

基于 ARM9 的便携脑血氧监测仪及其以太网接口设计

杨倩^{1,2}, 吴旭超^{1,2}, 李凯扬^{1,2}

(1. 武汉大学 物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430072;
2. 武汉大学 海生物医学工程研究中心, 湖北 武汉 430072)

摘要: 介绍了一种应用双光源的便携嵌入式近红外脑血氧监测设备。该设备采用三星 S3C2410A 微控制器和以太网控制芯片 DM9000A 进行软硬件设计, 可实现同时对双侧脑组织局部血、氧参数的监测。

关键词: 近红外光; 双光源; 脑血氧检测; 以太网接口; DM9000A; S3C2410A

中图分类号: TM930.9

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)11-0016-03

Design on portable brain blood oxygen monitor and Ethernet network interface based on ARM9

Yang Qian^{1,2}, Wu Xuchao^{1,2}, Li Kaiyang^{1,2}

(1. Department of Physics, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
2. Wuhan E-sea Biomedical Engineering Research Center, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper introduced a dual light source embedded by near-infrared cerebral oxygen portable testing equipment. This device used Samsung S3C2410A for the controller and the Ethernet controller chip DM9000A for hardware and software design. It can detect the blood and oxygen parameters of both sides of the brain.

Key words: near-infrared light; dual light source; cerebral oxygen detection; Ethernet interface; DM9000A; S3C2410A

氧是人体新陈代谢的重要物质, 而脑组织的耗氧量最高。如果在心脑血管疾病及脑外伤病人临床抢救与治疗中缺乏对脑组织供氧的监护手段, 就有可能造成脑组织神经功能的丧失或损害。而目前国外尚未见双通道同时监测双侧脑组织血氧, 并通过比较来反映患侧脑组织血氧含量变化的报道^[1-2]。

本文介绍的脑血氧监测设备不但能同时采集左右两侧大脑对称位置的血氧参数, 为临床通过对比来评价患侧脑血氧变化量提供新方法, 还采用了嵌入式系统应用以太网将数据共享, 达到了既能实时监测大脑两侧数据, 又能实现数据共享的效果。

1 脑血氧检测原理

本设备是根据氧合血红蛋白和还原血红蛋白对红外和近红外光不同的吸收特征, 利用修正后的朗伯特-比尔定律和血红蛋白在近红外光 (波长为 760~850 nm) 处的不同吸收特性, 可以推导出血容量和氧容量表达式如下^[1]:

$$\text{血容量} = c(\text{Hb}) + c(\text{HbO}_2) = a \cdot OD(\lambda_1) + b \cdot OD(\lambda_2) \approx G_b \cdot [I(\lambda_1) + K_b \cdot I(\lambda_2)]$$

$$\text{氧容量} = c(\text{HbO}_2) = g \cdot OD(\lambda_1) - k \cdot OD(\lambda_2) \approx G_o \cdot [I(\lambda_1) - K_o \cdot I(\lambda_2)]$$

其中, G_b 、 G_o 分别表示血通道和氧通道的增益; a 、 b 、 g 、 k 、 K_b 、 K_o 均与 ε (ε 为波长为 760 nm、850 nm 下, Hb 和 HbO₂ 的光吸收系数) 有关的常数 (Hb 为脱氧血红蛋白, HbO₂ 为含氧血红蛋白); $I(\lambda_1)$ 、 $I(\lambda_2)$ 分别表示双波长下的近红外光的接收光强。由于 Hb 与 HbO₂ 中均包含 Hb 元素, 所以血容量应包含 Hb 和 HbO₂ 两者的浓度之和, 而氧元素只包含在 HbO₂ 中, 因此氧容量等于 HbO₂ 的浓度。

由于光在组织中所历过程与波长相关, 对于前后两个不同的生理状态, 氧合血红蛋白和还原血红蛋白浓度的变化可以表示为^[2]:

$$\Delta c_{\text{HbO}_2} = \frac{l_{\lambda_2} \Delta OD(\lambda_1) \mu_{\text{aHb}}(\lambda_2) - l_{\lambda_1} \Delta OD(\lambda_2) \mu_{\text{aHb}}(\lambda_1)}{l_{\lambda_1} l_{\lambda_2} [\mu_{\text{aHbO}_2}(\lambda_1) \mu_{\text{aHb}}(\lambda_2) - \mu_{\text{aHbO}_2}(\lambda_2) \mu_{\text{aHb}}(\lambda_1)]}$$

$$\Delta c_{Hb} = \frac{l_{\lambda_2} \Delta OD(\lambda_1) \mu_{aHbO_2}(\lambda_2) - l_{\lambda_1} \Delta OD(\lambda_2) \mu_{aHbO_2}(\lambda_1)}{l_{\lambda_1} l_{\lambda_2} [\mu_{aHb}(\lambda_1) \mu_{aHb}(\lambda_2) - \mu_{aHbO_2}(\lambda_2) \mu_{aHb}(\lambda_1)]}$$

代入血氧饱和度的表达式,可得组织的血氧饱和度为:

$$SO_2 = \frac{l_{\lambda_2} \Delta OD(\lambda_1) \mu_{aHb}(\lambda_2) - l_{\lambda_1} \Delta OD(\lambda_2) \mu_{aHb}(\lambda_1)}{l_{\lambda_2} \Delta OD(\lambda_1) [\mu_{aHb}(\lambda_2) - \mu_{aHbO_2}(\lambda_2)] - l_{\lambda_1} \Delta OD(\lambda_2) [\mu_{aHb}(\lambda_1) - \mu_{aHbO_2}(\lambda_1)]}$$

其中, l_{λ_1} 、 l_{λ_2} 表示两波长的光程(一般相等); $\Delta OD(\lambda_1)$ 、 $\Delta OD(\lambda_2)$ 为两波长下的光密度的变化; $\mu_{aHb}(\lambda_1)$ 、 $\mu_{aHb}(\lambda_2)$ 、 $\mu_{aHbO_2}(\lambda_1)$ 、 $\mu_{aHbO_2}(\lambda_2)$ 分别为无氧血红蛋白和含氧血红蛋白在双波长下的吸收系数。

由于在实际的测量中,不同病患的肤色、组织性能的差异,使得测量 Hb 和 HbO₂ 的绝对浓度困难重重,因此在实际监测中,一般使用光密度的变化来表征血容量和血氧的变化。

2 便携式脑血氧检测设备的硬件设计

2.1 硬件整体设计

本设备由探头部分和主机部分组成,两部分之间采用无线收发的模式进行数据传输,其具体系统框图及工作流程如图 1 所示。

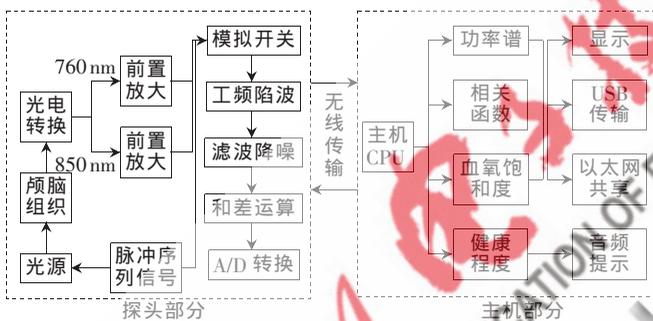


图1 设备系统框图及工作流程图

由图 1 可看出,该设备采用由三星 S3C2410A 微处理器产生的时钟脉冲序列控制的 760 nm 和 850 nm 双波长光源,通过双光源交替照射颅脑组织,通过离探头一定距离的光电转换器实时收集经透射后的光,并分成两路进行放大,通过由时序脉冲控制的模拟开关控制放大的进程,同时该监测设备将放大后的透射光的滤波降噪、和差运算、A/D 转换等电路均集成在探头部分。这种设计可在一定程度上减小信号传输时的衰减程度和噪声干扰,同时也节省了仪器体积,实现了便携式设计。主机部分采用新型的 S3C2410A 微处理器,能更好地处理信息;新增了语音提示以及以太网数据共享接口,达到了快速直观提示病患的健康情况以及数据传输、共享的作用;保留了以往的功率谱、相关函数、血氧饱和度的显示,可为医生在制定处方时提供一定的科学依据。在探头部分与主机两部分之间一般采用有线传输,其存在占用空间、成本较高、传输距离受限等众多不足,为了克服这些不足,本设备采用了无线传输,通过软件实现了

ARM7 和 ARM9 之间的无线传输,可方便地在传输范围内移动和实时监测,省去了有线传输所占用的大量面积和存储空间,真正做到了便携式监测。

三星 S3C2410A 16/32 bit RISC 微处理器使用的是 ARM920T 核心。该处理器的主要特点为低功耗、低成本、小尺寸、高性能。其组件有:16 KB 指令高速缓存和 16 KB 数据高速缓存,NAND 闪存启动加载器,MMU 的虚拟内存管理器,3 通道 UART,4 通道 DMA,4 通道 PWM 定时器,LCD 控制器(超扭曲液晶屏),8 通道 10 bit ADC 和触摸屏接口,2 通道的 SPI 和 PLL 时钟发生器。

在本脑血氧设备中,S3C2410A 微处理器控制电路产生脉冲信号,从而使 760 nm 和 850 nm 发光二极管交替发光;当数据从探头部分输入主机部分时,S3C2410A 能处理、存储、运算数据,并控制 LCD 显示输出,控制语音电路输出音频。控制语音电路输出音频是本设备的核心。

2.2 基于 ARM9 的以太网接口的设计

在以前的脑血氧监测设备中,以太网电路选择的是 CS8900A 芯片,该芯片的引脚数为 100,占用了大量的 PCB 版图面积。而 DM9000A 引脚数仅为 48,可以大量节省 PCB 版图面积。本文考虑到便携式对器件大小的要求,故采用的是以太网控制器 DM9000A 芯片。DM9000A 以太网控制器是由 DAVIDCOM Semiconductor 公司研制的一个集成、低成本、低引脚数的单芯片快速以太网控制器,其主要组成部分包括:1 个 10/100 M PHY 和 4 KB 的双字节 SRAM。在提供了 3.3 V~5 V 输入电压时具有较低的功耗和较高的性能。DM9000A 对各类接口处理器均支持 8 bit 和 16 bit 的数据内部存储器的访问,符合 IEEE 802.3u 标准规格,其自动协商功能会自动配置 DM9000A,并最大限度利用它;支持 IEEE 802.3x 全双工流量控制,48 引脚的 LQFP,集成了 10/100 M 自适应收发器与自动 MDIX。

DM9000A 芯片的各引脚的硬件接口电路如图 2 所示。为了保护芯片的数据和地址引脚,保护引脚免受瞬间高压的损坏,在每个引脚后方接一个零电阻(这些零电阻在图 2 中未标出)。图中,电阻 R7~R10 可用来去除以太网输入输出电路中的信号杂波、耦合等干扰;芯片 RClamp2504N 用作对以太网的高压保护,以防止瞬间过高电压以及脉冲电流对 DM9000A 的损坏;X1 是工作频率为 25.000 MHz 的晶振电路,为单片机正常工作提供稳定的时钟信号,并通过电容 C5、C6 滤去直流信号后接地,达到了设计的安全性;引脚 19、20、21、46 未使用做悬空处理。

图 3 为芯片引脚 15、33、45、48 的接地端的保护电路,该电路通过半导体电容和极化电容的成对并联,达到了滤除电压波动、同时保护芯片引脚在过流瞬间烧断的作用。

《微型机与应用》2011 年第 30 卷第 11 期

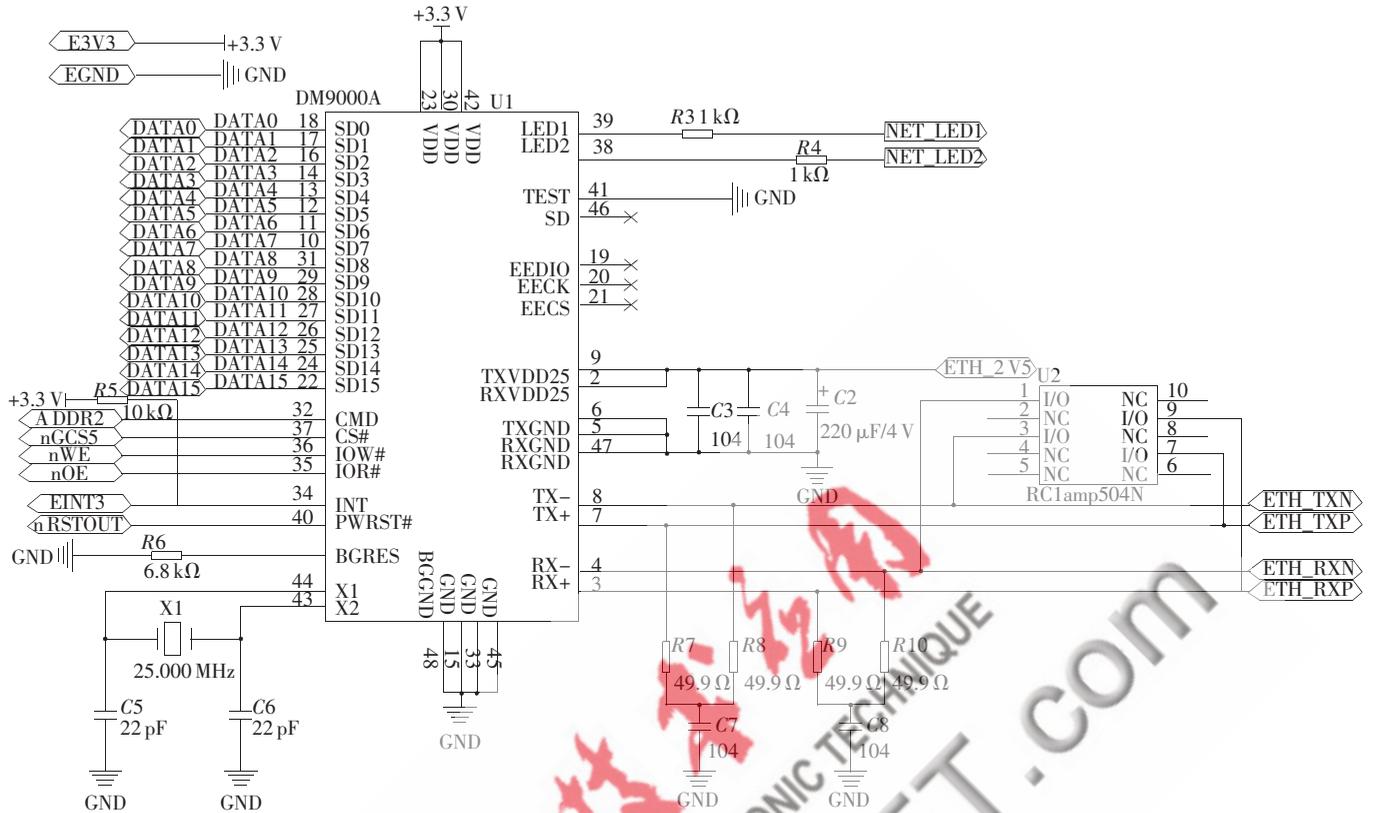


图2 以太网控制芯片 DM9000A 的硬件电路

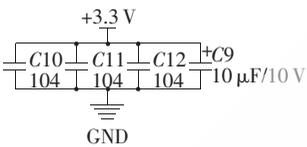


图3 保护电路

3 软件设计

本设计中 DM9000A 驱动模块程序包括：

(1) 设定以太网物理地址，可在初始化 DM9000A 前

由于基于 ARM 的嵌入式医疗器械的广泛使用和 数据共享的需要，使得基于 ARM 的嵌入式以太网接口的软硬件设计迫在眉睫，因此，开展嵌入式以太网接口的设计具有重要的意义，同时，该接口也有很好的应用前景。

参考文献

- [1] 王强, 林淑娟, 罗致诚. 无创伤红外光谱脑血氧监测仪 [J]. 国外医学生物医学工程分册, 1998(21): 19-26.
- [2] 胡博, 朱建彬, 杨荣, 等. 基于 ARM7 实时网络通讯的设计与研究 [J]. 武汉科技学院学报, 2009, 22(3): 17-20.
- [3] 李良辰, 李凯扬, 秦钊. 新型近红外脑血氧监测设备的研制 [J]. 激光与红外, 2006, 36(8): 661-664.
- [4] 王桂云, 侯思祖. 基于 ARM7 的以太网接口的设计与实现 [J]. 微计算机信息, 2009, 25(2): 124-125, 204.
- [5] 卜陈源. ARM7 嵌入式处理器以太网通讯的实现 [J]. 中国科技信息, 2009, 23: 87-88.

(收稿日期: 2011-01-13)

作者简介:

杨倩, 女, 1986 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 硬件电路测试。

吴旭超, 男, 1986 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 数据库开发。

李凯扬, 男, 1963 年生, 硕士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 生物医学工程和生物医学物理。

修改。

(2) 定义接收帧类型、以太网数据和地址端口。

(3) 设置工作模式, 8 位或 16 位模式。本设计采用 16 位模式, 设定数据包收发过程中所用寄存器以及中断方式。

(4) 发送帧请求, 初始化 DM9000A, 数据包收发流程。

DM9000A 的软件流程图如图 4 所示。

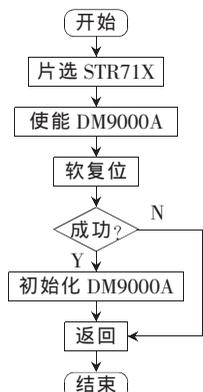


图4 DM9000A 的软件流程图

本文的创新点是：以往使用的是以太网控制器，而本设计使用 DM9000A，其性能优良、功耗低、价格低廉。最大的优势是 DM9000A 在 10 Mb/s 嵌入式网络应用中占有很大的比重，在拥有共同的传输速度下，其芯片所占 PCB 板版的面积较小，而且可 8/16 bit 两用，既方便了软件设计者设计，又方便使用。