维普资讯 http://www.cqvip.com

人工智能 形象思维 心象 表征 (11)

计算机科学 1994Vol. 21№. 1

47-52 TP18

形象思维中的心象及其表征理论*)

潘云鹤 耿卫东 何志均

(浙江大学人工智能研究所 CAD & CG 重点实验室 杭州310027)

A **摘要** 本文从智能模拟角度出发,结合思维科学、计算机科学、心理学、信息科学等领域的研究成果与理论,对形象思维中的心象及其表征理论作一总结和整理,以期对我国的思维科学的研究,尤其是形象思维的研究起一促进作用。

一、引 言

认知与思维问题是古今中外的许多哲学家、科学家最感兴趣且探索和研究得最多的问题之一。随着科学的进步,尤其是计算机科学的发展,我们进入了一个十分注重自知的阶段。在八十年代初,我国著名学者钱学森教授适时地倡导开展思维科学的研究[1],并把对形象思维的研究作为思维研究的突破口,使得我国对思维的研究进入了一个高潮。

目前从不同的学科、不同的角度对思维研究的突破口——形象思维问题都有一些研究与认识,但这些研究和认识往往仅从各自的侧面来看问题,尚缺乏统一、全面的了解,因此不免存在许多问题无法深入研究下去。为弥补这一不足,本文从智能模拟角度出发,结合思维科学、计算机科学、心理学、信息科学等领域的最新研究成果与理论,对形象思维研究中的最核心问题——心象的理论及其表征作一总结和整理,以期对我国的思维科学的研究、尤其是形象思维的研究起一促进作用,并为实现计算机对人类智能的真正模拟打下基础。

二、表象的基本概念及理论

心象(Mental Image)亦称意象。表象,是一个富有特色的心理过程,包括通常所说的记忆心象和想象心象。它是在对同一事物或同类事物多次感知的基础上形成的,具有一定的间接性和概括性。因为它们能够以自身的不断改变来模拟外在对象的连续变化,因而通常将它们看成为外在对象表征的抽象类似物。目前虽不能精确地解说心象,但通过心理实验,却能列举出一些心象的特性[3,4]:

1)能够表征不断变化着的信息。

2)能够承受施之于它们的操作,这些操作是空间操作的类似物。

3)并不与视觉形态相联系,似乎是一种能够表征空间的和不断变化着的信息的更一般系统的一部分。

4)大小之类的数量彼此愈接近,在心象中就愈难加以区别。

5)心象比图形更富于柔顺性,但却具有较小的易碎性。

6)复杂对象的心象可以分裂为若干片断。

当前大部分有关心象的研究都着眼于其

---

*)国家自然科学基金、攀登计划、国家 863 智能计算机主题和浙江省自然科学基金资助研究项目。耿卫东 博士生,主要从事形象思维、智能 CAD 等领域的研究工作。潘云鹤 教授,主要从事人工智能、形象思维、智能 CAD 等领域的研究工作。何志均 教授、博士导师,主要从事人工智能、专家系统、CIMS 等领域的研究工作。

维普资讯 http://www.cqvip.com

信息表征，对心象的性质和功能还存在着争论，因而对心象的理解也千差万别。关于心象，目前主要有以下一些理论：

1. Neisser 认为[3]，心象活动就是应用知觉时所使用的某些认知过程，只不过这时没有引起知觉的刺激输入而已。后来 Neisser 又进一步将心象看作由相应的知识所激活的对知觉的期待，把心象和知觉的由上而下的加工联系起来。

2. Kosslyn（1980，1981）等通过对心理扫描实验研究后认为：心象与现实客体的知觉相似，心象中的客体同样也有大小、方位、位置等空间特性，是可以被扫描的。他把心象看成是类似于视知觉的人脑中的图画，或者类似图画的信息表征，他认为心象至少在一个方面是类似图画的，即心象也包含空间信息，心象的各部分描述了被表征的客体的对应部分，客体各部分的空间联系也保留在心象的相应部分的空间联系之中。

3. Shepard 等通过对心理旋转实验的研究后认为：心象的实质就在于它是一种类比表征，心象和外部客体有着同构关系。但是心象并不是直接地从结构上来表征外部客体，它与外部客体在结构上并没有一对一的联系，只有其内部表征的机能联系与外部客体的结构联系是相似的。Shepard 等称这种同构为“二级同构”。“二级同构”把心象与外部客体的关系看成类似于锁和钥匙的关系，锁与钥匙是不同的客体，但在机能水平上却是一把钥匙开一把锁。与此对应，形成一个心象的神经过程与它所表征的外部客体可能是不相似的，但该客体却有激活这些神经过程的功能。

当然，也有一些认知心理学家不承认心象的独立地位，反对将心象看作类似知觉的心理表征，他们特别批评那种认为心象是心理图画的看法，提出了几条反对意见：

1）图画的知觉加工包含图形与背景分离这个最基本的过程，而心象却已经高度组织为对象了。

2）心象与实际的图画在结构上不同，如果人们忘记某个心象的一部分，这个丢失的部分是一个有意义的单元，而不是任意的一个片断，不像图画被碰掉一个角那样。

3）心象可以很容易检索到，不是随机地贮存在长时记忆里。

基于这样的背景，A. Paivio 和 J. R. Anderson 分别提出了双重编码理论和三重编码理论[4,6]，将语义信息和心象信息相结合。他们认为语义信息中包含有心象信息，心象信息总是与语义信息相关联。他们的这种观点也代表了目前整个认知心理学界对心象的看法和倾向。

从上面的论述可以看出，虽然目前认知心理学界对心象已有了较深刻的认知，但从智能模拟角度来说，这些研究还很不够，还需对心象的中间媒质、心象的部分与整体的关系、心象与客体之间的转化规律等作进一步的研究和探讨。只有在清楚了表象的结构及作用于其上的操作之后，智能模拟才有可能。

三、心象在思维中的作用和在计算机中的表征

心象在思维活动中的作用最引人注目，它作为一种信息表征在学习、记忆中起着重要作用。一般把主要借助于心象而实现的思维活动称作为形象思维。

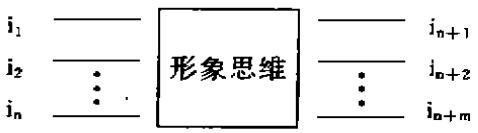
尽管对形象思维存在着争论，但 Shepard 的心理旋转实验令人信服地表明：人在完成某种作业或解决某些问题时，主要依赖于心象操作或心象过程，并且这种思维具有整体的和类比的性质。Huttenlocher（1968）的研究表明[3]：空间心象在线性三段论推理中起着重要作用。另外，Woocher、Mathews 等人的实验也都得出了相似的结论。这一切都表明，心象在思维中起着不可替代的作用。

阿思海姆曾对心象在思维中的作用进行过专门研究[7]，他认为，任何思维，尤其是创造性思维，都是通过心象进行的。当思维者集中注意到事物的最关键部位，把其无关紧要

维普资讯 http://www.cqvip.com

的部位舍弃时，就会见到一种表面上不清晰、不具体甚至模模糊糊的心象。这种心象只能是一种一般普遍性的东西，并不代表一个真实的事物，而是代表一种质的东西。他认为心象在思维中的作用主要有三个：绘画、符号、记号。一种心象究竟在行使什么功能，是由它所代表的内容与心象本身的关系决定的。假如心象仅代表某种特定的内容，但并不能反映这种内容的典型视觉特征，它就只能作为一种纯粹的记号。由于它此时与自身代表的内容在形态上不一致，因而不能成为思维活动得以进行的主要媒介。假如一种心象意在"描绘"某种事物，它自身又比被描绘的事物更"抽象"一些，该心象便成为这种事物的"画"。作为绘画的表象，总是捕捉被描绘事物或事件的突出性质，加以再现。当心象不如它所代表的概念或观念抽象时，就成为这种概念或观念的符号。所谓符号就是为一种较为抽象的概念赋予可见的形体。

我们曾从信息加工角度，对形象思维进行了研究，提出了如下的形象思维的信息加工输入输出模型[6]：



形象思维的信息加工 I/O 模型

其中，$i_a \in \{M,A,X,S\}$，$a=1,2,\cdots n$；
$i_b \in \{M,A,X,C\}$，$b=n+1,\cdots n+m$；
而且必有一个 $i_c \in M$，$c=1,2,\cdots n+m$.

M、A、X、S、C 的意义分别如下：

M 代表形象性信息；A 代表抽象类信息；X 代表其他类信息；S 代表外部刺激输入的信息；C 代表控制身体某种运动的信息；

这些研究成果对形象思维的研究与发展起过相当大的促进作用，但对 AI 研究人员来说，他们更为关注表象在计算机中的表征问题。目前这方面比较有代表性的理论有如下几类：

3.1 心象计算理论

Kosslyn（1980，1981）在心理扫描实验基础上[3]，依据心象与知觉在机能上的类似，提出了表象计算理论。他将心象的表征分为两层：表层表征和深层表征，前者是指出现在视觉短时记忆中的类似图画的表征；后者为存储在长时记忆中的信息，它又被分为两类，一类是本义表征，这种表征所提供的信息是某一客体是什么样子，客体各元素在视觉短时记忆中的位置等，以便形成精确的心象；另一类是命题表征，这种表征由抽象的命题构成，它们是解释客体的。我们平时意识到的心象依赖于表层表征，表层表征保留了客体的位置、方位、大小等特性。

根据心象计算理论，深层的本义表征生成表象主要涉及四个过程：

1）图示过程（Picture Process）。将深层的本义表征转换为视觉短时记忆中的心象。

2）发现过程（Find Process）。在视觉短时记忆中搜索某个特定的客体或部分。

3）放置过程（Put Process）。执行各种必要的操作，使客体各部分处在心象中的正确位置中。

4）表象过程（Image Process）。协调上述三个过程的活动。

当然，除了上述四个过程外，还涉及其它的一些操作，它们的作用是确定和调整心象的大小比例以及进行各种变换。Kosslyn 进一步把这些变换分成两种不同的方式：1）可移动性变换，即连续的逐步增加的变换；2）闪烁性变换，这是非连续变换，一个心象被洗掉，代之以同一客体的另一个心象。

上述这些过程和操作构成了整个心象计算理论的核心。

3.2 心象的傅立叶模式和区域生长法

傅立叶模式认为：人脑中长时记忆存储的是景物形状的傅立叶变换形式，而不是景物形状的原形。他们认为，视网膜上得到的信息首先进入一组特定频率的通道，使从视网膜上得到的信息经过了一个傅立叶变换，进而认为心象在人脑中是以傅立叶模式存储

维普资讯 http://www.cqvip.com

的。

区域生长论者将视觉性质相同的点集看作区域，他们认为输入到视网膜的景物通过区域生长处理后被送入大脑，它已不是由原景物的离散信息，而是分割成区域的信息。根据这一理论，心象在人脑中是以这些区域来表示的。

3.3 心象的纹理表示理论及形文法

纹理是一种表面特性，由紧密交织在一起的单元组成。人们在进行认知活动时，倾向于把大小变化的纹理与三维物体的表面联系起来，用它来表示三维深度等。纹理表示论正是建立在这一事实基础上，它认为心象是通过纹理分析来获得和加以表征的。目前表征纹理结构的方法有基元法和形文法等，其中形文法方法得到了广泛的应用，下面对其作一介绍。

形文法主要是描述如何通过少数符号施以规则重写而产生纹理。它可以描述为如下一个四元组：

$$(V_t, V_m, R, S)$$

其中，V_t 是形状的有限集，其元素为终端形状元素；V_m 是满足 $V_t \cap V_m = \varnothing$ 的形状有限集，其元素为非终端形状元素。令集合 V_t^+ 是由一个或多个 V_t 的元素的有限个排列形成，而且其中任何元素或其镜像可以取不同的位置、方向、大小等，集合 $V_t^* = V_t^+ \cup \varnothing$，$\varnothing$ 是空形状。集合 V_m^+ 和 V_m^* 的定义与 V_t^+、V_t^* 类似。再令 u 是 V_t^+ 集合的元素组成的一种形状，v 是由 V_t^* 集合的元素和 V_m^* 集合的元素联合组成的一种形状，那么，R 是有序对 (u, v) 的有限集，S 是 V_t^* 集合的元素和 V_m^+ 的元素组成的一种形状，是初始形状集。

由形文法生成纹理是由一初始形状 S 开始，然后重复应用形状规则，具体步骤如下：

1）根据终端元素和非终端元素，求出初始形状中和规则左侧几何形状类似的部分。

2）求使规则的左侧和该形状中的对应部分变为相同的几何变换（比例、平移、旋转、镜像等）。

3）将这些变换用到规则的右侧。

4）用变换后的规则的左侧代替该形状中对应于规则左侧的那部分。没规则可应用时，过程结束。

根据上述形文法，可形成各种复杂纹理。

3.4 心象的形态学理论

Matheron 第一个提出了采用数学形态学原理来进行视觉心象的表征，其设想是：人在进行视觉认知时，是以景物的形状或图象的区域作为识别的基本单元，不再是一个个点。构成视觉认知基础的形态是由更基本的点通过扩张、生长、侵蚀等形成的，其定义的一些基本操作可形式化描述如下：

令 A 是 E^n 的子集，E^n 为 n 维欧氏空间，B 为“形态”或结构元素，那么 B 作用在 A 上的扩张运算是：

$$A \oplus B = \{c \in E^N \mid c = a + b, a \in A, b \in B\}$$

其实质是将形态 B 作用在 A 上，使 A 上的景物扩张、生长、膨胀。

B 作用在 A 上的侵蚀运算是：

$$A \ominus B = \{x \in E^N \mid x + b \in A, \text{每个 } b \in B\}$$

$A \ominus B$ 的作用是使 A 的点集减少、缩小、侵蚀。

B 对 A 的开运算记作 $A \circ B$：

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

开运算的作用是将 A 上的“噪声”、“毛刺”消除，得到 A 的骨架。

B 对 A 的闭运算记作 $A \cdot B$：

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B$$

闭运算的作用是将 B 作为“细节”填到 A 中。

从上面的描述可以看出，形态学方法的设想是：视觉心象是由各种形态及其上的操作构成的，进入视网膜的信息在进入人脑时按形态学方法加工，然后在大脑中按形态学方法认知，从而完成整个视觉认知过程。

3.5 Marr 的 $2\frac{1}{2}$D 法与心象

Marr 提出的二维半（$2\frac{1}{2}$D）法的主要设想是：在视知觉和视觉认知之间应该有个界

维普资讯 http://www.cqvip.com

面，有个接口，因此，他把整个视觉信息处理过程分为三个主要表示层次：初始简图、二维半简图和三维模型。初始简图记录了灰度图象中存在的灰度变化和局部的几何特征，其相应的描述有：与边缘有关的灰度变化率、总的灰度变化、边缘的长度、曲率以及方向等。二维半简图是由图象中各点的内在特性以及关于这些内在特性在什么地方产生不连续的信息所组成的混合物，它完全而清楚地表示关于物体表面的信息。三维模型是物体的精确表示，依赖于"计算"来对这几个表示层次进行转换，从而完成视觉信息处理。

从形象思维角度对 Marr 的视觉计算体系进行分析，可以认为，其所谓的二维半简图实际上就是视觉心象的一种表示。

3.6 形象信息模型

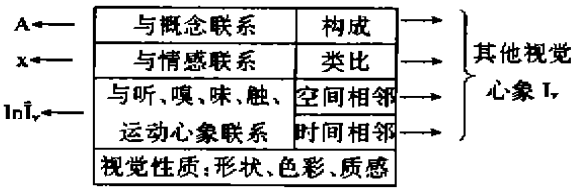
我们在对形象思维深入分析后认为[8]：视觉心象有如下三块结构：

1)构成结构。指一个表象由若干个小的表象结合而成的。

2)类比结构。指一个表象由另外的表象通过类比而形成的。

3)时空结构。指一个表象与另外一些在时间上和空间上相接近的其他表象之间具有密切的联系。

进而提出了如下的一个视觉形象的信息模型：



我们认为：视觉心象的信息分成三部分。第一部分是视觉心象的性质：形状、色彩、质感。对于使用非结构方法(即不用构成、类比和相邻方法)形成的表象，通常直接用视觉性质来描述视觉特征。第二部分是与其他视觉心象相联系的结构信息，包括用构成、类比和相邻等结构方法与其他心象相联系。第三部分是与人脑中视觉心象以外的信息的联系，包括该形象所联系的概念、所激发的情感、以及该形象所联系的听、嗅、味、触、运动等其他种类的形象。

从上面的介绍可以看出，这几类心象理论都有一共性，即都引入了特殊结构来表征心象中的信息，并强调对心象中的这一特殊结构进行处理的操作。心象计算理论采用了层次结构，并着重定义了一组相关过程操作来处理它；傅立叶模式及区域生长法则采用数学变换结构形式来表征心象中的信息；纹理表示法则采用了纹理等表面特征来表征心象；形态学方法则依据数学形态学原理，采用形态、结构来表征心象；Marr 则从视觉体系着手，采用了二维半简图来表征心象；形象信息模型从信息加工角度出发，采用构成、类比、相邻三种结构来表征心象。心象及其表征理论的这一共性，对今后我们进行基于心象的知识表示研究有很大的指导意义。

四、形象思维研究展望

目前对智能模拟的研究有连接主义和符号主义两大对立流派。符号主义试图用符号来表示人脑中的知识，并以此为基础建立了一套推理机制来进行智能模拟；而连接主义者则强调知识的获取，它隐含认为智能行为是根据已获得的知识自动进行的[9,10]。从人的认知过程来看，这两种研究思想各有缺陷。对符号主义来说，用符号来完全表示人脑中的知识的设想是很难实现的，我们从知识表示的发展及知识工程的兴起可以清楚地看到这一点。对连接主义来说，人脑中的神经元网络是经过漫长演变的，十分复杂，人工神经元网络不可能达到这样的复杂性，这也是为什么目前的神经元网络只能求解一些简单的或与网络具有某种相似性的问题的一个重要原因。人的心象既具有网络所有的整体性，又能起到一种符号作用，在这一点上，可以说形象思维的研究弥补了连接主义与符号主义的断层。因此，我们在进行形象思维研究时也必须采用符号主义与连接主义相结合的立场。但

维普资讯 http://www.cqvip.com

52-54,74
计算机科学1994Vol. 21№. 1

自构形神经网络及其应用*)

雷 鸣 朱心雖 尹申明 杨叔子
(华中理工大学 武汉430074)

摘要 Neural networks research today is inhibited by a kind of rigidity in the architecture. In this paper, we propose a compact structuring method based on learning with a large size network and then compacting gradually the suitable size network by combining extra hidden unit.

关键词 self-configuring neural network, pruning, hidden unit fusion

1. 引言

当前神经网络的研究，遇到了一个非常困难的问题：如何合理地选择神经网络的总体结构。从图论的角度来看，前向式神经网络是一个有向图，欲决定其结构，就要找出一个合适的拓扑结构。这个问题十分困难，因此，实际工作中，神经网络结构的决定常常带有人的主观性和艺术性，缺乏一个规则指导。

另一方面，神经网络是模仿人的神经系统工作的，实际上人的大脑神经元巨多，针对不同的问题，不同的神经元区域兴奋，有着良好的自组织性，并非什么问题求解都要调用所有的神经元工作。然而，人工神经网络，结构一旦由人工定了以后，就无法变化，缺乏在学习过程中重新组合的自组织和学习柔性，因此，十分不方便。

能否有一种神经网络，其结构由人粗略决定之后，可以根据学习问题的不同，自己重新构造自己的结构，组成一个更合适的网络拓扑结构，以适应环境的需要呢？结论是肯定的，关键在于如何构造学习算法。

2. 自构形神经网络

当我们应用前向式神经网络(学习算法为BP)时，事先需要决定网络的结构，具体地说，输入节点与输出节点是由问题本身决定的，而关键在于隐层的层数与隐节点的个数问题上。对于隐层的层数，有许多学者作了理论上的研究，比较有代表性的是 Lippmann [1987]和 Cyberso[1990]的研究。

Lippmann 指出，有两个隐层，就能解决任何形式的分类问题，而 Cyberso 进一步指出，有一个隐层的神经网络，只要隐节点足够多，可以逼近任一非线性函数。由此可见，隐层的数目，可以说有了一定的理论指导，关键

*)国家自然科学基金及863资助项目

计算机求解问题具有以下几个限制[1]：

1)必须把问题形式化。

2)必须要有解决问题的算法。

3)这个问题的求解算法必须有一个合理的复杂度。

这与形象思维所具有的全局性、动态性、协同性、无法预测、不唯一性、难以直接表达等特点是不相容的，因此，我们还必须从数学、心理学等不同的侧面进行深入而细致的分析，并把各方面的知识系统地联系起来，这样才能把形象思维研究深入下去。(参考文献共12篇略)