

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2012.45.029 [http://www.crter.org/crter-2012-qikanquanwen.html]

彭达明, 简峻, 余学飞. 血液冷链分布式无线多点温度监测系统[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(45):8514-8519.

血液冷链分布式无线多点温度监测系统设计**

彭达明¹, 简峻², 余学飞²

¹南方医科大学南方医院, 广东省广州市 510515;
²南方医科大学生物医学工程学院, 广东省广州市 510515

彭达明, 男, 1966年生, 广东省紫金县人, 汉族, 2001年华南理工大学毕业, 高级工程师, 主要从事医疗设备管理及网络信息设备实验设计的研究。
sdzjgd@fimmu.com

通讯作者: 余学飞, 教授, 南方医科大学生物医学工程学院, 广东省广州市 510515
xuefeiyu@fimmu.com

中图分类号: R394.2
文献标识码: B
文章编号: 2095-4344(2012)45-08514-06

收稿日期: 2012-01-14
修回日期: 2012-03-04
(20120114004/WL-S)

文章亮点: 针对国内血液冷链管理存在的问题, 提出一种在运送血液及血液制品的冷链过程中引入分布多点温度监测系统的解决方案。该系统采用数字温度传感器结合单片机和无线通信技术与 PC 实现分布式温度监测, 经多次重复实验证明, 系统运行稳定, 可靠性良好。

关键词: 血液运输; 血液冷链; 分布式; 多点温度监测; 无线通信

摘要

背景: 由于血液及血液制品与一般药品不同, 当血液处于体外环境时, 为保存生物活性, 其各种成分都需要不同的储存温度。为保证其安全有效和质量可靠, 避免因储藏或运输时温度过高或过低而影响了质量, 就必须依靠血液冷链。

目的: 针对目前国内血液冷链管理存在的问题, 提出一种在运送血液及血液制品的冷链过程中引入分布式多点温度监测系统的解决方案。

方法: 该系统采用数字温度传感器结合单片机和无线通信技术与 PC 实现分布式温度监测, 智能判断温度值是否异常并进行报警处理, 结合利用 Visual C# 2008 开发的上位机管理程序, 可实现同时对多个从机系统的集中监控。

结果与结论: 经多次重复实验证明, 系统运行稳定, 可靠性良好。

Design of distributed wireless multi-point temperature measuring system in blood cold chain

Peng Da-ming¹, Jian Jun², Yu Xue-fei²

Abstract

BACKGROUND: Blood and blood products are different from general drugs, they need different storage temperatures for preservation of biological activity when they are in *in vitro* environment. In order to ensure safe, effective and reliable quality, blood cold chain is necessary to avoid a fact that too high or low temperature influences the quality of blood or blood products.

OBJECTIVE: Based on the existing problems of present domestic blood cold chain management, this paper proposed an application of distributed wireless multi-point temperature measuring system.

METHODS: The system used the technology of 1-wire digital sensor, wireless communication and single-chip microcomputer in the management. It can intelligently identify the abnormal temperature fluctuation and alarm. The PC monitoring software was designed by using Visual C# 2008, which can monitor many slave systems simultaneously.

RESULTS AND CONCLUSION: Repeated experiments show that the system operates stably and has good reliability.

Peng DM, Jian J, Yu XF. Design of distributed wireless multi-point temperature measuring system in blood cold chain. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2012;16(45):8514-8519.

0 引言

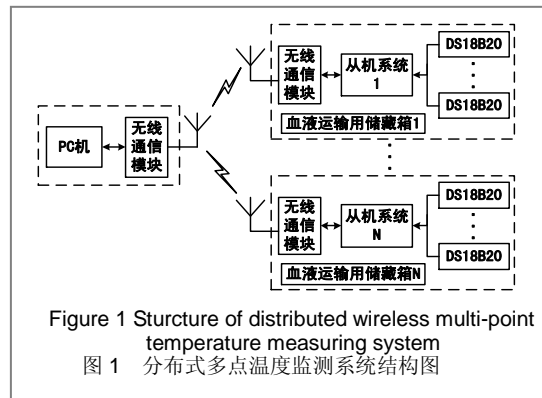
血液及血液制品与一般药品不同,是抢救患者生命的特殊药品。当血液处于体外环境时,为保存生物活性,其各种成分都需要不同的储存温度,如全血和红细胞要求保存在 (4 ± 2) °C环境下;新鲜冷冻血浆和冷沉淀是 -18 °C或更低;血小板则需要保存在 (22 ± 2) °C且不断振荡^[1-3]。因此,为保证血液及各种血液制品安全有效和质量可靠,避免因储藏或运输时温度过高或过低而影响了质量,就必须依靠血液冷链。

“血液冷链”是一套用于血液及各种血液制品储存和运输的系统,其主要作用是保证从献血者血管到输血者血管全过程中血液的质量。根据对血液冷链管理的研究,血液运输(即用血单位到血站领取所需血液的过程)是血液冷链中重要的一环^[4-6]。根据《中华人民共和国献血法》的规定,医疗机构的临床用血只能由指定的采供血机构提供,任何医疗机构无权私调血液与采集血液,因此血液和血液制品必须经过运输才能到达用血单位。但由于血液运输的过程会受到路程长短和路况好坏等不确定因素的影响,加之运输人员组成的复杂性,使得此过程也成了血液冷链各环节中最薄弱的一环。对于血站而言,当血液或血液制品从血站发出后,血站的保管责任已基本完成,而对于用血单位而言,由于血液还在运输途中尚未入库,血液的保管责任还没有建立,因此,这个过程的冷链问题特别容易被忽视。此外,中国现行各种法律法规和标准对于临床血液运输的法律责任并没有完整明确的规定,且对于医疗事故或医疗纠纷实行举证责任倒置的原则^[7-8]。因此,把分布式多点温度监测系统应用于血液运输环节,监控整个运输过程中血液及血液制品的储存温度并保存温度记录,对于提高血液冷链管理,保证血液制品的质量,保障血站、用血单位及患者的权益,确保输血者的生命安全十分重要^[9]。

1 分布式多点温度监测系统设计

由于血液及各种血液制品在运输的途中需

要使用多个不同的运输用储藏箱以满足其不同的储存温度要求^[10],因此,需要同时监控所有运输箱中的温度变化并对异常温度进行报警处理。考虑到在运输车中使用有线方式传输数据会受到布线和运输路况等多种因素的限制,因此,本系统采用无线传输方式作为主要通信方式,由一台主机系统和多台从机系统组成分布式系统结构^[11],系统的总体结构见图1。



每台从机系统主要负责监控其所在血液运输用储藏箱内部及周围环境的温度,温度测量数据经初步分析后在LCD中实时显示,并利用无线通信方式传送至主机系统进行汇总。若出现温度异常,则及时进行报警提醒运输人员注意。主机系统负责对多个从机系统进行集中控制,通过利用Visual C# 2008平台开发的温度信息管理程序,把由从机系统发送来的温度数据收集并储存起来加以分析和实时曲线显示,方便运输人员使用。当血液送达用血单位后,可通过该程序将运输途中所有的温度监控信息以报表形式打印出来,并交付给用血单位存档。

2 系统各部分硬件电路的设计

2.1 多点温度监测部分电路的设计 与传统的温度传感器相比,DS18B20温度传感器采用单总线技术(将地址线、控制线、数据线合为一根信号线),使得在一根信号线上允许挂接多个器件,显著减少了单片机引脚的使用数量;被测温度信号无需经过A/D芯片转换,单片机能够直接从温度传感器中读出,且温度测量分辨率根据读数方式的不同,可分别达到 $0.5-0.0625$ °C。由DS18B20温度传感器构成的多点温度监测系统,其温度测量范围为 $-55-+125$ °C,完全能

¹Nanfeng Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China; ²School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China

Peng Da-ming, Senior engineer, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China
sdzjgd@fimmu.com

Corresponding author: Yu Xue-fei, Professor, School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China
xuefeiyu@fimmu.com

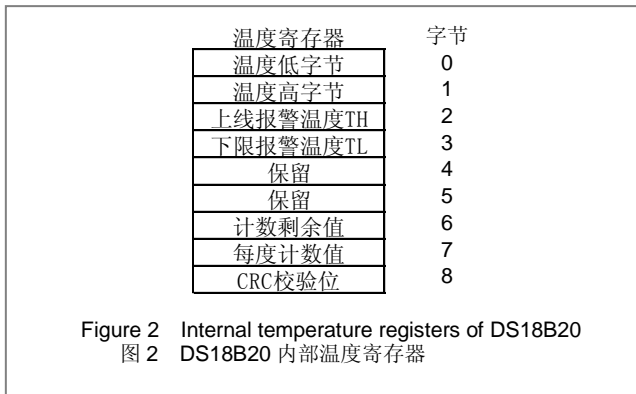
Supported by: Science and Technology Development Program of Guangdong Province, No. 2009B010800020*; the Key Technology Research and Development Program of Guangzhou, No. 2009Z1-E341*

Received: 2012-01-14
Accepted: 2012-03-04

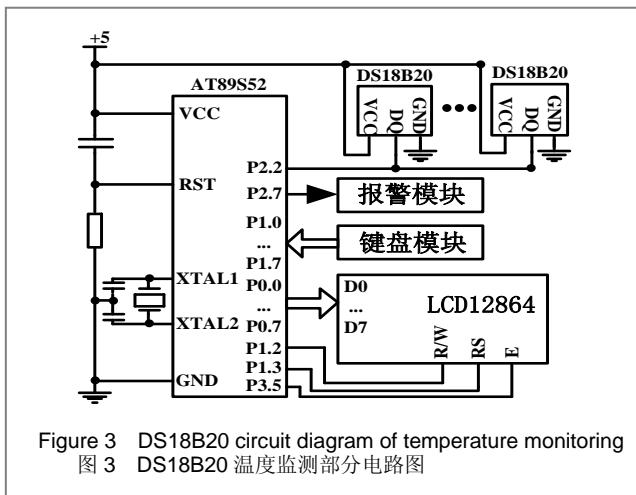
够满足各种血液制品在运输途中的温度监控。

根据DS18B20温度传感器内部的测温原理, 被测温度信号最终被储存在温度寄存器中。为提高血液运输箱温度测量的精度, 系统将采用直接读取DS18B20内部温度寄存器的方法获得温度测量数据, 温度寄存器的结构见图2。首先利用芯片提供的读取寄存器命令(BEH)读取温度测量结果, 此时所读得的结果分辨率为0.5 °C。然后减去测量结果中的最低有效位(LSB), 得到实际温度测量结果的整数部分 $t_{\text{整数}}$, 再利用读取寄存器命令分别读取计数器1中的剩余值 M 和斜率累加器给计数器1的预置数 N 。因为计数器1从预置数 N 减计数到0表示1 °C, 所以 $(N-M)/N$ 即为所预测温度值小数部分的度数^[12]。因此可利用下面的公式计算得到实际温度 $T_{\text{实际}}$:

$$T_{\text{实际}} = [t_{\text{整数}} - 0.25]_{\text{整数部分}} + [(N - M) / N]_{\text{小数部分}}$$



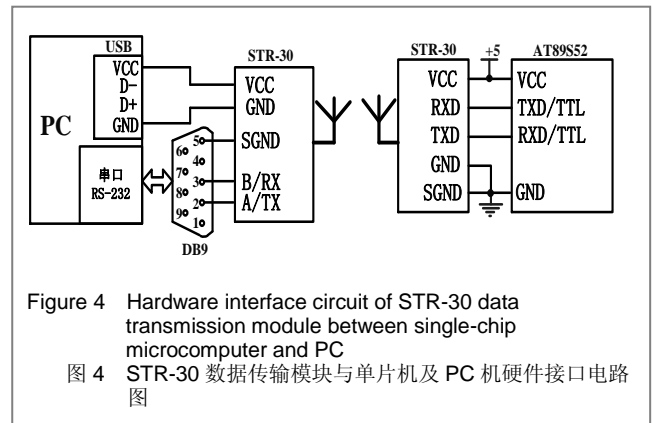
基于DS18B20的从机温度监测系统电路见图3,



在每个血液运输储藏箱上, 有多个DS18B20被合理的分布在箱的内部和外部, 其DQ信号引脚通过一根单总线直接与单片机的P2.2引脚相连, 并采用外部电源方式供电。AT89S52是美国ATMEL公司生产的低电压、高性能CMOS8位单片机, 是整个下位机系统的控制核心。液晶显示部分采用LCD12864液晶模块组成, 采用并行

通信方式, 8个数据端口D0-D7分别与单片机的P0.0-P0.7相连, 其3根控制信号线分别与单片机的P1.2、P1.3和P3.5相连。键盘模块及报警模块则分别与AT89S52的P1.0-P1.7和P2.7相连。

2.2 无线通信部分电路的设计 无线通信部分采用STR-30型数据传输模块实现, 负责控制温度数据的采集和上传, 模块与单片机及PC机硬件接口电路图见图4。该模块是一款微功率无线数据传输模块, 采用CC1020芯片作为射频芯片, 其发射功耗低(最大发射功率为10 mW), 采用ISM频段工作频率, 无需申请频段。模块提供了TTL电平UART接口, RS-232标准接口和RS-485标准接口等多种接口方式, 支持1 200 bps, 2 400 bps, 4 800 bps, 9 600 bps等多种常用接口波特率, 传输速率与接口波特率呈正比。STR-30型数据传输模块传输距离远, 抗干扰能力强, 误码率低, 稳定可靠, 完全能够满足在运输车内环境下的无线通信要求。



在单片机系统部分, 由于STR-30型数据传输模块中提供了支持TTL电平的UART接口, 可直接与输入、输出均采用TTL电平的AT89S52单片机相连, 无需经过电平转换芯片转换, 只需将模块上RXD和TXD两个扩展引脚分别于单片机的TXD和RXD引脚相连即可让从机系统实现无线通信功能, 简化了从机系统的电路设计。模块采用DC+2.7 V-+5.5 V供电, 可与单片机系统共用一个电源。在主机部分, 由于PC机串口采用RS-232标准接口, 模块中A/TX与B/RX两个扩展引脚提供了与RS-232标准接口的连接方式。由于PC机大多都配备了USB接口, 而USB接口由两根数据线, 一根5 V电源线及一根地线组成, 可利用该接口为模块供电。

3 系统控制程序的设计

3.1 基于DS18B20多点温度监控控制程序的设计 DS18B20采用单总线的方式与单片机进行通信, 数据的

传输均由一条通信总线完成, 单片机要实现各类操作命令, 必须按照DS18B20的协议进行, 即: DS18B20复位-ROM操作-RAM操作-数据处理。由于DS18B20有严格的时序来保证数据的完整性, 因此, 单片机在控制DS18B20完成温度的转换时必须遵循以上协议^[13]。

温度监控控制主程序的主要作用是负责读取并处理DS18B20所测量的血液储藏箱温度值, 对温度数据的实时更新显示以及对超出上下限的异常温度进行报警处理。控制程序利用单片机C语言编写, 其流程图见图5。

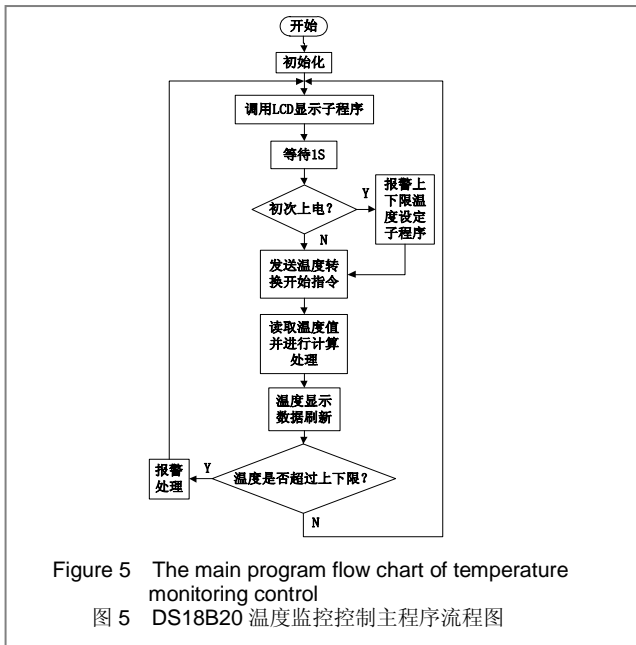


Figure 5 The main program flow chart of temperature monitoring control
图5 DS18B20 温度监控控制主程序流程图

读取多点温度子程序的主要功能是使单片机能够对多个安放在血液储藏箱中不同位置的DS18B20数字温度传感器进行温度数据的读取操作, 其程序流程图见图6。

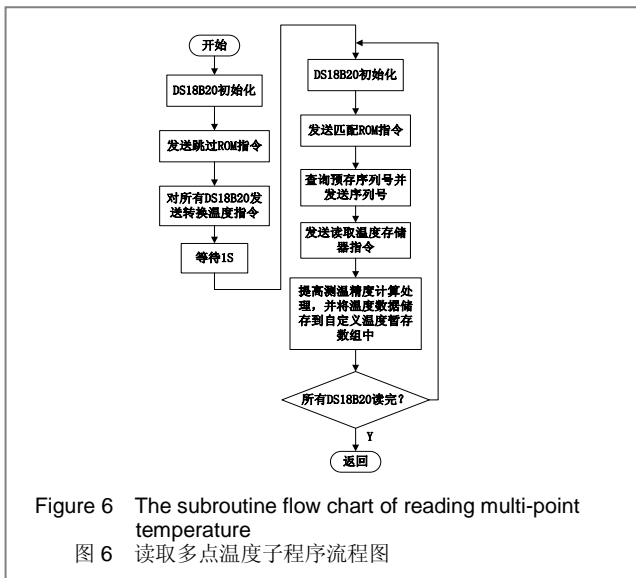


Figure 6 The subroutine flow chart of reading multi-point temperature
图6 读取多点温度子程序流程图

由于每个DS18B20内部都拥有一个惟一的64位的光刻ROM, 其中低8位为产品类型码, 中间48位为器件的序列号, 最高8位为CRC校验码。因此, 在多点温度测量中可利用其中间48位的器件序列号作为每个温度传感器的固有地址编码从而识别不同的传感器。在程序设计时, 首先利用DS18B20提供的读ROM命令(33H)和搜索ROM命令(F0H)记录下系统中每个传感器的序列号, 然后按照各传感器在储藏箱中实际的位置建立一个地址码与序列号的关系映射表, 并将其固化到程序中。当需要读取多点温度数据时, 可通过依次查询关系映射表获取器件序列号从而读取不同传感器的温度数据。读出的温度数据经过计算处理和显示后, 会被储存在自定义温度数据暂存数组中, 以供通信程序调用并发送至主机^[14]。

3.2 多机通信控制程序的设计 多机通信控制程序主要的功能是使各从机系统能够利用无线通信模块接收主机的控制命令和向主机系统发送温度数据, 其主程序和串行口中断服务程序流程图见图7。

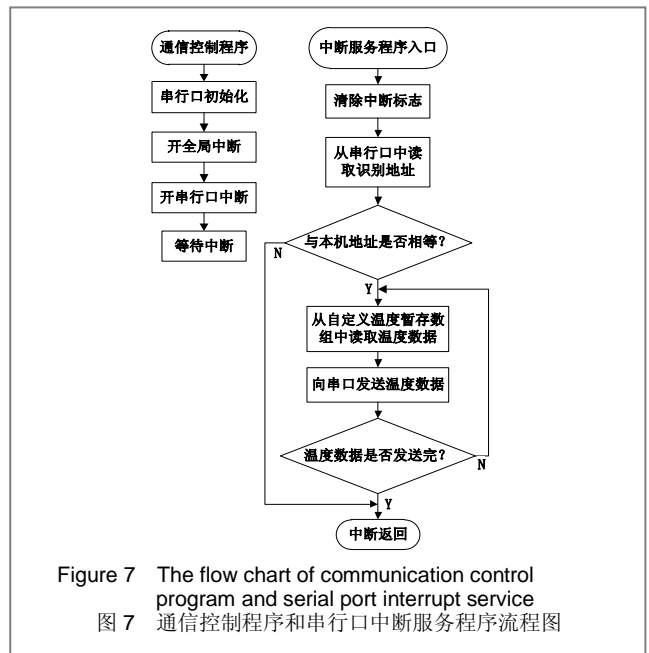


Figure 7 The flow chart of communication control program and serial port interrupt service
图7 通信控制程序和串行口中断服务程序流程图

由于从机与主机间利用STR-30型数据传输模块实现无线通信, 该模块提供了智能的数据控制, 如空中接收/发送转换, 网络连接控制, 数据校验等操作模块都能够自动完成, 使用时无需对其额外编写程序, 因此, 各从机系统中单片机只需对串行通信进行控制即可实现与主机系统间的通信, 从而简化了软件的设计。AT89S52单片机有串行发送/接收缓冲器(SBUF)、串行口控制寄存器(SCON)和特殊功能寄存器(PCON)。在进行串行通信前, 各从机系统通过控制程序初始化串行口

工作方式, 设置数据传输速率, 允许串行接收并允许串行口中断。为实现多机通信, 需要给每个从机系统自定义一个唯一的识别地址, 参考DS18B20实现多点温度测量的方法, 可利用各从机系统任意一个DS18B20其中连续的8位器件序列号组成一个唯一的从机识别地址, 然后把所有识别地址与血液运输箱的实际编号作一个关系映射表, 固化到主机控制程序中。当进行多机通信时, 主机首先通过查询关系映射表获得需要读取数据的从机识别地址, 然后向所有从机广播发送该地址, 当从机系统接收到地址后, 单片机产生串行中断并调用中断服务程序。中断服务程序中会把接收到的从机识别地址与自身的地址作比较, 只有地址相符的从机才会向主机发送温度数据, 从而实现多机通信。

3.3 主机温度信息管理程序的设计 温度信息管理程序利用Visual C# 2008开发, C#语言可用于创建需要运行在.NET CLR(Common Language Runtime)上的应用程序, 是微软公司专门为使用.NET平台而创建的。由于微软公司在其发布的.NET Framework2.0版本中已对串口通讯进行了封装, 因此可直接使用SerialPort类对串口进行读写操作。在SerialPort类中有两种方法可以实现串口数据的读取。一是线程实时读取串口; 二是事件触发方式实现。由于让线程实时读取串口的效率不高, 而采用事件触发方式响应及时, 可靠性高, 因此在编程时使用此方法实现串行通信可使PC机做出更快的响应。利用主机温度信息管理程序, 可实现对多个血液运输箱中的从机系统进行控制以及把由从机系统发送来的温度数据收集并储存起来加以分析和实时曲线显示, 温度数据可自动定时存盘, 各血液运输箱的历史温度数据报表或曲线可预览打印。温度信息管理程序部分界面见图8。

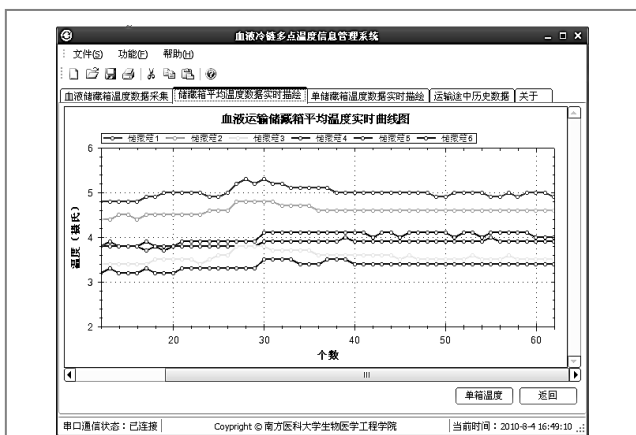
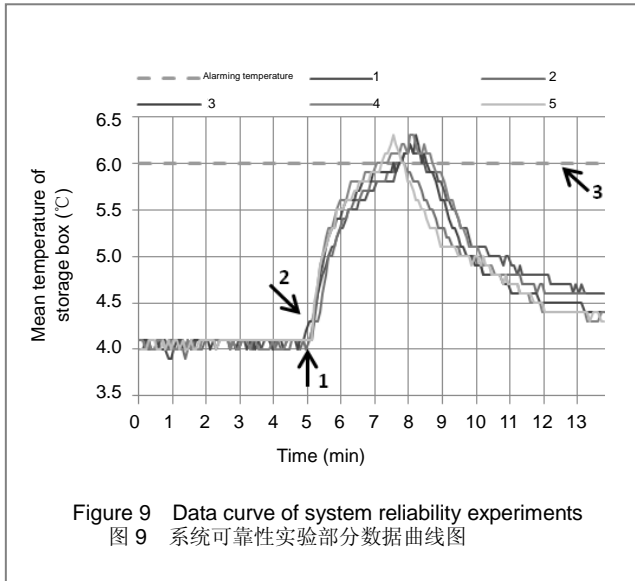


Figure 8 The user interface of host temperature information management program
图8 主机温度信息管理程序部分界面

4 系统可靠性实验设计与实验结果

可靠性实验的设计目的, 是测试该多点温度监测系统能否在血液运输箱处于正常情况和异常情况(如运输箱的制冷系统发生故障, 运输箱的箱门关闭不严或打开等)时正确测量运输箱的温度变化及对超出报警限的温度进行报警。同时, 为提高监测系统的可靠性, 在主机管理程序设计时已在其中加入了对异常温度变化进行预警的功能, 可靠性实验同时也对该功能进行测试。对异常温度变化进行预警的功能是通过定时计算并比较相邻等时间间隔的温度变化率来实现的。在正常情况下, 相邻等时间间隔的温度变化率相等或相近, 而在异常情况下相邻等间隔的温度变化率差异较大。因此, 通过比较温度变化率的差异, 可对未达到报警限温度但变化率异常的监测数据实现预警提示功能, 使运输人员能够预先排除故障, 更有效的保障血液制品的安全。由于使用血液制品受相关法律法规及实际条件的限制, 测试实验在模拟环境下进行。为测试系统能否满足不同血液制品储藏温度的测量需要, 实验模拟了每种储藏温度并进行测试, 但受篇幅所限, 仅以全血和红细胞要求保存的(4±2) °C环境为例介绍实验的具体步骤, 其余储藏温度环境的测试方法类似^[15-16]。

根据国家标准规定, 冰箱冷藏室的温度应在3-10 °C之间, 因此可利用冰箱的冷藏室作为模拟的血液运输箱, 得到系统需要监测的(4±2) °C环境。实验开始时, 首先将冰箱冷藏室内的温度调节至(4.0±0.1) °C, 待温度稳定后打开温度监测系统, 将报警温度设定在6 °C, 主机温度采样周期设定为每5 s读取一次从机测量的温度数据, 预警判断时间间隔为10 s, 开始监测冷藏室温度, 测量时间为5 min, 此时冰箱冷藏室外环境温度为(26±2) °C。5 min后, 为模拟运输箱在运输途中遇到异常情况使箱内温度上升, 人为地使冰箱冷藏室箱门关闭不严, 破坏其恒温环境, 在监测系统中观察温度的变化以及是否能够预警和及时报警。待系统报警后, 关闭报警声响并重新密封冷藏室箱门, 恢复其恒温环境, 模拟运输人员排除运输箱故障, 并利用系统继续监测冷藏室温度5 min后实验结束。重复多次以上介绍的可靠性测试实验, 部分测试结果见图9。图中曲线1-5分别表示第1次-5次实验数据; 箭头1所指为破坏恒温环境点; 箭头2所指为温度变化率异常系统进行预警处; 箭头3所指为报警限温度。



实验数据分析可得, 温度监测系统能正确测量冰箱冷藏室内温度, 并在冷藏室恒温环境被破坏后对异常温度变化进行预警提示, 当温度超过报警限时能及时报警。经多次重复实验后系统依然运行稳定, 系统可靠性良好。

5 结束语

血液运输作为血液冷链过程中最薄弱的一个环节, 必须得到充分的重视。针对这一环节, 提出了一种分布式多点温度监测系统的设计方案, 其硬件电路简单, 抗干扰能力强, 扩展方便, 在测试实验中运行稳定, 系统可靠性测试结果良好, 测温精度可达到 ± 0.01 °C, 而且人机界面友好, 方便血液运输人员对温度信息进行管理。在血液运输环节中引入该系统, 对整个运输过程中的血液储存箱温度进行监控, 对提高血液冷链的管理, 保证血液制品的质量, 确保输血者的生命安全十分重要。

6 参考文献

- Tang XX, Peng MX, Zhang YQ, et al. Zhongguo Nongcun Weisheng Shiye Guanli. 2009;29(5):352-354.
汤晓娟, 彭明喜, 张亚琴, 等. 宁波市血液运输完整冷链管理系统的建立[J]. 中国农村卫生事业管理, 2009, 29(5):352-354.
- Li MH, Lin RL. Zhongguo Wuzhenxue Zazhi. 2011;11(29):7229-7230.
李明辉, 林荣路. 血液不同时间及温度保存对红细胞功能的影响[J]. 中国误诊学杂志, 2011, 11(29):7229-7230.
- Peng MX, Tang XX, Zhang YQ, et al. Shiyong Yixue Zazhi. 2009;25(23):4060-4061.
彭明喜, 汤晓娟, 张亚琴, 等. 高速公路运输血液过程中冷链系统对红细胞的影响[J]. 实用医学杂志, 2009, 25(23):4060-4061.
- Liu PY, Ding YB. Linchuang Xueyexue Zazhi: Shuxue yu Jianyanban. 2011;24(6):362.
刘培义, 丁永波. 浅谈血液冷链管理[J]. 临床血液学杂志: 输血与检验版, 2011, 24(6):362.
- Li ML. Zhongguo Shuxue Zazhi. 2010;23(Suppl):59.
李美霖. 浅谈血液运输过程的冷链控制[J]. 中国输血杂志, 2010, 23(增刊):59.
- Lai JF, Lu SF, Huang XY. Zhongguo Yiyao Zhinan. 2009;7(21):108-109.
赖建芬, 卢少芬, 黄小毅. 规范取血提高血液冷链管理[J]. 中国医药指南, 2009, 7(21):108-109.
- Bao HR. Zhejiang Yufang Yixue. 2007;19(5):73,76.
鲍红日. 临床血液运输的职责和分工探讨[J]. 浙江预防医学, 2007, 19(5):73,76.
- Lan Z, Xie YM, Chen YC. Zhongshan Daxue Xuebao: Yixue Kexueban. 2006;27(3S):225-226.
兰竹, 谢映明, 陈永超. 血液运输过程中“冷链”的现状分析及优化[J]. 中山大学学报: 医学科学版, 2006, 27(3S):225-226.
- Wu GQ, Ru XL, Jiang GJ. Zhongguo Shuxue Zazhi. 2009;22(3):219-220.
吴国桥, 茹新龙, 蒋国瑾. 血液样本运输的冷链控制方法[J]. 中国输血杂志, 2009, 22(3):219-220.
- Wu GQ. Zhongguo Shuxue Zazhi. 2010, 23(Suppl):77.
吴国桥. 普通送血箱血液运输冷链的研究[J]. 中国输血杂志, 2010, 23(增刊):77.
- Sun JJ, Wu TH, Liu Y. Xiandai Dianzi Jishu. 2006;29(16):160-163.
孙建军, 吴太虎, 刘洋. 血液冷藏箱温度监测系统研制[J]. 现代电子技术, 2006, 29(16):160-163.
- Lu C. Yibiao Jiyu yu Chuanganqi. 2007;(6):35-37,57.
卢超. 基于PC机与单片机分布式温度采集系统的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2007, (6):35-37,57.
- Chen LG. Yibiao Jishu yu Chuanganqi. 2004;(1):41-43.
陈良光. 一线总线型温度传感器在多点测温中的编码优化[J]. 仪表技术与传感器, 2004, (1):41-43.
- Li MK, Lin J. Keji Xinxu. 2008;(31):25-26.
李明揆, 林君. 基于DS18B20的无线多点温度测量系统[J]. 科技信息, 2008, (31):25-26.
- Zou XP, Li MJ, Fan XR, et al. Jianyan Yixue yu Linchuang. 2011;8(19):2359-2360.
邹晓萍, 黎美君, 樊小蓉, 等. 血液运输工具确认方法的探讨[J]. 检验医学与临床, 2011, 8(19):2359-2360.
- Wu GX, Lan Z, Chen YC. Hainan Yixue. 2010;21(3):119-120.
巫贡晓, 兰竹, 陈永超. 血液冷链设备温度检测结果分析[J]. 海南医学, 2010, 21(3):119-120.

来自本文课题的更多信息—

基金资助: 广东省科技计划项目资助 (2009B010800020); 广州市科技支撑计划资助 (2009Z1-E341)。

作者声明: 文章为原创作品, 数据准确, 内容不涉及泄密, 无一稿两投, 无抄袭, 无内容剽窃, 无作者署名争议, 无与他人课题以及专利技术的争执, 内容真实, 文责自负。