

Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

Protokol TRILL
Bakalárska práca

Bratislava, 2022

Lenka Kudláčová

Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

Protokol TRILL
Bakalárska práca

Študijný program: Informatika
Študijný odbor: Aplikovaná informatika
Školiteľ: RNDr. Jaroslav Janáček, PhD



ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Lenka Kudláčová
Študijný program: aplikovaná informatika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)
Študijný odbor: informatika
Typ záverečnej práce: bakalárska
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Protokol TRILL.
TRILL Protocol

Anotácia: Práca sa venuje predstaveniu protokolu TRILL a jeho porovnaniu s klasickými protokolmi používanými v počítačových sieťach s redundantnými linkami.

Cieľ:

- popísať protokol TRILL.
- stručne popísať vybrané klasické alternatívy
- porovnať protokol TRILL s klasickými protokolmi, identifikovať výhody, nevýhody
- stanoviť odporúčania na výber protokolu pre bežné scenáre použitia

Vedúci: RNDr. Jaroslav Janáček, PhD.
Katedra: FMFI.KI - Katedra informatiky
Vedúci katedry: prof. RNDr. Martin Škoviera, PhD.
Dátum zadania: 05.10.2021

Dátum schválenia: 06.10.2021

doc. RNDr. Damas Gruska, PhD.
garant študijného programu

študent

vedúci práce

POĎAKOVANIE.....

.....ABSTRAKT

...Abstract

Obsah

uvod

OSI model [24] [25]

Pri popise sieťových protokolov a architektúr sa zvyčajne využívajú spoločné normy, ktoré sa nazývajú referenčný model ISO OSI. Ide o sedem vrstvovú architektúru, pričom každá vrstva má špecifickú funkčnosť a na každej vrstve sú definované rôzne protokoly. Všetky vrstvy spolu spolupracujú na prenose dát od jednej osoby alebo zariadenia k druhému.

1. Prvá najnižšia vrstva je fyzická, tá obsahuje informácie vo forme bitov, ktoré len prenáša cez zariadenia (kábel, hub, switch, modem, atď.).
2. Linková vrstva je druhá vrstva modelu OSI. Táto vrstva prenáša rámce medzi susednými zariadeniami.
3. Sieťová vrstva je tretou vrstvou a slúži na prenos údajov a prenáša pakety.
4. Transportná vrstva je štvrtou vrstvou, ktorá poskytuje služby vyššej vrstve a preberá služby zo sieťovej vrstvy. Táto vrstva pracuje s údajmi označované ako segmenty.
5. Relačná vrstva je piatou vrstvou, ktorá má za úlohu nadviazať spojenie a udržať reláciu, autentifikáciu a tiež zaisťuje bezpečnosť. Táto vrstva prenáša dáta.
6. Prezentačná vrstva je šiestou vrstvou. Dáta z aplikačnej vrstvy sa tu spracujú podľa požadovaného formátu na prenos cez sieť. Táto vrstva pracuje s dátami.
7. Aplikačná vrstva je siedmou najvyššou vrstvou, túto vrstvu implementujú sieťové aplikácie, ktoré produkujú dáta. Tieto dáta sa musia prenášať cez sieť. Táto vrstva slúži ako také okno pre aplikačné služby na prístup k sieti a na zobrazovanie prijatých informácií používateľovi.

Viac sa zameriam na druhú a tretiu vrstvu OSI modelu, aby sme mali obraz ako presne fungujú a aké protokoly obsahujú.

Linková vrstva[26][27]

Túto vrstvu je tiež poznáme ako vrstvu dátového spojenia (Data link layer). Táto vrstva je protokolovou vrstvou, ktorá prenáša dáta známe ako rámce medzi susednými sieťovými uzlami v sieti (WAN) alebo medzi uzlami v rovnakom segmente lokálnej siete (LAN). Vrstva poskytuje funkčné a procesné prostriedky na prenos dát medzi sieťovými zariadeniami a má prostriedky na detekciu a prípadnú opravu chýb, ktoré sa môžu nastať na fyzickej vrstve. Táto vrstva pozostáva z dvoch podvrstiev:

1. Media Access Control (MAC) – táto podvrstva riadi interakciu zariadenia.
2. Logical Link Control (LLC) – táto podvrstva sa zaoberá adresovaním a multiplexingom.

Paket ktorý je prijatý zo sieťovej vrstvy bude ďalej rozložený na rámce na základe od veľkosti rámca NIC (Network Interface Card). Linková vrstva musí korektne rozpoznať začiatok a koniec rámca, ako aj jeho samostatné časti. Má za úlohu overiť korektnosť prejdenia postupnosti bitov medzi dvomi uzlami. Keď na linke nastane chyba v napríklad dôsledku šumu, táto vrstva môže požiadať o opakované zaslanie poškodenej postupnosti bitov.

Funkcie linkovej vrstvy sú:

1. Rámcovanie – je funkcia, ktorá sa používa pridaním špeciálnych znakov v sade bitov na začiatok a koniec rámca.
2. Fyzické adresovanie – do hlavičky každého rámca pridá fyzické adresy (MAC adresu) príjemcu a odosielateľa .
3. Kontrola chýb – poskytuje mechanizmus kontroly chýb. Tento mechanizmus zachytáva a opakovane žiada o zaslanie poškodených alebo stratených rámcov.
4. Riadenie toku – zariadenie nemôže posielat' rámce rýchlejšie ako je príjemca schopný ich prijať, inak sa môžu rámce poškodiť, čiže riadenie toku koordinuje veľkosť údajov ktoré je možné odoslat' pred prijatím potvrdenia.
5. Riadenie prístupu – keď jeden komunikačný kanál zdieľa viacero zariadení, podvrstva MAC pomáha určiť, ktoré zariadenie v danom čase vysiela a ostatný musia čakať kým dovysiela.[24]

Príklady protokolov linkovej vrstvy sú Ethernet pre lokálne siete, Point-to-Point Protocol (PPP), HDLC a ADCCP pre PPP (dual-node) spojenia.

Sieťová vrstva [24]

Táto vrstva slúži na prenos údajov medzi zariadeniami umiestnené v sieti. Tiež vyberá najkratšiu cestu z počtu dostupných ciest na prenos paketu a do hlavičky paketu pridáva IP adresu odosielateľa a príjemcu.

Funkcie sieťovej vrstvy sú:

1. Smerovanie – Protokoly sieťovej vrstvy zistia a určia, ktorá cesta je najkratšia a najdostupnejšia od zdroja do cieľa. Táto funkcia sieťovej vrstvy je známa ako smerovanie.
2. Logické adresy – Prostredníctvom logických adries je možné prenos paketov z jedného zariadenia na druhé, aj medzi sieťami. Aby bolo možné jednoznačne identifikovať každé zariadenie v sieti, sieťová vrstva definuje IP adresy. Adresa zariadenie má dve

časti – časť označujúca sieť do ktorej zariadenie patrí (napríklad ako v pošte : Mesto + PSČ), a časť označujúca konkrétny uzol (ako v pošte – ulica, číslo domu). IP adresa odlišuje výslovne každé zariadenie univerzálne od iného.

Podpornými protokolmi sú napríklad ARP, ICMP alebo IGMP či IPM.

Porovnanie vrstvy 2 a 3 [28]

Rozlíšenie medzi linkovou vrstvou a sieťovou vrstvou je dôležité pre pochopenie, ako prúdia informácie medzi dvomi počítačmi. Otázka y mohla byť, prečo potrebujeme dvojité adresovanie, čiže aj na linkovej vrstve aj na sieťovej vrstve.

Odpoveďou je, že každé adresovanie plní inú funkciu, nie sú totožné:

- Linková vrstva používa MAC adresy a je zodpovedná za doručenie medzi blízkymi susedmi.
- Sieťová vrstva používa IP adresy a je zodpovedná za doručenie paketov od odosielateľa k príjemcovi.

Keď chceme dáta poslať v sieti, sieťová vrstva ich zapuzdrí do IP hlavičky. IP hlavička bude obsahovať IP adresy odosielateľa a príjemcu. Takto zapuzdrené dáta sa pošlú na linkovú vrstvu, kde sa tieto dáta znovu zapuzdria do hlavičky MAC adresy. Táto MAC adresa bude obsahovať informácie, ako je zdrojová a cieľová MAC adresa aktuálneho router-a na ceste k cieľovému zariadeniu.

Medzi každým router-om je MAC hlavička vymenená za novú, aby sa dostala na ďalší router. Táto adresa slúži na cestovanie v sieti medzi zariadeniami. Prvý počítač vygeneruje IP hlavičku, ktorá bude odstránená až posledným počítačom. Preto IP hlavička rieši doručenie od odosielateľa k príjemcovi a každá z rôznych MAC hlavičiek je len na preposlanie medzi blízkymi susediacimi zariadeniami napríklad router-mi v sieti.

Protokol TRILL

Pani Radia Perlman sa zamýšľala nad spôsobom ako zlepšiť algoritmus Spaning tree a vymyslela TRILL protokol, neskôr ho štandardizovala Engineering Task Force(IEIF). [8]

V máji v roku 2009 bola vydaná informačná zmienka o protokole TRILL, ktorá hovorí o probléme protokolu STP a o možnom riešení tohto problému. Problémom STP protokolu je,

že sa musí vyhýbať všetkým slučkám čiže aj tým dočasným. Spanning tree často vedie k neefektívnemu vyžívaniu topológie spojenia. Možným riešením by boli funkcie moderných smerovacích protokolov sieťovej vrstvy, keby boli dostupné na linkovej vrstve. [2]

A v roku 2011 bol vydaný prvý štandard vznikajúceho protokolu (RFC 6325), potom sa vydalo niekoľko aktualizácií a opráv RFC štandardu na ktorých spolupracovalo niekoľko spoločností a odborníkov. Posledný štandard bol v apríli 2019 štandard RFC 8564. [1]

Ciele nového protokolu TRILL sa stanovili kvôli dôležitosti opraviť nedostatky STP, a tak vytvoriť lepšiu variantu protokolu. Tieto ciele popisuje a definuje RFC 5556:

- Port musí byť radšej zablokovaný v prípade, že je jeho stav nejasný.
- Musí podporovať ľubovoľnú topológiu podsiete na linkovej vrstve
- Musí podporovať nástroje na analýzu siete
- Musí používať najvhodnejšie cesty k cieľovému zariadeniu
- Musí zabezpečovať stabilitu siete a zároveň spoľahlivo zabrániť slučiek v sieti
- Musí využívať paralelné linky na prenos od rovnakého zdroja cez rovnaké zariadenia k rovnakému cieľu
- Nesmie blokovat' redundantné linky/cesty v sieti

Tak ako sa stanovili ciele pre zlepšenie používaného protokolu, tak isto sa stanovili aj požiadavky ktoré sa musia zachovať:

- Ethernetový rámec nesmie byť pozmenený a musí byť doručený v rovnakej podobe ako bol odoslaný tj. cieľová stanica nesmie v rámci poznať rozdiel,
- Možnosť posielania rámcov na multicast, broadcast a unicast adresu, čiže na viac koncových zariadení (multi-destination),
- Jednoduchá konfigurácia switch-ov – nesmie byť potrebné niečo navyše konfigurovať kvôli základnej funkčnosti protokolu,
- Možnosť bezchybného fungovania klasických aj TRILL switch-ov s v jednej sieťovej infraštruktúre.

Štandard RFC 6325 definuje názvy špecifické pre TRILL. Názov „RBridge“ je skratkou pre „Routing Bridge“ čiže switch, ktorý ale obsahuje implementáciu protokolu TRILL. Názov switch je klasický ethernetový switch bez implementácie TRILL protokolu. [3][10]

Protokol TRILL poskytuje najlacnejšie cesty s minimálnou alebo nulovou konfiguráciou,

taktiež rovnakú cenu Multi-pathing v unicastovom zasielaní a viacnásobné smerovanie s viacerými cieľmi. [11]

Čo nové TRILL používa [3] [11]

TRILL protokol spolu s RBridge naznačujú, že sa teraz použije niečo nové oproti STP alebo niečo sa uplatňuje na sieťovej vrstve.:

- Zapuzdrenie Ethernetového rámca najprv do TRILL hlavičky a potom do vonkajšej Ethernetovej hlavičky, tak aby adresy cieľových zariadení switch nevidel.
- TRILL používa protokol IS-IS na vyhľadanie najvýhodnejšej a najrýchlejšej cesty v podsieti, protokol IS-IS je smerovací protokol na sieťovej vrstve. IS-IS poskytuje dynamické smerovanie medzi router-ami.[4] Čiže protokol IS-IS smeruje zapuzdrené rámce.
- Distribučné stromy a Reverse Path Forwarding (RPF) čiže kontrola smerovania opačnou cestou, kvôli distribúcii multi-destination prevádzky. [5][6]
- TRILL protokol by mal tiež zvýšiť počet koncových zariadení v jednej VLAN doméne, ale odporúčané maximálne množstvo cieľových zariadení sa nezmení. [2]
- Ethernetová sieť je citlivá k mnohým útokom. Napríklad na naplnenie MAC tabuliek. Preto tiež bude mať zabezpečenie Ethernetových sietí proti útokom. Bez ohľadu na implementovaný protokol riadenia by sa to malo riešiť.
- Mal by tiež využívať hierarchické smerovanie, MAC adresy sú v princípe nehierarchické, na rozdiel od IP adries. Každé koncové zariadenie musí mať svoj samostatný záznam v prepínacej tabuľke.

Ako TRILL funguje [7] [11][16]

TRILL robí a udržiava prepojenie medzi RBridge-ami, používa IS-IS smerovanie v stave spojenia. Susedné RBridge-e sa navzájom vyhľadajú pravidelnou inzerciou hlásení Hello, takže všetky RBridge-e vedia o všetkých svojich susediacich RBridge -och. Algoritmus najkratšej cesty (SPF) je tiež známy ako algoritmus Dijkstra. Na základe Link State Database (LSDB) každý RBridge používa algoritmus SPF na výpočet preposielaných záznamov určených iným RBridge-om, čiže každý jeden RBridge môže vypočítať topológiu pre najmenej nákladné jednosmerné smerovanie a vypočítať rovnaké distribučné stromy pre rámce poslané na viac zariadení(multi-destination). Protokol IS-IS funguje priamo na linkovej vrstve, preto sa v ňom nenachádzajú žiadne IP adresy, a môže byť spustený bez konfigurácie. Pre uľahčenie prenosu

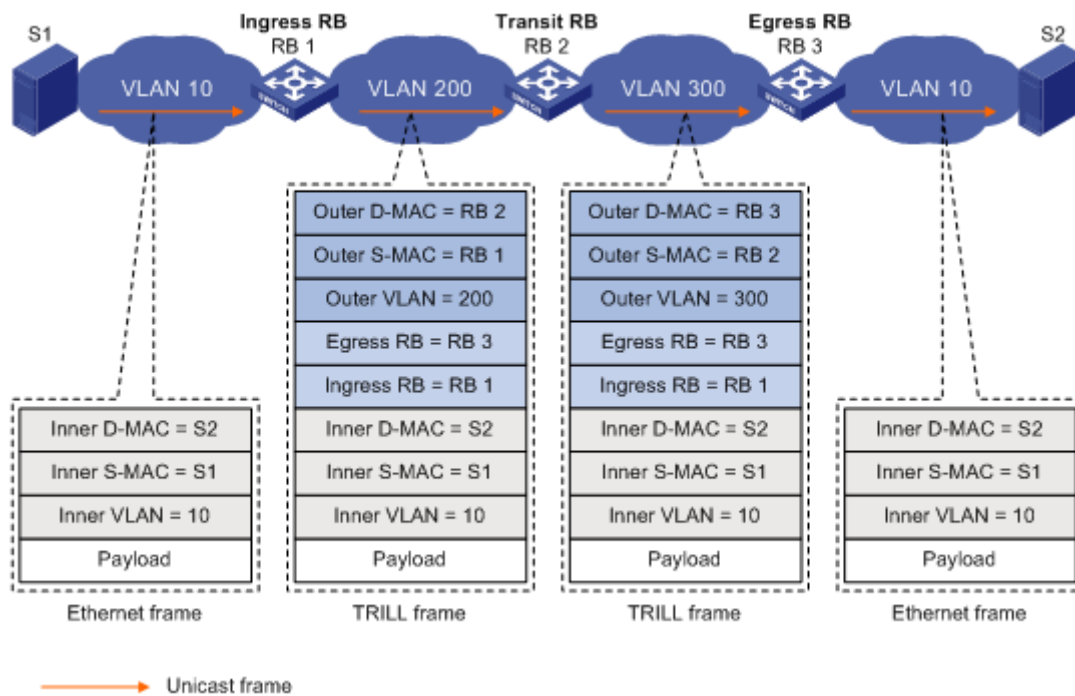
nových typov údajov ich definovanie pomôže kódovanie TLV ktoré IS-IS používa. RBridge-e sú identifikované 2-bytovými nickname a IS-IS ID systémom (je 6 bajtový jedinečný identifikátor RBridge v TRILL sieti). Nickname sú predvolene automaticky pridelované ale je možnosť ich nakonfigurovať. V prípade že majú dva RBridge-e rovnaké nickname, tak si musí vybrať nový nickname ten RBridge, ktorý má nižšou prioritou. Nickname sa používa preto lebo šetrí miesto v hlavičkách. Každý RBridge si vytvorí mapu celej siete.

Mechanizmy zasielania

Pre poslanie toku dát vo vnútri VLAN siete, používa TRILL tieto mechanizmy:

- Unicastové posielanie rámcov

- keď do TRILL siete príde unicastový rámec, vstupný RBridge(ingress RBridge) zabalí tzv. zapuzdrí pôvodný ethernetový rámec najprv do TRILL hlavičky (dosť podobná IP hlavičke), a potom do vonkajšej ethernetovej hlavičky (dosť podobná hlavičke klasického ethernetového rámca). Rovnakým systémom, ako switch-e preposielajú IP pakety, preposielajú RBridge-e rámce medzi blízkymi susedmi (hop-by-hop) podľa výstupného(egress) nickname RBridge -u v hlavičke TRILL. Vonkajšia ethernetová hlavička sa po každom preposlaní vymení za zodpovedajúcu vonkajšiu ethernetovú hlavičku, a zároveň sa zníži počet skokov - preposlaní v hlavičke TRILL o 1. U klasických zariadení sa vymení za zodpovedajúcu MAC adresu (čo som popísala vyššie), je to ten istý princíp.
- Keď sa rámec dostane do výstupného RBridge -u, ten ho rozbali (de-encapsuluje), aby mu zostal pôvodný ethernetový rámec, ktorý môže odoslať koncovému zariadeniu. Výstupný RBridge musí odstrániť vonkajšiu ethernetovú hlavičku a aj TRILL hlavičku, aby rámec rozbali.



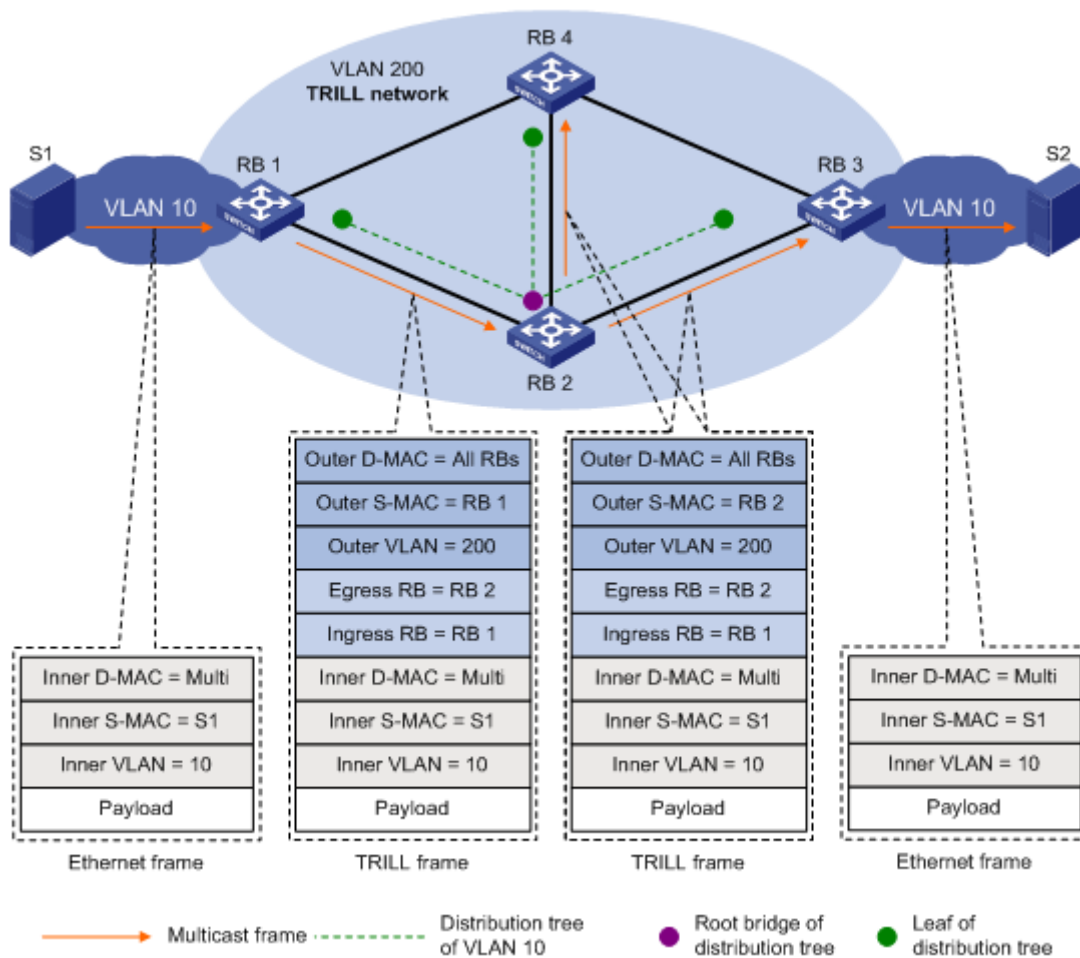
*Obr. 1: Posielanie unicastového rámca
obrázok je prevzatý zo stránky [7]*

Fungovanie switch -ov s RBridge -ami v jednej sieti a tým si aj preposielat' TRILL rámce, nám umožňuje vonkajšia ethernetová hlavička.

- RBridge vykonávajú v sieti TRILL operácie, ktoré slúžia na posielanie rámca na viac cieľových zariadení, sú to tieto :

- na základe databázy stavu spojenia – Link State Database (LSDB obsahuje všetky informácie o stave spojenia v sieti TRILL) vypočítavajú pre každú sieť VLAN distribučný strom TRILL.
- pomocou distribučného stromu TRILL, naviguje preposielanie rámcov na viac cieľov v každej VLAN sieti.

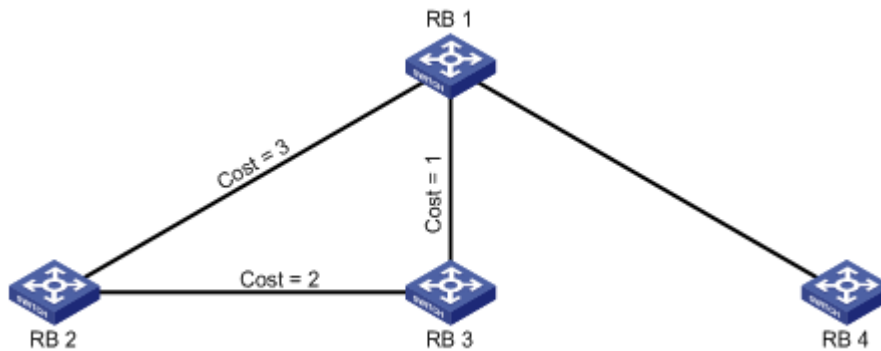
Keď z VLAN siete príde multicastový rámec do TRILL siete, tak nastane zapuzdrenie multicast rámca do TRILL rámca, túto úlohu spraví vstupný RBridge. V rámci je zapísaný root bridge (RB2) distribučného stromu TRILL pre sieť VLAN a výstupný RBridge(RB3). Rámec je distribuovaný po celom distribučnom strome TRILL, keď dorazí do root bridge-u. Rámec rozbalí RB3 (RBridge) a odošle do cieľového zariadenia S2. V časti sieti, ktorá nemá príjemcu a tak rámec zahodí sa nachádza RB4 (RBridge) .



Obr. 2: Posielanie multicastového rámca
 obrázok je prevzatý zo stránky [7]

Na základe VLAN sietí do ktorých rámce patria, sú vybrané distribučné stromy na posielanie rámcov na viac cieľových zariadení. Zátáž prenosu môže byť zdieľaná v prípade, že sú rôzne topológie distribučných stromov TRILL. Na rozloženie zátáže sa nepoužívajú cesty, ktoré majú rovnaké „ceny – náklady“.

Na poslanie rámcov v sieti kde je N prepojení s rovnakými cenami, sa vyberie prepojenie s najväčším ID pseudouzla pre každý distribučný strom TRILL. Napríklad sú dve rovnako cenovo ohodnotené linky medzi RB1 a RB2. Potom cesta, ktorá má najväčšie ID pseudouzla priamo spájajú RB1 s RB2. Distribučný strom TRILL zakorený v RB1 vyberá spojenie, tak ako aj distribučný strom TRILL zakorený v RB4. (znázornené na obr.3).



*Obr. 3: Znázorňuje multicast ECMP
obrázok je prevzatý zo stránky [7]*

ECMP- Equal Cost Multiple Path, známe aj ako multicast ECMP sú podporované distribučnými stromami. Pre zlepšenie výkonu rozloženia záťaže, TRILL priraduje rovnako ohodnotené cesty k rôznym distribučným stromom TRILL, keď je povolený multicast ECMP.

V prípade že existuje viacero cenovo ohodnotených ciest (N) v sieti TRILL sa vyberie cesta na poslanie rámcov, ktorá je rovnako cenovo ohodnotená. Túto cestu vyberá každý distribučný strom v poradí priority root bridge-u. Poradové číslo priority distribučného stromu TRILL začína od 0 a je J. Táto cesta na posielanie rámcov sa vyberá cez $J \bmod N$.

Na obrázku 3. vidno že:

- K distribučnému stromu TRILL s koreňom v RB1, je priradená cesta spájajúca RB1 s RB2
- K distribučnému stromu TRILL s koreňom RB4 je priradené spojenie spájajúce RB1 – RB3 – RB2.

Rýchle prepínanie koreňov podporujú distribučné stromy TRILL. RB vymaže LPS záznam koreňa zo svojej databázy spojení (LSDB), vtedy keď zistí, že koreň distribučného stromu je nedostupný. Tým pádom sa musia prepočítať v sieti TRILL všetky distribučné stromy. Do nových distribučných stromov prepne preprava na viac cieľových zariadení. TRILL používa mechanizmus pomenovaný Reverse Path Forwarding Check, ktorý má zabrániť vzniku dočasných slučiek pri cestovaní multi-destination rámcov. Fungovanie Reverse Path Forwarding Check spočíva v tom, že na základe použitého distribučného stromu kontroluje multi-destination rámce. Rámec musí byť zahodený vtedy, keď sa vráti inou cestou ako mechanizmus očakával. [12] [15]

Formát hlavičky TRILL [12]

Hlavička TRILL je oslobodená od údajov, ktoré sa používajú na linkovej vrstve. TRILL na začiatku prenosu najprv zapuzdrí pôvodný ethernetový rámec svojou hlavičkou. Táto hlavička sa skladá z týchto častí:

Obr4. hlavička TRILL

Hodnoty bitov „A“ a „C“ RBridge musí ignorovať pri výpočte hash hodnoty dátového rámca TRILL ako súčasť výberu rovnakého cenového ohodnotenia multipath.

- V (Version) – 2-bitové celé číslo bez znamienka. Ak má hodnotu nula, tak je špecifikovaná verzia, táto časť slúži na označenie verzie protokolu. V prijatom zapuzdrenom rámci TRILL, RBridge vždy skontroluje pole „V“ . RBridge musí rámec zahodiť v prípade ak má toto pole hodnotu, ktorú nevie rozpoznať. IETF Standards Action má na starosti pridelenie nových čísel verzií TRILL.
- A (Alert) – 1 bit. Tento bit je špecifikovaný ako varovný bit. Tento bit nesmie používať RBridge na preposielanie rozhodnutí, ako je výber cesty ECMP(Equal Cost Multipath). Bit sa používa v súlade so špecifikáciami na identifikáciu rámcov TRILL OAM, čo vyžaduje aj špeciálne spracovanie.
Ak má hodnotu 1 je to znak, že ide o možný rámec OAM a musí sa s ním špecificky zaobchádzať. Môže sa stať že má rámec nastavený tento bit a neobsahuje CFM Ethertype (Connectivity Fault Management Ethertype), preto nie je považovaný za rámec OAM a musí sa zahodiť. RBridge ktorý podporuje OAM rámce, nesmie generovať rámce OAM pre RBridge-e, ktoré OAM nepodporujú. TRILL OAM rámce sú rámce, ktoré poskytujú indikáciu poruchy siete, lokalizáciu poruchy a informácie.
[37]
- C (Color) – 1bit. Týmto bitom sa označujú dátové pakety TRILL na špecifické účely pre implementáciu. RBridge-e ktoré takéto rámce preposielajú, nesmú tento bit meniť.

Tranzitné a výstupné RBridge-e môžu používať tento bit na označenie implementačne závislej linky alebo na štatistickú analýzu alebo iné typy štúdií alebo analýz.

- M (Multi-destination) – 1bit. Tento bit označuje, že rámec má byť doručený skupine koncových zariadení cez distribučný strom. Tento distribučný strom je vybraný polom Nickname výstupného RBridge.
 - ak je bit 0 (False) – obsahuje nickname výstupného RBridge pre známu Unicast MAC adresu.
 - ak je bit 1 (True) – obsahuje nickname výstupného RBridge, ktorý určuje distribučný strom. Tento nickname vyberie vstupný RBridge pre daný rámec TRILL.

- RESV : 4 bits. Tieto bity musia byť odoslané ako nula, pretože sú rezervované. Väčšina hardvérových implementácií TRILL zachytáva a nepreposiela dátové rámce TRILL s nenulovými bitmi. TRILL switch prijímajúcu dátový rámec TRILL s nejakým nenulovým bitom v RESV buď tento bit alebo bity majú špecifikované nejaké budúce použitie, o ktorých RBridge vie alebo tento rámec musí RBridge zahodiť.

- F : 1 bit. Ak je táto hodnota nulová, potom príznak nie je prítomný. ale ak je bit „F“ nenulový v TRILL hlavičke, potom prvých 32 bitov po poli „Ingress Nickname“ poskytuje ďalšie príznaky.

- Hop Count: 6-bitové celé číslo bez znamienka. Veľkosť tohto poľa však obmedzuje maximálny počet skokov. RBridge môžu rozšíriť tohto pole na 9 bitov, tým sa maximálny počet skokov zvýši na 512, ale táto podpora, tohto rozšírenia je potrebná na všetkých RBridge-och na ceste TRILL rámca. Vstupný RBridge by mal „Hop Count“ nastaviť pre známe unicastové rámce. Aby sa neskôr na ceste umožnilo alternatívne smerovanie, mal by RBridge počítat' o niečo viac ako počet skokov medzi RBridge-ami, ktoré očakáva výstupný RBridge. Pomocou vstupného RBridge by mal byť nastavený počet skokov pre rámce s viacerými cieľmi, od najvzdialenejšieho RBridge na aspoň predpokladaný počet skokov. RBridge zahodí rámec s nulovým počtom skokov, inak sa toto číslo zníži o 1. Tento princíp je známy zo sieťovej vrstvy IPv4 z protokolu Time to live.
live.
Pre rámce s viacerými cieľmi sa zaviedlo niekoľko dodatočných opatrení, pretože

cyklus obsahujúci jednu alebo viac vetiev distribučného stromu by mohlo viesť k rýchlemu generovaniu viacerých kópií rámca. Kvôli tomuto sú rámce s viacerými cieľmi podrobené kontrole presmerovania spätnej cesty (Reverse Path Forwarding) a iným kontrolám. Ako dodatočné opatrenie pre tieto rámce môže tranzitný RBridge RBm znížiť počet skokov o viac ako 1, a zároveň musí minimálne znížiť počet skokov o 1. Ak nemôže znížiť aspoň o 1 lebo je počet skokov rovný 0, tak rámec zahodí.

- Egress Nickname: 16 bitový identifikátor. V závislosti od bitu M sú dva prípady obsahu nickname výstupného RBridge. Pre rámce TRILL ESADI je nickname vyplnená zdrojovým RBridge-om a pre dátové rámce TRILL ju vyplňa vstupný RBridge.
 - Keď M je nastavené na 0 (False) je pre verejné unicastové dátové rámce TRILL. Určuje RBridge, ktorý potrebuje odstrániť zapuzdrenie TRILL a poslať natívny rámec koncovému zariadeniu, toto sa určí poľom výstupný nickname čo je výstupný RBridge. Toto pole po nastavení počas celej cesty nesmie byť zmenené žiadnym RBridge-om.
 - Keď je M nastavené na 1 (True), sú to multi-destination dátové rámce TRILL a pre TRILL ESADI rámcov. Pole výstupný nickname RBridge-u obsahuje nickname určujúcu distribučný strom. Tento strom sa použije ako cesta na poslanie rámca. Žiaden tranzitný RBridge nesmie zmeniť tento nickname.
- Ingress Nickname: 16 bitový identifikátor. Vstupný RBridge nastaví vstupnú nickname na svoju vlastnú nickname pre dátové rámce TRILL, a pre rámce TRILL ESADI na nickname zdrojového RBridge. Žiaden tranzitný RBridge nesmie zmeniť toto pole keď je nickname nastavené.
- Optional Flags Word: tento bit "F" v hlavičke TRILL poskytuje ďalšie príznaky prvých 32 bitov po poli Ingress Nickname ak je nenulový.

Rámec ktorý TRILL zapuzdriť, bude obsahovať tri hlavičky (vonkajšia, TRILL a vnútorná). Vonkajšia hlavička, slúži len na preposielanie medzi blízkymi susedmi a zároveň sa odstráni po každom skoku – preposlaní. Keď sa posielajú medzi jedným (RB1) a druhým (RB2) RBridge-om, určí RB1 ako zdrojový a RB2 ako cieľový. [16]

Nickname RBridge[14][5][16]

Nickname sa používajú pre šetrenie miesta v hlavičkách, slúži ako skratka pre IS-IS ID RBridge. Toto pole je 16 bitová dynamicky zadaná hodnota, tiež nickname slúži pre kompatibilnejšie zakódovanie a tiež sa s ním dá bližšie určiť potenciálne rôzne stromy, ktoré majú rovnaký koreň. Vďaka tomuto je možné mať až 2^{16} RBridge-ov v jednej sieti. Existuje tiež zopár predvolených označení, pre ktoré je zopár hodnôt rezervovaných. Hodnota 0x0000 označuje, že nickname nie je špecifikovaná a pre budúcu špecifikáciu sú určené hodnoty 0xFFC0 až 0xFFFE pričom natrvalo rezervovaná je hodnota 0xFFFF. RBridge môže mať aj viacero Nickname, ktoré by mal používať aj po reštarte zariadenia. Ak sú nickname vybrané automaticky, tak majú nižšiu prioritu ako tie, čo sú nakonfigurované administrátorom siete. Aby sa zabránilo duplicitám nickname, RBridge si zvyčajne zvolí nickname pseudonáhodne alebo hashom svojich parametrov, čiže sa vyhýba tým nickname, ktoré už získali iné RBridge a podľa odporúčenia by RBridge mal počkať so zvolením do tej doby, kedy bude mať k dispozícii úplnú databázu všetkých RBridge v sieti, potom už nevyberie duplicitnú nickname. Pre odstránenie duplicit nickname v podsieti sa spúšťa postup, ktorým sa zabezpečí odstránenie duplicity, tým pádom si jeden RBridge vytvorí novú nickname, a to len v prípade, keď sa príde na to že je viac rovnakých nickname v podsieti. RBridge spája protokol IS-IS na získanie jednej alebo viacerých unikátnych nickname v oblasti kampusu.

Rozšírenia hlavičky

TRILL obsahuje aj možnosť rozšírenia TRILL hlavičky. To udáva pole s názvom RESV a bit F, zobrazené vyššie. Ak je F nula, potom nie je žiadne rozšírenie hlavičky, ale v prípade keď je tento bit vyplnený nasleduje oblasť rozšírenia hlavičky priamo za polom Ingress RBridge Nickname v hlavičke TRILL. Sú zabezpečené hop-by-hop príznaky, ingress-to-egress príznaky, príznaky ovplyvňujúce zatiaľ nešpecifikovanú triedu RBridge (napríklad bridge rozšírené o podporu viacúrovňového IS-IS v tejto TRILL sieti) a rôzne iné príznaky. [16] [17] [12]

.....

Záver

Zdroje - literatúra

[1] RFC [online] Dostupné na: https://www.rfc-editor.org/search/rfc_search_detail.php?title=trill&pubstatus%5B%5D=Any&pub_date_type=any

[citované: 21.10.2021]

[2] J. Touch, et al. *Transparent Interconnection of Lots of Links (TRILL): Problem and Applicability Statement*. Máj 2009[online]. Dostupné na: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5556.html>

[citované: 21.10.2021]

[3] Ing. Miroslav Matuška. *Seriál TRILL: Konečně náhrada za Spanning Tree?*. 7.10.2010 [online]. Dostupné na: <https://www.lupa.cz/serialy/trill/>

[citované: 21.10.2021]

[4] *IS -IS*. [online] Dostupné na: <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/is-is>

[citované: 21.10.2021]

[5] R. Perlmán, et al. *Routing Bridges (RBridges): Base Protocol Specification*. Jún 2011 [online]. Dostupné na: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6325.html>

[citované: 21.10.2021]

[6] D. Eastlake 3rd, et al. *Transparent Interconnection of Lots of Links (TRILL) Use of IS -IS*. Júl 2011 [online]. Dostupné na: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6326.html>

[citované: 21.10.2021]

[7] H3C Technologies. *15-TRILL Configuration Guide*. [online]. Dostupné na: http://www.h3c.com/en/Support/Resource_Center/HK/Switches/H3C_S10500/H3C_S10500/Technical_Documents/Configure/Configuration_Guide/H3C_S10500_CG-R7523P01-6W100/15/201609/951148_294551_0.htm

[citované: 27.10.2021]

[8] Robert Sheldon. *Spanning Tree Protocol(STP)*. August 2021[online]. Dostupné na: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/spanning-tree-protocol>

[citované: 27.10.2021]

[9] Adam Surák. *Transparent Interconnection of Lots of Links (TRILL) jako náhrada Spanning Tree*. Máj 2012[online]. Dostupné na: <http://wh.cs.vsb.cz/sps/images/8/88/TRILL.pdf>

[citované: 27.10.2021]

[10] IBM Systems and Technology Group . *IBM b-type Networks for High Performance and Scalable Computing Systems*. Máj 2010[online] Dostupné na: <https://docs.broadcom.com/doc/12379981>

[citované: 27.10.2021]

[11] Donald E. Eastlake 3rd. *The IETF TRILL Protocol Transparent Interconnection of Lots of Links*. Február 2013 [online]. Dostupné na: https://conference.apnic.net/35/pdf/trillapricot8_1361288177.pdf

[citované: 27.10.2021]

[12] D. Eastlake 3rd, et al. *Transparent Interconnection of Lots of Links (TRILL): Clarifications, Corrections, and Updates*. Február 2016 [online]. Dostupné na: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7780.html#>

[citované: 27.10.2021]

[13] Donald E. Eastlake 3rd. *RBridges and the IETF TRILL Protocol*. December 2009[online]. Dostupné na: https://archive.nanog.org/meetings/nanog48/presentations/Monday/Eastlake_RBridge_N48.pdf

[citované: 27.10.2021]

[14] Bc. Tomáš Kmoníček. *Analyza využití protokolu TRILL v podnikové síti*. 2015 [online]. Dostupné na: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/60413/KmonicekT_AnalyzaVyuziti_JH_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[citované: 14.11.2021]

[15] Bc. Matej Hrnčířík. *Modelování L2 Protokolů zajišťujících bezsmýškovost*. 2012 [online]. Dostupné na: <https://docplayer.sk/204514332-Fakulta-informa%C4%8Dn%C3%ADch-technologie%C3%AD.html>

[citované: 14.11.2021]

[16] Zard Ali Khan. *Comparative Analysis of TRILL: A Research Study*. September 2017[online]. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/330888235_Comparative_Analysis_of_Trill_A_Research_Study

[citované: 14.11.2021]

[17] D. Eastlake 3rd, et al. *Transparent Interconnection of Lots of Links (TRILL): Header Extension*. Máj 2014[online]. Dostupné na: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7179.html>

[citované: 14.11.2021]

[18] Libor Dostálek, Alena Kabelová. *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systému DNS*. Praha: Computer Press 2000. ISBN 80-7226-323-4 [citované: 7.2.2022]

[19] AlcatelLucent. *Shortest Path Bridging (SPB)*. [online] Dostupné na: <https://www.al-enterprise.com/en/solutions/shortest-path-bridging>

[citované: 14.11.2021]

[20] Don Fedyk, Mick Seaman. *802.1aq – Shortest Path Bridging*. 29.3.2012 [online] Dostupné na: <https://1.ieee802.org/tsn/802-1aq-shortest-path-bridging/>

[citované: 27.12.2021]

[21] D. Fedyk, Ed., et al. *IS-IS Extensions Supporting IEEE 802.1aq Shortest Path Bridging*. April 2012 [online]. Dostupné na: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6329#section-4>

[citované: 27.12.2021]

[22] Norman Finn. *MAC address transparency*. Máj 2006[online]. Dostupné na: <https://www.ieee802.org/1/files/public/docs2006/ad-nfinn-mac-address-transparency-0506.pdf>

[citované: 27.12.2021]

[23] CISCO. *Understanding Basic 802.1ah Provider Backbone Bridge*. 9.3.2018 [online]. Dostupné na: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/routers/asr-9000-series-aggregation-services-routers/212882-understanding-basic-802-1ah-provider-bac.html>

[citované: 27.12.2021]

- [24] Sandeep Jain. *Layers of OSI Model*. 18.10.2021[online]. Dostupné na: <https://www.geeksforgeeks.org/layers-of-osi-model/>
[citované: 3.1.2022]
- [25] RNDr. Jaroslav Janáček. *Referenčný model ISO OSI*. [online]. Dostupné na: <http://www.dcs.fmph.uniba.sk/siete/OSI.pdf>
[citované: 3.1.2022]
- [26] Roman Pramberger. *Data Link Layer*. [online] Dostupné na: <https://osi-model.com/data-link-layer/>
[citované: 3.1.2022]
- [27] *Linková vrstva*. [online] Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/data-link-layer>
[citované: 3.1.2022]
- [28] Ed Harmoush. *OSI Model*. [online] Dostupné na: <https://www.practicalnetworking.net/series/packet-traveling/osi-model/>
[citované: 3.1.2022]
- [29] Ahmed Amamou, Kamel Haddadou, Guy Pujolle. *A TRILL-based multi-tenant data center network*. 5.8.2014 [online]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128614000851#b0020>
[citované: 3.1.2022]
- [30] Peter Ashwood-Smith. *Shortest Path Bridging IEEE 802.1aq Tutorial and Demo*. Október 2010 [online]. Dostupné na: https://archive.nanog.org/meetings/nanog50/presentations/Sunday/IEEE_8021aqShortest_Path.pdf [citované: 5.1.2022]
- [31] Haider Khalid. *What is Cisco FabricPath?*. 11 Február 2018 [online]. Dostupné na : <https://ourtechplanet.com/what-is-cisco-fabricpath/>
[citované: 17.1. 2021]

[32] Radia Perlman et al. *RBridges: Base Protocol Specification*. 3.3.2010 [online]. Dostupné na: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-trill-rbridge-protocol#>

[citované: 5.1.2022]*

[33] J. Carlson et al. *PPP Transparent Interconnection of Lots of Links (TRILL) Protocol Control Protocol*. August 2011[online]. Dostupné na:

<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6361.html>

[citované:10.1.2022]

[34] Avaya. *Compare and Contrast SPB and TRILL*. [online]. Dostupné na:

[http://www.techdata.ca/business/avaya/DataCenterSolutions/files/A%20-%20Why%20Avaya/2%20-%20Learn%20More%20About%20VENA/SPB-TRILL Compare Contrast-DN4634.pdf](http://www.techdata.ca/business/avaya/DataCenterSolutions/files/A%20-%20Why%20Avaya/2%20-%20Learn%20More%20About%20VENA/SPB-TRILL%20Compare%20Contrast-DN4634.pdf)

[citované:10.1.2022]

[35] Juniper networks. *QFabric System Overview*. 26 Marec 2021 [online]. Dostupné na:

<https://www.juniper.net/documentation/us/en/software/junos/qfx3000-g-deployment/topics/concept/qfabric-overview.html>

[citované:17.1.2022]

[36] s.Denazis, et al. *Software-Defined Networking(SDN): Layers and Architecture Terminology*. Január 2015 [online]. Dostupné na: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7426>

[citované:17.1.2022]

[37] Andersson, et al. *Guidelines for the Use of the "OAM" Acronym in the IETF*. Jún 2011 [online]. Dostupné na : <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6291>

[citované:21.1.2022]

[38]Cisco. *Using TRILL, FabricPath, and VXLAN: IS-IS Intra Domain Routing Protocol*. 14 Február 2014 [Online]. Dostupné na:

<https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2176197>

[citované: 21.1.2022]

[39] T. Senevirathne et al. *Requirements for Operations, Administration, and Maintenance (OAM) in Transparent Interconnection of Lots of Links (TRILL)*. Marec 2013[online]. Dostupné na : <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6905.html>

[40] Wendell Odom, Rus Healy, Naren Mehta. *Směrování a přepínání sítí Autorizovaný výukový průvodce*. Brno: Computer Press 2009. ISBN 978-80-251-2520-5 [citované: 16.2.2022]

[]