

文章编号 1000-5013(2000) 03-0319-06

# CAI 的动态全局规划

陈永鸿<sup>①</sup> 陈一秀<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> 华侨大学计算机科学系, <sup>②</sup> 华侨大学机电工程系, 泉州 362011)

**摘要** 在 CAI 的研究和开发过程中, 如何把领域知识、学生模型、与具体领域有关的教学知识, 以及  
与具体领域无关的教学原理和方法有机地结合起来, 对领域知识进行动态全局规划的核心问题  
一般都被回避. 文中将领域知识看作概念以及概念之间的关系, 把 4 个方面的知识有机结合起来,  
找到了对领域知识动态全局规划的内在规律. 同时, 可以用优美简洁的建基于集合论之上的数学  
模型表示.

**关键词** 语义图, 团, 系统, 重要性, 复杂性, 匹配分, 动态全局规划

**中图分类号** TP 311. 134. 3

**文献标识码** A

计算机辅助教学系统(CAI)涉及 4 个方面的知识.(1) 领域知识.(2) 动态变化的学生模型(学生的表现特征).(3) 与具体领域有关的教学知识.(4) 与具体领域无关的教学原理和方法. 将它们有机地结合起来, 对领域知识动态全局规划是 CAI 系统的核心问题. 到目前为止, 人们在这这方面的工作存在两个问题.(1) 4 个方面的知识不完全具备.(2) 如何把这几方面知识有机结合起来, 进行教学规划的内在规律没找到<sup>[1~5]</sup>. 本文把领域知识看作概念及概念之间的关系, 将这 4 个方面的知识有机结合起来, 找到对领域知识动态全局规划的内在规律. 而且, 可用优美简洁的建基, 于集合论上的数学模型表示. 顺便提一下, 本文所有算法的复杂性都为  $O(n)$ .

## 1 CAI 系统的结构

一般的 CAI 系统结构, 如图 1 所示. CAI 系统的知识库包括领域知识、与领域有关的教学知识及学生模型. 把这 3 个方面的知识连同与领域无关的教学原理和方法(直接体现在规划算法之中)结合起来, 对领域知识动态全局规划. 然后, 把规划所得的领域知识点通过交互界面整理传授予学生, 学生若有问题, 还可通过交互界面直接查询领域知识库. 学生在教学时的提问和测试情况, 要通过学生模型获取模块动态修改学生模型.

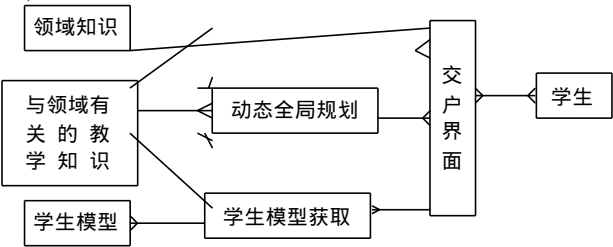


图1 CAI系统结构



**定义1 泛实团.** 对语义图  $R$  中顶点进行课堂排序. 对于  $\forall a \in V(R)$ , 若  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ , 且  $B$  为可达到  $a$  并同  $a$  排在一起的顶点的最大集合, 则这段顶点的排序称为以  $a$  为中心的泛实团, 记为  $UUR(a)$ .  $UUR(a)$  的顶点集合称为泛实团集, 记为  $UUR(a)$ .

**定义2 实团.** 对语义图  $\tilde{R}$  顶点进行课堂排序. 对  $\forall a \in V(\tilde{R})$ , 若在  $UUR(a)$  之后的顶点再也没有可达到  $a$  的顶点, 则此时的  $UUR(a)$  称为实团, 改记为  $UR(a)$ .

在教学时, 这自给自足的子图中的概念必须在中心概念之前, 或与中心概念放在一起讲述. 为此引入定义.

**定义3 实团透明规划.** 若语义图  $\tilde{R}$  中顶点进行课堂排序后, 对  $\forall a \in V(\tilde{R})$ ,  $UUR(a) = UR(a)$ . 我们称这样的排序为实团透明性规划.

在教学时, 这自给自足的子图中的与中心概念放在一起讲述的概念, 必须按概念的分类一步步讲述, 使得难点突出, 层次分明. 类似的概念便于比较, 使得整个教学过程条理清楚. 为此引入定义.

**定义4 实团高内聚规划.** 若语义图  $\tilde{R}$  中顶点的课堂排序为实团透明性规划, 且对  $\forall a \in V(\tilde{R})$ . 若  $a$  有出弧指向其他顶点, 则必存在  $a$  可达到的顶点  $c$ ,  $UR(a) \subset UR(c)$  (前者包含于后者). 此时, 我们称这样的排序为实团高内聚规划.

**定义5 实团高内聚规划具有两点性质.** (1) 语义图  $\tilde{R}$  中, 顶点的任意两个实团高内聚规划的覆盖实团(两两互不相交, 且由它们组成整个课堂排序的几个实团), 其个数的最小值相等, 而且为所有排序中的覆盖泛实团个数最小者. (2) 这种规划具有如下形式. (a) 必可表示成  $UR(a_1)UR(a_2)\dots UR(a_m)$ , 其中  $a_1, a_2, \dots, a_m$  无出弧, 且  $m$  为该排序的覆盖实团的个数的最小值. (b) 而且任意  $UR(a_i)$  必可表示  $UR(b_1)\dots UR(b_i) \wedge UR(b_{i+1})\dots UR(b_k)$ , 其中  $a_i$  可处于这段排序的前后, 或者  $b_1, \dots, b_k$  都是直接说明  $a_i$  的顶点, 依此层层分解类推.

在教学规划过程中, 可能语义图中有些顶点被删除不讲述, 在语义图中就留下虚顶点. 该顶点此时仅具有逻辑上的意义, 在课堂排序时不占据时间. 不论语义图中的顶点是否被删除, 与前面类似地, 我们引入如下定义.

以  $a$  为中心泛团  $UU(a)$ , 团  $U(a)$ 、团透明性规划、团高内聚规划. 同时, 团高内聚规划具有与实团高内聚规划类似的性质. 另外, 凡是  $U(a)$  能直接或间接说明(可达到)的团与  $U(a)$  形成一个自给自足的体系, 对应于书本自然描述的篇章结构. 在教学时, 体系中的团都必须讲述完, 这样教学才具有系统性. 为此引入定义.

**定义6 泛系统.** 若  $\tilde{R}$  为语义图,  $\forall a \in V(\tilde{R})$ ,  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ , 顶点  $a$  可到达  $B$  中的任一顶点. 在  $\tilde{R}$  的顶点课堂排序时,  $UU(b_1)$ ,  $UU(b_2)$ ,  $\dots$ ,  $UU(b_m)$  与  $UU(a)$  排在一起, 且  $B$  为  $a$  可到达顶点的集合的满足如上条件的最大子集. 这段排序称为以  $a$  为中心的泛系统, 记为  $US(a)$ .  $US(a)$  中的顶点集合称为泛系统集, 记为  $US(a)$ .

**定义7 系统.** 在与上一个定义相同条件下, 若在  $US(a)$  之前不存在  $a$  可达到的顶点, 则此时的  $US(a)$  称为以  $a$  为中心的系统, 记为  $S(a)$ . 对应的系统集记为  $S(a)$ .

与团透明性规划类似, 相应于系统, 我们引入定义.

**定义8 系统透明性规划.** 若语义图  $\tilde{R}$  中顶点课堂排序后, 与团透明性规划相类似. 相应于系统, 对于  $\forall a \in V(\tilde{R})$ ,  $US(a) = S(a)$ , 则此排序称为系统透明性规划.

**定义9 系统透明性规划必为团透明性规划, 反之亦然.** 以后把它们简称为透明性规划.

与团高内聚规划类似, 相应于系统, 我们引入定义.

**定义 10** 系统高内聚规划. 语义图  $R$  中的顶点课堂排序为系统透明性规划, 且对  $\forall a \in V(R)$ . 若直接说明  $a$  的顶点中必有一顶点  $c$ , 满足  $S(a) \subset S(c)$  (与团的嵌入类似), 此时该排序称为系统高内聚规划.

**定义 11** 系统高内聚规划的基本性质. 与定义 5 类似.

**定义 12** 高内聚规划. 若语义图  $R$  中顶点课堂排序后, 既成为系统高内聚规划, 也成为团高内聚规划, 则称此规划为高内聚规划.

由上面分析可知, 实际上教学规划结果为特定条件下的高内聚规划. 另外, 教学规划分成两个阶段, 第一阶段为删除不讲述的概念, 第二阶段为对安排要讲述的概念进行排序. 删除概念基本上是根据概念的重要性的复杂性, 一个概念的复杂性可从直接和间接(中间通过其他概念)说明它的各个概念度量出来. 说明它的概念越多, 表明它越复杂, 概念的复杂性与团的结构密切相关. 相反地, 一个概念的重要性可从它直接和间接说明的各个概念度量出来, 它所说明的概念越多, 表明它越有用. 概念的重要性与系统的结构密切相关. 为此引入定义.

**定义 13** 概念的复杂性.  $\tilde{G}$  为语义图, 对  $\forall a \in V(\tilde{G})$ ,  $a$  的复杂性记为  $CG(a)$ , 其定义为

$$CG(a) = COM(a) \cdot [1 - KN(s, a)] + \sum_{b \in EB(a)} \theta(a, b) \cdot COM(b) \cdot [1 - KN(s, b)] = \\ COM(a) \cdot [1 - KN(s, a)] + \sum_{b \in IEB(a)} e(a, b) \cdot \omega(a, b) \cdot CG(b),$$

其中,  $COM(a)$  为概念  $a$  自身的复杂性, 若与领域有关的教学知识中没提及, 则  $COM(a) =$  常数,  $\theta(a, b)$  为  $a$  到达  $b$  的路径上所有说明弧的强度  $\omega \cdot e_i$  的乘积,  $\theta(a, b) = \prod_{i=1}^n \omega \cdot e_i$ ,  $EB(a)$  为能到达  $a$  的顶点集合,  $IEB(a)$  为直接说明(出弧直接指向)  $a$  的顶点的集合.

**定义 14** 概念的重要性.  $\tilde{G}$  为语义图, 对  $\forall a \in V(\tilde{G})$ ,  $a$  的重要性可以记为  $IMG(a)$ . 因此, 其定义为

$$IMG(a) = IM(a) \cdot [1 - KN(s, a)] + \\ \sum_{c \in ET(a)} \frac{\theta(a, c) \cdot CG(a)}{CG(c)} \cdot IM(c) \cdot [1 - KN(s, c)] = \\ IM(a) \cdot [1 - KN(s, a)] + \sum_{c \in IET(a)} \frac{e(a, c) \cdot \omega(a, c) \cdot CG(c)}{CG(c)} \cdot IMG(c),$$

其中  $IM(a)$  为  $a$  自身的重要性. 若教学知识中没提及, 则  $IM(a) =$  常数;  $ET(a)$  为  $a$  所能到达的顶点集合;  $IET(a)$  为  $a$  出弧直接指向的顶点的集合.

**定义 15** 概念的匹配分.  $\tilde{G}$  为语义图, 对  $\forall a \in V(\tilde{G})$ ,  $a$  的匹配分记为  $MS(a)$ , 其定义为

$$MS(a) = [C_1 - IMA(s)] \cdot IMG(a) + [C_2 - CA(s)] \cdot CG(a),$$

其中  $C_1, C_2$  为常数.

### 3 动态全局规划

**算法 1** 求概念的复杂性. 根据概念的复杂性定义的第 2 个公式, 统计语义图中无入弧顶点, 放入集合  $A$ . 由无入弧的顶点开始, 每求出一个概念的复杂性, 将其从语义图删除. 同时, 其曾出弧指向的顶点中若出现无入弧的顶点, 把此新的顶点放入集合  $A$ , 再从  $A$  中取出一顶点处理. 依此类推, 即可求出原语义图中所有顶点的复杂性.

**算法2 求概念的重要性.** 根据概念的重要性定义的第2个公式, 考虑出弧的情形, 采用与算法1完全相反的方向, 就可求出语义图中所有顶点的重要性.

**算法3 求概念的匹配分.** 由定义15可知.

**算法4 删除不讲述的顶点.** (1) 由算法3, 求出每个概念的匹配分. 根据教学开始前学生所要求讲述的份量, 把语义图中匹配分小的概念删除. (2) 根据与领域有关的教学知识的第3至第5类的基本原语, 对(1)的删除结果稍作修改, 即完成概念的删除工作. 具体地说, 首先根据学生模型, 激活第5类基本原语中符合条件者, 并化简成第3和第4类基本原语. 然后依据中心顶点的MS值, 由大到小依次启用第3和第4类基本原语, 对(1)的删除结果稍作修改. 修改时, 也是依据MS值大小取舍的. 在全局规划的删除顶点工作完成后, 下一阶段就是对要讲述的顶点进行排序.

**算法5 排序要讲述的顶点.** 依据团和系统的定义, 排序结果实为高内聚规划. 系统建立在团之上, 团建立在顶点之上. 因此, 依深度优先搜索由无入弧顶点出发, 按出弧方向遍历各系统. 同时, 对遍历到的每个新系统, 围绕其中心顶点, 依深度优先探索按入弧方向遍历各团. 这两个过程是有机的统一体, 是同一个算法的两个侧面. 对删除不讲述的顶点是以虚顶点方式处理. 以上是学生模型不变情况下的全局规划, 随着教学的进行, 学生模型不断变化, 因此需不断进行新的规划.

**算法6 动态全局规划.** 由以上说明可知.

## 4 学生模型获取

在概念级别上获取学生模型. (1) 在整个教学开始之前, 需由学生自己进行学生模型的初始化. (2) 一方面, 在教学时每讲述一个概念  $a$ , 学生模型需调整为

$$\begin{aligned} \text{IMA}(s) &= \text{IMA}(s) + \text{IMG}(a) \cdot [1 - \text{KN}(s, a)] / \sum_b \text{IMG}(b), \\ \text{CA}(s) &= \text{CA}(s) + \text{CG}(a) \cdot [1 - \text{KN}(s, a)] / \sum_b \text{CG}(b), \\ \text{KN}(s, a) &= 1. \end{aligned}$$

另一方面, 学生有一个概念  $c$  不懂, 学生模型需调整为

$$\begin{aligned} \text{IMA}(s) &= \text{IMA}(s) - \text{IMG}(c) \cdot \text{KN}(s, c) / \sum_d \text{IMG}(d), \\ \text{CA}(s) &= \text{CA}(s) - \text{CG}(c) \cdot \text{KN}(s, c) / \sum_d \text{CG}(d), \\ \text{KN}(s, c) &= 0. \end{aligned}$$

## 5 结束语

我们把领域知识看成概念以及概念之间的说明关系, 概念由概念名及概念内涵(文本式字符串或一个单位的其它媒介信息)组成. 通过对汉语词典及一些书籍进行查询统计, 并没有找到相反的例子, 尤其是对汉语词典中各种概念之间的关系进行归类总结, 最后全部归结为概念之间的说明关系<sup>[6,7]</sup>. 设计方法对一般文本式的知识具有现实可行性, 可以把一个概念的内容当成一个小课文出现在显示器屏幕上, 避开其中繁琐的自然语言. 同样, 对多媒体CAI也具有现实可行性, 一个单位的其它媒介信息组成一个概念内涵, 用同样方式进行规划. 我们用此方

法具体实现了一个 CAI 系统原型,运行结果证明具有很好的鲁棒性.用此方法实现的程序,可以作为一般 CAI 系统的内核.

## 参 考 文 献

- 1 Sleeman D, Brown J S. Eds intelligent tutoring systems[M]. London: ACADEMIC Press INC. LTD. , 1982. 1~345
- 2 Rickel J W. Intelligent computer-aided instruction: a survey organized around system components[J]. IEEE Trans. Syst. Man. and Cyber., 1989, 19(1): 40~57
- 3 Yano Y, Kashihara A, Mcmichael W. Stabilizing student knowledge in open structured CAI[J]. Int. J. Man-Mach. Stud. , 1992, 37(5): 595~612
- 4 储军杰. 在智能教学系统中引入与教学有关的知识[J]. 计算机学报, 1989, 8: 626~631
- 5 张一立, 刘 亚, 练 林等. 智能教学系统 PCICAI、SETTT 和 GITUS[J]. 计算机学报, 1989, 8: 632~634
- 6 陈永鸿, 陈一秀. 基于书本知识的多媒体写作系统[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2000, 21(1): 92~95
- 7 国家语言文字工作委员会编. 现代汉语常用词与常用组表[M]. 北京: 语文出版社, 1988. 1~250

## Dynamic Overall Planing in CAI Systems

Chen Yonghong<sup>①</sup>      Chen Yixiu<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> Dept. of Comp. Sci., Huaqiao Univ., <sup>②</sup> Dept. of Electromech. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** During research and development of computer assisted instruction (CAI), the predecessors had evaded the kernel of CAI, namely, how to combine domain knowledge, student model, tutoring knowledge related to specific domain, and tutoring principle and method unrelated to specific domain as four aspects into an organic whole, so as to play domain knowledge in dynamic and overall view. The authors have solved this problem if domain knowledge can be looked upon as concepts and relation between concepts. Thus the four aspects of knowlege can be combined into an organic whole; the inherent law governing planning domain knowledge in dynamic and overall view has been found; and the law can be expressed by a fine and pithy mathematical model based on set theory.

**Keywords** semantic grade, concept-unit, concept-system, importance grade, complexity grade, matching score, dynamically overall plan