



*А.М. Водовозов, В.И. Громов, С.А. Плеханов*  
 Вологодский государственный университет

## СИСТЕМА УДАЛЕННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ AVR-МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

В работе решается вопрос удаленного редактирования программ микроконтроллера с AVR-архитектурой. Предложено оригинальное решение в виде программно-аппаратного комплекса, состоящего из микроконтроллера семейства AVR и беспроводного GSM-модуля связи. Описаны алгоритмы работы программ, позволяющие гибко создавать и редактировать программы для микроконтроллера, передавая сравнительно небольшой объем информации посредством беспроводного канала связи.

Микроконтроллер, самопрограммирование, флеш-память, удаленный доступ.

Семейство 8-битных микроконтроллеров AVR производства компании Atmel благодаря своей доступности и низкой стоимости широко применяется в настоящее время при решении самых различных задач управления в технических системах [1]. Наличие большого количества свободно распространяемых программных сред разработки и отладки программ для рассматриваемых микроконтроллеров обеспечивает разработчикам эффективное решение задач проектирования современных высокотехнологичных изделий. Однако производитель микроконтроллеров этого семейства не предлагает пользователям своих технологий удаленного программирования, редактирования и отладки программ микроконтроллеров, что зачастую вызывает определенные трудности при внедрении и эксплуатации спроектированных систем.

Программирование микроконтроллеров включает в себя несколько этапов, одним из которых является запись управляющего кода в память микросхемы. Большинство используемых на практике способов программирования требует подключения к микроконтроллеру программатора – специального устройства для записи данных в EEPROM и Флеш-память микроконтроллера [2]. Если физический доступ к микроконтроллеру затруднен конструктивными особенностями устройства, то замена управляющего кода в такой микросхеме является большой проблемой.

Особенностью микроконтроллеров семейства AVR является поддержка режима самопрограммирования (self-programming) [3], который позволяет изменять прошивку микросхемы под управлением пользовательской программы в секции памяти boot. Использование этого режима открывает возможность реализации удаленного программирования микроконтроллера. В секции памяти boot микроконтроллера предлагается разместить программу (рис. 1), которая будет менять прошивку микросхемы на основе данных, прочитанных из внешней флеш-памяти.

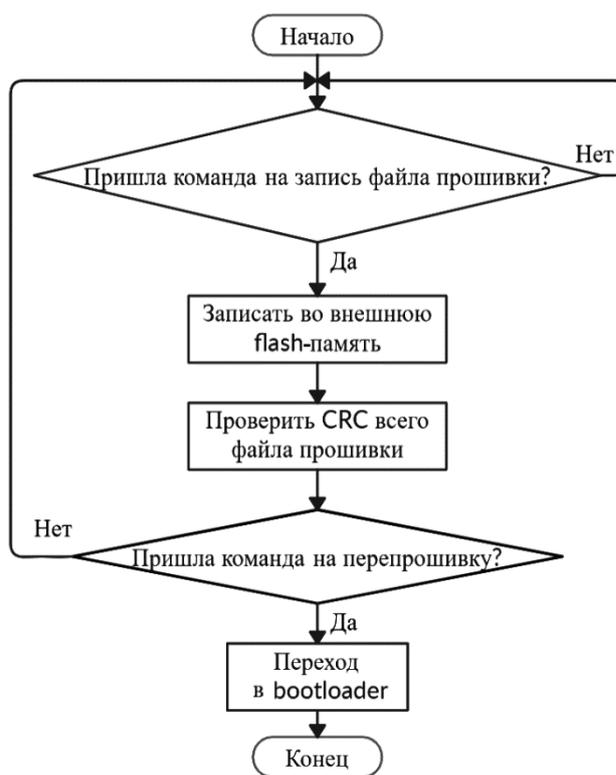


Рис. 1. Алгоритм работы программы в секции памяти application

В свою очередь, во внешнюю флеш-память предварительно с помощью программы, размещенной в секции памяти application, можно загрузить по беспроводной связи информацию с новой прошивкой. После загрузки информации с новой прошивкой во внешнюю флеш-память, возможна запись в энергонезависимую память EEPROM информации о необходимости замены прошивки микроконтроллера при получении соответствующей команды по каналу беспроводной связи. В результате происходит переход в секцию памяти boot, проверяется EEPROM память и,

при необходимости замены прошивки, эта замена производится (рис. 2).

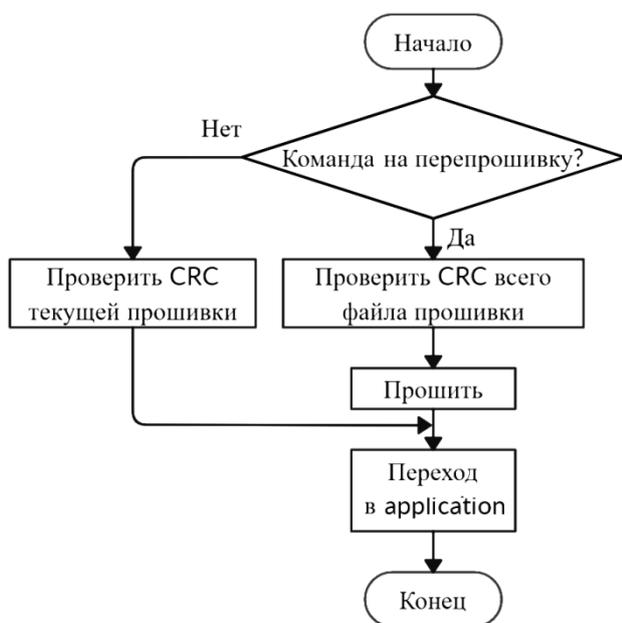


Рис. 2. Алгоритм работы программы в секции памяти boot

В качестве технологии беспроводной связи создаваемой системы выбрана технология GSM/GPRS, обеспечивающая:

- беспроводную связь в пределах зон действия вышек сотовой связи [4];
- достаточно быструю передачу информации со скоростью 57600 бит/с;
- проверку контрольной суммы CRC-16 CCITT-FALSE, обеспечивающую целостность передачи информации [5];

Для проверки функционирования разработанной системы выбраны:

- микроконтроллер AVR ATxmega128A4U;
- модем беспроводной связи GSM/GPRSSIM800L;
- микросхема внешней памяти EEPROMM24M01.

Функциональная схема системы представлена на рис. 3.

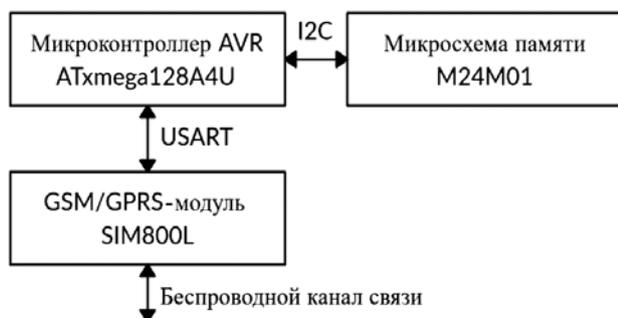


Рис. 3. Функциональная схема прототипа системы

Беспроводная связь между микроконтроллером и ЭВМ может быть обеспечена с помощью использования любой технологии беспроводной связи в зависи-

мости от условий эксплуатации, так как для микроконтроллера прием и передача данных по беспроводной связи сводится к чтению и записи данных через интерфейс USART.

Микроконтроллер AVR ATxmega128A4U и микросхема памяти M24M01 [6] соединены посредством интерфейса I2C.

Алгоритм работы управляющего кода микроконтроллера состоит из 3 этапов:

- 1) обработка команд, поступающих через последовательный порт;
- 2) инициализация массивов данных на основе переданной информации;
- 3) цикл обработки инициализированных массивов.

Программа представляет собой бесконечный цикл, в начале каждой итерации которого происходит проверка буфера последовательного порта. Если в буфер поступила новая информация, вызывается функция обработки его содержимого.

Если содержимое буфера представляет собой команду, например, 1|bin|000080|10|619F|123456789 ABCDEF, то вызывается функция обработки этой команды.

Для приема данных по последовательному порту разработана команда, имеющая формат, представленный в таблице.

Таблица

**Формат команды для приема данных по последовательному порту**

Команда	1 bin addr len crc data
1 bin	Наименование команды
addr	Адрес, начиная с которого полученная информация будет записана в память (6 байт)
len	Длина передаваемой информации (2 байта)
crc	Контрольная сумма (4 байта)
data	Передаваемые данные (максимум 256 байт)

Алгоритм функции обработки команды приема данных по последовательному порту предполагает:

- сохранение адреса, длины, контрольной суммы и полученных данных в локальных переменных функции;
- расчет контрольной суммы полученной информации;
- сравнение полученной контрольной суммы с вычисленной контрольной суммой;
- запись полученной информации в память, начиная с указанного адреса при совпадении контрольных сумм;
- расчет контрольной суммы записанной в память информации;
- сравнение последней контрольной суммы с переданной контрольной суммой;
- запись в последовательный порт ответа об успешной передаче данных при совпадении контрольных сумм или запись в последовательный порт ответа о неуспешной передаче данных.

Еще одной командой, используемой для редактирования программы микроконтроллера, является команда для записи принятых по последовательному порту данных в энергонезависимую память. Формат этой команды состоит только из ее наименования: |prog.

Алгоритм функции обработки этой команды обеспечивает:

- сохранение длины всей переданной информации;
- цикл записи данных в энергонезависимую память;
- запись в последовательный порт ответа об успешной записи данных в энергонезависимую память;
- установка глобального флага разрешения редактирования программы.

Следующим этапом алгоритма работы управляющего кода является инициализация массивов данных, на основе полученной по последовательному порту информации, сохраненной в энергонезависимой памяти. Инициализация происходит только если установлен глобальный флаг разрешения редактирования программы. После инициализации массивов данных происходит сброс глобального флага разрешения редактирования программы.

Разработанная система удаленного программирования обеспечивает возможность бесконтактного (беспроводного) редактирования управляющей программы микроконтроллера не прерывающего ее исполнение, сохранение программы в памяти при отключении питания и гарантирует целостность передачи информации в процессе программирования.

Использование разработанной системы позволяет удаленно изменять логику функционирования управляющего кода микроконтроллера, что особенно важно, если эксплуатируемые системы контроля и управления на микроконтроллере физически удалены от места постоянного пребывания специалистов, обеспечивающих их техническую поддержку.

### Литература

1. Водовозов, А. М. Элементы систем автоматики: учебное пособие. Москва: Издательский центр «Академия», 2006. – 224с.

2. Водовозов, А. М. Микроконтроллеры для систем автоматики: учебное пособие / А. М. Водовозов. – Вологда : ВоГУ, 2015. – 224 с.

3. 1-Mbit serial I2C bus EEPROM. – Text : Electronic. – URL: <http://www.farnell.com/datasheets/2581772.pdf> (дата обращения: 05.06.2020).

4. Беделл, П. Сети. Беспроводные технологии / П. Беделл ; перевод с английского Р. М. Евтеев. – Москва : НТПресс, 2008. – 441 с.

5. 8-bit Atmel XMEGA AU Microcontroller Manual. – Text : Electronic. – URL: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8331-8-and-16-bit-AVR-Microcontroller-XMEGA-AU\\_Manual.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8331-8-and-16-bit-AVR-Microcontroller-XMEGA-AU_Manual.pdf) (дата обращения: 05.06.2020).

6. Белов, А. В. Микроконтроллеры AVR: от азов программирования до создания практических устройств : монография / А. В. Белов. – Санкт-Петербург : Наука и техника, 2016. – 544 с.

*A.M. Vodovozov, V.I. Gromov, S.A. Plekhanov  
Vologda State University*

### REMOTE PROGRAMMING SYSTEM FOR AVR MICROCONTROLLERS

The paper presents the remote programming system for AVR microcontrollers. An original solution in the form of a hardware-software complex consisting of a microcontroller with AVR architecture and a GSM wireless communication module was proposed. Algorithms for the operation of the programs have been described. These programs provide the ability to create and edit programs for the microcontroller flexibly by transmitting a relatively small amount of information through a wireless communication channel.

Microcontroller, autoprogramming, flash-memory, remote access.