Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Информационные системы»
Специальность 6М0703000 «Информационные системы»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Зав. Кафедрой
к.т.н., доцент Имангалиев Ш.И.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____
(подпись)
«____» _____2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка

на тему: «Исследование и разработка информационной системы на объектах связи»

Магистрант МИСнп 15-1 _____ Горбатовский А.Е.
(группа) (подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель к.т.н., доцент _____ Имангалиев Ш.И.
(ученая степень) (подпись) (Ф.И.О.)

Рецензент _____ _____ _____
(ученая степень) (подпись) (Ф.И.О.)

Алматы 2017

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет «Аэрокосмические и информационные технологии»
Кафедра «Информационные системы»
Специальность 6М0703000 «Информационные системы»

ЗАДАНИЕ
На выполнение магистерской диссертации

Магистранту Горбатовскому А.Е.
(Ф.И.О.)

Тема дисертации «Исследование и разработка информационной системы на объектах связи»
утверждена Ученым советом университета №__ от «___»_____
Срок сдачи законченной диссертации «___»_____
Цель исследования состоит в исследовании текущих видов связи, их анализе и выборе наиболее перспективной. Разработка программы, способной наглядно продемонстрировать процесс работы выбранной технологии

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:
1) Обзор существующих радиоволновых и световолновых технологий передачи данных;
2) Обзор систем передачи дискретной информации;
3) Разработка программного обеспечения для эмуляции передачи данных по технологии Li-Fi.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей) 1) Рисунок 1.10 – структурная схема работы Li-Fi;
2) Рисунок 2.19 – дискретная модуляция непрерывного процесса;
3) Рисунок 3.3 – процесс передачи данных.

Рекомендуемая основная литература
В. Щербаков, С. Ермаков. Безопасность беспроводных сетей. Стандарт IEEE 802.11, 2010. Dhabekar Roshan Vitthalrao, Li-Fi Technology, 2013

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Обзор научно-технической литературы согласно теме	05.10.2015 - 14.01.2016	
2. Обзор основных видов современных технологий беспроводной связи	02.02.2016	
3. Исследование опытных (лабораторных) технологий связи, не вошедших в коммерческое обращение (Li-Fi)	18.03.2017	
4. Проектирование и создание программы для эмуляции передачи данных Li-Fi	18.04.2017	
5. Анализ полученных данных	01.05.2017	

Дата выдачи задания

Заведующий кафедрой _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант
_____ (Горбатовский В.Е.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аннотация

В данной работе проведен анализ существующих беспроводных видов связи, радиоволновых и основанных на передаче информации через мерцание светодиодов.

По результатам анализа была выбрана технология Li-Fi для более детального рассмотрения и было приведено обоснование причин для выбора. По результатам анализа была создана программа для более наглядной демонстрации процесса передачи информации.

В результате получены данные и обоснования для продолжения работы над развитием Li-Fi, а также для обеспечения совместной работы Li-Fi, Wi-Fi, GSM.

Annotation

In this work, an analysis of the existing wireless types of communication, radio wave was made and based on the transmission of information through the flickering of LEDs.

Based on the results of the analysis, Li-Fi technology was chosen for more detailed consideration and the reasons for the choice were justified. Based on the results of the analysis, a program was created to more clearly demonstrate the process of information transfer.

As a result, data and justifications were obtained to continue working on the development of Li-Fi, as well as to ensure the joint operation of Li-Fi, Wi-Fi, GSM.

Андапта

Бұл мақалада, байланыс бар сымсыз нысандарын талдау, радио толқын, және жарық диодтары мерцания арқылы ақпарат беру негізінде жылы.

талдау Li-Fi технологиясы бойынша неғұрлым егжей-тегжейлі қарау үшін таңдалды таңдау себептерінің негіздемесі берілді. ақпарат беру анығырақ көрсету үшін талдау бағдарламасына сәйкес құрылды.

Нәтижесінде, біз Li-Fi дамыту бойынша жұмысты жалғастыру үшін деректер мен негіздемесін алынған, сондай-ақ бірлескен Li-Fi, Wi-Fi, GSM үшін.

Содержание

Введение 8
1 Основные положения 10
1.1 Обзор беспроводных видов связи 10
1.2 Li-Fi 20
1.3 Постановка задачи 27
2 Системы дискретной передачи информации 28
2.1 Преобразования сообщения в сигнал 30
2.2 Каналы передачи дискретной информации 34
2.3 Кодирование и декодирование циклических кодов на многотактных фильтрах 46
3 Программные обеспечения для эмуляции Li-Fi 49
3.1 Общие сведения 49
3.2 Функциональное назначение 49
Заключение 52
Список использованной литературы 53
Приложение 54

Введение

В основе любого программного обеспечения лежит используемая технология, устройство, программное обеспечение для которого требуется. В случае с объектами связи, может возникнуть необходимость в различного рода программном обеспечении, таком как:

1) программа, необходимая для обеспечения приема/передачи данных самого устройства данных (передатчик/приемник);
2) программа, обеспечивающая распознание/преобразование переданной/полученной информации (конечное устройство: ПК, мобильные устройства).

В данной работе проведено исследование Li-Fi технологии передачи данных, а так же выполнена разработка программы, эмулирующая передачу текстовых данных с устройства на устройство, используя данную технологию.

Но для начала, чтобы разобраться, как же работает Li-Fi, нам необходимо провести обзор и других технологий, чтобы оценить необходимость и обоснованность данной работы и данной технологии. На сегодняшний день можно разделить способ передачи данных на две основных категории:

1) проводная передача данных, среди которых выделяются основные типы:
   a. витая пара – наиболее популярный тип передачи данных, до сих пор используется активно, как для соединения устройств в локальные сети, так и в глобальные сети;
   b. волоконно-оптический – имеет широкое распространение для объединения сетей между собой в глобальные. В силу необходимости в предельно-аккуратном отношении к самому кабелю, не имеет особого распространения для построения локальных сетей;
   c. PLC – данная технология позволяет передавать данные через силовой кабель, но имеет значительное ограничение по скорости передачи данных. Потому данная технология и используется только для передачи/приема данных различных счетчиков.
2) беспроводная передача данных:
   a. мобильная глобальная сеть – GSM 1-2-3-4-5го поколений, CDMA, LTE;
   b. локальная беспроводная сеть – Wi-Fi;
   c. сеть малого радиуса – Bluetooth;
   d. сеть передачи данных с использованием светового потока – Li-Fi, IrDA.

Несмотря на огромное количество вариантов и способов передачи данных, сверхскоростное развитие технологий вызывает необходимость внедрения всё более скоростных способов передачи данных. Казалось бы, уже есть волоконно-оптические сети, которые обеспечивают передачу данных на скорости свыше 255 Тб/с[1], пусть и в лабораторных испытаниях, но сейчас

играет фактор еще и мобильности передачи данных. Все новые устройства, такие как смартфоны, планшеты, ноутбуки – к ним можно подключать и кабель, но это сильно уменьшает мобильность. Именно по этой причине и получили рывок в развитии и беспроводные технологии передачи данных. Но тут ситуация значительно хуже, чем с проводными технологиями – наиболее используемая сейчас в применении технология – Wi-Fi, так как Bluetooth не обладает достаточной скоростью и радиусом действия и используется лишь в случаях, когда нет необходимости в высокой скорости, т.е. как дополнительная связь (беспроводная гарнитура, управление устройствами, прослушивание музыки и др.), IrDA же не получил своевременного развития из-за низкого уровня технологии световой передачи данных.

В данной работе акцент сосредоточен на исследовании именно на беспроводных технологиях передачи данных, а конкретней – на исследовании Li-Fi. Обратимся же к истории развития беспроводных сетей.

Своё начало история берет аж с 1888 года, когда ученый под именем Генрих Герц обнаружил возможность создавать и фиксировать электромагнитные волны. Далее, в 1895 году, уже русский ученый А.С. Попов, сообщил сообществу об успешных испытаниях, связанных с использованием электромагнитных волн для передачи сигналов, которые содержали в себе информацию. Уже в 1896 году тот же ученый, Попов, сумел передать данные аж на 250 метров, в которых было послание – «Генрих Герц». И через несколько лет уже было налажено производство принимающих и передающих устройств в Кроштадте.

С развитием радиотехнологий, рос и спрос на их использование – так, в 1912 году в России было налажено радиотелеграфное сообщение с Англией, в 1921 году полиция в США начала пользоваться радио.

Уже в 1946 году были созданы первые радиотелефоны компанией AT&T, несмотря на их громоздкость и неудобство – они пользовались спросом. Но то было условно мобильная связь, т.к. возникала необходимость сначала соединиться с АТС, а потом уже осуществлялась связь с конечным абонентом.

Рассмотрим же историю развития беспроводных видов связи в Казахстане. У нас история развития связи, не только беспроводной, но и проводной, берет начало с распада СССР, на оборудовании, что досталось «по наследуству». В 1990х образовывается компания Алтел, имея учредителем государственную компанию Казахтелеком. Данной компании предоставили право на пять лет монополии, чем та и воспользовалась. К примеру, при ежемесячном счете в 300 долларов США у абонента России, у нас средний ежемесячный счет составлял 700 долларов. Далее, в 1999м году, образовывается две компании – Kcell при участии турецкого оператора, и K-Mobile – впоследствии выкупленной российской компанией Билайн. На сегодняшний день, в Казахстане функционирует четыре компании: Kcell, Beeline, Tele-2, Altel 4G. По технологиям у нас осуществляется поддержка 3G, 4G (LTE) видов мобильной связи.

Wi-Fi же используется, в основном, для организации домашних и корпоративных сетей.

1 Основные положения

1.1 Обзор беспроводных видов связи

Как уже упоминалось ранее, наиболее известные и популярные виды беспроводной связи на сегодня – Wi-Fi, Bluetooth, IrDA. Набирает популярность постепенно и Li-Fi, который будет подробно рассмотрен позднее. Все эти сети имеют общие признаки с Li-Fi, потому я и остановился именно на этом выборе видов связи.

В представленной работе будет рассмотрены преимущества и недостатки указанных выше видов связи, также как и будут приведены аргументы с учетом плюсов и минусов технологии Li-Fi.

1.1.1 Wi-Fi

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – технология, созданная в 1998 году в лаборатории CSIRO, что находится в Австралии. Автором протокола обмена данными является инженер Джон О'Салливан[2]. На рисунке 1.2 изображен логотип Wi-Fi.

Рисунок 1.2 – логотип Wi-Fi

В основу технологию лег протокол IEEE 802.11n, утвержденный 11 сентября 2009 года. Данный протокол позволил увеличить скорость передачи данных до неслыханных раннее 600 Мб/с, что превосходит производительность предыдущего стандарта в четыре раза. На сегодняшний день, стандарт IEEE 802.11ac позволяет развить скорость передачи данных до 6.77 Гб/с. На рисунке 1.1 Представлен логотип компании IEEE.

Рисунок 1.1 – Логотип компании IEEE

Принцип работы Wi-Fi

В основу работы Wi-Fi сетей лег принцип мульти-точек доступа и множественного подключения клиентов к точкам. Возможен вариант и прямого

подключения двух клиентов между собой, без использования сторонней точки доступа. Каждая точка доступа обязательно имеет свой идентификатор сети (SSID), который режиме широкого вещания передается с частотой 100 мс, на скорости 100 Кб/с. Данный идентификатор может быть как открытым, так и скрытым от других пользователей. Если идентификатор скрыт – пользователи не могут осуществить попытку подключения к точке доступа, не зная SSID. В случае, когда идентификатор открыт – все пользователи имеют возможность увидеть и попытаться подключиться к сети. SSID – это не уникальный идентификатор сети, он может и быть одинаковым у нескольких сетей. В случае, если устройство попадает в зону действия сетей с одинаковым SSID – оно выбирает ту сеть, сигнал которой выше.

Организовать сеть Wi-Fi можно различными способами, пользователь самостоятельно выбирает ту схему, или тот метод, который ему наиболее предпочтителен.

Объединить точки доступа можно несколькими различными способами, такими как:

1) Автономная точка доступа;
2) Централизованная точка доступа – работает под управлением контроллера;
3) Управляемые без контроллера.

Сегодня обретает популярность организация городских сетей Wi-Fi, которые могут либо обеспечивать доступ к Интернету, либо просто к городским ресурсам. На рисунке 1.3 показан пример антенны городской точки Wi-Fi.

Рисунок 1.3 – Антенна городской точки Wi-Fi

Возможности использования Wi-Fi практически ничем не ограничены, за исключением последствий недостатков указанного вида связи, о которых будет изложено дальше. Благодаря развитию Wi-Fi появилась и возможность коммерческого использования точек доступа. Например, есть весьма перспективный проект, который перед предоставлением доступа в Интернет, показывает небольшой рекламный ролик. В рамках городской сети – данный проект открывает неограниченные перспективы как для рекламы, так и для общегородского улучшения инфраструктуры.

Рассмотрим же преимущества и недостатки данного вида связи.

Преимущества Wi-Fi

Любая настройка сети требует определенных знаний, навыков и умений. Wi-Fi же, предоставляет максимально легкую и простую настройку сети, что позволяет разворачивать сеть даже неопытному пользователю. А широкая распространенность данной технологии позволила существенно снизить стоимость оборудования для развертки сети. Также, данная технология позволяет подключить к сети устройства там, где это невозможно с помощью кабеля.

Высокая мобильность сети позволяет подключать любые устройства, оснащенные модулем Wi-Fi, на любой операционной системе.

Универсальность и высокая ёмкость сети позволяет подключать большое количество пользователей на одну точку доступа, ограничение накладывается, скорее, организацией IP-протокола и сети на программном уровне.

Недостатки Wi-Fi

К самым главным и критичным недостаткам можно отнести в принципе основные проблемы, связанные с радиосигналами. К таким проблемам можно отнести и частоту работы – 2.4 ГГц, на которой работает множество других устройств, основанных на Bluetooth, даже микроволновые печи.

Высокая чувствительность и интерференция также негативно влияют на работу Wi-Fi, как и на сотовую связь, к примеру.

Особенности модели OSI тоже не лучшим образом влияют на престиж технологии. Так как присутствуют дополнительные сведения, которые пересылаются вместе с пакетом данных – скорость для конечного пользователя визуально ниже.

Несмотря на то, что все стандарты строго регламентированы, в разных странах отличаются и рабочие стандарты сетей Wi-Fi.

Желание передавать сигнал на дальние расстояния приводит к необходимости ставить всё более мощные излучатели, которые имеют негативное воздействие на людей, так же возникает необходимость регистрировать особо мощные излучатели.

Защищенность сетей тоже не всегда на высшем уровне, т.к. многие до сих пор защищают паролем стандарта WEP, который не очень сложно взломать.

Наиболее защищенные сети – сети, защищенные с помощью WPA2 – единственный способ взломать данную защиту – это полный перебор

комбинаций, потому – необходимо ставить сложные пароли и тогда будет практически исключена возможность взлома.

Если бы не ограничения по радиусу действия роутеров, то сеть Wi-Fi могла бы легко заменить все стандарты GSM.

КПД Wi-Fi достаточно низок, поскольку основное энергопотребление направлено на охлаждение системы, если мы говорим об использовании связи в промышленных масштабах.

Mesh-сети Wi-Fi

Mesh-network - ячеистая сеть, топология информационной сети с ячеистой структурой, в которой каждая рабочая станция сети соединяется с несколькими другими рабочими станциями с возможным принятием на себя функций коммутатора, т.е. все элементы этой сети являются равноправными. Каждое устройство имеет множество соединений с другими устройствами[3].

Данный тип сетей имеет ряд преимуществ:

1) независимость сети, т.к. каждый участник сети является сразу и сервером, и клиентом - отпадает нужда в едином провайдере, сеть децентрализованная;
2) даже если вдруг произошло отключение от глобальной сети - в пределах досягаемости все равно остается локальная;
3) динамическая, автоматически конфигурируемая маршрутизация;
4) возможность объединять mesh-сети через обычный интернет.

К недостаткам таких сетей относятся следующие факторы:

1) первоначальный запуск и первоначальная настройка mesh-сети крайне сложные;
2) эффективность сети достигается лишь при наличии большого количества участников;
3) из-за новизны такого вида сетей - количество ресурсов ограничено;
4) отсутствие гарантированной ширины канала и качества связи.

На рисунке 1.4 приведена сравнительная таблица Mesh протоколов.

	CJDNS	B.A.T.M.A.N.	DTN	Netsukuku	OSPF
Авто-назначение адреса	Да	Нет	Нет	Да	Нет
Авто-конф. Маршрутизация	Да	Да	Да	Да	Частично
Распределенная маршрутизация	Да	Да	Да	Да	Частично
Объеденение сетей	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
IPv4/v6	IPv6	IPv4/v6	IPv4/v6	IPv4	IPv4
Шифрование трафикка внутри сети	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Авто-настройка	Да	Да	Да	Нет	Да
Разработка	Активная	Закончена	Активная	Нет	Закончена
Поддержка UNIX\LINUX\OpenWRT	Да	Да	Да	Да	Да
Поддержка Windows	В разработке	Нет	Нет	Нет	Нет
Поддержка Mac OS X	Да	Да	Да	Да	Да
Потребление ресурсов	Низкое	Низкое	Низкое	Высокое	Низкое
Оверлейны режим работы	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Интеграция в ядро Linux	Нет	Да	Нет	Нет	Да

Рисунок 1.4 - Сравнительная таблица Mesh протоколов

Авто-назначение адреса - клиент сам выбирает себе адрес и может не менять его, переходя из одной под сети в другую, нет единого центра выдачи адресов.

Авто-конфигурация (маршрутизация) - нет необходимости вручную настраивать маршрутизацию в сети.

Распределенная маршрутизация - узлы обмениваются информацией о маршрутизации.

Объединение сетей - умеет объединять сети через обычный интернет.

IPv4/v6 - по какому протоколу работает сеть.

Авто-настройка - позволяет пользоваться сетью без установки какого-либо другого ПО.

Разработка - статус разработки сети.

Поддержка OS - какие операционные системы могут быть полноценными участниками сети.

На рисунке 1.5 отображена схема создания ячеистой сети с использованием Wi-Fi.

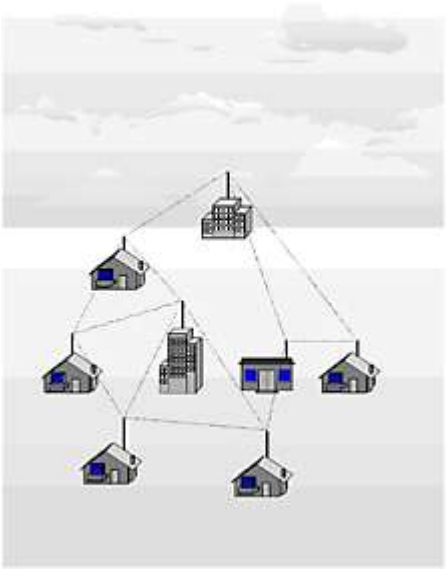

Рисунок 1.5 - Схема создания ячеистой сети с использованием Wi-Fi

Eye-Fi

Использование Wi-Fi дошло до такой степени, что уже внедряется даже в различного рода флеш-карты. Примером такого накопителя и является Eye-Fi. На рисунке 1.6 изображения карта Eye-Fi.

Рисунок 1.6 – Eye-Fi

Данный накопитель может использоваться в любом устройстве, поддерживающем SD-карты, значительно при этом расширяя возможности устройства, позволяя передавать файлы через Wi-Fi.

Удобная и многофункциональная настройка такого накопителя позволяет передавать файлы либо на локальные устройства, либо на облачные ресурсы, подключаясь к доступной сети.

Данные накопители бывают разных типов, по объему, набору функций. Примеры функций приведены ниже:

1) Connect X2 — Class 6, 4Гб, JPEG;
2) Mobile X2 — Class 6, 8Гб, JPEG;
3) PRO X2 — Class 6, 8Гб, RAW/JPEG, работает с открытыми Wi-Fi сетями, выполняет геолокационное позиционирование ваших фотографий с помощью сервиса Skyhook;
4) PRO X2 — Class 10, 16Гб, RAW/JPEG, работает с открытыми Wi-Fi сетями, выполняет геолокационное позиционирование ваших фотографий.

В разное время выпускались карты с различным набором функций:

1) Eye-Fi Explore Video — эта карта автоматически ищет рядом с вами открытые wi-fi сети и делает геолокационное определение ваших фотографий с помощью сервиса Skyhook.
2) Eye-Fi Geo.
3) Eye-Fi Home — этот тип карты предназначен для тех, кто делает и переписывает много снимков на свой компьютер, но не испытывает необходимости загружать их в сеть. Карта передаёт фотографии только на ваш жесткий диск, при этом вам не нужны никакие кабели, кардридеры, доки и др. устройства.
4) Eye-Fi Home Video.
5) Eye-Fi Pro.
6) Eye-Fi Share — карта позволяет автоматически загружать фотографии прямо на любимый фотохостинговый сервис с помощью wi-fi.
7) Eye-Fi Share Video.

Поддержка технических возможностей Eye-Fi обеспечивается основными поставщиками ПО, такими как Windows XP и выше, Mac OS X 10.5 и выше, Android, iOS. Но для iOS ПО доступно только для устройств на рынке США, Японии и Канады.

1.1.2 Bluetooth

Bluetooth – технология радиоволновой передачи данных малого радиуса действия, разработанная в 1994 году, компанией Ericsson, максимальный радиус действия – 100 метров. Эта технология пользуется спросом, в основном, для соединения между собой различных гаджетов, не подразумевая передачу больших объемов данных. На рисунке 1.6 продемонстрирован логотип Bluetooth.

Рисунок 1.6 – логотип Bluetooth

Классифицируется Bluetooth по 3м классам:

1) Максимальная мощность – 100 мВт, радиус действия до 100 м;
2) Максимальная мощность – 2.5 мВт, радиус действия до 10 м;
3) Максимальная мощность – 1 мВт, радиус действия до 1 м.

Данная связь так же является радиоволновой, используется частотный диапазон от 2.4 ГГц до 2.4835 ГГц. В данной технологии используется метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты. Данный метод крайне прост для использования и позволяет обеспечить максимальную устойчивость к широкополосным помехам, к тому же – оборудование является недорогим.

В представленном выше алгоритме несущая частота меняется 1600 раз в секунду, скачкообразно. Последовательность переключения между частотами для каждого соединения является псевдослучайной и известная только передатчику и приёмнику, которые каждые 625 мкс синхронно перестраиваются с одной несущей частоты на другую. Этот принцип работы решает проблему одновременной работы нескольких устройств, не создавая помехи друг другу. Также он обеспечивает полную конфиденциальность передачи данных, поскольку переход осуществляется по псевдослучайному алгоритму и для каждого соединения определяется отдельно. На рисунке 1.7 отображены варианты подключения гаджетов посредством Bluetooth.

Рисунок 1.7 – Подключение устройств между собой

Спецификация Bluetooth

Bluetooth 1.0: это самая первая версия Bluetooth, разработанная и запущенная в 1998 году. Как следствия – данная версия имела множество недостатков, к которым можно отнести, в том числе, плохую совместимость между различными устройствами. В силу особенностей спецификации отсутствовала анонимность соединения, так как имела место обязательная передача адреса устройства.

Bluetooth 1.1: в это версии внесли незначительные изменения, в число которых было включено исправление ошибок, а так же включена поддержка для незашифрованных каналов и индикатор уровня мощности сигнала.

Bluetooth 1.2: здесь уже внесены множественные изменения, в числе которых:

1) Более быстрое подключение и обнаружение устройств;
2) Адаптивная перестройка частоты с расширенным спектром, которая повышает стойкость к радиопомехам;
3) Скорость передачи данных значительно выше (до 1 Мб/с);
4) Расширенные синхронные подключения, улучшающие качество передачи голоса, позволяя повторную передачу поврежденных пакетов;
5) Добавлена поддержка трехпроводной интерфейса UART;
6) Bluetooth наконец-то утвержден стандартом IEEE 802.15.1-2005;
7) Введены режимы управления потоком данных и повторной передачи данных.

Bluetooth 2.0: данный стандарт был разработан в ноябре 2004 года, он имел обратную совместимость со всеми предыдущими версиями. За счет поддержки EDR (Enchanced Data Rate) была повышена скорость передачи до реальных 2.1 Мб/с.

Bluetooth 3.0: данная версия была принята уже в 2009 году, она поддерживает скорость передачи данных до 24 Мб/с, за счет AMP, дополнение к 802.11, как высокоскоростное сообщение.

Данная спецификация уникальна тем, что использует сразу две версии Bluetooth: BT 2.0 и BT 3.0. Использование BT 2.0 обусловлено низким энергопотреблением, хоть и с низкой скоростью передачи данных, BT 3.0 же, напротив – имеет высокую скорость передачи данных, но и высокое энергопотребление. Потому 3.0 используется тогда, когда возникает необходимость в передачи объемных данных, а 2.0 – небольшие передачи данных. Несмотря на то, что BT 3.0 совместим с 802.11, он не поддерживает Wi-Fi и не совместим с его спецификациями.

Bluetooth 4.0: версия от июня 2010 года, включающая в себя классический, высокоскоростной и энергосберегающий режимы.

В основу высокоскоростного режима легла технология Wi-Fi, в классический же – протоколы предыдущих версий.

Особенность энергосберегающего режима Bluetooth была разработана специально для создания новейших миниатюрных датчиков, которые можно размещать в обуви, тренажерах, или же – в специальных сенсорах, которые

крепятся на тело пациента. Был разработан специальный алгоритм, обеспечивающий столь низкое энергопотребление. В его основу лег принцип запуска передатчика только в момент передачи данных, достигая скорости в 1 Мб/с, чего вполне достаточно для передачи небольших объемов данных. Основное преимущество достигается за счет того, что соединение устанавливается за 5 мс, и поддержка осуществляется в радиусе 100 м.

Bluetooth 4.1: в конце 2013 года был разработан данный стандарт, вызванный внедрением и развитием LTE, и разработан для решения проблем, вызванных синхронной работой LTE и Bluetooth. Решение этих проблем достигается путем автоматического координирования передачи пакетов данных.

1.1.3 IrDA

IrDA – ИК-порт – стандарт, который для передачи данных использует инфракрасный диапазон световых волн. ИК-порт относится к оптико-беспроводной линии связи.

Развитие данная технология имела лишь в 1990х-2000х годах, но в силу несовершенства технологий, отступил перед Bluetooth и Wi-Fi.

Главным минус на то время являлись низкая скорость передачи данных и необходимость держать устройства в непосредственной близости.

Принцип работы IrDA заключается в наличии двух диодов: передающего ИК-диода и принимающего фотодиода. Наличие двух этих диодов обязательно для протоколов, основанных на приеме-передаче данных.

В случае, если отсутствует необходимость в ответном приёме сигнала, допускается использование только передающего диода, например – ИК-пульты от бытовой техники.

Несмотря на старость технологии, низкую скорость передачи данных, отсутствие развития – данная технология активно используется и по сей день. На рисунке 1.8 представлен логотип IrDA.

Рисунок 1.8 – логотип IrDA

1.2 Li-Fi

Li-Fi является двунаправленным, с высокой скоростью видом сетевой беспроводной коммуникации. Логотип Li-Fi проиллюстрирован на рисунке 1.9.

Рисунок 1.9 Логотип Li-Fi

Данный вид связи использует видимый, инфракрасный или ближний ультрафиолетовый световой спектр для передачи данных.

Термин Li-Fi был придуман профессором Харальдом Хаасом, из Эдинбургского университета в Великобритании. Также, профессор является председателем мобильной связи в Эдинбургском университете и основателем компании pureLiFi[11].

Общий термин «видимый свет связи» (VLC), включает в себя любое использование видимого света части электромагнитного спектра для передачи информации. Проект D-Light Эдинбургского института цифровых коммуникаций спонсировался с января 2010 по январь 2012. Хаас представил эту технологию в своем выступлении TED Global Talk в 2011 году и помог начать кампанию по продаже данному виду связи. PureLiFi, ранее pureVLC, оригинальный производитель оборудования, создана для коммерциализации продуктов Li-Fi и интеграцией в существующие LED-системы.

Ряд компаний предлагают продукты VLC, которые не являются тем же самым, что и Li-Fi. Технология VLC была представлена в 2012 году на основе Li-Fi. В августе 2013 года было представлено оборудование, способное передавать данные на скорости 1.6 Гб/с с использованием одного цвета светодиода. В сентябре 2013 года на пресс-релизе было сообщено, что Li-Fi, или же VLC, в общем, не требуют условий прямой видимости для своей работы. В октябре 2013 года китайские производители сообщили, что они занимаются разработкой комплектов производителя Li-Fi.

В апреле 2014, российская компания Стинса Команса объявила о разработке Li-Fi локальной сети под названием Beam Caster. Их текущие показатели скорости передачи данных достигают 1.6 Гб/с, но планируется их увеличить до 5 Гб/с. Структурная схема работы технологии Li - Wi отображена на рисунке 1.10.

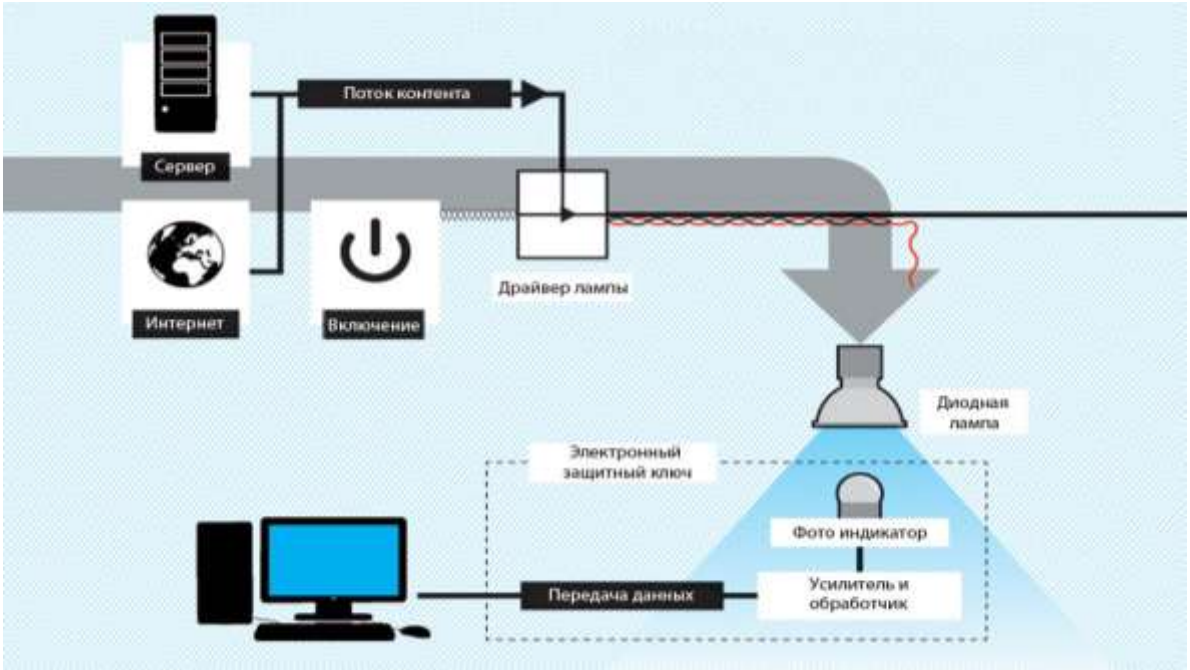

Рисунок 1.10 – Структурная схема работы технологии Li-Fi

Перспективы развития

Уже в 2011 году, ученые развили скорость передачи данных до 224 Гб/с, что, несомненно, показывает явные преимущества Li-Fi перед Wi-Fi. Уже сейчас доступно к покупке оборудование для домашнего использования Li-Fi. Не говоря о скоростях передачи данных, Li-Fi выгоден еще и тем, что позволяет одновременно заряжать смартфон, что в наше время является весьма актуальным, так как соотношение мощность смартфона/мощность аккумулятора, как правило, проигрывают не в пользу аккумулятора. На рисунке 1.11 изображено возможное использование.

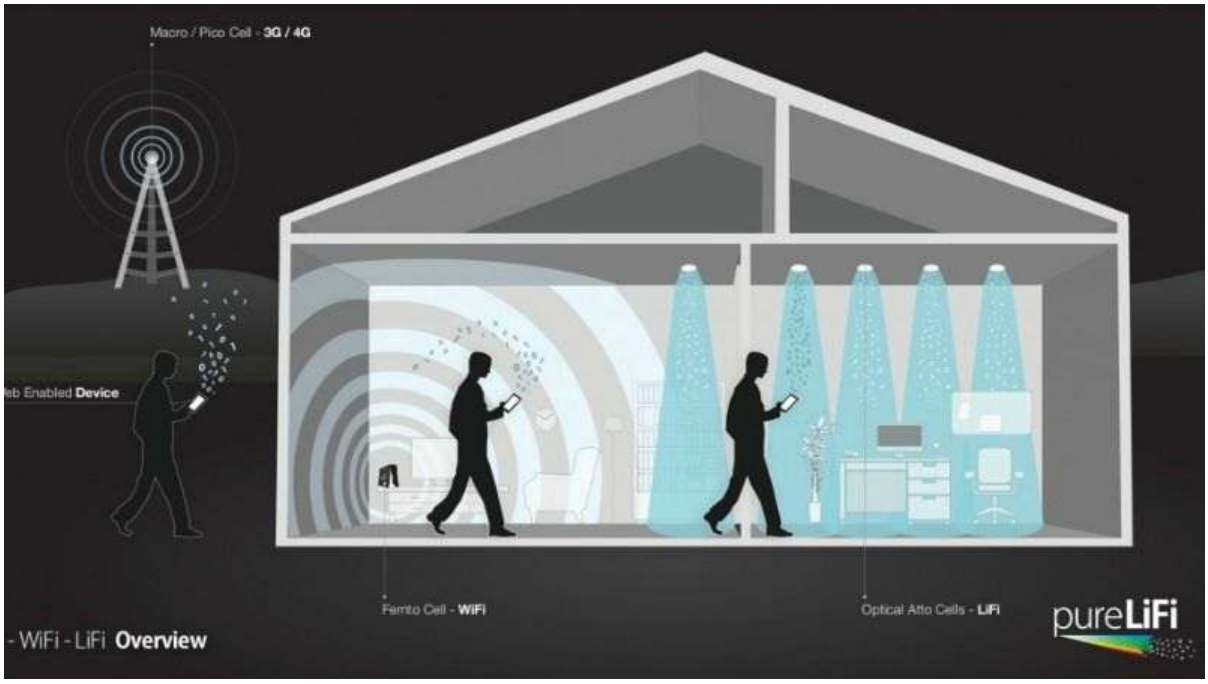

Рисунок 1.11 – практическое использование Li-Fi

Как упоминалось выше, уже сейчас доступно оборудование Li-Fi в продаже. Но найти его крайне сложно, пока речь еще не идёт о полноценном коммерческом использовании, так как нет подходящего оборудования, позволяющего в полной мере раскрыть потенциал и возможности светодиодной передачи данных. На рисунке 1.12 изображен один из первых роутеров, доступных к приобретению.

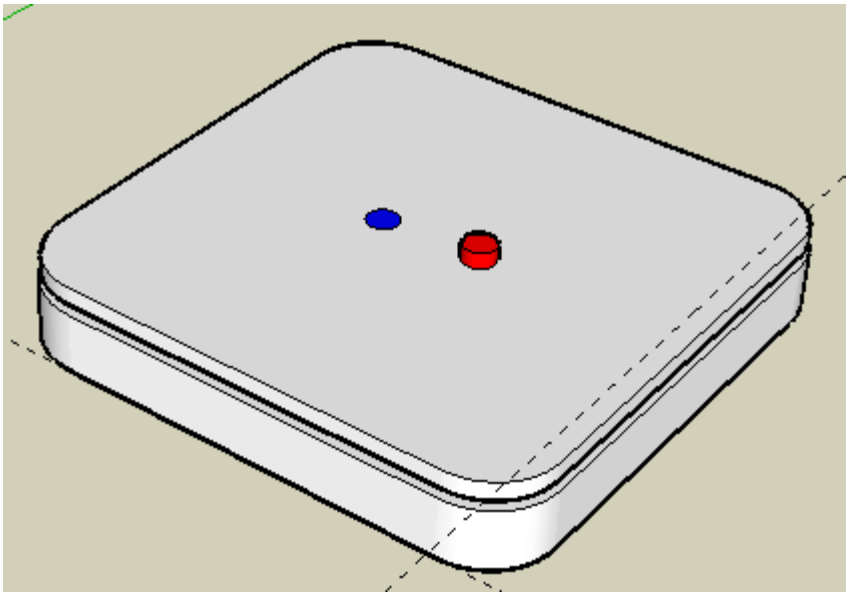
Рисунок 1.12 – роутер для Li-Fi

На рисунках 1.13-1.14 изображены приемно-передающие устройства Pure Li-Fi.

Рисунок 1.13 – передающее устройство Li-Fi

Рисунок 1.14 – приемник сигнала Li-Fi.

Также, уже разработаны и работают мобильные приемники сигнала Li-Fi. На рисунке 1.15 представлены первые портативные устройства.

Рисунок 1.15 – портативные приемник и передатчик Li-Fi

Рисунок 1.16 – вариант использования Li-Fi для города

Понятное дело, что вариант «чистого» использования Li-Fi едва ли приживется в нашем мире, поскольку необходимость прямого видения сильно ограничивает возможности использования. Но если суметь синхронизировать и обеспечить единовременное использование нескольких технологий одновременно – можно достичь невероятных результатов для максимальных скоростей передачи/приёма данных.

Например – параллельное использование Li-Fi, Wi-Fi и GSM приведет к тому, что мы сможем забыть о проблемах ограничения, вызванных обязательным наличием визуального контакта.

Как один из вариантов использования – Li-Fi устанавливается на улице, на лампах ночного освещения, параллельно ставится Wi-Fi. Тогда получается следующая схема работы – пока человек находится под лампой – он использует Li-Fi для коммуникации, когда он отходит куда-то, устройство автоматически переключается на Wi-Fi. В результаты – устройство всегда подключено в сети, вне зависимости от местоположения.

Существует еще ряд типов мест, использование в которых иных технологий, кроме как Li-Fi сильно затруднено. Например – электрические подстанции.

Стандарты

Как и Wi-Fi, Li-Fi является беспроводным видом связи и использует протоколы подобные 802.11; но он использует световые волны вместо радиоволны, что позволяет осуществлять передачу данных с гораздо более высокой скоростью(засчет более широкой пропускной способности?).

Часть VLC смоделирована после разработки коммуникационных протоколов группой IEEE 802. Тем не менее, стандарт 802.15.7 является стандартом прошлого поколения, который не учитывает новейшие разработки в области оптических беспроводных коммуникаций, в частности – с введением оптическим ортогональным частотным разделением каналов (O-OFDM) методом модуляции. Введение O-OFDM означает, что существует необходимость пересмотреть существующие и разработать новые стандарты для оптических беспроводных видов связи.

Тем не менее, стандарт 802.15.7 определяет физический уровень (PHY) и уровень управления доступом к среде (MAC). Стандарт способен предоставить достаточно скорости передачи данных для работы с аудио, видео и прочими мультимедия-сервисами. Он принимает во внимание оптическую мобильную передачу, ее совместимость с искусственным освещением в настоящее время, и интерференцией, которая может вырабатываться окружающим освещением. MAC позволяет использовать связи с другими протоколами, такими как TCP/IP.

Стандарт PHY определяет 3 уровня:

а) PHY 1 уровня создан для внешнего использования и работает со скоростью 11.67 кб/с до 267.6 кб/с.

б) PHY 2 уровня позволяет достигать скорости от 1.25 Мб/с до 96 Мб/с.

в) PHY 3 уровня используется для многих источников излучения с особым методом модуляции, называемым цветовой манипуляцией (CSK). PHY 3 работает на скоростях от 12 Мб/с до 96 Мб/с.

Форматы модуляции, используемый для PHY-1 и PHY-2, являются модуляцией вкл-выкл (OOK) и модуляцией переменного положения импульса (VPPM). Манчестерский код, используемый для PHY-1 и PHY-2, включает в себя временные задержки в передаче данных представляемых в виде логического «0» с символом (OOK) и логической «1» с символом OOK «10», в составляющей постоянного тока. Постоянная составляющая позволяет избежать ослабления света в случае расширения логического «0».

Первый прототип VLC-смартфона был представлен на выставке Consumer Electronics Show в Лас-Вегасе, прошедшей с 7 по 10 января 2014 года. Телефон использует технологию SunPartner Wysips CONNECT, технологию, которая конвертирует световые волны в полезную энергию, позволяющую телефону получать и декодировать сигналы не расходуя заряд батареи. Тонкая пленка из специального стекла может быть приклеена на небольшие экраны, например – часы или смартфоны, давая им возможность заряжаться от солнечной энергии. Смартфоны могут работать на 15% дольше в течение дня. Первые смартфоны, которые будут использовать эту технологию, могут

появится в 2015 году. Такой экран сможет принимать VLC-сигнал, равно как и камера смартфона[12].

Philips Lighting Company разработала систему VLC для покупателей в магазинах. Для этого, покупателям надо лишь загрузить специальное приложение на свой смартфон, которое позволит им работать со светодиодами в магазине. Светодиоды могут точно определить их местоположение и предоставить им соответствующие купоны и информацию, в зависимости от их местоположения, или, даже, в зависимости от места, куда покупатель смотрит.

1.3 Постановка задачи

Тема данной диссертационной работы – «Исследование и разработка информационной системы на объектах связи» -- в рамках которой рассматривается проблема с программным обеспечением современных объектов связи на территории Республики Казахстан.

Необходимость и актуальность данной темы состоит в том, что коммуникации и технологии передачи данных были, есть и будут всегда. И они всегда будут развиваться, и, чтобы Казахстан не отставал от ведущих стран в области технологий – нам необходимо вовремя подхватывать и развивать новейшие и перспективные технологии. По возможности – разрабатывать собственные и обеспечивать их повсеместное внедрение.

Основная цель работы – изучить имеющиеся технологии, сделать анализ и, используя полученные данные, показать и объяснить актуальность именно выбранной технологии. Для решения поставленной цели выполняются следующие задачи:

1) Исследовать имеющиеся технологии;
2) Проанализировав, выбрать наиболее перспективную;
3) Выбрав технологию, провести детальный анализ технологии;
4) Создать программу для эмулирования процесса передачи данных.

При решении поставленных задач будут использованы различные алгоритмы и математические модели. В ходе решения задач будет продемонстрирована созданная программа, а так же – внедрение лабораторного стенда в действующее предприятие.

2 Системы дискретной передачи информации

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Понятие информации в известной степени подобно понятию отражения, рассматриваемому в диалектическом материализме, т. е. свойству человеческого мозга отражать закономерности окружающей среды. Говоря об информации, обычно рассматривают лишь некоторые свойства материи, важные для данного процесса. При этом предполагается абстрагирование от многих реальных событий и объектов, причем границы этого абстрагирования определяются спецификой решаемой задачи. Так, например, при описании источника сигнала информационным параметром может служить напряжение на его выходе. В то же время абстрагируются от конструкции, массы, габаритов и других характеристик этого источника.

Таким образом, под информацией понимают определенные свойства материи, воспринимаемые наблюдателем из окружающего материального мира. При этом в качестве наблюдателя могут выступать человек, живой организм или техническое устройство.

Информацию, представленную в определенной форме, называют сообщением. Формы представления информации весьма разнообразны: письменный текст, речь, музыка, графическое изображение, электромагнитное поле, взаимное расположение предметов в пространстве и т. д. и т. п. Общая задача системы связи состоит в передаче сообщений от человека или технического устройства, наблюдающего некоторую материальную систему, другому человеку или устройству, не имеющему возможности получить нужные сведения из непосредственных наблюдений. Наблюдаемая материальная система вместе с наблюдателем представляет собой источник информации, а человек или устройство, которому передаются результаты наблюдения, — получатель информации.

Источник информации выбирает сообщения из некоторого множества возможных сообщений, характеризующих те или иные сведения о состоянии реальной материальной системы. Система может иметь ряд состояний, который будем представлять в виде функции времени $x(t)$. В зависимости от характера источника информации функция $x(t)$ может иметь четыре следующие разновидности:

непрерывная функция непрерывного аргумента, т. е. $x(t)$ в некотором конечном интервале t_0 в произвольные моменты времени может принимать любое значение из бесконечного множества, например речь, музыка, температура и т. д. (рис. 1.1а);

непрерывная функция дискретного аргумента, т. е. $x(t)$ в некотором конечном интервале $\boldsymbol{t_0}$ может принимать любое значение из бесконечного множества только в фиксированные моменты времени $\boldsymbol{t_i} = i \quad \boldsymbol{t}$, где i=0, 1, 2, ..., например уровень воды в оп-ределенные часы суток (рис. 1.1б);

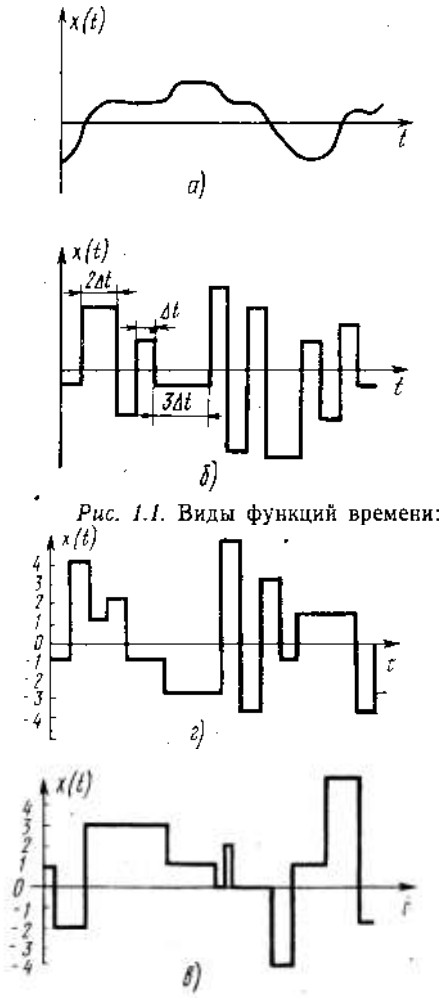

Рис. 1.1. Виды функций времени:

а — непрерывная функция непрерывного аргумента; *б*—непрерывная функция дискретного аргумента; *в*—дискретная функция непрерывного аргумента; *г* — дискретная функция дискретного аргумента

Если в конечном интервале времени источник может создать конечное множество сообщений, он является дискретным, а в противном случае — непрерывным. Таким образом, три из четырех рассмотренных выше разновидностей источников являются непрерывными, а только последний — дискретным. Сообщения, вырабатываемые дискретными источниками, называются дискретными сообщениями, а информация, зафиксированная в дискретном сообщении, — дискретной информацией. Непрерывная информация (например, речь, музыка) с помощью операций дискретизации по времени и квантования по величине может быть превращена в дискретную.

Для передачи информации от источника получателю необходим какой-либо определенный переносчик, обладающий достаточной устойчивостью своих параметров в пространстве и времени, чтобы имелась возможность его обнаружить на приемной стороне. Физическая природа и характеристики переносчика связаны с определенной физической средой между источником и получателем информации — каналом связи. В качестве каналов электрической связи используются естественная физическая среда (околоземное и космическое пространства) или искусственно созданные среды (проводные, волноводные или световодные линии связи). В понятие «канал» включается не

только физическая среда, на которой распространяется сигнал, но и совокупность технических средств, предназначенных для передачи сигналов.

В каналах электрической связи переносчиком является электромагнитное поле или электрический ток. Для того чтобы переносчик мог выполнять свою функцию — передачу информации, его характеристики должны иметь возможность изменяться. Чтобы переносчик стал моделью сообщения, между его характеристиками и сообщением должна существовать однозначная, заранее установленная зависимость — информационное соответствие. Переносчик, параметры которого находятся в однозначном информационном соответствии с сообщением, называется сигналом.

Независимо от физической сущности сигнала можно рассматривать множество сигналов как множество некоторых функций $z(t)$. Для дискретных сообщений из множества A множество сигналов Z тоже дискретно. Для возможности по принятому сигналу восстановить переданное сообщение должно быть однозначное соответствие между каждым из возможных сигналов множества Z и определенным сообщением из множества A.

Процесс передачи информации заключается в том, что сообщение от источника информации превращается в сигнал, который передается по каналу связи получателю. Приняв сигнал, получатель, зная закон соответствия сигналов и сообщений, может извлечь содержащуюся в сообщении информацию. Для получателя сообщения сигнал заранее неизвестен, и поэтому он является случайным процессом. Канал связи вместе с источником информации и ее получателем при заданных методах преобразования сообщения в сигнал и восстановления сообщения по принятому сигналу называют системой связи. Схема системы связи в самом общем виде представлена на рис. 1.2.

Рис. 1.2. **Схема системы связи в самом общем виде**

2.1 Преобразования сообщения в сигнал

Система преобразования сообщения в сигнал на передаче и обратного преобразования на приеме может быть представлена в виде некоторой таблицы, в которой каждому сообщению из конечного множества A сопоставлены определенные сигналы из конечного множества Z. Преобразование сообщения в сигнал в теории информации принято называть кодированием в широком смысле этого слова. При значительном размере множество A содержит так много различных сообщений, что составление и хранение вышеупомянутой таблицы (ее называют кодовой таблицей) оказываются практически неосуществимыми. Поэтому указанный способ составления кодовых таблиц используется только при весьма ограниченном числе элементов множества A,

но и в этих случаях, например морских сигнальных кодах, коммерческих кодах и т. п., кодовая таблица разрастается до размеров книги.

В большинстве случаев вместо непосредственного составления кодовых таблиц производят расчленение всех сообщений из множества *А* на последовательность элементарных сообщений или символов (букв), образующих конечное множество *X,* содержащее небольшое число элементов. Такое расчленение производится обычно самим источником сообщения. Поскольку все возможные сообщения дискретного источника образуют счетное множество и могут быть пронумерованы, то эти числа можно выразить в удобной системе счисления и принимать каждую цифру номера за элементарное сообщение.

Таким образом, каждое сообщение *а* из множества *А* может быть представлено в виде последовательности элементов *х* множества *X*: $a = (x^{(1} \backslash x^{(2} \backslash \ldots, x^{(b)})$. Здесь через *Ь* обозначена длина сообщения в алфавите *X*. При этом задача составления кодовой таблицы значительно упрощается и сводится к сопоставлению весьма ограниченного числа элементарных сообщений множества *X* с соответствующими им сигналами из множества Z.

При большом объеме алфавита символов обычно прибегают к дополнительному преобразованию: переходу от алфавита символов *X* объемом *l* к новому алфавиту символов *Y,* имеющему объем $k < l$. Правило преобразования элементарных сообщений алфавита *X* (чисел, букв, знаков) в символы алфавита *У* и наоборот называют кодом. Кодирование в узком смысле слова, которым будем исключительно пользоваться в дальнейшем, определяется как отображение дискретных сообщений последовательнотью

заранее выбранных символов. Заметим, что, в отличие от расчленения сообщения на элементарные сообщения (символы), которое тесно связано с самим источником информации, метод кодирования обусловливается не только особенностями источника информации, но в ряде случаев и свойствами канала связи.

Одним из главных параметров кода является его основание, которое равно основанию выбранной системы счисления и соответствует объему кодового алфавита, т. е. числу различных символов в коде *к.* Каждому элементарному сообщению (символу) соответствует некоторая последовательность кодовых символов, называемая кодовой комбинацией. Таким образом, в результате кодирования дискретная информация представляется в виде последовательностей чисел, т. е. в цифровой форме. Вот почему ди- скретную информацию часто называют цифровой информацией.

При выборе основания системы счисления, т. е. основания кода, учитывают простоту, удобство и экономичность реализации цифрового представления информации при ее передаче по каналам связи. Так как для представления чисел в системах счисления с разным основанием *n* используется разное число разрядов *i,* то оптимальной системой счисления логично считать ту, в которой для записи некоторого наибольшего числа N/макс используется минимальное число элементов $v_{\text{макс}} = in_{\text{опт}}$. Поскольку

$$N_{макс}(n) = n^t - 1, \quad (1.1)$$

то

$$t = \ln [N_{макс}(n) + 1] / \ln n. \quad (1.2)$$

Следовательно,

$$v = (n/\ln n) \ln [N_{макс}(n) + 1]. \quad (1.3)$$

Для нахождения $v_{мин}$ продифференцируем (1.3) по n и приравняем производную нулю:

$$\frac{dv}{dn} = \ln [N_{макс}(n) + 1] \frac{\ln n - 1}{(\ln n)^2} = 0. \quad (1.4)$$

Из (1.4) следует, что

$$n_{опт} = e \approx 2{,}72. \quad (1.5)$$

Наиболее близка к оптимальной троичная система (n = 3), при которой $v_3/v_{мин} = 1{,}006$. Весьма незначительно отличаются от оптимального случая системы с основаниями $n = 2$ и $n=2$ и $n=4$ $(v_2/v_{мин} = v_4/v_{мин} = 1{,}06)$.

Наибольшее применение в технике передачи дискретной информации нашли коды с основанием 2, которые называются двоичными или бинарными. Реже применяются коды с основанием больше 2 — многоосновные (троичные и т. п.). Основной причиной широкого использования двоичных кодов являются простота реализации, надежность и быстрое действие элементов двоичной логики, их малая чувствительность к действию внешних помех, изменению питающих напряжений и т. п. Весьма важным фактором является также простота двоичной арифметики.

Элементами двоичного кода являются символы: единица (1) и нуль (0). Символы, применяемые для представления данных в двоичной системе счисления (например 0 или 1), называют бита- ми. Кодирование сообщений производится специальным устройством, входящим в состав источника сообщений, которое называется кодером. Соответственно у получателя информации имеется другое устройство — декодер, назначением которого является отождествление каждой принятой кодовой комбинации сигнала с соответствующим ей элементом сообщения (символом).

Процесс формирования сигнала (преобразования сообщения в сигнал) включает, помимо кодирования, операцию модуляции. Под дискретной модуляцией понимают процесс преобразования последовательности кодовых символов в последовательность элементов сигнала. Обратный процесс соответственно называется демодуляцией. В кодере источника сообщений происходят первичное кодирование и соответственно первичная модуляция. Термин «первичное» подчеркивает то обстоятельство, что в процессе передачи информации по каналу связи, как это будет показано ниже, сигналы могут подвергаться дополнительному кодированию и модуляции.

Модуляция состоит в изменениях того или иного или одновременно нескольких параметров переносчика. В каналах связи в качестве переносчика чаще всего используются синусоидальные колебания или периодические последовательности импульсов. Реже в качестве переносчика используются постоянный ток и стационарные случайные процессы. Поэтому в книге основное внимание уделено каналам, использующим в качестве переносчика

синусоидальные колебания и периодические последовательности импульсов. Заметим, что в кодерах источников в качестве переносчика дискретных сообщений почти исключительно используется постоянный ток. Каждый элемент кода (кодовый символ) в процессе модуляции превращается в отрезок переносчика длительностью *T,* который называется единичным элементом (рис. 1.3). Совокупность единичных элементов, соответствующая одному информационному символу, называется кодовой комбинацией. При использовании кода с основанием *n* модулируемый параметр может принимать лишь *n* фиксируемых дискретных значений — значащих позиций. Дискретную модуляцию иногда называют манипуляцией. Границы между единичными элементами, на которых происходят изменения значащих позиций, называют значащими моментами (обозначены буквой *a* на рис. 1.3).

Количество единичных элементов, передаваемых за 1 с, называется скоростью модуляции и определяется по формуле 5 = 1/Г. За единицу скорости модуляции принят бод (Бод) — скорость, соответствующая передаче одного единичного элемента в секунду. Скорость модуляции является одной из важнейших характеристик источника информации (его кодера). Передачу информации характеризует также информационная скорость или скорость передачи информации *V,* под которой принято понимать количество информации, поступающее по системе передачи от источника информации к ее получателю за одну секунду.

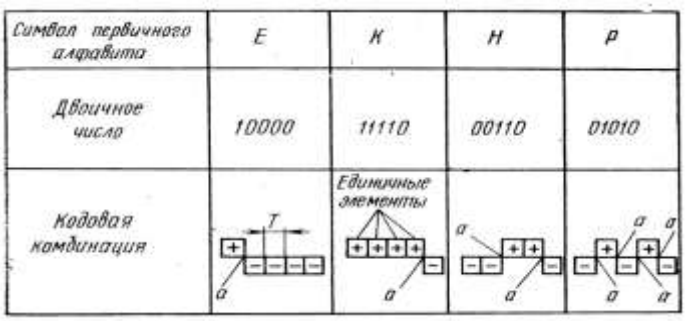

Рис. 1.3. Примеры комбинаций пятиэлементного кода (при использовании в качестве переносчика постоянного тока)

Она измеряется числом бит в секунду (бит/с). Информационная скорость зависит от скорости модуляции, статистических свойств источника, типа канала, системы сигналов, помех в канале, методов приема.

Информационную скорость не следует путать со скоростью модуляции, а единицу бод отождествлять с единицей бит/с. Количественно эти скорости совпадают только для симметричных двоичных каналов без помех. В симметричном канале без помех в случае $k_м > 1$ $v = Bk_м$, где $k_м$ — кратность модуляции, т. е. количество бит информации, переносимых единичным элементом сигнала в 1 с. Так, при четырехуровневой передаче $k_м = 2$ и $v = 2$ *B*. В общем же случае информационная скорость можёт быть как больше, так и меньше скорости модуляции.

2.2 Каналы передачи дискретной информации

Система связи при передаче дискретной информации представляет собой совокупность канала передачи дискретной информации, источника дискретной информации и ее получателя при заданных методах преобразования дискретного сообщения в сигнал и восстановления дискретного сообщения по принятому сигналу. Схема системы связи при передаче дискретной информации в общем виде представлена на рис. 1.4. Здесь под каналом передачи дискретной информации понимаются совокупность технических средств и физическая среда, предназначенные для передачи сигналов. В зависимости от вида переносчика и структуры передаваемых сигналов каналы связи можно разделить на следующие четыре типа:

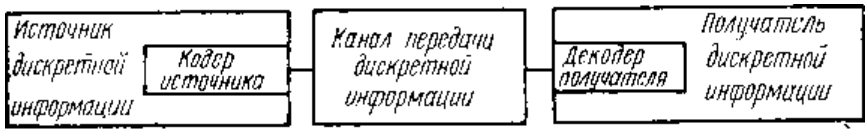

Рис. 1.4. Схема системы связи при передаче ДИ в общем виде

1. Непрерывно-непрерывный, т. е. непрерывный переносчик и непрерывные сигналы на входе и выходе канала. Типичный представитель — канал телефонной связи, образованный в системе с частотным разделением.
2. Непрерывно-дискретный, т. е. дискретный переносчик и непрерывные сигналы на входе и выходе. Типичный представитель — канал телефонной связи, образованный в системе современным разделением.
3. Дискретно-непрерывный, т. е. непрерывный переносчик и дискретные сигналы на входе и выходе канала. Типичный представитель — канал передачи данных, образованный в системе с частотным разделением,
4. Дискретно-дискретный, т. е. дискретный переносчик и дискретные сигналы на входе и выходе канала. Типичный представитель — канал передачи данных, образованный в системе с временным разделением.

В связи с этим необходимо различать нередко смешиваемые понятия — передача дискретной (цифровой) информации и дискретный (цифровой) метод передачи. В соответствии с вышеизложенным передача дискретной информации может производиться как дискретным методом (канал четвертого типа), так и непрерывным (канал третьего типа). Передача непрерывной информации также может производиться непрерывным (канал первого типа) и дискретным (канал второго типа) методами. Предметом дальнейшего рассмотрения являются только два типа каналов (третий и четвертый), связанных с передачей дискретной информации (рис. 1.5).

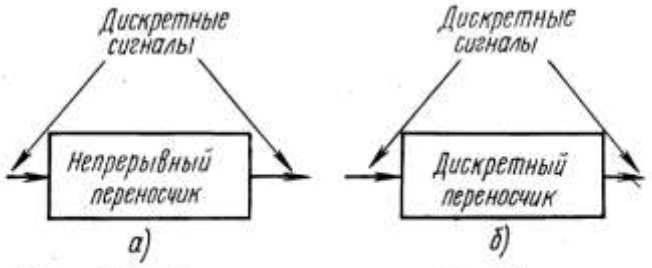

Рис. 1.5. Дискретно-непрерывный *(а)* и дискретный *(б)* каналы

Как уже выше указывалось, кодер источника информации преобразует последовательность элементов сообщения в последовательность кодовых элементов *у* и каждому кодовому символу *уи* ставит в соответствие определенный элемент сигнала, т. е. некоторую функцию *г(i),* определенную на конечном отрезке времени *Т.* Таким образом, первичный сигнал на выходе кодера источника обычно представляет собой некоторую последовательность единичных элементов постоянного тока. Такой первичный сигнал в большинстве случаев не может быть непосредственно передан по каналу связи. Так, например, в дискретно-непрерывных каналах возникает необходимость спектрального согласования характеристик дискретного источника информации и непрерывного переносчика в канале, поскольку основная часть энергии последовательности двоичных импульсов приходится на область низких частот, не пропускаемую каналом. Спектральное согласование, а также согласование по амплитуде сигналов источника и канала осуществляются в устройстве преобразования сигналов (УПС), являющемся одним из основных элементов передатчика и приемника, устройством, преобразующим сигналы источника в линейные сигналы и линейных сигналов в сигналы получателя информации.

ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Системой передачи дискретной информации (ПДИ) называется совокупность источников и получателей сообщений, передатчиков, приемников и каналов связи, обеспечивающих передачу дискретной информации с определенными свойствами. В общем случае система содержит некоторое число каналов, передатчиков и приёмников и обеспечивает двустороннюю передачу информации большого числа источников и получателей сообщений. Однако характеристики системы нагляднее рассматривать на примере системы одностороннего действия с одним источником, одним каналом и одним получателем информации (см. рис. 1.6).

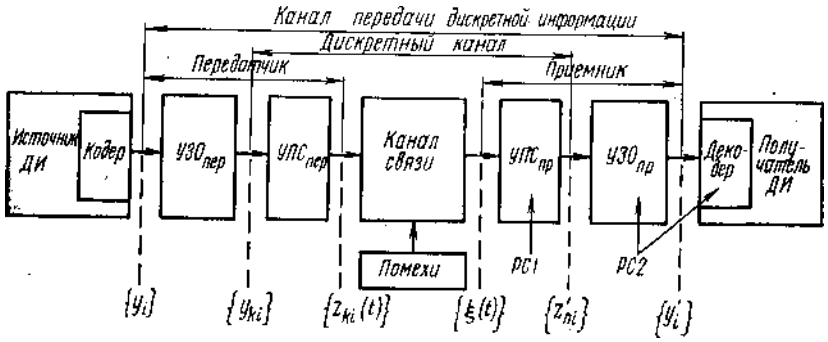

Рис. 1.6. **Схема СПДИ**

Важнейшими внешними характеристиками системы являются верность передачи информации, скорость передачи информации и надежность системы передачи информации. Говорить о важности такой характеристики, как верность передачи информации, много не приходится, так как при низкой верности (большой вероятности ошибок) получение информации становится бесполезным, а иногда даже вредным. Не меньшее значение имеет и скорость передачи информации, предопределяющая своевременность доставки сообщения получателю. Последнее же весьма существенно, так как всякая информация имеет некоторую функцию жизни, характеризующую изменение полезности ее получения в зависимости от времени доставки. Некоторые примеры функций жизни приведены на рис. 1.9. В несколько ином аспекте системы ПДИ характеризует показатель надежности, который показывает способность системы работать в течение длительного времени с удовлетворением требований к двум первым ее характеристикам. Нельзя забывать о том, что получение высоких показателей верности, скорости пе-

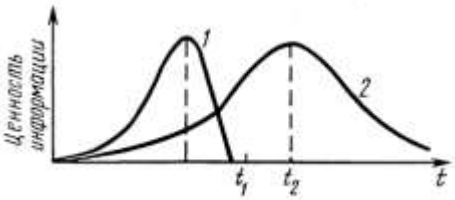

Рис. 1.9. Примеры функций жизни информации:
1 — сообщение о необходимости встречи поезда, прибывающего в t_1; *2* — поздравление с юбилеем в t_2

редачи информации и надежности системы всегда связано с ее стоимостью, которая в большинстве случаев является также одной из важнейших внешних характеристик. Однако денежные затраты далеко не полностью характеризуют эффективность системы. В ряде случаев очень важными являются энергетические затраты (мощность), требуемая ширина полосы частот, габариты и масса оборудования.

К числу внутренних характеристик систем передачи дискретной информации обычно относят эффективную пропускную способность и помехоустойчивость. Под эффективной пропускной способностью понимают отношение пропускной способности системы к пропускной способности канала. Эта величина характеризует степень использования пропускной способности канала в системе. Естественно, что пропускная способность системы передачи дискретной информации не может быть равна или больше пропускной способности канала, а может только стремиться к ней.

Помехоустойчивостью называют способность системы противостоять вредному действию помех. Эта величина не имеет четкой абсолютной оценки; обычно пользуются сравнительной оценкой помехоустойчивости различных систем. Более помехоустойчивая система обеспечивает большую верность передачи в заданном канале или заданную верность при худших характеристиках канала. Заметим, что условия повышения помехоустойчивости и эффективной пропускной способности противоречивы, так как повышение помехоустойчивости достигается только в ущерб пропускной способности. Поэтому в практической деятельности приходится отыскивать компромиссные решения. Для нахождения путей получения этих решений (что является основной задачей теории передачи дискретной информации) будем рассматривать математическое описание общего алгоритма работы системы передачи дискретной информации, используя для этого схему рис. 1.6.

Типы линий связи

Линия связи (рис. 2.1) состоит в общем случае из физической среды, по которой передаются электрические информационные сигналы, аппаратуры передачи данных и промежуточной аппаратуры. Синонимом термина *линия связи (line)* является термин *канал связи(channel)*.

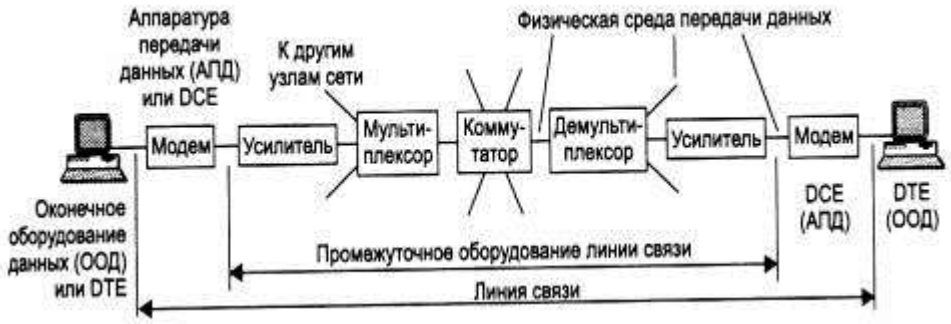

Рис. 2.1. Состав линии связи

Физическая среда передачи данных (medium) может представлять собой кабель, то есть набор проводов, изоляционных и защитных оболочек и соединительных разъемов, а также земную атмосферу или космическое пространство, через которые распространяются электромагнитные волны.

В зависимости от среды передачи данных линии связи разделяются на следующие (рис. 2.2.):

- проводные (воздушные);
- кабельные (медные и волоконно-оптические);
- радиоканалы наземной и спутниковой связи.

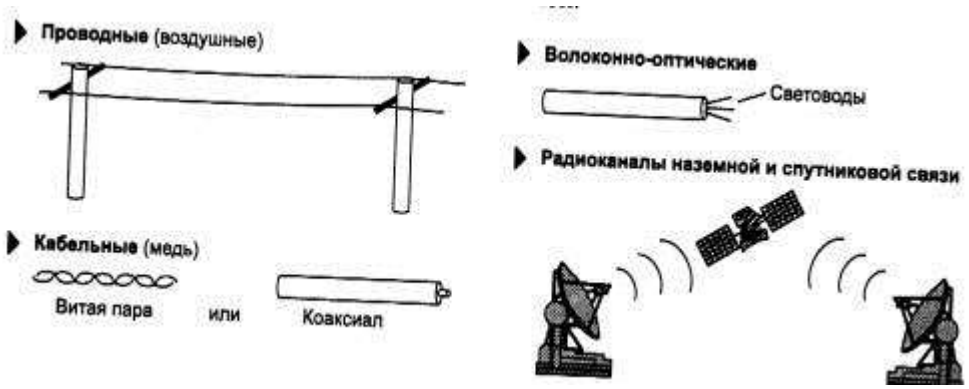

Рис. 2.2. Типы линий связи

Проводные (воздушные) линии связи представляют собой провода без каких-либо изолирующих или экранирующих оплеток, проложенные между столбами и висящие в воздухе. По таким линиям связи традиционно передаются телефонные или телеграфные сигналы, но при отсутствии других возможностей эти линии используются и для передачи компьютерных данных. Скоростные качества и помехозащищенность этих линий оставляют желать много лучшего. Сегодня проводные линии связи быстро вытесняются кабельными.

Кабельные линии представляют собой достаточно сложную конструкцию. Кабель состоит из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции: электрической, электромагнитной, механической, а также, возможно, климатической. Кроме того, кабель может быть оснащен разъемами, позволяющими быстро выполнять присоединение к нему различного оборудования. В компьютерных сетях применяются три основных типа кабеля: кабели на основе скрученных пар медных проводов, коаксиальные кабели с медной жилой, а также волоконно-оптические кабели.

Скрученная пара проводов называется *витой парой (twisted pair)*. Витая пара существует в экранированном варианте *(Shielded Twistedpair, STP),* когда пара медных проводов обертывается в изоляционный экран, и неэкранированном *(Unshielded Twistedpair, UTP)*,когда изоляционная обертка отсутствует. Скручивание проводов снижает влияние внешних помех на полезные сигналы, передаваемые по кабелю. *Коаксиальный кабель (coaxial)* имеет несимметричную конструкцию и состоит из внутренней медной жилы и оплетки, отделенной от жилы слоем изоляции. Существует несколько типов коаксиального кабеля, отличающихся характеристиками и областями применения - для локальных сетей, для глобальных сетей, для кабельного телевидения и т. п. *Волоконно-оптический кабель(optical fiber)* состоит из тонких (5-60 микрон) волокон, по которым распространяются световые сигналы. Это наиболее качественный тип кабеля - он обеспечивает передачу данных с очень высокой скоростью (до 10 Гбит/с и выше) и к тому же лучше других типов передающей среды обеспечивает защиту данных от внешних помех.

Радиоканалы наземной и спутниковой связи образуются с помощью передатчика и приемника радиоволн. Существует большое количество

различных типов радиоканалов, отличающихся как используемым частотным диапазоном, так и дальностью канала. Диапазоны коротких, средних и длинных волн (КВ, СВ и ДВ), называемые также диапазонами амплитудной модуляции (Amplitude Modulation, AM) по типу используемого в них метода модуляции сигнала, обеспечивают дальнюю связь, но при невысокой скорости передачи данных. Более скоростными являются каналы, работающие на диапазонах ультракоротких волн (УКВ), для которых характерна частотная модуляция (Frequency Modulation, FM), а также диапазонах сверхвысоких частот (СВЧ или microwaves). В диапазоне СВЧ (свыше 4 ГГц) сигналы уже не отражаются ионосферой Земли и для устойчивой связи требуется наличие прямой видимости между передатчиком и приемником. Поэтому такие частоты используют либо спутниковые каналы, либо радиорелейные каналы, где это условие выполняется.

В компьютерных сетях сегодня применяются практически все описанные типы физических сред передачи данных, но наиболее перспективными являются волоконно-оптические. На них сегодня строятся как магистрали крупных территориальных сетей, так и высокоскоростные линии связи локальных сетей. Популярной средой является также витая пара, которая характеризуется отличным соотношением качества к стоимости, а также простотой монтажа. С помощью витой пары обычно подключают конечных абонентов сетей на расстояниях до 100 метров от концентратора. Спутниковые каналы и радиосвязь используются чаще всего в тех случаях, когда кабельные связи применить нельзя - например, при прохождении канала через малонаселенную местность или же для связи с мобильным пользователем сети, таким как шофер грузовика, врач, совершающий обход, и т. п.

Аппаратура линий связи

Аппаратура передачи данных (АПД или *DCE - Data Circuit terminating Equipment)* непосредственно связывает компьютеры или локальные сети пользователя с линией связи и является, таким образом, пограничным оборудованием. Традиционно аппаратуру передачи данных включают в состав линии связи. Примерами DCE являются модемы, терминальные адаптеры сетей ISDN, оптические модемы, устройства подключения к цифровым каналам. Обычно DCE работает на физическом уровне, отвечая за передачу и прием сигнала нужной формы и мощности в физическую среду.

Аппаратура пользователя линии связи, вырабатывающая данные для передачи по линии связи и подключаемая непосредственно к аппаратуре передачи данных, обобщенно носит название *оконечное оборудование данных (00 Д* или *DTE - Data Terminal Equipment)*. Примером DTE могут служить компьютеры или маршрутизаторы локальных сетей. Эту аппаратуру не включают в состав линии связи.

Разделение оборудования на классы DCE и DTE в локальных сетях является достаточно условным. Например, адаптер локальной сети можно

считать как принадлежностью компьютера, то есть DTE, так и составной частью канала связи, то есть DCE.

Промежуточная аппаратура обычно используется на линиях связи большой протяженности. Промежуточная аппаратура решает две основные задачи:

- улучшение качества сигнала;
- создание постоянного составного канала связи между двумя абонентами сети.

В локальных сетях промежуточная аппаратура может совсем не использоваться, если протяженность физической среды -кабелей или радиоэфира - позволяет одному сетевому адаптеру принимать сигналы непосредственно от другого сетевого адаптера, без промежуточного усиления. В противном случае применяются устройства типа повторителей и концентраторов.

В глобальных сетях необходимо обеспечить качественную передачу сигналов на расстояния в сотни и тысячи километров. Поэтому без усилителей сигналов, установленных через определенные расстояния, построить территориальную линию связи невозможно. В глобальной сети необходима также и промежуточная аппаратура другого рода - мультиплексоры, демультиплексоры и коммутаторы. Эта аппаратура решает вторую указанную задачу, то есть создает между двумя абонентами сети составной канал из некоммутируемых отрезков физической среды - кабелей с усилителями. Важно отметить, что приведенные на рис. 2.1 мультиплексоры, демультиплексоры и коммутаторы образуют составной канал на *долговременной* основе, например на месяц или год, причем абонент не может влиять на процесс коммутации этого канала - эти устройства управляются по отдельным входам, абоненту недоступным (на рисунке не показаны).Наличие промежуточной коммутационной аппаратуры избавляет создателей глобальной сети от необходимости прокладывать отдельную кабельную линию для каждой пары соединяемых узлов сети. Вместо этого между мультиплексорами и коммутаторами используется высокоскоростная физическая среда, например волоконно-оптический или коаксиальный кабель, по которому передаются одновременно данные от большого числа сравнительно низкоскоростных абонентских линий. А когда нужно образовать постоянное соединение между какими-либо двумя конечными узлами сети, находящимися, например, в разных городах, то мультиплексоры, коммутаторы и демультиплексоры настраиваются оператором канала соответствующим образом. Высокоскоростной канал обычно называют уплотненным каналом.

Промежуточная аппаратура канала связи прозрачна для пользователя, он ее не замечает и не учитывает в своей работе. Для него важны только качество полученного канала, влияющее на скорость передачи дискретных данных. В действительности же промежуточная аппаратура образует сложную сеть, которую называют *первичной сетью,* так как сама по себе она никаких высокоуровневых служб (например, файловой или передачи голоса) не

поддерживает, а только служит основой для построения компьютерных, телефонных или иных сетей.

В зависимости от типа промежуточной аппаратуры все линии связи делятся на аналоговые и цифровые. В *аналоговых линиях* промежуточная аппаратура предназначена для усиления аналоговых сигналов, то есть сигналов, которые имеют непрерывный диапазон значений. Такие линии связи традиционно применялись в телефонных сетях для связи АТС между собой. Для создания высокоскоростных каналов, которые мультиплексируют несколько низкоскоростных аналоговых абонентских каналов, при аналоговом подходе обычно используется техника частотного мультиплексирования (Frequency Division Multiplexing, FDM).

В *цифровых линиях* связи передаваемые сигналы имеют конечное число состояний. Как правило, элементарный сигнал, то есть сигнал, передаваемый за один такт работы передающей аппаратуры, имеет 2 или 3 состояния, которые передаются в линиях связи импульсами прямоугольной формы. С помощью таких сигналов передаются как компьютерные данные, так и оцифрованные речь и изображение. В цифровых каналах связи используется промежуточная аппаратура, которая улучшает форму импульсов и обеспечивает их ресинхронизацию, то есть восстанавливает период их следования. Промежуточная аппаратура образования высокоскоростных цифровых каналов (мультиплексоры, демультиплексоры, коммутаторы) работает по принципу временного мультиплексирования каналов (Time Division Multiplexing, TDM), когда каждому низкоскоростному каналу выделяется определенная доля времени (тайм-слот или квант) высокоскоростного канала.

Аппаратура передачи дискретных компьютерных данных по аналоговым и цифровым линиям связи существенно отличается, так как в первом случае линия связи предназначена для передачи сигналов произвольной формы и не предъявляет никаких требований к способу представления единиц и нулей аппаратурой передачи данных, а во втором - все параметры передаваемых линией импульсов стандартизованы. Другими словами, на цифровых линиях связи протокол физического уровня определен, а на аналоговых линиях - нет.

Методы передачи дискретных данных на физическом уровне

При передаче дискретных данных по каналам связи применяются два основных типа физического кодирования - на основе синусоидального несущего сигнала и на основе последовательности прямоугольных импульсов. Первый способ часто называется также *модуляцией* или *аналоговой модуляцией*, подчеркивая тот факт, что кодирование осуществляется за счет изменения параметров аналогового сигнала. Второй способ обычно называют *цифровым кодированием*. Эти способы отличаются шириной спектра результирующего сигнала и сложностью аппаратуры, необходимой для их реализации.

При использовании прямоугольных импульсов спектр результирующего сигнала получается весьма широким. Это не удивительно, если вспомнить, что спектр идеального импульса имеет бесконечную ширину. Применение

синусоиды приводит к спектру гораздо меньшей ширины при той же скорости передачи информации. Однако для реализации синусоидальной модуляции требуется более сложная и дорогая аппаратура, чем для реализации прямоугольных импульсов.

В настоящее время все чаще данные, изначально имеющие аналоговую форму - речь, телевизионное изображение, - передаются по каналам связи в дискретном виде, то есть в виде последовательности единиц и нулей. Процесс представления аналоговой информации в дискретной форме называется *дискретной модуляцией*. Термины «модуляция» и «кодирование» часто используют как синонимы.

Аналоговая модуляция

Аналоговая модуляция применяется для передачи дискретных данных по каналам с узкой полосой частот, типичным представителем которых является *канал тональной частоты*, предоставляемый в распоряжение пользователям общественных телефонных сетей. Типичная амплитудно-частотная характеристика канала тональной частоты представлена на рис. 2.12. Этот канал передает частоты в диапазоне от 300 до 3400 Гц, таким образом, его полоса пропускания равна 3100 Гц. Хотя человеческий голос имеет гораздо более широкий спектр - примерно от 100 Гц до 10 кГц, - для приемлемого качества передачи речи диапазон в 3100 Гц является хорошим решением. Строгое ограничение полосы пропускания тонального канала связано с использованием аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях.

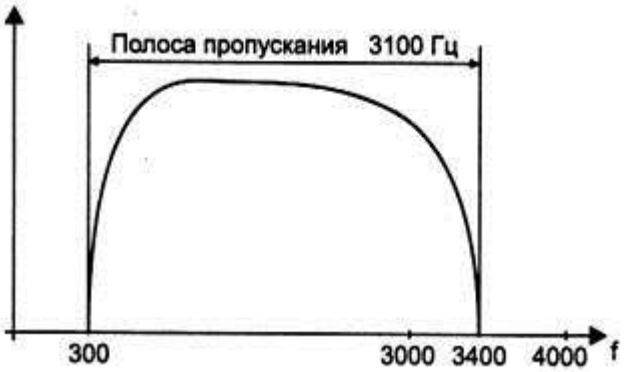

Рис. 2.12. Амплитудно-частотная характеристика канала тональной частоты

Устройство, которое выполняет функции модуляции несущей синусоиды на передающей стороне и демодуляции на приемной стороне, носит название *модем* (*мод*улятор - *дем*одулятор).

Методы аналоговой модуляции

Аналоговая модуляция является таким способом физического кодирования, при котором информация кодируется изменением амплитуды,

частоты или фазы синусоидального сигнала несущей частоты. Основные способы аналоговой модуляции показаны на рис. 2.13. На диаграмме (рис. 2.13, а) показана последовательность бит исходной информации, представленная потенциалами высокого уровня для логической единицы и потенциалом нулевого уровня для логического нуля. Такой способ кодирования называется потенциальным кодом, который часто используется при передаче данных между блоками компьютера.

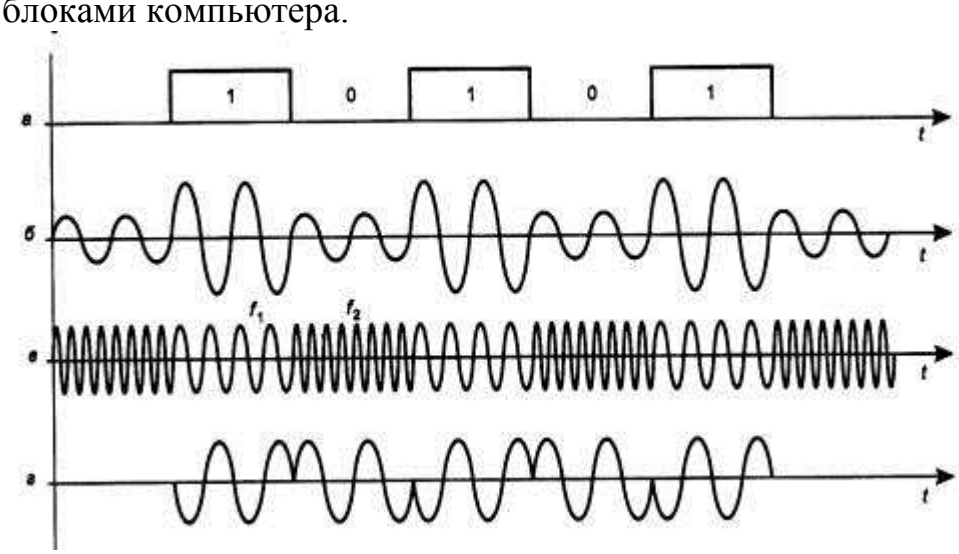

Рис. 2.13. Различные типы модуляции

При *амплитудной модуляции* (рис. 2,13, б) для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей частоты, а для логического нуля - другой. Этот способ редко используется в чистом виде на практике из-за низкой помехоустойчивости, но часто применяется в сочетании с другим видом модуляции - фазовой модуляцией.

При *частотной модуляции* (рис. 2.13, в) значения 0 и 1 исходных данных передаются синусоидами с различной частотой - f_0 и f_1. Этот способ модуляции не требует сложных схем в модемах и обычно применяется в низкоскоростных модемах, работающих на скоростях 300 или 1200 бит/с.

При *фазовой модуляции* (рис. 2.13, г) значениям данных 0 и 1 соответствуют сигналы одинаковой частоты, нос различной фазой, например 0 и 180 градусов или 0,90,180 и 270 градусов.

В скоростных модемах часто используются комбинированные методы модуляции, как правило, амплитудная в сочетании с фазовой.

Цифровое кодирование

При цифровом кодировании дискретной информации применяют потенциальные и импульсные коды.

В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала, а его перепады, формирующие законченные импульсы, во внимание не принимаются. Импульсные коды позволяют представить двоичные данные либо импульсами

определенной полярности, либо частью импульса - перепадом потенциала определенного направления.

Требования к методам цифрового кодирования

При использовании прямоугольных импульсов для передачи дискретной информации необходимо выбрать такой способ кодирования, который одновременно достигал бы нескольких целей:

- имел при одной и той же битовой скорости наименьшую ширину спектра результирующего сигнала;
- обеспечивал синхронизацию между передатчиком и приемником;
- обладал способностью распознавать ошибки;
- обладал низкой стоимостью реализации.

Более узкий спектр сигналов позволяет на одной и той же линии (с одной и той же полосой пропускания) добиваться более высокой скорости передачи данных. Кроме того, часто к спектру сигнала предъявляется требование отсутствия постоянной составляющей, то есть наличия постоянного тока между передатчиком и приемником. В частности, применение различных трансформаторных схем *гальванической развязки* препятствует прохождению постоянного тока.

Синхронизация передатчика и приемника нужна для того, чтобы приемник точно знал, в какой момент времени необходимо считывать новую информацию с линии связи. Эта проблема в сетях решается сложнее, чем при обмене данными между близко расположенными устройствами, например между блоками внутри компьютера или же между компьютером и принтером. На небольших расстояниях хорошо работает схема, основанная на отдельной тактирующей линии связи (рис. 2.15), так что информация снимается с линии данных только в момент прихода тактового импульса. В сетях использование этой схемы вызывает трудности из-за неоднородности характеристик проводников в кабелях. На больших расстояниях неравномерность скорости распространения сигнала может привести к тому, что тактовый импульс придет настолько позже или раньше соответствующего сигнала данных, что бит данных будет пропущен или считан повторно. Другой причиной, по которой в сетях отказываются от использования тактирующих импульсов, является экономия проводников в дорогостоящих кабелях.

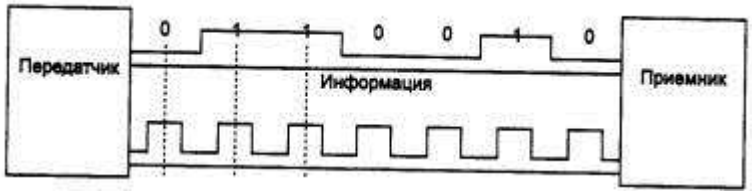

Рис. 2.15. Синхронизация приемника и передатчика на небольших расстояниях

Поэтому в сетях применяются так называемые *самосинхронизирующиеся коды*, сигналы которых несут для передатчика указания о том, в какой момент

времени нужно осуществлять распознавание очередного бита (или нескольких бит, если код ориентирован более чем на два состояния сигнала). Любой резкий перепад сигнала - так называемый фронт - может служить хорошим указанием для синхронизации приемника с передатчиком.

При использовании синусоид в качестве несущего сигнала результирующий код обладает свойством самосинхронизации, так как изменение амплитуды несущей частоты дает возможность приемнику определить момент появления входного кода.

Распознавание и коррекцию искаженных данных сложно осуществить средствами физического уровня, поэтому чаще всего эту работу берут на себя протоколы, лежащие выше: канальный, сетевой, транспортный или прикладной. С другой стороны, распознавание ошибок на физическом уровне экономит время, так как приемник не ждет полного помещения кадра в буфер, а отбраковывает его сразу при распознавании ошибочных бит внутри кадра.

Требования, предъявляемые к методам кодирования, являются взаимно противоречивыми, поэтому каждый из рассматриваемых ниже популярных методов цифрового кодирования обладает своими преимуществами и своими недостатками по сравнению с другими.

Дискретная модуляция аналоговых сигналов

Одной из основных тенденций развития сетевых технологий является передача в одной сети как дискретных, так и аналоговых по своей природе данных. Источниками дискретных данных являются компьютеры и другие вычислительные устройства, а источниками аналоговых данных являются такие устройства, как телефоны, видеокамеры, звуко- и видеовоспроизводящая аппаратура. На ранних этапах решения этой проблемы в территориальных сетях все типы данных передавались в аналоговой форме, при этом дискретные по своему характеру компьютерные данные преобразовывались в аналоговую форму с помощью модемов.

Однако по мере развития техники съема и передачи аналоговых данных выяснилось, что передача их в аналоговой форме не позволяет улучшить качество принятых на другом конце линии данных, если они существенно исказились при передаче. Сам аналоговый сигнал не дает никаких указаний ни о том, что произошло искажение, ни о том, как его исправить, поскольку форма сигнала может быть любой, в том числе и такой, которую зафиксировал приемник. Улучшение же качества линий, особенно территориальных, требует огромных усилий и капиталовложений. Поэтому на смену аналоговой технике записи и передачи звука и изображения пришла цифровая техника. Эта техника использует так называемую дискретную модуляцию исходных непрерывных во времени аналоговых процессов.

Дискретные способы модуляции основаны на дискретизации непрерывных процессов как по амплитуде, так и по времени (рис. 2.19). Рассмотрим принципы искретной модуляции на примере *импулъсно-кодовой*

модуляции, ИКМ (Pulse Amplitude Modulation, PAM), которая широко применяется в цифровой телефонии.

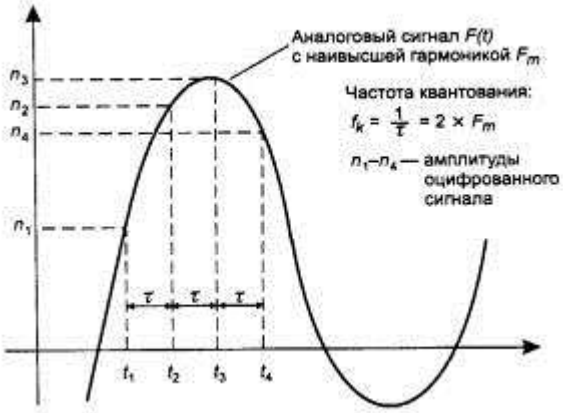

Рис. 2.19. Дискретная модуляция непрерывного процесса

Амплитуда исходной непрерывной функции измеряется с заданным периодом - за счет этого происходит дискретизация по времени. Затем каждый замер представляется в виде двоичного числа определенной разрядности, что означает дискретизацию по значениям функции - непрерывное множество возможных значений амплитуды заменяется дискретным множеством ее значений. Устройство, которое выполняет подобную функцию, называется *аналого-цифровым преобразователем (АЦП)*. После этого замеры передаются по каналам связи в виде последовательности единиц и нулей. При этом применяются те же методы кодирования, что и в случае передачи изначально дискретной информации, то есть, например, методы, основанные на коде B8ZS или 2B 1Q.

На приемной стороне линии коды преобразуются в исходную последовательность бит, а специальная аппаратура, называемая *цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП)*, производит демодуляцию оцифрованных амплитуд непрерывного сигнала, восстанавливая исходную непрерывную функцию времени.

2.3 Кодирование и декодирование циклических кодов на многотактных фильтрах

Многотактным линейным фильтром называется устройство, состоящее из связанных между собой элементов задержки (ячеек памяти) и логических элементов, причем отклик устройства на сумму входных сигналов равен сумме откликов на каждый сигнал в отдельности. Применительно к задачам кодирования и декодирования циклических кодов рассмотрим многотактные фильтры, состоящие из элементов задержки, сумматоров по модулю 2 и элементов умножения на постоянное число из поля *GF(*2). Такие фильтры являются линейными. В литературе их часто называют регистрами с логичеекой обратной связью. Фильтры являются синхронными устройствами, поскольку значения всех запоминаемых символов изменяются в один и тот же

момент времени. На вход фильтра последовательно подаются коэффициенты многочлена со скоростью, определяемой величиной задержки в элементе памяти — тактом. Передача начинается с коэффициентов старших степеней, так как при делении сначала обрабатываются коэффициенты старших степеней, а при умножении порядок безразличен. Схема фильтра приведена на рис. 10.1.

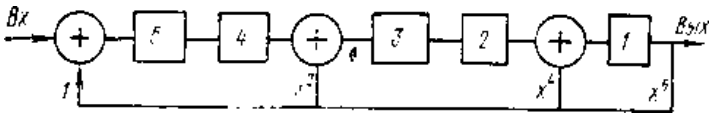

Рис. 10.1. **Схема многотактного фильтра**

На вход фильтра поступает последовательность разрядов (начиная с высшего) многочлена-делимого. Как только первый раз- ряд этой последовательности появляется на выходе, происходит суммирование по модулю 2 делителя и первых разрядов делимого и в элементах памяти записывается остаток. Затем при появлении на выходе первой единицы остатка производится суммирование делителя с этим остатком и т. д.

Последовательность работы схемы рис. 10.1 представлена в таблице

Номер	Символ, хранящийся в ячейке памяти					Символы на выходе фильтра
	1	2	3	4	5	
Исходное состояние	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	1	1
2	0	0	0	1	0	0
3	0	0	1	0	1	1
4	0	1	0	1	0	0
5	1	0	1	0	0	0
6	1	1	1	0	1	0
7	0	1	1	1	0	1
8	1	1	1	0	1	1
9	0	1	1	1	1	0
10	1	1	1	1	1	1
11	0	1	0	1	1	1
12	1	0	1	1	0	1
13	1	1	0	0	1	1
14	0	0	1	1	1	1
15	0	1	1	1	0	0

Комбинация, подлежащая передаче

На основе рассмотренного многотактного фильтра может быть построено кодирующее устройство циклического кода (рис. 10.2). В течение первых *n—к* тактов символы заполняют линию задержки ЛЗ и запоминающие элементы, затем в течение последующих *k+1* тактов происходит деление (при этом ключ

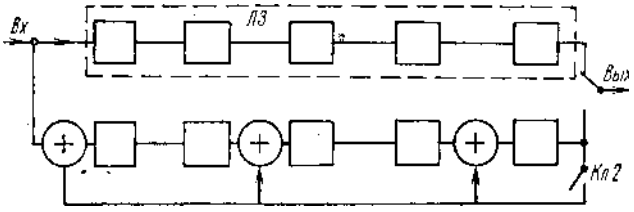

Рис. 10.2. Схема кодирующего устройства циклического кода

Кл. Вых. вверху,

а Кл. 2 замкнут) и на выход фильтра поступают все *к* информационных разрядов. При этом ЛЗ освобождается («обнуляется»), а в запоминающих элементах остается остаток *r(x)*. После этого Кл. 2 размыкается, а Кл. Вых. внизу и на выход фильтра поступает остаток

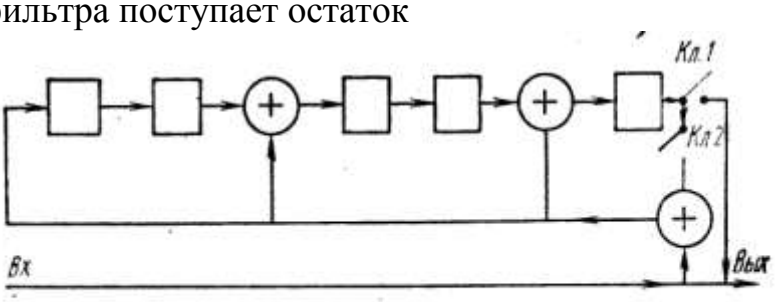

Рис. 10.3. Улучшенная схема кодирующего устройства

r(x), а ЛЗ и элементы памяти заполняются *n—к* разрядами следующей комбинации и весь цикл повторяется. В результате на выходе сначала последовательно появляются все *к* информационных, а затем *n—к* проверочных разрядов n - разрядной кодовой комбинации.

Недостаток схемы рис. 10.2, заключающийся в необходимости задержки информации на *n—к* тактов, может быть устранен при использовании эквивалентной схемы (рис. 10.3). В течение первых *к* тактов замкнут Кл.2 и разомкнут Кл.1. При этом на выход фильтра поступают *к* информационных разрядов и одновременно производится деление. Затем Кл.2 размыкается, а Кл.1 замыкается и в течение последующих *n—к* тактов на вход ничего не подается, а на выход поступает остаток от деления. По окончании передачи д-разрядной комбинации ключи возвращаются в первоначальное положение и цикл повторяется.

3 Программные обеспечения для эмуляции Li-Fi

3.1 Общие сведения

Данная программа разработана для эмуляции передачи данных посредством технологии Li-Fi. Увы, но в доступных условиях невозможно воссоздать реальные возможности программы.

3.1.1 Кодирование сообщения

Кодирование сообщения происходит по стандартному алгоритму преобразования в битовый вид (единицы и нули).

Для преобразования сообщения в битовый вид используется Код Грея.

Формула Кода Грея:

```
Gray(k)
{
  if k=n+1 then {вывод двоичного кода}
  else
  {
    Gray(k+1)
    g[k] = 1 - g[k]
    Gray(k+1)
  }
}

Main()
{
  n = {порядок кода}
  g = {нулевой двоичный код порядка n}
  Gray(1)
}
```

3.1.2 Отправка сообщения

Отправка сообщения осуществляется крайне простым методом: когда символ «1» -- диод горит, когда «0» -- диод выключен. На принимающей стороне фиксирует эти изменения за определенный промежуток времени. Соответственно, чем выше скорость – тем чаще мерцает диод.

3.2 Функциональное назначение

Созданная программа лишь эмулирует процесс передачу данных, не отображая реальных возможностей. В итоге мы вводим исходное сообщение, преобразовываем его в битовые формат, а далее осуществляется отправка сообщения. Рисунки 3.1-3.3.

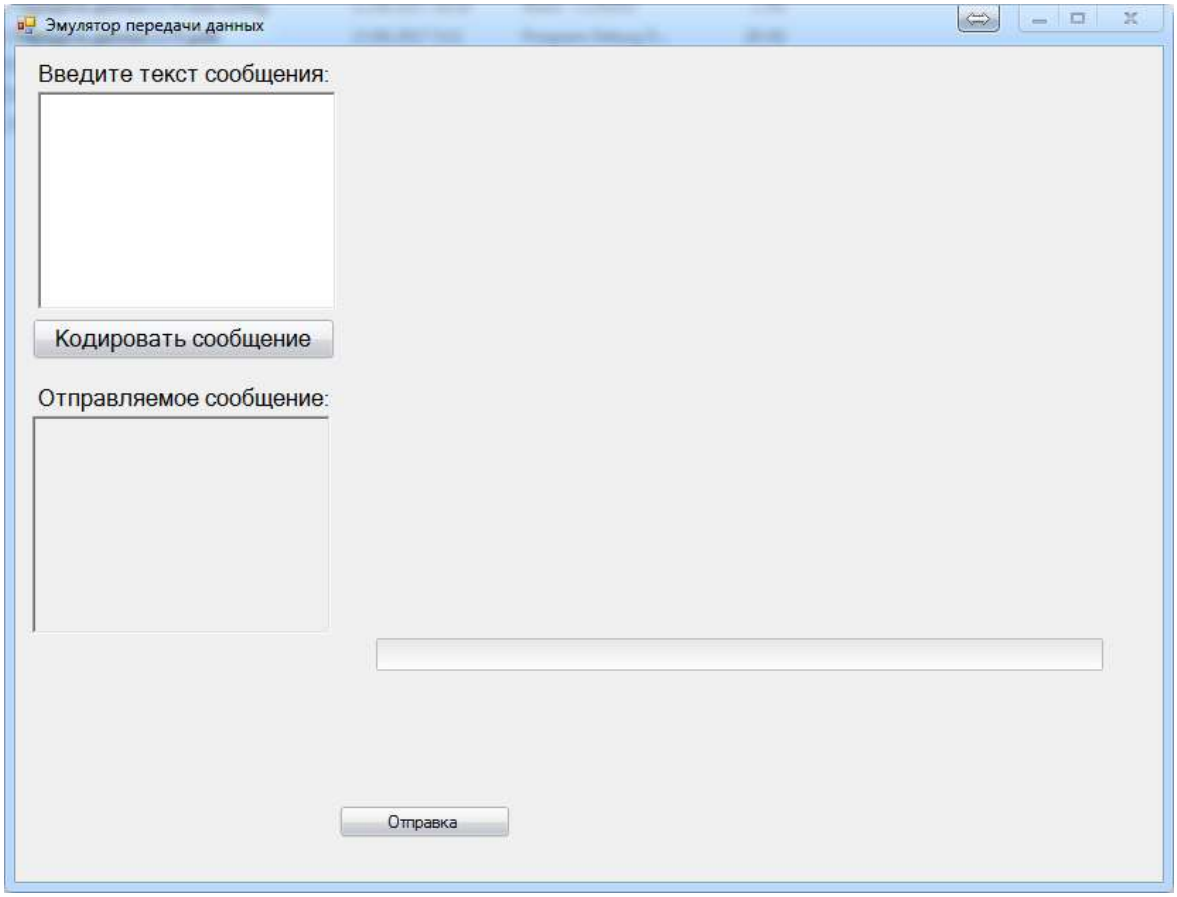

Рисунок 3.1 – начальная форма программы

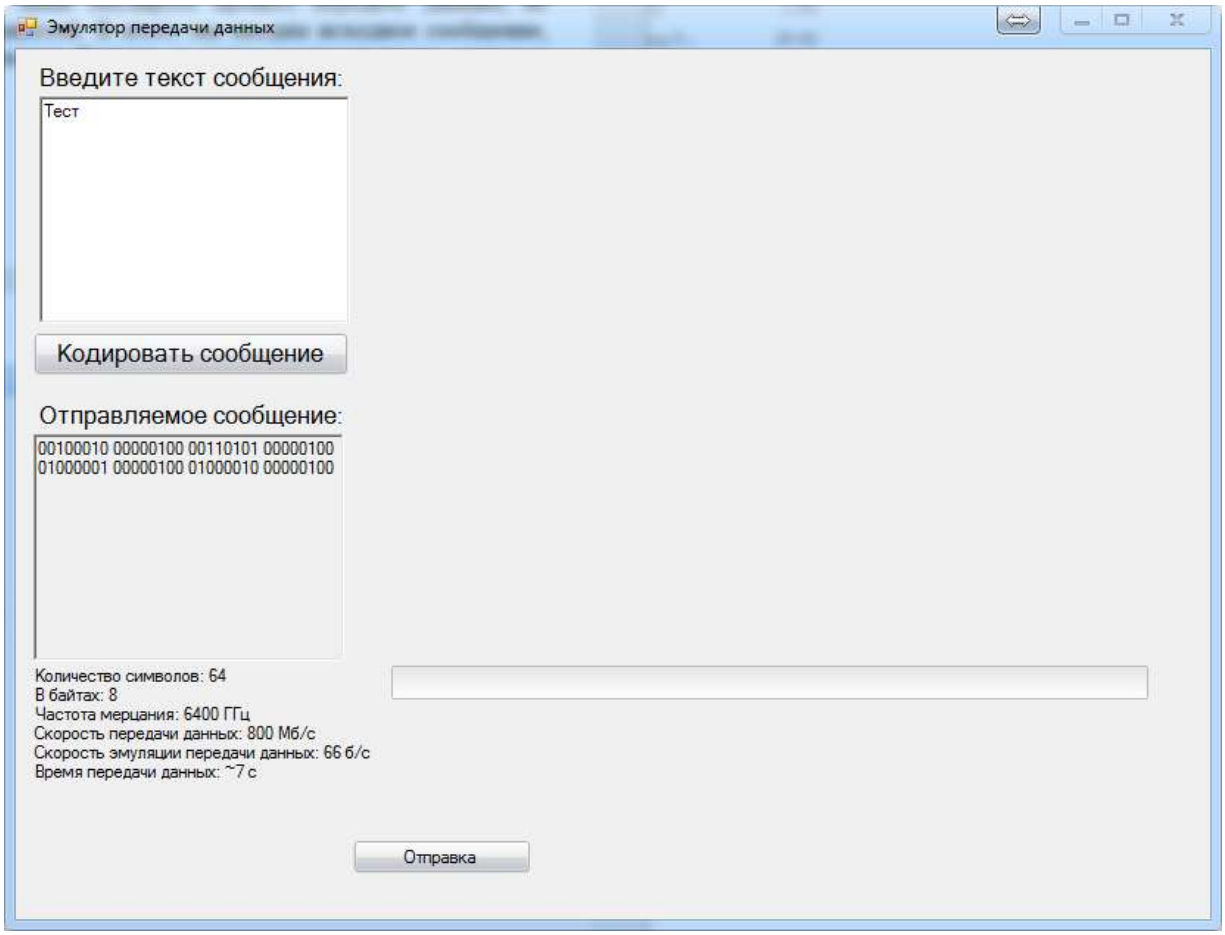

Рисунок 3.2 – кодированное сообщение в битовый вид

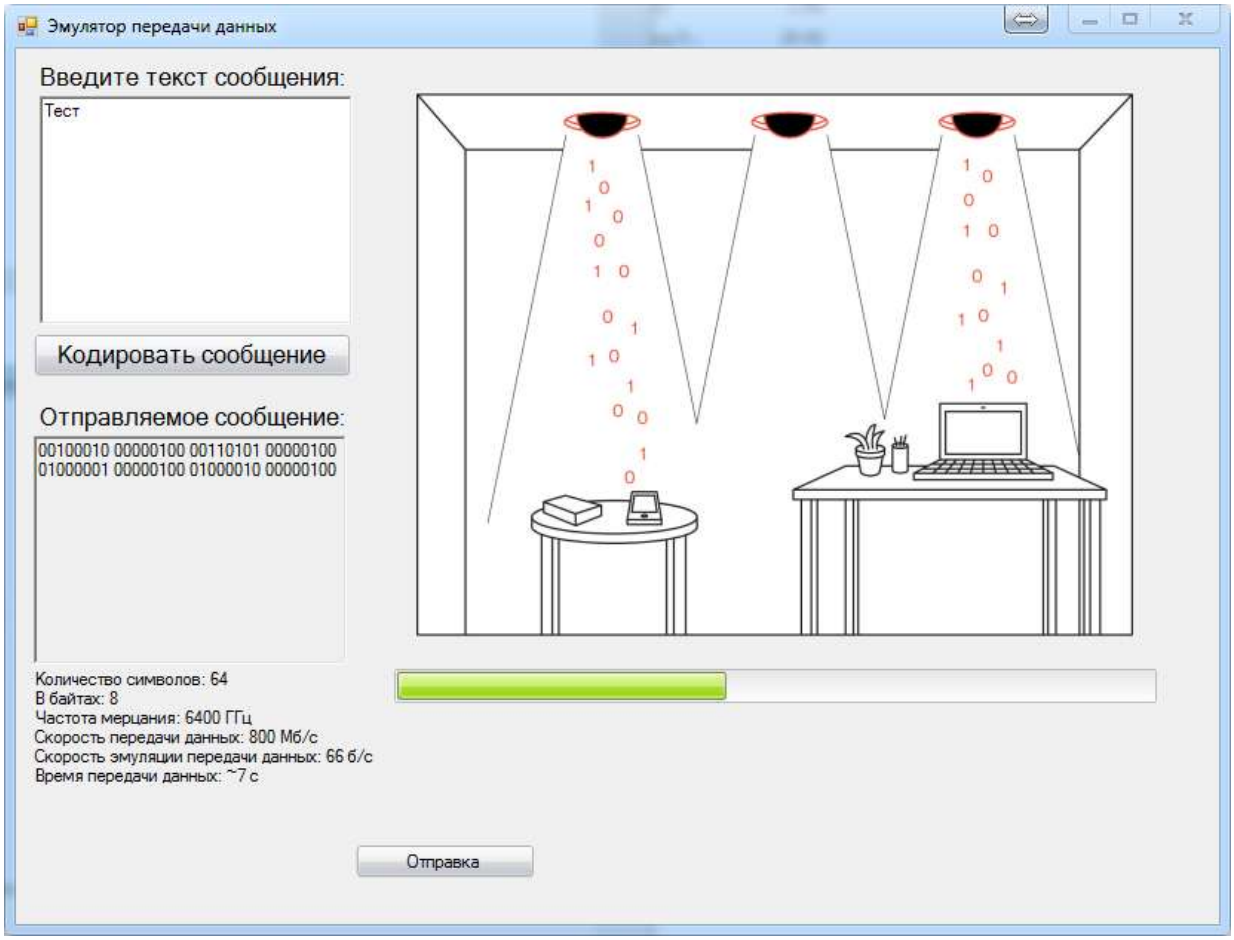

Рисунок 3.3 – процесс передачи данных

Заключение

В представленной работе рассмотрены технологии связи, как новейшие, так и устаревшие. Произведен анализ их технических характеристик и возможностей. Подводя итоги, можно смело заявить, что наиболее интересующие ныне технологии беспроводной связи – это Wi-Fi и Li-Fi. А именно – их связка.

Благодаря созданной программе есть возможность наглядно увидеть процесс передачи данных с помощью светодиодной передачи. Конечно же, данная программа не позволяет увидеть в режиме реального времени весь потенциал светодиодной передачи, поскольку языки программирования высокого уровня крайне ограничены в рамках минимального времени тика (цикла). В будущем планируется доработка полноценного тестового стенда для передачи данных методом светового потока.

Возможность использования Li-Fi практически безгранична, начиная от домашнего использования, заканчивая сетями городского назначения. Конечно же, над данной технологией еще предстоит работа, кропотливая и сложная. Нужно, в первую очередь, позаботиться об обеспечении более высоко-скоростной передаче информации, равно как и ускорить процесс подключения. Разрешить вопрос массовой синхронизации множества светодиодных драйверов.

В нынешнее время, наиболее актуальны технологии, обеспечивающие высокие скорости передачи данных. Но, к сожалению, невозможно увеличивать скорость передачи данных в радиоволновых технологиях. Нельзя бесконечно увеличивать мощности датчика, поскольку сверхмощные передатчики крайне негативно влияют на здоровье человека.

Список использованной литературы

1) Коньшин С.В., Кондратович А.П. Учебно – методические и учебные работы. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию учебно-методических и учебных работ.
2) https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth
3) Росс Джон. Wi-Fi. Беспроводная сеть - НТ Пресс, 2007 - 4с.
4) https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE
5) В. Щербаков, С. Ермаков. Безопасность беспроводных сетей. Стандарт IEEE 802.11, 2010 - 13-20с.
6) Лиза Гански. Mesh-модель, 2001 - 15-27с.
7) Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM, 2007 - 9-11с.
8) Тихвинский В.О.,Терентьев С.В., Юрчук А.Б., Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура, 2010 - 5-7с.
9) Михаил Гук, Аппаратные интерфейсы ПК, 2005 - глава 3.1.
10) http://en.wikipedia.org/wiki/Li-Fi
11) Dhabekar Roshan Vitthalrao, Li-Fi Technology, 2013 - 1-16с.
12) https://www.digitaltrends.com/mobile/light-bulb-li-fi-wireless-internet/
13) Джон Росс, Wi-Fi. Беспроводные сети. Установка. Конфигурирование. Использование. 2005

Приложение

Исходный код программы:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace Передача_данных_Li_Fi
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        char[] IO;
        int k = 0;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            k = 0;
            progressBar1.Value = 0;
            infoLabel.Text = "";
            string str;
            byte[] result;
            str = originalMsg.Text;
            result = System.Text.Encoding.Unicode.GetBytes(str);
            StringBuilder sb = new StringBuilder();
            foreach (byte b in System.Text.Encoding.Unicode.GetBytes(str))
                sb.Append(Convert.ToString(b, 2).PadLeft(8, '0')).Append(' ');
                //sb.Append(Convert.ToString(b, 2).PadLeft(8, '0'));

            string binaryStr = sb.ToString();
            codedMsg.Text = binaryStr;


            //-----------
            //Считаем инфо:
            string mem;
            string msgCoded = codedMsg.Text.Replace(" ", string.Empty);
            decimal d = msgCoded.Length / 8;
            mem = Math.Ceiling(d).ToString();
            //MessageBox.Show(mem + " байт");

            infoLabel.Text += "Количество символов: " + msgCoded.Length.ToString() + "\n";
            infoLabel.Text += "В байтах: " + mem + "\n";
            infoLabel.Text += "Частота мерцания: 6400 ГГц\n";
            infoLabel.Text += "Скорость передачи данных: 800 Мб/с\n";
            infoLabel.Text += "Скорость эмуляции передачи данных: 66 б/с\n";
            infoLabel.Text += "Время передачи данных: ~" +
Math.Ceiling(Convert.ToDecimal(mem) / 66 * 100 / 2).ToString() + " с";

            IO = msgCoded.ToCharArray();
            progressBar1.Maximum = IO.Length;
        }
```

```
        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            timer1.Enabled = true;
            image.Visible = true;
        }

        private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
        {
            if (k < IO.Length)
            {
                progressBar1.Value = k;
                if (IO[k] == '0')
                {
                    image.ImageLocation = "li-fi_clean.jpg";
                }
                else
                {
                    image.ImageLocation = "li-fi_yellow.jpg";
                }
                k++;
            }
            else
            {
                progressBar1.Value = k;
                image.ImageLocation = "li-fi_yellow.jpg";
                timer1.Enabled = false;
            }
        }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            image.Visible = false;
        }
    }
}
```