

Rapid Spanning Tree Protocol (802.1w)

Roman Kubín - kub348
Michal Roháč - roh035
FEI VŠB-TU Ostrava

15. června 2005

Obsah

1	Spanning Tree Protocol - STP	3
1.1	Konfigurace STP	3
1.2	Stavy portů	3
1.2.1	Stav Blocking	4
1.2.2	Stav Listening	5
1.2.3	Stav Learning	5
1.2.4	Stav Forwarding	5
1.2.5	Stav Disabled	5
2	Rapid Spanning Tree Protocol - RSTP	6
2.1	Nové stavy portů a role portů	6
2.1.1	Stavy portů	6
2.1.2	Role portů	6
2.1.3	Root port role	7
2.1.4	Designated port role	7
2.1.5	Alternate port role	8
2.1.6	Backup port role	8
2.2	BPDU	8
2.2.1	Manipulace s BPDU	9
2.3	Rychlý přechod do forwarding stavu	9
2.3.1	Edge porty	10
2.3.2	Typ linky	10
2.3.3	Konvergence sítě s RSTP	10
2.3.4	Mechanismus nabídka/souhlas	11
2.3.5	UplinkFast	12
2.4	Mechanismus změny topologie	13
2.4.1	Detekce změny topologie	13
2.4.2	Propagace změny topologie	13
2.5	Kompatibilita s 802.1d	13
3	Praktické měření a konfigurace	14
3.1	Konfigurace switchů	17
3.1.1	Root Switch	17
3.1.2	Switch A	17
3.1.3	Switch B	17
3.1.4	Switch C	17
3.1.5	Switch D	17
3.2	Závěr	17

1 Spanning Tree Protocol - STP

Spanning-Tree Protocol je linkový protokol, který zabraňuje vzniku smyček v přepínané síti. K bezchybné funkci sítě Ethernet je zapotřebí pouze jediná aktivní cesta mezi dvěma stanicemi. V případě existence dvou a více cest může dojít k vytvoření smyčky, což má za následek duplikování zpráv. Aby k tomuto jevu nedocházelo, STP vytváří strom, ve kterém zablokuje takové porty (nastaví je do stavu blocked), které by vytvořily smyčky. V případě, že se stane některý segment sítě nedostupný, nebo se změní jeho cena, STP překonfiguruje topologii stromu a tím opět vznikne jen jediná aktivní cesta mezi libovolnými dvěma stanicemi.

1.1 Konfigurace STP

Všechny switche v LAN síti, které jsou zapojené do STP si vyměňují potřebné informace pomocí Bridge Protocol Data Units (BPDUs). Výměna těchto informací vede k následujícímu:

- Zvolení unikátního root switche.
- Výpočet nejkratší cesty k root switchi pro každý switch.
- Výběr designated switche pro každý LAN segment sítě.
- Zrušení smyček v síti nastavením redundantních portů do záložního stavu.

Root switch je logickým centrem STP v přepínané síti. Všechny cesty, které nejsou potřebné pro dosažení root switche z jakékoli části sítě jsou nastaveny do back-up módu. Designated switch je ten, který je na daném segmentu nejbližší k root switchi a přes který budou procházet rámce k root switchi.

Pokud jsou všechny switche v default nastavení, switch s nejnižší MAC adresou se stane root switchem. Pokud z nějakých důvodů (např. větší počet portů na jiném switchi, velikost provozu apod.) chceme jako root switch určit nějaký jiný, provedeme to zvýšením priority (snížením číselné hodnoty) odpovídajícího switche.

BPDU může switch poslat pouze v případě, že nějaké dostane na svůj root port a to pouze směrem dolů ve stromě. Případně pokud zjistí změnu topologie sítě (např. vypadnutí linky na některém portu) a to pouze skrz root port (od nadřazeného switche poté dostane BPDU s potvrzením o přijetí zprávy). Vyjimku tvoří root switch, který vysílání BPDU téměř neustále.

1.2 Stav portů

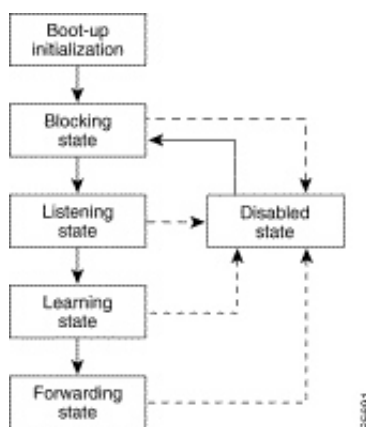
Změna topologie může nastat na různých místech sítě a v různých okamžicích. V případě, že by port, který není součástí topologie přešel ihned do stavu forwarding (přeposílání paketů), mohly by vzniknout smyčky. Proto musí každý port vyčkat než dostane informace o celé topologii sítě a teprve až ví, že nevytvoří smyčku, může začít přeposílat rámce. Každý port v STP musí nabývat jednoho z těchto pěti stavů:

- Blocking - blokován.
- Listening - poslouchá BPDU.
- Learning - učí se MAC adresy.
- Forwarding - přeposílá rámce.

- Disabled - vypnut.

Příčemž porty se přesouvají mezi těmito stavy následovně (graficky to znázorňuje obrázek č.1):

- Z inicializačního do blocking.
- Z blocking do listening nebo disabled.
- Z listening do learning nebo disabled.
- Z learning do forwarding nebo disabled.
- Z forwarding do disabled.



Obrázek 1: Změna stavu portů

Pokud je STP aktivován, každý port switche po zapnutí začíná v blokujícím stavu a přechází přes listening a learning stav. Port lze nastavit, aby ihned přecházel do forwarding stavu (tzv. PortFast), což se ale provádí pouze v případě, že je na tento port přímo připojená jediná koncová stanice.

1.2.1 Stav Blocking

V tomto stavu port provádí následující:

- Zahazování rámců přicházejících z připojeného segmentu.
- Zahazování rámců přicházejících z jiného portu.
- Neučí se MAC adresy.
- Přijímá BPDU a posílá je do systémového modulu.
- Nepřeposílá BPDU přijaté ze systémového modulu.

1.2.2 Stav Listening

Je to první stav, do kterého port přejde z blocking stavu, pokud STP rozhodne, že port bude přeposílat rámce. Port v listening stavu provádí:

- Zahazování rámců přicházejících z připojeného segmentu.
- Zahazování rámců přicházejících z jiného portu.
- Neučí se MAC adresy.
- Přijímá BPDU a posílá je do systémového modulu.
- Zpracovává BPDU přijaté ze systémového modulu.

1.2.3 Stav Learning

Port ve stavu learning je připraven na přeposílání rámců a provádí tyto akce:

- Zahazování rámců přicházejících z připojeného segmentu.
- Zahazování rámců přicházejících z jiného portu.
- Učí se MAC adresy.
- Přijímá BPDU a posílá je do systémového modulu.
- Přijímá, zpracovává a přeposílá BPDU přijaté ze systémového modulu.

1.2.4 Stav Forwarding

V tomto stavu port přeposílá rámce a provádí tyto operace:

- Přeposílá rámce přicházejících z připojeného segmentu.
- Přeposílá rámce přicházejících z jiného portu.
- Učí se MAC adresy.
- Přijímá BPDU a posílá je do systémového modulu.
- Zpracovává BPDU přijaté ze systémového modulu.

1.2.5 Stav Disabled

Port ve stavu disabled je virtuálně neaktivní a chová se následovně:

- Zahazování rámců přicházejících z připojeného segmentu.
- Zahazování rámců přicházejících z jiného portu.
- Neučí se MAC adresy.
- Přijímá BPDU, ale neposílá je do systémového modulu.
- Nedostává BPDU ze systémového modulu.

2 Rapid Spanning Tree Protocol - RSTP

STP byl navržen v dobách, kdy obnovení spojení po výpadku v rámci minuty bylo adekvátní. Ale s nástupem L3 switchů si přepínání a směrování konkuruje, přičemž protokoly jako OSPF nebo EIGRP jsou schopny nalézt alternativní cestu rychleji. Proto Cisco rozšířilo protokol 802.1d o vlastnosti jako Uplink Fast¹, Backbone Fast² nebo Port Fast³, aby snížili dobu konvergence přepínané sítě. Nevýhodou však bylo, že toto řešení je proprietární a potřebuje konfiguraci navíc.

RSTP (802.1w) poskytuje lepší výkonost než proprietární Cisco vylepšení k normě 802.1d a je zpětně kompatibilní s 802.1d pro komunikaci se zařízeními neznajícími RSTP. Samozřejmě potom dojde ke ztátě výhod, které poskytuje RSTP (což se děje na úrovni portů, k nimž jsou tyto nekompatibilní zařízení připojená). RSTP vytváří topologii pro spanning tree s využitím naprosto stejných měřítek jako 802.1d.

2.1 Nové stavy portů a role portů

V klasickém STP je stav portu a role portu zamíchaná dohromady. Například pro stavy portu listening a blocking platí, že oba zahazují rámce a neučí se MAC adresy. Ale rozdíl tkví v roli, kterou hrají v aktivní topologii, kdy listening port je buď root nebo designated a je na cestě do stavu forwarding. Naopak blocking není součástí aktivní topologie.

2.1.1 Stavy portů

V RSTP existují pouze tři stavy portů, odpovídající třem možným stavům a to discarding, learning a forwarding. Přehled těchto změn ukazuje tabulka č.1.

STP stav portu	RSTP stav portu	Je port v aktivní topologii?	Učí se port MAC adresy?
disabled	discarding	ne	ne
blocking	discarding	ne	ne
listening	discarding	ano	ne
learning	learning	ano	ano
forwarding	forwarding	ano	ano

Tabulka 1: Stavy portů u STP a RSTP

2.1.2 Role portů

Roli zde určuje hodnota, přiřazená k danému portu. Role root a designated portů zůstávají, navíc se přidávají backup a alternate role. Spanning tree algoritmus (STA) definuje roli portů na základě hodnot BPDU zpráv a portu, na který zpráva dorazila. Nyní se podíváme na jednotlivé role portů.

¹Bližší informace na adrese: <http://www.cisco.com/warp/public/473/51.html>

²Bližší informace na adrese: <http://www.cisco.com/warp/public/473/18.html>

³Bližší informace na adrese:

http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/lan/cat6000/sw_7.2/config_gd/stp_enha.htm

2.1.3 Root port role

Jedná se o port, který dostává BPDU s největší vahou (podrobněji vysvětleno v části o BPDU). To znamená, že je nejbližší (vzhledem k ceně) k root switchi. STA vybere jediný switch, který se stává rootem pro celou síť (případně pro VLAN). Tento root switch posílá BPDU, které mají větší váhu než od kteréhokoliv jiného switche v dané síti. Root switch je zároveň jediný, který nemá žádný root port, ale má všechny porty ve stavu forwarding.



Obrázek 2: Root port role

2.1.4 Designated port role

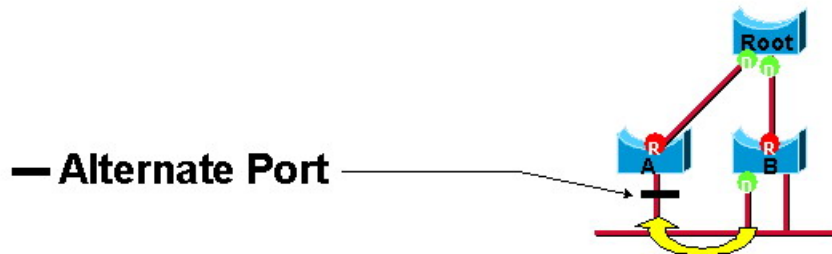
Je to port, který posílá BPDU s největší vahou do segmentu, ke kterému je připojen.



Obrázek 3: Designated port role

2.1.5 Alternate port role

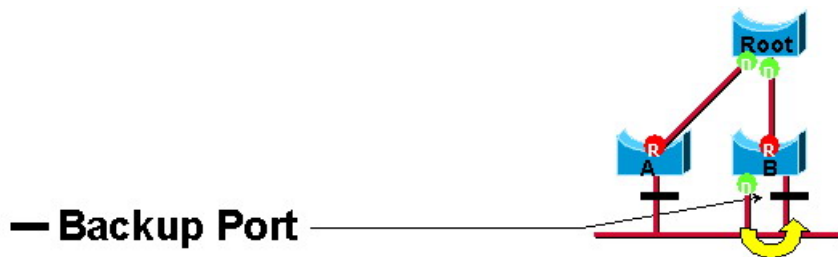
Je shodný se stavem blocked v STP a je definován jako port, který není root ani designated. Alternate port dostává BPDU s větší vahou od jiného switchu na daném segmentu. Jednoduše řečeno, jedná se o port, který poskytuje alternativní cestu k root switchi a teoreticky může nahradit root port v případě, že by vypadl.



Obrázek 4: Alternate port role

2.1.6 Backup port role

Backup role je obdoba alternate port role, ale BPDU s větší vahou dostává od portu, který je na stéjném switchi jako on. Prakticky poskytuje redundantní spojení k danému segmentu a negarantuje alternativní cestu k root switchi.



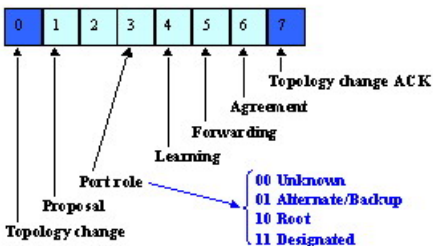
Obrázek 5: Backup port role

2.2 BPDU

RSTP používá všech 8 flag bitů (narozdíl od STP, který používá pouze 2). Používají se pro zakódování role a stavu portu, který vytvořil BPDU a pro rozlišení nabídky/odsouhlasení topologie. Navíc jsou tyto BPDU typu 2, verze 2 (což lze vysledovat z hlavičky tohoto BPDU). To vede k tomu, že switch který nezná RSTP tyto BPDU zahodí a lze ho takto detekovat (nebude odpovídat na BPDU této verze).

Jelikož BPDU neposílá jen root switch, musíme nějak rozlišit, které BPDU jsou směrodatné a které ne. Každé BPDU obsahuje několik parametrů, podle kterých rozlišujeme jejich důležitost. Jsou to: Id root switchu, cena cesty k root switchi a ID switchu, který BPDU poslal. BPDU má oproti jinému větší váhu pokud:

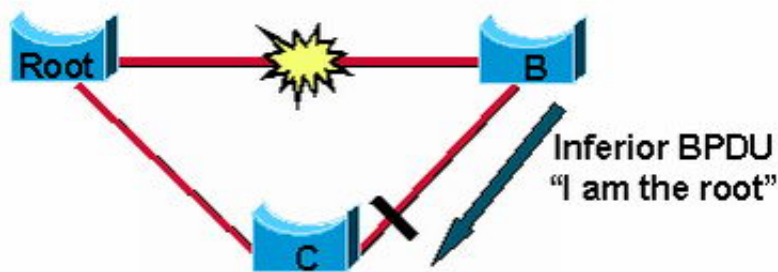
- Jedno BPDU obsahuje lepší root switch ID (nižší hodnota je lepší).
- Když jsou root switch ID totožné, rozhoduje nižší cena cesty k root switchi.
- Pokud jsou i ceny cest totožné, rozhoduje switch ID odesílatele (opět nižší hodnota je lepší)



Obrázek 6: Flag bity BPDU

2.2.1 Manipulace s BPDU

BPDU se posílají každý hello-time (typicky co 2 sec.) s aktuálními informacemi o stavu a ne jen při příchodu BPDU z root switche. Pokud nedojde na portu k přijetí BPDU 3x sobě, detekuje se to jako ztráta spojení. Při výpadku spojení na root portu se switch začne chovat jako root a na ostatní porty vyšle informaci (BPDU), že je root. Jiný switch tuto zprávu zachytí (např. na portu 1), ale místo toho, aby ji ignoroval (jako u normálního STP), akceptuje ji a pošle na svůj root port dotaz, zda root switch stále existuje. V případě, že mu přijde kladná odpověď, začne na port 1 posílat BPDU s informací, že původní root switch je dosažitelný přes něj. Switch, který ztratil spojení s root switchem toto BPDU akceptuje a přestane posílat BPDU o tom, že je root. Tuto situaci zachycuje obr. 7.



Obrázek 7: Akceptování BPDU s nižší vahou

2.3 Rychlý přechod do forwarding stavu

Je to hlavní vlastnost představená v RSTP. RSTP je schopno aktivně potvrdit, že daný port může bezpečně přejít do stavu forwarding, aniž by se musel spoléhat na nějaký časový

mechanismus a tudíž čekat dokud neproběhne konvergence sítě, než přepne port do stavu forwarding. Toto je umožněno díky novým vlastnostem jako jsou edge porty, typ linky a mechanismu nabídky/souhlasu.

2.3.1 Edge porty

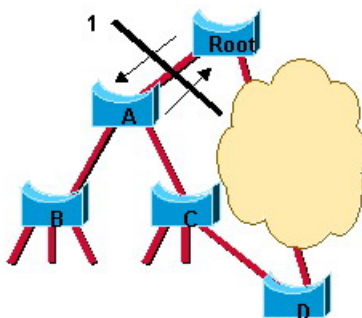
Edge porty jsou připojené přímo ke koncovým stanicím, takže jejich připojením/odpojením nemůže nastat smyčka v síti. Tudíž přecházejí rovnou do stavu forwarding a negenerují změnu v topologii. V případě, že na tento port přijde BPDU, okamžitě se mění na obyčejný port.

2.3.2 Typ linky

Rychlý přechod může být proveden pouze na edge portech a na point-to-point linkách. Typ linky je automaticky detekován z duplexního stavu portu. Pokud je ve stavu full duplex, považuje se linka za point-to-point. Dnes je většina portů ve stavu full-duplex, což řadí tyto linky do role kandidátů na rychlý přechod do forwarding stavu.

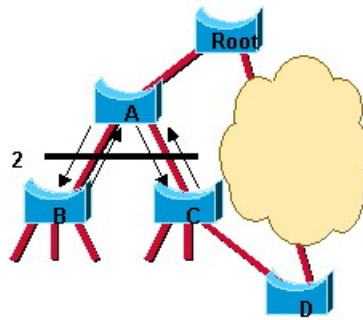
2.3.3 Konvergence sítě s RSTP

Mějme síť na obr. 8, kde mrak reprezentuje dále rozvětvenou síť (místo něj si představme přímou linku mezi root switchem a switchem D s velmi vysokou cenou cesty). Do této sítě přidáme novou cestu ze switche A přímo na root switch. Oba porty na spojovací lince mezi A a root switchem se ihned po nahození nastaví do designated blocking módu. Začne domlouvání mezi těmito dvěma porty.



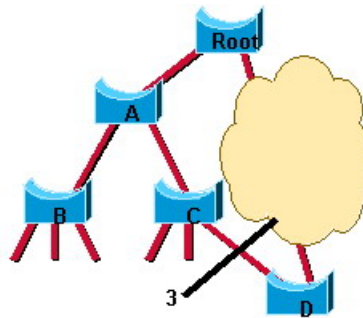
Obrázek 8: Konvergence sítě 1

Jakmile přijme A BPDU od root switchu, zablokuje své designated porty (neblokuje edge porty). Jedná se o tak zvanou synchronizaci. Podle informací z BPDU akceptuje root switch a nastaví port vedoucí k němu (nyní již root port) do stavu forwarding.



Obrázek 9: Konvergence sítě 2

Stále nemůže dojít ke smyčce, protože místo blokování nad switchem A, blokujeme síť pod switchem A (díky zablokovaným designated portům - obr. 9). Toto blokování portů pokračuje dále, tak jak se šíří BPDU od root switche přes switch A. Takže oba zablokované porty na switchi A se po synchronizaci s B a C (zablokování designated portů na B a C) odblokují a přejdou do stavu forwarding. Switch B obsahuje pouze edge designated porty (mimo portu, kterým je připojený k A), takže neblokuje žádný port a switch C blokuje pouze port vedoucí k D (protože ostatní porty jsou taktéž edge).

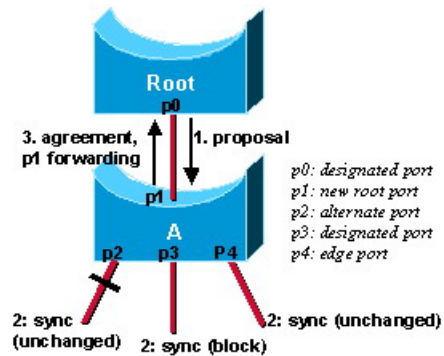


Obrázek 10: Konvergence sítě 3

Tímto jsme dosáhli konečné topologie sítě bez smyček, pouze za dobu potřebnou pro přenos BPDU po stromu sítě směrem dolů. Jediné, co si musí zapamatovat administrátor, aby mohl těžit z této rychlé konvergence je, že dojednávání mezi switchi může nastat pouze v případě, že jsou připojeny linkami typu point-to-point.

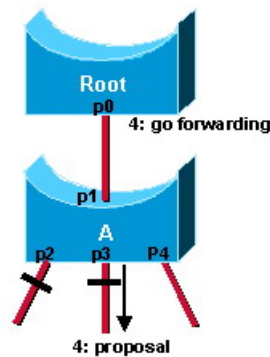
2.3.4 Mechanismus nabídka/souhlas

Když je port vybrán STA, aby byl designated portem, u klasického STP musí čekat typicky 2x15 vteřin než se přepne do stavu forwarding. Toto chování se shoduje s chováním portu v designated blocking módu u RSTP. Nyní si popíšeme, jak dochází k rychlému přechodu do forwarding stavu na příkladu z části 2.3.3 a zaměříme se na přechod mezi root switchem a switchem A, což lze vidět na obr. 11. Jakmile dojde k propojení mezi A a root switchem, oba porty jsou nastaveny do designated blocking stavu a zůstávají tam tak dlouho, dokud jim nepříjde BPDU od jejich protějšku.



Obrázek 11: Mechanismus nabídka/souhlas

Když je designated port ve stavu discarding nebo learning (a pouze tehdy), nastavuje proposal (nabídkový) bit v BPDUs, které posílá. Toto se stane pro port p0 na root switchi jak je vidět na obr. 11. Switch A přijme zprávu s vyšší vahou a okamžitě nastaví p1 na root port. Poté se sesynchronizuje, tzn. zablokuje navíc pouze port p3 (protože p4 je edge port a p2 je alternate port, který je již blokován), odblokuje port p1 a pošle zpět na root switch souhlasnou zprávu. Což je původní BPDUs, pouze s nastaveným agreement (souhlasným) bitem.



Obrázek 12: Mechanismus nabídka/souhlas

Okamžitě po přijetí této zprávy se p0 nastaví do forwarding stavu. Ve čtvrtém kroku je port p3 ve stejném stavu, jako byl port p0 na začátku (obr. 12) a proces se opakuje. Pokud port nedostane zpátky odpověď na svou nabídku, bude přecházet do forwarding stavu pomalou metodou klasického STP. Toto může nastat například v případě, že na druhé straně je switch nepodporující RSTP.

2.3.5 UplinkFast

UplinkFast je další mechanismus, který umožní portu ihned přejít do stavu forwarding. Když switch ztratí svůj root port, může nastavit svůj nejlepší alternate port ihned do stavu forwarding. Výběr tohoto nového root portu vygeneruje změnu topologie, což pro RSTP znamená vymazání příslušných záznamů v CAM (Content Addressable Memory) tabulkách switchů,

které se nacházejí ve stromě směrem nahoru od switche, kterému upadl jeho root port. Tímto odpadá nutnost multicastového generování BPDU jako v případě Cisco implementaci Uplink-Fast rozšíření u STP.

2.4 Mechanismus změny topologie

U klasického STP se při změně topologie nejprve pošle BPSU s touto zprávou na root switch a ten následně posílá změnu topologie do celé sítě s tím, že do BPDU nastaví TC (topology change) flag. U RSTP byl tento postup změněn.

2.4.1 Detekce změny topologie

Pouze ne-edge porty při přechodu do forwarding stavu vygenerují změnu topologie (tzn. že při přechodu do blocking stavu ji nevygenerují). Když RSTP switch detekuje změnu topologie, stane se následující:

- Zapne TC While časovač s hodnotou nastavenou na 2xhello time pro všechny jeho designated ne-edge porty a root port.
- Vymaže MAC adresy přiřazené k těmto portům.

Po dobu běhu TC While časovače posílá ze všech designated ne-edge portů a root portu BPDU s nastaveným TC flagem.

2.4.2 Propagace změny topologie

Když switch přijme BPDU s nastaveným TC flagem, stane se následující:

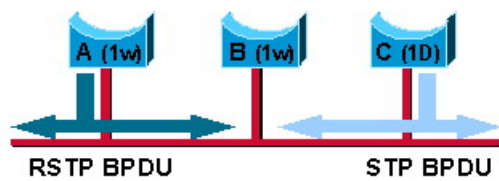
- Vymaže všechny MAC adresy, které se naučil, mimo ty, které přišly z portu, odkud dostal informaci o změně topologie.
- Zapne TC While časovač a posílá BPDU s nastaveným TC flagem na všechny designated porty a root port

Takhle je informacemi o změně topologie rychle zaplavena celá síť. Informace se šíří přímo od místa změny topologie a nemusí se nejprve poslat na root switch.

2.5 Kompatibilita s 802.1d

RSTP je schopno koexistovat s klasickými STP switchi. V takovém případě odpadá výhoda rychlé konvergence na daných portech. Pokud je ke switchi s podporou RSTP připojen switch bez této podpory, budou se vyměňovat BPDU verze 1 pouze na tomto portu. Ukažme si to na příkladu (viz. obrázek 13).

Switche A, B jsou RSTP, switch A je designated na tomto segmentu a nově se připojí switch C, který umí jen STP. Switch C ignoruje a zahazuje BPDU verze 2 a tak si myslí, že je na tomto segmentu sám. Začne šířit své BPDU (verze 1) s nižší vahou. Ty dostane switch A a po maximálně 2x hello time se přepne do 802.1d módu na tomto portu. Ve výsledku switch C začne rozumět BPDU od switche A a přijme A jako designated switch pro tento segment. Switch B to jinak neovlivní, protože pouze naslouchá a pořád dostává BPDU s vyšší vahou od switche A.



Obrázek 13: Kompatibilita RSTP s STP

V případě, že by byl switch C odpojen od sítě, switch A toto nemá šanci poznat a svůj port nepřepne zpět do RSTP módu. Toho lze docílit jen ruční změnou či restartováním. Když je port ve stavu kompatibility s 802.1d, je schopen přijímat jak BPDUs verze 1 tak i verze 2.

3 Praktické měření a konfigurace

Podporu RSTP ve switchích firmy Cisco s příslušnou verzí IOS zachycuje tabulka č.2:

Platforma	MST s RSTP	RPVST+ (samotný RSTP)
Catalyst 2900 XL / 3500 XL	N/A	N/A
Catalyst 2940	N/A	N/A
Catalyst 2950/2955/3550	12.1(9)EA1	12.1(13)EA1
Catalyst 2970/3750	12.1(14)EA1	12.1(14)EA1
Catalyst 3560	12.1(19)EA1	12.1(19)EA1
Catalyst 3750 Metro	12.1(14)AX	12.1(14)AX
Catalyst 2948G-L3/4908G-L3	N/A	N/A
Catalyst 4000/2948G/2980G (CatOS)	7.1	7.5
Catalyst 4000/4500 (IOS)	12.1(12c)EW	12.1(19)EW
Catalyst 5000/5500	N/A	N/A
Catalyst 6000/6500	7.1	7.5
Catalyst 6000/6500 (IOS)	12.1(11b)EX, 12.1(13)E, 12.2(14)SX	12.1(13)E
Catalyst 8500	N/A	N/A

Tabulka 2: Podpora RSTP u zařízení Cisco

Pro správnou funkci RSTP musíme mít v síti nejlépe všechny switche podporující tento protokol s příslušnou verzí IOS a nakonfigurovat je následovně:

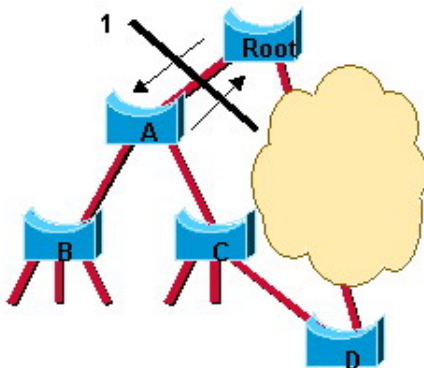
- V globálním konfiguračním režimu zadáme **spanning-tree mode rapid-pvst** pro aktivaci protokolu RSTP.
- Pokud chceme určit root switch sami, nastavíme ho na vysokou prioritu (nízké číslo). Opět z globálního konfiguračního režimu napíšeme (pro vlan1): **spanning-tree vlan 1 priority 4096**.
- Dále musíme ručně nastavit všechny edge porty. To provedeme vždy pro každý port zvlášť z jeho konfiguračního režimu příkazem **spanning-tree portfast**.

Tímto je základní konfigurace RSTP hotová a celá síť by měla běžet na tomto protokolu. Práci tohoto protokolu můžeme ovlivňovat několika dalšími nastaveními. Důležité z nich uvádím zde:

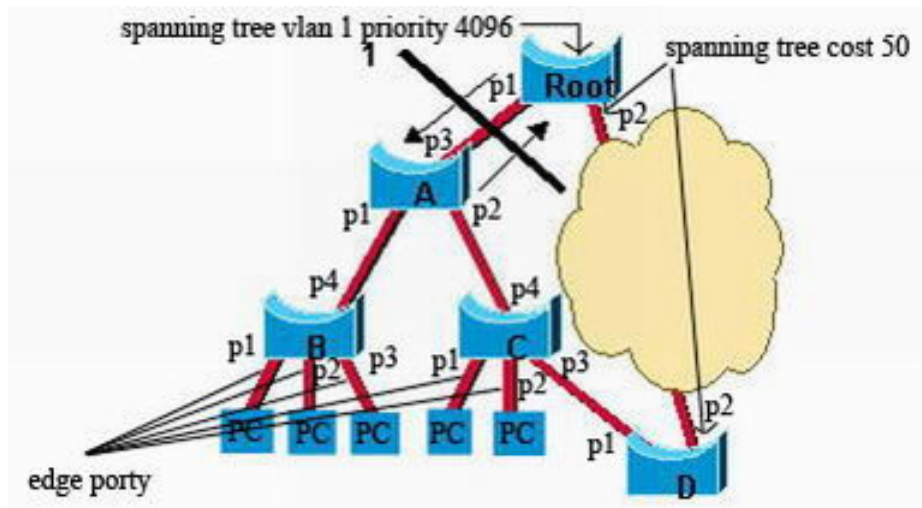
- Z globálního konfiguračního režimu: **spanning-tree vlan x hello-time y** - pro daný vlan nastaví hello-time na hodnotu y.
- Z globálního konfiguračního režimu: **spanning-tree vlan x max-age y** - nastavení hodnoty max-age na hodnotu y.
- Z konfiguračního režimu příslušného interface: **spanning-tree link-type point-to-point/shared** - ruční nastavení typu linky na přímou (point-to-point) nebo sdílenou (shared).
- Z konfiguračního režimu příslušného interface: **spanning-tree cost x** - nastavení ceny cesty na hodnotu x (nižší je lepší).

Nastavení uplinkfast a backbonefast se již nepoužívá, protože je implementováno přímo v 802.1w a provádí se automaticky. Dále jsme ověřili, že pokud na edge port připojíme switch, který začne posílat BPDU, je tento port ihned automaticky změněn na obvyklý typ portu. Po opětovném připojení stanice je port znovu považován za edge. Při zapojení stanice do edge portu se port dostal do stavu forwarding během vteřiny, přesně jak jsme očekávali.

Dále jsme ověřovali rychlost konvergence zapojení podle obrázku 14. Vybrali jsme pět switchů, zapojili je dle uvedeného schématu a nastavili pro práci s RSTP (viz. výše). Mimo toto základní nastavení jsme na root switch nastavili prioritu 4096 a všechny porty s připojenými koncovými stanicemi (tři na switchi B a dva na switchi C) nastavili na typ edge. Dále jsme museli vhodně změnit cenu cesty mezi root switchem a switchem D tak, aby suplovala rozvětvení sítě o další switche a linky, které představuje mrak na obr. 14 a 15. Pro potřebný efekt jsme nastavili cenu cesty na hodnotu 50 na příslušných portech obou switchů. Přehled nastavení včetně čísel portů lze nalézt na obr. 15.



Obrázek 14: Rychlost konvergence sítě



Obrázek 15: Základní nastavení switchů

Ověřili jsme nastavení jednotlivých portů a poté jsme připojili linku mezi switch A a root switch. Během necelé půl minuty jsme zjistili, že byla zablokována linka mezi switchi C a D, což se shoduje s našimi předpoklady. Snažili jsme se zachytit BPDU pomocí příkazu **debug spanning-tree bpd** přímo na jednotlivých switchích, ale výsledek nebyl čitelný (jako výstup jsme obdrželi změř znaků, pravděpodobně binární výpis přicházejících BPDU). Proto jsme zapojili mezi switch C a D hub a do něj zapojili stanice, na které jsme spustili etheral (u switchu C a D jsme natvrdo nastavili na dané porty typ linky point-to-point). Etheral detekoval BPDU jako typ 2, ale jeho parametry (hlavně pak položky ID root switche a cena cesty k root switchi) neodpovídaly skutečnému stavu na switchích, které jsme získali příkazem **show spanning-tree** z privilegovaného režimu přímo na switchi. Toto bylo zřejmě způsobeno špatnou implementací rozpoznávání protokolu RSTP v programu etheral. Mohli jsme alespoň vysledovat informace, které jsou posílány v BPDU typu 2, verze 2. Zde je jejich přehled:

- verze protokolu,
- flagy tak jak jsou popsány v kapitole 2.2,
- priorita root switche,
- id root switche (včetně MAC adresy),
- cena cesty k root switchi,
- priorita switche, ze kterého bylo BPDU posláno,
- id tohoto switche (včetně MAC adresy),
- id portu, ze kterého bylo BPDU posláno,
- stáří zprávy,
- maximální stáří zprávy,

- hodnota hello-time,
- hodnota forward delay.

Z tohoto lze vidět, že BPDU RSTP a STP se liší opravdu jen ve využití všech osmi flagů.

3.1 Konfigurace switchů

Zde naleznete základní (pro funkci podstatnou) konfiguraci switchů.

3.1.1 Root Switch

```
Switch(config)#spanning-tree mode rapid-pvst
Switch(config)#spanning-tree vlan 1 priority 4096
Switch(config-if)#spanning-tree cost 50 //na portu 2
```

3.1.2 Switch A

```
Switch(config)#spanning-tree mode rapid-pvst
```

3.1.3 Switch B

```
Switch(config)#spanning-tree mode rapid-pvst
Switch(config-if)#spanning-tree portfast //na portech 1,2,3
```

3.1.4 Switch C

```
Switch(config)#spanning-tree mode rapid-pvst
Switch(config-if)#spanning-tree portfast //na portech 1,2
```

3.1.5 Switch D

```
Switch(config)#spanning-tree mode rapid-pvst
Switch(config-if)#spanning-tree cost 50 //na portu 2
```

3.2 Závěr

RSTP přijímá většinu Ciscovských proprietárních vylepšení k STP jako BackboneFast, Uplink-Fast a PortFast. RSTP docílí mnohem rychlejší konvergence v dobře nastavené síti oproti klasickému STP, někdy v řádech sekund. Klasické časovače z 802.1d jako forward delay nebo max age jsou používány pouze jako záložní a neměly by být potřebné v point-to-point spoje-ních v případě správně nakonfigurovaných edge portů. A taky za předpokladu, že v síti nejsou switche nepodporující RSTP.