

Лабораторная работа №1

Построение базовой модели цифрового канала передачи данных

Цель работы: Изучение принципов передачи данных в цифровом канале. Исследование влияния помех в канале передачи данных на сигнал.

Подготовка к лабораторной работе:

1. Изучить теоретическое описание (Приложение 1)
2. Изучить соответствующие разделы в литературе:
 - 1) Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 944 с.
 - 2) Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург 2014 г.— 401 с. — Электронное издание.
 - 3) Олейник П. Корпоративные информационные системы. Учебник для вузов. Стандарт третьего поколения. — СПб. : Питер, 2011 г. — 176 с.
 - 4) Величко В. В. Основы инфокоммуникационных технологий: учеб. пособие для вузов / В. В. Величко, Г. П. Катунин, В. П. Шувалов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2009.
 - 5) Бестугин А. Р., Богданова А. Ф., Стогов Г. В. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей – СПб: Политехника, 2003.

Порядок выполнения работы:

1. Сформировать четыре случайных последовательности:
 - состоящую из 500 нулей;
 - состоящую из 500 единиц;
 - состоящую из чередования 250 нулей и единиц – 01;
 - текстовую строку, содержащую не менее 60-ти символов (60-70).
2. Разработать MATLAB-функцию преобразования десятичного числа, занимающего два байта в памяти, в бинарную последовательность, используя алгоритм взятия остатков от деления десятичного числа на два, приблизительно такого вида:

$$\mathbf{Bin} = \mathbf{dec2Bin(Dec)},$$

где **Bin** – результат (вектор нулей и единиц размерностью 16), **Dec** – десятичное число, **dec2Bin()** – функция преобразования.

Примечание: Рекомендуется применять встроенные MATLAB-функции **mod()** и **floor()**.

3. Разработать MATLAB-функцию преобразования текстовой строки в последовательность бит с использованием функции из п.2 приблизительно такого вида:

$$\mathbf{BitSeq} = \mathbf{txt2Bit}(\mathbf{TxtSeq}),$$

где **BitSeq** – битовая последовательность, **TxtSeq** – текстовая строка, **txt2Bit()** – функция преобразования.

4. Разработать MATLAB-функцию преобразования двоичной последовательности (16 бит) в десятичное число, используя алгоритм преобразования числа в двоичной системе счисления в десятичное, приблизительно такого вида:

$$\mathbf{Dec} = \mathbf{bin2Dec}(\mathbf{Bin}),$$

где **Dec** – десятичное число, **Bin** – двоичная последовательность (16 бит), **bin2Dec()** – функция преобразования.

5. Разработать MATLAB-функцию преобразования битовой последовательности в текст с использованием функции из п.4 приблизительно такого вида:

$$\mathbf{TxtSeq} = \mathbf{bit2Txt}(\mathbf{BitSeq}),$$

где **TxtSeq** – текстовая строка, **BitSeq** – битовая последовательность, **bit2Txt()** – функция преобразования.

Примечание: Для извлечения 16-битовой последовательности двоичных чисел применять встроенную MATLAB-функцию.

Для преобразования вектора десятичных чисел в текстовую строку применять встроенную MATLAB-функцию.

6. Разработать MATLAB-функцию вычисления вероятности ошибки на бит при передаче битовой последовательности приблизительно такого вида:

$$\mathbf{BitER} = \mathbf{berCalc}(\mathbf{TransmitSeq}, \mathbf{ReceiveSeq}),$$

где **BitER** – вероятность ошибки на бит, **TransmitSeq** – переданная последовательность бит, **ReceiveSeq** – принятая последовательность бит, **berCalc()** – функция вычисления вероятности ошибки.

Использовать поэлементное сравнение двух последовательностей с инкрементом счетчика ошибок при несовпадении. Полученное значение счетчика поделить на длину последовательности для вычисления BER.

7. Разработать MATLAB-функцию вычисления вероятности ошибки на символ при передаче текстовой строки приблизительно такого вида:

$$\mathbf{SymER} = \mathbf{serCalc}(\mathbf{TransmitTxt}, \mathbf{ReceiveTxt}),$$

где **SymER** – вероятность ошибки на символ, **TransmitTxt** – переданный текст, **ReceiveTxt** – принятый текст, **serCalc()** – функция вычисления вероятности ошибки, аналогичная функции **berCalc()** из п.6. Удобно при подсчете SER сравнивать поэлементно векторы десятичных ASCII-кодов текстовых строк.

8. Проверить работу функций из пп.2-5 на примере последовательностей из п. 1 и реального текстового сообщения (взять текст из любимой книги, сохранить его .txt файл, с помощью встроенной MATLAB функции извлечь данные из .txt).
9. Проверить работу функций из пп.6-7 на примере реального текстового сообщения. Разработать MATLAB-функцию по внесению случайных ошибок в текстовое сообщение приблизительно такого вида:

ErrorMessage= SetError (MessageTxt, N),

где **ErrorMessage** – сообщение с ошибками, **MessageTxt** – сообщение без ошибок, **N** – число случайных ошибок в сообщении.

10. Написать MATLAB-функцию изменения качества связи за время передачи одного отсчета дискретного сигнала на основе матрицы вероятностей переходов, приблизительно такого вида:

State = nextState(PreviousState, P),

где **State** – текущее состояние канала, **PreviousState** – предыдущее состояние, **P** – матрица вероятностей переходов, а **nextState()** – функция, определяющая новое состояние канала.

Примечание: Использовать встроенную MATLAB-функцию **rand()**.

11. Выбрать величину погонного затухания из таблицы П.1 для заданного по варианту типа связи.

Таблица П.1 – Варианты к заданию

№ варианта	Тип передающей среды	Величина погонного затухания	Длина линии, км
1	Витая пара кат.5	23,6 дБ на 100 м	5м, 100 м, 200 м
2	Витая пара кат.6	20,6 дБ на 100 м	15 м, 100 м, 200 м
3	Коаксиальный кабель	26,6 дБ на 100 м	10 м, 100 м, 300 м
4	Оптоволокно	0,3 дБ на 1 км	3 км, 100 км, 1000 км
5	Беспроводная среда	25,5 дБ на 10 м	10 м, 50 м, 1 км
6	Витая пара кат.5	20 дБ на 100 м	5м, 100 м, 200 м
7	Витая пара кат.6	15 дБ на 100 м	15 м, 100 м, 200 м
8	Коаксиальный кабель	10,8 дБ на 100 м	10 м, 100 м, 300 м
9	Оптоволокно	0,3 дБ на 1 км	3 км, 100 км, 1000 км
10	Беспроводная среда	35,5 дБ на 10 м	10 м, 50 м, 1 км
11	Витая пара кат.5	28 дБ на 100 м	5м, 100 м, 200 м

12	Витая пара кат.6	30 дБ на 100 м	15 м, 100 м, 200 м
13	Коаксиальный кабель	5,4 дБ на 100 м	10 м, 100 м, 300 м
14	Оптоволокно	0,35 дБ на 1 км	3 км, 100 км, 1000 км
15	Беспроводная среда	45,1 дБ на 100 м	10 м, 50 м, 1 км
16	Витая пара кат.5	17,6 дБ на 100 м	5м, 100 м, 200 м
17	Витая пара кат.6	15,4 дБ на 100 м	15 м, 100 м, 200 м
18	Коаксиальный кабель	23,4 дБ на 100 м	10 м, 100 м, 300 м
19	Оптоволокно	0.05 дБ на 1 км	3 км, 100 км, 1000 км
20	Беспроводная среда	25,5 дБ на 10 м	10 м, 50 м, 1 км
21	Витая пара кат.5	22,9 дБ на 100 м	5м, 100 м, 200 м
22	Витая пара кат.6	21,3 дБ на 100 м	15 м, 100 м, 200 м
23	Коаксиальный кабель	24,6 дБ на 100 м	10 м, 100 м, 300 м
24	Оптоволокно	0.07 дБ на 1 км	3 км, 100 км, 1000 км
25	Беспроводная среда	24,5 дБ на 10 м	10 м, 50 м, 1 км

12. Написать MATLAB-функцию, моделирующую прохождение сигнала по каналу связи с шумом, задержкой и ослаблением, приблизительно такого вида:

ReceiveSeq = channel(TransmitSeq, P, A, dT, L, InitialState, N_φ),

где **ReceiveSeq** – принятый сигнал, **TransmitSeq** – переданный сигнал, **InitialState** – начальное состояние канала, **N_φ** – характеристика фонового шума в канале, **A** – коэффициент затухания из п.11, **L** – длина линии, **dT** – задержка во времени при передачи данных; **channel()** – функция, описывающая модель канала связи,

Приблизительное содержание функции **channel()**:

- преобразование входного сигнала в амплитудно-частотную характеристику с помощью преобразований Фурье (функция **fft()**);
- перемножение АЧХ сигнала с коэффициентом затухания;
- обратное преобразование Фурье;
- добавление гауссовского шума с использованием встроенной MATLAB-функции.

Примечание: Параметр σ нормального распределения (Гаусса) определяется амплитудой передаваемого сигнала с учетом затухания и отношением сигнал/шум в канале (формула 1.5 в приложении).

13. Проверить работу всех созданных функций на примере последовательности бит текстового сообщения.

14. Построить графики зависимости:

- a) величины BER от длины линии,
- b) величины BER от величины шума
- c) величины BER от величины затухания
- d) величины BER от мощности переданного сигнала.

15. Определить два состояния канала как состояния цепи Маркова: **0** – связь хорошая, **1** – связь плохая и задать переходы из одного состояния в другое с помощью матрицы вероятностей переходов – **P**.

16. Определить **SNR** – соотношение сигнал/шум (dB) для двух состояний канала как вектор из двух элементов.

Содержание отчёта по лабораторной работе:

- 1. Титульный лист
- 2. Цель лабораторной работы.
- 3. Разработанные в лабораторной работе функции.
- 4. Результаты выполнения с пояснениями.
- 5. Графики зависимостей
- 6. Выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы:

- 1. Что представляют собой телекоммуникационные системы?
- 2. Перечислите виды каналов связи.
- 3. Какие параметры каналов связи вы знаете?
- 4. Какие требования предъявляются к цифровым каналам передачи данных?
- 5. Чем определяется качество линии связи?
- 6. Что такое интенсивность битовой ошибки и как вычислить ее значение при моделировании?
- 7. Охарактеризуйте структурную схему системы связи.
- 8. Перечислите виды каналов связи.
- 9. Какие характеристики каналов связи вы знаете?
- 10. Дайте определение отношения сигнал/шум.
- 11. Что такое затухание сигнала, погонное затухание?
- 12. Как затухание влияет на качество передачи?
- 13. Что такое АЧХ канала?
- 14. Какие бывают виды моделей шумов в канале связи?
- 15. Как на практике оценивают качество связи?
- 16. Из-за чего возникает задержка передачи сообщения в канале связи?

Приложение 1

Теоретическое описание

Телекоммуникационные системы и сети – это пространственно-распределенные системы массового обслуживания, обеспечивающие возможность получения информации и обмена информацией в любое время суток и в любой точке земного шара. Системы, которые позволяют передавать, накапливать и распределять информационные данные, тексты, изображения, передавать аудио и мультимедийную информацию, осуществлять передачу стереофонических программ, обеспечивать доставку электронной почты, предоставлять интернет-услуги. Это интеграция телефонных и телеграфных линий связи, сетей мобильной и спутниковой радиосвязи, компьютерных технологий и компьютерных сетей и систем, включая глобальную сеть интернет.

1.1. Системы связи

Рассмотрим обобщенную структурную схему одноканальной системы связи (рисунок 1.1).

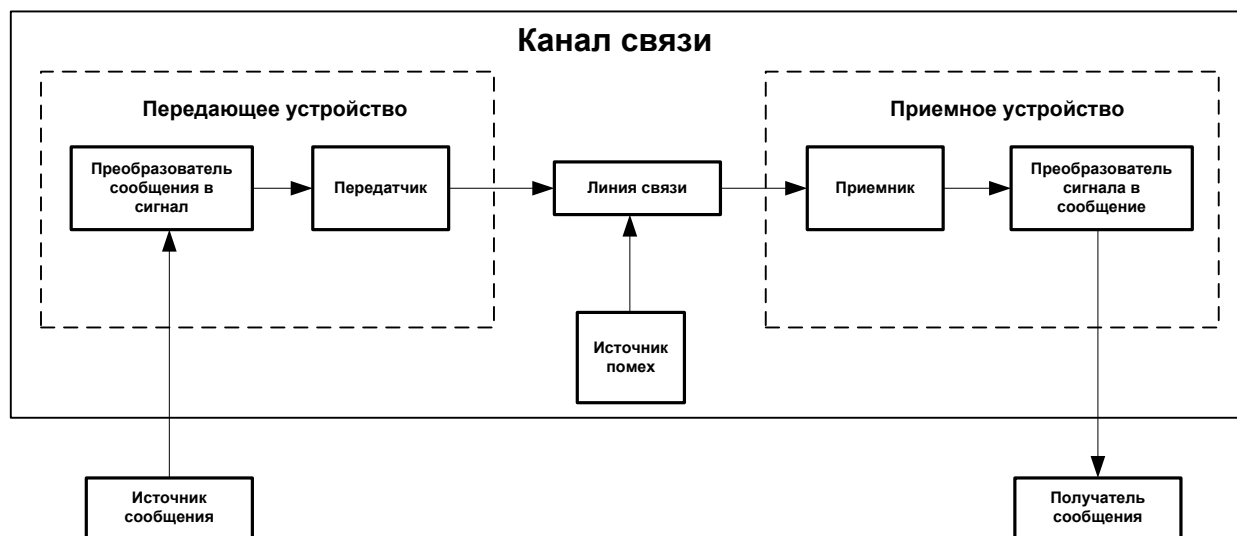


Рисунок 1.1 – Структурная схема одноканальной системы связи

Устройство, преобразующее сообщение в электрический сигнал называется передающим устройством, а устройство, преобразующее принятый сигнал – приемным. Передатчик исполняет роль преобразователя НЧ сигнала в ВЧ сигнал, пригодный для передачи по каналу связи, т.е. исполняет роль модулятора.

Преобразование дискретного сообщения в сигнал обычно осуществляется в виде двух операций – кодирования и модуляции. Кодирование представляет собой преобразование сообщения в последовательность кодовых символов, а модуляция – преобразование этих символов в сигналы, пригодные для передачи по каналу. С помощью кодирования и модуляции источник сообщения согласо-

ется с каналом. На рисунке 1.2 изображена структурная схема системы передачи дискретных сообщений.

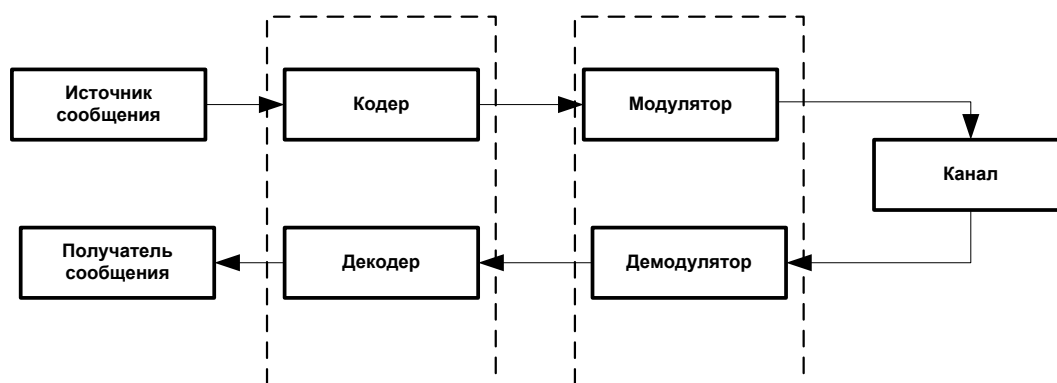


Рисунок 1.2 – Структурная схема системы передачи дискретных сообщений

При описании технической системы, которая передает информацию между узлами сети, в литературе можно встретить несколько названий: *линия связи*, *составной канал*, *канал*, *звено*. Часто эти термины используют, как синонимы, и во многих случаях это не вызывает проблем. В тоже время есть специфика в их употреблении.

Линии связи или линии передачи данных – это промежуточная аппаратура и физическая среда, по которой передаются информационные сигналы (данные). В одной линии связи можно образовать несколько каналов связи (виртуальных или логических каналов), например, путем частотного или временного разделения каналов.

Существуют различные типы каналов, которые можно классифицировать по следующим признакам:

1. ***По типу линий связи:***
 - медножильные линии
 - волоконно-оптические линии;
 - радио линии;
 - атмосферные оптические линии
2. ***По характеру сигналов:***
 - непрерывные;
 - дискретные;
 - дискретно-непрерывные (сигналы на входе системы дискретные, а на выходе непрерывные, и наоборот).
3. ***По помехозащищенности:***
 - каналы без помех;
 - с помехами.

1.2. Характеристики линий связи

Характеристики линий связи можно разделить на две группы:

- **параметры распространения** характеризуют процесс распространения полезного сигнала в зависимости от собственных параметров линии. Например, для проводного канала таким параметром является погонная индуктивность медного кабеля, для радиоканала – многолучевое распространение радиоволн, затухание сигнала;
- **параметры влияния** описывают степень влияния на полезный сигнал других сигналов - внешних помех. Из-за этого влияния сигнал на выходе линии будет иметь искаженную форму, как показано на рисунке 1.3:

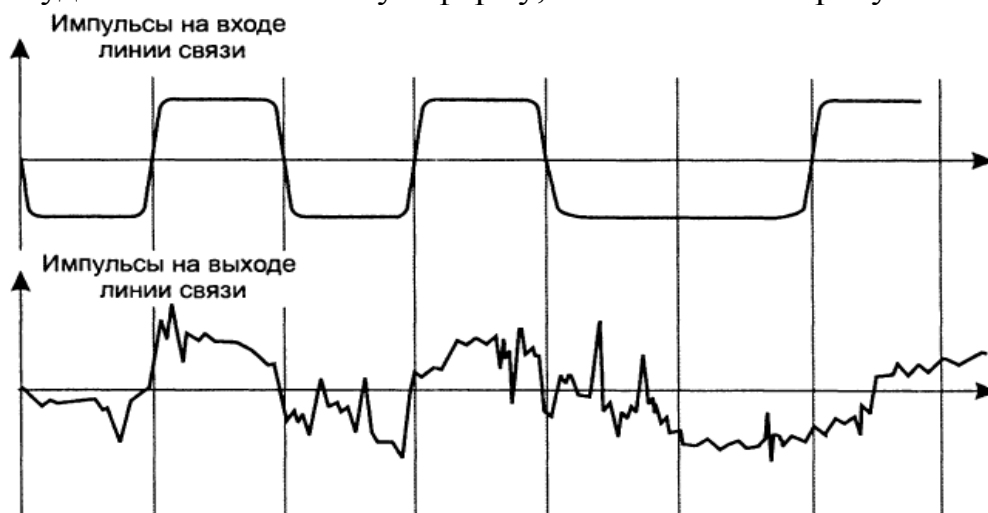


Рисунок 1.3 – Искажение импульсов в линии связи

Степень искажения сигналов линиями связи оценивается с помощью таких характеристик, как отношение сигнал/шум, затухание, полоса пропускания.

1.2.1. Отношение сигнал/шум

SNR –Signal-to-Noise Ratio. Этот параметр определяет силу сигнала относительно шума канала и определяется по формуле 1.1 как безразмерная величина:

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right)^2, \quad (1.1)$$

или в децибелах:

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right), \quad (1.2)$$

где P — средняя мощность (P_{signal} — мощность сигнала, P_{noise} — мощность шума), а A — среднеквадратичное значение амплитуды (A_{signal} — амплитуда сигнала, A_{noise} — амплитуда шума). Оба сигнала измеряются в полосе пропускания системы.

Таким образом, чем выше значение SNR , тем меньше сказывается влияние помех на выходной сигнал. Современные усилители имеют показатель $SNR = 100 - 120$ dB.

1.2.2. Интенсивность битовых ошибок

Достоверность передачи данных характеризует вероятность искажения каждого передаваемого бита данных (вероятность ошибки на бит). Эту величину называют также *интенсивностью битовых ошибок* (**BER – Bit Error Rate**). Величина **BER** для линий связи без дополнительных средств защиты от ошибок составляет, как правило, 10^{-4} – 10^{-6} , в оптоволоконных линиях связи – 10^{-9} . Величина 10^{-4} означает, что в среднем один из 10000 бит будет передан с искажением.

Статистическое значение вероятности ошибки на бит (**BER**) определяется как отношение количества искаженных при передаче бит к общему числу переданных бит.

1.2.3. Скорость передачи сигнала

Бод (baud) – единица измерения *символьной скорости*, количество изменений информационного параметра несущего периодического сигнала (число дискретных переходов или событий) в секунду. Один бод равен одному передаваемому элементарному импульсу в секунду. Элементарные импульсы (*символы*) и их характер в современной сети передачи данных связаны с изменением состояния сигнала (временным интервалом его модуляции), способом кодирования данных (5-, 6-,...16- битные коды), объектом кодирования (буквенно-цифровой символ, пиксель, слово и т. д.) и другими условиями, не поддающимися однозначной численной оценке.

Если каждое событие представляет собой один бит, то бод эквивалентен бит/с. В реальных системах один символ может содержать до 16 бит информации. Например, при символьной скорости 2400 бод скорость передачи может составлять 9600 бит/с благодаря тому, что в каждом временном интервале передаётся 4 бита.

1.3. Модель канала

Математическая модель цифрового канала передачи данных описывается формулой 1.4:

$$ReceivedSignal(t) = TransmittedSignal(t) \cdot A + N(t), \quad (1.4)$$

где *ReceivedSignal(t)* – сигнал на приемной стороне, *TransmittedSignal(t)* – передаваемый сигнал, *A* – затухание, *N(t)* – величина помехи в каждый момент времени *t*.

Под помехой понимается любое случайное воздействие на сигнал, которое ухудшает вероятность воспроизведения передаваемых сообщений. В зависимости от характера воздействия на сигнал различают аддитивные и мультипликативные помехи. *Аддитивная помеха* проявляется себя независимо от сигнала. Действия сигнала и аддитивной помехи складываются. *Мультипликативная помеха* возникает только при наличии сигнала. Её действие проявляется в нерегулярном изменении уровня сигнала.

Среди аддитивных помех различного происхождения выделяют сосредоточенные по спектру (узкополосные) помехи, сосредоточенные во времени (импульсные) помехи и флуктуационную помеху, не ограниченную во времени и спектре. Флуктуационная помеха представляет собой случайный процесс с нормальным распределением (гауссовский процесс). Мультипликативные помехи обусловлены случайными изменениями параметров канала связи. В частности, эти помехи проявляются в изменении уровня сигнала.

1.3.1. Белый гауссовский шум

Помеха в канале передачи данных хорошо описывается математической моделью, называемой *белый гауссовский шум*.

Гауссовский шум в каждый момент времени, представляет собой случайную величину, которая описывается нормальным законом распределения с нулевым математическим ожиданием и дисперсией, зависящей от амплитуды сигнала:

$$N(t) = \text{norm}(0, \sigma), \quad (1.5)$$

где $\sigma = \frac{\max(|TransmittedSignal(t)|) \cdot A}{SNR}$ – среднее квадратическое отклонение нормального распределения.

1.3.2. Состояния канала

Предположим, что изменения параметров качества линии связи описываются однородной дискретной цепью Маркова с двумя состояниями (0 – хорошее состояние канала, 1 – плохое). Эти изменения имеют место в моменты начала передачи очередного бода. Переходы из одного состояния в другое описываются матрицей вероятностей переходов: $P = [p_{ij}]$ (стохастическая матрица).

Каждое состояние характеризуется собственным значением параметра SNR (отношение сигнал/шум).

При моделировании цифровой передачи данных необходимо отслеживать состояние канала в каждый момент времени. Для определения вероятности перехода из одного состояния в другое (или то же самое) будем использовать генератор случайных чисел, равномерно распределенных на интервале от нуля до единицы $\text{rand}(1)$.