

Dariusz ELJASZ

Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Elektrotechniki Informatyki  
i Telekomunikacji, Instytut Metrologii Elektrycznej

## **DEKOMPOZYCJA SIECI JAKO METODA ANALIZY PARAMETRÓW CZASOWYCH W ZŁOŻONYCH STRUKTURACH BEZPRZEWODOWYCH SIECI SENSOROWYCH STANDARDU IEEE 802.15.4**

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano idee dekompozycji złożonych struktur sieciowych, składających się z wielu przestrzeni komunikacyjnych na mniejsze, niezależne sieci. Przedstawiona metoda dekompozycji umożliwia wyznaczenie parametrów czasowych w bezprzewodowych sieciach sensorowych, których węzły mogą pracować w różnych przestrzeniach komunikacyjnych. Parametry czasowe sieci po dekompozycji zostały wyznaczone na podstawie zmodyfikowanego modelu M/G/1 PS. Uzyskane wyniki zweryfikowano za pomocą symulatora NS-2.

**Słowa kluczowe:** M/G/1 PS, IEEE 802.15.4, dekompozycja sieci

## **NETWORK DECOMPOSITION AS A METHOD FOR THE TIME PARAMETERS ANALYSIS IN COMPLEX MULTI-HOP WIRELESS SENSORS NETWORKS IEEE 802.15.4**

**Summary.** The paper presents the decomposition idea of the complex multi-hop wireless sensor networks (WSN) structures consisting of the multiple communication spaces into smaller independent network. c time parameters in WSN, where some nodes can operate in various communication areas. The WSN time parameters after decomposition were calculated by use of the modified M/G/1 PS model. The results of the carried-out analysis were verified with the NS-2 simulator.

**Keywords:** M/G/1 PS, IEEE 802.15.4, network decomposition.

## 1. Wprowadzenie

Bezprzewodowe sieci sensorowe (BSS) składają się z prostych węzłów realizujących funkcje pomiarowe, które przekazują wyniki pomiaru poprzez sieć tworzonych połączeń. Jako węzeł należy rozumieć zarówno sensor (czujnik) wraz z interfejsem komunikacyjnym, jak i urządzenie gromadzące dane dostarczone z poszczególnych sensorów oraz węzły będące na styku pomiędzy BSS a zewnętrznymi sieciami teletransmisyjnymi [3]. BSS może składać się z kilku węzłów, ale spotykane są także rozwiązania, w których liczba węzłów liczona jest w setkach, a nawet tysiącach. Tak duże sieci mogą tworzyć zaawansowane struktury sieciowe oraz pracować w różnych topologiach. Pośród standardów używanych do tworzenia BSS można wyróżnić jedynie standardy IEEE z grupy 802.15, takie jak IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.3 oraz standard IEEE 802.15.4. Cechą wspólną dwóch pierwszych jest duża prędkość przesyłania danych. Odbywa się to jednak kosztem dużego zapotrzebowania na energię oraz możliwości przesyłania danych na bardzo małe odległości. Brak urządzeń takich jak router sprawia, że występują ogromne problemy ze skalowalnością sieci. Zdecydowanie inaczej jest w przypadku standardu IEEE 802.15.4. Jego innowacyjność polega przede wszystkim na bardzo niskim poborze energii przez węzły bezprzewodowe, możliwości tworzenia sieci niemal o nieograniczonej liczbie węzłów oraz samoorganizacji sieci. Standard ten ze względu na swoją specyfikę nadaje się do tworzenia tanich, liczących nawet tysiące węzłów BSS. Ponadto, możliwość przesyłania danych pomiędzy węzłami pozwala wielokrotnie zwiększyć zasięg przewidziany standardem, nawet przy minimalnych mocach promieniowania.

O ile w sieciach składających się z kilku węzłów nadających dane stosunkowo rzadko daje się przewidzieć czasy transmisji stosunkowo łatwo, o tyle w przypadku struktur, w których liczba węzłów jest bardzo liczna lub węzły nadają z dużą intensywnością, zadanie wyznaczenia czasów transmisji pomiędzy węzłami już takie proste i intuicyjne nie jest.

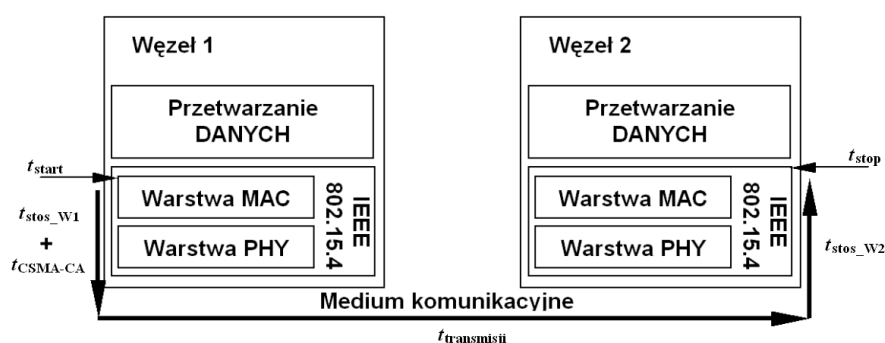
W artykule zaprezentowana zostanie idea dekompozycji złożonych struktur sieciowych, składających się z wielu przestrzeni komunikacyjnych na mniejsze niezależne sieci. Przedstawiona metoda dekompozycji umożliwi wyznaczenie parametrów czasowych w BSS, w których węzły mogą pracować w różnych przestrzeniach komunikacyjnych. Uzyskane wyniki zostaną skonfrontowane z symulatorem NS-2 [4].

## 2. Parametry czasowe

Na potrzeby analizy parametrów czasowych BSS zdefiniowano następujące czasy w torze transmisyjnym: średni czas przebywania zadania komunikacyjnego w systemie ( $W$ ) oraz średni czas przesłania danych pomiędzy węzłami źródłowym i docelowym ( $t^{\dot{z}-c}$ ).

Czas transmisji danych pomiędzy dwoma sąsiednimi węzłami składa się z wielu czasów takich jak: czas przejścia przez stos w węźle 1 ( $t_{stos\_W1}$ ), czas transmisji przez medium bezprzewodowe ( $t_{transmisji}$ ) oraz czas przejścia przez stos węzła 2 ( $t_{stos\_W2}$ ). Dodatkowo, w węźle pierwszym, który ma do wysłania dane, powinno się uwzględnić czas związany z mechanizmem CSMA-CA stosowanym w standardzie IEEE 802.15.4 ( $t_{CSMA-CA}$ ). Całkowity czas transmisji danych pomiędzy węzłami ( $t^{PW}$ ) jest więc równy:

$$t^{PW} = t_{stos\_W1} + t_{CSMA-CA} + t_{transmisji} + t_{stos\_W2} \quad (1)$$



Rys. 1. Interpretacja czasu przesłania danych pomiędzy dwoma węzłami ( $t^{PW}$ )  
 Fig. 1. Interpretation of the data transfer time between two nodes ( $t^{PW}$ )

Znając wartości czasów transmisji danych pomiędzy dwoma sąsiednimi węzłami, można wyznaczyć wartość średnią tegoż czasu, która w dalszej części oznaczona zostanie jako średni czas przebywania zadania komunikacyjnego w systemie ( $W$ ). Wartość tego czasu można obliczyć na podstawie zależności:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{lt} t_i^{PW}}{lt}, \quad (2)$$

gdzie  $lt$  to liczba transmisji pomiędzy węzłami.

Można przyjąć, że czas przejścia danych przez stos komunikacyjny standardu IEEE 802.15.4 jest wartością stałą, niezależną od wielkości sieci. Czas ten zależy jedynie od sposobu implementacji stosu w urządzeniu. Podobnie jest z czasem transmisji, który zależy jedynie od przepływności sieci. Zdecydowanie inaczej wygląda sytuacja w przypadku czasu  $t_{CSMA-CA}$ . Dla BSS, w której dane wysyłane są w przypadkowych chwilach czasowych, wartość  $t_{CSMA-CA}$  zmienia się dynamicznie w trakcie działania sieci. Ponadto, ulega on dodatkowym zmianom w zależności od struktury sieci, liczby węzłów czy rozmiaru przesyłanych danych.

Przyjmując, że odstępy czasu pomiędzy kolejnymi zadaniami komunikacyjnymi z pojedynczego węzła sieci będą zgodne z rozkładem wykładniczym oraz wiedząc, że czas obsługi zadania jest wartością trudną do przewidzenia, do analizy czasu  $W$  wykorzystano zmodyfikowany wzór z teorii kolejek dla modelu M/G/1 PS, zaproponowany w pracy [1]:

$$W = \frac{x + x_{\text{Backoff}}}{V_{\text{ofer}}} \frac{1}{1 - \rho_{\text{ofer}}} \kappa. \quad (3)$$

Wartości parametrów  $V_{\text{ofer}}$  oraz  $\rho_{\text{ofer}}$  można wyznaczyć na podstawie zależności

$$V_{\text{ofer}} = V - \sum_{j=1}^{N-1} \lambda_j x_j, \quad (4)$$

$$\rho_{\text{ofer}} = \frac{\sum_{j=1}^N \lambda_j x_j}{V_{\text{ofer}} N}, \quad (5)$$

gdzie:

$N$  jest liczbą węzłów sieci bezprzewodowej, transmitujących dane,

$V$  jest prędkością działania sieci bezprzewodowej dla określonego standardu, np. dla IEEE 802.15.4 wynosi 250 kb/s,

$\lambda$  jest intensywnością generowanych zadań komunikacyjnych przez węzeł,

$x$  jest rozmiarem danych do przesłania wraz z nagłówkami,

$x_{\text{Backoff}}$  jest ekwiwalentem czasu  $t_{\text{CSMA-CA}}$ , wyrażonym w formie danych do przesłania.

Opracowany w pracy [1] współczynnik korekcji  $\kappa$  przyjmuje wówczas postać:

$$\kappa = 1 - \rho^b, \quad (6)$$

gdzie:

$$\rho = \frac{\sum_{j=1}^N \lambda_j x_j}{V} \quad (7)$$

$$b = \sqrt{3} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{x_{D_i}}, \quad (8)$$

a  $x_D$  jest rozmiarem danych do przesłania bez nagłówków protokołu IEEE 802.15.4.

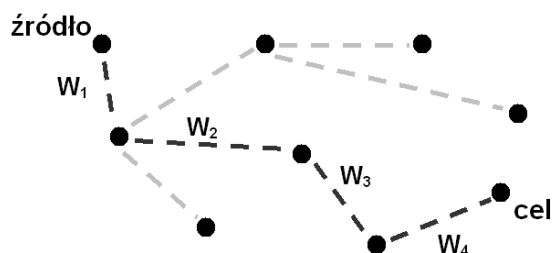
Przyglądając się parametrowi  $V_{\text{ofer}}$  (6) można odnieść wrażenie, że reprezentuje on przepływność oferowaną przez system, lecz nie maksymalną jak miało to miejsce w modelu oryginalnym M/G/1 PS, tylko pozostałą po wykorzystaniu przez klientów już obecnych w systemie. Jest swego rodzaju wskaźnikiem zajętości medium komunikacyjnego.

Drugim z analizowanych czasów jest średni czas przesłania danych pomiędzy węzłami źródłowym i docelowym ( $t^{\dot{z}-c}$ ). Czas ten wyznaczany jest poprzez sumowanie czasów  $W_i$  pomiędzy węzłami uczestniczącymi w procesie przesyłania danych, wg zależności:

$$t^{\dot{z}-c} = \sum_{i=1}^{ls} W_i, \quad (9)$$

gdzie  $ls$  to liczba skoków na drodze pomiędzy węzłami źródłowym a docelowym (rys. 2).

W przypadku gdy topologia sieci jest gwiazdą, a wszystkie pakiety z danymi są transmirowane do punktu centralnego (koordynatora),  $t^{z-c}$  jest równe  $W$ .

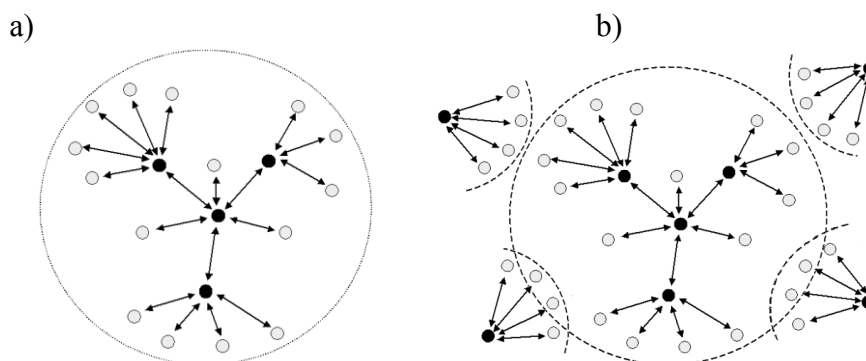


Rys. 2. Interpretacja czasu  $t^{z-c}$  przy przesyłaniu danych pomiędzy węzłami źródłowym i docelowym  
 Fig. 2. Interpretation of the data transfer time between the source and destination node ( $t^{z-c}$ )

### 3. Przestrzeń komunikacyjna i ruch zakłócający

Podczas analizy parametrów czasowych w torze transmisyjnym BSS, daną sieć należy rozpatrywać jako zbiór węzłów ( $w_1, w_2, \dots, w_N$ ) wysyłających informacje do wspólnej przestrzeni komunikacyjnej (rys. 3a).

Wspólna przestrzeń komunikacyjna rozumiana jest jako przestrzeń, która swym zasięgiem obejmuje węzły potrafiące stwierdzić obecność każdego innego węzła w BSS, do którego dane mogą dotrzeć bezpośrednio, tzn. bez węzłów pośredniczących.



Rys. 3. Przykładowa struktura BSS z jedną przestrzenią komunikacyjną  
 a) bez ruchu zakłócającego, b) z ruchem zakłócającym

Fig. 3. WSN example structure with a single communication space  
 a) without interfering traffic, b) with interfering traffic

BSS zbudowana na podstawie standardu IEEE 802.15.4 pracuje na określonej częstotliwości i tym samym kanale. Oznacza to, że w danej chwili czasowej, w jednej przestrzeni komunikacyjnej może odbywać się tylko jedna transmisja. W przypadku gdy więcej niż jeden węzeł będzie nadawał, dochodzi do kolizji i nadawane dane zostają utracone.

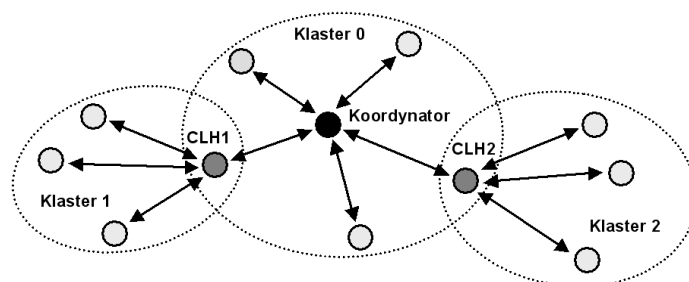
Z procesem wyznaczania przestrzeni komunikacyjnej związane jest pojęcie ruchu zakłócającego (rys. 3b).

Ruch zakłócający jest to ruch emitowany przez część lub wszystkie węzły innej sieci (sieci zakłócającej) nie wchodzących bezpośrednio w strukturę analizowanej BSS, tworzącej jedną przestrzeń komunikacyjną, lecz wpływający na jej zachowanie.

Pojęcie ruchu zakłócającego jest powszechnie stosowane w procesie modelowania interfejsów radiowych systemów komórkowych z ruchem zintegrowanym, m.in. w metodzie ustalonego punktu, gdzie nazywany jest ruchem szumowym [2]. Ruch zakłócający jest to dodatkowy ruch oferowany sieci, co oznacza, że wpływa on bezpośrednio na obciążenie medium transmisyjnego. W artykule zaproponowano uwzględnienie ruchu zakłócającego poprzez wprowadzenie dodatkowego pojedynczego węzła ( $w_{zak}$ ) generującego ściśle określoną liczbę zadań komunikacyjnych o określonej intensywności i rozmiarze przesyłanych danych.

#### 4. Dekompozycja BSS

Analiza parametrów czasowych sieci składającej się z wielu przestrzeni komunikacyjnych (rys. 4) wydaje się być zagadnieniem nietrywialnym. Nie jest ona ani łatwa, ani intuicyjna. Wiele przestrzeni komunikacyjnych powoduje z jednej strony, że w przestrzeniach komunikacyjnych nie oddziałujących na siebie transmisje mogą odbywać się jednocześnie. Z drugiej strony, gdy przestrzenie komunikacyjne choćby po części się pokrywają, to węzły z tych przestrzeni wzajemnie na siebie oddziałują. Takie oddziaływanie należy traktować jako ruch zakłócający. Biorąc to wszystko pod uwagę, proponuje się podział sieci na mniejsze fragmenty i analizowanie ich indywidualnie.

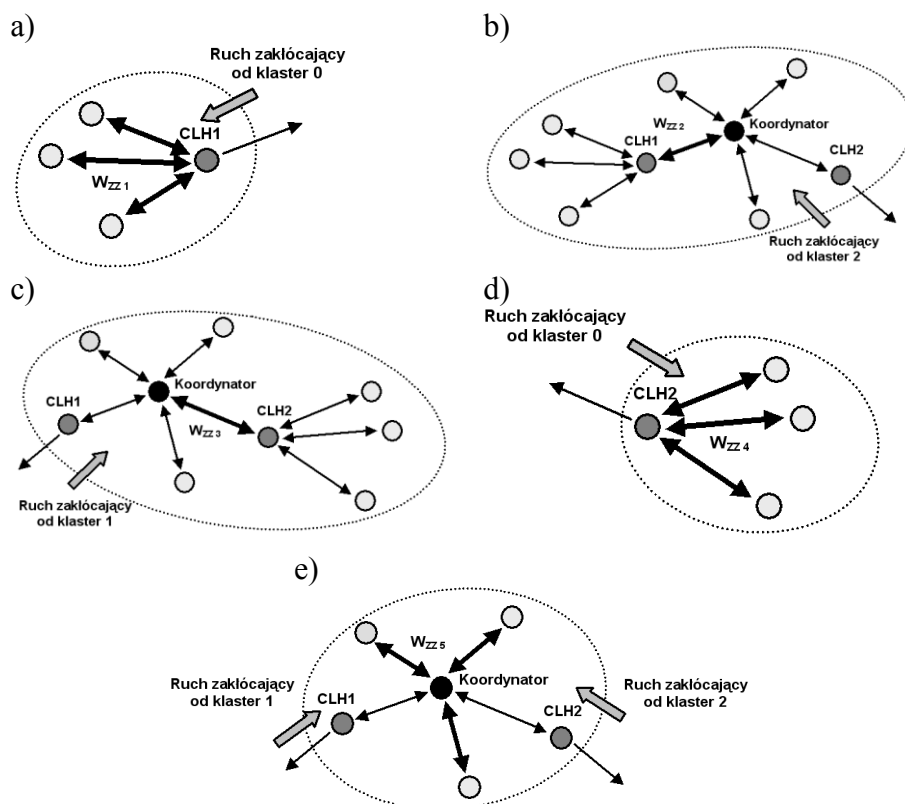


Rys. 4. Przykładowa struktura BSS z wieloma przestrzeniami komunikacyjnymi  
Fig. 4. WSN example structure with a communication spaces

Dokonując dekompozycji BSS, która składa się z wielu przestrzeni komunikacyjnych, należy na nią spojrzeć z punktu widzenia pojedynczego węzła (źródłowego) wysyłającego dane. Powstanie wówczas tzw. lokalna przestrzeń komunikacyjna.

Lokalna przestrzeń komunikacyjna tworzona jest przez węzły wymieniające dane wraz z węzłami, na które ten proces oddziałuje, tzn. takimi, które są w stanie dostrzec falę nośną emitowaną przez węzły wymieniające dane.

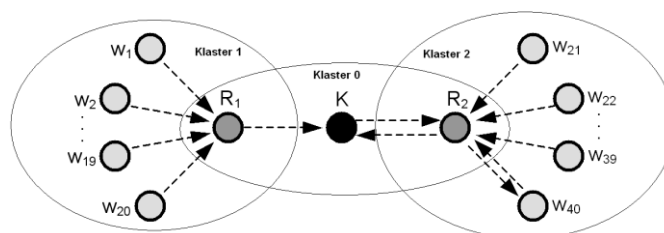
Poruszając się po ścieżce przesyłu danych począwszy od węzła źródłowego, tworzone zostają lokalne przestrzenie komunikacyjne, aż do momentu dotarcia danych do węzła docelowego. Utworzone w ten sposób lokalne przestrzenie komunikacyjne można rozpatrywać indywidualnie, wraz z uwzględnieniem ruchu zakłócającego, pochodzącego od sąsiednich przestrzeni (rys. 5).



Rys. 5. Zdekomponowana BSS z wieloma przestrzeniami komunikacyjnymi z ruchem zakłócającym  
 Fig. 5. Decomposed WSN with communication spaces and with interfering traffic

## 5. Analiza parametrów czasowych przykładowej BSS

Analizie parametrów czasowych poddano BSS, opierającą się na standardzie IEEE 802.15.4, składającą się z następujących węzłów: koordynatora (K), dwóch routerów ( $R_1$  i  $R_2$ ) oraz węzłów końcowych, dołączonych do poszczególnych routerów (rys. 6). Transmisja przebiegała z węzłów końcowych poprzez węzły  $R_1$  i  $R_2$  do koordynatora K, który gromadził dane o monitorowanym obiekcie. Dodatkowo, przyjęto, że jeden z węzłów ( $w_{20}$ ) podłączony do  $R_1$  przesyła dane do węzła  $w_{40}$  podłączonego do  $R_2$ . Strzałkami zaznaczono kierunki transmisji. Założono, że BSS nie zmienia swojej struktury w trakcie działania. Węzły końcowe wysyłają dane o znanym rozmiarze, których odstępy czasu pomiędzy kolejnymi emisjami są zgodne z rozkładem wykładniczym ze średnią intensywnością  $\lambda$ .



Rys. 6. Scenariusz komunikacyjny analizowanej BSS  
Fig. 6. Communication scenario of the analyzed WSN

Analizie poddano BSS o topologii drzewa z podziałem na klastry, w której było wiele przestrzeni komunikacyjnych. Analizowana BSS składa się z trzech klastrów (zaznaczonych elipsami), które jednocześnie tworzą pojedyncze przestrzenie komunikacyjne. Pierwszy klaster zbudowany jest z routera  $R_1$  i węzłów ( $w_1 \div w_{20}$ ) do niego podłączonych. Klaster drugi składa się z routera  $R_2$  wraz z węzłami ( $w_{21} \div w_{40}$ ), a ostatni klaster tworzy koordynator  $K$  i oba routery  $R_1$  oraz  $R_2$ . Zakłada się, że routery  $R_1$  i  $R_2$  „widzą się” wzajemnie. W tabeli 1 podano podstawowe parametry analizowanej BSS.

Tabela 1

Parametry analizowanej BSS

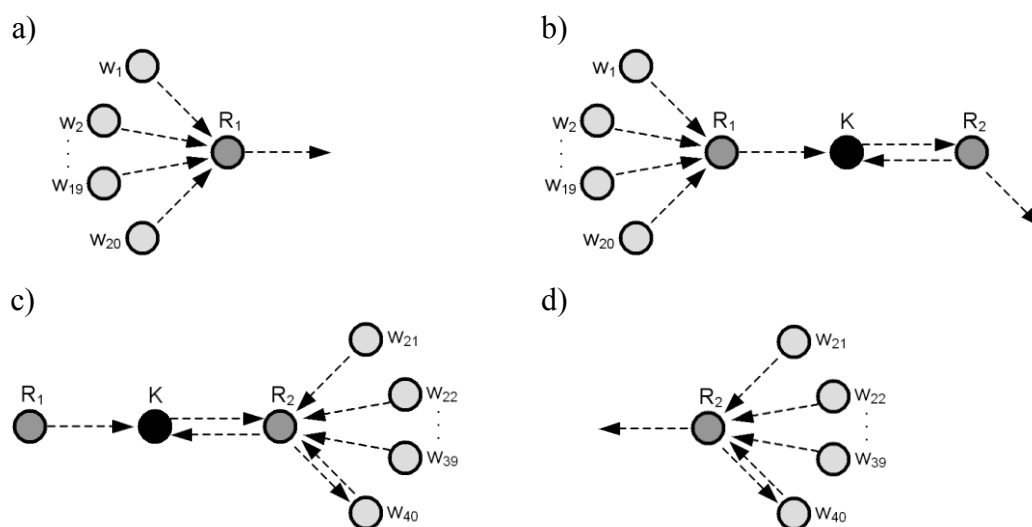
Parametr	Wartość
Liczba węzłów podłączonych do $R_1$	20
Liczba węzłów podłączonych do $R_2$	20
Całkowita liczba węzłów ( $N$ )	43
Rozmiar danych ( $x_D$ )	(2, 20, 50, 80) B
Intensywność dla jednego węzła końcowego	1 zad/s
Intensywność dla routera $R_1$	20 zad/s
Intensywność dla routera $R_2$	21 zad/s
Intensywność dla koordynatora $K$	1 zad/s

Analizę parametrów czasowych BSS o strukturze klastrowej i parametrach opisanych w tabeli 1 rozpoczęto od przeprowadzenia jej dekompozycji uwzględniającej drogę przesyłanie danych z węzła źródłowego ( $w_{20}$ ) do węzła docelowego ( $w_{40}$ ), zgodnie z zasadą opisaną w punkcie 3, tworząc następujące lokalne przestrzenie komunikacyjne, utworzone przez:

- węzły ( $w_1 \div w_{20}$ ) w klastrze 1, dostrzegające ruch własny, czyli generowane zadania komunikacyjne przez każdy węzeł o  $\lambda = 1$  zad/s oraz ruch wychodzący z routera  $R_1$  o  $\lambda = 20$  zad/s (rys. 7a),
- router  $R_1$  dostrzegający ruch z obu klastrów (0 i 1), czyli generowane zadania komunikacyjne przez każdy z węzłów ( $w_1 \div w_{20}$ ) o  $\lambda = 1$  zad/s, ruch wychodzący z koordynatora  $K$  o  $\lambda = 1$  zad/s i routera  $R_2$  o  $\lambda = 21$  zad/s (1 zad/s do węzła  $w_{40}$  i 20 zad/s do koordynatora  $K$ ) oraz ruch własny routera  $R_1$  o intensywności  $\lambda = 20$  zad/s (rys. 7b),



- router  $R_2$  podobnie jak router  $R_1$  w swojej przestrzeni jest w stanie zauważyć ruch od obu klastrów (0 i 2), czyli generowane zadania komunikacyjne przez każdy z węzłów ( $w_{21} \div w_{40}$ ) o  $\lambda = 1$  zad/s, ruch wychodzący z koordynatora K o  $\lambda = 1$  zad/s i routera  $R_1$  o  $\lambda = 20$  zad/s, oraz ruch własny routera  $R_2$  o intensywności  $\lambda = 21$  zad/s (rys. 7c),
- węzły ( $w_{21} \div w_{40}$ ) w klastrze 2 dostrzegają ruch własny, czyli generowane zadania komunikacyjne przez każdy węzeł o  $\lambda = 1$  zad/s oraz wychodzący z routera  $R_2$  o  $\lambda = 21$  zad/s (rys. 7d).



Rys. 7. Dekompozycja analizowanej BSS z rys. 6

Fig. 7. Decomposition of the analyzed WSN from fig. 6

W kolejnym kroku dla każdej utworzonej lokalnej przestrzeni komunikacyjnej uwzględniono ruch zakłócający w postaci dodatkowego pojedynczego węzła ( $w_{zak}$ ), generującego zadania komunikacyjne o określonej intensywności. Przyjmując parametry analizowanej BSS, przedstawionej w tabeli 1 oraz jej dekompozycję pokazaną na rys. 7 określono wartości intensywności węzła  $w_{zak}$  generującego ruch zakłócający dla następujących lokalnych przestrzeni komunikacyjnych:

- z rys. 7a  $w_{zak}$  generuje równoważny ruch zakłócający z klastra 0 o  $\lambda = 22$  zad/s,
- z rys. 7b  $w_{zak}$  generuje równoważny ruch zakłócający z klastra 2 o  $\lambda = 20$  zad/s,
- z rys. 7c  $w_{zak}$  generuje równoważny ruch zakłócający z klastra 1 o  $\lambda = 20$  zad/s,
- z rys. 7d  $w_{zak}$  generuje równoważny ruch zakłócający z klastra 2 o  $\lambda = 21$  zad/s.

Uwzględniając wartości intensywności zadań komunikacyjnych ruchu własnego i ruchu zakłócającego z zależności (3) wyznaczono czas  $W$ .

W tabeli 2 przedstawiono uzyskane wyniki czasów  $W$  dla czterech lokalnych przestrzeni komunikacyjnych (rys. 7a, b, c, d), wyznaczone na podstawie zależności (3) oraz czasu  $t^{\dot{z}-c}$ , wyznaczonego na podstawie zależności (9).

Weryfikację zaproponowanej metody dekompozycji dokonano za pomocą symulatora NS-2, w którym zamodelowano sieć sensorową zgodnie z wcześniej przyjętymi parametrami oraz charakterystyką ruchu (tab. 1). Wartość średnia czasu  $W$  z NS-2 wyznaczana była z próby składającej się z 1000 pakietów danych dla każdej transmisji pomiędzy 2 węzłami.

Tabela 2

Wyniki badań czasów  $W$  i  $t^{z-c}$  BSS z rys. 7 po jej dekompozycji

BSS z rys. 7	Średni czas przebywania zadania komunikacyjnego w BSS ( $W$ ) [ms]							
	$x_D = 2$ B		$x_D = 20$ B		$x_D = 50$ B		$x_D = 80$ B	
	Model	Symul.	Model	Symul.	Model	Symul.	Model	Symul.
a	3,03	2,98	4,46	4,27	5,89	5,85	7,65	7,65
b	3,13	3,06	4,74	4,48	6,43	6,10	8,47	8,07
c	3,13	3,06	4,74	4,48	6,43	6,10	8,47	8,07
d	3,03	2,99	4,46	4,25	5,89	5,85	7,65	7,64
$t^{z-c}$ z węzła $w_{20}$ do $w_{40}$	12,32	12,09	18,40	17,48	24,64	23,90	32,24	31,43

## 6. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano metodę dekompozycji złożonej BSS na mniejsze, niezależne sieci. Zaproponowana metoda pozwala na analizę parametrów czasowych w BSS, w których węzły pracują w różnych przestrzeniach komunikacyjnych. Uzyskane wyniki, potwierdzone symulacjami w symulatorze NS-2, pozwalają na stwierdzenie, że proponowana metoda dekompozycji może być przydatna w analizie parametrów czasowych BSS standardu IEEE 802.15.4. Aby wyniki były zbliżone do rzeczywistych, niezbędne jest oszacowanie wartości ruchu zakłócającego. W analizowanej BSS ruchem zakłócającym był całkowity ruch generowany przez sąsiednie przestrzenie komunikacyjne, stąd uzyskane wyniki są zawyżone w stosunku do uzyskanych z symulatora.

## BIBLIOGRAFIA

1. Eljasz D., Bojarski J.: Model M/G/1 PS w procesie modelowania mechanizmu CSMA-CA sieci standardu IEEE 802.15.4. *Studia Informatica*. 2012, Vol. 33, nr 3A, s. 37-47.
2. Kelly F.: Loss network. *The Annuals of Applied Probability*, 1(3), 1991, pp. 319-378.
3. Lewis F.: Wireless Sensor Networks. In: *Smart Environments: Technologies, Protocols and Applications*, (ed.) Cook D. J., Das S. K., Wiley, New York 2004.
4. McCanne S., Floyd S.: UCB/LBNL/VINT Network Simulator - ns (version 2). <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> April 1999.

5. Michta E.: Tendencje rozwojowe w obszarze systemów pomiarowo – sterujących. SP'06, czerwiec 2006.

Wpłynęło do Redakcji 14 marca 2013 r.

## Abstract

The paper presents decomposition idea of the complex structures of wireless sensor networks (WSN) based on IEEE 802.15.4. WSN with the multiple communication spaces is divided into smaller independent WSN. Time parameters are analysed for each communication space, and in this way it is possible to assess time parameters for whole analyzed WSN. The mean sojourn task time in the system ( $W$ ) given by the relation (3) and the average data time transfer between source and destination node ( $t^{z-c}$ ) (9) are calculated. A modified M/G/1 PS model [1] which takes into account the specificity of the IEEE 802.15.4 was used to time  $W$  calculation.

In proposed method, decomposition is done according to the given communication task profile. Data are transferring from the source node to the destination through a few communication spaces and interfering traffic. Interfering traffic is emitted by some or all nodes, is not directly included in the analyzed WSN, but influences on its behavior (Fig. 3). Value of the interference traffic is included in equation (3) as an additional node  $w_{zak}$  which emit additional data to analyzed WSN. The space formed by nodes exchanging data with the nodes to which this process interact ie, those that are able to see a carrier wave emitted by the nodes exchanging data is defined as a local communication (Fig. 5).

WSN, based on the IEEE 802.15.4 with a coordinator node (K), two routers (R1 and R2) and a few end-nodes joined to each router was analyzed (Fig. 6). Transmission starts from end nodes via nodes R1 and R2 to the coordinator K, which collects data from the monitored object. In addition, was assumed that one node ( $w_{20}$ ) joined to R1 send data to a node  $w_{40}$  joined to router R2. End-nodes send data with a known size and intensity. It was assumed that the WSN does not change its structure during operation. The basic parameters of the analyzed WSN are presented in Table 1. Table 2 shows the results of time  $W$  obtained for four local communication spaces presented in Figure 7a, b, c, d and  $t^{z-c}$  between the node  $w_{20}$  and  $w_{40}$ . The simulator NS-2 was used to verification of analytical results.

The obtained result lead to the conclusion that the proposed decomposition method may be useful in the analysis of time parameters of WSN based on IEEE 802.15.4.

**Adres**

Dariusz ELJASZ: Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Elektrotechniki Informatyki i Telekomunikacji, Instytut Metrologii Elektrycznej, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra, Polska, [d.eljasz@ime.uz.zgora.pl](mailto:d.eljasz@ime.uz.zgora.pl)