

8-20-2020

Combat Crowd Behavior Modeling Based on Multilayered Decision-making

Xue Qing

Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China;

Wenchao Xu

Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China;

Changwei Zheng

Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China;

Guohui Zhang

Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, 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.

Combat Crowd Behavior Modeling Based on Multilayered Decision-making

Abstract

Abstract: Training simulator is one important part of the virtual soldier technology application, and the combat crowd behavior research can improve training effect efficiently. The model divided the combat decision-making into five layers: biomechanical, reactive, cognitive, and rational, and constructed combat crowd behavior model; proposed the concept of interaction unit that can save and perform the interaction between agents. The multilayered decision-making system used an oriented graph managed the behavior planning and built the interaction management. The model divided the combat behavior into seven basic behavior in order to simplify the combat goal. The model was used in an equipment training and testing system. The result turns out that the model has high fidelity, cost little computer resource, can fit for the training and testing system and improve the training effect.

Keywords

combat crowd, interaction unit, multilayered decision-making model, crowd behavior model, fidelity

Recommended Citation

Xue Qing, Xu Wenchao, Zheng Changwei, Zhang Guohui. Combat Crowd Behavior Modeling Based on Multilayered Decision-making[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(3): 494-499.

基于多层决策的作战群体行为建模研究

薛青, 徐文超, 郑长伟, 张国辉

(装甲兵工程学院, 北京 100072)

摘要: 模拟训练设备是虚拟士兵技术的重要应用领域, 作战群体行为的研究对提高模拟训练设备的训练效果具有重要作用。将多层决策理论改进为生理层、应激层、认知层、理性层和作战层, 构建了基于多层决策的作战群体行为模型; 提出了交互元的概念, 将虚拟个体间的交互以交互元的方式进行存储和执行; 在高层决策系统中引入了任务图对行为规划进行管理, 并建立了交互管理器, 对交互元进行管理; 将作战行为分为 7 种基本行为, 简化了作战目标的生成。在某装备培训与试验系统中对模型进行了应用与测试, 结果表明模型自主性好, 耗费资源少, 具有较高的可信性, 群体间的交互表现出较高的逼真性, 能有效的满足装备培训与试验系统的需求, 提升训练效果。

关键词: 作战群体; 交互元; 多层决策模型; 群体行为模型; 逼真度

中图分类号: TP391.5

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 03-0494-07

Combat Crowd Behavior Modeling Based on Multilayered Decision-making

Xue Qing, Xu Wenchao, Zheng Changwei, Zhang Guohui

(Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Training simulator is one important part of the virtual soldier technology application, and the combat crowd behavior research can improve training effect efficiently. The model divided the combat decision-making into five layers: biomechanical, reactive, cognitive, and rational, and constructed combat crowd behavior model; proposed the concept of interaction unit that can save and perform the interaction between agents. The multilayered decision-making system used an oriented graph managed the behavior planning and built the interaction management. The model divided the combat behavior into seven basic behavior in order to simplify the combat goal. The model was used in an equipment training and testing system. The result turns out that the model has high fidelity, cost little computer resource, can fit for the training and testing system and improve the training effect.

Keywords: combat crowd; interaction unit; multilayered decision-making model; crowd behavior model; fidelity

引言

模拟训练系统在军事训练中发挥着越来越大的作用, 对作战群体的行为研究是模拟训练系统的

重要内容, 也是仿真和建模领域研究的前沿和热点。目前, 大多数的群体行为模型都能不同程度的仿真群体的宏观行为, 但群体中的个体普遍缺乏自主性。随着群体规模变大带来了计算资源的耗费问题, 而且, 决策计算资源大都用在了简单的交互行为中, 如碰撞检测。因此, 在群体仿真中, 尤其是作战群体的仿真中, 只有少数虚拟士兵能表现出复杂的认知行为, 大多数虚拟士兵的认知行为较为简单, 表现不出较好的自主性和智能性。



收稿日期: 2014-03-19 修回日期: 2014-09-04;
作者简介: 薛青(1961-), 男, 辽宁锦州, 教授, 博
导, 研究方向为装备作战与保障仿真; 徐文超
(1987-), 男, 山东临沂, 博士生, 研究方向为装备
作战与保障仿真; 郑长伟(1975-), 男, 辽宁鞍山,
硕士, 讲师, 研究方向为装备作战与保障仿真;
张国辉(1980-), 男, 山东济宁, 博士, 讲师, 研究
方向为通信与信息系统。

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

为了在模拟训练系统中生成实时甚至是超实时的作战群体的复杂行为, 本文提出了一种基于交互元的认知模型。交互元定义了虚拟士兵与其他士兵或功能实体间的交互行为。交互元和实体模型将认知定义在概念层, 从而在虚拟战场环境中应用这些概念。虚拟士兵利用决策模型感知到交互的时机, 进而决策目标导向的行为, 从而表现出选定的行为。利用交互元的方法计算复杂性较小, 可以同时仿真数千的虚拟士兵。

1 多层决策模型结构

要使虚拟作战群体的行为自然逼真, 需要建立不同层次的行为模型来选择和组织其行为。论文建立的模型将 Allen Newell^[1]定义的 5 个层次改进为: 生理层、应激层、认知层、理性层和作战层, 如图 1 所示。每一层都遵循严格的规范向上一层传送信息, 向下一层发出控制指令; 每一层都是单独构建并交互有限的规范的数据。这是一个结合了自底向上和自上而下的行为结构。经过划分后, 各层采用不同的频率执行, 其中层次最高的作战层只需要以 0.002 Hz 的频率运行, 这样可以有效提高模型的运行效率。

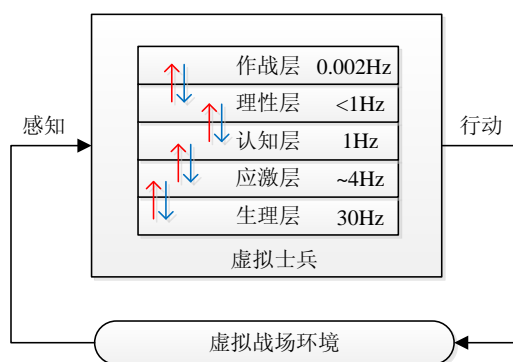


图 1 多层决策行为模型

对于行为主体而言, 生理层和应激层构成了应激决策系统, 认知层和理性层构成了高层决策系统, 作战层构成了作战决策系统。下面从系统构成的角度对多层决策模型进行详细阐述。

2 多层决策模型组成

2.1 应激决策系统

多层决策模型中, 应激决策系统基础, 它不仅作为感知虚拟战场环境的感知系统, 也是接受指令的执行系统, 其结构如图 2 所示。应激决策系统主要用于执行 2 个基本任务:

- 1) 特征导航, 通过高层决策选定的目标进行特征导航;
- 2) 感知和记忆虚拟士兵周围信息, 以用于高层决策过程。

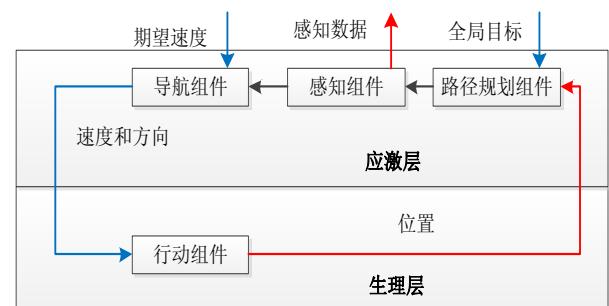


图 2 应激决策模型

(1) 行动控制

行动组件是生理层的主要内容, 行动组件使用第三方引擎驱动虚拟士兵做出物理上相似的行动^[2-3]。行动组件接受应激层的方向和速度控制指令, 同时反馈回即时位置。每个仿真周期应激决策模型都要运行, 从而直接控制虚拟士兵的行动。

(2) 路径规划

路径规划组件接收虚拟士兵的新位置并根据全局目标计算出运动方向。根据新位置和全局目标情况, 路径规划组件主要处理 3 种情况:

- 1) 虚拟士兵没有前进目标, 处于等待状态的情况;
- 2) 新位置处于当前路径中;
- 3) 新位置偏离当前路径, 重新计算方向。

为了选择路径, 路径规划组件要考虑许多因素, 如距离、方向、周围人群密度、个人经验等^[4-5]。

(3) 环境感知

感知组件从环境中抽取知识更新虚拟士兵的三维认知地图。感知组件获取信息后将处理过的信息传递给虚拟士兵的记忆组件和导航组件。

(4) 导航

导航组件主要负责碰撞检测和局部适应^[6]，这个过程要考虑路径规划组件和高一层的决策层给定的运动速度。导航组件计算出虚拟士兵的即时速度和即时方向，从而免于碰到虚拟战场环境中的静态和动态实体。模型使用一个预测算法对未来一段时间内所有可能的交互进行评估，并找出交互最少的方案。最后，导航组件将局部运动质量发送给行动组件，完成一个应激决策循环。

模型将生理层和应激层看成是底层的黑盒子，这两层与高层交互感知和决策数据。这个黑盒子用感知信息扩展虚拟士兵的记忆并受控于期望速度和全局目标。仅用这两层就可以构建一个行为模型，可以仿真一些简单的群体行为，但为了使虚拟士兵具备在中长期目标下选择行为的能力，本文建立的模型仅仅将这两层作为底层的决策模型，并在其上建立高层的行为决策模型。

2.2 高层决策系统

虚拟士兵的高层决策系统包括理性层和认知层，模型同样将高层决策模型看作一个黑盒子，用来模拟不同交战规则和战斗目标下的决策，其决策步骤如图 3 所示。这个过程包括个体记忆、行为规划、情景决策以及交互管理。

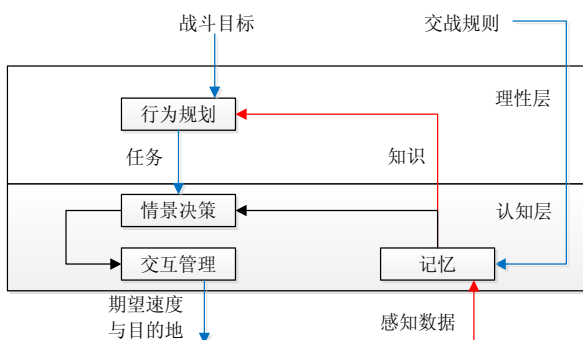


图 3 高层决策模型

(1) 记忆

虚拟士兵的记忆存储着个体的知识，它利用感知机制定期更新并为决策过程提供知识^[5]。模型包括两种信息：环境信息和个体状态。环境信息表明哪部分环境是已知的，最后一次见到是什么样子，这种记忆通过限制总体环境信息的查询权限来影响行为规划，同时也避免了虚拟士兵的无所不知。这种方式可以很容易的对虚拟士兵的记忆进行初始化，轻易得到不用程度环境认识的记忆。个体状态存储着虚拟士兵的身体状态，如运动能力；与行为相关的知识，如行进的目的地；虚拟士兵的装备情况，如子弹存量等。这种记忆也可以轻易地进行初始化。

(2) 行为规划

理性层主要控制行为规划，它选择一系列可以立即执行的任务以实现战斗目标。行为规划利用任务图表示任务，任务是通过确认算法建立的。对于每一个战斗目标，行为规划过程都建立一个任务图，如图 4 所示，节点表示连续的子任务，叶子表示即时交互。任务图中每一个任务都是独一无二的，若一个任务是许多任务的子目标，这些个任务图就被联系起来。

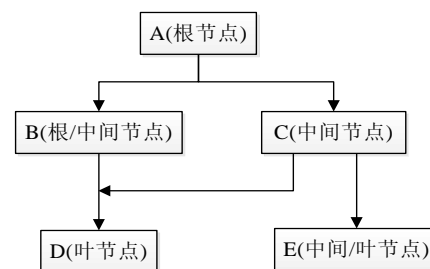


图 4 任务图

任务图中的任务有 3 种基本状态：执行任务 (D)，表示要立即实现的目标；中间任务 (C)，既有父节点也有子节点；战斗任务 (A)，从作战层传递过来的最终任务。模型为任务规划引入了优先级以解决任务间的竞争，规划组件通过评估来改变优先级的数值，任务的优先级可以被行为规划中的任一算法所修改。

假设任务图中有 n 个任务, 理性层的更新复杂度计算如下: 理性层改变优先级的更新复杂度为 $O(n \cdot \log n)$, 理性层验证的更新复杂度为 $O(n)$; 行为规划是一个长时过程, 不需要每个仿真周期都对任务优先级进行更新, 假设优先级更新的周期为 KT , KT 内任务的数量为 m , 任务优先级的更新复杂度就变为 $O(m \cdot \log n)$ 。同样, 模型将等待任务的更新频率也减小。相比与应激层和生理层, 长时决策系统只需要一个较低的更新频率。经过试验, 将长时决策的运行周期调整到 1 s 较为合适。

(3) 情景决策

当行为规划选出要立即执行的任务后, 情景决策就要根据选中的任务识别出涉及的交互对象。情景决策要考虑虚拟士兵的记忆以及交互对象的状态。情景决策的原则较为简单, 模型在虚拟战场环境中进行路径规划, 路径规划找出与选中任务相关的交互对象的结束条件。模型利用拓扑图对虚拟战场环境进行描述, 使用 Dijkstra 算法进行路径寻优。Dijkstra 算法搜索虚拟士兵已知的环境并对情景中的交互对象进行评估。当交互对象与任务相关时, Dijkstra 算法就对这个交互对象进行全局使用代价评估, 使用代价用时间来描述, 表示为 $Cuse$ 。评估完成后对较大的一块区域进行搜索, 查看是否有使用代价更小的交互对象。评估完成后, 使用代价最小的交互对象就是交互者(即虚拟士兵)的目标, 预置的任务就是交互者的即时目标。

(4) 交互管理

模型使用一个交互管理器来管理交互所需的活动: 队列中的等待、到达交互区域、实体间的碰撞等。交互管理器可以管理情景决策中的所有任务, 但只有正在运行的任务才能控制虚拟士兵的行动。模型就是通过交互管理器将逻辑决策和应激行为联系起来。交互管理器如图 5 所示。

如图 5 所示, “交互”表明更高层的管理员检查管理任务是否仍需继续, 如果是则激活 Agent, 允许剩余的管理。然后, “可能的应用”管理控制 Agent 所要执行任务间的竞争, 它激活情景决策中

的搜索以及其他任务的重新激活。“激活搜索”控制 Agent 执行交互的步骤, “激活等待”控制等待队列中的位置, “激活应用”控制 Agent 到达使用区域开始交互。“重新激活搜索”不控制 Agent 的行动, 它只检查感知记忆以发现环境中潜在的交互。如当检测到一个交互, “重新激活搜索”被激活, 进而影响到 Agent 的行动以保持交互的物理参数, 如 Agent 在使用区域的位置。重新激活的典型应用发生在多个虚拟士兵时, 如边侦察边进行交谈。“使用”自动处理选中的任务, 它在任务周期内控制执行过程并进行评估。另外, 它还检查当前的交互对象是否有别的可执行任务并立即执行, 从而使 Agent 不用重新启动交互过程。

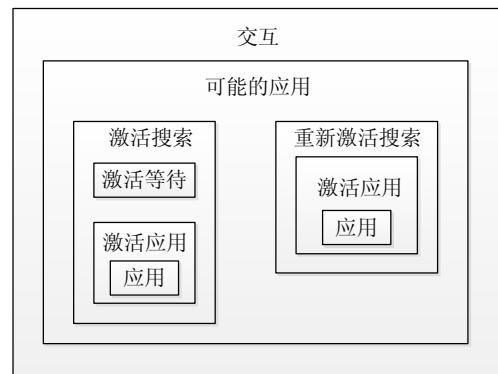


图 5 交互管理器

交互管理是虚拟士兵行为管理中很重要的一部分, 它对所有的任务进行管理, 通过控制 Agent 的行动将逻辑决策和应急行为联系起来, 并能执行随机和并行的交互。

2.3 作战决策系统

虚拟士兵的作战应用系统是结合作战群体的作战任务, 根据具体的士兵职能与携带装备情况, 并考虑战场环境中实际情况进行运用。构建的作战应用系统, 如图 6 所示。作战应用系统有 2 大任务:

- 1) 结合作战意图, 选择作战行为, 并将作战行为细化为具体的战斗目标;
- 2) 存储作战规则, 为高层决策提供交战规则支持。

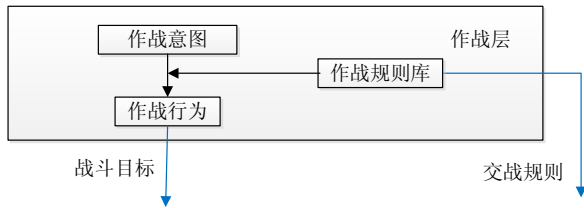


图 6 作战应用模型

(1) 作战意图

作战意图是虚拟士兵作战的指导思想，它决定了虚拟士兵将要采取的行为，来源主要有 2 个方面：

a. 来源于上级指令。虚拟作战群体的作战行动受上级的直接领导，在上级指令的指导下可以作为更大作战系统的一部分展开作战行动；

b. 来源于作战群体自身决定。现代战场中各种情况瞬息万变，战场环境复杂多样，作战群体必须根据战场实际在不违背上级指令的情况下做出自己的判断，形成作战意图。

(2) 作战规则

作战规则是虚拟战场环境中对交战双方的约束，它来源于实际作战的各种限制，如弹药基数，武器射程，士兵体力，战场的通视情况等。

(3) 作战行为

作战行为是虚拟作战群体在虚拟战场环境中可能采取的行为。模型将作战行为分为七大类：进攻、防御、侦察、支援、指挥、勤务、行军。每一类都可以细分为具体的作战目标。作战行为不是孤立进行的，不同的作战行为在作战运用中相辅相成，并随着战场的变化随时可能发生变化。

3 交互元

在虚拟战场环境中，多层决策模型将最基本的交互称为交互元。交互元是一种模型预设的交互模块，它将最基本的实体交互进行固化，采用预加载、实时调用的方式提高交互效率，减小计算资源消耗。装备实体、智能 Agent 以及交互事件构成了交互元的三要素，为了在保留要素功能的前提下专注于其行为，交互元引入了 3 个概念：交互主体、交互对象和交互任务，如图 7 所示。

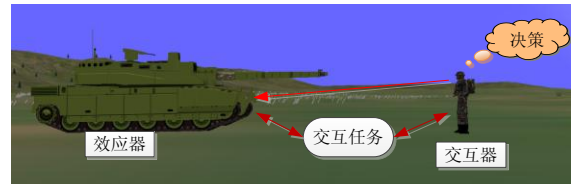


图 7 交互元示意图

交互对象是交互元的响应者，它不用初始化就能参与交互。虚拟士兵在交互中既可以是交互对象也可以是交互主体。交互对象固定在虚拟战场环境中，决策模型通过这种方式在空间推理中包含他们。

交互主体是交互的发起者，它选择交互对象进行交互。因此，交互主体都是具有决策能力的智能 Agent，它具有感知交互对象的能力。同样的 Agent 可以在其他的交互中成为交互对象，例如指挥坦克行动时坦克是交互对象，但坦克在进行火力打击时就是交互主体。

交互任务用来描述环境中潜在的交互，它用来连接交互对象和交互主体。交互任务可以方便的在系统中引入新的交互而不用改变交互对象和交互主体。交互任务保存着交互所需的全部信息：

(1) 交互区域定义了敌我关系以便于同交互对象交互，交互对象能自动进行识别；

(2) 交互元定义了交互相关的局部决策，即无论交互是否进行，都要考虑交互主体的状态；

(3) 交互元定义了交互相关的情景决策，情景决策同时考虑了交互主体和潜在交互对象的状态；

(4) 交互任务包含控制和终止指令，控制指令决定交互过程，终止指令结束交互。这两种指令都可以改变交互主体和交互对象的内部状态。

对任何交互，交互任务都必须描述多层决策模型的 5 个层次：作战层的敌我识别，理性层的决策过程，认知层的局部决策，应激层和生理层的行动。

4 模型应用与验证

4.1 模型应用

基于多层决策的作战群体行为模型，针对美国陆军第 4 机步师的数字化机步营，建立了数字化机

步营的作战群体行为模型。数字化机步营的编制如图 8 所示^[8]。

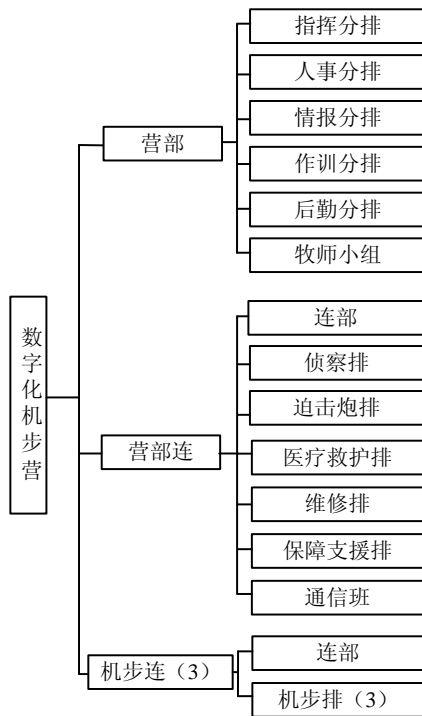


图 8 数字化机步营编制

根据数字化机步营的编制, 模型构建了 15 类 Agent 以及 9 类主要装备实体, 设计了 235 种交互元, 并将其中 29 类重要且常用的交互元进行了重点设计。

4.2 模型验证

基于仿真系统的装备培训是我军军事训练的重要组成部分^[7], 本文建立的数字化机步营作战群体行为模型成功的应用到了某装备培训与试验系统中, 作为模拟训练的蓝方兵力, 并进行了仿真试验对模型性能进行了测试。图 9 是仿真运行过程中的截图。



图 9 下车步兵通过工兵开辟的障碍区域

在仿真试验中对基于多层决策的数字化机步营作战群体行为模型进行了性能测试。测试环境如表 1 所示。

表 1 模型测试环境

项目	属性值
脚本	城市作战对抗
Agent 数量	510
电脑 CPU	Intel Core i5-2400
显卡	GeForce GTS 450

结果表明, 在一个仿真周期中, 完成一个交互仅需要 1 ms 左右, 各决策层平均所需时间如图 10 所示。

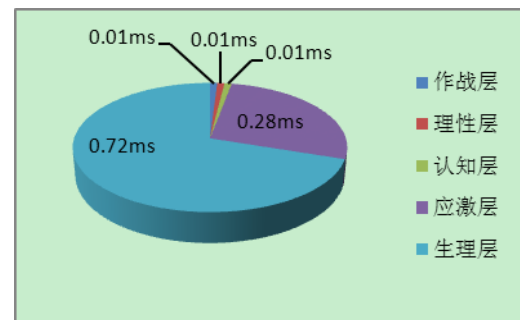


图 10 各决策层平均耗时间

生理层明显是最慢的, 因为动画需要较高的刷新频率。如果没有动画, 生理层管理行动仅需要三分之一的资源。应激层负责感知、碰撞避免, 这些都取决于周围虚拟士兵物的数量。最后, 认知层、理性层和作战层的时间花费微不足道, 这归功于较低的复杂度和相关的任务的数量较少。

5 结论

从生理层、应激层、认知层、理性层和作战层 5 个层次出发, 结合交互元的概念, 构建了基于多层决策机制的作战群体行为模型, 并将其应用到某装备培训与试验系统中, 在系统对模型进行了测试, 结果表明模型自主性较好, 群体行为逼真, 耗费计算资源少, 可信性较高, 能够有效的满足系统的需求。