

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.03.015

基于智能仓储的AGV道路识别系统

陆佳依¹, 金晓怡^{1*}, 江鸿怀¹, 奚 鹰²

(1. 上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620;
2. 同济大学 机械与能源工程学院, 上海 201804)

摘 要:针对AGV在执行路径过程中出现位置错误或偏离道路的情况,课题组提出了一套利用激光雷达探测反光板的道路识别方案。介绍了基于智能仓储拓扑图的反光板布置方式;设计了基于数学几何知识的AGV动态识别位置信息的方案;设计了在不同地图属性条件下基于限幅或PID调节的道路修正的方案,防止AGV行进过程中偏离理想道路。应用结果表明:本设计具有较快的位置信息获取速度和错误位置信息处理能力;运行过程中能够较稳定地行走在规划路径中心位置,在阳光等干扰因素存在条件下依然可以保持优良的鲁棒性。该研究使用反光板能大幅提高激光雷达位置计算速度,在车身存在机械误差条件下,通过修正算法能够保证小车稳定行驶在道路的理想位置。

关 键 词:自动导引车;智能仓储拓扑图;反光板;道路识别;道路修正;PID调节

中图分类号:TP18;TH22 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2020)03-0074-04

AGV Road Identification Based on Intelligent Warehousing

LU Jiayi¹, JIN Xiaoyi^{1*}, JIANG Honghuai¹, XI Ying²

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;
2. School of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Aiming at the position error or deviation of AGV from the road during the execution path, the road identification scheme using lidar to detect reflector was proposed by the research group. This paper introduced the layout of reflector based on intelligent storage topology, designed a scheme of AGV dynamic location information recognition based on mathematical geometry, and designed a road correction scheme based on limit or PID adjustment under different map to prevent AGV from deviating from the ideal road. The results show that this design has a fast speed of location information acquisition and processing ability of error location information. It can walk steadily in the central position of the planned path during operation, and can still maintain excellent robustness in the presence of interference factors such as sunlight. In this paper, the speed of lidar position calculation using reflector is greatly improved, and the AGV vehicle body can run steadily in the ideal position of road by using the modified algorithm under the condition of mechanical error.

Keywords: AGV(automated guided vehicle); intelligent storage topology; reflector; road identification; road correction; PID adjustment

自动导引运输车(automated guided vehicle, AGV)是工厂智能仓储系统的重要组成部分^[1],目前在大型工厂中使用越来越广泛,在货物运输智能化过程中是重要的执行机构。道路识别是指根据周围环境的标识

识别出当前行走路径并确认当前位置^[2]。AGV运行过程中,需要实时判断自身位置,分辨当前行走路径是否为规划的正确路径,这确定了道路识别成为任务是否能够被成功执行的决定性因素。

收稿日期:2019-05-31;修回日期:2019-11-04

基金项目:智能仓储AGV预研项目;江西省赣州市科技重大专项项目(TGS2018-01-02)。

第一作者简介:陆佳依(1994),女,江苏无锡人,硕士研究生,主要研究方向为AGV道路识别与路径规划。通信作者:金晓怡(1966),女,江苏常州人,工学博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为仿生机器人、机构学、摩擦学。E-mail:teacherjxy@126.com

从初始的超声波道路识别到色带、磁导道路识别,再到当前先进的二维码、激光和视觉识别处理,技术发展变革速度稳步发展。色带、磁导的道路识别方案成本低,但路标容易磨损,道路改动不方便。而对于激光和视觉处理方案,虽然成本增加,但在厂房改动方面能够更加便捷地更改布置,并且具有更高的自动化水平,是当下比较聚焦的技术突破点。

1 道路识别方案

在 AGV 小车的车头位置放置激光雷达,激光雷达探头发出特定光波激光束,光束遇到障碍物反射后雷达传感器接收到信号,通过光速传播公式计算出小车与障碍物的距离。

目前激光雷达传感器类型分为单线激光雷达和多线激光雷达^[3],区别在于可发射的激光线束的数量和探测范围的大小。线束越多则成本越高昂,所能探测的空间深度和广度越大。对于智能物流运输小车 AGV,单线的激光雷达设备已可以达到扫描二维平面空间环境的目的,所以课题组选用单线激光雷达。单线激光雷达可以在一个扫描周期内扫描出 360° 的周围环境(障碍物)状况,激光的探测距离可以达到几十米甚至几百米,能够满足智能仓储空间环境下的探测需求。使用激光雷达传感器的目的是确认 AGV 位置信息,进而识别当前道路。道路识别方案分为人工预设反光板和同步定位与建图技术(simultaneous localization and mapping, SALM) 2 种方案^[4]。

反光板具有较好的光反射性能,在激光测距中普遍使用,目的是减少激光漫反射,增强激光信号接收能力,增大传感器的信号接收量,从而可以达到更大的探测距离和精度,提高激光雷达的抗干扰能力。把反光板布设到智能仓储拓扑地图的道路两边,与笛卡尔坐标系节点位置保持一致,AGV 小车通过激光雷达探测反光板的位置,从而计算出车身与地图各点的距离,得到自身位置信息。此方案优点是成本低,技术成熟,对于仓库升级比较便捷,精度高,鲁棒性较强,对仓库规模大小无太多要求,适应性强;缺点是每次仓库的调整都需要人为干预进行布设,以至于 AGV 自身位置精度受制于人为因素。

SALM 方案是在 AGV 行走过程中使用车身激光雷达扫描周围环境并对扫描的距离数据进行存储,通过扫描数据的计算建造出增量地图;在之后的任务执行过程中通过与已知增量地图匹配特征点,计算出自身位置^[5]。优点是无需人工参与,系统自动构建地图;缺点是对激光雷达的精度要求高,存储量和计算量

大,鲁棒性较弱,在动态匹配过程中由于测量误差等原因导致的匹配失败,难以重新进行识别定位。

课题组使用激光雷达传感器,经过对以上激光雷达道路识别技术综合对比评估后,决定在工厂环境下,选用鲁棒性较强、成本较低的人工预设反光板方案。智能物流小车通过探测反光板参照物距离与方向,获取自身与前方地图节点的相对位置,并计算出自身位置。通过自身位置与规划路径中节点坐标信息的匹配,确认当前行走道路的正确性,从而达到道路识别的目的。

2 AGV 路径执行方案

在人工把反光板布置到智能仓储笛卡尔坐标系下各个节点后,AGV 运行初始阶段应存储有已知的初始位置。AGV 搭配有电磁罗盘^[6]、陀螺仪以及里程计等传感器,通过电磁罗盘判断出 AGV 在已知地图中的前进方向,通过陀螺仪控制前进的速度,通过里程计计算出行进的距离^[7]。在激光雷达扫描的点云信息中,总是选取 AGV 前进方向上最近的 2 个点为参考点,计算出 AGV 位置,然后与里程计和电磁罗盘估算出的绝对位置信息相比较;当两者误差较大时,减慢小车速度,使用激光雷达进行位置校准,实时保证传感器数据的准确性和有效性,使 AGV 精确地行走在规划道路上^[8]。

步骤 1。在 AGV 执行任务前,先获取当前初始位置进行校准,共有 3 种情况:

1) AGV 在充电原始位置,以原始已知位置为初始点,进行校准;

2) AGV 当前位置在先前任务的目标点位置,在路径规划时也以先前任务目标点为本次任务的初始位置,便设置 AGV 初始位置为当前位置,并进行校准;

3) AGV 在空载回归运行过程中,以回归路径中的某点为初始位置进行校准。

位置校准即为到达指定或已知拓扑图节点位置,处于笛卡尔坐标系 4 点围绕的中心位置,如图 1 所示。

图 1 中四周点为反光板,中心位置即为拓扑图节点位置,也是校准位置。

步骤 2。在 AGV 行进过程中进行动态道路识别。如图 2 所示,图中点为反光板位置,行进过程中,通过激光雷达的反馈,得到 AGV 与近前方反光板之间的距离和以及角度 α, β ,使用余弦定理便可以得到与下一坐标点的距离 k ,使用正弦定理得到距离左右 2 个轴的距离 l 和 m ,从而可以在行进中确定自身位置,判断出当前行走道路的情况。AGV 执行规划路径过程时,

从初始位置到目标点位置,不断对比通过激光雷达计算出的位置信息和其他传感器估算出的绝对位置信息,当两者出现较大误差时,表示系统中存在较大稳态误差,这时需要通过降速,提高雷达数据精准度,对其他传感器计算出的估算绝对位置信息进行调整,从而不断消除稳态误差。

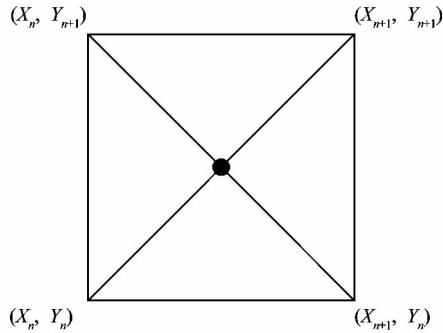


图1 校准位置

Figure 1 Calibration position

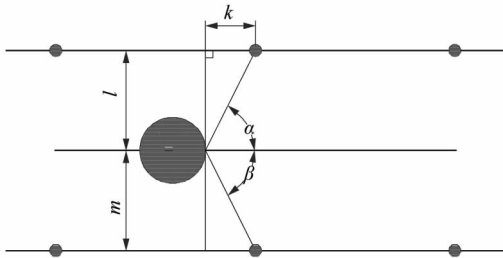


图2 行进中位置识别

Figure 2 Location identification in progress

3 道路行进修正方案^[9]

在行进过程中,由于加工误差和装配误差等机械误差以及传感器的数据采集误差等因素,AGV 车身往往不能凭借自身机械条件与行进道路保持平行,需要不断调节行进角度,如图3所示。

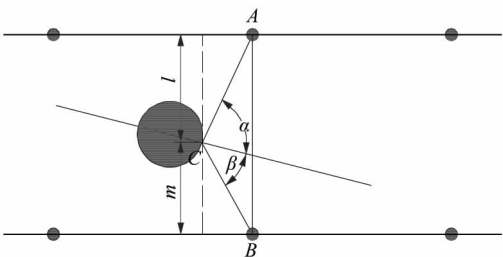


图3 道路识别修正

Figure 3 Road identification correction

图中 AGV 行进方向向下产生偏移,已知激光雷达探测距离 AC, BC 和探测反光板角度 α, β , 以及已知路径宽度 AB , 根据正弦定理可得 $BC/\sin \angle A = AC/\sin \angle B$, 求出 $\angle A, \angle B = 180^\circ - \alpha - \beta - \angle A$, 从而可以使用勾股定理求出车身与路径中心位置的偏移量。根据偏移量,设计关联公式计算出小车向需要倾斜的一边方向旋转的角度,道路宽设定为 1 m 情况下,以小车右侧偏移为负偏移,左侧偏移为正偏移,则每偏移中心 0.1 m ,车身行进角度偏转 1° ,即偏转角 = 偏移中心距离 $\times 10$ 。车身具有一定的惯性,为防止车身在调节功能下在行进道路中走 S 形,设定在行进偏移角度设置为 0° 后的中心距偏移量在 $\pm 0.03\text{ m}$ 范围内时不再继续调节,超出此范围再次启动角度修正功能,使 AGV 展现比较好的稳态。此方式计算量小,调整速度快,是一种成本较低的道路修正方案。

当地图坐标布置间隔较小时,使用限幅的道路行进修正方式在偏差不大的范围内易触发调节功能,会出现调节不及时或过量,展现出较差的稳态轨迹,因此在地图坐标间隔较小时,使用升级的道路行进修正方案。

4 道路行进修正方案优化

首先对激光雷达传感器采集的数据进行滤波,过滤掉受到干扰的反光板位置信息数据。卡尔曼滤波法是一种比较优秀的线性系统滤波算法^[10],在导航、平衡系统等方面都有大量的应用,可以选用为本文的滤波方案。

PID^[11] (比例、积分和微分)是一种用于自动控制的过程控制算法,原理易懂,并且对该算法的实现比较容易。对于滤波后的距离和角度雷达数据,课题组使用 PID 算法进行自动控制,使小车保持在行进道路中心位置^[12]。PID 原理如图4所示。

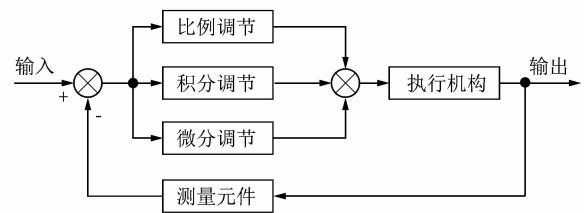


图4 PID 原理

Figure 4 Principle of PID

其中比例调节影响着系统的响应速度,数值越大,响应越快,但也会增加系统的不稳定性。积分调节影响着系统的稳态性能,关系到系统的稳态误差(稳定时输出量与输入量之间的误差)。微分调节影响着系统的响应速度,可以用来提高系统稳定性,改善系统的动态性能。

PID 算法:

$$U(t) = k_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + \frac{T_d de(t)}{dt}]。$$

式中: $e(t)$ 为控制器输入与设定值之间的误差; $U(t)$ 为控制输出; K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数。

展开后:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{n=0}^k e(n) + K_d [e(k) - e(k-1)]。$$

式中: $e(k)$ 为控制器输入与设定值之间的误差; K_p 为比例系数; K_i 为积分系数; K_d 为微分系数; $u(k)$ 为控制器的输出值,输出偏转角 = $u(k) \times$ 单位偏转角, ($^\circ$)/m。

在PID的自动调节下,能控制AGV更加稳定地行进在路径中心位置。 K_p 、 K_i 和 K_d 参数也需要根据仓库设置进行现场实验整定。参数的整定遵从经验先行,参考如下:

1) 比例系数 K_p 。最初先调节该系数,抛除积分项和微分项,运行系统,查看调节的响应速度和超调量。系数越大,调节速度越快,振荡次数也越来越多,调节会越来越不稳定,所以当到达速度与振荡次数较为满意时,停止 K_p 调试。

2) 积分系数 K_i 。确定比例系数后,添加积分项进行调节,先设置比较小的值,随后缓慢增加到振荡能够消失,即达到一个比较合理的数值。

3) 微分系数 K_d 。当系统无法达到较好的稳定性时,即调节曲线或偏移上下浮动,加入微分项。AGV载物情况下具有一定的惯性,会产生较大滞后,需要加入微分项进行超前调节。系数由小到大,使偏移曲线能够快速趋于稳定。

整定过程并不唯一,任何系数都可以发生改变,直到达到一个最佳的稳定性和调节速度效果。优化方案适用于任何地图坐标间隔的仓储环境中,能够使用PID方案整定出满意的行走状态,增强道路识别的鲁棒性,从而减少运输事故,对智能化运输的效率提供了保障。

5 结语

AGV在初始位置进行位置校准,在行进过程中配合电磁罗盘、陀螺仪等传感器动态计算AGV行进位置

状态,能够初步达到识别行进道路的目标。使用激光雷达扫描前方反光板位置信息加以辅助计算,实时进行信息校准。由于机械误差,AGV在行进过程中会偏离中心路线,影响行进稳定性,故加入道路修正算法。设计地图间隔尺寸为1 m等大尺寸时,易用限幅式道路修正算法,当偏离道路中心位置幅度超过许可幅度时,使AGV偏转合适角度,直到回归理想位置。当地图设计间隔较小时,使用改进式道路修正算法,使用滤波后的传感数据,用PID自动控算法输出控制值,算出偏转角。本设计实时计算AGV自身位置,并不断进行道路修正,保持车身行驶在正确的道路上,具有优良的鲁棒性。

参考文献:

- [1] 张辰贝西,黄志球. 自动导航车(AGV)发展综述[J]. 机械设计与制造工程,2010,39(1):53-59.
- [2] 张宏玉,张桥. 关于视觉的AGV道路识别和导引系统设计研究[J]. 电视技术,2018,42(7):74-77.
- [3] BUI T L, DOAN P T, KIM H K, et al. Adaptive motion controller design for an omnidirectional AGV based on laser sensor[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering,2014,282:509-523.
- [4] 姚佳杰. 基于视觉的AGV道路识别和导引[D]. 杭州:浙江大学,2014:1-6.
- [5] SHI Enxiu, HUANG Yumei. A new method of global path planning for AGV[J]. International Journal of Plant Engineering and Management, 2006,11(1):51-58.
- [6] 吴玉月,冯能莲,王继先. 基于视觉的AGV自动运输车道路识别技术研究[J]. 机械制造,2010,48(9):35-37.
- [7] 范成法,李祝明. 道路识别系统中的边缘方法及其实时实现[J]. 信号处理,1998,14(4):337-345.
- [8] CHEN Wuwen, MILLS J K, SHI Wenwu. A new navigation method for an automatic guided vehicle[J]. Journal of Robotic Systems, 2004, 21(3):129-139.
- [9] 杨前明,张君,阮益,等. AGV轨迹规划及其纠偏控制机理研究[J]. 机电工程,2018,35(11):1243-1247.
- [10] 吴宗胜. 室外移动机器人的道路场景识别及路径规划研究[D]. 西安:西安理工大学,2017:77-97.
- [11] 宋学贤,谈宏华,潘正春,等. 基于自适应模糊PID的AGV高精度寻迹系统的研究[J]. 国内外机电一体化技术,2012(1):29-31.
- [12] ALVAREZ J M A, LOPEZ A M. Road detection based on illuminant invariance[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,2011, 12(1):184-193.