

粒计算的基本要素研究

李 鸿

(宿州学院 计算机科学与技术系, 安徽 宿州 234000)

摘 要: 要为粒计算建立一个统一的、通用的模型框架, 必须要研究粒计算的基本要素。文中从一门学科的构成体系出发, 讨论了粒计算学科必须要解决的内在思维逻辑、理论模型、方法论体系和核心计算模型等四个基本问题, 它们构成了粒计算学科四个基本要素——粒化思维方式、基本理论框架、粒化问题求解和粒化信息处理, 给出了四个基本要素的含义及金字塔层次结构, 分析了金字塔层次结构的主导作用、核心作用、保证作用和关键作用等四个层次作用, 探讨了四个基本要素相互之间的立体协同作用。因此, 四个基本要素“四位一体”将会共同促进粒计算学科的良好发展。

关键词: 粒计算; 基本要素; 粒化思维方式; 基本理论框架; 粒化问题求解; 粒化信息处理

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)11-0089-05

Research on Basic Elements of Granular Computing

LI Hong

(Department of Computer Science and Technology, Suzhou University, Suzhou 234000, China)

Abstract: It is necessary to study the basic elements of Granular Computing to create a general unified model framework of Granular Computing. From the disciplinary system, aims to deal with the four basic issues concerning Granular Computing discipline—inherent thinking logic, theoretical models, methodologies and core computing model, which constitutes the four basic elements of Granular Computing discipline—granular thinking, the basic theoretical framework, granular problem solving and granular information processing. It explains the four basic elements and pyramid hierarchical structure, and analyses the role of four levels of pyramid hierarchy, such as the leading role, the central role, the guarantee role, and the key role. Finally, it provides integrated synergies of four basic elements. Therefore, “Four-in-One” of the four basic elements will work together to promote the healthy development of Granular Computing discipline.

Key words: granular computing; basic elements; granular thinking; basic theoretical framework; granular problem solving; granular information processing

0 引 言

自粒计算(Granular Computing)^[1]的概念提出以来, 粒计算的研究已经引起众多学者的关注与兴趣。短短的十余年研究史, 粒计算得到了飞速的发展, 其研究进展大致可分成拓扑模型、几何模型、代数模型和逻辑模型等多种观点和方法。其基本思想、原理和策略出现在不同的具体的理论模型和研究领域里。还没有哪一种理论模型能够比较完整地说明其本身的问题, 仍处于发展和完善当中。也就是说, 粒计算不存在一个自己的、很好的、统一的模式和方法^[2]。这在一定程度上限制了粒计算研究的学科化, 既不利于粒计算的理论发展, 也不利于应用领域的拓展。也就是说, 要使

粒计算能够顺利发展, 它必须要有自己独立的研究领域, 自己的原理、理论和应用。因此从大量的研究中抽象出粒计算的一般理论而不受具体模型的限制已成为一项迫切的任务。

要为粒计算建立一个统一的、通用的模型框架, 首先要研究粒计算的基本要素。Y. Y. Yao 在文献[3~6]中提出了粒计算研究的结构化思维、结构化问题求解和结构化信息处理三个主要观点, 这为粒计算基本要素的提出提供了重要的参考。

2006年, 李鸿提出了粒集的概念, 并用四元组的形式对粒集进行了描述^[7]; 2007年建立了基于粒集理论的粒计算新模型, 给出了粒集理论的初步应用框架^[8]; 随后进行了粒集的提升和扩展工作, 并提出了粒系统、概念粒系统和粒概念格等概念, 并对它们分别进行了描述^[9~11]。由于粒集具有统一机制, 因此, 以粒集理论^[7~11]为基础, 建立粒计算的统一的基本理论框架是可行的。这为粒计算基本要素的提出及构建粒计

收稿日期: 2009-02-28; 修回日期: 2009-06-22

基金项目: 安徽省自然科学研究重点项目(kj2007a129zc)

作者简介: 李 鸿(1965-), 男, 安徽灵璧人, 硕士, 教授, 硕士生导师, CCF 会员, 研究方向为智能计算、算法设计与分析、人工智能等。

算统一的模型框架奠定了坚实的基础。

基于这种现状,针对粒计算的特点,提出了粒计算的四个基本要素,讨论了四个基本要素的含义、层次、要义等,并构建了一个基于这四个基本要素的粒计算金字塔层次结构,从而为构建粒计算统一的模型框架作了理论上的有益探索。

1 四个基本要素的提出

科学发展史表明,任何一门学科被称之为科学,必须有其特定的研究对象、学科体系构成、独特的研究方法,及其特殊的研究意义。任何一门学科走向科学往往要经历一个萌生、发展、成熟和进一步发展(即提升)的历史过程。粒计算学科以及它的体系构成也受这一规律支配。

每门学科都有其特殊的、内在的思维方式,有自己内在的层次和条理性。这种特殊的、内在的思维方式的逻辑,就称为该门学科的特殊、内在的思维逻辑。每门学科的思维逻辑好比计算机软件中的“操作系统软件”或“工具软件”,决定了该门学科的基本面貌,对该门学科具有本体论的意义。粒计算也不例外,也有其特殊的、内在的思维逻辑,即粒化思维逻辑。

一个学科的发展,主要是基础理论的发展,一个学科的基础理论主要体现为理论体系。但是,粒计算发展到今天,虽然已经融合了粗糙集、模糊集及人工智能等多种理论的研究成果,还没有形成自己独有的理论体系,粒计算理论体系的建立需要对上述各个具体领域的共性进行概括、总结和整理。因此,为粒计算下一个正式的、精确的、能够广为接受的定义仍然是一件困难的事情^[3]。虽然如此,仍然可以从问题求解及实践中提取出一些通用的理论和基本要素^[5]。

任何一门学科走向科学都要经历形式化、符号化、建立数学模型和实验模型的过程。不同学科构建符合自身研究特性的形式、符号和数学模型的方法,就是这门学科特有的思想方法和研究方法。当然,粒计算学科也不例外。

由于粒计算遵循人类解决问题从宏观到微观去缩小问题的规模最终实现快速解决问题的渐进过程,所以,粒计算对人类的问题求解非常重要,它通过把复杂问题抽象、划分从而转化为若干较为简单的问题实现快速解决问题。但是,作为一个蓬勃发展的新兴领域,要使粒计算形成一门独立的学科,仍然有许多工作要做。一要确立本学科内在的思维逻辑,二要构建本学科独特的统一的理论体系,三要创建本学科独特的方法论体系,四要建立本学科独特的核心计算模型。以上四个基本问题是粒计算作为一门独立学科所必须要

逾越的障碍,也是粒计算领域未来研究和探索的主要方向。

对上述四个基本问题进行抽象、概括,就构成了粒计算学科的四个基本要素,即粒化思维方式、基本理论框架、粒化问题求解和粒化信息处理。粒计算学科体系就是将这些分散珠宝串起来的链条。没有珠宝,链条虽长却无多价值;没有链条,珠宝虽多却无法聚集。只有把珠宝与链条有机地结合起来,才能成为一个价值不菲之物。也就是说,粒计算学科应该是集哲学思想、理论体系、方法论、计算模型以及应用为一体的学科体系。因此,粒计算是研究基于多层次粒结构的思维方式、问题求解方法、信息处理模式及其相关理论、技术和工具的学科^[3]。

粒化思维方式-基本理论框架-粒化问题求解-粒化信息处理这四个要素,其间包含了认知、求解、应用三个过程,这才构成完整的粒计算过程;粒计算过程不仅是指粒计算四要素所形成的流程,更重要的是人与对象所建立的“计算”关系,即人类运用计算科学的思想与方法对所面临的客观对象进行问题求解、系统设计及行为理解等,是人的本质力量的全部展开。

当然,人们对于粒计算的观点不是固定的、僵死的、可以永远定于一尊的。时代的变化推动着粒计算观点的变化;粒计算研究的深入导致粒计算观点也随之变化;不同的研究团体、研究群体具有不同的观点,不同思想倾向的人也有不同的观点,同一个人在不同时期的观点也可能发生变化,这些观点的变化都会导致对粒计算的看法发生变化。

但是,不管人们对于粒计算的观点如何变化,粒计算学科仍然遵循着萌生-发展-成熟-提升这一学科发展过程,展现了粒计算自身演变的规律。当然这种演变规律并不是直线型的,由于受直接的、间接的基础学科、相近学科和科学发展大趋势的影响,其发展的路线和形态往往是极其复杂的,而在同一个时期,几种粒计算模型与观点并存的局面也是存在的。但就总趋势而言是由萌生到发展、由发展到成熟。

尽管如此,作者认为,粒计算作为一门学科而言,其四个要素都是会存在的,只是每一种观点强调的侧重点不同而已,不同时期研究的侧重点不同而已。

2 四个基本要素的含义

从第1节的论述中,可以知道,只有搞清楚粒计算四个要素的基本含义,才能真正构建粒计算学科的统一、通用的模型框架。

首先,需要确立粒计算的主导思维——粒化思维方式。每门学科的建立和发展,都有其特殊的、内在的

思维方式,有自己的内在的层次和条理性。这种特殊的、内在的思维方式的逻辑,就称为该门学科的特殊、内在的思维逻辑,决定了该门学科的基本面貌,对该门学科具有本体论的意义。粒在客观世界中无时不在、无处不在,即客观世界的本质是粒化的。人类在解决和处理大量复杂信息问题时,由于人类的能力有限,把大量复杂信息按其各自的特征和性能将其划分成若干较简单的块,而每个如此划分出来的块被看成一个粒(granule)。这种处理信息的过程,就被称作信息粒化(granulating)。由此可知,粒化是改变人们思维方式的思想活动。粒化的过程是改造的过程,是思维产生飞跃的过程,所以,粒化可以活跃人们的思维,锻造人们对事物整体把握的能力。粒化思维方式,无处不在,无处不用,它是人类思维固有的方式,凡是人类思维活动的地方就有粒化思维存在和活动的地方。也就是说,粒计算遵循着“粒化思维先于粒化操作、粒化思维高于粒化操作和粒化思维成于粒化操作”的思维逻辑。因此,粒化思维是粒计算学科的主导思维。粒化思维就是以多层次的粒结构为思维对象,以积极建构现实问题的多层次粒结构为思维过程,力求找出具有普遍意义的基本规律和规则,进行问题求解、系统设计,以及人类行为理解等涵盖粒计算学科之广度的一系列思维活动。深刻认识和认真研究粒化思维,有助于正确认识粒计算学科的性质、特点及其发展变化的原因和内在规律性,塑造科学的问题解决的目标,并围绕该目标确定一套与粒化世界相适应的粒化观念和制定一套具有现实意义的粒化原则、程序与方法。

其次,需要构建独特的统一的理论模型——基本理论框架。一门学科在理论上处于什么地位,是该门学科得以独立的标志。换言之,一门独立学科必须具有共同承认的理论基础,这里的理论基础并不是借用或套用一些别的学科名称,而是从粒计算本身的特征出发建构粒计算学科的理论基础。要把关于粒、粒化和粒化思维中至关重要的所有认识看成科学,并在此基础上创建一门独立的学科理论,以促使粒计算向整体的、系统的、质的方向发展。但是,粒计算迄今还未成为一个统一的框架,也就没有一个统一的、独特的、具有严密内在逻辑的分析范式,这使得粒计算的不同研究者无法在公理化标准下进行讨论,从而限制了粒计算的学科化。粒计算需要像经典的计算理论那样,按照粒计算学科发展的基本规律和要求,建立一个能够适应不同状态下统一的解决问题的基本理论框架,作为粒计算学科的理论基础。这种基本理论框架对粒计算学科及其理论体系的构造具有质的规定性,是具有决定粒计算学科及其理论体系本质属性功能的理

论,是构建粒计算学科及其理论体系的根本,是粒计算其他方面理论赖以建立和发展的支柱。但是,如何去寻找解决实际问题的统一的粒计算基本理论框架,是粒计算研究工作中可能长期存在的问题。

再次,需要创建粒计算学科独特的方法论体系——粒化问题求解。方法论是指人们认识世界改造世界的一般方式、方法所构成的学说或理论体系,它是从整体上对该学科研究方法进行哲学思考。粒计算不仅是一种理论,更是一种实践^[5]。由于粒计算的研究是基于粒及多层次粒结构的,具有粒逻辑化、粒化、粒推理的思维过程,因此粒计算学科方法论就是指人们在研究基于粒及多层次粒结构解决问题的过程中所遵循的粒逻辑化、粒化、粒推理等方法论原则和使用的粒逻辑化、粒化、粒推理等方法论体系,即粒化问题求解。粒计算学科方法论所拥有的本学科独特的粒逻辑化、粒化、粒推理等研究方法是粒计算学科在创建过程中具有方法论高度的创造性尝试,是适用于本学科理论建构的具体的发现方法、检验方法和发展方法,对于本学科的发展具有其他方法所无法取代的新工具意义。这种研究方法在粒计算的统一模型框架中处于中心和枢纽地位,是联结粒计算学科基础理论和应用理论的“桥梁”。有了独特的方法论体系,粒计算的统一模型框架才具有整体性和目的性,才能使粒计算学科具有独特的学科特色。

最后,需要建立基于粒的核心计算模型——粒化信息处理。信息是消息、数据、资料、知识等的总称,信息处理是将数据转换为信息的过程,是信息再加工的过程,是取得有用信息的过程。粒化问题求解仅仅是通用的指导算法设计的方法论,并没有提供统一的标准模型,这样就只能对每类问题进行具体分析,构造具体的模型,这就带来了应用上的局限性。粒化信息处理是指在粒化问题求解的指导下,通过建立核心计算模型,进行以计算为主的具体算法设计实现问题求解。建立基于粒的核心计算模型是解决实际问题的最基本、最有用的切入点。第一,它是解决现实问题的需要。通过建立统一的核心计算模型,使得现实问题的解决有了操作性很强的指导,由此出发,再针对具有问题,设计具体算法达到解决问题的目的。第二,它是建立粒计算统一模型的需要。通过建立统一的核心计算模型,可以从理论和实证上充分说明各种具体模型的核心理论的局限性,可以拓宽粒计算学科的应用范围,使得粒计算学科得到一致的认可。

3 四个基本要素的层次

就粒计算学科本身的结构而言,粒计算学科的四

个基本要素还有一定的层次性,形成了金字塔式的层次结构。其中,粒化思维方式作为其内在的思维逻辑,处于最高、最抽象的层次;基本理论框架作为基础理论体系处于中间靠上层次,即第二层次;粒化问题求解作为方法论处于中间靠下层次,即第三层次;粒化信息处理作为具体的应用研究,处于金字塔的最底层次,如图 1 所示。这样的层次结构反映了哲学思想、基础理论、方法论及计算模式之间的关系。

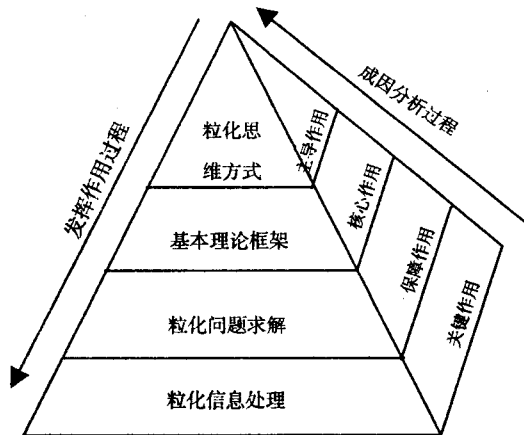


图 1 粒计算的金字塔层次结构

第一层:主导作用。根据第 2 节给出的粒化思维方式的含义,粒化思维方式是基于粒及粒结构的思维方式,指导粒、粒层次、粒结构等相关内容的定义、属性描述、关系表述及各种各样的操作等。粒化思维方式的研究属于抽象的哲学层面,同时又是基本理论、方法论和核心计算模型的前提和保障。

第二层:核心作用。主要指沟通第一层和第三层,起到传承、带动和支撑作用。因为粒计算必须脱离具体的理论模型而具有共同承认的理论基础才能获得认同,特别是在基本范畴、理论模型、分析范式和分析工具等方面取得公认的成果才能标志着粒计算学科真正得以独立。由此才能产生共同的问题解决目标、方式、方法、策略等。所以,通过支撑作用,可以带动和促进粒计算方法论和核心计算模型的研究。

第三层:保障作用。指具体化和执行第一层及第二层的粒化思维、基本范畴、理论模型、分析范式等。第三层次的具体表现为问题求解的方法论体系,还要具体到相关的技术和工具的研究及开发,它是基本理论研究与应用研究的桥梁,与粒化信息处理紧密联系在一起。

第四层:关键作用。粒计算的思维方式、基本理论框架和方法论体系为粒化信息处理提供了可以依据的准绳和保障,由此出发,研究粒化信息处理的核心计算模型,为问题解决直接提供支持,它是非常关键的环节。同时反过来也会促进粒计算的思维方式、基本理

论和方法论体系的研究,成为粒计算学科发展的动力。

因此可以看出,从金字塔尖到金字塔底层是一个发挥作用的递进过程,通过四个层次的相互递进就可以产生相应的问题得到解决的结果,而要达到问题解决的效果,则是一个从金字塔底层向顶层追寻问题根源的过程。从这里也可以看出,粒计算学科的构建是一个系统工程,从单一方面的努力要想构建粒计算学科是不可能的。

4 四个基本要素的要义

尽管粒计算的四个要素具有一定的层次性,而且所起的作用也不同,但是如果这四个要素没有形成有机的整体,粒计算学科的构建也是不可能的。因此,研究粒计算的基本要素有重要意义:首先有利于粒计算统一模型框架的构建,是构建粒计算学科的基础;其次有利于粒计算学科的形成,是衡量粒计算学科成功与否的基准和标尺;再次有利于提供判定粒计算学科形成的标准,是研究和发展粒计算学科的客观依据。

首先,粒计算的四个要素构成是由粒计算这个学科自身的性质和特点所规定的。既汲取、借鉴了粒计算三角形的合理之处,又弥补了 Y. Y. Yao 粒计算三角形的不足;既有利于促进粒计算理论与实践的结合,也有利于促进粒计算理论体系和粒计算研究方法论的变革。必将开创整个粒计算学科的新格局。

其次,粒计算由四个要素构成,并不是说粒计算学科只能以单一的模式出现,而应可以有多种表现形式。粒计算学科至少可以有三种表现形式:带有粒计算哲学特色的、从横的角度研究问题的偏重理论的粒计算;把粒计算作为一个应用过程、系统工程看待的、从纵向角度研究问题的偏重应用的粒计算;理论与应用无所偏向的纵横结合的粒计算。只是这三种形式都要涵盖四个要素。

再次,粒计算的四个要素构成是指整个粒计算学科应以这四个要素为基本内容,它主要表现为关于粒计算学科带有总论性的著述一般应包括这四个要素,而不是说所有粒计算学科的著述都要包括这四个要素。各种粒计算学科的著述都可以有自己的完整体系,但这个体系中未必都要包括这四个要素。

最后,粒计算的四个要素各自应有哪些内容,既未必需要设定一个整齐划一的模式,也不是不需要有大致确定性。如果各种带有总论性的粒计算著述,都遵循一个既定的整齐划一的模式,来研究、安排各项具体内容,则粒计算研究恐难有生生不已的活力。反之,如果各种带有总论性的粒计算著述,都忽视粒计算内在规定了的大致的确定性,来研究、安排各项具体内

容,则粒计算研究恐难有科学性可言。而要把握这大致的确定性,不能不研究四个要素本身的问题。

粒计算的四个要素分别从不同的视角对粒计算进行研究,涵盖了粒计算学科的基本属性,它们既自成体系,又相互联系、相互依赖、相互制约,还功能互补、相互协同、缺一不可,形成了粒计算特有的一种“四位一体”结构模型,共同促进粒计算学科的良好发展。

5 结束语

文中讨论了要为粒计算建立一个自己的、很好的和统一的模型,必须要研究粒计算学科四个基本要素。但研究只是初步的,其进一步的完善还需要广大粒计算研究者的共同努力。下一步研究的重点将是以此四个基本要素为基础,构建粒计算学科的四面体结构模型,从而为建立粒计算统一的独特的模型框架奠定坚实的基础。

参考文献:

- [1] Zadeh L A. Some reflections on soft computing, granular computing and their roles in the conception, design and utilization of information/intelligent systems//Soft Computing [M]. Berlin: Springer - Verlag, 1998: 23 - 25.
- [2] Yao Y Y. A Unified Framework of Granular Computing [M]//In: Pedrycz W, Skowron A, Kreinovich V. Handbook of

Granular Computing. [s. l.]: Wiley, 2008: 401 - 410.

- [3] 姚一豫. 粒计算的艺术. 粒计算: 过去、现在和展望[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1 - 20.
- [4] Yao Y Y. Three perspectives of granular computing[J]. Journal of Nanchang Institute of Technology, 2006, 25(2): 16 - 21.
- [5] Yao Y Y. Perspectives of granular computing[C]//The 2005 IEEE International Conference on Granular Computing. Beijing, China: [s. n.], 2005: 85 - 90.
- [6] Yao Y Y. Granular Computing: Past, Present and Future [C]//2008 IEEE International Conference on Granular Computing. Hangzhou, China: [s. n.], 2008: 80 - 85.
- [7] 李 鸿. 粒集及其描述[J]. 宿州学院学报, 2006, 21(1): 90 - 93.
- [8] 李 鸿. 粒集理论: 粒计算的新模型[J]. 重庆邮电大学学报, 2007, 19(4): 397 - 404.
- [9] 李 鸿. 粒集的扩展与提升[J]. 计算机科学, 2008, 35(8A): 234 - 236.
- [10] 李 鸿. 粒集的提升及其描述[J]. 宿州学院学报, 2008, 23(5): 96 - 98.
- [11] Li H. Concept Granular System and Granular Concept Lattice [C]//In: Wang Guojun. Proceedings of The 9th International Conference for Young Computer Scientists (ICYCS2008, ZhangJiaJie, Hunan, China). Los Alamitos, California, USA: IEEE Computer Society, 2008: 1860 - 1865.

(上接第 88 页)

```

} //end while(T|| Empty_Stack(s))
//end InOrder()

```

5 结束语

递归在算法和程序设计中有中广泛的运用,递归方式描述的算法具有代码简洁,思路清晰的优点,是设计算法的强有力工具。对于一般满足递归特征的问题,可以根据通过先写出问题自身对应的递归形式函数((5)、(6)两式),然后可较容易扩充为它相应的递归算法程序,此方法也是设计一般递归算法重要技巧。一般地,递归程序的执行效率低于非递归程序^[4,7,8],递归的效率可采用画递归树的方法来分析^[8,9];在一些效率要求高的情况下,需要撰写非递归算法,可根据算法的复杂程度选择转换方法。但同时要认识到,非递归算法的效率虽高,但往往难于编写,容易出错;理论上,递归算法都可以转化为非递归算法,但存在一些算法很难非递归化,如复杂的间接递归,因此,要根据具体情形选择递归还是非递归。

参考文献:

- [1] Milner R. Functions as processes[M]//Mathematical Structures in Computer Science. University of Edinburgh. Berlin: Springer, 1992: 167 - 180.
- [2] Sangiorgi D. An investigation into functions as processes[C]//In: Proc. Math. Foundations of Program Semantics' 93. University of Edinburgh. Berlin: Springer, 1993: 143 - 159.
- [3] Hamilton. 数学家的逻辑[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [4] 汤亚玲, 崔志明. 基于 C++ 递归方法在应用问题中的设计与实现[J]. 微机发展(现更名: 计算机技术与发展), 2003, 13(8): 90 - 92.
- [5] 李红卫, 徐亚平. 出栈序列的研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(10): 127 - 129.
- [6] 严蔚敏. 数据结构(Pascal 语言版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- [7] 秦 锋. 数据结构[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008.
- [8] Comen T H, Leiserson C E. Introduction to Algorithms[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [9] 冯群强, 苏 淳, 胡治水. 均匀递归树的分支结构[J]. 中国科学(A 辑), 2005, 35(5): 569 - 584.