

## Metody badania wybranych usług dodanych w sieciach rozległych

S. CZECH

e-mail: [sczech@wat.edu.pl](mailto:sczech@wat.edu.pl)

Instytut Teleinformatyki i Automatyki  
Wydział Cybernetyki WAT  
ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

---

W publikacji przedstawiono wybrane usługi dodane wykorzystywane w sieciach rozległych, a także scharakteryzowano podstawowe typy architektur sieci, w których posiadają one zastosowanie. Omówiono również metody formalnego opisu wybranych usług dodanych na potrzeby ich badania oraz oceny jakości, a także zaprezentowano przykładowe wskaźniki liczbowe możliwe do wykorzystania dla systemów dostarczania treści. Zwrócono uwagę na techniki klasyfikacji ruchu w sieci wykorzystywane na etapie badania wybranych usług dodanych.

---

**Słowa kluczowe:** usługi dodane, sieci rozległe, sieci CDN, systemy PBM

### 1. Wprowadzenie

Nieustanny rozwój technologii i usług sieciowych świadczonych przez operatorów telekomunikacyjnych sprawia, że konieczne jest rozszerzanie proponowanych dla klientów rozwiązań np. przez oferowanie usług dodatkowych, tzw. usług dodanych (ang. *value-added services*), zwiększających lub modyfikujących formę lub treść informacji dostarczanych za pomocą usług standardowych.

Istotnym elementem, który zapoczątkował rozwój usług o wartości dodanej, było opracowanie przez ITU-T standardu sieci inteligentnych (ang. IN – *intelligent networks*) [16], a następnie jego rozbudowa i wydanie kolejnych wersji. Standard IN wykorzystywany jest do projektowania usług dodanych w sieciach telefonicznych, stanowiących (obok sieci komórkowych, sieci komputerowych czy też sieci kablowych) jeden z rodzajów sieci telekomunikacyjnych.

Rosnąca popularność sieci Internet skłania operatorów telekomunikacyjnych do budowania usług dodanych również w sieciach rozległych (ang. WAN – *wide area networks*) [15, 16], dla których przykładowymi usługami o wartości dodanej są telefonia internetowa, telewizja internetowa, dostarczanie treści czy też wykorzystywanie reguł do zarządzania siecią. W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości opracowano różnorodne metody badania usług, jednak ze względu na ich zróżnicowanie w publikacji szczególną uwagę zwrócono na usługi dostarczania treści oraz wykorzystania reguł do zarządzania siecią.

### 2. Wybrane usługi dodane w sieciach rozległych

#### 2.1. Dostarczanie treści

Sieci dostarczania treści (ang. CDN – *content delivery network*) pozwalają zwiększyć jakość usług standardowych świadczonych przez operatora poprzez rozmieszczanie określonych zasobów w sieci w taki sposób, by w większości przypadków czas ich transmisji do abonenta był krótszy niż w przypadku pobierania danych z źródłowych serwerów. Poszczególne elementy sieci CDN, które przechowują zasoby, określane w dalszej publikacji przy pomocy pojęcia *węzła sieci* CDN, rozmieszczone są w różnych lokalizacjach fizycznych. Wydajność działania sieci CDN zależna jest więc nie tylko od liczby węzłów, lecz także od sposobu rozmieszczenia samych węzłów oraz klientów korzystających z usługi. Wykorzystanie sieci CDN przez operatorów pozwala zmniejszyć ruch w sieci szkieletowej operatora, zwiększając tym samym jakość świadczonych usług.

W ogólnej architekturze sieci CDN [9] wyróżniono sześć podstawowych komponentów sieci (rys. 1):

- serwery DNS (ang. *DNS servers*) – podstawową funkcją serwerów DNS jest umożliwienie klientom identyfikowania urządzeń w sieci przy użyciu nazw zamiast adresów IP. W przypadku, gdy nazwa wybrana przez klienta określa zasób, który powinien znajdować się w sieci CDN, dodatkowym zadaniem, za które są od-

powiedzialne serwery DNS, jest odwzorowanie nazw węzłów sieci CDN na ich identyfikatory, których postać zależna jest od przyjętego w sieci CDN rozwiązania i które są wykorzystywane w dalszej części procesu dostarczania treści

- węzły sieci CDN (ang. *surrogates*) – odpowiedzialne za przechowywanie zasobów dostarczanych do klienta. Ze względu na rodzaj przechowywanych danych, możliwy jest podział węzłów na przechowujące treści statyczne (np. strony HTML) oraz węzły, na których uruchomione zostały dedykowane aplikacje pozwalające dostarczać klientom, oprócz danych statycznych, również treści generowane dynamicznie
- komponent odpowiedzialny za wskazanie węzła sieci, który powinien zrealizować żądanie abonenta (ang. *redirector*) – na podstawie identyfikatora węzła CDN, otrzymanego na etapie odwzorowania przez serwer DNS nazwy wskazanej przez klienta, a także adresu IP abonenta realizuje zadanie wskazania adresu IP węzła CDN, który w możliwie najkrótszym czasie dostarczy żądany zasób do klienta
- element monitorujący sieć CDN (np. przy pomocy protokołu SNMP) (ang. *SNMP monitor*) – odpowiedzialny nie tylko za monitorowanie węzłów CDN przez zbieranie danych dotyczących wykorzystania pamięci operacyjnej, procesora, dysków czy też interfejsów sieciowych wybranych węzłów, lecz również monitorowanie żądań klientów, którzy pobierają zasoby z węzłów CDN
- komponent odpowiedzialny za zarządzanie wszystkimi elementami składowymi sieci CDN (ang. *CDN manager*) – wykorzystywany do ustawienia parametrów konfiguracyjnych każdego z elementów sieci CDN, jak również definiowania reguł dotyczących umieszczania zasobów na poszczególnych węzłach w sieci, ich usuwania, kontrolowania czasu przechowywania danych czy też przepustowości łączy sieciowych pomiędzy poszczególnymi elementami sieci CDN.

Na potrzeby działania sieci CDN i jej poszczególnych elementów wykorzystywane są bazy danych [9]:

- lokalne bazy, znajdujące się na każdym z węzłów, do przechowywania informacji o zasobach oraz ich dostępności na każdym z węzłów sieci
- baza zawierająca informację o lokalizacji fizycznej oraz obciążeniu każdego

z węzłów, stosowana przez komponent wskazujący węzeł sieci odpowiedzialny za realizację (obsługę) żądania abonenta

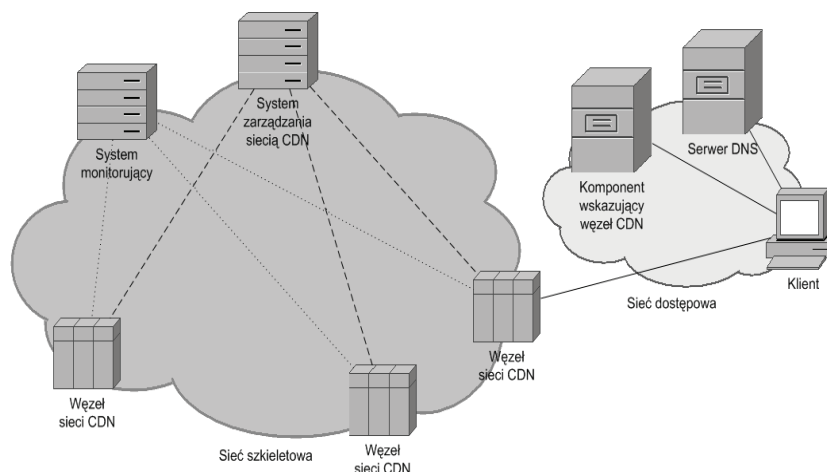
- baza przechowująca wartości takich wskaźników jak np. obciążenie procesora, wykorzystywana przez element monitorujący sieć CDN.

Przedstawiona ogólna (konwencjonalna) architektura sieci CDN wykorzystywana jest zarówno w rozwiązaniach akademickich, jak i systemach komercyjnych, np. w sieci *Akamai*<sup>1</sup>, stanowiła ona również podstawę dla nowych modeli [10]:

- współpracujących sieci CDN (ang. CCDN – *Collaborative CDN*) – w sieciach CCDN istotnym celem jest zwiększenie jakości świadczonych usług przez wzrost dostępności treści znajdujących się w różnych sieciach CDN
- adaptacyjnych sieci CDN (ang. ACDN – *Adaptive CDN*) – cechą charakterystyczną sieci ACDN jest wykorzystanie algorytmu COCOA (ang. *Cooperative Cost Optimization Algorithm*) do odpowiedniego rozmieszczenia zasobów (treści) w poszczególnych węzłach sieci
- rozproszonych sieci (ang. DCDN – *distributed CDN*) – istotną własnością sieci DCDN jest hybrydowa architektura, oparta na modelu klient-serwer (abonent wysyłający żądanie dostarczenia zasobu) oraz modelu „każdy z każdym” (ang. *peer to peer*) (współpracujące ze sobą węzły sieci DCDN).

W sieciach CDN, w których istotnymi zasobami dostarczonymi do abonentów są dane multimedialne (transmitowane na żywo lub na żądanie), węzły sieci CDN odpowiedzialne są nie tylko za komunikację z serwerami źródłowymi, lecz także dostarczanie dodatkowych funkcji realizowanych na transmitowanym strumieniu danych multimedialnych (np. cofnięcie transmisji danych o 10 s wstecz). W takim przypadku węzły są określane pojęciem *portali* [3] i stanowią elementy architektury PRISM (ang. *Portal Infrastructure for Streaming Media*), wykorzystywanej do dostarczania treści multimedialnych wysokiej jakości.

<sup>1</sup> Sieć *Akamai* jest jedną z największych i najstarszych komercyjnych sieci CDN, na temat której szczegółowe informacje można uzyskać pod adresem <http://www.akamai.com> (czerwiec 2010).



Rys. 1. Podstawowe elementy sieci CDN

Każdą z wymienionych architektur sieci CDN można charakteryzować na dwóch płaszczyznach – danych oraz zarządzania siecią [3, 9]. Z pierwszą z nich ściśle związane są mechanizmy:

- dystrybucji zasobów (treści) z serwerów źródłowych do poszczególnych węzłów sieci
- dostarczania treści z węzłów do klientów sieci CDN.

Na poziomie płaszczyzny zarządzania można wyróżnić mechanizmy:

- zarządzania zasobami przechowywanymi przez węzły
- wykrywania zasobów dostępnych na poszczególnych węzłach
- przekierowania żądań klientów do odpowiednich węzłów.

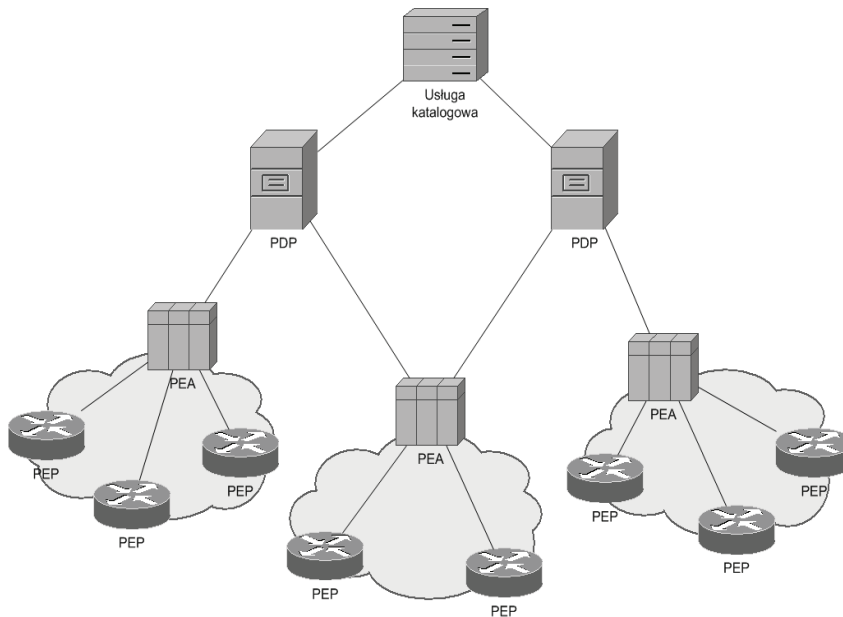
Poza wymienionymi elementami istotny jest również schemat nazywania zasobów dostarczanych przez sieć CDN. W zależności od architektury rozwiązania, możliwe jest identyfikowanie treści poprzez ich nazwę (ang. URN – *uniform resource name*) lub ich lokalizację (ang. URL – *uniform resource location*). W przypadku architektury PRISM [3] URN składa się z części identyfikującej nazwę kanału (np. transmisji na żywo) oraz specyfikacji zasobu, która umożliwia np. określenie, jakim fragmentem transmisji na żądanie jest zainteresowany klient (określając czas początkowy oraz końcowy dostarczanego zasobu multimedialnego). Odzworowanie nazw URN na URL jest realizowane przy pomocy protokołu UMP (ang. UMP – *uniform resource identifier mapping protocol*), który w ogólnym przypadku może zostać wykorzystany do budowania odwzorowań pomiędzy różnymi rodzajami identyfikatorów (ang. URI – *uniform resource identifier*).

## 2.2. Zarządzanie siecią za pomocą reguł

W celu zapewnienia bezpiecznego i niezawodnego dostępu do oferowanych przez operatorów usług, możliwe jest wykorzystanie do zarządzania siecią reguł (ang. PBM – *policy-based management*), które definiują warunki działania wybranych elementów w sieci np. dla urządzeń z określonej podsieci adresów IP przykładowa reguła może odmówić dostępu do wybranych zasobów. Każda z definiowanych przez administratora sieci reguł obejmuje warunki, które są weryfikowane przez odpowiedni system zarządzający regułami, a także akcji, które są realizowane w przypadku spełnienia zdefiniowanych warunków. Definiowanie reguł poprzez określenie warunków i odpowiadających im akcji jest jednym ze sposobów opisu reguł. Inną wykorzystywaną metodą jest zastosowanie języka PPEL (ang. *Privacy Preferences Expression Language*) lub XACML (ang. *Extensible Access Control Markup Language*).

Zarządzanie siecią przy pomocy reguł wpływa nie tylko na wzrost poziomu bezpieczeństwa, lecz również na jakość świadczonych usług oraz przepustowość wykorzystywaną przez abonentów. Niezależnie jednak od rodzaju zadań realizowanych przy pomocy systemów PBM, wyróżnić można następujące ich elementy składowe [4] (rys. 2):

- usługa katalogowa (ang. *directory service*) – wykorzystywana do przechowywania definicji wszystkich reguł (w praktyce często używanym standardem jest usługa katalogowa LDAP)
- PDP (ang. *policy decision point*) – element określany w niektórych publikacjach jako PS (ang. *policy server*) i odpowiedzialny



Rys. 2. Architektura UPM, stanowiąca rozwinięcie standardu systemów PBM

za wprowadzanie reguł na urządzeniach PEP

- PEP (*ang. policy enforcement point*) – urządzenia, na których wdrażane są reguły definiowane poprzez PDP (w praktyce są to routery brzegowe).

Komunikacja pomiędzy PDP a urządzeniami PEP jest realizowana przy pomocy takich protokołów jak: COPS (*ang. common open policy service*), jego rozszerzenia COPS-PR, DIAMETER lub SNMP. Pomimo tego, że w praktyce najczęściej używanym rozwiązaniem jest COPS, to jednak ze względu na jego różnorodną implementację przez różnych dostawców sprzętu występują problemy z prawidłowym działaniem systemów PBM w środowiskach heterogenicznych pod względem sprzętowym, co zapoczątkowało opracowanie architektury UPM (*ang. unified policy-based management*) [4] stanowiącej rozwinięcie standardu opracowanego przez IETF. Cechą charakterystyczną architektury UPM, jest wprowadzenie dodatkowego elementu systemu PBM, tj. PEA (*ang. policy enforcement agent*), funkcjonującego pomiędzy PDP a PEP oraz odpowiedzialnego za:

- dostarczanie komunikatów przesyłanych od PDP do PEP (i odwrotnie)
- tłumaczenie (konwersję) komunikatów przesyłanych pomiędzy PDP a PEP
- informowanie urządzeń PEP o wprowadzeniu (usunięciu) dodatkowych komponentów PEA.

Zakładając, że PDP używa określonej wersji protokołu COPS, można wyróżnić trzy

przypadki współpracy PDP z PEA oraz PEA z PEP:

- w przypadku stosowania przez PDP oraz PEP identycznej wersji protokołu COPS, przesyłanie komunikatów pomiędzy PDP a PEP realizowane jest bez dodatkowej konwersji
- w przypadku wykorzystywania innej wersji COPS przez PEP wprowadzana jest konwersja komunikatów wysyłanych przez PDP do odpowiedniej wersji stosowanej przez PEP i odwrotnie
- w przypadku stosowania przez PEP całkowicie innego protokołu (np. DIAMETER), wprowadzany jest mechanizm wdrażania reguł bezpieczeństwa poprzez wykonywanie odpowiednich komend przy zastosowaniu CLI (*ang. command line interface*) oraz monitorowania wyniku ich realizacji przy pomocy SNMP (*ang. simple network management protocol*).

Systemy PBM mogą zostać wykorzystane w przedstawionych sieciach CDN, które wymagają zastosowania odpowiednich rozwiązań wpływających na:

- jakość świadczonej usługi poprzez wprowadzenie odpowiednich reguł klasyfikujących ruch sieciowy na urządzeniach wykorzystywanych do dostarczania zasobów do abonentów
- przekierowywania klientów do odpowiednich węzłów sieci CDN.

### 3. Badanie wybranych usług dodanych

#### 3.1. Metody badania jakości złożonych systemów rozproszonych

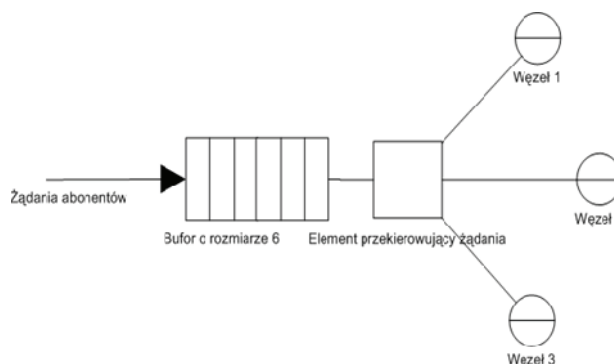
Ograniczenie wykorzystywanych przez operatorów telekomunikacyjnych zasobów, w szczególności w zakresie przepustowości łączy sieciowych, stanowi jeden z najważniejszych powodów wdrażania takich usług dodanych jak dostarczanie treści, bowiem ich zastosowanie przynosi korzyści zarówno klientom (mającym możliwość pobrania zasobów w krótszym czasie), jak i dostawcom usługi (poprzez ograniczenie ruchu w sieci szkieletowej, w szczególności na łączach międzynarodowych wykorzystywanych przez operatora). Mając na uwadze zapewnienie odpowiedniego poziomu jakości świadczonej usługi, istotne jest badanie takich cech jak występowanie możliwych opóźnień obsługi abonentów przez system CDN czy odrzucanie żądań klientów przez komponenty przekierowujące abonentów do odpowiednich węzłów sieci CDN. Wyznaczenie wartości liczbowych wskaźników charakteryzujących wymienione cechy systemu możliwe jest poprzez opracowanie formalnych modeli, następnie zdefiniowanie wskaźników dla odpowiednich cech oraz wyznaczenie ich wartości. Ze względu na złożony charakter przedstawionego obszaru zainteresowań wybranych usług dodanych, a także rozproszenie (fizyczne i funkcjonalne) poszczególnych elementów, możliwe jest zastosowanie technik wykorzystywanych do oceny jakości systemów rozproszonych [6, 8] takich jak:

- sieci kolejkowe (ang. *queueing network*)
- kolejkowe sieci Petriego (ang. *queueing Petri net*).

W zależności od potrzeb i celu prowadzonych badań, wyróżnić możemy dwa przypadki: pierwszy ściśle związany z analizą działania systemu pod kątem sprzętowym, drugi – programowym. W pierwszym przypadku wykorzystywane są konwencjonalne sieci kolejkowe, zaś w drugim – kolejkowe sieci Petriego, których istotną wadą jest trudność ich analizy, a także definiowania wskaźników jakości oraz wyznaczania ich wartości. W takim przypadku dla tak opracowanego modelu konieczne jest wprowadzanie dodatkowych uproszczeń lub podział analizowanego systemu rozproszonego na poszczególne elementy składowe i przeprowadzenie analizy każdego z podsystemów oddzielnie.

#### 3.2. Ocena jakości usługi dostarczania treści

Na potrzeby określenia wskaźników charakteryzujących wybrane atrybuty jakości usługi dostarczania treści możliwe jest wykorzystanie systemów kolejkowych, np. w sytuacji, gdy czas napływania kolejnych żądań abonentów oraz czas ich obsługi charakteryzowany byłby przy pomocy rozkładu wykładniczego, system dostarczania treści można opisać i analizować jako system kolejkowy  $M/M/c/k$  (rys. 3).



Rys. 3. System kolejkowy  $M/M/c/k$  (dla  $c = 3, k = 6$ )

Zgodnie z notacją Kendalla [1]  $M$  oznacza rozkład wykładniczy odpowiednio dla czasu napływania żądań oraz ich obsługi, natomiast  $c$  – liczbę węzłów CDN,  $k$  – wielkość bufora (kolejki) elementu przekierowującego żądania klientów do węzłów. Na podstawie znajomości każdego z wymienionych parametrów możliwe jest określenie następujących wskaźników [10, 11]:

- czas obsługi (ozn.  $S$ ), określane również jako czas transmisji (dostarczania treści):

$$S = \frac{R}{U}, \quad (1)$$

gdzie:  $R$  oznacza wielkość żadanego zasobu, natomiast  $U$  prędkość wysyłania (dostarczania) treści przez węzeł do klienta

- współczynnik obsługi (ozn.  $\mu$ ):

$$\mu = \frac{1}{S} \quad (2)$$

wykorzystanie usługi (ozn.  $\rho$ ), obliczane dla systemu kolejkowego  $M/M/c/k$  zgodnie z wzorem:

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu}, \quad (3)$$

gdzie:  $\lambda$  oznacza współczynnik charakteryzujący liczbę żądań (zapytań) klientów wysyłanych do węzłów sieci CDN

- efektywny współczynnik charakteryzujący liczbę żądań klientów (ozn.  $\lambda_e$ ):

$$\lambda_e = \lambda(1 - P_k), \quad (4)$$

gdzie:  $P_k$  oznacza prawdopodobieństwo otrzymania przez system  $k$  żądań

- prawdopodobieństwo nieotrzymania żadnego żądania (ozn.  $P_0$ ):

$$P_0 = \left[ \sum_{i=0}^{c-1} \frac{(\lambda_n / \mu)^i}{i!} + \frac{(\lambda / \mu)^c}{c!} \frac{1 - \rho^{k-c+1}}{1 - \rho} \right]^{-1} \quad (5)$$

- średnia liczba żądań w kolejce (ozn.  $L_q$ ):

$$L_q = \sum_{n=c}^k (n - c) P_n \quad (6)$$

- średnia liczba żądań w systemie (ozn.  $L$ ):

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu} (1 - P_k) \quad (7)$$

- całkowite opóźnienie systemu (ozn.  $W$ ):

$$W = \frac{L}{\lambda_e} \quad (8)$$

- współczynnik odrzucenia żądań (ozn.  $R$ ):

$$R = \lambda P_k. \quad (9)$$

Przykładowo system dostarczania treści, w którym element przekierowujący żądania klientów posiada możliwość obsługi abonentów przez 2 węzły oraz bufor o rozmiarze 2, można analizować jako system kolejkowy  $M/M/2/2$ , dla którego współczynnik obsługi wyniesie  $\mu/2$ , natomiast w przypadku możliwości obsługi żądań przez 3 węzły oraz wykorzystania bufora o rozmiarze 3, system dostarczania treści można opisać jako  $M/M/3/3$ , dla którego współczynnik obsługi wyniesie  $\mu/3$  (przy założeniu, że  $\mu$  oznacza współczynnik obsługi w systemie kolejkowym  $M/M/1/1$ ).

Na podstawie przedstawionego systemu kolejkowego oraz jego analizy można zauważyć, że:

- najwyższa jakość obsługi żądań klientów sieci CDN ma miejsce w przypadku, gdy system dostarczania treści można opisać jako  $M/M/c/c$
- liczbę żądań nieodebranych przez element przekierowujący można zredukować, zwiększając rozmiar bufora, czyli wartość  $k$  w systemie kolejkowym  $M/M/c/k$ .

Niezależnie od wybranego na potrzeby badania świadczonej usługi modelu matematycznego, z perspektywy dostawcy usługi istotne są poniższe czynniki uwzględniane w ocenie jakości usługi dostarczania treści [13]:

- zmniejszenie przepustowości łączy prowadzących do źródłowych serwerów dostawcy treści
- wprowadzane przez poszczególne elementy sieci CDN opóźnienie dostarczenia treści do abonenta
- wykorzystanie każdego z węzłów, obliczane według wzoru:

$$V_i = \frac{V_{ib}}{V_{ia}}, \quad (10)$$

gdzie:  $V_{ib}$  oznacza czas dostarczania zasobów do klientów przez węzeł  $i$ , natomiast  $V_{ia}$  – całkowity czas pracy węzła  $i$

- liczba niezrealizowanych żądań abonentów, wyznaczana na potrzeby określenia niezawodności usługi.

Dla każdej z przedstawionych architektur sieci CDN istotnym czynnikiem mającym znaczący wpływ na ocenę jakości usługi dostarczania treści jest rodzaj zasobów dostawcy treści (typy plików czy też stosowane protokoły transmisji danych multimedialnych), a także ich rozmieszczenie w różnych lokalizacjach fizycznych, np. niektórzy z dostawców usługi wspierają wybrane protokoły transmisji danych multimedialnych czy też możliwość dostarczania jedynie treści statycznych w wybranych lokalizacjach (regionach) fizycznych [13].

### 3.3. Identyfikacja ruchu w sieciach rozległych

Ocena jakości świadczonych usług dodanych wymaga analizy ruchu w sieci pomiędzy poszczególnymi elementami badanego rozwiązania, na potrzeby której konieczne jest zebranie danych, tj. przesyłanych pakietów sieciowych, przy wykorzystaniu takich technik jak [2, 12]:

- identyfikacja rodzaju ruchu sieciowego na podstawie portów źródłowych oraz docelowych transportowanych pakietów sieciowych – metoda ta wykorzystuje zdefiniowane przez organizację IANA (ang. *Internet Assigned Numbers Authority*) odwzorowania numerów portów na rodzaje aplikacji przez nich używanych
- analiza danych przesyłanych pakietów i ich porównanie ze zdefiniowanymi dla poszczególnych aplikacji sygnaturami
- zastosowanie metody statystycznej, wykorzystującej takie wskaźniki jak np. rozmiar przesyłanych pakietów
- wykorzystanie sieci neuronowych oraz naiwnego klasyfikatora Bayesa.

Wybór odpowiedniej metody klasyfikacji ruchu sieci rozległej na potrzeby zebrania danych wykorzystywanych w procesie badania usług dodanych zależy od wielu aspektów. W przypadku testowania sieci CDN, w której poszczególne węzły dostarczają jedynie statycznych treści HTTP, metoda oparta na sprawdzaniu portów źródłowych i docelowych nie znajduje zastosowania.

Z kolei wykorzystanie techniki opartej na porównywaniu przesyłanych pakietów ze zdefiniowanymi sygnaturami czy też metody statystycznej, w której stosowanym wskaźnikiem jest rozmiar przesyłanych danych, jest w przypadku badania sieci CDN bardziej efektywne.

#### 4. Podsumowanie

Rozwój usług dodanych wykorzystywanych w sieciach rozległych wymaga zastosowania odpowiednich metod ich badania oraz oceny. W publikacji scharakteryzowano usługi dostarczania treści oraz zarządzania siecią przy pomocy reguł, poszczególne elementy składowe wybranych usług oraz zastosowane mechanizmy realizacji określonych zadań. Zwrócono również uwagę na metody badania wybranych usług, a także przedstawiono niektóre ze wskaźników liczbowych dla sieci CDN, opisywanych przy pomocy systemów kolejkowych. Wymienione zostały również sposoby wykrywania ruchu w sieci, które mogą zostać wykorzystane na etapie zbierania danych na potrzeby dalszej oceny jakości usługi. Zebrane oraz przedstawione informacje stanowiąc będą podstawę badań poświęconych metodom badania jakości wybranych usług dodanych, które w dalszej perspektywie zostaną zastosowane na potrzeby opracowania modelu rozproszonego systemu do wykrywania oraz badania wybranych usług dodanych w sieciach rozległych.

#### 5. Bibliografia

- [1] Ivo Adan, Jacques Resing, *Queueing Theory*, Department of Mathematics and Computing Science Eindhoven University of Technology, February 28, 2002.
- [2] T. Auld, A.W. Moore, *Bayesian Neural Networks for Internet Traffic Classification*, IEEE, 2006.
- [3] C.D. Cranor, M. Green, C. Kalmak, D. Shur, S. Sibal, J.E. Van der Merwe, *Enhanced Streaming Services in a Content Distribution Network*, IEEE Internet Computing, 2001.
- [4] K.L. Eddie Law, *Scalable Design of a Policy-Based Management System and its Performance*, University of Toronto, IEEE Communications Magazine, 2003.
- [5] M. Kawarasaki, R. Atarashi, *Policy Based Content Delivery Management Using Metadata*, International Symposium on Applications and the Internet Workshops 2004 (SAINTW'04).
- [6] S. Kounev, *Performance Modeling and Evaluation of Distributed Component-Based Systems Using Queueing Petri Nets*, IEEE Computer Society, 2006.
- [7] B. Krishnamurthy, C. Wills, Y. Zhang, *On the Use and Performance of Content Distribution Networks*, ACM, 2001.
- [8] A. Luo, C. Lin, K. Wang, F. Ren, L. Miao, *Performance Modeling and Evaluation using Queueing Petri Nets in IMS*, Tsinghua University, Beijing, 2007.
- [9] B. Molina, V. Ruiz, I. Alonso C.E. Palau, J.C. Guerri, M. Esteve, *A Closer look at a Content Delivery Network implementation*, Communication Department, Polytechnic University of Valencia, 2004.
- [10] J. P. Mulerikkal, I. Khalil, *An architecture for Distributed Content Delivery Network*, ICON, 2007.
- [11] M. Pathan, R. Buyya, *Performance Models for Peering Content Delivery Networks*, University of Melbourne, ICON, 2008.
- [12] G. Szabo, I. Szabo, D. Orincsay, *Accurate Traffic Classification*, TrafficLab, Ericsson Research, Budapest, Hungary, 2007.
- [13] A. Vakali, G. Pallis, *Content Delivery Networks: Status and Trends*, IEEE Internet Computing, 2003.
- [14] A. Vallejo, A. Zaballos, J. Abella, J.M. Selga, C. Duz, *Performance of a Policy-Based Management System in IPv6 Networks using COPS-PR*, Ingeniería i Arquitectura La Salle, Universitat Ramon Llull, Barcelona, Spain, 2007.
- [15] Thierry Van de Velde, *Value-Added Services for Next Generation Networks*, Taylor & Francis Group, 2008.
- [16] Johan Zuidweg, *Next Generation Intelligent Networks*, Artech House, 2002.

## **Test methods for selected value-added services in wide area networks**

S. CZECH

In this paper selected value-added services used in wide area networks are characterized, as well as there are also discussed methods for formal description of the selected value-added services to their testing and quality evaluation. Additionally there are presented examples of numerical indicators for content delivery systems and techniques of network traffic classification, which might be used at the stage of testing selected value-added services.

**Keywords:** value-added services, wide area networks, CDN, PBM