

关于认知演化计算分支领域的研究简报(II)

刘坤起^{1,2} 康立山^{1,3} 赵致琢⁴

(中国地质大学计算机学院 武汉 430074)¹ (石家庄经济学院计算机科学系 石家庄 050031)²
(武汉大学软件工程国家重点实验室 武汉 430072)³ (厦门大学计算机科学系 厦门 361005)⁴

摘要 科学地认知演化计算分支领域对演化计算的研究与发展具有重要的意义。对演化计算分支领域发展的主线、特点和内在规律进行了回顾与总结,从科学哲学的角度阐述了如何对演化计算分支领域进行科学认知,并概要介绍了演化计算方法论研究的主要进展,讨论了演化计算方法论研究进展对计算机科学与技术学科未来发展可能产生的影响。

关键词 演化计算,方法论,根本问题,学科形态,核心概念,典型方法,典型实例

中图分类号 TP301 **文献标识码** A

Brief Report of Research on Cognizing the Subarea of Evolutionary Computation(II)

LIU Kun-qi^{1,2} KANG Li-shan^{1,3} ZHAO Zhi-zhuo⁴

(School of Computer, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)¹

(Department of Computer Science, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China)²

(State Key Laboratory of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)³

(Department of Computer Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)⁴

Abstract It is very important that the subarea of evolutionary computation is scientifically cognized for studying evolutionary computation and predicting the developing directions of evolutionary computation in future. The development mainlines, characteristics and internal inherent law were reviewed and summarized, and the cognitive process for evolutionary computation was explained from the perspective of philosophy of science. A series of new concepts and idea, for example, the essential problem, typical methods and typical instances were proposed and discussed. The research progress of methodology for evolutionary computation was presented in outline, and its influence on the research and education of computer science and technology was discussed.

Keywords Evolutionary computation, Methodology, Essential problem, Paradigms, Core-concept, Typical methods, Typical instances

4 演化计算领域发展的特点和内在规律

演化计算是在计算机科学与技术、生物学和数学的基础上发展起来的一个新兴的学术研究领域。它是一个需要强大的理论支持、实践性很强的技术领域。纵观演化计算的发展,我们可以总结出它所具有的特点和发展规律。

(1) 大自然和人类生活是演化计算领域持续发展的思想源泉。

从演化计算的定义、产生与发展的历史中不难看出:仿生演化算法、拟物演化算法以及其他演化算法,其思想均源于大自然和人类生活。因此,大自然和人类生活是演化计算领域持续发展的思想源泉。正是有了这个不竭的思想源泉,新思想的不断涌现,加上强烈的应用需求,才推动了演化计算领域持续不断地向前发展。

(2) 数据与信息的表示是演化计算领域非常重要的研究内容。

计算机科学与技术学科有一个内在特点,亦即近几十年来随着学科发展的不断深化,研究对象的数据或信息表示的地位明显突出。一种方法求解一个问题的质量和效率,往往更多地取决于处理对象的数据与信息表示而不是施加在对象之上的运算或操作过程本身。这也说明了为什么数据与信息表示理论一直受到理论计算机科学家的重视^[2-4]。

数据与信息表示也是演化计算领域研究的一个非常重要的方面。一个好的数据与信息表示不但可以使问题迎刃而解,而且能获得较高的效率。例如,遗传算法中染色体的编码表示已经证明了这一点,而基因表达式程序设计编码表示的简明性构成其鲜明的特点。

(3) 演化计算是一个实践性很强的技术领域,仿真实验

到稿日期:2008-10-27 返修日期:2009-03-04 本文工作得到国家自然科学基金项目(项目编号:40772196)资助。

刘坤起(1966—),男,博士生,副教授,主要研究领域为演化计算、程序设计语言、计算机科学教育, E-mail: liu_kq@126.com; 康立山(1934—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机科学理论、演化计算和并行计算; 赵致琢(1957—),男,博士,教授,主要研究领域为计算模型、分布式算法与程序理论、计算机科学教育。

是演化计算研究十分重要的方法。

长期以来,由于理论研究落后于实践,演化计算的数学基础比较薄弱,使得仿真实验方法在研究中显得非常重要,这可以从演化算法的设计中得到证明。

我们知道,演化算法是演化计算领域科学研究的核心。由于缺乏演化算法设计的理论指导,造成了目前演化算法设计的盲目性。目前,演化算法的设计还只能采取仿真实验的方法^[7],即以问题的特征为出发点,以大量的实验、逐步调整、综合提炼为基本手段,设计出性能尽可能优良的、面向问题的演化算法。至于具体算法设计中各算法成分的选择,包括个体的表示、遗传算子、淘汰机制、群体替换策略、算法成分或算法本身的嵌套与重叠、算法参数的控制等目前也还是只能依据问题的特征,以实验为手段来确定。由此可见,仿真实验方法在演化算法设计中非常重要。

其实,在演化计算领域的科学研究与技术开发中,经常参照经验科学的工作方式,通过反复实验获得数据,经分析后指导下一步的工作从而推进科研与开发工作,这与传统的计算机科学与技术是有差别的。这也使人们相信,演化计算是一个实践性很强的技术领域,同时证明了仿真实验的方法在演化计算领域研究中的重要性。

(4) 对从事研究所需要的知识组织结构进行考察。由于演化计算的简明性,使得进入演化计算领域的壁垒较低,但要做好工作尤其是做好基础理论研究工作绝非易事。

由于演化计算的简明性,利用演化计算求解优化问题时不要求对所处理的问题的性质做深入的数学分析,从而对于那些不太熟悉数学理论和理论计算机科学的工作者来说,无疑是非常方便的。因此,对从事研究所需要的知识组织结构进行考察,进入演化计算领域从事非基础理论研究工作是比较容易的,这大概是许多人(特别是非科班人员)容易进入该领域从事科学研究工作的原因之一。我们可以从我国 17 岁的中学生陈焯进入蚁群算法领域从事科学研究^[8]并发表论文这件事情初步体会到上述特点。然而,由于基础理论研究的难度,使得人们进入演化计算领域从事纯粹的基础理论研究工作比较困难。

(5) 尽管演化计算的内涵在扩展,但它还处于发展的早期,尚有很大的发展空间。这可以从下面几个方面得到印证:

第一,模拟大自然复杂的演化过程,目前的研究还只是简单的模拟,算法中对复杂的演化机理做了很大简化,计算模型对演化过程的刻画还不很准确(当然,做到准确刻画不是一件容易的事情)^[10,17,18]。演化计算的进一步发展,取决于生物学、数学等其它学科的进一步发展^[9,10,18]。

第二,演化计算的数学基础比较薄弱,一个统一、完善的演化计算的理论基础仍然没有形成。马克思曾经认为,只有当一门科学成功地运用数学时才可以认为是成熟的学科。因此,从数学的角度来看,演化计算的基础理论研究远远落后于实践,基础理论研究任重道远^[14,15,18]。

第三,演化计算的应用研究有待进一步深化和拓广^[16]。只要是存在复杂、困难的全局优化问题的领域或学科,均可以将演化计算派上用场。

5 生物学、数学以及其它学科在演化计算发展中的地位与作用

5.1 生物学是演化计算最主要的基础

生物学是演化计算的主要基础,可以从下面几点得到证明:

(1) 从演化计算的历史来看,演化计算是从借鉴达尔文自然选择理论和孟德尔的遗传定律的基本思想的遗传算法的基础上逐步发展起来的。几十年来演化计算领域的发展表明,围绕着一些重要的应用问题的求解,人们在充分挖掘“大自然和人类生活中的演化过程”思想的基础上设计出了许多良好的算法,推动了学科向深度和广度发展。毋庸置疑,没有上述生物学理论,就不可能有演化计算的今天。

(2) 从演化计算的未来发展来看,虽然演化计算已经在许多领域中获得了成功的应用,但目前仍存在一些悬而未决的问题^[16,19]。究其原因,主要是因为当前的(仿生)演化算法只是简单地模拟了生物的进化,对生物进化机理做了很大简化。而生物的进化是一个非常复杂的过程,单就目前生物学中对于遗传物质的载体——染色体 DNA 的研究,就足以令人感到(仿生)演化算法在利用生物进化的思想方面已经滞后。而(仿生)演化算法的染色体的表示则简单得多,而且用来模拟生物有性繁殖的杂交算子也多是线性串的部分交换。所以,要提高(仿生)演化算法的性能,就必须深入地研究生物的结构与进化规律,弄清生物进化的机理,如近年发展起来的免疫演化模型和协同演化模型等就是这样^[11,12]。

5.2 数学是演化计算的主要基础

演化算法是一种随机算法。到目前为止,我们仅仅认识到演化计算的数学基础主要是随机数学和计算数学。在随机数学中,概率论、数理统计、随机过程、多元统计分析、贝叶斯统计等在演化计算中得到了应用。另外,数学中的其他许多思想与方法也在演化计算中得到了应用,例如最优化理论与方法、矩阵论、数值分析、数论、泛函分析、数学模型等等。计算数学和随机数学是描述演化计算领域的理论、方法和技术的重要工具,而程序技术则是反映演化计算领域的产品的主要技术形式。数学是演化计算最主要的基础,可以从下面几点得到印证:

(1) 从基础理论研究的角度看,无论是演化计算的搜索机理的理论研究、可计算性和计算复杂性理论的研究,还是计算正确性理论,均需要数学,特别是随机数学的支撑。需要研究能够支撑演化算法运行,能够表达随机数学作用的抽象的计算模型,且计算模型在逻辑上具有严密性。

(2) 从算法设计的角度看,算法设计所涉及的信息处理机制的数学模型的建立、演化算子的设计,均需要数学的支撑。例如, M. Dorigo, V. Maniezzo 和 A. Colomi 建立的蚁群系统的数学模型,张铃教授发明的佳点集遗传算法的杂交算子的设计,分布评估算法的问世,都要求研究人员具有良好的数学基础,并具备数学上的成熟性。这也从另一个侧面说明了随着学科研究和应用的不断深化,数学的重要性地位将愈来愈突出,理论研究则显得更加重要。

当然,这样一种解释或许是粗略的、不全面的,但基本上能说明问题。随着演化计算研究的深入与发展,其他的数学分支内容很有可能应用到该领域。另外,若现有的数学工具不能解决演化计算领域中面临的问题,那么人类必须发明新的应用数学工具来解决这些问题。由此可以看出数学在演化计算中的地位和作用。

由于演化计算的思想源于大自然和人类生活,因此演化

计算与其它任何学科均存在着千丝万缕的联系。要断言一个学科与演化计算没有丝毫关系是难以想象的。演化计算的发展对其它学科产生了重要影响,反之其发展也必然受制于其它科学技术的发展,这早已为其发展的历史所证实。

6 演化计算方法论的研究意义及其研究进展

计算机科学与技术学科方法论是研究学科领域中普遍存在的共性思想、原则、策略和方法的学科,是指导人们从事计算机科学与技术研究与开发的方法的理论,属于计算机科学与技术哲学的重要组成部分^[3-5]。而演化计算方法论则是计算机科学与技术学科方法论的重要组成部分。

学科方法论研究的意义在于^[2-5],一是有助于从科学哲学的角度从整体上把握整个学科及其发展的走向,指导科学研究;二是从整体上把握学科教学的主要内容和重点,做到纲举目张,使知识融会贯通,有助于使学科人才培养走向内涵发展模式,培养创新人才。

6.1 形态与核心概念

每一个学科或研究领域都有其自身的知识组织结构、形态、核心概念和基本工作流程方式。理论、抽象和设计是演化计算领域3个基本的形态。所谓形态,是指从事该领域工作的文化方式。关于理论、抽象和设计3个形态的详细解释请阅读文献^[2-4, 20]。

下面举例说明演化计算领域3个形态的有关内容。

(1) 理论

包括模式理论、演化计算的可计算性理论和计算复杂性理论。显然,发展这些理论与发展数学理论、理论计算机科学中其他的一些计算理论具有相同和相近的工作特点。

(2) 抽象

从大自然和人类的生活中(特别是研究生物体的功能、特点和内在成分作用机理的过程中)去发现和研究其中所蕴含的丰富的信息处理方法,然后抽象出相应的计算模型,这一过程体现了“抽象”这一学科形态。

(3) 设计

为了解决某一特定的问题,人们需要设计出解决它的演化算法或软、硬件系统,并付诸实践,这体现了“设计”这一学科形态。

在演化计算的研究与开发中,3种形态并不是孤立出现的,它们常常交织在一起。经验告诉我们,没有抽象形态的支持,理论研究就失去了背景参照;没有理论的指导,工程开发往往会误入歧途。

在演化计算的发展中,有一批在计算机科学与技术各个分支领域中重复出现的概念。它们虽然在各个分支领域中的具体解释在形式上有差异,但相互之间存在着重要的联系。核心概念是计算机科学与技术学科重要思想、原则、方法、技术过程的集中体现,有助于在学科的深层统一认识演化计算。

下面,把演化计算领域的核心概念大致做一个筛选和分类介绍。

(1) 计算模型与能行性

计算模型(Computational Model)、可计算性(Computability)、计算复杂性(Computational Complexity)、最优性(Optimum)、收敛性与收敛速度(Convergence and Convergence Velocity);

(2) 抽象与构造性描述

论域与计算对象(Domain and Computing Object)、枚举(Enumeration)与有穷表示(Finite Representation)、约束(Restriction);

(3) 系统特征

可靠性(Reliability)、收敛性(Convergence)、稳定性(Stability)、健壮性(鲁棒性,Robustness);

(4) 计算方法

折衷(Compromise)、分解(Decomposition)、集成(Integration)、类比(Analogy)、变换(Transformation)、搜索(Search);

(5) 实现技术

编码(Coding)、软计算结点(Agent)、循环与迭代(Loop and Iteration)、重组(Recombination,俗称“杂交”(Cross-over))、变异(Mutation)、选择(Selection)。

6.2 演化计算领域的基本工作流程方式、典型方法与典型实例

6.2.1 基本工作流程方式

从演化计算领域的研究实践中,可以总结出从事演化计算领域研究的基本工作流程方式是:

(1)首先,对待求解的实际问题进行深入研究,研究其基本特点、特性和内在规律,然后将待求解的问题抽象为数学问题;

(2)判断由(1)得到的数学问题是否为复杂的优化问题。若是复杂的优化问题,则研究该优化问题的特征,并以此为依据选择已有的演化算法,并按照相应的演化算法的解题方法解决之;若目前的演化算法不能有效解决之,则转(3)。若不是复杂的优化问题,则不能用演化方法解决之,建议使用其他方法;

(3)从大自然和人类的生活中(特别是生物体的功能、特点和作用机理的过程中)去研究和发展其中所蕴含的丰富的信息处理思想方法,然后抽象出相应的计算模型,再设计出相应的算法,并进行理论研究,研究算法的基本性质和性能,最后将它应用于待求解的问题,并进一步将它应用于各个领域。

这个过程是从事演化计算研究工作的基本工作流程方式。在这个基本工作流程方式中,抽象(这里主要指计算模型的建立)不但是理论、抽象和设计3个基本形态中最重要形态,而且是其中的关键环节。值得注意的是,在从事演化计算的研究中,根据自己所要解决的具体问题,有时需要完成全部的基本工作流程方式,有时需要完成部分的基本工作流程方式。

在学科方法论的诸多内容中,基本工作流程方式是最重要的内容之一,它是一般的科学思想方法在演化计算中从事科学研究工作的一个具体体现。它不仅将其3个基本形态串连为一体,更为重要的是它为演化计算研究人员提供了一个从事研究工作的思路,或者称为套路的“路径”,有着重要的实际意义。

下面,通过两个实例来进一步认识演化计算领域研究的基本工作流程方式及其科学意义。

例1 演化策略的产生与发展

1963年,柏林工业大学的学生 I. Rechenberg 和 H. P. Schwefel 等在进行风洞实验时,要解决风洞中物体形状的设计问题。经研究问题的基本特点、特性和内在规律后,发现这

个问题可以抽象为描述物体形状的参数优化问题。之后,又发现该参数优化问题难以用传统的方法解决,然后他们试着借用生物演化中“变异”思想解决这个参数优化问题。最后终于开发出了解决这个参数优化问题的仿生演化算法,取名为“演化(进化)策略”。尽管当初开发这种算法的目的是求解参数优化问题,但随后人们对这个算法进行了深入研究,研究算法的基本性质和性能,根据算法的不同选择操作机制提出了许多不同种类的演化策略,之后这些不同种类的演化策略在许多工程问题上都得到了一定程度的应用。同时,有关演化策略的理论研究(例如,收敛速度理论等)也取得了很多有意义的进展。经过几十年的发展,演化策略已经成为演化计算家族中一个重要的分支。

例2 微粒群算法的产生与发展

美国社会心理学家 Kennedy 和电气工程师 Eberhart 为了解决复杂的优化问题,试图发明一种新的演化算法。他们由于受早期研究鸟类群体行为的结果的启发,进一步对鸟类这种群体行为进行了深入研究,并对生物学家 Frank Heppner 的生物群体模型进行了完善,抽象出了相应的数学模型,终于于 1995 年发明了具有全局优化特征的群体演化算法——微粒群算法。随后,人们对该算法进行了进一步的研究,对该算法进行了许多改进。这些不同种类的微粒群算法已经在函数优化、组合优化、人工神经网络的优化等领域中得到了一定程度的应用。同时,微粒群算法的理论研究(算法的行为分析和收敛性分析)也取得了很多有意义的进展。到目前,经过 10 年的发展,微粒群算法已经成为演化计算家族中一个重要的分支。

6.2.2 典型方法

就目前我们对演化计算领域的认识,归纳整理了下列 4 种典型方法和一大批典型实例。在演化计算的研究中,普遍采用了计算机科学与技术学科的下面几种典型方法:

(1) 演化方法

演化方法是计算机科学与技术的典型方法,有着广泛的应用实例。例如,算法设计与分析中的代数化简方法;程序设计方法学中的程序变换方法;电路设计与分析中首先通过对电路对应的布尔值函数进行化简,然后简化电路设计的方法;软件维护与升级均是演化思想和方法的具体应用实例。

演化方法是演化计算的核心,没有演化的方法就不会产生演化计算这一领域。令人遗憾的是,尽管演化方法实际上在计算机科学与技术的发展中早就出现了,其他学科也有类似的方法,但是学术界在相当长的一个时期内没有注意到该方法的方法学意义^[2-4]。

(2) 计算模型方法

计算模型方法是计算机科学与技术学科的典型方法。计算机科学与技术学科发展的一个重要特点是几乎在学科各个方向和各个层面,一旦研究工作走向深入,研究内容就有比较复杂的特点,人们首先是发展相应的计算模型和数学工具,然后依靠计算模型和数学工具将研究工作推向深入^[2-4]。

在演化计算中,要设计出新的演化算法。首先我们要从大自然和人类的生活中(特别是生物体的功能、特点和作用机理的过程中),研究其中所蕴含的丰富的信息处理方法,然后抽象出相应的计算模型(这里指计算方法层面上的数学模型)。否则,演化算法将难以设计。从中不难看出计算模型方

法在算法设计中的重要性。

当然,计算模型的准确建立并非易事,这取决于对信息处理技术的深刻感悟和数学上的成熟性。

(3) 以迭代为代表的构造性方法

以迭代为代表的构造性方法频频出现在演化计算中。演化算法本身就是一种迭代算法,从方法论上属于构造性方法。

(4) 典型用例测试方法

由于从理论上保证一个演化算法的正确性及其严格的算法分析一直没有得到解决,提出一种实用的方法,即通过典型用例(Benchmark)测试方法来测试程序的正确性及其效率。但是,这不是一种解决问题的根本方法,却是一种比较实用的方法。例如,美国国防部专门准备了上千个系统软件测试实例。在 Ada 语言的编译系统开发出来后,要求研制的软件系统必须通过 400 至 1000 多个典型实例的测试才能投入运行。系统通过 400 个典型实例的验证,可以获得一级测试证书,通过 1000 多个典型实例,可以获得二级测试证书;由于典型用例是在长期的实践中不断积累、根据各类问题的特点经抽象、分类和总结得来的,因此只要系统能够通过各种典型实例的测试,就能在很大程度上有理由使人相信该系统的质量是有基本保证的。

有的学者认为^[17],演化算法的正确性证明及其严格的算法分析是永远做不出来的。因此,典型用例测试方法是最现实的。不要浪费时间和精力,做劳而无功的事情。

6.2.3 典型实例

在演化计算的发展中,经过几十年的研究与积累,人们构思和设计了一大批能够反映演化计算领域中有代表性的、具有问题本质特性的典型实例。这些典型实例不仅可以帮助人们认识演化计算解决问题背后的事物发展的内在规律和机理,而且可以帮助人们对一些相近问题采用演化计算解决问题的可行性和效率做出一个基本的判断,它们是:

(1) 典型的函数优化问题的测试函数(Benchmark)。例如, Kenneth A. De Jong 的 5 个测试函数、Schaffer 的 2 个测试函数、BUMP 问题等等。

(2) 典型的组合优化问题(NP 难度问题)。例如, TSP 问题、SAT 问题、Packing 问题、Covering 问题、加工调度问题(例如 Flow-shop, Job-shop)、运输问题、图的着色问题(Graph Coloring Problem)、聚类问题(Clustering Problem)、背包问题(Knapsack Problem),等等。

7 演化计算方法论研究的进展对计算机科学与技术未来发展和人才培养的影响

演化计算方法论的研究具有重要意义,其成果不仅有助于科学研究和人才培养走向内涵发展模式,而且对演化计算乃至计算机科学与技术的深入发展具有一定的指导作用。

7.1 对计算机科学与技术未来发展的影响

演化计算方法论研究的进展必将对计算机科学与技术未来的发展和人才培养产生重要影响。一旦弄清了演化计算的定义、基本问题、发展主线与主流方向、形态与核心概念、基本工作流程方式、典型方法与典型实例、发展特点和内在规律,人们就可以从科学哲学的角度和高度,观察和把握整个演化计算领域未来发展的走向,就比较容易预见演化计算未来的发展趋势。下面,我们依据演化计算领域发展的主线,针对演

化计算领域的一些重要问题,就演化方法对计算机科学与技术学科发展的影响提出以下几个问题。

(1) 基于演化方法的遗传程序设计的问世,为自动程序设计提供了新的途径。1998年初 J. H. Holland 教授基于遗传程序设计所取得的令人鼓舞的成就,大胆地指出^[6]:“遗传程序设计就是自动程序设计。”我们不禁反问:J. H. Holland 教授所指出的对吗?遗传程序在自动程序设计的道路上究竟能走多远呢?

(2) 演化硬件的出现,使人们联想到有可能利用演化的方法实现具有可变结构的计算机,为并行算法与计算机体系结构的分离提供一条崭新的途径。同时,人们还可以联想到“演化计算机”的概念,这个概念的内涵是什么?其内涵是否为“先设计出具有演化计算能力的计算模型,然后再实现智能计算机系统”还是其它?又如何来实现呢?

(3) 演化计算作为一种技术,可以处理很多疑难问题。而且,其解决问题的过程反映了人类的一种认识事物的智能,具有智能计算的特点。一旦其理论基础得以建立,与各种人工智能的逻辑建立了联系,能否被作为未来智能计算的基础?

7.2 对人才培养的影响

演化计算领域的认识论与方法论是对演化计算领域知识的整理、分析和总结,是对具体知识层面的一种抽象。由此获得了演化计算领域的一个“骨架”,它们对演化计算的研究和人才培养有重要影响。

按照托玛斯·库恩的观点,科学研究在很多情况下可以参考学科范型(范式),采用路径依赖原理,循着前人的研究“套路”开展工作^[1]。就演化计算而言,研究者应该首先抓住演化计算的基本思想,紧紧围绕上述“骨架”展开工作。针对具体问题,将演化计算的方法论应用于发现和抽象问题,运用数学方法研究问题的性质、特点和内在变化规律,确定并建立具体的演化计算方法(如演化算子的设计等)。这样,就可以有针对性地运用演化计算的思想和方法开展工作,解决问题。一旦掌握了这样一种“套路”,从事演化计算的研究和应用将形成若干可靠的工作思路和路径。显然,这样一种“套路”对于演化计算方面人才的培养具有重要的意义。

人才培养是一个复杂的系统工程。在人才培养的专业教学方面,教师建立演化计算的认识论与方法论知识基础并将它们传授给学生,这对提高教学质量有着重要的现实意义。

(1) 教师在授课中,应紧紧围绕这个“骨架”展开,并且要将其认识论与方法论的内容融入教学中,使学生借助于它们抓住学习的重点,将知识融会贯通,做到纲举目张,不但“授人以鱼”,还要做到“授人以渔”,更要授人以思想;

(2) 随着演化计算领域的发展,知识体系越来越庞大。由于课程学时数的限制,教学计划不可能走外延发展的道路,而只能取内涵发展优先的模式,核心是要紧紧围绕着其认识论与方法论这个“骨架”来决定教学内容的取舍,并做好教材建设工作。

结束语 本文(I, II)对演化计算分支领域发展的主线、特点和内在规律进行了回顾与总结,从科学哲学的角度阐述了如何对演化计算分支领域进行科学认知,并概要介绍了演化计算方法论研究的主要进展,讨论了演化计算方法论研究进展对计算机科学与技术学科未来发展可能产生的影响。这一工作有助于学术界科学地认知演化计算领域,对演化计算

的研究与发展具有重要的意义。

参考文献

- [1] 托玛斯·库恩. 科学革命的结构[M]. 北京:北京大学出版社, 2003
- [2] 赵致琢. 关于计算机科学与技术认知问题的研究简报(I, II)[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(1): 1-15
- [3] 赵致琢. 高等学校计算科学(专业)教育(第二版)[M]. 北京:科学出版社, 2000
- [4] 赵致琢. 计算科学导论(第三版)[M]. 北京:科学出版社, 2004
- [5] 刘坤起, 赵致琢. 计算科学导论教学辅导[M]. 北京:科学出版社, 2005
- [6] Koza J R. Genetic Programming IV: Routine Human-Competitive Machine Intelligence[M]. Kluwer Academic Publishers, 2003
- [7] 丁立新, 康立山. 演化计算研究进展[J]. 武汉大学学报:自然科学版, 1998, 44(5): 561-568
- [8] 陈焯. 带杂交算子的蚁群算法[J]. 计算机工程, 2001, 27(12): 74-76
- [9] 潘正君, 康立山, 陈毓屏. 演化计算[M]. 北京:清华大学出版社, 1998
- [10] 徐宗本. 计算智能(第一册)——模拟演化计算[M]. 北京:高等教育出版社, 2004
- [11] Fukuda T, Mori K, Tsukiyama M. Parallel Search for Multi-modal Function Optimization with Diversity and Learning of Immune Algorithm[M]//Dasgupta D, ed. Artificial Immune Systems and Their Applications. 1998: 211-219
- [12] Potter M A. The Design and Analysis of a Computational Model of Cooperative Covolution[D]. George Mason University, Fairfax, VA, 1997
- [13] Menon A. Frontiers of Evolutionary Computation[M]. Kluwer Academic Publishers, 2004
- [14] Schwefel H P, Wegener I, Weinert K. Advances in Computational Intelligence[M]. Springer, 2002
- [15] Eiben A E, Smith J E. Introduction to Evolutionary Computing[M]. Springer Press, 2003
- [16] Menon A. Frontiers of Evolutionary Computation[M]. Kluwer Academic Publishers, 2004
- [17] 黄文奇, 许如初. 近世计算理论导引[M]. 北京:科学出版社, 2004
- [18] 张文修, 梁怡. 遗传算法的数学基础(第二版)[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2003
- [19] Michalewicz Z, et al. Special Issue on Evolutionary Computation[J]. Statistics and Computing, 1994, 4(2)
- [20] Denning P J, et al. Computing as a discipline. CACM, 1989, 32(1): 9-23
- [21] 徐利治. 数学方法论选讲(第三版)[M]. 武汉:华中科学与技术大学出版社, 2000
- [22] Holland J H. Adaptation in Natural and Artificial Systems[M]. MIT Press, 1992
- [23] Goldberg D E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning[M]. Addison-Wesley, 1989
- [24] Davis L D. Handbook of Genetic Algorithms[M]. Van Nostrand Reinhold, 1991
- [25] Michalewicz Z. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs[M]. Springer Press, 1994
- [26] Mitchell M. An Introduction to Genetic Algorithms[M]. MIT Press, 1996

(下转第 70 页)

有保证。根据表 1 的对比分析和图 5 的实验结果,车辆合成运动模型更能反映实际交通场景特点,能够更准确地描述车辆运动方式,有助于提高城市场景下 VANET 仿真实验的准确性。

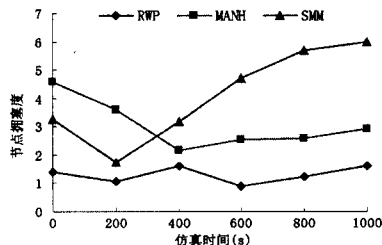


图 5 节点拥塞度

结束语 在 VANET 发展初期阶段采用仿真实验的方法是验证网络协议性能的重要手段,表征节点运动方式的节点运动模型对仿真结果有重要影响,本文首次利用市区卫星地图信息定义了一种新的节点运动模型——车辆合成运动模型,它能够较准确地反映实际车辆的运动方式。将该模型与随机路点模型和曼哈顿模型进行了比较,并评估了 3 种节点运动模型对 DYMO 协议性能的影响。根据实验结果和模型的对比分析,合成运动模型比其它两种节点运动模型更适合于 VANET 仿真研究。本文下一步工作是探索新的 VANET 路由协议并采用合成运动模型对协议性能进行评估。

参考文献

[1] Enkelmann W. FleetNet-applications for inter-vehicle communication [C] // Proceedings of Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, 2003, 2003;162-167

[2] Festag A, Noecker G, Strassberger M, et al. NoW-Network on Wheels; Project Objectives, Technology and Achievements [C] // The 5th International Workshop on Intelligent Transportation (WIT), 2008, 2008

[3] Seki K. Applications of DSRC in Japan [R]. ITS Center, Japan Automobile Research Institute, 2002

[4] Choffnes D R, Bustamante F E. An integrated mobility and traffic model for vehicular wireless networks [M]. Cologne, Germany; ACM Press, 2005

[5] Saha A K, Johnson D B. Modeling mobility for vehicular ad-hoc networks [M]. Vehicular ad hoc networks. Philadelphia, PA, USA; ACM Press, 2004; 91-92

[6] ETSI, Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), "Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS" [EB/OL], UMTS 30. 03 Version 3. 2. 0. 1998-04. <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/3003U.htm>

[7] Bai F, Sadagopan N, Helmy A. The IMPORTANT framework for analyzing the Impact of Mobility on Performance Of Routing protocols for Adhoc Networks [J]. Ad Hoc Networks, 2003, 1(4): 383-403

[8] Krajzewicz D, Hertkorn G, Rossel, et al. SUMO (Simulation of Urban MObility); An open-source traffic simulation [C] // The 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM2002). Sharjah, United Arab Emirates, 2002; 183-187

[9] Perkins C. Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing, IETF Internet Draft [S]. draft-ietf-manet-dymo-12.txt. February 2008

(上接第 39 页)

[27] Koza J R. Genetic Programming III: Darwinian Invention and Problem Solving [M]. MIT Press, 1999

[28] Lampinen J. A bibliography of Differential Evolution Algorithm [EB/OL]. <http://www.lut.fi/~jlampine/debiblio.htm>

[29] Mendes R, Mohais A S. DynDE: a Differential Evolution for Dynamic Optimization Problems [C] // Proceedings of the 2005 Congress on Evolutionary Computation. 2005; 583-591

[30] Rahnamayan S, Tizhoosh HR, Salama M M A. Opposition-based Differential Evolution [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2008, 12(1): 93-106

[31] Kennedy J. Some Issues and Practices for Particle Swarms [C] // Proceedings of the 2007 IEEE Swarm Intelligence Symposium. 2007

[32] Taillard D. Ant Systems [R]. IDSIA-05-99. 1999

[33] Dorigo M, Car G D. Ant Algorithms for Discrete Optimization [J]. Artificial Life, 1999, 5(3): 137-172

[34] Acan A. Clonal Selection Algorithm with Operator Multiplicity [C] // Proceedings of the 2004 Congress on Evolutionary Computation. 2004; 1909-1915

[35] Zak M. Physical Model of Immune Inspired Computing [J]. Information Sciences, 2000, 129: 61-79

[36] Pelikan M, Goldberg D E, Lobo F. A Survey of Optimization by

Building and Using Probabilistic Models [R]. IlliGAL Report No. 99018. 1999

[37] Pullan W. A Memetic Genetic Algorithm for the Vertex p-center Problem [J]. Evolutionary Computation, 2008, 16(3): 417-436

[38] Cheang Sin Man, Leung Kwong Sak, Lee Kin Hong. Genetic Parallel Programming: Design and Implementation [J]. Evolutionary Computation, 2006, 2(14): 129-156

[39] Ashlock W, Ashlock D. Single Parent Genetic Programming [C] // Proceedings of the 2005 Congress on Evolutionary Computation. 2005; 224-132

[40] Hutter M, Legg S. Fitness uniform optimization [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2006, 10(5): 568-589

[41] Li Xiaodong, Luo Wenjian, Yao Xin. Theoretical Foundations of Evolutionary Computation [J]. Genetic Programming and Evolvable Machines, 2008, 9(2): 107-170

[42] Yang Shengxiang, Ong Yew-Soon, Yaochu Jin. Special Issue: Evolutionary Computation in Dynamic and Uncertain Environments [J]. Genetic Programming and Evolvable Machines, 2006, 7(4): 293-404

[43] Yo Ting-Shuo, de Jong Edwin D. A Comparison of Evaluation Methods in Coevolution [C] // Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO-07. ACM Press, 2007