

基于 CDMA 和 2.4G 通信的无线远程血糖监护网络^①

闫慧文^{1,2}, 蒲宝明², 王振东^{1,2}

¹(中国科学院大学, 北京 100049)

²(中国科学院 沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

摘要: 目前, 针对糖尿病的主要治疗方法为用血糖仪频繁测量患者体内的血糖含量, 据此对患者的血糖代谢进行调节. 借鉴无线传感器网络及体域网相关的技术与思想, 利用 CDMA 蜂窝移动通信技术与 2.4G 射频通信技术设计了一个可用于监护个人及小区域内多人血糖情况的无线远程血糖监护网络系统. 此血糖监护网络能够实现糖尿病的远程诊疗, 拉近医患距离, 减轻患者痛苦. 重点介绍了血糖监护网络的网络架构, 详细描述了网络节点 CDMA 和 2.4G 无线通信功能的设计与实现.

关键词: 血糖监护; 网络; CDMA; 2.4G 射频; 糖尿病

Wireless Remote Blood Glucose Monitoring Network Based on CDMA and 2.4G Communication

YAN Hui-Wen^{1,2}, PU Bao-Ming², WANG Zhen-Dong^{1,2}

¹(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

²(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

Abstract: At present, the main treatment for diabetes is adjusting the patient's glucose metabolism according to his blood glucose level measured with glucose meter frequently. This paper uses Wireless Sensor Network and Body Area Network related technologies and ideas for reference. A design of a wireless remote blood glucose monitoring network system that can be used for monitoring personal glucose condition and glucose conditions of people in a small area is proposed using the CDMA cellular mobile communication technology and 2.4G RF communication technology. The blood glucose monitoring network enables remote diagnosis and treatment of diabetes, narrows the distance between doctors and patients and alleviates the suffering of patients. This paper mainly introduces the network architecture of the blood glucose monitoring network and the design and implementation of the CDMA and 2.4G wireless communication functions of network nodes are described in detail.

Key words: blood glucose monitoring; network; CDMA; 2.4G RF; diabetes

糖尿病是一种对人体危害极大的终身性疾患, 全世界范围内其患者数都在逐年增加, 给个人、家庭和社会带来沉重负担. 2013年, 全世界有510万人的死因为糖尿病, 平均每6秒就有一人因糖尿病而死^[1]. 糖尿病俨然成为一种世界性难题. 目前, 糖尿病主要通过用血糖仪检测患者血糖浓度水平, 据此调节体内葡萄糖代谢的治疗手段来控制. 各种组织和机构^[2,3]多推荐采用便携式血糖仪频繁地进行自我血糖检测.

近年来, 无线传感器网络及在其基础上发展出的无线体域网受到广泛关注, 成为热点研究领域. 无线

传感器网络是用于感知、采集和处理感知对象信息并将信息发送给观察者的由部署在监测区域内的大量微型传感器节点组成的自组织无线通信网络系统^[4], 可广泛应用于健康护理、军事、环境检测、智能家居、工农业等诸多领域, 并向其他领域不断扩展^[4,5]. 体域网则是由安装在人体周围或植入人体中的传感器组成的检测人体生理参数的无线网络^[6], 在医疗保健、军事、消费电子、体育等多个领域有着广阔的应用前景^[7]. 本文结合无线传感器网络和体域网的相关技术与思想, 设计了可用于家庭、社区、医疗机构等场所的对人体

① 收稿时间:2014-04-25;收到修改稿时间:2014-06-03

血糖进行远程无线监护的网络系统,使医生能够在远端根据测量结果实时给出诊疗意见,拉近了医患距离,适当平衡了分布不均的医疗资源的使用,为糖尿病的严格控制提供了一种经济方便的解决方案。

1 CDMA与2.4G通信技术

从传输速率、安全性、通信质量、功耗、成本等角度出发,本文所设计血糖监护网络采用CDMA蜂窝移动通信与2.4GHz频段射频通信两种无线通信技术来实现。

CDMA蜂窝移动通信技术是美国高通(Qualcomm)公司提出的基于CDMA(Code Division Multiple Access,码分多址)扩频技术的2G数字蜂窝系统标准。与其他第二代(2G)蜂窝移动通信技术相比,CDMA具有抗噪声、抗干扰能力强,服务质量好,系统容量大,灵敏度高,功耗小,辐射小,保密功能强,成本低等优势^[8]。

2.4G射频通信是指工作在2.4GHz-2.5GHz ISM频段上的电磁波无线通信技术。ISM频段是国际上为工业、科学和医用目的的射频能量所保留的自由开放的频段,工作在ISM频段下的设备无须申请授权,只要遵守所在国家的无线电使用规则即可免费使用^[9]。ISM最初被提出是为了适应当时正在兴起的微波加热技术,目前,一些比较流行的无线通信技术都建立在2.4G免费频段上,虽然这有违ISM建立的初衷,但2.4G无线通讯技术的发展并没有与各种ISM设备互相干扰,反而促进了2.4G无线技术的蓬勃发展。

2 血糖监护网络

本血糖监护网络的用户可以分为个人用户和集体用户两类。个人用户主要为糖尿病患者和希望预防糖尿病的个人。对于他们而言,本血糖监护网络可帮助其随时随地进行自我血糖检测,并将检测结果即时传输到监护网络后台服务系统,方便医护人员、家属和检测者查看,及时掌握测量者的血糖情况。集体用户主要是指提供医疗保健服务的社区、医院、诊所等,本血糖监护网络可以为这些用户缩短血糖检测的时间,提高工作人员的效率,同时较少人工干预的特性也能减少工作人员的操作失误。

根据前面介绍的CDMA和2.4G两种无线通信技术的特点分析可知,2.4G射频通信是一种低成本,短距离,低功耗,可用于区域内组网的无线通信技术,

利用它可以分布在一定范围内的多个节点组成一个自组织的网络。因此2.4G技术正符合在社区、医院、诊所等一定范围内有多个有血糖检测需求用户的场景中,将多个节点所测得的血糖信息通过形成的网络汇聚到本地的服务器,供医护人员、测量者及其家属及时掌握测量者的血糖情况,以便对糖尿病进行严格精细的治疗。但面对个人用户及集体用户中没有本地服务器的情况时,由于2.4G通信技术不具备连接互联网的能力,不能与远端的医疗服务器进行通信,本设计选择了成本相对高,但能够实现高效可靠互联网数据传输的CDMA技术来实现远程通信,这样通过2.4G组网后汇聚的血糖数据便可通过CDMA发送到远端的服务器中。

综合考虑成本、功能和性能,本设计将血糖监护网络的网络节点分为两种:全功能设备(Full Function Device, FFD)和精简功能设备(Reduced Function Device, RFD),它们的区别在于所能支持的无线通信功能不同。FFD同时具有CDMA蜂窝通信功能和2.4GHz无线射频通信功能;而RFD则出于成本考虑,不提供CDMA蜂窝通信功能。由此可见,RFD节点不具备互联网连接能力,不能直接向后台上传测量结果,如果要向后台传输数据,须用其具备的2.4GHz射频通信功能连接其他可以接入Internet的设备来中转数据,否则,RFD只能作为本地血糖测量工具。而FFD节点则没有通信功能上的限制,可以自行联网,也可通过中转的方式传输数据。

2.1 个人用户网络体系结构

针对个人用户的监护网络体系结构如图1所示,系统分为四个层次,第一层是持有FFD网络节点的个人用户,第二层为监护网络所依赖的网络环境,提供基础的网络服务,第三层为处在远端的医疗服务器后台,可用于接收、存储、处理和查询用户血糖数据,第四层为测量者个人、医护人员或家属。在此情境下,血糖监护网络的典型工作流程为个人用户采用FFD设备进行血糖自我检测;然后利用FFD的CDMA蜂窝通信CDMA2000 1X网络传输功能连接互联网,通过第二层提供的CDMA网络服务将测得的血糖信息上传到第三层的服务器,第三层接收到数据后对其进行存储加工,最后第四层的用户用能够连接互联网的设备通过网络访问第三层远端医疗服务器提供的服务,查询用户血糖数据。当发生血糖测量结果过高或者测量者

有急性身体不适的紧急状况时, 用户还可以通过 FFD 设备的 CDMA 短消息服务(Short Message Service, SMS)以短信的方式向医护人员和家属发出紧急求救信号.

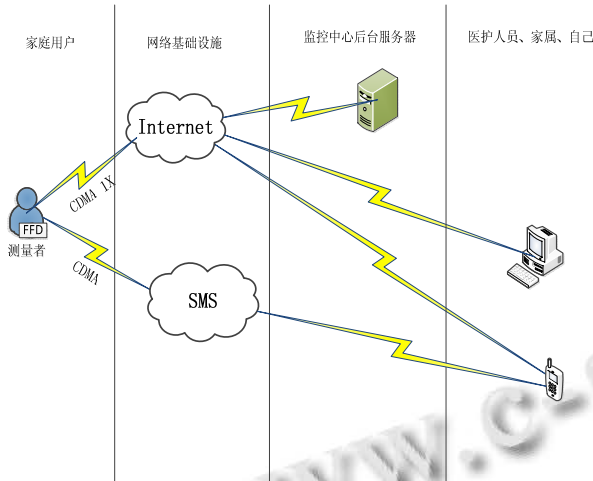


图 1 个人用户网络体系结构

2.2 集体用户体系结构

集体用户的特点为在特定区域内存在多个检测用户, 故而设计其网络体系结构如图 2 所示. 针对集体用户的血糖监护网络也分为四层, 与个人用户下的监护网络不同的是, 第一层由单个 FFD 节点变成了多个 RFD 节点和单个 FFD 节点的组合.

在图 2 所示的集体用户血糖监护网络体系结构中, 同一区域内的多个测量节点构成了一个星型网络, 其中的 FFD 节点同时充当网关(即无线传感网络中的汇聚节点)和终端的角色, 而其他 RFD 节点都只能是检测终端. 此时监护网络的血糖检测流程为所有测量者都用各自手中的设备测量自身血糖; 之后 RFD 设备会利用其 2.4GHz 射频通信功能将测量结果发送给网关 FFD 节点; FFD 节点会对其自身的以及从 RFD 接收来的测量结果进行与个人血糖监护网络中 FFD 节点一样的处理; 之后的工作流程便与个人用户时的血糖监护网络相同. 考虑到一个 FFD 覆盖范围内很多人都同时发生突发情况造成长时间延迟报警求救的可能性比较小, 所以出现紧急情况时也采取与血糖检测同样的处理方式, 即 RFD 节点通过 2.4GHz 射频通信的方式连接 FFD 网关节点进行中转, FFD 节点利用自身 CDMA 短信通信功能发送报警求救信息.

此处的网络设计充分考虑了成本因素, 在系统的

成本与传输性能之间做了均衡. 一个范围内只部署一个 FFD 节点, 其他检测节点都采用 RFD 这样的设计会导致网络传输的实时性有所下降, 但在同时进行测量的用户不是很多的情况下影响并不大. 如果在需要较高实时性或同时测量者数量庞大的集体用户环境中实施本血糖监护网络, 可以考虑多部署一些 FFD 节点, 将集体用户中的测量者分散到不同 FFD 网关节点所在 2.4G 射频范围内, 构成多个星型网络, 减少单个 FFD 节点上的数据流量, 提升传输性能. 最极端的情况下可以对集体用户中的每个测量者均使用 FFD 设备, 使每个人都构成一个个人用户血糖监护网.

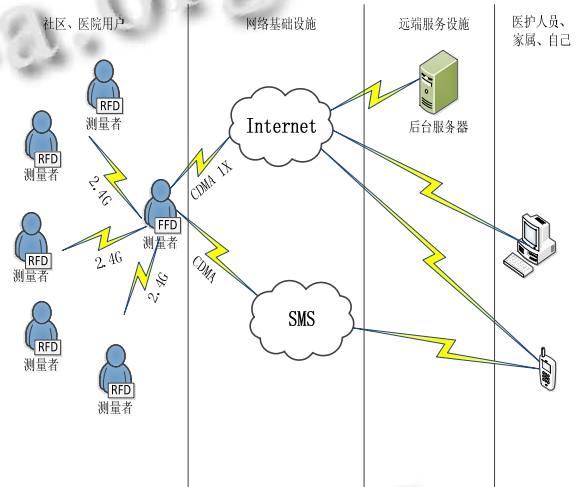


图 2 集体用户网络体系结构

3 网络节点设计与实现

3.1 网络节点整体设计

根据血糖监护网络的需要, 网络节点应具备 CDMA 蜂窝通信、2.4G 无线射频通信和血糖检测功能, 同时节点还需为测量结果记录时间和温度信息, 除此之外, 网络节点还应具有液晶显示和按键交互能力, 并需电源提供能量. 由此, 对 FFD 节点做如图 3 所示

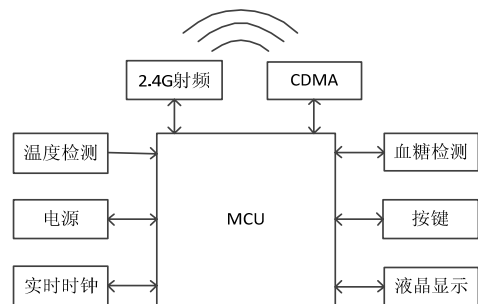


图 3 FFD 节点整体设计

的整体设计,用 MCU(Micro Control Unit)作为主控控制其他模块协调工作, RFD 从 FFD 的设计中裁剪掉 CDMA 功能即可.

3.2 CDMA 蜂窝通信

FFD 节点所具备的 CDMA 蜂窝通信功能采用中兴通讯研制的 CDMA2000 1X 单 800MHz 工业模块 MC8332 来实现. MC8332 支持最大 153.6Kbps 的数据上下行速度, 内置 TCP/IP 和 UDP/IP 协议栈, 支持 TCP 服务器协议和嵌入式 FTP 协议; 能够方便用户在 CDMA 2000 移动网络覆盖的地方, 随时随地以无线方式连接互联网, 收发 Email、浏览网页、高速下载、在线播放视频, 同时它还能实现收发短信息和语音通话^[10].

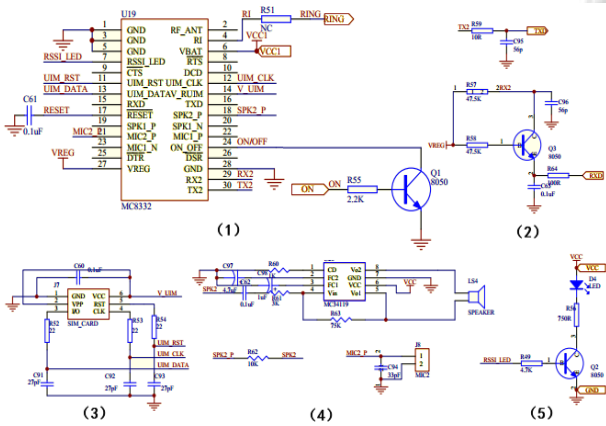


图4 MC8332 电路原理图

图4所示即为 MC8332 的电路原理图, 图中(1)为 MC8332 和其响铃、开关电路以及其他外围接口电路网络. (2)为 MC8332 专门用于 AT 命令的串口与 MCU 串口连接时的电平转换电路, 由于 MC8332 模块的串口采用 2.85V CMOS 电平而 MCU 的串口为 3.3V TTL 电平, 为了不损坏模块并实现稳定的串口通信, 必需进行电平转换. (3)为中国电信 RUIM 卡插槽电路. (4)为 MC8332 的音频接口电路, MC8332 提供了两路听筒和话筒接口, 但不能同时工作; 本设计选择其中的单端输入输出接口分别与话筒和扬声器连接并用 MC34119 低功耗音频放大器对音频输出信号放大以达到较好的音频效果. (5)为 MC8332 模块的工作状态指示灯电路, 通过 LED 不同频率的闪烁可以表示模块所处的工作状态; 由于 MC8332 的 RSSI_LED 驱动能力不够, 故而用到了三极管对电流进行放大以驱动 LED 灯工作.

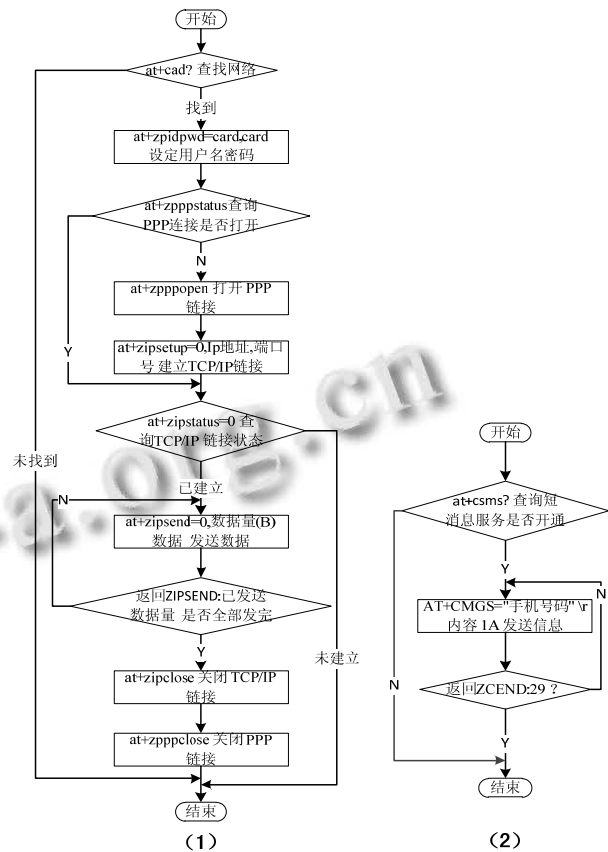


图5 CDMA 通信流程图

按照图4的原理图实现了电路之后, 根据 MC8332 的设计规范, 将 MCU 与 MC8332 连接的串口配置为 9.6kbps 波特率、1 位停止位、8 位数据位、无奇偶校验模式并开启中断, 之后 MCU 便可通过串口发送 AT 命令并接收 MC8332 状态信息对 CDMA 模块进行控制. 图5即为用 MC8332 进行通信的流程图, 图中(1)为用 MC8332 连接 Internet, 用 TCP/IP 连接发送数据的流程, (2)为利用 MC8332 通过 CDMA 蜂窝系统发送短信息的过程. 它们均由 MCU 发出的一系列 AT 命令结合模块的反馈来实现.

3.3 2.4G 射频通信

本血糖监护网络的 FFD 节点和 RFD 节点均采用 Atmel 公司生产的 8 位高性能 ATmega128RFA1 MCU 作为主控. 这款 MCU 采用先进的精简指令集体系结构, 包含 128KB Flash、4KB EEPROM、15KB SRAM 片内存储, 拥有定时器/计数器、模数转换器、串口等丰富的外设, 超低低功耗. 同时, ATmega128RFA1 还在片上全面集成低功耗 2.4GHz ISM 频带收发器, 能够完全兼容 IEEE 802.15.4 和 ZigBee 协议, 支持 250kb/s、

500kb/s、1Mb/s 和 2Mb/s 传输速度, -100dBm 接收信号敏感度和高达 3.5dBm 的发送功率, 拥有 128 字节的帧缓存, 天线分集, 收发控制和基带信号处理等特性^[11]。

所以, 实现 2.4G 射频通信功能只需对 ATmega128RFA1 增加几个简单的辅助电路即可, 具体电路原理图如图 6。图中右下角的电路为 16MHz 的晶振 Y4 与其负载电容通过 MCU 的 XTAL1 和 XTAL2 端口为片上集成的 2.4GHz 无线射频模块提供时钟信号。图中左边的部分为 2.4GHz 通信模块的天线电路, 天线 RF1 的射频输入信号由平衡转换器 B2 转换为差分射频端口阻抗; 电容用于交流解耦, 提高一致性。

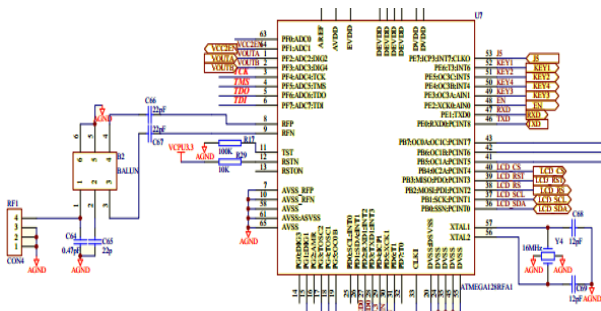


图 6 2.4G 射频通信电路原理图

电路实现后, 通过设置寄存器配置 2.4G 模块工作于兼容 IEEE 802.15.4 MAC 协议的扩展操作模式下, 将 PANID 设为 0x5854, MAC 地址设置为前 32 位为 0 后 32 位为机器编号, 同时设置用中断处理数据收发。本设计将 IEEE 802.15.4 协议帧中的内容数据制定为一个简单的通信协议。首先 RFD 设备广播发送请求信息 $\wedge\text{req}+0\text{xFF}$; 收到 FFD 网关的允许信息 $\wedge\text{acpt}+0\text{xFF}$ 之后 RFD 设备广播发送 $\wedge\text{ack}+\text{FFD MAC address}+0\text{xFF}$ 确认所选 FFD 网关; 之后 RFD 将数据以 $\wedge\text{data}+\text{数据内容}+0\text{xFF}$ 的格式发送到 FFD 节点; FFD 在收到之后通过 CDMA 连接互联网转发; 转发成功之后回复 RFD 以 $\wedge\text{ack}+\text{upok}+0\text{xFF}$ 确认上传成功。在一个 FFD 网关通信范围内一台 RFD 与其通信的空隙, 如果另一台 RFD 请求发送, 则 FFD 将不响应。如果两台 FFD 同时收到同一 RFD 的请求, 则 $\wedge\text{acpt}+0\text{xFF}$ 率先被 RFD 收到的 FFD 充当网关, 而 $\wedge\text{acpt}+0\text{xFF}$ 较晚被 RFD 收到的 FFD 在收到 RFD 发出的网关 MAC 地址确认后回到原来的工作状态。

3.4 其他功能

网络节点除了通信功能外, 还采用电流型葡萄糖氧化酶电极生物传感器电化学血糖测量方法实现了

血糖检测功能; 用 1N4148 二极管作为温度传感器实现了温度测量功能; 用 DS1302 涓流充电时钟芯片实现了实时时钟功能; 用 ST7565P 点阵液晶驱动器实现了液晶显示; 用一块 3.7V 输出电压的可充电锂电池作为电源; 同时, 还为节点设计了四个按键, 方便与使用者交互。

4 结语

本文参考当下被热门研究的无线传感器网络和体域网的相关技术与思想, 利用 CDMA 蜂窝移动通信技术和 2.4G 射频通信技术设计了可用于个人和一定范围内多个用户的无线远程血糖监护网络并对网络节点的设计与实现进行了介绍, 重点讲述了网络节点网络通信功能的设计与实现。本血糖监护网络能够实现糖尿病的远程诊疗与管理, 方便患者足不出户即可得到远端医护人员的治疗指导, 减轻患者的痛苦, 提高医护人员的工作效率; 同时存储在远端服务器内的血糖浓度历史数据能够给病情分析提供精确可靠的依据。

参考文献

- 1 International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 6th ed. Brussels, Belgium: International Diabetes Federation, 2013.
- 2 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2010 年版). 中国糖尿病杂志, 2012, 20(1): S1-S37.
- 3 World Health Organization. About diabetes: definition, types of diabetes, complications. http://www.who.int/diabetes/action_online/basics/en/.
- 4 孙利民. 无线传感器网络. 北京: 清华大学出版社有限公司, 2005.
- 5 Martincic F, Schwiebert L. Introduction to Wireless Sensor Networking. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2005.
- 6 Latré B, Braem B, Moerman I, et al. A survey on wireless body area networks. Wireless Networks, 2011, 17(1): 1-18.
- 7 刘毅, 宋余庆. 无线体域网技术研究. 小型微型计算机系统, 2013, 34(8): 1757-1762.
- 8 Tanenbaum AS, Wetherall DJ. Computer Networks. Pearson Education, 2010.
- 9 Wikipedia. ISM band. http://en.wikipedia.org/wiki/2.4_GHz.
- 10 中兴通讯股份有限公司. 中兴通讯 MC8332 模块用户硬件设计手册, 2012. <http://www.zte.com.cn/cn/>.
- 11 Atmel Corporation. ATmega128RFA1 Datasheet. <http://www.atmel.com/images/doc8266.pdf>. 2012.