

CBR 阈值混合相似度及在武器效能评估中的应用

沈 博,严洪森,杨 欣

(东南大学 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室,江苏 南京 210096;
东南大学 自动化学院,江苏 南京 210096)

摘 要:一个好的相似度评估方法,将有助于解决海洋环境下武器装备效能的定量评估问题,为决策提供参考。为了解决海洋环境下武器装备效能的评估问题,文中在对相似性度量方法研究的基础上,提出了一种新的 CBR(基于案例推理)相似度量法,即阈值混合相似度量法,并用该方法对海洋环境下武器效能进行评估。首先,阐述了模糊属性间相似性度量的方法;然后,对三角形函数表示的模糊属性相似性度量方法进行深入研究,并与一般的度量方法相结合;最后,详细地阐述了该方法的具体应用。

关键词:基于案例推理;模糊集;案例检索;海洋环境

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)08-0026-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.08.007

Threshold Hybrid Similarity Measurement Method in CBR and Its Application to Assessment of Weapon Efficiency

SHEN Bo, YAN Hong-sen, YANG Xin

(MOE Key Laboratory of Measurement and Control of Complex Systems of Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;
School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: A good similarity evaluation method will help to solve the problem of quantitative evaluation of operational effectiveness of weapon equipment in marine environment, providing reference for making a strategic decision. To solve the problem of efficiency evaluation for weapon equipment under marine environment, on the basis of researching into the similarity measure method, propose a new CBR (Case Based Reasoning) similarity measure method, which is called threshold hybrid similarity measurement method, to assess the effectiveness of the weapons in the marine environment in this paper. First of all, the fuzzy similarity measure between attributes is expatiated. Then in-depth study on the fuzzy attribute similarity measure represented by the triangle function method is done and it is combined with the normal method. At last, the concrete application of the method is described in detail.

Key words: CBR; fuzzy set; case retrieval; marine environment

0 引言

随着科学技术的发展,谍报战、信息战、电子战等一些现代战术的应用,各种先进电子设备陆续用到了武器装备上,这些现代化装备对环境要求比较严格,海洋环境对任一个武器装备效能的影响都会对整个编队的作战效果产生不同程度的制约^[1]。海洋环境下武器装备的作战效能是指在特定条件下,武器装备用来执行特定作战任务所能达到预期目标的有效程度,是一

个动态的过程,是整个海洋作战行动准备工作的重要环节,为作战计划的制定提供决策支持。目前的一些评估分析主要是简单的统计查询或是根据保障经验总结出来的定性描述^[2-5],无法准确推算新武器在不同气象水文要素对其效能产生的综合影响,而且尚未形成有效的、权威的评估体系,难以适应信息化条件下高技术战争的保障需要。

美国耶鲁大学 Roger Schank 在《Dynamic Memo-

收稿日期:2013-11-14

修回日期:2014-02-18

网络出版时间:2014-05-21

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(60934008)

作者简介:沈 博(1988-),女,辽宁沈阳人,硕士研究生,研究方向为计算机集成制造;严洪森,博士,教授,博士生导师,研究方向为生产计划与调度、知识化制造、预测等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140525.1242.020.html>

ry》中首次提出了基于案例推理的理论认知模型及框架^[6]。随着人们对 CBR 逐渐深入的研究,使得 CBR 的应用范围不断扩大。目前 CBR 系统中有传统方法,如欧几里得距离法、模糊集法等。传统的 CBR 系统中,依靠已经存在的案例进行搜索,通过改变相似案例的参数来决定新案例的结果,这种方法需要大量的案例和设计人员大量的时间。欧几里得距离测量相似度只考虑了确定属性的情况,不仅效率低,而且结果无法令人满意。而模糊集法正好解决了 CBR 系统对模糊概念无能为力和求解效率低的弊端。模糊集理论可以更自然地模拟现实世界或时间,是当前学术界的共识^[7]。对于海洋环境下武器效能评估的问题,现有案例数量很少而且属性数值不全,而基于支持向量机针对小样本进行模型训练和神经网络理论针对大样本进行模型训练,对于案例很少的情况均无法进行评估。因此在混合相似度^[6]基础上文中提出一种阈值混合相似度计算方法来求案例属性间的相似度。由于两个属性间相似度与目标案例的属性个数存在一定的联系,当目标案例的属性个数大于已有案例的属性个数时,对相似度过低的情况进行处理,能较好地反映问题的实质,这样既解决了确定属性也解决了模糊属性的相似度计算。因此在海洋环境武器效能评估系统中,通过比较目标案例与案例库中案例的阈值混合相似度,能更准确地得到相似案例。

1 理论分析

根据 CBR 工作原理, CBR 系统的执行分为三个过程:特征辨识、初步匹配和最佳选定^[8]。首先初步辨识是获取新问题的特征,通常是从对问题的描述中直接获得特征;也可以是分析理解后得到的特征。初步匹配是在案例库中找到一组与当前问题相同的案例,通过使用上述特征作为案例库的检索条件。由于一般不存在精确匹配,因此要对案例之间的特征关系进行相似度匹配的估计。最佳选定是从初步匹配过程中获得的一组候选案例中选取一个或几个与当前问题最相关的案例。

CBR 系统的核心过程就是案例的相似度检索。CBR 系统用加权的海明距离和欧几里得距离反函数来计算两个案例间的相似度,但其只考虑了有确定属性值的情况,并简单地把模糊属性等同于确定属性来处理^[9]。Zadeh 首先提出了模糊集理论,为了使 CBR 系统更加灵活,一些研究提出了模糊 CBR 方法^[10-12]。该方法用模糊集理论中的模糊变量来评估案例中属性间的相似度。

要对案例属性进行分类,首先对属性通常所具有的属性值进行分类^[13]:确定数字属性值、确定符号属

性值、模糊概念属性值、模糊数或模糊区间属性值。

2 阈值混合相似度及其算法实现

文中提出用阈值混合相似度对案例进行模糊检索。当属性无相应属性值时,无法进行相似度匹配。阈值混合相似度定义了目标案例与已有案例所包含的可进行相似匹配的属性个数、目标案例所包含的属性个数和混合相似度三者间的关系。当两个案例所包含可进行相似匹配的属性越多时,阈值就越小;当两个案例所包含可进行相似匹配的属性越少时,阈值就越大。这是因为已有案例当所包含可进行相似度匹配属性个数较多时,可以全面对案例进行相似度匹配,所产生的偏差较小,所以所设定的阈值要求较低;而当已有案例所包含可进行相似度匹配属性个数较少时,已有案例本身不能全面地反映目标案例的本质特性,所以要提高阈值要求,使已有案例可进行相似度匹配的属性能够较准确地反映目标案例。两个案例的同一属性间的阈值混合相似度是在混合相似度的基础上,增加判断混合相似度与阈值的关系。为了设计海洋环境下武器效能评估系统,首先引入模糊相似度的分析。模糊属性相似度应用特别的关系函数,如三角函数、梯形函数、线性函数、高斯函数等^[14]。模糊数可以用高斯函数表示,但是高斯函数计算过于复杂,文中采用基于梯形的模糊集合来模拟模糊属性,其形状函数如下^[15]:

$$L(x) = R(x) = \max(0, 1 - x) \quad (1)$$

所以模糊集 M 中元素 x 的隶属函数 $S_M(x)$ 表示如下^[15]:

$$S_M(x) = \begin{cases} L\left(\frac{m_d - x}{u}\right), & x \leq m_d \\ 1, & m_d \leq x \leq m_s \\ R\left(\frac{x - m_s}{v}\right), & x \geq m_s \end{cases} \quad (2)$$

式中, M 为论域 N 上的模糊集; m_d 和 m_s 为论域 N 的下边界和上边界。三角模糊集是梯形模糊集的一种特例, $m_d = m_s$ 。模糊数属性的 u 值取 km_d , v 值取 km_s , k 为常数默认为 0.1。

文中目标案例 P 与已有案例 Q 间属性的模糊属性相似度通过相对面积法计算。相对面积法通过计算两个隶属函数对应面积的重叠率作为两个模糊集间的相似度,既准确又简单。为此,参照文献^[15],结合文中案例匹配的需要,将模糊相似度计算公式改写成如下形式:

$$\begin{aligned} \text{asim}(p_i, q_i) &= A(p_i \cap q_i) / A(p_i \cup q_i) = \\ &= A(p_i \cap q_i) / (A(p_i) + A(q_i) - A(p_i \cap q_i)) \end{aligned} \quad (3)$$

式中, p_i, q_i 分别是目标案例 P 与已有案例 Q 相应

属性的模糊集; $\text{asim}(p_i, q_i)$ 是两个模糊集 p_i 和 q_i 间的模糊相似度; A 表示相应模糊集的面积; $p_i \cap q_i$ 表示两个模糊集 p_i 和 q_i 的交集。模糊集间的交集有五种形式^[16], 以三角函数来表示, 如图 1 所示。

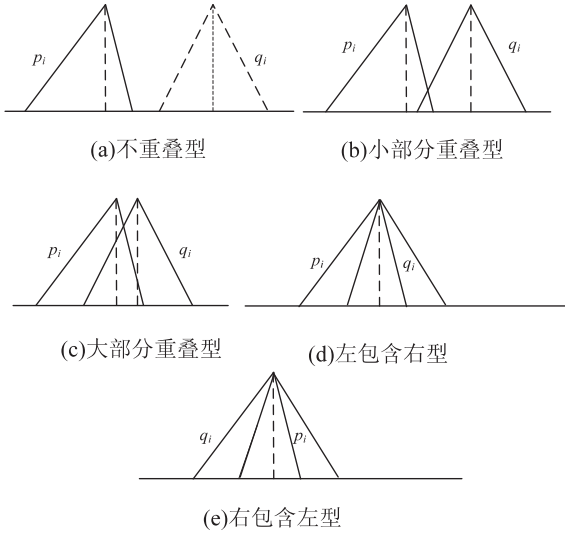


图 1 两个模糊集 p_i 和 q_i 间的不同相似性类型

图 1 中(a)表示两个模糊集没有重叠, 即 $A(p_i \cap q_i) = 0$; (b)、(c)表示两个模糊集间有部分重叠, 即 $0 < A(p_i \cap q_i) < \min(A(p_i), A(q_i))$; (d)表示模糊集 p_i 包含模糊集 q_i , 即 $A(p_i \cap q_i) = A(q_i)$; (e)表示模糊集 q_i 包含模糊集 p_i , 即 $A(p_i \cap q_i) = A(p_i)$ 。

在计算两个案例间的相似度之前, 首先要计算出案例中属性间的相似度和案例中各个属性所占比例。文中在混合相似度^[15]的基础上提出了两个案例的同一属性间阈值混合相似度量法的计算公式:

$$\text{tsim}(p_i, q_i) = \begin{cases} \text{hsim}(p_i, q_i), & \text{hsim}(p_i, q_i) \geq K \\ 0, & \text{hsim}(p_i, q_i) < K \end{cases} \quad (4)$$

式中, $\text{tsim}(p_i, q_i)$ 为两个案例同一属性间的阈值混合相似度; $\text{hsim}(p_i, q_i)$ 为两个案例同一属性间的混合相似度; K 为给定的阈值, 若 $\text{hsim}(p_i, q_i) < K$, 则目标案例 P 与已有案例 Q 完全不相似, 阈值 K 的计算公式如下:

$$K = 1 - f/n \quad (5)$$

式中, f 是已有案例 Q 所包含的可与目标案例 P 进行相似度匹配属性的个数; n 为目标案例 P 全部属性的个数。

在文献[15]中, 采用加权平均算子来对属性间的相似度进行聚合, 得到案例间的混合相似度, 结合文中案例匹配的需要, 需要先求出两个案例同一属性间的混合相似度, 判断其是否满足阈值要求, 因此对混合相似度计算公式进行改写, 得到两个案例的同一属性间的混合相似度 $\text{hsim}(p_i, q_i)$ 计算公式如下:

$$\text{hsim}(p_i, q_i) = \alpha_{i1} \text{asim}(p_i, q_i) + \alpha_{i2} \text{dsim}(p_i, q_i) \quad (6)$$

式中, $\text{asim}(p_i, q_i)$ 是两个案例同一属性间的模糊相似度; $\text{dsim}(p_i, q_i)$ 是两个案例同一属性间的确定性相似度; α_{i1} 和 α_{i2} 为 $\text{asim}(p_i, q_i)$ 和 $\text{dsim}(p_i, q_i)$ 的组合规则。

根据两个模糊集间的相似度所属类型, 通过公式(3)计算得到两个属性间的模糊相似度 $\text{asim}(p_i, q_i)$ 。两个模糊集间的相似度所属类型可通过两个模糊集的交叉点 (p_i^*, q_i^*) 的纵坐标 q_i^* 来判定, p_i^* 、 q_i^* 的计算公式如下^[15]:

$$p_i^* = \frac{(v_{p_i} m_{dq_i} + u_{q_i} m_{sp_i})}{(v_{p_i} + u_{q_i})} \quad (7)$$

$$q_i^* = 1 - (p_i^* - m_{sp_i})/v_{p_i} \quad (8)$$

当 $q_i^* \leq 0$ 时, 两模糊集间的相似性属于图 1 中(a)类型; 当 $0 < q_i^* < 1$ 时, 两模糊集间的相似性属于(b)类型; 除此之外, 两模糊集间的相似性属于(c), (d) 或者(e)类型。

确定第 i 个属性的取值范围 $S = [\min_i, \max_i]$, S 与所选取的案例无关, 是目标案例所属武器类别的第 i 个属性设计要求。 $\text{dsim}(p_i, q_i)$ 可以通过欧几里得反函数计算^[15]:

$$\text{dsim}(p_i, q_i) = 1 - \frac{\text{dist}(c_{p_i}, c_{q_i})}{|\max_i - \min_i|} \quad (9)$$

式中, $\text{dsim}(p_i, q_i)$ 是确定性属性间的相似度; c_{p_i} 、 c_{q_i} 分别为属性 $i(1, 2, \dots, n)$ 的两个模糊集 p_i^* 与 q_i^* 的中心值。

c_{p_i} 、 c_{q_i} 的计算公式如下^[15]:

$$c_{p_i} = (m_{dp_i} + m_{sp_i})/2 \quad (10)$$

$$c_{q_i} = (m_{dq_i} + m_{sq_i})/2 \quad (11)$$

其中, m_{dp_i} 是目标案例 P 第 i 个属性给定取值范围的下限; m_{sp_i} 是目标案例 P 第 i 个属性给定取值范围的上限; m_{dq_i} 、 m_{sq_i} 分别为已有案例 Q 第 i 个属性给定取值范围的下限和上限。

公式(10)中的 m_{dp_i} 、 m_{sp_i} 和公式(11)中的 m_{dq_i} 、 m_{sq_i} 是由具体武器决定, 而公式(9)中的 \min_i 和 \max_i 是由武器类别的设计需求决定。举例来说, 目标案例 P 的武器型号为 GuideMissile1, 已有案例 Q 的武器型号为 GuideMissile2, 这两个武器的所属类别为导弹。依据设计要求导弹第 i 个属性的取值范围为 $[0, 100]$, 因此 $\min_i = 0$, $\max_i = 100$; GuideMissile1 型导弹的第 i 个属性给定的取值范围为 $[1, 3]$, 因此 $m_{dp_i} = 1$, $m_{sp_i} = 3$; GuideMissile2 型导弹的第 i 个属性给定的取值范围为 $[2, 3.5]$, 因此 $m_{dq_i} = 2$, $m_{sq_i} = 3.5$ 。

通过这个例子可以看出导弹这个类别的第 i 个属性的设计要求的取值范围一定大于属于导弹这个类别的具体某个武器的该属性的取值范围。 $\text{asim}(p_i, q_i)$

和 $dsim(p_i, q_i)$ 组合规则 α_{i1} 和 α_{i2} 的计算公式如下:

$$\alpha_{i1} = \min \left[\frac{|\max(u_i) - \min(v_i)|}{(\max_i - \min_i)}, 0.9 \right] \quad (12)$$

$$\alpha_{i2} = 1 - \alpha_{i1} \quad (13)$$

式中, u_i 表示已有案例 Q 的第 i 个属性的值, $u_i \in U_i$, $U_i = [\min_{u_i}, \max_{u_i}]$ 是已有案例 Q 的第 i 个属性的论域, 即式(12)中的 $\max(u_i) = \max_{u_i}$; v_i 表示目标案例 P 的第 i 个属性的值, $v_i \in V_i$, $V_i = [\min_{v_i}, \max_{v_i}]$ 是目标案例 P 的第 i 个属性的论域, 即式(12)中的 $\min(v_i) = \min_{v_i}$ 。

由式(6)可知, 文中将两个属性间的相似度分为确定属性相似度和模糊属性相似度, 即两个属性间既有确定部分又有模糊部分。式(12)中 $|\max(u_i) - \min(v_i)|$ 的大小表示目标案例 P 的第 i 个属性对于已有案例 Q 的第 i 个属性的模糊程度, 值越小表示目标案例 P 的第 i 个属性对于已有案例 Q 的第 i 个属性的模糊程度越小, 值越大表示目标案例 P 的第 i 个属性对于已有案例 Q 的第 i 个属性的模糊程度越大, 并将其归一化。当两个属性的论域完全相同即 $\alpha_{i1} = 0$ 时, 目标案例 P 的第 i 个属性对于已有案例 Q 的第 i 个属性就成为了确定性属性, 由式(9)可知两个属性之间必包含确定部分, 因此这里限定两个属性间的模糊程度归一化后最大不可以超过 0.9。在设计 CBR 系统时, 从数据库中调用专家经验给出的 α'_{i1} , α'_{i1} 是专家给出对已有案例 Q 中第 i 个属性匹配时的最小模糊程度(不包含 $\alpha_{i1} = 0$ 的情况)。使用时, 受具体属性值的影响。若根据具体属性值计算出的 $\alpha_{i1} \geq \alpha'_{i1}$, 则 α_{i1} 不变, 否则 $\alpha_{i1} = \alpha'_{i1}$ 。采用加权平均算子来对属性间的阈值混合相似度进行聚合, 目标案例 P 与已有案例 Q 间相似度 $csim(P, Q)$ 的计算公式如下:

$$csim(P, Q) = \sum_i a_i tsim(p_i, q_i) \quad (14)$$

其中, $csim(P, Q)$ 表示两个案例间的相似度; $tsim(p_i, q_i)$ 表示目标案例 P 的第 i 个属性与已有案例 Q 的第 i 个属性间的阈值混合相似度; a_i 是每一属性的权重, $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, n 为目标案例 P 全部属性的个数。

针对上述理论分析, 开发的阈值混合相似度算法思想如下:

Step1: 从案例库中选择一个已有案例 Q 与目标案例 P 进行相似匹配。目标案例属性个数为 n , 从目标案例的第 $i=1$ 个属性开始进行相似度匹配;

Step2: 提取出目标案例和已有案例的第 i 个属性;

Step3: 若已有案例的第 i 个属性不能进行相似度匹配且 $i \neq n$, 则置 $i=i+1$, 转至 Step2; 若已有案例的第 i 个属性不能进行相似度匹配且 $i=n$, 则转至 Step9;

Step4: 提取两个属性的模糊集 p_i 和 q_i , 确定两个

模糊集的相关参数, 通过公式(3)计算两个属性间的模糊相似度 $asim(p_i, q_i)$;

Step5: 按式(9)计算两个属性间的确定性相似度 $dsim(p_i, q_i)$;

Step6: 将两个属性间的模糊相似度和确定性相似度通过一定的规则 α_{i1} 和 α_{i2} 结合起来, 按式(6)得到两个属性间的混合相似度 $hsim(p_i, q_i)$;

Step7: 判断属性间的混合相似度 $hsim(p_i, q_i)$ 与阈值 K 的大小。若混合相似度小于阈值, 则舍弃该已有案例 Q , 转至 Step10; 若混合相似度大于阈值, 则按式(4)得到两个属性间的阈值混合相似度 $tsim(p_i, q_i)$;

Step8: 如果 $i < n$, 则置 $i=i+1$, 转至 Step2, 直到两个案例间的所有属性匹配完毕;

Step9: 采用加权算子法按式(14)对所有属性阈值混合相似度进行聚合得到两个案例间的相似度;

Step10: 结束。

3 海洋环境下导弹实例分析

采用 Oracle 10g 数据库和 C# 面向对象的语言, 开发了海洋环境下武器作战效能评估系统。下面以一个简单的导弹案例库为例, 验证文中提出的基于案例推理的阈值混合相似度度量法。问题的关键是计算出导弹给定的不同属性间的阈值混合相似度, 再通过一定的聚合方法得到目标导弹与导弹案例库中不同型号导弹间的相似度。

3.1 案例间阈值混合相似度

首先给定一个新型武器 M-1 型导弹, 该导弹的属性主要为直径、重量、长度、最大射程、最大航速, 记为 $P = [p_1, p_2, p_3, p_4, p_5]$, 导弹的每个属性所占的比例记为 $W = [w_1, w_2, w_3, w_4, w_5]$ 。案例中所有导弹的属性数据如表 1 所示。表 1 中除 M-1 型导弹外, 其余为案例库的案例。

表 1 导弹属性

武器型号	直径 /m	重量 /kg	长度 /m	最大射程 /km	最大航速 /马赫
M-1	0.13	2 000	8.7	105	1.5
GuideMissile1				100	0.75
GuideMissile2				8	4.5
GuideMissile3				450	0.85
GuideMissile4				200	2.3
GuideMissile5				130	0.9
GuideMissile6				250	2.5
GuideMissile7				70	0.9
GuideMissile8				300	
GuideMissile9				6	2.5
GuideMissile10	0.127			9.26	

表 1 中缺失数据是因为表中无相关属性的数据,

无数据的属性不能进行相似匹配。设定每个导弹均有 5 个属性,假设每个属性的权重相同,因此 $W = [0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2]$ 。由于表 1 中数据有缺失,所以在这里采用文中所提的阈值混合相似度量法计算属性间的相似度。以导弹“GuideMissile1”的第 5 个属性“最大航速”为例,依据设计要求,确定该属性的取值范围是 $[0, 10]$,即 $\max_5 = 10, \min_5 = 0$ 。假设 M-1 型导弹的属性“最大航速”模糊集为 p , GuideMissile1 型导弹的属性“最大航速”模糊集为 q 。由表中数据可知 $m_{sp} = m_{dp} = 1.5, m_{sq} = m_{dq} = 0.75, u_p = v_p = 0.15, u_q = v_q = 0.075$,因此根据公式(10)和(11)可以得到: $c_p = 1.5, c_q = 0.75$,由公式(7),(8)可得 $p^* = 1, q^* = -2.33$ 。通过 q^* 的值可知两个模糊集属于图 1 中(a)类型,因此根据公式(3)可以得到 $\text{asim}(p, q) = 0$,由公式(9)可得 $\text{dsim}(p, q) = 0.925$ 。GuideMissile1 型导弹的属性“最大航速”论域缩小成一模糊数,即 $\max(u_5) = \max_u = \min_u = 0.75$,M-1 型导弹的属性“最大航速”论域也缩小成一模糊数,即 $\max(v_5) = \max_v = \min_v = 1.5$ 。根据属性间规则计算公式(12)得 $\alpha_{s1} = 0.1485$ 。将得到的数据存入数据库中。由公式(13)得 $\alpha_{s2} = 0.8515$ 。所以通过公式(6)得该属性的混合相似度 $\text{hsim}(p, q) = 0.79$ 。通过表 1 可知 GuideMissile1 型导弹与 M-1 型导弹可进行相似度匹配的属性个数为 $f=2$,M-1 型导弹的属性个数为 $n=5$,所以根据公式(5)得阈值 $K=0.6$,因为 $0.79 > 0.6$,所以根据公式(4)得属性间的阈值相似度 $\text{tsim}(p, q) = 0.79$ 。同理可以得到这两个武器的“最大射程”属性间的阈值混合相似度为 0.98,通过公式(14)可以得到两个武器间的相似度为 0.354。运用 CBR 阈值混合相似度的算法,可以计算出目标案例 M-1 型导弹与案例库中所有导弹属性间的阈值混合相似度,进一步得到 M-1 型导弹与案例库中导弹的相似度。由表 1 可知案例库中的所有案例都不包含“重量”、“长度”两个属性的相应属性值,因此在计算案例间阈值混合相似度时这两个属性无法进行相似度匹配,忽略这两个属性。通过 M-1 型导弹与案例库中导弹属性间的阈值混合相似度得到最相似案例。

3.2 结果分析

经过阈值混合相似度量法,存在一些不满足条件的案例,如果用这部分案例作为目标案例的相似案例,评估结果可能造成很大的失真,使得这部分已有案例不能反映目标案例的实质,因此舍弃这些不满足要求的案例。M-1 型导弹与 GuideMissile7 型导弹间相似度最高,其武器间的相似度为 0.368。在数据库中没有 M-1 型导弹时,在不同海洋环境要素下可以通过 GuideMissile7 型导弹推断 M-1 型导弹的近似效能,将 M-1 型导弹存入衍生案例库中,以此方法不断扩充数

据库中的案例。

4 结束语

由于概念间的属性相似度本身存在着固有的模糊特性,为了能够更加准确地反映问题的本质,因此文中针对海洋环境下武器效能评估的案例搜索问题,在原有 CBR 系统基础上,引入了模糊集的概念,提出了阈值混合相似度量法。该方法通过武器间属性的阈值相似度,在案例库中对目标武器进行相似度匹配,通过比较案例库中各个案例与目标武器的相似度,确定出目标武器的最相似案例。在相似案例的搜索中舍弃不满足阈值要求的案例,从而使相似案例能够更准确地反映目标武器的本质特性。实验结果表明阈值混合相似度量法具有更高的可信度与准确度,从而验证了文中所提出的阈值混合相似度量法的可行性。

参考文献:

- [1] 许兆新,吴传利,殷志伟. 美国海军海洋环境信息应用系统综述[J]. 舰船电子工程,2005,25(4):25-29.
- [2] 方书甲. 海洋环境要素纳入战场辅助决策的技术探讨[J]. 舰船科学技术,2008,30(3):22-25.
- [3] 万自明,廖良才,陈英武. 武器系统效能评估模式研究[J]. 系统工程与电子技术,2000,22(3):1-3.
- [4] Huang Yanyan. A methodology of simulation and evaluation on the operational effectiveness of weapon equipment[C]//Proc of 2009 Chinese control and decision conference. Guilin: IEEE,2009:131-136.
- [5] Li Dong, Li Guolin, Che Dasheng. Research on evaluation method of weapon equipment based on LS-SVM with parameters optimization[C]//Proc of the 1st international conference on information science and engineering. Nanjing:IEEE,2009:4082-4085.
- [6] Yan Wei, Gao Qi, Liu Zhenggang, et al. The study of mixed fuzzy CBR technique and using in valve system intelligent design system [C]//Proc of 2010 international conference on measuring technology and mechatronics automation. Changsha:IEEE,2010:997-1000.
- [7] 王士同,夏祖勋,陈剑夫. 模糊数学在人工智能中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,1991.
- [8] 罗杰文,施智平,何清,等. 一种 CBR 与 RBR 相结合的快速预案生成系统[J]. 计算机研究与发展,2007,44(4):660-666.
- [9] 史忠植. 高级人工智能[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [10] Li Sheng-Tun, Ho Hei-Fong. Predicting financial activity with evolutionary fuzzy case-based reasoning[J]. Expert System with Applications,2009,36(1):411-422.
- [11] Kowalski Z, Meler-Kapcia M, Zielinski S, et al. CBR methodology application in an expert system for aided design ship's

表 1 所有两节点间的最短路径与最短路长

节点	最短路径	路长
1,2	①→②	4
1,3	①→③	5
1,4	①→③→④	3
1,5	①→③→⑤	8
2,1	②→⑤→①	2
2,3	②→③	3
2,4	②→③→④	1
2,5	②→⑤	6
3,1	③→⑤→①	-1
3,2	③→④→②	-1
3,4	③→④	-2
3,5	③→⑤	3
4,1	④→②→⑤→①	3
4,2	④→②	1
4,3	④→②→③	4
4,5	④→②→③→⑤	7
5,1	⑤→①	-4
5,2	⑤→①→②	0
5,3	⑤→①→③	1
5,4	⑤→①→③→④	-1

5 结束语

文中提出的 Floyd 改进算法,在计算最短路长时,由于将与源点、汇点均不直接相连的节点插入后,不会使路长变短,故不必参与计算;而对于那些待插入节点的路长不比原来路长短的节点,也无需参与计算,因此在计算权矩阵时,就不需要对每个节点都进行计算,从而减少了计算量。同时将那些使最短路长变短的节点的下标记下,并将其标在权矩阵中对应的元素的右下角,这样可以更方便地找到最短路径。因此采用 Floyd 改进算法来计算不含负回路网络中的最短路径,降低了计算量,提高了计算效率,同时使得最短路径的寻找更加直观有效。

参考文献:

(上接第 30 页)

engine room automation[J]. Expert System with Applications, 2005,29(2):256-263.

[12] Wu M C, Lo Y F, Hsu S H. A fuzzy CBR technique for generating product ideas [J]. Expert Systems with Applications, 2008,34(1):530-540.

[13] Gupta K M, Montazemi A R. Empirical evaluation of retrieval in case-based reasoning systems using modified cosine matching function[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 1997, 27(5):601-

[1] Loachim I. A dual programming algorithm for the shortest path problem[J]. Networks, 1998,31(2):193-204.

[2] Jin W, Chen S, Jiang H. Finding the K shortest paths in a time-schedule network with constraints on arcs[J]. Computers & Operations Research, 2013,40(12):2975-2982.

[3] 赵建宏,杨建宇,雷维礼. 一种新的最短路径算法[J]. 电子科技大学学报,2005,34(6):778-781.

[4] Kuipers F, van Mieghem P, Korkmaz T, et al. An overview of constraint-based path selection algorithms for QoS routing [J]. IEEE Communications Magazine, 2002,40(12):50-55.

[5] Cormen T H, Leiserson C E, Rivest R L. Introduction to algorithms[M]. 2nd ed. Cambridge, USA: MIT Press, 2001.

[6] 陈益富,卢 潇,丁豪杰. 对 Dijkstra 算法的优化策略研究[J]. 计算机技术与发展,2006,16(9):73-75.

[7] Festa P, Guerriero F, Laganà D, et al. Solving the shortest path tour problem[J]. European Journal of Operational Research, 2013,230(3):464-474.

[8] 朱绍伟,徐夫田,腾兆明. 一种改进蚁群算法求解最短路径的应用[J]. 计算机技术与发展,2011,21(7):202-205.

[9] 王海英,黄 强,李传涛,等. 网络算法及其 MATLAB 实现[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.

[10] 谢 政. 网络算法与复杂性理论[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2003.

[11] 林华珍,周根贵. 求解最短路径问题的一种优化矩阵算法[J]. 长江大学学报自然科学版:理工(上旬),2007,4(4):14-16.

[12] 张德全,吴果林. 最短路径问题的 Floyd 算法优化[J]. 许昌学院学报,2009,28(2):10-13.

[13] 孙小军,刘三阳,焦建民. 基于最小树权矩阵法的改进算法[J]. 计算机工程与设计,2005,26(12):3274-3275.

[14] 龚 劬. 图论与网络最优化算法[M]. 重庆:重庆大学出版社,2009.

[15] 茆诗松,贺思辉. 概率论与统计学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2010.

[16] 任 刚,王 炜. 交通网络最短路径权矩阵的迭代算法[J]. 交通与计算机,2005,23(5):8-12.

[17] 赵礼峰,蒋腾飞. 无回路网络最短路径的一种新算法[J]. 计算机技术与发展,2013,23(2):105-107.

612.

[14] Pal K, Campbell J A. A hybrid system for decision making about assets in English divorce case[J]. Lecture Notes in Computer Science, 1995,1020:152-165.

[15] 张本生,于永利. CBR 系统案例搜索中的混合相似性度量方法[J]. 系统工程理论与实践,2002,22(3):131-136.

[16] Liao T W, Zhang Zhiming. A review of similarity measures for fuzzy systems[C]//Proceedings of the fifth IEEE international conference on fuzzy system. New Orleans, LA: IEEE, 1996: 930-935.

CBR阈值混合相似度及在武器效能评估中的应用

作者: [沈博](#), [严洪森](#), [杨欣](#), [SHEN Bo](#), [YAN Hong-sen](#), [YANG Xin](#)
作者单位: [东南大学 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室](#), [江苏 南京 210096](#); [东南大学 自动化学院](#), [江苏 南京 210096](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2014(8)

引用本文格式: [沈博](#). [严洪森](#). [杨欣](#). [SHEN Bo](#). [YAN Hong-sen](#). [YANG Xin](#) CBR阈值混合相似度及在武器效能评估中的应用[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2014(8)