

Internet Przyszłości – nowa generacja sieci telekomunikacyjnych

Wojciech Burakowski

Obecna sieć internet opiera się na stosie protokołów TCP/IP oraz dwóch głównych założeniach: na oferowaniu jednej klasy usług (tj. usługi *best effort*) oraz przewymiarowaniu sieci. Te założenia projektowe w istotny sposób ograniczają obecnie rozwój sieci internet, uniemożliwiając oferowanie usług wymagających przekazu informacji w czasie rzeczywistym. W artykule przedstawiono wyniki dotychczasowych prac ukierunkowanych na wprowadzenie jakości przekazu pakietów w sieci internet oraz przyjęte na dzień dzisiejszy główne założenia budowy sieci, nazwanej Internet Przyszłości.

sieci TCP/IP, architektura DiffServ, architektura NGN, sieci Internet Przyszłości

Wprowadzenie

Infrastruktura sieci telekomunikacyjnych podlega ciągłym zmianom, przy czym zmiany te są zarówno ewolucyjne, jak i rewolucyjne. Przykładem zmiany ewolucyjnej było wprowadzenie techniki NISDN (*Narrowband Integrated Service Digital Network*), która poszerzała funkcjonalność sieci telefonicznych o możliwości komutacji kanałów o różnych szybkościach bitowych ($n \times 64$ kbit/s) oraz wprowadzenie usługi przekazu pakietów. Z kolei, wprowadzenie sieci internet opartej na stosie protokołów TCP/IP (*Transport Control Protocol/Internet Protocol*) można uznać za przykład rewolucyjnego rozwoju infrastruktury telekomunikacyjnej. W porównaniu z sieciami z komutacją kanałów, w których główny nacisk jest położony na zestawianie, utrzymanie i rozłączanie fizycznych ścieżek, łączących w sieci urządzenia końcowe, w sieci TCP/IP z komutacją pakietów podstawą jest połączenie wirtualne lub tzw. bezpołączeniowy przekaz pakietów oraz przeniesienie „inteligencji” z sieci do urządzeń końcowych. W przypadku sieci TCP/IP kluczowym elementem jest protokół TCP, który jest umiejscowiony na zewnątrz sieci i ma mechanizmy do adaptacji szybkości generowania informacji do sieci do warunków ruchowych panujących w niej. W tym czasie, między techniką NISDN i techniką TCP/IP, w latach 90. pracowano nad techniką ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), która łączy właściwości komutacji kanałów, polegającej na zestawianiu połączeń oraz zarządzaniu sieciami, z właściwościami komutacji pakietów, opartej na przekazywaniu pakietów w sieci (w tym przypadku pakietów o stałej długości, zwanych komórkami). Obecnie, mimo wielu zalet techniki ATM, infrastruktura telekomunikacyjna sieci internet działa, wykorzystując technikę TCP/IP. Dlatego, w pierwszej dekadzie bieżącego wieku, główne prace dotyczące sieci TCP/IP skupiały się wokół poprawy funkcjonalności tej techniki i obejmowały takie zagadnienia, jak: zapewnienie jakości przekazu pakietów (*Quality of Service – QoS*), współpraca z innymi sieciami, zarządzanie siecią, wprowadzenie ochrony przekazu informacji, polepszenie działania protokołu TCP itd. Prace te były prowadzone w ramach licznych projektów międzynarodowych, projektów krajowych, organizacji standaryzacyjnych itp.

Jak już wspomniano, podstawą działania obecnej sieci internet jest stos protokołów TCP/IP. Ponadto, operatorzy sieci przyjęli dwa główne założenia:

- w sieci oferuje się jedną klasę usług, tj. usługę *best effort*;
- w miarę możliwości, zasoby sieci są przewymiarowane.

Wymienione założenia projektowe przyczyniły się do niebywałego rozwoju internetu, ponieważ jego użytkownicy korzystają głównie z aplikacji, które nie wymagają formalnych gwarancji na jakość przekazu pakietów. Aplikacje, takie jak przeglądanie stron www, *e-mail*, pobieranie zbiorów, są obecnie bardzo popularne i niezmiernie przydatne przy różnego rodzaju działalności. Wszegobecność internetu wiąże się z nowymi oczekiwaniami użytkowników, dotyczącymi m.in. bezpieczeństwa, gwarancji jakości przekazu, dostępu bezprzewodowego, niezawodności. Jednak dalszy rozwój infrastruktury internetu opartej na protokołach TCP/IP jest mało prawdopodobny. Sieć IP jest relatywnie prosta i dodanie nowej funkcjonalności czyni ją bardzo złożoną. Przykładowo, dodanie do sieci możliwości zapewnienia jakości przekazu pakietów wymaga wprowadzenia nowych złożonych architektur, takich jak *DiffServ* (*Differentiated Services*) oraz NGN (*Next Generation Network*). Ponadto, powszechnie stosowana wersja protokołu IP, tj. IPv4, musi być w niedalekiej przyszłości zastąpiona wersją IPv6, co z kolei wynika głównie z konieczności zwiększenia puli adresowej. Nasuwają się zasadnicze pytania: w jakim kierunku powinny pójść prace nad polepszeniem funkcjonalności infrastruktury internetu? Czy można polepszyć infrastrukturę sieci TCP/IP w sposób ewolucyjny, czy też należy poszukiwać nowych rozwiązań? Oba wymienione kierunki badawcze są obecnie tematem wielu projektów europejskich. Nowe rozwiązania sieciowe są nazywane terminem Internet Przyszłości (*Future Internet*).

W dalszej części artykułu przedstawiono architekturę *DiffServ*, która jest obecnie implementowana w kraju w ramach projektu *Zarządzanie ruchem w sieciach IP*, będącym częścią większego projektu PBZ-MNiSW-02-II/2007 *Usługi i sieci teleinformatyczne następnej generacji – aspekty techniczne, aplikacyjne i rynkowe*. Opisano wybraną implementację sieci opartej na architekturze NGN, nazwaną systemem EuQoS, opracowaną w ramach projektu 6 PR UE *EuQoS – End-to-End Quality of Service over Heterogeneous Networks* oraz zagadnienia, będące obecnie przedmiotem badań w ramach Internetu Przyszłości.

Architektura *DiffServ*

Jedną z ważnych propozycji zapewnienia jakości przekazu pakietów w sieci internet, opartej na protokołach TCP/IP jest architektura *DiffServ* [2], [4], [5], [12]. Prace dotyczące tej architektury rozpoczęły się blisko 10 lat temu i jej wstępne implementacje powstały m.in. w ramach projektów europejskich. Dobrym przykładem są wyniki europejskiego projektu AQUILA [3], [6], [9], [16], w którym opracowano i przetestowano prototypową implementację. Właśnie, na założeniach tego projektu, w którym uczestniczył Zespół Telekomunikacyjnych Technik Sieciowych [25] z Instytutu Telekomunikacji Politechniki Warszawskiej, jest obecnie implementowany w kraju prototypowy system wykorzystujący architekturę *DiffServ*, zwany roboczo systemem IP QoS [10], [13], [19], [20], [21], [22]. W projekcie tym bierze udział m.in. zespół pracowników Instytutu Łączności, który jest odpowiedzialny za utworzenie środowiska sieci laboratoryjnej i przetestowanie efektywności działania systemu.

Atrakcyjność architektury *DiffServ* wynika głównie z następujących powodów:

- wprowadza wiele klas usług CoS (*Class of Service*), różniących się między sobą gwarantowaną jakością przekazu pakietów i profilami obsługiwanego ruchu;
- klasy usług są dopasowane do konkretnych rodzajów aplikacji;
- obsługa *per* połączenie odbywa się jedynie w ruterach brzegowych, w ruterach szkieletowych zaś są rozróżniane jedynie strumienie ruchu, różniące się przynależnością do danej klasy;
- jest to architektura powszechnie uważana za wzorcową architekturę skalowalną.

Jakkolwiek architektura *DiffServ* została zdefiniowana dla pojedynczej domeny, prace nad jej rozszerzeniem na wiele domen były kontynuowane w wielu projektach europejskich, w tym m.in. w projekcie *EuQoS* [7], [8], [11], [17], [18].

Zapewnienie jakości przekazu pakietów w systemie IP QoS jest realizowane przez utrzymywanie w sieci pewnej liczby wyspecyfikowanych klas usług [10], [22]. Przez pojęcie klasa usługi należy rozumieć możliwości sieci do przekazu pakietów, zgodnie z przyjętymi *a priori* wymaganiami. W systemie IP QoS usługi te są dostępne w ramach jednej domeny i są ustanowione między każdą parą ruterów brzegowych sieci. Strumienie pakietów generowane podczas wybranej aplikacji wymagającej jakości przekazu są obsługiwane wyłącznie w ramach określonej klasy usługi. Klasy usług są uważane za ogólnie znane. System IP QoS dotyczy tylko jednej domeny, odwołuje się zatem do klas usług „koniec-koniec” [2], [8], które są zdefiniowane dla sieci wielodomenowych. W szczególności, w jednej domenie, można łączyć w jedną klasę usług ruch przesyłany w ramach wielu klas usług typu „koniec-koniec”.

**Tabl. 1. Mapowanie aplikacji i klas usług „koniec-koniec”
na klasy usług w systemie IP QoS, wymagania QoS oraz opis ruchu**

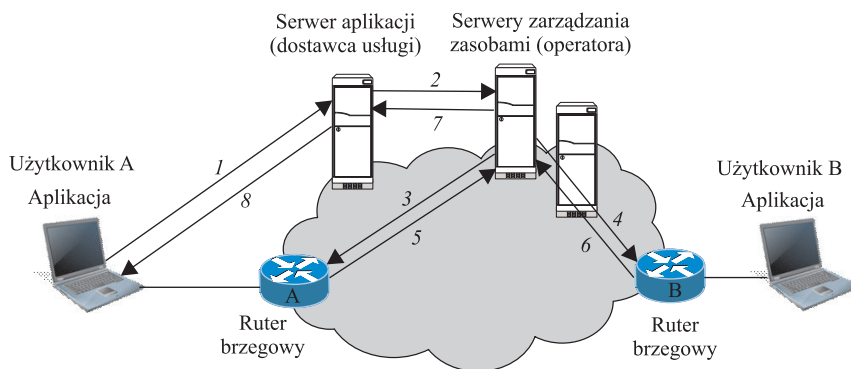
Typ aplikacji	Klasy usług „koniec-koniec”	Klasy usług w systemie IP QoS	Wymagania QoS			Opis ruchu
			IPLR	wartość średnia IPTD	IPDV	
<i>Voice over IP (VoIP)</i>	<i>Telephony</i>	<i>Real Time (RT)</i>	10^{-3}	100 ms	50 ms	(PBR, PBRT)*
<i>Interactive games</i>	<i>RT Interactive</i>					
<i>Video on Demand (VoD)</i>	<i>MM Streaming</i>	<i>MM Streaming</i>	10^{-3}	1s nie jest krytyczne	nie jest krytyczne	(PBR, PBRT)
<i>File Transfer Protocol (FTP)</i>	<i>High Throughput Data (HTD)</i>	<i>High Throughput Data (HTD)</i>	10^{-3}	1s nie jest krytyczne	nie jest krytyczne	(PBR, PBRT)
	<i>Standard (STD)</i>	<i>Standard (STD)</i>	nie jest krytyczne	nie jest krytyczne	nie jest krytyczne	brak

*) PBR – *Peak Bit Rate*, PBRT – *Peak Bit Rate Tolerance*: parametry opisu ruchu właściwe dla pojedynczego mechanizmu *token bucket* (maksymalna szybkość bitowa, tolerancja dla maksymalnej szybkości bitowej).

W tablicy 1 umieszczono listę planowanych do implementacji klas usług wraz z ich przeznaczeniem i wartościami gwarantowanych parametrów opisujących jakość przekazu pakietów. Są to: średni czas przekazu pakietów IPTD (*IP Packet Transfer Delay*), zmienność opóźnienia pakietów IPDV (*IP Packet Delay Variation*) i poziom strat pakietów IPLR (*IP Packet Loss Ratio*). Dokładniejsze omówienie przyjętych klas usług w systemie IP QoS przedstawiono w [22].

Poniżej zaprezentowano architekturę systemu IP QoS, w której wyróżniono dwa typy elementów sieciowych: routery brzegowe RB (*Border Router*) i routery szkieletowe CR (*Core Routers*). Urządzenia brzegowe służą do podłączania do sieci użytkowników końcowych i implementują pełny zestaw mechanizmów związanych z obsługą pojedynczych strumieni ruchu; przykładowo klasyfikatorów, czy też urządzeń monitorujących zgodność z deklarowanym profilem ruchowym wraz z markowaniem pakietów. Zgodnie z architekturą *DiffServ*, routery szkieletowe nie rozróżniają pojedynczych podstrumieni ruchu (*microflow*), operując jedynie na niewielkiej liczbie, w tym przypadku czterech, zdefiniowanych klasach usług. Klasa usługi obejmuje zagregowany strumień pakietów (*macroflow*), łącząc w sobie wiele podstrumieni. Pakiety przynależne danej klasie ruchu podlegają takim samym regułom obsługi w węźle sieci (*Per Hop Behavior* – PHB).

Proces zestawiania połączeń w sieci IP QoS przedstawiono na rys. 1. W celu zestawienia połączenia w sieci, użytkownik wysyła swoje żądanie zestawienia połączenia (wiadomość 1 na rys. 1), które jest obsługiwane przez serwer aplikacji. Żądanie to jest następnie przesyłane do serwera odpowiedzialnego za zarządzanie zasobami w sieci (wiadomość 2), który sprawdza dostępność zasobów sieciowych i – jeżeli są one dostępne – przesyła odpowiednie wiadomości do routerów brzegowych (wiadomości 3 i 4) do ustawienia mechanizmów PHB (klasyfikator, urządzenie monitorujące). Po otrzymaniu pozytywnych potwierdzeń (wiadomości 5 i 6), serwer ten następnie odpowiada pozytywnie do serwera aplikacji (wiadomość 7), a ten z kolei zawiadamia użytkownika o rezerwacji zasobów i możliwości rozpoczęcia przekazu danych (wiadomość 8). Warto przypomnieć, że istotą architektury *DiffServ* jest to, że jedynie w routerach brzegowych są dokonywane operacje *per pojedyncze połączenie*, natomiast w routerach szkieletowych – operacje *per klasa*.

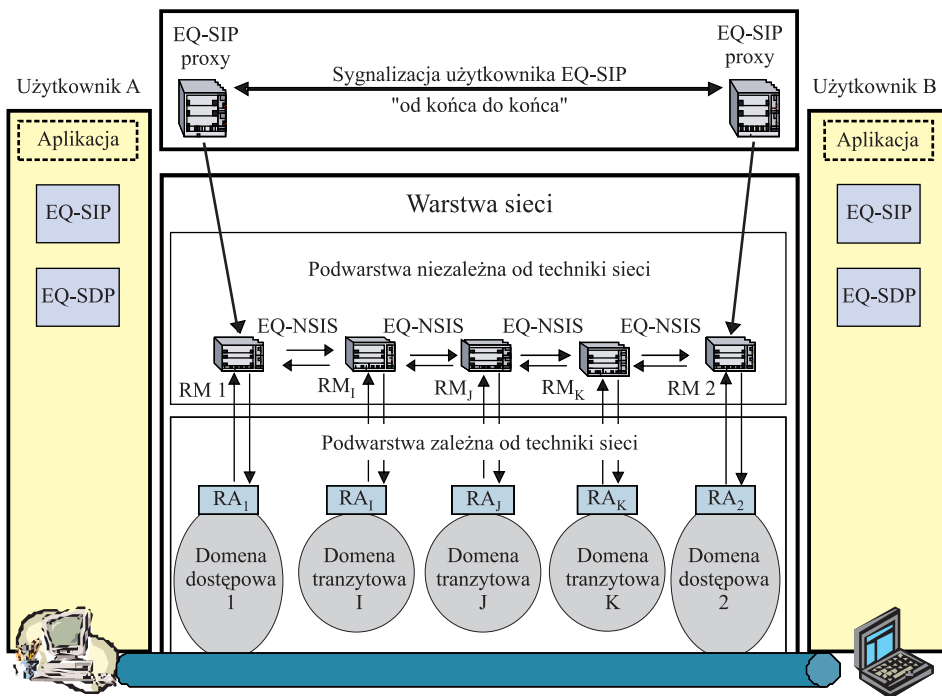


Rys. 1. Scenariusz obsługi połączenia w systemie IP QoS

Jak wspomniano, system IP QoS jest pierwszym implementowanym w Polsce systemem, zapewniającym jakość przekazu pakietów. Planuje się, że – po przetestowaniu w laboratorium Instytutu Łączności – system ten będzie demonstrowany operatorom sieci krajowych. Ważnym elementem systemu są aplikacje, od których wymaga się, aby były zdolne wysłać swoje żądanie zestawienia połączenia do sieci. Aplikacje takie są nazywane aplikacjami świadomymi istnienia w sieci różnych klas usług (*QoS Aware Applications*). W projekcie zakłada się, że dostępne aplikacje komercyjnie będą wzbogacone o tę funkcjonalność.

Architektura NGN

Zasadniczą zaletą architektury NGN jest wprowadzenie nowej funkcjonalności, która umożliwia rezerwację zasobów w wielodomenowej sieci internet dla wybranych strumieni ruchu. W efekcie, sieci NGN powinny być zdolne do utrzymania połączeń „koniec-koniec”, które zapewniają jakość przekazu pakietów. Przykładem implementacji architektury NGN jest system EuQoS [7], [8], [11], [17], [18], który oferuje zróżnicowane klasy usług „od końca do końca”, tj. od użytkownika do użytkownika. System EuQoS powstał w ramach projektu 6 PR UE, w którym uczestniczył Zespół Telekomunikacyjnych Technik Sieciowych [25] z Instytutu Telekomunikacji Politechniki Warszawskiej. W systemie EuQoS przyjęto wielodomenową strukturę sieci internet, z rozróżnieniem na domeny dostępne i tranzytowe. Domenami dostępowymi może być jedna z obecnie dostępnych sieci, tj. sieć WiFi (*Wireless Fidelity*), xDSL (*xDigital Subscriber Line*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), LAN/Ethernet (*Local Area Network/Ethernet*), czy też sieć satelitarna, natomiast domenami tranzytowymi są sieci IP. Założono, że system EuQoS powinien wspierać przekaz informacji generowanych przez reprezentatywne obecnie aplikacje, tj. telefonię internetową, wideokonferencję, wideo na żądanie, usługi medyczne, telewizję internetową, gry interaktywne itd.



Rys. 2. Architektura systemu EuQoS

Ogólny schemat architektury systemu EuQoS przedstawiono na rys. 2. Są w niej dwie podstawowe części, dotyczące strony użytkownika i strony sieci. Zakłada się, że użytkownik komunikuje się z siecią z zastosowaniem protokołu, będącego wzbogaconą wersją protokołu SIP (*Session Initialization Protocol*). W porównaniu z wersją standardową, protokół EQ-SIP (*Enhanced version SIP*) umożliwia

przekaz żądania zestawienia połączenia z określeniem wymagań dotyczących jakości przekazu i żądanych zasobów w sieci. Żądanie to jest odbierane przez urządzenie SIP-proxy i jest przekazywane do podobnego urządzenia, do którego jest zarejestrowany wywołujący użytkownik. Po uzgodnieniu warunków połączenia, przykładowo dla aplikacji VoIP po uzgodnieniu typu kodeka, żądanie zestawienia połączenia jest przekazywane sieci. W warstwie sieciowej są rozróżniane dwie zasadnicze podwarstwy. Wyższa z tych warstw jest niezależna od użytej w danej domenie techniki sieciowej i jej funkcjonalność obejmuje obsługę oraz przekaz sygnalizacji i realizację funkcji związanych z wymiarowaniem łączy między domenami (uzgodnień między operatorami). Druga, niższa warstwa realizuje funkcje rezerwacji zasobów i ustawienia mechanizmów właściwych dla danej techniki sieciowej.

W systemie EuQoS wprowadzono nowe urządzenia do sieci. Do realizacji wyższej warstwy sieciowej wprowadzono urządzenie RM (*Resource Manager*), które realizuje funkcje węzła sygnalizacyjnego, czyli odbiera żądania zestawienia połączenia, sprawdza, czy takie połączenie może być zrealizowane i – jeżeli to jest możliwe – wówczas wysyła żądanie rezerwacji zasobów do niższej warstwy. Urządzenie RM ma informację o domenie – odnośnie do jej topologii, routingu, dostępnych zasobów itp. Informacje te są zbierane w bazie danych. Do realizacji warstwy niższej wprowadzono urządzenie RA (*Resource Allocator*), którego zadaniem jest sprawdzenie dostępności zasobów na poszczególnych łączach w domenie i na łączach międzydomenowych. W zależności od użytej techniki sieciowej, np. WiFi czy też UMTS, rozwiązania RA są różne.

Aby zrealizować system EuQoS, konieczne było wyspecyfikowanie i zaimplementowanie rozszerzonych wersji takich protokołów, jak: EQ-SIP, EQ-BGP (*Enhanced Border Gateway Protocol*), EQ-NSIS (*Enhanced Next Steps in Signaling*) i COPS (*Common Open Policy Service Protocol*). Jak wspomniano, protokół EQ-SIP jest przeznaczony do sygnalizacji użytkownik-sieć. Częścią protokołu EQ-SIP jest protokół EQ-SDP (*Enhanced Session Description Protocol*), odpowiedzialny za specyfikację żądania wysyłanego do sieci. Protokół EQ-BGP realizuje funkcję ustanowienia ścieżek między domenami końcowymi. Ścieżki te są zestawiane dla każdej z klas usług po uwzględnieniu wymagań dotyczących jakości przekazu. Ustawia on także tablice routingowe dla protokołu BGP, który jest obecnie zaimplementowany w ruterach komercyjnych. Protokół EQ-NSIS realizuje komunikację między urządzeniami RM, natomiast protokół COPS – komunikację między urządzeniami RM i RA.

System EuQoS jest pewną prototypową implementacją architektury NGN. Zakłada się, że architektury NGN zostaną wdrożone do sieci w połowie przyszłej dekady. Obecnie, w wielu krajach trwają intensywne prace implementacyjne i testowe [1]. W Polsce takich prac się nie prowadzi.

Internet Przyszłości

Terminem Internet Przyszłości lub nowa generacja sieci (*New Generation Network*) określa się nowe rozwiązania sieciowe, których działanie nie opiera się na zastosowaniu protokołów TCP/IP, w tym IPv6. Oczekuje się, że prowadzone obecnie prace w zakresie Internetu Przyszłości będą miały wpływ na rynek w latach 2015–2020.

Powszechnie uważa się i ma to jednoznaczny wyraz w założeniach 7. Programu Ramowego UE w ramach *Technologii Informacyjnych i Komunikacyjnych (ICT – Information and Communication Technologies)*, że dalszy rozwój internetu opierającego się na protokołach IP nie jest możliwy. Wynika to głównie z natury protokołu IP, w którym są istotne ograniczenia w sposobach przekazu danych i adresacji. Przykładowo, dla zapewnienia jakości i różnicowania przekazu pakietów w sieciach IP,

co jest wymagane dla rynku aplikacji, opracowano architekturę *DiffServ*, która z kolei wymaga, m.in., wprowadzenia systemu sygnalizacji i rezerwacji zasobów. Niestety, wdrożenie *DiffServ* powoduje zwiększenie złożoności działania sieci IP, co – jak się okazało – stanowi obecnie pewną barierę dla operatorów. Innym przykładem są ograniczenia IP odnośnie do adresacji, bezpieczeństwa itp. Powyższe niedoskonałości protokołu IP spowodowały, że rozwiązania dla Internetu Przyszłości należy poszukiwać w nowych architekturach i protokołach. W tym celu już uruchomiono około 40 projektów w ramach 7. Programu Ramowego UE (i oczekuje się uruchomienia dalszych 40 projektów).

Dalej zostaną przedstawione najważniejsze na dzień dzisiejszy podejścia, dotyczące aspektów architektury sieci i zastosowań. Uważa się, że obecny stan sztuki, podsumowany m.in. w [24], stanowi etap badań początkowych i prace nad Internetem Przyszłości będą trwały przez wiele lat.

Architektura Internetu Przyszłości

Prace nad opracowaniem architektury Internetu Przyszłości wraz z koniecznymi mechanizmami i algorytmami do sterowania przekazem informacji zostały rozpoczęte kilka lat temu. Są one ukierunkowane na rozwiązania ewolucyjne i rewolucyjne. Rozwiązania ewolucyjne zakładają rozszerzenie funkcjonalności w porównaniu z możliwościami protokołu IP, natomiast rozwiązania rewolucyjne przewidują zastąpienie stosu protokołów TCP/IP nowymi protokołami. Oba podejścia mają swoje odzwierciedlenie w aktywności rozpoczętych projektów w ramach 7. Programu Ramowego UE oraz w niedawno podjętych projektach narodowych.

Wirtualizacja zasobów i sieci wirtualne. Realizacja Internetu Przyszłości wymaga specyfikacji nowej architektury, opierającej się na sieciach wirtualnych i wirtualizacji ich zasobów. Prace badawcze dotyczące wirtualizacji są w fazie początkowej. Wizja Internetu Przyszłości zakłada wprowadzenie nowej warstwy, tzw. warstwy wirtualizacji zasobów, na której będzie można zbudować wiele sieci wirtualnych, różniących się między sobą przeznaczeniem i stosem protokołów. Jedną z takich sieci może być sieć IPv6, inną, przykładowo, sieć świadoma przesyłanej treści (*Content Aware Networks*). W ramach badań nad architekturą Internetu Przyszłości powinno się wziąć pod uwagę realizację wielu istotnych zadań. Jednym z nich jest utworzenie środowiska, umożliwiającego współistnienie różnych sieci wirtualnych działających na jednej infrastrukturze sprzętowej. Poszczególne sieci wirtualne mogą być projektowane w różnych technikach komutacyjnych (klasyczna komutacja pakietów, np. IPv6, komutacja kanałów, komutacja optyczna, nowe propozycje...) i w konsekwencji mogą korzystać z różnych stosów protokołów, realizujących różne funkcje. Przykładowo, można sobie wyobrazić, że są, np. dwie sieci, sieć IPv6 i sieć świadoma przesyłanej treści, oparta na innej technice sieciowej niż IP, a ponadto że te sieci współdzielą zasoby infrastruktury (węzły i łącza). Aby uzyskać taką funkcjonalność, wprowadza się wielopoziomą architekturę, w której poziom infrastruktury wirtualnej jest usytuowany powyżej infrastruktury fizycznej.

Sieci nakładkowe. Jednym ze sposobów przezwyciężenia napotykaných ograniczeń sieci TCP/IP jest budowa sieci wirtualnych VN (*Virtual Networks*) lub nakładkowych ON (*Overlay Networks*). Sieci nakładkowe są obecnie przedmiotem intensywnych badań na świecie. Okazało się, że stanowią one dobre środowisko do testowania nowych protokołów lub aplikacji. Ostatnie wdrożenia takich sieci pokazały, że przy ich użyciu można przezwyciężyć różne niedoskonałości dzisiejszego internetu, jak np. niedobór adresów IPv4 czy obecność urządzeń ograniczających zdolności do realizowania połączeń (np. *firewall* czy translatory adresów sieciowych NAT (*Network Translation Address*)). W celu realizacji rozproszonych aplikacji wykonywanych na wielu węzłach rozsianych po internecie

zaproponowano różne architektury: biblioteki sieciowe świadome NAT (*NAT-aware Network Library*), interfejsy API (*Application Programming Interface*), sieci wirtualne VN czy systemy P2P (*peer to peer*).

Zastosowania Internetu Przyszłości

Poniżej zostaną wskazane przykłady zastosowań, których podstawą będzie infrastruktura Internetu Przyszłości.

Sieci domowe. Przewiduje się, że w niedalekiej przyszłości sieci domowe będą stanowiły ważny element wyposażenia. Prawie wszystkie urządzenia domowe będą połączone w sieci sensorowe, co umożliwi zdalną kontrolę ich funkcjonowania.

Sieci samochodowe. Zakłada się, że sprawniejsze sterowanie ruchem samochodowym będzie możliwe jedynie przez wprowadzenie komunikacji samochód-samochód i samochód-internet. Umożliwi to w dalszej kolejności wdrożenie różnych aplikacji użytecznych dla kierowców i pasażerów, a w efekcie końcowym zwiększy bezpieczeństwo ruchu samochodowego.

Sieci e-zdrowie. Oczekuje się, że sieci e-zdrowie zrewolucjonizują służbę zdrowia. W szczególności dotyczyć to będzie możliwości monitorowania stanu pacjenta (za pomocą przekazu informacji z sensorów badających stan pacjenta), przeprowadzania konsultacji medycznych między ekspertami, wglądu do historii chorób pacjentów itd. Sieci e-zdrowie wymagają zapewnienia bezpieczeństwa przekazu informacji, poufności przekazywanych danych, niezawodności działania itp.

Internet 3D, kino cyfrowe. Pojawianie się kolejnych technik rejestracji i przetwarzania obrazów wideo 2D (*High Definition* – HD, *Ultra High Definition* – UHD) będzie wymagało w najbliższym okresie modernizacji sieci komunikacyjnych, w szczególności pod kątem zwiększenia ich przepustowości oraz skalowalności.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono w sposób skrótowy rolę internetu oraz stosowane podejścia do polepszenia działania jego infrastruktury sieciowej. W szczególności opisano rozwiązania wypracowane w ramach projektów europejskich dotyczących zapewnienia jakości przekazu pakietów. Określono również wyzwania, stojące przed twórcami nowej sieci, zwanej Internet Przyszłości. Wskazano, że przyszłość Instytutu Łączności wiąże się z możliwością uczestniczenia w opracowywaniu Internetu Przyszłości i potencjalnych jego zastosowań.

Bibliografia

- [1] Aoyama T.: *A new generation network: Beyond the Internet and NGN*. IEEE Communication Magazine, no. 5, 2009
- [2] Babiarez J., Chang K., Baker F.: *Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes*. IETF RFC 4594, August 2006
- [3] Bąk A., Burakowski W., Ricciato F., Salsano S., Tarasiuk H.: *A framework for providing differentiated QoS guarantees in IP-based network*. Computer Communications, vol. 26, pp. 327–337, 2003

- [4] Bernet Y. *et al.*: *An Informal Management Model for Diffserv Routers*. Internet RFC 3290, May 2002
- [5] Blake S. *et al.*: *An Architecture for Differentiated Services*. Internet RFC 2475, December 1998
- [6] Brandauer C. *et al.*: *AC algorithms in Aquila QoS IP network*. European Transaction on Telecommunications, vol. 16, no. 3, pp. 225–232, May-June 2005
- [7] Burakowski W., Beben A., Tarasiuk H., Śliwiński J.: *Zapewnienie jakości przekazu od końca do końca w sieci Internet: 6.PR IST EuQoS*. Przegląd Telekomunikacyjny, 2006, nr 8–9, s. 236–241
- [8] Burakowski W., Beben A., Tarasiuk H., Śliwiński J., Janowski R., Mongay Batalla J., Krawiec P.: *Provision of End-to-End QoS in Heterogeneous Multi-Domain Networks*. Annals of Telecommunications – Annales des Télécommunications, vol. 63, issue 11, p. 559, 2008
- [9] Burakowski W., Dąbrowski M.: *Wielousługowa sieć IP QoS: architektura i praktyczna weryfikacja w sieci pilotowej*. Przegląd Telekomunikacyjny, 2002, nr 5, s. 300–309
- [10] Burakowski W. *i in.*: *Specyfikacja Systemu IP QoS*. W: Materiały z Krajowego Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki, Warszawa, 2009
- [11] Diaz M. *et al.*: *The EuQoS system, in End-to-End Quality of Service Over Heterogeneous Networks*, Braun T., Diaz M., Enriquez-Gabeiras J., Staub T., Eds. Berlin-Heidelberg, Springer, 2008
- [12] Grossman D.: *New Terminology and Clarifications for Diffserv*. Internet RFC 3260, April 2002
- [13] Gut-Mostowy H., Latoszek W., Bęben A., Śliwiński J.: *Sieć laboratoryjna IP QoS*. W: Materiały z Krajowego Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki, Warszawa, 2009
- [14] ITU-T Rec. Q.3300 (2008): *Architectural framework for the Q.33xx series of Recommendations*
- [15] ITU-T Rec. Y.2111 (2006): *Resource and admission control functions in Next Generation Networks*
- [16] Koch B. F., Hussmann H.: *Overview of the project AQUILA (IST-1999-10077)*, in *Proc. of the Art-QoS 2003 Workshop, Warsaw, Poland, Architectures for Quality of Service in the Internet*, Burakowski W., Koch B. F., Bęben A., Eds., LNCS, vol. 2698. Berlin, Springer, 2003, pp. 154–164
- [17] Masip-Bruin X. *et al.*: *The EuQoS System: A solution for QoS Routing in Heterogeneous Networks*. IEEE Communications Magazine, vol. 45, no. 2, February 2007
- [18] Mingozzi E. *et al.*: *EuQoS: End-to-End Quality of Service over Heterogeneous Networks*. Computer Communications, 2009, oi:10.1016/j.comcom.2008.12.013
- [19] Niewiadomska-Szynkiewicz E., Arabas P., Rotnicki M., Wiśniewski T.: *Usługi komercyjne oferowane przez System IP QoS*. W: Materiały z Krajowego Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki, Warszawa, 2009
- [20] Pyda P., Dalecki T.: *Realizacja routingu w sieci IP QoS*. W: Materiały z Krajowego Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki, Warszawa, 2009
- [21] Śliwiński J., Krawiec P.: *System sterowania dostępem do zasobów dla sieci IP zapewniającej jakość przekazu*. W: Materiały z Krajowego Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki, Warszawa, 2009

- [22] Tarasiuk H., Burakowski W.: *Klasy usług w Systemie IP QoS*. W: Materiały z Krajowego Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki, Warszawa, 2009
- [23] *Telecommunications and Internet Converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); NGN Functional Architecture Release 1*. Geneva, ETSI, 2005
- [24] *Towards the Future Internet: A European Research Perspective*, Tselenis G. et al., Eds. Amsterdam, IOS Press, 2009
- [25] Zespół Technik Sieciowych Instytutu Telekomunikacji Politechniki Warszawskiej, www.tnt.tele.pw.edu.pl

Wojciech Burakowski



Prof. dr hab. inż. Wojciech Burakowski (1951) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1975); stopnie i tytuły naukowe: doktor nauk technicznych (1982), doktor habilitowany (1992), tytuł profesora (2003); pracownik naukowy Politechniki Warszawskiej (od 1975), kolejno: asystent, st. asystent, adiunkt, profesor nadzwyczajny (1997), profesor zwyczajny (od 2005) i zastępca dyrektora ds. naukowych Instytutu Telekomunikacji Politechniki Warszawskiej (2002–2008); pracownik naukowy Wojskowego Instytutu Łączności (WiŁ) w Zegrzu (od 1994), zastępca komendanta ds. naukowo-badawczych (1995–1997) oraz kierownik Zakładu Teleinformatyki WiŁ; pracownik naukowy Instytutu Łączności w Warszawie, zastępca dyrektora ds. naukowych iŁ (od 2009); członek komitetu zarządzającego projektami COST, Copernicus i programów ramowych UE (AQUILA, EuQoS, MOME, COMET); organizator i współorganizator (w tym przewodniczący) wielu naukowych konferencji międzynarodowych (m.in. *Networking, Polish-German Teletraffic Seminar, ART-QoS, MOME, NATO RCMICIS, AINA, WWIC, TEMU, GRIDNET, ICNS, NETWORKS, MCC*) oraz konferencji krajowych (*KST, PTS*); członek Sekcji Telekomunikacji i Informatyki Polskiej Akademii Nauk; ekspert UE w ramach 7. Programu Ramowego; członek Rady Programowej wielu czasopism, m.in. *TITI, JTIT*; autor ok. 170 publikacji otwartych (w tym 40 z tzw. listy filadelfijskiej) i ok. 70 raportów technicznych; zainteresowania naukowe: nowe techniki sieciowe, architektura sieci, mechanizmy i algorytmy sieciowe, teoria kolejek, budowanie sieci pilotowych oraz testowanie rozwiązań sieciowych.

e-mail: W.Burakowski@itl.waw.pl lub Wojtek@tele.pw.edu.pl