

文章编号: 1004-7271(2009)01-0077-06

# 基于 Fuzzy 推理的鱼病诊断专家系统

尹银平, 印润远

(上海海洋大学信息学院, 上海 201306)

**摘要:** 鱼病诊断过程中存在大量的 Fuzzy 性问题, 通过对三 I 算法的分析, 提出一个基于  $R_M$  蕴涵算子的三 I 算法, 并就 FMP (fuzzy modus ponens) 问题, 运用该算法, 研究基于多维, 多重以及多维多重规则时的解。该算法在研究鱼病诊断系统的过程中结合鱼病专家知识库, 提取出鱼病诊断规则, 抽象出鱼病诊断 Fuzzy 推理的一般性模型, 并给出了基于该模型的算法, 在该算法中, 应用的 Fuzzy 推理是基于  $R_M$  算子的三 I 算法。

**关键词:** 专家系统; Fuzzy 推理; 模型; 三 I 算法

**中图分类号:** S 941      **文献标识码:** A

## Fish disease diagnosis ' expert system based on Fuzzy reasoning

YIN Yin ping, YIN Run yuan

(College of Information Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** We advance an improved three implication reasoning algorithm based on  $R_M$  arithmetic operators. As for FMP (fuzzy modus ponens) problem, we provide the solution for multidimensional multiple and multidimensional and multiple rules with this algorithm. And we theoretically analyze its compute performance and think it more excellent than general three implications reasoning one. In the end, on the basis of analyzing the characters of fish disease diagnosis and communication with fish disease expert, we extract the rules for fish disease diagnosis, put forward a general model for fish disease fuzzy diagnosis and show up our algorithm for this model. In our algorithm, fuzzy logical reasoning that we used is just the three implication reasoning based on  $R_M$  arithmetical operators we advanced.

**Key words:** expert system; Fuzzy reasoning; model; three implication reasoning algorithm

渔业经济的稳定、持续发展对于提高人民生活水平, 改善饮食结构, 增强食物安全保障、促进环境保护、推动农业结构调整, 实现农业经济由粗放型向集约型转变等方面发挥着重要作用。

近 20 年来, 我国水产品年均增长率达到 10.5%, 超过世界年均增长率 6.8% 的发展速度。然而在我国水产业获得迅猛发展的同时, 也存在令人担忧的危机, 鱼类病害频繁发生, 生产管理水平低下, 服务体系落后, 经济损失严重。据不完全统计, 目前危害水产养殖的病害已达数百种, 全国每年水产养殖病害的发生率达 50% 以上, 损失率达 20% 左右, 据估计, 我国每年因水产养殖病害问题而造成的直接经济

收稿日期: 2008-02-14

基金项目: 国家科技支撑计划 (2006BAD10A11)

作者简介: 尹银平 (1983-), 男, 湖南攸县人, 硕士研究生, 专业方向为计算机应用技术。E-mail: skyin0806@yahoo.com.cn

通讯作者: 印润远, E-mail: ryyin@shou.edu.cn

损失就达百亿元之巨, 并且还有攀升的趋势。

为减少病害带来的经济损失, 使鱼病达到及时诊断、适时防治的效果, 建立一个能够服务于广大水产养殖户的鱼病诊断专家系统是很有必要的, 特别是对处于人才稀缺、经济与交通发展相对落后地区的农户来说, 应用专家系统模型来模拟鱼病诊断过程, 从而达到及时诊断、适时防治鱼类病害的效果。将有利于水产养殖业的发展, 提高我国渔业的科技现代化水平。

## 1 鱼病诊断过程中存在大量的 Fuzzy 性问题

鱼病诊断专家系统是一个受众多因素影响的复杂系统, 在这样的系统中, Fuzzy 性占了很大成分, Fuzzy 现象普遍存在。如鱼体是否充血及充血的程度, 体色是否发黑及发黑的程度等, 这种无处不在的 Fuzzy 性现象是基于经典集合的数学所不能很好解决的, 只有利用 Fuzzy 集理论与方法, 才能较好地处理与解决这些问题。

### 1.1 多维多重 Fuzzy 推理

在实际的专家系统中, 遇到的往往是多维多重的 Fuzzy 规则<sup>[1]</sup>, 在这种情况下, 只有用 Fuzzy 多维多重的推理来解决两类问题。

多维多重 Fuzzy 推理的 FMP 问题是可描述成以下的形式:

$$\begin{aligned} \text{已知} \quad & \underline{A}_{11} \text{且} \underline{A}_{12} \text{且} \cdots \text{且} \underline{A}_{1m} \rightarrow \underline{B}_1 \\ & \cdots \cdots \\ & \underline{A}_{n1} \text{且} \underline{A}_{n2} \text{且} \cdots \text{且} \underline{A}_{nm} \rightarrow \underline{B}_n \\ \text{且给定} \quad & \underline{A}_1^* \text{且} \underline{A}_2^* \text{且} \cdots \text{且} \underline{A}_m^* \end{aligned} \quad (1)$$

求  $\underline{B}^*$

其中  $\underline{A}_{ij}, \underline{A}_j^* \in F(X_j), \underline{B}_i \in F(Y) (i=1, 2, \dots, m)$ 。假设

$$\begin{aligned} \underline{A}_i(x_1, x_2, \dots, x_m) &= \underline{A}_{i1}(x_1) \text{且} \underline{A}_{i2}(x_2) \text{且} \cdots \text{且} \underline{A}_{im}(x_m) \\ &= \underline{A}_{i1}(x_1) \cap \underline{A}_{i2}(x_2) \cap \cdots \cap \underline{A}_{im}(x_m) \\ &= \underline{A}_{i1}(x_1) \times \underline{A}_{i2}(x_2) \times \cdots \times \underline{A}_{im}(x_m) \\ &= \bigwedge_{j=1}^m \underline{A}_{ij}(x_j), (i=1, 2, \dots, n) \\ \underline{A}_i^*(x_1, x_2, \dots, x_m) &= \underline{A}_1^*(x_1) \text{且} \underline{A}_2^*(x_2) \text{且} \cdots \text{且} \underline{A}_m^*(x_m) \\ &= \underline{A}_1^*(x_1) \cap \underline{A}_2^*(x_2) \cap \cdots \cap \underline{A}_m^*(x_m) \\ &= \underline{A}_1^*(x_1) \times \underline{A}_2^*(x_2) \times \cdots \times \underline{A}_m^*(x_m) \\ &= \bigwedge_{j=1}^m \underline{A}_j^*(x_j) \end{aligned}$$

从而 (1) 式可转化为多重 Fuzzy 推理<sup>[2]</sup>, 则可知其 FMP 问题的解为:

$$\underline{B}^* = \bigvee_{i=1}^n (\alpha_i \wedge \beta_i) \cdot \underline{B}_i \quad (2)$$

$$\text{其中 } \beta_i = \sup_{(x_1, x_2, \dots, x_m) \in \prod_{j=1}^m X_j} [\underline{A}_i^* \wedge \underline{A}_i]$$

$$\begin{aligned} &= \text{SUP}_{(x_1, x_2, \dots, x_m) \in \prod_{j=1}^m X_j} \left[ \bigwedge_{j=1}^m (\underline{A}_j^*(x_j) \wedge \underline{A}_{ij}(x_j)) \right] \\ &= \bigwedge_{j=1}^m \left\{ \text{SUP}_{x_j \in X_j} [\underline{A}_j^*(x_j) \wedge \underline{A}_{ij}(x_j)] \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

令  $\beta_{ij} = \sup_{x_j = X_j} [A_j^*(x_j) \wedge A_{ij}(x_j)]$ , 其中  $j=1, 2, 3, \dots, m$

则  $\bigwedge_{j=1}^n \beta_{ij}$  为  $A_j^*$  的特征系统,  $\alpha_i$  所代表的意义为规则  $A_i \rightarrow B_i$  对于规则  $A_i^* \rightarrow B_i^*$  成立的支持度为  $\alpha_i$  将 (3)式代入 (2)式,得多重多维 Fuzzy蕴涵的三 I特征展开推理算法为:

$$B_i^* = \bigwedge_{j=1}^n (\alpha_i \wedge \bigwedge_{j=1}^m \{ \sup_{x_j = X_j} [A_j^*(x_j) \wedge A_{ij}(x_j)] \}) \cdot B_i \tag{4}$$

### 1.2 Fuzzy推理模型

在建立鱼病知识库时,对于规则的可信度可以采用专家给定的方法。一般智能系统<sup>[3]</sup>应用较多的描述方式是用产生式规则,也即如下的形式:

IF A THEN B

而上述形式的产生式可以用蕴涵  $A \rightarrow B$  来描述。假设在 Fuzzy推理的知识库中有如下的规则集:(多维规则可以转换为如下形式的规则形式:

- $A_1 \rightarrow B_1 \quad \alpha_0$
- $A_1 \rightarrow B_1 \quad \alpha_1$
- $A_2 \rightarrow B_2 \quad \alpha_2$
- .....

其中  $\alpha_i (i=1, 2, \dots)$  为规则的可信度。

针对上面的规则集,在这里给出三 I特征展开的 Fuzzy推理模型:

对于给定的事实知识,假设 A 为以及一个推理用的栈 S。

① 分别计算它与知识库中每条规则的特征系数  $\beta_i$ ,它反映了规则前件与已知事实的贴近程度:

$$\beta_i = \sup_{x \in X} [A \wedge A_i] \quad (i=1, 2, \dots)$$

② 比较的大小,选择最大贴近度的规则进行推理,同时把最大的  $k (k < 5)$  条规则按从小到大的顺序入栈。

③ 检查栈 S 的高度是否达到其最大值 Max 如果大于或等于 Max 则认为推理可能进入了一个无限递归,推理失败,结束推理。否则:

④ 从栈中弹出一条规则,并激活这条规则进行推理<sup>[4]</sup>。

$B_i^* = (\alpha_i \wedge \beta_i) \cdot B_i$  其中  $\alpha_i$  为该条被激活规则的可信度,  $\beta_i = \sup_{x \in X} [A^*(x) \wedge A_i]$  为已知事实 A 与该条规则前件的贴近度(三 I算法的特征系数)。

⑤ 判断推理结论 B 的可信度  $\beta$  是否达到或超过事先设定的阈值,如果达到给定的阈值则推理结束,否则令  $A=B$ , 返回①执行。

上述推理过程的描述如图 1 所示:

在本课题鱼病诊断的 Fuzzy三 I推理中,为了简化计算和推理的复杂度,我们取  $k = 1$ 。这里给出鱼病诊断专家系统中使用的 Fuzzy推理模型或算法:

- ① 根据输入的鱼病症状,分别计算其对应每条规则的贴近度或特征系数  $\beta_i$ 。
- ② 选取具有最大贴近度值的规则,激活该规则。
- ③ 对激活的规则,对其运用三 I算法进行 Fuzzy推理;
- ④ 对③ Fuzzy推理的结论进行可信度评价;
- ⑤ 若④评价结论可信,则给出诊断的结论,该鱼可能患有 A 病,并计算其可行度,否则要求用户进

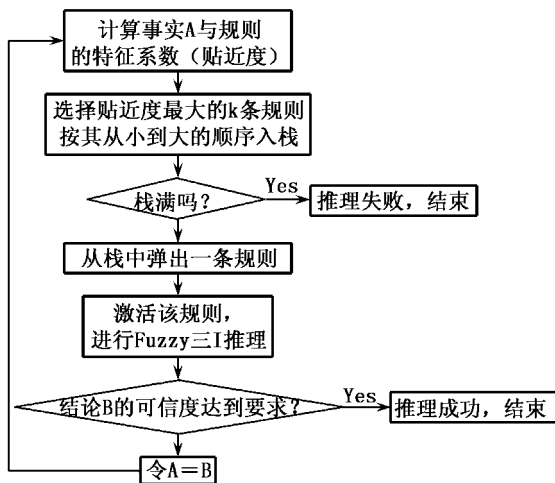


图 1 三 I Fuzzy推理模型

Fig 1 Three I fuzzy inference model

一步提供信息进行推理诊断,回到①,或者推理失败结束。

⑥ 根据 A病,利用确定性推理方法推理出对应于 A病的治疗方案,供用户参考,推理结束。

鱼病诊断三 I推理过程如图 2所示:

## 2 系统实现

### 2.1 Fuzzy集的定义

在鱼病诊断中,根据对鱼病知识的研究,抽象出一般化鱼病知识,然后将鱼病的表现症状分布于鱼体的不同部分,把鱼病症状分为 4个 Fuzzy集:

X1=体表症状(体色发黑无光泽,体色发黑鳞片竖起,体表有白色孢囊,体表有粘液,鱼体消瘦);

X2=头部症状(口部溃烂皮肤呈乳白色,头部口腔等充血发红,眼球突出或凹陷,出现红头白嘴,头部有孢囊,颜色变黑,头部有粘液);

X3=鳃部症状(鳃丝肿胀腐烂,表皮充血,鳃丝肿胀有粘液,鳃苍白水肿);

X4=腹尾部症状(腹部膨胀充血,背鳍尾柄皮肤发白,背鳍至尾部出现圆形或椭圆形红斑,尾鳍边缘退色,尾鳍断裂,尾鳍出现黄色孢囊)。

### 2.2 Fuzzy函数的定义

由于我们把鱼病症状的 Fuzzy集定义为: X1=体表症状, X2=头部症状, X3=鳃部症状, X4=腹尾部症状,一共有 4个特征(4个 Fuzzy集)因此在计算其贴进度时,加上规则的支持度,最多的变量运算是 5个,所以我们定义以下的 Fuzzy函数<sup>[6]</sup>:

```
FUNC fuzzy_min two (REAL REAL);
```

```
FUNCTION fuzzy_min two (REAL  $\alpha$ , REAL  $\beta$ )
```

```
{ IF  $\alpha > \beta$  THEN {  $\alpha = \beta$ ; };
```

```
RETURN  $\alpha$ ;
```

```
}
```

```
FUNC fuzzy_max two (REAL REAL);
```

```
FUNCTION fuzzy_max two (REAL  $\alpha$ , REAL  $\beta$ )
```

```
{ IF  $\alpha < \beta$  THEN {  $\alpha = \beta$ ; };
```

```
RETURN  $\alpha$ ;
```

```
}
```

```
FUNC fuzzy_min three (REAL REAL REAL);
```

```
FUNCTION fuzzy_min three (REAL  $\alpha$ , REAL  $\beta$ , REAL  $\theta$ )
```

```
{
```

```
IF  $\alpha > \beta$  THEN {  $\alpha = \beta$ ; };
```

```
IF  $\alpha > \theta$  THEN {  $\alpha = \theta$ ; };
```

```
RETURN  $\alpha$ ;
```

```
}
```

```
FUNC fuzzy_max three (REAL REAL REAL);
```

```
FUNCTION fuzzy_max three (REAL  $\alpha$ , REAL  $\beta$ , REAL  $\theta$ )
```

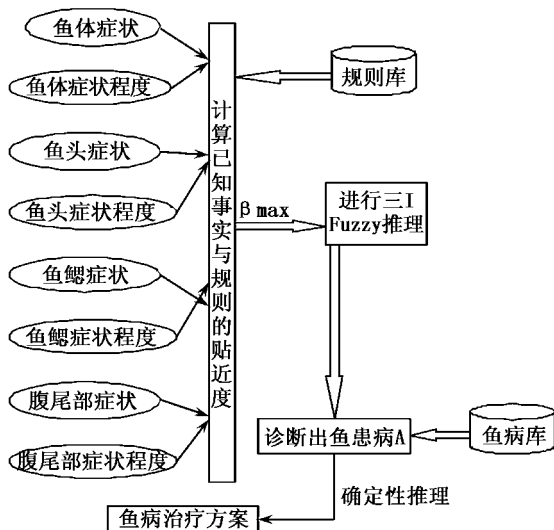


图 2 鱼病诊断三 I推理网络图

Fig 2 Three implication reasoning figure for fish diagnosis

```

{ IF  $\alpha < \beta$  THEN {  $\alpha = \beta$ ; };
IF  $\alpha < \theta$  THEN {  $\alpha = \theta$ ; };
RETURN  $\alpha$ ;
}

FUNC fuzzy_minfour(REAL REAL REAL REAL);
FUNCTION fuzzy_minfour(REAL  $\alpha$ , REAL  $\beta$ , REAL  $\theta$ , REAL  $\omega$ )
{ IF  $\alpha > \beta$  THEN {  $\alpha = \beta$ ; };
IF  $\alpha > \theta$  THEN {  $\alpha = \theta$ ; };
IF  $\alpha > \omega$  THEN {  $\alpha = \omega$ ; };
RETURN  $\alpha$ ;
}

FUNC fuzzy_maxfour(REAL REAL REAL REAL);
FUNCTION fuzzy_maxfour(REAL  $\alpha$ , REAL  $\beta$ , REAL  $\theta$ , REAL  $\omega$ )
{ IF  $\alpha < \beta$  THEN {  $\alpha = \beta$ ; };
IF  $\alpha < \theta$  THEN {  $\alpha = \theta$ ; };
IF  $\alpha < \omega$  THEN {  $\alpha = \omega$ ; };
RETURN  $\alpha$ ;
}

FUNC fuzzy_minfive(REAL REAL REAL REAL REAL);
FUNCTION fuzzy_minfive(REAL  $\alpha$ , REAL  $\beta$ , REAL  $\theta$ , REAL  $\omega$ , REAL  $f$ )
{
REAL  $a$ ;
 $a = \text{fuzzy\_minfour}(\alpha, \beta, \theta, \omega)$ ;
 $\alpha = f$ 
IF  $a < f$  THEN {  $\alpha = a$ ; };
RETURN  $\alpha$ ;
}

FUNC fuzzy_maxfive(REAL REAL REAL REAL REAL);
FUNCTION fuzzy_maxfive(REAL  $\alpha$ , REAL  $\beta$ , REAL  $\theta$ , REAL  $\omega$ , REAL  $f$ )
{
REAL  $a$ ;
 $a = \text{fuzzy\_maxfour}(\alpha, \beta, \theta, \omega)$ ;
 $a = f$ 
IF  $a > f$  THEN {  $\alpha = a$ ; };
RETURN  $\alpha$ ;
}

```

### 3 利用确定性推理给出治疗方案

经过 Fuzzy推理后,获得了鱼所患的病症,然后可在鱼病知识库中找到对应该鱼病的治疗方案。由于专家系统提供了丰富的鱼病知识表达形式:即产生式规则,多媒体信息库(包括 HTML网页,多媒体声音,图像等),关系数据库连接等。所以在构造鱼病知识库时应考虑到以下两点:(1)Web描述的简单性、可视性,适应基于 Web鱼病诊断系统的需要,编辑整理简单。(2)知识库的可维护性,包括添加、删除以及修改知识库数据。采取 HTML网页的形式来构造鱼病治疗的知识库。具体做法是针对每一种

鱼病,采用一个 HTML文件的形式来给出一般的治疗方案,根据鱼病推理给出治疗方案的过程就是在所有 HTML网页里查询对应于该鱼病的治疗方案。

## 4 结论

基于 Web的鱼病诊断专家系统是信息化技术与水产养殖专业技术相结合的产物。它是基于当前发展的 web技术,利用智能系统多年的研究成果,以及 Fuzzy理论三十年的发展而提出的新一代智能鱼病诊断解决方案。它在一定程度上解决鱼病的频繁发生而领域专家严重不足的矛盾。虽然近几年来,关于鱼病诊断系统已有一定的研究成果<sup>[7]</sup>,但是关键性的问题一直没有得到解决,即水产养殖户难以准确描述鱼病的具体症状,即使能够确认某种症状的出现,对于症状出现的程度,也不容易把握,这就给鱼病的有效、准确的诊断带来了困难。此外,鱼病症状<sup>[8]</sup>是通过自然语言来描述的,而自然语言具有很大的 Fuzzy性,这样使得鱼病的诊断过程必然存在很大的 Fuzzy性。

鱼病诊断过程是一个充满很多不确定性因素的 Fuzzy推理过程,应用传统的确定性推理难以处理这些不确定性因素,因此,借助于 Fuzzy理论为基础的 Fuzzy推理方法,并将其应用到鱼病诊断专家系统是一项方向性的研究工作。

## 参考文献:

- [1] 李绍稳,熊范纶.专家系统中的特征展开三 I 模糊推理模型及其应用 [J].模式识别与人工智能,2001,14(3):272-275.
- [2] 陈水利,李敬功,王向公.模糊集理论及其应用 [M].北京:科学出版社,2005.
- [3] 邵军力,张景,魏长华.人工智能基础 [M].北京:电力工业出版社,2000.
- [4] 徐章艳,冯嘉礼,李凡.基于 R 蕴含算子三 I 的算法 [J].计算机应用与软件,2004,21(1):10-11,90.
- [5] 蔡卫东,徐章艳,丁军,等. Fuzzy集上基于一般蕴含算子的三 I 算法 [J].济南大学学报,2005,19(3):235-238.
- [6] 王国俊.模糊推理的全蕴涵三 I 算法 [J].中国科学 E 辑,1999,29(1):43-53.
- [7] 杨先乐.特种水产动物疾病的诊断与防治 [M].北京:中国农业出版社,2001.
- [8] 汪开毓.鱼病防治手册 [M].成都:四川科学技术出版社,2000.