

赵俊涛, 杨诚, 李清敏, 等. 基于物联网的智能化便携式输液泵设计[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(5): 186-193. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.240525

# 基于物联网的智能化便携式输液泵设计

赵俊涛<sup>1</sup>, 杨诚<sup>2</sup>, 李清敏<sup>1</sup>, 张锸<sup>2</sup>

(1 上海理工大学 健康科学与工程学院, 上海 200093; 2 上海长征医院骨肿瘤科, 上海 200003)

**摘要:** 为实现医院输液治疗的集中化管理以及家庭输液治疗的可移动式支持, 本研究采用物联网技术和超声波检测技术, 通过多点位压力传感器、WiFi 和蓝牙模块及半挤压式蠕动泵结构, 开发设计了一款智能化便携式输液泵, 能按照设定参数进行精准调控输液状态, 可实现堵塞、气泡等故障的实时检测, 并具有智能语音报警提醒功能。该输液泵的设计集高精度、高灵敏度、低功耗和高便携性等特点, 适用于医院内外患者的不同输液情况, 提高患者的就诊安全性和舒适度, 符合构建以物联网为基础的智能医疗系统的趋势。

**关键词:** 物联网; 输液泵; 便携; 低功耗; 智能化医疗

中图分类号: TN919.72; R318

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)05-0186-08

## Design of intelligent portable infusion pump based on Internet of Things

ZHAO Juntao<sup>1</sup>, YANG Cheng<sup>2</sup>, LI Qingmin<sup>1</sup>, ZHANG E<sup>2</sup>

(1 School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2 Department of Orthopedic Oncology, Shanghai Changzheng Hospital, Shanghai 200003, China)

**Abstract:** In order to realize centralized management of infusion therapy in hospital and mobile support of infusion therapy at home, this study uses Internet of Things technology and ultrasonic detection technology to develop and design an intelligent portable infusion pump through multi-point pressure sensor, WiFi, Bluetooth module and semi-extrusive peristaltic pump structure, which can accurately control infusion state according to set parameters. It can realize the real-time detection of blockage, bubble and other faults, and has the function of intelligent voice alarm. The infusion pump has features such as high precision, high sensitivity, low power consumption and high portability. The design is suitable for different infusion conditions of patients inside and outside the hospital, improve the safety and comfort of patients, in line with the trend of building intelligent medical system based on the Internet of Things.

**Key words:** Internet of Things; infusion pump; portable; low power consumption; intelligent medical treatment

## 0 引言

输液治疗是临床上最为常用的基本方法之一<sup>[1]</sup>, 输液速度的精确控制直接影响着治疗的安全性与效果, 见表1。传统的手动输液方式操作不便, 无法保证速度的准确性, 也加重了医护人员的工作负担<sup>[2]</sup>。输液泵的应用在很大程度上改善了这一状况, 可以自动调控输液速度, 确保稳定输送, 提高安全性与效率<sup>[3]</sup>。然而, 输液泵的广泛使用也增加了医务人员的管理工作量, 居家治疗也对其提出了

更高的便携性与功能要求。目前, 医疗环境中应用最广的输液泵多为进口产品, 但其高昂的价格限制了大范围内的使用, 增加了患者的经济负担。国产输液泵价格虽较低廉, 但其功能尚不完备, 控制精度与便携性有待提高, 无法满足居家治疗等更为广泛的使用需求, 限制了患者的活动, 不利于恢复。

目前医院内输液泵的使用量较大, 不但加重了医护人员的管理负担, 其笨重的体积也严重影响患者的正常生活, 无法真正满足居家治疗需求。为解决这两大问题, 本研究设计了一种操作与管理更为

**基金项目:** 希思科-恒瑞肿瘤研究基金项目(Y-HR2020MS-0751)。

**作者简介:** 赵俊涛(1996-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统在医疗器械中的应用。

**通讯作者:** 杨诚(1975-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 脊索瘤的基础与临床研究, 骨科应用材料, 内植物与器械的开发与研究, 骨科相关生物医学工程研究与开发。Email: ddyc2001@163.com

收稿日期: 2023-06-19

方便、体积也较为轻巧的便携式输液泵。这款输液泵不但可以同时应用于医院与家庭,也通过蓝牙与 WiFi 模块实现手机端与 PC 端的实时监测与远程控制。这不但减轻了医务人员的工作量,也可以随时查看和确认输液状态,确保用药安全。患者也可以正常活动,真正提高生活质量,高度实用的同时也符合智能化医疗系统的需求<sup>[4]</sup>。

表 1 不同治疗患者的输液速度选择

Table 1 Infusion speed selection for patients with different treatments

患者类型	输液速度/( gtt · min <sup>-1</sup> )
成年人	40~60
老人、儿童	20~40
心血管疾病患者	20~40
肾功能衰竭患者	300~500
肠胃功能障碍患者	40~60

### 1 系统物联网构架

本文提出的输液泵系统设计采用物联网与云计

算技术<sup>[5]</sup>,实现了输液治疗的智能管理与监控。系统分为感知层、网络层和应用层<sup>[6]</sup>,其物联网架构如图 1 所示。感知层由输液泵、传感器、无线路由器和网络组成,可实现输液泵与路由器之间的短距离通信,完成输液状态监测和控制,如泵速管理、堵塞与气泡监测等。网络层包括互联网和云服务器,基于互联网,将感知层信息传输至云服务器,进行存储和处理。应用层则主要进行输液泵参数的调控及运行状态的查看。针对需要住院输液治疗的患者,医护人员可使用 PC 端软件,通过 WiFi 通信的方式,对患者输液泵统一进行远程管理和监控。对居家或户外输液的患者,该系统通过 APP 的蓝牙连接实现输液状态的实时查看,提供极大方便,患者无须频繁到医院复查或需要医护人员在侧直接观察,可以安心在家接受输液治疗。此系统基于物联网,通过云计算和大数据技术的结合运用实现了输液过程智能化监管,减轻医务工作量,提高了输液治疗智能水平的同时,更好地保障了患者用药安全。

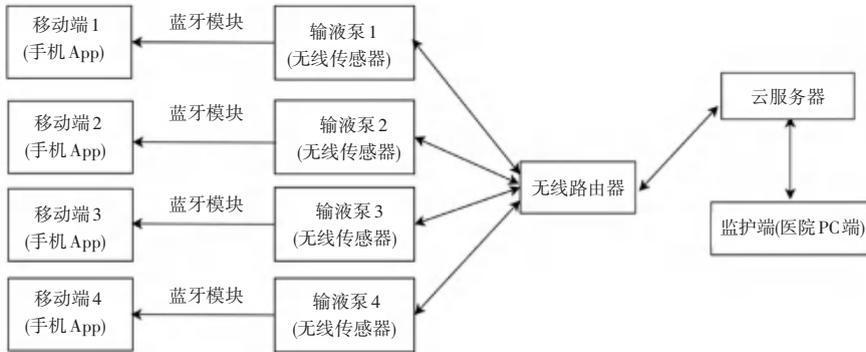


图 1 智能化便携式输液泵物联网架构

Fig. 1 IOT architecture of the intelligent portable infusion pump

### 2 智能化便携式输液泵系统设计

#### 2.1 智能化便携式输液泵硬件设计

为设计一款基于物联网技术的智能便携式输液泵,本研究采用模块化设计方法将设备划分为多个功能模块,结构框架如图 2 所示。其中,系统控制模块负责设备的总体控制与协调,内含微处理器和存储器等;电源模块提供设备工作所需电源,保证输液泵可长时间正常工作;输液模块具体执行输液功能,包含电机驱动、蠕动泵结构、导管等;检测模块检测关键参数以及堵塞、气泡等,确保输液过程的安全;无线通信模块实现远程调控,选用 WiFi 和蓝牙两种通信方式应对患者不同的输液场合;人机交互模块

主要显示输液泵输液参数信息、报警并接收用户输入<sup>[7]</sup>,包括显示屏、报警器和按键;存储模块用于保存输液参数等数据。

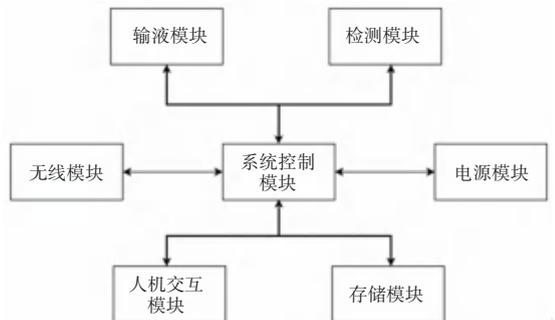


图 2 输液泵硬件结构模块框图

Fig. 2 Block diagram of hardware structure for infusion pump

### 2.1.1 电源模块

为满足输液泵的工作需求及便携性,本设计选择一节高容量 18650 锂电池(3 400 mA·h)作为主要电源,能量密度高且体积小重量轻,可以有效减少机身大小和重量以提高输液泵设备的可移动性。同时选用 BQ24070 电源管理芯片为系统提供稳定

工作电压<sup>[8]</sup>,其原理设计如图 3 所示。不但可以对锂电池进行高效管理以达到最长使用寿命、兼具动态电源转换功能,也能为系统供电的同时实现锂电池的快速充电,在电量不足时利用充电宝即可为输液泵设备补充电源,满足患者外出使用的需求。

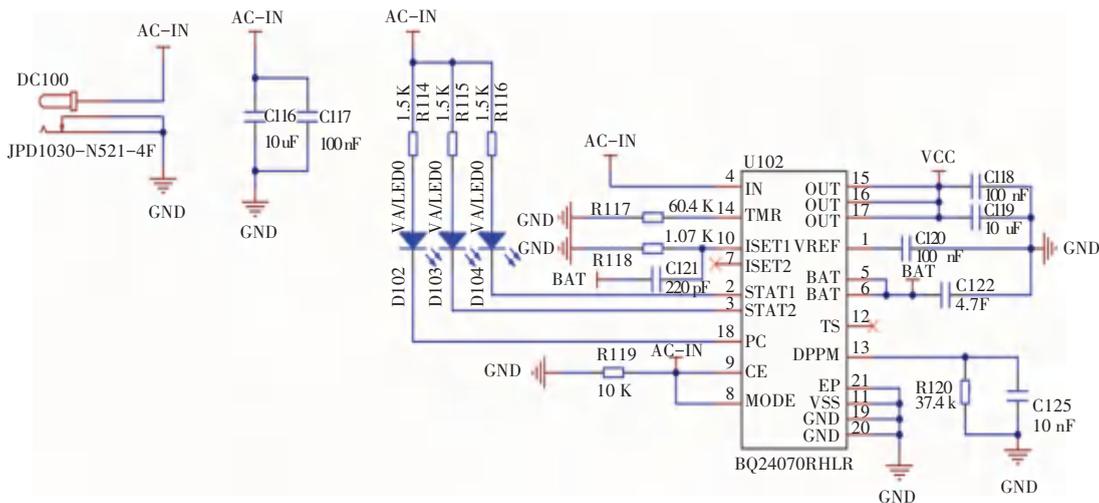


图 3 电源管理电路原理图

Fig. 3 Schematic diagram of power management circuit

根据各功能模块的电气特性,为了提供准确的工作电压和足够的电流,本研究利用 TPS7A4700 低噪声固定 3.3 V 降压 DC/DC 变换器,满足多个传感器的故障检测、无线传输系统以及其他外设的所需电压;电机驱动采用 LM2357Y 型稳压器,精准提供 9 V 的工作电压,具有极高的调节精度和低功耗优势;对于人机交互显示部分,选用超低静态功耗和高集成度 TPS61040DBV 变换器为 2.42 寸的 OLED 提供 13 V 电压。模块供电的设计为设备提供多路精确工作电压并具备较宽输入适应范围,同时简化电路、降低成本与故障率,进一步降低设备功耗。所述设计的电源模块结构如图 4 所示。

### 2.1.2 输液模块

输液模块主要包括电机驱动、蠕动泵结构和输液管。WKX MOTOR 空心杯微电机作为一款体积小、功耗低的电机产品,满足本输液泵对低功耗和微型化的设计要求。但考虑到该电机的转速较高,达到 5 000 r/min,直接驱动会导致泵流速过快,无法满足输液泵所需 0~500 ml/h 的流速调节范围。为解决电机转速过高的问题,设计采用减速器进行调节,基于输液泵每转动一个循环可输送  $x$  ml 的液体,电机所需减速器的减速比  $n$  为:

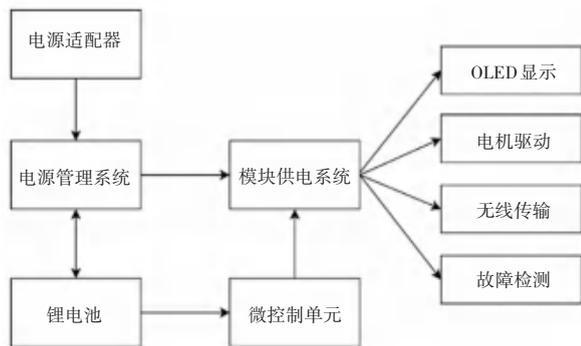


图 4 电源模块结构图

Fig. 4 Power module structure

$$n = 5\,000 : \frac{500}{60x} = 600x : 1 \quad (1)$$

为了测得输液模块电机转速,本设计采用光电检测法作为测速装置,如图 5 所示,该转速检测系统采用光电编码器原理<sup>[9]</sup>,在电机轴上安装有 24 线槽的圆形码盘,通过对射式光电传感器对码盘线槽进行检测来计算转速。每当码盘转动 1 个周期时,光电传感器会检测到 24 个脉冲信号。因此,在检测时间  $t$  s 内检测到  $x$  个脉冲数,则电机转速  $N$  为:

$$N = \frac{60x}{24t} = \frac{5x}{2t} \text{ (r/min)} \quad (2)$$



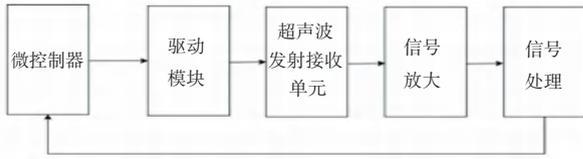


图 10 超声波气泡检测原理图

Fig. 10 Schematic diagram of ultrasonic bubble detection

2.1.4 无线模块

为实现医疗物联网系统的构建与输液治疗的智能监控,本设计的无线模块采用 ESP8266 WiFi 芯片和 HC-08 蓝牙芯片作为通信手段,通过信息采集、传输和交互实现对输液泵设备的实时监测与控制,其电气连接如图 11 和图 12 所示。ESP8266 芯片通

过串口与输液泵主控制器相连,实时采集设备的工作参数和报警信息,并通过 WiFi 网络传输至云服务器,再通过无线网络与医院监护端相连,实现对住院患者输液治疗的集中监控。护士可以通过监护终端实时查看多名患者的输液状况并进行调整,也会在检测到设备报警的第一时间通过网络传送预警信息给监护终端。HC-08 同样通过串口与输液泵的主控制器相连,用于将设备的工作状态和输液信息通过蓝牙传输至患者的手机 APP 上,方便患者实时监测输液治疗情况,同时也可实现医护人员的远程指导,避免频繁到院就诊。可有效减轻医护工作量、提高管理效率,也进一步保障了患者的输液安全。

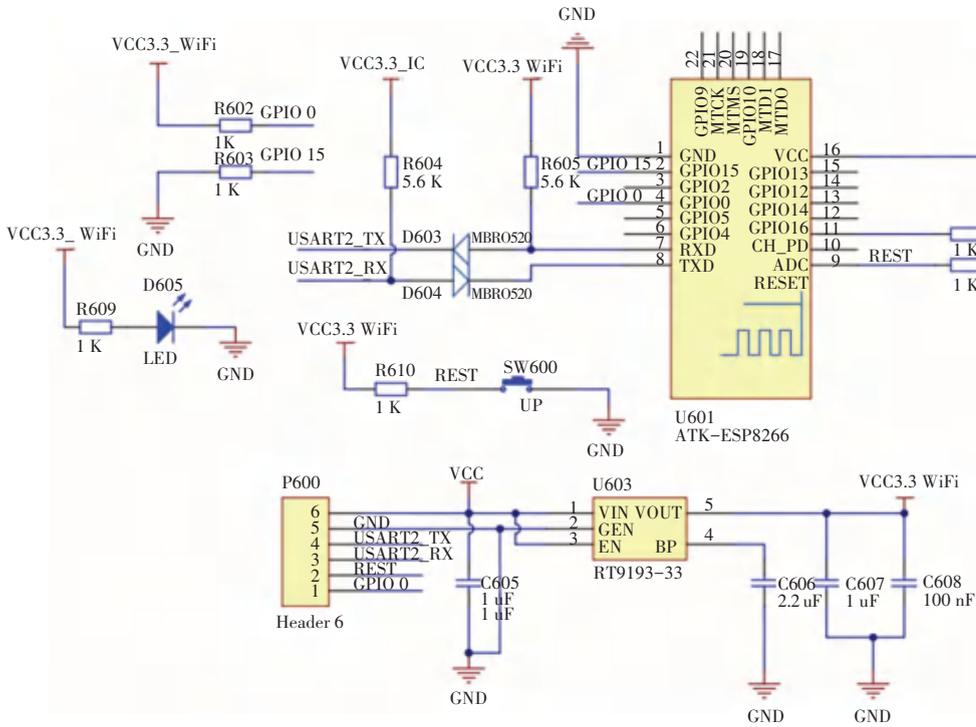


图 11 ESP8266 电气连接图

Fig. 11 Electrical connection diagram of ESP8266

2.1.5 人机交互模块

为实现对输液泵的智能管理和运行控制,本设计采用显示模块、按键模块与报警模块构建输液泵的人机交互系统<sup>[15]</sup>。

基于低功耗设计,显示模块选用 2.42 寸 OLED 屏,采取分级菜单式显示输液的调节。为了能够进一步简化操作和优化控制性能,按键模块设计为 6 个按键,通过简单的长按和短按实现输液泵设备的全部调控功能,其定义见表 2。报警模块在检测到堵塞、气泡、输液完成与低电量等情况时发出声光报警,并利用 WT2003HX 芯片设计实时播报相应

故障情况的语音提示,确保患者能及时做出响应。

表 2 按键功能定义

Table 2 Definition of key functions

按键名称	长按	短按
+	无	上调
-	无	下调
返回	无	返回/清除
菜单/确认	菜单选择	确定
运行/停止	全速运行排气	停止
开机/关机	开机/关机	无

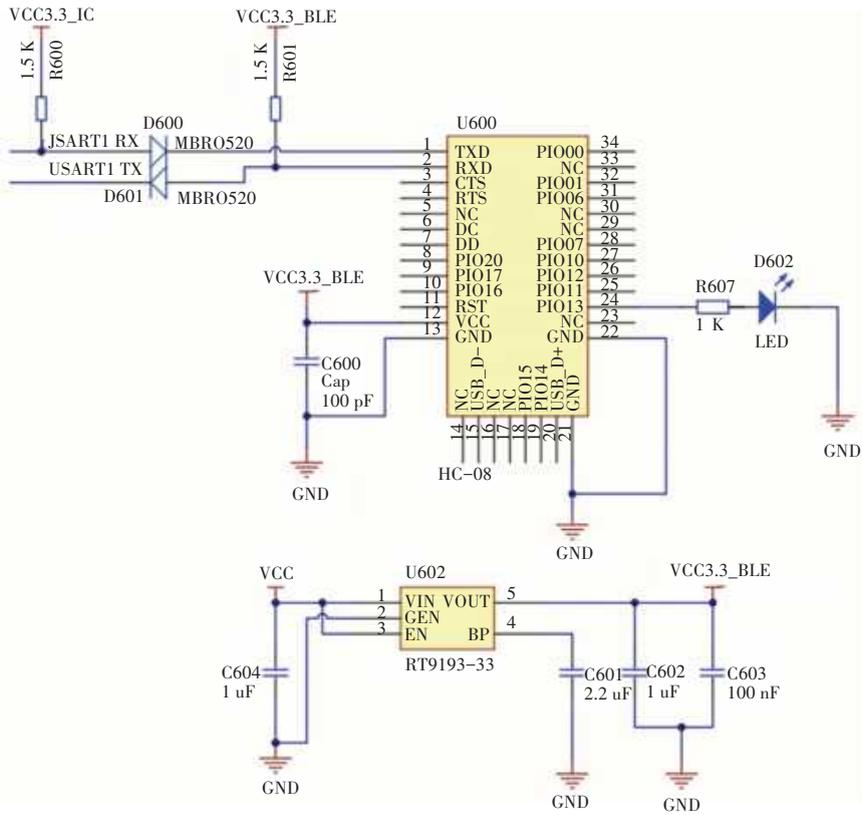


图 12 HC-08 电气连接图

Fig. 12 Electrical connection diagram of HC-08

2.1.6 存储模块

为提高输液泵的使用效率与便捷性,本设计加入数据存储功能<sup>[16]</sup>,即设备开机后显示患者上次使用的参数设置与工作模式。极大方便了连续多日进行相同治疗方案的患者,也减轻了医护人员的设置工作量,提高工作效率。考虑到这个功能的实现,本研究采用 AT24C512 可擦除可编程只读存储器芯片作为独立的外部存储器。其 512 K 大容量可以保存上次使用的输液速度、时间、剂量等参数设定。电路连接原理如图 13 所示。在设备启动时,系统先读取上次存储的参数设置,然后在 OLED 屏幕上显示作为默认设置,如果需要变更参数,则重新设置并保存,作为下次启动的默认参数。

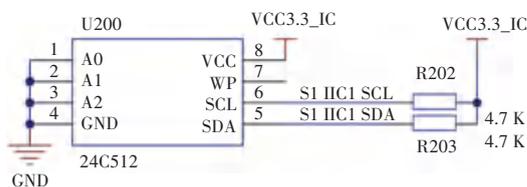


图 13 AT24C512 存储电路原理图

Fig. 13 Schematic diagram of AT24C512 memory circuit

2.1.7 系统控制模块

本设计以 STM32 高性能单片机为系统控制核

心<sup>[17]</sup>,通过人机交互实现设备参数的设置与控制,以及通过丰富的外设资源完成数据采集、处理与通信功能,实现了对输液治疗全过程的准确控制与实时监测。系统以读按键与控制 OLED 显示屏进行人机交互,用户可以方便地设置输液模式、速度、总量及时间间隔等参数。单片机根据设置参数精确计算控制脉冲,驱动直流电机实时调节输液流速与总量,保证治疗方案的准确执行。系统采用多点压力传感器和超声波传感器构成的检测模块,结合语音报警提醒,提高治疗的安全性。单片机还通过 WiFi 和蓝牙模块实现与外部设备的无线通信,多个输液泵可以组网实现远程监控,医护人员可以在监控终端实时查看多台设备工作状态;蓝牙模块则允许患者通过移动 APP 查询输液进度,极大提高了使用体验。便携式输液泵的整体设计如图 14 所示。

2.2 智能化便携式输液泵设备程序设计

输液泵程序设计主要实现对输液治疗全过程的智能监控和精确管理,保证用药安全。通过人机交互设置参数,控制输液模块进行泵药治疗,同时监测异常情况并及时报警,具备完善的监护和反馈机制,确保输液的安全稳定。其主程序流程如图 15 所示。

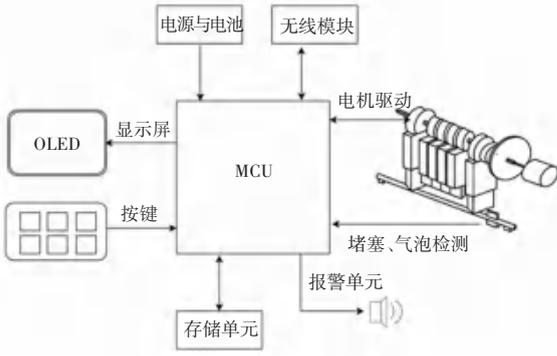


图 14 输液泵整体结构图

Fig. 14 Overall structure of infusion pump

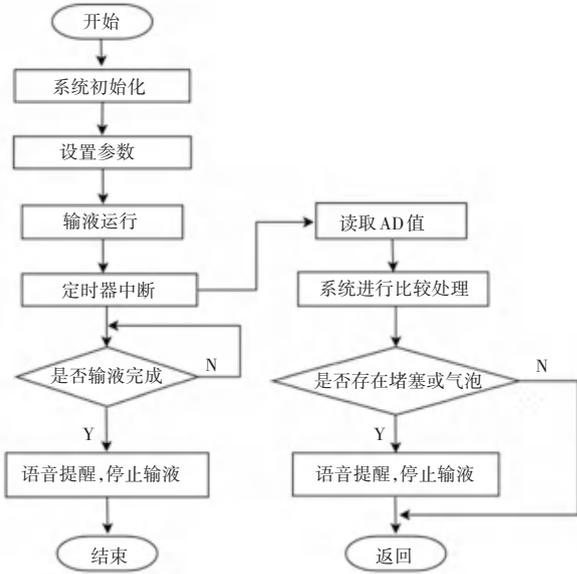


图 15 主程序流程图

Fig. 15 Flow chart of main program

基于物联网技术,本设计通过采用 WiFi 和蓝牙两种无线通信方式,实现对不同环境下输液治疗的有效监控,其程序设计流程分别如图 16 和图 17 所示。WiFi 模块使用 TCP/IP 协议与云服务器通信<sup>[18]</sup>,TCP 协议具有面向广域网络的高可靠性,可以支持单个链接传输多个设备的数据,满足对多个输液泵集中管理的需求,通过连接云服务器的 TCP 服务端和客户端(输液泵设备)进行数据交换。输液泵可以通过 WiFi 模块打包患者输液数据传输到医院的监护终端。同时医护人员可在监护端查看多个输液泵工作状态,并发送控制指令至服务器,再由服务器将指令发送至对应的输液泵,实现远程调控。

### 2.3 移动监护端软件设计

移动监护端软件通过 WiFi 和蓝牙与智能便携式输液泵建立连接,用于远程监控与管理输液泵的工作状态。基于 WiFi 设计的监护端主要为 PC 端软件,实现不同输液泵之间的组网,方便护士同时管

理多个设备,包括远程设定各输液泵的工作参数,即输注模式、速度、时间与总量等,并实时查看其运行状态与报警信息。基于蓝牙设计的移动端则为患者的手机端 App,方便查看输液泵的运行状态且有利于患者居家治疗。软件设计流程如图 18 所示。

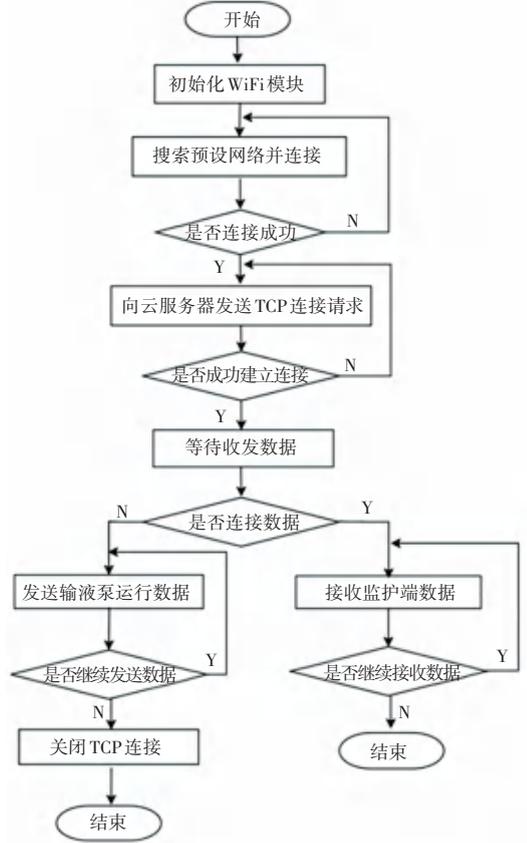


图 16 WiFi 模块通信程序流程图

Fig. 16 Flow chart of WiFi module communication program

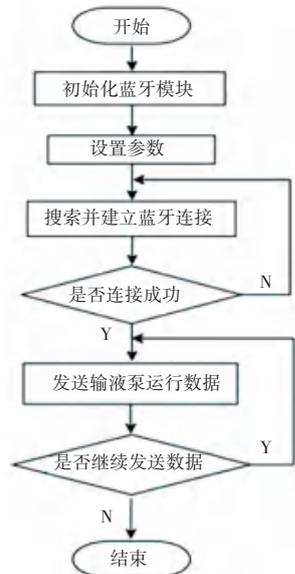


图 17 蓝牙模块通信程序流程图

Fig. 17 Flow chart of bluetooth module communication program

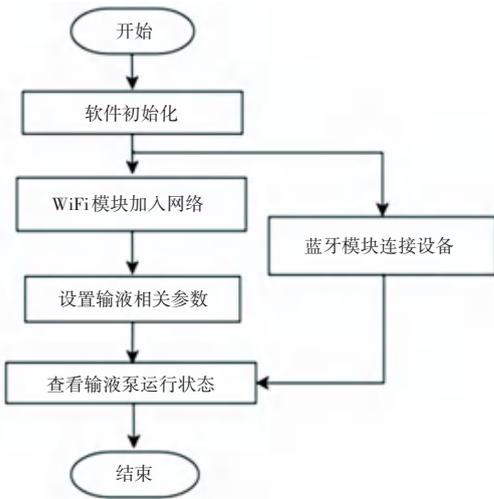


图 18 移动监护端软件流程图

Fig. 18 Software flow chart of mobile monitor terminal

### 3 结束语

本研究基于物联网设计的智能便携式输液泵, 利用嵌入式开发的硬件、软件设计和相关算法的改进技术实现高集成、低功耗、高精度与灵敏度等优异性能, 极大地提高了设备的实用性与易用性, 应用于医疗机构形成局域网使用, 有效提高工作效率与减轻护理强度的同时, 更适宜于居家环境, 方便患者自我检控治疗和正常生活, 特别适用于老年与体弱人群, 可大幅改善生活质量, 提高康复几率, 减轻家庭和社会负担。基于物联网技术设计策略一定程度上可推动医疗技术向更加智能化与信息化方向发展。借助人工智能与大数据技术, 对未来进一步增强其智能管理和辅助诊疗功能, 更广泛服务于人们的日常健康与生活需求, 具有重要的实用价值和广阔的应用前景。

### 参考文献

[1] 庄明, 王镔. 静脉输液治疗技术的演变与展望 [J]. 科技视界, 2023 (3): 32-35.

[2] 肖世金, 张涛, 卢涵宇. 基于单片机的智能点滴输液控制系统设计 [J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(18): 211-213.

[3] MANDEL J E. Understanding infusion pumps [J]. Anesth Analg, 2018, 126(4): 1186-1189.

[4] YIN Yuehong, ZENG Yan, CHEN Xing, et al. The Internet of Things in healthcare: An overview [J]. Journal of Industrial Information Integration, 2016, 1: 3-13.

[5] 商晴庆, 布伟赫, 夏磊, 等. 智能物联网技术的应用现状与发展新趋 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(4): 370-371.

[6] ULLAH F, HAQ H U, KHAN J, et al. Wearable IoTs and geofencing based framework for COVID-19 remote patient health monitoring and quarantine management to control the pandemic [J]. Electronics, 2021, 10(16): 2035-2052.

[7] 杨熠熠, 闫霄雁. 输液提醒装置在临床护理中的应用 [J]. 护理研究, 2022, 36(21): 3946-3948.

[8] HEIDARI H, ONIRETI O, DAS R, et al. Energy harvesting and power management for IoT devices in the 5G era [J]. IEEE Communications Magazine, 2021, 59(9): 91-97.

[9] 丁凡, 王军伟, 姚春良, 等. 基于微电机传动机构位置检测的设计与评测 [J]. 机电工程技术, 2022, 51(6): 220-223.

[10] 蔡莉, 李菲, 周卫华, 等. 医用输液泵液体输送动力学与流速校准及计量方法研究 [J]. 中国医学装备, 2016, 13(8): 136-138.

[11] 王晶. 输液泵应用中的安全隐患及对策 [J]. 中国医疗器械信息, 2022, 28(10): 39-41, 163.

[12] 赵文娟. 输液泵临床应用中常见问题及干预对策分析 [J]. 中国医疗器械信息, 2021, 27(2): 189-190.

[13] BULSARA K R, LEE S, CALAFIORE R. Commentary: Air bubbles in infusion: an easily avoidable potential complication [J]. Oper Neurosurg (Hagerstown), 2020, 18(2): E59-E60.

[14] 赵天锋, 易艳辉, 夏朝阳. 输液气泡检测模块的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2021 (13): 84-85.

[15] 邹仁耀, 任熹培. 远程医疗类信息产品设计的研究现状及发展趋势综述 [J]. 包装工程, 2022, 43(S1): 1-9, 15.

[16] LEE T F, LI H Z, HSIEH Y P. A blockchain-based medical data preservation scheme for telecare medical information systems [J]. International Journal of Information Security, 2020, 20(4): 589-601.

[17] 金国华, 熊浩淼, 毕胜, 等. 基于 STM32 微处理器的嵌入式核心板设计与开发 [J]. 中国现代教育装备, 2022 (5): 18-19, 30.

[18] 段宇, 戴舜华, 付鹏飞, 等. 基于 STM32 的无线语音交互系统设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2019 (15): 82-83.