

软计算： 确定性的挑战与超越

贺天平 刘伟伟 著



非
外
借



科学出版社

设计学

视觉传达设计(第2版)

（应用型本科教材）



中国美术学院美术考级教材

软计算： 确定性的挑战与超越

贺天平 刘伟伟 著



科学出版社

内 容 简 介

软计算不是一种单独的方法，而是一簇方法的集合。本书系统梳理了软计算的历史发展，剖析了软计算对确定性的争辩、挑战、超越与升华。本书不仅能够让我们从更深的层次上理解软计算的计算特征，同时也有利于我们更好地把握软计算发展的基本思路和未来方向。

本书既适合哲学社会科学领域的研究者、教师和研究生阅读，也适合从事科技政策研究与分析的人员阅读，还适合信息科学领域、部分自然科学领域的科研工作者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

软计算：确定性的挑战与超越 / 贺天平，刘伟伟著. —北京：科学出版社，2017.9

ISBN 978-7-03-054551-0

I. ①软… II. ①贺… ②刘… III. ①电子计算机-计算方法
IV. ①TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 230890 号

责任编辑：刘英红 / 责任校对：贾伟娟

责任印制：吴兆东 / 封面设计：华路天然工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 3 月 第 一 版 开本：720 × 1000 1/16

2018 年 3 月 第一次印刷 印张：10 1/2

字数：200 000

定价：68.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

本书是国家哲学社会科学基金重大招标项目（编号 17ZDA029）的阶段性研究成果。

目 录

绪论 软计算与科学革命	1
第一章 软计算的物理内核	11
第一节 从硬计算到软计算	12
第二节 模糊逻辑	16
第三节 粗糙集	21
第四节 遗传算法	24
第五节 人工神经网络	29
第二章 软计算：确定性的争辩	34
第一节 软计算的理性与非理性	36
第二节 软计算的客观性与主观性	43
第三节 软计算的一元论与多元论	51
第三章 软计算：确定性的挑战	59
第一节 软计算的“粗糙性”	60
第二节 软计算的“随机性”	70
第三节 软计算的“模糊性”	80
第四章 软计算：确定性的超越	91
第一节 软计算的隐喻思维	92
第二节 软计算的科学实在论基础	101
第三节 软计算的语境论思想	109

第五章 软计算：确定性的升华.....	119
第一节 软计算的系统论.....	120
第二节 软计算的相对论.....	128
第三节 软计算的决定论.....	136
结语 在确定性与不确定性之间——软计算思维的认知意蕴.....	146
参考文献.....	154
后记.....	159

绪论

软计算与科学革命

确定性与不确定性问题在科学研究领域中是个非常重要的问题，关于这个问题可以衍生出许多当代比较热门的科学哲学论题，如科学划界问题、科学的真理性问题、科学的实在论基础问题、科学的合法性辩护问题等。上述这些问题实际上都涉及科学的确定性与不确定性的原则性问题，而这些问题同时也伴随在现代科学发展、繁荣和进步的整体历程之中。

20世纪后期以来，在科学革命的时代背景下，有关科学的世界观与认识论发生着日新月异的变化，其中比较显著的一种发展趋势就是在科学研究领域之中发生的由传统科学向现代科学的转换。从计算科学的角度来看，传统科学的核心是硬计算^①，而现代科学的核心则是软计算——硬计算与软计算分别代表着两种基于不同哲学世界观背景的、以问题求解为导向的人类理性方法论抉择。

软计算与硬计算所依托的科学基础是存在差异的，与软计算相对应的是现代科学，而与硬计算相对应的则是传统科学。一般而言，传统科学所代表的是一种在传统科学背景下的确定性思维，这种确定性具有很大程度上的僵化性，而现代科学所代表的则是一种相对不确定性的思维，它代表着人类理性与非理性的综合考量。为此，我们有必要考察上述两种理论趋向之间差异性形成的深层次根源。

一、计算的基础——数学合法性辩护

我们知道，计算是数学分析的基本工具，同时也是其发挥效力的主要手段，在当代科学研究中，软计算方法的产生与数学本身关于其存在地位合法性的反思是不可分割的。正是这种关于数学存在地位合法性的内在反思，促进和酝酿

^① “硬计算”这个术语首先由美国加利福尼亚大学的扎德（L. A. Zadeh）教授于1996年提出。

了在计算科学领域之中由传统的硬计算向当代软计算方法论的转换。长期以来，因其具有形式方面的简洁性、分析性与可推演性，数学计算一直被人们视为是一种获取真理认识的重要途径。换言之，数学计算被人们赋予了一种客观主义的、远离经验干扰的理性真理特质，人们认为借助数学计算可以保证我们在对自然世界现象进行探索的过程中秉持一种精确无误的、符合理论预定目标的适当途径。

科学研究与感性经验之间存在着距离，而科学研究本质上又是感性经验的一种抽象化——数学则是实现这一抽象化目标的工具。例如，在物理学中，抽象概念的推导需要借助于数学规律来加以实现，而数学的语言则是描述与解释物理现象的重要手段。相对于物理学而言，数学并不直接接触物理世界的基层现象，而只是谨慎地将自己限定在有关概念推导和抽象形式的界域之中。作为理性思维的一种具体表现，数学计算伴随着 16 世纪文艺复兴运动的兴起，开始在人类知识领域之中扮演着越来越重要的角色，这种理性主义的思维无论是在大陆哲学的唯理论中，还是在英国哲学的经验论之中都得到了充分的展现，而一种计算主义的思维也开始在科学研究的各个具体领域当中得到了延伸。

传统数学所依赖的是亚里士多德的经典逻辑——理论上来看，计算函数可以被归结为递归函数，其运算推演的基础是公理化的符号规则。然而，非欧几何的创立使人们意识到，数学其实是一种人为构造的产物，它本身只是一种对于现实世界的近似描述。也就是说，数学和现实世界之间存在着距离，每个公理体系都包含着未定义的概念，其属性在这些公理意义上是明确的，但这些概念的意义却并非完全确定。之后，到了 19 世纪末，伴随着集合论思想的提出与完善，人们认为数学的内部悖论与矛盾都已经得到了解决，数学已经达到了一种惊人的严密性，这样就使得数学的基础得到了充分的巩固。令人意想不到的是，20 世纪初罗素悖论的提出却打破了数学家的这一迷梦，并且使得数学再次陷入了一场更大的危机当中。为此，以罗素（B. Russell）为代表的逻辑主义、以布劳威尔（L. Brouwer）为代表的直觉主义和以希尔伯特（D. Hilbert）为代表的形式主义从不同的路径出发试图改变这一令人尴尬的局面，这表现在：罗素提出了数学类型论的思想、希尔伯特建立了元数学理论、哥德尔（K. Gödel）则提出了数学不完全性的定理——在上述思想的基础上，现代数理逻辑及数学证明论开始形成并确立，这使得数学史上的第三次危机得到了一定程度上的缓解（尽管时至今日，数学危机仍然没有从根本上得到解决）。

从根源上来看，第三次数学危机的产生与爆发，深刻地反映出以逻辑和数论为基础的硬计算本身，在一个封闭的形式系统之中是不可能真正具有完全性、无矛盾性的，这也意味着逻辑协调性必然具有自己特定的范围和界域——在一定范围和界域之中的形式系统完整性总是相对的、有限的、具有局域性的，形式主义

的这种数学分析思维本身就具有绝对主义、客观主义的先天狭隘性。为此，单就作为数学基础的逻辑学在 20 世纪本身的发展而言，逻辑学家就已经提出了超越传统逻辑的多值逻辑、模态逻辑、道义逻辑、时态逻辑与模糊逻辑等多种非经典的逻辑类型。由此可以看出，从数学计算分析的角度来说，软计算基于模糊逻辑思维在计算推理的过程中引入不确定性变量的理论尝试，不仅是一种数学学科外部压力驱动的结果，而且更是一种数学学科理论内部演进到一定阶段所产生的自然而然的理论选择。

二、计算的功能——科学的角色转换

20 世纪以来，特别是 20 世纪中后期以来，科学研究的对象、手段、界域乃至整体面貌都发生了巨大的变化。以物理学研究为例，随着量子力学的兴起和发展，人们逐渐发现科学观察与实验操作并非一种与人无关的、纯粹客观的、仅仅基于计算分析与推理的科学考察过程，它们更多的是一种有主体参与的科学实践活动，其中科学家的思想背景、操作工具、实验环境等因素都会对科学结果的解释和说明产生影响，进而影响科学理论的最终构造。这意味着，科学在人类理性之中作为客观中立的角色定位发生了动摇，人们开始有意识地去思考科学与人文、理性与非理性之间的复杂关系问题。特别是，随着当代各种交叉学科与综合学科的大规模兴起，传统的线性计算推理思维在一些日益复杂的科学问题面前显得力不从心，这使得人们在很大程度上对于计算分析在科学领域之中的角色定位产生了质疑。

从语义分析的角度来看，传统科学之中“硬”的含义在于科学性、严格性与精确性。传统科学以传统的自然科学如物理学、天文学和化学等学科为代表，其主要特征有：①传统科学本质上是一种具有科学主义色彩的、同时也具有客观主义理论基础的概念范畴，在传统科学中公理和法则扮演着重要的角色，而数学与逻辑则是传统科学构造的“脚手架”；②传统科学依赖于实证的、可计量的实验数值，并以此为基础展开线性的、符合因果律与逻辑法则的推理；③传统科学意味着基于数学构造原则的严格性、精确性与有效性，作为传统科学基础的硬计算使用结构清晰的数理模型，并且尽可能精确，以使得传统科学系统能够充分发挥其功能。不能否认的是，硬计算的确在人类历史上自然科学的研究过程中发挥了重要的作用，从而使得人类理性思维逐渐摆脱了狭隘的形而上学思维窠臼，并且专注于以物理世界可观察、可实证现象为依据的科学认识论。例如，拉普拉斯（P. Laplace）将传统科学（即天文学和物理学）与数学计算联结起来，由他所提出的著名的偏微分方程——拉普拉斯方程（Laplace's equation）本身就是为了解决电磁学、天文学和流体力学等科学领域中的实际问题而提出的一种有效的数

学分析工具。

现代科学的目标则是希望解决超越传统科学领域的人文社会科学领域之中出现的复杂问题，从而实现跨学科、多学科、交叉学科的协作研究。现代科学与传统科学是相对而论的，两者在科学发展到一定阶段会发生一定的学科性质迁移，从而使学科的内涵与外延发生变化。例如，传统科学在其最初的产生阶段总是具有一定“软”的特性，即会更多地采用定性研究的方式，而随着对相关科学现象规律及其内在结构具有越来越多的认识，人们会逐渐引入定量分析以便于更加全面地把握科学现象的多方面特征。

在传统科学与现代科学之间，两者存在着长期的对垒，相对而言，类似于社会科学与人文科学的现代科学领域中则通常并不包含精确的数值变量——它依赖于定性的数据分析，并且很难得出精确的、以数值作为输出结果的结论，这使得软计算逐渐成为现代科学构造的重要工具。例如，扎德将人类知识体系区分为人文系统和机械系统两种不同的系统类型，而人文系统在很大程度上受到了人的判断、情感和感知的影响。显然，传统的硬计算在分析推理的过程中很难把握上述这些要素对于科学研究结果的最终影响。总体上来看，软计算方法的提出具有两方面的缘由：一方面，自然科学与人文科学领域中存在着一些模糊性的问题，这些问题是非精确的，我们很难用传统的硬计算方法加以分析与处理；另一方面，在包括复杂要素的问题语境中，人们需要以一种最优化的路径做出及时的、有效的、代价最小的选择，这就对于计算的非线性目标达成能力提出了更高的要求，而硬计算的精确性与确定性是有代价的。由此可见，软计算方法的形成在很大程度上是源于经验和实践的需要，它本身就体现了非理性思维与逻辑化理性思维的有机融合。

三、计算的本质——人类的认知构成

计算的含义不再是仅仅局限于数字和符号运算的严格数值运算，目前复杂的知识库及与计算机智能系统相关的一些问题，本身并不需要这种精确的求解，而是要处理很多相对模糊的问题。为此，我们就要接受一些不太精确的近似解、次优解，而且计算对象也不只是符号和数字，还包括语言和词语，语言描述更多的是模糊的概念集，无法符号化。

20世纪60年代，美国数学家扎德（L. A. Zadeh）首先提出了模糊集合的概念，突破了二值逻辑的局限，来处理界定相对模糊的概念。到1991年，扎德又综合模糊逻辑（fuzzy logic, FL）、人工神经网络（artificial neural network, ANN）、遗传算法（genetic algorithm, GA），将其特征与传统的硬计算相区别，提出了软计算的概念。

软计算用语言方法代替数学方法，更多地运用语言规则而不是数学公式的计算和模型的建构。其意在通过放弃精确的计算模式，引入不确定的、模糊的计算模式来解决硬计算中无法处理的实际问题。软计算不只是一种新的计算方法，它突破了传统计算的局限，提供了一种新的模拟规律和组织结构的方式，对于我们理解世界本身及模拟智能的运行方式具有重要意义。软计算思维超越了传统的基于二值逻辑的严密的结构认识，也不再只关注大脑本身的物理特性，而是走向了基于模糊逻辑和神经网络从组织结构上模拟智能的新层面。

软计算是意在处理近似而非精确解的有效方法的集合，适度容忍模糊性以得到可操作、稳定的解。扎德指出，“人类的认知结构由三个基础概念构成：粒化、组织和因果关系。粒化涉及的是构成整体的基本单元；组织涉及部分结合为整体的组织结构关系；因果关系涉及逻辑推理之间的连接关系”^①。

1. 人类认知的粒化结构

人类的知识首先来源于对世界的认识，因此在构建知识体系之前，必须对物质世界的本体及人的认识过程有一个明确的认识。那么，世界本体究竟是确定性的，还是不确定的？对此无论是在哲学界还是科学界都引发了激烈的争论。客观层面上关于世界的决定论信条最初是在牛顿定律巨大成功的基础上建立的。在牛顿力学体系中，世界物质运行规律都是固定的，整个宇宙都按照一定的规律，像钟表一样机械地运行。只需要知道初始条件，代入牛顿力学方程，就可以计算和预测未来的事件。后来，量子力学在实验上取得了巨大的成功，海森堡的不确定原理和波恩的概率统计规则作为量子力学的基础逐渐被接受。不确定的概率随机性才是世界的本质特性，因为从还原论的角度看，微观层面的规律决定着所有原子、分子的构成，确定的、有规律的现象则通常出现在宏观可见的层面上。再后来，随着混沌科学、复杂性科学的发展，不确定性的研究深入到了包括物理学、数学、经济学、社会学等各个领域。人们逐渐认识到确定性和不确定性是同时存在的，而与确定性相比，对于不确定性人们几乎一无所知。

另外，在主观层面上，关于人类的主观认识，其核心特征也是不确定性和模糊性，主要可归结为以下三个方面。①人的感官系统的模糊性。人的信息输入几乎全部来自五官和触觉的感知，而感知系统全部都是模糊的。就拿人的视觉来说，人的视力的辨识范围从几毫米到上百米，而且在不同距离下的感知也是很不相同的。对于颜色，人的视觉也只能区分出有限的几种颜色，超过一定的限度就几乎无法分辨。这些辨识度的模糊性和不精确性必然使相应的大脑感知系统也存在很大的模糊性，在有限的相对模糊的范围内，对一些细微的差别无法做出明确的区分。在精确和非精确之间进行必要的转换，否则便无法正常地生存和活动。②人

^① 苗东升，2007. 关于模糊逻辑的几点思考[J]. 河池学院学报，4：5-10.

的语言系统的模糊性。人们日常语言中的基本单元是字和词语，而字和词语与二值逻辑的(0, 1)相比存在很大的模糊性。词语本身就包含很多意思，组合起来在不同的语境下又会形成不同的含义，从而具有更大的模糊性。人的思维活动很大程度上都是依赖于语言的，并用语言进行推理和思考。^③概念理解系统的模糊性。正如康德所论证的，人先天具有批判理性，也就是进行系统反思的能力。人们不光用语言思考和交流，还能用抽象思维对概念进行推理，以达到很高的思想高度。

总之，从以上分析可以看出，无论是客观的物质世界，还是人的主观认识，不确定性都是普遍存在的，而认识到不确定性的普遍存在是我们进一步把握世界规律的前提。具体到计算层面上，就是破除了硬计算试图通过符号和建模就可以完全描述世界的迷信。但是，如何在新的认识层面下，对模糊的、不确定的事物进行描述呢？当然不确定并不意味着不可知，软计算就是在这样的背景下应运而生的。目前的计算机机器系统都是在一套严格的系统程序下进行演绎推理运算的，要想实现某项功能必须首先将此功能分解为一个逻辑程序，然后编程。而人的思维模式是高度复杂的，无法进行分解，这种机械化的程序几乎不可能模拟出人的思维。因此，模糊性和不确定是机器程序和人类智能区别的关键所在，要想模拟人类智能，必须首先突破机器的二值真假逻辑基础，构建模糊逻辑使机器可以处理相对模糊的概念。

而在软计算中，要想对模糊的事物进行处理，首先要对事物的内涵和外延等在多个维度和层次上进行粒化处理。粒化，顾名思义就是指构成一个事物的基本单元，单个粒子代表不同的属性，以不同的方式和组织模式组合成不同的功能。一般来说，粒化的本质是分层次，如时间可以粒化为年、月、日、小时、分钟、秒等。^①扎德教授提出了基于模糊集合的模糊粒计算模型，通过约束性概念的定义和构造，来对没有明确外延的基本粒化集合单元进行描述，如冷热、年轻人、矮个子等，为处理模糊概念和不确定的逻辑语言描述提供了有力的工具。在承认不确定的前提下，超越确定性来构建不确定知识的规律，积极找寻处理模糊关系的原理和方法，在机器定量分析和模糊定性分析的结合中建立巧妙的联系，构建一种新的粒化模型。或许理解和模拟智能还有很长的路，而意识到从基本的逻辑层面构建模糊集合无疑是最为关键的开端。目前，软计算已经发展出三种不同的粒化模型：扎德的模糊集模型、帕夫拉克(Z. Pawlak)提出的粗糙集模型，以及我国学者提出的商空间模型。^②我国的张钹、张玲指出，人类智能的一个重要特点就是，可以在不同的粒度下分析同一个问题，在不同的粒度之间快速转换来进

① 王国胤，张清华，胡军，2007. 粒计算研究综述[J]. 智能系统学报，6：8-26.

② 钱宇华，2011. 复杂数据的粒化机理与数据建模[D]. 山西大学博士学位论文：8.

行求解。^①比如，人在面对同一个事物时，往往能从事物本身的性质、事物在不同语境下的意义等不同层面去理解它，这是人类智能的一个公认特点。总之，人们总是能从不同的粒度、不同的层次去认识和把握世界，粒化既是人类智能的重要体现，也是人类认知的重要特征。

2. 智能组织结构的构建

对于人类智能如果用物理学的还原方法只能还原为大脑、小脑、下丘脑等各个器官分别的功能，用化学方法只能探寻激素的调节作用，用生物学方法只能从解剖学的角度研究各个器官的结构。显然，用纯自然科学的方法无法解开大脑的智能之谜。在哲学上还有另一种思路，笛卡儿将世界的本体分为两种，物质实体和精神实体，两者分别遵循不同的规律，无法彼此还原，人类智能只能用灵魂的精神实体来解释，与大脑的物理结构没有任何关联。从现实的角度看，无论是从科学上研究大脑的物理功能，还是从形而上学层面探寻灵魂的本质，都无助于我们从根本上理解和模拟智能。从还原主义的视角看，要模拟人类智能首先需要模拟人的大脑。从结构主义的视角看，将智能思维的结构本身看作智能的本体论基础，从而在形式上模拟智能推理的逻辑形式和组织结构，是一种极为有益的尝试。软计算的三大计算方法——模糊逻辑、神经网络、遗传算法，从基本逻辑基础、智能网络的结构基础、进化和优化三个方面构建了处理不确定问题的结构基础。

第一，模糊逻辑为处理和分析不确定问题提供了逻辑基础。传统的数学在计算上具有很强的精确性，建立在经典二值逻辑的基础上，其核心原理就是排中律：一个命题只有真和假两种状态。而在实践生活中，正如前文所述，我们面对的是一个存在巨大不确定性的世界。特别是在自然语言中，经常会出现如好人、坏人、高个子、矮个子等没有明确外延，无法精确定义的词，无法用二值逻辑来表示。而模糊逻辑使用隶属度的概念来定义某个元素与几个集合之间的相关程度，对事物之间的模糊关系进行了量化处理，从而将质分解为量，通过量化的方法去处理质的问题。这里的模糊性不能理解为不可知，而是用模糊逻辑去处理后，达到对模糊事物的精确模拟和认识。模糊逻辑的核心就是用相关程度模拟模糊关系，罗素曾指出，精确逻辑处理的是非此即彼的关系，模糊逻辑处理的是程度问题。^②

关于人的思维活动，首先可以大致分为潜意识和显意识，而显意识又包括两类，意会思维和言表思维。潜意识和意会思维由于本身的离散性和封闭性，如意会和突然的灵感，经常是一闪即逝，很难被直接认识和把握。但是，在显意识层面，人类可以将自己的思想转化为语言，和其他个体进行交流，在交流和学习中进一步锻炼和增强显意识的语言表达能力，将思维固定为语言表达，使思维“实

① 张铃，张钊，2007. 问题求解理论及应用：高空间粒度计算理论及应用[M]. 北京：清华大学出版社.

② 伯特兰·罗素，1990. 论模糊性[J]. 杨清，吴涌涛译. 模糊系统与数学，1：16-21.

体化”，最终反过来促进了思维的不断进化。模糊逻辑试图通过对模糊语言的模拟，揭示思维表达的基本结构机制。试想如果机器完全学会了人类的语言表达，并且能和人类自如交流，那时人们就必须面对一个智能难题：如何分辨机器和人，这个机器真的有了人类智能吗？

第二，人工神经网络为模拟人脑提供了组织基础。生物的神经网络系统是一个由 $10^{11} \sim 10^{12}$ 个神经细胞构成的具有高度组织性和关联性的整体。单个的神经元通过不同的方式组成了极其复杂的神经网络，实现了诸如认知、记忆和学习等复杂的功能。在神经元之间进行连接和传递信息的部分称为突触，突触可以有多种传递信号机制如化学信号、电信号等。单个神经元上还分布着大量的轴突和树突，可以同时接收上千个突触输入的信号，不同的信号分布对神经元也产生着不同的影响。据估计大脑中的全部突触数为 3.12×10^{13} 个，平均每个神经元上就有 1.5 万~3 万个。

人工神经网络就是借助计算机强大的运算能力，以生物神经学说的研究为基础，建立起来的一种计算模型，在信息处理上有以下特征：①并行的分布式处理的工作模式，可提高整体的运算速度；②具有极强的可塑性和自组织性，不断地修正突触的结合方式，实现不同的功能；③信息处理和信息存储相结合，系统性地处理问题；④可以处理模糊随机的信息，得到满意解而非精确解。总之，通过对大脑信息结构的模拟，人工神经网络实现了强大的处理模糊问题的能力。^①

第三，遗传算法为模糊信息的提取和利用提供了一套非线性的解决方案。众所周知，地球上的生物都是从低级到高级，经过很长时间进化而来的。达尔文的进化论为生物发展提供了科学的解释。生物要想生存下去就必须在种群内部、不同物种及自然环境中做各种斗争。生物在基因层面通过遗传变异，一方面保持好的基因，另一方面进化出新的基因以维持种群的生存和发展。遗传算法充分借鉴了生物进化的精髓：遗传和进化，本质上是一种不需要依赖具体问题的直接搜索法。首先，将问题的初始数据编码形成不同的种群，即搜索空间；其次，用一个适应度函数模拟个体对周围环境的适应能力；最后，让程序自动运行，对搜索空间的种群进行筛选，还通过交叉和变异对种群进行优化，最终得出最优解。^②

此后基于同样的思路，又进一步发展出了概率推理、混沌计算、粗糙集、学习理论、DNA 计算等，软计算形成了一个庞大的计算方法集合。它们的共同点在于都通过放弃精确的计算模式，引入不确定的、模糊的计算模式来解决传统计算中无法处理的实际问题，为智能组织结构的构建提供了强大的方法基础。

① 邓方安，周涛，徐扬，2008. 软计算方法理论及应用[M]. 北京：科学出版社：101-102.

② 刘普寅，李洪兴，2000. 软计算及其哲学内涵[J]. 自然辩证法研究，5：26-34.

3. 从单向因果推理到模糊因果推理

因果性问题作为一个最基本的哲学问题，在认识论上具有重要意义，在科学和哲学中都在不断地对其进行认识和澄清。在哲学中，对因果性的思考首先源于一个基本认识论问题：自然界的因果联系是否是普遍存在的，自然究竟是决定论还是非决定论的。一旦涉及普遍性问题，脱离具体问题的情境，我们就不可避免地陷入思辨。对此，从休谟到康德，进行了大量的哲学讨论。需要强调的是，造成问题模糊不清的原因并不在于因果性本身，而在于人们加之其上的不恰当的理解和解释。围绕因果性主要有两个人为的特征：一是认为因果律表达了某种必然的联系；二是认为因果律反映了自然规律的本质。对于一个事件“A发生B也跟着发生”，哪怕经验上得到了无数次的验证，原则上依然无法保证下一次会出现，类似的哲学上的讨论已经很多，此处不再赘述。实际上，强制性和本质等拟人化的概念无助于我们得到除“A发生B也跟着发生”之外的更多的东西。正如逻辑经验主义大师洪谦所言：“因果性概念只意味着规律的存在，除此别无它指。科学的任务不在于讨论因果律的普遍有效性，而在于解释在实际现实世界的特定情形中，出现了怎样的秩序和规律。”^①将因果性理解为规律，加之软计算模糊性的引入，对传统计算机的程序结构产生了重要影响。

计算机的编程组织结构是与人的认识分不开的，在硬计算思维的指导下，人们认为因果规律就是一种条件式的单向信号流动。比如，对一组输入信号，首先通过条件进行筛选，不符合的淘汰，符合的进入下一个环节，通过不断的循环计算最后得出预定的结果。就像一个闯关游戏，只有确定的符合所有条件的才能得到结果。整个过程都是人们事先设计好的，两个节点之间都用一个特定的条件来连接，反映了一种决定论式的因果联系。其特点为：将变量 X 定为因，变量 Y 定为果，箭头“ \rightarrow ”表示因果关系。 $X \rightarrow Y$ 结果要么为真，要么为假，没有别的可能，因此说硬计算的推理模式就是一种严格的单向推理。但是，在实践生活中，一方面，很难找到像数学中那样严格单向的因果关系，两个事件之间的因果关系是非常模糊的；另一方面，从系统的角度看，一个事件 Y 的发生是一系列事件 X_1, X_2, \dots ，共同作用的结果，单个的事件 X_1 不构成 Y 的原因说明。在模糊集合中，定义隶属函数 $A(x)$ 来对元素 x 和集合 A 的隶属程度进行描述，对函数 $A(x)$ 定义域中的每个元素与集合 A 的关联程度都赋予一个值，称为隶属度。若 $A(x)=1$ ，则认为 x 完全属于 A ；若 $A(x)=0$ ，则认为 x 完全不属于 A ；若 $A(x)$ 介于 $(0, 1)$ 之间，则 x 在程度上属于 A 。同样，在两个集合之间的关系上也用模糊关系来刻画。因果关系不再是硬计算那样的决定关系，而是变成关联性，关联性的强弱可以反映

^① 洪谦，2010. 论逻辑经验主义[M]. 北京：商务印书馆：2.

其因果关联的强弱，这样使逻辑中的排中律破缺，呈现出因果关系的模糊性。这样不仅用程度定义了某个词的模糊特性，同样也用程度定义了因果关系的模糊特性。从传统的静态的因果推理，变为动态的基于系统的整体关联。以强大的数据库为依托，建立起多维的、动态的关联，如果条件发生变化，那么关联模式随之改变，同时为机器学习提供逻辑依据。

从认识论的角度看，人类知识的来源主要有两种方式：演绎和归纳。计算机可以在现有模式下完美地演绎各种公式和计算，但是却没办法通过归纳获取新的知识。归纳法的一般三段论形式：若 $P \rightarrow Q$ ，已知 P ，则 Q ；若 $P \rightarrow Q$ ，已知非 Q ，则非 P_1 。虽然三段论在逻辑上很严谨，但是在实际使用时却非常局限，小前提很难精确地符合大前提，若小前提有偏离 P_1 则推理不能进行。扎德运用关系合成推理法（composition rule of inference, CRI），用近似的方法，通过模糊的命题推出新的模糊命题。其原理可以简述为：首先构建了一个包含所有大前提中模糊条件中前件基础变量和后件基础变量的关系，然后用一个模糊集合表述小前提，最后基于模糊关系的模糊变换推出合理的结果。^①这样，通过引入模糊关系推理，大大扩展了机器的因果推理方式，为机器智能提供了更广阔的基础。

亚里士多德曾经将因果关系分为四类：质料因、形式因、动力因和目的因。前面三个都容易理解，机器也主要从这三个方面去运行和推理。最后一个目的因，很大程度上涉及人类的文化语境，带有很强的主观色彩，机器很难理解。而软计算方法将人类的语言通过模糊性进行定义，用模糊关系来推理，运用计算机强大的运算能力，让其对人类所有的语言进行情景分析，理论上可以将人类语言形式化，在一定语境下变相地给出结论，实现人机交流。

科学中的新进展总是能给我们带来很大的思维上的启发。软计算方法从世界本体的基本逻辑单元、智能组织方式的建构及新的因果关联三个方面为智能系统的构造提供了结构基础。软计算的方法与人类智能机理有很多相通之处。人工智能目前亟待解决的问题就是如何模拟右脑的模糊思维，如何处理大量无法模型化的问题。软计算正是在模糊逻辑的基础上，不断吸收各种处理模糊问题的方法，逐渐形成了包括模糊逻辑、神经网络、遗传算法、粗糙集等方法的集合。虽然这里我们无法断言终极的人工智能能否实现，但是软计算方法的发展壮大为此目标的实现给出了明确的努力方向。

① 张颖，刘艳秋，2002. 软计算方法[M]. 北京：科学出版社：46.