

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ МОДЕЛИ КАНАЛА С АДДИТИВНЫМИ И МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫМИ ПОМЕХАМИ

Ю.Ф. Стругов¹

профессор, д.ф.-м.н., зав. каф. математического анализа, e-mail: strugov77@mail.ru

А.М. Семенов¹

доцент, к.ф.-м.н., e-mail: almsemenov@mail.ru

С.М. Добровольский¹

доцент, к.ф.-м.н., e-mail: dobrovsm@yandex.ru

И.А. Батырев²

инженер, e-mail: b.ivan007@mail.ru

¹Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

²Омский научно-исследовательский институт приборостроения

Аннотация. В данной работе представлена методика тестирования математической модели многолучевого канала, которая может применяться при определении эффективности и достоверности результатов полунатурного моделирования на специализированных комплексах или стендах, и методика реализации случайных процессов, моделирующих аддитивные и мультипликативные радиопомехи.

Ключевые слова: математическая модель радиоканала, распространение сигнала, доплеровский сдвиг частоты, аддитивные и мультипликативные помехи, тестирование мультипликативных и аддитивных помех.

Введение

В данной работе представлена методика тестирования математической модели многолучевого канала, которая может применяться при определении эффективности и достоверности результатов полунатурного моделирования на специализированных комплексах или стендах.

В качестве базовой математической модели канала для принимаемого сигнала $w(t)$ (в комплексной форме) мы используем модель, рассмотренную в работе [1]:

$$w(t) = \sqrt{EK_L} \sum_{i=1}^N \sqrt{p_i w_i} \left[\frac{K_i(t)}{\sqrt{R_i + 1}} + \sqrt{\frac{R_i}{R_i + 1}} D_i(t) \right] z(t - t_i) + n(t) + \lambda(t) + p(t).$$

В ней учитываются случайные процессы, которые представляют медленные и быстрые замирания лучей, аддитивные и мультипликативные помехи в тракте.

Схемы реализаций случайных процессов, моделирующих аддитивные (станционные, импульсные, белый шум) и мультипликативные радиопомехи приведены в работе авторов [2] (эта модель вполне удобна для её лабораторного тестирования).

Здесь обозначены E — средняя мощность передаваемого сигнала;

$K_L(f, d, g)$ — коэффициент потери мощности сигнала в тракте (зависит от несущей частоты, расстояния между приёмником и передатчиком, географической сцены);

p_1, p_2, \dots, p_N — реализации значений случайной величины, распределённой по логнормальному закону (моделируют медленные замирания лучей в тракте);

w_1, w_2, \dots, w_N — веса лучей (моделируют распределение энергии принимаемого сигнала по лучам);

N — количество лучей в канале (предлагаемый диапазон изменения от 1 до 20);

t_i — временные задержки в лучах;

$K_i(t)$ — случайные процессы единичной средней мощности с заданной спектральной плотностью (моделируют доплеровский сдвиг частоты в отражённых лучах);

$D_i(t) = e^{(2f_i\pi t + \nu_i)j}$ — детерминированные сигналы единичной мгновенной мощности (моделируют доплеровский сдвиг в прямых лучах), здесь f_i — доплеровский сдвиг и ν_i — начальная фаза;

R_i — коэффициенты Райса (определяют распределение мощности между прямой и отражённой частями луча);

$n(t)$ — нормированный белый шум (нормирование задаётся параметром модели канала SNR — отношение сигнал/шум);

$\lambda(t)$ — импульсная составляющая аддитивной радиопомехи, представляющая собой пуассоновский поток реализаций на промежутках времени (своём для каждой реализации) длины $d = l\Delta$ стационарного случайного процесса со средней энергией E ;

$p(t)$ — стационарный процесс с заданной средней энергией и автокорреляционной функцией (моделирует станционные помехи).

Методика лабораторных испытаний имитационной модели УКВ канала

Тестирование мультипликативных и аддитивных искажений сигнала целесообразно проводить отдельно. Для аддитивных искажений достаточно будет провести эксперимент по их генерированию и оценить статистические параметры, т. е. сравнить полученный вектор аддитивных помех на соответствие предполагаемому закону распределения. Каждый тип аддитивных помех анализируется в тесте независимо от аддитивных помех других типов.

Методика тестирования мультипликативных помех заключается в подтверждении эффектов искажения сигнала. Предлагается следующий алгоритм тестирования:

1. Задаём параметры теста:

- параметры дискретизации (несущая частота F_C , частота дискретизации F_S);
- количество отсчётов в передаваемом пакете NP (рекомендуемые значения 1024, 2048, 4096), количество пакетов, обрабатываемых при определении статистических характеристик канала NR (1000-2000);
- уровень ошибки первого рода для проверки гипотез о распределении случайных величин.

2. Случайно выбираем параметры модели канала при заданных ограничениях на их значения (например, параметры одного из стандартных каналов [3-4]). Параметры канала – это признак прямого луча R , количество лучей NL , максимальные доплеровские сдвиги DS , средняя энергия принимаемых лучей EL , задержки по времени лучей TS , факторы Райса FR .

3. Выбираем вид сигнала и формируем отсчёты тестового сигнала. Предлагается три вида тестового сигнала: единичный импульс, гармоническое колебание и случайный, с заданным уровнем отклонения от средней мощности. Случайно формируем амплитуду и фазу информационной части тестового сигнала и модулируем тестовый сигнал.

4. Преобразуем сигнал с помощью модели канала и вычисляем преобразование Фурье преобразованного сигнала.

5. По изменению в канале единичного импульса анализируем профиль задержки мощности (усреднение по выбранному количеству обработанных пакетов), а по преобразованию Фурье преобразованного в канале единичного импульса находим амплитудно-частотную и фазово-частотную характеристики канала (усреднением по выбранному количеству обработанных пакетов). Для коэффициентов передачи лучей определяем вид спектральной плотности (усреднением по выбранному количеству обработанных пакетов).

6. Анализируем быстрые замирания. Считаем амплитуду преобразованного сигнала случайной величиной и по выборке проверяем гипотезу (на заданном уровне ошибки) о том, что данная случайная величина распределена по одному из законов (например, Релея или Райса). По выбранному количеству обработанных пакетов определяем вероятность наличия быстрых замираний.

7. Анализируем медленные замирания. Находим медиану амплитуды для набора принимаемых пакетов. Считаем её случайной величиной и по выборке проверяем гипотезу о том, что данная случайная величина распределена по логнормальному закону. По выбранному количеству обработанных пакетов определяем вероятность наличия медленных замираний.

8. Анализируем спектр комплексных коэффициентов передачи лучей, для подтверждения эффекта Доплера (выводим график спектральной плотности).

9. На выходе мы имеем для каждого набора значений параметров модели канала и дискретизации сигнала оценку вероятности наблюдения эффектов быстрых и медленных замираний.

Как видим, мы во всех случаях должны проверять определённые гипотезы о виде функции распределения. Отметим, что для тестирования мультипликативных помех существуют (подробно описанные в литературе) методики, суть которых заключается в подтверждении известных эффектов искажения сигнала.

Так при проверке гипотезы о виде функции распределения удобно пользоваться критерием Колмогорова.

Оценивая результаты лабораторных испытаний модели канала, необходимо убедиться, что выполнены следующие условия:

- при проверке статистических гипотез вероятность ошибки в выборе воспроизведения моделью канала быстрых и медленных замираний не более 0.05;
- соответствие профиля задержки мощности, заданного в параметрах канала;
- соответствие вида спектральной плотности коэффициентов передачи лучей, заданного в параметрах канала;
- соответствие статистических характеристик аддитивных помех, заданных в параметрах канала.

Методика реализации случайных процессов, представленных в базовой модели, приведена в работах [1–2].

В заключении приведём результаты тестирования модели радиоканала, в котором оценивалось отношение времени обработки сигнала моделью канала к длительности этого сигнала, моделировался случайный процесс, моделировались быстрые замирания.

1. Оценка отношения времени обработки сигнала моделью канала к длительности этого сигнала. Сигнал брался длительностью 10 секунд.

Частота	Размер	Отношение времён
48 000	1024	8.57
48 000	2048	8.61
48 000	4096	8.58

2. Моделирование случайного процесса с гауссовой спектральной плотностью (нормализованное стандартное отклонение 0.5). Реализации случайного процесса моделировались пакетами по 4096 значений на частоте 48000 герц. Отклонение средней по пакетам спектральной плотности реализаций от теоретических значений оценивалось как среднее абсолютное отклонение в dB в интервале от -15 до -25 dB от максимума в нуле. Рекомендованное специалистами допустимое отклонение в данном интервале 1.5 dB [3–4].

Количество пакетов	Отклонения в dB
10	1.42
100	1.14
1000	1.05
5000	1.10

3. Моделирование быстрых замираний. Моделировалось искажение постоянного сигнала в канале Релея с двумя лучами. Оба луча с гауссовской спектральной плотностью коэффициентов передачи, средней мощностью -10 и -20

dB и задержками 0.002 и 0.004 секунды. Входной сигнал обрабатывался пакетами по 4096 отсчётов. Для каждого пакета проверялась гипотеза о наличии быстрых замираний, распределённых по закону Релея.

Кол-во пакетов	Кол-во пакетов с быстрыми замираниями	Частота
10	10	1
100	95	0.95
1000	926	0.926
5000	4650	0.93

ЛИТЕРАТУРА

1. Стругов Ю.Ф., Семенов А.М., Добровольский С.М., Батырев И.А. Стохастическое моделирование каналов с аддитивными и мультипликативными помехами. Схема реализации // Математические структуры и моделирование. 2015. № 2(34). С. 48–62.
2. Стругов Ю.Ф., Семенов А.М., Добровольский С.М., Батырев И.А. Стохастическое моделирование аддитивных и мультипликативных помех. Схема реализации // Прикладная математика и фундаментальная информатика. 2015. № 2. С. 198–203.
3. ITU-R F.1487 (2000) Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators (ITU-R HF channel models).
4. ITU-R M.1225 (1997-2), Guidelines for evaluations of radio transmission technologies (ITU-R 3G channel models).

**METHODS AND RESULTS OF TESTING MODEL OF THE CHANNEL WITH
ADDITIVE AND MULTIPLICATIVE LINE NOISES**

Yu.F. Strugov¹

Professor, Dr.Sc.(Phys.-Math.), e-mail: strugov77@mail.ru

A.M. Semenov¹

Associate Professor, Ph.D.(Phys.-Math.), e-mail: almsemenov@mail.ru

S.M. Dobrovolskyi¹

Associate Professor, Ph.D.(Phys.-Math.), e-mail: dobrovsm@yandex.ru

I.A. Batirev²

Engeenr, e-mail: batirev007@mail.ru

¹Dostoevsky Omsk State University

²PISC "ONIP"

Abstract. In this paper we produce testing methods for the mathematical model of the multipath environment of the radio-wave propagation. These methods may be applied in determine effectiveness and reliability of results of the scale-down simulation on specialized complexes or stands. In particular, the technique of realization of random processes modeling of additive and multiplicative line noises is presented.

Keywords: mathematical model of the radio channel, signal propagation, Doppler frequency shift, additive and multiplicative line noises, testing of the additive and multiplicative line noises.