УДК 621.371.37
МРНТИ 27.47.21

СИГНАЛЬНО-КОДОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ СЕТЕЙ 5G

М.А. ИХСАНОВА

Международный университет информационных технологий

Аннотация: *В данной статье были исследованы технологические аспекты эволюции сетей 5G, основанных на новых видах сигнально-кодовых конструкций и позволяющих повысить спектральную эффективность посравнению с сетями 4G. На сегодняшний день ведутся работы по установлению будущего облика мобильных сетей 5G. Основными задачами сетей 5G являются: расширение спектра используемых частот, увеличение емкости сетей и повышение эффективности сетевой инфраструктуры, построенной на базе применения облачных технологий. Одним из основных условий систем будущего поколения 5G будет увеличение спектральной эффективности (СЭ) передаваемых сигналов путем использования новых сигнально-кодовых конструкций (СКК). Анализ последних исследований и публикаций показывает, что резервы для улучшения метода OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) модуляции с целью повышения СЭ практически исчерпаны [1]. Необходимо определить заменяющие подходы, использующие неортогональные по частоте сигналы, которые позволят увеличить спектральную эффективность сети 5G. На сегодняшний день исследуются различные методы множественного доступа для систем 5G, которые не систематизированы, а во многих случаях дублируют друг друга, имея разные названия. Также не в полном объеме выявлены специфические особенности новых ССК, приемлемых для сетей 5G. Целью данной статьи является рассмотрение некоторых возможностей повышения СЭ системы 5G за счет использования новых ССК.*

Ключевые слова: *OFDM, Fast-OFDM, N-OFDM, неортогональные сигналы*

SIGNAL-CODE CONSTRUCTIONS FOR 5G NETWORKS

Abstract: *In this articles, the technological aspects of the evolution of 5G networks were examined, based on new types of signal-code constructions and allowing to increase the spectral efficiency in comparison with 4G networks. To date, work is underway to establish the future look of mobile 5G networks. The main objectives of 5G networks are: expanding the range of frequencies used, increasing the capacity of networks and improving the efficiency of the network infrastructure based on the use of cloud technologies. One of the main conditions for future generation 5G systems will be an increase in the spectral efficiency (SE) of the transmitted signals through the use of new signal-code constructions (SCC). Analysis of recent studies and publications shows that the reserves for improving the OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) method of modulation with the aim of increasing the SC are almost exhausted. It is necessary to identify replacement approaches that use non-orthogonal in frequency signals, which will increase the spectral efficiency of the 5G network. Today, various methods of multiple access for 5G systems are being investigated, which are not systematized, and in many cases duplicate each other but having different names. Also, not fully revealed the specific features of the new SCC, acceptable for 5G networks. The purpose of this paper is to analyze some of the possibilities for increasing the 5G SE system by using new SCCs.*

Keywords: *OFDM, Fast-OFDM, N-OFDM, non-orthogonal signals*

5G ЖҮЙЕСІНЕ АРНАЛҒАН СИГНАЛДЫ-КОДТЫҚ ҚҰРЫЛЫСТАР

Аңдатпа: *Бұл мақалада сигналдық-кодтық құрылымдардың жаңа түрлеріне негізделген және 4G желілерімен салыстырғанда, спектрлік тиімділікті арттыруға мүмкіндік беретін 5G желілерінің*

эволюциясының технологиялық аспектілері зерттелді. Бүгінгі күні 5G ұялы желілерінің болашақ келбетін орнату бойынша көптеген жұмыстар жүргізілуде. 5G желілерінің негізгі міндеттері – пайдаланылатын жиіліктер спектрін кеңейту, желілердің сыйымдылығын ұлғайту және бұлтты технологияларды қолдану негізінде құрылған желілік инфрақұрылымның тиімділігін арттыру болып табылады. 5G болашақ ұрпақ жүйесінің негізгі шарттарының бірі жаңа сигналды- кодтық құрылыстарды (СКҚ) пайдалану жолымен берілетін сигналдардың спектрлік тиімділігін (СТ) арттыру болады. Соңғы зерттеулер мен жарияланымдарды талдау OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) әдісін жақсарту үшін СТ арттыру мақсатында модуляция резервтері іс жүзінде таусылғандығын көрсетеді. 5G желісінің спектрлік тиімділігін дамытуға мүмкіндік беретін жиілігі бойынша ортогонал емес сигналдардың негізіндегі жаңа тәсілдерді анықтау қажет. Қазіргі таңда 5G жүйелері үшін қойылған мақсаттарға қол жеткізудің әртүрлі әдістері зерттеледі. Олар жүйеленбеген, ал көптеген жағдайларда әртүрлі атаулары бар және бір-бірін қайталайды. Сондай-ақ, 5G желілері үшін қолайлы жаңа СҚҚ ерекше ерекшеліктері толық көлемде анықталмаған. Осы баптың мақсаты жаңа СКҚ пайдалану есебінен 5G жүйесінің СТ-і арттырудың кейбір мүмкіндіктерін қарастыру болып табылады.

Түйінді сөздер: *OFDM, Fast-OFDM, N-OFDM, ортогонал емес сигналдар*

Эволюция систем мобильной связи от 4G к 5G требует внедрения новых технологий, повышающих скорость передачи и абонентскую емкость, а также значительно уменьшающих задержку в канале. С развитием интернета вещей IoT (англ. InternetofThings) повышаются требования к инфокоммуникационным технологиям. Трендыразвития мобильнойсвязи показывают, чтоемкость каналовувеличивается с каждым годом и возникает необходимость в увеличении пропускной способности каналов. Стандарт 5G консорциума 3GPP определяет следующие характеристики систем нового поколения [1, 2]:

· скорость передачи не менее 10 Гбит/с;

· одновременное подключение до 100 млн устройств/км2 ;

· задержка в радиоканале не более 1 мс.

Обеспечение спектральной эффективности достигается путем применения новых сигнально – кодовых конструкций (СКК) на основе неортогональных сигналов FTN (англ. Faster-Than-NyquistSignaling) и F-OFDM (англ. FastOrthogonalFrequency-DivisionMultiplexing) и неортогональных методов доступа, таких как NOMA (англ. Non-Orthogonal Multiple Access), SCMA (англ. Sparse Code Multiple Access). С их помощью спектральная эффективность систем пятого поколения может быть улучшена в 3-5 раз по сравнению с существующими системами мобильной связи четвертого поколения. Новые СКК 5G будут иметь следующие преимущества: большую емкость сети; лучшее подавление помех; меньшие задержки для M2M (Machine-to-Machine) приложений. FTN сигналы обрабатываются подобно OFDM (англ. OrthogonalFrequency-DivisionMultiplexing), но передаются на неортогональныхподнесущих. Если период базового сигнала составляет T, то у FTN сигнала период равен tt T, где 1 < . Более высокая скорость модуляции сигнала увеличивает скорость передачи на Гц полосы (бит/с/Гц). Fast-OFDM использует разнос частот в два раза меньший чем OFDM, повышая таким образом спектральную эффективность. При обработке сигналов используется тот факт, что если частоты разнесены на расстояние кратное 1 2T , то действительная часть комплексного коэффициента корреляции двух поднесущих равна нулю и сигналы на них можно считать ортогональными. Метод неортогонального множественного доступа NOMA считается одним из наиболее перспективных для применения в системах мобильной связи пятого поколения [2-4]. Данный метод предполагает обслуживание множества абонентов в одном частотном диапазоне без разделения по времени, что делает возможным одновременное подключение к сети большего количества пользователей, чем позволяет метод множественного доступа OFDMA (англ. Orthogonal Frequency-Division Multiple Access), применяемыйвсетях LTE (LTE-Advanced) и WiMAX.

По сравнению с технологиями, основанными на применении ортогонального множе-

ственного доступа, NOMA предлагает абонентам следующие преимущества:

1) Спектральная эффективность NOMA является наивысшей среди методов множественного доступа благодаря применению технологии SIC при одновременном обслуживании множества пользователей в едином частотно-временном пространстве.

2) Применение NOMA вкупе с технологией MIMO увеличивает пропускную способность сети в 25-50 раз относительно систем 4G.

3) Поскольку нет временного разделения абонентских каналов NOMA позволяет снизить задержку передачи в радиоинтерфейсе до значений менее 1 мс, т.к. пользователь не должен ждать обслуживания, а может начать передачу в любой момент времени параллельно с другими пользователями.

4) NOMA обеспечивает высокие значения показателей качества обслуживания QoS, благодаря гибкому управлению мощностью абонентских каналов в условиях влияния помех в беспроводной среде передачи данных, а также изменения расстояния, скорости движения мобильных абонентов, сложных рельефов местности и атмосферных явлений.

Filtered-OFDM служит одним из элементов базовой технологии сигналов, поддерживающих одновременно различные формы сигналов, схемы множественного доступа и структуры фреймов, основанные на сценариях приложений и требованиях обслуживания. Это может облегчить совместное существование различных сигналов с разными параметрами OFDM, как показано на рисунке 1 [3]. На этом рисунке три фильтра поддиапазонов используются для создания OFDM групп поднесущих сразными интервалами между поднесущими и длительностями OFDM-символов, а также защитным временным интервалом. При помощи многопараметровой конфигурации F-OFDM могут обеспечить более оптимальный выбор параметров для каждой группы обслуживания и, следовательно, большую общую эффективностьсистемы.

Новый дизайн интерфейса сети может эффективно улучшить спектральную эффективность, увеличить число подключений, снизить задержки. Таким образом, облегчается работа сервисов нового поколения (например, приложения виртуальной и дополненнойреальности, потоковая трансляция видеов HD-качестве), требующихвысокойпропускнойспособности технологии беспроводнойсети 5G (Рис.1).

Компанией Huawei был предложен другой метод множественного доступа, обеспечивающий высокую спектральную эффективность. Это множественный доступ на основе разреженных кодовых слов SCMA. Данный метод представляет собой комбинацию технологий OFDMA и CDMA (англ. Code-DivisionMultipleAccess) [3]. Этот неортогональный сигнал облегчает новую схему множественного доступа, в котором разреженные кодовые слова из нескольких слоев устройств перекрываются в коде и переносятся через общие частотно-временные ресурсы. В SCMA кодированные биты непосредственно накладываются на многомерные разреженные кодовые слова, выбранные SCMA(Рис. 2) из кодовых книг в зависимости от типа слоя [3].

NOMA (Non-ortogonalmultipleaccess) основан на развитии алгоритмов эффективнойкомпенсации внутрисистемных помех, дающих возможность использовать неортогональные методы множественного доступа. Возникающие при этом внутрисистемные помехи могут быть скомпенсированы за счет мультиплексирования абонентских каналов при учете различий потерь на трассе распространения каждого пользователя.

Fast-OFDM (FOFDM) базируется напринципе OFDM и отличается использованием частотногоразнесения поднесущихв 2 раза меньшего, чем вслучае OFDM. В основе метода Fast-OFDM лежит тот факт, что действительная часть коэффициента корреляции двухкомплексных поднесущих равна нулю, если разнос по частоте между поднесущими кратенцелому числу 1/2T. При этом существенно, что, несмотря на двукратное уплотнение по частоте, сигналыпо-прежнему остаются ортогональными друг другу [6].

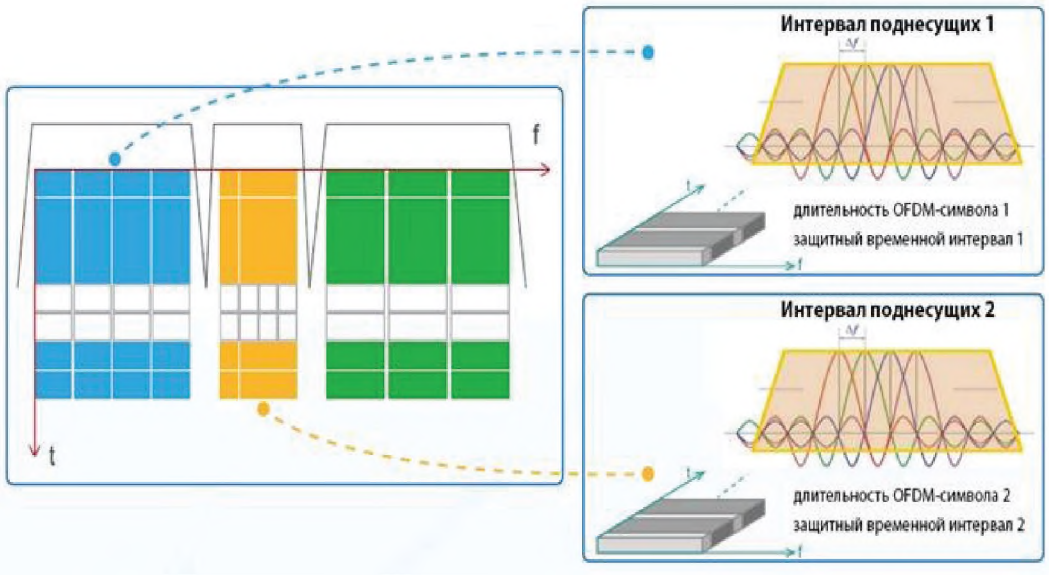

Рис. 1 – F-OFDM позволяет создавать волны с гибкими параметрами

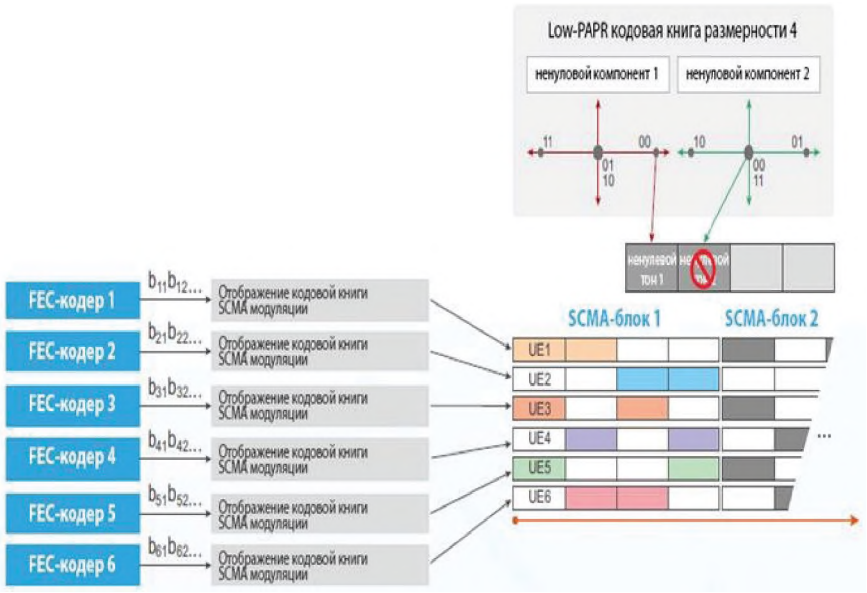

Рис. 2 – SCMA мультиплексирование и низкопроекционная кодовая книга

Специфическим свойством 5G будеткогнитивность, подразумевающая способность радиосистемырешать следующиезадачи: оценка шумовой температуры радиосреды; обнаружение неиспользуемых (свободных) в данный момент времени спектральных диапазонов (спектральных дыр); анализ параметров радиоканала; оценка канальной информации; предсказания состояния радиоканала; контроль излучаемой мощности и динамическое управление спектром.

Выводы и предложения. Повышение спектральной эффективности технологии позволит напорядок увеличить скорости передачи данных в сети. Спектральная эффективность сетей 5G засчет использования нового вида модуляции будет внесколько раз превышать достижимую в сетях 4G. В основе концепции сети 5G будет более эффективное комплексное использование нескольких методов множественного доступа, среди которых значительное место отводится неортогональным методам. Эти методы имеют потенциал для устранения недостатков, присущих ортогональным методам множественного доступа в сетях 4G, за счет разных схем выделения нескольким пользовате-

лям одного и того же ресурса (неортогональное распределение ресурса как во временном TDD (Time Division Duplex), таки в частотном FDD (Frequency Division Duplex) доменах).

В частности, SCMA относится к новой технике неортогонального множественного-доступа, который может улучшить эффективность использования спектра беспроводной сети радиодоступа. Когнитивность позволит накапли- вать сведения об окружающей среде, проводить интеллектуальный анализ информации о ее состоянии и при измене- нии радиосреды вырабатывать различные стратегии, адаптивно изменять параметры инфотелекоммуникационного оборудования, чтобы обеспечить эффективное функционирование системы мобильной связи.

Унифицированный беспроводный интерфейс позволит реализовать, например, подключения по MU-MIMO множества пользователей для достижения невозможных до этого уровней эффективности и покрытия при использовании более высоких диапазонов спектра. В перспективе система беспроводной связи 5G – повсеместно развертываемая конвергированная технология, обеспечивающая предоставление мобильных услуг и приложений со скоростью передачи данных, превышающей 1 Тбит/с. Перед многозадачной технологией 5G будет стоять задача по управлению перманентно растущим множеством разнородных сетевых устройств, связывающихся друг с другом, с человеком или роботом, что позволит удовлетворять динамические пользовательские запросы высокого уровня. Сети 5G не могут быть использованы для самостоятельной операторской деятельности, а будут комплементарны сетям 3G и 4G. Перспективы развития технологий нового поколения 5G связаны с увеличением скорости передачи за счет использования дополнительных ресурсов радиочастотного спектра. Новые решения в 5G будут совместимы с уже существующими стандартами мобильной связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.tssonline.ru/articles2/fix-op/neortogonalnoe-chastotnoe-multipleksirovanie-n-ofdm-signalov-chast-1
2. http://www.iksmedia.ru/news/5145771-Huawei-sozdaet-centr-innovacij.html
3. 5G: New Air Interface and Radio Access Virtualization // Huawei White Paper, April 2015.
4. 3GPP2 S.R0134-0 v1.0. Evolution of Ultra Mobile Broadband – System Requirements Document. 02.2009.
5. HoseinNikopour, Eric Yi, AliresaBayesteh, Kelvin Au, Mark Hawryluck, HadiBaligh, and Jianglei Ma. SCMA for Dowlink Multiple Access of Wireless Networks. {hosein.nikopour, zhihang. yi, aliresa.bayesteh, kelvin.au, mark. hawryluck, hadi.baligh, jianglei.ma}@huawei.com
6. http://rspectr.com/article/intervyu/valerii-tikhvinskii/
7. https://ru.intel.com/business/community/?automodule=blog&blogid=60299&showentry=5314