

虚拟战场环境行为 建模技术及应用

曾亮 张巍 著



科学出版社

虚拟战场环境行为 建模技术及应用

曾 亮 张 巍 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍军事群体行为建模相关的原理及技术。针对大规模军事群体行为的特点,将本体论、控制论、描述任务逻辑等方法引入军事群体行为建模,并以联合作战和非战争军事行动中的实例,详细讲述军事群体行为的建模与仿真。本书中研发的群体行为建模技术也同样适用于非军事群体行为的表现。

本书作为行为仿真领域的专业书籍,可供高等院校相关专业的师生、科研院所的技术人员及相关管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟战场环境行为建模技术及应用/曾亮,张巍著. —北京:科学出版社, 2015.12

ISBN 978-7-03-046785-0

I. ①虚… II. ①曾…②张… III. ①计算机应用-作战模拟 IV. ①E83-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 308084 号

责任编辑:张艳芬 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 封面设计:蓝 正

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 1 月第一次印刷 印张:10 1/2

字数:199 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

虚拟现实技术是在数字空间中对现实世界的一个模拟。在虚拟现实技术中,除了对现实世界中实体的外形和声音等外在的“形”进行建模表现之外,还要对实体行为这个内在的“神”进行建模。对实体行为的建模是虚拟现实系统构建中必不可少的工作。实体行为是否是丰富和可信的,也是决定一个虚拟现实系统应用价值的重要因素之一。

在数字娱乐和数字游戏中,人们对虚拟实体行为的要求不高,对实体行为的模拟可以通过一些虚假或者作弊的手段来实现。但是在虚拟战场环境中,实体行为的表现是否真实可信则具有更加重要的意义。另外,战场环境的高度复杂性,使得一般的行为建模方法很难完全适应计算机生成兵力(CGF)系统行为建模的需要。

虚拟战场环境中,虚拟实体行为的主要内涵是指虚拟兵力的计算机模型,也叫做计算机生成兵力,它为军事仿真提供虚拟的兵力行为表现。如何生成真实可信的兵力行为是 CGF 研究中的核心问题。目前应用在 CGF 领域的行为建模方法主要有基于有限状态机的行为建模方法、基于规则系统的行为建模方法和基于多 Agent 的行为建模方法等。

基于有限状态机和基于规则系统的行为建模方法,是当前军事仿真中使用最为广泛的行为建模方法。其优点是建模相对简单,较适合对低级别行为的描述与建模,如机动、发射武器等行为,但对高级智能行为和协同行为等一类复杂行为的表现能力有限。

基于多 Agent 的行为建模方法是目前 CGF 研究的热点,成功应用在多个 CGF 系统中。然而,至今人们对 Agent 的概念和定义还没有统一的认识,还没有形成明确的理论体系,而且存在意图副作用等问题。

不过,Agent 理论所倡导的智能体对环境的自适应性和行为的自主性折射出了控制论的思想,能被控制论所解释。相较而言,控制论具有明确完整的概念定义、理论体系和方法论。

作者所在课题组长期从事虚拟战场环境方面的研究工作,在国家 863 项目和国家自然科学基金项目的支持下,尤其在虚拟战场环境中实体行为建模方面进行了深入研究。郑援博士提出了基于控制论的实体行为模型(简称 SCP 模型),郑义博士在 SCP 模型的基础上进行了群体协调能力的扩展,提出了 ESCP 模型。

目前对这种单个兵力模型的研究已经比较深入,然而,随着仿真规模的不断

扩大,通过多个单个兵力模型的简单组合来表现群体兵力的方法已越来越无法满足需求。因此,针对大规模军事群体兵力行为的研究越来越迫切。

对大规模军事群体行为的研究需要结合军事群体的组织结构和协同关系,以及个体的个性行为多个层面。

军事群体组织主要是指控制组织,其建模问题是管理科学领域组织理论与军事科学领域军事指挥与控制理论的交叉领域。

现代高新科技广泛应用于信息化战争,这使得战场环境变化更加激烈、战争进程加快、战争体系异常复杂,信息化战争的这些特点促进了现代军事组织编制与体制的变革,同时也加剧了战场环境中兵力组织的快速重构与重组。如何描述战场兵力组织,分析作战编成的性能与效能是信息化战争中获取战争对抗优势的关键技术之一。

而军事群体组织不同于以利益为纽带建立起来的普通松散社会组织,它一般具有严格的上下级关系、集中的权力结构、统一的条令条例、强制性的任务,以及共享的行动计划。

组织是建立在一定认知基础上的交互关系的反映。没有认知就不能建立统一而准确的组织模型,而没有交互则无法体现出群体的组织性。因此,需要从认知和交互两个方面对军事群体进行建模。认知部分描述组织中的群体及其能力;交互部分则包括角色、角色间的关系以及约束这些关系的组织规范。

从概念层面对军事群体进行认知和交互的划分,还需要对其进行形式化的描述。为了完成这一工作,张会博士提出了描述任务逻辑理论。该理论将虚拟实体完成的某项任务看成其他实体完成其自身任务的“资源”,是一种真正的资源逻辑,并且克服了任务逻辑不可判定的这一缺陷。在实际应用过程中,该理论可以描述军事群体间的任务级交互。为了保证不同军兵种、不同武器平台、不同专业技术领域间的概念和关系知识达成一致,以及避免因不同领域知识或不同开发人员建模引起的不一致性问题,张巍博士提出了基于领域本体描述任务逻辑的群体协同行为描述方法(GBDM)。该方法论可以保证对大规模联合作战和非战争军事行动中的群体组织及其行为进行精确而一致的描述。

现代科技日新月异,引领联合作战形式不断改变,相应的联合作战理论不断发展变化,另外,对非战争军事行动本身的研究才刚刚起步,其内涵仍在不断地丰富和创新中。加之军事行动本身的复杂性,对军事群体的行为分析和建模面临着巨大的挑战。本书试图对近几年在群体行为建模方面的工作进行梳理总结,不足之处,请读者批评指正。

曾 亮

2015年10月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 背景	2
1.3 军事群体协同行为建模与仿真问题和关键技术	3
1.4 相关研究现状	4
1.4.1 群体行为建模与仿真研究现状	4
1.4.2 群体军事协同行为建模仿真相关研究现状	7
参考文献	9
第 2 章 群体协同行为描述方法	13
2.1 本体论	14
2.1.1 本体论概述	14
2.1.2 军事群体本体	16
2.1.3 军事群体本体的描述逻辑表示	20
2.2 GBDM	21
2.2.1 GBDM 的语法	22
2.2.2 GBDM 的语义	25
2.2.3 GBDM 的可判定性	28
2.3 基于 GBDM 的推理	33
2.3.1 GBDM 中的定理	33
2.3.2 GBDM 中的本体推理	34
2.4 本章小结	35
参考文献	36
第 3 章 基于控制论的计算机生成兵力模型	38
3.1 基于控制论的 SCP 模型	39
3.1.1 SCP 的概念模型	40
3.1.2 SCP 的形式化模型	40
3.2 ESCP 模型	42
3.2.1 ESCP 的概念模型	43
3.2.2 ESCP 的形式化模型	44

3.2.3	ESCP 的结构模型	47
3.2.4	ESCP 模型的特点	49
3.3	基于 ESCP 模型的协同	49
3.3.1	CGF 实体对象内部行为协同	49
3.3.2	CGF 实体对象间行为协同	53
3.4	行为建模描述语言	58
3.4.1	BBML 的语言规范	61
3.4.2	BBML 的实现及运行机制	65
3.4.3	语言实例	67
3.4.4	实验分析	69
3.4.5	BBML 的主要特点	71
3.5	本章小结	71
	参考文献	72
第 4 章	军事群体兵力模型	73
4.1	军事群体组织结构模型 GRNA	73
4.1.1	组织结构模型研究现状	74
4.1.2	GRNA 概念模型	74
4.1.3	GRNA 的形式化描述	77
4.1.4	GRNA 结构模型	79
4.2	GSCP	81
4.2.1	GSCP 行为模型	81
4.2.2	GSCP 的行为	85
4.2.3	GSCP 底层个性行为模型	88
4.3	本章小结	93
	参考文献	94
第 5 章	基于 GBDM 的军事群体组织任务规划描述方法	95
5.1	任务	95
5.1.1	任务	95
5.1.2	任务描述	97
5.2	军事群体组织任务规划描述方法 TPDLT	99
5.2.1	任务规划的描述	99
5.2.2	任务规划的可完成性判定	101
5.2.3	任务规划的推演验证算法	102
5.3	本章小结	105
	参考文献	105

第 6 章 军事群体协同行为模型验证	106
6.1 基于 GBDM 的仿真想定验证	106
6.1.1 仿真想定校验推理	107
6.1.2 仿真中的概念推理	108
6.2 基于 ASM 的行为校核与验证	108
6.2.1 抽象状态机理论	109
6.2.2 抽象状态机语言	111
6.2.3 ASML 验证 CGF 行为	112
6.3 本章小结	116
参考文献	116
第 7 章 军事群体协同行为建模仿真工程方法与原型系统	117
7.1 OGBMM	117
7.1.1 OGBMM 基本流程	117
7.1.2 OGBMM 模型细化	118
7.2 OGBML	120
7.3 OGBMSP	126
7.3.1 系统结构	126
7.3.2 系统实现	131
7.3.3 场景编辑	134
7.4 本章小结	134
第 8 章 联合作战与非战争军事行动应用案例	135
8.1 联合作战应用案例	135
8.1.1 问题背景	135
8.1.2 问题分析与建模	137
8.1.3 仿真实验	142
8.2 非战争军事行动应用案例	146
8.2.1 问题背景	146
8.2.2 问题分析与建模	147
8.2.3 仿真实验	151
8.3 本章小结	153
参考文献	154
第 9 章 总结与展望	155
9.1 总结	155
9.2 展望	156

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

虚拟现实(virtual reality, VR)是一种基于可计算信息的沉浸式交互环境。具体来说,就是采用以计算机技术为核心的现代高科技生成逼真的视、听、触觉等一体化的特定范围的虚拟环境。用户借助必要的设备以自然的方式与虚拟环境中的对象进行交互作用、相互影响,从而产生亲临等同真实环境的感受和体验^[1,2]。

分布式虚拟环境可以看做是可供多用户同时异地参与的基于网络的虚拟现实系统。在分布式虚拟环境中,处于不同地理位置的用户如同进入同一个虚拟世界中,通过姿势、声音或文字等“在一起”进行交流、学习、训练、娱乐、协同完成同一件复杂产品的设计或进行同一任务的训练和演练。

分布式虚拟环境技术的一个典型应用领域是分布式虚拟战场环境,广泛应用于军事作战模拟训练中。最早的分布式虚拟战场环境源于 1983 年美国国防部高级研究计划局(DARPA,现在的 ARPA)和美国军方共同制定的 SIMNET(SIMulator NETworking)研究计划。这一计划将分散在不同地点的地面坦克、车辆仿真器等通过计算机网络联合在一起,从而进行各种复杂任务的训练和作战演练^[3]。从 1994 年开始,美国 DARPA 与美国大西洋司令部(USACOM)联合开展了战争综合演练场(synthetic theater of war, STOW)的研究,建成了一个包括海陆空多兵种、有 3700 多个仿真实体参与的地域范围覆盖 500km×750km 的军事演练环境。

虚拟实体的行为建模是虚拟现实系统构建中必不可少的工作,能否提供丰富和可信的实体行为,是决定一个虚拟现实系统应用价值的重要因素之一。在虚拟战场环境中,虚拟实体的行为主要内涵是指虚拟兵力的计算机模型,也叫做计算机生成兵力(computer generated forces, CGF),它为军事仿真提供虚拟的兵力行为表现。

目前行为建模没有统一的界定,不同应用领域和不同作者给予了不同的定义。其中比较有代表性的是文献[4]给出的“探索一种能够尽可能贴近真实实体对象行为的模型,使构造实体对象的人能够按照这种模型方便地构造出一个行为上真实的虚拟实体对象”和美国国防部给出的“对在军事仿真中需要表示的人的行为或表现进行建模”。前者反映了虚拟实体行为建模技术研究的任务和目标,

后者则说明了在军事仿真领域中行为建模理论研究的重点和难点所在。

虚拟实体的行为建模包括对虚拟个体自主行为的建模和对虚拟群体(虚拟实体组成的群、组、队等)协同行为的建模。个体自主行为的建模既包括对简单的实体运动行为的描述。也包括对涉及智能决策的复杂行为的描述。采用的方法包括基于运动学、逆向运动学、动力学和人体生命力学的方法,基于遗传算法、控制论的方法,以及基于 Agent 理论的方法等。

虚拟群体是由虚拟实体通过一定的关系构成的一个整体,群内的实体通过一定的机制相互协同。虚拟群体的协同行为建模是分布式虚拟环境实体行为建模必须要研究的问题,特别是随着系统规模的扩大和单实体行为建模技术的逐渐成熟,虚拟群体行为建模技术研究变得尤为重要。

无论是在大规模作战模拟训练系统中,还是在社会公共安全仿真系统中,乃至大型网络游戏中,都存在着大量的虚拟实体,而且这些虚拟实体的行为都需要由计算机模型来实现。行为建模仿真技术就是研究在这些虚拟环境中虚拟群体行为的理论和方法,它是虚拟现实的重要技术前沿领域。尤其在军事应用领域,由于现代战争是陆、海、空、天、电等多维空间多兵种一体化的联合作战,对大规模虚拟实体行为建模的需求也更加迫切。同时,大规模兵力实体之间既有复杂的组织指挥关系,又有高级的智能协同行为和自主行为,因而大规模兵力群体行为建模复杂性非常高,技术难度大。

1.2 背景

美国国防部(Department of Defense, DoD)将行为建模定义为“对在军事仿真中需要表示的人的行为或表现进行建模”。它能够以廉价的方式构造出在现实中难以实现的虚拟环境,并提供给研究人员进行分析和测试,也能给训练人员提供逼真的操作体验。尤其在军事应用领域,管理、训练、决策和分析对行为建模与仿真(称之为 CGF^[5])具有更高的依赖性。

群体军事协同行为建模仿真是行为建模与仿真在军事领域的一个重要分支,也是 CGF 的重要方法和理论基础。美国国防部发布的建模仿真主计划(Modeling and Simulation Master Plan, MSMP)^[6]中明确包含了两个重要的子目标:①个体行为的表示;②群体和组织行为的表示。

美国防卫建模仿真办公室(DMSO)下属的一个针对人类行为和指挥决策建模讨论组发表在 *Modeling Human and Organizational Behavior: Application to Military Simulations* 上的一篇报告^[7]认为:“对个体、群体的认知和行为的建模很可能是人类迄今承担的最难的工作。该领域的发展还处于初级阶段,不过已经取得了一些重要进展,而且将来还会继续取得这样的进展。人类行为的表示对于

军事部门来说至关重要,因为他们在其管理、决策和训练活动中更加依赖模型和仿真结果。”

虽然现代战争目前仍然是平台统治着战场,但是 Iachinski 为我们描绘了另一种未来战争——火蚁战争^[8]:大型、复杂和少数的平台将不得不屈服于小型的多个平台。由数以百万计的传感器、发射器、微型机器人和迷你自动弹射器等构成的系统将合力探测、追踪、瞄准任何一个能够承载一个人的军事目标,并发射武器。

事实上,许多研究机构已经着手军用无线传感网和群体机器人等项目的研究。群体技术的应用为系统带来了巨大的好处。

(1) 鲁棒性:在少数个体失效或出现干扰的情况下仍能够完成任务。

(2) 适应性:能够根据任务的变化和环境的改变产生不同的协调策略。

(3) 可伸缩性:系统的协调策略能够不受群体规模的影响。

一个群体的作用如同一个强大的移动传感网,它能够收集到周围出现的各种信息。如果意外地遭遇某些东西,它们能够迅速地调整与反应,即使是群体里单个个体的智能化程度不高,这就如同蚂蚁能够通过反复地试探与犯错误来应对各种选择一样。如果群体里有一个个体损坏,那么其他个体就会来接替它的位置。

有理由相信不久的未来,将是大量分布的小型平台集群充斥着战场,如何让这些小型平台群体通力合作,体现出群体的优势将是一个重要的研究方向。群体行为建模则是进行这一研究的重要基础。

另外,不论是群体军事作战行动还是群体非战争军事行动,都是有组织的群体兵力实体协同执行任务、实现行动目标的过程。如何建立和描述群体兵力实体的组织结构关系模型,如何建立和描述群体兵力实体的协同行为模型,如何建立和描述群体兵力实体协同执行任务过程中的任务规划和行动决策模型,是虚拟群体军事行动建模的基础和核心技术问题。

1.3 军事群体协同行为建模与仿真问题和关键技术

社会心理学中所指的群体(group)又叫做团体,是由相互依赖、相互影响的人为了一个共同目标,按照一定的方式结合在一起的集合体。群体不同于偶然聚合体。在商店买东西的顾客、在电影院观看电影的观众、在马路上围观的一群人等,虽然因为时空的某些因素临时聚集在一起,但不能称为群体。偶然聚合的人群没有共同目标和归属感,没有结构和社会角色分化,相互之间也没有意识和行为上的联系。军事中的部队团体就是典型的社会群体。军事群体在一套严密的组织运行机制下生存和发展,严格的纪律性是其外在表现。内部强烈的军事群体规范确保了群体的高度统一及群体目标的实现。

随着信息化技术的不断发展,军事群体的内外关系愈发紧密,尤其是在网络中心战^[5](network centric warfare, NCW)概念提出以后,军事实体在网络中心战的条件下以近乎自治的方式执行任务,军事群体的协同行为更加趋于复杂。交互关系、协同规划、组织规范等组织结构元素掺杂在一起,对群体行为产生极大影响,难以描述。而以往基于个体的行为建模方法已不能满足现代信息化条件下的大规模联合作战和非战争军事行动的需求。

因此,对复杂的军事群体协同行为进行建模仿真时,需要解决以下关键技术问题:

(1) 建立交互关系描述理论。建立组织协同行为模型时,一个重要任务就是描述实体之间的交互关系,所以首先要建立一个交互描述理论。对这个理论的要求是:语义简单,表述能力强,同时能提供较强的表示能力和推理服务。

(2) 建立组织协同行为模型。要求将组织结构、协同行为规划、规范等组织成一个有机的整体,同时满足动态性要求,即实体能够动态地加入和退出一个组织。另外,最好能够提供完整的形式化模型,并提供较方便的推理服务。

(3) 给出可行的工程实现方法。虚拟群体组织协同行为建模要描述的一般都是比较复杂的系统。实际问题 and 理论模型之间存在着差异,遇到实际问题后,如何一步步建立起抽象的形式化模型,是工程方法需要解决的问题。

(4) 研究组织协同行为生成方法。在给定的组织协同框架下,研究如何生成虚拟群体的组织协同行为,涉及的问题包括组织协同行为的规划、组织协同行为框架下的个体行为模型的建立等。

(5) 组织协同行为仿真系统构建。组织协同行为建模的目的是实现对组织和协同行为的建模仿真。实现组织协同行为模型仿真,需要研究如何将组织和协同行为模型与现有的平台进行连接,实现对组织系统行为的仿真。

以上问题是相互关联的,描述理论是模型的基础,好的模型是工程化方法的基础,同时方便仿真系统的设计。

1.4 相关研究现状

1.4.1 群体行为建模与仿真研究现状

目前,针对群体行为建模仿真技术的研究主要体现在生物学、计算机动画、机器人、游戏、人工智能、社会学、军事仿真等领域。

生物学中群体行为的研究由来已久,早在 20 世纪初博物学家 Selous 就对八哥群体进行了多年细致入微的观察和研究,他认为群体行为中蕴藏着个体智力的连通和思想的传递^[9]。斯坦福大学的生物学家 Gordon 认为:“单个蚂蚁只是渺小

的笨蛋,而蚂蚁群体却能够对其生存环境做出快速有效的反应,这种反应依赖于蚁群的群体智能”。动物个体不能做出惊人的决定,但是动物群体中的每个个体都对群体的成功奉献自己的力量,这样聚集起来的能力让人不可思议。在过去的几十年中,研究人员对此现象已经有了非常深入的理解。

1986年,计算机图形学研究员 Reynolds 创建了一种名为 boids 的模拟转向程序^[10],在该模拟程序中,每个类鸟体(boid)会遵从以下三条规则。

- (1) 分离性:每个单位行动时,要避免撞上其邻近单位。
- (2) 凝聚性:每个单位都往其邻近单位的平均位置运动。
- (3) 列队性:每个单位运动时,都要把自己对齐到其邻近单位的平均方向上。

程序展现在屏幕的结果是一个让人信服的群集模拟。其成果发表在 1987 年的 SIGGRAPH 会议上,该论文奠定了以个体表现群体行为方法的坚实基础。1992 年的电影“蝙蝠侠归来”正是采用了他的方法来刻画蝙蝠群(图 1.1)。

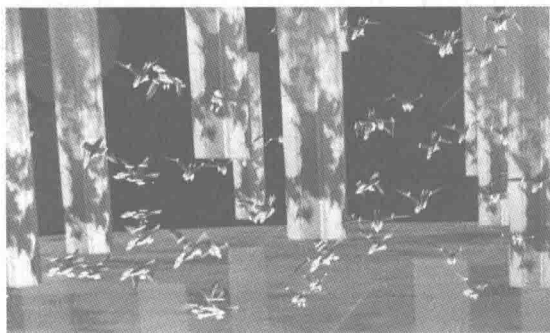


图 1.1 boids

Reynolds 的自组织模型不仅为计算机动画和游戏提供了一种可行的方法,也为群体机器人技术指明了道路,因为群体机器人系统中不存在集中控制,其个体是自治的。自 20 世纪 90 年代初期以来,群体机器人系统在理论和实践方面都取得了较大的进展,并相继开发出一些仿真和实验系统,如 CEBOT^[11]、Swarm-Bots^[12]、ACTRESS^[13]、GOFER^[14]等系统。

文献[15]和[16]则采用空间殖民算法(space colonization algorithm)来建立群体转向行为模型。该算法过去主要用来生成叶片脉序模式。基于该算法建立的模型能够提供鲁棒、灵活和简单的角色交互控制方式。

Vicsek 等^[17]于 1995 年从统计力学的角度提出了 Vicsek 模型,通过仿真得出了一些有趣的结论:当个体密度较大而噪声较小时,所有个体运动方向趋于一致。这一现象被称为同步(synchronization)。Vicsek 模型可以看做 boids 模型的特例。2012 年,Vicsek 更进一步对集群运动进行了较为全面的总结^[18]。

以上这些系统具有一个共同的特点,即系统的高层属性和行为既不能在系统的低层特性中发现,也不能直接从系统的低层特性中推导出来。这种现象就是人工生命领域中的一个基础性概念——涌现(emergence)。涌现特性是整体的特性,它们不是任何组成整体的各部分所具有的,没有集中控制,也没有全局模型。

针对人工生命系统中的涌现性特点,也有学者将群体的智能抽象出来,形成优化方法,称为群体智能(swarm intelligence)。比较有代表性的工作是意大利学者 Dorigo^[19]等提出的蚁群优化(ant colony optimization, ACO)算法,和 Kennedy 等受 Reynolds 的 boids 模型的启发而提出的粒子群优化(particle swarm optimization, PSO)算法^[20]。

ACO 算法通过模拟蚂蚁觅食行为,设计虚拟的蚂蚁随机搜索不同的路径,并留下会随时间流逝而蒸发的信息素,然后根据“信息素较浓的路线较短”的原则,来寻找最短路径。PSO 算法的思想是:系统随机在可行域空间生成大量运动粒子,通过多次迭代搜寻最优解。在每次迭代中,粒子通过跟踪个体极值 pBest 和全局极值 gBest 来更新自己。

以上这一类系统面向的都是智能程度不高的个体所组成的群体,研究的也大多是自然发生的群体,如鸟群、鱼群^[21],即使针对的是人群,也没有把人当做智能个体来看,如建筑物或广场疏散逃生^[22-24]、团体操中^[25,26]的人群等。这些方法在描述个体、群体与环境三者之间的关系方面还存在一定的局限性。

游戏领域中的群体行为建模也多是以 Reynolds 的 boids 模型为基础或者采用人工生命的方法,而且这些方法所追求的是娱乐性,无法应用于军事群体的建模中。

——在人工智能领域,特别是分布式人工智能领域,人们对于多主体系统(multi-agent system, MAS)的组织结构、协同关系等的研究由来已久。早期出现的有联合意图理论^[27]、共享规划理论^[28]、用于团队协同行为建模的共享心智模型^[29]以及与领域无关的团队模型^[30]。这些方法大多采用自底向上的方法来描述 Agent 的协同行为。自下而上的方法采用的是个体视图,通过个体对目标和规划的共同认知产生群体的行为,缺乏对共同目标的描述。

社会学领域最早开展了关于群体行为方面的研究。早在 1852 年,英国社会学家 Mackay 就研究了群体中所出现的极端模仿和合群现象。目前该领域针对人群的研究理论大多基于 MAS 的建模技术。虽然后来产生了像组织规则^[31]和规范^[32]这样的概念,但是主要是面向社会机构设计的,直接用于虚拟实体的组织协同行为建模,语义则不够自然。同时还存在其他一些问题需要改进,如框架问题、知识前提问题等。也有以显式命令的方式协调行为,这种方式可以对应战场的真实命令,但是需要为仿真实体开发至少一种命令或控制协议,如美军的近战战术训练器(CCIT-SAF)中的战斗指令集(combat instruction sets, CIS)。这种方式是

低层指令级的交互,只能描述显式命令的协同,而且开发困难。

军事群体是具有明确组织关系的群体,不论是作战群体内部还是作战群体之间,都具有一个明确的组织结构,群体中的实体对于群体的组织结构具有明确的认知。具体来说,群体内的实体具有共同的目标和较为固定的交互关系,而且实体对共同目标和结构关系具有明确的认识,知道如何通过通信实现交互。称这类实体群的行为建模为虚拟军事群体组织协同行为建模。

随着军事仿真系统规模的不断扩大,以及一体化联合作战仿真与非战争军事行动仿真的需要,虚拟群体组织和协同行为建模变得日益重要。其中的主要原因有两个:①交互关系、协同规划、规范等组织结构对实体行为的影响很大,而且所有的影响是掺杂在一起的,难以用简单的方式描述;②交互关系、协同规划、规范等本身就是我们所要研究的一项重要内容,如联合作战仿真系统中一项重要的研究内容就是对兵力组织、战场指挥关系等进行仿真和验证。因而,国内外对军事群体组织协同行为建模仿真给予了极大关注。

1.4.2 群体军事协同行为建模仿真相关研究现状

目前,对军事中个体兵力行为建模仿真的研究已非常广泛,该领域内的主要方法归结起来包括有限状态机(finite state machine, FSM)、元胞自动机^[33]、Petri网、状态图、 π 演算^[34]、Agent^[35]、PICS域划分^[36]、控制论^[4,37]等。但是这些方法针对的都是个体兵力行为,或者针对行为建模中的某些特定问题,无法直接应用于对群体行为的建模研究。

国内外在军事群体协同行为方面的建模仿真研究还非常有限。其主要难点来自战场环境和军事行为本身的高度复杂性,同时相应的作战理论仍在不断发展变化中。

澳大利亚国防部的 Dekker^[38]按照成员价值和是否同质将网络中心战中的军事群体分为七个结构,并用一个三角形来表示,非常有助于我们理解军事群体的组织结构。文献[39]指出了军事中群体同步方式的三种形式:层次同步(hierarchical synchronization)、互同步(mutual-synchronization)和自同步(self-synchronization)。

图 1.2 展示了位于三角形顶角的三种典型军事群体结构,以及它们的同步方式。从上往下、从左到右,军事群体的控制程度减少,自治程度增加。

目前很多比较有名的战场实体行为建模仿真系统,如 ModSAF、CAE STRIVE、STAGE、VR-Forces、FLAMES 等,都开始提供机制供用户设计战场实体的协同行为。它们对协同行为设计的支持能力不尽相同,一般都提供对描述实体之间的指挥关系和通信关系的支持,但是还没有哪个系统可以支持实体群的组织协同行为的全面描述。

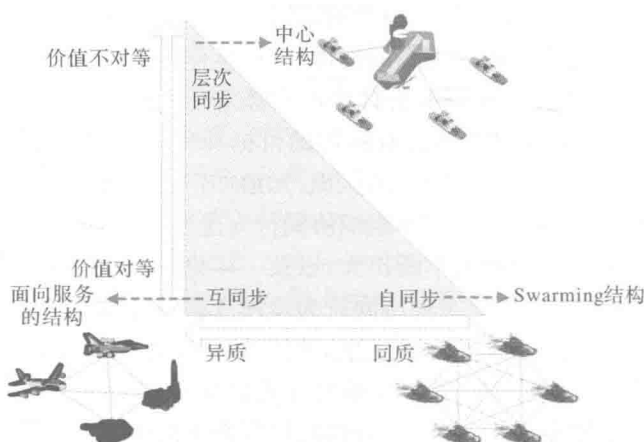


图 1.2 军事群体结构与同步方式

Reece^[40]基于 DISAF(dismounted infantry semi-automated forces)平台对非战争军事行动中的民众群体行为进行了建模研究,但是他的研究是针对无组织群体的底层运动规律,与智能行为无关。

ModSAF^[41,42]由美军训练和条令指挥分析中心开发,是一个交互式、高分辨率和实体级别的仿真系统,也是最早的 CGF 系统。它通过有限状态机来实现,主要研究的是低层次的反应行为,如士兵、战斗车辆的行进、射击、感知、通信等底层行为,其上层规划等高级行为需要由操作人员来完成。其主要贡献在于构建了一个 CGF 系统的硬件与软件体系结构,并定义了任务帧的概念。MAK 公司的 VR-Forces 也是基于 ModSAF 思想开发的。ModSAF、CCTT-SAF 以及后来的 OneSAF 等 CGF 系统都是半自动兵力系统,需要人的操作。智能兵力(IFOR)将认知行为模型引入半自动化兵力,以实现作战仿真中人类行为的完全自治为目标,但仍然针对的是单个实体的行为建模。

SOAR 由卡内基梅隆大学、南加州大学和密歇根大学联合研究开发,是最早使用自适应 AFOR 的仿真系统之一,是一个典型的认知模型体系结构^[43],它包括记忆层、决策层和目标层三个层次。基于 SOAR 的认知模型框架出现了多个仿真系统,如 TacAir-Soar、SOF-Soar、Soar-RL^[44]和 Soar-RWA^[45]等。

STAGE(scenario toolkit and generation environment)是加拿大 VPI(Virtual Prototypes)公司推出的战术仿真与训练软件。STAGE 由数据库编辑器、仿真引擎和开发工具包三部分组成。其装备分类较粗且非面向对象。

FLAMES^[46,47]是 Ternion 公司开发的一个军事行为仿真的开发框架。它使用一种称为过程方法(process methods)的概念来代表人类执行的功能。过程方法通过想定输入与单个的单元相连,在事件驱动的环境中执行。支持向前和向后

分支、仿真多线程过程、基于形势的模型执行、输入定义的条件和非条件分支。该软件为用户提供了一个进行行为建模和仿真的支撑平台。

南开大学的徐旭林^[48]应用了网络上的进化博弈论、网络上的广义同步和基于 Agent 建模等方法研究了群体行为的动力学。

国防大学信息作战与指挥训练教研部研究了虚拟战争空间社会子系统中大规模民众群体行为,提出了智能环境模型,给出了战争危机条件下的群体决策规则^[49],设计了一个多层次、多粒度大规模群体行为模型框架^[50,51]。该框架将社会场景分为大规模社会抽象层、中规模城市层和小规模典型场景层,并将行为分为日常态和危机态。目前围绕这个框架已经实现了部分模型。文献[52]进一步将该模型框架分为 Agent、关系网络 and 智能环境。文献[53]对国内外相关领域大规模群体行为建模研究现状和关注的问题进行了总结,介绍了在战争模拟系统社会仿真子系统的大规模群体行为建模的一些实践成果。

国防科学技术大学以海军信息化作战研究为背景,对海军战术网络中心战过程中的舰艇编队作战行为建模方法和关键技术进行了研究,提出了一种面向海军舰艇编队网络中心战行为的 MCBA 建模方法^[54]。

总而言之,军事仿真领域现有的组织协同行为建模方法多是对原有的单实体行为模型进行简单改进和扩充,是一种以个体为中心的方法,缺少对组织机构的明确支持,缺乏对组织协同行为的全面描述,可重用性和可扩展性差。

参 考 文 献

- [1] 陈谊. 分布式虚拟环境关键技术及其在复杂系统仿真中的应用研究[D]. 北京:北京理工大学,2002.
- [2] 潘志庚,姜晓红,张明敏,等. 分布式虚拟环境综述[J]. 软件学报,2000,11(4):461—467.
- [3] Pope A R. The SimNet network and protocols[R]. Cambridge: LORAL Advanced Distributed Simulation,1991.
- [4] 郑援. 虚拟世界行为建模技术的研究、实现与应用[D]. 长沙:国防科学技术大学,1998.
- [5] 郭齐胜,杨立功,杨瑞平. 计算机生成兵力导论[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
- [6] Pew R W, Mavor A S. Modeling Human and Organizational Behavior: Application to Military Simulations[M]. Washington: National Academy Press,1998.
- [7] Pew R W, Mavor A S. Modeling Human and Organizational Behavior: Application to Military Simulations[M]. Washington: National Academy Press,1998.
- [8] Iachinski A I. 人工战争:基于多 Agent 的作战仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [9] Couzin I. Collective minds[J]. Nature,2007,445(7129):715.
- [10] Reynolds C W. Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model[C]//ACM SIGGRAPH'87 Conference Proceedings,1987:25—34.