

Sławomir PRZYŁUCKI

POLITECHNIKA LUBELSKA, KATEDRA ELEKTRONIKI

Wykorzystanie aplikacji Open Source do analizy parametrów sieci IP według zaleceń IETF

Dr inż. Sławomir PRZYŁUCKI

Urodził się 24 lutego 1967 roku w Lublinie. W roku 1991 ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej. W roku 1999 obronił rozprawę doktorską i od tego czasu pełni funkcję adiunkta na Wydziale Informatyki i Elektrotechniki PL. Jego obszar prac naukowych i zainteresowania obejmują jakość usług internetowych, sieciowe systemy multimedialne, sztuczne sieci neuronowe, komputerowe systemy wideo.



e-mail: s.przylucki@pollub.pl

Streszczenie

Artykuł zawiera analizę przydatności aplikacji Open Source do pomiarów sieci IP, które byłyby zgodne z zaleceniami IETF. Analizowane aplikacje odnoszą się wprost do metryk pomiarowych IPPM opisanych we właściwych dokumentach RFC [1, 2, 3], a które są zestawem standardowych metryk mających zastosowanie do określenia jakości, wydajności i niezawodności usług internetowych. Przeprowadzone badania i dyskusja otrzymanych wyników powinna być istotnymi wskazówkami dla właściwej realizacji badań rzeczywistych struktur sieci IP z zachowaniem międzynarodowych standardów.

Słowa kluczowe: metryki IPPM, parametry QoS, pomiary OWD, pomiary RTT.

Open Source application used to analyse IP network parameters according to the IETF recommendations

Abstract

The paper presents an applicability analysis for the OpenSource application to be used in IP network measurements that should meet the IETF standards. The analysed applications directly refer to the IPPM described in relevant RFC documents which are sets of standard metrics that can be applied to determine quality, efficiency and reliability of Internet services. Presently, at the era of interactive services, such as IP telephony, video conferences, streaming audio and video, when line capacity is no longer essential and broadband access to the Internet has become a standard, it is delays, jitter and packet data loss rate on the way between a sender and a receiver that gain the key importance. It is the reason why this paper concentrates on tools to measure those parameters. IETF documents such as "A One-way Delay Metric for IPPM" [1], "A Round-Trip Delay Metric for IPPM" [3] and "IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)" [2] (RFC 2679, 2681 and 3393) include directions that are necessary to perform reliable measurements. Those documents define metrics that are indispensable at designing the measurement environment and at the same time indicate additional questions that are worth considering, such as: host synchronization or test packet size. The performed tests and discussion of the obtained results should be essential directions for proper realisation of testing real-time IP network structures in accordance with the requirements of international standards.

Keywords: IPPM metrics, QoS parameters, OWD measurements, RTT measurements.

1. Metryki pomiarowe IETF

W obecnej chwili przepustowość łącz nie gra już tak znaczącej roli a szerokopasmowy dostęp do Internetu stał się standardem. Natomiast w dobie usług interaktywnych takich jak telefonia internetowa, wideokonferencje czy strumieniowe audio i wideo kluczowym staje się opóźnienie, wariacja opóźnienia i wielkość strat pakietów na drodze pomiędzy nadawcą i odbiorcą [5].

I te właśnie argumenty zdecydowały o skoncentrowaniu się w artykule na narzędziach umożliwiających pomiar właśnie tych parametrów. W dokumentach IETF „A One-way Delay Metric for IPPM” [1] „A Round-trip Delay Metric for IPPM” [3] oraz „IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)” [2] (RFC 2679, 2681 i 3393) zdefiniowane są wytyczne potrzebne do przeprowadzenia pomiarów dwóch, obecnie niezwykle istotnych parametrów: opóźnienia oraz wariacji opóźnień (ang. *jitter*). Dokumenty te określają metryki niezbędne podczas konstrukcji środowiska pomiarowego, wymieniając jednocześnie dodatkowe zagadnienia, na które należy zwrócić uwagę, np. synchronizację hostów czy wielkość pakietu testowego. IETF wymienia dwa podstawowe typy pomiarów opóźnienia: jednokierunkowy (ang. *One Way Delay - OWD*) oraz dwukierunkowy (ang. *Round Trip Time - RTT*). Oba posiadają istotne zalety i żaden z nich nie jest pozbawiony wad.

1.1. Metryka OWD

Metryka OWD (ang. *One Way Delay*), zdefiniowana przez IETF w RFC 2679 [1] określa sposób pomiaru opóźnienia pomiędzy dwoma punktami w sieci. Pomiar ten dostarcza, konkretnej wartości czasu opóźnienia dotyczącego właśnie tej ścieżki i tylko w jednym kierunku. Jest to niezwykle ważne, gdyż wiele aplikacji, zwłaszcza oferujących strumieniowe audio i video nie potrzebuje do poprawnego działania informacji na temat opóźnienia na trasie z i do przeznaczenia.

W przypadku stosowania metryki OWD ogromny nacisk musi być położony na synchronizację hostów biorących udział w pomiarze. RFC sugeruje użycie systemu GPS (ang. *Global Positioning System*) w celu zmniejszenia lub całkowitego zlikwidowania różnic pomiędzy zegarami na obu hostach. Dużo tańszą i co ważne dopuszczalną przez IETF metodą synchronizacji jest wykorzystanie serwerów czasu NTP (ang. *Network Time Protocol*). IETF pozwala na taki typ synchronizacji hostów, podkreślając, iż powinna ona odbywać się z serwerami NTP należącymi do tego samego poziomu i leżących w podobnych odległościach od hostów. Tak duże znaczenie synchronizacji wynika ze sposobu obliczania wartości metryki "Type-P One Way Delay Metric". Dokument RFC 2679 stanowi, że: „dla liczby rzeczywistej dT wartość metryki Type-P One Way Delay Metric o czasie T wynosi dT oznacza, iż źródło Src wysłało pierwszy bit pakietu Type-P do przeznaczenia Dst o „czasie łącza” T i, że przeznaczenie otrzymało ostatni bit tego pakietu o „czasie łącza” $T+dT$ ". Widać tutaj, że niezmiernie istotne jest aby wartość T na obu hostach była identyczna. W przeciwnym wypadku wartość metryki dT zostanie powiększona o błąd synchronizacji. „Wartość metryki jest niezdefiniowana (nieskończona, nieokreślona) gdy źródło wysłało pierwszy bit pakietu Type-P o czasie T a przeznaczenie nie odebrało tego pakietu”[1].

1.2. Metryka IPDV

Poprzednio przedstawiona metryka dotyczyła sposobu pomiaru parametru, jakim jest opóźnienie wprowadzane przez sieć, tj. łącznie przez elementy aktywne jak i pasywne, w trakcie transportu pakietu ze źródła do przeznaczenia. Bardzo blisko związanym z nim jest inny parametr sieci IP, wariacja opóźnienia. IETF zadbała o zestandaryzowanie pomiarów także tego czynnika wpływającego na wydajność oraz jakość pracy aplikacji multimedialnych w sieci Internet. Metryka opisana w RFC3393 [2] a nazywana w skrócie IPDV (ang. *Packet Delay Variation Metric*), bierze swoje korzenie z RFC 2679 [1]. Spowodowane jest

to dużym podobieństwem obu metod pomiarów, jednak sam pomiar wymaga rozwinięcia oraz wprowadzenia kilku dodatkowych elementów. Wspomniane rozwinięcie wynika z charakterystyki samego parametru oraz sposobu w jaki można zmierzyć jego wartość. Z pierwszą różnicą w stosunku do pomiaru opóźnienia można spotkać się w momencie definiowania elementów metryki. W tym przypadku zrezygnowano z parametru T a dodano następujące parametry:

- $T1, T2$ – czas.
- L – długość pakietu w bitach. Wszystkie pakiety muszą mieć taką samą długość.
- F – funkcja pozwalająca jednoznacznie wybrać dwa pakiety do pomiaru metryki.
- $I1, I2$ – punkty w czasie, pomiędzy którymi następuje przesył strumienia pakietów, na podstawie którego prowadzony jest pomiar.
- P – specyfikacja typu pakietu.

Wartość metryki pozostała niezmienną w stosunku do OWD. Jest nią rzeczywista lub niezdefiniowana liczba sekund. Należy jeszcze przyjrzeć się nowym elementom metryki. W skrócie powiedzieć można, iż metryka IPDV powstaje jako różnica dwóch pomiarów metryki OWD. Zapis w przedmiotowym RFC brzmi: „dla liczby rzeczywistej ddT wartość metryki Type-P-One-Way-IPDV o czasie $T1, T2$ wynosi ddT oznacza, iż źródło Src wysłało dwa pakiety, pierwszy o czasie druta $T1$ (pierwszy bit) i drugi o czasie druta $T2$ (pierwszy bit) i, że pakiety zostały odebrane przez przeznaczenie Dst o „czasie łącza” $dT1+T1$ (ostatni bit pierwszego pakietu) i $dT2+T2$ (ostatni bit drugiego pakietu) i $ddT=dT2-dT1$ ”. Jednocześnie zdefiniowana jest zasada iż „Wartość metryki jest niezdefiniowana (nieskończona, nieokreślona) gdy źródło wysłało pierwszy bit pierwszego pakietu o czasie $T1$ i pierwszy bit drugiego pakietu o czasie $T2$ a przeznaczenie nie odebrało jednego lub obu pakietów”. Wartość IPDV zostaje określona dla dwóch pakietów podążających z Src do Dst wybranych za pomocą funkcji F i jest wyznaczona jako różnica pomiędzy wartością metryki OWD z Src do Dst o czasie $T2$ i z Src do Dst o czasie $T1$. Zgodnie z definicją metryki OWD $T1$ jest czasem wysłania pierwszego bitu pierwszego pakietu ze źródła, zaś $T2$ czasem wysłania pierwszego bitu drugiego pakietu.

Wspomniana w definicji funkcja F wybierająca pakiety do pomiaru może zostać określona w dość dowolny sposób. RFC sugeruje kilka możliwości wybierania pakietów:

- Kolejne pakiety w danym strumieniu zawierające się w czasie od $I1$ do $I2$. Jest to najbardziej naturalny sposób dający obraz zachowania się ciągłego strumienia pakietów w danym okresie czasu.
- Kolejne pakiety o określonych indeksach. Funkcja podobna do poprzedniej, zbierająca dane rzadziej, przydatna w przypadku gdy czas pomiaru jest długi.
- Pakiety z najmniejszą i największą wartością metryki OWD. Metryka działająca na podstawie tej funkcji pozwala na wyznaczenie wartości maksymalnej IPDV, która może wystąpić w trakcie transmisji.
- Pakiety z określoną (zdefiniowaną, skończoną) wartością metryki OWD. Funkcja ta pozwala na ominiecie problemu nie dotarcia pakietu do przeznaczenia.

Zapoznając się dokładnie z metodologią prowadzenia pomiaru uwzględnić należy kilka aspektów mających wpływ na otrzymywane wyniki. Jak już wcześniej podkreślono, synchronizacja zegarów na obu hostach jest kluczowa dla pomiarów jednokierunkowych. W przypadku stosowania metryki IPDV błąd synchronizacji zostaje wykluczony i nie ma wpływu na wartość metryki. Dzieje się tak pod warunkiem, iż eT jest stałe w czasie, co pociąga za sobą założenie, iż nie uwzględnia się dryftu zegara lub jest on zerowy.

Pomiar IPDV nie wymaga natomiast konieczności precyzyjnej synchronizacji obu hostów. Należy jednak pamiętać, że z kolei w tym przypadku, istotnym zagadnieniem jest kwestia duplikowania pakietów w sieci IP. Zjawisko duplikacji oznacza, iż

do przeznaczenia docierają co najmniej dwa identyczne pakiety, zawierające dokładnie tą samą informację. IETF rozwiewa wątpliwości który z duplikowanych pakietów wybrać, nakazując odrzucenie pakietu przybywającego jako drugi i nie branie go pod uwagę. Jednym z ostatnich problemów poruszanych przez IETF dotyczącym wszystkich metryk jest kwestia fragmentacji. Wprawdzie definicje metryki jasno określają, iż czas odebrania pakietu oznacza chwilę, w której przeznaczenie odebrało ostatni bit pakietu, jednak wątpliwości może budzić sytuacja, w której odebrana zostałaby tylko część wysłanego pakietu. W tych przypadkach wystarczy sięgnąć do definicji i stwierdzić, iż odebranie ostatniego bitu pakietu jest równoznaczne z dotarciem całego, nieuszkodzonego pakietu.

1.3. Metryka RTT

Pomiar za pomocą metryki RTT polega na zmierzeniu czasu, jaki upływa od momentu wysłania pakietu do chwili, kiedy do źródła powróci odpowiedź na ten pakiet. Istotne jest ustalenie, który moment uznaje się za wysłanie i odebranie pakietu. Dokładniejszą definicję podaje RFC 2681 i mówi ona, że: „wartość dT metryki RTT oznacza, iż źródło Src wysłało do przeznaczenia Dst pakiet Type-P o „czasie łącza” T , następnie źródło odebrało ten pakiet i natychmiast odesłało go z powrotem do Src, a źródło odebrało ostatni bit tego pakietu o czasie $T+dT$. Wartość niezdefiniowana (nieskończona, nieokreślona) metryki pojawia się wtedy gdy źródło wysłało pakiet Type-P do przeznaczenia i (przeznaczenie albo nie odebrało tego pakietu albo nie odesłało odpowiedzi) źródło nie otrzymało odpowiedzi na ten pakiet”. Metryka RTT jest dość uniwersalna. Wyznaczając wartość metryki Src – Dst otrzymuje się jednocześnie wynik dla konfiguracji Dst – Src. Kolejną zaletą jest łatwość implementacji, nie jest wymagana instalacja żadnego oprogramowania na hoście Dst, każdy system operacyjny ma zaimplementowaną obsługę ICMP, na której opiera się głównie pomiar z wykorzystaniem RTT. Zasadniczym atutem tego typu pomiaru jest również brak konieczności synchronizacji pomiędzy punktami pomiarowymi.

RFC wspomina, iż dryft zegarów może mieć wpływ na pomiar w bardzo małym stopniu, biorąc pod uwagę jakość rezonatorów kwarcowych stosowanych w dzisiejszych systemach komputerowych. Ów dryft dla najprostszych układów wynosi około ± 50 ppm, czyli 50/1000000 części sekundy, zaś pomiar wykonywany jest zazwyczaj maksymalnie w tysięcznych częściach sekundy co oznacza różnice trzech rzędów wielkości.

Ostatnim czynnikiem mającym wpływ na pomiar opóźnienia jest dostępna rozdzielczość zegara. Pomiar opóźnienia w dzisiejszych sieciach IP daje wyniki z dokładnością do dziesiątych lub setnych części milisekundy, zaś rozdzielczość zegara wbudowanego w typowy dzisiejszy komputer wynosi zaledwie 54,936 ms (zegar 18,206 Hz). Systemy operacyjne korzystają z tego zegara tylko podczas uruchomienia systemu, odczytując aktualną datę i czas. Później same dbają o to by czas odmierzany był z odpowiednią dokładnością i tak aż do następnego restartu maszyny. Systemy operacyjne odmierzają czas za pomocą oprogramowania, które korzysta z zasobów procesora, można więc założyć, że rozdzielczość ograniczona jest częstotliwością pracy procesora. Jednak częstotliwości z jakimi pracują dzisiejsze maszyny oferuje akceptowalną precyzję.

Rozważając problemy pojawiające się podczas badań wykorzystujących metrykę RTT należy również wziąć pod uwagę kilka istotnych kwestii. Pierwszą z nich jest fakt asymetryczności ścieżki łączącej dwa hosty. Droga pakietu z Src do Dst może przebiegać zupełnie inną trasą niż pakiet wysłany w odpowiedzi. Inna droga pociąga za sobą możliwość przejścia przez inną sekwencję routerów, z zupełnie inną polityką obsługi pakietów. Nawet w przypadku, gdyby trasa okazała się symetryczna to możliwe jest zastosowanie zupełnie innej polityki obsługi

pakietów na każdym z kierunków. Wszystkie te czynniki sprawiają, iż pomiar z wykorzystaniem RTT staje się pomiarem sumarycznego opóźnienia wprowadzanego przez dwie oddzielne ścieżki.

2. Implementacja pomiarów w oparciu o metrykę OWD

Na podstawie przedstawionych wyżej zaleceń i standardów, powstało szereg aplikacji pozwalających na pomiar parametrów sieci IP. Wszystkie one w mniejszym lub większym stopniu implementują zalecenia IETF i stosują proponowaną przez to gremium metodologię.

Pakiet Mgen [4] należy do stosunkowo mniej popularnej grupy aplikacji wykorzystujących metryki jednokierunkowe. Stanowić on może zatem dobre odniesienie dla oceny implementacji zaleceń standaryzacyjnych w odniesieniu do monitorowania parametrów QoS w oparciu o metryki OWD. Zgodnie z informacjami przytoczonymi wcześniej, w przypadku tej metryki, IETF zwraca szczególną uwagę na synchronizację pomiędzy takimi hostami, wobec tego problem ten został wzięty dość poważnie pod uwagę również przez twórców aplikacji. Zaowocowało to możliwością wykorzystania w niej zewnętrznej aplikacji pozwalającej na synchronizację przy pomocy systemu GPS.

Sposób działania programu przedstawia się następująco: jeden z hostów na podstawie skryptu uruchomieniowego generuje ruch w postaci przepływu a parametry generowanego strumienia pakietów określa użytkownik. Ma on przede wszystkim wpływ na ilość pakietów wysyłanych w ciągu sekundy oraz ich wielkość. Może też określić sposób w jaki pakiety będą wysyłane i tu dostępne są trzy możliwości:

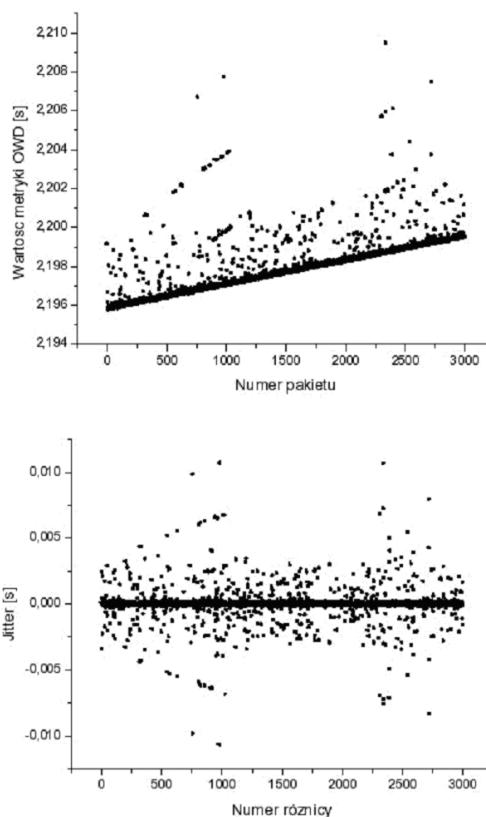
- PERIODIC – ruch generowany jest równomiernie,
- POISSON – ruch generowany jest ze średnią prędkością określoną parametrami rozkładu Poissona.
- BURST – generacja złożonych przepływów, których elementami są przepływy elementarne [4].

Drugi z hostów na podstawie własnego skryptu uruchomieniowego prowadzi nasłuch na danym porcie, odbiera ruch i przeprowadza jego analizę.

Ogromną zaletą tej aplikacji jest możliwość generowania ruchu z ustaloną zawartością pola ToS datagramu IPv4. Jak niewiele innych programów możliwe jest ustawienie wszystkich 8 bitów drugiego bajtu nagłówka IP. Jedynym ograniczeniem jest nadrzędna kontrola systemu operacyjnego.

Pomiary testowe za pomocą pakietu Mgen zostały przeprowadzone w sieci operatora LubMAN. Do testów (jako hostów pomiarowych) użyto serwer z zainstalowanym systemem Linux CentOS 5 oraz stacji roboczej z systemami Windows XP Professional SP2 oraz Linux Fedora 8. Wymieniony sprzęt, wykorzystany do pomiarów pracował w wystarczająco stabilnych warunkach a jego klasa jest na tyle wysoka, iż założenie opisane w poprzednich podrozdziałach, tj. $eT=eT(t)=const.$ nie jest błędne. Jednocześnie zapewniono minimalizację czynników zewnętrznych, mających największy wpływ na stałość częstotliwości jaką generuje rezonator kwarcowy. Wśród nich można wyróżnić zmiany temperatury i wahań napięcia zasilającego. Synchronizację obu hostów uzyskano za pomocą protokołu NTP. Obie maszyny synchronizowały się do serwera timeserv.lublin.pl: 212.182.63.58.

Ze względu na ograniczony rozmiar rozdziału, poniżej zaprezentowany został przykładowy wynik jednego z kilkudziesięciu przeprowadzonych testów. Jednakże łatwość i elastyczność konfiguracji aplikacji pozwala na proste powtórzenie lub rozszerzenie monitoringu według dowolnych założeń badawczych. Natomiast przytoczone na zakończenie wnioski dotyczą wszystkich pomiarów w ramach przeprowadzonych doświadczeń.



Rys. 1. Przykładowe wyniki pomiarów metryki OWD (rys. górny) i IPVD (rys. dolny)

Fig. 1. Exemplary measurement results with use of metrics: OWD (top diagram) and IPVD (bottom diagram)

3. Implementacja pomiarów RTT

Jedną z powszechnie stosowanych aplikacji typu OpenSource a wykorzystującą metrykę RTT jest program Ping. Wykorzystuje on możliwości jakie oferuje protokół ICMP (ang. Internet Control Message Protocol). Ping został zaimplementowany we wszystkich systemach operacyjnych, jednak nie we wszystkich sposób jego działania jest identyczny. Może to prowadzić do problemów z interpretacją wyników. Dlatego też do porównania implementacje Ping dla systemu Linux oraz Windows XP.

Pierwszą różnicą dającą się zauważyć jest domyślna wielkość testowego pakietu. W systemie Windows wynosi ona 32 bajty natomiast w Linuxie równa jest 56 bajtom. Kolejną niezmiernie istotną różnicą dla jakości pomiarów opóźnienia jest rozdzielczość czy też dokładność prezentowanych wyników. System Windows ogranicza się do podawania czasu z dokładnością do jednej milisekundy. W przypadku gdy czas odpowiedzi przeznaczenia jest poniżej jednej milisekundy prezentowana informacja przybiera postać: „czas<1ms”. W przypadku pomiaru opóźnienia na bardzo krótkich odcinkach np. badanie wartości RTT do najbliższego routera, taki poziom dokładności jest nie do przyjęcia. System Linux dynamicznie wybiera dokładność prezentacji czasu RTT, tj. :

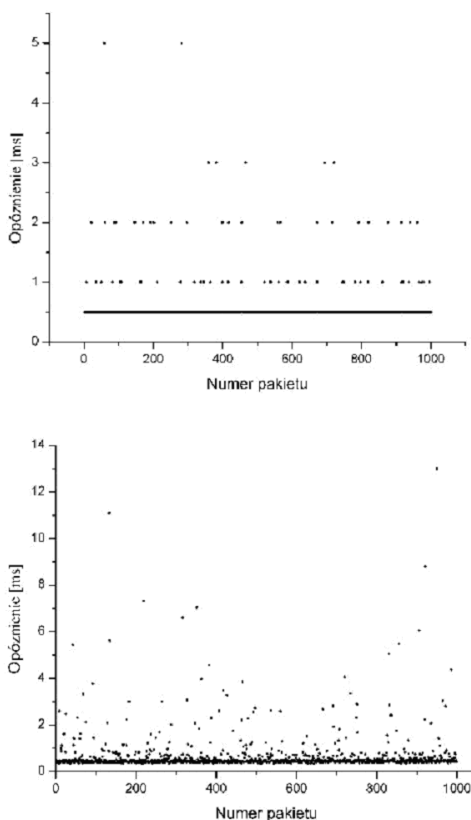
- do 1 ms - wynik z dokładnością do tysięcznych części milisekundy.
- od 1 do 10 ms - wynik z dokładnością do setnych części milisekundy.
- od 10 do 100 ms - wynik z dokładnością do dziesiątych części milisekundy.
- od 100 ms - wynik podawany jest w milisekundach.

Kolejną różnicą pomiędzy tymi dwiema implementacjami jest ilość informacji przekazywana użytkownikowi. Sprawdzono, iż system Microsoftu nie informuje użytkownika o zduplikowanych pakietach, w przeciwieństwie do systemu Linux, który gdy tylko

pakiet powraca w ilości większej niż jeden drukuje „DUP!” po informacji o czasie RTT. Także numer sekwencyjny pakietu prezentowany jest tylko w systemie Linux.

Użyteczność programu Ping do monitorowania parametrów QoS rozszerzona jest przez możliwość wysyłania pakietów testowych z odpowiednim ustawieniem pola ToS. Dopuszczalne jest również modyfikowanie pola Precedence, czyli trzech pierwszych bitów pola ToS. Implementacja tego samego mechanizmu w systemie Windows przynosi swego rodzaju niespodziankę. Dokładniejsze wyjaśnienie tego zagadnienia można znaleźć w [6], natomiast w tym miejscu można stwierdzić, że brak wsparcia dla ustawiania pola ToS w nagłówku pakietu IP sprawia, że wartość systemu Windows w testowaniu jakości pracy sieci IP z użyciem aplikacji Ping jest znikoma.

Testy pomiarów metryki RTT dokonano w konfiguracji analogicznej jak dla przypadku metryki OWD. Wybrany przykład ilustruje zarówno różnice w sposobie generowania pakietów testowych jak i odpowiedzi na nie ale również wskazują na specyfikę pomiarów wynikającą z zastosowania aplikacji Ping. Z kolei wnioski przytoczone na końcu rozdziału dotyczą wszystkich testów dokonanych w ramach prac doświadczalnych.



Rys. 2. Pomiar opóźnienia RTT. (Windows – rys. górny, Linux – rys. dolny)
Fig. 2. Measurements of the RTT delay (top diagram – Windows, bottom diagram – Linux)

Analizowany poniżej pomiar, wykonany w oparciu o pakiet Ping został dokonany przy następujących ustawieniach: ilości pakietów: 1000; pole ToS: 0x00; wielkość pakietu: 56 B. Ponieważ pakiet testowy był niewielki, czas jego przejścia w większości przypadków trwał mniej niż jedną milisekundę. Niedoskonałość tego pomiaru wynika ze zbyt niskiej rozdzielczości jaką oferuje sam program uruchomiony w systemie Windows. Bazując na informacjach przekazanych przez program otrzymaliśmy wartości opóźnienia RTT: średnie: 0 ms, maksymalne: 5 ms, minimalne: 0 ms. (dla testu Ping uruchomionego pod kontrolą Linuxa uzyskano następujące wyniki opóźnienia: średnie: 0,69 ms, maksymalne: 13,03 ms, minimalne: 0,338 ms).

Otrzymany rezultat nie nadaje się do jakiegokolwiek późniejszej analizy ukierunkowanej na sprawdzenie poziomu opóźnienia generowanego przez sieć. Uśredniając wynik pomiaru o wartości „czas < 1 ms” do 0,5 ms można wykreślić rysunek 1 obrazujący wynik pomiaru, obciążony błędem wspomnianego przybliżenia. Porównując powyższą ilustrację z pomiarem uzyskanego w oparciu o system Linux zauważyć można jak niedokładny wynik został zwrócony jako efekt działania aplikacji Ping w systemie Windows.

4. Podsumowanie

W trakcie pomiarów oraz analizy otrzymanych wyników potwierdziła się zgodność algorytmu pracy wymienionych w artykule aplikacji z zaleceniami IETF. Niezwykle istotnym, wręcz fundamentalnym problemem przy pomiarach parametrów czasowych sieci IP jest uzyskanie właściwej synchronizacji zegarów hostów. Odnosi się to szczególnie do pomiarów wartości metryk OWD. W środowisku, w którym prowadzone były badania, synchronizacja następowała za pomocą protokołu NTP. Jednak mimo stosowania kilku serwerów czasu, dokładność jaką udało się uzyskać pozostawia wiele do życzenia. Porównując pomiary wykonane programem Ping, korzystającym z metryki RTT oraz uzyskane na podstawie metryki OWD przez aplikację Mgen można było w części pomiarów zauważyć iż czas przesyłu pakietów był krótszy w pomiarze dwu niż jednokierunkowym. Dowodzi to, że pomimo zastosowania NTP, zegary hostów pomiarowych były zdecydowanie rozsynchronizowane. Z kolei, dla pomiaru wartości metryk IPDV, synchronizacja nie jest już tak istotna i w tym przypadku Mgen pozwala na precyzyjne wyznaczenie tej metryki.

Przeprowadzone badania pokazały jeszcze jedną kwestię na którą należy zwrócić uwagę. Pomiary z ustawionym polem ToS innym niż domyślne „0” należy wykonywać tylko na systemach z rodziny Linux/Unix. System Windows mimo, iż w dokumentacji podaje możliwość ustawiania pola ToS tak naprawdę ignoruje je. Również w tym systemie, kwestia precyzji i rozdzielczości zegara udostępnionego aplikacjom pozostawia wiele do życzenia. Te cechy niezmiernie ograniczają jego przydatność jeśli chodzi o pomiary parametrów sieci IP czy też pomiarów w bardziej złożonych architekturach QoS jak np. DiffServ.

Zilustrowane i omówione w poprzednich podrozdziałach uwagi jak i przytoczone w tym miejscu wnioski mogą być traktowane jako oczywiste lecz pominięcie ich w trakcie pomiarów w oparciu o metryki IETF może prowadzić do zdecydowanie błędnych wniosków co do stanu sieci IP jak i wartości jej parametrów. To stwierdzenie jest dodatkowo istotne, ze względu na fakt, iż algorytmy wyliczania wartości tych metryk są częścią wielu, bardziej złożonych aplikacji pomiarowych i monitorujących.

5. Literatura

- [1] Almes G., Kalidindi S., Zekauskas M.: A One-way Delay Metric for IPPM [[:]] <http://www.ietf.org/rfc/rfc2679.txt?number=2679>, 2008.
- [2] Demichelis C., Chimento P.: IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM) [[:]] <http://www.ietf.org/rfc/rfc3393.txt?number=3393>, 2008.
- [3] Almes G., Kalidindi S., Zekauskas M.: A Round-trip Delay Metric for IPPM [[:]] <http://www.ietf.org/rfc/rfc2681.txt?number=2681>, 2008.
- [4] Naval Research Laboratory: Mgen [[:]] <http://pf.itd.nrl.navy.mil/mgen/mgen.html>, 2008.
- [5] Coverdale P.: Multimedia QoS requirements from a user perspective [[:]] <http://www.itu.int/itudoc/itu-t/workshop/qos/s2p1.pdf>, 2007.
- [6] Microsoft : Setsockopt is unable to mark the Internet Protocol type of service bits in Internet Protocol packet header [[:]] <http://support.microsoft.com/kb/248611/en-us>, 2008.