Semestrálny projekt

Softvérový viacvrstvový prepínač

Miroslav Hájek
Predmet: Prepínanie a smerovanie v IP sieťach (2021/22)
Fakulta informatiky a informačných technológií,
Slovenská technická univerzita v Bratislave

Obsah

1 Zadanie

Navrhnite a implementujte softvérový viacvrstvový prepínač na základe znalostí získaných z predmetu Počítačové a komunikačné siete (PKS). Pri spracovaní koncepcie návrhu prepínača uvažujte viacportový prepínač. Ako výsledná implementácia postačuje riešenie s dvojportovým prepínačom (dve sieťové karty, port 1 a port 2), pričom ovládanie sieťových rozhraní realizujte príslušnými paketovými ovládačmi. Prepínač navrhnite a implementujte v jazyku C++ alebo C# (ďalšími povolenými jazykmi sú Java alebo Python). Navrhnite prepínač tak, aby spĺňal požiadavky z úloh 1-4.

1.1 Úloha 1: Prepínacia tabuľka

Zobrazoval prepínaciu tabuľku vo formáte MAC adresa – číslo portu – aktuálny časovač záznamu. Prepínač sa obsah svojej prepínacej tabuľky učí priebežne a aktuálny stav zobrazuje cez grafické používateľské rozhranie (obsah sa automaticky aktualizuje, nie pomocou tlačidla). Umožnite vyčistiť prepínaciu tabuľku pomocou tlačidla. Časovač pre vypršanie záznamov nech je konfigurovateľný (pozn.: nezabudnite ošetriť vytiahnutie kábla, ako aj výmenu káblov medzi portami).

1.2 Úloha 2: Štatistiky

Poskytoval štatistické informácie vrstvy 2 - 4 RM OSI o počte (prijatých/odoslaných) PDU na každom porte v smere IN aj OUT, ktoré budú zreteľne zobrazovať správne fungovanie prepínača. Umožnite resetovať štatistické informácie. Štatistické informácie nech zobrazujú minimálne informácie o PDU typu Ethernet II, ARP, IP, TCP, UDP, ICMP, HTTP.

1.3 Úloha 3: Filtrácia komunikácie

Filtroval komunikáciu na 2. - 4.vrstve RM OSI vrátane portov transportnej vrstvy a typov ICMP (bez použitia vstavaných PCAP funkcií filtrovania). Riešenie navrhnite ako zoznam pravidiel vyhodnocovaných sekvenčne tak, aby bolo možné naraz realizovať ľubovoľnú kombináciu filtrov. Napr. pre danú IP povoliť iba HTTP komunikáciu a zároveň pre danú MAC zakázať "ping". Umožnite aj kombináciu zdrojových a cieľových MAC a IP adries, príp. portov. Zobrazujte tabuľku zadaných pravidiel a umožnite ich aj jednotlivo odstraňovať. Filtre rozlišujte v smere "in/out" na každom porte prepínača (takisto zohľadniť v návrhu). Napr. Host A sa nedostane von na web (HTTP), ale u neho bežiaci server nginx (HTTP) bude dostupný.

1.4 Úloha 4: Variant B: System Logging (Syslog)

Implementácia Syslog klienta, pričom je potrebné:

1. Zabezpečiť aspoň 3 úrovne dôležitosti správ (severity level).
2. Umožniť nakonfigurovať prepínaču zdrojovú IP adresu, z ktorej sa budú správy odosielať.
3. Nakonfigurovať IP adresu vzdialeného Syslog servera.
4. Zasielané správy musia obsahovať časovú pečiatku (angl. timestamp).
5. Zvoľte aspoň 5 činností (descriptions), ktoré budete pomocou Syslog zaznamenávať (napr. „Zariadenie s MAC X sa premiestnilo z portu 1 na port 2").

Syslog server bude aplikácia TFTPD32 bežiaca na niektorom počítači (prípadne Networkers' Toolkit pre GNS3). Umožnite spustenie/zastavenie Syslog funkcionality na prepínači.

2 Návrh riešenia

Softvérový dvojportový prepínač je napísaný v jazyku C++11 so zachytávaním a zostavovaním rámcov realizovaných knižnicou *PcapPlusPlus* 21.11[1] nad *libpcap* 1.10.1. Grafické používateľské rozhranie zabezpečuje knižnica *wxWidgets* 3.0.5[2]. Testovacím prostredím je platforma Manjaro Linux 5.10. s emulátorom GNS3 verzie 2.2.29.

Program sa skompiluje zadaním nasledujúceho príkazu za predpokladu nainštalovaných požadovaných knižníc:

```
g++ -std=c++11 -O2 -Wall switch.cpp ‘wx-config --cxxflags --libs‘ \
    -lPcap++ -lPacket++ -lCommon++ -lpcap -lpthread \
    -I/usr/local/include/pcapplusplus -o switch
```

Implementovaný softvérový prepínač predpokladá existenciu dvoch loopback rozhraní s názvami `port1` a `port2`, preto je ich nutné pred spustením vytvoriť a uviesť do stavu UP.

```
ip link add name port1 type dummy
ip link add name port2 type dummy
ip link set port1 up
ip link set port2 up
```

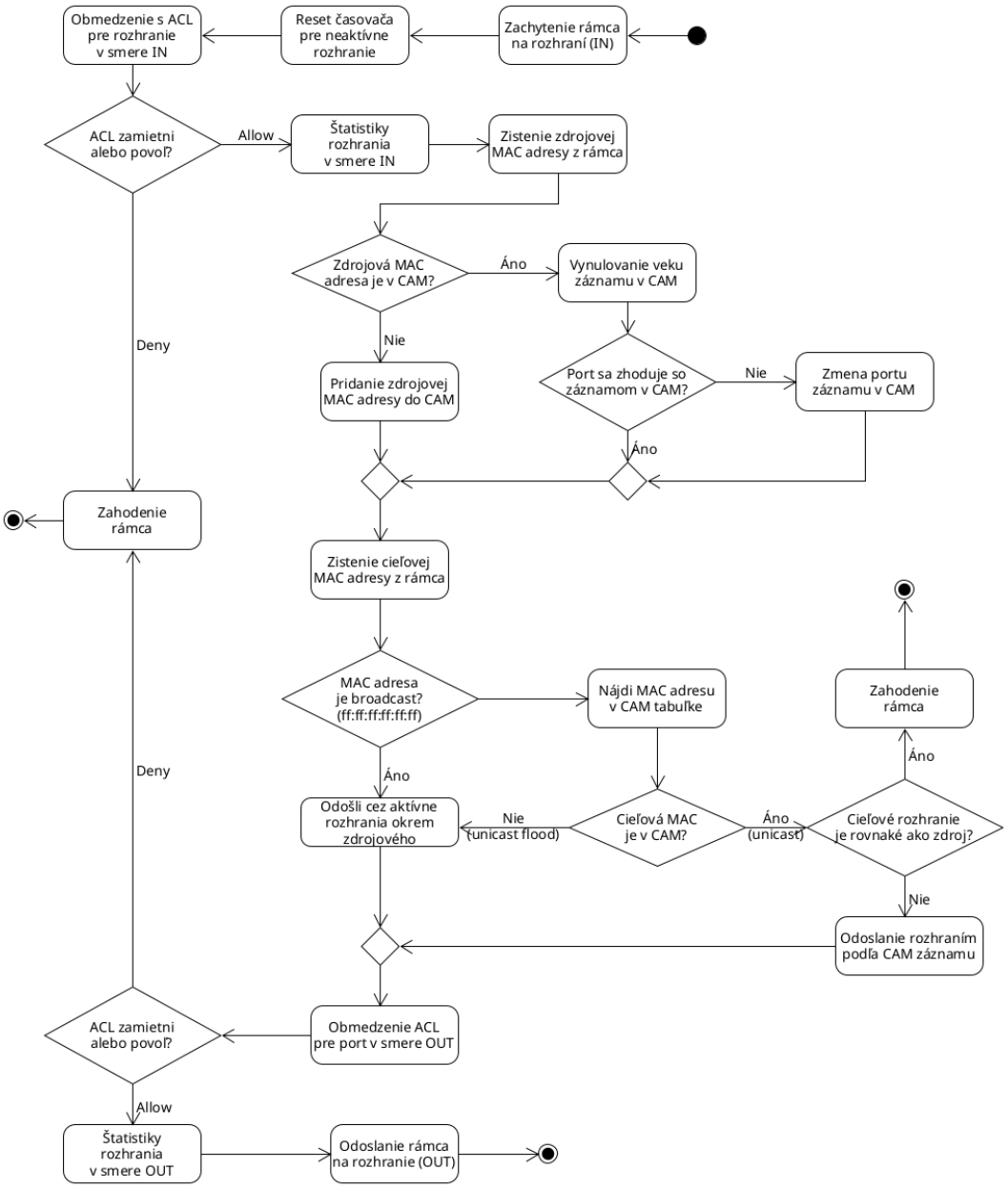
Aby rozhrania umožnili preposlanie premávky musia byť považované za aktívne, tým že pravidelne prijímajú keepalive správy (napr. v GNS rámce LOOP z Cisco routerov pripojených na hub alebo z počítačov s nekonečným ping-om.) Po 5 sekundách neaktivity na rozhraní bude považované za odpojené.

[1] PcapPlusPlus: `https://pcapplusplus.github.io/`
[2] wxWidgets: `https://www.wxwidgets.org/`

2.1 Prepínanie rámcov

Viacportový prepínač (switch) narozdiel od rozbočovača (hub) zaznamenáva koncové zariadenia v LAN sieti dosiahnuteľné na aktívnych linkách v tabuľke MAC adries (ďalej označované CAM - Content Addressable Memory), z dôvodu adresnosti rozposielania rámcov do destinácie bez zbytočného zahltenia média pri oddelení kolíznych domén.

Po prijatí Ethernet rámca na ľubovoľnom rozhraní sa podľa cieľovej MAC adresy určí, ktorými ostatnými aktívnymi linkami dôjde k preposlaniu. L2 broadcast označený MAC adresou ff:ff:ff:ff:ff:ff bude propagovaný všetkými rozhraniami, rovnako ako rámec s cieľovou MAC adresou, ktorá ešte nie je v CAM tabuľke. Na známu MAC adresu sa rámec pošle najviac cez jedno rozhranie, ktoré je viazané s danou MAC adresou. Rámec sa nikdy nevráti rozhraním odkiaľ bol prijatý. Na základe zdrojovej MAC adresy zisťuje prepínač,

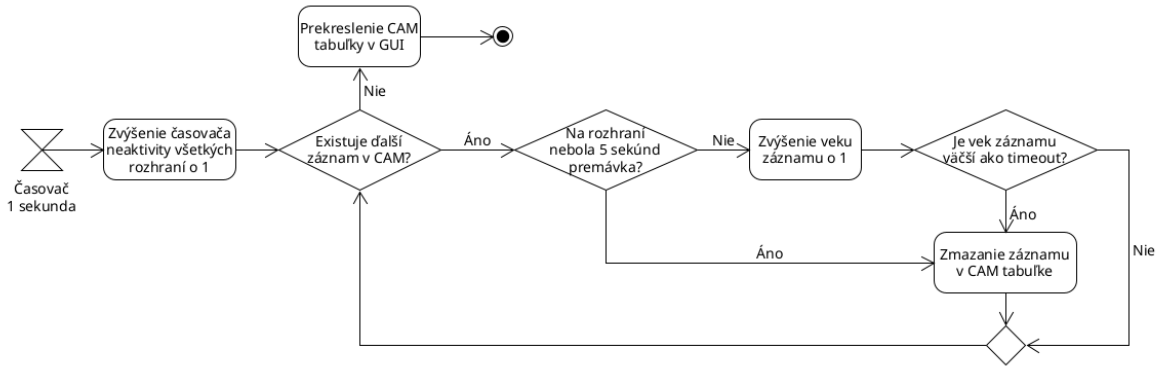


Obr. 1: Proces preposlania rámca na viacportovom prepínači

kde sú pripojené koncové zariadenia, čím vytvára záznamy v CAM tabuľke realizovanej hashovacou tabuľkou (`std::unordered_map`). MAC adresa je asociovaná so štruktúrou obsahujúcou označenie prijímajúceho portu (poradové číslo) a vek záznamu v sekundách (age) inkrementovaný časovačom.

Port záznamu sa zmení vtedy, ak je zdrojová MAC adresa videná na inom rozhraní. Vek záznamu sa vynuluje po objavení akéhokoľvek rámca zo zdroja. Záznam v CAM je zmazaný ak je asociovaný port neaktívny 5 sekúnd alebo vek záznamu je väčší ako hodnota časovača pre vypršanie záznamov nastavená v GUI.

Na zamedzenie cyklenia premávky sú rámce po prijatí serializovane uložené do množiny typu `std::unordered_set`, z dôvodu nefunkčnosti filtrovania smeru na loopback rozhraniach s libpcap. Pri odosielaní na výstupný port je z množiny rámec zmazaný.



2.2 Filtrácia premávky s ACL

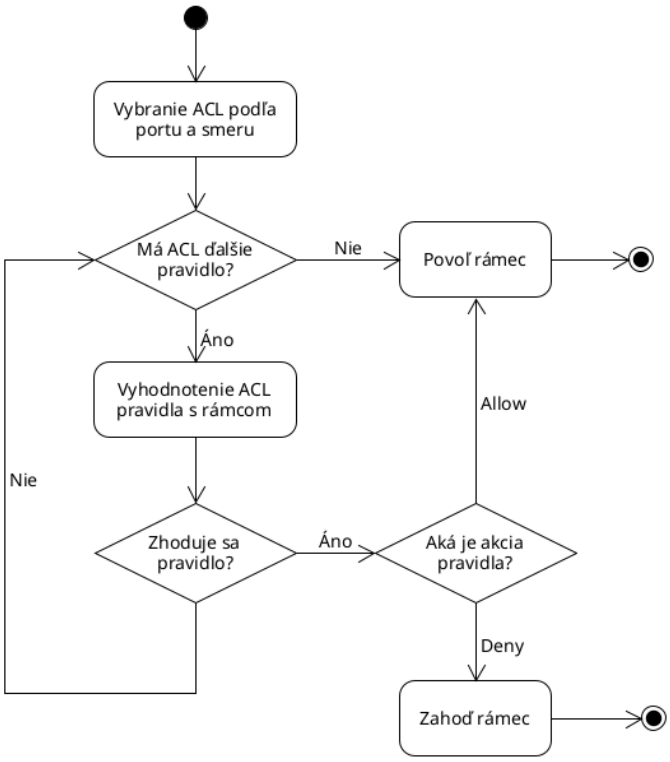
Zoznamy pre riadenie prístupu (Access-control list) na prepínači riadia povolenie (allow) alebo zakázanie (deny) vybranej premávky. ACL sú nastaviteľné pre každé rozhranie prepínača nezávisle, zvlášť v smeroch príjmu (IN - inbound) aj vysielania (OUT - outbound). Pravidlá ACL pre kombináciu port a smer sú uložené v dynamickom poli (`std::vector`) a sú vyhodnocované sekvenčne od prvého po posledné. Aplikovanie pravidiel v tabuľke v GUI nasleduje poradie zhora nadol.

Na zhodu vlastností rámca s pravidlom sa kontrolujú len vyplnené obmedzenia platné pre prítomné vnorené protokoly. Pravidlo dokáže overiť zdrojovú a cieľovú MAC adresu, zdrojovú a cieľovú IPv4 a IPv6 adresu, zdrojový a cieľový port, a filtrovaný protokol z výberu: TCP, UDP, ICMP Echo request (typ 8), ICMP Echo reply (typ 0). Pri zvolení protokolu ICMP nebude možné v rozhraní zadať port.

Prázdne políčka sú pri hľadaní zhody považované za platné vždy pre daný rámec (stav „any"). Na záver sa aplikuje implicitné povolenie premávky, ktorá nebola zakázaná predošlými pravidlami.

Policy	Mac Src	Mac Dst	IP Src	IP Dst	Port Src	Port Dst	Protokol
Allow	*any*	*any*	1.1.1.2	*any*	*any*	80	TCP
Deny	*any*	*any*	1.1.1.2	any	*any*	any	TCP
Deny	aa:aa:...	*any*	*any*	any	*any*	any	ICMP Echo reply

Tabuľka 1: príklad na povolenie HTTP komunikácie na danej IP a zakázanie „ping" na MAC adrese v smere IN na rozhraní pre PC



Obr. 2: Vyhodnotenie ACL pravidiel v jednom zozname pre kombináciu port a smer

2.3 Syslog protokol

Syslog je štandard a aplikačný protokol nad UDP portom 514 slúžiaci na záznam hlásení o behu programov opísaný v RFC 5424. Nezaručuje žiadne potvrdenie správ, ani nie je spojovo orientovaný, čím sa sled správ potrebný na zabezpečenie komunikácie zužuje na jeden datagram v korektnom tvare odoslaný syslog serveru.

Rámec so syslog správou sa zostaví nasledovne: keďže nepoznáme priradenie MAC adries k IP adresám prostredníctvom ARP tabuľky, musel by byť rámec odoslaný s cieľovou broadcast MAC adresou všetkými rozhraniami prepínača. V implementácii budeme pre jednoduchosť topológie poznať MAC adresu syslog servera, ktorá bude napevno určená v kóde. Zdrojová MAC adresa sa vyplní podľa MAC adresy konkrétneho loopback rozhrania, ktorou je rámec posielaný.

Zdrojová a cieľová IP adresa pre IP hlavičku musia byť pred spustením syslog služby nastavené cez GUI. V IP hlavičke sa vyplní číslo protokolu na 17 pre UDP. Zdrojový aj cieľový UDP port sú 514, dĺžka datagramu sa určí podľa veľkosti posielanej správy.

Priority	**Version**	**SP**	**Timestamp**	**SP**	**Hostname**	**SP**	...
<134>	1	␣	2022-03-01T14:50Z	␣	SW1	␣	...

App	**SP**	**Proc-ID**	**SP**	**Msg-ID**	**SP**	**Structured-Data**	**SP**	**Message**
␣	␣	␣	␣	Change				New MAC address

Tabuľka 2: Štruktúra Syslog správy podľa RFC 5424 s príkladom: facility = local0, severity = notice

2.3.1 Štruktúra Syslog správy

- **Priority** - pozostáva z 3 až 5 ASCII znakov. Vnútri špicatých zátvoriek „<" a „>" sa nachádza najviac trojciferné číslo priority v rozsahu 0 až 199. Číslo priority sa skladá z numerického kódu loggujúceho zariadenia (*Facility*) vynásobeného 8 a sčítaného s číslom úrovne dôležitosti správy (*Severity*).

  Facility v rozmedzí 0 - 15 sú priradené preddefinovaným systémovým službám, napr. 0 = správy kernelu, 2 = emailový systém, 3 = systémový daemony, 6 = subsystém tlačiarne apod. Na ľubovoľné využitie (local use) sú vyhradené facility local0 ... local7 s kódovým označením 16 - 23.

  Severity umožňuje nastaviť 8 úrovní dôležitosti správ, od najdôležitejších s úrovňou 0 (Emergency) po najmenej dôležité s úrovňou 7 (Debug). Úrovne a ich účel sú nasledovné:

  1. Emergency: systém je nepoužiteľný
  2. Alert: vyžaduje sa okamžitá činnosť
  3. Critical: kritické podmienky
  4. Error: chybové podmienky
  5. Warning: varovanie
  6. Notice: normálne ale významné podmienky
  7. Informational: informačné správy
  8. Debug: správy na účely ladenia

- **Version** - Verzia protokolu syslog zaevidovaná v IANA. Version = 1
- **SP** - Označenie povinnej medzery ako oddelovača polí.
- **Timestamp** - Časová pečiatka vo formáte ISO 8601. Oddelovač dátumu a času „T" je povinný. Časový posun je povinný, buď vo časovej zóne UTC „Z" alebo vyjadreným časovým posunom v hodinách '+01:00'. Rok - Mesiac - Deň „T" Hodina : Minúta : Sekunda „Z". Príklad: *2022-03-01T12:25:10Z*.
- **Hostname** - Doménové meno označujúce odosielateľa správy. Poradie preferencie pre hostname sú: plne kvalifikované doménové meno, statická IP adresa, doménové meno, dynamická IP adresa alebo „-". Najviac 255 ASCII znakov.

- **App** - Označenie zariadenia alebo aplikácie na účely filtrovania syslog správ. Prázdnou hodnotou je „-” a často sa používa medzera „ ”. Najviac 48 ASCII znakov.
- **Proc-ID** - Nepovinné pole názvu alebo číslo procesu spojeného so syslog službou. Môže byť prázdne a najviac 128 ASCII znakov.
- **Msg-ID** - Typ správy bez preddefinovaného významu. Môže byť prázdne a najviac 32 ASCII znakov.
- **Structured-Data** - Nepovinné pole ponúkajúce spôsob formátovania údajov kľúč - hodnota. Element štruktúrovaných dát je ohraničený hranatými zátvorkami. Element pozostáva z názvu vo formáte id@organizácia a aspoň jedného atribútu v tvare key="value". Medzi viacerými elementami nesmie byť medzera. Vzorová správa riadiaca sa formátom pre Structured Data:
  `[mac@switch address="aa:bb:cc:dd:ee:ff" interface="port1"]`
- **Message** - Voľný tvar textovej správy zakódovaný v UTF-8.

2.3.2 Definovanie zaznamenávaných činností

- (Informational) Device with MAC address X available on port Y.
- (Informational) Timeout of record for device with MAC addresss X on port Y.
- (Notice) Reset of CAM table
- (Notice) Change of timeout for CAM records to X seconds.
- (Warning) New ACL rule on port X in direction IN/OUT: Allow any any 1.1.1.1 ...
- (Warning) Delete ACL rule on port X in direction IN/OUT: Allow any any 1.1.1.1 ...

Použité zdroje

1. Configuring IP Access Lists. Cisco. `https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/security/ios-firewall/23602-confaccesslists.html`
2. RFC 5424. The Syslog Protocol. `https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5424.txt`
3. Analyze syslog messages with Seq.`https://blog.datalust.co/seq-input-syslog/`

3 Grafické používateľské rozhranie

Rozhranie pozostáva zo štyroch obrazoviek v kartách podľa vykonávanej činnosti. Rozbaľovacie menu s názvom rozhrania alebo smerom premávky pri štatistike premávky a filtrovaní ovplyvní zobrazenie zoznamu v tabuľke dole.