

蒲宝山,陈永快,王 涛,等. 自动导航车技术发展状况及在农业领域的应用及前景展望[J]. 江苏农业科学,2020,48(1):61-65.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.01.010

# 自动导航车技术发展状况及在农业领域的应用及前景展望

蒲宝山,陈永快,王 涛,黄雨燕

(福建省农业科学院数字化研究所,福建福州 350001)

**摘要:**随着自动导航运输车(AGV)技术的发展,自动导航运输车的应用越来越普及。本文对国内外 AGV 在各领域的发展和应用现状进行细致总结,借鉴 AGV 在其他领域应用的方法和经验,对其在农业领域的应用前景进行简要分析,指出一些当前存在的问题,并提出几点解决问题的方法与建议。

**关键词:**自动导航小车(AGV);应用现状;农业领域;方法与建议

**中图分类号:** TP23      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2020)01-0061-05

自动导航运输车(AGV)上装有自动导引机构,能够引导其沿既定的路径运行,此外,它可以根据新的指令修正运行路线,从而实现物件的移取功能。近年来,随着 AGV 自动化、智能化和柔性化等优点的不断完善,AVG 在许多领域发挥着重要的作用。

## 1 AGV 的发展简介

### 1.1 AGV 的出现

1953 年,美国 Barrett Electric 公司制造出世界第 1 台基于埋线电磁感应跟踪路径技术的 AGV,也被称作无人驾驶牵引车。这种牵引引导技术的使用一直持续到 20 世纪 70 年代初。20 世纪 70 年代中期,AGV 开始被应用于载货运输方面,主要用于自动化仓储系统(automated storage and retrieval system)和柔性装配系统(flexible assembly system)的物料运输<sup>[1]</sup>。20 世纪 80 年代初,由于 AGV 应用领域的扩大,人们开始研究新的引导方式和技术。

### 1.2 AGV 引导技术的发展

直到 20 世纪 80 年代,埋线电磁感应引导技术仍被应用于 AGV 作为引导技术之一。随着电子技

术的发展和工作需求领域的扩大,AGV 引导技术趋于多样化。因此,AGV 的性能得到进一步提高并能适应于更复杂的工作环境,应用范围也更为广泛。目前,AGV 引导技术的发展已较为成熟,根据引导信息来源的不同,引导方式可分为外导式和内导式。外导式引导方式包括电磁引导、标线引导、激光引导、超声引导、光学引导等。内导式引导方式包括坐标识别、自主导航、惯性引导等。外导式引导方式中的超声引导、激光引导和光学引导可以称为标志反射法(beacon system)<sup>[2]</sup>。内导式引导方式可以称为参考位置设定法(dead reckoning)<sup>[3]</sup>。根据 AGV 引导线路的形式,引导方式又可分为有线式和无线式。其中,有线式引导线路包括电磁线路、色带线路、标线线路、网格线路、磁带线路等。无线式引导线路包括激光引导、自主导航、坐标识别、超声引导、惯性引导等。上述引导方式所采用的引导技术主要有电磁感应技术、激光检测技术、超声检测技术、光反射检测技术、惯性导航技术、图像识别技术和坐标识别技术等<sup>[4]</sup>。

## 2 AGV 技术在各领域的应用现状

近年来,AGV 被广泛地应用于各个领域,从需求领域来看,目前我国 AGV 机器人的需求领域较为集中,主要分布在汽车工业、家电制造等生产物流端,其中 AGV 机器人销售额在汽车工业领域占比 24%,在电子制造领域占比 22%。除了在工业领域的应用外,AGV 开始向商业行业推广应用,其中对

收稿日期:2018-12-06

基金项目:福建省农业科学院院管 A 类项目(编号:A2017-34);福建省农业科学院科研项目(编号:A2018-1);福建省农业科学院科技创新团队(编号:STIT2017-2-12)。

作者简介:蒲宝山(1986—),男,福建漳州人,硕士,工程师,主要从事智慧农业、数字化制造等相关研究。E-mail: 920253768@qq.com。

AGV 需求最大的是电商仓储物流、烟草和 3C 电子行业,三者需求量占比分别为 15%、15%、13%<sup>[5]</sup>。

### 2.1 AGV 在汽车工业领域的应用

在发达国家,物流企业工厂内部早已开始大量使用 AGV 代替人力。比如,日产的追浜工厂约有 900 台 AGV 被应用于工厂内部,成功实现了自动化供应不同车型零部件及高效率混流生产和快捷物流过程。而 TOYOTA 在肯塔基 Georgetown 工厂的厂内物流实施了自动牵引车 (AGT) 和自动化平板车 (AGE) 改造项目,减少了 42 名工人,每年节约成本 100 多万美元<sup>[6]</sup>。在我国 AGV 也被广泛地应用于物流行业,成为物流自动化不可缺少的一部分。上海大众汽车安亭生产基地总装车间配备了 7 辆智能型自动牵引小车进行装配物料的输送,通过 AGV 物流系统,实现了从卸货道口上线至流水线工位的全程自动化流转,不仅减少了铲车的数量,还降低了装配工人的体能消耗,提高了效率<sup>[7]</sup>。上汽通用五菱汽车股份有限公司重庆分公司车身车间的 AVG 系统主要用于完成门盖内外板从冲压库房到焊接线对应工位的搬运<sup>[8]</sup>。奇瑞捷豹路虎汽车有限公司常熟工厂在配件运输中大量使用 AGV 机器人,减少了配送人员数量,在提升配送效率的同时降低了员工取件时间和拿错零件的风险<sup>[9-10]</sup>。

除此之外,许多学者通过对生产实际的分析以及理论上的计算研究,为提高生产效率提供了许多有效的方法。Digani 等提出了基于区域分区设计和动态区域控制的路径规划方法,在规避碰撞的同时,实现了 AGV 在工厂内部不同区域间的负载平衡<sup>[11]</sup>。Rezapour 等在 AGV 路径规划过程中,对汽车厂内机床布局以循环的方式进行重新设计,使得 AGV 调度路径最短<sup>[12]</sup>。侯玲娟等针对不确定需求和时间下的车辆路径随机问题,提出了一种带有自适应机制的规划模型<sup>[13]</sup>。

### 2.2 AGV 在电子制造领域的应用

在智能制造时代,AGV 机器人越来越受到制造业的青睐。柔性化程度高、坚固耐用、运转灵活等特点使 AGV 成为自动化技术升级的重要核心组成部分。国外 AGV 生产厂家将目光瞄准在了 3C 制造行业上,3C 电子制造行业具有产品多与杂、更新周期短、系统集成难等特点。激光 AGV 成为 3C 装配自动化的刚性需求。因激光 AGV 能实现从原料仓到生产线再到成品仓的自动化物料运输,大大提高了搬运的柔性化程度,且在不改变原有产线的前提

下实现了快速部署,形成柔性生产线<sup>[14-15]</sup>,实现多品种、小批量的生产方式,使得制造业向工业 4.0 时代的智能柔性生产线迈进了一步<sup>[16]</sup>。

激光场景导航 AGV 小型化、简单化等特性符合 3C 电子生产需求,将 AGV 应用到 3C 电子生产中大大提升了生产效益。在 3C 电子行业中已经有十多个非常成熟的案例<sup>[17]</sup>。其中激光 AGV 自动进出电梯的案例得到了行业的充分认可;与现代物流配合实现了柔性搬运、传输、点对点自动存取高架箱储;在手机制造等行业中,将关节机器人和移动 AGV 相结合,从而使一台机器人能够同时完成多个工位点之间的作业,进而使生产线柔性化程度大大提升<sup>[18-20]</sup>。

### 2.3 AGV 在仓储领域的应用

在仓储领域 AGV 也发挥着重要作用。货物出库为 AGV 仓储搬运的第 1 步,AGV 系统在接到订单后进行订单货物存储位置及剩余数量查询,通过感应器扫描外观确定是否为目标货物,确认后下达搬运指令,执行搬运工作。AGV 搬运系统需要在接收到控制终端的执行指令后依次进行货物扫描、货物提取及货物数量确定,在固定的传输路径中进行货物传送工序<sup>[21]</sup>。AGV 智能货物搬运设备在智能物流中发挥了良好的作用,其不仅可被应用于仓储企业货物的智能挑选、货物移动,而且可以在立体货物储存库内进行自动货柜转运工作,如亚马逊的 Kiva 机器人、阿里的“曹操”仓储机器人、京东的无人快递送达等<sup>[22]</sup>。针对 AGV 仓储搬运货物时的路径规划,Möhring 等研究了 AGV 行驶的最短路线,同时计算出了可以行驶的所有路径的距离<sup>[23]</sup>。Duinkerken 等研究了  $k$  条路径的使用情况,根据使用情况选出无碰撞路径和最短路径<sup>[24-28]</sup>。雷定猷等以最短路径为主要研究目标,结合任务优先级,总结出一套基于混合遗传算法的模型<sup>[29]</sup>。袁颖河等针对路径规划的多样性及动态变化性,以模糊数学为理论研究基础,提出了基于路径动态变化的规划算法<sup>[30]</sup>。刘国栋等提出了一种二阶段动态路径规划算法<sup>[31]</sup>。国内外还有很多学者及专家对 AGV 路径规划及调度算法问题进行了研究<sup>[32-34]</sup>。

### 2.4 AGV 在烟草领域的应用

AGV 作为现代自动物流系统中物料自动搬运的最佳解决方案,被广泛应用于国内外各卷烟企业。对于 AGV 在卷烟厂生产线上的应用,国内主要集中研究了小车行走路径和小车运输能力对车间

调度的影响<sup>[35-36]</sup>。国外某卷烟厂在卷包机组进行新旧更替的同时,对卷包机组的位置进行优化调整,以便于改善 AGV 的路线,减少 AGV 的行走路程,发挥出 AGV 系统运行流畅和高效的优势<sup>[37]</sup>。而国内企业,湖南中烟工业有限责任公司长沙卷烟厂自引进 AGV 系统以来,其自动物流系统的信息化、柔性化、节能化等程度均不断提高<sup>[38-39]</sup>。长沙卷烟厂的 AGV 系统主要用于辅料库物料输送、周末与换牌等时间段的剩余物料返库回收,并兼送机台废料桶至垃圾站<sup>[38-39]</sup>。此外,众多学者为提高 AGV 的工作效率进行了许多研究,如张远春等以生产线产能最大化为目标,以生产工艺、路径、调度规则等为约束条件,建立了以 AGV 数量为决策变量的数学模型来描述 AGV 数量配置问题,针对该问题的复杂性,提出了基于仿真的优化方法<sup>[40]</sup>;金芳等研究了山东中烟工业有限责任公司青岛卷烟厂的 AGV 运输系统操作流程,提出运用排队理论解决 AGV 路径规划及调度问题<sup>[41]</sup>。

## 2.5 AGV 在其他领域的应用

随着社会科技的发展以及工作能力和效率相对应的提高,AGV 的优点被逐渐发掘,被广泛地应用于各种各样的工作领域中。除了上述几大应用领域外,AGV 在邮局、图书馆、港口码头、机场、医药、食品、化工、危险场所和特种行业等领导都起着重要的作用<sup>[42-45]</sup>。如在邮局、图书馆、医药和食品等领域 AGV 和智能识别系统结合将快件、书籍、药品以及食品分类,另外被应用于码头集装箱装卸以及衔接桥吊作业和堆场作业等方面<sup>[46]</sup>。替代集装箱拖车的 AGV 技术目前成为研究的热点,AGV 正逐渐成为集装箱自动化码头内的主要水平运输工具。此外,AGV 在众多领域仍具有许多可利用的潜能。

## 3 AGV 在农业领域的应用和前景

### 3.1 AGV 在农业领域的应用

随着现代农业自动化科技的发展,AGV 被人们尝试应用到农业生产过程中,并且取得不错的效益。农业机械自主导航在 20 世纪 20 年代开始应用,导航方法从早期的机械触杆导航、预埋电缆导航等演变为如今应用较多的激光导航、惯性导航、全球定位导航以及组合导航等<sup>[47]</sup>。直到 20 世纪 80 年代末 90 年代初才将视觉导航系统应用到农业机械自主导航中<sup>[48-49]</sup>。不同的导航方式有各自的优

缺点,视觉导航系统主要是利用摄像机采集农田环境信息,并对采集的信息进行处理和分析后提取感兴趣区域(ROI),然后从 ROI 提取特征点,并进行直线拟合,最终获取导航参数,控制系统通过获取的导航信息,调整农业机械的行驶状态,使机器能够沿着导航路线行走<sup>[50-51]</sup>。华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室将视觉 AGV 应用于温室盆栽植物自动输送中,实现了盆栽植物的高效输送作业,促进了机械化、自动化育种、选种生产的快速发展<sup>[52]</sup>。

### 3.2 AGV 在农业领域的前景分析

从 AGV 在农业领域应用的成功例子上可以看出,AGV 在农业领域有一定的发展前景。AGV 视觉导航系统能够对农作物的生长状态做到完美监控;解决农场果蔬采摘后因劳动力问题无法将新鲜果蔬及时运送至保鲜库,导致果蔬在采摘后品质变差问题;解决生产过程中自动化和效率性问题,如将育苗床上的新苗运载到相应培养基,各种生产材料、工具配送到目的地等。农业设施自动化应用已成为一种发展趋势,特别是在人工劳动力成本不断加大以及过度依赖劳力而引发的一些滞后性问题的解决上。结合 AGV 的发展趋势以及国内外的应用情况,将 AGV 系统应用于农场领域,可以进一步促进现代化农场转型发展,解决劳动力成本较高的问题,降低工人劳动强度,改善农场自动化生产管理水平,提高农场生产效率等。因此,AGV 在现代农场中的应用问题逐渐得到国内外学者的关注。

## 4 AGV 在国内农业领域应用所存在的问题与建议

### 4.1 存在的问题

目前国内 AGV 应用技术还处于初级阶段,核心技术的发展还不够成熟,关键元器件还需进口,生产厂商仅仅只能算是集成商,AGV 技术的发展任重道远。从 AGV 市场需求角度来看,有一定的加速态势,发展势头较好。因此更需要广阔的市场发展空间和技术发展空间来满足 AGV 的发展势头。但是目前国内的市场需求相对较小,使得 AGV 的销售存在一定问题,从而会在一定程度上影响到 AGV 技术的发展,导致我国 AGV 技术发展缓慢。

我国农业自动化还不够普及。农业自动化不够普及导致农户对自动化产品接触较少,对 AGV 的了解更少。前期较高的投入和不可预估的经济效益收入使得自动化意识较低的农户较难以接受

AGV 技术,因此农户对 AGV 的引进和使用较少。

使用成本与前期投入较高,对小规模农业农户来说难以接受。尤其对于我国南方地区农业,大多数是小家小户型农业,大农场数量相对较少。对于大多数小农户来说,AGV 性价比较低。这也是目前 AGV 在农业领域不能普及应用的主要原因之一。

AGV 的使用与应用技术受温室环境影响较大。AGV 自动驾驶系统需要在一定的条件下才能完成工作任务,植物在生长过程中的变化会对 AGV 路线产生一定的干扰。温室中潮湿的环境对某些特定引导方式的 AGV 路线精准度会有一定的影响。

#### 4.2 解决问题的几点建议

引进国外先进技术的同时,需要消化、吸收国外先进技术与工艺。根据我国温室现实需求,对引进的技术进行相应改造,升级成适合国内使用的 AGV 产品。借鉴其他领域 AGV 成熟的应用经验,结合农场的需求现状,对核心技术不断地进行提升和改造,并进一步推广应用于农场中。

进一步提升对农业设施设备发展的相关政策扶持力度。一方面对农户购置农业设备进行一定程度的补贴,同时减少农业设施的购置税收,降低消费者购买设备的经济压力。另一方面加强对农业自动化技术的宣传,提升农民的农业自动化意识,同时政府应加大对设施设备的科研开发力度,普及适用于我国温室农场的 AGV 技术。

注重从业人员的实际技能培训,提高从业人员的技能与素质培养。我国与农业发达国家的差距本质是人才的差距,政府和农业有关职能部门应重视人才队伍的培养,尤其是懂农机与农艺的复合型人才以及温室综合性管理人才的发展和培养。

## 5 总结

随着自动驾驶运输车(AGV)的发展,AGV 的应用领域扩大,解决了生产过程中劳动力不足、效率低、不够精准等问题。同时,AGV 在农业领域的应用具有良好的发展前景。我国应加大农业设施的应用和发展步伐,引进和吸收国外先进的 AGV 技术,结合我国农业生产现状,合理地将其推广至农业领域中,充分利用 AGV 的潜在价值,推动我国温室设施装备自动化的发展。

#### 参考文献:

[1] Fazlollahtabar H, Saidi - Mehrabad M, Balakrishnan J. Mathematical

optimization for earliness/tardiness minimization in a multiple automated guided vehicle manufacturing system via integrated heuristic algorithms [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2015 (72): 131 - 138.

[2] Venables M. Bright future for AGVs [J]. Engineering & Technology, 2008, 3(11): 48 - 50.

[3] Aoki M. Image processing in ITS [C]. IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, 1998: 3 - 8.

[4] Weisser H, Schulenberg P J, Gollinger H, et al. Autonomous driving on vehicle test tracks: overview, motivation and concept [J]. International Conference on Intelligent Vehicles, 1998, 2: 439 - 443.

[5] Li S H, Yan J, Li L X, et al. Automated guided vehicle: the direction of intelligent logistics [C] // IEEE International Conference on Service Operations and Logistics and Informatics (SOLI), 2018: 250 - 255.

[6] Mousavi M, Yap H J, Musa S N, et al. Multi - objective AGV scheduling in an FMS using a hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization [J]. PLoS One, 2017, 12(3): e0169817.

[7] 伊然. 上海大众打造七大服务三十年卓越同行 [EB/OL]. (2014 - 10 - 23) [2018 - 12 - 06]. <http://auto.hexun.com/2014-10-23/169622159.html>.

[8] 黄西利, 覃鑫. AGV 小车在车身车间应用 [J]. 装备制造技术, 2015(4): 201 - 203.

[9] 马孙豫, 杨勇生, 梁承姬. 基于 PSO 的自动化集装箱码头双小车岸桥和 AGV 的协同调度 [J]. 计算机应用与软件, 2018, 35(10): 17 - 22.

[10] Jamdagnip P P, Patra K. Obstacle avoidance for mobile robot navigation in unknown environment using geometrical information of mobile camera images [J]. International Journal of Computation Vision and Robotics, 2014, 4(1/2): 39 - 54.

[11] Digani V, Sabattini L, Secchi C, et al. Ensemble coordination approach in multi - AGV systems applied to industrial warehouses [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2015, 12(3): 922 - 934.

[12] Rezapour S, Zanjirani - Farahani R, Miandoabchi E. A machine - to - loop assignment and layout design methodology for tandem AGV systems with single - load vehicles [J]. International Journal of Production Research, 2011, 49(12): 3605 - 3633.

[13] 侯玲娟, 周泓, 梁春华. 不确定需求和旅行时间下的车辆路径问题 [J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(1): 101 - 108.

[14] Fazlollahtabar H, Mahdavi - Amiri N. A bi - criteria AGV - based flexible jobshop manufacturing network having uncertain parameters [C] // Second International Conference on Engineering System Management and Applications, 2010: 1 - 6.

[15] Confessore G, Fabiano M, Litotta G. A network flow based heuristic approach for optimising AGV movements [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2013, 24(2): 405 - 419.

[16] Fellan A, Schellenberger C, Zimmermann M, et al. Enabling communication technologies for automated unmanned vehicles in industry 4.0 [C] // International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2018: 171 - 176.

- [17] Neri F, Cotta C. Memetic algorithms and memetic computing optimization: a literature review [J]. Swarm and Evolutionary Computation, 2012, 2(1): 1–14.
- [18] Xue T F, Zeng P, Yu H B. A reinforcement learning method for multi-AGV scheduling in manufacturing [C]//International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2018: 1557–1561.
- [19] Qi B Y, Yang Q L, Zhou Y Y, et al. Application of AGV in intelligent logistics system [C]//Fifth Asia International Symposium on Mechatronics (AISM 2015), 2015: 1–5.
- [20] Xu Y N, Chen Q X, Mao N. System performance analysis of flexible flow shop with material handling unit [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(3): 764–765.
- [21] Chen Y X, Wu Y H, Xing H. A complete solution for AGV SLAM integrated with navigation in modern warehouse environment [C]//Chinese Automation Congress (CAC), 2017: 6418–6423.
- [22] Liu S N. Optimization and scheduling of AGV in automated warehouse system based on immune algorithm [C]//International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012), 2012: 1492–1495.
- [23] Möhring R H, Köhler E, Grawrilow E, et al. Conflict-free real-time AGV routing [M]. Fleuren H, den Hertog D, Kort P. Operations Research Proceedings 2004. Berlin Heidelberg: Springer, 2005: 18–24.
- [24] Duinkerken M B, van der Zee M, Lodewijks G. Dynamic free range routing for automated guided vehicles [C]//International Conference on Networking, Sensing and Control, 2006: 312–317.
- [25] Maza S, Castagna P. A performance-based structural policy for conflict-free routing of bi-directional automated guided vehicles [J]. Computers in Industry, 2005, 56(7): 719–733.
- [26] Buyurgan N, Meyyappan L, Saygin C, et al. Real-time routing selection for automated guided vehicles in a flexible manufacturing system [J]. Journal of Manufacturing Technology Management, 2010, 18(2): 169–181.
- [27] Deroussi L, Gourgand M, Tchernev N. A simple metaheuristic approach to the simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles [J]. International Journal of Production Research, 2008, 46(8): 2143–2164.
- [28] Liu S N. Optimization problem for AGV in automated warehouse system [C]//International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, 2008: 1640–1642.
- [29] 雷定猷, 张 兰. AGV 系统的调度优化模型 [J]. 科学技术与工程, 2008, 8(1): 66–69, 79.
- [30] 袁颖河, 吴智铭. FMS-AGV 传输系统自学习调度方法 [J]. 上海交通大学学报, 1998, 32(6): 83–87.
- [31] 刘国栋, 曲道奎, 张 雷. 多 AGV 调度系统中的两阶段动态路径规划 [J]. 机器人, 2005, 27(3): 210–214.
- [32] 杨俊成, 李淑霞, 蔡增玉. 路径规划算法的研究与发展 [J]. 控制工程, 2017, 24(7): 1473–1480.
- [33] Wu N Q, Zhou M C. Shortest routing of bidirectional automated guided vehicles avoiding deadlock and blocking [J]. IEEE-ASME Transactions on Mechatronics, 2007, 12(1): 63–72.
- [34] Wang R, Jiang H. Two-dimension path planning method based on improved ant colony algorithm [J]. Advances in Pure Mathematics, 2015, 5(9): 571–578.
- [35] 郭天文. 卷烟工业物流系统 AGV 任务调度策略优化 [J]. 自动化技术与应用, 2016, 35(12): 32–36.
- [36] 刀荣贵, 吕小波, 王金良, 等. 基于排队论的卷烟生产物流服务平台数量优化方法 [J]. 烟草科技, 2016, 49(8): 89–93.
- [37] Sabattini L, Digani V, Secchi C, et al. Technological roadmap to boost the introduction of AGVs in industrial applications [C]//9th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), 2013: 203–208.
- [38] 白 丰, 徐伟华, 刘桂秉, 等. 卷烟成品辅料自动化物流方案规划分析 [J]. 烟草科技, 2009(6): 19–22.
- [39] 徐 欢, 刘 俏, 车 菲, 等. 搬运型 AGV 在物料输送系统中的应用 [J]. 物流科技, 2013, 36(6): 80–82.
- [40] 张远春, 范秀敏, 驹田邦久. 基于仿真优化的多种类型 AGV 数量配置优化方法 [J]. 中国机械工程, 2011, 22(14): 1680–1686.
- [41] 金 芳, 方 凯, 王京林. 基于排队论的 AGV 调度研究 [J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(增刊 1): 844–846, 874.
- [42] 李乐军, 施业琼, 韦宝秀. 关于 AGV 及其在中国的应用与发展探析 [J]. 科技资讯, 2007(34): 148–149.
- [43] Prombanpong S, Kiattiphatthanakul W, Songsanan A, et al. The design of an AGV in the manufacturing cell [C]//International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2012: 1006–1009.
- [44] Han L, Qian H H, Chung W K, et al. System and design of a compact and heavy-payload AGV system for flexible production line [C]//International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2013: 2482–2488.
- [45] Li S F, Hou X Z. Research on the AGV based robot system used in substation inspection [C]//International Conference on Power System Technology, 2006: 1–4.
- [46] Carlo H J, Vis I F, Roodbergen K J. Transport operations in container terminals: literature overview, trends, research directions and classification scheme [J]. European Journal of Operational Research, 2014, 236(1): 1–13.
- [47] 刘 阳, 高国琴. 农业机械视觉导航基准线识别研究进展 [J]. 农机化研究, 2015, 37(5): 7–13.
- [48] Benson E R, Reid J F, Zhang Q. Machine vision-based guidance system for an agricultural small grain harvester [J]. Transactions of the ASAE, 2003, 46(4): 12–55.
- [49] Fehr B W, Gerrish J B. Vision-guided row-crop follower [J]. Applied Engineering in Agriculture, 1995, 11(4): 613–620.
- [50] 陈 艳, 张 漫, 马文强, 等. 基于 GPS 和机器视觉的组合导航定位方法 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 126–130.
- [51] 张红霞. 基于机器视觉的旱田多目标直线检测方法的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [52] Yang W N, Xu X C, Bi K, et al. Adaptive region of interest method for analytical micro-CT reconstruction [J]. Journal of X-Ray Science and Technology, 2011, 19(1): 23–33.