

智能计算机辅助教学的发展 及其系统的设计

杨忠祥 (中国科学院自动化研究所)

摘 要 本文叙述了智能计算机辅助教学 (简称 ICAI) 的特点及其结构并简要地回顾了国外 ICAI 的发展史及其现况。文中分别就 ICAI 的专门知识, 教导策略, 学生模型等模块以及智能接口的设计问题作了介绍, 并探讨了智能 CAI 软件的发展前景

一 引 言

人工智能在教学中的应用有两种: 一种是智能教学工具, 另一种是 ICAI。智能教学工具是为学生提供一个启发式的教学环境, 使学生能够在操作实践中自动形成概念, 获得知识。例如 LOGO 语言的画图法就是, 它能使学生在编程画图的实践中学到人工智能和程序设计的基本概念和方法。这时计算机只是一个“被动”的教学工具。学生虽然充分发挥主动, 但得不到指导与帮助。

传统的计算机辅助教学(CAI)以学生作为对象, 能够“主动”地进行教学, 然而课件多半用固定的书本式教材分解成小步子进行程序教学, 学生也比较被动。计算机并不理解教学内容, 也不了解学生, 所以也不能对学生进行有效的指导与帮助。自从 CAI 应用人工智能技术, 出现了 ICAI 以后, 才使计算机与学生双方都能充分发挥主动性, 克服了传统 CAI 的弱点。

二 ICAI 的特点

ICAI 的最主要特点是能对学生进行因材施教的个别指导。为了要做到这一点, 计算机必须做到三个 W: 即懂得或理解教学内容, 了解教学对象即学生以及知道教学方法(懂得教什么 WHAT, 了解受教者 WHOM, 才能知道如何教 HOW)。因此 ICAI 要具备下列智能特征:

1. 自动生成各种问题与练习
2. 根据学生的水平与学习情况选择与调整练习内容与进度

3. 在理解教学内容的基础上自动解决问题生成解答 (而传统 CAI 的解答都是预定的)

4. 具有自然语言的生成与理解能力, 以便实现比较自由的教学问答系统以提高人机的交互主动性。

5. 对教学内容有解释咨询能力

6. 能诊断学生错误, 分析原因并采取纠正措施。

7. 能评价学生的学习行为

8. 能不断在教学中改善教学策略

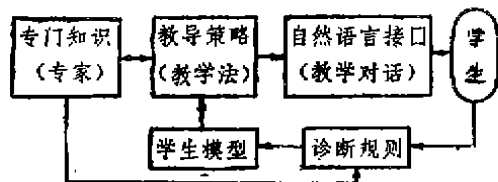
要使 ICAI 具有全部上列智能特性是不必要的。一般说来只要具备上列一或几个特征就可以了。主要的特征是问题求解能力与诊断纠错的能力与自然语言问答系统。

由于 ICAI 的最主要特点是个别指导。国外不少学者主张用智能教导系统(Intelligent Tutoring System, ITS) 一词代替 ICAI。Tutor 一词的原义是私人教师或导师, 强调个别指导的含义。第一部有关 ICAI 的著作是用智能教导系统命名的。但 ICAI 的名称沿用已久, 至今仍然流行。

三 ICAI 的结构

为了实现上述智能特性的 ICAI 系统传统上一般分成专门知识(expertise)、教导策略(tutoring Strategy)与学生模型等三个基本模块和一个自然语言的智能接口。基本模块分别代表了专家、导师与学生三者的智能活动。智能接口是教学对话的自然语言处理系统, 也就是问答系统的前端处理机或

用户界面。通常三个基本模块之间的界限还不是很明确的。例如错误诊断一般在学生模型内,但也有入归入教导策略。笔者认为最好单独列出。因此ICAI系统的一般结构可以图示如下:



ICAI的研究是逐步发展的,并非每一个系统都具备上述所有智能特性与组成部分。

四 ICAI的发展简史

早在六十年代在CAI的研究人员中就有人提出自适应CAI系统使CAI能因材施教地适应学生个人的不同水平要求。Uhr(1968)研制的算术与词汇教学系统能自动生成各种问题与练习,后来Woods与Hartley(1971)的算术练习系统能够生成与学生水平相适应的各种难度的练习。这些适应系统被称为生成型CAI系统并获得实际应用。不久Koffman(1972)在代数,程序设计与电路基础的教学系统能够生成问题并求出解答,使得生成型CAI系统成为ICAI的早期形式。

1970年美国BBN公司CAI组研制成第一个基于知识的CAI系统——SCHOLAR(Carbonell & Collins)用于南美地理教学。它先应用人工智能的知识表达方法表示课件内容的结构,并且能用自然语言讲授地理知识并进行教学问答。这种基于知识的CAI不久即成为ICAI的主要类型。不久以后该公司开始研究排除电路故障的ICAI系统SOPHIE(Brown and Burton 1973)。它用电子仿真线路的方法通过自然语言指导学生检查电路故障及其原因。BBN公司的工作推动了七十年代ICAI研究工作的发展,Stanford大学的EXCHECK(Suppe 1975)可以提供逻辑、集合论等定理证明的完整教程,系统能通过自然推理自动生成题解。BBN公司的WEST(Burton 1976)可以指导小学生作算术四则运算练习并引导学生自己发现符号运算过程的错误并予以改正。后来又进一步研究了BUGGY(Brown与Burton 1978)。它能准确测定算术运算中的细微技能错误并说明错误原因。MIT的WUMPUS游戏教学系统WUSSOR(Goldman和Barr 1977)可以指导学生掌握解题技能。这个系统是能说明

ICAI设计原理的一个比较完善的典型。此外在代数运算方面也出现了一些指导学生发现与纠正概念错误的系统。例如MIT的Advisor作为教学符号运算系统MACSYMA的教学系统能够在教学公式的化简与演算步骤上对学生进行指导性帮助。

七十年代后期由于专家系统的发展比较成熟,因此出现了专家系统的教学系统或教学专家系统。在这方面具有重要意义的是Stanford大学医学专家系统MYCIN的ICAI系统GUIDON(Clancey 1977)。它直接利用MYCIN的专家知识库作为教材,通过病例指导学生掌握医学知识。英国Leeds大学的PSM(Sleeman等1981)能够通过学生的解释帮助学生掌握正确的核磁共振识读方法。与此同时,一般的学校课程也利用专家系统的设计思想把专门知识模块设计成具有启发式知识的专家系统使学生逐步提高解题技能,由新手变为老手(专家)。这种教学专家系统也有人称之为基于专家的CAI系统。例如BBN的WHY(Stevens, Collins 1978)能够进一步就南美地理的气象学知识(降雨原因等)指导学生掌握气象分析的启发式知识。

上面是七十年代ICAI研究的主要典型例子。通过多年的研究经验教训,ICAI的研究者们认识到,建立ICAI系统是一个比较艰巨的任务,因为它是专家、教师与学生三者智能活动的综合。只有在三个基本模块都取得进展的基础上才能建立完整的系统,因此研究工作大多是先在这三方面进行的。七十年代前期的研究重点是专门知识模块的知识库建立问题,后期的重点是学生模型问题,到了八十年代,教学策略问题开始受到注意。在继续深入研究各个模块设计原理的同时,建立实用的ICAI系统特别是教学专家系统的问题也提到日程上来了。

八十年代的研究工作有三个方向:

1. 从认知心理学的角度继续深入研究ICAI的设计原理,CMU大学心理与计算机科学系教授Anderson应用人类认识的“行动”(ACT)理论建立智能导师(几何学与LISP编程)的研究就是个典型例子。他的LISP导师利用优秀学生的解题知识作为指导是一个很有意义的工作。

2. 建立实用的智能教学系统,这种系统不要求系统有过高的智能化水平以便于实现。近年来在国外出现的程序语言(如PASCAL, BASIC等)智能教学系统多半属于这种例子。

3. 把专家系统的设计方法应用于课程的教学,

建立基于专家的教学系统以提高学生的解题技能。这种系统多见于职业教育。例子有帮助学生分析句子结构的ILLIAD。指导船员学习掌握使用航海设备的STEAMER(轮船)系统等。

4. 把现有的专家系统扩充成具有教学能力的教学专家系统,近年来已引起国外专家系统研究人员的注意。它有助于专家系统的推广与使用,更有利于把学员培养成比较能熟悉运用知识的内行。研究的重点是教学策略问题。GUIDON是个典型例子,它在八十年代继续改进成NEOMYCIN与GUIDON 2。

5. 智能写作系统(IAS)能够简化ICAI设计工作的复杂性,在国外最近已逐渐受到重视(Begg 1985)。

总之,八十年代由于知识工程、专家系统研究的进展,使得ICAI与专家系统的关系日益密切。因为ICAI主要是传授高度专门化知识与经验。直到现在,美国许多著名学府如Stanford, MIT, CMU, 与以研究CAI闻名的BBN公司仍然继续这方面的工作,此外Yale大学也参与了研究ICAI的行列。近几届美国与国际人工智能会议都把ICAI的研究列入议程,1988年还召集了专门的智能教学系统会议。

值得注意的是,日本在这方面也急起直追,把ICAI的智能接口列入第五代计算机的计划。日本的九州大学已开始研制一个兼写作、教学、管理于一体的智能教学系统BOOK。日本认为,“智能教师”能够进行自然语言的教学对话,分析学生的错误,能根据学生的理解程度因材施教,如果成功,将使电化教育以及整个教育发生革命。

下面就ICAI系统中各个部分的设计问题作简要介绍。

五 专门知识模块

专门知识模块是ICAI系统的“专家系统”。所谓专门知识就是有关教学内容的专业知识与技能,因此它既有说明事物概念的陈述性知识,也包括利用这些概念解决问题的过程性知识。ICAI比较重视过程式知识或技能的训练。这两种知识都是比较具体的知识,此外还有体现知识形成或技能运用过程的元知识,这些知识构成了专门知识库。它与书本知识不同,知识库的知识一般采用人工智能方法把书本知识转变为计算机能够理解的知识表达形式。教育知识库与一般的专家系统知识库也有所区别,它除了要求知识表达便于推理,便于进行规划,便于获取与扩充等一般知识库所具有的特点以

外还要考虑四个方面的问题:第一是知识库必须要有明确的教学目标与范围,第二是要形成前后比较连贯的关系或基础知识体系。第三是能形成一个实用的思维或推理模型,第四要考虑学生接受能力的限制。在知识表达方法方面,概念树多用来表达教学内容的知识体系(Koffman 1972),语义网络多用来表达事实的结构体系(SCHOLAR的地理知识),解题步骤多采用过程网与产生式。也有多重表达方法,例如SOPHIE就把电路概念的语义网络与电路功能的过程仿真结合起来表达电路的作用。ICAI的专门知识模块是独立于教导策略之外分开研究的。为了便于教导策略选择,专门知识模块的内容还需要有一种组织知识或排序(Sequencing)的知识表达形式。这种表达有树、网格(lattice)、提纲(Syllabus)等种种形式。由于教学过程是循序渐进的,教学的知识结构是不断发展的。为了表示这种发展观点,Golstein在WOMPUS中采用了发展图(genetic graph, GG)的知识表达形式是值得注意的。在专门知识的推理机制上,SOPHIE采用的例子驱动的中间推理方法较好地满足了教学过程对于连贯推理的特殊需要。

六 学生模型与错误诊断

学生模型主要表示学生的理解程度并包括学生错误及其原因的诊断以便教导策略采取补充教材与改正学生错误的措施。

学生模型的建立有两种方法,一是覆盖法(Overlay),它把学生知识表达成为专门或专家知识的子集,二是差错(bug)法:把学生知识处理成专门知识的偏离或扰动而构成差异(differential)模型。这个模型可以用学生知识与专门知识两者对比的方法得到。

在诊断方面,学生知识的不足可以通过差异模型推理得到学生没有掌握的知识。学生的概念性错误可以用扰动法找出原因。学生的方法性错误(例如对于规则生搬硬套地误用)可以用过程协议分析(Protocol analysis)找出原因。过程协议就是在学生模型中建立学生错误的解题过程网络。然后建立错误规则的分类以便分析出错误原因。

七 教导策略模块(教学法)

教导策略模块根据学生模型反映的情况采取有效的行动指导学习过程。策略一般由各种教学操作的规则所组成。它的主要功能是:(1)选择与生成问题,以便学生回答(2)提供个别指导与讲解(3)调整教学步骤(4)组织安排教学内容(5)

根据诊断结果指出学生错误类型并提出复习材料与补救措施。

设计教学策略的主要问题是在学生的学习过程中何时何处进行干预并给予指导,干预过多并不利于学习,它会束缚学习的主动性。

教学策略的类型很多,一般采用教学过程知识的产生式知识表达方法,根据心理学的教学理论设计,举例如下:

(1) 苏格拉底的启发式对话法,它的特点是用实例的正反对比法进行追根问底的教学对话使学生得到正确解答。例如WHY就把这种策略用24条教学启发式表达来引导对话的进行从而使使学生得到降雨原因等气象知识

(2) 指导教学规则的利用: GUIDON利用200条教学产生式规则使学生掌握血液传统病专家系统MYCIN的专门知识,不断修正自己的学生模型,以便达到同行专家的水平。例如其中有一条规则名为“直接说明已知简单规则”,若与目标有关的规则已成功而未讨论而且成功规则数为1而且充分证明学生已用过此规则,则直接说明此规则及其结论。

(3) Anderson的ACT理论把指导教学策略表示成七大原则:认清问题空间的目标结构,在问题解答过程中教学,有错误立即反馈。工作记忆量要最低,用产生式表达学生情况,学习期间要调整教学单元的大小,使学生用连续近似法接近目标等。这些原则已应用于智能导师的设计(Anderson 1985)。

其它还有WEST系统的引导发现教学法, SOPHIE系统的现象仿真教学法等。

教学策略的研究工作还在发展中,它已成为教学专家系统研究的一个中心问题(Clancey 1987)。

八 智能接口与问答系统

教学活动主要是通过学生与计算机教师之间的信息交流。ICAI要求建立智能接口以便“友好”地利用自然语言的教学问答帮助并指导学生的学习。

在分析教学谈话时需要有三种信息,一是关于解释句型的知识,二是谈话内容的专门领域知识,三是在交谈环境中了解发言者意图的知识。有了这三个因素的基础才能进行正常对话。关于句型的分

析在ICAI中也有采用通常的格语法与ATN语法。有的系统设计者认为语义分析是主要的。SOPHIE系统的关键词的语义文法允许教学对话出现无关紧要的省略与模糊性。PSM系统的自然语言接口ACE能分析学生比较复杂的解释语言,它不但允许学生解答的不完全性,还能作必要的补充。GUIDON会话系统能概括学生谈话的概念,从而避免了对学生的错误评价与学生意图的误解。

九 结束语

根据七十年代国外ICAI的研究情况说明,CAI的智能化已成为CAI的一个重要发展方向。智能CAI软件可以提高CAI的教学水平,因而能更好地适应个别化教学的要求,做到因材施教。

国外智能CAI软件有两种主要形式,一是智能导师(tutor或译私人教师),二是智能教练(coach)。前者着重知识的讲授辅导与答疑,后者着重技能或解题技巧的训练。ICAI的应用范围也日益扩大。在教育界从幼教的游戏,小学的算术语文,中学的代数、几何、地理、化学直到大学的高等数学、程序设计等都出现了相应的智能CAI软件,在工交军事等部门,职业教育的需要使ICAI进入了电路维修,设备协作,驾驶训练指军培训等领域,医院里也出现了培养护理人员配药配食的智能CAI软件。

八十年代专家系统的成就进一步促进了ICAI的发展,为智能CAI软件开辟了新天地——教学专家系统。使许多现有的专家(系统)的知识经验能够为多数人所掌握。

目前存在的主要问题是:虽然ICAI的研究十多年来取得了不少成就,但还没有形成比较完整的理论与设计原理,研制比较复杂,周期较长,耗存较多,但这些都不过是发展过程中的问题。随着时间的推移,微机容量的迅速扩大,认识科学与教育心理学的进展与人工智能技术的普及将会使上述不利因素逐步转化为有利因素,达到人工智能奠基之一——费根包姆教授在“人工智能向世界的挑战”一书中设想的未来前景:智能教师深入到社会与家庭,成为人类的良师益友。

(下转第23页)

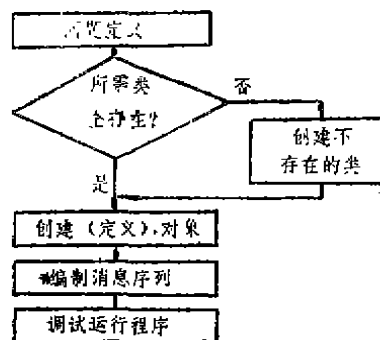


图5 (•这一步的工作要比一般的程序设计简单得多, 它的工作主要是建立对象间的联系)

下:

- 1) 分析问题, 进行问题的定义和描述;
- 2) 制定软件系统的构造策略, 也就是进行系统对象的划分和定义, 描述对象间的联系;
- 3) 进行对象的标识及实现, 应当尽可能地使用库中现有的“软插件”, 若库中没有相应功能的“软插件”, 则要建立之并装入“软插件”库中;
- 4) 使用第三步获得的“软插件”创建对象, 并按第二步定义的策略组织系统;
- 5) 建立系统对象间必需的连接, 以协调整个系统的工作;
- 6) 运行调试, 提交产品。

Smalltalk语言的结构具有独特的风格, 利用Smalltalk语言的构造方式, 可以提高软件系统的构造速度, 增加软件系统的可靠性和灵活性, 这种风格直接支持面向对象的设计方法。同时, Smalltalk语言的基本构成单元——类已经具备了大部分“软插件”所应具有的特征, 并取得了初步的成功。虽然这个概念还不够成熟, 但我们相信, “软插件”的研究和实践必将推动软件可重用性的研

(上接第77页)

主要参考文献

1. Sleeman & Brown(ed), "Intelligent Tutoring System" Academic Press 1982
2. Feigenbaum & Barr(ed), Application of AI Research, Education in "AI Handbook" V.2 pp 325-290 1982
3. Anderson J. B. & al., Geometry Tutor proc. of JJCAI-85 1985

究, 并且在提高软件生产率方面起到重大作用。

主要参考资料

1. Adele Goldberg and David Robson, Smalltalk-80: The Language and Its Implementation, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1983.
2. Stephen T. Pepe, Adele Goldberg and L. Peter Deutsch, "Object-Oriented Approaches to the Software Life cycle Using the Smalltalk-80 System as a Case Toolkit," 1987.
3. Bhaskar K.S., J. K. Pecol and J. L. Beug, "Virtual Instruments, Object-Oriented Program Synthesis." Proceedings of the ACM Conference on Object-Oriented Program Systems, Languages and Architectures (OOPSLA), 1986.
4. Jim Anderson and Barry Fishman, "The Smalltalk Programming Language," BYTE, MAY, 1985.
5. Geoffery A. Pascoe, "The Elements of Object-Oriented Programming," BYTE, Feb., 1986.
6. Alan Snyder "Encapsulation and Inheritance in Object-Oriented Programming Languages," OOPSLA/86 proceedings.
7. Stephen S. Yau, Jeffery J. P. Tsai, 软件设计技术之概观, 计算机科学, 4, 1987, pp.10-18.
8. 杨美清等, 软件工程支撑环境中的集成化问题研究, 计算机科学, 4, 1987, pp.1-10.
4. Brown J. S., Burton R., Clancey W., Application of AI to education and training No.2 Tutorial of AAAI-84 1984
5. Dede J., Review and Synthesis of ICAI, Int. J. of man machine studies V. 24 pp. 329-353 1986
6. Begg M., Intelligent Authoring System Proc. of computer-aides technology pp. 617-8. 1985