Апробація створеної програми під час розв'язанні задачя вибору методів і режимів оброблення нового матеріалу показала, що його використання є ефективним і дає можливість зменшити витрати енергії, матеріалу та часу на проведення експериментальних досліджень.

Описані методи і засоби можуть бути використані для вирішення різноманітних технологічних задач: вибір конструкційних матеріалів; вибір інструментальних матеріалів; вибір пари «оброблювальний – інструментальний» матеріал; вибір методів та умов оброблення нового конструкційного матеріалу; вибір режимів оброблення нового конструкційного матеріалу; проектування технологічних процесів виготовлення деталей тощо.

Розроблену програму рекомендується використовуватися як в автономному режимі для розв'язання окремих задач технологічної підготовки виробництва, так і у складі системи автоматизованого проектування технологічних процесів.

Список використаних джерел

1. *Факторный*, дискриминантный и кластерный анализ : пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч. У. Мьюллер, У. Р. Клекка и др. ; под ред. И. С. Енюкова. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

2. *Вислоух С. П.* Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва : монографія / С. П. Вислоух. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 488 с.

3. *Основы* автоматизации проектирования технологических процессов изготовления монолитных элементов, конструкций летательных аппаратов / Ю. В. Лысенко, В. В. Павлов [и др.]. – М. : МФТИ, 1977. – 51 с.

4. *Чимитов П. Е.* Разработка математической модели сборочных процессов с использованием методов распознавания образов : автореф. дис. … канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / Чимитов Павел Евгеньевич ; Иркутский государственный технический университет. – Иркутск, 2010. – 20 с.

5. *Щерстобитова В. Н.* Алгоритмы интеграции систем автоматизации конструкторского и технологического проектирования : автореф. дис. … канд. тех. наук : спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» / Щерстобитова Вероника Николаевна ; Оренбургский государственный университет. – Оренбург, 2004. – 18 с.

UDC 004.732

Serhii Nesterenko, Doctor of Technical Sciences
Yuliia Nesterenko, PhD student
Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

MODEL ORIENTED METHOD OF BIT ERROR RATE MEASUREMENT IN 802.11 WIRELESS NETWORKS

С.А. Нестеренко, д-р техн. наук
Ю.С. Нестеренко, аспірант
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

МОДЕЛЬНО ОРІЄНТОВАНИЙ МЕТОД ВИМІРУ РІВНЯ БІТОВИХ ПОМИЛОК У БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ 802.11

С.А. Нестеренко, д-р техн. наук
Ю.С. Нестеренко, аспирант
Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

МОДЕЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ БИТОВЫХ ОШИБОК В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ 802.11

One of the main features of wireless networks is that they are used as transmission medium the radio channels that are affected by a lot of interference. In some cases it leads to a high bit error rate (BER) level in the channel which significantly reduces its throughput. In the article analysis of approaches and appropriate methods for BER measurement in a wireless channel were conducted. It is shown that the methods that are used for BER measurement do not allow calculate BER value with sufficient accuracy. In the article an original model oriented method of BER measurement is proposed. BER calculation

is performed using a mathematical model of wireless channel throughput. As the mathematical model is used a modified model of wireless channel with retransmissions. As a basic metric for BER level calculation is used experimentally measured throughput of the wireless channel. Experimental_assess of method accuracy was conducted. Analysis of method accuracy shows that the proposed method allows with a high accuracy calculate the average value of the wireless channel BER level.

Key words: *802.11 wireless networks, bit error rate calculation, model oriented method, traffic generator, wireless channel throughput.*

Однією з особливостей бездротових мереж є використання як передавального середовища радіоканалу, який, зазвичай, має великий рівень завад. У деяких випадках це призводить до великого рівня бітових помилок (bit error rate - BER) у каналі, що суттєво зменшує його пропускну здатність. У статті наведено аналіз наявних підходів та відповідних методів виміру рівня BER. Показано, що вони не дозволяють проводити вимір BER з достатньою точністю. Запропоновано оригінальний модельно орієнтований метод виміру BER. Обчислення BER виконується з використанням моделі пропускної здатності бездротового каналу. Як модель використовується модифікована модель каналу з повторними передачами. Як базова метрика для обчислення BER використовується значення пропускної здатності бездротового каналу, яке знаходиться експериментально. Проведено експериментальне оцінювання точності методу. Показано, що запропонований метод дозволяє з високою точністю обчислювати середнє значення BER бездротового каналу.

Ключові слова: *бездротова мережа 802.11, розрахунок рівня бітових помилок, модельно орієнтований метод, генератор трафіку, пропускна здатність бездротового каналу.*

Одной из особенностей беспроводных сетей является использование в качестве передающей среды радиоканала, который подвержен большому количеству помех. В некоторых случаях это приводит к большому уровню битовых ошибок (bit error rate - BER) в канале, что существенно уменьшает его пропускную способность. В статье приведен анализ существующих подходов и методов измерения BER. Показано, что они не позволяют измерять BER с достаточной точностью. Предложен оригинальный модельно ориентированный метод измерения BER. Вычисление BER выполняется с использованием модели пропускной способности беспроводного канала. В качестве модели используется модифицированная модель канала с повторными передачами. В качестве базовой метрики для вычисления BER используется экспериментально измеренная пропускная способность беспроводного канала. Проведена экспериментальная оценка точности метода. Показано, что предложенный метод позволяет с высокой точностью рассчитывать среднее значение BER беспроводного канала.

Ключевые слова: *беспроводная сеть 802.11, расчет уровня битовых ошибок, модельно ориентированный метод, генератор трафика, пропускная способность беспроводного канала.*

The problem urgency. Wireless networks of IEEE 802.11 standard are widely used in various distributed information systems. Designing and reengineering of modern networks is performed in accordance with the requirements of QoS. The goal of QoS is to provide guarantees on the ability of a network to deliver predictable results. One of the main elements of network performance within the scope of QoS is throughput of networks channels.

One of the main features of wireless networks is that they use as a transmission medium the radio channels that are affected by a lot of interference. In some cases it leads to a high bit error rate (BER) level in the channel (so called error-prone channels) and, as a result, to significant reduction of its throughput. This problem is especially important for wireless local networks (WLANs) with a closed office environment structure (no direct line of sight between the AP and the stations with many obstructions between them) [1].

As it was shown in research, carried out by Atheros, in the closed office environment structures subscribers throughput even on the base of one access point (AP) may vary up to 10 times depending on its BER level [1]. Therefore, we must calculate the throughput for each wireless channel according to its BER level.

Thus, the development of appropriate models and methods for calculating BER level in the 802.11 error-prone wireless channels is relevant.

State of the art. Analysis methods for BER study show that there are three approaches and appropriate models and methods for calculating BER level in a wireless channel [2].

The first approach uses analytical dependences for calculating BER level. In such calculations a distance between the subscribers, data rate and modulation method are taken into account [3]. However, the analytical model cannot take into account many features of the environment where the wireless network is located. Therefore, the results of throughput calculations, using this approach can be far from the actual values.

The second approach is based on experimental measurements of Signal to Noise Ratio (SNR) in receiver and BER calculation on a base of SNR value [4]. The disadvantage of this method is that the received signal power in a wireless channel is measured by receiver only during reception of a physical layer preamble, the duration of which is about 3% of a frame

transmission cycle. This can lead to large errors in BER calculation and hence to large errors in calculation the throughput of the wireless channels [2].

The third approach is based on experimental methods for direct measuring of BER level. To implement this approach it is necessary to use a specialized equipment (programmable signal generators and logic analyzers) and specialized software [2].

The cost of such equipment can be 10 times higher than the cost of the wireless network, which measurements are conducted for. Thus, this approach is very expensive and time consuming, therefore it is practically not used in a real practice.

In the article a model oriented method of BER calculation is proposed. BER calculation is performed using the mathematical model of wireless channel throughput. As a basic metric for BER level calculation is used experimentally measured throughput of the wireless channel. The method allows with a high accuracy to calculate the average value of BER level for the whole transmission cycle.

Model oriented method. In the article a mathematical model of channel throughput for a Base transmission cycle (BTC) is used, which is the most commonly applied in 802.11 wireless channels [5]. The procedure of a frame transmission in this mode can be represented as a following sequence of time intervals and blocks of information: DIFS → Back of period → DF → SIFS → ACK, where DIFS, Back of period and SIFS – time intervals defined by standard, DF – data frame, ACK – acknowledgment frame [6].

Time of 802.11 Base transmission cycle we can write as:

$$T_{\text{BTC}} = T_{\text{DIFS}}+T_{\text{BOP}}+T_{\text{DATA}}+T_{\text{SIFS}}+T_{\text{ACK}} \quad (1)$$

where T_{DIFS}, T_{BOP}, T_{SIFS} – time of DIFS, Back of period and SIFS intervals, T_{DATA}, T_{ACK} – time of data and acknowledgment frames transitions.

Time of data frame transmission is defined in standard as:

$$T_{\text{DATA}} = T_{\text{Preamble}}+T_{\text{PHeader}}+\lceil L_{\text{MSDU}}/DR \rceil, \quad (2)$$

where T_{Preamble}, T_{PHeader} – time of frame preamble and header transmission, L_{MSDU} – length of data frame information field, DR – data rate, $\lceil\ \rceil$ – the next highest integer.

ACK frame transmission time is defined in the standard as:

$$T_{\text{ACK}} = T_{\text{Preamble}} + T_{\text{PHeader}} + \lceil L_{\text{ACK}}/DR \rceil, \quad (3)$$

where L_{ACK} – length of acknowledgment frame.

Using the given above equations (1) – (3) we can calculate the time of Base transmission cycles for the IEEE 802.11g standard.

Using equations proposed in [7 – 9] we can calculate throughput of the wireless channel for the Base transmission cycle with retransmission as

$$CT_{\text{BTC}} = \frac{L_{\text{MSDU}} \cdot (1 - P_{\text{DP}})}{T_{\text{DATA}} + T_{\text{ACK}} + T_{\text{PAUSE}}}, \quad (4)$$

where P_{DF} – probability of frame distortion in the wireless channel, $T_{\text{PAUSE}} = T_{\text{DIFS}} + T_{\text{BOP}} + T_{\text{SIFS}}$.

This expression (4) is a mathematical model for calculating the throughput of the IEEE 802.11 standard wireless channel for the Base transmission cycle with retransmission.

Probability of frame distortion in the wireless channel can be express as:

$$P_{\text{DF}} = 1- (1-BER)^{\text{N}}, \quad (5)$$

where $N = L_{\text{MSDU}} + L_{\text{ACK}}$.

To simplify the procedure of BER calculation we will use P_{DF} approximation. Using binomial decomposition expression (5) it can be represented as a polynomial:

$$P_{\text{DF}} = N \cdot BER - [N(N-1)(BER)^2]/2+[N(\text{N}-1)(N-2)(BER)^3]/6- \\ - [N(N-1)(N-2)(N-3)(BER)^4]/24+...+ (BER)^{\text{N}}. \quad (6)$$

In this expression the members, starting from the second, are two orders smaller than the previous. So we can use approximation to calculate P_{DF}:

$$P_{DF} = N \cdot BER. \quad (7)$$

Using (7) from equation (4) we can express BER value as:

$$BER = (1 - \frac{CT_{BTC} \cdot T_{BTC}}{L_{MSDU}}) \cdot N^{-1} \quad (8)$$

Using the equation (8) we can calculate the BER level in a wireless channel. As a parameter for BER calculation we will use experimentally measured wireless channel throughput CT_{BTC}.

Experiments description. For experimental throughput measurements we will use JPERF traffic generator, which has built-in tools for TCP and UDP packets generation and throughput measurement [10]. For traffic generation JPERF is used agent-server scheme. Throughput measurements we will conduct in 802.11g WLAN using a Closed Office structure with some obstacles between subscriber and access point (Fig. 1).

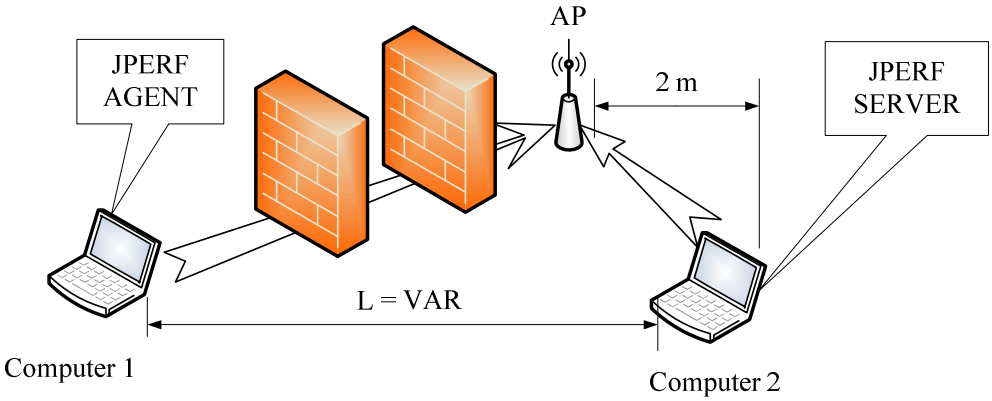

Fig. 1. Experimental scheme

The experiments were carried out at various points in the office for various distances between subscriber (Computer 1) and access point (AP). The measurements are carried out by the following scheme. For a maximum frame size of 1500 bytes channel throughput measurement is performed using a JPERF generator.

By the equation (8) is calculated the BER level in the channel. Then is performed a frame size consistent reduction. For each frame size the experimental measurement of channel throughput is conducted. Using equation (4) and BER value obtained in the first experiment analytical calculation of channel throughput value is performed. To assess the accuracy of the method for each frame size are calculated error values δ for analytically obtained channel throughput

$$\delta = \frac{CT_{BTC}^{C} - CT_{BTC}^{M}}{CT_{BTC}^{M}} \cdot 100\%,$$

where CT_{BTC}^{C} – calculated value of channel throughput, CT_{BTC}^{M} – measured value of channel throughput.

Experimental analysis of the method accuracy shows that the maximum error occurs in a case of maximum distance between subscriber and access point. For this point a graph of methods inaccuracy depending from the size of transmitted frames is shown at Fig. 2.

Analysis of the graph shows that the maximum error does not exceed 6%, which indicates about a high accuracy of proposed method.

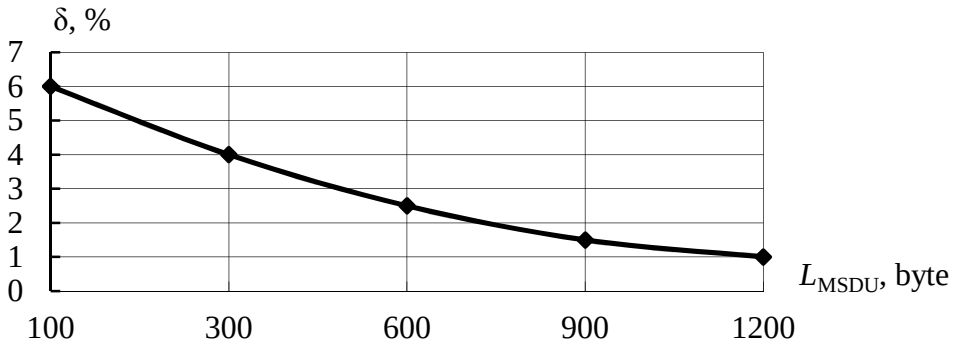

Fig. 2. Graph of method inaccuracy depending from the size of transmitted frames

Conclusions. Model oriented method of BER calculation is proposed. BER calculation is performed using the mathematical model of wireless channel throughput. As a basic metric for BER level calculation is used experimentally measured throughput of the wireless channel. The method allows to calculate the average BER level for the whole transmission cycle. Experimental study of the method showed that the maximum error of BER calculation does not exceed 6 %.

References

1. *802.11 Wireless* LAN Performance. Qualcomm White Paper. (2013), 13 p. Available at: http://www.qca.qualcomm.com/wp-content/uploads/2013/10/.

2. *Vlavianos A.*, Law L., Broustis I., Krishnamurthy S., Faloutsos M. Assessing Link Quality in IEEE 802.11 Wireless Networks: Which is the Right Metric? 2008, 6 p. Available at: http://www.cs.ucr.edu/~krish/pimrc08.pdf.

3. *Battula B.*, Prasad R., Moulana M. (2001). Performance Analysis of IEEE 802.11 Non-Saturated DCF, *International Journal of Computer Science Issues*, (8), pp. 565–568.

4. *Halperin D.*, Hu W., Sheth A., Wetherall D. Predictable 802.11 Packet Delivery from Wireless Channel Measurements, in: SIGCOMM'10, New Delhi, India (2010), pp. 123–136.

5. *IEEE 802.11 standard*, Part 11 (2012). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.

6. *Nesterenko, S.*, Nesterenko, I. (2015). Analysis of IEEE 802.11g wireless channel maximum throughput. *Electrotechnic and Computer Systems*, (2), pp. 42–46.

7. *Khan, M.*, Khan, T., Beg, M. (2013). Evaluating the performance of IEEE 802.11 WLAN using DCF with RTS/CTS mechanism. *International Journal of Electrical, Electronics & Comm. Eng*., (2), pp. 264–271.

8. *Sharma R.*, Singh G., Agnihorti R. (2010). Comparison of performance analysis of 802.11a, 802.11b and 802.11g standard. *International Journal on Computer Science and Engineering*, (2), pp. 2042–2046.

9. *Nesterenko, S.*, Nesterenko, I. (2015). Throughput analysis of 802.11g wireless channel boosting modes. *Electrotechnic and Computer Systems*, (3), pp. 54–57.

10. *Feng Li*, Mingzhe Li, Rui Lu, Huahui Wu, Mark Claypool and Robert Kinicki. Tools and Techniques for Measurement of IEEE 802.11 Wireless Networks, in: *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks, 4th International Symposium*, (2006), pp. 1–8.