

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2212408

西林瓶灌装液态药剂的在线监测仪设计*

华国环 徐瀚文 舒梁 谢程坤

(南京信息工程大学电子与信息工程学院 南京 210044)

摘要: 采用西林瓶灌装的液态药剂在各医院、药房中广泛使用和存储。为了实现对此类药剂的实时监管,设计了采用光电传感器、STM32 主控芯片和 UDP 通信协议的在线监测仪。根据点光源直射照度距离平方反比定律计算出该监测仪所用光电传感器的光照强度参数,并使用 COMSOL 仿真平台进行验证。该监测仪利用光电传感器实时监测药品数量,同时实现药品信息同步。所设计的 PC 端药品监测软件利用 UDP 协议连接多个药剂监测仪,实现一对多在在线监测的功能。该监测仪可以采用多种供电方式,能实时监测环境温度,满足各类西林瓶灌装液态药剂多场景、多环境的使用需求。测试结果显示,该监测仪在空载、半载和满载时的功耗分别为 3.08、3.20 和 3.34 W,西林瓶剩余数量的监测准确率为 100%。结合低成本特性,该监测仪值得在医院药房、零售药店等场所推广使用。

关键词: 西林瓶;光电传感器;UDP 通信协议

中图分类号: TP806.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Design of on-line monitor for liquid pharmaceuticals filled with vials

Hua Guohuan Xu Hanwen Shu Liang Xie Chengkun

(School of Electronic & Information Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Liquid pharmaceuticals filled with vials are widely used and stored in hospitals and pharmacies. In order to achieve real-time monitoring of such agents, an on-line monitor was designed with photoelectric sensor, STM32 main control chip and UDP communication protocol. The light intensity parameters of the photoelectric sensor used in the monitor are calculated according to the inverse square law of direct illumination distance of point light source, and verified by Comsol simulation platform. The monitor uses photoelectric sensors to monitor the number of drugs in real time and synchronize drug information. The designed PC-side drug monitoring software uses UDP protocol to connect multiple drug monitors to achieve one-to-many online monitoring functions. The monitor can use a variety of power supply methods to monitor the ambient temperature in real time, and meet the needs of various types of vials filling liquid pharmaceuticals in multiple scenarios and multiple environments. The test results show that the power consumption of the monitor is 3.08 W, 3.23 W and 3.35 W at no-load, half-load and full-load, respectively, and the monitoring accuracy of the remaining number of vials is 100%. Combined with the low cost features, the monitor is worth promoting in hospital pharmacies, retail pharmacies and other places.

Keywords: vials; photoelectric sensor; UDP communication protocol

0 引言

药品是最常见也是最重要的一种医疗资源,医药产业是我国大力发展的新兴产业之一,是建设健康中国的重要基础^[1],因此针对药品的规范管理关系到人民群众的生命安全和社会稳定。我国于 2019 年第二次修订了《中华人民共和国药品管理法》和《中华人民共和国药品管理法实施条例》^[2],旨在加强对市场上各类药品资源的监督管理,确保

药品的品质,保证人民群众的用药安全^[3],促进我国医疗卫生事业的正确发展^[4]。

在医院中各类液体药剂最常使用瓶类包装就是西林瓶。西林瓶又称硼硅玻璃或钠钙玻璃管制注射剂瓶。硼硅材质的西林瓶为市面上最常见的材料,一般用做各类疫苗、生物制剂、粉针剂、注射剂(如盘尼西林、青霉素)等常见药品的包装^[5]。这类封装的药品在急诊、临床等部门都使用的非常频繁、需求数量也是最多的。因此如何提高此类

收稿日期:2022-12-16

* 基金项目:国家自然科学基金(12074192)项目资助

药品的盘点、管理效率,降低人力成本,保证盘点过程中的准确性,保障患者用药的安全是所需要解决的问题^[6],随着计算机学科的不断完善以及医药领域对药品管理的需求,出现了很多关于药品管理方向的研究,但是这些产品或多或少存在以下缺陷,缺少盘点功能、人机交互不够完善,存储环境缺乏监测等。

基于上述背景,本文基于 STM32 和用户数据报协议(user datagram protocol, UDP)设计出一款西林瓶灌装药剂的在线监测仪。该监测仪能够针对西林瓶灌装的液体药剂进行盘点与管理,利用点光源直射照度距离平方反比定律与 COMSOL Multiphysics 仿真平台设计出透射式光电传感器,用于实时监测仪器上存放的药瓶数量;也能实现药品信息同步;同时设计电脑端(personal computer, PC)药品监测软件,利用 UDP 协议将 PC 端监测系统和多个西林瓶装药剂监测仪连接,实现一对多在线监测的功能;此外,本监测仪器既能外接电池供电也可以采用直流电源供电,且具备温度监测功能实时监控存储环境变化,在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下依然能稳定工作,满足各类西林瓶装药剂多场景、多环境的使用需求。

1 原理分析

本文中设计的在线监测仪最重要的一部分就是对药瓶存放情况的实时监测,考虑到此方面需求,利用 100 组透射式光电传感器组成药瓶监测模块,基本原理是根据点光源直射照度距离平方反比定律得到光电发射管的理论上的发射光强,然后利用 COMSOL 模拟耦合仿真平台进行精确仿真,验证该发射光强是否合理。

每组透射式光电传感器是由基于 IR928 光电发射管设计的光电发射板和基于 IS0103 光电接收管设计的光电接收板组成的,每组透射式光电传感器都有一个输出端口,该端口能够根据接收管上红外光的接收情况输出不同电平,用于区分该模块区域之间是否存放药品。

查阅光电管的资料可知,发射管发射出红外光的波长为 850 nm ,当接收管接收到该波长光的照度超过 100 lx (勒克斯)时,接收管内部三极管导通,其输出端口的输出电平由低变高。根据点光源的定义,可以将光电发射管发射出的光认为是点光源。但是这里就存在 2 个干扰因素,一是由于工业生产上的误差,光的发射点与接收管的接收点并不能做到完全重合;二是自然光的波长范围为 $312\sim 1\ 050\text{ nm}$,此药品监测仪放置在存在自然光的环境下时,自然光会对光信号的接收产生干扰。

因此本设计利用点光源直射照度距离平方反比定律和 COMSOL Multiphysics 仿真平台进行研究,确定透射式光电传感器合适的设计方案与参数,以此来尽量减少工业生产的误差和自然光造成的干扰。确定发射光强,就是确定光电发射管的电路中的输入电流。

1.1 点光源直射照度距离平方反比定律

根据点光源直射照度距离平方反比定律的定义,凡是圆形发光体,其直径小于自身到达照射平面距离的 $1/5$ 时可被视为点光源,因此可以将光电发射管上发光的晶体小球视为点光源,点光源直射照度距离平方反比定律如式(1)^[7]所示。

$$E_n = I_0/R^2 \quad (1)$$

式中: E_n 是点光源在与照射方向垂直平面上某点产生的照度,其方向与照射方向相反,单位为 lx ; I_0 是点光源在照射方向上的光强,单位为 cd ; R 是点光源至被照射平面的距离,单位为 m 。根据接收管接收到 850 nm 的光照度超过 100 lx 时其输出电平由低变高,可知 E_n 应该大于 100 lx ,此处假定 E_n 大小为 110 lx 。再按照各类西林瓶尺寸,假定两光电管之间的间距为 30 mm ,由此推得,光强 $I_0 = 0.099\text{ cd}$ ^[8-9]。

根据光通量的定义,发光强度为 1 cd 的点光源在单位立体角(1 球面度)内发出的光通量为 1 lm ,当光源为均匀辐射时,存在以下公式:

$$I_0 = \Phi/\Omega \quad (2)$$

将发射管晶体小球视作点光源,所以此处立体角 Ω 为 4π ,由此可以计算得发射管的光通量 $\Phi \approx 1.243\text{ lm}$,是较为合适的发射红外光光通量。接下来利用 COMSOL 仿真平台进行有限元理论分析来验证以上理论。

1.2 COMSOL 模拟耦合仿真平台有限元理论分析

首先利用 COMSOL 的几何建模功能,根据光电管的尺寸参数,搭建出模拟一对光电管的几何建模^[10],如图 1 所示。



图 1 一对光电管几何模型

将几何模型中光电发射管的平面定义为入射端口 1,光电接收管的平面定义为出射端口 2,根据上述结论,查阅红外光光通量与功率之间的关系可知,理想状态下端口 1 的入射功率为 0.0054 W ^[11]。分别选取对管之间的距离为 30 mm ,进行光场分布的建模^[12]。建立模型如图 2 所示。

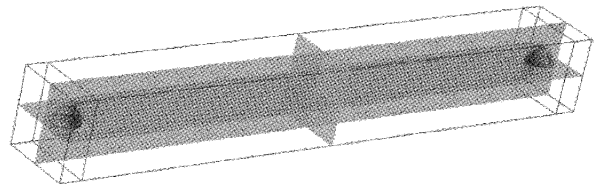


图 2 光电管间距为 30 mm ,光场分布模型

从 COMSOL 模型的解可以得知,此时端口 2 接收到的光存在 0.5% 的衰减。由此可知,当发射管的光通量为 1.243 lm 时,接收管处的照度大于 100 lx 。

实际中需要对药瓶存放情况进行检测,因此在对管中间位置建立一个圆柱体介质层用来模拟各类药品的实际情况,如图 3 所示。

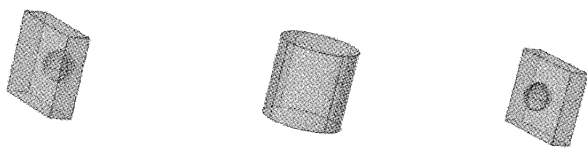


图 3 光电对管和圆柱体介质模型

药瓶通常都带纸质标签,因此可以将圆柱体介质的材料定义为不透光材料,随后使用上文推导出的发光强度进行仿真及模型搭建,如图 4 所示。

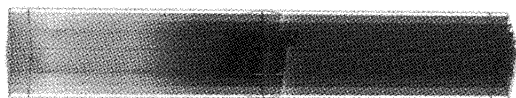


图 4 不透光介质在光电对管之间的光场分布模型

根据仿真结果可以看出,发射管发出的 850 nm 的光基本都会被该圆柱介质反射回来,尽管存在自然光干扰,接收管处的照度完全不可能超过 100 lx,不会触发输出端电平状态改变,满足设计需求。

根据上述结论分析,当发射管的功率为 0.005 3 W 时,发出 850 nm 光的光通量为 1.243 lm,能够满足设计要求。根据电压与电流公式,当光电发射管和 470 Ω 左右的电阻串联时发射管发射出红外光的光通量约为 1.243 lm。

2 硬件部分

根据相关功能需求,所设计的整体硬件结构如图 5 所示,包括 STM32F103RBT6 芯片为核心控制器的主控模块、电源模块、药瓶监测模块、继电器模块、信号预处理模块、温度监测模块、液晶显示屏 (liquid crystal display, LCD) 模块、UDP 数据传输模块^[13]。

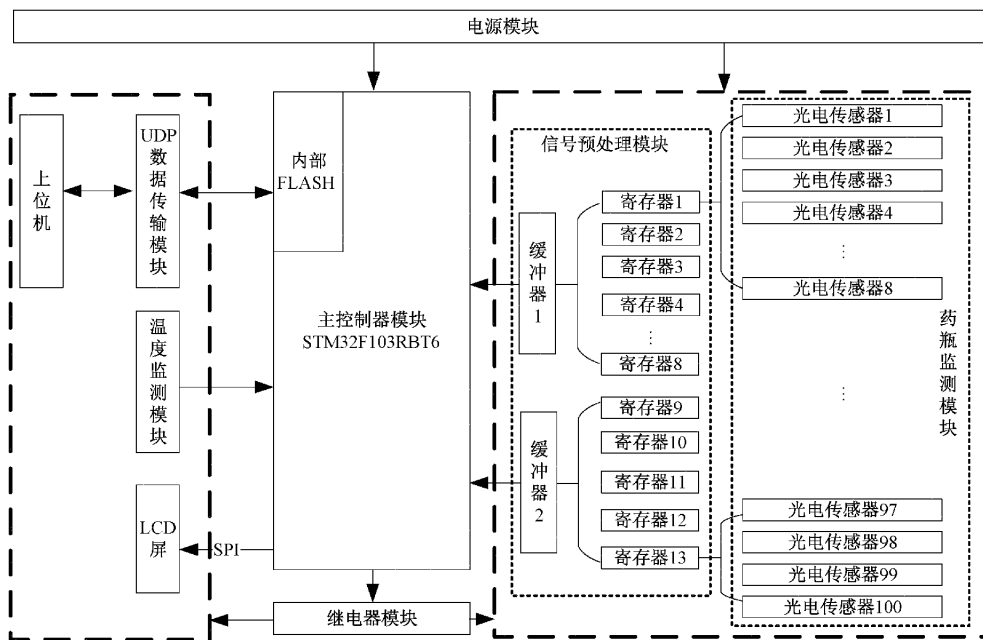


图 5 硬件设计结构框图

2.1 电源模块

电源模块基于 TPS5430 开关电源转换芯片而设计,电源模块原理如图 6 所示。

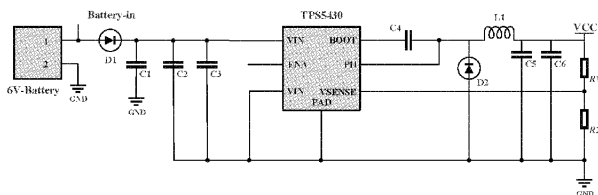


图 6 电源模块原理

V_{SENSE} 引脚的电压等于芯片的电压参考值 1.221 V, V_{OUT} 与该电压参考值计算公式如下^[14-15]:

$$V_{out} = \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) \times V_{sense} \quad (3)$$

要使整个西林瓶装药剂在线监测仪所有元器件正常运行,这里选用 R_1 阻值为 10 kΩ, R_2 阻值为 5.9 kΩ,使得输出电压 V_{OUT} 稳定在 3.3 V。正是因为此特性本监测仪器既可以使用外接锂电池供电,也可以直流电源直接供电,满足使用需求。

2.2 药瓶监测模块

根据前文所述的点光源直射照度距离平方反比定律和 COMSOL 模拟耦合仿真平台模拟仿真得出的设计方案,本设计中的药瓶监测模块包含 100 组透射式光电传感器,排列方式为 10 行 10 列,能够实时反馈 100 个药瓶的存

放情况。每组光电传感器由一片直立的光电发射板和一片直立的光电接收板组成。当一组光电传感器之间没有药瓶时,即该组光电传感器之间没有遮挡,光电接收管就能够接收到发射管发出的 850 nm 波长的光,此时光电接收管输出端口会输出高电平;当设定区域上存在药品时,该组光电传感器之间的光路有遮挡,光电接收管无法接收到 850 nm 波长的光,此时接收管上的照度小于 100 lx,其输出端口输出低电平。

由于光沿直线传播的特性,每对竖直放置的光电板相对位置要求较为严格,必须确保每对光电板位置齐平,所以设计了双面焊接点,用于焊接双排针,也配套了双排针座加以固定。光电对板的印制电路板(printed circuit board, PCB)设计图和实物图分别如图 7、8 所示。

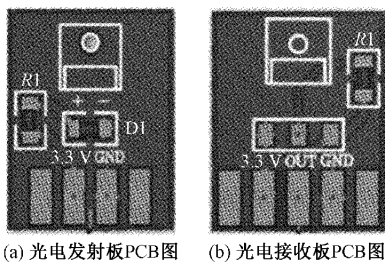


图 7 单组透射式光电传感器 PCB 设计图

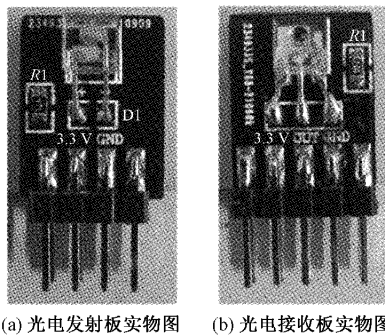


图 8 单组透射式光电传感器实物图

2.3 继电器部分设计

由于存在 100 组成对的光电传感器,所以 PCB 板上的走线距离较长,可能造成电压损耗,导致部分光电传感器供电不足无法正常工作。因此,本设计中集成了 10 个继电器,型号为 HK4100F,每个继电器控制每行 10 对光电传感器的电源。但由于主控芯片单个输入/输出(input/output, I/O)口电流驱动能力不足,无法直接驱动继电器,还采用 ULN2003 芯片来辅助驱动继电器。

2.4 信号预处理模块设计

信号预处理模块实现对药瓶监测模块输出的电平信号进行预处理。由于要整体要读取 100 组光电传感器输出端口的输出电平,如果直接用主控芯片 I/O 口直接读取,则需要 100 个引脚才能实现,浪费主控芯片资源,因此本设计中选用 74HC165 芯片来解决这一问题,该芯片是一

款 8 位并入串出移位寄存器,利用此寄存器可以同时读取 8 个光电接收管输出端口的高低电平,然后串行输出 8 位二进制数,随后利用 74LC244X 缓冲芯片暂时存放该二进制数^[16],便于主控制器 I/O 口读取此 8 位二进制数,利用此方案只需要 13 个 I/O 口即可判断所有光电接收板输出端口的电平输出高低,节约了主控芯片的 I/O 资源,降低了设计成本。

2.5 温度监测模块

由于不同药品对于贮藏环境的要求不同,需要对贮藏环境进行监测,确保药品存储环境稳定,当检测到环境温度不符合条件时,可产生报警信号提示药房管理人员此时药品贮存环境存在问题。基于上述原因,本设计中基于 DS18B20 数字温度传感器设计了温度监测模块^[17],该传感器直接输出数字信号至主控芯片,主控芯片将该数值显示在 LCD 显示屏及上位机软件。

2.6 LCD 显示模块

显示模块采用基于 ILI9341 芯片驱动的 2.4 英寸 LCD 屏,用于显示此时存放的药品各类信息(如药品名称、药品有效期)、目前监测仪上存放的药瓶数量、供电电压和此时周围环境的温度。

2.7 UDP 数据传输模块

UDP 数据传输模块用于西林瓶装药剂在线监测仪和 PC 端药品监测软件之间的数据传输,用户通过上位机输入药品名称和药品有效期后,上位机中的数据通过此模块传输,继续存入 STM32 内部 FLASH 的 2 个固定存储单元中,同时,主控制器也会实时读取该地址处的数据,通过此传输模块上传到上位机监测软件中,使得药房管理人员能够实时掌握当前药品状态信息,避免取用药品有误或取用超过用药时限的药品,以免给患者的健康带来危害。

2.8 硬件实物图

通过上述设计方案,绘制出西林瓶装药剂在线监测仪的电路板 PCB 设计图,投板后进行焊接加工,得到单个西林瓶装药剂在线监测仪的实物图如图 9 所示。

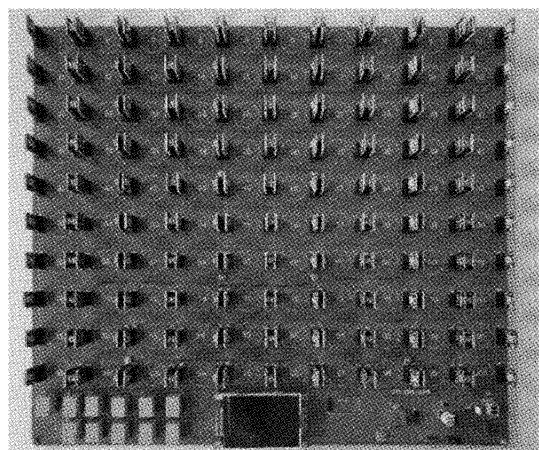


图 9 西林瓶灌装药剂监测仪 PCB 板实物图

制作与电路板配套的壳体,最终得到的单个西林瓶灌装药剂监测仪实际成品图如图 10 所示。

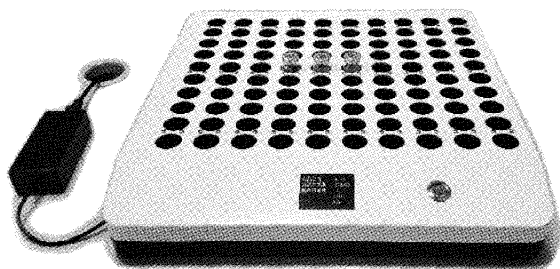


图 10 西林瓶灌装药剂监测仪实物图

3 软件部分

3.1 软件架构设计

本课题中设计的西林瓶装药剂在线监测仪的整体架构如图 11 所示。将多个监测仪通过 UDP 协议与 PC 端药品监测软件连接在同一个局域网内。通过这种方式就达成利用一个 PC 端管理监测多个在线监测仪的目的,增强药品库存管理的协同性。

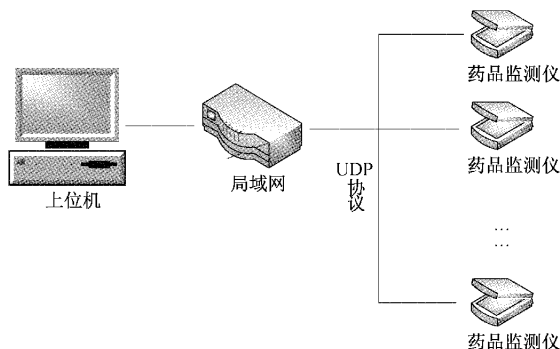


图 11 西林瓶装药剂在线监测仪的整体架构

软件部分实际上分为 4 部分:硬件驱动程序设计、数据检测和判断设计、上位机设计和警报功能。

3.2 软件运行流程设计

实现对于当前状况下单个药品监测仪上存放西林瓶的数量进行监测,并对其是否非法取用进行判断。本监测仪针对药瓶数量检测和判断的流程如图 12 所示。

3.3 上位机程序设计

本设计中需要实现利用一个 PC 端管理、监测局域网内多个在线监测仪的目的。将 PC 端设置为服务器端,各个监测仪作为客户端,利用 UDP 通信协议,每次要操作哪个监测仪,就将这个客户端对应的网际互连协议(Internet protocol, IP)地址与 PC 端连通,随后使用 PC 端的上位机对指定的监测仪进行控制及操作,达到了一对多在线监测的目的。

使用 LabVIEW 软件设计本监测仪中的药品监测软件。设计时,利用文本框显示药品名称,药品有效期,当前西林瓶数量,当前环境温度,电源电压等相关信息,同时添

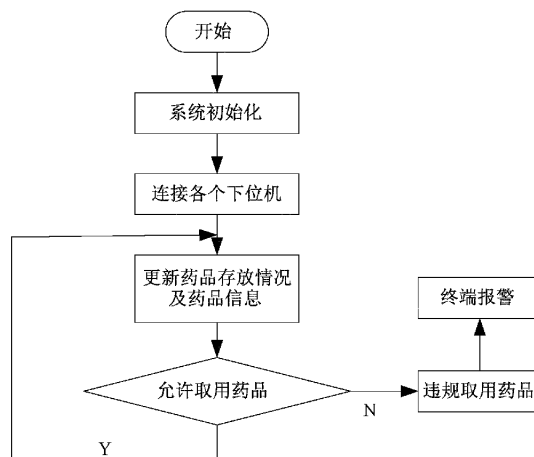


图 12 软件设计流程

加发送按钮以及文本输入框,保证药品信息能够被成功发送到下位机设备并存储到主控芯片内部的 FLASH 中;同时添加控制按钮组件,用于确认每次药品的取用或放入^[18]。设计客户端 IP 地址对应接口,通过此接口连通对应的监测仪,然后才能对其进行操作。结合上述方案设计出来的上位机药品监测软件界面如图 13 所示。

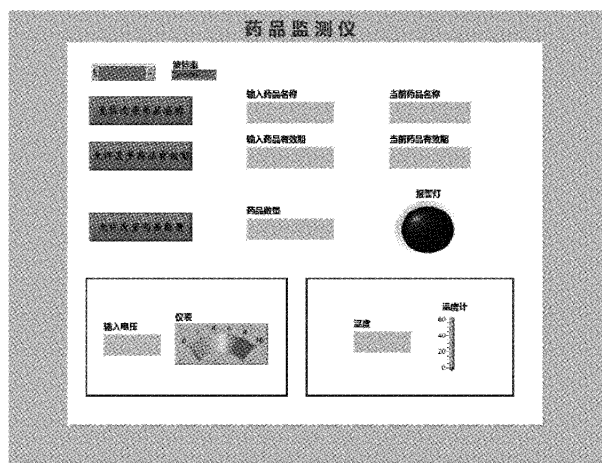


图 13 上位机药品监测软件界面

4 测试与分析

本章对西林瓶灌装药剂在线监测仪的功能和性能进行测试。

4.1 功能测试

单个西林瓶装药剂在线监测仪上电后,在 LCD 显示屏和上位机软件上显示成功此时供电电源的电压以及此时的环境温度,分别如图 14、15 所示。

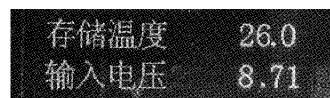


图 14 LCD 显示屏显示的数据

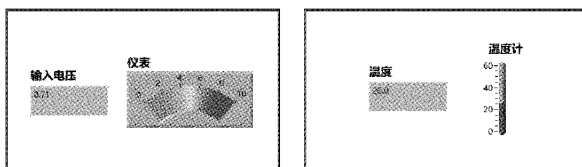


图 15 上位机软件显示的数据

将药品名称和药品有效期两个信息通过上位机输入,发现可以成功读取到这两个信息,数据信息在 LCD 显示屏和上位机软件显示示意图分别如图 16、17 所示。



图 16 LCD 显示屏显示的数据

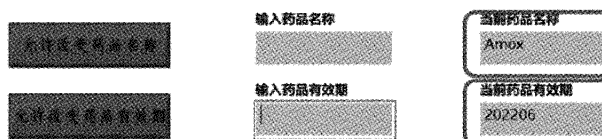


图 17 上位机软件显示的数据

4.2 仪器功耗测试

为了验证系统的功耗,使用台式直流电源给整个硬件电路供电,并记录下工作电流^[19]。监测仪在空载状态下,工作电流为 0.436 A,功耗为 3.08 W,如图 18 所示。

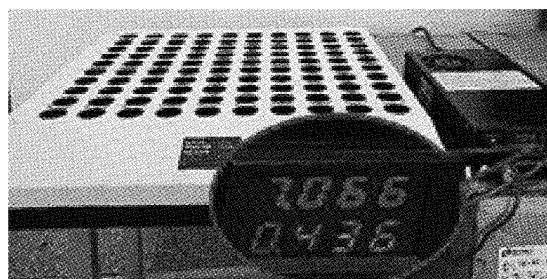


图 18 空载功耗测试

监测仪在存放 50 个西林瓶的状态下,工作电流为 0.453 A,功耗为 3.20 W,如图 19 所示。

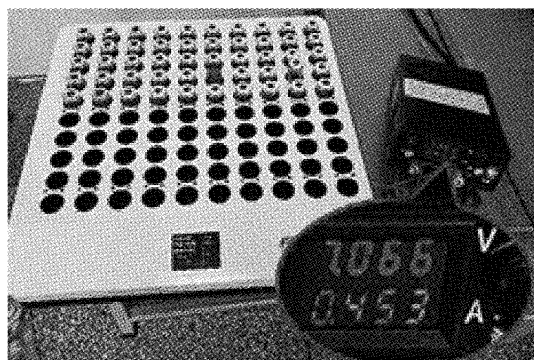


图 19 半载功耗测试

监测仪在满载状态下,工作电流为 0.471 A,功耗为 3.34 W,如图 20 所示。

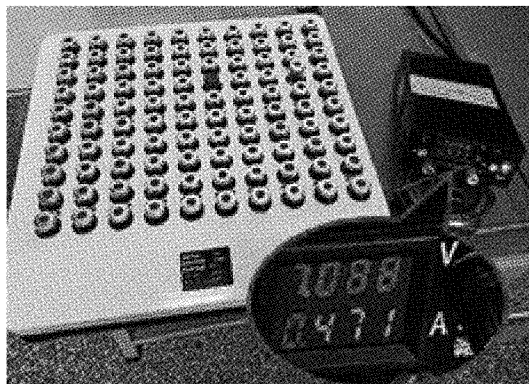


图 20 满载功耗测试

4.3 存取药品的响应时间测试

为了验证准确率和响应时间,在一个监测仪上先放满 100 个瓶子,每次都使用取物夹夹取或放入随机数量的西林瓶(每次最多变动 30 个),测试在上位机和显示屏上数量的正确率和响应时间。通过 15 次放入或者取出任意数量的西林瓶的试验,试验结果如表 1 所示。

表 1 响应时间实验结果表

序号	药品变动数量	更新后药品个数	响应时间/s
1	取 5 个	95	0.18
2	存 1 个	96	0.09
3	取 10 个	86	0.19
4	取 10 个	76	0.21
5	存 2 个	78	0.11
6	取 20 个	58	0.25
7	存 8 个	66	0.13
8	存 6 个	72	0.13
9	取 2 个	70	0.11
10	取 3 个	67	0.11
11	取 16 个	51	0.19
12	取 28 个	21	0.26
13	存 9 个	30	0.13
14	取 1 个	29	0.08
15	存 18 个	47	0.23

试验结果表明,平均在 0.173 s 内显示屏和上位机都会及时更新西林瓶数量,且正确率为 100%。

5 结 论

本文基于 STM32 和 UDP 协议设计了这款西林瓶灌装液态药剂的在线监测仪。该监测仪能够针对西林瓶灌装液体药剂进行盘点与管理,利用点光源直射照度距离平

方反比定律与 Comsol 平台仿真设计出相应的透射式光电传感器,实时监测药品数量,保证药品取用过程的规范化;实现药品信息同步,避免医护人员错误取药,减少医疗事故的发生概率;同时建立 PC 端药品监测系统利用 UDP 协议将 PC 端的管理监测软件和多个西林瓶装药剂在线监测仪连接,实现一对多在线监测的目的,优化了药品库存管理的协同性。此外,该监测仪不仅能外接电池供电也能采用直流电源供电,且具有温度监测功能,在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下能稳定工作,满足各类西林瓶装药剂多场景、多环境的使用需求。在实际应用测试中,本监测仪表现出准确率高、响应速度快、功耗低的优点,对比市场上同类型产品还具备成本低、协同性好等优点,解决了医护人员与静配中心、药房之间盘药时协调混乱的问题,解放了医护人员的双手,提高效率,有效优化药品的库存管理,值得在医药管理领域推广。

参考文献

- [1] 张辉,易俊飞,王耀南,等. 医药质量检测关键技术及其应用综述[J]. 仪器仪表学报, 2020,41(3):1-17.
- [2] 聂鹤云,宋民宪,严桂平,等. 新修订《药品管理法》文本中药品种标准表述及相关问题探析[J]. 中国药房, 2022, 33(15):1806-1809.
- [3] 兰秀林. 医院药品智能化管理系统建设[D]. 辽宁:大连理工大学,2016.
- [4] 杨舒. 药房管理系统的设计与实现[D]. 吉林:吉林大学, 2016.
- [5] 王朝轩,费树岷. 基于瓶体定位的西林瓶缺陷检测方法研究[J]. 电子测试, 2021,(9):95-97.
- [6] 孙林颖,江冰,王正华. 手术室毒麻药智能化综合管理系统设计与实现[J]. 信息技术, 2021,(5):21-27,33.
- [7] 张振亚,聂芹芹,宋博,等. 可编址主动红外入侵探测器设计及其应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(8):86-92.
- [8] 黄金龙,肖华鹏,萧泽新. 照明系统中点光源的光照度分布分析[J]. 光学技术, 2006, 32(S1):301-303.
- [9] 陈洁,严俊高. 电梯轿厢照明点光源的点照度计算实

例[J]. 中国电梯, 2021, 32(13):20-25,48.

- [10] 曹威,马嘉欣,陈宝远. 基于 Comsol 软件仿真技术的光学式电场传感器特性研究[J]. 电子制作, 2022, 30(19):91-93,26.
- [11] 明文威. 汽车光源光通量的测量方法[J]. 时代汽车, 2018(3):98-99.
- [12] 邓科,杨红,王小云. 基于 COMSOL Multiphysics 的几何光学仿真研究[J]. 中国西部科技, 2015, 14(10):95-97.
- [13] 尹强,丁圆,任晓丹,等. 基于 STM32 的充电机管理单元的设计与应用[J]. 电子测量技术, 2019, 42(7):94-99.
- [14] 孙道宗,王卫星,姜晟,等. 基于 TPS5430 和 MAX1674 的智能充电器[J]. 电子设计工程, 2010, 18(8):143-146.
- [15] 陈素芹,余红英,万鸾飞,等. 基于 STM32F103C8T6 的 USB 直流充电器设计[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2016, 33(2):45-48.
- [16] 杨恒敏. 74HC595 芯片对单片机 IO 口的扩展原理与应用[J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(4):120-122.
- [17] 刘睿,裴晓敏,孔杰. 基于 ZigBee 技术的高校图书馆座位管理系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(4):81-83.
- [18] HOSEK P, DIBLIK M. Implementation of siemens USS protocol into LabVIEW[J]. JALA, 2011, 16(5):347-354.
- [19] 华国环,董文锋,费敬敬,刘清倦. 基于模拟选择开关和故障字典的数字芯片检测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2018,(7):77-80.

作者简介

华国环,博士,讲师,硕士生导师,主要研究方向为传感器技术和数模混合集成电路。

E-mail: hgh20010@163.com

徐瀚文,硕士研究生,主要研究方向为传感器系统号采集系统。

E-mail: 15195811658@163.com