

РЕАЛИЗАЦИЯ ВСТРОЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ГОТОВЫХ КОММЕРЧЕСКИХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Россия, г. Пенза, Пензенский государственный технологический университет

The article discusses the problem of the need to implement such an embedded computing system that would meet all the standards and requirements to ensure the security of the entrance to the premises. The system must have such properties as: speed, energy efficiency, compactness, mobility, protection from water and dust, low cost. For the effective implementation of such a system, it is proposed to use a ready-made commercial hardware and software complex Arduino, due to its prevalence and low price. The main advantage of the complex is a large number of modules, which in turn allows you to implement the required functionality without an excess of technological resources. The structural diagram of the device is of key importance. From the methods of inputting and processing information proposed in the article, the most optimal option was chosen, in which, if necessary, debugging, it is possible to connect an external display. Modern existing solutions are unable to provide an adequate level of security, both in terms of hardware and software, due to the irrational use of technical resources. With all this, they have a high cost. The implementation proposed in the article avoids all the shortcomings that modern existing solutions have by using a meaningful approach to the principle of remote system control.

Введение. В настоящее время у владельцев дачных участков и гаражных кооперативов существует проблема в виде мелких хулиганств и грабежей. Для решения этой проблемы применяются различные охранные устройства. Существующие устройства не способны обеспечить должный функционал, ввиду того, что часто мобильные приложения для их работы более не поддерживаются разработчиками. Также, из-за устаревания аппаратной части, такие решения обладают более высоким уровнем энергопотребления, и меньшей производительностью. В связи с этим существует необходимость в более функциональном и менее дорогом устройстве.

Микропроцессоры окружают человека везде, почти вся современная электронная техника оснащена микропроцессором или микроконтроллером для управления ее работой [1]. Поэтому было рассмотрено два варианта реализации встроенной вычислительной системы на основе микроконтроллера:

- Вариант непосредственного получения информации. Данный вариант подразумевает, что данные, полученные в результате работы ультразвукового передатчика и ультразвукового приемника, обработанные микроконтроллером, передаются непосредственно на дисплей. Такой принцип не предоставляет требуемый уровень технологичности ввиду того, что функционал дисплейного модуля ограничен только выводом информации. Для взаимодействия с вычислительной системой необходимо устройство для ввода информации, таким устройством может являться клавиатура, однако ввиду конструктивных особенностей подключение клавиатуры затруднительно, более того, клавиатура не может создать должный уровень комфорта. Для повышения эффективности работы необходимо такое устройство ввода информации, которое позволило бы удалённо управлять и настраивать систему. Структурная схема показана на рисунке 1.

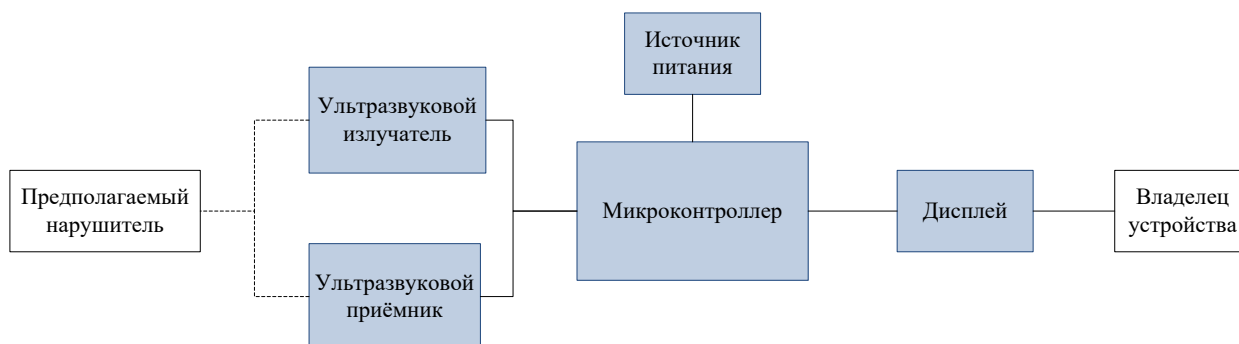


Рисунок 1 – Структурная схема непосредственного получения информации

- Вариант удалённого управления системой. Для решения проблемы с вводом данных в систему была разработана иная структура устройства показанная на рисунке 2. Ввод данных реализуется посредством GSM-модуля, который в свою очередь осуществляет связь с телефоном владельца. В качестве средства отладки используется дисплей, который можно подключать при необходимости отладки или настройки микроконтроллера.

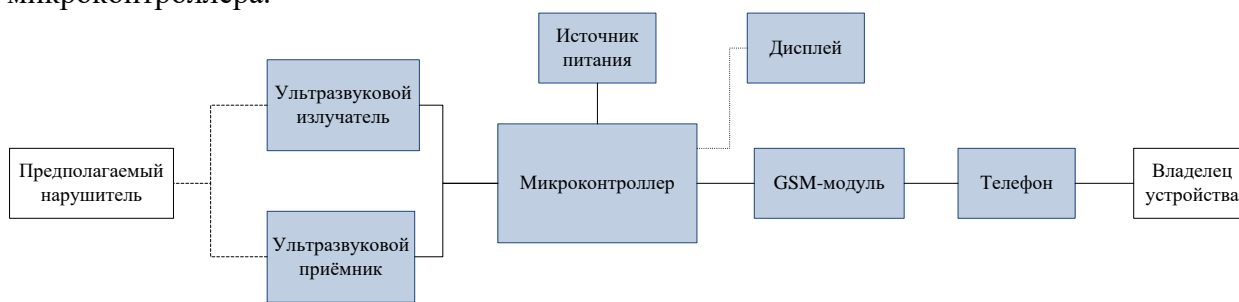


Рисунок 2 – Структурная схема удалённого управления системой

Исходя из сравнения, было принято решение о выборе варианта удалённого управления системой, так как принцип подразумевает полноценное удаленное взаимодействие с встраиваемой вычислительной системой без каких-либо специальных отладочных средств, а при необходимости отладки, возможно подключение дисплея.

Реализуемая встраиваемая вычислительная система представляет собой небольшое автономное устройство с дистанционным управлением по сети сотовой связи с использованием GSM-модуля, способное работать при сложных погодных условиях и слабом уровне сигнала сети. Система позволяет отправлять уведомления в режиме реального времени о состоянии датчика. Устройство устанавливается под козырек гаража или над дверной ручкой в дачном комплексе. Оно способно работать в паре с другими такими же устройствами для защиты не только конкретного входа в помещение, но и других возможных мест проникновения. Подсистема электропитания – это один из самых важных элементов в данном типе устройств. Поэтому была реализована система автономного питания с разным уровнем критической отметки заряда. Система исключает внезапный отказ работы устройства в случае разряда батареи, который обусловлен резким перепадом температур.

Из доступных готовых коммерческих программно-аппаратных средств для реализации вычислительной системы было выбрано Arduino [2], так как это готовое средство сделано на базе известных микроконтроллеров, что упрощает программирование и отладку разрабатываемых устройств. Arduino обладает такими преимуществами, как: низкая стоимость, доступность, собственная среда разработки, большое количество дополнительных модулей для основной платы, удобство в

программировании. Низкая стоимость обусловлена большим количеством модификаций комплекса. Исходя из решаемой задачи, можно выбрать требуемую модификацию, не переплачивая за избыточную функциональность и производительность.

Одно из преимуществ Arduino – это среда разработки Arduino IDE изображенная на рисунке 3, исходный код которой выпускается под общедоступной лицензией GNU. Разработка в данной среде происходит на языке программирования Arduino C с использованием специальных правил структурирования кода. Это позволяет продумать структуру программы более логично. Использование монитора порта Arduino, приспособленного к текстовому выводу и вводу [3] упрощает отладку программ.



```
sketch_apr15a $
int echoPin = 2;
int trigPin = 3;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
}

void loop() {
  int duration, cm;
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  cm = duration / 58;
  Serial.print(cm);
  Serial.println(" cm");
  delay(100);
}
```

Рисунок 3 – Среда разработки Arduino IDE

Аппаратная часть. В качестве интерфейса для связи цифровых устройств и для передачи данных в последовательной форме был использован UART (Universal asynchronous receiver/transmitter) [4].

В ходе разработки были рассмотрены несколько вариантов аппаратных компонентов системы, такие как: системная плата, ультразвуковой приёмник, ультразвуковой передатчик, дисплей.

Системная плата должна обеспечить требуемую высокую производительность, быть компактной, иметь поддержку интерфейса UART. А главное она должна потреблять минимально возможное количество энергии для поддержания работоспособности. Были рассмотрены системные платы из состава программно-аппаратного комплекса Arduino, которые сделаны на архитектуре AVR. Эти микроконтроллеры обеспечивают на порядок более высокую производительность при более низком энергопотреблении [5] по сравнению с архитектурой MCS-51.

1. Arduino nano 3.0 – очень компактная и энергоэффективная системная плата. Однако, её производительности недостаточно, более того, малый размер платы обусловлен малым количеством портов ввода/вывода, что исключает подключение большого количества дополнительных модулей, что является критичным параметром для разрабатываемой системы. Характеристики платы: напряжение питания 5В; входное питание 7-12В; максимальный ток цифрового выхода 40 мА; флэш-память 16 Кб или 32 Кб, в зависимости от чипа; ОЗУ 1 Кб или 2 Кб, в зависимости от чипа; EEPROM 512 байт или 1 Кб; частота 16 МГц; Размеры 19 x 42 мм; вес 7 г.

2. Arduino pro mini – близкий аналог Arduino nano. Их отличие заключается в невозможности использования в pro mini интерфейса UART. Вместо этого в качестве интерфейса для связи с другими компонентами используется проводник FTDI с преобразователем интерфейса или дополнительная плата Sparkfun. Также есть отличия по тактовой частоте, с которой работает интегральная схема, у Arduino pro mini тактовая частота ниже, чем у Arduino nano. Отсутствие нужного интерфейса не позволяет применять Arduino pro mini в реализации. Характеристики платы: рабочее напряжение 3,3 В и 5 В (в зависимости от модели); постоянный ток для входа и выхода 40 мА; суммарный ток выводов – не более 200 мА; 16 Кб флэш памяти, 2 Кб используются для загрузчика; 1 Кб оперативной памяти; 512 байт eeprom; тактовая частота – 8 МГц или 16 МГц в зависимости от модели; I²C интерфейс; размеры платы 18x33 мм.

3. Arduino uno – самая универсальная платформа. Имеет небольшие габариты, достаточную производительность, большое количество интерфейсов, включая нужный для предлагаемого решения интерфейс UART. Большое количество аналоговых и цифровых портов позволяет модифицировать решение дополнительными модулями. Важно отметить, что плата поддерживает шину I²C. Характеристики платы: рабочее напряжение: 5В; напряжение питания (рекомендуемое) 7-12В; максимальный ток одного вывода 40мА; flash-память 32 КБ (ATmega328) из которых 0.5 КБ используются загрузчиком, SRAM 2 КБ (ATmega328); EEPROM 1 КБ (ATmega328); тактовая частота 16МГц.

В результате сравнения было принято решение о выборе Arduino uno в качестве системной платы ввиду того, что она отвечает всем нужным требованиям для реализации. Важным моментом является то, что Arduino uno поддерживает шину I²C. Это позволяет подключать дисплей для отладки, задействовав минимальное количество портов ввода/вывода.

Средства обнаружения можно разделить на две группы по принципу действия активные и пассивные [6]. В текущей реализации используется активный принцип обнаружения на основе ультразвукового излучения, так как существуют готовые модули ультразвукового передатчика и приемника. После проведенного анализа были сделаны выводы, что ультразвуковой излучатель и ультразвуковой приемник в предлагаемом решении должны обладать такими качествами как: устойчивость к внешним воздействиям, большой радиус обзора и большой радиус измерения (чтобы не включать в реализацию сервопривод), малым энергопотреблением, небольшими размерами. Были рассмотрены следующие варианты:

1. Ультразвуковой модуль HC-SR04. Приёмник и передатчик на данном модуле расположены на одной печатной плате, что обеспечивает удобство в монтаже. Нужные аналоговые и цифровые порты позволяют произвести тесную интеграцию с основной платой. Характеристики звукового излучателя: напряжение питания: 5В; потребление: <2 мА; обзорный угол: 15°; измерительный уровень: 30°; диапазон измерения: 2-450см; частота: 40кГц. Датчик оснащен четырьмя выводами (стандарт 2, 54 мм); контакт питания положительного типа – +5В; Trig (T) – выход сигнала входа; Echo (R) – вывод сигнала выхода; GND – вывод «Земля».

2. Ультразвуковой модуль JSN-SR04T. Основное преимущество модуля – это компактность за счет более технологичной реализации ультразвукового передатчика и приемника, которые объединены в один датчик. Благодаря такой реализации приёмника и передатчика корпус датчика обладает герметичной конструкцией, что обеспечивает влагозащиту. Характеристики звукового излучателя: Рабочее напряжение: 5В; потребляемый рабочий ток: 30мА; потребляемый ток в покое: менее

1мА; дальность измерения: 25см - 450см; точность измерения: 0.5см; акустическая частота: 40кГц; угол измерения: 50°.

Для реализации необходим компактный и устойчивый к внешним воздействиям ультразвуковой модуль, поэтому был выбран ультразвуковой модуль JSN-SR04T.

Средством передачи информации может служить как дисплей, так и GSM – модуль.

Для вывода информации на дисплей, необходимо наличие у основной платы разъема I²C, а для подключения GSM – модуля требуется поддержка интерфейса UART. Рассмотрим наиболее эффективные модули для передачи информации.

1. ЖК дисплей Arduino LCD 1602. Дисплей для вывода строк символов. Есть различные варианты с несколькими цветами подсветки. Главным недостатком экрана является большое количество цифровых выводов, поэтому для использования этого дисплея необходим интерфейс I²C. Из преимуществ стоит отметить небольшую стоимость.

2. Цветной TFT ЖК-модуль ST7735. Преимущества дисплея в его цветопередачи. Модуль отображает 65 тысяч цветов в формате RGB. Однако, энергопотребление модуля очень велико, что влечёт за собой быстрый разряд батареи. Дисплей поддерживает карты стандарта micro sd. Чтобы вывести картинку на дисплей необходимо предварительно загрузить её на карту micro sd.

3. OLED-дисплей SSD1306. Аналог ST7735. Отличия заключаются в принципе работы матрицы дисплея. В OLED-матрице каждый пиксель имеет свою подсветку, то есть при отображении чёрного цвета на матрице, светодиод отключается. Такая технология позволяет экономить электроэнергию. Но дисплеи такого типа при длительном показе одного изображения подвержены выгоранию

Для реализуемой встроенной вычислительной системы был выбран ЖК дисплей Arduino LCD 1602. TFT и OLED дисплеи обладают избыточными техническими характеристиками.

В качестве GSM-модуля будет использоваться SIM800L. Модуль имеет формат карты microSIM. Рабочий диапазон: EGSM900, DCS1800, GSM850, PCS1900. Мощность передачи DCS1800, PCS1900: 1 Вт; GSM850, EGSM900: 2 Вт. В основе модуля лежит чип SIM800L от SimCom. Рабочее напряжение чипа составляет от 3.4 В до 4.4 В, что делает его идеальным, для прямого питания от литиевой батареи. Габариты: 25 мм x 24 мм x 4 мм

Принцип действия: Ультразвуковой излучатель формирует акустический сигнал, который отражается от ближайшей поверхности или от предполагаемого нарушителя и возвращается обратно в ультразвуковой приёмник. Время, которое потребовалось на преодоления расстояния, фиксируется с помощью микроконтроллера.

- Для инициализации отправки сигнала дальномером, подаётся высокий сигнал длительностью 10 μ s на контакт *Trig*.
- После получения высокого сигнала длительностью 10 μ s на контакт *Trig*, модуль генерирует сигнал из восьми импульсов частотой 40 кГц и устанавливает высокий уровень на контакт *Echo*.
- После получения отраженного сигнала модуль устанавливает на контакт *Echo* низкий уровень.

Зная продолжительность высокого сигнала на контакте *Echo*, можем вычислить расстояние, умножив время, которое потратил ультразвуковой импульс, прежде чем вернулся к модулю, на скорость распространения звука в воздухе (340 м/с).

Для вычисления расстояния нужно перевести скорость из м/с в см/мкс:

$$distance = duration * 340 \text{ м/с} = duration * 0.034 \text{ м/мкс}$$

Преобразуем десятичную дробь в обыкновенную:

$$distance = duration * 1/29 = duration / 29$$

Принимая во внимание то, что звук преодолел расстояние до объекта и обратно, поделим полученный результат на 2:

$$distance = duration / 58$$

При установке датчика расстояние до пола фиксируется. При любом отклонении расстояния от установленной нормы, на телефон владельца посылается тревожное SMS – уведомление. Для того, чтобы ложные срабатывания датчика отсутствовали, допускается установка погрешности на усмотрение (25-30см).

Ультразвуковой датчик способен измерять расстояние с достаточной точностью для того, чтобы предположить тип объекта, это может быть взрослый, ребёнок, животное. Поэтому владельцу передаётся следующая информация: частота срабатывания датчика, его отклонение от начального значения и время, которое провёл предполагаемый объект в зоне работы датчика.

Заключение. В результате проведённых сравнений была реализована встроенная вычислительная система на базе Arduino uno и удалённым управлением. В качестве модулей был выбран ультразвуковой модуль JSN-SR04T, а в качестве GSM-модуля используется SIM800L. В качестве дополнительного модуля ЖК дисплей Arduino LCD 1602. Программирование микроконтроллера осуществляется в среде разработки Arduino IDE.

Встроенная вычислительная система обладает всеми необходимыми качествами для данного типа устройства, чтобы обеспечить конечного потребителя самыми передовыми технологиями для защиты своего имущества.

1. Карасёв А.А., Данилов Е.А. Обзор истории развития микропроцессоров на примере микропроцессоров Intel // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 3-2. – С. 290-292.

2. Arduino [Электронный ресурс]:<https://www.arduino.cc/>

3. Ревич Ю.В. Программирование микроконтроллеров AVR: от Arduino к ассемблеру. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 448 с.

4. Раздобудов С.А., Мартышкин А.И., Данилов Е.А. Программная реализация универсального асинхронного приемопередатчика для встраиваемых вычислительных систем на базе микроконтроллера малой разрядности // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего Т. 10. – Пенза, 2021. – С. 89 – 93

5. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры? Это же просто! Т.2. – М.: ООО «ИД СКИМЕН», 2002. – 392 с.

6. Данилов Е.А. Обнаружение нарушителя в некогерентном амплитудно-модулированном электрическом свете видимого спектра // Современные охранные технологии средства обеспечения комплексной безопасности объектов: Материалы Двенадцатой Всероссийской научно – технической конференции (Россия, Пенза – Заречный, 3-5 октября 2018 г.). – Пенза : Изд-во ООО «Типография «Абрис», 2018. – С. 210-213.