

基于 RFID 和视觉的 AGV 控制系统设计

刘铜泽, 刘净瑜, 盛 君, 徐建萍
(北京卫星制造厂有限公司, 北京 100094)

摘 要:针对自动导引车(AGV)现有导航方式存在定位精度低、稳定性差、附加成本高等问题,建立了一种基于 RFID 和视觉的复合导航控制系统。该导航控制系统利用 RFID 技术实现一次工位识别停车;利用视觉技术建立图像巡线识别系统,实现二次精确定位停车,从而使得 AGV 更加精确、高效地完成复杂的导航作业任务。软件系统通过对导引图像灰度二值化分割、边缘提取、去噪处理以及直线拟合实现了对导引线、十字线以及驻车线的识别,解决了 AGV 转运过程中对交叉路径、驻车标志识别精度低以及噪点干扰的问题。该控制系统在实际应用中可提升 AGV 定位精度至 5 mm,角度精度 0.1 度,既满足了大空间范围内的连续定位,又可以满足作业工位处高精度二次定位需求,实现 AGV 在工业转运过程中的自动化应用。

关键词:AGV;RFID;视觉;复合导航

中图分类号:TP242.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2019)04-0187-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2019.04.037

Design of AGV Control System Based on RFID and Vision

LIU Jian-ze, LIU Jing-yu, SHENG Jun, XU Jian-ping
(Beijing Spacecrafts, Beijing 100094, China)

Abstract: Aiming at the problems of low positioning accuracy, poor stability and high additional cost in the existing navigation methods of automatic guided vehicle (AGV), we establish a combined navigation control system based on RFID and vision. This system uses RFID technology to realize the recognition of primary station parking and the visual technology to establish the image line patrol identification system for realization of the secondary precise positioning and parking, so that the AGV can complete the complex navigation tasks more accurately and efficiently. The software system realizes the recognition of the guide line, crosshair and parking line through gray binarization segmentation, edge extraction, denoising and line fitting of the guidance image, and solves the problems of low accuracy of cross path, parking sign identification and noise interference in AGV transport. The control system can improve the AGV positioning accuracy to 5 mm and the angle accuracy to 0.1 degree in practical application, which can not only meet the continuous positioning in a wide range of space, but also meet the requirements of high precision secondary positioning at the work station, realizing the automatic application of AGV in the process of industrial transport.

Key words: AGV; RFID; vision; composite navigation

0 引言

自动导引车(AGV)是移动机器人的一个重要分支,又称为自主式无人搬运车^[1-2]。它能在调度系统的监控下,按一定路径规划和作业要求,精确行走并停靠到指定工位^[3],从而进一步完成一系列的作业任务,如运送货物、充电、夹持等。随着工业 4.0 战略概念的提出,各商业、船舶、军工企业均将智能制造列为企业生产制造及物流转运系统的目标,AGV 自动转运也即随之成为全面实现工业自动化的必经之路。

1 系统概述

文中的自动导航 AGV 轮系结构由 4 个麦克纳姆轮组成,可实现全方位运动,包括直行、横行、斜行、任意曲线移动、零回转半径等^[4-5]。该结构有效降低了 AGV 对作业区域的要求,扩大了 AGV 的作业范围。

2 导航控制系统硬件设计

AGV 控制系统由 3 个控制器组成:运动控制器、导航控制器和升降控制器。系统架构如图 1。

收稿日期:2018-05-08

修回日期:2018-09-12

网络出版时间:2018-12-20

基金项目:科技部国家重点研发计划(2017YFB1301800)

作者简介:刘铜泽(1985-),女,从事 AGV 机电产品设计。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.tp.20181220.1035.038.html>

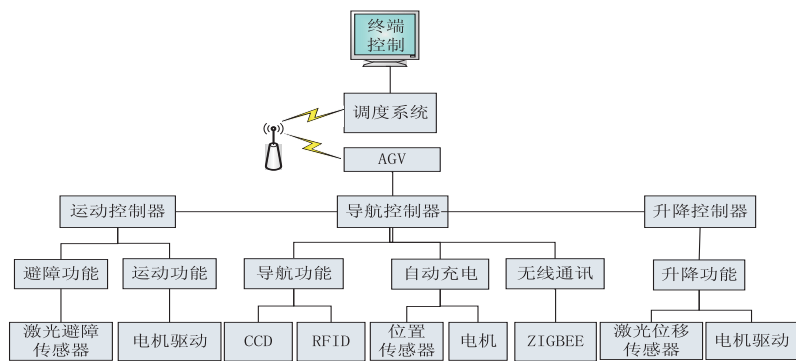


图 1 AGV 系统架构

运动控制器主要进行轮系运动控制,同时通过实时采集的激光避障传感器的障碍物信息来保证 AGV 的可靠运动导航控制器具有导航功能、自动充电功能和无线通讯功能。AGV 通过 4 个 CCD 相机和 RFID 实现 AGV 的自动巡线和定位功能。AGV 与调度系统间通过无线通讯功能模块进行数据交互,AGV 可以接收调度系统指令和反馈自身状态信息。当 AGV 到达指定工位后,升降控制器控制升降电机将产品举升或下降到指定高度,完成作业。

在进行控制系统的硬件设计时,需要综合考虑设备的通讯方式、通讯速率、系统精度、AGV 工作方式以及功能要求等。

导航控制器以 ARM 控制芯片 LPC1788 为核心设计实现。该芯片是集成 LCD 图像控制器的 ARM Cortex-M3 微控制器,该控制器包含有 LCD 控制器,CAN 总线控制器,512 KB 的片上闪存,96 KB 的 SRAM,4 KB 的片上 EEPROM,4 个 UART,12 位 ADC,10 位 DAC。导航控制器包含了 CAN 总线驱动电路,UART 电路驱动及其切换电路、IO 信号处理电路、信号电平转换电路及供电电路。

AGV 通过 CAN 总线连接 7 个节点,分别是 4 个 CCD 相机、升降控制器、运动控制器和激光避障传感器。RFID 模块和 ZIGBEE 无线模块通过 RS232 通讯方式与导航控制器通讯。

3 导航控制策略

3.1 RFID 定位方法

RFID 设备利用 RFID 标签、读写器获取信息^[6]。在 AGV 的运行场地铺设导引色带布局巡航路径,在路径十字交叉和工位处粘贴 RFID 卡,每个 RFID 卡具有不同的信息,分别对应不同的位置,如图 2 所示。因为射频卡具有一定的识别范围,为防止工位密集处出现工位信息无法精确识别的问题,选用识别范围相对较小(大概 1 m 左右)的射频读卡器,同时要求工位间距至少在 2 m 以上。

调度系统接收到上级加工指令后,基于导引地图

规划出每辆 AGV 的作业路径并发送给 AGV。AGV 在大的运行范围内通过车载 CCD 识别导引线并循线行驶;运行至工位时,由车载 RFID 读卡器读取射频卡信息来识别当前位置,实现粗略的停车;然后车载 CCD 进一步识别停车标志,实现 AGV 的精确定位停车。在整个运行过程中,AGV 会实时反馈给调度系统自身位置,调度系统根据反馈做出下一步路径调整。

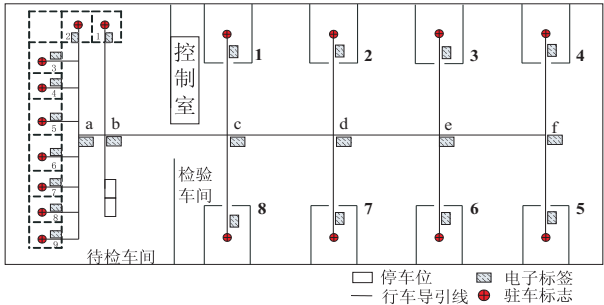


图 2 AGV 作业工况示意

3.2 视觉精确定位方法

AGV 自动巡线利用图像识别处理技术实现。需预先铺设黄色导引带或者刷涂黄色色带作为导引路径。图 3 为直行、交叉和驻车标志。这种预设导引线的方式限定了 AGV 的行驶路径,可以极大地减小 AGV 的活动范围,提高车间的空间利用率和转运效率^[7-8]。

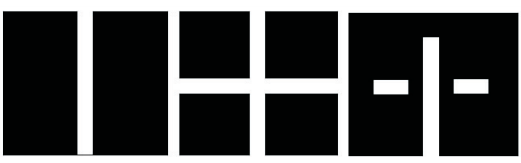


图 3 视觉导航导引线

自动巡线时,在 AGV 前方、后方、左侧、右侧各安装一套视觉系统,包括相机、光源、镜头及位置调整机械机构。通过导引线图像识别处理,包括平均灰度、二值化分割、特征提取、约束条件与去噪处理、直线方程拟合,建立图像坐标系与车体坐标系的转换矩阵,完成对导引线的识别^[9-10]。导航控制器根据当前各传感器反馈的相关信息,规划 AGV 行走方向以及角度信息,并向 AGV 运动控制器发布运行指令,再由运动控制器

合理匹配各电机转速和方向,实现 AGV 的自动转运。

4 视觉处理算法

4.1 视觉图像采集自动曝光算法设计

在图像中设置 N 个方形监控区域,其尺寸为 $a \times a$ 的正方形,边长 a (单位:像素)可以选择, N 个正方形子图像尽可能均匀分布在整幅图像中。 N 个子图像的平均灰度值为:

$$\bar{G} = (N \cdot a^2)^{-1} \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^a g_{ij} \quad (1)$$

给定图像目标亮度 G_0 ,则当前的图像亮度与目标亮度之间的比例因子为:

$$d = G_0 / (\bar{G} + 1) \quad (2)$$

在循环中调节相机的曝光量,每采集一帧图像就调节一次,实时修改图像的亮度,保证相机在明暗区域内不会产生较大亮度变化,为后面图像处理算法的稳定性建立基础^[11-13]。

4.2 视觉纵向导引线算法设计

纵向导引线的检测在整个算法系统中极为重要,它不仅以数学信息的方式提供给 AGV 控制系统,也是横向导引线和驻车标志检测的前提条件。纵向导引线检测算法的首要任务是吧导引线从背景中提取出来。文中采用轮廓提取法,该提取方法受图像亮度变化的影响较小,对空间明暗区域变化有较好的鲁棒性。

4.3 目标轮廓像素提取算法

使用 $f(x, y)$ 表示图像中 (x, y) 处的灰度值,一阶微分为:

$$f(x, y) = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \quad (3)$$

离散化后的公式为:

$$\Delta f(i, j) = [f(i+1, j) - f(i, j)] + [f(i, j+1) - f(i, j)] \quad (4)$$

基于目标边缘梯度有较大变化的原理,检测目标边缘像素。使用 G_x 和 G_y 表示 x, y 方向的梯度变化,则总的梯度为:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (5)$$

4.4 边缘轮廓检测

通过梯度对图像进行了量化,得到的梯度图如图4所示。边缘处强度比非边缘处的强度大,基于该原理设计边缘轮廓检测算法。



万方数据 图4 边缘量化

使用 $\text{Min}(j)$ 表示梯度图像中第 j 行的最小梯度。计算整幅图像中最小值的平均数值, M 表示总行数,则:

$$\text{Min_Avg} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^M \text{Min}(j) \quad (6)$$

给定一个附加的阈值 T_0 ,则边缘像素检测算子为:

$$\begin{cases} G_{ij} > \text{Min_Avg} + T_0, \text{边缘像素} \\ G_{ij} \leq \text{Min_Avg} + T_0, \text{背景像素} \end{cases} \quad (7)$$

4.5 目标像素识别和分类

图4中的边缘图像包括了目标对象的像素,如导引线边缘像素、驻车标志的边缘像素等,但同时也可能包括图像中的污点边缘或者非目标边缘,需要建立相应的算法对实际目标进行识别和分类,剔除非实际目标像素。

图像中的像素按列排列,同一个目标的像素是联通的,不同目标之间是不联通的,所以先对边缘像素图像进行编码。对于一行像素,连续排列的边缘像素作为一个单元,记为 $U_{j,i}$, j 表示行, i 表示第 j 列的第 i 个单元。利用联通性对图像中的目标进行分割,一个联通区域即为一个可能的对象,具体判断条件如下:当前的 $U_{j,i}$ 与下一行的单元 $U_{j+1,k}$ 进行比较,遍历每一个单元,如果这两个单元相连或者有重合的部分,即为一个区域中的单元,对其进行标记,依次类推,得到图像中的所有联通区域。

对于每个联通区域,均统计其面积,区域横向最小、最大坐标,纵向最小、最大坐标。图像中的污点面积较小,可以通过设置阈值进行初步滤除,若目标区域的面积为 $\text{Area}(k)$,则污点区域为 $\text{Area}(k) < T_1$ 。

经过以上滤波,图像中可能包含纵向导引线边缘像素、横向导引线边缘像素、驻车标志区域或其他较大面积的非有用目标区域。对各区域的特点进行分析,基于此给出识别分类器遵循的准则。

采用横向扫描的搜索策略,若搜索到第 j 行,启动 0 列 $\rightarrow N$ 列搜索,遇到的第一个边缘像素位置为 x_i ,启动 N 列 $\rightarrow 0$ 列搜索,遇到的第一个边缘像素位置为 x_k ,如果这两个横向坐标满足以下条件,则初步认定为纵向导引线的边缘像素:

$$\begin{cases} x_i < x_k \\ |x_i - x_k| > W_1 \& |x_i - x_k| < W_2 \end{cases} \quad (8)$$

其中, W_1 和 W_2 是两个宽度阈值。

通过式8可以初步得到纵向导引线的边缘像素点坐标,但这些像素点并不是都属于纵向导引线的边缘,所以还需要利用直线特征自动检测直线上的点。纵向导引线的两条边缘像素集合分别表示为 $\{x_{lk}, y_{lk}\}$ 和 $\{x_{rk}, y_{rk}\}$ 。对这两个集合分别进行直线统计,各自划

分为上下两部分: $\{x_{li}^t, y_{li}^t\}$ 、 $\{x_{lm}^b, y_{lm}^b\}$ 和 $\{x_{ru}^t, y_{ru}^t\}$ 、 $\{x_{rv}^b, y_{rv}^b\}$, 其中 $i = 1, 2, \dots, N_1, m = 1, 2, \dots, N_2, u = 1, 2, \dots, N_3, v = 1, 2, \dots, N_4$ 。

任意选择两个点对 $\{x_{li}^t, y_{li}^t\}$ 、 $\{x_{lm}^b, y_{lm}^b\}$, 求其直线方程 $y_{im} = k_{im}x_{im} + b_{im}$, 其中 k_{im} 和 b_{im} 分别为斜率和截距。统计集合 $\{x_{lk}, y_{lk}\}$ 到该直线的距离, 公式为:

$$D_{im} = |y_{lk} - k_{im}x_{lk} - b_{im}| / \sqrt{1 + (k_{im})^2} \quad (9)$$

若 $\{D_m < T_5\}$ 则该像素属于该直线, 通过统计, 记录该直线拥有的像素点数目 Num_{im} , 对 $\{x_{li}^t, y_{li}^t\}$ 、 $\{x_{lm}^b, y_{lm}^b\}$ 求所有的直线, 并进行类似的统计, 将得到像素点的集合 $\text{Num}_j, j = \text{Min}(i, m)$, 求 $\text{Num}_{\text{Max}} = \text{Max}(\text{Num}_j)$ 对应的点数, 若 $\text{Num}_{\text{Max}} = \text{Max}(\text{Num}_j)$ 且 $\text{Num}_{\text{Max}} > T_6$, 则其对应的直线方程即为纵向导引线的左侧边缘直线。对右侧边缘像素也采用类似的方法进行计算, 分别得到左右边缘直线对应的直线方程: $y = k_lx + b_l, y = k_rx + b_r$, 两条直线进一步推导出导引线方程, 按照相机与车体坐标系的偏移距离, 以及视场范围, 推算出车体与当前路径关系, 从而推算出最终的导引方程。

图 5 为驻车线图像识别效果。

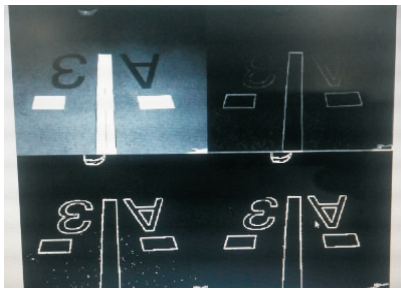


图 5 驻车线图像识别效果

5 实际应用及验证

图像识别具备信息丰富、精度高等特点, 适用于车间等室内环境, 尤其适用于该项目中导航路径复杂、定位精度要求较高的应用环境。基于 RFID 与视觉导引的 AGV 目前已应用于国家电力检测行业等不同产品自动化转运车间, 如图 6 所示。

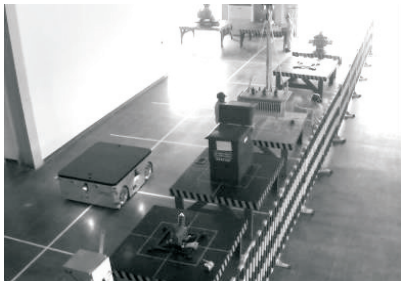


图 6 AGV 自动转运场景

实际应用时, 在 AGV 导引线宽度设置为 10 mm, 最高速度设为 0.7 m/s 时, 循线和定位精度可达 5 mm, 角度精度 0.1 度。目前基于 RFID 和视觉复合导

航的 AGV 根据不同的作业需求, 已扩展出升降、叉车、夹持等多功能任务模块。同时, 可通过调度系统规划作业, 广播发布任务, 完成多车协同作业。

6 结束语

基于 RFID 和视觉实现的 AGV 产品源于航天军用技术转化, 立足于“十三五”智能装备发展规划, 充分结合多项先进技术, 朝着模块化、自动化、智能化和信息化方向发展, 以适应未来生产需要。目前该 AGV 产品已扩展应用于航天、航空、轨道交通、智能物流等多个领域, 形成了多个示范应用项目, 解决了超大结构的精密加工、自动化转运、装配等技术瓶颈。

参考文献:

- [1] 武启平, 金亚萍, 任平, 等. 自动导引车 (AGV) 关键技术现状及其发展趋势 [J]. 制造业自动化, 2013 (5): 106-110.
- [2] 吴雄喜. AGV 自主导引机器人应用现状及发展趋势 [J]. 机器人技术与应用, 2012 (3): 16-17.
- [3] HU C H. Investigation of idle vehicle prepositioning strategies in an automated guided vehicle system [D]. PA: The Pennsylvania State University, 1995.
- [4] AGULLO J, CARDONA S, VIVANCOS J. Dynamics of vehicles with directionally sliding wheels [J]. Mechanisms and Machine Theory, 1989, 24 (1): 53-60.
- [5] 苏永华. 全方位移动式 AGV 技术研究 [J]. 制造业自动化, 2014, 36 (8): 10-14.
- [6] 徐文斌, 蔡容华, 林科荣, 等. 基于工控机的 AGV 装配机器人控制系统设计 [J]. 电子技术应用, 2013, 39 (7): 131-133.
- [7] 余宏杰, 赵燕伟, 冷龙龙. 复杂工况下视觉 AGV 导航标识带中心线的提取研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (1): 212-215.
- [8] 孟文俊, 刘忠强. 视觉导引 AGV 的路径跟踪控制研究 [J]. 控制工程, 2014, 21 (3): 321-325.
- [9] BONIN-FONT F, ORTIZ A, OLIVER G. Visual navigation for mobile robot: a survey [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2008, 53 (3): 263-296.
- [10] BHANU B, LEE S, MING J. Adaptive image segmentation using a genetic algorithm [J]. IEEE Transactions in Systems, Man, and Cybernetics, 1995, 25 (12): 1543-1567.
- [11] 阮秋琦, 阮宇智. 数字图像处理 [M], 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [12] LEE J W, KIM J H, LEE Y J, et al. A study on recognition of road lane and movement of vehicles for port AGV vision system [C] // Proceedings of the 2002 IEEE international symposium on industrial electronics. [s. l.]: IEEE, 2001: 38-42.
- [13] 张宏林. 数字图像处理模式识别技术及工程实践 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.