

中国仿真科学与技术书系

“十一五”国家重点图书出版规划



**S**IMULATION SCIENCE

**计算机生成兵**

**方法及其应用**

The Intellectualized Decision-making Methods of Computer Generated Forces and Their Application

杨瑞平 黄晓冬 编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

“十一五”国家重点图书出版规划  
中国仿真科学与技术书系

# 计算机生成兵力智能决策方法及其应用

The Intellectualized Decision-making Methods of Computer Generated Forces and  
Their Application

杨瑞平 黄晓冬 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

## 内 容 简 介

本书将作战仿真系统开发、计算机生成兵力应用和智能决策方法紧密结合起来,从理论上对智能决策方法进行了探讨,同时又给出了每一种方法在计算机生成兵力智能决策中的应用实例。主要包括:基于规则推理系统的方法,基于人工神经网络的方法,基于有限状态机的方法,基于贝叶斯网络的方法,基于多 Agent 系统的方法,基于语境推理的方法,基于案例推理的方法,基于遗传算法的方法。书中实例既有国外典型的基于计算机生成兵力的作战仿真系统,也有作者多年来从事智能决策研究和计算机生成兵力建模研究的成果。

本书内容翔实,实用性强,特别适合从事计算机生成兵力研究的高校师生和研究人员学习和参考,同时可作为高等院校仿真专业、军事仿真系统研究和开发人员的教材或参考书,也可作为从事分布式交互仿真的科技工作者的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

计算机生成兵力智能决策方法及其应用/杨瑞平,黄晓冬编著. —北京:电子工业出版社,2011.1  
(中国仿真科学与技术书系)  
ISBN 978-7-121-12379-5

I. ①计… II. ①杨… ②黄… III. ①智能决策—决策支持系统 IV. ①C934

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 229800 号

策划编辑:徐 静

责任编辑:朱清江

特约编辑:钟永刚

印 刷:

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:720×1092 1/16 印张:15 字数:400 千字

印 次:2011 年 1 月第 1 次印刷

定 价:45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zlts@phei.com.cn](mailto:zlts@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010) 88258888。

“中国仿真科学与技术书系”  
编委会

主 编 黄柯棣

副主编 庞国峰 李 革

编 委（按拼音排序）

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 毕红哲 | 方胜良 | 郭齐胜 | 龚建华 | 胡晓峰 |
| 黄晓冬 | 吕跃广 | 李 群 | 李世忠 | 王维平 |
| 王雪松 | 王中杰 | 卫军胡 | 肖田元 | 杨 峰 |
| 杨瑞平 | 杨西龙 | 朱一凡 |     |     |

# 前 言

智能决策方法不仅是人工智能领域的主要研究方向，同时也是基于计算机生成兵力（CGF）的作战仿真领域的研究重点。在作战仿真中采用 CGF 实体，可以大大减少参演人员和仿真器的数量、增强参演人员的沉浸感、大幅度地降低仿真系统的开发和维护成本。因而，受到世界各国，特别是发达国家的高度重视。开发和应用 CGF 的关键是模拟人的思维方式和方法。在 CGF 中，采用人工智能决策方法模拟人的决策过程是目前解决人的行为建模的有效途径。对于相同的战场态势，CGF 采用不同的智能决策方法所得出的决策结果和模拟人的逻辑思维过程是不一样的。CGF 所采用的智能决策方法的优劣，对 CGF 的仿真可信度影响较大。在每年召开的 CGF 与人的行为建模的国际会议上，CGF 的智能决策都是会议讨论的重点；在与 CGF 相关的研究中，采用智能决策理论实现 CGF 行为建模的研究也越来越受到重视。基于上述情况，作者结合自己在作战仿真和 CGF 领域的仿真系统开发经验和对系统建模与仿真的认识编写了本书。本书将作战仿真系统开发、CGF 应用和智能决策方法紧密结合起来，力图从作战仿真的角度来阐述 CGF 的智能决策及其应用。

全书共分为 15 章。第 1 章介绍智能决策的基本含义及其相关内容，阐述了在作战仿真中，CGF 采用人工智能决策方法描述人的行为的必要性和重要性。第 2 章提出了适合于人思维过程的 CGF 体系结构。第 3 章到第 10 章分别论述了基于规则推理系统的方法、基于人工神经网络的方法、基于有限状态机的方法、基于贝叶斯网的方法、基于多 Agent 系统的方法、基于语境推理的方法、基于案例推理的方法和基于遗传算法的方法及其在 CGF 智能决策中的应用。第 11 章主要叙述了不同推理方法相结合所产生的推理机制及其在 CGF 智能决策中的应用。第 12 章介绍了国内外典型的 CGF 作战仿真系统及智能决策方法在这些系统中的应用。第 13 章介绍了目前国内应用最为广泛的两个商用 CGF 软件 STAGE 和 VR\_FORCE 及其应用实例。第 14 章和第 15 章介绍了两个典型的 CGF 智能决策方法的应用。

本书既从理论上对智能决策方法进行了探讨，包括智能决策方法的一般性知识、基本概念、理论和方法等；同时又在每一章给出了应用实例供读者参考，力图使本书的内容更加实用，为从事仿真专业的读者提供一本好的参考书。书中实例既有国外典型的基于 CGF 的作战仿真系统，也有作者多年来从事智能决策研究和 CGF 建模研究的成果。

本书适合于从事分布式交互仿真的科技工作者参考，特别适合于从事 CGF 研究的科技工作者参考。

本书由杨瑞平负责整体框架的设计和统筹。其中杨瑞平编写了第 1、2、6、7、9、15 章；海军航空工程学院黄晓冬编写了第 4、10 章；装甲兵工程学院郭齐胜编写了第 14 章；北京工商大学杨立功编写了第 3、5、8、11、12 章；海军航空工程学院张媛编写了第 13 章。杨瑞平负责整书的统稿与审定。本书参考或直接引用了一些国内外的论文和著作，在此向这些论文和著作的作者表示感谢。

在本书的编写过程中，得到了中国系统仿真学会理事长、中国工程院院士李伯虎研究员、总装备部装甲兵工程学院郭齐胜教授、中国国防科技信息中心徐学文研究员的悉心指导，在此一并表示深深的谢意。

编著者

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第 1 章 概述</b>          | 1  |
| 1.1 智能决策的含义              | 1  |
| 1.2 智能决策与计算机生成兵力         | 1  |
| 1.3 与决策相关的作战行为           | 3  |
| 1.3.1 决策与指挥控制            | 3  |
| 1.3.2 决策与指挥自动化系统         | 4  |
| 1.4 决策行为                 | 5  |
| 1.4.1 任务规划               | 6  |
| 1.4.2 战术决策               | 9  |
| 1.4.3 机动行为决策             | 10 |
| 1.4.4 火力行为决策             | 10 |
| 1.4.5 作战行动协同决策           | 11 |
| 1.5 智能决策的必要条件            | 12 |
| 1.5.1 对战场地理信息系统的要求       | 12 |
| 1.5.2 对装备模型的要求           | 14 |
| 1.6 决策知识的获取              | 15 |
| 1.6.1 决策知识来源             | 16 |
| 1.6.2 知识获取过程             | 16 |
| 1.6.3 人工知识获取             | 18 |
| 1.6.4 自动知识获取             | 18 |
| 1.7 作战仿真系统中决策知识的表示原则     | 19 |
| 1.8 智能决策的特点              | 19 |
| <b>第 2 章 CGF 体系结构</b>    | 21 |
| 2.1 人类行为建模框架结构           | 21 |
| 2.2 CGF 体系结构的设计原则        | 22 |
| 2.3 常见的 CGF 体系结构         | 24 |
| 2.3.1 基于联邦成员的体系结构        | 24 |
| 2.3.2 层次化服务的体系结构         | 25 |
| 2.4 基于 OODA 回路的 CGF 体系结构 | 27 |
| 2.4.1 OODA 的基本概念         | 27 |
| 2.4.2 OODA 的主要特征         | 28 |
| 2.4.3 CGF 中的 OODA 过程     | 29 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| <b>第 3 章 基于规则推理系统的方法</b>    | 31 |
| 3.1 引言                      | 31 |
| 3.2 规则推理系统的结构               | 31 |
| 3.2.1 产生式规则库                | 32 |
| 3.2.2 全局数据库                 | 32 |
| 3.2.3 解释程序                  | 33 |
| 3.3 在坦克 CGF 分队进攻战斗中的应用      | 34 |
| 3.3.1 知识表示                  | 34 |
| 3.3.2 知识库的构成                | 35 |
| 3.3.3 坦克营对阵地防御之敌进行进攻战斗的战术决策 | 35 |
| 3.3.4 单坦克战术动作决策             | 37 |
| 3.4 模糊规则推理系统                | 39 |
| 3.4.1 模糊产生式规则               | 39 |
| 3.4.2 模糊匹配                  | 40 |
| 3.4.3 模糊产生式的冲突解决            | 40 |
| 3.4.4 模糊规则推理的一种简化算法         | 40 |
| 3.5 基于规则推理方法的特点             | 42 |
| <b>第 4 章 基于人工神经网络的方法</b>    | 43 |
| 4.1 引言                      | 43 |
| 4.2 人工神经网络                  | 43 |
| 4.2.1 神经元模型                 | 43 |
| 4.2.2 人工神经网络结构              | 46 |
| 4.3 在坦克 CGF 机动决策中的应用        | 48 |
| 4.3.1 问题描述                  | 48 |
| 4.3.2 模型构建                  | 48 |
| 4.3.3 模型输入                  | 49 |
| 4.3.4 模型输出                  | 50 |
| 4.3.5 模型应用                  | 50 |
| 4.4 在水面舰艇 CGF 防空决策中的应用      | 51 |
| 4.4.1 系统构成                  | 52 |
| 4.4.2 基本规则                  | 52 |

|              |                        |           |              |                        |            |
|--------------|------------------------|-----------|--------------|------------------------|------------|
| 4.4.3        | 神经网络设计                 | 53        | 7.4.2        | 交互机制                   | 83         |
| 4.5          | 人工神经网络方法的特点            | 53        | 7.4.3        | 通信语言                   | 84         |
| <b>第 5 章</b> | <b>基于有限状态机的方法</b>      | <b>55</b> | 7.4.4        | 行为协调                   | 84         |
| 5.1          | 引言                     | 55        | 7.5          | 基于多 Agent 系统的建模方法      | 86         |
| 5.2          | 有限状态机基本原理              | 55        | 7.5.1        | 基本思想                   | 86         |
| 5.3          | 几种典型的有限状态机             | 56        | 7.5.2        | 基本方法                   | 86         |
| 5.3.1        | 有限状态自动机                | 57        | 7.6          | 基于多 Agent 系统的坦克 CGF 建模 | 87         |
| 5.3.2        | 摩利机                    | 58        | 7.6.1        | CGF 的框架结构              | 87         |
| 5.3.3        | 摩尔机                    | 59        | 7.6.2        | 决策机制                   | 89         |
| 5.4          | 有限状态机的表示               | 60        | 7.6.3        | 通信方式                   | 90         |
| 5.4.1        | 状态转换表                  | 60        | 7.7          | 基于多 Agent 系统的实体行为      |            |
| 5.4.2        | 状态转换图                  | 60        |              | 协同决策                   | 94         |
| 5.4.3        | 语法规则                   | 61        | 7.7.1        | 基于联合意图的行为协同决策          |            |
| 5.5          | 在 CGF 行为决策中的应用         | 61        |              | 方法                     | 94         |
| 5.5.1        | 基本原理                   | 61        | 7.7.2        | 基于不同指挥级别的行为            |            |
| 5.5.2        | 任务的概念                  | 62        |              | 协同决策                   | 99         |
| 5.5.3        | 任务帧和任务帧栈               | 63        | 7.8          | 基于多 Agent 系统方法的特点      | 102        |
| 5.5.4        | 基于任务管理器的任务执行           | 64        | <b>第 8 章</b> | <b>基于语境推理的方法</b>       | <b>104</b> |
| 5.6          | 基于有限状态机方法的特点           | 65        | 8.1          | 引言                     | 104        |
| <b>第 6 章</b> | <b>基于贝叶斯网的方法</b>       | <b>66</b> | 8.2          | 作战行动的语境化               | 104        |
| 6.1          | 引言                     | 66        | 8.2.1        | 过程和状态                  | 104        |
| 6.2          | 贝叶斯定律                  | 66        | 8.2.2        | 作战行动的过程和状态             | 105        |
| 6.3          | 贝叶斯网络                  | 66        | 8.2.3        | 基于语境的作战行动描述            | 105        |
| 6.4          | 推理形式                   | 68        | 8.3          | 基于语境的推理                | 106        |
| 6.5          | 基于贝叶斯网的编队防空目标          |           | 8.3.1        | 基本假设                   | 106        |
|              | 判别模型                   | 68        | 8.3.2        | CxBR 特点                | 107        |
| 6.5.1        | 单舰对空袭目标类型判别            | 69        | 8.3.3        | 基于语境推理的过程              | 107        |
| 6.5.2        | 编队对空袭目标类型判别            | 71        | 8.4          | 语境的分类                  | 108        |
| <b>第 7 章</b> | <b>基于多 Agent 系统的方法</b> | <b>76</b> | 8.4.1        | 使命语境                   | 108        |
| 7.1          | 引言                     | 76        | 8.4.2        | 主语境                    | 109        |
| 7.2          | Agent 的概念              | 76        | 8.4.3        | 子语境                    | 109        |
| 7.3          | Agent 的体系结构            | 77        | 8.5          | 语境的跃迁                  | 110        |
| 7.3.1        | 认知 Agent               | 78        | 8.5.1        | 语境的顺序跃迁                | 110        |
| 7.3.2        | 反应 Agent               | 79        | 8.5.2        | 语境的竞争跃迁                | 110        |
| 7.3.3        | 混合 Agent               | 80        | 8.6          | 基于语境推理的系统              | 114        |
| 7.4          | 多 Agent 系统             | 80        | 8.6.1        | 外部变量处理模块               | 114        |
| 7.4.1        | 体系结构                   | 81        | 8.6.2        | 语境知识库                  | 115        |

|                        |                         |     |                         |                      |     |
|------------------------|-------------------------|-----|-------------------------|----------------------|-----|
| 8.6.3                  | 语境编辑界面                  | 116 | 9.8                     | 在坦克 CGF 选择进攻方式中的应用   | 135 |
| 8.6.4                  | 推理机                     | 116 | 9.8.1                   | 问题描述                 | 135 |
| 8.6.5                  | 推理结果                    | 116 | 9.8.2                   | 案例表示                 | 136 |
| 8.7                    | 基于语境推理的协同行动模型           | 117 | 9.8.3                   | 案例检索                 | 137 |
| 8.7.1                  | 基于联合意图理论的行动<br>协同概述     | 117 | 9.9                     | 基于案例推理方法的特点          | 138 |
| 8.7.2                  | 联合意图理论在 CxBR 框架中<br>的体现 | 117 | <b>第 10 章 基于遗传算法的方法</b> | 139                  |     |
| 8.7.3                  | CxBR 实现协同的相关定理          | 118 | 10.1                    | 引言                   | 139 |
| 8.7.4                  | CxBR 框架下的协同建模           | 119 | 10.2                    | 遗传算法和基本概念            | 139 |
| 8.8                    | 水面舰艇 CGF 协同作战描述         | 121 | 10.2.1                  | 遗传算法的生物进化启示          | 139 |
| 8.8.1                  | 交战规则                    | 121 | 10.2.2                  | 基本概念                 | 140 |
| 8.8.2                  | 基于语境描述的模型               | 122 | 10.2.3                  | 标准遗传算法               | 143 |
| 8.9                    | 基于语境推理方法的特点             | 123 | 10.3                    | 遗传算子                 | 143 |
| <b>第 9 章 基于案例推理的方法</b> | 124                     |     | 10.3.1                  | 交叉算子                 | 143 |
| 9.1                    | 引言                      | 124 | 10.3.2                  | 变异算子                 | 144 |
| 9.2                    | 基于案例推理系统的类型             | 125 | 10.3.3                  | 选择算子                 | 145 |
| 9.2.1                  | 解释型 CBR                 | 125 | 10.4                    | 在火力最优分配中的应用          | 145 |
| 9.2.2                  | 问题求解型 CBR               | 125 | 10.4.1                  | 问题描述                 | 145 |
| 9.3                    | 基于案例推理的过程               | 125 | 10.4.2                  | 火力分配                 | 146 |
| 9.3.1                  | 问题求解型 CBR 系统的<br>推理过程   | 125 | 10.4.3                  | 模型实现                 | 147 |
| 9.3.2                  | 解释型 CBR 系统的<br>推理过程     | 127 | 10.4.4                  | 案例分析                 | 148 |
| 9.3.3                  | CBR 的关键问题               | 127 | 10.5                    | 遗传算法的特点              | 151 |
| 9.4                    | 案例表示                    | 127 | <b>第 11 章 混合推理方法</b>    | 152                  |     |
| 9.4.1                  | 案例中存储的信息                | 128 | 11.1                    | 引言                   | 152 |
| 9.4.2                  | 案例内容描述结构                | 128 | 11.2                    | 分类器系统                | 152 |
| 9.4.3                  | 案例的索引                   | 132 | 11.2.1                  | 分类器系统方法              | 152 |
| 9.5                    | 案例检索                    | 132 | 11.2.2                  | 学习分类器系统              | 155 |
| 9.5.1                  | 基于海明距离的相似度计算            | 133 | 11.2.3                  | 在飞机 CGF 航路规划中的<br>应用 | 156 |
| 9.5.2                  | 基于欧几里得距离的<br>相似度计算      | 133 | 11.3                    | CBR 和 RBR 相结合的方法     | 157 |
| 9.5.3                  | 在任务规划案例检索中的<br>应用       | 133 | 11.3.1                  | 基本思想                 | 157 |
| 9.6                    | 案例的适应性调整                | 134 | 11.3.2                  | 结合方式                 | 157 |
| 9.7                    | 案例学习                    | 135 | 11.3.3                  | 在指挥实体任务规划中<br>的应用    | 158 |
|                        |                         |     | 11.4                    | 神经网络和遗传算法相结合的方法      | 160 |
|                        |                         |     | 11.4.1                  | 基本思想                 | 160 |
|                        |                         |     | 11.4.2                  | 结合方式                 | 161 |
|                        |                         |     | 11.4.3                  | 在威胁度估计中的应用           | 165 |



|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第 12 章 外军作战仿真中的 CGF 智能决策</b> | 169 |
| 12.1 引言                         | 169 |
| 12.2 ModSAF                     | 169 |
| 12.2.1 ModSAF 软件体系结构            | 170 |
| 12.2.2 ModSAF 的行为建模机制           | 171 |
| 12.2.3 ModSAF 中对行为描述的不足         | 172 |
| 12.3 CCTT SAF                   | 172 |
| 12.3.1 CCTT SAF 的体系结构           | 173 |
| 12.3.2 CCTT SAF 的行为建模机制         | 175 |
| 12.4 IFOR                       | 177 |
| 12.4.1 IFOR 实体结构                | 177 |
| 12.4.2 Soar/IFOR 行为建模机制         | 178 |
| 12.4.3 Soar/IFOR 在 STOW-E 中的应用  | 180 |
| 12.5 CFOR                       | 181 |
| 12.5.1 CFOR 基本思想                | 181 |
| 12.5.2 CFOR 体系结构                | 182 |
| 12.5.3 指挥控制系统和仿真系统的集成           | 184 |
| 12.6 OneSAF                     | 185 |
| 12.6.1 OneSAF 开发计划              | 186 |
| 12.6.2 OTB SAF 软件体系结构           | 188 |
| 12.6.3 OTB SAF 行为建模机制           | 189 |
| <b>第 13 章 典型的 CGF 开发和应用软件</b>   | 191 |
| 13.1 引言                         | 191 |
| 13.2 STAGE                      | 191 |
| 13.2.1 体系结构                     | 191 |
| 13.2.2 模型框架                     | 192 |
| 13.2.3 应用领域                     | 194 |
| 13.2.4 实例分析                     | 194 |
| 13.3 VR_Force                   | 195 |
| 13.3.1 体系结构                     | 196 |
| 13.3.2 程序设计                     | 198 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 13.3.3 基本操作                  | 199 |
| 13.3.4 应用实例                  | 202 |
| <b>第 14 章 坦克 CGF 的智能决策</b>   | 207 |
| 14.1 引言                      | 207 |
| 14.2 CGF 行为模型的程序运行环境         | 207 |
| 14.3 在程序中用于决策的类              | 208 |
| 14.3.1 CAgent 类              | 208 |
| 14.3.2 两个对应知识库的类             | 209 |
| 14.3.3 战场环境数据库相关的类           | 209 |
| 14.4 决策过程                    | 210 |
| 14.5 状态获取                    | 211 |
| 14.5.1 扫描所有地形特征物             | 212 |
| 14.5.2 扫描所有战场中的虚拟实体          | 212 |
| 14.5.3 进攻阶段的信息               | 213 |
| 14.5.4 开进阶段的状态获取             | 213 |
| 14.5.5 占领展开地区阶段的状态获取         | 214 |
| 14.5.6 冲击阶段的状态获取             | 214 |
| 14.6 战术决策和动作规划               | 215 |
| <b>第 15 章 水面舰艇 CGF 的智能决策</b> | 217 |
| 15.1 基本想定                    | 217 |
| 15.2 系统构成                    | 217 |
| 15.3 决策行为分类                  | 218 |
| 15.4 防空决策流程                  | 220 |
| 15.5 目标威胁判断                  | 220 |
| 15.6 编队火力分配                  | 221 |
| 15.7 单舰火力分配                  | 223 |
| 15.8 单舰武器选择                  | 223 |
| 15.9 决策规则管理                  | 225 |
| <b>参考文献</b>                  | 227 |

# 第1章 概述

## 1.1 智能决策的含义

决策是人寻求问题满意解（最优解）的思维过程。决策过程一般包括以下几个方面的内容：

- （1）描述与表示决策问题。
- （2）形成解决决策问题的候选决策方案，包括模型、计划、规则、答案或假定等。
- （3）建立评价候选决策方案的原则、标准和方法，并据此判断候选方案的优劣，从中选取满意方案或最佳方案。
- （4）如果认为得到了满意方案或最佳方案，则决策过程结束；否则，需思考如何修改方案或提出新方案，以便进行下一轮决策过程的方案选择和评判。

智能决策是指辅助人进行决策的决策体在具有类似人的决策能力后所进行的决策。在机器人领域和作战仿真领域，智能决策是通过编程实现的。通过编程，赋予机器人或仿真实体一定的智能决策能力，使其在没有人干预下，独立地应对各种复杂情况、处理各种复杂问题，即使其智能化。

## 1.2 智能决策与计算机生成兵力

计算机生成兵力（Computer Generated Forces, CGF）是指在仿真环境中由计算机生成的兵力，它是仿真实体。早期的 CGF 没有智能决策能力，兵力决策由参与仿真的人完成。现在的 CGF 多数是通过对人类（作战）行为的充分建模，由计算机生成和控制的仿真实体。也就是说，现在的 CGF 多数是具有一定智能决策能力的仿真实体。CGF 已广泛应用于作战仿真领域，用来描述敌方、我方、友方和中立方等各级各类兵力。

CGF 分为半自主兵力（Semi-Automated Forces, SAF）和自主兵力（Automated Forces, AF）。半自主兵力是指在作战仿真过程中，高层的决策行为由人来实现，底层的反应行为通过运行仿真模型实现；而自主兵力则是高层的决策和底层的反应行为（机动、开火、通信）均通过运行仿真模型实现。即自主兵力在运行过程中，不需要与人交互，就能自动地对仿真环境中的事件和状态做出反应。

随着建模理论、计算机技术、人工智能技术的发展，作战仿真系统已经从最初的、人在回路、模拟器在回路（如 SIMNET）的系统，发展成为完全由具有智能决策能力的 CGF 实体组成的系统。在作战仿真领域，CGF 成为越来越重要的研究对象。在分布交互

仿真环境中,由于引入了大量具有智能决策能力的 CGF 实体,因此,扩大了演习规模 and 提高了虚拟战场环境的复杂度与逼真性、增强了用户的沉浸感。同时,大大降低了作战人员和武器装备的参与、减少了演练费用。请读者注意,本书中提到的 CGF 均指具有智能决策能力的 CGF。

构建 CGF 的重点和难点是 CGF 行为建模,即建立 CGF 实体的“拟人”行为。“拟人”行为既包括人的动作行为,如拿起和放下物品;也包括人的智力行为,如人的思维过程和思维方式等。CGF 行为建模实质上是人的行为建模。人的行为建模涉及的面很广,需要从心理学、社会学、组织理论、政治学等多方面进行研究。其建模可分为个体行为建模、群体行为建模与组织行为建模。个体行为建模主要从心理学角度进行研究;组织行为建模主要从组织理论角度进行研究;而群体行为建模则介乎两者之间,从心理学与组织理论相结合的角度进行研究。上述三种行为建模应考虑以下主要因素:

(1) 影响个体行为建模的主要因素:决策环境、决策者的价值观念、知识经验、文化背景、个性、决策风格、身体健康状况、社会舆论和角色等。其中,决策环境是决策时所有外界条件的总和,是考虑最多的、也是最基础的因素,对于作战仿真,则可视其是作战实体所能感知的战场态势。

(2) 群体决策行为是在个体决策行为基础上,通过行为集结、冲突化解来体现的。因此,影响群体决策行为建模的主要因素有:群体规模、群体构成、群体规范和群体文化价值观等。

(3) 与群体决策相比,影响组织决策行为的主要因素除组织规模、组织构成和组织规范外,还有一个重要的因素——组织关系。其具体表现为组织内同级之间的协调准则和上下级间的控制准则。不同的协调准则和控制准则决定了组织决策的功能和决策效率。

CGF 行为建模最典型的是组织行为建模。这是因为作战实体的数量和种类众多,它们必须遵循严格的组织关系,按照作战条令、条例及上级命令执行作战任务。

人的行为建模所面临的困难主要表现在三个方面:一是由于人脑的思维模型无法获得,因此在行为建模中的抽象、表达、推理及学习等的正确性值得怀疑;二是人脑的思维具有并行特点,而冯·诺伊曼结构的计算机无法实现模拟人脑并行思维过程;三是用来模拟人脑思维的、基于神经网络的连接机制虽然具有并行特点,但目前却难以实现网络的优化拓扑结构及快速收敛性学习算法。

CGF 行为建模可以采用智能决策方法来近似实现。研究智能决策方法的主要目的是:研究用机器(软件、硬件)来模仿人脑的某些智力功能,如判断,推理、证明、识别、感知、理解、设计、思考、规划、学习和问题求解等思维活动。使用智能决策方法建立 CGF 行为模型,可以较好地满足对人脑行为描述的基本要求。

利用智能决策方法进行决策的过程,类似于一个不断接受外界刺激的神经元系统。如图 1.1 所示,在初始外部条件下,该神经元系统做出行动计划,并实施该行动计划。当外部条件发生变化并刺激神经元系统时,神经元系统对这种变化将做出反应,即重新制订并实施新的行动计划。如此不断反复,实现了对作战计划或作战行动的不断调整,从而达到作战目的。

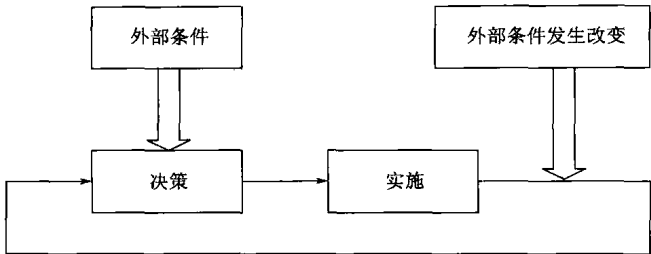


图 1.1 智能决策基本过程

按照 CGF 在作战仿真中的地位 and 作用，可将 CGF 划分为指挥实体和作战实体两类。

指挥实体在作战仿真中代替以指挥员为主，由其他人员及装备组成的各级作战指挥机构。

不同军兵种、不同级别的指挥实体，其人员和装备组成是不同的，即使同级别的指挥机构，其人员组成和装备编配也不相同。指挥实体还有其他多种称谓，如指挥兵力（Command Forces）、指挥所（Command Post, CP）等。在作战仿真系统中，指挥实体还被称为仿真指挥组织（Simulation Command Organization, SCO）。这些不同名称实际上是同一概念。指挥实体的主要功能是指挥控制，如任务规划、战术和战略决策、作战行动协同等。

作战实体是指在仿真过程中，只具有战斗功能的实体。如坦克排中除排长车外的其他坦克车都是作战实体。作战实体只具有机动、开火、接受上级命令和向上级汇报情况等功能。

### 1.3 与决策相关的作战行为

#### 1.3.1 决策与指挥控制

一个完整的指挥控制过程包括以下环节：

- （1）获取信息的敏感环节。
- （2）处理信息、制定控制指令的决策环节。
- （3）执行控制指令的执行环节。
- （4）受控对象的行动环节。
- （5）负责回馈信息的反馈环节。

作战指挥控制过程的基本组成环节，如图 1.2 所示。

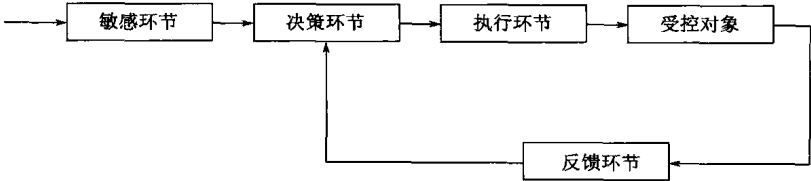


图 1.2 作战指挥控制过程的基本组成环节

在图 1.2 中,“敏感环节”将得到的敏感信息输入到决策环节;“决策环节”根据该信息进行一般性决策并将控制指令输入到执行环节;“执行环节”按照决策控制受控对象的行动;受控对象做出行动后,其行动产生的结果通过反馈环节反馈给决策环节,决策环节进行判断,如果受控对象的行动结果与“决策”的既定目标不同,则决策环节将依据偏差调整受控对象的行为。对指挥实体来说,这种决策指的是动态规划或重规划,指挥实体将调整既定目标进行补偿。也就是说,作战决策是指挥控制的主要环节,并且与指挥控制紧密相关。

### 1.3.2 决策与指挥自动化系统

用机器实现决策需要一个物理平台。这一物理平台就是通常所说的指挥自动化系统,一般是  $C^3I$  系统或  $C^4ISR$  系统。 $C^3I$  系统是实现指挥、控制、通信和情报的军事电子综合信息系统,是指挥员对其所属部队进行管理、发号施令所需的设备、器材、程序软件及各种相关工作人员的总称。

不同任务、不同级别、不同军种、不同用途的  $C^3I$  系统,尽管其规模大小不一、功能各异、设备配置不尽相同,但其基本原理是一致的,典型的战术  $C^3I$  系统的组成如图 1.3 所示。

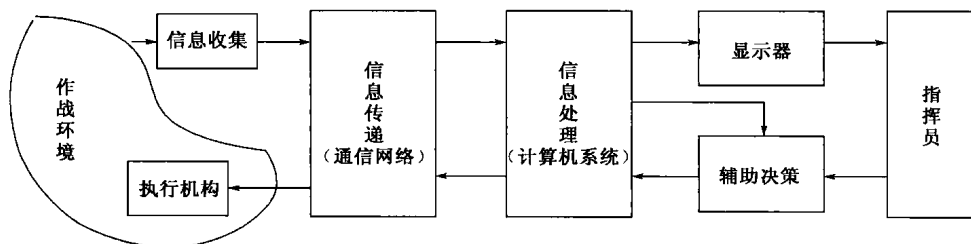


图 1.3  $C^3I$  系统的基本组成

$C^3I$  系统由多个功能子系统组成,各个子系统的功能如下:

(1) 信息收集子系统。信息收集子系统是指  $C^3I$  系统的各种侦察设备,如侦察卫星、侦察飞机、雷达、光电和声音传感器及其他侦察探测设备等。利用信息收集系统可以获得有关敌我双方的兵力布置、作战行动以及战场地形、地貌和气象条件等情况。

(2) 信息传输子系统。信息传输子系统由各种信道、交换设备和通信终端设备组成。通信信道主要包括短波、有线载波、微波接力、卫星通信及光通信等;交换设备主要包括自动交换机和电报、数据自动交换机等;通信终端设备主要包括电传机、电话机和图形显示器等。以上设备通过具有各种功能的通信网络进行连接。该网络能迅速、准确、保密和不间断地传输各种信息,并能自动进行信息交换、加密、解密和路由选择等。

(3) 信息处理子系统。信息处理子系统由计算机及相应的输入/输出(I/O)设备组成。用计算机处理信息,贯穿于  $C^3I$  系统的各个环节。

(4) 信息显示子系统。它主要由各类显示设备,如大屏幕显示器、平板显示器、光学投影仪和记录仪等组成。它以文字、符号、表格以及图形图像等形式显示信息,为指挥员

提供形象、直观、清晰的态势情报和所需要的参考数据。

(5) 辅助决策子系统。该子系统根据输入的情报数据,估计出敌我态势,并依据所要求表达的目标进行各种精确计算、采用作战模拟的方法预测战斗进程、比较各种可能的作战方案,这种决策方案是指挥员定下决心的主要参考依据。

(6) 指令执行设备。它是把各种指令信息变成行动的执行设备。如导弹的发射装置、火炮的发射控制装置及各种遥测设备等。

指挥自动化系统在物理上构成了一个信息收集、信息传递、信息处理、信息反馈的回路,为实现决策提供了基础。

## 1.4 决策行为

具有智能决策能力的 CGF 是建立在对人脑行为充分建模基础上的。实现对人脑行为的充分建模,最重要的一项是实现对人脑决策行为的建模。

随着作战仿真规模的不断扩大,半自主兵力的 CGF 只能出现在少数关键性的、较高层次的指挥决策位置,其他层次的指挥实体和作战实体都需要采用自主兵力的 CGF 来实现。因此,不同层次、不同类型兵力的智能决策问题越来越受到仿真开发人员的重视。CGF 的智能决策已成为作战仿真和 CGF 领域需要解决的重要问题之一。

在基于 CGF 的作战仿真系统中,CGF 需要描述的人脑决策行为包括高层次的任务规划、战术决策、作战行动协同决策及低层次的机动行为决策、火力行为决策。其中,任务规划、战术决策和作战行动协同决策属于 CGF 决策行为的高级层次,由指挥实体来完成;机动行为决策和火力行为决策是 CGF 为了执行高级层次的决策结果而进行的一系列操作动作,由作战实体完成。CGF 描述的人脑决策行为分类如图 1.4 所示。

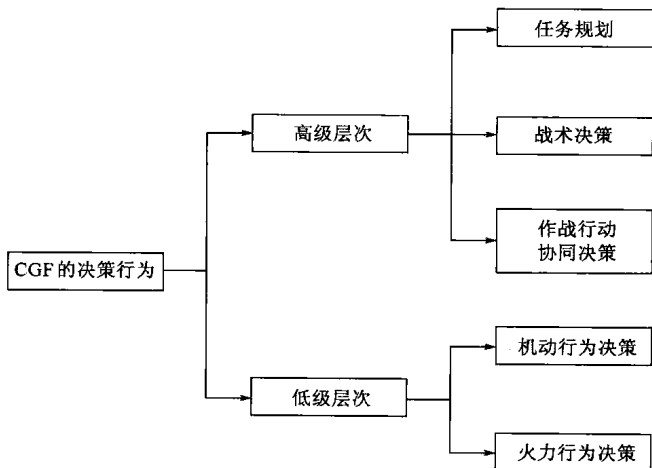


图 1.4 CGF 描述的人脑决策行为分类

以下就 CGF 在作战仿真中的上述不同类型的决策进行描述,为研究 CGF 的智能决策

方法提供依据。

### 1.4.1 任务规划

规划一词的一般理解是行动之前拟定行动步骤。在人工智能范畴内,规划实际上是一种问题求解方法,即从某个特定问题的初始状态出发,寻找一系列行为或构造一系列操作步骤,达到解决该问题的目的。在作战仿真中,指挥实体的任务规划是将上级下达的作战任务分解为自己的行动计划。

任务规划有动态规划、静态规划和重规划之分。

动态规划实际上是分阶段做决策。在下一个决策之前,在某种程度上能够预测每一个决策的结果。因为现在对低代价的希望有可能被将来高代价的失望所抵消,所以,进行动态规划问题是不能孤立地做出某一个决策。由于信任或责任必须赋值给一组相互作用的决策中的每一个决策,所以说动态规划是一个信任赋值问题。为了得到最优的规划,需要在眼前代价和将来代价之间取得有效的折中,而动态规划恰恰适于这种折中。动态规划是一种实时规划。由于仿真系统软硬件条件的限制,在要求仿真系统实时性较高、动态规划的运算量较大时,动态规划难以实现。

静态规划是在做出具体的行动之前进行的规划,是一次性整体规划。静态规划根据初始条件和预期结果来制订行动方案。

重规划是相对于静态规划而言的,在静态规划完成之后,作战指挥主体不断监视战场态势的变化,如果战场态势与预计的态势相差较大,这时就需要重新进行任务规划,也就是重规划。重规划在态势变化满足一定条件后才被“触发”。这是它与动态规划最根本的区别。

在实时分布式交互仿真中,由于获取战场态势和指挥实体分析战场地理环境需要耗费大量的计算时间,使得实时动态规划难以实现。本书所研究的指挥实体任务规划指的是静态规划形式的任务规划。

指挥实体任务规划分为态势评估、制订作战行动方案和方案优选三个阶段。

(1) 态势评估。态势评估的目的:判明与作战有关的各种客观情况的实质与影响,正确认定完成任务的有利与不利条件,以便在此基础上制订出作战方案。从受领任务起,当指挥实体了解了任务和掌握了必要的情况后,指挥实体便将大部分集中于判断情况。在此过程中,指挥实体对已掌握的各种情况进行去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的思索。态势评估的内容包括:

- ① 敌人的兵力情况。
- ② 己方所属和配属部队的情况。
- ③ 友邻部队的情况。
- ④ 地形、气象情况。

态势评估要求指挥实体对任务、地形、敌情、我情等要素进行充分地了解,找出敌我双方兵力的优点和不足之处,以便在方案制订过程中能够较好地“扬长避短”。在作战仿真中,作战仿真系统和C<sup>4</sup>ISR系统(真实的或仿真的)的连接方式如图1.5所示。

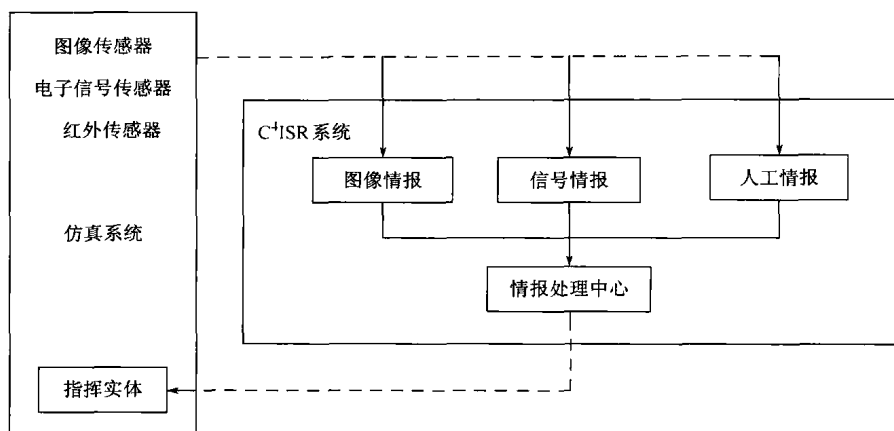
图 1.5 仿真系统和 C<sup>4</sup>ISR 系统的连接

图 1.5 中，分布在虚拟战场空间内的大量不同类型的虚拟传感器侦察敌方的情报，虚拟传感器获得不同类型的情报信息通过情报处理中心的一系列关联、融合等处理后，形成最终的“敌情”报送给指挥实体。由于指挥实体得到的“敌情”是经过情报处理中心处理的，所以，指挥实体获得的敌情和真实的敌情肯定存在一些差异（如敌方的空间位置、装备类型等）。这种差异主要与 C<sup>4</sup>ISR 系统的性能有关。

（2）制订作战行动方案。制订作战方案在我军称为“定下决心”。定下决心是指指挥实体对作战目的及作战行动做出的基本决定，是整个作战行动的基本依据。

制订作战行动方案的依据是本级任务、敌情、我情和地形（Mission, Enemy, Troops, Terrain, METT）。其中：

① 本级任务是上级下达给本级的作战任务。内容包括：上级战法；作战地域地形类型；上级歼敌地区（敌方防守阵地）；上级对作战时节的安排（时间、地点）；上级指定的本级集结位置（初始化位置）；上级划定的本级作战区域；上级指定的本级主攻方向；我方兵力布置情况。

② 敌情为上级分配给本级指挥实体所负责作战地域范围内的敌方兵力编成、兵力布置、武器装备等。

③ 我情为我方兵力编成、兵力布置、武器装备构成等。

④ 地形为本次作战地域的大致类型，包括山地、平原、滩头阵地等。

不同作战样式下，作战行动方案的内容差别较大。作战行动方案应包括作战行动的各种细节，但无论哪种作战行动方案，其主要结论仅包括几个关键的要点，例如，进攻战斗中，作战行动方案的主要内容仅包括指挥实体所属下一级指挥实体的战法、主要攻击方向、兵力编成、兵力布置等。以下详细介绍战法、主要攻击方向、兵力编成及兵力布置的含义。

战法是指作战方法的简称。如装甲兵的战法，仅指装甲兵在进行战斗中，为达成作战目的，将作战力量直接用于作战目标的作战行动方式、途径、程序或手段。战法，一般都是某一特定敌情、我情、地形、天气情况和执行不同任务下的具体方法。因此，进攻作战的



基本战法,不适宜于防御战斗;阵地战斗中的战法,不适用于机动防御作战。

攻击方向一般分为主攻方向和助攻方向。所谓助攻方向是助攻兵力攻击的方向,确定助攻方向的依据:助攻方向必须有利于主攻兵力在主攻方向上完成作战任务。所谓主攻方向,就是集中主要兵力、兵器对敌实施主要攻击的方向。其空间一般贯穿预定歼敌地域的全纵深。正确选择主攻方向,是进攻战斗指挥的重要原则和作战决策的核心内容。下级的主攻方向通常由上级确定。指挥实体在选择主攻方向时,通常考虑的主要因素如下。

① 符合上级的作战意图。符合上级意图是指挥实体确定主攻方向的根本依据。只有符合上级意图,才能有利于大局。如在装甲营进攻战斗中,当装甲营担任第一梯队主攻时,装甲营的主攻方向通常应与上级的主攻方向一致;当装甲营担任第一梯队助攻时,若旅的意图是实施并肩突击,营的主攻方向通常应靠近旅的主攻方向;若旅的意图是实施钳形突击,旅的主攻方向应能迅速突破敌人的防御,营应积极辅助旅的主要攻击,并迅速达到汇合点的位置。

② 从敌军的“弱处”开刀。从攻守双方作战行动的隐蔽性来说,进攻一方更容易暴露自己,所以进攻方作战通常要在发起进攻的地点达成战斗力的局部优势。为了使进攻一方在兵力对比上获得更大的优势,进攻方应集中优势兵力打击较弱的敌军目标,或强敌的薄弱环节,以迫使敌人在未做准备的地段上、未预期的方向上作战。

③ 着眼于敌军的防御重心。选择主攻方向时,决不是单纯地着眼于对方防御的薄弱环节,而是在着眼于敌方薄弱环节的同时,更要注重于保障己方主力能够攻击敌方的重心。

④ 应注重有利于主攻部队展开作战和迅速向敌后方机动的地形。地形是选择主攻方向的重要因素。

⑤ 兵力编成是指挥实体根据现有兵力情况、任务、敌情和地形,按照主攻、助攻、预备队三部分编配所属兵力,分别安排到不同的进攻方向上。

⑥ 兵力布置。兵力布置是指挥实体将编成好的兵力,安排在适当的位置,以便于实施作战行动。

(3) 对于参谋人员制订的多个作战方案,指挥员选择其中的一个方案或综合各方案作为最终方案。在仿真系统中,选择最优作战方案是指挥实体将可供选择的多个方案进行模拟或推演,得出双方作战结果的对比,从中选择出最符合作战意图的作战方案。如果没有参谋人员参与制订方案,指挥员必须多方面思考、权衡利弊,做出最后的决定。

如进攻战斗下,指挥实体任务规划过程如图 1.6 所示。

从以上的分析和图 1.6 可以看出:指挥实体任务规划实际上就是典型的决策过程,这一过程在日常的管理中具有通用性。

著名的管理大师西蒙有一句名言:“管理就是决策”。决策贯穿于管理的全过程,是一切管理工作的核心。他把决策过程同现代的管理科学、计算机技术和自动化技术结合起来,将决策过程划分为以下四个主要阶段:

- (1) 环境调查,用于寻求决策的条件和依据,即“情报活动”。
- (2) 创造、制订和分析可能采取的备选行动方案,即“设计活动”。
- (3) 从可利用的备选方案中选出一个特别行动方案,即“抉择活动”。