

基于磁导航的猪场环境 AGV 控制器设计*

Design of AGV Controller About Pig Farm Environment Based on Magnetic Navigation

董秋伟 潘振永 马明江 耿艳利 (河北工业大学人工智能与数据科学学院,天津 300130)

摘要:自动导航车(AGV),因为具有灵活性、智能化等特点,被广泛应用于生产过程中的柔性化运输中。首先对研究对象建立运动学模型和电机控制模型;其次分析 AGV 系统各硬件组成;然后利用增量式数字 PID 控制算法,实现了 AGV 自主寻迹,并且开发了红外遥控功能实现了手动控制;最后根据猪场泥泞,道路不平,死角多的特点,引入砰砰控制算法,并对算法采用 LDC1000 传感技术进行验证,以达到及时调整对象运行的目的。

关键词:AGV,自主寻迹,红外遥控,LDC1000,砰砰控制

Abstract:Automated Guided Vehicle (AGV) has been widely used in the flexible transportation in the production process for its excellent characteristics such as flexibility and intelligence. Firstly, a kinematic model and a motor control model is established for the research object. Secondly, this paper analyzes the hardware components of the AGV system. Thirdly, achieving AGV independent tracing by using incremental digital PID control algorithm. This paper develops an infrared remote control function to achieve manual control. Finally, the bang-bang control algorithm is introduced according to the characteristics of the pig farm which has rough, muddy road, and a lot of dead angle. The algorithm is verified by LDC1000 sensing technology to achieve the purpose of adjusting the operation of the object in time.

Keywords:AGV, independent following the track, infrared remote control, LDC1000, Bang-bang control

自动导航车(Automatic Guidance Vehicle)即 AGV 是一种能够自动导航的无人驾驶车辆,其被应用在越来越多的工业场合和复杂场景之中,国外的 AGV 几乎不需要人工的干预,能够运用在所有复杂多变的场合。AGV 功能完善,技术先进,同时为了能够采用模块化设计,降低设计成本,提高批量生产。尽管如此,由于技术和功能的限制,此类 AGV 的销售价格仍然居高不下。

对于国内的 AGV 自动导航车来说,大多采用基于单片机^[1-2]、可编程控制器(PLC)^[3-4]、嵌入式工控机^[5-6]等方案。采用 PLC 作为控制器系统。存在扩展不便、功能简单、难以实现复杂的调度算法等问题^[7];磁导航传感器通过检测铺设在地里的磁条来判断 AGV 自动导航车与目标路径的偏差,然后输出电压模拟量^[8-9]。

因此,对 AGV 的研究主要包括路径规划、控制算法和多个 AGV 系统协调等课题。这些问题的研究对于 AGV 的推广以及提高生产效率有着一定的推动作用,对于国民经济的发展也有广泛意义。由于猪场的环境复杂,投料不方便,猪场的 AGV 的应用尚不成熟,因此本设计在猪场中会有很大的应用。本设计基于 STM32 主控板,实现了 AGV 车自主循迹,并且通过对算法进行的一些改进解决了调整准确性和稳定性的问题。

1 AGV 运动学模型分析

1.1 AGV 车体结构

AGV 运动主要方式为电机带动车轮行走,不同环境中应用的导航车结构具有较大差异所用 AGV 车需要兼顾载重和简单易控的要求,并且路线固定,所以选择四轮车。图 1 为实验车体结构,其结构为后两轮驱动,前两轮自由跟随,这种结构简单可操作性强,并且增强了车辆稳定性,同时 AGV 采用差速转向的方法进行转弯。

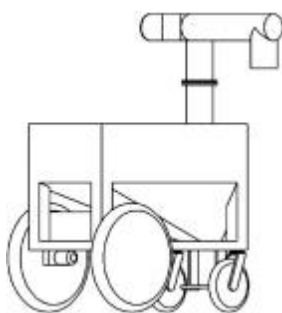


图 1 四轮 AGV 车体结构图

1.2 小车运动状态分析

由于选择的是四轮车,所以结构简图只用后两个驱动轮代替整车来分析。

假设电机电枢电压为 U ,电机响应时间为 T ,则根据电机原理,转速和电枢电压的关系为:

$$\begin{aligned} V_1(t) &= U_1(t) \cdot e^{-\frac{t}{T}} \\ V_2(t) &= U_2(t) \cdot e^{-\frac{t}{T}} \end{aligned} \quad (1)$$

可见直接改变电枢电压能改变电机转速,直流电机调压调速人为特性如图 2 所示。

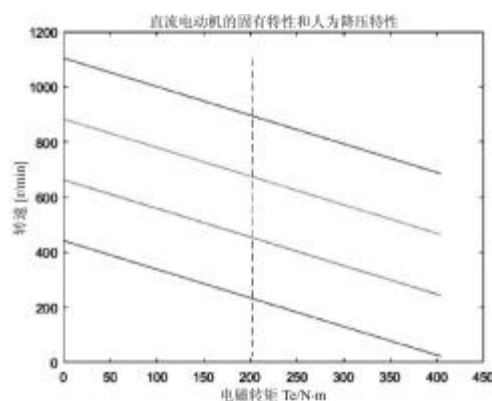


图 2 直流电动机的固有特性和人为降压特性

2 硬件系统搭建

2.1 AGV 硬件组成系统

AGV 控制系统实际组成如图 3 所示,主要组成部分包括主控板、开关控制电路、磁传感器、控制按键、红外遥控模块以及电机驱动六大模块构成,主控板是控制信息处理核心;开关控制电路是系统安全运行的重要保障,并通过指示灯系统传达系统运行的重要信息;电机驱动是直接动作单元;驱动被控对象直流电

* 大学生创新创业项目资助(201810080188);河北省自然科学基金青年项目(F2016202327)

机实现小车运动;按键控制和遥控控制实现不同的控制手段。

除此之外 AGV 系统还包括电源供电和降压模块,为不同的器件提供合理电压大小的电源。

2.2 传感器系统

本设计采用 LDC1000 电磁传感器系统,提供低功耗、小封装、低成本的解决方案。它的 SPI 接口连接 MCU。磁导航传感器通过检测铺设在地面上的磁条来判断 AGV 与目标路径的偏差,然后输出电压模拟量。

LDC1000 只需要外接一个 PCB 线圈实现非接触式电感检测。LDC1000 的电感通过测试外部金属物体和 LDC1000 相连的测试线圈的空间位置关系,从而调整小车的前进方向。

2.3 控制系统组成

要实现能够根据传感器数据来经过算法运算得到控制量,送给执行器调整电机速度,使得 AGV 小车根据信号运行,实现循迹。**需要考虑具体如何将控制算法的输出与实际物体实现对接。**实现循迹不同于实现速度控制。速度是直接对速度量控制,而循迹相当于把误差作为被控量,而电机是执行单元,不能把误差量直接用于电机上,而是**考虑控制器输出的误差与两个电机输入量的转换关系。**经 PID 运算后输出的 y 可以作为两个电机的速度差量来给两个电机赋值。但运算过程中是不出现速度量的,而是差值,包括当前差值、之前差值,最终保持为零。闭环控制系统框图如图 4 所示:

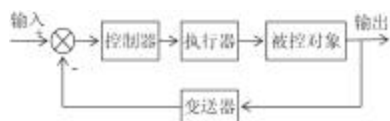


图 4 AGV 小车闭环控制系统框图

相比之下,典型的速度控制过程被赋予期望的速度值,并且受控变量也是速度值。于是 PID 的输出直接赋值给 PWM 相关寄存器并且 PID 控制算法函数里面默认给反馈值是 0,而设定值却是手动给定的,当有给定设定值就输出设定值,要实现实时控制就需要再给 PID 函数设置一个入口参数是反馈值,即输入量是实时反馈值和设定值。所以若想让实际系统与算法真正的联系,必须要至少两个输入量,一个是**设定值**,这个可以是手动在程序中给定的,另一个量则是**反馈量**,他就需要是来自采样数据了而且是实时变化的,不能是手动输入的。所谓的控制就是让这个反馈量能够自动获取并进入到控制器的输入中去的一个动态的过程,而 PID 算法仅仅是一个通道而已,在这个通道内运行的是数学公式,它不是动态的,也是与实现控制动作无关的。而我们研究像 PID 这样的算法和更高级的算法,是为让控制器这个通道的输入与输出关系更加科学。如图 5 所示。

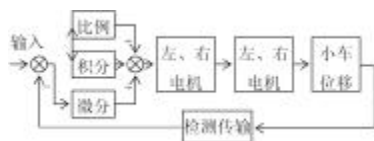


图 5 AGV 车的 PID 调节示意图

3 控制器各模块设计

AGV 控制器是实现自动驾驶车自动寻迹和执行人为设定的相关动作的核心同时也是算法实现的载体。本设计采用 STM32F103RCT6 作为核心控制器,利用了 GPIO 口输入输出、

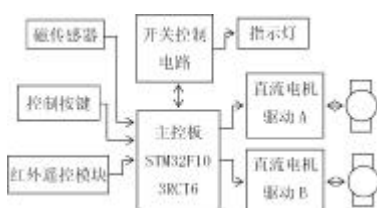


图 3 AGV 系统框图

外部中断、定时器及定时器中断、串口等功能实现信息采集、信息处理、路线跟踪和自主运行。

3.1 定时器实现 PWM 输出和定时器中断实现数据采样

本设计利用通用定时器和定时器实现输入捕获和 PWM 输出,用 PWM 方式实现调速。PWM 即脉冲宽度调制,其调压原理是通过改变 PWM 波的占空比来改变等效电压值,从而等效于模拟量调速,十分适用于数字电路的电压调节。STM32 的大多数定时器都可以实现 PWM 输出功能。本实验采用高级定时器 TIM1 的 CH1 和 CH4 通道输出控制信号分别控制两电机驱动。

3.2 按键模块

本设计通过按键输入来实现按键控制 AGV 车启动、停止和刹车。将 STM32 的 GPIO 口当作输入口输入,使用键扫描功能确定输入键值并返回相应的键值。

3.3 遥控模块

红外遥控技术是一种无线、非接触控制技术,在本设计中实现的功能,是分别实现控制手动控制车运行和自动运行。当手动控制时可以实现 AGV 车变速运行、左右转向和刹车暂停;当遥控按下某一控制键时可以实现小车自动寻迹功能。红外遥控器控制的核心是利用 STM32 的输入捕获功能实现对红外遥控器编码信号的解码。

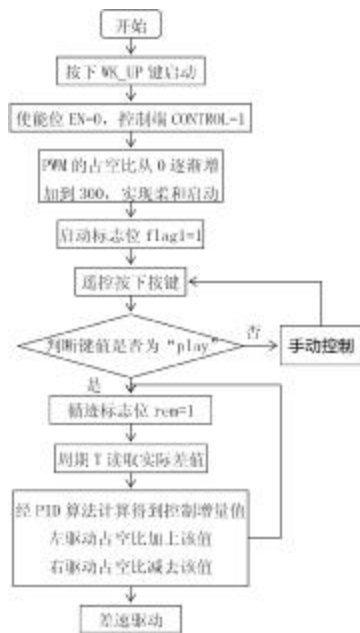


图 6 主程序控制流程图

4 控制器主程序流程

4.1 算法改进及验证

在经过按键启动后,小车有两种运行状态,并且由红外遥控器控制切换:一种是手动控制小车左右转、加速减速和刹车;另一种运行状态是自主循迹,沿着给定的路线自动运行,且直线基准运行时占空比为 300。实际运行过程中情况复杂,必须设置急停,AGV 的刹车急停由中断实现。

4.2 控制算法改进

经典 PID 控制能基本实现自主循迹,但实际运行中也存在问题:

1) 不时出现调节过频情况,导致在沿直线轨迹行驶时依然会左右摆动,无法正常沿直线运行;

2) 在拐弯时会出现调节过慢的情况,无法正常拐弯而是发生较大震荡,甚至失灵,效果不好;

3)在小弯较多但没有大弯情况下反应较慢,出现来不及调整就走过的情况。

针对以上问题可以做出改进来改善算法,提高运行可靠性和准确性。具体如下:

1)设置死区。调节过频是 PID 控制算法的特点决定的。实际情况误差必然存在,这导致很小的误差也会被传感器采集并且控制器会对其进行 PID 调整,误差总是存在的,所以控制器始终在调整,导致左右摆动震荡。于是设置合适的死区,误差值小于一定阈值时控制器失效不发生调节,从而避免过频调整。同时由于积分作用的存在,需要对积分饱和进行限制,设置控制输出上限防止饱和失效。

2)去积分控制。在拐弯处由于积分作用的存在使得系统反应较慢,造成小车不时地偏离轨迹然后再调整,使拐弯效果十分差。为改善以上情况可以在拐弯时去掉积分作用,此时控制器为 PD 控制,反应较快,能适应拐弯的情况。

3)引入砰砰控制(bang-bang control)。误差较大时需要系统快速回到正常轨迹中,理论上 PID 在一定范围内是有效的,但此时经过 PID 调整会影响反应的快速性,导致小车无法尽快回到轨迹中。为改善以上要求可以设置一定阈值,当误差达到或超过该阈值时,不再经过 PID 控制,控制器直接输出最大控制作用,反之控制器输出负最大控制作用,以保证 AGV 车能够快速回到轨迹中去,一旦差值进入阈值以内就切换到正常的 PID 控制。

经过上面的改进,控制算法变成一种基于 PID 的改进控制算法,这种方法更加适应 AGV 实际运行情况,有效提高系统运行效果。

4.3 控制算法的验证

验证实验所用的各部件:导线采用直径 0.5cm 的细铁棒,两片 LDC1000 线圈,直径大约 4.5cm。两线圈之间的圆心相距为 23.5cm,线圈之间垂直方向被测区域一分为三,区域 1 和 3 的宽度为 4cm。如图 7 所示:

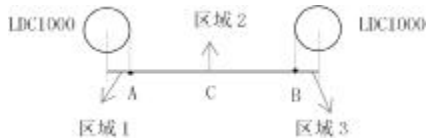


图 7 区域分配示意图

当铁棒位于不同区域时,控制器采集到不同的数据并且控制两个驱动器的 PWM 输出,以控制电机差速调整。PWM 输出值用串口调试助手显示,同时以 LED 作为测试效果显示单元。三个区域分别对应 LED1、LED2、LED3。导线处于对应区域时该区域灯亮。设称区域 1、2 的公共点为 A 点,区域 2、3 的公共点为 B 点,两线圈距离中点为 C。移动测试导线得到以下 LDC1000 的平均读取值数据:

- 1)导线处于 A 点时,CODE1=20700, CODE2=16600;
- 2)当导线处于 B 点时, CODE1=14000, CODE2=23000。

设 $compare=CODE2-CODE1$,则得到各个区域 $compare$ 的数值范围:

- 1)导线处于区域 1 时, $compare \in (-14000, -4100)$;
- 2)导线处于区域 2 时, $compare \in (-4100, 9000)$;
- 3)导线处于区域 3 时, $compare \in (9000, 12000)$ 。

在实际验证以前已经经过测试得到 LDC1000 读取值的最大变化范围,该范围是在两线圈圆心距离间距 2.9cm 到 5.2cm 范围间得到的。

实验效果:启动 AGV 车后,首先按下 PLAY 键使得 AGV 进入自主寻迹状态。

表 1 LDC1000A 和 LDC1000B 与 CODE 值对应表

距离 (cm)	CODE1 值(A)	CODE2 值(B)
5.0	14200	13900
4.8	14600	14600
4.6	15300	15200
4.4	17780	16700
4.2	18150	17300
4.0	19100	18250

1)铁棒静止位于中点 C 时,从串口调试助手的显示窗口可得 PWM1 输出值稳定在 300, PWM2 输出值稳定在 300;铁棒在中周围作微小移动(通过滚动实现),模拟微小偏差, PWM1、PWM2 值显示不变,说明死区设置有效。

2)铁棒位于 A 点并静止,模拟出现较大误差并且此误差持续存在,此时左驱动 PWM1 迅速达到 500 并且最终稳定在 500,与此同时右驱动 PWM2 迅速达到 100 并且最终稳定在 100,说明在出现较大误差时砰砰控制起作用,控制器直接输出最大控制作用。

3)铁棒位于中点并且向 A 点方向缓慢移动,左驱动以较快速度逐渐增加,与此同时右驱动逐渐减少,并且在分别达到 500 和 100 后 PWM 值不再改变,说明积分饱和和限制起作用,限制了控制器最大输出。此时即使往中点回移也不会改变,当越过中点偏向 B 点时, PWM 值开始改变,左驱动值降低,右驱动值升高,说明退出饱和。此过程说明去积分作用和积分饱和限制均有效。

5 结束语

自动导航车具有灵活性、智能化等特点,被广泛应用于生产过程中的柔性化运输中,猪场的环境复杂泥泞,因此 AGV 控制器要求实现准确的轨迹跟踪和灵活可靠的控制。本文首先对研究对象建立运动学模型和电机控制模型;其次分析 AGV 系统各硬件组成并搭建了以 STM32 为主控板的 AGV 硬件系统;再次利用增量式数字 PID 控制算法设计出 AGV 控制器控制程序,实现了 AGV 自主寻迹,并且开发了红外遥控功能实现了手动控制;最后根据小车实际运行效果,对 PID 控制控制算法进行了增加死区、去积分作用和引入砰砰控制等改进。解决了过频调节和调节时间过长问题,改善了小车运行效果,提高了系统的准确性和快速性,使小车在猪场中可以更好更稳定的运行。

参考文献

[1]吴卫荣,丁慎平,邓玲黎.PLC 和触摸屏在 AGV 控制系统中的应用[J].现代制造工程,012(12):115-119

[2]Bustee S,Suebsomran A,Vignat F,et al.Control and path prediction of an Automate Guided Vehicle [J].Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering,2008,31(2): 442-448

[3]韩腾,樊瑜瑾,李浙昆,等.基于 PLC 控制的 AGV 制动系统研究[J].机电一体化,2013(5):44-46

[4]黄青.基于 PLC 控制的 AGV 技术研究及其应用[D].上海:华东理工大学,2013

[5]孙晓艳.基于 FMS 的自动导引车控制器设计与实现[J].无锡职业技术学院学报,2010,9(6):26-28

[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):131-136

[7]张晓朋.AGV 开放式控制系统设[D].西安:陕西科技大学,2009

[8]彭光清,楼佩煌.磁导航 AGV 模糊控制器的研究[J].工业控制计算机,2012(9):43-44

[9]卢超月,夏继强,叶呈洋.STM32 的磁导航自主导引车通用驱动器设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2015(4):68-71

[收稿日期:2019.3.19]