

8-7-2020

Application of Mutil-level Fuzzy Algorithm in IR Countermeasure Performance Integrated Evaluation

Li Fan

Shanghai Institute of Electro-Mechanical Engineering, Shanghai 201109, China;

Geng Xu

Shanghai Institute of Electro-Mechanical Engineering, Shanghai 201109, China;

Xiaojie Dong

Shanghai Institute of Electro-Mechanical Engineering, Shanghai 201109, China;

Zehua Hong

Shanghai Institute of Electro-Mechanical Engineering, Shanghai 201109, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Application of Mutil-level Fuzzy Algorithm in IR Countermeasure Performance Integrated Evaluation

Abstract

Abstract: In order to improve the evaluation precision of countermeasure of IR guidance systems, a new method was proposed. *The principle of multi-level fuzzy comprehension evaluation was analyzed, and a four level fuzzy comprehension evaluation was established.* The result of the example under different simulation conditions shows its effectiveness.

Keywords

IR guidance systems, IR countermeasure, fuzzy comprehensive evaluation, performance evaluation

Recommended Citation

Li Fan, Geng Xu, Dong Xiaojie, Hong Zehua. Application of Mutil-level Fuzzy Algorithm in IR Countermeasure Performance Integrated Evaluation[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(9): 2176-2180.

多层次模糊算法在光电抗干扰性能综合评估中的应用

李凡, 耿旭, 董效杰, 洪泽华

(上海机电工程研究所, 上海 201109)

摘要: 随着红外制导探测技术的飞速发展, 红外制导系统抗干扰性能评估已成为红外制导系统研究过程中急需解决的问题之一。结合某型红外制导系统, 利用层次分析法建立了评估指标体系, 将模糊算法应用于描述评估指标之间的重要程度, 比传统标度法能更好地体现不同指标重要程度的模糊性, 也一定程度上克服了人脑思维的局限性。算例结果表明该指标体系具有一定的使用价值, 该方法也提高了评估结果的可信度和准确性。

关键词: 红外制导; 红外抗干扰; 多层次模糊算法; 性能评估

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 09-2176-06

Application of Mutil-level Fuzzy Algorithm in IR Countermeasure Performance Integrated Evaluation

Li Fan, Geng Xu, Dong Xiaojie, Hong Zehua

(Shanghai Institute of Electro-Mechanical Engineering, Shanghai 201109, China)

Abstract: In order to improve the evaluation precision of countermeasure of IR guidance systems, a new method was proposed. *The principle of multi-level fuzzy comprehension evaluation was analyzed, and a four level fuzzy comprehensive evaluation was established.* The result of the example under different simulation conditions shows its effectiveness.

Keywords: IR guidance systems; IR countermeasure; fuzzy comprehensive evaluation; performance evaluation

引言

红外导弹制导控制系统是一个十分复杂的系统, 而抗干扰性能是红外制导导弹的关键技术指标之一, 如何对红外制导系统的抗干扰性能进行评定, 是目前红外制导导弹面临的最严峻的问题。

战术导弹武器系统抗干扰性能评估的研究一般分为 4 个层次^[1]: 首先是制定典型电磁干扰环境; 其次是编制典型电磁干扰环境实施纲要; 复次是抗

干扰指标体系的建立和各指标的检测方法; 最后是在进行干扰指标的综合评估。简之, 抗干扰评估就是在制定的干扰环境下对产品进行规划试验, 通过分析检测到的固有指标和试验数据利用数学方法定量计算导弹武器的抗干扰概率。目前对于红外成像导引头抗干扰性能的评估主要有以下途径^[2]: 导引头状态下的静态评估, 虚拟样机仿真, 半实物仿真, 地面绕飞, 系留飞行和靶场试验。不同的研制阶段或者不同的评估需求, 可以采取不同途径。然后再利用数学方法定量计算出导引头抗干扰性能。常见的计算方法^[3]有概率统计法, 加权平均法, 层次分析法和层次-灰色分析法^[4-5]等。基于层次分析法^[3,6-7]及其改进算法^[4-5,8]; 计算抗干扰性能的过程中, 在构造两两比较判定矩阵时一般采用了传统的 1~9 标



收稿日期: 2015-05-15 修回日期: 2015-07-31;
作者简介: 李凡(1985-), 女, 江西南昌人, 高工, 研究方向为制导半实物仿真、抗干扰性能评估; 耿旭(1985-), 男, 河北沧州人, 工程师, 研究方向为武器系统总体、武器系统性能评估; 董效杰(1977-), 男, 河南濮阳人, 工程师, 研究方向为对抗仿真、武器系统性能评估。

<http://www.china-simulation.com>

• 2176 •

度^[3,7-8], 因没有考虑人判断的 Fuzzy 性^[9]和指标属性的 Fuzzy 性而受到了许多批评^[10], 通常用不确定数(区间数、三角模糊数、梯形模糊数)来解决这种指标属性及属性值的模糊性和人脑思维的局限性。因三角模糊数的特征函数最符合人的思维模式和指标的变化规律而最常被采用^[10]。

本文对利用模糊数的基本原理和层次分析法, 建立了多层次模糊评估模型和抗干扰性能评估集, 并对某型红外制导的抗干扰性能进行了综合评估, 算例结果表明多层次模糊评估模型具有一定的使用价值, 此方法对同类型的抗干扰性能评估提供了很好的借鉴价值。

1 红外制导系统抗干扰性能评估过程

要想全面、准确、客观地评价雷达抗干扰效果, 必须对影响抗干扰效果的各种因素进行综合分析和评价。一般的评估工作包括明确评估需求要求、确定评估指标体系、获取评估数据、计算评估指标、整理分析评估结果等步骤。根据红外制导系统的工作特点, 制定抗干扰性能评估的流程, 为了得到可信的量化结果, 如图 1 所示, 从以下几方面着手:

阶段 I: 分析红外制导抗干扰性能评估对象。分析了解针对不同干扰样式的抗干扰性能, 明确评估的目的。

阶段 II: 建立红外制导抗干扰性能评估指标体



图 1 评估的流程

2 抗干扰性能的多层次模糊评估方法

红外制导系统的抗干扰性能与发射条件、干扰实施参数以及目标参数等因素存在密切关系^[8], 其度量标准和方法是一个复杂的问题, 为了客观、全面、准确地评价红外制导系统的抗干扰性能, 须综合分析和评价影响抗干扰性能的各种因素。本文将多层次模糊算法应用于红外制导抗干扰性能评估中, 对红外制导系统的抗干扰性能进行综合评估。

在评估内容分析的基础上, 分析各项指标之间的从属关系, 结合评估目的, 按照功能、结构和逻辑等层次关系, 建立系统及分系统性能评估指标体系。将各项指标进行分类, 如定性指标、定量指标、静态指标、动态指标等, 为指标计算提供参考。广泛的征求相关科研人员、领域专家以及相关业务部门的意见, 以确保指标体系的合理性与可行性。

阶段 III: 研究红外制导抗干扰性能评估方法。通过分析各层指标的重要程度和影响程度, 确认指标权重。然后, 根据底层指标的不同获取方法, 研究不同类型指标的计算方法。计算得到的底层指标还需经过无量纲化, 以便于指标间的相互比较。最后, 经过对底层指标的综合计算, 得到不同级别评价指标的评价结果。

阶段 IV: 进行仿真试验获取数据。基于评估指标体系和评估方法, 设计抗干扰性能评估实验; 运行仿真并收集评估所需数据, 进而依据评估指标算法计算得出底层评估指标值; 对底层评估指标进行规范化, 综合得到各层评估指标值。

阶段 V: 整理分析评估结果。对评估结果进行整理, 根据导弹武器系统性能评估需求及得到的性能评估结果, 给出导弹武器系统性能评估报告; 若有其它评估需求, 可基于评估结果进一步对导弹武器系统性能进行比较与分析。

2.1 多层次评估指标体系

层次分析法^[11]是一种定性定量相结合、系统化、层次化的系统分析方法, 其实质是一种决策思维方式, 它把复杂的问题分解为各组成因素, 并将这些因素按某种(如分配)关系分组以形成有序的递阶层次结构, 通过两两比较判断的方式确定每层次中各因素的相对重要程度, 然后在递阶层次内进行合成, 最终得到决策因素相对于目标的权重系

数。在建立递阶层次结构时，原则上指标体系的粒度越高(层次多、节点分布广)，评估就越完备，最终的结果分析和缺陷回溯就越准确。但粒度过高会导致节点密度迅速增长，降低评估的可操作性。通常情况下，仿真系统采用定性和定量评估相结合的节点配置，递阶层次结构由目标层、准则层和措施层 3 个层次组成。实际构建时应根据所分析的具体问题和操作性选择适当的层次个数。

为全面综合评估，依据选择指标全面性和关联性(指标至少要与制定的电磁干扰环境中某种干扰因素有关联)原则，同时兼顾指标可测试等要求，本文选择了检测概率、识别概率等指标，如图 2 所示。

如前所述，评估的首要工作是制定干扰环境，干扰环境中的各种干扰因素对导引头的抗干扰概

率影响交大，同一个导引头在不同的干扰环境下会得出有差异的结论。本文旨在讨论利用三角模糊数准确描述不同指标之间的重要程度，提高评估结果的可信度，因此在构造的评估指标体系结构中未含干扰环境等级项，干扰环境等级一般由作战想定与干扰战术、干扰模式和考核内容组成^[1]。

2.2 构造判断矩阵

判断矩阵是根据选定的标度通过分析两两元素之间的重要程度得到的。而标度问题一直是学者研究的焦点之一，目前已有近 10 种标度^[12]，如 1~9 标度法、0~2 标度法、-1~1 三标度法，-2~2 五标度法、分数标度法和指数标度法等。本文采用了 1~9 标度，具体描述见表 1。

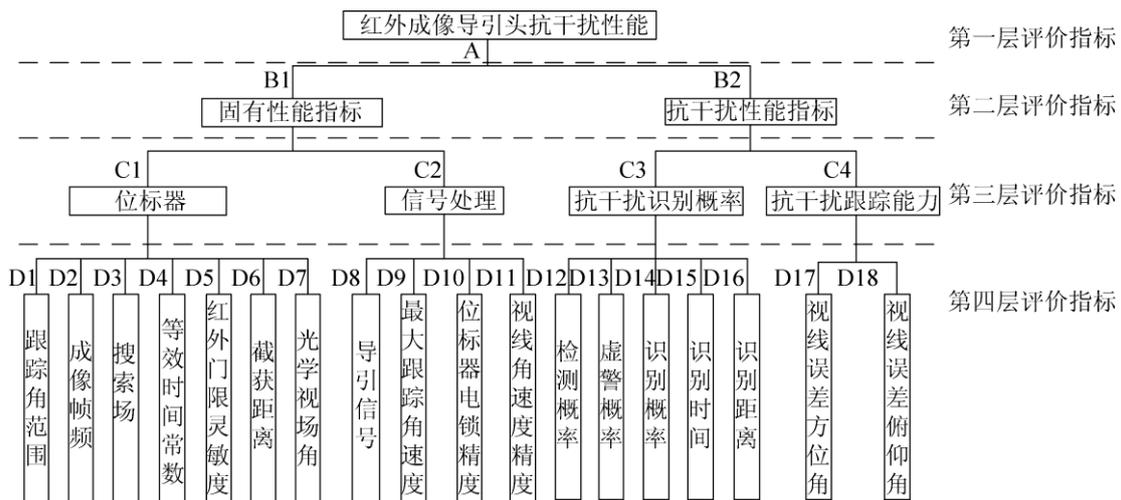


图 2 评估指标体系

表 1 1~9 尺度含义

尺度 c_{ij}	含义
1	b_i 与 b_j 的重要程度相同
3	b_i 比 b_j 稍重
5	b_i 比 b_j 明显重要
7	b_i 比 b_j 强烈重要
9	b_i 比 b_j 极端重要
2, 4, 6, 8	b_i 与 b_j 的重要程度之比在两个相邻等级之间
1/2, 1/3, ... 1/9	b_i 与 b_j 的重要程度之比为 c_{ij} 相同的互反数

依照层次分析法，综合各专家意见，构造判断矩阵建立层次分析模型后，我们就可以在各层元素中进行两两比较，构造出比较判断矩阵。判断矩阵是层次分析法的基本信息，也是进行相对重要度计算的重要依据。

对于 n 个元素来说，由表 1 量化得到两两比较的判断矩阵

$$A = (a_{ij})_{n \times n} \quad (1)$$

式中： a_{ij} 表示因素 i 和因素 j 相对于目标重要性 1~9 标度量值。

2.3 计算各层的权重

本文中采用“和法”来计算其最大特征值及其对应的特征向量。对判断矩阵 A 按列进行归一化处理

$$(\bar{a}_{ij})_{n \times n} = \left[\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \right]_{n \times n}, \text{ 按行取总和并进行归}$$

一化处理得到权重系数 $\omega_i = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \bar{a}_{ij}}$, 最后求最大

$$\text{特征值 } \lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n \frac{(A\omega)_j}{n\omega_j}, \text{ } W = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T \text{ 即是}$$

评估指标的权重向量。

2.4 一致性检验

在获取当前层次的权重系数后, 必须对判断矩阵进行一致性较验, 使各判断之间协调一致, 不致出现与实际相互矛盾的结果。一致性检验方法步骤如下:

(1) 计算一致性指标 CI (Consistence Index),

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \text{ 其中 } \lambda_{\max} \text{ 为判断矩阵的最大特征值, } n \text{ 为判断矩阵的阶次;}$$

(2) 从表 2 中查找相应的平均随机一致性指标 RI (Random Index)

表 2 平均随机一致性指标

阶数(n)	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36
阶数(n)	8	9	10	11	12	13	14
RI	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

(3) 计算一致性比例 CR (Consistency Ratio) $CR = CI / RI$, 当 $CR < 0.1$ 时, 认为判断矩阵的一致性是可以接受的; 反之, 当 $CR \geq 0.1$ 时, 应该对判断矩阵作适当修正, 以保持一定程度的一致性。对于 1 阶、2 阶矩阵, 总是完全一致的, 此时, $CR = 0$ 。

2.5 计算评估的模糊矩阵

通过仿真实验, 可以得到单个指标的模糊隶属度, 例如检测概率。设无干扰下某型红外制导系统的检测概率为 E , 干扰条件下该红外制导系统的检

测概率为 E_0 。则可选取 $s = E/E_0$ 为检测概率的隶属度, 同理可计算出第 4 层的第 i 个指标所对应的第 3 层第 j 个指标的隶属度, 则第 3 层第 j 个指标的隶属度向量 $S_j = (S_{1j}, S_{2j}, \dots, S_{nj})$, n 为指标个数。

首先, 给出评价集, 如表 3 所示。

表 3 评价集

等级	1	2	3	4	5
数值特征	0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1
抗干扰效果	差	较差	一般	较好	好

利用模糊隶属度函数如图 3 所示、评价集和隶属度向量可以得到模糊矩阵 r_{ij} , r_{ij} 为指标集中第 i 个指标对评价集中第 j 个指标的隶属度。模糊隶属度函数用下式表示:

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{a_i}{x_1}, & 0 \leq a_i \leq x_1 \\ 1, & x_2 \leq a_i \leq x_1 \\ \frac{1 - a_i}{1 - x_2}, & x_2 \leq a_i \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

其中: a_i 为隶属度向量 s_{ij} ; x_1 为评价集中各级数值特征的下限; x_2 为评价集中各级数值特征的上限。由此, 可以得到第 k 层的评判模糊矩阵:

$$R_k = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}。$$

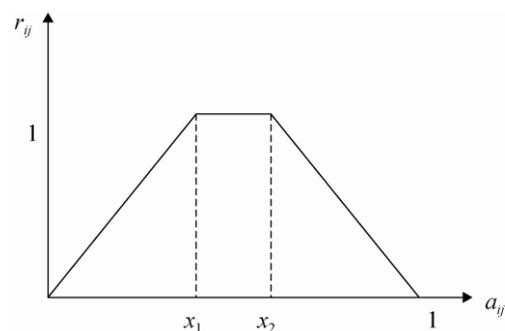


图 3 模糊隶属度函数

2.6 多层次模糊综合评估

根据归一化指标向量以及计算得到的权重向量, 进行综合评价。采用的模糊综合评判集如下所示:

$$B = A \circ R \quad (3)$$

式中: \circ 为模糊算子; \check{A} 为权重向量; R 为模糊矩阵。

由上式可以得到 k 层的评价结果, 利用该结果建立第 $k-1$ 层的模糊矩阵, 计算第 $k-1$ 层的综合评估结果, 故此循环, 即可得到最终的综合评估结果。

3 某型红外制导抗干扰性能综合评估应用

3.1 仿真计算

步骤一, 构建第二层评价指标中的位标器的权重向量, 首先构建判断矩阵见表 4。

表 4 判断矩阵 C1-D 和权重

C1	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	ω
D1	1	1/2	1/5	1	1/9	1/7	1	0.0338
D2	2	1	1/3	5	1/3	1/5	5	0.1187
D3	5	3	1	7	1/3	1/5	7	0.2014
D4	1	1/5	1/7	1	1/7	1/9	1	0.0308
D5	9	3	3	5	1	3	8	0.2735
D6	7	5	5	9	1/3	1	9	0.3109
D7	1	1/5	1/7	1	1/8	1/9	1	0.0306

根据判断矩阵按照计算最大特征根的 $\lambda_{\max} = 7.74$, 经一致性检验的 $CR = 0.091 < 0.1$ 。该判断矩阵符合一致性要求, 权重分配合理。同理可得三层评判指标的所有权重。

步骤 2, 通过多次数字仿真分别统计同一导引头在不同弹道等条件下抗干扰性能指标数据, 可以得到第 3 层评价指标对抗干扰识别概率的模糊隶属度向量, $S_3^3 = (0.94 \ 0.83 \ 0.93 \ 10.61)$, 则根据式(2)计算抗干扰识别概率的模糊矩阵为

$$R_3^3 = \begin{bmatrix} 0.075 & 0.1 & 0.15 & 0.3 & 1 \\ 0.2125 & 0.2833 & 0.425 & 0.85 & 1 \\ 0.087 & 0.1167 & 0.175 & 0.35 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.4838 & 0.645 & 0.8765 & 1 & 0.7663 \end{bmatrix}$$

同理可得所有第 3 层评价指标对第 2 层评价指标的模糊矩阵。

步骤 3, 利用公式(4)得到第 2 层评价指标的模

糊综合评价结果 $S_3^2 = (0.94 \ 0.93)$ 。

步骤 4, 利用第 2 层的评价结果, 作为第 1 层评价指标的模糊矩阵, 重复步骤 3, 即可得到该红外制导系统的抗干扰性能综合评价结果为 0.94。

3.2 结果分析

根据 3.1 节中对某型红外制导系统进行抗干扰性能综合评估进行了计算, 得到了该型号的抗干扰性能综合评价结果。对该型号进行红外抗干扰半实物仿真实验, 通过反复实验, 采用传统的抗干扰成功与否的概率统计方法得到该型号的抗干扰概率为 0.96, 由于该型红外制导系统的靶试飞行数据有限, 同样采用传统的概率统计方法得到靶试的抗干扰概率为 1, 采用传统的评估方法只能对系统最终的结果进行评价, 而本文采用的多层次模糊算法综合了红外制导系统的固有性能指标和抗干扰性能指标, 综合了红外制导系统的各组成部分的性能对抗干扰性能进行了综合分析和评价, 如表 5 所示。

表 5 抗干扰性能评估结果

测试方法	半实物仿真	靶试飞行	本文算法
测试结果	0.96	1	0.94

4 结论

文中采用多层模糊算法对红外制导的抗干扰性能进行了评估, 针对制导系统的工作特点, 构建了抗干扰性能评估指标体系, 结合实际采用了 1~9 标度方法建立了判断矩阵, 计算出了评估指标的权重系数, 并利用模糊隶属度函数和评价集建立了用于评价的模糊矩阵。算例结果表明该指标体系具有一定的使用价值, 上述评估方法也提高了评估结果的可信度和准确性, 接下来仍有大量的工作要做, 如完善评估指标体系, 三角模糊数互补判断矩阵的一致性验证方法、数据的标准化处理等。

参考文献:

- [1] 柯边. 航天系统协力研究“战术导弹武器系统抗干扰性能评估工程”追述 [J]. 航天电子对抗, 2000(3): 10-12.

(下转第 2186 页)