

8-5-2020

Formation Cooperation of Computer Generated Forces Organization

Shaobin Sun

Warfighting Experimentation Center, Armored force Institute, Bengbu 233050, China;

Shinan Zhang

Warfighting Experimentation Center, Armored force Institute, Bengbu 233050, China;

Dong Bo

Warfighting Experimentation Center, Armored force Institute, Bengbu 233050, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Formation Cooperation of Computer Generated Forces Organization

Abstract

Abstract: Cooperation is the base of Computer Generated Forces team behaviors; formation and formation changing are the mostly used team cooperation of tank unit CGF. *By combining cooperation planning with joint intention, a formation cooperation method for tank unit CGF was promoted. According to the knowledge levels of different CGF roles about the cooperation, the commander role CGF planed conditions and restraints of the formation cooperation, and the subordinated CGF autonomy planed to concretely implement the cooperation, which significantly enhanced the formation cooperation efficiency. The joint intention was established before the implementation of the cooperation, all CGF revised cooperation action simultaneously during the cooperation process, thus the validity and synchronization of the cooperation were ensured.*

Keywords

computer generated forces, team cooperation, cooperation planning, joint intention, formation and formation changing

Recommended Citation

Sun Shaobin, Zhang Shinan, Dong Bo. Formation Cooperation of Computer Generated Forces Organization[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(11): 2670-2675.

计算机生成兵力团体队形协作研究

孙少斌, 张诗楠, 董博

(装甲兵学院作战实验中心, 安徽 蚌埠 233050)

摘要: 协作是 CGF(Computer generated Forces)团体行为模拟的基础, 队形及队形变换是坦克分队 CGF 最常用的团体协作行为。提出了一个协作规划结合联合意图的坦克分队队形协作方法。根据各角色对协作知识掌握程度的不同, 指挥员角色 CGF 规划队形变换协作条件和约束, 参与协作的各 CGF 自主规划执行协作, 有效地提高了队形协作的效率。队形变换前建立协作的联合意图, 协作过程中各成员实时修正协作的动作, 有效保证了队形协作的可靠同步实施。

关键词: CGF; 团体协作; 协作规划; 联合意图; 队形与队形变换

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 11-2670-06

Formation Cooperation of Computer Generated Forces Organization

Sun Shaobin, Zhang Shinan, Dong Bo

(Warfighting Experimentation Center, Armored force Institute, Bengbu 233050, China)

Abstract: Cooperation is the base of Computer Generated Forces team behaviors; formation and formation changing are the mostly used team cooperation of tank unit CGF. By combining cooperation planning with joint intention, a formation cooperation method for tank unit CGF was promoted. According to the knowledge levels of different CGF roles about the cooperation, the commander role CGF planed conditions and restraints of the formation cooperation, and the subordinated CGF autonomy planed to concretely implement the cooperation, which significantly enhanced the formation cooperation efficiency. The joint intention was established before the implementation of the cooperation, all CGF revised cooperation action simultaneously during the cooperation process, thus the validity and synchronization of the cooperation were ensured.

Keywords: computer generated forces; team cooperation; cooperation planning; joint intention; formation and formation changing

引言

计算机生成兵力(Computer generated Forces, CGF)是仿真作战环境中由计算机生成和控制的作战实体。这些仿真实体通过对实际兵力作战行为的有效建模, 使之具备一定的智能性, 能自动或半自

动地模拟实现实际作战人员或武器系统的作战行为, 实现仿真系统中其角色的职能和任务。作为分布交互式作战仿真系统的重要组成部分, CGF 可以为作战仿真系统提供作战对象、友邻支持兵力等补充部分, 从而提高系统的灵活性和降低训练成本, 是作战仿真关键和热点研究领域。CGF 的真实性直接影响到作战仿真训练的科学性、可靠性、客观性和训练效果。

作战仿真中各 CGF 并非独立行动, 而是按照作战编成组织在一起整体协调行动。CGF 行为受



收稿日期: 2014-05-20 修回日期: 2014-07-16;
作者简介: 孙少斌(1966-), 男, 山东招远, 博士, 教授, 研究方向为计算机软件, 作战建模与仿真; 张诗楠(1985-), 女, 安徽怀远, 硕士, 讲师, 研究方向为计算机应用; 董博(1981-), 男, 河南民权, 博士, 讲师, 研究方向为作战建模与仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 2670 •

其作战编成内所担任角色的制约, 各角色之间不断地交互、协作, 动态调整自身的目标和行为, 共同实现分队的作战任务, 体现出作战编成的整体组织性。队形及队形变换是坦克分队 CGF 最常用的协作行为, 本文提出了一种协作规划结合联合意图的 CGF 团体队形协作实现方法, 有效提高了协作的效率和可靠性。

1 CGF 团体组织

1.1 CGF 的团体组织控制

由于战场环境的特殊性, CGF 智能体与一般智能体有所区别。作战环境中 CGF 实体必须以建制为单位协调行动, 不同角色的 CGF 具有不同程度的自主性, 各种角色的 CGF 之间有一定的隶属和控制关系, 下级 CGF 必须按照其上级的命令和指挥执行作战任务。为了更好地模拟 CGF 实体间的协作和控制关系, 我们按照作战实体编制控制关系的层次结构对 CGF 智能体进行组织和控制, 如图 1 所示。

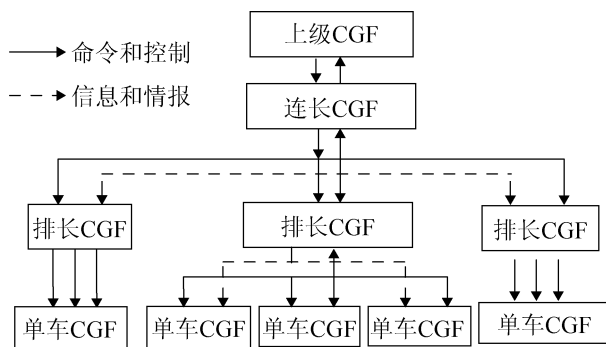


图 1 CGF 智能体的团体组织控制结构

采用基于军事命令控制结构对 CGF 智能体进行组织和控制, 为 CGF 作战单元间的控制及通信联络提供了与实际作战环境相似的框架, 可以方便地模拟实际作战兵力的指挥协同关系。将 CGF 智能体组织成编成作战单位, 一方面保证了各 CGF 实体能按照作战原则成建制的协调行动, 保证模拟的真实性, 并能随着战场消耗情况对角色进行重新分配。另一方面层次化的 CGF 角色组织结构, 可

以容易地将复杂的作战任务规划分解为几个较小的问题, 提高 CGF 规划的效率。如图 1 中所示, 一个发送给连长的作战任务被分解成 3 个低一级排的作战任务, 各排长又将其作战任务进行规划、分解和分配, 变为其控制的更低级的 3 个单坦克的作战任务。

在层次化的 CGF 智能体组织结构中, 上层的 CGF 智能体控制下层的智能体, 实现比其下级更大规模和更长时间的作战任务的规划, 负责向下级分配任务并协调、监控所属单位完成任务的情况。下层的 CGF 智能体隶属于上层 CGF 智能体, 接受上级 CGF 的命令和任务并规划执行, 在执行上级分配任务的同时对战场环境变化做出自主反应。命令的传送直接按层次结构由上而下, 而情报信息在同层间共享和上报, 因而在同层和向上层传。

1.2 CGF 团体组织模型

CGF 的作战行为是围绕作战任务而展开的, CGF 的团体组织也是为了完成特定的分队任务而组成和存在的。CGF 的协作通常发生在编成内部, 为了完成分队任务而进行的, 协作的规划协调主要由组织内的指挥员完成。指挥员对需协作的分队任务分解、分配为各成员 CGF 的子任务, 并规划协作的条件和约束, 各 CGF 根据协作条件和约束独立规划实现各子任务, 实现分队任务的协作完成。

作战任务的可分解性决定了团体组织内各 CGF 的任务具有层次化的树状结构。通过对 CGF 各种任务的统一描述, 以及坦克 CGF 作战决策过程和任务的特点分析, 基于分队任务、个体任务和行动层次间的分解/组合关系, 构建分队层次任务网络 HTN(Hierarchical Task Networks), 并基于分队层次任务网络 HTN, 建立决策规划算子库, 实现 CGF 决策规划。CGF 组织模型描述为:

$$CGFOS = \langle OS_Structure, OS_Task \rangle$$

其中: $OS_Structure$ 为 CGF 组织结构; OS_Task 为 CGF 组织任务, 是组织的共同目标。

CGF 的组织结构规定了组织的构成成员、成

员的角色以及角色间的关系，定义为：

$OS_Structure = \langle Roles, Relations \rangle$

其中，Roles 是组织中可能的角色集合。角色是 CGF 组织的最基本元素，是 CGF 在组织中应承担职责及能力的约束和规范。任何成员都有确定的角色，组织允许的角色集合确定了组织的构成成员。各 CGF 在组织中通过角色发挥其功能和作用，角色除了确定其在组织中的地位和能力外，也定义了 CGF 所在的作战编成组织，并隐含地定义了交互模式和行为的控制方式。不同角色在组织中有不同的地位和能力，其中有一个唯一的处于支配地位的指挥员角色，负责组织任务的规划协调，组织通过指挥员角色标识。CGF 组织结构具有层次包含的特点，组织中可能包含子组织，通过指挥员角色标识其负责的子组织，能够适应作战编成的层次组合/分解特性，统一描述 CGF 各级组织，同时与 CGF 层次任务网 HTN 相一致。如坦克连组织有一个连长、3 个排长角色，而排长角色代表相应的排组织。

Relations 则是组织中角色之间的关系集合，描述组织中角色之间的二元关系，即 $Relations \subseteq Roles \times Roles$ 。CGF 组织中各角色主要关系包括指挥控制关系、对等关系、通信和依赖关系。

2 坦克分队 CGF 队形与队形变换

坦克分队队形是指坦克部(分)队在共同行动时，按照作战编成和部署列成的队列形式。队形变换是由一种队形变为另一种队形的行动，其目的在于根据战场环境和分队作战任务协调各单元行动，互相交替掩护，充分发扬火力，减少敌火损伤，并提高运动速度。

2.1 坦克分队 CGF 队形

坦克分队队形按其形式和作用可分为：行军队形、疏开队形和战斗队形 3 种。行军队形是军队按行军部署所形成的纵长队队形，通常将兵力由前向后按一定距离纵向排列；疏开队形是坦克分队在接敌运动中，由一路行军纵队转换成多路行军纵队，

并保持一定的纵队间隔和距离的队形；战斗队形是进攻战斗时将坦克展开的队形。坦克分队队形可为一字、前(后)三角、左(右)梯形，如图 2 所示。

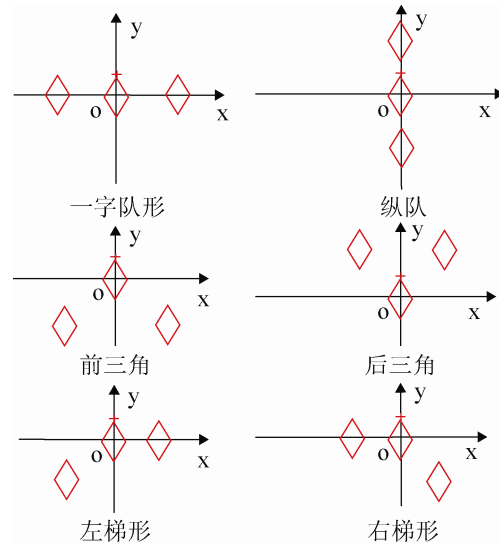


图 2 坦克分队战斗队形示意图

2.2 CGF 队形变换方法

在虚拟的战场环境中，为了实现队形转换，通常有 2 种方法：

(1) 直接变换法：当接到上级的指令后，给出预先设定的新队形形成位置，各车分别按照事先计算好的速度和方向按预定的方向开进，当完成队形变化后保持队形前进。这种方法思路简单清晰，不足之处在于只考虑了初始状态和最后状态，没有考虑整个变化的动态过程，所以在整个变化过程中速度与方向是不变的，与实战要求不符。

(2) 逼近法：这种方法通过建立六种坦克队形的数学模型，在变化过程中，驱动基准车(排长车)前进，其它车跟进，在跟进过程中各车以基准车为参照物，判断本车在目标队形中相对位置，不断修正本车的速度和方向，向预定位置逼近，当完成队形变化后保持目标队形前进。这种方法的优点在于考虑了整个变化过程，符合战术要求。

3 坦克分队 CGF 队形协作方法

本文采用逼近法来实现坦克 CGF 队形变换，

需要解决 3 个问题: (1) 以何种方式来描述坦克分队的各种队形; (2) 在队形转换过程中, 各车速度和方向以及每种队形中各车炮塔旋转的范围的计算确定; (3) 坦克分队 CGF 采用什么协作机制, 以保证分布式环境下各单位同步协调行动, 控制队形变换的可靠同步实现。

3.1 坦克分队队形的表示

队形以基准车位置、方向以及其它车与基准车距离和夹角为参数进行描述, 如以排长车作为基准车, 第 i 车与基准车的连线与 x 轴的正向夹角为 α_i , 按照队形要求与基准车的距离为 d_i , 基准车的位置坐标 $p[0]$ 为 (X_0, Y_0) , 方向角为 α_0 , 则第 i 车应在的位置坐标 $p[i]$ 为:

$$(X_0 - d_i \times \cos(\alpha_i), Y_0 - d_i \times \sin(\alpha_i))$$

以坦克分队前三角队形为例, 如图 3 所示。

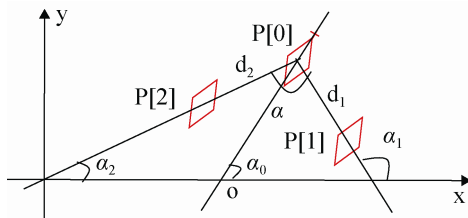


图 3 前三角队形示意图

排长车坐标 $P[0]$ 为 (X_0, Y_0) ;

第 1 车坐标 $P[1]$ 是:

$$(X_0 - d_1 \times \cos(\alpha_1), Y_0 - d_1 \times \sin(\alpha_1))$$

第 2 车坐标 $P[2]$ 是:

$$(X_0 - d_2 \times \cos(\alpha_2), Y_0 - d_2 \times \sin(\alpha_2))$$

3.2 变换过程中速度和方向的确定

队形变换就是参与协作的车辆根据自己当前的位置, 在规定的时间内移动到新队形要求的新位置, 随后保持新的队形进行机动的过程。第 1 步根据基准车的位置和速度推算基准车的新位置; 第 2 步, 根据基准车新位置和新队形要求计算自己应到达的位置; 第 3 步根据自己当前位置和新位置以及要求的变换时间确定变换的速度和方向; 第 4 步按照计算的速度和方向机动到新的位置, 在变换的过

程中要根据基准车变化的信息进行适当的修正。以坦克分队纵队变成横队的过程为例, 来分析在变换过程中坦克速度和方向的确定。假设坦克分队完成队形转换所需的时间为 T , 基准车的速度为 V_0 , 方向角为 α_0 。变换过程如图 4 所示。

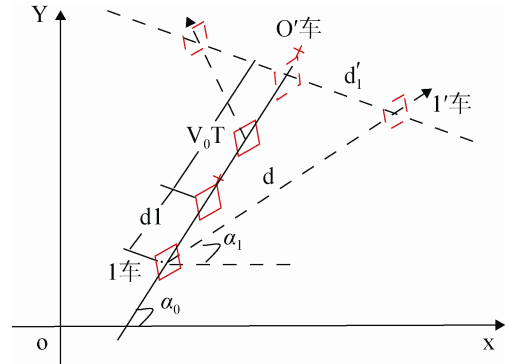


图 4 坦克排纵队变横队示意图

当进行队形转换时基准车处于图中排长车实线位置, 跟随车处于 1 车所在位置, 为了计算 1 车的速度和方向, 设此时基准车坐标 $P[0]$ 为 (x_0, y_0) , 按照纵队的数学描述, 1 车坐标 $P[1]$ 为:

$$(X_0 - d_1 \times \cos(\alpha_0), Y_0 - d_1 \times \sin(\alpha_0))$$

经过时间 T 的队形变换后, 基准车到达 O' 处, 按照变换后的队形要求 1 车应到达与 O' 相距 d'_1 的新位置。基准车位置计算公式为:

$$P[O'].x = x_0 + v_0 \times T \times \cos(\alpha_0)$$

$$P[O'].y = y_0 + v_0 \times T \times \sin(\alpha_0)$$

基准车位置是根据当前信息预估的位置, 需要根据更新信息实时修正。在基准车位置 and 新的队形要求的基础上计算到达位置, 计算公式为:

$$P[1'].x = P[O'].x + d'_1 \times \sin(\alpha_0)$$

$$P[1'].y = P[O'].y + d'_1 \times \cos(\alpha_0)$$

跟随车应前进的距离为:

$$d = \sqrt{(d_1 + V_0 T)^2 + (d'_1)^2}$$

跟随车应前进的速度: $V_1 = d/T$ 。

在变换过程中 1 车的方向 α_1 :

$\alpha_1 = \alpha_0 - \arcsin(d'_1 / d)$, 基准车的方向角保持原方向不变即为 α_0 。

3.3 队形变换的协作方法

队形变换协作的关键是参与协作的所有 CGF 在作战意图和行动计划上达成一致, 各 CGF 不仅承诺实现整体计划中相应的责任或任务, 还会致力于协助其它成员实现它们在整体计划中所承担的责任, 以实现整体目标。通过采用基于军事命令控制结构对 CGF 智能体进行组织, 参与协作的各 CGF 并非完全平等的, 它们之间具有层次性的约束控制关系, 不同 CGF 在协作过程中的地位、职责和作用也不同。与一般智能体协作相比坦克分队 CGF 协作有如下突出特点: (1)参与协作的 CGF 是一个相对稳定并具有良好结构的作战编成组织结构, CGF 组织结构明确定义了角色、通信链路和权限, 规定了 CGF 的责任、能力和控制关系, 为协作和交互提供了有效框架。(2)共享的行为知识和规则(作战条令、条例和战术原则), 每个 CGF 必须遵守并且相信其它 CGF 也会遵守, 容易在 CGF 间建立互相信任关系。(3)各 CGF 对协作目标(组织任务)信息掌握程度的不一致性, 指挥员角色 CGF 拥有组织任务较为完整的信息, 能够规划完成组织任务的协作方式, 以及实现组织任务所要完成的各子任务。而组织内其它 CGF 能够获得组织任务的协作方式, 以及其所应承担子任务的信息。

本文采用协作规划结合联合意图方法实现坦克分队 CGF 的队形变换。CGF 协作通过建立协作和实现协作两步完成, 协作之前建立协作的联合意图, 然后由各 CGF 根据约束条件规划实现具体的协作动作, 以保证协作可靠实施以及协作失败后的重新规划。协作规划属于部分全局规划(Partial Global Planning, PGP), 即指挥员 CGF 根据具体任务的性质, 通过协作规划机制规划协作方式(队形及队形变换、通路通过方式等)、约束条件(起始、终止时间、地点、基准车等), 将协作任务分解为子任务并分配给参与协作的各 CGF; 子任务实现计划则由各 CGF 按照要求的协作方式和约束条件独立规划, 并调整自己的行为以达到协作的目标。由于处于分布式的环境中, 为保证队形变换协作的

可靠同步实施, 队形变换前, 参与协作的 CGF 首先建立协作的联合意图, 使各 CGF 都同步承诺实现其子任务, 保证协作的有效可靠实施。联合意图建立后各分队成员按照队形变换模型自主规划执行变换, 协作过程中各成员根据基准车的状态更新信息实时修正协作的动作。

4 坦克分队 CGF 队形协作实现

参与坦克分队任务协作的各 CGF 在协作过程中承担不同的角色, 具有不同的责任和义务, 对协作任务信息的了解程度也不同, 但它们受共同的规则(作战条令、条例和战术原则)约束, 每个 CGF 必须遵守并且相信其它 CGF 也会遵守。协作的关键是各 CGF 根据其职责和义务以及对信息的掌握程度, 按照协作约束的限制, 同步实现各自的子任务。一旦 CGF 对其子任务做出了实现承诺, 其它 CGF 便会相信其会遵守承诺, 因此, 联合意图的建立关键取决于联合承诺。基于 HTN 协作规划和联合意图的坦克分队 CGF 协作过程如下:

(1) 协作发起者 u (组织中的指挥员 CGF)通过协作规划机制规划队形变换任务 T 的协作方式和约束条件, 将 T 分解为子任务, 并通过 $\text{Command}(u, \Theta, T)$ 分配给各参与协作的各 CGF;

(2) 每个参与协作的成员 v_i 接受其子任务 T_i 并赋予一定的优先级权重, 将 T_i 加入到其目标集中;

(3) u 执行通信原语 $\text{Request}(u, \Theta, T)$ (通过可靠传输并要求回应)要求参与队形变换协作的各 CGF 建立变换任务 T 的联合意图;

(4) 各 CGF v_i 收到 Request 消息后, 通过决策机制确定是否承诺实现 T_i (可能根据情况调整 T_i 的优先级), 如果承诺实现 T_i 通过 confirm 回应, 并将 T_i 状态设为不活动状态; 否则通过 refuse 进行响应, 通知 u 其子意图;

(5) 如果所有成员都执行了 Confirm 响应, $\text{JCommit}(\Theta, T)$ 建立完成, u 完成了联合意图的建立, 并通过 Request (可靠传输不要求回应)通知各 CGF 联合意图建立完成并执行 T 。

(6)各 CGF v_i 收到联合意图建立消息后, 将 T_i 状态设置为活动并执行, 实现 T 的协作执行;

(7)如果第(5)步有 refuse 响应, $JCommit(\Theta, T)$ 建立失败, 则 u 通过 Request(可靠传输不要求回应)通知各 CGF, 并重新规划, 重复(1)~(6); 各 CGF 则分别更新目标集和任务集。

5 坦克分队 CGF 队形协作实验

通过在局域网环境下利用某训练场三维环境模型(15 km×20 km)对坦克分队 CGF 队形变换进行了实验。通信传输基于实时网络引擎 RakNet 实现, 采用 UDP 协议实现了不可靠、可靠和可靠有序三种数据包传输。命令和事件消息采用可靠的实时发送, 状态消息采用定间隔不可靠方式发送, 为了减少数据发送量采用了位置推测平滑机制实现各终端同步显示, 如图 5 所示。各实体处于分布式的环境中, 其它实体的状态信息通过网络定时广播进行同步和更新(间隔 500 ms)。由于状态信息可能丢失, 在新的状态信息到来之前, 各终端根据原来的状态信息推算异地实体的状态, 并实时更新场景, 假设实体当前位置为 P , 速度为 V , 则按当前位置和速度计算其在场景中的移动, 当下一个信息(N)到来时, 推算的实体的位置(F)可能有偏差, 直接用新信息更新会引起实体在场景中的跳动, 通过计算的当前位置 F 、新位置 N 和推算的下一位置 D 进行平滑补偿, 实现实体的平滑移动。

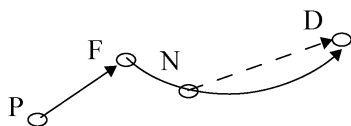


图 5 位置推测平滑示意图

通过 3 个“人在回路”实体, 4 个(连长加 1 个排)、7 个(连长加 2 个排)和 10 个(连长加 3 个排)CGF 实体的情况下, 分别对不同的队形变换进行了测试, 测试内容为数据包的平均延迟和队形变换的时间误差。经过实验, 能够较好满足坦克分队仿真训练要求。

6 结论

本文提出了一个联合意图结合协作规划的 CGF 队形变换协作方法。基于 HTN 的协作规划根据各角色对协作知识掌握程度的不同, 由指挥员角色 CGF 负责队形变换协作条件和约束的规划, 其它参与协作的各 CGF 根据协作的约束和条件, 自主规划执行协作。通过局部规划和部分全局规划相结合, 有效地提高了队形协作的效率。队形变换前通过首先建立协作的联合意图, 有效保证了队形协作的可靠同步实施。经过与人在回路的对比实验及军事专家的打分评判, 能够较好满足坦克分队仿真训练要求。

参考文献:

- [1] 杨瑞平, 高国华, 张立勤, 等. 计算机生成兵力 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [2] 杨瑞平. 计算机生成兵力智能决策方法及其仿真应用研究 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [3] 王江云, 龚光红. 计算机生成航空兵力多分辨率建模方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(11): 2793-2796. (Wang Jianguyun, Gong Guanghong. Methods of Multi-resolution Modeling for Computer Generated Aviation Forces [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2008, 20(11): 2793-2796.)
- [4] 李凤霞, 卢兆涵, 雷正朝, 等. 基于队形的聚合解聚方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(10): 2308-2313. (Li Fengxia, Lu Zhaohan, Lei Zhengchao, et al. Aggregation and Disaggregation Methods Research Based on Formation [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2013, 25(10): 2308-2313.)
- [5] Javier Vázquez-Salceda, Virginia Dignum. Organizing Multi-agent Systems [J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (S1387-2532), 2005, 11(3): 307-360.
- [6] Yen J, Yin J, Loerger T R, et al. Collaborative agents for Simulating Teamwork [C]// Proceedings of the Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-O1). San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 2001: 1135-1142.

