

文章编号: 1001-0920(2011)12-1877-04

一种三角模糊数型多属性决策方法

胡丽芳^{1,2}, 关欣^{1,3}, 邓勇⁴, 何友¹

(1. 海军航空工程学院 信息融合技术研究所, 山东 烟台 264001; 2. 海军装备研究院, 北京 102249;
3. 国防科技大学 电子科学与工程学院, 长沙 410073; 4. 上海交通大学 电子信息学院, 上海 200240)

摘要: 针对模糊群体多属性决策问题, 提出一种模糊群体多属性决策方法. 首先, 定义了任意专家的中心决策矩阵; 其次, 利用任意 2 个规范化决策矩阵之间的相似度获得专家的综合重要性程度; 再次, 通过专家的综合重要性程度得到方案的平均可信度, 进而得到方案的排序结果; 最后, 实例分析表明了所提出方法的可行性和有效性.

关键词: 模糊多属性决策; 三角模糊数; 权重

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Approach for fuzzy multi-attribute decision making

HU Li-fang^{1,2}, GUAN Xin^{1,3}, DENG Yong⁴, HE You¹

(1. Research Institute of Information Fusion, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China; 2. Navy Armament Academy, Beijing 102249, China; 3. Institute of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China; 4. School of Electronics and Information Technology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China. Correspondent: HU Li-fang, E-mail: hlf1983622@163.com)

Abstract: A method is proposed for interval multi-attribute decision-making, in which the attribute values are in the form of interval numbers. The central decision making matrix is defined. Then, the general importance measurement of experts is derived through the similarity of two standardized decision making matrix. By using it, the equal reliability degree for alternatives is obtained. Furthermore, the alternatives are ranked by using the equal reliability degree. Finally, an illustrative numerical example shows the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Key words: fuzzy multi-attribute decision making; triangular fuzzy number; weight

1 引言

多属性决策问题是系统工程、决策科学等领域的研究热点, 在现实生活中也有着十分广泛而重要的运用. 它是决策理论研究的重要内容, 其中决策信息变量取单实值和区间数的多属性决策问题的研究取得了许多成果, 已广泛应用于投资决策、方案选优、项目评估和经济效益综合评价等诸多领域^[1-4]. 在决策过程中, 一般需先确定属性的权重. 传统的多属性决策方法中, 关于权重确定的方法可分为主观法和客观法两大类. 主观法是由决策者对各属性的主观重视程度赋权的方法, 包括专家调查法、层次分析法等; 客观法是利用属性的权重信息确定权重的方法, 包括熵信息法、离差最大化方法和基于方案满意度法等.

综上所述, 无论是主观赋权法还是客观赋权法,

在确定权重时都没有考虑决策者思维的模糊性. 由于客观事物的复杂性和不确定性, 以及人类思维的模糊性, 人们所给出的决策信息有时是以三角模糊数的形式表示的. 文献[5]对属性值为三角模糊数和属性权重不完全确知且决策者对方案有偏好的模糊多属性决策问题进行了研究, 但关于属性权重和属性值均为三角模糊数的群体多属性决策问题的研究尚不多见. 为此, 本文首先给出了有关三角模糊数的定义和运算; 然后, 引入文献[6-7]关于依赖于评价属性和专家意见相似度的专家权重思想, 将专家意见的主观性与决策意见相似度的客观性相结合, 确定了专家综合重要性程度; 最后, 提出了基于可信度的三角模糊数群体多属性决策方法.

收稿日期: 2010-07-14; 修回日期: 2010-11-15.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60572161, 60874105); 全国优秀博士学位论文作者专项基金项目(200443); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-08-0345); 上海市青年科技启明星计划项目(09QA1402900); 航空科学基金项目(20090557004).

作者简介: 胡丽芳(1983-), 女, 博士, 从事智能计算、模式识别的研究; 关欣(1978-), 女, 教授, 博士后, 从事多传感器信息融合、雷达数据处理等研究.

2 预备知识

定义 1 称 $u_{\tilde{M}}(x)$ 中的 \tilde{M} 为模糊数, 如果 \tilde{M} 是定义在实数域 R 上的模糊集, 并满足以下条件: 1) 存在唯一的点 $x_0 \in R$, 使得 $u_{\tilde{M}}(x_0) = 1$, 此时 x_0 称为 \tilde{M} 的平均值; 2) $u_{\tilde{M}}(x)$ 是左、右连续的; 3) $u_{\tilde{M}}(x)$ 是上凸的. 模糊数 \tilde{M} 的含义是“近似于 x_0 的实数”.

模糊数 \tilde{M} 的一般表达式为

$$u_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} L(x), & a \leq x \leq b; \\ R(x), & b \leq x \leq c. \end{cases} \quad (1)$$

其中: $L(x)$ 为增函数且右连续, $R(x)$ 为减函数且左连续, $0 \leq L(x), R(x) \leq 1$. 如果函数 $L(x)$ 和 $R(x)$ 均为线性函数, 则 \tilde{M} 称为三角模糊数, 简记为 $\tilde{M} = (a, b, c)$.

三角模糊数是一类特殊的模糊数, 其隶属函数

$$u_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b; \\ 1, & x = b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x \leq c; \\ 0, & x > c. \end{cases} \quad (2)$$

定义 2 若 $a = [a^L, a^M, a^U]$, 其中 $0 < a^L \leq a^M \leq a^U$, 则称 a 为一个三角模糊数. 为方便起见, 先给出下列有关三角模糊数的运算.

设 $a = [a^L, a^M, a^U]$, $b = [b^L, b^M, b^U]$, 则:

1) $a + b = [a^L, a^M, a^U] + [b^L, b^M, b^U] = [a^L + b^L, a^M + b^M, a^U + b^U]$;

2) $a \times b = [a^L, a^M, a^U] \times [b^L, b^M, b^U] = [a^L b^L, a^M b^M, a^U b^U]$;

3) $\frac{1}{a} = \left[\frac{1}{a^L}, \frac{1}{a^M}, \frac{1}{a^U} \right]$;

4) $\lambda a = [\lambda a^L, \lambda a^M, \lambda a^U]$, $\lambda \geq 0$.

定义 3 设 $a = [a^L, a^M, a^U]$, $b = [b^L, b^M, b^U]$ 为任意 2 个三角模糊数, 则称

$$d(a, b) = \left[\frac{|a^L - b^L|^2 + |a^M - b^M|^2 + |a^U - b^U|^2}{3} \right]^{1/2} \quad (3)$$

为三角模糊数 $a = [a^L, a^M, a^U]$ 到三角模糊数 $b = [b^L, b^M, b^U]$ 的距离.

3 模糊群体多属性决策问题

设模糊群体多属性决策问题中由多个专家个体所组成的专家群体 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$. 备选方案集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 评价属性集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 以及专家 $e_k (k = 1, 2, \dots, K)$ 对备选方案 $x_i \in X (i = 1, 2, \dots, n)$ 在评价属性 $u_j \in U (j = 1, 2, \dots, m)$ 下的评价价值(属性值)为 a_{ij}^k (这里 $a_{ij}^k = [a_{ij}^{kL}, a_{ij}^{kM}, a_{ij}^{kU}]$), 即每个专家关于方案在评价属性下的评价价值构成一个模糊决策矩阵 $A^k = (a_{ij}^k)_{n \times m}, k = 1, 2, \dots, K$.

解决模糊群体多属性决策问题的主要方法是, 通过集结专家个体的意见将模糊群体多属性决策问题转化为模糊多属性决策问题, 通过求解模糊多属性决策问题对方案进行择优或者排序, 也就是最终的决策者对上述 K 个模糊决策矩阵 A^k 进行集结, 得到一个专家群体关于备选方案集中的方案在评价属性集下的评价价值(属性值)构成的模糊决策矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times m}$, $a_{ij} = [a_{ij}^L, a_{ij}^M, a_{ij}^U]$, 并根据其偏好对不同的评价属性赋予相应的模糊权重值, 从而利用多属性决策方法对方案进行择优或者排序.

3.1 模糊决策矩阵规范化

最常见的评价属性类型有效益型属性和成本型属性. 效益型属性是评价价值越大越好的属性; 成本型属性是评价价值越小越好的属性. 设 $I_j (j = 1, 2)$ 分别表示效益型、成本型的下标集, 且令 $M = 1, 2, \dots, m, N = 1, 2, \dots, n$. 为了消除不同物理量纲对决策结果的影响, 下面给出规范化模糊决策矩阵的计算公式, 从而可以将各个专家的模糊决策矩阵 A^k 转化为规范化的模糊决策矩阵 $R^k = (r_{ij}^k)_{n \times m}$. 其中: $r_{ij}^k = [r_{ij}^{kL}, r_{ij}^{kM}, r_{ij}^{kU}]$, $\|\cdot\|$ 表示向量的范数. 且有

$$r_{ij}^k = a_{ij}^k / \|a_{ij}^k\|, \quad j \in I_1, i \in N; \quad (4)$$

$$r_{ij}^k = (1/a_{ij}^k) / \|(1/a_{ij}^k)\|, \quad j \in I_2, i \in N. \quad (5)$$

其中: $\|a_{ij}^k\| = \sum_{i=1}^n a_{ij}^k, \|(1/a_{ij}^k)\| = \sum_{i=1}^n 1/a_{ij}^k$. 根据三角模糊数的运算法则, 可将式 (4) 和 (5) 改写为

$$\left\{ \begin{aligned} r_{ij}^{kL} &= \frac{a_{ij}^{kL}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^{kL}}, \\ r_{ij}^{kM} &= \frac{a_{ij}^{kM}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^{kM}}, \\ r_{ij}^{kU} &= \frac{a_{ij}^{kU}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^{kU}}, \end{aligned} \right. \quad j \in I_1, i \in N; \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} r_{ij}^{kL} &= \frac{1/a_{ij}^{kL}}{\sum_{i=1}^n 1/a_{ij}^{kL}}, \\ r_{ij}^{kM} &= \frac{1/a_{ij}^{kM}}{\sum_{i=1}^n 1/a_{ij}^{kM}}, \\ r_{ij}^{kU} &= \frac{1/a_{ij}^{kU}}{\sum_{i=1}^n 1/a_{ij}^{kU}}, \end{aligned} \right. \quad j \in I_2, i \in N. \quad (7)$$

3.2 专家综合重要性程度的确定

考虑到不同专家在不同领域参与决策的重要性是不尽相同的事实, 例如代表工人的专家对候选人在

工作态度和工作作风这个评价属性下的评价价值比其他专家更权威, 而代表知识分子的专家对候选人在文化水平和知识结构这个评价属性下的评价价值比其他专家更权威. 也就是说, 专家个体的决策意见在专家群体中的重要性程度是依赖于评价属性这个特性的. 因此, 对应于每个主观评价属性 $u_j \in U (j = 1, 2, \dots, m)$, 都有一个相应的专家权重向量 $0 \leq w_k^j \leq 1 (k = 1, 2, \dots, K, \sum_k w_k^j = 1, j \in M)$ 来表达专家群体中的各个专家在该评价属性下的重要性程度.

除考虑专家个体的重要性程度外, 专家意见与其他专家意见的相似度也是作为评价决策者重要性程度的一个方面. 也就是说, 既要尊重专家个体的权威, 又要照顾到整个专家群体的一致意见.

具体步骤如下:

1) 计算任意 2 个专家个体 e_p 和 e_q 对于同一方案 x_i 在相同的主观评价属性 $u_j \in U$ 下的评价价值(属性值)的相似度, 即根据定义 3 计算任意 2 个三角模糊数 $r_{ij}^p = [r_{ij}^{pL}, r_{ij}^{pM}, r_{ij}^{pU}]$ 与 $r_{ij}^q = [r_{ij}^{qL}, r_{ij}^{qM}, r_{ij}^{qU}]$ 的相似度

$$s_j(p, q) = \sum_{i=1}^n (1 - d(r_{ij}^p, r_{ij}^q)). \quad (8)$$

2) 计算专家 $e_k (k = 1, 2, \dots, K)$ 关于方案 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 在评价属性 $u_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 下的评价价值在专家群体中的相对相似度

$$As_j(e_k) = \frac{1}{K-1} \sum_{l=1, l \neq k}^K s_j(k, l). \quad (9)$$

3) 计算专家 $e_k (k = 1, 2, \dots, K)$ 关于方案 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 在评价属性 $u_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 下的评价价值在专家群体中的相对相似度

$$Rs_j(e_k) = \frac{As_j(e_k)}{\sum_{l=1}^K As_j(e_l)}. \quad (10)$$

4) 综合考虑专家个体的权威以及专家个体意见与专家群体意见的相似度, 得到专家 e_k 对于方案 x_i 在主观评价属性 u_j 下评价价值的综合重要性程度

$$\omega_j(e_k) = \alpha \omega_k^j + (1 - \alpha) \cdot Rs_j(e_k), \quad (11)$$

式中 α 为权系数, 且 $0 \leq \alpha \leq 1$. α 的大小反映了最终决策者的偏好, α 越大, 说明最终决策者越倾向于专家个体的权威; α 越小, 说明最终决策者越倾向于整个专家群体的意见.

3.3 新方法

首先计算任意专家个体 e_k 对于方案 x_i 在相同的主观评价属性 $u_j \in U$ 下评价价值(属性值)的中心决策矩阵 $ER^k = (er_{ij}^k)_{n \times m}$, 其中

$$er_{ij}^k = \sqrt{((r_{ij}^{kL})^2 + (r_{ij}^{kM})^2 + (r_{ij}^{kU})^2)/3}. \quad (12)$$

然后计算整个专家群体对于同一个方案 x_i 在相同的

主观评价属性 $u_j \in U$ 下评价价值(属性值)的相似度. 由专家 e_k 的综合重要性程度 $\omega_j(e_k)$ 得到方案 x_i 被其他方案支持的可信度为

$$P_i = \sum_k \sum_j er_{ij}^k \omega_j(e_k). \quad (13)$$

定义 4 方案 x_i 被其他方案支持的平均可信度

$$c_i = P_i / \sum_{k=1}^K P_i. \quad (14)$$

从上述定义中可以很自然地得到 $\sum_{i=1}^N c_i = 1$, 也就是说所有方案的平均可信度之和是 1. 最后, 根据 c_i 的大小对方案进行排序或择优, c_i 越大, 对应的方案越优.

4 计算机仿真分析

例 1 多传感器目标识别是一个多因素的决策问题. 某融合中心拟选择一个最有威胁程度的目标, 共有 3 个潜在的目标(方案) $x_i (i = 1, 2, 3)$, 可供选择的属性有: 空袭兵器种类 u_1 , 目标速度 u_2 , 目标航向角 u_3 , 所有属性均为效益型. 然后由信源 $e_k (k = 1, 2, 3)$, 即信源 e_1 , 信源 e_2 和信源 e_3 三方推荐、评议, 并对各项属性分别打分, 再进行统计处理, 并从中确定 3 个候选目标 $x_i (i = 1, 2, 3)$. 由于信源所在领域和经验的差异, 导致对同一目标所给出的指标值(属性值)并不完全相同. 因此, 经过统计处理后, 信源 $e_k (k = 1, 2, 3)$ 对每个目标在各指标(属性)下的评价价值(属性值)均以三角模糊数形式给出, 并假设信源在 3 个主观评价属性上的权重向量分别为 $w^1 = (0.6, 0.2, 0.2)$, $w^2 = (0.1, 0.7, 0.2)$, $w^3 = (0.25, 0.30, 0.45)$ (在以往的研究中仅给出了一个信源权重向量, 而本文则给出了依赖于评价属性的一组信源权重向量). 信源对于每个目标在上述 3 个评价属性下所给出的指标值(属性值)如表 1~表 3 所示.

采用本文方法对 3 个候选目标进行排序, 具体步骤如下:

表 1 信源 e_1 对候选目标在各项指标下的评价价值

	u_1	u_2	u_3
x_1	[0.9, 0.92, 0.94]	[0.9, 0.9, 0.95]	[0.8, 0.85, 0.85]
x_2	[0.8, 0.87, 1.00]	[0.85, 0.92, 0.93]	[0.8, 0.85, 0.9]
x_3	[0.85, 0.95, 0.95]	[0.8, 0.89, 0.9]	[0.75, 0.8, 0.85]

表 2 信源 e_2 对候选目标在各项指标下的评价价值

	u_1	u_2	u_3
x_1	[0.85, 0.85, 0.85]	[0.8, 0.92, 0.92]	[0.85, 0.89, 0.9]
x_2	[0.7, 0.8, 0.9]	[0.9, 0.92, 0.95]	[0.75, 0.85, 0.9]
x_3	[0.8, 0.86, 0.89]	[0.85, 0.9, 0.9]	[0.8, 0.8, 0.85]

表 3 信源 e_3 对候选目标在各项指标下的评价价值

	u_1	u_2	u_3
x_1	[0.75, 0.85, 0.85]	[0.8, 0.95, 0.95]	[0.8, 0.8, 0.8]
x_2	[0.7, 0.85, 0.95]	[0.85, 0.85, 0.98]	[0.7, 0.8, 0.9]
x_3	[0.8, 0.9, 0.9]	[0.9, 0.9, 0.95]	[0.75, 0.85, 0.85]

Step 1: 首先根据表 1~表 3 中的数据建立如下模糊决策矩阵 A^k ($k=1, 2, 3$):

$$A^1 = \begin{bmatrix} [0.9, 0.92, 0.94] & [0.9, 0.9, 0.95] & [0.8, 0.85, 0.85] \\ [0.8, 0.87, 1.00] & [0.85, 0.92, 0.93] & [0.8, 0.85, 0.9] \\ [0.85, 0.95, 0.95] & [0.8, 0.89, 0.9] & [0.75, 0.8, 0.85] \end{bmatrix},$$

$$A^2 = \begin{bmatrix} [0.85, 0.85, 0.85] & [0.8, 0.92, 0.92] & [0.85, 0.89, 0.9] \\ [0.7, 0.8, 0.9] & [0.9, 0.92, 0.95] & [0.75, 0.85, 0.9] \\ [0.8, 0.86, 0.89] & [0.85, 0.9, 0.9] & [0.8, 0.8, 0.85] \end{bmatrix},$$

$$A^3 = \begin{bmatrix} [0.75, 0.85, 0.85] & [0.8, 0.95, 0.95] & [0.8, 0.8, 0.8] \\ [0.7, 0.85, 0.95] & [0.85, 0.85, 0.98] & [0.7, 0.8, 0.9] \\ [0.8, 0.9, 0.9] & [0.9, 0.9, 0.95] & [0.75, 0.85, 0.85] \end{bmatrix}.$$

Step 2: 各项指标均为效益型指标, 故可由式 (6) 将模糊决策矩阵 A^k ($k=1, 2, 3$) 转化为如下规范化决策矩阵 R^k ($k=1, 2, 3$):

$$R^1 = \begin{bmatrix} [0.31, 0.34, 0.37] & [0.32, 0.33, 0.37] & [0.31, 0.34, 0.36] \\ [0.28, 0.32, 0.39] & [0.31, 0.34, 0.36] & [0.31, 0.34, 0.38] \\ [0.29, 0.35, 0.37] & [0.29, 0.33, 0.35] & [0.29, 0.32, 0.36] \end{bmatrix},$$

$$R^2 = \begin{bmatrix} [0.32, 0.34, 0.36] & [0.29, 0.34, 0.36] & [0.32, 0.35, 0.38] \\ [0.27, 0.32, 0.38] & [0.32, 0.34, 0.37] & [0.28, 0.33, 0.38] \\ [0.30, 0.34, 0.38] & [0.31, 0.33, 0.35] & [0.30, 0.31, 0.35] \end{bmatrix},$$

$$R^3 = \begin{bmatrix} [0.28, 0.33, 0.38] & [0.28, 0.35, 0.37] & [0.31, 0.33, 0.36] \\ [0.26, 0.33, 0.42] & [0.30, 0.31, 0.38] & [0.27, 0.33, 0.40] \\ [0.30, 0.35, 0.40] & [0.31, 0.33, 0.37] & [0.29, 0.35, 0.38] \end{bmatrix}.$$

Step 3: 根据式 (8)~(11), 求出不同 α 时的专家综合重要性程度 $\omega_j(e_k)$ ($j=1, 2, 3, k=1, 2, 3$) 如表 4~表 7 所示.

Step 4: 根据式 (12) 求出中心决策矩阵 ER^k ($k=1, 2, 3$) 如下:

表 4 专家综合重要性程度 ($\alpha=0.2$)

$\omega_j(e_k)$	u_1	u_2	u_3
e_1	0.387 4	0.306 4	0.307 1
e_2	0.287 1	0.407 3	0.306 8
e_3	0.315 5	0.326 3	0.356 2

表 5 专家综合重要性程度 ($\alpha=0.3$)

$\omega_j(e_k)$	u_1	u_2	u_3
e_1	0.414 0	0.293 1	0.293 7
e_2	0.263 7	0.443 9	0.293 4
e_3	0.307 3	0.323 0	0.367 9

表 6 专家综合重要性程度 ($\alpha=0.5$)

$\omega_j(e_k)$	u_1	u_2	u_3
e_1	0.467 1	0.266 5	0.266 9
e_2	0.216 9	0.517 1	0.266 7
e_3	0.290 9	0.316 4	0.391 3

表 7 专家综合重要性程度 ($\alpha=0.8$)

$\omega_j(e_k)$	u_1	u_2	u_3
e_1	0.546 8	0.226 6	0.226 8
e_2	0.146 8	0.626 8	0.226 7
e_3	0.266 4	0.306 6	0.426 5

$$ER^1 = \begin{bmatrix} 0.339 4 & 0.343 5 & 0.337 2 \\ 0.332 3 & 0.337 5 & 0.344 9 \\ 0.339 4 & 0.324 2 & 0.324 8 \end{bmatrix},$$

$$ER^2 = \begin{bmatrix} 0.341 2 & 0.329 8 & 0.349 4 \\ 0.325 9 & 0.345 0 & 0.333 0 \\ 0.342 9 & 0.330 0 & 0.324 4 \end{bmatrix},$$

$$ER^3 = \begin{bmatrix} 0.330 0 & 0.336 5 & 0.332 4 \\ 0.342 7 & 0.333 6 & 0.337 6 \\ 0.350 1 & 0.340 4 & 0.341 4 \end{bmatrix}.$$

Step 5: 根据专家综合重要性程度, 求出不同 α 时的各备选方案 c_i , 见表 8.

表 8 备选方案的排序

α	c_i			排 序
	c_1	c_2	c_3	
0.2	0.334 1	0.333 9	0.332 0	$x_1 \succ x_2 \succ x_3$
0.3	0.333 9	0.334 0	0.332 1	$x_2 \succ x_1 \succ x_3$
0.5	0.333 6	0.334 3	0.332 2	$x_2 \succ x_1 \succ x_3$
0.8	0.333 0	0.334 6	0.332 3	$x_2 \succ x_1 \succ x_3$

Step 6: 随着 α 的增大, 最终决策者更倾向于专家个体的权威, 更倾向认定 x_2 为威胁程度最大的目标. 相反, α 较小时, 说明最终决策者更倾向于整个专家群体的意见, 此时认定 x_1 为威胁程度最大的目标.

5 结 论

本文研究了不确定多属性决策中的模糊赋权问题. 通过定义任意 2 个专家个体 e_p 和 e_q 对于同一个方案 x_i 在相同的主观评价属性 $u_j \in U$ 下评价值(属性值)的相似度, 给出专家综合重要性程度, 并提出了一种不确定多属性决策方法. 计算机仿真算例的结果也表明了所提出的方法是行之有效的. 该方法在使用过程中有利于表现决策者思想中关于属性权重的模糊信息, 丰富了多属性决策的赋权理论.

参考文献(References)

[1] 何友, 王国宏, 关欣. 信息融合理论及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
(He Y, Wang G H, Guan X. Information fusion theory with applications[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010.)