

美军 TARDEC 无人车研究概况及关键技术研究

贾子永 任国全 李冬伟

摘 要 军用无人车是未来作战系统中的核心武器。介绍了军用无人车的概念和意义,介绍了美陆军 TARDEC 无人车实验室的由来和主要的任务目标。对TARDEC无人车研究概况以及该实验室未来作战系统相关项目的研究进行了综述,重点研究分析了 TARDEC 无人车研制的关键技术,包括无人车机动性、环境感知技术、自主导航技术、协同以及士兵培训等,最后对我国军用无人车未来发展趋势进行了展望。

关键词 无人车 机动性 未来作战系统

引 言

据战略防御情报《Strategic Defence Intelligence》报告,2016—2026 年全球无人地面车辆(以下简称无人车)市场预计按照每年 4.8% 的增长率增加^[1]。推动无人车市场增长的主要因素是无人车相关技术的发展进步以及无人车可以避免人员出现在高危险的区域,从而避免在执行任务中产生人员伤亡。无人车利用多种传感器感知周边环境,通过计算机决策规划控制车辆,来实现无人或者智能化驾驶车辆^[2]。新一代无人车具有机动速度更快、部署更加灵敏的优势,可以广泛遂行多种作战任务,其高智能化水平使其具备完全独立遂行作战任务和打击敌人的能力。美军部署在阿富汗和伊拉克地区的无人车已经证明无人车的在作战任务中的突出优势,无人车可以执行情报侦察、边境巡逻监视、目标搜索、无人作战、战场救护以及未爆炸物品拆除等危险任务。近几十年来,国内外安全局势的变化、全

球恐怖主义活动的升级及领土争端的增加,可能会推动对应用无人车的需求,从而持续推进无人车相关技术的发展^[3]。

美国陆军坦克自动化研究、发展和工程中心(TARDEC)于 2000 年 11 月建立了 TARDEC 无人车实验室^[4]。该实验室主要针对机器人和无人车进行研究,重点关注无人车机动性能相关理论和应用实践,对无人车的机动性和控制进行全方位的测试和评估^[5]。同时,该实验室也致力于培养美国陆军军方无人车相关专业研究人才,使美国陆军能够有效掌握新型无人车作战概念,使无人车的应用更加贴近未来战场^[6]。该实验室作为美国陆军军方实验室将致力于这四方面的研究:(1)在未来作战系统下如何建设、测试、评估和修复无人车;(2)对无人车的智能行为、机动性、底层控制、路径规划、停车、车辆动力学以及电源能量的管理进行建模和仿真;(3)完成无人车机动性相关项目,重点是提出和发展无人车机动性能方面的新概念;(4)在未来作战系统下,完成无人车与士兵协同、无人车与无人车协同合作相关技术研究。

1 TARDEC 无人车实验室研究概况

TARDEC 无人车实验室的主要任务是提供具有创新性的无人车辆及其控制系统,研究、发展、引进集成与无人车相关的先进技术,测试、维护、修理、升级现有无人车,在确保安全、高效的情况下

基金项目:武器装备预研基金(714005798)

本文 2017-10-14 收到,贾子永系 32184 部队工程师,任国全系陆军工程大学石家庄校区副教授



图1 TARDEC 无人车实验室主要任务

使美国联合作战人员能够很好地操作半自主无人车或者自主无人车,使无人车生成战斗力,该实验室的主要任务如图1所示^[7]。实验室拥有微型无人车发展和集成实验室、重型无人车发展和集成实验室、传感器技术发展实验室、软件和算法研究实验室^[8]。硬件实验条件包括涵洞、瓦砾堆、折返S型地形、障碍坑、几种不同角度的上下坡等设施,硬件设施场地如图2所示^[9]。该场地主要用于测试和评估无人车的机动性能,既包括城市路面的机动性,也包括越野路面的机动性,该实验室的无人车未投入批量生产,只具有小数量用来完成评估测试实验,因此掌握维护、修理无人车的能力对技术人员来说至关重要,尤其是培养士兵在事故现场对有故障的无人车进行应急修理的能力。

该实验室具备对无人车自动驾驶行为、安全操作系统的虚拟测试、感知算法、定位算法、主动安全算法、硬件/软件等进行建模和仿真能力^[10]。建模和仿真是该实验室的重要组成部分,当没有时间完成概念验证、实物原型搭建,无法进行实物实验的情况下,建模和仿真显得尤为关键。该实验室与无人车联合项目办公室保持合作,重点负责车辆动力学相关事项。虽然TARDEC在重型坦克车辆方面

积累了大量技术资料,但是无人车辆一般为小型车辆,此方面的研究较少,需要对车辆动力学建模,对其控制进行仿真。同时,需要在原有重型装甲车辆的基础上为无人车提出新的理念创新。TARDEC无人车实验室的建模和仿真实验室可以连接到美国陆军自动化坦克和军备司令部,通过此可以连接到国防研究工程网络(DREN)^[11]。这些网络连接可以把实验室内的模型搭建与虚拟试验场实验和实战化环境相结合,使仿真背景更贴近实际战场,实现信息的共享。



图2 TARDEC 无人车实验室测试中心

发展无人车被视为未来战斗系统无人作战平台系统发展取得标志性成果的必要步骤。TARDEC实验室紧贴未来作战系统实际需要,进行项目研制,提出了相应的项目发展计划。相关研制计划关注的

表 1 未来作战系统项目优先顺序

优先序号	TARDEC 方案	预期目标和技术成果	对 FCS 提供的产品
1	Safe Ops Program	动态环境 360°环境感知,识别、分类、跟踪和预测人员与车辆的行驶轨迹。根据路径规划,对无人车进行安全操作	为无人车的自主导航系统提供测试算法和数据
2a	RVCA ATO	在不同地形和环境下实现无人车的自主机动	为无人车的自主导航系统提供测试算法和数据
2b	RVCA ATO	在未来作战系统架构下培养士兵操作无人车、无人车上武器装备负载、传感器的能力	协商后的终端系统
3	Autonomous Platform Demonstrator	大于 7 t 级的轮式平台实车,该平台具有油电混动的功能,油电混动燃油可以实现增程的目的,电供能无噪声。根据感知到的周围环境拥有自我导航能力,达到自主跟随的状态	美陆军未来战斗系统下无人车自主导航系统,先进 6×6 油电混动平台

重点及研制成果如表 1 所示^[12]。其中,美国未来战斗系统(FCS)是美国陆军首要的现代化项目,将士兵与各种作战平台、火力支援系统、传感器和指挥控制系统等连成一体的集成系统^[13]。FCS 包含信息化作战机器人士兵的作战概念,具有小型无人车和多功能后勤装备保障无人车这两种地面无人车。小型无人车具有体积小、质量轻的特点,可以执行洞穴搜索任务,帮助士兵完成城市作战和危险区域的侦察任务。多功能通用/后勤无人车,用于支援地面部队,平台上安装了可用于半自主作战和随从作战的自主导航系统。该无人车能够自动探测周边环境,实时规划行走路线,拥有在士兵较少进行操控的情况下完成多种作战任务的自主作战能力。

2 TARDEC 无人车实验室关键技术分析

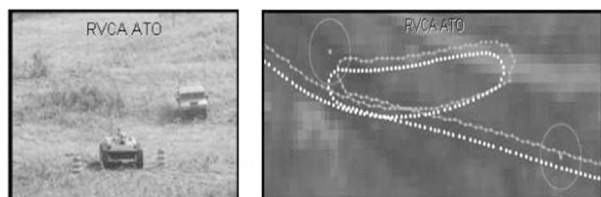
2.1 机动性

对于轻型无人车来说,机动性是其系统应用生成战斗力的基本因素^[14]。机动性是一种复合型的性能,无人车的机动性是指无人车在执行战斗任务时快速到达目的地的能力,包括通过不同道路的行驶性能、越过各种障碍物的能力和适应不同地形的通过性,重点要考虑无人车在城市标准道路环境的机动性和越野环境下的机动性。需提出新型车辆模型概念,改造车辆行走装置,对无人车进行智能控制,以实现全方位驱动增强平台的机动性。对所提出的无人车系统和其它子系统要进行仿真验证和实验环境实验。

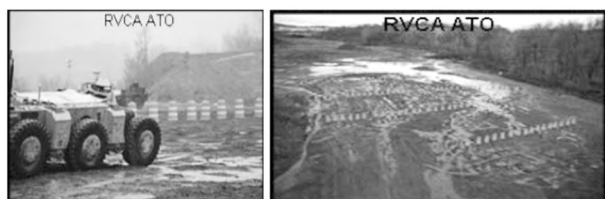
TARDEC 无人车实验室在 RVCA ATO 项目中评估压碎机无人车(Crusher)的性能时共做了四组实验,实验现场图如图 3 所示^[15]。第一组实验评估 Crusher 车辆性能,主要收集位置精确度、车辆运行的平均速度、系统延时,本次试验共记录 87 次测试,总行驶里程 130 km,速度保持在 3 m/s ~ 12.5 m/s 之间。第二组实验主要评估无人车在执行路径规划任务时躲避障碍物的能力,该组实验无人车成功预判 7 个不同的设置,收集到的数据可以应用到自主导航系统软件中。第三组实验在自然环境中进行实验,评估无人车长距离自然环境地形条件下的自动驾驶或者遥控驾驶的通过性。实验结果表明,无人车平均速度为 4.16 m/s,总共完成 114 km。实验中无人车利用新的自主导航系统在躲避障碍物时存在问题。第四组实验主要用于评估无人车在执行战斗任务时驾驶模式的切换,为士兵驾驶培训做准备。实验表明,该无人车的自主和遥控驾驶性能有所提高。

2.2 环境感知

环境感知是实现无人车智能驾驶的基础,用来获取周围的环境信息,通过分析理解环境信息为无人车的安全行驶提供可靠的决策依据,从而实现车辆的无人驾驶。环境感知主要包含的内容有行人/车辆的检测识别与跟踪、标准道路环境下的车道线检测、越野环境下障碍物信息获取以及可通行区域的确定,如图 4 所示。环境感知系统由众多的传感器组成,最为广泛应用的有视觉传感器^[16]和激光



a) 第一组实验



b) 第二组实验



c) 第三组实验



d) 第四组实验

图3 压碎机无人车性能评估实验

雷达传感器^[17]。视觉传感器用来感知周围环境物体的颜色和亮度信息,具有丰富的环境信息,但是其易受光照的影响,且无法获取周围目标的深度信息。激光雷达构建的是三维立体模型,获取的信息量大,且不受光照、天气的影响,具有良好的鲁棒性、实时性和稳定性。当前利用激光雷达的大视野和准确位置,结合图像的多特征而对激光雷达和摄像机进行融合成为当前研究的热点^[18]。

2.3 自主定位导航

定位技术用来提供无人车的位置、姿态等信

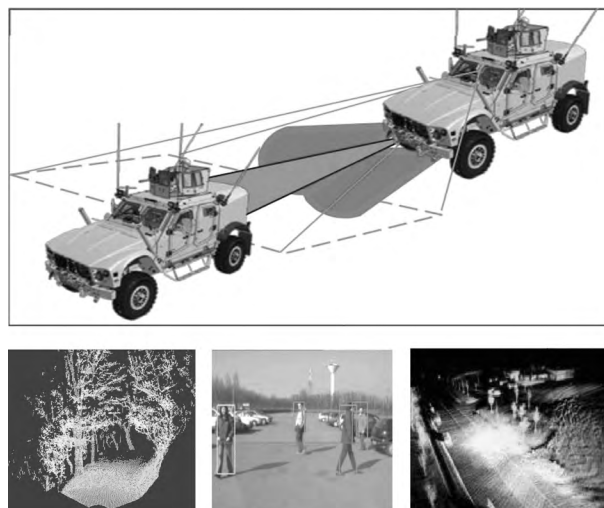


图4 环境感知的主要内容

息,精确的位置信息是无人车应用的基本要求,是保证无人车正确完成导航、控制任务的关键因素之一。常用的定位方法有:里程计、惯性导航、全球定位系统、视觉导航、同时定位与地图创建(SLAM)等。主要包括基于先验知识的全局路径规划和基于传感器信息的局部路径规划。全局规划无人车根据先验知识给定的起点和终点,按照性能指标规划出一条无碰撞、能安全到达目标点的有效路径,能够根据需要找到最优路径。局部规划是通过多种车载传感器获取的环境模型,即障碍物的大小、形状和位置等信息,对其路线进行修正,对障碍物进行躲避。

2.4 士兵培训

士兵成员的培训主要是以未来战场上的无人车应用为背景,培训士兵依靠车辆状态和传感器获取信息对车辆进行正确操作,拥有对战场地形和目标任务进行实时评估和整合的能力。根据任务实际情况,增强士兵操作时间,增强士兵对无人车系统的了解。优化士兵和无人车的交互能力,要求所提供的人机交互接口具有很好的可扩展性、可移植性和定制性,保证减轻士兵训练的负担。提供的一个设备可以控制多个无人系统,控制来自不同供应商的不同型号无人车。使士兵具有无人车快速修复能力,当无人车执行任务时出现故障,可以快速修理无人车达到最好的工作状态。

飞航导弹 2018年第4期

2.5 协同作战

为了使无人车与士兵、无人车与无人车更好地并肩战斗,协同作战显得尤为重要,主要包括进行信息交互通信问题、总体任务划分问题、状态协调一致性问题、多无人车相互学习问题等。对于无人车与士兵的协同,无人车自主跟随士兵执行战斗任务时,自主感知周围 360°环境继而自主跟随士兵行驶,可以使士兵对战场地形和战场形势有更好的研判,有效避免车辆发生碰撞,保证士兵成员的安全。无人车搭载战斗物质保障,可增加士兵执行任务的时间,减少士兵驾驶车辆的时间。多个无人车执行任务时,时间和空间分布可得到更好的扩展,以某一个固定的编队执行任务时,通过合理协调和分配较少时间和空间上的浪费。多个无人车获取的信息更加丰富和准确,多无人车可以通过通信实现信息的共享,达到多传感器信息的有效互补。多无人车系统执行任务协同处理,可将复杂任务划分成小块,大大降低了对单个无人车性能的要求。多无人车编队可以执行更复杂的任务,表现出更好的鲁棒性^[19]。

3 我军无人车发展展望

我国无人车从“八五”期间由南京理工大学、北京理工大学、清华大学、浙江大学和国防科技大学等联合研制的 ATB-1 无人车开始,历经 30 年的发展,至今已经取得了丰厚的成果^[20]。2011 年 7 月 14 日,由国防科学技术大学自主研发的红旗 HQ3 首次完成了从长沙到武汉 286 km 的全程无人驾驶试验,创造了无人驾驶的新纪录,标志着我国无人车实现了新的技术突破,达到了世界先进水平。2011 年 11 月 24 日,由军事交通学院研制的无人车从京津高速台湖收费站启程,用时 1 h 到达天津东丽收费站,全程 104 km,成功完成高速公路测试。这是我国首次官方认证下的无人车高速测试实验,其性能接近国际先进水平。中国陆军分别于 2014 年和 2016 年举办跨越险阻无人地面挑战赛,组织国内相关高校、科研单位、企业及个人同台竞技,汇聚国内无人车研发英才。比赛分组考察了无人车在野外战场侦察任务中的自主机动与目标搜索能力、编队行军的多车引导-跟随能力、城镇战场侦察

与搜索能力、仿生类无人平台的机动和输送能力、非仿生类复杂地形上的适应和输送能力。2017 年 3 月,国防科大无人车首次开展隧道驾驶试验、上匝道过收费站试验,隧道内达到 80 km/h,无人车向右侧匝道驶去时速自动降为 40 km/h。但是由于技术相对薄弱、研究起步较晚,我国无人车在传感器技术、自主导航与国外仍存在一定的差距。我国军用无人车需要在以下几个方面进行加强和改进。

3.1 建立健全规划与领导机构

我国陆军应建设成立专门的管理和研究部门,统筹规划中国无人车的研制,对中国的无人车研制进行统一规划、统筹管理。根据中国部队实际情况,提出相应的无人车发展蓝图,提出中国无人车的发展纲要。统筹规划,将无人机系统、无人车系统、水下无人系统纳入统一的无人系统规划发展。该部门应提指标、下订单,代表军方与公司签订合同,促进国内外无人车研究成果的转化,使其适应中国地形地貌、适合中国作战战场。

3.2 发展型式多样,编配用途广的无人车

根据无人车不同的任务使命,比如战场巡逻、目标搜索、探雷和扫雷、爆炸物等危险品清理、战场突击等不同任务,研制多种型号、多种用途、适应性强的系列无人车。无人车根据控制方式的不同,可以分为遥控式、半自主式、自主式三种操作模式。根据行驶方式的不同,有履带式无人车和轮式无人车。根据装备质量的大小分为轻型、中型、重型和超重型无人车。根据使命任务不同,分为无人巡逻车、无人侦察车、排爆扫雷车、无人作战车等。研发配置的无人车主要用于陆军、海军陆战队以及联勤保障部队(地面后勤支援部队)。

3.3 着眼未来,发展系列化无人车

我军要加强无人车的系列化发展,提高无人车的利用率,增强部队的保障能力,发展通用型无人车底盘,以提高经济性能。就美军而言,已经推出 TALON、R-Gator、Crusher、MULE、Andros、iRobot 系列无人车^[21]。未来,无人车通过搭载不同武器系统载荷,如在研发无人车的基础上加装防侦察、反装甲目标、通信中继以及电子干扰等各种程序模块,可执行多种战术任务。无人车经过改装,用途更加广泛,既可以提高作战效能,也可以减少研究

和保障费用。型号化、系列化、车族化,是我军无人车的未来发展方向。

3.4 军民融合,举办高水平赛事

无人车的研制要充分利用地方高校、企业等的技术力量,依托国内无人车技术研制的基础,推动无人车相关的传感器技术、计算机应用技术、图像处理、车辆控制技术的发展和运用。目前军民融合已成为重要的国家发展战略,无人车相关技术成果可以应对复杂的安全威胁,为国家战略优势的获得做出贡献。

4 结束语

通过对 TARDEC 无人车实验室的介绍,结合 TARDEC 无人车实验室发展概况,分析了无人车发展的关键技术,并对未来我军无人车的发展方向做出了展望。未来,随着人工智能、计算机应用技术、微电子技术的进一步发展,无人车不仅将为军队建设带来大变革,还将会引发一次世界范围内的军事大变革。有专家估计,到 2030 年,无人车将成为战场上厮杀的主力军,这对无人车的性能提出了更高的标准,无人车的研究将会得到更多的重视。

参考文献

- [1] The global military unmanned ground vehicles market 2016-2026. Strategic Defence Intelligence, 2016
- [2] 陈慧岩,熊光明,龚建伟,等. 无人驾驶汽车概论. 北京: 北京理工大学出版社, 2014
- [3] 贾进峰,张进秋. 全球陆战机器人. 北京: 解放军出版社, 2013
- [4] David J G, Grant R G, Paul M. TARDEC's robotic laboratory. Proc. SPIE 4364, Unmanned Ground Vehicle Technology III, 2001
- [5] McClelland, Richard. TARDEC Overview. RDECOM, 2005
- [6] Bachkosky J M, Begley G A, Rumpf R L et al. Roles of unmanned vehicles. Maval Research Advisory Committee Report, 2003
- [7] David T. Intelligent ground systems. Technology Driven Warfighter Focused, 2008
- [8] Matthew S. TARDECs intelligent ground systems overview. Technology Driven Warfighter Focused, 2009
- [9] Jinnifer H. TARDEC overview. RDECOM, 2010
- [10] Jim P, Greg H. TARDEC ground vehicle robotics. RDECOM, 2013
- [11] Peter D. TARDEC 30-year strategy value stream analysis. RDECOM, 2015
- [12] Chris M. Robotic vehicle control architecture for FCS program Overview. RDECOM, 2009
- [13] Price M W, Munkeby S. Future combat systems (FCS) autonomous navigation system (ANS) technology will revolutionize warfare. Assistant Secretary of the Army (Acquisition Logistics and Technology) Fort Belvoir VA, 2008
- [14] Jayakumar P, Arepally S. Mobility research at TARDEC. U. S. Army Tank Automotive Research, Development and Engineering Center, 2015(5)
- [15] Joseph S. TARDEC ground vehicle robotics: vehicle dynamic characterization and research. Army Tank Automotive Research Development and Engineering Center Warren MI, 2015
- [16] Hai W, Yingfeng C. Monocular based road vehicle detection with feature fusion and cascaded adaboost algorithm. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2015, 22(126)
- [17] 李成进,王芳. 智能移动机器人导航控制技术综述. 导航定位与授时, 2016, 3(5)
- [18] Gaurav P, James R, McBride, et al. Automatic extrinsic calibration of vision and lidar by maximizing mutual information. Journal of Field Robotics, 2015, 32(5)
- [19] 阮广凯. 多无人车系统协同控制方法及实验平台设计. 北京理工大学学位论文, 2016
- [20] 陈慧岩,张玉. 军用地面无人机动平台技术发展综述. 兵工学报, 2014, 35(10)
- [21] Jentsch F. Human-robot interactions in future military operations. CRC Press, 2016