

基于TS搜索算法的鱼病诊断求解策略

温继文¹, 元继学², 傅泽田³, 邢克智⁴

(1. 北京林业大学 经济管理学院, 北京 100083; 2. 唐山学院, 河北 唐山 063000; 3. 中国农业大学 教育部精细农业系统集成技术重点实验室, 北京 100083; 4. 天津农学院 水产科学系, 天津 300384)

摘要:根据疾病事件与症状事件之间的逻辑关系, 利用覆盖集理论提出疾病诊断的新指标, 构造症状与疾病之间的0-1整数规划模型, 并采用禁忌搜索(TS搜索)方法来求解这一问题。通过大量鱼病诊断实例的计算结果表明, TS搜索算法在降低误诊率和减少响应时间方面均有良好的性能。

关键词:禁忌搜索; 鱼病诊断; 0-1整数规划

中图分类号: TP182; TP387 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2005)04-0424-06

疾病诊断是指利用病体表现出的症状信息识别疾病性质并达到确诊疾病的过程^[1]。迄今为止, 疾病诊断的方法主要有基于专家系统的方法和基于人工神经网络的方法两大类, 其中基于专家系统的诊断方法包括基于浅知识的方法和基于深知识的方法, 前者由于知识的不完备性而易导致系统的脆弱性; 后者由于知识的庞大复杂性可导致系统推理效率低下。而基于人工神经网络的诊断方法则必须保证样本集的完备性, 因而其应用范围也受到一定的局限性^[2]。

对疾病诊断进行应用研究的同时, 一些学者开始转向运用合理、严格的数学方式来研究疾病诊断问题^[3]。1965年, 美国 Maryland 大学的 Reggia 等提出覆盖集描述诊断问题, 后来 Peng 等在该理论与概率推理的集成方面做了大量工作, 并提出了诊断的概率指标, 由于受到概率值获取的限制, 该方法在实际应用中难以推广^[3]。基于概率的诊断模型不能反映事物本身的模糊性, Yager 提出了覆盖集和模糊推理相结合的诊断模型, 虽然能够处理模糊性问题, 但必须获取故障与症状之间的模糊关系子集, 因而该方法的应用受到制约^[3]。

最近国内外一些学者提出了将诊断问题描述为优化问题, 然后采用现代组合优化方法求解诊断问题的一种新思路, 其基本原理就是将诊断问题描述

为多目标整数规划模型, 然后采用优化算法求解问题。这方面的研究已经在电力系统的故障诊断、警报处理以及机组调度等领域有初步的应用, 并且展现出良好的应用前景^[5], 但在疾病诊断领域方面还尚未研究。本研究的创新之处在于将疾病诊断问题描述为单目标优化问题, 并采用近年来出现的一种用于求解组合优化问题的启发式搜索技术, 即禁忌搜索(TS搜索)方法来求解这一问题。

1 疾病诊断的数学描述

1.1 定义

为便于研究, 先定义几个数学术语:

疾病事件集(D):所有可能发生的疾病事件的集合。

症状事件集(M):所有可能发生的症状事件的集合。

特征症状集:指某个疾病发生引起的症状事件的集合。

其中: 症状事件集合是指对所有的症状事件排序, 然后用集合 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ 来表示, m_i 表示某种症状, 共有 m 个症状事件发生;

疾病事件集合是指在对疾病事件排序基础上, 用集合 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 来表示, 表明共有 n 个疾病事件发生, 其中疾病事件 d_i 是集合 M 的子集。

收稿日期: 2004-07-29; 修订日期: 2004-12-11.

基金项目: 国家“863”高技术研究发展资助项目(2002AA243031).

作者简介: 温继文(1975-), 女, 博士, 研究方向: 信息管理与信息系统。通讯地址: 北京林业大学经济管理学院 39号信箱, 邮编 100083. E-mail: wjwinda@163.com

疾病事件和症状事件的逻辑关系为:

(1)一种疾病对应多种症状,即一个疾病事件 d_i 可以用多个症状的集合来表示。

(2)一种症状对应多种疾病,即同一症状 m_j 会在多个疾病事件的特征症状集中出现。

(3)疾病事件和症状事件之间存在这样的覆盖关系:

$$\bigcup_{d_i \in I} d_i = M \quad \text{即疾病集合 } I \text{ 是症状集合 } M \text{ 的覆盖。}$$

疾病诊断事件可以描述为在一组症状事件 M^* 已知的情况下,根据疾病与症状之间的逻辑关系,求解疾病事件集合 I 的发生。

1.2 疾病诊断的节约覆盖集模型

节约覆盖集方法是人工智能领域中解决诊断问题的一种比较成熟的方法,对于疾病诊断来说,诊断问题可以用一个四元组 $P = (D, M, R, M^*)$ 来描述^[4]。

其中 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 、 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_m\}$ 分别是疾病及症状的有限非空集合;

$R \subseteq D \times M$ 表示疾病 d_i 可能引起症状 m_j ; 其定义域为 $T(R) = D$, 而值域为 $F(R) = M$; $M^* \subseteq M$ 表示目前已知存在的征兆集合。

给定 D, M, C 和 R , 可定义下面集合:

$$\text{effect}(D_i) = \bigcup_{d_i \in D_i} \text{effect}(d_i) \quad \text{表示疾病集 } D_i \text{ 可能引起的所有症状集合;}$$

可能引起的所有症状集合;

$$\text{cause}(M_j) = \bigcup_{m_j \in M_j} \text{cause}(m_j) \quad \text{表示可能引起}$$

症状集 M_j 的所有疾病集合。

在此基础上节约覆盖集的定义如下:

定义:对任何诊断问题 $P, E \subseteq D$ 是 M^* 的一个解释,如果 E 是 M^* 的节约覆盖集,即满足条件:① E 是 M^* 的覆盖集;② E 的选取满足节约原则:包括单疾病原则、最小性原则、非冗余原则和相关性原则等。

这种方法要求任何合理的疾病诊断假说必须是已知症状事件的覆盖,也就是说必须能够解释 M^* 的所有症状;另一方面,并非 M^* 的所有覆盖表示的诊断假说都同样合理,因此提出了多种指标,如:①单疾病指标,即一个合理的疾病诊断假说 D 必须是 M^* 的覆盖,而且只能是一种疾病;②最小性指标:即一个合理的疾病诊断假说 D 是 M^* 所有覆盖中疾病数目最小的覆盖;③非冗余指标:即一个合理

的疾病诊断假说必须是已知症状集合的覆盖,而且 D 的所有子集均非 M^* 的覆盖;④相关性指标:即一个合理的疾病诊断假说 D 必须是 M^* 的一个覆盖,而且疾病假说 D 中包含的每个疾病事件必须能够引起 M^* 中至少一个症状。

1.3 疾病诊断的指标模型

上述4个指标中,单疾病指标不符合实际情况,相关性指标和不冗余指标会导致解过多,因此确定最小性指标作为合理指标。因此,疾病诊断的合理解应该满足两方面的要求:

(1)首先是 M^* 的覆盖;(2)其次它所包含的疾病事件应尽可能少。

能够反映这两个指标的数学模型描述如下:

$$\text{目标函数: } \min f(D) = \min |D| = \min \sum_{i=1}^n d_i$$

$$\text{约束条件: } |A|D \geq M^* \quad i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m; d_i=0,1$$

其中: M^* 向量是一个 m 维向量,表示症状事件中所包含的 m 个症状的实际状态,用1和0分别表示该症状出现和没有出现两种情况。

A 是一个 $m \times n$ 的矩阵,该矩阵的第 i 列 A_i 是一个 m 维的列向量,表示疾病 d_i 发生时应该出现的症状集合。其每个元素取1和0,分别表示该症状出现和没有出现的两种情况。

$$\begin{matrix}
 & d_1 & d_2 & \dots & d_i & \dots & d_n \\
 \begin{matrix} m_1 \\ m_2 \\ \dots \\ m_j \\ \dots \\ m_m \end{matrix} & \left| \begin{array}{cccccc} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1i} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2i} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j1} & a_{j2} & \dots & a_{ji} & \dots & a_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & \dots & \dots & a_{mn} \end{array} \right| & = & A
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 \left| \begin{array}{cccccc} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1i} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2i} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j1} & a_{j2} & \dots & a_{ji} & \dots & a_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & \dots & \dots & a_{mn} \end{array} \right| \cdot \begin{matrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_i \\ \dots \\ d_n \end{matrix} \geq M^*
 \end{matrix}$$

$D = |d_1, d_2, \dots, d_n|$ 是一个 n 维向量, 表示疾病诊断问题的一个可能解, D 中的每个元素 d_i 表示第 i 个事件的状态, 取值为 1 或 0 分别表示该事件发生或没有发生。

因此, 疾病诊断问题的求解转化为在已知症状集合 M^* 的情况下, 求解使 $f(D)$ 最小的 D , 这是一个典型的有约束的 0-1 整数规划问题。求解 0-1 整数规划的算法主要包括: 分枝定界法, 隐枚举法等传统算法, 但计算速度较慢, 而且要求的数据规模小。TS 搜索算法是近年来提出的用于解决组合优化问题中全局最优解的一种算法, 本研究应用该算法求解使 $f(D)$ 最小化的问题。

2 基于 TS 搜索算法的疾病诊断求解步骤

TS 搜索算法的基本思想是由 Glover^[6-8] 在 1986 年提出来的, 近年来逐步形成一套系统的优化理论, 并应用于求解复杂的组合优化问题。它是局部邻域搜索算法的一种推广, 主要特点是采用禁忌技术, 在搜索过程中获得知识, 并用以避免重复前面的工作, 进而跳出局部极值点, 其基本原理是: 首先产生一个初始解 D (为 n 维向量), 采用一组“移动”操作从当前解的邻域 $N(D)$ 中随机产生一系列试验解 D_1, D_2, \dots, D_n , 选择其中最好的解 D^* 作为当前解, 即令 $D = D^*$, 重复迭代, 直到满足一定的终止准则。为了避免陷入局部最优解, TS 搜索算法采用禁忌表记录下已经到达的局部最优点, 在下次搜索中, 利用禁忌表的信息有选择的不再搜索这些点, 从而防止循环的产生, 以此跳出局部最优点。另外, 为了尽可能不错过产生最优解的“移动”, TS 搜索算法采用“解禁准则”策略, 即当一个“移动”满足解禁准则, 即使它处于 Tabu 表中, 这个“移动”也可以实现。TS 搜索算法包括移动、Tabu 表和解禁准则 3 个基本要素, 本研究结合疾病诊断模型介绍该算法。

2.1 移动的设计

TS 搜索算法的搜索过程由移动来实现, 一次“移动”就产生 1 个试验解, 到目前为止, 已经提出很多“移动”方式, 如单个移动和交换移动、插入移动、多点移动等, 本文采用单个移动和交换移动的组合策略来求解 0-1 规划问题。

(1) 单个“移动”: $D^{new} = D^{old} + D_i$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

其中: D_i 是一个 n 维向量, 当 D^{old} 的第 i 个元素是 0 或 1 时, D_i 的第 i 个元素分别取 1 或 -1, 除第 i 个元素之外, D_i 的其他元素均取 0。

(2) 交换“移动”: $D^{new} = D^{old} + D_i - D_j$ ($i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j$)

其中: D_i 的含义同上, D_j 是一个 n 维向量, 当 D^{old} 的第 j 个元素是 0 或 1 时, D_j 的第 j 个元素分别取 -1 或 1, 除第 j 个元素之外, D_j 的其他元素均取 0。

式中的 D^{old} 表示当前解, D^{new} 表示试验解, 一次交换“移动”可由两个单个“移动”组合实现, 表示一次局部搜索。在产生的所有试验解中, 对目标函数改善最大的“移动”作为下一次的搜索方向。当所有的“移动”对目标函数均无改善时, 表明已经达到局部最优解。

2.2 Tabu 表的设计

Tabu 表是 TS 搜索算法的关键, 为了防止 TS 的搜索过程返回到已经访问过的局部极值点, 必须将已经实现的“移动”记录到 Tabu 表中, 凡是 Tabu 表记录的“移动”, 在当前迭代中禁止实现, 以避免陷入局部最优解。Tabu 表的两个主要指标是指禁忌对象和禁忌长度, 禁忌对象是指禁忌表中被禁的变化元素, 本研究将疾病解向量的分量作为变化元素, 禁忌长度的选取同实际问题、实验和设计者的经验有紧密联系, 同时它决定了计算的复杂性。一般 t 为常数, 如 $t = 10$, 这种规则容易在算法中实现^[9]。

2.3 解禁准则

TS 对 Tabu 表中的 Tabu“移动”都赋予一个解禁原则, 其作用是为了在每次迭代中能实现最有价值的“移动”, 从而更有效地找到最优解。本研究采用的解禁准则为: 如果一个 Tabu“移动”作用于当前解 D^{old} 后可以达到一个比以前所搜索到的所有解都好的解, 则该 Tabu“移动”可以解禁。

2.4 基于 Tabu 搜索算法的诊断步骤和流程^[9]

(1) 读入原始数据。

(2) 产生初始解: 随机产生初始解 D , 置迭代次数 $k = 0$, 置最好向量 $D^{best} = D$ 。

(3) 产生一组试验解: 利用上述的两种“移动”分别作用于 D^{best} , 得到一组可行的试验解 D_1, D_2, \dots, D_n , 并求得相应的 $f(D_1), f(D_2), \dots, f(D_n)$ 。

(4) 搜索邻域: 从上述的试验解中寻优, 得到一个最好的试验解 D^* , 如果 D^* 不在 Tabu 表中, 或

者即使在 Tabu 表中,但已经满足解禁准则,则用 D^* 更新 D ,如果该解在 Tabu 表中同时不满足解禁准则,则寻找次好的解,并重复此过程。

(5)更新 Tabu 表:将实现了的移动的反方向移动记录到 Tabu 表中,如果 Tabu 表已满,则首先排除最先记录的移动。

(6)更新 D^{best} :如果 $f(D^*) < f(D^{best})$,则用 D^*

更新 D^{best} ,否则 D^{best} 保持不变。

(7)判断终止条件:若连续几次迭代,目标函数值没有改进或达到最大允许迭代次数,则停止优化,输出结果;否则迭代次数加 1 并转到步骤 3 继续迭代。

算法具体流程如图 1 所示:

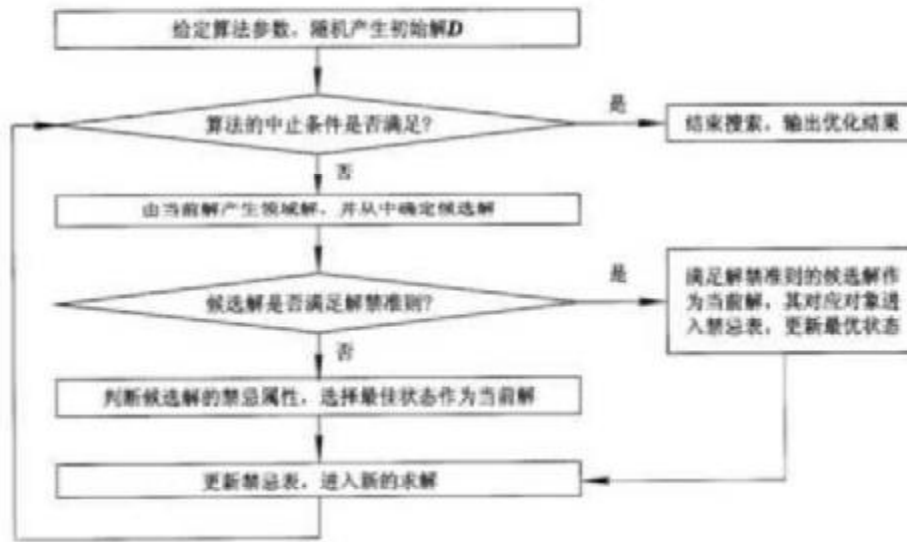


图 1 TS 搜索算法的基本流程

Fig.1 Process of tabu search algorithm

2.5 Tabu 搜索算法的性能评价

Tabu 搜索算法作为一种现代组合优化的启发式算法,其性能的优劣主要体现为算法计算效果的好坏,可以通过大规模的计算实例分析来评价。本研究对该算法效果的评价主要通过两个方面来反映:一方面是算法的计算复杂性,通过计算时间来表现,即目前的计算机设备能否接受,同时用户是否能接受该算法的计算时间;另一方面是计算解的性能,是通过计算停止时输出的解的表现,也即用户是否满意输出的解的答案,或计算结果是否与实际病历相符。

3 实例

整理天津市小南河养殖渔场 1999~2002 年 500 份鱼病诊断记录,得到疾病集合 D 及每种疾病

对应的特征症状集。症状集合、疾病集合以及疾病与症状之间的关系如表 1 和表 2 所示。

根据表 1 和表 2 给出的疾病集合和症状集合以及两集合之间的关系,首先将疾病诊断问题转化为单目标 0-1 规划问题,然后采用 TS 搜索算法进行求解。

针对表 1 和表 2 中 22 种疾病和对应的 46 种症状的诊断病例,将已知症状集合的 30 多种诊断情况作计算,诊断结果均包括或等于实际诊断病例的疾病分析,其中的 9 种诊断结果如表 3 所示。计算过程中 TS 的有关参数取值为: $N_{max} = 30$, $TL_{max} = 10$, $t = 10$ 。对于每种测试情况,在奔腾 IV 型计算机上大约需 3 s 的时间,实践证明用户可以接受该算法的计算时间。

表1 症状集合M
Tab.1 Manifest aggregating M

No.	Manifest	No.	Manifest
<i>m</i> ₀₁	体色发黑、头部乌黑	<i>m</i> ₂₃	唇肿胀, 口部溃烂, 吻端至眼球皮肤变乳白色
<i>m</i> ₀₂	背鳍或臀鳍至尾鳍的体色呈白色, 尾鳍烂掉或残缺不全	<i>m</i> ₂₄	头部充血、口腔充血、眼眶充血
<i>m</i> ₀₃	鱼体局部、全部出血, 发炎明显	<i>m</i> ₂₅	眼球突出
<i>m</i> ₀₄	体表发黑、瘦弱, 严重时黏液多	<i>m</i> ₂₆	鳞片脱落
<i>m</i> ₀₅	背部皮肤出现脓疮, 充满血脓和大量细菌, 背处有隆起	<i>m</i> ₂₇	腹部两侧表皮腐烂, 病灶处鳞片明显脱落
<i>m</i> ₀₆	尾部或腹部两侧有印章形红斑、腹部两侧表皮腐烂	<i>m</i> ₂₈	鳞片张开似松球, 基部积水
<i>m</i> ₀₇	体表产生隆起的白色斑块呈石蜡状	<i>m</i> ₂₉	鳃盖开天窗、鳃盖出血
<i>m</i> ₀₈	体表形成一层白色黏液薄膜(尤以头、背、尾鳍明显)	<i>m</i> ₃₀	鳃盖出血、鳃丝肿大、鳃瓣苍白
<i>m</i> ₀₉	体表有蓝色或淡蓝色的黏液附着	<i>m</i> ₃₁	鳃丝黏液多, 严重时局部腐烂
<i>m</i> ₁₀	体表粗糙、发黑	<i>m</i> ₃₂	肠壁充血, 肠内无食, 脾败坏, 肾脏大
<i>m</i> ₁₁	体表、鱼鳍、鳃瓣有白色小点状孢囊	<i>m</i> ₃₃	鳃盖开天窗, 鳃丝腐烂发白, 附泥和杂物尖端软骨外露
<i>m</i> ₁₂	体表、鳃部有透明圆形虫体	<i>m</i> ₃₄	鳃丝肿大
<i>m</i> ₁₃	体表、鱼鳍、鳃部、肠道有白色胞囊	<i>m</i> ₃₅	鳃瓣呈现斑点或点状充血
<i>m</i> ₁₄	腹部膨大, 积水	<i>m</i> ₃₆	鳃瓣粉红色
<i>m</i> ₁₅	肛门红肿外突	<i>m</i> ₃₇	鳃盖出血发红
<i>m</i> ₁₆	腹部呈淡黄色, 流出淡黄色液体	<i>m</i> ₃₈	肠壁红肿、充血
<i>m</i> ₁₇	蛀鳍	<i>m</i> ₃₉	肠道充血发炎
<i>m</i> ₁₈	鳍基出血	<i>m</i> ₄₀	肠道无食, 充满积液或血脓, 呈淡黄色
<i>m</i> ₁₉	鳍的边缘色泽变淡, 呈镶边状	<i>m</i> ₄₁	肠道或性腺有白色圆形或椭圆形胞囊
<i>m</i> ₂₀	肌肉出血呈暗红色	<i>m</i> ₄₂	肠道无食, 充满积液或血脓, 鳃内壁有点状出血肝、脾、肾水肿
<i>m</i> ₂₁	肌肉点状或块状出血	<i>m</i> ₄₃	胆囊肿大, 胆汁淡黄色或无色甚至外溢
<i>m</i> ₂₂	肌肉腐烂形成小坑甚至露出骨骼和内脏	<i>m</i> ₄₄	肝脏有时呈现黄色

表2 疾病与疾病的特征症状集
Tab.2 Disease and Effect (d_i)

No.	Disease	Effect(d _i)	No.	Disease	Effect(d _i)
<i>d</i> ₁	锥体虫病	<i>m</i> ₁₁ <i>m</i> ₄₄	<i>d</i> ₁₀	白头白嘴病	<i>m</i> ₂₄
<i>d</i> ₂	鱼波豆虫病	<i>m</i> ₃₀ <i>m</i> ₃₆ <i>m</i> ₃₃	<i>d</i> ₁₁	白皮病	<i>m</i> ₀₂ <i>m</i> ₁₁ <i>m</i> ₁₈
<i>d</i> ₃	黏体虫病	<i>m</i> ₁₄ <i>m</i> ₁₅ <i>m</i> ₄₃	<i>d</i> ₁₂	败血病	<i>m</i> ₀₄ <i>m</i> ₁₃ <i>m</i> ₁₈ <i>m</i> ₂₅ <i>m</i> ₃₂ <i>m</i> ₃₄
<i>d</i> ₄	两板虫病	<i>m</i> ₄₅	<i>d</i> ₁₃	打印病	<i>m</i> ₀₇ <i>m</i> ₁₃ <i>m</i> ₂₄
<i>d</i> ₅	小瓜虫病	<i>m</i> ₁₂	<i>d</i> ₁₄	白云病	<i>m</i> ₀₉ <i>m</i> ₂₇
<i>d</i> ₆	车轮虫病	<i>m</i> ₀₅ <i>m</i> ₃₃	<i>d</i> ₁₅	肠炎病	<i>m</i> ₁₅ <i>m</i> ₁₆ <i>m</i> ₁₇ <i>m</i> ₄₁ <i>m</i> ₄₂
<i>d</i> ₇	鳃霉病	<i>m</i> ₂₇ <i>m</i> ₃₆	<i>d</i> ₁₆	赤皮病	<i>m</i> ₀₄ <i>m</i> ₀₈ <i>m</i> ₁₈ <i>m</i> ₂₄ <i>m</i> ₃₁ <i>m</i> ₄₁
<i>d</i> ₈	鱼虱病	<i>m</i> ₁₃	<i>d</i> ₁₇	疥疮病	<i>m</i> ₄₁
<i>d</i> ₉	斜管虫病	<i>m</i> ₁₀ <i>m</i> ₃₃	<i>d</i> ₁₈	鲤春病毒病	<i>m</i> ₀₄ <i>m</i> ₁₅ <i>m</i> ₁₈ <i>m</i> ₂₁ <i>m</i> ₂₄ <i>m</i> ₃₃ <i>m</i> ₄₁ <i>m</i> ₄₄
<i>d</i> ₁₀	烂鳃病	<i>m</i> ₀₁ <i>m</i> ₀₅ <i>m</i> ₂₀ <i>m</i> ₂₅	<i>d</i> ₁₉	痘疮病	<i>m</i> ₀₈
<i>d</i> ₁₁	竖鳞病	<i>m</i> ₁₁ <i>m</i> ₁₅ <i>m</i> ₁₈ <i>m</i> ₁₉ <i>m</i> ₂₆ <i>m</i> ₂₈ <i>m</i> ₃₀	<i>d</i> ₂₀	病毒性出血病	<i>m</i> ₀₄ <i>m</i> ₁₉ <i>m</i> ₂₂ <i>m</i> ₂₅ <i>m</i> ₃₄ <i>m</i> ₃₉ <i>m</i> ₄₄

表3 诊断结果
Tab.3 Result of diagnosis

No.	Manifest			Diseast		
1	m_{01}	m_{11}	m_{17}	d_4	d_8	d_{17}
2	m_{18}	m_{15}	m_{17}	d_{17}	d_2	
3	m_{20}	m_{18}	m_{11}	d_8	d_{10}	d_{20}
4	m_{11}	m_{18}	m_{17}	m_{21}	d_3	d_{17}
5	m_{18}	m_{12}	m_{20}		d_{11}	d_{18}
6	m_{04}	m_{18}	m_{22}	m_{25}	d_{22}	
7	m_{11}	m_{18}	m_{19}		d_{11}	d_{18}
8	m_{18}	m_{30}	m_{31}		d_2	
9	m_{03}	m_{04}	m_{06}		d_{10}	d_{14}

4 结论

根据疾病事件与症状事件之间的逻辑关系,利用覆盖集理论提出了疾病诊断问题的新诊断指标,并构建相应的0-1整数规划模型。采用TS搜索算法求解该模型,并采用大量鱼病诊断实例证明,该算法在解决鱼病诊断问题中具有实效性。

参考文献:

[1] 温继文,傅泽田,李道亮,等. 鱼病诊断过程模拟及其推理模型的构造[J]. 水产科学,2003,22(2):46-48.
 [2] 文福松,韩祯祥. 基于Tabu搜索算法的输电系统最优规则[J]. 电网技术,1997,29(12):1-7.
 [3] 杨叔子,丁洪,史铁林. 基于知识的诊断推理[M]. 北京:清华大学出版社,1993.
 [4] 温继文,傅泽田,王建平. 基于节约覆盖集理论的诊断模型在鱼病诊断中的应用[J]. 计算机应用研究,2002(增刊):39-42.
 [5] 文福松,韩祯祥. 基于模糊外展推理和Tabu搜索算法的电力系统故障诊断[J]. 清华大学学报,1999,39(3):34-39.
 [6] Glover F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence[J]. Computer and Operation Research, 1986, 13(5):533-549.
 [7] Glover F. Tabusearch: part 1 ORSA [J]. Comput, 1989, 1: 190-206.
 [8] Glover F. Tabusearch: part 2 ORSA [J]. Comput, 1990, 2: 4-32.
 [9] 卞文训,谢金星. 现代优化·计算方法[M]. 北京:清华大学出版社,1999. 57-77.

Fish disease diagnosis and solution based on Tabu search algorithm

WEN Ji-wen¹, YUAN Ji-xue², FU Ze-tian³, XING Ke-zhi⁴

(1. Economics and Management Department, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Tangshan College, Tangshan 063000, China; 3. China Agricultural University, Key Laboratory for Modern Precision Agriculture Integration, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 4. Aquaculture Department, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China)

Abstract: Based on the logical relation between disease and symptom, disease-diagnose guideline and 0-1 integer programming model are constructed on the ground of the theory covering-setting. Tabu search algorithm is emerging as a new and highly efficient search paradigm for quickly finding high quality solutions to combinatorial optimization problems. It is applied to solve fish disease diagnose question. The test results for a lot of samples on fish diseases have verified the feasibility and efficiency of TS algorithm.

Key words: Tabu search; fish disease diagnosis; 0-1 integer programming