

# “信息-知识-智能”生态意义下的知识内涵与度量<sup>\*</sup>

钟义信<sup>+</sup>

ZHONG Yixin<sup>+</sup>

北京邮电大学 智能科学技术研究中心,北京 100876

Centre of Intelligence Science Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

<sup>+</sup>Corresponding author; E-mail: yxzhong@ieee.org

**ZHONG Yixin. Knowledge concepts and measures in views of information-knowledge-intelligence ecosystem. Journal of Frontiers of Computer Science and Technology, 2007,1(2):129-137.**

**Abstract:** The concepts, categorization and representation of knowledge in views of the macro and micro ecosystem of information-knowledge-intelligence are presented, and the quantitative measures for various categories of knowledge are established. It is seen that the measures of knowledge are closely related to that of comprehensive information to certain extent. The relationship between the knowledge measures and the measures of comprehensive information, may provide a sound base for further investigation of the theory of knowledge as well as the unified theory of information, knowledge and intelligence.

**Key words:** macro-ecosystem of knowledge(information-knowledge-intelligence); micro-ecosystem of knowledge(innate-emirical-regular-commonsense); measures of knowledge

**摘要:**探讨在知识生态(包括内生态和外生态)系统意义下的知识概念、分类、描述和度量方法。结果表明,知识的度量与全信息的度量具有内在联系。这种联系将为进一步研究知识理论以及建立信息、知识、智能的统一理论提供良好的基础。

**关键词:**外生态(信息-知识-智能);内生态(本能-经验-知识-常识);知识度量

**文献标识码:**A **中图分类号:**TP18

## 1 引言

随着人们对于知识重要性的认识日益深化,学术界对于知识的理论研究给予了越来越多的关注。由于研究背景、研究出发点以及着眼点的不同,人们

对这一类研究使用了各不同的术语:有的称为“知识科学”<sup>[1,2]</sup>,有的称为“知识工程”<sup>[3]</sup>,有的称为“知识理论”等等<sup>[4]</sup>。总之,知识作为一个整体,已经成为学术界的一个重要的研究对象。

<sup>\*</sup> the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60496327,60575034(国家自然科学基金)。

一方面,信息是知识的原材料,知识是信息加工的产物,信息的核心价值就在于能够从中提炼出知识;另一方面,知识是智能生成的基础,智能是在目标引导下和边界条件约束下知识激活的结果,知识的根本效用就在于能够被激活成为智能。换言之,智能来源于知识,知识来源于信息;信息、知识和智能构成一种生态链。因此应当把信息、知识和智能作为一个“生态系统”的整体,在它们相互联系和相互作用的系统中来把握它们。

在近代科学发展过程中,信息论和人工智能理论分别在20世纪40年代和50年代相继问世,知识理论却没有形成系统的理论。20世纪70年代的“知识工程”<sup>[15]</sup>只涉及知识的表示与推理,90年代的“知识发现”<sup>[16]</sup>只涉及针对某些特殊数据库的知识生成。由于人类认识过程总要经历由表及里、由局部到全局的发展过程,这种历史现象在所难免。然而科学发展到今天,研究和建立知识理论已经成为一项应当解决而且有可能解决的任务。

## 2 知识理论的基本概念

任何科学理论都建立在自己的基本概念基础上,没有自己独立的基础概念,就不能成为一门独立的学科。知识论也不例外。因此,这里首先将定义一组与知识理论直接相关的基本概念:信息,知识,智能。当然,研究的重点将在知识概念本身。由于信息、知识和智能之间存在密切的内在联系,这里不能不同时简要地提到信息与智能的概念。

### (1) 信息<sup>[5-7]</sup>

通常,所谓得到了关于某个事物的信息,就是指:知道了这个事物现在处在什么样的运动状态,以及知道了这个运动状态会按照什么方式发生变化。因此,“事物运动的状态以及状态变化的方式”是信息的核心要素。不过,由于信息概念的复杂性,笼而统之的讨论往往不得要领。因此,需要根据不同的条件把信息划分为不同的层次。其中最基本的层次是本体论信息层次和认识论信息层次。

**定义 1** 本体论信息指事物运动的状态和状态变化的方式本身,不包含任何主体的因素;认识论信息则指主体所表述的事物运动的状态及其变化方式,包括这些状态/方式的形式、含义和(对主体的)价值。

**例** 对于某随机事件的本体论信息  $X$ , 若它有  $N$  种可能的运动状态, 状态的变化方式按照某种概率分布的规律进行, 且各个状态相应的逻辑真实度分布为  $T$ , 这些状态相对于主体目的的效用度分布为  $U$ , 那么这个事物的认识论信息就可以由下面的表达式来刻画:

$$X=\{x_n|n=1,2,\dots,N\},P=\{p_n|n=1,2,\dots,N\}$$

$$T=\{t_n|n=1,2,\dots,N\},U=\{u_n|n=1,2,\dots,N\}$$

(2) 经验<sup>[8-12]</sup>

**定义 2** 经验是人们在解决实际问题过程中通过摸索所形成的成功操作程序。

一切经验的共同特征是:它告诉人们什么样(状态)的事情应当用什么样的办法(状态变化的方式)去做才能达到目的(新状态)。对照信息的定义可以看出,原来经验不是别的,恰巧就是“事物运动的状态和状态变化的方式”。换言之,经验也是信息,而且属于认识论层次的信息,是经过人的实践、思考和整理的认识论信息。

这里把形成一个经验的那个问题叫做这个经验的“源问题”。

原则上说,经验应当是可以重复使用的。只要所面临的问题与经验的“源问题”基本相类似,经验的应用就可能取得成功。不过,由于经验的形成没有经过严格的论证,经验的可用条件并不十分明确,经验本身的描述也不具备严格的标准,因此,经验的成功运用并没有严格的保证。这是经验所固有的二重性。

### (3) 知识<sup>[8-12]</sup>

经验和知识都属于认识论的范畴,直接同认识论信息相联系。另一方面,经验是经过实践证明为有效的,只是还没有经过严格的证明;知识则是经过大量实践的检验并已经上升为理性的认识,上升成为

了规律；因此，经验可以认为是“前知识”或“准知识”。认识论信息则不具备这个特点。这又是经验和知识与认识论信息不同的特点。

为了便于与信息定义进行对照研究，可以把知识重新定义如下。

**定义 3** 知识是认识论范畴的概念，表述事物运动的状态和状态变化的规律。

注意，与认识论信息的定义相比，知识强调的是“事物运动状态变化的规律”，而不是简单的“事物运动状态变化的方式”。

可见，认识论信息（全信息）和知识概念互相贯通：由具体的“状态变化方式”（信息）到抽象的“状态变化规律”（知识），其间经历的变化正是人们对信息所进行的加工。具体的“状态变化方式”经过抽象，成为“状态变化的规律”；因此，信息是一种原材料，经过加工提炼之后，就可能形成相应的抽象产物——知识。这样就可以说：知识是信息加工的规律性产物。

也有说“知识是一类特殊的信息”。这是指：知识是一类高级的、抽象的而且具有普遍适用性的信息，不是普通的、粗糙的、具体的信息。这是因为，作为“事物运动状态及其变化规律”的知识，当然满足了“事物运动状态及其变化方式”的要求，所以，知识必然是一类信息。但是反过来，信息虽然可以被加工成为知识，但信息却不一定就是知识。

#### (4) 常识<sup>[12]</sup>

常识是知识的特殊子集，包含两类基本情形：一类是那些已经被充分普及因而成为“尽人皆知”的知识；另一类是那些“与生俱来”、“不证自明”或“不言而喻”的知识。前者可以称为“普化的知识”，它们是社会文化科学技术不断进步和知识普及的结果；后者可以称为“本能知识”，它们是人类在整个进化历史中逐渐积累起来的稳定的先天性知识。

经验、知识、常识都具有“知识”的秉性，是知识生态系统中的不同阶段。可以把经验称为“经验性知识”，把知识称为“规范性知识”，把常识称为“常识性

知识”（后者包含了先天性本能知识），它们构成了知识内部的生态系统。

#### (5) 策略<sup>[10-11]</sup>

**定义 4** 策略就是关于如何解决问题的策划与方略。

策略所要告诉人们的是：面对具体的问题（原始状态），应当按照什么方法和步骤（状态变化的方式），才能把问题的原始状态一步一步地转变为目标状态，使问题得到满意的解决。对照信息的定义就不难体会，策略也是一种信息，称为策略信息。另一方面，主体所生成的策略信息必须能够用来有效地解决问题，因此，它既要体现主体的目标利益（否则就没有意义），又要符合客观规律（否则就不可能实现）。从这个意义上可以认为，策略是智能的集中体现。因此，人们往往称之为“智能策略”。人们通常就把策略看作智能的化身。如何由客体知识和主观目的生成智能策略，成为求解问题的核心步骤。

#### (6) 智能<sup>[10-12]</sup>

**定义 5** 在“给定问题-环境约束-主体目标”的条件下，有针对性地获取问题-环境的信息，恰当地处理这些信息，实现认知，进而在主体目标引导下激活知识，产生解决问题的策略和行为，从而在给定环境下成功地解决问题，满意地达到目标的能力。

定义表明，智能包含四方面的要素和四方面的能力。四个要素包括：信息，知识，策略和行为；四个能力包括：获取有用信息的能力；由信息生成知识（认知）的能力；由知识和目的生成策略（决策）的能力；实施策略取得效果（执行）的能力。

在“智能”的四个要素和四个能力之间，并不是完全平等的关系：策略是智能的集中体现，因此称为“狭义智能”；而获得信息、提炼知识、生成策略、执行策略、解决问题的整个过程则构成了“全义智能”。

图 1 给出了“全义智能”模型中信息、知识、狭义智能（策略）之间相互依存和相互作用的整体关系：信息-知识-智能，它表现了由信息开始向着智能层层递进的过程。

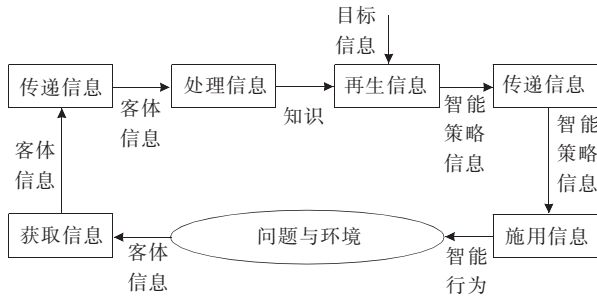


图1 智能过程中的“信息-知识-狭义智能”关系

Fig.1 The relation of information-knowledge-intelligence in the process of intelligence

总结起来,信息、知识、智能之间的关系可以这样来表述:信息是基本资源;知识是对信息进行加工所得到的抽象化产物;策略(狭义智能)是由客体信息和主体目标演绎出来的智慧体现,(全义)智能是把信息资源加工成知识、进而把知识激活成解决问题的策略并在策略信息引导下具体解决问题的能力。

图1所示的信息、知识、智能关系,正好符合人类自身认识世界和优化世界活动过程中由信息生成知识、由知识激活智能的过程。其中,获取信息的功能由感觉器官完成,传递信息的功能由神经系统完成,处理信息和再生信息的功能由思维器官完成,施用信息的功能由效应器官完成。由此可以体会信息-知识-智能转换理论的重要意义。

由此也可以总结:信息经加工提炼而成知识,知识被目的激活而成智能。

特别有意义的是,以上的分析揭示了两个颇为重要的“生态系统”:一是由信息到知识到智能的“外生态系统”,也可以称为“宏观生态系统”;一是由本能知识到经验知识到规范知识再到常识知识的“内生态系统”,也可以称为“微观生态系统”。进一步的分析可以发现:“内(微观)生态系统”的状况将决定了知识“外(宏观)生态系统”的性质。这在智能理论的研究中具有极其重要的意义。由于篇幅的原因,这里不再展开。

### 3 知识的分类与表示<sup>[8-12]</sup>

为了研究知识的度量理论,首先必须解决知识

的表示问题。为此,又必须研究知识的分类问题,才能对知识进行分门别类的具体表示。

#### 3.1 知识分类

那么,应当怎样来考虑知识的分类呢?人类迄今所拥有的知识已经构成一个极其庞大的学科体系,构成了一个大规模的、多层次的、动态的、开放的复杂网络体系;而且随着人类科学技术活动的进一步展开,这个体系还会继续扩展。如果《知识论》按照这种学科的结构进行分类,那将永远也不能稳定下来,因而实际上无法操作。

应当明确,研究《知识论》的目的,不是要代替现有的各门各类的知识研究,因为这既没有可能,也完全没有必要。《知识论》的研究是要站在比各门各类的具体知识更高的宏观层次,研究各门知识的共性理论。因此,《知识论》所关注的知识分类不可能是按学科来划分的分类,而是为了研究知识的宏观共性理论、针对一切知识所共有的性质而提出的具有普遍意义的分类。

知识是认识论范畴的概念,相对于认识主体而存在。因此同认识论信息类似,一切知识,无论是数学、物理学、化学、天文学、地学、生物学的知识,还是工程科学的知识,它们所表达的“运动状态和状态变化的规律”必然具有一定的外部形态,与此相应的知识称为“形态性知识”;同时,知识所表达的运动状态和状态变化的规律也必然具有一定的逻辑内容,与此相应的知识可以称为“内容性知识”;最后,知识所表达的运动状态和状态变化的规律必然对认识主体呈现某种效用,与此相对应的知识可以称为“效用性知识”。形态性知识、内容性知识、效用性知识三者的综合,构成了知识的完整概念,如图2所示。

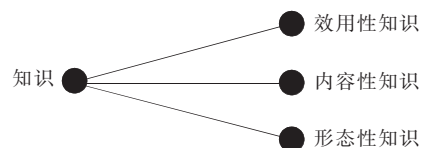


图2 知识的三位一体

Fig.2 The trinity of knowledge



**公理 1** “任何知识都由相应的形态性知识、内容性知识、效用性知识构成,这种情形称为知识的三位一体”。

容易看出,这里的形态性知识与认识论信息(全信息)的语法信息概念相联系;内容性知识与认识论信息(全信息)的语义信息概念相联系,而效用性知识则与认识论信息(全信息)的语用信息概念相联系。因此,知识的这种分类方法,抓住了知识描述的本质,而且体现了知识与认识论信息(全信息)之间存在的内在联系。反之,如果不能揭示知识与认识论信息(全信息)之间深刻的内在联系,知识理论的建立就会遇到许多困难。

### 3.2 知识表示

人工智能理论给出了许多知识表示的方法,都是有效的,这里从略。

为了对形态性知识、内容性知识、效用性知识进行分门别类的描述,需要引进相应各类知识的描述参量。首先研究形态性知识的描述。

对于形态性知识的描述,就是对事物运动的状态及其变化规律的形式描述,主要回答的问题是:“某种事物的运动具有多少种可能的运动状态,这些状态变化规律的形式特征是什么”。一般,从形式上描述某种“事物运动状态”的特征就是直接对这些状态赋以特定的抽象符号,每个抽象的符号对应于一种实际的运动状态。为了从形式上描述“状态变化规律”的特征,通常要针对事物运动的具体规律采取相应的具体描述方法。例如,如果事物状态变化规律是随机的性质,它的状态变化规律的形式特征可以用状态转移概率分布  $P$  来描述,如图 3 所示。

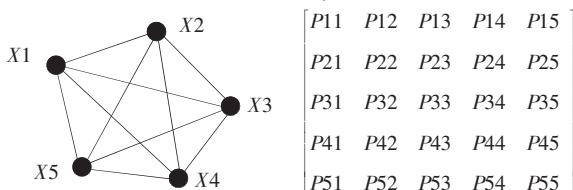


图 3 状态及其随机变化规律

Fig.3 The states and the rule of states varying

在图 3 给出的例子中,各个顶点及它们的相应

符号  $x_i, i=1, 2, \dots, 5$ , 表示事物运动的各个可能状态,右图转移概率矩阵中的各个元素则表示相应状态之间发生互相转移(状态变化)的统计规律。

类似地,如果事物是半随机变量(称为“偶发变量”),它的运动状态的描述方法同随机型形态性知识没有什么不同;不过,它的状态变化规律的形式特征则应当是状态转移的可能度分布  $Q$ 。同样,如果事物是确定性模糊变量,它的运动状态的描述方法也没有什么不同,而它的状态变化规律的形式特征则应当是状态转移的隶属度分布  $M$ 。

根据莱布尼兹和贝努里等人的分析,概率分布、可能度分布、隶属度分布在概念上是相通的,它们的统一概括便是肯定度分布  $C$ 。

**定义 6** 设  $X$  具有  $N$  种可能状态  $:x_1, \dots, x_n, \dots, x_N$ , 状态  $x_n$  在形态上呈现的肯定程度称为状态  $x_n$  的肯定度,记为  $c_n, n=1, \dots, N$ 。由  $X$  全部状态的肯定度所构成的集合称为  $X$  的肯定度的(广义)分布,记为  $C$ ,它刻画了该事物的状态变化的规律。

注意到概率和可能度的归一性、隶属度的不归一性,肯定度  $C$  应当具有如下的性质:

$$0 \leq c_n \leq 1, \forall n \quad \text{和} \quad \sum_{n=1}^N c_n \geq \leq 1 \quad (1)$$

式(1)中的符号“ $\geq \leq$ ”表示全部状态的肯定度之和可以大于、等于、小于 1,不是必然归一。具体来说,当给定的事物是随机型变量或偶发型变量时,全部状态的肯定度之和归一;当给定的事物是模糊型变量时则不归一。

于是,可以用事物  $X$  的状态集合及其肯定度分布  $\{X, C\}$  来描述事物  $X$  的形态性知识。

透过任何形态性知识,必然蕴含着相应的逻辑内容。因此,应当进一步来讨论内容性知识的描述问题。显然,事物  $X$  的状态所代表的实际内容将随不同的具体事物而千差万别,无限丰富多彩,不可能对它们一一做出具体的描述。但是,逻辑学的原理证明:一切科学定律和定理都可以用一串真伪选择序列来表达。因而,关于内容性知识的比较合理的共性描

述,是各个状态在逻辑上的真实性或真伪性。

**定义 7** 设事物  $X$  具有  $N$  种可能的状态  $x_1, \dots, x_n, \dots, x_N$ , 那么, 状态  $x_n$  在逻辑上真实的程度称为状态  $x_n$  的真实度, 记为  $t_n, n=1, \dots, N$ 。  $X$  的各个状态的逻辑真实度所构成的集合, 称为  $X$  的真实度的(广义)分布, 记为  $T$ 。

按照定义 7, 显然有

$$0 \leq t_n \leq 1, \forall n \quad \text{和} \quad \sum_{n=1}^N t_n \geq \leq 1 \quad (2)$$

因此, 可用事物  $X$  的状态集合及其真实度分布  $\{X, T\}$  来描述事物  $X$  的内容性知识。

类似地, 可以建立效用性知识的描述。可以根据事物  $X$  各个状态  $x_n$  相对于主体目标所显示的价值来定义相应状态的效用度  $u_n, n=1, \dots, N$ 。

**定义 8** 设事物  $X$  具有  $N$  种可能的状态:  $x_1, \dots, x_n, \dots, x_N$ , 那么, 状态  $x_n$  相对于主体目标所显示的价值称为状态  $x_n$  的效用度, 记为  $u_n, n=1, \dots, N$ 。  $X$  的各个状态的效用度所构成的集合, 称为  $X$  的效用度的(广义)分布, 记为  $U$ 。

按照定义 8, 也有

$$0 \leq u_n \leq 1, \forall n \quad \text{和} \quad \sum_{n=1}^N u_n \geq \leq 1 \quad (3)$$

因此, 可以用事物  $X$  的状态集合及其效用度分布  $\{X, U\}$  来描述事物  $X$  的效用性知识。

注意到, 从认识论的程序上考虑, 在形式、内容和效用三要素之间, 形式是最先被观察或感受到的要素, 内容是要透过形式的分析才能进一步感受到的要素, 效用则更是要针对一定的形式、内容和主体才能表现出来的要素。因此, 除了如上所述分别给出单纯的形态性知识、单纯的内容性知识和单纯的效用性知识的描述之外, 还有必要讨论形态性与内容性知识的综合描述以及形态性、内容性和效用性知识的综合描述方法。

**定义 9** 状态的肯定度与状态的真实度的结合称为状态的综合真实度, 记为

$$\mathfrak{A}_n = \alpha c_n \cdot \beta t_n \Rightarrow c_n t_n, \forall n$$

$$\mathfrak{A} = \{\mathfrak{A}_n\} \quad (4)$$

称  $\mathfrak{A}$  为综合真实度分布。式中箭头符号表示“可简化为”的意思。显然有

$$0 \leq \mathfrak{A}_n \leq 1, \forall n \quad \text{和} \quad \sum_{n=1}^N \mathfrak{A}_n \geq \leq 1 \quad (5)$$

与此相应的知识, 称为综合内容性知识。

**定义 10** 状态的肯定度、真实度与效用度的结合称为状态的综合效用度, 记为

$$\eta_n = \alpha c_n \cdot \beta t_n \cdot \gamma u_n \Rightarrow c_n t_n u_n, \forall n$$

$$\eta = \{\eta_n\} \quad (6)$$

称  $\eta$  为综合效用度分布。式中箭头符号表示“可简化为”。显然也有

$$0 \leq \eta_n \leq 1, \forall n \quad \text{和} \quad \sum_{n=1}^N \eta_n \geq \leq 1 \quad (7)$$

与此相应的知识, 称为综合效用性知识。

在研究逻辑推理问题的场合, 综合内容性知识的描述非常有用; 在研究基于知识的决策问题的时候, 综合效用性知识的描述非常有用。

应当指出, 知识描述的方法不是唯一的。但是不管何种知识描述方法, 都应当能够描述事物的运动状态以及状态的变化规律。这是基本的要求。另外, 这里所采用的知识描述方法不是针对某几种具体领域的知识的描述, 而是针对一切知识的共性——形态性知识、内容性知识和效用性知识——所做的描述, 因此具有广泛的普遍适用性。

#### 4 知识度量<sup>[8-12]</sup>

下面研究知识定量分析的问题和方法。

**定义 11** 知识的数量称为知识量。

同知识本身一样, 知识量也可以分为形态性知识量、内容性知识量、效用性知识量、综合内容性知识量和综合效用性知识量。其中, 最具基础意义的知识量是形态性知识的知识量。因此, 讨论就从形态性知识的度量问题开始。首先需要引入若干概念和定义。

肯定度存在归一和不归一两种情形。这里首先

研究归一的情形。

**定义 12** 均匀分布的肯定度和零一型分布的肯定度代表肯定度分布的两种极端情形，分别把它们记为

$$C_0 = \{c_n | c_n = \frac{1}{N}, \forall n\} \quad (8)$$

和

$$C_S = \{c_n | c_n \in \{0, 1\}, \forall n\} \quad (9)$$

**定义 13** 定义在肯定度分布  $C$  上的平均肯定度可以表示为：

$$M_\phi(C) = \phi^{-1} \left\{ \sum_{n=1}^N c_n \phi(c_n) \right\} \quad (10)$$

式(10)中的  $\phi$  是待定的单调连续函数， $\phi^{-1}$  是它的逆函数，也单调连续。

之所以选择式(10)作为定义在  $C$  上的平均肯定度表达式，主要是因为这个平均肯定度表达式包含了待定函数  $\phi$ ，这样就可以通过施加某些合理的约束条件来确定这个待定函数的形式，从而确定用来度量知识量的函数形式。

**定义 14** 两个问题  $X$  和  $Y$  具有相同的状态数  $N$ ，各自的肯定度分布为  $C$  和  $D$ ，若满足条件

$$\phi^{-1} \left\{ \sum_{n=1}^N c_n \phi(c_n d_n) \right\} = \phi^{-1} \left\{ \sum_{n=1}^N c_n \phi(c_n) \right\} \cdot \phi^{-1} \left\{ \sum_{n=1}^N c_n \phi(d_n) \right\} \quad (11)$$

则称它们互相  $\phi$ -无关。

在以上讨论的基础上，可以得到下面的定理。

**定理 1** 满足定义 4 和定义 5 各项条件的待定函数  $\phi$  必为对数形式。

这是一个很重要的结果。不过它的证明可在文献[13]和[14]中找到。

$$M_\phi(C) = \prod_{n=1}^N (c_n)^{c_n} \quad (12)$$

和

$$\frac{1}{N} = M_\phi(C_0) \leq M_\phi(C) \leq M_\phi(C_S) = 1 \quad (13)$$

式(12)和(13)的证明是直截了当的。

式(12)和(13)表明，肯定度为均匀分布时，平均肯定度最小；肯定度为零一分布时则平均肯定度最大。前者是最不肯定的情形，相当于无知识的情形；后者是完全肯定的情形，相当于拥有充分知识的情形。这显然与人们的直觉相一致。

由此，可以很自然地引进一个重要的概念：某个观察者对于某个事物是否拥有知识，或拥有多少知识，可以用这个观察者对于这个事物所具有的平均肯定度的大小来判断。平均肯定度越大，拥有的知识越充分。

若把最小平均肯定度  $M_\phi(C_0)$  作为基准，就可以建立一个相对的形态性知识度量。

**定义 15** 观察者  $R$  关于事物  $(X, C)$  的形态性知识量，可以用下式测度：

$$K(C) = \log \frac{M_\phi(C)}{M_\phi(C_0)} = \log N + \sum_{n=1}^N c_n \log c_n \quad (14)$$

**定义 16** 观察者  $R$  观察事物  $X$  之前所具有的关于  $X$  的肯定度分布称为关于  $X$  的先验肯定度分布，记为  $C$ ；观察之后的肯定度分布则称为后验肯定度分布，记为  $C^*$ 。

于是，所谓观察者  $R$  通过观察获得了关于事物  $X$  的形态性知识，就是指他在观察之后关于  $X$  的后验平均肯定度比观察之前的先验平均肯定度增大了。

**定义 17** 观察者  $R$  通过观察  $X$  所获得的形态性知识量则可以用下式测度：

$$K(C, C^*; R) = K(C^*) - K(C) = \sum_{n=1}^N c_n^* \log c_n^* - \sum_{n=1}^N c_n \log c_n \quad (15)$$

这是在肯定度分布归一的情形下关于形态性知识量的重要结果。只要知道了观察者在观察某一事物或实验的先验和后验肯定度分布，就总是可以利用式(15)计算出观察者在观察过程中所得到的形态性知识量。

由公式(15)可知，当先验肯定度为均匀分布而后验肯定度分布为零一分布时，观察者所获得的形

态性知识量达到最大值。一般,只要观察者的后验平均肯定度大于先验平均肯定度,就意味着他在观察过程中获得了某种程度的形态性知识。另一方面,不管先验和后验肯定度分布的形式如何,只要两者相同,观察者在观察过程中所获得的形态性知识量就总是为零。反之若观察者的平均后验肯定度小于平均先验肯定度,就意味着他在观察过程中丢失了形态性知识量。若观察者的先验肯定度分布为零一形式而后验肯定度分布为均匀分布,那么,观察者在观察过程中所丢失的形态性知识量达到最大值。这些都是与人们的直觉相一致的结果,因而是合理的结果。

在理想观察条件下,后验肯定度为零一型分布。此时,若假定先验分布为均匀分布,那么由式(15)可以得到

$$K(C_0, C_s^*; R) = \log N$$

这时,形态性知识量与状态数目呈对数函数关系。

如果对这一关系作进一步的人为简化,把  $\log N$  简化为  $N$ ,就可以直接用状态数目来近似计算知识量。这就是为什么情报界和文化界通常都用字数来估计情报量的道理。显然,这只是一种非常粗糙的估计。

现在再来考虑肯定度不归一的情形,即模糊试验的情形。显然,由于肯定度不归一,不能直接应用前面的结果。但是,对于肯定度集合的任意元素,总可以构造新的分布:

$$\{c_n, (1-c_n)\}, \forall n \quad (16)$$

显然,式(16)永远是归一的集合,因此,可以应用上面的结果。于是有

$$M_\phi(C_n) = (c_n)^{c_n} (1-c_n)^{(1-c_n)} \quad (17)$$

由式(14)可以写出第  $n$  分量的先验形态性知识量:

$$K(C_n) = c_n \log c_n + (1-c_n) \log(1-c_n) + \log 2 \quad (18)$$

根据式(15)可以进一步写出第  $n$  分量的形态性知识量公式:

$$K(C_n, C_n^*; R) = c_n^* \log c_n^* + (1-c_n^*) \log(1-c_n^*) - [c_n \log c_n + (1-c_n) \log(1-c_n)] \quad (19)$$

对于确定性的模糊试验,可以直接写出相应的平均知识量:

$$K(C, C^*; R) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N K(C_n, C_n^*; R) \quad (20)$$

这样,就建立了形态性知识量的计算或测度的方法。

注意到逻辑真实度  $T$ 、综合逻辑真实度  $\mathfrak{A}$ 、效用度  $U$ 、综合效用度  $\eta$  都具有模糊集合的性质,因此,式(16)-(20)的演算过程可以直接应用。只要把公式中的模糊肯定度参量换成相应的逻辑真实度、综合逻辑真实度、效用度、综合效用度,同样可以建立如下所示的内容性知识、综合内容性知识和效用性知识、综合效用性知识的度量公式。

$$K(T, T^*; R) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N K(T_n, T_n^*; R) \quad (21)$$

$$K(\mathfrak{A}, \mathfrak{A}^*; R) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N K(\mathfrak{A}_n, \mathfrak{A}_n^*; R) \quad (22)$$

$$K(U, U^*; R) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N K(U_n, U_n^*; R) \quad (23)$$

$$K(\eta, \eta^*; R) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N K(\eta_n, \eta_n^*; R) \quad (24)$$

详细的过程就不一一列出了。

## 5 结语

文章从“信息-知识-智能”生态学的观点出发探讨了知识的内涵,发现了知识的外生态系统和内生生态系统以及内外生态系统之间的关系,这是知识理论的重要基础。讨论了知识的度量方法,发现它和全信息的度量方法并行不悖,互相贯通。这为探索由信息生成知识的机制提供了重要的思路。

## References:

- [1] Lu Ruqian. Knowledge science and its frontiers[J]. China Awards in Science and Technology, 2000,8(4).
- [2] He Yunfeng. On the construction of knowledge science[J]. Journal of Shanghai Normal University, 2003(1).
- [3] Lu Ruqian. Promotion of knowledge engineering and its



- industry[J]. *Innovation and Creation*, 2004(6).
- [4] Shi Zhongzhi. *Knowledge discovery*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001.
- [5] Zhong Yixin. *Principles of information science*[M]. Beijing: BUPT Press, 1996.
- [6] Wiener N. *Cybernetics*[M]. [S.l.]: Elsevier Press, 1948.
- [7] Shannon C E. *Mathematical theory of communication*. BSTJ, 1948.
- [8] Zhong Yixin. A framework of knowledge theory[J]. *Engineering Science in China*, 2000,2(9):50-64.
- [9] Zhong Yixin. *Knowledge theory: fundamental study*[J]. *Journal of Electronics*, 2001,29(1).
- [10] Zhong Yixin. *Knowledge theory: kernel study*[J]. *Journal of Electronics*, 2001,29(4).
- [11] Zhong Y X. Preliminary study on knowledge theory[C]// *Proceedings of SCI, Orlando, USA*, 2001.
- [12] Zhong Yixin. *Machine cognetics: information-knowledge-intelligence transform*[M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [13] Aczel J. *Lectures on functional equations and their applications*[M]. New York: Academic Press, 1966.
- [14] Hardy G H, Littlewood J E, Polya G. *Inequalities*[M]. London: Cambridge University Press, 1973.

- [15] Zhong Yixin, Pan Xin'an, Yang Yixian. *Intelligence theory and technology*[M]. Beijing: PTT Press, 1992.
- [16] Agrawal R. Mining association rules between sets of item in large database[C]//*Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on the Management of Data*, Washington D C, 1993:207-216.

### 附中文参考文献:

- [1] 陆汝铃.知识科学及其研究前沿[J].*中国科技奖励*,2000,8(4).
- [2] 何云峰.关于建构知识科学的问题[J].*上海师范大学学报:哲学社会科学版*,2003(1).
- [3] 陆汝铃.发展知识工程,建立知识产业[J].*发明与创造*,2004(6).
- [4] 史忠植.知识发现[M].北京:清华大学出版社,2001.
- [5] 钟义信.信息科学原理[M].北京:北京邮电大学出版社,1966.
- [8] 钟义信.知识论框架[J].*中国工程科学*,2000,2(9):50-64.
- [9] 钟义信.知识论:基础研究[J].*电子学报*,2001,29(1).
- [10] 钟义信.知识论:核心研究[J].*电子学报*,2001,29(4).
- [12] 钟义信.机器知行学:信息-知识-智能转换与统一理论[M].北京:科学出版社,2007.
- [15] 钟义信,潘新安,杨义先.智能理论与技术:人工智能与神经网络[M].北京:人民邮电出版社,1992.



钟义信,北京邮电大学教授。

ZHONG Yixin is a professor of Beijing University of Posts and Telecommunications.