

运用哈密顿图进行基于事例推理中的改写*)

Apply Hamilton Graph to the Adaptation in Case-Based Reasoning

魏莉萍 乔春生 张清

(北方交通大学土建学院 北京100044)

57-59.56

TP18

Abstract The paper presents a new approach for the adaptation in Case-Based Reasoning. Using the universal search characteristic of Jordan-algorithm-based Hamilton graph, the approach processes the interactive effect among the factors of cases comprehensively, and makes the adaptation process more suitable for the face.

Keywords Case-based reasoning, Adaptation, Hamilton graph, Jordan algorithm

1 前言

基于事例的推理(Case-Based Reasoning,简称 CBR)是对相似事例进行类比的人工智能推理方法,其原理是利用已有的事例所蕴含的客观规律,通过类比推理,求得新问题的解。由于 CBR 不必进行知识的提取,而是通过对蕴含客观规律的具体事例进行相似匹配,提取和再利用,因此, CBR 克服了专家系统中进行知识获取的困难(知识获取是目前制约专家系统发展的“瓶颈”),能够方便地进行应用。目前, CBR 已经在制造业、工程设计、医药生产,软件开发等许多领域得到了广泛的应用。

CBR 的主要工作,是利用计算机的运算能力,利用已有的实际事例,在大量事例中搜索与新问题相似的事例,并根据相似性进行类比推理,再综合调整这些相似事例的解,以求得符合新问题的解,这个调整过程称为改写。显然,改写是 CBR 中最关键的部分,它直接关系到 CBR 的工作效率。如何根据已有的理论或成熟的专家经验进行正确的事例改写,一直是 CBR 中的研究重点^[1]。

本文提出一种新的改写方法,它运用图论^[2]中基于 JORDAN 算法的哈密顿图寻迹的遍历性,使事例中各因素共同作用的机制得到有机的反映,并通过哈密顿图实现 CBR 的改写。本文以 95 项工程实例进行模拟、检验,实现结果表明该方法简便、实用,能切实地反映客观实际情况。

2 基于事例的推理

基于事例推理的工作流程可以看作是由建库、提取、再用、改写、保留几个主要部分组成的一个循环,该循环中的主要部分及其作用如下:

- 1)建库:根据问题的性质,收集已有的问题解答事例,建成事例库;
- 2)提取:根据相似性,从事例库中找出与新问题的条件相近的事例(组);
- 3)再用:将已提取的事例(组)的解,作为新问题的初始解;
- 4)改写:根据新问题的条件与已提取事例的条件之间的差异,对新问题的初始解进行修正,以得到符合新问题条件的最优解;
- 5)保留:对于成功的新问题的解,将其保留,作为事例库中新的事例。

在这几个部分中,改写是 CBR 中最关键的问题,它直接关系到新问题解答的质量。目前,国内外还没有公认很有效的改写方法,一般的改写方法是通过规则法来调整参数大小,但在实践中,关于客观规律的规则很难得到,并且规则改写法很难满足实际的各因素共同作用这一实际情况,这就妨碍了 CBR 方法的有效应用。

3 哈密顿图及 JORDAN 算法

在本节,我们先简单介绍哈密顿图,然后,再介

*)国家自然科学基金项目资助,项目批准号:59578026。魏莉萍 博士生,研究方向:人工智能技术在土木工程中的应用。乔春生 教授,项目主持人。张清 教授,博士生导师,研究方向:人工智能技术在土木工程中的应用。

绍寻找哈密顿回路的 JORDAN 算法。

3.1 哈密顿图

对于一个图 $G(V, E)$ (V 为节点集合, E 为节点之间联结(边)的集合), 若其中有一条回路通过所有节点一次且仅一次, 则此回路称哈密顿回路。具有哈密顿回路的图称哈密顿图(简称 H 图)。寻找 H 图回路的工作称 H 图的寻迹(或 H 路径算法)^[2]。

对于图 $G(V, E)$, 设它有 N 个节点, 节点之间的联结状态用邻接矩阵 A 表示,

$$A = (a_{ij})_{N \times N}, (i, j = 1 \sim N)$$

元素 a_{ij} 的值表示节点 v_i, v_j 之间的联结状态:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & v_i \text{ 与 } v_j \text{ 相联} \\ 0 & v_i \text{ 与 } v_j \text{ 不相联} \end{cases}$$

$$\text{幂阵 } A^m \text{ 为: } A^m = \prod_{i=1}^m A_i = \underbrace{AA \cdots A}_m$$

A^m 中元素 $a_{ij}^{(m)}$ 的值表示从节点 v_i 到 v_j 经过 m 条边($m-1$ 个节点)相连的情况, 即长度为 m 的路径数目:

$$a_{ij}^{(m)} = \sum_{\substack{k_1, k_2, \dots, k_{m-1} \\ k_i \in \{1, 2, \dots, N\}}} \underbrace{a_{i, k_1} a_{k_1, k_2} a_{k_2, k_3} \cdots a_{k_{m-1}, j}}_m$$

式中: $n = N-2$ 。

H 图的寻迹就是求路径矩阵(又称可达性矩阵)

$$P, P = (p_{ij})_{N \times N}, (i, j = 1 \sim N):$$

$$p_{ij} = \begin{cases} > 0 & \text{表示从 } v_i \text{ 可到达 } v_j \\ 0 & \text{表示从 } v_i \text{ 不可到达 } v_j \end{cases}$$

关于可达性矩阵 P 的计算方法有很多, 但大都较繁, 一般都是计算出 A 的所有次幂, $A^1, A^2, \dots, A^1, \dots$, 即: $P = \sum_{k=1}^{\infty} A^k$ 。

JORDAN 算法具有较好的收敛性, 一般由下面的 JORDAN 算法得到 H 图的寻迹^[2]。本文记: $A^{(k)}$ 表示长度至多为 k 的路径数目。这样, 求可达性矩阵 P 的计算就可变为求矩阵 $A^{(N)}$ 的计算。

3.2 H 图中的 JORDAN 算法

在 JORDAN 迭代算法 H 图寻迹中, 首先, 根据研究对象形成系统的初始矩阵 $A^{(0)} = A$, 迭代循环次数记录 $k=0$, 元素 $a_{ij}^{(0)}$ 表示节点 i 对节点 j 的初始联结强度 ($i, j = 1 \sim N$), 对角元素为 0, 即不存在自循环。

然后分别对所有节点进行收敛运算。迭代循环次数记录 $k=1$ 时, 对第一个对角元素进行收敛运算, 取 $a_{11}^{(1)} = 1$, 其它各元素在第一个对角元素的作用下做如下变化:

$$a_{ij}^{(1)} = a_{ij}^{(0)} + a_{11}^{(0)} a_{1j}^{(0)} a_{i1}^{(0)}, (i, j = 1 \sim N)$$

接着进行第二次循环 $k=2$, 对第二个对角元素进行收敛运算, 由 JORDAN 算法理论, $a_{22}^{(2)} \approx 1/(1-$

$a_{22}^{(1)})$, 其它各元素在第二个对角元素的作用下又进行如下变化:

$$a_{ij}^{(2)} = a_{ij}^{(1)} + a_{22}^{(1)} a_{2j}^{(1)} a_{i2}^{(1)}, (i, j = 1 \sim N)$$

直到对所有的对角元素进行收敛运算, $k=3 \sim N$:

$$\begin{cases} a_{kk}^{(k)} = (a_{kk}^{(k-1)})^* \\ a_{ij}^{(k)} = a_{ij}^{(k-1)} + a_{kk}^{(k-1)} a_{kj}^{(k-1)} a_{ik}^{(k-1)} \quad (\text{除了 } i=j=k) \end{cases}$$

其中, 元素 $(a_{ij}^{(k-1)})^* = \lim_{t \rightarrow \infty} a_{ij}^{(k-1)t}$

$$= \lim_{t \rightarrow \infty} (a_{ij}^{(0)t} + a_{ij}^{(1)t} + a_{ij}^{(2)t} + \cdots + a_{ij}^{(k-1)t})$$

当 $|a_{ij}| < 1$ 时, 得极限 $(a_{ij}^{(k-1)})^* \approx 1/(1-a_{ij}^{(k-1)})$

经过 N 次循环迭代, 求出矩阵 $A^{(N)}$, 由文[2]知: $A^{(N)} = \lim_{t \rightarrow \infty} (A^0 + A^1 + \cdots + A^t)$, 得到可达性矩阵 P , 完成 H 图的寻迹。

这里, 若将邻接矩阵中各对角元素取为一个系统的各影响因素(在初始矩阵中, 对角元素为 0), 非对角元素取为相邻节点(因素)之间的影响程度(连接强度), 而不是仅仅以连接状态 0, 1 表示, 那么所得的邻接矩阵 A 就反映了因素之间的一对一作用状况。

通过 JORDAN 迭代算法进行 H 图的寻迹, 对各对角元素进行收敛运算, 得到的综合矩阵反映了所有影响因素共同作用时因素之间的相互关系, Y. Jiao 和 J. A. Hudson 在文[4]中已将 H 图用于岩石工程系统中, 本文则将其用于基于事例的改写系统。

4 基于 H 图 JORDAN 算法的 CBR 改写

4.1 基于 H 图的 CBR 改写模型

本文以图中各节点表示事例库中事例的各项因素, 以图中各边表示相应因素之间的相互作用, 并采用 JORDAN 迭代算法对矩阵中所有元素进行迭代运算, 得出的 H 图寻迹(可达性矩阵 P)来形象地体现事例中各因素的共同作用机制, 揭示事例所包含的规律。基于 H 图 JORDAN 算法的 CBR 改写的具体步骤如下:

(1) 确定图论中的初始邻接矩阵:

$$A^{(0)} = (a_{ij}^{(0)}) \quad i, j = 1 \sim N$$

N 为事例中因素(或称参数)个数, $a_{ij}^{(0)}$ 为不考虑其它各因素的影响时, 作用参数 i 对结果参数 j 的影响值(联结权值), 其大小可取表示参数 i 对参数 j 作用时的变化率(对具体的函数用导数表示, 对定性参数可取专家评判数值), 所得初始邻接矩阵一般为非对称矩阵。

(2) 由 JORDAN 迭代算法得到综合矩阵:

$$A^{(N)} = (a_{ij}^{(N)})$$

其中 $a_{ij}^{(N)}$ 为考虑所有因素同时相互作用的综合联结

权值。

(3) CBR 改写:

第一步: 确定事例库, 即各因素取值矩阵 $(old_case_in)_{n \times N, nx}$ 为库中事例数, N 为参数个数(影响因素及结果因素)。

第二步: 采用最近邻法, 提取与新事例相似的事例 $input_i = (in1, in2, \dots, inN)$, 其中包含相似事例的解(结果因素的取值), 以此作为新事例的初解:

$$(initial_answer)_{1 \times N} = input_i = (in1, in2, \dots, inN)$$

第三步: 计算新旧事例各因素取值的差值, 得到差值矩阵 $(dlt)_{1 \times N}$

$$(dlt)_{1 \times N} = (new_case)_{1 \times N} - (input)_i$$

第四步: 根据综合矩阵 $A^{(N)}$, 改写相似的事例的解, 得到当前新事例的解:

$$(new_case_answer)_N = (dlt)_{1 \times N} \times A_{N \times N}^{(N)} + (initial_answer)_{1 \times N}$$

第五步: 经过实践验证后, 将成功的新事例及其解存放到事例库中, 改写完成。

4.2 CBR 改写的实例实现

本文以岩体工程支护参数的设计为例, 验证新的 CBR 改写方法。

历史上关于支护设计的事例可由文[5]得到, 我们可以根据此数据资料来构成事例库和检测数据库。在实验中, 我们选取50个工程项目的事例作为历史事例库, 而以另外的45个工程项目事例作为当前新事例进行岩体支护参数的设计, 以进行验证。

岩体工程支护参数的影响因素很多, 根据已有的成果和经验, 可以分成下面11个因素进行考虑: 开挖跨度, 埋深, 原岩强度, 岩体结构, 不连续面的产状, 不连续面的形态, 岩体质量指标 RQD, 地下水状况, 地应力, 岩体稳定性, 不连续面分布相对于跨度的影响状况。

支护设计参数一般有6个: 喷射混凝土厚度, 锚杆直径, 锚杆长度, 锚杆间距, 钢筋网直径, 钢筋网间距。显然, 在本实验中, $N=17, nx=50, nn=45$ 。

由所学过的因素局部相互作用关系式, 如埋深与地应力的关系等, 求导数得到初始矩阵 $A^{(0)}$, 经过 JORDAN 算法的迭代运算, 可以得到综合矩阵 $A^{(N)}$ 。

下面运用本文提出的 CBR 改写新方法, 对45项事例进行岩体支护参数的设计, 将所设计的结果与实际值进行比较, 所得的误差统计如表1所示。

表1 隧道工程喷锚支护参数设计结果的误差统计

相对误差超过下列值时	喷射砼厚度		锚杆直径		锚杆长度		锚杆间距		钢筋网直径		钢筋网间距		总体统计所占比例 (%)
	所占组数	所占比例 (%)	所占组数	所占比例 (%)	所占组数	所占比例 (%)	所占组数	所占比例 (%)	所占组数	所占比例 (%)	所占组数	所占比例 (%)	
100%	0	0.0	2	4.4	2	4.4	2	4.4	5	11.1	5	11.1	5.9
90%	0	0.0	2	4.4	2	4.4	2	4.4	5	11.1	5	11.1	5.9
80%	1	2.2	3	6.7	2	4.4	2	4.4	5	11.1	5	11.1	6.7
70%	1	2.2	3	6.7	2	4.4	2	4.4	5	11.1	5	11.1	6.7
60%	2	4.4	3	6.7	2	4.4	2	4.4	5	11.1	5	11.1	7.0
50%	4	8.9	3	6.7	3	6.7	2	4.4	5	11.1	5	11.1	8.2
40%	5	11.1	3	6.7	5	11.1	2	4.4	5	11.1	5	11.1	9.3
30%	12	26.7	4	8.9	5	11.1	5	11.1	7	15.6	5	11.1	14.1
20%	21	46.7	9	20.0	10	22.2	13	28.9	9	20.0	14	31.1	28.1
10%	28	62.2	28	62.2	23	51.1	16	35.6	9	20.0	14	31.1	43.7

注: 表中“所占组数”为: 相对误差值超过某一百分数的工程项目组数。

表中“所占比例”为: 相对误差值超过某一百分数的工程项目组数在总的检验项目中所占的百分数。

由表1可以看出: 对于喷射混凝土厚度、锚杆长度、锚杆间距的设计, 相对误差超过60%的分别有2组, 各占总设计组数的4.4%。对于锚杆直径的设计, 相对误差超过60%的分别有3组, 各占总设计组数的6.7%。对于钢筋网直径、钢筋网间距的设计, 相对误差超过60%的各有5组, 分别占总设计组数的11.1%。

从总体上看, 相对误差超过60%的工程项目仅占总检验数目(45组)的7.0%。这在工程中已是具有相当高的精度。

结论 CBR 是人工智能中很有发展前景的一个方向, 对其中最重要的部分——改写, 本文提出了一种新的方法, 该方法将关于哈密顿的 JORDAN

(下转第56页)

的条件下减少了计算代价。假设 PLP 分析和 Mel 分析在做 Bark 分割和加窗时的运算是相近的,同时 PLP 分析在做完频谱域上的各种听觉感知工程模拟后,不是使用自回归模型做线性预测分析求倒谱系数,而是像 Mel 分析一样,直接进行 DCT(离散余弦变换)变换来求倒谱系数,则 PLP 分析比 Mel 分析也多进行了等响度预加重和强度响度幂律运算。前者对每一帧的每一个频带都要乘以一个如式(1)那样比较复杂的函数;即使事先已经求好该函数在各个频带的值,然后采用查表的方式,对一个发音长度为 L 帧的语音,如果使用的频带数为 B ,则需要多进行 $L \times B$ 个乘法;后者对每一帧的每一频带都要进行一次求3次方根的运算,所以对 L 帧的语音将增加 $L \times B$ 个求3次方根的运算。因而,RMFCC 的计算代价明显小于 RASTA-PLP 处理。在一个由 Sun-SPARC 工作站与 S-32C 数字信号处理板构成的主从式系统上,采用 RASTA-PLP 处理,在对全部测试语音库中的数据进行测试时,单一发音的平均处理时间为1秒多,而相应的 RMFCC 的处理时间约为0.6秒。

综上所述,如果同时考虑系统性能和计算代价, RMFCC 方法是上述所有的通道补偿方法中最好的一个。

结束语 本文分析比较 RMFCC 与其它通道补偿方法用于电话语音识别时的性能改进情况。可以看出, RMFCC 优于传统的通道补偿方法,它具有不需要长时估计通讯环境的频率特征、计算简单,以及非常适合实时计算等优点,可以很容易地连接到现有大多数语音识别系统上。

致谢:感谢韩国科学院系统工程研究所语言理解实验室的 Park Gyu-Bong、Han Munsung、Park Jeongue 等协助完成本实验。

参考文献

- 1 Furu S. Cepstral analysis technique for automatic speaker verification. *IEEE Trans. on Acoustics Speech and Signal Processing*, 1981, 29(4): 254~272
- 2 Sankar A, Lee C. Robust Speech Recognition Based on Stochastic Matching. In: *Proc. of 1995 IEEE Intl. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*. Michigan, USA, Diane Drago. 1995. 121~124
- 3 Gupta S, Soong F, Hammi-Cohen R. High Accuracy Connected Digit Recognition for Mobile Applications. In: *Proc. of 1996 IEEE Intl. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*. Atlanta, USA, Vijay K. Madisetan. 1996. 57~60
- 4 Reynolds D. The Effects of Handset Variability on Speaker Recognition Performance: Experiments on the Switchboard Corpus. Same to [3]. 113~116
- 5 Hermansky H, Morgan N. RASTA Processing of Speech. *IEEE Trans. on Speech and Audio Processing*, 1994, 2(4): 578~589
- 6 Hermansky H. Perceptual Linear Predictive (PLP) Analysis of Speech. *J. of Acoustical Society of America*, 1990, 87(4): 1738~1752
- 7 韩纪庆, 高文. 基于 MFCCs 滤波的电话语音识别的通道畸变补偿方法. *计算机学报*, 1998(录用待发表)
- 8 韩纪庆, 王承发, 高文. 二阶 CMS 用于电话语音识别的通道补偿. *哈尔滨工业大学学报*, 1999, 1(待发表)

(上接第59页)

算法,运用于 CBR 的改写中,使得具体事例所蕴含的客观规律可以得到很好的体现,这样,既避免了收集专家经验的庞大工作量及进行知识表达的困难,又克服了单纯基于规则进行推理的片面性、静态性。由此,关于新问题的解答,可以更加切合实际情况。

当然,为提高 CBR 的实用性、科学性,还有许多工作要做,比如:影响因素的确定、提取相似事例的方法等。这些都是我们今后要着重研究的。

参考文献

- 1 Leak D B, et al. Case-Based CBR: Capturing and

- Reusing Reasoning About Case Adaptation. *Int. J. of Expert Systems*, 1997, 10(2): 197~213
- 2 Gondran M, Minoux M. *Graphs and Algorithms*. U K, 1984
- 3 Watston I. *An introduction to case-based reasoning*. U K, 1995
- 4 Jiao Y, Hudson J A. Fully-Coupled Model for Engineering Systems. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstr.*, 1995, 32(5): 491~521
- 5 Cecil I O S. Correlation of bolt-shotcrete support and rock quality parameters in scandinavian tunnels: [Ph. D. Thesis]. *Unt. of Illinois, Urban*, 1970