

# ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ КОДОВ В СЕТЯХ СВЯЗИ СТАНДАРТА 5G

## SUBSTANTIATION OF THE RELEVANCE OF APPLICATION OF POLAR CODES IN COMMUNICATION NETWORKS OF THE STANDARD 5G

Авторы: Горелов Антон Павлович (Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)  
Михайлова Ольга Валентиновна (Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия)  
Романов Павел Николаевич (Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Аннотация: Статья посвящена актуальности применения полярных кодов для сетей связи 5G. Проведен анализ существующих разработок. Поставлена цель работы. Предложено решение существующей проблемы.

Ключевые слова: 5G, полярный код, мягкое декодирование, перестановочное декодирование, помехозащищенность.

Annotation: the Article is devoted to the relevance of using polar codes for 5G communication networks. The analysis of existing developments is carried out. The goal of the work is set. A solution to the existing problem is proposed.

Keywords: 5G, polar code, soft decoding, permutation decoding, noise immunity.

Развитие современного информационного общества в эпоху становления цифровой экономики невозможно представить без создания высокоскоростной и эффективной инфраструктуры, которая устраняет жесткую привязку к локации конечного пользователя.

Новая редакция государственной программы «Информационное общество», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 29 марта 2019 г. № 356-24 определяет цели, задачи и меры по реализации внутренней и внешней политики Российской Федерации в сфере применения информационных и коммуникационных технологий, направленных на развитие информационного общества, формирование национальной цифровой экономики, обеспечение национальных интересов и реализацию стратегических национальных приоритетов.

В соответствии с указанным документом повышение благосостояния, качества жизни и работы граждан, улучшение доступности и качества государственных услуг, повышение степени информированности и цифровой грамотности, развитие экономического потенциала страны с использованием современных информационных, телекоммуникационных и цифровых технологий являются приоритетными направлениями развития информационного общества в Российской Федерации.

Процесс создания высокоскоростных сетей подвижной связи неразрывно связан с

необходимостью улучшения элементов сетевой структуры на всех уровнях модели OSI, а также совершенствования методов модуляции передаваемого сигнала и внедрения новых подходов к защите транслируемых данных. На данный момент нет окончательной версии стандарта 5G. Различные корпорации, такие как Huawei, Cisco, Ericsson и т.д., проводят тестовые испытания развернутых сетей подвижной связи 5-го поколения с набором конкретных технических решений. Базисными инновациями этого поколения сотовой связи будут следующие технологии: SCMA, F-OFDM, а также полярные коды. Полярные коды в качестве алгоритмов декодирования будут использовать либо последовательный декодер Арикана, либо алгоритм Тала-Варди. В данной работе предлагается использовать метод перестановочного декодирования полярных кодов на основе лексикографического подхода. Автором работы проведено сравнение предложенного алгоритма декодирования и классических схем декодирования. Предложенный алгоритм показал наилучшие результаты с точки зрения корректирующих способностей (BER) в области низких значений отношения сигнал/шум, что обеспечивают работу сети в условиях высокой помеховой обстановки, неоднородности рельефа распространения сигнала (застройка) и наличия теневых зон.

Поэтому исследования в области применения полярных кодов для сетей связи 5G являются актуальными.

Большой вклад в систематизацию вопроса внесли ниже приведенные авторы [1-10].

Чилихин Н.Ю. [1] сделал вывод, о том, что полярные коды обеспечивают эффективную технологию кодирования канала для 5G, значительно повышая спектральную эффективность по сравнению с современными сотовыми стандартами. Во-вторых, полярные коды обладают практической способностью декодирования линейной сложности, что позволяет минимизировать стоимость внедрения оборудования 5G в будущем. Очевидно, что полярные коды являются самым конкурентоспособным вариантом для кодирования канала при внедрении 5G. В рамках внедрения стандарта 5G компания Huawei разработала целый пакет новейших технологий, в том числе мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов с фильтрацией внеполосных излучений (F-OFDM), многостанционный доступ на основе разреженных кодов (SCMA), Grant Free, Short TTI и полярные коды.

Авелбекова С. Ш. [2] определила, что у кодирования сетей 5G по принципу Polar code есть ряд преимуществ. Во-первых, технология минимум в 3 раза повышает частотный спектр высокоскоростной сети по сравнению с используемыми сегодня стандартами RAN. Во - вторых, полярные коды интересны операторам с точки зрения экономического эффекта. Решение способно проводить декодирование линейной сложности, что позволяет сократить до минимума стоимость внедрения запуска сетей 5G в будущем.

Наместников С. М. [3] в ходе исследования сделал вывод, от том, что применение перестановочного декодирования ПК на основе лексикографического подхода в области низких значений отношения сигнал/шум обеспечивает высокие

корректирующие характеристики. Это расширяет возможности сетей связи стандарта 5G. Наличие уверенного радиопокрытия сети не позволяет полностью решить проблемы межсимвольной интерференции, наличия «теневых» зон, гидрометеоров и т. д. По этой причине в условиях помеховой (шумовой) обстановки использование перестановочного декодирования ПК на основе лексикографического подхода является объективным и целесообразным.

Гурлев И.В [4] определил, что системы связи поколения 5G требуют значительно больше передающих устройств, чем системы мобильной связи предыдущих поколений. Это ведет к необходимости создания плотной инфраструктуры, где станции, башни и базы планируется разместить практически повсеместно на расстоянии менее 100 метров друг от друга. Эффект такого уплотнения может быть катастрофическим для всех живых существ, находящихся в зоне их действия.

Передатчики систем 5G также обладают достаточной мощностью, чтобы создавать 3D-карты внутренней планировки жилых домов, промышленных и офисных зданий, нарушая конфиденциальность и право на тайну личной жизни граждан.

В настоящее время основными препятствиями для развития и массового внедрения связи поколения 5G в России являются острый дефицит радиочастотного ресурса, необходимость осуществления компаниями крупных капиталовложений, а также недостаточное исследование влияния сверхвысоких частот на живые организмы и окружающую среду, что, в свою очередь, требует решения административных, военных, политических, экологических, биологических, медицинских, технических и экономических проблем.

В работе Тимофеева Г.С. [5] представлен обзор метода помехоустойчивого кодирования, получившего название полярного кода. Рассмотрены методы кодирования полярными кодами и варианты их аппаратной реализации. Выделена операция прекодирования, предложен метод ее аппаратной реализации. Разработано устройство систематического кодирования полярными (32, K)-кодами, реализующее также и операцию прекодирования, проведено его моделирование. Разработанное устройство может быть масштабировано для кодирования информации полярными кодами с практически значимыми значениями длины кодового слова N.

Козловский А. В. [6] сделал вывод о том, что современное состояние помехоустойчивого кодирования демонстрирует постоянный поиск универсальных схем построения пространства разрешенных кодовых комбинаций (в т.ч. удовлетворяющих потребностям современных стандартов наземной и космической связи и задачам конечного пользователя или конечной системы), универсальных методов декодирования кодовой комбинации без привязки к конкретной структуре ее формирования, сопоставимых уровнем корректирующей способности кодовых конструкций на уровне турбокодов, низкоплотностных кодов, ортогональных кодов, многопороговых кодов и т.д., а также методов максимального использования введенной в код избыточности.

В работе Трифонова П.В. [7] представлена новая эффективная схема кодовой

модуляции, основанной на многоуровневых полярных кодах. Также был обобщен алгоритм последовательного декодирования полярных кодов на случай многоуровневых полярных кодов. Предложенный метод обеспечивает большую энергетическую эффективность, чем современные аналоги.

**Целью работы** является повышение эффективности систем обмена данными (СОД) информационно-управляющих комплексов (ИУК) на основе новых алгоритмов мягкого декодирования ПК, способствующих решению задачи увеличения помехоустойчивости и дальности передачи данных.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие задачи:

1. Анализ и выбор оптимальных схем помехоустойчивого кодирования, удовлетворяющих потребностям современных ИУК для обеспечения требуемого уровня достоверности данных, обрабатываемых в режиме реального времени.
2. Обоснование и разработка алгоритмов поэтапного неалгебраического декодирования по спискам систематических и несистематических блоковых кодов на базе вычисления признака кластера и быстрого формирования на этой основе высоковероятного перечня комбинаций кода, подлежащих дальнейшей обработке декодером.
3. Классификация и исследование методов защиты номера кластера при его передаче по каналам с помехами.
4. Оценка на основе математического моделирования потенциальных возможностей предложенных алгоритмов декодирования ПК с использованием целочисленных индексов мягких решений (ИМР) в условиях применения каналов связи с независимым потоком ошибок.

**Научная новизна** – на данный момент нет окончательной версии стандарта 5G. Различные корпорации, такие как Huawei, Cisco, Ericsson и т.д., активно представляют свое видение данного поколения подвижной связи. В связи с этим активно разворачиваются тестовые площадки с уже конкретными техническими решениями. Однако уже сейчас можно утверждать, что базисными инновациями этого поколения мобильной связи будут следующие технологии: SCMA, F-OFDM, а также полярные коды. Полярные коды в качестве алгоритмов декодирования будут использовать либо последовательный декодер Арикана, либо алгоритм Тала-Варди. В данной работе предлагается использовать метод перестановочного декодирования полярных кодов на основе лексикографического подхода.

**Практическая ценность работы** – проведена оценка эффективности алгоритма перестановочного декодирования полярных кодов на основе лексикографического подхода в сравнении с классическими схемами декодирования. Предложенный алгоритм показал наилучшие результаты с точки зрения корректирующих способностей (BER) в области низких значений отношения сигнал/шум.

Планируется разработка программного обеспечения, позволяющего отразить достоинства использования полярного кода в 5g.

**Список использованных источников**

1. Чилихин Н.Ю. Полярные коды - новый стандарт помехоустойчивого кодирования. В сборнике: II Научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2017. Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2017 материалы XVIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 118-121.
2. Авелбекова С.Ш., Жасан Д.Р., Кай-ролла М.С.Лы. Алгоритм передачи данных 5g. В сборнике: Инновационные механизмы решения проблем научного развития, сборник статей международной научно-практической конференции: в 3 частях. 2017. С. 13-15.
3. Наместников С.М., Сорокин И.А., Чилихин Н.Ю. Контроль целостности передаваемых данных в сетях связи стандарта 5g. Вестник НГИЭИ. 2017. № 12 (79). С. 7-21.
4. Гурлев И.В. Проблемы развития сетей связи и управления поколения 5g в России. Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11. № 5. С. 47.
5. Тимофеев Г.С. Аппаратная реализация кодирования информации систематическими полярными кодами. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2017. Т. 18. № 1. С. 97-104.
6. Козловский А.В., Насыров А.М. Основные тренды развития теории помехоустойчивого кодирования В сборнике: II Научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2017. Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2017 материалы XVIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 126-129.
7. Рец С.П., Трифонов П.В. Многоуровневые полярные коды. В сборнике: Информатика и кибернетика (СonСon-2016) сборник докладов студенческой научной конференции Института компьютерных наук и технологий. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. 2016. С. 158-161.
8. Zhdankin G.V. and ets. Installations for complex influence of electrophysical factors on raw materials. Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Volume 4, Number 4(436).- 2019.-P. 54-61.
9. Zaycev P.V. and ets. Development snegogenerator installations for the separation of fluff from the skins of rabbits. 2019, Journal of Environmental Treatment Techniques, Special Issue on Environment, Management and Economy, Pages: 882-889.
10. Poruchikov D.V. and ets. *Microwave technologies and devices separating fur from rabbit skin. Amazonia Investiga. - 2018. - Vol. 7. № 17. - P. 630-640.*

**List of sources used**

1. Chilikhin N. Yu. Polar codes - a new standard for noise-resistant coding. In the collection: II scientific forum of telecommunications: theory and technology TTT-2017. Problems of engineering and technologies of tele-communications Ptitt-2017 materials of the XVIII International scientific and technical conference. 2017. Pp. 118-121.
2. Avelbekova S. sh., Zhasan D. R., Kai-Rolla M. S. ly. 5g data transfer algorithm. In the collection: Innovative mechanisms for solving problems of scientific development, collection of articles of the international scientific and practical conference: in 3 parts. 2017. Pp. 13-15.

3. Namestnikov S. M., Sorokin I. A., Chilikhin N. Yu. Control of the integrity of transmitted data in 5g communication networks. Bulletin of NGIEI, 2017, no. 12 (79), Pp. 7-21.
4. Gurlev I. V. Problems of development of communication networks and 5g generation management in Russia. Bulletin of Eurasian science. 2019. Vol. 11. No. 5. P. 47.
5. Timofeev G. S. Hardware implementation of information encoding by systematic polar codes. Bulletin of the Siberian state aerospace University. academician M. F. Resene VA. 2017. Vol. 18. No. 1. Pp. 97-104.
6. Kozlovsky A.V., Nasyrov a.m. the Main trends in the development of the theory of noise-tolerant coding in the collection: II Scientific forum of telecommunications: theory and technology TTT-2017. Problems of telecommunications engineering and technology Ptitt-2017 materials of the XVIII International scientific and technical conference. 2017. Pp. 126-129.
7. REC S. P., Trifonov P. V. Multilevel polar codes. In the collection: Computer science and Cybernetics (ComCon-2016) collection of documents of the student scientific conference of the Institute of computer science and technology. Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. 2016. Pp. 158-161.
8. Zhdankin G.V. and ets. Installations for complex influence of electrophysical factors on raw materials. Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Volume 4, Number 4(436).- 2019.-P. 54-61.
9. Zaycev P.V. and ets. Development snegogenerator installations for the separation of fluff from the skins of rabbits. 2019, Journal of Environmental Treatment Techniques, Special Issue on Environment, Management and Economy, Pages: 882-889.
10. Poruchikov D.V. and ets. *Microwave technologies and devices separating fur from rabbit skin. Amazonia Investiga. - 2018. - Vol. 7. № 17. - P. 630-640.*