

информации в возможно более узкой полосе частот. Однако с ростом числа пользователей число каналов, выделенных для связи, должно возрастать. Кроме проблемы увеличения числа пользователей, фундаментальной проблемой для мобильной радиосвязи в городских условиях является ухудшение связи из-за быстрого фединга и многолучевого распространения. Движение абонента в среде с препятствиями, к которым относятся здания, туннели, движущийся транспорт создают постоянные и быстрые флуктуации величины сигнала (фединг), которые не всегда могут быть компенсированы избыточной мощностью передатчика или очень высокой чувствительностью приемника. В результате значительно ухудшается или даже нарушается радиосвязь. Многолучевое распространение, обусловленное множеством препятствий в виде зданий и складок местности между абонентами, приводит к тому, что приемник получает сразу несколько копий передаваемого сигнала, задержанных на различные промежутки времени. Это также приводит к флуктуациям величины принимаемого сигнала, которые проявляются в виде ясно слышимого эхо-сигнала. В случае получения двух равноценных копий сигнала может произойти срыв синхронизации и полная потеря связи. Эти и ряд других проблем стимулировали поиск принципиально иных решений организации радиоканала. Одним из методов, позволяющих кардинально увеличить число пользователей в ограниченном частотном спектре и значительно улучшить качество приема в условиях фединга и многолучевого распространения, является использование сигналов с расширенным спектром.

В результате был разработан макет лабораторной работы, в котором удалось рассмотреть моделирование ряда основополагающих процессов передачи информации по прямому и обратному каналам связи. Бинарные данные передаются по каналу с аддитивным белым гауссовским шумом с полосой  $B$  при заданном уровне отношения сигнал/шум. Для обеспечения надежной связи используется канальное кодирование.

Концепция расширения спектра базируется на теореме Шеннона. Если данные передаются на скорости  $R_b$  с полосой много больше, чем  $R_b$ , теорема Шеннона указывает, что надежная связь может быть достигнута при меньшем значении сигнал/шум. Однако, если передаваемая мощность поддерживается фиксированной, даже при существенном уменьшении ее плотности, создается излишек в отношении сигнал/шум и его можно использовать, чтобы противодействовать интерференции и джаммингу. Этот излишек называется усилением процесса. При модуляции сигнала с расширенным спектром создается сигнал со спектром, значительно превышающем ширину спектра исходного сигнала. Существует много методов формирования сигнала с расширенным спектром. В данной работе рассмотрена технология расширения спектра, называемая методом прямой последовательности (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS).

В лабораторном макете генерируются как сигнал, подлежащий передаче по каналу с регулируемым уровнем шума, так и расширяющие спектр последовательности, которые используются также в приемнике при выполнении демодуляции принятого сигнала. Студент также может задавать собственные расширяющие последовательности, обладающие соответствующими корреляционными свойствами. Макет лабораторной работы позволяет приблизительно оценить емкость радиоканалов как в прямом, так и в обратном направлениях системы, работающей с расширением спектра. Система может реализовать полный контроль мощности, что означает, что переданная мощность сигналов всех мобильных пользователей контролируется так, что приемник базовой станции принимает мощность сигналов всех мобильных станций на одном и том же уровне. Основные параметры смоделированной системы соответствуют реальным значениям используемых в работе величин.

## **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ СИСТЕМЫ С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРОМ Першин В.Т. (Республика Беларусь, Минск, БГУИР)**

В докладе рассмотрены итоги большой работы по созданию практикума по современным информационным радиотехнологиям, использующим сигналы с расширенным

спектром, а также временное, частотное и кодовое разделение при множественном доступе (Code Division Multiple Access, CDMA). Основное применение этих радиотехнологий – беспроводная радиосвязь, включая мобильную. Рассмотрение систем связи CDMA с прямой последовательностью, частотным перескоком и модуляцией положением импульса, составляет содержание первого цикла отобранных вопросов из постоянно возрастающего количества сведений прямо или косвенно относящихся к изучаемым радиотехнологиям с расширением спектра, как основным радиотехнологиям XXI века.

В процессе освоения информационной радиотехнологии систем с расширенным спектром для студентов разработано большое количество примеров (их более 100), значительная часть которых снабжена подробными решениями, а остальные (к некоторым даны указания) предназначены для самостоятельного выполнения.

Выбор ключевой последовательности не тривиален. Чтобы гарантировать эффективное расширение спектра ключевая последовательность должна удовлетворять определенным требованиям, таким, как длина, свойства автокорреляционной функции и функции взаимной корреляции, ортогональности и сбалансированности битов. Наиболее популярные последовательности имеют имена: Баркера,  $m$ -последовательности, Голда, Адамар-Уолша и т.д. Более сложные ключевые последовательности обеспечивают более надежное и эффективное выполнение расширения спектра сигнала, но требуют более сложной аппаратной реализации. Изучение систем с расширенным спектром начинается с расширяющей прямой последовательности. Длина выбранной последовательности случайных расширяющих кодов  $c(t)$  используется, чтобы расширить полосу частот модулирующего сигнала  $m(t)$ . Каждый бит расширяющего кода называется *чипом*. Длительность чипа  $T_c$  значительно меньше длительности информационного бита  $T$ . Используется бинарная фазовая манипуляция (BPSK), с помощью которой модулируется несущая этим сигналом с расширенным спектром.

Общеизвестная CDMA система с перескоками частоты представляет собой цифровую систему множественного доступа, в которой индивидуальные пользователи выбирают одну из  $Q$  частот внутри широкополосного канала в качестве несущей частоты. Псевдослучайные изменения несущей частоты рандомизируют временное владение определенной полосой частот в данный момент времени, обеспечивая множественный доступ в широкой области частот. В обычных CDMA системах общая полоса частот  $W$  с перескоками делится на  $Q$  узких полос, каждая из которых имеет полосу частот  $B=W/Q$ . Каждая из  $Q$  полос частот определяется как спектральная область с центральной частотой, называемой несущей частотой.

Другая технология – это импульсное радио, множественный доступ, модулированный изменением положения импульсов (Pulse Position Hopping, PPH). Технология радиоимпульсного излучения также называется ультраширокополосной модуляцией (Ultra Wide Modulation, UWM). Импульсная радиосвязь с импульсами очень короткой длительности, типично составляющих единицы наносекунд, поэтому расширяют энергию сигнала на очень широкую полосу частот, простирающуюся до нескольких ГГц. Все импульсы имеют одну и ту же длительность и амплитуду. Параметр, который изменяется под воздействием управляющего сигнала – задержка между импульсами. Эта технология применима при распространении информации на небольшие расстояния и внутри помещений. Для передачи цифровых данных, длительность между импульсами представляется цифрами 0 и 1, причем меньшая длительность соответствует логическому нулю, а большая длительность – логической единице. Эти длительности не являются стандартными и изменяются в разных системах. Например, в инфракрасной телевизионной системе управления, разработанной фирмой Sony, задержка в 1,2 мс соответствует логическому нулю, а задержка в 1,8 мс – логической единице.