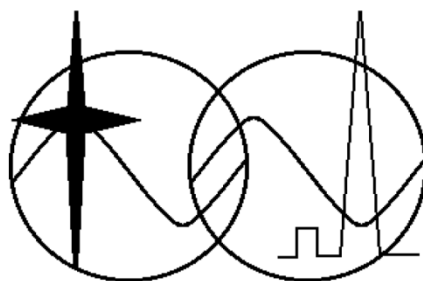


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра средств радиосвязи (СРС)

Утверждаю:
Зав. каф. СРС, проф., д.т.н.
_____ Мелихов С.В.
_____ 2015 г.



Кологривов В.А., Цинц А.А., Олчейбен Д.Н

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ CDMA

Учебно-методическое пособие по лабораторной работе
для студентов направления
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
по дисциплине
«Сети и системы мобильной связи»

Разработчики:

Доц. каф СРС Кологривов В.А. _____

Студент гр. 1В1 Цинц А.А. _____

Студент гр. 1В1 Олчейбен Д.Н. _____

Томск 2015

Кологривов В.А., Цинц А.А., Олчейбен Д.Н.

«Исследование технологии CDMA»: Учебно-методическое пособие по лабораторной работе для студентов направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Сети и системы мобильной связи». – Томск: ТУСУР. Научно-образовательный портал, 2015.– 22 с.

Учебно-методическое пособие содержит описание функциональной модели системы передачи информации (*СПИ*) по технологии *CDMA*, выполненной в среде функционального моделирования *Simulink*, системы для инженерных и научных расчетов *MatLab*.

В пособии приведены краткие теоретические сведения технологии *CDMA*, краткая характеристика пакета *Simulink* системы *MatLab*, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоков библиотеки *Simulink*, а также требования к экспериментальному исследованию и контрольные вопросы, ответы на которые необходимы для успешной защиты лабораторной работы.

© Кологривов В.А., Цинц А.А., Олчейбен Д.Н., 2015 г.

© ТУСУР, РТФ, каф. СРС, 2015 г.

АННОТАЦИЯ

Лабораторная работа «Исследование технологии *CDMA*» посвящена экспериментальному исследованию модели *СПИ* по технологии *CDMA* с использованием пакета функционального моделирования *Simulink*, системы для инженерных и научных расчетов *MatLab*.

Работа «Исследование технологии *CDMA*» относится к циклу лабораторных работ по разделу «Уплотнение/Разделение каналов. Множественный доступ», входящему в дисциплины по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

В описании сформулирована цель лабораторной работы, приведены краткие теоретические сведения технологии *CDMA*, краткая характеристика пакета *Simulink* системы *MatLab*, описание виртуального лабораторного макета и используемых блоков библиотеки *Simulink*, а также требования к экспериментальному исследованию и контрольные вопросы, ответы на которые необходимы для успешной защиты лабораторной работы.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы. Краткие теоретические сведения по технологии <i>CDMA</i>	5
2. Краткое описание функциональной <i>Sim</i>-модели систем передачи информации по технологии <i>CDMA</i>	10
3. Краткое описание пакета <i>Simulink</i> и используемых блоков	15
4. Экспериментальное задание	20
5. Контрольные вопросы	21
Список использованных источников	22

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ CDMA

Цель работы: изучение структуры и принципа организации системы передачи информации (СПИ) по технологии *CDMA* с использованием пакета функционального моделирования *Simulink*.

Теоретические сведения технологии CDMA [1-5]

Технология *CDMA* (*Code Division Multiple Access*), или в русскоязычном варианте *МДКР* (Множественный Доступ с Кодовым Разделением Каналов), манипулирует всеми тремя параметрами информационного сигнала – частотой, временем и энергией. Канал *CDMA* является уже реально широкополосным (мин. ширина полосы частот 1,23 МГц). Частотный канал разбивается на несколько десятков логических, передача и приём по которым осуществляется в одной полосе частот и одновременно. На передаче сигналы от различных источников обрабатываются каждый своим «кодом» и объединяются в широкополосный сигнал с распределенной энергией, а на приемной стороне разделяются с помощью аналогичных «кодов». Основная идея заключается в том, что в одной и той же полосе частот создаются сигналы, не влияющие друг на друга. В отличие от *FDMA* и *TDMA*, где энергия сигнала концентрируется на выбранных частотах или временных интервалах, сигналы *CDMA* распределены в непрерывном частотно-временном пространстве. Одна и та же полоса частот используется всеми каналами одновременно. Наглядно различие методов деления каналов связи продемонстрировано на рисунке 1.1 (автор к.т.н. Громаков Ю.) [1].

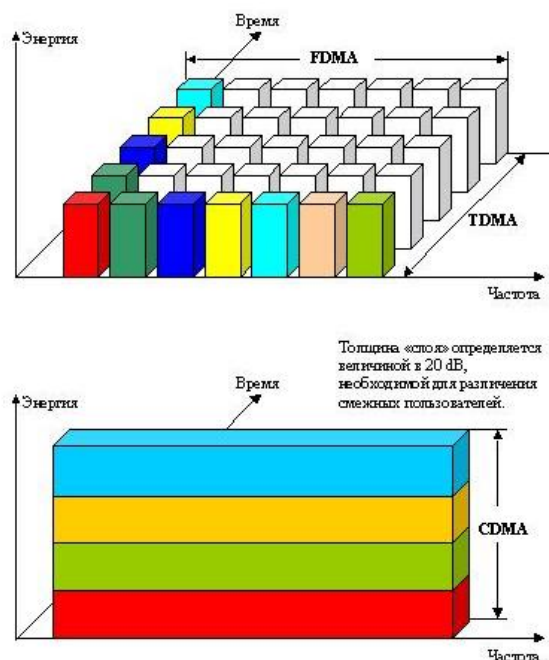


Рисунок 1.1 – Принцип метода доступа в частотно-временной области

CDMA позволяет каждой станции осуществлять передачу во всем частотном диапазоне постоянно. Множественные передачи реализуются с привлечением теории кодирования. Здесь предполагается, что сигналы, совпадающие по времени складываются линейно.

Принцип *CDMA* заключается в том, что каждому источнику информации назначается индивидуальный код, при помощи которого он кодирует передаваемое сообщение. Приемник информации также знает этот код и его задача в том, чтобы выделить закодированное сообщение нужного отправителя из всего потока других сообщений. В этом и заключается вся сложность, т.к. коды должны быть как можно меньше похожи друг на друга, даже при временном смещении сообщений. На математическом языке свойство "похожести" называется корреляцией. Таким образом, закодированные сообщения должны обладать как можно меньшей корреляцией. Этим свойством обладают ортогональные коды, взаимное скалярное произведение которых равно 0. На практике удается получить не полностью ортогональные коды, а почти ортогональные. Это означает, что ортогональное произведение стремится к 0, но не достигает его, чего вполне достаточно для устойчивой работы системы, но, в свою очередь, накладывает определенные ограничения. В теории если бы можно было сгенерировать бесконечное число полностью ортогональных кодов, то в одном канале связи смогут одновременно работать бесконечное число абонентов. Из-за неполной ортогональности кодов сигналы различных источников могут создавать помехи друг для друга. Причем чем выше мощности сигналов, тем ощутимее может оказаться влияние. Поэтому число одновременно работающих абонентов и максимально возможная передаваемая мощность в системе с *CDMA* ограничены [2].

Каждый бит-тайм делится на m коротких интервалов, называемых чипами. Обычно используется 64 или 128 чипов на бит. Каждой станции присваивается уникальный m -битный код (*чип-последовательность chip sequence*). Чтобы передать 1 бит станция посылает свой чип-код. Для простоты далее будем предполагать, что $m=8$. Для того чтобы послать нулевой бит, посылается дополнение чип-кода по модулю один. Никакие другие кодовые последовательности не разрешены. Например, пусть станции 1 поставлен в соответствие чип-код 01010101, тогда при посылке логической 1 она отправляет код 01010101, а при отправке логического нуля - 10101010.

При *CDMA* каждая станция использует весь частотный диапазон, так что будет получена скорость передачи 1 мегачип в секунду. При менее 100 чипов на бит *CDMA* обеспечивает большую пропускную способность, чем *FDM*. Для упрощения введем двуполярную нотацию, где нулю соответствует -1 , а единице $+1$. Тогда чип-код станции 1 получит вид $-1 +1 -1 +1 -1 +1 -1 +1$. Каждая из станций получает уникальный чип-код. Чип-коды можно представить в виде m -компонентных векторов. Чип-коды выбираются так,

что все они попарно ортогональны (не любой уникальный чип-код пригоден, так, если станция 1 имеет чип-код 01010101 , то станция 2 не может иметь чип-код 10101001 , но чип-код 10100101 вполне допустим) [3].

Принципы кодового разделения каналов связи основаны на использовании широкополосных сигналов (*ШПС*) – *чиповых псевдослучайных последовательностей*, полоса которых значительно превышает полосу частот, необходимую для обычной передачи сообщений, как, например, в узкополосных системах с частотным разделением каналов – *FDMA (NMT-450, AMPS)*. Основной характеристикой *ШПС* является база сигнала B , определяемая как произведение ширины его спектра F на его длительность T :

$$B = F * T.$$

В цифровых системах связи, передающих информацию в виде двоичных символов, длительность *ШПС* T и скорость передачи сообщений C связаны соотношением:

$$T = 1/C.$$

Поэтому база сигнала характеризует расширение спектра *ШПС* относительно спектра сообщения и может быть определена как :

$$B = F/C.$$

Расширение спектра частот передаваемых цифровых сообщений можно осуществить двумя способами или их комбинацией :

- прямым расширением спектра частот;
- скачкообразным изменением частоты несущей.

При первом способе узкополосный информационный сигнал умножается на псевдослучайную последовательность (*ПСП*) с периодом повторения T , включающую N бит последовательности длительностью t_0 каждый. При этом база *ШПС* численно равна количеству элементов *ПСП* :

$$B = T/t_0 = N.$$

Достаточно наглядно это продемонстрировано на рисунке 1.2 а.

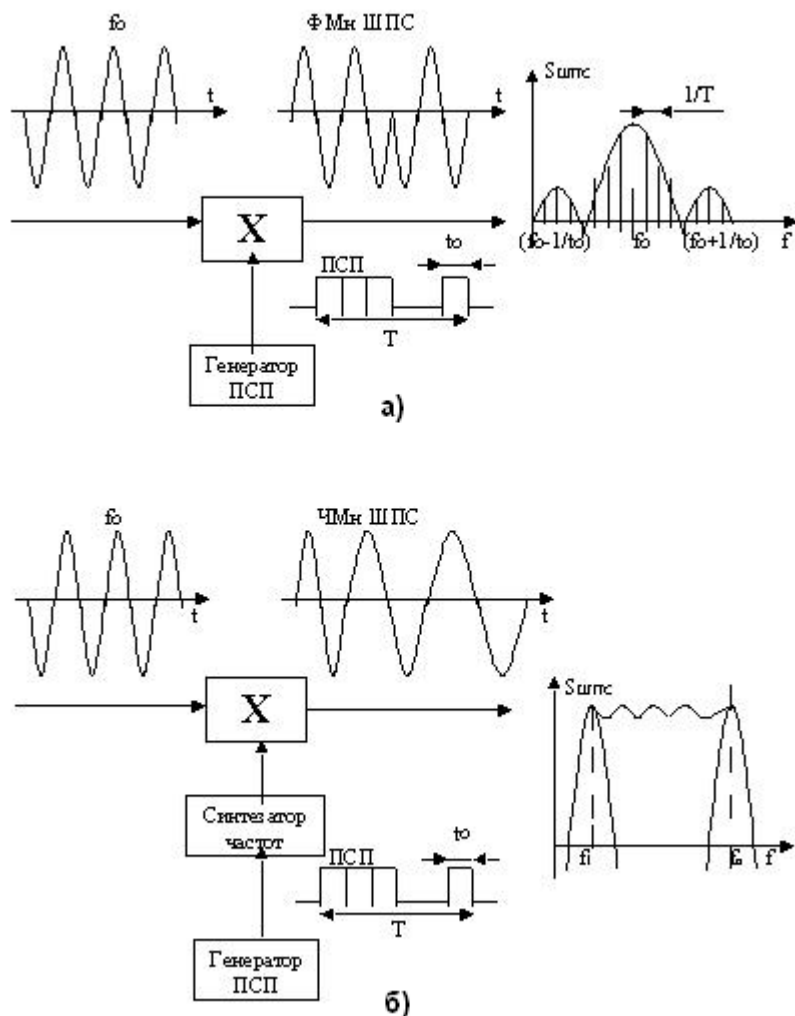


Рисунок 1.2 – Способы расширения спектра частот передаваемых цифровых сообщений - а) прямым расширением спектра частот; б) скачкообразным изменением частоты несущей

Скачкообразное изменение частоты несущей, как правило, осуществляется за счет быстрой перестройки выходной частоты синтезатора в соответствии с законом формирования ПСП (рисунок 1.2 б).

Прием ШПС осуществляется оптимальным приемником с корреляторами. Коррелятор осуществляет «сжатие» спектра ШПС путем умножения его на эталонную копию ПСП (чип-последовательность) с последующей фильтрацией в полосе $1/T$, что и приводит к улучшению соотношения сигнал/шум на выходе коррелятора в V раз по отношению ко входу. Выбирая определенный ансамбль сигналов с «хорошими» взаимными и автокорреляционными свойствами, можно обеспечить в процессе корреляционной обработки (свертки ШПС) разделение сигналов. На этом и основан принцип кодового разделения каналов связи [1].

К достоинствам этого метода относятся:

- высокая помехозащищённость канала связи;
- высокая конфиденциальность передаваемых сообщений (за счет более сложного цифрового радиointерфейса);
- высокое качество в разговорном тракте – отсутствие некомфортных шумов и выпадений полезного сигнала, сочный тембральный окрас речи говорящего;
- высокая скорость передачи данных;
- высокая эффективность использования спектра частот – отсутствие частотного планирования и повторное использование одних и тех же полос частот на одной территории;
- высокая экологичность терминального оборудования (сотовых телефонов) – их мощность передачи в несколько раз меньше мощности телефонов такого же класса других стандартов;
- высокая пропускная способность *CDMA*-сети.

К недостаткам же относятся:

- сложное системное планирование (размещение базовых станций на местности);
- многоступенчатое управление мощностью передачи мобильной станции (в *IS-95* восемьдесят(!) ступеней управления) – для снижения внутрисистемных помех;
- жёсткие требования к синхронизации *CDMA*-сети и отсутствие многовариантности систем синхронизации [1].

Метод *CDMA* используется в основном в системах радиодоступа, т.к. в проводных системах его нецелесообразно использовать из-за высокой сложности и стоимости приемо-передающих устройств. В сотовой связи принцип *CDMA* нашел применение в стандартах *2G* и *3G*. В частности стандарт *CDMA 2000* включает этот метод множественного доступа на участке между базовой станцией (*BTS*) и мобильным оборудованием (*MS*). В *UMTS* используется модифицированный метод – *WCDMA* (*Wideband Code Division Multiple Access* – широкополосный метод множественного доступа с кодовым разделением), главное отличие которого от *CDMA* заключается в том, что сигнал перед передачей в радиоэфир дополнительно расширяется. Это в свою очередь, позволяет добиться лучшей помехоустойчивости, безопасности и снижения потребляемой мощности [2].

2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ SIM-МОДЕЛИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ CDMA [6,7,8]

Вариант реализации функциональной *Sim*-модели *СПИ*, состоящей из передатчика, приемника и канала связи с аддитивным шумом, по технологии *CDMA* представлена на рисунке 2.1.

Приведем краткое описание работы *СПИ* по технологии *CDMA* на основе *Sim*-модели, представленной на рисунке 2.1. Функциональная *Sim*-модель состоит из передатчика (*Transmitter*), канала связи с аддитивным шумом (*Channel*) и приемника (*Receiver*).

Передатчик (*Transmitter*, см. рисунок 2.2) состоит из нескольких источников сигнала (*Source and Sequence*), в виде блоков источников информационных сигналов на основе (*Uniform Random Number*), блоков псевдослучайных чиповых последовательностей *Random Number* и блоков *Sign*, смесителей (*Mixer*) (блоки *Product*), гетеродинов (блоки *Sine Wave*), приборов наблюдения взаимной корреляции (блоки *Cross Correlator*) и сумматора каналов (блок *Add*).

Входные потоки данных реализуется блоками источников случайных последовательностей с равномерным распределением (*Uniform Random Number*) и источников псевдослучайных чиповых последовательностей на основе генераторов случайных процессов с нормальным распределением (*Random Number*), на выходе которых включены блоки определения знака сигнала (*Sign*). Изменяя параметры блока источника *Seed* и *Sample time*, задается вид случайной последовательности и длительности импульсов (*битов*). Для каждого из источников выбираются разные значения параметра *Seed*, тем самым задавая вид случайных последовательностей. Для определенности, не усложняя реализацию модели, можно взять для сигнальных последовательностей *Sample time* = 1, а для чиповых последовательностей взять *Sample time* = 1/16. Модуляторы (расширители спектра) реализованы на основе умножителей (*Product, Mixer*), на первые входы которых подаются сигнальные последовательности, а на вторые – чиповые последовательности.

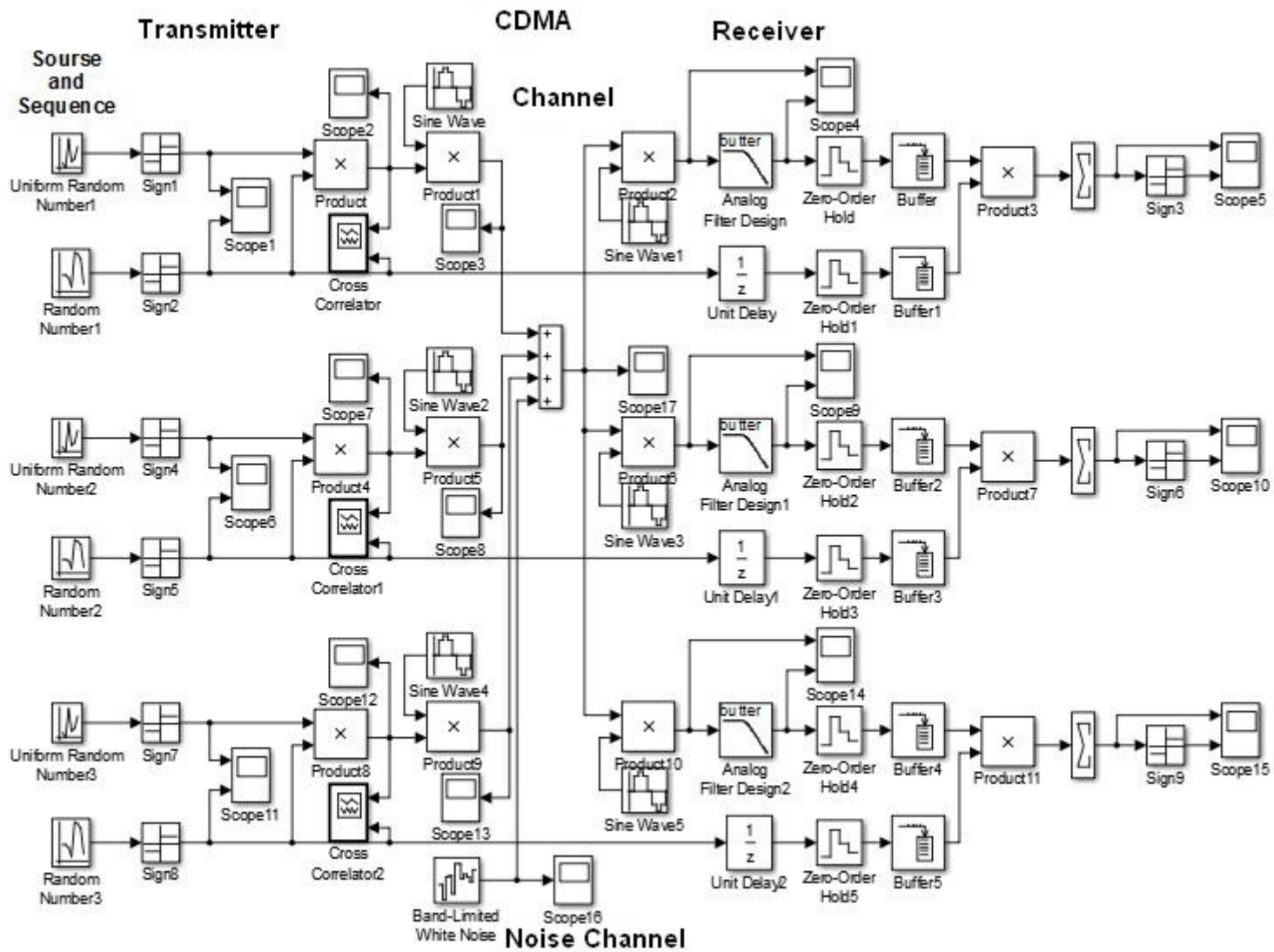


Рисунок 2.1 – Функциональная *Sim*-модель *СПИ* по технологии *CDMA*

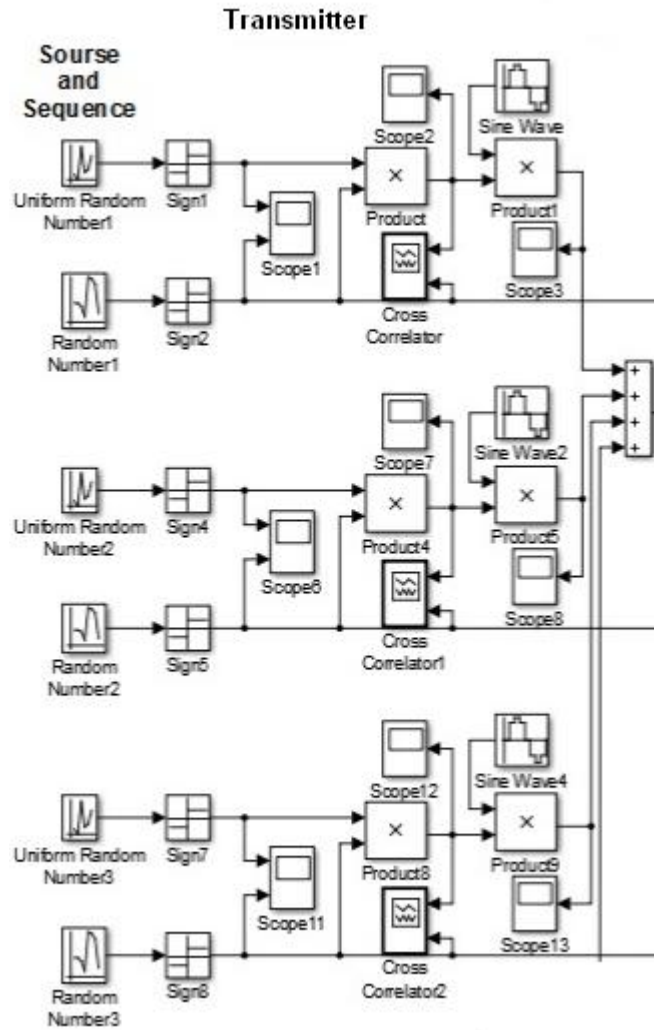


Рисунок 2.2 – *Sim*-модель передатчика

Далее сигналы идут на входы *модуляторов несущей частоты* - еще одних умножителей, на вторые входы которых поступают сигналы с опорных генераторов несущей частоты (*Sine Wave*). Несущие частоты генераторов одинаковы, то есть *все абоненты находятся в одном частотном диапазоне* и разделение на приемной стороне осуществляется на основе хорошей взаимной ортогональности уникальных псевдослучайных чиповых последовательностей каналов. Выходным блоком модуляторов является сумматор (*Add*). *Заметим, что можно вначале просуммировать широкополосные сигналы источников информации, а затем преобразовать на частоту несущего колебания.*

Канал связи с аддитивным шумом (*Channel*) состоит из сумматора (*Add*), на первый вход которого подается сформированный информационными последовательностями и уникальными кодами модулированный относительно широкополосный сигнал на несущей частоте, а на второй вход подается нормальный белый шум (блок *Band-Limited White Noise*), моделирующий шумы канала распространения радиосигнала.

Приемник (*Receiver*, см. рисунок 2.3) состоит из гетеродинов (блоки *Sine Wave*), смесителей (*Mixer*) (блоки *Product*), набора ФНЧ (блоки *Analog Filter Design*), линий задержек (блоки *Unit Delay*), экстраполяторов (блоки *Zero-Order Hold*), буферов (блоки *Buffer*), сумматоров матричного сложения (блоки *Add*) и блоков нормировки уровня сигнала (*Sign*).

Демодуляция принимаемых информационных последовательностей обычно осуществляется путем вычисления функции взаимной корреляции принятых в течение длительности исходного бита отсчетов смеси сигналов всех каналов и отсчетов соответствующих чиповых последовательностей. Знак корреляционной функции определяет значение текущего импульса (бита) $+1$ или -1 . В данной модели вместо взаимной корреляционной функции вычисляется скалярное произведение буферов (векторов) отсчетов принимаемого сигнала и оригинальной чиповой последовательности. В результате скалярное произведение даст положительный либо отрицательный импульсы, которые блоком нормировки уровня сигнала (*Sign*) преобразуются в значение текущего импульса (бита) $+1$ или -1 .

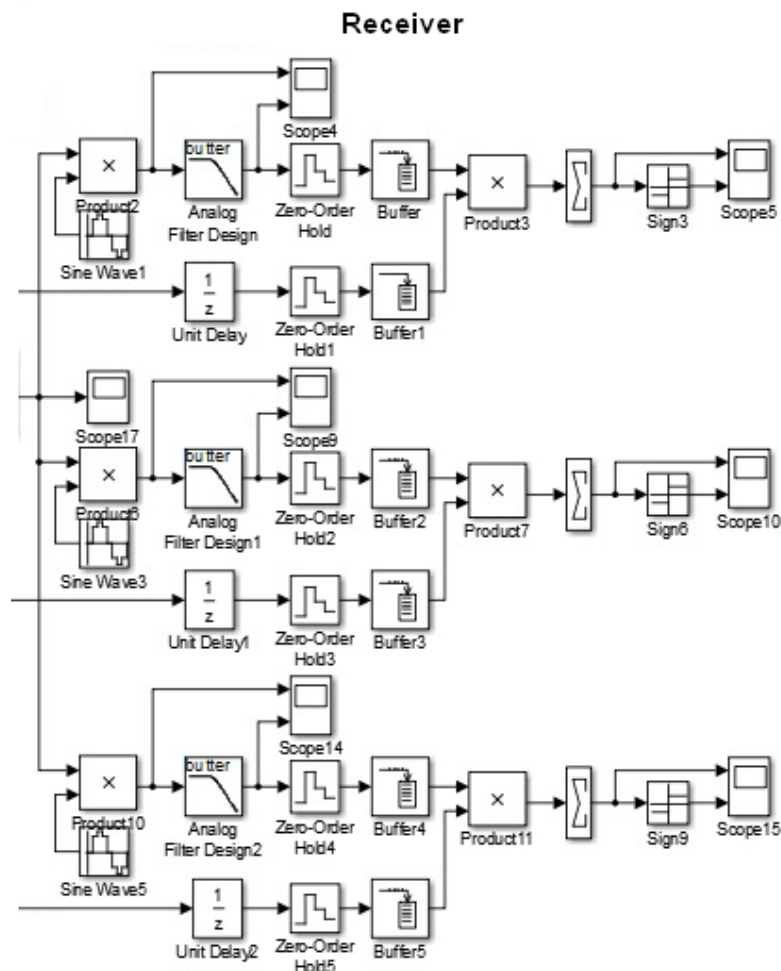


Рисунок 2.3 – *Sim*-модель приемника


Демодуляторы реализованы на основе умножителей (*Product, Mixer*), на первые входы которых подаются принятые сигналы, а на вторые входы поступают сигналы с опорных генераторов несущей частоты (*Sine Wave*). С выходов умножителей сигналы поступают на ФНЧ (*Analog Filter Design*), которые отфильтровывают высокочастотные гармоники. С выходов ФНЧ сигналы тактируются и экстраполируются блоками *Zero-Order Hold* и поступают в буферы *Buffer*. Уникальные чиповые псевдослучайные последовательности каналов подаются в приемник. Для синхронизации по времени задерживаются блоками *Unit Delay*, тактируются и экстраполируются блоками *Zero-Order Hold* и поступают в свои буферы *Buffer*. Демодуляция принятых последовательностей осуществляется с помощью скалярного умножения (блоки *Product*) накопленных в буферах отсчетов принятой смеси кодированных сигналов и отсчетов соответствующей уникальной чиповой псевдослучайной последовательности. Блоки нормировки уровня сигнала (*Sign*) восстанавливают значение и форму текущего импульса (*бита*) исходного потока данных. В качестве условных получателей служит блок осциллографов (*Scope*). С их помощью мы можем следить за правильностью реализации CDMA-системы в контрольных точках.

3 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА SIMULINK И ИСПОЛЬЗУЕМЫХ БЛОКОВ

Пакет *Simulink* разработан компанией *Mathworks* и распространяется в составе математического пакета *MatLab*. Пакет основан на графическом интерфейсе и является типичным средством визуально-ориентированного программирования. Он обладает обширной библиотекой готовых блоков с модифицируемыми параметрами для построения моделей рассматриваемых систем и наглядными средствами визуализации результатов моделирования [6,7,8].

Запуск и работа с пакетом Simulink

Для запуска пакета *Simulink* необходимо предварительно выполнить запуск системы *MatLab*. После открытия командного окна системы *MatLab* нужно запустить систему *Simulink*. Это можно сделать одним из трех способов:

- нажать кнопку  (*Simulink*) на панели инструментов системы *MatLab*;
- в строке командного окна *MatLab* напечатать *Simulink* и нажать клавишу *Enter*;
- выполнить опцию *Open* в меню *File* и открыть файл модели (*mdl*-файл).

Последний способ предпочтителен при запуске уже готовой и отлаженной модели, когда требуется лишь провести моделирование и не нужно добавлять новые блоки в модель. При применении двух первых способов открывается окно обозревателя библиотеки блоков (*Simulink Library Browser*) (рисунок 3.1).

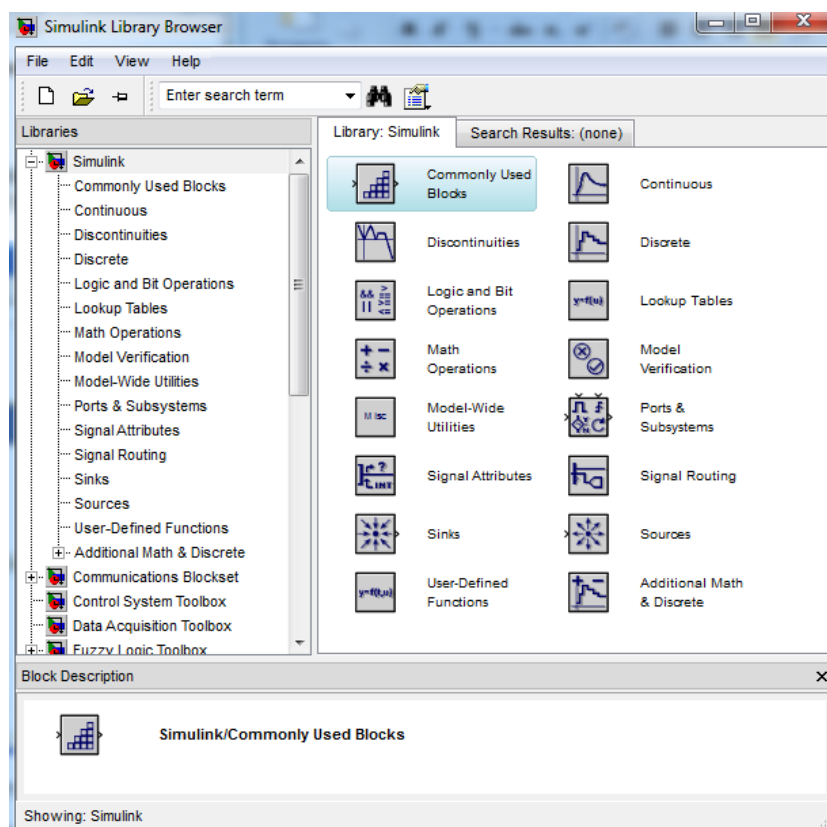


Рисунок 3.1 – Библиотека блоков *Simulink Library Browser*

На рисунке 3.1 выведена библиотека системы *Simulink* (в левой части окна) и показаны ее разделы (в правой части окна). Основная библиотека системы содержит следующие разделы:

- *Continuous* – блоки аналоговых элементов;
- *Discontinuous* – блоки нелинейных элементов;
- *Discrete* – блоки дискретных элементов;
- *Look-Up Tables* – блоки таблиц;
- *Math Operations* – блоки элементов, определяющие математические операции;
- *Model Verification* – блоки проверки свойств сигнала;
- *Model-Wide Utilities* – раздел дополнительных утилит;
- *Port & Subsystems* – порты и подсистемы;
- *Signal Attributes* – блоки маршрутизации сигналов;
- *Signal Routing* – блоки маршрутизации сигналов;
- *Sinks* – блоки приема и отображения сигналов;
- *Sources* – блоки источников сигнала;
- *User-Defined Function* – функции, определяемые пользователем.

Описание используемых блоков библиотеки Simulink

Ниже описаны основные блоки базовых разделов библиотеки *Simulink*, используемые в функциональной схеме организации *СПИ* по технологии *CDMA*.



Uniform Random Number генерирует равномерный белый шум с заданными максимальным и минимальным значениями случайной величины. Назначение: формирование случайного сигнала с равномерным распределением уровня. Параметры блока: *Minimum* – минимальный уровень сигнала; *Maximum* – максимальный уровень сигнала; *Seed* – начальное значение генератора случайного сигнала; *Sample time* – такт дискретности.



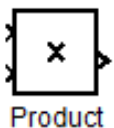
Random Number генерирует нормальный белый шум с заданными математическим ожиданием и дисперсией и имеет следующие параметры: *Mean* — математическое ожидание (среднее значение); *Variance* — дисперсия; *Initial seed* — аналогичен параметру *Seed*; *Sample time* — такт дискретности; *Interpret vector parameters as 1-D* — флаг интерпретации вектора параметров.



Sign – блок определения знака сигнала. Назначение: определяет знак входного сигнала, при этом, если x – входной сигнал, то сигнал на выходе определяется выражением:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} -1, & \text{где } x < 0; \\ 0, & \text{где } x = 0; \\ 1, & \text{где } x > 0. \end{cases}$$

Параметры блока: флажок – *Enable zero crossing detection* позволяет фиксировать прохождение сигнала через нулевой уровень.



Product – блок умножения и деления. Назначение: вычисление произведения текущих значений сигналов. Параметры блока: *Number of inputs* – количество входов, может задаваться как число или как список знаков. В списке знаков можно использовать знаки: * - умножить и / - разделить. *Multiplication* – способ выполнения операции, может принимать значения из списка: *Element-wise* – поэлементный; *Matrix* – матричный. Флажок *Show additional parameters* – показать дополнительные

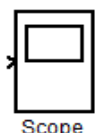
параметры. При выставленном флажке отображается окно списка *Output data type mode*, в нашем случае флажок не используется.



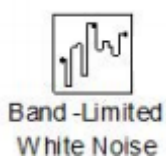
Correlation вычисляет взаимную корреляционную функцию (ВКФ) последовательностей. Параметры блока задаются на двух вкладках — *Main* и *Data type attributes*. На вкладке *Main* задается один параметр — *Computation domain* (Область вычисления): *Time* — временная; *Frequency* — частотная; *Fastest* (Самая быстрая) — та, в которой минимизируется объем вычислений.



Sine Wave — блок источника синусоидального сигнала. Назначение: формирование синусоидального сигнала с заданной частотой, амплитудой, фазой и смещением. Параметры блока: *Sine Type* — способ формирования сигнала реализуется двумя алгоритмами: *Time-based* — по текущему времени (для аналоговых систем) или по значению сигнала на предыдущем шаге и величине такта дискретности (для дискретных систем); *Sample-based* — по величине такта дискретности и количеству расчетных шагов на один период синусоидального сигнала. Вид окна задания параметров меняется в зависимости от выбранного способа формирования синусоидального сигнала.

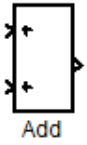


Scope — блок осциллографа. Назначение: построение графиков исследуемых сигналов как функций времени. Открытие окна осциллографа производится двойным щелчком ЛКМ на пиктограмме блока. В случае векторного сигнала каждая компонента вектора отображается отдельным цветом. Настройка окна осциллографа выполняется с помощью панелей инструментов, позволяющих: осуществить печать содержимого окна осциллографа; установить параметры, в частности, *Number of axes* — число входов осциллографа, *Time range* — отображаемый временной интервал и другие; изменить масштабы графиков; установить и сохранить настройки; перевести в плавающий режим и так далее.

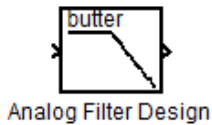


Band-Limited White Noise генерирует нормальный белый шум с равномерной финитной СПМ и заданным временем корреляции для аналоговых систем. Для блока требуется задать следующие параметры: *Noise Power* (Мощность шума) — значение равномерной СПМ, по умолчанию равно 0.1; *Sample time* (Интервал времени) — интервал времени между соседними значениями сигнала в

процессе моделирования; *Seed* (Инициализатор) — начальное значение, запускающее генератор случайных чисел, по умолчанию 23341; при одном и том же начальном значении генерируются одинаковые сигналы; *Interpret vector parameters as 1-D* (Интерпретировать вектор параметров как одномерный (1-D)) — флаг интерпретации вектора параметров.



Add — блок сумматора. Назначение: вычисление алгебраической суммы текущих значений входных сигналов. Параметры блока: *Icon shape* — форма блока, выбирается из списка: *round* — круг; *rectangular* — прямоугольник. *List of sign* — список знаков из набора: + — плюс; - — минус, | — разделитель. Флажок *Show additional parameters* — показать дополнительные параметры, при выставленном флажке отображаются окна списка *Output data type mode*, в нашем случае не используется. Количество входов и соответствующие им операции определяются списком знаков *List of sign*. При этом метки входов обозначаются соответствующими знаками. В списке *List of sign* можно также указать число входов, при этом все входы будут суммирующими.



Analog Filter Design — блок аналогового фильтра заданного метода проектирования и типа из подраздела *Filter Design*; подраздела *Filtering*, раздела *DSP Blockset*. Назначение: аналоговая фильтрация низкочастотных составляющих спектра входного сигнала. Параметры блока: *Design method* — метод проектирования, выбирается из списка: *Butterworth* — фильтр Баттерворта; *Chebyshev I* — фильтр Чебышева 1-го рода; *Chebyshev II* — фильтр Чебышева 2-го рода; *Elliptic* — фильтр эллиптический; *Bessel* — фильтр Бесселя. *Filter type* — тип фильтра, выбирается из списка: *Lowpass* — нижних частот; *Highpass* — верхних частот; *Bandpass* — полосно-пропускающий; *Bandstop* — полосно-заграждающий. Далее для каждого метода проектирования и типа фильтра выдается свой список параметров. Так для фильтра Баттерворта типа нижних частот параметрами являются: *Filter order* — порядок фильтра; *Passband edge frequency (rads/sec)* — нижняя граничная частота (радиан в секунду). Для других методик проектирования и типов фильтров определяемые параметры очевидны.



Zero-Order Hold — экстраполятор нулевого порядка. Назначение: экстраполяция входного сигнала на интервале дискретизации. Блок фиксирует значение входного сигнала в начале интервала дискретизации и поддерживает на выходе это значение до

окончания интервала дискретизации. Затем выходной сигнал изменяется скачком до величины входного сигнала на следующем шаге дискретизации. Параметры блока: *Sample time* – такт дискретности. Блок экстраполятора нулевого порядка может использоваться также для согласования работы дискретных блоков, имеющих разные такты дискретности.



Buffer – буфер преобразует длину фрейма. Последовательность фреймов на выходе генерируется с задержкой, определяемой формулой
$$k = \frac{L_{out}}{L_{in} \cdot T_s}$$
, где L_{out} – длина фрейма на выходе, L_{in} – длина фрейма на входе, T_s – период дискретизации (параметр *Sample Time* блока на входе). Блок имеет параметр *Initial Conditions* (Начальные условия) — значения начальных отсчетов на интервале задержки.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Собрать *Sim*-модель для исследования принципа организации *СПИ* по технологии *CDMA* в соответствии с рисунком 2.1.

2. Выставить параметры блоков *Sim*-модели. Так, для *источников информационных сигналов* на основе блоков псевдослучайных последовательностей с равномерным распределением (*Uniform Random Number*), выставить, например: *Minimum* = - 1; *Maximum* = 1; *Sample time* = 1, а параметр *Seed* для каждого источника разный. Для *источников чиповой последовательности* на основе блоков случайных процессов с равномерным распределением (*Uniform Random Number*) выставить различные значения параметра *Seed*, а параметр *Sample time* для всех чиповых источников выставить, например, равным *Sample time* = 1/16.

3. Пронаблюдать, зафиксировать и пояснить основные осциллограммы, иллюстрирующие работу когерентной *СПИ* по технологии *CDMA*.

4. Проверить возможность предварительного суммирования широкополосных сигналов источников информации и последующего преобразования на частоту несущего колебания.

5. Проверить возможность использования на приемной стороне одного демодулятора с последующим разветвлением и кодовым разделением каналов.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 В чем основной принцип организации *CDMA*?
- 2 Отличия технологии *CDMA* от технологий *FDMA*, *TDMA*?
- 3 Что используется в качестве устройств уплотнения и разделения канальных сигналов в *СПИ* по технологии *CDMA*?
- 4 Объясните работу *CDMA* модели *СПИ*, изображенной на рисунке 2.1.
- 5 Что такое широкополосный сигнал? Его характеристики.
- 6 В чем суть способов расширения спектра передаваемых сигналов?
- 6 В чем достоинства и недостатки систем по технологии *CDMA*?
- 7 Где используется технология *CDMA*?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. VIVA CDMA-2000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vivacdma-2000.narod.ru/technology.html>.
2. CDMA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://celnet.ru/CDMA.php>, свободный.
3. CDMA (Code Division Multiple Access) – Технология с кодовым разделением каналов (КРК) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://1veda.info/_telco/cdma/.
4. Бабков В.Ю., Никитин А.Н., Осенний К.Н., Сиверс М.А. Системы с кодовым разделением каналов. – СПб.: ТРИАДА, 2003.- 239 с.
5. Ипатов В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. – М.: Техносфера, 2007.– 488 с.
6. Черных И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений. Под общ. Ред. Потемкина В. Г. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003.– 496 с.
7. Дьяконов В. П. MatLab 6. 5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. Сер. Библиотека профессионала. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005.– 576 с.
8. Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Simulink. Учебное пособие — СПб.: БХВ-Петербург, 2012.– 432 с.