

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Кологривов В.А.
Васильева Т.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ СКРЫТОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Методические указания по лабораторной работе в среде функционального
моделирования Simulink системы MatLab для студентов направления
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Томск
2021

УДК 621.396.41
ББК 32.811.7
К 610

Рецензент:

Мещеряков А.А., зав. кафедры радиотехнических систем, доцент, канд. техн. наук

Кологривов В.А., Васильева Т.В.

К 610 Исследование систем скрытой передачи данных: методические указания по лабораторной работе для студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» / В.А. Кологривов, Т.В. Васильева. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2021. – 17 с.

Настоящие методические указания по лабораторной работе составлены с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО).

Лабораторная работа «Исследование систем скрытой передачи данных» посвящена экспериментальному исследованию трех систем передачи, основанных на псевдослучайной последовательности, интерференции задержанных информационных символов и ортогонализации случайных процессов. Исследование проводится в среде функционального моделирования Simulink системы MatLab.

Методические указания содержат элементы теории широкополосной передачи, структурные схемы передатчиков и приемников рассматриваемых технологий, описание виртуальных лабораторных макетов и контрольные вопросы для допуска к выполнению работы.

Одобрено на заседании каф. РТС протокол №9 от 13.05.2021

УДК 621.396.41
ББК 32.811.7

© Кологривов В.А., Васильева Т.В., 2021
© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. ТЕРМИНОЛОГИЯ И КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ	4
1.1 Скрытность	4
1.2 Широкополосные сигналы	4
1.3 Интерференция и элементы теории ортогональности.....	5
1.4 Принцип работы системы передачи на основе ПСП	6
1.5 Принцип работы системы передачи на основе интерференции задержанных информационных символов	7
1.6 Принцип работы системы передачи на основе ортогонализации случайных процессов .	7
2 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ МАКЕТОВ	9
2.1 Модель модема системы передачи на основе ПСП	9
2.2 Модель модема системы передачи на основе интерференции задержанных информационных символов	11
2.3 Модель модема системы передачи на основе ортогонализации случайных процессов .	11
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ	14
4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	16
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	17

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. ТЕРМИНОЛОГИЯ И КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Цель работы: изучение и сравнение трех подходов, позволяющих обеспечить скрытную передачу информации на основе: псевдослучайной последовательности (ПСП), интерференции задержанных информационных символов и ортогонализации случайных процессов.

1.1 Скрытность

Сейчас защита передаваемой информации является одной из главных задач при проектировании системы связи. Поэтому ведется активный поиск подходов, обеспечивающих скрытную передачу данных.

Скрытность – это способность противостоять обнаружению и измерению параметров другими устройствами [1]. Это может быть достигнуто путем обеспечения:

- энергетической скрытности, характеризуемой затратами на его обнаружение по энергетическим признакам;
- структурной скрытности, характеризуемой затратами, необходимыми для выявления структуры сигнала;
- информационной скрытности, характеризуемой способностью противостоять мерам, которые направлены на выявление переданной информации.

Использование широкополосных сигналов (ШПС) позволяют решать проблему энергетической скрытности.

1.2 Широкополосные сигналы

Широкополосный сигнал (шумоподобный, сложный) – это сигнал, у которого произведение ширины спектра ΔF на длительность T много больше единицы. Это произведение называется базой сигнала B :

$$B = T \cdot \Delta F \gg 1. \quad (1.1)$$

При низком уровне спектральной плотности сигнала и при условии относительно узкой полосы пропускания приемника энергия принимаемого разведываемого сигнала будет невелика, что позволяет производить скрытую передачу данных.

ШПС получили широкое применение в системах связи, так как:

- обеспечивают высокую помехоустойчивость связи;
- допускают одновременную работу многих абонентов в общей полосе частот;
- позволяют создавать системы связи с повышенной скрытностью;
- обеспечивают лучшее использование спектра частот на ограниченной территории по сравнению с узкополосными системами связи [2].

Для операции расширения спектра обычно используют ПСП.

Псевдослучайная последовательность (ПСП) – это последовательность чисел (импульсов), которая была вычислена по некоторому определенному арифметическому правилу, но имеет все свойства случайной последовательности чисел в рамках решаемой задачи.

Для расширения спектра передаваемого сигнала исходному сигналу ставится в соответствие более сложный сигнал. Псевдослучайность делает сигналы похожими на случайный шум и трудными для демодуляции «чужими» приемниками. На практике ПСП чаще всего является бинарной с элементами 0 и 1 и обладает свойствами, схожими со свойствами случайной бинарной последовательности.

В настоящее время существует множество разновидностей ПСП. Реализация ПСП возможна с помощью регистров сдвига с линейными обратными связями. Большое распространение получили M -последовательности.

M-последовательность (последовательность максимальной длины) – псевдослучайная двоичная последовательность, имеющая максимальный период, равный, $L = 2^n - 1$, где n – длина регистра [3].

Формирование *M*-последовательностей происходит с помощью сдвиговых регистров и схем суммирования по модулю два. Структурная схема, которая формирует *M*-последовательности, полностью определяется видом неприводимого примитивного двоичного многочлена. Максимально неповторяющаяся длина *M*-последовательности реализуется только в случае соответствия ее структуры примитивному полиному.

Неприводимый полином – это полином степени n , который нельзя представить в виде произведения двух многочленов меньшей степени.

Любой полином $g(x)$ можно записать в виде:

$$g(x) = c \cdot f(x), \quad (1.2)$$

где c – наименьший общий делитель (НОД) коэффициентов полинома $g(x)$;

$f(x)$ – примитивный полином.

Примитивный полином является аналогом простого числа над полем полиномов. *Примитивным* называется такой неприводимый полином степени $n > 1$, у которого НОД его коэффициентов равен единице.

Помимо применения технологии расширения спектра для увеличения скрытности применяют различные методы формирования сигнала на выходе передатчика. В данной работе применяют понятия интерференции и ортогональности.

1.3 Интерференция и элементы теории ортогональности

Интерференция – это наложение волн, при котором происходит их взаимное усиление в одних точках пространства и ослабление – в других. Она базируется на векторном суммировании двух колебаний.

Теория утверждает, что интерферировать могут только когерентные волны [4].

В теории сигналов понятие *когерентности* имеет несколько определений:

- 1) согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов;
- 2) разность фаз остается постоянной или изменяющейся закономерно;
- 3) сигналы с одинаковой частотой и колебания, в которых совершаются в одном направлении.

Различают генераторы:

Абсолютно когерентный генератор – генератор строго периодических синусоидальных сигналов.

Абсолютно некогерентный генератор – генератор случайных сигналов, имеющий сплошной спектр в некотором диапазоне частот.

Если принять условие когерентности как обязательное, то получается, что явление интерференции (как картина чередования светлых и темных полос) от некогерентных источников должна отсутствовать. Но если образовать два сигнала из одного и того же некогерентного источника и создать между ними сдвиг фаз, то интерференцию можно наблюдать [5].

Любой набор энергетических сигналов $\{S_i(t)\}$, $i = \overline{1, M}$, которые заданы на интервале времени T , будет *ортогональным* и *ортонормированным* тогда и только тогда, когда [6]:

$$Z_{ij} = \frac{1}{E} \int_0^T S_i(t) \cdot S_j(t) dt = \begin{cases} 1, & \text{при } i = j, \\ 0, & \text{при } i \neq j, \end{cases} \quad (1.3)$$

где Z_{ij} – коэффициент взаимной корреляции;
 E – энергия сигнала:

$$E = \int_0^T S_i^2(t) dt. \quad (1.4)$$

Для получения ортогональных сигналов в одной из исследуемых технологий применяется *алгоритм Грама-Шмидта*. Алгоритм Грама-Шмидта является одним из наиболее известных алгоритмов разложения матрицы на произведение ортогональной и треугольной матриц.

Суть алгоритма основана на следующем утверждении: всякую неособенную матрицу A можно представить в виде произведения матрицы Q с ортогональными столбцами и верхнетреугольной матрицы R с единичной диагональю либо в виде произведения ортонормальной по столбцам матрицы Q и верхнетреугольной матрицы R :

$$A = Q \cdot R. \quad (1.5)$$

Перейдем к описанию принципа работы каждой рассматриваемой системы передачи.

1.4 Принцип работы системы передачи на основе ПСП

Для передачи информации используется ПСП, реализованная с помощью регистров сдвига с обратными связями (М-последовательность). На рисунке 1.1 представлен пример генератора ПСП на основе примитивного полинома $1+x^4+x^7$.

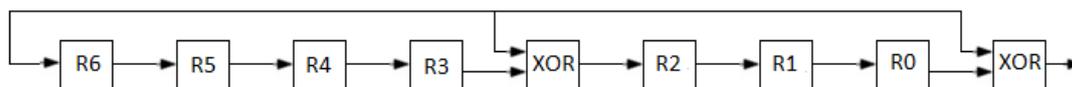


Рисунок 1.1 – Генератор ПСП с периодом 127 битов

В процессе передачи последовательность инвертируется, если на вход приходит информационный нулевой бит, или не изменяется, если бит единичный. Другими словами, передача основывается на технологии прямого расширения спектра.

На приемной стороне производится сравнение полученной последовательности с синхронизированной опорной ПСП, иными словами, происходит корреляционная обработка. Если коэффициент взаимной корреляции больше 0, принимается решение о приеме «1», иначе – «0». Структурная схема передатчика и приемника представлена на рисунке 1.2.

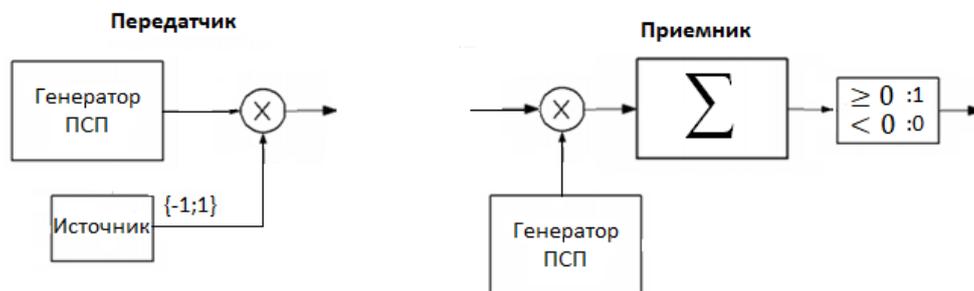


Рисунок 1.2 – Структурная схема передатчика и приемника

Перейдем к следующей исследуемой системе передачи.

1.5 Принцип работы системы передачи на основе интерференции задержанных информационных символов

Структурная схема модема на основе интерференции задержанных информационных символов изображена на рисунке 1.3.

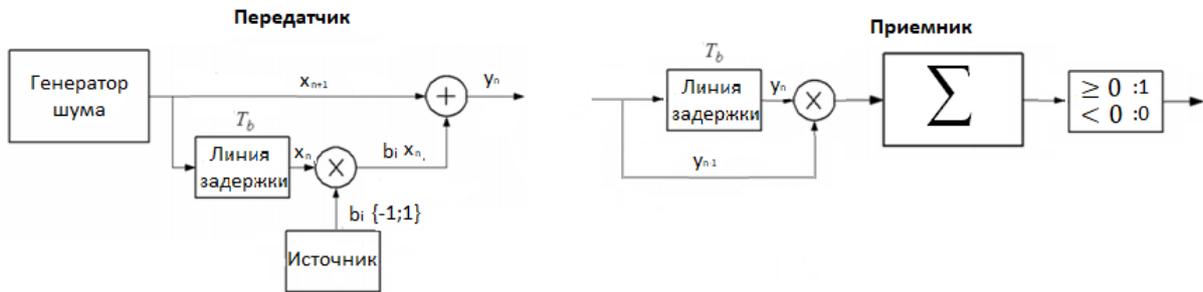


Рисунок 1.3 – Модема на основе интерференции задержанных информационных символов

На передающей стороне от генератора шума поступает случайный сигнал, который разветвляется на 2 канала. Назовем их x_1 и x_2 . Один остается без изменений (x_2), а другой (x_1) подвергается задержке на время, превышающее время когерентности (например, на время длительности одного информационного бита). Далее исходная и задержанная шумовая последовательность в зависимости от бита складываются или вычитаются: при «1» происходит сложение, при «0» – вычитание. Таким образом, передача осуществляется путем некогерентной интерференции [7]. Алгоритм передачи представлен на рисунке 1.4.

Алгоритм передачи

$$\begin{aligned} y_1 &= x_2 \pm x_1; \\ y_2 &= x_3 \pm x_2; \\ y_3 &= x_4 \pm x_3; \\ &\dots \\ y_n &= x_{n+1} \pm x_n. \end{aligned}$$

Алгоритм приема

$$\begin{aligned} (y_1, y_2) &= (x_2 \pm x_1, x_3 \pm x_2); \\ (y_2, y_3) &= (x_3 \pm x_2, x_4 \pm x_3); \\ &\dots \\ (y_{n-1}, y_n) &= (x_n \pm x_{n-1}, x_{n+1} \pm x_n). \end{aligned}$$

Рисунок 1.4 – Алгоритмы передачи и приема

Прием данных осуществляется путем взаимной корреляции соседних интервалов интерферированной псевдослучайной последовательности. По приведенному алгоритму (рис. 1.4) видно, что при обработке последовательностей y_1 и y_2 будут коррелировать составляющие x_2 , при обработке y_2 и y_3 – x_3 , и т.д. Поэтому при приеме «1» будет наблюдаться положительный пик корреляции, а при приеме «0» – отрицательный.

Отметим, что корреляция будет наблюдаться не так явно, как в предыдущей системе, т.к. обрабатываемые сигналы только частично содержат коррелируемые составляющие.

1.6 Принцип работы системы передачи на основе ортогонализации случайных процессов

В передатчике формируется фрагмент шумовой последовательности за время передачи одного информационного бита. Затем выполняется следующее: если информационный бит равен «1», то на выходе передатчика формируется сигнал, полностью совпадающий с предыдущим передаваемым фрагментом, если же бит равен «0», то фрагмент подвергается операции ортогонализации по методу Грама-Шмидта. Алгоритм передачи представим в следующем виде [8]:

$$z_{i+1} = \begin{cases} \frac{n_{i+1} - (n_{i+1}, z_i) * z_i}{\|z_{i+1}\|}, & \text{если } b_{(i+1)} = 0; \\ z_i, & \text{если } b_{(i+1)} = 1, \end{cases} \quad (1.6)$$

где z_{i+1} – сигнал на выходе передатчика;
 z_i – предыдущий сигнал на выходе передатчика;
 b_{i+1} – текущий информационный бит;
 n_{i+1} – текущий вектор шумовой последовательности.

Структурная схема передающей части представлена на рисунке 1.5.

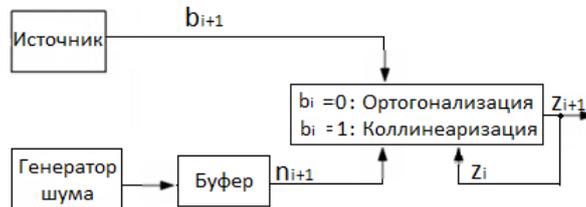


Рисунок 1.5 – Структурная схема передающей части системы с ортогонализацией

Опишем работу приемника. Структурная схема приемной части изображена на рисунке 1.6.

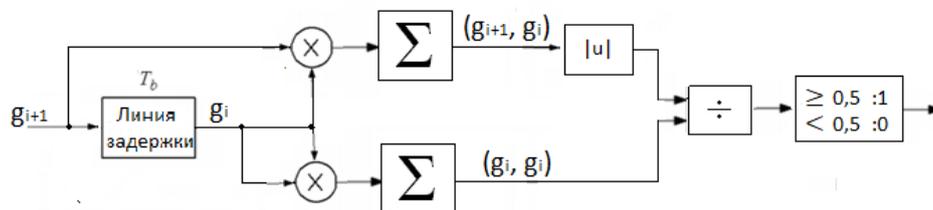


Рисунок 1.6 – Структурная схема приемной части системы с ортогонализацией

В приемнике вычисляется взаимная энергия текущей и предыдущей последовательности. Если полученное значение будет ниже порога (равный 0,5), то делается вывод о передаче «0», иначе – о передаче «1».

2 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ МАКЕТОВ

Лабораторными макетами являются функциональные модели в среде Simulink системы MatLab. Ниже приведены описания каждого макета модемов трех исследуемых систем связи в порядке увеличения скрытности передачи.

2.1 Модель модема системы передачи на основе ПСП

Функциональная модель модема системы передачи на основе ПСП в среде Simulink представлена на рисунке 2.1.

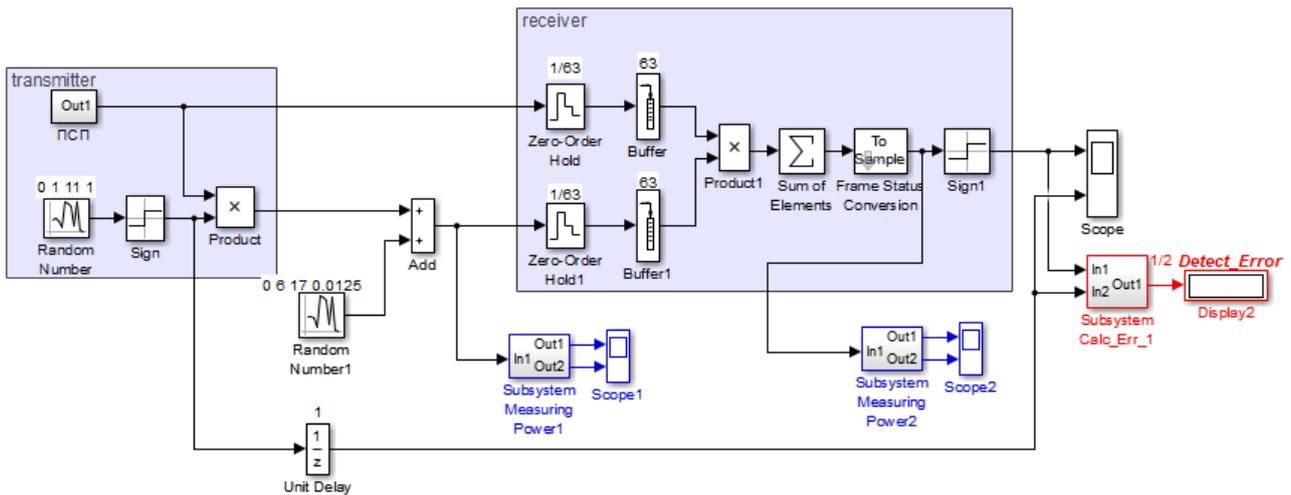


Рисунок 2.1 – Функциональная модель модема системы передачи на основе ПСП

Источник информационных битов представлен блоками **Random Number** и **Sign**. С выхода блока **Sign** поступает последовательность, состоящая из $\{-1;1\}$. В подсистеме **ПСП** собраны схемы генераторов М-последовательностей, используемых в исследовании (рис. 2.2 – 2.3).

Блоки **Unit Delay** выступают в роли регистров сдвига. Блок **Step** используется для запуска работы генератора. Блок **Logical Operator** выполняет суммирование по модулю 2. На выходе генераторов формируется псевдослучайный сигнал, который представляет собой последовательность из $\{-1;1\}$ с периодами повторения 31 и 63. На выходе происходит преобразование однополярной последовательности в биполярную.

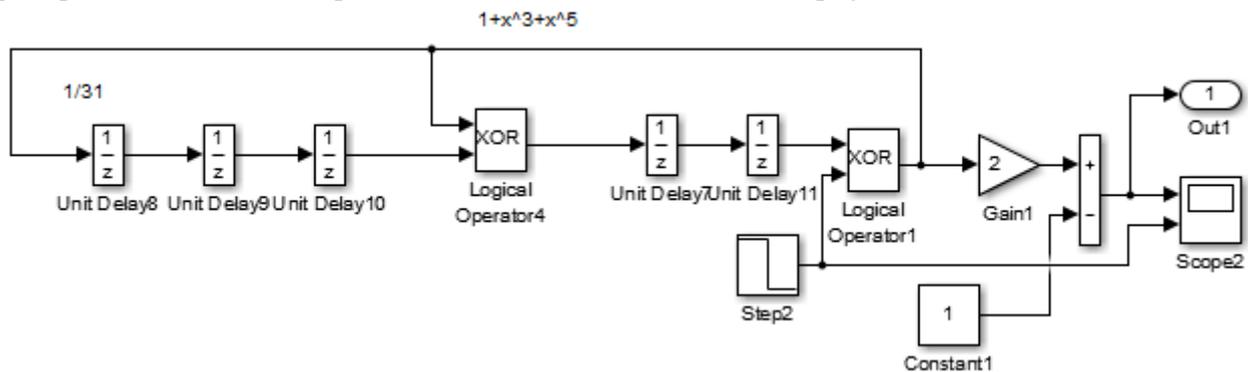


Рисунок 2.2 – Генератор на основе примитивного полинома $1 + x^3 + x^5$

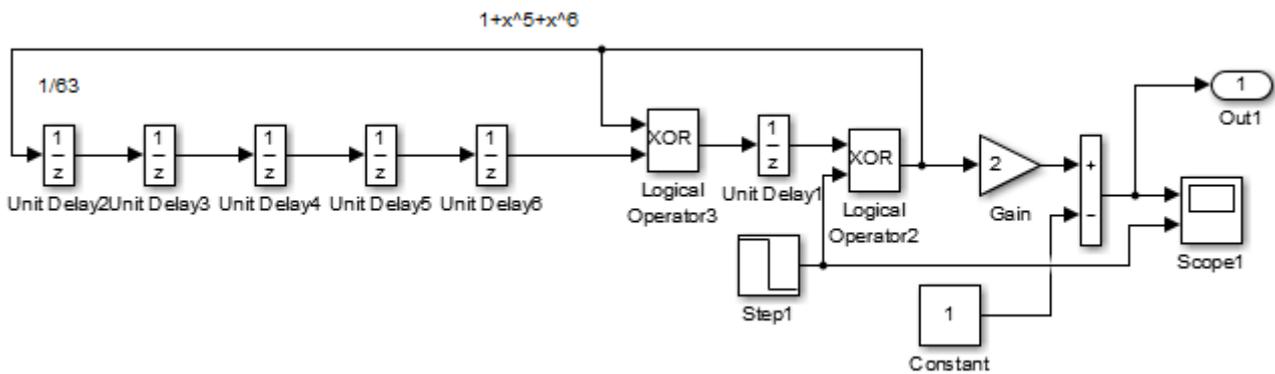


Рисунок 2.3 – Генератор на основе примитивного полинома $1 + x^5 + x^6$

Передача. ПСП и информационный сигнал поступают на умножитель (блок **Product**). Таким образом, создается модулированный ПСП сигнал, который затем подается в канал передачи.

С помощью сумматора и генератора случайного сигнала вносятся широкополосные шумы канала распространения передаваемого сигнала.

Прием. В приемнике происходит корреляционная обработка. Принимаемый сигнал сравнивается с ПСП, которая является полной и синхронизированной по времени копией ПСП, используемой при передаче. Для дальнейшей обработки сигналы проходят через блоки **Zero-Order Hold** и **Buffer**. Корреляционная обработка производится с помощью блоков **Product** и **Sum of Elements**. Блок **Sign** принимает решение о приеме «0» либо «1».

Для обеспечения возможности измерения помехоустойчивости собрана схема измерителя мощности. Она находится в подсистеме **Measuring Power**. Данная схема представлена на рисунке 2.4.

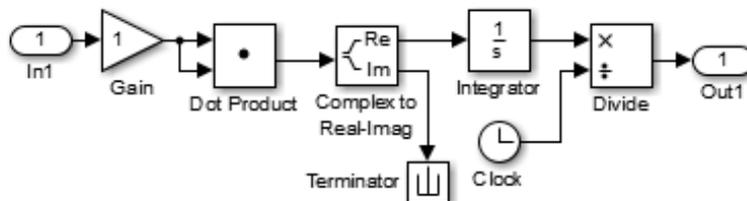


Рисунок 2.4 – Измеритель мощности регулярных и случайных процессов

Для контроля количества ошибок был поставлен детектор, схема которого представлена на рисунке 2.5.

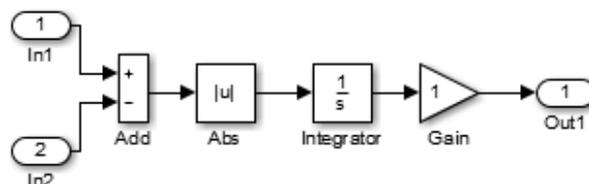


Рисунок 2.5 – Детектор ошибок

Данные подсхемы (рис. 2.4 – 2.5) используются во всех рассматриваемых моделях модемов.

2.2 Модель модема системы передачи на основе интерференции задержанных информационных символов

Ниже представлена модель модема на основе интерференции задержанных информационных символов (рис. 2.6).

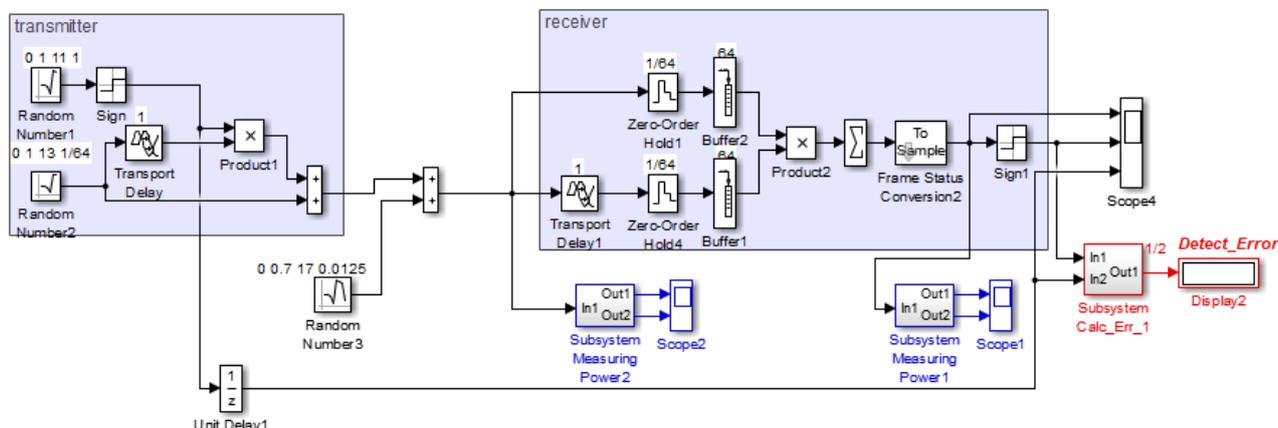


Рисунок 2.6 – Модель модема на основе интерференции задержанных информационных СИМВОЛОВ

В качестве генераторов информационных данных и шумовой последовательности выступают генераторы случайного сигнала с нормальным распределением **Random Number1** и **Random Number2** соответственно. Для ограничения амплитуды шумового сигнала в схеме присутствует блок **Sign**.

Передача. В блоке **Transport Delay** происходит задержка одного из двух шумового сигнала на время передачи одного информационного бита. Далее этот сигнал поступает вместе с информационным сигналом в блок **Product**. На выходе формируется сигнал, полученный перемножением обоих сигналов. Затем сформированный и исходный шумовой сигнал поступают на сумматор. Полученная смесь отправляется на передающую сторону.

Процесс передачи сопровождается воздействием шумов канала распространения. Модель канала распространения представлена в виде сумматора, на второй вход которого подаётся широкополосный шум канала, реализованный с помощью блока **Random Number3**.

Прием. Приемник основан на использовании автокорреляционного метода. Задержанный на время передачи одного информационного бита и текущий сигнал поступают на блоки **Zero-Order Hold** и **Buffer** для преобразования принятого фрагмента в вектор. Полученные последовательности подвергаются корреляционной обработке с помощью блоков **Product2** и **Sum of Elements**.

Дальше идет блок **Sign1**, который позволяет восстановить переданную последовательность.

2.3 Модель модема системы передачи на основе ортогонализации случайных процессов

Ниже представлена модель модема на основе ортогонализации случайных процессов (рис. 2.7).

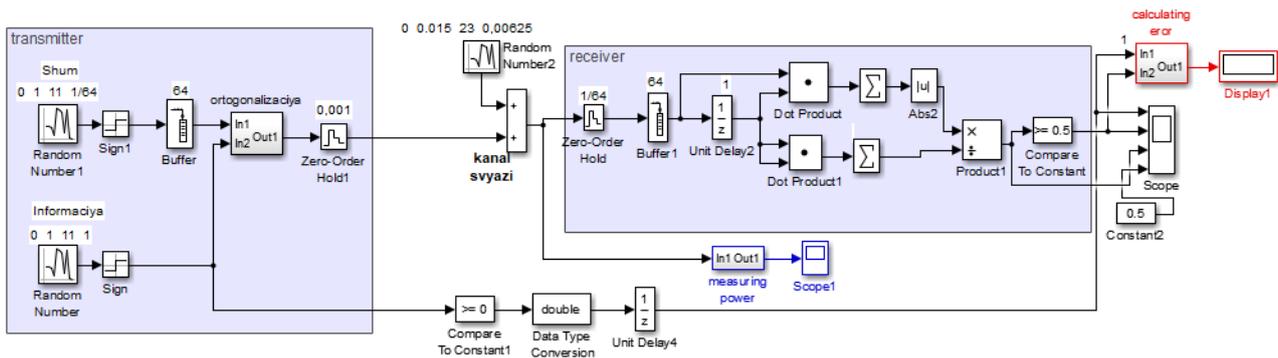


Рисунок 2.7 – Модель модема на основе ортогонализации сигналов

В качестве генераторов информационных данных и ПСП выступают генераторы случайного сигнала с нормальным распределением **Random Number** и **Random Number1**.

Для получения информационных бит в виде последовательности, состоящей из «1» и «-1», после блока **Random Number** поставлен блок **Sign**.

Ниже представлена модель подсистемы **ortogonalizaciya** (рис. 2.8).

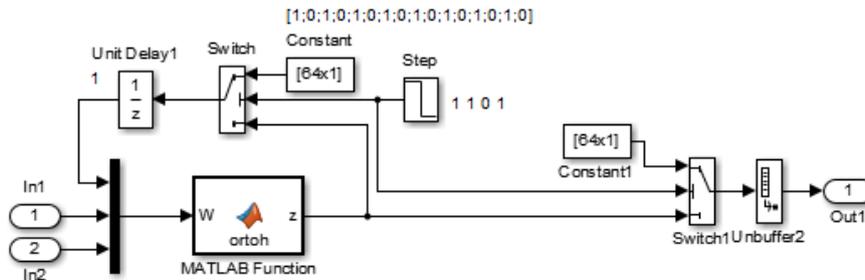


Рисунок 2.8 – Схема подсистемы **ortogonalizaciya**

Описание работы подсистемы ortogonalizaciya. Входными сигналами здесь являются вектор из отсчетов шумовой последовательности исследуемой длины и текущий информационный бит. Данная подсистема выполняет ортогонализацию или повтор вектора.

В блоке **Constant** находится вектор исследуемой длины, состоящий из 1 и 0. Эта последовательность используется в первый такт работы блока **MATLAB Function** в качестве предыдущей последовательности. Она нужна для запуска функции ортогонализации.

В блоке **Constant1** формируется вектор исследуемой длины, представляющий собой нормированный вектор, который создавался блоком **Constant**. Эта последовательность выходит первой из передатчика. Она необходима для сравнения на приемной стороне с первым обработанным символом.

Вектора, формирующиеся в блоках **Constant** и **Constant1**, поступают первыми благодаря совместному использованию блоков **Switch** и **Step**.

Ниже приведен код. Он представляет собой функцию ортогонализации входных векторов по алгоритму Грама-Шмидта, а также повтора предыдущего шумового символа. При выполнении работы студентам следует самостоятельно набрать данные строки в блок **MATLAB Function**.

```
function z = ortoh(W)
m=length(W);
n=(m-1)/2;
V=zeros(n,2);
V(:,1)=W(1:n);           %предыдущий обработанный символ
V(:,2)=W(n+1:m-1);      %текущий символ
s=W(m);                  %информационный бит
```

```

if V(1,1)==0           %для создания нулевых элементов в начале симуляции
    z=zeros(n,1);
else
    if s==-1           %ортогонализация
        Q=zeros(n,2);
        Q(:,1)=V(:,1)/norm(V(:,1));
        Q(:,2)=V(:,2)-Q(:,1)*Q(:,1)'+V(:,2);
        Q(:,2)=Q(:,2)/norm(Q(:,2));
        z=Q(:,2);
    else
        z=V(:,1)/norm(V(:,1)); %повтор символа (коллинеарность)
    end;
end;

```

Здесь n – это исследуемая длина шумовой последовательности. Входной вектор W имеет размерность, равную $(2n + 1, 1)$. Его длина составляет $m = 2n + 1$. Вектор W содержит входную шумовую последовательность, предыдущий обработанный символ и текущий информационный бит.

Матрица V составляется из элементов вектора W . Ее размерность = $(n, 2)$. Первый столбец матрицы V состоит из элементов $W(1:n)$. Данный столбец представляет собой входную шумовую последовательность. Второй столбец матрицы V состоит из элементов $W(n + 1:m - 1)$. Он представляет собой предыдущий, уже обработанный символ.

Последним элементом входного вектора $s = W(m)$ является информационный бит. Он исполняет роль управляющего сигнала, т.е. запускает процесс ортогонализации текущего вектора методом Грама-Шмидта.

Выходной вектор z имеет размерность $(n, 1)$. При $s = 1$ вектор z повторяет предыдущую обработанную последовательность; при $s = -1$ вектор z становится ортогональным вектором.

После формирования последовательности векторов полученный сигнал проходит через блок **Unbuffer**, где вектора преобразуются в последовательность.

Процесс передачи сопровождается воздействием шумов канала распространения. Модель канала распространения представлена в виде сумматора, на один из входов которого подаётся широкополосный шум канала, реализованный с помощью блока **Random Number2**.

Прием. Сигнал поступает на блоки **Zero-Order Hold** и **Buffer1**, для преобразования принятого фрагмента в вектор. Далее происходит вычисление скалярного произведения текущего и задержанного на длительность одного бита символ с помощью блоков **Dot Product**, **Sum of Elements** и **Abs**. Также выполняется нормировка полученного значения на энергию предыдущего символа.

Дальше, в блоке **Compare to Constant**, идет сравнение вычисленного коэффициента корреляции с порогом, равным 0,5. При значении меньше этого порога формируется «0», в противном случае – «1».

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Лабораторная работа проводится в учебной лаборатории (427 ауд. РК ТУСУРа). При подготовке к лабораторной работе студенты должны изучить необходимый лекционный материал и рекомендованную учебную литературу. Для допуска к выполнению работы студентам следует ответить на контрольные вопросы, которые представлены в конце.

1. Собрать 3 модели модемов в соответствии со схемами, представленными на рисунках 2.1, 2.6 и 2.7.

2. Для проведения исследования выставить следующие параметры:

а) Система передачи на основе ПСП

- В подсистеме *ПСП* использовать генератор *M*-последовательности, изображенный на рисунке 2.2;
- блоки *Buffer* и *Buffer1*: Output buffer size = 31;
- блоки *Zero-Order Hold* и *Zero-Order Hold1*: Sample time = 1/31.

б) Система передачи на основе интерференции

- блок *Random Number*: Sample time = 1/32;
- блоки *Buffer1* и *Buffer2*: Output buffer size = 32;
- блоки *Zero-Order Hold1* и *Zero-Order Hold4*: Sample time = 1/32.

в) Система передачи на основе ортогонализации

- блок *Random Number1*: Sample time = 1/32;
- блоки *Buffer* и *Buffer1*: Output buffer size = 32;
- блоки *Zero-Order Hold* и *Zero-Order Hold1*: Sample time = 1/32;
- в подсистеме *ortogonalizaciya*: в блоке *Constant* прописать вектор длиной 32 из чередующихся 1 и 0 [1;0;1;0...]; в блоке *Constant1* прописать вектор длиной 32 из чередующихся 0,25 и 0 [0,25;0;0,25;0...].

3. Для каждой модели рассчитать значение SNR при вероятности битовой ошибки 0,001 по следующей формуле:

$$SNR = \frac{N_c}{N_{c+ш} - N_c}, \quad (3.1)$$

где N_c – мощность сигнала;

$N_{c+ш}$ – мощность сигнала с шумом.

Для этого зафиксировать значения мощности сигнала на входе коррелятора в условиях идеальной передачи (без шумов канала); добиться появления 1 ошибки на 1000 отсчетов, изменяя значение дисперсии шумов в канале (*Variance*), снова записать значение мощности и подставить полученные результаты в формулу (3.1). Значения *SNR* вычисляются в дБ. За вероятность битовой ошибки принимается частота появления ошибок в принимаемой последовательности.

4. Увеличить вдвое количество отсчетов за время передачи одного информационного бита, выполнив следующую перенастройку модемов:

а) Система передачи на основе ПСП

- В подсистеме *ПСП* использовать генератор *M*-последовательности, изображенный на рисунке 2.3;
- блоки *Buffer* и *Buffer1*: Output buffer size = 63;
- блоки *Zero-Order Hold* и *Zero-Order Hold1*: Sample time = 1/63.

б) Система передачи на основе интерференции

- блок Random Number: Sample time = 1/64;
- блоки Buffer1 и Buffer2: Output buffer size = 64;
- блоки Zero-Order Hold1 и Zero-Order Hold4: Sample time = 1/64.

в) Система передачи на основе ортогонализации

- блок Random Number1: Sample time = 1/64;
- блоки Buffer и Buffer1: Output buffer size = 64;
- блоки Zero-Order Hold и Zero-Order Hold1: Sample time = 1/64;
- в подсистеме ortogonalizaciya: в блоке Constant прописать вектор длиной 64 из чередующихся 1 и 0 [1;0;1;0...]; в блоке Constant1 прописать вектор длиной 64 из чередующихся 0,1768 и 0 [0,1768;0;0,1768;0...].

5. Повторить пункт 3.
6. Провести сравнительный анализ по рассчитанным значениям SNR трех исследуемых технологий и сделать выводы.
7. Составить отчет по проделанной работе.
8. Подготовиться к защите отчета.

4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение скрытности.
2. Какие достоинства имеют широкополосные сигналы?
3. Как реализуется генератор ПСП?
4. Опишите принцип работы системы связи на основе ПСП.
5. Опишите принцип работы системы связи на основе интерференции задержанных информационных символов.
6. Опишите принцип работы системы связи на основе ортогонализации случайных процессов.
7. Поясните, почему в системе передачи на основе ортогонализации в приемнике при обработке принятого сигнала выбран порог, равный 0,5.
8. Почему при увеличении отсчетов за время передачи информационного бита улучшается помехоустойчивость системы?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др.; под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
- 2 Варакин, Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. — М.: Радио и связь, 1985. — 384 с.
- 3 М-последовательность [Электронный ресурс]. – режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/М-последовательность> (дата обращения: 25.05.21).
- 4 Интерференция [Электронный ресурс]. – режим доступа [https://science.wikia.org/ru/wiki/Интерференция_\(физика\)](https://science.wikia.org/ru/wiki/Интерференция_(физика)) (дата обращения: 25.06.21).
- 5 Кликушин, Ю. Н., Кошеков К. Т., Горшенков А. А. Явление некогерентной интерференции сигналов // Омский научный вестник. 2010. №2 (90). С. 163-168.
- 6 Ортогональность [Электронный ресурс]. – режим доступа https://studref.com/397045/tehnika/ortogonalnye_nizkochastotnye_signaly (дата обращения: 26.05.21)
- 7 Калинин, В.И. Шумовая система радиосвязи на основе интерференции задержанных информационных сигналов // Журнал радиоэлектроники, №4 [Электронный ресурс]. Электрон. журн. 2017. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/apr17/1/text.pdf> (дата обращения 26.05.2021).
- 8 Васильева, Т.В. Передача данных на основе ортогонализации случайных процессов: бакалаврская работа / Т. В. Васильева; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), радиотехнический факультет (РТФ), кафедра радиотехнических систем (РТС); науч. рук. В. А. Кологривов. — Томск, 2019. – 46 с.