

一种基于移动通信的血糖监护系统设计

摘要：为了方便患者检测血糖值、长期存储检测数据并及时得到医生的诊断结论，设计了一种移动血糖监护系统。系统由多个基于 Java 手机的血糖检测仪与糖尿病监护中心组成，可实现远程会诊和远程监护。基于 MSP430 单片机的血糖测试仪通过串口与 Java 手机连接，不仅完成了检测功能，还可利用手机的短信功能发送检测值和接收专家的诊断，由于体积只有 3m²，所以可以很好地与手机整合；糖尿病监护中心的硬件系统主要由一台服务器与 MC35 无线通信模块组成，软件系统主要负责完成控制 MC35 接收短信以及数据的存储、管理、维护等功能。通过测试，该设计较好地满足了预定要求。

1 血糖监护系统概述

糖尿病是危害人类健康的四大主要疾病之一，目前没有根治的办法，只能通过血糖监测对糖尿病加以控制。血糖仪的出现，大大方便了糖尿病患者自行监测血糖。为了能更好地利用无线网络资源，方便用户随时随地的测量，开发了一种基于移动通信的血糖监护系统。

基于移动通信的血糖监护系统由两大部分组成：手机血糖仪与糖尿病监护中心。工作模式如图 1 所示。糖尿病患者利用随身携带的手机血糖仪可随时监测血糖，监护中心通过 GSM 网络接收患者的血糖值，并反馈适当的诊断结论。

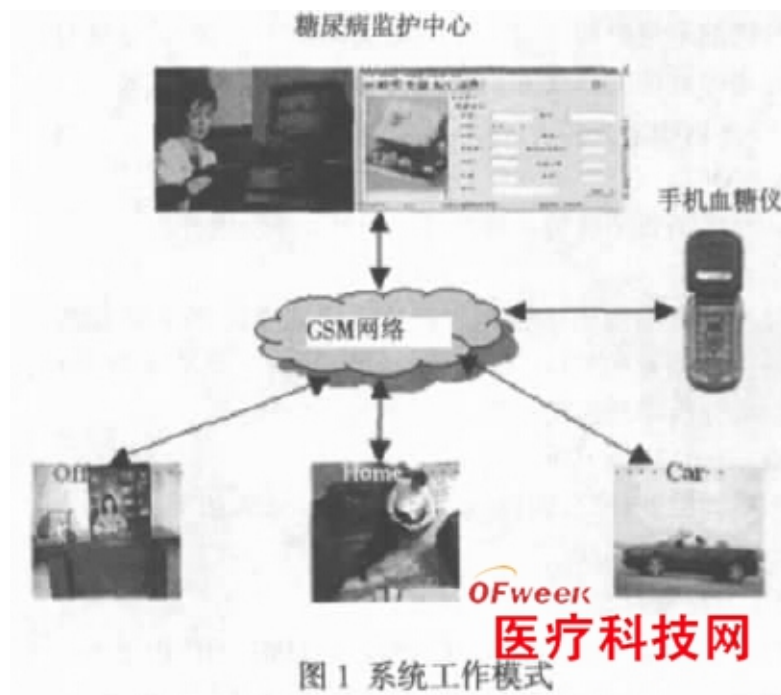


图 1 系统工作模式

手机使用

Motorola388c，血糖仪是吉林大学仪器学院自主开发的以 MSP430 单片机与酶电极传感器等为主的血糖测试仪，通过串口连接手机，利用手机的键盘和液晶屏控制显示血糖测试结果。即，手机血糖仪是在保留手机原有各项功能的基础上，增加了血糖测试功能。

糖尿病监护中心硬件由一台服务器通过串口连接一个 MC35 无线通信模块构成，软件系统主要负责完成控制 MC35 接收短信以及患者信息管理及维护。

2 手机血糖仪的设计

2.1 系统硬件设计

基于 MSP430 单片机的血糖测试仪主要由酶电极传感器、信号处理、单片机数据采集处理以及单片机与手机的串行通讯几部分组成，如图 2 所示。

采用三电极系统，分为参比电极、对极和工作电极。前置信号处理采用模拟开关对电极接入电路情况进行控制，从而为系统提供不同的工作状态，信号处理采用放大器和低通滤波，将传感器的电流信号转换放大滤去高频干扰，为后续电路的数据采集提供质量较高的信号，血糖浓度的数据采集处理和串口数据

通讯，采用 TI 公司的 MSP430 系列单片机为主控单元完成。另外，系统具有温度补偿功能，能补偿环境温度对系统测试结果的误差，提高测试结果的精度。血糖测试模块体积为 3cm*1cm，这样可以放在手机壳里，做到血糖测试仪和手机融为一体，方便了用户的携带与检测。

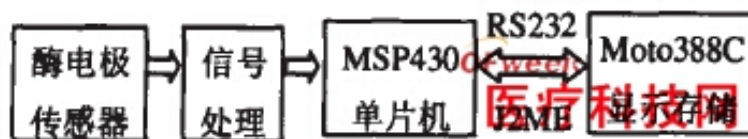


图 2 手机血糖仪系统框图

2.2 血糖浓度测量原理

血糖浓度值的测定通过生物酶电极传感器，当血液滴入，在葡萄糖酶的催化作用下，传输电子物质在碳电极表面被强制性氧化，其氧化还原反应过程中形成的氧化电流跟葡萄糖浓度成线性关系，通过测定氧化电流的强度计算血糖浓度值。

在电极上加 0.4V 的恒定工作电压，当被测血样滴在电极的测试区后，电极上固定的葡萄糖氧化酶与血样中的葡萄糖发生化学反应。经过一定的滞后期，酶电极的响应电流将与被测血样中葡萄糖浓度呈线性关系，如图 3 所示。

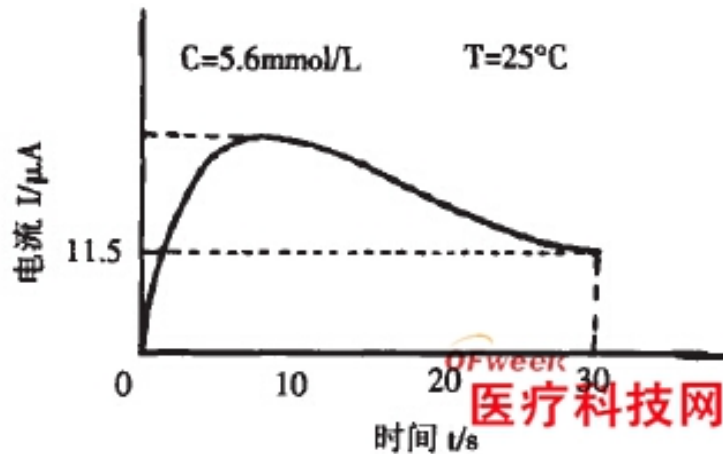


图 3 酶电极电流变化曲线

对应于 2.2-27.8mmol/L 的血糖浓度，酶电极的响应电流约为 3—50 μ A。血糖仪就是通过这一对应关系来计算显示血样葡萄糖浓度值的。根据曲线可知酶电极上的反应电流在 11s 左右出现峰值，因此系统设定前 11s 为酶电极的反应时间，后 5.3s 为酶电极的采集时间。对 5.3s 的电流面积积分，得到电量 Q，再根据已知的血糖的浓度 C0 可以由公式求出标准系数 K：

$$Q = \int I(t) dt = KC_0$$

$$K = Q/C_0$$

从而求出所测试的血糖浓度：

$$C_x = Q/K$$

温度是影响酶的活性及酶催化反应速度的重要因素之一。因此要保证测量的精度，必须进行温度补偿。经系统测试及相关的结果分析得到温度补偿公式如下： $K_t = 0.0133t + 0.067$

考虑到温度补偿，因此，血糖浓度计算公式如下：

$$C_x = Q / (K \times K_t)$$

2.3 通信软件设计

Java 手机操作系统都支持标准的 J2ME MIDP1.0 Java 标准。J2ME 是 SUN 公司推出的针对嵌入式消费类电子产品的开发平台。Motorola 公司生产的 Motorola388, A388C 等手机不仅支持标准的 J2ME MIDP1.0 Java 标准, 还推出了 Motorola SDK for J2ME, 实现了一些 CLDC/MIDP 提供的接口功能。

手机与血糖仪通过串口连接, 所以使用手机正确、实时地接收血糖仪发送的数据是关键。经过多次实验, 采用多线程的开发模式可以准确、快速地读取血糖仪发送至手机的数据。在编写串行通信程序时, 要用到 `javax.microedition.io` 包中的 `Connector` 类和 `Stream Connection`、`Input Stream` 和 `Output-Stream` 接口。在 J2ME 中所有的连接都是使用 `Connector` 类的 `open(String connect)` 方法建立的, 不同的连接可以通过传递不同的参数 `connect` 实现。

2.4 在 MotorolaA388 上运行

基本按以下五个步骤:

(1) 打包: 编译通过后, 使用 JBuilder Wizard 菜单中的 Archive Builder 项, 选择 Archive type 为 MIDlet, 随提示即可完成打包。

(2) 在 PC 机上运行: 运行 MIDlet, 更新打包文件: .jar 与 .jad 文件。

(3) 下载: 用手机提供的数据线把手机和 PC 机串口相连, 选择手机上“通过数据线下载”菜单选项, 再通过摩托罗拉 388 免费提供的名为 `pcjal.exe` 的下载工具, 可很容易地将 MIDlet 下载到手机上。

(4) 安装: 一般手机下载完一个 J2ME 程序后, 就会自动进行安装。将程序存储在手机的指定位置里。

(5) 在 MotorolaA388C 上运行: 程序安装完后, 手机就会在程序菜单中显示该应用程序, 用户选择该菜单项后就可以运行程序。界面如图 4 所示。

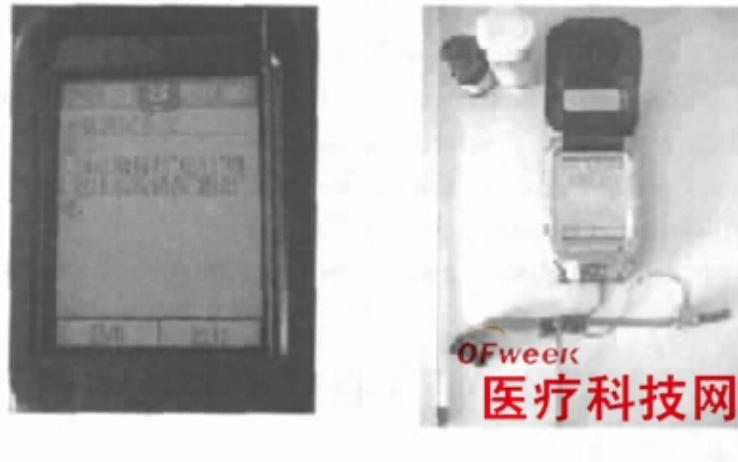


图 4 运行界面

3 糖尿病监护中心设计

糖尿病监护中心的硬件部分主要由一台服务器连接一个 GSM 模块组成。选用的是 SIEMENS 公司的无线模块 MC35。硬件电路主要分为四个部分：电源电路，用于提供 6V-12V 的电源；串口电路，用于与计算机串口进行连接；SIM 卡电路，用于 SIM 卡与模块的连接；MC35 模块驱动电路，用于对 MC35 无线通信模块进行点火驱动。

软件系统如图 5 所示。其中，人机接口模块，还增加了由用户手动输入数据的功能；糖尿病病理数据库包括知识库和规则库，知识库中存放和管理有关糖尿病诊断的专家经验和知识，规则库用于存放糖尿病诊断与鉴别诊断的规则；患者信息库用来保存患者的血糖测量值及一些背景信息。系统与 GSM 模块的通信采用串行通信协议，短信管理使用 AT 指令。

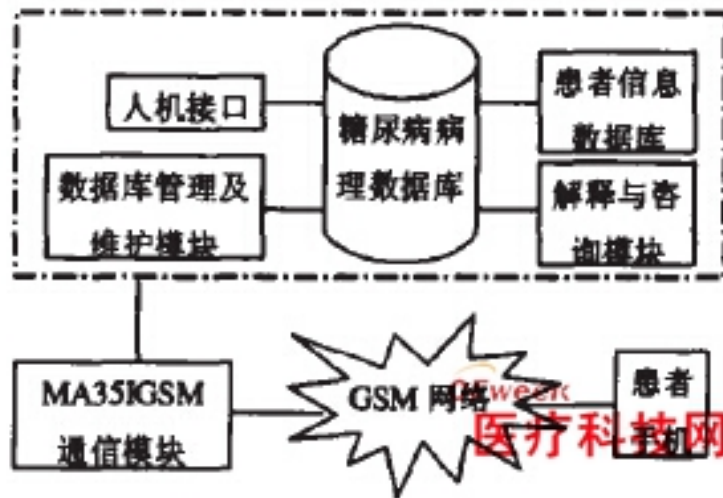


图 5 系统功能框图

4 结果与讨论

手机血糖仪操作简单，测试时，用户进入血糖测试界面(如图 4 所示)，点击运行键，屏幕会提示插入血样试纸，随后会出现 15S 倒计时状态，当倒计时为“0”时显示血糖浓度测试结果，测试结果可以直接点击发送短信键，通过 GSM 网络发送至 MA35I，再由远程糖尿病诊断系统接收存储并给出诊断结论后反馈给患者。

目前，最为准确地测量方式还是医院的静脉采血测试，但需要患者抽取大量的静脉血，所以比对本系统的血糖仪选择了相对测量较准确的强生血糖仪，表 1 中给出了绝对误差值与最大相对误差值。

表 1 测量结果与误差值

强生血糖仪标定 mg/dL	基于手机的血糖仪标定 mg/dL			重复误差 % (Cy)	最大相对误差 % (Δ)
8.4	8.5	8.4	8.5	0.31	1.32
7.9	8.1	8.1	8.1	0.56	2.10
6.5	6.9	6.8	6.9	0.00	5.98
6.3	6.7	6.7	6.6	0.69	5.31
5.9	6.1	6.1	6.1	0.71	3.78
5.7	5.9	5.8	5.9	0.00	3.88
5.3	5.5	5.6	5.6	0.80	5.21
5.0	5.2	5.2	5.2	0.85	4.44
4.4	4.5	4.6	4.6	0.00	3.80
4.2	4.4	4.4	4.4	1.03	5.26
3.6	3.8	3.7	3.8	0.00	4.62

从测试结果可以看出，基于手机的血糖仪重复性误差最大值为 1.01%，浓度最大相对误差为 5.98%，在医疗器械规则的误差范围内，因此认为自行研制的基于手机的血糖测试仪符合标准。

经过收发短信的测试，系统运行正常；测量的数据与知识库中的相比对，按照简单的规则，可自动给出诊断结论，也可由医生修改或加入建议。后期要继续完善本系统，并在并系统的基础上，继续进行人体其他生理参数的监测研究，如血压、脉搏、心电等，利用无线和有线连接，将数据存储至远程

医疗中心服务器，并使用人工神经网络等技术进行个体发病预测及疾病分类。

5 结束语

在移动设备与现代医学高速发展的今天，操作简单，方便，便携的移动监测设备与远程医疗中心的配合是医疗仪器的发展趋势。本文基于 Java 手机实现了与血糖仪在多线程模式下的串行通信，利用手机显示存储测量的结果，并且以短信的形式发送至远程服务器，从而得到专家的建议与治疗方案。今后随着嵌入式技术、无线网络技术的继续快速发展，移动式的医疗仪器会拥有更广阔的应用和市场前景。

本文作者创新点：

1. 血糖测试模块的体积只有 3m²，所以可以和移动设备，如手机整合在一起。
2. 设计了糖尿病监护中心，方便社区医院、或糖尿病治疗中心直接使用。

作者：李肃义 卜茉 林君 宋丹(吉林大学)