

认知科学若干基本问题的研究进展

陈 霖*

(中国科技大学北京认知科学开放研究实验室)

〔提要〕 本文简要介绍了当代认知科学的产生及其发展简况并较详细地讨论了认知科学的基本概念和理论;计算和智力的关系以及高度跨学科研究的必要性。

人类的科学事业正面临着四大问题的挑战,即物质的本质、宇宙的起源、生命的本质和智力的产生。新兴的认知科学(Cognitive Science)正是为了研究这四大问题的最后一个——智力是如何由物质产生的(Simon, 1988)。毫无疑问,对人类自身的特有功能——智力的研究一直是人类科学中一个最有意义的,然而也是最困难的问题。认知科学的创立被看成是近 40 年来科学发展史上最重要的事件之一(Stilling 等, 1987)。

一、认知科学及其发展简况

认知科学是研究人类的认知和智力本质及规律的科学。它的研究范围包括知觉、注意、记忆、动作(action)、语言、推理、思考乃至意识在内的各个层次和方面的人类的认知和智力活动。认知科学是在心理学、计算机科学(人工智能)、神经科学、科学语言学(linguistics)、科学哲学以及其它基础科学(如数学、理论物理学)共同关心的交界面上,即理解人类的乃至机器的智能的共同兴趣上,涌现出来的高度跨学科的新兴科学。

关于什么是认知科学,在国内存在这样一种见解,认为“可以把‘认知科学’和‘人工智能’两个名词不加区分的使用”。从研究内容看,认知科学是对人类智力和认知的研究,其发展的主体科学是实验心理学,而人工智能并不做人类或生物的实验研究。人工智能的研究者中只有一部分(可能是一小部分)人关心人类和生物智力的研究,而多数人关心的只是机器(人工智能)本身。另外,科学语言学、神经科学等也都对认知科学起了重大不可缺少的作用,如果说认知科学就是人工智能,那么将不利于发挥神经科学、科学语言学的重大而不可缺少的作用。从上述各方面的原因来看,把“认知科学”等同于“人工智能”这样一种看法,既不符合科学发展的历史事实,更无助于认知科学这门新兴学科在我国的健康发展。

认知科学虽然是新兴学科,但其发展却是“日新月异”的。1979 年美国成立了认知科学学会,在此前后,各种以认知科学命名或者跟认知科学紧密相关的杂志,比如美国认知科学学会的会刊《Cognitive Science》(《认知科学》)杂志、《Cognitive Psychology》(《认知心理学》)杂志、《Cognition》(《认知》)杂志、《Cognitive Neuroscience》(《认知神经科学》)杂志等,相继创刊。这些杂志冲破了学科界限,建立了前所未有的跨学科交流的渠道。近年来美国的名牌大

* 作者为该开放实验室主任。

学,包括加州大学的各个分校、麻省理工学院、斯坦福大学、哈佛大学、纽约州立大学各分校等,都如雨后春笋般地建起了认知科学的研究中心或研究所。特别是从1986年开始,认知科学发源地之一的加州大学圣迭戈分校已率先开始设立认知科学的博士学位。在此前后该校、麻省理工学院等著名学府正式建立了世界上第一批认知科学系(Department of Cognitive Science)。认知科学博士学位的设立和认知科学系的建立表明了认知科学已成为一门为学术界所广泛接受的新兴基础科学。目前,世界上主要发达国家都把认知科学列入本世纪最后十年的重大发展计划之中。

在我国,中国科学院在“七五”期间就把认知科学列入了院级重大项目。胡启恒副院长亲任主任成立了认知科学研究的柔性中心,并建立了院级的认知科学开放实验室。这不仅比台湾、香港地区,即使比德国这样的发达国家都先走了一步。这些部署为进一步申请国家基础性研究的认知科学重大项目提供了基础,并在国家科委和科学界的广泛关怀和支持下,使之列入了国家攀登计划之中。

二、认知科学的基本概念和理论

人类对智力的研究已有数千年的历史,认知科学的创立使我们对人类认知和智力的研究不再只是直觉的、思辨的、哲学的讨论,而是开始建立在现代科学的基础之上。认知科学家们在探索人类智力奥秘的历史长河中,开始找到一些特有的科学的概念和方法,使得对智力的研究不再只是思辨似的,而是开始建立在科学实验的基础之上;其理论和假设不再只是哲学式的,而是可以通过实验方法和数学描述来进行分析;因此,一些深刻的而不是肤浅的、实质的而不是表面的、准确的而不是模糊直觉的关于人类认知和智力的规律性的东西正在被揭示出来。

像其它任何一门成熟的基础科学一样,认知科学能成其为一门科学,是因为它在发展中形成了自己特有的基本概念和科学方法论。认知科学的一个最基本的概念是图灵机意义下的“计算”(“computation”),一个中心的论题是“计算”在人类认知和智力过程中的作用(Norman, 1981)。“计算”的概念对于认知科学的基本重要性,就像“能量”和“质量”的概念对于物理学的基本重要性一样,就像“蛋白质”和“基因”的概念对于生物学的基本重要性一样。

认知科学的一个被广泛接受的方法论原则是,对认知和智力的理解可以从三个不同的层次来分析研究(Marr, 1982):第一个层次是“实现”(implementation);第二个层次是“表征和算法”(representation and algorithm);最高的层次是“计算理论”。我们可以以一台计算机的研究为例,来说明这种“三个层次分析的方法论”。面对一台计算机,我们可以从不同抽象水平层次的角度来分析研究它。在第一个层次即实现的层次,研究的是这台计算机的硬件;在第二个层次即表征和算法的层次,研究的是它的软件;在更抽象的第三个层次,即“计算理论”层次,关心的是这台计算机要计算的问题的数学描述(比如要计算的函数的方程)和计算的效率(比如所需要的计算时间和记忆容量)。这三个层次虽然都不可缺少并相互联系,但却是在不同的抽象水平上相互独立的。就像是同一种软件可以在不同型号的计算机硬件上运行,软件的研究并不依赖于运行这些软件的计算机硬件;计算理论的结论的价值正在于它对不同的计算机软、硬件的普遍实用性,所以在相当程度上独立于具体的硬件乃至

软件的。特别是,较之硬件的层次和算法的层次,从信息处理的角度来看,对认知和智力的理解,计算理论层次的分析具有特别重要的意义。正如 Marr(1982) 举例说明的,要理解人类的知觉如果仅仅研究人类的神经细胞,就像要理解鸟的飞翔只研究鸟的羽毛一样,是不够的。要理解鸟的飞翔我们必须理解空气动力学,只有理解了空气动力学才能真正理解羽毛的结构和翅膀的形状。计算理论的分析对理解认知和智力过程的重要性,就像空气动力学对理解飞行的重要性一样。

围绕“计算”和“表征”的基本概念,基于上述的“三个层次分析的方法论”,认知科学的开创者们(如,Simon 和 Minsky) 开始提出一些关于智力的本质的科学的理论假设,提出了目前在西方认知科学中占主导地位的“认知的计算理论”。“认知的计算理论”认为“认知即计算”(Barr,1983): 按照“三个层次分析的方法论”,人脑和计算机无论在硬件层次乃至在软件层次如何不同,但是在计算理论的层次,它们都具有产生、操作和处理抽象符号的能力;作为信息处理的系统,无论是人脑还是计算机都是操作处理离散符号的形式系统。这种离散符号的操作过程就是图灵机意义上的“计算”。认知的计算理论认为,通用图灵机给出计算的最一般的精确定义,认知和智力的任何一种状态都不外乎是图灵机的一种状态,认知和智力的任何活动都是图灵机定义的离散符号的、可以一步一步地机械实现的“计算”。因此这种认知的计算理论又被称为“符号处理的学说”。

符号处理学说的提出是认知科学对智力研究的重大贡献。正如 Simon (1988) 回顾认知科学发展的历史时所说的: 把计算机看成通用的符号处理系统之前,我们几乎没有任何科学的概念和方法来研究智能和智力的本质。由于认知的计算理论的提出,认知科学家们已经开始找到一些特有的由“计算”的概念派生出来的概念和理论,使得对智力的研究不再只是思辨似的,而是开始建立在科学实验的基础之上。符号处理学说对于人工智能的发展起到了重大的推动作用,成为人工智能、认知心理学、语言学和认知神经科学发展的指导思想。近一、二十年来,Newell 和 Simon 的 *General Problem Solver* (GPS)、日本的第五代计算机、Quillian 的语义网络的命题式的知识表征、Kosslyn 的意象 (mental images) 的模拟式的知识的表征、Marr 的视觉计算理论体系和 Treisman 的特征整合理论等等,这些对认知科学的重要贡献,尽管牵涉到认知和智力的广泛的和不同层次的研究内容,但都是跟符号处理的计算理论分不开的。比如,日本的第五代计算机,无论其技术上如何先进和复杂,其内在的指导思想是认知的计算理论,即认为智力的本质是离散符号的操作,因此只要通过诸如高度并行之类的方法来提高离散符号处理的速度就可以达到模拟人的智力的目的。从 60 年代末到 80 年代初,离散符号处理的思想对人工智能的发展起了主导作用,离散符号的处理被不加疑问地等同于人工智能。

认知科学的影响和成就更为集中地反映在近年来(确切地说 80 年代初以来)由认知科学发起的一场被称为“连接主义的革命”(Connectionist revolution)(Papert, 1989)。连接主义(Connectionism)又被普遍地称为人工神经网络(Neural networks)。人工神经网络的兴起,对认知和智力的本质的基础研究乃至计算机产业都产生了空前的刺激和推动作用。认知科学在这方面的成就不仅反映在有关人工神经网络的大量文献和刊物的出现,各种专业会议的纷纷召开,各种研究计划和研究单位的纷纷成立,而且在短短的几年之内,世界上已兴起了人工神经网络的新产业。据有关部门估计,1990 年一年全世界人工神经网络产品的销售已超过

1.5 亿美元,目前世界上已有大约 135 家研制销售人工神经网络硬件和软件的公司。从基础研究、应用研究到形成产业的周期如此之短,在科学史上是罕见的。

认知科学发展得如此迅猛,归根结底是由于在认知和智力本质的基础研究方面不断取得的新进展。如上所述,符号处理的学说强调描述认知和智力活动的最基本单元是“符号”,离散符号的处理被看成对“任何智能活动既是必要的又是充分的”(Newell,1981)。然而,人工神经网络跟这种离散符号处理的计算系统不同。在人工神经网络中,知识是由网络的各个单元之间的相互作用的加权参数值(可以是连续的)来表征的,网络的学习规则决定于以这些连接参数为数值变量的活动值方程。因此它描述认知和智力活动的基本单元已经不是“符号”,而是“子符号”的数值变量。所以对比传统的“符号的研究模式”,人工神经网络又被称为“子符号的研究模式”(Smolensky,1988)。这样,新兴的人工神经网络对传统人工智能的理论基础——离散的符号处理的正确性产生了冲击,在这个基本问题上取得重要进展,对智力本质的认识必然带来理论上和应用上的突破。

为了进一步说明这个问题,我们对近年来与认知科学密切相关的两个主要事件,即日本第五代计算机和人工神经网络,就“振国威”、“学术影响”、“兴产业”和“耗资”几个方面列表对比如下:

	日 本 第五代计算机	美 国 人工神经网络
振 国 威	达到有限目的	形成国际中心
学 术 影 响	甚微	深远、广泛
兴 产 业	甚微	新兴产业
耗 资	巨大	甚 微

虽然日本的第五代计算机计划有限地达到了“振国威”的目的,但是仍然不能跟美国作为人工神经网络研究的国际中心的地位相比拟。在其它方面日本第五代计算机较之人工神经网络更是不可同日而语。就“学术影响”而言,一个典型的例子是 Simon 应日本邀请在 1988 年日本第五代计算机国际会议上的主题报告,虽然日本给 Simon 如此殊誉,Simon 在报告中没有任何地方提到“第五代计算机”。然而尽管 Simon 作为符号处理学派的带头人并不赞成人工神经网络,在他的报告中却不得不多次地讨论人工神经网络的影响。就“兴产业”而言,如上所述,人工神经网络的作用是巨大的,然而研制第五代计算机的日本科学工作者自己就不使用第五代计算机,更谈不上“兴产业”的作用了。就“耗资”而言,日本的第五代计算机花的经费是我国难于承担的,而提出人工神经网络的发源地(比如,加州大学圣迭戈分校的认知科学研究中心)所配备的只是计算机工作站和一些常规的心理实验设备,其耗资是我国完全可能承受的。为什么这两个事件有如此大的反差?我们认为,要害在于日本的第五代计算机在指导思想上走的是在“符号处理”的老路上求改进的路,把智力的本质看成是符号处理的计算;而人工神经网络却提出了“子符号处理”的新思想,这种对智力本质的新见解,就必然带来理论和应用的突破。

三、计算和智力的关系

由于人工神经网络对传统人工智能“符号处理”的理论基础提出了挑战,必然引起人们对人工智能乃至认知科学的基本概念和理论的反思,特别是对“认知即计算”的计算理论的反思,以致对智力的本质重新进行思考。

计算机科学以“计算”概念为核心的一系列概念和理论,对智能的研究起着重大的推动作用。诸如“可计算性”、“计算的复杂性”、“并行处理和串行处理”这一系列由“计算”派生出来的概念及其理论无论对计算机还是人脑智能的研究都发挥了和继续发挥着不可缺少的、富于成效的作用。现有的计算理论是具有广泛应用的、非常深刻的数学理论,对计算及其相关概念在认知和智力中的作用的理解也未达止境。因此用计算理论寻求计算在认知和智力中的作用有重大的理论意义和应用价值。

但是,计算是否就是人类认知和智力活动的全部内容?我们提出这个问题是出于如下两方面的考虑:

一方面,是由于人工智能发展到今天所面临着的困难。在人工智能发展的历史上,人工智能研究的权威人士们曾经多次做出过极为乐观的估计,例如 Simon 在 1965 年曾预言:“在 20 年内,机器将能做出人能做的所有工作”;Minsky 在 1977 年也曾预言过:“在一代人之内,创造‘人工智能’的问题将会基本解决”。然而突破至今并没有出现,人工智能的发展反而不时地陷入没有预想到的困境。这就提醒我们应当从人工智能的最根本概念和理论上去找原因。

另一方面,我们的实验心理学发现“认知的计算理论”并不能解释一切认知和智力的活动(陈霖,1986)。我们在视知觉组织层次上的发现表明,虽然无论是从传统的符号处理模型还是新兴的人工神经网络模型的计算复杂性来分析,与局部几何性质的计算相比较,拓扑性质的计算具有高复杂性,然而人的视觉系统却在视觉过程的初期检测大范围的拓扑性质;计算困难程度的次序跟人知觉的先后次序恰恰相反,从而提示了人脑信息处理方式与之图灵定义的计算可能存在着根本的区别(陈霖,1989)。

上述两方面的事实表明:“计算和智力的关系问题”是目前认知科学和人工智能的基础理论的一个核心问题。从 30 年代图灵机定义的计算和计算理论的提出到今天,计算机技术有了突飞猛进的发展,然而以“认知即计算”的认知的计算理论为基础的、关于智力的基本概念和理论却没有大的变化。要在认知科学领域有实质性突破,我们应当注重研究一个比符号处理更本质的问题,应当重新思考作为计算机科学基础的、图灵意义下的计算概念在认知和智力过程中的作用,特别是重新思考把认知和智能本质上看成是计算的,这种目前占统治地位的“认知的计算理论”。一方面我们要科学地研究和正确地理解图灵意义下的计算在认知和智能中的作用和意义。另一方面要研究人类认知和智力与认知的计算理论可能存在的基本区别,从而探索认知和智力的新的原则和概念模型。

提出“计算和智力的关系”问题旨在抓住关于智力本质的基础研究的关键问题。一方面,从历史的经验来看,正如把人工神经网络与日本的第五代计算机相比较所表明的,由于人工神经网络的推行者对人工智能所面临的困难有更深刻的认识,不是走符号处理传统思路求改进的路线,而是抓住了传统人工智能的基本要害问题,即离散符号处理的问题,提出了“子符号”

处理的学说。由于在这个关于智力本质的基本要害问题上有所进展,神经网络对认知科学乃至计算机产业的发展立即就产生了重大的推动作用,其影响是日本第五代计算机计划所不能比拟的。这个历史经验告诉我们,要敢于涉及有关认知和智能研究基础理论中的基本要害问题。另一方面,由于美国学术界在认知科学、人工智能科学以及计算机技术方面有雄厚的基础,要在这样一场国际竞争中形成具有我国自己特色的研究不是一件容易的事。这也要求我们,敢于涉及认知科学基础理论中的基础要害问题,不然只能跟随美国已有的“符号处理”或“子符号处理”的潮流而已。

在 80 年代初期,我们以拓扑性质的计算和拓扑性质知觉的关系问题,向认知的计算理论提出质疑时,在国际上还几乎没有人正面地、以科学实验的事实向“认知即计算”的信仰提出挑战,但近年来,越来越多(虽然在比例上仍然是少数)的人开始从不同的角度和方面关注到计算和智力的关系问题。这包括诺贝尔奖得主 Eldeman 教授从进化的角度明确声称图灵机不是人类进化和认知的恰当的模型;Stanford 大学计算机系的著名的教授 Winograd,从对近代唯理性主义哲学的批评出发,对认知的计算理论基础提出了引起广泛注意的批评;加州大学圣迭戈分校的认知科学系主任、美国认知科学学会的创始人 Norman 教授及其同事们,从“认知的人工制品”对人的认知作用的角度,批评把由人脑产生的“计算”的概念看成是人脑的全部功能的观点是本末倒置;加拿大 Dalhousie 大学生物物理系的 Rosen 教授科学地分析、论证了计算系统的“推理过程”和现实世界中的“因果过程”的不同本质,从而阐明了现实世界中,特别是认知的“复杂系统”,不是都可以用形式系统的计算来描述的,如此等等不下十余家。尽管批评的角度不同,但是这种新的倾向在提示我们,向认知的计算理论的严格的、科学的挑战已经开始形成。

综上所述,一方面是连接主义或称神经网络(Neural Network)的出现带来了新的“计算热潮”,如“神经计算(Neural Computing)”,“大规模平行计算(Masive Parallel Computing)”等。另一方面是正在开始形成的,从根本上对以图灵机为基础的认知的计算理论的批评和新概念、新模型、新原则的探索。前者已在国内引起广泛的注意和重视,后者看来会引起更深远的影响。显然,“针对这一问题(人的智力是否能用图灵意义下的计算来描述)的任何有科学根据、经得起科学实验检验的学说的提出,或理论认识的深化,都可能为计算机科学、人工智能领域带来突破性的进展,因此也可能为未来一代技术开拓崭新的道路”(胡启恒,1991)。我们应当不失时机,保持和发展我们国家在这方面领域的已有的、具有特色的研究方向,争取在这场国际竞争中,作出我们的贡献。

四、高度跨学科发展的认知科学

在国外认知科学研究的一个主要特点是越来越高度跨学科。像认知科学这样涉及到心理学、计算机科学、神经科学、科学语言学、人类学乃至其它理论科学(数学、理论物理)和科学哲学的多学科联合可能还是科学史上的第一次。真正富于成效的认知和智力的研究一定是跨学的。比如人工神经网络的发源地之一——加州大学圣迭戈分校的认知科学研究所就汇集了一批优秀的心理学家、理论计算机科学家、神经科学家、语言学家、乃至数学家和理论物理学家,他们之中起核心作用的人既是心理学或神经科学的教授,同时又是计算机科学或其它理

论科学的教授,这种高度跨学科的特点,是人工神经网络产生和成功的一个极为重要原因。

相比之下,我国在该领域的跨学科的发展比较薄弱。创立一个跨学科发展的学术环境,培养出一批真正跨学科发展的认知科学人才是我国发展认知科学的当务之急。他们来自多个学科,既是本领域的专家,又十分关注他人的领域,对他人的领域有相当深入而不是肤浅的了解,并且注重熟悉他的合作者在思维上的习惯。这样就可能形成一支高度跨学科的研究队伍。同时这只队伍成员的知识结构要避免各个学科的片面性和局限性,如人工智能的实验事实的缺乏,心理学在某种意义下的过分实验性,神经科学可以使用的实验方法的局限性,抽象数学的形式化带来的实质上过于简化等等。

对认知科学高度跨学科的特点也存在不同的认识。在国内,有人认为,认知科学项目提出的研究“过于分散,包括了心理学、神经科学、模拟、表达、并行计算机系统……,不符合少而精的原则”。我们认为值得商榷的是,认知科学的这种大跨度的多学科的研究,究竟是缺点还是优点呢?或许可以这样说,对智力本质的研究将是长期争论和充满不同见解的,但是有一点似乎可以肯定,如果对认知和智能的研究不是在高度跨学科的背景下进行的,就不会有多少“认知”、“智力”的色彩。在申请攀登计划的认知科学项目的过程中,组织起了来自我们国家的心理学、计算机科学(人工智能)和信息科学、神经科学、和数学(理论计算机科学)等学科的大跨度的跨学科队伍,这反映了参加者们的共识:对认知和智能的理解是人类历史上空前的难题,需要用人类的全部知识积累和发展来突破。