

基于表象式语义网络的图匹配算法

赵宏伟¹, 张海龙¹, 刘萍萍¹, 王慧¹, 徐震宇²

(1. 吉林大学 计算机科学与技术学院, 长春 130012; 2. 吉林大学 机械科学与工程学院, 长春 130022)

摘要:提出了一种在表象式语义网络中的查找方法, 表象式语义网络问题的求解一般都是通过图匹配实现的, 首先根据待求解的问题的要求构造一个带变量节点的语义网络, 然后与计算机视觉系统中已存储的语义网络进行图匹配。当语义网络中的询问部分与系统中的语义网络图匹配后, 则与询问部分匹配的事实就是问题的解。图匹配问题可以通过构造一个图的附属数据结构来完成, 这个附属数据结构也称为相连图(association graph), 对于两个图 $G=(V, A)$ 以及 $G'=(V', A')$, 构造相联图 $G''=(V'', A'')$, 也就是说, V'' 是所有可能节点匹配对的集合, A'' 是所有相容节点匹配的集合。这相当于在相联图中寻求一个最大的基团(clique), 其中基团定义为 G'' 的完全连通的一个子图。最大基团满足其节点集合不是任何其他基团节点集的适当子集。

关键词:人工智能; 表象; 语义网络; 图匹配

中图分类号:TP391.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2008)Sup.-0145-05

Algorithm of graph matching based on mental imagery semantic nets

Zhao Hong-wei, Zhang Hai-long, Liu Ping-ping, Wang Hui, Xu Zheng-yu²

(1. College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun 130012, China; 2. College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: A new method for searching mental imagery in semantic nets is proposed. The problems of semantic nets of mental imagery are generally solved by graph matching. First a semantic net with variable nodes is constructed in accordance with the requirements of the problem to be solved. Then the graph matching algorithm is employed to match the already existed semantic nets of computer vision system. The enquiry part of the sub-semantic network is the solution if it matches the semantic network graph successfully. The problem of map matching can be resolved by the construction of a data structure of associate graph. For two graphs, $G=(V, A)$ and $G'=(V', A')$, we can construct an associate graph $G''=(V'', A'')$, in which V'' is of all possible matching set nodes, and A'' is of all compatible matching set nodes. It is equivalent to find a maximum clique in the associate graphs, clique is defined as a completely connected sub-graph of Equates G'' . The largest clique meets the criterion that its node sets are not of approximate subsets of any other clique.

Key words: artificial intelligence; mental imagery; semantic nets; graph matching

收稿日期: 2007-04-31.

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20050183032); 吉林省教育厅科学基金计划项目(2004150).

作者简介: 赵宏伟(1962-), 男, 教授, 博士生导师. 研究方向: 智能信息系统. E-mail: zhaohw@jlu.edu.cn

通讯联系人: 张海龙(1980-), 男, 博士研究生. 研究方向: 智能信息系统. E-mail: zhlfred@sina.com

语义网络技术最早由 Quilian 在其博士论文中作为人类联想记忆的一个显式心理学模型提出。目前,语义网络已广泛地应用于人工智能的许多领域,是一种表达能力强而灵活的知识表示方法^[1]。

文献[2,3]中语义网络匹配采用的是将语义网络中的每个概念节点看成一个有限自动机。这个有限自动机从任何一个输入弧上接受信号后就开始工作,并将输出信息沿各个输出弧发送出去。所有这些自动机的工作都是独立进行的。若寻找两个概念 C1 与 C2 之间的联系,文献[4]采用启动相应节点 n1 与 n2 对应的自动机,使它们发出信息,启动邻近自动机,进一步启动其他自动机。继续这个过程,使产生的信息沿着以 n1 和 n2 为中心的波浪形的大圈向外扩散。若这两个大圈在某处会合,则会合点就是 C1 和 C2 两个概念的匹配点,从 C1 经过会合点到达 C2 的路径就是这两个概念相互联系的方式。基于自动机的匹配方法是在语义网络匹配中得到认可的匹配方法。文献[5~11]中采用 C、C++语言相关算法对图像匹配的颜色特征、形状特征等进行了研究。但在表象式语义网络中由于节点中含有大量的表象式信息,使自动机方法匹配和文献[5~11]中的匹配算法匹配结果效率很差,精度、速度都不能满足表象式语义网络的匹配要求。

本文提出的图匹配算法主要是为表象式语义网络匹配服务的,在算法当中分析了样板损失、弹簧损失、输入图丢失损失、参考图丢失损失等因素。从而使图匹配算法能够降低匹配的复杂度和提高匹配的精度,最终通过本算法的研究使表象式语义网络能够更好地实现形象思维相关的推理。

1 表象式语义网络图匹配

表象式语义网络问题的求解一般都是通过图匹配实现的,首先根据待求解的问题的要求构造一个带变量节点的语义网络,然后与计算机视觉系统中已存储的语义网络进行图匹配。当语义网络中的询问部分与系统中的语义网络图匹配后,则与询问部分匹配的事实就是问题的解^[1]。

例如图 1 所示:希望在网络中查询“工农广场”的南边是什么道路时,构造一个带变量节点“X”的语义网络。这个问题变为在语义网络中匹配图 1 所示的语义网络,则由标识弧 South-of 指

向的节点可知问题的答案。

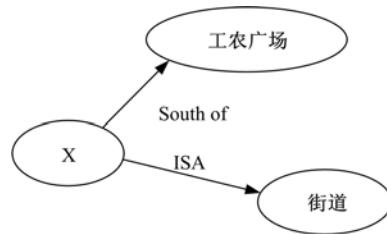


图 1 带变量的表象式语义网络

Fig. 1 Semantic nets of mental imagery methodology with variable

表象式语义网络的图匹配因为只涉及到图的问题,因此在图匹配问题上可以不考虑节点的表象式描述。表象式语义网络由于简化了图,大大减少了节点与弧的类型与数量,因而在图匹配的算法中减少了匹配所需的搜索,也减少了算法的代价。

在计算机视觉中经常遇到的是子图匹配,因此引入好的知识表示方法来进行匹配,降低匹配的复杂度至关重要^[2]。

在表象式语义网络中,不含表的语义网络 SN 可以形式地描述为:

$$SN = \{V, E\}$$

其中 V 是节点的有限集,E 是连接 V 中节点的带标识的有向弧的集合。

可以用两个矩阵 V 和 A 表达不含表的表象式语义网络。矩阵 V 存储节点的名称,矩阵 A 存储起始节点、终止节点和弧的名称。

$$V: N \rightarrow S$$

$$A: N \times N \rightarrow S \cup \{e\}$$

其中 $N = \{1, 2, \dots, N_0\}$ 是节点的索引集;S 为弧的名称的有限非空集合;e 为不在 S 中的一个特殊符号,表示“不存在弧”^[3~5]。

从图论的观点看子图匹配实际上是子图同构问题。因为只涉及到图的问题,因此在表象式语义网络的子图匹配问题上可以不考虑节点的对象描述。子图匹配一般可由回溯搜索技术实现,表象语义网络由于大大减少了节点与弧的类型与数量,因而在子图匹配的算法中减少了匹配所需的搜索,使得匹配更为简单。

子图匹配问题的形式化描述:

设 $G'(V, A)$ 和 $G(V, A)$ 是两个带标号的有向图。

$$V': N' \rightarrow S \cup X$$

$$A': N' \times N' \rightarrow S \cup X \cup \{e\}$$

其中 $N = \{1, 2, \dots, N'\}$ 是节点的索引集; S 是弧的名称的有限非空集合; X 是变量名称的集合; e 是不在 S 中的一个特殊符号, 表示“不存在弧”^[6,7]。

子图匹配问题就是寻找一个一对一的映射 T 满足以下条件:

$$(1) \text{for all } i \in N', V'[i] = V[T[i]]$$

(对应节点有相同的名称)

$$(2) \text{for all } i, j \in N', \text{if } A'[i, j] \neq e, \text{ then } A'[i, j] = A'[T[i], T[j]]$$

(对应弧有相同的标识)

如果一个弧标识或节点名称是一个变量, 应能自动匹配除 e 以外的其他任何标识弧或节点名称。对不精确匹配而言, 条件(1)、条件(2)中的等号可更自由地进行解释。例如在 S 上可能有某种相似形度量, 只要两个名字充分相似, 就可以认为是一个匹配。在语义网络中要求能够将相近的关系进行转换, 比如可以将弧 located-side 转换成弧 near。这种相等性测试也可由推理系统来完成, 启动一个规则去度量两个名称(两个标识)的相等性^[8,9]。

语义网络中回答查询问题的方法就是一个匹配的过程。

2 匹配损失

假设 $G' = (V', A')$ 和 $G = (V, A)$ 表示两个不含表象描述的表象式语义网络图, 其中节点集为 V 和 V' , 标识弧集合为 A 和 A' 。子图匹配就是要寻求两个语义网络之间的一一对应的映射 T , 使得所有在节点序号集 N' 中的 i , 有 $V[i] = V[T(i)]$, 即对应的节点有相同名称, 同时, 要求所有节点序集 N' 中的节点之间的标识弧 $A'[i, j]$ 有 $A'[i, j] = A[T(i), T(j)]$ 对应, 即对应标识弧的语义联系名称相同。符合上述条件的匹配称精确匹配^[8,9]。但是, 有时两个语义网络之间达到完全精确匹配是相当困难的, 也就是说非精确匹配的情况是经常出现的, 即两个语义网络之间节点与节点、标识弧与标识弧不一定完全匹配上, 有时会有丢失, 如图 2 所示。下面定义衡量匹配好坏程度的度量标准, 或称为匹配损失, 其定义如下:

$$\text{匹配损失} = \sum \text{COSTN}(V'[i], V[T[i]])$$

———(样板损失),

i 在 N' 中、 $T(i)$ 有定义

$$+ \sum \text{COSTA}(A'[i, j], A[T[i], T[j]])$$

———(弹簧损失),

i, j 在 N' 中、 $T(i), T(j)$ 有定义

$$+ \sum \text{COSTM}'(V'[i])$$

———(输入图丢失损失),

i 在 N' 中、 $T(i)$ 无定义

$$+ \sum \text{COSTM}(V[j])$$

———(参考图丢失损失),

j 在 N 中, N' 中无 i 使 $T(i) = j$ 。

由以上定义可知: 匹配损失由 4 部分组成, 其中①COSTN: 是匹配两相似节点时的损失函数, 或者称为“样板损失”。②COSTA: 是匹配两相似标识弧的损失函数, 或者称为“弹簧损失”。③COSTM': 是丢失输入图中的节点所造成的损失函数, 即语义网络 G' 中找不到匹配节点, 即 $T(i)$ 无意义。④COSTM: 是丢失参考图中的节点所造成的损失函数, 语义网络 G 中的某些节点在语义网络 G' 中找不到对应节点。

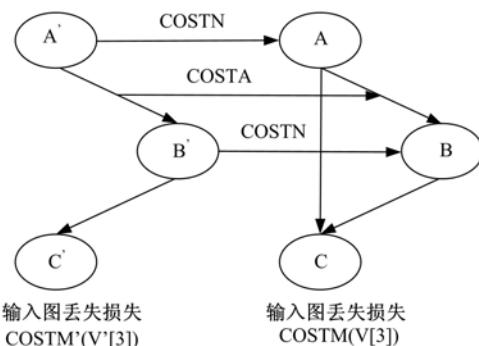


图 2 匹配损失

Fig. 2 The Missing of Matching

如果要求精确的节点匹配和精确的弧匹配, 并且允许在匹配中丢失节点, 这时, 应当使节点损失函数 COSTN 和弧损失函数 COSTA 取无穷; 损失函数 COSTM' 和损失函数 COSTM 取有限值。在这种情况下的最佳匹配就是精确匹配数目最大的那种匹配^[10,11]。

(1) 当 COSTM' 和 COSTM 两个损失函数取无穷时, 这就意味着不允许在 G' 或 G 中丢失节点。子图匹配问题便成为图匹配问题。

(2) 若使 COSTM 为无穷, 也就是要求 G' 无丢失节点, 即 G' 必须包含在 G 中, 这就是子图匹配问题。

(3) 在最一般的情况下, 节点损失函数 COSTN、弧损失函数 COSTA、输入图丢失损失函数 COSTM' 和参考图丢失损失函数 COSTM

均为有限值,四种匹配损失均不大,这就是一般的部分图匹配问题^[12,13]。

3 图匹配算法

图匹配问题可以通过构造一个图的附属数据结构来完成,这个附属数据结构也称为相连图(association graph),对于两个图 $G=(V, A)$ 以及 $G'=(V', A')$,构造相联图 $G''=(V'', A'')$,其中:

$$V'' = \{(i, j) | i \in N, j \in N', V[i] = V'[j]\} \\ A'' = \{(i_1, j_1), (i_2, j_2) | (i_1, j_1), (i_2, j_2) \in N'', A[i_1, j_2] = A'[i_1, j_2]\}$$

也就是说, V'' 是所有可能节点匹配对的集合, A'' 是所有相容节点匹配的集合。

这相当于在相联图中寻求一个最大的基团(clique),其中基团定义为 G'' 的完全连通的一个子图^[14,15]。最大基团满足其节点集合不是任何其他基团节点集的适当子集。

寻找基团的算法描述如下:

```
BEGIN
LIST={V''}
REPEAT
FOR LIST 中的每一个 X DO
BEGIN
Y=V''-X
FOR Y 中的每一个 y
IF y 有相同的弧连接到 X 中所有 x
THEN X=XU(y);将 X 送回 LIST
END
UNTIL LIST 中没有变化
END
```

在算法中,应当注意在每次迭代中消除重复部分。

4 结束语

提出了一种基于表象式语义网络的检索方法——图匹配算法。在计算机视觉中经常遇到的是子图匹配,因此引入好的知识表示方法来进行匹配,降低匹配的复杂度至关重要。本文根据待求解的问题的要求构造一个带变量节点的语义网络,然后与计算机视觉系统中已存储的语义网络进行图匹配。如果待求解问题能够很好地形式化为带变量的语义网络,那么匹配成功的概率在95%以上。初期实验中系统选取的测试样本数量在500个左右,在以后的工作中,我们将增加测试

样本类别和数量,以提高系统的参考应用价值。图像匹配是计算机视觉领域比较困难的问题。如何能够更好地提取图像中最可靠的特征,并实现更好的匹配,都值得做进一步研究。

参考文献:

- [1] 徐天任,夏幼明,甘健侯,等.用语义网络语言描述知识的表示[J].云南师范大学学报:自然科学版,2003,23(3):9-13.
Xu Tian-ren, Xia You-ming, Gan Jian-hou, et al. Using semantic network language to describe the representation of knowledge[J]. Journal of Yunnan Normal University(Natural Sciences Edition), 2003, 23(3):9-13.
- [2] 张剑.国外语义网发展概述[J].图书情报工作,2005,49(6):62-65.
Zhang Jian. New development of overseas semantic web[J]. Library and Information Service, 2005, 49(6): 62-65.
- [3] 夏幼明,刘海庆,徐天伟.基于语义网络的知识表示的形式转换及推理[J].武汉大学学报:信息科学版,2001,26(4):369-373.
Xia You-ming, Liu Hai-qing, Xu Tian-wei. The design and implementation of transferring NEWCOM data model to relation data model[J]. Journal of Wuhan University(Information Sciences Edition), 2001, 26(4): 369-373.
- [4] 夏幼明,张春霞,徐天伟,等.语义网络的知识获取及转换的研究[J].云南师范大学学报,1999,19(6):40-45.
Xia You-ming, Zhang Chun-xia, Xu Tian-wei, et al. The semantic nets knowledge acquisition and conversion[J]. Yunman Normal University Journal, 1999, 19(6): 40-45.
- [5] Hortsch J, Thomason R, Touretzky D. A skeptical theory of inheritance in nonmonotonic semantic network [J]. Artificial Intelligence, 1990, 42: 311-348.
- [6] 高永英,章毓晋.基于多级描述模型的渐进式图像内容理解[J].电子学报,2001,29(10):1376-1380.
Gao Yong-ying, Zhang Yu-jin. Progressive image content understanding based on multi-level image description model[J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(10): 1376-1380.
- [7] 陈纯.计算机图像处理技术与算法[M].北京:清华大学出版社,2003:125-189.
- [8] 徐杰,施鹏飞.基于内容的图像检索技术[J].中国图形图形学报,2003,9(A):977-983.
Xu Jie, Shi Peng-fei. A survey on content-based im-

- age retrieval techniques[J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 9(A): 977-983.
- [9] 郎锐. 数字图像处理学[M]. 北京:希望电子出版社, 2003:372- 376.
- [10] 崔屹. 数字图像处理技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1997:257- 264.
- [11] Davis R, Shrobe H, Szolovits P. What is a knowledge representation? [J] AI Magazine, 1993, 14 (1):17-33.
- [12] 潘云鹤. 形象思维中的形象信息模型的研究[J]. 模式识别与人工智能, 1991, 4(4):7-13.
Pan Yun-he. Research on imaging information in image thinking[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 1991, 4(4): 7-13.
- [13] 席学强,王润生. 计算机视觉模型中的知识及其表示[J]. 计算机工程与应用, 2000(11): 45-47, 91.
Xi Xue-qiang, Wang Run-sheng. Knowledge and representation in computer vision model[J]. Computer Engineering and Application , 2000 (11): 45-47, 91.
- [14] Denis M, Mellet E, Kosslyn S M. Neuroimaging of mental imagery[J]. Special Issue of the European Journal of Cognitive Psychology, 2004, 16 (5):625- 630.
- [15] Farah M J, Hammond K M, Levine D N, et al. Visual and spatial mental imagery: dissociable systems of representation[J]. Cognitive Psychology, 1998(20): 439-462.