

基于 CANopen 的八轮 AGV 运动控制及里程算法在智能制造中的应用

姚金生

(沈阳智远弘业机器人有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 在智能制造中,重载自动导引车(AGV)应用较广,但是大多数灵活性较低。设计了由 8 个麦克纳姆轮+直流伺服电机+直流伺服驱动器及减速机构成的全向 AGV。八轮称重能力强,解决了称重问题,同时由于麦克纳姆轮的特性,移动更灵活。采用 CANopen 进行伺服驱动器控制和信息采集。通过对麦克纳姆轮运动学进行解算,得到每个轮子的速度,实现了 AGV 的高精度控制。

关键词: 智能制造; 直流伺服电机; 直流伺服驱动器; 麦克纳姆轮; 里程计; 运动学

中图分类号: TP 242.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2020)04-0092-05

doi: 10.12177/emca.2020.003

Application of Eight-Wheel AGV Motion Control and Odometer Algorithm Based on CANopen in Intelligent Manufacturing

YAO Jinsheng

(Shenyang Zhiyuan Hongye Robot Co., Ltd., Shenyang 110000, China)

Abstract: Heavy-duty automated guided vehicles (AGVs) are widely used in intelligent manufacturing, but most of them are less flexible. An omni-directional AGV composed of eight Mecanum wheels, DC servo motor, DC servo motor drives and retarding mechanism is designed. The weighing capability of the eight wheels is strong, which solves the weighing problem. The characteristics of the Mecanum wheel makes movement more flexible. CANopen is used for the control and information acquisition of DC servo drivers. Through the kinematics calculation of the Mecanum wheels, the speed of each wheel can be obtained, so as to realize high precision control of the AGV.

Key words: intelligent manufacturing; DC servo motor; DC servo driver; Mecanum wheel; odometer; kinematics

0 引言

随着社会的发展,传统制造业的工作方式已经远远满足不了当代社会的发展需求。近几年,应运而生的智能制造方式也是多种多样,其中移动运载机器人起到了重要作用,有仓储物流、智能泊车等。移动运载机器人的移动方式有舵轮、差速轮、麦克纳姆轮。其中,差速轮控制方式方便、原理简单,但运动不灵活,且精度低、承重小;舵轮一般应用在大型重载设备上,但是由于运动过程

中需要打舵,导致运动不灵活,响应慢,转弯半径大。因此,在一些要求精度高、承重能力强、运动灵活的场合需要使用多轮麦克纳姆轮。

由 8 个麦克纳姆轮+减速机+伺服驱动器+运动控制板卡组成的移动运载机器人底盘可以做的很低。并且承重能力强,运动灵活,可以任意角度穿梭货架,进行托举运输工作。传统运动控制板卡对伺服的控制还是采用脉冲形式控制,或者自由通信协议进行控制,这样给自动导引车(AGV)的生产制造,产品升级迭代,售后维护带来很多制

收稿日期: 2020-01-19; 收到修改稿日期: 2020-02-17

作者简介: 姚金生(1988—),男,研究方向为移动运载机器人车体软硬件设计开发。

约。AGV 的运动精度不仅依靠控制,AGV 的里程计计算精度也极其关键。

本文对麦克纳姆轮运动学解算式进行了研究,并介绍了相关伺服驱动器如何用 CANopen 进行控制及信息采集,通过反馈实时转速,采用运动学逆解及比例运算推算出移动运载机器人的实时里程计。

1 麦克纳姆轮控制方法及里程计计算

麦克纳姆轮运动学是建立在四轮基础上,八轮麦克纳姆轮的运动控制上现在应用较少。本文主要介绍八轮麦克纳姆轮的运动控制方式。四轮如图 1 所示。

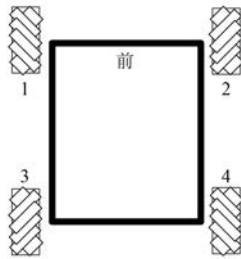


图 1 四轮示意图

1.1 四轮运动学方程式

由图 1 标定 4 个轮子的位置及序号,通过推导可得^[1]:

$$\begin{cases} V_1 = V_d \sin\left(\theta_d + \frac{\pi}{4}\right) + V_\theta \\ V_2 = V_d \cos\left(\theta_d + \frac{\pi}{4}\right) - V_\theta \\ V_3 = V_d \cos\left(\theta_d + \frac{\pi}{4}\right) + V_\theta \\ V_4 = V_d \sin\left(\theta_d + \frac{\pi}{4}\right) - V_\theta \end{cases} \quad (1)$$

式中: V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 为 4 个轮子应该达到的转速; V_d 为整车期望达到的速度; θ_d 为整车期望达到的角度; V_θ 为期望达到的角速度。

由式(1)可以看出,只要明确 3 个变量就可以计算出 4 个轮子速度,分别是 V_d 、 θ_d 、 V_θ ,而这 3 个变量恰恰又是控制移动运载机器人必要条件。

在式(1)基础上,可以扩展出八轮的计算式,八轮机构及轮组编号如图 2 所示。

由图 2 可以看出,八轮可以看作是 2 个四轮

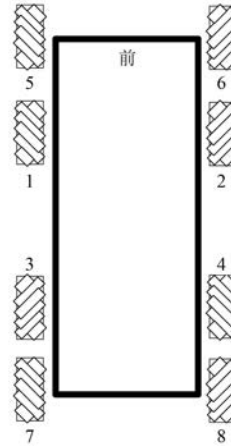


图 2 八轮示意图

车组合在一起,只要修改车体中心点到 X、Y 轴车轮中心距即可。由于运动控制时要有加减速,即非前进、后退、左右横移的时候,内轮(1、2、3、4)与外轮(5、6、7、8)起停时不同步,会出现对整车框架拉扯的现象。这样会降低控制和里程精度,甚至造成危险。

通过研究,可以根据内轮(1、2、3、4)加减速后的速度,进行逆解^[2]:

$$\begin{cases} V_x = (V_1 + V_2)/2 \\ V_y = (V_1 - V_3)/2 \\ V_{\text{tps}} = (V_1 + V_3)/[2(d_x + d_y)] \end{cases} \quad (2)$$

式中: V_x 为整车 X 轴坐标系速度; V_y 为整车 Y 轴坐标系速度; V_{tps} 为整车 Z 轴的角速度; d_x 为车中心沿 X 轴方向,垂直于轮子中心的距离; d_y 为车中心沿 Y 轴方向,垂直于轮子中心的距离。

计算后得到的整车速度,再通过式(1)计算得出外轮(5、6、7、8)的速度,从根本上解决加减速造成的问题。

1.2 麦克纳姆轮运动控制方式

麦克纳姆轮以 45° 角对辊子施加力^[3],而不是对轮子的轴。通过对移动运载机器人施加一个角度的力,改变力矢量的大小来获得移动运载机器人的平移控制。图 3 所示为以四轮运动控制方式进行叙述,八轮同理。

图 3 给出了不同运动方向的控制方法。其中,小箭头为车轮运动方向,大箭头为整车运动方向,车轮的运动控制与式(1)相结合,便能完成任意方向的行走。

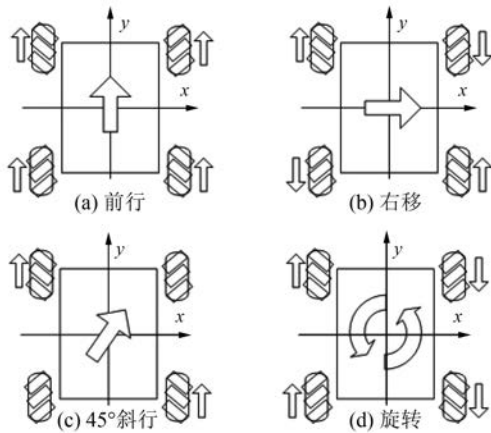


图3 运动控制方法

1.3 CANopen 控制流程

CANopen 是一组构建在 CAN 应用层协议子集上的概要文件,本文选用的伺服驱动器支持标准 CANopen 协议 ds301 及用于驱动和运动控制的 DSP 402。

脉冲控制虽然同步性好,但缺点是装配接线多,控制引脚浪费的多,获取驱动器信息少。自由协议通信方式控制驱动器缺点是要根据不同驱动器量身定制,不够友好,因此本文选择 CANopen 方式,不仅具有同步功能,移植性强,还可以获取驱动器内部的全部信息。

CANopen 初始化及控制流程^[4]:

1.600+id 23 00 14 01 00+id 02 00 80 设置 PDO cob-id。

2.600+id 2F 00 14 02 00 00 00 00 设置同步传输方式。

3.600+id 2F 00 16 00 00 00 00 00 断开 PD01600。

4.600+id 23 00 16 01 20 00 FF 60 速度 60ff 映射到 160001。

5.600+id 2F 00 16 00 01 00 00 00 00 启动 PD01600。

6.600+id 23 00 14 01 00+id 02 00 00 启动 PD0 1400。

7.600+id 23 01 14 01 00+id 03 00 80 设置 PDO cob-id。

8.600+id 2F 01 14 02 00 00 00 00 00 传输方式,异步。

9. 600+id 2F 01 16 00 00 00 00 00 00 断开

PD01601。

10.600+id 23 01 16 01 08 00 60 60 模式 6060 映射到 160101。

11.600+id 23 01 16 02 10 00 40 60 6040 映射到 160102。

12.600+id 2F 01 16 00 02 00 00 00 00 启动 1601。

13.600+id 23 01 14 01 00+id 03 00 00 启动 1401。

14.600+id 2F 00 1A 00 00 00 00 00 00 断开 pdo 0x1A0000。

15.600+id 23 00 1A 01 20 00 6C 60 设置 0x1A0001 为速度反馈。

16.600+id 23 00 1A 02 10 00 41 60 设置 0x1A0002 为驱动器状态。

17.600+id 23 00 18 01 81 01 00 00 设置 0x180001 为 0x18x。

18.600+id 2F 00 18 02 01 00 00 00 00 设置 0x180002 同步触发。

19.600+id 2F 00 1A 00 02 00 00 00 00 使能 pdo 0x1A0000。

20.600+id 2b 17 10 00 64 00 00 00 心跳上传时间。

21.301 03 0F 00 发速度模式并使能。

22.201 00 00 00 00 发送速度。

23.0x80 00 发送同步信号。

通过步骤 1~21 的初始化及配置,然后可以通过步骤 22、23 进行伺服驱动器的控制。当发送速度(步骤 22)时伺服驱动器并不会执行,而是当收到同步信号时(步骤 23)才会执行,并且驱动器会根据配置,上传所需数据,如速度、状态信息。

1.4 里程计计算

里程计计算方法有很多种,最简单的方法就是通过控制速度进行开环积分计算,但是计算累计误差会比较大。还有一种方法是通过伺服驱动器反馈速度进行积分计算,由于计算至少需要 2 台伺服驱动器的速度反馈,而伺服驱动器的速度反馈往往会产生波动,计算出的里程计会出现 X 轴、Y 轴、Z 轴不需要的分量。如果对数据进行滤波实时性又较差,且影响精度。

本文所采用的算法是通过控制速度由式(1)

得到 4 个轮子的速度,然后计算出 2 个轮子之间的速度比例 $P_1 = V_1/V_2, P_2 = V_2/V_1$, 比较 P_1 与 P_2 的大小来决定用哪一个比例来进行下一步换算。通过 2 台伺服驱动器的实时速度反馈^[5], 再与速度比例(P_1 或 P_2) 相乘^[6], 得出另外 4 个轮子的速度。再将后 4 个轮子的速度由式(2)得到 X 轴、Y 轴速度以及 Z 轴角速度, 最后进行积分计算: $X = \int_0^t V_x dt + X_0, Y = \int_0^t V_y dt + Y_0, \theta = \int_0^t \omega_\theta dt + \theta_0$ ^[7], 得到 X、Y、Z 轴的里程。

2 里程测量

本文使用变比例反馈积分计算方法与开环积分计算方法、反馈积分计算方法进行比较, 车体通过行走固定距离、方向、速度进行测试。测试结果如图 4 所示。

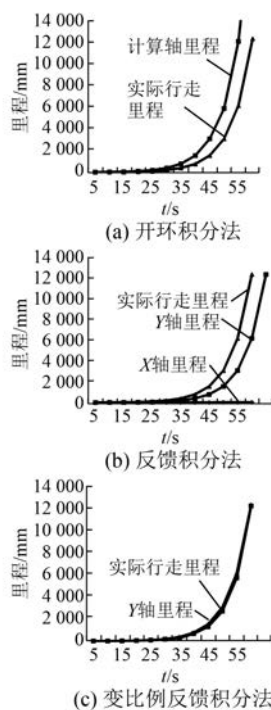


图 4 不同里程计算方法对比

开环积分法过程中, 计算的里程会超前车体实际行走里程, 随着时间的增加, 计算里程误差会增大。反馈积分法在过程中, 计算里程会滞后实际行走里程, 计算最终里程与实际行走里程很接近, 相差 0.3%, 但是 Y 轴行驶的时候, 由于其他轮子的反馈波动, 导致 X 轴里程累加。变比例反馈

积分法过程中会有一些滞后, 但是滞后较少, 并且最终里程相差只有 0.2%。

3 系统的硬件及应用实现

硬件设计要考虑系统的可靠性、系统的防护以及电磁兼容。基于上述方案, 选择 STM32F407VET6 为控制核心, 其特点有: 基于高性能的 ARMCortex™-M4F 的 32 位 RISC 内核, 接口丰富, 工作频率高达 168 M, 还实现了一套完整的 DSP 指令和内存保护单元(MPU), 提高了应用程序的安全性。

由图 5 可以看出, 控制系统组成主要包括 STM32、上位机、伺服驱动器、麦克纳姆轮、触摸屏、急停及行驶指示灯。STM32 实现控制算法、触摸屏界面、上位机及伺服驱动器通信、外部输入输出控制等。伺服驱动器选用低压直流驱动器, 由车载电池供电, 用来控制直流电机。

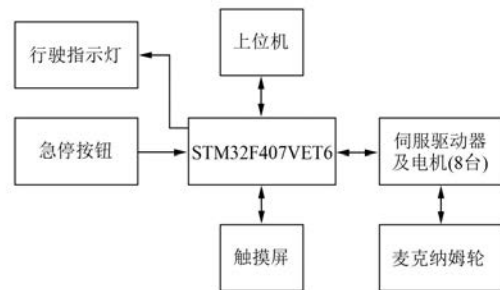


图 5 麦克纳姆轮控制系统框图

自动控制方式为, WMS 上位机软件将需求下发给调度, 调度将 AGV 移动路径规划^[8]好后开始控制 AGV 的移动方向和移动速度, 下位机 MCU (STM32) 将下发控制速度、方向、角速度进行方程式解算, 最后将数据通过 CAN 总线发送到各个伺服驱动器上来完成智能移动运载功能。

该系统现已应用在北京 T3 航站楼停车场作为智能泊车运行。优点是节省停车场的停车位, 因为移动运载机器人没有转弯半径, 并且多角度运行, 所以不需要给停车位预留转弯空间。为车主节省停车时间具体是: (1) 在停车时, 车主只需要将车开入泊车库内, 确认已停好就可以离开, 移动运载机器人会为车主停好车。(2) 车主不需要再为找车而迷路浪费时间, 可以提前通过手机预约或到泊车库扫码取车时车主只需要在泊车库外

等候即可,移动运载机器人会自动将车运到指定泊车房内。

4 结 语

在智能制造中,移动运载机器人使用率非常高,对 AGV 的稳定性、可靠性要求高。采用本文控制方法,控制精度高,控制起来更方便、安全。在自动导航时,里程计的反馈极为重要,本文的里程计算法虽然不能够完全与实际运动轨迹重合,但是里程计轻微的滞后,比超前控制更方便,并且最终的总里程数较接近,完全能够应用于高密度、空间狭小、载重要求高的场所。

【参考文献】

[1] CORKE P. 机器人学, 机器视觉与控制——MATLAB 算法基础[M]. 刘荣, 译. 北京: 电子工业

出版社, 2016.

- [2] ZHANG L, HU Y, GUAN Y. Research on hybrid-load AGV dispatching problem for mixed-model automobile assembly line[J]. Procedia CIRP, 2019, 81: 1059.
- [3] ANDERSON M. The modern AGV delivers flexibility [J]. Automotive Design & Production, 2019(1): 42.
- [4] 高嵩. 基于 Canopen 协议的伺服控制器应用[J]. 电子机械工程, 2009, 25(6): 18.
- [5] 李为民, 姜漫. 基于光电编码器的速度反馈与控制技术[J]. 现代电子技术, 2006, 30(2): 84.
- [6] 姜庆明, 杨旭, 甘永梅, 等. 一种基于光电编码器的高精度测速和测加速度方法[J]. 微计算机信息, 2004, 20(6): 48.
- [7] 冯星华. AGV 及其控制系统研制[J]. 电子机械工程, 2001(1): 31.
- [8] 刘旭. 智能移动机器人路径规划及仿真[D]. 南京: 南京理工大学, 2004.

(上接第 80 页)

【参考文献】

[1] 张天福. 浅谈故障电弧式电气火灾监控探测器在电气防火中的作用[J]. 电器与能效管理技术, 2015(21): 82.

[2] NAGEL J R. An analytic model for eddy current separation[J]. Minerals Engineering, 2018, 127: 277.

[3] 邓少华, 徐峥, 段方立. 有色金属涡流分选过程中涡流模型研究[J]. 磁性材料及器件, 2017, 48(3): 4.

[4] 张书明. 基于电磁斥力废杂铜电涡流分选技术研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2015.

[5] 康健. 火灾现场金属熔落物的分离提取技术和装置研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2015.

- [6] 盛金良, 赵万超, 卓俊杰. 基于 COMSOL 的涡流分选机磁辊磁场研究[J]. 中国工程机械学报, 2017, 15(6): 471.
- [7] 汪建新, 王浩, 王飞. 永磁筒式磁选机开放式磁路的仿真分析[J]. 金属矿山, 2018(8): 127.
- [8] POWERS D L. Boundary Value Problems[M]. London: Academic Press, 1999.
- [9] REM P C, LEEST P A, VAN DEN AKKER A J. A model for eddy current separation [J]. International Journal of Mineral Processing, 1997, 49(3/4): 193.
- [10] 高凤芬. 影响涡流分选机分选效果的几个因素[J]. 资源再生, 2013(6): 66.
- [11] 谢德馨, 杨仕友. 工程电磁场数值分析与综合[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 8-9.