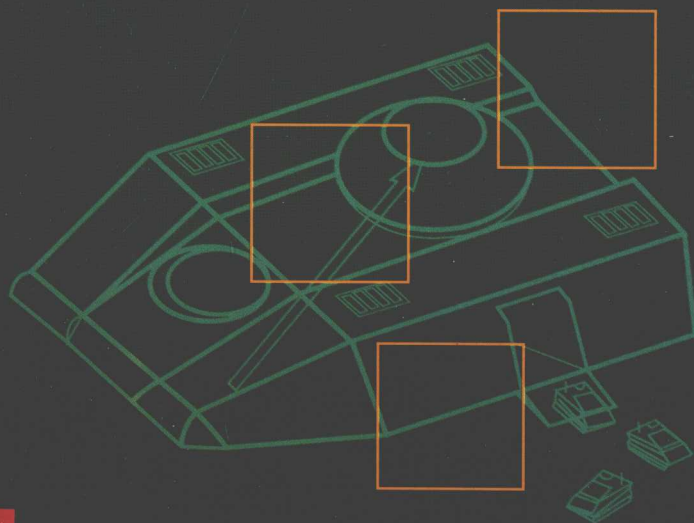


军用无人地面车辆 技术的发展

Technology Development
for Army Unmanned Ground Vehicles

[美] NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES

付梦印 王美玲 主译 陆际联 主审◎



国防工业出版社

National Defense Industry Press

号 920-2002-军

军用无人地面车辆 技术的发展

[美]陆军无人地面车辆技术委员会

陆军科学技术部

工程与物理科学部

国家研究委员会 著

付梦印 王美玲 主译

杨毅 赵诚 张晓晨 参译

陆际联 主审

军事科学出版社

(北京 100012)

国防工业出版社

军事科学出版社

北京 100012

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军—2008—059 号

图书在版编目(CIP)数据

军用无人地面车辆技术的发展 / 国家研究委员会著;
付梦印,王美玲主译. —北京:国防工业出版社,2009.3

书名原文:Technology Development for Army Unmanned
Ground Vehicles

ISBN 978 - 7 - 118 - 05929 - 8

I. 军... II. ①国...②付...③王... III. 无人驾
驶—军用车辆—研究 IV. TJ81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 134631 号

This is a translation of *Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles*, Committee on Army Unmanned Ground Vehicle Technology, National Research Council © 2002 National Academy of Sciences. First published in English by the National Academies Press. All rights reserved.

本书简体中文版由中国国防工业出版社独家出版发行。版权所有,侵权必究。

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

开本 850×1168 1/32 印张 10 字数 260 千字

2009年3月第1版第1次印刷 印数 1—2000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

译者序

随着科学技术的不断进步和武器装备的日益现代化,武器装备的战术性能得到了很大改善,同时出现了一些建立在新科学理论和技术基础上的新概念武器,各种无人作战平台就是其中一种。无人地面作战平台作为具有侦察、运输、搜救以及火力打击等功能的执行军事任务的机器人系统,是无人作战平台家族的重要成员,它们能够在战场上协助作战人员并与之互补,最适于完成常规而单调的任务,并且总是不知疲倦、无所畏惧,可以迅速而准确地完成重复性作业。特殊的设计还可以使他们避开或抵挡敌方武器进而完成特殊的军事任务。

自1983年美国DARPA立项制定无人地面作战平台的战略计划——自主地面平台计划以来,世界各军事强国都纷纷致大力发展无人地面武器机动平台的研究与应用。

原著由美陆军无人地面车辆技术委员会、陆军科学技术部、工程与物理科学部和国家研究委员会几家无人地面车辆技术权威单位联合编写,在完整性、准确性、前沿性和权威性等方面都具有很大的优势。

本书的翻译力求忠于原著。

译者希望本书的翻译能吸引更多读者进入本领域,同时也能给国内无人地面车辆技术研究者提供知识的更新和补充。

全书由陆际联教授亲自校阅,在此表示诚挚的谢意。

由于水平有限,翻译不妥或错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

译者

2008年9月于北京

前言

陆军战略展望要求向能迅速向世界各地投放压制性兵力的全谱目标部队转型。它必须是灵敏的、多用途的及致命的,应用制敌机动、精确接战、集中后勤、信息优势以及生存性作战系统达到其目标。转型的关键是创新技术,未来的军事力量将由一整套系统构成,将先进的空中与地面的有人与无人资源网络化,取得在地面战斗中的优势。

在这样的部队结构中,空中与地面的无人平台将起到很重要的作用。无人系统能够比人类更轻松地完成很多任务,当今,军民两界都在研制有足够自主的机器人系统,以代替人类从事危险作业,增强人类协同作用能力及执行艰苦、重复的任务。

无人地面车辆(UGV)具有促进军事能力跨越式发展的潜力。如果UGV发挥出它们的全部潜力,它们的使用将会减少伤亡人数并极大地提高军队作战效能。然而,为了取得这样的潜力,它们必须能够实现“可信赖的”自主运行。关键的决策乃至关键事件的控制,一般总是需要操作人员来做,但是,期望士兵不间断地控制无人系统的运动是不切实际的。自主能力所需的技术还刚刚处于萌芽阶段。有了技术上的成功,让士兵学着去相信机器人伙伴也会有“文化”问题。

对本委员会的介绍和 Demo III 的演示清楚地表明陆军已经走上轨道,正在寻求很多赋予UGV能力的技术。然而,没有对这项技术基础的具体要求,没有资助的重点,陆军的努力不太可能转变成具有战术意义的无人地面车辆系统。因此,有高层支持来协调要求的产生和系统概念的评价与接受是至关重要的。

负责技术与研究的陆军助理部长要求国家研究委员会的军用科技部主持研究对无人地面车辆技术准备工作的评估问题。此项研究主要是考察军用无人地面车辆计划的相关方面,总结技术的全局状态,评估技术成熟度以及论证正在实施的无人地面车辆系统作为未来作战系统组成部分的可能性。此外,委员会还将负责评估无人地面车辆长期发展对目标部队建设的价值。

本委员会把任务细分到并行工作的不同工作组,围绕着任务说明中的特定技术和特定要求展开工作。因为机器人车辆涉及到多学科专门技术,所以从学术界和工程界抽调了很多代表不同学科的专家学者(见附录 A 委员会成员介绍)。有些委员会成员在作战系统研发、采办、试验及评估方面具有相关经验。已确定的未来作战系统和目标部队的概念包含了很多还未转换成系统需求的能力,这些成员在这些方面起了重要作用。

我要向为此项研究贡献精力的委员会成员表达我个人的谢意。他们严格遵守时间进度,参加多项会议和演示,而且要审查那些完成任务必需的大量材料。这篇报告属于他们,代表了委员会关于无人地面车辆技术发展现状的集体智慧。

任何规模如此巨大的研究都需要庞大的后勤与管理支持,本委员会对给予我们工作便利的国家研究委员会的杰出同仁表示诚挚的感谢。

Millard F. Rose

陆军无人地面车辆技术委员会主席

目 录

执行总结	1
0.1 战术与技术要求	2
0.2 目前的研究工作	5
0.3 技术发展水平	7
0.4 技术集成及未来路线图	15
0.5 建议	17
第 1 章 引言	23
1.1 背景	26
1.2 本书结构	30
第 2 章 战术与技术要求	31
2.1 战术要求	32
2.2 UGV 能力的技术要求	35
2.3 UGV 的配置	38
第 3 章 UGV 研究工作回顾	56
3.1 陆军科技计划	56
3.2 其他举措	61
第 4 章 自主行为技术	80
4.1 感知技术	83

4.2	导航技术	98
4.3	规划技术	105
4.4	行为与技能技术	112
4.5	学习与自适应技术	126
4.6	技术成熟度总结	131
第 5 章	支撑技术	137
5.1	人机交互	137
5.2	机动性	144
5.3	通信技术	152
5.4	动力/能源	160
5.5	维护保养	170
5.6	技术成熟度总结	177
第 6 章	技术集成	181
6.1	无人地面车辆系统的发展概况	181
6.2	全生命周期支持	184
6.3	软件工程	189
6.4	计算机硬件	192
6.5	评估方法	194
6.6	建模与仿真	198
第 7 章	未来路线图	200
7.1	系统开发的重要事件	200
7.2	普通 UGV 系统的时限	205
第 8 章	结论与建议	210
8.1	技术发展重点	210

8.2	关注紧迫的陆军应用	213
8.3	系统工程的挑战	215
8.4	倡导 UGV 的开发	217
附录 A 技术委员会委员简介		219
附录 B 相关会议与活动		224
附录 C 自主机动性		230
附录 D 历史透视		274
缩略语		291
参考文献		299

执行总结

美国陆军很久以前就已经认识到了机器人在战场上的潜力。国防高级研究计划局(DARPA)利用早期研究工作,资助了智能系统的基础与高级研究,领导了地面车辆乘员自动化技术与战术无人飞行器(UAV)的开发。同时,陆军已经成功地改装了商用遥控操作地面车辆用于特殊军事行动(例如,排雷与城区侦察),而且在向半自主机动能力发展过程中,已经取得一些早期进步。

陆军由以重装甲、强火力为特征的军事力量向更轻便、反应更迅速、具有高杀伤力与高生存性的目标部队转型的迫切需要,已使实用的无人地面车辆系统的发展成为未来的急需。评估中的陆军未来作战系统(FCS)概念包含了地面与空中的无人系统,并要求在2010年与未来作战系统的其他组成要素一同装备部队。

陆军计划将无人地面车辆用于武器平台、后勤运输车及侦察、监控与目标获取(RSTA)等替代装置,以提高战斗效能与减少危险环境下士兵的数量。美国国会同样认识到无人系统的潜力,并已批准未来陆军系统至少三分之一为无人的。陆军UGV技术发展计划包括了无人地面车辆;然而,还不清楚无人地面车辆技术的研究工作是否能跟上陆军未来作战系统计划加速前进的步伐。

无人地面车辆系统是国防部(DOD)承认的对战场具有“跨越式进步”(是革新而不是进化)潜力的少数领域之一。空中无人飞行器的运行环境相对比较简单,但是它的研制用了40多年,因此,开发UGV系统,陆军要面临前所未有的挑战。对技术发展与系统集成的组织与管理所需做的努力也将是巨大的。

本项研究由美国陆军助理部长(采办、后勤与科技)发起,他要求国家研究委员会承担如下任务:

(1) 审查陆军对无人地面车辆的战术要求,包括陆军未来作战系统的基本计划、陆军研究实验室(ARL)无人地面车辆科学与技术研究目标(STO)及其他无人地面车辆的要求。

(2) 评论目前在陆军研究实验室与陆军坦克—汽车研发与工程中心(TARDEC)的陆军 UGV 研究成果。

(3) 审查用于无人地面车辆系统的无人车辆技术现状(例如,“智能”感知与控制、自适应战术行为、人一机接口等)。

(4) 确认在未来作战系统基础计划的规定时间范围内实现可用的无人地面车辆技术的风险与可行性。

(5) 确证提交给陆军的研究报告中的检查结果。这份报告将包含无人地面车辆技术与系统发展的建议路线图,其中可能包括了关于更长期(2015 年及以后)的无人地面车辆技术应用的研究课题。

在研究报告中,突出了对后四项任务具体问题的回答,在执行总结中,也做了答复。

0.1 战术与技术要求

在进行这项研究时,陆军尚未确立将 UGV 与其他技术集成到 FCS 的路线图。缺乏明确的 UGV 需求使陆军科技(Science and Technology, S&T)机构难以确定技术开发的重点。为有助于解决此问题,2002 年初陆军为 FCS 计划选定了总系统集成商(Lead System Integrator, LSI),由它向工业界征集对三种 FCS UGV 系统概念的建议,包括:

- 士兵 UGV,士兵携带的小型侦察与监视机器人。
- 骡式^① UGV,1t 重车辆,适于 RSTA 或运输/补给任务。
- 武装侦察车辆(Armed Reconnaissance Vehicle, ARV) UGV,

^① MULE 是 Multifunction Utility/Logistics Equipment Vehicle(多功能通用/后勤装备车)前四个英文单词的缩写,恰与单词 mule(骡子)相同,故得名。——译注

6t 重车辆,执行侦察、监视与目标获取任务及火力任务,有配备导弹与火炮系统的炮塔。

可以开发和装备大小不同的 UGV,以执行各种军事任务。除大小与功能外,所有 UGV 的主要特性是其自主水平,从 100% 的遥控操作到各级自主直至全自主(最终目标)。小型遥控操作 UGV 的许多军民应用已得到很好的开发,有了很多用途。人一机器人接口的改进将大幅提高其效能。

未来 UGV 自主性水平的不断提高将大大扩展其军事用途。陆军 STO 已集中于从 A 点到 B 点半自主机动(A—B 机动性)所需的技术,这是自主地面车辆最终被接受的公认的关键。

为便于工作,陆军无人地面车辆技术委员会按性能将 UGV 归纳为四类。这些类型用以下特征区分:

(1) 遥控操作地面车辆(Teleoperated Ground Vehicle, TGV)——在遥控操作中,操作人员在远处控制机器人车辆,他们执行所有的识别过程。操作人员根据车载传感器和通信链路推测 UGV 的位置与运动。有各种大小的 TGV。

(2) 半自主前导/后随者(Semiautonomous Preceder/Follower, SAP/F-UGV)——与 TGV 类似,SAP/F-UGV 的形状和大小各异。后随 UGV 是目前陆军开发与演示的重点。前导 UGV 是具有先进导航能力的后随 UGV,可在与操作人员交互最少的情况下实现 A—B 机动。前导 UGV 必须有充分的自主性,以便在控制它的士兵或车辆前方运动。它具备足够的识别能力,能选取到达指定目的地的最优路径而无需标记地形。

(3) 平台中心自主地面车辆(Platform-Centric Autonomous Ground Vehicle, PC-AGV)——可赋予并执行复杂工作或任务的自主地面车辆,在行动过程中,它也许从其他来源获得信息,或响应来自控制人员的其他命令,而不需要更多引导。对于能够使用杀伤性武器的 PC-AGV,军事任务要求它具有“可信赖的”自主性,并应具有故障安全中断机制。PC-AGV 必须具备自主的 A—B 机动,并能在敌对环境中完成预定任务。与穿越复杂地形类似,

这里的基准是 UGV 应具备大致相当于执行相同任务的有人车辆的生存性与自我防御。

(4) 网络中心自主地面车辆 (Network-Centric Autonomous Ground Vehicle, NC - AGV)——NC - AGV 是具有足以在网络中心战模式中作为独立节点运行的自主水平的 PC - AGV。这种自主地面车辆必须能从通信网络接收信息并将其纳入执行的任务, 响应来自网络的信息请求与行动命令, 包括消解冲突的命令。同样, 作战性能的大致基准是与执行类似任务的有人系统相当。

从表面上看, 四种类型代表逐级提高的自主水平, 然而, 每一类型对各种 UGV 技术领域的发展都有不同的要求。以通信技术为例, TGV 在任何时候的要求都高; SAP/F - UGV 在机动 (如投放电子“面包屑”) 或意外 (异常障碍或敌军攻击) 情况下有中等要求; PC - AGV 很少或无需人员控制 (除非特殊任务); NC - AGV 很少或无需人员控制但对网络连通性的要求高。

技术成熟度等级 (Technology Readiness Level, TRL) 可为不同技术相对于所述需求的成熟性提供统一度量。TRL 6 尤为重要, 因为它标志着技术组件或子系统已在相应环境中做了演示。在没有明确的陆军需求的情况下, 本研究假定了具有相关技术需求的四个强制性示范系统, 可以提供在各 UGV 技术领域中评估 TRL 的基准。表 0 - 1 列出了本委员会为研究假定的系统, 每个系统代表一类性能。这些示范系统已经具备了系统总集成商 (LSI) 后来暗示的 FCS 所需性能。

表 0 - 1 本委员会假定的示范系统

示范系统	能力类别	其他可能应用
小型机器人建筑物与隧道搜索者 (Searcher)	遥控操作地面车辆	探雷、排雷、工程建设、EOD/UXO、物料搬运、士兵便携式侦察/监视
小部队后勤搬运工 (Donkey)	半自主前导/后随者	补给护送、医疗后送、烟幕施放、间瞄火力、侦察/监视、人身安全

(续)

示 范 系 统	能 力 类 别	其他可能应用
侧翼助手无人地面车辆 (Wingman)	平台中心自主地面 车辆	遥感、反狙击、反侦察/渗透、间 瞄火力、单前哨/侦察、化学/生 物战剂检测、战斗损伤评估
自主猎杀者编队(Hunter- Killer)	网络中心自主地面 车辆	纵深 RSTA、联合作战(小部队 防御或进攻的致命性直瞄火力/ 侦察/间瞄火力)、固定区域防 御、MOUT 侦察
注:EOD/UXO = explosive ordnance disposal/unexploded ordnance,爆炸物处理/未爆 炸物; RSTA = reconnaissance, surveillance, and target acquisition, 侦察、监视与目标 获取; MOUT = military operations in urban terrain,城市地形军事行动		

0.2 目前的研究工作

陆军 UGV 开发计划主要包括两项 STO 研究工作, TARDEC 管理的机器人跟随者先进技术演示(Advanced Technology Demonstration, ATD)及 ARL 管理的 FCS 半自主机器人技术。除了几项较小的 STO 机器人研究工作外, 陆军还参与了 DOD 联合机器人计划中的 DEMO III UGV 计划, 并资助了国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)的几个项目, 包括:

- 战术移动机器人。
- 无人地面战斗车辆。
- 越野感知。
- 建制飞行器。

陆军 UGV 总体计划包括遥操作 UGV 运行、士兵在环实验及

受控环境下跟随者与半自主机动的演示。虽然侧重于技术演示,但也包含了有限的测试与实验。

研究发现,为跟随者 UGV ATD 开发的技术可以达到 ATD 的目标,但并不包括 FCS 系统级可能需要的相关支撑技术。该 ATD 计划于 2006 财年演示基本的半自主越野移动。目前 ATD 正在重组(与其他 STO 协调),以重点关注 Mule 与武装侦察车辆的性能,这与 FCS 系统总集成商向工业界征集的概念相一致。

最初的 ARL STO 涉及了未在跟随者 ATD 中强调的支持自主要求的能力,包括规划、导航及人机交互。然而,演示的重点及对激光探测与测距(Laser Detection and Ranging, LADAR)传感器的高度依赖限制了感知技术水平的进步。从重组后的 STO 有助于陆军确定系统需求的意义上来说,显然是朝正确方向迈出了一步。然而,Mule 与 ARV 的性能是否能促进 UGV 系统的发展仍有待观察。

本研究还考虑了政府有关 UGV 的其他研究工作,包括由国家航空航天管理局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)、运输部、能源部(Department of Energy, DOE)及国家标准与技术研究所(National Institute of Standards and Technology, NIST)提出的那些项目。除 DARPA 的工作外,政府其他的 UGV 工作与陆军的工作之间的相互关系是非正式、松散的。然而 UGV 产业规模之小及机器人专家数量之少都倾向于鼓励技术交流与合作。例如,喷气推进实验室支持着 NASA、DARPA 与陆军的机器人计划,因而这些计划之间的合作程度可以很高。同样,NIST 的智能系统专家也与其他人参与了 Demo III 计划。然而有人担心,在某些技术领域中的合作可能会被激烈竞争有限的 UGV 相关合同所抑制。

在未来 UGV 技术的某些相关领域中,其他国家的研究与美国处于同等水平。不过,根据本委员会获得的资料,没有比美国明显先进的其他国家 UGV 技术应用。

0.3 技术发展水平

无人地面车辆的组成包括带传感器的移动平台、计算机、软件(包括感知、导航、学习/自适应、行为与技能、人机接口及维护等模块)、通信、动力及与 UGV 作战任务有关的独立任务组件。本委员会的研究假定任务功能组件所需的技术应独立开发。

0.3.1 自主行为技术领域

UGV 系统组成如图 0-1 所示。本委员会对 UGV 专用及支撑技术发展水平进行了评估,揭示了能力差距,估计了技术成熟度。表 0-2 提供了委员会估计的四个示范系统相应技术达到 TRL6 的时间。表 0-3 和表 0-4 列出了能力差距及委员会对困难和风险的估计。

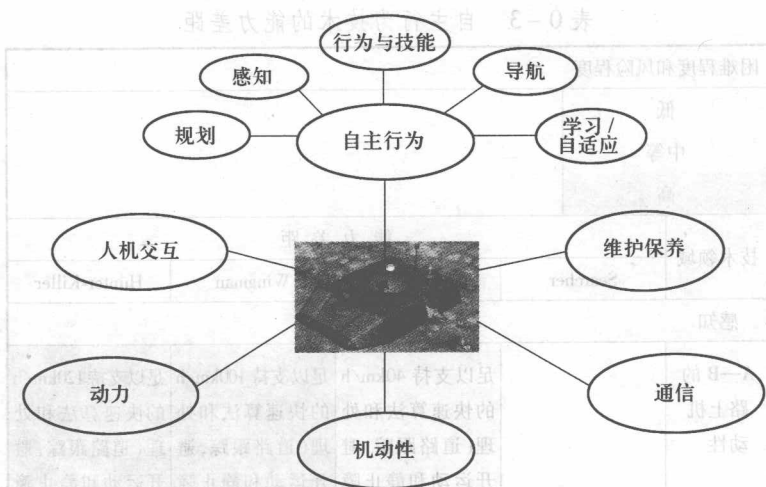


图 0-1 UGV 技术领域

表 0-2 自主行为及支撑技术领域达到 TRL 6 的时间估计

技术领域	Searcher	Donkey	Wingman	Hunter-Killer
感知				
导航				
规划				
行为与技能				
学习/适应				
人机交互				
机动性				
通信				
动力/能量				
维修保养				
近期				
中期(2006-2015)				
远期(2016-2025)				

表 0-3 自主行为技术的能力差距

困难程度和风险程度				
低				
中等				
高				
技术领域	能力差距			
	Searcher	Donkey	Wingman	Hunter-Killer
感知				
A—B 的路上机动性		足以支持 40km/h 的快速算法和处理(道路跟踪,避开运动和静止障碍)	足以支持 100km/h 的快速算法和处理(道路跟踪,避开运动和静止障碍) 远距离传感器	足以支持 120km/h 的快速算法和处理(道路跟踪,避开运动和静止障碍) 远距离传感器