



Dokumentace k projektu PCAP Netflow v5 exportér

Obsah

1	Úvod	2
2	Monitorování síťového provozu - Netflow	2
3	Návrh a implementace	2
3.1	Vstupní bod programu, main.cpp	2
3.2	Zpracování paketů - PcapHandler	2
3.3	Zpracování netflow záznamů - FlowCache	3
3.4	UDP spojení	4
4	Návod k použití	4
5	Testování	4

1 Úvod

Cílem projektu bylo vytvořit aplikaci, která bude schopna zpracovávat soubory ve formátu PCAP a na základě těchto souborů generovat Netflow záznamy ve verzi 5. Tyto záznamy jsou následně posílány pomocí transportního protokolu UDP na kolektor. Aplikace je napsána v jazyce C++ a využívá knihovnu `libpcap` pro zpracování PCAP souborů.

2 Monitorování síťového provozu - Netflow

Monitorování síťového provozu je nezbytnou součástí správy sítí. Jedním z principů takového monitorování je agregace podobných síťových paketů do toků, tzv. flowů. Tok je definován jako množina paketů, které sdílejí stejné atributy, v našem případě zdrojové a cílové IP adresy, porty a transportní protokol. V naší implementaci se řeší jen záznamy o TCP tocích. Vzhledem k tomu, že tyto hodnoty tvoří uspořádanou množinu ve tvaru `<src_ip, src_port, dst_ip, dst_port, protocol>`, dva pakety se zaměněnými IP adresami a porty tvoří dva různé toky. Tyto pakety se následně agregují do toků, které shromažďují další důležité informace, jako celkový počet bytů, počet paketů, čas prvního a posledního záznamu v toku a další. Exportér, kterým tyto pakety prochází (typicky se jedná o směrovač), postupně tyto toky exportuje dále na kolektor, který jej zpracovává dále [4].

Důležitou součástí je rovněž princip, kdy se jednotlivé toky exportují. Bylo by neefektivní posílat každý záznam například až tehdy, kdy se TCP spojení ukončí [2]. UDP spojení navíc žádné aktivní připojení dvou stran nezajišťuje [1]. Toto řeší hlídání časových limitů, kdy se záznamy exportují po určité době. V naší implementaci se jedná o aktivní a neaktivní časový limit. Aktivní časový limit exportuje záznam, pokud od prvního záznamu v toku uplynul stanovený časový limit. Například u dlouhých spojení, kdy se stahují velké soubory a spojení trvá v řádech desítek minut či hodin, je žádoucí, aby se záznamy exportovaly průběžně, nikoliv až jeho uplynutí. Zároveň se řeší neaktivní časový limit. Záznam o toku se tedy exportuje tehdy, když od posledního paketu v daném toku nepřišel po stanovenou dobu žádný další paket, patřící do daného toku [4].

Poslané záznamy protokolu Netflow v5 mají stanovený formát. Obsahují hlavičku a informace o záznamech. Jejich formát je popsán v [3].

3 Návrh a implementace

Aplikace je rozdělena do několika tříd a souborů, které vzájemně spolupracují. Veškeré zdrojové soubory jsou umístěny v adresáři `src/`. Některé důležité třídy a jejich metody jsou popsány v následujících podkapitolách.

3.1 Vstupní bod programu, `main.cpp`

Soubor `main.cpp` obsahuje vstupní bod programu. V této části se zpracovávají argumenty a inicializují se hlavní třídy programu. Jedna z těchto tříd je třída `Timer`, která si po své inicializaci uloží časovou značku, která je nadále využívána pro výpočet relativního času v Netflow záznamech. Dále se zde inicializuje třída `UDPConnection`, která obstarává posílání UDP zpráv na kolektor. Poslední třídou, která je zde inicializována, je třída `PcapHandler`, která slouží jako hlavní jádro celé aplikace, jejíž účel je popsán v další podkapitole.

3.2 Zpracování paketů - `PcapHandler`

Hlavní jádro programu se nachází ve třídě `PcapHandler`. Po své inicializaci otevře PCAP soubor a postupně zpracovává jednotlivé pakety. Metoda `PcapHandler::start()` inicializuje instanci třídy `FlowCache`, která slouží jako rozhraní pro ukládání a manipulování s uloženými Netflow záznamy. Následně se iteruje přes každý paket v PCAP souboru a volá se metoda `PcapHandler::processPacket()`, která zpracovává jednotlivé pakety a relevantní informace z nich ukládá do `FlowCache`. Po zpracování všech paketů se zavolá metoda `PcapHandler::sendFlows()`, která postupně prochází všechny uložené Netflow záznamy a tyto

záznamy odesílá na kolektor pomocí třídy `UDPConnection`. Pokud vypršel aktivní či neaktivní časový limit pro 30 a více záznamů, tak se tyto záznamy po 30 mohou na kolektor odeslat ještě dříve, než se zpracují všechny pakety v PCAP souboru. Tato funkcionality je více popsána později viz 3.3.

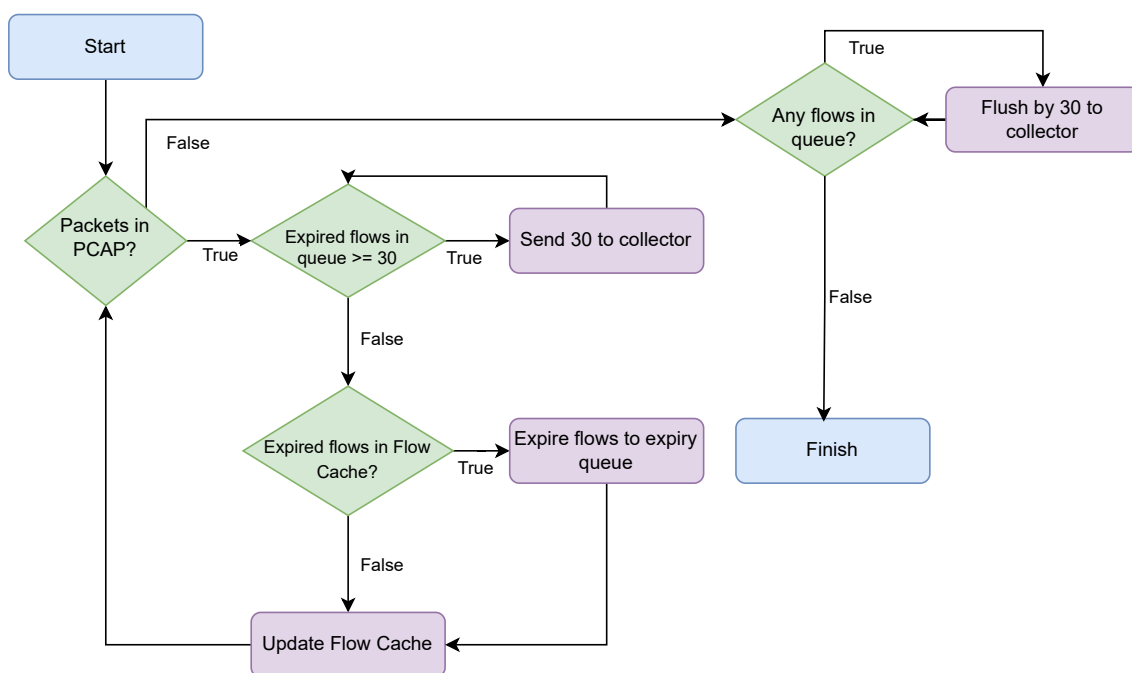
3.3 Zpracování netflow záznamů - FlowCache

Tato třída uchovává jednotlivé záznamy ve formě hash tabulky. Každý záznam je identifikován pomocí klíče, který je složen ze zdrojové IP adresy a portu a cílové IP adresy a portu. Transportní protokol se neukládá, jelikož aplikace řeší jen záznamy o TCP tocích. Hodnoty v této tabulce pak tvoří struktura `Flow`, která obsahuje informace jako počet bytů, počet paketů, čas prvního a posledního záznamu a další. Třídy `FlowCache` a `Flow` obsahují metody pro přidání nového záznamu, aktualizaci stávajícího záznamu či odeslání všech záznamů na kolektor.

Časové limity

Důležitou součástí je hlídání časových limitů pro jednotlivé záznamy. Před každou aktualizací `FlowCache` se kontroluje, zda jednotlivým záznamům nevypršel časový limit. Veškeré expirované záznamy se odstraní z tabulky a přidají do fronty `exportCache`. Do fronty se záznamy přidávají vždy podle toho, jak dlouho je záznam expirovaný. Nejdéle expirované záznamy se do fronty přidávají jako první, jak je popsáno v [4], sekce V-C, aby byly poslány dříve. Funkcionality zajišťuje metoda `FlowCache::checkForExpiredFlows()`.

Exportované záznamy se už přímo ukládají do struktury, která se pošle na kolektor. Je zajištěno správné pořadí bytů a tedy jejich konverze do síťového bytového pořadí.



Obrázek 1: Diagram zpracování paketů a odesílání Netflow záznamů mého exportéru.

Díky tomuto přístupu jsou záznamy odesílány na kolektor seřazené vzestupně podle časové značky prvního paketu daného toku, jak lze vidět na obrázku 2.

```

> nfdump -r nfcapd.20241116003630
Date first seen      Event      XEvent Proto      Src IP Addr:Port      Dst IP Addr:Port      X-Src IP Addr:Port      X-Dst IP Addr:Port      In Byte Out Byte
2024-10-13 23:30:21.430 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:43634 -> 100.64.200.182:1716      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      104 0
2024-10-13 23:30:21.432 INVALID Ignore TCP      100.64.200.182:1716 -> 147.229.192.94:43634      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      104 0
2024-10-13 23:30:21.841 INVALID Ignore TCP      100.64.221.182:1716 -> 147.229.192.94:57796      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      156 0
2024-10-13 23:30:21.841 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:57796 -> 100.64.221.182:1716      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      156 0
2024-10-13 23:30:21.941 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:55652 -> 100.64.207.70:1716      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      104 0
2024-10-13 23:30:22.124 INVALID Ignore TCP      100.64.207.70:1716 -> 147.229.192.94:55652      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      104 0
2024-10-13 23:30:22.601 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:46704 -> 162.159.130.234:443      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      1716 0
2024-10-13 23:30:22.601 INVALID Ignore TCP      162.159.130.234:443 -> 147.229.192.94:46704      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      6206 0
2024-10-13 23:30:22.966 INVALID Ignore TCP      100.64.212.21:1716 -> 100.64.201.28:33806      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      156 0
2024-10-13 23:30:26.548 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:36366 -> 100.64.208.240:1716      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      52 0
2024-10-13 23:30:26.560 INVALID Ignore TCP      100.64.208.240:1716 -> 147.229.192.94:36366      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      52 0
2024-10-13 23:30:27.061 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:42650 -> 100.64.199.83:1716      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      52 0
2024-10-13 23:30:27.151 INVALID Ignore TCP      100.64.199.83:1716 -> 147.229.192.94:42650      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      52 0
2024-10-13 23:30:27.911 INVALID Ignore TCP      100.64.212.21:1716 -> 100.64.193.202:59896      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      104 0
2024-10-13 23:30:30.645 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:33620 -> 100.64.198.247:1716      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      52 0
2024-10-13 23:30:30.645 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:38472 -> 100.64.201.132:1716      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      52 0
2024-10-13 23:30:30.647 INVALID Ignore TCP      100.64.201.132:1716 -> 147.229.192.94:38472      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      52 0
2024-10-13 23:30:30.688 INVALID Ignore TCP      100.64.198.247:1716 -> 147.229.192.94:33620      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      52 0
2024-10-13 23:30:31.157 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:44804 -> 100.64.192.185:1716      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      52 0
2024-10-13 23:30:31.268 INVALID Ignore TCP      100.64.192.185:1716 -> 147.229.192.94:44804      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      52 0
2024-10-13 23:30:31.287 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:50706 -> 52.1.53.78:443      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      435 0
2024-10-13 23:30:31.369 INVALID Ignore TCP      52.1.53.78:443 -> 147.229.192.94:50706      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      509 0
2024-10-13 23:30:33.501 INVALID Ignore TCP      147.229.192.94:38262 -> 52.26.161.5:443      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      2482 0
2024-10-13 23:30:33.689 INVALID Ignore TCP      52.26.161.5:443 -> 147.229.192.94:38262      0.0.0.0:0 -> 0.0.0.0:0      3741 0
Summary: total flows: 24, total bytes: 16597, total packets: 127, avg bps: 8818, avg pps: 8, avg bpp: 130
Time window: 2024-10-13 23:30:21 - 2024-10-13 23:30:36
Total flows processed: 24, passed: 24, Blocks skipped: 0, Bytes read: 2080
Sys: 0.0048s User: 0.0010s Wall: 0.0016s flows/second: 15055.8 Runtime: 0.0016s

```

Obrázek 2: Ukázka seřazených záznamů pomocí nástroje nfdump a nfcapd. Použitý soubor s paketama se nachází v tests/pcaps/test3.pcap.

3.4 UDP spojení

Třída UDPConnection slouží k odesílání Netflow záznamů na kolektor. Po své inicializaci se vytvoří socket, který je následně využíván pro odesílání záznamů. Metoda UDPConnection::sendFlows() odesílá postupně jednotlivé záznamy na kolektor v Netflow v5 formátu [3]. Pokud ještě nedošlo ke zpracování všech paketů ze souboru, tak se záznamy odesílají jen po 30 záznamech, které byly již exportovány do exportCache. Pokud jich je méně, tak se záznamy neposílají a čeká se na naplnění fronty na alespoň 30 záznamů. Pokud se zpracovaly všechny pakety, tak se záznamy posílají všechny, i když jich je méně než 30, postupně po 30.

4 Návod k použití

Program je možné sestavit pomocí příkazu make v domovském adresáři projektu. Po sestavení je možné program spustit s následujícími argumenty:

```
./p2nprobe <host>:<port> <pcap_file> [-a <active.timeout>] [-i <inactive.timeout>]
```

- <host>:<port> - povinný argument, který určuje IP adresu a port, na kterých kolektor běží.
- <pcap_file> - povinný argument, který určuje cestu k PCAP souboru, který se analyzuje.
- -a <active.timeout> - nepovinný argument, který určuje časový limit pro aktivní timeout. Výchozí hodnota je 60 sekund.
- -i <inactive.timeout> - nepovinný argument, který určuje časový limit pro neaktivní timeout. Výchozí hodnota je 60 sekund.

5 Testování

Pro korektní testování bylo nutné obstarat si několik PCAP souborů. Pro testování základní funkčnosti exportéru jsem si vytvořil dva jednoduché programy v Pythonu, jeden sloužil jako TCP klient a druhý jako TCP server. Tyto programy jsem spustil a zachytil jejich komunikaci pomocí nástroje Wireshark, kterou jsem ukládal

do PCAP souborů. Jejich implementace je dostupná v adresáři `tests/`, PCAP soubory v `tests/pcaps`. Implementoval jsem taktéž jednoduchý testovací skript `tests/test.py` v Pythonu, který obsahuje mnou implementovaný kolektor. Tento skript použít můj exportér a kolektor, který následně zpracovává přijaté záznamy a ukládá je do logů v adresáři `tests/logs`. Takto jsem byl schopen jednoduše ověřovat obsah záznamů, které exportér posílá.

Logy z kolektoru jsou ve formátu JSON a obsahují dvě pole, `headers` a `records`. Pole `received` obsahuje hlavičky záznamů, které kolektor přijal, a pole `records` obsahuje samotné záznamy. Příklad jednotlivého logu je v (1). Záznamy rovněž obsahují zpracovanou časovou značku, kdy byl záznam odeslán a délku trvání toku, tyto hodnoty exportér neodesílá.

Listing 1: Ukázka logu z kolektoru ze souboru `tests/logs/myOyt_test3.json`

```
{
  "headers": {
    "header_0": {
      "Version": 5,
      "Count": 24,
      "SysUptime": 0,
      "UnixSecs": 1731878557,
      "UnixNsecs": 862007000,
      "FlowSequence": 0,
      "EngineType": 0,
      "EngineID": 0,
      "SamplingInterval": 0
    }
  },
  "records": {
    "01d46cd38e206a041c092d10852832a5": {
      "Timestamp": "2024-10-13 23:30:27.063",
      "SrcAddr": "147.229.192.94",
      "DstAddr": "100.64.199.83",
      "NextHop": "0.0.0.0",
      "Input": 0,
      "Output": 0,
      "Packets": 1,
      "Octets": 52,
      "First": 1271436496,
      "Last": 1271436496,
      "Duration": 0,
      "SrcPort": 42650,
      "DstPort": 1716,
      "Padding": 0,
      "TCPFlags": 16,
      "Protocol": 6,
      "Tos": 0,
      "SrcAS": 0,
      "DstAS": 0,
      "SrcMask": 0,
      "DstMask": 0,
      "Padding2": 0
    },
    ...
  }
}
```

Nejdůležitější testy implementované v programu jsou testy na dobu trvání toků. Skript testuje podle nastaveného aktivního časového limitu, zda toky nepřesáhly tento časový limit. Program odečte hodnoty `Last`

a `First` záznamu a porovná je s časovým limitem. Pokud je rozdíl větší než časový limit, tak test selže, jelikož toky by neměly trvat déle než nastavený aktivní časový limit. Jejich implementace je dostupná ve funkci `run_duration_tests()`.

Testovací skript rovněž obsahuje několik testů, které testují výstupy s referenčním exportérem. Tyto testy lze spustit pomocí příkazu `python test.py -c -t --softflowd`. Vzhledem k tomu, že referenční exportér má jinou implementaci, není možné jej plnohodně porovnávat s naším zadáním. `Softflowd` například nedokáže měnit časové limity, když načítá pakety ze souboru, taktéž řeší TCP fin a reset flagy. To v našem našem exportéru není zadáno. Testy tedy spíše slouží k porovnání jen se soubory, které obsahují malé množství záznamů, kdy se výstupy téměř vždy shodují.

Reference

- [1] User Datagram Protocol. RFC 768, Srpen 1980, doi:10.17487/RFC0768, [cit. 2024-11-16].
URL <https://www.rfc-editor.org/info/rfc768>
- [2] Eddy, W.: Transmission Control Protocol (TCP). RFC 9293, Srpen 2022, doi:10.17487/RFC9293, [cit. 2024-11-16].
URL <https://www.rfc-editor.org/info/rfc9293>
- [3] IBM: NetFlow V5 formats. [online], 2022, [cit. 2024-11-16].
URL <https://www.ibm.com/docs/en/npi/1.3.1?topic=versions-netflow-v5-formats>
- [4] Vormayr, G.; Fabini, J.; Zseby, T.: Why are My Flows Different? A Tutorial on Flow Exporters. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, ročník 22, č. 3, 2020: s. 2064–2103, doi:10.1109/COMST.2020.2989695.