维普资讯 http://www.cqvip.com

计算机科学1995Vol. 22№. 4

关于开放智能系统的建立

刘泉宝　刘永清
（华南理工大学自动化系　广州510641）

摘　要　According to Dissipative Structure Theory, this paper explores the necessity of exchanging information with environment and self-organization for developing human intelligence, and points out that it is necessary to exchange information with environment and have the self-organization ability for an open AI system.

关键词　Dissipative structure, AI, Open system.

一、引　言

诺贝尔奖金获得者普里高津在1969年所提出的耗散结构理论中，把热力学系统分为三种：一是孤立系统，即与外界不产生物质和能量的交换；二是封闭系统，即只与外界交换能量，但不交换物质；三是开放系统，即与外界交换物质和能量，并且认为进行新陈代谢和繁殖的生物系统总是要跟它的环境进行物质和能量的交换，因此，亦作为开放系统发挥作用。毫不例外，人是一个开放复杂巨系统。现代科学表明物质、能量和信息是密不可分的。信息的产生、表达、传递等离不开物质，要以物质为基础，作为载体，而信息的获取与传递离不开能量，能量的转换与驾驭又离不开信息。因此，一个开放系统，在同外界交换物质和能量的同时，还必然交换信息。人通过其感官接收来自环境的信息，经过思维的物质器官——人脑进行加工处理，形成对环境的认识，用以指导人的行动，以适应环境，能动地改造环境，因此，人脑是一个开放的复杂巨系统[1]。

人工智能是研究用机器模拟人的思维，要想让机器表现出较高的智能行为，那么、人工智能系统不仅仅要求是一个多种思维方式并存的集成系统[4]，而且还应该是一个开放系统。

二、熵[7]

1. 信息熵

信息作为一个科学概念是1948年香农首先在通信领域中提出的。他指出："能否定义一个量，这个量在某种意义上能度量这个过程所'产生'的信息是多少？""量 $H=-p_i\log p_i$ 作为信息、选择和不确定性的度量。"香农在这里把信息量的公式称作为不确定性的度量，把信息看作是不定性减少的量，信息就是两次不定性之差。用符号表示就是：

$$I=S(Q|X)-S(Q|X') \tag{1}$$

其中，I 代表信息，Q 表示对某件事的疑问，S 表示不定性，X 为收到消息前关于 Q 的知识，X′ 为收到消息后关于 Q 的知识。

信息量是从信息接受者的角度来考虑的，它是信息接收者知识变化的数量，即信息接收者收到信息后不定性减少的数量。

设 X 是取有限个值的随机变量 $p_i=P\{X=x_i\}$ $i=1,2,\cdots,n$，则 X 的熵定义为：

$$H(X)=-\Sigma p_i\log p_i \tag{2}$$

式(2)给出的随机变量 X 的信息熵 H(X)是从信源的整体角度考虑，它代表信源整体的平均不定程度。

从信宿角度考虑，信息量 I(X)是指信宿收到信息后解除不定性的量，指主体对客体的不定性解除程度，不定性减少的程度或获得新知识的程度。如果信宿收到信息后，全部解除了不定度，那么信息熵与信宿收到的信息量完全相等，因此 H(X)=I(X)。

2. 热熵

1850年，法国物理学家克劳修斯首次对热力学第二定律作出这样的一种表述、不可能把热量从低

维普资讯 http://www.cqvip.com

温物体传到高温物体而不引起其它变化，即热传导不可逆。1856年，克劳修斯在讨论热循环时，又用熵的形式表达了这一定律。熵从状态A至状态B变化通常定义为：

$$S_B - S_A = \int dQ/T$$

其中，dQ是系统在温度T时吸收的热量，从积分路径看是可逆的。用熵的术语来表述第二定律就是宇宙的熵是不会减少的，即$\Delta S >= 0$。

它表明对于一个孤立系统来说，一切不可逆过程都会使熵增加，最终趋于平衡。平衡态的特征是熵最大。在平衡状态下，系统混乱度最大，无序度最高，组织程度最差。

1872年波尔兹曼在研究气体分子运动过程中，对熵首先提供了微观解释，后经普朗克、吉布斯进一步研究解释更为明确。他们认为：在大量粒子（原子、分子）构成的系统中，熵就表示粒子之间无规则的排列程度，或者说，表示系统的混乱程度，系统越"乱"，熵就越大；系统越有序，熵就越小。维纳曾说过："一个系统的熵就是它的无组织程度的度量。"

熵这一概念出现后，就与信息紧密地联系在一起。波尔兹曼写道："熵是一个失去了的'信息'的度量。"熵的获得永远意味着信息的丢失，而不是别的。一个系统有序程度越高，则熵越小，所含信息量就越大；反之，无序程度越高，则熵越大，所含信息量就越小。信息和熵是互补的，信息就是负熵。所以，用来表示信息熵的公式与热力学熵公式有一区别，在信息熵公式中有负号，而热力学中则没有。这恰恰表明，它与热力学公式所代表的方向相反，不是刻画系统无序程度，而是表示有序程度，表示系统获得信息后，无序状态的减少或消除，即消除不定性的大小。

法国物理学家布里渊于1969年在其专著《科学与信息》中作了论述，他认为香农信息熵的数学表达式与热力学中的熵的数学表达式是一致的。信息熵是解除不定度所需信息的度量，而热熵是系统紊乱程度的度量，要使紊乱的系统有序化就需要信息，而信息的丢失就表示系统紊乱程度的增加，两者互为负值。

三、耗散结构[3,7,8]

普里高津等人指出：对于一个与外界有物质和能量交换的系统来说，熵的变化可以分为两部分：一部分是系统本身由于不可逆过程引起的熵增加(dis)，这一项永远是正的；另一部分是与外界交换物质和能量引起的熵流(des)，这一项可正可负。整个系统的熵的变化ds，就可以写作两项之和：

$$ds = des(\text{熵流}) + dis(\text{熵产生}) \qquad (3)$$

根据热力学第二定律：$dis >= 0$，在孤立系统中，根本没有熵流，因此$des = 0$。在开放系统中，熵流des可以大于或小于零。如果des为负值，其绝对值又大于dis，则$ds = des + dis < 0$，这时，熵可以逐步减小，使系统由无序趋向新的有序。形成有序之后，若$dis = -des$，$ds = 0$。则系统可维持一个低熵的非平衡定态的有序结构。这种非平衡态下的新的有序结构，普里高津等人就把它称作耗散结构。这种有序稳定结构与平衡结构不同。稳定有序的平衡结构是一种"死"的结构，它不需要靠外界供应物质和能量来维持；稳定有序的耗散结构，则是一种"活"的结构，它要求不断地吐故纳新，即不断地与外界发生物资和能量的交换，才能维持它的有序状态。

四、思维

任何生物都处于远离平衡态，都要不断地与环境发生物质和能量的交换，即新陈代谢，才能维持生命。生命是一种远离平衡态的高度的有组织的有序结构。如果它一旦由有序变为无序，由非平衡态变为平衡态，就意味着死亡。因此，生命可以作为一种耗散结构来研究。

然而，在耗散结构理论中，普里高津并没有充分论及我们所感到的是系统最重要的方面——信息。我们知道，物质、能量和信息是构成物质世界的三大要素，它们之间既有联系又有区别。维纳曾指出："信息就是信息，不是物质也不是能量。"对于人这个开放复杂巨系统来说，如果说同环境进行物质和能量的交换维持了生命的新陈代谢，那么同环境的信息交换则保证了思维的吐故纳新。

众所周知，知识乃智慧之源泉，而知识是人通过实践，认识到客观世界的规律性的东西，其获取过程也就是人同环境交换信息的过程。在微观上，它表现为神经网络构建的结果。因此，在研究思维问题时，我们不妨将视角放在信息上。

1. 信息交换[9]

在各种变动不居的环境(E)，输入(P)、输出(R)，以及在输入与输出之间的控制-编码(C)或连接器之间，我们假定存在一个信息流，并令其逆时针方

维普资讯 http://www.cqvip.com

向依E→P→C→R→E顺序流动，并呈现一种连接不断的循环流动状态。如图1所示。

在人这个开放复杂巨系统中，环境E作为信息源，它可以是人、机器、自然界的物体等等，并以某种符号或信号的方式表现出来。人通过感官接收外界的刺激（即输入P），获得信息，经过大脑（即控制-编码中心C）的加工处理，然后通过手、足、身这些效应器官（即输出R）输出，反作用于环境，表现为以主体（人）为中心对客体（环境）的能动作用。环境作出反应的信息又为人的感官所获取，再传入大脑，经大脑的再加工，又作用于环境，……，这样形成一个闭合的无限反复循环流动过程。鉴于上述信息流动在时间上的延续性，它实际上应当被表述为朝上的一条螺旋曲线，如图2所示，人同环境进行信息交换的过程。

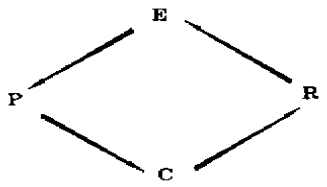

图1

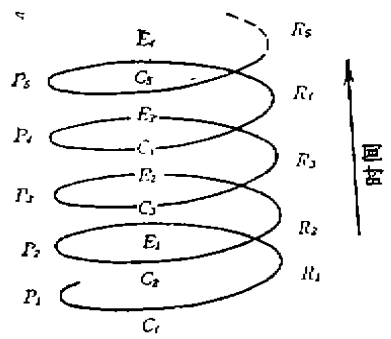

图2

2. 思维与耗散结构

维纳曾说过："信息是一个可以看作几率的量的对数，它实质上就是负熵。"法国物理学家布里渊很重视维纳关于信息是负熵的观点，认为它为熵概念的某些重要推广开辟了一条道路，并且指出，按照维纳所指出的方向仔细研究下去，这些问题也许对生命本身的研究有某些重要贡献。智力是生命的产物，对思维能力的进一步理解可能会对这个极有意义的问题提出一个新的观点。

人脑系统是一个具有复杂结构的系统，它包含巨量的信息。因此，人脑系统是高度有序的系统。在人脑这个远离平衡的开放系统中，是否也可以用耗散结构理论来理解；通过信息这个负熵流，使得它成为一个高度有序的系统呢？

分子生物学表明：信息以一种固定的方式被存储在DNA，即遗传密码中。低等动物或多或少是根据遗传密码给定的规则构建的。其神经系统之"线路"是相当严格的，对于高等动物，除了神经系统的严格线路在起作用外，还出现了自组织过程。现已证实，在人出生一年后，脑细胞数目不再增加。人的一生所接受的一切信息，不可能预先存储在脑内，也不可能预知。因此，人脑实际上是通过输入信息使神经元之间的连接方式发生可塑性变化的一种自组织系统。因此，对于一个初生的婴儿来说，其大脑系统是一个存储有一定信息，并且具有一定结构的初级有序系统。

参照式(3)，有系统的熵的变化量ds′的公式如下：

$$ds' = des' + dis' \tag{4}$$

公式(4)中，dis′为熵产生，即大脑对信息的遗忘。它总是正的，即dis′>=0，因为遗忘意味着信息的丢失，也就是信息的耗散。系统的信息耗散后，信息量减少，系统的有序度减小，无序度增大，亦即系统的熵增大。des′为熵流，即大脑系统同环境进行信息交换时的熵流。

当ds′=0时，即des′+dis′=0，des′=−dis′。它表明在系统同环境进行信息交换的过程中，信息的耗散同信息的获取与记忆维持在一个非平衡的稳定态。因此系统不会产生突变，仍维持在原来的状态。

当ds′<0，即des′为负值，其绝对值大于dis′。它表明系统不断地从环境中获取信息，并且将获取的信息记忆在大脑中。因此，大脑中的信息量不断地增加，熵则不断地减小。在这个意义上说，这些信息给系统带来了负熵。其结果是使整个系统的有序性增加大于无序性的增加，在具备一定的条件下，就能自发地形成新的有序结构。形成有序之后，若ds=0，des′=−dis′，则系统可维持一个低熵的非平衡定态的结构。

维普资讯 http://www.cqvip.com

3. 几点说明

(1)宏观上,上面仅是按耗散结构理论来理解人脑的记忆问题,也即信息存储的问题。在微观上,大脑中的神经元又是通过什么样的自组织使其从无序到有序的?这仍然是值得研究的问题。

(2)记忆并不等于思维的全部,因为思维过程还包括信息的传递、加工和处理。如果我们把这理解为功能上的从无序到有序,那么在人脑系统中,这些存储下来的信息又是怎样通过相互之间的协作来实现功能上的高度有序呢?这也还是一个十分困难的问题。

(3)系统是开放的仅仅是作为人脑系统能够思维,并且表现出高度智能行为的必要条件,但它并不充分,因为开放系统并不一定都能思维,表现出高度的智能行为。这还要取决于系统内部的机制。

(4)由于信息不遵循守衡原理,信息的输出并不等于信息的耗散,因此对于人脑这个开放复杂巨系统来说,信息交换应该理解为不同的信息交换,也就是在交换的过程中均有负熵流的流入(即 $ds<0$)。这样人才表现出高度的智慧。

五、开放的智能系统

纵观人工智能的研究历史,可以看出,人工智能系统的研究基本上是沿着符号主义和联结主义两条途径来进行的。符号主义是将信息首先符号化,使之变为用符号描述的知识,然后再加推理来实现思维的。联结主义则是基于人工神经网络,将信息变成训练样本,利用事先设计好的网络结构和训练方法进行训练,以实现思维。显然,它们都是从思维方式上来研究人工智能问题的。如果从耗散结构理论来看,这些系统在研究的过程中,首先是依靠人来向系统不断引入负熵流的,然后通过人来组织系统的结构和功能,使系统从"无序走向有序"。一旦系统研究完毕,它就成为一个封闭的系统,并且维持在一种稳定的有序状态。显然,这种系统是一种"它组织"系统。在以后的使用过程中,它不再从环境中引入负熵流,并且进行自组织。因此,它也就不可能有新的有序状态出现。可以想象。这样的智能系统当然就不会表现较高的智能水平。

综上所述,可以看出,一个具有较高智能水平的人工智能系统,不仅仅要求它是一个多种思维方式并存的集成系统,而且,它还必须是一个开放的系统。而建立一个开放的智能系统,至少以下两个问题是必须考虑的。

(1)系统必须有负熵流的流入,即系统必须同环境不断地进行信息交换。

(2)系统必须具有自组织的能力。

主要参考资料

[1] 钱学森、于景元、戴汝为,一个科学新领域——开放的复杂系统及其方法论,《科学决策与系统工程》,中国科学出版社 1990

[2] 戴汝为、王钰,区型智能系统方案的理论框架,《智能控制与智能自动化》,科学出版社 1993

[3] 沈小峰、谌墨华,耗散结构理论与自然辩证法,自然辩证法通讯,1980.2

[4] 李德虎,系统演化中的负熵及其作用,科学技术与辩证法,1991.5

[5] B.P.莱斯特著,王顺义译,信息具有自组织能力,自然科学哲学问题丛刊,1984.4

[6] 刘泉宝、刘永清,从思维科学看人工智能的研究,计算机科学,1994.5

[7] 王雨田主编,《控制论、信息论、系统科学与哲学》,中国人民大学出版社 1988(第二版)

[8] 伊.普里高津、伊.斯唐热著,曾宏庆、沈小峰译,《从混沌到有序》,上海译文出版社,1987

[9] 耿文.拉兹洛著,李创同译,《系统、结构和经验》,上海译文出版社 1987