

Л.Н. ГРИГОРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА В СИСТЕМАХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрены некоторые вопросы создания систем мобильной связи пятого поколения. Приведены основные требования, предъявляемые к системам мобильной связи пятого поколения. Весьма важными являются вопросы выбора частотного диапазона, особенности модуляции сигнала, его обоснованный выбор, вопросы помехоустойчивого кодирования данных, методы увеличения пропускной способности, повышения помехоустойчивости сигнала. Обоснован выбор цифровой схемы модуляции сигнала - OFDM (ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием). Приводятся результаты экспериментального исследования OFDM-модуляции при различных значениях числа поднесущих OFDM-сигнала и различных значениях индекса модуляции этих поднесущих. Проведена оптимизация по обеспечению максимальной скорости передачи информации в фиксированной полосе частот. Для обеспечения требования высокоскоростной передачи данных порядка нескольких *Гбит/с*, согласно закону Шеннона, обоснована полоса рабочих частот систем мобильной связи пятого поколения. С помощью программно-определяемой радиосистемы SDR (Software Defined Radio) NI USRP-2952R в режиме приемопередачи получены зависимости скорости передачи данных от типа модуляции поднесущих и вида кодировки в полосе частот 20 *МГц*, а также зависимость EVM (Error Vector Magnitude) от отношения сигнал/шум для OFDM - сигнала. Зависимости получены для разного числа поднесущих и различного типа модуляций этих поднесущих (от QPSK до QAM-64).

Ключевые слова: системы мобильной связи пятого поколения, 5G, OFDM, SDR, QAM, адаптивный выбор типа модуляции.

Введение. Системы мобильной связи пятого поколения - это не только высокие скорости, но и глобальное изменение наших представлений о беспроводной связи. Сегодня стремительно увеличивается количество устройств, подключенных к интернету, и наблюдается следующая тенденция: к интернету будет подключено всё, начиная от систем электроснабжения и медицинского оборудования и кончая светофорами, бытовой техникой и автомобилями (Внедрение и интеграция технологий IoT (Internet of Things), D2D (Device-to-Device) и M2M (Machine-to-Machine)) [1]. Это открывает неограниченные возможности для общества, бизнеса и других сфер человеческой деятельности. Обеспечение такого рода подключений – задача, которую предстоит решить технологиям 5G. Однако на пути воплощения этой идеи возникает ряд сложностей, которые необходимо тщательно исследовать. Ожидается, что уже в

2020 году число используемых абонентских терминалов превысит 50 млрд, а число абонентов мобильной связи превысит 9,6 млрд [2]. При этом мобильный трафик превысит 127 экзабайт (1 экзабайт = 10^{18} байта). Рост числа подключенных устройств будет сопровождаться появлением новых способов их применения, что приведет к возникновению новых требований к мобильным сетям пятого поколения.

Тип сигнала. Благодаря своим замечательным свойствам OFDM нашел широкое применение в современных цифровых системах передачи информации [3].

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований по передаче и приему сигналов OFDM с применением платформы SDR (NI USRP-2952R) [4].

Архитектура NI USRP-2952R приведена на рис. 1.

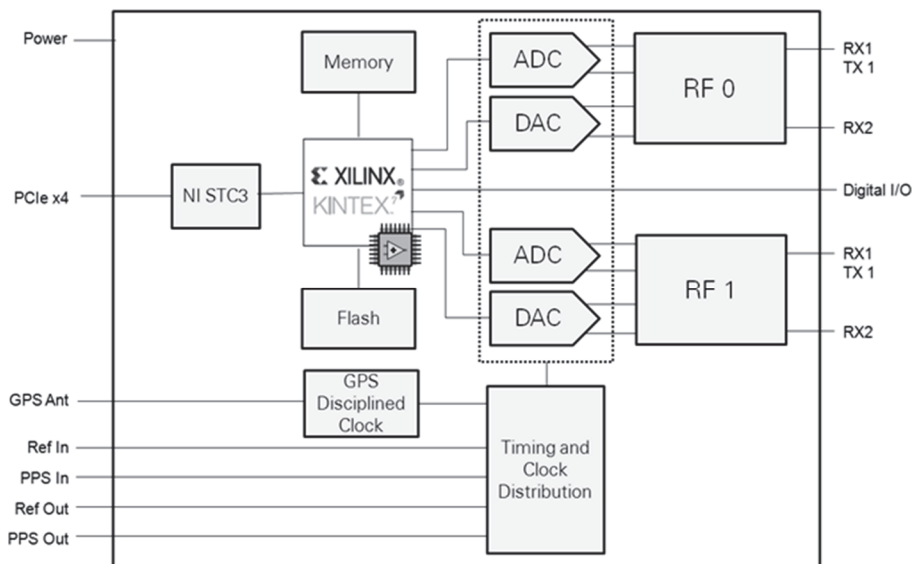


Рис. 1. Архитектура приемопередатчика NI USRP-2952R

Внешний вид примененного оборудования приведен на рис. 2.



Рис. 2. Примененное оборудование (NI USRP-2952R)

Измерены следующие зависимости:

- скорости передачи данных от типа модуляции поднесущих и типа шумостойкой кодировки в полосе частот 20 МГц;
- EVM (Error Vector Magnitude) от отношения сигнал/шум.

На рис. 3 приведено сравнение теоретически возможной максимальной скорости передачи данных и измеренной скорости передачи.

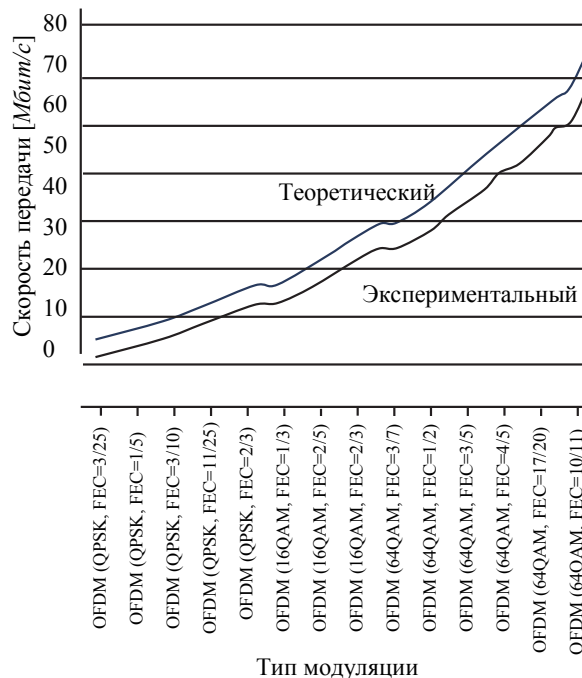


Рис. 3. Сравнение теоретических и полученных скоростей приемопередачи

Приведенные экспериментальные результаты показывают хорошее совпадение с расчетными.

На рис. 4, 5 и 6 приведены измеренные зависимости EVM от отношения сигнал/шум для QPSK, QAM16 и QAM64 модуляций поднесущих соответственно.

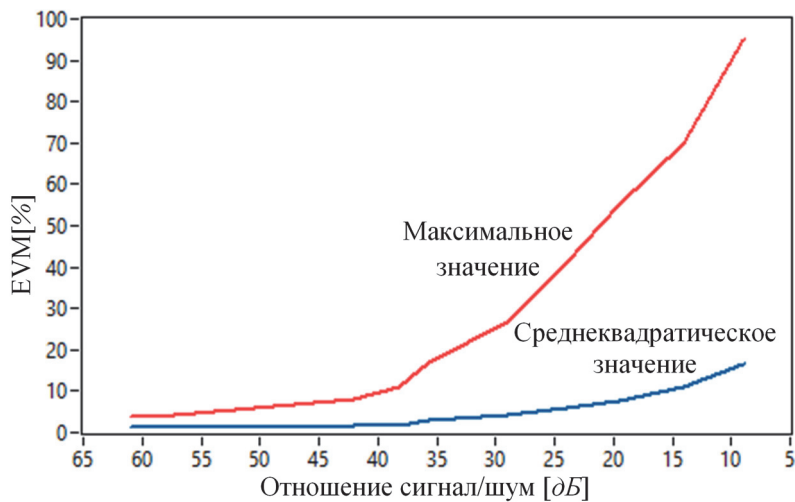


Рис. 4. Зависимость максимальных и среднеквадратических значений EVM от отношения сигнал/шум для модуляции QPSK

Стабильный прием модулированного сигнала QPSK со значением FEC 3/25 (Forward Error Correction) выполняется при значениях отношения сигнал/шум более чем 8 дБ.

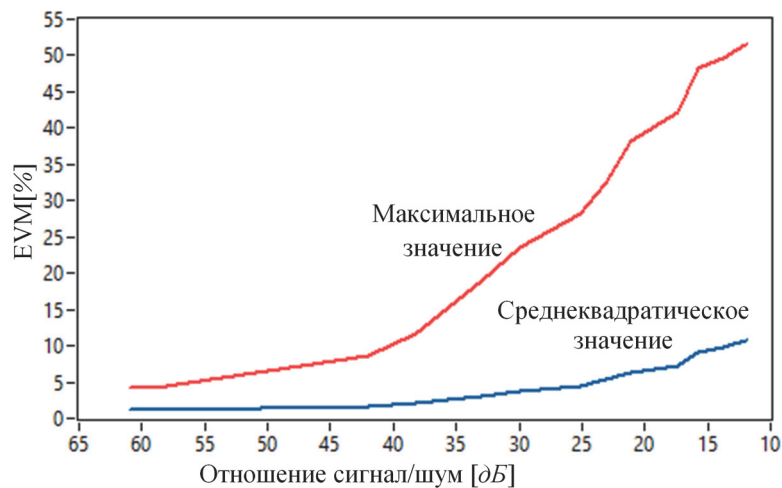


Рис. 5. Зависимость максимальных и среднеквадратических значений EVM от отношения сигнал/шум для модуляции QAM16

Стабильный прием модулированного сигнала QAM16 со значением FEC 1/3 выполняется при значениях отношения сигнал/шум более чем 12 дБ.

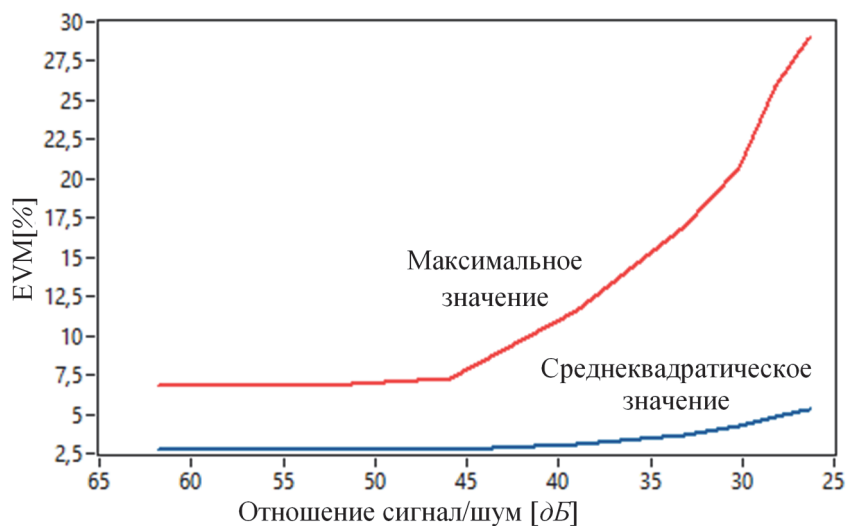


Рис. 6. Зависимость максимальных и среднеквадратических значений EVM от отношения сигнал/шум для модуляции QAM64

Для модулированного сигнала QAM64 со значением FEC 2/5 приемлемым можно считать значение отношения сигнал/шум более чем 27 дБ.

В зависимости от погодных условий и других изменений, происходящих в воздушном канале связи, невозможно всегда обеспечивать высокое значение отношения сигнал/шум. Во избежание прерываний связи необходимо использовать адаптивный выбор типа модуляции. Для значений отношения сигнал/шум выше 27 дБ более предпочтительна модуляция QAM64, для значений 27...12 дБ - модуляция QAM16 и для значений 12...8 дБ - модуляция QPSK.

Заключение. С использованием модуляции OFDM, в которой поднесущие модулируются сигналом 64 QAM с добавлением дополнительных битов для корректировки ошибок, в полосе 20 МГц получена скорость передачи до 68 Мбит/с. Увеличив полосу сигнала до 400 МГц, возможно увеличить пропускную способность канала связи до 1,36 Гбит/с. Увеличение пропускной способности канала связи в несколько раз, в зависимости от числа применяемых антенн, позволит технология MIMO.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Dave Evans.** The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything // Cisco IBSG. –April, 2011. –11 p.
2. **Ericsson.** More than 50 Billion Connected Devices // Ericsson. – White Paper, Feb. 2011. –12 p.
3. **Bernard Sklar.** Digital Communications: Fundamentals and Applications - 2nd Edition. -Los Angeles, 2001. – 1079 p.
4. **National Instruments.** USRP RIO Software Defined Radio. – Austin, 2014. – 5 p.

Լ.Ն. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՀԻՆԳԵՐՈՐԴ ՍԵՐՆՈՒԻ ԾԱՐԺԱԿԱՆ ԿԱՊԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ՄՈԴՈՒԼԱՑՈՒՄԸ

Քննարկվել են հինգերորդ սերնդի բջջային ցանցերի ստեղծմանն առնչվող որոշ խնդիրներ: Ներկայացվել են հինգերորդ սերնդի բջջային կապի համակարգերին ներկայացվող հիմնական պահանջները: Առանձնահատուկ կարևորություն են ներկայացնում հաճախային տիրույթի ընտրության, մոդուլացման հիմնավորված ընտրության, տվյալների խագարումակայուն կոդավորման, ցանցի թողարկման ունակության մեծացման և ազդանշանի աղմկակայունության բարձրացման հարցերը: Հիմնավորվել է OFDM (ուղիների օրթոգոնալ հաճախային բաժանում մուլտիպլեքսավորմամբ) թվային մոդուլացման եղանակի ընտրությունը: Ներկայացվել են OFDM մոդուլացման փորձնական ուսումնասիրության արդյունքները՝ ենթակիրների տարբեր քանակի և այդ ենթակիրների մոդուլացումների ցուցիչների տարբեր արժեքների դեպքում: Կատարվել է ֆիքսված հաճախաշերտում տեղեկության հաղորդման առավելագույն արագության ստացման ուսումնասիրություն: Մի քանի *Գրիթ/վ* տվյալների գերարագ հաղորդման նախապայմանից ելնելով, համաձայն Շենոնի բանաձևի, հիմնավորվել է հինգերորդ սերնդի բջջային կապի համակարգերի աշխատանքային հաճախաշերտի լայնությունը: NI USRP-2952R ծրագրորեն որոշված ռադիոհամակարգի (SDR) միջոցով 20 *ՄՀց* հաճախաշերտում, OFDM ազդանշանի համար, ընդունում-հաղորդում ռեժիմում ստացվել է տվյալների հաղորդման արագության կախվածությունը ենթակիրների մոդուլացման տեսակից և տվյալների կոդավորման եղանակից, ինչպես նաև EVM-ի (սխալի վեկտորի մեծություն) կախվածությունը ազդանշան/աղմուկ հարաբերությունից: Կախվածությունները ստացվել են ենթակիրների տարբեր քանակի և այդ ենթակիրների տարբեր տեսակի մոդուլացումների համար (QPSK-ից մինչև QAM-64):

Առանցքային բառեր. հինգերորդ սերնդի բջջային կապի համակարգեր, 5G, OFDM, SDR, QAM, մոդուլացման հարմարողական ընտրություն:

L.N. GRIGORYAN

**INVERTIGATION THE SIGNAL MODULATION TYPES IN THE FIFTH
GENERATION MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEMS**

Some issues on the creation of the fifth-generation mobile communication systems are considered. The basic requirements set to the fifth generation mobile communication systems are introduced. The most important issues are: the frequency range selection, the signal modulation type selection, the error-correcting coding of the data, the methods to increase the data rate and the improvement of the signal noise immunity. The choice of OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) as the most proper signal modulation is substantiated. The experimental results of the OFDM modulation for a different number of subcarriers and different values of modulation index of subcarriers are presented. The maximum data transfer rate optimization in terms of a fixed frequency band is considered. In order to ensure the requirements of high-speed data transmission of several Gb/s, according to the law of Shannon, the bandwidth of channels of the fifth-generation mobile communication systems is justified. With the software-defined radio system SDR (Software Defined Radio) NI USRP-2952R in the mode of reception-transmission, dependences of the data rate from the type of modulation of subcarriers and the type of coding, in the frequency band of 20 MHz, and the dependence of EVM (Error Vector Magnitude) from signal / noise ratio for the OFDM signal are obtained. The dependencies are obtained for a different number of subcarriers and different types of modulation of subcarriers (from QPSK to QAM-64).

Keywords: fifth generation mobile communication systems, 5G, OFDM, SDR, QAM, modulation type adaptive selection.