

基于单片机的智能输液监测系统设计

高静怡¹, 陶斯美², 王文豪², 徐 谦¹, 丁 骞², 覃业梅^{2*}

¹湖南工商大学计算机学院, 湖南 长沙

²湖南工商大学智能工程与智能制造学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2022年12月12日; 录用日期: 2023年1月5日; 发布日期: 2023年1月12日

摘 要

目前, 静脉输液仍然是我国应用最广泛的临床治疗手段, 每年我国因输液过程中产生不良反应而未及时处理导致死亡的事故频有发生。针对以上问题, 本文设计了一种基于单片机的智能输液监测系统, 单片机主控模块、输液速度检测模块、液尽检测模块、语音识别模块、心率监测模块、输液速度控制模块、报警模块、无线传输模块和上位机。该系统以STM32单片机为控制核心, 采用光电传感器实现输液速度以及液尽的检测, 采用血氧传感器检测患者心率, 通过电机控制齿轮的方式调节输液速度, 当患者出现异常情况时可通过语音模块主动呼叫医护人员, 输液过程中的数据将通过无线通信方式实时地传输到护士站和手机端显示。本设计不仅可以实时监测患者输液时的状态, 还能根据患者的输液情况自动调节输液速度, 提高了输液的安全性和可靠性。

关键词

STM32单片机, 光电传感器, 输液速度检测, 自动控制, 无线通信

Design of Intelligent Infusion Monitoring System Based on Single Chip Microcomputer

Jingyi Gao¹, Simei Tao², Wenhao Wang², Qian Xu¹, Qian Ding², Yemei Qin^{2*}

¹School of Computer Science, Hunan University of Technology and Business, Changsha Hunan

²School of Intelligent Engineering and Intelligent Manufacturing, Hunan University of Technology and Business, Changsha Hunan

Received: Dec. 25th, 2022; accepted: Jan. 5th, 2023; published: Jan. 12th, 2023

Abstract

At present, intravenous infusion is still the most widely used clinical treatment method in our

*通讯作者。

文章引用: 高静怡, 陶斯美, 王文豪, 徐谦, 丁骞, 覃业梅. 基于单片机的智能输液监测系统设计[J]. 传感器技术与应用, 2023, 11(1): 51-57. DOI: 10.12677/jsta.2023.111006

country. Every year, because of the adverse reaction caused by intravenous infusion process, death accidents caused by not timely treatment occur frequently. In view of the above problems, this paper designs an intelligent infusion monitoring system based on the single chip microcomputer, including the main control module of the single chip microcomputer, infusion speed detection module, liquid exhaust detection module, voice recognition module, heart rate monitoring module, infusion speed control module, alarm module, wireless transmission module and upper computer. The system uses the single chip microcomputer as the control core, uses the photoelectric sensor to detect the infusion speed and liquid exhaust, uses the blood oxygen sensor to detect the patient's heart rate, adjusts the infusion speed through the motor to control the gear, and can call the medical staff actively through the voice module when the patient has abnormal conditions. The data during infusion will be transmitted to the nurse's station and mobile phone terminal in real time through wireless communication. This design can not only real-time monitor the patient's state of infusion, but also automatically adjust the infusion speed according to the patient's infusion situation, improving the safety and reliability of infusion.

Keywords

STM32 MCU, Photoelectric Sensor, Infusion Speed Detection, Automatic Control, Wireless Communication

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前,国际上每年每人的静脉输液量平均为 2.5-3.3 瓶,就我国而言,每年每人平均输液量 8 瓶,总量超过 100 亿瓶,其中每年约有 39 万人死于输液不良反应[1] [2]。在如今新冠肺炎疫情持续的情况下,静脉输液仍是临床医学中最常用的辅助医治方法之一[3]。大量的输液患者极大地增加了护士的工作量,根据相关数据表明,输液工作时间占护士每天工作时间的 75% 以上[4]。高强度的工作使得护士无法顾及所有的输液患者,这将使得患者在输液过程中存在一定的安全隐患[5]。患者输液过程中,若输液速度不当,可能会使患者身体感到不适、发热、寒战增加血量及心脏负荷,甚至导致心衰[6],严重危及患者生命。一些患者一天可能需要输入多组药液,长时间卧床会使患者困乏甚至熟睡,若是此时输液完成但未及时进行换瓶或拔针操作,就会出现空气进入血管内形成空气栓塞、凝血堵针的现象,轻则延误治疗,重则危及患者安全,甚至发生医疗事故[7] [8]。现今我国大部分医院的静脉输液仍然采用传统的人工看护方式[9],大量的陪护人员给医院的管理工作带来困难,同时也增加了患者的经济负担[10]。若是能设计一款自动检测患者输液速度、液尽情况并及时将此信息传输到护士站的系统,将能在很大程度上减少护士的工作量,提高患者输液过程中安全性。

针对以上问题,本文设计了一款以 STM32 单片机为控制核心,通过光电传感器对输液速度以及液尽情况进行实时监测,利用 MAX30102 血氧传感器对患者心率进行监测,使用电机模块对输液杆的伸缩进行调整进而调节输液速度的大小,采用语音模块使患者能够及时呼叫护士或进行输液速度的调节,使用 ESP8266 模块将输液过程的相关信息及时传输至护士站或手机小程序端,方便护士或看护人员及时查看患者输液情况,减轻护士们的工作量。该系统能从患者心率客观角度以及患者感受主观角度对输液速度进行调节,极大地确保了患者输液过程的安全性,同时也提高了输液过程的舒适度,让患者拥有更佳的就医体验。

2. 系统结构设计

本系统设计一个基于 STM32 单片机的智能输液监测系统，其主要由 STM32 单片机主控模块、输液速度检测模块、液尽检测模块、语音识别模块、心率监测模块、输液速度控制模块、报警模块、无线传输模块和上位机构成，系统结构框图如图 1 所示。输液速度检测模块、液尽检测模块利用红外光电技术判断滴管中药液滴落的速度以及是否还有药液，心率监测模块采用光电容积法测量患者的心率，输液速度控制模块利用电机控制输液杆的伸缩进而控制输液速度，语音识别模块结合深度学习、算法降噪等技术对患者语音进行识别与指令下达，以上的信息将通过无线传输模块实时的传输至护士站或手机端，系统一旦检测到异常情况将发出声光报警，及时通知医护人员。该系统在较大程度上减少医护人员的工作量，提高了输液过程中的安全性。

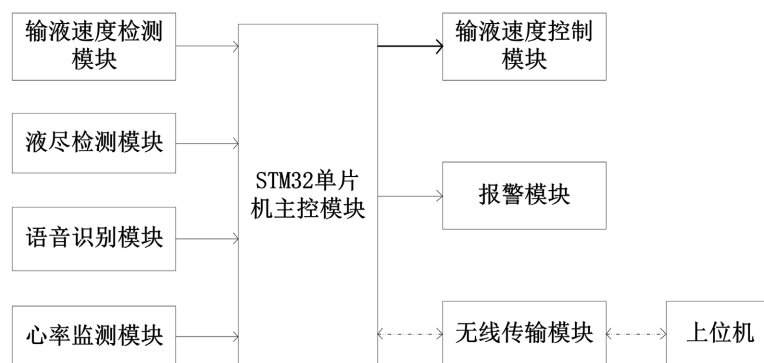


Figure 1. System structure block diagram
图 1. 系统结构框图

3. 系统硬件设计

3.1. 输液速度及液尽监测模块

本系统采用槽型红外光电传感器以及光电液位传感器检测输液速度以及液尽情况，其主要实现原理是利用了液体与空气折射率的关系。在槽型光电传感器的两端分别有一个投光部和受光部，投光部发出一束光，受光部接收传来的光信号，当有液体时，光将穿透液体，此时受光部处于不受光状态，传感器输出高电平，如图 2(a)所示；当没有液体时，光将被滴管折射，此时受光部处于受光状态，传感器输出低电平，如图 2(b)所示。

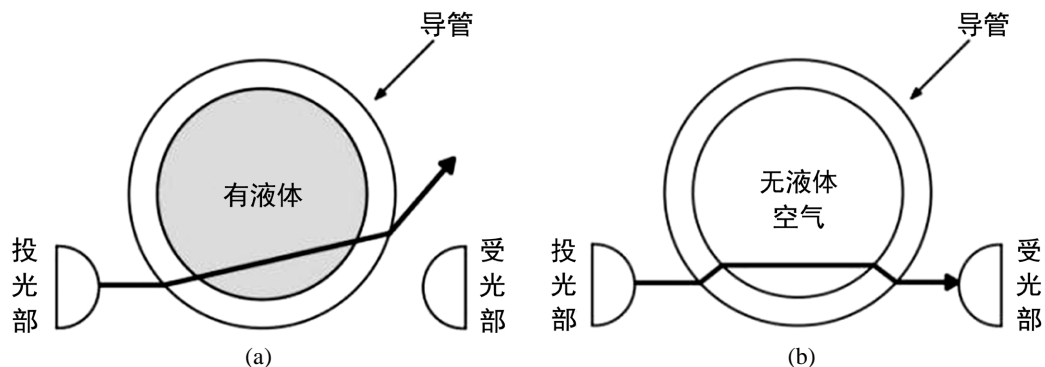


Figure 2. Schematic diagram of the channel infrared photoelectric sensor. (a) State with liquid; (b) State without liquid
图 2. 槽型红外光电传感器原理图。(a) 有液体时状态；(b) 无液体时状态

3.2. 心率监测模块

本系统采用 MAX30102 血氧传感器实现心率测量, 采用光电容积脉搏描记法进行测量。当 LED 光射向皮肤, 透过皮肤组织返回的光波被该传感器接收转换为电信号, 再经过 AD 转换为数字信号。肌肉、骨骼、静脉等对光的吸收基本不变, 但血液不同, 由于动脉中有血液的流动, 则动脉对光的吸收也自然有所变化。由于动脉对光吸收有所改变, 而其他组织对光的吸收基本不变, 由此采集的信号便有直流信号和交流信号之分, 提取其中的直流信号并进行分析便能得到血液流动情况, 进而计算心率大小。

3.3. 输液速度自动控制模块

本系统利用伺服电机以及可调节高度输液架作为输液速度的控制装置, 设计的输液架结构简图如图 3 所示。

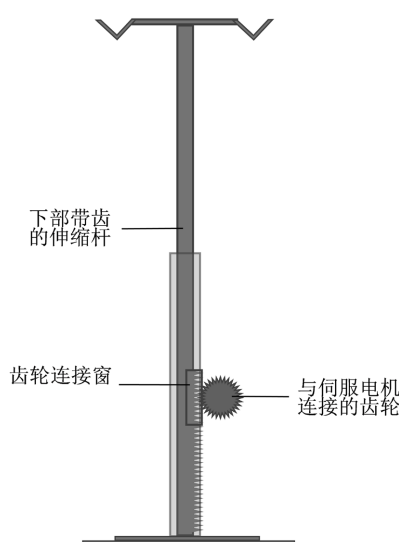


Figure 3. Schematic diagram of infusion rack structure

图 3. 输液架结构简图

依托输液速度及液尽监测模块——通过槽型红外传感器检测出滴管内药液点滴速度, 利用 STM32 单片机将得到的滴速数据处理转换为脉冲信号并输入伺服电机, 伺服电机将会根据接收到的脉冲数量旋转相应的转数, 由此实现 STM32 单片机驱动伺服电机的转动。此时, 齿轮连接窗处与伺服电机连接的齿轮也将同时转动, 带动输液架伸缩杆移动来调节储液瓶的高度以改变滴壶到输液处的高度差, 而由于液体压强受到液面高度差影响(呈线性关系), 可以实现对药液点滴速度较为精确地调节。

在精度控制方面, 由于伺服电机自身有发出脉冲的功能, 它在旋转时会发出对应数量的脉冲。装置运作过程中, 伺服电机自身发出的脉冲与接收到的经单片机处理转换得到的脉冲形成闭环, 使得系统可以更加精准地控制伺服电机的转动, 从而实现储液瓶高度调整的精确定位, 精确度可以达到 0.01 mm。

4. 系统软件设计

4.1. 主函数设计

在主函数中, 将会先对系统所有模块进行初始化, 接着将会进行液尽检测以及患者心率检测。当检测到还有药液剩余时将进行输液速度的检测, 若输液速度过快或过慢将会驱动电机调节输液架高度进而调节输液速度, 使输液速度在正常范围内; 当检测到没有药液剩余时或患者心率异常时, 系统将发出警报通知

医护人员进行下一步的处理。以上所有的数据将会通过无线通信的方式实时传输至护士站。如图 4 所示为系统主函数设计流程图。

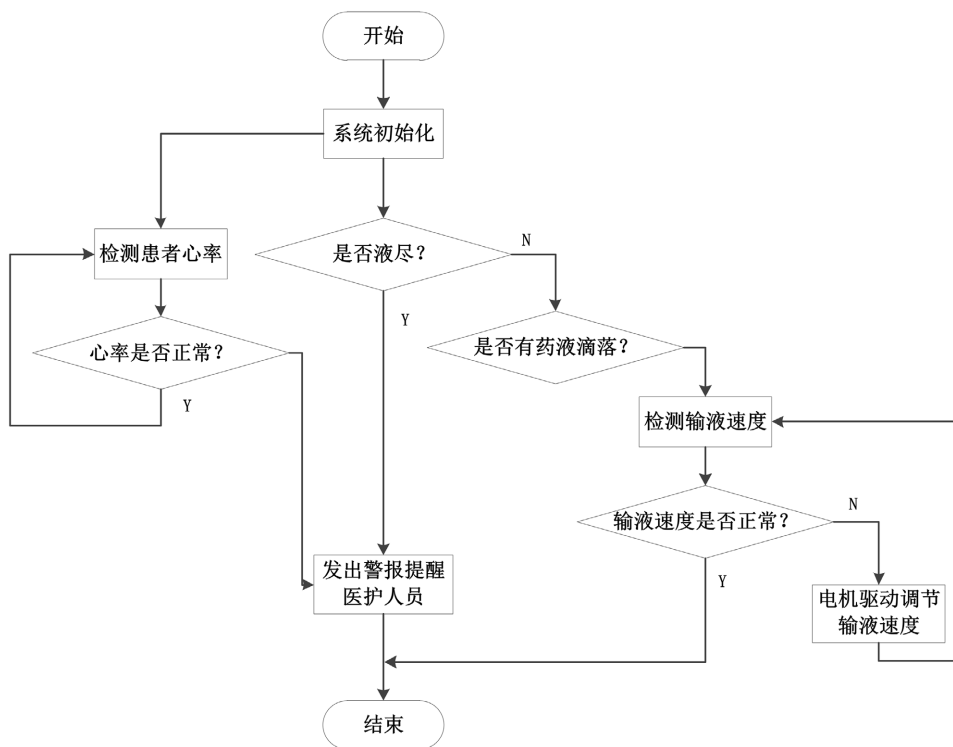


Figure 4. Design flow chart of system main function
图 4. 系统主函数设计流程图

4.2. 系统子程序设计

4.2.1. 输液速度及液尽监测程序设计

在输液速度及液尽监测的程序设计, 外界的液滴和液位情况将会通过光电传感器检测到, 通过 STM32 单片机捕获传感器的输出信号并进行判断。对于输液速度的计算, 采集 1 分钟内液滴滴落次数, 连续采集 5 次取平均值得到最终的输液速度。对于液尽检测, 采用槽型液位光电传感器检测液体状态, 结合输液速度进行液尽判断, 当传感器检测不到液体同时输液速度为 0 时, 则表示输液已经完成。

4.2.2. 心率监测程序设计

患者心率通过 MAX30102 传感器进行采集, STM32 单片机读取 MAX30102 输出的电信号并将其转换为脉搏波信号, 将读取到的脉搏波信号进行滤波平滑处理, 将得到的较为平滑的信号再进行处理后提取到心率参数。由于刚穿戴心率监测器时收到的信号会有很大干扰, 所以去除这段时间内的心率信号后再判断心率是否在正常值范围内, 如果不在正常范围内, 则发出警报信号给无线通信模块处理。

1) 滤波平滑算法

由于从 MAX30102 中接收到的脉搏波信号还包含着许多噪音。所以要将原始的脉搏波信号用软件算法对脉搏波信号进行滤波处理, 在保证波形特征的基础上使波形更加平滑, 从而更好地对脉搏波信号进行特征提取。滤波平滑是先将原始的脉搏波信号先进行均值滤波, 再进行低通滤波处理, 在这两步中, 调用相应的滤波算法程序即可。

2) 对滤波平滑后的信号处理

由于脉搏波信号一个周期波形对应心脏跳动一次的过程, 所以通过脉搏波信号可以提取出人体心率。采用动态差分阈值算法提取到脉搏波信号峰值。根据相邻两个波峰之间的采样点 N 和采样率 F 可以计算脉搏波周期 T 。得到脉搏波周期 T 后, 便可以计算出心率 H 。各计算公式如下: $T = N/F$; $H = 60/T$ 。

4.3.3. 语音模块程序设计

该程序基于 C 语言设计, 与后端服务器的通信协议采用 socket 通信协议。语音开发板的整体逻辑较为简单, 算法层面都交由服务器完成。

后端算法主要包括基于 LMS (least-mean-square, LMS) 的语音降噪、语音识别 (Automatic Speech Recognition, ASR)、智能语音回复、语音合成 TTS (Text to Speech, TTS) 算法等。

1) 语音降噪

在使用音箱录制声音时, 语音信号在传递过程中都会混有一定的噪声。一般信号属于窄带, 噪声则属于宽带, 且通常会覆盖语音信号频率范围, 所以在进一步处理信号前 (如语音识别, 语音编码), 往往要对信号进行降噪。语音降噪的经典方法是 LMS, 属于随机梯度算法族中的一员。该算法在随机输入维纳滤波器递推计算中使用确定性梯度, 其基本原理是使误差信号的均方误差最小, 它的核心思想是用平方误差代替均方误差。

2) 语音识别

后端服务器的语音识别采用基于深度学习的端到端的语音识别技术, 采用的深度学习框架为 tensorflow。本设计中 ASR-ONE 模型由两部分组成, 分别是声学模型和语言模型。其中声学模型是实现将语音序列转为汉语拼音序列, 语言序列是实现将汉语拼音序列转汉字序列。

在声学模型中, 将输入的原始音频进行分帧加窗等操作, 之后获取其 Mel 频率倒谱系数 (Mel Frequency Cepstrum Coefficient, MFCC) 作为特征。将语谱图输入声学模型的前部分——VGG (Visual Geometry Group Network, VGG) 结构中, 随后再用 4 层 LSTM (Long short-term memory, LSTM) 提取序列特征, 最后通过 CTC (Connectionist Temporal Classification, CTC) 解码得到汉语拼音序列。

语音模型则使用基于概率图的最大熵隐马尔可夫模型, 将拼音转化为汉字。是一种无需中文分词算法的简单词频统计方式。

5. 实验结果

在本系统中, 通过红外光电传感器能精准的实现输液速度的检测, 结合光电液位传感器能准确判断液尽情况。当检测到输液速度过快或过慢时, 输液杆的电机将对杆进行上下调整进而调节输液速度, 使输液速度保持在正常的阈值范围内。在输液过程中, 每隔十分钟会对患者进行一次心率测量, 一旦检测到输液滴管内没有液体或患者心率不在正常范围内将会进行声光报警, 及时提醒医护人员进行相关专业操作。当患者感觉不适或输液已经完成, 可以通过系统中的语音模块直接呼叫护士进行相关处理。本系统大大降低了护士们的工作量, 提高了输液过程中的安全性。

6. 结语

本文深入研究了基于单片机的智能输液监测系统的设计原理以及实现方式, 本次设计中无线通信模块使系统实现了一机多能、一机多用的功能, 便于医护人员同时对多位输液患者进行远程、实时的集中管理。本系统可以很好地实现输液的智能化实时监测及控制、提升医护工作效率、降低医护人员工作量, 同时提升患者舒适度, 弥补了当前医院静脉输液过程中的不足, 具有一定临床应用意义。

参考文献

- [1] 马龙, 邓素碧, 何铭. 基于物联网的无人守护输液监控系统[J]. 物联网技术, 2022, 12(3): 38-41.
<https://doi.org/10.16667/j.issn.2095-1302.2022.03.011>
- [2] 李意如, 姚茂明, 韩雅琪, 潘涛, 孔菲蝶, 崔忠伟. 基于单片机的输液监测系统设计与实现[J]. 物联网技术, 2021, 11(10): 24-25+29. <https://doi.org/10.16667/j.issn.2095-1302.2021.10.007>
- [3] 周朝霞, 林飞虎. 基于 51 单片机的远程智能输液监测系统的设计与实现[J]. 信息与电脑(理论版), 2021, 33(7): 167-169.
- [4] 贾博奇, 刘晓华, 许锋, 栾笑笑, 李亦林, 计虹, 等. 基于低功耗蓝牙技术的智慧输液系统设计和应用[J]. 中国医疗设备, 2022, 37(2): 121-124.
- [5] 丁阳阳, 周飞, 王宇昊, 张天飞. 输液报警监测系统[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(4): 207-208+210.
<https://doi.org/10.14004/j.cnki.ckt.2020.0456>
- [6] 邓成娟, 严小黑. 无人监守输液自动监控系统的设计[J]. 智能计算机与应用, 2020, 10(12): 182-184.
- [7] 刘博, 冯芳. 智能输液监测系统的设计[J]. 电子测试, 2020(12): 9-12.
<https://doi.org/10.16520/j.cnki.1000-8519.2020.12.002>
- [8] 高伊慧, 刘忠富, 黄金秋, 刘曦, 寇耀文. 智能输液监测系统设计[J]. 智能计算机与应用, 2021, 11(5): 213-217.
- [9] 曾鑫, 梁希瑶, 周莹. 基于液位监测的智能输液报警系统设计与应用[J]. 医药高职教育与现代护理, 2022, 5(3): 262-266.
- [10] 吴绍聪, 高常青, 余超, 曲爱涛, 杨波. 远程输液监测系统设计与实现[J]. 中国医疗器械杂志, 2021, 45(5): 497-502.