

基于 Agent 的军用大型复杂系统建模与仿真

李宏刚, 吕辉, 刘兴堂

(空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800)

[摘要] 大型复杂系统是 21 世纪的核心技术之一, 而军用复杂系统是各发达国家优先考虑的发展对象。在此背景下, 简述了 Agent 的组成和原理, 并对 Agent 用于军用复杂系统的建模过程进行了深入细致的分析, 给出了复杂系统仿真模型和仿真结果, 对仿真结果进行了分析。

[关键词] 复杂系统; Agent; 建模与仿真

[中图分类号] TP391.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)08-0040-05

1 引言

所谓“复杂”系统是指具有大量交互成分, 内部关联复杂、不确定, 总体行为具有非线性, 即不能通过系统的局部特性形式或抽象地描述整个系统特性的系统^[1]。复杂系统是一个无法重现和不可计算的系统, 因此, 利用系统仿真就成为研究复杂系统的一个重要的甚至唯一的手段。而建模理论与仿真方法是核心问题, 即如何对目标系统建立仿真模型。国内外研究表明, 传统的建模方法(还原论方法、归纳推理方法等), 已经不能很好地刻画复杂系统, 需要新的建模理论与仿真方法。基于 Agent 的建模理论和仿真技术是最具活力、最有影响的方法之一。它通过模拟现实世界, 将复杂系统划分为与之相应的 Agent (每个 Agent 具有各自的数据、知识、模型、接口等), 以自底向上的方式, 从研究个体微观行为着手, 进而获得系统宏观行为。

2 Agent 简介

Agent 通常由 9 个部分组成^[2], 见图 1:

1) 知识库 是存储 Agent 的知识, 知识来源有 2 个途径: 一是由网络中别的 Agent 获得, 二是通过学习获得^[3]。

2) 推理机 包括推理模块、学习模块。其中, 推理模块是从感知机获得新的战场实时情况后利用已有知识和规则进行推理, 形成决策, 控制执行器(事件处理模块)执行; 学习模块是从 Agent 的不断运行过程中总结经验, 为知识库增加新的知识。

3) 动作规则库和行为知识库 这两个库的知识在初始化时输入, 很少再改动。

4) 通信模块 它负责 Agent 与外界(环境或别的 Agent)的通信, 更新知识库或获得上级指令直接送执行器执行。

5) 执行器(事件处理模块) 是 Agent 要实现目标的事件处理方法的集合, 依据送来的决策或指令执行相应的动作。

6) 数据库管理器 组织、协调本地数据库、动作规则库和行为知识库, 将推理过程中必须用到的知识、规则等送到推理机。

7) 感知机 从外界获得战场实时信息并对信息的紧迫性做出判断, 对于简单或紧急情况的信息, 送直接反应模块以便及时做出响应; 对于一般情况则送推理机, 判断可信度、实用性, 以便形成最准确可靠的决策信息^[4]。

8) 直接反应模块 对于一些紧急情况直接做出反应, 形成决策。

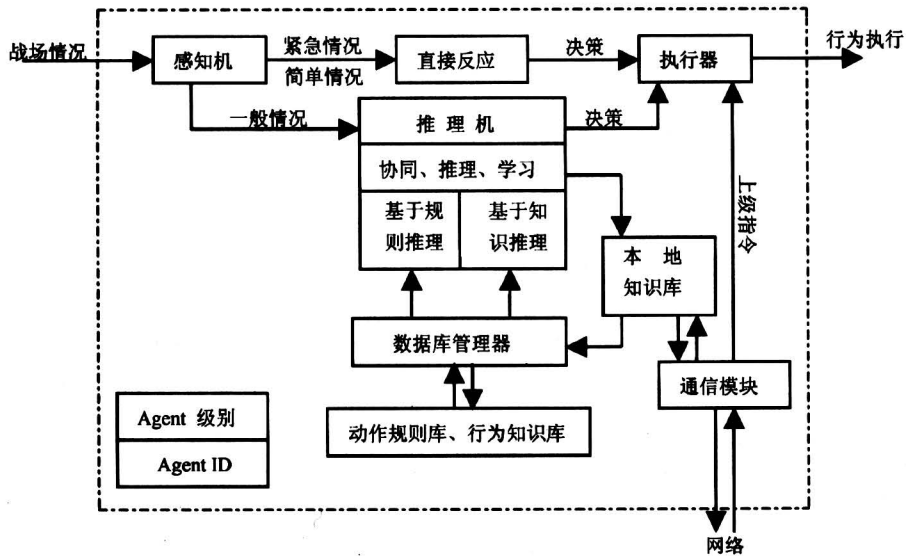


图 1 Agent 结构框图

Fig.1 The framework of agent

9) Agent 标识 它包括 Agent ID 和 Agent 级别等。

3 军用复杂系统建模

笔者所建立的军用复杂系统模型是基于空中力量和反空中力量的模型，也就是红蓝双方以飞机、导弹和雷达为工具进行战斗仿真的基本模型。基于 Agent 所建立的军用复杂系统模型是在 VC++ 6.0 平台下建立的，每个类完成一个 Agent 的功能，主要由以下 7 个类完成：远程预警雷达类；防空制导雷达类；作战指挥雷达类；战斗机类；轰炸机类；预警机类；地空（防空）导弹类。

3.1 阵地模型的生成^[5]

阵地模型如图 2 所示，作战指挥中心是要害目标所在地，在距指挥中心 R_1 (800 km) 的圆形区域上均匀分布 8 个远程预警雷达，该预警雷达的最大有效范围为 R_3 (300 km)；在距指挥中心 R_2 (200 km) 的圆形区域上均匀分布 6 个防空制导雷达，即 6 个地空导弹阵地，该制导雷达的最大有效半径为 R_4 (150 km)，而地空导弹的有效杀伤范围为 50 km。阵地中心毁伤数学模型为

$$f(r) = \begin{cases} -20 & r \leq 5 \\ -10 & 5 < r \leq 15 \\ -5 & 15 < r \leq 30 \\ 0 & r > 30 \end{cases} \quad (1)$$

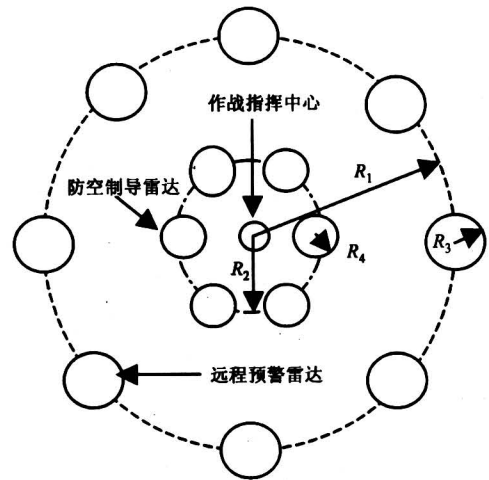


图 2 阵地模型

Fig.2 The model of warfare position

式中 r 为来袭导弹炸点到阵地中心的距离 (km)； $f(r)$ 为阵地中心的损伤能量值，其中阵地中心的能量总值为 100，阵地中心 Agent 在遭遇袭击、记录来袭方向后，一方面阵地中心向相反方向移动，另一方面调整防空制导雷达分布，使来袭方向的导弹阵地密度大于未遭受来袭方向的导弹阵地密度。

3.2 雷达 Agent 模型^[6]

雷达 Agent 模型主要有 3 种：远程预警雷达 Agent、防空制导雷达 Agent 和作战指挥雷达 Agent。远程预警雷达 Agent 发现目标以后，通过自身通信模块将来袭目标方位信息传递给防空制导

雷达 Agent 和作战指挥雷达 Agent; 防空制导雷达 Agent 发现目标以后, 将目标各种参数传递给地空导弹 Agent, 导弹接到从防空制导雷达 Agent 送来的有关目标的各种信息后, 发射导弹击毁目标。当远程预警雷达未能发现目标时, 防空制导雷达可能自身发现目标, 并指挥导弹袭击目标。当然, 相对于有远程预警雷达提供信息而言, 发现目标的概率较小。当远程预警雷达和防空制导雷达均未能发现目标时, 作战指挥雷达可能发现目标并指挥导弹。在这种情况下, 击毁目标的可能性更小。作战指挥雷达记录下目标入侵方向的信息并传递给其他雷达 Agent, 其他雷达 Agent 修改自身知识库并做相应调整。此外, 预警机 Agent 发现目标后将信息直接送到作战指挥雷达 Agent 和防空制导雷达 Agent, 这样击毁目标的可能性最大。其数学模型是:

1) 在没有别的 Agent 提供信息的情况下, 各种雷达 Agent 发现目标的概率为

$$p(r) = \begin{cases} 1 - r/R & 0 < r \leq R \\ 0 & r > R \end{cases} \quad (2)$$

2) 在有别的 Agent 提供信息的情况下, 各种雷达 Agent 发现目标的概率为

$$p(r) = \begin{cases} 1 - r/2R & 0 < r \leq R \\ 0 & r > R \end{cases} \quad (3)$$

式(2)、式(3)中 r 为来袭目标航迹至雷达中心的距离; R 为雷达有效作战半径: 远程预警雷达 Agent 的作战半径 $R = 300$ km, 防空制导雷达 Agent 的作战半径 $R = 150$ km, 作战指挥雷达 Agent 的作战半径 $R = 200$ km。

3.3 飞机 Agent 模型

飞机 Agent 模型主要有 3 种: 战斗机 Agent、轰炸机 Agent 和预警机 Agent。其中战斗机主要用于打击空中目标, 轰炸机主要用于打击地面目标, 预警机主要用于发现目标和指挥己方飞机飞行。当预警机发现有己方飞机伤亡时, 修改其自身知识库, 并回传给其他 Agent, 其他飞机下次会改道飞行, 进行目标的攻击。其数学模型是:

1) 战斗机 Agent、预警机 Agent 数学模型

$$p(r) = \begin{cases} 1 - r/R & 0 < r \leq R \\ 0 & r > R \end{cases} \quad (4)$$

式中 r 为其他空中目标至战斗机的距离; 对于战斗机 Agent, R 表示战斗机的作战半径, 即战斗机所携带的空空导弹的有效射程, 仿真过程取有效射程 $R = 15$ km; 对于预警机 Agent, R 表示发现半

径, 仿真过程取发现半径 $R = 300$ km。 $p(r)$ 表示击毁或发现对方目标 (如轰炸机、战斗机、预警机等) 的概率。

2) 轰炸机 Agent 的数学模型^[6]

$$p(r_1) = \begin{cases} r_1^2 \times (1 - r_2/R)/900 & 0 < r_1 \leq 30 \cap 0 < r_2 \leq R \\ 1 & r_1 > 30 \cup r_2 > R \end{cases} \quad (5)$$

式中 r_2 为轰炸机至需要轰炸目标的距离; R 为轰炸机的作战半径; r_1 为轰炸机所携带的空地导弹着陆点 (炸点) 至需要轰炸目标的距离。 $p(r_1)$ 为炸点落入 $r_1 \pm \Delta r$ 的概率, 仿真过程中取 $\Delta r = 10$ m, $R = 10$ km。

3.4 导弹 Agent 模型

导弹 Agent 主要接收制导雷达 Agent 送来的信息发射导弹, 如果制导雷达没有送来有关目标的信息, 导弹可以接收作战指挥雷达送来的信息发射导弹。任何一部雷达一旦发现目标, 即修改其知识库, 并做出相应的反应 (如移动自己的位置以便更好地发现目标), 将信息传递给其他 Agent。导弹毁伤来袭目标的概率主要分两种情况:

1) 防空制导雷达发现目标的情况

$$p(r) = \begin{cases} 1 - r/2R & 0 < r \leq R \\ 0 & r > R \end{cases} \quad (6)$$

2) 作战指挥雷达发现目标的情况

$$p(r) = \begin{cases} 1 - r/R & 0 < r \leq R \\ 0 & r > R \end{cases} \quad (7)$$

式中 r 为目标航迹至离导弹所处位置中心的距离, R 为导弹的有效杀伤半径, 在仿真过程取 $R = 50$ km; $p(r)$ 表示击毁来袭目标的概率。

3.5 系统总体工作过程

如图 3 所示, 开始仿真前, 红蓝双方首先选定战争策略和兵力数量。战争策略有 2 种: 一是以进攻为主, 防守辅助; 二是以防守为主, 进攻辅助。初始化兵力数量如下: 远程预警雷达总数 10 部, 使用 8 部, 备用 2 部; 防空制导雷达总数 10 部, 使用 6 部, 备用 4 部; 作战指挥雷达总数 2 部, 使用 1 部, 备用 1 部; 战斗机总数 100 架, 轰炸机总数 100 架, 预警机总数 5 架, 地空导弹总数 300 枚。红蓝双方的战争策略可以相同, 也可以不同。选择策略后, 进行阵地中心生成和兵力分布, 然后各个 Agent 依据战争策略进行初始化和行为规则知识的初始化。初始化完后战斗运行, 各个 Agent 运行。判断战争是否结束的条件是指挥中心, 也就是

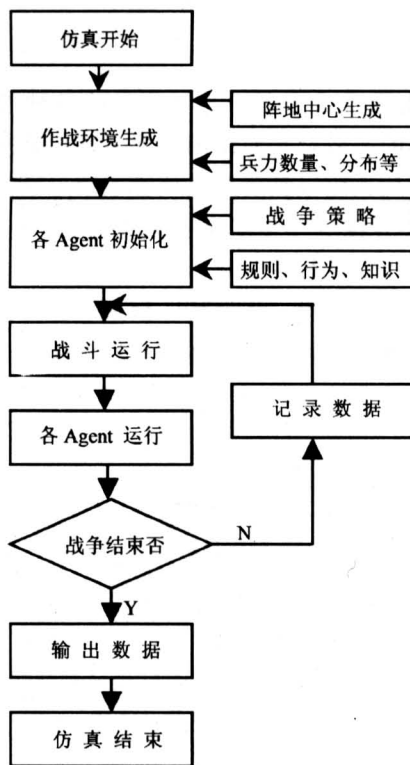


图 3 系统流程图

Fig.3 Diagram flow of the system

要保卫的目标的能量是否被损伤完；如果没有，则记录数据并继续仿真；否则，输出数据，仿真结束。各个 Agent 的具体运行情况如下：

预警机 Agent 一方面探测敌方战斗机，一方面指挥己方战斗机，发现目标后，传递目标信息给雷达 Agent，并指挥己方轰炸机进行拦截，探测过程中己方战斗机被击落后，预警机 Agent 收集相关信息（如敌方战斗机出现方位、己方战斗机伤亡地点、情况等），记录同时传递给指挥中心，再传给其他 Agent，预警机经多次探测、学习、推断后，确定敌方阵地中心，指挥己方轰炸机进行攻击。处于作战指挥中心的作战指挥雷达接收到预警机送来的信息后，存储、学习并进行推理，判断其真实可靠性，将真实信息传递给其他 Agent，并调整自身位置；同时，调整防空制导雷达和导弹阵地的位置，改变远程预警雷达的方位等。预警雷达发现目标后，存储并传输目标信息，并做相应的调整。

4 仿真与结论

仿真过程如图 4 所示。

军用复杂系统仿真进行中...

红方				蓝方			
作战策略: <input type="radio"/> 以防守为主, 进攻辅助				作战策略: <input checked="" type="radio"/> 以防守为主, 进攻辅助			
<input checked="" type="radio"/> 以进攻为主, 防守辅助				<input type="radio"/> 以进攻为主, 防守辅助			
种类	剩余数量	坐标X:	坐标Y:	种类	剩余数量	坐标X:	坐标Y:
地空导弹	274	143.8	138.9	地空导弹	233	2125.1	1209.8
战斗机	81	1050.1	1100.7	战斗机	91	1285.3	920.7
轰炸机	73	1010.7	1123.5	轰炸机	90	1331.1	1001.8
预警机	5	1029.2	1130.4	预警机	5	1308.2	980.5
预警雷达	10	-739.1	306.1	预警雷达	10	1752.8	1239.2
制导雷达	10	146.3	136.4	制导雷达	10	2087.5	1205.9
指挥雷达	2	1.5	2	指挥雷达	2	1998	1997
指挥中心	87	0	0	指挥中心	77	2000	2000

初始化 开始仿真 确定 取消

图 4 基于 Agent 的军用复杂系统仿真过程图

Fig.4 Simulation of the military large-scale complex system based on agent

结论：

1) 在相同兵力条件下，以攻为主、防守辅助的战争策略获胜概率大于以守为主、进攻辅助的战争策略。

2) 在红方（以攻为主）兵力不变的情况下，增加蓝方（以守为主）的导弹数量，获胜概率可逐渐提高，如图 5 所示。

3) 图 6 为蓝方兵力不变的情况下，红方增加

战斗机数量与获胜的概率,从图中可以看出,进攻方可以较小的代价换取较大的获胜概率。

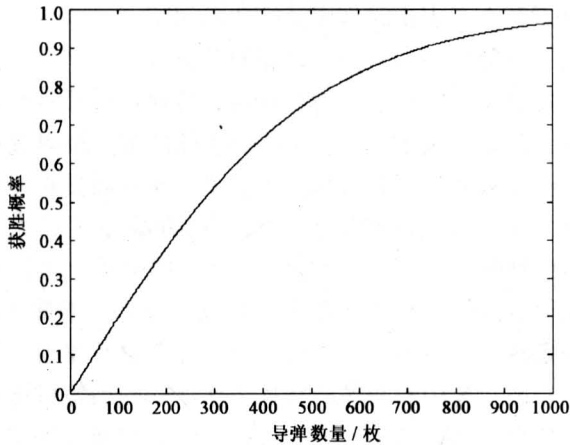


图5 投入导弹数量与获胜概率曲线

Fig.5 The victory probability diagram based on missile number

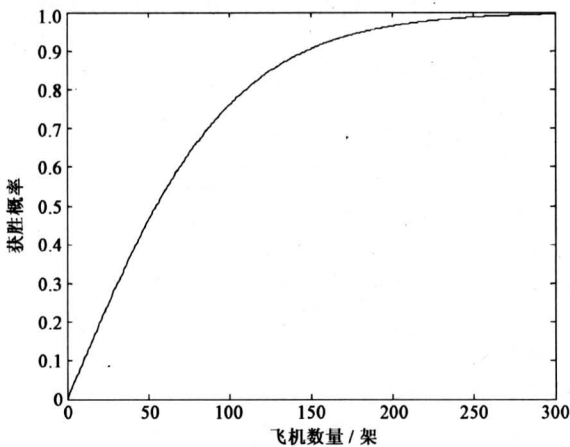


图6 投入飞机数量与获胜概率曲线

Fig.6 The victory probability diagram based on battle plan number

5 结语

1) 出于安全考虑,笔者给出的各种导弹、飞机、雷达的参数都是假设的,要对现代条件下的战争进行评估,应以真实参数代替假设参数。

2) 笔者仅对军用复杂仿真系统中的空中力量和反空中力量进行了研究。下一步工作,应该加入陆军力量(如坦克、防空兵、地地导弹等)和海军力量(如各种舰船、潜艇等),这样的仿真才更逼近现代条件下的实际战争,仿真结果才更具有现实意义。

参考文献

- [1] 金士尧,李宏亮,党刚,王召福,刘晓建.复杂系统计算机仿真的研究与设计[J].中国工程科学,2002,4(4):52~57
- [2] 王会霞,王行仁.面向Agent的方法在计算机生成兵力中的应用[J].系统仿真学报,2002,(7):887~889
- [3] Kyoichi Kijimal. Generatized landscape theory:agent-based application alliance formations in civil aviation industry [J]. Journal of Systems Science and Complexity, 2001,14(2):113~123
- [4] Bollacker K D. Citeseer: an autonomous web agent for automatic retrieval and identification of interesting publications [A]. Proceedings of the 2nd International Conference on Autonomous Agents [C]. New York: ACM Press,1998. 116~123
- [5] 商长安,刘兴堂,仵浩.军用大型复杂仿真系统的特点及其置信度评估对策[J].系统仿真学报,2002,(5):609~612
- [6] 刘兴堂,吴晓燕.现代系统建模与仿真技术[M].西安:西北工业大学出版社,2001

The Military Large-scale Complex System's Modeling and Simulation Based on Agent

Li Honggang, Lü Hui, Liu Xingtang

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shanxi 713800, China)

[Abstract] First of all this paper introduces the composition and the principle of agent and makes thorough analysis of modeling process of military large-scale complex system, then presents the modeling and simulating result of the military large-scale complex system, and makes an analysis of the simulating result.

[Key words] complex system; agent; modeling and simulation