



引用格式:过金超,赵海洋,蒋正轲,等.双向重载智能自主导航车系统设计[J].轻工学报,2017,32(2):97-102.

中图分类号:TP273 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2017.2.015

文章编号:2096-1553(2017)02-0097-06

# 双向重载智能自主导航车系统设计

## Design of bidirectional heavy load intelligent automated guided vehicle system

过金超<sup>1</sup>,赵海洋<sup>2</sup>,蒋正轲<sup>1</sup>,曹宏<sup>3</sup>,司贞元<sup>3</sup>

GUO Jin-chao<sup>1</sup>, ZHAO Hai-yang<sup>2</sup>, JIANG Zheng-ke<sup>1</sup>, CAO Hong<sup>3</sup>, SI Zhen-yuan<sup>3</sup>

1. 郑州轻工业学院 电气信息工程学院,河南 郑州 450002;

2. 重庆邮电大学 光电工程学院/重庆国际半导体学院,重庆 400065;

3. 河南森源电气股份有限公司,河南 长葛 450034

1. College of Electric and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;

2. College of Optoelectronics Engineering/Chongqing International Semiconductor Institute, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

3. He'nan Senyuan Electric Co., Ltd., Changge 450034, China

### 关键词:

自主导航车;重载;  
PID控制

### Key words:

automated guided vehicle (AGV);  
heavy load;  
PID control

**摘要:**针对自主导航车(AGV)市场规模小、成本高,难以满足企业物流自动化要求的现状,基于西门子1200系列PLC和智能控制技术,设计了串级PID控制引导算法,开发了一款载重10 t的双向重载智能自主导航车.经调试,AGV小车能够按照码带运行,轨迹偏差值控制在 $\pm 10$  mm内,且系统响应迅速,小车运行稳定,实现了自主导航、自主避障、自主定位等功能.

收稿日期:2015-12-23;修回日期:2016-06-26

基金项目:国家自然科学基金项目(U1304508);河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目(教高[2012]626号-107)

作者简介:过金超(1978—),男,河南省开封市人,郑州轻工业学院副教授,博士,主要研究方向为机器人智能控制与信息融合.

**Abstract:** In order to solve the problems of automated guided vehicle (AGV) of small market scale and high cost and difficulty in meeting the needs of the automation of enterprise logistics, the cascade PID control guidance algorithm was designed, a load 10 t two-way heavy load intelligent automated guided vehicle was developed based on Siemens 1200 series PLC and intelligent control technology. After the commission the vehicle could run according to code-band and track deviation value was within  $\pm 10$  mm. The system was quick in reaction and stable in running, AGV could realize autonomous navigation, autonomous obstacle avoidance and autonomous positioning, etc.

## 0 引言

自主导航车 AGV (automated guided vehicle) 是指安装有自动导引系统、可沿预设路径行驶、具有安全保护与移载功能的无人驾驶运输小车<sup>[1-2]</sup>。现代工厂对生产中物流自动化程度的要求越来越高,AGV 必将在现代化工业中得到普及<sup>[3-4]</sup>。目前国内 AGV 市场规模相对偏小,价格居高不下,且载重能力超过 10 t 的 AGV 更是寥寥无几,无论从应用方面还是成本方面,都无法满足企业的要求,因此从企业的长远发展来看,开发一款载重 10 t 的双向智能自主导航车,可以通过无线网络,组成一个对系统内所有 AGV 进行监视、控制,以及 AGV 之间进行通讯的上位机控制系统<sup>[5]</sup>,具有重要的应用价值。本文拟设计双向运行、载重 10 t 的 AGV 系统,以满足公司特殊的生产运输需求。

## 1 系统架构

AGV 系统是一个复杂的系统,以车体为载体,集成了大量的智能控制技术,一个完整的

AGV 系统包括工作系统、动力系统和控制系统<sup>[6-7]</sup>,其系统框图见图 1。

本项目设计的 AGV 控制系统,包括上位机控制系统和车载控制系统两部分。上位机控制系统采用通用 PC 作为控制端,通过无线组网技术,将 AGV 运行信息拓扑到 PC 端,实现上位机和 AGV 之间的数据交换<sup>[8]</sup>(见图 2),为企业实现自动化生产提供了一种方案,其光纤环网结构为通讯的可靠性提供了更好的保障。

## 2 硬件结构设计

车载控制系统是 AGV 的核心部分,其结构如图 3 所示。主控制器采用西门子 PLC,其具有可扩展的灵活设计,最高标准的工业通信接口,可集成在综合自动化解决方案中,实现与上位机的数据交换、对各传感器的信息融合处理、对 AGV 执行机构的指令下达等功能。导航方式为视觉导航,通过倍加福公司的视觉导航系统 PGV 实现精确导引和精确定位。

AGV 采用四轮驱动。由于 AGV 设计载重 10 t,因此电机扭矩是设计重点,需搭配合适的

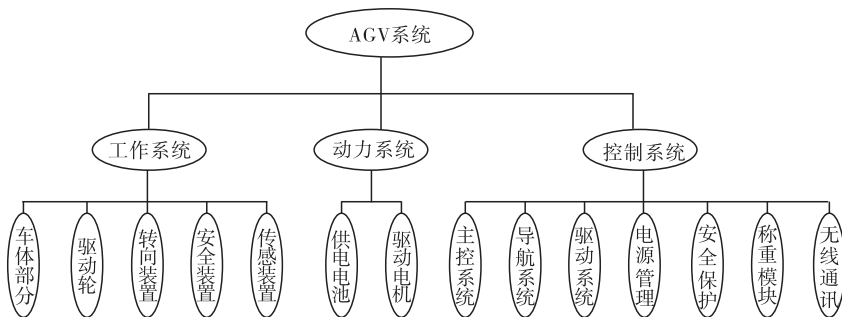


图 1 AGV 系统框图

Fig. 1 The block diagram of AGV system

减速机<sup>[9]</sup>,以确保 AGV 正常启动行驶. AGV 行驶时需克服的阻力包括滚动阻力  $F_f$ ,空气阻力  $F_w$  和加速阻力  $F_j$ <sup>[10]</sup>. 滚动阻力  $F_f = m \cdot g \cdot f$ , 式中,  $f$  为滚动阻力系数,参考有关数据<sup>[11]</sup>,取  $f = 0.020$ ;总质量取满载加自重  $m = 12\ 000\ \text{kg}$ . 由公式得滚动阻力  $F_f = 2352\ \text{N}$ .

由于载重过大,需对 AGV 进行限速. 设 AGV 从静止启动经过位移  $S = 1\ \text{m}$ ,车速达到最大值  $V_{\max} = 0.5\ \text{m/s}$ ,加速度  $a = 0.125\ \text{m/s}^2$ ,加速阻力为  $F_j = m \cdot a = 1500\ \text{N}$ .

AGV 在室内工作,因此空气阻力可忽略不计,则 AGV 运动阻力为  $F = F_f + F_j = 3852\ \text{N}$ .

车轮直径设计为 24 英寸,即半径为  $0.3\ \text{m}$ ,则阻力力矩  $M = F \cdot r = 1\ 155.6\ \text{N} \cdot \text{m}$ .

综上,选用直流无刷伺服电机,搭配行星减速机,4 轴持续总扭矩  $2397\ \text{N} \cdot \text{m}$ ,转速  $14.4\ \text{r/min}$ ,

整车最大运行速度  $0.46\ \text{m/s}$ ,电机选型符合项目要求,能够保证 AGV 满载时正常运行.

### 3 软件设计

完整的 AGV 系统不仅需要硬件的支持,而且还需要针对硬件的特性、系统的技术指标、功能要求设计相应的软件,以实现包括信息共享、控制流程设计、数据逻辑运算与处理、状态显示与参数存储等功能.

#### 3.1 上位机软件设计

上位机的功能是监控 AGV 运行状态,控制车载可编程逻辑控制器(PLC)<sup>[11-12]</sup>. 控制软件基于图形化编程软件 LabVIEW 进行编写,利用其强大的数据处理功能和良好的人机交互环境来实现上位机的监控功能<sup>[13-14]</sup>,即利用 LabVIEW 对 PLC 的实时监控,从指定的通道读取数据,并往指定的通道发送控制命令或数据. 利用 LabVIEW 调试软件开发出的后台集中监控系统界面如图 4 所示.

#### 3.2 车载 PLC 控制编程设计

PLC 程序主要负责顺序控制和信息控制,顺序控制即实现系统按一定顺序工作,信息控制即完成数据采集、存储、变换、逻辑运算与处理等任务. PLC 根据 PGV 系统采集的道路偏差信息和其他传感器采集的信息进行分析处理,输出控制信号,通过电机调整 AGV 的运动姿态,以实现 AGV 的导引控制. 控制流程如图 5 所示.

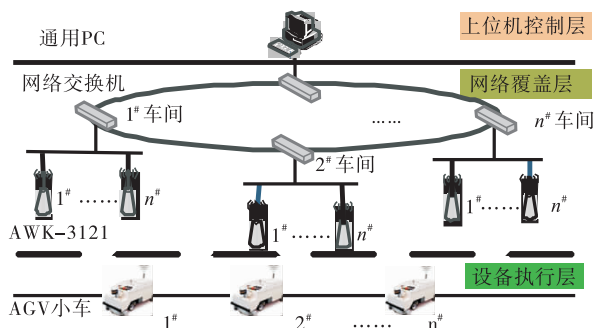


图 2 AGV 系统网络组态图

Fig. 2 The network configuration diagram of AGV system

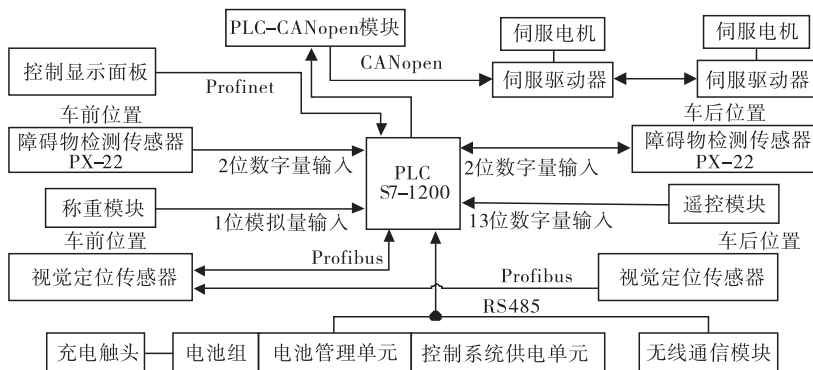


图 3 AGV 车载控制系统结构图

Fig. 3 The structure diagram of AGV vehicle control system

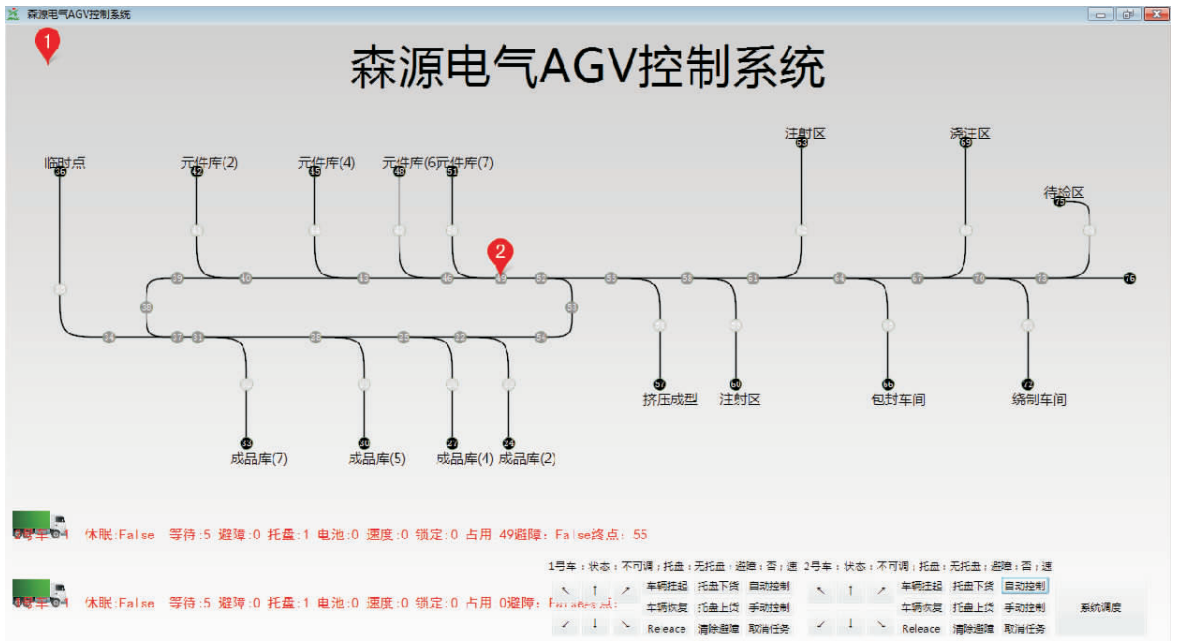


图4 后台集中监控系统界面

Fig.4 The interface of background centralized monitoring system

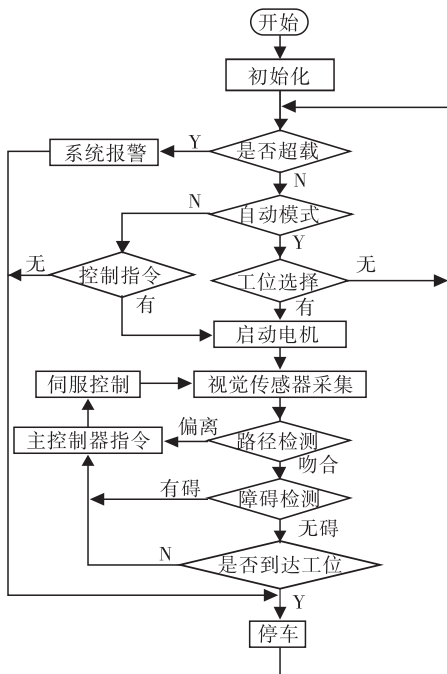


图5 AGV 控制流程图

Fig.5 The control flow chart of AGV

## 4 PID 控制算法的实现

### 4.1 PID 控制原理

PID 控制算法因其控制参数相对独立、稳定性高、鲁棒性强和适应面广等优点,成为工业

生产中最常用的一种控制方式<sup>[15]</sup>. 其微分方程为

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \cdot \frac{de}{dt}$$

其中,比例环节决定系统的响应速度与控制精度,积分环节影响系统的稳态误差,微分环节使系统提前在偏差发生较大变化前将其消除,达到快速校正的效果. 综上,PID 控制器可以将比例、积分和微分作用有效综合,使系统获得很好的稳定性和响应速度.

### 4.2 串级 PID 控制器设计

对 AGV 小车同侧车轮分别进行同步,采用差速控制进行姿态调节. 依据运行状态,分别给左右侧车轮初始速度  $v_L(0)$  和  $v_R(0)$ . 根据 PGV 读头实时检测到的位置偏差值  $Y(k)$  和角度偏转值  $\varphi(k)$ ,计算出调整速度  $\Delta v(k)$ ,分别与两侧车轮  $k-1$  次采样的速度进行加减,得出调整后的左右轮速度  $v_L(k)$  和  $v_R(k)$ ,实时调整车体运行姿态,保证小车精确导引及定位. 经调试可知,造成小车运行不稳定的主要原因是不稳定的  $\Delta v$ : 过大容易引起小车震荡,过小则无法及

时调节造成小车脱轨. 因此,能够对  $\Delta v$  进行较好的控制,是维持系统稳定性的关键.

综上,在传统 PID 控制算法的基础上,采用位置偏差控制外环和角度偏转内环相级联的方式组成双闭环串级 PID 控制器. 控制器原理框图如图 6 所示. 该算法中,位置偏差 PID 控制为主调节器,占据着非常重要的地位. 限幅为防止小车因修正幅度过大而导致的震荡,确保调节的平顺稳定.

位置偏差 PID 控制计算公式如下:

$$\theta(k) = K_{p1} \cdot Y_k + K_{i1} \cdot (Y_0 + Y_1 + \dots + Y_k) \cdot \lambda_1 + K_{d1} \cdot (Y_k - Y_{k-1}) / \lambda$$

式中,  $Y_k$  是 PGV 读头第  $k$  次采样的路径偏差值,  $Y_0$  是小车初始位置的路径偏差值,  $\lambda$  是与采样时间有关的时间因子. 路径偏差值  $Y_k$  作为轨迹偏差 PID 控制器的输入, 输出值  $\theta(k)$  与角度偏转值相加得  $\mu(k)$  作为内环输入.

角度偏转 PID 控制计算公式如下:

$$\Delta v(k) = K_{p2} \cdot \mu_k + K_{i2} \cdot (\mu_0 + \mu_1 + \dots + \mu_k) \cdot \lambda + K_{d2} \cdot (\mu_k - \mu_{k-1}) / \lambda$$

经 PID 内环计算得出的调整速度  $\Delta v(k)$ , 与左右侧车轮速度进行计算得出调整后的速度, 对小车进行纠偏, 完成导引. 差速调节计算公式分别为

$$v_L(k) = v_L(k-1) + \Delta v(k)$$

$$v_R(k) = v_R(k-1) - \Delta v(k)$$

整定控制参数, 得到最优的参数组合. 单回路控制系统响应见图 7, 串级控制系统响应见图 8. 分别在 35 s 左右加一个外部干扰, 通过对比可知, 串级控制比单回路控制具有更好的调节效果, 对于干扰的响应更迅速, 震荡更小.

经串级 PID 控制器调节, 小车能够按照码带运行, 轨迹偏差值控制在  $\pm 10$  mm 内, 且系统响应迅速, 小车运行稳定. 经测试, 该算法可以满足小车导航需求, 符合预期目标.

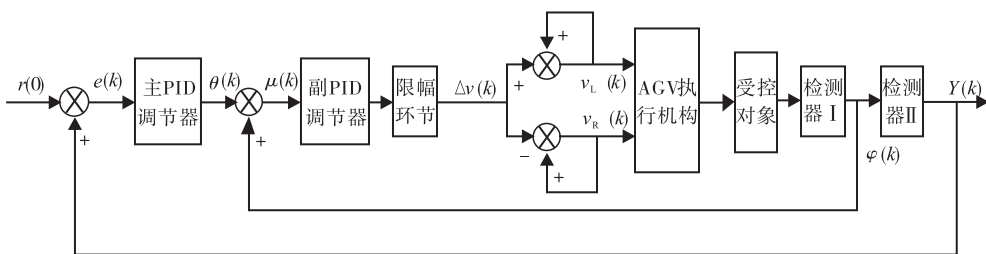


图 6 串级 PID 控制器框图

Fig. 6 The block diagram of cascade PID controller

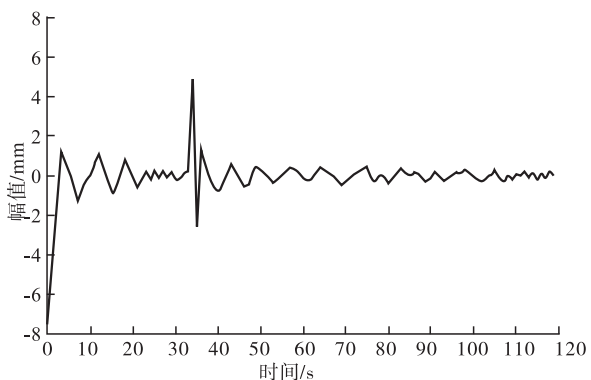


图 7 单回路控制系统响应

Fig. 7 The response of single loop control system

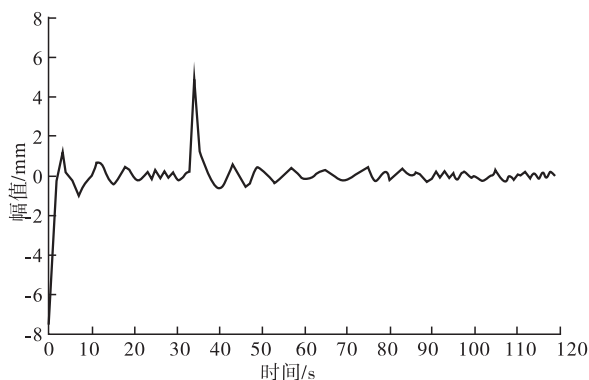


图 8 串级控制系统响应

Fig. 8 The response of cascade control system

## 5 结语

本文从硬件结构组成、软件设计、PID 控制导引算法等方面对一款载重 10 t 的双向重载智能自主导航车实现了功能设计。经调试, AGV 小车能够按照码带运行, 轨迹偏差值控制在  $\pm 10$  mm 内, 且系统响应迅速, 小车运行稳定, 实现了自主导航、自主避障、自主定位等功能。后续将继续研究更加灵活的设计方案, 并将上位机对多台 AGV 的控制调度策略作为研究重点, 以实现全厂区物流自动化。

### 参考文献:

- [1] MILJKOVIC Z, VUKOVIC N, MITIC M, et al. New hybrid vision-based control approach for automated guided vehicles [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 66(1-4): 231.
- [2] 卢东华. 计算机控制自动导向小车 (AGV) 的设计与实现 [D]. 上海: 上海交通大学, 2006.
- [3] 潘运平, 鲁峰, 王飞, 等. 工厂 AGV 的结构设计与控制研究 [J]. 现代机械, 2014(5): 1.
- [4] ZHANG J, PENG Y T, HUNG W N N, et al. A case study on formal analysis of an automated guided vehicle system [J]. Journal of Applied Mathematics, 2014(3): 1.
- [5] EROL R, SAHIN C, BAYKASOGLU A, et al. A multi-agent based approach to dynamic scheduling of machines and automated guided vehicles in manufacturing systems [J]. Applied Soft Computing, 2012(6): 1720.
- [6] 吴伟涛. 物流搬运 AGV 的总体方案及其关键技术研究 [D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2013.
- [7] YAHYAEI M, JAM J E, HOSNAVI R. Controlling the navigation of automatic guided vehicle (AGV) using integrated fuzzy logic controller with programmable logic controller (IFLPLC)—stage 1 [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 47(5): 795.
- [8] 朱永平, 廖洵. PLC 无线通讯技术在自动导向车中的应用 [J]. 湖北工业大学学报, 2012, 27(4): 97.
- [9] 李铭. 小型重载 AGV 的设计与实验研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2009.
- [10] 谷玉川. AGV 驱动转向一体化机构及其导航控制研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [11] 余志生. 汽车理论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [12] 黄胃. 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.
- [13] 史建征. 基于 LabVIEW 的全方位 AGV 控制系统研究 [D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2014.
- [14] 赵金光. 基于 LabVIEW 的远程测控技术的研究与应用 [D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [15] 胡蝶. 自动导引车 (AGV) 控制系统的设计与研究 [D]. 武汉: 湖北工业大学, 2014.