

基于 AHP 的装甲装备机动模型聚合与解聚方法研究

陈庚申¹, 何新华¹, 张金强¹, 金国柱²

(1. 装甲兵工程学院 信息工程系, 北京 100072; 2. 空军后勤部, 北京 100072)

摘要:模型的聚合与解聚问题是多分辨率建模的核心问题之一, 聚合与解聚方法的好坏直接影响仿真模型的质量; 以装甲装备机动仿真模型为背景, 采用基于层次分析法的聚合与解聚方法, 详细论述了模型实体位置, 速度, 状态, 毁伤程度的聚合与解聚问题, 给出了面向实践的聚合与解聚方法, 最后验证了该方法的正确性。

关键词:多分辨率建模; 机动模型; 模型实体; 聚合与解聚; 层次分析法

本文引用格式:陈庚申, 何新华, 张金强, 等. 基于 AHP 的装甲装备机动模型聚合与解聚方法研究[J]. 四川兵工学报, 2014(8):46-50.

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2014)08-0046-05

Research on Aggregation and Disaggregation Algorithm of Armored Equipment Motion Model Based on AHP

CHEN Geng-shen¹, HE Xin-hua¹, ZHANG Jin-qiang¹, JIN Guo-zhu²

(1. Department of Information Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China;

2. Air Force Logistics Command, Beijing 100072, China)

Abstract: One of the core issues about multi-resolution modeling which needs to solve is the aggregation and disaggregation of models. The method of aggregation and disaggregation of models decides the quality of models. In this paper, the location, velocity, state and the degree of damage of models were discussed by a new method basic on AHP under the background which armored equipment maneuvering motion models. In the end, the practical applicability and validity of this method were given in detail.

Key words: multi-resolution modeling (MRM); maneuvering motion models; model entity; aggregation and disaggregation; AHP

Citation format: CHEN Geng-shen, HE Xin-hua, ZHANG Jin-qiang, et al. Research on Aggregation and Disaggregation Algorithm of Armored Equipment Motion Model Based on AHP[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(8):46-50.

建模仿真、理论推导与科学实验并称为三大认识世界的有效方法^[1]。建模仿真作为一种推进国防和军队现代化建设必不可少的手段, 在战争过程模拟推演和武器装备建模仿真方面都有重要的运用价值和实践意义^[2]。在建模仿真过程中, 当仿真对象模型具有多个层次时, 多分辨率建模无疑是最有效地解决问题的手段。

现代战争已经逐步演化为信息化条件下的高科技战争,

战争的手段和领域发生了深刻地变化, 涉及多兵种、多装备、多专业, 是一个体系工程。与之相对应的作战仿真模型也必然朝着层次繁多、种类各异的方向发展, 这就与多分辨率建模技术的应用前景不谋而合^[3]。如今, 多分辨率建模已经广泛应用于各种具有军事背景的仿真建模中, 逐渐成为解决军事模型构建的有效手段。多分辨率建模是一种通过从不同抽象层次或分辨率的条件下对同一系统、模型进行建模的过

收稿日期: 2014-04-24

作者简介: 陈庚申(1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事计算机仿真技术研究。

程或方法。其主要内涵是从不同的分辨率层次出发,就同一问题空间建立各仿真层次上能实现无缝对接的一组模型。目前国内外已提出多种多分辨率建模方法^[4],比较典型的有:视点选择法,多重表示法,一体化层次法,聚合-解聚法。

在解决武器装备建模仿真问题中,聚合-解聚法是最为有效的解决途径。但在聚合-解聚法的应用中,由于高层仿真系统需要的到低层系统元模型的支持,而元模型是根据低层仿真系统的高分辨率模型通过拟合得来,因此在保持仿真模型一致性^[5]的问题上一直存在难度。这也是聚合-解聚法需要突破的瓶颈问题。因此在检验仿真模型一致性的问题上应提出新的思路来予以解决。

1 基于 AHP 的模型聚合与解聚

在聚合-解聚方法中,通常会以模型实体的权重来确定聚合或者解聚的相对状态。例如,在实体位置的聚合时,会选取对整体作战能力影响最高的装甲装备的位置作为整个模型的聚合位置。但在实体权重的判断上,由于评价对象多、实体结构复杂,单纯采用主观判定权重的方法便显得过于简单,导致在聚合与解聚模型的过程中产生较大误差,最终影响模型的一致性。

AHP(层次分析法)把复杂的问题分解成若干个组成部分,又将这些组成部分按支配关系形成相应的递阶层次结构。通过部分间的两两比较来构建判断矩阵,求解判断矩阵的最大特征向量,在符合一致性检验的前提下,确定层次中各个组成部队之间的相对重要性。然后综合有关专家的判断,最终确定模型中各个实体,或实体中各个部分的权重。AHP体现了分解——判断——综合的思维特征,能较为准确的判断模型实体的权重。基于 AHP 方法判断机动模型的一般步骤如下^[6]:

1) 分析模型实体间或实体各组成间的关系,建立相应的递阶层次结构。在对装甲装备机动模型进行分析时,应遵循系统性、客观性、相对独立性、可评价性和定性定量相结合的原则,综合相关装甲装备机动模型的特点,将装甲装备机动模型递阶层次结构划分为三层:最高层(装甲装备机动模型 M)、中间层(一级指标 $F_i, i=1,2,3,\dots,m$)和最底层(二级指标 $F_{ij}, i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n_i$)。模型组成部分之间的递阶层次结构如图 1 所示。

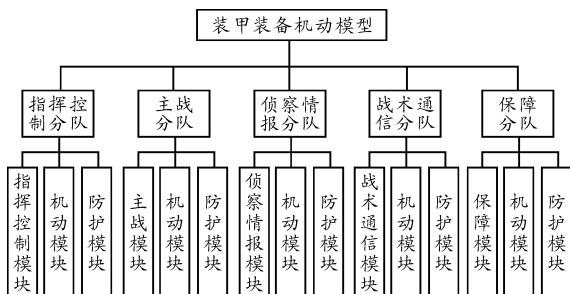


图 1 装甲装备机动模型递阶层次模型

2) 构建判断矩阵。由专家对模型中的各个组成部分依据 1~9 标度法进行指标间两两重要性比较,从而得出判断矩阵 R 。选择 1~9 之间的整数及其倒数作为 α_{ij} 取值的原因是,其符合人们进行比较判断时的心理习惯。此外,两两比较的次数应为 $n(n-1)/2$,这样可以避免判断误差的传递与扩散。标度定义如表 1 所示。

表 1 判断矩阵标度定义

标 度	含 义
1	两个部分相比,具有同样重要性
3	两个部分相比,前者比后者稍重要
5	两个部分相比,前者比后者明显重要
7	两个部分相比,前者比后者非常重要
9	两个部分相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值
倒数	两个部分相比,后者比前者的重要标度

由此标度表,对各个指标进行两两重要性比较,可得判断矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, α_{ij} 表示模型组成 i 与组成 j 的比较结果, $\alpha_{ij} > 0, \alpha_{ij} = 1/\alpha_{ji}$ 。

3) 由判断矩阵计算被比较组成在单一准则下的相对权重。在给出判断矩阵后,根据

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} W_j}{W_i} \quad (2)$$

其中

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}, i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

求出判断矩阵的最大特征根 λ_{\max} 和特征向量 ω_i ,使得 $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ 。其中 n 为组成部分个数, ω_i 为第 i 个组成部分的相对重要程度,该特征向量即为相应元素对于目标的组合权重。

4) 误差分析和一致性检验。由于客观事物自身的复杂性和人的认识的局限性,对事物的观察过程中,完全一致的判断往往难以实现,一般只需近似的满足一致性即可。同时,由于判断矩阵是决策者主观得到的,这就不可避免的会带有误差。因此,在得到判断矩阵的最大特征根和特征向量后,需要对结果进行误差分析和一致性检验^[6-7]。在对其一一致性检验时,首先计算一致性指标 $C.I.$,公式为

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

其中, n 为判断矩阵 R 的阶数, λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征根。随后, 查找相应的平均随机一致性指标 $R.I.$ (Random Index)。 $R.I.$ 是同阶随机判断矩阵的一致性指标的平均值, 其引入可在一定程度上克服一致性判断指标随 n 增大而明显增大的弊端。表 2 给出了 1~11 阶正互反矩阵计算 1 000 次得到的平均随机一致性指标。最后, 计算一致性比例 $C.R.$, 公式为

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (5)$$

若其值小于 0.1, 则认为判断矩阵 R 的一致性属于可以接受的范围, 当值大于或等于 0.1 时, 表示结果与实际不相符, 应对矩阵进行适当修正, 并重新进行计算判断, 使之满足一致性条件。

表 2 平均随机一致性指标 $R.I.$

n	1	2	3	4	5	6
$R.I.$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26
n	7	8	9	10	11	
$R.I.$	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	

5) 计算各层元素对系统目标总排序权重。在计算出第 k 层组成的相对权重后, 假设已知第 $k-1$ 层组成对于总目标的权重向量 ω_{k-1} , 第 k 层对于上一层第 j 个组成为准则的排序权重为 $q_j^{(k)}$, 那么第 k 层上各个组成对总目标的合成排序为

$$\omega^{(k)} : \omega^{(k)} = q_j^{(k)} \omega^{(k-1)} \quad (7)$$

随后, 同样需要对结果进行一致性检验, 以满足与实际一致的要求。

6) 由权重计算相应的聚合与解聚实体模型。以装甲装备机动模型为例, 综合考虑装甲装备在机动过程中的 6 个主要组成部分: 指挥控制分队、侦察情报分队、主战分队、电子对抗分队、保障分队、战术通信分队。在评估模型中, 各级评估量化的指标和权重确定后, 便可对模型进行聚合与解聚的相关操作。其评估函数可以表述为

$$S = A_1\omega_1 + A_2\omega_2 + A_3\omega_3 + A_4\omega_4 + A_5\omega_5 \quad (6)$$

式(6)中 A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 分别表示模型中二级指标的 5 个组成部分, ω_k 表示其在总模型中的相应权重。

2 基于 AHP 的装甲装备机动模型

在真实的战争过程中, 战争参与者特别是其所拥有的装甲装备的机动问题始终关系到战争的局部走向, 一场局部战役的成败有时甚至影响整个战争的结果, 因此有必要将装甲装备的机动问题在这里做详细的讨论。多分辨率装甲装备机动模型往往涉及模型实体的数量、位置、速度、状态以及模型毁伤程度等问题。这就往往需要从模型聚合与解聚的角度来解答这些问题。

2.1 模型位置的聚合与解聚

实体位置的聚合与解聚是装甲装备在多分辨率机动模型中最为常见的情况。设 $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ 为高分辨率模型中 $n(n \geq 2)$ 个装甲装备实体, 其在地心坐标系中的坐标分别为 $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2), \dots, (X_n, Y_n, Z_n)$, E 为 E_1, E_2, \dots, E_n 聚合而成的模型实体, 其坐标为 (X, Y, Z) 。由层次分析法可得各个高分辨率实体相对于总体的目标权重分别为 ω_k 。则在对其高分辨率实体的位置进行聚合时, 可通过加权和方法得到其低分辨率模型实体的位置, 即:

$$X = \sum_{i=1}^n \omega_i X_i \quad (8)$$

$$Y = \sum_{i=1}^n \omega_i Y_i \quad (9)$$

$$Z = \sum_{i=1}^n \omega_i Z_i \quad (10)$$

相反, 由低分辨率模型位置解聚得到高分辨率模型位置坐标时, 情况则会相对复杂一些。这是因为要考虑模型实体的编组形式和间隔距离。在实际情况中, 装甲装备在机动行军过程中一般按照等间距进行机动, 因此设聚合实体在坐标为 (X, Y, Z) , n 台装甲装备之间的机动间距为 l , 行军路线为直线, 行军路线与地心坐标轴的夹角分别为 α, β, γ 。则对实体的解聚细分为 2 种情况:

1) n 为奇数时, (X, Y, Z) 就是第 $(n+1)/2$ 个装甲装备仿真实体的坐标, 则在此行军路线上, 第 $i + (n+1)/2$ 个仿真实体的位置为 (X_i, Y_i, Z_i) (其中 $i = -((n-1)/2), \dots, (n-1)/2, i$ 为整数), 则有

$$x_i = x(1 + il\cos\alpha) \quad (11)$$

$$y_i = y(1 + il\cos\beta) \quad (12)$$

$$z_i = z(1 + il\cos\gamma) \quad (13)$$

2) n 为偶数时, (X, Y, Z) 就是第 $n/2$ 个装甲装备仿真实体的坐标, 则在此行军路线上, 第 $i + n/2$ 个仿真实体的位置为 (X_i, Y_i, Z_i) (其中 $i = -(n/2) - 1, \dots, (n/2) + 1, i$ 为整数), 则有

$$x_i = x(1 + il\cos\alpha) \quad (14)$$

$$y_i = y(1 + il\cos\beta) \quad (15)$$

$$z_i = z(1 + il\cos\gamma) \quad (16)$$

2.2 模型速度的聚合与解聚

速度是既有大小又有方向的矢量, 因此在考虑对其进行聚合与解聚时应充分考虑这两面的因素。在对速度进行低分辨率聚合时, 可根据层次分析法确定模型中所在权重最大的装甲装备, 用其速度直接替换成聚合后模型的速度, 即 $v = v_i, v_i$ 表示模型中所占权重最大实体的速度。在对速度进行高分辨率解聚时, 在对模型精度要求不高的情况下也可依据此思路, 依据整体的速度来代替各个实体的速度。

2.3 模型状态的聚合与解聚

实体状态是实体模型的重要组成部分之一, 状态的聚合与解聚主要指实体模型在不同抽象层次下状态之间的映射过程。根据作战模拟系统的控制机理, 作战模拟系统的运行

过程就是在系统模型的支撑下,周期性地更新实体的状态,从而推动仿真连续运行的过程。因此准确把握模型实体的状态变化具有重要意义。一般情况下,模型在解聚时,其个体的状态会相应的增加,而当模型聚合时,需要对状态进行压缩和分割,其状态则会相应减少。就本模型而言,模型实体的状态主要包括:前进、停止、后退、转弯等状态。设 n 个实体 $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ 的状态分别为 S_1, S_2, \dots, S_n , 聚合实体 E 的聚合状态为 S 。在进行具体分析时,一般将状态的聚合与解聚分为以下 2 种情况^[8]:

1) 同种状态的聚合与解聚。所谓同种状态是指模型中的实体处于同一任务状态下,这种情况下模型的聚合与解聚比较简单。在模型聚合时,可直接将 n 个实体 $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ 的状态直接转换为聚合实体 E 的状态,即

$$S_1 = S_2 = \dots = S_n = S \quad (17)$$

在进行模型解聚时,同样可以将聚合实体 E 的状态直接转换为 n 个实体的状态,即

$$S = S_1 = S_2 = \dots = S_n \quad (18)$$

2) 异种状态的聚合与解聚。当参与聚合与解聚的模型实体状态不相同,这时就是异种状态的聚合与解聚问题了。在对模型进行聚合时,可先将模型中的各个实体运用层次分析法确定其权重,然后根据关键实体状态决定法来确定聚合后模型的状态。设 n 个实体 $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ 的状态分别为 S_1, S_2, \dots, S_n , 其中关键实体的状态为 S_i , 则聚合后实体的状态 $S = S_i$ 。在解聚时,这类问题一般比较复杂,需要多种约束条件,但较为简单的做法是将运用关键实体状态决定法得出的聚合状态直接转换为模型解聚后各个实体的状态,即

$$S_1 = S_2 = \dots = S_n = S_i \quad (19)$$

2.4 模型毁伤程度的聚合与解聚

在装甲装备机动模型仿真中,模型的毁伤程度是一个不可忽略的部分。模型毁伤程度仿真的好坏很大程度上影响模型的质量。因此在多分辨率建模中,毁伤程度的聚合与解聚是一个必须解决的重要问题。但在装甲装备机动模型中,由于各个实体对于整体的重要性和其自身毁伤程度的差异,在进行模型毁伤程度的聚合与解聚时不能进行简单的运算,而需要对其进行有针对性的详细分析。因此,在对毁伤程度进行聚合与解聚时同样应运用层次分析法确定各个实体的权重,随后在分别进行计算。

1) 模型毁伤程度的聚合。设 n 个实体 $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ 的状态分别为 D_1, D_2, \dots, D_n , 聚合实体 E 的毁伤程度为 D 。由层次分析法可得各个高分辨率实体相对于总体的目标权重分别为 ω_k 。则目标聚合实体的毁伤程度可表示为

$$D = \sum_{i=1}^n \omega_i D_i, \text{ 其中 } 1 \leq i \leq n \quad (20)$$

2) 模型毁伤程度的解聚。在进行解聚时,由于各个模型实体相对于总体的目标权重 ω_i 可根据层次分析法求得,因此各个实体的毁伤程度便可依据此权重分别求出。设聚合实体 E 的毁伤程度为 D , 解聚后 n 个实体 $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ 的状态分别为 D_1, D_2, \dots, D_n 。则

$$D_i = \omega_i D \quad (21)$$

3 模型实现与验证

通过上述方法论证,以某装甲装备机动模型为例,具体阐述其模型的聚合与解聚方法。

1) 构建判断矩阵。根据装甲装备机动模型的具体情况,在征求专家意见和相关人员的基础上,就层次分析法中的各个组成部分进行两两分析比较,构造判断矩阵。首先对二级指标层的 5 个指标对一级指标层可构成 1 个判断矩阵,第三层指标可对第二层指标构成 5 个判断矩阵。一级指标对于总体目标的判断矩阵 R_1 如表 3 所示。

表 3 判断矩阵

R_1	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	3	5	4	7
A_2	1/3	1	3	2	5
A_3	1/5	1/3	1	1/2	3
A_4	1/4	1/2	2	1	3
A_5	1/7	1/5	1/3	1/3	1

2) 计算判断矩阵最大特征值及特征向量。由上述判断矩阵可求得最大特征值 λ_{\max} , 再将矩阵每一列进行归一化处理后的比较矩阵按行相加得 $\bar{\omega}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}, j = 1, 2, \dots, n$ 。随后对向量 $\bar{\omega} = (\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \dots, \bar{\omega}_n)^T$ 进行正规化处理得到 $W = (w_1, w_2, w_3, w_4)^T$ 即为所求的特征向量。经计算可得:

$$W = \begin{bmatrix} 0.491 \\ 0.232 \\ 0.092 \\ 0.0138 \\ 0.046 \end{bmatrix}$$

3) 确定各组成部分权重一致性检验。由上述 W 可知,第二层指标相对于总体目标准则的权重依次为 0.491, 0.232, 0.092, 0.138 和 0.046。随后对所求权重进行一致性

检验,计算可得: $\begin{cases} C.I. = 0.032 \\ R.I. = 1.12 \\ CR = 0.028 \end{cases}$, 其中 $CR = 0.028 < 0.01$, 满足前提条件,所得数值是可信的。

最后依据此法求出三级指标相对于二级指标和总目标准则下的权重,这里由于篇幅所限不再一一列出。

4) 模型聚合与解聚。最后根据上述计算所得模型实体权重,分别推演多分辨率建模中位置,速度,状态,毁伤程度的聚合与解聚问题,实验表明:运用基于 AHP 的聚合与解聚法所得结果与传统方法比较贴近原始数值。本文选取最能反映此种特性的模型毁伤程度聚合与解聚的结果进行对比,如图 2 所示。

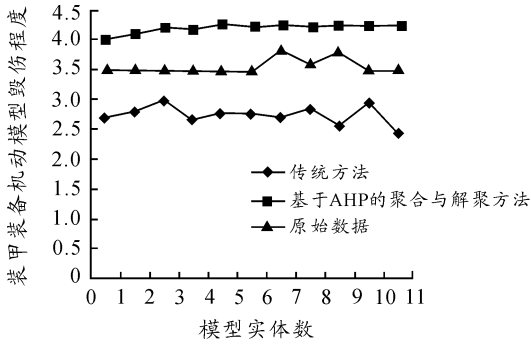


图2 基于AHP的聚合与解聚法与传统方法结果对比

4 结论

实体模型聚合与解聚的具体方法研究是多分辨率建模的核心内容之一。本文以装甲装备机动模型为研究背景,采用层次分析法来确定实体模型的相对权重,进而尝试解决多分辨率建模中实体模型聚合与解聚问题,随后给出了模型中具体问题的解决方法。这些方法可直接用于工程实践,对装甲装备的机动仿真问题具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] Davis P K, Bigelow J. Introduction to Multi-Resolution Mod-

eling (MRM) with an Example Involving Precision Fires [M]. Enabling Technology for Simulation Science (II), Proceeding of SPIE AeoroSense 1998. Orlando. Florid.

- [2] 杨峰, 王维平. 武器装备作战效能仿真与评估[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [3] 杨立功, 郭齐胜, 徐如燕. 多分辨率建模方法及其在分布交互仿真中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2000(4): 37-39.
- [4] 郭强, 毕义明. 多分辨率建模在联合作战仿真中的应用研究[J]. Command Control & Simulation. 2007, 29(6): 86-89.
- [5] 李志飞, 吴静. 多粒度建模方法分析及实例研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2011, 6(1): 72-76.
- [6] 汪应洛, 齐二石. 系统工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [7] 焦志强, 汪厚祥, 马良荔. 基于AHP的特种部队作战能力评估模型的研究[J]. Ship Electronic Engineering. 2008, 28(8): 47-50.
- [8] 李明忠, 毕长剑, 刘小荷, 等. 空军作战仿真模型聚合与解聚研究[J]. Journal of System Simulation. 2008, 20(14): 3679-3684.

(责任编辑 周江川)

(上接第38页)

参考文献:

- [1] 张红. 多用途无人驾驶水下航行体[J]. 水雷战与舰船防护, 1997(2): 21-25.
- [2] 钱东. 美国未来的大型UUV-MANTA[J]. 鱼雷技术, 2003, 11(1): 48-50.
- [3] 郭风水. 军用使命任务和装备性能分析[J]. 中国舰船研究, 2007, 2(5): 76-80.
- [4] 周杰. 无人水下航行器发射鱼雷初始弹道分析[J]. 武

汉: 海军工程大学, 2009.

- [5] 练永庆. 鱼雷发射装置设计原理[M]. 武汉: 海军工程大学, 2012.
- [6] 胡乾山. 电磁式鱼雷发射装置磁场研究[J]. 鱼雷发射与技术, 1991(1): 29-32.
- [7] 李克浮, 乔汝椿. 国外潜艇鱼雷发射装置的发展[J]. 鱼雷技术, 1998(4): 6-13.
- [8] 尹美方, 吴吉伟, 范剑. 舰用鱼雷发射装置通用化技术[J]. 四川兵工学报, 2012(12): 16-17.

(责任编辑 杨继森)