

基于轮式机器人电机运动控制的轨迹推演模型

沈文婷

(上海机器人产业技术研究院有限公司, 上海 200063)

摘要: 机器人技术的发展步伐在加入仿真环节之后得到了进一步提速。根据 LabVIEW 提供的应用场景和电机控制模型, 设计了一种具有轨迹推演效果的算法模型。该模型依据轮式小车的左右轮电机速度, 计算小车在应用场景的速度, 然后通过世界坐标系的轨迹坐标来反映小车在应用场景的位置变化。该模型可以通过检测世界坐标系的轨迹变化, 判断电机控制的效果, 达到测试轮式机器人控制系统的目的。

关键词: 轮式机器人; 轨迹推演模型; 电机运动控制; LabVIEW

中图分类号: TP 24 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2020)03-0034-04

doi: 10.12177/emca.2019.177

Trajectory Deduction Model Based on Motor Motion Control of Wheeled Robot

SHEN Wenting

(Shanghai Robot Industrial Technology Research Institute, Shanghai 200063, China)

Abstract: The development pace of therobot technology has been further accelerated with the help of model simulation. Based on the application scene and motor control model provided by LabVIEW, an algorithm model for robot trajectory deduction is designed. For a wheeled robot, according to the speeds of the left and right wheels, the model calculates the velocity of the robot in the application scene. Then the model reflects the position change of the robot in the application scene through the track coordinates in the world coordinate system. This model can assess the motor motion control effect and test the control system of wheeled robot by detecting the trajectory change in the world coordinate system.

Key words: wheeled robot; trajectory deduction model; motor motion control; LabVIEW

0 引言

随着机器人产业不断发展, 机器人运动控制项目呈现大型化、复杂化的发展趋势。机器人企业对软件测试的需求越来越大。对于软件测试来说, 被测试系统越复杂, 需要测试的内容也越多, 包括内部控制算法^[1]、电机控制^[2]等。电机是一种能够实现电能和机械能之间相互转换的能量装置, 具有良好的调速性能, 可以拖动不同类型的负载。目前电机已经应用在生产和生活的方方面面。机器人企业不会对外开放其算法和电机控制

信息。在此前提下, 对控制系统进行测试的难度不断加大。仿真作为对真实系统的模拟, 可以一定程度上还原真实的系统, 且具有降低开发成本, 缩短实物测试周期, 提前发现并解决问题等优势。在控制算法呈现黑盒的情况下, 将控制算法的外围设备, 包括电机、传感器等通过数字化方式模拟出来。将不同的运动控制算法在统一的仿真环境下实现, 可以快速鉴别运动控制算法的合理性。

在移动机器人的导航领域, 轨迹研究的方法有很多。文献[3]提出一种路径跟踪控制方法, 可以控制汽车列车沿指定的路径行驶, 且不受车

收稿日期: 2019-12-31; 收到修改稿日期: 2020-02-14

作者简介: 沈文婷(1985—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为软件工程。

厢数量限制,可使汽车列车灵活编组,通过设计跟踪仿真模型可分别对指定形状的路径进行跟踪控制。文献[4]应用模型预测控制理论设计了轨迹跟踪控制器,在保证车辆操纵稳定性的同时自主完成轨迹跟踪控制,且该控制器对车速变化和参考轨迹具有良好的适应性,可提高自动驾驶汽车的轨迹跟踪能力。

本文介绍了基于机器人运动控制的轨迹推演模型。该模型根据机器人运动控制所使用的电机运行速度,设计一种轨迹推演算法。算法模型不依赖于现有的硬件技术,只通过仿真来实现具体的效果。讨论如何通过左右轮的速度得到小车的角速度与线速度,得到小车运动轨迹。为相关研究提供了一定的理论基础。

1 算法描述

1.1 主要思路

无论是定位导航还是普通的方向控制,均需要用到轨迹推演。文献[5-6]针对车辆和机器人导航设计轨迹推演算法,具有良好的控制效果。轨迹推演中除了对机器人位姿进行估计,另一个很重要的关系是移动机器人前进速度、转向角速度与左轮速度、右轮速度之间的转换。

机器人移动能力提高带来的是机器人避障功能需求的增加。本文的研究通过 LabVIEW 内部提供的带有避障功能的 3D 小车及基础应用场景实现。3D 小车配有左右各 1 个带电机的轮子、1 个万向轮和 1 个前置传感器。在运动中,小车利用传感器采集应用场景中障碍物的角度和距

离,并使用差分算法,从而控制 2 个轮子的前进角速度,以避免障碍物。

基于机器人运动控制的轨迹推演模型是在 3D 小车控制算法未知的情况下,根据已知左右轮的角速度,推算出 3D 小车在世界坐标系的轨迹坐标。3D 小车模型如图 1 所示。

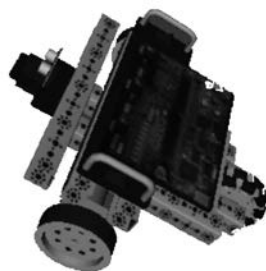


图 1 3D 小车模型

3D 小车的运动模式可以分为 3 种情况:圆弧、直线、旋转运动。当 3D 小车做圆弧运动时,按照轮式机器人的差分运动控制方法进行推理,得到轨迹坐标;当 3D 小车做直线运动时,在上一次运行基础上增加直线距离即可;当 3D 小车做旋转运动时,其位置相对于上一次运行保持不变。

1.2 小车基本情况分析

假设左右轮的角速度分别为 ω_1 、 ω_2 , 2 个轮子之间的距离为 L , 轮子的半径为 r , 左右轮的线速度分别为 v_1 、 v_2 , 3D 小车运行周期记为 Δt 。以 3D 小车车轮连线为 0 基准线, 顺时针运行时角度量设为 α 角, 逆时针运行时的角度变化量设为 β 角, 世界坐标系的原点为 O 。周期内各运动模式下的状态变化如图 2 所示。

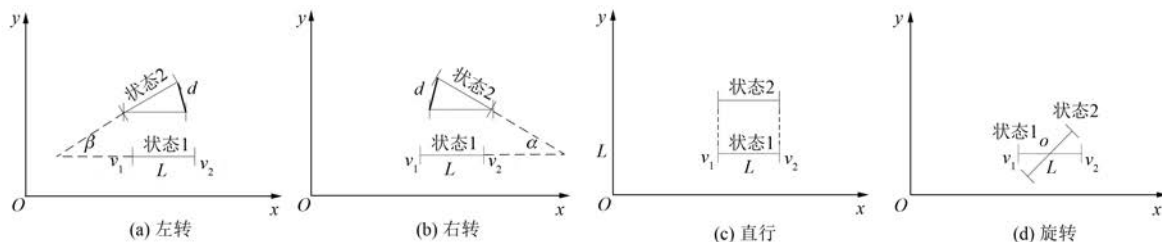


图 2 周期内的运动状态变化

假设右轮线速度 v_2 大于左轮线速度 v_1 , 此时右轮比左轮多行走了距离 d :

$$d = (v_2 - v_1) \times \Delta t \quad (1)$$

其中: $v_1 = \omega_1 \times r$; $v_2 = \omega_2 \times r$ 。

式中: ω_1 、 ω_2 为小车的左右轮子的角速度。

根据几何关系,由于相邻时刻间隔很短,角度变化量很小,当 3D 小车逆时针运动时,其转动角度 β 约等于自身的正弦值 $\sin \beta$, 即:

$$\beta = \sin \beta = \frac{d}{L} \quad (2)$$

当 3D 小车顺时针运动时,转动的角度为 α , 且有

$$\alpha = \sin \alpha = \frac{d}{L} \quad (3)$$

在每一个周期内,3D 小车的运行速度可以视作左右轮子速度的平均值,即:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (4)$$

当 3D 小车经过一个周期 Δt 之后,行进的距离 s 为

$$s = v \times \Delta t \quad (5)$$

根据几何关系,经过 1 个单位时间之后,3D 小车在世界坐标系的轨迹坐标就可以通过其行进距离与行进角度表示出来,即:

$$\begin{cases} x = s \times \sin \alpha \\ y = s \times \cos \alpha \end{cases} \quad (\text{左转}) \quad (6)$$

$$\begin{cases} x = s \times \sin \beta \\ y = s \times \cos \beta \end{cases} \quad (\text{右转}) \quad (7)$$

需要指出的是,与前一时刻相比,3D 小车的运动方向变化了多少角度,3D 小车就绕其运动轨迹的圆心旋转多少角度。

1.3 坐标计算

各运动模式下的 3D 小车轨迹坐标可以通过以下方式得到。

(1) 圆弧运动。3D 小车角速度由速度和方向组成,其中圆弧运动表现为 3D 小车的左右轮角速度不一致。

当其左转时,在最近 2 次运动过程中的状态如图 2(a) 所示。此时左右轮行进距离差值 d 如图(1)所示, $v_2 > v_1$, 坐标变化计算公式为

$$\Delta x = \frac{(v_1 + v_2) \times \Delta t}{2} \times \sin \frac{(v_2 - v_1) \times \Delta t}{L} \quad (8)$$

$$\Delta y = \frac{(v_1 + v_2) \times \Delta t}{2} \times \cos \frac{(v_2 - v_1) \times \Delta t}{L} \quad (9)$$

同理,当其右转时,在最近 2 次运动过程中的状态如图 2(b) 所示。左轮速度大于右轮速度, $v_2 < v_1$, 坐标变化计算式与式(8)、式(9)相同。

(2) 直行运动。3D 小车左右速度相同,此时 (x, y) 坐标变化量可以表示为

$$\Delta x = 0 \quad (10)$$

$$\Delta y = \frac{(v_1 + v_2) \times \Delta t}{2} \quad (11)$$

(3) 旋转运动。3D 小车左右速度相反,此时坐标保持不变。

2 仿真试验

通过以上分析,可将最后计算形成的 x, y 坐标数组通过图形显示出来。当小车在图 3 所示应用场景中运行时,对应的轨迹坐标在世界坐标系内显示。

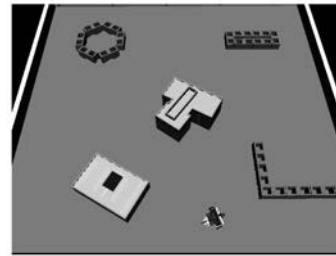


图3 小车运行环境

在 LabVIEW 中,根据所设计的基于机器人运动控制的轨迹推演模型,通过程序框图进行编程,实现轨迹跟踪。部分程序框图如图 4 所示。其中,输入量为左轮速度和右轮速度,输出量为 x 轴坐标和 y 轴坐标。给定输入为小车的左轮速度和右轮速度,并代入式(8)、式(9),推演出小车实际的运行坐标,利用 LabVIEW 内置的绘图函数和小车实际坐标值,最终实现图形的绘制。

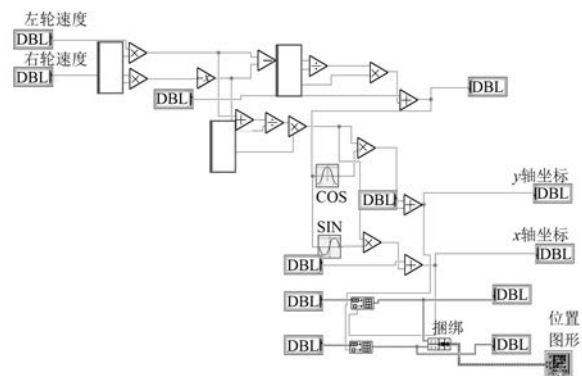


图4 轨迹推演部分程序框图

本模型实现了在已知 3D 小车速度、未知控制算法的情况下,推算其世界坐标系的运行轨迹。与之相对应,小车在世界坐标系的理想坐标可以通过 LabVIEW 中的 position 函数给出。通过

不断改善推演模型的各重要参数,最终得到实际轨迹和理想轨迹的比较,如图 5 所示。此为运行 21 000 个周期之后的结果。

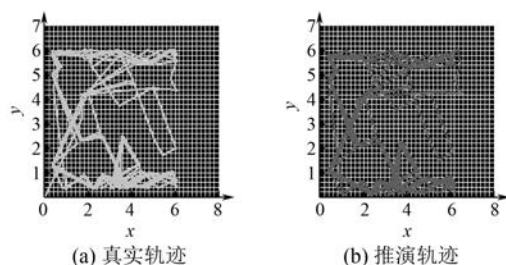


图 5 真实轨迹与推演轨迹的比较

由图 5 可知,推演轨迹与真实轨迹有很好的 consistency,从而证明了轨迹推演模型的有效性。

3 结 语

本文利用轨迹推演算法描述 3D 小车在指定环境下的位置变化,并将各周期的轨迹位置在世界坐标系上表示。该算法只要通过 3D 小车反馈的左右轮电机速度即可计算出 3D 小车的位置变化。根据这些位置变化,得到各周期的位置坐标数组,绘制出 3D 小车在环境内的运动轨迹。通

过仿真技术为小车的轨迹推演提供新模式,不仅可以推动轨迹推演模型改进的步伐,而且能为轨迹推演模型在小车上的实现提供一种新的思路。未来的研究将不断提高轨迹推演模型的准确性,并将算法移植到移动机器人中,服务于移动机器人的电机运动控制。

【参考文献】

- [1] 张凯强.先进控制理论与策略在电机控制中的应用[J].科技风,2018(32): 148.
- [2] 张凯强.现代电机控制技术软件工程化运用[J].中国战略新兴产业,2018(44): 154.
- [3] 孙帮成,刘志明,崔涛,等.一种汽车列车结构及其路径跟踪控制方法[J].机械工程学报,2018,54(35): 181.
- [4] 邵毅明,陈亚伟,束海波.自动驾驶汽车的轨迹跟踪控制[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(8): 1.
- [5] 于淑萍,李文锋.一种车载自组网中车辆轨迹推演算法[J].计算机应用与软件,2012,29(10): 264.
- [6] 肖立武,曾连荪,朱锦顺.面向轮式机器人导航的轨迹推演[J].电子设计工程,2014,22(24): 30.

【期刊简介】

《电机与控制应用》(原《中小型电机》)创刊于 1959 年,是经国家新闻出版总署批准注册,由上海电器科学研究所(集团)有限公司主办的具有专业权威的电工技术类科技期刊。

期刊定位于电机、控制和应用三大板块,以中小型电机为基础,拓展新型的高效节能和微特电机技术,以新能源技术和智能控制技术引领和提升传统的电机制造技术为方向,以电机系统节能为目标开拓电机相关应用,全面报道国内外的最新技术、产品研发、检测、标准及相关的行业信息。

本刊每月 10 日出版,国内外公开发刊,邮发

代号 4-199。在半个多世纪的岁月中,本刊为我国中小型电机行业的技术进步与发展做出了巨大的贡献,在中国电机及其应用领域享有很高的声誉。

依托集团公司雄厚的技术实力和广泛的行业资源,《电机与控制应用》正朝着专业化品牌媒体的方向不断开拓创新,在全国科技期刊界拥有广泛的知名度,是“中国学术期刊综合评价数据库来源期刊”、“中国科学引文数据库来源期刊”、“中国学术期刊(光盘版)全文收录期刊”,得到了业内人士的普遍认可,备受广大读者的推崇和信赖,多次被评为中文核心期刊、中国科技核心期刊、全国优秀科技期刊。