

Dariusz ELJASZ

Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii Elektronicznej

## MODELE KOLEJKOWE W ANALIZIE SIECI IEEE 802.15.4

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano wybrane modele kolejkowe w analizie bezprzewodowych sieci sensorowych, bazujących na standardzie IEEE 802.15.4. Zbadano wpływ intensywności napływu zgłoszeń, liczby węzłów oraz rozmiaru przesyłanych danych na średni czas przebywania zadania w systemie. Ponadto, zaprezentowano zmodyfikowany model M/G/1 PS<sub>CSMA-CA</sub>, uwzględniający specyfikę rozwiązań w artykule sieci bezprzewodowych.

**Słowa kluczowe:** modele kolejkowe, IEEE 802.15.4

## QUEUING NETWORKS IN ANALYZING IEEE 802.15.4 NETWORKS

**Summary.** In the article some queuing models for analyzing wireless sensor networks (IEEE 802.15.4) are presented. The mean sojourn time and influence on this parameter of number of nodes, intensity of data arrival or size of data are analyzed. The modified M/G/1 PS<sub>CSMA-CA</sub> model of the wireless sensor networks with CSMA-CA mechanism are shown.

**Keywords:** Queuing theory, IEEE 802.15.4

### 1. Wprowadzenie

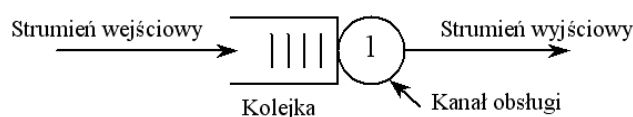
W obecnie funkcjonujących i projektowanych systemach pomiarowo-sterujących (SPS) dominują rozwiązania przewodowe. Wykorzystują one dobrze znane na rynku standardy komunikacyjne takie, jak: Ethernet przemysłowy, CAN czy Profibus. Technologie bezprzewodowe wkraczają także i w ten obszar [1]. Opracowanie normy IEEE 1451.5, będącej bezprzewodowym wariantem dla węzłów standardu IEEE 1451.0 oraz innowacyjność technologii ZigBee/802.15.4, umocniło jej pozycję na rynku bezprzewodowych systemów pomiarowo-sterujących (BSPS).

Do analizy parametrów czasowych i wydajnościowych, na etapie projektowania SPS, wykorzystywane są zarówno symulatory, jak i metody analityczne. Wśród metod analitycznych, w zależności od potrzeb, stosowane są metody szeregowania zadań lub/ oraz metody kolejkowe. Metody szeregowania zadań umożliwiają wyznaczenie wartości maksymalnych poszczególnych parametrów, natomiast metody kolejkowe ich wartości średnich. O ile w analizie SPS przydatność metody szeregowania zadań jest uznana, o tyle w BPSPS sposób wymiany danych w medium bezprzewodowym, a w zasadzie procedury związane z mechanizmem CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) powodują ograniczenia jej stosowalności. W takiej sytuacji korzystniej jest stosować metody bazujące na wartościach średnich, takie jak metody kolejkowe.

W artykule zaprezentowano możliwości wykorzystania modeli kolejkowych do analizy bezprzewodowych systemów pomiarowo-sterujących, wykorzystujących standard IEEE 802.15.4.

## 2. Metody kolejkowe

Teoria kolejek wywodzi się z teorii procesów stochastycznych, będących jednym z działów teorii prawdopodobieństwa. Podstawowymi parametrami systemów kolejkowych są: parametry strumienia wejściowego, czyli ciągu zgłoszeń napływających do systemu, parametry strumienia wyjściowego, czyli ciągu zgłoszeń opuszczających system oraz parametry kanału obsługi lub ich zespołu, zajmującego się obsługą zgłoszeń napływających do systemu. W przypadku gdy napływające zadanie zostanie zajęty kanał obsługi, trafia ono do kolejki. Zadanie może być usunięte z systemu w przypadku przepełnienia kolejki lub gdy rozpatruje się systemy z brakiem kolejki. Podstawowy model systemu kolejkowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Model systemu kolejkowego

Fig. 1. Queuing model

Czas pomiędzy napływem kolejnych zgłoszeń do systemu, a także czas ich obsługi mogą być opisane różnymi rozkładami, np. Erlanga, Poissona, regularnym (deterministycznym) itd.

Usystematyzowania systemów kolejkowych dokonał angielski matematyk D. Kendall [3], który zaproponował prostą symbolikę, zmodyfikowaną następnie przez A. M. Lee:

$$X/Y/m/d/l,$$

gdzie:  $X$  oznacza rozkład czasu pomiędzy napływem kolejnych zgłoszeń,  $Y$  jest rozkładem czasu obsługi zadania,  $m$  jest liczbą kanałów obsługi,  $d$  dyscypliną kolejki, a  $l$  jej długością. Domyślnym regulaminem kolejki jest regulamin FCFS (*First Come – First Served*) [5].

W dalszej części artykułu analizie zostanie poddany bezprzewodowy system pomiarowo-sterujący, modelowany za pomocą systemów  $M/M/1$ ,  $M/D/1$  oraz  $M/G/1$  PS o jednym stanowisku obsługi, w których zadania napływające do systemu będą tworzyć strumień prosty (Poissona), posiadający wykładniczy ( $M$ ) z parametrem  $\lambda$  rozkład czasu pomiędzy napływem kolejnych zgłoszeń. Czas obsługi może być określony za pomocą rozkładu wykładniczego ( $M$ ), deterministycznego ( $D$ ) lub dowolnego ( $G$ ). Przez  $1/\mu$  oznaczmy średni czas obsługi, niezależnie od typu jego rozkładu.

### 2.1. Model $M/M/1$

Model  $M/M/1$  jest jednym z najbardziej znanych, klasycznych modeli kolejkowych. System tak modelowany (rys. 1) ma jedno stanowisko obsługi, które obsługuje pewien strumień zgłoszeń, zgodnie z następującymi założeniami:

- stanowisko jest dostępne dla dowolnego zgłoszenia, jeśli tylko nie jest zajęte,
- napływające zgłoszenia do systemu tworzą strumień prosty, z intensywnością  $\lambda$ ,
- rozkład czasu obsługi jest wykładniczy z parametrem  $\mu$ ,
- zgłoszenia nieprzyjęte do obsługi oczekują w kolejce,
- kolejka jest nieograniczona,
- intensywność napływu zgłoszeń jest mniejsza niż czas ich obsługi ( $\lambda/\mu < 1$ ).

Podstawowe parametry charakteryzujące model  $M/M/1$  to:

- średnia liczba zgłoszeń w systemie:

$$L = \frac{A}{1 - A}, \quad (1)$$

gdzie  $A$  jest średnim ruchem oferowanym systemowi  $A = \frac{\lambda}{\mu}$ ,

- średni czas przebywania zgłoszenia w systemie:

$$W = \frac{A}{\lambda(1 - A)}, \quad (2)$$

- średnia liczba zgłoszeń w kolejce:

$$Q = \frac{A^2}{1 - A}, \quad (3)$$

- średni czas przebywania zgłoszenia w kolejce:

$$T = \frac{A^2}{\lambda(1 - A)}, \quad (4)$$

- prawdopodobieństwo wolnego stanowiska obsługi:

$$p_0 = 1 - A. \quad (5)$$

## 2.2. Model M/D/1

Model M/D/1 jest systemem, w którym czas obsługi jest wartością stałą ( $t_0$ ), identyczną dla wszystkich zgłoszeń. Wariancja czasu obsługi jest równa zero  $\sigma_r^2 = 0$ . Średni czas przebywania zgłoszenia w systemie podany jest zależnością:

$$W = \frac{1}{\mu(1-A)} \left( 1 - \frac{A}{2} \right), \quad (6)$$

gdzie w danym przypadku  $1/\mu = t_0 = \text{const}$ ,  $A = \lambda t_0$ .

Pozostałe parametry charakteryzujące model M/D/1 można wyznaczyć za pomocą wzorów Little'a [6]:

- średni czas przebywania zgłoszenia w kolejce:

$$T = W - \frac{1}{\mu}, \quad (7)$$

- średnia liczba zgłoszeń w systemie:

$$L = W\lambda, \quad (8)$$

- średnia liczba zgłoszeń w kolejce:

$$Q = T\lambda, \quad (9)$$

- prawdopodobieństwo wolnego stanowiska obsługi:

$$p_0 = 1 - A. \quad (10)$$

## 2.3. M/G/R PS

W klasycznych modelach systemów kolejkowych takich, jak np. M/M/1, M/D/1 zakłada się, że zadania napływające do systemu są rozpatrywane wg regulaminu FCFS. W przypadku regulaminu PS (*Processor Sharing*), będącego granicznym przypadkiem regulaminu RR (*Round Robin*) czas przybycia zgłoszenia do systemu nie jest aż tak istotny, jak w przypadku FCFS. Jeżeli w systemie, w dowolnej chwili czasu jest obecnych  $k$  ( $k \geq 2$ ) zgłoszeń, to wszystkie te zgłoszenia są obsługiwane jednocześnie, natomiast szybkość obsługi każdego z nich jest w danej chwili  $k$  razy mniejsza, niż w przypadku obsługiwania w tej chwili jednego zgłoszenia [4]. Taki model kolejki dosyć dobrze odzwierciedla mechanizmy zaimplementowane w protokole TCP (*Transmission Control Protocol*), który, podobnie jak regulamin PS, dąży do zapewnienia równego dostępu do współdzielonego kanału transmisyjnego [4].

Średni czas przebywania zgłoszenia w tak zdefiniowanym systemie można wyznaczyć za pomocą zależności [7]:

$$W(x) = \frac{x}{r_{peak}} f_R, \quad (11)$$

gdzie:  $r_{peak}$  jest maksymalną (szczytową) przepływnością strumienia ruchu,  $x$  jest rozmiarem przesyłanych danych, natomiast parametr  $f_R$  jest tzw. współczynnikiem opóźnienia. Wartość tego współczynnika można wyznaczyć na podstawie wzoru:

$$f_R = 1 + \frac{E_2(R, A)}{R(1 - \rho)}, \quad (12)$$

gdzie:  $R$  jest liczbą stanowisk obsługi,  $\rho$  oznacza obciążenie kanału transmisyjnego o przepływności  $V$ ,

$$\rho = \frac{\sum_{j=1}^N \lambda_j x_j}{V}, \quad (13)$$

natomiast  $A$  jest średnim ruchem oferowanym systemowi  $A = R\rho$ ,  $E_2$  oznacza drugi wzór Erlanga:

$$E_2(R, A) = \frac{\frac{A^R}{R!} \frac{R}{R-A}}{\sum_{i=0}^{R-1} \frac{A^i}{i!} + \frac{A^R}{R!} \frac{R}{R-A}}. \quad (14)$$

W przypadku gdy przepływność strumienia ruchu w pełni wykorzystuje przepływność kanału transmisyjnego ( $r_{peak} = V$ ), wówczas  $R = 1$ , co oznacza, że mamy jedno stanowisko obsługi. Wówczas wzór (11) przyjmuje postać:

$$W(x) = \frac{x}{r_{peak}} \left( 1 + \frac{A}{1 - \rho} \right). \quad (15)$$

W przypadku analizy systemu bezprzewodowego, rozważanym modelem będzie model  $M/G/1$  PS.

#### 2.4. $M/G/1$ PS<sub>CSMA-CA</sub>

Klasyczny model  $M/G/1$  PS ze względu na swoje podobieństwo do protokołu TCP/IP stosowany jest bardzo często do analizy pakietowej transmisji danych, wykorzystywanej w sieciach komputerowych. W tradycyjnych sieciach komputerowych (przewodowych), w momencie wystąpienia kolizji na magistrali, stacje klienckie potrafią ten fakt wykryć i ponownie nieudaną transmisję. W sieciach bezprzewodowych wykrywanie kolizji jest bardzo utrudnione, stąd stosowane są mechanizmy prewencyjne (CSMA-CA). Zanim dane zostaną wysłane,

stacja nadawcza musi odczekać losową chwilę czasu ( $\Psi_{Backoff}$ ) i dopiero po jej upływie może wysłać dane. Jest to tzw. okres rywalizacji o dostęp do medium.

Klasyczne modele kolejkowe nie przewidują takich sytuacji, jak dodatkowe oczekiwanie przed wysłaniem danych. Dlatego też zdecydowano się na zmodyfikowanie podejścia klasycznego.

Uwzględniając warunek  $A = \rho$  zależność (15) można zapisać w nieco innej formie:

$$W(x) = \frac{x}{r_{peak}} \frac{1}{1 - \rho}. \quad (16)$$

Aby możliwe było uwzględnienie czasu związanego z rywalizacją, zdecydowano się na modyfikację parametru  $r_{peak}$ , związanego z oferowaną przepływnością przez medium transmisyjne oraz  $\rho$  związanego z obciążeniem kanału transmisyjnego i uwzględnienie w nich czasu  $\Psi_{Backoff}$ .

Ostatecznie średni czas przebywania zadania w systemie opisany został wg zależności:

$$W(x) = \frac{x}{r} \frac{1}{1 - \frac{\rho_{Backoff}}{N}}, \quad (17)$$

gdzie:  $\rho_{Backoff}$  jest obciążeniem kanału transmisyjnego:

$$\rho_{Backoff} = \frac{\sum_{j=1}^N \lambda_j (x_j - \Psi_{Backoff})}{r}, \quad (18)$$

$$r = V - \sum_{j=1}^{N-1} \lambda_j (x_j - \Psi_{Backoff}), \quad (19)$$

$N$  jest liczbą klientów (węzłów) sieci bezprzewodowej,

$V$  jest przepływnością sieci bezprzewodowej,

$\lambda$  jest intensywnością generowanych zadań komunikacyjnych.

### 3. IEEE 802.15.4/ZigBee

Standard ten definiuje funkcje dwóch najniższych warstw modelu ISO/OSI, czyli warstwę fizyczną oraz łącza danych. Dostęp do medium komunikacyjnego zrealizowano na trzech zakresach częstotliwości. Dla sieci pracujących w Europie zdecydowano się użyć częstotliwości ISM (*Industrial Scientific and Medical*) 868 MHz, a dla USA 915 MHz. Poza tymi zakresami urządzenia mogą pracować również na częstotliwości 2,4 GHz. Na wszystkich tych częstotliwościach wykorzystano prostą metodę rozpraszania widma z kluczowaniem bezpośrednim DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). Niższe częstotliwości, to mniejsza przepływność, z kolei na wysokich częstotliwościach zastosowano bardziej zaawansowane

techniki modulacji. Wybrane parametry standardu IEEE 802.15.4-2003 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Parametry standardu 802.15.4-2003 [9]

Warstwa fizyczna [MHz]	Częstotliwości działania [MHz]	Liczba kanałów	Modulacja	Przepływność [kb/s]
868	868 – 868.6	1	BPSK	20
915	902 – 928	10	BPSK	40
2450	2400 – 2483.5	16	O-QPSK	250

Na bazie LR-WPAN rozwinęły się, popularyzowane przez stowarzyszenie ZigBee Alliance sieci ZigBee czy też popularyzowane przez firmę Microchip sieci MiWi.

Standard 802.15.4 definiuje dwie podstawowe metody dostępu do nośnika. Pierwszą z nich jest szczelinowy dostęp do medium, w którym stacje mogą nadawać tylko w określonych szczelinach (slotach) czasowych, natomiast drugim jest tradycyjny mechanizm CSMA-CA [9].

W dalszej części artykułu analizie zostanie poddany tradycyjny mechanizm CSMA-CA. W mechanizmie tym stacja, zanim przystąpi do wysyłania danych, musi stwierdzić, w jakim stanie jest nośnik. Jeżeli jest wolny, wówczas uruchamiana jest procedura oczekiwania losowej chwili czasu (*Backoff slots*), tzw. rywalizacji o dostęp do medium; w artykule oznaczana jako  $\Psi_{Backoff}$ . Po okresie rywalizacji, stacja ponownie sprawdza stan nośnika i w przypadku gdy ponownie stwierdzi, że jest wolny, może rozpocząć transmisję. W standardzie 802.15.4 każda transmisja powinna zostać potwierdzona już na poziomie warstwy MAC, więc układ radiowy musi odczekać kolejną chwilę czasową, pozwalającą przestawić się z nadawania na odbieranie lub na odwrót (*Turnaround time*). Czas ten określany jest jako  $T_{ACK}$ . Zanim stacja nada kolejną porcję danych (będzie chciała zająć medium) musi odczekać kolejną chwilę czasową, zwaną IFS (*Inter Frame Space*). IFS może być długi (LIFS) lub krótki (SIFS), co jest to uzależnione od rozmiaru pola danych [9]. Opisane powyżej parametry wraz z czasem ich trwania przedstawiono w tabeli 2, a schemat komunikacyjny na rys. 2.



Rys. 2. Schemat komunikacyjny 802.15.4

Fig. 2. 802.15.4 communication schema

Tabela 2

Podstawowe parametry standardu 802.15.4-2003 dla częstotliwości 2,4 GHz [9]

Warstwa fizyczna [MHz]	Parametry	Rozmiar [symbol]	Rozmiar [B]	Czas [ $\mu$ s]
2450	SIFS	12	6	192
	LIFS	20	10	320
	$T_{ack}$	12	6	192
	Symbol		0,5	16
	Bajt	2		32
	$1 \Psi_{Backoff}$	20	10	320

## 4. Symulacje i wyniki obliczeń

Analizie poddano system, w którym węzły sieci LR-WPAN wysyłały dane z intensywnością  $\lambda$  do koordynatora. Symulację przeprowadzono dla sieci o topologii gwiazdy.

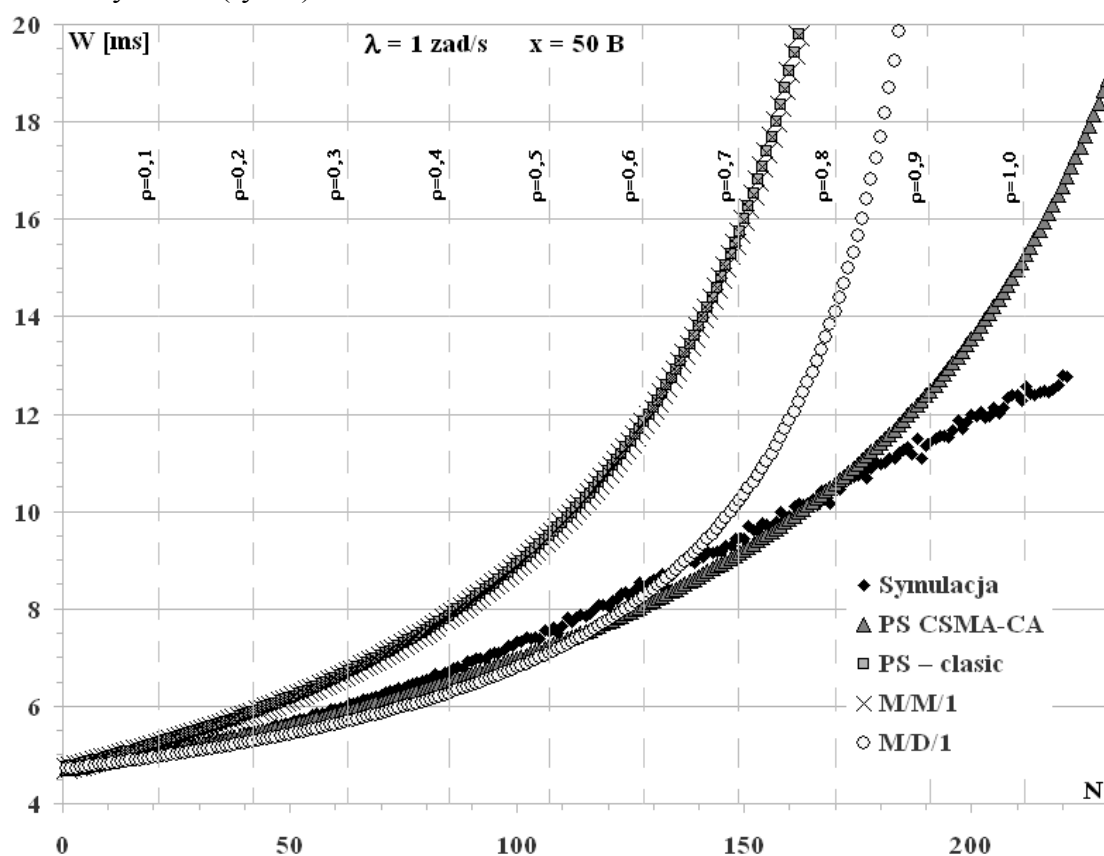
Do wykonania symulacji wykorzystany został symulator ns-2 [2, 8]. Parametry zadań podano w tabeli 3.

Tabela 3

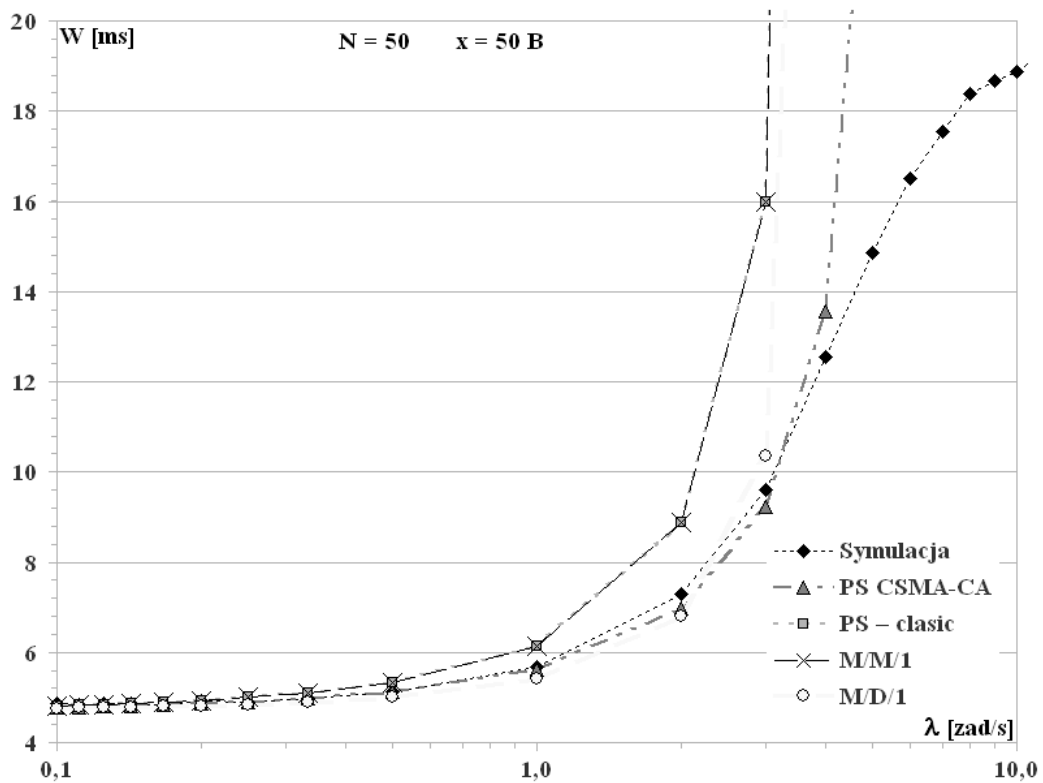
Parametry ustawień dla warstwy MAC i PHY

Parametr	Wartość	Parametr	Wartość
PHY	8 B	$V$	250 kb/s
MAC	7 B	$\Psi_{Backoff}$	4,5 (90 symboli)
ACK	3 B	SIFS	12 symboli
Rozmiar danych	1-100 B	LIFS	20 symboli

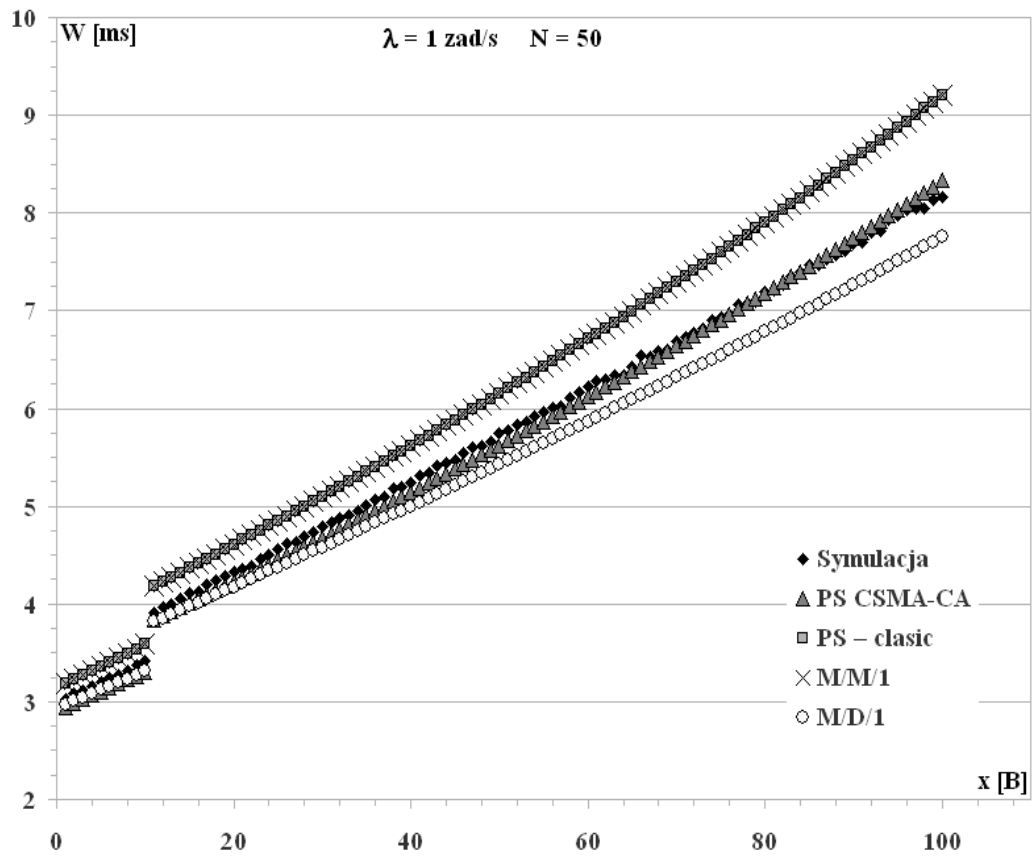
W analizowanej sieci bezprzewodowej każdy węzeł (klient) wysyła identyczną porcję danych, z taką samą średnią intensywnością. Proces komunikacyjny uwzględnia potwierdzenia przesyłanych danych. Analizie poddano wpływ liczby klientów (rys. 3), intensywności generowania ramek z danymi (rys. 4) oraz rozmiaru przesyłanych danych na czas przebywania zadania w systemie (rys. 5).

Rys. 3. Wpływ liczby węzłów  $N$  na  $W(x)$ Fig. 3. Influence numbers of nodes  $N$  on  $W(x)$

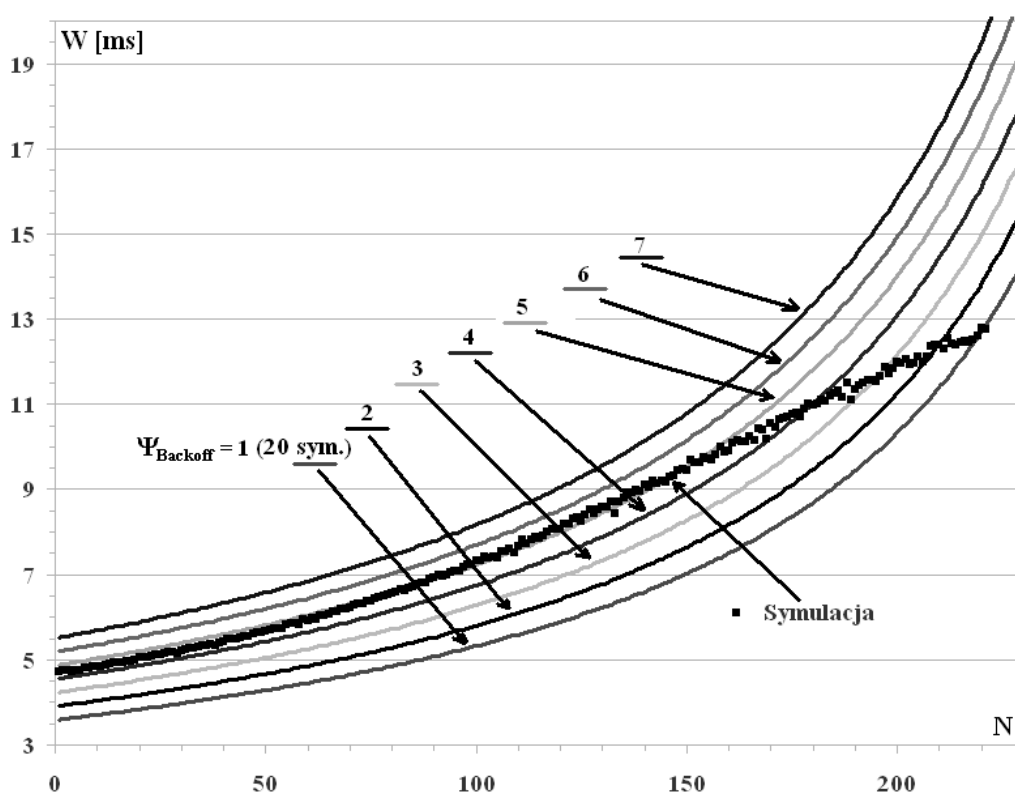




Rys. 4. Wpływ intensywności zgłoszeń  $\lambda$  na  $W(x)$   
 Fig. 4. Influence intensity of data arrival  $\lambda$  on  $W(x)$



Rys. 5. Wpływ rozmiaru danych  $x$  na  $W(x)$   
 Fig. 5. Influence size of data  $x$  on  $W(x)$



Rys. 6. Wpływ szczelin rywalizacji  $\Psi_{Backoff}$  na  $W(x)$

Fig. 6. Influence time rivalry  $\Psi_{Backoff}$  on  $W(x)$

Z przeprowadzonej analizy wybranych modeli kolejkowych wynika, że dla niewielkiej liczby węzłów ( $N < 20$ ), działających z małą intensywnością ( $\lambda < 1$  zad/sek), otrzymano porównywalne rezultaty. Oznacza to, że podczas analizy sieci o małej złożoności, dobór odpowiedniego modelu kolejkowego nie jest aż tak bardzo istotny. Rozbieżności pojawiają się w przypadku struktur składających się z kilkudziesięciu lub nawet kilkuset węzłów. Należy nadmienić, że wzrost liczby węzłów pociąga za sobą globalny wzrost przesyłanych pakietów, a co za tym idzie intensywności zgłoszeń (zadań) do obsłużenia przez medium transmisyjne.

W przypadku sieci bezprzewodowej, składającej się z co najmniej 50 klientów, istotnym czynnikiem powodującym rozbieżności pomiędzy różnymi modelami kolejkowymi, okazał się być parametr związany z czasem rywalizacji ( $\Psi_{Backoff}$ ). Różnice pomiędzy modelami  $M/G/1$  PS klasycznym i dostosowanym do specyfiki mechanizmu CSMA-CA pokazują wyraźny wpływ tego parametru na uzyskane wyniki. W przypadku sieci składającej się z przeszło 100 węzłów, które będą generowały ruch z intensywnością 1 zad/sek, różnica pomiędzy wartościami rzeczywistą a modelowaną w klasyczny sposób może wynosić przeszło 100%. Ten sam problem występuje w przypadku sieci składającej się z kilkuset węzłów, ale działających z intensywnością 1 zadania w czasie 10, 100 czy nawet 1000 s. Na podstawie uzyskanych wyników można wysnuć wniosek, że w przypadku, gdy obciążenie kanału transmisyjnego ( $\rho$ ) przekroczy próg 0,1, dobór odpowiedniego modelu kolejkowego może zasadniczo zmienić uzyskiwane wyniki.

Ciekawym modelem okazał się także klasyczny model  $M/D/1$ , który zdecydowanie lepiej niż model  $M/M/1$  czy  $M/G/1$  PS potrafił przybliżyć zachowanie analizowanego przypadku. Model ten pomimo nieuwzględniania czasów rywalizacji, potrafi w dość dobry sposób odzwierciedlić rzeczywistość nawet do poziomu  $\rho = 0,7$ .

Na rys. 6 przedstawiono wpływ parametru  $\Psi_{Backoff}$  na wyniki obliczeń, uzyskanych z wykorzystaniem modelu  $M/G/1$  PS<sub>CSMA-CA</sub>.

## 5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano wybrane modele kolejkowe oraz wyniki badań symulacyjnych bezprzewodowej sieci sensorowej standardu IEEE 802.15.4. Zaprezentowane wyniki wyraźnie pokazują, że w przypadku sieci bezprzewodowych, składających się z małej liczby węzłów, które generowały ruch o małej intensywności ( $\rho < 0,1$ ), rodzaj modelu kolejkowego nie jest aż tak bardzo istotny. W takim przypadku można z powodzeniem zastosować zarówno model  $M/M/1$ , jak i model dedykowany dla bezprzewodowej sieci sensorowej,  $M/G/1$  PS<sub>CSMA-CA</sub>. W przypadku gdy obciążenie medium transmisyjnego rośnie ( $\rho > 0,3$ ), różnica pomiędzy modelami zaczyna już być zauważalna i dobór odpowiedniego modelu jest elementem kluczowym. Zaprezentowany w artykule model  $M/G/1$  PS<sub>CSMA-CA</sub> potrafił przewidzieć zachowanie badanej, bezprzewodowej sieci sensorowej zarówno przy małym ( $\rho < 0,1$ ), jak i dużym ( $\rho > 0,7$ ) obciążeniu medium transmisyjnego. Ponadto, umożliwia on prześledzenie jak czas rywalizacji ( $\Psi_{Backoff}$ ) wpływa na średni czas przebywania zadania w systemie.

## BIBLIOGRAFIA

1. Michta E.: Tendencje rozwojowe w obszarze systemów pomiarowo – sterujących. SP'06, czerwiec 2006.
2. Nowak M.: Symulacja sieci komputerowych. Praca zbiorowa IITiS PAN, Gliwice 2009.
3. Oniszczyk W.: Metody modelowania. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1995.
4. Stasiak M., Głębowski M., Zwierzykowski P.: Modelowanie i wymiarowanie ruchomych sieci bezprzewodowych. WKŁ, 2009.
5. Iversen V. B.: Teletraffic Engineering Handbook: Technical University of Denmark, 2001.
6. Kleinrock L.: Queuing Systems, Vol. 1, John Wiley and Sons, 1975.
7. Z. Fan, "Dimensioning Bandwidth for Elastic Traffic": Lecture Notes In Computer Science, Vol. 2345, 2000, s. 826÷837.

8. The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation): <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
9. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) – IEEE Computer Society, 1 October 2003.

Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Czachórski  
Prof. dr hab. inż. Oleg Tikhonenko

Wpłynęło do Redakcji 11 marca 2011 r.

### Abstract

In the paper queuing models  $M/M/1$ ,  $M/D/1$ ,  $M/G/1$  PS for analyzing of wireless sensor networks IEEE 802.15.4 are presented. In the early chapters, a general introduction to the queuing theory and terminology were outlined. The basic formulas for systems  $M/M/1$ ,  $M/D/1$  and  $M/G/1$  PS, such as: sojourn time (Formula 3, 7, 12), task residence time in the queue (Formula 5, 8), the length of the queue (Formula 4, 10), or the probability free channel (Formula 6, 11) were presented. A new way to determine the task sojourn time in the system for a wireless sensor network with CSMA-CA mechanism  $M/G/1$  PS<sub>CSMA-CA</sub> (Processor Sharing for Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) was shown. In chapter 3 basic information about the IEEE 802.15.4 (Table 1, 2) and communication schema for IEEE 802.15.4 (Fig. 2) was presented. In chapter 4 calculation of the sojourn time parameters and influence numbers of nodes (Fig. 3), intensity of data arrival (Fig. 4) or size of data (Fig. 5) on this parameters was analyzed. In the figure 6, influence of the  $\Psi_{Backoff}$  parameters on the accuracy of the task sojourn time determining was shown. In the summary the final conclusions about usefulness the queuing theory in analysis time parameters of the wireless measurement and control systems were presented.

### Adres

Dariusz ELJASZ: Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii Elektrycznej, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra, Polska, d.eljasz@ime.uz.zgora.pl