

Marek NATKANIEC, Janusz GOZDECKI, Andrzej R. PACH
 AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA TELEKOMUNIKACJI

Zastosowanie pomiarów ruchu i sygnalizacji do różnicowania usług transportowych w heterogenicznych sieciach IP integrujących sieci ad-hoc z sieciami z infrastrukturą

Dr inż. Marek NATKANIEC

Otrzymał tytuł doktora nauk technicznych na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Elektroniki AGH. Obecnie pracuje jako adiunkt w KT AGH. Jego zainteresowania obejmują: lokalne sieci bezprzewodowe, projektowanie protokołów komunikacyjnych, zagadnienia QoS, modelowanie oraz analiza wydajności pracy sieci teleinformatycznych. Bierze aktywny udział w projektach europejskich i krajowych. Jest współautorem trzech książek oraz ponad trzydziestu publikacji.

e-mail: natkaniec@kt.agh.edu.pl



Prof. dr hab. inż. Andrzej Ryszard PACH

Ukończył Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki AGH w r. 1975, w r. 1977 doktoryzował się na AGH, a w r. 1990 uzyskał stopień doktora habilitowanego na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej. Zatrudniony jest obecnie na stanowisku profesora zwyczajnego w KT AGH, której jest kierownikiem. Główne zainteresowania naukowe związane są z sieciami telekomunikacyjnymi oraz systemami informacyjnymi. Autor ponad 140 publikacji naukowych (w tym 5 książek).

e-mail: pach@kt.agh.edu.pl



Mgr inż. Janusz GOZDECKI

Ukończył studia na Wydziale EAiE, specjalność Telekomunikacja. Główne obszary zainteresowań badawczych obejmują zagadnienia jakości usług w sieciach pakietowych, mobilności i konwergencji sieci telekomunikacyjnych do sieci IP. Obecnie zaangażowany w międzynarodowe programy naukowo-badawcze IST. Jest współautorem pięciu książek i kilkunastu publikacji naukowych w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych.

e-mail: gozdecki@kt.agh.edu.pl



Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono architekturę QoS sieci, umożliwiającej zapewnienie żądanej jakości świadczenia usług transportowych w mieszanych sieciach ad-hoc – infrastruktura. Różnicowanie usług dla czterech klas ruchu osiągnięto dzięki rozszerzonemu protokołowi SWAN oraz różnicowaniu usług w warstwie 3. Opisano pomiary niezbędne do efektywnego różnicowania usług w sieciach WLAN. Przedstawiono również przykładowe wyniki pomiarów zrealizowanych za pomocą modułu pomiarowego warstwy MAC, potwierdzające poprawność różnicowania usług w takich sieciach. Opisano także metody zapewnienia QoS w sieci przewodowej pomiędzy komunikującymi się terminalami.

Słowa kluczowe: ad-hoc, QoS, SWAN, RSVP, WLAN.

Application of traffic measurements and signaling for service differentiation in ad-hoc and infrastructure integrated networks

Abstract

The ad-hoc and infrastructure QoS network architecture that allows for required quality transport services provisioning is presented in this study. The services differentiation for four traffic classes is achieved through the extended SWAN protocol and layer 3 differentiation. The measurements indispensable for effective services differentiation in WLAN networks are described. The measurement examples from MAC layer measurement module that confirm the services differentiation correctness are presented. The methods for supporting QoS in fixed networks between terminals are also described.

Keywords: ad-hoc, QoS, SWAN, RSVP, WLAN.

1. Wstęp

Migracja ku następnym generacjom sieci będzie związana przede wszystkim z łączeniem dwóch najbardziej dynamicznie rozwijających się gałęzi telekomunikacji, tj. systemów telefonii komórkowej oraz środowiska sieci IP. Zapewnienie właściwych

parametrów jakościowych usług sieciowych realizowanych na bazie różnych technik dostępowych jest obecnie jednym z nurtów badań systemów określanych jako 4G lub B3G (*Beyond 3G*). Przewiduje się, że systemy te będą umożliwiały świadczenie różnych typów usług w heterogenicznym środowisku sieciowym. Zatem systemy 4G muszą dostarczyć platformę umożliwiającą konwergencję różnych technik, na bazie których świadczona będzie szeroka gama usług z gwarantowanymi parametrami jakościowymi. W związku z tym pojawia się konieczność zdefiniowania efektywnych procedur zarządzania zasobami transmisyjnymi w sieci, tak w obszarze dostępu bezprzewodowego, jak i sieci stałej operatora, uwzględniając również zarządzanie mobilnością użytkowników.

Jedną z technik dostępowych zdobywającą coraz większą popularność są sieci ad-hoc, które umożliwiają zwiększenie zasięgu lokalnych sieci bezprzewodowych typu *hot-spot*. Obecnie także obserwujemy zainteresowanie ze strony operatorów telekomunikacyjnych tą techniką dostępową, gdyż pozwala ona zwiększyć zasięg działania sieci bez ponoszenia dodatkowych kosztów na infrastrukturę sieciową oraz umożliwia kontrolę usług świadczonych podłączonym abonentom.

W sieciach ad-hoc coraz częściej świadczone są usługi typu czasu rzeczywistego. Powoduje to, że architektura sieci ad-hoc dla zapewnienia wymaganej jakości usług w środowisku o często zmieniającej się topologii sieci i rozproszonej sygnalizacji jest bardzo skomplikowana. W ostatnich latach powstało szereg propozycji uwzględniających dynamikę zmian stacji w sieciach ad-hoc oraz brak centralnej stacji zarządzającej dostępnymi zasobami. Do istniejących propozycji możemy zaliczyć protokoły INSIGNIA [2], SWAN [3] oraz architekturę wykorzystywaną w projekcie DAIDALOS (*Designing Advanced network Interfacing for the Delivery and Administration of Location independent, Optimised personal Services*), integrującą sieci ad-hoc z sieciami z infrastrukturą [5].

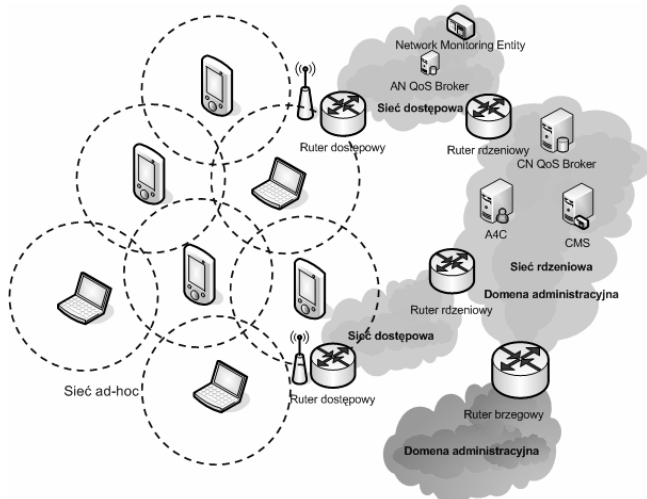
W prezentowanej pracy przedstawiamy architekturę sieci gwarantującą realizację usług z odpowiednim poziomem jakości QoS (*Quality of Service*) w mieszanych sieciach ad-hoc i sieciach z infrastrukturą. Z uwagi na odmienną naturę obu sieci realizacja QoS jest różna dla każdej z tych sieci. Integracja obu rozwiązań odbywa się w specjalnie zaprojektowanych bramkach, stanowiących interfejs pomiędzy sieciami stałymi i bezprzewodowymi oraz w terminalu mobilnym, integrującym sygnalizację *end-to-end* z sygnalizacją w sieci dostępowej ad-hoc.

2. Architektura QoS sieci DAIDALOS

Koncepcja zastosowania sieci ad-hoc dla zwiększenia zasięgu radiowych sieci dostępowych staje się obiecującym rozwiązaniem dla operatorów sieci z infrastrukturą [1]. W rozwiązaniach tych

sieci ad-hoc są nowym rodzajem sieci dostępowej, w której węzły mogą uzyskać dostęp do Internetu przez inne węzły mobilne tworzące sieć ad-hoc i pośredniczące w dostępie do sieci z infrastrukturą.

Na rys. 1 przedstawiono hierarchiczną architekturę sieci opracowaną w projekcie DAIDALOS. Dzięki hierarchicznemu podziałowi na subdomeny (bezprzewodową, dostępową i rdzeniową) sygnalizacja *end-to-end* dla pojedynczych strumieni danych może być przezroczysta dla wyspecyfikowanej grupy routerów, co eliminuje problem skalowalności w sieci rdzeniowej operatora i w połączeniach pomiędzy operatorami.

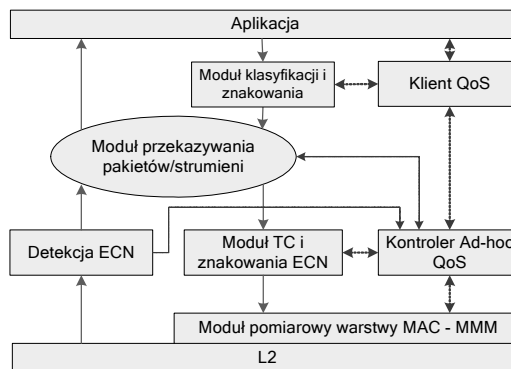


Rys. 1. Architektura QoS sieci Daidalos
Fig. 1. The Daidalos QoS network architecture

Każda subdomena dostępowa może obsługiwać kilka technik dostępowych poprzez routery dostępne AR (*Access Routers*), które są specjalnie zaprojektowanymi bramami, stanowiącymi interfejsy pomiędzy sieciami stałymi i bezprzewodowymi. W sieci DAIDALOS projektowane są rozwiązania umożliwiające integrację z sieciami bezprzewodowymi wszystkich typów. Dla celów implementacji i testowania zostały wybrane techniki: 802.11 (w tym sieci ad-hoc), 802.16 WiMax, WCDMA i DVB. Subdomeny dostępne połączone są z subdomeną rdzeniową poprzez routery rdzeniowe CR (*Core Routers*). Wyspecjalizowane routery brzegowe ER (*Edg Routers*) służą do komunikacji z innymi domenami administracyjnymi. Najniższą warstwę trójpoziomowej architektury sieci, przedstawionej na rys. 1, stanowi sieć zbudowana z węzłów ad-hoc podłączonych do sieci z infrastrukturą przez inne węzły ad-hoc i AR (*Access Router*). W projekcie zakładamy, że węzłem ad-hoc może być komputer przenośny lub kieszonkowy PDA.

2.1. Architektura sieci ad-hoc

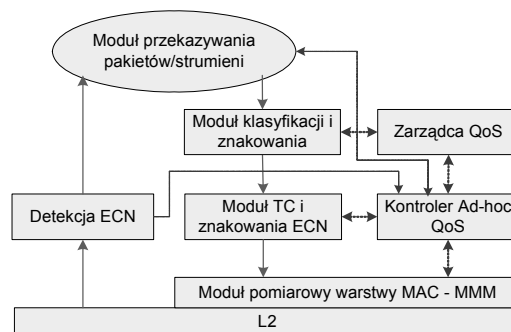
Architektura sieci ad-hoc obejmuje definicje węzłów mobilnych oraz bram. Węzeł mobilny spełnia podwójną rolę: z jednej strony jest on węzłem, który wysyła i odbiera pakiety, z drugiej jest on ruterem, który przekazuje ruch kierowany do innych węzłów. Stacja mobilna musi być zdolna do uzyskiwania informacji o parametrach jakościowych transmisji na podstawie zdefiniowanych charakterystyk aplikacji. Następnie należy sprawdzić dostępność zasobów sieci ad-hoc na trasie pakietów pod kątem realizacji zadanych usług. Dodatkowo należy zapewnić możliwość klasyfikowania i znakowania pakietów według odpowiednich klas ruchu, oraz znakowania i rozpoznawania pola ECN wskazującego na występowanie przeciążeń w sieci. W przedstawianej architekturze węzeł mobilny wspiera również wielościeżkowy dobór trasy oraz wybór trasy na podstawie dostępności zasobów.



Rys. 2. Schemat budowy węzła mobilnego
Fig. 2. Mobile node scheme

Brama zapewnia taką samą funkcjonalność jak węzły mobilne. Nie odbywa się tu jednak interakcja z sygnalizacją aplikacyjną, ponieważ brama działa jedynie na poziomie IP i niższych. Zamiast tego, konieczne staje się stworzenie współpracy pomiędzy sygnalizacją mechanizmów jakości usług i infrastrukturą sieci przewodowej.

Wymieniona funkcjonalność wymaga stworzenia szczególnego schematu mechanizmów wspierania jakości usług egzystujących na określonych stosach zarówno w węzłach mobilnych jak i bramie. Przedstawiono to poglądowo na rys. 2 i 3. Linia ciągłą zaznaczono przetwarzanie danych wewnątrz węzłów, linią przerywaną – przepływ niezbędnych informacji kontrolnych.



Rys. 3. Schemat budowy bramy
Fig. 3. Gateway scheme

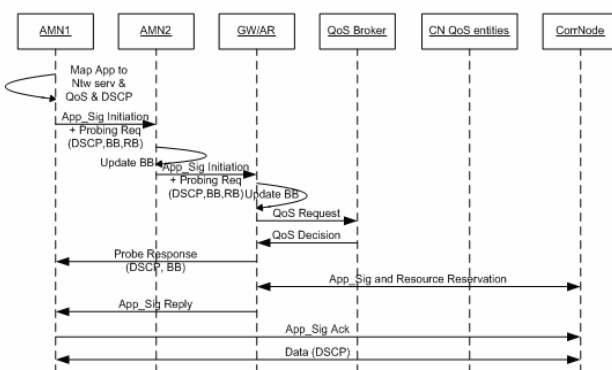
Najważniejszymi modułami kontrolnymi są Klient QoS i Kontroler Ad-hoc QoS. Klient QoS odbiera zgłoszenia z aplikacji i wykonuje zapytania do Kontrolera QoS o dostępność zasobów w medium bezprzewodowym i na trasie pakietów aż do bramy. Klient QoS może być zwrotnie informowany przez Kontrolera QoS o występowaniu przeciążeń i renegować parametry z aplikacją. W takim przypadku Kontroler Ad-hoc QoS informuje moduł znakowania bitów ECN o konieczności znakowania ruchu przynależnego do danej klasy. Podobna funkcjonalność jest zapewniona w drugim kierunku – odbiór oznakowanych pakietów jest raportowany do Kontrolera QoS przez moduł detekcji bitów ECN. Kontroler Ad-hoc QoS komunikuje się z modulem pomiarowym MMM w celu określenia zajętości medium i średnich opóźnień dla potrzeb realizacji jakości usług. Na tej podstawie sterowany jest moduł kontroli ruchu (TC – *Traffic Conditioning*) i zapewniony odpowiedni poziom realizacji usług. Kontroler Ad-hoc QoS spełnia również założenia procesu próbkowania SWAN – w pierwszej kolejności sprawdzana jest dostępność lokalnego medium, a w dalszej kolejnych odcinków na trasie pakietu na podstawie odpowiedzi przekazywanych przez węzły. Poprzez proces próbkowania dostępnych ścieżek uzyskuje się informację o zasobach na każdej z nich i realizowany jest wielościeżkowy dobór trasy – węzeł mobilny może wybrać ścieżkę oferującą najlepszy zestaw parametrów.

3. Rozszerzony protokół SWAN

Protokół sygnalizacyjny SWAN [3] pozwala na różnicowanie usług w sieciach ad-hoc. Niestety, oryginalna wersja protokołu pozwala na definiowanie zaledwie dwóch klas ruchu: czasu rzeczywistego „real-time” oraz niegwarantowanego „best effort”. W każdym węźle mobilnym na podstawie pomiarów opóźnień w warstwie MAC odbywa się sterowanie szybkością transmisji ruchu „best effort” w celu zagwarantowania zasobów dla ruchu czasu rzeczywistego. Ten sam mechanizm sprawia, że pasmo, które nie jest wykorzystywane przez ruch związany z usługami czasu rzeczywistego, zajmowane jest przez ruch „best effort”. Aby nie dopuścić do nadmiernych opóźnień, całość ruchu „best effort” jest utrzymywana poniżej pewnego poziomu progowego. W tym celu protokół sygnalizacyjny SWAN używa mechanizmu AIMD (*Additive Increase Multiplicative Decrease*). Strumienie ruchu czasu rzeczywistego są akceptowane przez poszczególne węzły sieci ad-hoc przy wykorzystaniu mechanizmu sterowania przyjęciem zgłoszeń, polegającego na przesłaniu na drodze *end-to-end* ramki request/response badającej dostępność wolnej przepływności w każdym węźle sieci. Protokół SWAN pozwala także na dynamiczne sterowanie strumieniami ruchu czasu rzeczywistego w warunkach występowania natłoku (np. podczas przemieszczania się węzła sieci). W architekturze projektu DAIDALOS protokół SWAN został rozszerzony o możliwość różnicowania czterech klas ruchu.

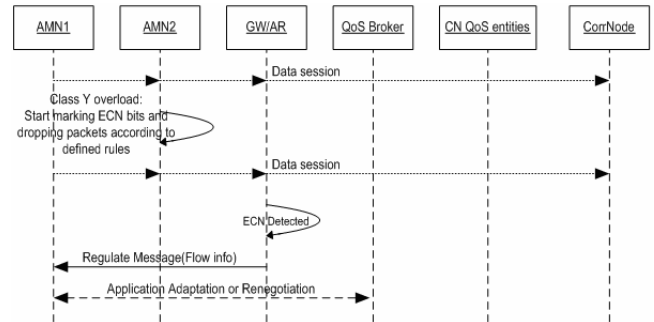
3.1. Sygnalizacja

Integracja systemów sygnalizacji sieci ad-hoc z systemami sygnalizacji sieci z infrastrukturą odbywa się w bramie do sieci ad-hoc. Węzeł sieci ad-hoc, który chce zestawić połączenie do sieci z infrastrukturą, powinien uzyskać informację o wolnych zasobach w sieci ad-hoc na drodze do odpowiedniej bramy, stosując w tym celu sygnalizację zaproponowaną w protokole SWAN. Proces ten został szczegółowo przedstawiony na rys. 4. Jeżeli istnieją wolne zasoby w sieci ad-hoc, brama sprawdza wolne zasoby w sieci z infrastrukturą wysyłając ramkę QoS request do QoS brokera.



Rys. 4. Zestawienie sesji zainicjowanej w sieci ad-hoc
Fig. 4. Ad-hoc initiated session setup

W przypadku wystąpienia przeciążenia w sieci ad-hoc w danej klasie (np. na skutek mobilności węzłów sieci), rozpoczyna się proces markowania pakietów tej klasy bitem ECN przez moduł TC i znakowania ECN. Brama ma obowiązek monitorowania pakietów z uwagi na bit ECN i w przypadku wystąpienia takiej sytuacji informuje o tym źródło wysyłając wiadomość „Regulate”. Źródło po otrzymaniu takiego komunikatu ma obowiązek przeprowadzić adaptację aplikacji ze względu na generowany ruch lub zainicjować ponownie proces sprawdzenia wolnych zasobów na całej ścieżce. Proces ten obrazuje rys. 5.



Rys. 5. Proces dynamicznej regulacji
Fig. 5. Dynamic regulation

3.2. Moduł pomiarowy warstwy MAC

Każdy węzeł mobilny musi wykonywać szereg pomiarów na poziomie warstwy MAC, tak aby poprawnie przeprowadzać procedury przyjęcia zgłoszenia oraz realizować różnicowanie usług. Założono, że wszystkie węzły mobilne będą wyposażone w karty sieci WLAN pracujące w trybie DCF (*Distributed Coordination Function*) standardu IEEE 802.11 [4]. Ponieważ tryb DCF realizuje dostęp do medium na zasadzie „best effort”, konieczne było zaimplementowanie w sterowniku karty WLAN odpowiedniego modułu pomiarowego. Realizuje on pomiary: opóźnienia transmisji pakietów, zajętości kanału wyrażonego w b/s, liczby aktywnych stacji w sąsiedztwie danego węzła mobilnego oraz przepływności z jaką pracuje w danej chwili stacja.

Moduł pomiarowy został zrealizowany w języku C jako część sterownika systemowego działającego w przestrzeni jądra systemu Linux. W zastosowanej architekturze użyto kart bezprzewodowych WPC11 firmy Linksys opartych na układzie Prism w wersji 3. Moduł pomiarowy ulokowany jest pomiędzy warstwą IP a oprogramowaniem firmowym karty bezprzewodowej. W przygotowanym rozwiązaniu moduł został wbudowany w sterownik karty HostAP w wersji 0.2.6. Całość oprogramowania działa pod kontrolą systemu operacyjnego Mandrake Linux 10.0 z jądrem w wersji 2.6.8.1.

Każdy pakiet nadchodzący z warstwy IP jest analizowany ze względu na kod DSCP (*DiffServ Code Point*). Po zmierzeniu czasu nadejścia tego pakietu jest on przesyłany do pamięci karty sieciowej. Pomiarom podlega czas, który upływa od momentu odebrania pakietu z warstwy IP do momentu otrzymania pozytywnego potwierdzenia ze stacji odbiorczej, oznaczającego poprawny odbiór tego pakietu. Dla każdego pakietu mierzony jest więc sumaryczny czas magazynowania pakietu w pamięci karty sieciowej i czas rywalizacji o dostęp do medium oraz czas potrzebny na prawidłowe przesłanie ramki z danymi w trybie DCF, czyli wysłanie kolejno pakietów RTS+CTS+DATA+ACK. Rozdzielczość pomiaru sięga kilku mikrosekund, co jest wystarczające dla takiego zastosowania (przykładowo, transmisja jednej ramki z danymi o wielkości 1500 bajtów trwa około 1.1 ms przy szybkości 11 Mb/s oraz 12 ms przy szybkości 1 Mb/s).

W celu zapewnienia poprawnego działania funkcji przyjęcia nowego zgłoszenia, konieczne jest dostarczenie modułowi decyzyjnemu informacji o wolnych zasobach transmisyjnych. Jest to realizowane jako pomiar zajętości kanału wyrażonego w b/s. W tym celu karta została przestawiona w tzw. tryb *promiscuous*. Jest to specjalny tryb pracy karty sieciowej, w którym może ona odbierać wszystkie ramki (za wyjątkiem ramek zarządzających), adresowane do wszystkich innych kart sieciowych. Przy użyciu informacji o aktualnej przepływności karty sieciowej oraz wykorzystaniu sieci jesteśmy w stanie określić ilość wolnych zasobów sieciowych.

Moduł pomiarowy pozwala zbierać informacje odnośnie całkowitej przepustowości zajętej w kanale bez-przewodowym, średniego opóźnienia transmisji ramek wysyłanych, liczby ramek wysyłanych, liczby ramek wysłanych i przekraczających ustalony

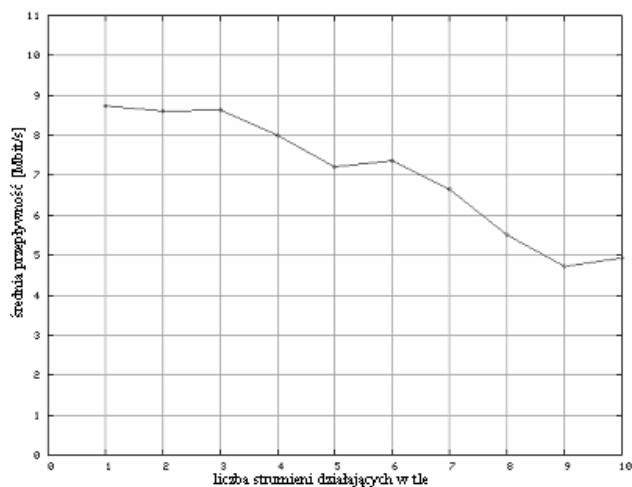
próg jakości obsługi, liczby ramek odebranych i utraconych. Dodatkowo określone są długości interwałów czasowych, w których następują pomiary, oraz czasy bezczynności sterownika, w których nie zarejestrowano żadnych transmisji. Całość parametrów jest zbierana zarówno dla każdej z czterech zdefiniowanych klas ruchu jak i sumarycznie dla całości ruchu obecnego w sieci. W ostatnim przypadku zestawienie jest łączne i przekracza sumę ruchu w czterech zdefiniowanych klasach z uwagi na fakt, iż w sieci istnieje także ruch bezklasowy, który zużywa zasoby sieciowe. Dodatkowo zapewniono dostęp do szczegółowych informacji o każdej transmitowanej ramce (tabela 1).

Tab. 1. Przykładowa statystyka przesyłanych ramek
Tab. 1. An example statistics of transmitted frames

Frame number	Tx start timestamp	Tx stop timestamp	Delta [μs]	Frame len [bytes]	DSCP (need IPv6)	Tx rate (N/A yet)	Destination MAC	lgn	Timeout indicator
0193	0620452974	0620458100	5126	1536	0	0	00-06-25 2B-2D-21	0	0
0194	0620458100	0620459379	1279	1536	0	0	00-06-25 2B-2D-21	0	0
0195	0620459379	0620461532	2153	1536	0	0	00-06-25 2B-2D-21	0	0
0288	0776474071	0776474071	2275	1084	96	0	00-06-25 2B-2D-21	0	0
0289	0776871204	0776871204	2454	1084	96	0	00-06-25 2B-2D-21	0	0
0290	0777087372	0777087372	2389	1084	96	0	00-06-25 2B-2D-21	0	0
0291	0777287851	0777287851	2576	1084	96	0	00-06-25 2B-2D-21	0	0
0292	0777444820	0777444820	2447	1084	96	0	00-06-25 2B-2D-21	0	0

W celu sprawdzenia poprawności działania modułu pomiarowego MMM wykonano szereg testów. W transmisji uczestniczyło do 12 aktywnych stacji. Jedną ze stacji posiadała zainstalowany moduł pomiarowy MMM. Stacja ta miała jedną generującą pakiety sesję FTP do innej stacji (serwera FTP). Jako ruch tła wykorzystano pozostałe dziesięć stacji, które w odpowiednim czasie były dołączane do serwera FTP.

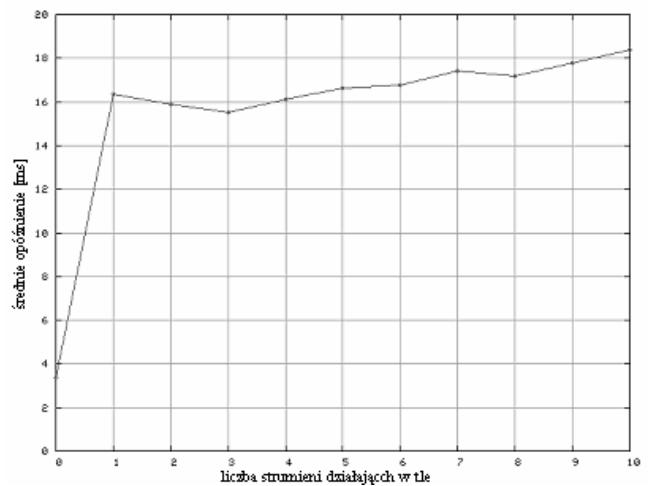
Na rys. 6 przedstawiono średnią, zmierzoną przez moduł MMM, przepływność dla różnej liczby aktywnych sesji FTP. Analizując otrzymany wykres zauważamy, że całkowita przepływność maleje wraz ze wzrostem liczby sesji FTP, jakkolwiek spadki te są w dużej mierze wysoce nieprzewidywalne.



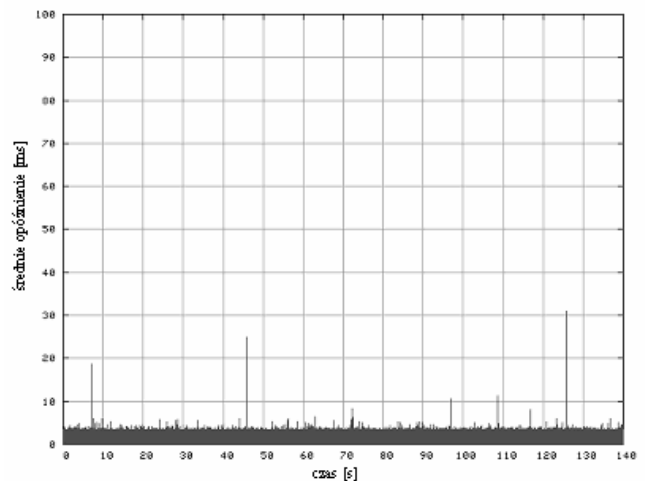
Rys. 6. Średnia zmierzona przepływność dla różnej liczby aktywnych sesji
Fig. 6. The measured mean throughput for different number of active sessions

Rys. 7 przedstawia średnie zmierzone opóźnienie transmisji ramek w funkcji liczby aktywnych sesji FTP. Wzrost liczby stacji (sesji FTP) przynosi dla 1 dodatkowej sesji FTP gwałtowny wzrost średniego opóźnienia transmisji ramek. Dalsze zwiększanie

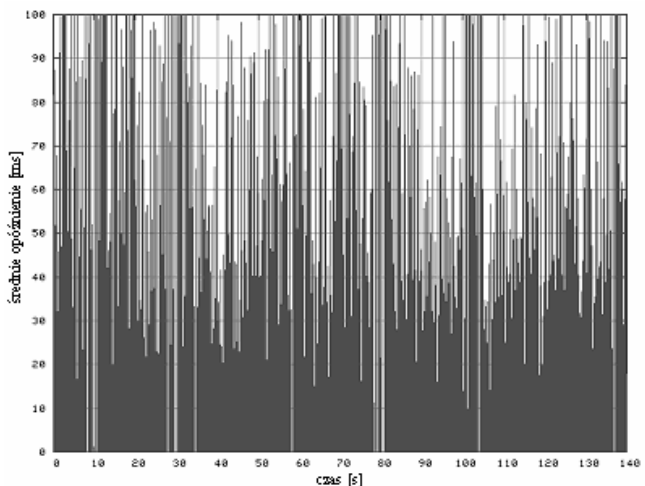
liczby sesji powoduje już niewielki, liniowy wzrost tego opóźnienia.



Rys. 7. Średnie zmierzone opóźnienie transmisji dla różnej liczby aktywnych sesji
Fig. 7. The measured mean transmission delay for different number of active sessions



Rys. 8. Średnie opóźnienie transmisji ramki dla jednej sesji
Fig. 8. The mean frame transmission delay for one session



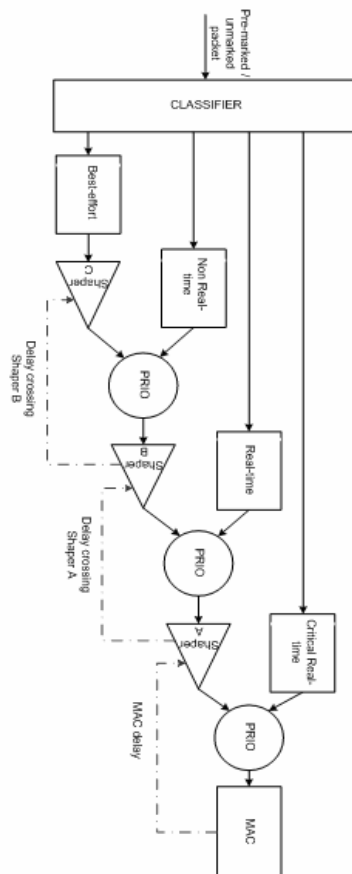
Rys. 9. Średnie opóźnienie transmisji ramki z dziesięcioma transmisjami w tle
Fig. 9. The mean frame transmission delay with ten background transmissions

Rys. 8 oraz 9 przedstawiają średnie opóźnienie transmisji ramek, odpowiednio dla jednej oraz dziesięciu aktywnych sesji FTP. Analiza pierwszego wykresu pozwala na stwierdzenie, że w sieci, w której nie dochodzi do natłoku (uczestniczy mała liczba aktywnych stacji) średnie opóźnienie transmisji kształtuje się na poziomie od 3 do 4 ms. W sieci, w której pracuje aktywnie ok. 10 stacji, opóźnienie to jest bardzo nieregularne i szczytowe wartości tego opóźnienia wynoszą kilkaset ms. Średni czas uśredniania wyników wynosił kilkadziesiąt ms.

3.3. Różnicowanie usług

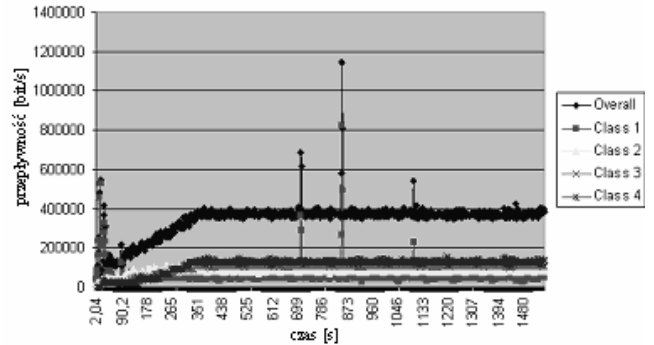
W odróżnieniu od protokołu SWAN w ramach architektury projektu DAIDALOS zaproponowano rozszerzenie różnicowania usług z dwóch do czterech. Umożliwia to np. przesyłanie strumieni głosowych z najwyższym priorytetem 1 jako ruch „critical real-time”, strumieni wideo jako priorytet 2 „real-time”, ruchu „non real-time” z priorytetem 3 i ruchu „best effort” jako najniższy priorytet 4. Pierwsze trzy klasy ruchu posiadają zarezerwowane określone pasmo, natomiast ostatnia klasa ruchu „best effort” działa jako bufor – dawca dla wyższych klas ruchu, szczególnie przy dużej mobilności węzłów.

Rozszerzony model różnicowania usług przedstawiony został na rys. 10. Składa się on z kaskadowo połączonych ze sobą systemów kolejek, układów ograniczających ruch dla danej klasy ruchu oraz układu decyzyjnego pobierającego pakiety z odpowiedniej kolejki do transmisji. Układy kształtowania ruchu są sterowane za pomocą algorytmu AMID, który wykorzystuje jako sprzężenie zwrotne informację o opóźnieniu transmisji pakietów na poziomie warstwy MAC.



Rys. 10. Rozszerzony model różnicowania usług SWAN
Fig. 10. The extended SWAN differentiation model

Na rys. 11 przedstawiono przepływność całkowitą oraz w każdej z czterech klas QoS, mierzona przez moduł MMM w scenariuszu, w którym w sieci ad-hoc pracowały trzy stacje (skrajne stacje były wobec siebie ukryte), a stacja znajdująca się w środku zajmowała się jedynie retransmisją ramek do skrajnie leżących stacji.



Rys. 11. Przepływność całkowita oraz w każdej z klas mierzona przez moduł MMM
Fig. 11. The overall throughput and for each class measured by MMM module

Stacja leżąca skrajnie nadawała do stacji względem niej ukrytej, za pomocą stacji pośredniczącej (retransmitera), cztery strumienie o różnych klasach ruchu. Do wygenerowania ruchu należącego do każdej z klas użyto narzędzia Mgen. Pomiary były przeprowadzane przez ok. 25 minut. Z wykresu w oczywisty sposób wynika, że różnicowanie ruchu przebiega w badanej sieci prawidłowo i klasa o najwyższym priorytecie uzyskuje największą przepływność, a klasa o najmniejszym priorytecie – przepływność najniższą.

4. Różnicowanie usług w sieci z infrastrukturą

Sieć z infrastrukturą wymaga sygnalizacji QoS niezależnej od sygnalizacji w sieci ad-hoc, ale ściśle z nią współpracującej.

Aplikacja inicjująca rezerwację korzysta z API udostępnionego przez Klienta QoS, które służy do przekazywania parametrów żądanej klasy ruchu oraz parametrów określających przewidywaną charakterystykę ruchu generowanego przez aplikację. Następnie parametry te przekazywane są jednocześnie do AR za pomocą protokołu RSVP (*Resource Reservation Protocol*) i do Kontrolera ad-hoc z wykorzystaniem dedykowanego protokołu. Moduł Klienta QoS w terminalu mobilnym jest elementem niezależnym od techniki dostępowej i implementuje ujednoczony interfejs do różnych technik dostępowych.

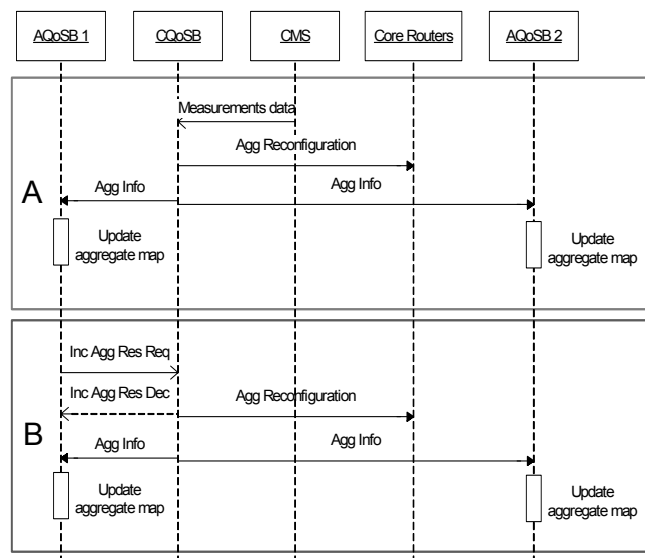
Komunikacja za pomocą protokołu RSVP odbywa się pomiędzy terminalem mobilnym inicjującym połączenie a AR i jest przezroczysta dla innych węzłów w sieci ad-hoc. Sygnalizacja dla pojedynczych strumieni danych odbywa się pomiędzy terminalem mobilnym, AR i AQoSB (*Access QoS Broker*) w domenie lokalnej i domenie zdalnej. Szczegółowy opis sygnalizacji dla pojedynczych strumieni danych został przedstawiony w [7].

Inaczej zestawiana jest rezerwacja zasobów dla subdomeny rdzeniowej. Wybrane rozwiązanie zakłada wykorzystanie dwóch uzupełniających się mechanizmów realokacji zasobów w sieci, stosowanych w celu poprawy jej elastyczności i jednocześnie minimalizacji ilości informacji sygnalizacyjnych wymienianych pomiędzy CQoSB (*Core QoS Broker*), a CMS (*Central Monitoring System*) i AQoSBs.

W każdym AQoSB przechowywana jest tablica zasobów dla agregatów pomiędzy routerem brzegowym jego własnej subdomeny, a wszystkimi pozostałymi subdomenami dostępowymi w danej domenie administracyjnej. Tablica ta służy do podejmowania decyzji dotyczących przyjmowania nowych zgłoszeń i jest okresowo aktualizowana poprzez wymianę informacji z CQoSB.

Weryfikacja dostępności zasobów w relacji end-to-end pomiędzy dwoma terminalami jest podzielona na trzy fazy: (1) sprawdzenie dostępności zasobów we własnej subdomenie dostępowej, (2) sprawdzenie dostępności zasobów na danej szkieście w subdomenie rdzeniowej dla właściwego agregatu, (3) sprawdzenie dostępności zasobów w subdomenie dostępowej, w której znajduje się wywoływana stacja.

CQoSB jest odpowiedzialny za zarządzanie zagregowanymi strumieniami danych w subdomenie rdzeniowej. Okresowo przekazuje on informacje o dostępnych zasobach pomiędzy poszczególnymi subdomenami dostępowymi do wszystkich AQoSB należących do jego domeny administracyjnej. Dodatkowo, gdy zaistnieje taka potrzeba, istnieje możliwość przesyłania komunikatów w przeciwnym kierunku (od AQoSB do CQoSB), zawierających żądania realokacji zasobów. Zatem CQoSB może rekonfigurować pasmo przydzielone dla poszczególnych agregatów na podstawie danych pomiarowych, przekazywanych przez system CMS, jak również w wyniku żądań otrzymywanych od AQoSB. Procedury te pokazano na diagramach sekwencyjnych na rys. 12. Zarządzanie zasobami sieciowymi w sieci przewodowej operatora odbywa się zgodnie z architekturą DiffServ dla ograniczonej liczby klas ruchu. Każda klasa ruchu jest opisana poprzez szereg parametrów takich jak: opóźnienie, zmienność opóźnienia, straty pakietów. Klasy usług dla sieci DAIDALOS zdefiniowano w oparciu o specyfikację ITU-T Y.1541 [6]. Ich charakterystyka została przedstawiona w tabeli 2.



Rys. 12. Diagramy sekwencyjne dla procedury rekonfiguracji agregatów w subdomenie rdzeniowej, wykonywanej na podstawie A) danych pomiarowych, B) żądań od AQoSB

Fig. 12. The sequence diagrams for reconfiguration procedure of core networks aggregates executed on the basis of: a) data measurements, b) AQoSB requests

Ponadto, aby ułatwić zestawianie połączenia z gwarancją jakości pomiędzy różnymi domenami administracyjnymi, zaproponowano zestaw ogólnie znanych usług sieciowych, tzw. "well-known services". Każdy operator musi zapewnić właściwe odwzorowanie swoich specyficznych usług sieciowych w zbiór akceptowanych w skali całego Internetu „well-known services”. Na tym właśnie zbiorze znanych usług powinny bazować również kontrakty pomiędzy operatorami. W związku z tym taki zestaw usług powinien zostać określony przez stosowną organizację standardyzacyjną. Zaproponowano wykorzystać do tego celu zestaw klas usług zdefiniowany w zaleceniu ITU-T Y.1541 [6].

Tab. 2. Klasy usług sieciowych

Tab. 2. Network service classes

Parametr	Klasa 0 Konwersacyjna	Klasa 1 Transakcyjna	Klasa 2 Strumieniowa	Klasa 3 Best Effort
Opóźnienie	150 ms	400 ms	1s	Nie określono
Jitter	50 ms	50 ms	nie określono	Nie określono
Straty pakietów	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	Nie określono
Zastosowanie	Interaktywny głos i video	Transakcje sieciowe	Strumieniowanie video	Aplikacje typu <i>legacy</i>

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia architektury QoS rozwijanej w projekcie DAIDALOS z uwzględnieniem sygnalizacji QoS pomiędzy terminalami w sieci i wykorzystaniem techniki ad-hoc jako sieci dostępowej, rozszerzającej zasięg dostępu radiowego. Szczególny nacisk położono na mechanizmy zapewnienia QoS w sieci ad-hoc z opisem zmodyfikowanego protokołu SWAN, procedur sygnalizacyjnych i mechanizmów różnicowania usług. Przeprowadzone badania wstępne wskazują na poprawną implementację modułu pomiarowego MMM oraz pozostałych modułów zapewniających realizację usług z określoną jakością w mieszanej sieci ad-hoc z siecią z infrastrukturą.

Prace wykonano w ramach projektu zintegrowanego 6PR DAIDALOSII (IST-2005-026943).

6. Literatura

- [1] B. Xu, S. Hischke and B. Walke, "The Role of Ad Hoc Networking in Future Wireless Communications", Proceedings of ICCT 2003.
- [2] S. B. Lee et al., "INSIGNIA: An IP-Based Quality of Service Framework for Mobile Ad Hoc Networks", J. Parallel and Distrib. Comp., Special issue on Wireless and Mobile Computing and Communications, vol. 60 n°4, Apr. 2000
- [3] Gahng-Seop Ahn, A. T. Campbell, Andras Veres, and Li-Hsiang Sun: "Supporting Service Differentiation for Real-Time and Best-Effort Traffic in Stateless Wireless Ad Hoc Networks (SWAN)". IEEE Trans. on Mobile Comp., vol. 1, July- Sept. 2002
- [4] IEEE 802.11 Standard for Wireless LAN: Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, New York, IEEE Inc., 1999.
- [5] Sérgio Crisóstomo, Susana Sargento, Marek Natkaniec, Norbert Vicari, "A QoS Architecture Integrating Mobile Ad-Hoc and Infrastructure Networks", Workshop on Internet Compatible QoS in Ad hoc Wireless Networks, 3-6 Jan. 2005, Egypt
- [6] ITU-T Recommendation Y.1541, "Network performance objectives for IP-based services", May 2002.
- [7] Marek Natkaniec, Janusz Gozdecki, "Hierarchiczna struktura sygnalizacji QoS dla zapewnienia gwarancji jakości usług na przykładzie integracji sieci ad-hoc z siecią z infrastrukturą", KKRRiT 2006, Poznań, czerwiec 2006, 467-470.
- [8] <http://www.mescal.org/roadmap/qbgp.html>