

背负式磁导航 AGV 纠偏控制系统设计^①

刘淑晶^{②*} 刘金华^{**} 吴 乐^{***} 李欢欢^{*} 徐小龙^{***}

(* 北京石油化工学院机械工程学院 北京 102617)

(** 浙江传媒学院电子信息学院 杭州 310018)

(*** 北京化工大学机电工程学院 北京 100029)

摘 要 针对 AGV 运行过程的自主导航问题,采用模块化设计思想,设计了一种开放式数控系统的背负式 AGV 机器人纠偏控制系统。利用传感器对 AGV 的位置和周围的障碍物进行检测,结合基于差速原理的纠偏算法对 AGV 的运行路线进行实时监测;利用工业平板电脑和运动控制卡组成上下位机,上位机软件采用 Visual C + + 编写,通过人机交互界面对 AGV 进行操作和控制,保障 AGV 按照正确路径安全地运行。通过对 AGV 机器人进行性能实验,验证了背负式 AGV 机器人的控制系统平稳可靠,具有较好的应用价值。

关键词 自动导引车(AGV),模块化,控制系统,纠偏算法

0 引 言

随着制造业自动化程度不断地向前推进,物料运输的自动化改造也越来越受到重视^[1,2]。自动导引车(automated guided vehicle, AGV)是一种以蓄电池为动力源,通过非接触的制导方式按照预定路线行驶的搬运小车。它的主要特点是按照设定的线路将物料搬运到指定地点,在运行过程中检测周围的环境,当有障碍物存在时会停止运行并发出提示信号,保障其运行的安全。由于 AGV 运行稳定、性能可靠以及不会疲劳等特点大大提高了企业的生产效率^[3-6]。

目前 AGV 机器人的研究中,控制系统导航功能的设计是人们关注的重点,能否实现运行过程中的实时纠偏是至关重要的问题。本文主要针对背负式 AGV 机器人的纠偏控制系统进行设计。首先介绍纠偏控制系统的原理及算法。其次,对 AGV 机器人的纠偏控制系统进行构建,结合软硬件并利用微软的 Microsoft Visual C + + 开发环境完成人机交互界

面以及控制算法的开发。最后通过实验来验证纠偏控制系统的稳定性和设计的合理性。

1 背负式 AGV 机器人导航纠偏原理及算法

1.1 背负式 AGV 机器人导航纠偏原理

导航系统也就是 AGV 的引导系统。要保证 AGV 准确可靠地沿着预先设定的任务轨迹执行任务就必须提高导航系统的可靠性和准确性。由于电子技术以及传感器技术的迅猛发展,可以应用在 AGV 上的新型的导航技术越来越多^[7-9]。由于新型导航技术的应用使 AGV 的导航精度、可靠性以及导航的多样性有了极大的发展。比如,根据工况需要设定的导航路径因新型导航技术的应用而变得更加灵活,更加简单可靠。

本文选择的导航方式为磁导航,磁导航传感器的核心部件是霍尔开关传感器。图 1 为磁导航传感器原理及流程图。

① 863 计划(2012AA041402)资助项目。
② 女,1973 年生,硕士,高级工程师;研究方向:机器人技术,机构数字化设计等;联系人,E-mail: liushujing@bipt.edu.cn
(收稿日期:2017-12-16)

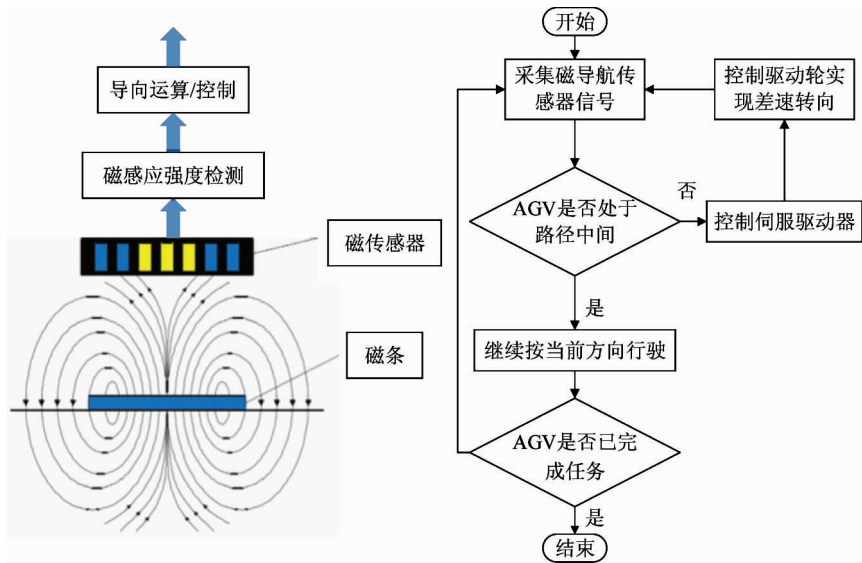


图 1 磁导航传感器原理及流程图

图 1 右侧为磁导航传感器的纠偏原理图。磁导航传感器安装在 AGV 驱动模块的前部,位于两驱动轮之间,距离地面大约 3~5cm。本文所采用的磁导航传感器由 16 个磁性采样点组成,每一个采样点相互独立并且可以检测磁传感器下方微弱的磁场变化和磁极性变化。当磁条位于磁传感器下方并且距离小于霍尔传感器检测磁信号的临界值时,那么采样点就会检测到磁场变化进而改变该采样点的输出电平。而其他采样点由于没有检测到磁场的变化其输出电平维持原有状态。图 1 左侧为磁导航传感器纠偏流程图。首先将磁传感器的信号通过 I/O 采集输入到控制器,通过控制算法判断磁条相对于车体的位置。接着根据车体的位置信息控制驱动系统,而驱动系统控制电机运转,进而实现车体的纠偏,从而实现了 AGV 按照预定轨迹完成控制任务。

1.2 背负式 AGV 机器人导航纠偏算法

AGV 的导航纠偏算法主要研究主控系统如何实时地对单驱单向 AGV 运行时产生的位置和姿态的偏差进行处理的过程。

为了便于计算研究,对 AGV 车体结构进行简化,简化为两轮机构模型。因此将 AGV 的运动状态以及偏差表示为图 2 所示。

AGV 机器人无偏差行驶时的车体位置沿 x 轴方向,经过时间 Δt 单驱单向 AGV 的车体位置发生变化,分别表示为位置偏差 $\Delta\lambda$ 和角度偏差 $\Delta\theta$ 。通

过建立 AGV 机器人的运动学模型,分析计算得出 AGV 机器人的位置偏差和角度偏差计算公式如下:

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= \frac{V_r + V_l}{2}\Delta t\sin\Delta\theta \\ \Delta\theta &= \frac{V_r - V_l}{2}\Delta t\end{aligned}\tag{1}$$

其中,驱动轮之间的中心距用 R 表示,驱动模块右轮的线速度用 V_r 表示,驱动模块左轮的线速度用 V_l 表示。

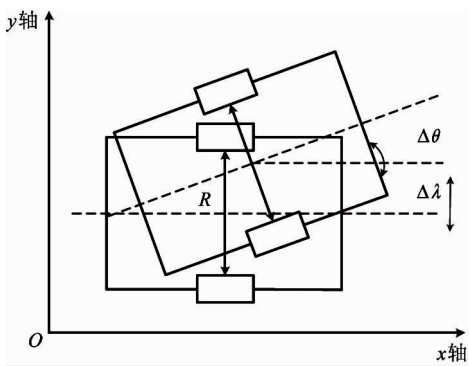


图 2 背负式 AGV 机器人运动偏差示意图

如式(1)所示,驱动模块驱动轮的线速度决定了 AGV 机器人行走时产生的位置偏差 $\Delta\lambda$ 和方向偏差 $\Delta\theta$ 。调整行驶中的 AGV 机器人的车体位姿可以通过调整驱动模块左右两轮的线速度实现,即调整驱动模块左右两轮的速度的大小可以实现 AGV 机器人运行时的纠偏控制,最终实现背负式 AGV 机

器人沿着预定路线行驶,来满足实际工况的要求。

本文采用的调速方式为模拟量输入控制方式,其模拟量的大小范围是 0 ~ 5V。驱动器的模拟量输入大小与电机转速的函数关系如下:

$$n_i = k_i u_i \tag{2}$$

其中, i 为 r 或者 l , r 代表右电机, l 代表左电机, n 代表电机转速, k 为转换常数。由于驱动轮采用相同电机以及驱动器,所以 k_r 和 k_l 相同。

驱动轮的转速用 n^* 表示,计算公式如下:

$$n^* = n/\eta \tag{3}$$

$\eta = 30$, 表示减速机的减速比。

驱动模块的驱动轮的线速度为

$$V = \frac{2\pi n^*}{60} r = \frac{n\pi}{900} r \tag{4}$$

r 表示驱动模块的左右驱动轮的半径。

根据控制系统硬件驱动系统的速度与驱动器上所加电压信号的关系式可知,用户设定速度与所加在驱动器上的电压函数关系式为

$$u = \frac{V}{600} \tag{5}$$

在实际工况中,AGV 的预设轨迹大部分情况下是直线,AGV 按照预设轨迹运行。此时左右驱动器上的模拟量输入电压基本相等,其值的大小为与给定速度相对应的添加在驱动器上模拟量的大小 u_c 。当 AGV 遇到弯道或者由于运行过程中的积累误差造成偏离预定轨道的情况发生时,此时就需要在控制算法的调整下给左右驱动器加减一个纠偏电压即为 Δu ,此时左右驱动电压公式可以表示为

$$\begin{aligned} u_r &= u_c + \Delta u_r \\ u_l &= u_c + \Delta u_l \end{aligned} \tag{6}$$

u 为加在驱动器上的模拟量电压。

由此可以得出添加在驱动器上的模拟量电压与位置偏差 $\Delta\lambda$ 和方向偏差 $\Delta\theta$ 的公式表达式,如下所示:

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= \frac{\pi r \Delta t}{900} k(u_r + u_l) \sin\Delta\theta \\ \Delta\theta &= \frac{\pi r \Delta t}{900R} k(u_r - u_l) \end{aligned} \tag{7}$$

从式(7)可以看出,通过调整左右驱动轮的模拟量输入电压的大小来消除位置偏差 $\Delta\lambda$ 和方向偏

差 $\Delta\theta$ 。

当 AGV 进入系统后,控制系统软件实时采集磁导航传感器的信号,然后,将这些信号进行分析,判断 AGV 是否偏离轨道。如果没有偏离轨道磁导航,AGV 继续行驶,如果偏离轨道,控制系统软件根据磁感应信号计算电机控制量。如何判断 AGV 是否偏离轨道和计算电机控制量是磁导航 AGV 导航算法的核心。图 3 为磁导航传感器检测单元偏移量示意图。

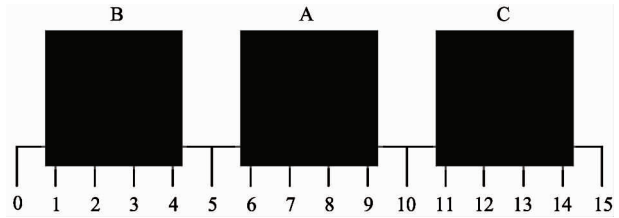


图 3 磁导航传感器检测单元偏移量示意图

图 3 中垂直的粗直线代表磁条,0 ~ 15 为磁导航传感器的 0 ~ 15 号输出点,这里规定 0 号为磁扫描传感器的最左侧扫描点,15 号为磁扫描传感器的最右侧扫描点。由图 3 可知当磁条相对于磁扫描传感器在 A 状态时,即位于 6 ~ 9 号之间时,此时磁导航传感器的 6 ~ 9 号输出点有信号输出时,认为此时 AGV 中心在磁条上方,这时不需要调整左右驱动轮的转速,保持 AGV 左右驱动轮的预设速度继续运行。现在以磁条左右边界为基准考虑磁条信息的量化过程。

(1) 以磁条左边界为基准

以磁条左边界为基准考虑图 3 中 B 状态。由于需要将磁条的位置信息转化为对驱动轮电机的控制量,因此需要量化磁导航传感器传递的信息。分析 B 状态,由于磁条位于 1 ~ 4 号输出点下方因此 1 ~ 4 号有信号输出。此时 B 状态与 A 状态相比,向左偏移了 5 个输出点。这便是将磁导航传感器的信号量化的过程,这个量化值表示了磁导航传感器中心偏离磁条的距离大小。下面采用另外一个量化方法,由于以磁条左边界为基准,其量化公式为

$$D = \frac{X}{6} \tag{8}$$

D 为磁导航传感器中心偏离磁条的程度大小, X 为磁条左端所触发的磁导航传感器的输出点的序号。由于现在考虑的情况为 B 状态, X 的所有可能取值为 $0 \sim 6$, 因此 D 的取值范围为 $0 \sim 1$ 。 D 越靠近 0 说明磁条越靠近磁传感器左边界。当 $D=0$ 说明磁条已经到达磁传感器左边缘。当 $D=1$ 时说明磁条位于磁导航传感器中心。

以磁条左边界为基准的条件下, B 状态下量化式(8)随着磁条靠近左边缘而不断下降直到为 0, 因此将 D 作为左侧驱动轮系数计算做驱动轮的速度, 采用下面公式:

$$\begin{cases} V_{\text{左}} = D \times V \\ V_{\text{右}} = V \end{cases} \quad (9)$$

根据式(9)控制驱动轮电机的转速。

以磁条左边界为基准考虑图 3 中 C 状态。此状态下, 其量化公式为

$$D = \frac{15 - (X - 3)}{6} \quad (10)$$

D 为磁导航传感器中心偏离磁条的程度大小, X 为磁条左端所触发的磁导航传感器的输出点的序号。显然此时 X 的取值范围为 $7 \sim 15$ 。当 X 取值为 $7 \sim 12$ 时, D 的范围为 $0 \sim 1$ 。当 X 取值为 $13, 14, 15$ 时, D 的范围变为负值, 这种状态下统一将 D 的值设为 0。 D 越靠近 0 说明磁条越靠近磁传感器右边界。当 $D=0$ 说明磁条已经到达磁传感器右边缘。当 $D=1$ 时说明磁条位于磁导航传感器中心。

以磁条左边界为基准的条件下, C 状态下量化式(10)随着磁条靠近右边缘而不断下降直到为 0, 因此将 D 作为左侧驱动轮系数计算做驱动轮的速度, 采用下面公式:

$$\begin{cases} V_{\text{左}} = V \\ V_{\text{右}} = D \times V \end{cases} \quad (11)$$

根据式(11)控制驱动轮电机的转速。

(2) 以磁条右边界为基准

以磁条右边界为基准考虑图 3 中 C 状态。此状态下, 其量化公式为

$$D = \frac{15 - X}{6} \quad (12)$$

D 为磁导航传感器中心偏离磁条的程度大小, X 为磁条右端所触发的磁导航传感器的输出点的序

号。显然此时 X 的取值范围为 $9 \sim 15$ 。当 X 取值为 $9 \sim 15$ 时, D 的范围为 $0 \sim 1$ 。 D 越靠近 0 说明磁条越靠近磁传感器右边界。当 $D=0$ 说明磁条已经到达磁传感器右边缘。当 $D=1$ 时说明磁条位于磁导航传感器中心。

以磁条右边界为基准的条件下, C 状态下量化式(12)随着磁条靠近右边缘而不断下降直到为 0, 因此将 D 作为左侧驱动轮系数计算做驱动轮的速度, 采用下面公式:

$$\begin{cases} V_{\text{左}} = V \\ V_{\text{右}} = D \times V \end{cases} \quad (13)$$

根据式(13)控制驱动轮电机的转速。

以磁条右边界为基准的条件下考虑图 3 中 B 状态。此状态下, 其量化公式为

$$D = \frac{X - 3}{6} \quad (14)$$

D 为磁导航传感器中心偏离磁条的程度大小, X 为磁条右端所触发的磁导航传感器的输出点的序号。显然此时 X 的取值范围为 $0 \sim 8$ 。当 X 取值为 $3 \sim 8$ 时, D 的范围为 $0 \sim 1$ 。当 X 取值为 $0, 1, 2$ 时, D 的范围变为负值, 这种状态下统一将 D 的值设为 0。 D 越靠近 0 说明磁条越靠近磁传感器左边界。当 $D=0$ 说明磁条已经到达磁传感器左边缘。当 $D=1$ 时说明磁条位于磁导航传感器中心。

以磁条右边界为基准的条件下, B 状态下量化式(14)随着磁条靠近左边缘而不断下降直到为 0, 因此将 D 做为左侧驱动轮系数, 用于计算左驱动轮的速度, 采用下面公式:

$$\begin{cases} V_{\text{左}} = D \times V \\ V_{\text{右}} = V \end{cases} \quad (15)$$

根据式(15)控制驱动轮电机的转速。

2 背负式 AGV 机器人纠偏控制系统构建

AGV 的导航功能模块的作用是控制 AGV 按照操作人员预设的运行轨迹运行, 保证 AGV 不脱离运行轨迹, AGV 的导航功能模块是 AGV 的重要构成部分, 这个模块设计的成功与否直接关系到 AGV 是否能够在预设轨迹上平稳可靠运行并且在周围环境

的波动不大或者较小人为作用下仍能控制 AGV 按照预设轨迹运行。AGV 的导航模块是 AGV 纠偏控制系统的核心,作为 AGV 整个系统的中枢控制着 AGV 的运行姿态。AGV 的导航功能模块的构成示意图如图 4 所示。

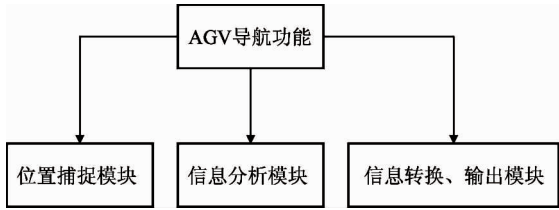


图 4 AGV 导引系统构成示意图

由图 4 可以看出 AGV 的导航功能模块主要由三部分组成,分别是位置捕捉模块、信息分析模块和信息转换输出模块。

位置捕捉模块:Turbo Clipper Pmac 通过 IO 扩展板取得磁扫描传感器(如图 5)传递上来的关于磁条位置信息的 16 个开关量信号,这 16 个开关信号分别代表磁导航传感器中的 16 个磁信号采集探头的采集信号,当有 N 极磁性材料靠近磁探头时磁探头将会有信号输出。Turbo Clipper Pmac 通过网线将磁导航传感器扫描的信息传输到控制系统软件中。

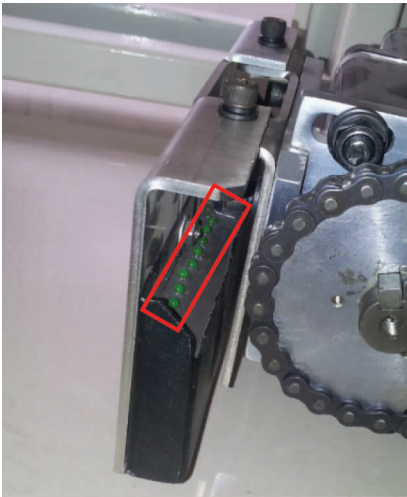


图 5 磁扫描传感器

信息分析模块:控制系统软件接收到磁导航传感器传递上来的数据,根据这些数据分析 AGV 当前的运行状态,为下一步的分析控制 AGV 的运动提供依据。

信息转换、输出模块:根据信息分析模块的分析结果,将磁导航传感器的扫描数据进行转化,转化成控制的控制信号并将控制信号施加在驱动系统上。驱动系统执行相应的指令,利用差速机构控制 AGV 进行姿态的调整。最终控制 AGV 沿着预设的轨道行驶。

图 6 为 AGV 沿路径运动分析示意图,其中 AC 为铺设的直线磁条轨道, CB 为弯道磁条轨道。LR 为 AGV 的驱动模块,它是 AGV 差速运转执行模块。L、R 两点代表驱动模块左右驱动轮,两点的箭头方向代表左右驱动轮的运动方向。由图中可以看出此时 AGV 的运行路径是由 A 点经过 C 点运行到 B 点。

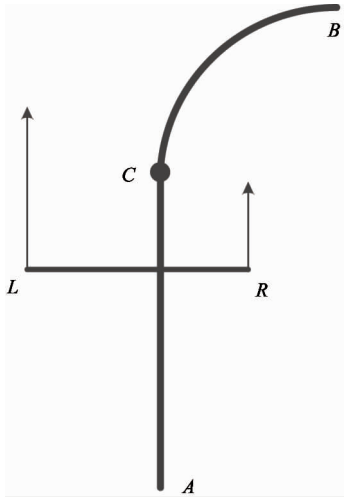


图 6 AGV 沿路径运动示意图

由图 6 可以看出驱动模块上的磁传感器相对于磁条偏左,此时必须调节驱动模块左右驱动轮利用差速原理 AGV 调整方向。如果此时将左驱动轮 L 的速度调节得高于右驱动轮 R,那么 AGV 将向右转,经过一段时间的行驶 AGV 的中心便会回到导引磁条上。同理如果驱动模块上的磁传感器相对于磁条偏右,此时将右驱动轮 R 的速度调节得高于左驱动轮 L,那么 AGV 将向左转,经过一段时间的行驶 AGV 的中心便会回到导引磁条上。这里需要特别注意的是,驱动模块上的磁传感器相对于磁条偏离的距离越大那么两轮的速度差越大。

同时由于一开始驱动模块上的磁传感器相对于磁条的偏移距离较大,需要采用较大的速度差,AGV 中心此时以较小的转弯半径靠近。那么此时需要调

整左右驱动轮的速度差,使左右驱动轮的速度差变小,否则如果采用较大的转速差使 AGV 的中心到达导引磁条中心,此时马上将转速差调为 0,由于 AGV 的惯性导致 AGV 的中心再一次偏离磁条。因此当 AGV 中心靠近导引磁条后需要减小速度差这样才能平滑靠近并最终使 AGV 沿着磁条运动。图 7 为 AGV 纠偏控制系统流程图。

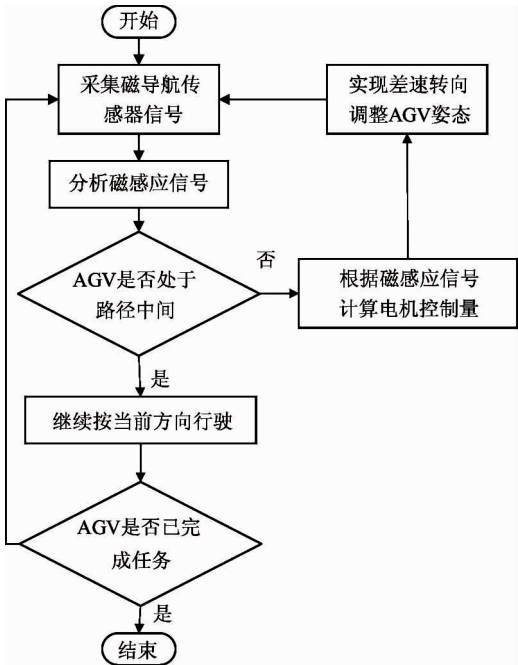


图 7 背负式 AGV 机器人导航系统流程图

纠偏控制系统是基于工业平板电脑和运动控制卡为核心的开放式数控系统。该系统的软件与硬件是紧密结合的,完善的系统软件的编写需要以合理的机械结构和稳定可靠的控制系统硬件为基础。为了提高程序的可维护性,降低开发难度以及提高兼容性,纠偏控制系统软件的开发使用 VC++ 编程语言,数据库使用 ACCESS,开发环境使用微软的 Microsoft Visual C++ 6.0^[10-12]。

3 实验测试

背负式 AGV 机器人的纠偏性能实验是对 AGV 的各方面性能验证和考核的关键指标,有助于了解和掌握 AGV 实际的各项性能指标,检测是否满足初始设计要求。

本文所建立的 AGV 运行场地是一个 4800mm

×4800mm 大小的平地,利用 50mm 宽度磁条在其上铺设的一个类似“田”字形的封闭轨道。“田”字形封闭轨道转角弯道的半径为 550mm,背负式 AGV 按照预设的轨迹运行。图 8 为 AGV 的实际运行场景照片。其中白色的卡片为 RFID 卡。在此运行环境下测试背负式 AGV 的运行速度、承载能力以及稳定性和可靠性,从而验证了该 AGV 的纠偏控制性能。



图 8 AGV 实际运行场景

让 AGV 在不同负载情况下,以最大设置速度沿轨道外圈运行多周,测量 AGV 运行的实际时间,取平均值,并算出实际速度。测量结果见表 1。

表 1 不同重量负载下 AGV 速度测量结果

负载重量 (kg)	设置速度 (m/min)	平均时间 (s)	实际速度 (m/min)
0	40	38.2	39.4
80	40	38.1	39.6
150	40	38.3	39.3

由表 1 可以看出,AGV 在不同负载情况下行驶一圈的时间之差较小,实际最大速度相差也较小,并且实际的最大运行速度与设计速度相比较,误差较小。这说明 AGV 在运行过程中进行实时纠偏,保证了运行轨迹的正确性,因此对运行速度的影响较小。

让 AGV 以最大负载和最大速度在“田”字轨道的“8”字形斜对角上运行。AGV 每天连续不间断运行 10 小时,连续运行 5 天。观察单驱单向 AGV 是否能稳定工作、是否会出现脱轨等问题。通过实验验证,本文设计的 AGV 在规定的时间内没有出现故障,运行也十分平稳,控制系统没有出现死机情况,

因此说明本文所设计的背负式 AGV 机器人的纠偏控制系统满足稳定性和可靠性要求。

4 结 论

本文以自主研发的背负式 AGV 机器人为实验平台,主要研究了纠偏控制系统的设计,并通过实验来验证控制系统的稳定性和设计的合理性,得出如下结论。

(1)详细介绍了背负式 AGV 机器人纠偏控制系统的原理及算法,突破性地解决了 AGV 机器人导航过程中的实时纠偏问题。

(2)通过对背负式 AGV 机器人纠偏控制系统的构建,对 AGV 纠偏控制系统硬件的总体结构进行规划,细分为位置捕捉模块、信息分析模块和信息转换输出三大模块。并基于 VC++ 编程语言结合其纠偏算法完成了背负式 AGV 机器人控制系统软件的总体开发。

(3)完成了对背负式 AGV 机器人进行的各项性能测试。实验结果和实验数据显示,本文所设计的 AGV 的纠偏性能指标符合初始设计要求。

参考文献

[1] Wang D J, Wei H X, Shen A, et al. Research service robot vision alignment algorithm based on SIFT characteris-

tic[C]. In: Proceedings of the 5th IEEE International Symposium on Embedded Computing, Beijing, China, 2008. 135-140

- [2] 刘涛,孙伟,周昌,等. 基于 RFID 的室内定位技术研究[J]. 中国电子商情(RFID 技术与应用),2008(3):34-36
- [3] 杨殿阁,连小珉,张涛,等. 基于北斗卫星的车辆组合导航系统开发[J]. 清华大学学报(自然科学版),2008,48(5):856-859
- [4] 张正勇,孙智,王刚,等. 基于移动锚节点的无线传感器网络节点定位[J]. 清华大学学报(自然科学版),2008,48(10):1602-1604
- [5] 王中云. 基于 RFID 的机器人控制与定位系统研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2007
- [6] 孙瑜. 射频识别(RFID)室内定位算法研究[D]. 成都:西南交通大学通信与信息系统,2005
- [7] 陈永光,李修和. 基于信号强度的室内定位技术[J]. 电子学报,2004,32(9):1456-1458
- [8] 王殿君,任福君,兰云峰,等. 基于有源 RFID 信号强度的室内移动机器人测距方法[J]. 科技导报,2009,27(15):76-79
- [9] 邓强,黄顺吉. 最大似然估计在 GPS 定位中的应用研究[J]. 电子科技大学学报,1996,25(1):11-15
- [10] 杨兴裕. 双轮驱动移动机器人远程控制系统研究[D]. 福州:福州大学机械工程及自动化学院,2005
- [11] Doherty L, Pister K S J, Ghaoui L E. Convex position estimation in wireless sensor networks[C]. In: Proceeding of the IEEE INFOCOM 2001, IEEE Computer and Communications Societies, Anchorage, USA, 2001, 3: 1655-1663
- [12] 江正川. 多 AGV 群控调度的蚁群算法研究[J]. 信息科技,2013,18(1):41-43

Design of knapsack AGV robot based magnetic navigation deviation control system

Liu Shujing*, Liu Jinhua**, Wu Le***, Li Huanhuan*, Xu Xiaolong***

(* College of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617)

(** School of Electrical and Information, Zhejiang University of Communication and Media, Hangzhou 310018)

(*** College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029)

Abstract

In order to solve the problem of autonomous navigation in AGV (automated guided vehicle) running process, a kind of open architecture CNC system is designed based on the modular design idea, and the AGV system is adopted. Using the sensor to detect the position of the AGV and the surrounding obstacles, and combining with the differential algorithm based on the error correction algorithm, the running route of AGV is monitored in real time. The upper and lower computers are composed of industrial tablet and motion control card. Upper computer software manipulating AGV through human-computer interface is coded by Visual C++, AGV in the correct path of safety guarantee the operation. The performance test shows that the control system adopted in this paper can make knapsack AGV robot move steadily. The designed control system is valuable.

Key words: automated guided vehicle (AGV), modularization, control system, rectification algorithm