

科技新路

NEW PATHWAYS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY

编者按：1985年5月在美国出版的一本题为《科技新路 (New Pathways in Science and Technology)》的论文集，汇集了关于美国科学技术21个前沿领域发展概况和远景的调研报告。这些报告是在美国科学、工程和公共政策委员会、美国科学院、美国工程学院和美国医学研究院的指导下，在1982~1984年期间由各自领域的专家小组经广泛调查研究后草拟的。报告不是各领域发展的全面综合述评，但提出了美国在制定有关科学技术政策时应特殊关注的问题。报告都已提交美国政府各有关机构，包括总统科学技术政策办公室、国家科学基金会及其他机构，作为制定国家科学技术政策的依据。本刊选择其中一部分，陆续予以译载，供有关人员参考。

认知科学和人工智能

COGNITIVE SCIENCE AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

从科学的世界观引起的一个基本问题出发：在一个完全由自然规律支配的世界里精神是如何改变存在的？随着实验心理学的问世，把这个问题改变一个说法：什么规律和规则支配着人的行为？随着对生物学了解的深入，把这个问题再变化一下：大脑如何给出我们称之为精神的现象？随着计算机科学的出现，把这个问题扩展一下：什么是智能活动与用来实现它的器件（大脑、计算机等）无关的一般性质？所有这些问题反映了一个重大的科学奥秘，其重要性可以同宇宙的演化、生命的起源或基本粒子的性质不相上下。

西方科学研究中，有大量工作以其各自不同的方法去探讨这一基本问题的不同方面，然而，结果都并不完美。认知科学和人工智能联系在一起，把信息处理作为智能行为的中心活动，而且把现代计算机科学的框架作为了解信息处理系统的基础。认知科学探讨人如何处理信息，是认

知心理学、语言学和哲学的一个分支。人工智能探讨计算机如何处理信息，是计算机科学的一部分。近年来，这些方面的迅速发展正在促进人们对精神和智能的本质的了解。

本文涉及的研究问题包括下面三个主要方面：

1. 解答关于智能的本质这个基本科学问题，以及智能如何来自原始的认知功能的问题。一个孕育着希望的子课题是将这方面的理解同神经科学方面的研究结合起来，在建立大脑的智能机制方面取得新的进展。

2. 通过构造具有必要的智能、感知和学习能力的计算机系统解决越来越复杂的问题——充分利用正由硬件技术所提供的计算速度和存储能力。

3. 把了解人类如何学习和完成认知过程与有效的智能系统结合起来，帮助发展人类的才能。

认知科学和人工智能的研究领域

如何表征这个广阔的领域？首先看一看研究人员一般在做些什么研究工作。一位人工智能研究工作者正在构造一个计算机程序，来检测数据中的趋向和不变性，并推导物理定律。这个程序（称之为Bacon）已重新发现了开普勒的行星运动第三定律和伽里略关于摆的定律，以及其他一些定律。这位研究工作者试图建立一个程序，它能完成需要进行这类迄今假定只属于人类智能范围的推理工作。此外，他正在通过评价和改进用来指导程序进行搜索物理定律的近似规则（启发规则），设计更一般的发现程序，

一位认知心理学家正在测量人们观看视觉画面时的心理活动（例如，在印象中旋转一个图形）的速度，观测到人们思维时旋转一个图形所需的时间与旋转角度成正比，这里旋转角度是外部规定的。这位研究工作者正在检验有关信息图象表示形式的假设，而且正在建立一个能模拟人们观看图象时的心理活动的模型，进而进行推理和问题求解。

认知科学和人工智能相结合，其研究领域的范围比上述两个例子提到的更宽广得多。一个方向是形式化地研究作为所有智能行为基础的可计算系统的抽象性质。另一个方向是用实验的方法研究观测人员如何在噪声背景中分辨毫妙级的信号。另外还有分析语言通讯以找出人们解决语言模糊性的规则。

这些不同的研究工作的共同核心都是为了了解智能和智能行为。我们对关于智能的一般理论的期望是什么？最直观地说，它应帮助我们了解在人们思想中，智能功能的构成是如何发展的，它们对可能取得的成就的限制，以及改进的潜力。与此同时，理论应当帮助我们了解计算机如何能执行类似人类的活动，以及它们在哪些方面可以超过人的能力。更广泛地说，适用的智能理论应引导解决超出我们平常经验的问题。考虑到一些物理学家和天文学家目前在搜寻宇宙其他地方存在智能生命的证据，自然会提出这样一个问题：能不能认知在结构上与我们很不相同的智能？有没有可能对智能功能等级或质量的差别规定理论界线？人的智能是否受到在人工系统中不必考虑的生物学方面的限制？

由 来

人工智能作为一个公认的研究领域只有25年稍多一点的时间。它的理论基础是30年代与40年代有关数理逻辑和可计算性理论的发展。从1950

年起，数字计算机的迅速发展提出了一个挑战，即要使这些机器完成以前仅由人的智能才能完成的任务。计算机第一次提供了可以严格地定义、建立、测试智能行为的理论的机制，从而为迅速前进提供了所需的反馈。关于人工智能的第一批研究工作是众所周知的试图编制计算机的程序，让它们玩智能游戏，最引人注目的是下国际象棋。但是当弄清楚智能是以符号处理的能力为基础的，而计算机是一般的符号处理器而不仅仅是高速的数值计算器时，研究范围便迅速扩大到了归纳、问题求解、逻辑定理证明、语言理解和视觉等问题。

70年代后期认知科学作为一门交叉学科出现在人们面前，它包括采用信息处理方法的所有科学*。它不是从空中掉下来的。实验心理学家们长达75年的工作已把人的认知放到实验室中研究，并搞出了模型，足以对思维的速度以及在经历一段学习之后存贮在记忆中的信息量进行有意义的度量。然而，能够弄清人是如何处理比简单的实验工作要复杂得多的问题的能力则是在60年代在以下两方面取得进展以后。

第一是为认知科学创造合适的概念框架。计算机科学和人工智能方面的发展产生了把人看作信息处理机——也许是一种特殊的处理机的观点，但这种处理机仍与以计算机为基础的信息处理系统具有共同的基本原理的约束。计算机使我们明白，如何把搞清人的思想和大脑各方面情况这个错综复杂的任务划分为较为容易处理的两个部分，关键是将计算机硬件和软件区别开。人可以通过研究计算机的硬件（它的电路、记录介质和定时机构）了解它如何工作。即使只有少得可怜的硬件知识，人仍能掌握软件，成为很熟练的程序员。

在研究人的智能时，科学的目标是在与软件对应的级别上构造出关于人的认知功能的结构和过程的理论图象——即关于用信息在存贮器中进行编码和构成的方式的理论，存取和变换信息所用的认知活动，以及支配活动顺序和活动组合的功能原理。认知科学家们继续希望在科学分析的较低等级上最终解释精神行为，但他们已知道如何去着手发展有用的理论而不必等待神经科学的发展。这些认知理论是彻底的机械论，其机制与大脑机制的实现是毫无联系的。

新的认知科学的概念和方法的第二个主要来源是语言学的发展。人们已经普遍地认识到语言

* 这样，人工智能将包括在认知科学之内，这里我们把两者分开讨论，是为了强调人类学科和工程学科的互相结合。

在人的思维中的重要性。但是清楚地了解掌握一种语言意味着什么,从而找出如何学习和使用语言的方法,首先来源于60年代理论语言学的发展,特别是乔姆斯基制订的生成语法——用一些抽象规则确切地产生符合语法的句子。日益成熟而且同心理学有关的语法理论已为以语言为基础的认知活动的解释提供一个框架,并以清楚和易于研究的形式提出如何弄懂语言和年青人如何掌握语言这一主要问题。

从理论到研究

人工智能和认知科学方面的研究在很大程度上是由理论推动的。用经验方法进行的研究正在不断发展,其目的在于发现与一般理论有关的证据,而不是为了积累经验事实和试图归纳出定律或原理。这样,考察涉及系统设计和功能的理论问题将直接导出研究中的主要方面,这些研究方向是极有发展前途的。

系统设计 System Design)

在人工智能中,系统设计是根据计算机组成方式和可在其上实现的程序的类型之间的关系进行的。关键概念是配置(architecture),即可编程机器的结构,也就是产生上述硬件与软件间差别的结构。一个系统的任何特定部分可用硬件或软件实现,在综合考虑费用、执行速度、使用频度、功能能力和灵活性的基础上选择。关键问题是,什么机制必须包括在硬件中,以便使系统具有智能;什么机制如果不包括在系统配置中,将难于实现基本智能(如学习和问题求解),或速度太慢,从而导致不可行。

我们已逐渐了解,配置的一个主要方面是它规定符号行为,即它使计算机具有反映其他事物的内部表示。计算机的符号(基本的是其地址和操作码)看起来是专门的,仅反映其本身存储器数据结构 and 它本身的信息处理过程。这种反映模式决定了反映外部世界事物(物体、活动、事件和抽象概念)的能力。内部符号可存取数据结构和把数据结构解释成它所表示的外部事物的程序。这些数据结构和程序由一些具有关于外部事物信息的处理过程组成。由于这一点,我们可以编写计算机程序来处理许多事情——人类所思考的任何事情。但是,当给出有关外部事物的信息时,系统本身也可以构造这样的符号和它们的意义。这样,我们第一次看到,符号和符号行为是如何在一个物理系统中实现的。

将人工智能和人的认知联系在一起提出下述假设,所有智能,包括人的智能来源于应用符号的能力。这一假设,为进行科学研究提供一个框

架。所谓符号指的就是上述的物理符号系统,这是在计算机科学中首先要了解的。没有这一规定,上述假设将仅仅成为长期以来人们一直认为的符号在人的精神生活中具有重要作用这一观点的另一形式。但是凭借计算机与物质世界紧密联系的符号和符号系统这两个概念使得这个假设把所有较高级的思维过程与在其他自然科学中具有相同机制的科学领域牢固地联系起来。

关于这类符号系统(所谓通用计算机系统)的抽象结构已知道得很多,因此上述假设不是人有点象计算机,而是人和计算机都具备了这些系统,因而得到了智能和信息处理能力。

计算机的配置由设计人员确定,而人的认知系统的配置却是由自然给出的,要找出后者的性质是一个重大的科学问题。例如,人显然不能象目前的计算机那样,通过获取下一个指令,然后加以执行这样一个简单的解释循环执行动作。人是由多得多的认知过程驱动的,根据每一瞬间的情况(包括目标和瞬间活动的记忆),直接确定要采取的下一步动作。人的认知系统似乎是高度通用的,只是在适应一项具体任务的过程中采取特定形式。但结构的约束(认知结构中确定哪些智能功能容易执行,哪些难于执行的那些东西)显然是很重要的。我们知道,人的大脑具有高度发展的执行具体功能的专门结构。搞清这些约束的性质是认知科学的主要研究任务。

系统功能(System Function)

在人工智能中,是通过在结构提供的范围内进行程序设计,使计算机具备智能功能的。无穷尽的各种智能行为来源于智能系统对其自身编程(创造符号结构以指导其自身未来的行为)的能力。自身可编程性并不能说明智能的产生,即使给出一个适当的结构也是如此。什么类型的编程导致智能活动?现在这个问题也大致清楚。两个基本要素是搜索和知识。

搜索来源于确定一个大到足以容纳要寻找的解的可能性空间,然后通过产生空间的状态来搜索解答。也就是来源于人们所熟悉的下棋程序中棋子未来可取位置的成指数扩展的搜索,或者是在寻找满足未知试样光谱图数据的异构体过程中,通过Dendral程序搜索给定化学分子式可能存在的异构体,从而发现其结构式所进行的搜索。的确,智能的所有基本方法似乎都涉及搜索。

知识,对指导空间中的搜索是必需的,以避免大海捞针。人工智能系统的一个重要部件是存储器组织,它持有知识,允许在适当的时间内找到一部分适当的知识。例如,发现大量的“如何进行”知识都可用if—then规则(产生式)的集合来

表示,这使专家系统(能表现出知识界中专家级水平的程序)取得了巨大进展。这里每条行为规则带有规则起作用的条件(“if”部分)以及假定要做的事情(“then”部分)。与关于“如何进行”的知识不同,事实知识整体被组织成关联网络,因此存取知识库的一部分就能提供可据以得到其他有关部分的关联。这些网络超出了简单的关联概念。例如,它们必须被合理地进行组织,使得可以广泛应用的知识不是冗余地与用它来解决的具体事物存贮在一起。关于一辆小汽车的知识必须由这辆小汽车的特定知识加上有关所有同一式样小汽车的知识组成。但是后者又类似地由关于这种式样小汽车的特定知识加上小汽车的一般知识组成。这个进程一直继续到包括事体的最一般性质、组成知识的层次和关联结构。这些表示形式和存贮器组织的发现,以及它们对很多种任务的效能构成了关于智能系统的重要的科学知识。

除了知识库的组织外,另一个问题是知识库的内容。对于一个解决小汽车问题的计算机系统,它必须了解小汽车——不仅是关于福特和杰菲斯汽车的特定事实,而是构成这一领域的所有概念,如操纵、汽化器、发动机加热、发动机类型、发热量多少等等。人工智能系统与较为普通的计算机应用的不同之处正在于系统中涉及的知识不受很大的限制。根据同样的理由,我们目前的人工智能系统,尽管有很大进展,它们的知识与普通智能所需要的相比仍少得可怜。获取知识,尤其是专业知识,并将其放入系统本身就是一项重大的科学工作。对专家系统的研究所得到的重要结果之一是,专家一般不能向别人解释他们作出选择所依据的知识。只有在置身于具体的选择事例时,他们才能为他们的选择找出理由,而且这些理由随后必须综合在总的组织(如上面提到的“if—then规则”)中。

智能由所用语言与表达的性质构成一个重要的领域。人的智能与自然语言(例如英语)有密切关系,在这方面它与计算机中用的程序设计语言的表达形式不同。所产生的对人的思维的约束范围和使它们可以被包括在计算机中的程度还未完全搞清楚。人的思想也涉及一个重要的可能还未完全意识到的印象范畴。认知科学的一个新的研究方向是研究模型,它能使我们了解印象系统的“语言”的模型。

主要研究领域

了解上述背景之后,现在可以转向具体的研究领域。

结构配置(Architectures)

从上面的讨论可以明显地看出,配置是认知科学和人工智能研究的关键概念,它能带来大量重要的见解。对配置的研究是这一领域中一个活跃和重要的部分。

计算机主体配置

对配置的研究最活跃的是在人工智能方面,而不是在认知科学方面。这一研究关系到发现最好的结构,以支持最有效的问题求解和学习的机制。我们不仅要制造具有强大功能的计算机(人工智能超级计算机),而且配置中的许多组织事项仍有待发现和了解。例如,存贮器应如何构造和存取,以使在新情况和已存贮的知识与问题求解方法间能建立起联系?新的信息如何综合到现有的存贮器结构中,使得系统能够通过经验进行学习?对这些课题的研究将直接转换成更强有力的应用系统。它还提供关于可能的机制的大量知识,在此基础上可建立关于人的认知的理论。

大量的并行操作

庞大的并行系统的研究已成为配置研究的主要焦点。最初的计算机当然主要是单处理机(而人工智能研究集中于主要是串行的一些问题,例如问题求解)。但是,一段时间以来,计算机科学已把主要的注意力集中在研究如何利用并行计算,原因是研制速度更快的电路日益困难,以及对并行操作有利的集成电路技术的出现。并行操作有许多形式,取决于并行操作的处理机的数目,处理机间通讯耦合的密切程度(由重要的交互作用所执行的指令量度)以及处理机之间的数据流流量。

把庞大的并行配置设计成具有许多简单的处理机(数百万个),每一个处理机对应于系统中所表达的一个概念实体。这一点与目前的配置(包括并行的配置)不同,目前的配置将存贮器的某一部分对应于一个概念实体,通过将每一块数据输给一个处理机来共享处理能力,以便对这块数据作瞬时的修改。迫切的研究课题是学习如何用这些以百万计的并行配置有效地进行计算。然而,这类新的结构为认知科学和人工智能研究开辟的前景比只是增强功能远为深远。这一配置便同也具有大量并行计算的生物计算建立了新的联系。的确,这项研究正在有意识地参考生物系统,尤其是视觉系统。

人的认知主体结构

在计算机科学和人工智能研究中,对配置的研究采取的形式是设计出配置,再考察它们的性质。而在认知科学中,研究途径必须是假设可能的配置,再发现这些结构在认知过程中的含义是否符合对经验的观测。任务是繁重的,这是因为这

些似乎合理的假设的通用性是很广的，而且配置的性质与可观测的行为的联系是十分微小的。70年代，这一工作朝着现实化方向迈出了重要的一步。关键思想是从认知理论得到模型，当它们以运行的计算机程序的形式实现时，不仅体现了理论，而且还执行了认知功能。一个（设想得很好的）关于人如何学习的模型本身能学习，一个关于人如何解决问题的模型本身能解题。这一操作性质可在从理论到观测这一链条中提供重要的联系，使复杂的配置机制（以及它们的组合）的行为结果可以直接确定。虽然，尚未尝试建立人的认知结构的综合模型，但是，人们已经将几个有用的重要子领域的模型，如语言记忆、阅读、想象和技能的获得组合起来。为了取得基本进展，必须向综合的趋势发展。

感觉信息处理

我们对外部世界的大部分知识是通过眼睛或耳朵——视觉和语音得到的。因此，了解这些系统的工作情况是基本的科学问题，而且在技术上也很关键。对独立的机器人或可在工业安装或太空探测中模拟人的行为的类似装置来说，视觉是必需的。语音是人与机器间通讯的最终的自然手段。

视觉

人们对目视景象分析最终产品是主观的熟悉。我们认识到环境中物体的存在以及它们互相之间的空间关系，而且能计算距离，以便进行导航；同时，视觉经验留下一个残余印象，它多少能以视觉图象的形式被回想起来，这一点对自然现象推理有着重要作用。人们已经较好地了解了导致这些结果的过程的最初阶段。从视觉景象反射出来的光激活眼睛后部视网膜表面上的感受细胞的镶嵌体。但是关于物体在三维空间的信息如何由受激点的二维镶嵌体提取出来，并通过神经系统在神经里传输则是一个大问题，这里，神经只是通过神经脉冲的激发率来传递信息的。这好象有点问题：视网膜上的图象包含大量信息（例如，一张航空照片一般可以数字化成约70兆位），但似乎还不足以确定它所给出的三维景象。这样，一个能以人的视觉方式建立景象表示的器件必须具有除瞬间目视输入以外的知识。精确地发现要得到三维表示需要什么样的知识以及必须对输入进行什么样的计算，是认识科学的一项基本任务。

视觉处理的最初阶段产生基本信息的一些表示，如轮廓、纹理、运动和深度，为确定形状提供了基础。所有这些，无论对于了解哺乳动物目视系统如何工作，还是对于制造具有等价性能的计算系统，都是非常艰巨的科学问题。在上述各方面还没有一个系统已接近人的性能。这并不是

因为实际工作不需要，这些方面的任何一个高质量系统对人工视觉系统都是极其有用的，而且将直接应用到机器人的研制中去。的确，对所有这些方面已进行了大量的人工智能研究。

在这类问题中，目前首当其冲的是立体视觉，即确定大脑如何组合来自两只眼睛的视觉景象，并利用它们之间微小的差别，构造出景象在深度方面的表示。然而，每个图象都包含大量象元素，最困难的是构造一个搜索算法，在一个景象中找到与另一景象的任何给定元素相对应的元素。通过被称为松弛法的一些方法已得到一些进展，但是立体算法在现有的计算机上运行要花过长的时间，如计算机硬件技术的最近的进展，采用超大规模集成电路，已为重大进展提供了机会。采用大量并行计算，从视网膜感受元素的二维镶嵌阵列可有效地得到三维场。今后几年，这个问题很有希望得到解决。我们将获得人的行为范围中的计算。这将是突破性的成就，为着手解决这种类型的其他问题开辟了道路。

由于对低级视觉算法的探索正由关于心理物理和神经科学的知识所推动，因而对视觉的研究正是认知科学和人工智能同神经科学有紧密接触的领域，而且可能是将两者联系起来的最好的桥梁。

语音识别

自1950年以来，识别语音一直是试图研制语音识别机，使人同计算机间的通讯容易进行的语言学家和工程技术人员的主要目标。语音识别与视觉相比，由于其输入仅仅是一维的而不是二维的，似乎比较简单，但语言有由于发音器官所产生的复杂的编码所带来的附加的复杂性。听者觉得所听到的一切是词的离散序列，但从声学角度来看，它是无中断的连续信号。声的每个小间隔是语音几部分邻接的结果，这就意味着能用纯粹的译码任务来描述。迄今的大多数进展只是能识别作了很大简化的离散词，而不是连续的讲话。目前的商业市场就建立在这种简化语音的基础上。正常连续话语的识别仍然是需要解决的一个重要问题。

在说话中，象视觉中那样，感知的模糊性可通过用来自认知领域的知识和搜索启发来解决。在70年代，这些资源用于连续语音识别程序的研究获得了重大进展，但在系统中只达到处理有限词汇（1000个词）的程度，且有严格的句法和语义限制。然而，最近的经验表明，只采用低水平的词和语言学知识，以及基本语音如何以声波形式实现的知识，就可以有效地识别连续的语音。在人工智能程序中实现这些结果，很有希望得到新的显著的进展。

（未完待续）