

# 基于 ZigBee 无线传感器网络的输液监测系统的设计

潘小琴<sup>1</sup>, 魏鑫<sup>2</sup>, 赵玉乐<sup>2</sup>, 熊永鹏<sup>2</sup>, 王倩<sup>2</sup>, 杨薛涛<sup>2</sup>

(1. 西南科技大学 工程技术中心, 四川 绵阳 621010;

2. 西南科技大学 工程技术中心智能机器人创新实践班, 四川 绵阳 621010)

**摘要:** 结合 ZigBee 无线通信技术设计了一款输液监测系统, 该系统有效地解决了静脉输液过程中存在的输液速度难掌控、输液中断无报警、输液完毕无提示等问题; 采用 ZigBee 无线传感器网络和红外光电传感器对输液过程进行实时监测, 并将采集的液滴速度、液位信息、输血量等信息反馈至上位机, 医护人员通过上位机可视化软件平台监测输液过程; 实施结果表明: 该系统液体滴速检测准确, 其误差在 $\pm 2$ 滴以内, 当液位降低到一定量或者输液出现异常情况时, 终端节点可以发出声光报警信息, 上位机软件发出橙色或者红色报警信息, 提醒医护人员有效地处理紧急情况, 提高输液的安全性, 减少医疗事故。

**关键词:** 输液监测; 红外对管; 滴速; 无线传感器网络; ZigBee 技术

## Design of Infusion Monitoring System Based on ZigBee Wireless Sensor Networks

Pan Xiaoqin<sup>1</sup>, Wei Xin<sup>2</sup>, Zhao Yule<sup>2</sup>, Xiong Yongpeng<sup>2</sup>, Wang Qian<sup>2</sup>, Yang Xuetao<sup>2</sup>

(1. Center of Engineering and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;

2. Innovation Practice Class, Center of Engineering and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

**Abstract:** The design of a transfusion monitoring system based on ZigBee wireless communication technology, which effectively solve the problems as follow, intravenous infusion rate existing in the process is difficult to control, no alarm for infusion interrupt, infusion is completed silently and other issues. Using infrared photoelectric sensor for real-time monitoring of the infusion process, such as droplet velocity, information of liquid level and infusion volume, and feedback the information via ZigBee wireless networks to the host machine. Medical staff at the nursing station can keep track of the information of entire hospital infusion through a visualization software platform, timely and effective manner to deal with emergencies. Implementation results show that: the system liquid drip detection accuracy, the error at  $\pm 2$  drops, when the liquid level is lowered a certain amount or infusion abnormal situation occur, the terminal nodes can audible alarm, PC software issued an orange or red alert message, effectively improve transfusion safety and reduce medical errors.

**Keywords:** infusion monitoring; infrared tube; droplet velocity; wireless sensor networks (WSN); ZigBee technology

## 0 引言

静脉输液是临床医学中经常使用的一种治疗手段<sup>[1]</sup>, 在输液的过程中, 需要调节点滴速度和监视瓶中剩余药量。目前, 大多数医疗机构仍然采用人工监控为主, 根据目测手动调节点滴速度, 易造成估计不准确; 当输液完毕时, 医护人员若未及时采取处理, 容易出现空气进入血管形成空气栓塞, 凝血堵塞针头等情况, 轻则延误治疗, 重则危及病人生命安全, 导致医疗事故。

为了减轻医护人员的劳动强度, 提高输液的安全性, 降低医疗事故概率, 设计了一个可以对上百个病床床位输液进行监测的智能系统。

## 1 系统方案设计

该系统可分为 PC 上位机和无线传感器网络两部分, PC 上位机位于护士站内, 无线传感器网络则覆盖所有病房。Zig-

Bee 技术以其低功耗、低速率、低复杂度、低成本的特点和灵活的组网方式, 非常适合于构建无线传感器网络<sup>[2]</sup>。因此, 选用 TI 公司的 CC2530 芯片为控制核心, 红外光电传感器检测滴速和临界液面高度, 1602LCD 进行数据显示。

无线传感器网络由协调器 (Coordinator)、路由节点 (Router) 和终端节点 (EndDevice) 3 种设备组成。协调器作为全功能设备 (FFD), 需要比较强的处理和存储能力, 无线传感器网络中所有的网络消息全部汇聚到协调器<sup>[3]</sup>。终端节点采集和提取输液相关的数据, 通过无线通信方式汇集到路由节点, 路由节点将数据中转到协调器, 协调器与上位机通过 RS232 相连, 上位机有专用的软件对数据进行计算、分析、存储和显示。一旦输液中断或者即将输液完毕, 上位机报警并提示护士进行处理。

结合医院病房的分布结构, 考虑到有的病房和护士站距离远, 而有的病房比较封闭, 终端节点的无线信号可能会因为距离超出范围或者是多道墙的阻隔而无法发射到护士站, 导致数据的丢失。因此本系统在各病房门口的走廊过道处设置有路由节点, 用于中转病床终端节点和协调器之间的信息, 从而解决了无线信号绕墙传输的问题, 保证了系统的可靠性, 系统拓扑结构如图 1 所示。

收稿日期: 2014-02-12; 修回日期: 2014-04-14。

基金项目: 西南科技大学实验室开放项目 (13xnf50)。

作者简介: 潘小琴 (1986-), 女, 重庆市人, 助教, 硕士, 主要从事无线传感器网络和智能机器人技术方向的研究。

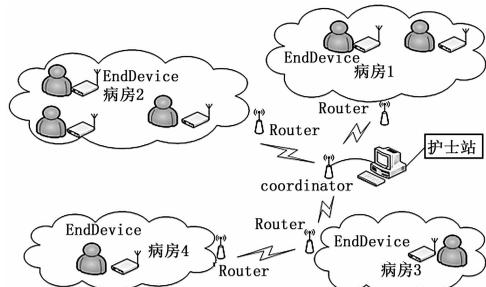


图 1 系统网络拓扑

## 2 终端节点的硬件设计

### 2.1 终端节点的功能设计及工作原理

终端节点主要采集液滴滴速和液位信息，每个终端节点有独立的编号，并与病床号一一对应。终端节点监测输液滴速，实时显示滴速情况，监视药液剩余量，一旦输液快要结束就进行声光报警，并将报警信息上报到上位机。终端节点主要由液滴检测模块、液位检测模块、无线通信模块、电源模块、键盘、显示模块及报警电路组成。

### 2.2 液滴、液位检测原理

系统采用红外技术检测滴速，红外发射管和接收管分别固定于茂菲氏滴管（俗称漏斗、滴壶）的两侧，保持水平对准，其形状为 U 型，便于固定<sup>[4]</sup>，如图 2 所示。当药液在重力的作用下以自由落体方式滴下，通过红外检测口时，由于药液对红外光的反射、吸收等作用，接收管接收到的红外光减弱，与无药液滴下的情况产生明显区别，其输出的电平信号表现为 1 V 左右不规则脉冲，持续时间为 10~15 ms。每一个液滴的滴落对应一次正脉冲，将此脉冲进行整形转换为高低电平，最后输入到 CC2530 的 I/O 口即可对液滴进行计数。

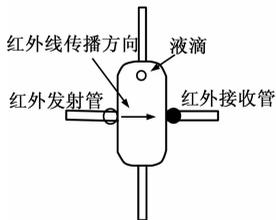


图 2 液滴检测装置

同理，利用红外对管可以组成液位检测模块，水平固定于输液瓶上<sup>[5]</sup>。一旦液位低于所设定的位置，也就是从有水变为无水时将引起接收管的信号差异。为方便检测，对此信号进行放大，设定一个门限电平，使接收信号高于门限电平时，单片机产生一个中断信号报警，提醒护理人员换水。

### 2.3 液滴检测信号的抗干扰处理

液滴检测电路是输液监测的重点，如果滴速计算不准确，输液时间计算就有出入，报警不准反而给护士增加负担。检测电路由两部分组成：一部分是红外对管，固定在滴管两端，测量液滴速度；另一部分是对信号进行滤波、放大、整形等处理电路。

一般情况下，点滴滴落经过红外传感器时会产生一个脉冲，以低电平触发有效则输出一个负向脉冲。由于被测液体为无色透明体，容易受杂散光干扰，为提高系统的抗干扰性，采用带反馈的二阶有源低通滤波器对信号进行滤波<sup>[6]</sup>，电路原理

如图 3 所示， $D_1$ 、 $Q_1$  为红外对管， $U_2$ 、 $C_2$ 、 $C_4$ 、 $R_4$ 、 $R_8$ 、 $R_9$  组成低通滤波器。实际输液中，最高滴速为 300 滴/分，即 5 滴/秒，因此将滤波器截止频率选在 4~6 Hz。

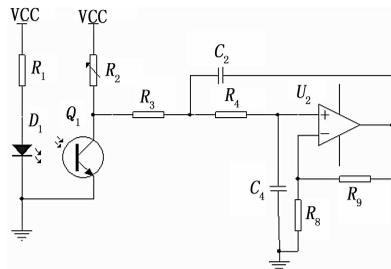


图 3 滤波电路

经过二阶有源低通滤波器后的信号并非规则的脉冲信号，因此需要经电压比较器放大整形为标准的脉冲信号，电路如图 4 所示，其中  $U_1B$ 、 $R_5$ 、 $R_{10}$ 、 $R_{11}$ 、 $C_5$  组成单门限比较器， $U_3$ 、 $R_7$ 、 $C_6$  组成不可重复触发的单稳态触发器。信号接入电压比较器的反相输入端，考虑到脉冲信号的幅度在 1 V 左右，设置比较器的比较电压  $V_s$  为 0.8 V，将信号整形为一串规则的矩形脉冲。

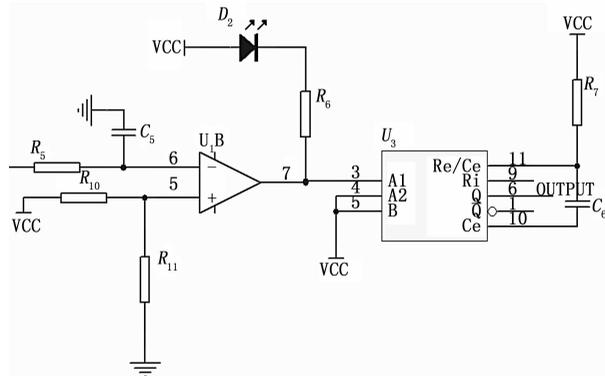


图 4 脉冲放大整形电路

因为液滴近似椭圆形，当平行的红外光线分别照射于液滴的上、中、下端时，由于入射角度不同所以折射角也不一样，接收管所接收到的光强度不一致，将导致间隔较近的双脉冲误信号<sup>[7]</sup>，如图 5 (a) 所示。由于脉冲的双峰值比较接近，该信号经过比较器之后形成规则的双脉冲，如图 5 (b) 所示。采用软件延时或者硬件滤波均可以消除此误信号，考虑到系统的稳定性，选择 74121 组成的不可重复触发的单稳态触发器来处理，设置输出信号的脉宽  $T$  大于单脉冲持续时间，这样在双脉冲时，只有第一个脉冲会触发产生翻转，从而避开第二个误脉冲，得到信号如图 5 (c) 所示，此时，脉冲一一对应于液滴个数。

### 2.4 基于锁相环技术的倍频采样

由于液体的流速在 20~300 滴/分之间，采用一般的计数法或周期法进行滴速采样，其采样时间较长则无法保证系统的灵敏性，若直接缩短采样时间，又无法保证采样精度<sup>[8]</sup>。因此，采用锁相环频率合成技术，先对被测信号进行倍频处理，然后再对其进行采样，这样可以同时保证灵敏性和采样精度。

锁相环集成电路采用 CD4046，该芯片内部主要部分是相位比较器 (PD) 和压控振荡器 (VCO)。被测滴速信号  $f_1$  作

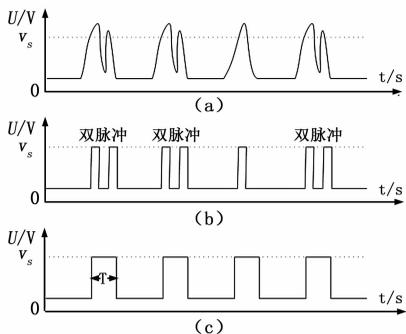


图 5 双脉冲信号处理

为相位比较器的输入信号, 在 VCO 到相位比较器的反馈回路中增加一个分频器, 而由 VCO 产生的信号  $f_2$  经分频器后作为相位比较器的另一个信号, 当相位锁定后, 有  $f_1 = f_2'$ , 而  $f_2' = f_2/N = f_1$ , 因此  $f_2 = Nf_1$ , 即可实现对输入信号的  $N$  倍频, 经过实验并对比,  $N=20$  比较合适, 选择合适的采样时间, 对脉冲个数进行计数, 经过换算便可得出液体滴速。

### 3 程序设计

#### 3.1 无线传感器网络节点程序设计

系统主要是基于 ZigBee 协议 (IEEE 802.15.4) 来进行设计<sup>[9]</sup>。协调器上电后首先初始化 ZigBee 协议栈, 扫描信道及空闲信道评估, 选择合适的信道和网络标示符, 建立一个 PAN (Personal Area Network) 网络。随后等待路由节点和终端节点的连接请求, 确认是否合法之后发出允许连接的命令, 网络组建完成后, 等待 PC 上位机的命令和子节点上报的数据, 协调器流程如图 6 (a) 所示。

终端节点上电后, 首先要进行系统初始化, 然后向协调器发送连接请求, 入网成功之后进行系统参数设置, 这里包括选择输液器滴系数、输液总容量等参数。紧接着是自检, 包括电池电量检查、网络检查, 如果自检不正常则进行错误提示和报警, 上报协调器; 若自检正常则等待 I/O 口中断进行滴速、液

位检测, 对结果是否符合要求进行判断, 上报协调器, 终端节点流程如图 6 (b) 所示。路由器节点主要是在协调器和终端节点之间起到数据的传递作用, 其入网流程同终端节点, 这里不再赘述。

#### 3.2 上位机软件设计

上位机软件负责对全部的节点进行可视化管理, 包括节点的入网状态、滴速显示、输液总量、剩余量、滴速异常报警和液位警戒报警等功能的显示, 软件使用 C++ 开发。

### 4 实验结果与分析

此系统最重要的是保证液体滴速的准确检测, 着重对滴速进行详细的测试。液体选用袋装生理盐水, 测量范围从 25~200 滴/分, 每增加 25 滴为一个量级, 每一量级测量 20 组数据, 测试结果显示, 滴速测量误差为  $\pm 2$  滴。产生误差的原因有很多方面: 液滴对红外光线的折射、滴管的轻微晃动、室内灯光的干扰、以及滴速太快造成无法区分的连续两滴液滴等。

液位检测采用红外对管实现, 为了保证报警正确率在 95% 以上, 其结果采取多次测量值取平均之后再报警, 因此, 系统对液位临界点的测量有一定的响应延时。测量结果显示: 响应延时在 2~5 s 之间, 与滴速成反比。

无线通信网络采用 ZigBee 技术实现, 节点的通信距离在 100 m 左右, 完全满足房间内部到走廊的通信要求, 无线网络的布置可根据医院的病房布局, 合理的设置终端节点和路由节点的个数, 以达到完全覆盖整个输液区域。

### 5 结束语

输液监测系统利用无线通信技术实现多路信息数据的采集、传输与显示, 可以对多病房多床位进行集中远程监测, 实现医院输液的智能化。并且, 系统可根据病房数量调整终端节点数量, 具有很好的扩展性。此系统可以供值班护士在上位机查看各个病房的输液情况, 给患者提供迅速及时的治疗和护理, 提高了护士的工作效率, 同时也减少了安全隐患。

#### 参考文献:

- [1] 王紫婷, 王瑞峰, 严天峰. 智能液体点滴速度监控仪 [J]. 自动化与仪器仪表, 2004, (5): 48-49.
- [2] 周 宇, 景 博. 基于 ZigBee 无线传感器网络的嵌入式远程监测系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2008, (2): 47-49.
- [3] 刘继忠, 敖俊宇, 黄 翔. 基于 ZigBee 的水质监测无线传感器网络节点 [J]. 仪表技术与传感器, 2012, (6): 64-65.
- [4] 刘红青. 基于 MSP430F149 智能医疗输液系统的设计 [D]. 山西: 太原理工大学, 2011.
- [5] 张志艳, 杨小亮, 马宏忠. 输液速度自动控制系统的的设计 [J]. 自动化与仪表, 2009, (11): 53-56.
- [6] 李和太, 赵 新, 李 新, 等. 智能输液监控系统的研制 [J]. 沈阳工业大学学报, 2006, 28 (3): 318-322.
- [7] 贺桂芳, 武晓明. 输液集中管理系统的研制 [J]. 仪表技术, 2012, (5): 4-7.
- [8] 贾少青, 李爱华, 陈 平. 智能输液监控系统设计与实现 [J]. 山东理工大学学报 (自然科学版), 2007, 21 (4): 66-68.
- [9] 秦霆镐, 豆晓强, 黄文彬, 等. Zigbee 技术在无线传感器网络中的应用 [J]. 仪表技术, 2007, (1): 57-59.

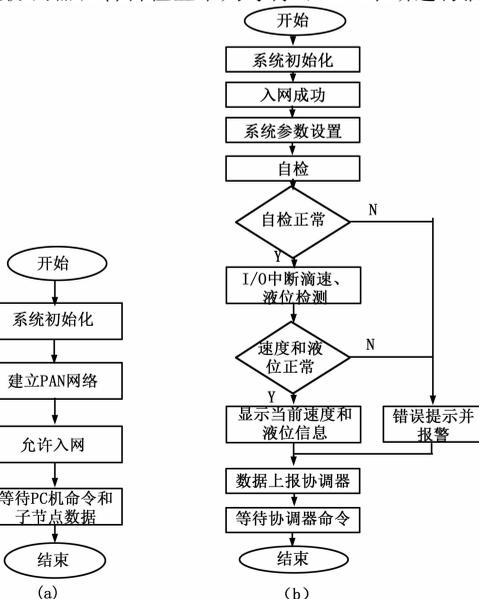


图 6 协调器和终端节点流程图