

示例演练学习理论和 ICAI

朱新明 李亦菲

中国科学院心理研究所

一、前言

计算机辅助教学(CAI)起源于本世纪六十年代初,它的目标是建造计算机辅助的教学系统,这些系统汇集了某一课程对每个学生都是最合适的教学材料,并通过学生与计算机的交互作用来鼓励和控制学习活动。

早期出现的计算机辅助教学系统称为面向框面的CAI系统(Ad-hoc Frame Oriented CAI system, AFO-CAI),它一般是先给学生一些教学内容,然后询问一个需要简单答复的问题;当学生响应后,便告诉学生答案是否正确;当发现学生的答案有错时,便转向预先安排好的纠错的分支程序;有的系统可以使用学生的回答决定学生通过该课程的路径(Atkinson & Wilson, 1969; Barr & Atkinson, 1975)。这些CAI系统是由行为主义心理学家 Skinner 所提出的程序教学思想发展而来的。

随着认知心理学的兴起和发展,学生不再被看作是被动的“知识接受器”,而是主动地对外界信息进行有选择加工的主体。1970年,Carbonell 定义了另一种类型的CAI系统,这就是基于知识的或智能的CAI系统(Intelligent CAI, ICAI)。对ICAI系统的最初研究着重于教学内容的表达方面,高水平的专门知识使得这些系统能够在问题求解过程中与学习者进行各种交互对话。但对ICAI

系统来说,只告诉学生错了并指出正确的解决方法是不够的,它应该能根据学生的出错历史作出假设以便能够指出学生困难的实际根源在哪里(Koffman & Blount, 1975)。从70年代中期以后,在ICAI系统中开始考虑除专业知识以外更多的教学方面的问题。一般认为,ICAI系统包括三个主要的组成部分:(1)问题求解专家知识模块,即系统要传授给学生的知识;(2)学生模型,它表明学生知道什么,不知道什么;(3)教学策略;它确定如何将教学材料提供给学生(Barr & Feignbanm, 1982)。

在80年代以后,认知心理学对教学实践产生了深远的影响,重视认知技能培养的发现学习和目标教学成为人们一致推崇的教学模式。但在计算机辅助教学领域,基于行为主义的程序教学思想仍然占有重要地位,大量的CAI或ICAI系统没有真正脱离程序教学的范式。造成这种现象的原因有以下几个方面:(1)程序教学的合理因素(如小步子原则、反复操练和及时强化的原则等)在CAI系统中取得了很好的效果,并为广大CAI课件设计者所熟悉和接受;(2)程序教学吸收了认知学派的部分观点(如强调培养学生批判性思维和解决问题的能力),从而弥补了某些自身的不足;(3)认知心理学缺乏一个全面系统的学习理论指导教学实践和CAI课件设计。

我国的CAI工作者已经认识到认知学习理论对开发CAI或CAI系统的重要性。一些研究者根据美国认知心理学家维特罗克的“人类学习的生成过程模型”系统阐述了认知型CAI系统的指导思想和教学设计流程(何克抗,李秀兰,1992)。一些研究者也试图将行为主义的积极因素引入认知学习理论,提出了一种改进的人类学习生成过程模型及相应的CAI课件设计模式(翟胜军,丁嘉种,1993)。但这些指导思想并没有真正用于开发实际的CAI系统,从总的情况来看,我国的CAI或ICAI系统的研制仍然缺乏认知学习理论的指导。

本文将介绍一种最新的认知学习理论——示例演练学习理论,并简要阐明基于这一理论的ICAI系统的逻辑结构。

二、示例演练学习理论的基本思想及其教学模式

十多年前,在教儿童形成技能方面出现了一些新思想,即主张不是对儿童讲授,而是给他们呈现例题、问题和答案,使他们在有指导的情况下进行发现学习。为验证这种思想的可行性Neves(1978)编制了一个计算机程序(自适应产生式系统),这个程序能通过分析已经有解答步骤的例题进行学习,从中发现导致成功解题的策略,然后修改程序本身,以便能执行这些策略解答类似的种种问题,这项研究表明计算机能通过考察解题的样例进行学习。

计算机能以这种方式学习,那么儿童是不是也可以这样学习呢?如果可以的话,与传统的教学方法比较起来,对师生来说它是不是更省时省力呢?从1983年以来,我们与Simon合作对人的示例学习进行了开拓性的研究。我们用口述报告技术详细分析了学生通过考察例题和解决问题的形式获取初中代数、几何和物理等学科知识的过程,结果表明:学生以这种形式进行学习,不仅学会了

解决问题,而且能从中总结出某些解题策略和产生式规则,并能调用新建立的规则指导解题,取得了很好的效果(朱新明 & Simon, 1987; 朱新明 & 南宇珏, 1994)

与传统的思维训练不同,我们的研究是用语义丰富领域的材料(如代数、几何和物理等)进行的。研究的结果使我们得出以下结论:(1)人的认知技能可以表征为产生式系统,掌握了解决这一特定领域问题的产生式,也就发展了相应的认知技能;(2)人也是一个自适应的产生式系统,可以通过分析已经有解答步骤的例题有效地学习语义丰富领域的知识和技能;(3)为了促进学生认知技能的发展,应加强学生的条件建构活动,发展学生在问题解决中的条件再认能力,从而提高学习的效率。

在以上研究的基础上,我们将自适应产生式系统发展成一般的人类认知模型,并将学生通过考察例题和解决问题的形式进行学习称为“示例演练”,阐述了示例演练学习理论的基本思想。具体说,示例演练学习理论的基本思想包括以下几点:

(1)将特定领域的知识和认知技能表征为概念,事实和产生式规则(包括操作性规则和过程性规则);概念和操作性规则主要支持问题解决过程中的启发式搜索(如手段一目的分析、逆推等);事实和过程性规则主要支持问题解决中条件认知。前者是一种解决问题的弱方法,后者是解决问题的强方法。

(2)知识的获得和认知技能的发展就是由利用弱方法解决问题逐步过渡到利用强方法解决问题的过程。这一过程可以描述为如下四个阶段:首先,学习者掌握有关这一领域的概念和事实,从而在他的认知系统中建构起这一领域的一般知识结构;然后,学习者进一步学习操作性规则(如运算法则和定理),有了这些操作性规则后,学习者就能解决这一领域内的一些常见的简单问题;在此基础上,通过考察一些具体的例子和一系列

的解题过程，他将逐步获得这一领域的过程性规则，形成初步的问题解决技能；随着学习者接触实例和解决问题活动的增多，他的关于这一特定领域的认知库和产生式系统得以不断丰富和完善，发展了运用强方法解决问题的能力，从而逐步由新手转变成为专家。

(3) 安排一系列精心设计的有解答的例题和串连成组的问题，使学生通过示例演练学习特定领域的知识和技能。“示例”就是学生观察有解答的例题，推出相应的假设指导其后的解题练习；“演练”则包括两种情况，一是根据例题的格式进行填空、选择和判断是非等的积极练习，二是根据例题中的解答步骤解决相应的问题。

(4) 加强学生对产生式条件的认知，促进问题解决技能的发展。条件认知这包括“条件建构”和“条件再认”两个方面：“条件建构”是指通过示例演练发现关键的因素构建产生式的条件部分，并与相应的动作结合成产生式；“条件再认”是指从复杂的问题情景中寻找线索、识别条件，从而激活相应产生式的动作部分解决问题。

根据这些思想，课程知识被分为一系列的教学单元（相当于教科书中的“章”），每一教学单元又可以分解为若干知识单元（相当于教科书中的“节”），每一教学单元教给学生相应的概念、操作性规则和过程性规则。学生通过示例演练的方式学习教学单元中的内容。每一教学单元后安排一套综合检测题，测试结果形成相应教学单元的学生模型；计算机根据这一学生模型可以判断学生的通过学习所形成的知识结构和解题技能，并提供相应的学习分支；对优秀的学生直接进入下一单元的学习；对良好的学生可以作复习参考题，也可选择进入下一单元的学习；对不及格的学生直接进入不足知识点的学习，然后重做相应的测试题。这种模式我们称之为“示例演练的教学模式”，其工作流程可以用下面的框图加以描述。

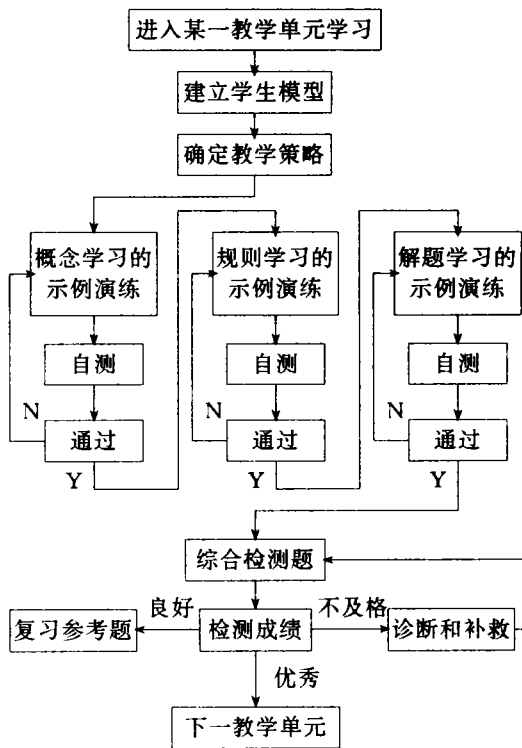


图 1 示例演练的教学模式

三、示例演练学习理论和 ICAI 系统逻辑结构

ICAI 系统的基本组成包括知识库、学生模型和教学策略，然而在已有的教学系统中，这三个组成部分并没有得到很好的统一。究其原因，我们认为一方面是因为 ICAI 系统的三个组成部分提供了一种模式，根据这一模式，我们可以对 ICAI 系统逻辑结构描述如下：

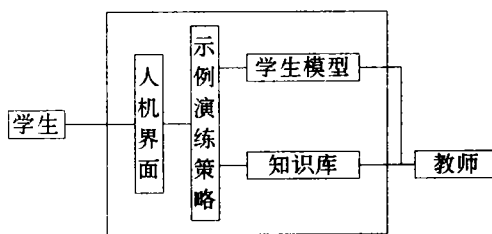


图 2 基于示例演练学习理论的 ICAI 系统的逻辑结构

下面将简要地介绍这些组成部分的特点:

(1) 人机界面

人机界面是 ICAI 系统的教学模块, 它为学生提供教学材料、评价学生的学习行为, 应学生的请求提供种种帮助等。人机界面结合了自然言语对话、教学策略、学生模型和知识库等各个方面的内容, 帮助学生学习课程知识并对学习效果进行测试。

(2) 示例演练教学策略

示例演练教学中, 我们以“有解答的例题+串连成组的问题+小结”为基本单位组织教学内容, 使学生通过示例演练逐步归纳和发现知识。我们将这种“有解答的例题+串连成组的问题+小结”形成的学习材料称为“示例演练学习单元”, 在这种学习单元中, 有解答的例题首先激活了学生相关的先行知识, 学生对例题进行自我解释并形成一些初步的假设; 然后进行一系列的积极练习或问题解决验证这些假设, 最后通过小结归纳和发现新知识。为了促进学生对知识的抽象理解, 我们将每一知识分成许多更小的单元, 按照低起点、小台阶编排成学习程序, 每次只给一小步, 循序渐进, 使绝大多数学生能顺利地掌握所学的知识。

(3) 学生模型

学生模型反映了学生对所学内容的理解和掌握程度。我们认为, 学生模型可以分为动态的和静态的两种: 构造静态学生模型的目的是要对学生的知识结构和技能水平进行评价, 以便系统能为学生选择相应的教学材料, 实施个别化教学; 构造动态学生模型的目的是要对学生在学习或解决问题过程中出现的错误作出判断, 以便系统能指出它们并提出纠正性的建议。

一般说来, 静态学生模型主要有计分模型和覆盖模型(缺陷图模型)两种; 静态学生模型主要表现为诊断模型。根据使用上的经验, 计分模型主要适用于陈述性的课程知

识, 但难以实现个别化教学要求; 覆盖模型主要适用于陈述性知识和较简单的过程性知识, 它能清楚地揭示学生的知识模型, 有利于个别化教学的实现, 但由于学生的知识只是专家知识的子集, 容易以一般的思路限制学生的创造性思维; 诊断模型的困难则在于很难全部找出解决问题的正确过程或在解题过程中的错误, 即使找出, 计算机也难以完全实现。

我们认为: 可以将计分模型和覆盖模型结合起来, 根据示例演练学习理论建立学生模型; 并称之为“计分—覆盖模型”。根据示例演练学习理论, 课程知识由特定的知识结构和相应的问题解决技能构成, 课程知识的获取经过四个阶段。因此, 我们以教学单元为单位建立计分—覆盖模型, 这一模型可以描述为由知识点和掌握程度两个维度组成的二维数组; 其中知识点是指某教学单元所要求掌握的知识和技能, 包括概念、操作性规则和过程性规则, 一般每个单元有 5~7 个知识点; 掌握程度包括与获取课程知识的四个阶段相应的四个层次, 每个层次又分为三种水平, 并用 1, 2, 3 表示并作为某个知识点在某个层次上的水平值。根据这一“计分—覆盖模型”, 既可以构造静态的学生模型(表现为测试题及其评价标准), 以测查学生的知识结构和问题解决技能; 又可以构造动态的学生模型(表现为学生在每一知识点的各层次上错误的概念和解题思路), 以对学生的学习和问题解决过程实行动态的指导。

(4) 知识库

知识库中包括课程知识模块和专家知识模块。课程知识模块是一个静态的数据库, 以各种方式表示学生所学的课程知识, 知识树或知识网是常用的组织形式。(Koffman & Blount, 1975, Barr, Beard & Atkinson, 1976; Goldstein, 1979)。根据示例演练教学策略, 我们以“例题+习题组”为基本单元组成课程知识模块, 每个单元使学生了解知识点的

一个方面，学生通过示例演练掌握相应的知识。专家知识模块是 ICAI 系统的专家部分，它负责评价学生模型并为学生提供必要的帮助。如果一个系统的专家知识模块能够用人能理解的术语来解释每一个问题求解策略，我们就称它为表达力强的专家 (Goldstein, 1977)。但一般的人工智能程序所具有的数据结构和算法未必模仿人的推理步骤，所以被认为是难理解的。为解决这个问题，我们将专家知识表示为由知识网络、操作性规则和过程性规则所组成的自适应产生式系统，根据一定的策略评价学生模型和提供相应的帮助。

四、结束语

根据示例演练学习理论的基本思想，在已有的初中数学示例演练实验教材代数第一册的基础上，我们与中国教育电子公司和上海华东师范大学联合研制了初中代数计算机辅助教学系统 (朱新明, 李亦菲等, 待发)。这一系统基本实现了上面所描述的逻辑结构，并致力于从 ICAI 系统的各个方面考虑系统的实用性和有效性，提供了一个将认知学习理论和 ICAI 技术相结合的范例。

主要参考文献

- [1] Atkinson, R. C. (1972) Ingredients for a theory of instruction. *American Psychologist*, 27: 921-931
- [2] Atkinson, R. C., and Wilson, H. A. (1969) *Computer-assisted Instruction*, New York: Academic Press
- [3] Barr, A., and Atkinson, R. C. (1977) Adaptive

Instructional Strategies, In H. Spads and W. F. Kempf (Eds), *Structural models of thinking and learning*. Bern: Hans Huber

[4] Barr, A., Beardand, M., Atkinson, R.C. (1975) A rational and discription of a CAI program to teach the BASIC programming language *Instructional Science* 4: 1-31

[5] Carbonell, J. R. (1975) AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer - aided instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems* MMS-11 (4): 190-202

[6] Fletcher, J. D. (1975) Modeling the learner in computer-assisted instructiong. *Journal of Computer--Based Intruction*, 1: 118-1267

[7] Kimball, R. B. (1978) *Self-optimizing computer-assisted tutoring: Theory and practice*, Rep. No. 206: Institute for Mathematical Studies in the Socia Sciences, Stanford University.

[8] Wexler, J. D. (1970) Information networks in generative computer-assisted instruction, *IEEE Transactions on Man-Machine Systems* MMS-11: 181-190

[9] Zhu, X. M & Simon, H. A. (1987) *Learning Mathematics from Examples and by doing*. *Cognitive ÷ Instruction*, 4: 137-166

[10] Zhu, X. M. & Lee, Y. F. (1994) *The Frame of Learning from Examples and by problem-solving* (In press)

[11] 朱新明等 (1987) “通过样例和问题解决建立产生式”, *心理学报*, 第 2 期, P176-183

[12] 朱新明 南宁珏 (1994) 通过样例 和问题求解学习物理. *心理科学*, 第 17 卷, 第 2 期, P75-81

[13] 朱新明, 李亦菲, 王吉庆, 单俊, 赵国梅, (待发) 一个基于示例演练学习理论的计算机辅助教学系统 (LEPS-ICAI)

[14] 朱新明, 司马贺主编 (1993) 《初中数学示例演练实验教材》, 代数第一册, 科学出版社出版。