

Более тщательный подход к анализу качества связи, основанный на имитационном моделировании с учетом наихудших условий распространения сигнала, является предметом дальнейших исследований.

### Литература

1. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи, М.: Экотрендз, 2005. – 392 с.

2. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений, М.: Сов. радио, 1970. – 728 с.  
3. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, М.; СПб.; Киев: Вильямс, 2003. – 1104 с.

## BER PERFORMANCE OF OFDM-QAM OVER AWGN CHANNEL

Pushkina E.O.

**In this essay we describe error performance in OFDM system with QAM-8, -16, -64. We present general expression for BER performance calculated for subcarrier, QAM-symbol, OFDM-symbol. BER-curves are given and illustrated in graph. We analyze potential noise immunity of OFDM system.**

**Keywords:** *OFDM, QAM, SNR, AWGN, BER performance, detection probability, signal encoding, subcarrier, noise immunity.*

Пушкина Евгения Олеговна, инженер-электроник Филиала ФГУП НИИР-ЛОНИИР (г. Санкт-Петербург). Тел. (8-812) 323-58-95; 600-63-83; тел. 8-911-208-15-78. E-mail: evergrin@mail.ru

УДК 658.512

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ В СИСТЕМАХ V-BLAST

Семенов Е.С., Тюхтяев Д.А.

Последнее время характеризуется бурным развитием систем беспроводной связи. В каналах радиосвязи таких систем действует комплекс помех и искажений. Замирания сигнала в таких каналах затрудняют оценку переданных сообщений и приводят к искажениям передаваемой информации. Наиболее перспективным путем решения данной проблемы является использование нескольких приемных и передающих антенн (так называемые ММО-системы (ММО – множественный вход множественный выход)). В работе исследована модель системы V-Blast в программном комплексе Matlab.

**Ключевые слова:** приемные антенны, передающие антенны, технология ММО, моделирование, отношение «сигнал/шум», ошибка.

Глобализация экономической жизни и растущая роль технологических инноваций серьезно повысили роль информации как одного из ключевых факторов обеспечения конкурентоспособности в современной экономике. Телекоммуникации стали интегральной частью бизнеса и обеспечивают внутренние и международные потоки информации в процессе принятия деловых решений [1]. Увеличение информационных потоков в беспроводных сетях связи накладывает высокие требования на пропускную способность

и качество передачи информации (малая вероятность ошибки). Наиболее перспективным путем решения данной проблемы является использование нескольких приемо-передающих антенн (так называемые ММО-системы: «типа множественный вход – множественный выход» [5]).

Технология BLAST (Bell Laboratories Layered Space-Time), которая является примером таких ММО-систем [4], получила одобрение специалистов, чему способствовали эксперименты [7], подтверждающие ее работоспособность. Суть V-Blast заключается в том, чтобы в одной полосе частот передавать несколько пространственно-разнесенных информационных каналов – на приемной стороне эти каналы разделяют на основе их пространственных различий [2]. Целью работы является выбор оптимального числа приемо-передающих устройств для применения в V-Blast-системах.

### Архитектура V-Blast

Архитектура системы связи на основе V-Blast изображена на рис. 1. Единый поток данных демультиплексируется в  $M$  субпотоков, впоследствии каждый из них кодируется и передается в соответствующий передатчик. Каждый передатчик представляет

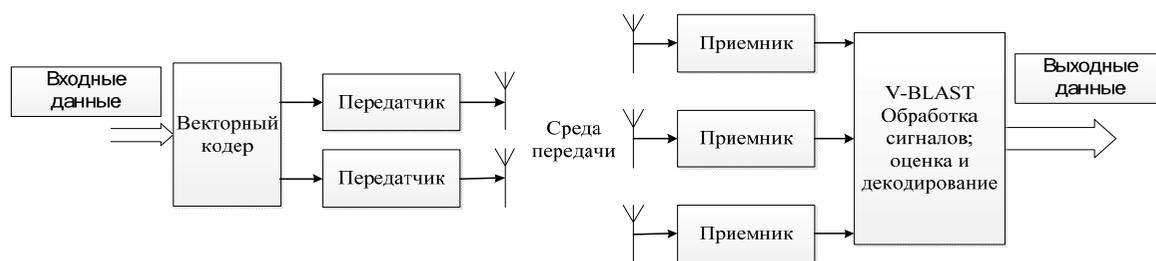


Рис.1. Архитектура V-Blast

собой обычный QAM-передатчик. Совокупность передатчиков составляют вектор-передатчик, компонентами каждого передаваемого вектора являются символы QAM-созвездия. В качестве приемников выступают, как правило, QAM-приемники, которые также работают совместно. Каждая из  $N$  антенн принимает сигналы, излучаемые из каждой передающей антенны. Впоследствии данные с приемников поступают в блок V-Blast-обработки (векторный декодер). Далее происходит оценка принятых результатов. На следующем шаге данные, полученные с QAM-приемников, мультиплексируются и передаются получателю сообщения.

Для моделирования системы V-Blast воспользуемся соотношениями [7]. Вектор принятого сигнала определяется как

$$Y = H * X + V, \quad (1)$$

где  $V$  – шум в канале;  $H$  – комплексный коэффициент передачи канала связи (матрица канальных коэффициентов размерности  $R_x * T_x$ , где  $R_x$  и  $T_x$  – число приемных и передающих антенн соответственно);  $X$  – переданный сигнальный вектор;  $Y$  – принятый сигнальный вектор.

В общем случае для нахождения переданного вектора достаточно воспользоваться соотношением

$$\hat{X} = H^{-1} * Y, \quad (2)$$

где  $\hat{X}$  – оценка вектора переданного сообщения [6]. Для снижения числа ошибок наибольшее распространение в последнее время получили два метода оценки принятого сообщения: ZF (Zero forcing) и MMSE (Minimum Mean Squared Error). При использовании метода ZF оценка вектора сообщения  $X$  находится по формуле [6]:

$$\hat{X} = H^{\#} * Y, \quad (3)$$

где  $H^{\#} = (H^H * H)^{-1} * H^H$ ;  $H^{\#}$  – псевдообращение Мура-Пенроуза канальной матрицы;  $H^H$  – эрмитово-сопряженная матрица [3]. В случае

применения приемника на основе MMSE оценка ищется с помощью соотношения:

$$\hat{X} = (H^H * H + \frac{nt}{\rho} I_{nT})^{-1} * H^H, \quad (4)$$

где  $\rho$  – отношение «сигнал/шум» в канале без замираний. Алгоритм работы ZF и MMSE представлен на рис. 2.

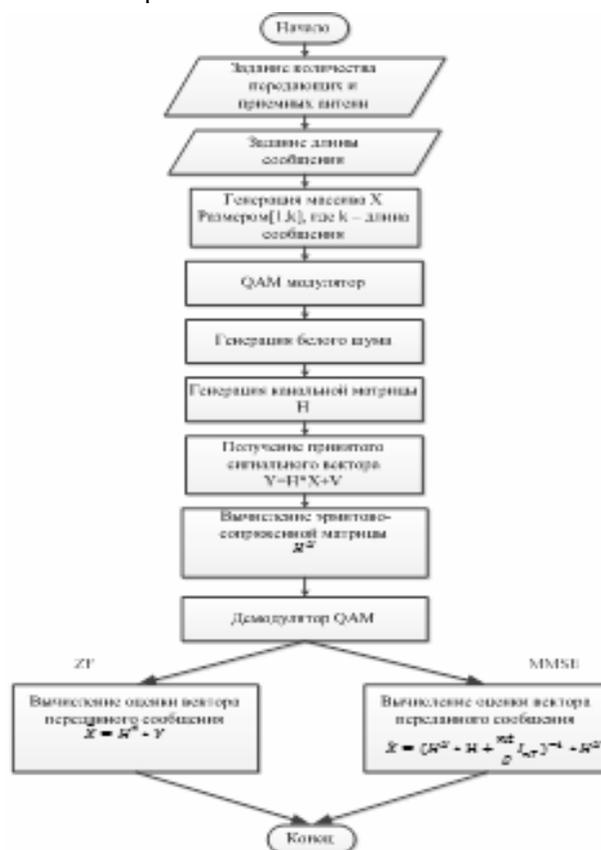


Рис. 2. Алгоритм работы ZF и MMSE

В среде программирования Matlab была разработана модель системы V-BLAST. В качестве шума выступает белый гауссовский шум в пределах от 0 до 20 дБ. Примем допущение, что условия окружающей среды не изменяются, многолучевое распространение отсутствует. Поэтому канальная матрица  $H$  в ходе эксперимента остается стационарной. Также можно считать, что в качестве модуляции применяется QAM-16.

На рис. 3-6 приведены зависимости вероятности пакетной ошибки от отношения «сигнал/шум» для высокоуровневой модуляции QAM-16 при использовании числа  $T_x$  передающих и  $R_x$  приемных антенн, принятых равными, соответственно: 2 и 2 – на рис. 3; 2 и 4 – на рис. 4; 4 и 4 – на рис. 5; 4 и 6 – на рис. 6.

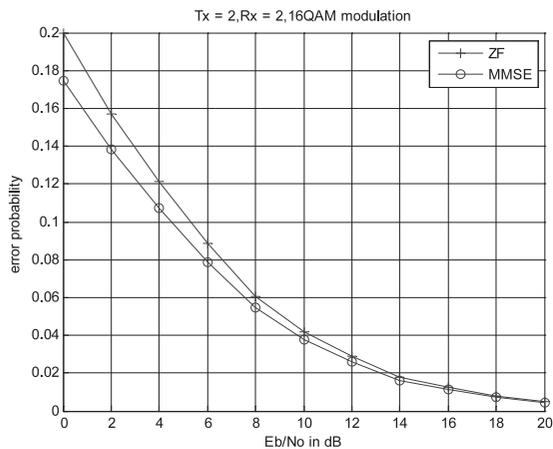


Рис. 3. Число антенн  $T_x = 2$ ;  $R_x = 2$

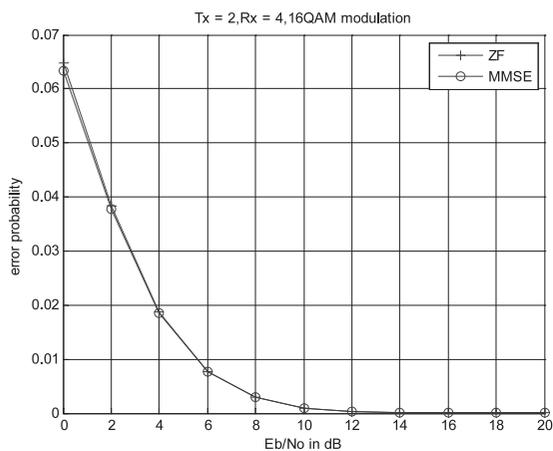


Рис. 4. Число антенн  $T_x = 2$ ;  $R_x = 4$

Данные рис. 3 показывают, что в случае применения двух приемных и двух передающих антенн использование метода MMSE в диапазоне 0... 12 дБ обеспечивает существенное снижение относительного числа ошибок. Из рис. 4 видно, что кривые ошибок для методов ZF и MMSE практически идентичны. На рис. 5 показано, что метод MMSE дает выигрыш перед методом ZF при низких значениях отношения «сигнал/шум». Случай, представленный на рис. 6, соответствует зависимостям, близким к представленным на рис. 4.

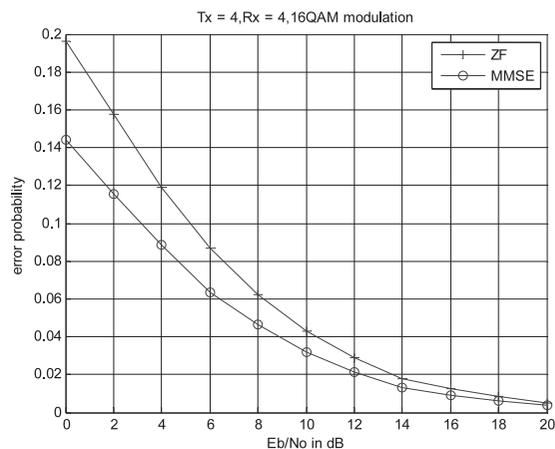


Рис. 5. Число антенн  $T_x = 4$ ;  $R_x = 4$

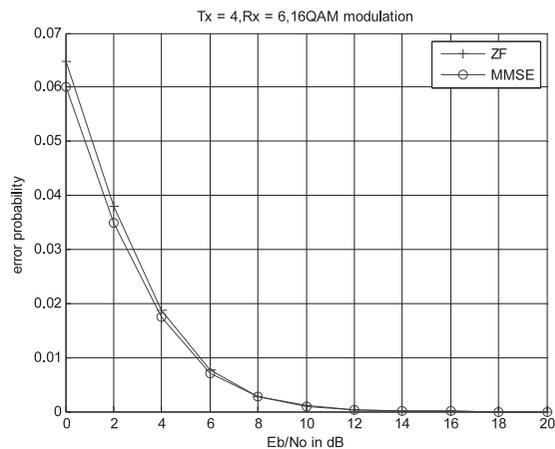


Рис. 6. Число антенн  $T_x = 4$ ;  $R_x = 6$

Из представленных результатов можно сделать вывод, что оптимальным является использование системы, состоящей из двух передающих и четырех приемных антенн. Но необходимо помнить, что с увеличением числа приемо-передающих устройств растет пропускная способность системы. В связи с тем, что кривые ошибок в случаях, представленных на рис. 4 и рис. 6 (число приемных и передающих антенн неодинаково), похожи, наиболее выгодным решением является применение метода ZF, так как вычислительные затраты для данного метода наименьшие. В ситуациях, при которой число приемных и передающих антенн одинаково, эффективнее использование метода MMSE, так как данный метод обеспечивает меньшее количество ошибок.

## Литература

1. Войтеховский К.В. Перспективы развития современного российского рынка телекоммуникаций. М.: Труды СГА, 2011. – 110 с.

2. Джиган В.И., Алгоритмические основы технологии V-BLAST для беспроводной передачи данных // Первая Миля. №1, 2007. – 19 с.
3. Шлома А.М., Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Шумов А.П. Новые алгоритмы формирования и обработки сигналов в системах подвижной связи. М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 344 с.
4. Foschini G.J. Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas // Bell Laboratories Technical Journal. Vol.1, №2, 1996. – P. 41-59.
5. Hottinen A., Tirkonnen O., Wichman R. Multi-antenna transceiver techniques for G3 and beyond. NJ, Hoboken: John Wiley and Sons, 2003. – 325 p.
6. Jafarkhani H. Space-Time Coding: theory and practice. Cambridge University Press, 2005. – 320 p.
7. Wolniansky P.W., Foschini G.J., Golden G.D., Valenzuela R.A. V-BLAST: an architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering wireless channel // Proc. URSI International Symposium on Signals, Systems, and Electronics (IEEE, New York, NY, USA), 1998. – P. 295-300.

## SELECTION OF THE OPTIMAL NUMBER OF RECEIVING AND TRANSMITTING DEVICES WITH DIFFERENT METHODS OF TREATMENTS SYSTEMS V-BLAST

Semenov E.S., Tyukhtyaev D.A.

The latter period is characterized by rapid development of wireless communication systems. In such systems, radio channels operating range of noise and distortion. Strong fading in the channel make it difficult to assess the sent messages and lead to distortions of the transmitted information. . The most promising way to solve this problem is to use multiple transeiving antennas MIMO-system. In this research, have been simulated the V-Blast system in the technical computing software Matlab.

**Keywords:** receiving antennas, transmitting antennas, MIMO-technologies, simulation, signal-to-noise ratio, the error.

Семенов Евгений Сергеевич, к.т.н., доцент, заведующий Кафедрой телекоммуникационных систем (ТС) Волгоградского государственного университета (ВолГУ). Тел. (8-844) 246-03-69. E-mail: esemenov@mail.ru

Тюхтяев Дмитрий Александрович, ассистент Кафедры ТС ВолГУ. Тел. 8-906-408-13-42. E-mail: tyukhtyaevml@mail.ru

УДК 621.375: 535.3

## СПОСОБ СТАБИЛИЗАЦИИ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА

Петропавловский В.М., Топоркова Л.В.

Предложен способ стабилизации мощности излучения одномодового лазера на основе явления тепловой линзы. Рассчитаны зависимость мощности излучения на выходе стабилизатора от мощности излучения лазера и коэффициент стабилизации.

**Ключевые слова:** стабилизация мощности лазера, тепловая линза.

### Введение. Постановка задачи

Для задач контроля качества оптических волокон и метрологии требуются лазеры с высокой долговременной стабильностью мощности излучения. Существующие методы затрагивают только стабилизацию электрической мощности блока питания. Между тем изменение параметров окружающей среды (прежде всего температуры)

приводит к изменению характеристик излучателя (например, за счет частичной разбюстировки), что ведет к уменьшению выходной мощности. В данной статье предлагается способ стабилизации мощности излучения лазера, основанный на явлении самодефокусировки лазерного пучка, проходящего через среду с отрицательной величиной  $\partial n/\partial T$ .

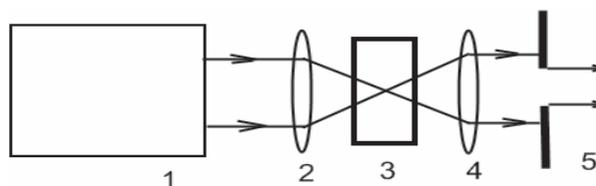


Рис. 1. Принципиальная схема установки