

基于视觉的AGV两轮差速转向模糊控制

张立明¹,王振宇²,王翊²,詹跃东²

(1. 昆明大学 电子信息与机械工程系, 云南 昆明 650094; 2. 昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650051)

摘要: 简要地介绍了基于机器视觉导向的AGV两轮差速转向的原理和组成,并对计算机控制系统设计,图像信息识别等AGV控制问题进行了阐述,提出了一种采用模糊控制方法对AGV两轮差速转向进行控制.实验结果表明,采用模糊控制方法对两轮差速转向进行控制,样车运行过程稳定,路径跟踪可靠,控制性能良好.

关键词: 差速转向;模糊控制;自动引导车辆;计算机视觉

中图分类号:TP391 文献标识码:A 文章编号:1007-855X(2007)04-0028-05

Fuzzy Control of a Two - Wheel Difference Speed Steering AGV Based on Vision

ZHANG Li-ming¹,WANG Zhen-yu²,WANG Yi²,ZHAN Yue-dong²

(1. Electronic Information and Mechanical Engineering Department, Kunming University, Kunming 650094, China;

2. Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: The principle and composition of a two - wheel difference speed steering AGV based on machine vision guiding are simply introduced, and the problems about the computer control system design, image information recognizing and so on are also generally presented. The fuzzy controller design is put forward to control the two - wheel difference speed steering AGV. The experimental results show that the two - wheel difference speed steering AGV controlled by the fuzzy controller could move steadily, follow path reliably, and carry out the control performances well.

Key words: difference speed steering; fuzzy control; Automated guided vehicle system; computer vision

0 引言

自动导向车辆(Automated Guided Vehicle,AGV)目前主要应用于柔性加工系统、柔性装配系统、自动化立体仓库以及其他一些行业作为搬运设备^[1].利用机器视觉,通过识别路径上的条带状路标实现自主导向是现阶段智能AGV车辆研究的导向方法之一.随着计算机控制技术与传感器技术的广泛应用和自动导向技术的不断发展,基于机器视觉、激光、红外以及超声的导向技术引起了人们的关注.其中机器视觉图像识别有线式导向方法具有导向路径设置和变更简单方便、技术成本和使用费用低、系统柔性好等突出特点^[2,3].

模糊控制器不需要根据机理分析建立被控对象的数学模型,与传统控制方法相比,模糊控制系统依赖于行为规则库,由于是用自然语言表达的规则,更接近于人的思维方法和推理习惯.因此,便于现场操作人员的理解和使用,便于人机对话,以得到更有效的控制规律.

本系统的构建是机器视觉得以实现的前提,可为智能AGV车辆的视觉导向的实现提供保障,并为其后的智能车辆避障及路径规划与跟踪提供支持.

1 V-AGV系统的硬件设备

AGV由车体、蓄电池、充电系统、驱动装置、转向装置、精确停车装置、车上控制器、通信装置、信息采

收稿日期:2006-12-08.基金项目:云南省自然科学基金(项目编号:2003F0029M).

第一作者简介:张立明(1964-),男,硕士,讲师.主要研究方向:自主式智能系统. E-mail: zhangliming@163.com

样子系统、移栽装置和方位计算子系统等组成。

视觉导引系统按照功能可分为3个层次:①感知层:实时地采集与导引控制有关的信息,包括路面图像信息和转向轮当前的转动位置信息等,主要由 CCD 摄像机、图像采集卡、光电编码器构成;②决策层:处理感知层采集到的信息,并根据处理结果依据某种控制策略发出控制指令,主要由1台计算机、1块集模拟量数字量的输入输出等功能于一体的多功能板及其接线端子板构成;③执行层:主要由电机及其控制器减速机构等构成接受决策层发出的指令并执行相应的操作^[4]。

综合 V-AGV 的特点和硬件结构原理,根据本课题的要求,实际采用图1的 V-AGV 视觉导向系统的硬件体系结构进行具体设计^[5]。

2 差速转向及曲线运动分析

由于 AGV 采用两轮独立驱动并且通过差速来控制转向的驱动/转向方式,而两轮差速式转向是将两独立驱动轮平行同轴线固定于车体中部,内部结构如图2,通过调节两轮的转速和正反转,可实现沿不同曲率路径运行并能进行原地转向^[6]。因此,其曲线运动半径或转动方向可通过控制两车轮的速度差 ΔV 或旋转方向的不同来实现。两轮的转动方向相同时,当 $v_r > v_l$, 车辆左转; $v_r < v_l$, 车辆右转; $v_r = v_l$ 时, 车辆直行。两轮的转动方向相反时,当 $v_r > v_l$, 车辆左转; $v_r < v_l$, 车辆右转; $v_r = v_l$ 时, 可实现原地转向。当 V-AGV 作曲线运动时, 设沿着车辆纵轴线中心的速度 v_a 为:

$$v_a = (v_r + v_l) / 2 \tag{1}$$

$$\text{车辆的旋转角速度为: } \frac{d\alpha}{dt} = (v_r - v_l) / L \tag{2}$$

$$\text{式中 } L \text{ 为车轮间距。则车辆的复合速度 } V \text{ 为: } V = v_a + L \frac{d\alpha}{dt} \tag{3}$$

$$\text{由(3)得: } d\alpha = [(v_r - v_l) / L] dt \tag{4}$$

$$\text{上式两端同时积分得: } \int d\alpha = \int [(v_r - v_l) / L] dt \tag{5}$$

设 $t = 0$ 时, $\alpha = 0$; 且 $v_r - v_l = \Delta V$, 则在时间 t 内有: $\alpha = \Delta V \cdot t / L$

3 视觉信息的识别

采用机器视觉导向的 AGV 在自动行驶过程中, 路径的跟踪是以路径标线的图像信息为基础, 即以图像识别的结果来控制运动方向。而运动状态的控制, 则以标识图像信息为基础, 如加速、减速、转向和停车等。因此, 图像采集与识别的速度和精度是能否达到实时准确和可靠控制车辆运动的关键问题^[7]。

3.1 图像采集

视频图像采集处理系统由 CCD 摄像机、图像采集卡和计算机系统组成。CCD 摄像机将采集到的彩色视频信号输入到采集卡中, 经数字解码和 D/A 转换后, 再进行比例缩放、裁剪等预处理, 并通过 PCI 总线传到 VGA 卡实时显示或送到计算机内实时存储。

系统采用 DH-QP300 图像采集卡, 该卡利用 PCI 桥路技术, 能够对 4 路视频 4 路音频同时进行采集, 4 路图像全动态显示, 即可以在计算机上多画面显示视频图像, 以数字多画面代替传统的多画面分割

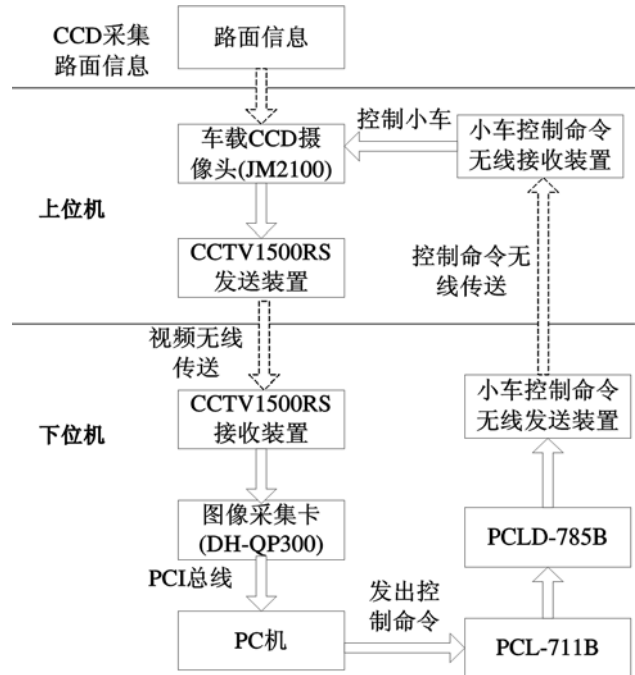


图1 视觉导向系统的硬件体系结构
Fig.1 Hardware system structure of the V-AGV

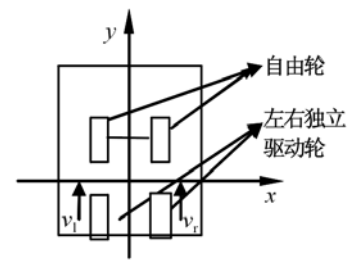


图2 差动车轮布局示意图
Fig.2 Layout of the difference speed steering

器,图像质量良好,成本低.由 CCD 采集的路径标线的图像,包含着车辆在某时刻相对于路径标线的位置信息,即车辆的纵轴线与路径的交角(α)以及与路径之间的偏移距离(e),如图 3.但在所采集的图像中,除包括路径和标志信息外,还可能存在着因为地面反光或标线污染等干扰信息.所以,必须对图像进行处理,才能达到可靠导向的目的.

3.2 识别算法

由于 AGV 的 CCD 摄像机所获得的是近视野图像,因此,可认为图像窗口内的路标线为直线,故采用线性拟合路径模型,以节省 CPU 处理的时间.路径识别的步骤如下^[8]:

- 1) 图像抽取与中值滤波;
- 2) 阈值确定与二值化;
- 3) 图像锐化处理并确定路径标线在图像坐标系中的像素位置及宽度,即路径标线中心像素的位置;
- 4) 用最小二乘法对路径标线中心像素进行拟合,以确定路径标线在图像坐标系中的方位参数 e 和 α .

理论上,只要有两点就可以确定唯一的直线.在图像处理时,只需要抽取每幅图像中的几行(列)进行计算就能达到目的.这样既可以使滤波算法简单,也减少了运算量并提高了识别速度.因此,需要缩短控制周期.另外,阈值确定与二值化处理是指对每行(列)像素的灰度值进行分类,即以合适的阈值将每行(列)的像素分成标线和背景两部分.图像的锐化将使标线和背景的边界更为明显,锐化处理增强了图像的边沿,将有利于采用边缘检测方法进行路径的识别.

设路径标线图像的中心线在以图像窗口中心为原点的坐标系中的方程为:

$$y = ax + b \quad (6)$$

其中 a 为路径标线中心线在图像坐标系中的斜率; b 为路径标线中心线在纵轴上的截距.

用最小二乘法确定 a 与 b 的值,并且可以确定路径标线在图像坐标系中的位置偏差参数(e)和方向角参数(α)为:

$$e = -b/a \quad (7)$$

$$\alpha = \arctan(a/b) \quad (8)$$

这两个参数可作为控制系统的输入量,以控制 AGV 对运行路径的跟踪.

4 模糊控制器设计

采用机器视觉识别路径标线的方法对 AGV 进行导向时,虽然导向柔性好,但是对运动路径跟踪的稳定性要求也高.若采用传统 PID 控制,则会产生一个很大的超调量,使系统不停地振荡,因此传统的控制方法很难达到精确控制.采用模糊控制,则不需要建立控制过程的精确的数学模型,可以绕过精确数学模型的建立对系统进行控制,是一种智能控制^[9].

本文采用双输入单输出结构的模糊控制器,对设定路径进行跟踪.输入量分别取为 AGV 车体纵轴线相对于视场中路径中心线的位置偏差 e 和方向偏差 α ,其值由 V-AGV 视觉系统获得的参数(见图 3),输出量为转向轮相对于车体纵轴线的偏转角 β .

4.1 模糊化

根据实际情况,取 e 的基本论域为 $[-240\text{cm}, 240\text{cm}]$, α 的基本论域为 $[-30^\circ, 30^\circ]$,超过时 V-AGV 脱线处理.转向轮由于受物理结构的限制最大偏转角不能超过 60° ,故 β 取的基本论域 $[-60^\circ, 60^\circ]$.当路径中心线在车体纵轴线的左边时 e 为负,右边时 e 为正, α 和 β 都以顺时针转动方向为正.

考虑控制的实时性和控制的复杂程度将 e, α, β 的模糊集论域都取为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$,同样为它们都选取 7 个语言值:NB、NM、NS、ZO、PS、PM、PB 分别表示负大、负中、负小、零、正小、正中、正大,形成 7 个模糊子集.

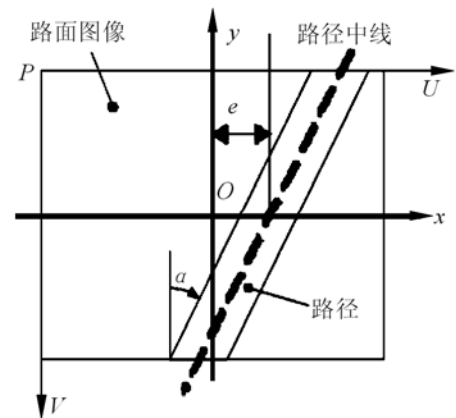


图3 偏差示意图

Fig.3 Deviation of the vehicle

在AGV运行过程中,偏差的产生是随机的,同时为简化计算输入输出变量的模糊子集都采用正态分布的隶属度函数,分布图形如图4所示,并据此建立语言变量的赋值表(表1)^[10].

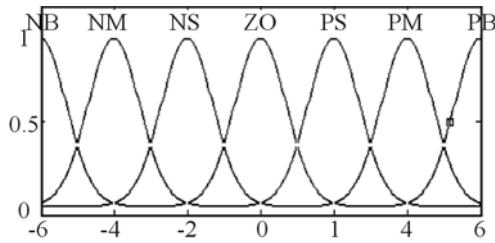


图4 变量隶属度函数分布图
Fig.4 Function distribute for the blongs degree

表1 模糊规则表

Tab.1 Fuzzy rules

α/e	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	ZO
NM	PB	PM	PM	PS	PS	PS	ZO
NS	PM	PM	PS	PS	LS	PS	ZO
ZO	PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NS
PS	NS	NS	NS	NS	NS	NM	NM
PM	NS	NS	NS	NS	NM	NM	NB
PB	RS	RS	RS	RM	RM	RB	RB

4.2 模糊控制规则

当人驾驶车辆时,驾驶员不停地对当前车体与路径之间的相对位置情况做出判断.当偏差出现时,通过调整转向轮的转角,使车体尽快回到路径上运行.驾驶员在做出调整时,实际上是先在前方路径上选择某个点称为期望点,希望车体沿一定的轨迹运行到期望点,在期望点处使车体恢复到完全沿路径运行的状态.期望点的选取与当前车体和路径的相对偏差有关,当车体和路径之间的距离偏差 e 大时,期望点选得远,故转向角大在同样的距离偏差 e 下,方向偏差 α 不同选取的期望点和转向角 β 都不同.可以根据上述人的驾驶经验确定模糊控制规则.兼顾 V-AGV 路径跟踪的稳定性和响应速度,本文归纳出 49 条控制规则,将上述 49 条模糊条件语句加以归纳,可以建立反映转向控制系统的控制规则的模糊控制状态表,如表 1 所示^[9].根据这些推理规则,即可求出总的模糊关系

$$\tilde{R} = e \times \alpha \times \beta \tag{9}$$

当模糊关系 \tilde{R} 确定之后,由输入而给出相应的输出.

4.3 模糊量的清晰化

本文中模糊推理采用最小最大合成法,清晰化采用重心法.某一时刻的输入变量经模糊化处理为模糊量后,按照模糊关系(9)进行最小最大合成推理得到模糊控制输出.重心法求解控制量的精确值 z_0 的公式为:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (u_c(z_i) \times z_i)}{\sum_{i=1}^n u_c(z_i)} \tag{10}$$

依次算出每种输入状态下的模糊控制输出,将模糊量转化为精确量.将上述计算结果制成模糊控制表以供在线查询用^[10].

4.4 实验结果

实验测得模拟小车自动上线时间为 0.6 ~ 1.2 s,当小车方向偏角不大于 35°时,小车能完成自动上线.图 5 和图 6 分别记录了小车初始位置在 $\theta = 20^\circ$ 、 $e = 3.2$ cm 进行自动上线时,每隔 100 ms 采集的一组偏差随时间变化的示意图.图 7 为小车行进过程中正在避让障碍物.

通过测试,样车在 1 m/s 速度下可以顺利跟踪给定路线,并能识别和避开前方障碍物,直线转弯中也有很好的效果,如表 2 所示.因此,可根据模糊控制理论对左右两轮的速度差进行调节,以保证车辆运动过程中对路径的稳定跟踪.

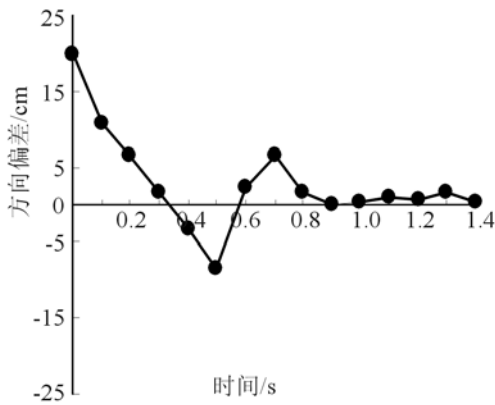


图5 方向偏差随时间变化

Fig.5 Relationship between direction deviation and time

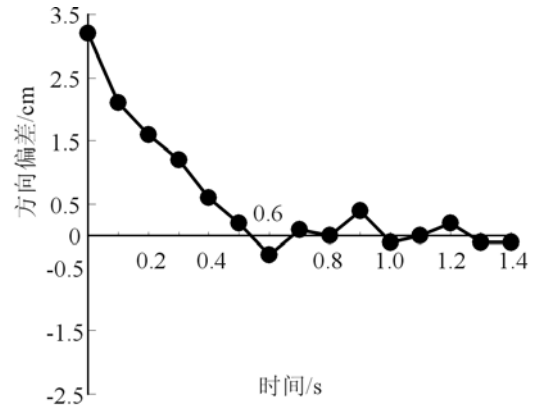


图6 位置偏差随时间变化

Fig.6 Relationship between position deviation and time

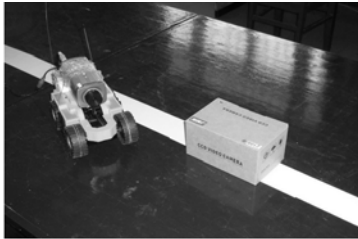


图7 小车避障动作

Fig.7 Vehicle avert from the obstacle

表2 小车运行情况

Tab.2 Circulation of the vehicles

车速	上线	避障	转弯
1 m/s	顺利通过	顺利通过	基本通过

5 结束语

本文研究的基于视觉导向的两轮差速转向 AGV,在转向或曲线运行时,路径跟踪可靠,控制性能好.采用模糊逻辑控制 AGV 运动可有效克服 AGV 路径跟踪系统的非线性和不确定性的不良影响,当自动导向小车处于大偏差状态时能够使其快速纠正,实现了设计目标.

参考文献:

- [1] 高文,陈熙霖,等.计算机视觉算法与系统原理[M].北京:清华大学出版社,1999:22-28.
- [2] 刘二林,詹跃东,宋孙浩.双目视觉在 AGV 导向中的应用研究[J].昆明理工大学学报(理工版),2005,30(5A):56-58.
- [3] Masayoshi Aoki. Image Processing in ITS[C]// IEEE International Conference on Intelligent Vehicle,1998.
- [4] 朱森良,杨建刚,吴春明.自主式智能系统[M].杭州:浙江大学出版社,2000:156-160.
- [5] 王荣本,储江伟,冯炎.一种视觉导向的实用型 AGV 设计[C]//2001 年中国机械工程学会年会论文集.北京:机械工业出版社,2001.
- [6] 汪开达. AGV 控制系统[J].机械工业自动化,1997(3):36-38.
- [7] 应浩.基于视觉的 AGV 路径跟踪及避障研究[D].昆明:昆明理工大学信息工程与自动化学院,2006.
- [8] 范久荣.基于视觉 AGV 路径规划和控制器设计的研究[D].昆明:昆明理工大学信息工程与自动化学院,2006.
- [9] 廉小亲.模糊控制技术[M].北京:中国电力出版社,2003:38-42.
- [10] 何平,王鸿绪.模糊控制器的设计及应用[M].北京:科学出版社,1997:151-153.