

基于信息集成算子的舰船舱室设计方案评估

李晓文^{1,2}, 朱兆一^{*1,2}, 熊云峰^{1,2}, 袁红莉^{1,2}, 扈 喆^{1,2}

(1. 集美大学 轮机工程学院, 福建 厦门 361021;

2. 福建省船舶与海洋工程重点实验室, 福建 厦门 361021)

摘要: 针对舰船舱室设计的复杂性和多样性, 提出了一种基于信息集成算子的多属性决策评估方法, 以提高舰船舱室设计决策的科学性和实用性. 首先建立反映舰船总体设计要求, 同时兼顾舰员实际需求的评估指标体系和多属性决策矩阵; 其次基于模糊数直觉模糊数的求解运算方法, 对设计方案的单个属性和属性集进行模糊测度, 采用 Choquet 积分对专家意见和评价属性进行综合集成, 获得反映多属性群决策本质的信息集成算子; 最后应用评价函数法构建舰船舱室设计方案的综合评估模型. 通过实例分析和算法对比得出, 基于信息集成算子的舰船舱室设计方案评估方法准确、可靠, 能够更为有效地判断多个设计方案的优劣, 为烦琐的舰船舱室设计方案决策提供一种新的有益参考.

关键词: 信息集成算子; 舰船舱室设计; 群决策; Choquet 积分; 指标体系

中图分类号: U662.3

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb201804004

0 引言

新世纪海军舰船系统日益复杂, 越来越多的高科技武器装备上舰使得舰内空间更加狭小, 能否在有限的空间内妥善布置各类功能型舱室, 使其最大限度地满足舰员与设备的需求, 是评估舰船舱室设计方案优劣的重要指标之一. 舰船作为典型且复杂的人-机-环境系统, 其舱室设计方案评估要遵循人-机-环境系统工程学的基本原理, 建立合理的舱室要素指标体系, 这对发挥舰船能效、保证可靠性具有重要意义. 由于舰船人-机-环境系统存在一系列具有模糊性的彼此关联的难以量化、模型化的概念和要素, 传统的依靠评估专家决策的方法也存在一定的主观性, 因而在舱室设计之初, 急需一套行之有效的客观科学的方案评估方法^[1-2].

直觉多属性决策是当前评估决策领域的研究热点, 在实际的工程决策中具有广泛的应用前景^[3]. Szmids 等^[4]提出了直觉模糊数和少数服从多数的群决策方法. 文献^[5]定义了直觉模糊加权

几何算子(IFWG)、直觉模糊有序加权几何算子(IFOWG)直觉模糊和混合几何算子(IFHG). 文献^[6]利用 IFHG 和 IFWG 给出了对应的群决策方法. 文献^[7]引入了多种直觉偏好关系, 定义了直觉模糊算术平均算子(IFAA)和直觉模糊加权算术平均算子(IFWAA), 给出了基于相关算子的多属性群决策方法. 上述方法很好地解决了事物的模糊多属性问题, 但对属性关联和专家偏好交互等无法做出有效决策. Sugeno 提出模糊测度, 在决策过程中同时考虑单个属性和属性集的权重, 能有效处理关联多属性决策问题. 基于直觉模糊数的多属性决策方法在处理不确定性信息时相比传统的模糊集有更强的表达力, 决策方法更加灵活、科学, 更适合用来处理现实中的各种问题^[8-12]. 文献^[13-14]应用 Choquet 积分研究信息集成算子, 并解决了关联多属性决策问题. 文献^[15]提出模糊数直觉模糊数集, 弥补了直觉模糊数和区间直觉模糊数缺少重心的缺陷.

由于舰船舱室设计涉及船体、空气、振动、噪声等多个专业和学科, 考虑到不同领域专家的偏

收稿日期: 2017-09-15; 修回日期: 2018-03-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51609101); 福建省自然科学基金资助项目(2018J05090, 2017J01487, 2016J01249); 福建省教育厅中青年教师教育科研项目(JAT170315, JAT170314).

作者简介: 李晓文(1986-), 女, 博士, 讲师, E-mail: lxwaza@163.com; 朱兆一*(1987-), 男, 硕士, 实验师, E-mail: 1988zhuzhaoyi@163.com.

好特性以及多个属性间的关联特性,如果直接将差异较大的评价结果进行集结,将会影响评估决策的科学性与合理性. 本文综合考虑舰船舱室设计过程中的各种利弊因素以及多种决策评估方法的适用特征后,基于模糊测度和 Choquet 积分,求解信息集成算子,建立舰船舱室设计方案评估流程,最终形成基于信息集成算子的舰船舱室设计方案评估方法,从而有效处理关联多属性决策问题,为舰船舱室设计方案评估提供一种可行、有效的新方法.

1 舱室设计方案评估属性指标建立

舰船舱室设计实质上是空间和环境的设计,在满足各项功能和特征的前提下,对整个舰船进行整体和局部的区域划分,为舰船上所有设备和舰员提供所需的空間,进而达到人-机-环境的综合协调,以实现舰船的作战使用性能.

舱室设计的主要目的之一是满足各级各部门舰员的需求,保证其良好的工作环境和生活质量,进而发挥其最大战斗力,最终提高舰船的作战效率. 为了更好地实现不同舱室的功能,发挥舰船的最大效率,在舱室设计的过程中需要重点考虑以下属性和因素:舱内结构、交通路线、舱外配套设施、空间环境以及安全性等. 以上各因素又涉及许多不同的专业和学科要素,具体指标参见图 1.

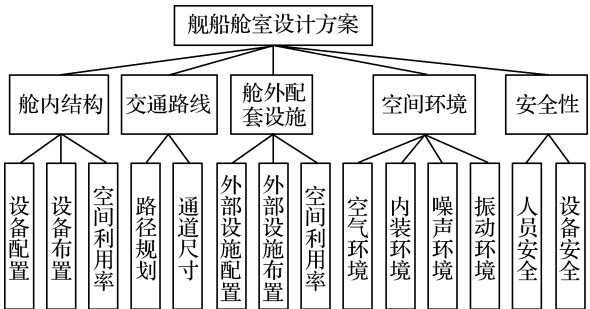


图 1 舰船舱室设计评估指标体系

Fig. 1 Evaluation index system of warship cabin design

2 信息集成算子建立

2.1 模糊数直觉模糊数

1965 年, Zadeh^[10] 提出了模糊集理论, 可以描述外延不明的亦此亦彼的模糊概念, 对经典集合进行了有效扩充. 1986 年, Atanassov^[11] 对 Zadeh 理论进行拓展, 通过研究新的属性参数(非隶属度函数), 得出直觉模糊集的概念, 以此来描

述非此非彼的模糊概念, 能更好地处理舰船舱室设计评估等涉及属性要素众多的工程实际问题. 其中, 直觉模糊集的定义如下:

定义 1^[11] 若存在任一已知论域 X , 则其上存在对应的直觉模糊集

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (1)$$

其中 $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1], \nu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$ 分别代表 A 的隶属度函数 $\mu_A(x)$ 和非隶属度函数 $\nu_A(x)$, 并且对于 A 中所有 $x \in X$, 都有 $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$ 成立.

刘锋等^[16] 提出了模糊数直觉模糊数集, 如下所示:

$$\hat{E} = \{ (x_i, \langle \hat{\mu}_{\hat{E}}(x_i), \hat{\nu}_{\hat{E}}(x_i) \rangle) \mid x_i \in X \} \quad (2)$$

其中 $\hat{\mu}_{\hat{E}}(x_i) = (a, b, c), \hat{\nu}_{\hat{E}}(x_i) = (l, p, q)$ 均为三角模糊数, a, b, c 和 l, p, q 分别为隶属度和非隶属度的下界、重心和上界.

2.2 模糊测度

定义 2^[17] 设 $P(X)$ 为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 的幂集, 给定 $\rho \in (-1, \infty), \mu: P(X) \rightarrow [0, 1]$, 若满足下列条件, 则称 μ 为定义在 X 上的模糊测度:

- (1) $\mu(\emptyset) = 0, \mu(X) = 1$;
- (2) 假如 $B, C \in P(X), B \cap C = \emptyset$, 则有 $\mu(B) \leq \mu(C)$;
- (3) $\forall B, C \in P(X), B \cap C = \emptyset$, 则有 $\mu(B \cup C) = \mu(B) + \mu(C) + \rho \mu(B) \mu(C)$.

2.3 Choquet 积分

定义 3^[12] 若 μ 为定义在 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 上的模糊测度, $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为 X 上一组模糊数直觉模糊数, 则 $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 关于模糊测度 μ 的离散 Choquet 积分定义为

$$\int \alpha d\mu = FIFCA(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \sum_{i=1}^n \oplus_{\alpha_{(i)}} [\mu(A_{(i)}) - \mu(A_{(i+1)})] \quad (3)$$

式中: $\alpha_{(i)}$ 为 α_i 的变换, 使得 $\alpha_{(1)} \leq \alpha_{(2)} \leq \dots \leq \alpha_{(n)}$; $A_{(i)} = \{x_{(i)}, x_{(i+1)}, \dots, x_{(n)}\}$, 且 $A_{(n+1)} = \{0\}$.

2.4 评价函数

式(4)所示为模糊数直觉模糊数的评价函数(也称得分函数), 通过它可以对其进行定量比较. 设 $\alpha = \langle (a, b, c), (l, p, q) \rangle$ 为一个模糊数直觉模糊数, 则称

$$S(\alpha) = \frac{a+2b+c}{4} - \frac{l+2p+q}{4} \quad (4)$$

为 α 的得分函数, 其中 $S(\alpha) \in [-1, 1]$. $S(\alpha)$ 的值

随 α 的增大而增大。

若 $S(\alpha_i)(i=1,2,\cdots,n)$ 存在等值情况,则借助得分函数 $L(\alpha)$ 来比较,即

$$L(\alpha)=\frac{a+2b+c}{4}\left(2-\frac{a+2b+c}{4}-\frac{l+2p+q}{4}\right)$$
 (5)

其中 $L(\alpha)\in[-1,1],L(\alpha)$ 值越大, α 越大。

2.5 信息集成算子

设 $\alpha_i=\langle(a_i,b_i,c_i),(l_i,p_i,q_i)\rangle(i=1,2,\cdots,n)$ 为一组模糊数直觉模糊数, μ 为 X 的模糊测度,则信息集成算子的结果为模糊数直觉模糊数,并且存在

$$\begin{aligned} FIFCA(\alpha_1,\alpha_2,\cdots,\alpha_n)= & \left\langle\left(1-\prod_{i=1}^n(1-a_{(i)})^{\mu(A_{(i)})-\mu(A_{(i+1)})}\right),\right. \\ & 1-\prod_{i=1}^n(1-b_{(i)})^{\mu(A_{(i)})-\mu(A_{(i+1)})}, \\ & \left.1-\prod_{i=1}^n(1-c_{(i)})^{\mu(A_{(i)})-\mu(A_{(i+1)})}\right\rangle, \\ & \left(\prod_{i=1}^n(l_{(i)})^{\mu(A_{(i)})-\mu(A_{(i+1)})},\right. \\ & \prod_{i=1}^n(p_{(i)})^{\mu(A_{(i)})-\mu(A_{(i+1)})}, \\ & \left.\prod_{i=1}^n(q_{(i)})^{\mu(A_{(i)})-\mu(A_{(i+1)})}\right)\rangle \end{aligned}$$

3 舱室设计方案评估

3.1 方案排序流程

舰船舱室设计方案评估属于多属性决策问题,评估结果既要反映舰船总体设计要求又要体现舰员的实际需求,本文基于信息集成算子进行舰船舱室设计方案的综合评估,具体分为以下 5 个步骤:

(1)综合备选方案,确定舰船舱室设计方案的评估指标体系(参见图 1),在此基础上建立舱室设计方案集合、属性集合和决策矩阵。

方案集合:

$$A=\{A_1,A_2,\cdots,A_m\};m\geqslant 2$$

属性集合:

$$X=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\};n\geqslant 2$$

决策矩阵:

$$R=\begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \cdots & \alpha_{mn} \end{pmatrix}$$

(2)依据 2.4 节评价函数的定义,对方案集合

A 中的每个方案进行初始排序。

(3)经专家评定,进行各个属性和属性集的模糊测度。

(4)基于信息集成算子获得决策矩阵针对每个方案的综合评价结果。

(5)通过上述(4)的评价结果,进行排序择优。

3.2 敏感性分析流程

关于任一属性决策问题(m 个方案和 n 个属性),其任意属性 x_j 对应存在 $\sum_{i=1}^{m-1}$ 个方案对,同时存在 $\sum_{i=1}^{m-1}$ 个权重变量.该权重变量对应有一个最小值,可以使得 x_j 达到最小时,在 $\sum_{i=1}^{m-1}$ 个方案对中至少有一个会发生变化。

假设 x_j 的敏感性系数是 M_j ,临界值是 D_j .其中, D_j 对应所有可行的最小相对变量的极小值; M_j 与 D_j 互为倒数。

4 实际应用

将基于信息集成算子的多属性决策方法应用到实船舱室设计方案的评估筛选中,为了方便设计师和舰员的理解应用,便于对比研究,在保留关键因素的基础上,将应用实例缩小到某船的一个相对独立的生活区域,针对 5 套舱室设计方案 $A=\{A_1,A_2,A_3,A_4,A_5\}$,3 个属性指标——安全性 x_1 、舱内配置 x_2 、空间环境 x_3 .处理 3 个属性指标所对应的评估信息,获得表 1 所示的用模糊数直觉模糊数来表示的决策矩阵。

基于前文的方案评估流程,进行设计实例的评估计算:

(1)基于具体情况和相关领域专家对多个属性和属性集的模糊测度,得到如下结果:

$$\begin{aligned} \mu(\emptyset) &= 0, \mu(\{x_1\}) = \mu(\{x_2\}) = 0.5, \\ \mu(\{x_3\}) &= 0.4, \mu(\{x_1,x_3\}) = 0.7, \mu(\{x_1, \\ x_2\}) &= 0.8, \mu(\{x_2,x_3\}) = 0.7, \mu(X) = \mu(\{x_1, \\ x_2,x_3\}) &= 1 \end{aligned}$$

(2)利用 Choquet 积分对 5 个舱室设计方案的模糊数直觉模糊数信息进行集成.其结果如下:

$$\begin{aligned} A_1 &= \langle(0.522,0.624,0.704),(0,0.153,0.183)\rangle \\ A_2 &= \langle(0.472,0.572,0.634),(0.100,0.200, \\ & 0.266)\rangle \\ A_3 &= \langle(0.613,0.638,0.741),(0.115,0.153, \\ & 0.217)\rangle \end{aligned}$$

表 1 决策矩阵
Tab.1 Decision matrix

	x_1	x_2	x_3
A_1	$\langle(0.5,0.6,0.6),(0.1,0.2,0.3)\rangle$	$\langle(0.6,0.7,0.8),(0.0,1,0.1)\rangle$	$\langle(0.3,0.4,0.5),(0.2,0.3,0.4)\rangle$
A_2	$\langle(0.4,0.5,0.6),(0.1,0.2,0.3)\rangle$	$\langle(0.5,0.6,0.6),(0.1,0.2,0.2)\rangle$	$\langle(0.5,0.6,0.7),(0.1,0.2,0.3)\rangle$
A_3	$\langle(0.7,0.7,0.8),(0.1,0.1,0.2)\rangle$	$\langle(0.5,0.6,0.7),(0.1,0.2,0.2)\rangle$	$\langle(0.5,0.5,0.6),(0.2,0.3,0.3)\rangle$
A_4	$\langle(0.5,0.6,0.7),(0.1,0.2,0.2)\rangle$	$\langle(0.3,0.3,0.4),(0.1,0.2,0.2)\rangle$	$\langle(0.6,0.7,0.7),(0,0,1,0.2)\rangle$
A_5	$\langle(0.5,0.6,0.7),(0.2,0.3,0.3)\rangle$	$\langle(0.6,0.7,0.8),(0,0,1,0.2)\rangle$	$\langle(0.4,0.5,0.6),(0.3,0.4,0.4)\rangle$

$A_4=\langle(0.494,0.578,0.631),(0,0.152,0.200)\rangle$
 $A_5=\langle(0.536,0.638,0.741),(0,0.183,0.259)\rangle$

(3)对上述信息集成结果进行得分评估,并排序择优。
评估结果如下: $S(A_1)=0.469,S(A_2)=0.374,S(A_3)=0.498,S(A_4)=0.445,S(A_5)=0.462$ 。

优劣排序结果如下: $A_3>A_1>A_5>A_4>A_2$ 。
基于评价函数的定义可知,最佳舱室设计方案为 A_3 ,与实际情况相符。

由于 5 个备选方案的评价结果无重复,仅通过一次评估计算即可确认最终结果,无须二次评判。由此可见,基于信息集成算子的舰船舱室设计方案评估方法较为准确、可靠。

为进一步验证该方法的科学性与合理性,应用经典的层次分析法和直觉模糊多属性决策方法对以上 5 个方案进行二次评估。

(1)基于层次分析法,建立以下层次结构模型,如图 2 所示。

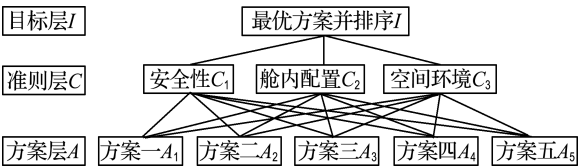


图 2 舱室设计方案层次分析结构模型
Fig. 2 Hierarchical structure model of cabin design scheme

为保证判断结果的一致性,由相同的决策者将 5 个舱室设计方案和 3 个准则,按层次分析法的特性进行排序,构造目标与准则之间以及准则与方案之间的判断矩阵,经过层次单排序、总排序以及一致性检验^[18],得出 5 个舱室设计方案的优劣以及最佳结果,如表 2 所示。多个方案的具体优劣顺序为 $A_3>A_1>A_5>A_4>A_2$ 。其中,一致性指标为 0,随机一致性指标为 0.58,随机一致性比率为 0。

表 2 方案层次排序值

Tab.2 Value of hierarchical ranking of scheme

方案层	准则层			评估量值
	C_1	C_2	C_3	
A_1	0.281	0.142	0.568	0.340
A_2	0.259	0.403	0.175	0.283
A_3	0.071	0.522	0.294	0.341
A_4	0.545	0.384	0.138	0.318
A_5	0.396	0.128	0.493	0.328

(2)直觉模糊多属性决策过程中,为进一步确保本文方法结果的准确性,加入直觉模糊数算法进行对比,为保证参数值的一致性,采用本文决策者评价的重心值作为专家的评价矩阵,同时通过用户代表对 5 个方案进行评价并赋予属性权重,采用合取模型进行计算(详细算法参见文献[19]),具体结果参见表 3,5 个舱室设计方案的优劣顺序为 $A_3>A_1>A_5>A_4>A_2$ 。

表 3 直觉模糊多属性决策评估量值

Tab.3 Evaluation values of intuitionistic fuzzy multiple attribute decision-making

方案	评估量值	方案	评估量值
A_1	0.420	A_4	0.389
A_2	0.370	A_5	0.392
A_3	0.432		

分析计算结果得出,3 种方法的评估结果一致,但评估量值存在一定的不同,为做到更加直观清晰的对比,将上述结果转化为线图形式,参见图 3。为方便曲线对比,将层次分析法的评估量值加 0.1,做平移处理。

对比研究发现,图 3 中基于信息集成算子的多属性决策方法、直觉模糊多属性决策方法以及层次分析法的曲线走势大体一致,但备选方案的属性集存在关联,导致直觉模糊多属性决策方法和层次分析法的评估结果相对集中,分散性差,多个方案的优劣性不够突出,不易做出最终决策。尤其多个方案相似时,容易强化决策者的主观偏好

和人为选择障碍。反观基于信息集成算子的多属性决策方法优劣明显,结果客观,工程适用性较好,因而其评估结果较其他两种方法更为科学合理。

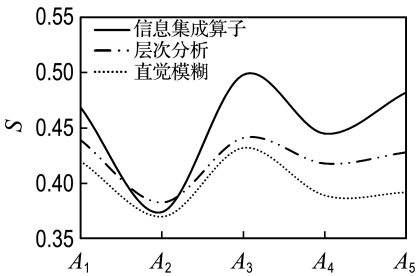


图3 评估曲线对比

Fig. 3 Comparison of evaluation curves

为消除决策者对评估结果的影响,融入方案排序对权重变化的敏感性分析,基于上述 3.2 敏感性分析流程,计算出各属性对应权重变化的敏感性系数,详细算法参见文献[20],具体结果参见表 4。

表 4 各属性权重变化的敏感性系数
Tab. 4 Sensitivity coefficients of attribute weights

属性 x_j	敏感性系数 M_j
x_1	0.103
x_2	0.032
x_3	0.054

敏感性系数越大,对应的临界值越小,方案排序对属性权重变化的敏感程度越高。可见,方案排序对敏感性系数越大/临界值越小的属性越敏感。

5 结 语

舰船舱室设计涉及多专业、多学科,并且要随总布置改变随时变更,因此舱室设计方案的评估是一个复杂烦琐的决策问题,需要简洁有效的方法来应对其复杂性和多样性。本文提出的基于模糊测度和 Choquet 积分的信息集成算子法,解决了存在关联的多属性决策问题,拓展了传统模糊决策方法的应用范围和准确性;同时弥补了基于直觉模糊数和区间直觉模糊数等决策方法存在的重心缺陷问题,提升决策效率。通过实例对比研究,验证了本文基于信息集成算子的舰船舱室设计方案评估方法的可靠性和准确性,并证明其具备较强分散性,对多种方案优劣区分度明显,较之传统的层次分析法和直觉模糊多属性决策方法能

更为有效地对舰船的多种舱室设计方案进行择优决策。此外,本文方法也可以应用到其他复杂工业设计方案的评估决策中。

参考文献：

[1] 王 健,陈 立. 舰船总布置中的综合评估模型及其应用研究[J]. 中国舰船研究, 2010, 5(1):19-23,38.
WANG Jian, CHEN Li. Comprehensive assessment model and its application to general arrangement of ships [J]. **Chinese Journal of Ship Research**, 2010, 5(1):19-23, 38. (in Chinese)

[2] 吕建伟,易 慧,刘中华. 舰船设计方案评估指标体系研究[J]. 船舶工程, 2005, 27(4):53-57.
LV Jianwei, YI Hui, LIU Zhonghua. Research on index system for evaluating warship design [J]. **Ship Engineering**, 2005, 27(4):53-57. (in Chinese)

[3] 徐泽水. 直觉模糊信息集成理论及应用[M]. 北京:科学出版社, 2008.
XU Zeshui. **Theory and Application of Intuitionistic Fuzzy Information Integration** [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)

[4] SZMIDT E, KACPRZYK J. A new concept of a similarity measure for intuitionistic fuzzy sets and its use in group decision making [J]. **Lecture Notes in Computer Science**, 2005, 3558 LNAI:272-282.

[5] XU Zeshui, YAGER R R. Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets [J]. **International Journal of General Systems**, 2006, 35(4):417-433.

[6] XU Zeshui. Multi-person multi-attribute decision making models under intuitionistic fuzzy environment [J]. **Fuzzy Optimization and Decision Making**, 2007, 6(3):221-236.

[7] XU Zeshui. Intuitionistic preference relations and their application in group decision making [J]. **Information Sciences**, 2007, 177(11):2363-2379.

[8] 万树平. 直觉模糊多属性决策方法综述[J]. 控制与决策, 2010, 25(11):1601-1606.
WAN Shuping. Survey on intuitionistic fuzzy multi-attribute decision making approach [J]. **Control and Decision**, 2010, 25(11):1601-1606. (in Chinese)

[9] 李晓冰,徐 扬. 基于直觉模糊推理的多属性群决策方法研究[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(2):533-535, 541.
LI Xiaobing, XU Yang. Method of multiple attribute group decision making based on intuitionistic reasoning [J]. **Application Research of**

- Computers, 2012, **29** (2): 533-535, 541. (in Chinese)
- [10] ZADEH L A. Fuzzy sets [J]. **Information and Control**, 1965, **8**:338-353.
- [11] ATANASSOV K T. Intuitionistic fuzzy sets [J]. **Fuzzy Sets and Systems**, 1986, **20**(1):87-96.
- [12] CHEN S M, TAN J M. Handling multicriteria fuzzy decision-making problems based on vague set theory [J]. **Fuzzy Sets and Systems**, 1994, **67**(2): 163.
- [13] GRZEGORZEWSKI P. Distances between intuitionistic fuzzy sets and/or interval-valued fuzzy sets based on the Hausdorff metric [J]. **Fuzzy Sets and Systems**, 2004, **148**(2):319-328.
- [14] MITCHELL H B. A correlation coefficient for intuitionistic fuzzy sets [J]. **International Journal of Intelligent Systems**, 2004, **19**(5):483-490.
- [15] 张洪美,徐泽水,陈 琦. 直觉模糊集的聚类方法研究[J]. 控制与决策, 2007, **22**(8):882-888.
- ZHANG Hongmei, XU Zeshui, CHEN Qi. On clustering approach to intuitionistic fuzzy sets [J]. **Control and Decision**, 2007, **22**(8): 882-888. (in Chinese)
- [16] 刘 锋,袁学海. 模糊数直觉模糊集[J]. 模糊系统与数学, 2007, **21**(1):88-91.
- LIU Feng, YUAN Xuehai. Fuzzy number intuitionistic fuzzy set [J]. **Fuzzy Systems and Mathematics**, 2007, **21**(1):88-91. (in Chinese)
- [17] XU Zeshui. Choquet integrals of weighted intuitionistic fuzzy information [J]. **Information Sciences**, 2010, **180**:726-736.
- [18] SAATY T L. **The Analytic Hierarchy Process** [M]. New York: McGraw-Hill Inc., 1980.
- [19] LI X, LI P, LIN Z, *et al.* Research on evaluation of cabin design in naval ship based on the method of intuitionistic fuzzy multiple attribute group decision-making [J]. **Lecture Notes in Electrical Engineering**, 2013, **254** LNEE:837-844.
- [20] 蒋 艳. 多属性决策中参数敏感性研究及应用[D]. 武汉:华中科技大学, 2002.
- JIANG Yan. Research and application of parameters sensitivity in multiple attribute decision making [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2002. (in Chinese)

Evaluation of warship cabin design scheme based on information aggregation operator

LI Xiaowen^{1,2}, ZHU Zhaoyi^{*1,2}, XIONG Yunfeng^{1,2}, YUAN Hongli^{1,2}, HU Zhe^{1,2}

(1. School of Marine Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory for Naval Architecture and Ocean Engineering, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to solve the complexity and diversity of warship cabin design and make decision-making more scientific and practical, an evaluation method of multiple attribute decision-making based on information aggregation operator is proposed. First, the evaluation index system and multiple attribute decision-making matrix are established, which reflect the requirements of designers and crews. Second, based on the operational method of fuzzy number intuitionistic fuzzy numbers, the fuzzy measure of attributes and attribute sets of different design schemes is calculated and then expert advices and evaluation attributes are integrated by Choquet integral, and the information aggregation operator which can reflect the nature of the multiple attribute group decision-making is obtained. Finally, the comprehensive evaluation model of warship cabin design scheme can be founded by score function. By means of case analysis and algorithm comparison, the evaluation method of warship cabin design scheme based on information aggregation operator is proved to be accurate and reliable. This method can more effectively judge the pros and cons of multiple design schemes, and provide a new and useful reference for the tedious decision-making of warship cabin design scheme.

Key words: information aggregation operator; warship cabin design; group decision-making; Choquet integral; index system