

# 认知心理学、人工智能和智能机

李家治

(心理研究所)

## 一、认知心理学和人工智能的由来和发展

使机器具有类似人的智能,是多少世纪以来人们的幻想。随着人类智能的发展和科学技术的进步,这种幻想正逐步变成现实。

1936年英国数学家图灵(A. M. Turing)证明了可以建造具有智能的机器,并说明了如何建造。十年之后的1946年,出现了电子计算机。1950年图灵发表了计算机和智能的论文,提出了鉴别机器是否具有智能的方法,估计了计算机打败国际象棋冠军的可能性。由于图灵对计算理论的突出贡献,以及他对智能机器的天才预见,因而被誉为人工智能之父。

廿世纪崛起的一些新兴学科,如形式逻辑、控制论、计算机科学等,为传统心理学注入了新血液。图灵的论文更使心理学家深受鼓舞,看到了心理学可以为发展具有智能的机器做出贡献的前景。1956年纽艾尔(A. Newell)、赛蒙(H. A. Simon)和肖(J. C. Shaw)合作发表了“逻辑理论家”程序,简称LT。他们的贡献是:(1)首次成功地模拟了人解决复杂问题的思维活动,使计算机像没有学过数理逻辑的大学生那样来证明数理逻辑定理。(2)开创了启发式程序。启发式(Heuristics)原意发明的艺术,或帮助发明、发现的意思。它不是来自理论推导,而是从生活经验中得到的一些解决问题的规则、技巧或窍门。没有学过数理逻辑的大学生,就是用经验性的启发式规则证明数理逻辑定理的。把启发式规则编进计算机程序叫启发式程序。(3)制订并应用了符号信息处理语言LPL。这一语言是现在人工智能研究普通应用的LISP语言的前身。

以上这些贡献对于人工智能都是奠基性的。因此,纽艾尔等人的工作被认为是人工智能的真正开端。

纽艾尔等关于大学生证明数理逻辑定理的实验方法,是依照德国心理学家顿克尔(K. Duncker)于1945年关于“问题解决”的实验做的。纽艾尔等人的论文中,以及在人工智能文献中的一些术语,如启发式,搜索、逆向推理等,都是首次由顿克尔提出并予以定义的。纽艾尔等的最大贡献是开创了启发式程序,使机器也表现出类似人的智能。

LT的成功,促进了人工智能的发展。启发式程序作为人工智能研究途径之一,从它的提出至今,三十年来一直富有强的生命力。特别是,费根鲍姆1965年开始领导斯坦福大学的“启发式程序规划”,HPP,开展了专家系统的研究,进入七十年代就有了丰硕的成果,如判断有机物质分子结构的DENDRAL系统,辅助医疗系统MYCIN,提出质谱断裂新理论的META-DENDRAL等。HPP的成功,把人工智能的研究从理论探索推进到应用阶段,先后出现了

解决各种科学技术问题的专家系统,如数学解答系统、材料结构分析系统、有机合成系统、地质探矿系统等。

LT 的成功,对于认知心理学的建立也起了很大作用。纽艾尔、赛蒙等认为,人脑和计算机的结构完全不同,它们的功能有粗略的类似;它们的工作原则,即信息加工原则,却是一致的。二者都是信息加工系统,而且都是符号信息加工系统。所有记号、标志、语言、文学以及它们所描述的事物、现象、规律、理论等,都可以看作是符号或符号结构。由于二者的功能类似,因此人的心理活动可以由计算机来模拟,可以由一些基本信息加工的程序来实现。他们的这些观点,被认为是心理学的信息加工学派,随后即发展成认知心理学。

从上面的叙述可以看出认知心理学和人工智能的关系。费根鲍姆领导的 HPP,体现了认知心理学观点。这些观点是:

(1) 人是最聪明的。人和计算机这两个信息加工系统,各有优点。计算机的信息加工速度和准确性胜过人,但是人最聪明。把人的智能给予计算机是建造智能机器的可取途径。

(2) 人的智能表现为解决问题的能力。传统实验心理学关于智能的研究,多半限于游戏性的问题。而人工智能应该解决现实世界的复杂问题,即科学技术中的实际问题。

(3) 解决任何问题都要依靠知识,包括专业知识和经验知识即启发式知识。费根鲍姆把实现人工智能的工程叫作知识工程,日本把设想中的第五代计算机叫做知识信息处理系统(KIPS),都是强调知识的重要性。

(4) 解决问题需要思维和推理。获得人解决问题的思维和推理,要依靠模型来探索,依靠当事人的语言来揭示,依靠计算机硬软件技术来实现。

上述观点,是知识工程的研究所遵循的,也同样适用于智能机的研制。

## 二、智能机的视觉、语言、学习和推理

智能机要求具有更接近于人的智能:要能够识别图象、文字和周围环境;理解语言和运用语言;能够通过学习获得新知识,以及具有思维、推理和解决问题的能力。下面,仅从认知心理学的角度对智能机的视觉、语言以及学习和推理等问题提出一些看法。

### (一) 视觉

认知心理学把人的视知觉分为数据驱动和概念驱动两种。数据驱动是指人的视知觉是由物理条件和生理条件决定的。例如,人的距离知觉是由物体的远近引起的双眼视轴幅合角的不同所提供的信息产生的。人的立体知觉是由双眼网膜上的图象视差所提供的信息产生的。但是,人对于二度空间的图片,也可以判断其中物体的远近以及各种形状的立体物体。这不是由于视轴幅合角或双眼视差起作用,而是知识、经验、思维在起作用。这就叫概念驱动。

计算机视觉很少靠装备两只眼睛,而是模拟人的思维。机器的视觉,一般只有一个摄像机,摄像机所得到的是二度空间的图像,机器从二度空间图像上识别三度空间的物体,必须依靠概念驱动。古兹曼(A. Guzman 1969)根据人们识别立方体所依靠的几何知识,即边、角面的概念,使机器能够识别不同形状的、彼此交错掩盖的积木,推动了机器人在三度空间的积木世界活动。

智能机不仅要能够识别周围环境中物体的形状、大小、远近,还需要理解视觉对象在人类

社会中的含义。江河湖海、山脉森林,不仅是自然景象,而是都具有特定的社会意义。理解这些含义,仅凭“光”和“眼”是办不到的,更需要的是知识、经验和推理。

闵斯基的框架理论(M. Minsky, 1975)是一个记忆模型。闵斯基把记忆中的知识结构叫做框架。每个框架有许多槽,槽中存有知识,也有分层的联系,一个框架也可以指向另一个框架。许多框架组成一个框架系统,表示人们的丰富的知识结构。人们就是用丰富的知识认识世界的。由于丰富的知识,人们的认识活动才有目的、有期待、能推理、能主动寻求要认识的目标。

框架理论已经成为一种重要的知识表达形式,在人工智能研究中得到广泛的应用,特别是推动了基于知识的模式识别和理解自然语言的研究。

上述的研究成果,可以作为我国智能机研制的参考。但是,有一项研究不能依靠外人,就是机器认识汉字问题。

汉字的键盘输入问题,经过近几年我国科学工作者的努力,已趋于基本解决。可是汉字的光学阅读问题,还未见到解决的眉目。这一方面是由于对这一问题研究的单位不多,没有为解决这一问题投入较多的智力。另一方面,也可能由于我们的研究途径还有缺点。我们应吸取模式识别研究的教训,不要仅从光学和数学方面考虑,而且还应深入研究人是怎样理解汉字的。下面仅从认知心理学的角度提出几点看法:

(1) 人对汉字的信息是并行处理的。一个汉字的全部特征同时进入视觉系统。

(2) 什么是人认识汉字所依据的特征,还需要进行实验研究。书写的笔画和计算机键盘的形码,可以考虑作为候选特征。心理学对于线条图形的研究表明,下列情况负荷较多信息:一个线条的改变方向处,如 $\Gamma$ 、 $\perp$ 、 $\square$ 、 $\neg$ 、 $\langle$ 等;两条线的接触处,如 $\Gamma$ 、 $\perp$ 、人、人、 $\perp$ 、 $\perp$ 等;两条线的交叉处,如 $+$ 、 $\times$ 等。以上结果也可供确定汉字特征的参考。

(3) 不同位置的特征有不同的信息量。如果把一个汉字分成上、下、左、右四个区,左上角负荷的信息最多,右下角信息较少,因此,在大多数情况下,汉字的左上角遭到破坏,会造成识别的困难;右下角遭到破坏,影响较小。同样,除以口为首的汉字外,大多数汉字如果中央遭到破坏,对识别的影响较少;如果四周遭到破坏,则识别会遇到困难。这是符合格式塔原则的,即轮廓胜过中间细节。

(4) 汉字的不适当的简化,不利于人和机器的识别。笔画越少,汉字的特征随之减少因而彼此越容易混淆。如儿、几;义、又、叉,等。

(5) 人识别汉字具有很强的适应和抗干扰能力,即字体的变换无足轻重,容许夸大、歪曲、甚至残缺不全。这一方面是由于人的思维能力,也是由于人认识汉字不是依靠汉字的物理数值,而是依靠特征间的相互关系。光学阅读的研究要避免因字体改变遇到的困难,也不应该仅依靠测量汉字的黑白物理量的绝对值,而应设法从特征的相互关系中获得更多的信息。因为汉字的特征和特征间的关系,并不随字体的改变而改变。

## (二) 语言

语言是人类传递信息,交流思想的工具。要想让机器更好地为人类服务,就必须使它能够理解和运用人类的语言,即自然语言。要想使机器更好地为我国人民服务,就必须使它能够理解汉语。

自然语言理解的研究,从一开始就同心理学有关。五十年代末,乔姆斯基(N. Chomsky,

1956)发表了关于句法结构和转换文法的论文,提出了语言的表层和深层结构概念,被誉为是心理语言学家,也被列入认知心理学的先驱行列。但由于乔姆斯基的理论过于强调句法对理解语言的作用,受到了林德赛(R. K. Lindsay, 1963)的批评,认为机器尽管可以对一句话分析出名词、动词等,也不能理解这句话的意思。他认为知识和推理对于理解语言是必不可少的。他让计算机回答有关亲属关系问题,证明如果计算机没有亲属关系的知识,没有一些推理能力,即便能对问话做出正确的语法分析,也不能回答问题。此后,从事自然语言理解研究的学者,更进一步强调语言同心理的关系。如奎连(M. R. Quillian, 1968)的语义记忆学说,山克(R. C. Schank 1972)的概念从属理论,以及前面提到的闵斯基的框架理论,都是以人的记忆为模型。维若格拉德(T. Winograd, 1983)认为语言是认知过程。他说理解自然语言,必须综合应用句法、语义、推理诸方面的知识,才能够使机器接近于人的理解过程。

我国关于自然语言理解的研究起步比西方约晚二十年,但发展健康。在书面汉语方面,已经有办公室管理的人机对话接口。在语音识别方面,已应用于小范围的电话号码查询。可是,总的看来,机器理解汉语的研究还没有达到机器理解英语或其他西方语言的水平。

机器理解汉语的困难,是由于没有适当的汉语语法。我国现行汉语语法来源于西方,可是汉语同西方语言有明显的不同。汉语没有词形变化来表明一个名词属于什么格,一个动词属于什么时态。汉语语法采纳了西方语法的句法结构概念,可是没能为句法、语义的结合建立起可行的规则,因而对于汉语的一些现象,不能做出令人满意的解释,也不能很好地指导机器理解汉语。

可是,我国人民理解汉语并无困难。幼儿园的儿童和许多成年人,虽然没有语法知识,也不妨碍彼此交往。书面汉语也通行全国。可见汉语是符合我国人民的思维和语言习惯的。正是由于说话者和听话者,文章的写作者和阅读者具有相同的思维和语言习惯,遵守着同样的规则,彼此的思想才会相互沟通,相互理解,这些习惯和规则应该是汉语语法的基础。

由于汉语无词形变化,所以它的句法结构主要依靠词序。汉语的基本词序是:主、动、宾,在一般情况下,相当于格语法中的施动者、行动和对象。汉语的一句话,首先说出施动者是谁,接着叙述做什么行动,最后指出行动作用于什么对象。这种顺序就是我们中国人的思维和语言习惯。这种习惯与其他一些民族的语言,如日语,德语等,很不相同。他们往往把行动放在一句话的末尾。

但是,汉语并不严格遵守主、动、宾这种顺序。虽然把、被、以、用这些介词,可以作为“格”的标志,但在汉语中往往弃而不用。例如:

我吃过早饭了  
我早饭吃过了  
早饭我吃过了

以上三句话的主、动、宾的相对位置虽然变了,可是我们都知道它们是同一个意思。如果我们说:“我把早饭吃过了”,“早饭被我吃过了”,反而觉得啰嗦。因为我们的理解不是依靠句法结构,而是依靠语义。我们知道,我是人,是施动者,早饭是被人吃的对象。但是句法结构仍有它的作用。我们不能把“我”放在动词的后面,不能说“早饭吃过我了”。

主、宾这两个概念,在汉语中有时并分不清楚,例如:

雨布盖着汽车,汽车盖着雨布。

大地开遍鲜花，鲜花开遍大地。

雨布和汽车，鲜花和大地，究竟谁是宾？谁是主？这个问题，对于人是无关紧要的。因为人知道，上面的每一对句子，都是同一个意思。雨布是为了防雨遮盖东西的工具，汽车是交通工具，总是雨布可以盖汽车，汽车不能盖雨布。同样，人们知道，鲜花总是在大地上生长、开花的。

从以上的例子可以看出，语义对理解汉语的重要性。还可以看出，语义是同人的知识一致的。理解日常语言，需要常识性知识。要想使机器理解类似以上那些句子，也必须给机器足够的知识，否则它将不能分辨“羊吃草”、“草吃羊”的正确或错误。

人或机器理解语言还需要有一定的推理能力，而推理也需要知识的支持。人们的日常谈话，并非每一句都携带足够使人理解的信息。国外来的游客，用支离破碎的汉语同我们谈话，也能使我们理解。这是由于我们有一定的知识和推理能力，可以根据不完备的信息，正确理解对方的话。推理还可以使机器能够回答仅凭信息的提取不能回答的问题。

我们曾以动物常识为实验内容，同计算机进行人机对话，程序使机器有一点归纳推理和演绎推理的功能。例如：

问：“什么是鸟？”

这句话中的“鸟”是一个类别概念，即一般概念。这句话在机器的记忆系统中并无现成的答案。如果仅凭信息的提取来回答，结果将是麻雀是鸟、燕子是鸟、鸵鸟是鸟。这样的答话未能概括鸟的全部含意。我们的机器可以做到从个性到共性，从特殊到一般的概括，所做的答话可以说是对鸟下了一个粗略的定义。

答：鸟有羽毛、有翅膀、有两条腿，还会下蛋，是卵生动物。

我们的机器也能够由共性推知个性。如：

问：鸽子是鸟，它有翅膀吗？

答：它有翅膀。

问：它会飞吗？

答：它很可能会飞。

我们机器的记忆中，并没有鸽子这个词。机器从问话中知道，鸽子既然是鸟，它一定有翅膀。至于“它很可能会飞”这句答话，是根据知识库中大多数鸟会飞这一事实，所做的猜测，而且这一猜测是正确的。

以上这样的逻辑推理需要知识的支持，缺少知识，会得出错误的结论。例如：

问：企鹅是鸟，它有翅膀吗？

答：它有翅膀。

问：它会飞吗？

答：它很可能会飞。

第二句答话是错误的。因为机器的知识库中没有任何关于企鹅的知识，它无从知道企鹅的翅膀是退化的，失去了飞的功能。即便是人，如果对企鹅毫无所知，也会犯同样错误。

以上说明，汉语的理解主要依靠语义和推理，而语义和推理都不能离开知识。汉语或其它任何语言，所涉及的知识可以说是无限的。不可能使机器容纳那怕是一个人的全部常识性知识。智能机的知识库也只能是有限范围的知识库，在什么范围应用，就存入什么范围的知识。

但是自然语言研究范围,不应受到限制,因为它还是语言学和心理学的研究重要领域。

### (三) 学习和推理

心理学关于学习的研究开始于十九世纪末。德国心理学家艾宾豪斯(H. Ebbinghaus)对人的学习和记忆问题进行了一系列实验,1885年发表了“记忆”一书。艾宾豪斯是一位联想主义者。他用无意义音节作为学习材料,试图用无任何联系的刺激来测量联想的形成速度和巩固程度。他发现了遗忘的规律,提出了遗忘曲线,表明遗忘是时间的函数。艾宾豪斯的工作对人类学习问题的研究,做了一个良好的开端。可惜不久就受到了动物学习研究的冲击。巴甫洛夫的条件反射学说,行为主义的刺激反应理论在学习问题的研究中占了统治地位。人工智能关于学习的研究也受到不良影响。罗森卜拉特(F. Rosenblatt, 1957)的知觉机(Perceptron)关于模式识别的学习,虽然轰动一时,终因条件反射理论不能使机器达到人类学习的效果而消声隐迹。

但是在行为主义阵营也并非都主张刺激反应或尝试错误是学习行为的基础。例如,托尔曼(E. C. Tolman, 1951)认为动物的学习是有目的、有期待、有假设的行为。动物在解决一个学习问题之前,总是积极地对环境和刺激反应之间的关系作某种假设,用以计划一个有效的行动顺序,而不是简单的S-R对,即刺激-反应对。这种观点,已经接近于认知心理学的观点。

勒温(M. Levine, 1965, 1970)对于“假设”理论作了更清楚的叙述。他对成年人进行了概念鉴别实验。他发现训练开始时,被试者对解决问题有一个小假设集,  $H_s$ 。被试者选择其中之一,并根据这一H进行反应。如果反应正确,下一次仍用这一H,如果得到是错误的反馈,则下次改选另一H。被试者总是保持“对则保留”“错则改变”的行为。1975年他发表了专著,“假设和检验,学习的认识研究”。

从托尔曼和勒温的工作可以看出,学习问题的研究已经从行为主义心理学过渡到了认知心理学。学习的理论已经不再以刺激反应为基础,而是强调知识和推理在学习中的作用了。

在人工智能研究领域,早在五十年代人们就注意到了“例中学”(Learning From Examples)的重要性。麦克阿赛说(T. McCarthy, 1958):“我们最终目的是要使程序从经验中的学习像人那样有效。”从经验中学习就是从事例中学习或叫“例中学”,这是假设检验理论的一种实现方式。

1965年,费根鲍姆开始在斯坦福大学领导HPP工作,开展了专家系统和知识工程的研究。计算机为了获得专家的知识,最初像一个学徒,一项一项地学习。最后机器变成了专家,代替专家工作。这种学习方式就是“例中学”。

关于“例中学”的理论,应首先提到赛蒙和莱(H. A. Simon & G. Lea, 1974)。“二空间”模型。这一模型有两个空间:事例空间和规则空间。“例中学”就是从事例空间选出训练事例,必要时予以解释,指导在规则空间进行搜索,以期获得一般规则。事例空间包括一些具体事例,规则空间就是一个假设集,  $H_s$ 。学习行为就是在事例空间和规则空间来回选择与搜索,直到获得一个理想的、一般性规则,即与事例相符合的假设。这是一个从具体到一般的归纳推理过程。

米其尔(T. M. Mitchell, 1978)的“假设空间”也是一个二空间模型。他采纳了培根(F. Bacon, 1855)的“排除式归纳”原则。培根认为,要想使归纳对发明,科学或艺术有用,必须经过足够数量的否定和排除之后,才能够对事例做出肯定结论。假设空间的学习方法采取“排除

候选”策略。假设空间是一个合理的假设集,  $H_s$ 。它包括两个子集,即最一般假设和最具体假设,训练事例逐一呈现给出程序。正事例迫使程序一般化,于是最具体的假设从  $H_s$  中排除;负事例迫使程序具体化,于是最一般假设被排除。最后只剩下一个假设,就是与事例最符合的假设。

米其林用假设空间理论编制了学习解不定积分的 LEX 程序 (T. M. Mitchell, etc, 1981), 通过对事例的解题学习,机器归纳出运用积分公式的技巧(即启发式规则)。六十年代虽有人让计算机学习解不定积分,当时是程序的编制者把启发式规则给予计算机。

斯坦福大学的 META-DENDRAL (B. G. Buchanan and T. M. Mitchell, 1978) 系统也应用了假设空间理论。斯坦福大学的 DENDRAL 程序是让机器学习化学家依靠质谱判断有机物分子结构的专家系统。几年之内,积累了大量有关质谱和分子结构的关系的资料。META-DENDRAL 把这些资料作为事例,让机器从这些事例中归纳出新概念。结果机器提出了质谱断裂的新理论。这一具有创造性的新理论,得到了化学家承认,并作为化学科研成果在美国化学学会上发表。

卡尼基-梅隆大学的一系列“再发现”实验,是应用“例中学”原理让机器再度发现科学史已有的发现。他们的 BACON 系统 (P. Langley, 1979) 再发现了一些物理定律。如理想气体定律、伽里略定律、欧姆定律、开普勒第三定律等。也再发现了一些化合物的化合式,如  $H_2O$ 、 $SO_2$ 、 $CO_2$  等。BACON 所用的归纳推理是数据驱动的,即从一些实测数据中寻求普遍规律。BACON 以科学工作者寻求经验公式的经验,作为启发式规则。

AM 系统 (D. B. Lenat, 1977) 是理论(或叫模型)驱动的。Lenat 认为,不仅已有的科学概念是理论,在日常生活中百试不爽的概念也是理论。AM 要求机器发现有趣的,有意义的数学概念。可是什么叫有趣?现代科学并未予以定义。于是不得不在人们的生活经验中去找。例如,在戏剧中,小偷和官是两个不同角色,随着剧情的发展,观众发现小偷就是法官,或者法官是小偷的教唆犯,于是就兴趣大增。又如在音乐中,同样旋律经常反复,重叠或交替出现,而每次都稍有不同。人们对这种音乐并不感到厌烦,而觉得是一种享受。于是 Lenat 就得出两条有关“有趣”的定义:两个概念看来不同,但后来发现它们是同一个或很相近,这两个概念都是有趣的;两个概念看来相同,又有不同之处,这样的概念也是有趣的。此外,他还发现,同一概念的两极是有趣的;一个有趣概念的反面(即逆)也是有趣的,等等。

AM 依靠集合论的知识和类似上述的生活经验知识,可以生成许多例子,又根据这些例子去寻求新概念。于是机器再发现了自然数、加、减、乘、除等概念。当发现加法和乘法实质相同因而乘法有趣时,又发现乘法的“逆”,即除法,也是有趣的。对除数的考察过程中又发现了素数,并且由此做出了哥德巴赫猜想。

以上的几个例子说明,学习和推理是密切联系的。“例中学”所学的不仅是解决具体问题,而是获得新概念,获得解决问题的策略。假设空间(或规则空间)所包括的,都是人为了解决问题所做的一些假设,这些假设不一定完全,不一定合适,上述学习系统对于假设都有补充和改进的能力。此外,有目的的学习、集中注意解决关键问题的学习,是最有效的学习。人如此,机器也如此。有的学习系统也已解决了这些问题。

总之,通过“例中学”,利用归纳推理解决问题,在理论上和技术上,都已获得了很好的科研成果。这些成果可供智能机研制参考。