6	2
9	6	6	2	8	6	2
10	6	6	2	8	6	2
11	6	6	2	6	6	2
12	6	6	2	7	6	2
13	6	6	2	7	6	2
14	6	6	2	7	6	2
15	6	6	2	5	6	2
16	6	6	2	9	6	2
17	6	6	2	6	6	2
18	6	6	2	7	6	2
19	6	6	2	5	6	2
20	6	6	2	6	6	2

Tabulka 17: Výsledky při testování změny trasy během přenosu mezi oblastmi.

6.2.3. Doba úspěšného odesílání dat při obnovení rozhraní

Data se odesílala z PC0 k PC1. Před začátkem přenosu se odpojilo rozhraní fa0/1 na směrovači R4 a obnovilo se ve stejné době jako zahájení přenosu. Počet neúspěšných doručení označuje počet vteřin, než se úspěšně obnoví přenos. Výsledek testů přenosu mezi oblastmi je stejný jako u jedné oblasti s defaultním nastavením parametrů.

Při změně Hello a Dead intervalu je v tabulce 18 vidět menší změna doby konvergence. Celkově se zdá pomalejší, protože ABR směrovače mají kratší intervaly pro zpracování Hello paketů, ale ta změna zatím není tak výrazná.

Pro SPF Delay a Holdtime je výsledek stejný jako pro jednu oblast, díky tomu se dá říct, že změna zrychluje obnovení přenosu bez ohledu, za se data přenášejí v rámci jedné oblasti nebo mezi oblastmi.

Potvrzuje se, že po snížení LSA intervalů není konvergence stabilní, naopak změna MTU nemá vliv.

Celkově po změnách všech parametrů se zrychlila doba obnovy přenosu, ale není tak stabilní jako při testování stejného scénáře na topologii v jedné oblasti. Parametry mají na sebe větší vliv, kvůli distribuci informací do oblastí od ABR směrovačů.

Číslo testu	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval a Arrival	MTU	Změna všech parametrů
1	9	11	5	10	9	7
2	9	9	5	9	9	7
3	9	12	5	11	9	5
4	9	11	5	10	9	6
5	9	10	5	8	9	7
6	9	11	5	10	9	7
7	9	13	5	9	9	8
8	9	9	5	9	9	6
9	9	11	5	12	9	7
10	9	10	5	10	9	6
11	9	12	5	10	9	8
12	9	10	5	12	9	7
13	9	9	5	11	9	7
14	9	11	5	9	9	6
15	9	11	5	10	9	5
16	9	10	5	11	9	7
17	9	9	5	10	9	7
18	9	9	5	9	9	8
19	9	12	5	9	9	6
20	9	9	5	12	9	6

Tabulka 18: Výsledky testování odesílání dat mezi oblastmi.

6.2.4. Doba úspěšného odesílání dat při obnovení ABR směrovače

Test je prakticky totožný s předchozím scénářem, ale hlavním cílem je zjistit, zda má jiný vliv na rychlost obnovení přenosu při obnovení ABR směrovače, který se stará o distribuci informací v oblasti. Níže uvedená tabulka ukazuje, že v jednotlivých změnách

parametrů je obnovení mnohem delší než při obnově směrovače z oblasti. ABR znova provádí konvergenci se sousedem a poté distribuuje informace do ostatních oblastí. Až poté se úspěšně dokončí přenos.

Při změně Hello a Dead intervalu se na tomto scénáři na rozdíl od předchozího, kde se doba přenosu zpomalila, se doba obnovy přenosu zrychlila a to výrazně.

I při změně SPF Delay a Holdtime se zrychlí doba obnovení přenosu.

Pro LSA intervaly i pro MTU je výsledek velmi podobný jako při testování s defaultním nastavením, tím pádem oba parametry neovlivňují zrychlení obnovení přenosu po síti.

Změna všech parametrů ukazuje, že se doba obnovení přenosu zkrátí prakticky o polovinu a je vidět už jen z pokusů, že jednotlivé parametry mohou ovlivnit rychlost obnovy přenosu.

Číslo testu	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval a Arrival	MTU	Změna všech parametrů
1	60	40	50	65	59	36
2	59	44	50	60	60	36
3	64	40	50	65	60	31
4	65	45	56	64	64	30
5	60	45	50	60	65	36
6	65	39	51	59	60	35
7	59	44	55	65	65	30
8	59	45	56	67	59	36
9	60	40	56	58	59	36
10	59	39	50	65	64	36
11	64	44	50	65	60	31
12	60	45	51	54	60	30
13	60	40	55	60	65	36
14	59	40	55	60	59	35
15	60	44	50	65	60	36
16	59	39	50	59	64	36
17	59	40	56	59	59	31
18	60	44	55	64	60	31
19	64	40	50	60	65	35
20	59	39	50	65	59	30

Tabulka 19: Výsledky testování odesílání dat mezi oblastmi po obnově ABR.

7. Vyhodnocení výsledků testů doby konvergence sítě

Cílem všech testů bylo zjistit, jaký vliv mají parametry časovačů při změně jejich defaultních nastavení na konvergenci sítě pro jednu oblast a pro více oblastí. Pro vyhodnocení výsledků testů jsou použity základy popisné statistiky například průměr, rozptyl, směrodatná odchylka nebo pro znázornění výsledků testů je například použit krabicový graf. Nejprve jsou parametry popisné statistiky vysvětleny, které byly pro vyhodnocení výsledku použity.

7.1. Základy popisné statistiky

Typy dat

Pro zjednodušení dat a pro lepší orientaci ve výsledcích se používá popisná statistika. Popisuje hlavní vlastnosti získaných dat například z testů. V této práci jsou velmi stručně popsány základy statistiky, které budou použity k vyhodnocení sesbíraných dat z testů. Pro použití statistiky se používají různé typy dat [41].

- Nominální

Data jsou pouze popisná. Není možné je seřadit a mohou se pouze označit. Pod tuto kategorii se dají zařadit epidemiologické charakteristiky například místo.

- Ordinální

Data s daným pořadím. Je možné pro zpřehlednění data seřadit do kategorií. Typickým příkladem je stupnice pravděpodobnosti.

- Intervalová

Poskytuje více informací například je možnost porovnávat data mezi sebou. Umožňuje vytvářet intervaly mezi hodnotami.

- Poměrná

V těchto datech je pevně označená nula a označuje nepřítomnost dané hodnoty. Je to stupnice, podle které jsou data rozdělena.

Průměr

Prvním základním bodem popisné statistiky je průměr, který se dělí do kategorií.

- Aritmetický

Bere v potaz všechny hodnoty a dá se použít jako zastupitele dané četnosti hodnot. Hlavní nevýhoda je, že stačí, aby v souboru hodnot byly některé hodnoty příliš vysoké nebo naopak příliš nízké a díky tomu průměr může být zkreslený. Vzorec pro výpočet.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- Geometrický

Není tak často používaný, ale přesto poskytuje přesnější výsledky. Převážně se používá u růstových veličin, když je například potřeba zjistit průměrné tempo růstu HDP.

$$\sqrt[n]{x_1 * x_2 * \dots * x_n}$$

- Harmonický

Harmonický průměr je převrácená hodnota aritmetického průměru převrácených hodnot. Je nejméně používaný, protože má smysl ho využít, pokud existuje soubor převrácených hodnot.

$$\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}}$$

Modus

Je to hodnota, která se ve statistickém souboru vyskytuje nejčastěji. Představuje standardní hodnotu pro sledovaný soubor hodnot.

Medián

Hodnota, která dělí seznam seřazených hodnot na polovinu. Obecně platí, že 50% hodnot je menších nebo rovných a 50% hodnot je větších nebo rovných mediánu. Při hledání mediánu může mít soubor sudý počet hodnot. To se potom vezme průměr dvou hodnot uprostřed seřazeného seznamu. Výhodou je, že hodnota není ovlivněna extrémními hodnotami souboru.

Rozptyl

Je definován jako střední hodnota čtverců odchylek od střední hodnoty. Používá se pro porovnání dvou a více souborů dat. Průměry souborů dat mohou být stejné, ale každý může mít jiný rozptyl od střední hodnoty. Používá se vzorec níže, kde E je střední hodnota a n je počet hodnot souboru.

$$o^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - E(x))^2$$

Směrodatná odchylka

Hodnota se získá odmocninou rozptylu a označuje, jak hodně se od sebe navzájem liší jednotlivé situace v souboru zkoumaných hodnot. Pokud je nízká, jsou si hodnoty v souboru navzájem podobné, naopak vysoká označuje velké odlišnosti.

$$\sqrt{\text{var}(x)}$$

Krabicový graf

Boxplot neboli krabicový graf se používá v popisné statistice pro grafickou vizualizaci souboru dat pomocí jejich kvartilů, což je rozdělení souboru na čtvrtiny. Střední část grafu je označena třetím kvantilem, dolní část prvním kvantilem a mezi nimi se vymezuje medián. Krabicový graf zobrazuje rozdíly mezi soubory dat bez předpokladu normálního rozdělení.

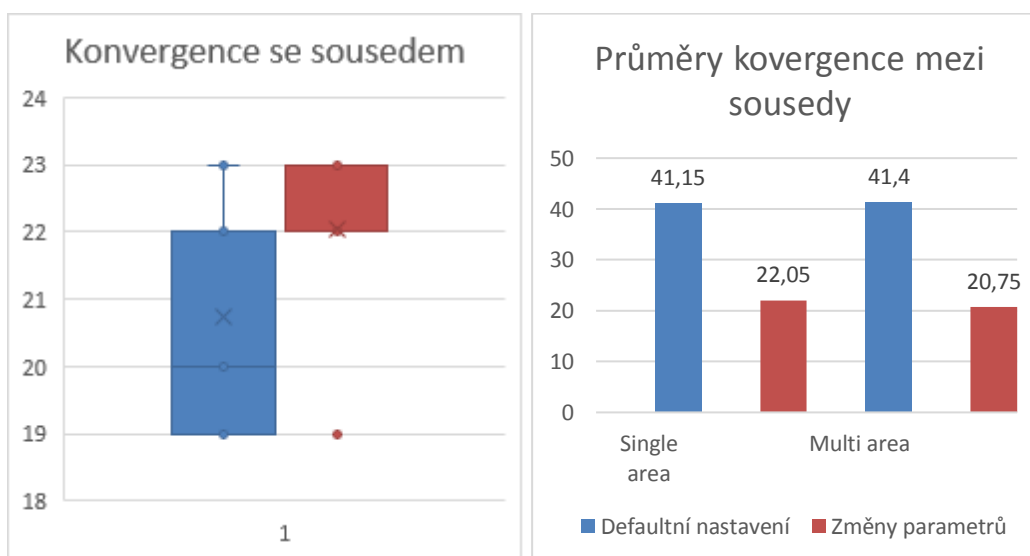
7.2. Vyhodnocení doby konvergence mezi sousedy

	Defaultní nastavení	Hello (1s) a Dead (4s) interval	Hello (5s) a Dead (20s) interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval	MTU	Změna všech parametrů
Průměr	41,15	5,30	21,00	41,10	41,75	41,05	20,75
Modus	42,00	4,00	22,00	42,00	38,00	42,00	19,00
Medián	42,00	4,50	21,00	41,00	41,50	41,50	20,00
Rozptyl	2,33	3,81	1,70	2,79	9,39	1,65	2,29
Směrodatná odchylka	1,53	1,95	1,30	1,67	3,06	1,28	1,51

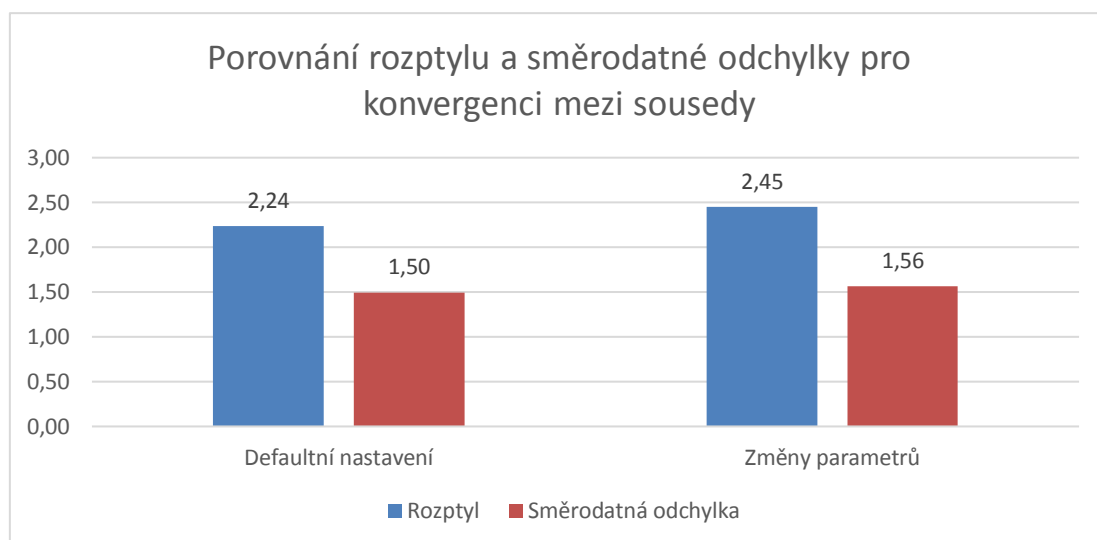
Tabulka 20: Vyhodnocení testů konvergence mezi sousedy v jedné oblasti.

	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval	MTU	Změna všech parametrů
Průměr	41,40	21,85	41,10	40,95	39,80	22,05
Modus	43,00	23,00	40,00	42,00	40,00	23,00
Medián	42,00	23,00	41,00	42,00	40,00	23,00
Rozptyl	2,24	2,83	2,59	11,25	1,96	2,45
Směrodatná odchylka	1,50	1,68	1,61	3,35	1,40	1,56

Tabulka 21: Vyhodnocení testů konvergence mezi sousedy ve více oblastí.



Obrázek 28: Výsledné grafy pro konvergenci mezi sousedy.



Obrázek 29: Porovnání rozptylu a směrodatné odchyly pro konvergenci mezi sousedy.

Když se porovnají jednotlivé hodnoty statistiky, je patrné, že doba konvergence mezi sousedy je podobná jak v OSPF síti s jednou oblastí, tak i s více oblastmi. V porovnání průměrů v defaultním nastavení parametrů je rozdíl hodnot, že o 0,25 vteřiny je konvergence rychlejší v jedné oblasti, což je zanedbatelný rozdíl. Po změně všech parametrů je rozdíl jen 1,3 vteřiny, a to se dá také považovat za nepatrné zpomalení.

Díky tomuto zjištění jsou i ostatní hodnoty velmi podobné. Co se týká nastavení parametrů, zda se vyplatí je snížit, tak ano. Na grafu je vidět, že doby konvergence se zrychlily jednou tolik ale hodnoty rozptylu a směrodatné odchyly se nezměnily.

Je patrné, že nemá smysl měnit parametry LSA a MTU, protože hodnoty rozptylu a směrodatné odchyly jsou příliš vysoké a dobu konvergence nezměnily.

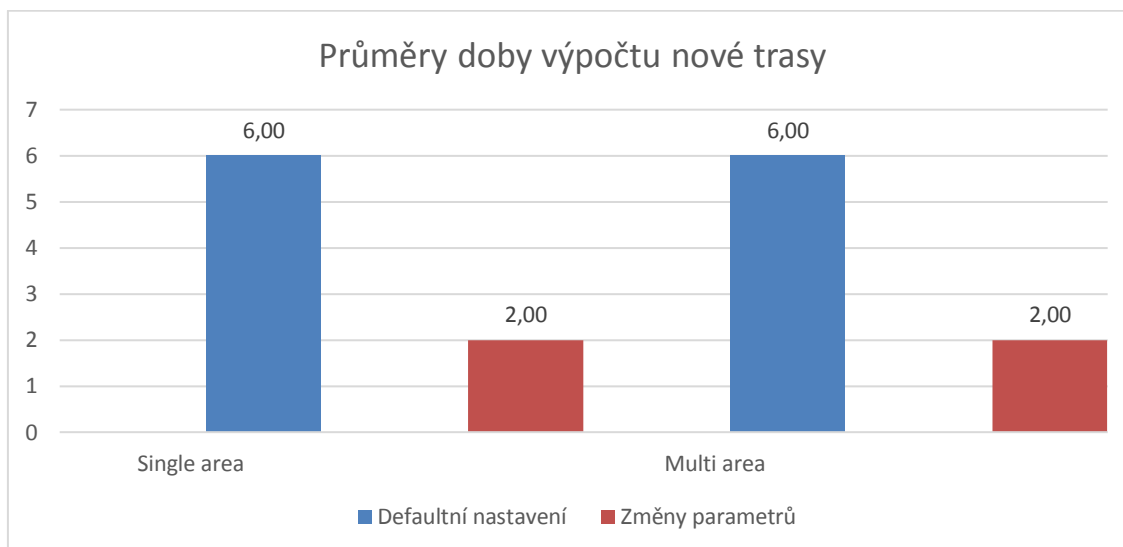
7.3. Vyhodnocení doby výpočtu změny trasy

	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval	MTU	Změna všech parametrů
Průměr	6,00	6,00	2,00	6,40	6,00	2,00
Modus	6,00	6,00	2,00	6,00	6,00	2,00
Medián	6,00	6,00	2,00	6,00	6,00	2,00
Rozptyl	0,00	0,00	0,00	1,14	0,00	0,00
Směrodatná odchylna	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00

Tabulka 22: Vyhodnocení testů doby výpočtu změny trasy v jedné oblasti.

	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval	MTU	Změna všech parametrů
Průměr	6,00	6,00	2,00	6,60	6,00	2,00
Modus	6,00	6,00	2,00	7,00	6,00	2,00
Medián	6,00	6,00	2,00	7,00	6,00	2,00
Rozptyl	0,00	0,00	0,00	1,34	0,00	0,00
Směrodatná odchylka	0,00	0,00	0,00	1,16	0,00	0,00

Tabulka 23: Vyhodnocení testů doby výpočtu změny trasy ve více oblastí.



Obrázek 30: Porovnání rozptylu a směrodatné odchylky pro výpočet změny trasy.

V obou topologiích testy dopadly naprosto stejně. Krabicový graf nemá smysl vytvářet, protože průměry, mody a mediány jsou shodné a dokonce výsledky nemají rozptyl ani směrodatnou odchylku.

Relevantní hodnota k vyhodnocení výsledků testů se jeví průměry jednotlivých testů. Z grafu je vidět, že při změně parametrů SPF Delay a Holdtime se doba výpočtu trasy snížila na třetinu času, bez ohledu na to, jestli se změní i ostatní parametry.

Z ostatních parametrů je vidět, že Hello a Dead interval může být snížen, aniž by to ovlivnilo výpočet nové trasy, ale samotné LSA intervaly mohou způsobovat výkyvy, proto se nedoporučuje tento parametr měnit.

To samé i s MTU, ale z opačného důvodu, že jak v předchozím scénáři, tak i tady nemá vliv na dobu změny trasy.

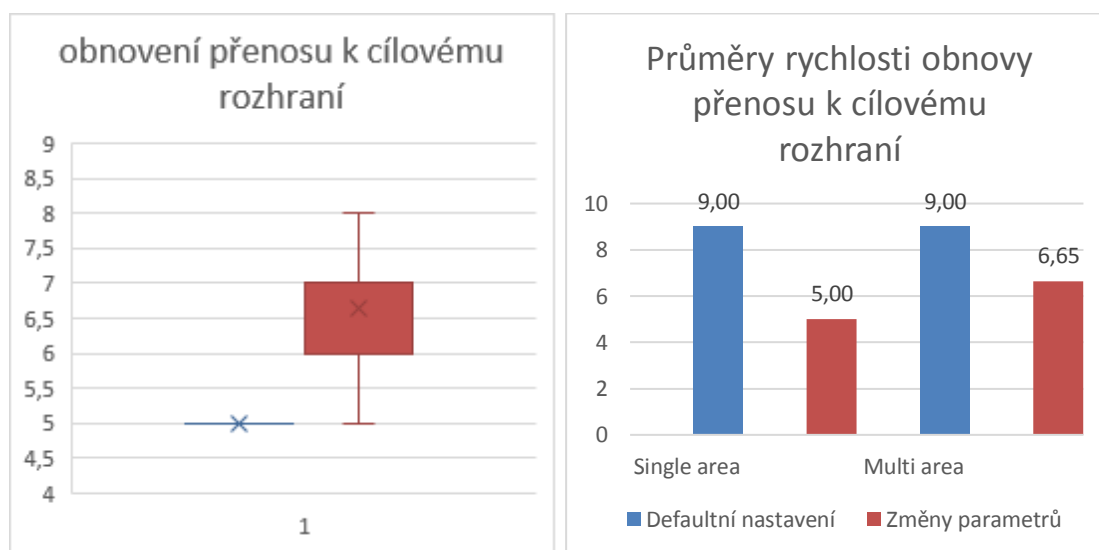
7.4. Vyhodnocení doby úspěšného odesílání dat po obnově rozhraní

	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval	MTU	Změna všech parametrů
Průměr	9,00	9,00	5,00	9,35	9,00	5,00
Modus	9,00	9,00	5,00	9,00	9,00	5,00
Medián	9,00	9,00	5,00	9,00	9,00	5,00
Rozptyl	0,00	0,00	0,00	0,83	0,00	0,00
Směrodatná odchylka	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00

Tabulka 24: Vyhodnocení testů obnovy odeslání dat v jedné oblasti.

	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval	MTU	Změna všech parametrů
Průměr	9,00	10,45	5,00	10,05	9,00	6,65
Modus	9,00	11,00	5,00	10,00	9,00	7,00
Medián	9,00	10,50	5,00	10,00	9,00	7,00
Rozptyl	0,00	1,45	0,00	1,25	0,00	0,73
Směrodatná odchylka	0,00	1,20	0,00	1,12	0,00	0,85

Tabulka 25: Vyhodnocení testů obnovy odeslání dat ve více oblastí.



Obrázek 31: Výsledné grafy pro obnovení odeslání dat ve více oblastí.

Při obnově cílového rozhraní během přenosu je patrné, že hlavní vliv na zrychlení obnovy přenosu jsou parametry SPF Delay a Holdtime. V topologii s jednou oblastí při snížení parametrů je rychlost stabilní a nemá žádný rozptyl ani směrodatnou odchylku, Minimum a maximum času je totožný, proto krabicový graf pro jednu oblast není vidět. Pro topologii s více oblastmi již graf ukazuje, že minimum je 5 vteřin a maximum 8 vteřin, ale z tabulky je vidět že rozptyl a směrodatná odchylka je minimální.

Pro samostatný Hello a Dead interval jsou již výsledky horší, ale s nastavením SPF Delay a Holdtime se doba obnovy nejen zrychlí, ale i stabilizuje.

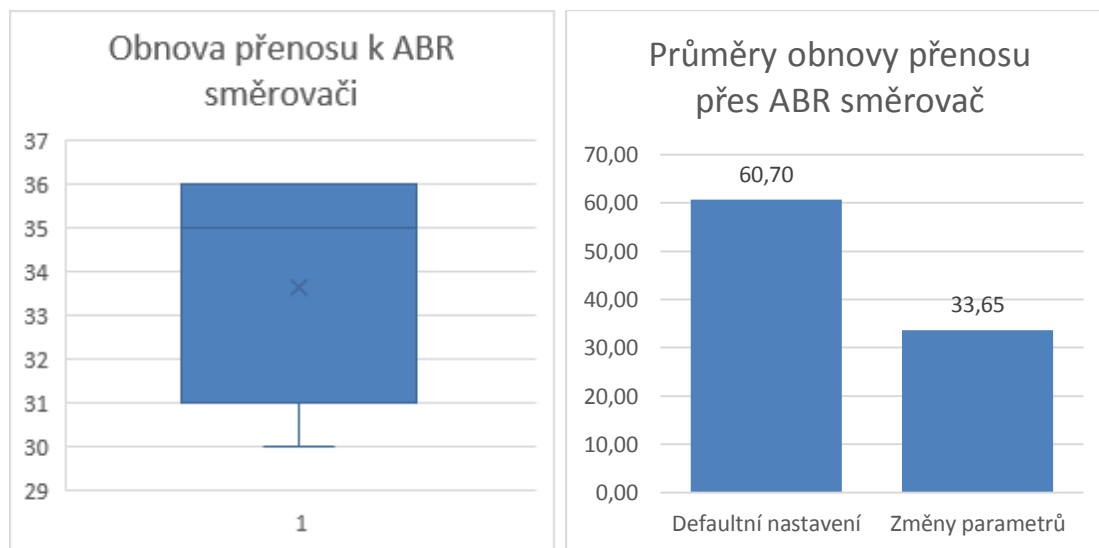
Změna LSA intervalu opět způsobila, že se doba obnovy ještě zpomalila a změna MTU neposkytla žádnou změnu rychlosti.

Celkově průměry doby obnovy ukazují, že po změně parametrů se doba zrychlí, a proto se vyplatí i v tomto scénáři snížit parametry časovačů.

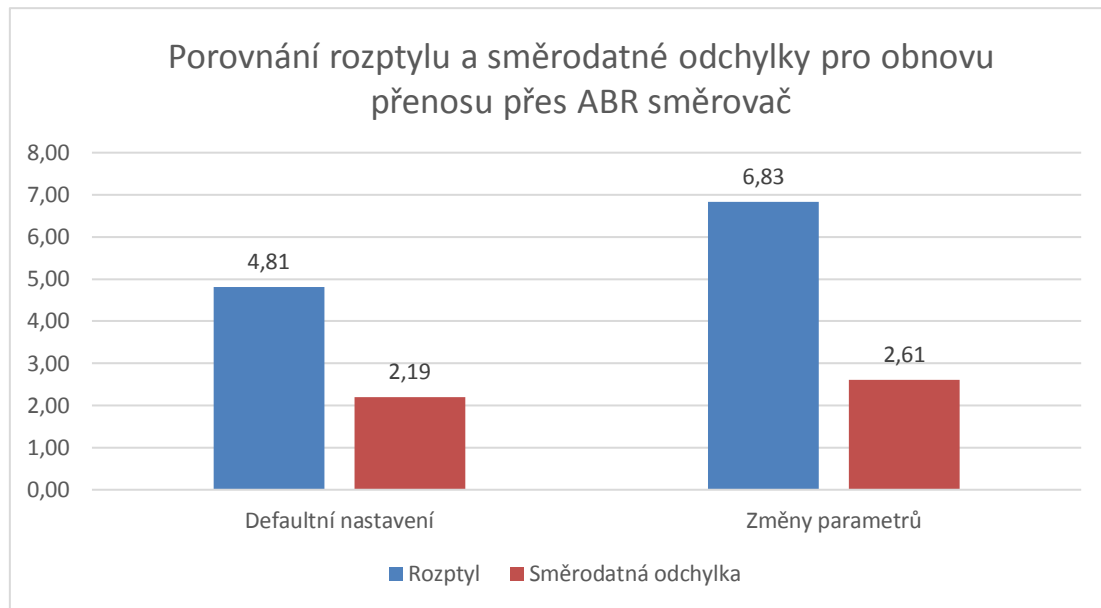
7.5. Vyhodnocení doby úspěšného odesílání dat při obnovení ABR směrovače

	Defaultní nastavení	Hello a Dead interval	SPF Delay a Holdtime	LSA interval	MTU	Změna všech parametrů
Průměr	60,70	41,80	52,30	61,95	61,30	33,65
Modus	59,00	40,00	50,00	65,00	60,00	36,00
Medián	60,00	40,00	50,50	62,00	60,00	35,00
Rozptyl	4,81	5,96	7,01	11,15	6,01	6,83
Směrodatná odchylka	2,19	2,44	2,65	3,34	2,45	2,61

Tabulka 26: Vyhodnocení testů obnovy odeslání dat při obnovení ABR směrovače ve více oblastí.



Obrázek 32: Výsledné grafy pro obnovení odeslání dat při obnovení ABR směrovače ve více oblastí.



Obrázek 33: Porovnání rozptylu a směrodatné odchylky pro obnovení odeslání dat při obnovení ABR směrovače ve více oblastí.

Tento test se provedl jen pro topologii s více oblastmi, protože obsahuje ABR směrovač. Při výpadku a opětovném nahození ABR směrovače trvá celou minutu, než se povede obnovit přenos mezi PC. Hlavním důvodem, proč obnova trvá tak dlouho, je, že ABR směrovač R3 shromažďuje informace o oblasti 2. Po obnově nejprve provede konvergenci se sousedem z oblasti 2 a získá informace o dané oblasti. Poté informace předá do další oblasti. Proto každý parametr má vliv na dobu obnovy přenosu.

Po změně Hello a Dead intervalu se doba obnovy zrychlila o 20 vteřin, protože se provede rychleji konvergence ABR směrovače se sousedem z oblasti 2. Rozptyl a směrodatná odchylka se příliš nezměnila.

I pro SPF Delay a Holdtime se snížila doba obnovy přenosu i když byly Hello a Dead interval v defaultním nastavení. Doba se snížila o 10 vteřin. Rozptyl je trochu vyšší, ale směrodatná odchylka se nezměnila, takže se změna parametru vyplatí.

LSA interval opět jen zpomalil dobu obnovy a rozptyl se také navýšil oproti předchozím parametrům, a proto se nevyplatí měnit parametr.

Test změny MTU potvrdil, že jeho změna nemá vliv ani na obnovu přenosu při obnově ABR směrovače.

Při změně všech parametrů se doba obnovy snížila o polovinu s tím, že rozptyl a směrodatná odchylka se příliš nenavýšila. V krabicovém grafu je vidět, že maximální hodnota se shoduje se třetím kvartilem a minimální hodnota není tak výrazná. Proto se vyplatí snížit parametry časovačů.

7.6. Tabulka vlivu parametrů pro konvergenci sítě

Název parametru	Vliv na konvergenci sítě
Hello a Dead interval	Pozitivně vysoký
SPF Delay a Holdtime	Pozitivně vysoký
Minimum LSA interval a Arrival	Negativně vysoký
MTU	Nízký

Tabulka 27: Vliv jednotlivých parametrů pro konvergenci sítě.

8. Optimální konfigurace časovačů pro maximální efektivnost konvergence sítě

Díky výsledkům testů se dají nastavit jednotlivé parametry, aby se dosáhlo neoptimálnější konvergence sítě.

Název parametru	Změna hodnoty
Hello interval	5 vteřin
Dead interval	20 vteřin
SPF Delay	1 vteřina
SPF Holdtime	5 vteřin
Minimum LSA interval	5 vteřin
Minimum LSA Arrival	1 vteřina
MTU	1500 bajtů

Tabulka 28: Optimální nastavení parametrů pro konvergenci sítě.

Pro konvergenci mezi sousedy je optimální nastavit Hello a Dead interval na zmíněné hodnoty. Díky tomu může OSPF rychleji reagovat na změnu topologie a provést aktualizaci tabulek a zároveň je stabilita doby konvergence zachována. Testování s nižšími hodnotami způsobilo, že samotná síť byla příliš zahlcena častými přenosy Hello paketů a celkově byla rychlost přenosu dat pomalá a konvergence se prováděla za různou dobu.

Při výpočtu nové trasy během přenosu není výhodné parametry SPF Delay a Holdtime nastavit na minimální hodnotu, protože by se trasy neustále přepočítávaly. Přesto je dobré parametry snížit tak, že se doba výpočtu zkrátí, ale nezahltí celou síť. Výsledek byl totožný pro obě varianty topologií.

Změna intervalu mezi jednotlivými LSA pakety pro každý scénář i pro každou topologii způsobilo nestabilitu konvergence a celkově se zpomalila. Proto není potřeba snižovat LSA interval a Arrival a doba konvergence se přesto zrychlí při nastavení ostatních parametrů.

Pro optimální rychlost v celé topologii je vhodné ponechat MTU na defaultním nastavení 1500 bajtů. Testy potvrdily, že hodnota MTU nemá vliv na konvergenci mezi sousedy ani pro výpočet nejkratší cesty. Navíc pokud by se posílal větší objem dat, musely by se rozdělit na mnoho menších paketů, které by mohly síť zahltit.

9. Závěr

Práce se zabývala podrobnému principu fungování protokolu OSPF na Cisco směrovačích. Byla popsána datová struktura protokolu, jak fungují oblasti v síti, průběh výpočtu nejkratší cesty pro směrování a jak nakonfigurovat samotný protokol. Také bylo vysvětleno, co to je konvergence sítě a jak probíhá po jednotlivých krocích. Mimo jiné byly také vyjmenovány jednotlivé parametry, které souvisí se samotnou konvergencí a jak se tyto parametry dají nastavit. Mezi parametry patří například Hello a Dead interval, SPF Delay a Holdtime, Minimum LSA interval a LSA Arrival a hodnota MTU.

V praktické části byly tyto parametry otestovány na kruhové topologii, kde všechny směrovače byli v jedné oblasti, a na páteřní topologii, která byla rozdělena na 3 oblasti. Byla vytvořena série scénářů, ve kterých se parametry testovali v defaultním nastavení, poté při změně parametru a nakonec se scénáře otestovaly při změně všech parametrů. Testovala se doba konvergence mezi sousedy, rychlost výpočtu nové trasy a doba obnovy přenosu při obnově cílového rozhraní. Pro topologii s více oblastmi se navíc testovala doba obnovy přenosu, když se obnoví ABR směrovač. Jen některé parametry byly sníženy, protože dobu konvergence zrychlily bez výrazného výkyvu, za to jiné parametry spíše zpomalovaly konvergenci sítě.

Nejprve se provedly testy s defaultním nastavením, aby byla k dispozici základní data a poté se změnilly parametry Hello a Dead intervalu. Výsledkem testů bylo, že snížení Hello a Dead intervalu vede k rychlejší detekci změny topologie a případnou reakci na ni. Celkově tedy mají tyto časovače vysoký vliv na konvergenci.

Změny parametrů SPF Delay a Holdtime mají více vliv na výpočet změny nejkratší cesty k cílovému směrovači, když během přenosu vypadne směrovač. Během série odeslaných paketů vypadl jeden směrovač a OSPF musel vypočítat novou cestu. Ukázalo se, že není potřeba snižovat parametry na minimum a stačilo SPF Delay snížit na 1 vteřinu a Holdtime na 5 vteřin a výpočet nové cesty byl mnohem rychlejší. Tím pádem mají i tyto časovače vysoký vliv na konvergenci a zároveň tolik nezahltí síť aktualizacemi.

Byly sníženy i LSA intervaly, které označují, za jak dlouho má směrovač odesílat další LSA paket s informacemi o změně topologie. Během testování bylo zjištěno, že se doba konvergence zvýšila, a aktualizace tabulek při každém testu proběhla za různou dobu. Proto mají LSA intervaly negativní vliv na konvergenci sítě a je doporučeno LSA interval a Arrival ponechat v defaultním nastavení.

Ve scénářích byl otestován parametr MTU, zda má vliv na dobu konvergence. Pro obě topologie se ukázalo, že konvergenci ani dobu výpočtu nové trasy neovlivňuje. Stejně jako u LSA intervalu není potřeba MTU měnit a může být ponecháno defaultní nastavení. Navíc snížení MTU by mohlo způsobit zahlcení sítě během přenosu, protože by se data musela dělit na menší pakety.

Parametry jako změna priority, který slouží pro určení DR a BDR směrovače, nebo parametr na nastavení maximálního limitu generování LSA paketů nemají význam pro testování konvergence sítě, proto nebyly v testech zahrnuty.

Testy by se daly rozšířit na větší topologii sítě, která zahrnuje ještě více oblastí než pouze 3 a mohl by být do topologie zahrnut i Frame Relay, kde budou sítě mezi sebou vzdáleně připojeny. V této situaci by měl vliv na konvergenci i nastavení priority a volba DR a BDR směrovače.

Seznam obrázků

- Obrázek 1: Příklad tabulky sousedů OSPF.
- Obrázek 2: Příklad topologické tabulky OSPF.
- Obrázek 3: Příklad směrovací tabulky OSPF.
- Obrázek 4: Příklad oblastí při použití protokolu OSPF.
- Obrázek 5: Stromová topologie z pohledu Router0.
- Obrázek 6: Topologie pro konfiguraci OSPF pro jednu oblast.
- Obrázek 7: Výsledek příkazu show ip ospf neighbor.
- Obrázek 8: Výsledek příkazu show ip ospf database.
- Obrázek 9: Výsledek příkazu show ip route.
- Obrázek 10: Ukázková topologie pro konfiguraci více oblastí.
- Obrázek 11: Výsledek příkazu show ip route pro Router3 v topologii s více oblastmi.
- Obrázek 12: Obsah Hello paket.
- Obrázek 13: Obsah Database Description paketu.
- Obrázek 14: Obsah LSR paketu.
- Obrázek 15: Obsah LSU paketu.
- Obrázek 16: Obsah LSACK paketu.
- Obrázek 17: Diagram komunikace směrovačů při konvergenci sítě.
- Obrázek 18: Zobrazení nastavení časovačů na rozhraní.
- Obrázek 19: Kruhová topologie pro testování rychlosti konvergence.
- Obrázek 20: Směrovací tabulka směrovače R0 pro kruhovou topologii v jedné oblasti.
- Obrázek 21: Tabulka sousedů směrovače R0 pro kruhovou topologii v jedné oblasti.
- Obrázek 22: Tabulka topologie směrovače R0 pro kruhovou topologii v jedné oblasti.
- Obrázek 23: Topologie s více oblastmi pro testování konvergence.
- Obrázek 24: Topologická tabulka směrovače R1 pro topologii s více oblastmi.
- Obrázek 25: Směrovací tabulka směrovače R1 pro topologii s více oblastmi.
- Obrázek 26: Ukázkový test pro změnu trasy během přenosu.
- Obrázek 27: Změna topologie pro testování SPF Delay a Holdtime.
- Obrázek 28: Výsledné grafy pro konvergenci mezi sousedy.
- Obrázek 29: Porovnání rozptylu a směrodatné odchylky pro konvergenci mezi sousedy.
- Obrázek 30: Porovnání rozptylu a směrodatné odchylky pro výpočet změny trasy.
- Obrázek 31: Výsledné grafy pro obnovení odeslání dat ve více oblastí.
- Obrázek 32: Výsledné grafy pro obnovení odeslání dat při obnovení ABR směrovače ve více oblastí.
- Obrázek 33: Porovnání rozptylu a směrodatné odchylky pro obnovení odeslání dat při obnovení ABR směrovače ve více oblastí.

Seznam tabulek

- Tabulka 1: Rozdíly OSPFv2 a OSPFv3.
- Tabulka 2: Informace, které si směrovač vymění se sousedem.
- Tabulka 3: Základní konfigurace rozhraní.
- Tabulka 4: Základní konfigurace rozhraní pro více oblastí.
- Tabulka 5: Typy LSA.
- Tabulka 6: OSPF Časovače s defaultním nastavením.
- Tabulka 7: Volitelné možnosti pro nastavení Max Limit LSA.
- Tabulka 8: Defaultní hodnoty testovaných parametrů.
- Tabulka 9: Konfigurace jednotlivých rozhraní na směrovačích.
- Tabulka 10: Nastavení sítí pro směrování pomocí OSPF.
- Tabulka 11: Konfigurace jednotlivých rozhraní na směrovačích.
- Tabulka 12: Nastavení sítí pro směrování pomocí OSPF pro více oblastí.
- Tabulka 13: Výsledky při testování přidání nového souseda.
- Tabulka 14: Výsledky při testování změny trasy během přenosu.
- Tabulka 15: Výsledky při testování obnovení cílového rozhraní.
- Tabulka 16: Výsledky testování konvergence mezi sousedy ve více oblastí.
- Tabulka 17: Výsledky při testování změny trasy během přenosu mezi oblastmi.
- Tabulka 18: Výsledky testování odesílání dat mezi oblastmi.
- Tabulka 19: Výsledky testování odesílání dat mezi oblastmi po obnově ABR.
- Tabulka 20: Vyhodnocení testů konvergence mezi sousedy v jedné oblasti.
- Tabulka 21: Vyhodnocení testů konvergence mezi sousedy ve více oblastí.
- Tabulka 22: Vyhodnocení testů doby výpočtu změny trasy v jedné oblasti.
- Tabulka 23: Vyhodnocení testů doby výpočtu změny trasy ve více oblastí.
- Tabulka 24: Vyhodnocení testů obnovení odeslání dat v jedné oblasti.
- Tabulka 25: Vyhodnocení testů obnovení odeslání dat ve více oblastí.
- Tabulka 26: Vyhodnocení testů obnovení odeslání dat při obnovení ABR směrovače ve více oblastí.
- Tabulka 27: Vliv jednotlivých parametrů pro konvergenci sítě.
- Tabulka 28: Optimální nastavení parametrů pro konvergenci sítě.

Zdroje

- [1] LAMMLE, Todd. *CCNA: výukový průvodce přípravou na zkoušku 640-802*. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-2359-1.
- [2] ODOM, Wendell. *CCNP ROUTE 642-902 official certification guide*. Indianapolis, Ind.: Cisco Press, c2010. Official certification guide series. ISBN 978-1-58720-253-7.
- [3] NETWORK, Managing Your OSPF. *OSPF network design solutions*. 2003.
- [4] THOMAS, Thomas M. *OSPF network design solutions*. 2nd ed. Indianapolis, IN: Cisco Press, c2003. Cisco Press networking technology series. ISBN 15-870-5032-3.
- [5] HALABI, Sam. *OSPF design guide*. Cisco Systems Network Supported Accounts, 1996.
- [6] NAKIBLY, Gabi, et al. Persistent OSPF Attacks. In: NDSS. 2012.
- [7] OSPF Neighbor. In: *My Note Lab* [online]. Vietnam: Tran Nam Phong, 2017 [cit. 2017-07-03]. Dostupné z: <http://mynotelabs.blogspot.cz/2015/03/ospf-neighbor.html>
- [8] EBrahma. In: *Interpreting the OSPF LSDB and Routing Table* [online]. India: Wordpress, 2013 [cit. 2017-07-03]. Dostupné z: <http://www.ebrahma.com/2013/10/interpreting-the-ospf-lsdb-and-routing-table/>
- [9] Hacking Cisco. In: *Hacking Cisco* [online]. USA: Blogger, 2011 [cit. 2017-07-03]. Dostupné z: <http://hackingcisco.blogspot.cz/2011/02/lesson-15-ospf-totally-stubby-area.html>
- [10] MOY, John T. *OSPF: anatomy of an Internet routing protocol*. 1998. Reading, Mass.: Addison-Wesley, c1998. ISBN 02-016-3472-4.
- [11] DOOLEY, Kevin. a Ian J. BROWN. *Cisco IOS cookbook*. 2nd ed. (Revised and updated). Sebastopol, CA: O'Reilly, c2007. ISBN 05-965-2722-5.
- [12] SHANNON, Michael J. *BSCI*. Indianapolis, IN: Que Certification, c2004. ISBN 07-897-3017-0.
- [13] *OSPF: A Network Routing Protocol*. 2015. USA: Apress, 2015. ISBN 9781484214107.

- [14] JOHN T. MOY. *OSPF complete implementation*. December 2015. Boston, Mass: Addison-Wesley, 2001. ISBN 978-013-3757-286.
- [15] INFRAWORLD – NETWORK PACKET BLOG. In: *INFRAWORLD – NETWORK PACKET BLOG* [online]. Netherlands: Rob Rademakers, 2014 [cit. 2017-07-03]. Dostupné z: <https://www.infraworld.eu/ospf/>
- [16] CCIE Journey. In: *CCIE Journey* [online]. Ireland: Awesome, 2011 [cit. 2017-07-05]. Dostupné z: <http://cciejournry.blogspot.cz/2011/12/today-i-looked-at-ospf-version-2.html>
- [17] OSPF Packets Overview. *Juniper Networks* [online]. USA: Juniper, 2017 [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: https://www.juniper.net/documentation/en_US/junos/topics/concept/ospf-routing-packets-overview.html
- [18] What is OSPF. *Omni Secu.com* [online]. OmniSecu.com: Jajish Thomas, 2017 [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <http://www.omnisecu.com/cisco-certified-network-associate-ccna/what-is-ospf-router-id-and-how-to-configure-ospf-router-id.php>
- [19] OSPF packet Types. *Knowledge Base* [online]. USA: Weby google, 2016 [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/amitsciscozone/home/important-tips/ospf/ospf-packet-types>
- [20] OSPF Neighbor States Explained with Example. *Computer Networking Notes* [online]. USA: Computer Networking Basic Tutorials and Study Guides, 2017 [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <http://www.computernetworkingnotes.com/ccna-study-guide/ospf-neighbor-states-explained-with-example.html>
- [21] OSPF Neighbors and Adjacencies. *ERIC LEAHY The World of Networking* [online]. USA: ERIC LEAHY, 2011 [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <http://ericleahy.com/index.php/ospf-neighbors-and-adjacencies/>
- [22] Designated & Backup Designated Router. *Study CCNA* [online]. USA: study-ccna.com, 2016 [cit. 2017-07-10]. Dostupné z: <http://study-ccna.com/designated-backup-designated-router/>
- [23] *Quality of Service (QoS) Sensitivity for the OSPF Protocol in the Airborne Networking Environment* [online]. Milcom, 2005 [cit. 2017-09-11]. Dostupné z: https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/05_0521.pdf

- [24] Manral, V., R. White, and A. Shaikh. OSPF benchmarking terminology and concepts. No. RFC 4062. 2005.
- [25] Ip ospf dead-interval. *Cisco* [online]. San Jose: Cisco, 2016 [cit. 2017-09-11]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/m/en_us/techdoc/dc/reference/cli/nxos/commands/ospf/ip-ospf-dead-interval.html
- [26] Configure the SPF Delay. *Juniper* [online]. USA: Uniper Networks, 2012 [cit. 2017-09-11]. Dostupné z: <http://www.juniper.net/documentation/software/cable/junosg30/swconfig30-interfaces/html/ospf-config23.html>
- [27] CCNA 2. *CCNA 5 net* [online]. USA: Cisco, 2017 [cit. 2017-09-16]. Dostupné z: <http://www.ccna5.net/ccna-2-chapter-8-v5-0-exam-answers-2013/713>
- [28] OSPF – Setting MTU values for Cisco and Juniper. *Network Sherpa* [online]. USA: John Harrington, 2013 [cit. 2017-09-23]. Dostupné z: <http://thenetworksherpa.com/ospf-master-the-mtu-madness/>
- [29] IP OSPF MTU-Ignore Command. *Cisco* [online]. USA: Cisco, 2015 [cit. 2017-09-23]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/119384-technote-ospf-00.html>
- [30] The dangers of ignoring OSPF MTU. *Darren's Blog* [online]. USA: Darren, 2013 [cit. 2017-09-23]. Dostupné z: <https://mellowd.co.uk/ccie/?p=3361>
- [31] OSPF Priority. *Cisco* [online]. USA: Cisco, 2005 [cit. 2017-09-24]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/m/en_us/techdoc/dc/reference/cli/nxos/commands/ospf/ip-ospf-priority.html
- [32] OSPF Link State Database Overload Protection. *Cisco* [online]. USA: Cisco, 2005 [cit. 2017-09-24]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_0s/feature/guide/ospfopro.html
- [33] *OSPF Link-State Advertisement (LSA) Throttling* [online]. Cisco: USA, 2002 [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_0s/feature/guide/fsolsath.html
- [34] Cisco 2801 Integrated Services Router. *Cisco* [online]. USA: Cisco, 2017 [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/routers/2801-integrated-services-router-isr/index.html>

[35] OSPF Multi-Area Configuration. *NetworkLessons*[online]. USA: René Molenaar, 2013 [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: <https://networklessons.com/cisco/ccna-routing-switching-icnd2-200-105/ospf-multi-area-configuration/>

[36] Timers lsa-arrival (OSPF). *Cisco* [online]. USA: Cisco, 2005 [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/m/en_us/techdoc/dc/reference/cli/nxos/commands/ospf/timers-lsa-arrival-ospf.html

[37] BLACK, Uyless D. *IP routing protocols: RIP, OSPF, BGP, PNNI, and Cisco routing protocols*. 2000. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000. ISBN 01-301-4248-4.

[38] MOY, John. OSPF Version 2. Network Working Group RFC [online]. USA: Ascend Communications, 1998 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://tools.ietf.org/html/rfc2328>

[39] OSPF Multi-Area Adjacency. Network Working Group RFC [online]. USA: Cisco Systems, 2008 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://tools.ietf.org/html/rfc5185>

[40] SLONE, John P. *Local area network handbook*. 6th ed. Boca Raton, Fla.: Auerbach, c2000. ISBN 08-493-9838-X.

[41] HEBÁK, Petr a Hana SKALSKÁ. *Pravděpodobnost a statistika: příklady a otázky*. Hradec Králové: Gaudeamus, 2009. ISBN 978-80-7435-005-4.

Zadání diplomové práce

Autor: Bc. Petr Slezák

Studium: I1474

Studijní program: N1802 Aplikovaná informatika

Studijní obor: Aplikovaná informatika

Název diplomové práce: **Vliv parametrů časovačů OSPF na konvergenci sítě**
Název diplomové práce AJ: Effect parameters timers of OSPF network convergence

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Cílem práce je podrobně zmapovat konfiguraci povinných a volitelných parametrů směrovacího protokolu OSPF s důrazem na časovače a jejich vliv na konvergenci sítě. V teoretické části autor podrobně představí principy a konfiguraci protokolu OSPF s důrazem na volitelné parametry a jejich vliv na konvergenci sítě. Autor se zaměří na problematiku časovačů a jejich intervalů a na základě teoretických předpokladů stanoví hypotézy po prověření vlivu časovačů na konvergenci sítě. V praktické části autor navrhne minimálně dvě topologie s alespoň osmy směrovači. Na daných topologiích bude sledovat dobu konvergence celé sítě, naplnění neighbor table, topology table a routing table. V závěru práce vyhodnotí vliv jednotlivých časovačů na konvergenci topologie a rychlost naplnění jednotlivých tabulek.

WILLIAM R. PARKHURST. Cisco OSPF Command and Configuration Handbook (paperback). Indianapolis: Cisco Press, 2008. ISBN 9781587055409. MOY, John T. OSPF complete implementation. Boston: Addison-Wesley, 2001. ISBN 0-7686-8216-9.

Garantující pracoviště: Katedra informačních technologií,
Fakulta informatiky a managementu

Vedoucí práce: Mgr. Josef Horálek, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 21.10.2014