электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Микроконтроллерная система удаленного доступа через сеть Интернет

 # 07, июль 2015

Кожушко В. В.[1,*], Хартов В. Я.[1]

УДК: 004.9

[1]Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
[*]bagrusss@gmail.com

Введение

Задачи удаленного управления объектами, а также организация обмена информацией между устройствами являются перспективной областью новых разработок, развивающих концепцию Интернета вещей. Цифровые и аналоговые технические устройства могут объединяться в специализированные системы и строить между собой отношения, управлять промышленными объектами и приборами. Интернет вещей подразумевает тесное взаимодействие электронных компонентов и микроконтроллеров не только между собой, но и людей с техническими объектами.

Применение микроконтроллеров с возможностью обмена информацией через проводные и беспроводные сети открывает широкие возможности (рис. 1):



Рис. 1. Схема взаимодействия устройств

- удаленное управление и контроль промышленного оборудования,
- снижение стоимости управляющих устройств,
- реализация разнообразных систем управления («умный» дом и т.п.),

- организация охранных систем,
- удаленное считывание информации с контрольно-измерительных приборов,
- обмен данными между МК и мобильными устройствами, персональными компьютерами.

1. Постановка задачи и анализ подходов к решению задачи

Поиск эффективного решения, позволяющего осуществить обмен данными между персональным компьютером, мобильными устройствами и микроконтроллером через интерфейс Ethernet приводит к выбору одного из путей:

1) программная реализация протокола Ethernet,
2) применение МК со встроенной поддержкой Ethernet,
3) использования внешнего модуля с Ethernet-контроллером.

Программная реализация требует аппаратные средства для преобразования электрических сигналов, значительных затрат вычислительных ресурсов и существенно осложняет процесс разработки и отладки. Использование МК с аппаратной поддержкой Ethernet позволяет упростить и существенно ускорить разработку конечной микропроцессорной системы. Однако микроконтроллеры, поддерживающие Ethernet, имеют стоимость значительно более высокую, чем МК со схожими характеристиками без аппаратной поддержки Ethernet. Использование внешнего модуля позволяет сократить конечную стоимость микропроцессорной системы, а также воспользоваться преимуществами, которые дает аппаратная поддержка Ethernet.

Широкое распространение получили SPI-Ethernet контроллеры, при этом интерфейс SPI характеризуют:

- высокая скорость обмена информацией,
- синхронная передача и прием данных,
- возможность отключения приема от ведомого устройства.

Один из таких прототипов - контроллер ENC28J60 (рис. 2). Модуль ENC28J60 имеет следующие основные характеристики [2]:

- напряжение питания — 3,3 В,
- потребляемый ток — до 120 мА,
- рабочая частота — 25 МГц,
- скорость передачи данных — до 10 Мбит/с,
- кольцевой буфер — 8 Кбайт,
- рабочая частота SPI — до 20 МГц.



Рис. 2. Модуль ENC28J60

2. Описание модуля ENC28J60

Модуль ENC28J60 имеет автономный Ethernet контроллер, который предоставляет возможность работы в локальных и глобальных сетях любому МК, имеющему в своем составе интерфейс SPI, и соответствует стандарту IEEE 802.3i [2,3]. Его особенностью является возможность организации фильтров для принимаемых пакетов, что позволяет освободить ведущий контроллер от лишних вычислений. Функциональная схема Ethernet контроллера представлена на рис. 3.

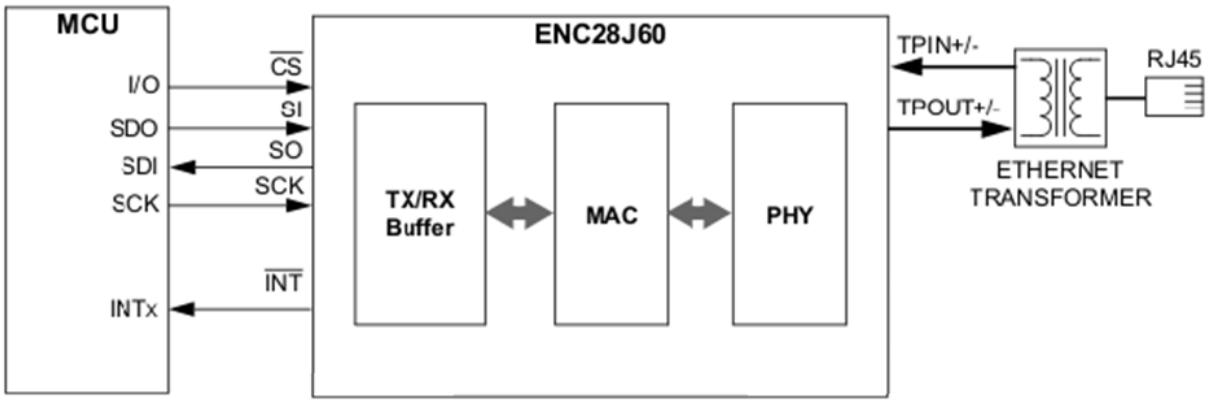


Рис. 3. Функциональная схема микроконтроллера ENC28J60

ENC28J60 контроллер состоит из:

- управляющих регистров, предназначенных для управления и контроля состояния;
- шинного интерфейса, передающего данные и команды, поступающие по SPI;
- кольцевого буфера размером 8 КБ, хранящего принятые и готовые к отправке пакеты;
- схемы арбитража, которая управляет доступом к буферу;

- модуля управления канальным уровнем (Media Access Control), который обеспечивает в соответствии со стандартом логику. MAC контроллер обеспечивает автоматическое создание Ethernet кадров с указанным MAC-адресом и межкадровыми разделителями;
- модуля управления физическим уровнем PHY, который расшифровывает и зашифровывает аналоговые сигналы, присутствующие на интерфейсе витой пары;
- дополнительных устройств — осциллятора, регулятора напряжения, преобразователя уровней напряжения, управляющей логики.

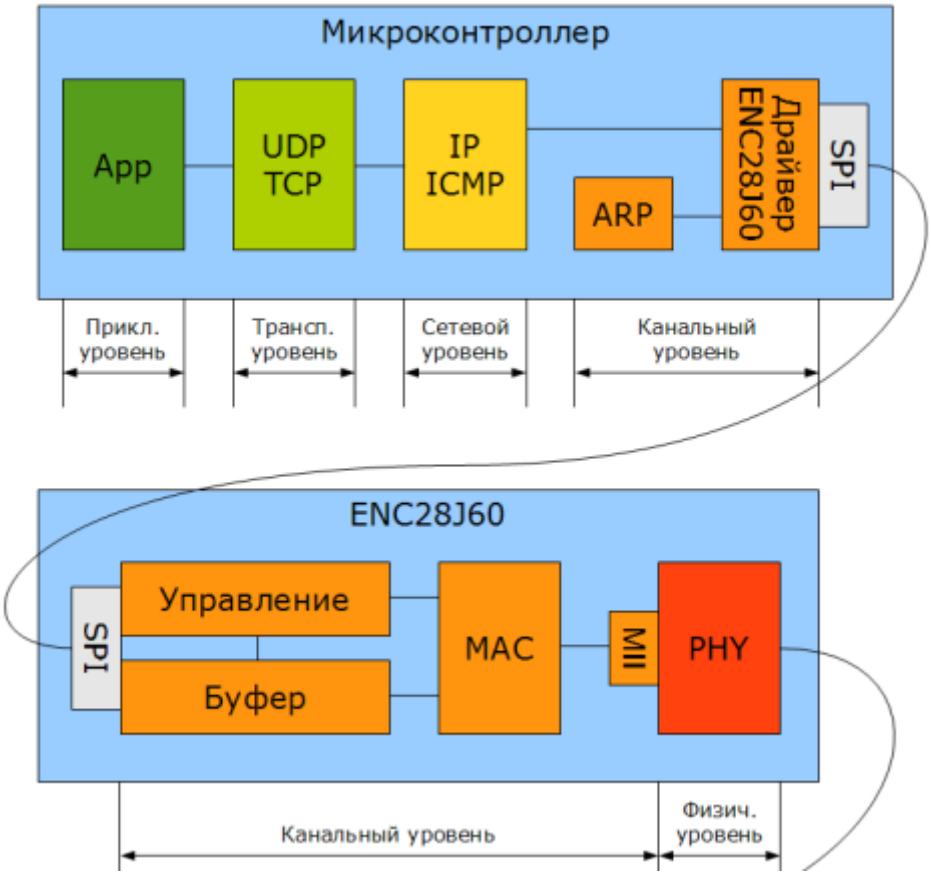


Рис. 4. Структурная схема микропроцессорной системы

Модуль ENC28J60 имеет аппаратную реализация физического (PHY) и канального уровней (MAC) сетевой модели OSI (рис. 4). Остальные уровни необходимо реализовывать программно. Кольцевой буфер содержит принимаемые и передаваемые данные и имеет единое пространство. Для работы с этой частью памяти используются регистры указатели на область принимаемых и отправляемых пакетов.

Реализация памяти контроллера ENC28J60 выполнена в виде статичной SRAM памяти. Память содержит [2]:

1) кольцевой Ethernet буфер размером 8 КБ,
2) регистры PHY,
3) регистры управления.

	Банк 0	Банк 1	Банк 2	Банк 3
0x00	ERDPTL	EHT0	MACON1	MAADR1
0x01	ERDPTH	EHT1	MACON2	MAADR0
0x02	EWRPTL	EHT2	MACON3	MAADR3
0x03	EWRPTH	EHT3	MACON4	MAADR2
0x04	ETXSTL	EHT4	MABBIPG	MAADR5
0x05	ETXSTH	EHT5	—	MAADR4
0x06	ETXNDL	EHT6	MAIPGL	EBSTSD
0x07	ETXNDH	EHT7	MAIPGH	EBSTCON
0x08	ERXSTL	EPMM0	MACLCON1	EBSTCSL
0x09	ERXSTH	EPMM1	MACLCON2	EBSTCSH
0x0A	ERXNDL	EPMM2	MAMXFLL	MISTAT
0x0B	ERXNDH	EPMM3	MAMXFLH	—
0x0C	ERXRDPTL	EPMM4	Reserved	—
0x0D	ERXRDPTH	EPMM5	MAPHSUP	—
0x0E	ERXWRPTL	EPMM6	Reserved	—
0x0F	ERXWRPTH	EPMM7	—	—
0x10	EDMASTL	EPMCSL	Reserved	—
0x11	EDMASTH	EPMCSH	MICON	—
0x12	EDMANDL	—	MICMD	EREVID
0x13	EDMANDH	—	—	—
0x14	EDMADSTL	EPMOL	MIREGADR	—
0x15	EDMADSTH	EPMOH	Reserved	ECOCON
0x16	EDMACSL	EWOLIE	MIWRL	Reserved
0x17	EDMACSH	EWOLIR	MIWRH	EFLOCON
0x18	—	ERXFCON	MIRDL	EPAUSL
0x19	—	EPKTCNT	MIRDH	EPAUSH
0x1A	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
0x1B	EIE	EIE	EIE	EIE
0x1C	EIR	EIR	EIR	EIR
0x1D	ESTAT	ESTAT	ESTAT	ESTAT
0x1E	ECON2	ECON2	ECON2	ECON2
0x1F	ECON1	ECON1	ECON1	ECON1

Рис. 5. Регистры контроллера ENC28J60

На рис. 5 представлена карта памяти регистров, которые предназначены для управления, настройки и просмотра состояния контроллера. Регистры управления доступны для чтения и записи.

Регистры PHY предназначены для настройки и управления физическим уровнем. Они недоступны напрямую через команды, передаваемые по SPI, и могут быть прочитаны или записаны через Media Independent Interface Management (MIIM), реализованный с помощью MAC.

3. Обмен данными с модулем ENC28J60

Для организации управления Ethernet контроллер подключается как ведомый и считывает данные по фронту синхросигнала. Передача происходит, начиная со старших бит. Активируется модуль установкой разрешающего сигнала уровня логического 0, который должен поддерживаться во время обмена информацией между ведущим и ведомым МК. Перечень команд, используемых для управления ENC28J60, представлен в таблице 1.

Таблица 1. Команды управления модулем ENC28J60

Имя команды	**Байт 0**		**Байт 1**
	Код операции	*Аргумент*	*Данные*
Read Control Register	000	aaaaa	отсутствуют
Read Buffer Memory	001	11010	отсутствуют
Write Control Register	010	aaaaa	dddddddd
Write Buffer Memory	011	11010	dddddddd
Bit Field Set	100	aaaaa	dddddddd
Bit Field Clear	101	aaaaa	dddddddd
System Reset Command	111	11111	отсутствуют

Пример временной диаграммы для записи регистра управления представлен на рис. 6.

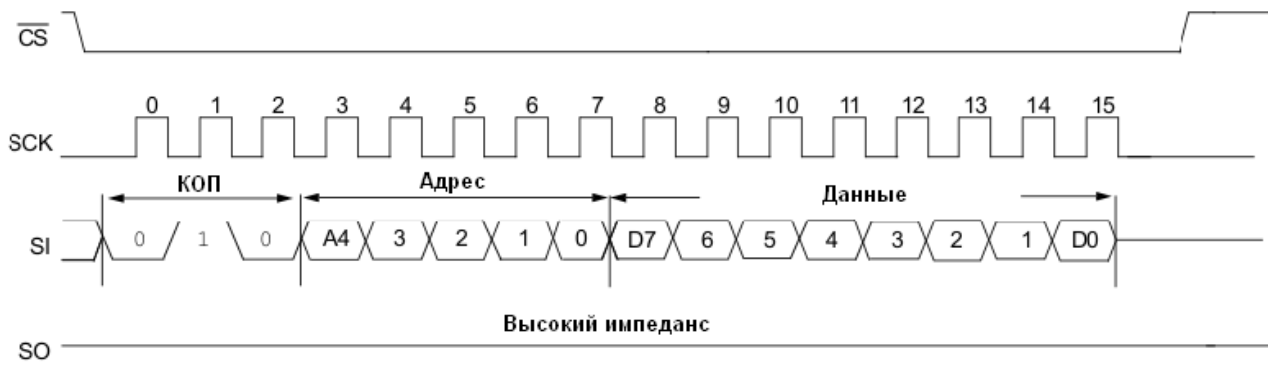


Рис. 6. Временная диаграмма для команды записи регистра управления

4. Основные возможности ENC28J60

Для работы с модулем ENC28J60 разработаны библиотеки, позволяющие использовать микроконтроллер в качестве сетевого устройства и работать с протоколами уровней сетевой модели OSI (рис. 7). Перечислим их возможности [5]:

- протоколы: ARP, IP, ICMP, DHCP, SNMP, SMTP, HTTP, FTP, TFTP
- поддержка TCP и UDP
- поддержка SSL
- поддержка NetBIOS
- поддержка DNS

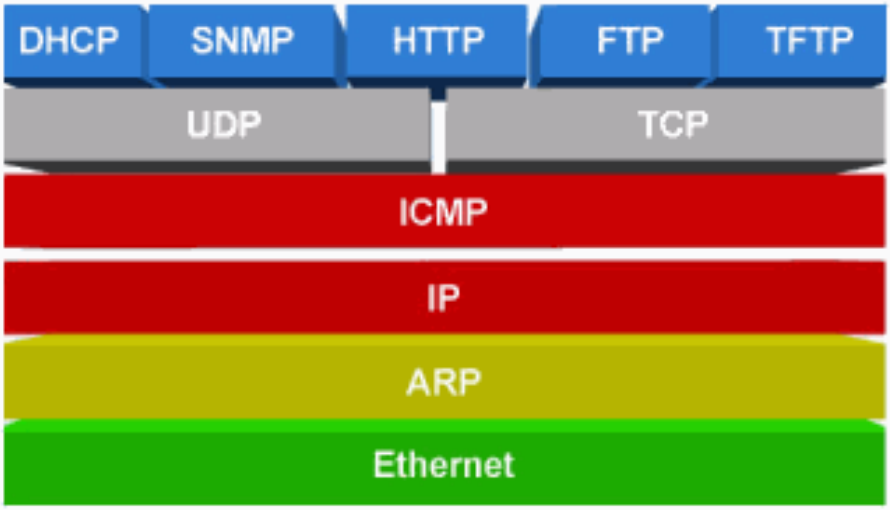


Рис. 7. Стек поддерживаемых протоколов

5. Работа с МК AT91SAM7S256

На рис. 8 представлен проект, в котором микроконтроллер AT91SAM7S256 выступает в роли UDP-сервера и на полученные команды изменяет состояние порта ввода-вывода. Отправка пакетов осуществляется с помощью программы PacketSender для ОС Windows.

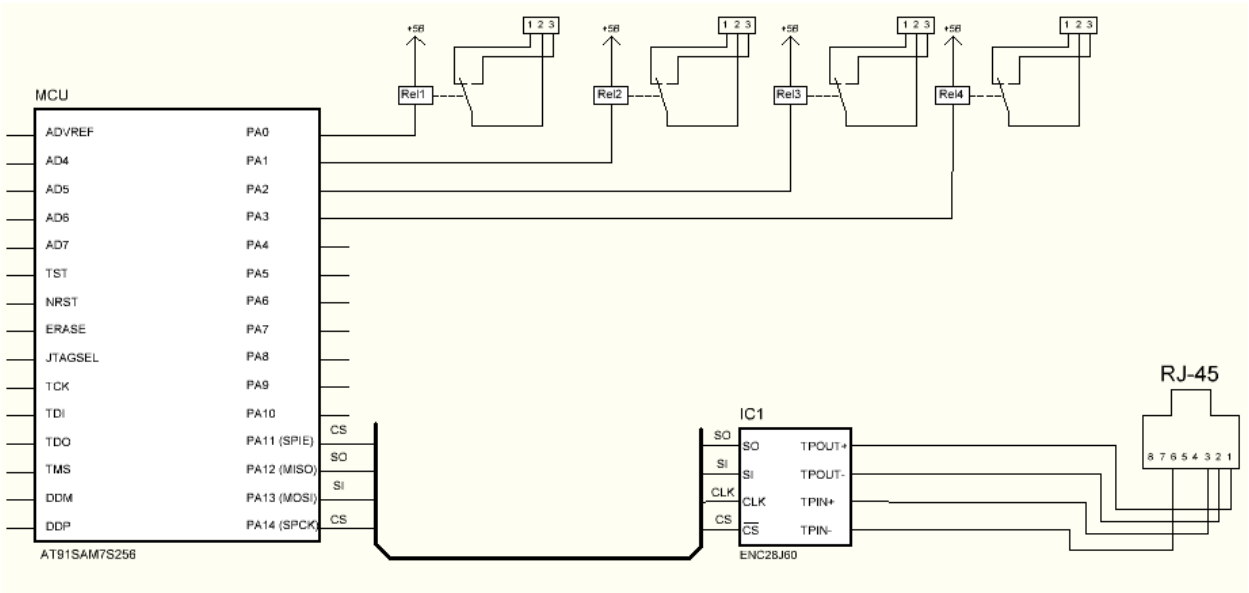


Рис. 8. Электрическая функциональная схема микроконтроллерной системы

Для МК ATMega128 имеется библиотека, которая позволяет использовать UDP протокол для сетевого обмена данными между устройствами [7]. Для реализации взаимодействия МК AT91SAM7S256 с Ethernet контроллером необходимо использование SPI. Программная реализация протокола представлена в листинге 1.

Листинг 1. Программная реализация SPI

```
extern void initSPI(void){
    AT91F_PIO_CfgOutput (AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA14); //CLK
    AT91F_PIO_CfgOutput (AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA13); //MOSI
    AT91F_PIO_CfgInput (AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA12);  //MISO
    AT91F_PIO_CfgOutput (AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA11); //EN
}
extern void SETMOSI(){
  AT91F_PIO_SetOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA13);
}
extern void CLRMOSI(){
  AT91F_PIO_ClearOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA13);
}
extern void SETCLK(){
  AT91F_PIO_SetOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA14);
}
extern void CLRCLK(){
  AT91F_PIO_ClearOutput(AT91C_BASE_PIOA, AT91C_PIO_PA14);
}
extern unsigned char READMISO(){
 volatile AT91PS_PIO pPIO = AT91C_BASE_PIOA;
 return  ((pPIO->PIO_PDSR & AT91C_PIO_PA12) > 0)? 1 : 0;
}
void del(U32I n){
 U32I i;
 for (i=0; i<n; i++)
       __asm("nop");
};

uint8_t enc28j60_rxtx(uint8_t byte){
 uint8_t bit;
    for (bit = 0; bit < 8; bit++){
        if (byte & 0x80)
            SETMOSI();
        else
            CLRMOSI();
        byte <<= 1;
        del(0x2);                // задержка половина периода
        SETCLK();
        del(0x2);                // задержка половина периода
        byte |= READMISO();//чтение данных с ведомого устройства
        CLRCLK();
    }
    return byte;
}
```

В листинге 2 представлена функция для обработки принятых пакетов.

Листинг 2. Функция обработки принятых пакетов

```
void udp_packet(eth_frame_t *frame, uint16_t len){
 volatile AT91PS_PIO pPIO=AT91C_BASE_PIOA;
 ip_packet_t *ip = (void*)(frame->data);
      udp_packet_t *udp = (void*)(ip->data);
 uint8_t  *data = udp->data;     uint32_t dev_num,addr;
 switch (*data){
 case 'a':
       if (!mode_auto){
             if (!(data[1]-'a'))
                   Relay_TURN_ON(pPIO,RELAY_MASK);
             else Relay_TURN_ON(pPIO,1<<((data[1])-'0'-1));
             data+=2;     len=sizeof(turned_ON)+2;
             memcpy(data,turned_ON,len);     len--;
       }
       break;
 case 'd':
       if (!mode_auto){
             if (!(data[1]-'a'))
                   Relay_TURN_OFF(pPIO,RELAY_MASK);
             else  Relay_TURN_OFF(pPIO,1<<((data[1])-'0'-1));
             len=sizeof(turned_OFF)+2; data+=2;
             memcpy(data,turned_OFF,len);          len--;
       }
       break;
 default:
       len=sizeof(incorect_command);
       memcpy(data,incorect_command,len);     len--;
 }
 udp_reply(frame, len);
}
```

Для работы с модулем ENC28J60 его необходимо инициализировать и в основном цикле программы вызвать функцию, которая проверяет наличие новых пакетов в буфере Ethernet контроллера.

Листинг 3. Главная функция

```
int main(){
       lan_init();        //инициализация ENC28J60
       for(;;){           //бесконечный цикл
             lan_poll();  //проверка пришедших пакетов
       }
}
```

Для отладки проекта использовалась среда Keil uVision 4.72, предназначенная для проектирования микроконтроллеров с архитектурой ARM, которая имеет поддержку семейства микроконтроллеров AT91SAM7. Среда предоставляет удобные средства для отладки по интерфейсу JTAG. Для тестирования проекта использовалась отладочная плата SAM7-P256 фирмы Olimex. Программирования и отладка проводились с помощью отладчика ULINK2 фирмы RealView. Обмен данными с разработанным прототипом осуществлялся с помощью программы PacketSender.

Перечислим преимущества и недостатки использования ENC28J60. Для модуля существует несколько готовых библиотек. Его использование характеризуют низкие затраты и короткий срок проектирования.

Следует отметить, что разработанные библиотеки практически универсальны, их программный код можно применять для прототипов с любым микроконтроллером, имеющим в своем составе канал SPI. Необходимо только переопределить программный код, отвечающий за работу с последовательным периферийным интерфейсом.

Несмотря на гибкость и простоту применения модуля ENC28J60, имеется существенный недостаток – фактическая скорость передачи данных напрямую зависит от рабочей частоты SPI ведущего микроконтроллера.

Заключение

Модуль ENC28J60 предоставляет широкие возможности для работы в локальных и глобальных сетях. Наличие большого количества библиотек позволяет создавать проекты с наиболее распространенными протоколами прикладного уровня сетевой модели OSI, а также разрабатывать протоколы для конкретного применения.

Основное применение модуля – передача примитивных типов данных (целые, вещественные, строковые) в локальных и глобальных сетях, а также организация web-серверов для вывода контрольной информации и управления контрольно-измерительными приборами и промышленным оборудованием. Модуль также можно использовать для передачи больших объемов информации, однако при этом производительность будет ограничиваться вычислительными возможностями ведущих микроконтроллеров [5,6].

Список литературы

1. Интернет вещей — а что это? // GT (Geektimes). 2012. Режим доступа: http://geektimes.ru/post/149593/ (дата обращения 9.05.2015).
2. MicroChip. ENC28J60 Data Sheet. Stand-Alone Ethernet Controller with SPI™ Interface. / Microchip Tehnology Inc. 2004. 100 с.
3. Ethernet модуль на ENC28J60. // Easy Electronics. Электроника для всех. 2012. Режим доступа: http://easyelectronics.ru/ethernet-modul-na-enc28j60.html (дата обращения 9.05.2015).

4. Подключение микроконтроллера к локальной сети: UDP-сервер. // Easy Electronics. Электроника для всех. 2011. Режим доступа: http://we.easyelectronics.ru/electro-and-pc/podklyuchenie-mikrokontrollera-k-lokalnoy-seti-udp-server.html (дата обращения 9.05.2015).
5. Стек протоколов TCP/IP. Поддержка ENC28J60. // Microchip. / Гамма - Санкт-Петербург. Поставка электронных компонентов. Режим доступа: http://gamma.spb.ru/pictures/articles/doc_68.pdf (дата обращения 9.05.2015).
6. Знакомство с TCP стеком для микроконтроллеров фирмы Microchip. // H (Хабрахабр) Режим доступа: http://habrahabr.ru/post/138081/ (дата обращения 9.05.2015).
7. Подключение микроконтроллера к локальной сети: тесты производительности и краткое описание API стека. // Easy Electronics. Электроника для всех. 2011. Режим доступа: http://we.easyelectronics.ru/electro-and-pc/podklyuchenie-mikrokontrollera-k-lokalnoy-seti-testy-proizvoditelnosti-i-kratkoe-opisanie-api-steka.html (дата обращения 9.05.2015).
8. Хартов В.Я. Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. М: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. 280 с.
9. Хартов В.Я. Микропроцессорные системы : учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: Академия. 2014. 368 с.
10. Гречищев К.М., Порядин И.А., Хартов В.Я. Применение микроконтроллеров SAM7 в проектах «умного» дома // Инженерный вестник: электронный научно-технический журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 6. С. 519-524. Режим доступа: http://engbul.bmstu.ru/doc/587158.html (дата обращения 9.05.2015).