

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

**ПРОБЛЕМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ
СУМІСНОСТІ ПЕРСПЕКТИВНИХ
БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ
(ЕМС – 2019)**

Збірник наукових праць п'ятої Міжнародної
науково-технічної конференції
Харків 21 -22 травня 2019 р.

Харків 2019

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція
«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку

УДК 621.37/.39

Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку (ЕМС-2018): Збірник наукових праць п'ятої міжнародної науково-технічної конференції, Харків 21-22 травня 2019 г. / М-во освіти і науки України, Харківський національний університет радіоелектроніки. - Харків: ХНУРЕ, 2018. - 76 с.

До збірника включено наукові доповіді учасників п'ятої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку» (ЕМС-2019).

Видання підготовлено кафедрою інфокомунікаційної інженерії

61166, Україна, Харків, просп. Науки, 14.
Тел./факс: +380 (57) 702-13-20,
+380 (57) 702-55-92.

E-mail: ems.conference.kture@gmail.com

© Харківський національний
університет радіоелектроніки, 2019

Оргкомітет конференції

Голова організаційного комітету конференції:

Москалець М.В. професор кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, член IEEE, д.т.н., доцент (м. Харків, Україна).

Організаційний комітет EMC-2019:

Агєєв Д.В. член-кореспондент АН ПРЄ, професор кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, член IEEE, д.т.н., професор (м. Харків, Україна).

Єременко О.С. професор кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, член IEEE, д.т.н., доцент (м. Харків, Україна).

Євдокименко М.О. докторант кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, член IEEE, к.т.н. (м. Харків, Україна).

Коляденко Ю.Ю. професор кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, д.т.н., професор (м. Харків, Україна).

Невлюдов І.Ш. академік АН ПРЄ, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки ХНУРЕ, д.т.н., професор (м. Харків, Україна).

Радівілова Т.А. доцент кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, член IEEE, к.т.н., доцент (м. Харків, Україна).

Серков О.А. академік АН ПРЄ, завідувач кафедри систем інформації НТУ «ХПІ», член IEEE, заслужений винахідник України, д.т.н., професор (м. Харків, Україна).

Сичова О.В. старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки ХНУРЕ (м. Харків, Україна).

Токарь Л.О. доцент кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, к.т.н., доцент (м. Харків, Україна).

Шостко І.С. член-кореспондент АН ПРЄ, професор кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, д.т.н., професор (м. Харків, Україна).

Програмний комітет

- Баркалов О.О.** член-кореспондент АН ПРЕ, професор інституту комп'ютерної інженерії та електроніки Зеленогурського університету, д.т.н., професор (м. Зелена-Гура, Польща).
- Безрук В.М.** академік АН ПРЕ, академік Академії зв'язку України, завідувач кафедри інформаційно-мережевої інженерії ХНУРЕ, д.т.н., професор (м. Харків, Україна).
- Водолазкий М.В.** начальник Північно-східної філії Українського державного центру радіочастот (м. Харків, Україна).
- Гаркуша С.В.** проректор з наукової роботи «Полтавський університет економіки і торгівлі», д.т.н., професор (м. Полтава, Україна).
- Гепко І.А.** начальник відділу наукового забезпечення науково-методичного департаменту Українського державного центру радіочастот, д.т.н., професор (м. Київ, Україна).
- Єрохін В.Ф.** завідувач кафедри застосування засобів спеціальних телекомунікаційних систем Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації НТТУ «КПІ», д.т.н., професор (м. Київ, Україна).
- Калюжний М.М.** академік АН ПРЕ, с.н.с науково-дослідного центру інтегрованих інформаційних радіоелектронних систем і технологій (НДЦ П РЕСТ), завідувач і науковий керівник проблемною НДЛ «Радіомоніторингу та обробки радіотехнічної інформації» ХНУРЕ, к.т.н. (м. Харків, Україна).
- Климаш М.М.** академік Академії Зв'язку України і Міжнародної академії інформатизації, завідувач кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка», лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, д.т.н., професор (м. Львів, Україна).
- Колесніков О.М.** провідний фахівець Північно-східної філії Українського державного центру радіочастот, к.т.н., доцент (м. Харків, Україна).
- Корсун В.І.** генеральний директор Українського державного центру радіочастот (м. Київ, Україна).
- Кравченко В.І.** академік АН ПРЕ, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, директор НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ», д.т.н., професор (м. Харків, Україна).
- Лемешко О.В.** завідувач кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, член IEEE, д.т.н., професор (м. Харків, Україна).
- Лошаков В.А.** академік АН ПРЕ, професор кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, д.т.н., професор (м. Харків, Україна).
- Наритник Т.М.** академік Української академії наук, директор інституту електроніки і зв'язку Української академії наук, лауреат Державних премій УРСР та України в галузі науки і техніки, Заслужений працівник промисловості України, Почесний зв'язківець України, Почесний член інститута інженерів електротехніки та електроніки США к.т.н.

**П'ята Міжнародна науково-технічна конференція
«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку**

- (м. Київ, Україна).
- Серков О.А.** академік АН ПРЕ, завідувач кафедри систем інформації НТУ «ХП», член IEEE, заслужений винахідник України, д.т.н., професор (м. Харків, Україна).
- Стрелковська І.В.** директор навчально-наукового інституту інфокомунікацій та програмної інженерії ОНАЗ ім. О.С. Попова, Заслужений діяч науки і техніки України, Почесний зв'язківець України, д.т.н., професор (м. Одеса, Україна).
- Сукачов Е.О.** професор кафедри технічної електродинаміки і систем радіозв'язку ОНАЗ ім. О.С. Попова, д.т.н., професор (м. Одеса, Україна).
- Сундучков К.С.** лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор кафедри авіаційних радіоелектронних комплексів НАУ, д.т.н., професор (м. Київ, Україна).
- Тігаренко Л.О.** член-кореспондент АН ПРЕ, професор ХНУРЕ і інституту комп'ютерної інженерії та електроніки Зеленогурського університету, д.т.н., професор (м. Зелена-Гура, Польща).
- Уривський Л.А.** академік АН ПРЕ, зав. кафедри телекомунікаційних систем Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «КП», ім. Ігоря Сікорського, Заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор (м. Київ, Україна).
- Холод Л.М.** головний метролог відділу експлуатації об'єктів зв'язку та метрології Харківської філії ПАТ «Укртелеком», к.т.н., доцент (м. Харків, Україна).
- Чурюмов Г.І.** академік АН ПРЕ, професор кафедри фізичних основ електронної техніки ХНУРЕ, член IEEE, д.ф.-м.н., професор (м. Харків, Україна).

SERVICE FUNCTIONS IoT OF 5G PLATFORM

Kadatskaya O., Saburova S., Elmehdoj Mohmed S.

Engineering Infocommunication

V.V. Popovskiy Dep, HNURE, Ukraina.

E-mail: svitlana.saburova@nure.ua

Abstract

Researched 5G network platform, which provides operators with significant advantages, expressed primarily in expanding the functionality and performance of the network (performance) and increasing user satisfaction (User Experience). As a result, 5G is a system, or “platform,” which refers to a software platform, not a hardware platform. It is known that 1G / 2G / 3G / 4G networks were built on the basis of hardware solutions (equipment), and the 5G platform is built on the basis of software solutions, with software-configured networks technologies SDN (Software Defined Network), virtualization of network functions NFV (Network Function Virtualization). The 5G network architecture is not based on the classic definition and content, as “network architecture”, which is based on hardware implementation. On the 5G network, it is no longer relevant.

The 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) consortium, which develops specifications for mobile telephony, is working to improve GSM (Global System for Mobile Communications, originally Groupe Special Mobile) and LTE (Long-Term Evolution) in terms of Internet Access Things (IoT). These are primarily the answers to the challenges: penetrating power, low power consumption, efficiency and scalability. The upcoming improvements are related to Release 13 and are declared as worthy of competition with LoRa and SigFox. According to the 3GPP consortium, it was almost possible to solve all the stated problems, including on energy saving.

Advantages of GSM, LTE: functioning on the existing infrastructure of cellular operators, widespread in the world, high data transfer rate, support personal and social networks, high comprehensive security, roaming.

Disadvantages of GSM, LTE: licensed frequencies, high tariffs. The 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) consortium, which develops specifications for mobile telephony, is working to improve GSM (Global System for Mobile Communications, originally Groupe Special Mobile) and LTE (Long-Term Evolution) in terms of Internet Access Things (IoT). These are primarily the answers to the challenges: penetrating power, low power consumption, efficiency and scalability. The upcoming improvements are related to Release 13 and are declared as worthy of competition with LoRa and SigFox. According to the 3GPP consortium, it was almost possible to solve all the stated problems, including on energy saving.

NB-LTE and NB-CIoT. Nokia Networks, Ericsson and Intel have teamed up to promote Narrow-Band Long-Term Evolution (NB-LTE) technology. Sprint, Verizon Wireless, Alcatel-Lucent, Qualcomm, Samsung, Sony and ZTE also became part of this initiative. NB-LTE is seen by some experts as a direct challenge to Huawei Technologies, which is developing Narrowband Cellular IoT technology (NB-CIoT). NB-CIoT has already received the support of such heavyweights as Vodafone, T-Mobile, TeliaSonera and China Unicom.

The main difference between NB-LTE and NB-CIoT is how well existing LTE networks can be reoriented to IoT. Huawei declined to comment on this, but critics of the clean slate approach (NB-CIoT) note that this technology requires new chipsets and does not seem to be backward compatible with LTE networks older than Release 13.

Otherwise, both technologies managed to solve the problem of energy saving: the declared duration of the device operation from the battery is 10 years. In addition, penetrating power in dense buildings has been improved several times, and the number of possible device connections has been increased by 2 orders of magnitude. The cost of the M2M module is estimated at \$ 4 in 2019.

The advantages and disadvantages of these technologies naturally grow from GSM and LTE. LTE networks, in turn, are developing in the direction of 5G networks, the appearance of which is expected by

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»

2020. VoLTE technology can naturally be used in 5G networks, thus VoLTE will become the foundation for providing voice and video calls with “carrier” quality in 5G networks.

5G functions are implemented in virtual software functions VNF (Virtual Network Function), which work in the NFV infrastructure. The difference between these sounding concepts is that VNF is a function, and NFV is a technology. In turn, NFV is implemented in the physical infrastructure of data centers (data center, DC, data center, data center), based on standard commercial equipment COTS (Commercial Off The Shelf). COTS equipment includes only three types of standard, relatively inexpensive devices — a server (computing device), a switch (network device), and a storage system (storage device).

The need to move to 5G is also due to the fact that the cost of passing the ever-increasing traffic through the networks of fixed-line and mobile telecommunications operators / providers, as of 2019, is not covered by income from traditional services. Meanwhile, the main growth in traffic and revenue does not occur in the device sector of people, but in the device sector of the Internet of Things (IoT), which is one of the basic goals of the 5G services platform. Therefore, 5G networks can be considered as one of the necessary components of the digital transformation and digital economy.

The global powers with advanced economies of the USA and China are rapidly leading the development of the 5G services platform. Australia, Japan, Korea and Russia are already doing early 5G projects. The governments of these countries understand that the 5G services platform is indeed an important not only national information infrastructure (NII, National Information Infrastructure), but also in the future successful development of new generation services at the level - global information infrastructure (GII).

Standardization of technologies and solutions of 5G should be completed by 2021, so the term 5G so far indicates only fragmentary solutions that will be part of the full-scale IMT2020 solution in the future. Such solutions are already deployed in different countries, but they still have a local and test character, and don't provide the entire planned functionality of the IMT2020 standard networks. The main standardizing organizations of the 5G services platform as of 2019: 3GPP is an alliance of seven organizations that are developing various telecommunication standards, which, in turn, include other partners. The goal of 3GPP is to formulate technical requirements, evaluate proposals and final adoption of standards. In middle 2017, a version of the general standard Release 15 was adopted, and Release 16 is currently being developed, which will be adopted in 2019. In addition to developing a common architecture, 3GPP is also developing standards for 5G New Radio (NR), radio technology for new frequency bands allocated under 5G, ETSI (European Telecommunication Standard Institute), which is a member of 3GPP, and is most active in the development of 5G standards; The Internet Engineering Task Force (IETF) develops IP retrofit solutions to support of the Network Function Virtualization (NFV).

For example, the IETF has developed Service Function Chaining (SFC), which combines the virtualized components of the 5G architecture, such as base stations, service gateways, and data packets in a single route. This allows the dynamic creation and linking of virtual network functions VNF (Virtual Network Functions). The IETF works closely with 3GPP; ITU (International Telecommunication Union) is a UN agency based in Geneva that is engaged in the standardization of a wide range of telecommunication technologies. In particular, it coordinates the work on sharing the radio frequency spectrum, include for 5G networks.

In addition to these three main coordinating organizations, there are a number of others that carry out systematic practical work on the development of IMT2020 (5G) standards: 5GPPP (5G Infrastructure Public Private Partnership), is considered one of the leading 5G standardization partnerships.

The organization sets powerful goals for the development of 5G network requirements, for example, entrainment of network capacity by 1000 times, reduction of power consumption of user devices by 90%, a significant reduction in the creation time of new services and services, complete and secure network coverage and with negligible data transmission delay. and so forth; NGMN (Next Generation Mobile Networks) Alliance. The next generation Mobile Network Alliance standardizes the full range of 5G solutions. The alliance includes the leadership of leading US operators: AT & T, U.S. Cellular and Verizon.

In addition to these, there are industry and regional organizations, such as the 5G Americas, Small Cell Forum, which also make a great contribution to the development and standardization of solutions for the 5G services platform.

They coordinate their work with ETSI and ITU, but sometimes they are ahead of these organizations. Therefore, the decisions of these operators often form the basis of the ETSI and ITU standards.

Mobile networks of previous generations had the following functions and functions: 1G: Voice over analog services, 2G: Voice over digital network services, low-speed data services (GPRS, EDGE), 3G: High-speed data services (HSPA), with the ability to transmit voice over an IP network, mobile Internet access MBB (Mobile Broadband), 4G: Mobile broadband access MBB based on LTE, LTE-A, voice transmission (VoLTE), 5G networks significantly expand the limited functionality of previous generation mobile networks.

The main functional features of 5G networks are as follows: Enhanced mobile broadband eMBB (enhanced MBB), Ultra Reliable Communication with Low Delay ULLRC (Ultra Low Latency Reliable Communication), Massive machine-to-machine communications Massive IoT / IIoT, mMTC (massive Machine Type Communication).

On the basis of these three generalized types of functional, the whole variety of services and capabilities of the IMT2020 (5G) networks is built, the most characteristic of which are shown in fig.1. data transmission through various radio access technologies (RAT), and through the use of new radio frequency spectra 5G NR (New Radio). The user receives almost unlimited bandwidth, both for home use of various services, and for the purposes of enterprises (Immersive Telepresence, Industrial IoT, etc.)

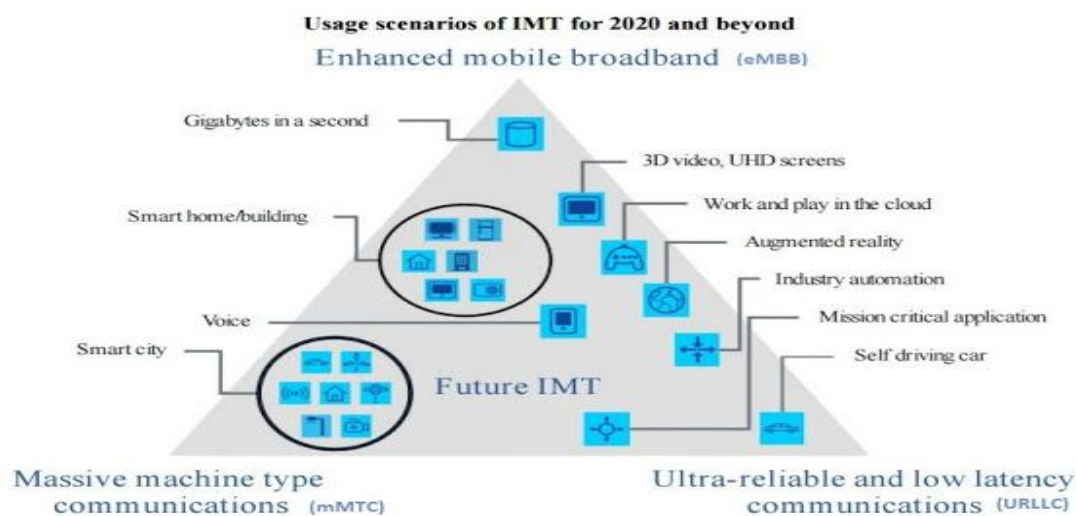


Fig.1. Diversity of IMT2020 / 5G Network Functionality

Smart House. A whole range of different Internet of Things (IoT) services will be available for the Smart Home and Smart Building solutions: video surveillance, home appliances management and automation, security systems management, content storage, air conditioning, etc.

Smart city. The "Smart City" solution is horizontal and vertical scaling of the functional and spectrum of services of the "Smart Home". The main services of the "Smart City": Safe City, e-Government e-Government, e-Health e-Health, e-Education e-Education, e-Bank e-banking, electronic Smart Meters utilities, smart grids, Smart Grid, etc.

New video services 4K / 8K: Volumetric video, ultra-high definition screen (UHD), the possibility of the effect of presence.

Work in the cloud. The service makes it possible not only to store data in the cloud storage and retrieve it from there, but also to use application programs that work directly from the cloud. Moreover, with the possibility of their use on any device and from any location. In addition, it's possible to use APIs for application programming interfaces through, which cloud service providers can provide their services to subscribers of the 5G network operator.

The Augmented Reality AR (Augmented Reality) service combines a real environment with virtual objects for the user. These services are suitable not only for entertainment, games, virtual communication in the "telepresence" mode, but also can significantly improve the learning process, when students with the help of VR glasses can, for example, visually see the internal structure of a person at an anatomy lecture, the master in the workshop can study the assembly order of a complex assembly, etc.

Industrial automation. The 5G network, coupled with the Internet of Things technology IoT, using industrial sensors IIoT (Industrial Internet of things), as well as using artificial intelligence AI (AI, Artificial Intelligence) can significantly increase the degree of automation of production. In this case, it

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»

becomes possible to analyze in real time large volumes of heterogeneous data (Big Data) and on the basis of the findings (insights) and using machine and deep learning (Machine learning, Deep learning).

Business Critical Applications (Mission Critical Applications). These applications may include, for example, electronic medicine (e-Health), emergency communications (Mission Critical Communication), tactile Internet (Tactile Internet), and others.

Unmanned vehicles (Driverless Vehicles). Unmanned vehicles can act as part of the "Smart City" service, however, it can be provided on its own platform. It includes not only driverless cars, but also unmanned tractors for Smart Agriculture, unmanned trains for subways and suburban railways, drones, and other types of public and special transport.

Conclusion

Unlike the networks of previous generations, the range of services of which was severely limited and somewhat expanded in 4G, the services of the 5G platform are synergistic and scalable, and are not limited to the functionality once specified. In fact, 5G plays the role of a platform for the development mode of new services and applications of DevOps, when new functions are created by developers (Development) in close coordination with the teams that are responsible for their implementation and operation (Operation).

In general, it can be said that the 5G network incorporates not only mobile, but also fixed communication services, as well as high-speed Internet access with low latency in addition, specialized and corporate networks for vertical industries.

Reference

1. ITU-R Report M.2134, Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s), November 2008.
2. 3GPP TR 36.913, Requirements for Further Advancements for E-UTRA, v.8.0.1, March 2009.
- 3 [3GPP TS 23.002: Network architecture](#)

FPGA-BASED IMPLEMENTING FSM FOR EMC

Larysa Titarenko, Alexander Barkalov

Institute of Metrology, Electronics and Computer
Science, University of Zielona Góra, Zielona Góra,
Poland

E-mail: {l.titarenko, a.barkalo}@imei.uz.zgora.pl

Abstract

The method of synthesis and implementation into FPGAs of Mealy FSMs is proposed. Synthesis is based on structural decomposition of initial circuit. FSM states are divided by classes and encoded separately in each class. The states are decoded in the second-level circuit. It leads to implementation of FSM in double-level structure where utilization of both, LUTs and embedded memory blocks, is applied. It leads to balanced usage of hardware resources of an FPGA device. The method targets blocks for electromagnetic compatibility of radiotechnical devices.

1. Introduction

It is very important to provide the electromagnetic compatibility (EMC) for different radiotechnical devices operating in different conditions. For example, it is very important for different embedded systems [1]. It could be done using special hardware block represented as a Mealy finite state machine (FSM) [2]. Nowadays, such blocks could be implemented using field programmable gate arrays (FPGAs) [3]. FPGAs are based on look-up tables (LUTs) [4]. It is known that logic functions of FSMs could have much more arguments than it is manageable by typical LUTs. This imbalance leads to need of functional decomposition of Boolean functions [5]. The negative results of functional decomposition are increasing a number of levels of the logic circuit of FSM and increasing a number of required LUTs for implementation.

Nowadays, FPGAs are also equipped in embedded memory blocks. These blocks can be also used for realization of combinational circuits. The problem is that implementation only with memory blocks also utilizes a big number of these blocks and very often exceed the number of available blocks.

One of methods of decreasing a number of FSM functions is structural decomposition of FSM [2]. Such methods apply encoding of some parameters of FSM. It leads to implementation of FSM circuit as a double-level block where reduced number of functions is implemented by the circuit of first level which is implemented with LUTs. The circuits of second level are implemented with embedded memory blocks.

The method of synthesis proposed in this article is based on the encoding of internal states divided into subsets based on a current state or a microinstruction [2]. This encoding allows decreasing a number of functions. The state is decoded in the second level circuit based on the multiple code and the code of a current state or the code of a microinstruction. Because this system is regular it can be implemented with embedded memory blocks. It leads to decrease for the number of LUTs required for implementation of FSM logic circuit and balanced usage of different resources of FPGA device in the block providing the EMC.

2. Preliminary information

Mealy FSM can be set up by a direct structural table (DST) [2] with the columns: $a_m, K(a_m), a_s, K(a_s), X_h, Y_h, \Phi_h, h$. Here a_m is an initial state of an FSM, $a_m \in A$ where $A = \{a_1, \dots, a_M\}$ is a set of states; $K(a_m)$ is a binary code of the state $a_m \in A$ with $R = \lceil \log_2 M \rceil$ bits, the internal variables $q_r \in Q = \{q_1, \dots, q_R\}$ are used to encode states $a_m \in A$; a_s is a state of transition; $K(a_s)$ is a code of the state $a_s \in A$; X_h is a conjunction of some logic elements from the set $X = \{x_1, \dots, x_L\}$, it causes the transition $\langle a_m, a_s \rangle$; Y_h is the microinstruction which is formed during the transition $\langle a_m, a_s \rangle$, $Y_h \subseteq Y$, where $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$ is a set of microoperations; Φ_h is the set of memory excitation functions that are equal to 1 to switch an FSM memory from $K(a_m)$ to $K(a_s)$, $\Phi_h \subseteq \Phi = \{D_1, \dots, D_R\}$ as a rule D flip-flops are used to form a memory; h is

a number of the DST line, $h = 1, \dots, H$. This table is used as the base to form the system of functions

$$\begin{aligned} Y &= Y(Q, X), \\ \Phi &= \Phi(Q, X). \end{aligned} \quad (1)$$

This system describes a single-level circuit of Mealy FSM (Fig. 1). As a rule, it is called P Mealy FSM.

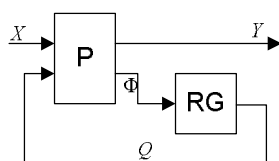


Fig. 1. Structural diagram of P Mealy FSM

Here the circuit P implements system of functions (1), the register RG represents the memory of FSM.

One of the drawbacks of the structure P is a big number of p-functions:

$$n_p(P) = N + R. \quad (2)$$

One of the known methods of decreasing this parameter is encoding of microinstructions [2]. Let DST contain T different microinstructions $Y_t \subseteq Y$. Encode each set $Y_t \subseteq Y$ by the binary code $K(Y_t)$ with $R_1 = \lceil \log_2 T \rceil$ bits ($t = 1, \dots, T$). Use variables $z_r \in Z = \{z_1, \dots, z_{R_1}\}$ for encoding of these sets. In this case Mealy FSM can be implemented as double-level circuit (Fig. 2) named as PY Mealy FSM [2]. The register RG is exactly the same as previous. The circuit Y implements the system of functions

$$Y = Y(Z) \quad (3)$$

and transforms the variables $z_r \in Z$ into microoperations $y_n \in Y$. This circuit can be implemented using embedded memory block. Now the circuit P implements systems

$$\begin{aligned} Z &= Z(Q, X), \\ \Phi &= \Phi(Q, X), \end{aligned} \quad (4)$$

and the number of p-functions is decreased to:

$$n_p(PY) = N + R_1. \quad (5)$$

But this number is still relatively big.

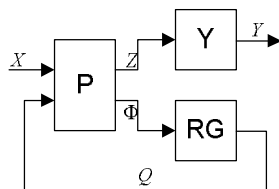


Fig. 2. Structural diagram of PY Mealy FSM

3. Background of proposed methods

The idea of further improvement is to encode also the next state using the code of a microinstruction or the code of a current state as a partial code [3].

Let divide set of internal states $a_s \in A = \{a_1, \dots, a_M\}$ into subsets based on a microinstruction Y_t . It leads into existence of T subsets $A(Y_t) \subseteq A$ and state $a_s \in A(Y_t)$ iff it is the state of transition when microinstruction Y_t is executed. Let $B_t = |A(Y_t)|$ and $B_0 = \max(B_1, \dots, B_T)$. Let encode each internal state $a_s \in A(Y_t)$ by the binary code $K_t(a_s)$ with $R_2 = \lceil \log_2 B_0 \rceil$ bits. The code is represented by variables $\tau_r \in T = \{\tau_1, \dots, \tau_{R_2}\}$. In this case the code of the internal state $K(a_s)$ is represented by the multiple code of the internal state $K_t(a_s)$ and the code of the microinstruction $K(Y_t)$:

$$K(a_s) = K_t(a_s) * K(Y_t). \quad (6)$$

Digital circuit of FSM with such an encoding can be implemented as a double-level circuit named as PYY Mealy FSM (Fig. 3). The circuit Y implements the same system (4) like for PY Mealy FSM. The circuit P implements system:

$$\begin{aligned} Z &= Z(Q, X), \\ T &= T(Q, X), \end{aligned} \quad (7)$$

in this case. There is used additional circuit CC in this structure. It is used for decoding internal states and implements system:

$$\Phi = \Phi(Z, T). \quad (8)$$

Because this circuit has regular structure it can be implemented using embedded memory blocks.

This structure permits further reduction of the number of p-functions to:

$$n_p(\text{PYY}) = R_2 + R_1 \quad (9)$$

in comparison with the PY Mealy FSM. It makes that also a number of LUTs required for implementation of the circuit P is reduced and both decoders Y and CC can be implemented with memory blocks what makes that FPGA resources are used in balanced way.

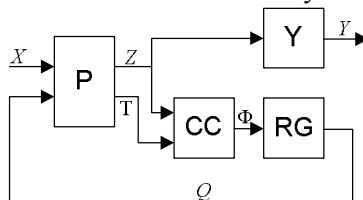


Fig. 3. Structural diagram of PYY FSM

The method where the code of a current state is used as the partial code of an internal state is very similar. In this case the set of internal states $a_s \in A = \{a_1, \dots, a_M\}$ is divided into subsets based on a current state a_m . It leads into existence of M subsets $A(a_m) \subseteq A$ and the state $a_s \in A(a_m)$ iff it is the state of transition from the state a_m . Now $B'_i = |A(a_m)|$ and $B'_0 = \max(B'_1, \dots, B'_T)$ and internal states are encoded by the binary code $K_m(a_s)$ with $R_3 = \lceil \log_2 B'_0 \rceil$ bits. In this case the code is represented by variables $\tau_r \in T = \{\tau_1, \dots, \tau_{R_3}\}$ and the code of the internal state $K(a_s)$ is represented by the multiple code of the internal state $K_m(a_s)$ and the code of the current state $K(a_m)$:

$$K(a_s) = K_m(a_s) * K(a_m). \quad (10)$$

Digital circuit of FSM with this encoding can be implemented as a double-level circuit named as PAY Mealy FSM (Fig. 4). In this structure only the circuit CC implements different system:

$$\Phi = \Phi(Q, T) \quad (11)$$

in comparison with PYY Mealy FSM.

This structure also permits reduction of the number of p-functions to:

$$n_p(\text{PAY}) = R_3 + R_1 \quad (12)$$

in comparison with the PY Mealy FSM. The rule of realization in FPGA structure is the same as for the structure PYY.

It is very hard to calculate relation between $n_p(\text{PYY})$ and $n_p(\text{PAY})$ it means that structure should be selected individually for each control algorithm.

4. Proposed method of FSM synthesis

The special method of synthesis for new structures is proposed. This method includes following steps:

1. Creation and encoding of microinstructions. This step is based on trivial way of binary encoding.
2. Division of the set of internal states. The set of internal states is divided into T or M subsets. Each subset consist only states that are states of a transition during executing a t -th microinstruction or from a m -th state.
3. Multiple encoding of internal states. Internal states are binary encoded separately in each subset.
4. Formation of DST of PAY or PYY Mealy FSM. This table is formed from the original DST by replacing the column Y_h with the column Z_h and and T_h .
5. Formation of microoperations decoder table. This table contains columns $K(Y_t)$, Y_t , t . The column Y_t should be written in a binary format.

6. Formation of internal state code converter table. This table contains columns $K_i(a_s)$ or $K_m(a_s)$, $K(Y_i)$ or $K(a_m)$, $K(a_s)$, i .

7. Formation of logic equations of the circuit P. These equations form systems Z and T . They are formed based on the DST of PAY or PYY Mealy FSM.

8. Implementation of the logic circuit of PAY or PYY Mealy FSM. The combinational circuit P and the register RG are implemented with CLBs of FPGA – the circuit P with LUTs and the register RG with D flip-flops. The circuit Y is implemented in memory blocks

The implemented methods of synthesis was tested using benchmarks from *LGSynth91* library [7]. The analysis of all benchmarks shown that the application of the structure PAY reduce the number of required LUTs by 33% in comparison with the structure P and by 30% in comparison with the structure PY in average. The gain for the structure PYY is 19% and 16% respectively. Which method is better depends only on characteristic of implemented control algorithm.

5. Conclusion

The proposed design methods target providing EMC in complex systems. They permit to decrease the number of logic elements required for implementation of combinational circuit of FSM. Using LUTs and EMBs allows utilizing different kinds of FPGA resources.

The results of our investigations show that proposed methods lead to minimizing the number of LUTs required for FSM circuit. Analysis of standard benchmarks shows that these methods give better results in comparison with the known design approaches.

These methods could be applied for implementing hardware blocks providing electromagnetic compatibility in telecommunications. Of course, these blocks should be sequential units represented by models of finite state machines.

References

1. A.Barkalov, L.Titarenko, M.Mazurkiewicz. Foundations of embedded systems. – Berlin: Springer, 2019.
2. S. Baranov. Logic Synthesis for Control Automata. - Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994.
3. A. Barkalov, L.Titarenko. Logic synthesis for FSM-based control units. - Berlin: Springer, 2009.
4. V. Sklyarov, I. Skliarova, A. Barkalov, L.Titarenko. Synthesis and Optimization of FPGA-based Systems. – Berlin: Springer, 2014.
5. A.Barkalov, L.Titarenko. Logic synthesis for compositional microprogram control units. - Berlin: Springer, 2008.

КОНВЕРГЕНЦІЯ ПОСЛУГ 4G З WI-FI

Кадацька О.І., Сабурова С.А, Золочевский О.Р.

каф. Інфокомунікаційної інженерії
ім. В.В. Поповського, Харківський національний
університет радіоелектроніки, Україна.

E-mail: svitlana.saburova@nure.ua

Abstract

Researched basic requirements for the convergence of services 4G with Wi-Fi, which lie in the field of security, simplicity and ease of use, high quality and reliability. For simplicity and ease of use, features such as automatic authorization and connection, seamless roaming, user management and location monitoring are important. Quality and reliability imply efficient management of a large number (hundreds and thousands) of Wi-Fi access points, mobile traffic unloading (Wi-Fi Offload) and quality of service (QoS) management. At the same time, one of the key conditions for convergence lies within the framework of the program-defined network concept (SDN). For example, we are talking about the use of software for centralized management of high-density Wi-Fi networks. This, in particular, makes it possible to implement mechanisms for end-to-end traffic and frequency resource management in convergent Wi-Fi / 4G networks, which can be positioned as one of the key features of the capabilities of smart Wi-Fi networks.

Технології безпроводового зв'язку все інтенсивніше впроваджуються в ключові галузі людської життєдіяльності: військова сфера, електронний уряд, online торгівля, дистанційне навчання та ін. Консорціум 3GPP (3rd Generation Partnership Project) запропонував стандарт технології LTE (Long Term Evolution) і постійно працює над його удосконаленням. Технологія LTE займає провідне місце на ринку телекомунікацій і розглядається як ефективне рішення при побудові телекомунікаційних мереж четвертого покоління (4G).

Однак зважаючи на постійне зростання вимог до послуг користувачів з рівнем забезпеченого якості обслуговування (Quality of Service, QoS) технологія LTE постійно вдосконалюється як з точки зору застосування все більш нових принципів формування мережевого ресурсу, так і в напрямку підвищення ефективності управління даним ресурсом.

В даний час, коли більшість смартфонів оснащені вбудованими мобільними WiFi модемами, все більше число смартфонів і мобільного трафіку означає величезний стрибок в підписах і трафіку конвергенції послуг LTE з WiFi.

Фактично, 3GPP має стандартизовану конвергировану архітектуру LTE-WLAN на рівні IP, що забезпечує мобільність IP для пристроїв LTE, які мають доступ через WiFi. Таким чином, пристрій LTE, яка отримує доступ через точку доступу WiFi, все ще може отримувати доступ до базової мережі LTE завдяки можливості підключення по IP.

Стандарт 3GPP LTE, реліз 9 і більш ранні, формально, не є стандартом безпроводового зв'язку 4G, однак стандарт LTE Advanced, реліз 10 і більш пізні релізи стандарту LTE, затверджений MCE як стандарт безпроводових мереж, що відповідає всім вимогам безпроводового зв'язку 4G, і включений в IMT-Advanced.

Грунтуючись на використанні LTE транспорту IP over Ethernet, який використовує DiffServ для управління трафіком, 3GPP визначив структуру QoS LTE з використанням моделі каналу Evolved Packet System (EPS).

На рисунку 1 представлена концептуальна архітектура різних типів рішень конвергенції LTE-WiFi. LTE SA підвищує призначені для користувача швидкості, розширюючи загальну пропускну здатність за рахунок об'єднання декількох каналів LTE. Хоча LTE SA технічно не припускає будь-якого доступу WiFi, він використовує ту саму технічну концепцію, яка також застосовується до конвергенції LTE-WiFi.

LTE SA об'єднує кілька каналів - один первинний и один або кілька вторинна каналів. Тільки первинний канал может управляти SA, об'єднуючи або звільняючи вторинна канал (i), працюючий в якості якоря. LTE-A и LTE-Pro могут об'єднувати канали LTE до 5 и 32, відповідно, підтримуючі до сотень Мбіт / с і декілька Гбіт / с.

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»

З LTE SA чим більше каналів конверговані, тим більш досягається швидкість. Однак через обмеженість доступного ліцензованого спектру і величезних ліцензійних зборів операторам мобільного зв'язку важко отримати додатковий ліцензований спектр в часі.

Щоб вирішити цю проблему, оператори мобільного зв'язку зараз активно шукають способи використання «неліцензованих» діапазонів WiFi.

3GPP докладає всіх зусиль для стандартизації технологій для підвищення швидкості LTE за рахунок використання неліцензованих діапазонів WiFi.

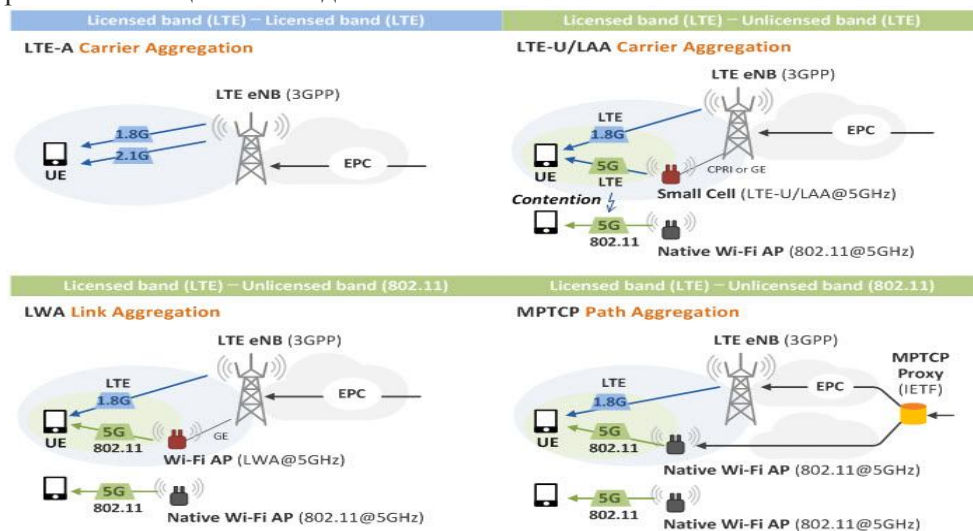


Рис. 1. Концептуальна архітектура різних типів рішень конвергенції LTE-WiFi

Дерло з таких зусиль був LTE-U / LAA, який просто розширює LTE SA, який використовується в ліцензованих смугах, на неліцензовані смуги. LTE-U / LAA аналогічний LTE SA в тому, що він використовує всі канали для LTE, но відрізняється від LTE SA тим, що використовує неліцензовану частоту 5 ГГц.

Тільки канал LTE може працювати в якості первинного каналу, а неліцензований канал може працювати в якості вторинного каналу (каналів), який може просто сприяти передачі даних LTE, а не виконувати незалежний зв'язок LTE. Через обмеження потужності Tx в неліцензованих смугах LTE-U / LAA природним чином націлені на малі чарунки.

LTE і WiFi використовують різні механізми доступу до каналу.

Як розподіляються смуги WiFi і які правила застосовуються до кожної смуги, покладах від країни. Які потенційні проблеми очікуються, коли смуги частот 5 ГГц спільно використовують WiFi і LTE та який прогрес був досягнутий в стандартизації при агрегації LTE-WiFi.

Для смуги 5 ГГц кожна країна має свою власну політику частот, Нормативні вимоги розподілу смуги WiFi і т. д. Наприклад, в Європі і Японії потрібен механізм доступу до каналу Listen Before Talk (LBT), в ту годину як інші, такі як Корея, Китай і США, які не вимагають цього. LAA - це рішення, розроблені з урахуванням єдиної глобальної платформи реалізації. Таким чином, може бути досягнута глобальна гармонізація для розподілу смуг WiFi і нормативних вимог.

Типи доступу. Перш за все слід розглянути проблеми доступу, що виникають в результаті конвергенції LTE і WiFi, оскільки вони використовують різні механізми доступу до каналу. Таким чином, без належного рішення про доступ, якщо LTE і WiFi намагатимуться здійснювати передачу по одному і тому ж каналу, LTE буде мати набагато ширші можливості доступу до каналу, ніж WiFi, і не зможе створити рівне ігрове поле. Це пов'язано з тим, що користувачі LTE передаються без конкуренції, завдяки плануванню базовою станцією, а користувачам WiFi все ще доводиться конкурувати, щоб отримати шанс доступу до каналу.

Проблеми справедливого доступу можуть бути більш проблематичними в країнах, де LBT нема потреби в діапазонах WiFi. Узгоджене рішення для справедливого доступу має важливе значення для забезпечення справедливого співіснування LTE-U / LAA і WiFi, не завдаючи існуючим користувачам WiFi якого-небудь зниження продуктивності в діапазоні 5 ГГц.

Статус стандартизації. Зусилля по стандартизації LAA робляться у Випуску 3GPP 13. LAA був затверджений в якості робочого елемента (WI) - Ліцензійний доступ до неліцензованих

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку

спектру для випуску 13 в червні 2015 року, а процес стандартизації завершено в червні 2016 року. 13 - визначає специфікації для конвергенції LTE-WiFi тільки в низхідній лінії зв'язку (DL), і те ж саме в UL закладено у випуску 14.

3GPP LAA визначив 4 різних категорії LBT і оцінює їх. З усіх категорій «Категорія 4» - це LBT з випадковим відступом зі змінним розміром конфліктного вікна (замість фіксованого розміру вікна в LBE). Цей тип LBT пропонує механізм доступу до каналу, який найбільш схожий на традиційний WiFi, і тому, ймовірно, стане найбільш перспективним рішенням для забезпечення справедливого доступу.

LWA, здатно використовуват застарілі пристрої і базові станції, з'явилася в якості альтернативи LTE-U / LAA, для якої нужно новий пристрій з підтримкою LTE 5 ГГц і невеликі стільніки для використання в неліцензійної смузі.

Для передачі трафіку LTE LWA використовує неліцензовані смуги, як і LTE-U / LAA, но передача здійснюється через WiFi на відміну від LTE-U / LAA. Це означає, що LWA НЕ нужно нове HW з підтримкою LTE 5 ГГц, і він може передавати трафік LTE через точки доступу WiFi, які підключені до базових станцій LWA. У точці доступу WiFi можуть використовувати функції базової мережі LTE (наприклад, аутентифікація, безпека й т. д.) без виділеного GW - і все це, даже не порушуючі точки доступу WiFi.

Архітектура LWA складається з LWA eNB, точки доступу WiFi з підтримкою LWA і UE LWA (рис. 2). LWA eNB і WiFi AP можуть бути розміщені, або не розміщені. Коли не розміщені, дані доставляються через IP-тунель між ними.

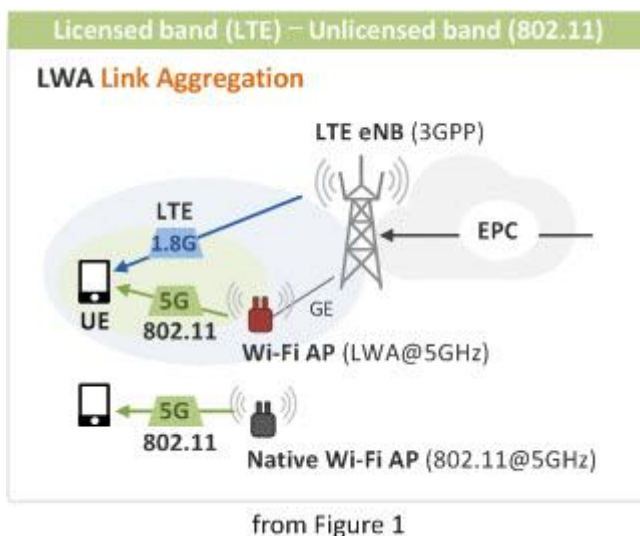


Рис. 2. Конвергенція каналів Wi-Fi з LTE

LWA eNB виконує планування для пакетів PDCP на Рівні PDCP і передає деякі через LTE, а інші через Wi-Fi - через точку доступу Wi-Fi після інкапсуляції їх в кадрах Wi-Fi. Всі прийняті пакети по LTE або Wi-Fi потім агрегуються на рівні PDCP UW LWA. AP Wi-Fi підключені до eNB LWA і повідомляють інформацію про стан каналу в eNB LWA, який потім визначає, чи працюють AP для цілей LWA чи ні, на основі повідомленої інформації. LWA eNB може поліпшити продуктивність LTE, як управляючий радіоресурсами в режимі реального часу відповідно до RF і умов навантаження як LTE, так і Wi-Fi. Точка доступу Wi-Fi может працювати як власна точка доступу WiFi, но яка не призначена для цілей LWA.

Для забезпечення роботи технології розвантаження LTE через конвергенцію з Wi-Fi необхідно ввести наступні елементи.

1. Домашній агент HA (Home Agent) - маршрутизатор в домашній мережі, в який направляються пакети з мереж Wi-Fi. Також HA відправляє пакети, що прийшли в EPC, абонентському терміналу (User Equipment, UE) через мережу Wi-Fi

2. Шлюз мобільного доступу MAG (Mobile Access Gateway), який відстежує рух абонентського терміналу UE і повідомляє про це в EPC.

3. Як IP управління мобільністю LMA (Local Mobility Anchor) - це окремий випадок HA для взаємодії з MAG. LMA прив'язує свій IP адреса до IP адресою UE, щоб пакети, що прийшли в EPC, відправлялися далі через MAG користувача.

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»

4. Удосконалений шлюз для пакетних даних ePDG (evolved Packet Data Gateway), який виконує функцію MAG в довірених мережах. Шлюз безпроводового доступу WAG (WirelessAccess Gateway), який є маршрутизатором, що направляють пакети в ePDG. WAG гарантує, що пакети відправляються в EPC і що на UE приходять пакети тільки з ePDG.

ВИСНОВКИ

Досліджено питання вдосконалення технологій мереж радіодоступу UTRAN/HSPA в напрямку розвитку LTE.

Система LTE була розроблена для того, щоб надати користувачам доступ до всіляких сервісів, а також до мережі Інтернет за допомогою протоколу IP.

Досліджено питання розвантаження мереж LTE через конвергенцію з мережею Wi-Fi як один із способів вирішення проблеми нестачі ресурсів мережі мобільного зв'язку в майбутньому. Наведено порівняння призначених для розвантаження мереж мобільного зв'язку технологій Wi-Fi.

Представлено побудову суміщеної мережі LTE + Wi-Fi, що включає як нові елементи мережі, так і нові функції для стандартних елементів мережі LTE, а також взаємодія мімоделювання процесу конвергенції абонентського терміналу з мережі LTE в мережу Wi-Fi представлені залежність кількості переведених в мережу Wi-Fi абонентів і залежність швидкості передачі даних в мережі LTE від щільності точок доступу.

В даний час впроваджуються моделі мобільного віртуального оператора MVNO (Mobile Virtual Network Operator), який не має власної мережі радіодоступу та виділених йому радіочастот. Для надання послуг зв'язку MVNO використовує інфраструктуру радіомережі звичайного мережевого оператора (MNO). Залежно від типу, MVNO може також використовувати інші елементи інфраструктури мережевого оператора.

Конвергентний MVNO - «конвергенція конвергентного». Конвергенція мобільних і фіксованих мереж та послуг 4G з WiFi - об'єднання різних типів мереж на єдиній технологічній основі. Це істотно розширює можливості послуг MVNO, які раніше будувалися на роздільній основі.

Література:

1. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура Тихвинский В.О. Терентьев С.В. Юрчук А.Б. - 2010.
2. Сотовые сети мобильной связи стандарта UMTS Авторы: Гельгор А. Л., Попов Е. А. Издательство: Изд-во Политехн. ун-та Год издания: 2011.
3. Вегенша Ш. Качество обслуживания в сетях IP: перевод с англ. [Текст] / Ш. Вегенша. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.

КОНТРОЛЬ ПОСЛУГ CALL-ЦЕНТРУ СИСТЕМИ CRM

Сабурова С.А., Кадацкая О.И., Волощенко П.В.

каф. Інфокомунікаційної інженерії
ім. В.В. Поповського, Харківський національний
університет радіоелектроніки, Україна.

E-mail: svitlana.saburova@nure.ua

Abstract

The contact center on base system CRM is the next evolutionary stage of high-quality and efficient customer service technologies. The contact center makes the best use of the resources available to the company (employees of the company, communication lines, equipment and software) in order to serve the clients' calls. Unlike the previous generation call center / call center, the modern Contact Center (CRM), in addition to serving traditional telephone calls, provides the same quality of service for Internet calls, such as emails, sms, Web calls and QoS services: IP packet identification and labeling, policing, shaping and managing, the scheduler queue.

Центр обслуговування викликів (call-центр, операторський центр, інфоцентр) – це одне з нових перспективних напрямків розвитку інфокомунікаційної галузі. Родоначальником центру обслуговування викликів, звичайно ж, є самотній телефон і сидить біля нього телефоністка-оператор, безперервно відповідає на виклики, що надходять від абонентів через телефонну мережу загального користування (ТМЗК). Такі «центри» широко використовуються досі в різних телефонних службах (довідкових, диспетчерських і ін.), які обслуговують невеликий потік викликів на мережах операторів фіксованого та мобільного зв'язку.

На певному етапі розвитку центрів обслуговування викликів стало зрозуміло, що збільшувати число операторів при збільшенні кількості викликів далі не можна. З'являється гостра необхідність обробити найбільшу кількість викликів найменшими людськими ресурсами. Сучасні центри обслуговування викликів побудовані з використанням методів розподілу викликів і автоматизації роботи операторів на базі цифрових телефонних станцій і комп'ютерних систем. Для забезпечення автоматизації роботи операторів в центрі і прискорення обслуговування клієнтів використовуються автоматизовані бази даних, доступ до яких здійснюється з робочих місць операторів, обладнаних персональними комп'ютерами, включеними в корпоративні мережі операторів фіксованого та мобільного зв'язку.

Іншою відмінною рисою центру обслуговування викликів є наявність потужної системи управління і звітності. За допомогою цієї системи адміністратори та оператори центру можуть отримувати інформацію в реальному часі про безліч параметрів, що показують, наскільки центр обслуговування викликів справляється з навантаженням. Використовуючи отриману інформацію, адміністрація може оперативним чином впливати на роботу центру (змінювати алгоритми обслуговування викликів, кількість працюючих операторів і порядок їх роботи та ін.).

В результаті бурхливого розвитку ринку центрів обслуговування викликів та появи нової ідеології в обслуговуванні клієнтів, у вісімдесяті роки з'явилися нові технології, такі як інтерактивний голосовий відповідь IVR (InteractiveVoiceResponse), інтеграція комп'ютера і телефонії СТІ (ComputerTelephonyIntegration) і інтуїтивні системи робочого столу оператора (HelpDesk), а також впровадження систем SRM/CRM (Supplier Relationship Management и Customer Relationship Management), які збільшують продуктивність операторів і знижують витрати компанії.

Всі ці технології і зараз є основою сучасного центру обслуговування викликів, хоча і зазнали ряд істотних змін. В процесі еволюції традиційні центри обслуговування викликів, призначені тільки для обробки телефонного зв'язку, поступово трансформувалися в мультимедійні центри та SRM/CRM, здатні обслуговувати клієнта в незалежності від типу каналу зв'язку, обраного клієнтом, будь то телефон, e-mail, факс, мобільний термінал або Інтернет.

Центр будується на базі технології передачі мови по IP-мережі (Voice over IP – VoIP) і його створення доцільно в разі, коли потрібно забезпечити специфічний сервіс для досить великого числа клієнтів. Його головна перевага – майже безмежна масштабованість.

Виклик, що надходить в центр, перш за все потрапляє в шлюз VoIP (рис.1). Для підключення до ТМЗК в такому шлюзі використовуються цифрові інтерфейси (найчастіше первічні цифрові потоки E1 G.703/6), що дозволяють знизити вартість і збільшити надійність і якість

з'єднання. Система управління центру за номером ТМЗК визначає PIN-код працює з даними абонентом оператора і автоматично переадресовує йому виклик, що збільшує швидкість обробки і виключає додаткові ланки в ланцюжку обробки виклику.

Робочі місця операторів (персональний комп'ютер з платою мовного кодека і адаптером Ethernet) підключаються до внутрішньої IP-мережі (на рис.1 ділянку внутрішньої IP-мережі виділено штриховий лінією), а застосовувана плата кодека має роз'єм для підключення головної гарнітури.

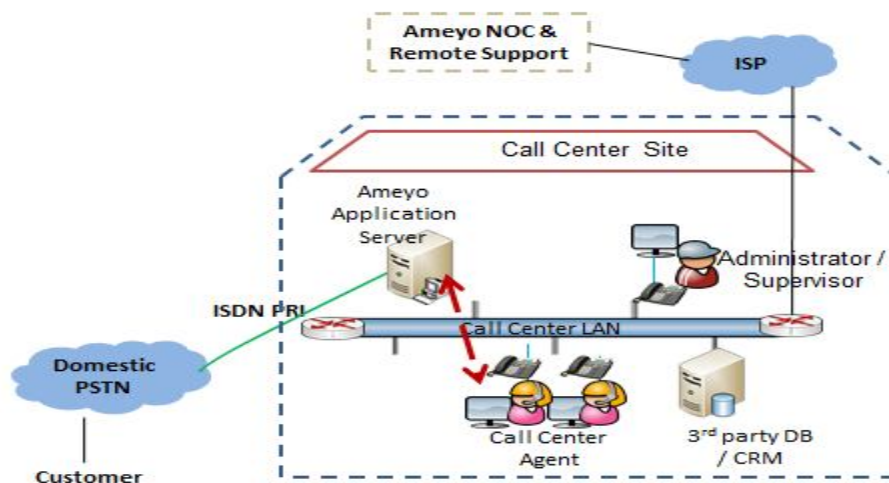


Рис. 1. Архітектура центру обслуговування викликів на базі технології VoIP

Системи управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM), все частіше використовуються в мультимедійних центрах виклику операторів фіксованого та мобільного зв'язку.

CRM-система управління взаємовідносинами з клієнтами. CRM служить для обліку потенційних і поточних клієнтів, журналістів, партнерів та інших. В CRM вбудований каталог послуг. Для аналізу надання послуг CRM містить 8 типових звітів.

Можливість є отримувати звіти автоматично з веб-форм на сайтах, імпортувати ліди з vCard і списків CSV. Інтегрувати CRM з інтернет-магазином, щоб обробляти замовлення прямо в CRM, інтегрувати CRM з поштою, і дані з листування операторів будуть заноситися в CRM. Можливо ставити завдання по обробці угод своїм колегам прямо з CRM, підключати до обробки клієнтів і угод бізнес-процесів, користуватися пошуком за елементами CRM для відбору потрібних даних.

Можна виділити кілька принципово різних за своєю логікою побудови і призначення інформаційних систем, які відносяться до класу CRM-систем:

- CIF-системи (Customer Information File) - системи для збору еталонної інформації про клієнтів з різномірних джерел і надання цієї інформації користувачам та іншим інформаційним систем за запитом.

- SFA-системи (Sales Force Automation) - системи автоматизації операційних процесів продажів і маркетингу.

- Service Desk - системи, що забезпечують підтримку операційних процесів сервісного обслуговування клієнтів.

- Contact-centre - системи обробки контактів з реальними і потенційними споживачами з метою продажу та обслуговування за допомогою будь-яких електронних каналів взаємодії (голос, IVR - інтерактивні мовні меню, web-сайт, e-mail, факс). У поєднанні з поняттям «contact centre» часто також можна почути й інші терміни:

- IVR - системи інтерактивної мовної взаємодії;

- Call-centre - системи обробки телефонних викликів (голос, IVR);

- CTI - програмне забезпечення, яке дозволяє забезпечити інтеграцію і обмін даними між телефонною станцією і іншими програмними продуктами. Входить до складу рішень для Call-центрів і застосовується для інтеграції зі SFA-системою.

- Аналітичний CRM - системи на основі сховищ даних, призначені для накопичення, зберігання, агрегації та інтелектуальної обробки хронологічних показників, зібраних на основі даних транзакційних систем. Оскільки аналітичний CRM це не що інше як сховище даних, то

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»

часто при обговоренні можливостей такого класу систем доводиться стикатися з такими поняттями:

- Data warehouse - системи на основі СУБД, призначені для накопичення, зберігання, і агрегації хронологічних даних;
- ETL - процедури вилучення, обробки і завантаження даних з різнорідних джерел в сховище даних;
- Data mining- інтелектуальна обробка даних;
- Data mart - спеціалізовані аналітичні зрізи, оптимізовані для роботи аналітика;
- Drill down - можливість деталізації агрегованого показника для перегляду його структури і складових частин.

Система Service Desk

Основне призначення систем цього класу:

- Підтримка процесів сервісного обслуговування.
- Визначення пріоритетів обслуговування клієнта.
- Ведення бази знань сервісної служби.
- Надання інформації про клієнтів, яка накопичується іншими інформаційними системами.

На основі системи Service Desk функціонує система управління послугами Call центра: звернення споживачів, інциденти та проблеми, зміни послуг, сервісні угоди, конфігурація, база знань, планування сервісів та інш.

Щоб підвищити ефективність роботи контакт центрів використовують додаткові технології:

- IVR - інтерактивні мовні функції використовуються для зниження собівартості телефонного контакту за рахунок зменшення кількості операторів.

- СТІ - технології інтеграції з телефонією використовується для інтелектуального управління чергою викликів в Call-центрі на основі даних, що зберігаються в SFA-системі або будь-якій зовнішній системі. Наприклад: дані про статус клієнта можуть використовуватися для пересування дзвінка в черзі викликів, які очікують оператора або перенаправлення виклику на мобільний телефон персонального менеджера.

- Програмне забезпечення (ПЗ) CRM дозволяє контролювати дзвінки і листування з замовниками, одночасно збираючи статистичні дані і систематизуючи їх.

CRM-система реалізує управління відносинами з клієнтами на основі прикладного програмного забезпечення для організацій, призначене для автоматизації стратегій взаємодії з замовниками (клієнтами), зокрема, для підвищення рівня продажів, оптимізації маркетингу і поліпшення обслуговування клієнтів шляхом збереження інформації про клієнтів і історію взаємин з ними, встановлення і поліпшення бізнес-процесів і подальшого аналізу результатів.

Таким чином, CRM-системою можна вважати будь-який варіант контролю і обліку, який допоможе поліпшити взаємодію з клієнтами. Навіть якщо ви ведете історію дзвінків і контактів на папері або в Excel - це можна вважати CRM-системою в тому випадку, якщо розроблена схема обліку і контролю працює і дозволяє контролювати всі варіанти взаємодії з клієнтами. Звичайно, такі методи ведення обліку відходять у минуле, адже в сучасному світі без ефективної автоматизації складно уявити собі роботу будь-якого бізнесу. А тому, коли говорять про CRM-системі, зазвичай мають на увазі спеціальне програмне забезпечення.

Розглянемо схеми інтеграції CRM і IP телефонії:

- схема 1: віртуальна АТС на стороні провайдера телефонії (інтеграція по HTTP API). У цьому випадку вся робота з дзвінками (сценарії обробки викликів, функціями запису розмови, переадресації і т.п.) здійснюватись всередині програмного забезпечення провайдера телефонії. В CRM приходять дані по зроблених дзвінків, а також є можливість відправити команду на виконання дії в АТС, наприклад переадресацію виклику або запит на здійснення дзвінка. Оплату за послуги телефонії в даному випадку клієнт здійснює провайдеру/оператору телефонії безпосередньо. Дані в CRM приходять у вигляді HTTP / HTTPS запитів.

- схема 2: вбудований в CRM провайдер/ оператор телефонії. У цій схемі принцип такий же, але немає можливості вибору провайдера клієнтом. В CRM є тільки один варіант. У цьому випадку також часто оплата послуг телефонії ведеться через білінг CRM системі єдиним рахунком.

- схема 3: віртуальна АТС на стороні CRM (інтеграція по SIP протоколу).

- схема 4: сервер телефонії на стороні клієнта (інтеграція по HTTP API). у цій схемі віртуальна АТС є частиною CRM (як включається клієнтом модуль). Від провайдера в CRM приходять безпосередньо дзвінки по SIP протоколу. Всі сценарії обробки викликів, запис розмови.

Висновки

Оптимальний вибір рішення для кожного оператора мобільного та фіксованого зв'язку може бути свій, залежно від бізнесу, структури і розміру Call центру.

При цьому схема інтеграції з вбудованою в CRM АТС реалізує такі важливі задачі:

гнучкість в налаштуваннях, тривала експлуатація системи (це дає значний вииграш у вартості за весь час роботи).

Актуально підключення декількох провайдерів/ операторів найбільш дешевих за різними напрямками дзвінків телефонії та налаштування правил: які дзвінки (по яким напрямках) здійснювати через якого з провайдерів/операторів. Це дозволить використовувати найвигідніші тарифи на різних напрямках. Підключення «умовно безкоштовних» номерів для відстеження ефективності каналів реклами (на один канал один номер).

Література:

1. Багатоканальний електров'язок та телекомунікаційні технології: підручник у 2-х частинах. Ч.2 / О.В. Лемешко, В.А. Лошаков, С.А.Сабурова, В.В. Поповський та ін.; за заг. ред. проф. Поповського В.В. – Х.: ТОВ "Компанія СМІТ", 2018. – 470 с.

2. Росляков А. В., Самсонов М. Ю., Шибалева И. В. Центры обслуживания вызовов. Эко-трендз М. 2007 - 268 с.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 4G

Сабурова С.А., Кадацкая О.И., Козубенко В.С..

каф. Інфокомунікаційної інженерії
ім. В.В. Поповського, Харківський національний
університет радіоелектроніки, Україна.

E-mail: svitlana.saburova@nure.ua

Abstract

The organization of subscriber access to multiservice 4G-based networks are relevant in the light of providing subscribers with high-speed latest technology and new services. The main feature of the current stage of development of cellular communication systems is the transition to fourth-generation systems. The transition to LTE-Advanced (4G) networks allows us to qualitatively change the current situation in the field of mobile communications. This is due primarily to the fact that LTE-Advanced networks can provide customers with a wide range of new services that can significantly increase the revenues of operators, and for manufacturers - sales of network equipment and telephones.

Мобільний зв'язок це одна з індустрій інфокомунікацій, яка дуже швидко розвивається в сучасному світі.

В даний час досить актуальним і складним є перехід сучасних технологій мобільного зв'язку до нових поколінь, що забезпечує високоякісну передачу мови, зображень, послуги мультимедіа та доступ в Інтернет, а також безпосередній зв'язок мобільного телефону з комп'ютером.

Стандарти технології мобільного зв'язку побудовані на принципах відкритих стандартів, що включає в себе доступність, можливість розвитку, відсутність ліцензій використання, орієнтація на кінцевого користувача.

Технології мобільного зв'язку постійно розвиваються. Спочатку була надана лише можливість послуги: розмова, а зараз з передаються великі обсяги трафіку передачі даних. Перехід від однієї технології до іншої свідчить про введення нового покоління. Саме тому, якщо спрощувати, стандарти називаються 1G, 2G, 3G і так далі - буква «g» в даному випадку відбувається від слова «generation».

В кінці 2000-х років коли на світ почали появлятися смартфони, тоді нікому не хотілося переглядати WAP-сторінки, то му що ці смартфони мали велику екрани. В них було досить вбудованих комплектуючих, яких цілком вистачало для того, щоб браузер без будь-яких проблем відображав повноцінну сторінку, наскільки б важкою вона не була. Але для її швидкого завантаження потрібна висока швидкість. Загальною стратегічною метою систем 4G є задоволення потреб масового споживача у послугах глобального персонального мультимедійного рухомого зв'язку. Активна популяризація 4G, або IMT-Advanced, почалася в березні 2008 року.

Результатом роботи Консорціума 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project), який розробляє специфікації для мобільної телефонії, працює над поліпшенням GSM (Global System for Mobile Communications, спочатку Groupe Spécial Mobile) і LTE-Advanced (Long-Term Evolution) з точки зору IoT (Internet of Things). Тепер мінімальна швидкість передачі даних становила 100 Мбіт / с, чого бракує більшості середньостатистичних власників смартфонів. Надалі цей параметр виріс ще сильніше. Сталося це за рахунок реалізації технології LTE-Advanced. Залежно від категорії підтримуваної апаратом технології, може досягатися швидкість 400 Мбіт/с або навіть 1 Гбіт/с!

Технологія LTE-Advanced разом з WiMAX 2 була офіційно визнана безпроводовим стандартом зв'язку четвертого покоління 4G Міжнародним союзом електрозв'язку (МСЕ) на конференції в Женеві у 2012 році. LTE-Advanced - це назва специфікації 3GPP 10 версії, яким МСЕ присвоїв сертифікат «IMT-Advanced» - офіційний статус мереж четвертого покоління.

Система LTE-Advanced була розроблена для того, щоб надати користувачам доступ до всіляких сервісів IoT, а також до Інтернету за допомогою протоколу IP. Архітектура мережі LTE (4G) складається з безлічі вузлів та елементів (рис.1).

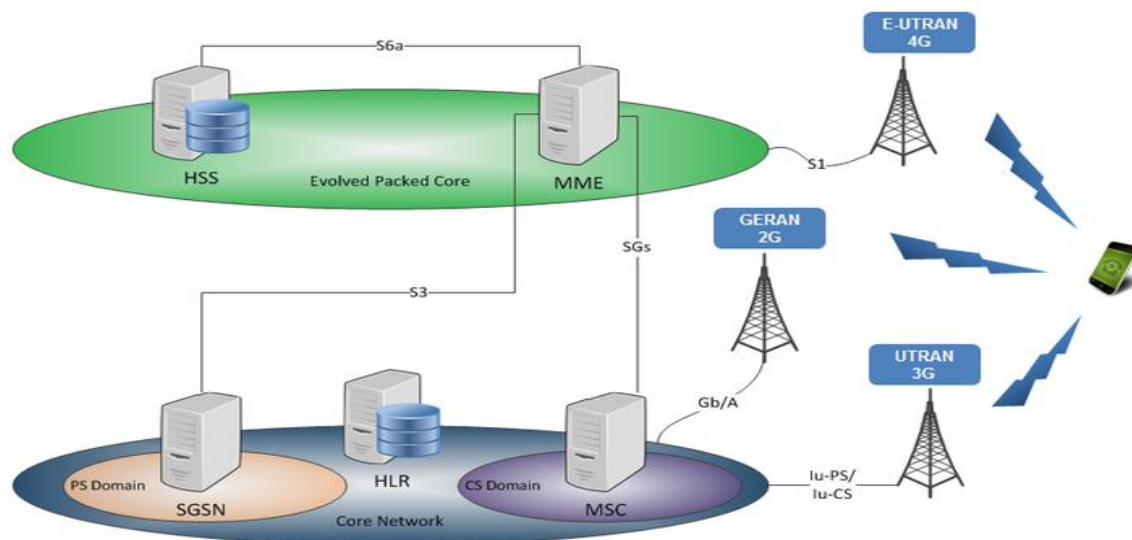


Рис.1. Архітектура мережі LTE-Advanced (4G)

Всі вузли мережі прийнято ділити на дві категорії: вузли, що відносяться до мережі радіодоступу (Radio Access), і вузли опорної мережі (Core Network). Ключовим елементом, що визначає ефективність будь-якої радіомережі, є алгоритми і механізми, використовувані для передачі даних між базовою (БС) і мобільною станціями (МС).

Метою довгострокової мережевої еволюційної архітектури є:

- Забезпечення відкритих інтерфейсів для підтримки розгортання кількох постачальників;
- Забезпечити надійність: немає єдиної точки відмови;
- Підтримка multi-RAT (технологія радіодоступу) з контролером ресурсів з мережі;
- Підтримка безшовної мобільності для застарілих систем, а також для інших виникають систем;
- Підтримка відповідного рівня безпеки.

Грунтуючись на перерахованих вище цілях, модель LTE позбавляється від контролера радіомережі RNC, який стоїть в універсальній наземній мережі радіодоступу UTRAN мереж 4G UMTS. Фактично, LTE E-UTRAN (Evolved UTRAN) значно спрощена і має новий елемент мережі, званий eNB (розвинений вузол B), який забезпечує призначену для користувача площину E-UTRAN і кінці площині управління до призначеного для користувача устаткування (UE).

Згідно з вимогами QoS (Quality of System) до системи LTE-Advanced, при радіусі до 5 км повинні підтримуватися всі параметри спектральної ефективності, пропускної спроможності і роботи з мобільними абонентами. При радіусі чарунки від 5 до 30 км допускається погіршення в показниках продуктивності.

Мобільні елементи всіх категорій підтримують роботу з каналом шириною до 20 МГц (крім категорії 0) і модуляцію 64QAM (крім категорії 0) в низхідному каналі. Категорія 0 вводиться спеціально для МТЗ (Machine Type Communications). Одне з основних вимог в рамках МТЗ - дуже низьке енергоспоживання. Звідси і жорсткі обмеження на підтримуваний набір функцій на фізичному рівні і розмір буфера.

Стандарт LTE також підтримує технологію передачі МІМО, яка дозволяє істотно збільшити пікову швидкість передачі даних і значення спектральної ефективності. Суть технології МІМО полягає в тому, що при передачі і прийомі даних використовується кілька антен з кожного боку. Різні антени можуть передавати одні й ті ж дані, в цьому випадку підвищується надійність передачі даних, але не швидкість передачі. Також різні антени можуть передавати різні потоки даних, при цьому збільшується швидкість передачі даних. Максимально в низхідному каналі технологією LTE-A підтримується схема 4x4. Це означає, що на передавальній і приймальній стороні використовується по чотири антени. У цьому випадку швидкість передачі даних може

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку

бути збільшена до чотирьох разів (в дійсності трохи менше через збільшення кількості пілотних сигналів).

При використанні технології MIMO і ширині каналу 20 МГц максимальна швидкість передачі даних може досягати 300 Мбіт / с в низхідному каналі і 170 Мбіт / с у висхідному.

У вимогах до LTE значення спектральної ефективності вказані як 5 біт/с/Гц для низхідного каналу і 2,5 біт/с/Гц для висхідного каналу (що відповідає швидкостям передачі даних в 100 Мбіт / с і 50 Мбіт / с). При цьому високі показники продуктивності повинні підтримуватися для мобільних користувачів, які прямують зі швидкістю до 120 км / ч.

Під LTE Advanced (LTE-A) на сьогодні прийнято розуміти набір технологій, стандартизованих в документі 3GPP Rel.10 і наступних релізах. Ключові функції - агрегація частот (CA), вдосконалені техніки роботи з антенами, допрацьовані MIMO для збільшення ємності і релейного передачі. Покращення також включають оптимізацію роботи гетерогенних мереж (на предмет нарощування ємності і поліпшення управління інтерференцією), SRVCC, eMBMS. У Rel.11 з'явилася також підтримка CoMP, eICIC. LTE-A на сьогодні - основний тренд галузі, практично кожен третій оператор мережі LTE в світі інвестує в випробування або займається розгортанням підтримки даної технології.

LTE-A мережі можуть впоратися з активним ростом трафіку безпроводових даних, а також сприяють підвищенню середніх швидкостей, а також краще покриття та більшу стабільність. Це означає комплексне поліпшення параметрів якості роботи мережі передачі даних та Інтернет.

LTE-A забезпечує для операторів можливість наростити ємність мереж, поліпшити якість користувацького досвіду, поліпшити можливості ефективного розподілу мережевих ресурсів. Для цього використовується цілий набір різних технологій, деякі з яких не є новими, але раніше не використовувалися в єдиній системі зв'язку.

LTE-A передає дані з піковими швидкостями до 1 Гбіт/с в порівнянні з 300 Мбіт/с для LTE. Агрегація частот забезпечує можливість надавати абонентам більш високі швидкості, дозволяючи завантажувати дані з використанням одночасно декількох смуг частот. Абонентський пристрій в режимі CA приймає і комбінує одночасно кілька сигналів, наприклад з двох несучих частот або навіть з різних діапазонів частот. Комбінувати можна до п'яти несучих шириною по 20 МГц кожна, збираючи широкий канал для перекачування даних зі смугою до 100 МГц. MIMO, як технологія множинного введення / виведення, може збільшувати сумарну швидкість передачі даних за рахунок одночасної передачі сигналу з поділом потоку даних між двома або більшою кількістю антен. Це дозволяє підвищити спектральну ефективність передачі інформації. Більш того, можливо динамічне створення орієнтованої на конкретний абонентський пристрій синтезованої спрямованої антени.

Оскільки стандарт LTE-A розроблений для передачі пакетного трафіку, він не може безпосередньо підтримувати послугу телефонії з комутацією каналів. Однак саме голосовий трафік приносить операторам мобільного зв'язку найбільший дохід. Тому зараз розглядають кілька варіантів передачі телефонії по мережах LTE.

Перший варіант полягає в переході на технологію VoIP. В даний час в трактах VoIP широко застосовують вокодер, такі як iLBC (Internet Low Bit Rate Code) в системах Skype і Googlenet, що знижують швидкість передачі мови з 64 до 13 кбіт / с. Зазначена раніше технологія ROHC дозволяє зменшити заголовки пакетів VoIP з 40 - 60 байт до 1-3 байт.

Для операторів IP-мереж LTE-A можливість домогтися успіху полягає в тому, що б зосередити увагу не на швидкості передачі, а на створенні пакета нових послуг і надання їх з високою якістю. Мережі IP LTE-A пропонують величезний потенціал для конвергентних послуг IoT, але в той же час це найскладніше середовище для досягнення високих показників якості обслуговування QoS.

Характеристики послуг, визначені користувачем, можуть служити тільки формуванню вимог до послуги, а характеристики послуг, які визначаються самим оператором, застосовуватися для опису його властивостей і управління властивостями послуги з позицій якості наданої послуги IoT.

Не менш важливе поняття політики QoS, пов'язане з якістю роботисистем, у т.ч. LTE-advanced, елементів або служб, - показники QoS. Показники QoS також мають кількісне вираження і можуть розглядатися як одна з вимірюваних величин.

У загальному випадку вимога QoS до LTE-A може формулюватися як кількісно, так і у вигляді поняття "високе" і "низьке" якість. Це пов'язано з тим, що висока числове значення може

**П'ята Міжнародна науково-технічна конференція
«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»**

означати і високу якість, і низька (для транзитної затримки).

Якщо кількісні категорії дозволяють однозначно визначити вимоги оточення, то використання "понять" сприймаються неоднозначно. У той же час і такі формулювання можуть бути строго визначені. Для цього достатньо встановити відповідність даних виразів і кількісно визначених характеристик QoS.

Механізм підтримки (регулювання) якості обслуговування споживачів LTE-A служить для дотримання рівня обслуговування шляхом управління якістю, в умовах його динамічної поведінки. Встановлення якості обслуговування користувачів LTE-A включає в себе три стадії: проектування послуги, встановлюється відповідність між якістю пропонованої послуги і вимогам до якості, пред'явленим користувачем, тестування послуги - визначається відповідність між реалізацією послуги та її специфікацією (шляхом контролю і управління параметрами продуктивності послуги), функціонування послуги - виявляється відповідність між послугами, дійсно наданими користувачам і узгодженими в контрактах про обслуговування (шляхом контролю, менеджменту і настройки якості обслуговування).

Висновки

Мобільні станції, починаючи з Rel.10 LTE-A, підтримують технологію VoIP.

Поступово вирішуються проблеми контролю наскрізних задержок в каналах VoIP LTE-A і тимчасового джиттера. При конвергенції послуг IoT з використанням технології IMS- платформи, знижується наскрізна затримка до 300 мс, яку більшість абонентів LTE-A не помічає.

Література:

1. Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології: підручник у 2-х частинах. Ч.2 / О.В. Лемешко, В.А. Лошаков, С.А.Сабурова, В.В. Поповський та ін.; за заг. ред. проф. Поповського В.В. – Х.: ТОВ "Компанія СМІТ", 2018. – 470 с.
2. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура / Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ УСЛУГАМИ LTE

Сабурова С.А, Кадацкая О.И., Франсішко Сержіо Бернардо

каф. Инфокоммуникационной инженерии
им. В.В. Поповского, Харьковский
национальный университет радиоелектроники,
Украина

E-mail: svitlana.saburova@nure.ua

Abstract

Research in the field of service management in the LTE network represents the basic requirements of QoS policies with high data rates, less latency, and packet-optimized radio access technology that supports flexible bandwidth allocation. In parallel, the new network architecture is designed to support packet switched traffic in LTE, with direct mobility, quality management and minimal latency. The basic QoS functions required in LTE networks are based on the management of network elements and end-to-end QoS services: IP packet identification and labeling, policing, shaping, policing and managing, the scheduler queue.

Общепризнанной основой для дальнейшего развития сетей связи общего пользования (ССОП) является концепция сетей связи следующего поколения - NGN (Next Generation Network), реализуемая на базе различных технических решений, прежде всего Softswitch и IMS (IP Multimedia Subsystem) [1]. Как известно, концепция NGN предполагает создание сети связи с гарантированным уровнем качества обслуживания QoS (Quality of Service) пользователей, что достигается путем создания новых механизмов управления качеством обслуживания и установления определенных взаимоотношений между операторами связи, а также между оператором связи и пользователем на основе заключаемых соглашений об уровне обслуживания - SLA (Service Level Agreement). В соответствии с ITU-TY.1291 для обеспечения гарантированного уровня качества обслуживания в сетях NGN в качестве базового рекомендован алгоритм дифференцированных услуг (DiffServ).

С ростом разнообразия и сложности сервисов, предоставляемых в сетях NGN, оператор уже не может ограничиться просто контролем возможности передачи трафика и должен поддерживать на надлежащем уровне качество передачи. Решение этой проблемы обеспечивают OSS-системы, осуществляющие мониторинг уровня обслуживания заказчиков (SLA-мониторинг).

Мониторинг различных приложений в единой, безопасной, проверенной и протестированной LTE сети позволяет корпоративным заказчикам эффективно и с высоким качеством использовать одну линию радиодоступа для телефонии и видеоконференций, работы с приложениями корпоративных информационных систем типа клиент – сервер, электронной почты и работы с вебсерверами Интернет- контента. Обратная сторона интеграции – высокая зависимость бизнеса заказчика от обеспечиваемой оператором транспортировки трафика между пользователями. Более того, на практике возникают ситуации, когда, несмотря на имеющуюся возможность передавать трафик (т.е. доступность услуги), пользователь не может использовать то или иное приложение из-за низкого качества передачи трафика оператором. В таких случаях принято говорить о деградации предоставляемого оператором сервиса.

Соответственно, в требованиях заказчиков к услугам оператора связи все чаще на первое место выходит не просто передача разнородного трафика, а предоставление сервиса нужного качества. И оператору требуются механизмы, позволяющие обеспечивать качество передачи трафика, отслеживать его уровень и представлять результаты своей работы заказчикам.

С точки зрения заказчика идеальным было бы просто перечислить в соглашении об уровне обслуживания (SLA) приложения, работоспособность которых гарантируется оператором. Однако для оператора, который обеспечивает всего лишь транспортировку трафика, такая постановка вопроса зачастую неприемлема – не все составляющие, влияющие на работоспособность приложения, находятся в зоне его ответственности. Исследуем показатели качества, которые могут быть включены в SLA и понятны как оператору (с точки зрения измерения), так и заказчику (с точки зрения их влияния на приложения).

LTE изначально разрабатывалась как система с коммутацией пакетов, и ее целью является предоставление возможности установления IP соединений между абонентскими станциями (User Equipment, UE) и сетью передачи данных (Packet Data Network, PDN). LTE понимается как технология радио доступа, под термином EPC (Evolved Packet Core) тратується опорная сеть оператора. Вместе LTE и EPC образуют EPS (Evolved Packet System). EPS использует концепцию EPS потоков (EPS bearers), чтобы обеспечить доставку IP пакетов между шлюзом (gateway, GW) и PND к UE. Каждый поток - это поток IP пакетов с определенными параметрами качества обслуживания (Quality of Service, QoS) на участке между GW и UE. Для одного пользователя может быть создано несколько EPS потоков, чтобы предоставлять различные QoS (например, VoIP и FTP потоки) или чтобы предоставить соединения к различным PDN. На рис. 1 приведена схема, на которой изображены основные элементы LTE сети и название интерфейсов между ними.

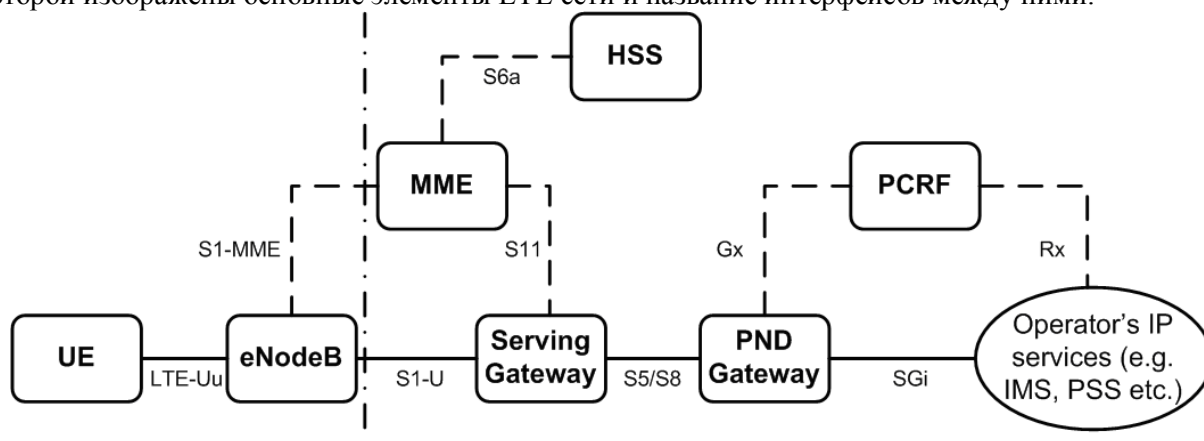


Рис.1. Структура сети LTE

MME (Mobility Management Entity) MME является контрольным узлом, через который проходит весь сигнальный трафик между UE и Core Network (CN). Протоколы, которые используются для передачи контрольного трафика между UE и CN, известны как NAS (Non-Access Stratum). Функции, выполняемые MME, делятся на следующие два множества: управление потоками (Bearer Management). К данной области относится уровень управления сессиями (session management layer) протокола NAS, в рамках которого осуществляется создание, поддержание и удаление потоков, управление подключениями (Connection Management) В рамках этой функциональности осуществляется подключения абонентов к сети и создание правил шифрации и кодирования между UE и сетью. Эти действия выполняются на уровне подключений или управления мобильностью протокола NAS, S-GW (Serving Gateway) Все IP пакеты, которые относятся к UE передаются через S-GW, который является анкерным для потоков данных, когда UE перемещается между различными базовыми станциями (eNodeB). Кроме этого, S-GW хранит всю информацию о потоках UE, когда UE находится в холостом режиме (idle mode). Также S-GW временно накапливает данные, отправленные к UE, пока MME запускает процедуру пейджинга (paging) UE, чтобы создать потоки (на радио канале) для отправки данных на UE. Кроме перечисленных функций, S-GW осуществляет еще и некоторые административные функции в визитной сети. Например, сбор информации для осуществления списаний по счету, P-GW (PDN Gateway), функции данного устройства заключаются в выделении IP адреса для UE, соблюдении параметров QoS и осуществлении списаний по счету на основе набора правил, полученных из PCRF (Policy Control and Charging Rules Function). Также P-GW осуществляет фильтрацию поступающих IP пакетов в различные клиентские потоки с конкретным набором параметров QoS при этом используются TFT (Traffic Flow Templates).

На рис. 2 приведен стек протоколов, используемый в пользовательской плоскости LTE сети.

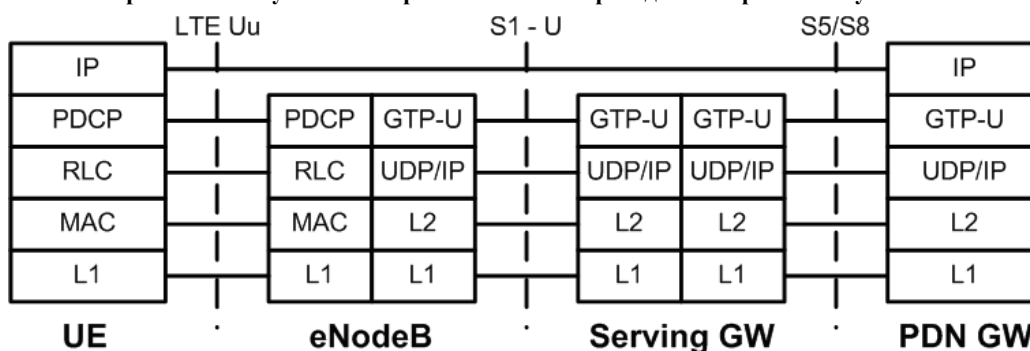


Рис.2. Стек протоколів LTE мережі

IP пакети, адресовані UE, тунелюються (GTP-U/UDP/IP) на участку між P-GW і eNodeB (інтерфейси S1 і S5/S8) для подальшої їх передачі на UE. Стек протоколів на участку між UE і eNodeB складає з: PDCP (Packet Data Convergence Protocol), RLC (Radio Link Control) і MAC (Medium Access Control) підуровнів.

Протоколи, які використовуються між UE і eNodeB LTE мережі носять назву Access Stratum (AS) протоколи. В контрольній площині всі протоколи нижче RRC виконують ті ж самі функції, що і в користувацькій площині. За винятком того, що в контрольній площині немає стиснення заголовків. Протокол RRC виконує головні контролюючі функції, до яких належить створення потоків, використовуваних при радіо передачі, і конфігурація всіх нижележачих рівнів.

Якість обслуговування (QoS) визначає, яка мережева пропускна здатність LTE мережі повинна бути призначена трафіку кожного конкретного застосування і як слід керувати нею. Крім того, вона забезпечує передбачуваний рівень пропускної здатності на базі IP в залежності від важливості бізнес-процесів, пов'язаних з даним трафіком.

Концепція якості обслуговування (QoS) передбачує перенаправлення надлишкового трафіку на інший сервер і зменшення гостроти проблеми «вузького місця» і балансування навантаження на LTE мережах. QoS дозволяє мережевим адміністраторам вести розподіл трафіку в LTE мережах на більш детальному рівні, визначаючи, як саме трафік для конкретного застосування передається через мережеві коммутатори і маршрутизатори.

Але концепція якості обслуговування в LTE мережах передбачує не тільки вказівку, який трафік необхідно передати через шлюз першим. Ця концепція складає основу стратегії управління мережею на базі правил, визначаючої, як використовувати мережеві ресурси в конкретних умовах і яку пропускну здатність слід виділяти (рис. 3).

Стратегія управління LTE мережею і послугами враховує, що в різне час деякі потоки даних відрізняються за обсягом і важливістю. Формулювання стратегії управління залежить від існуючих стандартів на якість обслуговування в LTE мережах.

Адміністратор мережі може надати ресурси з урахуванням важливості для бізнесу конкретного потоку даних, наприклад, надаючи транзакціям, пов'язаним з торгівлею цінними паперами, пріоритет порівняно з запитом на отримання інформації.



Рис.3. Концепция качества обслуживания QoS

Протокол резервирования ресурсов Resource Reservation Protocol (RSVP) используется серверами для того, чтобы запросить для приложения определенный уровень качества сетевых услуг QoS (Quality of Service, например, определенный уровень полосы пропускания). RSVP используется также маршрутизаторами для доставки QoS-запросов всем узлам вдоль пути информационного потока, а также для установки и поддержания необходимого уровня услуг. RSVP-запросы обеспечивают резервирование определенных сетевых ресурсов, которые нужны, чтобы обеспечить конкретный уровень QoS вдоль всего маршрута транспортировки данных.

Выводы

Стандарты LTE дают возможность в заголовке сообщения указывать качество обслуживания пакета, что имеет крайне важное значение для критичных ко времени приложений, предназначенных для использования пользователями услуг.

Механизмами QoS в LTE сетях являются: классификация и маркировка пакетов, управление интенсивностью трафика, распределение ресурсов, предотвращение перегрузки сети и политика отбрасывания пакетов, маршрутизация.

Существуют три модели реализации качества обслуживания: наилучшая возможная, интегральная и дифференцированная в LTE сетях.

Протокол RSVP в LTE сетях определяет два типа услуг для разных видов трафика по чувствительности к скорости и задержкам: сервис с контролируруемыми задержками и предсказуемый сервис.

Литература:

1. В.Тихвинский, С.Терентьев, А. Юрчук. Сети мобильной связи LTE.Технология и архитектура, Эко-Трендз, 2010.
2. 3GPP LTE-Advanced. Available from: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced links.html>. Accessed 28 May 2015.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА-БЬЮСИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Коляденко Ю.Ю., Чурсанов Н.А.

каф. Инфокоммуникационной
инженерии
им. В.В. Поповского, Харьковский
национальный университет радиоэлектроники,
Украина

E-mail: yuliia.koliadenko@nure.ua

Abstract

Considering a number of distinctive structural and functional features that characterize the electromagnetic environment in mobile communication networks, it is shown that the measured signal to interference power ratio is a random process. It is also shown that the measurements are carried out against the background of noise. It is proposed to evaluate the observed process using the Kalman-Bucy filter. Analyzed of the effectiveness of the algorithm.

Элементы сетей мобильной связи (СМС) создают помехи для других элементов сети, которые в свою очередь являются объектами помеховых воздействий [1]. Анализ электромагнитной обстановки (ЭМО) представляет собой измерение и расчет отношения мощности полезного сигнала к суммарной мощности помех в конкретной точке пространства. Разработано много методов, методик, теоретических обоснований посвященных улучшению ЭМО в радиолиниях, проблеме обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) [2]. Ситуацию и саму ЭМО в сетях мобильной связи сильно усложняет тот факт, что в эту обстановку вносятся различные часто случайные факторы, носящие трудно прогнозируемый характер. В этих условиях рассчитать заранее ЭМО и решить задачу ЭМС с достаточной точностью не всегда удается, а часто просто невозможно из-за априорной неопределенности.

Можно выделить ряд отличительных структурных и функциональных особенностей, характеризующих ЭМО в СМС:

- ограниченная энергетика и протяженность радиолиний, множественный случайный характер межэлементных взаимодействий и механизмов этих взаимодействий, влияющих на то, что ЭМО с трудом поддается учету и контролю;
- топология сети характеризуется явно выраженной динамикой и нестационарностью из-за мобильности абонентских станций, а так же кратковременности работы в эфире;
- каналы радиосвязи являются многолучевыми, нестационарными со случайным изменением всех физических параметров;
- выдвигаются все более высокие требования по качеству обслуживания при передаче как речевой, так и мультимедийной информации;
- высокая плотность загрузки выделенных диапазонов частот, случайное положение и размещение групп абонентских станций в пространстве.

Все это позволяет сделать вывод о том, что отношение мощности полезного сигнала P_c к суммарной мощности помех и шума P_n (ОСПШ) в конкретной точке пространства является случайным процессом [3], который представим уравнением состояния:

$$\frac{d\vec{h}(t)}{dt} = F(t)\vec{h}(t) + G(t)\vec{\xi}(t), \quad (1)$$

где $\vec{h} = 10 \lg \frac{P_c}{P_n}$ - вектор состояния ОСПШ, который зависит от времени; $F(t), G(t)$ матрицы (для одномерного случая коэффициенты) состояния и возбуждения соответственно; $\vec{\xi}(t)$ – порождающее векторное белое гауссовское поле с нулевым средним.

Для стационарного случая коэффициенты F, G не зависят от времени. Коэффициенты F имеют физический смысл величин, обратных интервалу корреляции τ_{kop} процесса $h(t)$. Для одномерного случая

$$F = -\alpha = -\frac{1}{\tau_{kop}}.$$

Коэффициенты G определяют масштаб случайных изменений процесса $h(t)$.

$$G = \sqrt{2\alpha\sigma^2},$$

где $\alpha = 1/\tau_{kop}$, σ^2 - спектральная плотность мощности порождающего процесса $\xi(t)$.

Для стационарного одномерного процесса $h(t)$ уравнение (1) представляется в виде:

$$\frac{dh(t)}{dt} = -\alpha h(t) + \sqrt{2\alpha\sigma^2} \cdot \xi(t). \quad (2)$$

Для дискретного представления уравнение состояния имеет вид:

$$h(k+1) = F \cdot h(k) + G \cdot \xi(k), \quad (3)$$

где $F = \exp\{-\alpha\Delta t_k\}$ - коэффициент состояния, $\alpha = 1/\tau_{kop}$, $\Delta t_k = k - (k-1)$ - шаг,

$G = \sqrt{\sigma^2 \exp\{-\alpha\Delta t_k\}(1 - \exp\{-\alpha\Delta t_k\})}$ - коэффициент порождения.

Учитывая тот факт, что измерения ОСПШ осуществляется на фоне шумов алгоритм (3) обычно дополняется уравнением наблюдения. Модель наблюдения задается линейным алгебраическим соотношением:

$$y(k) = H(k)h(k) + n(k) \quad (4)$$

где $H(k)$ - матрица, которая задает ослабление измеряемого процесса; шум наблюдения $n(k)$ является белым гауссовский шумом с дисперсией D_n и нулевым средним.

В связи с этим возникает задача оценки случайного процесса. Для оценки случайных процессов Калманом и Бьюси разработана достаточно эффективная, оптимальная в гауссовом и линейном приближениях процедура, получившая название «фильтра Калмана-Бьюси» [4]. В основе этой процедуры лежит математическая модель в виде уравнения состояния, и уравнения наблюдения. Сама же процедура оценки $\hat{h}(k)$ имеет следующий вид:

$$\hat{h}(k) = F \cdot \hat{h}(k-1) + K(k) \cdot [y(k) - H \cdot F \cdot \hat{h}(k-1)], \quad (5)$$

где $K(k)$ - коэффициент, обеспечивающий устойчивость и оптимальную скорость сходимости алгоритма к установившемуся состоянию. Данный коэффициент подлежит рекурсивному вычислению на каждом шаге согласно алгоритма:

$$K(k) = V(k, k-1)H^T N_n^{-1}. \quad (6)$$

Уравнение для априорной дисперсии:

$$V(k, k-1) = FV(k-1, k-1)F^T + GN_\xi G^T, \quad (7)$$

Вычисление апостериорной дисперсии:

$$V(k, k) = [I - K(k)H] \cdot V(k, k-1), \quad (8)$$

где N_ξ, N_n - соответственно значения спектральных плотностей мощности порождающего шума $\xi(k)$ и шума наблюдения $n(k)$.

На рис. 1 представлена структурна схема алгоритма оцінки (5). Аналіз структурної схеми рис. 1. показує, що в фільтрі Калмана реалізується ідея передбачення – корекції. Предыдущая оцінка $\hat{h}(k-1)$ екстраполюється на один крок вперед і потім використовується для отримання найкращої оцінки нового спостереження $y(k)$, заснованої на предыдущих спостереженнях. Помилка між «найкращою оцінкою» поточного спостереження і фактичним спостереженням, а саме $\Delta h(k) = y(k) - \hat{h}(k)$ представляють собою нову інформацію, а процес $\Delta h(k)$ - носить назву оновлюючого. Далі отримана різниця зважується з вагою $K(k)$, що враховує значення дисперсій вхідного процесу, вимірювання і помилки оцінювання для формування сигналу корекції. Сигнал корекції складається з передбаченої оцінки, і в результаті отримується нова оцінка.

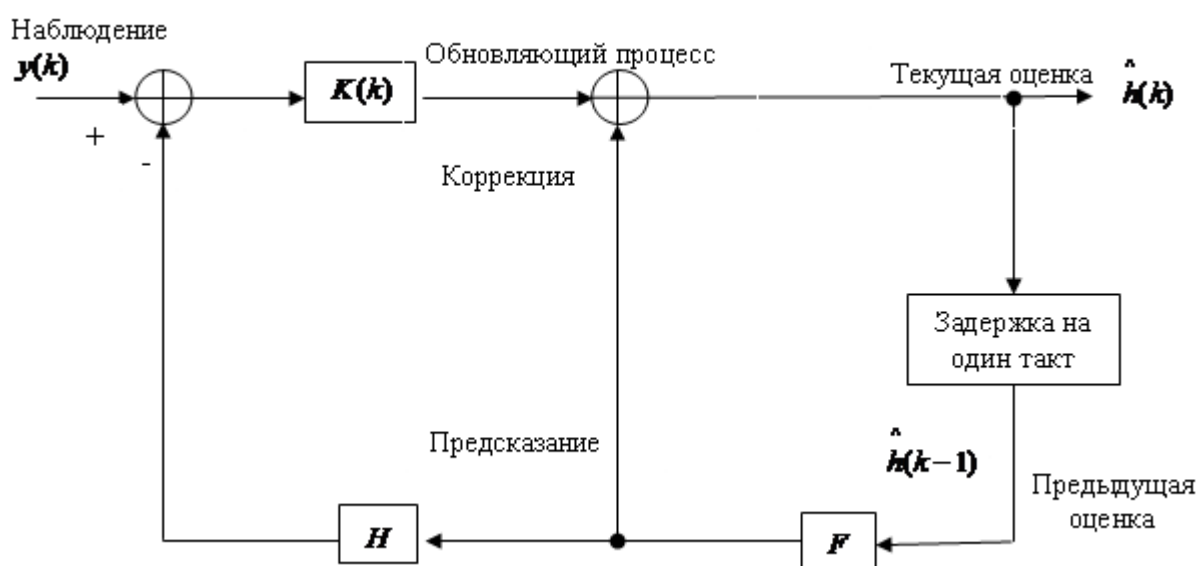


Рис. 1. Структурна схема дискретного алгоритма оцінки фільтра Калмана-Бьюси

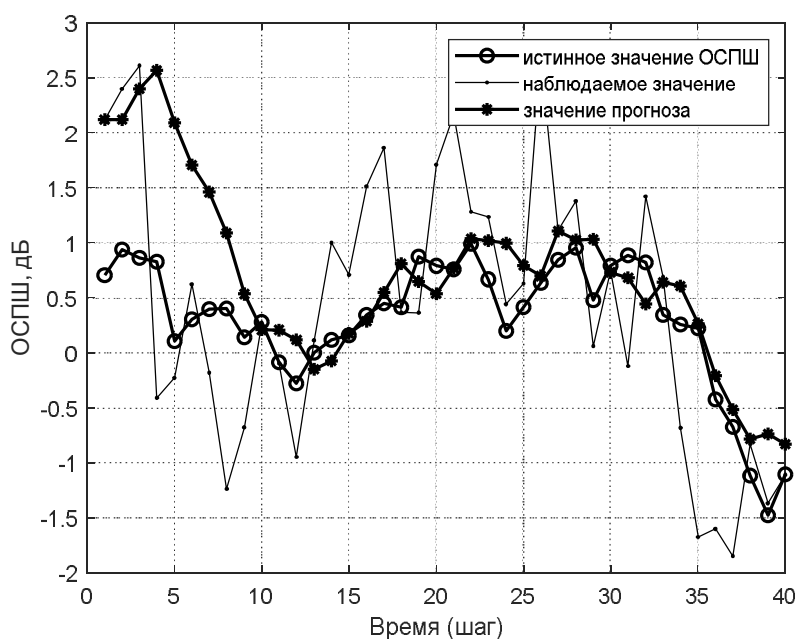


Рис.2. Результаты моделирования: истинное значение ОСПШ, наблюдаемое значение ОСПШ и оценка наблюдения

С помощью имитационного моделирования проведен анализ эффективности алгоритма оценки (5). На рис.2 представлены результаты моделирования: истинное значение ОСПШ, наблюдаемое значение ОСПШ и оценка наблюдения.

В качестве критерия эффективности алгоритма оценки использована апостериорная дисперсия ошибки оценки, график которой представлен на рис.3.

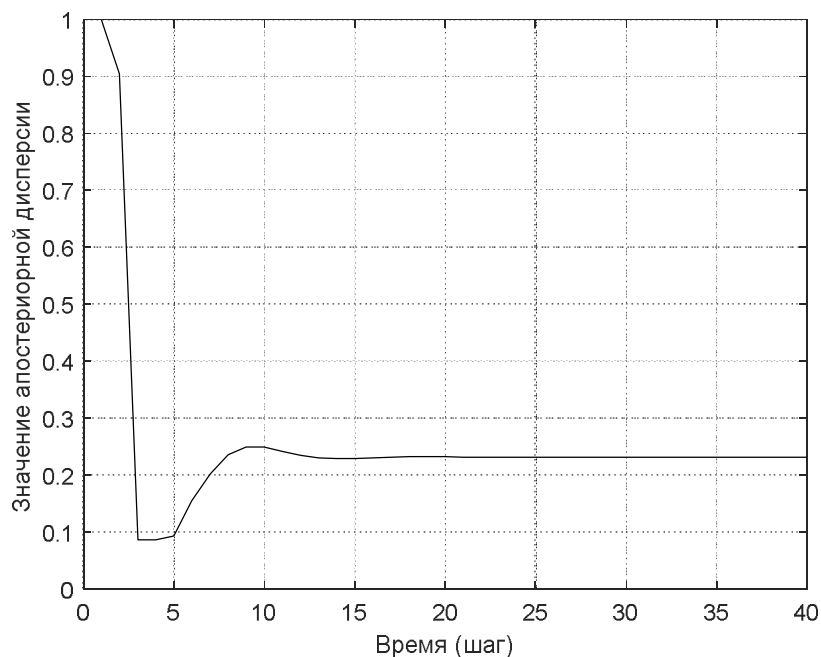


Рис. 3. Апостериорная дисперсия ошибки оценки

Судя по графику, представленному на рис.3 можно сделать вывод о том, что ошибка оценки в начале работы алгоритма имеет максимальное значение, также имеет переходной режим и за 10 шагов достигает установившегося состояния.

Литература:

1. Поповский В.В. Методика анализа электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств в группировках систем подвижной связи /В.В. Поповский, Ю.Ю. Коляденко/Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні питання регулювання у сфері телекомунікацій та користування радіочастотним ресурсом».- Київ 18-20 травня 2010 р. с. 115-116.
2. Теория и методы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Под редакцией Ю.А. Феоктистова.- М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.
3. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения/ Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров // – М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1991. - 384 с.
4. Коляденко Ю.Ю. Метод оценки параметров радиоканалов сети LTE/ Коляденко Ю.Ю., Алали А.М./ Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.2015, vol. 15, no. 2, pp. 32–41 DOI: 10.14529/ctcr150204.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ МЕЖДУ ДАТЧИКАМИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Куля Ю.Э., Герус М.А., Панчук О.Р., Борисенко Л.А.,
Красюкова В.В.

каф. Инфокоммуникационной
инженерии
им. В.В. Поповского, Харьковский
национальный университет радиоэлектроники,
Украина

E-mail: d_ts@nure.ua

Abstract

Wireless sensor networks (WSNs) are often used to collecting information from a variety of sensors placed on a given territory. In some applications it is required to know the coordinates of the sensor, from which received a certain signal. It becomes a challenge if when installing the sensors it was not possible to accurately measure their coordinates or either the sensors were mounted on mobile objects. In such cases, the problem arises of quickly determining the coordinates of a node. As a result, two methods for measuring the coordinates and communication distances between wireless nodes, RSSI and ToF, were developed for the WSN.

Введение

В беспроводных сетях существует ряд методов определения координат и измерения дальности связи между беспроводными узлами, но хотелось бы выделить два основных, это метод RSSI (Received Strength Signal Indication), основанный на определении мощности принятого сигнала, и ToF (Time of Flight), базирующийся на измерении времени прохождения сигнала между узлами. Под узлами далее будем называть приёмо-передающие модули технологии ZigBee базирующейся на основе стандарта IEEE 802.15.4.

Метод RSSI

Наиболее простым методом определения дальности от объекта до узла является индикация уровня принятого сигнала. Любой беспроводной канал по стандарту IEEE 802.15.4 имеет протокольную функцию оценки качества связи (Link Quality Indicator), действие которой сводится к определению мощности принятого сигнала P (дБм) [1]. Поскольку в идеальных условиях мощность обратно пропорциональна квадрату расстояния, то логарифм мощности пропорционален расстоянию с некоторым коэффициентом, который устанавливается эмпирически.

Однако этому методу присущ ряд существенных ограничений, поскольку уровень сигнала является весьма изменчивым параметром из-за влияния следующих факторов:

- быстрые и медленные замирания сигналов на трассе из-за изменения условий распространения радиоволн;
- многолучевое распространение вследствие отражений от различных металлических предметов;
- разброс выходной мощности передатчиков и чувствительности приемников;
- влияние ориентации антенн из-за неравномерности диаграммы направленности.

Из-за воздействия указанных факторов реальная зависимость мощности от расстояния оказывается нелинейной и непостоянной во времени, вследствие чего точность измерений быстро падает с ростом расстояния. Практическое применение этого метода ограничено дистанциями примерно до 20 м, при этом расстояние измеряется с точностью около 3 м.

Метод ToF

Другой подход основан на измерении времени прохождения (пролета) сигнала. Узел посылает запрос на другой узел, получает ответный сигнал и определяет время его задержки. Полная задержка складывается из аппаратных задержек при обработке принятого и формировании ответного сигналов и времени распространения между узлами. Поскольку технические задержки известны с хорошей точностью, то их можно вычесть из полного значения, и оставшаяся величина будет характеризовать время пролета сигнала туда и обратно. Умножив половину времени задержки на скорость света, получим расстояние между узлами сети. В этом методе обеспечивается линейная связь между расстоянием и измеряемой величиной. Точность измерений определяется рядом факторов:

- стабильностью частоты задающих генераторов;
- задержками фронтов импульсов при приеме и излучении;
- отношением сигнал/шум;
- ошибками из-за многолучевого распространения.

Для повышения точности используют многократные повторения процедуры измерения. Применяется фильтрация аномально больших отклонений, вызываемых многолучевым распространением, что позволяет в несколько раз повысить точность измерений.

На рис. 1 приведены экспериментальные результаты измерений расстояния методами RSSI и ToF [2].

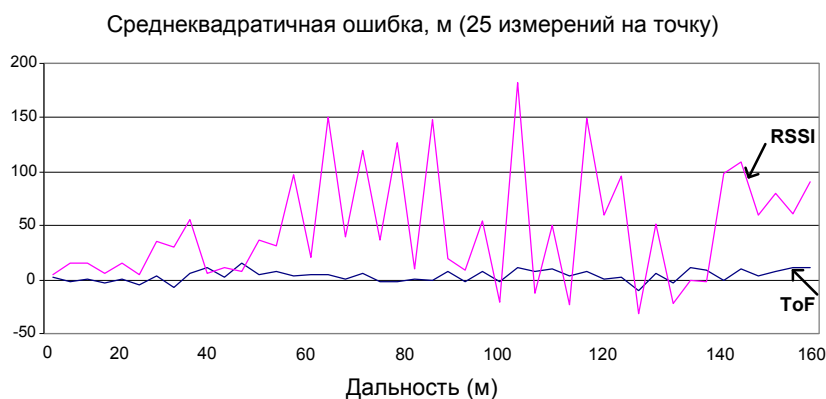


Рис. 1. Зависимости ошибок измерения расстояний методами RSSI и ToF от расстояния

Из графиков видно, что погрешности при использовании метода ToF существенно меньше, чем при RSSI, в котором уже на дальностях более 20 м ошибки измерений превышают само значение дальности.

Расчёт дальности достоверной передачи сообщений для узлов беспроводной сенсорной сети (БСС)

Дальность беспроводной связи можно оценить по известному соотношению [3]

$$R_c \leq \sqrt{\frac{P_t \cdot G_t \cdot A_r \cdot K_{осл}}{4 \cdot \pi \cdot P_{por}}}, \quad (1)$$

где R_c - дальность связи;

P_t - импульсная мощность передатчика, Вт;

G_t - коэффициент усиления антенны передатчика;

A_r - эффективная площадь антенны приёмника, м²;

$K_{осл} = q_t \cdot q_r \cdot K_p$ - коэффициент ослабления мощности сигнала, $0 \leq K_{осл} \leq 1$;

q_t (q_r) - относительные коэффициенты усиления антенн передатчика (приёмника) в направлении друг друга $0 \leq q_t \leq 1$, $0 \leq q_r \leq 1$;

$K_p = \prod_{i=0}^k K_{pi}$ - коэффициент потерь, характеризующий активные потери энергии, связанные с поглощением в среде распространения и т.п., $0 \leq K_p \leq 1$;

P_{por} – пороговая чувствительность приёмника, Вт.

Анализ технических характеристик радиомодулей узлов беспроводной сенсорной сети [4] показал, что для разных вариантов построения её топологии, потери в радиоканале за счёт не совпадения максимумов диаграммы направленности (ДН) антенны передатчика и приёмника, потерь из-за поглощения в среде распространения, могут изменяться от 0 до 20 дБ

$$K_{осл} = -(0...20)дБ.$$

На рис. 2. приведена зависимость средней мощности принятого сигнала $P_r(R_c)$ от дальности связи без учёта ослабления и при ослаблении принимаемого сигнала в радиоканале на 10 и 20 дБ.

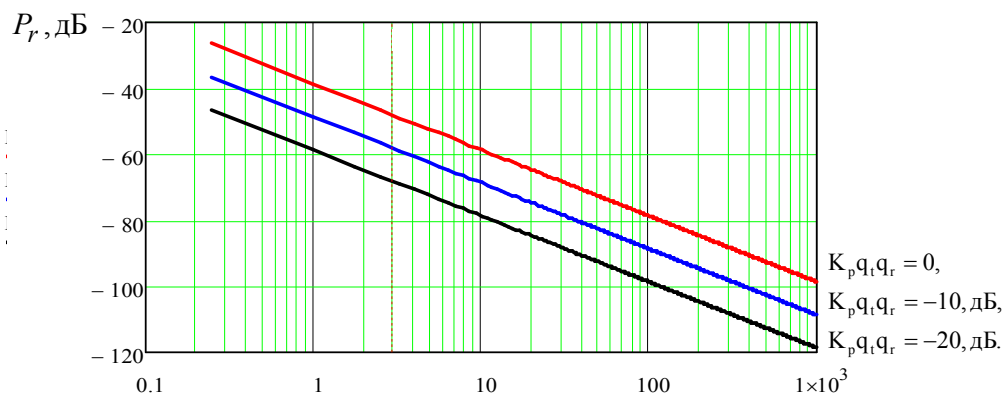


Рис. 2. Средняя мощность принятого сигнала в зависимости от дальности связи

Выводы

В работе проведен анализ методов измерения дальности связи между устройствами беспроводной сенсорной сети. Предложен пример расчёта дальности достоверной передачи информации для узлов БСС.

Литература

1. Шостко И. С. Анализ моделей сверхширокополосных сигналов для инфокоммуникационных сетей [Электронный ресурс] / И. С. Шостко, Алмакалма Таха, Ю. Э. Соседка // Проблемы телекоммуникаций : электрон. журн. – 2012. – № 4 (9). – С. 45–62. – Режим доступа : [www. URL: http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_shostko_uwb.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_shostko_uwb.pdf). – Загл. с экрана.
2. Шостко И. С. Анализ моделей сверхширокополосных сигналов для инфокоммуникационных сетей [Электронный ресурс] / И. С. Шостко, Алмакалма Таха, Ю. Э. Соседка // Проблемы телекоммуникаций : электрон. журн. – 2012. – № 4 (9). – С. 45–62. – Режим доступа : [www. URL: http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_shostko_uwb.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_shostko_uwb.pdf). – Загл. с экрана.
3. Радиозлектронные системы. Основы построения и теория : справ. / под. ред. Я. Д. Ширмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Радиотехника, 2007. – 512 с.
4. Шостко И. С. Анализ энергопотребления модулей для беспроводных сенсорных сетей стандарта IEEE 802.15.4 / И. С. Шостко, Ю. Э. Соседка // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков, 2014. – Вып. 176. – С. 253–257

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ GPON/GEAPON

Холод Л.Н.

Отдел эксплуатации объектов связи и метрологии,
Харьковский филиал ОАО «Укртелеком», Украина.

E-mail: leonid.kholod@nure.ua

Abstract

The article deals with the issues of metrological support technology using Passive Optical Network – PON, in particular technology GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) and GEAPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) during the implementation and operation of the network: input control of metrological parameters of linear cable products, terminal equipment and optical splitters for compliance with the quality of the products supplied with the declared passport values according to the requirements SLA (Service Level Agreement) QoS model. In addition, when carrying out installation and construction works for quality control of the carried-out works, identifying and eliminating the cause of the degradation of the quality of transmitted signals. Metrological support of acceptance tests after the completion of installation and construction works to confirm network parameters ensuring the quality of transmitted information. Operational measurements taken during the operation of the network, which are aimed at ensuring the quality parameters of the transmitted information and the timely elimination of problems and damages to the network. For all stages, a set of measuring instruments has been defined, with the help of which the tasks are solved, considered the specificity of point-to-multipoint tree topology measurements in passive optical networks, identified problems arising from the operation of networks GPON/GEAPON and indicate the direction of their decision.

На современном этапе развития и внедрения инфокоммуникационных технологий наиболее перспективными и активно внедряющимися различными операторами и провайдерами фиксированной и мобильной связи являются технологии с использованием пассивных оптических сетей – PON (Passive Optical Network), в частности технологии GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) и GEAPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network). Обе эти технологии строятся по одному принципу - древовидная топология точка-многоточка, когда для построения сети используется один оптоволоконный канал для нескольких десятков или даже сотен абонентов и используют одни и те же диапазоны рабочих волн - 1490 нм в сторону абонента, 1310 нм со стороны абонента и 1550 нм для услуг IPTV.

Однако это различные технологии, основанные на стандартах - G.982, G.983.1, G.984.2 и G.652 (описывающий оптоволоконные характеристики) для GPON и, соответственно, стандарты IEEE 802.3, IEEE 802.3ah для технологии EPON.

При этом используются разные типы передаваемых кадров – GTC и Ethernet, скорости передачи – до 2,5 Гбит/сек и 1,25 Гбит/сек, а также возможности подключения оконечных оптических сетевых блоков (ONU, Optical Network Unit) – 128 и 64 соответственно. Следовательно, при необходимости конвергенции указанных технологий, оператор/провайдер вынужден осуществлять полную замену оборудования оптических линейных терминалов (OLT, Optical Line Terminal) и ONU.

Актуальность внедрения технологий GPON и GEAPON на современном этапе обусловлена, в первую очередь, экономическими показателями. Дерево сети строится таким образом, чтобы ветка для абонента отделялась от основной магистрали как можно ближе к его расположению и для разделения используется пассивный распределитель - сплиттер. Это принципиальное различие от обычной топологии оптоволоконной сети, имеющей архитектуру точка-точка, где каждое разветвление линии требует установки активного сетевого оборудования. Таким образом, устанавливая сети GPON/GEAPON оператор/провайдер экономит материальные и энергетические ресурсы в 2-3 раза по отношению к классическим оптоволоконным сетям, построенным по принципу точка-точка.

Кроме того, внедрение технологий новых поколений позволяет обеспечить предоставление услуг широкополосного доступа (ШПД) абоненту гарантированного качества QoS (Quality of Na

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»

современном этапе развития и внедрения инфокоммуникационных технологий наиболее перспективными и активно внедряющимися различными операторами и провайдерами фиксированной и мобильной связи являются технологии с использованием пассивных оптических сетей – PON (Passive Optical Network), в частности технологии GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) и GEPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network). Обе эти технологии строятся по одному принципу - древовидная топология точка-многоточка, когда для построения сети используется один оптоволоконный канал для нескольких десятков или даже сотен абонентов и используют одни и те же диапазоны рабочих волн - 1490 нм в сторону абонента, 1310 нм со стороны абонента и 1550 нм для услуг IPTV.

Однако это различные технологии, основанные на стандартах - G.982, G.983.1, G.984.2 и G.652 (описывающий оптоволоконные характеристики) для GPON и, соответственно, стандарты IEEE 802.3, IEEE 802.3ah для технологии EPON.

При этом используются разные типы передаваемых кадров – GTC и Ethernet, скорости передачи – до 2,5 Гбит/сек и 1,25 Гбит/сек, а также возможности подключения оконечных оптических сетевых блоков (ONU, Optical Network Unit) – 128 и 64 соответственно. Следовательно, при необходимости конвергенции указанных технологий, оператор/провайдер вынужден осуществлять полную замену оборудования оптических линейных терминалов (OLT, Optical Line Terminal) и ONU.

Актуальность внедрения технологий GPON и GEPON на современном этапе обусловлена, в первую очередь, экономическими показателями. Дерево сети строится таким образом, чтобы ветка для абонента отделялась от основной магистрали как можно ближе к его расположению и для разделения используется пассивный распределитель - сплиттер. Это принципиальное различие от обычной топологии оптоволоконной сети, имеющей архитектуру точка-точка, где каждое разветвление линии требует установки активного сетевого оборудования. Таким образом, устанавливая сети GPON/GEPON оператор/провайдер экономит материальные и энергетические ресурсы в 2-3 раза по отношению к классическим оптоволоконным сетям, построенным по принципу точка-точка.

Кроме того, внедрение технологий новых поколений позволяет обеспечить предоставление услуг широкополосного доступа (ШПД) абоненту гарантированного качества QoS (Quality of Services) и с высокой скоростью передачи данных (Internet, IPTV и др.).

Однако, для обеспечения контроля качества функционирования сети и предоставления услуг оператору/провайдеру необходимо обратить особое внимание на метрологическое обеспечение (МО) устанавливаемых сетей, так как древовидная топология, использование пассивных элементов – сплиттеров и прием-передача сигнала по одному волокну на различных длинах волн обуславливают определенную специфику измерений в сетях GPON/GEPON.

Метрологическое обеспечение сети проводится на всех этапах ее внедрения и эксплуатации. До начала строительства сети необходимо провести входной контроль метрологических параметров линейно-кабельной продукции, оконечного оборудования и оптических разветвителей (сплиттеров) на предмет соответствия качества поставляемой продукции заявленным паспортным значениям по требованиям SLA (Service Level Agreement) модели QoS.

Это важный этап, предполагающий дальнейшую минимизацию измерений при эксплуатации сети, но он остается достаточно затратным и протяженным во времени, что не всегда отвечает текущим интересам инсталлятора, особенно при строительстве больших разветвленных сетей.

При проведении монтажно-строительных работ МО позволяет контролировать качество проводимых работ, своевременно выявить и устранить причины деградации качества передаваемых сигналов, например, некачественная сварка оптоволоконных кабелей, излишний провис кабеля, загрязнение коннекторов и сердцевины волокна, превышение допустимого радиуса изгиба волокон и т.д. Для проведения МО на этих этапах целесообразно использование классического набора средств измерительной техники (СИТ) для проведения измерений на оптоволоконных сетях – оптического рефлектометра (OTDR), визуального дефектоскопа (VFL) и оптического тестера либо измерителя оптической мощности (OPM), источника излучения и оптического аттенюатора.

МО приемосдаточных испытаний проводится после окончания монтажно-строительных работ для подтверждения параметров сети, обеспечивающих качество передаваемой информации. Эксплуатационные измерения проводятся в процессе эксплуатации сети и направлены на обеспечение параметров качества передаваемой информации и своевременное устранение возникающих неполадок и повреждений сети.

На этих этапах целесообразно и необходимо использование специфических СИТ для измерений на пассивных оптических сетях – например, тестера PON, имеющего встроенные фильтры для каждой длины волны и, соответственно, имеющего возможность проводить одновременные двунаправленные измерения на рабочих длинах волн сети GPON/GEAPON. При этом тестер должен включаться в оптическую линию «в разрыв» с одновременным измерением на трех длинах волн - 1310 нм для обратного потока и 1490/1550 нм для прямого потока. При этом должна обеспечиваться высокая (более 30 дБ) взаимная изоляция каналов на разных длинах волн.

Для измерений уровня мощности передаваемого сигнала и его затухания в сетях PON обычно используется оптический источник излучения и оптический измеритель мощности. При этом уровень затухания сигнала в оптической сети либо ее сегменте обычно измеряется методом внесенных потерь согласно стандарта IEC 61280-4-2, Method 1, СИТ, обозначенными выше.

Существует целый ряд специфических проблем, связанных с МО эксплуатации сетей GPON/GEAPON, это, в первую очередь, необходимость измерений одновременно на трех длинах волн, большая мощность передаваемого TV-сигнала на длине волны 1550 нм, не позволяющая применять для измерений мощности обычные OPM, сложности с измерением мощности ONU и другие. Решение этих проблем напрямую связано с возможностью оператора/провайдера использовать в работе специализированные СИТ для измерений на сетях PON и квалификацией персонала, осуществляющей МО сетей GPON/GEAPON.

При этом все необходимые измерения должны проводиться на работающей сети PON без отключения абонентов (кроме, тестируемого). Такое тестирование осуществляется на нерабочей длине волны с применением дополнительных устройств (волновых мультиплексоров DWDM, фильтров), чтобы излучение измерительной аппаратуры не вносило помех в полезный сигнал. Как уже упоминалось, в сети PON для прямого канала (от центра к абонентам) используется длина волны 1490 или 1550 нм (для видео), для обратного канала - 1310 нм. Для тестирования сети PON обычно используют длину волны 1625 нм.

Излучение измерительной аппаратуры (тестера, рефлектометра) вводится в волокно сразу после OLT с использованием волнового мультиплексора (DWDM). Это излучение способно вызвать помехи на оптическом приемнике абонентского устройства, поэтому перед каждым абонентским устройством ONT необходимо установить фильтр. Для того чтобы можно было проводить тестирование без отключения сети, волновой мультиплексор и фильтры должны быть стационарно включены в оптический тракт (рис.1). контроля качества функционирования сети и предоставления услуг оператору/провайдеру необходимо обратить особое внимание на метрологическое обеспечение (МО) инсталлируемых сетей, так как древовидная топология, использование пассивных элементов – сплиттеров и прием-передача сигнала по одному волокну на различных длинах волн обуславливают определенную специфику измерений в сетях GPON/GEAPON.

Метрологическое обеспечение сети проводится на всех этапах ее внедрения и эксплуатации. До начала строительства сети необходимо провести входной контроль метрологических параметров линейно-кабельной продукции, окончательного оборудования и оптических разветвителей (сплиттеров) на предмет соответствия качества поставляемой продукции заявленным паспортным значениям по требованиям SLA (Service Level Agreement) модели QoS.

Это важный этап, предполагающий дальнейшую минимизацию измерений при эксплуатации сети, но он остается достаточно затратным и протяженным во времени, что не всегда отвечает текущим интересам инсталлятора, особенно при строительстве больших разветвленных сетей.

При проведении монтажно-строительных работ МО позволяет контролировать качество проводимых работ, своевременно выявить и устранить причины деградации качества передаваемых сигналов, например, некачественная сварка оптоволокон, излишний провис кабеля, загрязнение коннекторов и сердцевины волокна, превышение допустимого радиуса изгиба волокон и т.д. Для проведения МО на этих этапах целесообразно использование классического набора средств измерительной техники (СИТ) для проведения измерений на оптоволоконных сетях – оптического рефлектометра (OTDR), визуального дефектоскопа (VFL) и оптического тестера либо измерителя оптической мощности (OPM), источника излучения и оптического аттенюатора.

МО приемо-сдаточных испытаний проводится после окончания монтажно-строительных работ для подтверждения параметров сети, обеспечивающих качество передаваемой информации. Эксплуатационные измерения проводятся в процессе эксплуатации сети и направлены на обеспечение параметров качества передаваемой информации и своевременное устранение возникающих неполадок и повреждений сети.

На этих этапах целесообразно и необходимо использование специфических СИТ для измерений на пассивных оптических сетях – например, тестера PON, имеющего встроенные фильтры для каждой длины волны и, соответственно, имеющего возможность проводить одновременные двунаправленные измерения на рабочих длинах волн сети GPON/EPON. При этом тестер должен включаться в оптическую линию «в разрыв» с одновременным измерением на трех длинах волн - 1310 нм для обратного потока и 1490/1550 нм для прямого потока. При этом должна обеспечиваться высокая (более 30 дБ) взаимная изоляция каналов на разных длинах волн.

Для измерений уровня мощности передаваемого сигнала и его затухания в сетях PON обычно используется оптический источник излучения и оптический измеритель мощности. При этом уровень затухания сигнала в оптической сети либо ее сегменте обычно измеряется методом внесенных потерь согласно стандарта IEC 61280-4-2, Method 1, СИТ, обозначенными выше.

Существует целый ряд специфических проблем, связанных с МО эксплуатации сетей GPON/EPON, это, в первую очередь, необходимость измерений одновременно на трех длинах волн, большая мощность передаваемого ТВ-сигнала на длине волны 1550 нм, не позволяющая применять для измерений мощности обычные OPM, сложности с измерением мощности ONU и другие. Решение этих проблем напрямую связано с возможностью оператора/провайдера использовать в работе специализированные СИТ для измерений на сетях PON и квалификацией персонала, осуществляющей МО сетей GPON/EPON.

При этом все необходимые измерения должны проводиться на работающей сети PON без отключения абонентов (кроме, тестируемого). Такое тестирование осуществляется на нерабочей длине волны с применением дополнительных устройств (волновых мультиплексоров DWDM, фильтров), чтобы излучение измерительной аппаратуры не вносило помех в полезный сигнал. Как уже упоминалось, в сети PON для прямого канала (от центра к абонентам) используется длина волны 1490 или 1550 нм (для видео), для обратного канала - 1310 нм. Для тестирования сети PON обычно используют длину волны 1625 нм.

Излучение измерительной аппаратуры (тестера, рефлектометра) вводится в волокно сразу после OLT с использованием волнового мультиплексора (DWDM). Это излучение способно вызвать помехи на оптическом приемнике абонентского устройства, поэтому перед каждым абонентским устройством ONT необходимо установить фильтр. Для того чтобы можно было проводить тестирование без отключения сети, волновой мультиплексор и фильтры должны быть стационарно включены в оптический тракт (рис.1).

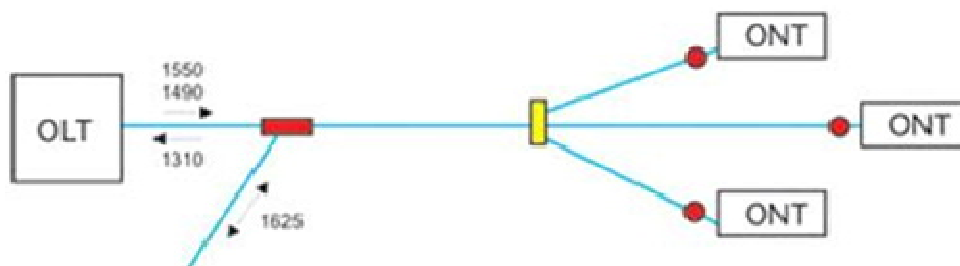


Рис. 1. Схема подключения волнового мультиплексора и фильтров к PON

Для измерения затухания в оптической линии между OLT и ONT используется оптический тестер на 1625 нм. Передатчик тестера подключается к свободному концу волнового мультиплексора на OLT. Приемник тестера подключается к свободному концу волокна перед фильтром (рис. 2).

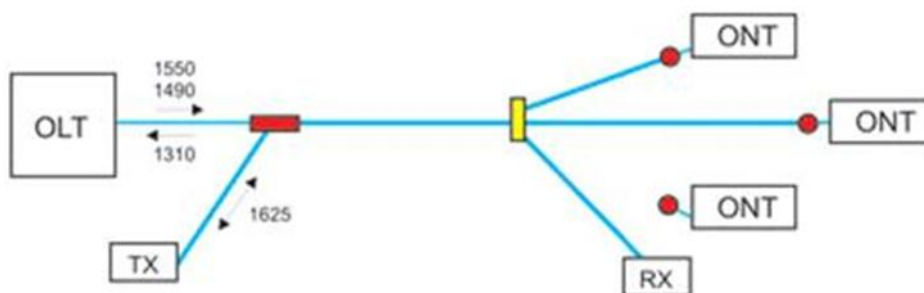


Рис. 2. Измерение затухания с отключением абонентского устройства

Представлен вариант без отключения абонентского устройства. Для этого на ONT нужно использовать не фильтр, а волновой мультиплексор, как на центральном узле, (рис. 3).

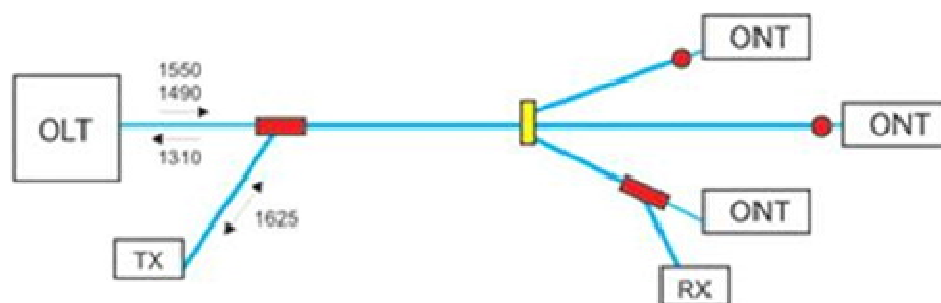


Рис. 3. Снятие рефлектограммы дерева PON

Тестирование сети PON с использованием рефлектометра заключается в следующем. После каждого изменения топологии сети (подключения нового абонента, замены сплиттера и т.п.) снимается опорная (эталонная) рефлектограмма, которая соответствует нормальному состоянию сети. При обнаружении проблем в сети (например, если затухание, измеренное оптическим тестером, оказалось выше расчетного) снимается новая рефлектограмма, которая сравнивается с опорной. Новые события на рефлектограмме локализуют местоположение проблемного участка (рис.4).

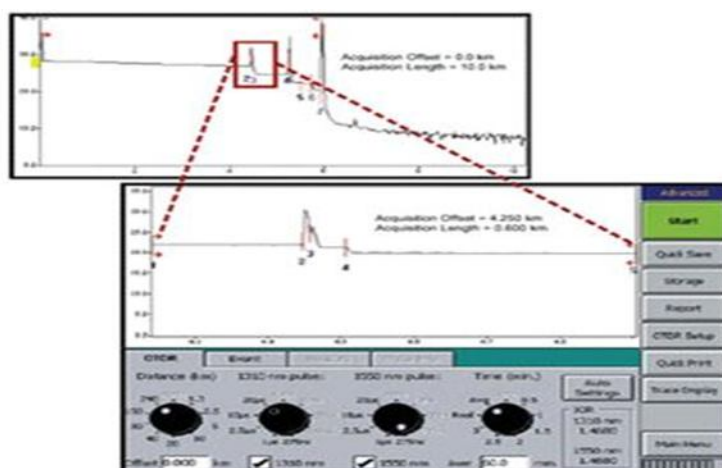


Рис. 4. Анализ новых событий на рефлектограмме

С помощью рефлектометра можно вести мониторинг сети PON и обнаруживать деградации волокна еще до того, как возникнут проблемы. Для этого необходимо регулярно (например, раз в неделю) снимать рефлектограмму сети и сравнивать ее с опорной рефлектограммой. При появлении любых отклонений и тем более новых событий на рефлектограмме необходимо анализировать их возможные причины и при необходимости проводить адекватные профилактические мероприятия.

Выводы

Для автоматизации метрологического обеспечения испытаний (validation tests) в анализаторе протоколов GPON/GEAPON, например Xpert компании TraceSpan Communications предусмотрены более 40 встроенных сценариев тестирования, определенных в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т G.984.3 (GPON MAC), G.984.4/G.988 (OMCI) и G.984.4 Implementer's Guide. Выводя показатели типа «прошел/не прошел», эти сценарии позволяют быстро оценивать правильность функционирования различных процессов и сервисов в сети GPON/GEAPON. Кроме того, данный анализатор выдает информацию о маршрутизации VLAN, анализирует динамическое распределение полосы пропускания (DBA) и генерирует настраиваемые отчеты. К его важным преимуществам относится поддержка непрерывного анализа сети в реальном масштабе времени. Этот режим особенно полезен для диагностики перемежающихся проблем и/или проблем, которые возникают спустя большой промежуток времени после установления соединения между OLT и ONT/ONU.

Литература:

1. Русакова Е.А. Проектирование сети доступа на базе технологии PON, Екатеринбург, УрГУПС, 2015. – 40 с.
2. Петренко И.И., Убайдуллаев Р.Р. Пассивные оптические сети PON Часть 2. Ethernet на первой миле., к.ф.-м.н., «Телеком транспорт», 2014 – С. 1-8. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/40117591-Passivnye-opticheskie-seti-pon.html>
3. IEEE, IEEE Std 802.3, "Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications," March 2002. – 316 p.
4. IEEE 802.3ah OAM Helps Bridge Ethernet Management Gap – 627 p.
5. Khemosh L. RFC-4837. Managed Objects of Ethernet Passive Optical Networks (EPON). July 2013 – 91 p.
6. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика: теория и практика/Пер. с англ. - М: КУДИЦ-ПРЕСС, 2008. – 320 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ЗАСОБІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ВІД НАВМИСНИХ ЗАВАД

Єпішкін С.О., Цибульников Д.І.

каф. Інфокомунікаційної інженерії
ім. В.В. Поповського, Харківський національний
університет радіоелектроніки, Україна
E-mail: dmytro.tsybulnykov@nure.ua

Abstract

In the scientific work is carried out the analysis actual in modern time - time of military conflict, means of increasing the noise immunity of radio communication systems from unintentional interference. Description of the method of increasing the noise immunity and explanatory scheme of the proposed improvement method is given. Method is based on the use of radio communication with duplicate transmitters.

Телекомунікації слугують для розповсюдження інформації серед споживачів, дослідників, аналітиків, законодавців, регуляторів тощо. Вони присутні у всіх процесах економічного виробництва і є невід'ємною складовою практично будь-якої сучасної бізнес-діяльності, метою якої є продукування товарів та послуг для споживачів. У огляді на сучасні події у світі, а особливо у нашій країні неможливо упустити з уваги засоби військового зв'язку. Засоби військового радіозв'язку різних ланок керування досягли значного рівня завадозахищеності для виконання своєї першочергової задачі: – забезпечувати надійний та достовірний зв'язок в умовах активного використання завад противником. Розглянемо, як реалізується придушення ліній з ППРЧ у сучасних засобах РЕБ на прикладі комплексу «Мандат-Б1Є», заявлені виробником параметри якого забезпечують придушення до 3 ліній з ППРЧ зі швидкістю 1000 стрибків з секунду. Комплекс має у своєму складі 3 станції перешкод, кожна з яких працює на придушення у певному діапазоні частот (1,5 – 30, 30 – 230, 225 – 1000 Мгц відповідно). Діапазон роботи кожної станції розбитий на піддіапазони (до 3 шт.), на кожний з яких є свій передавач перешкод. У 1 момент часу передавач може формувати 1 сигнал перешкоди на 1 конкретній частоті. Виходячи з цього у 1 піддіапазоні забезпечується придушення 1 радіолінії з ППРЧ.

Для вирішення задачі підвищення завадозахищеності запропоновано емпіричний метод, що базується на використанні декількох (зокрема трьох) передавачів, кожний з яких матиме свій алгоритм ППРЧ, але передаватиме один інформаційний сигнал. Фактично буде організовано 3 мережі (назвемо їх підмережами), робота яких буде проводитись у 1 піддіапазоні.

Діаграма, яка пояснює принцип функціонування наведена на рис.№2, де використовуються такі позначення:



1	таймслот 1 передавача
2	таймслот 2 передавача
3	таймслот 3 передавача
	таймслот станції перешкод
	перекриття станцією
	перешкод таймслоту 1 чи
	декількох передавачів

Рис. 1. Використовувані позначення



Рис. 2. Діаграмі роботи ЗРЗ

Запропонований варіант побудови радіостанції має ще і такі особливості:

– можливість організації повнодуплексного радіозв'язку з частотним розділенням каналів.

– наявність 3 передавачів підвищує надійність пристрою.

Математична модель, що реалізує запропонований метод в імітаційному середовищі Simulink

Наведено на рис.№ 3.

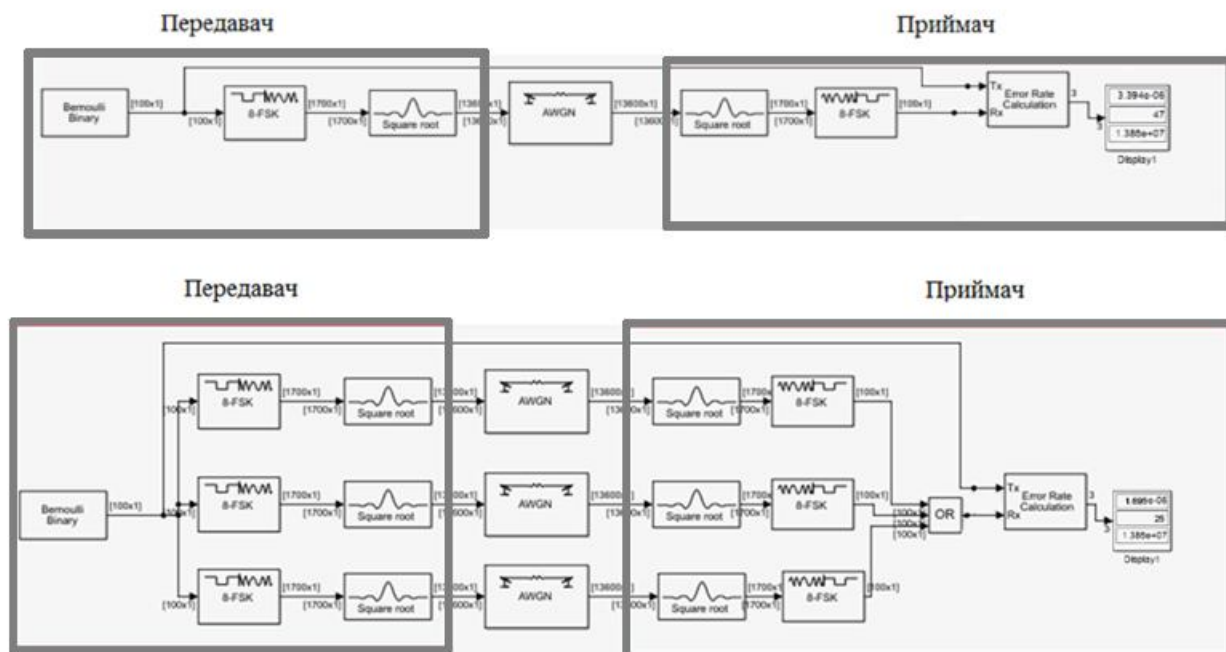


Рис. 3. Математичні моделі звичайної радіолінії(верхня) та радіолінії з використанням методу(нижня)

Ефективність розглянутого методу оцінювалася за допомогою оцінки BER. По результатам функціонування блоку Error Rate Calculator, що виводить показник BER (bit error ratio) відношення бітів, переданих з помилкою до загальної суми переданих бітів, можна зробити припущення о ефективності методу.

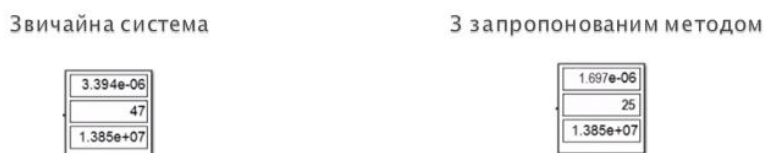


Рис. 4. Результати моделювання

Література:

1. Електронний ресурс http://sernam.ru/book_tec.php?id=122
2. Електронний ресурс <https://www.harris.com/solution/harris-rf-7800w-iu200-network-interface-unit-niu>
3. Електронний ресурс <https://www.ultra-tcs.com/products-solutions/legacy-products/angrc-245-hclos>
4. Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография. – СПб.: Свое издательство, 2013. – 166 с.
5. О.В. Кривенко Методи формування сигналу в радіозасобах з ППРЧ в умовах впливу навмисних шумових завад. Системи озброєння і військова техніка, 2017, №1(49).
6. РАДІОСТАНЦІЯ УКВ НОСИМА 5Вт. Керівництво по використанню(витяг)

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ МЕРЕЖ LTE З РІЗНИМИ ВИДАМИ ДУПЛЕКСУ

Панченко Р.С., Білик В.О.

каф. Інфокомунікаційної інженерії
ім. В.В. Поповського, Харківський національний
університет радіоелектроніки, Україна

E-mail: ruslan.panchenko@nure.ua

Abstract

In the report are shown mechanisms of mutual interfering influence of the LTE networks with the mixed types of duplex FDD and TDD. The special attention is paid to influence of not synchronized LTE-TDD networks, and also the LTE-TDD and LTE-FDD networks. In the report the methodology of an assessment of conditions of electromagnetic compatibility of such LTE networks, based on the accounting of the specified probabilities is considered, results of statistical modeling on the basis of which concrete practical recommendations for operators of networks of cellular communication are formulated are given.

Важливими проблемами в галузі забезпечення якості обслуговування є проблеми електромагнітної сумісності. Для подальшого поліпшення якості та ефективності передачі даних в мережах LTE потрібне проведення аналізу електромагнітної сумісності.

Розглядаючи порушене питання, слід звернути увагу на два аспекти. По-перше, для смуги частот 2500-2690 МГц існують прийняті частотні плани, які передбачають функціонування мереж LTE з різними видами дуплексу. По-друге, в системі LTE тимчасової дуплекс TDD має свою специфіку, яка може робити істотний вплив на електромагнітну сумісність мереж. З точки зору EMC такою специфікою дуплексу TDD є наявність взаємного помехового впливу базових станцій суміжних мереж LTE.

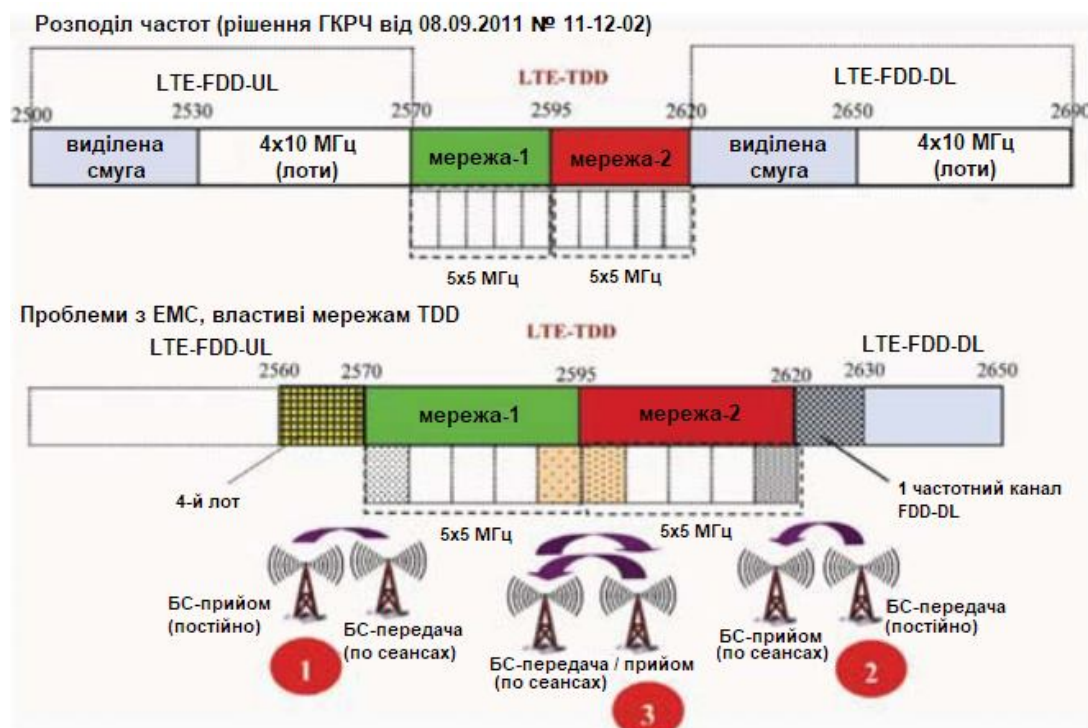


Рис. 1. Сценарії взаємного впливу мереж LTE з різними видами дуплексу

На рис. 1 (вгорі) показаний загальний частотний план для смуги 2500-2690 МГц. На ньому умовно виділено чотири парних блоку частот по 2x10 МГц для мереж LTE-FDD і

два непарних блоку по 25 МГц для мереж LTE-TDD. На рис. 1 (внизу) показані три можливих сценарії взаємовпливу мереж LTE при змішаних видах дуплексу.

На рис. 2 пояснюється механізм впливу мереж з частотним і тимчасовим видами дуплексу (сценарії 1 і 2). У сценарії 2 базова станція мережі FDD-DL в процесі передачі низхідного трафіку випромінює постійно. Її помехового вплив на приймач БС мережі TDD (мережа-2) буде мати місце тільки при прийомі, тобто протягом Uplink. Аналогічно вплив базової станції TDD (мережа-1) на приймач базової станції FDD-UL, постійно приймає висхідний трафік, матиме місце тільки при передачі БС TDD, тобто протягом Downlink.

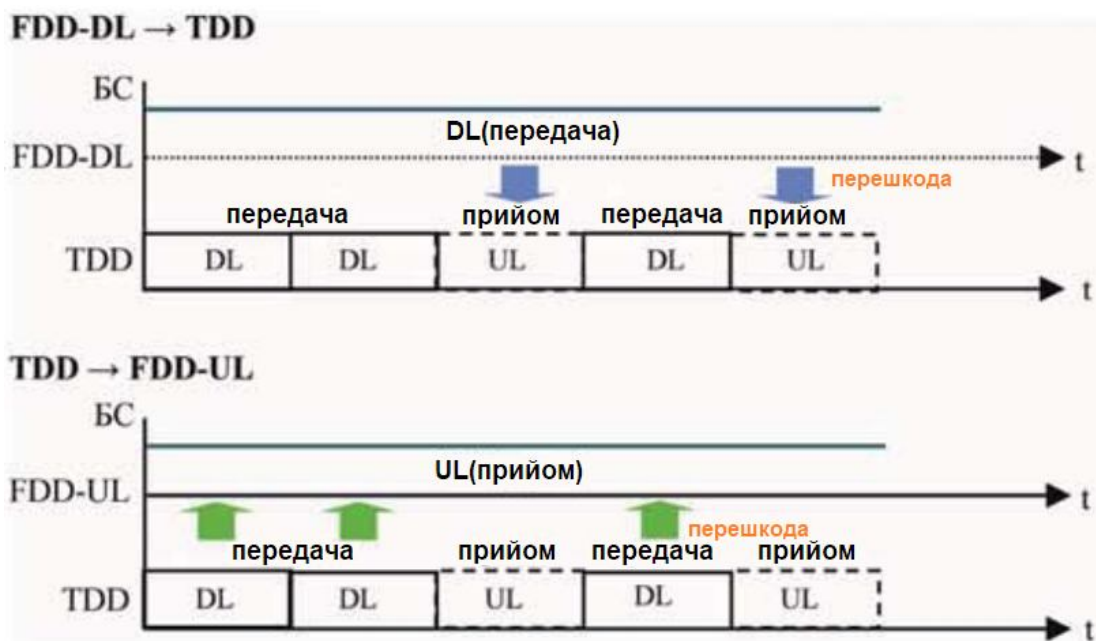


Рис. 2. Вплив LTE-мереж с FDD і TDD

Значення ймовірностей цих подій наведені в табл. 2. За своєю суттю вони є ймовірності появи перешкод в тому або іншому сценарії взаємодії мереж LTE-TDD і LTE-FDD. Їх залежності від конфігурації передач при TDD показані на графіках рис. 3.

Таблиця 1. Вірогідність появи перешкод при різних конфігураціях TDD

№ Конфігурації	Співвідношення DL:UL	Вірогідність p	
		TDD > FDD-UL	FDD-DL > TDD
0	2:3	0,4	0,6
1	3:2	0,6	0,4
2	4:1	0,8	0,2
3	7:3	0,7	0,3
4	8:2	0,8	0,2
5	9:1	0,9	0,1
6	5:5	0,5	0,5

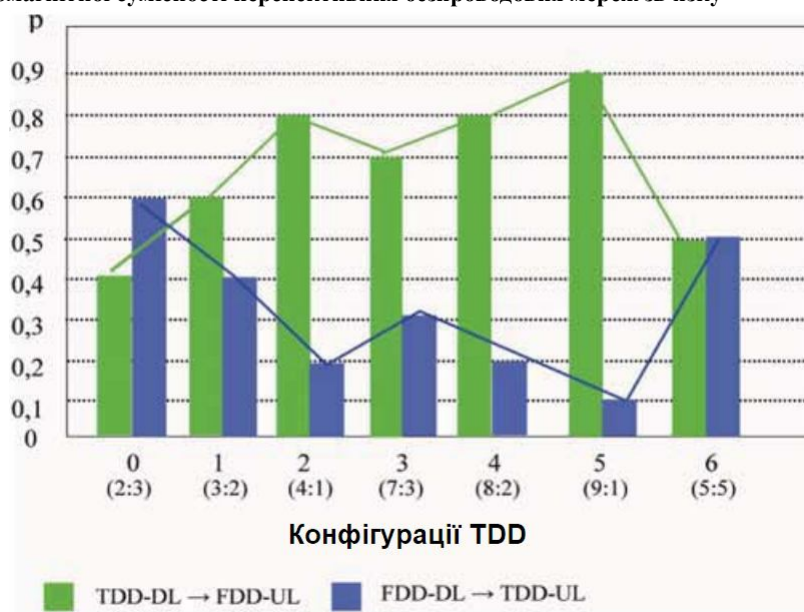


Рис. 3. Вірогідність появи перешкод при взаємодії LTE-TDD та LTE-FDD

З графіків видно, що ймовірність появи перешкод для TDD (мережа-2) з боку мережі FDD-DL набагато нижче, ніж ймовірність їх появи для мережі FDD-UL з боку TDD (мережа-1). З огляду на цей незаперечний факт, можна стверджувати, що оцінка умов EMC для мереж LTE з дуплексом TDD, безсумнівно, повинна будуватися на імовірнісному підході та враховувати ймовірності появи перешкод при кожній конкретній конфігурації передач. Механізм впливу мереж LTE-TDD один на одного пояснюється на рис. 4 і 5. Причому, на рис. 4 показані випадки, коли обидві взаємодіючі мережі синхронізовані в єдиній шкалі часу від єдиного джерела, але мають однакові та різні конфігурації передач. Найбільш цікавим для практики є випадок, коли взаємодіючі мережі не синхронізовані між собою.

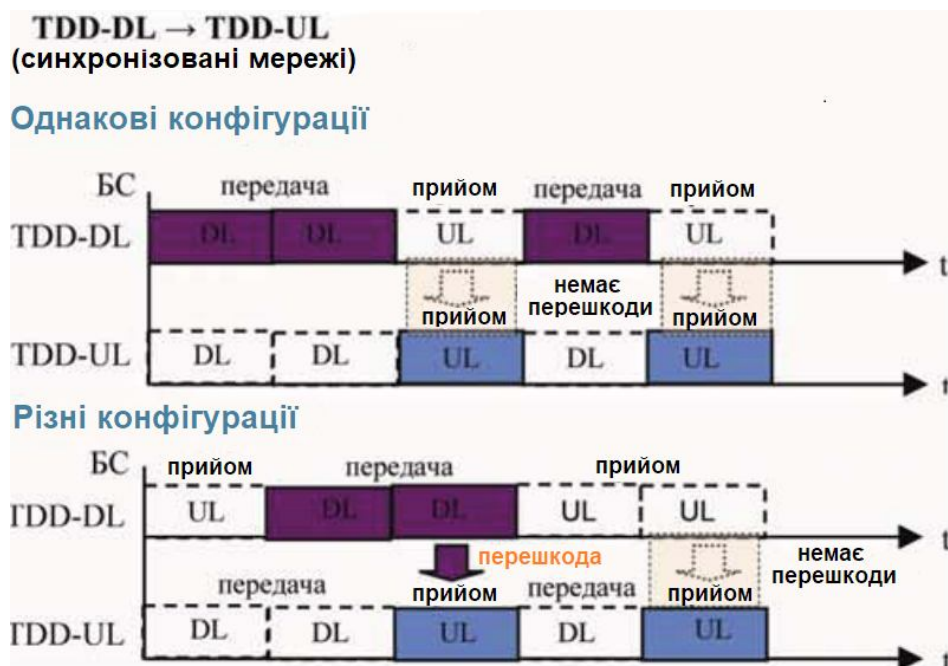


Рис. 4. Взаємний вплив синхронізованих мереж LTE-TDD

TDD-DL → TDD-UL
(не синхронізовані мережі)

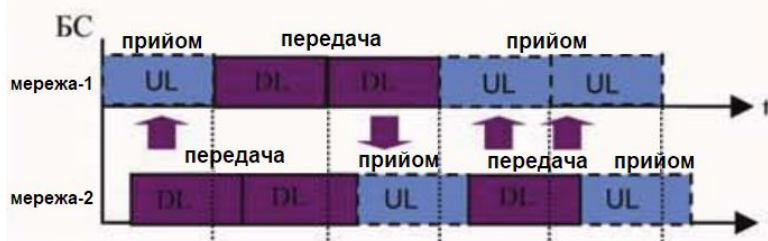


Рис. 5. Взаємний вплив синхронізованих мереж LTE-TDD

На рис. 5 видно, що взаємні перешкоди з'являються при одночасному збігу випадково мінливих тимчасових вікон DL-UL різної тривалості. З точки зору теорії - це два незалежних пуассонівських потоку і в рамках даної задачі ймовірність таких збігів можна трактувати як повну ймовірність появи взаємних перешкод в сценарії $BS \leftrightarrow BS$. Вираз для неї матиме такий вигляд

$$p\{BS_{Tx} \rightarrow BS_{Rx}\} = p\{BS_{DL} \rightarrow BS_{UL}\} = p_1(1 - p_2) + p_2(1 - p_1) \quad (1)$$

де p_1 - ймовірність передачі БС в DL в мережі-1; p_2 - ймовірність передачі БС в DL в мережі-2. Ймовірність впливу мереж при різних конфігураціях в них може бути розрахована на підставі виразу (1). Значення цих ймовірностей для деяких співвідношень конфігурацій мереж LTE-TDD наведені в табл. 2. Вибрані співвідношення конфігурацій забезпечують найменший взаємний вплив мереж.

Таблиця 2. Вірогідність появи перешкод при різних конфігураціях в обох мережах TDD

Співвідношення конфігурацій с найменшим впливом	Співвідношення DL:UL	Вірогідність p		
		Вплив мережі-1	Вплив мережі-2	Повна вірогідність впливу мереж
2 <> 3	4:1 <> 7:3	0,24	0,14	0,38
2 <> 4	4:1 <> 8:2	0,16	0,16	0,32
2 <> 5	4:1 <> 9:1	0,08	0,18	0,26
3 <> 4	7:3 <> 8:2	0,14	0,24	0,38
3 <> 5	7:3 <> 9:1	0,07	0,27	0,34
4 <> 5	8:2 <> 9:1	0,08	0,18	0,26

Для мінімізації впливу перешкод в суміжних мережах LTE необхідно оптимізувати конфігурацію передач DL:UL при тимчасовому дуплексі TDD.

Література:

1. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура/В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук/ – М.: Эко-Трендз , 2010. – 284 с.
2. Теория и методы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Под редакцией Ю.А. Феоктистова.- М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.
3. Long Term Evolution (LTE): an introduction. White Paper.[Электронный ресурс]// Ericsson.- 2007.-16 с.
4. Коляденко Ю.Ю. Метод оценки параметров радиоканалов сети LTE/ Коляденко Ю.Ю., Алали А.М./ Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.2015, vol. 15, no. 2, pp. 32–41 DOI: 10.14529/ctcr150204.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Токаръ Л.А., Красноженюк Я.А.

Каф. Инфокоммуникационной инженерии

им. В.В. Поповского, Харьковский национальный университет
радиоэлектроники, Украина.

E-mail: liubov.tokar@nure.ua, yana.krasnozheniuk@nure.ua

Abstract

Considered the mechanism of transmission of the Ethernet signal over the air. The advantage of this method of transmission is the minimum delay with high-performance backhaul. It is shown that monitoring latency using coarse methods at the port or software level does not reveal delay problems affecting certain traffic classes. For deep performance delays, it is necessary to take measurements that cover the full service path at the demarcation points and at the key nodes between them.

Услуги мобильной связи Ethernet и внедрение мобильных систем на основе пакетной передачи данных обеспечат мобильным операторам масштабируемые и более экономичные решения для обработки как растущего числа мобильных устройств, подключенных к их сетям, так и объемов трафика.

Одной из основных причин более широкого использования Carrier Ethernet в беспроводных приложениях backhaul является возможность использования разнообразной физической инфраструктуры для доставки Carrier Ethernet на базовую станцию. Одним из физических механизмов передачи сигнала является Ethernet по радиоканалу, характеризующейся минимальной задержкой и надежным, высокопроизводительным backhaul для беспроводных сетей 3G и 4G. Известно, что передача данных в реальном масштабе времени, транзакционные приложения, высокоскоростной роуминг и потоковая передача мультимедиа чувствительны к задержкам. Увеличение задержки всего на несколько миллисекунд может привести к искажениям голоса, нарушению работы приложений, что повлияет на значительные потери операторов.

Хотя Ethernet предлагает свободный доступ к пропускной способности по требованию, пропускная способность услуги «набора номера» часто мало влияет на задержку, если ссылка изначально была правильно определена. Рассмотрим БС сотовой связи, подключенную к платформе доступа с помощью оптической линии связи 100FX, с CIR (фиксированная скорость передачи информации, принудительно ограничивающая скорость) 20 Мбит / с (рис.1). Если трафик БС никогда не превысит величину 20 Мбит/с, то увеличение пропускной способности до 30, 50 или даже 100 Мбит/с не повлияет на задержку. Хотя емкость может быть увеличена, каждый пакет по-прежнему привязан к скорости физической связи, согласованной между портами (например, 100 Мбит/с для 100FX media) [1]. Это означает, что задержка такая же, пока физическая связь остается той же.

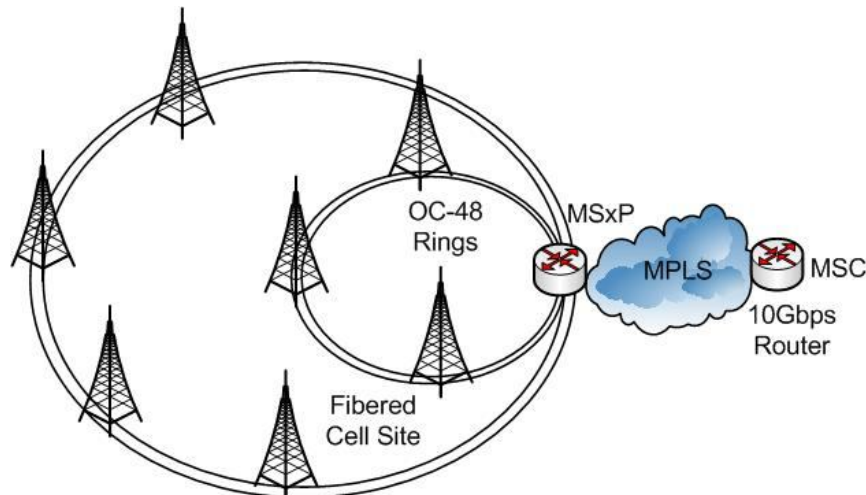


Рис. 1. Сетевая архитектура транспортной сети

При увеличении полосы пропускания данные загружаются быстрее, но каждый отдельный пакет по-прежнему перемещается с той же скоростью. Вместо того, чтобы увеличивать CIR, приложения должны подключаться с большей скоростью, чтобы уменьшить задержку, например, изменение от 100FX к интерфейсу GbE уменьшило бы задержку в десять раз. Во многих случаях это требует замены или модернизации сетевого оборудования, что является дорогостоящим и трудоемким решением.

При перегрузке увеличение пропускной способности уменьшит задержку, но только если пропускная способность увеличивается от конца к концу. Например, если Ethernet-over-SONET/SDH (EoS) используется для транспорта, увеличение носителя последней мили будет иметь небольшое влияние на общую задержку, если пакеты все еще переносятся через тот же «контейнер» TDM (например, DS3/E3). Это аналогично эффекту скорости передачи данных Ethernet: скорость трафика, входящего в сеть, не влияет на задержку, если подготовка TDM/core остается неизменной.

Аналогично, во всех пакетных сетях (например, MPLS core), если сквозная сеть не имеет достаточной емкости, пакеты будут перегружены в ядре вместо сети доступа, просто вытесняя проблему в другом месте. Когда это происходит, увеличение пропускной способности доступа может привести к еще более длительным задержкам, поскольку уже занятые NES ядра добавляют больше трафика к своим очередям и обработке нагрузки [2].

Причины задержки сложны и недетерминированы. Для поддержания общего QoS, задержка и дрожание должны постоянно контролироваться на основе каждой службы, приложения, SLA или VLAN. Мониторинг задержки с использованием грубых методов на уровне портов или программного обеспечения (например, ping) не позволяет выявить проблемы задержки, влияющие на определенные классы трафика, и не может изолировать, возникает ли задержка на уровне IP или Ethernet (рис.2).

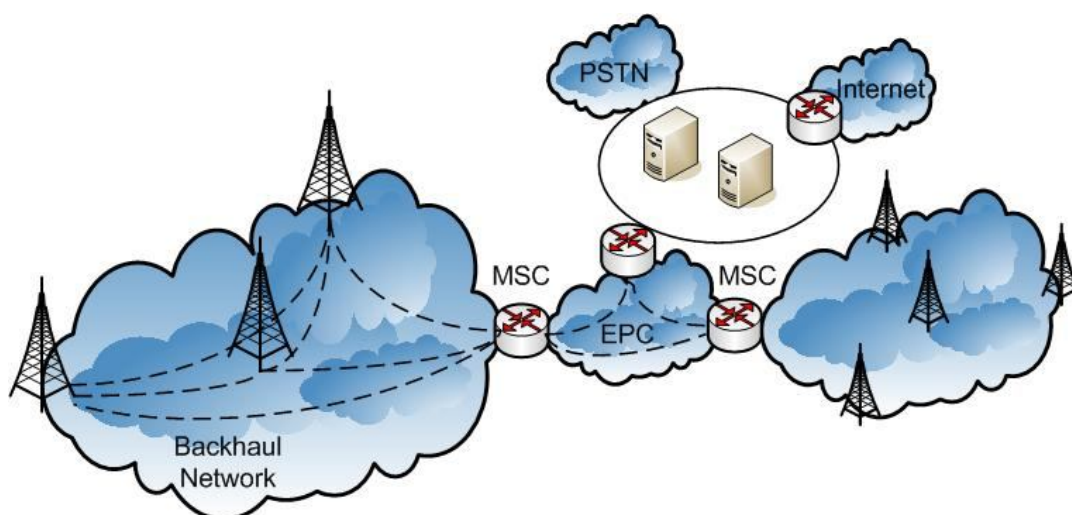


Рис. 2. Мониторинг транспортных путей

Аналогичным образом, мониторинг задержки туда и обратно недостаточен для отчетов SLA и устранения проблем с задержкой в сетях, где трафик часто асимметричен, поэтому требуются односторонние измерения задержки и джиттера. Чтобы обеспечить полное представление о производительности задержки, измерения должны также охватывать полный путь обслуживания, от конца до конца (точка демаркации и в ключевых узлах между ними). Это позволяет оператору изолировать проблемы с задержкой для доступа, основных сетей – или, что более важно, - сети клиента.

Измерения задержки требуют достаточной точности для обнаружения незначительных изменений задержки для упреждающего определения дрейфа задержки, который может привести к проблемам QoS и нарушениям SLA. Точность должна быть по крайней мере на один порядок больше, чем целевой порог, чтобы быть полезной (например, субмиллисекунды, если SLA определяет максимум задержки 10 мс), в противном случае ошибка измерения будет маскировать проблемы задержки, создавать ложные предупреждения или даже привести к отрицательным задержкам в отчетах SLA клиента.

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»

Точно так же измерения требуют достаточной детализации для обнаружения краткосрочных проблем задержки, которые могут указывать на микроразрыв, неэффективные методы управления трафиком или неправильно настроенные NEs. Возможность измерения каждой секунды, например, предоставляет достаточную информацию для диагностики прерывистых проблем QoS.

Таким образом, чтобы обеспечить полную видимость проблем с задержкой, измерения должны:

- проводится для каждого потока, приложения, услуги или VLAN;
- задержка должна измеряться от конца до конца, чтобы точно учитывать все сегменты сети, а также ключевые промежуточные узлы для изоляции проблем;
- с высокой степенью детализации.

Следовательно, для уменьшения задержки с увеличением пропускной способности важно определить, происходит ли перегрузка в сегменте службы. Поскольку предоставление дополнительной полосы пропускания занимает много времени и дорого с точки зрения сети, лучше всего увеличить ее там, где она больше всего повысит производительность.

Литература:

1. Васин Н.Н. Системы и сети пакетной коммутации / Самара: ФГОБУ ВПО ПГУТИ. – 2012. – 283 с.
2. Saranya, B., Muruganandham, S. Mobile Backhaul Network in wireless Sensor // International Journal of Engineering Research and General Science. – 2015. – vol. 3. – p. 394 – 397.

ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМОГАМ СТАНДАРТІВ НАТО З ЕМС

Князєв В.В.

Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія»
Національного технічного університету «ХПІ», Україна

E-mail: knyaz2@i.ua

Abstract

Ensuring the electromagnetic compatibility of weapons and military equipment containing radio, electronic and electrical equipment is a mandatory requirement. It is important to correctly determine which standards need to be consistent. Due to Ukraine's aspirations for NATO, this task was updated and determined. In 2017, the method of confirmation adopted national regulations identical to the NATO regulations, entered into force on February 1, 2018. It including two standards in the field of electromagnetic compatibility. On the basis of these standards, it is necessary to develop a national system for assessing the conformity of weapons and military equipment. Assessing compliance with NATO standards will greatly increase the competitive ability of samples from national producers on the world market. The analysis of conformity assessment system, which is regulated by NATO, is carried out in order to implement it in Ukraine. The nomenclature of electromagnetic environmental factors and test methods for assessing the levels of compliance with the requirements of electromagnetic compatibility of these objects are considered.

Забезпечення електромагнітної сумісності об'єктів озброєння та військової техніки (ОВТ), що містять у своїй основі радіо-, електронне та електротехнічне обладнання, в даний час є обов'язковою вимогою для реалізації на міжнародному ринку. У зв'язку з прагненням України до інтеграції з НАТО, актуальним стало проведення відповідних видів випробувань. У грудні 2017 року методом підтвердження прийняті національні нормативні документи, ідентичні нормативними документами НАТО, які чинні з 1 лютого 2018. У тому числі два стандарти в галузі електромагнітної сумісності:

- ДСТУ-П STANAG 4370:2017 (STANAG 4370 Ed:6 / АЕСТР-250 Ed. С, IDT);
- ДСТУ-П STANAG 4370:2017 (STANAG 4370 Ed:6 / АЕСТР-500 Ed. Е, IDT).

На основі цих стандартів потрібно реалізувати національну систему оцінки відповідності об'єктів ОВТ вимогам ЕМС. Головним елементом системи є організація і проведення відповідних видів випробувань, які повинні реалізовуватися в акредитованих лабораторіях. Випробувальна лабораторія Науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту «Блискавка» НТУ «ХПІ» (далі, ВЛ) здійснює підготовку необхідної матеріально-технічної бази. У матеріалах доповіді представлено досягнутий рівень готовності ВЛ.

Стандарт АЕСТР 500:2016 [1] узагальнює вимоги до обладнання ОВТ яке встановлюється на таких платформах: наземних (Land), надводних кораблях (Ships), підводних човнах (Submarines), повітряних (Air) та космічних системах (Space Systems). Цей стандарт визначає загалом 25 видів випробувань, розподілених за платформами відповідно до Таблиці 1. Частина випробувань (у кількості від 5 до 10 видів, залежно від типу ОВТ) можуть бути проведені виробником обладнання, а інші (від 20 до 15 видів) повинні проводитись у незалежній акредитованій випробувальній лабораторії. Стандарт [1] має такі чотири пакети видів випробувань: NCE (емісія власних кондуктивних радіозавад від обладнання у мережу електроживлення та комунікацій); NRE (емісія власних радіозавад у «ефір»), NCS (несприйнятливість до електромагнітних впливів кондуктивних завад) та NRS (несприйнятливість до електромагнітних полів). Кількість випробувань у кожному пакеті залежить від виду ОВТ і складає взагалі для бортового обладнання літаків та субмарин 15 видів, для обладнання наземних та морських платформ – 13 видів, а для космічних систем – 7 видів.

Таблиця 1. Види випробувань за стандартом АЕСТР 500:2016 [1]

Equipment and Subsystems installed in, on, or launched from the following Platforms	Requirement Applicability																								
	NCE01	NCE02	NCE03	NCE04	NCE05	NCS01	NCS02	NCS03	NCS04	NCS05	NCS06	NCS07	NCS08	NCS09	NCS10	NCS11	NCS12	NCS13	NRE01	NRE02	NRE03	NRS01	NRS02	NRS03	NRS04
Land	-	Y	P	Y	Y	Y	Y	P	P	P	-	Y	Y	Y	-	-	Y	-	Y	Y	P	Y	Y	P	-
Ships	P	Y	P	Y	Y	Y	Y	P	P	P	-	Y	P	Y	-	Y	P	-	Y	Y	P	Y	Y	P	Y
Submarines	Y	Y	P	Y	Y	Y	Y	P	P	P	P	Y	P	Y	-	Y	P	Y	Y	Y	P	Y	Y	P	Y
Air	Y	Y	P	Y	Y	Y	Y	P	P	P	-	Y	Y	Y	Y	-	Y	-	Y	Y	P	Y	Y	P	-
Space Systems, Including Launch Vehicles	-	Y	P	-	-	Y		P	P	P	-	Y	Y	Y	-	-	-	-	-	Y	P	-	Y	-	-

Примітки: Y – випробування обов'язкові для усього обладнання цієї платформи.

P – Випробування може бути застосовано. Вибір виду випробувань здійснюється на засаді знань про інсталяцію та наявність іншого обладнання, яке розташовано поряд.

У значній мірі такі випробувальні пакети є і в інших стандартах. Слід відмітити, що вимоги стандарту [1] базуються на аналогічних видах випробувань з військового стандарту США MIL STD 461F [2], та стандарту Об'єднаного Королівства Def Stan 59-411, як вказано у таблиці 2.

Таблиця 2. Можливості реалізації випробувань у ВЛ

Вид за АЕСТР 500	Зміст виду випробувань	Аналог	Ступень реалізації у ВЛ
1	2	3	4
NCE01	Визначення рівня кондуктивних завад від обладнання у мережі електричного живлення у діапазоні частот від 30 Гц до 10 кГц	MIL STD 461F	Реалізовано
NCE02	Визначення рівня кондуктивних завад від обладнання у мережі електричного живлення у діапазоні частот від 10 кГц до 10 МГц	MIL STD 461F	Реалізовано
NCE04	Визначення рівня кондуктивних завад від обладнання у мережі електричного живлення, за перехідних процесів	Def Stan 59-411	Реалізовано
NCE05	Визначення рівня кондуктивних завад від обладнання у контрольних та сигнальних мережах у діапазоні частот до 150 МГц	Def Stan 59-411	У розробці *1
NCS01	Несприйнятливості портів електричного живлення обладнання до змінної напруги у діапазоні частот від 30 Гц до 150 кГц	MIL STD 461F	Реалізовано
NCS02	Несприйнятливості контрольних та сигнальних портів обладнання до струму у частотному діапазоні від 20 Гц до 50 кГц	Def Stan 59-411	У розробці *1
NCS07	Несприйнятливості портів обладнання (за кабельної інжекції) до струму у частотному діапазоні від 10 кГц до 200 МГц	MIL STD 461F	Реалізовано
NCS08	Несприйнятливості портів обладнання до імпульсної завади 2/30/2 нс за кабельної інжекції	MIL STD 461F	Реалізовано
NCS09	Несприйнятливості портів обладнання до загасаючого коливального струму з частотою коливаний у діапазоні від 10 кГц до 100 МГц	MIL STD 461F	Реалізовано
NCS10	Несприйнятливості портів обладнання до перехідних процесів	Def Stan	Реалізовано

**П'ята Міжнародна науково-технічна конференція
«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»**

	викликаних блискавкою	59-411	
NCS12	Несприйнятливість обладнання до електростатичного розряду	Def Stan 59-411	Реалізовано
NRE01	Визначення рівня емісії магнітного поля у діапазоні 30 Гц до 100 кГц	MIL STD 461F	Реалізовано
NRE02	Визначення рівня емісії електричного поля у діапазоні 10 кГц до 18 ГГц	MIL STD 461F	Реалізовано * ²
NRS01	Несприйнятливість обладнання до магнітного поля у діапазоні частот від 30 Гц до 100 кГц	MIL STD 461F	Реалізовано
NRS02	Несприйнятливість обладнання до електричного поля у діапазоні частот від 50 кГц до 40 ГГц	MIL STD 461F	Частково * ³
NRS03	Несприйнятливість обладнання до імпульсного електромагнітного поля ядерного вибуху (формою 2,0/23 нс)	MIL STD 461F	Частково * ⁴

Примітки: 1. Реалізується у рамках проекту, що фінансується Міністерства освіти і науки України у 2019-2020 роках.

2. Реалізується сумісно з ННЦ «Інститут метрології» із залученням вимірювального приймача.

3. Реалізується до рівня напруженості 50 В/м, до частоти 3 ГГц. Повна реалізація можлива лише за спеціальною національною програмою.

4. Обмежено габаритом 0,25 м.

У таблиці 2 вказано 16 видів випробувань, які є найбільш поширеними для різних платформ. Аналіз випробувальних можливостей ВЛ НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ», які представлено у таблиці 2, свідчить про те, що зараз є спроможність виконувати у повному обсязі 12 видів випробувань, частково – 2 види та 2 буде реалізовано до кінця 2019 року. Реалізація інших 9 видів випробувань з 25, які вказано у таблиці 1, потребує створення нового випробувального обладнання, частина з якого внесена до перспективного плану розвитку ВЛ. Досвід експлуатації вказує на суттєві переваги застосування власних генераторів у порівнянні з придбаними у іноземних компаній, насамперед, у вартості, можливості обслуговування та оперативному поточному ремонті.

Висновки

1. Розробникам ОВТ слід враховувати необхідність забезпечення відповідності вимогам стандартів НАТО з електромагнітної сумісності. Це підвищить конкурентну спроможність на міжнародному ринку.

2. ВЛ НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ» забезпечує виконання більшості видів випробувань, які регламентовано ДСТУ-П-STANAG 4370 АЕСТР 500:2017.

3. Розвиток ВЛ НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ» здійснюється у рамках виконання науково-дослідної роботи «Розробка системи випробувань типових видів озброєння та військової техніки України за стандартами НАТО з електромагнітної сумісності» (Реєстраційний номер 0119U002571), яка фінансується Міністерством освіти і науки України.

Література:

1. АЕСТР 500:2016 Electromagnetic environmental effects tests and verification. Ed. E. - NATO STANDARDIZATION OFFICE.- December 2016.- 1125p.

2. MIL-STD-461F:2015 Department of Defense interface standard. Requirements for the control of electromagnetic interference. Characteristics of subsystems and equipment. DoD.-2015.-280p.

НАДШИРОКОСМУГОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЗАДАЧАХ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Серков О.А., Князев В.В., Лазуренко Б.О., Яковенко І.В.,
Чурюмов Г.І., Токарев В.В.

Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»
Харківський національний університет
радіоелектроніки, Україна.

E-mail: aleksandr.serkov@hotmail.com

Abstract

Improving channel noise immunity of the control channel of mobile objects in conditions of powerful electromagnetic interference is carried out by coding information using ultra short pulse signals and temporal position-pulse modulation. This is shown that for organizing independent channels in one lane frequency when managing a group of mobile objects it is appropriate to additionally apply a system of orthogonal codes. This allows for large volumes and speed of information transfer with high noise immunity control channel. In addition, it will protect the channel from being intercepted.

Рухомі об'єкти відносять до систем критичного призначення, у яких відмова в роботі обладнання чи невірно прийнята команда в системі керування можуть привести до катастрофи. Так для літаків найбільш небезпечними є аварійні випадки, що обумовлені спотворенням інформації в каналах керування, які викликані зовнішніми небезпечними факторами. Аналіз вимог, наведених в стандарті [1], показав, що особливо небезпечними є випадки, коли у якості зовнішнього джерела випромінювання є потужне електромагнітне поле, яке супроводжує розряд блискавки [2, 3]. Широкий частотний діапазон (0,3 – 30 МГц) у поєднанні з великою амплітудою імпульсного електромагнітного поля (15 - 100 кВ/м) є найбільш небезпечним фактором, що обумовлюють надійність роботи літаків. Таким чином, завадостійкість, надійність та достовірність отриманих даних грають першочергову роль в каналах управління рухомих об'єктів.

Завадостійкість каналу управління передбачає максимальний рівень електромагнітної завади, за якою він зберігає необхідну якість роботи. Підвищенню завадостійкості сприяє кодування інформації в мережах обміну інформації та каналах управління. Однак двійкові коди, які найчастіше застосовують, вимагають подвійної надмірності, що спричиняє зниження швидкості передачі інформації. У той же час необхідність підвищення швидкості передачі управляючих сигналів у безпроводових каналах зв'язку вимагає використання як мого більш широкого частотного діапазону. Таким чином, відомі методи кодування інформації в безпроводових каналах управління рухомих об'єктами не забезпечують достатнього рівня їх електромагнітної сумісності та завадостійкості, що вимагає розробки нових підходів до вирішення проблеми.

В безпроводових каналах управління та зв'язку середовище передачі є фізичним шляхом між передавачем та приймачем. Характеристики та якість передачі інформації визначається як характеристиками середовища, так і характеристиками сигналу. Причому, фактором, який накладає обмеження на передачу, є само середовище. Основним джерелом втрат в системах зв'язку, як і в будь-яких інших системах є загасання L , яке визначає співвідношення:

$$L = 10 \lg (4\pi d / \lambda)^2 \text{ дБ}, \quad (1)$$

де: d – відстань, м;

λ – довжина хвилі, м.

Однак більш важливим фактором є не само середовище, а ширина полоси сигнала випромінювання. Найбільш розповсюдженим та оптимальним діапазоном для безпроводових систем управління та зв'язку є діапазон від 1 до 10 ГГц. [4]. Це обумовлено тим, що на частотах

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»

менше, ніж 1 ГГц мають місце значні атмосферні завади і завади з боку будь-яких електронних пристроїв. У той же час на частотах вище 10 ГГц велике поглинання сигналу атмосферою та атмосферними опадами. Таким чином, діапазон частот від 1 до 10 ГГц є найбільш придатним для організації каналу управління рухомими об'єктами. У той же час потреба в організації високошвидкісних безпроводових каналів управління та зв'язку вимагають збільшення ширини частотного діапазону каналу управління. З іншого боку, існує фізична обмеженість частотного спектру. Тому актуальною є розробка технологій надширокосмугового зв'язку, яка вирішує це протиріччя.

Метою роботи є підвищення рівня завадостійкості та електромагнітної сумісності рухомих об'єктів в умовах дії природних та штучних завод.

Досягнення цієї мети стає можливим за рахунок використання надширокосмугових (НШС) сигналів, зокрема, надкоротких імпульсів з тривалістю порядку одиниць та часток наносекунди. Технологія НШС сигналів передбачає навмисне перетворення відносно вузькосмугових інформаційних сигналів з ефективною шириною спектру Δf у широкосмуговий сигнал шириною спектру ΔF із збереженням загальної енергії E сигналу. При цьому спектральна щільність енергії каналного сигналу навмисно зменшують в $\Delta F / \Delta f$ разів, що складає $\Delta E / \Delta F$, а база каналного сигналу зростає у $\Delta F / \Delta f$ разів. Таким чином здійснюють передачу малопотужних кодованих імпульсів в дуже широкій смузі частот без несучої частоти. При цьому випромінюють не гармонічне коливання, а надкороткий імпульс тривалістю 0,2 – 2,0 нС., з періодом надходження імпульсів 10 – 100 нС. Зазвичай такі сигнали мають форму ідеалізованих гаусовських моноциклів, основна частина спектра випромінювання якого знаходиться в діапазоні частот від 1 до 10 ГГц [5]. Так використання моноциклу Гауса тривалістю Δt від 2,0 нС. до 0,1 нС. ширина спектра складає відповідно від 500 МГц до 10 ГГц. А спектр сигналу займає всю полосу частот від 0 до $\Delta F \approx 1/\Delta t$. При цьому інформація кодується за допомогою часової позиційно-імпульсної модуляції [5]. Так зсув імпульсу відносно опорного положення у послідовності вперед задає нульовий біт, а назад – одиничний. Тривалість зсуву не перевищує чверті тривалості імпульсу, причому, один інформаційний біт кодується послідовністю багатьох імпульсів на біт інформації. Для розподілення інформаційних каналів зв'язку положення кожного імпульсу зсувають на час, який пропорційний поточному значенню деякої псевдовипадкової послідовності. Причому час зсуву на один-два порядку вище, ніж зсув при часовій модуляції. Кожному з каналів зв'язку привласнюється своя розширююча кодова комбінація, елементи якої складають ортогональний базис та задають код каналу. А розкодування інформаційного повідомлення здійснюють тільки у випадку використання приймачем та передавачем одного й того ж коду каналу, що підвищує завадостійкість та рівень забезпечення вимог електромагнітної сумісності рухомих об'єктів.

Вилучення корисного сигналу на фоні шуму здійснюють шляхом кореляції прийнятого та опорного сигналів. Корелятор виконує згортку прийнятого сигналу з еталонним. Він є детектором для визначення часових зсувів прийнятих імпульсів відносно опорних. Так під час прийому одиниці кореляційна функція дорівнює + 1, а при прийомі 0 вона приймає значення – 1. В усіх інших випадках кореляційна функція дорівнює 0. І так як інформаційний біт представлено, наприклад, 200 надкороткими імпульсами, то при збіжності коду вони накопичуються в інтеграторі приймача і біт буде визначено правильно, даже навіть коли 99 імпульсів з 200 будуть спотвореними. Корисний сигнал вилучають з рівня шуму, значно перевищуючи його та співвідношення сигнал/шум. При цьому кодування інформаційного біта серією надкоротких імпульсів усуває проблему багатопробеневого розповсюдження сигналу тому, що під час надходження із зсувом у часі імпульсу за рахунок різного шляху проходження, він буде відкинутий, як заводський. У той же час використання серії надкоротких імпульсів для кодування інформаційного біту дає можливість усунути міжсимвольну інтерференцію. Це обумовлено тим, що до появи наступного надкороткого імпульсу з кодуєщою серією, енергія попереднього імпульсу встигає повністю розсіятися.

В зв'язку з тим, що кодовані імпульсні сигнали випромінюють в дуже широкій смузі частот без несучої частоти, вимоги щодо широкосмужності приймально-передаючої антени є основними. За технічними характеристиками найбільш придатними є антенний елемент, являючий собою антену з розширюючою щілиною (Tapered Slot Antenna – TSA). Форма розімкнутої щілини визначає полосу частот, причому енергетична діаграма спрямованості такої антени характеризується вузьким головним промінем та практичною відсутністю бокових пелюсток. Антена має складну форму поверхні, тому для моделювання було використано пакет програм для

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку

тривимірному електродинамічному моделювання. Результати моделювання довели достатню широкосмужність антени, що показує доцільність використання в технологіях надширокосмугового зв'язку. Однак попереднє формування Гаусівського моноциклу, який подається до антенної системи, викликає складності під час узгодження сигналів в широкому діапазоні частот. Це проявляється у вигляді перевідбивання окремих складових НШС, які спотворюють форму Гаусівського моноциклу.

У запропонованому технічному рішенні інформаційний моноімпульсний сигнал поділяють навпіл. Одну частину сигналу послідовно інвертують та затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу. Потім обома моноімпульсними сигналами збуджують відповідно дві поряд розташовані на єдиній діелектричній основі TSA антени. Електромагнітні поля двох уніполярних імпульсів – основного та інвертованого інтерферують в еквівалентному загальному просторі розкриття антен, створюючи в ньому електромагнітне поле біполярного імпульсу, яке і є НШС імпульсним сигналом.

Використання технології НШС сигналів в каналах управління та зв'язку рухомих об'єктів дозволяє отримати ряд переваг, які неможливо досягти традиційними методами. Зокрема, це відноситься до підвищення показників якості каналів управління рухомих об'єктів. Розширення смуги каналу зв'язку дає можливість практично безмежного збільшення кількості каналів зв'язку. Попередньо розподілив між рухомими об'єктами коди модуляції, реалізується їх управління без перехвату управління та взаємних завад.

Найважливішим критерієм, який характеризує ефективність систем безпроводового зв'язку є висока потенційна щільність передачі даних. Вона визначається як величина досяжної загальної швидкості передачі даних на один квадратний метр робочої зони та має на сьогоднішній час значення цього показника порядку 1 Мбит/с/м². Застосування коротких імпульсів запобігає міжсимвольні спотворення, так як енергія прийнятого імпульсу практично завжди встигає фактично повністю згаснути до моменту надходження наступного імпульсу. При цьому також зменшується рівень спотворень інформаційних сигналів, що викликано його багатопроменевим розповсюдженням.

Характерною особливістю, яка притаманна системам управління та зв'язку рухомих об'єктів на ґрунті технологій НШС, є низька ймовірність виявлення як самого факту тимчасового встановлення каналу зв'язку, так і неможливість перехоплення каналу управління рухомих об'єктом. Сумісна одночасна беззавадова робота в одному частотному діапазоні як традиційних вузькосмугових систем зв'язку так і НШС систем обумовлена тим, що рівень управляючого сигналу не перевищує рівня шуму в робочому діапазоні частот. У той же час зниження потужності та рівня випромінювання електромагнітних полів дозволяє гарантовано забезпечити виконання вимог електромагнітної сумісності на усіх етапах розробки і реалізації систем управління та зв'язку рухомих об'єктів.

Література:

1. Qualifying Requirements QR-160D (2004). Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, ARIAC. 2004.
2. International Standard IEC 62305-1 Edition 2.0 2010-12. (2010). Annex A. Parameters of lightning current. Annex B. Time functions of the lightning current for analysis purposes.
3. Churyumov G. (2018) Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful Electromagnetic Field / G. Churyumov, V. Tokarev, V. Tkachov, S. Partyka // 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). – 21-25 Aug. 2018. – Pp. 183-186.
4. Serkov A. (2018) Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference / A. Serkov, V. Breslavets, M. Tolkachov, V. Kravets // Advanced Information Systems. - 2018. – Vol.2, No.2. pp. 145-148, available at: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.25>.
5. Serkov O.A. (2017). On the issue of solving the problem of electromagnetic compatibility of the wireless telecommunication systems / O.A. Serkov, G.I. Churyumov // Applied radio electronics – Sci. and Tech. Jour. 2017. Vol.16, No.3,4, Pp. 117-121.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Калюжный Н.М., Чернов А.Б., Хряпкин А.В., Ковшарь В.А.

Харьковский национальный университет
радиоэлектроники, Украина.

E-mail: a-chernov@i.ua

Abstract

When calculating electromagnetic compatibility (EMC) one of the most important steps is to calculate the propagation of radio waves from sources of interference. In the presence of a large number of methods for predicting the propagation of radio waves, an important task is the substantiated selection of the most appropriate methodology. The article analyzes the existing methods for calculating the propagation of radio waves, discusses the main factors that determine the applicability of these methods. Based on the analysis performed, a rational choice of the propagation calculation method for the EMC evaluation is proposed. In addition, the possibilities for the practical implementation of the chosen method of calculating the propagation of radio waves are considered.

При расчёте электромагнитной совместимости (ЭМС), одним из важнейших этапов является расчёт распространения радиоволн (РРВ) от источников помех. В настоящий момент существует комплекс методик для расчёта РРВ. Наиболее полное покрытие практических задач осуществляется методиками Международного союза электросвязи (МСЭ). Однако при выборе конкретной методики необходимо учитывать множество факторов, принимая во внимание, что многие из них включают в себя совпадающие модели РРВ. Ещё одной проблемой является то, что хотя все методики расчета РРВ и собраны в одной группе Р, в этой группе кроме непосредственно методик расчёта РРВ включаются и вспомогательные методики для частных моделей.

Сравнительный анализ некоторых методик для практической реализации расчёта напряжённости электромагнитного поля (ЭМП) был проведен ранее [1] в рамках работы по созданию Информационно-расчётной системы (ИРС) «Радиомониторинг». Кроме того, внимание практическим подходам расчета РРВ уделено в Справочнике по компьютерным технологиям управления использованием радиочастотного спектра [2]. В этом справочнике рассмотрены программные системы для автоматизации задач, возникающих при управлении спектром, в том числе и прогнозирования РРВ. Однако в приведенных программных продуктах нет конкретных предложений по выбору той или иной методики для прогнозирования РРВ. Также модели РРВ, входящие в состав методик МСЭ описаны в [3]. В этой связи, актуальной является задача систематизации методик расчёта РРВ и выработки рекомендации по их практическому применению.

Сравнительный анализ методик расчета распространения радиоволн

В результате анализа выделены основные комплексные методики расчёта РРВ, учитывающие несколько механизмов распространения (в отличие от простых моделей, которые будут рассмотрены ниже). Эти методики и области их применения, которые определяются основными общими ограничениями, приведены в таблице 1. Также там приведены некоторые особенности методик важные при их выборе для расчёта.

Дополнительно, для каждой модели РРВ действуют свои ограничения, в частности на высоты (абсолютные и/или относительные) приёмных/передающих антенн, на процент времени радиодоступности радиоизлучающего средства (воздействия помехи).

Таблиця 1. Сравнительные характеристики методик прогнозирования РРВ

Название Методики	№	Диапазон частот, МГц	Диапазон дальности, км	Особенности методики
Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных систем прямой видимости.	P530	70-45 000	Прямая видимость (до 185 км)	Пункт-пункт. Диапазон частот зависит от протяженности
Методы прогнозирования и данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования тропосферных радиорелейных систем	P617	>30	100-1000	Пункт-пункт
Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц	P1546	30-3 000	1-1000	Статистический подход
Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб "из пункта в зону" в диапазонах УВЧ и ОВЧ	P1812	30-3 000	0.25-3000	Детерминированный подход
Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования наружных систем радиосвязи малого радиуса действия и локальных радиосетей в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц.	P.1411	300-100 000	До 1 км	Работает в паре с Рекомендацией МСЭ-R P.1238
Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ	P528	125-15 500	10-1800	Для воздушной подвижной службы. Табличный метод
Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц	P368	0,01-30	До 10000	Табличный метод
Прогнозирование напряженности поля пространственной волны на частотах между приблизительно 150 и 1700 кГц	P1147	0,15-1,7	50-12000	
Процедура прогнозирования для оценки микроволновых помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,7 ГГц	P452	> 700	До 10000	
Универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц	P2001	30-50 000	3-1000	За пределами диапазона по дальности Методика также применима
Окомура-Хата		100-2000	1-100	Одна формула

Полнота модели определяется степенью учёта (полный учёт, частичный/обобщённый учёт, отсутствие учёта) частных моделей РРВ (простые модели). В результате анализа комплексных моделей выделены следующие частные модели РРВ (некоторые из них используются как самостоятельные, в частности дифракционные модели):

- прямая видимость (МСЭ-R P.525);
- дифракция (учитывает случаи гладкой Земли, пересеченной местности и случаи закрытых трасс с различным видом препятствий) МСЭ-R P.526;

- тропосферное рассеяние;
- рассеяние на гидрометеорах и/или твёрдых частицах;
- рассеяние в атмосферных газах (МСЭ-R P.676);
- аномальное распространение (атмосферные волноводы и отражение/преломление в слоях);
- изменение усиления в зависимости от высоты препятствий;
- изменение местоположения (пункт-пункт или пункт-зона);
- потери на проникновение в здания и распространение внутри них (МСЭ-R P.1238).

Выбор методики для расчета распространения радиоволн

При выборе конкретной методики расчёта РРВ, в первую очередь необходимо отталкиваться от ограничений, которые накладываются на их применение. Основные ограничения это диапазон частот и диапазон дальностей, поэтому в Таблице 1 эти параметры выделены особо.

Во вторую очередь необходимо принимать во внимание наличие исходной информации для моделирования РРВ: возможность получения профиля трассы, в том числе и с характером подстилающей поверхности; климатических и географических показателей местности для передатчика/трассы/ приёмника, используемый вид поляризации.

Дополнительные факторы – полнота модели и трудоёмкость расчётов по алгоритму.

Сравнительный анализ показал в среднем сходимость результатов расчётов по нескольким методикам МСЭ-R P.526 (для дифракции на клиновидных препятствиях), МСЭ-R P.1546 и МСЭ-R P.2001 (расхождения до 2-5 дБ) – для одного профиля и аналогичных исходных данных. Наиболее полной по учёту частных моделей и широте допустимых диапазонов применения является Рекомендация МСЭ-R P.2001. Универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц [4]. Её основной недостаток – большая трудоёмкость вычислений. Практическая реализация показала, что она в 6-10 раз медленнее расчёта по алгоритму для Методики P1546 и 40-50 раз медленнее расчета для методики Окомура-Хата.

Заключение

Для быстрого предварительного расчёта целесообразно использовать модель Окомура-Хата, когда позволяют ограничения или дифракционные модели.

Для детального расчёта РРВ при оценке ЭМС целесообразно использование модели, которая является наиболее полной и детальной. Это Универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц [4]. Единственным недостатком этой методики является большее время расчёта по сравнению с другими. Для затрат времени, применена программная реализация этой методики, в которой использует модульный принцип, что позволяет задействовать как все модели потерь РРВ, так и не рассчитывать часть из них. В частности, можно исключить для низких частот механизм учёта потерь в атмосферных газах, а для высоких – тропосферное распространение.

Литература:

1. Kalyuzhniy N. M.; Kovshar V. A.; Semenov G. N. ; Chernov A. B. ; Galkin S. A. Ways of calculating the electromagnetic field intensity for assessment of electromagnetic compatibility of radio-monitoring stations p.3 Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7136797>
2. Справочник по компьютерным технологиям управления использованием радиочастотного спектра (КТ). Издание 2015 года. МСЭ-R. 192 с. Режим доступа: <https://extranet.itu.int/brdocsearch/R-HDB/R-HDB-01/R-HDB-01-2015/R-HDB-01-2015-PDF-R.pdf>
3. Рекомендация МСЭ-R P.1406. Эффекты распространения радиоволн, касающиеся наземных сухопутной подвижной и радиовещательной служб в диапазонах ОБЧ и УВЧ. 12 с. Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1406-2-201507-I!!PDF-R.pdf
4. Рекомендация МСЭ-R P.2001. Универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц. 55 с. Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2001-2-201507-I!!PDF-R.pdf

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ЭФФЕКТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ НАЦИОНАЛЬНЫМ РАДИОЧАСТОТНЫМ РЕСУРСОМ

Калюжный Н.М., Колесник В.И., Задонский А.И., Пшеничных С.В.

Харьковский национальный университет
радиоэлектроники, Украина.

E-mail: 3rmorti7@gmail.com

Abstract

This paper is given the main results of the information-analytical system (IAS) development for the controlling, planning and utilization of the Radio Frequency Resource (RFR) in Ukraine. It was developed for the automatization of planning processes, and for the informing and international coordinating in the field of controlling and using RFR with the help of Internet. The IAS software provides the access of Internet users to The European Table of Frequency Allocations and Utilisations, The National Table of Radio Frequency Distribution (NTRFD) and The Plan of Radio Frequency Resource Use (PRFRU) in Ukraine, as well as to the full content of these papers in graphic and tabulated forms, in Ukrainian and English.

Введение. Наличие развитого рынка телекоммуникационных услуг является необходимым условием успешного развития экономики Украины. Устойчивый рост объемов предоставления телекоммуникационных услуг может быть реализован только при рациональном использовании стратегически важного национального радиочастотного ресурса (РЧР) [1]. Для результативного управления использованием РЧР в полосах частот общего и специального пользования необходимы современные средства автоматизации. В связи с этим, **актуальной** является задача постоянного применения на государственном уровне информационно-аналитической системы управления планированием и использованием РЧР Украины.

Основная часть. На протяжении 2006-2010 г. Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЭ) активно сотрудничал с Государственной службой спецсвязи и защиты информации – ГССЗИ (в то время администрацией связи – «Госсвязь»). В ходе проведенных научно-исследовательских работ в 2008 была разработана и введена в эксплуатацию на сервере администрации связи информационно-аналитическая система (ИАС) «Ресурс-У» [1]. Ссылка на удаленный доступ к системе была также размещена на сайте Европейской администрации почты и телекоммуникаций (СЕРТ).

В последующие годы система была существенно дополнена разработанным в ХНУРЭ программным обеспечением (ПО), которое позволяет строить полные частотные панорамы Национальной таблицы распределения полос радиочастот (НТРПРЧ) и Плана использования радиочастотного ресурса (ПИРЧР) Украины, а также частотные панорамы Европейской таблицы распределения частот в заданных/выбранных диапазонах частот. Создание полных частотных панорам выполняется в on-line режиме и предоставляется удаленным пользователям в виде отдельных файлов. По информационно-аналитическим характеристикам ИАС «Ресурс-У» является уникальной. Однако, в связи с реорганизацией государственных РЧО в 2011 г., полная сетевая версия (клиент-серверный вариант) ИАС «Ресурс-У» на сайте администрации связи прекратила функционирование.

Цель доклада – продемонстрировать возможности ИАС «Ресурс-У» и привлечь внимание государственных органов и пользователей РЧР к необходимости актуализации и введения в

Одной из основных целей создания и применения ИАС «Ресурс-У» является поддержка принятия управленческих решений по рациональному распределению и использованию РЧР Украины – важного стратегического ресурса государства. В процессе разработки ИАС «Ресурс-У» были определены задачи, решаемые системой для общих и специальных пользователей, важнейшей из которых является обеспечение взаимодействия РЧО разного уровня, как государственных, так и международных. Данная задача решена при помощи ПО, разработанного на базе современных Web-технологий с использованием двуязычного интерфейса (украинский и английский языки), работающего как в локальной сети, так и в Internet.

ИАС «Ресурс-У» реализована таким образом, что база данных нормативно-правовых актов в сфере планирования и использования РЧР и ПО динамического формирования Web-страниц размещается на сервере государственного РЧО, а удаленные пользователи получают доступ к содержимому базы данных через сеть Internet с помощью Web-браузеров своих компьютеров. Главным преимуществом такой реализации является полное отсутствие ограничений к типу операционной системы и специальных требований к ПО компьютеров удаленных пользователей.

Полная сетевая версия ИАС «Ресурс-У» предназначена для предоставления доступа по сети Internet удаленным пользователям к Регламенту радиосвязи МСЭ, Европейской таблице распределения частот, Национальной таблице распределения полос радиочастот (НТРПРЧ), Плану использования радиочастотного ресурса (ПИРЧР) Украины [2 - 5] и обеспечения решения поисковых задач по этим нормативным документам. По запросам пользователей и с учетом прав доступа ИАС «Ресурс-У» предоставляет полное или выборочное содержание указанных документов в графической или табличной формах на украинском и/или английском языках и позволяет оперативно проводить их сравнительный анализ.

Схема взаимодействия элементов системы "Ресурс-У" представлена на рис. 1.

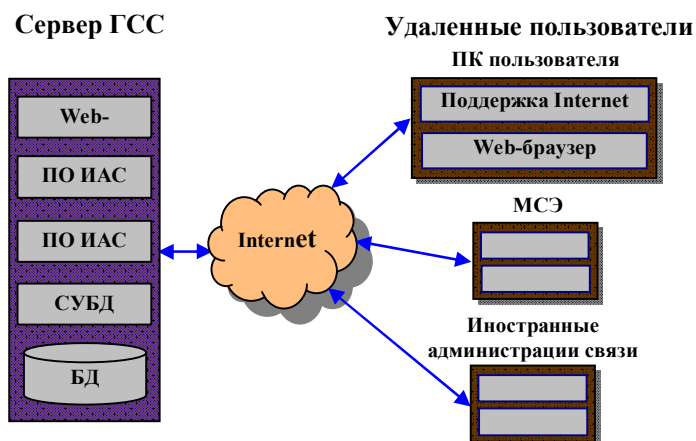


Рис. 1. Взаимодействие элементов ИАС "Ресурс-У"

– просмотр примечаний Регламента радиосвязи МСЭ для Района 1, НТРПРЧ Украины и просмотр приложений к ПИРЧР;

– предоставление пользователю содержания ПИРЧР в виде полной частотной панорамы (рис. 4), отображающей выделение полос частот любой радиотехнологии выбранного раздела Плана (действующие или перспективные радиотехнологии) между общими и специальными пользователями в каждом из типовых диапазонов радиочастот;

– выполнение поисковых задач по ПИРЧР по заданным разделам (действующие или перспективные радиотехнологии), категориям пользователей (общие или специальные), радиотехнологиям, радиослужбам, видам радиосвязи, полосам частот, срокам действия радиотехнологий с выводением результатов поиска в табличном виде;

– выполнение автоматизированного сопоставления распределения полос радиочастот в Украине и в Европе (Регион 1), а также автоматизированного сопоставления соответствия распределения полос радиочастот в НТРПРЧ и ПИРЧР.

– ведение статистики посещаемости системы (за неделю, месяц, год);

– выбор языка интерфейса: английский или украинский.

Разработанная ИАС позволяет осуществлять:

– представление в графическом и табличном виде содержания Регламента радиосвязи и Европейской таблицы распределения частот в заданных диапазонах (рис. 2);

– представление в виде полной частотной панорамы НТРПРЧ Украины (рис. 3);

– выполнение поисковых задач в НТРПРЧ по заданным/выбранным полосам частот, радиослужбам, категориям пользователей с выводением результатов поиска в табличном виде;

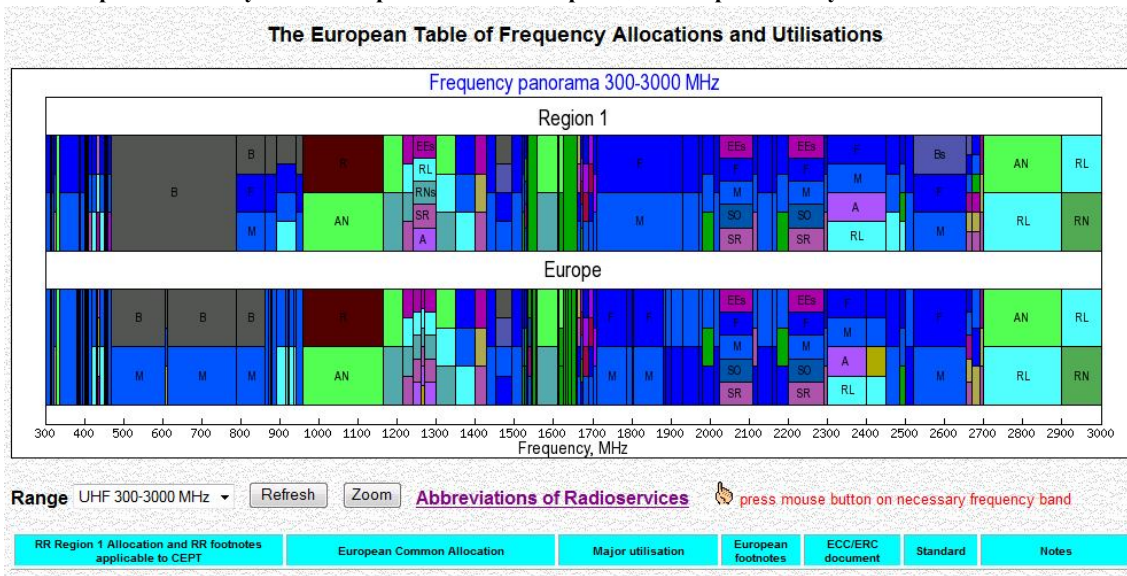


Рис. 2. Частотна панорама Європейської таблиці розподілення частот

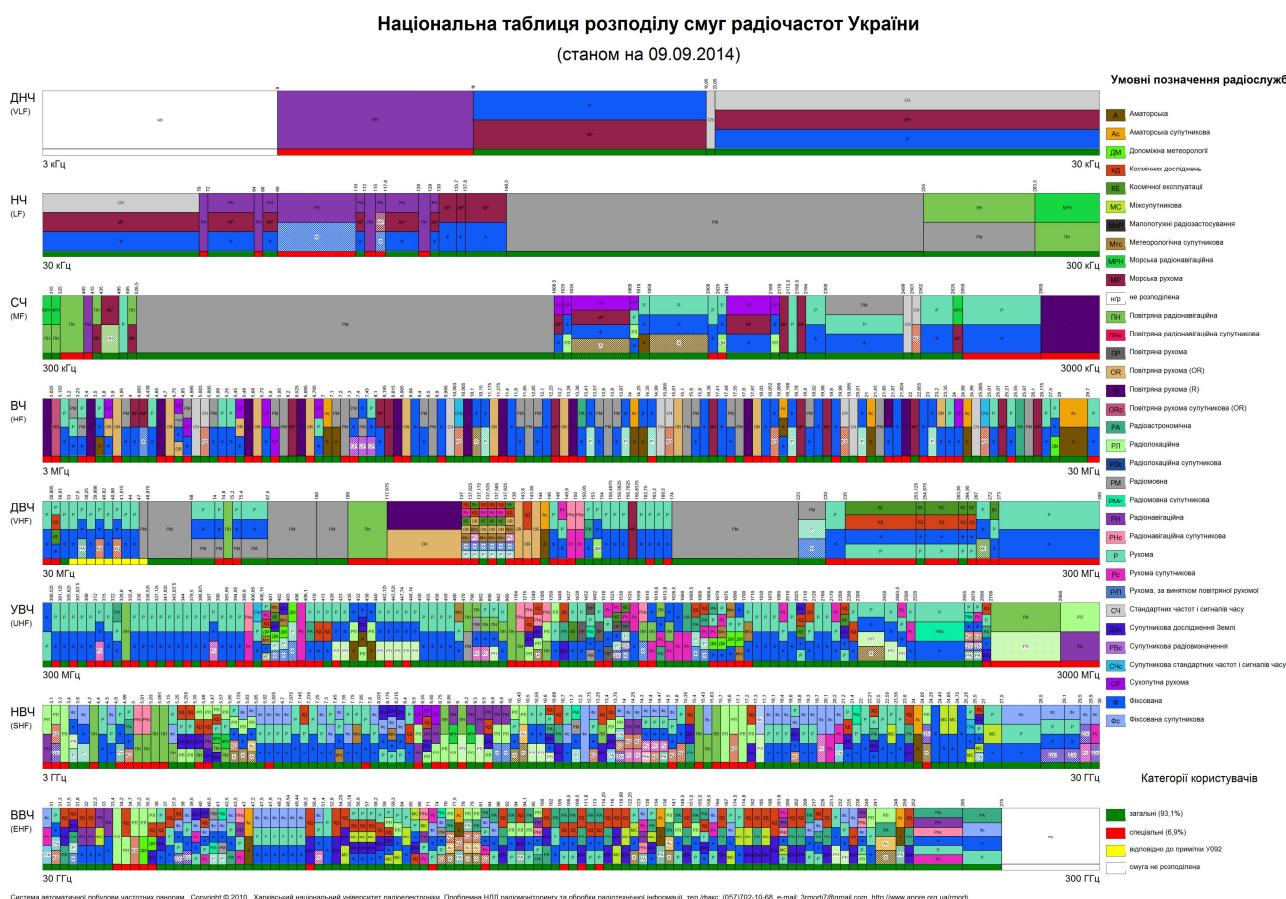


Рис. 3. Полная частотная панорама НТРПРЧ

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція
«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»

План використання радіочастотного ресурсу України (перспективні радіотехнології)
(станом на 09.09.2014)

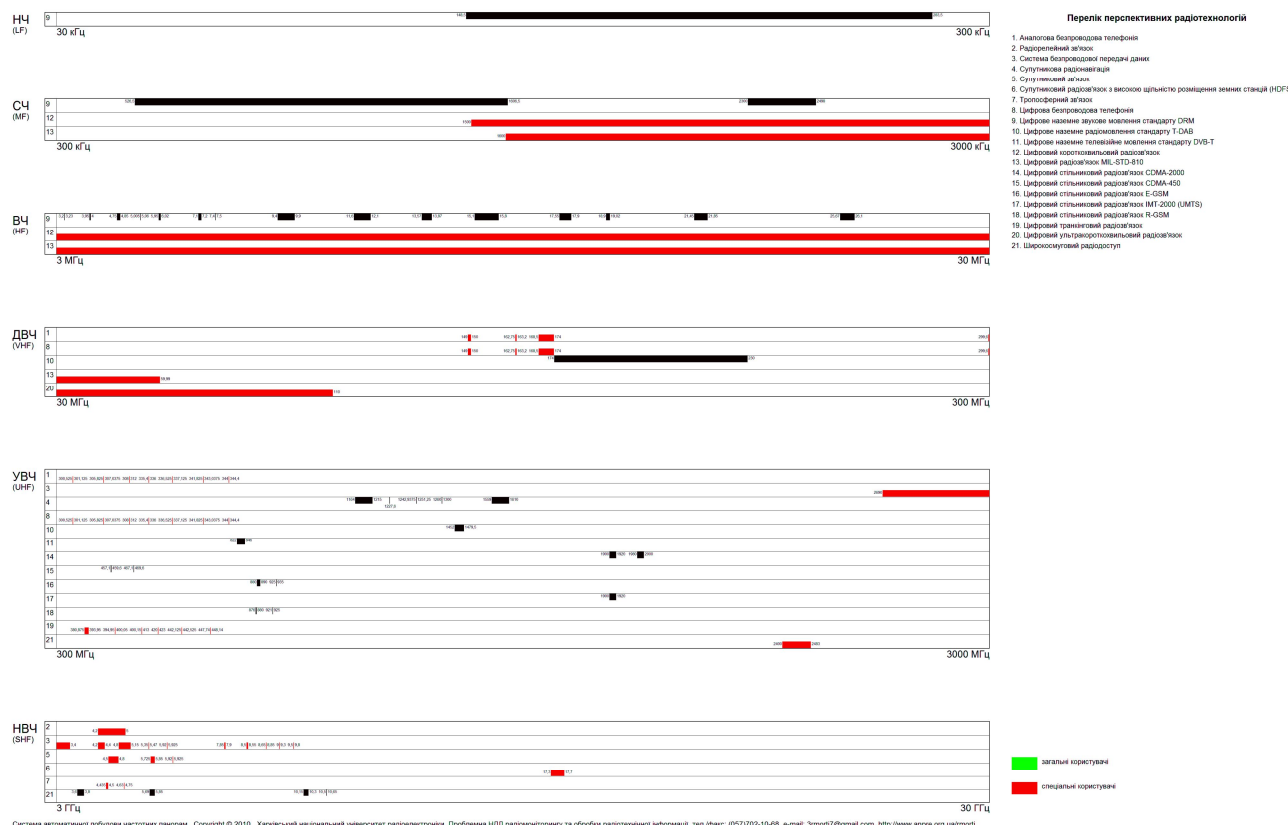


Рис. 4. Полная частотная панорама ПИРЧР для действующих радиотехнологий

Для актуализации и возобновления работы ИАС «Ресурс-У» необходимо выполнить следующие основные работы:

- модернизацию программного обеспечения для автоматизированной обработки результатов решения поисковых задач;
- обновление баз данных до современного состояния НТРПРЧ и ПИРЧР Украины, внесение в базы данных ИАС «Ресурс-У» соответствующих документов Международного Союза Электросвязи (МСЭ), принятых на протяжении последних лет [5];
- установку и сопряжение ПО ИАС «Ресурс-У» с ПО сервера ГССЗИ.

Выводы. Опыт успешного использования ИАС «Ресурс-У» в сотрудничестве с национальной администрацией связи, а также опыт передовых стран свидетельствуют о том, что рациональное планирование и использование радиочастотного ресурса страны может быть обеспечено только на государственном уровне путем создания и внедрения в сферу управления радиочастотным ресурсом средств автоматизации этих процессов с учетом текущих и перспективных потребностей. Модернизация и актуализация ИАС «Ресурс-У» на сервере ГССЗИ позволит существенно повысить эффективность планирования и использования радиочастотного ресурса страны, тем самым способствуя выполнению одной из основных задач ГССЗИ по обеспечению национальной безопасности Украины от внешних и внутренних угроз, а также эффективность взаимодействия с Международным союзом электросвязи, иностранными администрациями связи и зарубежными пользователями.

Литература

1. Калюжный Н.М., Попов М.М., Уласенко Е.Н., Галкин С.А. Информационно-аналитическая система управления планированием и использованием радиочастотного ресурса Украины // 3-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». Том II. «Телекоммуникационные системы и технологии». - Харьков: АН ПРЭ, ХНУРЭ. 2008. - С. 240-243.
2. Закон України «Про радіочастотний ресурс України» Відомості Верховної Ради, 2000, № 36.
3. Національна таблиця розподілу смуг радіочастот України. Постанова Кабінету Міністрів України від 12 квітня 2017 р. № 265.

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку»

4. План використання радіочастотного ресурсу України. Постанова Кабінету Міністрів України від 27.03.2019 р. № 251.

5. Заключительные акты Всемирной конференции радиосвязи, МСЭ 2015.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОСЛУГ ІоТ 5G

Сабурова С.А, Сушко Ю. В.

каф. Інфокоммунікаційної інженерії
им. В.В. Поповського, ХНУРЭ, Україна.

E-mail: svitlana.saburova@nure.ua

Abstract

Communication network "fifth generation", the so-called. 5G, along with big data analysis (Big Data) and the Internet of Things (IoT) are intended to become one of the foundations of the digital economy, the main driving force of which should be artificial intelligence (AI). Over 40 years, four generations of mobile networks have changed. If the first-generation 1G cellular networks have disappeared long ago, then 2G, 3G and 4G networks still continue to be used. Moreover, a certain amount of the inherited infrastructure of 3G and 4G networks will organically become part of the fifth-generation 5G mobile networks.

Якісний Інтернет - це якісний зв'язок між користувачами мережі. Якщо сьогодні високошвидкісний інтернет для нас - це, перш за все, оптоволокно, то вже завтра ми можемо їм мати подібну думку про бездротових каналах зв'язку.

Коли в 2020 році 5G, п'яте покоління технології бездротового зв'язку, увірветься в повсякденне життя, інженери очікують, що він буде в змозі обробляти приблизно в 1000 разів більше даних, ніж сьогоднішні системи стільникового зв'язку. Він так само стане основою Інтернету речей (IoT), пов'язуючи стаціонарні і мобільні пристрої, вендингові автомати і автомобілі. Деякі стверджують, що 5G - це частина нової промислової та економічної революції. Нова архітектура, нові комунікаційні технології, і нове обладнання робить дану трансформацію можливою.

«Інтернет речей» можна розглядати в якості глобальної мережевої інфраструктури, що складається з безлічі підключених пристроїв, які використовують сенсорні, комунікаційні, мережні та інформаційні технології. Основною технологією для «Інтернет речей» є технологія RFID, що дозволяє мікročіпам за допомогою безпроводового зв'язку передавати зчитувачам ідентифікаційну інформацію. За допомогою RFID-зчитувачів люди можуть ідентифікувати, відстежувати і контролювати будь-які об'єкти, автоматично підключені за допомогою RFID-міток. Технологія RFID широко використовується в логістиці, фармацевтичному виробництві, роздрібній торгівлі та управлінні ланцюгами поставок починаючи ще з 1980-х р. Інша основна технологія для IoT - безпроводові сенсорні мережі (WSN), які в основному використовують взаємодіючі інтелектуальні датчики (сенсори) для спільної роботи і моніторингу. Область їх застосування включає в себе моніторинг навколишнього середовища, медичний моніторинг, виробничий контроль, моніторинг трафіку і т.д.

Мережі мобільного зв'язку попередніх поколінь мали такі призначення:

1G: Послуги передачі мови по аналоговій мережі

2G: Послуги передачі мови по цифровій мережі, низькошвидкісні послуги передачі даних (GSM-900/1800, GPRS, EDGE)

3G: Високошвидкісні послуги передачі даних (HSPA), з можливістю передачі голосу по мережі IP, мобільний доступ до Інтернет МВВ (Mobile Broadband).

4G: Мобільний широкосмуговий доступ МВВ на базі LTE, LTE-A, передача голосу (VoLTE)

Мережі 5G значно розширюють обмежений функціонал мобільних мереж попередніх поколінь. Основними функціональними особливостями мереж 5G є наступні: вдосконалений мобільний широкосмуговий доступ eMBB (enhanced MBB), наднадійні комунікації з низькою затримкою ULLRC (Ultra Low Latency Reliable Communication), масивні межмашинного комунікації Massive IoT / IIoT, mMTC (massive Machine Type Communication).

На основі цих трьох генералізованих видів функціоналу будується все різноманіття послуг і можливостей мереж IMT2020 (5G), найбільш характерні з яких:

- Гігабайти в секунду. Мережі 5G здатні значно підвищити швидкість передачі даних через різні технології радіодоступу (RAT), і за допомогою залучення нових спектрів радіочастот 5G NR (New Radio). Користувач отримує практично необмежену смугу пропускання, як для домашнього

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку

використання різних сервісів, так і для цілей підприємств (Immersive Telepresence, Industrial IoT та ін.)

- Розумний будинок. Цілий спектр різних сервісів інтернету речей (IoT) буде доступний для вирішення «Розумний будинок» (Smart Home) і «Розумне будівля» (Smart Building): відеоспостереження, управління та автоматизація побутової техніки, управління системами безпеки, сховища контенту, климатика тощо.

- Розумне місто. Рішення «Розумне місто» - це горизонтальне і вертикальне масштабування функціоналу і спектра сервісів «Розумного будинку». Основні сервіси «Розумного міста»: Безпечне місто, електронний уряд e-Government, електронна охорона здоров'я e-Health, електронна освіта e-Education, електронний банкінг e-Bank, електронний збір свідчень ЖКГ Smart Meters, «розумні електромережі» Smart Grid, тощо .

- Нові відеопослуги 4K/8K: Об'ємне відео, екран надвисокої чіткості (UHD), можливість ефекту присутності.

- Робота в хмарі. Сервіс дає можливість не тільки зберігати дані в хмарному сховищі і витягувати їх звідти, а й використовувати прикладні програми, які працюють безпосередньо з хмари. Причому, з можливістю їх використання на будь-якому пристрої і з будь-якого місця. Крім того, є можливість використання інтерфейсів прикладного програмування API, через які хмарні сервіс-провайдери можуть надавати свої послуги абонентам оператора мережі 5G.

- Доповнена і віртуальна реальність (AR/VR). Сервіс віртуальної реальності VR (Virtual Reality) занурює людини в інший світ, впливаючи на його органи чуття, перш за все зір (VR-окуляри). Сервіс доповненої реальності AR (Augmented Reality) комбінує для користувача реальну середу з віртуальними предметами. Ці сервіси - можуть істотно поліпшити процес навчання, коли студенти за допомогою VR-окулярів можуть, наприклад, наочно бачити внутрішню будову людини на лекції з анатомії, майстер в цеху може вивчити порядок складання складного агрегату тощо.

- Промислова автоматизація. Мережа 5G на рівні технології Інтернету речей IoT, за допомогою промислових датчиків IIoT (Industrial Internet of things), а також за допомогою штучного інтелекту IAI (AI, Artificial Intelligence) здатні істотно підвищити ступінь автоматизації виробництва. При цьому стає можливим в режимі реального часу аналізувати великі обсяги різномірних даних (Big Data) і на основі отриманих висновків (insights) і з використанням машинного і поглибленого навчання (Machine learning Deep learning).

- Бізнес-критичні додатки (Mission Critical Applications). До цих програм можуть ставитися, наприклад, електронна медицина (e-Health), зв'язок при надзвичайних ситуаціях (Mission Critical Communication), тактильний інтернет (Tactile Internet) та інші.

- Безпілотний транспорт (Driverless Vehicles). Безпілотний транспорт може виступати як частина послуги «Розумне місто», однак, може надаватися на власній платформі. У нього входять не тільки безпілотні автомобілі (driverless cars), але також і безпілотні трактори для «розумного сільського господарства» (Smart Agriculture), безпілотні поїзда для метро і приміських залізниць, дрони і інші види громадського і спеціального транспорту. Крім того, на платформі 5G можлива реалізація систем допомоги водієві ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems).

На відміну від мереж попередніх поколінь, спектр послуг яких був жорстко обмежений і дещо розширено в 4G, послуги платформи 5G носять синергетичний і масштабований характер, і не обмежені одного разу заданим функціоналом. Фактично, 5G грає роль платформи для режиму розробки нових послуг і додатків DevOps, коли нові функції створюються розробниками (Development) в тісній координації з командами, які відповідають за їх впровадження і експлуатацію (Operation).

В цілому, можна сказати, що мережа 5G вбирає в себе не тільки мобільні, але також і фіксовані послуги зв'язку, а також високошвидкісний доступ в інтернет з малою затримкою і, крім того, спеціалізовані та корпоративні мережі для вертикальних галузей економіки.

З розвитком Інтернету речей (Internet of Things, IoT) кількість підключень до мереж мобільного зв'язку операторів збільшиться в рази. За прогнозами Ericsson, до 2021 року загальна кількість підключених до інтернету пристроїв в світі складе 28 млрд. З них 1,5 млрд складуть споживча електроніка і розумні автомобілі, які взаємодіють один з одним за допомогою мереж мобільного зв'язку. У найближчі роки кількість межмашинного підключень (Machine-to-Machine, M2M) буде рости на 25% в рік, більша частина що поставляються на ринок M2M-пристроїв буде підтримувати стандарт LTE. У міру зростання ринку IoT стає очевидним, що для багатьох варіантів використання таких рішень існуючі технології мобільного зв'язку недостатні у зв'язку з

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку

недостатнім покриттям, високою вартістю кінцевих терміналів і малим терміном служби їх елементів живлення.

Інноваційною технологією Інтернету речей є рішення вузькосмугового IoT (Narrow-Band IoT або NB-IoT). Це бездротова узкополосная різновид глобальних мереж з низьким енергоспоживанням (Low Power Wide Area, LPWA), яка в першу чергу призначена для додатків межмашинного взаємодії (M2M). Стандарт NB-IoT відкриє компаніям, що спеціалізуються на наданні телекомунікаційних послуг, широкий спектр нових можливостей. Зокрема, істотно збільшить прибутковість операторів від одного абонента (Average revenue per user, ARPU). Технологія NB-IoT займе свою низькоскоростну нішу в класі рішень, де пріоритетне значення має безперебійна передача даних і низьке енергоспоживання.

Стандарт NB-IoT був специфікований консорціумом 3GPP в 2016 році в Release 13 (LTE Advanced Pro). Фахівці вважають, що технологія NB-IoT отримає популярність серед операторів, тому що її обслуговування і експлуатація обійдеться їм дешевше, ніж передових на сьогоднішніх день мереж LTE і GSM. Це обумовлено її характеристиками. Стандарт NB-IoT є двосторонній зв'язок, що діє в частотному каналі шириною 200 кГц. Для того, щоб запустити мережу в експлуатацію, оператору всього лише необхідно встановити на базовій станції спеціальне програмне забезпечення. Це актуально, якщо розгорнути IoT-мережу вже на існуючих частотах.

3GPP продумує модель функціонування мережі. Консорціум пропонує три варіанти розгортання NB-IoT мережі. Перший - це NB-IoT Guard Band, тобто для Narrowband IoT буде виділений окремий частотний спектр. Другий - це In Band, тобто технологія буде розміщена в захисному інтервалі частот мереж LTE. Третій - отримав назву Stand Alone. Відповідно до його концепції, NB-IoT і LTE працюють в одному частотному діапазоні. Таким чином, мережа NB-IoT можна розгорнути в частотних діапазонах, в якому в даний час функціонує стандарт GSM, після їх рефармінг в LTE, або в «захисних» інтервалах між мережами GSM і LTE.

Переваги NB-IoT:

- Низький рівень споживання енергії кінцевих пристроїв (при використанні режимів енергозбереження PSM і eDRX);

- Великий енергетичний бюджет лінії зв'язку;
- Теоретично глобальне покриття;
- Теоретично низька вартість модемів (модулів) та послуг зв'язку.

Недоліки NB-IoT:

- Можливі великі затримки зв'язку при використанні режимів енергозбереження. Справа в тому, що термінал, перебуваючи в режимах енергозбереження, виявляється недоступно з боку мережі (сервера додатків). Максимальна затримка при використанні режиму eDRX визначається максимальним періодом eDRX, який становить 10485,76 секунди, тобто майже 3 години. Максимальна затримка при використанні режиму PSM визначається максимальним часом знаходження пристрою в режимі PSM - 9920 годин, що становить 413 днів і 8 годин, тобто більше 1 року! Режими енергозбереження детально обговорюються в наступній частині.

- Відсутність підтримки мобільності.
- Низькі швидкості прийому і передачі даних.

5G в Україні

Тільки для країн ЄС вартість розгортання мереж 5G оцінюється в \$ 63,1 млрд. Однак доступність більш високих швидкостей розкриє можливості і потреби, які ми поки не розуміємо.

Основною передумовою для запуску нових технологій є наявність доступних частот. В Україні такі оператори мобільного зв'язку, як Vodafone, Life та інші, придбали радіочастотний ресурс стандарту 5G.

Висновок

Таким чином, вже сьогодні складається попереднє бачення майбутніх систем мобільного зв'язку 5G, з якого можна зрозуміти, що мова йде не про повну заміну існуючих технологій, а скоріше, про подальше їх розвитку і доповненні новими технологіями.

Оператори мобільного зв'язку, які розвивають мережу 4G і виконують модернізацію існуючої, закладають базис для подальшої міграції в мережу 5G. На перших етапах ці дві технології будуть існувати паралельно.

Кевін Ештон, автор введеного ще в 1999 р. терміну «Інтернет речей - the Internet of Things (IoT)», стверджує, що: "Інтернет речей має потенціал, щоб змінити світ, подібно до того, як це зробив Інтернет. Можливо, навіть більшою мірою". Початкове визначення IoT вже дещо

П'ята Міжнародна науково-технічна конференція

«Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку

змінилось, але IoT можна розглядати, як навколишнє середовище, де фізичні пристрої з'єднані між собою через Інтернет для збору та обміну даними, щоб формувати розумну зворотну реакцію. Це високоінтелектуальна технологія взаємодії машина-машина (M2M), яка має потенціал, щоб зробити революцію в тому, як ми живемо і працюємо. Офіційні представники Cisco Systems Ltd. прогнозують, що до 2020 року у світі буде понад 50 мільярдів пристроїв, підключених до Інтернету.

Література:

1. Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології: підручник у 2-х частинах. Ч.2 / О.В. Лемешко, В.А. Лошаков, С.А.Сабурова, В.В. Поповський та ін.; за заг. ред. проф. Поповського В.В. – Х.: ТОВ "Компанія СМІТ", 2018. – 470 с
2. Internet Of Things Will Deliver \$1/9 Trillion Boost to Supply Chain And Logistics operations. – Режим доступу: <https://newsroom.cisco.com/press-releasecontent?articleId=1621819>
3. Gartner's 2015 hype Cycle for Emerging technologies. Доступно на <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>
4. Найдич А. «Интернет вещей»–реальность или перспектива? // КомпьютерПресс.– 2013, № 12.–Режим доступа : <http://compress.ru/article.aspx?id=24290>

The VoIP Quality of Service over IMS

Kadatskaja O., Saburova S., Baha Fesal

Engineering Infocommunication

V.V. Popovskiy Dep,

HNURE, Ukraine

E-mail: olha.kadatska@nure.ua

Abstract

IP Multimedia Subsystem (IMS) has resulted from the work of the 3GPP toward specifying an all-IP communication service infrastructure. This thesis uses the E-Model developed by ITU-T and for select network and voice parameters like coding scheme, packet loss limitations, and link utilization level in IMS network. Is found the optimal voice coder given link bandwidth

IMS subsystem is a system that is serving the convergence of mobile, wireless and fixed broadband data networks into a network architecture. Used IP environments using the session initiation protocol (SIP). IMS is logically divided into two main communication domains, one for data traffic and data and the second one is for SIP signaling traffic. Real time protocol packets are consisting of audio, video. To measure of quality is difficult subjective factor. The reasons for low quality voice transmission are due to degrading parameters like delay, packet delay variation, codec related impairments like speech compression, echo and packet loss.

There are models were developed to measure the VoIP QoS a quality rating correlated to the subjective Mean Opinion Score (MOS score) which represents the QoS for Voice calls. Many of the developed models for measuring VoIP quality of service are inappropriate for smaller networks. They take too much process resource or contain very complicated test algorithms. One of the best models used for measuring VoIP quality of service is the E-model, which is a parameter-based model.

This thesis used estimate to determine the effects of introducing IMS to networks in terms of bandwidth usage on the service quality. As the input traffic characteristics - the number of calls per second and mean holding time and network characteristics, such as a losses and propagation delays. The output of the model provides details on the bandwidth needed for successfully establishing a session when using SIP over UDP in IMS networks. Voice traffic in IP Multimedia Subsystem (IMS) will be served using Voice over IP (VoIP). Thus used E-Model as an optimization to select voice parameters like coding scheme and link utilization level in IMS Network. The goal is to deliver guaranteed Quality of Service for voice while maximizing the number of users served. This can be used to determine the optimal configuration for a Voice over IP in IMS network. SIP used over various transport protocols such as UDP, TCP or SCTP. To enable the reliable transmission messages even when used over UDP, SIP supports application level retransmission mechanisms. In case no response was received for a sent request then after a timeout the request is re-transmitted. Losses due to overloaded servers or lossy links would cause delays in the session establishment and reduce the perceived service quality.

Bandwidth calculation for IMS session establishment and modeling IMS session establishment for bandwidth calculation for IMS session and estimation set up of IMS session (see figure1). Figure1 show that the calls traverse SIP proxies. Each link of the depicted network has a loss rate of and has a propagation delay. The simulation is done using OPNET for VoIP in IMS network using SIP Protocol. MATLAB is used in this thesis. Getted the result values use in E-Model equations to estimate the quality of service factor R.

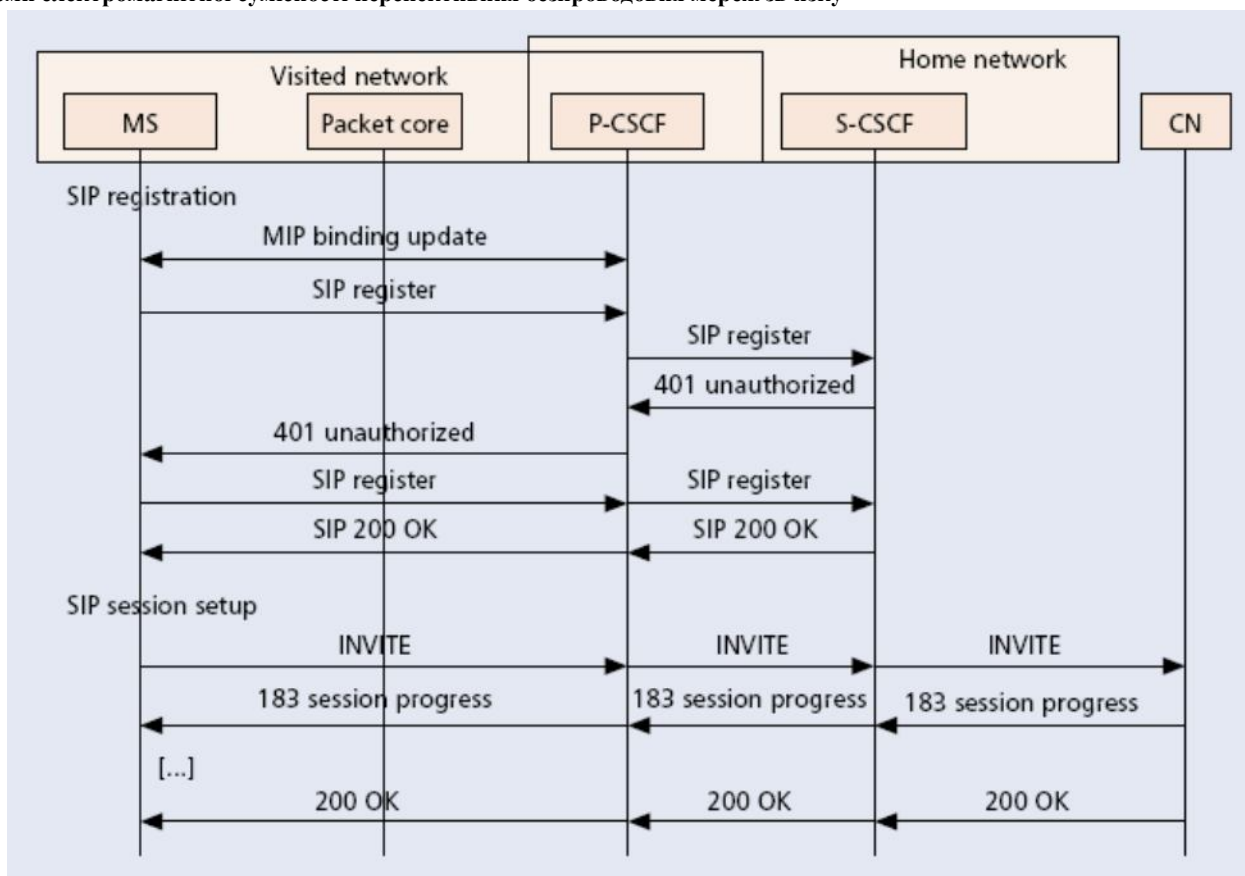


Fig. SIP registration and session establishment in the IMS

Maximized the of voice quality R (table1).

R	90<R < 100	80< R < 90	70< R < 80	60 < R < 70	50< R < 60	R < 50
user satisfaction	Very satisfied	Satisfied	Some users dissatisfied	Many users dissatisfied	Nearly all users dissatisfied	Not recommended
MOS	4.3-5.0	4.0-4.3	3.6-4.0	3.1-3.6	2.6-3.1	< 2.6

Voice coder selection is done given link bandwidth, packet loss. Adaptive Multi-Rate Wideband (AMR-WB) codec with bit rate 23.85 (kbps) provides improved speech quality as a result of the wider speech bandwidth 50 - 7000 Hz, this comes at the cost of additional processing. The AMR-WB codec has a 16 kHz sampling rate and the coding is performed in blocks of 20ms. There are two frequency bands that are used: 50-6400 Hz and 6400-7000 Hz. We found AMR-WB codec that is the optimal coder as it gives the maximum number of calls keeping its R factor more than 80.

Conclusion

In this thesis use provide a estimate that can be used to determine the effects of introducing IMS with determinate of bandwidth and the effects of losses and delays on the service quality. The output of provides details on the bandwidth needed for successfully establishing a session when using SIP over UDP in IMS networks.

References:

- 1.3GPP LTE-Advanced. Available from: Access <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced links.html>. Accessed 28 May 2015.
- 2.23.228 T 2009 IP Multimedia Subsystem (IMS) – Stage 2 (Release 9), Technical specification group core network and terminals, 3rd Generation Partnership Project.

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ РАДИОЧАСТОТНЫМ СПЕКТРОМ В КОГНИТИВНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Билык В.А., Панченко Р.С.

каф. Инфокоммуникационной инженерии

им. В.В. Поповского, ХНУРЭ,
Украина.

E-mail: makoveliprod@gmail.com

Abstract

The entry describes cognitive approach to the solution of a problem of fuzzy control of a radio-frequency spectrum in a radio network. The entry describes cognitive approach to the solution of a problem of fuzzy control of a radio frequency spectrum in a radio network. Actuality of electronic environment data at each frequency channel is ensured by a continuous cyclic analysis of the environment condition. Method of formation of dynamic rating of frequencies according to their suitability for ensuring of communication is presented.

Стремительное развитие беспроводных телекоммуникационных систем, таких как: системы сотовой и спутниковой радиосвязи, локальные беспроводные сети и Интернет по технологии Wi-Fi и Wi-MAX, обнаружило серьезную проблему.

В ходе развития беспроводных телекоммуникационных систем, среди них такие как: системы сотовой и спутниковой радиосвязи, локальные беспроводные сети и Интернет по технологии Wi-Fi и Wi-MAX, была обнаружена серьезная проблема: весь частотный ресурс к этому времени уже распределен и лицензирован, что существенно замедляет процесс внедрения и перехода к более новым технологиям. Однако, исследования, проведенные Федеральной комиссии связи США показывают, что спектр, как ресурс, на данный момент используется не достаточно неэффективно.

Существенным образом повысить эффективность использования спектра позволяет механизм динамического управления спектром, согласно которому вторичными пользователями (не закрепленными за данным частотным диапазоном) предоставляется возможность использовать диапазоны первичных пользователей (закрепленных за данным диапазоном) на время, пока этот диапазон не используется первичными пользователями.

Свойство когнитивности подразумевает способность системы динамически управлять излучаемым сигналом в реальном времени: смена модуляции радиосигнала, перестройка частоты, возможность переиспользования спектра, оптимизацию ширины радиоспектра в зависимости от нагрузки, регулировку антенн и т.д.

Таким образом, оптимизация распределения радиочастотного ресурса в когнитивных сетях и разработка алгоритма распределения частотного ресурса с повторным использованием частот является актуальной научной задачей.

Необходимо разработать способ динамического управления сетевыми частотными ресурсами, на основе знаний, формируемых в ходе постоянного коллективного изучения (базовой станцией и абонентскими устройствами) состояния выделенных для осуществления связи рабочих частот.

Радиоканал связи представляет собой канал с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ)

$$s'(t) = s(t) + n(t), \tag{1}$$

где $s(t)$ – полезная составляющая исходного сигнала, $n(t)$ – АБГШ, $s'(t)$ – суммарный сигнал на входе преемника. Учитывая, что места размещения абонентских станций и базовой станции различны, состояния рабочего и резервных радиоканалов также могут быть различны. Данное обстоятельство обуславливается наличием помех различного происхождения и различием условий распространения в местах размещения абонентских и базовой станции. С учетом воздействия внешних помех, формула(1) принимает вид:

$$s'(t) = s(t) + n(t) + n_{\pi}(t) = s(t) + n_{\text{шп}}(t), \quad (2)$$

где $n_{\pi}(t)$ – помеха, а $n_{\text{шп}}(t)$ – суммарный сигнал АБГШ и помехи. Отношение сигнал/шум на входе приемника в общем виде определяется как:

$$SNR = \frac{P_s}{(P_n + P_{\pi})}, \quad (3)$$

Очевидно, что при появлении в радиоканале длительной помехи увеличение может быть достигнуто путем выбора частоты с более низким ее уровнем. При этом радиоэлектронная обстановка (РЭО) может быть описана с помощью числовых характеристик случайных величин - математическое ожидание (МО) и среднеквадратичное отклонение (СКО) уровня помех (помеха + шум). Предполагается, что измерение характеристик радиоканалов осуществляется дискретно:

$$T - Jt_0, \quad (4)$$

где T – период наблюдения, t_0 – время между отсчетами, а J – количество отсчетов для оценки характеристик случайной величины. Следовательно, МО уровня шумов и помех в z -м канале может быть определено как среднее его значение:

$$M_{P_{\text{шп}}^i} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J P_{\text{шп}}^{i,j}, \quad (5)$$

где $P_{\text{шп}}^{i,j}$ – уровень шума и помехи (далее – помехи), измеренная в j -й отсчет времени в z -м канале. При достаточно большом значении J оценка МО уровня помехи состоятельна. Значение СКО определяется как:

$$\sigma_{P_{\text{шп}}^i} = \sqrt{M_{P_{\text{шп}}^i{}^2} - (M_{P_{\text{шп}}^i})^2}, \quad (6)$$

где $M_{P_{\text{шп}}^i{}^2}$ – математическое ожидание квадрата уровня помехи в i -м канале ($P_{\text{шп}}^i$). В процессе функционирования каждая АС и БС осуществляют сбор первичных статистических данных о РЭО в точке приема на частотах выделенного диапазона $D_f = \{f_1 \dots f_I\}$ с цикловой периодичностью T . Первичные статистические данные для каждой i -ой точки контроля РЭО представляют собой матрицу $[P_{i,j}]_n$ размерностью $I \times J$, где I – количество частотных каналов, J – количество временных отсчетов, n – номер точки контроля (АС или БС).

Ячейки матрицы заполняются измеренными значениями уровня помехи. Мониторинг РЭО осуществляется непрерывно за счет цикличности перезаписи данных в матрице. Тем самым достигается актуальность данных и непрерывность анализа. После первого заполнения всех ячеек матрицы первичных данных (а затем с заданной периодичностью или по требованию), выполняется расчет МО и СКО уровня мощности помехи в каждом канале согласно формул (5) и (6), на основании чего каждая АС и БС формируют две вектор–строки вида:

$$M_{P_{\text{шп}}^i}^j = [M_{P_{\text{шп}}^i}]_n^j, \quad (8)$$

$$\vec{\sigma}_{P_{\text{шп}}^n} = [\sigma_{P_{\text{шп}}^n, i}]_N, \quad (9)$$

где n – номер АС (или БС), i – номер частотного канала. Сформированные вектор–строки передаются в конце каждого цикла анализа (по каналу управления) на базовую станцию, где формируется две матрицы данных РЭО размерностью $N \times l$:

$$M_{P_{\text{шп}}} = [M_{P_{\text{шп}}^n, i}], \quad (10)$$

$$\sigma_{P_{\text{шп}}} = [\sigma_{P_{\text{шп}}^n, i}], \quad (11)$$

также обновляемые по мере поступления данных от АС. Далее по результатам обработки данных из обеих матриц формируется матрица рейтинга частотных каналов размерности $N \times l$:

$$R_f = [R_{f, n, i}], \quad (12)$$

где значения ячеек соответствуют весовым коэффициентам частотных каналов (их рейтингу согласно пригодности для обеспечения связи). При этом формирование коэффициентов осуществляется для каждого элемента матрицы отдельно, на основе применения аппарата нечеткой логики. Методика определения весовых коэффициентов рассмотрена ниже.

Над полученной матрицей весовых коэффициентов проводится операция свертки по строкам (абонентам сети) исходя из критерия минимума весового коэффициента для каждого частотного канала (присвоение минимальных весовых коэффициентов частотным каналам по всей сети), в результате чего формируется вектор–строка весовых коэффициентов частотных каналов:

$$\vec{R}_f = \left[\min_{i \in f} [R_{n, i}] \right] = [R_{f, i}]. \quad (13)$$

Сформированная вектор–строка рассылается всем абонентам для формирования перечня запасных частот.

По результатам анализа полученной вектор–строки по критерию максимума весового коэффициента определяется наилучший для обеспечения связи частотный канал:

$$f_{\text{шп}} = f_i, \quad (14)$$

где i – соответствует номеру частотного канала с максимальным весовым коэффициентом:

$$f_i \sim \max [R_{f, i}]. \quad (15)$$

В результате чего формируется рейтинг частотных каналов по пригодности к обеспечению связи. Переход на запасной частотный канал осуществляется автоматически по команде базовой станции при ухудшении качества канала связи или невозможности обеспечения связи с заданным качеством на текущем канале.

Литература:

1. Tafazolli R. Technologies for the Wireless Future, volume 2, Wireless World Research Forum/Tafazolli R., Wiley J. - Chichester, England. 2006 – 349 p.
2. Теория и методы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Под редакцией Ю.А. Феоктистова.- М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.
3. Mitola J. Cognitive Radio. An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio/ Mitola J. - Doctor of Technology Dissertation, Royal Institute of Technology, Sweden, May 2000.
4. Коляденко Ю.Ю. Метод оценки параметров радиоканалов сети LTE/ Коляденко Ю.Ю., Алали А.М./ Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics. 2015, vol. 15, no. 2, pp. 32–41 DOI: 10.14529/ctcr150204.

