

# 智能辅助型电动轮椅系统设计\*

吕浩 吕世公 杨亚北 朱振乾  
(华中科技大学电子科学与技术系 武汉 430074)

**摘要** 基于 ARM 微处理器 LPC2103,结合锂电池供电系统、保护电路和通信控制算法,构建了绿色安全、灵活稳定的行动辅助式电动轮椅系统。利用串行通信技术和双工停等协议连接上位机和下位机,实现了实时可靠的数据传输与处理。整个系统操作简单设计人性化,经实验测试,具有很高的性能且应用效果好。

**关键词** ARM; 保护电路; 通信协议; 环保

**中图分类号** TP391

## Smart-assisted Electric Wheelchair System Design

Lu Hao Lv Shigong Yang Yabei Zhu Zhenqian

(Department of Electronic Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** This paper introduces a secure, stable, green and flexible action-assisted system, which is based on ARM microprocessor LPC2103, combined with lithium battery-powered systems, protection circuits and communication control algorithms. Utilizing serial communication technology and duplex stop-and-wait protocol to connect the upper unit and lower unit, the system realizes functions of reliable, real-time data transmission and data processing. The whole system is easy in operation, user-friendly in design, and proved to have high performance and good application effects in the test.

**Key Words** ARM, protection circuit, communication protocols, environmentally friendly

**Class Number** TP391

## 1 引言

随着社会的发展,人口老龄化问题已经越来越凸显,全球 60 岁以上的老年人口已达 6 亿左右<sup>[1]</sup>。据世界卫生组织的预测,2020 年全球老年人口将达到 6.9 亿<sup>[2]</sup>。目前中国 65 岁以上老年人有 1 亿人,下肢残疾人大约 3000 万人,医院、疗养院、养老院等需要大量轮椅车为行动不便者提供有效的生活辅助。

据了解,高性能电动轮椅的生产厂家集中在国外<sup>[3]</sup>,而国内的相关研究尚处于初步阶段,绝大多数电动轮椅生产商都是采用国外控制器和自行生产的轮椅组装而成,技术上无法达到零半径转向而且价格上十分昂贵。同时,面对当今石油等能源的

日益枯竭,电动车显示了巨大的优势和非常广阔的市场前景<sup>[4~5]</sup>。

因此,开发高性能、低成本的智能化电动式辅助轮椅有很重要的意义,并将给行动不便者带来极大的人性化帮助<sup>[6]</sup>。本文将介绍一种智能辅助式的电动轮椅系统,主要设计了高效的供电系统、完善的硬件监测与保护电路以及通信控制协议等方案,使系统具有很高的可靠性,并解决了成本、安全、环保等问题。

## 2 系统总体设计

整个系统基于 32 位 ARM7 LPC2103 微处理器,由机械部分、下位机、上位机和锂电池供电部分组成。以霍尔摇杆和 LCD 作为人机交互接口,配

\* 收稿日期:2010 年 1 月 22 日,修回日期:2010 年 2 月 24 日

**作者简介:**吕浩,男,研究方向:数字集成电路设计和嵌入式系统设计。吕世公,男,研究方向:自动化控制和电力系统控制。杨亚北,男,硕士研究生,研究方向:模拟电路设计和控制理论。朱振乾,男,研究方向:数字信号处理和嵌入式设计。

以安全监控和保障的硬件电路,通过上下位机的通信来控制系统运行。上位机主要进行 LCD 等弱电控制,下位机主要进行大功率电机等强电控制。这样划分,隔离了强电和弱电,增强了系统的可靠性。硬件部分主要由微处理器核心控制模块及外围的功能模块组成;软件部分由驱动软件和应用软件组成;机械部分由普通轮椅加上大功率直流电机改造而成,并有车背篓、U 型车座、爬楼辅助轮等人性化设计。系统结构总图如图 1 所示。

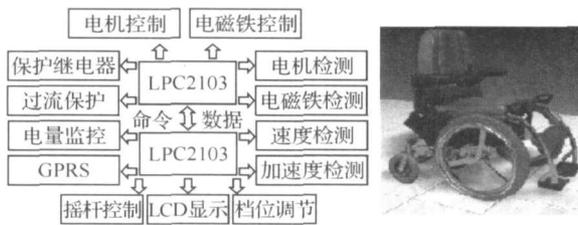


图 1 系统结构总图

## 3 系统硬件设计

### 3.1 下位机硬件设计

#### 3.1.1 PWM 与电机控制

改变直流有刷电机速度的最有效方式是采用脉宽调制(PWM)技术。LPC2103 有 2 个 32 位定时器和 2 个 16 位定时器,每个定时器多达 4 个匹配寄存器可配置为 PWM,并允许使用多达 3 个匹配输出作为单边沿控制的 PWM 输出,这使得电机的数字控制非常容易实现。

两路电机的速度与方向控制通过 2 个 H 桥电路来实现。H 桥由四个耐高压的 MOSFET IRF3205 和两个半桥驱动芯片 IR2104 组成,主芯片 IO 口输出的 3.3V PWM 波经过两片 IR2104 产生四路 15V PWM 波,驱动四个 MOSFET,形成全桥驱动电路。通过控制四个 MOSFET 的通断来控制电机的转向,通过设定 PWM 占空比来调节转速,实现了非常灵活的电机控制。PWM 波的频率最高可设置为 60MHz,考虑到低于 20kHz 的频率会导致电机产生人听觉范围内的噪声,而过高的频率又会带来很大的功率消耗,实验中设置为 25kHz 时效果较好。

#### 3.1.2 电磁铁监测与控制模块

两路电机均设有保护电磁铁,通过电磁铁来锁定和解锁电机,在启动一路电机前需先闭合相应的电磁铁,以提高系统的安全性。同时电机和电磁铁均设置了开-闭监测电路,实时记录检测信息并将数据传送上位机以供分析和处理。

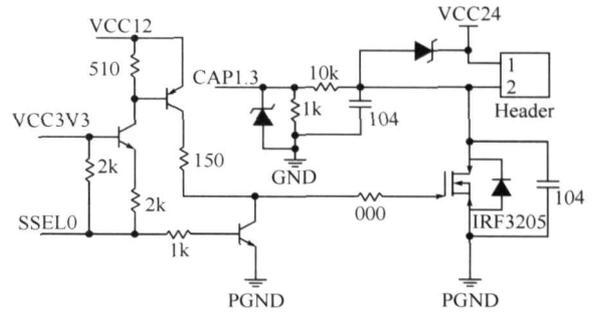


图 2 电磁铁控制与监测电路

图 2 为一路电磁铁控制和监测电路。Header 连电磁铁两端,CAP1.3 为电磁铁的开-闭检测信号输出端,通过 SSEL0 控制 MOSFET IRF3205 的开和闭来控制电磁铁的开和闭,从而锁定电机和解锁电机。

#### 3.1.3 电路保护

##### 1) 保险丝和保护继电器电路

在电路的电源输入端串联一个额定电流为 10A 的保险丝,在电机电源输入端之前串联一个 24V 电压控制的电磁继电器。这样的设计可以保证电路的安全运行,其工作原理如下:

(1) 保险丝在电流异常升高到熔断电流时自动切断电流,防止大电流损害甚至烧坏电路中的元件;继电器隔离电机线路中的大电流对控制电路的影响。

(2) 当出现电路故障或者电流过大造成飞车时,可通过保险丝和继电器有效截断电流,增强了系统的安全性。

如图 3 所示,通过 P0.24 控制继电器的开和关来控制电机电压输入口(VCC24M)的开和关,当 P0.24 为高电位时,电机才能获得工作电压。

##### 2) 过流保护电路

每路电机均有过流保护,在 H 桥电路两桥臂相交处设有电流采样点(图 3 中 VH1 即为电机 1 的电流采样点),经放大电路<sup>[7]</sup>后再由比较电路来判断是否过流。当电流过大而超过预定值时产生外部中断(图 3 中 INT1),此时下位机自动进行调整,如强制减小速度甚至通过继电器断开电路,并将该调整信息发送给上位机产生警报。

### 3.2 上位机硬件设计

#### 3.2.1 霍尔摇杆控制与档位调节

霍尔摇杆具有精度高、使用寿命长及控制灵活等优点,非常适用于系统中两电机速度和方向的控制。以霍尔摇杆为中心建立坐标平面,通过 AD 转换,将摇杆的位置信息以精准的坐标来表示,其 X、

Y坐标值反映了两电机的速度,从而构成了一个灵活准确的操作控制平台。

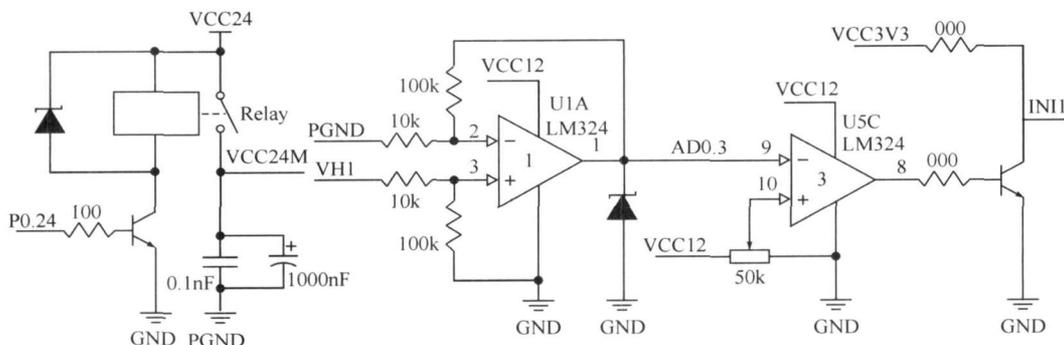


图3 保护继电器和过流保护电路

考虑到不同的路况和操作者的需求,设计有档位调节电路,以便于选择合适的速度范围。按照全速的40%、60%、80%、100%,对应四个不同的时速范围,即散步档、步行档、行进档和快速档,并通过两个开关将车速在四个档位间进行切换。

3.2.2 监测和显示模块

上位机的监测部分由速度检测模块、加速度检测模块、电量检测以及报警模块等组成。加速度值通过MEMS加速度传感器读取,系统剩余电量通过检测电源电压来获得,报警采用蜂鸣器实现。显示模块通过LCD将速度、方向、加速度、电量及下位机传送的监测数据等信息实时显示出来,使操作者获知系统实际的运行情况,并根据需要进行相应的调整。

3.3 通信协议

本系统以串口作为通信接口,采用双工停等协议,完成短距离、可靠的串行通信<sup>[8]</sup>。上位机发出命令给下位机,下位机根据命令解释成控制信息直接控制相应设备,同时下位机应答并读取设备的状态信息反馈给上位机。

为通信需要,设计了三种帧,格式如图4所示。

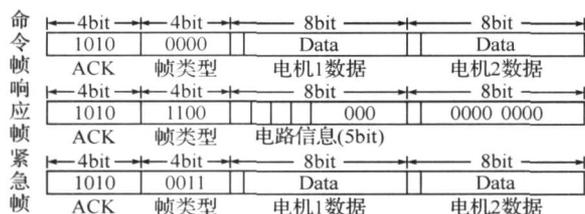


图4 通信协议帧格式

命令帧用于上位机发送命令给下位机,响应帧用于下位机向上位机反馈电路信息,紧急帧用于在电路出现异常时下位机将设置信息发送给上位机。

每个帧大小为3个字节。第一个字节中,前四位为应答,设为1010,表示已接收到数据,后四位

表示帧的类型:0000表示命令帧,1100表示响应帧,0011表示紧急帧;命令帧的后两字节表示两个电机的转向和速度,每个电机数据的最高位表示方向,1表示正转,0表示电机反转,后7位表示电机转速;响应帧的后两个字节表示电路信息,前五位有效,分别表示继电器开闭、电磁铁1开闭、电机1开闭、电磁铁2开闭、电机2开闭(0表示断开,1表示闭合);紧急帧的后两字节表示当电流超过预定值而自动减速,或由于电路故障断开继电器和电磁铁而自动停止时,自动设置的两个电机转向和速度,格式同命令帧。

上位机:发送命令帧,接收响应帧,负责控制整个系统。

下位机:接收命令帧,发送响应帧和紧急帧,配合上位机进行系统控制。

发送方发出一帧后,要停下来等待接收方的应答,收到确认后才能发送下一帧。帧的格式采用背回技术,使对方在得到应答的同时也收到了数据信息。同时设有超时定时器,在规定时间内未收到应答则重发该帧<sup>[9]</sup>,当出现数据错误即帧格式不属于定义的任何一种时,采用检错重传的差错控制方法,接收方不应答该帧并利用超时使发送方重发该帧。

三种帧格式的设计满足了系统上下位机的通信需要,完成了数据命令交换,并且采用背回技术提高了效率,设置了差错控制方法和超时重传保证了可靠的数据传输。

3.4 供电系统设计

系统采用24V可充电式锂电池供电。锂电池具有如下优点:高能量重量比、高能量体积比、自放电小可长时间存放且绿色环保。

上下位机的电源管理系统主要包括单按键开关机电路和电压转换电路。单按键开关机电路由三极管和具有高击穿电压的P型垂直D-MOS

BSP230 等构成,配合软件实现了单按键对芯片电源输入和电机电磁铁电源输入的开关控制,这样的设计增强了安全性和可靠性;电压转换电路主要由开关稳压芯片 LM2576 和线性稳压芯片 AS1117 构成,为主芯片提供 1.8V 和 3.3V 的工作电压。LM2576 以完全导通或关断的方式工作,使电源系统平均工作效率可达 70%~90%,且热损失小,减少了对主芯片的热损害,同时还可减小外部电压波动对主芯片的干扰和经电源窜入的高频干扰。AS1117 能降低电源的输出电压纹波,使稳压效果更优。供电系统采用开关稳压芯片与线性稳压芯片相结合的形式,保障了系统运行的高效和可靠。

## 4 系统软件设计

### 4.1 下位机软件设计

下位机主要完成对电机等电路的控制和监测以及与上位机通信的工作。开机后,下位机进行功能初始化,然后进入自检程序检测电路状态,防止开机失控而导致飞车等故障;在收到上位机发送的命令帧后,根据命令信息控制两路电机,检测保护继电器、两路电磁铁和两路电机的开闭信息并形成响应帧,如电路无异常则回送响应帧给上位机。整个过程中,电路一直处于监控状态,若发生电流过大等异常情况或重大电路故障时自动减速或切断电源以保护电路,并立即发送紧急帧给上位机来提示操作者进行相应的检查或调整。当长时间(如5分钟)未收到命令即电机停止转动时间过长时,自动断开电机电源。其流程图如图5所示。

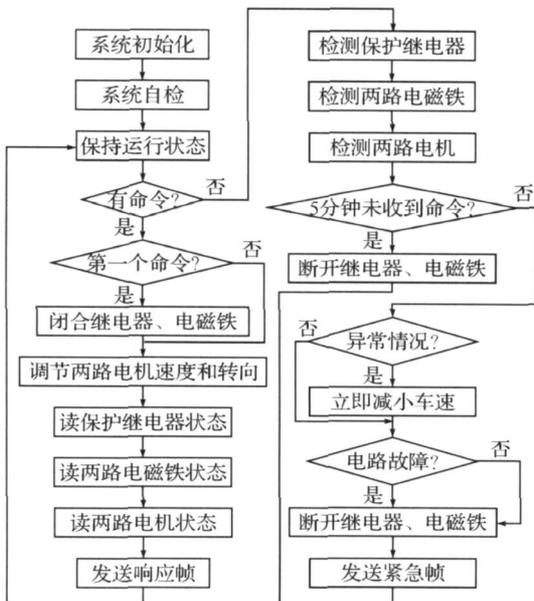


图5 下位机软件流程图

### 4.2 上位机软件设计

上位机主要完成人机交互,通过对下位机发送命令控制整个系统的运行。开机后,上位机进行功能初始化,包括加速度传感器等检测模块的初始化和 LCD 显示的初始化,然后将系统的运行信息如速度、加速度、电量等实时显示在 LCD 上。当霍尔摇杆发生偏移时,经过 AD 转换、档位判断、坐标变换和 PWM 算法得到电机需设置的转向和速度,形成命令帧并发送给下位机。当收到下位机的响应帧时,读取电路监控信息并显示在 LCD 上,以便操作者实时掌握系统运行情况。若收到紧急帧则发出警示信息,蜂鸣器报警并将信息通过 GPRS 发送到电脑或手机上,实现远程的信息监控。其流程图如图6所示。

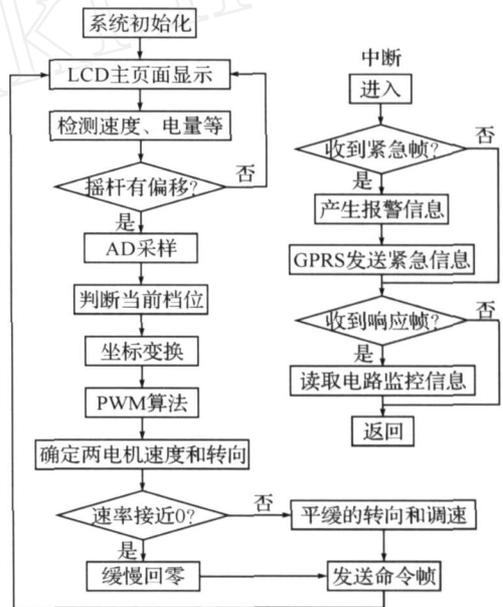


图6 上位机软件流程图

## 5 测试结果

为检测系统的运行性能,特别是安全可靠方面,对轮椅样机进行了相应的测试实验。在驱动性能方面,轮椅在平整路面上行走非常稳定并且转向灵活自然,同时可根据需要选择不同的速度档位,十分方便。这表明电源管理系统、霍尔摇杆和档位设计以及电机控制都具有很好的效果。在可靠性方面,对系统进行了多项故障检测与电路保护的测试,均准确无误地检测到了所有故障,发出了报警信号并采取了相应的保护措施。可靠性的部分测试方案如下:用电流源刻意加大输入电流,此时系统产生过流警报,车速明显变慢,如继续增大电流则保护继电器自动断开;在系统正常运行时突然断

开上下位机的通信线路,5分钟之后电机自动停转;设计了“破坏性”测试,在软件中屏蔽过流保护和继电器保护,将较高速度的轮椅与障碍物如墙面直接碰撞,此时产生加速度警报,保险丝熔断,系统停止运行,更换保险丝后系统仍能正常运行。

## 6 结语

本文通过设计完备的电路保护,使用锂电池供电,采用可靠的通信协议以及嵌入灵活的控制算法,实现了基于ARM嵌入式的智能行动辅助型电动轮椅系统。该系统性能优良,健壮性强,达到了预期设计目标,且具有作简单、控制灵活、绿色安全等优点。进一步可融合多媒体、娱乐等设计出智能生活辅助系统,为行动不便者提供更为完善更为人性化的帮助。

### 参考文献

[1] 邓志东,程振波.我国助老助残机器人产业与技术发展

- 现状调研[J].机器人技术与应用,2009(2):14~19
- [2] 原魁.智能轮椅技术发展现状[C]//第一届北京国际康复医学论坛论文集,2006:241~247
- [3] 戴钧祥.电动轮椅—老年人、残疾人的新一代交通工具[J].医疗保健器具,2005(5):5
- [4] 段建民,贺彦峰,吴斌,等.辅助混合动力电动汽车技术研究(一)—驱动电机控制系统及关键技术[J].北京工业大学学报,2006,32(4):311~314
- [5] 朱华.我国电动汽车产业发展模式及湖北省电动汽车产业发展对策研究[D].武汉:武汉理工大学汽车学院,2004
- [6] 李大勇.浅析残疾人交通用品设计[D].长春:吉林大学艺术学院,2007
- [7] 康华光.电子技术基础模拟部分[M].第五版.北京:高等教育出版社,2006,1
- [8] 龚尚福.微机原理与接口技术[M].第二版.西安:西安电子科技大学出版社,2008,8
- [9] 谢希仁.计算机网络[M].第三版.大连:大连理工大学出版社,2000,6

(上接第104页)

数小于标准BP算法所用的次数,加快了收敛速度。表2的测试数据说明算法改进后的诊断准确性有了

明显提高。对其它数据的大量实验也证明,这种改进方法改善了BP算法的收敛速度和准确性。

表2 仿真结果

期望输出				标准BP算法仿真结果				改进BP算法仿真结果			
$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
0	0	0	0	0.021002	0.031757	0.025769	0.00045832	0.020936	0.0076105	0.012922	0.00021327
1	0	0	0	0.96532	0.00096892	0.066363	0.04365	0.99347	0.013142	1.2726e-005	0.016675
0	1	0	0	0.0081496	0.96981	0.024079	0.0010836	2.3546e-006	0.98505	0.022813	0.01256
0	0	1	0	0.10446	0.0062945	0.95429	0.0018047	2.6335e-005	0.013185	0.98249	0.0031863
0	0	0	1	0.055667	5.4729e-005	0.001587	0.97258	4.7694e-006	0.0029549	0.00022674	0.99118

## 6 结语

智能化的诊断技术已经成为网络故障诊断的发展趋势。神经网络以其良好的非线性映射和自适应能力,在故障诊断领域将取得越来越广泛的应用。

本文从故障诊断的信息采集、征兆提取和状态识别三个阶段,详细介绍了网络设备信息采集、故障征兆提取和BP神经网络模型建立的方法。并在分析常用改进方法的基础上,提出了用动量系数调整学习步长的改进方法。实验证明,该改进方法能加快BP算法的收敛速度和精度。

### 参考文献

- [1] 陈敏,李旺.计算机网络中的故障定位技术研究[J].理论与方法,2007,26(7):8~11
- [2] 祝文姬,何怡刚.基于遗传BP网络的模拟电路故障诊

- 断方法及其应用[J].计算机辅助设计与图形学学报,2009,21(9):1283~1289
- [3] 董天祯,郭江鸿,吕娟,等.基于神经网络的输电线路故障检测研究[J].系统仿真学报,2009,21(15):4903~4911
- [4] 韦相和,李千目,张宏.一种新的网络故障检测方法[J].计算机工程与应用,2006(28):126~131
- [5] 范建华,胥光辉,张涛,等译.TCP/IP详解卷一:协议[M].北京:机械工业出版社,2007
- [6] 王暖,潘伟伟,李维洲.基于SNMP的网络设备故障实时检测[J].中国水运,2009,9(1):113~114
- [7] 李明江.SNMP简单网络管理协议[M].北京:电子工业出版社,2007
- [8] 张德丰.MATLAB神经网络仿真与运用[M].北京:电子工业出版社,2009
- [9] 朱大奇,史慧.人工神经网络原理及应用[M].北京:科学出版社,2006