Andrzej Paszkiewicz

Wykorzystanie programowych generatorów ruchu sieciowego w nauce i dydaktyce

Edukacja - Technika - Informatyka nr 4(18), 377-384

2016

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

MUZEUM HISTORII POLSKI

© Wydawnictwo UR 2016
ISSN 2080-9069
ISSN 2450-9221 online

„Edukacja – Technika – Informatyka" nr 4/18/2016
www.eti.rzeszow.pl
DOI: 10.15584/eti.2016.4.50

ANDRZEJ PASZKIEWICZ

Wykorzystanie programowych generatorów ruchu sieciowego w nauce i dydaktyce

The use of software traffic generators in science and didactics

Doktor inżynier, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Energoelektroniki, Elektroenergetyki i Systemów Złożonych, Polska

Streszczenie

W artykule zaprezentowano problematykę związaną z programowymi generatorami ruchu i ich wykorzystaniem w procesach dydaktycznych, jak również w obszarze prac badawczo-rozwojowych. Przedstawiono ich możliwości oraz ograniczenia funkcjonale w zakresie definiowanie ruchu sieciowego.

Słowa kluczowe: generatory ruchu sieciowego, sieci komputerowe.

Abstract

The article presents issues related to programming traffic generators and their use in the processes of teaching and in the area of research and development as well. Their capabilities and functional limitations of network traffic definition are presented.

Key words: computer networks traffic generators, computer networks.

Wstęp

Rozwój społeczeństwa informacyjnego przyczynia się do wzrostu zapotrzebowania na specjalistyczne rozwiązania techniczne, a także nieodzownie wiąże się z koniecznością zapewnienia wysoko wykwalifikowanej kadry inżynierskiej oraz naukowej w obszarach nowoczesnych technologii.

Jednym z takich obszarów są sieci komputerowe. Umiejętność projektowania wysokoprzepustowych struktur sieciowych oraz ich realizacja i utrzymanie świadczy o potencjale rozwojowym i innowacyjnym danego środowiska, regionu, a nawet kraju. Dlatego też, ważne jest zapewnienie odpowiednich warunków infrastrukturalnych umożliwiających prace naukowe oraz realizację dydaktyki na wysokim poziomie. Dodatkowo, zmiany technologiczne i społeczne wpływa-

ją na sposób realizacji prac badawczych, współpracy przedsiębiorstw, a także formy zdobywania i wymiany wiedzy. Coraz częściej powszechna staje się współpraca pomiędzy rozproszonymi placówkami badawczymi w celu realizacji wspólnych projektów i badań, a także zauważalny jest wzrost zainteresowania nowoczesnymi formami edukacji na odległość, w tym przede wszystkim e-learningiem. Taka forma zdobywania wiedzy i umiejętności ma szczególne znaczenie w przypadku kursów dokształcających, a także specjalistycznych, których celem jest uzyskanie odpowiednich kwalifikacji i uprawnień zawodowych.

Przedstawione powyżej uwarunkowania związane są z różnymi obszarami nauki i dydaktyki, w tym również z sieciami komputerowymi. Projektowanie nowoczesnej infrastruktury sieciowej, a także mechanizmów i protokołów w niej występujących wymaga przeprowadzenia licznych testów wydajnościowych i niezawodnościowych. Działania takie wymagają zapewnienia odpowiedniego środowiska testowego. Niestety, w wielu przypadkach zarówno w nauce, jak i w dydaktyce nie istnieje możliwość wykorzystania do tego celu w pełni funkcjonalnego, produkcyjnego środowiska testowego. Dlatego też istotną rolę odgrywają w tym aspekcie różne platformy i narzędzia służące do symulacji i emulacji poszczególnych komponentów, a także całości infrastruktury sieciowej.

Jednym z bardzo ważnych aspektów z tym związanych jest możliwość zapewnienia w środowisku testowym, laboratoryjnym czy też dydaktycznym warunków zbliżonych do tych występujących w rzeczywistym środowisku sieciowym. Odnosi się to m.in. do możliwości wygenerowania odpowiedniego ruchu sieciowego charakterystycznego dla różnych warunków pracy danej sieci komputerowej. Należy przy tym pamiętać, iż inne warunki panują w zwykłych sieciach dostępowych, inne w wysokoprzepustowej infrastrukturze szkieletowej, a inne w środowisku wspierającym procesy produkcyjne w przedsiębiorstwach. Co więcej, prace naukowe i testowe muszą uwzględniać nie tylko współczesne uwarunkowania i wymagania stawiane przez potencjalnych użytkowników, ale również przyszłe, charakteryzujące się znacznie wyższymi wartościami parametrów wydajnościowych i niezawodnościowych. Dlatego też, istotne jest zapewnienie narzędzi dysponujących szerokim zakresem definiowania modeli ruchu sieciowego. W związku z tym w pracy tej dokonano analizy możliwości wykorzystania zarówno w procesie dydaktycznym, jak również podczas realizacji prac badawczo-rozwojowych programowych generatorów ruchu.

Analiza dostępnych rozwiązań

Współcześnie istnieją już rozwiązania pozwalające na generowanie zadanego ruchu sieciowego. Do tej grupy należą sprzętowe generatory ruchu, platformy symulacyjne, a także programowe generatory ruchu [Botta i wsp. 2012]. W pierwszym przypadku pozwalają one na dokładne wysycenie określonego

pasma na danym łączu sieciowym. Dzięki temu możliwe jest testowanie wydajności układów przełączających czy też rutujących, a także mechanizmów obsługi kolejek na poszczególnych interfejsach urządzenia. Możliwe jest również wykrywanie błędów transmisji spowodowanych przeciążeniem infrastruktury sieciowej, jak również badanie opóźnień wynikających z uwarunkowań konfiguracyjnych i sprzętowych. Niewątpliwą zaletą tego typu rozwiązań jest umożliwienie generowania ruchu o ściśle określonych parametrach przepustowościowych. Posiadają one jednak istotne wady, czy też braki w zakresie swobody definiowania przepływów od warstwy pierwszej do siódmej modelu ISO/OSI. Zazwyczaj dysponują jedynie możliwością zmian wartości nagłówków warstw niższych w sposób np. losowy lub inkrementalny. Dodatkowo, umożliwiają definiowanie wielkości i liczby pakietów i ramek generowanych na danym interfejsie. Natomiast nie posiadają możliwości określania charakterystyki ruchu z punktu widzenia aplikacji, a także protokołów sieciowych z nimi powiązanych. Oczywiście, rozwiązania tego typu zapewniają czasami możliwość ręcznego definiowania wartości nagłówków i zawartości pakietów, jednakże działania takie stają się skrajnie nieefektywne. Tym samym takie podejście nie odwzorowuje rzeczywistych warunków pracy sieci komputerowej.

Istnieją również platformy aplikacyjne łączące w sobie możliwości konfiguracji urządzeń sieciowych wraz z mechanizmami pozwalającymi na ich testowanie poprzez generowanie zdefiniowanego w nich ruchu sieciowego. Przykładem tego typu systemów są: Riverbed Modeler, NS-3 czy też NetSim. Zazwyczaj posiadają one własne, wbudowane modele ruchu służące do symulacji i testowania zadanej konfiguracji, bazujące na kilku predefiniowanych rodzajach ruchu sieciowego. Ingerencja w ściśle określone profile ogranicza się przeważnie do planowania w czasie parametrów składających się na przepustowość, liczbę pakietów, ich rozmiar, odstępy pomiędzy nimi itp. [Zheng, Hongji 2012]. Tak więc istotnym ograniczeniem jest brak możliwości kreowania zawartości nagłówków poszczególnych protokołów przy użyciu zaawansowanych narzędzi i modeli.

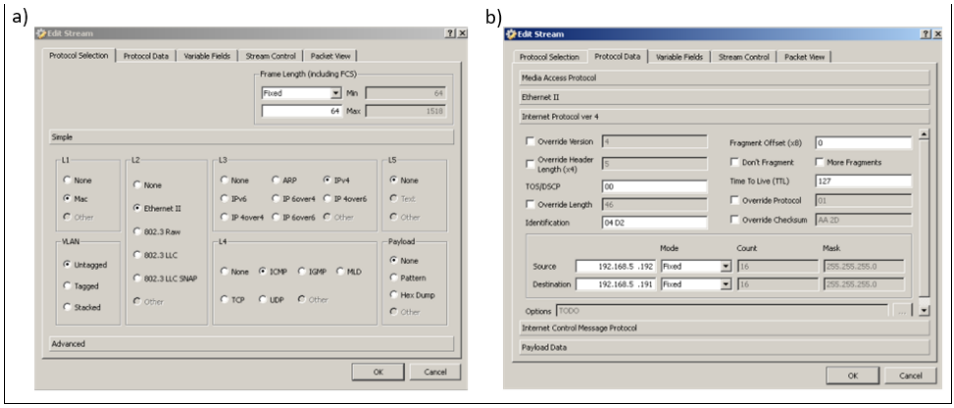
Trzecią grupę rozwiązań umożliwiających generowanie ruchu sieciowego stanowią programowe generatory ruchu. Charakteryzują się one dużą elastycznością i niezależnością od danego środowiska testowego. Mogą mieć zastosowanie zarówno w rzeczywistym środowisku sieci komputerowej, jak również jako elementy zwirtualizowanego środowiska testującego funkcjonalność oraz konfigurację wirtualnych urządzeń sieciowych. Tym samym mogą doskonale znaleźć zastosowanie m.in. w dydaktyce oraz podczas prac badawczo-rozwojowych. Wśród nich istnieją rozwiązania komercyjne, takie jak IxChariot [Internet 1], jak również darmowe, funkcjonujące na bazie oprogramowania Open Source, np. Ostinato [Internet 2].

Rozwiązaniem, które daje bardzo szeroki zakres możliwości dotyczących parametryzowania i sterowania generowanym ruchem, jest aplikacja IxChariot. Dzięki niej możliwe jest realizowanie prac mających na celu weryfikację zarówno wydajności danego urządzenia, czy też całej infrastruktury, ale przede wszystkim zapewnia ona możliwość weryfikacji poprawności konfiguracji pod względem np. reguł QoS, niezawodności, poziomu gwarantowanych usług (SLA) itp. W ramach dostępnej funkcjonalności posiada bardzo szeroką gamę predefiniowanych skryptów, ale również zapewnia ich modyfikację oraz tworzenie własnych. Skrypty te umożliwiają zasymulowanie działania większości znanych usług sieciowych dostępnych w rzeczywistym środowisku np. usług transferu plików, usług związanych z peer-to-peer, komunikacji odnoszącej się do protokołu http, ale także usług poczty elektronicznej czy też portali społecznościowych. Dodatkowo, dzięki rozproszonej architekturze umożliwia śledzenie przepływów pomiędzy dowolną parą urządzeń końcowych. Co więcej, współczesne sieci komputerowe charakteryzują się dużym poziomem konwergencji związanej z integracją różnych odmiennych usług, np. transmisji strumieni audio i video. Symulowanie działania takich procesów w warunkach zajęć dydaktycznych stanowi duże wyzwanie. Natomiast wykorzystanie do tego celu aplikacji IxChariot pozwala na stworzenie warunków odpowiadających rzeczywistej infrastrukturze sieciowej i tym samym może zostać wykorzystana ona do budowy stanowisk laboratoryjnych dla prac badawczo-rozwojowych, ale również dla realizacji dydaktyki w ujęciu stacjonarnym, jak i na odległość.

Dostępne jest również narzędzie Iperf służące w głównej mierze do analizy wydajności łączy w lokalnych sieciach komputerowych. Co ważne, dostępne jest zarówno na platformy linuksowe, jak również na systemy z rodziny Microsoft Windows. Dzięki swojej funkcjonalności umożliwia przeprowadzenie pomiarów wydajności przepustowości TCP i UDP. Pozwala również na analizę takich parametrów, jak jitter oraz utrata datagramów [Internet 3]. Niewątpliwą jego zaletą jest możliwość przeprowadzenia nieskomplikowanych testów wydajności bazujących na zróżnicowanej liczbie transmisji ze zmienną wielkością pakietów.

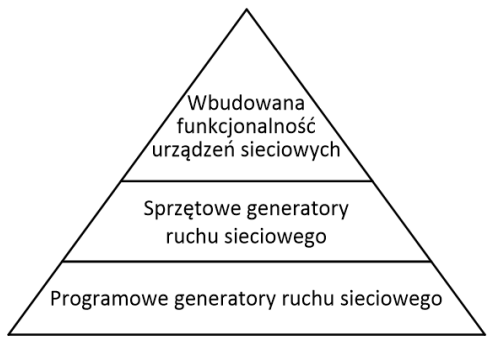
Kolejnym narzędziem umożliwiającym programowe generowanie ruchu jest Ostinato. Aplikacja ta bazuje na licencji typu open source i wciąż jest ona rozwijana, co pozwala na implementowanie w niej kolejnych protokołów. Na dziś posiada możliwości definiowania parametrów protokołów warstwy drugiej i trzeciej, w tym Ethernet/802.3/LLC SNAP, VLAN (z obsługą QinQ), ARP, IPv4, IPv6, IP-in-IP, tunelowanie IP (6over4, 4over6, 4over4, 6over6), TCP, UDP, ICMPv4, ICMPv6, IGMP, MLD, HTTP, SIP, RTSP, NNTP itd. Pomimo posiadanej funkcjonalności oraz szerokiego zakresu konfiguracji aplikacja ta działania swojego nie opiera na żadnym ze znanych i wykorzystywanych powszechnie modeli ruchu sieciowego. Tym samym bazuje na losowości i inkrementacji wartości parametrów definiujących ruch sieciowych. Dodatkowo ist-

nieje możliwość określenia liczby pakietów na sekundę jako wartości stałej lub chwilowych serii. Podobnie z wybranymi wartościami w polach nagłówków – mogą one być stałe, rosnące/malejące bądź losowe [Popeskic 2015]. Niewątpliwą zaletą jest jego intuicyjność i prostota konfiguracji, która ma duże znaczenie zwłaszcza w procesie dydaktycznym. Na rys. 1 przykładowo zaprezentowano możliwość wyboru protokołów generowanego ruchu w programie Ostinato dla warstwy 2, 3 i 4 oraz definiowania parametrów dla IPv4.



Rys. 1. a) Wybór protokołu dla warstwy 2, 3 i 4; b) Definiowanie parametrów IPv4

Na rys. 2 zaprezentowano trójkąt funkcjonalny generatorów ruchu sieciowego. Tak przedstawiona struktura wiąże się z zasadą wzajemnego uzupełniania potencjalnych możliwości poszczególnych rozwiązań. Zatem na samym szczycie znajdują się rozwiązania bazujące na wbudowanej funkcjonalności danego urządzenia sieciowego wyposażonego w aktywne mechanizmy generujące i wprowadzające do łączy sieciowych dodatkowe pakiety/ramki w celu realizacji zadanych działań testowych, jak np. ping, tracert itp.



Rys. 2. Trójkąt funkcjonalny generatorów ruchu sieciowego

W drugiej kolejności znajdują się rozwiązania bazujące na opisywanych powyżej sprzętowych generatorach ruchu, których zakres zastosowania wiąże się przede wszystkim z testami wydajności i niezawodności traktów sieciowych oraz pośrednich urządzeń sieciowych. Natomiast z funkcjonalnego punktu widzenia w odniesieniu do modelu referencyjnego ISO/OSI najszerszy zakres możliwości udostępniają programowe generatory ruchu sieciowego i tym samym powinny stanowić pewnego rodzaju bazę w obszarze edukacji, nauki, a także prac testowo-wdrożeniowych w przemyśle.

Obszary zastosowania programowych generatorów ruchu sieciowego w nauce i dydaktyce

Programowe generatory ruchu sieciowego mogą znaleźć zastosowanie w wielu aspektach związanych z prowadzeniem prac badawczo-rozwojowych, jak również w wielu obszarach powiązanych z procesem dydaktycznym. Poniżej zaprezentowano kilka, jak się wydaje, najważniejszych z nich.

E-learning – jako nowoczesna forma edukacji pozwala na szeroki dostęp do najnowszej wiedzy z obszaru wielu dziedzin. W przypadku tematów powiązanych z sieciami komputerowymi oprócz wiedzy czysto teoretycznej wymagane jest posiadanie umiejętności praktycznych. Dzięki programowym generatorom ruchu oraz odpowiednio przygotowanemu zdalnemu środowisku laboratoryjnemu [Bolanowski, Paszkiewicz 2014] możliwa jest realizacja szerokiego spektrum scenariuszy obejmujących zrozumienie zarówno podstawowych, jak i bardziej skomplikowanych procesów zachodzących w sieciach komputerowych. W tym przypadku programowe generatory ruchu mogą stanowić płaszczyznę pozwalającą urealnić analizowane procesy sieciowe.

Laboratoria stacjonarne – dostępne w ramach klasycznych form nauczania zarówno na poziomie szkół wyższych, jak i średnich. Zazwyczaj infrastruktura sieci komputerowych w ramach pracowni dydaktycznych charakteryzuje się pewną autonomią i większą lub mniejszą izolacją od pozostałej infrastruktury sieciowej. Zatem wykorzystanie w procesie edukacyjnym programowych generatorów ruchu pozwoli na zasymulowanie dowolnego ruchu sieciowego niezbędnego dla lepszego zrozumienia poruszanych w ramach zajęć zagadnień.

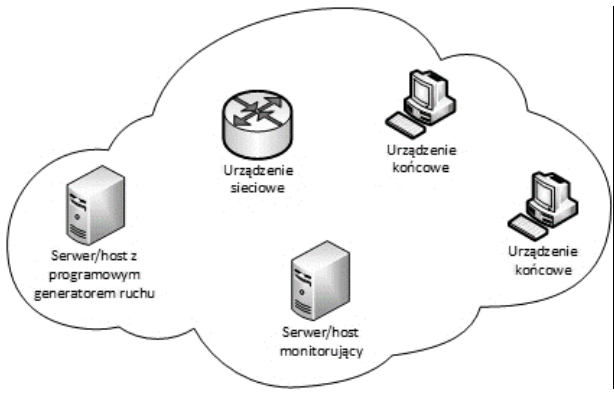
Badania wydajnościowe i funkcjonalne – mające na celu oszacowanie wydajności danej platformy sprzętowej lub/i programowej, a także zbadanie poprawności działania zadanej konfiguracji oraz zaimplementowanych mechanizmów sieciowych związanych z przełączaniem, routowaniem, QoS, bezpieczeństwem sieci itp. W ramach tego typu działań możliwe jest przeprowadzenie szerokiego zakresu analiz stabilności i poprawności nowo tworzonych funkcjonalności dla środowiska sieciowego.

Testy przedwdrożeniowe – pozwalające przeprowadzić szeroki zakres testów dla zadanej konfiguracji sprzętowej i funkcjonalnej, symulując warunki zbliżone do rzeczywistych przed etapem ostatecznego uruchomienia w docelo-

wym środowisku produkcyjnym. Działania takie wpływają na ograniczenie kosztów, a także przeprowadzenie bardziej kontrolowanego wdrożenia poprzez wykrycie i eliminację ewentualnych błędów konfiguracyjnych i sprzętowych na etapie przedwdrożeniowym.

Uniwersalna struktura dydaktyczno-badawcza

Biorąc pod uwagę zarówno potrzeby w zakresie dydaktyki, jak i nauki w obszarze sieci komputerowych przedstawiono uniwersalną strukturę środowiska testowego bazującego na programowych generatorach ruchu (rys. 3). Dzięki zastosowaniu programowych generatorów ruchu struktura ta może być odwzorowana zarówno w środowisku rzeczywistym, jak również w środowisku wirtualnym. Tym samym połączenia pomiędzy poszczególnymi elementami danej struktury mogą stanowić fizyczne łącza sieciowe, jak również łącza wirtualne. Dodatkowo, charakteryzuje się ona wyjątkową skalowalnością. Liczebność urządzeń sieciowych, hostów użytkowników końcowych, a także ewentualne wykorzystanie narzędzi służących do monitowania ruchu (np. wizualizacja na bazie protokołów sFlow, RMON, NetFlow itp.) może być na bieżąco dostosowywana do aktualnych potrzeb i ograniczeń.



Rys. 3. Elementy struktury dydaktyczno-badawczej z programowym generatorem ruchu

Poprzez wykorzystanie programowych generatorów ruchu można przeprowadzić szereg zajęć dydaktycznych i testów badawczych w zakresie funkcjonowania mechanizmów sieciowych. Przykładem takich testów i symulacji mogą być:

- analizowanie połączeń TCP i UDP, w tym mechanizmu *three-way handshake*,
- prezentacja działania mechanizmu ARP, a także zjawisko przepełniania się tablicy adresów MAC i jego wpływ na bezpieczeństwo sieci,
- symulowanie działania protokołów wymiany danych charakterystycznych dla DataCenter, takich jak np. CIFS (ang. *Common Internet File System*) oraz iSCSI (ang. *Internet Small Computer System Interface*),

- badanie zachowania się elementów infrastruktury sieciowej dla określonych reguł QoS i polityk bezpieczeństwa dotyczących filtrowania ruchu,
- analizowanie zjawisk występujących w sieciach komputerowych charakterystycznych dla komunikacji dotyczącej takich usług, jak komunikatory sieciowe, strumieniowanie obrazu i dźwięku, połączenia realizowane w ramach portali społecznościowych itp.

Oczywiście, powyżej przedstawiono jedynie niewielki wycinek możliwości wykorzystania programowych generatorów ruchu w obszarze dydaktyki i nauki.

Wnioski

Zarówno w obszarze dydaktyki, jak i nauki konieczne jest tworzenie środowiska testowego i badawczego zbliżonego do warunków rzeczywistych spotykanych w systemach produkcyjnych. Podejmowane w tym zakresie próby nie zawsze kończą się powodzeniem. Sytuacja taka ma miejsce również w przypadku sieci komputerowych. Pomimo ciągłego rozwoju różnego rodzaju narzędzi i systemów nadal modelowanie ruchu zbliżonego do rzeczywistego stanowi duże wyzwanie. Dlatego też w artykule skoncentrowano się na analizie wybranych, dostępnych rozwiązań w zakresie programowych generatorów ruchu sieciowego, które mogą przyczynić się do urealnienia badanych i analizowanych mechanizmów sieciowych. Na podstawie tej analizy można stwierdzić, iż na dzień dzisiejszy dysponujemy prostymi rozwiązaniami, które mogą przyczynić się do zrozumienia podstawowych mechanizmów sieciowych, dostępne są również aplikacje pozwalające w sposób zaawansowany definiować parametry ruchu sieciowego, uwzględniając przy tym wszelkie własności ruchu o charakterze konwergentnym.

Literatura

Bolanowski M., Paszkiewicz A. (2014), *Metody i środki zapewnienia dostępu do specjalizowanych zasobów laboratoryjnych*, „Edukacja – Technika – Informatyka" nr 2.

Botta A., Dainotti A., Pescapé A. (2012), *A Tool for the Generation of Realistic Network Workload for Emerging Networking Scenarios*, „Computer Networks" vol. 56, issue 15.

Internet 1: https://www.ixiacom.com/products/ixchariot.

Internet 2: http://ostinato.org.

Internet 3: https://iperf.fr.

Popeskic V. (2015), *How to Generate Network Packets – Ostinato Packet/Traffic Generator*, https://howdoesinternetwork.com/2015/how-to-generate-network-packets.

Zheng L., Hongji Y. (2012), *Unlocking the Power of OPNET Modeler*, Cambridge University Press.