

АЛГОРИТМ ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ПРИЁМА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТРИЦ ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

Гармонов А.В., Гончаров Е.В., Александров Э.В.

Реферат. Рассматривается алгоритм подавления помех в сотовых системах с кодовым разделением каналов третьего поколения. Оценивается выигрыш, который может быть получен от предложенного алгоритма по сравнению с обычными.

1. Введение.

В настоящее время происходит возрастание темпов развития цифровых систем связи. Для увеличения эффективности, современные алгоритмы подавления помех в системах связи со многими пользователями (многопользовательское детектирование – Multi User Detection (MUD)) всё больше усложняются [1]. Следствием этого является опережение сложности алгоритмов над вычислительными возможностями аппаратуры, хотя модели этих алгоритмов дают лучшие результаты. Предлагаемый в данной статье алгоритм обладает небольшой вычислительной сложностью, и, вместе с тем характеристиками, очень близкими к потенциально достижимым. За потенциально достижимые были приняты характеристики модели полного восстановления сигнала на входе демодуляторов.

2. Описание алгоритма.

Предлагаемый алгоритм использует расчет комплексных корреляционных откликов по каждому лучу каждого пользователя путем свертки входного сигнала с ПСП сигналов пользователей на интервалах длительности соответствующих символов. В результате, подавление помех осуществляется в сформированных комплексных корреляционных откликах по каждому из лучей.

Рассмотрим процесс компенсации помех в мягких решениях на выходе демодулятора более подробно на примере сигналов двух пользователей.

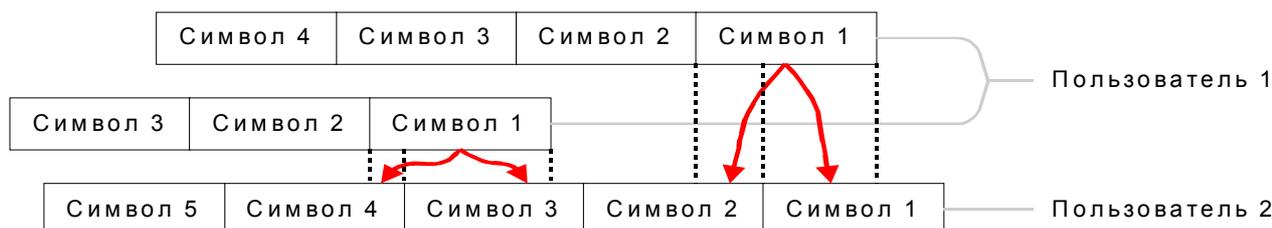


Рис. 1. Схема компенсации мешающего влияния в комплексных корреляционных откликах на выходе демодулятора.

Из рисунка 1 видно, что **символ 1** первого пользователя оказывает мешающее влияние на несколько символов второго пользователя:

- на **символ 1** и **символ 2** мешающее влияние оказывает первый луч,
- на **символ 3** и **символ 4** мешающее влияние оказывает второй луч.

Компенсация мешающего влияния должна осуществляться в несколько этапов:

1. Выбирается информационный **символ 1** первого пользователя.
2. Осуществляется Rake - объединение комплексных корреляционных откликов данного символа различных лучей (луч 1 и луч 2 пользователя 1 на рисунке 1), образуется мягкое решение по данному символу.
3. Осуществляется формирование оценок помех от **символа 1** на символы 1, 2, 3, 4 пользователя 2 с использованием сформированного мягкого решения **символа 1** пользователя 1, а также текущих значений комплексной огибающей и коэффициентов матрицы взаимной корреляции (см. рисунок 3).
4. Сформированные значения помех вычитаются из комплексных корреляционных откликов символов 1, 2, 3, 4 пользователя 2.
5. Затем выбирается первый символ другого пользователя, и вся процедура подавления повторяется заново.
6. После перебора всех первых символов всех пользователей процедура подавления повторяется для следующих символов всех пользователей.
7. После подавления мешающего влияния символа луча пользователя на все соседние символы всех лучей всех пользователей производится извлечение этого символа из линии задержки.

8. Далее производится повторное Rake-объединение извлеченных символов, и объединение символов соседних итераций. Объединение статистик соседних этапов определяется по следующему правилу: если x - мягкое решение предыдущей итерации, y - текущей итерации, то результирующее мягкое решение можно рассчитать по следующему правилу: $z = (x + y) / 2$.

Эта последовательность шагов выполняется несколько раз, в результате чего достигается лучшее подавление помех.

3. Метод расчёта коэффициентов матрицы взаимной корреляции.

Коэффициенты взаимной корреляции (КВК) определяют взаимное влияние отрезка сигнала одного луча на отрезок сигнала другого луча. Схематично общий случай наложения двух лучей представлен на рисунке 2 (сигнал луча 1 создаёт помеху сигналу луча 2).

В синхронном случае (задержки сигналов различных лучей равны) на каждый символ приходится по одному коэффициенту взаимной корреляции (в случае одинаковых SF). В асинхронном случае, даже при одинаковом значении SF, для различных лучей коэффициентов взаимной корреляции должно быть 2, поскольку мешающий луч 1 меняет значение информационного символа на интервале принимаемого символа луча 2, "разрывая" его на две части.

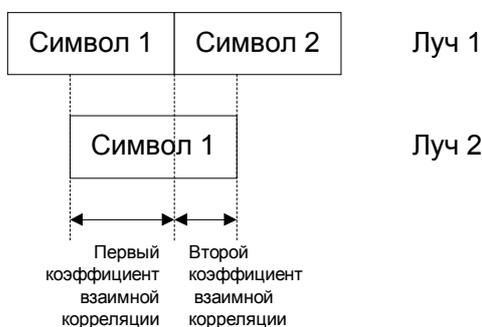


Рис. 2. Схема расчёта коэффициентов взаимной корреляции.

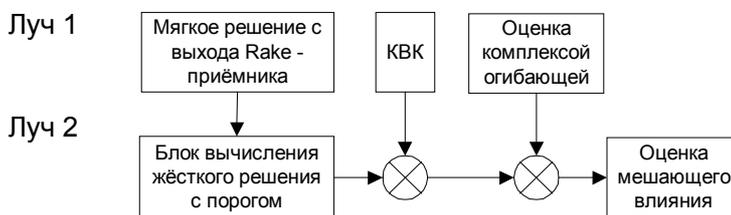


Рис. 3. Блок-схема блока формирования помехи от сигнала текущего луча текущего пользователя

КВК должны рассчитываться для текущего количества пользователей, картины многолучевости, с учетом SF и текущих задержек сигналов лучей пользователей. При изменениях задержек, появлении новых лучей или пользователей коэффициенты должны пересчитываться или добавляться новые.

Одной из важных проблем при расчете коэффициентов взаимной корреляции является тот факт, что задержка сигналов лучей пользователей может быть не кратна 1 чипу. Кроме того, расчет коэффициентов взаимной корреляции усложняется тем, что реальные помехи от сигналов ПСП соседних пользователей фильтруются в передатчике и приемнике.

Для реализации предлагается упрощенный метод расчета КВК, основанный на расчете КВК двух соседних ПСП, задержка которых кратна чипу с последующей линейной интерполяцией получившихся коэффициентов. Например, если взаимная задержка сигналов двух пользователей не кратна 1 чипу, то свертка рассчитывается не между мешающей и принимаемой ПСП, а между мешающей и двумя ПСП, задержки которых кратны 1 чипу, ближайших к принимаемой ПСП.

Вместе с тем полный отказ от фильтрации ПСП при расчетах, а также простота пересчета коэффициентов при изменениях задержек сигналов позволяют существенно снизить сложность реализации алгоритма многопользовательского детектирования.

Кроме того, можно упростить также и способ хранения КВК между нефитрованными ПСП различных лучей. Поскольку свертка ПСП осуществляется для однобитных последовательностей, значение свертки на интервале пересечения символов представляет собой конечное число возможных вариантов, общее количество которых не превышает $2^{SF \cdot 2}$. При SF=4 общее количество вариантов свертки не более чем $2^{2 \cdot 4} = 256$. Все эти варианты можно хранить в памяти, что также существенно упрощает реализацию алгоритма.

Выводы

Характеристики алгоритма для системы связи 3GPP TDD [2] протестированы в следующих условиях. Отношение мощности помех своей соты к мощности соседних 1:0.6. Частота релейских замираний 500 Hz, 4 луча мощности: 8/15, 4/15, 2/15, 1/15, фазы и задержки лучей априори известны. Результаты измерений приведены на рисунке 4.

Использование предложенного подхода позволяет достичь результатов, очень близких к результатам итеративного алгоритма. "Итеративный" - это алгоритм MUD с восстановлением сигнала и подавлением помех на входе демодулятора (этот алгоритм можно считать потенциально достижимым случаем, когда коэффициенты матрицы взаимной корреляции известны абсолютно точно).

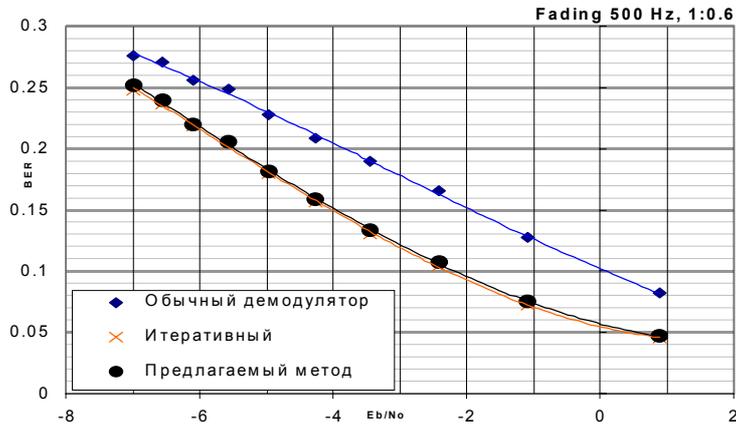


Рис. 4. Характеристики различных алгоритмов MUD.

Библиография

1. Зубарев Ю.Б., Трофимов Ю.К., Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б. Пути повышения пропускной способности мобильных систем 3-го поколения. // М.: Электросвязь, 2001. № 3. С. 9-11.
2. 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Networks. UTRA (BS) FDD: Radio transmission and Reception (Release 4).



MULTI-USER RECEPTION INTERFERENCE CANCELLATION ALGORITHM ON THE BASIS OF MATRICES CROSS CORRELATION USE

Garmonov A., Gontcharov E., Alexandrov E.

The description of the interference cancellation algorithm.

The proposed algorithm uses the calculation of complex correlation responses on the each path of the each user, by the method of input signal convolution with interference matrix. This matrix is formed from the cross correlation matrix (is calculated for this path configuration) and from preliminary received fixed decisions by all arrived symbols. As a result, the interference cancellation is fulfilled in the formed complex correlation responses by each of the paths. The algorithm is carried out iteratively several times, due to which the best results are achieved.

One path symbol of one user interferences with one or several symbols of each user path. Due to the path propagation delays, certain symbol of one user may produce the interference to other symbols of the same user, but they propagate on the different path. It is necessary to compensate all the interferences from all the paths.

Compensation process consists of the following stages:

1. User info symbol is chosen.
2. Rake – combining of the complex correlation responses of the current symbol is carried out and soft decision by the symbol forms.
3. The formation of interference estimation on the current symbol from all other symbols that coincide with the current one by the time of arrival is fulfilled. Here, the hard decisions of the corresponding symbols are used, as well as current values of complex envelope. The formed interference values are subtracted from complex correlation response of the certain symbol.
4. The next info symbol of the next user is chosen and all the interference cancellation procedure is repeated for it.
5. After all the first symbols processing of all users, the interference cancellation procedure repeats for the next symbols of all users.
6. Further, the repeated Rake-combining of the derived symbols and signal soft decisions of the adjacent iterations combining. The weight of the each iteration in the resulting soft decisions is equal to 1/2. The received soft decisions and corresponding to them hard decisions are used for the interference calculation during the next iteration.

The method of cross correlation matrix coefficients calculation.

Cross correlation coefficients (CCC) are determined the mutual influence of the one path signal segment on the other path signal segment. In the synchronous case (signal delays of the different paths are equal), one coefficient of the cross correlation (in case of the same SF) is corresponding to one symbol. In the asynchronous case, even at the equal SF values, there should be 2 coefficients of cross correlation for the different paths, since the interference path signal changes the value of the own info symbol during the other path receiving symbol. The symbols of the interference path signal break the receiving symbol into two parts.

CCC should be calculated for the current number of users, multipath environment, taking into account SF and current signal delays of user paths. During the delays changing or new paths and users appearance, the coefficients should be recalculated or the new ones should be added. One of the important problems during the calculation of the cross correlation coefficients is that the user path signal delay may be not multiplied by 1 chip. The simplified method of CCC calculation is proposed for the realization. This method is based on the calculation of convolution of two adjacent pseudo random sequences, the delay of the which is multiplied by one chip with the following linear interpolation of the obtained coefficients.