

# 第一章 智能教学系统的基本概念

人工智能的理论与技术在教育领域中的应用日渐普及,改变了传统的教学方法,产生了一门新的综合教育技术—智能教学系统。智能教学系统是以学生为中心,计算机为媒介,利用计算机模拟教学专家的思维过程,形成的开放式人机交互系统。智能教学系统的最大特点是具有一定的智能性,它改变了传统的教学模式,更能发挥学生的学习积极性,有助于学生智力的开发和能力的培养,是改革教育手段、课堂教学形式、实现教学手段现代化的新方法。

本章阐述智能教学系统的理论基础、概念、功能、结构与特征以及研究和发展概况。

## 第一节 智能教学系统研究概述

### 一、智能教学系统与计算机辅助教学

计算机辅助教学 (Computer Assisted Instruction 简称 CAI) 是指以计算机为媒介,通过学生—计算机之间的交互活动达到教学目的的一种手段。CAI 可以用于代替教师进行整门课程的教学,或作为常规课堂教学的补充手段。智能教学系统从方法上与 CAI 是完全不同的,它不是 CAI 的改进,而是从知识表示、推理功能、学生模型、课程模型、教师模型入手,建立系统。J. S. Brown 的名言:“ICAI is not CAI Warmed

Over. ”所以,智能教学系统是个全新的领域和技术。

智能教学系统是以计算机辅助教学为基础而兴起的一门全新教育技术。它以计算机为媒介,集中教师的经验与智慧,在计算机中预先存有某一领域的知识与教学方法,学生通过与计算机间的交互对话,模拟教学过程,指导学生进行课程学习,作业练习,实验模拟,考试命题和考试信息处理等。智能教学系统强调学生的作用,学生时刻处于控制和操纵系统的状态,不是单纯运行固定的程序,这样,学生可以主动向系统索取知识,有利于学生对课程内容的理解和掌握,调动学生学习的积极性和主动性,它克服了传统的课堂教学使学生只能被动地接受同一模式教学的严重弊端,对提高教学质量有着深刻的影响。

需要强调的是,第一,由于智能教学系统的应用领域不同,教授的内容与对象不同,在研制智能教学系统时,要根据特定教学环境,采用特定的智能算法或模型;第二,从方法学上分析,智能教学系统与 CAI 的研究,采用的方法不同,智能教学系统不是 CAI 的简单改进,它注重已有知识、人类教学专家的经验 and 系统的推理功能。学生模型、教师模型及教学策略模型的建立使得教学系统更能适应不同学生的学习要求,体现出智能教学系统的优越性。

## 二、智能教学系统欧美的代表作

1970 年美国 BBN 公司研制成第一个基于知识的智能教学系统——Scholar (Carbonell & Collins) 用于南美地理教学。它应用人工智能的知识表达方法表示课件内容与结构,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

系统不久即成为智能教学系统的主要类型。不久以后该公司开始研究排除电路故障的智能教学系统 Sophie (Brown & 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智能教学系统研究工作的发展：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) 可以指导小学生做算术四则运算练习，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 & 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 & Barr 1977) 可以指导学生掌握解题技能。这个系统是说明智能教学系统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 (Expert System, 简称 ES) 的发展比较成熟，这就更促进智能教学系统的发展，在这方面具有重要意义的是 Stanford 大学医学专家系统 MYCIN 的智能教学系统 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 (Sieeman 等 1981) 能够通过学生的解释帮助学生掌握正确的核磁谱识读方法。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)。这种智能教学系统也有人称之为基于专家的教学系统。例如 BBN 的 WHY (Stevens, Collins 1078) 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。

智能教学系统欧美的代表作

系统名称	采用技术	内 容	作 者
SCHOLAR	语义网络	美洲地理	美国BBN公司
WHY	原稿对话	自然地理	Stevens & Collins
SOPHIE	问答	电子仪器检修	Brown & Burton
WEST	语义网络	计算机指导	美国BBN公司
WUHPUS	覆盖模型	“蝙蝠与洞”	Goldstein & Carr
GUIDON	覆盖模型	医学知识	Clancey
BUGGY	产生式规则	算术运算指导	Brown & Burton
DEBUGGY		运算指导	Koffman & Bloun
MALT	诊断模型	计算机程序	Supper
EXCHECK	语义网络	定理证明	Supper
MACSYMA	覆盖模型	微分积分运算	麻省理工学院
CADUCEUS		医学咨询	卡内基—梅隆大学
WUSSOR		游戏教学系统	Goldman & Barr
PSM		核磁谱识读	Sieeman

上面是七十年代智能教学系统研究的主要典型例子。多年的研究经验和教训使智能教学系统的研究者们认识到:建立智能教学系统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,建立实用的智能教学系统特别是领域教学专家系统的问题也提到日程上来了。

### 三、八十年代以来的研究工作综述

1. 从认知心理学的角度继续深入研究智能教学系统的设计原理,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,这种研究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用于课程的教学,建立旨在提高学生解题技能的基于专家的教学系统。这种系统多用于职业教育与训练。如帮助学生分析句子的 ILIDA 系统;指导船员学习掌握使用航海设备的 STEAMER 系统等。

4. 利用现有的专家系统扩充成具有教学能力的智能教学系统, GUIDON 系统就是利用 MYCIN 系统的丰富知识库实现的智能教学系统。

国内智能教学系统的研究起步较晚,做了许多有益的探索和研究,主要问题是如何使智能教学系统“走出”实验室,推广使用,取得社会效益和经济效益。

## 第二节 智能教学系统的理论基础

智能教学系统自七十年代在美国兴起以来,无论是在理论研究、技术开发及实际应用等方面均取得显著进展。在其从无到有的发展过程中,理论的研究曾经历以下三种不同的模式:

一、五十年代的经典研究模式即建立在“刺激—反应”基础之上以程序教学和视听教学为理论基础,从认识论角度出发,研制一种程序式计算机教学系统。系统能循序渐进、直观生动的进行一些低层次的教学活动。前文所述的 CAI 即属于这一类型。

二、六十年代的系统研究模式。这种模式主要以系统论和信息论为理论基础,从方法论的角度来研究教育系统,把教学专家、学生及计算机看成一个完整的系统,寻求最优化组合状态,以期达到最佳教学效果。这一段时间的研究工作已渐渐脱离 CAI 的模式,为向智能教学系统过渡打下基础。

三、从七十年代开始,智能教学系统的理论研究进入了一个新的天地。由于人工智能科学,认知科学和教育心理学理论的飞速发展,使得智能教学系统的基础理论研究也产生了一个新的飞跃。这一时期的研究工作主要是研究人类思维的过程和特征,建立人类认知思维活动的模型,实现无人化、个别化的自适应教学目的。

从这三种研究模式可以看出,随着研究的不断深入,智能教学系统的基础理论发生了巨大的变化。无论是“刺激—反应”理论,还是系统论、信息论和人工智能科学,只能做为应用到智能教学系统领域的具体技术。那么智能教学系统的理论基础究竟是什么?智能教学系统的理论基础应是认知科学。

认知科学是研究人认识事物的过程、思维过程和特征的科

学,它是在系统论、信息论、人工智能以及其他一些学科的基础之上发展起来的。而智能教学系统所要解决的问题是“教”与“学”的认识思维过程、模型及特征,追其根源属认知科学的范畴。用计算机将这一认知活动模拟出来,使得计算机在一定程度上能完成人类教学专家的工作,这就是智能教学系统。智能教学系统研究与实践也证明了这一点,以认知科学为理论基础,指导智能教学系统的研究,会使智能教学系统朝深、难的方向进展,反之就会走弯路。

### 第三节 智能教学系统的几个概念

**智能教学系统:**我们将存有某一领域知识和对应的教学法,能对学生进行个别教学,根据学生对知识理解掌握的程度,自动调节教学方法及教学速度,在一定程度上模拟人类教学专家所进行教学活动的软件系统称为智能教学系统。

**教学专家:**教学专家是指在某一领域有丰富的专业知识并且熟练掌握各种教学方法的教师。

**知识工程师:**是指精通计算机软、硬件,能将教学专家的意见、知识、经验由计算机完美体现的工程师。知识工程师不只是一个个体,而是一个集合。集合中有音乐、美术、文学、摄影、心里学等方面的工程师。

**学生模型:**为了反映学生在学习过程中的思维活动,学习方法、对新知识的响应、对新知识的应用等方面情况而建立的数学模型。

**教学模型:**把教学专家所具有的领域知识,丰富的教学经验相互融合到一起而建立的模型,能对学生在学习过程中所提出的问题给予令人满意的答复。同时,根据学生对知识的掌握

理解情况,自动选择相适应的教学计划、检测计划,达到最佳教学效益,四者之间的关系如图 1-1 所示。

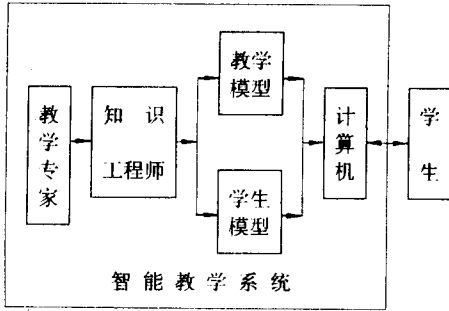


图 1-1 智能教学系统概念之间的关系

教学专家与知识工程师进行交流,包括教学专家的领域知识与教学经验,共同建立教学模型和学生模型。知识工程师将模型进行处理,变成计算机能接收的语句及指令,学生只与计算机进行交流。

## 第四节 智能教学系统的特征和结构

### 一、智能教学系统的功能

智能教学系统是以认知科学为理论基础,综合人工智能技术、计算机技术、教育心理学等多门学科对学生实施有效教育的一门新的教育技术。

教学专家之所以成为某一领域的教学专家,其关键在于教学专家掌握了该领域大量的专门知识和相应的教学法。由于



计算机能够存贮有关某一领域的大量专门知识,并能有效的利用这些知识去解决问题,那么如果再将教学法的有关知识存入计算机后,计算机也能成为象人类教学专家一样的“专家”。智能教学系统的功能就在于此。

## 二、智能教学系统的特征

智能教学系统是多门学科在教育领域具体应用的产物。其最主要的特点是能对学生因材施教地进行个别指导。要做到这一点,计算机必须解决三个问题,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,了解受教育者,WHOM,才能知道如何教,HOW)。因此智能教学系统应具备下列智能特征:

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学习内容与进度。
3. 在理解教学内容的基础上自动解决问题生成解答(而传统教学系统的解答都是预定的)。
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。

要使智能教学系统具有上列全部智能特征是不容易的。一般来说只要具备上列几个特征就可以。问题求解能力,诊断纠错能力和自然语言生成与理解能力是智能教学系统的三个

重要特征。

智能教学系统的发展与认知科学、人工智能科学的发展密不可分,但智能教学系统从理论基础到应用技术都有其独特之处。智能教学系统的最大优势,就是可以应用人工智能的理论与技术,现代的教育技术,心理学理论等。从某种程度上说,智能教学系统是在特定的教学环境模拟人类教学专家的思维过程,思维过程是局部而非全局的,要想实现真正的人类智能,使计算机具有人类的思维过程,不仅仅依赖硬件的发展,还依赖认知科学、人工智能科学的发展。

### 三、智能教学系统的结构

实现具备上述三个智能特征的教学专家系统,一般分成专门知识 (Expertise), 教导策略 (Tutoring Strategy) 与学生模型三个基本模块和一个自然语言智能接口。三个基本模块分别代表了专家,教师与学生的智能活动。自然语言智能接口是教学对话的自然语言处理系统,也就是智能教学系统的用户界

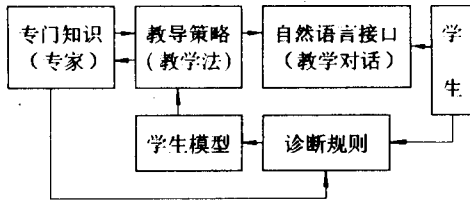


图 1-2 智能教学系统的一般结构

面。通常三个基本模块间的界限并不十分明确。例如错误诊

断一般在学生模型内,但也有归入教导策略的说法。我们认为单独列出最好,因此智能教学系统的一般结构如图 1-2 所示。由于具体应用领域的不同,并非每一个系统都具备上述的组成部分。下面着重论述图 1-2 中智能教学系统的各构成要素的研究方法。

## 四、专门知识模块

所谓专门知识就是有关教学内容的专业知识与技能,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。智能教学系统重视过程式知识和技能的训练,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,知识库的知识采用人工智能方法把书本知识转变成成为计算机能够理解的知识表达方式。教育知识库与一般专家系统的知识库也有所区别,它除了要求知识表达便于理解,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外,还要考虑四个方面问题:

1. 知识库必须要有明确的教学目标与范围
2. 要形成前后比较连贯的关系或基础知识体系
3. 形成一个实用的思维或推理模型
4. 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,语义网络用来表达事实的结构体系。解题步骤采用过程网与产生式,也有多重表达方法。如 SOPHIE 系统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。智能教学系统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的知识表达形式。这种表达有树、网格、提纲等种种形式。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 采用的例子驱动的例子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。

## 五、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并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:把学生知识表达成为专门或专家知识的子集,二是差错法:把学生知识处理成专门知识的偏离或扰动而构成差异模型。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。

## 六、教导策略模块

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、根据论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教学系统的设计。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。

## 七、自然语言智能接口系统

教学活动主要是学生与计算机教师之间的信息交流。智能教学系统要求建立智能接口,以便“友好”地利用自然语言进行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。关于句型的分析在智能教学系统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。

## 第五节 智能教学系统的研究方法 与研究课题

### 一、智能教学系统的分类

按照所教授知识的计算机表示方法,智能教学系统可分为

信息结构型,问题生成型和模拟型三类:

### 1、信息结构型

这种系统以大量的描写事实和概念的信息单元组成数据库,并按照这些信息单元的含义及其相互关系构成网络。系统通过形成的网络向学生阐述有关事实和概念,能够对学生提问并鉴定学生的应答,也能在一定程度上理解并回答学生提出的问题。这种系统具有较强的自然语言理解能力和逻辑推理能力(如前面提到的 SOPHIE 系统)。

### 2、问题生成型

自然科学中许多课程本质上是教问题求解技术的,而学生的解题能力可以通过实践得以解决,即通过解决一系列样本问题而获得。因此,教这类课程的智能教学系统集中运用问题求解技术。它们能够自动生成问题,判定学生解法的正确程度,引导学生找到解题的合适途径。系统本身具有解决它随机生成问题的能力。问题的解决有时是算法性的,但有时也可能相当复杂,需要采用启发式程序设计技术。

### 3、模拟型

计算机模拟可以为学生提供一种任他自由探索的环境,要求运用已学过的知识,通过分析综合等推理过程,发现他所未知的规律。这类系统的重点往往不在于“教”而在于“学”,让学生积极主动地进行实验和探索,学会分析问题和解决问题的方法。结合人工智能技术及其他技术的计算机模拟智能教学系统使学生能更自由有效地学习。

基于以上的分类,智能教学系统无论是在理论研究还是在技术开发,实际应用等方面均取得显著进展。

国外许多教育心理学家从事智能教学系统的理论研究,这对智能教学系统的发展起了很大的促进作用。智能教学系统

的理论研究曾有多种不同的研究模式,这就促进了智能教学系统的研究与发展。目前,国内有许多学者主张智能教学系统的理论基础应是认知科学。因为以上的三种研究模式是从不同的侧面来研究教学过程中学生与教师的认知思维活动。由于智能教学系统是多门学科的交叉产物,其理论基础究竟是什么是目前研究的热点题目。

## 二、智能教学系统研究的课题

智能教学系统模拟教师,服务对象是学生,需要综合应用教育心理学和教学法知识。建立实用的智能教学系统要解决以下问题:

### 1、教程的知识表示

智能教学系统是个专家系统,应具有有关领域的知识,允许学生与计算机进行较为广泛的交互活动。作为一个智能教学系统,它向学生教授的知识决不能是杂乱无章的,也不能对各个学生千篇一律,这就要求系统不但能表示教程的知识,还要反映知识的认识结构(如概念树、教程信息网络等)。

### 2、学生模型

学生模型应能准确地反映学生过去的学习状况、知识水平、学习能力等,这为系统实现个别化教学提供重要的依据。在传统的智能教学系统中,常记录学生对问题的正答或错答的次数,这可以算是最简单的学生模型。Koffman 的生成性智能教学系统中的学生模型是为每个概念建立一个记录,其中包括为确定每个学生对该概念的熟练程度的多项数据。

### 3、教学法模型

系统必须有一个自适应算法,根据学生的能力和状态决定



向他们提供最合适的学习材料。

#### 4、学生应答模型的制定

在智能教学系统中,应能允许学生与计算机进行较为自由的对话,学生的应答不限于数字或简单的短语。系统必须能够判定学生应答的正确程度,并给予适当的反馈,而不能简单地“对”或“错”。

#### 5、学习过程错误的诊断

过程错误是指在解题过程中发生的错误。学生答案的错误往往是由于在解法的许多步骤中的某一步错误而引起的。智能教学系统试图根据学生的学习史对错误源作出假设。最理想的办法是肯定学生解题过程中的正确部分,引导其自行排错,完成他自己的解法。

以上五个课题对智能教学系统研究有重要意义,同时对人工智能基础理论和技术的发展将产生重要影响。目前存在的主要问题是:虽然智能教学系统经过十多年的研究已取得了不少成就,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,思维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。达到人工智能奠基者之一——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。