

基于 ZigBee 技术的无线脉搏传感网*

鲍贤亮¹ 陈年海¹ 徐一凡¹ 邹鸣² 庄建军¹

(1. 南京大学电子科学与工程学院 南京 210023; 2. 南京森林警察学院学生处 南京 210023)

摘要: ZigBee 技术以其低功耗、高性能的特点在无线传感器网络的开发上有着广泛的应用和广阔的开发前景。使用 HK-2000B+ 脉搏传感器采集人体脉搏信号,以 TI 公司的 CC2530 为开发平台,信号经模数转换,无线传输和数据处理,构建一个实时的脉搏传感网络。同传统的监测系统相比,该系统具备无线传输、高稳定性、低功耗、低成本的优点,充分发挥了 ZigBee 技术在组建无线传感网络上的优点,对可穿戴式设备、远程人体生理信号监护系统,运动员专业训练系统等开发具有重要的借鉴意义。

关键词: ZigBee; HK-2000B+; CC2530; 无线传感网

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Wireless pulse sensor network based on ZigBee technology

Bao Xianliang¹ Chen Nianhai¹ Xu Yifan¹ Zou Ming² Zhuang Jianjun¹

(1. School of Science of Electronics and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. Office of Student Affairs, Nanjing Forest Police College, Nanjing 210023, China)

Abstract: ZigBee technology has a wide range of applications and broad development prospects in the development of wireless sensor networks for its low power consumption, high-performance features. In this paper, through use of HK-2000B+ pulse sensor and TI's CC2530 development platform, the experiment builds a real-time wireless pulse sensor network, including the signal acquisition, analog to digital conversion and data processing. Compared with the traditional monitoring system, this system has advantages in wireless, high stability, low power consumption and low cost which ZigBee technology is really outstanding in when setting up a Wireless Sensor Network, and has an important reference for the development in wearable devices, remote physiological signal monitoring systems and professional athletes training system.

Keywords: ZigBee; HK-2000B+; CC2530; WSN

1 引言

无线传感器网(wireless sensor network, WSN)是由分布在监测区域内大量的微型传感器节点,通过无线通信方式形成自组织网络,完成对被感知对象的数据采集、处理和传输。

ZigBee 无线传感器网络是基于 ZigBee 技术的无线传感器网络。ZigBee 是以 IEEE 802.15.4 标准为基础的低功耗个域网协议。其近距离、低复杂度、自组织、低功耗、低数据速率、低成本的特点^[1],使得它在智能家居物联网、工农业监测系统、安全系统、消费类电子等领域有着广泛的运用。

分析了 ZigBee 无线传感器网络的基本原理和特点,并将 ZigBee 无线传输技术应用于脉搏监测系统上。系统选

用 HK-2000B+ 脉搏传感器对脉搏信号进行采集,而以 TI 公司低功耗、高性能的 CC2530 为信号转换和无线传输平台,其内置 12 位高精度模数转换器和 Flash 存储器,实现对脉搏信号的远程监测。

2 ZigBee 协议栈

ZigBee 协议栈^[2]的结构如图 1 所示。IEEE 802.15.4 标准定义了物理层(PHY)和介质访问层(MAC)的规范,ZigBee 联盟在此基础上定义了网络层(NWK),应用程序支持层(APS)和应用层(APL)的规范。ZigBee 协议是通信双方按照约定的标准进行数据的发送和接收,而协议栈将各层定义的协议整合以函数的形式实现,给用户可以提供可以直接调用的应用层(API),是协议的具体实现。

收稿日期:2014-08

*基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(LGYB201416)、国家级大学生创新训练计划(G1410284025)资助项目

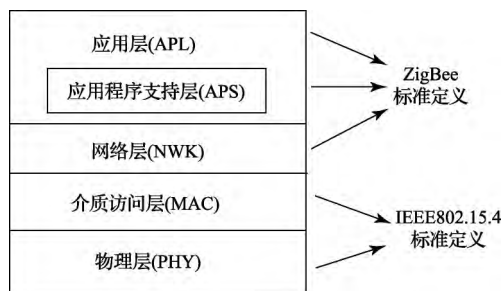


图 1 ZigBee 协议栈结构

在开发项目时,一般选用 ZigBee 厂商提供的协议栈软件来使用 ZigBee 协议栈,调用 API 接口实现各种功能,用户无权也无需掌握协议栈的具体细节。不同的厂商提供的协议栈是有区别的,本项目协议栈我们选用 TI 公司推出的 ZStack-CC2530-2.3.0-1.4.0(ZigBee 2007),开发环境选用 IAR Embedded Workbench for MCS-51。

3 硬件模块

3.1 HK-2000B+ 脉搏传感器

HK-2000B+ 脉搏传感器利用力敏元件(PVDF 压电

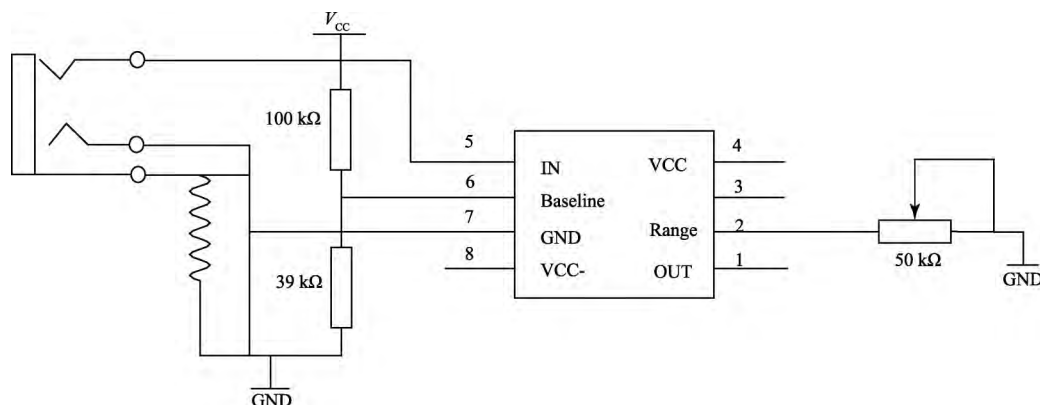


图 2 HK-2000B+ 外置电路

3.2 CC2530 芯片^[5]

CC2530 是一个用于 IEEE802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用的片上系统 (SoC) 解决方案。CC2530 集成了 2.4 GHz IEEE 802.15.4 兼容 RF 收发器,高性能、低功耗的具有代码预取功能的 8051 微控制内核,在系统可编程 Flash 存储器,8 KB RAM,而其丰富的外围设备包括 5 通道 DMA 功能,IEEE 802.15.4 MAC 定时器,3 个通用定时器(1 个 16 位,2 个 8 位),2 个支持多种串行通信协议的 USART,21 个通用 I/O 引脚等。CC2530 有 4 种不同容量的 Flash 版本:CC2530F32/64/128/256,分别对应具有 32/64/128/256KB Flash 存储器。低功耗是 CC2530 非常重要的特点,它的发射电流为 29 mA,在低功耗休眠模式下,只消耗不到 1 μ A 的电流。

3.3 ZigBee 网络组网

ZigBee 网络协议中的每个节点有两个地址:64 位的

薄膜)采集脉搏信号^[3],在 HK-2000B 脉搏传感器基础上,把电路部分外置,从而使传感器探头直径减小到 15 mm。电路集成了信号放大、信号调理、幅度调整、基线调整等电路,输出直接连接 A/D 转换电路^[4]。具有灵敏度高(2000 μ V/mmHg)、抗干扰能力强、性能可靠、使用寿命长等优点。

HK-2000B+ 的技术参数如表 1 所示。

表 1 HK-2000B+ 技术参数

	最小值	推荐值	最大值	单位
工作电压	3	3.3		VDC
工作电流	500		1 500	μ A
输出幅度	0.2		3	V
工作温度	0		60	$^{\circ}$ C

HK-2000B+ 脉搏传感器应用电路如图 2 所示,输入采用 3.5 mm 标准单通道耳机接口,供电采用推荐值 3.3 V,基准线采用 1 V,调节滑动变阻器,控制电压输出范围在 0~1.2 V。

IEEE MAC 地址和 16 位的网络地址。MAC 地址是用来标志网络设备的位置,具有全球唯一性。当设备加入一个 ZigBee 网络后,设备会分配到一个 16 位的网络地址,在此网络中设备就以该网络地址与网络中其他设备进行通信。ZigBee 的节点类别有 3 种,协调器(Coordinator)、路由器(Router)和终端(End Device)。同一个组网中有且只能有一个协调器,负责各个节点 16 位地址分配,因此理论上可加入的节点数量有 65 536 个。

ZigBee 网络由协调器实现自组网功能。当协调器启动时,会在允许的多个通道上进行能量扫描和搜索其他 ZigBee 协调器,根据附近协调器和路由器返回的信标帧,尝试选择一个没有被占用的 PAN ID 建立自己的网络。新网络被建立后,ZigBee 路由器和终端设备就可以加入到此网络中了^[6]。

本实验 ZigBee 网络整体系统^[7]如图 3 所示。

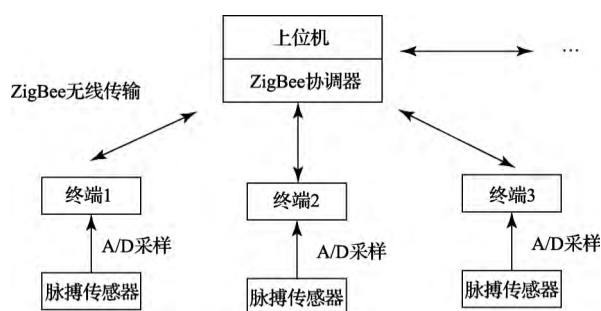


图 3 ZigBee 网络系统

4 软件模块

Z-stack 是挪威半导体公司 Chipcon(现已被 TI 公司收购)推出的一款配合其 CC2430 开发平台的商业级协议栈软件,其提供了一个名为操作系统抽象层(OSAL)的协议栈调度程序,采用事件轮询机制^[8],当各层初始化之后,系统进入低功耗模式,当事件发生时,唤醒系统,开始进入终端处理事件,结束后继续进入低功耗模式。如果同时有几个事件发生,判断优先级,逐次处理事件。主程序整体流程图如图 4 所示。

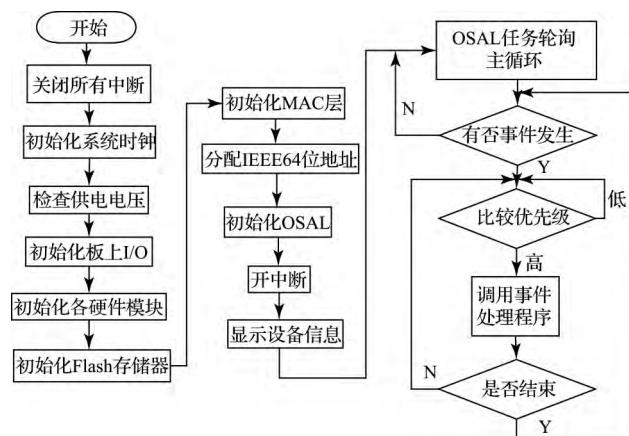


图 4 软件整体流程^[10]

4.1 终端 A/D 采样

A/D 采样采用内部参考电压 1.25 V,12 位转换分辨率,AIN0-AIN1 差分输入,手动启动 A/D 转换,转换完成后读入转换值并转为文本流存入缓冲区,缓冲区的大小为 60 个字节,一个 A/D 采样值占 6 个字节,所以缓冲区满后为 10 个采样值并发送至协调器。A/D 采样时,每次间隔时间约为 20 ms,采样频率不宜太高,不然会加重无线传输的数据负担,也不宜太低,以免信号不完整损失过多的信息。缓冲区的大小是一次传输的数据个数,过大会导致程序崩溃,过小则要增加传输的次数,而每次数据发送都会占用一定的 CPU 资源,产生时间损耗,由于 A/D 采样是手

动开启和读取的,所以会影响采样之间的固定延迟。经过测试,缓冲区大小为 60 字节比较合适。发送一次数据结束后,不清除该事件标志,当下次任务轮询时检查到该事件没有结束,继续采样发送数据,如此循环,终端一直处于工作状态。

4.2 协调器串口通信^[9]

串口的通信采用模块化,直接调用硬件模块函数,配置串口号、波特率、流控、校验位等。本实验波特率采用 115 200,数据位 8 位,停止位 1 位,无奇偶校验位。

5 测试结果

测试本系统, HK-2000B+ 传感器在示波器上反相后的波形如图 5 所示。

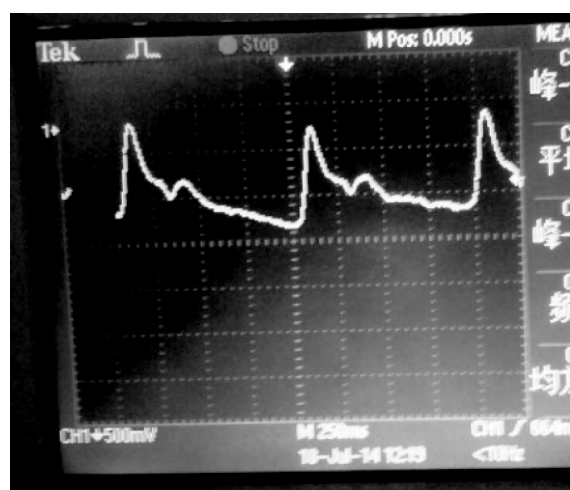


图 5 HK-2000B+ 输出的脉搏信号

A/D 采样后以文本流的形式传输到协调器,协调器再通过串口传到上位机,在上位机上经过软件处理,用模数转换的参考电压 1.25 V 减去收到的电压采样数据。

A/D 采样值和处理后的数据如表 2 所示(避免篇幅过长,只选取了前 20 个点),采样值大都小于 1 V,最大值略大于 1 V 且低于基准电压 1.25 V,所以放大倍数调整的比较适当。

反相后的波形如图 6 所示。

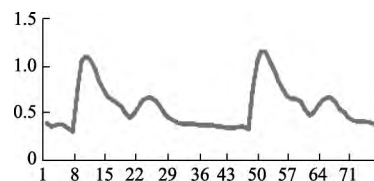


图 6 协调器接收的脉搏波形

表 2 数据接收与处理

序列	A/D 采样值/V	处理后数据/V
1	0.646	0.564
2	0.732	0.518
3	0.773	0.477
4	0.825	0.425
5	0.874	0.376
6	0.903	0.347
7	0.899	0.351
8	0.889	0.361
9	0.891	0.359
10	0.932	0.318
11	0.962	0.288
12	0.496	0.754
13	0.229	1.021
14	0.166	1.084
15	0.212	1.038
16	0.3	0.95
17	0.437	0.813
18	0.526	0.724
19	0.593	0.657
20	0.63	0.62

图 5 为模拟信号,可以观察到一个脉搏波的周期不到 1 s,图 6 中一个周期有大约 40 个点,可得脉搏周期约为 40×0.02 s,即 0.8 s,心率为 75 次每分钟,完全符合正常人的情况,同时比较两图的整体波形,上位机处理后的脉搏波形与传感器输出的模拟信号波形符合的很好。终端所需电流小于 20mA,功耗较低,整体稳定性良好,达到了预定要求。如果校准采样点之间的固定时间间隔,则心率的计算准确度将会提高。

表 3 为无线传输测试结果,测试地点为室内无阻碍物,可见室内近距离传输有很高的传输效率和质量,50 m 内传输丢包率为 0。本项测试受环境影响较大,如果用干

表 3 数据传输测试结果

传输距离/m	发送次数	接收次数	丢包率
1	100	100	0
40	100	100	0
60	100	99	1%
80	100	97	3%

电池而出现电力不足,或者在室外遮挡物较多等等,传输质量会有所下降。

6 结 论

使用 CC2530 芯片搭建了基于 ZigBee 技术的无线脉

搏传感器网络,经测试系统整体稳定性良好,达到试验的预定目标。本实验结合定位技术,对人员搜救^[11],生理监测与报警等开发具有很好的启发意义,而基于 Z-stack 协议栈的开发过程大大简化了项目的难度,缩短了开发周期,使得本项技术有着广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 徐鹏豪,赵志宏,奚文,等.基于 ZigBee 的无线温湿度采集系统研究[J].国外电子测量技术,2013,32(1):33-36.
- [2] 武永胜,王伟,沈昱明.基于 ZigBee 技术的无线传感网络组网设计[J].电子测量技术,2009,32(11):121-124.
- [3] 史源,纪林海,陈春红,等.基于 PVDF 薄膜材料的脉搏传感器的研制[J].山西电子技术,2012(2):83-86.
- [4] 兰羽.HK-2000A 传感器的脉搏测量系统设计[J].自动化技术与应用,2013,32(9):118-120.
- [5] 龚文超,吴猛猛,刘双双.基于 CC2530 无线监控系统设计与实现[J].电子测量技术,2012,35(6):33-36.
- [6] 贾真,杨志柳,王肖雄.一种新型 ZigBee 无线 ECG 采集分析系统[J].电子测量技术,2012,35(10):123-126.
- [7] 张大伟,陈佳品,冯洁,等.面向准危重病患者的区域化无线监护系统研制[J].仪器仪表学报,2014,35(1):74-81.
- [8] 陈建鹏.基于 Zstack 的无线传感器网络设计与实现[J].电子世界,2012(9):130-133.
- [9] 程阳.单片机实现数据的串口发送和接收[J].电子技术与软件工程,2014(9):271-271.
- [10] 吕宏,黄钉劲.基于 ZigBee 技术低功耗无线温度数据采集及传输[J].国外电子测量技术,2012,31(2):58-60.
- [11] 李站明,李振兴.ZigBee 技术在人员搜救系统中的应用[J].电子测量与仪器学报,2011,25(2):186-190.

作者简介

鲍贤亮,在读本科生,研究方向为电路与系统。

庄建军,1973 年出生,副教授,硕士生导师,主要研究方向为生理信号的采集与处理、医疗仪器研发等。

E-mail:jjzhuang@nju.edu.cn