

陕西科技大学

申请 工学硕士 学位论文

论文题目：

基于 PC 的智能搬运机器人 AGV 控制系统研究

申请学位学科：工学

所学学科专业：机械制造及其自动化

培 养 单 位：机电工程学院

硕士生：李医中

导 师：夏 田 教授

2012 年 5 月



RESEARCH ON THE CONTROL SYSTEM OF THE INTELLIGENT CARRING ROBOT AGV BASED ON PC

A Thesis Submitted to

Shaanxi University of Science and Technology

in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Master of Engineering Science

By Li Yizhong

Dissertation Supervisor: Professor Xia Tian

May, 2012

基于 PC 的智能搬运机器人 AGV 控制系统研究

摘 要

自动导引车 (Automated Guided Vehicle, 简称 AGV) 是一种无人驾驶搬运车, 通常以电池作为动力, 安装有电磁或光学等非接触导向装置, 它可以按照控制系统下达的指令, 根据预先设定程序, 依照车载传感器确定的位置信息, 沿着规定的路线自动行驶并停靠预定位置, 完成一系列的作业任务。随着现代化生产的快速发展, AGV 在加快物流、降低成本、缩短生产周期、提高经济效益等方面具有重要的作用, 应用也是越来越广泛。

本论文以国内外在移动机器人领域的研究资料为基础, 采用固高 GE-400-SV 多轴运动控制器建立基于 PC 的 AGV 控制系统的硬件平台, 以 VC++6.0 和 MATLAB7.0 为工具, 对 AGV 控制系统做了以下几方面的研究工作:

(1) 规划设计了一种以两轮差速进行转向控制的四轮 AGV 小车, 小车确立了以后两轮作为驱动轮、两前轮为自由轮的行走方式以此为基础建立了动力学模型并就此对差速转向进行了轨迹分析。

(2) 介绍了视觉导引原理、图像采集以及视觉导引系统的组成, 提出了一种唯一节点和方向矢量结合的“类电子地图”的 AGV 视觉导引方法。

(3) 通过分析智能搬运机器人 AGV 的工作要求, 采用固高运动控制卡作为 AGV 的控制核心, 建立了基于 PC 的 AGV 运动控制系统硬件平台。

(4) 采用 VC++ 语言设计了 AGV 运动控制程序, 设计了良好的人机交互界面和直流伺服电机的驱动程序。

(5) 利用自制的 AGV 小车进行了运动相关的实验, 并得出结论, 为进一步研究视觉导引的 AGV 小车提供了理论和实验案例。

关键字: AGV, 视觉导引, 图像处理, DSP, 运动控制

RESEARCH ON THE CONTROL SYSTEM OF THE INTELLIGENT CARRING ROBOT AGV BASED ON PC

ABSTRACT

Automated Guided Vehicle is a kind of unmanned van, Usually using battery as power, Is installed a electromagnetic or optics non-contact orientation device. It can be in accordance with the control system, according to the instructions issued in advance in accordance with the procedure set, the position information of sensors, Along the route of the provisions to dock down and reserve position, the completion of a series of task. With the rapid development of modern production, logistics, accelerated in AGV reduce costs, shorten the production cycle, improved economic benefit plays an important role, application is also more and more wide.

In this paper, Based on the domestic and overseas on the mobile robot of research in the field, The GuGao GE-400-SV multi-axis motion controller based on the control system of AGV PC hardware platform, the vc++6.0 and MATLAB7.0 as the tool, for the control system of AGV doing the follow aspects research work:

(1) Plans and designs a differential in two rounds of AGV four-wheel steering control car, the car has established two round after round as a driver, and two front wheel for free wheel walking style, based on dynamic model and established this differential to track the analysis.

(2) Introduces the principle of visual guidance, image acquisition and visual guidance system composition, put forward a kind of unique node and direction of the combination of the vector "electronic map" AGV of visual guidance method.

(3) Through the analysis of intelligent robots working requirements of AGV handling, using Gugao movement control CARDS as control core of AGV, based on the PC AGV motion control system hardware platform.

(4) Using vc++ language design AGV motion control program, the design good man-machine interface and the step motor driver.

(5) Using self-made AGV to do a related experiment about the movement of car, and that the relevant conclusion, for further research of visual guidance

AGV car provides the theory and experiment case.

Keywords: AGV, Visual Guiding, Image Processing, DSP, Motion Control

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	III
1 绪论	1
1.1 课题目的、背景及意义	1
1.2 AGV 的定义及特点	1
1.3 国内外 AGV 的现状和发展趋势	2
1.4 课题的来源	3
1.5 AGV 导引技术简介	3
1.6 AGV 的组成	5
1.7 主要研究内容和关键技术	7
1.7.1 主要研究内容	7
1.7.2 AGV 小车关键点的研究	7
2 AGV 系统总体结构	9
2.1 小车的动力学分析	9
2.1.1 小车的静力学分析	9
2.1.2 AGV 动力学分析	10
2.2 AGV 小车结构与功能	13
2.2.1 AGV 小车行走模块结构	13
2.2.2 AGV 外观	13
2.2.3 AGV 导引模块	14
2.2.4 人机交互模块	14
2.2.5 通讯模块	14
2.2.6 车载功能性装置	15
2.2.7 动力源和安全保护	15
3 视觉导引 AGV 路径跟踪系统组成及其原理	16
3.1 AGV 的视觉应用研究	16
3.2 视觉导引位姿判别原理	16
3.2.1 视觉导引系统组成	16
3.2.2 视觉导引位姿判别原理	17
3.3 视觉导引图像采集	17
3.3.1 图像传感器: CCD 摄像机	17
3.3.2 视频信号数字化设备: 图像采集卡	18

3.4 唯一节点和方向矢量结合法.....	18
4 以固高运动控制卡为控制核心的 AGV 运动控制系统	21
4.1 概述	21
4.2 GE-400-SV 运动控制器的结构和功能	21
4.2.2 GE-400-SV 产品的功能	23
4.3 基于 PC 的 AGV 运动控制系统	23
4.3.1 基于 PC 的 AGV 运动控制系统	23
4.3.2 采用 GE-400-SV 运动控制卡的 AGV 控制系统硬件结构	25
4.4 驱动电机的选择	26
4.5 AGV 运动控制	28
4.5.1 增量式光电编码器工作原理	28
4.5.2 增量式光电编码器与 GE-400-SV 运动控制卡的连接应用	28
4.6 基于 GE-400-SV 运动控制卡的加减速控制	31
4.7 AGV 运动控制系统软件设计	33
4.7.1 嵌入式操作系统 WinCE 的选择	33
4.7.2 AGV 控制系统软件实现平台	33
4.7.3 系统软件的整体结构和职能划分	34
4.7.4 系统软件流程设计	34
4.7.5 系统软件各功能模块的设计	38
5 AGV 小车实验研究	45
5.1 小车行走实验验证	45
5.1.1 驱动电机零负载工况	45
5.1.2 驱动电机额定负载工况	46
5.2 增量式编码器实验	46
5.3 本章小结	47
6 全文总结与展望	49
6.1 全文总结	49
6.2 展望	49
致 谢	51
参考文献	53
攻读学位期间发表的学术论文目录	57
原创性声明及关于学位论文使用授权的声明	59

1 绪论

1.1 课题目的、背景及意义

人类文明的进步从来都是与生产力的发展关系密切相关，生产的自动化水平不断提高，使得传统制造业面临着巨大的机遇和挑战。工厂的自动化生产以及柔性制造系统的加工过程中的主要生产设备一般是：流水线生产机器人分工作业，自动化立体仓库实时存取工件和物料，无人搬运车自动搬运，物料分拣系统灵活供给等。其中的无人搬运车则以AGV (Automatic Guided Vehicle AGV) 为代表，它的产生是在多门学科得到长足发展的基础上而来，是多学科技术交融的结果。

本课题的目的是在深入研究国内外关于轮式机器人方面的成果和案例，期许能够结合先进的数字控制理论和当前的主流控制技术，以成熟的控制技术为切入点，以模糊自适应PID控制理论为支撑，开发出一种在较高精度下能够支持速度高、开放性好、网络通信便捷、人机交互界面友好的智能搬运机器人AGV开放式控制系统。

在我国，具有自主知识产权的数控系统已经在装备制造业方面得到了优先发展机遇期。本课题的研究目的是为了提高我国国产物流设备的水平。研究项目的进行将是一个很好的尝试，且整理出了相关的研究资料，为今后开发控制技术更加先进的AGV控制提供了基础研究案例。

1.2 AGV 的定义及特点

美国物流协会对AGV小车有如下定义：AGV是指装有电磁或光学自动导引装置，能够沿着既定的路径自动行驶，能够完成小车独立编程及停车选择，还有安全保护功能以及多种移栽方式的运输用小车^[1]。

AGV是现代技术进步的产物,代表了当前制造业、物流系统中某些先进的理念，它是现代控制技术在产品应用中的具体体现之一。

技术特点如下^{[2][4]}：

① 无人驾驶：AGV能够完成自动识别周围环境中的必要行走信息，然后根据预定的路径轨迹实现自动运行，准确、及时的把任务物品运送到目的地。

② 柔性好：AGV越来越朝着智能化的方向发展，且其智能化已经发展到一个很高的水平，而智能化的提高相应的也提高了AGV对于运行环境的高适应性和高开放性，随之而来的就是柔性好、路径变更简单、同条件下的费用更低等优势。

③ 运载能力强：小车移栽装置的品种、类型繁多，可以根据不同的需要全用不同的移栽装置，扩大了AGV的应用范围。

④ 安全性能好：重点考虑了AGV小车及其周围的设备或人员的安全性，装备了车

载探障系统和应激性声光报警系统,使得AGV安全性有了保证。而当一台AGV行驶或多台AGV在某一区域进行穿插运行时,也使得AGV具备了绝不撞车的自控能力,规避了由人为因素所造成差错的影响。因此,AGVS相对于其他几种的物料搬运系统而言要更加的安全些。

⑤ 利用率高: 由AGV构成的物流系统装拆和移动都十分方便,所需的设置都是集中于一定的区域。相较于与传统的物料搬运系统固定在车间的某个部位而言,采用AGV的物流系统可塑性更强,且对于车间内通道的利用要十分充分,大大提高了车间内布局的灵活性,并且改善了对于车间内有限地面的局促感。

(6) 环保性好: AGV的动力源是可多次充电的蓄电池,蓄电池动力系统的特点是噪声小、无污染,可以满足很多对工作环境有着特殊要求的场所。

1.3 国内外 AGV 的现状和发展趋势

世界上第一台AGV是由美国Barrett Electric公司^[9]在1953年研制成功的,它是一台采用埋线电磁感应方式跟踪路径的自动导引小车,也被称作“无人驾驶牵引车”^[10]。

20世纪80年代以来,集成电路电子技术的发展又极大的促进了计算机技术的发展,使得采用DSP作为控制系统数据处理核心的控制系统在AGV中的应用越来越广。期间,AGVS在欧美发达国家的应用十分迅速,尤其是在美国得到了长足发展。而日本更是后来居上,目前已经是世界上应用AGV最多的国家。

我国的AGV发展历史比较短,且由于国内的许多工厂仍是人力密集型运作方式,故国内市场需求不够旺盛,而需求的弱势也同时导致了AGV的发展较为缓慢。

AGV以其独有的特点被广泛的应用在工业自动化领域以及非工业的物流领域,它已经成为众多制造和物流企业提高其工作效率的首选方案,也为解放越来越多的人力资源创造了条件。

AGV在制造业领域中主要装配流水线上的任务物品输送。例如汽车装配线,FMS等等的的应用很多。

在重型机械领域,AGV的应用主要在输送原材料和模具等方面。因此,就对AGV的承载量有着较大的要求,通常要达到2.22~4.5吨^[11]。

在其他的非制造业领域,有关AGV的应用也是十分普遍的^[12]。例如医用AGV分配系统、邮政物流分拣系统、办公楼邮件输送系统等等的应用非常普遍。

再有,其他的一些特殊行业,AGV的应用优势也非常明显。像宾馆业从厨房到客房进行运送食品的AGV,在核辐射的区域,采用AGV机器人搬运核材料代替人工等。

AGV的研究领域很多,其核心研究领域即是AGV的导引技术研究。导引技术的优劣决定了AGV智能化和自动化的实现,是影响AGV性能指标的关键因素。AGV发展到今天,导引方式也有了多种选项,但成熟且成功的实际案例应用仍是以埋线式电磁感应导引为

主^[11]。

伴随着计算机技术的发展,计算机控制技术也越来越完善,再加上相当多的传感器的实用性也越来越强,传感器的精度同时也得到了很大的提高,除去电磁感应的导引方式仍作为常用的、成熟的技术应用外,其他导引技术也取得了关键技术的突破,多种导引技术复合导引必将是未来的发展方向。通过对国外的十几家公司所生产的27个系列的AGV产品统计结果显示,其关于导引技术的选用一目了然。结果表明,电磁感应导引技术的应用最多,而视觉导引技术的应用就很少,技术尚未完善,在一些关键的地方仍需要进一步研究。因此,不管是对AGV理论发展的丰富,还是出于对AGV的实际工程应用能够多一种选择的目的,进行视觉导引AGV的研究都具有其现实应用和理论探讨的双重意义。

1.4 课题的来源

课题来自陕西省自然科学基金基础研究计划项目,项目编号:S2009JC2102

1.5 AGV 导引技术简介

根据AGV导引技术的导引依据来看,AGV的导引方式能够分成两大类^[12]:车外固定路径导引方式和自由路径(无固定路径)导引方式。车外固定路径导引方式指的是在AGV的规划路径上设置能够传递导引信息的载体(如埋设导线通以交变电流产生感应电磁场的形式,在路径表面布设规则形状的色带等),然后,由AGV的导引方式的不同而选择的不同的传感器检测出具体导引信息的特征(如频率的变化、磁场的强弱、图像的形状等),最后把得到的导引信息经过计算机的软件进行处理后反馈给车辆,控制车辆做出具体的动作反映使AGV沿着规定的路径自动行驶到目标位置。自由路径导引方式是指在AGV上储存着AGV行走环境的具体参数,采用的是全局导引方式,此种导引方式是通过判别小车当前位姿,自动行驶到既定位置。另外,按照AGV导向路线形式的不同也可以分成有线式导引和无线式导引^[13]。表1-1列出了AGV的导引方式分类^{[14][15]}。

表1-1 AGV的导引方式分类

Tab.1-1 Guided by the classification of AGV way

分类	按导向信息的来源		按导向路线的形式	
导引方式	车外固定路径导引	自由路径导引	有线式	无线式
导	电磁导引	坐标导引	电磁线路	超声波导引
引	超声波导引	惯性导引	磁带导引	激光导引
方	激光/红外导引	自主导引	色带导引	坐标导引
式	光学导引		网格线路	惯性导引
	标线导引		标线线路	自主导引

(1) 电磁导引在当前的AGV导引方式中应用最多。此种方式首先需要在AGV车体上布置一对对称感应线圈，然后在AGV的行走路线下面专门埋设电缆，并在其中通以一定频率的交变电流，使带电线圈产生交变的电磁场，利用电磁感应原理，导引AGV沿着预定的路径行驶。利用电磁感应进行导引的导引方式的优点是成本不高，可靠性较好，只是对行走路径地面的要求较高，且改变路径也很是不便。

(2) 光学导引原理和应用方式与电磁感应的导引方式是相似的。其与电磁导引不同的是在小车行走的路径上铺设的不是导线而是有着稳定的反光率的色带。车上的传感器也发生了变化，由检测电磁感应的电磁传感器变成了光电传感器，通过对检测采集到的光学信号的比较，适时地完成对目标车辆的调整。

(3) 激光/红外导引则是在AGV运行区域的四周按要求布置足够的反射板（且各块反射板及行走区域的路径信息是已知而且可控的），同时在AGV车体上装配可发射和接收激光/红外线的传感器。AGV的位姿判定是通过实时接收的已知的三点定位激光/红外线信号来计算AGV的瞬时位置和方向趋势，再把实际的AGV位置参数与预设的理想位置参数进行比较，得出AGV小车的下一步运行指令，导引AGV自动运行。此种导引方式的优点是AGV的定位精度高，且能够实施任意路径的规划。缺点是此种导引方式的成本也比较高，而且其所用的传感器安装复杂，对环境的适应性也低，且小车的位姿计算等难度也颇高。

(4) 惯性导引方式把AGV小车的方位角作为检测的参数，采用的检测方式是通过陀螺仪进行检测，通过计算当前点和零点之间的相对距离来判别AGV的当前位置，对照已知的地图路线，二者比较得出小车的行进偏差参数，再把所得的参数反馈给AGV即能够实现AGV的运动方向和运行距离的实时调整，实现AGV小车的自动导引。惯性导引的优点主要是技术较为先进，而且其准确性、兼容性都比较好，能够应用于多种场合，因此

惯性导引的发展也有着光明的前途。

(5) 视觉导引,按照导引原理的应用不同可以分为为无线式视觉导引和有线式视觉导引^[12]。无线式视觉导引是利用车载的CCD摄像机完成图像的动态摄取,并把获得的图像与已知数据库中的图像进行相似性比对,确定小车当前位姿。有线式视觉导引则是通过车载CCD摄像机对目标路径的路面或者路边的固定路径标识图像的动态摄取,然后由车载计算机软件对采集到的路径标识进行识别和处理,得出车辆纵向轴偏离路径标识线的距离和夹角,把偏差参数通过反馈的方式控制车辆的转向模块使AGV的行驶偏差保持在一定的范围内。相较无线式而言,有线式视觉导引的特点是:可获取的信息容量大,目标路径的变更简易,整车系统的开放性好,且现实应用和前景广阔,因此,当前智能车辆导引方式研究的主流必将是视觉导引^[13]。

1.6 AGV 的组成

AGV主要有车体、车载电源、行走控制系统及通信和声光报警系统等组成^[14]。

(1) 车体 车体由机械和电控两部分组成,主要组件分别是电机、车论、车架等。车架的标准是能够满足车体运行及加减速时拥有足够的强度和刚度,并在满足强度和刚度的基础上有足够的空间合理配置如车载电源、移栽装置、电控装置、显示器等。

(2) 车载电源 AGV利用蓄电池作为动力源,一般为24~28V,且工作时间达到连续运行8h。

(3) 行走控制系统之驱动装置:组成驱动装置的部分包括控制卡、电机和制动装置。驱动装置是AGV的动力执行系统,具有使AGV行驶并能够随时制动。

(4) 行走控制系统之转向装置—AGV的转向是由转向装置接收控制系统信息来实现小车转向。常见的转向方式有两种结构^[14]:

- a) 铰轴转向式——在转向铰轴上安装方向控制轮,由转向电机输出转矩再通过减速器经机械连杆控制铰轴进而达到控制转向轮转向的目的。
- b) 差速转向式——把驱动电机分别装在AGV的左右两个驱动轮上,由运动控制卡来分别控制电机的转速实现驱动轮之间的速度差以实现AGV的转向控制。

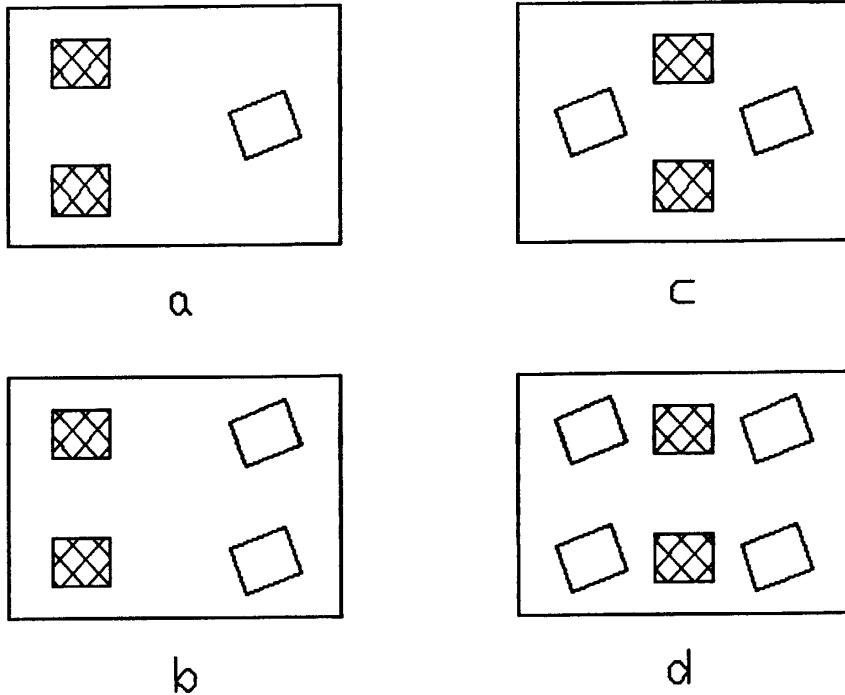


图1-1 AGV的转向方式

Fig.1-1 The steering AGV way

AGV转向方式见图1-1。图1-1a为三轮模式。图示中的右前轮可单独作为转向轮使用，也可以即作为驱动轮又当作转向轮来使用。图1-1b为正四轮方案。相较三轮方案，车体运行平稳，能够承载较大的载荷。图1-1c为菱形四轮方案，弥补了三轮方案中不够稳定的缺点，但只能采用中间两轮差速转向的转向方式。图1-1d为六轮方案，可称其为图1-1b中的四轮方案加强版。

(5) 行走控制系统之运动控制卡—控制卡类似于ROBOT用控制器，利用控制卡上的指令完成对AGV实时监控。车载PC从上位机接收指令并定时向上位机报告自身状态参数。

(6) 通信装置 AGV通常是被动接收上位机发出的控制指令，主动发送自身的状态信息给上位机，而完成这些指令的收发就需要通信系统来完成。通信系统一般有连续通信和离散通信两种模式可供选择，顾名思义，连续通信的模式能够保证AGV小车与上位机的不间断通信，使AGV始终都保持可监控状态。离散通信模式则只能是定时或定点完成AGV小车与上位机之间的信息交换，此种模式下的AGV会有间断的完全自主性。二者各有优劣，应根据具体的应用环境选择不同的通信模式。

(7) 声光报警保护系统 AGV的声光报警系统用于在出现安全问题时候起到对现场人员的警示保护作用。

1.7 主要研究内容和关键技术

1.7.1 主要研究内容

考量一台AGV小车的性能优劣，主要看其在导引过程中的平稳、准确以及在发生位置偏差时的应激响应等几个指标^[10]。

1.7.2 AGV 小车关键点的研究

研究AGV小车的目的是为了使其能够完成预定的任务目标，而要达成这一目的，就需要做以下几方面的工作：

① 如何从AGV的运行环境中感知并获取各状态信息，包括AGV状态和AGV周围环境的状态等。

② 如何从布置的传感器来获取有用的信息来判别当前的AGV在当前的行走路径上的位姿；

③如何下达具体的指令使AGV小车能够按照预定的轨迹路径自动行驶。

如果能够完成了上述四个问题的答案解析，则即意味着拥有了使AGV在实时环境中自动运行的基本条件。

2 AGV 系统总体结构

2.1 小车的动力学分析

2.1.1 小车的静力学分析

AGV 一般运行在特定的环境中运行，路面平整无起伏，且 AGV 速度属于低速范畴，因此 AGV 即便在紧急停止时也不会发生向前或向上“跳跃”的情况。

首先就研究模型作如下假设：采用刚性车体，且轮子为理想状态；轮子外表面与地面垂直并使接触点保持理想状态，忽略由于轮子的厚度所造成的对于车体的运动时影响；两个驱动轮的尺寸相同。模型将 AGV 分为三个部分进行研究，分别是车体、车轮以及连接部分。以其中一轮为例进行说明，AGV 底盘简化模型如图 2-1 所示。

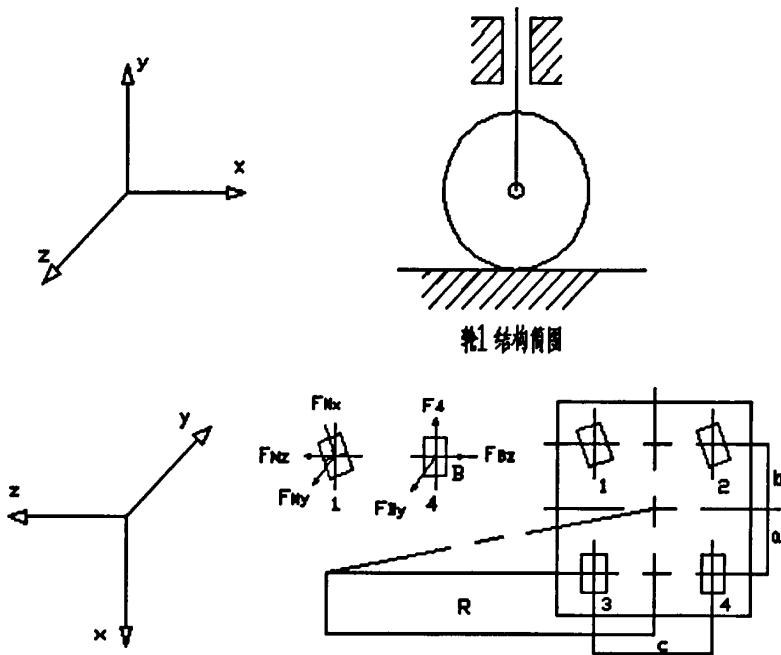


图 2-1 AGV 运动模型分析简图

Fig.2-1 AGV movement model analysis diagram

AGV 前轮到质心的距离为 a ，AGV 后轮到质心的距离为 b ， $l=a+b$ ，左右转动中心轮之间距离为 c ，车轮半径为 r ，其中对轮 1、轮 4 作受力分析，轮 2、3 受力分别与轮 1、4 同，轮 2 和轮 3 分别用 P 和 A 表示。如图 1 中所示，此时，AGV 有一个转向的趋势，设其转弯半径为 R ，则有：

$$F_3 \left(R - \frac{c}{2} \right) + F_4 \left(R + \frac{c}{2} \right) - F_{N_x} \left(R - \frac{c}{2} \right) - F_{P_x} \left(R + \frac{c}{2} \right) + F_{N_z} * l + F_{P_z} * l = 0 \quad (2-1)$$

另，由力的平衡方程知：

$$F_3 + F_4 = F_{Nx} + F_{Px} \quad (2-2)$$

为了计算方便, 现假设如下: $F_{Nx} = F_{Px} = (F_3 + F_4)/2$; $F_{Ny} = F_{Py} = (F_A + F_B)/2$, 由式 (2-1), (2-2) 和假设方程知:

$$F_{Ny} = F_{Py} = (F_4 - F_3)c/4l \quad (2-3)$$

由式(3)知: F_{Nx} 、 F_{Py} 能够作为使 AGV 转向的可靠的转向力来输出。

2.1.2 AGV 动力学分析

假设AGV前轮转过了 θ 角。

(1) 建立小车车体的动力学模型

前车轮是AGV转向的一个关键因素, 如图2所示。

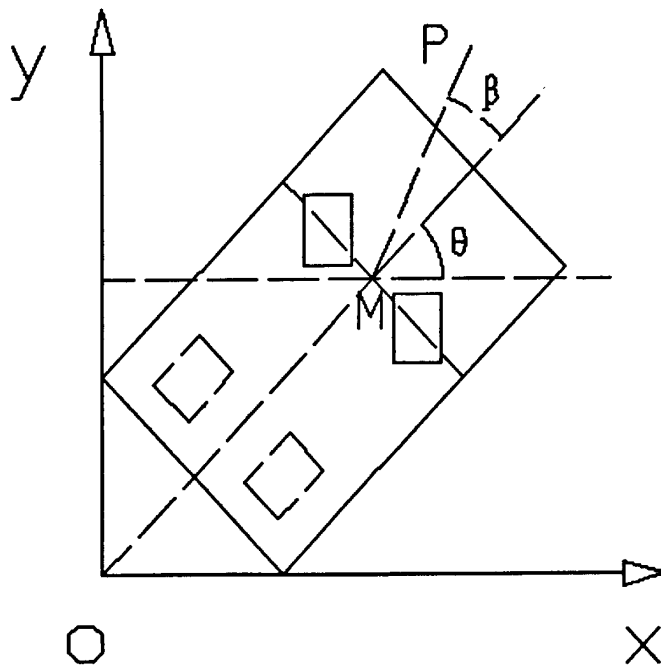


图 2-2 AGV 运动分析简图

Fig.2-2 AGV movement analysis diagram

AGV 的位姿可由广义坐标向量 $q = [x_p, y_p, \theta]$ 表示, 其中 (x_p, y_p) 为 AGV 参考点 P 在二维平面内的投影坐标, θ 为平台的航向角, 即平台前进方向同坐标系 X 轴间的夹角。在上图 2 中, 进一步假设两转向轮轴间连线的中心点为 M, 其坐标为 (x_m, y_m) 参考点 P 同 M 间的距离为 L, 直线 |PM| 同平台轴线之间的夹角为 β 。为便于分析, 选择 P 点为 M 点, 则平台的运动学模型和约束方程为^[10]:

$$\begin{bmatrix} x'_m \\ y'_m \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \cos \theta & \frac{r}{2} \cos \theta \\ \frac{r}{2} \sin \theta & \frac{r}{2} \sin \theta \\ -\frac{r}{d} & \frac{r}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_L \\ \omega_R \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

$$x'_m \sin \theta - y'_m \cos \theta = 0 \quad (2-5)$$

由运动学方程知：前车轮产生使车辆转向的直接因素——转向角。前车轮输入为车轮与连接部分处 x、y、z 方向上的力，其输出为转向角。以驱动轮 4 为例，有以下方程：

$$F_{Bx} - F_{fx4} \cos \phi + F_{fx4} \sin \phi = m_1 a_x \quad (2-6)$$

$$F_{Bz} - F_{fx4} \cos \phi + F_{fx4} \sin \phi = m_1 a_z \quad (2-7)$$

$$\text{且有： } F_{Nz} \cos \phi = I_{2y} \phi'' \quad (2-8)$$

式中：\$m_2\$ 为车轮质量；\$I_{2y}\$ 为车轮绕 y 轴的转动惯量；\$F_{fx4}\$、\$F_{fx4}\$ 分别为车轮在 x、z 方向的摩擦力。其他，如车体形状及所受的载荷分布情况对 AGV 转向也有一定的影响。车体在模型中起到一个媒介的作用，AGV 运动时，车体受到来自四个车轮处的 x、y、z 方向的力，具体表现为 AGV 的相关运动参数，如加速度 a，质心侧偏角 \$\beta\$ 和横摆角速度 \$\phi\$ 等。有以下方程^[7]：

$$F_{Ax} + F_{Bx} - F_{Nx} - F_{Px} = m a_x, \quad F_3 + F_4 - F_{Nx} - F_{Px} = m a_x \quad (2-9)$$

$$\begin{aligned} & F_3(R-b/2) + F_4(R+b/2) - F_{Nx}(R-b/2) - F_{Px}(R+b/2) \\ & + F_{Nz}l + F_{Pz}l = I_y \phi'' \end{aligned} \quad (2-10)$$

式中：m 为车体质量；\$a_x\$、\$a_z\$ 为 AGV 在 x、z 方向的加速度；\$I_y\$ 为车体绕 y 轴的转动惯量。

载荷的分布直接对 AGV 相关参数产生了影响，因是对差速转向进行分析，各车轮所受载荷简化后有以下方程：

$$N_1 = \frac{mg}{2} \left[\frac{l_b}{l} + \frac{a_z}{g} \frac{h}{l} + K_R \frac{a_z}{g} \frac{h}{l} \right] + m_1 + m_2 \quad (2-11)$$

$$N_2 = \frac{mg}{2} \left[\frac{l_b}{l} + \frac{a_z}{g} \frac{h}{l} - K_R \frac{a_z}{g} \frac{h}{l} \right] + m_1 + m_2 \quad (2-12)$$

$$N_3 = \frac{mg}{2} \left[\frac{l_a}{l} + \frac{a_z}{g} \frac{h}{l} + (1-K_R) \frac{a_z}{g} \frac{h}{l} \right] + m_1 + m_2 \quad (2-13)$$

$$N_4 = \frac{mg}{2} \left[\frac{l_a}{l} + \frac{a_z}{g} \frac{h}{l} - (1-K_R) \frac{a_z}{g} \frac{h}{l} \right] + m_1 + m_2 \quad (2-14)$$

(2) 小车车体的动力学模型分析及 MATLAB 仿真

对 M 点进行分析, 其线速度和角速度分别为^[10]:

$$V_m = \sqrt{x'_m + y'_m} = \frac{r}{2}(\omega_R + \omega_L) \quad (2-15)$$

$$\omega_m = \theta' = \frac{r}{d}(\omega_R - \omega_L) \quad (2-16)$$

车体在某一时刻 t 的位姿可表示为^[22]:

$$\begin{cases} \varphi(t) = \varphi(0) + \int_0^t \frac{V_m}{l} dt \\ x(t) = x(0) + \int_0^t \frac{V_m * \cos \Phi(t)}{2} dt \\ y(t) = y(0) + \int_0^t \frac{V_m * \sin \Phi(t)}{2} dt \end{cases} \quad (2-17)$$

由式(4)可知, AGV 的状态向量有三个分量: x,y 和 Φ , 而 AGV 的控制分量只有左右两个驱动轮的旋转角速度 ω_L 和 ω_R , 又因为式(5)始终满足, 这就意味着 AGV 的运动轨迹由一系列绕瞬时圆心旋转的小段圆弧组成。

通过 Matlab/Simulink 仿真软件^[10]对上述仿真模型进行了分析, 仿真工况为 AGV 重载以 0.5m/s 的速度行驶时, 输入 Pulse Generator 的脉冲信号, M 点的运行轨迹如图 3 所示。

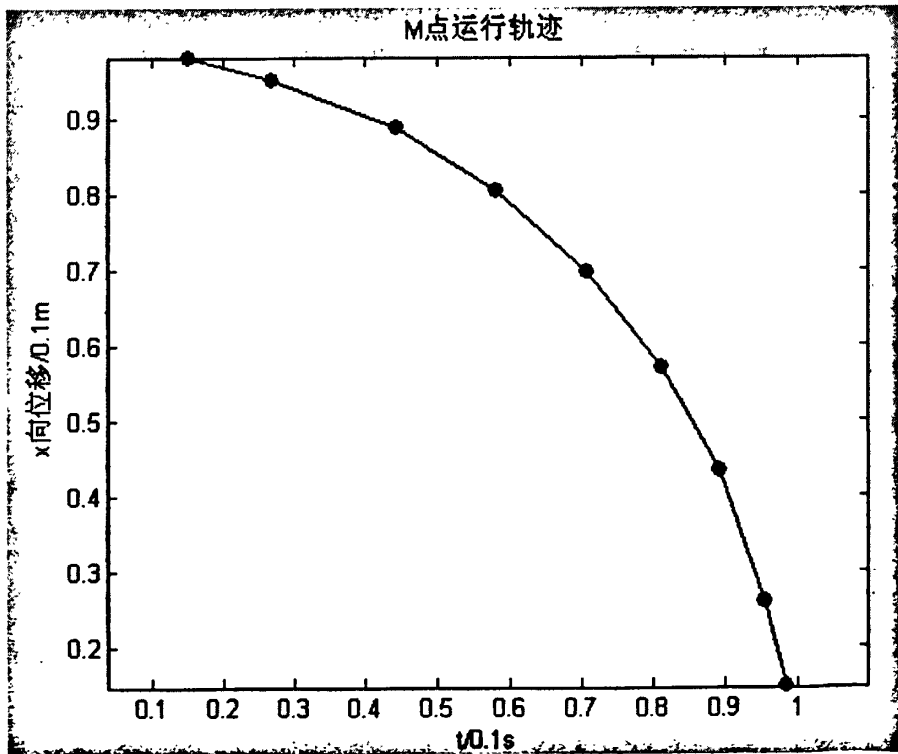


图 2-3 M 点运行轨迹

Fig2-3. M point running track

2.2 AGV 小车结构与功能

2.2.1 AGV 小车行走模块结构

AGV 小车行走模块模型如图 2-4 所示。小车采用两轮差速转向的正四轮结构。驱动轮的动力来自于步进电机，通过控制步进电机的速度使二者速度不同进而实现两轮差速转向^{[20][21]}。

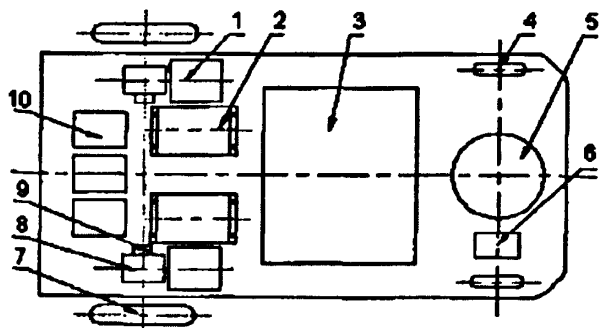


图 2-4 AGV 行走模块示意图

Fig.2-4 Walk AGV diagram module

(1) 步进电机 (2) 驱动器 (3) 车载控制系统 (4) 前轮 (5) CCD 摄像机
(6) 无线通信装置 (7) 驱动后轮 (8) 减速器 (9) 光电编码器 (10) 车载电源

由于转向方式采用的是两轮差速转向、独立驱动，故而两个驱动电机的速度响应性就成为了车辆运行时候是否平稳的重要技术指标^[20]。

2.2.2 AGV 外观

结合 AGV 小车行走模块，整车采用分层结构：分为上车体和下车体。其中，上车体主要包括移栽部分和操作监控部分，下车体则主要是行走模块。分层结构的优点是：各层机构紧凑、分工明确，可根据不同需要进行组合。图 2-5 为 AGV 下车体轴侧图。

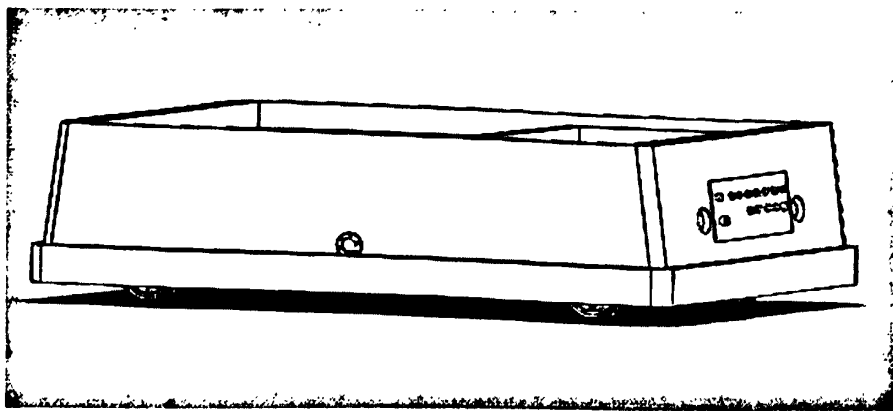


图 2-5 AGV 下车体轴侧图

Fig.2-5 The axle side AGV figure

2.2.3 AGV 导引模块

导引方式采用视觉导引。视觉导引的优点是能够灵活、便捷的设置和变更导引路径，维护方便。缺点是容易受到光线的影响，为提高图像识别率，在图像处理模块中采用了补偿办法，减少了光线造成的影响。

2.2.4 人机交互模块

AGV 小车的人机交互模块一般是指 AGV 的操作面板，操作面板一般由声光报警灯、启动/急停按钮和显示屏等组成。声光报警灯主要是用来显示 AGV 小车的实时状态，一般包括车载系统部分、小车周围环境、电池电量多寡等几个小车的基本状态显示。按钮主要是由启动和急停按钮构成，启动按钮的作用是 AGV 的启动和正常关闭，急停按钮则是为了突发事故而预备，在情况紧急时，使 AGV 停止。显示屏的使用让用户对小车的控制和运行状态的观察更加快捷和直观。若选用的是可触摸式显示屏，人机交互更便捷。AGV 小车人机交互模块——界面控制板的示意图如图 2-6 所示。

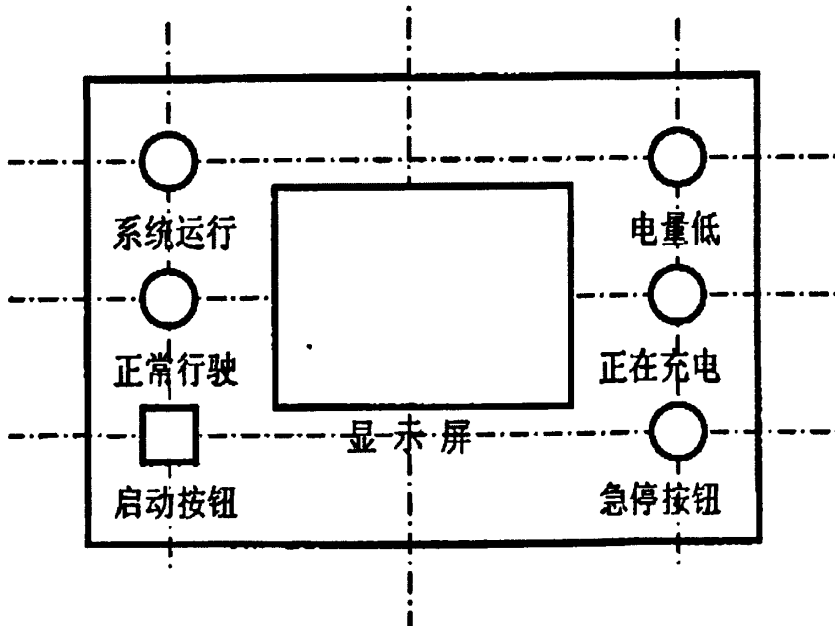


图 2-6 AGV 界面控制板示意图

Fig.2-6 AGV interface panel schemes

2.2.5 通讯模块

通讯系统作为 AGV 和 AGV、AGV 和上位机间交换信息的纽带，起着联系整个 AGVS 系统的重要作用。由于对 AGV 小车灵活性和实时性均有要求，因此，在上位机与 AGV 小车间采用无线网络完成信息的交互。在 AGV 上装配有无线发射\接收装置，通过无线装置可以把 AGV 的当前状况发送给上位机的同时，上位机也发送相关的控制指令给车载控制系统。通讯模块示意图如图 2-7 所示。

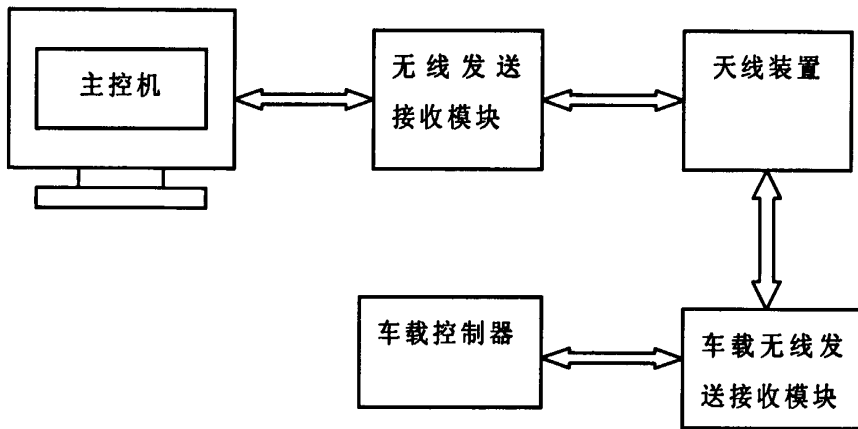


图 2-7 通讯模块示意图

Fig.2-7 Communication module schemes

2.2.6 车载功能性装置

主要是指类型多样的车载物料搬运装置和定位装置，车载辅助装置是用来实现 AGV 与其他的设备间的物料输送自动化对接。

2.2.7 动力源和安全保护

AGV 一般以蓄电池作为动力源，电池容量的大小应根据需要设定，并且当电力不足时 AGV 能够自动报警且能自动运行到指定地点充电。

在 AGV 小车系统中，安全保护是 AGV 的一个重要方面，其采取的安全措施主要有：在小车头部安装非接触式障碍物检测装置，实现小车正确避障；在车体容易接触处设置急停开关；在车身易观察处设置警示信号灯并能同时发出一定强度的声音提醒周围的人员。

3 视觉导引 AGV 路径跟踪系统组成及其原理

3.1 AGV 的视觉应用研究

AGV 属于智能车辆的领域，而视觉则是智能车辆重要的感觉特征之一，它使车辆能够从周围环境中获取大量的信息，从而实时的辨识目标及理解环境，所以，反映到智能车辆的导引技术领域，采用计算机视觉进行导引就成为了当前众多导引方式中的热门研究方向。

为了能够在 AGV 上应用，计算机视觉必须具有实时性、鲁棒性等特点。实时性主要是指系统的数据处理必须与 AGV 的行驶速度保持同步进行，而鲁棒性则主要是指 AGV 对不同的道路环境的良好的适应性^[4]。

现在，视觉导引的研究侧重在两个方面：

(1) 仿人视觉识别法是采用的拟人视觉仿生原理。具体的实现方法是在 AGV 上装有两台或多台摄像机，通过对目标环境的多维采集，再进行 3D 图像处理，最后根据一定的算法识别当前路径，从而实现了 AGV 的自动导引。由于双目或者多目视觉系统的计算量比较大，尽管近些年的计算机处理能力越来越强大，但是要满足这种算法下的实时性要求还有待努力。

(2) 标识线图像识别法。标识线图像识别法是一种已知全局变量法，由车载 CCD 摄像机动态摄取已知的目标路径图像特征，把获取的图像特征与已知的图像特征进行图像识别算法的处理后得出 AGV 的车体轴线与路径标识线的偏差，进而做出控制指令的判别并下达控制指令，使 AGV 按照设定的路径自动行驶。标识线图像识别法简单实用，能够很好的适应路面结构环境。相较与仿人视觉识别法，标识线图像识别法涉及环境变量少，图形特征的处理更易于实现，因此，提高了 AGV 的应激响应。

3.2 视觉导引位姿判别原理

3.2.1 视觉导引系统组成

视觉导引系统由 CCD 摄像机、图像采集卡、PC 公共平台、路面标识符、AGV 小车及相关软件等组成。

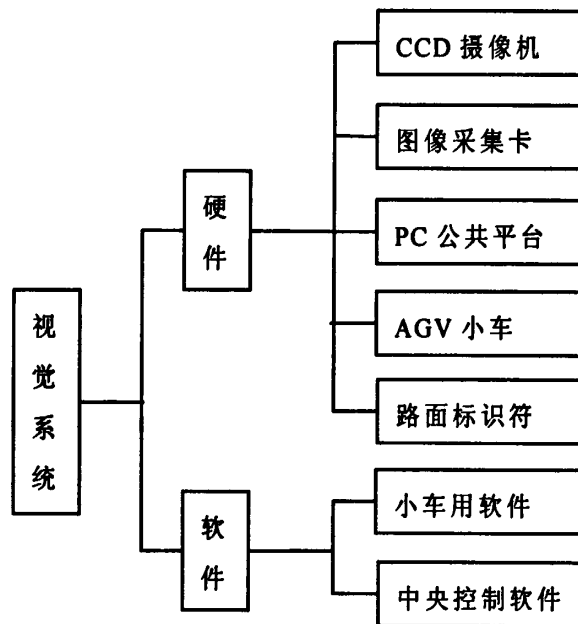


图 3-1 视觉导引系统框图

Fig3-1 Visual guide system diagram

3.2.2 视觉导引位姿判别原理

计算机视觉导引系统是有线 AGV 系统重要的外部信息来源，因此，其对导引路线进行检测的性能及效率将对整车的操作和运行产生直接影响。

有线式计算机视觉导引系统的位姿判别原理如下：首先，在任务区建立路面导引标识符，通过 CCD 摄像机动态采集路面图像信息，把道路中反射得到了光强信号转化为模拟电压信号后输送到图像采集卡；然后，使用图像采集卡中的模数转换器通过采样及量化处理，再把模拟图像进一步转化为计算机可以接受和理解的数字图像；在 AGV 沿着设定的导引路线前进时，通过对得到的图像进行一系列的处理后可得 AGV 的当前实际位置，然后比较当前位置及设定位置，得出小车下一步行进的位置偏差，结合 AGV 的其他参数，通过计算机及 I/O 接口单元对小车发出具体的控制指令，实现车辆按照指定的路径自动行驶。

3.3 视觉导引图像采集

3.3.1 图像传感器：CCD 摄像机

CCD 的工作原理：被拍摄的物体反射光线，通过镜头捕捉这些反射光线，再经过镜头聚焦到 CCD 芯片，而后 CCD 将根据反射光的强弱积聚相应的电荷，经过周期性的放电，产生多帧画面的电信号，经滤波、放大等处理，通过摄像机的输出端子输出一个标准的复合视频信号。

CCD 摄像机按照像素排列分成了面阵 CCD 和线阵 CCD，把 CCD 像素按照一定的方式排成 1 个平面称为面阵 CCD；同理，把 CCD 像素排成一条直线称为线阵 CCD。

除去 CCD 摄像机之外，还有一种被普遍采用的图像传感器：CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor），它是电压控制的一种放大器件，是组成 CMOS 数字集成电路的基本单元。相较 CCD 而言，CMOS 的最大优势就是省电，在此不多做叙述。

3.3.2 视频信号数字化设备：图像采集卡

图像采集卡（Image Capture Card）是一种集获取、存储、播放为一体的数字化视频硬件设备。其作用主要是把由图像传感器获得图像信息存储到电脑的硬盘上。通过图像采集卡，完成了图像信息的传递，然后由具体的视频软件对所获得的图像信息进行处理。

根据视频图像采集的不同，可以把视频图像采集卡分为数字信号卡和模拟信号卡两种。其一般工作流程如下：从 CCD 摄像机实时获取视频信号，经 A/D 转换模块把获得的视频信号转换成数字信号存储在采集卡的一个或数个图像单元通道中，然后再经过 D/A 转换模块把某一帧图像静止在通道中，此即是为捕获了一帧图像，由计算机软件完成对图像的处理后显示在显示器上。另，一些图像采集卡自身也带有一定的内存，会有一些图像处理算法，在进行图像采集的同时可以利用采集卡自带的处理能力对所采集的图像进行预处理。图像采集卡信号采集流程如图 3-2 所示。

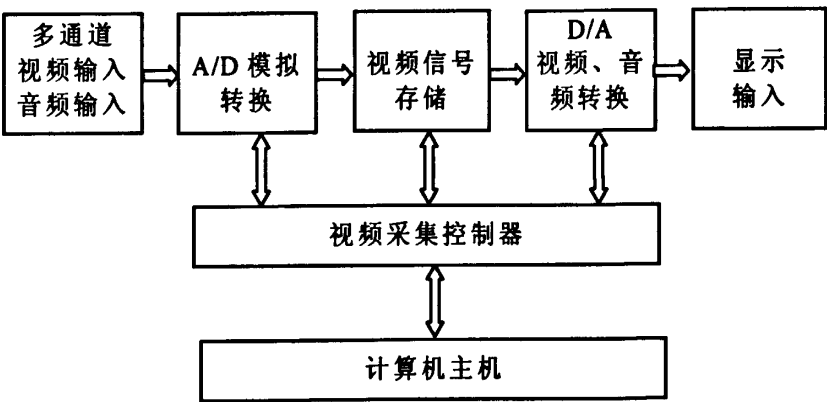


图 3-2 图像采集卡信号采集流程

Fig.3-2 Image acquisition card signal acquisition process

3.4 唯一节点和方向矢量结合法

导引方式的不同也就决定了对环境的要求不尽相同，本论文采用的视觉导引方式专门设计了一种特殊标识符与一般路径识别导引线相结合的方法。

由于采用的是有线式视觉导引的方法，首先需要在任务区域即小车行走区域的环境进行设置。采用白色等宽色带作为小车导引线，在运行路径的各个拐弯点以及较长直线

路径的中间点设置运行节点标识（这些标识符即唯一确定一个节点，同时也能提供小车的航向修正参考），然后在路径数据库中记录下各个节点的信息及相互间的几何关系，通过与预置的位置参数的信息进行比较，即可以判断出当前位置偏差和角度偏差，为 AGV 的位置校正实时提供信息，从而实现了 AGV 的自动导引。

为了能够更直观的对这种方法进行描述，采用了类“电子地图”的形式，把这些节点及节点间的关系用图像的方式在 VGA 上显示出来。整个的运行路径组成了一个网络，通过网络中任意两点间路线的判定，可以确定 AGV 在整个任务区域中的大概位置，再通过其刚刚驶过的节点的判断能够得出其准确的位置，与此同时，也为多台小车的系统集成管理提供了基础参数。

4 以固高运动控制卡为控制核心的 AGV 运动控制系统

4.1 概述

固高科技（深圳）有限公司生产的 GE 系列运动控制器，能够实现多轴联动和高速点位运动。此类产品的核心是由 DSP 和 FPGA 两个部分构成，能够实现高速、高精度的插补控制。

GE 系列运动控制器通常以普通 PC 作为公共的运行平台，总线有 GB 的 ISA 总线和 PCI 总线可供选择。作为选件，也为了方便用户配置系统的需要，控制卡提供 RS232 串口和 PC104 接口。基于某些用户的复杂的控制要求的需要，公司为运动控制卡提供了动态链接库函数。本设计采用固高科技（深圳）有限公司的 GE-400-SV 运动控制器作为控制核心，以 PC 作为公共平台，以 VC++6.0 作为软件开发工具，建立一种具有灵活控制的、功能扩展性的 AGV 控制系统。

4.2 GE-400-SV 运动控制器的结构和功能

4.2.1 GE-400-SV 运动控制器的结构

PCI 系列 GE-400-SV 运动控制器的实际产品和外形分别如图 4-1 和图 4-2 所示。



图 4-1 PCI 系列 GE-400-SV 运动控制器

Fig.4-1 PCI series GE-400-SV motion controller

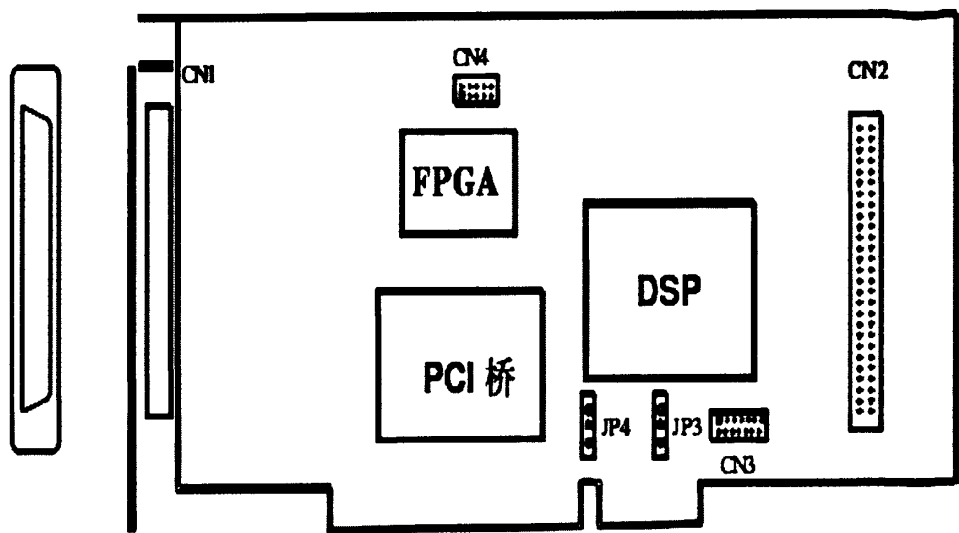


图 4-2 PCI 系列 GE-400-SV 运动控制器外形结构

Fig.4-2 PCI series GE-400-SV motion controller shape structure

PCI 系列 GE-400-SV 运动控制器的端子板外形结构如图 4-3 所示。

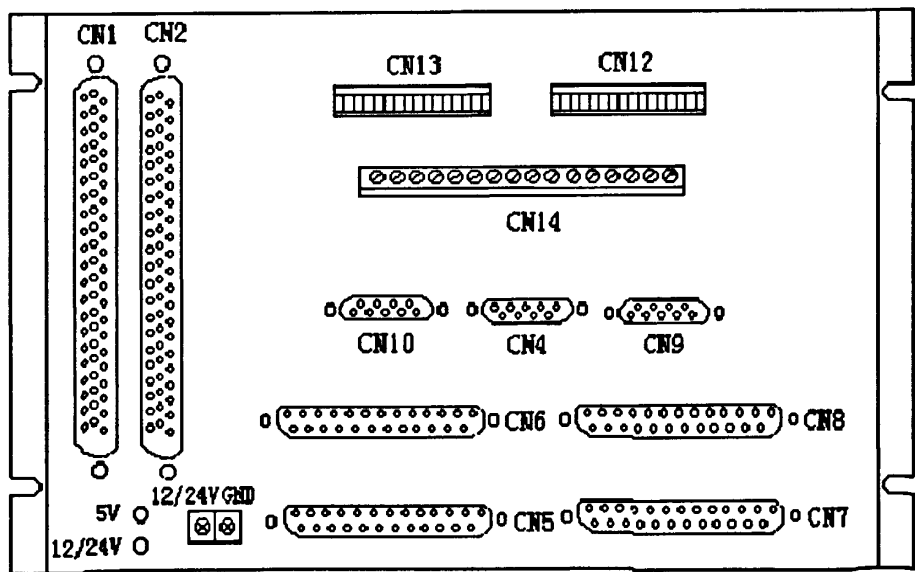


图 4-3 PCI 系列 GE-400-SV 运动控制器的端子板外形结构

Fig.4-3 PCI series GE-400-SV motion controller terminal board shape structure

PCI 系列 GE-400-SV 运动控制器的端子板接口端子的定义如表 4-1 所示。

表 4-1 PCI 系列 GE-400-SV 运动控制器的端子板接口端子定义

Tab.4-1 PCI series GE-400-SV motion controller terminal board interface terminal definition

接口端子	功能
CN1	运动控制器连接接口
CN2	运动控制器连接接口
CN5(CN6,CN7)	控制轴接口
CN8	空
CN9	空
CN10	辅助编码器接口
CN1	专用 I/O 信号输入接口
CN13	通用 I/O 输入接口
CN14	通用 I/O 输入接口

4.2.2 GE-400-SV 产品的功能

GE-400-SV 的控制功能如下：

- (1) 看门狗指令实时监测并反馈 DSP 的状态参数；
- (2) 连续轨迹控制模式下，能够进行二维直线插补和圆弧插补；
- (3) 在程序段开始前在程序缓冲区进行预处理，扩大了控制卡的平台选用范围，提高了运动控制的质量，便于在程序段中的中断处理；
- (4) 控制轴的控制方式选用多样化；
- (5) 采用了开放性、兼容性较好的 32 位计算模式；
- (6) 伺服控制模式下应用了 PID 可控和速度前馈及加速度前馈相结合的滤波方法，提高了伺服控制的精度；
- (7) 控制器的伺服或插补周期是以 162μs 为单位；

GE-400-SV 运动控制器支持主动中断机能，实现了控制轴的冗余处理，增强了控制卡与主机的互动，提高了多任务事件发生时处理的效率。

GE-400-SV 运动控制器能够通过二维平面内的多轴联动，进而实现控制轴的多点轨迹连续平滑运动。

4.3 基于 PC 的 AGV 运动控制系统

4.3.1 基于 PC 的 AGV 运动控制系统

随着 PC 技术的飞速发展，基于 PC 的计算机控制系统在越来越多的场合得到了应用，

而且基于 PC 的控制系统还可以充分利用 PC 操作系统提供的丰富的系统资源，而且结合高性能运动控制卡可以构造可靠、扩展能力强、功能强大、价格相对低廉、开放式的基于 PC 机的运动控制系统。

“PC+运动控制器+伺服电机”的模式^[20]是机电类产品的发展趋势。在此模式下，PC 的作用是根据运动控制的形式选择控制模式，并对控制指令进行优化，一般是采用通用软件，如果按指令分层来划分的话，这些属于上层指令的范畴。运动控制器的作用则是按照上位机的指令，根据伺服系统的不同，并对得到的上层指令进行可识别的转化来具体的控制伺服电机动作。一般把伺服电机作为具体的执行部件。本文的 AGV 运动控制采用的即是“PC+运动控制器+伺服电机”的模式来实现的。如图 4-4 所示。

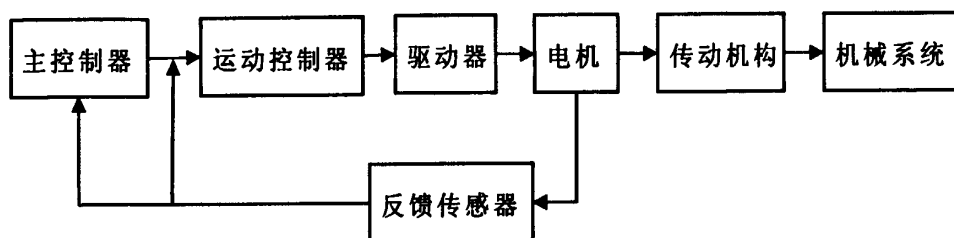


图 4-4 AGV 驱动轮伺服控制系统框图

Fig.4-4 AGV driving wheel servo control system diagram

相较于传统的 AGV 控制系统，基于 PC 的 AGV 运动控制系统有以下特点：

(1) PC 机的总线（ISA，PCI 总线）采用通用的标准制造，因此，只要扩展办卡符合总线标准即可，故而普通 PC 为公共平台建立的 AGV 小车控制系统，有着良好的硬件扩展环境。普通 PC 的使用范围很广，其软件来源丰富，客户能够根据自己的需要方便的进行二次开发。

(2) 可移植性 控制系统软件体采用面向对象的编程模式，通过对系统软件的模块化设计，减少了软件对具体硬件的依赖性，使得软件的移植变的方便。

(3) 可扩展性 普通 PC 拥有这良好的可扩展性，通过 PC 上的扩展接口可以方便的增加或减少一些外设；基于 VC++6.0 软件编写的程序是一种面向对象为基础的程序，通过 C++的继承和派生等功能使得软件的扩展更为简易。

(4) 网络通信 PC 操作系统有着十分成熟和强大的网络通信能力，以普通 PC 为平台就使得远程监控的应用得以轻松实现。

衡量一个控制系统的好坏，其控制精度就是在衡量系统技术水平时候的最重要的技术指标。一个高质量的系统，在整个运行过程中，被控量与给定值的偏差应该是很小的。但在实际的系统应用时，由于机械本体自重以及电路中的电感、电容的影响，再由于一定的电源功率的原因，故而加速度值已定，速度和位移必然会产生一个延迟。工程实际

中,一般的运动控制系统都是由驱动器、驱动电机、运动控制器、传感器,还有一些机械系统的执行部件构成。

4.3.2 采用 GE-400-SV 运动控制卡的 AGV 控制系统硬件结构

AGV 控制系统采用的 GE-400-SV 可编程多轴运动控制器^[20]来实现,控制系统采用了 WinCE 操作系统以弥补实时性的不足。单个 GE-400-SV 运动控制器最多可以实现 4 个坐标系同时运动,并且能够通过储存在系统内部的程序完成单独操作。

AGV 控制系统用 PC 作为公共平台^[20],在 PC 中嵌入 GE-400-SV 运动控制器,从而能够实现控制器对驱动电机的直接控制。由于控制器其本身的独立性,能够使每一台 AGV 都能够作为一个独立的系统存在,即每一台 AGV 都可以作为另一台 AGV 的上位机而存在,增强了灵活性,节约了成本;同时,对于系统的升级而言,通过更换相应的控制卡系列,可以轻松的完成产品的更新换代,极大的减少了后续投入。

AGV 控制系统充分利用了 PC 提供的丰富 I/O 扩展功能,所用到的运动控制器接口包括 AXIS1、AXIS2、EXTIO、VGA、ANALOG、POWER 以及 LAN 以太网接口,AGV 控制系统结构如图 4-5 所示。AXIS1 和 AXIS2 接口用来控制两个驱动电机;EXTIO 为高速 IO 扩展接口,可通过其 15 针接口外接一个端子板,用以实现不同的输入输出需要,例如,报警器、指示灯等;VGA 为标准的 VGA 接口通过连接液晶显示设备显示 AGV 运行状态,且能够实现人机交互;ANALOG 为模拟量输入输出接口,方向传感器、速度传感器以及超声波传感器可以直接与 ANALOG 连接作为方向、速度以及避障传感器,用以提供 AGV 信息;POWER 作为电源接口,能够提供 5V 和 24V 的电源以及电源检测;主 LAN 接口要实现与 AGV 外部的信息交换。

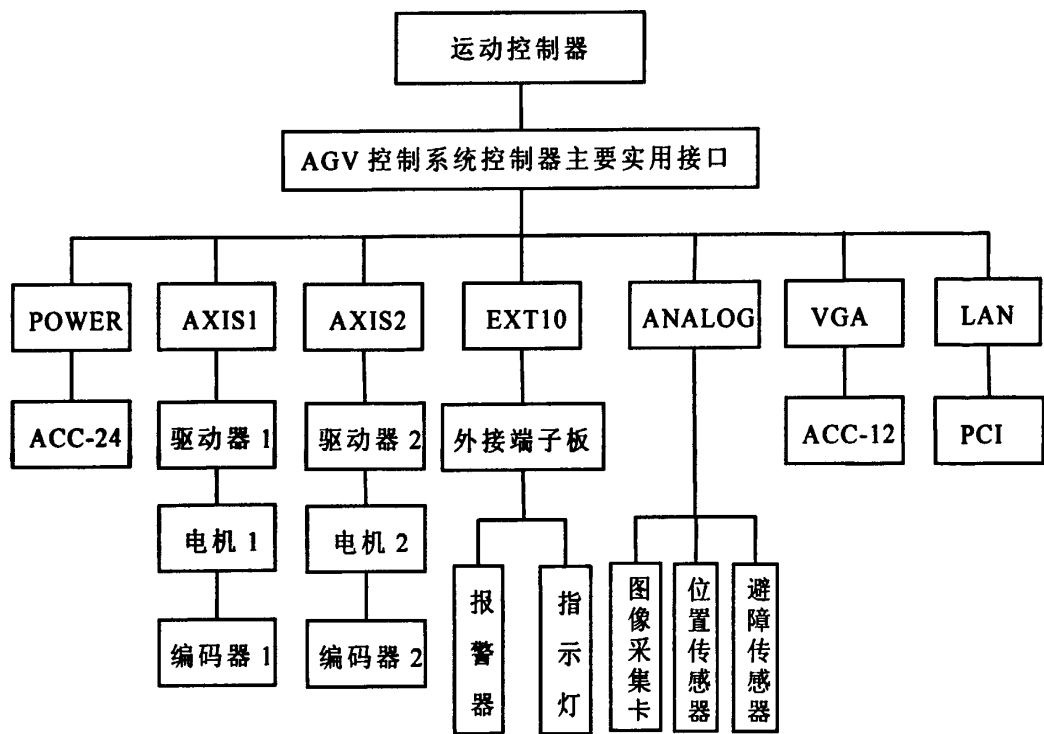


图 4-5 AGV 控制系统硬件结构图

Fig.4-5 AGV control system hardware structure

4.4 驱动电机的选择

伺服电机是一种快速反应的电机，经常用作控制系统的动力执行部分，其调速范围宽，能够在瞬时断电时立即停止。伺服电机的基本原理是与普通电机相同。常用的伺服电机有以下几种类型：直流（DC）伺服电机、无刷直流伺服电机、交流（AC）伺服电机和步进电机。

本文采用的是直流（DC）伺服电机。

直流伺服电机具有稳态性好、工作特性的线性度好等优点。

直流伺服电机的缺点是：有换向器和电刷之间的滑动接触，接触电阻的变化使工作性能的稳定性受到影响；电刷下的火花使换向器需要经常维护，使其不能在易爆炸的地方使用，且产生无线电干扰，又因控制电源是直流，使得放大元件变的复杂。

驱动电机选择他励直流伺服电机，在车体后部分两侧布置，以实现小车的驱动控制。根据要求，小车运行时，驱动车轮所受的最大阻力

$$F=f_s \cdot F_N \tag{4-1}$$

根据车间环境 $f_s=0.4$ ，估算 AGV 小车整体重 $F_N=2550\text{ N}$ 则 $F=0.4 \times 2550=1020\text{ N}$ ；设小车驱动轮半径 $R=180\text{ mm}$ ；则阻力矩 $M=F \cdot R=1020 \times 180 \times 10^{-3}=183.6\text{ N} \cdot \text{M}$ 。如果设中间减速器的传动比为 $i=37$ ，直流伺服电机的所需的额定转矩为 $M_N=183.6 \div 37=4.96$ ，

可以取 $M_N = 5 \ N \cdot M$ 。

根据以上要求我选择上海瑞科科技发展公司生产的直流伺服电机，其电气参数如表 4-2 所示，安装尺寸如表 4-3、表 4-4 所示，以及安装尺寸见图 4-6。

表 4-2 电气参数

Tab.4-2 Electrical parameters								
机座号	序号	额定功率 KW	额定转速 RPM	额定电 压 V	额定电 流 A	峰值转 矩 NM	电枢电 阻 Ω	电枢电 感 MH
130SYX	02	1.5	3000	48	11.7	40	0.2	3.4

表 4-3 安装尺寸

Tab.4-3 Installation size									
代号	D	D1	D2	Z	L	L1	L2	L3	M
型号									
130 SYX	132	18/24	100	545	160/285	5	2	35/40	155

表 4-4 安装尺寸

Tab.4-4 Installation size										
代号	S	E	L4	L5	N	H	A	LC	LB	LF
型号										
130 SYX	11	134	100	125	11	80	27.5	60	30	50

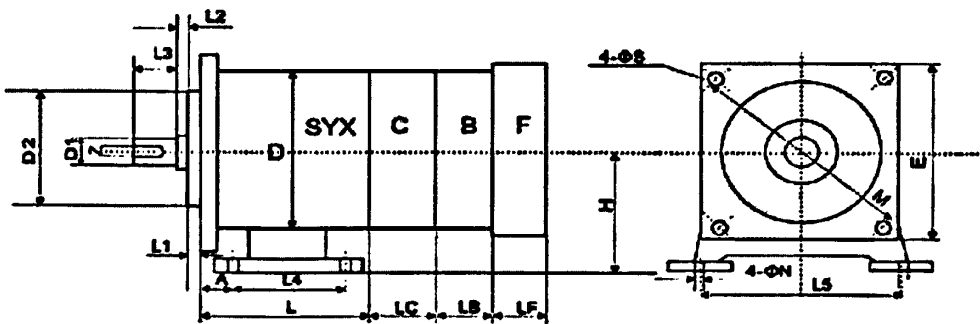


图 4-6 130SYX 电机安装尺寸图

Fig.4-6 130SYX Motor installation dimension drawing

4.5 AGV 运动控制

本方案 AGV 采用直流伺服电机驱动，通过增量式光电编码器完成对两后轮速度的检测，同时，提供驱动轮的速度参数反馈给控制器，从而实现 AGV 的运动控制。

4.5.1 增量式光电编码器工作原理

增量式光电编码器的输出脉冲信号和增量位移的关系是一一对应的，可是由输出脉冲并不能进而分辨出它是具体在哪一个位置上产生的增量位移，但是它发出的脉冲信号却是与增量位移等值，因此，采用此种编码器不能直接得出所检测轴的绝对位置参数。增量光电编码器构成如图 4-6 所示。

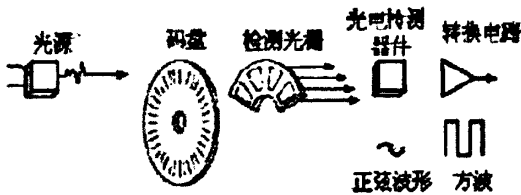


图 4-7 增量式光电编码器的构成

Fig.4-7 The structure of the incremental photoelectric encoder

增量式光电编码器的特点：优点是实现简易、技术成熟；平均寿命长；码盘的分辨率较高；抗干扰能力强；长距离的信号传输不丢失。缺点是转动轴的绝对位置信息无法直接读出。增量式光电编码器输出信号波形如图 4-7 所示。

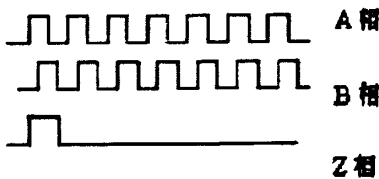


图 4-8 增量式光电编码器的输出信号波形

Fig.4-8 The solid-axes photoelectric encoder output signal waveform

4.5.2 增量式光电编码器与 GE-400-SV 运动控制卡的连接应用

运动控制系统要获得高速高精度的控制效果，就必须使用控制策略，经典的控制策略都是基于反馈原理的。而编码器是将模拟量转变为数字量的模数转化器，其检测得到的参数信息能够作为系统中的反馈。

在使用 GE-400-SV 运动控制卡时，要把编码器检测得到的信息反馈给控制卡，需要以下步骤：

- (1) 连接运动控制器和端子板：关闭计算机电源，取出控制卡附带的两条屏蔽电缆。两条屏蔽线分别对应连接控制器和端子板的 CN1、CN2 引脚。保证外部电路正常运行，必须连接此两条屏蔽电缆。如图 4-8。

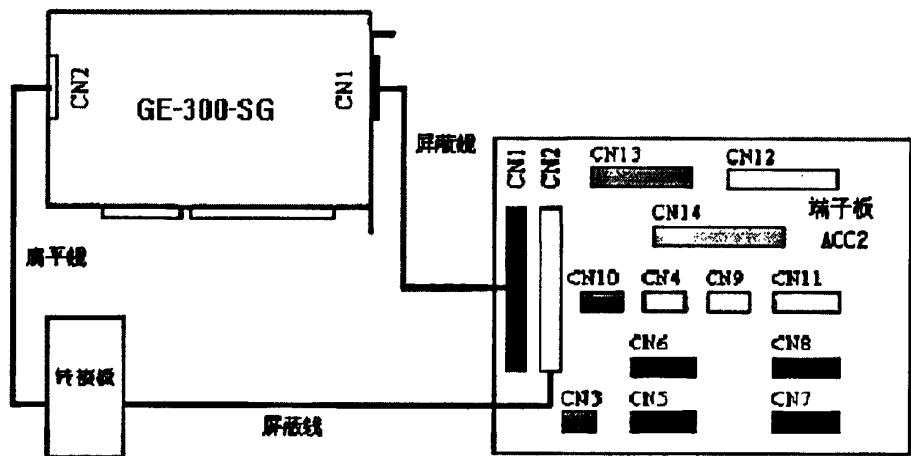


图 4-9 GE-400-SV 运动控制器和端子板连接简图

Fig.4-9 GE-400-SV Motion controller and terminal board connection diagram

(2) 连接端子板电源：端子板的 CN3 引脚连接用户提供的外部电源。端子板上标有 +12V~24V 的引脚接+12V/+24V 电源，把 OGND 引脚接地，外部电源的实际电压值的选用由使用的传感器及执行机构的电压值决定。引脚接线见图 4-9。

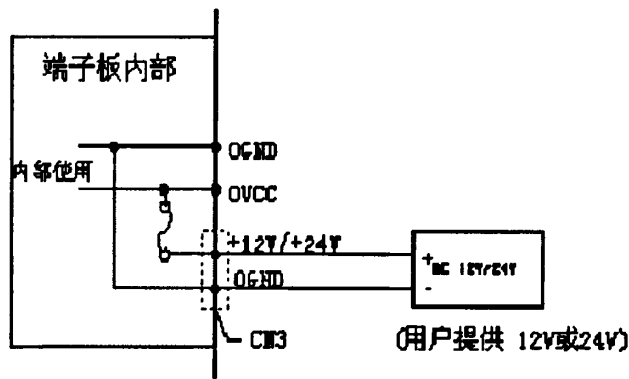


图 4-10 端子板用电源内部连接图

Fig.4-10 Terminal board with the power source internal connection diagram

(3) 专用输入、输出：对于 GE-400-SV 运动控制卡，专用输入：报警、原点及限位信号的传输是由端子板的 CN5（CN6、CN7）、CN12 引脚连接驱动器及外接口，编码器反馈输入通过 CN5 连接；专用输出：驱动允许，报警状态复位。专用输出则是由端子板 CN5、CN6、CN7 连接驱动器的方式。CN5、CN6、CN7 分别对应 1、2、3 轴。其中，CN5~CN7 有着相同的引脚定义，CN5 的定义见表 4-2，CN12 的定义见表 4-3。

表 4-5 端子板的 CN5 引脚说明 (CN6、CN7)

Tab. 4-5 Terminal board that CN5 pin (CN6, CN7)

引脚	信号	说明	引脚	信号	说明
1	OGND	外部电源地	14	OVCC	+12V/+24V 输出
2	ALM	驱动报警	15	RESET	驱动报警复位
3	ENABLE	驱动允许	16	保留	保留
4	A-	编码器输入	17	A+	编码器输入
5	B-	编码器输入	18	B+	编码器输入
6	C-	编码器输入	19	C+	编码器输入
7	+5V	电源输出	20	GND	数字地
8	DAC	模拟输出	21	GND	数字地
9	DIR+	步进方向输出	22	DIR-	步进方向输出
10	GND	数字地	23	PULSE+	步进脉冲输出
11	PULSE-	步进脉冲输出	24	GND	数字地
12	保留	保留	25	保留	保留
13	GND	数字地			

表 4-6 端子板的 CN12 引脚定义

Tab.4-6 Terminal board CN12 pin definition

引脚	信号	说明
1	HOME0	1 轴原点输入
2	HOME1	2 轴原点输入
3	HOME2	3 轴原点输入
4	HOME3	4 轴原点输入
5	LIMIT0+	1 轴正向限位
6	LIMIT0-	1 轴负向限位
7	LIMIT1+	2 轴正向限位
8	LIMIT1-	2 轴负向限位
9	LIMIT2+	3 轴正向限位
10	LIMIT2-	3 轴负向限位
11	LIMIT3+	4 轴正向限位
12	LIMIT3-	4 轴负向限位
13	EXI0	通用输入
14	EXI1	通用输入
15	OGND	外部电源地
16	OVCC	+12V/+24V 输出

4.6 基于 GE-400-SV 运动控制卡的加减速控制

为了保证电机在启动或停止时不产生过大的冲击、失步、超程或者震荡，GE-400-SV 运动控制卡提供了 5 种控制轴运动控制模式：S-曲线加减速模式、梯形曲线模式、速度跟踪模式、电子齿轮模式、坐标运动模式^[7]。本系统采用了 S-曲线加减速模式，如图 4-10 所示为典型的 S-曲线加减速模式下的速度、加速度和加加速度的规划曲线。

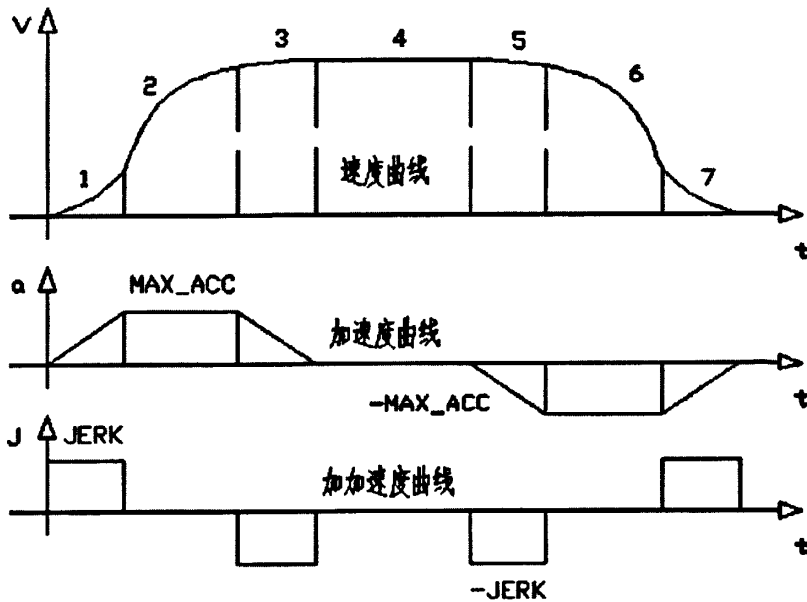


图 4-11 S-曲线加减速模式下的运动曲线

Fig.4-11 Acceleration and deceleration curve model of sports curve

S-曲线加减速模式的运动过程可以描述如下：

(1) 在初始加速时间段，即第 1 时间\速度曲线段中，以 0 加速度为起点，以系统设定的加速度最大值 \max_v 为极限加速度，以加加速度 J 即在一个伺服周期内加速度的增量递增，加速到设定的加速度值停止加速；

(2) 在第 2 时间\速度曲线段中，加加速度的值为零，此时由设定的最大加速度加速一直加速直到第 3 时间、速度曲线段；

(3) 在第 3 时间\速度曲线段，使加加速度为负值起到减小加速度的目的，此时的速度最高，此阶段已经完成加速过程；

(4) 第 4 时间\速度曲线段加速度为零，此阶段匀速运行；

(5) 第 5、6、7 段正好是第 1、2、3 段的反推，其加速模式相同，所不同的只是加速度的值为负值。

在此采用的是 S-曲线加减速模式，在编程的过程中需要设定的参数有：目标位置参数、最大速度参数、最大加速度参数及加加速度参数。在此模式下，任务位置参数修改方便。所输入的相关速度参数均以绝对值表示，且目标位置一旦确定则控制轴方向即被确定。S-曲线加减速模式下的速度曲线一般都是对称加减速控制，有时候也会因为某些特殊情况而确实一些过程。

4.7 AGV 运动控制系统软件设计

4.7.1 嵌入式操作系统 WinCE 的选择

作为通用的操作系统,有以下基本功能,包括程序管理、处理器排程、储存管理、设备管理以及中断处理等等。而嵌入式操作系统除了具备上述通用操作系统所具有的一般功能外,其又有不同于一般操作系统的特点。就应用层面来说,嵌入式操作系统具有下列特点^[20]:

(1) 占用的系统资源少。

(2) 实时性要求严格:实时性的要求,不仅仅是操作系统能够完成正确的任务,而且是必须在既定的时间区间内完成了该项任务,因此,在一些关键领域进行应用的嵌入式操作系统,必须达到系统规定的硬实时性要求。

(3) 对操作系统的可靠性要求很高。

(4) 良好的开放性即可配置性。

嵌入式操作系统的开发由来已久,国际上从上世纪 80 年代就已经开始,到目前的产品已经有几百种可供选择,其中较为主流的有: WindowsCE、Linux、PalmOS、Vxworks 等几种。本课题选用的是 WindowsCE,选用原因如下:

(1) 拥有成功的应用案例:实验室有数套实验设备采用的都是 WindowsCE 作为软件的运行环境。

(2) 开发产品便捷、快速,且耗费较少的人力、物力。

(3) 对于实时性有一定的要求,但要求不高, WindowsCE 在满足多任务的同时也能很好的满足实时性。

(4) WindowsCE 的图形接口十分出色。开发人员能够充分利用 WindowsCE 提供的丰富灵活的图形接口类别库。

WindowsCE 由于众多的开发商家不同而拥有不同的版本,本课题采用的深圳固高科技有限公司的 W_ce3.0 版本^[20]。

4.7.2 AGV 控制系统软件实现平台

本系统采用的是基于 X86 构架的普通 PC 机,安装的操作系统为 WindowsCE,版本为 W_ce3.0 版本;运动控制卡为固高系列运动控制卡,型号为 GE-400-SV;运动控制卡直接插到 PC 机的卡槽,通过 PC 机中的控制系统软件调用运动控制卡的相关命令实现对 AGV 的控制。

AGV 的控制系统软件采用 VC++6.0 作为开发工具。Visual C++6.0,简称 VC 或 VC6.0,它是由微软公司推出的 C++编译器中的一种,能够把“高级语言”编制的程序转换成“机器语言(低级语言)”能够识别的程序。Visual C++是一种面向对象的可视化软件开发工具^[20]。

Visual C++6.0 软件开发平台是由 Microsoft 公司开发，它不仅仅是作为一款 C++ 编译器来使用，还是以 Windows 操作系统为基础的一种可视化集成开发环境(integrated development environment, IDE)。Visual C++6.0 由许多组件组成，包括编辑器、调试器以及程序向导 AppWizard、类向导 Class Wizard 等开发工具。这些组件通过一个名为 Developer Studio 的组件集成为和谐的开发环境^[3]。

4.7.3 系统软件的整体结构和职能划分

AGV 小车控制软件主要包括小车驱动控制和状态参数的设置即交通管理两个功能部分。小车驱动控制又分为手动和自动两个部分，手动主要是实现 AGV 的现场调试及在出现故障时候的处理。自动则是在 AGV 自身及周围环境条件满足的情况下，根据工作现场的数字化地图和上位管理计算机发出的任务指令统筹调度车辆，实现任务车辆的指定轨迹行走，准确、高效的完成预定作业任务，控制相关设备并及时进行自充电。

考虑到路径频繁更改后各参数的易修改性，将 AGV 控制软件分成了多层结构，如交通管理模块负责整个系统的协调控制，其它如路径规划、相关任务数据的处理等通过调用相关的子程序来实现，这样即实现了程序的可移植性又很好的提高了系统的应用性。AGV 控制软件结构如图 4-12 所示。

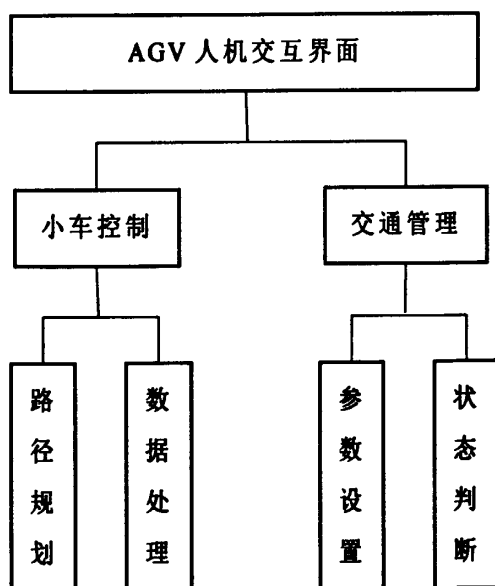


图 4-12 AGV 控制系统软件结构图

Fig.4-12 AGV control system software structure

4.7.4 系统软件流程设计

在本设计中，AGV 模型通过无线通讯的方式，按照上位机即主控计算机的指令沿着确定的路径行驶，可以完成前进、后退、左转、右转及停止等动作。图 4-12 为 AGV 的实际运行流程图。

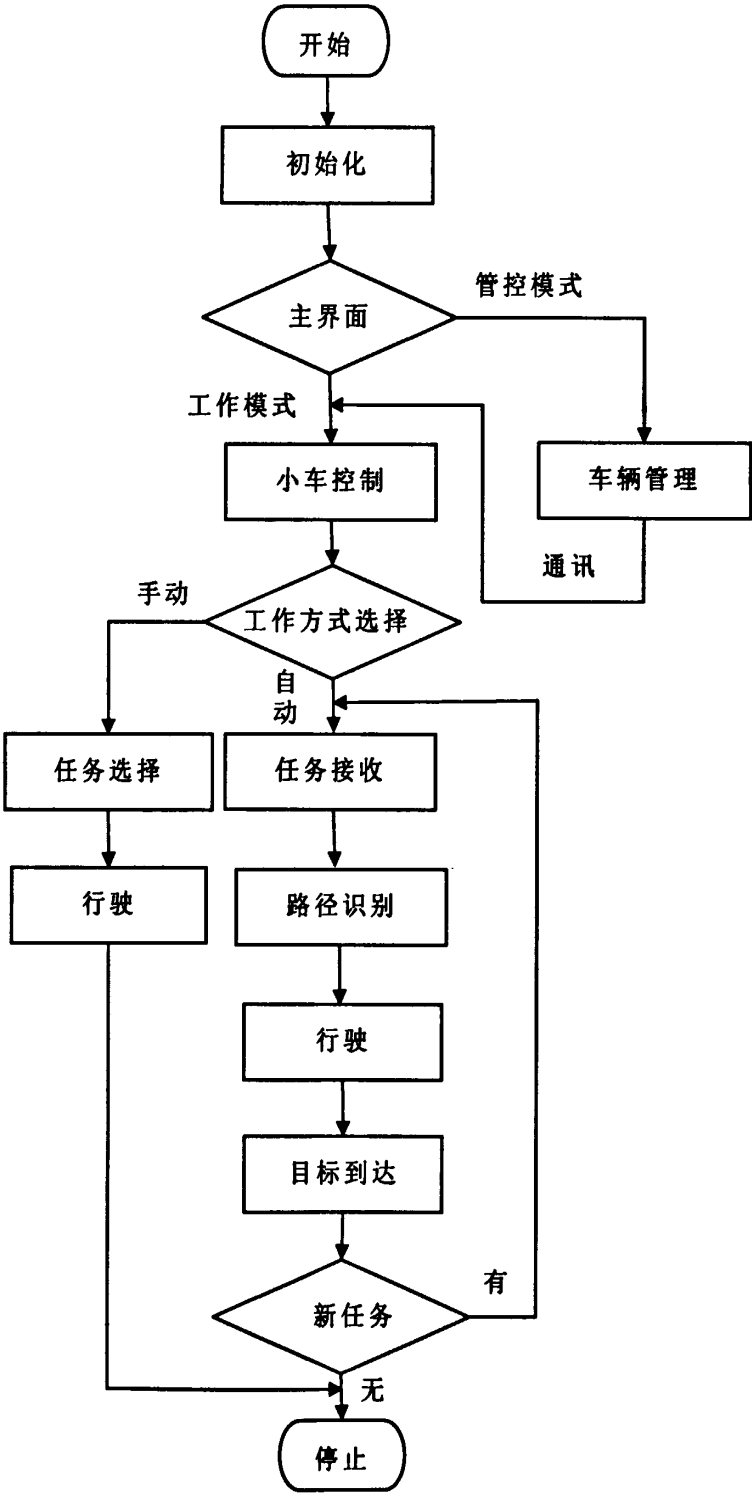


图 4-13 AGV 运行流程图

Fig.4-13 AGV operation flow chart

首先对系统进行初始化，需要初始化的主要包括板卡的初始化和 AGV 初始状态的初始化。

(1) 板卡的初始化：GE400-SV 运动控制卡的初始化如图 4-13 所示，包括配置文件 default.ini 的配置，对控制卡的开启、缓存、及对控制轴的初始化等。

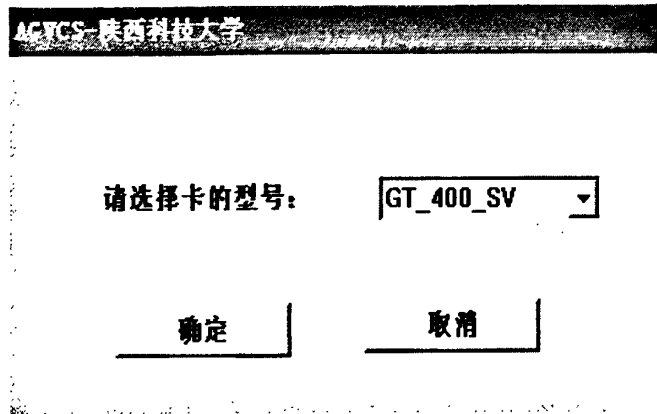


图 4-14 AGV 控制卡的初始化选择界面

Fig.4-14 AGV control card initialization choose interface

(2) AGV 初始状态的初始化：AGV 小车的实际位置的检测和目标位置的确定，AGV 小车周围有否障碍，AGV 小车是否处于正常状态等。

(3) AGV 小车的初始化所用到的初始化函数包括：BOOL CAGVCSDlg::OnInitDialog()、void CAGVCSDlg::InitCard()、void CAGVCSDlg::InitialMap()等，下面列出对话框初始化函数以及板卡初始化函数，其具体程序分别如下：

OnInitDialog()对话框初始化函数：

```
CString str;
int nAxisCount;
InitCard();
InitialMap();

CAGVCSApp *pApp;
pApp=((CAGVCSApp*)AfxGetApp());
nAxisCount=pApp->m_nAxisCount;
for(int i=0;i<nAxisCount;i++)
{
```

```

        m_nAxisPulsePerMM[i]=pApp->m_nAxisPPR[i];
    }
    ((CButton*)GetDlgItem(IDC_RADIO_SHOU))->SetCheck(BST_CHECKED);
    //InterfaceHandle();
    UpdateData(FALSE);

```

InitCard()板卡初始化函数:

```

    CAGVCSApp *pApp=(CAGVCSApp*)AfxGetApp();
    GT_Open();
    GT_Reset();
    GT_SwitchtoCardNo(0); //单块卡, 卡号为 0
    GT_SetSmplTm(200); //设置伺服周期为 200us
    GT_SetIntrTm(50); //设置中断周期为 10ms
    GT_TmrIntr(); //设置中断为定时中断

```

```

    GT_LmtSns(255); //设置限位开关为高电平有效

```

```

//事件中断
for(int i=1;i<5;i++)
{
    GT_Axis(i);
    GT_SetIntrMsk(0); //设置中断方式 0
}

```

//将轴设置为开环控制方式

```

    GT_Axis(m_nAxisNo);
    GT_ClrSts(); //...
    GT_OpenLp(); //...

```

```

    int biasVal;
    biasVal=pApp->m_nBias[m_nAxisNo-1];
    GT_SetMtrBias(biasVal);
    GT_Update();

```

AGV 小车初始化完成后就进入了人机交互主界面，如图 4-14 所示。在此界面主要是完成软件功能模块的选择，主要功能模块为交通管理模块和小车控制模块，下一节会就各功能模块进行具体阐述。

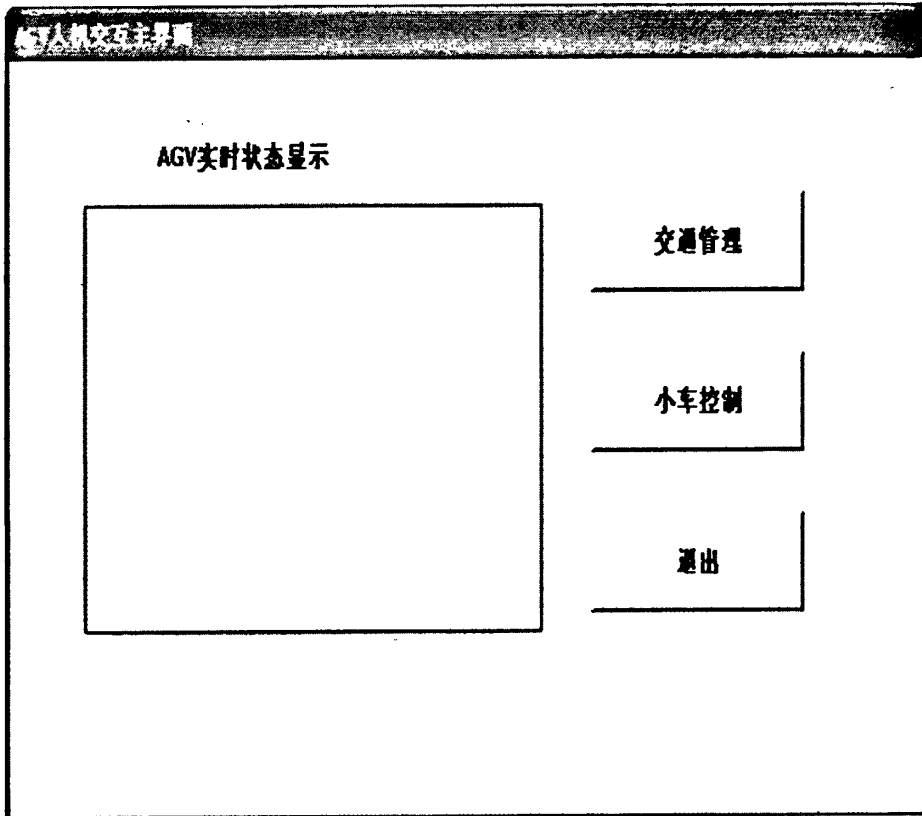


图 4-15 AGV 人机交互主界面

Fig.4-15 Lord AGV human-machine interaction interface

在进入小车控制模块后，首先判断 AGV 小车是选择手动或是自动模式，若是选择手动模式，则小车按照手动命令运行，此时为点动模式；若选择自动模式，则小车进入视频采集与显示模块，判断小车位置，若在可识别导引位置，则小车正常朝着目标位置运行；若在可识别导引盲区，小车不动且报警灯闪烁。另外，小车车体本身判断正常后，在起步前还需要将要前进的一定车距内的障碍物是否存在。如果检测到障碍物，AGV 立即停车并报警；如果没有障碍物，对所采集到的图像进行处理，判别小车具体位置，通过 AGV 小车当前位置信息对小车进行导引，并进行调速控制。

4.7.5 系统软件各功能模块的设计

4.7.5.1 交通管理模块

一般意义上的交通管理就指的是对于在道路行走中的车辆进行管理，而本文中的交通管理模块，不仅仅要具有一般意义上的交通管理功能，还包括了如车辆运行环境信息

的录入、具体是哪些小车或哪个小车运行、目的地的选择及选用哪一种行进模式等。交通管理模块的界面如 4-15 所示。

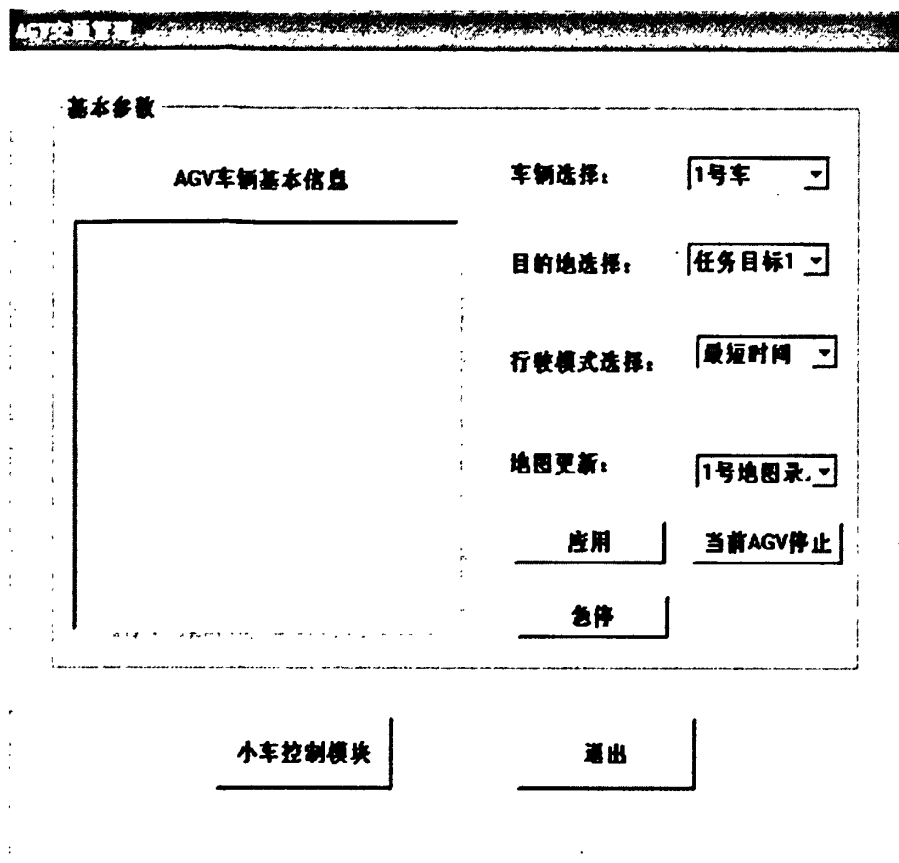


图 4-16 交通管理模块界面

Fig.4-16 Traffic management module interface

(1) 路径规划

路径规划指的是在具有障碍物的环境中，按照一定的性能指标，寻找一条从起始位置到目标位置的最优或次优的无碰撞路径^[4]。作为 AGV 控制系统中的关键部分，需要做出充分、仔细的考虑。

本文中采用的是视觉导引，电子地图作为 AGV 的虚拟环境，因此在整个的环境中，环境信息是全部知道的，因此采用的是全局路径规划中的可视图。

(2) 数据处理

本文中的数据处理主要指的是在任务区中根据任务要求，小车由起始位置出发到达目标位置，在不发生碰撞的前提下行走的最短路径。如有多台小车的话，还需要考虑距离目标位置最近的任务小车的选择等。因此，我们采用的是基于最短路径的 AGV 小车调度管理策略。

AGV 行走的路径首先由系统电子地图给出，其具有强制连通的特性，而且在每一

段的路径都有实际距离。此时的电子地图表现为点集合和段集合构成的矢量图。每个段都具备有唯一的起点、终点及方向，且段长度一定。简化后的途径示意图如图 4-16。

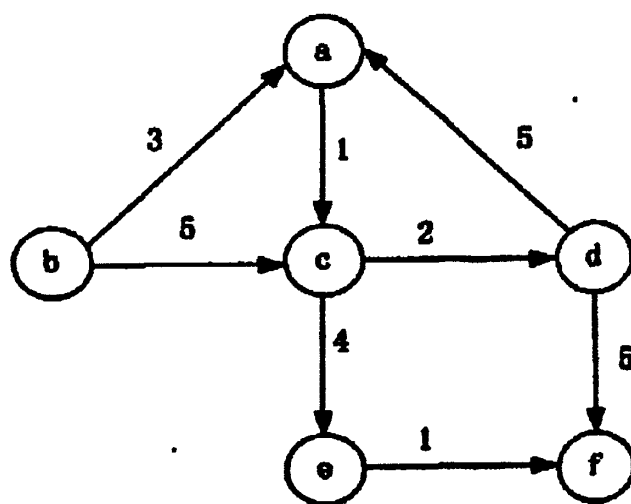


图 4-17 小车路径示意图

Fig.4-17 The small car path schemes

根据路径图中的分布，可以直观的看出路径图不是密集分布的，因此采用 Dijkstra 算法求取小车的最短路径，其一次运算即可以求出任意起点到图示中任意终点的最短路径^[20]。Dijkstra 算法的具体实现流程图如图 4-17 所示。

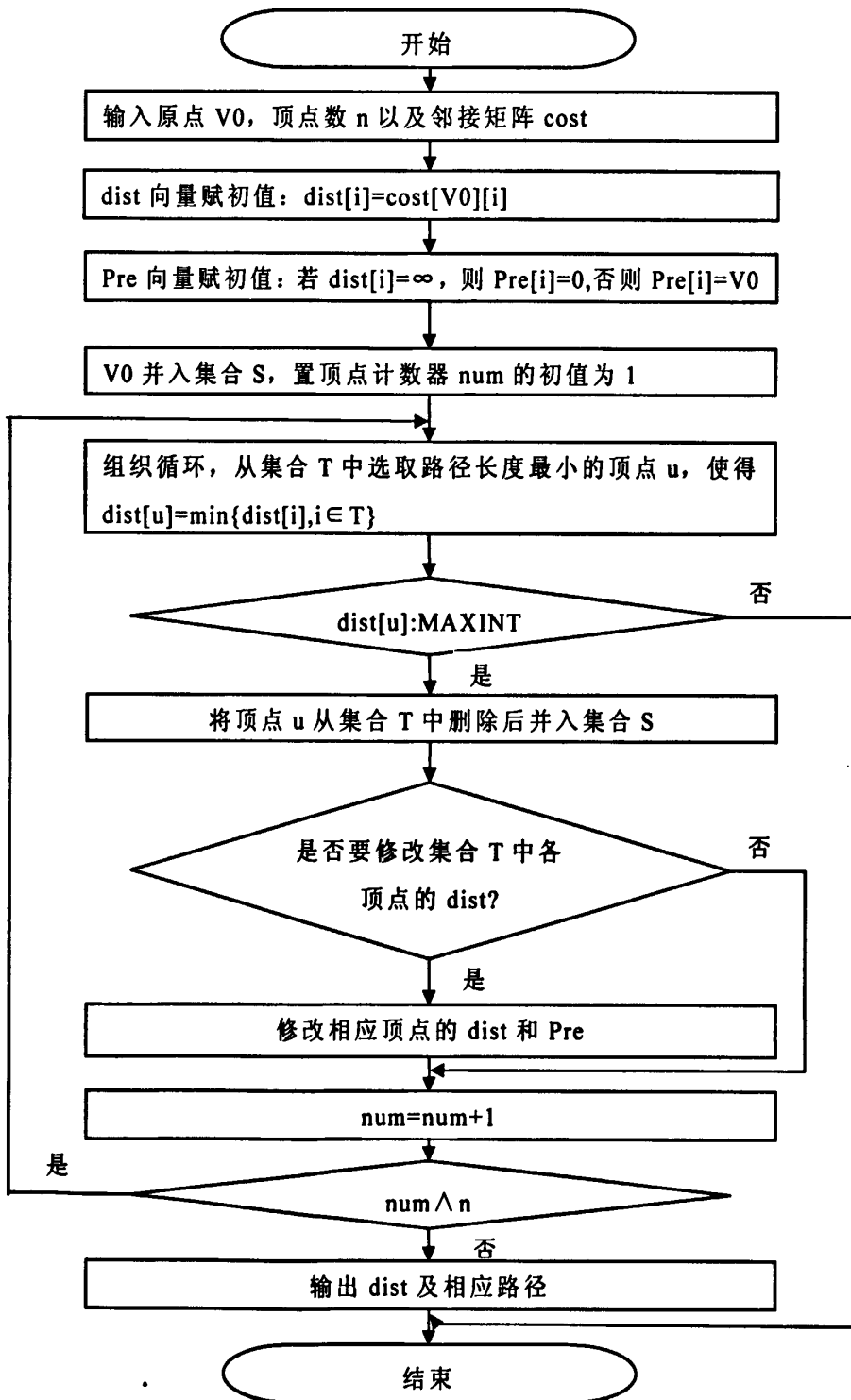


图 4-18 Dijkstra 算法的实现流程图

Fig.4-18 Dijkstra algorithm implemented flow chart

4.7.5.2 小车控制模块

小车控制模块涵盖了小车的所有功能指令，包括小车的前进后退及左右转弯指令，自动/停止指令，小车参数的设置，路径参数的相关设置以及通讯设置等，小车控制模块的界面如图 4-18 所示。

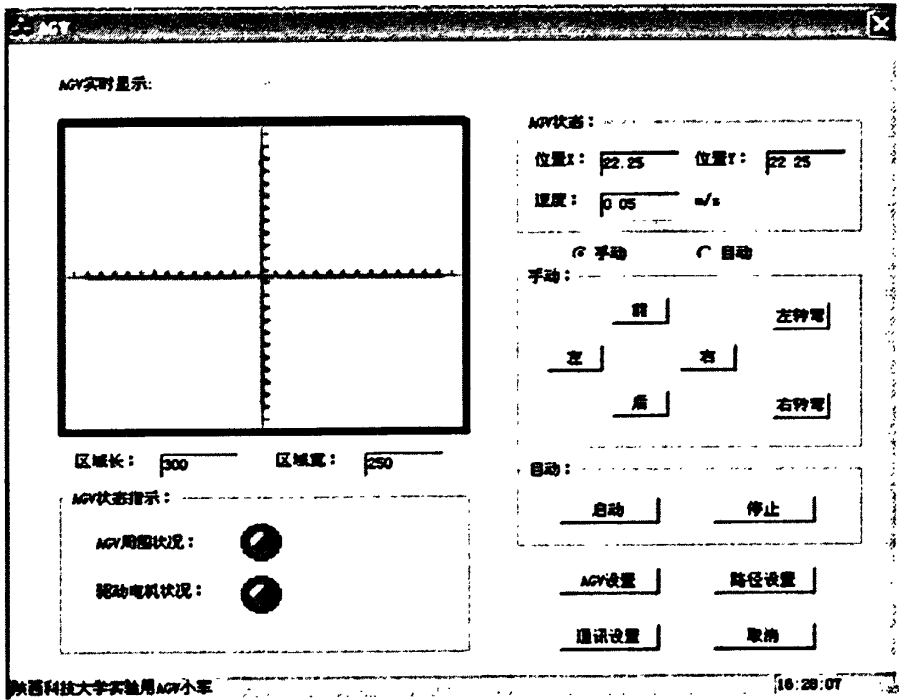


图 4-19 AGV 小车控制模块界面

Fig.4-19 AGV car control module interface

于 AGV 小车手动、自动模式的选择，路径设置及 AGV 设置的问题在此不再赘述，仅就通讯设置模块进行具体阐述。通讯设置界面如图 4-19 所示。

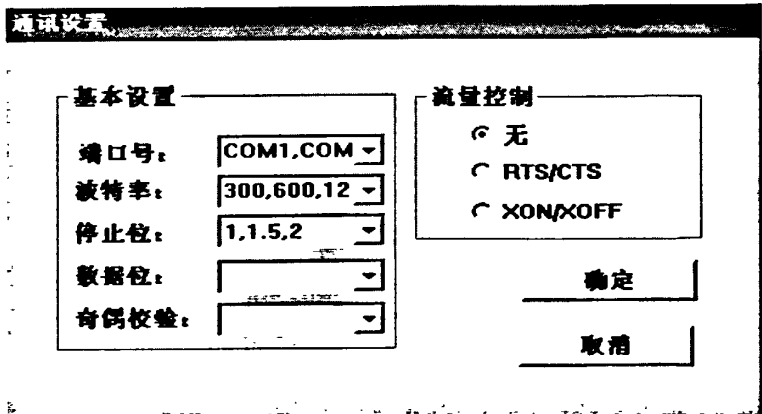


图 4-20 通讯设置界面

Fig.4-20 Communications set interface

在对网络编程时候的方案进行选择的时候,由于是以普通 PC 作为公共平台,因此,采用了最常用的一种网络编程模式—客户机/服务器模式。这种模式为非对称编程模式中的一种。此类模式的基本思想是把应用集中,然后再划分成不同功能的两个部分,使其能够在不同的计算机上运行,并通过二者的分工实现一个完全的功能应用。就此种模式来说,就是把其中一部分的需要作为服务器使用,用其来响应并为客户端提供足够稳定的服务;另外一部分则是作为客户机程序来使用的,主要功能是向服务器程序提出请求或要求某种服务。

本文采用了 TCP/IP 协议作为服务器/客户端模式的编程协议,且选用的面向连接方式的流式套接字。基于 TCP/IP 的服务器/客户端模式下的编程原理为:服务器端和客户端都必须建立套接字,且必须是服务器先进入监听的工作状态,之后发出连接请求的才是客户端套接字,在收到客户端发出的请求后,服务器端则需要建立另外一个套接字以保证通信不丢失,此时原来负责监听的套接字得到释放仍继续其监听功能。此时,如果收到新的客户端通信请求,则需要建立另外一个新的套接字。在默认的情况下,服务器端一次最多能够同时接受 5 个客户端的连接请求,并能够建立起完整的通信关系^[9]。

在服务器/客户端的通信模式下,服务器与客户端在开始时候使用的都是 Microsoft Windows 的网络程序接口 Windows Sockets^[9],它是在继承了 Berkeley sockets 的必要特征的基础上,对 Berkeley sockets 进行了重要扩充的结果,其增加了一些符合 Windows 环境消息驱动特性的函数。

相对服务器端程序来说,客户端的程序就相对轻松,在客户端程序打开套接字后,可以通过 connect()和服务器端建立连接。如果连接能够成功建立,服务器端就能够通过连接和客户端交换信息,在信息交换完成后,二者调用 closesocket()函数套接字结束此次通信。

为了减少网络的流通量,对于要传输的数据进行了重定义,定义其网络数据结构如下:

```
Typedef union DATA
```

```
{
```

```
    int iValue;
```

```
    float fValue;
```

```
    bool bValue;
```

```
}VALUE;
```

```
Typedef struct CrtDbRecord
```

```
{
```

```
    Unsigned short ID;    //变量 ID
```

```
Unsigned short Type; //变量类型
VALUE Data;          //变量值
}Tosend;
```

根据上述数据结构组织网络通信数据的收发，实现了在两台 PC 间的服务器端和客户机端的程序的开发应用。面向连接的流式套接字流程如图 4-20 所示。

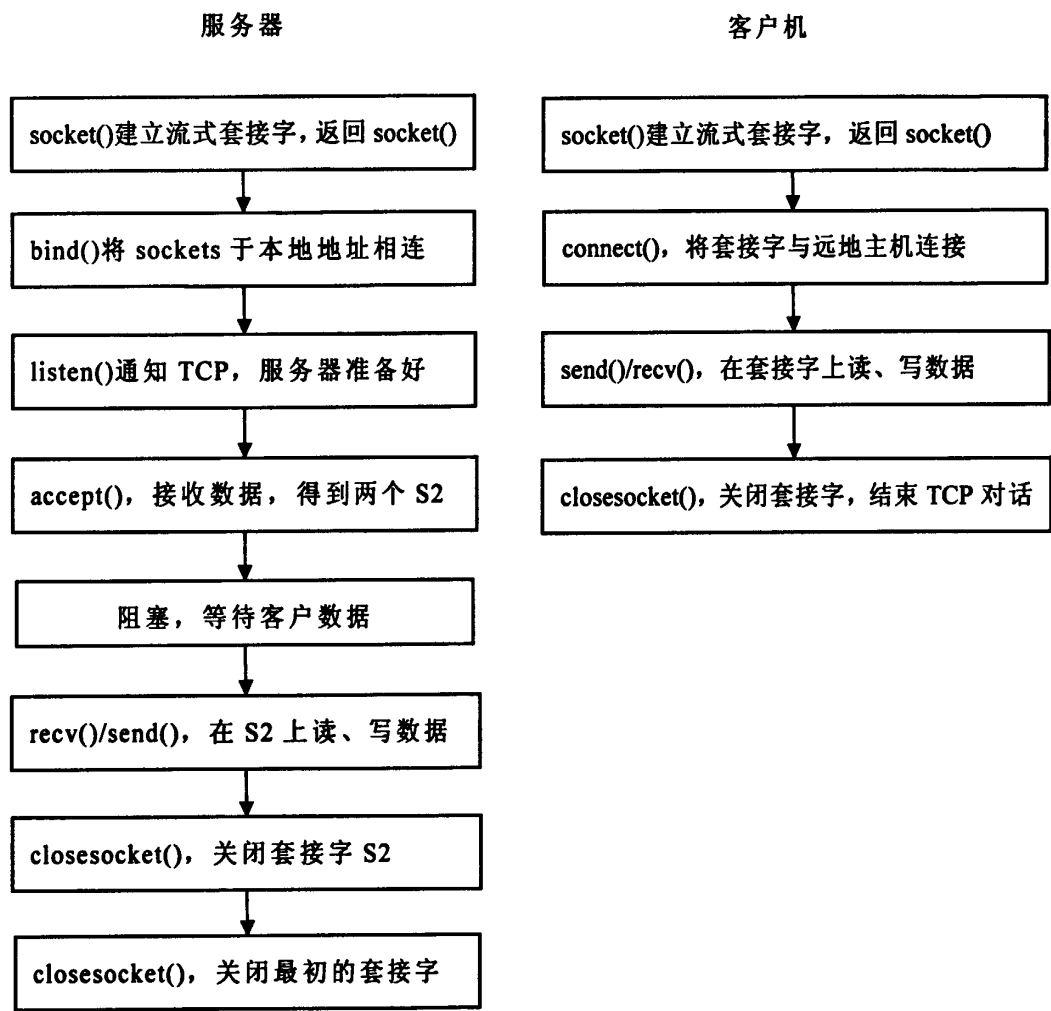


图 4-21 面向连接的流式套接字流程图

Fig.4-21 Connection-oriented streaming socket flow chart

5 AGV 小车实验研究

5.1 小车行走实验验证

5.1.1 驱动电机零负载工况

在驱动电机不连接车轮的理想工况下，对 AGV 进行了理想解的实验研究，在考虑无论是前进或是后退状态的工况其实就是 AGV 左转和右转的合成，因此，仅对 AGV 左、右电机进行了分别实验。

首先是左转工况，其次是右转工况。由于是零负载理想状态，因此仅需要对左转工况进行实验。实验结果如表 5-1 所示

表 5-1 电机零负载实验

Tab.5-1 Motor zero load experiment

脉冲频率 (Hz)		理论值 (°)	实际值 (°)
电 机	100	1×360°	1×360° +0.1°
		2×360°	1×360° +0.1°
		4×360°	1×360° +0.1°
		8×360°	1×360° +0.1°
	500	1×360°	1×360° +0.1°
		2×360°	1×360° +0.1°
		4×360°	1×360° +0.1°
		8×360°	1×360° +0.1°
	1000	1×360°	1×360° +0.2°
		2×360°	1×360° +0.2°
		4×360°	1×360° +0.2°
		8×360°	1×360° +0.2°
	3000	1×360°	1×360° +0.5°
		2×360°	1×360° +0.5°
		4×360°	1×360° +0.5°
		8×360°	1×360° +0.5°

实验结果分析：表 5-1 中的理论值和实际值之所以产生偏差是因为：在步进电机转过指定角度时，增量式光电编码器实时测得一个值，此时就需要产生一个中断，PC 机立即控制运动控制卡停止发送脉冲式电机停止，时间是微秒级的，再加上电机的转动惯量的影响，误差产生了。而从表中也可以直观的得出以下结论：误差是与电机的转速成反

比的。

5.1.2 驱动电机额定负载工况

在 AGV 空载的情况下，没有额外负载，把 AGV 自重等产生的载荷进行理想状态下等量转化，则此时的实验工况是对驱动电机添加一额定负载，在额定负载工况下对 AGV 左右电机进行实验。

首先是讲 AGV 进行初始化，位置为 (0, 0)，先让 AGV 前进，再后退。实验结果如表 5-2 所示。

表 5-2 驱动电机额定负载实验
Tab.5-2 Drive motor rated load experiment

脉冲频率 (Hz)	试验描述	理论值 (cm)	实际值 (cm)
2000	前行 5 转	(0, 295.3097)	(0.6, 294.3)
	后行 5 转	(0, -295.3097)	(0.5, -294.3)
	前行 2 转	(0, 118.1238)	(0.3, 117.1)
	后行 2 转	(0, -118.1238)	(0.3, -117.1)
500	前行 5 转	(0, 295.3097)	(0.4, 294.8)
	后行 5 转	(0, -295.3097)	(0.4, -294.8)
	前行 2 转	(0, 118.1238)	(0.2, 117.7)
	后行 2 转	(0, -118.1238)	(0.2, -117.7)
3000	前行 2 转后行 2 转	(0, 0)	(0.8, -1.0)
500	后行 2 转前行 2 转	(0, 0)	(0.5, 0.7)

实验结果分析：电机转速在额定负载的工况下是与误差成反比的，这点与空载实验一致。在前行或后退不超过 3M 时，X、Y 方向的误差不超过 1.5cm。

5.2 增量式编码器实验

本实验采用的 BG1Z 型的增量式编码器来采集电机的转速及方向^[3]，其技术参数为：

- a) 最大的脉冲计数是 200;
- b) 采用的是推挽式的输出方;
- c) 最大转速是 6000r/Min;
- d) 工作电压是：DC10v~20v;
- e) 起动力矩<1.0Ncm;
- f) 最大的轴负载：轴向是 40N，径向是 60N;
- g) 输出电流 50mA 带短路保护;

h) 最短机械寿命是: $2.5 \times 10^{10} r$ 。

在实验时, 首先把编码器和电机通过联轴器连接在一起, 然后按照编码器的接线要求进行接线。红线: +12V; 绿线: 0V; 棕线: A; 黄线: B。将四根线分别与控制卡上的 CN5 正确连接。

在通电后从程序中观察 T3 的数值, 控制卡能够通过其既定的函数调用读出编码器的值, 再通过计数值的变化能够得出电机的方向, 其波形示意图如图 5-1 所示。当读得的计数值是正值时, 电机正转, 反之, 电机则反转; 通过对计数值的两次录入, 然后把所得的值相减可知电机的脉冲数, 然后在根据编码器的参数及 AGV 车轮的直径通过计算能够得出 AGV 所行走的距离。

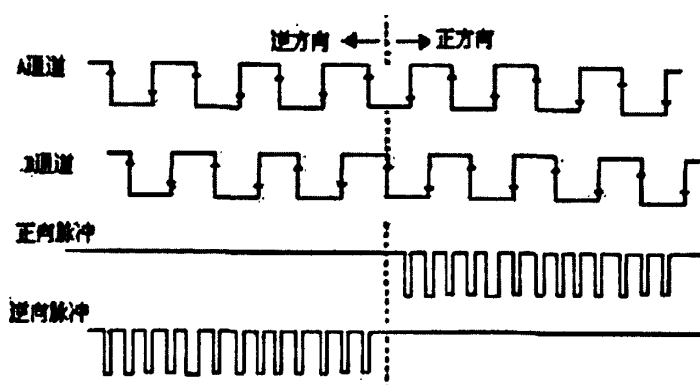


图 5-3 BG1Z 型增量式编码器正反转波形

Fig.5-3 Type BG1Z incremental encoder and reversing waveform

5.3 本章小结

本章通过对电机的空载和额定载荷两种工况进行分别实验, 对其在固高 GE-400-SV 运动控制卡的控制下电机的误差情况做了比较分析, 验证了选用此种控制卡对 AGV 进行差速控制的可行性, 并且验证了 BG1Z 型编码器与电机的适配性, 为后续 AGV 的整个系统实验做好了准备。

6 全文总结与展望

6.1 全文总结

自动导引小车 (AGV) 的研究涵盖面较广, 涉及的领域比较多, 是一个典型的多领域、跨学科的机电一体化集成系统。通过对国内外的相关文献资料的阅读和理解, 对 AGV 的运动控制系统进行了深入的探讨和研究。本论文把研究重点放在 AGV 的运动控制模式研究及控制系统的应用研究上, 具体工作如下:

(1) 对 AGV 小车的车体结构进行了静力学分析, 并建立了 AGV 的动力学模型, 得出了 AGV 的约束方程, 通过对 AGV 的运动学方程进行分析, 以单个驱动轮为例, 总结并得出了 AGV 的单轮受力平衡方程。分析了载荷分布的不同对 AGV 的相关参数所产生的影响。选定两驱动轮间的几何中心点, 得出 AGV 小车的线速度和角速度方程及其在某一时刻的位姿方程, 并利用 MATLAB/SIMULINK 软件对 AGV 的动力学模型进行了仿真, 验证了在 AGV 进行转向时, 一轮静止, 一轮运动转向的可行性, 为 AGV 的控制系统开发提供了理论依据。

(2) 对基于 PC 的运动控制技术进行了分析研究, 构建了以固高 GE-400-SV 运动控制卡为控制核心的 AGV 运动控制系统, 研究了控制卡的控制模式和相关性能, 搭建出了“PC+运动控制卡”模式的控制平台, 完成了 AGV 运动控制系统的硬件基本选型, 编写了以 VC++6.0 作为软件开发平台的 AGV 测试软件, 并利用 AGV 的动力学模型及分析完成了 AGV 基本动作程序的编写工作, 并对 AGV 的路径规划、视觉导航和无线通信等模块进行了分析研究。

(3) 完成了 AGV 所用电机和编码器的基本测试, 得出了 AGV 在此控制系统下的第一手测试数据, 为后续的 AGV 整机实测做了先期的准备工作。

本文的创新点:

运用实时性较好的嵌入式操作系统 WinCE3.0 为基础建立了满足 AGV 实时通信的 AGV 运动控制系统, 极大的缩短了基于 PC 的 Windows 操作系统的多任务、批处理所造成的时间延迟。提出了唯一节点标识和方向标识符相结合的方法, 在实现对 AGV 连续控制的基础上, 通过唯一节点的采集, 准确判断 AGV 当前位姿, 实现了 AGV 的自动导引。

6.2 展望

由于水平有限, 因此, 尽管搭建出的 AGV 小车平台能够实现和上位机的无线通信, 并能够根据小车的自动和手动指令进行基本动作, 但是, 总体上来讲, 还是显得很粗糙, 下一步拟在以下方面进行改进:

(1) 动力学模型的建立还不够精确, 拟在 AGV 定型后建立 AGV 的精确动力学模型, 不但要进行仿真, 还要以具体的实验来进行实际验证和改进。

(2) AGV 的控制系统的软件功能还比较单一, 仅满足 AGV 的小车基本动作需要, 仍需要以此为基础, 丰富 AGV 的其他功能。

(3) 对于视觉导航的研究还不够深入, 尤其是对所采集的图像的分析算法的研究应该作为重点, 这对 AGV 的导航模型的建立十分重要, 它对导航的精度是一个很大的影响因子。

(4) 对于整个 AGV 运动控制系统的开发, 本文仅仅完成了硬件的选型、平台的搭建和系统软件中 AGV 基本动作功能的编写工作。需要就路径规划、视觉导航、图像识别算法等方面作出进一步的深入研究。

致 谢

本论文能够顺利完成，最应该感谢的就是恩师夏田教授对于我的谆谆教导，言犹在耳，鞭策着我不断进步。夏老师在教学上治学严谨；在工作上精益求精；在生活上对我们的照顾也是无微不至。在此，对夏老师由衷的说一声：“谢谢！老师，您辛苦了！”

感谢马晓刚、刘洋、高帅、柳鹏、李志愿对我的支持和鼓励，在枯燥和漫长的学习研究过程中，他们亦师亦友的陪伴在我的身边，在课题完成之际，由衷的祝愿他们幸福、安康！同时，我也要向在背后一直支持我的家人表示感谢！

感谢陕西科技大学机电工程学院的各位老师对我的帮助和关心。在陕西科技大学的三年学习时间将是我人生征程中浓墨重彩的一笔，是我人生中的宝贵财富。祝愿母校腾飞！

参考文献

- [1] 陈超, 叶庆泰. 基于图像引导的自动导引小车系统设计. 机械设计与研究, 2004, 20 (1): 65-67.
- [2] 赵鹤君. 国外 AGV 的发展、应用与展望. 铁道物资科学管理. 1993 (3): 8-10.
- [3] 张晓萍. 现代生产物流及仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [4] 徐友春, 王荣本. 世界智能车辆近况综述[J], 汽车工程, 2001, 23 (5): 289-295.
- [5] 纪寿文等. 国内外智能车辆研究进展. 中国交通研究与探索 (上册). 第三届全国交通领域青年学者会议, 武汉, 1999.
- [6] 郭克友, 王荣本, 储江伟. 智能车辆在物流领域的应用. 天津汽车, 2005, (3): 24-27.
- [7] 张正义. AGV 技术发展综述. 物流技术与应用, 2005, (7): 67-63.
- [8] 唐文伟. AGV 在物流领域中的应用前景分析. 物流技术, 2001, (03): 7-8.
- [9] 张在房. 基于电子地图的视觉 AGV 导航控制系统研究. 山东轻工业学院学报. 2005. 2
- [10] 胡春华等. 一种基于移动机器人视觉的实用数字识别方法. 制造业自动化. 2006. 5;
- [11] 王荣本. 新型视觉导航 AGV 的优势与应用前景. 物流技术与应用. 2005. 7;
- [12] 刘金琨. 智能控制 (第二版). 电子工业出版社;
- [13] 刘立冰, 朱国锋. 嵌入式 Linux 与现代模具加工设备[J]. 电加工与模具, 2003. (01): 6~11;
- [14] 关宏, 张勇智, 张勇. 自动引导车系统的结构及组成[J]. 物流技术与应用, 2004. (10): 80~84;
- [15] 昆船 AGV 输送集成系统 ATIS[DB/OL]. 2006;
- [16] 张正义. AGV 技术发展综述[J]. 物流技术与应用, 2005. (7): 67~73;
- [17] SHI En xiu. A New Method of Global Path Planning for AGV. International Journal of Plant Engineering and Management. 2006. 3;
- [18] G.Pritshow. Open System Controllers-A Challenge for the Future of the Machine Tool Industry[J]. Annals of the CIRP, 1993. 1(42): 449-452;
- [19] Y. Altintas. Open Architecture Modular Tool Kit for Motion and Machining Process Control[J]. Annals of the CIRP. 1998. 1(47): 295-300
- [20] Everett, H.R.. Sensors for Mobile Robots, Theory and Applications[M]. New York, Natick, MA, A.K. Peters, Ltd, 1995.
- [21] Roland Segwart. Illah R. Nourbakhsh. Introduction to Autonomous Mobile Robots, Massachusetts Institute of Technology, 2009. 9. 32-34;
- [22] Lazanas, A., Latombe, J.-C., "Landmark-Based Robot Navigation," in Proceedings of the Tenth National Conference on AI. San Jose, CA, July 1992.

- [23] Alfieri.M.Cantamessa.Heuristics for Puzzle-based Storage Systems Driven by a Limited Set of Automated Guided Vehicles.Springer Science and Business Media.2010.10.
- [24] Daftari,Anuj P.A LabVIEW program for the stimulation of a vergence open-loop response,Bioengineering,Proceedings of the Northeast Conference Proceedings of the IEEE 30th Annual Northeast Bioengineering Conference v30 004.
- [25] H-Kyun Jung, Suk_Kyo Hong, Hyoun-Chul Choi, Young-bong. Path Planning and Obstacle Avoidance of Robot Using New Wall-Following Algorithm. In:Proc Asian Control Conf. Shanghai, CN 2000: 1628-1633.
- [26] Richard Parnas, Log on to Remotely Control Robots, Advanced Manufacturing Technology,1997,18 (12): 3-5.
- [27] Chow W M. Development of an automated storage and retrieval system for manufacturing assembly Lines. IEEE, 1986: 490-495.
- [28] W. Huber, Autonomously driving on vehicle test tracks: overview, motivation and concept[A], Proc. IEEE Conference Intelligent Vehicle[C], 1998: 445-450. .
- [29] Lee Doo Yong and DiCesare Frank. Scheduling flexible manufacturing systems using Petri nets and hybrid heuristic search. IEEE Trans. On Robotics and Automation. 1994,10 (2): 123-133.
- [30] Goutam Satapathy, Kumara Soundar R T. Leah M. Moore. Distributed intelligent architecture for logistics (DIAL) [J]. Expert Systems With Applications, 1998,14: 409-424.
- [31] Sage, K. and S. Young. Computer vision for security applications. 1998: 2-5.
- [32] Francesco A., Francesco B., Ciro C., et al. An approach to control automated warehouse systems[J]. Control Engineering Practice, 2005,13: 1223-1241.
- [33] 宋立博, 李劲松, 费燕琼. 四轮差动驱动型 AGV 嵌入式运动控制器设计与研究[J]. 中国机械工程, 2008, 12.
- [34] 艾青, 詹跃东, 王晓亮, 经坤. 视觉 AGV 差速转向控制方法研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 34.
- [35] 张晓朋, 夏田, 蒋新萍. 基于 PMAC 运动控制卡的 AGV 控制系统设计[J]. 机床与液压, 2009, 7.
- [36] 王智勇, 姬婧媛. AGV 小车的控制系统的设计与开发[J]. 桂林航天工业高等专科学校学报, 2007, 4.

攻读学位期间发表的学术论文目录

- [1] 夏田,李医中,白 鹏.《一种差速转向的 AGV 动力学分析及仿真》[J]. 煤矿机械. 2012. 3
- [2] 夏田,李医中.《基于固高运动控制器的 AGV 运动控制系统》[J]. 制造业自动化, 已录用. 2012. 7
- [3] 夏田,李医中,王靓,张斌,何智,代峰. 一种可升降辊子式移栽装置[P]. 实用新型专利, 专利号: ZL201120008766.6
- [4] 李医中,夏田.《基于 CPAC 运动控制卡的 AGV 控制系统开发》[J]. 机电工程技术. 2011. 10

原创性声明及关于学位论文使用授权的声明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：_____ 日期：20 年 月

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解陕西科技大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权陕西科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并通过网络向社会公众提供信息服务。

（保密论文在解密后应遵守此规定）

论文作者签名：_____ 导师签名：_____ 日期：20 年 月

