



Wykorzystanie projektowania międzywarstwowego dla transmisji multimedialnej w bezprzewodowych sieciach WLAN

PIOTR ŁUBKOWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Telekomunikacji,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W artykule przedstawiono ogólną ideę realizacji usług multimedialnych z gwarancjami jakości w bezprzewodowych sieciach WLAN. Dokonano charakterystyki bezprzewodowych sieci WLAN oraz wymagań jakościowych dla transmisji multimedialnej, ze szczególnym uwzględnieniem transmisji wideo. Przeprowadzono analizę rozwiązań projektowania międzywarstwowego wspierających realizację usług wideo z gwarancjami jakości. W dalszej części artykułu zaprezentowana została autorska koncepcja wykorzystania projektowania międzywarstwowego do realizacji transmisji wideo QoS w sieci WLAN.

Słowa kluczowe: QoS, WLAN, cross-layer

Symbole UKD: 681.324

1. Wprowadzenie

Sieci bezprzewodowe stają się na przestrzeni ostatnich lat przedmiotem zainteresowania producentów, dostawców usług, użytkowników oraz projektantów sieci komputerowych. Początki sieci WLAN datowane są na 1997 rok, kiedy IEEE zaakceptowała specyfikację 802.11 [11, 12]. Standard ten określa dwie najniższe warstwy modelu OSI: fizyczną oraz łącza danych i umożliwia transmisję w paśmie 2,4 GHz z szybkością 1 lub 2 Mbit/s. Wobec rosnącego zainteresowania transmisją bezprzewodową w kolejnych latach powstały kolejne generacje standardu, oferujące przede wszystkim znacznie większe szybkości transmisji (5,5, 11 lub 54 Mbit/s).

Implementacja technologii IEEE 802.11 w odniesieniu do bezprzewodowych sieci LAN (WLAN) stworzyła nowe możliwości w zakresie realizacji aplikacji multime-

dialnych czasu rzeczywistego. Realizacja tych aplikacji wymaga stałego i wysokiego poziomu jakości, który charakteryzowany jest przez zbiór takich parametrów, jak przepustowość czy opóźnienie transmisji pakietów. Cechą charakterystyczną sieci WLAN jest to, że szybkość transmisji oferowana w warstwie fizycznej sieci WLAN jest ściśle uzależniona od charakterystyk wykorzystywanego kanału radiowego. Warunki transmisyjne oferowane w kanale WLAN podlegają ciągłym zmianom i zależą od szeregu czynników, do których można zaliczyć mobilność abonenta, interferencje i błędy. Ma to zdecydowany wpływ na jakość transmisji, a co za tym idzie — także na jakość realizowanej aplikacji. Do aplikacji szczególnie wrażliwych na zmiany charakterystyk kanału radiowego zaliczyć należy telefonię, wideokonferencje czy media strumieniowe. Z tego punktu widzenia transmisja danych multimedialnych w sieci WLAN stwarza wiele ograniczeń wynikających z ograniczonego pasma kanału radiowego oraz ze zmiennej natury warunków propagacji w tymże kanale. Ponadto, w przypadku standardu 802.11 źródło aplikacji rywalizuje o dostęp do kanału radiowego. Jest to przyczyną powstawania dodatkowych opóźnień, które w znaczny sposób obniżają jakość aplikacji multimedialnej. Z uwagi na transmisję w czasie rzeczywistym, stosowanie mechanizmów retransmisji oferowanych przez warstwę MAC może w efekcie pogarszać jakość usługi. Z przedstawionej powyżej analizy wynika, że zapewnienie jakości QoS w odniesieniu do transmisji multimedialnej z wykorzystaniem sieci WLAN 802.11 nie jest prostym zadaniem.

Prace badawcze realizowane w odniesieniu do transmisji multimedialnej w sieci WLAN koncentrują się na wykorzystywaniu technik adaptacji łącza oraz optymalizacji strumienia wideo z wykorzystaniem sygnalizacji międzywarstwowej (*cross-layer signalling*). Technika adaptacji łącza identyfikuje zmiany charakterystyk kanału radiowego i na tej podstawie dokonuje adaptacji mechanizmów funkcjonujących w warstwie MAC. Sygnalizacja międzywarstwowa wykorzystywana jest w celu poinformowania warstwy aplikacji o charakterystykach jakościowych łącza radiowego. Informacja ta jest następnie wykorzystywana do adaptacji charakterystyk strumienia wideo (multimedialnego) w celu jego transmisji w sieci WLAN z zakładanym poziomem jakości QoS. Łączne stosowanie technik adaptacji łącza i sygnalizacji międzywarstwowej w celu realizacji aplikacji z określonym poziomem jakości nazywane jest w literaturze projektowaniem międzywarstwowym.

W artykule dokonano analizy aktualnych propozycji w zakresie wykorzystania projektowania międzywarstwowego do celów transmisji wideo w sieci WLAN oraz przedstawiono własną propozycję optymalizacji strumienia wideo z wykorzystaniem sygnalizacji międzywarstwowej.

2. Charakterystyka technologii dostępu radiowego WLAN

Podstawową jednostką organizacyjną sieci WLAN jest komórka czy też domena sieci, wewnątrz której współpracujące stacje robocze łączą się wzajemnie bezpo-

średnio albo za pośrednictwem wydzielonych urządzeń pełniących funkcje stacji bazowych. Transmisja realizowana jest z wykorzystaniem systemów radiowych lub optycznych. Sieci radiowe wykazują specyficzne cechy wynikające z właściwości stosowanego kanału. Możliwość obsługi stacji ruchomych i oferowanie przez radiowe sieci LAN jakości obsługi na poziomie zbliżonym do gwarantowanego przez sieci przewodowe jest jednym z czynników decydujących o ich popularności. Drugim rodzajem techniki rozsiewczej, wykorzystywanym przez sieci bezprzewodowe jest rozwiązanie wykorzystujące promieniowanie podczerwone (z zakresu fal 700-1500 nm). Zastosowanie tego rozwiązania jest ograniczone do zamkniętych połączeń i w związku z tym nie będzie przedmiotem dalszych rozważań.

Bezprzewodowe sieci WLAN, podobnie jak sieci przewodowe, muszą spełniać określone wymagania użytkowe związane z zapewnieniem określonego poziomu jakości pracy sieci. Do najważniejszych wymagań należy zaliczyć:

1. **Niezawodność** — określoną parametrami niezawodnościowymi identycznymi jak dla konwencjonalnej sieci przewodowej i charakteryzowaną możliwością transmisji danych w przypadku niesprawności węzłów lub pogorszenia się parametrów kanałów.
2. **Przezroczystość** — oznaczającą możliwość współpracy systemu bezprzewodowego z systemem przewodowym.
3. **Wysoką przepustowość** — porównywalną z przepustowością systemów przewodowych.
4. **Bezpieczeństwo** — związane z koniecznością zapewnienia poufności przesyłanych informacji. Zapewnienie poufności transmisji w kanale radiowym jest przedsięwzięciem złożonym i wymaga zastosowania mechanizmów utajniania z wykorzystaniem różnorodnych metod kryptografii, kontroli dostępu i identyfikacji użytkowników.
5. **Mobilność** — jest jedną z podstawowych cech użytkowych sieci WLAN, która decyduje o jej atrakcyjności, a oznacza możliwość wysyłania i odbioru danych podczas ruchu stacji na obszarze działania sieci WLAN.
6. **Elastyczność** — określającą szybkość i łatwość rekonfigurację struktury sieci.
7. **Ekonomiczność** — pomimo bardziej kosztownych rozwiązań sprzętowych, instalacje bezprzewodowe są jednak bardziej ekonomiczne z uwagi na koszty okablowania i koszty rekonfiguracji sieci przewodowych.

Pomimo niewątpliwych zalet, technologie bezprzewodowe posiadają również wady. Głównym mankamentem są właściwości propagacyjne wykorzystywanego medium. Osiągnięcie wysokiej jakości transmisji w sieciach WLAN stanowi duży i poważny problem techniczny. Do głównych czynników wpływających na jakość transmisji w sieci WLAN zaliczyć należy [10]:

- wielkość energii emitowanej przez urządzenia radiowe,
- odbicia sygnałów prowadzące do zaników przesyłanych sygnałów,
- oddziaływania otoczenia, w tym szczególnie innych urządzeń radiowych.

Transmisja informacji w sieci WLAN realizowana jest w oparciu o kanały radiowe. Własności kanału WLAN są podobne do własności kanału radiowego wykorzystywanego w systemie komórkowym. Różnice wynikają z szerokości stosowanego pasma sygnału i zakresu używanych częstotliwości, odległości pomiędzy stacją bazową (punkt dostępu) a terminalem ruchomym. Istotny jest również charakter środowiska, w którym odbywa się transmisja i charakter jego niestacjonarności.

Kanał WLAN jest kanałem szerokopasmowym zdolnym do przeniesienia strumieni danych o przepływnościach 10-20 Mbit/s oraz fizycznie ograniczony do niewielkich zasięgów, typowo kilkunastu lub kilkudziesięciu metrów. Łączność w takim kanale może być realizowana następującymi metodami:

- w zakresie mikrofalowym, przy zastosowaniu sygnałów wąskopasmowych lub sygnałów z poszerzonym widmem,
- w zakresie fal optycznych, przy wykorzystaniu transmisji w podczerwieni.

Do transmisji radiowej w bezprzewodowych sieciach LAN wyznaczono kilka pasm częstotliwości: 2400-2483,5 MHz, 5725-5850 MHz, 18 GHz i 60 GHz.

W bezprzewodowych sieciach LAN wykorzystuje się transmisję zarówno klasycznych sygnałów wąskopasmowych, jak i sygnałów z poszerzonym widmem. Większość systemów dostępnych obecnie na rynku, wykorzystujących transmisję mikrofalową, oparta jest na transmisji z poszerzonym widmem.

Cechą charakterystyczną kanału radiowego, w jakim działają typowe sieci bezprzewodowe LAN, są z jednej strony liczne odbicia od przeszkód i wynikająca z tego wielodrogowość, a z drugiej strony — stosunkowo niewielki rozrzut czasów propagacji poszczególnych promieni. Typowe opóźnienia związane z propagacją kształtują się na poziomie 50 ns. Kanał charakteryzuje się także zmiennością parametrów w czasie, która wynika np. z ruchu osób w pomieszczeniu.

W przypadku systemów transmisji wąskopasmowej wykorzystywana jest cyfrowa modulacja fazy M-PSK lub modulacja częstotliwości FSK, MSK czy GMSK i TFM. Systemy stosujące transmisję z poszerzonym widmem stosują zarówno kluczkowanie bezpośrednie, jak i skakanie po częstotliwościach. Szerokość kanału w systemach z poszerzonym widmem jest rzędu 500 kHz dla transmisji w paśmie 900 MHz i około 1 MHz dla transmisji w paśmie 2,4 GHz.

Główną przyczyną zakłóceń podczas transmisji w kanale WLAN w systemach wąskopasmowych są efekty związane z wielodrogowością oraz interferencją sygnałów. W celu ograniczenia skutków tych zniekształceń stosowany jest odbiór zbiorczy: przestrzenny, częstotliwościowy lub wykorzystujący różne polaryzacje pola elektromagnetycznego. Średnia moc nadajnika stacji przenośnej wynosi 5-10 W, a system oferuje typowo 5-20 kanałów, zależnie od rozwiązania.

Standardy rodziny 802.11 określają parametry niezbędne dla zapewnienia kompatybilności sieci oraz sposoby badania narzuconych wymagań. Przyjmuje się, że urządzenia pracujące w systemie 802.11b oznaczane są znakiem Wi-Fi, natomiast urządzenia standardu 802.11a — znakiem Wi-Fi5. Obecnie najpopularniejszym standardem jest standard IEEE 802.11b.

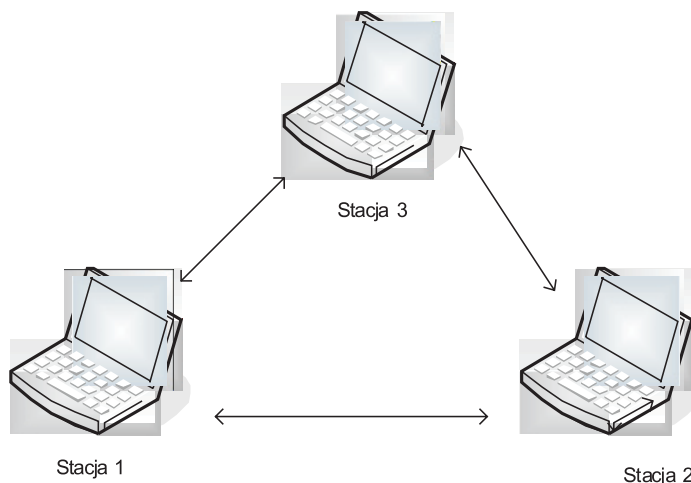
Głównymi elementami sieci bezprzewodowych są punkty dostępowe (*access point* — AP) pełniące funkcje pomostowe pomiędzy siecią przewodową i bezprzewodową oraz stacje mobilne, tj. urządzenia komputerowe wyposażone w interfejsy sieci bezprzewodowych. Wymiana informacji odbywa się w paśmie fal radiowych niepodlegających koncesjonowaniu 2,4 GHz (5 GHz). W związku z tym do instalacji sieci tego typu nie są wymagane specjalne zezwolenia. Punkty dostępowe rozmieszczone na określonym obszarze komunikują się ze sobą za pośrednictwem systemu dystrybucyjnego, np. sieci szkieletowej (Ethernet).

Standard 802.11 określa trzy typy sieci bezprzewodowych:

- **IBSS** (*Independent Basic Service Set*) — niezależny podstawowy zbiór usług,
- **BSS** (*Basic Service Set*) — podstawowy zbiór usług,
- **ESS** (*Extender Service Set*) — rozszerzony zbiór usług [3].

IBSS są to sieci określane mianem tymczasowych (*ad-hoc network*). Stacje komunikują się ze sobą bezpośrednio, nie wykorzystując punktu dostępowego. Nie wymagają wstępnych planów ani pomiarów, składają się z małej liczby stacji (minimum dwie stacje), funkcjonują na niewielkim obszarze w krótkim okresie czasu, np. podczas konferencji, wykładu. Brak punktu dostępowego z jednej strony obniża koszty sieci, z drugiej strony uniemożliwia jednak podłączenie do sieci stacjonarnej [9].

Przykładowa konfiguracja sieci typu IBSS przedstawiona została na rysunku 1.

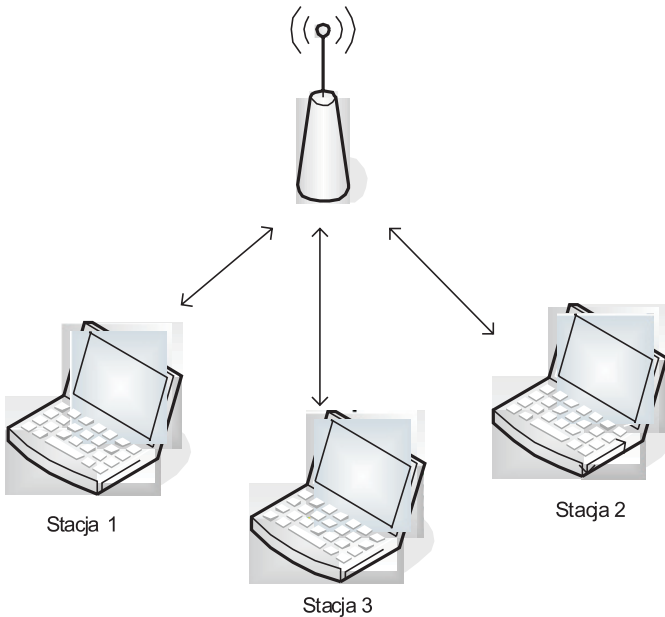


Rys. 1. Sieć typu IBSS

Sieci typu **BSS** wymagają zastosowania wyspecjalizowanej stacji — punktu dostępowego (AP). Pełni on rolę elementu centralnego dla wszystkich stacji należących do tego typu sieci. Stacje nie komunikują się bezpośrednio ze sobą. Nawią-

zują połączenie z punktem dostępowym, który przesyła ramki do stacji docelowej. Wszystkie komunikaty przechodzą przez punkt dostępowy. Stacje muszą znajdować się w zasięgu AP, nie ma ograniczeń w odniesieniu do odległości pomiędzy stacjami. AP charakteryzują się możliwością rozpoznawania pracy stacji w trybie zmniejszonego poboru mocy. Punkt AP posiada możliwość buforowania ramek, dzięki czemu stacje mogą włączać urządzenia nadawczo-odbiorcze tylko na czas transmisji lub odbioru buforowanych ramek. Stacja przenośna inicjuje powiązanie z AP (może ona dowiązać się wyłącznie do jednego AP), ten natomiast decyduje o przyznaniu dostępu bądź odmowie przyznania. Standard nie określa liczby stacji obsługiwanych przez jeden AP, ograniczenia mogą być wprowadzane w praktycznej realizacji ze względu na przepustowość sieci [2].

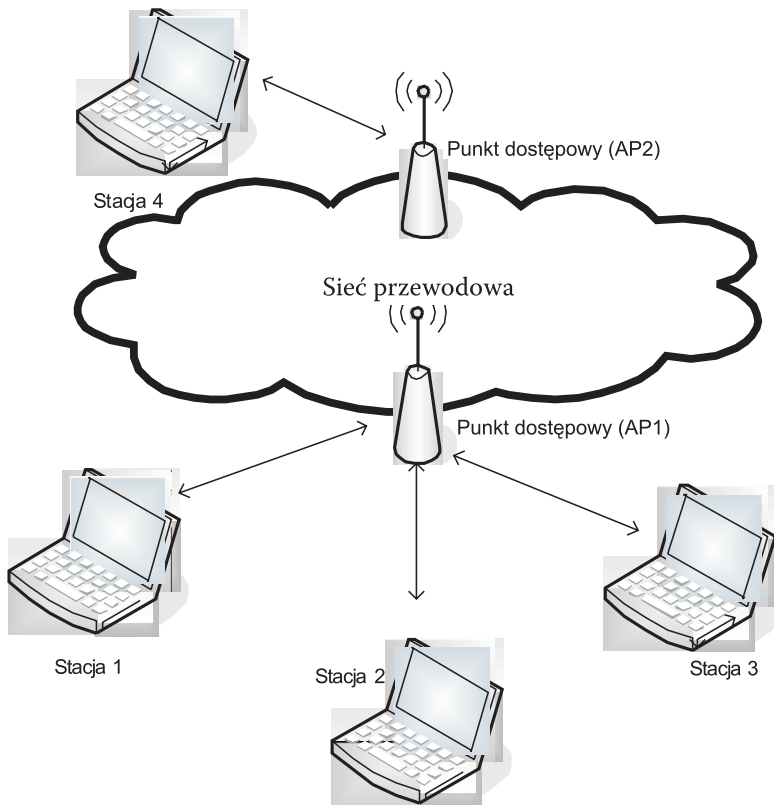
Przykładowa konfiguracja sieci typu BSS zamieszczona została na rysunku 2.



Rys. 2. Sieć typu BSS

Zbiór sieci typu BSS połączonych przez system dystrybucyjny (sieć szkieletową) nazywany jest siecią ESS — z rozszerzonym zestawem usług. Dzięki temu rozwiązaniu stacje mobilne mogą komunikować się ze sobą, mimo iż nie są w tych samych podsieciach (wykorzystują różne zestawy usług). Punkty dostępowe informują się nawzajem o stacjach, z którymi są powiązane. System dystrybucyjny dostarcza ramkę do AP obsługującego tę stację wtedy, kiedy ramka jest wysyłana do stacji przenośnej [15].

Przykładowa sieć ESS zamieszczona jest na rysunku 3.



Rys. 3. Sieć typu ESS

3. Analiza wymagań jakościowych dla transmisji wideo

Usługa wideo jest jedną z najbardziej wymagających usług multimedialnych. Sygnał wideo można opisać przy pomocy określonych parametrów ruchowych i jakościowych, takich jak:

- rozdzielczość, czyli rozmiar ramki w pionie i poziomie mierzony w punktach obrazu (pikselach),
- sposób kodowania kolorów jest to sposób kodowania jednego punktu przy użyciu określonej liczby bitów. W zależności od wymaganej jakości obrazu do opisu koloru pojedynczego punktu używa się różnej liczby bitów. Najczęściej stosowany jest standard 24-bitowy, który w zadowalający sposób odwzorowuje kolorystykę złożonych obrazów kolorowych. Na każdą składową RGB obrazu przypada 8 bitów, co daje 16,7 mln kolorów. W wielu przypadkach wystarczające jest jednak 256 kolorów,
- częstotliwość odświeżania obrazu — liczba klatek wyświetlanych w czasie jednej sekundy.

Dla transmisji wideo bardzo ważne są wymagania użytkownika związane z odbiorem informacji wideo. Użytkownik odbiera informację wideo przy pomocy dwóch zmysłów — słuchu i wzroku. Narząd słuchu jest bardzo wymagający i utrata kilku bitów informacji może znacznie utrudnić lub uniemożliwić odbiór. Zmysł wzroku jest bardziej tolerancyjny i dopuszcza wystąpienie błędów czy też utratę danych.

Transmisja informacji wideofonicznej związana jest z zdefiniowaniem parametrów jakościowych dla użytkownika końcowego (*end-to-end QoS*), takich jak:

- opóźnienie transferu informacji,
- zmienność opóźnienia,
- prawdopodobieństwo strat.

Przyjmuje się, że wartość maksymalnego opóźnienia w transmisji wideofonicznej jest równa wartości zdefiniowanej dla transmisji mowy w zaleceniu ITU-T G.114 (tab. 1).

TABELA 1

Wartość opóźnienia dla transmisji wideo

Wartość opóźnienia jednokierunkowego [ms]	Jakość usługi
0-150	Akceptowalna dla większości aplikacji
150-400	Wprowadzająca zakłócenia dla ograniczonej liczby aplikacji
> 400	Nieakceptowana

Zmienność opóźnienia, czyli jitter występuje po stronie odbiorczej i objawia się brakiem synchronizacji pomiędzy informacją wideo i fonią. Zakłada się, że użytkownik jest w stanie zaobserwować utratę synchronizacji w jednokierunkowym strumieniu wideo, jeżeli występuje ona przez okres dłuższy niż ± 80 ms.

Prawdopodobieństwo strat związane jest z utratą informacji występującą podczas transferu, stanowi niepożądany element sygnału użytecznego i prowadzi do powstawania zakłóceń oraz przerw w transmisji.

Kolejnymi wymaganiami dla transmisji wideo są wymagania stawiane sieci, w której transmisja ta będzie miała miejsce, czyli:

- dostępne pasmo,
- czas opóźnienia,
- fluktuacje opóźnienia (*jitter*).

Opóźnienie i fluktuacje opóźnienia kompensuje się poprzez inteligentne buforowanie sygnału. Jest to możliwe wyłącznie wtedy, gdy pasmo wymagane do transmisji jest znacznie mniejsze od dostępnego pasma kanału transmisyjnego.

Redukcja informacji realizowana jest poprzez:

- modyfikację parametrów sygnału wideo,
- kompresję strumienia wideo, która zmniejsza ilość informacji nadmiarowej,
- zastosowanie obu technik jednocześnie.

Szerokość pasma wymaganego do transmisji obrazów zależy od częstotliwości wyświetlania ramek, rozdzielczości punktowej obrazu, jakości kolorów, formatu obrazu i jakości głosu. Dla standardowych przekazów analogowych szerokość pasma wynosi 6 MHz, przy czym sygnał zajmuje 4,5 MHz, w przypadku przekazu cyfrowego dla sygnałów o dużej rozdzielczości, bez kompresji sygnału, wymagana jest przepływność od 90 do 270 Mb/s.

W celu zawężenia pasma stosuje się dwa rodzaje kompresji obrazowej:

- bezstratną (ITU-R 723 redukuje przekaz w stosunku 10:1),
- stratną (dopuszczalna w stosunku 200:1).

W odniesieniu do transmisji wideo wyróżnić można dwa rodzaje ruchu: wideo interaktywne (np. wideokonferencja) i wideo strumieniowe (zarówno typu *unicast*, jak i typu *multicast*). Każdy z wymienionych rodzajów ruchu cechuje się innymi właściwościami i w związku z tym reprezentuje inne wymagania związane z jakością QoS (tab. 2).

TABELA 2

Wymagania jakościowe dla różnych strumieni wideo

Medium	Typ usługi	Stopnie symetrii	Typowa przepływność	Główne parametry wydajności i wielkości wyjściowych		
				Opóźnienie w jedną stronę	Współczynnik strat pakietów	Synchronizacja
Wideo	Wideo-foniczna	Dwukierunkowa	16-384 kb/s	< 150 ms zalecane < 400 ms maksymalne	< 1% PLR (Packet Loss Ratio)	Synchronizacja dźwięku z obrazem < 80 ms
Wideo	Wideo na żądanie	Jednokierunkowa	16-384 kb/s	< 10 s	< 1% PLR	

Obsługa ruchu związanego z transmisją wideo interaktywnego wymaga uwzględnienia następujących wymagań jakościowych:

- Interaktywny ruch wideo powinien być oznaczany kodem DSCP AF41. W przypadku ruchu przekraczającego warunki kontraktu układ kształtujący może dokonać modyfikacji kodu DSCP do wartości AF42 lub AF43.
- Straty powinny kształtować się na poziomie niższym niż 1%.
- Opóźnienie jednokierunkowe nie powinno przekraczać wartości 150 ms.
- Wartość *jittera* nie powinna być większa niż 30 ms.

Identyfikacja wymagań QoS dla strumieniowego ruchu wideo wymaga uwzględnienia następujących założeń:

- Strumieniowy ruch wideo (niezależnie od tego, czy jest to ruch typu *unicat* czy typu *multicast*) powinien być oznaczony kodem DSCP CS4.
- Straty powinny być mniejsze niż 5 procent.
- Opóźnienie nie powinno przekraczać wartości 4 do 5 sekund (zależnie od możliwości buforowania aplikacji wideo).
- Nie zostały zdefiniowane szczególne wymagania dotyczące *jittera*.
- Gwarancje w zakresie przepustowości (CBWFQ) związane są z formatem kodowania i szybkością strumienia wideo.

Wideo typu strumieniowego cechuje się zatem mniejszymi wymaganiami w zakresie QoS, ponieważ nie jest czułe na opóźnienie ani na zmienność opóźnienia. Jednakże może przenosić treści wymagające gwarancji realizacji usługi.

4. Koncepcja transmisji wideo QoS w sieci WLAN

Realizacja transmisji wideo z gwarancjami jakości w środowisku sieci WLAN nie jest zadaniem łatwym do realizacji. Przyczyną takiego stanu rzeczy są nie tylko charakterystyki samego medium transmisyjnego, ale również narzut informacyjny wprowadzany przez mechanizmy wykorzystywane do transmisji informacji w sieci WLAN. Każde rozwiązanie gwarantujące jakość usług w sieci WLAN musi zatem uwzględniać wymienione ograniczenia, a w szczególności zapewniać możliwość adaptacji do zmieniających się parametrów sieci. Rozwiązania QoS dla sieci WLAN powinny zapewniać obsługę aplikacji multimedialnych (np. wideo), być niezawodne, proste w użyciu i efektywne pod względem kosztów.

Zmiany parametrów sieci WLAN wpływają bezpośrednio na dostępną przepustowość, opóźnienie, zmienność opóźnienia i błędy transmisji. Prowadzi to do wniosku, że realizacja usług wrażliwych na parametry QoS w środowisku WLAN wymaga zastosowania inteligentnego i adaptacyjnego mechanizmu QoS, który zapewni poprawę wykorzystania dostępnych zasobów sieci.

Podstawowa specyfikacja dla sieci WLAN, jaką jest specyfikacja 802.11, nie definiuje mechanizmów wspierających parametry QoS, ale już jej rozszerzenie 802.11e wprowadza mechanizmy wspierające QoS w warstwie MAC [1]. Mechanizmy te implementowane są wraz z podstawowymi algorytmami dostępu do sieci WLAN. Działanie wymienionych mechanizmów QoS zbliżone jest do zaproponowanych dla architektur sieci przewodowej mechanizmów typu *DiffServ* i *IntServ*.

Niestety, większość obecnie wykorzystywanych systemów sieci WLAN obsługuje jedynie podstawową implementację, dla której brak jest zdefiniowanych mechanizmów QoS. Obsługa aplikacji multimedialnych, a w szczególności usług wideo z gwarancjami QoS w odniesieniu do tego rodzaju sieci WLAN wymaga innego podejścia.

W literaturze przedmiotu znaleźć można szereg propozycji rozwiązań traktujących o transmisji wideo w sieci WLAN. Rozwiązaniem, które zasługuje na największą uwagę, także ze względu na swoją popularność, jest rozwiązanie wykorzystujące projektowanie między warstwowe. Ideą współpracy międzywarstwowej jest przekazanie informacji o stanie medium transmisyjnego (np. informacja o warunkach propagacji w kanale radiowym) do warstw wyższych, w celu uruchomienia procedur zapewniających optymalne wykorzystanie dostępnej przepustowości medium transmisyjnego przy jego aktualnym stanie fizycznym. W stosunku do transmisji wideo będzie to najczęściej przekazywanie informacji o dostępnej przepustowości w celu adaptacji warunków pracy kodeka wideo. Propozycja takiego rozwiązania przedstawiona została w [6] i zakłada wykorzystanie informacji o rzeczywistej dostępnej przepustowości kanału WLAN do sterowania współczynnikiem kwantyzacji kodeka wideo. Informacja o dostępnej przepustowości określana jest na podstawie wartości współczynnika CSI (*Channel State Information*). Wielkość ta wykorzystywana jest także dla potrzeb adaptacji szybkości na poziomie warstwy 2, gdzie w zależności od stanu łącza dobierane są: rodzaj i wartościowość modulacji. Adaptacja przepustowości (szybkości transmisji) jest kolejnym mechanizmem zapewniającym realizację usług wideo z należytych poziomem QoS. Standard 802.11a udostępnia następujące rodzaje szybkości transmisji: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 i 54 Mbit/s. Każda szybkość odpowiada innemu schematowi modulacji, który adaptacyjnie dobierany jest do wartości SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), uzyskiwanej na podstawie obserwacji charakterystyk kanału WLAN. Wybór rodzaju modulacji właściwego dla charakterystyki kanału zapewni w tych warunkach optymalizację przepustowości. Niestety, w standardzie 802.11 nie ma zdefiniowanego mechanizmu automatycznej adaptacji szybkości transmisji. Zachodzi zatem potrzeba realizacji tego przedsięwzięcia w oparciu o własny mechanizm. W literaturze prezentowanych jest kilka metod realizacji tego zadania. Do najpopularniejszych należą: metoda statystycznej automatycznej adaptacji szybkości, metoda automatycznej adaptacji szybkości z wykorzystaniem SNR czy metoda hybrydowa automatycznej adaptacji szybkości. Metoda statystyczna jest jedną z najprostszych metod pozyskiwania informacji o stanie łącza, wykorzystującą informacje, takie jak ramkowa stopa błędów FER (*Frame Error Rate*), potwierdzenia transmisji czy uzyskiwana przepustowość. W przypadku pomiaru przepustowości wykorzystywane jest wysyłanie małych paczek danych z dwoma różnymi szybkościami transmisji (najbliższą wyższą i niższą od aktualnie wykorzystywanej). Do dalszej transmisji wybierana jest ta szybkość, która w założonym okresie okna decyzyjnego uzyska najwyższą przepustowość. W odniesieniu do ramkowej stopy błędów wykorzystywane jest potwierdzanie poprawnie odebranych ramek danych, które stosowane jest w standardzie 802.11. Każda poprawnie odebrana ramka potwierdzana jest nadaniem ramki ACK. Kontrola liczby ramek nadanych i odebranych potwierdzeń umożliwia określenie wartości FER w założonym oknie obserwacji. Wybór rozmiaru okna oraz progów przełączania szybkości transmisji ma w tym przypadku szczególne znaczenie dla

wydajności zastosowanego mechanizmu FER. Przedstawione powyżej mechanizmy umożliwiają pozyskanie informacji o stanie łącza po przesłaniu kilku ramek danych. Taka skala czasowa może okazać się nieadekwatna do szybkości zmian charakterystyk łącza radiowego WLAN. Stąd też metoda statystyczna zakłada wykorzystanie jeszcze jednego mechanizmu, jakim jest mechanizm retransmisji. Umożliwia on zmianę szybkości transmisji po kilku nieudanych retransmisjach ramki danych (zazwyczaj od 5 do 10). Pozwala to skrócić czas reakcji systemu do zaledwie kilku ramek. Niestety, w tym przypadku zmiany szybkości mogą zachodzić dość często, a szybkość wynikowa może być poniżej rzeczywistej szybkości oferowanej przez łącze radiowe WLAN. Znacznie lepsze wyniki daje zastosowanie metody SNR. Związana jest ona bezpośrednio z bitową stopą błędów, a znajomość SNR umożliwia dobór właściwej szybkości transmisji i rodzaju modulacji. Wartość SNR określana jest z wykorzystaniem wskaźnika mocy sygnału SSI (*Signal Strength Indictaion*) przy założeniu, że jest taka sama dla obu kierunków transmisji. Jednakże również i ta metoda ma swoje wady, do których należy zaliczyć przyjęte uproszczenia oraz problemy z pozyskiwaniem wartości SSI. Najlepsze rezultaty daje więc zastosowanie metody hybrydowej, która łączy w sobie metodę automatycznej adaptacji szybkości z wykorzystaniem SNR oraz metodę potwierdzania poprawnie odebranych ramek. Metoda ta została szczegółowo opisana w [7].

Przedstawione powyżej metody adaptacji szybkości stanowią tylko część prezentowanego mechanizmu transmisji wideo z gwarancjami QoS poprzez sieć WLAN. Drugą część tego mechanizmu stanowi wymieniona już adaptacja kodeka wideo, która realizowana jest z wykorzystaniem projektowania międzywarstwowego, a w szczególności dzięki sygnalizacji międzywarstwowej. Wynikiem funkcjonowania sygnalizacji jest przekazywanie do warstwy aplikacji informacji o aktualnej szybkości transmisji. Algorytm adaptacji szybkości wideo wykorzystuje tę informację do modyfikacji szybkości kodeka wideo przez zmianę współczynnika kwantyzacji.

Kolejnym przykładem wykorzystania projektowania międzywarstwowego do transmisji wideo w sieci WLAN jest zastosowanie mechanizmu selektywnych retransmisji w odniesieniu do wideo strumieniowego. Mechanizm adaptacyjnej retransmisji CAR (*Content-aware Adaptive Retry*) zaprezentowany został w [16] i zakłada maksymalizację przepustowości kanału poprzez dynamiczną adaptację szybkości transmisji oraz selektywne retransmisje ramek wideo w zależności od ich zawartości. Decyzja o retransmisji podejmowana jest dynamicznie w zależności od ważności pakietu i jego miejsca w odtwarzanej sekwencji wideo. Do celów pozyskiwania informacji o potwierdzeniu dostarczenia pakietu wykorzystywany jest mechanizm potwierdzeń warstwy łącza. Mechanizm ten umożliwia także pośrednio określenie stopy błędów w kanale, co wykorzystywane jest do adaptacji szybkości transmisji i wyboru właściwego rodzaju modulacji. Informacja o potwierdzeniu lub braku potwierdzenia pakietu przekazywana jest do warstwy aplikacji, w której pakiety wideo są przygotowywane do transmisji. Każdy pakiet jest klasyfikowany według kryterium zawartości i buforowany przez czas niezbędny na uzyskanie

potwierdzenia. Retransmisja następuje jedynie w odniesieniu do tych pakietów, które nie zostały potwierdzone i charakteryzowały się odpowiednim poziomem ważności. Pozostałe pakiety, które nie uzyskały potwierdzenia, są tracone.

Zastosowanie przedstawionego mechanizmu umożliwia zarezerwowanie większej przepustowości kanału na transmisję ważnych pakietów wideo.

Następny przykład wykorzystuje sterowanie rozmiarem pakietów przenoszących informację wideo i wykorzystujących w tym celu kryterium, jakim jest bitowa (pakietowa) stopa błędów mierzona w kanale radiowym. Dysponowanie taką informacją umożliwi jej wykorzystanie do sterowania kodekiem wideo w celu modyfikacji strumienia wdefonicznego. Rozwiązanie zaproponowane w [4] zakłada sterowanie rozmiarem pakietu wideo na podstawie informacji o stanie kanału WLAN. Idea tego rozwiązania polega na sterowaniu liczbą i rozmiarem pakietów przesyłanych z kodeka H.264 do warstwy adaptacji sieci NAL (*Network Adaptation Layer*) zdefiniowanej w ramach standardu H.264. Warstwa ta umożliwia transmisję pakietów z wykorzystaniem stosu protokołów RTP/UDP/IP. Współpracuje ona bezpośrednio z warstwą VCL (*Video Coding Layer*), która realizuje kompresję i kodowanie informacji wideo. Podstawową jednostką w procesie kodowania H.26x jest blok 4 x 4. Bloki podstawowe tworzą makrobloki, na które składa się 16 bloków luminancji i 4 bloki dla każdej składowej chrominancji. Kolejne makrobloki są grupowane w klastry (*slice*), które charakteryzują się tym, że mogą być niezależnie zdekodowane bez konieczności posiadania informacji o blokach sąsiednich bądź poprzedzających. Podział ramki wideo na pakiety, które można zdekodować niezależnie sprawia, że strata pakietu nie wpływa na całkowitą jakość strumienia wideo, a w szczególności nie powoduje przenoszenia się błędów na kolejne pakiety wideo. Tak przygotowana ramka wideo przekazywana jest następnie do warstwy NAL, która przesyła klastry do pola danych protokołu RTP. Wykorzystanie podziału na niezależnie dekodowane klastry umożliwia poprawę jakości przekazu wideo w sieci WLAN w momencie pogorszenia charakterystyk kanału. Wzrost stopy błędów w kanale będzie prowadził do zmiany zachowania warstwy VLC, zwiększenia liczby klastrów oraz zmniejszenia ich rozmiaru i na odwrót — poprawa charakterystyk kanału skutkuje zmniejszeniem liczby klastrów, ale zwiększeniem ich rozmiaru. Oczywiście, mechanizm kodeka wideo posiada możliwość sterowania liczbą i rozmiarem klastrów na podstawie informacji o stanie kanału, która przekazywana jest do warstwy VLC z wykorzystaniem sygnalizacji międzywarstwowej. Istotną cechą tego rozwiązania jest wybór granicznej wielkości i liczby klastrów, albowiem w przypadku bardzo małych klastrów może dochodzić do znacznej redukcji dostępnej przepustowości.

Znaczna część propozycji literaturowych dotyczących transmisji wideo w sieci WLAN koncentruje się na wideo strumieniowym [5, 13]. W odniesieniu do tej grupy aplikacji warto zwrócić uwagę szczególnie na rozwiązania prezentowane w [18], w którym wykorzystywany jest podział głównego strumienia wideo na kilka strumieni podrzędnych, które są następnie przesyłane w sieci w oparciu o routing

wielodrożny. Podobny charakter mają rozwiązania prezentowane w [8, 14, 20]. Część propozycji koncentruje się jedynie na modyfikacji warstwy łącza danych, polegającej na wprowadzeniu zmodyfikowanych mechanizmów sterowania przepływem uwzględniających wymagania aplikacji multimedialnych [17, 19, 21].

5. Koncepcja wykorzystania projektowania międzywarstwowego do transmisji wideo QoS w sieci WLAN

Na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej zaproponowana została autorska propozycja wykorzystania projektowania międzywarstwowego do transmisji wideo QoS w sieci WLAN opisaną standardem 802.11a. Ideą wykorzystania projektowania międzywarstwowego jest zapewnienie możliwości przekazywania informacji o stanie łącza radiowego, tj. dostępnej przepustowości i wartości ramkowej stopy błędów, do warstwy aplikacji, gdzie informacja ta zostanie wykorzystana do sterowania kodekiem wideo. Do celów przekazania wymienionych informacji wykorzystana zostanie sygnalizacja międzywarstwowa, której zasady funkcjonowania zostały przedstawione w [22].

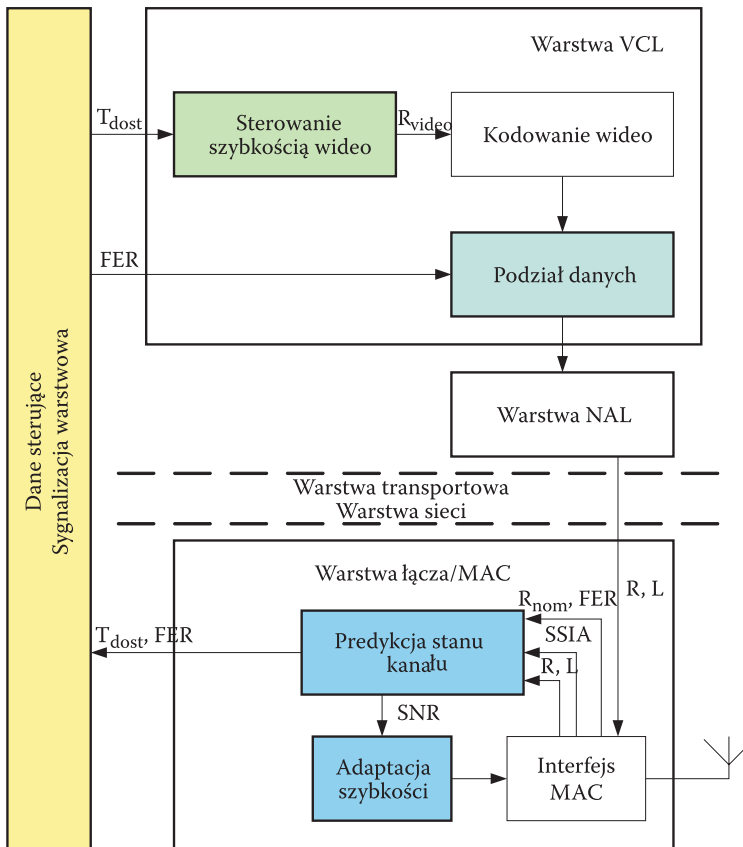
Niezależnie od adaptacji warstwy aplikacji, realizowana będzie adaptacja szybkości transmisji w warstwie łącza. Zgodnie z posiadaną wiedzą, adaptacja taka realizowana jest poprzez dobór odpowiedniego rodzaju modulacji [6].

Kodowanie wideo zrealizowane zostanie z wykorzystaniem standardu H.26L, który charakteryzuje się występowaniem wymienionych już warstw VCL i NAL. Zastosowanie tego typu kodeka umożliwi sterowanie rozmiarem pakietów wideo w zależności od stopy błędów wyznaczonej w kanale radiowym i od przyjętego rodzaju modulacji. Wymieniony kodek oferuje równocześnie dynamiczną zmianę współczynnika kwantyzacji [23]. Stwarza to możliwość sterowania współczynnikiem kompresji w zależności od dostępnej przepustowości łącza.

W celu zachowania minimalnej jakości przekazu wideo gwarantującej jego zrozumiałość niezbędne jest określenie dolnej granicznej wartości przepustowości i stopy błędów. Wymienione kryteria ustalone będą w oparciu o wymagania jakościowe dla transmisji wideo i zostaną zweryfikowane na drodze eksperymentów badawczych.

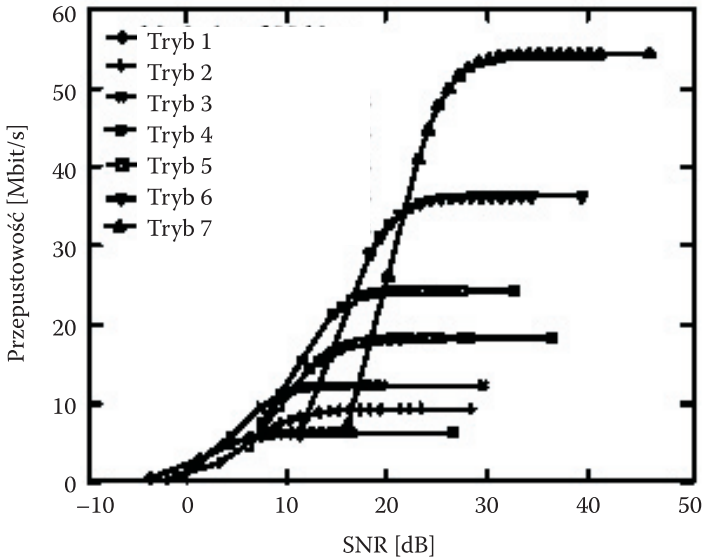
Koncepcja transmisji wideo QoS w sieci WLAN wykorzystuje zatem współpracę warstwy łącza i warstwy aplikacji oraz adaptację warstwy łącza i warstwy aplikacji. Schemat koncepcji przedstawiony został na rysunku 4.

W przedstawionym układzie realizowana jest adaptacja szybkości transmisji w kanale WLAN oraz adaptacja szybkości kodowania wideo. Adaptacja szybkości transmisji w warstwie łącza realizowana jest z wykorzystaniem informacji o stanie kanału, której dostarcza układ predykcji stanu kanału. Układ ten wykorzystuje informację o mocy sygnału dla ramek potwierdzenia SSIA (*Signal Strength Indication of the Acknowledged frames*), która dostarczana jest przez interfejs radiowy 802.11a.



Rys. 4. Koncepcja transmisji wideo w oparciu o interfejs 802.11a z wykorzystaniem sygnalizacji międzywarstwowej

Wartość SSIA może być wykorzystywana do celów optymalizacji szybkości transmisji i doboru rodzaju modulacji. Układ predykcji stanu kanału zwraca do bloku adaptacji szybkości wartość SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), która jest de facto równa wartości SSIA. Przedstawiona na rysunku 5 zależność przepustowości od SNR umożliwia wybór optymalnego dla danej wartości SNR trybu pracy modulatora. Operacja ta realizowana jest z wykorzystaniem układu adaptacji szybkości. Przy wzroście wartości SNR układ adaptacji szybkości przechodzi do kolejnych trybów pracy. Tryby pracy wraz z odpowiadającymi im rodzajami modulacji i nominalnymi wartościami szybkości transmisji przedstawia tabela 3.



Rys. 5. Przepustowość w funkcji SNR dla różnych rodzajów modulacji [6]

TABELA 3

Tryby pracy dla standardu 802.11a

Tryb pracy	Rodzaj modulacji	Szybkość kodowania	Nominalna szybkość transmisji (Mbit/s)
1	BPSK	$\frac{1}{2}$	6
2	BPSK	$\frac{3}{4}$	9
3	QPSK	$\frac{1}{2}$	12
4	QPSK	$\frac{3}{4}$	18
5	16 QAM	$\frac{1}{2}$	24
6	16 QAM	$\frac{3}{4}$	36
7	64 QAM	$\frac{3}{4}$	54

Układ predykcji stanu kanału dostarcza równocześnie informacji do sterowania szybkością kodeka wideo i rozmiarem pakietów wideo. Do tego celu wykorzystywana jest informacja o aktualnej przepustowości kanału WLAN oraz informacja o strumieniach ruchu przekazywanych aktualnie przez interfejs WLAN. Aktualna przepustowość kanału szacowana jest z wykorzystaniem informacji o nominalnej szybkości transmisji R_{nom} i ramkowej stopie błędów FER. Ramkowa stopa błędów FER wyznaczana jest na podstawie zależności:

$$FER = \frac{\text{Liczba_ramek_nadanych} - \text{Liczba_ramek_potwierdzonych}}{\text{Liczba_ramek_nadanych}}$$

Wartość FER wraz z wartością szybkości R_{nom} przekazuje do układu predykcji stanu kanału układ interfejsu MAC. Stąd nominalna przepustowość kanału wyznaczana jest na podstawie zależności [24]:

$$T_{nom} = R_{nom} (1 - FER).$$

Przepustowość nominalna jest równa przepustowości dostępnej, jeżeli interfejs MAC nie realizuje żadnej innej transmisji poza transmisją wideo. W przeciwnym przypadku układ predykcji stanu kanału wyznacza wartość przepustowości dostępnej T_{dost} w następujący sposób:

$$T_{dost} = T_{nom} - T,$$

gdzie T określa przepustowość wykorzystywaną przez inne strumienie ruchu przesyłane przez ten sam interfejs radiowy WLAN. Przepustowość ta wyznaczana jest z wykorzystaniem kolejnej zależności [6]:

$$T = \frac{8RL}{8L + bR + c},$$

gdzie: T — przepustowość strumienia w [Mbit/s];
 L — długość pakietu w bajtach;
 R — szybkość transmisji w [Mbit/s];
 b, c — współczynniki zależne od wersji standardu 802.11, dla 802.11a przyjmują wartości odpowiednio 161,5 i 156 [6].

Obliczone w układzie predykcji stanu kanału wartości T_{dost} oraz FER przekazywane są z wykorzystaniem sygnalizacji międzywarstwowej, przedstawionej w [22], do warstwy aplikacji.

Układ sterowania szybkością wideo dokonuje adaptacji szybkości kodowania wideo na podstawie dostarczonej z warstwy łącza wartości T_{dost} . Wartość dostępnej przepustowości wykorzystywana jest do obliczenia szybkości generowania ramek wideo. Szybkość ta obliczana jest w następujący sposób:

$$R_{video} = \frac{T_{dost} (8L_{video} + c)}{8L_{video} - bT_{dost}},$$

gdzie: L_{video} — rozmiar ramki wideo w bajtach powiększonej o narzut informacyjny (rozmiar nagłówka RTP, UDP, IP, WLAN).

Wyznaczona w ten sposób szybkość generowania strumienia wideo R_{wideo} umożliwia dostosowanie pracy kodeka do aktualnej przepustowości kanału WLAN poprzez modyfikację współczynnika kwantyzacji. Współczynnik kwantyzacji jest jednym z podstawowych elementów odpowiedzialnych za kompresję strumienia wideo. Adaptacja współczynnika kwantyzacji odbywa się w układzie kodowania wideo.

Kolejną informacją dostarczaną do warstwy aplikacji jest ramkowa stopa błędów FER transmisji w kanale WLAN. Jest ona wykorzystywana do sterowania rozmiarem pakietów (klastrów) wideo. Na wyjściu kodeka udostępniane są dane wideo w postaci makrobloków, które podawane są na wejście układu podziału danych, gdzie dostępna jest także informacja o ramkowej stopie błędów FER. Układ ten dokonuje podziału makrobloku na klastry, które charakteryzują się tym, że mogą być dekodowane niezależnie w urządzeniu odbiorczym. Ta właściwość klastrów wynika z właściwości zastosowanego kodeka H.26L i umożliwia poprawny odbiór sekwencji wideo nawet przy dużej wartości FER. Informacja wideo generowana w kodeku dostępna jest w postaci ramek wideo (ramki typu I, P, B), z których następnie tworzone są grupy obrazów GOP, a w dalszej kolejności — bloki i makrobloki. W typowym kodeku dla poprawnego odtworzenia informacji wideo zakodowanej w makrobloku za pomocą GOP niezbędne jest dysponowanie ramkami tworzącymi dany GOP. W przypadku kodeka H.26L nie ma takiej potrzeby, ponieważ każdy klaster stanowi niezależną część sekwencji wideo.

Rozmiar klastra zależy od wartości FER i może być dynamicznie regulowany w czasie transmisji. Tak przygotowane klastry wideo są następnie przekazywane do warstwy NAL.

W układzie warstwy adaptacji sieci odbywa się nadawanie klastrów nagłówka, który zawiera zestaw parametrów charakteryzujących dany klaster PSI (*Parameter Set Information*). Każdy klaster tworzy jeden pakiet i zawiera nagłówek wskazujący jego powiązanie z określonym makroblokiem oraz fragment sekwencji wideo. W dalszej kolejności pakiety przekazywane są poprzez warstwy niższe do interfejsu radiowego.

Zaprezentowana koncepcja stanowi propozycję rozwiązania umożliwiającego realizację transmisji wideo z wykorzystaniem kanału WLAN 802.11 i gwarantującego uzyskanie określonego poziomu jakości QoS.

6. Podsumowanie

Przedstawiona w niniejszym opracowaniu koncepcja transmisji wideo z gwarancjami QoS w sieci WLAN opisaną standardem 802.11 stanowi podstawę do dalszych prac w kierunku implementacji zaprezentowanych propozycji w środowisku symulacyjnym. Umożliwi to weryfikację ich przydatności w odniesieniu do aplikacji wideo oraz potwierdzi słuszność proponowanego rozwiązania. Uzyskanie

zadowalających wyników może stanowić podstawę do fizycznej realizacji zaproponowanego rozwiązania.

Artykuł wpłynął do redakcji 19.07.2006 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 26.09.2006 r.

LITERATURA

- [1] A. BANSAL, *Quality of Service at Layer 2 (MAC) of an 802.11 Wireless Lan System*, Wipro Technologies, White Papers, 2006.
- [2] ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition [Adopted by ISO/IEC and redesignated as ISO/IEC 8802-11:1999(E)].
- [3] E. DOUGLAS, *Sieci komputerowe i intersieci*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
- [4] E. MASALA, C. F. CHIASSERINI, M. MEO, J. C. DE MARTIN, *Real-time transmission of H.264 video over 802.11-based wireless ad-hoc networks*, Politecnico di Torino, 2006.
- [5] E. SETTON, X. ZHU, B. GIROD, *Congestion-optimized multipath streaming of video over ad hoc wireless network*, International Conference on Multimedia and Expo (ICME'04), Taiwan, 2004.
- [6] I. HARATCHEREV, J. TALL, K. LANGENDOEN, R. LAGENDIJK, H. SIPS, *Optimized Video Streaming over 802.11 by Cross-Layer Signalling*, IEEE Communication Magazine, January 2006.
- [7] I. HARATCHEREV, K. LANGENDOEN, I. LAGENDIJK, H. SIPS, *Hybrid Rate Control for IEEE 802.11*, ACM International Workshop on Mobility Management and Wireless Access Protocols, Philadelphia, PA, USA, October 2004, 10-18.
- [8] J. CHEN et al., *Multipath routing for video delivery over bandwidth-limited networks*, IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol. 22, no. 10, Dec. 2004, 1920-1932.
- [9] J. FILIPIAK, *Sieci dostępowe dla usług szerokopasmowych*, Wydawnictwo Fundacji Postępu i Telekomunikacji, Kraków, 1997.
- [10] J. LEARY, P. ROSHAN, *Bezprzewodowe sieci LAN 802.11. Podstawy*, Mikom, Warszawa, 2004.
- [11] K. NOWICKI, J. WOŹNIAK, *Przewodowe i bezprzewodowe sieci LAN*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002.
- [12] K. NOWICKI, J. WOŹNIAK, *Sieci LAN, MAN i WAN — protokoły komunikacyjne*, Wydawnictwo Fundacji Postępu i Telekomunikacji, Kraków, 2000.
- [13] K. STUHLMULLER, N. FARBER, B. GIROD, *Analysis of Video Transmission Over Lossy Channels*, IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol. 18, no. 6, pp. 1012-1032, June 2000.
- [14] L. ZHANG, Z. ZHAO et al., *Load Balancing of Multipath Source Routing in Ad Hoc Networks*, Proceedings IEEE International Communication Conference (ICC'02), New York, USA, April 2002.
- [15] M. GAST, *Sieci bezprzewodowe 802.11. Przewodnik encyklopedyczny*, Helion, Gliwice, 2003.
- [16] M. LU, P. STEENKISTE, T. CHEN, *Video Streaming Over 802.11 WLANs With Content-Aware Adaptive Retry*, IEEE International Conference on Multimedia and Expo, July 2005.
- [17] S. KRISHAMACHARI, M. VAN DER SCHAAR, S. CHOI, X. XU, *Video Streaming over Wireless LANs: A Cross-layer Approach*, IEEE Transaction on Multimedia, December 2002.
- [18] S. MAO, S. LIN, S. S. PANWAR, Y. WANG, E. CELEBI, *Video Transport Over Ad Hoc Networks: Multistream Coding With Multipath Transport*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 21, no. 10, December 2003.
- [19] T. YOO, R. J. LAVERY, A. GOLDSMITH, D. J. GOODMAN, *Throughput Optimization Using Adaptive Techniques*, IEEE Communication Letters, 2005.

- [20] X. ZHU, B. GIROD, *Distributed Rate Allocation For Multi-Stream Video Transmission Over Ad Hoc Networks*, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP-05), Italy, September 2005.
- [21] X. ZHU, E. SETTON, B. GIROD, *Congestion-Distortion Optimized Video Transmission Over Ad Hoc Networks*, Journal of Signal Processing: Image Communications, September 2005.
- [22] P. ŁUBKOWSKI, *Analiza identyfikacyjna problemów zarządzania zasobami taktycznymi sieci IPv6 w aspekcie zapewnienia jakości usług. Sformułowanie zadania optymalizacji wykorzystania dostępnej przepustowości łącza wąskopasmowego taktycznej sieci IPv6*, Raport WiŁ, Zegrze, 2005.
- [23] G. J. SULLIVAN, T. WEGAND, T. STOCKHAMMER, *Using the draft H.26L video coding standard for mobile applications*, Proceedings International Conference on Image Processing, October 7-10, 2000.
- [24] P. FERRE, A. DOUFEXI, J. CHUNG-HOW, A. NIX, D. BULL, *Video quality based link adaptation for low latency video transmission over WLANs*, Journal of Zhejiang University, 2006.

P. ŁUBKOWSKI

Transfer of QoS multimedia with cross-layer techniques in WLAN environment

Abstract. The overall idea of QoS multimedia services in WLAN is presented. Short description of WLAN and quality requirements for multimedia transmission with special attention to video transfer, are presented too. The analysis of cross-layer solutions for QoS video is given in the paper. In the last part, the concept of using cross-layer for QoS video transmission in WLAN is shown.

Keywords: QoS, WLAN, cross-layer

Universal Decimal Classification: 681.324