

# 模拟植物生长算法与知识创新的几点思考<sup>①</sup>

李 彤<sup>1</sup>, 王众托<sup>2</sup>

(1 杭州电子科技大学管理学院, 杭州 310018 2 大连理工大学系统工程研究所, 大连 116024)

**摘要:** 讨论了“知识 DNA 的跨域映射”思想. 基于这种思想, 对模拟植物生长算法 (PGSA) 的理论体系和应用案例进行了分析. PGSA 是以植物向光性理论为启发式准则的智能算法, 该算法在各领域中的应用情况表明, 知识 DNA (如植物生长、遗传变异、蚂蚁觅食、鸟群捕食、固体退火等规律的知识) 的跨领域映射对于智能算法的创新具有一定的现实意义.

**关键词:** 知识创新; 知识 DNA; 模拟植物生长算法 (PGSA); 跨域映射

**中图分类号:** C934 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2010)03-0087-01

## 0 引言

随着知识经济的发展, 知识创新已成为国家生存和发展的灵魂. 自 19 世纪中叶以来, 许多著名学者都对知识创新进行过不同程度的研究, 如休厄尔 (William Whewell)、马赫 (Ernst Mach)、詹姆士 (William James) 和西梅尔 (Georg Simmel) 等. 其后的学者, 如洛伦茨 (Konrad Lorenz)、坎贝尔 (Donald Campbell)、波普尔 (Karl Popper)、荷兰德 (Holland John) 等对前人的研究进行了扩展, 逐步形成了知识创新的“进化认识论” (Evolutionary Epistemology), 将知识创新发展的整个历程解释为通过特定方式而进行的生物进化, 其过程可理解为: 已有知识通过其突变 (mutation) 或重组 (recombination) 而引起的变异 (variation), 形成了大量的知识变种 (variants), 这些变种知识受到知识使用者的严格选择, 幸存 (survive) 的知识变种被复制、扩散, 并逐步成为新的知识体系<sup>[1-3]</sup>. 与西方学者不同, 东方的一些学者 (以日本学者为代表) 更注重默会的、隐性的知识及其转化对于创新所发挥的作用<sup>[4-6]</sup>.

本文所探讨的“知识 DNA 的跨域映射”思想是知识“进化认识论”的一种发展. “知识 DNA”是由“知识基因”衍生出来的概念. 基因理论是由美国试验胚胎学家摩尔根创立的, 他认为, 基因是主要的遗传单位, 具有稳定性, 在世代传递中表现规律性, 并决定遗传性状. 英国著名学者道金斯根据基因理论, 提出了“思想基因” (idea Gene) 的概念. 他指出, 思想随时间和空间的变化而移植、扩展、再现, 这就是“思想基因”. 印度学者斯·科·森在道金斯的理论基础上, 又提出了信息基因 (information Gene) 概念, 认为有机体通过群体的遗传基因、自然选择、复制精确度、变异来实现进化, 而信息则通过信息基因遗传、试错检验、社会形态制约以及变异思想逐渐稳定来实现增长的. 我国学者刘植惠将斯·科·森的“信息基因”概念置换为“知识基因” (knowledge gene) 概念, 知识基因具有稳定性、再现性和逐渐演变的变异性, 是人类知识的继承和传递载体. 虽然知识基因是知识进化的功能单位, 但它在现实中是不能独立发挥作用的, 必须通过知识基因之间的有机结合, 构成一条有形结构的定理、学说、理论等大分子.

① 收稿日期: 2007-01-31; 修订日期: 2009-09-28.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目; 国家自然科学基金资助项目 (70431001; 70371051); 中国博士后科学基金资助项目 (2005038588).

作者简介: 李 彤 (1967—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士后, Email: litong67@tom.com

知识 DNA 就是这种大分子,由知识基因组成的载有遗传信息知识 DNA,是知识遗传与变异的执行机构。

“进化认识论”所提出的知识遗传和变异理论,决定了新知识与原有知识之间的血统关系,因而也就决定了该理论是研究在近似知识领域进行模仿和改造的创新过程。本文提出的创新思想,强调创新知识与原有知识之间的非血统性,也就是将现有知识基因所构成的知识 DNA,向相差极远的知识领域进行“跨域映射”(而非遗传变异),进而形成新的知识体系。

## 1 知识 DNA 的遗传变异与跨域映射

复杂科学的研究结果表明,系统间存在相似性,且相似性可变,知识创新“进化认识论”的创新思想强调新旧知识 DNA 之间通过繁殖而在血统上相互关联,它们是在某一领域内按时间顺序而形成的知识进化谱系。然而,与生物进化不同,一种知识 DNA 除了在相同或近似知识进行遗传和变异外,是否也能向非相关知识领域进行跨域映射(由于不在同一知识体系内,知识之间不存在血缘关系,因此用“跨域映射”取代“遗传变异”)呢?本文试图利用课题组的一项知识创新成果——模拟植物生长算法为案例,对知识 DNA 在相差极远的知识领域内所发挥的作用,进行一些总结和思考。

### 1.1 知识 DNA 的遗传变异

知识创新的“进化认识论”,是研究同一知识体系或相似知识体系中不同 DNA 结构间的借鉴。爱迪生电话的发明过程是知识 DNA 遗传变异的典型案例。爱迪生电话的知识 DNA 源自赖斯电话,在赖斯电话中,话筒是由一个椎体、隔膜和一个感应开关组成的(这些结构即是组成“赖斯电话知识 DNA”的主要“知识基因”),当一个人对着椎体讲话时,胶棉隔膜发生振动,依在隔膜上的是一个金属杠杆,杠杆的支撑方式使得隔膜上产生的小的振动将会在杠杆的另一端产生大的振动。爱迪生阅读了赖斯电话报告的英译本后,将赖斯的开关(“赖斯电话知识

DNA”中的一个“知识基因”)换成他取得专利的液体可变电阻(DNA 中一个基因的变异),由于这一液态电阻需要一个电极在盛满水的小瓶里垂直移动,爱迪生将赖斯的杠杆从支点处折弯了 90°,但仍然让杠杆产生成比例的运动。爱迪生电话的发明过程可以总结为:将“赖斯电话知识 DNA”中的知识基因进行变异,创造品质更加优良的后代——爱迪生电话。知识 DNA 的遗传变异过程如表 1 所示。

表 1 知识 DNA 的遗传变异

Table 1 Knowledge DNA genetic variation

赖斯电话知识 DNA	知识基因 1: 椎体	遗传	知识基因 1: 椎体	爱迪生电话知识 DNA
	知识基因 2: 隔膜	遗传	知识基因 2: 隔膜	
	知识基因 3: 感应开关	变异	知识基因 3: 液体可变电阻	

通过以上过程可以看出,在产品知识创新中,无论是系列化产品还是个性化变型产品,大都在继承原型产品特性的基础上通过变异实现,但仍然保留着原型产品某些相似性。这种创新思路即为知识 DNA 的遗传变异。

### 1.2 知识 DNA 的跨域映射

知识 DNA 跨域映射思想是将已有知识 DNA 向新的知识领域进行映射的创新过程,这种创新的核心在于发现和建立不同领域知识 DNA 结构之间的内在联系。

在我国古代,东汉张衡在《浑天仪注》中说道:“浑天如鸡子。天体圆如弹丸,地如鸡子中黄,孤居于内,天大而地小。天表里有水,天之包地,犹壳之裹黄。天地各乘气而立,载水而浮。……”这便是天文学理论中著名的“浑天说”。该学说的提出,是知识 DNA 跨域映射的一个典型案例。对于鸡蛋结构的知识,是人们所熟知的,鸡蛋结构的知识 DNA 包括 3 个知识基因(蛋黄、蛋清和蛋壳)。张衡将鸡蛋的知识 DNA 跨域映射到天体结构当中,在映射过程中 DNA 结构被完整保留下来,而 DNA 中的所有知识基因在映射过程中全部被新的知识基因所取代(“蛋黄”被“地”取代,“蛋清”被“天表”取代,“蛋壳”被“天”取代),鸡蛋的知

识 DNA 经过这一跨域映射过程, 就演化成了一种新的天文学的知识 DNA. 尽管我国古代普遍接受的是“苍天如图盖, 大地如棋局”的天圆地方思想, 张衡的理论在当时还不能被人们所接受, 但从当今的知识体系看, “浑天说”的提出, 在天文学理论发展中是一次重大的知识创新. 知识 DNA 的跨域映射过程如表 2 所示.

表 2 知识 DNA 的跨域映射

Table 2 Knowledge DNA inter-domain mapping

鸡蛋结构知识 DNA	知识基因 1: 蛋黄	跨域映射	知识基因 1: 地	浑天说知识 DNA
	知识基因 2: 蛋清	跨域映射	知识基因 2: 天表	
	知识基因 3: 蛋壳	跨域映射	知识基因 3: 天	

基于以上分析, 知识 DNA 遗传变异更侧重于技术层面的知识创新, 而本文提出的知识 DNA 跨域映射则更侧重于理论层面的知识创新. 为进一步阐明这一思想, 将模拟植物生长算法 (PGSA) 的理论体系作为创新案例, 解析“知识 DNA 跨域映射”的具体应用过程, 从而对该思想有一个感性和直观的印象.

## 2 植物生长知识 DNA 向智能算法领域的跨域映射

自然界在长期的发展和进化过程中, 已经形成了许多各具特点的自然模式, 这些模式正逐步被人们所认识并形成知识, 如遗传变异知识、蚂蚁觅食知识、鸟群捕食知识等等. 对这些知识不断进行总结并系统化, 就形成了众多的知识体系. 这些知识体系中蕴藏着重要的知识 DNA, 这些 DNA 向优化领域进行映射, 对智能算法的发展产生了深远的影响, 出现了遗传算法、蚁群算法、粒子群算法等众多现代启发式算法, 形成了新的知识 DNA. 这些算法尽管有各自的特点, 但其知识 DNA 却包含着相同的 5 个知识基因, 基因 1: 随机初始可行解; 基因 2: 评价函数 (常常与目标函数值有关); 基因 3: 邻域; 基因 4: 选择和接受解的

准则; 基因 5 终止准则. 这 5 大知识基因在不同智能算法中均不相同, 但由它们组成的知识 DNA 却具有共同的属性, 即随机性、正反馈性、协同性.

寻找自然界具有相似基因的知识 DNA 结构, 并将其作为新的超启发式准则是算法创新的一个重要任务. 根据这个思维模式, 将植物的向光性知识和生长演绎知识进行了基因提取, 进而形成了新的模拟植物生长知识 DNA. 模拟植物生长知识基因是: 1) 植物生长细胞 (随机初始可行解); 2) 植物向光性 (评价函数); 3) L-系统 (邻域); 4) 形态素浓度 (选择和接受解的准则); 5) 新枝生长停止 (终止准则). 植物系统以上 5 大知识基因向智能算法领域进行映射, 就形成了模拟植物生长算法. 将植物生长作为启发式准则应用于求解优化问题, 国内外尚未见有相关研究. 其知识 DNA 的跨域映射过程如表 3 所示.

表 3 植物生长知识 DNA 的跨域映射

Table 3 Knowledge DNA of plant growth simulation inter-domain mapping

植物生长知识 DNA	知识基因 1: 植物生长细胞	跨域映射	知识基因 1: 随机初始可行解	模拟植物生长算法知识 DNA
	知识基因 2: 植物向光性	跨域映射	知识基因 2: 评价函数	
	知识基因 3: L-系统	跨域映射	知识基因 3: 邻域	
	知识基因 4: 形态素浓度	跨域映射	知识基因 4: 选择接受解准则	
	知识基因 5: 新枝生长停止	跨域映射	知识基因 5: 终止准则	

### 2.1 模拟植物生长算法的描述

模拟植物生长算法 (PGSA) 是本文第一作者在 2005 年提出的一种以植物向光性机理为启发式准则的智能优化算法<sup>[7]</sup>. 该算法是将植物系统演绎模式 (L-系统) 和植物系统概率生长模式 (向光性) 向优化领域进行映射和变异的典型应用. PGSA 提出 3 年来, 在整数规划、组合优化以及工程技术领域逐渐显示出其突出的稳定性、精确性和全局搜索能力, 因而具有良好的应用和推广前景. PGSA 的提出和应用, 是本文创新思想的

实际案例.

所谓 PGSA, 就是将优化问题的解空间当作植物的生长环境, 将最优解当作光源, 模拟真实植物的向光性机理 (形态素浓度理论), 建立枝叶在不同光线强度环境下的快速生长的生长演绎方式 (L-系统). PGSA 的研究重点是建立以生长规则为基础的植物系统演绎方式和以植物向光性理论为基础的概率生长模型, 两者结合所形成的优化模式, 就是实现人工植物在优化问题解空间中从初始状态到完整形式的终态 (没有新的树枝生长) 的过程.

### 2.2 植物生长的演绎模式

植物可看作由大量枝、节组成的系统, 模拟植物的生长演绎方式是 A. Lindenmayer 在 20 世纪 60 年代末把乔姆斯基的生成转换语法引入生物学, 以简单的重写规则和分枝规则为基础, 建立了关于植物的描述、分析和发育模拟的形式语法, 称为 L-系统. 对植物生长作形式化描述, 可以根据以下几点进行: 1) 破土而出的茎杆在一些叫做节的部位长出新枝; 2) 大多数新枝上又长出更新的枝, 这种分枝行为反复进行; 3) 不同的枝彼此有相似性, 整个植物有自相似结构. 用 L-系统描述生长的基本概念如图 1 所示.

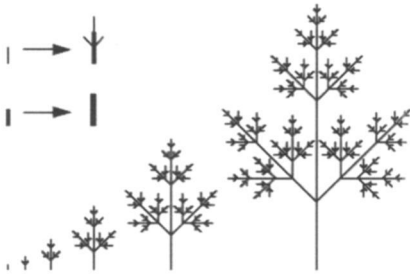


图 1 L-系统分形生长过程

Fig 1 L-system fractal growth process

图 1 为复合类萝卜叶模型. 该模型操作两类模块: 顶和节. 在第一次繁殖中, 由顶生成继续其主轴的一个主顶、两个侧顶和两个节. 在第二次繁殖中, 经过一定时间间隔, 节增长两倍, 如此循环, 形成植物.

20 世纪 80 年代, P. Prusinkiewicz 等人把 L-系统与计算机图形学、分形学结合起来, 完善了植物生长的分枝模型. 在所规定的生长规则的反复重写下, 可作出如图 2 所示的分形生长树图 (取自普鲁森科维奇专著).

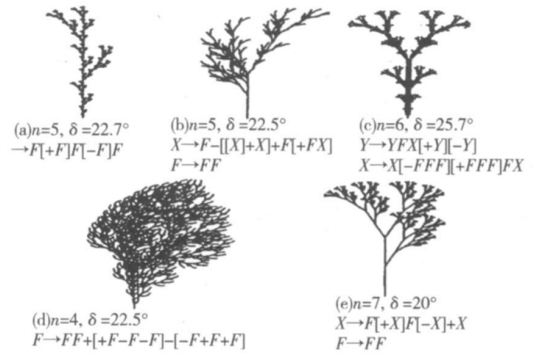


图 2 分形生长树

Fig 2 Fractal trees

PGSA 以 L-系统作为人工植物的生长演绎方式的源模式, 生长点即植物生长细胞, 是模拟植物系统每一次生长的位置点. 植物生长过程是在生长点按  $2n$  ( $n$  为变量的维数) 个方向生长并产生新枝, 分枝长度在整数规划情况下设定为 1 (非整数规划情况下可根据精度要求选取).

按照 L-系统完成的人工植物结构, 仅解决了模拟植物生长的演绎问题, 其关键问题还没有解决, 即在众多生长点中, 每一次到底确定哪一个进行新的生长, 怎么保证树枝向最优解方向生长, 其核心问题就是植物向光性特点的算法实现问题.

### 2.3 植物向光性的概率生长模式

植物向光性涉及生物学理论中的形态发生模型, 该模型是用复杂动力系统为生物生长建模的著名例子, 模式的形成被理解为复杂过程, 其中一个细胞发生分化, 产生出新的明确定义的空间结构. 形态发生的最初的动力学模型是拉什夫斯基、图林等人提出来的. 他们关于植物生长形态发生 (“叶序”) 模型如图 3 所示, 葡萄茎梗发出一个枝芽的某一时刻, 它出现在对于 3 个枝芽对称旋转的方向 (PGSA 将旋转方向确定为 90 度). 在生长中的茎梗的顶部, 生长出来一个芽, 包含着未分化的细胞. 叶序问题涉及作为叶芽细胞、分枝细胞和其他导致叶芽和分枝的分化细胞的生长模式的形成. 一个细胞被看作是一个流体袋, 其中有均匀的化学组分, 其中的一种化学组分是生长激素, 叫做形态素. 这种形态素的浓度  $x$  是此模型的观察参量, 随着参量在 0 和 1 之间变动, 模型的状态空间是一条线段 (图 4). 这种形态素的浓度决定细胞的生长函数是否开始起作用, 即细胞分裂, 枝芽开

始出现<sup>[7]</sup>.

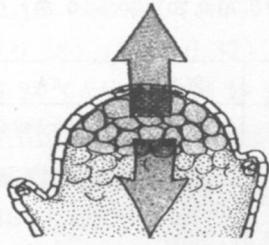


图 3 拉什夫斯基叶序模型

Fig. 3 A plant growth configuration occurrence model



图 4 单细胞形态素浓度及状态空间

Fig. 4 Auxin concentration and state space

新的生长点(细胞)产生后,形态素浓度将根据新系统所在环境的改变,重新进行分配.在多细胞系统中,如果把任意一个细胞形态素浓度记为  $P_i (i = 1, 2, \dots, n)$ , 则多细胞封闭系统形态素状态空间用见图 5 且浓度和是恒定的(设定为 1).生物学实验已经证明,决定植物细胞分裂和枝芽生长的生长素信息(形态素浓度)并非是预先一个个赋予给细胞的,而是细胞系统从其环境中接受到了它的位置信息,依据这种信息,植物表现出明显的向光性特点.模拟这一过程,设有  $n$  个初始生长点  $S_i = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ , 每一个生长点的形态素浓度为  $P_i = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ , 当目标函数实现最小化时,计算各生长点形态素浓度值为

$$P_i = \frac{1f(S_i)}{\sum_{i=1}^n (1f(S_i))} \quad (1)$$

其中  $f(\cdot)$  为目标函数值.式(1)中,各生长点形态素浓度是由各点的相对位置以及该位置的环境信息(目标函数值)所确定,这与真实植物细胞的形态素浓度生成机理相一致.因此,  $n$  个生长点均对应  $n$  个形态素浓度值,每次产生新枝,该浓度值都将发生变化.

由式(1)可知

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (2)$$

在确定了形态素浓度之后,就可以建立植物的向光性机制,即形态素浓度较高的生长点(细胞)将具有较大的优先生长机会,其算法可描述

为: 设共有  $n$  个生长点  $(S_1, S_2, \dots, S_n)$ , 按照公式(1)分别计算其形态素浓度值为  $(P_1, P_2, \dots, P_n)$ , 式(2)已经得到  $P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1$  因此其概率空间如图 5 所示.

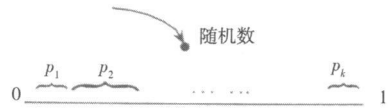


图 5 形态素浓度概率空间

Fig 5 Morphine concentration state space

计算机系统不断产生随机数,这些随机数就象不断向区间  $[0, 1]$  上投掷的小球,小球落在  $P_1, P_2, \dots, P_n$  的某一个概率空间内,所对应的生长点就得到优先生长的权利.这个过程反复进行,模拟植物的树枝按照 L-系统生长模型在解空间内快速蔓延,直至没有新枝的产生为止,这就是 PGSA,其迭代过程详见文献[7].

### 3 PGSA 的应用

一种新算法的提出,必须具有解决现实问题的能力,否则无论理论体系如何完整,也不会被广泛应用和认可,也就缺乏进一步发展的可能性.本文以 PGSA 解决斯坦纳最小树问题切入点,同时对目前 PGSA 在不同领域的应用情况做一个简要的总结.

#### 3.1 PGSA 在斯坦纳最小树问题中的应用

斯坦纳最小树(SMT)问题最早可追溯到法国数学家费马(P. de Fermat)1634年所提出的费马问题<sup>①</sup>.目前该问题是组合优化中著名的 NP 难题,是指连接给定点(Given point)或称所与点)的最小树长问题.若  $X$  为平面上给定  $n$  个点的点集,设  $G$  是由某些边构成的图形,边的端点叫做  $G$  的顶点.若  $G$  的顶点集包含  $X$  中所有点,则称  $G$  为  $X$  的生成树,当树的总长度最短时,则称之为最小生成树(MST),其长度记作  $L_M(X)$ .如果除了  $n$  中的点外,还可以用  $n$  点以外的点(斯坦纳点)作为树的结点,则这样的树即称为斯坦纳最小树(SMT),其长度记作  $L_S(X)$ .

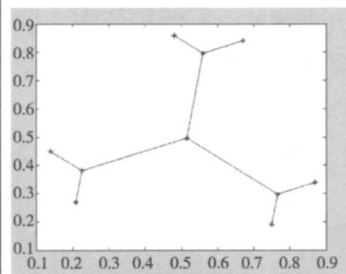
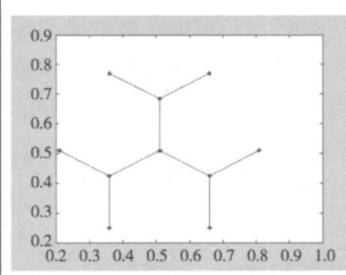
模拟植物生长算法(PGSA)在解决 SMT 问题上以斯坦纳比  $L_S(X)/L_M(X)$  为标准与文献[8]中蚂蚁算法(AA),模拟退火算法(SA)进行了精

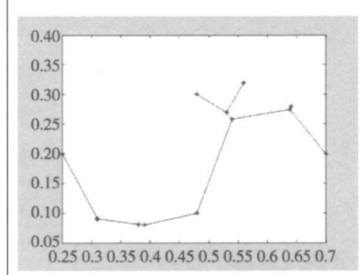
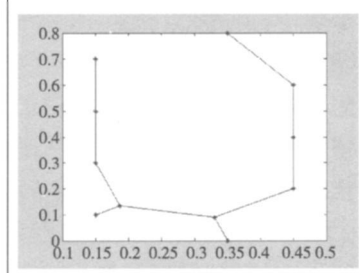
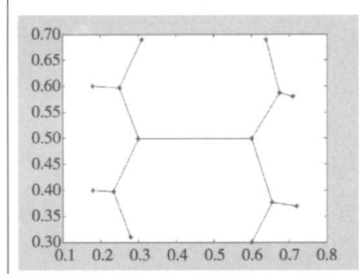
度比较, 实验采用国际上公布的测试数据库 STEINLIB 中的问题实例, 算法用 Matlab 编程实现, 在 Windows XP 平台上运行通过, 试验中计算机为 Celeron(R) CPU 3.06GHz, 1.00GB 内存. PGSA 在 STEINLIB 中的每个测试实例分别进行 15 次计算, 其中最好结果与最差结果之间误差值不超过 0.017%, 表现出了算法突出的计算稳定性. 本文将所求出的斯坦纳点以及斯坦纳最小树也全部列出, 具体结果见表 4.

STEINLIB 中给定点集为: (0.14 0.45)、(0.21 0.27)、(0.75 0.19)、(0.87 0.34)、(0.67 0.84)、(0.48 0.86) 时, 蚂蚁算法 (AA) 的最好运算结果  $L_S(X)/L_M(X)$  为 0.9914836, 模拟退火算法 (SA) 的最好运算结果为 0.9964533, PGSA 的最好运算结果为 0.8953993, 精度提高较大.

表 4 STEINLIB 中部分实例数据及计算结果比较

Table 4 Comparison between data and calculation results in STEINLIB

给定点集: (0.14 0.45)、(0.21 0.27)、(0.75 0.19)、(0.87 0.34)、(0.67 0.84)、(0.48 0.86)			
$L_S(X)/L_M(X)$	PGSA	AA	SA
	0.8953993	0.9914836	0.9964533
斯坦纳点: (0.2264, 0.3816) (0.5164, 0.4964) (0.7660, 0.2988) (0.5604, 0.7964)			
			
给定点集: (0.21 0.51)、(0.36 0.25)、(0.66 0.25)、(0.81 0.51)、(0.66 0.77)、(0.36 0.77)、(0.51 0.51)			
$L_S(X)/L_M(X)$	PGSA	AA	SA
	0.8667562	0.8681694	0.8743771
斯坦纳点: (0.3600, 0.4233) (0.6601, 0.4233) (0.5100, 0.6834)			
			

给定点集: (0.25 0.20)、(0.31 0.09)、(0.39 0.08)、(0.48 0.10)、(0.70 0.20)、(0.64 0.28)、(0.56 0.32)、(0.48 0.30)			
$L_S(X)/L_M(X)$	PGSA	AA	SA
	0.9756573	0.9965880	0.9975208
斯坦纳点: (0.3103, 0.0902) (0.3802, 0.0812) (0.3900, 0.0800) (0.5395, 0.2585) (0.6380, 0.2747) (0.5300, 0.2700)			
			
给定点集: (0.35 0.80)、(0.15 0.7)、(0.45 0.6)、(0.15 0.5)、(0.45 0.4)、(0.15 0.3)、(0.45 0.2)、(0.15 0.1)、(0.35 0)			
$L_S(X)/L_M(X)$	$L_S(X)/L_M(X)$	$L_S(X)/L_M(X)$	$L_S(X)/L_M(X)$
	0.9866531	0.9872722	0.9884632
斯坦纳点: (0.1500, 0.5000) (0.1500, 0.3000) (0.1872, 0.1344) (0.3301, 0.0897) (0.4500, 0.2000) (0.4500, 0.4000) (0.4500, 0.6000)			
			
给定点集: (0.31 0.69)、(0.18 0.6)、(0.30 0.5)、(0.18 0.4)、(0.28 0.31)、(0.6 0.3)、(0.72 0.37)、(0.6 0.5)、(0.71 0.58)、(0.64 0.69)			
$L_S(X)/L_M(X)$	$L_S(X)/L_M(X)$	$L_S(X)/L_M(X)$	$L_S(X)/L_M(X)$
	0.9539403	0.9633919	0.9614555
斯坦纳点: (0.2500, 0.5966) (0.2345, 0.3974) (0.3000, 0.5000) (0.6000, 0.3000) (0.6553, 0.3766) (0.6753, 0.5868)			
			

STEINLIB 中给定点集为: (0.21 0.51)、(0.36 0.25)、(0.66 0.25)、(0.81 0.51)、(0.66 0.77)、(0.36 0.77)、(0.51 0.51) 时, 蚂蚁算法 (AA) 的最好运算结果为 0.8681694, 模拟退火算法 (SA) 的最好运算结果为 0.8743771, PGSA 的最好运算结果为 0.8667562.

STENLIB 中给定点集为: (0 25 0 20)、(0.31 0.09)、(0 39 0 08)、(0 48 0 10)、(0 70 0 20)、(0 64 0 28)、(0 56 0 32)、(0.48 0 30) 时, 蚂蚁算法 (AA) 的最好运算结果为 0.996 588 0 模拟退火算法 (SA) 的最好运算结果为 0.997 520 8 PGSA 的最好运算结果为 0.975 657 3

STENLIB 中给定点集为: (0 35 0 80)、(0.15 0 7)、(0 45 0 6)、(0 15 0 5)、(0 45 0.4)、(0 15 0 3)、(0 45 0 2)、(0 15 0 1)、(0.35 0) 时, 蚂蚁算法 (AA) 的最好运算结果为 0.987 272 2 模拟退火算法 (SA) 的最好运算结果为 0.988 463 2 PGSA 的最好运算结果为 0.986 653 1

STENLIB 中给定点集为: (0 31 0.69)、(0.18 0 6)、(0 30 0.5)、(0 18 0 4)、(0.28 0.31)、(0 6 0 3)、(0 72 0 37)、(0 6 0.5)、(0.71 0.58)、(0 64 0.69) 时, 蚂蚁算法 (AA) 的最好运算结果为 0.963 391 9 模拟退火算法 (SA) 的最好运算结果为 0.961 455 5, PGSA 的最好运算结果为 0.953 940 3

斯坦纳最小树问题具有广泛的应用背景, 如网络 (道路交通网络, 水、电供应网络, 管道运输网络, 通讯网络等) 优化设计问题、物流与供应链中的车辆行程问题 (VRP)、超大规模集成电路设计 (VLSI) 中的布线问题、物种进化过程中的生物学分类问题等等。因此, 我们以上研究工作具有一定的理论和应用价值。

### 3.2 模拟植物生长算法在各学科领域中的应用

除了解决组合优化问题, PGSA 目前在整数规划和工程技术领域已逐步被许多国内外学者应用。

K. Guney, A. Dumus 和 S. Basbug 在文献 [9] 中将模拟植物生长算法 (PGSA) 用于电磁学中的干扰幅度控制领域, 分别于 MTACO、BA、BFA 三种智能算法比较, PGSA 均得到了更优的结果, 且收敛性和计算速度明显优于其他算法。他们的应用结论为: “As an optimization algorithm, the PGSA will most likely be an increasingly attractive alternative, in the electromagnetics and antennas community, to other optimization algorithms”

R. Srinivasa Rao, S. V. L. Narasimham 在文献 [10] 中应用 PGSA 来解决雷达分配系统中电容

优化配置的问题。他们的应用结论为: “The advantages with the Plant Growth Simulation algorithm (PGSA) is that it treats the objective function and constraints separately, which averts the trouble to determine the barrier factors and makes the increase/decrease of constraints convenient; and that it does not need any external parameters such as crossover rate, mutation rate, etc. It adopts a guiding search direction that changes dynamically as the change of the objective function”

在国内, 上海交通大学、大连理工大学、哈尔滨工业大学、郑州大学、华北电力大学等高校的学者也分别在不同领域对 PGSA 进行了应用研究。

文献 [11] 对模拟植物生长算法进行了一些改进, 采用植物顶点变速度生长特点来减少搜索时间, 利用植物生长期前期纵向型生长特性来减少搜索空间, 因此能够在更少的时间内得到更优解。通过对不同类型的非线性整数规划算例求解, 表明该算法是很有效的。

文献 [12] 中运用 PGSA 与其他优化算法进行了比较研究, 结果表明 PGSA 给出的最优网络是现有文献当中最好的方案, 明显优于遗传算法和粒子群算法。

文献 [13] 的计算结果表明 PGSA 优于遗传算法和协同进化算法。

文献 [14] 中的分析计算表明 PGSA 与遗传算法、Tabu 搜索等算法相比, 具有更高的精度和更加快速的全局寻优能力。

文献 [15] 中建立了动态无功优化的模拟植物生长算法, 算法对负荷按实际形状而不是按设备动作次数限制进行分段, 更加准确地描述了负荷的实际状况, 所得到的无功补偿优化投切方案能更好地满足电网实际运行的需要。

文献 [13] 中对 PGSA 做过一个总结: “理论分析及算例结果表明, 与遗传算法为代表的现代启发式算法相比, 模拟植物生长算法具有以下优点: ① 模拟植物生长算法将目标函数和约束条件分开处理, 且无需编码和解码, 避免了构造新的计算用目标函数, 也不存在惩罚系数、交叉率、变异率选取等问题, 解的稳定性好; ② 模拟植物生长算法具有一个由形态素浓度决定的方向性和随机

性平衡比较理想的搜索机制,能以较快的速度寻找到全局最优解。”

文献[16]中,通过对IEEE 30节点系统采用模拟植物生长算法、标准遗传算法和粒子群优化算法比较,模拟植物生长算法得到的优化方案网损最小,同时有更强的收敛稳定性。

文献[17]将PGSA用于设施选址问题,比较研究结果表明PGSA优于遗传算法。

PGSA的研究领域还包括:我国著名水处理专家,哈尔滨工业大学李圭白院士等将PGSA推广应用于双级决策的排污收费模型,改进了传统的最优Pigovian定价法的诸多问题;西南石油大学的张伟等人将PGSA应用于三维地震勘探的采集、处理等地震勘探优化问题;此外,罗伟强、焦彦军、杨丽徙、王锴、赵颖等人应用模拟植物生长算法在各自的领域进行了大量的应用研究,相关研究见文献[18]—[25]。

#### 参 考 文 献:

- [1] Holland JH. Emergence From Chaos to Emergence[M]. Reading Mass: Helix Books, a division of Addison-Wesley, 1998
- [2] Holland JH. Hidden Order How Adaptation Builds Complexity[M]. Reading Mass: Helix Books, a division of Addison-Wesley, 1995
- [3] Cook SDN, Brown JS. Bridging epistemologies: The generative between organizational knowledge and organizational knowing[J]. Organizational Science, 1999, 10(4): 381–400
- [4] Nonaka I, Takeuchi H. The Knowledge Creating Company[M]. Oxford England: Oxford University Press, 1995
- [5] Nonaka I, Takeuchi H, Toyama R, Nonaka Noboru. SECI: Ba and leadership in a unified model of dynamic knowledge creation[J]. Long Range Planning, 2000, (33): 5–34
- [6] Takeuchi H, Nonaka I. Hito-subashi on Knowledge Management[M]. Singapore: John Wiley & Sons(Asia) Pte Ltd, 2004
- [7] 李 彤, 王春峰, 等. 求解整数规划的一种仿生类全局优化算法—模拟植物生长算法[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(1): 76–85
- Li Tong, Wang Chun-feng et al. A global optimization bio-inspired algorithm for solving integer programming—plant growth simulation algorithm[J]. Systems Engineering theory & Practice, 2005, 25(1): 76–85 (in Chinese)
- [8] 克劳斯·迈因策尔. 复杂性中的思维[M]. 北京: 中央编译出版社, 1997
- Mainzer K. Thinking in Complexity: The Complex Dynamics of Matter, Mind and Man kind[M]. Third Enlarged Edition, Springer, 1997
- [9] Guney K, Dumus A, Basbug S. A plant growth simulation algorithm for pattern nulling of linear antenna arrays by amplitude control[J]. Progress In Electromagnetics Research B, 2009, (17): 69–84
- [10] R. Srinivasa Rao, S. V. L. Narasimhan. Optimal capacitor placement in a radial distribution system using plant growth simulation algorithm[J]. International Journal of Electrical Power and Energy and Energy Systems Engineering, 2008, 1(2): 123–130
- [11] 罗伟强, 于建涛, 黄家栋. 一种求非线性整数规划最优解的仿生算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(7):

## 4 结 束 语

模拟植物生长算法(PGSA)作为一种智能优化算法,是以植物向光性的概率生长动力机制为启发式准则的,在解决斯坦纳最小树问题、物流设施选址问题、整数规划问题以及各类工程优化问题的应用当中,该算法表现出了较强的全局搜索能力,具有计算精度高、稳定性好和应用性强的特点。

本文是一篇算法创新的总结性论文,通过对向光性模式(形态素浓度理论)和生长演绎模式(L-系统)进行知识基因提取所形成的模拟植物生长算法为实际案例,将这种创新过程进行思考和总结,提出了知识创新的“知识DNA跨域映射”思想,并对其进行了简要的讨论。我们的工作表明,该思想对于新算法、新知识和新理论的产生和发展,具有一定的指导和借鉴作用。



- Luo Wei qiang, Yu Jian tao, Huang Jia dong. Bionic algorithm for solving nonlinear integer programming [J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(7): 57-68 (in Chinese)
- [12] 王 淳, 程浩忠. 模拟植物生长算法及其在输电网规划中的应用 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(7): 24-28  
Wang Chun, Cheng Haozhong. A plant growth simulation algorithm and its application in power transmission network planning [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(7): 24-28 (in Chinese)
- [13] 王 淳, 程浩忠. 基于模拟植物生长算法的电力系统无功优化 [J]. 电网技术, 2006, 30(11): 37-41.  
Wang Chun, Cheng Haozhong. Reactive power optimization based on plant growth simulation algorithm [J]. Power System Technology, 2006, 30(11): 37-41. (in Chinese)
- [14] 王 淳, 程浩忠. 基于模拟植物生长算法的配电网重构 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(19): 50-55.  
Wang Chun, Cheng Haozhong. Reconfiguration of distribution network based on plant growth simulation algorithm [J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(19): 50-55. (in Chinese)
- [15] 王 淳, 程浩忠, 陈 恩. 配电网动态无功补偿的整体优化算法 [J]. 电工技术学报, 2008, 23(2): 109-114.  
Wang Chun, Cheng Haozhong, Chen En. Integrated optimization algorithm of dynamic reactive power for distribution system [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(2): 109-114. (in Chinese)
- [16] 杨丽徙, 王 锴, 黄训诚, 程 杰. 应用模拟树木生长算法求解无功优化问题 [J]. 郑州大学学报(工学版), 2008, 29(2): 69-72.  
Yang Lixi, Wang Kai, Huang Xuncheng, et al. Application of trees growth simulation algorithm to solve reactive power optimization problem [J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2008, 29(2): 69-72. (in Chinese)
- [17] 李 彤, 王众托. 模拟植物生长算法在设施选址问题中的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(12): 107-115.  
Li Tong, Wang Zhongtuo. Application of plant growth simulation algorithm on solving facility location problem [J]. Systems Engineering theory & Practice, 2008, 28(12): 107-115. (in Chinese)
- [18] CHUN WANG, HAOZHONG CHENG. Transmission network optimal planning based on plant growth simulation algorithm [J]. European Transactions on Electrical Power, 2009, 19(2): 291-301.
- [19] CHUN WANG, HAOZHONG CHENG. Distribution system optimization planning based on plant growth simulation algorithm [J]. JOURNAL OF SHANGHAI JIAOTONG UNIVERSITY (SCIENCE), 2008, 13(4): 462-467.
- [20] Wang C, Cheng H Z, Yao L Z. Reactive power optimization by plant growth simulation algorithm [J]. Electric Utility De-regulation and Restructuring and Power Technologies, 2008, (4): 771-774.
- [21] 杨丽徙, 王 锴, 程 杰. 应用改进模拟植物生长算法求解无功优化问题 [J]. 高电压技术, 2009, 35(3): 192-197.  
Yang Lixi, Wang Kai, Cheng Jie. Application of modified plant growth simulation algorithm in solution of reactive power optimization problem [J]. HIGH VOLTAGE ENGINEERING, 2009, 35(3): 192-197. (in Chinese)
- [22] 赵 颖, 罗伟强. 基于改进模拟植物生长算法的输电网络扩展规划 [J]. 电力科学与工程, 2009, 25(5): 6-10.  
Zhao Ying, Luo Wei qiang. Plant growth simulation algorithm for transmission network expansion planning [J]. ELECTRIC POWER SCIENCE AND ENGINEERING, 2009, 25(5): 6-10. (in Chinese)
- [23] 武 娜, 焦彦军, 于建涛. 一种基于模拟植物生长算法的输电网故障诊断方法 [J]. 电力科学与工程, 2009, 25(3): 5-9.  
Wu Na, Jiao Yanjun, Yu Jian tao. Fault diagnosis of transmission network based on plant growth simulation algorithm [J]. ELECTRIC POWER SCIENCE AND ENGINEERING, 2009, 25(3): 5-9. (in Chinese)
- [24] 武 娜, 焦彦军. 基于模拟植物生长算法的配电网故障定位 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(4): 23-28.  
Wu Na, Jiao Yanjun. Fault location of distribution network based on plant growth simulation algorithm [J]. POWER SYSTEM PROTECTION AND CONTROL, 2009, 37(4): 23-28. (in Chinese)
- [25] Wei Cai, Weiwei Yang, Xiaoqian Chen. A global optimization algorithm based on plant growth theory. Plant growth optimization [J]. Intelligent Computation Technology and Automation, 2008, 1: 1194-1199.
- [26] 徐利治. “数学模式观”与数学教育及哲学研究中的有关问题. 徐利治论数学方法学 [M]. 济南: 山东教育出版社, 2001: 123-132.

- Xu Li zhi Xu Li zhi Mathematics Methodology and the Problem on Mathematics Education and Philosophical Studies[M]. Jinan: Shandong Education Publish, 2001: 123–132 (in Chinese).
- [27] 金慧敏, 马良, 王周緬. 欧氏最小树问题的智能优化算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(10): 201–203  
Jin Huimin, Ma Liang, Wang Zhoumin. Intelligent optimization algorithms for euclidean steiner minimum tree problem [J]. Computer Engineering, 2006, 32(10): 201–203 (in Chinese)
- [28] Bernhard Fuchs, Walter Kem. Speeding up the Dreyfus–Wagner algorithm for minimum steiner trees[J]. Mathematical Methods of Operations Research, 2007, (2): 263–271.
- [29] Sanjiv Kapoor, Mohammad Sawat. Bound diameter minimum cost graph problems[J]. Theory of Computing Systems, 2007, 12(3): 32–45.
- [30] 李彤. 单级与二级整数规划算法原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007, 7.  
Li Tong. Single-Believel Integer Programming Theory and Application[M]. Beijing: Scientific Press, 2007, 7.
- [31] Puzinkiewicz P, Kari L. Subapical bracketed L-systems[J]. Lecture Notes in Computer Science, 1996, (1073): 550–564.
- [32] Lintemann B, Deussen. A modelling method and user interface for creating plants[J]. The Eurographics Association, 1998, 17(1): 73–82.
- [33] Roberto Cordone, Marco Tubian. An exact algorithm for the node weighted Steiner tree problem[J]. A Quarterly Journal of Operations Research, 2006, (6): 136–147.
- [34] Kukin V D. Evolutionary model for the Steiner tree problem with flow-dependent weights[J]. Journal of Computer and Systems Sciences International, 2008, 47(3): 447–454.
- [35] Brazil M, Zachariasen M. Steiner trees for fixed orientation metrics[J]. Journal of Global Optimization, 2008, 8(Online First).

## Plant growth simulation algorithm and the thinking in knowledge innovation

LI Tong<sup>1</sup>, WANG Zhong-tuo<sup>2</sup>

1. Hangzhou Dianzi University Management College, Hangzhou 310018, China

2. Institute of Systems Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

**Abstract** The thinking of “Pattern Across-Domain Mapping with Mutation” in knowledge innovation is proposed herein. Based on this thinking, the paper analyzes the theory system and application cases of “Plant Growth Simulation Algorithm (PGSA)”. PGSA is an intelligent optimal algorithm, which looks plant phototropism growth pattern as its heuristic criterion. The application of PGSA in different fields shows that the across-domain mapping with mutation of the given patterns (such as Plant Growth Simulation Pattern, Genetic-Mutation Pattern, Ants Seeking-food Pattern, Birds Capturing-food Pattern and Solid Annealing Pattern) is of a certain practical significance in intelligence algorithm innovation.

**Key words** plant growth simulation algorithm (PGSA); knowledge innovation; pattern; pattern across-domain mapping with variation