

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2013.08.029

激光导引四轮驱动型 AGV 小车模糊控制的研究

朱天宇, 谭琳

(重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

摘要: 针对四轮驱动型自动导引小车(AGV)路径跟随的问题,在对该 AGV 小车进行了分析的基础上建立了其运动学模型,并且基于参数自整定的思想,应用模糊控制理论,设计出了“以横向偏差和角度偏差为输入,进行模糊推理并在线修正比例参数”的模糊控制器。通过调节比例参数实现了每个电机输出转速的改变,最终实现了对 AGV 小车路径跟随和偏差修正的控制;最后在 Matlab-Simulink 环境中进行了仿真。研究表明,控制系统在直线和圆路径跟随上表现良好,其有效性和可行性得到了验证。

关键词: 自动导引小车; 模糊控制; 参数自整定

中图分类号: TP242.2 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)08-1025-04

Fuzzy control of laser guided four-wheel drive AGV

ZHU Tian-yu, TAN Lin

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Aiming at four-wheel-drive AGV car path following problem, a kinematic model of the car was established and analyzed. With parameter tuning and fuzzy control theory, a fuzzy controller was designed. The controller with lateral deviation and angle deviation as input can reasoning and correct proportion parameter online. Each motor output speed was changed by adjusting the proportion parameter, which makes the AGV achieve better performance. The control system was simulated in Matlab-Simulink. The results indicate that the system follows in the linear and circular path on a good performance, the method is effect and feasibility.

Key words: automated guided vehicle(AGV); fuzzy control; parameter self-tuning

0 引言

自动导引小车(AGV)是指具有电磁或光学等自动导引装置,能按预先设定好的路径行驶的运输小车,它已经成为现代物流系统中的关键设备之一。它以电池为动力,以工业控制器或工控机为核心进行自主式导引,并可根据实际需要配备不同的移栽机构,以完成相应的操作任务^[1]。

文献[2]中应用模糊控制和 PD 控制理论对四轮驱动全向移动机器人进行了速度补偿的研究,与本研究的研究对象不同,但是其控制方法可供借鉴。除了模糊控制以外,文献[3]中还提出了一种基于反步设计方法设计的鲁棒轨迹跟踪控制器,并进行了仿真。一般 AGV 小车结构大多都是两轮驱动型或三轮型,其控制对象与本研究的对象也略微有些不同^[4-5]。

本研究的研究对象是一种四轮独立驱动前两轮差速驱动、后两轮跟随驱动的 AGV 小车。这种全方位移动小车负载能力大,且小车在平面上拥有 3 个自由度,可以进行原地旋转、X 和 Y 方向的移动。

本研究设计一种模糊控制器,并利用激光导引实现 AGV 小车的控制。

1 AGV 小车的结构及运动模型

1.1 AGV 小车的结构

AGV 小车的结构如图 1 所示。

AGV 小车采用双前轮差速驱动、双后轮跟随驱动以及四个角分布着无动力的万向从动轮,起平衡和支撑的作用。每个驱动轮都配有一个独立的直流伺服电机,双前轮采用左、右电机的转速差来控制小车的转弯并在双前轮中心安装一个电位计,可测得旋转角

收稿日期: 2013-03-15

作者简介: 朱天宇(1989-),男,重庆人,主要从事机电一体化、机器人方面的研究。E-mail: tianyu.zty@gmail.com

度。当4个驱动轮成一条直线时,小车就能进行原地旋转和侧移。使得小车在到达预定的位置时还能进行姿态的调整来适应不同的工况需求^[6-7]。

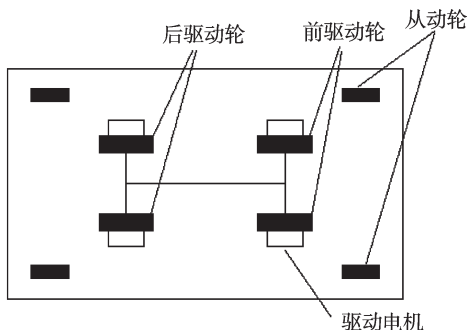


图1 AGV小车的结构

1.2 AGV小车的定位

激光导航的原理是利用激光的准直性和不发散性对AGV所处的位置进行精确定位来指导AGV行走。激光头是安装在AGV顶部的一台设备,每隔数十毫秒旋转一周,发出的激光束是经过调制的。在收到经特制的反射板反射光时,经过解调,即可得到有效的信号。AGV上的工控机及时读入激光器的旋转角度。

行进中的AGV通过车载的旋转激光头发射激光,在激光器扫描一周后,照到反射板,激光原路返回,可以得到一系列反射板的反射角,经过计算,即可算得激光旋转中心的坐标。本研究通过车载计算机计算,得到运输车所在位置,从而按规划的路径来进行AGV的控制。

本研究采用德国SICK公司的NAV350激光导航仪对AGV小车进行定位。当激光头扫描到3块或3块以上的反光板时,可通过反光板与导航仪的相对位置计算出导航仪所在的当前坐标系的坐标 (x, y, θ) ,再与当前路径段进行比较,得出横向偏差 E_y 和角度偏差 E_θ 。

1.3 AGV小车的运动模型

AGV小车运动学模型如图2所示。

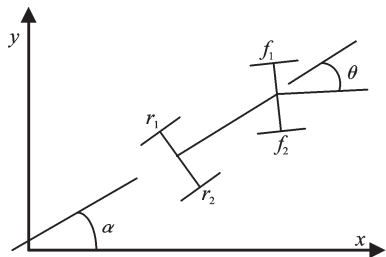


图2 AGV小车运动学模型

f_1, f_2 —AGV小车前左、右驱动轮; r_1, r_2 —AGV小车左、右驱动轮

笔者建立坐标系 XOY 为全局固定坐标系,小车的位姿就由坐标值 (X, Y) 和与 X 轴正方向的夹角 α 来决定。

对AGV小车进行运动学分析,得出小车在坐标系下的运动学方程:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -d \sin \alpha \\ 0 & 1 & d \sin \alpha \\ 1 & 0 & -d \sin \alpha \\ 0 & 1 & d \sin \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \cos(\alpha + \theta) & \cos(\alpha + \theta) & 0 & 0 \\ \sin(\alpha + \theta) & \sin(\alpha + \theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \cos \alpha \\ 0 & 0 & \sin \alpha & \sin \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{f1} \\ v_{f2} \\ v_{r1} \\ v_{r2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $V_{f1}, V_{f2}, V_{r1}, V_{r2}$ — f_1, f_2, r_1, r_2 的4个轮子的线速度; d —前后驱动轮中心距离的一半; α —小车与 X 轴的夹角; θ —前驱动轮中心与小车的夹角,顺时针为负,逆时针为正。

2 控制决策的确定

对AGV小车的控制是通过改变其线速度和角速度来实现的,前者是控制小车的移动速度,后者则是控制小车的转向。一般而言,AGV小车都是以一定的速度进行前进或是后退的,因此改变其角速度就能实现对AGV的路径跟随以及偏差纠正的控制。

四轮驱动型AGV小车类似于人所驾驶的汽车,但是人在驾驶汽车中对汽车的控制是非常容易的,这是因为人通过经验的积累能够进行智能推理。人在驾驶时,通常先要进行路段的观察,衡量车体与将要行驶的路段的横向偏差以及它们之间的夹角。但是这种衡量的标准是大脑的一种模糊概念,如距离远、极远,角度大、偏大等。对于衡量出来的不同组合,人可以推理出转弯的角度以及快慢。

所谓模糊控制^[8-10],既不是指被控对象是模糊的,也不是指控制器是不确定的,它是指在表示知识、概念上的模糊性。鉴于模糊控制的独特优点,模糊逻辑可使电子计算机模拟人的直觉,并依据不确切的信息做出决定。在AGV的控制中,同样需要通过模糊逻辑来描述人驾汽车的控制经验,所以本研究采用模糊控制策略对AGV小车进行控制。

2.1 控制系统的设计

控制系统结构图如图3所示。

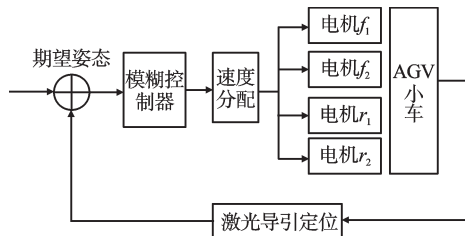


图3 控制系统结构图

笔者利用安装在小车上的激光导航仪进行小车的定位,输出小车在固定坐标系的位置 (x, y, θ) ,然后与期望的姿态进行比较,得到横向偏差 E_y 和角度偏

差 E_θ , 输入偏差至模糊控制器中, 通过模糊推理, 输出调节电机速度的比例参数 K , 通过之前对小车的运动学分析, 调节每个电机输出转速, 最终达到控制小车姿态的目的。

2.2 模糊控制器的设计

模糊控制器结构如图4所示。

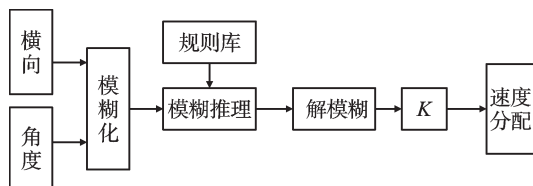


图4 模糊控制器结构图

本研究由激光导航传回的坐标值与预期坐标值进行比较, 将得出的横向偏差 E_y 和角度偏差 E_θ 作为模糊处理的输入变量, E_y 的基本论域为 $[-200, 200]$; E_θ 的基本论域为 $[-20, 20]$; K 的基本论域为 $[-1, 1]$ 。定义小车在预计线路的左边时, E_y 为负, 右边为正; E_θ 以顺时针方向为负。横向偏差和角度偏差分别乘以量化因子, 取整后可得到量化等级。

其以上的基本论域均为7个量化等级 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ 。

模糊子集 $\{NB, NM, NS, O, PS, PM, PN\}$ 对应负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。考虑到三角形隶属度函数的灵敏度高且数学表达和计算较为简单, 所以本研究对 E_y 、 E_θ 、 K 均选用三角隶属度函数。

根据人工驾驶经验及隶属度设计原则, 隶属度函数如图5所示。

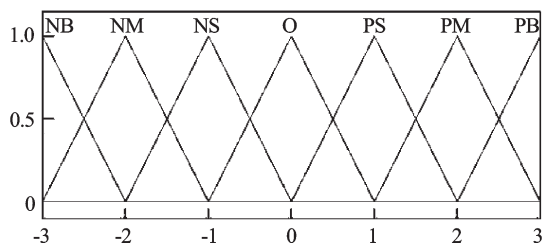


图5 隶属度函数

该控制器为双输入单输出的模糊控制器, 即模糊规则为:

$$\text{IF } E_y = A \text{ and } E_\theta = B \text{ then } K = C$$

其模糊关系为: $R = (A \times C) \cdot (B \times C)$ 。

模糊推理采用 Mamdani 方法, 假设规则是 A and $B \rightarrow C$, 事实是 A' and B' , 欲求结论 C' 。所以可获得比例系数 K 的规则的和模糊关系:

$$R_k = R_1 \cup R_2 \cdots \cup R_{48} \cup R_{49} = \bigcup_{i=1}^{49} R_i \quad (2)$$

根据人驾驶汽车的操作经验总结的49条模糊控制规则表, 如表1所示。

表1 K 的模糊控制规则表

E_y	E_θ						
	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	O	PS	PM	PM	PB	PB	PB
NM	NS	O	PS	PM	PM	PB	PB
NS	NM	NS	O	PS	PS	PM	PB
O	NM	NS	NS	O	PS	PS	PM
PS	NB	NM	NS	NS	O	PS	PM
PM	NB	NB	NM	NM	NS	O	PS
PB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	O

根据表1, 当小车在预定路线左侧, 车体角度为顺时针, 即 $E_y < 0$, $E_\theta < 0$ 时, 当两者偏差为负最大时, 小车可不进行调整, 因为小车本身的姿态正向这预定路线前进; 当车体横向偏差不变, 角度为负中或负小时, 可对小车的姿态作正小或正中的略微调整; 同理对于当小车在预定线路右侧时, 通过表1的规则也能够做出调整。模糊控制器的输出是一个模糊集合, 需要从输出的模糊子集判决出一个精确的控制量。常用的模糊判决方法有3种, 即最大隶属度法、中位判决法及加权平均法。前面两种的去模糊化方法概况不够全面, 所以本研究对所得到的控制量 K 的模糊集合采用加权平均法作为去模糊化的方法。

将其输出的模糊值除以量化因子即可得到输出量的精确值 K , 再经过处理就可直接控制4个电机的转速, 达到调节车体姿态的目的。

3 仿真

本研究对模糊控制器量化及比例因子, 取 $K_y = 1/60$, $K_\theta = 1/8$, $K = 3$ 。采用 Matlab 分别对直线和圆进行路径跟随的仿真实验。

3.1 直线路径

直线方程: $y = x$; AGV 小车的初始位置为 $X = 100$, $Y = 50$, $\theta = 0.6$ rad。

仿真结果如图6~8所示。

3.2 圆路径

圆方程:

$$2(x - 500) + 2(y - 500) = 3\,002 \quad (3)$$

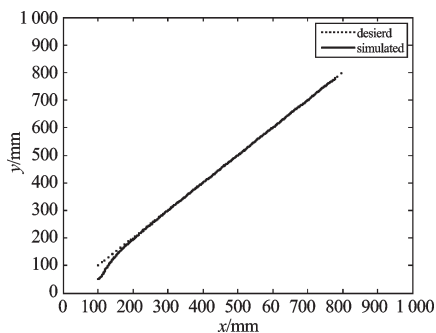


图6 跟随直线轨迹图

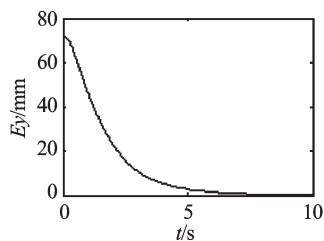


图7 横向偏差图

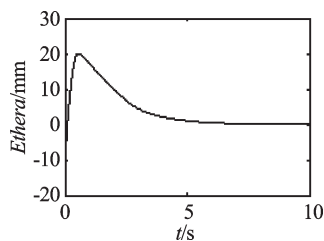


图8 角度偏差图

AGV小车的初始位置为: $X=750$, $Y=500$, $\theta=1$ rad。

仿真结果如图9~11所示。

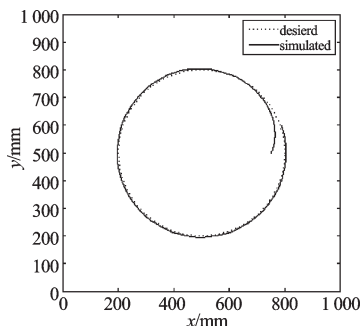


图9 跟随圆轨迹图

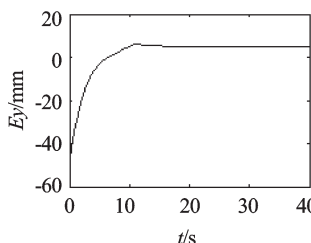


图10 横向偏差图

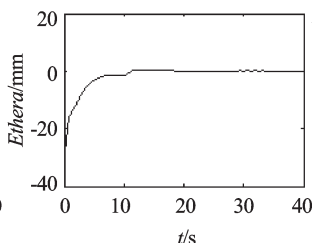


图11 角度偏差图

通过直线和圆路径的实验仿真可以看出,采用这种模糊控制方法可以有效地对AGV小车进行偏差纠正和路径跟随。该控制器在直线跟随上有很好的表现,在圆跟随上有轻微的超调。

4 结束语

本研究对四轮驱动型AGV进行了运动学分析,针对四轮驱动型AGV小车路径跟随的问题,设计了一种模糊控制器,并且在Matlab-Simulink环境中进行了仿真。

实验仿真结果表明,该控制器在直线和圆路径跟随上表现良好。在常规的生产中,本研究所用的方法具有较大的参考价值。

参考文献(References):

- [1] 张正义. 自动导航车(AGV)发展综述[J]. 信息技术应用, 2010, 39(1): 53-59.
- [2] 匡建辉, 杨宜民. 基于模糊PD控制的四轮驱动全向移动机器人速度补偿控制器研究[J]. 计算技术与自动化, 2011, 30(1): 21-25.
- [3] 矫德余. 四轮驱动车鲁棒轨迹跟踪控制器设计[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2011, 41(2): 301-305.
- [4] 史恩秀, 黄玉美, 郭俊杰, 等. 自主导航小车(AGV)轨迹跟踪的模糊预测控制[J]. 机械科学与技术, 2008, 27(5): 592-596.
- [5] 童 艳. 移动机器人路径跟踪控制方法研究[D]. 西安: 西北工业大学航海学院, 2007.
- [6] 蔡成涛, 朱齐丹. 基于模糊控制器的移动机器人路径规划仿真[J]. 计算机仿真, 2008, 25(3): 182-185.
- [7] 熊 蓉, 张 翮, 褚 健, 等. 四轮全方位移动机器人的建模和最优控制[J]. 控制理论与应用, 2006, 23(1): 93-98.
- [8] 李二超, 李 炜. 一种机器人轨迹跟踪的单输入模糊控制[J]. 电气应用, 2007, 26(7): 91-93.
- [9] 章卫国, 杨向忠. 模糊控制理论与应用[M]. 西安: 西安工业大学出版社, 2000.
- [10] 汤兵勇, 路林吉, 王文杰. 模糊控制理论与应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

[编辑: 李 辉]

(上接第1000页)

参考文献(References):

- [1] 周婧婧. 基于故障树分析的电力变压器可靠性评估方法研究[D]. 重庆: 重庆大学电气工程学院, 2009: 11-22.
- [2] WANG You-yuan, ZHOU Jing-jing, CHEN Wei-gen. Assessment method for the reliability of power transformer based on fault-tree analysis[J]. *High Voltage Engineering*. 2009, 35(3): 514-519.
- [3] WARD B H. A Survey of new techniques in insulation monitoring of power transformers[J]. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 2001, 17(3): 16-23.
- [4] 史真惠, 朱守真, 郑竞宏, 等. 改进BP神经网络在负荷动静比例确定中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 25-30.
- [5] 李 松, 刘力军, 谢永乐. 遗传算法优化BP神经网络的短时

交通流混沌预测[J]. 控制与决策, 2010, 26(10): 1981-1985.

- [6] Matlab中文论坛. Matlab神经网络30个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- [7] 李 萌, 沈 炯. 基于自适应遗传算法的过热汽温PID参数优化控制仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(8): 145-150.
- [8] 刘俊华, 颜运昌, 荆 琦. 遗传算法与神经网络在语音识别中的应用[J]. 机电工程, 2007, 24(12): 20-21.
- [9] 龚 纯, 王正林. 精通MATLAB最优算法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [10] 张 波, 崔恒武, 江志信, 等. 基于BP网络的调距桨螺距发讯器故障诊断研究[J]. 机电工程技术, 2011, 40(9): 60-62.
- [11] 黄晓光, 王永泓, 翁史烈. 基于BP算法的电站燃气轮机故障诊断[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(12): 72-75.

[编辑: 李 辉]