

# 基于 MSP430 单片机的嵌入式 Web 服务器设计

李倩

(天津师范大学 学前教育学院, 天津 300073)

**摘要:** 为了给嵌入式设备提供网络接口实现远程管理和控制的目的, 提出了一种基于 MSP430 单片机和以太网控制器 CS8900A 的嵌入式 Web 服务器的设计方案; 方案以 MSP430 单片机为核心, 结合以太网控制器, 用户可通过 Internet 随时访问单片机系统, 得到由 DS18B20 测得的外部温度, 同时, 平台还可简便的进行其他功能的扩展; 实验结果表明, 与传统的系统相比, 基于单片机的嵌入式 Web 服务器在数据规模较大 (1 600 M) 时, 耗时仅为传统系统的一半, 错误率仅为传统系统的 4.5% (1 600 M), 可广泛应用于远程数据采集、远程监测控制、智能家居等领域, 具有较高的实践及研究价值。

**关键词:** MSP430; CS8900A; Web 服务器; 以太网控制器

## Design of Embedded Web Server Based on MSP430

Li Qian

(Tianjin Normal University School of Preschool Education, Tianjin 300073, China)

**Abstract:** An embedded Web server based on MSP430 MCU and Ethernet controller CS8900A is proposed to provide network interface for remote management and control of embedded devices. The scheme takes MSP430 single-chip microcomputer as the core, combined with the Ethernet controller, the user can access the single-chip microcomputer system through the Internet at any time, to obtain the external temperature measured by DS18B20, at the same time, the platform can also be simple for the extension of other functions. The experimental results show that, compared with the traditional system, embedded Web server based on single chip microcomputer in data (1600 M), takes only half time as much as that of the traditional system, error rate is only 4.5% of the traditional system (1600 M), can be widely used remote data acquisition, remote monitoring and control, intelligent household and other fields, has the high practical and research value.

**Keywords:** MSP430; CS8900A; Web server; Ethernet controller

## 0 引言

嵌入式 Web 服务器为嵌入式设备提供网络接口, 实现远程管理和控制, 是实现嵌入式设备网络化的重要技术<sup>[1-2]</sup>。随着以太网的广泛应用和嵌入式技术的不断发展, 将嵌入式应用系统与以太网结合是当前嵌入式领域发展的热点之一<sup>[3-5]</sup>。将嵌入式应用系统接入以太网后可突破传统串口通信的时空限制, 使嵌入式产品的应用更加便利<sup>[6-7]</sup>。

本文介绍了一种基于 MSP430 单片机和以太网控制器 CS8900A 的嵌入式 Web 服务器的设计方法, 用户经服务器平台可通过 Internet 随时访问单片机系统, 得到由 DS18B20 测得的外部温度, 在此基础上可简便的进行其他功能的扩展。以期寻找连接简单、扩展性好、成本低等特点的硬件设备, 为远程数据采集、远程监测控制、智能家居等领域提供借鉴。

## 1 嵌入式 Web 服务器的硬件设计

### 1.1 MSP430 单片机

TI 公司的 MSP430 系列单片机是一个超低功耗类型的 16 位单片机, 它有 5 种模式可供选择, 低功耗和唤醒时间

非常短, 仅需  $6 \mu\text{s}$ , 同时还具有处理能力强、片内外设模块丰富、时钟系统灵活、工作条件稳定、开发方式方便快捷等特点, 使其成为单片机的首选<sup>[8-9]</sup>。MSP430F149 作为核心控制器, 其接口电路图如图 1 所示。

超低功耗单片机作为系统的核心, 在许多领域都有广泛的应用, 例如在医疗保健领域, 使用小型便携式设备进行必要的测量。具有集成 RF 模块的 MSP430 单片机具有良好的性能和较小的尺寸, 可用于远程传感器监控。MSP430 由于其具有高性能的外围设备, 可以通过直流或步进电机驱动器控制其他设备。因此, MSP430 微控制器系列具有更多不同功能, 可以根据具体应用要求进行选择拓展。

无线传感器网络应用需求的快速增长, 增加了对网络节能操作和协议的需求。在无线传感器中, 传感器网络在大多数情况下保持睡眠状态, 只有当事件到达节点的输入时才会激活。因此, 低功耗的 MSP430 适合作为无线传感器网络的微控制器。

系统采用 12 位 ADC 转换精度模块的 MSP430F149 单片机, 利用 ADC 模块使系统的硬件电路更加集成化、小型化<sup>[10-11]</sup>。系统将外部模拟信号接入 AO 通道, 然后通过基本定时器设置 A/D 转换器中断, 当接收定时器中断请求时, 系统开始对信号采样, 转换后的数字信号存储在寄存器中。

系统内部组件均基于 MSP430 超低功耗微控制器, 使用无线通信来交换系统内的数据, 该系统是根据智能传感

收稿日期: 2020-01-23; 修回日期: 2020-03-19。

作者简介: 李倩 (1978-), 女, 天津人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机网络设计与教学工作方向的研究。

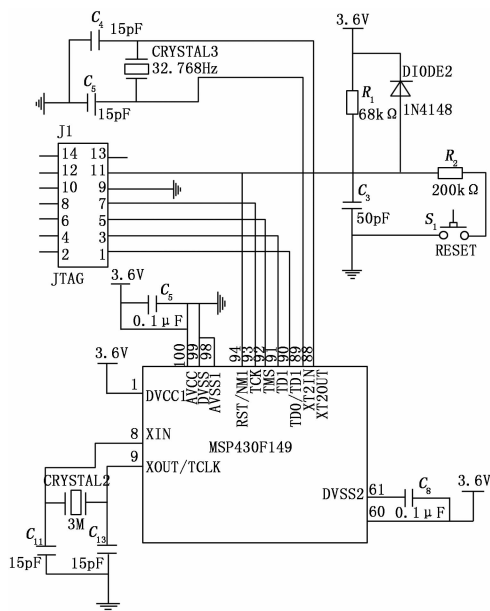


图 1 MSP430 单片机接口电路图

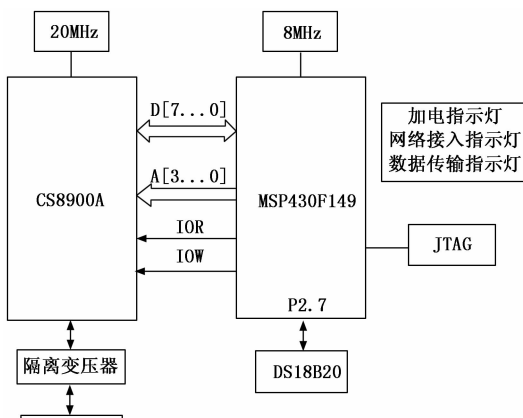


图 2 Web 服务器系统硬件结构

表 1 软件设计中各模块概况

模块	功能
HTTP 模块	通过以太网和 TCP/IP 传送数据;调用下面各模块提供的 API 来实现整个系统的功能。
以太网模块 cs8900.h,cs8900.c	完成对以太网控制器 CS8900 的驱动;提供配置函数以及读/写寄存器、接收以太网帧的函数
TCP/IP 模块	实现了协议:ARP,ICMP,IP 和 TCP;对事件做出响应(如帧接收,用户的 API 呼叫)
温度采集模块	实现 DS18B20 的控制;提供了温度采集的函数接口

器的概念构建的，来自网络的用户应用程序可以使用 HTTP 协议访问系统接口，其中 Web 服务器可以运行在计算机上，也可以运行在基于微控制器的嵌入式设备上。使用 Web 服务器可以实现将数据分发到外部网络，通过网络的访问将导致换能器软件与其他应用程序之间的互操作性更强。在具有嵌入式 Web 服务器的系统的变体中，可以建立 Web 服务并为客户端应用程序提供一种与 STWS 连接的方式，这与整个智能传感器概念有关。

1.2 以太网控制器 CS8900A

局域网处理芯片 CS8900A 在嵌入式领域里使用较为广泛<sup>[12-14]</sup>。采用 TQFP 封装，共 100 个引脚，内部集成了 10Base-T 收发滤波器以及在片 RAM，接口有 8 位和 16 位两种，一般单片机多使用 8 位接口模式；电源有 5 V 和 3.3 V 两种，本设计方案中使用 3 V 供电。

1.3 嵌入式 Web 服务器

系统硬件设计如图 2 所示，MSP430F149 为系统核心，CS8900A 为以太网控制器，以 DS18B20 为温度检测芯片。

MSP430F149 是系统的控制核心，选用 8MHz 的高频晶振，MSP430F149 通过图中所示的相应引脚来控制 CS8900A 和 DS18B20，通过 JTAG 仿真器下载程序与在线调试。以太网控制器利用带扼流线圈的隔离变压器将待发送的数据传输至网络上，或者接收来自不同网络端口的数据。隔离变压器的作用是隔离以太网控制器及外部线路，从而达到防治元器件损坏的效果，同时可以实现抗干扰及带点插拔。

2 嵌入式 Web 服务器的软件设计

嵌入式 Web 服务器软件设计中的主要模块有 HTTP 应用模块、以太网模块、TCP/IP 模块和温度采集模块，各模块的概况如表 1 所示。

HTTP 应用模块通过以太网和 TCP/IP 模块传送数据，通过调用以太网控制模块、TCP/IP 模块和温度采集模块提供的 API 来实现整个系统的功能。下面重点以太网控制模块、TCP/IP 实现过程进行介绍。

2.1 以太网控制模块

以太网控制模块针对 MSP430F149 对 CS8900A 的驱动和通信，主要任务是在 CPU 与以太网之间传输数据。本系统以太网接口选用 UDP 通信协议，软件设计框架如图 3，该协议包括物理层的协议，TX 以及 RX 分别按照 UDP 的通信协议进行数据的发送以及接收，用户层数据写入 TXFIFO，同时从 RXFIFO 中读取数据即可实现数据的发送以及接收。

在接收或发送数据前，首先要看 CS8900A 的发送缓存或接收缓存是否准备好，如果未准备好，则等待，直到缓存中有足够的存储空间，再对数据进行发送或接收。MSP430F149 利用 Web 总线服务器实现对系统数据的存储、校验、分析、对比、可视化显示及远端数据的共享，并保存和上传到文件共享中心。CS8900A 模块增加对用户管理权限控制功能，只有经过系统管理员授权，并经过身份验证的用户才能进行相应文件管理与控制操作，提高系统安全性。使用 Verilog HDL 语言，编写了以太网通信接口，软件接口如图 4，数据通过一定的协议进行打包，然后按照 UDP 的协议进行封装，通过图 4 提供的的数据接口将 AD 采

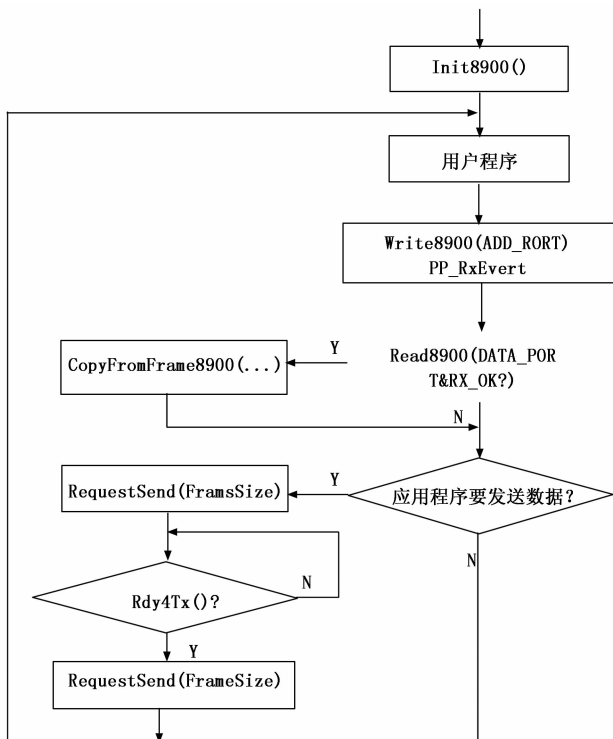


图 3 以太网控制模块流程图

集的数据送入 CS8900A 以太网控制器进行处理。

```

194 //用户接口
195 .gbe_tcfifo_wr(gbe_tcfifo_wr),
196 .gbe_tcfifo_wdata(gbe_tcfifo_wdata),
197 .gbe_tcfifo_afull(gbe_tcfifo_afull),
198 .gbe_txfifo_wr(gbe_txfifo_wr),
199 .gbe_txfifo_wdata(gbe_txfifo_wdata),
200 .gbe_txfifo_afull(gbe_txfifo_afull),
    
```

图 4 UDP 通信接口

## 2.2 TCP/IP 实现

Web 服务器通过 Internet 将所需的 HTML 页面和图片带到 Web 浏览器，同时，发生 TCP / IP 通信。TCP / IP 是 Internet 中使用的标准协议，对于大多数嵌入式应用程序而言，TCP/IP 太大且成本较高<sup>[15]</sup>。为了使每台设备上都有一个 Web 服务器，必须设计用于嵌入式应用程序的设备中使用的 TCP / IP 堆栈，并减小其代码大小。将 TCP/IP 精简化，称为精简 TCP/IP。设计精简 TCP/IP 时，简单性和多功能性是主要关注点。使用 TCP/IP 连接，Web 浏览器可通过 Internet 访问 Web 服务器，以提供嵌入式设备的图形窗口，Web 服务器生成以图形方式显示在 Web 浏览器中的网页。服务器和浏览器通过 HTTP 协议进行通信。

最底层的是网络类型的物理网络媒体，如以太网、帧中继、ATM 和令牌环。在 Internet 层有 IP、ARP、IGMP 和 ICMP 几种协议<sup>[16-17]</sup>。因为假设路由过程是在本地服务器的路由表中进行的，因此在嵌入式 Web 服务器中，只实现 IP、ARP 和 ICMP，不需要实现 IGMP。在传输层有两个协议，TCP 和 UDP，只实现 TCP 即可，因为 Web 服务器只需

要 TCP。

TCP 传输控制协议提供了一种可靠的面向字节流的服务。基本的 TCP 任务分为 6 个功能块，包括 tcpinput、tcp-process、tcpreceive、tcpwrite、tcpenqueue 和 tcpoutput。当应用程序希望发送 TCP 包时，将调用 tcpwrite 函数。tcpwrite 接收数据调用 tcpenqueue 函数，该函数用于将数据放入 TCP / IP 的应用程序地址检查工具，该工具负责在网络就绪时发送任意的 TCP 数据消息。

TCP 的输出功能就是用来发送这些数据的。如果引用映射到物理地址的最高地址，则地址解析协议 (ARP) 负责地址转换。ARP 协议的工作流程如下：当主机生成一个 IP 数据报时，将该数据报发送给目标主机。32 位的 IP 地址应该转换成 48 位的以太网地址，从一个逻辑的 Internet 地址到相应的物理硬件。ARP 包的结构如下：

```

struct arp{
    unsigned int hardw;//硬件类型
    unsigned int ARPopcode;//ARP 操作
    unsigned int prot;//协议类型
    unsigned char hardwlen;//硬件长度
    unsigned char protlen;//协议长度
    unsigned char targetha [5];//目标地址
    unsigned char targetpa [3];//目标协议地址
    unsigned char sendha[5];//发送方地址
    unsigned char sendpa[3];//发送方协议地址
}
    
```

在网络层，IP 协议是 TCP/IP 的基础和核心，负责按操作顺序发送数据。对于主机之间的不同网络，如 TCP、UDP、ICMP 和 IGMP，使用 IP 数据报格式进行传输。IP 提供不可靠的无连接数据报传输服务。IP 协议的功能是将要传输的数据与 IP 报头处理相结合，然后将打包的 IP 数据报发送到 MAC 层。同时，IP 层从较低层（如以太网设备驱动程序）接收数据报，在报头校验和消息处理之后，接收到的数据报被发送到更高的层次——TCP 或 UDP 层。

IP 报头的结构如下：

```

struct iphdr{
    unsigned char ipversonlen;// IP 版本和标头长度
    unsigned char ippacketlen; //服务类型
    unsigned int ipdatagramid;// 总包长度
    unsigned int ipdatagramid; //数据报 ID
    unsigned int ipfragmentoffset;//片段偏移
    unsigned char ipprotocol;//IP 协议
    unsigned int ipchecksum;//头校验和
    unsigned char ipsource[3];// 源 IP 地址
    unsigned char ipdest[3];// 目标 IP 地址
}
    
```

TCP/IP 的应用层是 HTTP，用于发送 HTML 文件。HTTP 是通过 TCP / IP 在机器之间传输文档的标准协议，用于在全球范围内处理相互连接的文档，可以从某些具有嵌入式 Web 访问权限的 Web 服务器中检索文档，文档可以引用任何类型的数据，可以是文本、图形、声音或视频。

图 5 显示了 HTTP 流程的模型。最常见的 HTTP 客户端是我们熟悉的 Web 浏览器，Web 浏览器向 Web 服务器发出 URL 请求以访问文档，服务器必须在浏览器启动其请求的 HTML 页面之前运行。服务器是 Web 页面的存储库，它处理请求并将数据传回浏览器。浏览器在显示文本、图形和运行 java 小程序方面做了更繁琐的工作。

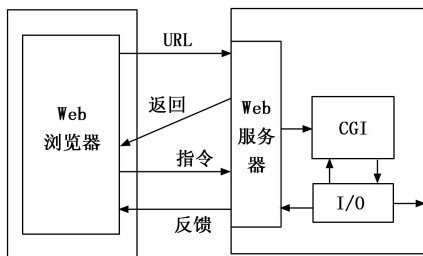


图 5 HTTP 进程模型

### 2.3 Web 服务器的软件实现流程

有以上各模块提供的 API 服务作为基础，建立一个 HTTP 服务器就可以实现 Web 服务器的功能了，可以通过浏览器访问它来得到 CPU 的内部和外部温度。使用 HTML 语言制作动态网页，并将 CPU 内部温度传递给变量 AD7%，DS18B20 测得的外部温度传递给变量 ADA%。

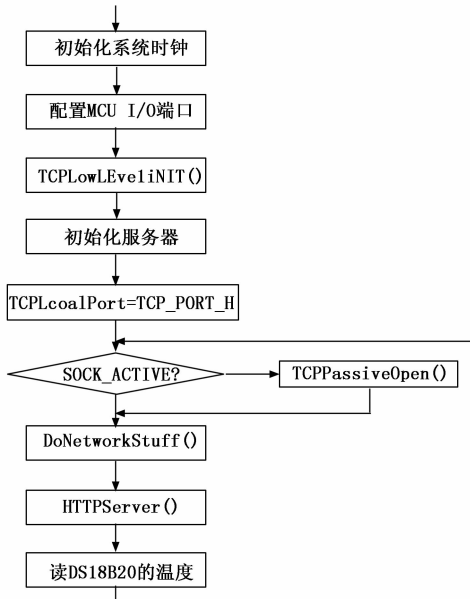


图 6 Web 服务器的软件实现流程图

Web 服务器的软件实现流程如图 6 所示。通过函数 Init Osc () 和 Init Ports () 初始化系统时钟和微处理器 I/O 端口的配置。调用函数 TCP Low Level Init () 对 TCP/IP 模块进行初始化，主要是配置时钟及计时器，对相关标志位清零以及初始化 CS8900A。然后调用 HTTP Status = 0 初始化服务器的标志寄存器并设定要监听的端口。

前期准备工作完成后，无限循环实现 Web Server。循环中的主体为：监听连接是否打开，如果有主机想访问该

服务器并且还没有打开连接，则建立被动连接；调用函数 DoNetworkstuff () 来实现对接收帧的接收和处理、重传机制的启动以及 CPU 缓存中数据的发送等，最后通过函数 HTTPServer () 来实现将服务器的数据以动态网页的形式展现给访问主机。

### 3 实验结果与分析

实验以某变电站的远程测温智能预警系统为研究对象，将嵌入式 Web 服务器作为变电站防控系统的终端检测装置，通过测定变电站内的控制设备、调试设备以及烟雾传感器等得温度，将测试数据发送至监控室，分析系统的各项功能和性能，以达到预警目的。

#### 3.1 实验环境与参数

实验以位于我国中部地区 Z 市的智能电网系统为研究对象，该市从 2019 年初陆开始对本区域范围内的智能变电站推广基于 Web 总线服务器的 SCD 文件管控系统。以辖区内的智能变电站 SCD 文件的管控系统为例，分析系统的各项功能和性能。本次实验选取的样本文件大小为 100~1 700 M。

#### 3.2 实验步骤

- 1) 统一配置系统文件，将外部模拟信号接入 AO 通道；
- 2) 连接基本定时器，以此设置 A/D 转换器的中断；
- 3) 当接收定时器中断请求时，系统开始对信号采样，转换后的数字信号存储在寄存器中；
- 4) 扩充数据对象，并根据对象信息生成报文。
- 5) 观测和提取循环冗余校验 (Cyclic Redundancy Check, CRC) 变化警告记录。
- 6) 对比可视化功能的各种类别信息，验证系统的有效性。

#### 3.3 实验结果分析

系统性能测试主要从不同规模文件的传输共享耗时、文件上传错误率指标进行综合分析，同时将同等条件下基于以太网建设的嵌入式 Web 系统的同类指标参与对比，以更清晰地展示出本文系统的优势。

##### 3.3.1 不同规模 SCD 文件共享传输耗时分析

为了验证本文方法的可行性，实验分析了基于嵌入式 Web 系统和传统系统的传输耗时，实验结果如图 7 所示。

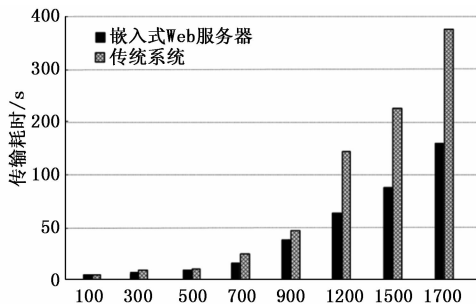


图 7 不同数据规模的传输耗时对比

分析图 7 可知，当检测时间较短，数据规模较小时，两种系统数据传输的性能相近，当传输数据规模超过 1 200 M 时，受到网络带宽的影响，传统系统的数据传输耗时增

加,为基于嵌入式 Web 服务器系统在大数据传输方面的优势较为明显,当数据规模超过较大时,所提出系统能够节省近一半的传输时间。

### 3.3.2 不同系统文件上传错误率分析

在不同规模数据下,实验分析了文件上传错误率,实验结果如表 2 所示。

表 2 上传错误率

文件规模/M	测试次数	文件上传的错误率(%)	
		Web 服务器	传统系统
200	260	0.13	0.14
400	260	0.13	0.16
600	260	0.14	0.35
800	260	0.13	1.23
1000	260	0.15	2.53
1200	260	0.20	3.25
1400	260	0.22	3.94
1600	260	0.23	5.07

当数据规模逐渐扩大时,传统系统文件上传错误率明显增加,这主要是由于传统网络系统存在延迟,传输大规模数据时出现个别数丢失,由此可知基于 Web 服务器的系统稳定性更好。

## 4 结束语

嵌入式 Web 服务器是嵌入式系统网络化应用的重要方面。本文基于 MSP430 单片机和以太网控制器 CS8900A 设计的嵌入式 Web 服务器平台,用户可以此为平台简便的进行其他功能的扩展。本设计的硬件连接简单、扩展性好、成本低,此设计可广泛应用于远程数据采集、远程监测、远程控制、智能家居等领域,具有广阔的应用前景。通过将本设计应用于变电站温控系统,实验结果表明,与传统的系统相比,基于单片机的嵌入式 Web 服务器在数据规模较大时,如在数据量达到 1 700 M 时,耗时仅为传统系统的一半。此外,随着数据规模的增加(1 600 M),基于 Web 服务器的错误率仅为传统系统的 4.5%。

(上接第 157 页)

### 参考文献:

[1] 史志伟,赵健,赵欣. 基于 VB.NET 的砝码自动校准系统软件设计与实现 [J]. 宇航计测技术, 2018, 38 (2): 92-96.

[2] 王凯,陈德军,范光华,等. 基于 MFC 的航空电子系统综合自动检测设备客户端软件设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (2): 126-130.

[3] 刘颖,庾先国,刘勇. 基于 C#.NET 的地震数据采集终端软件设计和实现 [J]. 自动化仪表, 2017, 38 (10): 74-77.

[4] 余磊,聂纯,马晖,等. 基于 C# 和 SQL Server 的信号接收机自动校准系统软件设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (3): 178-182.

[5] 薛文琪,翟正军. 基于虚拟仪器的电源测试系统设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2010, 31 (6): 1330-1334.

### 参考文献:

[1] 薛晶晶,刘珂,刘丽丽,等. 基于 MSP430G2553 的智能防夹密码锁设计 [J]. 电子设计工程, 2019, 27 (22): 24-28.

[2] 李昱燃,杨军,任志国. FPGA 内嵌 ARM 架构的高速数据采集系统设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019 (6): 54-59.

[3] 王珏敏. 基于 MSP430G2553 单片机的简易水情检测系统设计 [J]. 山西电子技术, 2019 (2): 36-39.

[4] 王鹤霖. 基于 MSP430 单片机的通用温度测控系统研究 [J]. 绥化学院学报, 2017, 37 (5): 153-155.

[5] 胡祖辉,施仨,吴国庆. 基于嵌入式以太网的远程监控系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (10): 120-124.

[6] 陈官. 基于 MSP430 和 CC2530 的环境监测系统的设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2019 (11): 130.

[7] 江涛. 嵌入式环境监测系统的设计与实现 [J]. 电子测量技术, 2018 (11): 131-135.

[8] 程捷. 基于单片机的温湿度检测系统设计与实现 [J]. 仪表技术, 2019 (9): 56-58.

[9] 张博. 基于单片机的温度自动控制系统的开发与实现 [J]. 自动化与仪器仪表, 2018 (7): 147-149.

[10] 吴怀超,周勇. 基于虚拟仪器和 MSP430 单片机的数据采集系统的开发 [J]. 化工自动化及仪表, 2011 (1): 56-59.

[11] 张志臣. 基于无线传感网络的多导联心电图监护系统的设计 [D]. 北京:北京邮电大学, 2013.

[12] 陈鹏,张爱民. 基于以太网控制器 CS8900A 实现嵌入式系统的网络互连 [J]. 信息化研究, 2002, 28 (12): 4-6.

[13] 葛辛欣. 基于 CS8900A 的嵌入式网络接口模块设计 [J]. 食品科学技术学报, 2008, 26 (3): 54-56.

[14] 胡森晨. 基于嵌入式的远程视频监控系统的实现 [D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2017.

[15] 韦静怡,阳波,何丽,等. 基于 NB-IOT 通信的低功耗机柜锁电路的设计与优化 [J]. 电子设计工程, 2019, 27 (19): 19-24.

[16] 齐宣,李一民,龙华,等. 基于 TCP/IP 协议栈的串口-网口通信方案设计 [J]. 电子测量技术, 2018 (8): 123-127.

[17] 韦善于,李琼,李堂明,等. 基于 MSP430F5438A 的简易载波信号分析仪的研究与设计 [J]. 电子设计工程, 2019, 27 (17): 177-182.

[6] 李强,刘晓峰. 水文监测系统中上位机监控软件的设计 [J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2020, 35 (1): 98-103.

[7] Daniel M. Solis,姚琪琳,苏林,朱晔,等. C# 图解教程(第 4 版) [M]. 北京:人民邮电出版社, 2019.

[8] 申卫华. 水声通信网络显控软件设计与实现 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2015.

[9] 刘俊亮. 基于 ARM 的塔机防倾翻监控仪的研究与设计 [D]. 青岛:中国海洋大学, 2013.

[10] 刘春茂,李琪. C# 程序开发案例课堂 [M]. 北京:清华大学出版社, 2018.

[11] 何波,傅由甲. C# 网络程序开发(第二版) [M]. 北京:清华大学出版社, 2019.

[12] 王小科,王军等. C# 开发实战 1200 例(第 1 卷) [M]. 北京:清华大学出版社, 2011.