

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.10.028

# 基于ARM Cortex系的视觉导航AGV 双核控制器设计

王 可, 黄晓华\*, 张 健, 仇家强  
(南京理工大学 机械工程学院, 南京 210094)

**摘要:** 为了实现视觉导航AGV的有效实时控制,一方面需要高性能的运算处理器快速运行图像处理算法和路径跟踪算法,另一方面需要可靠的微控制器实现多样化的传感器信号采集及电机控制等低层行为。对此设计了基于ARM Cortex-A8和M3系列SoC的车载双核控制器。首先进行了操舵型AGV的机电系统分析,其次针对AGV的控制器功能需求分别进行了控制器的硬件设计和软件设计,其中使用了层次化的硬软件设计模型,并对主要功能程序模块进行了详细说明。最后在自主研制的AGV平台Anrot-I上进行了控制器的实验,通过对实际路径跟踪的数据图表分析,验证了该控制器能够同时运行图像处理算法和路径跟踪算法,并对AGV机电系统进行实时控制。实验结果显示,该控制器在性能和结构上的有效性。

**关键词:** 自动导航车; 视觉导航; 双核控制器; ARM

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)10-1284-04

## Dual-core controller based on ARM cortex series for vision-based AGV

WANG Ke, HUANG Xiao-hua, ZHANG Jian, QIU Jia-qiang

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Aiming at realizing the effect control of the vision-based AGV, on the one hand there is a need of high performance processors to run the image processing algorithm and path tracking algorithm, on the other hand there is a need of reliable micro controllers to collect a variety of sensor signals and to control the motors. A dual-core vehicle controller based on ARM Cortex-A8 and M3 was designed and realized. Firstly the electro-mechanical system of steering type AGV was analyzed. Then according to the functions that need, both hardware and software designed of the dual-core controller were implemented, where the hierarchical design model was used. And the main modules for the program were explained in detail. Finally the controller was tested on the independently developed AGV platform Anrot-I. The results of the experiment indicate the effectiveness and progressiveness on performance and structure.

**Key words:** automatic guided vehicle(AGV); visual navigation; dual-core controller; ARM

## 0 引 言

ARM是一种当前最为流行的嵌入式处理器架构,也是各类半导体厂商设计嵌入式低功耗、高性能SoC的首选架构<sup>[1]</sup>。基于ARM v7架构的Cortex系列分为A、R

和M三类,旨在服务于不同的应用需求:“A”系列面向尖端的基于虚拟内存的操作系统和高性能计算应用,除了ARM多内核之外,SoC常整合DSP与图形加速芯片以提高系统处理能力;“R”系列针对实时系统,常用于要求严苛的工业现场;“M”系列针对高性能微控制

收稿日期: 2013-05-15

作者简介: 王 可(1989-),男,江苏南京人,主要从事智能移动机器人方面的研究. E-mail:andrew.wang1989@gmail.com

通信联系人: 黄晓华,男,副教授,硕士生导师. E-mail: mishhxh@163.com

器,常用于对于价格、功耗敏感领域,以取代传统的8位或16位单片机<sup>[2]</sup>。

基于视觉的AGV(Automated Guided Vehicle)车载控制器一方面需要高性能的处理器进行实时图像处理<sup>[3-4]</sup>和实现图形化的人机界面<sup>[5-6]</sup>,另一方面需要实时可靠的工控技术来实现AGV的机电动作,并且需要尽可能的降低系统功耗<sup>[7-8]</sup>。本研究利用ARM Cortex-A系列高性能计算技术和Cortex-M系列微控制器技术的集成<sup>[9]</sup>,能够发挥各自的优势<sup>[10]</sup>,为操舵型视觉导航AGV小车Anrot-I设计与实现双核控制器。

### 1 操舵型AGV机电结构

操舵型AGV小车Anrot-I是一个基于视觉导航的灵活的、低成本轮式移动机器人,它可以根据设定在地面上的黑色导引线,实现跟踪直线路径、识别十字路口、圆弧转弯等基本运动功能。借助于超声波传感器和触碰开关实现障碍物检测的二级安全动作,即在接近障碍物时减慢车身速度,在碰撞到障碍物时能急停。

操舵型AGV示意图如图1所示,小车的后驱单元(4)是通用的400 W无刷直流电机和差速器,配合电机驱动器反馈的表征速度的相线电压信号,实现速度闭环控制。实现转向的是60 W空心杯有刷直流电机(5),装有大比率行星齿轮减速箱和光电编码器,通过伺服驱动器内置的闭环控制实现精确的位置动作。另一只前轮是万向自由轮,起支撑和跟转作用。

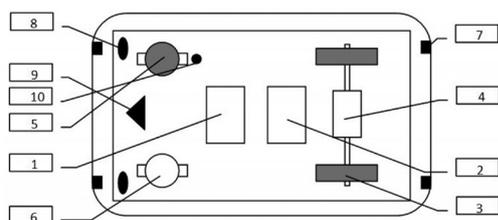


图1 操舵型AGV示意图

1—控制器;2—电源模块;3—驱动轮;4—后驱电机;5—转舵电机和自由轮;6—自由轮;7—触碰开关;8—超声波传感器;9—CMOS摄像头;10—接近开关

48 V 酸铅蓄电池和DC-DC 隔离电源为AGV的所有功率和控制部件提供稳定的电压,控制器是AGV的核心,收集来自CMOS摄像头、超声波传感器、触碰开关、驱动电机速度反馈、转舵电机位置反馈、蓄电池电压等信息,向后驱电机驱动器、前舵轮伺服驱动器和其他执行器输出控制信号。

### 2 控制器硬件设计

本研究选择三星公司基于Cortex-A8内核SoC芯片“S5PV210”作为实现图像处理与人机界面的单元,选择意法半导体公司基于Cortex-M3内核SoC芯片

“STM32F103”作为实时工控单元,配合输入/输出接口单元、LCD电容触摸屏、WIFI无线网卡、蓄电池与隔离电源模块、电机驱动器及其他部件,共同实现AGV车载控制系统运行和调试所需的功能。控制器的硬件系统如图2所示。

基于Cortex-A8 ARM内核的S5PV210有32 K一级缓存、512 K二级缓存,支持VFP硬浮点指令,工作频率1 GHz时能达到2 000 MIPS的计算性能。外设集成的USB控制器、64位多层总线、GPU单元、音/视频编解码硬处理单元等,这让多媒体应用更加独立于CPU内核。本研究搭载该SoC的电路板运行Linux 2.6操作系统,丰富的外设驱动资源能够用于轻易地搭建基于USB CMOS摄像头的导航单元,通过内置图像处理算法识别路径。7”LCD电容触摸屏作为人机界面(Human Machine Interface HMI)可以显示功能配置、路径、实时状态等信息,并且能够进行在线的AGV人机交互。系统通过WIFI无线网卡实现PC机对AGV的远程控制。

基于Cortex-M3 ARM内核的STM32F103,工作温度-40 ℃~80 ℃,主频最高72 MHz,SoC内部集成512 K Flash,64 K SRAM,可以外扩512 K SRAM和16 M NorFlash,集成了微控制器常见的外设,并且外设可以通过程序配置任意向某个GPIO映射,保证了硬件设计的灵活性。搭载该微控制器的电路板运行实时操作系统(RTOS),便于程序的编写与扩展。通过输入/输出接口板,连接AGV的开关、传感器及执行器。

微控制器的外部连接主要分为3个部分:①通过UART接口或者USB接口,接收来自A8板的控制与导航信息,发送AGV运动状态信息;②通过UART接口向前舵轮的伺服控制器发送位置信息,通过ADC模数

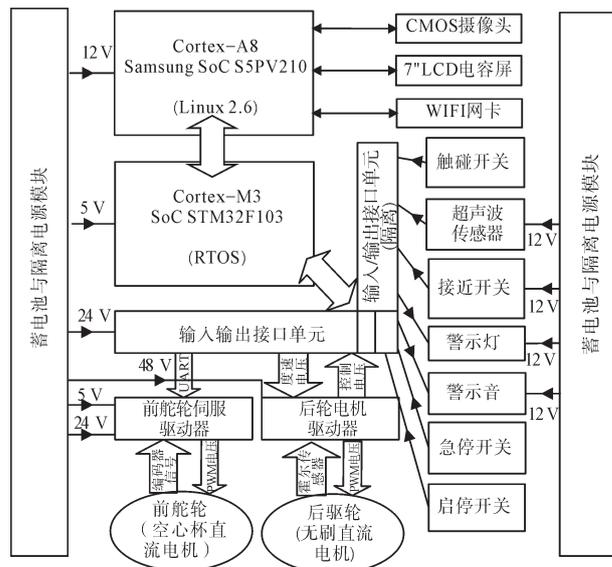


图2 控制器硬件系统图

转换后接收来自后轮驱动器的电压(速度)信号,控制信号通过 DAC 数模转换后发送至后轮驱动器;③ 通过光耦隔离输入来自触碰开关、接近开关、超声波传感器、急停与启停开关的信号,通过继电器输出功率电源通断信号、警示灯和声音信号等。典型的光耦隔离输入与继电器输出接口如图 3 和图 4 所示。④ 留出保留的 I/O 接口,包括光耦隔离输入和继电器输出,以控制 AGV 的特定辅助功能如移载货物等。

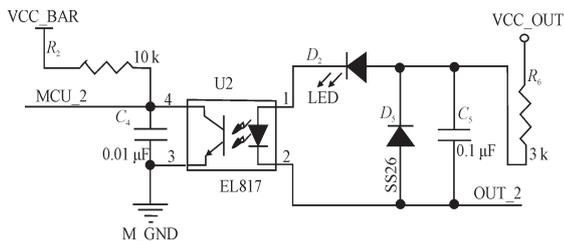


图 3 光耦隔离输入

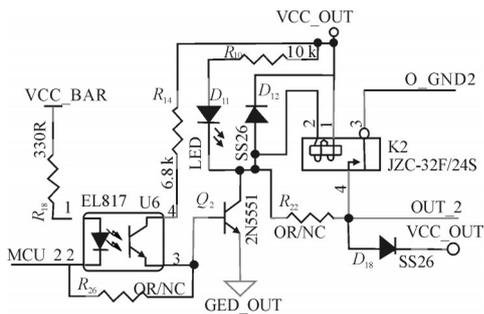


图 4 继电器输出

控制器的电能由两组 24 V~20 AH 的酸铅蓄电池提供,经过隔离的 DC-DC 电源模块,转换成各个控制器所需的电压。其中,后驱轮的驱动器的 48 V 电压和前舵轮的伺服驱动器的 24 V 电压直接由蓄电池引出。系统的供电原则是控制电源和电机功率电源完全隔离,电源模块的功率容积留出安全余量。

### 3 控制器功能模型设计

双核控制器的设计目的是为了能够处理两种不同的控制任务,这里使用了基于分层(高层-低层)的信息模型。分层功能模型如图 5 所示,是程序设计的主要框架。运行 Linux 2.6 的 A8 处理器承担了图像采集与处理、HMI 显示与指令输入、远程 WIFI 控制信号的任务,并且将这些所有的外部高层信息通过集中决策,产生动作控制指令并传递给 M3 处理器。这个板级之间的指令是一串预先明确定义的字符串,A8 和 M3 都有专门的板级通讯模块来处理。由于 Linux 是一个完善而且强大的操作系统,从程序开发的角度来看,基于 Linux 图像采集与处理、人机界面和远程通讯的功能都是便于实现的。

M3 处理器运行的是实时操作系统,与非实时的

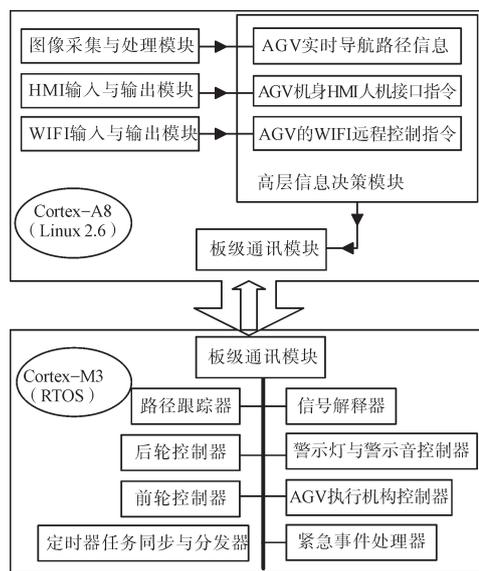


图 5 分层功能模型

Linux 操作系统不同的是,对于紧急事件,如优先级最高的外部碰撞中断、急停开关等,系统总是能够以最快的速度响应,这从实际的 AGV 动作执行层面确保了系统的安全性与可靠性。另外,由于实时系统本身的设计理念以及其复杂度较小,也易于实现时序准确的功能。

从板级通讯模块得到的上层控制信息主要有 AGV 工作模式、路径偏差值、路径的曲率、何时需要转弯或者停车等,这由“信号解释器”任务进行解读,并通过“定时器任务同步与分发器”进行各种功能的触发。在 AGV 正常沿直线路径行驶时,“路径跟踪器”产生后驱轮的目标速度以及前舵轮的目标转角位置,通过“后轮控制器”和“前轮控制器”发出实际的电机控制指令。由于 Anrot-I 型 AGV 车实际的电机与驱动器选用,这里的“前轮控制器”只需要单向地通过串口向 Elmo 驱动器发出位置、速度和加速度指令,而“后轮控制器”则需要通过 ADC 转换得到的速度进行闭环算法,最终由 DAC 得到驱动器所需的模拟控制电压,这个过程的示意在图 2 中展现。

在收到上层传达的十字路口转弯或者圆弧路径跟踪信号时,“路径跟踪器”可以执行与正常沿直线路径行驶不同的算法,以保证在这种状态下的 AGV 的最佳运动轨迹。

在收到上层传达的定点停车或者外部急停开关、超声波传感器、碰撞开关得到的信号时,一个优先级最高的任务被触发,进入“紧急事件处理器”进行动作。

### 4 基于 Anrot-I 平台的实验与分析

根据以上小车的机电系统设计方案,本研究在自主研制的 Anrot-I 型 AGV 平台上进行实验。双核控制

器的实物示意图如图6所示,操舵型AGV跟踪弧线时的实验如图7所示。具体实现AGV导航和运动功能的程序模块主要有以下几种:

(1) 图像处理算法(A8)。从CMOS摄像头采集图像并提取路径信息,能够得到路径的距离偏差与角度偏差量;能识别道路交叉口,并提取转弯信息。

(2) 上层信息决策算法(A8)。根据3个信息源决策产生给下层CPU发送的指令序列。

(3) 基于RTOS的任务同步算法(M3)。基于RTOS的程序编写中,将各个相对独立的功能划分为不同的模块,称为任务。首先,不同的任务之间需要有先后的次序,任务之间的同步与通讯是通过OS提供的API实现的;其次,重要的任务需要较高的优先级,以保证系统设计的可靠性与安全性;再次,每个控制周期都需要保证执行特定的任务。例如从上层CPU发送来的控制信息周期是100 ms,则实现运动控制的周期就需要小于100 ms,才能满足最好的实时性指标。

(4) 路径跟踪算法(M3)。本研究根据从上层控制器接收到的“直线跟踪”、“弧线跟踪”和“岔路转弯”信息,选择不同的算法。算法的输入信息是速度设定值、当前路径的曲率大小、距离偏差量和角度偏差量,输出信息是控制前舵轮的转角和后驱轮的速度。

(5) 后驱轮控制算法(M3)。本研究根据后轮反馈的速度信号,产生输入后轮电机驱动器的控制电压。

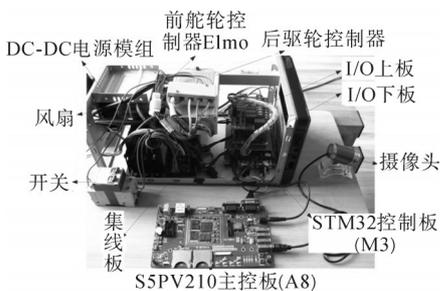


图6 双核控制器



图7 Anrot-I型AGV小车

为了进行基于视觉导航的AGV路径跟踪实验,本研究在地面上设置了黑色的标示线,含有直线与弧线的不同路段。在一定的初始位姿偏差状态下开始路径的跟踪。试验中控制器记录的AGV相对于路径的

位姿偏差如图8所示。

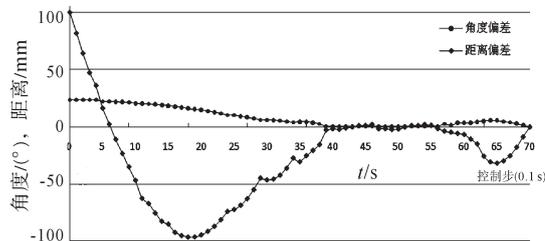


图8 路径跟踪实验

实验结果显示,本研究研制的操舵型AGV能够在较大初始位姿偏差的情况下快速、协调地跟踪路径,在直线路段能达到近似零偏差的稳定行驶状态,该状态保持在预设最大允许角度偏差(3°)和距离偏差(10 mm)之内。在路径变化导致偏差突变的情况下,该控制器能自动开启车身调整周期,重新返回到正常的路径跟踪状态。

## 5 结束语

笔者通过实验证实了本研究设计研制的基于ARM Cortex系列高性能嵌入式SoC的双核控制器对操舵型AGV具备有效的控制性能。在视觉导航的实验中,Cortex-A8内核的S5PV210处理器以低能耗实现了实时运行图像处理算法,Cortex-M3内核STM32处理器能高速、稳定地运行实时操作系统,实现AGV底层的可靠执行。输入/输出接口板能够兼容常见种类的车载传感器,并使它们与控制板电气隔离,增强了系统的适应性和稳定性。

## 参考文献(References):

- [1] 刁智华. ARMv7的Cortex系列微处理器技术特点[J].单片机与嵌入式系统应用,2007(4):12-16.
- [2] 陶友龙,赵安璞,陈海波. 基于ARM Cortex-M3核的SoC架构设计及性能分析[J]. 电子技术应用,2012,38(8):53-55.
- [3] 李西锋,魏生民,闫小超. 视觉引导AGV的数字图像处理方法研究[J].科学技术与工程,2010,10(10):2515-2519.
- [4] 林文森,李钟慎,洪 健. 基于ARM嵌入式图像处理系统设计与实现[J]. 福州大学学报:自然科学版,2008,36(Z1):13-16.
- [5] 彭一准,原 魁,王 辉.具有友好人机界面遥操作移动机器人的合作控制[J].计算机工程与应用,2006,8:212-214.
- [6] 陈满儒,张大伟. 基于人机界面发展模式的研究及其应用分析[J]. 包装工程,2007,28(4):113-115.
- [7] 关 海,冯大政. μCOS II在基于Cortex-M3核的ARM处理器上的移植[J]. 电子科技,2009,22(1):69-74.
- [8] 桂 欣. 基于ARM的无刷直流电机控制系统设计[J].信息系统工程,2012(3):33-34.
- [9] 怯肇乾,吴金奎. 基于Cortex-Ax的Android硬件操作软件设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2012,12(5):36-39.
- [10] 赵德云,杨厚华,王 哲. 基于模糊神经网络控制的AGV避障路径规划仿真[J]. 机电工程,2010,27(9):27-31.

[编辑:李 辉]