

空中拦截机 CGF 系统智能决策模型的研究^{*}

方 良 李照顺 宋祥斌
(海军指挥学院浦口分院 南京 211800)

摘 要 CGF 实体智能化的研究是 CGF 领域的一个研究重点和难点,而 CGF 推理决策模型设计是 CGF 建模的关键环节。为研究 CGF 智能推理决策过程,以设计基于 Agent 的空中拦截机 CGF 系统智能决策模型过程为例,首先讨论了空中拦截机 CGF 系统的设计框架,然后叙述了空中拦截机 CGF 系统的实体以及装备模型的建模方法,最后采用专家系统的决策支持方法,进行了空中拦截机 CGF 系统智能决策模型的建模。仿真结果表明,空中拦截机 CGF 系统仿真智能决策模型的效果理想,能够满足战场模拟训练的需要,有助于提高指挥员的指挥决策能力。

关键词 CGF; 智能决策; 空中拦截; Agent; 专家系统
中图分类号 TP391.9

Research on Airborne Interceptor CGF System Intelligent Decision Model

Fang Liang Li Zhaoshun Song Xiangbin
(Naval College of Command, Nanjing 211800)

Abstract Research on CGF entity intelligence is an emphasis and difficult point in CGF field, while designing CGF inference decision model is a key point in CGF modeling. In order to study the process of intelligent decision-making, as designing airborne interceptor CGF system intelligent decision model based on agent. First, the designing frame on airborne interceptor is discussed, then the method of airborne interceptor CGF system entity and equip model is discussed. Finally, using the method of expert system decision supporting to model the airborne interceptor CGF system. Emulation result shows, the effect of modeling airborne interceptor CGF system is perfect, it could satisfies the need of battlefield simulate training, it is also contributed to improve the commanding and decision ability of commanders.

Key Words CGF, intelligent decision, airborne intercept, Agent, expert system
Class Number TP391.9

1 引言

计算机生成兵力 CGF (Computer Generated Forces)是指能在基于分布交互仿真技术构建的分布式虚拟战场环境中,产生具有一定自治性智能行为实体的仿真软件。CGF 实体的建模,除了要具有能够反映其物理行为的物理模型之外,还要有能够反映其主观意识行为的智能决策模型。从目前的发展来看,CGF 实体的智能决策模型的建模已经成为了开发 CGF 的一个重点和难点。

CGF 智能决策模型的设计是 CGF 建模中关键的部分,它的本质就是智能化技术在 CGF 建模

中的具体应用^[1]。用于解决 CGF 智能化的主要手段是在设计过程中采用人工智能技术。智能技术已得到各国的重视,在空战、坦克等领域已较成功地开发了一些 CGF 系统^[2],国内的坦克 CGF 系统利用 Agent 技术实现坦克分队的机动仿真^[3],美国的 OneSAF 系统支持自动化行为建模、定制行为建模,用于支持更加复杂的军事训练^[4]。采用人工智能的仿真训练系统的设计和研制,一方面将会极大地提高仿真训练系统的效能,更好地用于训练和战法研究;另一方面也有助于提高指挥员的指挥、决策能力。

本文将 以 CGF 系统中的空中拦截机兵力为

^{*} 收稿日期:2010 年 5 月 28 日,修回日期:2010 年 7 月 1 日
作者简介:方良,男,硕士研究生,研究方向:军事智能系统理论与技术。
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

例,介绍用来实现 CGF 系统智能决策模型的方法。

2 空中拦截机 CGF 系统智能决策模型建模

空中拦截机智能决策模型加载于空中拦截机平台系统上,通过空中拦截机的传感器系统实时获取必要的战场信息和各种数据,经过传输和融合等相关数据处理后,实现目标识别和跟踪,并把处理后的数据作为本系统必要的决策数据信息,专家系统依靠这些信息,通过搜索规则集中的规则,来完成定性的知识推理和定量的模型计算,形成一个有机的决策整体,从而为空中拦截机形成智能决策方案,进行有效地拦截和规避的决策行为。该系统主要由实体模型和智能决策模型两部分组成^[5]。如图 1 所示。

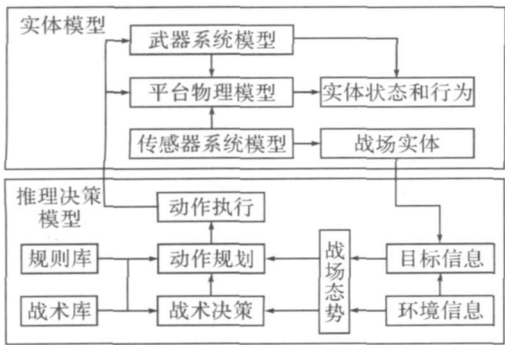


图 1 空中拦截机 CGF 系统智能决策模型组成

2.1 空中拦截机 CGF 系统的实体模型

在空中拦截机 CGF 系统中,实体模型包括空中拦截机物理平台模型、武器系统模型和传感器模型。

对于物理平台模型即空中拦截机,是一种固定翼飞机,构建简化模型的性能指标包括最小飞行速度、最大飞行速度、未加燃油的重量、加油后的重量、最大推力、耗油率、飞机的总面积、阻力系数、最大升力系数、最大转向加速度、最大旋转角速度和雷达反射面积(RCS)。

对于武器系统使用空对空导弹系统,导弹使用简化的空对空被动寻的导弹,依靠目的地、旋转加速度和空气动力学来使得导弹沿着它预定的飞行路径飞行。导弹模型分成运动模型和制导模型两部分。运动模型使用基本飞行方程使导弹飞行,制导模型控制着导弹的机动。

导弹运动模型使用基本的飞行方程,以最大的功率推动导弹,当导弹的飞行时间达到导弹的燃烧时间时,它将无推力惯性滑行,用于模拟导弹飞行

的方法是牛顿第二定律(即 $F = m \times a$, m 为质量, a 为加速度),根据牛顿第二定理算出加速度。

导弹模型的制导模型使用引导碰撞导航,引导导弹飞向碰撞点,即导弹与目标的预期交汇点,如果目标远离导弹航向超过 8° ,则该导弹以最大加速度沿最短路径转向目标,如果导弹撞击到地面,它将不再运动。导弹在下面四种情况下会发生爆炸:击中目标、目标远离导弹航向大于 90° 、导弹飞行时间超过了引擎燃烧时间和目标的视线角大于导弹最大视线角。构建简化模型的性能指标包括导弹飞行的最大速度、最小的发射距离、最大的发射距离、导弹中燃料的总重量、未加燃料的净重、最大装载系数、总推力、导弹引擎的燃烧时间、导弹的截面积、导弹最大飞行时间、导弹能够跟踪目标的最大视角、射击效果。

对于传感器系统模型,包括简化的跟踪雷达。简化的跟踪雷达在一定的虚警概率下,依据雷达探测方程,实施对跟踪雷达的功能仿真。

2.2 空中拦截机 CGF 智能决策模型

在空中拦截机 CGF 智能决策模型中,把专家系统和决策支持系统结合,形成智能决策模型,专家系统辅助决策的方式属于定性方式,决策支持系统辅助决策的方式属于定量分析,专家系统结构中的核心部分由“推理机、知识库和动态数据库”三部件组成^[6]。知识库存放大量的专家知识;推理机完成对知识的搜索和推理;动态数据库存放已知的事实和推理出的事实和结果。

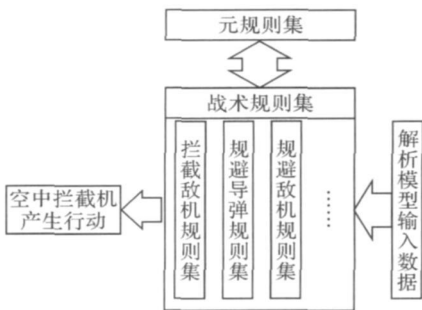


图 2 空中拦截机决策规则集组成

利用产生式规则知识在推理时,既要进行大量知识的搜索,又要对规则前提加以匹配。由于决策的内容多,实时性要求很高,需要按使用对象、时机和条件划分不同的规则集^[7],因此包含一个元规则集;对于每一个规则,需要得到规则的调用条件,对规则的前提加以匹配这就需要首先计算模型输入数据,察看模型输入数据究竟符合哪项规则,通过调用规则集中的规则得到输出结果,因此包含一个

解析模型输入数据; 处理某一个问题的规则集中, 还有规则的使用顺序问题, 采用规则的排列顺序来描述, 在实际使用中使用适当的推理方法调用规则库中的规则^[8]。空中拦截机决策规则集组成如图 2 所示。

根据基于 Agent^[9] 建模思想, 可以将单个空中拦截机实体看作一个 Agent, 空中拦截机 CGF 智能决策模型的构建主要是涉及个体 Agent 模型, 要构建空中拦截机的智能决策模型, 即进行行为建模, CGF 行为模型包括军事思想及战术运用规则的有效表达、路线规划、任务制定、控制命令等的建模和遭遇事件后的反应建模等。空中拦截机 CGF 实体应该采取什么样的动作行为并不能预先确定, 而是需要根据当前敌我态势情况适时做出决策, 空中拦截机利用传感器获取战场环境接受外界信息, 然后分析战场环境和敌我态势, 进行威胁评估, 采用基于规则的推理系统(产生式系统), 匹配规则库中的规则, 制定相应的策略, 进而实现相应的动作, 图 3 给出了基于 Agent 的智能决策建模框架。

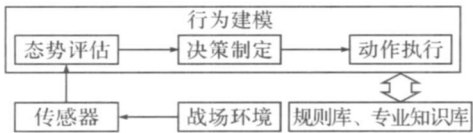


图 3 基于 Agent 的智能决策建模框架

空中拦截机的决策模型主要包括两部分, 一部分是空中拦截机进行空中拦截的行为建模, 另一部分是空中拦截机规避敌方的行为建模。

2.2.1 拦截敌机行为建模

空中拦截机的主要目的就是拦截敌方飞机, 与其进行交战并击落敌机, 主要分七个过程来实现。

过程一: 威胁评估, 首先设定参数, 威胁距离 $RANGE = 15000m$, 最大截击时间 $CLOSING_TIME = 90s$, 在没有交战和规避导弹的情况下, 检查武器系统是否可用, 开启跟踪雷达开始搜索目标, 发现敌方飞机, 得到敌方飞机和我空中拦截机的距离, 如果该距离小于预先设定的威胁距离 $RANGE$, 则敌方飞机对我空中拦截机产生威胁, 根据敌我位置和敌我飞机的速度, 计算出截击敌方飞机所需要花费的时间, 如果敌方有多架飞机, 则找出拦截时间花费最短的敌方飞机, 如果该拦截时间小于预先设定的最大拦截时间 $CLOSING_TIME$, 则命令我空中拦截机飞向该敌方飞机, 确定该敌机位置为初始目标点。

过程二: 飞向初始目标点, 在空中拦截机没有

交战或没有规避导弹的情况下, 首先算出空中拦截机到敌方飞机点的方向, 控制拦截机平台飞向初始目标点, 一旦我们足够靠近原始目标点, 命令空中拦截机开始获取目标。

过程三: 获取目标, 设定获取目标距离 $EngDistance = 10000m$, 跟踪雷达继续搜寻目标, 发现敌方飞机, 得到敌方飞机和我空中拦截机的距离, 当该距离小于获取目标距离 $EngDistance$ 时, 命令空中拦截机挑选目标。

过程四: 挑选目标, 首先设定挑选目标距离 $RANGE = 10000m$, 截机时间门限 $CLOSING_TIME = 60s$, 当空中拦截机没有规避导弹或者没有交战时, 利用跟踪雷达更新空中目标, 重新搜索敌方目标, 发现敌方飞机, 得到敌方飞机和我空中拦截机的距离, 如果该距离小于预先设定的挑选目标距离 $RANGE$, 则根据敌我位置和敌我飞机的速度, 计算出截击敌方飞机所需要花费的时间, 如果敌方有多架飞机, 则找出截击时间花费最短的敌方飞机, 如果该截击时间小于预先设定的截机时间门限 $CLOSING_TIME$, 则命令空中拦截机与该敌方飞机进行交战行动。

过程五: 进行交战, 开启空中拦截机的武器系统, 武器系统锁定敌方飞机, 根据跟踪雷达获得的敌方飞机数据, 判断敌方飞机是否在我空空导弹攻击范围之内, 如果敌方飞机在我空空导弹攻击范围之内, 则产生交战信息, 命令武器系统发射导弹。

过程六: 发射导弹。根据生成的交战信息, 包括敌方飞机的各种信息和己方武器信息, 武器系统根据这些交战信息, 对目标发射导弹, 之后命令空中拦截机进行毁伤评估。

过程七: 毁伤评估。得到交战的结果, 检查敌方飞机是否毁伤。

具体流程见图 4。

2.2.2 拦截机规避动作建模

空中拦截机在飞行过程中可能遭遇敌方的攻击, 这就需要空中拦截机进行规避动作, 规避敌机和导弹的行为建模主要分两步进行。

第一步: 发现敌方导弹。首先由雷达发现敌方飞机动作, 得到目标的水平方位角、垂直方位角和距离, 命令空中拦截机开始规避。

第二步: 做出相应的规避动作。首先终止所有的交战行动, 当导弹发射者在我前方时, 进行规避尽量让导弹发射者保持在我体轴线的 90° 方向直到

(下转第 30 页)

5 结语

本文针对文献[1] 中对高炮武器系统作战效能计算与实际情况存在一定出入的情况, 对计算模型进行了改进, 对系统可能存在的状态进行了细化, 使之更加符合作战实际。然而模型存在很大的局限性, 文中没有考虑装备可修复的情况, 对于某些高炮系统而言, 由于可能的状态数太大而不宜使用此模型。尽管如此, 本文仍然可以为基于 ADC 模型武器系统作战效能的计算提供一定的思路。

(上接第 6 页)

有敌方导弹被探测到, 然后进行规避保持导弹在我体轴线的 90° 方向; 当攻击者在我后方时, 进行规避尽量让空中拦截机飞离导弹发射者直到有导弹被探测到, 然后进行规避使空中拦截机飞离敌方导弹。

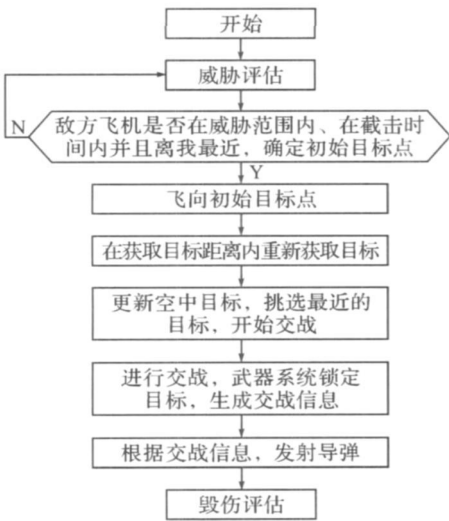


图 4 拦截敌机行为建模流程

3 结语

CGF 实体智能化的研究是 CGF 领域的一个研究热点, 但采用智能决策模型实现 CGF 行为建模却是 CGF 系统的难点。本文在介绍空中拦截机 CGF 系统智能决策模型的过程中, 取得了以下成果:

1) 详细介绍了空中拦截机 CGF 系统智能决策模型的仿真实现方法。

参考文献

[1] 朱雪平. 防空兵作战效能分析[M]. 郑州: 防空兵指挥学院, 1998

[2] 甘茂治, 等. 军用装备维修工程学[M]. 长沙: 国防工业出版社, 2005

[3] 郭齐胜, 鄧志刚, 杨瑞平, 等. 装备效能评估概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005

[4] 陈学楚, 张诤敏, 陈云翔, 等. 装备系统工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005

[5] 康建设, 高崎, 甘茂治. 军用装备可靠性与维修性工程[M]. 石家庄: 军械工程学院, 1999

2) 充分考虑了空中拦截机 CGF 系统仿真的特殊要求, 同时进行了相应的简化, 仿真结果表明简化模型效果比较理想, 能够很好地给出单级指挥员的决策。

进一步的工作是对 CGF 技术与基于 Agent 建模技术做深入的研究, 提高系统的自治性, 增强模拟系统的真实性。

参考文献

[1] 张立友, 唐晓明, 郭齐胜. 舰艇 CGF 系统智能推理决策研究[J]. 计算机仿真, 2006, 23(6) : 37~ 40

[2] 郝成民, 刘湘伟. 电子战 CGF 系统的设计与建模[J]. 计算机仿真, 2006, 23(1) : 33~ 35

[3] 裴宏, 宋丽, 吴迪. 基于 Agent 的坦克连 CGF 系统智能机动模型研究[J]. 装甲兵工程学院学报, 2007, 21(2) : 20~ 23

[4] OneSAF Co-development Lab. OneSAF Users Conference 2008, 4[DB/ OL]

[5] 郭齐胜, 杨立功, 杨瑞平. 计算机生成兵力导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006

[6] 陈文伟, 廖建文. 决策支持系统及其开发[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008

[7] 徐光, 秦前付. 空军战役仿真智能决策模型[J]. 武汉理工大学学报, 2003, 25(3) : 51~ 54

[8] 郝成民, 刘湘伟, 胡波. 基于 Agent 的电子战 CGF 建模研究[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(10) : 2321~ 2326

[9] 沈宇军, 桑景瑞, 王向飞. 基于多 Agent 的聚合级装备保障 CGF 系统研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(13) : 237 ~ 239