文章编号:1671－6833(2002)03－0053－03

# 提高 Hamming 模糊贴近度分辨率的研究

杨金才，王　栋

(郑州大学机械工程学院,河南 郑州 450002)

**摘　要**: 从 Hamming 贴近度定义出发,分析出当故障模式特征较多时,贴近度计算公式中反映差异部分被衰减得很厉害,从而导致差异减小,分辨率降低;进而提出并证明了一种新的贴近度计算方法,通过适当确定计算参数,改善了对差异部分的衰减,有效地提高了工程使用中的分辨率,并用具体实例进行了验证.

**关键词**: 模糊贴近度; 模式识别; 分辨率; 故障诊断

**中图分类号**: TP 277; TH 165　　**文献标识码**: A

模糊模式识别是机械设备故障诊断中常用的方法,它分为个体识别方法和群体识别方法.在故障诊断中,由于设备和故障的复杂性,在进行模式识别时,被识别的对象往往不是论域 U 中的一个确定元素,而是 U 的一个子集(普通子集或模糊子集),于是所涉及的就不是元素对集合的隶属关系,而是两个模糊子集间的贴近程度,此时就不能用个体识别的方法,而必须采用群体识别方法,即模糊贴近度法.贴近度法的主要思想是:先根据具体贴近度的定义求出被识别对象模式同已知各模式(事先建好的)的贴近度,然后依据择近原则判别被识别模式相对属于哪类故障.根据贴近度的定义,在实际应用中有多种具体形式,其中 Hamming 贴近度以其概念明确、易于理解的特点而被广泛采用.但我们在使用中发现,当故障特征较多时,由它得出的结果都较大,而差别不大,即诊断结果的分辨率较低,因此,本文对此展开分析,提出了一种提高其分辨率的方法.

## 1　贴近度定义

### 1.1　贴近度的一般定义[1]:

如果映射 $\sigma = F(x) * F(x) \to [0,1]$ 满足以下三个条件:

(1) 对任何 $\underset{\sim}{A} \in F(x)$,有 $\sigma(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{A}) = 1$;

(2) 对任何 $\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B} \in F(x)$,有 $\sigma(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B}) = \sigma(\underset{\sim}{B},\underset{\sim}{A})$;

(3) 若 $\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B},\underset{\sim}{C} \in F(x)$,且 $\underset{\sim}{A} \subseteq \underset{\sim}{B} \subseteq \underset{\sim}{C}$,则有 $\sigma(A,C) \leqslant \sigma(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B}) \wedge \sigma(\underset{\sim}{B},\underset{\sim}{C})$,

称 $\sigma(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B})$ 为 $\underset{\sim}{A}$ 与 $\underset{\sim}{B}$ 的贴近度.

### 1.2　Hamming 贴近度[2]

当利用模糊模式识别进行机械设备故障诊断时,若想使系统能诊断出 $n$ 种故障,必须首先建立这 $n$ 种故障的标准模式 $\underset{\sim}{A}_1,\underset{\sim}{A}_2,\cdots,\underset{\sim}{A}_n$;然后,把测得的相应各征兆的振动数据经隶属函数转换后求得机器运行状态的模糊模式 $\underset{\sim}{B}$.

有了 $\underset{\sim}{B}$ 和 $\underset{\sim}{A}_i$ $(i=1,2,\cdots,n)$ 后,选用适当的贴近度公式求出 $\sigma(\underset{\sim}{B},\underset{\sim}{A}_i)$,再依据择近原则判断 $\underset{\sim}{B}$ 的归属.

以上所建立的故障模式 $\underset{\sim}{B}$ 和 $\underset{\sim}{A}_i$ $(i=1,2,\cdots,n)$ 都是经特征抽取后所形成的特征向量 $\{X_j\}$ $(j=1,2,\cdots,m)$,如果把它们理解成 $m$ 维空间两个点的话,Hamming 贴近度实际上就是这两点之间"距离"的概念,用空间两点之间的距离来判断点的归属,是很容易理解的.下面给出故障诊断中常用的 Hamming 贴近度的离散形式的定义.

Hamming 贴近度的离散形式的定义:当 $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_m\}$ 时,

$$\sigma_H(\underset{\sim}{B},\underset{\sim}{A}_i) = 1 - \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{B}(x_j) - \underset{\sim}{A}_i(x_j)|. \tag{1}$$

显然,Hamming 贴近度满足贴近度的一般定义.

## 2　新型贴近度[3]

### 2.1　新型贴近度定义

**收稿日期**:2002－03－20;**修订日期**:2002－06－21

**基金项目**:河南省自然科学基金资助项目(984060800)

**作者简介**:杨金才(1968－),男,河南省洛阳市人,郑州大学讲师,硕士,主要从事信号分析、模式识别、故障诊断方面的研究.

按式(1)定义的贴近度在应用中,当特征数 $m$ 较大、$\underset{\sim}{A}_i$ 不同时,$\sigma_H$ 都比较大,但差别很小,也就是说,诊断结果的分辨率较低.为此,不妨先分析一下式(1).在式(1)中,反映 $\underset{\sim}{A}_i$ 与 $\underset{\sim}{B}$ 差别的是:

$$\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{B}(x_j)-\underset{\sim}{A}_i(x_j)|, \tag{2}$$

更确切地说是

$$\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{B}(x_j)-\underset{\sim}{A}_i(x_j)|. \tag{3}$$

我们知道:$\underset{\sim}{B}(x_j)$,$\underset{\sim}{A}_i(x_j)$ 都是 0~1 之间的数,故 $|\underset{\sim}{B}(x_j)-\underset{\sim}{A}_i(x_j)|$ 也介于 0~1 之间,这也就是说,当模式中的特征增加 1 时,式(2)中的分母增加 1,而分子增加小于 1,使得当特征数 $m$ 较大时,式(3)被衰减得很厉害,从而导致差异减小,分辨率降低.因此,要想提高分辨率,关键在于能否将式(2)中的分母适当取小些,为此,特提出如下贴近度定义:

当 $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_m\}$ 时,

$$\sigma_H(\underset{\sim}{B},\underset{\sim}{A}_i)=1-\frac{1}{\text{const}}\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{B}(x_j)-\underset{\sim}{A}_i(x_j)|. \tag{4}$$

其中,const 表示一常数.

### 2.2 新型贴近度定义的证明

现在证明式(4)定义的新型贴近度是否满足贴近度的一般定义.

证明:

(1) $\sigma_H(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{A})=1-\frac{1}{\text{const}}\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{A}(x_j)|=1-0=1$;

(2) $\sigma_H(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B})=1-\frac{1}{\text{const}}\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{B}(x_j)|$;

$=1-\frac{1}{\text{const}}\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{B}(x_j)-\underset{\sim}{A}(x_j)|$

$=\sigma_H(\underset{\sim}{B},\underset{\sim}{A})$;

(3) 由 $\underset{\sim}{A}\subseteq\underset{\sim}{B}\subseteq\underset{\sim}{C}\Rightarrow\underset{\sim}{A}(x_j)\leqslant\underset{\sim}{B}(x_j)\leqslant\underset{\sim}{C}(x_j)$

$$\Rightarrow|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{B}(x_j)|\leqslant|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{C}(x_j)|; \tag{5}$$

$$\Rightarrow|\underset{\sim}{B}(x_j)-\underset{\sim}{C}(x_j)|\leqslant|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{C}(x_j)|, \tag{6}$$

由式(5)

$\Rightarrow\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{B}(x_j)|\leqslant\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{C}(x_j)|$

$\Rightarrow 1-\frac{1}{\text{const}}\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{B}(x_j)|\geqslant 1-\frac{1}{\text{const}}\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{C}(x_j)|$

$$\Rightarrow\sigma_H(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B})\geqslant\sigma_H(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{C}); \tag{7}$$

由式(6)

$\Rightarrow\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{B}(x_j)-\underset{\sim}{C}(x_j)|\leqslant\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{C}(x_j)|$

$\Rightarrow 1-\frac{1}{\text{const}}\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{B}(x_j)-\underset{\sim}{C}(x_j)|\geqslant 1-\frac{1}{\text{const}}\sum_{j=1}^{m}|\underset{\sim}{A}(x_j)-\underset{\sim}{C}(x_j)|$

$$\Rightarrow\sigma_H(\underset{\sim}{B},\underset{\sim}{C})\geqslant\sigma_H(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{C}). \tag{8}$$

由式(7),(8) $\Rightarrow\sigma_H(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{C})\leqslant\sigma_H(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B})\wedge\sigma_H(\underset{\sim}{B},\underset{\sim}{C})$.

综上所述,式(4)满足贴近度的一般定义的三个条件,是一种贴近度定义.

以上证明说明,在 Hamming 贴近度中,式(1)右端的分母只要是常数(const),就可以满足贴近度的一般定义,因此可以适当缩小它,减弱它对式(3)的衰减作用,提高分辨率.

### 2.3 const 的取值分析

对于 const 取值,可以根据实际情况灵活掌握,下面从两个方面作一些分析.

#### 2.3.1 $\underset{\sim}{A}$ 和 $\underset{\sim}{B}$ 经过归一化处理

这里的归一化包括 $\underset{\sim}{A}$ 和 $\underset{\sim}{B}$ 中某征兆群内部的归一化,也就是并不一定要求

$$\sum_{j=1}^{m}\underset{\sim}{A}(x_j)=\sum_{j=1}^{m}\underset{\sim}{B}(x_j)=1,$$

也可以

$$\sum_{j=a}^{b}\underset{\sim}{A}(x_j)=\sum_{j=a}^{b}\underset{\sim}{B}(x_j)=1\quad(1\leqslant a\leqslant b\leqslant m),$$

这时可以取

$$\text{const}=\min\{\sum_{j=1}^{m}[\underset{\sim}{A}(x_j)+\underset{\sim}{B}(x_j)],m\}. \tag{9}$$

#### 2.3.2 $\underset{\sim}{A}$ 和 $\underset{\sim}{B}$ 不能进行归一化处理

对机械设备故障诊断来说,由于所有故障有可能在同一时间发生,机器运行状态所有征兆隶属度有可能在同一时间内都很大,不能进行归一化处理.但机器运行状态的连续性决定了这种情况属于小概率事件,况且工业现场也不允许等发生了这种情况才采取补救措施,一般是发生了一种或几种故障就必须停机维修,因此,可根据实际情况适当选取 const 之值,以提高诊断结果的分辨率.

## 3 应用实例

在上述研究的基础上,将定义的新型贴近度应用到某故障诊断系统中去.表 1 为 6 种故障的模式(每个模式中有 10 种征兆);表 2 是用 Hamming 贴近度公式(1)求得的各故障间的贴近度 $\sigma_{ij}$

$= (i, j = 1, 2, \cdots, 6)$；表 3 是在贴近度公式(4)中取 const = 4 求得的各故障间的贴近度 $\sigma_{ij}$.

表 1　故障模式

Tab.1　Fault patterns

| 序号 | 征兆 1 | 征兆 2 | 征兆 3 | 征兆 4 | 征兆 5 | 征兆 6 | 征兆 7 | 征兆 8 | 征兆 9 | 征兆 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 0.05 | 0.05 | 0.00 | 0.40 | 0.50 | 0.10 |
| 2 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.30 | 0.10 | 0.20 | 0.10 | 0.30 | 0.40 | 0.30 |
| 3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.50 | 0.10 | 0.00 | 0.20 | 0.30 | 0.50 |
| 4 | 0.10 | 0.20 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.10 | 0.00 | 0.30 | 0.40 | 0.30 |
| 5 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.50 | 0.10 |
| 6 | 0.50 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.40 | 0.50 | 0.10 |

表 2　Hamming 贴近度 $\sigma_{ij}$

Tab.2　Hamming approximative degree $\sigma_{ij}$

| $i$ | $j$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 1.00 | 0.84 | 0.82 | 0.82 | 0.80 | 0.81 |
| 2 | 0.84 | 1.00 | 0.86 | 0.94 | 0.78 | 0.82 |
| 3 | 0.82 | 0.86 | 1.00 | 0.88 | 0.72 | 0.74 |
| 4 | 0.82 | 0.94 | 0.88 | 1.00 | 0.80 | 0.84 |
| 5 | 0.80 | 0.78 | 0.72 | 0.80 | 1.00 | 0.88 |
| 6 | 0.81 | 0.82 | 0.74 | 0.84 | 0.88 | 1.00 |

表 3　新型贴近度 $\sigma_{ij}$

Tab.3　New approximative degree $\sigma_{ij}$

| $i$ | $j$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 1.00 | 0.60 | 0.55 | 0.55 | 0.50 | 0.52 |
| 2 | 0.60 | 1.00 | 0.65 | 0.85 | 0.45 | 0.55 |
| 3 | 0.55 | 0.65 | 1.00 | 0.70 | 0.30 | 0.35 |
| 4 | 0.55 | 0.85 | 0.70 | 1.00 | 0.50 | 0.60 |
| 5 | 0.50 | 0.45 | 0.30 | 0.50 | 1.00 | 0.70 |
| 6 | 0.52 | 0.55 | 0.35 | 0.60 | 0.70 | 1.00 |

从表 2 中可知，Hamming 贴近度的最大值和最小值之差为 0.28(1.00 - 0.72)，表 3 中贴近度的最大值和最小值之差为 0.70(1.00 - 0.30)，同时，相邻值之差也明显增大，即表 3 中所示结果的分辨率明显提高.

## 4　结束语

本文剖析了 Hamming 贴近度的形式，认为其分辨率低的原因是：当故障模式征兆数较大时，贴近度计算中差异部分衰减严重，从而导致分辨率降低.在此基础上提出了一种提高分辨率的参数定义方法，分析实例表明该方法是科学可行的.

## 参考文献：

[1]　闫家杰，赵万忠，迟风起.模糊数学基础及应用初阶[M].郑州：河南教育出版社，1993.58 - 61.

[2]　温熙森.模式识别与状态监测[M].长沙：国防科技大学出版社，1997.1 - 15.

[3]　杨金才.模糊神经网络在旋转机械故障诊断中的应用研究[D].郑州：郑州工业大学.1994.

## Research on Improving the Distinguishability of Fuzzy Approximative Degree

YANG Jin - cai, WANG Dong

(College of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract**: The paper analyses the definition of Hamming approximative degree, and finds out that the reason of low distinguishability is mainly caused by the large number of fault symptoms. When the number of the symptoms is large, the difference section in the approximative degree formula is attenuated very much. So the distinguishability is low. Then the paper gives a new method to calculate the approximative degree. It can reduce the attenuation by properly determining the parameter of the formula and improve the distinguishability obviously. At the end the method is proved by an example.

**Key words**: fuzzy approximative degree; pattern recognition; distinguishability; fault diagnosis