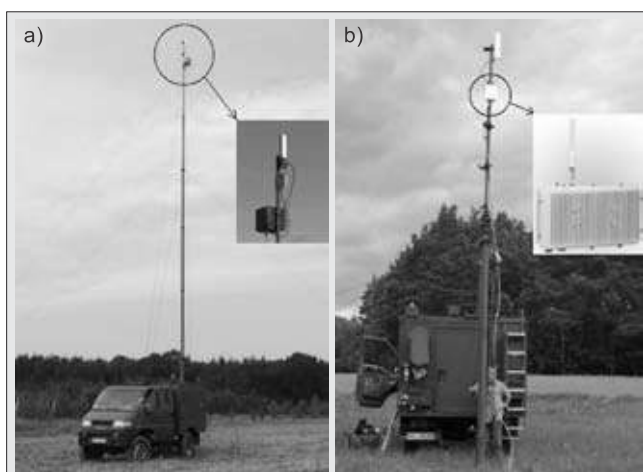


Ocena możliwości zastosowania sieci bezprzewodowych WLAN i WiMAX w systemach taktycznych

Wyniki testów wybranych rozwiązań

W ostatnich latach, w dobie tzw. społeczeństwa informacyjnego, obserwuje się gwałtowny wzrost zapotrzebowania na dostęp do informacji. Coraz częściej jest on oferowany z wykorzystaniem łączności bezprzewodowych, za czym kryją się urządzenia pracujące zgodnie z nowymi standardami lub też kolejnymi ulepszonymi wersjami starszych rozwiązań. Tendencje te nie omijają również systemów wojskowych, w których coraz częściej sięga się po rozwiązania komercyjne lub ich zmodyfikowane wersje. Badania prowadzone na tym polu oraz rozwijane koncepcje zmierzają ku temu, aby dostarczać niezbędne informacje wszystkim żołnierzom biorącym udział w operacji. Nie dotyczy to wyłącznie działań militarnych, ale również sytuacji kryzysowych. W analizach



■ Rys. 1. Obiekt z rozwiniętym systemem WLAN (a) i podczas rozwijania WiMAX (b)

prorowadzonych w tym obszarze ([9], [10]) są rozważane możliwości wykorzystania różnorodnych systemów bezprzewodowych o różnym zasięgu działania – od sieci osobistych (*Personal Area Network*) poprzez sieci lokalne, do metropolitalnych. Również w **Wojskowym Instytucie Łączności** prowadzi się badania nad wykorzystaniem możliwości zapewnianych przez szeroko rozumiane sieci bezprzewodowe w systemach łączności. Jednym z wyników tego typu prac jest podsystem dostępu bezprzewodowego – rozwiązanie oparte na wykorzystaniu urządzeń 802.11 pracujących w paśmie 4,4 GHz [7].

Ze względu na specyfikę działania i oferowane możliwości, innym wariantem szerokopasmowej łączności bezprzewodowej jest standard **WiMAX**, który również mógłby znaleźć zastosowa-

nie w systemie wojskowym. Porównanie standardów serii IEEE 802.11 i IEEE 802.16 w ich typowych implementacjach wykazuje, że różnią się niemal wszystkim: wsparciem jakości usług **QoS**, metodą dostępu do kanału, zasięgami łączności czy też liczbą efektywnie obsługiwanych terminali. Istnieją jednak specyficzne zastosowania, w których różnice te stają się mało istotne. Przykładem może być sieć bezprzewodowa, przeznaczona dla niewielkiej liczby użytkowników, ale zapewniająca zasięgi łączności rzędu 10 km.

Poniżej przedstawiono założenia przyjęte dla systemu łączności, które mogą być spełnione zarówno przez urządzenia **WLAN**, jak i **WiMAX** (rys. 1):

- rozwiązanie oparte na komercyjnym standardzie sieci bezprzewodowej: IEEE 802.11b/g lub IEEE 802.16,
- pasmo przeznaczone dla systemów wojskowych,
- zastosowanie stacjonarne, na masztach,
- zakładane zasięgi łączności: 10 km,
- przepływność łącza radiowego umożliwiającą równoczesną transmisję plików i głosu,
- wysokość zawieszenia anten: 20 m,
- praca w warunkach poligonowych: odporność na działanie warunków atmosferycznych,
- praca w obecności silnych pól elektromagnetycznych.

Rozwiązanie oparte na urządzeniach WLAN

Podsystem dostępu bezprzewodowego (**PDB**) jest uniwersalnym szerokopasmowym systemem dostępowym, pracującym z wykorzystaniem urządzeń standardu IEEE 802.11b/g [1]. PDB jest przeznaczony do użycia w dowolnym systemie teleinformatycznym, wykorzystującym protokół **IP**. W celu dostosowania rozwiązania komercyjnego do wymagań wojskowych zastosowano wzmocnienie i konwersję sygnału do pasma NATO typu I (4,4 GHz). Umożliwiło to migrację do pasma wojskowego i zwiększenie maksymalnej mocy nadawania do 2,3 W. Dzięki temu uzyskano założone zasięgi łączności. Wykonane testy podsystemu pokazały, że jest możliwe zapewnienie stabilnego łącza radiowego na odległościach 10 km i więcej [8].

Podstawowe parametry zmodyfikowanego urządzenia WLAN są następujące:

- moduł radiowy wyposażony w dwa niezależne interfejsy radiowe na pasmo 2,4 GHz,
- tryb pracy: IEEE 802.11b lub IEEE 802.11g,
- dodatkowe wzmacniacze mocy i konwertery sygnału z pasma 2,4 GHz na pasmo 4,4 GHz,
- maksymalna moc: 2,3 W,
- szerokość pasma: 22 MHz,
- konfiguracja: tryb dostępowy lub most bezprzewodowy,
- możliwość montażu na maszcie,
- anteny sektorowe (zysk 15–20 dB).

* Wojskowy Instytut Łączności, Zegrze
e-mail: j.romanik@wil.waw.pl, k.kosmowski@wil.waw.pl,
e.golan@wil.waw.pl

Rozwiązanie oparte na urządzeniach WiMAX

Do testów wybrano urządzenia zgodne ze standardem IEEE 802.16-2005 profil *WirelessMAN OFDM*, pracujące w paśmie wojskowym 4,9 GHz. Podstawowe cechy urządzenia są następujące:

- modulacje: **BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM**,
- maksymalna moc – 0,5 W
- szerokość pasma – 5 MHz,
- zwielokrotnienie – podział czasowy (TDD) na łącze w górę i w dół:
- konfiguracja – tryb dostępowy,
- anteny – sektorowe (zysk 15–20 dB).

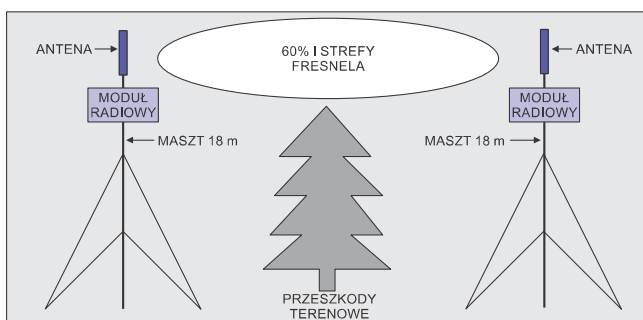
ZAŁOŻENIA BADAWCZE

Przeprowadzone badania można określić jako pierwotne, czyli takie, których głównym celem było sprawdzenie, czy urządzenia WiMAX spełniają wymagania stawiane sieciom taktycznym w zakresie zasięgów łączności i przepływności zapewnianych użytkownikom. Dodatkowym celem badań było porównanie wyników uzyskanych dla systemu WiMAX oraz dla systemu opartego na WLAN. Przewidywany jest następny etap badań, między innymi pomiary parametrów QoS, ocena efektywności zarządzania pasmem itp.

Założono, że badania dla obydwóch typów urządzeń zostaną przeprowadzone w jednakowych warunkach. Testy wydajności wykonano w warunkach laboratoryjnych w identycznych układach badawczych, z zastosowaniem tych samych urządzeń pomiarowych. Testy zasięgowe przeprowadzono dla tych samych lokalizacji badanych obiektów i przy tej samej wysokości zawieszenia anten. W obydwóch przypadkach zastosowano te same anteny kierunkowe.

Badania zasięgowe

Badania przeprowadzono w warunkach poligonowych, w terenie lekko pofalowanym (okolica Zegrze – Nowy Dwór Mazowiecki). Stosowano maszty, w związku z czym wysokość zawieszenia urządzeń radiowych wynosiła 18 m, natomiast anten około 20 m (rys. 2). Parametry badanych urządzeń podano w tabeli 1.



■ Rys. 2. Układ stosowany do badań zasięgowych

■ Tabela 1. Parametry pracy urządzeń radiowych WLAN i WiMAX

Rodzaj urządzenia	WLAN (PDB)	WiMAX
Tryby pracy	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.16 (Fixed WiMAX)
Moc sygnału	33 dBm (2,3 W)	27 dBm (0,5 W)
Konfiguracja	bridge (punkt–punkt)	AP – klient
Częstotliwość	4,462 GHz	4,9625 GHz
Pasma	22 MHz	5 MHz

Na potrzeby testów przyjęto następujące miary sprawdzenia jakości łącza:

- test łącza za pomocą narzędzia **PING**,
- transmisja plików **FTP**,
- transmisja obrazu z kamery,
- pomiar parametrów łącza radiowego.

Wyniki testów zasięgowych dla różnych trybów pracy sieci WLAN przedstawiono w tabelach 2 i 3.

■ Tabela 2. Wyniki testów zasięgowych dla PDB podsystemu 802.11b

Pomiar nr	Obiekt	Poziom sygnału [dBm]	Poziom zakłóceń [dBm]	SNR [dB]	Szybkości transmisji [Mbit/s]
Odległość 8,5 km					
1	Nr 1	-65	-83	18	11
	Nr 2	-65	-85	20	11
Odległość 11 km					
2	Nr 1	-76	-86	10	11
	Nr 2	-71	-83	12	11
Odległość 15 km					
3	Nr 1	-80	-83	3	2
	Nr 2	-81	-86	5	5,5

Dla wszystkich pomiarów:
 test łącza narzędziem *ping* – 0% straconych pakietów
 średnie opóźnienie pakietów 5 ms
 jakość transmisji obrazu z kamery – dobra, obraz płynny i wyraźny
 transmisja FTP pliku o rozmiarze 50 MB – bezbłędna

■ Tabela 3. Wyniki testów zasięgowych dla PDB podsystemu 802.11g

Pomiar nr	Obiekt	Poziom sygnału [dBm]	Poziom zakłóceń [dBm]	SNR [dB]	Szybkość transmisji [Mbit/s]
Odległość 8,5 km					
1*	Nr 1	-69	-83	14	18
	Nr 2	-66	-82	16	24
Odległość 11 km					
2*	Nr 1	-75	-81	6	12
	Nr 2	-74	-82	8	18
Odległość 15 km					
3**	Nr 1	-78	-82	4	6
	Nr 2	-75	-80	5	6

Test łącza narzędziem *ping*:
 * 0% straconych pakietów, średnie opóźnienie pakietów 5 ms
 ** średnio 7% straconych pakietów, średnie opóźnienie pakietów 15 ms
 Jakość transmisji obrazu z kamery:
 * dobra, obraz płynny i wyraźny
 ** średnia, widoczne krótkotrwałe (około 3 s) zatrzymania obrazu występujące od 2 do 3 razy w ciągu minuty
 Transmisja FTP pliku o rozmiarze 50 MB:
 * bezbłędna,
 ** wyraźnie wydłużony czas transmisji (błędy podczas transmisji i wynikające stąd powtórzenia)

Testy zasięgowe urządzeń WiMAX przeprowadzono w układzie przedstawionym na rys. 2. W czasie testów zasięgowych stacja bazowa i stacja kliencka pracowały z jednakowym poziomem mocy równym 27 dBm. Szczegółowe wyniki testów zasięgowych przedstawiono w tabeli 4.

■ Tabela 4. Wyniki testów zasięgowych dla urządzeń WiMAX

Pomiar nr	DL RSSI	DL modulacja	DL SNR [dB]	UL RSSI	UL modulacja	UL SNR [dB]	Użyteczna szybkość transmisji
Odległość 8,5 km							
1	-80,5	16QAM 1/2	20,0	-82,5	QPSK 3/4	16	175 kB/s
2	-86,5	QPSK 3/4	13,7	-84,5	BPSK 1/2	13	
Odległość 11 km							
3	-86,6	QPSK 3/4	12,4	-89,5	BPSK 1/2	12	125 kB/s
4	-85,3	QPSK 3/4	14,4	-89,5	QPSK 1/2	13	
Odległość 15 km							
5	-94,5	BPSK 1/2	10,2	-92,3	BPSK 1/2	10,0	85 kB/s

Oznaczenia użyte w tabelach 4, 6 i 7

DL – Down Link (łącze „w dół” od stacji bazowej do klienckiej)

UL – Up Link (łącze „w górę” od stacji klienckiej do bazowej)

RSSI – Received Signal Strength Indicator

W czasie testów łącza za pomocą narzędzia PING nie zaobserwowano strat pakietów. Jakość obrazu transmitowanego z kamery była dobra, obraz był płynny i wyraźny. Wszystkie pliki FTP były transmitowane bezbłędnie.

■ Tabela 5. Uogólnione wyniki testów zasięgowych

Zakres/tryb	Odległość		
	8,5 km	11 km	15 km
4,4 GHz, tryb 802.11b	+	+	+
4,4 GHz, tryb 802.11g	+	+	-
WiMAX	+	+	+

Uogólnione wyniki testów zasięgowych przedstawiono w tabeli 5. Kolorem ciemnofioletowym zaznaczono odległości, dla których z punktu widzenia wymagań taktycznych, bezwzględnie musi być zagwarantowane pewne i stabilne łącze. Kolorem jasnofioletowym zaznaczono odległość, dla której uzyskanie zasięgu łączności jest pożądane, ale nie obligatoryjne. Wyniki uzyskane dla tej odległości mogą być przesłanką do określenia rezerwy. Można założyć, że pewny zasięg łączności na odległości 15 km w warunkach idealnych (brak przeszkód terenowych, zakłóceń, intensywnych opadów) oznacza, iż w przypadku pogorszenia się warunków łącze dla odległości 10 km nadal będzie pewne i stabilne.

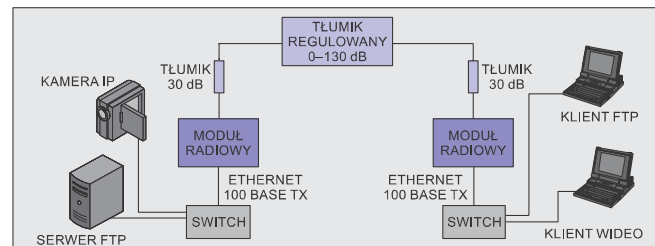
We wszystkich przypadkach badanych sieci został uzyskany wymagany zasięg łączności, wynoszący nie mniej niż 10 km. W przypadku odległości 15 km pewne i stabilne łącze uzyskano dla sieci WLAN pracującej w trybie 802.11b oraz dla sieci WiMAX. W przypadku sieci WLAN pracującej w trybie 802.11g łącze nie było stabilne i obserwowano błędy podczas transmisji. Jest to związane z czułością urządzeń dla różnych rodzajów modulacji (tabela 6). W trybie 802.11b są stosowane modulacje o mniejszej wartościowości, ale charakteryzujące się większą odpornością na zakłócenia.

■ Tabela 6. Czułość urządzeń WLAN

Tryb pracy	Min. szybkość transmisji	Maks. szybkość transmisji
802.11b	1 Mbit/s: -94 dBm	11 Mbit/s: -87 dBm
802.11g	6 Mbit/s: -87 dBm	54 Mbit/s: -70 dBm

Badania przepływności

Badania przepływności zapewnianej użytkownikom przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych (rys. 3). W układzie badawczym, w torze nadawczo-odbiorczym między urządzeniami radiowymi, znajdowały się tłumiki. Dzięki regulacji wartości tłumienia możliwe było wymuszenie pracy urządzeń z różnymi rodzajami modulacji i wynikającymi stąd szybkościami transmisji w kanale radiowym.



■ Rys. 3. Układ stosowany do badania przepływności

W tabeli 7 przedstawiono wyniki testów wydajnościowych uzyskanych dla urządzeń WiMAX, natomiast w tabeli 8 zestawiono porównanie wyników testów wydajnościowych dla urządzeń WiMAX i różnych trybów pracy urządzeń WLAN.

Z przedstawionych rezultatów badań (tabela 7 i 8) wynika, że – w zależności od jakości łącza radiowego – szybkość transmisji

■ Tabela 7. Wyniki testów wydajnościowych dla urządzeń WiMAX

Tłumik [dB]	DL RSSI	DL modulacja	DL SNR [dB]	UL RSSI	UL modulacja	UL SNR [dB]	Użytkowa szybkość transmisji
108	-95,6	BPSK 1/2	10,3	-92,5	BPSK 1/2	10,0	80 kB/s
104	-91,4	QPSK 3/4	14,4	-88,0	QPSK 1/2	13,0	340 kB/s
95	-82,2	16QAM 3/4	21,4	-80,0	16QAM 1/2	20,0	420 kB/s
92	-80,3	64QAM 2/3	24,7	-77,0	16QAM 3/4	22,5	590 kB/s

■ Tabela 8. Porównanie wyników testów wydajnościowych dla urządzeń WiMAX i WLAN

Układ/tryb	Tx-rate [Mbit/s]	Rx-rate [Mbit/s]	Przepływność [kB/s]
IEEE 802.11b	11	11	600
	5,5	5,5	250
	2,0	2,0	100
IEEE 802.11g	18	12	820
	6	6	330
IEEE 802.16 Fixed WiMAX	13,82	12,29	590
	9,22	6,14	420
	4,61	3,07	340
	1,54	1,54	80

Oznaczenia użyte w tabeli 8:

Tx-rate – zmierzona szybkość nadawania interfejsu radiowego odczytana za pomocą dedykowanego monitora,

Rx-rate – zmierzona szybkość odbierania interfejsu radiowego odczytana za pomocą dedykowanego monitora,

Przepływność – wartość uzyskana na podstawie wskazań

narzędzia do transmisji plików FTP (klient FTP).

– oceniana z punktu widzenia użytkownika końcowego – waha się w granicach od kilkudziesięciu do kilkuset kB/s.

* * *

Na podstawie badań stwierdzono, że porównywane rozwiązania (WLAN i WiMAX) mogą znaleźć zastosowanie w taktycznych systemach łączności. W obydwóch przypadkach zasięgi łączności wynoszą: gwarantowane 10 km i graniczne 15 km, chociaż zależy to w znacznej mierze od ukształtowania terenu – warunek wolnej od przeszkód I strefy Fresnela. Zapewniane przepływności, rzędu kilkuset kB/s, umożliwiają tworzenie sieci bezprzewodowych dla niewielkich grup użytkowników, znajdujących się w znacznej odległości od siebie. Proponowane urządzenia stanowią alternatywę (również ekonomiczną) dla łączy radioliniowych.

Ponieważ wyniki testów uzyskane dla obydwóch rozwiązań są porównywalne, a parametry techniczne zbliżone i trudno jednoznacznie wskazać, które z nich jest lepsze w omawianym zastosowaniu, celowe wydaje się przedstawienie ich dodatkowych zalet.

Zalety PDB:

- praca w paśmie wojskowym,
- możliwość monitorowania jakości łącza,
- elastyczność konfiguracji – jednakowe urządzenia,
- możliwość pracy w trybie punkt–punkt (most z 1, 2 lub 3 przęslami) lub punkt–wielopunkt,
- spełnianie militarnych wymagań dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej i odporności na działanie czynników środowiskowych.

Zalety urządzenia WiMAX:

- praca w paśmie wojskowym,
- możliwość monitorowania jakości łącza,
- możliwość konfiguracji profili użytkowników (przydział pasma w zależności od rodzaju usługi i rangi klienta),
- automatyczna regulacja mocy,

- efektywniejsze wykorzystanie pasma radiowego.

O wyborze konkretnego rozwiązania powinno decydować jego przeznaczenie i rola w taktycznym systemie łączności. W przypadku mostów bezprzewodowych, mających na celu dowiązanie pojedynczych obiektów lub grup składających się z kilku obiektów, efektywność obydwóch zaproponowanych rozwiązań jest porównywalna. Rozważając sieć dostępową, pracującą na niewielkim obszarze na rzecz większej grupy abonentów mobilnych, w której jest wymagana priorytetyzacja, zarządzanie pasmem i zagwarantowanie odpowiedniego poziomu jakości usług, można założyć, że WiMAX jest rozwiązaniem bardziej kompletnym.

LITERATURA

- [1] IEEE Std 802.11–1999 Part 11: *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) Specification, Standard IEEE 802.11*
- [2] Maseng T.: *Wireless Tactical Local Area Network*, Multinational CDE, Norway 2002
- [3] LANCOP OAP–54 *Wireless Manual*
- [4] Wymenga R.: *Adapting Wireless LAN for Military Communication*, TNO 2002
- [5] Krawczyk R., Lopatka J.: *The model of WLAN card for military purposes*, KKRRiT 2004, Warszawa
- [6] Gajewski P., Grochowina B., Romanik J., Kosmowski K., Szymczyk T.: *IEEE802.11 standards vs military WLAN*, Regional Conference on Military Communication and Information Systems, Zegrze 2005
- [7] Grochowina B., Romanik J., Kosmowski K.: *Zastosowanie sieci bezprzewodowych w wojskowych systemach łączności*, Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne 12/2006
- [8] Grochowina B., Romanik J., Golan E.: *Bezprzewodowe sieci WLAN w systemach specjalnych – wybrane aspekty zastosowania*, KKRRiT 2008, Wrocław
- [9] *Final report on utility of commercial wireless study. A technology roadmap for U.S. Northern Command*. October 2006
- [10] *Awareness of Emerging Wireless Technologies: Ad-hoc and Personal Area Networks Standards and Emerging Technologies*. IST–035/RTG–015 Final Report. April 2007

Artykuł recenzowany

(Artykuł nadano do red – listopad 2010)

Prosimy pamiętać o prenumeracie Przeglądu Telekomunikacyjnego i Wiadomości Telekomunikacyjnych na 2011 rok