

基于作战仿真与演练的效能评估系统探讨

陈志航, 陈菲

(武汉数字工程研究所, 武汉 430074)

摘要: 检验作战体系效能, 采用目前流行的效能评估模型, 是人们通用的理论试验方法。但是, 这种理论试验方法存在着一定的局限性, 与贴近实战需求有较远的距离。为此, 美军为解决这一问题, 进行了许多革新式创举, 其中的红旗演练是最为成功的贴近实战需求效能评估方法的典范。从该典范中给我们重要提示, 建立健全好一套适合区域作战态势虚拟推演和在推演引导下的实兵演练的综合效能评估系统, 是指导提高作战体系中的作战指挥控制系统效能的重要手段和方法。

关键词: 仿真与演练, 模型配置, 综合效能评估

中图分类号: TP31

文献标识码: A

0 引言

在以网络信息中心为主的今天, 综合效能评估是检验作战体系最为有效的手段。能使综合效能评估发挥出有用的效果, 采用作战仿真与演练是综合效能评估的首选方法。因此建立健全好一套完整的综合效能评估系统, 是仿真应用与实兵演练相结合探索综合效能评估作用的主要对象之一。基于作战仿真与演练的效能评估系统包括有两部分组成, 即实际作战演练为主的战技效能评估和仿真作战态势推演为主的体系对抗效能评估。将这两部分的效能评估进行有机和有效的结合, 才能做出符合实际作战需求的效能评估结果。特别是能体现对体系作战时的评估, 即各作战指挥控制系统节点的独立、协同及联合防御作战及打击功能和性能发挥作用力的效果。

本文探讨的基于作战仿真与演练的效能评估系统内容主要是仿真与演练关系中, 配置好效能评估系统, 使它得出的结果更贴近于实战, 并在模型方法上的择优及选取中, 能相互关联, 上下一致, 并在不失真的状况下, 提供有用的己方作战效能评估结果报告。对于构建有效的静态仿真与动态演练相结合的, 能发挥出体系作战能量作用综合效能评估, 是现代作战环境中, 对武器装备、平台系统和作战体系应必备的模拟作战检测系统重要中的一环。

1 作战仿真与演练配置

作战仿真系统配置是静态评估武器装备或平台作战系统的一般性方法, 该方法尤其适用于单平台作战指挥控制系统。对于这种比较单一性的作战仿真方法效能评估方法, 目前已有长足进步, 并形成了较为符合严谨需求的各种作战仿真配置方法。但是, 对于能适合现代复杂信息条件下的多种类平台合成体系, 实行一体化联合协同作战综合效能评估的作战仿真配置, 目前是比较稀缺。因为, 要完整健全的配置, 必然会涉及到一些主观因素和不确定性问题。例如, 海空多平台舰机联合成体系的协同防空作战, 如果采用单一性的效能评估累加, 其结果会错误的反映作战指挥决策, 机、舰协同作战及武器装备联合作用等状况, 误导作战人员指挥战役、战术, 必然影响到整体的作战效能评估。如何配置好作战仿真, 特别是作战仿真与演练的一体化, 将形成的作战体系的主客观因素引入效能评估检验中, 应该具有更深层次的意义。为此, 先做好作战仿真系统配置是关键的第一步, 其次是适合配置作用关系的作战单元合成演练, 它能为作战体系给定实测的检验方法。当这种配置为一致性时, 最终的一体化效能评估才有符合实战的结果。

1.1 仿真与演练的态势模型配置

创建仿真态势模型, 需结合参与作战仿真与演练的实体为指标对象。通过这些对象的指标确定, 才能使仿真态势模型符合实际作战要求。而这些符合对象的模型包括有: 作战感知体系模型系统, 联合作战武器分配模型系统, 协同军事与区域作战流程逻辑规则模型系统, 互通、互联的信息交互操作可靠性保障模型系统, 及它们之间的实时重组模型系统。配置好仿真态势模型, 能为体系对抗战役级决策效能评估提供

有效的方法。而该方法的基础是作战感知体系模型系统和联合作战武器分配模型系统。

对于作战感知体系模型系统,需做出确定的是感知作战单元的航迹模型算法,为此,利用文献^[1]提供的描述,能很好地解释仿真目标运动产生的态势航迹,即在一个三维空间中的观测体与被观测体在运动时所形成的坐标方程,该方程至少需要提供有对大地参考的六个参数,分别是大地三维坐标值(x, y, z),运动三维姿态角(ψ, θ, γ)——偏航角、俯仰角和横滚角。其对应大地的三维坐标如图1所示。

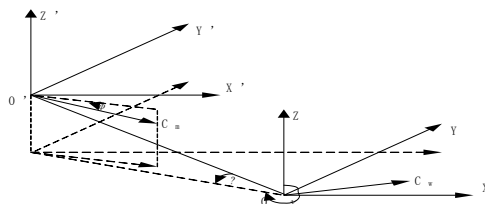


图1 观测体与被观测体的大地坐标示意图

在图1中,观测体与被观测体在单位时间内 Δt 移动的位置为:

$$S_x = (V_m \sin \theta \cos \gamma - V_o \sin \varphi) \Delta t + \frac{1}{2} a_m \sin \theta \cos \gamma \Delta t^2 \quad (1)$$

$$S_y = (V_m \cos \theta \cos \gamma - V_o \cos \varphi) \Delta t + \frac{1}{2} a_m \cos \gamma \Delta t^2 \quad (2)$$

式中的 S_x 为观测与被观测相对位移 x 方向分量, S_y 为观测与被观测相对位移 y 方向分量, V_m 为被观测航速, V_o 为观测航速。观测与被观测相对直角坐标系的坐标为:

$$\lambda_{\text{相对观测}} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta \cos \psi \sin \varphi \\ \cos \theta \cos \psi \cos \varphi \\ \cos \theta \sin \psi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} S_x \\ S_y \\ \Delta t (V_m \sin \gamma + \frac{1}{2} a_m \sin \gamma \Delta t) \end{pmatrix} \quad (3)$$

对于偏航角 ψ :速度矢量在水平面上的投影与预定航向之间的夹角,逆时针旋转为正。表达式为:

$$\psi = \psi_{\max} \sin \left(\frac{2\pi}{T_1} t + \varphi_1 \right) \quad (4)$$

ψ_{\max} —为最大偏航角, $\psi_1 \in (0, 2\pi)$ 。

对于俯仰角 θ :运动物体的纵轴与水平面之间的夹角,逆时针旋转为正。表达式为:

$$\theta = \theta_{\max} \sin \left(\frac{2\pi}{T_2} t + \varphi_2 \right) \quad (5)$$

θ_{\max} —为最大俯仰角, $\psi_2 \in (-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$ 。

对于横滚角 γ :运动物体在 y 轴上 z 与水平面之间的夹角,逆时针旋转为正。表达式为:

$$\gamma = \gamma_{\max} \sin \left(\frac{2\pi}{T_3} t + \varphi_3 \right) \quad (6)$$

γ_{\max} —为最大横滚角, $\psi_3 \in (-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$ 。

对于联合作战武器分配模型系统,可采用文献^[2]的描述,即“二级分配法”。第一级,指挥级分配,由指挥中心将目标分配到各配属单元;第二级配属单元级分配,是将指挥级分配的目标或在自己空域内感知到的构成威胁目标进行打击火力分配。

●指挥级的分配优化方案目标函数:

第一目标函数,使来袭目标对作战体系构成的威胁最小。

$$W_{\min} = \sum E_j \quad (7)$$

式中, E_j 表示 j 批目标没有遭到拦击的指示数。第 j 批目标未遭到拦击时,则 $E_j=1$,否则 $E_j=0$ 。

第二目标函数, E_j 使打击效果达到最大。

$$W_{\max} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S_j \cdot X_{ij} \cdot P_i \quad (8)$$

式中, S_j 为第 j 批目标的威胁程度加权系数; X_{ij} 为表示配属舰 i 对第 j 批目标拦击的指数,当第 i 个配属单元对 j 批目标拦击时 $X_{ij}=1$,否则 $X_{ij}=0$; P_i 为第 i 配属单元的杀伤概率。

●配属单元级的分配原则和优化分配目标函数与指挥级目标函数表达式相同。一般来说,一个配属单元的各火力间距较近,也可以采用简单的工程分配方法。其分配原则是:

I 按目标威胁排序,由高向低开始,依次分配;

II 以转火时间最短为准则。按照目标位置和最佳打击方位角,避开火力死角区选择。

III 使参战装备可提供的服务时间最长。

1.2 仿真态势模型特点

仿真态势模型特点,可根据文献^[3]给以描述,即模型是对现实世界中对象的一种抽象或仿真。对于作战仿真态势模型的特点,是对战场中各种情况的描述,具有如下性质:

- 可构造性—模型能通过方法与数据构造而成;
- 语义性—模型具有一定的抽象形式,但一般都具有语义背景,必须作出约束性描述等;
- 多样性表示—模型的抽象形式可以是数学的,也可以是非数学的,且它们在用户眼中和在计算机内部所表现的形式是不同的;
- 可编程性—仿真系统是一种计算机应用系统,其模型一定能用程序形式表示。

对于能发挥出作战作用的,能与作战演练相结合的仿真态势模型作用可分为:行为逻辑推演模型和实战对抗演练实施规范模型。必须指出,行为逻辑推演模型是指在抽象概念模型基础上构造的、在推演解算原理上是可行的,是充分考虑了模型总体逻辑、结构流程的合理性和实现的可行性;而实战对抗演练实施规范模型是指一个完全确定了模型,一个可实现的实在对抗模型,有具体的规范细节。

对于作战仿真态势中的行为逻辑建模内容包括:

- 运动学模型:目标航迹模型、目标毁伤程度航迹模型、战场环境中虚漏警生成模型;
- 军事规则模型:军事规则模型是以理论作战逻辑的推理能力作指标,在符合实际要求下,作规则性行为的模型。军事规则模型的推理能力来源于推理机制与作战军事规则。军事规则模型一方面在运行时可以动态增加,也可以把运行时得到的实体模型的属性值或者值与值的关系作为军事事实。推理的触发是由事件引起的。
- 效能评估模型:如计算群作战能力的效能评估模型,分析作战的效能评估模型;
- 行为表现模型:以地理信息为背景显示、在电磁干扰范围的目标行为感知态势显示等;
- 其他模型:根据实际问题和决策者要求运用各类子模型有机地结合起来的组合模型,在总体控制过程中,生成用以解决实际问题的综合模型。该模型的核心是一系列特定的符合规范控制操作,生成能满足规范需求的组合运算法则模型。

对于实战对抗演练实施规范模型的内容有:

- 具有属性、方法与事件;
- 实施规范模型之间具有继承关系、聚集和组合关系、交互关系;
- 实战对抗内容有雷达类、飞机类、导弹类、通信类、舰艇类等。

实战对抗演练实施规范模型中,各类实体在行为运行中,须严格执行规范要求的步骤过程,不允许也不能按人为意识进行规范的修改。

2 建立综合效能评估系统

效能评估是利用定性和定量相结合的方法进行分析、计算和评价系统或体系及系统或体系在执行任务时所能达到的预期目标和程度。根据作战仿真与演练为目的的效能评估系统,必须是适合要求的,能按体系总体、联合协同部门、具体实施单元和相关装备设施等的,由体至点的效能评估模型合成,并能进行相互关联、相互影响和相合作用。为此,通过一些效能评估模型描述,能为系统的建立提供所需的模型。

2.1 ADC 模型方法

ADC模型方法由美国(The Weapon System Effectiveness Industry Advisory Committee)提出。其定义是:效能是预期体系满足一组特定任务要求程度的度量,是体系可用性、可信性、固有能力3个指标的综合效能。其中的可用性,是开始执行任务时体系状态的度量;而可信性,是在已知体系开始执行任务时所处状态条件下,在执行任务过程中某个时刻或多个时刻时体系状态的度量;对于固有能力,则是在已知体系执行任务过程中所处状态条件下,体系达到任务目标的能力的度量。根据文献^[4]提供模型描述如下。

ADC效能评估模型方法的表达式为:

$$E = A \cdot D \cdot C \quad (9)$$

E 为体系效能； $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 为可用度向量， a_n 为开始执行任务时处于 n 状态的概率， n 为系统在开始执行任务时的状态数量；

D 为可信度矩阵：

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nm} \end{bmatrix} \quad (10)$$

矩阵中的 d_{nm} 是体系由初始状态 n 经历任务期间到任务结束时转移到状态 m 的转移概率，且满足 $\sum_{j=1}^n d_{nj}=1$ 。

C 为固有能向量：即体系处于可用及可信状态下能够达到任务目标的量度。对于固有能矩阵 C 的计算，在很大程度上取决于所评价的体系执行任务的程度。因此，在此体系中可视为一个 n 维列向量，即 $C=(c_1, c_2, \dots, c_n)^T$ ， c_n 为体系处于状态 n 时完成任务的概率或所能完成任务量。

2.2 指数模型方法

指数法的基本思想是将参与对抗体系的各种作战单元参数，按照可转换成比较的数值，进行一定算法的聚合计算，最后得到一个可量化描述作战体系效能的数值。根据现代作战体系特点和联合作战的要求，体系的作战能力划分为打击力、机动力、信息力、防护力、保障力五个分量；体系装备可划分为单项、平台、体系三个层次。同时根据体系离散信源的相似性，以不确定性的数量量化信息，构造联合协同作战态势模拟系统中的作战能力指数，即以体系作战效果的不确定性数量量化作战能力。文献^[5]给出下列模型描述。

●单项指数模型：

$$I_{sw} = - \sum_{i=1}^k p_i \cdot \ln(1 - p_i) \quad (11)$$

式中， I_{sw} 为单项作战基本指数， k 为单项作战可能的效果总数， p_i 为单项作战武器装备取得一种可能作战效果的作战概率。

●平台幂指数模型

$$I_{pw} = K \prod_{i=1}^m N_{si} I_i^{\alpha_i} \quad (12)$$

式中， I_{pw} 为平台各标量指数， N_{si} 为平台相同武器装备数目， K 为调整系数， m 为武器装备种类数目， $I_i^{\alpha_i}$ 为第 i 种武器装备指数， α_i 为幂指数权。

故平台幂指数模型可表示为

$$I_{\text{平台}} = \{I_{\text{打击}}, I_{\text{防护}}, I_{\text{机动}}, I_{\text{信息}}, I_{\text{保障}}\} \quad (13)$$

其中， $I_{\text{平台}}$ ， $I_{\text{打击}}$ ， $I_{\text{防护}}$ ， $I_{\text{机动}}$ ， $I_{\text{信息}}$ ， $I_{\text{保障}}$ 分别表示平台的作战能力指数、打击力指数、防护力指数、机动力指数、信息力指数和保障力指数。

●体系的聚合作战效能指数

体系的作战效能指数，是需要对基本作战单位的标量指数进行聚合。其效能指数可以看成是基本作战单位的标量指数的函数，每一项分力都可以看成是一个因素。故可建立数学模型如下：

$$I = K I_{\text{打击}}^{\alpha} I_{\text{防护}}^{\beta} I_{\text{机动}}^{\gamma} I_{\text{信息}}^{\delta} I_{\text{保障}}^{\psi} \quad (14)$$

其中， I 为整体作战能力， α ， β ， γ ， δ ， ψ 是各因素的幂指数权，由专家参加打分，采用计算编程得到结果。

2.3 SOA 模型方法

SOA 模型方法包含有运行环境、编程模型、架构风格和相关方法论，是整套全新分布式建模环境和软件系统构造方法，它覆盖了服务的整个生命周期“建模—开发—整合—部署—运行—管理”。它以“业务和信息技术相匹配”、“保持灵活性”和“松散耦合”为三大原则，以“支撑服务”为中心，为支持异构系统互联运行平台和编程语言的透明性，全向提供面向服务的构建环境接口。采用面向服务的效能评估，是 SOA 模型方法施与作战仿真与演练综合性效能评估的方式。为此，可根据文献^[6]提供的相关描述，健全该模型方法。

定义 1: 面向服务的架构 (Service Oriented Architecture, SOA) 以服务 and 共享为核心，基于开放的标准和协议，具有松散耦合、支持应用系统高效整合和业务流程按需应变的特点。

定义 2: 军事信息服务是指由分布在一体化军事网络上的各类军事信息资源（如各种侦察、探测设备、信息处理资源、通信资源、存储资源和火力打击武器等）及各军事信息系统构成的。以独立于平台的方式进行描述和封装的。具有独立行为逻辑和军事应用能力的功能单元。该功能单元即满足服务的技术规范，也具有一定的军事信息功能，能按照服务的调用规范实现一定的军事应用能力。

SOA 模型方法的基本步骤有：等级确定，即确定特征参量的选取。对于特征参量的选取应满足下列条件：

- 对抗前，特征参量在理论上应具有恒定性或连续性或一定程度的相关性；
- 对抗后，特征参量会发生较为明显的变化；
- 特征参量的提取及相关计算应满足实时性及运算处理的要求，确保作战人员有充足的决策时间。例如运用 SOA 模型对作战目标毁伤评估过程如下图所示。

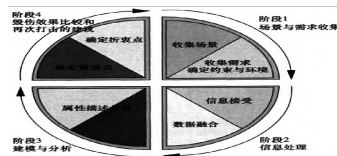


图 2 目标毁伤评估过程

对于图 2 的过程步骤分析是：

● **场景与需求：**它是实施毁伤评估的首要环节。在基于服务的基础上不同于以往直接调用战场上的传感器，而只需对战场态势提供一个服务请求，主要是对所需要的打击目标和战场态势发布一个服务要求，则由体系中的具体传感器进行侦察与监测，提取目标的外部特征信息、时空信息和属性信息等，并及时将观察的结果传回信息处理中心进行信息处理。

● **信息处理：**对所采集的目标毁伤信息具有不确定性、不完整性冗余和延时等特性，进行信息融合处理，以取定信息的可信性。

● **模型分析：**运用模型对目标毁伤数据的信息进行分析，利用正确的科学表达式描述对目标的毁伤状态进行评估。

● **毁伤效果比较和再次打击的建议：**分析得出的目标毁伤效果评估后，评估系统将打击的真实毁伤效果与任务规定的预期的毁伤效果进行对比，确定敏感点和折衷点，根据结果再建议是否继续火力打击建议。

3 结论

现代战争的突发性、立体性、复杂性和快速性等特点，决定了现代战争的对抗体系在战役、战术上的效能发挥，从而也大大的推动了作战体系的全面发展。作战体系发展及作战效能发挥的水平，能反映出一个国家的信息化健全程度。实现现有的作战系统及作战体系效能的发挥和对未来作战系统及作战体系发展方向的预测过程，都需要有一个较完善的效能评估系统进行预测。通过效能评估可以很好的利用现有装备、系统，并在现有能力上逐步提高技术进步和发展。本文所述的基于作战仿真的综合效能评估系统探讨，其实质是根据现有、在建、新研作战指挥控制系统的各自作用力通过仿真与演练时在综合效能评估中，进行有效机制的发挥、配合和组成为高实战性作战能力的有机体。特别是作战指挥控制系统在作战人员决策下的作战最大化效能发挥作用。

参考文献：

- [1]王义涛、张莉，虚拟海战场环境中的战斗过程仿真模型，舰船电子工程 2007 年第 4 期
- [2]潘长鹏、严建钢、陈洁，舰艇编队 C³I 系统对空防御作战仿真模型，火力与指挥控制 2008 年 1 月
- [3]刘宏芳、彭浩、郭连义，作战仿真系统中的模型管理方法，兵工自动化 2011-01
- [4]段守福、杨凯、汪军、徐慧，航空无线电通信系统作战效能评估，火力与指挥控制 2010 年 11 月
- [5]凌云翔、马满好、袁卫卫，作战模型与模拟，国防科技大学出版社 2006 年 10 月
- [6]陈鑫、陈洪辉、皇甫先鹏、罗雪山，基于 SOA 的目标毁伤评估研究，科学技术与工程 2011 年 10 月