

СИНТЕЗ ПОЛИКОРРЕЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ СИСТЕМ CDMA

Чабдаров Ш.М., Надеев А.Ф., Файзуллин Р.Р., Егоров А.Е..

Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева
420111, Казань, ул. К.Маркса, 10, кафедра радиоправления

Состояние современных систем подвижной радиосвязи характеризуется тенденцией конвергенции разнообразных стандартов и технологий (GSM-900/1800, CDMA, DAMPS), а также взаимодействием компаний-операторов мобильной связи в рамках единого стандарта подвижной связи (UMTS (Universal Mobile Telephone System), IMT-2000 (International Mobile Telephone System)). В рамках данной идеологии важное место занимают системы связи множественного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA, W-CDMA, cdma-2000), им отводится ключевая роль в едином стандарте мобильной связи, что обусловлено высокой помехоустойчивостью и эффективностью данного класса систем. Необходимо особо отметить, что современный этап развития общества, и, соответственно, техника и технология радиоприема характеризуются такими факторами, как: интенсификация информационного обмена, непрерывный рост числа объектов информационного обмена, а следовательно и резкое усложнение условий работы конечных устройств приема-передачи информации, случайный характер мешающих воздействий. Отмеченные факторы приводят к тому, что существующие алгоритмы обработки сигналов в рамках традиционного корреляционного подхода становятся неадекватными реальным распределениям сигнально-помеховой обстановки в радиоканале, объективной сложности мешающих воздействий. С этих позиций интересно рассмотреть возможность использования марково-смешанных полигауссовых (МС-ПГ) алгоритмов обработки многопозиционных сигналов в системах CDMA, получивших развитие в работах научной школы проф. Чабдарова Ш.М., оценить их помехоустойчивость. Принципы работы систем связи с кодовым разделением (CDMA-Code Division Multiple Access) подробно исследованы и рассмотрены во многих работах [1, 2]. В работах Ш.М.Чабдарова и его учеников [1, 2, 9, 10, 11] задачи оптимального обнаружения, различения, разрешения случайных процессов с произвольными законами распределений решаются на основе использования универсальных полигауссовых (ПГ) и марково-смешанных полигауссовых (МС-ПГ) моделей и методов. Так в [5] синтезированы адаптивные алгоритмы разрешения сигналов на фоне комплекса негауссовских помех и шумов для детерминированной, стохастической и квазидетерминированной моделей сигнала. В [6] на основе квазидетерминированных моделей сигналов и помех решена задача синтеза алгоритма обнаружения-различения радиоимпульсных многоэлементных сигналов с МС-ПГ распределениями амплитуд на фоне комплекса шумовых и импульсных помех. В существующих и разрабатываемых системах CDMA преимущественно используются шумоподобные сигналы (ШПС), формирование которых осуществляется по методу прямого расширения спектра (DS-CDMA-Direct Sequence CDMA). В этом случае адресность абонентов определяется формой псевдослучайной последовательности (ПСП), используемой для расширения полосы спектра частот. Радиосигнал, сформированный в этом случае, называется фазоманипулированным широкополосным сигналом (ФМн ШПС). Доминирующее значение в выборе вида ПСП для формирования ШПС в системах подвижной радиосвязи играют прежде всего взаимные и автокорреляционные характеристики ансамбля сигналов, его объем, простота реализации устройств формирования и "сжатия" (свертки) сигналов в приемнике. В этой связи для формирования ФМн ШПС преимущественно используются линейные M-последовательности и их сегменты. Для расширения объема ансамбля сигналов часто используют составные ПСП, сформированные, например, на основе M-последовательностей и последовательностей Уолша. Принцип построения систем Уолша основан на использовании матриц Адамара, которые определяются следующим символическим равенством:

$$H_{2N} = \begin{vmatrix} H_N & H_N \\ H_N & -H_N \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где H_N - матрица Адамара порядка N (число строк равно числу столбцов N), а H_{2N} - матрица Адамара порядка $2N$. Полагая $N_1=1$ из (1) можно получить матрицы Адамара любого порядка. В качестве кодовых последовательностей систем Уолша можно брать строки или столбцы матрицы Адамара. Число кодовых последовательностей равно порядку матрицы N . Следовательно объем системы Уолша равен N . Обозначать системы Уолша будем следующим образом: например У-8, где цифра равна объему.

Рассмотрим упрощенную систему связи CDMA с числом абонентов равным 2, 4 и 8, что соответствует системам Уолша У-2, У-4 и У-8. Полученными сигналами осуществляется модуляция информационных посылок (в частности речи, представленной двоичными многопозиционными сигналами) абонентов. Для случая пассивной паузы вышеуказанными последовательностями модулируются только позиции, соответствующие "1" (двоичной единице).

Таким образом задача выделения информации, адресованной соответствующему абоненту сводится к задаче разрешения многопозиционных (МПС) (в нашем случае 8-ми позиционных сигнальных посылок) на каждой позиции первичного информационного сигнала на фоне хаотических импульсных помех и белого гауссовского шума. Принятие решения в пользу наличия сигнала конкретного абонента, свидетельствует о том, что на данной позиции находится "1". Таким образом осуществляется последовательное (побитное) декодирование информации поступающей на вход приемного устройства абонента.

Задача разрешения, возникающая в данном случае отличается от классической задачи полного разрешения произвольного числа и типов сигналов и помех, которая формулируется следующим образом: предполагается, что во входном колебании в произвольный момент времени может присутствовать произвольное число сигналов из некоторого набора сигналов (а также помех). По результатам наблюдения в присутствии помех и с учетом априорной информации требуется определить, сколько и в какой комбинации из всех возможных сигналов и помех присутствуют на входе приемника.

В нашем случае во входной смеси фактически одновременно могут присутствовать сигналы, адресованные различным абонентам только в единичном экземпляре, что обусловлено тем, что базовая станция передает одновременно только один экземпляр сигнала для каждого абонента. Также импульсная помеха, накладываемая на позиции многопозиционных сигналов, является однотипной и также присутствует единожды. Это сокращает число всевозможных гипотез по реализующимся комбинациям типов сигналов и помех. То есть практически необходимо рассмотреть все комбинации вида " $i_1 i_2 \dots i_k$ ", где k -число сигналов в системе (для случая 8 абонентов - 8 сигналов), а $i_1 \dots i_k$ принимают значения 0 или 1, в зависимости от того, присутствует или отсутствует i -й сигнал во входной смеси.

Для случая 8 сигналов число всевозможных комбинаций сигналов, адресованных различным абонентам равно $N=2^8 = 256$, а именно:

- 1) 00000000
- 2) 00000001
- 3) 00000010
- 4) 00000011
-
- 128) 10000000
-
- 256) 11111111

-от случая полного отсутствия информационного сигнала, до случая одновременного присутствия сигналов, адресованных всем абонентам в системе.

Исходя из этого, был синтезирован МС-ПГ алгоритм разрешения МПС, в котором решение о реализации той или иной гипотезы принимается после анализа всех информационных позиций. Алгоритм имеет многоканальную структуру (число каналов равно числу гипотез), в рамках каждого канала (гипотезы) на конкретной позиции реализуются t_1 сигналов типа "1" и t_2 сигналов типа "0", причем сигналы одинакового типа имеют одинаковые параметры распределения (т.е. если у сигнала типа "1" на i -й позиции 1 абонента реализовалась n_k гауссовская компонента, то она реализовалась во всех сигналах типа "1"), что вызывает возникновение подгипотез о комбинациях компонент сигналов типа "1" и "0", число которых равно $n_k^0 n_k^1$, где n_k^0, n_k^1 -число компонент в разложении сигналов типа "0" и "1" соответственно. Для случая когда $n_k^0 = 3, n_k^1 = 3$, число подгипотез в рамках каждого канала равно 9.

Таким образом, данная задача связана с двумя группами сложных статистических гипотез: система гипотез о действующих комбинациях сигналов разных типов, которые состоят из частных подгипотез о действующих компонентах сигналов разных типов в рамках определенной гипотезы.

Априорные вероятности гипотез о комбинациях сигналов находятся следующим образом:

$$P_i = (1 - q)^{t_1^i} q^{t_2^i}, \quad (2)$$

где q - вероятность активности абонента, t_1^i, t_2^i - число неактивных абонентов и активных абонентов соответственно в рамках i -й гипотезы, очевидно, что $t_1^i = N - t_2^i$, где N - число абонентов в системе.

Для нахождения апостериорных вероятностей гипотез воспользуемся критерием максимума апостериорной вероятности, при котором истинной утверждается та гипотеза, для которой апостериорная вероятность максимальна. В рамках данной работы было проведено имитационное моделирование на ЭВМ синтезированного алгоритма для случая 2-х, 4-х, 8-ми абонентов, так для случая 8-х абонентов в зависимости от характера сигнально-помеховой обстановки (СПО) вероятность правильного разрешения колеблется от 0.85 до 0.99, что позволяет сделать вывод о возможности применения МС-ПГ алгоритмов для обработки ШПС в системах CDMA и аналогичных системах с множественным доступом.

Литература

1. *Варакин Л.Е.* Теория систем сигналов. М.: Советское радио, 1978.-304 с.
2. *Варакин Л.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985.-384 с.
3. Статистические модели и методы обработки сигналов в системах радиосвязи: Учебное пособие/*Ш.М.Чабдаров, Р.Р.Файзуллин, А.Ф.Надеев, Р.Х.Рахимов, А.Ю.Феоктистов*; Казань: Изд-во Казанского гос. техн. ун-та. 1997.-90 с.
4. *Чабдаров Ш.М., Сафиуллин Н.З., Феоктистов А.Ю.* Основы статистической теории радиосвязи: Полигауссовы модели и методы: Учеб. пособ. Казань: КАИ, 1983.-87 с.
5. *Надеев А.Ф.* Марково-смешанные вероятностные модели и методы статистической теории связи. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Казань, 2000. 245 с.
6. *Чабдаров Ш.М., Трофимов А.Т.* Полигауссовы представления произвольных помех и прием дискретных сигналов // Радиотехника и электроника. 1975. Т.20. №4. С.734-735.