

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:

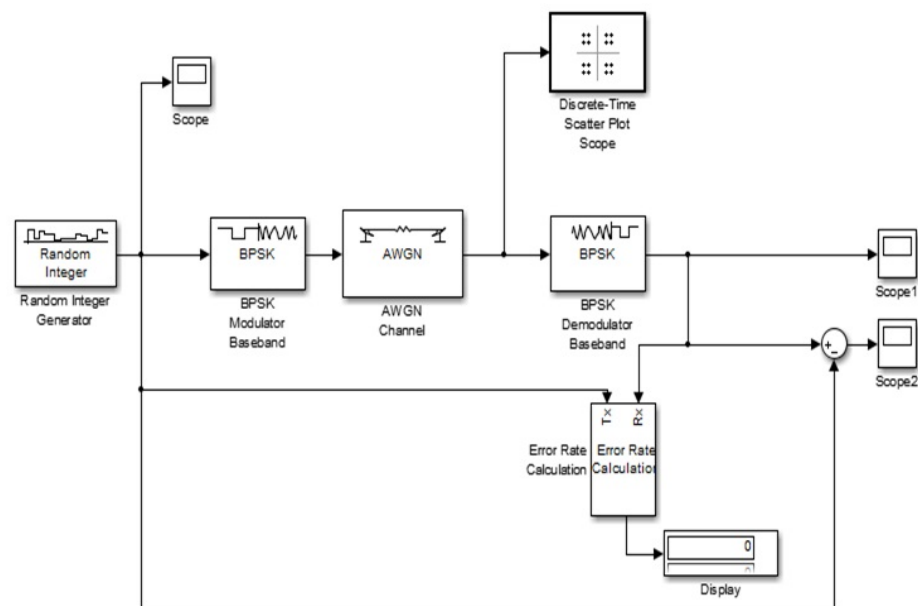


Рис. 1. - Математическая модель с использованием BPSK модуляции

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

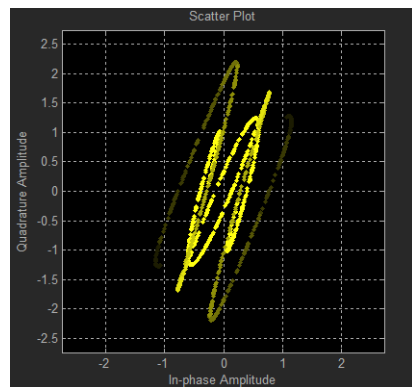
Значения символьных ошибок при разных значениях сигнал/шум и разных значениях фазы.

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

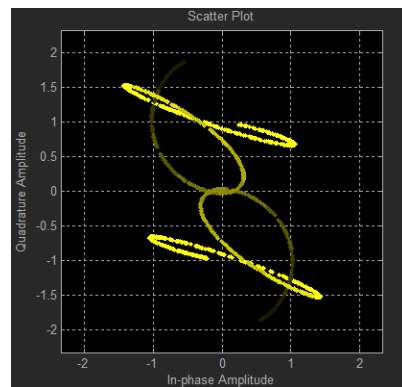
Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод ,что при увеличении разницы фаз между модулятором и демодулятором уровень ошибок увеличивается, как при отношении 10 дБ ,так и при 100 дБ.

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

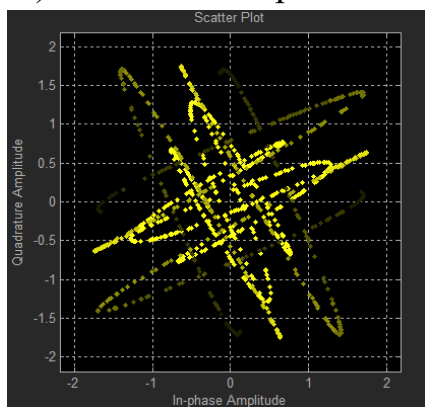
ошибок при изменении частоты Доплеровского сдвига. Каналы Релея и Райса важны для беспроводных сетей потому, что они моделируют многолучевое распространение сигнала в реальных системах и доплеровское смещение по частоте, т.к абоненты беспроводных систем связи, как правило, мобильны.



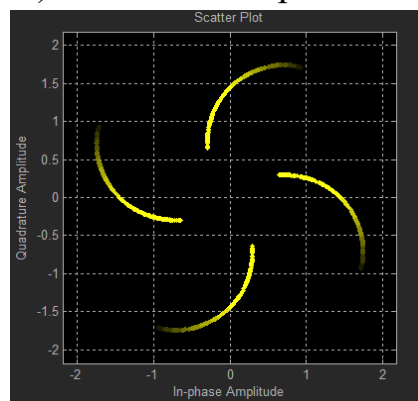
а) канал Релея при BPSK



б) канал Райса при BPSK



в) канал Релея при QPSK



г) канал Райса при QPSK

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.