

УДК 004.415:621.391.64

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИК-ИЗЛУЧЕНИЙ

А.А. Петушков, М.И. Жадан

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

COMPUTER SYSTEM OF INFORMATION TRANSMISSION WITH THE USE OF INFRARED RADIATIONS

A.A. Petushkov, M.I. Zhadan

F. Scorina Gomel State University

Статья посвящена созданию системы передачи и обработки информации, используя ИК-излучение. Реализована система, способная полностью имитировать реальные поведенческие факторы ведения стрельбы из огнестрельного оружия, такие как скорострельность, точность, шанс осечки и т. д., а также предоставляющая возможность идентифицировать попадания по «противнику» с последующей обработкой этого попадания и передачей информации для дальнейшей обработки на сервере. Система может быть использована для проведения военно-тактических игр без применения реального оружия.

Ключевые слова: информация, ИК-излучение, стрельба, оружие, микроконтроллер, конечный автомат, программирование.

The article is devoted to creation of system of transfer and information processing, using infrared radiation. The system capable to completely imitate real behavioural factors of conducting firing from the fire weapon, such as rate of fire, accuracy, chance of a misfire etc., and also the giving opportunity to identify hits on "opponent" with the subsequent processing of this hit and information transfer for further processing on the server is realized. The system can be used for carrying out military and tactical games without use of the real weapon.

Keywords: information, infrared radiation, firing, weapon, microcontroller, finite-state machine, programming.

Введение

Концепция передачи данных, в основе которой использовались инфракрасные каналы (ИК), прорабатывалась довольно долгое время. Интерес к ИК становился все больше, так как росла потребность в беспроводных высокоскоростных каналах связи. Инфракрасный канал – это канал, который используют для передачи данных через ИК-излучение. Эти соединения создают мало помех и у них довольно высокая степень защиты информации [1].

В настоящее время достаточно большие средства тратятся на обучение вооруженных сил, а использование альтернативных средств обучения в состоянии сократить эти расходы. Так же стоит отметить растущий интерес к такому виду активного отдыха как пейнтбол и страйкбол. Поэтому изучение проблем в области передачи информации через ИК-канал и практическая реализация устройств, моделирующих поведение огнестрельного оружия, является перспективным направлением и вызывает научный интерес.

Целью разработки является создание системы, позволяющей воссоздать работу огнестрельного оружия путём передачи ИК-сигналов с последующей их регистрацией в случае попадания. Разработанная система позволит сэкономить средства на обучение военнослужащих, а также позволит осуществлять военно-тактические игры.

Основное преимущество разрабатываемой системы перед существующими аналогами, такими как пейнтбол и страйкбол – отсутствие человеческого фактора, т. е. попадания регистрируются системой без участия пользователя. Также стоит отметить достаточно большую дальность ведения стрельбы – более 600 м, и возможность реализации любых поведенческих факторов оружия, таких как осечка, отдача, скорость стрельбы, скорость перезарядки и многое другое. В системе обеспечена простота добавления новых компонентов, возможность создания дополнительных устройств и их тонкое конфигурирование.

1 Теоретические основы

В компьютерных сетях, за исключением кабельных, могут использоваться и бескабельные каналы. Одно из важных их преимуществ – нет прокладки проводов, а также компьютерные сети становятся легко перемещаемыми.

ИК канал не требует соединительных проводов, он применяется для соединения ИК излучения (похожим образом работает пульт дистанционного управления телевизором). Радиоканал же проигрывает главным образом из-за того, что у него большая чувствительность к различного вида помехам, в том числе и электромагнитным и это не позволяет применять его при некоторых

условиях. ИК связь работает хуже при высокой запыленности воздуха [2].

ИК системы беспроводной передачи обладают следующими преимуществами: использование ИК диапазона, высокая конфиденциальность связи, отсутствие необходимости в разрешениях на использование радиочастотного спектра и отсутствие принципиальных сложностей в ИК технологии с пределом скорости передачи. В радиочастотных системах нужно применить сложное кодирование, оно снижает другие характеристики системы, но в ИК-системах всего этого не требуется. Технологии постоянно развиваются и сейчас самая старая коммерческая беспроводная ИК система имеет скорость до 2.5 Гбит/с [1].

Инфракрасное излучение расположено в электромагнитном спектре перед красным концом видимых лучей (рисунок 1.1).

Электромагнитный спектр определяет полосы частот, используемые для передачи звука, радиоизлучения, инфракрасного излучения, света. Внутри этих, основных, диапазонов выделяются полосы, используемые в применяемых технологиях передачи данных.

Полосы делятся на широкие и узкие (рисунок 1.2). В узкой полосе ширина не превышает

речевую полосу. Данную полосу используют узкополосные каналы. В широкой полосе частота превышает звуковую, зачастую даже в несколько раз. Широкая полоса практически всегда состоит из большого количества узких полос. Канал, который пропускает широкую полосу, называют широкополосным каналом [1]. Для того, чтобы использовать полосы, нужна определенная лицензия, исключением является промышленная, научная, медицинская полоса ISM.

Номенклатура выпускаемых в настоящее время микроконтроллеров (МК) исчисляется тысячами типов изделий различных фирм. Для разработчиков появляется возможность выбора оптимального МК, который не имеет избыточности и функциональности, что благоприятно сказывается на стоимости комплектующих элементов. В связи с этим в работе был выбран микроконтроллер ATMEGA 168 – низкопотребляющий 16 битный микроконтроллер с AVR RISC архитектурой. Выполняя команды за один цикл, ATMEGA168 достигают производительности 16 MIPS при частоте задающего генератора 16 МГц, что позволяет оптимизировать отношение потребления к производительности [3].

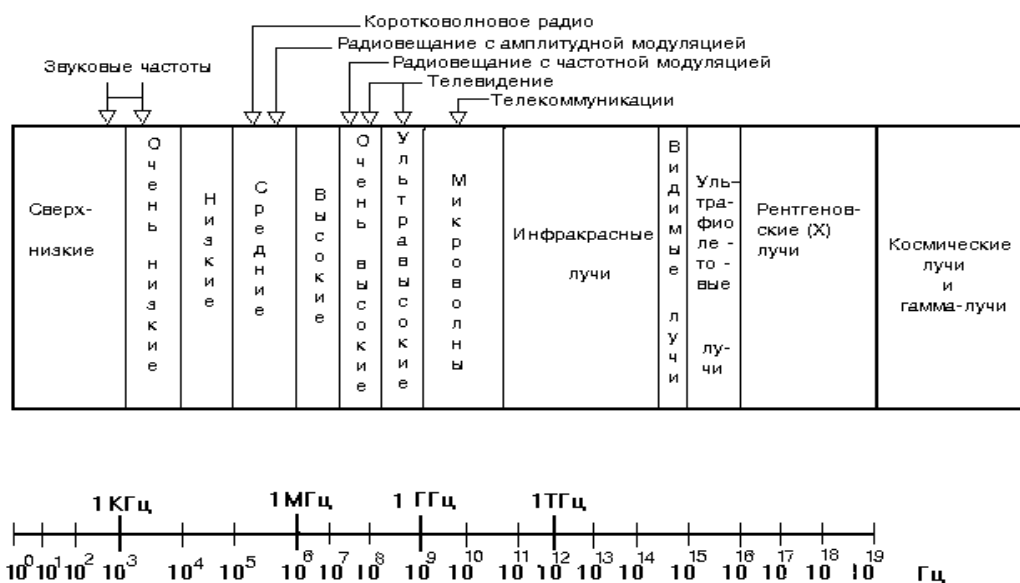


Рисунок 1.1 – Структура электромагнитного спектра

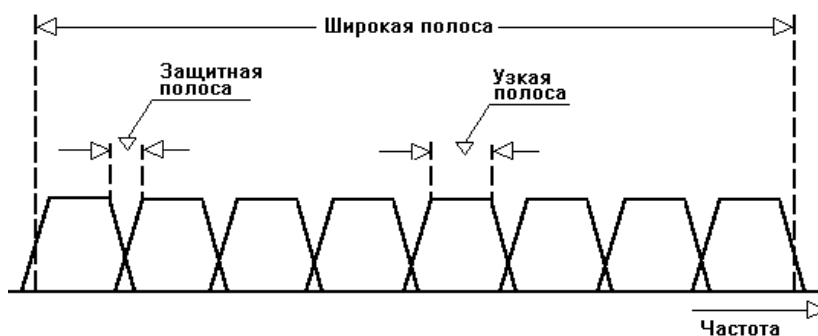


Рисунок 1.2 – Схема выделения логических каналов

Для передачи информации при помощи электромагнитного излучения на радиочастоте используется технология RFID. К возможностям RFID можно отнести идентификацию и учет любых объектов (товаров, времени, количество патронов и т. п.). Самые популярные в наше время RFID-метки представлены в виде небольших наклеек. От штрих-кодов, на которых информация хранится в графическом виде, RFID-метки отличаются тем, что на ней данные записываются и затем считываются при помощи радиоволн. Метка состоит из микроконтроллера, хранящего данные, и небольшой антенны, при помощи которой метка может передавать и получать данные. Система RFID используется в местах, где необходимы контроль перемещения объектов, особая отказоустойчивость в жестких погодных условиях, безошибочность чтения данных, надежность и скорость, автоматизация производства.

2 Реализация «конечных автоматов»

Проектирование системы строилось на перечне следующих требований:

- обработка действий пользователя (нажатие на кнопки);
- отображение на LED дисплее информации для пользователя;
- отправка информации посредством ИК-излучения;
- приём и обработка информации посредством ИК-излучения.

Реализованная система состоит из блоков:

- отправки информации, состоящего из ИК-передатчика;
- приёма информации, состоящего из нескольких ИК-приёмников;
- индикации, состоящего из LED дисплея.

Пользователь взаимодействует с системой посредством нажатия на те, или иные кнопки на модуле.

Для обмена данными между различными устройствами системы разработан протокол передачи информации. Структура разработанного пакета представлена в таблице 2.1. Пакет состоит из трёх полей. Бит чётности в нем необходим для проверки правильности передачи информации.

Таблица 2.1 – Структура пакета передачи данных

Название	Размер поля (значение)	Описание
playerId	7 бит (от 0 до 127)	Номер пользователя
playerDamage	8 бит (от 0 до 255)	Урон от оружия
parityBit	1 бит	Бит четности

Принимая во внимание, что микроконтроллер имеет ограниченную производительность и

очень трудно реализовать систему с множеством модулей, которые будут обрабатывать в нужный момент времени и не занимать много вычислительного времени, было принято решение использовать «конечные автоматы». Они позволяют раздробить работу каждого модуля в отношении вычислительного времени микроконтроллера. Это позволит исполнять все необходимые операции без задержек [4].

В связи с отличительными особенностями каждого микроконтроллера, перед началом работы его необходимо конфигурировать. По этой причине был создан отдельный блок программы, в котором хранятся параметры конкретного микроконтроллера и производится начальная настройка при запуске устройства. В случае необходимости, при замене микроконтроллера, этот программный блок может быть заменён на другой. В результате замены конфигурационного файла никаких изменений в работе основной программы не произойдёт.

Автономной единицей предлагаемой программы является автомат, который можно считать своего рода «кирпичиком». Его связи с остальными автоматами унифицированы и сведены к минимуму. Такой автомат, как и компонент средства быстрой разработки, можно реализовать отдельно, а затем применять в различных вновь создаваемых программных проектах. Для разработки систем со сложным поведением в различных предметных областях применяется SWITCH-технология. Программы, построенные по SWITCH-технологии, легко поддаются модификации [5].

Построение новых автоматов, реализуемых в настоящей работе, будет проведено, следуя идеологии работ А.А. Татарчевского [6]–[8].

Разработанная система передачи информации представляет собой совокупность конечных автоматов (КА). КА обмениваются между собой сообщениями и выполняются параллельно. Каждый конечный автомат имеет две внешние функции и описан в отдельном модуле программы:

```
void InitKA(void);
void ProcessKA(void);
```

Функция InitKA инициализирует автомат (производит соответствующие установки для корректной работы программы), а функция ProcessKA реализует работу автомата, в которой происходит обработка состояний автоматов и проверка условий переходов в другие состояния. Функция ProcessKA не должна выполнять продолжительных во времени действий, связанных с истечением временного интервала или с ожиданием какого-либо флага (например, противник убит). Такое требование вызвано необходимостью не блокировать работу других автоматов и максимально ускорить работу реализуемой системы.

Основной задачей главного цикла программы является поочередный вызов функций `ProcessKA` всех автоматов, в каждом из которых происходит обработка их текущих состояний. В случае соблюдения необходимых условий происходит переход в другие состояния. На рисунке 2.1 представлен главный модуль программы.

В каждой итерации главного цикла поочередно вызываются `Process`-функции каждого автомата и каждому автомату выделяется время для выполнения какого-либо элементарного действия (например, проверка заряда батареи, активация игрока и т. п.). Этими действиями объясняется многопоточность разработанной системы передачи информации. Графически конечный автомат представлен на рисунке 2.2 [7].

Чтобы наиболее детально описать условия, при которых происходит переход между состояниями автомата, в работе используется механизм таймеров. Особенно это важно в SWITCH-программировании, если переход должен произойти

по истечении определенного промежутка времени. Таймер можно считать «виртуальным» объектом: он имеет собственный неповторимый идентификатор-переменную, который увеличивает свое значение на единицу после определенного промежутка времени. Этот интервал может быть определен настройками аппаратного таймера.

В разработанной системе для большей согласованности конечных автоматов и уменьшения количества необходимых таймеров были использованы глобальные таймеры, контролирующие работу нескольких автоматов одновременно. Инициализация виртуальных таймеров состоит в их обнулении. Следует отметить две основные функции обработки таймеров. При помощи функции `GetTimer` происходит получение текущего значения выбранного таймера, а команда `ResetTimer` позволяет сбросить таймер в начальное (нулевое) состояние.

```
int main(void){
    InitHardware();           // Настройка микроконтроллера
    InitMessages();
    InitTimers();
    InitUartKA();             // Инициализация параллельного порта
    InitKeyKA();              // Инициализация обработчика кнопок
    InitSoundKA();            // Инициализация воспроизведения звука
    InitReceiverKA();         // Инициализация автомата приёма ИК-сигнала
    InitTranceiverKA();       // Инициализация автомата передачи ИК-сигнала
    InitPlayerKA();           // Инициализация автомата обработки состояний оружия
    InitWeaponKA();           // Инициализация автомата обработки состояний игрока
    InitBatteryKA();          // Инициализация автомата проверки заряда батареи
    LedHigh(LED_RELOAD);      // Зажигаем светодиод перезарядки
    SendMessage(MSG_PLAYER_STATUS_ACTIVE); // Активируем игрока
    SendMessage(MSG_SOUNDS_ALL); // Включаем все звуки
    for(;;) {
        ProcessKeyKA();
        ProcessPlayerKA();
        ProcessWeaponKA();
        ProcessBatteryKA();
        ProcessUartKA();
        ProcessSoundKA();
        ProcessMessages();
    }
    return 0;
}
```

Рисунок 2.1 – Главный модуль программы

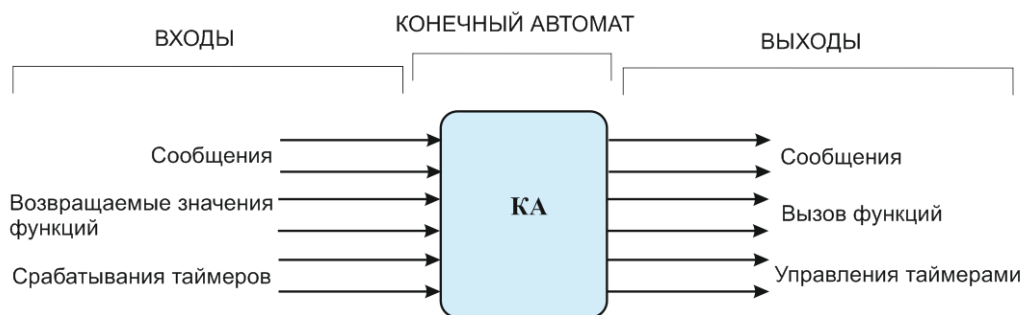


Рисунок 2.2 – Конечный автомат с входами и выходами

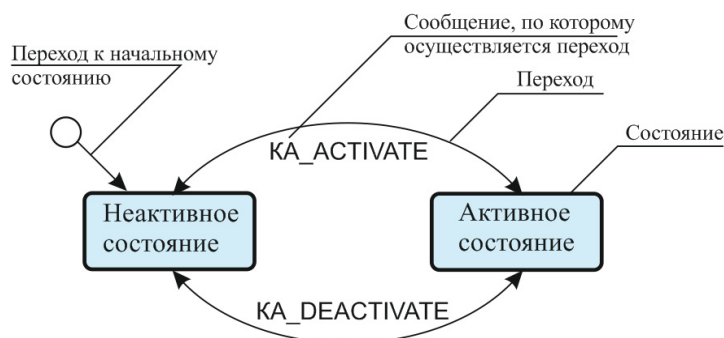


Рисунок 2.3 – Граф автомата

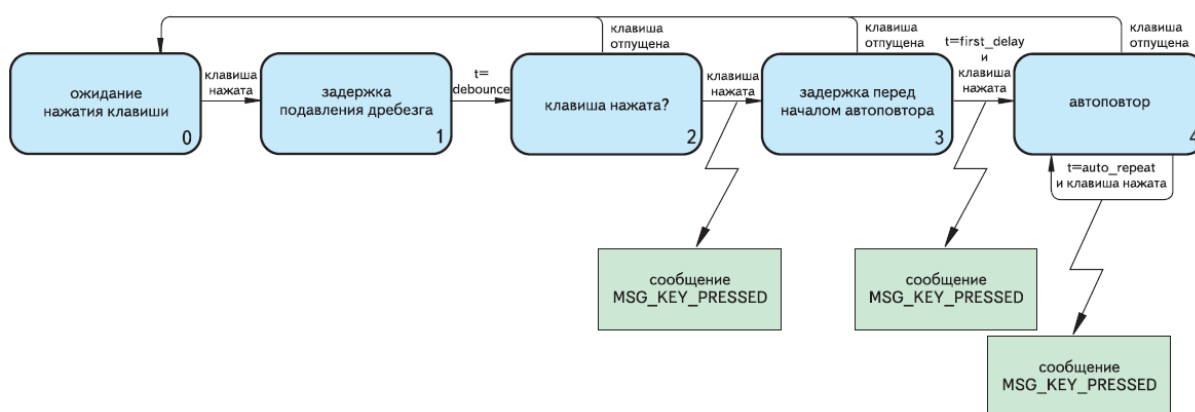


Рисунок 2.4 – Автомат, обрабатывающий нажатие кнопок

В программе реализовано три основных глобальных таймера:

- `TIMER_KEY` – для корректной обработки нажатия кнопок;
- `TIMER_WEAPON` – для обработки игровых действий;
- `TIMER_BATTERY` – для проверки заряда батареи.

Для изменения состояния того или иного автомата необходимы сообщения (рисунок 2.3). Автомат, который соответствует автомату Мили, передающий сообщение, устанавливает соответствующий флаг, а автомат, принимающий сообщение, проверяет состояние этого флага. Чтобы сообщения стало неактивным, автомат, после принятия сообщения, удаляет его.

В подавляющем большинстве устройств на базе микроконтроллеров используются кнопки для ввода информации, нажатие которых необходимо обрабатывать. Поэтому был разработан автомат, опрашивающий все имеющиеся кнопки, осуществляющий подавление дребезга контактов и реализовывающий функцию «автоповтора». Автоповтор сделан для реализации возможности ведения огня в автоматическом режиме, когда зажат спусковой крючок, а также для более лёгкой конфигурации системы, когда нужно изменить большие значения параметров. На рисунке 2.4 приведён граф автомата, реализующего перечисленные функции [8].

Реализованный автомат посылает сообщения основной программе при нажатии кнопки, но не сообщает, какая именно кнопка нажата, для получения кода нажатой кнопки используется реализованная функция `GetKeyCode`.

Для удобства работы пользователя с устройством был разработан модуль, отвечающий за отображение всей необходимой информации на дисплее:

- основной интерфейс, отображающий текущую информацию о состоянии игрока и оружия;
- отображение сообщений о смерти или ошибках;
- отображение информации о попадании в игрока;
- возможность входа в меню с настройками.

Для простоты работы было принято решение представить меню в виде структуры, представленной на рисунке 2.5.

В структуре хранятся все необходимые данные для работы меню:

- в поле `Next`, храниться ссылка на следующий пункт меню, на который осуществляется переход при нажатии кнопки «Далее»;
- в поле `Parent` храниться ссылка на родительский элемент;
- в поле `Child` храниться ссылка на первый элемент дочернего меню, на который происходит переход при выборе текущего элемента меню.

```

typedef struct PROGMEM{           // Структура описания меню
void      *Next;                  // Следующий пункт меню
void      *Parent;                // Корневое меню
void      *Child;                 // Название первого подменю
uint8_t   Select;                 // Действие, которое выполнять при выборе
const char Header[3];             // Заголовок пункта меню
unsigned char *Parametr;           // Параметр пункта меню (ссылка на переменную)
unsigned char MaxParametr;         // Максимальное значение параметра ( 0 - не изменяется)
const char Text[];                // Название меню
} menuItem;

```

Рисунок 2.5 – Структура меню

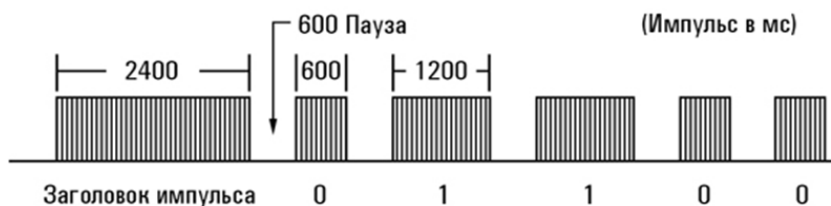


Рисунок 2.6 – Передача пакета данных

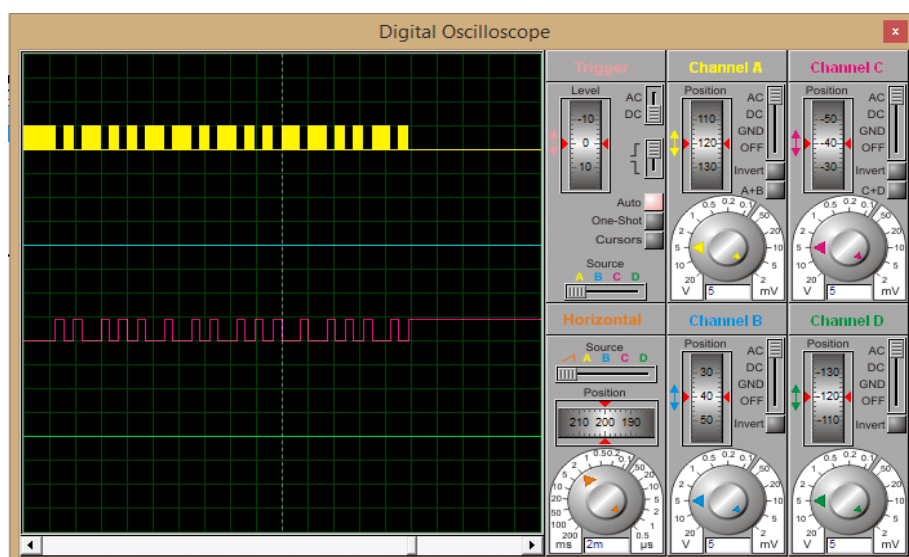


Рисунок 2.7 – Приём ИК-сигнала

Также в структуре предусмотрены поля, отвечающие за отображение названия элемента меню, параметра, который можно изменить текущим элементом и максимальное значение этого параметра, которое можно установить.

Разработанное меню позволяет достаточно легко его изменять и расширять. При помощи указателей имеется возможность вызова сторонних функций.

Дальность передачи данных при помощи ИК-излучения непосредственно зависит от силы тока, подаваемого на ИК-светодиод. По этой причине был разработан автомат, который проверяет уровень заряда аккумулятора, который должен быть от 3v до 12v. Автомат состоит из следующих состояний:

0 – используя таймер `TIMER_BATTERY`, ожидает наступления времени, при котором необходимо проверить заряд аккумулятора.

1 – с помощью функции `ReadPower` считывает заряд батареи.

2 – в случае падения напряжения батареи до критического уровня посылает сообщение `MSG_BATTERY_POWER_OFF`.

3 – проверяет значение изменения заряда батареи в сравнении с предыдущим значением и отправляет сообщение, затем переходит в состояние «0».

В случае разряда батареи автомат, отвечающий за отображение информации на дисплее, через равные промежутки времени оповещает пользователя.

В компьютерной системе передачи информации данные передаются одним пакетом. Пакет данных состоит из заголовка и 14 бит данных, заголовок и биты данных кодируются на 56кГц несущей инфракрасного сигнала, используя широтную модуляцию (рисунок 2.6).

Заголовок является импульсом длительно-стью 2400 микросекунд:

- бит со значением «1» — импульс длительно-стью 1200 микросекунд;
- бит со значением «0» — импульс длительно-стью 600 микросекунд;
- промежуток – между битами длится 600 микросекунд.

Перед передачей пакета данных, данные системы преобразуются в десятичный вид, после чего происходит их побайтовая отправка с выдержкой соответствующей паузы. Передача данных происходит по одному биту за итерацию. Это позволяет системе обрабатывать другие автоматы без задержки во время передачи информации через ИК-канал.

Автомат, отвечающий за приём ИК-сигнала, работает аналогичным образом, как и автомат, передающий сигнал. Приём сигнала при использовании осциллографа изображен на рисунке 2.7.

Как видно на рисунке, самое длинное значение низкого сигнала означает «Заголовок пакета», затем идут значения разной длины: короткие означают 0, длинные – 1 и суммарное их количество равно 16 штук. Это значит, что отправлен и получен весь пакет необходимых данных.

В связи с тем, что система поддерживает работу по UART, то имеется возможность установки радио модулей, осуществляющих связь с сервером и непосредственное подключение к системе через USB. Для этого была реализована командная оболочка, поддерживающая отображение необходимой информации и конфигурирование системы [9]. Оболочка состоит из нескольких модулей (.c + .h). При этом модуль

интерпретатора отделен от модуля ввода/вывода. В этом случае, при необходимости, он на стадии компиляции может быть отключен для экономии памяти.

Для интеграции в клиент-серверное пространство было предусмотрено два варианта реализации: стандартный – как в любых терминалах с полными описаниями действий и короткий – для более быстрого обмена информацией и упрощения её обработки на стороне сервера. Разработанная оболочка не занимает много аппаратных ресурсов и легко расширяема путём добавления новых значений в существующие массивы.

Помимо описанных выше возможностей в систему добавлена возможность считывания RFID-меток. Выбор был обусловлен тем, что они обладают достаточно компактным размером и позволяют размещать их в дополнительных функциональных элементах, к примеру, таких как обложка, аптечка или же другие бонусы. В связи с этой необходимостью был разработан автомат, отвечающий за считывание данных с RFID меток. Автомат не останавливает работу основной системы при считывании. Основной проблемой при создании автомата являлась невозможность использования каких-либо сторонних библиотек, сильно влияющих на производительность системы. Поэтому реализация всей работы со считывателем представлена через концепцию конечных автоматов.

Автомат состоит из состояний:

- ожидание начала передачи данных со считывателя – проверяется, не изменилось ли значение на ножке считывателя;
- выдержка паузы между битами;

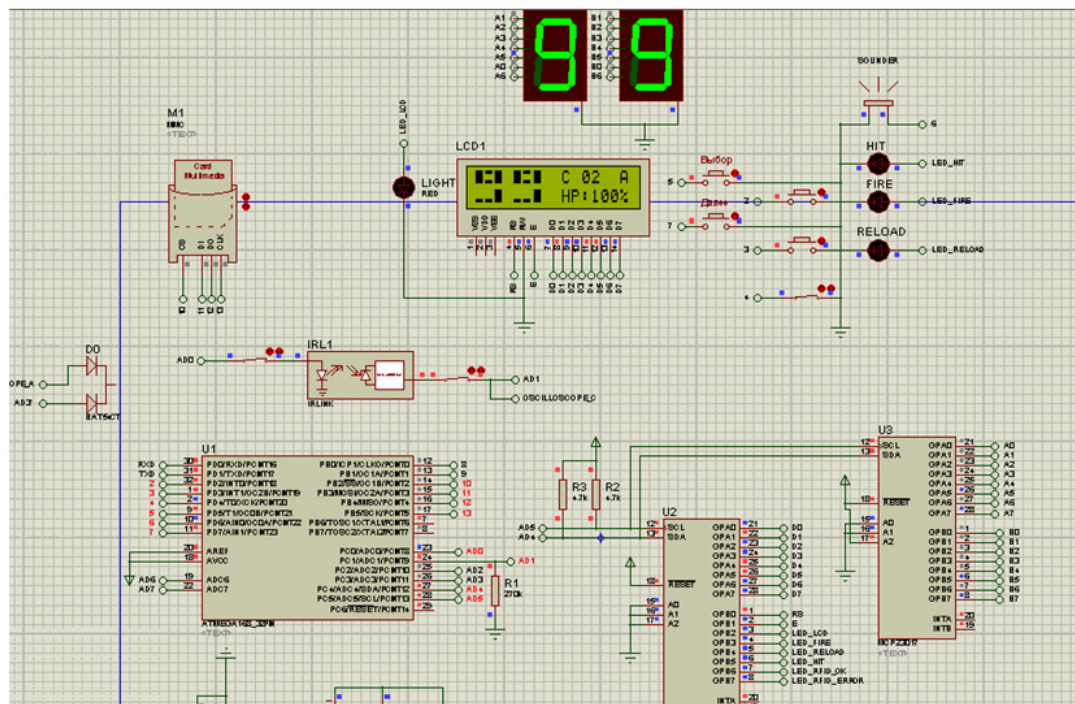


Рисунок 2.8 – Фрагмент собранной схемы

- приём бита данных;
- обработка считанных данных.

Для проверки считанного набора данных в автомате предусмотрена база, представленная в виде массива, состоящего из четырёх полей: два поля идентификатора RFID, тип считываемой метки и поле, характеризующее возможное количество использования этого чипа. После считывания RFID чипа происходит проверка его типа и возможности его использования, в случае соблюдения этих правил происходит вызов функций, отвечающих за его «эффект», например, увеличение количества текущих жизней до максимального значения или обнуление необходимых показателей. Завершающей стадией является уменьшение количества использований метки на единицу. При осуществлении серверной части базу RFID-меток можно переместить на серверную составляющую и посылать на неё запрос при каждом считывании метки.

Таким образом, пользователь осуществляет взаимодействие с устройством передачи информации посредством ИК-излучений через отображение информации на дисплее [10]. Собранный схема симуляции устройства передачи информации посредством ИК-излучений для моделирования работы огнестрельного оружия представлена на рисунке 2.8.

Заключение

Решена задача разработки устройства передачи информации посредством ИК-излучений для моделирования работы огнестрельного оружия с возможностью проведения военно-тактических игр.

Разработка позволяет осуществлять и фиксировать выстрелы с использованием ИК-светодиодов и светочувствительных датчиков. Предусмотрена возможность осуществления тонкой настройки системы и установки необходимых параметров оружия. Конфигурирование системы возможно при использовании терминальной оболочки или непосредственно через ввод данных ее аппаратными средствами.

В предлагаемой системе разработаны автоматы: обработки нажатия клавиш, поведения оружия, передачи информации через параллельный порт, отображения информации на дисплее, поведения игрока и воспроизведения звуков.

Достоинство системы в том, что она может быть адаптирована для любых устройств подобного типа, легко расширяема и достаточно бюджетна для успешного внедрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев, В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере / В.Е. Зуев – М.: ИнтерТраст Лтд., 2007. – 473 с.
2. Поляков, К.Ю. Основы теории цифровых 2006. – 161 с.
3. Предко, М. Руководство по микроконтроллерам: в 2 т. / М. Предко; пер. с англ. под ред. И.И. Шагурина и С.Б. Лужанского. – М.: Постмаркет, 2009. – 1 т. – 416 с.
4. Предко, М. Руководство по микроконтроллерам: в 2 т. / М. Предко; пер. с англ. под ред. И.И. Шагурина и С.Б. Лужанского – М.: Постмаркет, 2009. – 2 т. – 488 с.
5. Шалыто, А.А. Switch-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления / А.А. Шалыто – СПб.: Наука, 2008. – 250 с.
6. Татарчевский, В.А. Некоторые мысли по поводу программирования встроженных систем / В.А. Татарчевский – СПб.: Питер, 2006. – 280 с.
7. Татарчевский, В.А. Применение Switch-технологии при разработке прикладного программного обеспечения для микроконтроллеров. Часть 1 / В.А. Татарчевский // Компоненты и технологии. – 2006. – № 11. – С. 164–168.
8. Татарчевский, В.А. Применение Switch-технологии при разработке прикладного программного обеспечения для микроконтроллеров. Часть 8 / В.А. Татарчевский // Компоненты и технологии. – 2007. – № 8. – С. 170–172.
9. Заец, Н.В. Электронные самоделки для быта, отдыха и здоровья / Н.В. Заец. – М.: СОЛОН-Пресс, 2009. – 423 с.
10. Петушков, А.А. Разработка системы обучения владением стрелковым оружием / А.А. Петушков, М.И. Жадан // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: междун. науч.-исслед. конф.: в 3 ч. Ч. 1. – Самара – Оренбург: СамГУПС, ОриПС, 2017. – С. 291–292.

Поступила в редакцию 05.04.18.