
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ МНОГОЛУЧЕВОГО СИГНАЛА В СЕТЯХ СВЯЗИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ ВЕКТОРНОГО ЭКВАЛАЙЗЕРА В ПРИЕМНЫХ ТРАКТАХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

Д. В. Филипишен (Санкт-Петербург)

Развитие сетей сотовой связи происходит опережающими темпами по сравнению с сетями общего пользования других типов, что обусловлено, прежде всего, возможностью предоставления ими широкого спектра услуг в любое время суток и в любом пункте планеты, где бы ни находился абонент: в помещении офиса, на улице, в метро или в движущемся автомобиле.

Наметилась устойчивая тенденция к массовому слиянию телекоммуникационных и информационных инфраструктур, что, в свою очередь, требует совершенствования программно-аппаратных элементов систем мобильной связи, с предъявлением все более жестких требований как к вероятности битовой ошибки, так и к быстродействию процессов обработки сигнала. Так, например, при передаче данных допускается вероятность битовой ошибки BER не выше 10^{-6} , что на три порядка меньше принятого значения для речевой передачи. Достижение требуемых параметров при существующем уровне мощности и сложности процессоров может основываться только на новых решениях в области обработки сигнала, легко интегрируемых с существующими стандартами сотовой связи и не нарушая их целостность.

Наряду со многими стандартами, представленными на рынке сотовой связи, стандарты GSM и CDMA, по сути, становятся единственно реальными стандартами во всем мире, имеющими технологический запас для развития в направлении сетей связи 3-го поколения.

Основные технические требования, выдвигаемые к сетям связи, предоставляющим услуги третьего поколения, заключаются в повышении скорости и достоверности передаваемой информации.

Условия радио-эфира, в которых сегодня операторам сотовой связи приходится предоставлять свои услуги, достаточно жесткие. Если проблема дефицита радиочастотного спектра вполне решаема на сегодняшний день, то вопрос о постоянно усложняющейся и изменяющейся помеховой обстановке всегда стоял очень остро.

Задача повышения помехоустойчивости приема в многолучевых каналах связи особенно актуальна при эксплуатации сетей сотовой связи в условиях мегаполисов, с их плотной застройкой и множеством промышленных предприятий, где структура многолучевости трудно прогнозируема, а также быстро и непрерывно изменяется по всей длине линии связи с подвижными абонентами.

Разработчиков регулярно интересовал вопрос упрощения алгоритмов обработки принимаемого сигнала, который несет в себе высокий уровень межсимвольной интерференции, с целью освобождения процессорной емкости для выполнения задач более высокого уровня.

В цифровых системах подвижной связи межсимвольная интерференция возникает в силу следующих причин:

- ограничение полосы канала, что порождает изменение формы элементарного символа, который при обработке проходит через Гауссов фильтр (рис. 1);
- многолучевое распространение радиоволн, которое неизбежно в условиях плотной городской застройки или при организации связи в холмистой местности, т.е. на

территории, где возникает множественное отражение, дающее на входе приемника основную сигнал и несколько его задержанных копий (рис. 2).

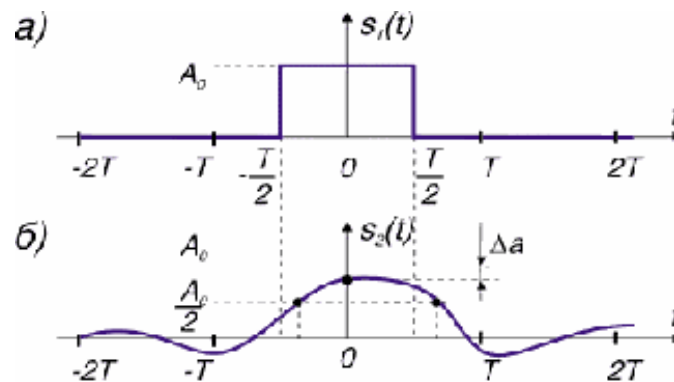


Рис. 1. Искажение элементарного символа

При разности хода, сравнимой с длительностью бита (стандарт GSM – 3,69 мкс, в CDMA – 0,26 мкс при скорости передачи 3,84 Мчип/с), возникает одновременный отклик приемника на разные символы, что является искажением передаваемой информации. В свою очередь, высокая скорость подвижных абонентов порождает собой эффект Доплера, который также вызывает искажение. На рис. 3 в качестве примера показано возможное запаздывание принимаемых битовых последовательностей. Интервал задержки Δt обычно составляет 1–2 мкс, хотя в некоторых случаях холмистых районов и плотной городской застройки наблюдались задержки до 20 мкс, что составляет запаздывание на приеме до 5 бит в стандарте GSM и до 60 бит в стандарте CDMA.

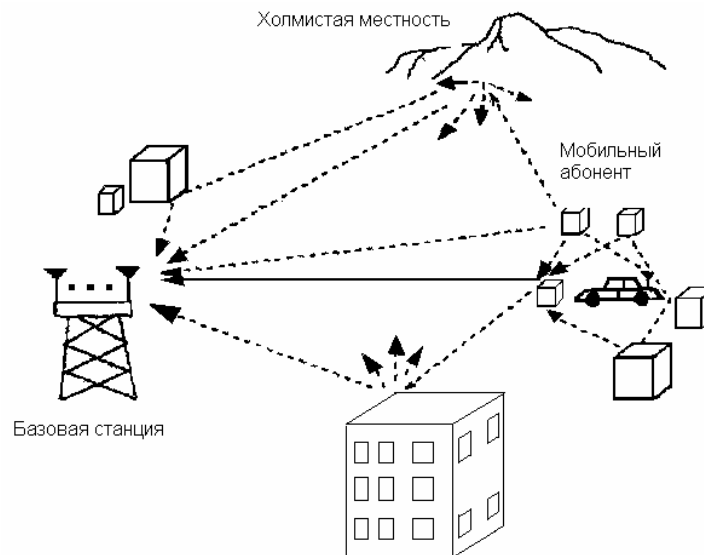


Рис. 2. Многолучевое распространение

Исследования показали, что при многолучевом распространении за счет множественных отражений может происходить фазовое подавление сигнала, что, в свою очередь, порождает быстрые замирания, вследствие чего мощность принимаемого сигнала может резко падать (на 20 – 30 дБ). Подобные перепады энергии делают прием переда-

ваемых битов данных без ошибок делом весьма затруднительным, поэтому необходимо принимать соответствующие контрмеры.



Рис. 3. Запаздывание битовых последовательностей

Перспективным решением описанных проблем считается применения на БС пространственно-разнесенного приема и обработку принятого сигнала с одновременным устранением фединга и МСИ. Была разработана модель такого устройства, получившая название векторного пространственно-временного эквалайзера.

С целью увеличения скорости обработки предлагается алгоритм, оперирующий меньшим числом параметров принимаемого сигнала, поступающего на эквалайзер с нескольких антенн, минуя традиционное сложение в комбайнерах.

Эквалайзинг – метод, используемый в системах связи с временным разделением каналов для компенсации межсимвольных искажений. Эквалайзер по своей сути – адаптивный фильтр, настраиваемый таким образом, чтобы сигнал на его выходе был в возможно большей степени очищен от межсимвольных искажений, содержащихся во входном сигнале.

В свое время были предложены и широко используются разнообразные временные каналные эквалайзеры (дифференциальный детектор, когерентный детектор по минимуму среднеквадратической ошибки, детектор с оценкой принятой последовательности по максимуму правдоподобия).

Последние результаты показали, что эквалайзеры с одновременным анализом временных и пространственных характеристик сигнала значительно повышают эффективность приемника по сравнению с упомянутыми традиционными методами оценки сигнала.

Современные антенные решетки, используемые в антенных системах (как стандарта GSM, так и CDMA) могут обеспечить надежное пространственное разнесение. Это обусловлено тем, что приемные элементы антенны расположены на необходимом расстоянии, сигналы, принятые каждым отдельным сегментом антенны, могут обрабатываться как практически не коррелированные процессы.

В системах, построенных по стандарту GSM, применяют достаточно сложные схемы эквалайзеров, поскольку параметры многолучевого канала заранее неизвестны и могут существенно меняться от одного кадра к другому. Возникает необходимость определения параметров канала связи. Для этого используют специальный зондирующий сигнал: обучающую последовательность (training sequence).

Стандарт CDMA для борьбы с МСИ использует разнесенный прием приемником RAKE.

Rake-приемник имеет в своем составе 3 параллельных канала корреляционной обработки сигнала (рис.4). После захвата несущей частоты происходит выделение наи-

более мощных компонент. Последующая обработка сигналов трех выбранных лучей в ветвях корреляционного приемника позволяет отслеживать данные сигналы в присутствии аддитивных и мультипликативных помех и оценивать с заданной точностью их амплитуды, фазы и временные задержки.

В качестве тестирующего элемента в стандарте CDMA выступает пилот сигнал. Пилот сигнал представляет собой ПСП длиной 215 и периодом повторения 26,66 мс и функционально является аналогией тренировочной последовательности в стандарте GSM.

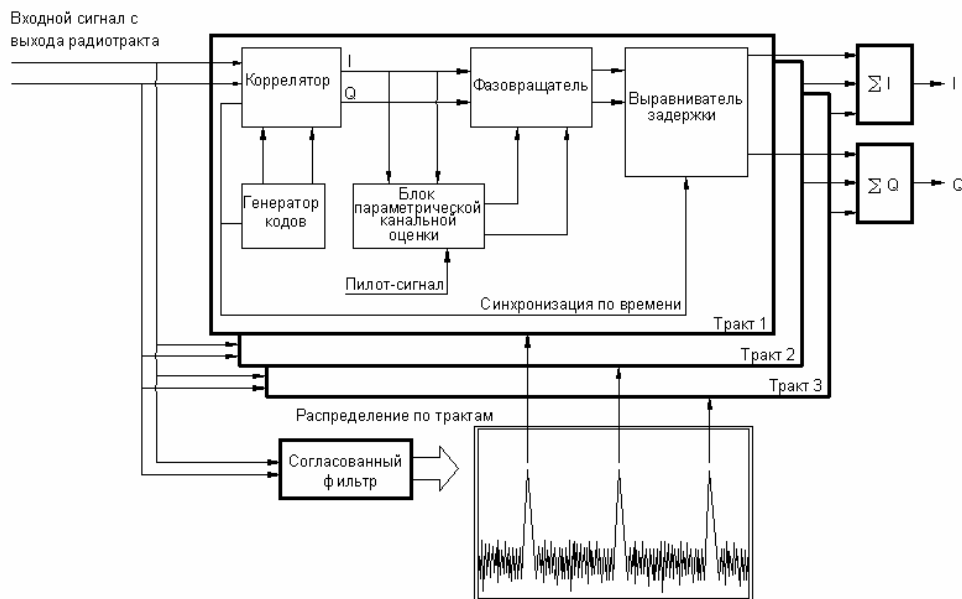


Рис. 4. Блок – схема приемника Rake

Применение пилотного сигнала и трехканального RAKE-приемника делает возможным когерентный прием с трехкратным временным разнесением. Т.е. на этапе обработки сигналов в RAKE-приемнике система с кодовым разделением CDMA функционирует как система с временным разделением каналов. Обнаружив эту особенность, мы можем применять метод векторного эквалайзинга, которому для реализации необходимо временное разделение обрабатываемых сигналов, и к стандартам с кодовым разделением каналов.

Установлено, что за время передачи очередного информационного пакета претерпевают заметные изменения только три параметра: путевые углы, путевые задержки и (существеннее всего) путевые амплитуды. Исходя из этого, предлагаемая модель пространственно-временного эквалайзера предусматривает оценку лишь вышеуказанных параметров (рис.5). В сравнении с существующими методами, рассматриваемый алгоритм уменьшает число проводимых расчетов, обладает более высоким быстродействием и, в свою очередь, повышает достоверность канальной оценки. Эффективное применение предлагаемого метода возможно в любой классической сети мобильной связи, где антенны размещены на доминирующих высотах, а среда распространения может быть достаточно точно смоделирована несколькими доминирующими лучами, обычно от двух до шести.

В таком случае сигнал, полученный антенной решеткой, может быть выражен следующим образом:

$$x(t) = \sum_{k=1}^p a(\theta_k) \beta_k(t) \tilde{s}(t - \tau_k) + n(t), \quad (1)$$

где $x(t)$ – принятые базовые сигналы;

$a(\theta_k)$ – регулирующий вектор сигнала, пришедшего с направления,

характеризующегося углом θ_k ;

β_k – изменяющаяся во времени путевая амплитуда, которая является комплексным Гауссовым вероятностным процессом (включая потери при распространении и изменение сигнала, вызванного доплеровским эффектом);

\tilde{s} – переданный базовый комплексный сигнал;

τ_k – задержка при распространении по k -му лучу;

p – общее число лучей, полученных системой.

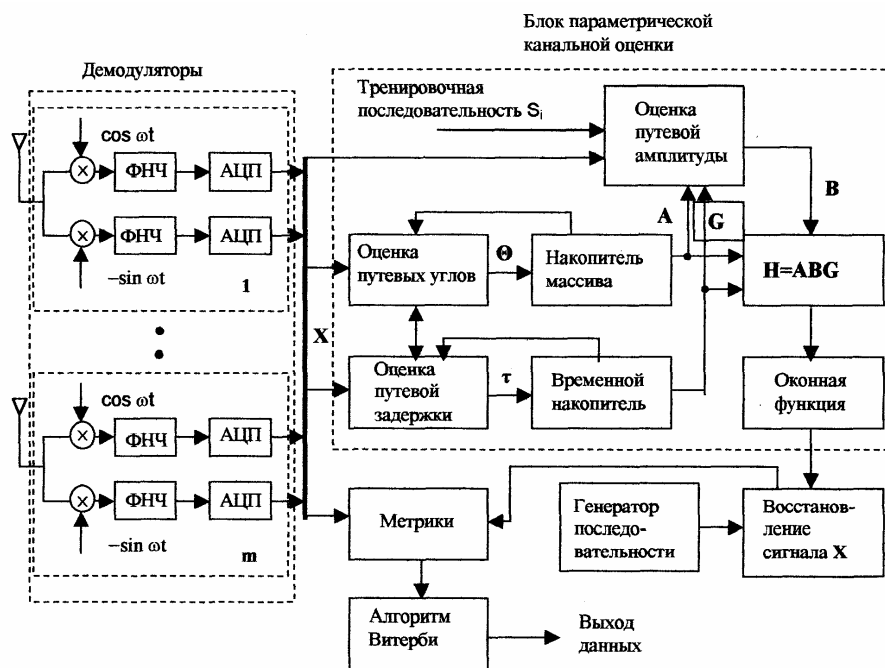


Рис. 5. Предлагаемой модель оценки канала

Основная задача предлагаемой модели заключается в нахождении значения величины ошибки при определении канального отклика ΔH , которую запишем в следующем виде:

$$\Delta H = A \hat{B} G W - A B G = A B G \Delta W + A \text{diag} \{ A^+ \text{vec} \{ N_t \} \} G W, \quad (2)$$

где $A = [a(\theta_1) a(\theta_2) \dots a(\theta_p)]$ (3)

$a(\theta_i)$ – вектор откликов канала по i -му пути определяет значение путевых углов,

$$B = \text{diag} \{ \beta \} \quad (4)$$

представляет собой комплексное значение замираний путевой амплитуды для i -го пути,

$$G_{ij} = g(t_0 + ((j-1)/\tau)T - \tau_i) \quad (5)$$

представляет собой путевые задержки,

- $g(-)$ – функция базового импульса,
- τ_i – задержка по i -му пути,
- N – аддитивный Гауссов шум.

Машинная реализация описываемой модели показала, что при различных комбинациях вышеуказанных параметров достигаемое ослабление вероятности ошибки определения канального отклика лежит в пределах от -2,5 до -6,5 дБ. А в сравнении с величиной битовой ошибки существующих систем и полученной при использовании модели векторного эквалайзинга, выигрыш достигал 3 дБ.

Подводя итог, можно заключить, что использование метода векторного эквалайзинга в сегодняшних системах связи дает возможность экономить антенный ресурс, точнее регулировать излучаемую мощность мобильных станций, высвободить процессорный ресурс и легко интегрировать предлагаемую модель в существующую систему без нарушения ее целостности, что является несомненным выигрышем, как с технической, так и экономической стороны.