

基于 CC2530 的重症监护病房环境实时监测系统设计

张立¹, 刘奕君², 赵强²

(1. 徐州医学院 医学影像学院, 江苏 徐州 221000; 2. 徐州医学院 医学信息学院, 江苏 徐州 221000)

摘要: 为了实时监测 ICU (intensive care unit) 病房环境中湿度、温度及 CO₂ 浓度等环境信息, 设计了基于 CC2530 的重症监护病房环境实时监测系统, 系统由重症监护病房环境感知节点、网关节点、监控终端等几个部分构成; 以 CC2530 为主处理器完成对感知节点的软、硬件设计, 根据重症监护病房湿度、温度及 CO₂ 浓度等环境信号的特点, 设计各传感器模块的驱动电路; 在 Z-STACK 协议栈的基础上, 设计感知节点软件, 实现数据的转发; 经测试, 网关节点的收包率在 80% 以上, 预警信号产生时间小于 3 s, 监控终端数据刷新能力强, 该系统具有精确度高、实时性强、预警及时等特点。

关键词: CC2530; 重症监护病房环境; 无线传感器网络; 实时监测

Design of Real-time Environment Monitoring System in ICU Based on CC2530

Zhang Li¹, Liu Yijun², Zhao Qiang²

(1. School of Medical Imaging, Xuzhou Medical College, Xuzhou 221000, China;

2. School of Medicine Information, Xuzhou Medical College, Xuzhou 221000, China)

Abstract: For monitoring the real-time environment information including humidity, temperature, CO₂ concentration in ICU, the real-time environment monitoring system in ICU has been designed. This system consists of environmental monitoring node in ICU, gateway node, the monitoring terminal. On the basis of CC2530, the software and the hardware of monitoring node have been designed. According to the characters of humidity, temperature, CO₂ concentration in ICU, the drive circuit of each sensor module is designed. By using the Z-STACK, the software of monitoring node is designed to transmit the collected environment data. The test results show that reception rate of the gateway node is more than 80%, generation time of warning signals is less than three seconds and monitoring terminal has strong ability to refresh data. The system has characters of high accuracy, good real-time performance and timely warning.

Keywords: CC2530; environment in ICU; wireless sensor networks; real-time monitoring

0 引言

病房环境是病人赖以生存与恢复健康的最基本的物质条件, 病房环境的优劣将直接影响手术的效果。相关医学研究表明: 重症监护病房环境的温度宜在 20~26℃, 相对湿度宜为 40%~65%^[1-2]。

无线传感器网络 WSN (wireless sensor network) 是信息科学领域研究的热点, 它是一种自组织的多跳路由无线网络, 通过在监测区域中部署大量低功耗的无线传感器节点, 节点间协同工作从而实现信息的采集与传输。

随着微处理器技术、芯片技术、传感器技术和无线通信技术的发展^[3], 以及片上系统 SOC (system on chip) 的出现, 为解决 ICU 病房环境的监测问题提供了单芯片解决方案。文章结合传感器技术^[4]、zigbee 技术、Android 软件设计技术以及无线传感器网络技术^[5], 设计了能够实时获取医院 ICU 病

房湿度、温度、CO₂ 浓度等环境信息, 并将数据转发到监测终端以及推送预警信号的系统。

1 系统总体设计

系统主要由 ICU 病房环境感知节点、中继节点、网关节点、监测终端及医护人员手持终端等几个部分构成, 系统整体框架如图 1 所示。选用 ZigBee 网络组建本系统感知节点的无线网络^[6-7], 通过网关节点接入到现有以太网^[8]。感知节点实时采集 ICU 病房环境中湿度、温度、CO₂ 浓度等信息, 同时对采集到的数据进行一些可配置的预处理工作, 然后将处理过的数据通过无线的方式直接或由中继节点发送给网关节点。网关节点收到数据后立即将其转发到监测终端, 监测终端将数据分类处理后存入数据库, 若监测终端监听到预警信号, 则将预警信号推送到手持终端。

2 感知节点硬件设计

ICU 病房环境感知节点, 由湿度、温度、CO₂ 浓度等传感器前端、传感器驱动模块、信号调理电路及主处理器模块等几个部分组成, 节点的硬件框架如图 2 所示。节点主处理器模块中选用 TI 公司的集成了 2.4 GHz IEEE802.15.4/ZigBee RF 收发机和增强型 51MCU 的 CC2530 作为主处理器^[9]。传感器前端采集的信号经过驱动模块或信号调理电路处理后, 转换成

收稿日期: 2014-03-31; 修回日期: 2014-05-28。

基金项目: 徐州市科技计划项目 (XM13B021); 徐州市科技计划项目 (XM12B077)。

作者简介: 张立 (1990-), 男, 江苏徐州人, 本科, 主要从事嵌入式技术、体域网、信号处理、传感器网络方向的研究。

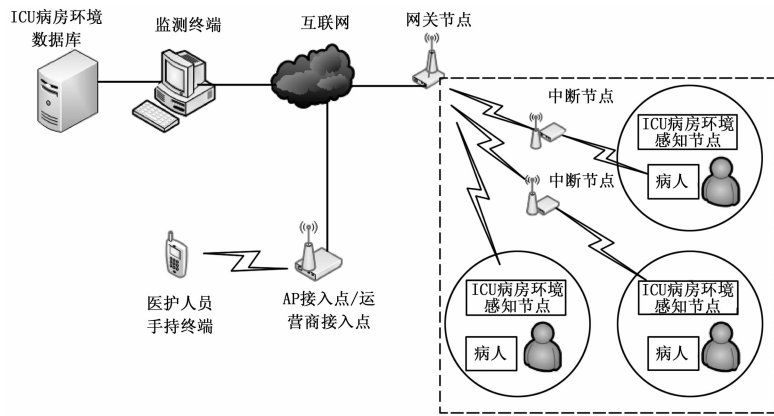


图 1 系统整体框架

CC2530 可以采集的模拟或数字信号, CC2530 完成数据的采集并利用自身的 ZigBee RF 收发机将数据发送出去, 也可以响应按键事件, 实现 ICU 病房环境数据的本地显示。为了降低功耗 CC2530 控制系统大部分时间工作在休眠状态下, 定时开启各驱动模块完成 ICU 病房环境信息的采集和发送工作后, 再次进入休眠。

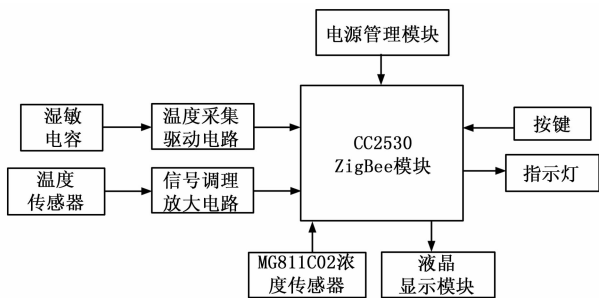


图 2 感知节点硬件框架

2.1 湿度传感器模块设计

电容传感器是目前广泛使用的感应空气湿度变化的方式。传感器的湿敏电容芯片表面中的高分子材料吸附环境中的水分子, 会引起介电常数发生变化^[10-11], 通过湿度采集驱动电路就可以测出空气湿度。湿度采集驱动电路的原理图如图 3 所示, 由晶体振荡电路, 电荷放大器电路, 全波整流电路, 低通滤波器电路组成。将待测电容接入电荷放大器电路, 待测电容在交流激励下呈现一定的容抗, 电荷放大器产生的电压幅值与待测电容成比例, 经全波整流, 低通滤波和 A/D 转换等环节,

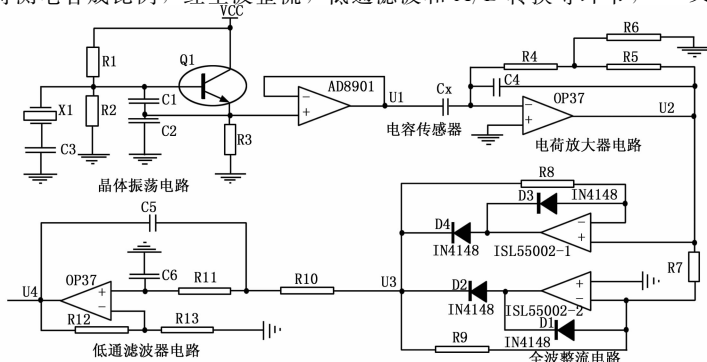


图 3 湿度采集驱动电路原理图

将得到的反映待测电容的数字化电压信号^[7]输出到主处理器进行分析处理, 就可以测得当前空气的湿度。

2.2 温度传感器模块设计

高精度温度测量电路对于精确获取 ICU 病房环境温度来说有重要意义。温度传感器所反映的温度水平的准确程度对医护人员及时获取反馈信息起着至关重要的作用。因此本文选用高灵敏度、高可靠的热敏电阻作温度传感器^[12], 并给出了温度传感器调理电路结构框图, 如图 4 所示。温度传感器调理电路采用桥式温度传感器, 输入信号通过直流电桥将传感器的信号转换为差分信号, 输入到高精度差分放大器, 从而输出满足要求的电压, 然后经过 A/D 转换, 进行数字化处理后, 主处理器就可以采集到高精度温度信息。由于温度传感器电阻变化所引起的电压变化的幅度很小, 作为输入小信号, 平衡输入是设计的关键。为了减小小信号输入的误差, 输入接口电路设计为直流电桥三线制, 能有效地平衡长引线压降引起的测量误差; 同时, 用屏蔽线将三相线屏蔽, 减少外界干扰。

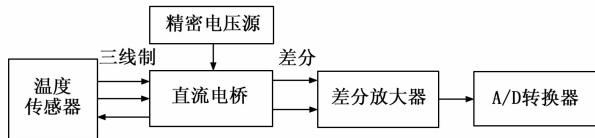


图 4 温度传感器调理电路框图

2.3 CO₂ 浓度传感器模块设计

本文选用的 CO₂ 浓度传感器为 MG811, 该型号的传感器对 CO₂ 有良好的灵敏度和选择性。同时, 传感器本身稳定性与再现性强, 受温湿度的变化影响较小。工作温度范围为 -20~50℃, 模拟输出电压量为 0~2 V, 能够满足系统需求。

3 感知节点软件设计

选用 ZigBee 技术作为感知层网络的组网方式, Z-stack 是 TI 为不断升级和完善的支持 802.15.4 协议产品和平台设计的 ZigBee 兼容协议栈^[13-14]。感知节点在 Zstack2007-Pro 的基础上设计应用程序, 完成 ICU 病房环境信息采集、传输以及预警功能。感知节点的工作流程如图 5 所示。首先执行硬件初始化, 实现 AD、定时器等模块的初始化; 然后进行协议栈初始化; 执行协议栈的入口函数以及硬件配置函数; 根据配置文件选择要加入的网络; 执行 ICU 病房环境信息采集与预警信号产生程序。为了降低节点的能耗, 监测节点周期性的采集 ICU 病房环境信息, 然后进入休眠状态, 也可以通过定时、按键等事件唤醒系统完成信息采集任务。

4 系统测试结果

在实验环境中主要进行网关节点的收包率及预警信号产生时间的测试, 基于 Z-stack 协议栈的无线传感器网络本身存在着传输距离的限制, 并且当遇到障碍物时会出现数据包丢失的问题, 因此进行收包率的测试对在实际医院环境中部署网络有极大的指导意义。与此同时, 本系统对预警信号的实时性有一定的要求, 但是数据在转发的过程中会出现一定的延迟, 因此需要对预警信号

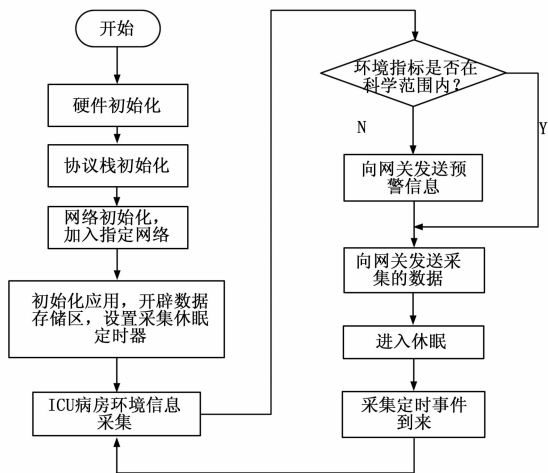


图 5 感知节点软件工作流程图

产生时间进行测试，以便对系统软件进行完善。

首先对无线传感器网络节点收包率进行测试。测试时将网关节点放在实验环境中，并通过串口与笔记本连接；ICU病房环境感知节点放置在与网关节点之间呈一定距离的相同实验环境中，布置好之后，ICU病房环境感知节点就发送 300 个数据包。网关节点收到 ICU 病房环境感知节点发送过来的数据后通过串口调试助手进行统计，并显示收到数据个数。同时用激光测距仪记录两个节点之间的距离，每个定点测量距离通过 3 次实验取平均值，得到两节点在不同距离时网关节点的收包率，图 6 为实验数据曲线。由图 6 可知，当两个节点间距在 65 m 范围内时，网关节点的收包率一直很高，为 100%；间距在 65~75 m 之间时，收包率相对有所下降，但总体还是在 80% 以上；当间距大于 75 m 以后，收包率显著下降，而且基本都在 55% 以下。因此，我们可以总结为在以上实验环境中，节点在 65 m 以内收包率良好。从而，在医院实际部署网络的时候应尽量满足环境感知节点与中继节点之间的距离在 65 m 之内，最多不超过 75 m。并且不同中继节点之间以及中继节点与网关节点之间的距离也在这一范围内，从而达到高收包率的效果。

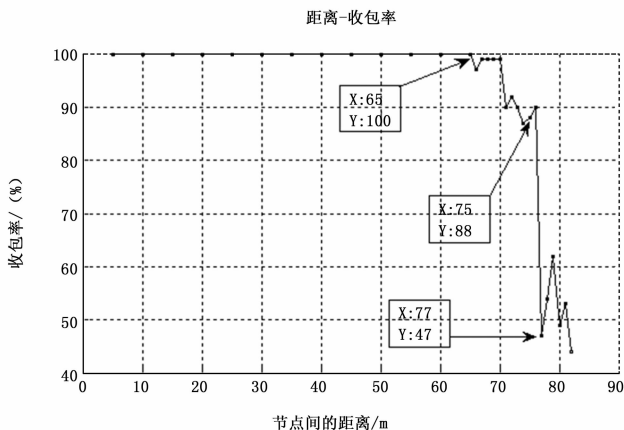


图 6 节点距离与收包率关系图

人为地改变实验环境的温度和湿度，可以观察到监测终端显示的环境信息的实时变化。当人为地使温度指标超出感知节点设定的科学范围，感知节点会立即产生预警信号，监测终端在收到预警信息后通过无线网络向手持终端推送预警信息。经过多次试验，预警信号从产生到推送至手持终端所用时间在 3 s 以内。这足以在病房环境进一步恶化前，为医护人员争取足够的时间去实施措施。由此可见，该系统能够满足及时预警的要求。

实验结果表明，本系统可以满足目前医院对 ICU 病房环境信息监测的需求，具有精确性高、实时性强及预警及时等优势。课题下一步对如何减小感知节点的体积，降低节点功耗进一步研究，提高系统的易用性，同时将结合数据挖掘、人工智能等技术，研究如何根据采集到的海量 ICU 病房环境信息，对 ICU 病房今后的发展提出建设性的意见。

参考文献:

- [1] 李 瀛, Goossens R, 余隋怀, 等. 重症监护病房 (ICU) 建设中人性化环境要素设计探讨 [J]. 西北工业大学学报, 2012, 32 (12): 46-55.
- [2] 蒋晓阳, 杨 村, 徐小玲. 重症监护病房医院感染危险因素的调查与分析 [J]. 广西医学, 2007, 29 (1): 33-35.
- [3] 熊邦宏, 李 扬, 朱洪雷, 等. 无线传感器网络在环境污染监测中的应用设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (2): 258-260.
- [4] 曹正洪, 沈继红. 基于模糊集理论的传感器健康度评价方法 [J]. 电机与控制学报, 2010, 14 (5): 79-83.
- [5] 叶小玲, 王 伟, 张颖超, 等. 无线传感器网络中一种改进的 DV-Hop 定位算法 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (2): 488-490.
- [6] 朱 亮, 王绪国, 庾嘉平, 等. 基于 ZigBee 的医疗监护系统的设计与研究 [J]. 微型机与应用, 2013, (19): 66-68.
- [7] 轩运动, 赵 湛, 方 震, 等. 基于无线体域网技术的老人健康监护系统的设计 [J]. 计算机研究与发展, 2011, (S2): 355-359.
- [8] 褚御芝, 郑宝玉. 认知无线网络中基于最佳中继选择的协作传输策略. 仪器仪表学报, 2011, 32 (3): 520-526.
- [9] Texas Instruments. CC2530 Datasheet [Z]. Texas Instruments semiconductor, 2009.
- [10] 丁广华, 刘清倦, 刘 恒. 探空湿度传感器的信号调理电路设计 [J]. 科学技术与工程, 2013, 6 (13): 1561-1565.
- [11] Guichard F, Parsons D, Miller E. Thermodynamic and radiative impact of the correction sounding humidity bias in the tropics [J]. Journal of climate, 2000, 20 (13): 3611-3624.
- [12] 范玉伟. 工业用热电阻温度计的使用注意事项 [J]. 中国计量, 2003, (2): 51.
- [13] 杨 松, 胡国荣, 徐沛成, 等. 基于 CC2530 的 ZigBee 协议 MAC 层设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2013, 34 (11): 3840-3844.
- [14] 任珍文, 黄玉清. 基于 CC2530 的无线传感器网络监控平台 [J]. 电子技术应用, 2012, 38 (10): 122-125.