

**Marek BOLANOWSKI**

Politechnika Rzeszowska, Polska

**Paweł KRUTYS**

Uniwersytet Rzeszowski, Polska

## **Metody i środki zarządzania infrastrukturą sieciową w złożonym środowisku laboratoryjnym**

### **Wstęp**

Jednym z elementów procesu kształcenia inżyniera sieci komputerowych jest zapewnienie mu dostępu do specjalizowanej infrastruktury laboratoryjnej. Ze względu na dużą różnorodność oraz cenę elementów wyposażenia bardzo ważne jest, aby proces kształcenia był zoptymalizowany pod kątem czasu korzystania przez danego studenta lub uczestnika kursu z zasobów laboratoryjnych. W procesie kształcenia inżyniera należy wyraźnie wyróżnić 3 etapy kształcenia: podstawowy, średnio zaawansowany oraz specjalistyczny. Na pierwszym i drugim etapie ćwiczeń praktycznych student może korzystać z gotowych scenariuszy, które mogą być zaimplementowane w środowisku symulacyjnym, takim jak Opnet, PckaetTracer lub NS [Bolanowski, Paszkiewicz 2014; Opnet Modeler; <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>]. Z aplikacji symulacyjnych nie można jednak korzystać na etapie szkolenia zaawansowanego lub przy okazji badań naukowych, ponieważ te skomplikowane scenariusze laboratoryjne charakteryzują się:

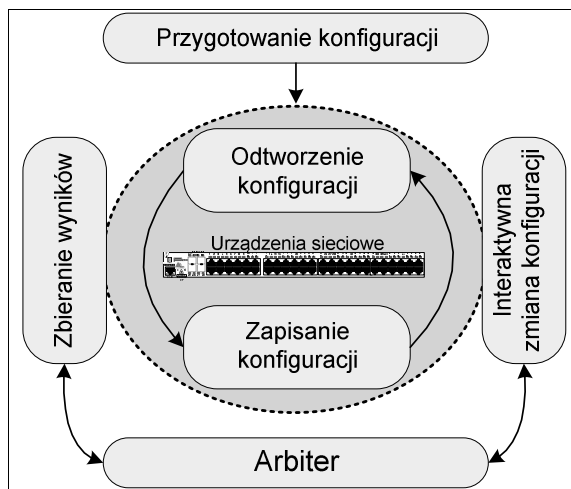
- dużą liczbą i różnorodnością urządzeń wykorzystanych do pojedynczego zadania,
- złożoną konfiguracją startową urządzeń wykorzystanych w scenariuszu,
- koniecznością gromadzenia i analizy dużej ilości danych pochodzących od sporej liczby urządzeń,
- czasochłonnością oraz koniecznością realizacji scenariusza w kilku rozłącznych czasowo krokach. Implikuje to konieczność znalezienia szybkiej metody zapisywania konfiguracji całej sieci i szybkiego jej odtwarzania.

Nie bez znaczenia jest również możliwość automatyzacji sterowania zachowania poszczególnych protokołów w celu określenia parametrów testowanej sieci, np. badania czasu zbieżności protokołów routingu lub wpływu zmiany parametrów równoważenia obciążenia na stabilność wyznaczania tras. Wykorzystanie na tym etapie symulatorów sieciowych jest niewskazane ze względu na brak możliwości dokładnego odwzorowania w nich rzeczywistej infrastruktury sieciowej oraz ze względu na mocną heterogeniczność urządzeń wykorzystanych w zaawansowanych scenariuszach.

W artykule autorzy zaprezentują metody i środki szybkiego przygotowania złożonych środowisk sieciowych opartych na rzeczywistych urządzeniach przy jednoczesnym zastosowaniu stacji NMS, arbitra i kolektorów danych. Tak przygotowane środowisko pozwoli skrócić czas potrzebny na realizację scenariuszy testowo-dydaktycznych, zwiększy dostępność sprzętu laboratoryjnego dla użytkowników oraz umożliwi realizację ćwiczeń w niezależnych przedziałach czasowych bez strat czasu.

### Etapy eksperymentu z wykorzystaniem urządzeń sieciowych

Z punktu widzenia prowadzenia eksperymentów z wykorzystaniem urządzeń sieciowych możemy wyodrębnić 5 głównych etapów związanych z przygotowaniem i prowadzeniem eksperymentu: przygotowanie konfiguracji, interaktywna zmiana konfiguracji, zapisanie konfiguracji, odtworzenie konfiguracji, zbieranie wyników. Wzajemne powiązanie poszczególnych etapów zaprezentowane zostało na rys. 1.



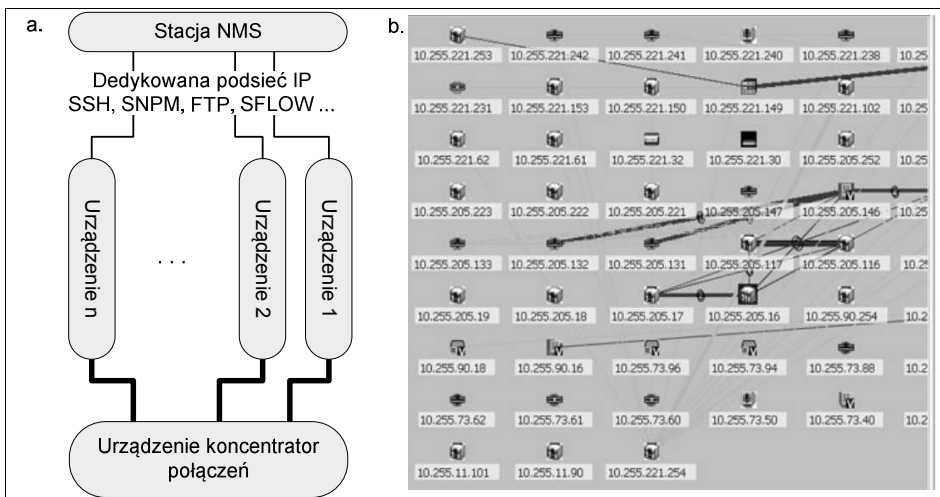
Rys. 1. Schemat zależności pomiędzy etapami eksperymentu

W pierwszej fazie przygotowana zostaje konfiguracja urządzeń sieciowych, która następnie wgrywana jest do poszczególnych elementów. W kolejnym kroku przeprowadzane są testy, podczas których konfiguracja zostaje zmieniana w zależności od przebiegu eksperymentu. Kluczowym elementem systemu jest moduł odpowiedzialny za zabieranie wyników z wielu urządzeń, ich wizualizację oraz magazynowanie. Eksperyment (np. ze względu na czas urządzeń zarezerwowany dla danego studenta) może zostać przerwany na dowolnym etapie, a konfiguracja zapisana. Podczas kolejnej wizyty w laboratorium student musi mieć możliwość automatycznego przywrócenia połączeń fizycznych pomiędzy

urządzeniami oraz ich konfiguracji, aby bezzwłocznie przystąpić do kontynuacji badań lub ćwiczeń laboratoryjnych. Całość procesu może być nadzorowana przez opcjonalnego arbitra, który może automatycznie sterować zmianą konfiguracji na podstawie zgromadzonych wyników badań. W kolejnych rozdziałach tego artykułu zaprezentowane zostaną metody i środki realizacji zaproponowanego modelu.

### Przygotowywanie, zapisywanie i odtwarzanie konfiguracji sieciowych

Pierwszy krok tworzenia topologii laboratoryjnej polega na odpowiednim połączeniu wszystkich urządzeń sieciowych. W zależności od celów eksperymentu (dydaktycznych lub naukowych) etap ten może być zrealizowany dwojako: manualnie (stosunkowo prosty, ale czasochłonny) lub automatycznie poprzez realizację połączeń za pośrednictwem innego urządzenia [Bolanowski, Paszkiewicz 2014], które w zależności od danej konfiguracji łączyć będzie odpowiednie interfejsy z wykorzystaniem sieci VLAN. Każde z urządzeń, które może zostać wykorzystane do realizacji scenariusza, powinno posiadać następującą konfigurację startową: SSH, FTP, SNMP3, LLDP [Switch Management... 2015], SFLOW (opcjonalnie), RestFulAPI (opcjonalnie) [Doglio 2015] oraz skonfigurowane interfejsy IP do zarządzania. Struktura połączeń elementów stanowiska pokazana została na rys. 2a.



**Rys. 2. a) schemat połączeń pomiędzy urządzeniami; b) przykładowa wizualizacja stanowiska laboratoryjnego w NMS**

Po podłączeniu i wstępnym przygotowaniu urządzeń (jednorazowa konfiguracja wspólna dla wszystkich eksperymentów i urządzeń) można przystąpić do konfiguracji z wykorzystaniem: SSH, konsoli lub języka skryptowego. Istotnym

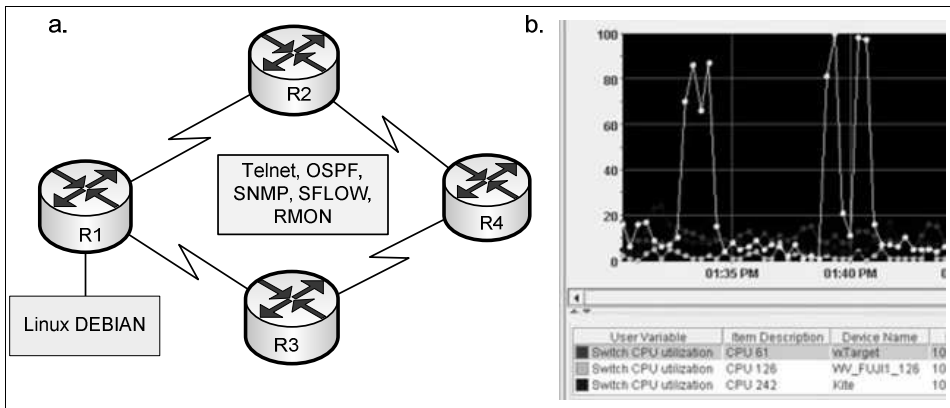
elementem tej struktury jest Network Management System (NMS). Zadaniem tego systemu jest zarządzanie elementami infrastruktury sieciowej z wykorzystaniem różnorodnych protokołów. Na rynku dostępnych jest szereg tego typu aplikacji komercyjnych (np. HPOpenView, OmniVista) oraz *open source* (np. Zenoss). Po odpowiednim ich dobraniu, podłączeniu przez dedykowaną sieć do urządzeń i skonfigurowaniu możliwe staje się wizualizowanie połączeń (rys. 2b), zapisywanie konfiguracji całej sieci i odtwarzanie jej z dowolnego zapamiętanego wcześniej punktu. Jeżeli w środowisku laboratoryjnym znajdować się będą urządzenia niewspierane przez zastosowany system NMS, stanowisko może zostać doposażone w stację Linux, która poprzez wykorzystanie języka skryptowego może zapisywać i odtwarzać konfiguracje niekompatybilnych urządzeń.

### **Gromadzenie wyników i interaktywna zmiana konfiguracji**

Duża złożoność środowiska testowego oraz duża ilość danych, które należy analizować podczas prowadzenia eksperymentu, wymaga zastosowania kompleksowego mechanizmu gromadzenia danych pomiarowych. Większość współczesnych urządzeń sieciowych posiada wbudowane sprzętowe sondy pomiarowe dla każdego portu sieciowego mierzące bardzo dużą liczbę parametrów bez wpływu na trasowany (przełączany) ruch. Do gromadzenia danych pomiarowych należy więc zastosować kolektory oraz określić zestaw danych pomiarowych, które będą do nich trafiać. W tym celu można wykorzystać wspomnianą wcześniej architekturę (rys. 2a), a do gromadzenia danych użyć mechanizmów trap, SNMP, RMON lub dedykowanych kolektorów danych SFLOW. Z wykorzystaniem tych mechanizmów można badać tysiące parametrów, takich jak np. obciążenie portu, stopa błędów, prędkość, a w uzasadnionych przypadkach kopiować cały ruch z danej sesji lub portu. Wizualizacja pomiarów może się odbywać bezpośrednio z wykorzystaniem NMS (rys. 3b) lub dane mogą być wyeksportowane (CVS) i przetwarzane w specjalizowanych programach.

Odrębne zagadnienie stanowi automatyzacja procesu eksperymentu, tj. możliwość modyfikowania konfiguracji w zależności od bieżącej analizy parametrów sieci. Na rys. 3a przedstawiony został schemat sieci OSPF. Koszty dwóch dostępnych tras pomiędzy routerami R1 i R4 są różne. Zadanie polega na testowaniu kilku algorytmów równoważenia obciążenia pomiędzy trasami R1–R2–R4 i R1–R3–R4. Arbiter eksperymentu (Linux Debian) loguje się z wykorzystaniem protokołu telnet lub ssh do urządzeń, korzystając z przygotowanego skryptu. W kolejnych krokach skrypt (tclsh lub bash expect i send) pobiera wartości txload, konwertuje je na wartości liczbowe, które mogą być użyte w algorytmie zaimplementowanym na arbitrze (np. skrypt powłoki, C++ itp.). W wyniku działania algorytmu określone są nowe koszty dla interfejsów routerów R1, R2, R3 i R4. Skrypt loguje się do każdego routera i zmienia koszty interfejsów, może również użyć mechanizmu Policy Base Routing do modyfikacji tras wybranych

przepływów. Zastosowanie arbitra może być połączone z użyciem stacji NSM, która w czasie eksperymentów może gromadzić wyniki badań.



Rys. 3. a) interaktywna zmiana konfiguracji, b) NMS: wizualizacji wyników

## Podsumowanie

W opracowaniu zaprezentowano metody i środki zarządzania i automatyzacji testów realizowanych z wykorzystaniem urządzeń sieciowych w środowisku laboratoryjnym. Zastosowanie zaproponowanego modelu pozwala średnio skrócić czas potrzebny na realizację danego wieloetapowego ćwiczenia o ok. 20% przy każdorazowym odtwarzaniu konfiguracji. Mechanizm został wdrożony i przetestowany w Laboratorium Sieci Komputerowych Zakładu Systemów Rozproszonych Politechniki Rzeszowskiej. Przyszłe prace będą się koncentrować wokół wirtualizacji fizycznego środowiska urządzeń sieciowych z wykorzystaniem mechanizmu Software Defined Network [Hyojoon, Feamster 2013], który pozwala na skoncentrowanie całości logiki sterowania urządzeniami sieciowymi (*control plane*) w arbitrze. Dzięki temu inżynier uzyskuje pełną kontrolę nad przepływami sieci i może modyfikować i tworzyć własne algorytmy sterowania sieciami i dodatkowo łatwo współdzielić fizyczne środowisko laboratoryjne z innymi użytkownikami w tym samym czasie.

## Literatura

- Bolanowski M., Paszkiewicz A. (2014): *Metody i środki zapewnienia dostępu do specjalizowanych zasobów laboratoryjnych*, „Edukacja – Technika – Informatyka” nr 5.
- Doglio F. (2015): *Pro REST API Development with Node.js*, Apress.  
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- Hyojoon K., Feamster N. (2013): *Improving Network Management with Software Defined Networking*, „Communications Magazine, IEEE” vol. 51, issue 2.
- Opnet Modeler, <http://www.riverbed.com/>.
- Switch Management Guide* (2015): Alcatel-Lucent.

## **Streszczenie**

W artykule przedstawiono metody i środki zarządzania oraz optymalizacji dostępu do zasobów laboratorium sieci komputerowych. Zaprezentowano aplikacje do automatyzacji zapisu, odtwarzania konfiguracji urządzeń i gromadzenia wyników oraz wskazano protokoły, które mogą być użyte w tym celu. Zaproponowana została również metoda automatyzacji zmian konfiguracyjnych uzależniona od bieżącej analizy parametrów pomiarowych.

**Słowa kluczowe:** sieci komputerowe, dostęp do zasobów laboratoryjnych, zarządzanie sieciami.

## **Methods and Means of Network Infrastructure Management in Complex Laboratory Environment**

### **Abstract**

The article presents the methods and means to manage and optimize access to a computer network laboratory resources. The applications to automate configuration saving and recovery process has been presented as well as the methods to collect the results. The authors gives the examples of protocols that can be used for these purpose. The proposed method can be also used to provide automatic configuration changes which depends on the current analysis of measurement parameters.

**Keywords:** computer network, access to laboratory resources, network management.