

人工智能中逻辑学的研究

季秋¹，王万森^{1,2}，王新

(1. 首都师范大学信息工程学院，北京，100037² 2. 西北工业大学计算机学院，西安，710072)

E-mail : jiqiu1980@sohu.com

摘要：人工智能科学，从其诞生之日起便与逻辑学密不可分，二者的共同发展促进了用机器模仿人类思维的智能学的进步。本文首先对传统的几种经典逻辑和非经典逻辑大致做一介绍，然后重点讲述泛逻辑以及三值概率逻辑的基本原理。最后根据对多种逻辑的分析，阐述了对人工智能科学中逻辑学发展的思考。

关键词：逻辑学，泛逻辑，概率逻辑，可能世界，三值概率逻辑

中图分类号：B81 文献标示码：A

1 引言

按照符号主义的观点，智能的核心在于思维，因而如何把人们的思维活动形式化、符号化，使其得以在计算机上实现，就成为人工智能研究的重要课题。在这方面，逻辑的有关理论、方法、技术起着非常重要的作用，它不仅为人工智能提供了有力的工具，而且也为知识的推理奠定了理论基础。

本文首先从哲学的角度讲述一下逻辑学的内涵，便于我们更好地、辩证地理解逻辑学的概念，为我们在人工智能中的运用打下良好的基础。然后通过对传统的几种经典逻辑和非经典逻辑大致做一介绍，重点讲述泛逻辑以及三值概率逻辑的基本原理。最后根据对多种逻辑的分析，阐述了对人工智能科学中逻辑学发展的思考。

2 逻辑学的发展

2.1 逻辑学内涵

逻辑学是一门研究思维形式及思维规律的科学。逻辑规律就是客观事物在人的主观意识中的反映。而思维的形式结构包括了概念、判断和推理之间的结构和联系，其中概念是思维的基本单位，通过概念对事物是否具有某种属性进行肯定或否定的回答，这就是判断；由一个或几个判断推出另一个判断的思维形式就是推理^[1]。对问题求解、推理，联想与学习的能这就是计算机在“思考”、在“解决问题”。人们在进行这些活动时，是在逻辑思维的指导下进行的，而逻辑是客观现象的抽象，是客体之间关系的抽象描述。所以，在人工智能的众多课题和技术问题中，它的逻辑问题或者说它所使用的逻辑这一课题是不可缺少的，甚至在一定意义下它是一中心问题。正因为如此，人们在不断地研究有关的逻辑课题。

2.2 逻辑学的大体分类

从17世纪德国数学家、哲学家莱布尼兹(G. Leibniz)提出数理逻辑以来，随着人工智能的一步步发展的需求，各种各样的逻辑也随之产生。逻辑学大体上可分为经典逻辑、非经典逻辑和现代逻辑^[2,3]。经典逻辑中包含命题逻辑、谓词逻辑等，这些理论已经非常成熟，这里就不再赘述。非经典逻辑是在经典逻辑的基础上发展起来的，是对经典逻辑有益的、实用

性的补充，包括模态逻辑、多值逻辑、模糊逻辑、概率逻辑等。而现代逻辑是从非经典逻辑中划分出来的，包括认知逻辑、高阶逻辑、思维逻辑等，这些逻辑的理论基础还是相当不成熟的。如图 1 所示，形象地描述了逻辑学的分类。

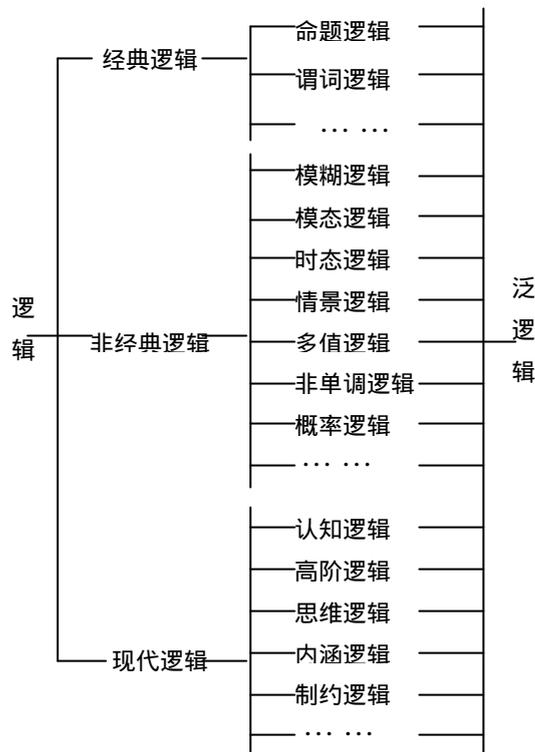


图 1 逻辑学的分类

2.3 各逻辑的相互关系

经典逻辑与模态逻辑都是二值逻辑，不同之处在于后者多了两个模态算子：必然算子和可能算子，丰富了经典逻辑的表达能力。多值逻辑，顾名思义，就是具有多个命题真值的逻辑，它是对二值逻辑的一重大突破，又是向模糊逻辑的逼近。模糊逻辑是处理具有模糊性命题的逻辑，其真值域是 0 到 1 上的连续区间，可以应用到人工智能的许多领域，如专家系统、智能决策等。但模糊逻辑中的 Zadeh 算子组缺乏坚实的理论基础。概率逻辑是研究基于逻辑的概率推理，从这个概念上我们可以知道，一是其命题中包含了随机性，二是其中的逻辑基础可以是二值逻辑，当然也可以是其他各种非经典逻辑。

2.4 泛逻辑的基本原理

人脑思维中最玄妙的是它的综合性、柔软性、辩证性和进化性。当今人工智能深入发展遇到的一个重大难题就是专家经验知识和常识的推理，它们都是具有随机性、模糊性、近似性和不完全性的知识，而信息的随机性、模糊性、近似性和不完全性都会引起推理的不确定性。现有的各种逻辑体系都无法满足人工智能中精确描述和研究形形色色的不确定性推理的

需要。为了克服这些逻辑学的不足，现代逻辑迫切需要一个统一可靠的，关于不精确推理的逻辑学作为它们进一步研究信息不完全情况下推理的基础理论，进而形成一种能包容一切逻辑形态和推理模式的，灵活的，开放的，自适应的逻辑学，这便是柔性逻辑学。而泛逻辑学就是研究刚性逻辑学（也即数理逻辑）和柔性逻辑学共同规律的逻辑学。如图 2 所示，描述了泛逻辑与其他各逻辑之间的关系，从中我们也可以看到泛逻辑学的开放性。

泛逻辑不是从底层研究某个有特殊形态和用途的具体逻辑，而是从高层研究一切逻辑的一般规律，即抽象逻辑学，建立能包容一切逻辑形态和推理模式，并能根据需要自由伸缩变化的柔性逻辑学，刚性逻辑学将作为一个最小的内核存在其中，这就是提出泛逻辑的根本原因，也是泛逻辑的最终历史使命^[4]。如图 2 所示，描述了泛逻辑与其他各逻辑之间的关系，从中我们也可以看到泛逻辑的开放性。

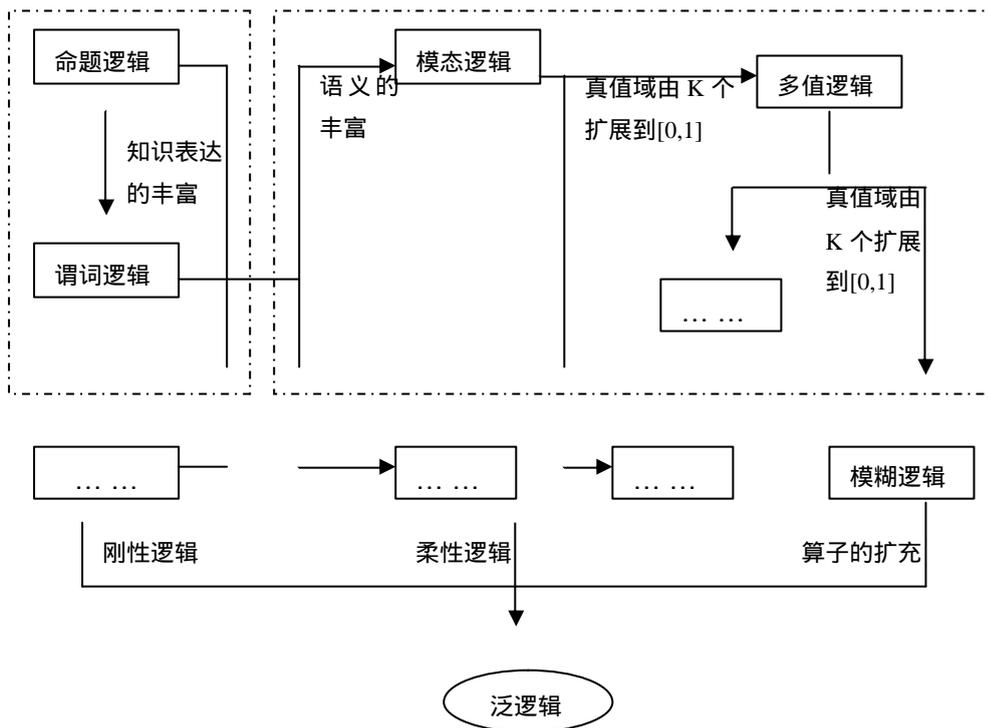


图 2 逻辑之间的联系

3 概率逻辑的发展

3.1 传统的概率逻辑

自从凯恩斯建立了第一个概率逻辑系统以来，许多概率逻辑系统纷纷出现，如 Nilsson^[5]，Guggenheimer，Freedman^[6]，Carnap，莱欣巴哈^[7]等人的概率逻辑系统。而这些系统大都是建立在二值逻辑基础之上的，莱欣巴哈的概率逻辑虽然建立在多值逻辑基础之上，但在给出某种划分的情况下，可以变换为二值逻辑，因此从某种程度上讲，莱欣巴哈的概率理论也是建立在二值逻辑基础之上的。

在 Nilsson 的概率逻辑中，由于其逻辑基础是二值逻辑，所以一个语句要么为真，要么为假。如果我们只考虑一个语句时，我们可以设想出两个可能世界，其一（用 W_1 表示）指该语句为真的世界，其二（用 W_2 表示）指该语句为假的世界，而我们所在的现实世界必居其一，而就我们所掌握的知识无法确定究竟是哪个世界。因此，我们就假设在 W_1 中的可能性为 p_1 ，在 W_2 中的可能性为 $p_2=1-p_1$ ，即此语句的概率逻辑真值为 p_1 。以此为基础，我们可以在其上进行不确定推理。这里不再讲述，详情参考文献[8]。

3.2 三值概率逻辑

三值概率逻辑是基于三值逻辑之上的概率推理，而这里的概率一般都是指一个概率区间^[9,10]。此逻辑同 Nilsson 的类似，我们把每条语句 S 与一个可能世界集相联系。但这里只有三个可能世界，其中两个是 S 分别为真和假的世界，第三个是 S 既不为真又不为假，也即未知的世界。这里我们用 0, 1, 2 来分别表示语句 S 为假、真、未知三种状态。对于给定的三个语句 A, A? B, B, 我们可以得到他们的一致可能世界集为：

A	1	1	1	2	2	2	0	0	0
A? B	1	2	0	1	2	2	1	1	1
B	1	2	0	1	2	0	1	2	0

表 1 语句集的一致可能世界集

在此基础上，我们不再使用矩阵来求解，而改为用线性的方法来进行推理，但是我们还要借助于矩阵。同 Nilsson 概率逻辑中的类似，我们使用这个矩阵等式

$$\mathbf{II} = \mathbf{VP} ,$$

其中， $\mathbf{II} = (p_1, p_2, \dots, p_m)^T$ 为由 m 个语句组成的语句集 f 上的概率逻辑真值分布； $\mathbf{P} = (P_1, P_2, \dots, P_n)^T$ (n 表示一致可能世界的数目) 是样本空间 O 上的一个模型，也即一个概率分布；V 为一致的可能世界集合矩阵。

然后需先定义两个整数集合

$$(I_i)^* = \{j \mid v_{ij}=1\}, (I_i)^* = \{j \mid v_{ij}=1 \ 2\},$$

其中, Z 指的是集合 {1, 2, ..., n}, v_{ij} 指的是矩阵 V 中第 i 行第 j 列的元素。由于 $p_i = \sum_{k=1}^n v_{ik} * p_k$ ，所以我们有 $P^*(S_i)$ 等于 $(I_i)^*$ 中元素 k 对应 P 中概率 p_k 之和， $P^*(S_i)$ 等于 $(I_i)^*$ 中元素 k 对应 P 中概率 p_k 之和。于是，对于给定的语句 A, A? B 各自的概率区间，我们可以利用上面的概念，再加上线性条件：B 的最合适的最小下界应该是 $P^*(A)$, $P_*(A)$, $P^*(A? B)$, $P_*(A? B)$ 和 1 的线性组合；最大值条件：B 的最合适的最小下界应该是那些满足线性条件的最大值，我们就可以得出作为逻辑结果的 B 的概率区间。

4 对人工智能中逻辑学的思考

综上所述，一方面我们试图找到一个包容一切逻辑的泛逻辑，使得形成一个完美统一的逻辑基础；另一方面，我们还要不断地争论、更新、补充新的逻辑，特别是概率逻辑，因为概率论是一个非常成熟的理论，在不确定推理上发挥着重要的作用，而逻辑的长处在于知识表示上，其主要目的就是推理，如果二者能够有机地结合，将推动人工智能进入一个新的阶段。概率逻辑大都是基于二值逻辑的，目前许多专家和学者又在基于其他逻辑的基础上研究概率推理，例如本文讲到的三值概率逻辑，将来肯定会在多值逻辑、模糊逻辑的基础上也建立起概率推理，使得逻辑学尽可能满足人工智能发展的各方面的需要。就目前来说，一个新的泛逻辑理论的发展和完善需要一个比较长的时期，那何不将“百花齐放”与“一统天下”并行进行，各自发挥其优点，为人工智能的发展做出贡献。

参考文献

- [1] 中国科学技术大学等编著，马克思主义哲学概论：安徽人民出版社 1981，265 - 272
- [2] 王克宏等，情景逻辑与时态逻辑在知识处理中的应用，计算机科学 1992.Vol. 19.N02
- [3] 王永庆，人工智能原理与方法：西安交通大学出版社（西安）2003，18 - 50
- [4] 何华灿等，泛逻辑学原理：科学出版社 2001

- [5] Nilsson N J. Probability logic: Artificial Intelligence , 1986 , 28,71 - 87
- [6] Guggenheimer H, Freedman R S. Foundations of probabilistic logic : Pro International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1987,2
- [7] 王雨田 吴炳荣主编, 归纳逻辑与人工智能: 中国纺织大学出版社(北京) 1995
- [8] 季秋, 王万森, 概率逻辑的研究: 微机发展, 2004(待发)
- [9] Guilin Qi , Probabilistic Inference on Three - Valued Logic : Berlin, RSFDGrC, 2003, LNAI 2539, pp.690-693
- [10] N.Recher , Many-valued Logic , NewNork , McGraw-Hill , 1969

The Study of Logics in Artificial Intelligence

Ji Qiu¹, Wang Wan-sen^{1,2}, Wang Xin

(1. Information Engineering College ,Capital Normal University, Beijing 100037 2.College of Computer , Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

E-mail : jiqiu1980@sohu.com

Abstract: The relation between artificial intelligence science and logic is compact from the artificial intelligence's birthday, and the development of both prompted the progress of intelligence science which imitated human's thinking. Firstly, the paper, through the introduction of several classical logics and non-classical logics, and then discussed emphatically the principle of universal logic and three-valued probabilistic logic. At last, based the analysis of the logics, we expounded some thinking about logics in artificial intelligence science.

Keywords: Logics, Universal logic, Probabilistic logic, Possible world, Three-valued probability logic

基金项目: 北京市自然科学基金(4032009)资助。

作者简介: 季秋(1980-), 女, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 数据挖掘, 概率逻辑, 泛逻辑, 模糊推理等; 王万森(1953-), 男, 教授, 西北工业大学在读博士, 主要研究方向: 专家系统, 数据挖掘, 概率逻辑, 泛逻辑, 模糊推理等。王新, 男, 学士, 信阳师范学院, 主要研究方向: 电子通信, 逻辑学。