



DOI: <https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2023.1.6>

УДК 621.396.94

ББК 32.973

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ZF И MMSE В СИСТЕМАХ MIMO

Дмитрий Александрович Тюхтяев

Старший преподаватель, кафедра телекоммуникационных систем,
Волгоградский государственный университет
tyuhtyaev.dmitriy@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Надежда Николаевна Ермакова

Старший преподаватель, кафедра телекоммуникационных систем,
Волгоградский государственный университет
ermakova.nadezhda@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Евгений Сергеевич Семенов

Кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой телекоммуникационных систем,
Волгоградский государственный университет
semenov.evgeniy@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В современном городском рельефе существует большое количество препятствий в виде зданий, проводов, деревьев, являющихся причинами переотражения сигнала, что в свою очередь приводит к сложностям при детектировании исходного сигнала. Многолучевое распространение происходит из-за отражения, рассеяния и дифракции электромагнитных волн при попадании на природные и техногенные препятствия. В результате в приемную антенну приходит множество волн с различными задержками, затуханиями и фазами. Для борьбы с этим негативным эффектом возможно применение систем с технологией MIMO. В настоящее время технология MIMO (Multiple Input Multiple Output) используется практически во всех современных беспроводных технологиях. Данная технология позволяет использовать несколько приемо-передающих антенн для увеличения пропускной способности каналов связи и уменьшения ошибок, возникающих при передаче данных. В работе рассматриваются приемник с декорреляцией (ZF-приемник) и приемник, минимизирующий среднеквадратическую ошибку оценивания (Minimum Mean Square Error (MMSE)). Также дается алгоритм работы модели системы передачи MIMO с применением ZF- и MMSE-приемников. В заключительной части статьи приводятся результаты моделирования BER при различном количестве приемо-передающих антенн.

Ключевые слова: сигнал, схема, канал связи, анализ данных, MIMO, затухание, искажения, помехи, моделирование, BER, ZF, MMSE.

В настоящее время большинство из современных беспроводных систем передачи данных используют технологию ММО [1].

В системе ММО на стороне передатчика, данные одновременно передаются через М антенн. На приемной стороне каждая из N приемных антенн принимает сумму сигналов от передающих антенн. На рисунке 1 изображена структурная схема системы с использованием ММО.

Благодаря наличию эффекта многолучевости в тракте распространения радиоволн, каждый из М излученных сигналов многократно переотражается от различных наземных объектов, таким образом формируются независимые траектории прохождения радиоволн между каждой передающей и каждой приемной антеннами. Таким образом, технология ММО позволяет извлечь пользу из эффекта многолучевости.

Ниже перечислены существующие методы детектирования одновременно передаваемых сигналов.

Линейные приемники. Сложность декодирования пространственно мультиплексированных сигналов можно существенно уменьшить за счет применения линейного фронтального приемника (рис. 2), чтобы сначала разделить переданные потоки данных, а затем независимо декодировать каждый из потоков.

Процедура разделения символов определяется соотношением $z(k) = W(k)r(k)$.

В качестве $W(k)$ могут служить:

1. Приемник с декорреляцией (ZF-приемник), который определяется соотношением:

$$W_{ZF}(k) = H^{MP} = (H^H H)^{-1} H^H, \quad (1)$$

где $H^{MP} = (H^H H)^{-1} H^H$ означает псевдообращение Мура-Пенроуза канальной матрицы H [2].

На выходе ZF-приемника получаем

$$z = s + H^{MP}n. \quad (2)$$

Это показывает, что ZF-приемник разделяет матричный канал на p_T параллельных скалярных каналов с аддитивным пространственно-окрашенным шумом. Каждый скалярный канал затем декодируется независимо, игнорируя коррелированность шума в обрабатываемых потоках. ZF-приемник преобразует проблему совместного декодирования p_T проблем декодирования отдельных потоков (то есть он подавляет MSI), таким образом значительно снижая сложность приемника. Это снижение сложности происходит, однако, за счет увеличения шума, что приводит к значительному ухудшению качества по сравнению с МП-приемником.

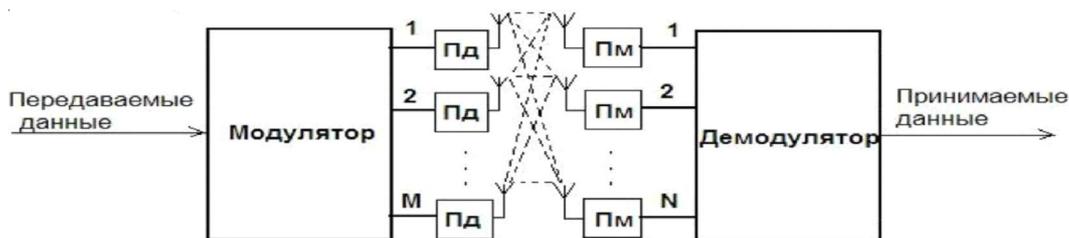


Рис. 1. Структурная схема системы ММО

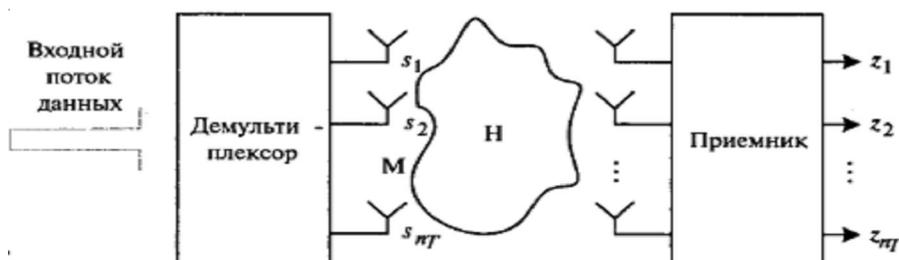


Рис. 2. Структурная схема системы связи с линейным фронтальным приемником для разделения потоков данных, переданных через ММО-канал

2. Приемник, минимизирующий среднеквадратическую ошибку оценивания (Minimum Mean Square Error [MMSE] receiver).

Фронтальный MMSE-приемник уравнивает уменьшение MSI и увеличение шума и определяется соотношением:

$$W_{MMSE}(k) = (H^H + \frac{n_T}{\rho} I_{n_T})^{-1} H^Y. \quad (3)$$

В режиме низких SNR ($\rho \approx 1$) MMSE-приемник приближается к согласованному фильтру, определяемому соотношением

$$W_{MMSE} = N_0^{-1} H^H \quad (4)$$

и превосходит ZF-приемник, который увеличивает шум. На высоких SNR ($\rho \approx 1$):

$$W_{MMSE} = W_{ZF}. \quad (5)$$

Произведем моделирование приемника ZF и MMSE в программном продукте Matlab. Алгоритм работы модели представлен на рисунке 3.

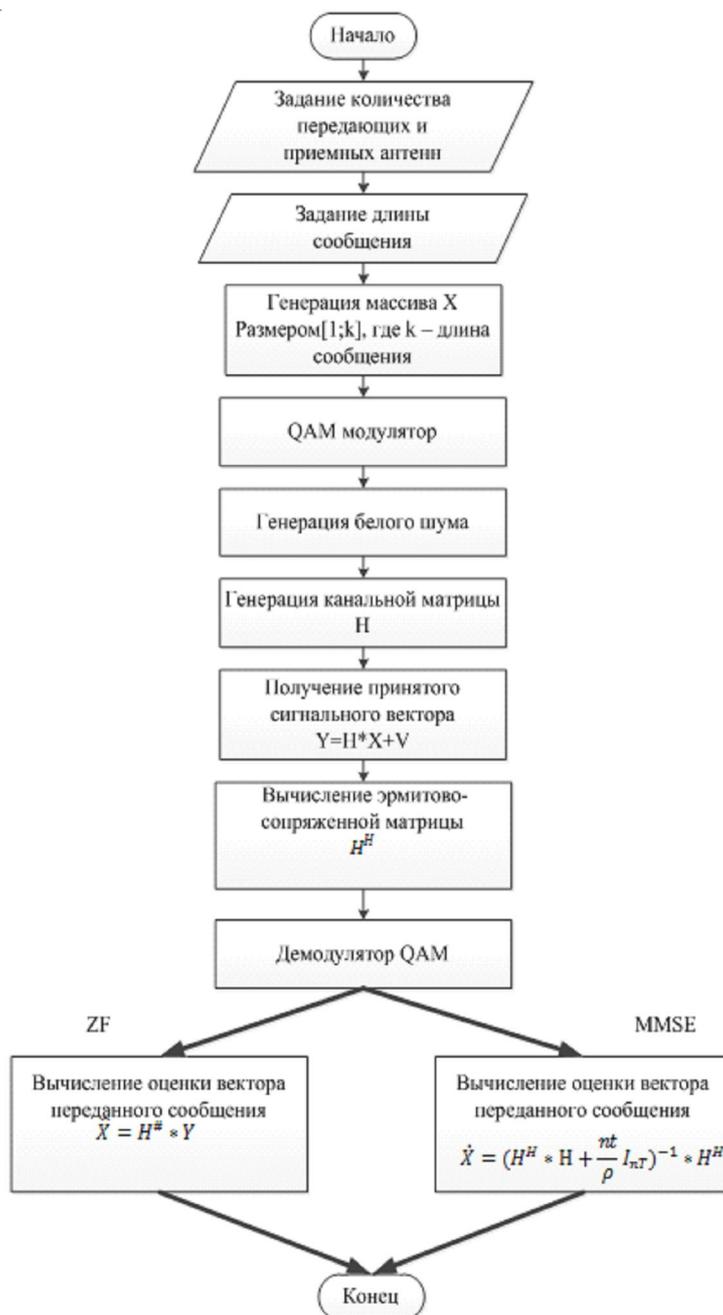


Рис. 3. Алгоритм работы ZF и MMSE

В качестве канала связи был использован канал с белым Гауссовским шумом, который менялся в диапазоне от 0 Дб до 20 Дб [3]. Результаты работы модели представлены на рисунках 4 и 5.

В ходе эксперимента было выявлено, что в случае, если количество приемных антенн больше количества передающих, нет разницы, какой метод использовать на приеме. В случае, если количество приемных антенн равно количеству передающих, использование метода MMSE более оправдано, так как он позволяет уменьшить количество ошибок.

1. Гаврианова, А. В. Исследование системы радиопередачи с применением технологии MIMO в зависимости от вида модуляции / А. В. Гаврианова, Д. А. Тюхтяев // Проблемы передачи информации в инфокоммуникационных системах : сб. докл. и тез. VIII Всерос. науч.-практ. конф. (г. Волгоград, 26 мая 2017 г.). – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2017. – С. 27–30.
2. Новые алгоритмы формирования и обработки сигналов в системах подвижной связи / А. М. Шлома [и др.]. – М. : Горячая линия–Телеком, 2008. – 344 с.
3. Семенов, Е. С. Выбор оптимального числа приемно-передающих устройств при различных ме-

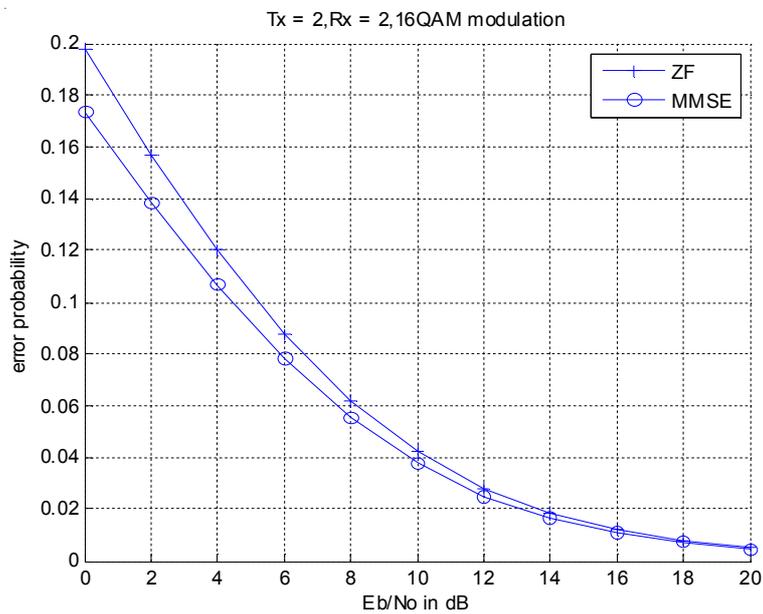


Рис. 4. BER при 2 передающих и 2 приемных антеннах

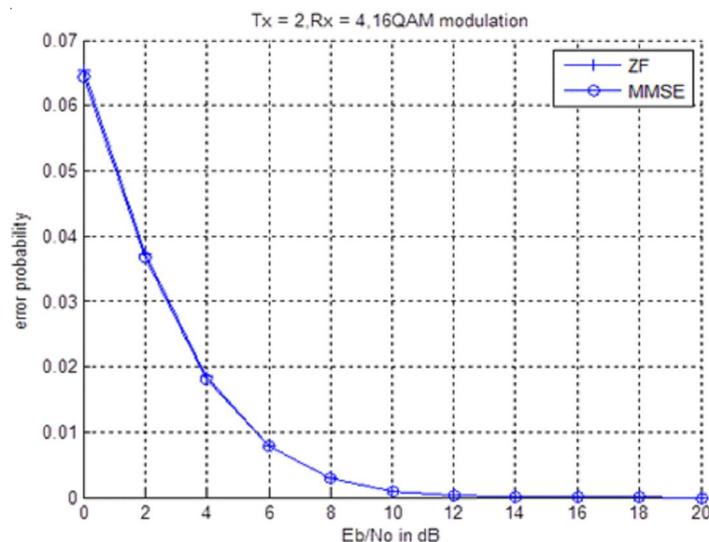


Рис. 5. BER при 2 передающих и 4 приемных антеннах

тодах обработки в системах V-BLAST / Е. С. Семенов, Д. А. Тюхтяев // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – № 2. – С. 62–65.

REFERENCES

1. Gavriyanova A.V., Tyukhtyaev D.A. Issledovanie sistemy radioperedachi s primeneniem tehnologii MIMO v zavisimosti ot vida moduljatsii [Research of the Radio Transmission System Using MIMO Technology Depending on the Type of Modulation]. *Problemy peredachi informacii v infokommunikacionnyh sistemah : sb. dokl. i tez. VIII Vseros. nauch.-prakt. konf., Volgograd, 26 maja 2017 goda* [Problems of Information Transmission in Infocommunication Systems. Collection of Reports and Theses of the 8th All-

Russian Scientific and Practical Conference, Volgograd, May 26, 2017]. Volgograd, Volgograd State University, 2017, pp. 27-30.

2. Shloma A.M., Bakulin M.G., Kreindelin V.B., Shumov A.P. *Novye algoritmy formirovaniya i obrabotki signalov v sistemah podvizhnoj svyazi* [New Algorithms for Generating and Processing Signals in Mobile Communication Systems]. Moscow, Gorjachaja liniya – Telekom Publ., 2008. 344 p.

3. Semenov E.S., Tyukhtyaev D.A. Vybora optimalnogo chisla priemo-peredajushhih ustrojstv pri razlichnyh metodah obrabotki v sistemah V-BLAST [Selection of the Optimal Number of Receiving and Transmitting Devices with Various Processing Methods in V-BLAST Systems]. *Infokommunikacionnye tehnologii* [Infocommunication Technologies], 2013, no. 2, pp. 62-65.

ZF AND MMSE DETECTION STUDY IN MIMO SYSTEMS

Dmitriy A. Tyukhtyaev

Senior Lecturer, Department of Telecommunications Systems,
Volgograd State University
tyukhtyaev.dmitriy@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Nadezhda N. Ermakova

Senior Lecturer, Department of Telecommunications Systems,
Volgograd State University
ermakova.nadezhda@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Evgeniy S. Semenov

Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor,
Head of the Department of Telecommunications Systems,
Volgograd State University
semenov.evgeniy@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. The proliferation of obstacles in urban environments, such as buildings, wires, and trees, can cause signal re-reflection, resulting in difficulties in detecting the original one. Multipath propagation occurs when electromagnetic waves hit natural and man-made obstacles, leading to the reflection, scattering, and diffraction of waves. This can result in multiple waves arriving at the receiving antenna with different delays, attenuations, and phases. To address this problem, the widely used in modern wireless communication systems MIMO technology (Multiple Input Multiple Output) can be utilized. It uses multiple transmitting and receiving antennas to increase communication channel throughput and reduce errors that occur during data transmission. This paper examines a receiver with decorrelation (ZF receiver) and a receiver that minimizes the minimum mean square error (MMSE). Additionally, an algorithm for a MIMO transmission system model using ZF and

MMSE receivers is presented. In the final section of the article, the results of Bit Error Rate (BER) modeling are presented for different numbers of transmitting and receiving antennas. The presented algorithm can significantly reduce errors that occur during data transmission in urban environments, where multipath propagation is common because of signal re-reflection. The use of MIMO technology with decorrelation and MMSE receivers can increase the efficiency of communication channels and make wireless communication more reliable in urban environments.

Key words: signal, circuit, communication channel, data analysis, MIMO, attenuation, distortion, interference, modeling, BER, ZF, MMSE.