

Электронный научный журнал «Век качества» ISSN 2500-1841 <https://www.agequal.ru>

2026, №2 https://www.agequal.ru/pdf/2026/AGE_QUALITY_2_2026.pdf

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кузнецов А.А. Множественный доступ сегодня: обзор перспектив CDMA из прошлого и текущее положение дел // Электронный научный журнал «Век качества». 2026. №2. С. 330-347. Режим доступа: <https://www.agequal.ru/pdf/2026/226021.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.396.4

**Множественный доступ сегодня:
обзор перспектив CDMA из прошлого и текущее положение дел**

Кузнецов Артемий Александрович,
студент 3 курса по специальности
«Радиоэлектронные системы и комплексы»,
Казанский национальный исследовательский университет –
Казанский авиационный институт имени А.Н. Туполева
420111, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10
KuznetsovArtA@stud.kai.ru

Научный руководитель:
Карловский Александр Петрович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
радиоэлектронных и телекоммуникационных систем,
Казанский национальный исследовательский университет –
Казанский авиационный институт имени А.Н. Туполева
420111, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10
APKarlovskiy@kai.ru

В статье рассмотрена проблема актуальности технологии CDMA. Принимая во внимание, с одной стороны, наличие множества свежих разработок в области обеспечения множественного доступа, частично использующих логику кодового разделения, и, с другой стороны, наличие устоявшихся ещё в четвертом поколении стандартов, использующих современные альтернативы, ощутимой становится сформировавшаяся неопределённость по отношению к CDMA в этой области технического знания. Задачи этой статьи были сформулированы авторами как, во-первых, разбор устройства технологии и её операционной логики, во-вторых, проведение исторического анализа применения таких схем в системах беспроводной связи, в-третьих, рассмотрение текущего положения дел в области, анализ целесообразности применения CDMA в стандартах перспективных систем пятого и шестого поколений. Проведённое исследование подтвердило ретроспективную ценность технологии в момент её становления, однако показало, что, несмотря на некоторые частные применения, актуальными

сегодня становятся другие, принципиально новые подходы к организации множественного доступа.

Ключевые слова: множественный доступ с кодовым разделением; множественный доступ; широкополосные системы; расширенный спектр; сотовая связь.

Введение и основы

Технология CDMA (Code Division Multiple Access – множественный доступ с кодовым разделением) давно и прочно вошла в нашу жизнь, став неотъемлемой частью стандартов связи начиная со второго поколения (IS-95, затем cdma2000, 1xEV-DO и др.) [1-3]. Она обеспечивает реализацию логики сотовой связи, когда одна базовая станция в районе оперирует со множеством абонентов.

В предыдущих стандартах использовалась технология FDMA (Frequency Division Multiple Access – множественный доступ с частотным разделением), в которой в соответствии каждому абоненту ставится своя частотная полоса общего спектра канала, и, позднее, TDMA (Time Division Multiple Access – множественный доступ с временным разделением) – когда информационные пакеты каждого пользователя (не)передавались в конкретные короткие промежутки времени поочерёдно. С течением времени ресурс этих технологий по энергетической эффективности и пропускной способности был почти исчерпан [4], и новая концепция в лице CDMA оказалась элегантным и действенным решением.

В первом приближении логика работы кодового разделения такова [5, 6]: в отличие от FDMA/TDMA, здесь в общем случае используется всё доступное время и вся полоса частот. Спектр информационного сигнала расширяется с помощью модуляции определёнными последовательностями (кодами Уолша), индивидуальными для каждого абонента сети. Такие коды обладают шифрующей способностью и крайне низкой взаимной корреляцией, за счёт чего, зная каждый из них на приёмной стороне, можно идентифицировать

отправителя с достаточно низкой вероятностью ошибки. Таким образом и реализуется разделение.

Вышеупомянутое расширение спектра также является важной частью концепции CDMA, часто называемой SSMA (Spread-Spectrum Multiple Access – широкополосный множественный доступ). Оно достигается за счёт того, что спектр модулирующей последовательности выбирается много большим спектра информационного сигнала. Кроме того, результирующая ширина спектра должна определяться в большей степени кодовой последовательностью, нежели самой передаваемой информацией (чтобы итоговый спектр был от неё статистически независим). Это достигается за счёт использования угловой модуляции.

Расширение спектра имеет ряд преимуществ [1], некоторыми из которых являются:

- *эффективное определение отправителя.* Демодуляция сигнала на принимающей стороне происходит по обратному шифрованию процессу, зная при этом код интересующего нас абонента. Таким образом, в условиях, когда эфир переполнен большим количеством относительно слабых сигналов со спектром, широко распределённым по всей частотной области, сужению спектра (и, как следствие, увеличению мощности) будет подвержен лишь данный конкретный сигнал, что облегчит извлечение из него информации;

- *устойчивость перед узкополосными помехами.* Когда на широкополосный сигнал накладывается узкополосный шум и в приёмнике происходит демодуляция, сужению спектра подвержена лишь интересующая нас информация, тогда как спектр помехи будет, наоборот, расширен. Это превратит её в маломощный фоновый шум, который не будет более затруднять приём;

- *стойкость к перехвату.* Крайне актуальное в военных применениях свойство, обеспеченное двумя параметрами кодового разделения – низкой мощностью передачи (за счёт расширенного спектра) и шифрованием

расширяющей последовательностью. Извлечение информации возможно только при таких известных кодах.

Таблица

Некоторые подходы к реализации систем с кодовым разделением

Вид схемы	Механизм	Преимущества	Недостатки
CDMA прямой последовательностью (DS-CDMA)	Информационный (цифровой или аналоговый) сигнал напрямую модулируется цифровой кодовой последовательностью поэлементным суммированием по модулю 2. Результат модулирует несущую	Простота реализации. Нет необходимости в синхронизации пользователей в эфире	Необходима синхронизация демодулирующего кода с сигналом на принимающей стороне. «Эффект близости»: источники, расположенные ближе к приёмнику, излучают гораздо большую мощность, и, так как используется вся ширина спектра, регистрация сигналов от дальних источников становится затруднена. Необходим алгоритм управления средней мощностью передачи
CDMA с «прыгающей» частотой (FFH-CDMA/SFH-CDMA)	Модуляция информационного сигнала осуществляется путём периодической смены несущей частоты; паттерн смены определяется кодирующей последовательностью. При многократной смене несущей за время передачи одного бита информации говорят о быстром FH-CDMA, если же несколько битов успевают передаться на одной несущей – медленном FH-CDMA	Снижены требования к синхронизации, так как период смены несущей может быть выбран значительно большим, чем период кодирующего сигнала в DS-CDMA, ведь расширение спектра достигается за счёт большого числа несущих, а не большой модулирующей частоты. Отсутствует проблема «эффекта близости», так как передатчики в районе одной соты в большинстве случаев разнесены по спектру, отчего не интерферируют. Большая ширина спектра улучшает подавление узкополосных помех	Повышены требования к генератору несущей. Активная ширина спектра должна оставаться постоянной, из-за чего сигнал следует отключать в моменты резкой смены частоты

Вид схемы	Механизм	Преимущества	Недостатки
«Прыгающий» во времени CDMA (TH-CDMA)	Сигнал передаётся быстрыми пакетами в псевдослучайным образом выбранных интервалах внутри каждого временного фрейма; интервалы определяются кодирующей последовательностью. Спектр используется целиком, разделение происходит во временной области	Реализация проще, чем у FH-CDMA. Предпочтительное решение в случаях с передатчиками с ограниченной средней (но не пиковой) мощностью. Отсутствует проблема «эффекта близости», так как передача разнесена по времени	Высокие требования к помехоустойчивому коду из-за вероятных больших потерь при многократной передаче. Высокие требования к синхронизации
Гибридные системы	Комбинации вышеперечисленных систем: DS/FH, DS/TH, FH/TH, CDMA/TDMA и т.д.	На примере DS/FH-CDMA: хорошая защита от многолучевой интерференции, обусловленная низким периодом корреляции DS-систем, вкупе с отсутствием «эффекта близости» от FH-CDMA	Резко возрастающая сложность реализации решений

Источник: составлено автором

CDMA: взгляд из прошлого

Основной целью в рамках данной работы является сравнительный анализ перспектив (какими они виделись на заре внедрения этой технологии) систем с кодовым разделением с точки зрения дня сегодняшнего, а также обзор нюансов таких систем и их современных альтернатив.

Пол Байер в [7] (1996 г.) описывает несколько моментов, которые стоило бы принять во внимание в контексте имплементации CDMA-систем.

Во-первых, при рассмотрении фундаментальных различий разных способов разделения следует указать на персональную уязвимость CDMA перед многолучевой интерференцией (в реальных системах в приёмник приходит не только сам сигнал, но и его отражённые копии, соответственно приёмник становится частотно-избирательным). В случае FDMA/TDMA разделение происходит на физическом уровне, и наличие с запасом взятой частотной полосы или защитных временных интервалов соответственно

практически сводит на нет пагубное влияние наложений в таких системах. В CDMA же разделение реализовано на абстрактном уровне (с помощью кодов), поэтому частотная избирательность приёмников делает персональные последовательности пользователей менее разделёнными, что может привести к трудностям при определении абонента.

Во-вторых, говоря о сотовой связи, важно рассматривать воздействие на систему помех, причём создаваемых не только интерференцией сигналов различных ячеек, но сигналами внутри одной соты (intercell/intracell interference – InterI/IntraI соответственно). InterI актуальна для любой системы множественного доступа, так как ресурсы разделения, аллоцированные на один кластер (набор сот, использующих разные полосы частот (для FDMA), временные слоты (для TDMA) и коды (для CDMA), характеризующийся r – числом этих сот), одновременно используются в других кластерах ввиду этих ресурсов ограниченности. IntraI же, в свою очередь, актуальна только в CDMA-системах ввиду вышеупомянутой частотной избирательности реальных приёмников, вносящей, как следствие, проблему помех, создаваемых сигналами внутри одной соты. В этой связи при внедрении подобных систем актуален вопрос оптимального выбора r : с одной стороны, при большом r снижается InterI. С другой стороны, при большом r падает пропускная способность. Таким образом, необходим поиск компромисса с учётом нужд конкретной развёртываемой системы.

Кроме того, Байер упоминает о следующих преимуществах CDMA-решений.

Помимо вышеуказанной частотной избирательности реальных радиоканалов, существует также и их временная зависимость, так как объекты в среде распространения постоянно движутся. С учётом многолучевой интерференции это выливается в проблему быстрого затухания сигнала. Для значения отношения $\frac{B}{B_0}$ много меньше единицы, где B – ширина спектра передаваемого сигнала, B_0 – когерентная ширина спектра радиоканала, быстрое

затухание перестаёт быть частотно-зависимым, то есть становится постоянным. С большим значением этого отношения затухание, напротив, сильно зависит от частоты, таким образом, средние колебания мощности помех в приёмнике будут менее выраженными, что желательно для радиосвязи. Так, большое значение B – наша цель. Максимально доступное значение ширины спектра передачи возможно в системах с той или иной степенью имплементации CDMA-компонента.

Проблема, вызываемая IntraI, является одной из причин преимущества систем с кодовым разделением над FDMA/TDMA. В последних существует лишь InterI, и этим обусловлено малое количество создающих помехи источников. Так, среднее значение аддитивной помехи в радиоканале мало, но колебания этого значения высоки. Это выливается в несколько большую вероятность ошибки идентификации на приёмной стороне. Из-за наличия интерферирующих источников также и внутри соты среднее во времени значение шума в системах с CDMA выше, но колебания мощности помех ниже, что является более предпочтительным сценарием с точки зрения желательной вероятности ошибки определения в приёмнике.

Существует два способа реализации CDMA-решения с точки зрения приёма и обработки входящих сигналов. Мы можем делать это либо индивидуально – тогда все сигналы, кроме искомого, расцениваются как шум, при этом существует проблема IntraI, либо же одновременно: зная все персональные коды абонентов нашей соты, мы в реальном времени используем их для фильтрации искомого сигнала от остальных, очищая таким образом спектр. Тогда IntraI удаётся избежать, что повышает спектральную эффективность системы.

Однако индивидуальное обнаружение также имеет свои плюсы. Оно предоставляет гораздо большую гибкость в сравнении с FDMA/TDMA, так как сигналы в передатчике и приёмнике генерируются и обрабатываются независимо. Пары таких устройств могут функционировать без взаимной

координации, одновременно работая с разными параметрами передачи, будь то ширина полосы пропускания, скорость передачи данных, их качество и т.д.

Тони Оттоссон и др. в [8] (1999 г.) описывают несколько путей развития широкополосных CDMA-систем. Так, один из них – проработка вышеупомянутого одновременного многопользовательского детектирования для фильтрации спектра отдельных каналов. В работе описывается два подхода к реализации такой технологии: в последовательном детектировании подавление помех происходит, соответственно, последовательно для одного пользователя в каждый момент времени, в то время как в параллельном – для всех одновременно. Преимущество последнего способа – в низкой задержке, хотя он и не гарантирует стабильной эффективной работы. Существуют также и комбинации этих технологий, например, групповое последовательное детектирование. В нём последовательное подавление помех применяется к группе сигналов, за счет чего реализуется компромисс между стабильностью и быстродействием.

Другая перспективная область по Оттоссону – поиск оптимальных (или же улучшение существующих) свёрточных кодов. Так, одно из предлагаемых решений – использование свёрточных кодов, совместимых по скорости (Rate-Compatible Convolutional codes – RCC-коды). Они находят применение в беспроводных системах с непостоянной скоростью/качеством передачи данных. Разные коды в такой системе могут быть получены из одного путём «пунктуации» (удаления) выходных битов, причём нет необходимости перестраивать скорость декодера, так как все из возможных кодов успешно декодируются одним декодером Витерби. Другой способ получения низкоскоростных RCC-кодов – использование вложенного кодирования. Здесь мы начинаем с кода со скоростью $1/n$ (где n – число генерируемых битов кода на каждые k информационных битов), затем находим оптимальный генерирующий полином, что даёт нам скорость $1/(n + 1)$ и т.д. Таким образом формируется большое семейство вложенных кодов. RCC-коды применяются

для согласования скорости и схем автоматического повторного запроса с инкрементным резервированием.

В радиосвязи одним из ключевых параметров, достижение которого стараются обеспечить, является близкий к безошибочному приём данных. Один из вариантов реализации такого приёма – использование автоматического запроса повторной передачи (Automatic Repeat Request – ARQ), когда данные передаются многократно, пока не будет обеспечена приемлемо низкая вероятность ошибки. Такие типичные схемы работают с использованием битов циклического избыточного кода (CRC-биты). Они, очевидно, не несут информационной нагрузки и поэтому ощутимо снижают пропускную способность канала. Решением этой проблемы становится использование последовательного декодирования свёрточных кодов с большой длиной ограничения. Тогда CRC-биты не нужны, так как указание на ошибочные пакеты теперь реализуется через время декодирования, напрямую связанное с качеством канала.

Ранние стандарты CDMA-систем испытывали некоторые сложности, связанные с пропускной способностью нисходящего канала. Теодор Раппопорт и др. в [2] (2002 г.) отмечал, что малое количество сигналов с неодинаковой мощностью в таком канале зачастую не даёт возможность принимать все сигналы, кроме интересующего, за гауссовский белый шум, что вкупе с неидеальным разделением каналов в реальных системах и вероятных огрехах хэндоффов (передачи ведения мобильного абонента другой базовой станции) значительно снижает пропускную способность. Понимание того, что с течением времени и развитием интернета сети будут становиться всё ассиметричнее и требовательнее к этой самой способности, присутствовало и в 2002 г. Всё это было актуальным вызовом CDMA-системам того времени.

Попытки решить проблему были уже тогда [2, 9]. В появившейся новой версии cdma2000, cdma2000 1xEV-DO была улучшена система передачи данных: для них выделялся свой канал с отдельной несущей, таким образом,

передача данных и голоса были разделены. Это позволило увеличить пропускную способность и, соответственно, скорость передачи. Очевидно, что недостатком новой системы являлась необходимость выделения отдельной несущей под голосовой канал. Так 1xEV-DO эволюционировал в cdma2000 1xEV-DV, где проблема была устранена; новый стандарт, впрочем, как известно из дня сегодняшнего, развития не получил, так как был ощутимо сложнее в имплементации.

Другим ключевым вызовом для CDMA-систем стало функционирование таких сетей внутри зданий. Как известно, защита от многолучевой интерференции крайне важна в системах связи. Проблема заключается в том, что временные задержки между копиями сигнала в приёмнике при такой интерференции крайне малы, если волна распространяется внутри здания. В таком случае преимущества расширенного спектра теряются, и сигнал начинает затухать так же, как и обычной узкополосный; кроме этого, возникает проблема правильной идентификации.

Решением проблемы (по Раппопорт) может быть либо использование такого энергетического баланса линии, при котором затухание на 10 дБ и более не является критичным, либо использование распределённых антенн с добавочными «фантомными» задержками, позволяющими уравнивать внутренние условия распространения с внешними.

Все вышеперечисленные проблемы и нюансы CDMA-систем отражают взгляд на предмет дискуссии из прошлого. Теперь перейдём к обзору того, что в этой области удалось реализовать в рамках мобильных систем, старшего второго поколения, а также концепций, пришедших на замену CDMA.

Текущая обстановка систем CDMA

Развитие мобильных коммуникационных систем привело к становлению стандартов третьего поколения (ранние 2000-е гг.) [3]. Возросшая потребность

в пропускной способности каналов, скорости передачи данных и спектральной эффективности, обусловленная высоким спросом абонентов на мобильный веб-сёрфинг и мультимедиа-переписку, предъявляла новые требования к системам множественного доступа. Обычное кодовое разделение стандарта IS-95 уступило место своей модернизации – WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access – широкополосный множественный доступ с кодовым разделением). Новая технология характеризовалась ещё большей аллокацией спектра на канал (5 МГц), большей скоростью передачи (до 2 Мбит/с), а также была совместима с GSM, что допускало её использование операторами, работающими на GSM. Другой версией кодового разделения в системах 3G был упомянутый ранее cdma2000 со своими модернизациями в виде 1xEV-DO и 1xEV-DV [10].

Однако со стандартами четвёртого поколения (4G) CDMA стал несовместим. В 4G на смену ему пришли новые технологии в лице OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов), использовавшейся в нисходящем канале, и SC-FDMA (Single Carrier FDMA – FDMA с одной несущей), созданной для восходящего канала. Такое разделение обусловлено тем, что в SC-FDMA требования к усилителю в передатчике ниже (т.к. отношение пиковой мощности к средней мало), что актуально для мобильных станций.

OFDMA основывает свою работу на динамическом выделении пользователям ортогональных поднесущих, разбивающих спектр на части. За счёт этого обеспечивается хорошее разделение абонентов, защита от интерференции и эффективное использование частотного ресурса. SC-FDMA по своей логике близка к OFDMA, однако здесь реализовано гибкое использование одной поднесущей для последовательной передачи всех символов QPSK-модуляции.

Несмотря на то, что в 4G в общем случае кодовое разделение не используется, на сегодняшний день ему существует множество частных применений. М.Р.Х. Хан и др. в [11] приводят пример использования одной из модернизаций кодового разделения – CDMA с множеством поднесущих (Multi-Carrier Code Division Multiple Access – MC-CDMA). В MC-CDMA передача разделённых кодами групп каналов происходит одновременно на всех поднесущих. Таким образом система улучшает свои характеристики для борьбы с многолучевой интерференцией и частотной избирательностью. В работе исследовано применение такой схемы в нисходящем канале устройств интернета вещей и когнитивного радио. Было показано, что соотношение сигнал-помеха (SINR) находится под сильным влиянием таких параметров, как SINR на бит, число каналов затухания и число поднесущих. Результаты работы представляют интерес с точки зрения создания протокола физического уровня для высокоскоростных систем когнитивного радио пятого поколения.

Кроме того, существуют реализации комбинации MC-CDMA и FBMC (Filter Bank Multicarrier – OFDM с гребенчатыми фильтрами поднесущих), релевантные в контексте MIMO (multiple-input multiple-output – множественные вход и выход) систем пятого поколения (5G) [12]. Ключевая идея такого подхода – дополнительное расширение спектра сигнала на каждой поднесущей за счёт псевдослучайной последовательности по аналогии с CDMA. Такой подход помогает снизить уровень межсимвольных помех, за счёт чего достигается устойчивое понижение частоты ошибки на бит (BER).

Несмотря на множество многообещающих схем [11-16], в стандартах 5G множественный доступ наконец был реализован с использованием принципиально новых подходов. Все перечисленные выше системы являются, по сути, ортогональными схемами множественного доступа (OMA). Это означает, что ресурс, с помощью которого разделение реализовано, чётко разделён между пользователями и в предпочтительном случае не пересекается для разных абонентов. В 5G впервые реализованы схемы NOMA (Non-

Orthogonal Multiple Access – неортогональный множественный доступ) [11, 17]. Разделительный ресурс в различных реализациях такого подхода может одновременно использоваться разными пользователями, разделение же достигается программным путём, либо за счет использования разной мощности передачи. Примерами таких схем могут быть мощностный NOMA (Power Domain NOMA – PD-NOMA), LDS-CDMA/OFDM, множественный доступ с разреженными кодами (Sparse Code Multiple Access – SCMA) и др. [18].

PD-NOMA обладает высокой спектральной эффективностью, так как передача здесь осуществляется в одном временном и частотном ресурсе одновременно с разделением по уровням мощности. Эта технология широко используется в таких приложениях mMTC, как промышленный интернет вещей (IIoT) и «иерархический массовый доступ» (ИМД) [19]. ИМД – обеспечение множественного доступа с разделением в мощностной области таким образом, чтобы группы пользователей с разными требованиями и ограничениями относительно мощности были сгруппированы. Это позволяет более эффективно применять механизмы PD-NOMA и в то же время является ограничением схемы.

SCMA основывает свою работу на передаче на ортогональных поднесущих, сформированных обратным быстрым преобразованием Фурье. Распределение пользователей по поднесущим осуществляется в соответствии с разреженными матрицами. Такая схема имеет ряд преимуществ с точки зрения адаптивности к характеристикам канала, обеспечения низкого BER за счёт организации кодовых книг, а также высокой стойкости к помехам по сравнению с OFDMA [20].

Выше перечислены актуальные сегодня предложения организации множественного доступа. Эти схемы по таким параметрам, как энергетическая и спектральная эффективность, превосходят системы CDMA несмотря на то, что остаются неисследованными до конца.

Заключение

Система множественного доступа с кодовым разделением оказалась эффективным методом решения проблемы повышающихся требований к нагрузке сетей и обеспечиваемой ими скорости на заре XXI в. Анализ истории применения таких систем, проведённый в рамках данной работы, позволил продемонстрировать основные технические преимущества технологии над предшественниками и описать её использование в стандартах связи третьего поколения.

В то же время, показано, что, несмотря на наличие множества изящных решений и модернизаций, технология CDMA по большей части исчерпала свой ресурс. Системы, начиная с четвертого поколения, ввидукратно повышающихся требований к пропускной способности и количеству обслуживаемых пользователей отказались от чистого кодового разделения в пользу более эффективных подходов. Предметом дальнейшего исследования могут быть новейшие и перспективные схемы множественного доступа в стандартах связи пятого и шестого поколений [21-23].

Список литературы

1. Prasad R., Ojanpera T. An overview of CDMA evolution toward wideband CDMA // IEEE Communications Surveys. – 1998. – Vol. 1, № 1. – P. 2-29.
2. Rappaport T.S., Annamalai A., Buehrer R.M., Tranter W.H. Wireless communications: Past events and a future perspective // IEEE Communications Magazine. – 2002. – № 40. – P. 148-161.
3. Algburi M., Al-Jaff S., Muhi A., Rzooki M. The Evolution of Mobile Communications: A Review about 5G Technologies and Future Directions // Journal of Communications. – 2025. – № 20. – P. 199-213.
4. Wallace S., Cruickshank D.G.M., Urwin J. An independent investigation into the commercial opportunities afforded by CDMA // Proceedings of ISSSTA'95

-
- International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications. – 1996. – Vol. 3. – P. 1053-1057.
5. Ipatov V.P. Spread spectrum and CDMA: Principles and applications – John Wiley & Sons, Ltd, 2005. – 408 p.
 6. Mosa Ali Abu-Rgheff. Introduction to CDMA Wireless Communications. – Academic Press, Inc., 2007. – 632 p.
 7. Baier P.W. A critical review of CDMA // Proceedings of Vehicular Technology Conference. –1996. –Vol.1. – P. 6-10.
 8. Falahati S., Frenger P., Johansson A., Orten P., Ottosson T., Svensson A. Future improvements to wideband CDMA // Proceedings Radiovetenskap och Kommunikation. – 1999. – P. 470-475.
 9. Han Y., Bahk H.G. CDMA technology: present status and future prospects // Proceedings of 1997 Asia-Pacific Microwave Conference. – 1997. – Vol. 1. – P. 165-168.
 10. Islam A.H.M. Razibul. Evolution of CDMA One and Development of CDMA 2000 Convergence and Harmonization // Asian Journal of Information Technology. – 2005. – Vol. 4, № 10. – P. 935-939.
 11. Khan M.R.H., Hoque M.A., Saifur Rahman M. Internet of Things (IoT) for MC-CDMA-Based Cognitive Radio Network (CRN) in 5G: Performance Results // Journal of Information & Knowledge Management. – 2021. – Vol. 20, № 1. – P. 2-14.
 12. Ghorab L.E., Badran E.F., Zaki A.I., Badawi W.K. Multicarrier technique for 5G massive MIMO system based on CDMA and CMFB // Optical and Quantum Electronics. – 2022. – Vol. 55, 25.
 13. Clerckx B. Multiple Access Techniques for Intelligent and Multifunctional 6G: Tutorial, Survey, and Outlook // Proceedings of the IEEE. – 2024. – Vol. 112, № 7. – P. 832-879.

14. Wang Z., Fan S., Rui Y. CDMA-FMT: A novel multiple access scheme for 5G wireless communications // 19th International Conference on Digital Signal Processing. – 2014. – P. 898-902.
15. Vijay A. Enhanced Spectrum and Energy Efficiency in 5G Networks Using MIMO MC-CDMA with SIC and Deep Learning-Based Resource Optimization // Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2025. – Vol. 20. – P. 5583–5590.
16. Dinesh Kumar T., Venkatesan P. Performance estimation of multicarrier CDMA using adaptive brain storm optimization for 5G communication system in frequency selective fading channel // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. – 2020. – Vol. 31, № 4. – P. 1-20.
17. Khairat A., Ali I. A. Performance Analysis of OMA and NOMA Access Techniques // 2022 39th National Radio Science Conference. 2022. – P. 131-140.
18. Cai Y., Qin Z., Cui F., Li G. Y. McCann J. A. Modulation and Multiple Access for 5G Networks // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2018. – Vol. 20, № 1. – P. 629-646.
19. Gui G., Sari H. A Pragmatic Look at Power-Domain NOMA // TechRxiv. – URL:
https://www.researchgate.net/publication/380194553_A_Pragmatic_Look_at_Power-Domain_NOMA.
20. Покаместов, Д.А. Влияние формирующих матриц на помехозащищенность каналов связи с множественным доступом на основе разреженных кодов [Текст] / Д.А. Покаместов, А.Ю. Демидов, Ю.В. Крюков // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. –2016. – Т. 19, № 3. – С. 65-69.
21. Odida M.O. The Evolution of Mobile Communication: A Comprehensive Survey on 5G Technology // Journal of Sensor Networks and Data Communications. – 2024. – Vol. 4, № 1. – P. 1-11.

22. Liu Y. et al. Evolution of NOMA Toward Next Generation Multiple Access (NGMA) for 6G // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2022. – Vol. 40, № 4. – P. 1037-1071.
23. Liu Y. et al. Application of NOMA in 6G Networks: Future Vision and Research Opportunities for Next Generation Multiple Access // IEEE Wireless Communications. – 2021. – Vol. 29, № 6. – P. 120-127.

Multiple Access Today: Review of the Prospects of CDMA from the Past and a Modern State of Affairs

Kuznetsov Artemy Alexandrovich,
3rd grade student of the specialty
"Radio electronic systems and complexes»,
Kazan national research technical university –
Kazan aviaional institute named after A.N. Tupolev
420111, Russia, Tatarstan Republic, Kazan, Karl Marx St., 10
KuznetsovArtA@stud.kai.ru

Supervisor:
Karlovsky Alexander Petrovich,
PhD in technical science, Associate Professor of the
Department of Radio electronic and Telecommunication Systems
Kazan national research technical university –
Kazan aviaional institute named after A.N. Tupolev
420111, Russia, Tatarstan Republic, Kazan, Karl Marx St., 10
APKarlovskiy@kai.ru

In this article, CDMA technology relevance is surveyed. Considering plenty of modern designs of multiple access schemes with the partial use of code division on the one hand and the existence of contemporary alternatives established back in fourth-generation standards on the other, there is some kind of uncertainty that has formed against CDMA in that field of technical knowledge. The goals of this article were established as, firstly, examination of the technology itself and its operational logic; secondly, conducting a historical analysis of the usage of such schemes in wireless communication networks; and thirdly, consideration of the current state of affairs in the field as well as analysis of the expediency of CDMA usage in the promising systems of fifth or sixth generation standards. The retrospective value of the technology was demonstrated by the conducted survey, whereas it has also been shown that, despite some special-case applications, principally new approaches to providing multiple access are becoming more relevant nowadays.

Key words: code division multiple access; multiple access; wideband systems; spread spectrum; cell communications.