

doi: 10.7690/bgzdh.2014.04.016

基于 MAS 的分队作战能力评估

张波, 赵大伟, 赵学, 周新初

(南京炮兵学院廊坊校区反坦克导弹系, 河北 廊坊 065000)

摘要: 针对传统的分析方法无法处理作战能力的问题, 提出一种基于 Agent 的建模仿真方法。采用离散位置的二维栅格表示作战战场, 根据参数设置使不同的作战实体具有不同的行为能力和使命, 通过任务完成的结果评估其作战能力, 建立了基于态势的武器作战能力模型, 并进行仿真实验对该模型进行评估。仿真结果证明: 某型武器分队可以很好地完成射击任务, 平均毁伤目标为 13.6, 自身的生存能力也显著提高, 随机交战系统中被毁伤由 8.16 降低到 6.33。

关键词: MAS (multi-agent system); 分队; 作战能力

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Operational Capability of Unit Evaluation Based on MAS

Zhang Bo, Zhao Dawei, Zhao Xue, Zhou Xinchu

(Department of Anti-Tank & Military, Langfang Campus, Nanjing Artillery College, Langfang 065000, China)

Abstract: Aiming at the traditional analysis method cannot handle the problem of combat capability, the paper put forwards a method of modeling and simulation based on Agent. We use two-dimensional grid of discrete position represent the battlefield, and according to the parameter different setting to have different behavior ability and mission, evaluate the operational ability through task completion result. Then we establish the combat capability model based on the situation, and the simulation experiments to evaluate the model. The simulation results prove that: certain type weapon units can good finish shooting task, average damage was 13.6, survival ability also improved significantly, by random engagement system in damage 8.16 decreasing to 6.33.

Keywords: MAS (multi-agent system); unit; operational capability

0 引言

作战能力是由一系列的能力、多种因素相互作用的结果, 一般来说, 是指不同的作战层次的作战力量, 对相应层次的作战目标(使命)的实现能力, 可具体分解表现为多项作战能力目标, 是具有综合性、集成性、涌现性等特征的复杂系统。该系统由大量的不同特征的基本作战单元组成, 而且这些组成单元之间存在强烈的非线性相互作用, 从而导致交战系统在整体行为特征上表现为与其基本组成单元无关的性质, 使得很多传统的分析方法无法处理这类系统。

笔者采用基于智能体模型(agent based models, ABMs)建模仿真方法^[1-2], 有效地对复杂系统建模仿真予以解决。在 ABMs 建模仿真方法中, 一个复杂系统被抽象成很多具有自治能力和自主决策能力的实体, 称之 Agent。评估作战能力时, 首先分析武器作战能力的构成, 根据能力构成的各指标特点, 抽象作战实体的属性、行动规则和决策规则, 将每个作战个体看成一个作战智能体(combat agent, CA), 建立的各类 CA 实体模型, 并将各类 CA 模

型置于相应的想定环境中, 按照行动规则个体之间合作、协商和竞争, 模拟出真实战场上种种实际战场态势, 建立战场态势评估模型, 对当前状态进行评估, 最终实现基于效果的作战能力的评估。

1 作战实体的仿真建模

1.1 战场建模

战场环境对作战行动产生决定性的影响, 离开战场的作战是无源之水。采用离散位置的二维栅格表示作战战场, 栅格中每个位置可被不同的作战实体 Agent(红方、蓝方武器等)所占有。通过参数设置, 不同类型的智能体可以具有不同的行为能力和使命。依据一定的算法, Agent 在底层行为规则的驱动下, Agent 在战场上移动并尽力完成其使命。

初始状态, 各种兵力兵器散布在指定的战场中的某一位置, 或是按照一定原则随机分布在指定的区域内, 从而形成基本的初始战场态势。在离散的二维栅格中可以抽象地形元素, 地形可以是可穿越的, 可能是不能穿越的, 通过地形对实体的影响来决定和调整 Agent 的行为, 以适应特定的类型的

收稿日期: 2013-11-18; 修回日期: 2013-12-21

作者简介: 张波(1977—), 男, 黑龙江人, 硕士, 讲师, 从事计算机应用技术、反坦克导弹技术研究。

地形。例如, Agent 机动在树林中, 其被发现的概率还会降低, 同时其可见度也可能缩小。可以提前计算在可能包括复杂地形地物元素或者是有其他威胁力量因素(如强干扰源、地可能敌空降、机降分队等)的场景中 Agent 将试图采用的最优路径。

1.2 作战实体建模

1.2.1 内部属性特征

内部特征表示一个 Agent 特有的个性和经验的静态和动态因素, 包括: 所处位置、防护能力、射击精度、机动速度、可靠性、状态(受伤、死亡、正常)等武器平台指标, 操作人员的技术水平、心理素质、斗志等。在战场上, 武器完成射击准备和实施射击的过程都与在靶场上有很大的不同。要分析战场上作战 Agent 的内部属性, 并从中体现出不同平台的作战能力。

1.2.2 动作选择

动作选择逻辑有 2 个基本的原理: 一是在对特性中的相关数值随时间不断变化的不断评估中决定 Agent 的动作, 是基于一个全局的认知, 这部分将在下面的部分加以研究; 二是利用惩罚函数值矩阵定义局部状态, 对所有位置计算得到各个位置的数值, 决定 Agent 下一步的动作, 下面就此展开研究。

事实上, 一般作战 Agent 只执行 2 个基本动作: 一是机动, Agent 从一个位置移动到另一位置, 这种移动受武器系统本身机动性能的影响; 二是射击, Agent 与敌方 Agent 交战, 其中隐藏着使用 Agent 攻击规则。其他动作可以由这 2 个基本动作衍生出来。例如隐蔽待机, 即 Agent 当前无任务指派, 不需要移动位置, Agent 实现隐蔽待机。Agent 采取什么样的动作, 利用惩罚函数 $Z_A(x, y)$ 来解决这一问题, 使惩罚函数的数值最小, 反映了执行基本任务的动机。惩罚函数的一般表达为:

$$Z_p(x, y) = \sum_A \omega_p(A) \cdot \mu(A: x, y) \quad (1)$$

其中: $\omega_p(A) \in (-1, +1)$, 代表 Agent 采取动作 A 后最大化或最小的权重值, 反映了 Agent 动机的强烈程度, 值为正, 表明 Agent 想执行动作 A ; 值为负, 表明 Agent 抗拒执行动作 A , 而且可以在一定范围内容动态取值, 并依赖于多个自身及战场特征。 $\mu(A: x, y)$ 代表采取动作 A 情况下的期望结的度量。

Agent 的特征可能因为规则而变化, 规则决定了 Agent 怎样根据动态环境中的场景改变默认的个人

性值。例如支援规则指定一个局部条件, 给定 Agent 在感知范围内感知所支援的分队遭受敌装甲目标打击的损失比例 R 大于或等于某一给定阈值, 那么支援的动机 $\omega_p(A)$ 则为正值, 将立刻提供火力支援, 否则推迟提供支援。

2 基于作战能力态势模型

武器的作战能力, 从构成角度来说体现在各个方面。然而, 各种能力又作为一个整体体现在人与武器系统的融合之中, 单纯地评价某一方面的能力, 就显得很片面。另一方面, 从最核心的作战能力上讲, 火力打击能力、机动能力、指挥能力、生存能力、夜战能力都是为完成作战任务, 有效支援平坦作战不可或缺的部分。最终的立足点则是考虑如何依托这种关键能力去完成特定任务。在作战过程中, 可以通过任务完成的结果评估其作战能力。为此, 笔者建立了基于态势场的武器作战能力评估模型。

2.1 基本原理

笔者将作战单元看成电场中的电荷, 那么这个电荷的电量, 需要考虑很多的因素。由于问题的复杂性, 在这里只考虑了以下几种因素: 一是指挥员的决策偏好; 二是作战单元的作战能力指数; 三是攻防效费比。改进后的势场计算公式为:

$$U = \sum \frac{RK_{\#}Q}{4\pi\epsilon_0 r} + \sum \frac{K_{\#}Q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2)$$

式中: K 为决策偏好修正系数, 用来反映不同控制 Agent 的决策偏好对势场最终计算结果的影响; R 为攻防效费比, 用来反映在攻防战斗中, 防御所具有的优势的计算补偿; r 为该点与要评估的武器装备实体电荷的距离。由上式可以看出, 这种影响是通过指挥控制 Agent 对己方和敌方的作战单元作战能力指数的放大和缩小来实现的。 Q 为作战单元的作战能力指数, 反映不同武器系统之间的对抗。

2.2 离散态势场模型的计算

假设整个战场被分割成 N 个单元方格。所有单元格的初始值都为 0, 战场中有红蓝双方各一个 Agent。每个 Agent 相应值被抽象成“电势场”中的“电荷”的带电量。比如红方 Agent 的作战能力指数假设为 +4, 蓝方 Agent 的作战能力指数为 -4。Agent 在战场中的位置如图 1 所示。那么整个战场的“复合电势场”就可以按照公式 (2) 进行计算。由于是离散表示方式, 实际的计算过程可以看作是

将 Agent 所在单元格中的值向邻近的其他单元格进行扩散。扩散是逐渐衰减的过程。不一定与公式 (2) 所示的反比关系相同，也可以按指数衰减或者是等比衰减等。在该例子中，为计算简单起见，笔者采用指数衰减，并取指数为 0.5。则与 Agent 相邻的单元格势场值为 $N \times 0.5$ ，再相邻为 $N \times 0.25$ ，依次类推，直到计算完所有的单元格为止。一旦计算出所有单元格的所有红蓝双方 Agent 的“势场”叠加值，即完成整个态势场的计算。

如图 1 所示，方框为红方 Agent，菱形为蓝方 Agent。所有红蓝双方 Agent 扩散值的最后计算结果，即形成的最终战场态势势场模型。由上图可以初步看出，势场模型是一个由红方 Agent 向蓝方 Agent 一个过渡过程。由 0 组成的方格连线，即可看作是双方的前线位置。势场取值最高和最低的点分别为战场中红蓝方兵力相对集中的位置。

-0.125	0	0.25	0.75	1.75	□
-0.375	-0.25	0	0.5	1.75	1.875
-0.875	-0.75	-0.5	0.5	0.75	0.875
-1.875	-1.75	-0.5	0	0.25	0.375
◇	-1.75	-0.75	-0.25	0	0.125
-1.875	-0.875	-0.875	-0.375	-1.125	0

图 1 势场计算结果

2.3 态势场的评估指标

1) 力量平衡。

利用力量平衡指标可以大致计算出整个战场军事力量的对比形势。其计算方法是对战场中某一区域所有的方格进行求和计算。如果汇总值 U 大于 0，则表示正值的一边占优(如红方)；如果汇总值小于 0，则表示负值的一方占优。该方法可以定性地描述双方力量的对比情况。

2) 态势优劣度。

通过力量的对比反应优劣程度。计算方法是对战场中某一区域所有的方格进行求和计算，其将和值与所有方格的电势场值的绝对值之和的比值。公式为：

$$G = \frac{\sum U}{\sum |U|}$$

G 的取值范围在 +1 到 -1 之间。

若 G 值等于 +1 或 -1，说明一方完全占领该区域；如果 G 值等于 0，说明双方势均力敌；因此，通过 G 数值可以判断出双方的力量对比关系。

3) 区域控制。

利用区域控制指标可以放映红蓝双方 Agent 实际控制区域的大小。其计算方法是分别计算战场某一区域所有大于和小于 0 的方格数总和，对比二者大小，数值大的表明该方实际控制区域较大。

4) 态势发展有利度。

经过双方的交战行为，势必使给定区域内红蓝双方的力量平衡指标发生变化。假定一方初始时间 t_0 的控制区域的方格数值之和为 S_0 ，在时间 t_i 控制区域方格数值之和为 S_i ，那么发展有利度计算公式为：

$$f(t_i) = S'(t_i) = \frac{S_i - S_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$$

$f(t_i)$ 为时刻 t_i 的态势发展有利度，代表利于己方发展行动的程度。

3 作战能力评估^[3-5]

3.1 评估的流程

首先按照战场及作战实体建模部分的方法，将作战实体、战场进行仿真抽象，红蓝双方作战 Agent 根据规则，进行机动和交战，利用态势场模型的指标体系分析战场态势。然后将该武器分队按照想定情况，注入仿真环境运行。最后，对比分析 2 种运行背景下的态势评估指标的变化，研究该武器作战能力对态势的影响，如图 2 所示。

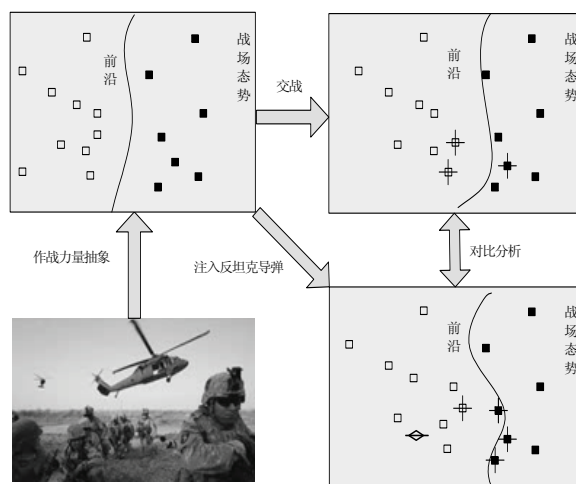


图 2 基于态势场能力评估流程

3.2 基于态势的作战能力评估

武器作战能力是在特定战术背景和作战对象等约束条件下完成任务程度的度量。利用多 Agent 评估方法，将涉及的战术技术能力及指标等各个方面，聚合到作战 Agent 中，Agent 这种能力(即作战能力)最终体现为命中并毁伤目标的程度及完成作战任务

的结果。因此武器作战能力评估是一个聚合涌现的过程。

3.2.1 任务达成度指标

任务达成度(D)是整个战斗行动中完成既定战斗任务程度的量度,可用力量平衡 U、态势优劣度 G 值、态势发展有利度 $f(t_i)$ 和毁伤目标数等作为任务达成的判定条件综合衡量。任务达成指标如表 1。

表 1 任务达成指标

任务达成指标	G	$f(t_i)$	U	毁伤目标
指标要求	大于 0	大于 0	大于 0	毁伤目标数大于 50%

说明:假定我方能力值取正。

因此, $D = \frac{M_r}{M_t}$, 其中 M_r 为任务达成次数; M_t 为总仿真实验次数。

3.2.2 任务时效性指标

时效性是指战斗行动依赖于时间并有一定的时限,武器分队能否按上级规定时限准时开始遂行任务、高效的完成战斗任务,是衡量武器分队战斗能力优劣程度的另一个基本要素。

1) 遂行任务准时性程度的评估。

武器分队遂行任务准时性程度的评估公式为:

$$P_q = |t_k - t_s|$$

式中: P_q 为武器分队遂行任务的准时性程度; t_k 为武器分队实际开始遂行任务的开始时刻; t_s 为上级规定开始遂行任务时间的开始时刻。

2) 遂行任务高效性程度的评估。

武器分队遂行任务高效性程度可用武器分队完成该项任务上级规定时限和实际所用时间来评估,其评估公式为:

$$P_g = T_f / T_s$$

式中: P_g 为武器分队遂行任务的高效性程度; T_f 为武器分队实际完成该项任务的时间; T_s 为上级规定完成该项任务的时间。

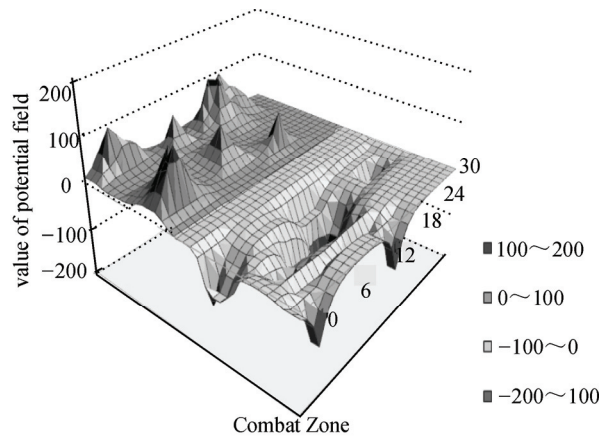
3.2.3 时效性对任务达成影响(如表 2)

表 2 时效性影响

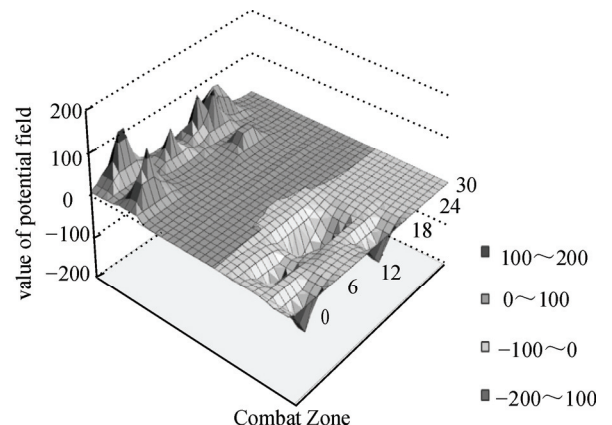
序号	P_q	P_g	任务是否达成
1	0	小于 1	是
2	0	大于 1	以概率 $1/P_s$ 达成
3	$< T$	小于 1	以概率 $1 - \frac{P_q}{T}$ 达成
4	$< T$	大于 1	以概率 $(1 - \frac{P_q}{T}) / P_s$ 达成
5	$> T$		否

4 某型武器分队作战仿真

在仿真设计中,蓝方为坦克目标,依托阵地防守抗击红方冲击突破,红方攻击受阻。某型武器分队机动到指定位置,加入战斗。根据双方兵力情况,笔者仅对(50,50)到(110,81)之间地域的双方力量情况进行统计分析。由于蓝军其依托阵地防御,有相当优势,为此笔者设置蓝军坦克的火力能力指数为-100,红军攻击坦克能力为 80。图 3(a)显示的是该状态下的基于态势场的作战能力评估情况。仿真显示红方区域被压制,在 31×32 的局部栅格网络中,蓝方控制区域(即该方格的势为小于 0)为 527 个栅格,而红方控制(即该方格的势为小大 0)364 个,其余的栅格势场值为零,平均势场值为-1.323,显示蓝军在控制区域和总体态势上占优势。图中势场值较高的区域为力量较强和兵力相对集中的区域,蓝军在防御前沿形成了较为强大的防守力量。



(a) 初始战场态势



(b) 仿真后战场态势

图 3 初始战场的态势