

Damian RUSINEK, Bogdan KSIĘŻOPOLSKI  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Instytut Informatyki  
Zbigniew KOTULSKI  
Politechnika Warszawska, Instytut Telekomunikacji  
Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk

## WPLYW CZYNNIKÓW KOMUNIKACYJNYCH NA USŁUGĘ DOSTĘPNOŚCI W BEZPRZEWODOWYCH SIECIACH SENSORYCZNYCH CZASU RZECZYWISTEGO

**Streszczenie.** W ostatnich latach stworzonych zostało wiele protokołów w dziedzinie bezprzewodowych sieci sensorycznych. W większości z nich wykorzystano hierarchiczne topologie, które zawierają tzw. sensory zarządzające, przesyłające duże ilości danych. W tym artykule autorzy badają wpływ czynników komunikacyjnych na usługę dostępności. Przedstawione wyniki mogą być pomocne w budowaniu efektywnych protokołów czasu rzeczywistego w bezprzewodowych sieciach sensorycznych, w których dane są próbkowane z dużymi częstotliwościami.

**Słowa kluczowe:** bezprzewodowe sieci sensoryczne, imote2, Tinos, komunikacja czasu rzeczywistego

## ON EFFECT OF THE COMMUNICATION FACTORS ON THE PROTOCOL'S GOAL AVAILABILITY SERVICE IN HIGH PERFORMANCE REAL-TIME WIRELESS SENSOR NETWORKS

**Summary.** Recently, many real-time protocols for wireless sensor networks have been presented. Most of them implement hierarchical topologies with high performance routing sensors that forward big amount of data. In this paper authors check the influence of the communication factors on availability service and the speed of radio communication. The considered settings of sensors can help build effective real-time wireless sensor network protocols with high sampling frequencies.

**Keywords:** wsn, wireless sensor networks, real time communication

## 1. Wstęp

Ostatnie lata przyniosły wzrost zainteresowania wykorzystaniem bezprzewodowych sieci sensorycznych. „Wąskim gardłem” rozwiązań wykorzystujących WSN (ang. *wireless sensor network*) jest wydajność komunikacyjna między sensorami oraz samych sensorów. W celu optymalizacji wydajności wykorzystuje się topologie sieci najlepiej przystosowane do wdrażanego rozwiązania. Podstawowe topologie sieci sensorycznych opisano w artykule [1], a ich modyfikacje w [2].

Wyszczególnić można następujące topologie:

- **gwiazda**, składająca się z jednego sensora bramy (ang. *gateway*) oraz otaczających go sensorów próbkujących,
- **drzewo**, składająca się z 3 typów sensorów, gdzie sensory zarządzające (ang. *head*) znajdują się między sensorami próbkującymi oraz sensorem bramą,
- **sieć**, podobna do drzewa z tą różnicą, że sensory zarządzające mogą być połączone bezpośrednio między sobą.

Topologie składają się z różnego rodzaju sensorów, pełniących różne funkcje. Podstawowymi, wykorzystanymi w wyżej wymienionych topologiach są:

- **sensor próbkujący** – pobiera pewne dane opisujące otoczenie (np. temperatura, przyspieszenie itp.),
- **zarządzający** – przesyła dane między sensorami próbkującymi a sensorem bramą,
- **brama** (stacja bazowa) – ten sensor jest bezpośrednio połączony z serwerem i przesyła do niego otrzymane dane (np. przez port USB).

Przykładem bezprzewodowej sieci sensorycznej czasu rzeczywistego jest szeroko rozumiany monitoring, np. monitorowanie stanu zdrowia ludzi lub monitorowanie stanu budynków, czyli SHM (ang. *structural health monitoring*). Zadaniem sieci monitorujących funkcje życiowe pacjentów jest zbieranie informacji o ich stanie zdrowia oraz natychmiastowe powiadomienie lekarza prowadzącego (np. przez Internet) w przypadku nagłego pogorszenia się stanu zdrowia pacjenta. Dzięki temu rozwiązaniu, pacjenci mogą przebywać w swoich domach.

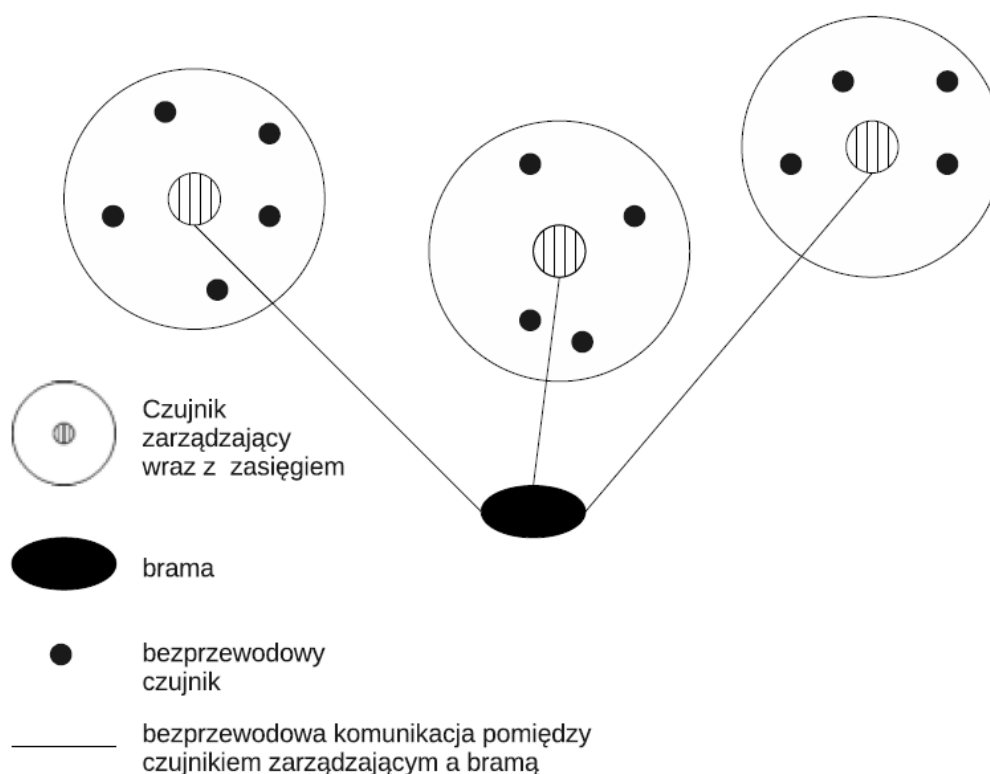
Systemy wykorzystujące WSN do monitorowania stanu zdrowia zostały zaprezentowane w [2, 3, 4]. W artykule [2] wyszczególniono wymagania takich systemów: *przenośność, bezpieczeństwo, niezawodność komunikacji oraz interoperacyjność*. Opisano również prototyp sieci sensorycznej, monitorującej aktywność serca (EKG), pozycję oraz ruch pacjenta [2]. W [3] zaprezentowano *inteligentną koszulę*, która monitoruje EKG oraz ruch pacjenta. Artykuł [4] opisuje przenośny sensor EKG w formie paska.

Innym typem systemu monitorującego jest monitorowanie stanu konstrukcji budowlanych (np. budynków, mostów itp.). Przykłady wykorzystania WSN w inżynierii opisują artykuły [5]

oraz [6]. W obu tych przypadkach sieć jest wykorzystana do monitorowania stanu mostu. SHM może określić stan monitorowanej struktury, a także wykryć uszkodzenia oraz zużycie [5].

Powyżej opisane przykłady wykorzystania WSN muszą zapewnić bardzo niezawodną komunikację oraz dostępność usługi, gdyż od tych systemów zależy zdrowie lub życie ludzi oraz stan konstrukcji budowlanych, który jest szczególnie istotny po wystąpieniu kataklizmów (np. trzęsienia ziemi). Dodatkowo, wdrożenia te są przykładami wysokiej wydajności sieci sensorycznych czasu rzeczywistego. Pobierane dane są próbkowane z dużymi częstotliwościami, w celu uzyskania jak największej ilości danych, które są następnie analizowane. Stąd, w obrębie sieci przesyłana jest duża ilość danych od sensorów próbkujących do sensora bramy.

W tym artykule autorzy skupili się na sensorach zarządzających, które są częścią topologii drzewa, przedstawionej na rys. 1. W tym przykładzie sensory próbkujące pobierają dane oraz przesyłają je do sensorów zarządzających, które następnie przesyłają je do bramy. Sensory wysokiej wydajności, wykorzystane jako sensory zarządzające, muszą przysyłać dane do bramy z wysokim stopniem niezawodności [2]. W tym przypadku niezawodność rozumiana jest jako gwarancja otrzymania wszystkich pakietów, zawierających dane próbkujące. W systemach czasu rzeczywistego jest to szczególnie istotny problem, ponieważ wymóg wysokiej jakości transmisji, podczas gdy dane próbkowane są z wysoką częstotliwością, może być niemożliwy do zagwarantowania.



Rys. 1. Topologia drzewa w WSN

Fig. 1. Tree topology for WSN

Kiedy dane nie mogą być przesyłane z taką jakością transmisji, protokół nie spełnia warunku dostępności, co prowadzi do braku możliwości realizacji usługi. W takim przypadku należy dostosować czynniki wpływające na niezawodność transmitowanych danych w zależności od aktualnych obciążeń sieci sensorycznej oraz wymagań konkretnej aplikacji.

Celem przeprowadzanych badań jest sprawdzenie różnych wariantów ustawienia czynników związanych z funkcjonowaniem radia i zbadanie ich wpływu na prędkość transmisji oraz utratę danych. Wyniki są kluczowe dla twórców wysokiej wydajności sieci sensorycznych czasu rzeczywistego, w celu znalezienia optymalnej konfiguracji sensorów. Uzyskane dane mogą posłużyć jako wskazówki projektowe podczas tworzenia sieci WSN, które pozwolą zdefiniować odpowiedni poziom przepustowości sieci oraz niezawodności transmisji, jednocześnie kontrolując poziom zużycia baterii czujników.

Badane czynniki mogą być częścią systemów, w których stosowane są adaptowalne mechanizmy bezpieczeństwa [13], ponieważ wpływają na usługę bezpieczeństwa, jaką jest dostępność.

Artykuł został podzielony na następujące części: rozdział 2 opisuje badane czynniki, w rozdziale 3 opisane zostało środowisko badań, a rozdział 4 zawiera wyniki i wnioski.

## 2. Badane czynniki

W badaniu wykorzystano pięć czynników powiązanych z komunikacją sieciową, które mają wpływ na usługę dostępności protokołu. Poniżej zostały one opisane.

**Siła sygnału.** Radio CC2420 wchodzące w skład sensora Imote2 umożliwia wysyłanie pakietów z różnym poziomem siły sygnału. W badaniu sprawdzony został wpływ siły sygnału na prędkość transmisji.

**Rozmiar danych.** Przesyłane pakiety składają się z nagłówek oraz danych. Podczas gdy rozmiar nagłówka jest stały (może się zmienić jedynie w sytuacji, gdy są włączone pewne dodatkowe usługi), rozmiar danych może być dowolnie zmieniany przez twórcę aplikacji. W badaniu sprawdzony został wpływ rozmiaru danych na prędkość transmisji danych.

**Warstwa łączy pakietów** (ang. *PLL – Packet Linking Layer*). Jest to warstwa w komunikacji radiowej [11] odpowiedzialna za retransmisję utraconych danych. W przypadku gdy sensor nie otrzyma potwierdzenia wysłania pakietu, podjęta jest kolejna próba jego wysłania. Warstwa łączy pakietów rozpoznaje błędy związane z niedotarciem pakietu, analogicznie do warstwy drugiej w modelu OSI [12]. Dodatkowo, rozwiązuje problem fałszywych potwierdzeń, opisanych w [12]. W badaniu zbadana została wielkość opóźnienia komunikacji radiowej w sytuacji, gdy warstwa jest włączona.

**Oszacowanie wolnego kanału** (ang. *CCA – Clear Channel Assessment*). Ta funkcjonalność [11] jest dostarczona z radiem CC2420 i może być kontrolowana przez twórcę aplikacji. Domyślnie CCA jest włączone w celu oszacowania wolnego kanału przed rozpoczęciem transmisji. Jeśli kanał jest zajęty, radio czeka krótki, losowy okres czasu, po którym następuje kolejna próba wysłania pakietu. Badanie ma na celu sprawdzenie, jakie opóźnienia w komunikacji wprowadza oczekiwanie przez radio na wolny kanał.

**Nasłuchiwanie przy niskiej mocy** (ang. *LPL – Low Power Listening*). LPL [10] zostało wprowadzone w celu wydłużenia czasu pracy baterii. Asynchroniczne nasłuchiwanie przy niskiej mocy jest strategią polegającą na wprowadzeniu cyklu pracy, jednocześnie zapewniając niezawodne przesyłanie pakietów [10]. Wyłączenie radia w sytuacji, gdy nie jest ono wykorzystywane znacznie zmniejsza zużycie baterii. LPL polega na wyłączeniu radia w sensorze odbierającym i asynchronicznym przeprowadzaniu krótkich cykli nasłuchiwania. Odpowiedzialność za niezawodność komunikacji leży po stronie sensora nadawcy, który musi wysyłać dane tak długo, żeby odbiorca mógł wykryć nadawaną wiadomość. Celem badania jest sprawdzenie wpływu mechanizmu LPL na prędkość danych.

### 3. Środowisko

W tej sekcji autorzy opisują elementy środowiska, w którym przeprowadzono badanie, tj. opis sensorów, systemu operacyjnego oraz realizowanego protokołu.

#### 3.1. Sensor Intelmote 2

W badaniu wykorzystano sensory Imote2, wyposażone w wysokiej wydajności procesor PXA271 Intel XScale oraz radio 802.15.4 CC2420 z wbudowaną anteną 2.4 GHz [8]. Cechy sensora zaprezentowano w tabeli 1.

Sensor Imote2 jest wysoko wydajnym urządzeniem w porównaniu z innymi sensorami, np. micaz, telos czy iris. Został wykorzystany m.in. w projekcie opisanym w [6].

Tabela 1

Cechy sensora Imote2

Cecha	Wartość
Częstotliwość procesora (MHz)	13-416
Moc (mW)	44 @ 13 MHz, 570 @ 416 MHz
Przepustowość (kbps)	250
RAM (w bajtach)	256 K + 32 M zewnętrzny
Rozmiar danych (w bajtach)	32 M
Rozmiar (mm)	48 x 36 x 7

### 3.2. System Operacyjny TinyOS

Na wykorzystanych sensorach Imote2 zainstalowano system operacyjny TinyOS [9], a następnie uruchomiono aplikację stworzoną na potrzeby badania. TinyOS jest projektem open-source, który został stworzony do wykorzystania w niewielkich sensorach bezprzewodowych małej mocy. TinyOS wykorzystuje język nesC, który jest dialektem języka C. TinyOS jest systemem operacyjnym, powszechnie wykorzystywanym w bezprzewodowych sieciach sensorycznych ([2, 3, 4, 5, 6]).

### 3.3. Protokół i architektura

W przeprowadzonych badaniach zastosowano architekturę symulującą komunikację między sensorami zarządzającymi o wysokiej wydajności a bramą (rys.1). W tym celu zastosowano dwa sensory Imote2, umieszczone w odległości 2 metrów od siebie (między nimi nie było żadnych przeszkód). W celu zbadania wpływu czynników komunikacyjnych wystarczy zrealizować prosty protokół, w którym sensor A (zarządzający) przygotowuje wiadomość M, którą następnie przesyła do sensora B (bramy). Żeby uniknąć potrzeby synchronizacji czasu, wykorzystano protokół dwukierunkowy, czyli w kolejnym kroku sensor B, natychmiast po otrzymaniu wiadomości M odsyła ją do sensora A. Czas trwania komunikacji został zmierzony tylko na sensorze A. Stąd wyniki uwzględniają 2 identyczne kroki komunikacji, dlatego też wyniki zaprezentowane w następnej sekcji są podzielone przez 2. Każdy pomiar zostały powtórzone 100 razy.

## 4. Wyniki

W badaniu przygotowano dwie grupy testów: pierwsza bada korelacje wszystkich testowanych czynników oraz druga bada każdy czynnik indywidualnie.

### 4.1. Korelacje wszystkich czynników

W tej grupie przeprowadzono 4 fazy testów. W każdej fazie siła sygnału oraz rozmiar danych przyjmują różne wartości. Siła sygnału będzie określana przez wymagany pobór prądu podczas transmisji/odbioru danych i będzie przyjmowała wartości 9 mA, 12,5 mA oraz 16 mA (maksymalny 17,4 mA), a rozmiar danych 32B, 64B oraz 116B (maksymalny rozmiar danych).

Konfiguracja pozostałych czynników jest stała dla każdej z faz. W pierwszej fazie wszystkie pozostałe czynniki są włączone. Druga faza wyłącza CCA. W trzeciej tylko PLL

jest włączona, ostatnia zaś wyłącza wszystkie czynniki. Wyniki tych testów zaprezentowano w tabeli 2. Zbadane wyniki są przedstawione jako minimalny, maksymalny oraz średni czas przesłania pakietów. W badaniu przeprowadzono 100 prób każdego rodzaju testów.

Tabela 2

## Wpływ wszystkich badanych czynników komunikacyjnych na prędkość transmisji

		Rozmiar danych [B]								
		32			64			116		
Włączone czynniki komunikacyjne	Rozkład wyników	Siła sygnału jako wymagany pobór prądu [mA]								
		9	12,05	16	9	12,05	16	9	12,05	16
		Czas [ms]								
CCA LPL PLL	Min	9,7	9,72	9,95	13,73	13,93	13,93	20,83	20,65	21,09
	Max	23,42	17,58	18,37	22,84	22,83	22,84	29,16	29,53	40,89
	Średnia	13,85	13,99	13,99	18,15	18,25	18,26	24,7	24,98	25,5
LPL PLL	Min	8,36	8,36	8,36	12,53	12,53	12,53	19,27	19,27	19,27
	Max	9,93	9,95	9,96	14,14	14,08	14,13	20,86	20,86	20,84
	Średnia	8,41	8,41	8,41	12,58	12,58	12,56	19,31	19,31	19,31
PLL	Min	8,03	8,03	8,03	12,16	12,16	12,16	18,89	18,89	18,89
	Max	20,75	20,75	20,75	26,82	26,84	26,82	35,72	36,1	36,1
	Średnia	8,17	8,17	8,17	12,33	12,33	12,33	19,18	19,28	19,08
Brak	Min	7,6	7,6	7,6	11,75	11,76	11,75	18,49	18,49	18,49
	Max	7,86	8,18	8,19	12,36	12,34	12,36	18,72	18,77	19,13
	Średnia	7,62	7,62	7,62	11,78	11,78	11,78	18,5	18,5	18,51

#### 4.2. Testowanie czynników indywidualnie

Druga grupa testów bada wszystkie czynniki z osobna. Analogicznie do poprzedniej grupy, tabela wyników przedstawia wartość minimalną, maksymalną oraz średnią ze 100 prób. Dodatkowo, wyszczególniono wartość modalną oraz jej częstość występowania (w procentach).

Pierwsze dwa testy z tej grupy (tab. 3 i 4) badają niezależnie LPL, CCA oraz PLL, przyjmując stałą wartość siły sygnału (wyrażona w wymaganym poborze prądu podczas wysłania/odbioru danych) oraz rozmiaru danych. Są to wartości odpowiednio: 17,4 mA (wartość maksymalna – domyślna) dla siły sygnału oraz 32 B dla rozmiaru danych w pierwszym teście (tab. 3) oraz 116 B w drugim (tab. 4).

Ostatnie dwie tabele (tab. 5 i 6) przedstawiają wyniki testów rozmiaru danych oraz siły sygnału. W obu przypadkach wykorzystano taką samą konfigurację pozostałych czynników, tj.: **CCA** – wyłączone, **PLL** – wyłączone, **LPL** – wyłączone.

Tabela 3

## Wyniki testów LPL, PLL oraz CCA (rozmiar danych = 32B)

Włączone czynniki komunikacyjne	Czas [ms]				
	Min.	Max.	Średnia	Moda (% wyst.)	Utracone pakiety
Brak	7,6	7,86	7,62	7,61 (56%)	3,00%
LPL	7,9	10,45	7,96	7,93 (82%)	0,00%
PLL	8,03	21,13	8,17	8,04 (54%)	0,00%
CCA	9,02	17,88	13,31	13,82 (3%)	0,00%

Tabela 4

## Wyniki testów LPL, PLL oraz CCA (rozmiar danych = 116B)

Włączone czynniki komunikacyjne	Czas [ms]				
	Min.	Max.	Średnia	Moda (% wyst.)	Utracone pakiety
Brak	18,49	19,13	18,51	18,49 (60%)	2,00%
LPL	18,77	21,33	18,83	18,81 (51%)	0,00%
PLL	18,89	36,1	19,09	18,92 (39%)	0,00%
CCA	19,9	28,78	24,19	24,96 (4%)	0,00%

Tabela 5

## Wyniki testu rozmiaru danych

Rozmiar danych	Czas [ms]				
	Min.	Max.	Średnia	Moda (% wyst.)	Utracone pakiety
Domyślny (28 B)	7,06	7,64	7,08	7,08 (52%)	2,00%
32 B	7,6	7,86	7,62	7,61 (56%)	3,00%
64 B	11,75	12,34	11,78	11,77 (52%)	2,00%
116 B	18,49	19,13	18,51	18,49 (60%)	2,00%

Tabela 6

## Wyniki testów siły sygnału

Siła sygnału jako pobór prądu [mA]	Czas [ms]				
	Min.	Max.	Średnia	Moda (% wyst.)	Utracone pakiety
Domyślna (17,4 mA)	7,05	7,64	7,08	7,08 (56%)	2,00%
9 mA	7,05	7,64	7,08	7,08 (51%)	2,00%
12,5 mA	7,05	7,64	7,08	7,08 (58%)	2,00%
16 mA	7,05	7,64	7,08	7,08 (51%)	2,00%



Podczas testowania rozmiaru danych, wartość siły sygnału została ustawiona na wartość domyślną (wymagany pobór prądu podczas wysyłania/odbierania = 17,4 mA), a podczas testowania siły sygnału, rozmiarowi danych ustawiono domyślną wartość, równą 28 B.

### 4.3. Analiza wyników

W tym rozdziale opisano wnioski wyciągnięte podczas analizy wyników. Podzielono je w grupy odpowiadające kolejnym badanym czynnikom.

**Siła sygnału.** W wynikach z tab. 2 i 6 można zauważyć, że siła sygnału nie ma wpływu na prędkość transmisji danych. Dla każdej konfiguracji czas przesyłu jest zbliżony. Warto wspomnieć, że ten czynnik ma znaczny wpływ na obciążenie procesora sensora.

**Rozmiar danych.** W przeciwieństwie do siły sygnału, rozmiar danych ma znaczący wpływ na prędkość transmisji pakietów. Oczywiście, przesyłanie większych pakietów trwa dłużej, jednakże biorąc pod uwagę przepustowość radia można zauważyć, że przesyłanie większych pakietów znacznie zwiększa przepustowość. Zgodnie z tab. 5 pakiet o rozmiarze 32 B jest przesyłany ze średnią przepustowością 4199 B/s, a pakiet o rozmiarze 116 B jest przesyłany ze średnią przepustowością równą 6266 B/s.

**Warstwa łącza pakietów** (ang. PLL – *Packet Linking Layer*). Jest ona odpowiedzialna za retransmisję utraconych pakietów. Nie wymaga ona wiele czasu, aby przetworzyć pakiet przed wysłaniem (ok. 0,4 ms). Jednak, gdy pakiet zostanie zagubiony, do ponownego przesłania danych potrzebna jest około dwukrotnie większa ilość czasu. To może generować opóźnienia w sieciach, w których dane są przesyłane z dużą częstotliwością.

**Oszacowanie wolnego kanału** (ang. CCA – *Clear Channel Assessment*). CCA wprowadza losowość do wyników, co można zauważyć w tab. 2, 3 i 4. Istotnie, częstotliwość wystąpień wartości modalnej jest bardzo niewielka (3-4%). Wynika to z faktu, że CCA czeka przez losową ilość czasu zanim radio ponownie spróbuje wysłać pakiet. Podczas, gdy opóźnienie minimalne jest stosunkowo niewielkie (ok. 1,4 ms), w przypadku opóźnienia średniego oraz maksymalnego wartość ta wzrasta do 5-10 ms. Dodatkowo, opóźnienia są niezależne od wielkości danych.

**Nasłuchiwanie przy niskiej mocy** (ang. LPL – *Low Power Listening*). Opóźnienia w przypadku LPL wynikają z faktu, że radio jest wyłączone i sensor musi odczekać, aż zostanie ono włączone. Analogicznie do CCA, minimalne opóźnienie wynosi około 0,3 ms, lecz w przypadku maksymalnej wartości wzrasta do ok. 2-3 ms. Aczkolwiek, średnie opóźnienie jest bardzo bliskie minimum (ok. 0,06 ms), więc sytuacja, w której opóźnienie wzrasta do kilku ms jest bardzo rzadka.

## 5. Wnioski

Bezprzewodowe sieci sensoryczne są powszechnie wykorzystywane w systemach monitorujących. Wiele z tych systemów to wysokiej wydajności systemy czasu rzeczywistego, w których dane są przekazywane z dużą częstotliwością. Taka sytuacja została przedstawiona na rys. 1, gdzie linią zaznaczono połączenie, którym przekazywana jest duża ilość danych z sensora zarządzającego do bramy. W takim przypadku zalecane jest użycie sensorów wysokiej wydajności, np. Imote2. Jest to rozwiązanie sprzętowe, jednakże rozwiązania programowe również powinny zostać wzięte pod uwagę.

Artykuł opisuje badanie czynników komunikacyjnych oraz ich wpływ na prędkość transmisji oraz utratę pakietów. Przedstawione wyniki pokazują, że zmieniając konfigurację tych czynników można zmieniać wydajność sensora zarządzającego. W systemach czasu rzeczywistego, modyfikując te czynniki, można próbować uzyskać jak największą wydajność protokołu. Ta optymalizacja jest wyjątkowo istotna w protokole, w którym dane są próbkowane z dużą częstotliwością. Zapewnienie odpowiedniej prędkości transmisji danych jest wymagane do zapewnienia usługi dostępności protokołu.

## BIBLIOGRAFIA

1. Baronti P., Pillai P., Chook V. W., Chessa S., Gotta A., Fu Y. F.: Wireless sensor networks: a survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Comp. Commun.* 30, 2007, s. 1655÷1695.
2. Milenkovic A., Otto C., Jovanov E.: Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation. *Comp. Commun.* 29, 2006, s. 2521-2533.
3. Lee Y. D., Chung W. Y.: Wireless sensor network based wearable smart shirt for ubiquitous health and activity monitoring. *Sens. Actuators B: Chem.*, Vol. 140, 2009, s. 390÷395.
4. Jeong D., Kew H.: Real-Time Monitoring of Ubiquitous Wearable ECG Sensor Node for Healthcare Application. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5592/2009, 2009, s. 868÷884.
5. Yin A., Wang B., Liu Z., Hu X.: Design and Implementation of the Structure Health Monitoring System for Bridge Based on Wireless Sensor Network. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5553/2009, 2009, s. 915÷922.
6. Gao Y., Spencer B. F. Jr.: Structural health monitoring strategies for smart sensor networks. Newmark Structural Engineering Laboratory, 2008.

7. Książopolski B., Kotulski Z.: On scalable security model for sensor networks protocols. 22nd CIB-W78 Conference Information Technology in Construction, Drezno 2005.
8. Crossbow Technology Inc.: ITS400, Imote2 Basic Sensor Board. San Jose 2007.
9. TinyOS, 2010, <http://www.tinyos.net>.
10. Moss D., Hui J., Klues K.: TEP 105: Low Power Listening. <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/html/tep105.html>.
11. Moss D., Hui J., Levis P., Choi J. I.: TEP 126: CC2420 Radio Stack. <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/html/tep126.html>.
12. Moss D., Levis P.: TEP 127: Packet Link Layer. <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/html/tep127.html>.
13. Książopolski B., Kotulski Z.: Adaptable security mechanism for the dynamic environments. *Computers & Security* 26, 2007.

Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Bolesław Pochopień

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Wiczorek

Wpłynęło do Redakcji 28 marca 2011 r.

## Abstract

The Wireless Sensor Networks are widely used in monitoring systems. Many of these systems are high-performance real time system where data is transmitted with high frequency. This situation has been presented on Fig. 1 with the selected communication link. Head nodes need to forward huge amount of data, therefore high-performance (i.e. Imote2) nodes should be used. This is the hardware solution for this architecture. However, software configurations should also be taken into account when building this kind of protocols.

In this paper, authors take into consideration radio related factors and inspect their influence on radio communication speed and packets loss. The presented results show that by changing configuration of communication factors one can modify head node performance. In the real-time systems these communication factors can be used for increasing protocol efficiency. This optimization is especially important in the protocols when high sampling frequency is required. The fulfillment of the appropriate quality of data transmission is necessary to guaranteeing availability of the goal of the protocol. The analyzed communication parameters can be used as the security factors during QoP analysis process.

**Adresy**

Damian RUSINEK: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Instytut Informatyki,  
pl. M. Curie-Skłodowskiej 5, 20-031 Lublin, Polska

Bogdan KSIĘŻOPOLSKI: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Instytut Informatyki,  
pl. M. Curie-Skłodowskiej 5, 20-031 Lublin, Polska

Zbigniew KOTULSKI: Politechnika Warszawska, Instytut Telekomunikacji,  
ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, Polska,  
Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, ul. Pawińskiego 5B,  
02-106 Warszawa, Polska