

Architektura QoS integrująca sieci ad-hoc z sieciami stałymi¹

Marek Natkaniec, Janusz Gozdecki, Katarzyna Kosek, Szymon Szott, Andrzej R. Pach

(e-mail: {natkaniec, gozdecki, kosek, szott, pach}@kt.agh.edu.pl)

Katedra Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej – Kraków

STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia kompletną architekturę QoS dla zintegrowanych sieci ad-hoc z sieciami stałymi. W pracy skoncentrowano się głównie na stosowanych technologiach sieciowych, mechanizmach różnicowania ruchu oraz protokołach sygnalizacyjnych. Praca zawiera również opis niezbędnych modułów umieszczonych w węzłach mobilnych i bramach dostępu do sieci ad-hoc. Dodatkowo pokazano sposób integracji zapewniający uzyskanie odpowiedniej jakości świadczenia usług w relacji end-to-end dla mobilnych sieci ad-hoc. Zaproponowane rozwiązanie jest oparte na modelu SWAN z pewnymi rozszerzeniami dla zapewnienia różnicowania ruchu na poziomie warstwy drugiej dla czterech priorytetów oraz integracji z sieciami stałymi. Zastosowana architektura hierarchiczna gwarantuje skalowalność i pozwala na zarządzanie na poziomie pojedynczych strumieni w sieci bezprzewodowej, w której ograniczone zasoby radiowe powinny być zarządzane w sposób efektywny.

ABSTRACT

A QoS Architecture Integrating Ad-Hoc and Infrastructure Networks

This paper proposes a complete QoS architecture for integration of ad-hoc networks with infrastructure networks. The technology, service differentiation mechanisms, and signalling protocols are discussed. The modules required in the network elements and its integration to provide end-to-end QoS in mobile ad-hoc networks are also presented. The proposed solution is based on the SWAN model with several extensions to provide L2 traffic differentiation for four classes and supports integration with infrastructure networks. The deployed hierarchical architecture guarantees scalability and allows per-flow resource management in wireless access where scarce radio resources should be managed effectively.

1. Wstęp

Lokalne sieci bezprzewodowe WLAN (*Wireless Local Area Network*) należą dzisiaj do najszybciej rozwijających się obszarów nowoczesnej telekomunikacji. Mogą być instalowane w miejscach, w których trudno jest wykonać tradycyjne okablowanie, tak jak np. w centrach handlowych, halach przemysłowych, magazynach, hurtowniach, muzeach. Możemy je także spotkać w sklepach, szpitalach, szkołach, hotelach, restauracjach, na lotniskach oraz w wielu innych obiektach użyteczności publicznej. Sieci WLAN oferują najwyższy poziom wydajności spośród wielu innych rozwiązań zapewniających szybką bezprzewodową transmisję danych. Sieci te odgrywają również ważną rolę w tworzeniu architektur sieciowych, zapewniając łatwy i nieograniczony dostęp do zasobów sieci stałej. Sieci ad-hoc rozszerzające zasięg hotspotów, stanowią obecnie obiecujące rozwiązanie przy powiększaniu zasięgu radiowego szerokopasmowych systemów bezprzewodowych.

Taka strategia staje się opłacalna zarówno dla operatora telekomunikacyjnego, gdyż pozwala wydatnie zwiększyć zasięg działania sieci bez ponoszenia dodatkowych kosztów związanych z zakupem nowych urządzeń, jak i dla użytkownika poprzez odpowiednie plany taryfikacyjne.

Struktura sieci ad-hoc za sprawą często zmieniającej się topologii sieci i rozproszonej sygnalizacji jest bardzo skomplikowana. W ostatnich latach powstało szereg propozycji uwzględniających dynamikę zmian stacji w tych sieciach przy braku centralnej stacji zarządzającej dostępnymi zasobami. Do istniejących propozycji możemy zaliczyć protokoły INSIGNIA [6], SWAN (*Stateless Wireless Ad-hoc Networks*) [4], FQMM (*Flexible Quality of service Model for Mobile ad-hoc networks*) [5], DS-SWAN (*Differentiated Services-SWAN*) [17] oraz architekturę wykorzystywaną w projekcie 6PR DAIDALOS I, integrującą sieci ad-hoc z sieciami stałymi [1], [7].

Praca przedstawiona w tym artykule stanowi kontynuację koncepcji integracji sieci ad-hoc z sieciami stałymi przy zapewnieniu odpowiednio poziomu jakości

¹) Praca ta była częściowo finansowana przez Komisję Europejską z projektu Szóstego Programu Ramowego – DAIDALOS II (IST-2005-026943). (*This work has been partially supported by the European Commission FP 6 for Research and Development IP DAIDALOS II*).

obsługi QoS (*Quality of Service*) dla czterech klas ruchu w relacji *end-to-end*. Podobnie jak w rozwiązaniu zaprezentowanym w ramach projektu DAIDALOS I, zastosowany tutaj model sygnalizacji i różnicowania usług został oparty na protokole SWAN, w którym wprowadzono wiele ulepszeń, znacznie rozszerzając jego podstawowe możliwości. W ramach projektu DAIDALOS II użyto standardu IEEE 802.11e, co pozwoliło różnicować usługi na poziomie warstwy łącza danych (wcześniej różnicowanie to odbywało się jedynie na poziomie warstwy sieciowej), co z kolei uprościło architekturę QoS węzła mobilnego oraz bramy. W sieci stałej wprowadzono również nowy protokół sygnalizacyjny NSIS [10], który jest bardziej elastyczny, gdyż pozwala na wsparcie różnych modeli zarządzania zasobami sieciowymi i umożliwia zestawianie rezerwacji w obu kierunkach transmisji. Dla realizacji sygnalizacji niezwiązanych ze ścieżkami danych zastosowano protokół DIAMETER [11]. Dzięki wbudowanym mechanizmom bezpieczeństwa może on być użyty zarówno dla tworzenia sygnalizacji w ramach danej domeny administracyjnej, jak i między różnymi domenami.

Struktura artykułu przedstawia się następująco. Rozdział 2 zawiera ogólną architekturę QoS projektu DAIDALOS II ze szczególnym uwzględnieniem architektury węzła mobilnego oraz bramy dla sieci ad-hoc. W rozdziale 3 czytelnik znajdzie informacje o rozszerzonym protokole SWAN; dokładnie przedstawiono proces sygnalizacji, proces dynamicznej kontroli przepływności w przypadku przeciążenia dowolnej klasy ruchu, różnicowanie usług oraz pomiary wykonywane w warstwie MAC (*Medium Access Control*). Opis protokołu sygnalizacyjnego stosowanego w sieci stałej znajduje się w rozdziale 4. W końcowej części pracy zamieszczono najważniejsze wnioski.

2. Architektura sieciowa ze wsparciem QoS

Architektura sieciowa ze wsparciem QoS przedstawiona w niniejszym artykule jest wynikiem prac badawczych prowadzonych w projekcie zintegrowanym 6PR DAIDALOS II [1] nad rozwiązaniami QoS w sieciach następnych generacji NGN (*Next Generation Networks*). Prace te są kontynuacją rozwiązań proponowanych w projekcie zintegrowanym 6PR DAIDALOS I [1]. Architektura QoS sieci NGN jest obecnie przedmiotem badań najważniejszych organizacji standardyzacyjnych, takich jak zespoły SG13 (*Study Group 13*) i FGNGN (*Focus Group NGN*) w ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*), czy inicjatywa TISPAN w ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*).

Warto podkreślić, że przy opracowywaniu architektury NGN zespoły zajmujące się tymi zagadnieniami ściśle współpracują z zespołami odpowiedzialnymi za standaryzację rozwiązań mobilnych – SG13 i FGNGN współpracuje z SG19, a TISPAN z 3GPP. Rozwiązania zaproponowane w projekcie DAIDALOS I zostały opisane w [7], [8], natomiast najważniejsze innowacje wprowadzone w projekcie DAIDALOS II obejmują:

1. Wsparcie dla nowych protokołów sygnalizacyjnych umożliwiających większą elastyczność przy zestawianiu sesji pomiędzy bramą sieci ad-hoc, a użytkownikiem przyłączonym do sieci stałej.
2. Wsparcie dla nowych rozwiązań mobilnych, jak LMM (*Localized Mobility Management*) [14].
3. Lepszą integrację podsystemów rozgłoszeniowych (*broadcast*) i multikastowych z podsystemem QoS.
4. Wsparcie dla jednoczesnego korzystania z kilku interfejsów sieciowych – (*ang. multihoming*) w terminalu mobilnym.
5. Nowe rozwiązania QoS w sieci dostępowej.

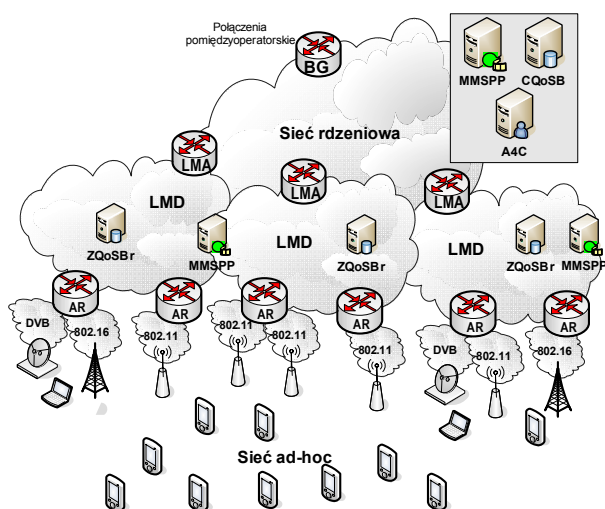
Niniejszy artykuł poświęcony jest głównie opisowi proponowanych rozwiązań mechanizmów QoS w sieciach ad-hoc i integracji sieci ad-hoc z sieciami stałymi.

Na rysunku 1 przedstawiono architekturę domeny administracyjnej. Ogólna koncepcja architektury QoS w projekcie DAIDALOS II kontynuuje rozwiązania zaproponowane w projekcie DAIDALOS I, gdzie można wyróżnić trzy podstawowe poziomy sieci. Poziom najwyższy stanowi sieć rdzeniowa, odpowiedzialna za zarządzanie zasobami w połączeniach z innymi operatorami. Sieć, która integruje podsieci LMD (*Localized Mobility Domain*) drugiego poziomu. Podsieć LMD jest odpowiedzialna za sterowanie przełączaniem terminala ruchomego pomiędzy punktami dostępowymi w lokalnej podsieci operatora. Najniższy poziom stanowią sieci dostępne, które mogą pracować z wykorzystaniem różnych technik sieciowych – w sieci testowej będą integrowane następujące typy sieci dostępowych: WiFi w trybie ad-hoc i infrastruktura, WiMAX, DVB i WCDMA.

W projekcie DAIDALOS II zarządzanie i sterowanie QoS zasobami sieciowymi jest podzielone na obszary zgodnie z hierarchiczną strukturą sieci. Architektura hierarchiczna gwarantuje skalowalność rozwiązań w części rdzeniowej, gdzie zarządzanie zasobami QoS odbywa się dla agregatów strumieni danych, według modelu DiffServ [12]. W sieciach dostępowych zarządzanie zasobami prowadzone jest dla pojedynczych strumieni danych, ponieważ w środowisku radio-

wym zasoby zwykle są ograniczone i wymagają oszczędnego gospodarowania nimi.

Zastosowany w projekcie schemat obsługi mobilności terminala ruchomego jest bardzo ważny z punktu widzenia architektury QoS. Zarządzanie mobilnością jest podzielone na zarządzanie globalne GMM (*Global Mobility Management*), oraz zarządzanie lokalne LMM (*Localized Mobility Management*). W GMM został zastosowany protokół MIPv6 (*Mobile IPv6*) [13]. Protokół użyty dla LMM – LMP (*Localized Mobility Protocol*) został opracowany w ramach projektu DAIDALOS II i jest połączeniem koncepcji zaproponowanych przez IETF NetLMM [14], HMIP (*Hierarchical Mobile IP*) i zalecenia IEEE 802.21 [15]. Główne mechanizmy LMP zostały zaimplementowane w sieci operatora, ale niektóre rozwiązania dla warstwy drugiej L2, jak sygnalizacja IEEE 802.21, muszą być także wdrożone w terminalu mobilnym MT (*Mobile Terminal*). Aby zagwarantować QoS w LMD, podsystemy mobilności i QoS muszą ze sobą współpracować.



Rys. 1. Hierarchiczna architektura QoS domeny administracyjnej

Najważniejszą innowacją protokołu LMP jest niezmiennosc adresu IP terminala mobilnego wewnątrz obszaru LMD. Oznacza to, że podczas przełączania MT pomiędzy ruterami dostępowymi AR (*Access Router*) w LMD nie wykonuje się rekonfiguracji adresów IP na interfejsach sieciowych – MT wykonuje tylko procedurę re-asocjacji z nowymi punktami dostępu bezprzewodowego z tym samym adresem IP. Ponieważ tymczasowy adres CoA (*Care of Address*) terminala pozostaje bez zmian, globalny protokół zarządzający mobilnością MIPv6 nie wykrywa zmiany położenia terminala i zachowuje się tak, jakby terminal był połączony cały czas do tego samego rutera dostępowego.

Urządzeniem sterującym przełączeniem w LMD jest LMA (*Local Mobility Anchor*). LMD może integrować sieci dostępowe w różnych technikach sieciowych.

Urządzeniem sterującym QoS w obszarze LMD jest obszarowy broker zasobów QoS – ZQoSBr (*Zone QoS Broker*), który zarządza wszystkimi ruterami w domenie LMD. Dostęp do sieci kontrolowany jest przez podsystem A4C (*Authentication, Authorization, Accounting, Auditing and Charging*), który nadzoruje identyfikację i kontrolę dostępu użytkownika, oraz odpowiedzialny jest za taryfikację. Fizyczny dostęp do sieci jest kontrolowany przez podsystem QoS, za pomocą mechanizmów kolejkowania wbudowanych dla różnych technik sieciowych w rutery dostępowe. Rutery dostępowe zostały wyposażone w warstwę RAL (*Radio Access Layer*), która służy do zunifikowania sterowania mechanizmami QoS.

Dla aplikacji korzystających z protokołu SIP urządzeniem, które przekazuje parametry QoS od aplikacji do ZQoSBr jest MMSPP (*Multimedia Service Provisioning Proxy*). MMSPP jest odpowiedzialny za ekstrakcję parametrów QoS z sygnalizacji SIP w sieci operatora i przekazanie ich do ZQoSBr.

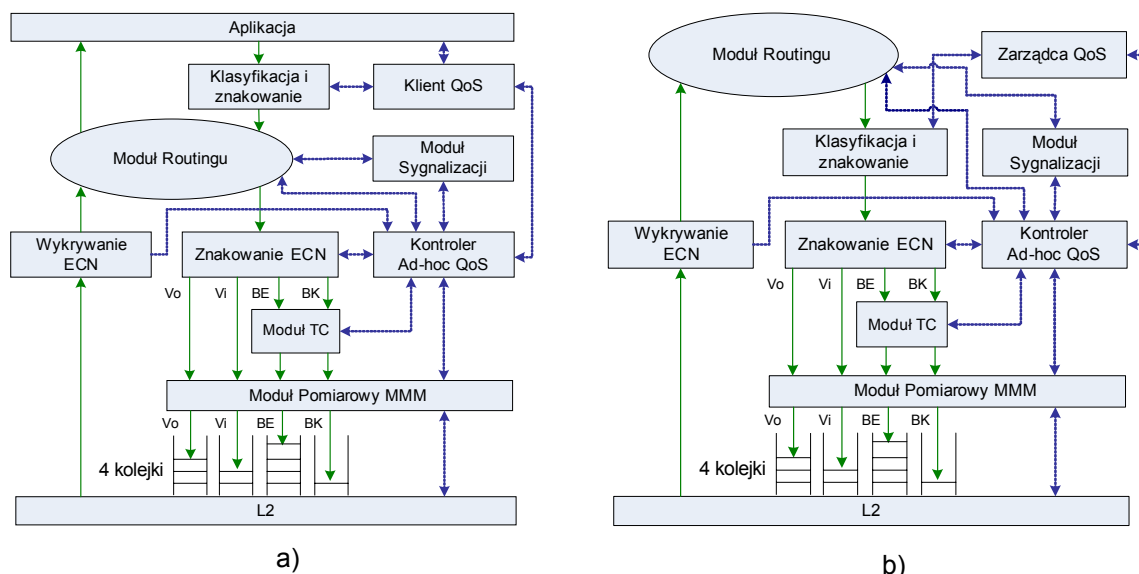
Dla zagwarantowania jakości połączeń QoS w relacji *end-to-end* dla sieci ad-hoc wymagana jest integracja mechanizmów QoS w sieci ad-hoc z mechanizmami QoS w sieci stałej. W architekturze DAIDALOS II integracja ta jest wykonana w AR i MT. Fizyczne połączenie pomiędzy sieciami ad-hoc i mechanizmami QoS w sieci stałej jest realizowane w AR. W terminalu mobilnym za integrację pomiędzy mechanizmami niezależnymi od techniki dostępowej i mechanizmami QoS sieci ad-hoc odpowiedzialny jest moduł QoSClient (QoSC). QoSC implementuje interfejs QoS do sieci ad-hoc i dostarcza uniwersalny interfejs QoS dla aplikacji, umożliwiając rezerwację zasobów niezależnie od techniki, w jakiej wykonana jest sieć dostępowa.

2.1. Architektura QoS sieci ad-hoc

Węzeł mobilny w sieci ad-hoc odgrywa podwójną rolę pracując jako stacja, która generuje bądź też odbiera ruch, ale również jako ruter, który ma za zadanie pośredniczenie w przekazie ruchu otrzymanego do innych stacji. Musi on również odebrać parametry QoS od aplikacji, sprawdzić zasoby sieciowe na ścieżce ad-hoc pod kątem wymagań QoS tej aplikacji, biorąc przy tym pod uwagę dostępność zasobów w medium bezprzewodowym. Dokonuje on również klasyfikacji i znakowania pakietów w zależności od ich przynależności do danej klasy ruchu, zapewnia różnicowanie ruchu, znakuje pakiety bitem ECN (*Explicit Congestion Noti-*

fication) oraz wykrywa pakiety oznaczone tym bitem w przypadku występowania przeciążeń w sieci bezprzewodowej (patrz rys. 2a). Linia ciągłą zaznaczo-

rodzajów sygnalizacji: SWAN obowiązującej w sieci ad-hoc i NSIS przewidzianej do pracy w sieciach stałych.



Rys. 2. Węzeł mobilny (a) i brama dostępową (b)

no przetwarzanie danych wewnątrz węzłów, linią przerywaną – przepływ niezbędnych informacji sterujących.

Odczytywanie parametrów QoS z aplikacji odbywa się przy użyciu modułu klienta QoS. Kontroler ad-hoc QoS sprawdza dostępne zasoby na ścieżce ad-hoc, biorąc pod uwagę zajętość medium bezprzewodowego. Praca kontrolera ad-hoc QoS jest ściśle związana z działaniem modułu pomiarowego MMM (*MAC Measurement Module*), który dostarcza kontrolerowi wszystkich niezbędnych pomiarów z warstwy MAC. Na ich podstawie sterowany jest moduł kontroli ruchu TC (*Traffic Control*), który dba o odpowiedni poziom realizacji usług. Różnicowanie usług jest realizowane z użyciem kolejek sprzętowych kart sieci WLAN opartych na układzie Atheros (różnicowanie na poziomie warstwy 2) [9]. Węzeł mobilny potrafi również dzięki pracy modułów wykrywania i znakowania bitów ECN, reagować w odpowiedni sposób na sytuacje przeciążeń w dowolnej klasie ruchu – uruchamiany jest wtedy odpowiedni proces dynamicznej regulacji poszczególnych strumieni ruchu.

Brama dostępową posiada praktycznie taką samą funkcjonalność, jak węzeł mobilny. Nie odbywa się tu jednak interakcja z sygnalizacją generowaną na poziomie aplikacji, ponieważ brama działa jedynie na poziomie warstwy sieciowej oraz warstwach niższych (patrz rysunek 2b). Brama dostępową jest głównym elementem, w którym odbywa się połączenie dwóch

2.2. Wymagania technologiczne sieci ad-hoc

Standardy IEEE 802.11 a/b/g określają typ warstwy fizycznej, definiując maksymalną szybkość transmisji równą odpowiednio: 2 Mbit/s w paśmie 2.4 GHz (IEEE 802.11), 11 Mbit/s w paśmie 2.4 GHz (IEEE 802.11b), 54 Mbit/s w paśmie 2.4 GHz (IEEE 802.11g) oraz 54 Mbit/s w paśmie 5 GHz (IEEE 802.11a). W projekcie DAIDALOS I użyto kart sieci WLAN pracujących w trybie IEEE 802.11b. Jak już wcześniej wspomniano, moduł pomiarowy MMM jest odpowiedzialny za pomiary QoS na poziomie warstwy MAC. Pomiary te są raportowane do modułów QoS warstwy sieciowej, które realizują różnicowanie usług na poziomie tej warstwy. Pomiary na poziomie warstwy MAC są niezbędne dla uzyskania odpowiedniej jakości obsługi QoS w warstwie sieciowej. W projekcie DAIDALOS II użyto kart sieci WLAN opartych na standardach IEEE 802.11 a/b/g/e [2], [3]. W celu realizacji różnicowania usług na poziomie warstwy drugiej (*MAC layer QoS support*) zastosowano rozszerzenie IEEE 802.11e. Podstawowa wersja standardu IEEE 802.11 została zaprojektowana do pracy z użyciem funkcji dostępu DCF (*Distributed Coordination Function*) i PCF (*Point Coordination Function*). Funkcja DCF jest powszechnie stosowana przy transmisji asynchronicznej opartej na zasadzie *best effort* zarówno w trybie ad-hoc, jak i w sieci z infrastrukturą.

Standard IEEE 802.11e określa użycie nowej funkcji nazywanej EDCA (*Enhanced DCF Channel Access*), która pozwala na różnicowanie usług na poziomie warstwy 2. Funkcja EDCA definiuje kilka parametrów, dzięki którym różnicowanie usług dla ramek o różnych priorytetach staje się możliwe, w szczególności CW_{min} , CW_{max} , AIFS i TXOP. Realizacja odpowiedniego poziomu QoS przy użyciu funkcji EDCA jest możliwe dzięki zmniejszeniu prawdopodobieństwa dostępu do medium dla ramek należących do kategorii ruchu o niskim priorytecie (poprzez konfigurację powyższych parametrów). Reguły dostępu do medium dla funkcji EDCA są identyczne, jak w przypadku funkcji DCF standardu IEEE 802.11. Dodatkowo, w celu uzyskania wysokiej wydajności transmisji (wykorzystania medium), wprowadzono dodatkowy parametr nazywany TXOP (*Transmission Opportunity*). TXOP jest czasem przydzielonym stacji, który umożliwia jej nadanie kolejno wielu ramek z danymi bez konieczności kilkukrotnej rywalizacji o medium. Zaleca się również włączenie mechanizmu wymiany ramek RTS/CTS przed transmisją ramki z danymi w celu ograniczenia negatywnego wpływu stacji ukrytych.

3. Sygnalizacja z użyciem protokołu SWAN

Podobnie jak w przypadku projektu DAIDALOS I do zbudowania architektury QoS posłużył rozszerzony model SWAN, głównie za sprawą następujących cech:

- rozwiązanie wspiera różnicowanie usług dla 4 klas ruchu: VO, VI, BE i BK,
- wszystkie klasy ruchu są kontrolowane lokalnie, dzięki pomiarom dokonywanym w warstwie MAC,
- przyjmowanie zgłoszeń (*admission control*) odbywa się tylko w węźle źródłowym przy użyciu komunikatów *probe request/response*, które sprawdzają dostępność zasobów na całej ścieżce w sieci ad-hoc, między stacją źródłową i docelową.

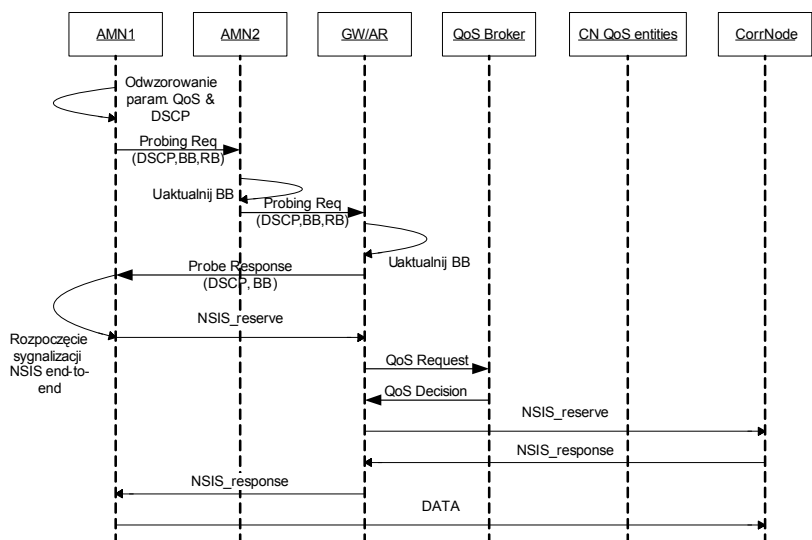
W przypadku występowania przeciążeń (np. na skutek mobilności) kontroler QoS informuje moduł znakowania bitów ECN o konieczności znakowania ruchu przynależnego do danej klasy. Moduł ECN rozpoczyna wtedy znakowanie pakietów IP bitem ECN. Podobna funkcjonalność jest zapewniona w drugim kierunku – odbiór oznakowanych pakietów jest raportowany do kontrolera QoS przez

moduł detekcji bitów ECN. Kontroler wysyła wtedy komunikat *regulate* do źródła, które rozpoczyna próbę renegocjacji nowych warunków połączenia z użyciem żądania *probe* wysyłanego do stacji docelowej. Pozwala to na dynamiczną regulację sesji klas VO (głos) i VI (video).

3.1. Sygnalizacja QoS i proces dynamicznej regulacji

Integracja systemów sygnalizacji sieci ad-hoc z systemami sygnalizacji sieci stałej odbywa się w bramie dostępu do sieci ad-hoc. Węzeł sieci ad-hoc, który chce zestawić połączenie z siecią stałą, powinien uzyskać informację o wolnych zasobach w sieci ad-hoc na drodze do odpowiedniej bramy, stosując w tym celu sygnalizację zaproponowaną w protokole SWAN. Za odwzorowywanie parametrów QoS aplikacji na parametry QoS sieci odpowiedzialny jest moduł QoSC. Każdy z węzłów mobilnych posiada moduł pomiarowy MMM, który dostarcza kontrolerowi QoS informacje o zajętości medium w danej klasie oraz średnim opóźnieniu transmisji ramek. Jeżeli węzeł źródłowy znajduje się w sieci ad-hoc, to wysyła on do kolejnego węzła na trasie komunikat *Probing Request* (zgodnie z rysunkiem 3).

Zawiera ona w nagłówku pakietu IPv6 pole BB (*Bottleneck Bandwidth*), które jest uaktualniane w kolejnych węzłach sieci ad-hoc informacją o minimalnym dostępnym w danym węźle paśmie dla danej klasy ruchu oraz pole RB (*Requested Bandwidth*), określające wartość zapotrzebowania na pasmo w określonej klasie ruchu dla danego strumienia transmisyjnego. W bramie dochodzi do porównania wartości paramet-



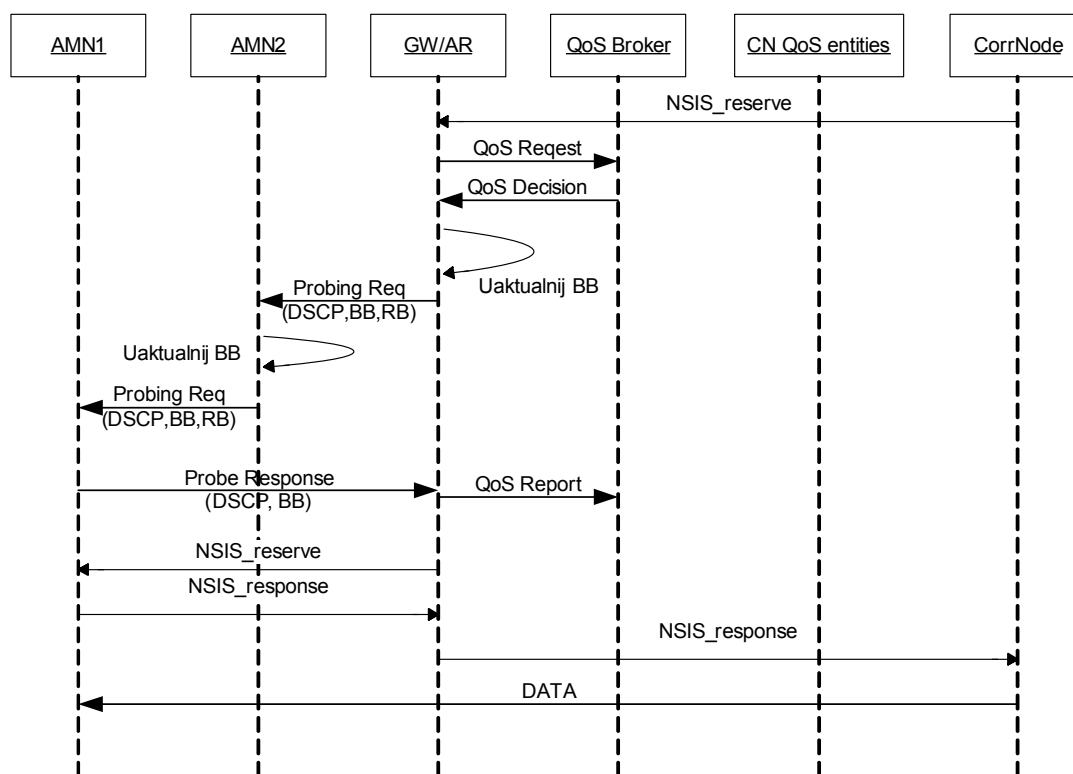
Rys. 3. Zestawienie sesji zainicjowanej w sieci ad-hoc

rów BB i RB (opcjonalnie może ona również dokonać sprawdzenia wartości opóźnień). Jeżeli wartość BB jest większa od RB, oznacza to, że sieć ad-hoc posiada wystarczające zasoby pasma w określonej klasie ruchu na przyjęcie nowego strumienia. Odpowiada ona wtedy komunikatem *Probing Response* podając wielkość dostępnego pasma na danej ścieżce. W przeciwnym przypadku do nadawcy wiadomości wysyłana jest informacja o błędzie. Po otrzymaniu komunikatu *Probing Response* węzeł źródłowy wysyła komunikat *NSIS_reserve* do bramy, która dokonuje sprawdzenia dostępności zasobów w sieci stałej wysyłając zapytanie do ZQoSB. Po otrzymaniu pozytywnego potwierdzenia brama wysyła komunikat *NSIS_reserve* do węzła docelowego. Otrzymanie przez węzeł źródłowy komunikatu *NSIS_response* oznacza, że sieć jest gotowa na przesłanie danych o zadanych wcześniej parametrach QoS. Proces ten został szczegółowo przedstawiony na rysunku 3.

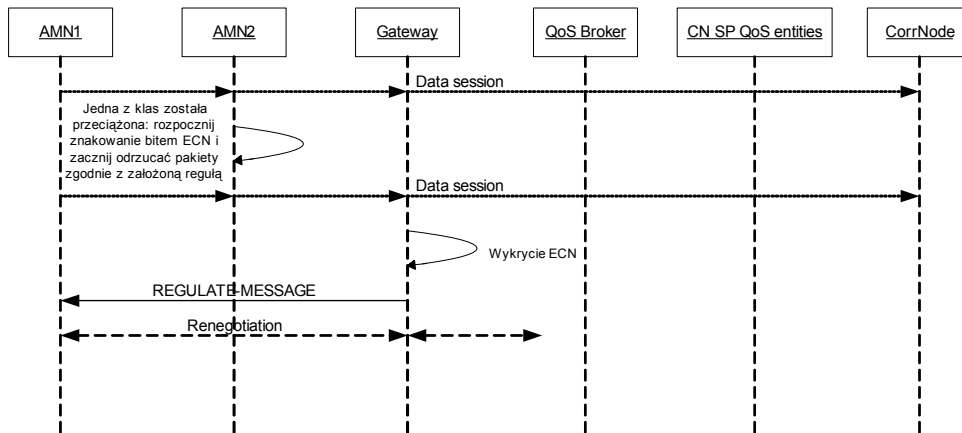
Jeżeli węzeł źródłowy znajduje się w sieci stałej to rezerwacja zasobów QoS rozpoczyna się od wysłania przez ten węzeł komunikatu *NSIS_reserve* do bramy sieci ad-hoc (por. rys. 4). Brama wysyła kolejno komunikat *QoS Request* do ZQoSB, sprawdzając w pierwszej kolejności dostępność zasobów trans-

misyjnych w sieci stałej. Po otrzymaniu pozytywnej odpowiedzi rozpoczyna ona proces rezerwacji zasobów w sieci ad-hoc wysyłając komunikat *Probing Request* do pierwszego węzła mobilnego, podobnie jak w przypadku zestawiania sesji inicjowanej w sieci ad-hoc. Jeżeli w sieci ad-hoc istnieją zasoby do przyjęcia strumienia o określonych parametrach QoS brama dostępu rezerwuje odpowiednie pasmo za pomocą komunikatu *NSIS_reserve* i wysyła komunikat *NSIS_response* do węzła źródłowego w sieci stałej. Rysunek 4 przedstawia szczegółowo wymianę poszczególnych wiadomości w przypadku zestawiania sesji zainicjowanej w sieci stałej.

W przypadku wystąpienia przeciążenia w sieci ad-hoc w danej klasie (np. na skutek mobilności węzłów sieci), rozpoczyna się proces znakowania pakietów tej klasy bitem ECN. Brama ma obowiązek monitorowania pakietów z uwagi na bit ECN i w przypadku wystąpienia takiej sytuacji informuje o tym źródło wysyłając komunikat *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 rysunek 5.



Rys. 4. Zestawienie sesji zainicjowanej w sieci stałej



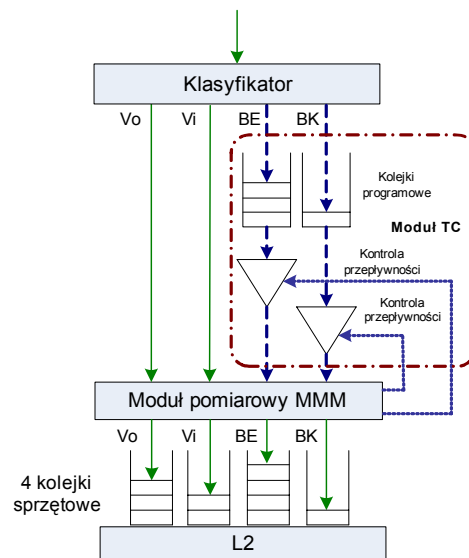
Rys. 5. Proces dynamicznej regulacji

3.2. Różnicowanie usług

Protokół SWAN pozwala również 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 projekcie DAIDALOS I rozbudowano model różnicowania usług do czterech niezależnych klas: głosu (VO), wideo (VI), ruchu niegwarantowanego (BE) i ruchu tła (BK). Żądanie rezerwacji pasma dla danej klasy ruchu w sieci ad-hoc jest dokonywane przez stację, która nawiązuje sesję. Na podstawie pomiarów dokonywanych w warstwie 2 żądanie rezerwacji może być dynamicznie dostosowywane do warunków panujących w sieci. Wielkość ruchu w poszczególnych klasach jest kontrolowana przez ograniczniki ruchu (ang. *shaper*). Należy tutaj zaznaczyć, że renegotjacje pasm dla poszczególnych sesji mogą być konieczne w warunkach występowania przeciążeń w danej klasie ruchu, głównie na skutek mobilności i wzajemnego przemieszczania się stacji w sieci ad-hoc. Rozszerzony model różnicowania ruchu użyty w projekcie DAIDALOS I składa się z kaskadowo połączonych ze sobą ograniczników ruchu, sterowanych za pomocą kontrolera na podstawie pomiaru opóźnienia w warstwie MAC [7].

Użycie standardu IEEE 802.11e oraz możliwości sprzętowe zastosowanych kart WLAN (implementacja sprzętowa kolejek) pozwoliło na realizację różnicowania usług na poziomie warstwy 2. Umożliwiło to uproszczenie rozbudowanej architektury węzła mobilnego oraz bramy dostępu, a także przyspieszyło sam proces różnicowania usług. W porównaniu z rozwiązaniem zaprezentowanym w projekcie DAIDALOS I, w projekcie DAIDALOS II wprowadzono kontrolę przepływności jedynie dla dwóch klas ruchu BE i BK. Nie do zaakceptowania jest, w większości przypadków, z punktu widzenia użytkownika, ograniczenie ruchu dla klas VO i VI. Jeżeli zostanie przekroczony założony

dla klas VO i VI ruchu, konieczna staje się ponowna renegotjacja szybkości transmisyjnej dla trwających sesji głosu lub wideo (np. poprzez wybór innego kodeka lub zmniejszenie jakości przesyłanego filmu/dźwięku). Kontrola ruchu w klasach VO i VI odbywa się głównie dzięki realizacji funkcji przyjmowania zgłoszeń. Opisany model różnicowania usług został przedstawiony na rysunku 6.



Rys. 6. Model różnicowania usług dla sieci ad-hoc w projekcie DAIDALOS II

3.3. Pomiary wykonywane w warstwie MAC

W sieci ad-hoc dla zapewnienia odpowiedniego poziomu QoS istnieje konieczność wykonywania ciągłych pomiarów na poziomie warstwy MAC. Każdy węzeł mobilny jest odpowiedzialny za przeprowadzanie takich pomiarów dla realizacji funkcji przyjmowania zgłoszeń oraz dla różnicowania ruchu (dla dwóch najniższych klas ruchu BE i BK). Moduł pomiarowy pozwala zbierać informacje odnośnie całkowitej przepustowości

zajętej w kanale bezprzewodowym, średniego opóźnienia transmisji ramek wysyłanych (mierzonego od momentu odebrania ramki przez warstwę MAC do chwili odebrania potwierdzenia po wymianie ramek zgodnie z trybem pracy RTS-CTS-DATA-ACK w EDCA), aktualnej szybkości transmisji (w przypadku standardów IEEE 802.11 a/b/g stacja nadaje/odbiera dane w zakresie szybkości od 1 do 54 Mbit/s), liczby aktywnych stacji (dla szacowania zajętości okna współzawodnictwa), liczby ramek wysyłanych, liczby ramek wysyłanych 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 przypadku zestawienia łącznego może dojść do przekroczenia sumy ruchu klasowego z uwagi na fakt, iż w sieci istnieje także ruch bezklasowy, który również zużywa zasoby sieciowe.

4. Strategie sygnalizacji podczas zestawiania sesji w relacji end-to-end

Architektura podsystemu sygnalizacji QoS obejmuje różne strategie sygnalizacyjne, umożliwiając obsługę wszystkich znanych obecnie aplikacji – w tym aplikacji multimedialnych i innych popularnych aplikacji, które nie mają wsparcia dla QoS. Strategie te obejmują:

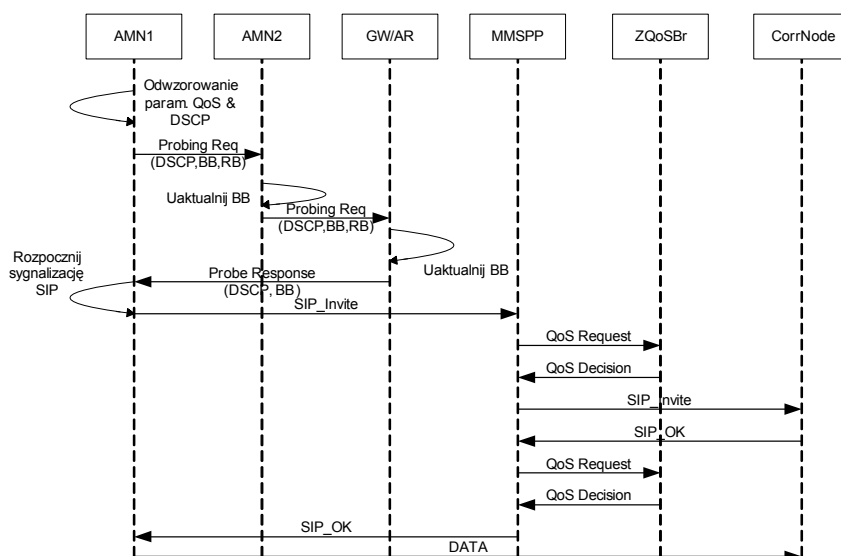
- sygnalizację QoS za pomocą dedykowanego protokołu sygnalizacyjnego NSIS i protokołu

DIAMETER – rozwiązanie to zostało szczegółowo opisane w sekcji 3.1,

- wykorzystanie protokołu SIP (*Session Initiation Protocol*) do przenoszenia informacji QoS [16],
- sygnalizację QoS inicjowaną przez sieć operatora.

Dwie pierwsze strategie korzystają z protokołu sygnalizacyjnego, którego zapytania są inicjowane w terminalu mobilnym, po czym zestawiana jest sesja sygnalizacyjna pomiędzy komunikującymi się terminalami. Dla sygnalizacji NSIS/DIAMETER moduł w MT wysłał zapytanie do sieci za pomocą protokołu NSIS. Modułem tym może być sama aplikacja, która wspiera sygnalizację QoS, lub specjalne oprogramowanie, które umożliwi wysyłanie żądań rezerwacji zasobów na rzecz dowolnej aplikacji. W TM możliwe jest także śledzenie pakietów i automatyczne zestawianie sygnalizacji QoS na podstawie profilu użytkownika, który jest przesyłany do terminala podczas procesu autoryzacji użytkownika. Protokół DIAMETER jest wykorzystywany tylko do komunikacji wewnątrz sieci operatora. W scenariuszu korzystającym z protokołu SIP, parametry QoS są umieszczane w opisie parametrów sesji SIP i przechwytywane w sieci operatora podczas procesu zestawiania połączenia (podobne rozwiązanie zostało zaproponowane w rozwiązaniach IMS/3GPP i TISpan). W trzeciej strategii inicjowanie rezerwacji zasobów QoS odbywa się w sieci operatora, przez moduły w ruterze dostępowym, które nadzorują zestawianie połączeń aplikacji.

Wszystkie trzy strategie mogą jednocześnie być zaimplementowane w sieci. Wybór mechanizmu zależy od aplikacji i od możliwości terminala. Poniżej zostaną opisane strategie druga i trzecia; scenariusz pierwszy został opisany w rozdziale 3.



Rys. 7. Zestawianie zasobów QoS w sieci ad-hoc dla protokołu SIP

Zestawianie rezerwacji QoS inicjowanej przez protokół SIP

Rysunek 7 przedstawia uproszczony proces zestawiania sesji SIP wraz z rezerwacją QoS w sieci ad-hoc. Aplikacja użytkownika, korzystająca ze stosu protokołów SIP w terminalu, sygnalizuje swoje wymagania do modułu SIP-UA (*SIP User Agent*) w MT. Wtedy SIP-UA wysła komunikat *QoS_request* do modułu QoSClient, który to moduł, w przypadku sieci ad-hoc, przekazuje zapytanie do kontrolera QoS. Następnie moduły odpowiedzialne za sterowanie QoS sprawdzają zasoby w sieci

ad-hoc pomiędzy terminalem a ruterem dostępowym. Po pozytywnej odpowiedzi otrzymanej przez SIP-UA, moduł ten wysyła komunikat *SIP_invite* do modułu MMSPP w podsieci LMD. MMSPP sprawdza autoryzację zapytania aplikacji używając sygnalizacji z A4C (dla uproszczenia rysunku, ta część sygnalizacji została pominięta), a następnie sygnalizuje parametry QoS dla sesji SIP do ZQoSBr. ZQoSBr wykonuje procedurę sprawdzenia dostępności zasobów QoS w sieci stałej. Jeśli zasoby istnieją, to zostają tymczasowo zarezerwowane. Następnie wynik zapytania zostaje odesłany do MMSPP. Po otrzymaniu pozytywnej odpowiedzi MMSPP kontynuuje zestawianie połączenia przez przesłanie komunikatu *SIP_invite* dalej, do terminala korespondenta. Po zestawieniu zasobów w sieci korespondenta i otrzymaniu komunikatu *SIP_OK* MMSPP potwierdza zestawienie sesji do ZQoSBr i SIP-UA. Otrzymanie komunikatu *SIP_OK* kończy proces zestawiania zasobów QoS dla danej sesji SIP.

Zestawianie rezerwacji QoS inicjowanej przez sieć dostępową

Zestawianie zasobów inicjowane przez sieć dostępową jest wykonywane w przypadku, gdy mechanizmy QoS nie są zaimplementowane w terminalu mobilnym, lub nie zostały one użyte. W takim przypadku, jeśli pojawi się pakiet, dla którego nie ma skonfigurowanych mechanizmów kolejkowania, AR zainicjuje proces rezerwacji zasobów. Gdy w routerze dostępowym zostanie zidentyfikowana nowa sesja aplikacji, uruchamia on sygnalizację do ZQoSBr, gdzie zostaje wykonana procedura sprawdzania czy pakiety danej sesji są uprawnione do uzyskania dostępu do sieci. Ponadto pobierane są parametry QoS dla sesji z profilu użytkownika. Sesje, które nie są powiązane z żadnym użytkownikiem, są blokowane, z wyjątkiem połączeń na adresy alarmowe. Po pozytywnej autoryzacji sesji, ZQoSBr konfiguruje sieć zgodnie z parametrami QoS będącymi w profilu użytkownika, tak aby obsługa była zgodna z ustalonym kontraktem pomiędzy użytkownikiem i operatorem sieci. Ten przypadek nie wspiera QoS w sieci ad-hoc, ponieważ z założenia występuje tylko wtedy, gdy mechanizmy QoS nie zostały zaimplementowane w MT i zapewnia gwarancje QoS tylko dla terminala bezpośrednio podłączonego do rutera dostępowego.

5. Wnioski

W artykule przedstawiono architekturę QoS zaproponowaną w projekcie DAIDALOS II. Główną uwagę zwrócono na integrację sieci ad-hoc z sieciami sta-

łymi w celu zapewnienia odpowiedniej jakości QoS w połączeniu end-to-end dla aplikacji multimedialnych. Opisywana architektura zawiera różne schematy sygnalizacji zestawiania sesji z użyciem protokołów SIP oraz NSIS. Dla sygnalizacji niezwiązanej ze ścieżkami danych modelu DiffServ zaproponowano użycie protokołu Diameter. W pracy opisano również mechanizmy pozwalające na jednolitą integrację sieci ad-hoc z sieciami stałymi. Po raz pierwszy użyto różnicowania na poziomie warstwy MAC, stosując standard IEEE 802.11e. Prezentowana architektura stanowi jedno z nielicznych całościowych rozwiązań problemu gwarantowania odpowiedniej jakości QoS w połączeniu end-to-end dla sieci ad-hoc zintegrowanych z sieciami stałymi (drugim po rozwiązaniu przedstawionym w projekcie DAIDALOS I, gwarantującym wsparcie dla 4 klas ruchu). Zaproponowana architektura jest obecnie testowana z użyciem symulatora NS-2 oraz implementowana w systemie Linux. Przyszłe prace skoncentrują się więc na walidacji architektury na drodze symulacji i rzeczywistych eksperymentów.

Literatura

- [1] DAIDALOS IST Project: *Designing Advanced Interfaces for the Delivery and Administration of Location independent Optimised personal Services*. (FP6-2002-IST-1-506997)
- [2] IEEE 802.11: *Standard for Wireless LAN: Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification*. New York, IEEE Inc., 1999
- [3] IEEE 802.11e: *MAC Quality of Service Enhancements*. New York, IEEE Inc., Nov. 2005
- [4] Gahng-Seop Ahn, A. T. Campbell, A. Veres, and Li-Hsiang Sun: *Supporting Service Differentiation for Real-Time and Best-Effort Traffic in Stateless Wireless Ad-Hoc Networks (SWAN)*. In IEEE Trans. on Mobile Comp., vol. 1, no. 3, pp. 192-207, July 2002
- [5] Hannan Xiao, Winston K.G. Seah, Anthony Lo, and Kee Chaing Chua: *A Flexible Quality of Service Model for Mobile Ad-Hoc Networks*. In Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, Tokyo, Japan, pp. 445-449, May 2000
- [6] Lee S.B. 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, pp. 374-406, Apr 2000
- [7] S. Crisóstomo, S. Sargento, M. Natkaniec, N. Vicari, *A QoS Architecture Integrating Mobile Ad-Hoc and Infrastructure Networks - Workshop on Internet Compatible QoS*. In Ad-Hoc Wireless Networks, Egypt, 3-6 Jan 2005

- [8] Głowacz A., M. Natkaniec, S. Sargento, S. Crisostomo: *MAC Layer Measurements for Supporting QoS in IEEE 802.11 Ad-Hoc Networks*. Workshop to QoS, held in conjunction with the Networking Conference, Coimbra, Portugal, 15-19 May 2006
- [9] MADWiFi – Multiband Atheros Driver for WiFi, <http://madwifi.org>
- [10] IETF, Next Steps in Signaling (nsis) charter: <http://www.ietf.org/html.charters/nsis-charter.html>
- [11] IETF, Diameter Maintenance and Extensions charter: <http://www.ietf.org/html.charters/dime-charter.html>
- [12] Blake S. (ed) et al., *An Architecture for Diff. Services*, IETF RFC 2475, Dec. 1998
- [13] Soliman et al., *Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)*, RFC4140, IETF, august 2005
- [14] IETF, *Network-based Localized Mobility Management charter*: <http://www.ietf.org/html.charters/netlmm-charter.html>, RFC 4831
- [15] IEEE P802.21/D9.1: *Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Hand-over Services*. March 2008
- [16] Rosenberg J., et al: *SIP: Session Initiation Protocol*. RFC 3261
- [17] Domingo M.C., Remondo D.: *Quality of Service Support in Wireless Ad Hoc Networks Connected to Fixed DiffServ Domains*. Proc. IFIP TC6 9th International Conference on Personal Wireless Communications PWC 2004, Delft, The Netherlands, September 2004



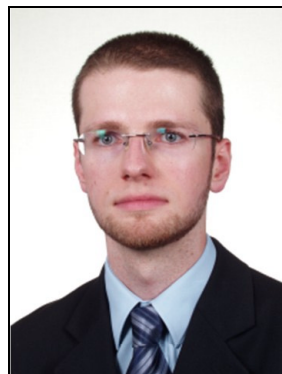
Marek Natkaniec otrzymał tytuł magistra inżyniera oraz doktora telekomunikacji na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w latach 1997 i 2002. Obecnie pracuje jako adiunkt w Katedrze Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej. Jego zainteresowania obejmują: lokalne sieci bezprzewodowe, projektowanie protokołów komunikacyjnych, zagadnienia QoS, usługi multimedialne, modelowanie oraz analiza wydajności pracy sieci

teleinformatycznych. Pracuje aktywnie w projektach europejskich. Uczestniczy również w realizacji projektów badawczych finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Jest współautorem czterech książek oraz ponad sześćdziesięciu publikacji.



Katarzyna Kosek-Szott ukończyła studia na wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w roku 2006. Obecnie jest w trakcie studiów doktoranckich w Katedrze Telekomunikacji AGH. Jej zainteresowania koncentrują się przede wszystkim na problemach dotyczących sieci bezprzewodowych. W szczególności obejmują zagadnienia związane z bezprzewodowymi sieciami lokalnymi (w tym sieciami ad-hoc)

oraz z zapewnieniem odpowiedniej jakości usług w tych sieciach. Realizuje bądź realizowała następujące projekty europejskie: DAIDALOS II, CONTENT, CARMEN, MEDUSA, jak również granty Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Jest autorką lub współautorką ponad 20 artykułów naukowych oraz rozdziału książki.



Szymon Szott ukończył studia na wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w roku 2006. Obecnie jest w trakcie studiów doktoranckich w Katedrze Telekomunikacji AGH. Jego zainteresowania koncentrują się przede wszystkim na problemach dotyczących bezprzewodowych sieci lokalnych (w tym sieci ad-hoc). W szczególności obejmują zagadnienia związane z bezpieczeństwem oraz zapewnieniem

odpowiedniej jakości usług w tych sieciach. Realizuje bądź realizował następujące projekty europejskie: DAIDALOS II, CONTENT, CARMEN, MEDUSA, jak również granty Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Jest autorem lub współautorem ponad 20 artykułów naukowych oraz rozdziału książki.



Andrzej Ryszard Pach ukończył Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki AGH w roku 1975, w r. 1977 doktoryzował się na AGH, a w roku 1990 uzyskał stopień doktora habilitowanego na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej. Zatrudniony jest obecnie na stanowisku profesora zwyczajnego w Katedrze Telekomunikacji AGH, w której pełni funkcję kierownika. Wcześniej był prodziekanem Wydziału EAiE.

Główne zainteresowania naukowe związane są z sieciami telekomunikacyjnymi oraz systemami informacyjnymi. Autor ponad stu publikacji naukowych z zakresu protokołów komunikacyjnych, modelowania i analizy sieci komputerowych, sieci szerokopasmowych z integracją usług. Aktywnie uczestniczy w projektach europejskich IST, ACTS, COST i COPERNICUS. Członek komitetów programowych konferencji międzynarodowych. Konsultant firm państwowych i prywatnych w zakresie nowoczesnej telekomunikacji.

Współzałożyciel i wiceprezydent Fundacji Postępu Telekomunikacji, przewodniczący IEEE Communications Society Chapter.