

计算机科学的某些方向

Herbert A. Simon等(卡内基-梅隆大学计算机学院)

最近我们收到美国卡内基-梅隆大学(CMU) 计算机学院的一份研究指南(Faculty Research Guide 1989—1990), 其中有不少是世界著名计算机科学家所写。我们作了摘译, 介绍该学院部分学者的研究方向以供国内同行参考。

——赵沁平(北航)

Herbert A. Simon

我对AI感兴趣, 特别是用计算机模拟人的思维、发现和学习过程, 我的研究目前主要集中在四个方面。

发现科学定律的程序 过去十年我与同事们从事弄清楚创造性科学工作中的心理过程方面的工作, 并且构造模拟科学发现的计算机程序。1987年MIT出版社出版的《科学发现》一书收录了这项工作的首批成果, 包括程序BACON, GLAUBER, STAHL, BLACK和DALTON。已完成的大多数工作都涉及通过归纳从数据得到科学发现, 也有一些是从先验理论中发现新概念和某些探索路径, 我们已建立的系统能够重新发现相当数量的科学定律和重要的概念。

现在的工作正转向科学的其它方面, 特别是指导实验程序和设计实验过程, 以及开发和改造合适的问题表示过程。近期与Deepak Kulkarni合作的程序能模拟生物组织中尿素合成的Hans Krebs化学发现过程。有关表示(特别是图表或图形表示)才刚刚开始。

模拟专家和新手技能 我与同事和学生合作, 正在研究在各种问题领域, 特别是在物理学中, 新手和专家求解问题的行为。目的是构造模拟新手和专家行为的程

序, 并通过比较这些程序, 指导把新手变成专家的学习程序的构造。这些探索在问题表示对问题求解所起的作用方面产生了一些有趣发现, 我们打算把这些发现推广到更多的领域, 如化学和分子生物学。

学习程序 最近在构造适应性产生式系统方面取得了不少进展。这类系统使用试错法在求解问题中学习, 然后从它们的经验中学习更强的技术, 或者通过分析问题的解从已得到的例子进行学习。这些技术, 显然可用于自动程序设计, 但我们的探讨较为肤浅。

以前的研究成果(指David Neves的学位论文)已用于代数和几何课程设计, 使学生能向已有的例子和问题学习, 而不必全凭讲课和课本。(这套课程正在成功地用作中国北京一所中学的实验基础。这项工作对我们将要研究的教学系统和计算机辅助教学也很有意义)。

一个正在研究的重要问题是死记硬背式学习程序与理解式学习程序的区别, 以及这一区别对学到的知识及其向新任务的转换能力方面所具有的意义。

最近Weimin Shen关于“在复杂环境下具有学习能力的有效工作系统”的学位论文表明, 我们对学习和发现的理解更进了一

步。

图表表示和形象化描述 我们深知使用图表或其它图形显示能大大方便许多领域的问题求解。据此，我，Jill Larkin和其他人正在研究图表在问题求解中的作用及其各种计算机表示，以便能获得与笔-纸图表或CRT显示为人们所提供的同样优点。已构造的程序显示出图表在具体领域（例如物理问题，几何定理）中的价值。最近我们正在研究如何利用图表方便地理解狭义相对论。

我们打算在以下方面开展工作：第一，考察大量使用的例子；第二，为计算机图形学探索图表理解的意义；第三，研究如何生成能有效处理计算机或实验所面临的问题领域的表示（图表或其它方式）。

Allen Newell

我的基本兴趣是探讨智能行为的一般特征和人类认知的具体特征。我也涉足于计算机科学的其它方面：表处理（LISP），实现系统（L*），产生式系统（PSG，OPS），产生式系统的并行体系结构（PSM），计算机描述语言（ISP，PMS），人-机交互（ICG，GOMS，键盘输入模型）。这些研究有基础性的，也有应用性的。

我现在的研究兴趣都体现在叫做SOAR（一种通用智能体系结构）的系统和项目中。SOAR项目是高度集成化的，但在地理上分布于CMU，USC信息科学院（ISI）和密歇根大学，负责人分别是Allen Newell、Paul Rosenbloom和John Laird。CMU的许多研究生和教工（有的是心理学系，社会决策科学系）参加了本项目。在密歇根大学和ISI也有类似的课题组，在斯坦福、Digital，Xerox PARC、MRC应用心理学研究单位、英国剑桥、格罗尼杰大学、荷兰和俄亥俄州也有小的课题组。

SOAR是一个用于认知的通用体系结构，即问题求解与学习的集成系统。所有的任务（疑难的或常规的）都形式化为问题空间中的启发式搜索，并形成层次，渗透整个体系

结构。由产生式系统执行问题空间的搜索控制，当遇到困难（进入死胡同）时，SOAR能自己创建子目标。SOAR使用了统一的过程学习方法（生成团块），通过构造新的产生式来保存目标结果的知识并不断从经验中学习。

SOAR经历了若干年演变，已显示出多种智能行为。它把知识密集型问题求解（如典型的基于规则的专家系统）和知识贫乏型问题求解相结合（如通用问题求解器）。SOAR使用了多种方法（如爬山法，手段-目的分析法及约束传播），能向问题空间各方面（如操作，搜索控制、问题空间，初始状态）学习并把学习到的东西用于新情况。它能从外部源获取知识以定义其顶层任务并指导问题求解。其任务类型包括从小的示例性任务（为了比较而重构诸如R1和Neomycin之类已有的重要AI系统）直到AI前沿的大任务（算法设计）。这一切在一定程度上体现了SOAR的成功，但同时也揭示了困难，提出了挑战。最值得一提的是学习已成为普遍问题，即如何以新的方式（即依赖于实际经验）把所有当前操作与将来的行为联系在一起，从而系统不再是简单地执行所要求的方式。

下面是SOAR项目涉及到的科学领域：

集成化智能系统的体系结构 一般智能行为的基本体系结构（即外壳和语言组织层）是当前AI研究的主要问题（如在密歇根大学把Soar作为机器人控制器）。CMU是这一研究的中心。最近PRODIGY、SOAR和THEO项目已决定更密切地合作，以相互加速进展。

能力的深度和宽度 SOAR以处在AI能力前沿的姿态从事智能化的困难任务，沿着对AI系统的基本测试这一方向进展。一个重要例子是算法设计（Designer-Soar），但在工程设计和智能教学中的探索还刚刚开始。也有必要将其能力扩充到易于处理多种任务，其中一个方面是获取知识的通讯能力，

可着手于自然语言通讯和强上下文依赖任务获取（类似于专家系统的知识获取模式）。其它方面，如大量知识和技能的组织等也属于研究的范围。

人类认识的统一理论 SOAR 不仅是一种通用智能体系结构，而且在时间尺度（从10微秒到10分钟），学习和操作上都体现了人类认知的理论。SOAR工作时主要注意解释和预言具体实验数据，例如打字和按键，三段论推理，减法，处理外部表示，问题求解中的存储，人工智能语言的学习，动词学习及执行简单指示。这些例子都是具有刺激-反应-一致性问题的立即反应性任务。

有效的产生式系统 SOAR把产生式系统作为基础软件技术，因此产生式系统的效率至关重要。我们需要的系统应比当前的系统快几个数量级并在不过多损失效率的前提下允许无限地加入新产生式。我们继续研究执行产生式系统的基本算法、产生式系统的有效实现和来自并行性的效益。我们已在Encore共享存储多处理机上完成了OPS5和SOAR的并行实现，目前正在SCS研制的消息传递多处理机Nector上实现。另外，也正在考虑基本认知系统的新计算模型，这项工作是对以前的产生式系统机（PSM）的扩展。

人-机交互（HCI） 本研究的主要目标是开发计算机用户的工程风格认知理论，辅助设计和评估新的界面（HCI）。实质是，我们希望能够预测计算机用户将怎样动作。把SOAR上的工作作为统一的认知理论是很先进的，我们希望把所有以前在这些方面的HCI工作引入SOAR理论并在新的基础上进行扩展。这项工作包括把理论应用于现实情况的尝试，例如评估智能教学系统的交互作用。

研究潜力 对于SOAR的最终研究目标是使其成为通用智能主体，拥有并能使用所有的推理、学习和智能机制，能与现实环境有效交互。上述这些主题表明了如何精心实

现SOAR的基本目标，SOAR几乎能以无限的方式扩展并接受挑战。这里仅简述了其中一些有趣的方式及可能的努力方向。

H. T. Kung

我和我的学生研究高性能计算机系统的诸多方面。从应用着手，研究算法、计算模型、体系结构、硬件和软件系统设计、芯片设计以及系统的集成。研究的重点是并行与分布式计算。我们相信，要想使未来的高速计算机系统在性能方面获得100到1000倍的改善，就必须立足于并行和分布式结构。为了弄清这些新型计算机系统的最有效方式，必须建造原型系统，并在其上进行实验。我们的目标是如何建造在诸如信号处理，科学计算这样一些大规模的应用领域中能够每秒传递 $10^9 \sim 10^{11}$ 次操作的可度量、可编程的系统。

在1984~1987年间，我们开发了一台名叫Warp的100兆浮点运算收缩阵列机。目前，该机已由我们的工业合作者（GE）生产，正被用于多种应用领域。我们正在与Intel公司合作，开发一种名叫iWarp的超大规模Warp芯片。预期在九十年代中期，我们将构成一个iWarp演示系统，它是一个iWarp处理器的 8×8 环面，可传递1.28千兆的浮点运算。同样的系统设计可扩充为 32×32 环面，达到20.48千兆的浮点运算。

我们开发的另一个多计算机系统叫做Nector(Network Computer Architecture)。这个系统采用了高速光纤连接、大规模纵横开关和一些专用网络协处理器。1989年初，一台使用每秒100兆位链路的原型系统已投入运行。

在以上课题的基础上，我们有能力研究实用系统，我对以下问题感兴趣：

- 二维（2D）iWarp阵列和Nector系统的并行与分布式算法和应用；
- iWarp和Nector的并行与分布式程序的自动生成工具；
- iWarp和Nector上的动态加载平衡软件；

- 在Nector基础上涉及超级计算机、并行机、磁盘组 (disk farms) 以及可视化(Visualization) 工作站的多机种计算环境。

- Nector中的网络存贮器的编辑时刻管理。

- Nector中的负级共享存贮模型。

- 我们近年内要开发的千兆位Nector体系结构。

Dana S. Scott

我以前在逻辑方面的工作主要涉及模型论、自动机、集合论、模态逻辑和直觉主义逻辑、构造性数学以及类型理论与逻辑的结合等。在哲理上,我对逻辑基础,数学原理以及自然语言的语义分析感兴趣。在计算机科学方面,我的主攻方向是发展各种程序设计语言的指称语义和一种合适的可计算理论的数学基础。我目前从事的课题的目标是将语义学方法与构造性逻辑的形式体系相结合,以便能够为正确程序的推导 (inferential) 构造给出严格的、机器可执行的证明方法和开发工具。这里所用到的部份技术是基于将一些可计算的结构模型化为服从外延闭包条件的特殊范畴中的偏序集合。这一理论的一些有关数学已发表在一本名为“连续格概论”(“A Compendium of Continuous Lattices”Springer-Verlag 1980)的论文集和一系列研究报告中。我目前研究的其它一些课题涉及信息检索、电子学刊物(即,关于电子学教材结构的一般性研究)和计算语言学以及计算机代数等方面的工作。

Jaime G. Carbonell

我的兴趣涉及人工智能的好几个领域。具体地讲,我当前的工作集中在自然语言处理、机器翻译、类比推理、机器学习(包括全自动和半自动知识获取)、新一代专家系统的推理机、基于框架的知识表达技术。我的最终目标是发现和形式化构成理性智能行为的原理,包括从认识不变式(例如学习方法)到面向领域的问题求解策略。虽然这一道路是漫长的而且可能没有终点,但沿着这条道路将产生有趣的思想 and AI系统,而且其

中有些能解决实际问题。下面是我与研究生、研究组和学院同事当前合作的研究项目:

机器学习 学习是智能的标志。自从早期呼吁“自组织”系统以来,赋予机器获取概念和精化技能的能力就已成为AI关切的中心问题。虽然当前研究的学习方法种类较多,但我的注意力集中在面向目标的问题求解场景(在这里知识获取是组成认知体系结构的成分)中的符号学习。

PRODIGY项目 PRODIGY是一种集成问题求解、规划、类比推理和学习的“虚”体系结构,以它为台基可以进行各种专门的机器学习课题研究。PRODIGY的基本推理机是非线性的,基于操作的,用显式元“控制规则”指导搜索的规划器。所有知识源(领域操作、控制规划等)是陈述性的,并且对学习部件的动态检测、修改和扩充具有开放性。因此与SOAR的原子操作和团块“黑箱”原理相反,它建立了“玻璃箱”(glass box)原理。不同于SOAR的另一点是PRODIGY的学习是深思熟虑的 (deliberative) 而不是反省 (reflex),即PRODIGY通过估计可能的新知识在当前和将来的使用率及通用性决定何时学及学什么。还有,PRODIGY获取两种基本类型知识:一是事实性领域知识(编码新的领域操作或改进现有操作),二是控制知识(编码控制规则或“实例库”,记录以前的规划经验本质)。正在研究中的学习组件有:

- 基于解释的学习:基于解释的学习是一种分析式学习方法,该方法通过抽取导致成功(或失败)的必要最弱前提条件,解释为什么一个问题(或子问题)的某个具体解能行(或不行)。然后,PRODIGY把这些条件进行转换并编译成操作控制规划,以便将来这些必要的前提条件再次满足时能重复成功的行为过程(或避免灾难性失败)。PRODIGY在下列四个方面推进了基于解释的学习,(1)多目标概念学习(例如成功、失败、

目标相互作用)；(2)规划器和问题求解器的全面结合；(3)自动“浓缩”学到的知识，将其表示转换成更加紧凑的便于应用的形式；(4)对新获取的控制规划进行使用率分析显示，只有当预期搜索归约这些控制规划的效益比其总的测试/应用成本合算时才予以保留。

• **类比推理**：已经开发了两种将过去的问题求解经验应用到类似新情况的方法：转换类比和派生类比。前者检索与当前问题相似的去问题的解，并使该解逐步满足新问题要求的解；后者采用重构而不是转换，重构的实质是在新情况中重新检查检索到的解中各因果证明，并对以往情况中采用的对应决策和行动进行比较、保留、修改、替换或扩充。现正在PRODIGY体系结构中集成派生类比。

• **实验学习**：为了处理不完备或不准确的领域知识，机器学习系统必须能够识别这类问题并采取行动来纠正它们。PRODIGY的识别采用交错规划与执行监视，以决定何时内部期望偏离了外部观察，以及偏离方式（例如不期望结果，行动受阻，不可解释观察等）。偏离的纠正包括形式化假设（与当前知识具有最大一致性），根据外部环境进行规划实验以便证实、否认或精化假设，从而这些假设（以对象知识或新的规划操作的形式）又导致新的事实性领域知识。虽然目前只实现了一个简单的实验模型，但是PRODIGY体系结构与World Modeller机器人模拟器的互连为这一领域的许多工作提供了广泛的基础。

除了上面这些学习策略，还有一些有意义的研究成果体现在PRODIGY系统的其它部分，它们是：多级抽象规划，指导何时规划执行或学习的元级推理，知识获取和为领域专家服务的动态知识精化界面，与外部World Modellers模拟环境的连接。由于基本的PRODIGY体系结构已经成为健壮而能行的技术，因而可以探索许多新途径和新方

向。

World Modellers 项目 已经证明模拟的、“实时的”、反应性的环境是研究多种可能学习机制的很有希望的工具。已在SUN(具有多窗口显示界面)上研制出这样的软件模拟系统，该系统能与运行模拟环境中共存有其它生物体/机器人程序的工作站通信。我们正在考察实时规划、感知识别的某些问题、目标引导的行为等方面的学习、以及集成PRODIGY、SOAR、THEO及其它学习项目，以便所有项目都能使用这一模拟测试台。

FERMI项目 FERMI是一个组合通用知识与领域专门信息的问题求解器，当缺乏领域知识时就调用通用知识。FERMI使用自然科学中的诸如平衡、不变性、守恒及分解等通用概念以便在缺乏足够的领域知识进行直接求解时处理问题。因此，即使当新问题超出其知识范围时FERMI也不象其它问题求解器那样出现脆弱性。然而，借助基本原理是一个很耗时的过程，往往需考察很大的搜索空间。最近我们开发了一种归约条件和叠代的宏操作(AI难题)的方法，其本质是把成功的启发式搜索策略编译成为有效的算法外壳。

自然语言处理 自然语言理解在AI中已受到广泛注意，但象多语法分析、对话理解、语言生成、隐喻解释及综合自然语言处理和语音识别等主要问题都悬而未决。

健壮的人-机通信 AI中专家系统、面向用户的软件工具和数据库管理系统都需要健壮的自然语言界面。在XCALIBUR和MULTIPAR中我们为良定义领域(例如RI/XSEL专家系统和其它应用)的语法分析开发了事例框架方法(case-frame approach)。我们的方法是结合已有几种单策略语法分析程序的优点，利用语言冗余性并引入领域语义的多策略分析方法。这些方法能容忍超出语法的输入，并且能自动地习惯于观察到的使用模式和各用户所偏爱的相应语法定义，从

而提供友善的用户界面。

通用语法分析程序 实现真正的可实用的多语言解释就需要有与语言知识和领域知识无关的语法分析程序，而有效性又要求语法定义和领域语义是分析程序本身的一部分。我们的解决办法是把语法定义和语义定义与其实际使用相分离。通用分析程序应使用意思清楚而理论上目的明确的语法定义（**Lexical Functional Grammar**的最新扩充版）和基于框架的领域语义，并且这些语法定义和领域语义被预编译成便于有效地机器解释的更大的综合数据结构。因此，当加入新的语言语法时可能访问以前的所有语义领域，而当加入新领域时已有的语言都可以引用它。

语言生成 从情节和语义存储中生成自然语言、以及从规划行为的处理路径中生成自然语言都还未在AI中广泛分析。然而，在这一领域进行有用的工作的机会很多——复杂的AI程序不会永远与此无缘。我们已着手建造一个通用生成器以补充我们的通用分析程序项目。

基于知识的机器翻译 把通用分析程序和通用生成器与语法语义知识库结合在一起就形成一个初步的基于知识的机器翻译系统。源领域经语法分析后成为内部无歧义的而且规范的基于框架的语义表示，该表示又用于生成多目标语言。我们的目标是形成需要人再编辑的意义不变的翻译。我们也研究如何实现完成翻译或区分有问题输入的领域知识的交互式模块。

Tom Mitchell

我的研究兴趣主要在人工智能，特别是机器学习，问题求解体系结构和机器人学。目前的研究项目包括关于问题求解和学习的基础研究，从失败中学习的手-眼机器人，化学中的自动理论形成，Mars Rover机器人的规划和错误恢复。下面简要总结这些项目。

学习手-眼系统 本项目与Matt Mason

合作，目标是研究能处理自身世界中的知觉、感情和问题求解的集成机器人系统环境中的学习。为此，围绕PUMA机器人手臂和IRI视觉系统，我们建造了一个能操纵和观察其世界（桌上）的对象的系统。给定作用指令（如Push, Move-Arm）的初始特征，系统就能规划出到达这一目标的动作序列。若其传感器表明这些动作不能达到预期结果，则系统就从失败中恢复原状并精化其知识，避免以后出现类似困难。目前的研究集中在给予系统简单的初级物理理论，使系统能够生成失败的似然解释，并使用这些解释促进失败的恢复和理论的精化。

自主机器人的规划、错误恢复和学习

本项目的目标是为CMU当前研制的Mars Rover开发规划、错误恢复和学习方法。已知地球与火星之间有半小时的无线电发射延迟，Rover必须在不可预测的环境中自主的运转。这里的基础研究问题包括怎样最好地交错进行规划、规划执行和感知，如何建造通用而足以经受各种未预料到的失败的健壮系统，如何组织系统使其能够根据经验扩展其环境知识和问题求解策略，怎样在地球上的任务控制与火星上的计算机之间共享问题求解。这是一个包括Takeo Kanade, Reid Simmons及Chuck Thorpe在内的许多计算机科学家与机器人学教授们仍合作的项目。

化学中的自动理论形成 本项目试图研究具体环境下自动形成科学理论中的问题。具体地讲，是基于化学系Jon Lindsey教授研制的正在工作的化学实验室机器人。这台机器人能够执行简单的象烹饪似的化学反应规划，例如把浓度 C_1 的反应物 R_1 和浓度 C_2 的反应物 R_2 组合在一起，等10分钟，加入反应物 R_3 ，并监视在2分钟内反应物的相对浓度。我们正在研制自动实验规划器，数据分析器和理论精化器，它们将直接与化学机器人连接，并辅助化学家从事研究。这里的AI研究问题包括大量的理论形成和实验规划问题，也有与正在监视反应并得到系统帮助的化学

机器学习

费宗铭 吕建 王志坚 陈道蓄 徐家福
(南京大学计算机软件研究所)

摘要

This paper outlines our understanding of some aspects of Machine Learning (ML). It then analyzes the state of the art of two important fields (i. e. inductive learning and explanation-based learning) in symbolic ML. It also presents some ideas of our future work.

目前,机器学习研究方兴未艾,同时,对一些基本概念、基本问题的提法尚各执一词。本文首先概述了我们关于机器学习有关问题的基本认识,在此基础上,分析了符号机器学习研究中比较重要的两个领域(归纳学习和基于解释的学习)的研究现状,最后提出了我们的一些想法。

一、关于机器学习的一些看法

何谓机器学习?我们认为,机器学习从内在行为看,是从未知到知的过程,是知识

增加的过程。从外在表现看,是系统的某些适应性改变,使得系统能完成原来不能完成的任务或把原来能完成的任务做得更好。这是一个问题的两个方面,各有侧重,归纳学习就侧重于概念获取即知识增加的一面,而基于解释的学习则侧重于技能提高的一面。同时,两方面又互为补充,知识增加后可表现出能力提高,而能力提高也可看作是知识(如控制知识)的增加。

心理学研究表明,人之所以具有智能,特别是学习的能力,是因为遗传使人生来就有自调整、自适应的机制。机器要具有学习

家交互的问题和向化学家学习的问题。

学习和问题求解 本项目与 Jeff Schlimmer合作,寻求用于表示、问题求解和学习的通用体系结构。它的主要假设有:(1)学习要求有推广具体经验(如训练实例)的能力;(2)通过构造具体经验的似然解释并只记住这些解释中起重要作用的细节,就可推广这些具体经验;(3)只有使系统具有能全面思考其操作和构造解释的高度统一表示,它才能改进其操作的各个方面;(4)大多数学习涉及改变问题表示。在我们

现在的THEO系统中采用的思想是所有的信念都表示成框架的槽值,而问题求解对应于推导所需要的槽值,并且问题求解方法本身也以槽值方式表示。所有推出的槽值的解释被存贮起来并用于指导学习。这里有待研究的问题包括开发更复杂的学习方法,引入类比推理和自动改变表示的方法,以及理解THEO和其它体系结构的关系。

[李波 康建初 罗玉龙摘译自《Faculty Research Guide 1990—1991》CMU,赵沁平校]