

计算反射性 ICAI 模型*

何钦铭 王申康

(浙江大学人工智能研究所, 杭州 310027)

摘要 智能计算机辅助教学(ICAI)系统是一个综合多领域知识的复杂的知识系统. 理想的 ICAI 应具有强的自适应性以实现个别化教育的目的. 计算反射是指能因果关联地对自身进行处理的一种计算行为. 本文从计算反射的基本思想出发, 讨论了知识系统中计算反射的基本模型, 进而推广到 ICAI 系统的设计中, 提出了将教师实体和学生实体作为“自身”的反射性的 ICAI 系统的初步模型. 各知识实体均由对象层和反射层组成, 在不同层次上依赖不同的知识源完成不同性质的任务.

关键词 智能计算机辅助教学, 计算反射, 知识反射.

智能计算机辅助教学(ICAI)系统是一个复杂的智能系统, 它不只是简单地告诉学生应该做什么, 而且要理解学生正在做什么, 并能根据学生当前的知识水平和认知特点安排最佳的教学途径. 因而, ICAI 推理应是一个能面向学生行为的开放的推理机制, 即能根据不同的学生反应行为, 调整推理目标, 动态地重组教学途径和教学内容, 即要求 ICAI 系统具有对其教学行为和效果进行反思的能力. 这种能力是对 ICAI 系统推理行为的反思, 是一种计算反射(Computational Reflection)行为. 计算反射是指能因果关联地对自身进行处理的一种计算行为. 计算系统的反射行为通过对自身的访问和修改使系统具有更强的灵活性和适应性. 目前, 许多 ICAI 系统大都缺乏很好的自适应性. 因此, 如果我们能充分认识 ICAI 系统中的这种反射性, 并很好地构造相应的反射机制, 也许就能大大降低 ICAI 系统的复杂性, 并使之具有很好的灵活性和适应性.

本文第 1 节将论述计算反射的一般思想及其特点, 并提出反射性知识实体的一般模型; 第 2 节将分析现有 ICAI 系统的基本结构和其中蕴含的反射性, 并提出具有反射机制的 ICAI 系统的初步模型; 最后一节将对全文作出总结.

1 计算反射的基本思想和反射性知识系统

计算反射是 80 年代初发展起来的程序设计概念和技术, 并在面向对象程序设计方法中得到了深入的发展^[1,2]. 这种思想也越来越受人工智能、知识工程等领域的重视.

* 本文 1994-01-22 收到, 1994-04-11 定稿

本研究得到 863 高技术资助. 作者何钦铭, 1965 年生, 讲师, 主要研究领域为机器学习, 问题求解, 计算机辅助教学及专家系统. 王申康, 1945 年生, 教授, 主要研究领域为知识获取, 计算机辅助教学及专家系统.

本文通讯联系人: 何钦铭, 杭州 310027, 浙江大学人工智能研究所

计算反射的概念在不同的文章中有不同的论述,但少有严格的定义,一般认为^[2]:计算反射是反射系统呈现的一种行为,这个系统是一个计算系统,它能因果关联(Causally referred)地对自身进行处理。‘因果关联地’是指计算系统中一个问题域对应的表示结构和这个问题域的联系是直接的,亦即表示结构的改变会直接导致问题域的改变,反之亦然,从而计算反射系统对自身的处理将直接导致整个计算系统的改变。

对于一个计算反射系统来说,“自身”(Self)和“因果关联性”是理解计算反射系统的关键。从广义来讲,计算系统的“自身”应包括计算机硬件、操作系统、编译程序或解释程序,以及用户程序和输入数据。由于它包含了作为外部世界一部分的数据,所以它是一个开放系统。从狭义范围来讲,由于我们考虑的计算反射性往往局限于系统的局部,因而为了简便起见,往往将“自身”局限于与反射行为直接相关的用户程序(甚至子程序)及其相应数据。

“因果关联性”则要求计算系统必须有一显式结构来刻画“自身”,亦即这种显式结构能反映“自身”的行为;同时,“自身”的行为又能修改这一显式结构,从而改变“自身”将来的行为。计算系统的所有行为并不都是反射行为。只有那些修改(处理)了“自身”因果关联结构(显式结构)的行为才能称得上是计算反射行为。

总之,反射行为的产生源于系统有关于“自身”(或一部分)的显式描述,这种描述显式地表达了“自身”(一部分)的语义,并且“自身”的行为能访问这种描述。(关于知识语义的显式表达可见文献[3])

计算系统的反射行为通过对自身的访问和修改使系统具有更强的灵活性和适应性。当然,反射能力也是有限的,因为系统中关于自身的描述(知识)终归是有限的。

下面,我们进一步讨论知识系统中的反射性。

知识系统主要由两个相对独立的成员组成:知识库和推理机。对于知识库,它本身可视为一个程序,这个程序的解释器是推理机。推理机是知识系统的一个独立组成部分,一般隐含于知识系统中,同样也可直接显式地表达推理机(或一部分)的显式结构。这样,对于知识系统而言,存在着两种形式的反射行为:知识反射(以知识库为“自身”)和推理反射(以推理机为“自身”,反射的结果可能改变推理机的行为,这种行为有:正向、逆向、混合、不确定等等)。我们主要讨论知识反射。

我们可以将整个知识库作为一个“自身”,也可将其中的一个子系统作为自身。并非所有的知识库(或子库)都存在反射性。只有显式地表达了具有因果关联性的自身结构,并存在能对自身结构进行访问、修改的知识(反射规则)的知识库才可能进行知识反射。目前的许多知识库只是显式地表达了它所要求解的问题的显式结构,而非自身的显式结构。

为了更好地控制反射规则,我们还可引入反射元规则。这些元规则说明何时及对哪一部分自我进行反射。

因此,反射性知识系统中的知识可分为以下 3 类:

BK——背景知识,是关于知识系统所要求解问题的领域知识。

OK——自我知识,关于知识库自身的知识,包括自身(一部分)的结构及其关系,以及如何访问和修改自身结构的知识(反射规则)。

MK——反射元规则,控制何时利用 OK 中的反射规则,及哪一方面的规则。

由于我们显式地表达了知识(子)系统的自身结构。对于知识系统的每一次运行(对应于

一个事件或任务),一部分自身结构刻划了知识系统当前的自身状态.这些自身状态将影响具体的运行行为(因果关联性).运行(任务)的目标可作为自身状态的一个内容.这里的自身状态不同于知识系统运行过程中的问题求解状态.前者是反射行为所访问、修改的对象;后者是问题的状态,它不是关于知识库自身的描述,而是关于求解对象的描述,是非反射行为所访问的对象.

为了进一步区分反射行为和非反射行为,可将反射性的知识系统单元(称为一个知识实体)分为两个层次:对象层和反射层.对象层执行非反射行为,即一般的问题求解行为,所依赖的知识(KS)是背景知识(BK),工作存贮器(WM)对应于问题状态;反射层执行反射行为,所依赖的知识是自我知识(OK)和反射元规则(MK),工作存贮器是自身状态.如图 1.



图1 反射性知识实体的结构

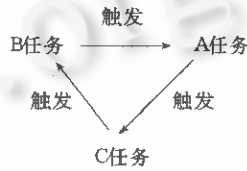


图2 三类任务间的关系

在知识实体中,存在以下三类关系:

- A: 当前自身状态 + BK $\xrightarrow{\text{决定}}$ 对象层行为,
- B: 当前自身状态 + OK $\xrightarrow{\text{决定}}$ 新的自身状态或新的 OK,
- C: 对象层行为结果 + MK $\xrightarrow{\text{决定}}$ 触发 B 类关系的执行.

A 类关系说明了自身结构的因果关联性,B 类关系说明了对对象的反射行为,C 类关系控制反射行为的执行时刻.问题求解中推理中断、求解成功、结果不对等都是“对象层行为结果”,从而可能触发反射行为.

因此,我们可将知识实体的行为分为 3 种类型的任务.

- A 类任务:问题求解任务,具体的对象层行为,
- B 类任务:自我反射行为,对应于 B 类关系,
- C 类任务:控制何时发生反射行为.

A 类任务属于对象层的任务,B、C 类任务属于反射层任务.

这 3 类任务利用不同的知识源(KS).三类任务间相互触发(A 类任务的目标是知识实体自身状态的内容,自身状态的改变可能产生 A 类任务的新目标),如图 2.

一般传统的专家系统 ES 中的知识库只涉及有关领域问题的知识,而少有知识实体自身的知识,因而知识实体的问题求解能力完全依赖于所给出的领域问题的知识.反射性知识实体的问题求解能力不仅依赖于领域问题知识,而且依赖于关于知识实体自身的知识(自我知识).实体的自我知识不仅控制着它对领域问题的求解行为,而且还有自我修改的功能.因此,反射性知识实体与一般 ES 中的知识实体相比,不仅在控制结构上模块化程度高,而且它本身就具备一种学习能力.

在第 2 节,我们将从 ICAI 领域继续讨论这一模型.

2 反射性 ICAC 系统的初步模型

80 年代中期以后,ICAI 研究成了 CAI 领域的一大热点.许多 ICAI 系统大都分为以下 3 个主要组成部分^[4-7]:领域专家知识库、学生模型和教师模型.

ICAI 系统中的学生模型是对 ICAI 用户(学生)实际学习状态(知识状态、认知状态)的反映,因此它应能从领域专家(知识)对自身行为的反馈评价中,重新认识自身,改进学生模型(自身)的内容.

教师模型实施整个教学过程:根据教学目标制定教学内容、策略、方法和方式.而这些教学策略、方法等不应是一成不变的,而应能从学生的学习轨迹和效果中作出调整,以实现最优化教学的目的.这一过程是教师对自己原先教学策略、方法等再认识、自我完善的过程,是一种反射行为.

为了增加系统的灵活性、自适应性和降低设计复杂性,可应用计算反射的思想设计 ICAI 系统. ICAI 系统的主要知识实体是教师和学生.我们可按第 1 节中反射性知识实体模型(分对象层和反射层)来设计这两个知识实体.

教师知识实体决定教学策略和教学方式,并根据教学效果自我修改教学策略和方式.

从严格意义上讲,学生自我不仅包括学生模型,而且还应包括作为用户的学生本身(环境世界),后者主要以对 ICAI 系统提出问题的反馈中表现出来.因此,学生知识实体一方面要管理(访问、修改)自我结构(含一般 ICAI 系统中的学生模型),另一方面要负责与另一半自我(用户)交互,所以可以将一部分 ICAI 用户界面功能作为学生知识实体的对象层的问题求解任务,即学生实体可以自我决定一部分界面交互方式,如以纯粹文本显示教程还是配以音乐、动画.这些显示方式作为自我状态的一个内容可以自我修改(可由另一半自我一用户修改,也可通过系统内关于自身的某些规则自动修改).

对于一般 ICAI 系统中的领域专家知识,可以作为教师实体的背景知识(BK)(从而由教师判断学生的答案是否正确),也可以作为学生实体的背景知识(从而由学生自我检查答案正确与否).这里我们采用后者,所以学生实体的另一个任务是应用这种知识评价用户(学生)答案.这个任务作为学生实体对象层的一种任务,它的执行结果可能影响(反射)学生实体的自我状态(学生模型).

下面,我们按第 1 节中关于自我反射性知识实体的结构来讨论教师实体和学生的具体内容.

(1) 教师实体的知识与结构

- 自我状态,为一系列属性—值对,含 3 部分内容:
 - a. 当前目标:教师实体对象层任务的目标.
 - b. 教学参数:如课时长短、教学态度、允许学生猜题的次数,允许学生回答的时间限制等等.
 - c. 对学生的评价:如当前学习效果、学生进展情况等.
- 自我知识 OK,分 2 部分内容:
 - a. 关于自身结构及其关系,如对自我状态中出现的属性的定义(含取值范围,包括对教学目标的定义).

b. 如何修改这些自我状态(反射规则),如:

IF 学生盲目猜题并回答错误(教学效果)

Then 给予警告(改变教学态度)并减少允许猜题次数(改变教学参数).

• 背景知识(BK):主要是相应科目的教学大纲和相应教学策略、方式.

• 元反射规则 MK:何时及对哪一部分进行反射,如将 A 类任务实现情况作为规则前提,将触发哪些反射规则作为结论.

	KS	WM
反射层	教师MK 教师OK	教师状态
对象层	BK; 教学大纲等	教学状态

图3 教师实体结构

	KS	WM
反射层	学生MK 学生OK	学生状态
对象层	BK; 界面控制知识; 领域专家知识	• 界面状态 • 领域问题状态

图4 学生实体结构

教师实体的结构如图 3.

因此,对于教师实体,它的对象层根据反射层确定的教学目标,利用背景知识,实施教学(A 类任务). 反射层的元反射规则根据教学效果决定对哪一部分自我进行反射(C 类任务),进而触发自我知识(OK)的反射过程,反射的结果将产生新的自我状态(如新的教学目标),从而触发 A 类任务(如新的教学任务,或在新状态下重做原有教学任务).

(2)学生实体的知识和结构

• 自我状态:一系列属性-值对,含 4 部分内容:

a. 当前目标:学生对象层任务的目标.

b. 知识状态:是学生模型的概要.

c. 认知状态:指有关智力、能力水平的参数.

d. 情绪状态:关于动机、活泼性、个性等方面的参数. 这一状态可影响系统界面的交互方式.

• 自我知识 OK,含 2 部分内容:

a. 关于自身结构及其关系:如完整的学生模型,认知状态、情绪状态中各属性的定义.

b. 如何修改学生模型和自我状态:反射规则.

• 背景知识,含 2 部分内容:

a. 根据自身状态(如当前目标、情绪状态等)确定界面交互方式的知识

b. 根据用户的回答结果,进行自我评价的知识(即领域专家知识).

• 元反射规则:关于何时及对哪部分自我进行反射的元规则. 如某些规则可能根据交互结果(A 类任务),触发 OK 中关于确定自我评价目标的知识(C 类任务),进而得到评价目标(B 类任务),然后利用领域专家知识进行评价(A 类任务).

学生实体的结构如图 4.

(3)教师实体与学生实体的交互

教师实体与学生实体并不是完全独立的. 首先,教师要给学生布置任务,如阅读课文、回答(或求解)某一问题;学生接受这些任务,确定具体交互方式. 其次,学生完成任务的情况必须反馈给教师,以便教师作出教学评估,进而改进教学策略、方式. 具体交互行为发生在教师实体对象层的 A 类任务与学生实体反射层的 B 类任务之间:

①教师的 A 类任务直接访问学生的自我状态(如修改学生的目标,了解学生模型)。

②学生自我评价后的结果(自我状态的值),即 B 类任务的结果,将返回给教师的 A 类任务,以便教师实体根据反映学习效果和新的学生状态的 A 类任务的结果,通过反射制定下一步任务。

因此,反射性 ICAI 系统中,存在以下 6 类任务,相互关系如图 5。

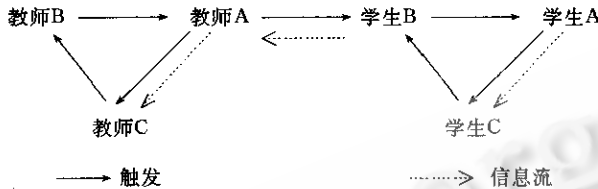


图5 六类任务间的关系

不同的任务对应于不同的知识源(KS),各有不同的工作存贮区(WM).因此,我们可利用类似于黑板结构的控制器进行多任务调度。

3 总结

ICAI 系统是集多领域知识的复杂的智能系统.为了很好地实现个别化教育,一般都要要求 ICAI 系统具有一定程度的自适应性^[4,5].前面我们论述了按计算反射思想建立的 ICAI 系统的初步模型.这个模型是对人类教学过程的一种抽象,其中实体的反射行为也可看成是对客观实体自身的反省过程在 ICAI 系统的映射。

反射性 ICAI 系统按计算反射的基本思想显式地表达了各知识实体的自身结构,并将这种结构因果关联于实体的行为.因此,与一般的 ICAI 系统相比,反射性 ICAI 系统至少给我们带来了以下两点好处:

①增加了系统的灵活性.系统中各实体性能(Performance)不是一成不变的,反射行为将改变实体自身的性能.对于教师实体,这种改变表现为教师根据教学效果自动改进教学策略等.对于学生,这种改变表现为学生能根据自身(用户)的爱好选择或自动调整交互方式,同时还可改变自我表达(学生模型),为教师选择教学方式提供依据。

②增加系统设计的模块(Modular)化.系统的教师实体和学生实体承担了 ICAI 系统的绝大部分功能.其中基本功能均由这两个实体的对象层来完成;系统的自适应性由两实体的反射层来完成.不同层次上的任务都对应有不同的知识源。

本文所述的 ICAI 模型仅是知识层次上的系统框架.具体的 ICAI 系统还需涉及如何表达各类知识^[8],以及各类知识的具体内容.当然这些都与 ICAI 系统的课程内容,教学对象等密切相关。

参考文献

- 1 Maes Pattie. Computational reflection. PhD. Thesis, Laboratory for Artificial Intelligence, Vrije Univ., Brussel, Belgium, Jan. 1987.
- 2 奚建清,胡守仁.计算反射和面向对象程序设计(I).计算机科学,1991,18(3):18-22.
- 3 Steels Luc. Meaning in knowledge representation. In: Maes P, Nardi D eds, Meta-Level Architectures and Re-

- flection, Elsevier Science Publishers, 1988.
- 4 Tennyson R D. Mais; an educational alternative of ICAI. *Educational Technology*, May 1987.
 - 5 Hajory Halyna, Christensen Dean L. Intelligence computer—assisted instruction; the next generation. *Educational Technology*, May 1987.
 - 6 何克杭. 研制新一代 ICAI 的构想. 93'CAI 研讨会, 北京, 1993.
 - 7 Bumbaca Federico. Intelligence computer—assisted instruction; a theoretical frame—work. *International Journal Man—Machies Studies*, 1988, **29**: 227—255.
 - 8 王申康, 何钦铭, 黄连金. ICAI 学习环境中面向学生行为的知识表达. 第二届中国人工智能联合大会, CJCAI'92, 杭州, 1992.

COMPUTATIONAL REFLECTIVE ICAI MODEL

He Qinming Wang Shengkang

(Artificial Intelligence Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract Intelligent computer — assisted instruction (ICAI) system is a complex knowledge base system concerning many areas' knowledge. Ideal ICAI system should have strong adaptability in order to accomplish the goal of specialized education. Computational reflection is a kind of computing activity which causally refers to itself. Based on the concepts of computational reflection, this paper discusses a computational reflective model of knowledge base system, and applies this model into the design of ICAI system. Further more, a preliminary ICAI model containing teacher and student entities is presented. Each knowledge entity in the ICAI model consists of objective and reflective levels. In different levels, there are different tasks which depend on different knowledge sources.

Key words Intelligent computer—assisted instruction, computational reflection, knowledge reflection.