

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.01.014

# 空军战役训练仿真系统体系结构及典型模型研究

石玉峰, 蒲建春

(中国电子科技集团 第二十八研究所 博士后站, 江苏 南京 210007)

**摘要:** 为提高空军战役训练的针对性和训练质量, 采用计算机仿真技术进行空军战役训练。从技术框架、软件组成、应用模式 3 个方面描述了空军战役训练仿真系统的体系结构; 并概要介绍了战役战术指挥、飞机作战、地空导弹作战等典型仿真模型。结果表明, 该技术能有效提高指挥班子的组织筹划能力、指挥控制能力和随机应变能力。

**关键词:** 战役训练仿真; 仿真模型; 体系结构

**中图分类号:** N945.12; TP391.9 **文献标识码:** A

## Research on System Architecture and Typical Models of Air Force Campaign Training Simulation System

SHI Yu-feng, PU Jian-chun

(Postdoctoral Workstation, No. 28<sup>th</sup> Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** In order to improve pertinence and quality of air force campaign training, computer simulation is used to training. Air force campaign training simulation system's architecture is described from technology architecture, soft component and application method. Typical simulation models such as campaign tactics command, fighter aviation combat, and surface to air missile combat are introduced briefly. The application results show the technology can enhance commander's capability of plan and prepare, command and control along with wittiness.

**Keywords:** Campaign training simulation; Simulation models; System architecture

### 0 引言

自美军于 20 世纪 60 年代首次利用计算机进行作战仿真以来, 计算机仿真技术在作战、训练、后勤保障等方面得到发展。尤其是在伊拉克战争后, 为加快军队转型, 美军借助计算机仿真技术对未来战争进行逼真再现, 建立了美国参谋长联席会议兵力结构、资源和评估部、美国国防部国防建模与仿真办公室 (DMSO) 和美国联合部队司令部联合实验局等部门实现对作战、保障等分析与评估。目前, 仿真研究的重点是构建大型仿真系统, 进行体系对抗仿真。鉴于空军战役训练在各级指挥所军事训练的重要地位, 如何提高训练的针对性和训练质量, 是当前训练改革的重点。由于计算机仿真具有低成本、可重复实验、可视化效果好等特点。故对空军

战役训练仿真系统体系结构及典型模型进行研究。

### 1 系统体系结构

#### 1.1 系统技术框架

空军战役训练仿真系统是包含多类仿真实体、多种指挥流程、可人机交互的复杂军事仿真系统, 采用高层体系结构 (High Level Architecture, HLA) 进行构架是一种比较好的方法。基于 HLA 的仿真技术框架如图 1。其核心思想就是通过计算机网络, 将分布于不同位置的仿真设备 (计算机) 和相关成员 (各功能单元仿真软件) 以仿真联邦的形式有机地联接, 形成一个统一的联邦整体, 通过运行支持框架 (Run Time Infrastructure, RTI) 进行信息交换, 形成一个时空一致, 人机交互的综合仿真环境。

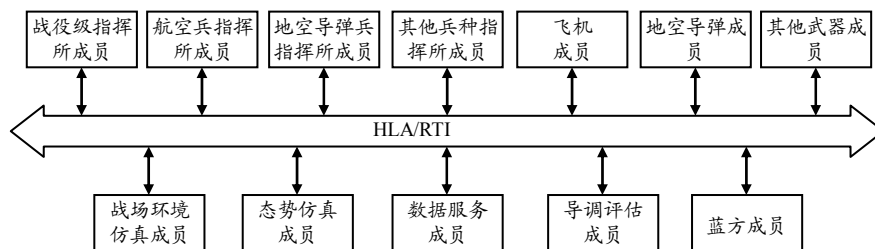


图 1 仿真技术框架

收稿日期: 2009-07-28; 修回日期: 2009-09-02

作者简介: 石玉峰 (1973-), 男, 四川人, 高工, 西南交通大学博士, 从事信息系统总体技术研究。

## 1.2 系统软件组成

系统软件主要由软件环境、共性服务、专用服务和应用系统软件组成。其中,软件环境由操作系统、数据库管理系统和其它办公软件构成;共性服务软件由软件集成框架、数据集成框架等基础服务、业务通用服务构成;专用服务软件基于共性服务软件之上,为仿真系统提供关键支撑,包括通用仿真服务、态势仿真服务、导调服务、评估服务等;应用系统软件主要有文电、标绘、引导解算、诸元计算、态势显示等软件,用于空军战役级指挥所及航空兵、地空导弹兵指挥所指挥班子和导调人员进行想定设计、导调评估、筹划计划、指挥控制等。

## 1.3 系统应用模式

系统应用方式主要有程序性训练和有蓝方(假想敌)参与的对抗性训练。

程序性训练由导演部设定想定,各参训指挥所按程序进行指挥作业,包括敌情判断、任务理解、作战计划、文书拟制、要图标绘等。同时,导演部根据作战规则和训练大纲,对指挥所训练成绩及相关作战计划进行评估。

对抗性训练由导演部设定初始想定,红、蓝方进行指挥作业,同时对各自虚拟兵力进行实时指挥控制,导演部以人工参与加自动方式对双方对抗结果进行评估,如空战评估、对地突击评估、防空导弹拦截评估等。

在 2 种训练方式下,导演部都可进行计划导调与随机导调,人工干预训练进程及作战结果,都可记录、重放训练过程。

## 2 典型仿真模型

### 2.1 指挥仿真

指挥仿真主要用于仿真空军战役级指挥所和下属航空兵、地空导弹兵等指挥所的指挥活动。包括:指挥所等级转进仿真、航空兵指挥仿真和地空导弹兵指挥仿真等。

#### 1) 指挥所等级转进仿真

指挥所等级转进仿真是指根据训练想定,以人机结合或计算机全自动仿真方式,按战备规定或指挥所实际能力,模拟指挥所等级转进。如以时间驱动模拟某类指挥所在 XX 分钟实现 X 等转 X 等,并显示各指挥分队的状态及相关作战信息。

#### 2) 航空兵指挥仿真

航空兵指挥仿真用于空军战役级指挥所和航空兵指挥所 XX 分队进行领航计算和指挥引导。

#### (1) 领航计算

领航计算指在进行仿真训练时,根据作战任务和战场态势进行战役总允许出动量计算、兵力部署与使用计算、指挥引导容量计算、机场容量计算、截击(突击)兵力计算等<sup>[1]</sup>。

#### (2) 指挥引导

指挥引导是指挥所 XX 分队根据战场态势对飞机进行实时指挥控制。在进行仿真训练时,主要通过“三线”解算、出航解算、接敌解算和返航解算等实时引导解算和在态势图上推演、显示航迹来完成。具体解算内容<sup>[1-2]</sup>如下:

① “三线”解算指根据机场位置和空中态势,计算预定截击线、下令起飞线和一等战斗准备线。

② 出航解算指我机升空后,根据敌我空中态势,计算我机的航向、高度和速度。包括直线出航解算、曲线出航解算、空中等待解算和增速解算等。

③ 接敌解算指我机到达待战空域后与敌机配批,根据空中态势、武器性能及预设中距拦射或近距格斗战术,计算我机航向、高度和速度。

④ 返航解算指我机退出战斗后,根据我机位置及油量、天气等情况,计算我机返航的机场、航向、高度和速度。

#### 3) 地空导弹兵指挥仿真

地空导弹兵指挥仿真用于空军战役级指挥所和地空导弹兵指挥所的相关 XX 分队进行兵力部署、诸元计算和目标分配。

#### (1) 兵力部署

兵力部署指根据防空作战任务及武器性能、作战地域特性等,部署远、中、近程各型地空导弹战斗单元,形成最佳的火力拦射网。

#### (2) 诸元计算

诸元计算指在防空作战中,根据敌空情信息计算指挥所与部队等级转进线(指目标至指挥所的距离)、发射区、杀伤区、目标至发射区远界的时间、目标在发射区飞行时间、目标在发射区内可攻击次数等<sup>[2,4]</sup>。

#### (3) 目标分配

目标分配指根据诸元计算所得参数和兵力部署情况,进行目标分配,确定由哪个战斗单元(或哪种型号导弹)攻击那批目标,以及集火射击和转移火力方法。

#### (4) 火力控制

火力控制指根据目标分配情况,确定各战斗单

元发射导弹时机、数量、制导方法。

## 2.2 飞机作战仿真

飞机作战仿真包括飞行仿真、空战仿真、对地攻击仿真。

### 1) 飞行仿真

根据仿真要求, 飞机飞行仿真模型分为简单和复杂2种。简单模型是根据飞机性能数据, 按起飞、降落、平飞、高度机动、速度机动、航向机动、特技等动作分别建立相应解算模型, 主要用于计算处于自主控制方式下飞机的运动计算, 一般计算耗时较少, 可满足当有多批飞机仿真的要求。复杂模型主要依据飞机的技术参数建立动力学模型和运动学模型进行实时求解, 主要用于人工操控方式下飞机的运动计算, 其计算量很大。

### 2) 空战仿真

#### (1) 发现目标仿真

机载雷达搜索发现目标是一个随机事件, 即通过仿真计算发现目标的概率。该发现概率依赖于搜索区域、搜索时间和到目标的距离, 以及与目标的相对运动状态, 仿真步骤主要包括:

① 目标落入搜索区域概率。根据敌、我机位置, 机载雷达的探测距离、水平与俯仰区间确定。

② 机载雷达探测概率。主要包括计算信噪比、脉冲累积数、探测门限值、探测概率。

③ 识别目标概率。主要是在探测到目标的瞬间, 进行目标分辨, 通常当覆盖目标一定次数即认为完成识别。

最后得到发现概率, 公式<sup>[3]</sup>为:

$P_D = P_\lambda(1 - \exp(-\lambda_T P_x Q_{sh} t))$ 。其中,  $P_D$  为发现概率,  $P_\lambda$  为目标落入搜索区域的概率,  $Q_{sh}$  为在探测到条件下识别出目标的概率,  $t$  为雷达搜索的持续时间,  $\lambda_T$  为单位时间内平均接触次数。

仿真时, 产生一个 0~1 的随机数, 若小于等于发现概率  $P_D$ , 则认为发现目标。

#### (2) 截获攻击仿真

在雷达发现目标后, 空空导弹导引头截获目标, 构成攻击条件后发射导弹。其仿真计算过程为:

① 截获目标判断。在仿真时, 产生一个 0~1 的随机数, 若小于等于截获概率, 则认为已截获。其截获概率与空空导弹的导引头类型、目标距离、方位等条件有关。

② 攻击判断。若目标落在导弹可攻击区间内,

则认为构成攻击条件。

### (3) 空战效果仿真

以发射空空导弹为例, 其步骤为:

① 发射方式仿真。当截获目标构成发射条件后, 可一次发射一枚或两枚导弹。仿真时, 以产生 1 个 0~1 的随机数, 若小于等于 0.5 认为发射单发, 否则发射双发。

② 毁伤仿真。主要根据毁伤概率  $P_{hs}$  确定, 若单发发射, 其  $P_{hs} = P_m$ , 双发发射为  $P_{hs} = 1 - (1 - P_m)^2$ , 其  $P_m$  为单发导弹命中概率。仿真时, 以产生 1 个 0~1 的随机数, 若小于等于  $P_{hs}$ , 则认为击毁目标。

### 3) 对地仿真

对地攻击武器主要包括制导武器和非制导武器。使用制导武器一般是单机各自瞄准, 自行发射; 使用非制导武器通常以编队实施, 统一投弹。攻击毁伤目标类型可分为命中毁伤型与覆盖毁伤型。命中毁伤型主要依靠命中弹的爆破效率毁伤目标, 对单一目标通常采用命中毁伤。覆盖毁伤型主要依靠命中弹头爆炸形成的杀伤区域覆盖目标而毁伤目标, 对面状目标、集群目标通常采用覆盖毁伤。

以对机场跑道攻击仿真为例。机场跑道是一类特殊的面状目标, 毁伤目的是使敌机在一定时间内不能在跑道上起降, 即跑道上是否存在可供起降的区域, 仿真过程如下:

① 计算轰炸瞄准点数和连投间隔。

② 根据投弹情况产生模拟弹着点。

③ 判断突击效果。从左至右, 从下向上, 在跑道上截取最小起降区, 判断有无弹着点, 若存在无毁伤的最小起降区域, 则攻击失败, 否则成功。

通过多次重复模拟, 计算成功次数与总模拟次数比值得到攻击成功概率。

## 2.3 地空导弹作战仿真

地空导弹作战仿真包括飞行仿真、攻击仿真。

### 1) 飞行仿真

主要根据导弹的动力学模型和运动学模型仿真导弹从发射到击中目标(或自毁)的全过程, 方法同飞机飞行仿真。

### 2) 攻击仿真

导弹攻击仿真主要包括发现目标仿真、单发毁伤仿真、连续毁伤仿真。

#### (1) 发现目标仿真

(下转第 53 页)

[3] 司书宾, 孙树栋, 韩光臣, 等. 基于三角模糊数的综合保障评价指标权重分析[J]. 西北工业大学学报, 2004, 12(6): 659-692.

[4] 姜艳萍, 樊治平. 一种三角模糊数互补判断矩阵的排序方法[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(7): 34-36.

[5] 肖钰, 李华. 基于三角模糊数的判断矩阵的改进及其应用[J]. 模糊系统与数学, 2003, 17(2): 59-64.

[6] 韩庆兰, 杨涛. AHP 算法和三角模糊数在虚拟企业的盟

员选择中的应用[J]. 运筹与管理, 2003, 12(1): 17-21.

[7] Ling Wang, Jian Chu, Jun Wu. Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process[J]. International Journal of Production Economics, 2007, 107(1): 151-163.

[8] Leung L C, Cao D. On Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 124(1): 102-113.

\*\*\*\*\*  
(上接第 42 页)

### 2.5 综合评估

计算  $r_j w$  ( $w$  为 8 个评价指标对于目标的组合权重), 可得各受评者对评估目标(舰艇防空作战能力)的综合分如下:

$$r_1 w = 0.4233; r_2 w = 0.4500; r_3 w = 0.4186$$

$$r_4 w = 0.3981; r_5 w = 0.3896$$

其排列顺序为  $r_2 w > r_1 w > r_3 w > r_4 w > r_5 w$ , 即第 2 个方案综合防空作战能力最强。

### 3 结论

该方案克服了传统方案选择的不足, 解决了方案评选中无法定量分析的问题, 可减少主观因素的影响, 提高评估结论的准确性、科学性、可靠性,

为舰艇部队防空作战能力评估提供了有效的方法。

### 参考文献:

[1] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[2] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.

[3] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.

[4] 王清印, 王峰松, 左其亭, 等. 灰色数学基础[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.

[5] 吕艳辉. 基于 AHP 的灰色评估模型及其应用[J]. 火力与指挥控制, 2005(8): 80-82.

[6] 郭齐胜, 杨秀月, 王杏林, 等. 系统建模[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

[7] 肖斌, 陈军. 层次分析法在炮兵选择射击目标中的应用[J]. 四川兵工学报, 2008(2): 42-44.

\*\*\*\*\*  
(上接第 49 页)

主要包括对远方空情仿真、近方空情仿真以及作战单元本级制导雷达发现目标的仿真。

#### (2) 单发毁伤仿真

地空导弹的毁伤通常用杀伤概率或数学期望表示。其毁伤因素包括部队战斗力、指挥控制效率、射击条件、空战目标类型等有关。

单发导弹理论命中概率<sup>[3-4]</sup>:

$P_1^* = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi^*(y, z) f^*(y, z) G_0^*(y, z) dy dz$ , 其中  $\varphi^*(y, z)$  为制导误差概率密度,  $f^*(y, z)$  为引信启动概率密度,  $G_0^*(y, z)$  为目标条件下坐标杀伤规律密度。在仿真中可以采用简化模型:  $P_1^* = \zeta_d \zeta_j P_1$ 。其中,  $\zeta_d$  为电子干扰影响系数,  $\zeta_j$  为目标机动影响系数,  $P_1$  为单发导弹在正常条件下的命中概率。

#### 3) 连续毁伤仿真

当发射  $n$  枚导弹对单个目标攻击时, 其杀伤概率为:  $P^* = 1 - (1 - P_1^*)^n$ 。

可射击目标数量为:  $N = \text{int} \left[ 1 + \frac{t_{mff} - \Delta t(n-1)}{t_{zh} - \Delta t_{pc}} \right]$ 。

其中,  $t_{mff}$  为目标在发射区飞行时间,  $\Delta t$  为导弹发射间隔,  $n$  为导弹发射数量,  $t_{zh}$  为射击的转火时间,  $\Delta t_{pc}$  为目标的批次间隔。

消灭目标期望:  $M = \sum_{i=1}^N P_1^i$ 。其中,  $P_1^i$  为对第  $i$  个目标杀伤概率,  $N$  为可射击目标数。

### 3 结束语

该研究采用计算机仿真技术进行网上指挥作业和方案推演评估, 可有效提高指挥班子的组织筹划能力、指挥控制能力和临机处置能力。

### 参考文献:

[1] 郝金生, 余敏健. 军队指挥自动化指挥系统概论 - 指挥引导分册[M]. 北京: 军事科学出版社, 1995.

[2] 王凤山. 现代防空学[M]. 北京: 航空工业出版社, 2008.

[3] 徐浩军. 作战航空综合体及其效能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

[4] 来斌, 牛存良. 防空作战模拟与效能评估[M]. 北京: 军事科学出版社, 2005.