

Анализ влияния поворота сигнального созвездия на уровень символьных и битовых ошибок в фазовых форматах модуляции

Д.А. Веденькин, Д.Г. Макарова, И.Д. Филареева

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева - КАИ*

Аннотация: Рассмотрены модели систем беспроводной связи с фазовыми форматами модуляции и различными моделями каналов; проанализировано влияние фазовых флуктуаций на уровень ошибок в каналах связи с фазовыми форматами модуляции.

Ключевые слова: модуляция, сигнал/шум, фазовое дрожание, канал Релея, канал Райса, символьные и битовые ошибки.

Введение

На сегодняшний день широко применяются цифровые системы передачи, использующие фазовые форматы модуляции. Для корректной работы телекоммуникационных систем передачи с фазовыми форматами модуляции необходимо обеспечение эквивалентных значений фаз на модуляторе и демодуляторе.

Создана и запатентована модель, работающая по методу реализации подобного рода модуляций [1]. Недостатком такой модели является то, что в ней не учитывается поворот сигнального созвездия. Также представляют интерес работы [2-6] посвященные стандартам телевизионного вещания, статистической радиотехнике и современным микроволновым технологиям. Активно развивается терминология в области радиотехники и инфокоммуникационных технологий. Этот процесс неразрывно связан с заимствованиями терминов и языковым обменом при осуществлении научных обменов и контактов. Этому посвящены работы [7-10].

Основная часть

Целью данной работы является определение уровня символьных и битовых ошибок в каналах связи. Задача работы состоит в создании

математической модели и оценке влияния фазового дрожания и отношения сигнал/шум на уровень ошибок.

В предлагаемых математических моделях используются два вида фазовой модуляции: BPSK и QPSK.

Ошибки в цифровых сетях связи бывают двух видов:

- Символьные – в случае некорректного приема одного символа из кода, ошибочным считается весь код
- Битовые – ошибки в конкретном бите кодовой последовательности

Для анализа символьных ошибок удобно использовать Simulink. При этом повышается скорость вычислений и упрощается анализ данных.

Математические модели смоделированы в программном пакете MATLAB-Simulink и имеют вид:

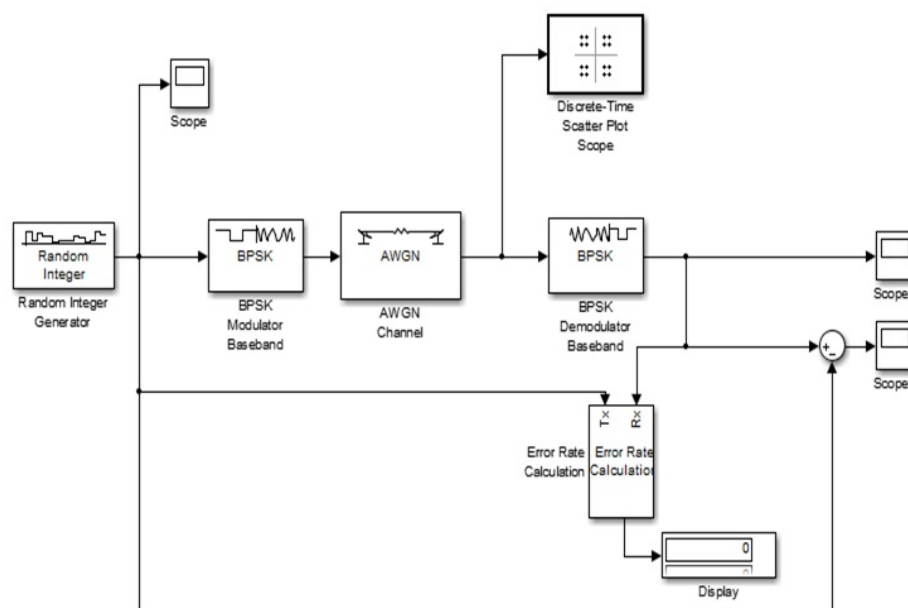


Рис. 1. - Математическая модель с использованием BPSK модуляции

Математическая модель с использованием QPSK модуляции выглядит аналогичным образом, только вместо BPSK модулятора и демодулятора – модулятор и демодулятор QPSK.

Сигнальное созвездие поворачивалось с шагом 45 градусов, значения отношения сигнал/шум = 10,100 дБ. В результате моделирования мы получили:

Модель с использованием BPSK модуляции.

Таблица № 1

Значения символьных ошибок при разных значениях сигнал/шум и разных значениях фазы.

| Число ошибок при сигнал/шум | $\pi/4$ | $\pi/2$ | $3\pi/4$ | π |
|-----------------------------|---------|---------|----------|--------|
| 10 дБ | 0,1493 | 0,4884 | 0,8355 | 0,9203 |
| 20 дБ | 0 | 0,4884 | 0,999 | 1 |
| 100 дБ | 0 | 0,4884 | 0,999 | 1 |

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод ,что при увеличении разницы фаз между модулятором и демодулятором уровень ошибок увеличивается.

Модель с использованием QPSK модуляции:

Таблица № 2

Значения символьных ошибок при разных значениях сигнал/шум и разных значениях фазы.

| Число ошибок при сигнал/шум | $\pi/4$ | $\pi/2$ | $3\pi/4$ | π |
|-----------------------------|---------|---------|----------|--------|
| 10 дБ | 0,3047 | 0,5358 | 0,8739 | 0,9506 |
| 20 дБ | 0,030 | 0,4985 | 1 | 1 |
| 100 дБ | 0 | 0,4985 | 1 | 1 |

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод ,что при увеличении разницы фаз между модулятором и демодулятором уровень ошибок увеличивается, как при отношении 10 дБ ,так и при 100 дБ.

В математическую модель добавили блоки Multipath Rayleigh/Rician Fading Channel для оценки влияния затухания Релея и Райса на уровень

ошибок при изменении частоты Доплеровского сдвига. Каналы Релея и Райса важны для беспроводных сетей потому, что они моделируют многолучевое распространение сигнала в реальных системах и доплеровское смещение по частоте, т.к абоненты беспроводных систем связи, как правило, мобильны.

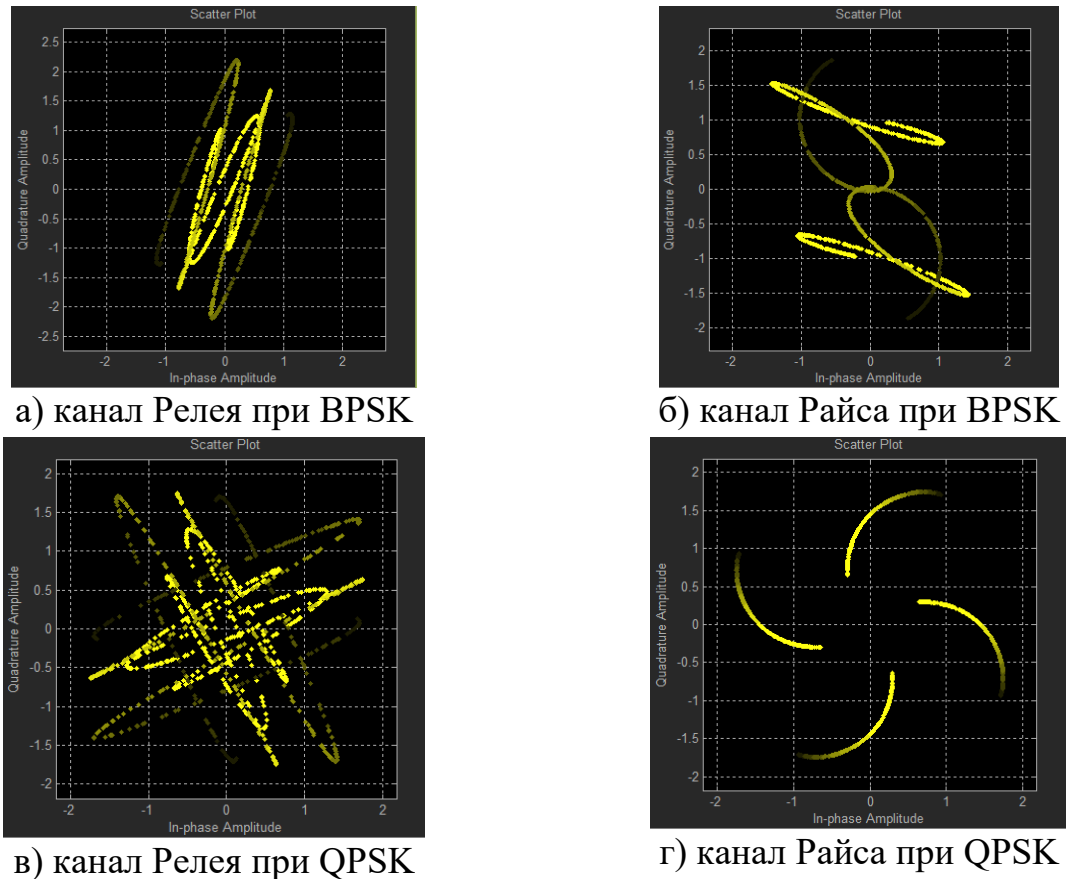


Рис. 2. – Сигнальное созвездие при различных каналах связи для разных форматов модуляции

Таблица № 3

Значения символьных ошибок при разных значениях сигнал/шум и разных частотах Доплеровского сдвига в канале Релея для BPSK модуляции.

| Число ошибок при сигнал/шум | $f = 0,025$ Гц | $f = 0,0025$ Гц | $f = 0,00025$ Гц |
|-----------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| 10 дБ | 0,4793 | 0,3189 | 0,7508 |
| 20 дБ | 0,4601 | 0,2331 | 0,9899 |
| 100 дБ | 0,4561 | 0,2018 | 1 |

Значение фазы установлено $\pi/4$. Количество ошибок будем находить, изменяя отношение сигнал/шум и частоту Доплеровского сдвига.

Таблица № 4

Значения символьных ошибок при разных значениях сигнал/шум и разных частотах Доплеровского сдвига в канале Райса для BPSK модуляции.

| Число ошибок при сигнал/шум | $f = 0,025$ Гц | $f = 0,0025$ Гц | $f = 0,00025$ Гц |
|-----------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| 10 дБ | 0,4662 | 0,3421 | 0,8103 |
| 20 дБ | 0,4723 | 0,2392 | 0,997 |
| 100 дБ | 0,4561 | 0,2018 | 1 |

Таблица № 5

Значения символьных ошибок при разных значениях сигнал/шум и разных частотах Доплеровского сдвига в канале Релея для QPSK модуляции.

| Число ошибок при сигнал/шум | $f = 0,025$ Гц | $f = 0,0025$ Гц | $f = 0,00025$ Гц |
|-----------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| 10 дБ | 0,7931 | 0,9051 | 0,9717 |
| 20 дБ | 0,7952 | 0,9514 | 1 |
| 100 дБ | 0,7578 | 0,7921 | 1 |

Таблица № 6

Значения символьных ошибок при разных значениях сигнал/шум и разных частотах Доплеровского сдвига.

| Число ошибок для сигнал/шум | $f = 0,025$ Гц | $f = 0,0025$ Гц | $f = 0,00025$ Гц |
|-----------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| 10 дБ | 0,5409 | 0,445 | 0,8628 |
| 20 дБ | 0,4934 | 0,2834 | 0,998 |
| 100 дБ | 0,4601 | 0,2018 | 1 |

Битовые ошибки для модуляции BPSK будут совпадать с символьными. Однако математические модели, созданные в Simulink, не предназначены для анализа битовых ошибок для QPSK модуляции. Этот

факт привел к необходимости разработки алгоритма анализа уровня битовых ошибок при различных значениях фазового дрожания.

Рассмотрим работу кода подробнее. Будем изменять фазовый шум с $[-\pi; \pi]$ до $[-\pi/2; \pi/2]$, количество бит $N=100, 300, 500$ и смотреть как меняются битовые ошибки.

Для каждого случая рассчитывались математическое ожидание, дисперсия и доверительный интервал. Мы не приводим все значения ошибок, а покажем среднее значение для каждого случая.

Таблица № 7

Зависимость математического ожидания от количества экспериментов при различных фазах.

| M(N) | $[-\pi; \pi]$ | $[-7\pi/8; 7\pi/8]$ | $[-6\pi/8; 6\pi/8]$ | $[-5\pi/8; 5\pi/8]$ | $[-\pi/2; \pi/2]$ |
|--------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| M(100) | 54,66 | 40,66 | 36,74 | 32,22 | 24,24 |
| M(300) | 163,86 | 124,74 | 113,02 | 97,98 | 74,3 |
| M(500) | 269,44 | 204,62 | 188,34 | 162,12 | 127,16 |

Таблица № 8

Зависимость дисперсии от количества экспериментов при различных фаз.

| D(N) | $[-\pi; \pi]$ | $[-7\pi/8; 7\pi/8]$ | $[-6\pi/8; 6\pi/8]$ | $[-5\pi/8; 5\pi/8]$ | $[-4\pi/8; 4\pi/8]$ |
|--------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| D(100) | 22,494 | 15,544 | 17,9524 | 15,6916 | 12,9424 |
| D(300) | 58,8404 | 66,9124 | 73,8996 | 49,8996 | 31,21 |
| D(500) | 118,166 | 98,1956 | 91,5744 | 75,9456 | 55,8144 |

Таблица № 9

Зависимость доверительного интервала от количества экспериментов при различных фазах.

| $\alpha(N)$ | $[-\pi; \pi]$ | $[-7\pi/8; 7\pi/8]$ | $[-6\pi/8; 6\pi/8]$ | $[-5\pi/8; 5\pi/8]$ | $[-4\pi/8; 4\pi/8]$ |
|-------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|-------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|

| | | | | | |
|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| $\alpha(100)$ | 49,92-59,4 | 36,72-44,6 | 32,51-40,97 | 28,26-36,18 | 20,65-27,83 |
| $\alpha(300)$ | 156,19-171,53 | 116,6-132,92 | 104,43-121,61 | 90,92-105,04 | 68,72-79,88 |
| $\alpha(500)$ | 258,57-280,31 | 194,7-214,52 | 178,77-197,91 | 153,41-170,83 | 119,69-134,63 |

Выводы

По результатам проведенных экспериментов, могут быть сформулированы следующие выводы:

- относительное значение символьных ошибок уменьшаются с увеличением соотношения сигнал/шум, но в это же время сигнал будет приобретать чувствительность к фазовым сдвигам, что в свою очередь приведет к повышению числа символьных ошибок;
- количество битовых ошибок зависит от фазы принимаемого сигнала, если сигнал приобретает сдвиг фазы, то имеет место появление ошибок и чем больше этот сдвиг, тем больше количество ошибок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания 8.6872.2017/8.9.

Литература

1. Тимошин И.В., Демидо Ю.В. Способ формирования сигналов квадратурной амплитудной модуляции // Библиотека патентов на изобретения 2009. С. 124–130.
2. Шахнович И. DVB-T2–новый стандарт цифрового телевизионного вещания. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес 6/2009. С. 33–45.
3. Sungwon Hong Eun Su Kang and Dong Seog Han. Additional data transmission with rotated qpsk constellation. // Electronics Letters, 51: pp. 394–395, March 2015.



4. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. // М.: Советское радио, 1966. С. 190–207.
5. Веденькин Д.А. Реализация конвейерного метода переработки веществ с использованием широкополосной сфокусированной апертуры // Инженерный вестник Дона. 2017. №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4256
6. Веденькин Д.А., Фаизов И.И. Исследование процессов переработки плотного битумизированного нефтешлама с использованием СВЧ-энергии // Инженерный вестник Дона. 2016. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3636
7. Яхина Р.Р. Функционально-семантическое усвоение терминов английского происхождения: процесс деэтимологизации // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 3 (203). С. 49-53.
8. Яхина Р.Р., Залалтдинова Р.Р. Англоязычная терминология: процесс заимствования и ассимиляции // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2017. №12-4 (78). С. 190-193.
9. Яхина Р.Р. Образование англицизмов в современном русском языке // Современные исследования социальных проблем. 2011. Т.8. №4.1. С.537-542.
10. Novikova S.V., Sosnovsky S.A., Yakhina R.R., Valitova N.L., Kremleva E.Sh. The specific aspects of designing computer-based tutors for future engineers in numerical methods studying // Integration of education. 2017. V. 21. № 2 (87). pp. 322-343.

References

1. Timoshin I.V., Demidov Y.V. Sposob formirovaniya signalov kvadraturnoj amplitudnoj modulyacii [The method for generating quadrature amplitude modulation signals]. Biblioteka patentov na izobreniya 2009. pp. 124–130.
-



2. Shahnovich I. Jelektronika: Nauka, Tehnologija, Biznes 6.2009, pp.33-45.
3. Sungwon Hong Eun Su Kang and Dong Seog Han. Electronics letters, pp. 394–395, March 2015.
4. Tihonov V.I. Statisticheskaya radiotexnika. [Statistical radio engineering]. M.: Sovetskoe radio, 1966. pp. 190–207.
5. Veden'kin D.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4256
6. Veden'kin D.A., Faizov I.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2017. №2 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3636.
7. Jahina R.R. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2017. № 3 (203). pp. 49-53.
8. Jahina R.R., Zalaltdinova R.R. Filologicheskie nauki. Voprosy teorii i praktiki. 2017. №124 (78). pp. 190-193.
9. Jahina R.R. Sovremennye issledovanija social'nyh problem. 2011. V.8. №4.1. pp.537-542.
10. Novikova S.V., Sosnovsky S.A., Yakhina R.R., Valitova N.L., Kremleva E.Sh. Integracija obrazovanija. 2017. V. 21. № 2 (87). pp. 322-343.