УДК 621.396.2

Васильев Олег Александрович,
кандидат технических наук
Грязнов Константин Васильевич,
Моисеев Сергей Александрович
ООО НПФ «Радиосервис», г.Москва
E-mail: myradioservice@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ БЛОКИРОВАНИЕ СОТОВОЙ СВЯЗИ И БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ 3G И 4G

Интеллектуальное блокирование сотовой связи и беспроводного доступа имеет целью обеспечение информационной безопасности на закрытых объектах, при проведении конфиденциальных совещаний и т.п. Темпы развития технологий связи и доступа настолько высоки, что вновь разработанные системы блокирования устаревают, не успев отслужить эксплуатационного срока. В статье дан обзор систем сотовой связи и беспроводного доступа третьего и четвёртого поколений. Рассмотрены основные принципы радиопротиводействия системам с повышенной помехозащищенностью. Приведены расчеты для систем блокирования сотовой связи 3G: WCDMA(UMTS).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
блокирование сигналов, сотовая связь, беспроводной доступ, помехоустойчивость, антиинтерференционный порог

Тенденции развития современных систем сотовой связи и беспроводных сетей 3G и 4G

В настоящее время наиболее распространены сотовые системы 2-го (2G) и 3-го (3G) поколений, использующие временное TDMA, частотное FDMA и кодовое CDMA разделение доступа, в частности, это стандарты второго поколения GSM и IS-95, а также ряд стандартов третьего поколения (CDMA2000, WCDMA). Системы подвижной связи третьего поколения (3G) называются UMTS (универсальная система подвижной связи), являются системами, совместимыми с сотовыми сетями второго поколения (2G), и работают совместно с действующей сетью GSM. Поскольку UMTS нацелена на предоставление мультимедийных услуг, в ней активно используются IP-протоколы, а также всевозможные цифровые технологии, нашедшие применение в Интернете. С точки зрения исключения доступа из закрываемой зоны по радиоканалу нас интересует физический уровень, на котором общаются базовая станция и абонент мобильной сети, поэтому в дальнейшем речь будем вести лишь о радиоинтерфейсе стандарта WCDMA (широкополосный доступ с кодовым разделением каналов).

В данной схеме доступа все передатчики передают сигналы на одной и той же частоте, в одно и то же время, но с разными кодами, используя шумоподобные сигналы (ШПС). При передаче посредством ШПС спектр исходного сообщения расширяется во много раз, поэтому данный метод ещё называют методом расширения спектра сигнала посредством прямой последовательности (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum). Одним из преимуществ данного уплотнения является повышенная защищённость и скрытность передачи данных: без знания кода невозможно получить сигнал, а в ряде случаев – и обнаружить его присутствие.

В последнее время ещё более бурное развитие наблюдается и в сфере беспроводных се-

Таблица 1. Стандарты цифровой сотовой телефонии третьего поколения

	cdma2000				W-CDMA		
Параметр	1X	1XEV-DO	1XEV-DV	3X	UMTS	FOMA	J-phone
Полоса пропускания канала, МГц	1,25	1,25	1,25	3,75	5	5	5
Скорость передачи чипов, МЧип/с	1,2288	1,2288	1,2288	3,6864	3,84	3,84	3,84
Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с	0,144	2,4	4,8	5-8	2,4*	2,4*	2,4*
Модуляция	QPSK/MPSK (DL), BPSK/QPSK (UL)				QPSK (DL), BPSK (UL)		
Кодирование	Сверточные коды (низкая скорость) Турбокоды (высокая скорость)						
Контроль мощности, Гц	800	800	800	800	1500	1500	1500
* 8-10 Мбиь/с при использовании HSDA							

тей для фиксированного и мобильного беспроводного доступа. Следует иметь в виду, что в России реальная эксплуатация сетей 3G началась не так давно, в то время как опережающими темпами развиваются конкурирующие мобильные технологии, основанные на беспроводном доступе. Это прежде всего VoIP через точки доступа WiFi и технология LTE, вытеснившая с рынка WiMAX. Организация по стандартизации IEEE утвердила стандарт LTE для мобильных устройств ещё несколько лет назад. LTE является многообещающей технологией беспроводной связи следующего поколения, так как она имеет высокую пропускную способность и большую область покрытия (Л5). Пиковая скорость, обеспечиваемая этой технологией, достигает 50 Мбит/с (uplink) и 100 Мбит/с (downlink). Считается, что технология сможет в будущем вытеснить городские сети WiFi. Пропускная способность сотовой сети по-прежнему сильно ограничена. Сегодняшние сети 3G, включая технологии CDMA2000 (Скайлинк в России) и W-CDMA, позволяют реально достичь скорости передачи данных лишь порядка 3,4 – 4,8 Мбит/с.

Очевидна тенденция сращивания двух направлений беспроводной передачи данных, включающих с одной стороны сотовую связь и беспроводные сети с другой. Основные данные (Л1) по действующим стандартам цифровой сотовой телефонии третьего поколения 3G и стандартам канального уровня для беспроводных локальных сетей семейства 802.11 представлены в табл. 1 и табл. 2 соответственно.

Надо отметить, что беспроводной доступ также использует шумоподобные сигналы. Так, например, помимо метода расширения спектра сигнала посредством прямой последовательности (DSSS) в сетях WiFi широко используется метод уплотнения, основанный на механизме мультиплексирования посредством ортогональных несущих (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Его суть: весь доступный частотный диапазон разбивается на достаточно много поднесущих. Одному каналу связи (приёмнику и передатчику) назначают для передачи несколько таких несущих, выбранных из всего множества по некоторому закону. Передача ведётся одновременно по всем поднесущим.

Основной задачей сотовой связи является обслуживание максимального числа клиентов с предоставлением им множественного доступа в сеть в ограниченном участке диапазона частот. Если системы 1-го и 2-го поколений использовали множественный доступ, главным образом, с частотным и временным разделением каналов, например, самый распространённый стандарт GSM, то системы 3-го и 4-го поколений (3G и 4G) используют уже преимущественно кодовое разделение каналов – CDMA и технологию OFDM. Сигналы в стандарте GSM являются узкополосными (дF = 200 КГц) и имеют назначенный частотный канал и заданный слот длительностью 577 мксек. (временное положение). Сигналы же систем с кодовым разделением являются широкополосными, например, в стандарте CDMA2000 полоса пропускания канала 1,25 МГц, а в стандарте W-CDMA – 5 МГц.

Системы 3G и 4G широко используют пакетную передачу данных, например, вариант стандарта W-CDMA, получивший название высокоскоростного доступа к пакетным данным – HSDPA(High Speed Data Packet Access). Надо отметить, что в зависимости от занятости канала, или для защиты от действующих помех, в том числе преднамеренных, система может менять длительность пакетов и скорость передачи данных абоненту. Это приводит к тому, что блокирование таких сигналов должно осуществляться непрерывно! Наличие

Таблица 2. Стандарты канального уровня для беспроводных локальных сетей семейства 802.11

Параметр	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Полоса пропускания, МГц	83,5	300	83,5	83,5
Частотный диапазон, ГГц	2,4-2,4835	5,15-5,25 (нижний) 5,25-5,35 (средний) 5,725-5,825 (верхний)	2,4-2,4835	2,4-2,4835
Число каналов	3	12 (по 4 в каждом поддиапазоне)	3	3
Модуляция	BPSK, QPSK, DSS, FHSS	BPSK, QPSK, MQAM, OFDM	BPSK, QPSK, DSS	BPSK, QPSK, MQAM, OFDM
Кодирование	Не определено	Свёрточное (коэффициенты ½, ⅔, ¾)	Баркера, ССК	Свёрточное (коэффициенты ½, ⅔, ¾)
Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с	2	54	11	54
Дальность передачи, м	Не определена	27-30 (нижний диапазон)	75-100	300
Произвольный доступ	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA

временных интервалов без блокирования приводит к «просачиванию» передаваемой информации короткими пакетами.

Оптимизация систем блокирования сотовой связи 3G

Известно, что обнаружение ШПС сигналов является очень непростой задачей. Если базовая станция находится недалеко от зоны блокирования (10 - 50 м), сигнал абонентского передатчика может лежать ниже уровня шумов приёмника-обнаружителя. В этом случае говорить об интеллектуальности не приходится, если не используются специализированные приёмные устройства, например, с виртуальной базой. В стандартной ситуации, однако, обнаружение абонентского сигнала вполне возможно. Это замечание относится главным образом к стандарту W-CDMA(UMTS).

Уделим основное внимание непосредственно задаче блокирования, являющейся разделом радиоэлектронной борьбы (РЭБ), рассмотрению которой посвящено множество опубликованных работ. Имеет смысл опираться на хорошо освещённые проблемы помехоустойчивости цифровых линий передачи информации, в том числе помехоустойчивости различных видов модуляции и кодирования.

Обратим внимание на противоречие между пропускной способностью системы и её помехоустойчивостью. Известно, что для увеличения пропускной способности надо увеличивать энергию сигнала, либо расширять полосу частот. В то же время для повышения помехоустойчивости необходимо делать то же самое, но пропускную способность не увеличивать, то есть вводить в систему избыточность. Все современные методы многопозиционной модуляции с высокой информационной ёмкостью на одну позицию, такие как QPSK, QAM-16,32,64,128 имеют слабую помехозащищённость. Так, QAM-16 при отношении сигнал/интерференционная помеха ниже SIR = 10 dB становится полностью неработоспособной [2].

Рассмотрим кратко вопрос оптимизации формы и спектра сигнала блокирования с целью минимизации его мощности, достаточной для подавления сигнала базовой станции сотовой связи стандарта WCDMA (3G). Воспользуемся методологией и результатами синтеза оптимальных помех для систем радиосвязи, приведёнными в [3], и полученными оценками эффективности преднамеренных и станционных помех на основе метода индикаторов событий [4]. Система связи предполагается бинарной (любой вид манипуляции, например, фазовой), и рассматриваются только вероятности искажений n-значных безызбыточных кодовых комбинаций (БКК) и их элементов. Из решения следует, что оптимальная помеха приёмникам АМ и ФМ простых и сложных сигналов, синтезированная без учёта информации об их начальных фазах, представляет собой ФМ колебание со случайной начальной фазой β_k и амплитудой $U_П$, несущая частоты ω_c и длительность посылок T этого колебания совпадают с соответствующими параметрами ω_c и T сигнала, а тактовые моменты манипуляции помехи и сигнала на входе приёмника совпадают по времени:

$$n(t) = U_П b(t)\cos(\omega_c t - \beta_k), (k-1)T \le t \le kT, \quad (1)$$

где $b(t)$ – закон расширения спектра сигнала; для простых сигналов $b(t) = 1$.

Предположим теперь, что сигнал сложный и метод расширения спектра – DSSS. Понятно,

что, зная закон формирования последовательности, можно синтезировать оптимальную помеху. Однако для этого надо знать код, присваиваемый данному абоненту сети, то есть требуется не просто приёмник с восстановлением несущей и модулятором, но в придачу и виртуальная база. Поэтому ограничимся рассмотрением помехоустойчивости систем с ШПС. Этот вопрос достаточно хорошо изложен в статье [2]. Антиинтерференционный порог, то есть соотношение сигнал/помеха, при котором система передачи информации с ШПС (DSSS) становится неработоспособной, примерно равен базе сигналов (выигрышу при обработке), что значительно превышает антиинтерференционный порог узкополосных сигналов (на 20 dB и более). При широкополосной помехе требуется значительное превышение её мощности над мощностью сигнала. Система с ШПС не теряет работоспособности при превышении мощности помехи над мощностью сигнала в базу раз. Связь с использованием ШПС является хорошо известной технологией, десятилетиями применяющейся в военных системах. Сотовая связь в стандартах 3G с кодовым разделением каналов базируется на известном свойстве систем с ШПС эффективно использовать спектр частот при его сильной загруженности и в условиях замирания сигналов из-за многолучёвости.

Пользуясь методологией, приведённой в [2], рассмотрим вопрос о мощности сигнала блокирования, необходимой для достижения антиинтерференционного порога в системе стандарта WCDMA(UMTS). Пусть сигнал блокирования представляет собой некий сигнал, частота которого не обязательно совпадает с частотой несущей полезного сигнала, но находится внутри полосы частот приёмника. На выходе согласованного приёмника интерференционная помеха подавляется в базу раз, то есть среднеквадратичное значение мощности помехи равно:

$$Pбл.вых = Pбл.вх/D, \qquad (2)$$

где D – выигрыш при обработке, равный базе сигнала.

Для нарушения работы системы с ШПС необходимо, чтобы мощность сигнала блокирования была равна или превышала бы антиинтерференционный порог системы, равный:

$$M(dB) = D(dB) - (S/N)вых \qquad (3)$$

Сделаем расчёт антиинтерференционного порога с реальными параметрами WCDMA. В режиме передачи речи со скоростью 12,2 Кбит/с и скоростью чипов 3,84 Мбит/с система даёт выигрыш при обработке, равный базе сигнала:

$$D(dB) = 10 \log10(3{,}84/0{,}0122) = 25 \text{ dB}. \qquad (4)$$

После сжатия необходимо, чтобы мощность сигнала, как правило, была на несколько децибел выше мощности помехи и шума. Для передачи речи (S/N)вых обычно составляет порядка 5,0 дБ, и антиинтерференционный порог будет:

$$M = 20 \text{ dB}$$

Другими словами, мощность сигнала может быть на 20 дБ ниже мощности помехи и теплового шума, а приёмник WCDMA все ещё будет способен принимать сигнал. Отношение широкополосного сигнала к помехе называется также отношением сигнал/помеха на частоте несущей C/I. Благодаря расширению и сжатию C/I в WCDMA может быть намного ниже, чем, например, в GSM. Речевой трафик в GSM требует C/I = 9-12 дБ.

Итак, приведённые расчёты показывают, что при любом виде непрерывного сигнала блокирования его мощность должна превышать мощность сигнала не менее чем на 20 dB в точке приёма абонентом сигнала базы. Эффективность блокирования не зависит от формы сигнала или его спектральных характеристик. Заметим, что для эффективного подавления блокирующий сигнал должен быть непрерывным в полосе частот блокируемого канала. Вопросы реализации систем блокирования сотовой связи 3G, а также оптимизации систем блокирования беспроводного доступа семейства 802.11 и 4G (LTE) будут рассмотрены в следующей статье.

Литература

1. *Голдсмит А. Беспроводные коммуникации. Основы теории и технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера, 2011. – 904 с.*
2. *Архипкин В.Я., Мешковский К.А. Сравнительная помехозащищённость систем связи с широкополосными и узкополосными сигналами // Информация и космос. – 2004. - №3.*
3. *Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / под ред. В.Г. Радзиевского. - М.: Радиотехника, 2006. - 421 с.*
4. *Лоэв М. Теория вероятностей. – М.: ИИЛ, 1962. – 720 с.*
5. *Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. - Эко-Трендз, 2010. – 281 с.*