

ОДИН ИЗ ВАРИАНТОВ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ С QUASI-QAM

А.Ф. Гильфанова, Д.А. Веденькин

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. В статье представлены результаты оценки повышения потенциала помехоустойчивости канала связи с применением quasi-QAM (Quadrature Amplitude Modulation-квадратурная модуляция) модуляции. Произведен анализ существующих технических решений и методик обеспечения помехозащищенности канала связи. Предложен один из вариантов повышения помехозащищенности с изменением сигнального созвездия по методу quasi-QAM. В статье обсуждаются результаты математического моделирования цифрового канала связи с различными видами шумов (белый, розовый, красный, синий и фиолетовый).

Ключевые слова: математическое моделирование, модуляция, квадратурная амплитудная модуляция, сигнальное созвездие, белый шум, цветной шум.

Введение

Беспроводные системы цифровой связи становятся все более привлекательными ввиду повышения скорости передачи данных и уменьшения времени задержки в задачах реального времени. Повышается качество видеоконференцсвязи, увеличиваются вычислительные способности мобильных устройств, в скором времени пользователям будут предложены новые услуги, например, дополненная реальность в городской среде, позволяющая увидеть дома и улицы, какими они были несколько лет назад, или развитие «туманных вычислений» на большом количестве относительно малопроизводительных пользовательских устройств. Все эти задачи неизбежно связаны с развитием информационного обмена между устройствами и узлами телекоммуникационных сетей, решением задач электромагнитной совместимости и стабильным функционированием в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки. В настоящее время при снижении отношения сигнал/шум в беспроводных системах связи происходит изменение формата модуляции от более скоростного к более помехозащищенному, например, от QAM-16 к QPSK (quadrature phase shift keying – квадратурная фазовая модуляция), что приводит к снижению скорости передачи данных. В приложениях реального времени подобный переход может значительно ухудшить качество предоставляемых услуг, а то и сделать их предоставление невозможным. Для решения этой проблемы разработаны методы повышения помехозащищенности передаваемого сигнала, в которых предлагается увеличивать мощность передаваемого сигнала или применять помехоустойчивое кодирование. При сравнении этих методов необходимо учесть такие аспекты, как энергоэффективность, скорость передачи данных, степень помехозащищенности, возможность реализации [1].

Синтез оптимальных алгоритмов и исследование помехозащищенности приема дискретных сигналов проводились многими авторами. Одни предлагают метод разнесенного приема сигнала, однако частотное разнесение приводит к расширению

полосы частот, занимаемой системой связи, что приводит к увеличению взаимных помех, а временное разнесение сигналов накладывает ограничения на скорость передачи информации. Другие реализуют повышение помехозащищенности путем поворота сигнального созвездия на некоторый угол, но если энергетические параметры остаются неизменными, то любая трансформация сигнального созвездия в результате поворота всех векторов на комплексной плоскости на один и тот же угол не приводит к изменению помехозащищенности сигнала (Рис. 1) [2-4]. Представленный в данном исследовании метод предлагает совершенно другой подход к повышению помехозащищенности.

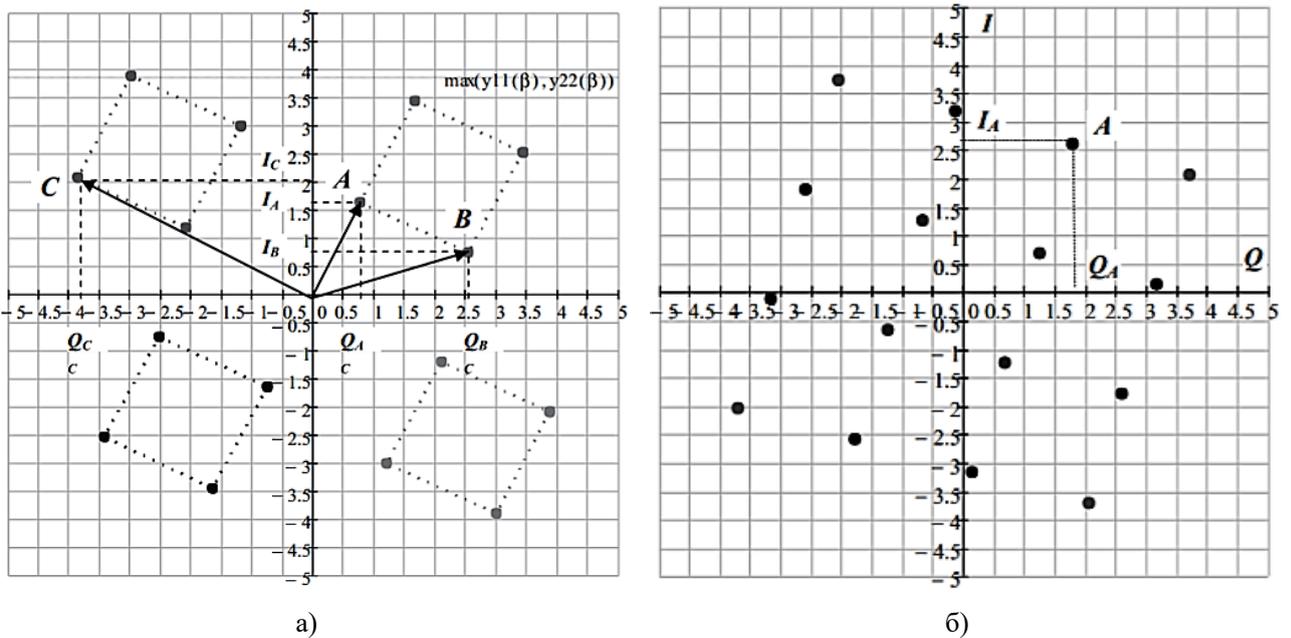


Рис. 1. Варианты изменения сигнальных созвездий: трансформированное по стандарту DVB-T2 (а), трансформированная по альтернативному варианту (б)

Исследование quasi-QAM модуляции при действующем белом гауссовском шуме

Традиционный подход к анализу коэффициента ошибок может быть представлен в оборудовании, которое изображено на рисунке 2.

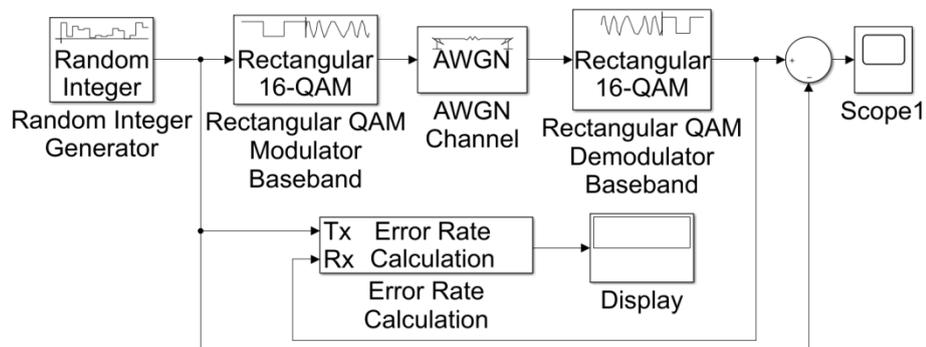


Рис. 2. Блок-схема канала с QAM-16 и белым шумом

Представленная модель системы цифровой связи позволяет реализовать: модель передачи цифрового сигнала от генератора, канал с аддитивным белым гауссовским шумом и обработку принятого сигнала в приемной части. Модель позволяет вращать и смещать

векторы сигнального созвездия совместно. Для независимого управления местоположением каждой точки сигнального созвездия на комплексной плоскости, а значит и параметрами каждого из векторов, необходимо преобразовать предлагаемую модель в виде программного кода, обладающего большей гибкостью по сравнению с графическими моделями MatLAB Simulink.

Отличием от рассмотренного традиционного подхода является то, что предлагается использовать пространство сигналов QAM-64 для передачи QAM-16. Это потребует следующего алгоритма, который представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Блок-схема работы кода

Рассмотрим математическую модель, реализующую предложенный алгоритм. В первую очередь для создания исходного информационного сигнала должна быть сгенерирована случайная последовательность из произвольного количества нулей и единиц, кратного четырем, например, 1024 бит. Вероятность появления нулей и единиц в предлагаемой модели одинакова. Затем из каждой четверки бит в соответствии с диаграммой Грея формируются передаваемые символы пространства QAM-16, которые подвергаются воздействию аддитивного белого гауссовского шума. В проведенных вычислительных экспериментах отношение сигнал/шум варьировалось от 0 дБ до 20 дБ. На «приемной» стороне происходит процесс демодуляции и побитового сравнения «полученной» и исходной последовательностей. В качестве иллюстрации может быть

приведен рисунок 4, на котором показаны местоположения точек на сигнальном созвездии, характеризующие их идеальное, допустимое и ошибочное местоположения.

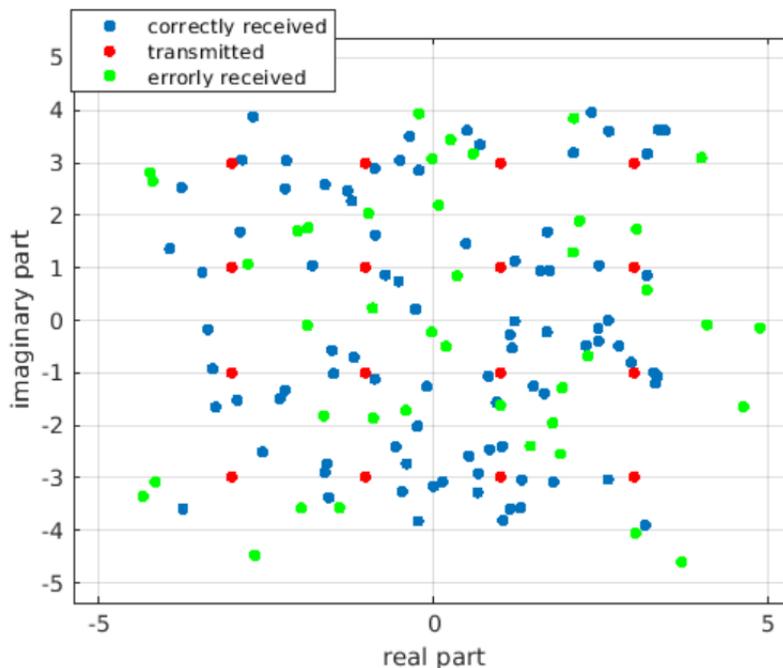


Рис. 4. Сигнальное созвездие принятого сигнала в случае возникновения ошибок

Для уменьшения количества ошибок рассмотрим предлагаемый метод quasi-QAM модуляции. В соответствии с этим методом точка с наибольшим количеством ошибок должна передаваться с другими координатами. В данном исследовании полагаем, что точки сигнального созвездия могут менять свое положение на комплексной плоскости в соответствии с QAM-64 [5-6], рисунок 5. Для простоты изложения ограничимся изменением координаты только одной точки.

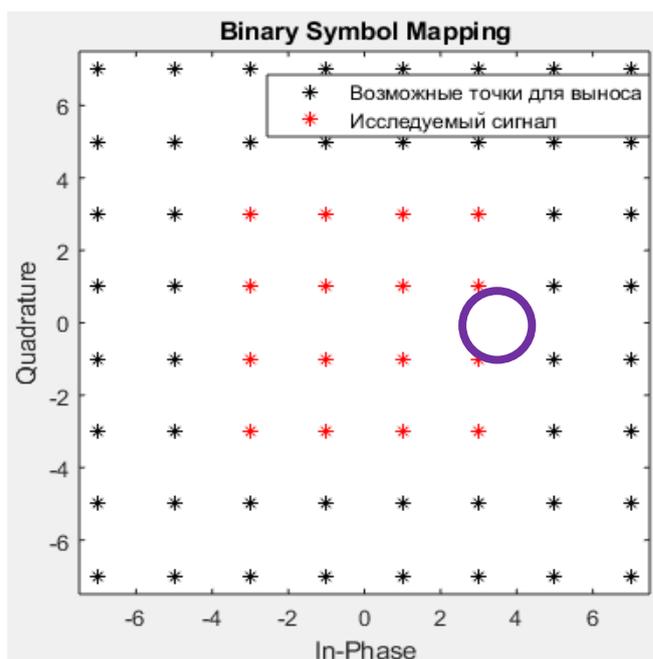


Рис. 5. Возможное положение точек на сигнальной плоскости

Рассмотрим ситуацию, при которой точка с координатами $3+1i$ на рисунке 5, подвергается наибольшему негативному воздействию помех. Тогда она может быть перенесена в соседнюю область с координатами $5+3i$ и преобразованное сигнальное созвездие будет выглядеть согласно рисунку 6

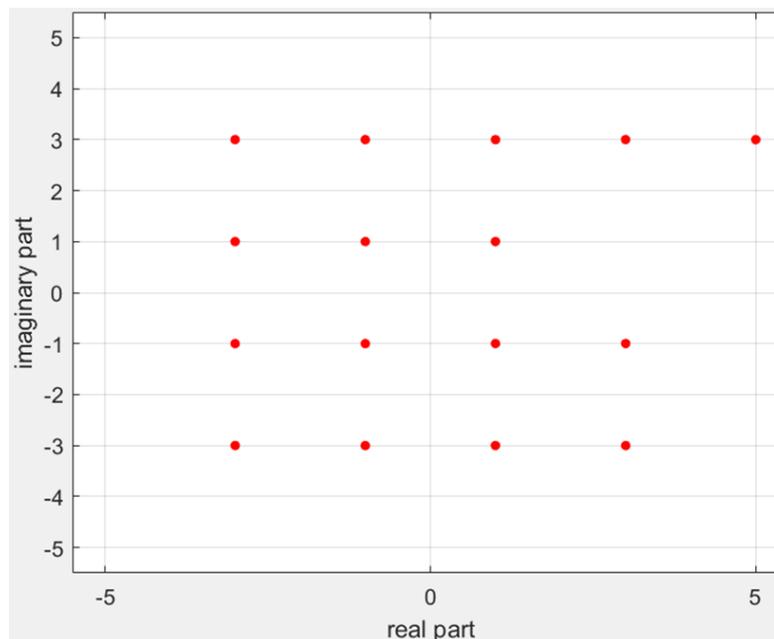


Рис. 6. Измененное сигнальное созвездие

Далее повторяем все операции с исходным сигналом, используя измененное сигнальное созвездие. Поскольку длина вектора до вынесенной точки в преобразованном сигнальном созвездии больше чем соответствующая длина в исходном сигнальном созвездии, для корректного сравнения помехозащищенности был выполнен соответствующий пересчет отношения сигнал/шум. Для получения наглядных результатов и корректной статистической обработки было проведено исследование 1000 различных пакетов сигналов по 1024 бита для каждого уровня шума. Полученный график (Рис. 7) показывает, что сигнал quasi-QAM-16 имеет более низкую частоту ошибок, чем сигнал QAM-16.

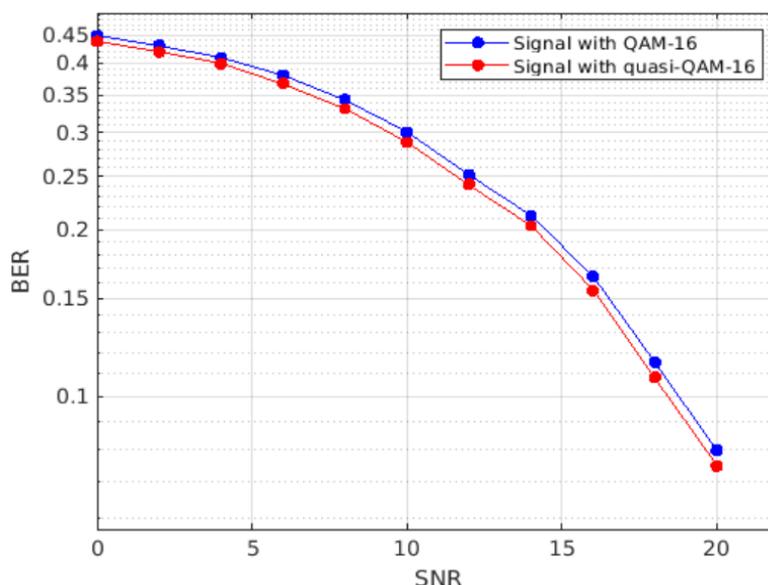


Рис. 7. Зависимость BER от SNR

Однако, на представленном рисунке видно, что количество ошибок уменьшилось недостаточно. Для того чтобы значительно увеличить помехозащищенность необходимо вынести точку с наибольшим количеством ошибок в другое место сигнального созвездия. Для этого задается условие, при котором сравниваются значения BER (Bit error ratio – коэффициент битовых ошибок) сигнала QAM-16 и BER сигнала quasi-QAM-16. Если значение BER сигнала quasi-QAM-16 уменьшилось недостаточно, то информационный сигнал передается еще раз с новой координатой для ошибочной точки. В этом случае получаем:

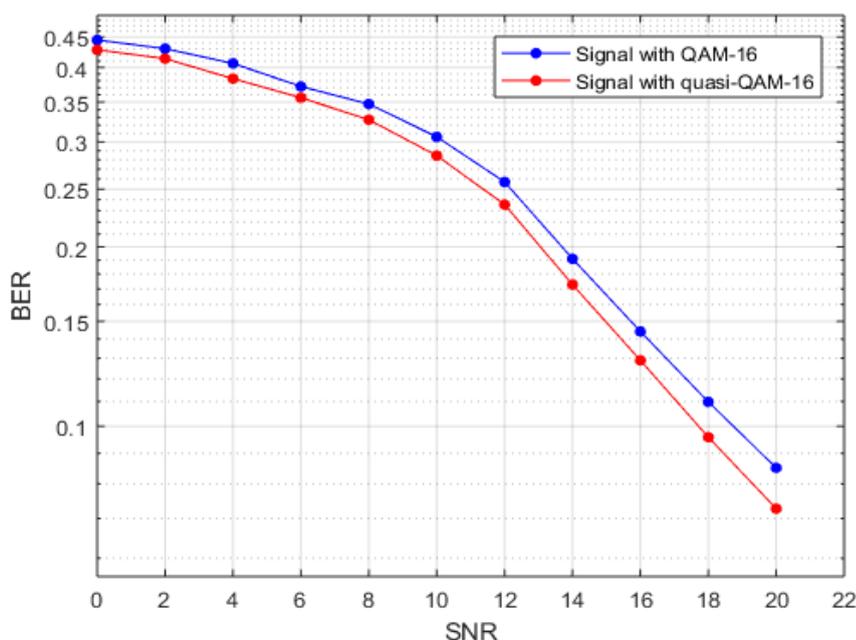


Рис. 8. Зависимость BER от SNR

В результате можно сделать вывод, что представленный в [7] метод, который заключается в выборочном изменении координат точек на сигнальном созвездии, повышает помехозащищенность канала связи с квадратурной амплитудной модуляцией.

Оптимальный прием на фоне небелого гауссовского шума

При работе радиотехнических средств электромагнитные волны, излучаемые антенной, отражаются от объектов, электрические параметры которых отличаются от параметров среды распространения радиоволн. В частности, такими объектами являются местные предметы, гидрометеоры (облака, дождь, град, снег), объекты другого природного происхождения. Этот тип помех характеризуется неравномерным распределением их спектральной плотности мощности вдоль оси частот (то есть эти помехи являются небелым шумом) [8].

Исследование канала связи с цветным шумом проводилось на основе представленной выше блок-схемы (Рис. 3). Информационная последовательность модулируется, после чего к сигналу добавляется шум. В данном случае рассматриваются различные типы цветного шума.

Для получения наглядных результатов и возможности статистической обработки было также проведено моделирование 1000 случайных пакетов сигналов для каждого значения и типа шума. По результатам проведенного исследования были построены графики (Рис. 9), которые показывают зависимость уровня битовых ошибок (BER) от отношения сигнал/шум (SNR) при наличии того или иного типа цветного шума в канале связи. Из этих графиков ясно, что сигнал quasi-QAM имеет меньшую частоту ошибок, чем

сигнал, модулированный по закону QAM-16.

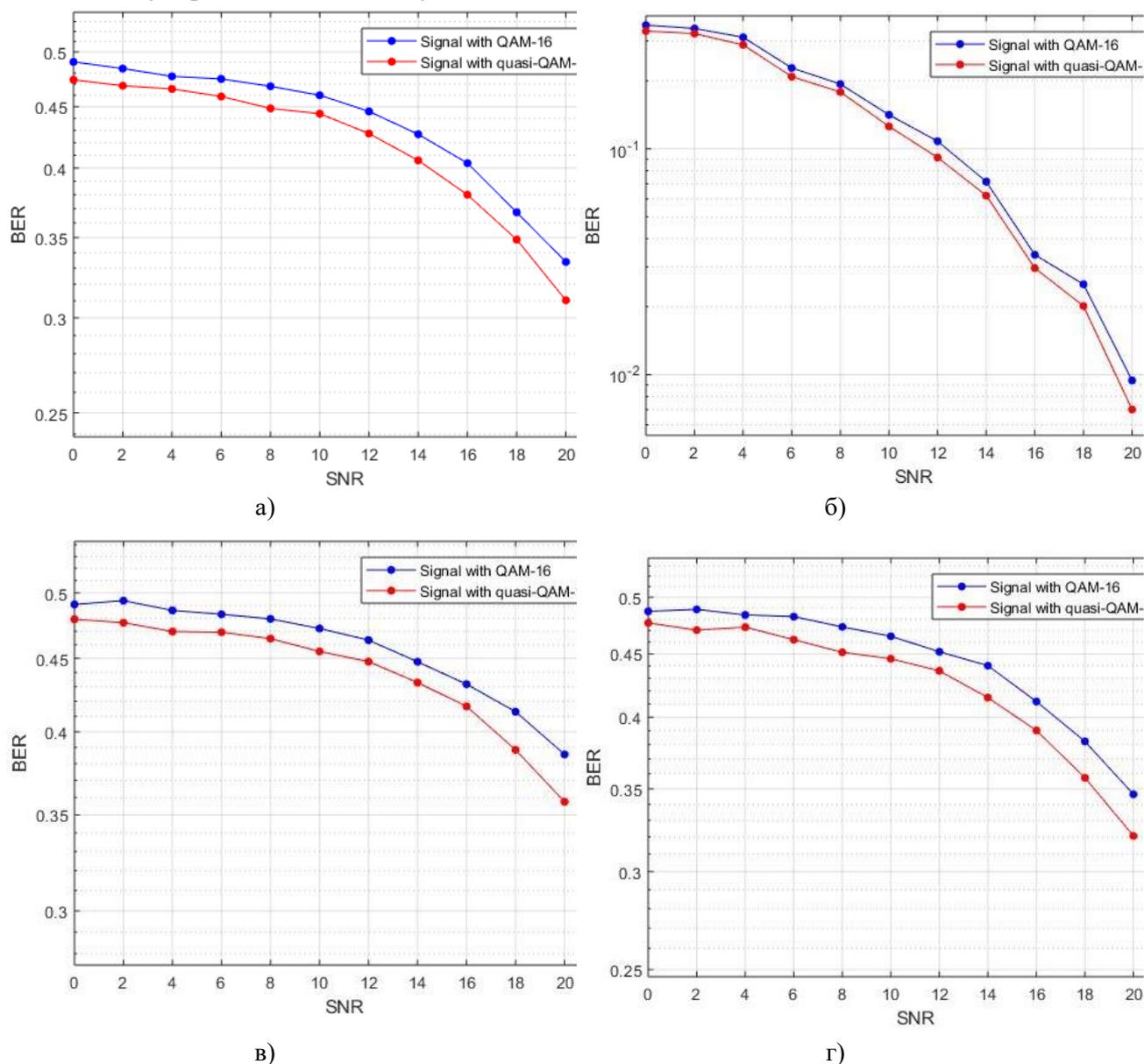


Рис. 9. Зависимость BER от SNR: при воздействии розового шума (а), при воздействии красного шума (б), при воздействии синего шума (в), при воздействии фиолетового шума (г)

Выводы

Исходя из проведенного моделирования можем заметить, что частота ошибок при преобразовании сигнального созвездия уменьшается. Из полученных графиков на рисунках 8 и 9 видно, что выигрыш может составлять порядка 10% при отношении сигнал/шум 10 дБ. Рассмотренный метод позволит увеличить помехозащищенность канала связи без снижения скорости передачи данных.

Список литературы

1. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение [пер. с англ.] / Б. Скляр. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
2. Шахнович, И. DVB-T2 – новый стандарт цифрового телевизионного вещания / И. Шахнович // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2009. – № 6. – С. 30–35.
3. Дворников, С. В. Помехоустойчивая модель сигнала КАМ-16 с трансформированным созвездием / С.В. Дворников, А.В. Пшеничников, С.С. Манаенко // Информационные технологии. - 2015. - Т. 21, № 9. - С. 685-689.
4. Методика трансформации сигнального созвездия КАМ-16 с изменением его формы / А.Ю. Гужва [и др.] // Электросвязь. - 2015. - № 2. - С. 28-31.
5. Гильфанова А.Ф. Помехоустойчивость цифрового канала связи с quasi-QAM модуляцией под воздействием белого шума / А. Ф. Гильфанова, Д. А. Веденькин, А. В. Колесникова. // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций: материалы XXIV Международной научно-технической конференции / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 23–25 ноября 2022 г. – С. 21 - 23.
6. Гильфанова А.Ф. Помехоустойчивость цифрового канала связи с quasi-QAM модуляцией под воздействием цветных шумов / А. Ф. Гильфанова, Д. А. Веденькин, А. В. Колесникова. // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций: материалы XXIV Международной научно-технической конференции / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 23–25 ноября 2022 г. – С. 23 - 24.
7. Гильфанова А.Ф. Повышение помехозащищенности канала связи с квадратурной амплитудной модуляцией // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России - 2019, - № 3, - С. 22-24.
8. Радиолокационные системы: учеб. / В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин [и др.]; под общ. ред. В. П. Бердышева. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т. – 2011. – 400 с.

ONE OF THE VARIANTS OF INCREASING THE IMMUNITY OF DIGITAL COMMUNICATION CHANNELS WITH QUASI-QAM

A.F. Gilfanova, D.A. Vedenkin

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI
10, K. Marx st., Kazan, 420111, Russian Federation

Annotation. The article presents the results of assessing the increase in the noise immunity potential of a communication channel using quasi-QAM modulation. An analysis of existing technical solutions and methods for ensuring the noise immunity of the communication channel was made. One of the options for increasing noise immunity with a change in the signal constellation using the quasi-QAM method is proposed. The article discusses the results of mathematical modeling of a digital communication channel with various types of noise (white, pink, red, blue and violet).

Keywords: mathematical modeling, modulation, quadrature amplitude modulation, signal constellation, white noise, colored noise.

Статья отправлена в редакцию 23 декабря 2022 г.