

文章编号: 1001-0920(2011)07-1046-05

空袭目标类型的直觉模糊识别

陈东锋, 张磊

(空军航空大学 航空理论系, 长春 130022)

摘要: 针对目标识别中的不确定性问题, 提出一种基于直觉模糊多属性决策的识别方法. 首先, 定义直觉模糊集之间的可能度, 并提出了基于可能度的直觉模糊集排序方法; 然后, 建立了目标类型识别模型, 在用直觉模糊集表达目标特征模糊测量信息的基础上, 提出了基于直觉模糊有序加权几何平均算子的多属性决策方法. 最后的应用实例表明, 所提出的方法是有效的, 并易于编程实现, 具有较强的实用性.

关键词: 直觉模糊集; 目标识别; 集成算子; 模糊决策

中图分类号: TP182

文献标识码: A

Intuitionistic fuzzy identification of air attack target type

CHEN Dong-feng, ZHANG Lei

(Department of Aviation Theory, Air Force Aviation University, Changchun 130032, China. Correspondent: CHEN Dong-feng, E-mail: twodrifters@126.com)

Abstract: To process the uncertainties of target identification, a technique based on intuitionistic fuzzy multiple attribute decision-making is proposed. Firstly, the possible degree for intuitionistic fuzzy set(IFS) is defined, and an ordering method for IFS is proposed. Then, IFS is used to represent the fuzzy measurement information of object characteristics, and the model of target identification is constructed, also a multiple attribute decision-making method based on ordered weighted geometric averaging(OWGA) aggregation operators is proposed. Finally, the experiments show that the method is effective, and it can be programmed easily and applied widely.

Key words: intuitionistic fuzzy sets; target identification; aggregation operator; fuzzy decision

1 引言

在地面防空, 目标类型识别主要根据空袭目标的特征参数确定选定目标的类型, 从而为目标拦截适宜性和威胁评估提供必要信息. 由于来袭目标的复杂性以及获得信息的不完全、不准确, 目标识别至今仍未有通用的理想方法^[1]. 其中以模糊集理论为基础的各类识别方法^[1-3]已成为研究热点, 并在一定程度上解决了目标识别中的不确定性难题. 但现有的研究成果表明, 针对同样的原始数据信息选取不同的特征参数或者采取不同的处理方法, 可能得到不同的甚至相悖的识别结果^[2], 这是由传统 Zadeh 模糊集理论的局限性造成的.

随着直觉模糊集^[4](IFS)理论的有效拓展, 已有部分文献^[5-7]开始尝试用 IFS 解决目标识别问题. 其中文献 [5] 和 [6] 利用距离测度或记分函数法进行决策,

显然存在信息丢失的问题, 而且要求决策者承担风险. 为此, 本文首先提出了基于可能度定义的 IFS 客观排序方法; 然后, 为有效集结处理不同属性下用 IFS 表示的空袭目标信息, 本文还提出了基于有序加权几何平均(OWGA)算子^[8]的直觉模糊目标识别方法.

2 直觉模糊集与 IFOWGA 算子

定义 1^[4] (直觉模糊集) 设 X 是一个给定论域, 则 X 上的一个直觉模糊集 A 为

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

其中 $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ 和 $\gamma_A: X \rightarrow [0, 1]$ 分别代表 A 的隶属函数和非隶属函数, 且对于 A 上 $\forall x \in X$, 有 $0 \leq \mu_A(x) + \gamma_A(x) \leq 1$ 成立.

直觉模糊集 A 有时可简记为 $A = \langle x, \mu_A, \gamma_A \rangle$ 或 $A = \langle \mu_A, \gamma_A \rangle / x$.

对于 X 中的每个直觉模糊子集, 称 $\pi_A(x) = 1 -$

收稿日期: 2010-03-25; 修回日期: 2010-05-24.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60773209).

作者简介: 陈东锋(1979-), 男, 博士, 从事智能信息处理与智能决策的研究; 张磊(1978-), 男, 讲师, 硕士, 从事空军作战运筹的研究.

$\mu_A(x) - \gamma_A(x)$ 为 A 中 x 的直觉指数,它是 x 对 A 的犹豫程度的一种测度.当用于目标识别时,对于直觉模糊集 $A = \langle 0.5, 0.3 \rangle / x$,可这样解释:目标 x 被识别为类型 A 的可能性为 50%,目标 x 被识别为不是类型 A 的可能性为 30%,而目标 x 无法被识别为是否是类型 A 的可能性为 20%.可见,IFS 有效地扩展了 Zadeh 模糊集表示能力.

根据定义 1,元素 x 对集合 A 的隶属边界值可用 $[0, 1]$ 上的子区间 $[\mu_A(x), 1 - \gamma_A(x)]$ 表示.为后续研究方便,本文将区间 $[\mu_A(x), 1 - \gamma_A(x)]$ 简称为 A 的直觉模糊值,所有直觉模糊值的集合用 Ω 表示.下面首先给出直觉模糊值的基本运算定律.

定义 2 (直觉模糊值基本运算) 假设 $\tilde{a} = [\mu_a, 1 - \gamma_a]$ 和 $\tilde{b} = [\mu_b, 1 - \gamma_b]$ 是直觉模糊值,则有:

- 1) $\tilde{c} = \tilde{a} \otimes \tilde{b} = [\mu_a \mu_b, (1 - \gamma_a)(1 - \gamma_b)]$;
- 2) $\tilde{d} = \tilde{a}^\lambda = [\mu_a^\lambda, (1 - \gamma_a)^\lambda]$, $\lambda > 0$.

显然, \tilde{c} 和 \tilde{d} 仍然是直觉模糊值.

在直觉模糊不确定性决策问题中,对 IFS 进行比较与排序是关键.从现有成果看,排序方法大多集中于记分函数法.不同的记分函数各有优劣,均适合某些具体情况,满足某些特定问题的需求.但该类方法不具有客观通用性,并要求决策者给出承担风险的态度,而且决策结果的最终排序完全受决策者的主观影响.为此,引进可能度的概念来刻画直觉模糊集之间的大小关系.

定义 3^[9] (可能度) $\forall A, B \in \text{IFS}(X)$, 若函数 $p(A \geq B)$ 满足: 1) $0 \leq p(A \geq B) \leq 1$; 2) $p(A \geq B) = 1$ 当且仅当 $1 - \gamma_B(x) \leq \mu_A(x)$; 3) $p(A \geq B) = 0$ 当且仅当 $1 - \mu_B(x) \leq \gamma_A(x)$; 4) $p(A \geq B) + p(B \geq A) = 1$, 特别情况下有 $p(A \geq A) = 1/2$; 5) $p(A \geq B) \geq 1/2$ 当且仅当 $\mu_A(x) - \gamma_A(x) \geq \mu_B(x) - \gamma_B(x)$; 6) $\forall C \in \text{IFS}(X)$, 若 $p(A \geq B) \geq 1/2, p(B \geq C) \geq 1/2$, 则 $p(A \geq C) \geq 1/2$. 则称函数 $p(A \geq B)$ 为直觉模糊集 $A \geq B$ 的可能度.

下面的定理 1 给出了常用的可能度度量公式,它是实数集上可能度函数的推广.

定理 1 设 $\forall A, B \in \text{IFS}(X)$, 则

$$p(A \geq B) = \max \left\{ 1 - \max \left\{ \frac{1 - \gamma_B(x) - \mu_A(x)}{\pi_A(x) + \pi_B(x)}, 0 \right\}, 0 \right\} \quad (2)$$

为 $A \geq B$ 的可能度.

定理 1 的证明与实数集上的可能度函数类似,此略.

如何对用 IFS 表示的空袭目标信息进行集结处理,需用到 OWGA 算子^[8]在 IFS 理论上的拓展,本文基于定义 2 中的运算法则,将其推广到目标识别领域.

定义 4^[8] (直觉模糊有序加权几何平均算子) 假设 $(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n)$ 是一组直觉模糊值, $F: \Omega^n \rightarrow \Omega$, 若

$$F(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) = \prod_{j=1}^n \tilde{b}_j^{w_j} = (\tilde{b}_1)^{w_1} \otimes (\tilde{b}_2)^{w_2} \otimes \dots \otimes (\tilde{b}_n)^{w_n}. \quad (3)$$

其中: \tilde{b}_j 为 $(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n)$ 中第 j 个最大的元素; $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 为与 F 相关联的 n 维加权向量, $w_j \in [0, 1], 1 \leq j \leq n$, 且 $\sum_{i=1}^n w_j = 1$. 则称 F 是 n 维直觉模糊有序加权几何平均 (IFOWGA) 算子.

3 目标类型识别模型

3.1 目标类型识别框架

根据平时收集到的关于外军空袭兵器的战术、技术资料,以目标特性和行为特征为依据,确定目标类型的辨识框架

$$\Theta = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6\}.$$

其中: C_1 代表 TBM, C_2 代表大型机, C_3 代表小型机, C_4 代表巡航导弹, C_5 代表武装直升机, C_6 代表诱饵.

分类依据是: TBM 速度快,提供的拦截时间短,因此单列一类;现代歼击轰炸机和对地攻击机的载弹量越来越大,其作战样式与轰炸机有许多相近之处,因此将中远程战略轰炸机、歼击轰炸机、对地攻击机统归为大型机;空地导弹和反辐射导弹的雷达散射截面都很小,速度很大,可归为小型机;巡航导弹在巡航阶段速度很低,且其弹道与其他目标明显不同,故将其单独分类;武装直升机的突防高度低、速度慢、攻击能力强,必须将其单独识别;诱饵具有很大的欺骗性,对其单独识别,能提高防空武器的战斗效率.

3.2 类型识别属性集

敌空袭兵器为完成空袭任务,其行为特征具有明显规律,而且不同空袭兵器的行为特征在某些属性上反映突出,在另一些因素上又显得模糊.经综合考量,确定目标类型识别的属性集为

$$A = \{S, H, V, T, E\}.$$

其中: S 代表雷达散射截面积, H 代表飞行高度, V 代表飞行速度, T 代表航线特征, E 代表电磁辐射.

3.3 隶属度与非隶属度函数的确定

隶属度与非隶属度函数的确定是应用 IFS 理论的关键,根据量测数据来源和类型的不同,应选取不同的获取方法.然而,同一识别因素对于不同的目标类型也有不同的隶属与非隶属度函数.下面以“大型机”为例进行说明.根据“大型机”的各类特征以及领域专家的经验,确定飞行速度对“大型机”的隶属度与非隶属度函数分别为

$$\mu_{\text{大型机}}(V) = \begin{cases} 0, & V < 100 \text{ m/s}; \\ \frac{V-100}{100}, & 100 \text{ m/s} \leq V < 200 \text{ m/s}; \\ 1, & 200 \text{ m/s} \leq V \leq 450 \text{ m/s}; \\ -\frac{V-700}{250}, & 450 \text{ m/s} < V \leq 700 \text{ m/s}; \\ 0, & V > 700 \text{ m/s}. \end{cases} \quad (4)$$

$$\gamma_{\text{大型机}}(V) = \begin{cases} 1, & V < 100 \text{ m/s}; \\ 200 - V, & 100 \text{ m/s} \leq V < 200 \text{ m/s}; \\ 0, & 200 \text{ m/s} \leq V \leq 450 \text{ m/s}; \\ \frac{V-450}{250}, & 450 \text{ m/s} < V \leq 700 \text{ m/s}; \\ 1, & V > 700 \text{ m/s}. \end{cases} \quad (5)$$

函数曲线如图1所示。

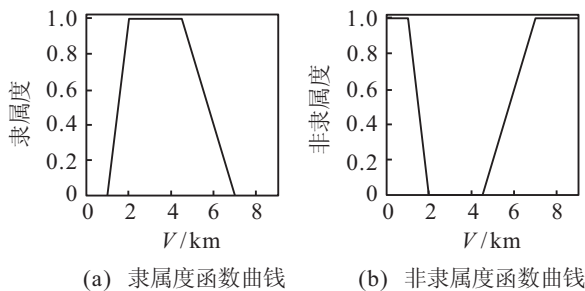


图1 飞行速度与“大型机”之间的模糊关系

同样,可确定飞行高度对“大型机”的隶属度与非隶属度函数分别为

$$\mu_{\text{大型机}}(H) = \begin{cases} 0, & H < 3000 \text{ m}; \\ \frac{H-3000}{5000}, & 3000 \text{ m} \leq H < 8000 \text{ m}; \\ 1, & 8000 \text{ m} \leq H \leq 14000 \text{ m}; \\ -\frac{H-18000}{4000}, & 14000 \text{ m} < H \leq 18000 \text{ m}; \\ 0, & H > 18000 \text{ m}. \end{cases} \quad (6)$$

$$\gamma_{\text{大型机}}(H) = \begin{cases} 1, & H < 3000 \text{ m}; \\ \frac{8000-H}{5000}, & 3000 \text{ m} \leq H < 8000 \text{ m}; \\ 1, & 8000 \text{ m} \leq H \leq 14000 \text{ m}; \\ \frac{H-14000}{4000}, & 14000 \text{ m} < H \leq 18000 \text{ m}; \\ 1, & H > 18000 \text{ m}. \end{cases} \quad (7)$$

关于其他各识别属性对不同目标类型的隶属度与非隶属度函数,限于篇幅,在此不再赘述。

3.4 基于IFOWGA算子的多属性决策方法

对于某待识别来袭目标 x , 依据观测值和上述度量函数, 计算出其在第 $j(j=1, 2, \dots, 5)$ 个属性下属于第 $i(i=1, 2, \dots, 6)$ 类目标的隶属度 μ_{ij} 和非隶属度 γ_{ij} 后, 便可得到如下直觉模糊判断矩阵:

$$R = (\mu_{ij}, \gamma_{ij})_{6 \times 5} = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, \gamma_{11}) & \dots & (\mu_{15}, \gamma_{15}) \\ (\mu_{21}, \gamma_{21}) & \dots & (\mu_{25}, \gamma_{25}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{61}, \gamma_{61}) & \dots & (\mu_{65}, \gamma_{65}) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

将其转化为直觉模糊值形式, 即

$$\tilde{R} = (\mu_{ij}, 1 - \gamma_{ij})_{6 \times 5} = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, 1 - \gamma_{11}) & \dots & (\mu_{15}, 1 - \gamma_{15}) \\ (\mu_{21}, 1 - \gamma_{21}) & \dots & (\mu_{25}, 1 - \gamma_{25}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{61}, 1 - \gamma_{61}) & \dots & (\mu_{65}, 1 - \gamma_{65}) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

关于OWGA算子的加权向量, 文献[10]在综合目前主要赋权方法的基础上, 提出了一种基于正态分布的赋权法, 它具有较为丰富的性质. 本文根据目标识别的属性数量为5, 选择加权向量^[10]为

$$w = (0.1117, 0.2365, 0.3036, 0.2365, 0.1117); \quad (10)$$

然后根据式(3)提供的IFOWGA方法, 得到待识别目标属于类型 $C_k(k=1, 2, \dots, 6)$ 的直觉模糊值为

$$\tilde{C}_k = \prod_{j=1}^5 [(\mu_{kj}, 1 - \gamma_{kj})]^{w_j} = [(\mu_{k1}, 1 - \gamma_{k1})]^{0.1117} \otimes [(\mu_{k2}, 1 - \gamma_{k2})]^{0.2365} \otimes [(\mu_{k3}, 1 - \gamma_{k3})]^{0.3036} \otimes [(\mu_{k4}, 1 - \gamma_{k4})]^{0.2365} \otimes [(\mu_{k5}, 1 - \gamma_{k5})]^{0.1117}. \quad (11)$$

对于 $C_k, k=1, 2, \dots, 6$, 将它们两两比较, 利用式(2)得到可能度矩阵为

$$P = \begin{bmatrix} 0.5 & p_{12} & \dots & p_{16} \\ p_{21} & 0.5 & \dots & p_{26} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{61} & p_{62} & \dots & 0.5 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

矩阵 P 显然是一个模糊互补判断矩阵, 根据可能度的传递性, 可给出所有直觉模糊值的排序. 这里利用一个简洁的排序公式^[12]

$$\varphi_i = \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} + \frac{n}{2} - 1 \right), \quad (13)$$

得到矩阵 P 的排序向量 $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_6)$. 根据 φ 的分量 φ_i 的大小可对直觉模糊值 $\tilde{C}_k(k=1, 2, \dots, 6)$ 进行排序. 若

$$\varphi_{k^*} = \max_{1 \leq k \leq 6} (\varphi_k), \quad (14)$$

则认为待识别目标为 \tilde{C}_{k^*} 类.

4 实例仿真

4.1 应用实例

根据本文提出的识别方法, 对某空中来袭目标进行识别, 其具体步骤如下:

Step 1: 根据目标参数, 计算该目标在各属性下对不同目标类型的隶属度和非隶属度, 结果如表 1 所示;

Step 2: 依据式 (11) 提供的 IFOWGA 集结方法, 得到目标属于类型 $C_k (k = 1, 2, \dots, 6)$ 的直觉模糊值为

$$\tilde{C}_1 = (0.3778, 0.4150), \tilde{C}_2 = (0.6656, 0.6951),$$

$$\tilde{C}_3 = (0.2916, 0.3231), \tilde{C}_4 = (0.2296, 0.2464),$$

$$\tilde{C}_5 = (0.2993, 0.3322), \tilde{C}_6 = (0.4533, 0.5310).$$

Step 3: 对 $\tilde{C}_k (k = 1, 2, \dots, 6)$ 进行两两比较, 得到可能度矩阵为

$$P = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0.5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1 & 0.3696 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6304 & 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}.$$

利用式 (13) 求得上述矩阵的排序向量为

$$\varphi = (0.1833, 0.2500, 0.1290, 0.1377, 0.2833).$$

由此判定该目标属于 C_2 , 即“大型机”. 该结果与专家判断一致, 符合实际情况.

表 1 某来袭目标的直觉模糊判断矩阵

	S		H		V		T		E	
	$\mu_S(x)$	$\gamma_S(x)$	$\mu_H(x)$	$\gamma_H(x)$	$\mu_V(x)$	$\gamma_V(x)$	$\mu_T(x)$	$\gamma_T(x)$	$\mu_E(x)$	$\gamma_E(x)$
C_1	0.30	0.63	0.50	0.50	0.27	0.73	0.40	0.55	0.58	0.15
C_2	0.90	0.08	0.70	0.30	0.68	0.32	0.54	0.40	0.65	0.25
C_3	0.10	0.82	0.57	0.43	0.26	0.74	0.36	0.60	0.18	0.80
C_4	0.22	0.72	0.10	0.90	0.45	0.55	0.15	0.84	0.55	0.29
C_5	0.25	0.70	0.18	0.82	0.50	0.50	0.22	0.70	0.50	0.45
C_6	0.05	0.88	0.68	0.32	0.78	0.22	0.60	0.32	0.22	0.71

4.2 仿真实验

选取已知雷达知识库中的 6 类典型空袭目标, 同样构造 5 个识别属性, 对于其中的任一已知样本, 参照其典型参数范围创建各属性数据. 待识别观测样本的构造是通过随机抽取典型目标的特征矢量并加上测量误差构成. 这里假定测量误差服从零均值高斯分布, σ 表示已知雷达知识库的标准偏差. 这里选取了 3 种噪声环境进行仿真, 误差范围分别控制在 0.5, 1.0 和 1.5 倍标准差内. 表 2 给出了 1.5 倍噪声环境下 200 次 Monte Carlo 实验得到的仿真结果.

表 2 1.5 σ 噪声环境下的识别率 %

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C_1	90.5	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0
C_2	1.2	82.6	10.5	0.0	2.4	3.3
C_3	0.0	7.9	84.3	0.0	1.3	6.4
C_4	0.0	0.0	0.5	98.2	1.3	0.0
C_5	0.0	0.3	3.2	1.3	95.2	0.0
C_6	0.0	9.2	7.4	0.0	0.0	83.4

总的正确识别率为: 89.0

仿真过程中, 还在不同噪声环境下对本文识别方法与文献 [5] 中的模板匹配法进行了比较, 结果如表 3 所示. 由表 3 可以看出: 本文提出的基于 IFOWGA

算子的多属性决策方法明显优于传统的模板匹配法, 通过不同属性下目标特征信息的集结, 其正确识别率较高.

表 3 两种方法的正确识别率对比 %

噪声	本文识别方法	模板匹配法
0.5 σ	96.6	86.1
1.0 σ	91.1	81.4
1.5 σ	89.0	79.6

另外, 本文方法充分利用了领域专家的知识, 通过构建隶属度与非隶属度函数简化了对目标观测值的处理. 显然, 当待识别目标有 n 批时, 该算法的时间复杂度为 $O(n)$. 仿真过程表明, 该方法满足防空作战的实时性要求.

5 结论

本文提出了基于可能度的客观排序方法, 它不具有丢失信息、不要求决策者承担风险等优点. 此外, 在用 IFS 表达目标特征模糊测量信息的基础上, 提出了基于 IFOWGA 算子的多属性决策识别方法, 它对目标识别的不确定性信息进行有效集结, 具有客观、准确的优点. 通过上述实例分析可以看出, 所提出的方法具有较高的正确识别率, 而且本文提出的所有方法都易于计算机编程实现, 符合防空作战的实时性

要求. 总之, 随着 IFS 在目标识别领域的创新应用, 该方面的研究必将为防空指挥自动化中的不确定性信息处理提供新的思路和方法.

参考文献(References)

- [1] 王晓丹, 王积勤. 雷达目标识别技术综述[J]. 现代雷达, 2003, 25(5): 22-26.
(Wang X D, Wang J Q. A survey of radar target recognition technique[J]. Modern Radar, 2003, 25(5): 22-26.)
- [2] 邢清华, 刘付显. 空袭目标类型的模糊识别与聚类研究[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(6): 139-143.
(Xing Q H, Liu F X. Study on the fuzzy recognition and cluster of air attack target character[J]. Systems Engineering Theory and Practics, 2004, 24(6): 139-143.)
- [3] 王君, 娄寿春, 陈绍顺. 空袭目标综合识别模型的研究[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(5): 51-54.
(Wang J, Lou S C, Chen S S. Study on the model of air strike target synthetic identification[J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(5): 51-54.)
- [4] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.
- [5] Hong Wang, Jie Wang. The application of intuitionistic fuzzy theory in radar target identification[C]. Proc of the Intelligent Computing 5th Int Conf on Emerging Intelligent Computing Technology and Applications. Berlin: Springer-verlag, 2009: 166-173.
- [6] 邢清华, 刘付显. 直觉模糊集隶属度与非隶属度函数的确定方法[J]. 控制与决策, 2009, 24(3): 393-397.
(Xing Q H, Liu F X. Method of determining membership and nonmembership function in intuitionistic fuzzy sets[J]. Control and Decision, 2009, 24(3): 393-397.)
- [7] 张进, 陈东锋. 直觉模糊综合评判在目标识别中的应用[J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2009, 27(4): 407-411.
(Zhang J, Chen D F. Target recognition based on intuitionistic fuzzy comprehensive evaluation[J]. J of Jilin University: Information Science Edition, 2009, 27(4): 407-411.)
- [8] Xu Z S, Yager R R. Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets[J]. Int J of General Systems, 2006, 35: 417-433.
- [9] 林琳. 直觉模糊集在近似推理与决策中的应用[D]. 大连: 大连理工大学应用数学系, 2006.
(Lin L. The application of intuitionistic fuzzy sets in approximate reasoning and decision-making[D]. Dalian: Department of Applied Mathematics, Dalian University of Technology, 2006.)
- [10] Xu Z S. An overview of methods for determining OWA weights[J]. Int J of Intelligent Systems, 2005, 20: 843-865.
- [11] 雷英杰, 王宝树, 王毅. 基于直觉模糊决策的战场态势评估方法[J]. 电子学报, 2006, 34(12): 2175-2179.
(Lei Y J, Wang B S, Wang Y. Techniques for battlefield situation assessment based on intuitionistic fuzzy decision[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(12): 2175-2179.)
- [12] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
(Xu Z S. Uncertain multiple attribute decision making: Methods and applications[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.)

(上接第1045页)

- [17] Lippman S A. Applying a new device in the optimization of exponential queueing system[J]. Operations Research, 1975, 23(4): 687-710.
- [18] Shaked M, Shanthikumar J G. Stochastic orders[M]. New York: Springer-Verlag, 2007.
- [19] Veinott A F. Optimal policy in a dynamic, single product, nonstationary inventory model with several demand classes[J]. Operations Research, 1965, 13(5): 761-778.
- [20] Ha A Y. Inventory rationing in a make-to-order production system with several demand classes and lost sales[J]. Management Science, 1997, 43(8): 1093-1103.
- [21] Ha A Y. Stock-rationing policy for a make-to-stock production system with two priority classes and backordering[J]. Naval Research Logistics, 1997, 44(5): 457-472.
- [22] de Véricourt F, Karaesmen F, Dallery Y. Optimal stock allocation for a capacitated supply system[J]. Management Science, 2002, 48(11): 1486-1501.
- [23] Huang B, Iravani S M R. A make-to-stock system with multiple customer classes and batch ordering[J]. Operations Research, 2008, 56(5): 1312-1320.
- [24] Çil E B, Örmeci E L, Karaesmen F. Effects of system parameters on the optimal policy structure in a class of queueing control problems[J]. Queueing System, 2009, 61(4): 273-304.