

**АШИХМИН Александр Владимирович,**  
**доктор технических наук**  
**КАЮКОВ Игорь Васильевич,**  
**кандидат технических наук**  
**КОЗЬМИН Владимир Алексеевич,**  
**кандидат технических наук**  
**МАНЕЛИС Владимир Борисович,**  
**кандидат физико-математических наук**

## АНАЛИЗАТОР БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ CDMA СЕТЕЙ

**В** последнее десятилетие технология CDMA [1] получила широкое распространение. Она обладает рядом преимуществ по сравнению с технологиями частотного и временного разделения каналов: отсутствие частотного планирования, возможность эффективной борьбы с замираниями сигнала посредством разнесенного многолучевого приема, мягкая передача вызова, более высокая спектральная эффективность. Сотовые сети на основе технологии CDMA пользуются большой популярностью во многих странах мира. В Северной Америке и Азиатско-тихоокеанском регионе сотовые системы связи, функционирующие по стандартам IS-95 [2, 3] и cdma2000 [4, 5], являются доминирующими. В России основными операторами этих сетей являются «Кодотел» и «Скайлинк».

Для планирования и эксплуатации сотовых сетей, проверки соответствия параметров базовых станций территориально-частотному плану, анализа зоны покрытия необходимо регулярно проводить анализ параметров базовых станций (БС) CDMA сетей [6].

В ранее опубликованных в журнале статьях [7, 8] обсуждалось применение па-

норамного измерительного радиоприемного устройства АРГАМАК-ИМ для измерения напряженности поля, измерения параметров модуляции сигналов, контроля базовых станций стандарта GSM. ЦРПУ АРГАМАК-ИМ имеет сертификат Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации об утверждении типа средства измерений. В настоящей статье рассматривается анализатор базовых станций CDMA, построенный на основе этого измерительного приемника.

### Структура сигнала CDMA базовой станции

Кратко рассмотрим структуру сигнала CDMA базовой станции.

Центральная частота передаваемого сигнала базовой станции определяется номером частотного канала. Для синхронизации в соответствии со стандартом предусмотрены два фиксированных частотных канала – первичный и вторичный. Каждая базовая станция передает по крайней мере по одному пилоту и синхроканалу на частоте либо первичного, либо вторичного каналов. Номера частотных каналов операторов CDMA сотовой связи обычно известны.

Сигнал CDMA БС включает совокупность параллельных каналов: пилот-канал, до одного синхроканала, до семи пейджинговых каналов и некоторое количество трафик-каналов. Для системы cdma2000 в зависимости от конфигурации сигнал БС может содержать и другие контрольные, пилот- и трафик-каналы. Пилот-сигнал передается непрерывно и используется мобильными станциями (МС) для начальной синхронизации. В сообщениях синхроканала передаются идентификационные параметры, параметры, предназначенные для фреймовой синхронизации на МС, и параметры Long кода, позволяющие выполнить декремблирование и принять данные пейджингового канала. Пейджинговые каналы используются для передачи МС служебной информации. В пейджинговом канале периодически передаются различные типы сообщений, в том числе широковещательные.

Сигналы каналов расширяются (по спектру) ортогональными функциями Уолша и общей псевдослучайной последовательностью (ПСП). Для сигналов базовых станций сетей IS-95 используются коды Уолша длиной 64 чипа. Для сигналов базовых станций сетей cdma2000 используются коды Уолша различ-

ной длины (128, 64, 32 и 16 чипов). Для обоих стандартов пилот-канал использует функцию Уолша  $W_0^{64}$ , синхроканал – функцию Уолша  $W^{64}$ , пейджинговый канал – функцию Уолша  $W_{32}^{64}$ . В обозначении функции Уолша  $W_k^n$  нижний индекс  $k$  – длина функции Уолша, верхний индекс  $n$  – ее номер. Остальные ортогональные функции Уолша распределяются между трафик-, контрольными и другими активными каналами системы.

Временная структура различных каналов представлена на Рис. 1.

Пилот-сигнал представляет собой периодически повторяющуюся ПСП длительностью 26,67 мс. Частота следования чипов (элементарных символов ПСП)  $f_c = 1,2288$  МГц. Начало соответствующего периода (ближайшего к моменту времени начала четных секунд) пилот-сигнала сдвинуто относительно начала четных секунд на PILOT\_PN × 64 чипов. Значение индекса сдвига PILOT\_PN является отличительным для каждой базовой станции. Все биты пилот-сигнала равны 0.

Синхроканал структурируется в виде последовательности суперфреймов длительностью 80 мс, каждый из которых разбивается на фреймы длительностью 26,67 мс. Причем интервалы фреймов синхроканала

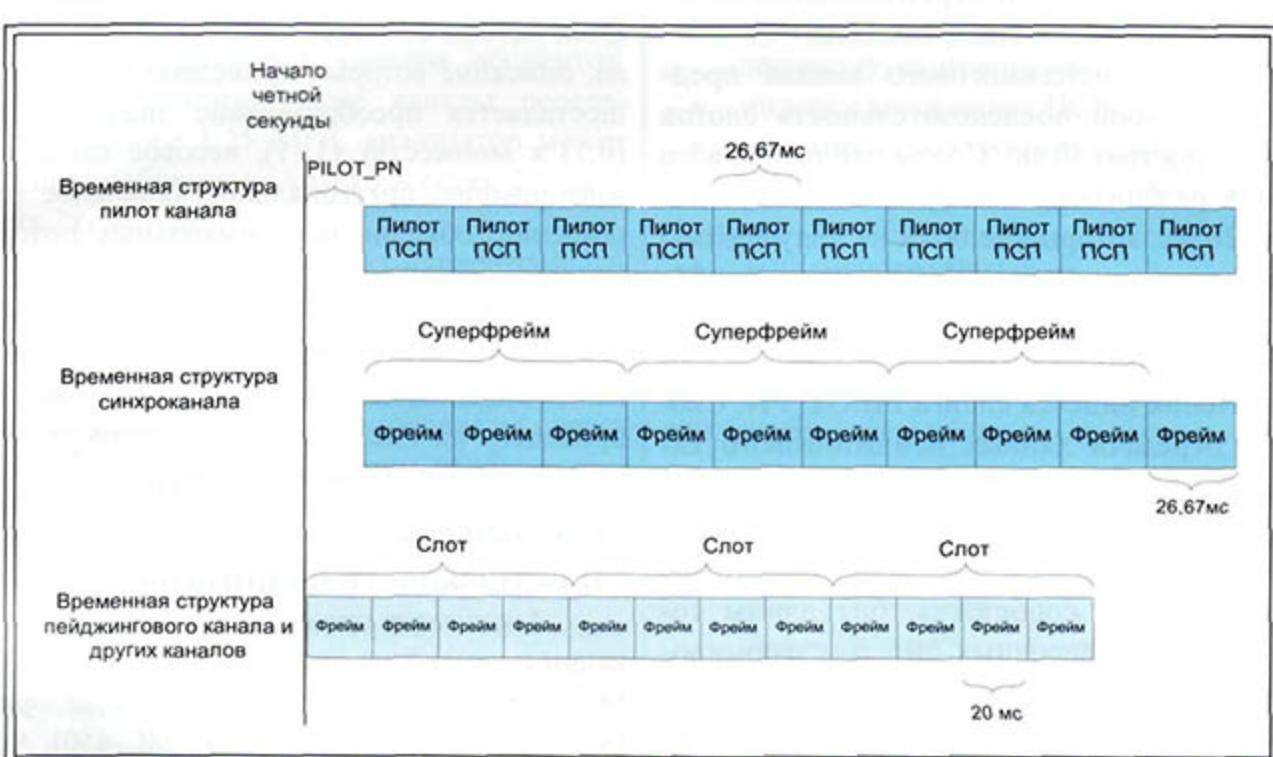


Рис. 1. Временная структура различных каналов CDMA сигнала

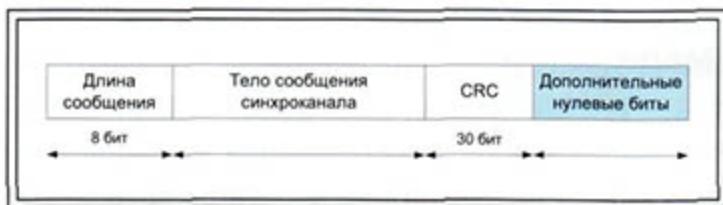


Рис. 2. Структура капсулы сообщения синхроканала

совпадают с соответствующими интервалами ПСП. Суперфрейм синхроканала начинается в момент четной секунды плюс сдвиг пилот ПСП. В синхроканале происходит непрерывная передача его сообщений. Скорость передачи данных синхроканала 1200 бит/с. Сообщение синхроканала состоит из бит тела сообщения, где закодированы параметры сообщения, бит длины сообщения и проверочных бит. Биты сообщения синхроканала дополняются нулевыми битами так, чтобы сформированная капсула сообщения синхроканала (Рис. 2) занимала 3 суперфрейма синхроканала. Периодически в блок капсул вставляются специальные (SOM - Start-of-Message) биты, которые являются первыми битами каждого фрейма и индируют начало капсул сообщения синхроканала. Биты капсул после сверточного кодирования, повтора и перемешивания передаются во фреймах синхроканала.

Сигнал пейджингового канала представляет собой последовательность слотов длительностью 80 мс. Слоты пейджингового канала разбиваются на фреймы длительностью 20 мс, которые делятся на полуфреймы длительностью 10 мс. Начало каждого 25-ого слота пейджингового канала совпадает с началом четных секунд вне зависимости от значения индекса сдвига PILOT\_PN. Скорость передачи данных пейджингового канала 4800 бит/с или 9600 бит/с. Сообщение пейджингового канала состоит из бит тела сообщения, где закодированы параметры пейджингового сообщения, бит длины сообщения и проверочных бит. Для формирования капсул биты сообщения пейджингового канала дополняются нулевыми битами. Их количество зависит от типа сообщения, от скорости передачи данных в пейджин-

говом канале и от того, являются ли передаваемые сообщения синхронизированными (начинающимися в начале полуфрейма) или нет. Периодически в блок капсул вставляются специальные (SCI - Synchronized Capsule Indicator) биты, которые являются первыми битами каждого полуфрейма и индицируют начало

капсул сообщения пейджингового канала для синхронизированных сообщений. Биты капсул после сверточного кодирования, повтора, перемешивания и скремблирования (наложения Long кода) передаются во фреймах пейджингового канала.

Из большого числа различных сообщений пейджингового канала анализатор принимает данные двух типов сообщений: сообщение системных параметров (*System Parameters Message*), содержащее идентификатор БС и ее координаты, и сообщение о каналах соты (*CDMA Channel List Message*). Другие сообщения пейджингового канала не анализируются.

Временная структура других каналов аналогична структуре пейджингового канала, то есть временные интервалы фреймов этих каналов совпадают.

Исходными данными для формирования модулированного CDMA видеосигнала являются потоки бит всех каналов CDMA сигнала, описание которых приведено выше. Осуществляется преобразование значений бит (0;1) к множеству (1;-1), весовое канальное взвешивание, ортогональное канальное расширение, объединение символьных потоков каналов, спредирение сигнала псевдослучайной пилот-последовательностью и полосовая фильтрация. Общая блок-схема формирования видеосигнала для стандарта cdma2000 приведена на Рис. 3. Для стандартов IS-95A, IS-95B используется аналогичная схема.

## Назначение

### и возможности анализатора

Анализатор предназначен для идентификации и измерения параметров радиосигналов БС CDMA сетей, работающих по стандартам IS-95A, IS-95B, cdma2000 (IMT MC-450). Анализатор способен функционировать и в последних генерациях CDMA сетей, таких как

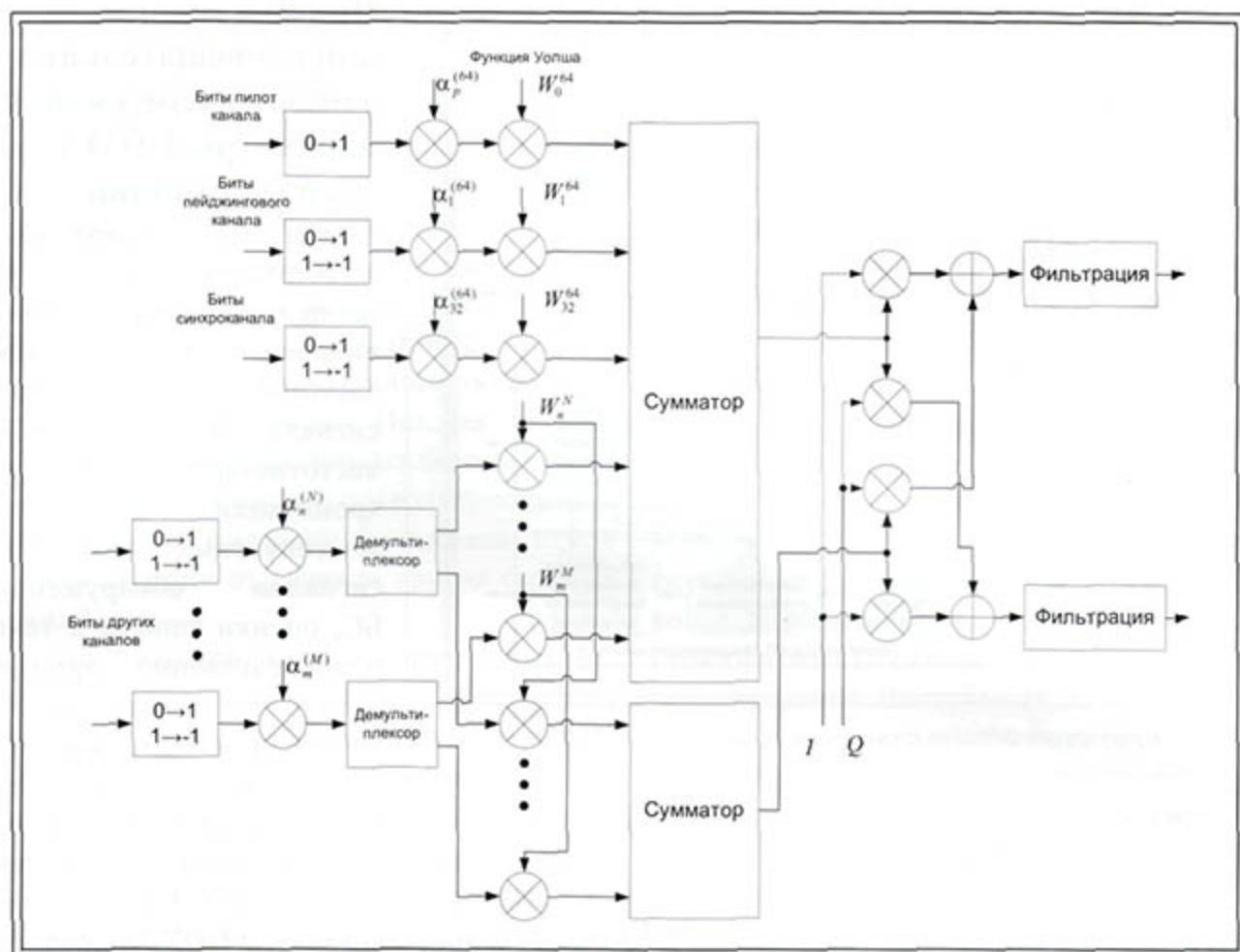


Рис. 3. Структурная схема формирования видеосигнала стандарта cdma2000

IxEV-DO, IxEV-DV. Он использует только широковещательные данные, игнорируя информацию трафиковых каналов абонентов. Поскольку анализируемые каналы передаются в полосе 1,25 МГц, анализатор может успешно работать не только в сетях 1x, но и сетях 2x, 3x и др.

Анализатор состоит из аппаратной части (измерительного ЦРПУ АРГАМАК-ИМ) и программной части (программы системного математического обеспечения СМО-CDMA). Последняя может быть установлена на персональном компьютере в едином пакете с другим программным обеспечением: СМО-GSM, СМО-ПАИ, СМО-КН1 [6, 7, 8]. Структурная схема анализатора представлена на Рис. 4.

Анализатор обеспечивает получение следующих идентификационных широковещательных данных сигналов БС:

- идентификатор системы,
- идентификатор сети,

- уровень протокола (стандарт),
- минимальный уровень МС, который позволяет функционировать с данной БС,
- индекс сдвига пилот ПСП,
- идентификатор базовой станции,
- долгота и широта местоположения базовой станции,
- зона регистрации,
- номера частотных каналов сети.

При этом реализованы алгоритмы оценки параметров сигналов базовых станций, в том числе:

- частотного сдвига,

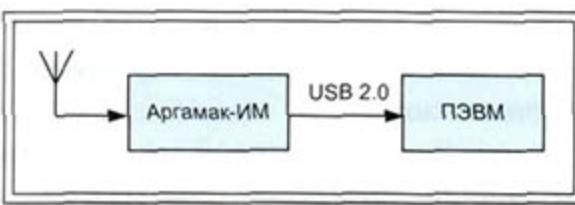


Рис. 4. Структурная схема анализатора базовых станций

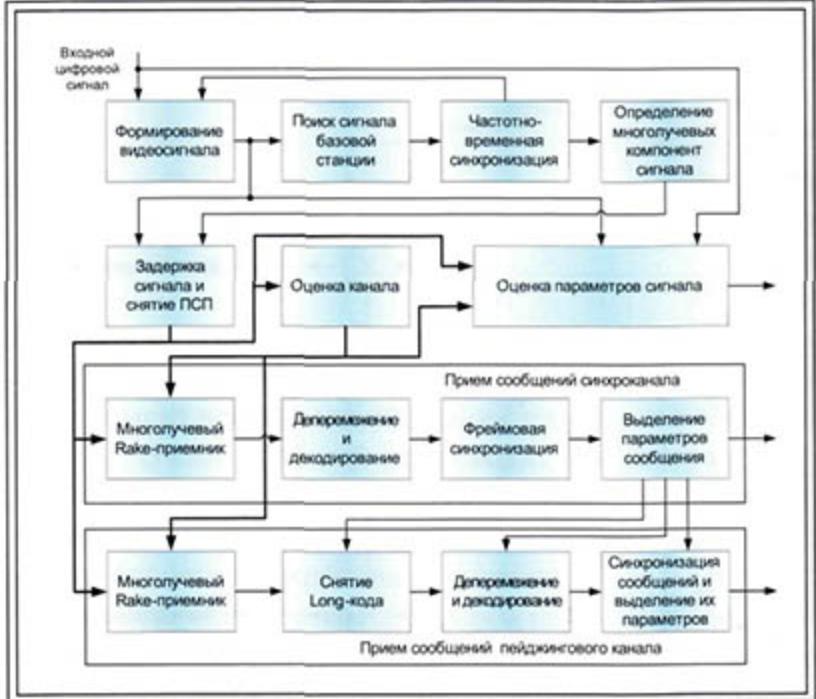


Рис. 5. Структурная схема алгоритма обработки CDMA сигнала

- ширины полосы частот,
- мощности суммарного сигнала,
- отношения пиковой мощности к средней мощности суммарного сигнала,
- мощности пилот-сигнала,
- кодограммы – мощности сигналов всех кодовых каналов,
- коэффициента использования кодовых каналов,
- отношения мощности пейджингового канала к мощности пилот-канала,
- отношения мощности синхроканала к мощности пилот-канала,
- уровня межсотовой помехи,
- уровня паразитного прохождение несущей,
- вектора ошибок EVM,
- параметра  $\rho$  качества сигнала,
- профиля многолучности,
- эффективной длины канала распространения,
- уровня многолучности,
- отношения сигнал/(помеха+шум) для пилот-сигнала,
- вероятности битовой и пакетной ошибки.

Кроме того, определяются мощности сигналов обнаруженных базовых станций.

## Прием широковещательных данных и измеряемые параметры CDMA базовых станций

Прием широковещательной информации предполагает процедуры формирования видеосигнала с необходимой частотой отсчетов, поиска сигнала базовых станций, частотно-временной синхронизации, определения многолучевых компонент-сигналов обнаруженных БС, оценки канала, а также непосредственно процедуры приема сообщений синхроканала и пейджингового канала. Под оценкой канала

понимается оценка комплексных амплитуд сигналов лучей. Структурная схема цифровой обработки сигнала CDMA БС, реализованная в программе СМО-CDMA, представлена на Рис. 5.

На вход программной части поступает цифровой сигнал на промежуточной частоте полосой 2 МГц с частотой дискретизации  $f_d = 6,4$  МГц, из которого формируется видеосигнал. Для этого определяется среднее значение входного потока отсчетов, которое вычитается из величины этих отсчетов с целью компенсации среднего значения АЦП приемника. Затем выполняется перенос на видеочастоту. После переноса частоты сигнал фильтруется для подавления высших гармоник и приведения исходной полосы сигнала к полосе 1,25 МГц. Далее осуществляется передискретизация сигнала с целью преобразовать частоту дискретизации к величине  $4 f_c$ .

Для поиска пилот-сигнала формируется решающая функция для временных позиций из априорного интервала длительностью 26,67 мс, расположенных через 1/2 чипа. Решающая функция определяется выходным сигналом фильтра, согласованного с пилот ПСП. Формируемые значения решающей

функции сравниваются с адаптивным порогом. Если эти значения не превышают порог на всем априорном интервале, выносится решение об отсутствии пилот-сигнала в данном частотном канале, и дальнейшая работа с этим частотным каналом прекращается. Если для некоторых временных позиций имеет место превышение порога, выносится решение о наличии сигнала, и соответствующие временные позиции полагаются приближенными оценками временного положения сигналов базовых станций. Исходно временной сдвиг сигналов различных базовых станций кратен 64 чипам, что позволяет отличить многолучевые компоненты сигнала одной базовой станции от сигнала других базовых станций.

По пилот-сигналу обнаруженных БС производится оценка частотной расстройки между генераторами передающей и приемной сторон. В случае необходимости выполняется коррекция частоты входного видеосигнала.

Далее определяются многолучевые компоненты сигналов базовых станций. При этом анализируются значения решающей функции, взятые через 1/4 чипа в некоторой окрестности найденных ранее временных позиций обнаруженного сигнала. Эти оценки используются затем для синхронизации однолучевых приемников Rake приемника при оценке канала и демодуляции данных.

Для многолучевых компонент-сигналов каждой обнаруженной базовой станции осуществляется децимация сигнала с коэффициентом 1/4. В результате для каждого однолучевого приемника формируется поток отсчетов с частотой 1 отсчет на чип. Далее осуществляется снятие пилот ПСП, для чего выполняется умножение децимированных отсчетов сигнала на значения опорных комплексных псевдослучайных пилот-последовательностей. Результатирующие отсчеты сигнала поступают на блок оценки канала и блок приема сообщений канала синхронизации и пейджингового каналов.

Методом скользящего окна для каждого однолучевого приемника формируется оценка канала. Эти оценки используются для демоду-

ляции принимаемых символов пейджингового канала и канала синхронизации.

При приеме сообщений канала синхронизации сигнал поступает на корреляторы функции Уолша  $W_{32}^{64}$ , соответствующие многолучевым компонентам. В результате на их выходах формируются корреляционные отклики символов канала синхронизации для каждой многолучевой компоненты. На их основе формируются решения о символах в виде реальной части взвешенной суммы корреляционных откликов многолучевых компонент, где веса представляют собой комплексно сопряженные оценки канала этих компонент (RAKE приемник). Далее осуществляется дескремежение блоков символов и объединение решений одинаковых (повторяемых) символов. Затем выполняется декодирование Виттерби. В декодированном потоке символов по SOM биту определяется начало сообщения синхроканала. Выполняется проверка правильности декодирования сообщения по проверочным битам (CRC). Если декодирование сообщения синхроканала произошло с ошибкой несколько раз подряд, выносится решение о плохих условиях приема, и дальнейшая работа с сигналом данной базовой станции в рассматриваемом частотном канале прекращается. В случае правильного декодирования из соответствующих полей сообщения выделяются основные параметры, характеризующие исследуемую базовую станцию: идентификатор системы SID, идентификатор сети NID, уровень протокола (стандарт), минимальный поддерживаемый уровень протокола MC. Кроме того, определяются вспомогательные параметры, которые используются для приема пейджингового канала: индекс сдвига пилот ПСП PILOT\_PN, системное время, состояние Long кода, скорость передачи данных в пейджинговом канале.

При приеме сообщений пейджингового канала сигнал поступает на корреляторы функции Уолша  $W_1^{64}$ , соответствующие многолучевым компонентам. В результате на их выходах для каждой многолучевой компоненты формируются корреляционные отклики символов пейджингового канала.

### *Таблица 1 Принимаемые широковещательные данные и измеряемые параметры*

Принимаемые данные	Данные синхроканала: <ul style="list-style-type: none"> <li>идентификатор системы</li> <li>идентификатор сети</li> <li>уровень протокола (стандарт)</li> <li>минимальный уровень протокола МС</li> <li>индекс сдвига пилот ПСП</li> </ul> Данные пейджингового канала: <ul style="list-style-type: none"> <li>идентификатор базовой станции</li> <li>долгота и широта местоположения БС</li> <li>зона регистрации</li> <li>частотные каналы сети</li> </ul>	Характеристики канала распространения	Профиль многолучевости Эффективная длина канала распространения Уровень многолучевости Уровень межсотовой помехи
			Отношение сигнал/(помеха+шум) для пилот-сигнала Частота битовой ошибки Частота пакетной ошибки
Спектральные измерения	Частотный сдвиг Ширина полосы частот Спектрограмма	Вычисление местоположения базовых станций	Производится амплитудным методом по результатам измерения мощности сигнала в нескольких точках местности
Мощностные измерения	Мощность суммарного сигнала Отношение пиковой мощности к средней мощности суммарного сигнала Относительные мощности сигналов обнаруженных станций	Измерение напряженности поля в частотном канале	Измеряется при наличии калиброванных антенн
Измерения в кодовой области	Мощность пилот-сигнала Кодограмма – мощности сигналов всех кодовых каналов Коэффициент использования кодовых каналов Отношение мощности синхроканала к мощности пилот-канала Отношение мощности пейджингового канала к мощности пилот-канала	Построение зоны покрытия	Проводится по результатам измерения напряженности поля в нескольких точках местности с учетом данных цифровых карт местности
Оценка качества сигнала	Вектор ошибок $EVM$ Параметр $\rho$ качества сигнала, Уровень паразитного прохождение несущей	Оценка мощности излучения передатчика	Оценивается мощность излучения секторной антенны при известных координатах базовой станции, высоты подвеса антенны, диаграммы направленности антенны и результатов измерения напряженности поля и данных цифровых карт местности

Далее формируются решения символов (бит), как реальная часть взвешенной суммы корреляционных откликов многолучевых компонент, где веса представляют собой комплексно сопряженные оценки канала соответствующих компонент. После этого осуществляется депремежение блоков символов и объединение мягких решений одинаковых символов в случае, если в пейджинговом канале имеется повтор. Затем выполняется декодирование Виттерби.

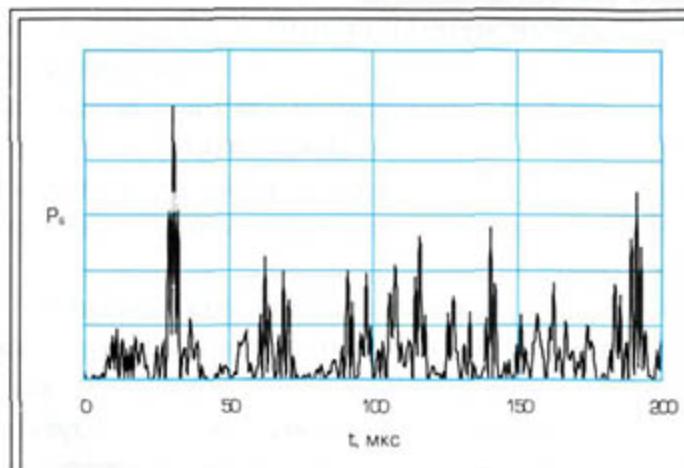


Рис. 6. Пример изменения мгновенной мощности CDMA сигнала

В декодированном потоке символов, используя SCI биты, определяется тип сообщений (синхронизированные или несинхронизированные), а также начало и окончание сообщений потока. Выполняется проверка правильности декодирования пейджинговых сообщений по проверочным битам (CRC). Если сообщения пейджингового канала декодируются с ошибкой несколько раз подряд, выносится решение о плохих условиях приема, и дальнейшая работа с пейджинговым каналом данной базовой станции прекращается. В случае правильного декодирования отбираются нужные сообщения, из соответствующих полей которых выделяются параметры, характеризующие принимаемую базовую станцию: идентификатор базовой станции BASE\_ID, долгота и широта местоположения базовой станции, зона регистрации, частотные каналы сети.

Принимаемые анализатором широковещательные данные и основные оцениваемые параметры сигналов БС CDMA сетей приведены в табл. 1.

Для обнаруженных БС оценивается частотный сдвиг  $dF$ , как отклонение средней частоты сигнала базовой станции от средней частоты выделенного канала. Оценка частотного сдвига производится по пилот-сигналу и выполняется в соответствии с интерполяционным алгоритмом, приведенным в статье [9]. В статье [9] получены характеристики этого алгоритма и показано, что оценка частотного сдвига является гауссовой и несмещенной, а ее дисперсия при достаточном числе отсчетов на интервале корреляции (что имеет место в данном случае) практически равна дисперсии оптимальной оценки.

Ширина полосы частот CDMA сигнала определяется как спектральный интервал, в пределах которого лежит 99% передаваемой в данном частотном канале мощности.

Мощность суммарного сигнала оценивается как средняя мощность сигнала базовой станции в полосе CDMA сигнала 1,25 МГц. Известно, что CDMA сигнал обладает большим пик-фактором. Поэтому для его оценки определяется отношение пиковой мощности к средней мощности суммарного сигнала.

На Рис. 6 приведен пример зависимости мгновенной мощности суммарного CDMA сигнала  $P_s$  от времени  $t$ . Отношение пиковой мощности к средней мощности суммарного сигнала для этого примера равно 10,2 дБ.

CDMA сигнал представляет собой совокупность параллельных каналов, расширенных ортогональными функциями Уолша. Кодовая область является специфической и важнейшей для CDMA сигнала, поэтому выполняется ее детальный анализ. Оцениваются с учетом многолучевости и визуализируются мощности всех возможных каналов, которые могут присутствовать в анализируемом CDMA сигнале. Причем, в отличие от известных анализаторов для БС сетей cdma2000, на кодограмме приводятся коды Уолша различной длины.

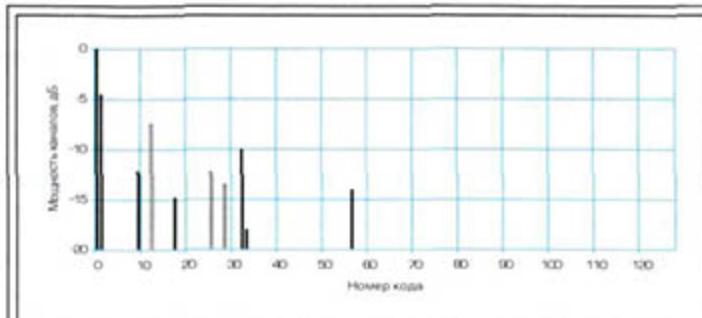


Рис. 7. Пример кодограммы для сигнала сети cdma2000

По кодограмме определяется коэффициент использования кодовых каналов  $v$ , представляющий собой отношение используемых кодов к общему кодовому ресурсу и характеризующий загрузку анализируемой БС.

Важнейшей характеристикой, в значительной степени определяющей область покрытия БС, является мощность пилот-сигнала  $P$ . Анализатор вычисляет мощности пилот-сигналов всех обнаруженных базовых станций.

Мощности каналов CDMA сигнала различны. Рассчитываются отношения мощности широковещательных каналов: синхроканала и пейджингового канала к мощности пилот-канала  $\gamma_c$  и  $\gamma_{pg}$ .

На Рис. 7 показан пример кодограммы для сигнала сети cdma2000. Здесь по оси абсцисс отложены номера канальных кодов Уолша, по оси ординат – оценки относительных мощностей каналов. Линии с заливкой соответствуют каналам с кодами Уолша длиной

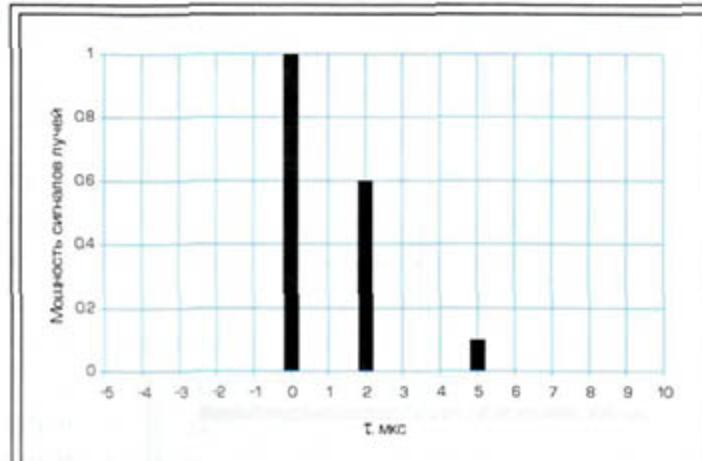


Рис. 8. Пример оценки профиля многолучевости канала распространения

64 чипа, линии без заливки – длиной 32 чипа. Пилот-сигналу соответствует нулевая функция Уолша, синхроканалу – 32-я функция Уолша длиной 64, пейджинговому каналу – 1-я функция Уолша длиной 64, трафик-каналы соответствуют другим функциям Уолша длиной 32 и 64 чипа. Оценка коэффициента использования кодовых каналов для этого примера равна 0,203. Оценка отношения мощности синхроканала к мощности пилот-канала равна -10 дБ. Оценка отношения мощности пейджингового канала к мощности пилот-канала равна -4,5 дБ.

Качество сигнала базовой станции характеризуется несколькими параметрами: вектором ошибок EVM, вычисляемым как среднеквадратическое значение разности между переданным и принятым символом; параметром  $\rho$ , комплексно характеризующим качество сигнала, включая погрешности синхронизации и искажения формы сигнала, а также уровнем паразитного прохождения несущей – отношением мощности немодулированного сигнала к мощности модулированного сигнала.

Одной из причин ухудшения приема является временная дисперсия сигнала или многолучевость канала распространения. Оценка профиля многолучевости осуществляется по пилот-сигналу и определяется решающей функцией поиска многолучевых компонент сигнала. На Рис. 8 приведен пример оценки профиля многолучевости канала распространения.

Кроме того, по профилю многолучевости рассчитываются вспомогательные параметры канала распространения: эффективная

длина канала распространения  $\tau_{RMS}$  (корень квадратный второго центрального момента от профиля многолучевости) и уровень многолучевости (отношение мощности сигналов всех лучей кроме максимального к суммарной мощности сигналов всех лучей).

Помеху входного сигнала можно условно разделить на внутрисотовую помеху, обусловленную многолучевостью канала распространения, и межсотовую помеху, вызванную сигналами других базовых станций используемого частотного канала. Последняя обычно существенно превосходит уровень внутренних шумов приемного устройства. Анализатор оценивает уровень межсотовой помехи  $\sigma^2$ , используя оценки средних значений мощности многолучевых компонент пилот-сигнала и оценки средних значений мощности помехи и шума этих компонент.

Оценка качества приема характеризуется частотой битовой ошибки BER, определяемой отношением успешно демодулированных бит к общему числу принятых бит успешно декодированных пакетов синхроканала, и частотой пакетной ошибки PER, рассчитываемой как отношение успешно декодированных пакетов синхроканала к общему числу принятых пакетов. Кроме того, анализатор оценивает отношение сигнал/(помеха+шум) для пилот-канала SINR с учетом многолучевости канала распространения.

Вычисление местоположения БС осуществляется на основе амплитудного алгоритма вычисления координат, который основан на учете зависимости амплитуды поля источника от расстояния до него. Исходными данными для расчетов являются выборка амплитуды поля и координаты анализатора на момент измерений, диаграмма направленности передающей антенны. После предварительной локализации без учета рельефа местности местоположение базовой станции уточняется по данным цифровой карты о рельефе местности, застройке и растительности [6, 7, 10]. Для уточнения мощности передатчика используются измерения напряженности электромагнитного поля в нескольких десятках точек. Задача

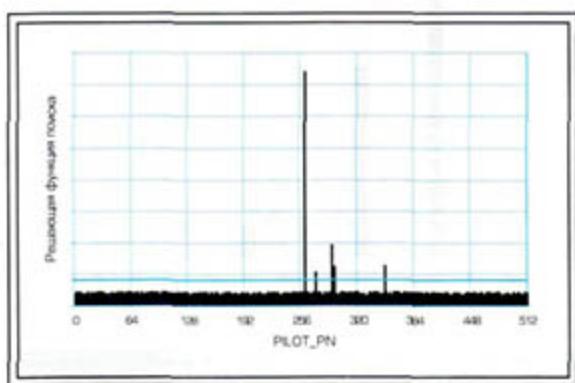


Рис. 9. Пример решающей функции поиска

Таблица 2

Некоторые результаты работы анализатора для системы IS-95B

№	NID	SID	PILOT_PN	BASE_ID	$\Delta f$ , Гц	P, дБ	$\sigma^2$ , дБ	$t_{RMS}$ , мкс	SINR, дБ	$\nu$	$\gamma_c$	$\gamma_p$
1	0	4	240	896	18,63	25,09	33,47	0,00	-8,88	0,27	0,09	0,32
2	0	4	424	275	12,80	23,63	33,92	0,00	-11,09	0,47	0,09	0,30
3	-	-	-	-	-145,00	21,30	34,56	1,85	-20,21	-	0,03	0,09

Таблица 3

Некоторые результаты работы анализатора для системы cdma2000

№	NID	SID	PILOT_PN	BASE_ID	$\Delta f$ , Гц	P, дБ	$\sigma^2$ , дБ	$t_{RMS}$ , мкс	SINR, дБ	$\nu$	$\gamma_c$	$\gamma_p$
1	1	12061	261	936	-19,42	40,79	43,19	0,00	-2,45	0,20	0,10	0,35
2	1	12061	291	4364	-34,02	34,83	45,71	0,00	-11,29	0,81	0,10	0,35
3	1	12061	273	-	-170,00	31,94	45,76	0,00	-16,12	-	0,09	0,25
4	1	12061	351	-	33,47	32,95	45,31	0,00	-15,88	-	0,08	0,22
5	1	12061	294	-	-5,40	32,90	45,45	0,83	-15,99	-	0,07	0,20

решается на основе дискретного перебора значений мощности из диапазона, задаваемого оператором, с целью поиска такого значения мощности, который обеспечит максимальное совпадение результатов измерений с теоретическими расчетами. При этом учитывается рельеф местности, застройка и растительность. Для вычисления местоположения БС, построения зоны покрытия, уточнения мощности передатчиков используется программный пакет СМО-КН.

Для повышения точности результатов измерение параметров сигналов БС, таких как ширина полосы частот, мощность суммарного сигнала, EVM,  $\rho$  и уровень паразитного прохождение несущей, должно выполняться вблизи базовой станции.

Измерение параметров, связанных с каналом распространения и качеством приема, таких как мощность пилот-сигнала, профиль многолучевости, эффективная длина канала распространения, отношения сигнал/(помеха+шум), частота битовой и пакетной ошибки, выполняются в произвольных местах зоны покрытия.

### Пример работы анализатора

Приведем результаты анализа для систем IS-95B и cdma2000. Измерения проводились в фиксированной точке крупного города на частотах 881,25 МГц и 463,975 МГц соответственно.

На Рис. 9 представлена решающая функция поиска для различных значений индекса сдвига пилот ПСП PILOT\_PN в сети cdma2000. Горизонтальная линия соответствует порогу поиска. Видно, что в исследуемой частотной полосе обнаружены 5 базовых станций. Пилот-сигнал одной из них является достаточно мощным. Значения решающей функции поиска, при соответствующих значениях индекса сдвига превысившие порог, характеризуют относительные мощности сигналов обнаруженных базовых станций.

В таблицах 2 и 3 приведена часть принятых данных, а также некоторые измеренные параметры сигналов обнаруженных БС. Пробел в таблице означает ошибки декодирования при приеме соответствующего сообщения.

Видно, что в сети IS-95B обнаружено 3 БС, а в сети cdma2000 – 5 БС. При отношении SINR более -11 дБ для обеих сетей успешно приняты сообщения синхро- и пейджингового канала двух БС. Когда величина SINR приблизительно равна -16 дБ, успешно принято сообщение синхроканала, а сообщение пейджингового канала принято с ошибкой. А когда величина SINR приблизительно равна -20 дБ, сообщения обоих каналов приняты с ошибкой. Когда сигнал относительно слабый ( $SINR < -15$  дБ), некоторые измерения, в частности, частотного сдвига, становятся недостоверными.

## Заключение

Представленный анализатор предназначен для идентификации и измерения параметров сигналов базовых станций CDMA сетей IS-95A, IS-95B, cdma2000 (IMT MC-450). Он состоит из аппаратной и программной частей: измерительного ЦРПУ АРГАМАК-ИМ и программы системного математического обеспечения СМО-CDMA.

Системное математическое обеспечение СМО-CDMA реализует прием широковещательных данных, измерения параметров и характеристик сигналов базовых станций, визуальное представление и анализ результа-

тов. Входящие в состав комплекта программы СМО-ПАИ и СМО-КН расширяют возможности анализатора в плане панорамного спектрального анализа сигналов, поиска источников помех, определения координат радиопередатчиков базовых станций, построения их зон покрытия, оценки мощности излучения.

Анализатор обеспечивает измерение широкого перечня параметров базовых станций и канала распространения радиоволн. По функциональным и метрологическим возможностям он не уступает анализаторам базовых станций CDMA сетей ведущих мировых производителей.

## Литература

1. Viterbi A. J. *CDMA Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley Wireless Communications Series, 1995.
2. TIA/EIA/IS-95-A, *Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System*.
3. TIA/EIA-95-B, *Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Spread Spectrum Systems*, July 17, 1998.
4. TIA/EIA/IS-2000.2-A, *Physical Layer Standard for cdma2000 Standards for Spread Spectrum Systems*, March 2000.
5. TIA/EIA/IS-2000.4-A, *Signaling Link Access Control (LAC) Standard for cdma2000 Standards for Spread Spectrum Systems*, March 2000.
6. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. *Радиомониторинг: задачи, методы, средства*/ Под редакцией А.М. Рембовского. - М: Горячая линия-Телеком, 2006. - 492 с.
7. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Кочкин Д.Е., Чубов Е.А. Использование цифрового измерительного приемника АРГАМАК-ИМ для измерения напряженности поля в мобильных станциях радиомониторинга // Специальная техника. - 2006. - № 3. - С. 35–44.
8. Ашихмин А.В., Каюков И.В., Козьмин В.А., Манелис В.Б. Анализатор базовых станций gsm сетей на базе панорамного измерительного приемника Аргамак-ИМ// Специальная техника. – 2008. - № 1. - С. 31–39.
9. Каюков И.В., Манелис В.Б. Сравнительный анализ различных методов оценки частоты сигнала // Известия Вузов. Радиоэлектроника. – 2006. – 49, №7. – С. 42–56.
10. Козьмин В.А., Савельев А.М., Уфаев В.А., Чубов Е.А. Сравнение методов местоположения источников радиоизлучения // Специальная техника. - 2007. - № 1. - С. 30–38.

## Аннотация

Сотовые сети на основе технологии CDMA пользуются большой популярностью во многих странах мира. Для планирования и эксплуатации этих сетей, проверки соответствия территориально-частотному плану, анализа зоны покрытия необходимо регулярно проводить анализ параметров базовых станций. В данной статье представлен анализатор, предназначенный для радиоконтроля базовых станций CDMA сетей, работающих по стандартам IS-95A, IS-95B, cdma2000 (IMT MC-450). Анализатор состоит из аппаратной части (измерительного панорамного цифрового приемника АРГАМАК-ИМ) и системного математического обеспечения, реализующего необходимую цифровую обработку сигналов. Анализатор обеспечивает получение идентификационных широковещательных данных синхро- и пейджингового каналов, осуществляет необходимые виды измерений сигналов базовых станций. В работе кратко рассмотрена процедура приема широковещательных данных CDMA базовых станций, приведен пример результатов работы анализатора в системах IS-95B и cdma2000.