第 21 卷 第 9 期
2008 年 9 月

传 感 技 术 学 报
CHINESE JOURNAL OF SENSORS AND ACTUATORS

Vol. 21 No. 9
Sept. 2008

Design of Data Video Base Station of WSNs Oriented Water Environment Monitoring *

JIANG Peng *, *KONG Yi-fan*

(Institute of Information and Control, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Water environment monitoring system based on wireless sensor networks (WSNs) consists of three parts: data monitoring nodes, date video base station and remote monitoring center. For the sake of realizing to monitor large range waters such as reservoir, wetland, lake, river and ocean, etc, the monitoring system has the function of perception, acquisition, processing and transmission to video-information in key areas and various water environment parameters, such as water temperature, PH, turbidity, electric conductivity, dissolved oxygen and so on. As the gateway between those data monitoring nodes and CDMA network, the data video base station is the communication center in the monitoring network. Based on ARM-DSP double processors architecture, this paper researches the date video base station for the water environment monitoring system and offers the design of software and hardware of system. Moreover, by means of ZigBee and CDMA wireless transmission technology, the base station realizes data bidirectional communication between the base station and the sensor networks or the remote monitoring center. It well meets the need of remote real time water environment monitoring system and also has wide application prospect in industrial control, smart home, medical telemetry and intelligent traffic, etc.

Key words: water environment monitoring; data video base station; ARM-DSP double processors; wireless transmission; video signal acquisition

EEACC: 6150P

面向水环境监测的无线传感器网络数据视频基站设计 *

蒋 鹏 *, 孔一凡

(杭州电子科技大学信息与控制研究所, 杭州 310018)

摘 要: 基于无线传感器网络的水环境监测系统包括数据监测节点、数据视频基站、远程监测中心等三部分, 可对水温、pH 值、浊度、电导率、溶解氧等水环境参数和重点区域的视频信息进行感知、采集、处理和传输, 进而实现对水库、湿地、湖泊、江河、海洋等大范围水域的监测。数据视频基站在监测网络中充当数据监测节点和 CDMA 网络之间的网关, 是整个系统的通信枢纽。本文研究了一种基于 ARM-DSP 双处理器架构的数据视频基站, 并阐述了其硬件系统和软件系统设计。该基站采用 ZigBee 和 CDMA 无线传输技术, 实现了基站与传感器网络、基站与远程监测中心的双向高效通信, 满足了水环境远程实时监测系统的要求, 在工业控制、智能家居、医疗监护、智能交通等领域亦具有广阔的应用前景。

关键词: 水环境监测; 数据视频基站; ARM-DSP 双处理器; 无线传输; 视频信号采集

中图分类号: TP393 **文献标识码**: A **文章编号**: 1004-1699(2008)09-1580-06

水环境监测是水资源管理与保护的重要手段, 我国水资源紧缺、水污染严重, 如何高效、实时地获取水环境参数, 研究开发水环境监测新方法, 已成为水环境管理与保护的一项重要任务[1]。

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(NSFC-60604024、NSFC-60672064); 浙江省科技计划重点项目资助(2008C23097); 浙江省教育厅科研计划项目资助(20060246); 浙江省高校青年教师资助计划项目资助(ZX060221)

收稿日期: 2008-01-25 **修改日期**: 2008-05-07

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

现有的水环境监测方法主要分为两种:①采用便携式水质监测仪人工采样、实验室分析的方式;②采用由远程监测中心和若干个监测子站组成的水环境自动监测系统。前者由于无法对水环境参数远程实时监测,存在监测周期长、劳动强度大、针对性差、数据采集慢等问题,无法反映水环境动态变化,且不易及早发现污染源并报警。后者虽能较好解决上述不足,但由于有预先铺设电缆和建立多个监测子站的施工要求,存在系统成本高、监测水域范围有限、易对监测区域造成破坏等缺点[2]。

无线传感器网络是由大量低成本、低功耗的具有传感、计算与通信能力的微小传感器节点构成的自治网络系统,是能根据环境自主完成各种监测任务的"智能"系统。基于无线传感器网络的水环境监测系统是无线传感器网络在环境监测方面的典型应用。与现有的水环境实时自动监测系统相比,基于无线传感器网络的水环境监测系统具有传感器多点密集部署、系统成本低以及对生态环境影响小等优点[2]。

基于无线传感器网络的水环境实时监测系统,国外比较典型的代表有美国 Heliosware 公司的 EMNET 系统和澳大利亚 CSIRO 的 Fleck 系统[3-4]。上述两种系统可采集参数种类较少、不提供对水环境的视频监测功能且通信速率低、产品体积较大、功耗较高,仅适合用作研究,目前尚不能作为实用系统在现场使用。国内已对基于无线传感器网络的水环境实时监测系统的一些关键技术进行了研究[2,5]。

图 1 所示为基于无线传感器网络的水环境监测系统。将待监测水域划分为若干个子区域,整个系统架构可分为三个层次,包括:子区域内数据监测节点、子区域内数据视频基站、远程监测中心。其中,子区域内数据监测节点与数据视频基站间、各数据监测节点间基于 ZigBee 协议通信;数据视频基站与远程监测中心间基于 CDMA 网络通信。数据视频基站通过协议转换将无线传感器网络与 CDMA 网络两个异构网络连接在一起,充当两者之间的网关,是整个监测系统的通信枢纽,需具有稳定高效的通信能力与较强的数据处理能力。目前在无线接入方式上,新兴的 ZigBee 及 CDMA 无线传输技术凭借高通信速率、高质量、低成本等优点,与其它无线传输技术相比,具有更高的性价比[6-7]。

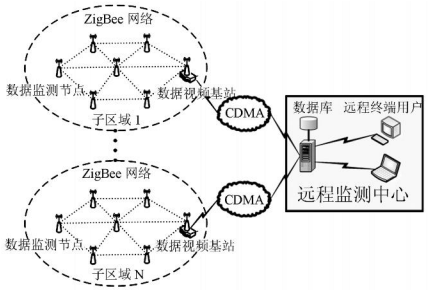


图 1　基于无线传感器网络的水环境监测系统

鉴于现有水环境监测系统存在的不足及技术发展趋势,本文研究并设计了基于无线传感器网络的水环境监测系统的数据视频基站,该基站采用 ARM-DSP 双处理器架构,结合 ZigBee 与 CDMA 无线传输技术,实现基站与数据监测节点间、基站与远程监测中心间数据的双向通信。

1　系统总体设计

1.1　总体设计思想

现有的嵌入式数据采集传输系统多采用基于 ARM 核的微处理器作为中央处理器。作为 32 位的高端微处理器,ARM 采用 RISC 精简指令集,在复杂控制场合具有极大优势,但由于本身数字运算能力的限制并不适合视频编解码等实时数字信号的处理。数据视频基站既要完成数据的无线实时传输又要完成视频信号的实时采集处理,单 ARM 处理器很难满足系统在控制与视频编解码上的全部工作,而 DSP 作为专门的数字信号处理芯片可实现在视频信号处理上的实时性要求,若能结合 ARM 和 DSP 各自的优点,将会大大提高整个系统的性能。

本文采用 ATMEL 公司的 AT91M55800A 和 TI 公司的 TMS320C6412 微处理器,设计开发了基于 ARM-DSP 双处理器架构的数据视频基站,系统总体架构如图 2 所示。其中,双处理器采用主从方式,ARM 作为主控制器,完成对 ZigBee 模块上传的水质参数数据和 DSP 的视频压缩数据的分析、处理,并以 IP 包的形式通过 CDMA 模块实时发送至远程监测中心,同时可接收远程监测中心发送的基站配置信息或控制命令,完成相应的控制操作;DSP

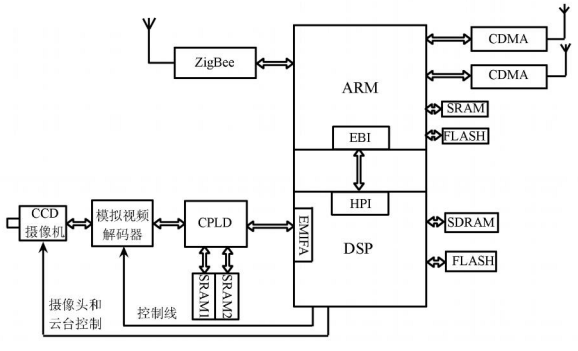


图 2　系统总体架构

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从处理器用以完成模拟视频信号的采集,压缩处理,并通过 HPI 接口与 ARM 处理单元进行高速通信。

1.2 基于 CPLD 的 DSP 视频采集设计

基于 DSP 的视频信号采集处理部分包括视频采集、压缩编码和数据传输三个模块,采集模块负责将 CCD 摄像机提供的模拟视频信号转换为一定格式的数字信号,DSP 主要对采集的视频信号进行压缩编码,并通过 HPI 接口将压缩编码后的数据输出至 ARM 处理单元。

考虑到视频采集的复杂性和 DSP 控制性弱的特点,设计中采用专用视频解码器 + CPLD + DSP 的方案,实现对视频信号的采集处理。其中专用视频解码器采用 Philips 的 SAA7111A,用以完成模拟视频信号的数字化并提供时钟信号与同步信号;CPLD 为 Altera 公司 MAX7000A 系列的 EPM7128,作为采样控制的核心,接收 SAA7111A 输出的数字视频数据、时钟及同步信号,通过内部编程实现采样控制、地址译码以及产生两组帧存储器(SRAM1,SRAM2)轮换存储的切换信号,CPLD 的应用减小了系统体积,降低了成本,提高了可靠性;DSP 处理单元主要完成视频解码器 SAA7111A 的配置及视频数据的压缩编码处理,并将压缩后的数据经由 HPI 接口传输至 ARM 处理单元,完成视频数据的后续处理。

1.3 双帧存储器切换机制设计

在视频信号采集处理过程中,实现视频解码器视频信号的采集、输出和 DSP 读取、处理间的速度匹配是关键。为解决这一问题,本文采用双帧存储器缓存结构,以轮换存储的方式工作。其过程如下,视频解码器 SAA7111A 输出视频数据,将其存储于帧存储器 SRAM1 中,在存完一帧视频数据后,SAA7111A 通过 CPLD 向 DSP 中断引脚发送中断信号。DSP 接收并响应中断后,在中断服务程序中设置状态变量并通过 CPLD 作一次地址、数据总线切换,将 DSP 的数据、地址总线连至刚存完一帧的帧存储器 SRAM1 中(同时将 CPLD 的数据、地址总线切换至另一帧存储器 SRAM2 中),DSP 查询在中断服务程序中设置的状态变量,若满足条件,则从刚存完一帧数据的 SRAM1 上读取数据至片内 RAM 中并作处理。此时,SAA7111A 仍不断解码出视频数据,且将第二帧数据存储于另一帧存储器 SRAM2 中(如前所述,在中断服务程序中,已将地址、数据总线切换至帧存储器 SRAM2 中)。在 CPLD 的控制下,双帧存储器轮换存储,以实现视频信号高速采集、处理和传输要求[8]。在双帧切换控制中,每一个帧存储器都有各自独立的地址线、数据线、读写和片选信号。

设计中需要注意的是,由于视频数据连续、轮换地存储于帧存储器中,而 DSP 在一帧数据存储完毕、响应中断后,未必立即执行数据的读取与处理。若不及时将存储的数据及时读取并处理,将会发生丢帧现象。由文献[9],对于 PAL 制式的视频输出,帧频为 25 frame/s,即每 40 ms 输出一帧图像。这就要求在双帧存储中,一帧数据存储完后至 DSP 从帧存储器中开始读取的可能最长时间(MAX time)与 DSP 处理完数据的时间之和至少小于一帧数据的存储时间,且在 40 ms 以内。

2 硬件系统设计

本基站系统基于 ZigBee、CDMA 无线传输技术进行数据的双向传输,并通过 DSP 采集视频信号。其硬件部分除 ARM 处理单元外,包括 ZigBee 射频模块、CDMA 传输模块,以及视频信号采集处理模块等部分,如图 2 所示。以下部分对各模块与 ARM 处理单元间的接口电路进行了设计,包括 ZigBee 射频模块接口设计、CDMA 传输模块接口设计、DSP 与 ARM 通信接口设计三部分。

2.1 ZigBee 射频模块接口设计

选用 CC2420 无线射频模块,CC2420 是一款符合 2.4 GHz IEEE802.15.4/ZigBee 技术标准的低功耗、短距离的工业级射频收发器件,只需配备极少的外部元器件,就可确保短距离通信的有效性和可靠性。硬件接口电路如图 3 所示。CC2420 的接口

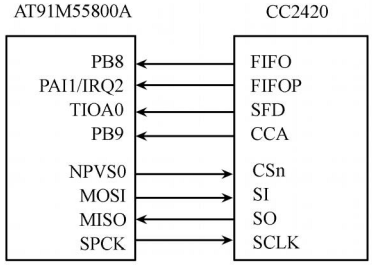


图 3 ZigBee 射频模块接口电路

包含 SFD,FIFO,FIFOP,CCA 和 SPI 接口(CSn,SI,SO 和 SCLK)。其中前四个引脚表示数据收发的状态,AT91M55800A 通过四个 I/O 与其相连,起到查询状态的作用,而与 CC2420 数据的交换、命令的发送则通过 SPI 接口进行。在这里,ARM 处理单元设置为主机模式,通过 SPI 接口访问 CC2420 内部寄存器和存储器,作为从设备的 CC2420 接收来自 ARM 处理单元的时钟信号和片选信号,并在其控制下执行输入输出操作。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.2　CDMA 传输模块接口设计

CDMA 传输模块采用 ANYDATE 公司的 DTGS-800。考虑到 CDMA 现有的数据上行速度,一片 DTGS-800 很难满足基站大量数据、视频信号的实时传输需要,为此采用双 CDMA 模块,通过 ARM 处理单元控制,复合使用。本系统中,双 CDMA 模块与 ARM 的两个全双工通用同步/异步收发器(USART)连接,其峰值速度可达到 153.6 kbit/s ×2,平均传输速率为 75 kbit/s ×2,接口电路如图 4 所示。主机 ARM 通过发送 AT 指令实现与 CDMA 模块的通讯[10]。

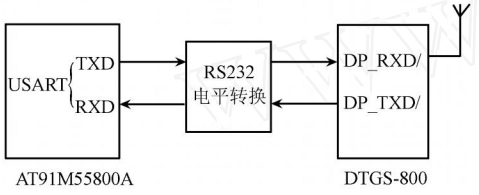


图 4　CDMA 传输模块接口电路

2.3　DSP 与 ARM 通信接口设计

ARM 与 TMS320C6412 HPI 接口电路如图 5 所示。ARM 作为主机,DSP 工作在从模式下,两者间通过中断方式实现数据通信。通过 HPI 接口,ARM 可直接访问 DSP 内部的 RAM 或映射到存储器空间的外部设备[11]。C6412 的 HPI 接口通过 16 位数据线 HD0-HD15 和 10 根控制线与主机 ARM 的外部总线接口(EBI)连接,由于 EBI 是 16 位数据总线,因此这里设置 C6412 在 HPI16 模式下工作。

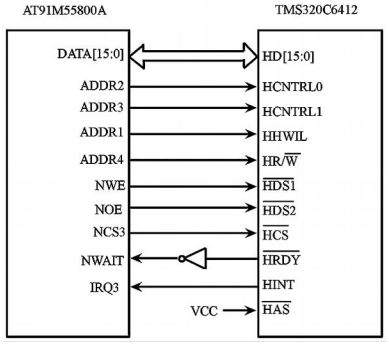


图 5　TMS320C6412 HPI 接口电路

数据视频基站中,视频信号传输至 ARM 处理单元采用中断方式进行,在此,将 HPI 口中断信号端接至主机上的外部中断引脚 IRQ3,以使主机侦听来自 DSP 的中断信号。

3　软件系统设计

本系统采用 C 语言编程,关键代码用汇编语言编写,以提高运行效率。软件采用模块化的设计方式,主要软件功能模块包括系统主程序模块、视频采集处理模块、CDMA 通信处理模块、ZigBee 通信处理模块、ARM-DSP 通信处理模块等五部分。

3.1　系统主程序设计

ARM 处理器作为整个系统的主控制器,主要完成数据的接收、处理及发送任务。系统主程序流程如图 6 所示,由 5 个子模块构成,分别是:①初始化模块,执行系统的自检,对串口、定时器、I/O 口等资源的初始化,以及完成 ZigBee 与 CDMA 模块的参数配置操作;②CDMA 通信处理模块,实现与远程监测中心建立链接,无线发送数据视频基站采集的数据、视频信息并接收远程监测中心发送的控制命令数据包;③ZigBee 通信处理模块,建立与数据监测节点的通信连接,接收监测节点上传的水环境参数并发送数据采集控制命令;④ARM-DSP 通信处理模块,通过 DSP 的 HPI 接口与 ARM 的处理单元实现通信,发送控制命令、采集经 DSP 压缩处理后的视频数据;⑤数据处理模块,该部分程序设计较复杂,主要由通信协议处理和数据分析与处理两部分组成。数据分析与处理部分,主要对采集的数据作初步分析与处理,并产生相关的报警数据等,协议处理部分主要包括 ZigBee 协议处理。

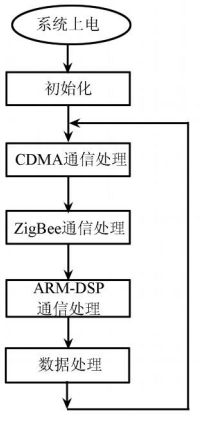


图 6　主程序流程图

3.2　视频采集处理程序设计

基站的视频信号采集处理部分,由 DSP 作为核心控制单元,CPLD 作为采样控制单元,并采用双帧存储器轮换存储方式,实现视频信号采集和处理间的速度匹配需要。如图 7 所示为视频采集处理工作流程图。视频采集过程中,视频解码器 SAA7111A 一直处于工作中,不断输出视频信号,且在 CPLD 的控制下轮换写入帧存储器 SRAM 中,当存储完完整的一帧图像后,CPLD 向 DSP 的中断引脚发送中断信号,DSP 响应中断后进入中断处理程序,在中断处理程序中设置状态变量以及通过 CPLD 作地址、数据总线切换。视频数据处理部分通过判断状态变量,决定是否读取处理视频数据。双帧存储器

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

切换机制的采用,使得视频采集与数据处理能够并行执行,提高了视频采集、处理速度。

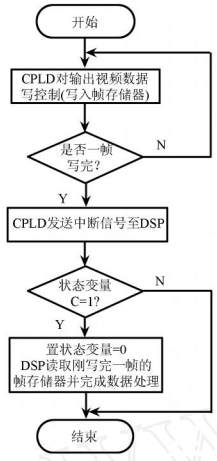


图 7 视频采集处理程序流程图

3.3 CDMA 通信处理程序设计

系统选用的 DTGS-800 模块内置 TCP/IP 协议栈,只需通过 AT 指令建立同 CDMA 网络的连接,获得网络运营商 ISP 动态分配的 IP 地址,并与远程监测中心服务器 IP 之间建立 Socket 链接。在使用 CDMA 模块前,需进行设置,以确定其工作方式。当数据视频基站与远程监测中心建立 TCP 连接后即可进行数据的发送与接收处理。水环境监测系统中,基站与远程监测中心通信的内容包括水环境参数/视频信息和控制指令两类,基站以定时发送的方式发送数据,同时可接收远程监测中心发送的控制指令,并作出相应操作。

3.4 ZigBee 通信处理程序设计

3.4.1 ZigBee 数据通信帧格式

基站与数据监测节点间基于 ZigBee 协议通讯。如前所述,CC2420是一款符合IEEE802.15.4/ZigBee技术的收发芯片,其硬件支持一部分 IEEE802.15.4 数据帧格式。MAC 层的帧格式为:头帧 + 数据帧 + 校验帧,PHY 层的帧格式为:同步帧 + PHY 头帧 + MAC 帧。具体的数据通信帧格式如表 1 所示。

表 1 数据通信帧格式[12] 单位:byt

前导序列	帧开始分隔符	帧长度	帧控制	序列号	地址	帧实体	帧校验序列
4	1	1	2	1	6	*n*	2

3.4.2 ZigBee 通信处理程序设计

在本系统的数据视频基站与数据监测节点通信体系中,基站除发送控制指令外,始终保持其 ZigBee 模块处于接收模式下,并以中断的方式实时响应数据监测节点上传的数据信息。在此,配置 CC2420 工作于缓冲模式(模式 0)[13]。当需要接收上传的信息时,先配置 ZigBee 模块至接收模式,且通过 FIFOP 中断服务程序完成信息包的接收,同时完成 RXFIFO 缓冲器溢出和信息包格式合法性判断。

3.5 ARM-DSP 通信程序设计

在 HPI 接口设计中,主机 ARM 与 DSP 通过双方发送中断完成交互和握手。通信内容包括主机 ARM 的控制指令与 DSP 处理后的视频数据。开始工作时,主机 ARM 发送控制指令,并通过 HPI 接口中断 DSP,DSP 响应中断后取出控制指令,并解码指令,然后执行所需的操作(如数据的传输,摄像机焦距、云台的控制等)。当 ARM 向 DSP 请求视频数据时,ARM 向 DSP 发送指令字,并中断 DSP,DSP 响应中断后,将压缩编码后的数据存入 HPI 接口的 RAM 中,且当存完一帧数据后,DSP 发中断给 ARM,ARM 响应中断后,清除该中断,并将 HPI 口 RAM 中数据取出,存于 ARM 缓冲区中(RAM)中[14]。

4 结语

无线传感器网络作为一项最新的 IT 技术,将其应用于水环境监测系统中具有对生态环境影响小、监测范围广、系统成本低等优点。数据视频基站在整个监测网络中充当无线传感器网络和 CDMA 网络之间的网关,是整个系统的通信枢纽。

本文研究并开发了基于 ARM-DSP 双处理器架构的数据视频基站,结合高效的 ZigBee、CDMA 无线传输技术,实现了水环境参数、视频信息的实时采集与传输。基站的视频采集处理部分采用 CPLD 作为采集控制器,减小了系统体积,增强了可靠性,双帧轮换存储机制,使得视频采集和处理可独立进行,提高了实时视频处理速度。本文设计的数据视频基站,不仅在环境监测领域,在工业控制、智能家居、医疗监护、智能交通等领域亦具有极大的开发应用价值。

参考文献:

[1] 刘国忠,王磊,邓文怡,等. 环境水质远程监测技术研究[J]. 航空精密制造技术,2003,39(1):43-46.

[2] 蒋鹏. 基于无线传感器网路的湿地水环境远程实时监测系统关键技术研究[J]. 传感技术学报,2007,20(1):183-186.

[3] EmNet LLC. Technology[EB/OL]. [2008-01-16]. http://www.heliosware.com/technology.html

[4] The CSIRO ICT Centre. Wireless Sensor Network Devices [EB/OL]. [2008-01-16]. http://www.ict.csiro.au/page.phpcid=87

[5] Peng Jiang, Research on Wireless Sensor Networks Routing Protocol for Water Environment Monitoring in Wetlands[C]//

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

International Conference on Innovative, Computing, Information and Control. 2006:251-254.

[6] 彭瑜. 低功耗、低成本、高可靠性、低复杂度的无线电通信协议 ——ZigBee[J]. 自动化仪表,2005,26(5):1-4.

[7] 唐晓宇,唐宏,冯慧娟. 基于 ARM 和 CDMA 网络的远程监控系统的设计[J]. 通信技术,2007,40 (9):39-41.

[8] 魏艳萍. 基于 DSP 的视频处理系统的研究与实现[D]. 成都:电子科技大学,2004.

[9] 俞斯乐,侯正信,冯启明等. 电视原理(第 5 版)[M]. 北京:国防工业出版社,2000.

[10] AnyDATA. NET. dtgs-800Reference Manual[S]. 2004.

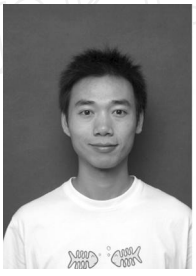
[11] 李芳慧,王飞,何佩琨. TMS320C6000 系列 DSPs 原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003.

[12] Chipcon ASSmartRF CC2420 Preliminary Datasheet [S] (rev1.2),2004-06-09.

[13] 陈玉兰,聂军. 面向无线传感器网络的 CC2420 接口设计[J]. 电子工程师,2005,31 (12):36-38.

[14] 王洪,李仲阳. ARM HMS30C7202 与 DSP5416 通信接口电路的设计[J]. 现代电子技术,2006,16:83-85.

蒋　鹏(1975-),男,工学博士,杭州电子科技大学副教授,硕士生导师,主要研究方向为嵌入式系统及应用、传感器网络和智能仪表;



孔一凡(1981-),男,杭州电子科技大学硕士研究生,主要研究方向为嵌入式系统及应用、传感器网络。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net