

# 人工生命中分布智能研究的一种可行方法

李睿凡<sup>1</sup> 王枏<sup>1</sup> 涂序彦<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北京邮电大学信息工程学院, 北京, 100876

<sup>2</sup>北京科技大学信息工程学院, 北京, 100083

Email: [smartfun@tom.com](mailto:smartfun@tom.com) [wangc@bt-t.com](mailto:wangc@bt-t.com) [tuxuyan@ies.ustb.edu.cn](mailto:tuxuyan@ies.ustb.edu.cn)

**摘要:** 针对蚁群算法和粒子群算法提出过程的分析, 提出了人工生命分布智能研究的一种方法。该方法强调理论生物学对人工生命研究的基础性作用, 指出从理论生物学中选择研究方向的一般性策略, 并就理论生物学中现存模型的利用展开讨论。这三个过程形成了分布智能的一种研究方法。

**关键词:** 人工生命 分布智能 蚁群算法 粒子群算法

## Towards a Feasible Approach to Distributed Intelligence in Artificial Life

Li Ruifan<sup>1</sup>, Wang Cong<sup>1</sup>, and Tu Xuyan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Information Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, 100876

<sup>2</sup>School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, 100083

Email: [smartfun@163.com](mailto:smartfun@163.com), [wangc@bt-t.com](mailto:wangc@bt-t.com), and [tuxuyan@ies.ustb.edu.cn](mailto:tuxuyan@ies.ustb.edu.cn)

**Abstract:** A viable approach for the artificial life (Alife) research, especially the distributed intelligence, is presented based on the analysis of the proposals of ant colony optimization (ACO) and particle swarm optimization (PSO). The basis of theoretical biology provides background for further research. Guidelines of choosing a starting point from theoretical biology are presented. Moreover, utilizing the available models of theoretical biology is discussed. The three procedures constitute the feasible approach for distributed intelligence and can be extended to Alife research.

**Key words:** Artificial life (Alife), distributed intelligence, ant colony optimization (ACO), particle swarm optimization (PSO).

### 1. 引言

人工生命是涉及生物学、数学和计算机科学的一门新兴交叉学科<sup>[1]</sup>。分布智能, 也称群智能, 是人工生命中一个有趣而充满希望的研究方向。多智能体、非中心控制、自组织和突现式行为是其重要特征。其中, 粒子群算法<sup>[2]</sup>与蚁群算法<sup>[3]</sup>是分布智能中两种具有广泛应用的典型算法。

然而, 从更为普遍的意义出发, 如何在人工生命这一新兴领域进行科学研究是一个吸引人的问题<sup>[4-6]</sup>。也就是说, 如何提出如粒子群算法和蚁群算法等具有良好应用的工具算法是人工生命科研人员梦寐以求的。他们相信正如其它古老的学科一样, 这一新兴学科中应该存在一些较为普遍的研究规律。从这一问题入手, 我们试图分析粒子群算法和蚁群算法提出过程以期得出一些有益的启示。文章首先讨论了理论生物学与人工生命的关系; 然后提出从理论生物学中选择人工生命研究起点的指导方向; 进而给出从自然生命到人工生命模型拓展的方法; 最后对文章所提出方法做了扼要的讨论。

### 2. 从哪里开始?

从哪里开始? 这是科学研究中的一个普遍问题。然而, 由于人工生命科学相对的不成熟和广泛的争议性, 对于人工生命科学研究者而言, 起始点的选择显得更为重要。

显然, 人工生命与生物学, 特别是理论生物学存在固有的联系。理论生物学使用数学语言构建模型, 利用计算机工具补充数学分析, 进而理解复杂的生物现象与过程。人工生命涉及生物世界。Langton 将人工生命定义为: “研究展现自然生命系统特征的人造系统的学科”<sup>[7]</sup>。人工生命的目标不是完成自然生命系统的拷贝, 而是以提出的生物学模型为基础研究生命系统的潜在规律, 并以这些潜在规律为基础发展其应用领域。由此, 可以绘出理论生物学与人工生命的学科关系图, 如图 1。

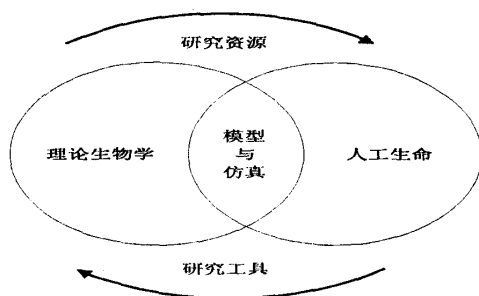


图 1 人工生命与理论生物学关系图

从以上讨论可以得出，人工生命的研究必须植根于理论生物学。换句话说，人工生命的研究者应该掌握理论生物学的基本知识与观点，然后从其中选择相应的研究问题。然而，如何从浩如烟海的研究点选择一个有意义、有价值的问题是难解的。下面，我们从粒子群算法和蚁群算法的提出中对这个问题展开讨论。

### 3. 选点

选择研究点似易实难。理论生物学是一个已有大量文献的成熟学科。更棘手的是，当研究者从通常的科学书籍中发现有趣的研究主题时，一般的说来，关于这一主题的研究论文至少有数百篇，而且绝大部分的问题已经被解决了。那么，如何面对这种境况呢？粒子群算法和蚁群算法的提出可能为我们揭示了一些线索。

蚁群算法由 Dorigo 及其同事为解决旅行商问题而提出的，该算法受蚁群搜索食物行为的启发<sup>[8]</sup>。在 Dorigo 深入研究蚁群如何在巢穴与食物之间找到最短路径问题时，理论生物学家已经涉足这一问题。事实上，Dorigo 的工作利用了这些生物学家的研究成果。

理论生物学家发现蚂蚁在寻路过程中所释放，被称为信息素的物质在蚁群寻路的过程中起重要作用。蚂蚁个体间能够互相识别所释放的信息素，这在它们之间起到通信的作用。蚂蚁个体还能够利用其他同类所标记的信息素路径以一定的概率找到其巢穴与食物间的最短路径。进而，理论生物学家通过实验建立了蚁群在路径选择上偏向于具有较高浓度的信息素路径。另外，蚁群中的自加速行为，或者称为正反馈过程，形成了这样一种趋势：某一特定路径被蚂蚁选择得越多，该路径被继续选择的可能性就越高<sup>[9]</sup>。图 2 说明了蚁群最短路径选择过程中信息素标记与自加速过程的作用。

与此同时，Dorigo 及其同事集中于离散优化问题的研究。旅行商问题是该领域中的一

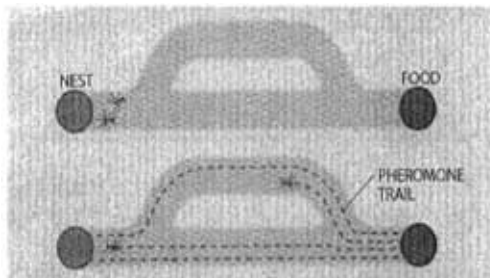


图 2 信息素标记与自加速过程

个基准问题，可简述为：给定一组有限城市及各城市间的旅行代价，寻找最小代价条件下走遍所有城市，且每个城市只能访问一次（出发点除外），最后回到出发点的问题。显然，旅行商问题与蚁群在巢穴和食物间寻找最佳路径存在着相似性。由此看来，选择蚁群搜索食物的过程作为研究对象就很自然了。

下面，讨论粒子群算法的提出过程。粒子群算法由社会心理学家 Eberhart 和电子工程师 Kennedy 受鸟群和鱼群群体行为的启发提出的一种基于种群的随机优化技术<sup>[10]</sup>。

理论生物学家与人工生命研究者都对鸟群的飞行移动机制有浓厚的兴趣。生物学家提出了几种不同的关于这一群体行为的假说。Mataric 定义了一个基本行为集合<sup>[11]</sup>：自徘徊、追随性、散布、聚集、自导引性；并将它们作为自适应行为的基本构件。同样地，一些计算机科学家，Reynolds 试图在三个简单规则下模仿鸟类的飞行<sup>[12]</sup>。这三个规则如下：避免与临近智能体发生碰撞；临近智能体的速度匹配；群体中心化以保持与临近智能体的距离。鱼群与鸟群的群体行为遵循分布式模型规律：个体行为以相同的简单规则为基础，系统整体行为则具有突现性。

作为社会心理学家的 Eberhart 试图建立人类群体行为的模型。他在注意到人群行为与鸟群行为差异的同时，也发现了它们之间的共性，特别是分布式的特征。因此，他开始深入研究计算机仿真下鸟群、鱼群的行为。文献<sup>[13]</sup>以蜂群寻找某地方具有最多花粉过程解释粒子群算法的提出背景。

Dorigo 与 Eberhart 的确切想法不可知晓。然而，可以推测，他们所感兴趣的问题与理论生物学中现存模型或机制的相似性是他们研究方向选择的一个动机。人工生命中识别有意义的研究主题确实相当困难。但依然存在一些大致的方向：理论生物学中某些研究热点的边界应该受到密切关注；两个研究领域的交界处也值得留意。可以这样说，没有对理论生物学较为全面的了解而试图找到恰当的研究主题是不大可能的。

#### 4. 自然到人工的拓展

在从理论生物学中完成研究起始点的选择之后，下一步就是将现存的模型与机制应用于问题。同样，粒子群算法与蚁群算法给我们提供了很好的范例。

蚁群如何在巢穴与食物间找到最短路径激发了如何解决旅行商问题。然而，自然蚂蚁与人工蚂蚁存在着差异。进一步而言，必须对自然蚂蚁的性质作某些修改。如上所述，信息素和自加速过程很好地解释了自然蚂蚁搜寻路径的过程。而且，最佳路径的获得是由整个蚂蚁群落完成的，而非某个蚂蚁个体。另外，自然蚂蚁使用的随机决策机制来发现路径。上述四个基本点在人工蚂蚁中被保留下来。人工蚂蚁还具有某些自然蚂蚁不具有的性质。人工蚂蚁的生存环境是离散时间；它们能够记忆历史活动；信息素的释放和挥发与自然蚂蚁也存在着差异。表 1 简单地小结了这两类蚂蚁的特征。

Eberhart 与 Kennedy 沿着其他人的工作成果，试图模拟鸟群优美而不可预测的舞姿。他  
表 1 自然与人工蚂蚁的特征比较

特征	自然蚂蚁	人工蚂蚁
基于群体	✓	✓
随机策略	✓	✓
信息素标记	✓	✓
离散系统	×	✓
记忆性	×	✓
扩展性	×	✓

仿真的两个基本出发点是：最近领域速度匹配与狂热因子（craziness）。前者产生移动的一致性，后者为仿真引入变化以得到鲜活的外观。这里，应该注意到 Reynold 的鸟群仿真的基本规则。

从上述的基本仿真出发，接着是一系列的反复试验为基础模型变换。在鸟群搜寻缺乏先验知识的玉米地时，该算法定义了“玉米田矢量”用于每个智能体估计当前位置的适应度。每个智能体记忆了其本身所发现的最佳位置，同时也记忆了全体智能体所发现的全局最佳位置。这两个位置分别记为 pbest 和 gbest。从社会心理学的角度被分别称为“思乡”或者认知成分与社交成分。接着，该算法引入了多维空间搜索扩展与距离的加速。图 3 小结了最早的粒子群算法的提出过程。

从自然蚂蚁到人工蚂蚁的映射是直接的，这样，人工蚂蚁就具有了新特性；同样，粒子群算法的中模型变换使用了反复试验的方法。仿真在这两种算法中起到基本的作用。

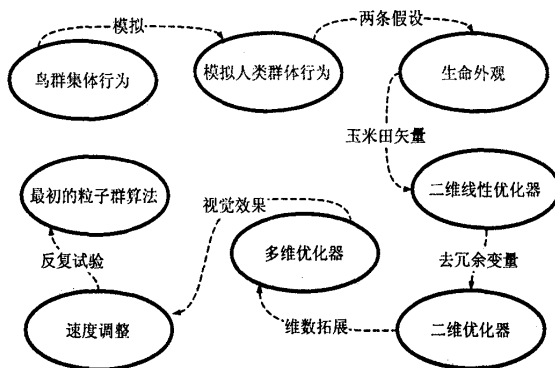


图 3 粒子群算法提出的过程图

## 5. 结论

人工生命研究的方法学与其研究本身具有同样的意义。文章在分析粒子群算法与蚁群算法提出过程的基础上得到了一种人工生命的研究方法。理论生物学为人工生命提供了大量的研究主题，特别是理论生物学家已经建立的模型与仿真结论。某些研究热点的边界和不同研究领域的交叉处是人工生命研究者值得关注的。从自然到人工的模型拓展是直接的。

科学研究中方法的作用不可忽视。但是，方法并非人类语言所表述的金科玉律而是客观地存在于人类科学研究的成败之中。

## 参考文献

- [1] 陈泓娟, 班晓娟, 艾迪明, 涂序彦, 卢汉清, "人工生命的概念、内容和方法," *北京科技大学学报*, vol. 24, pp. 353-356, 2002.
- [2] R. Eberhart and Y. Shi, "Particle swarm optimization: developments, applications and resources," *Proc of Congress on Evolutionary Computation*, pp. 81-86, 2001.
- [3] M. Dorigo, G. Caro, and L. Gambardella, "Ant algorithms for discrete optimization," *Artificial Life*, vol. 5, pp. 137-172, 1999.
- [4] J. Noble, "The scientific status of artificial life," *Proc of European Conference on Artificial Life (ECAL'97)*, Brighton, UK, 1997.
- [5] G. F. Miller, "Artificial life as theoretical biology: How to do real science with computer simulation," TR 215, School of Cognitive and Computing Sciences, University of Sussex, Brighton, UK 1995.
- [6] E. A. Di Paolo, "Some false starts in the construction of a research methodology for artificial life," TR 258, School of Cognitive and Computing Sciences, University of Sussex 1996.
- [7] C. G. Langton, "Artificial Life," *Proc of Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems*, 1989.
- [8] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colomi, "Ant system: optimization by a colony of cooperating agents," *Systems, Man and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions on*, vol. 26, pp. 29-41, 1996.
- [9] S. Goss, R. Beckers, J. L. Deneubourg, S. Aron, and J. M. Pasteels, "How Trail Laying and Trail Following Can Solve Foraging Problems for Ant Colonies," *Behavioural Mechanisms of Food Selection*, vol. G 20, NATO-ASI Series, R. N. Hughes, Ed. Berlin: Springer-Verlag, 1990.
- [10] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proc of IEEE International Conference on Neural Networks*, Part 4 (of 6), Nov 27-Dec 1 1995, Perth, Aust, 1995.
- [11] M. J. Mataric, "Designing and understanding adaptive group behavior," *Adaptive Behavior*, vol. 4, pp. 51-80, 1995.
- [12] C. W. Reynolds, "Locks, herds, and schools: a distributed behavioral model," *Proc of Computer Graphics (ACM) SIGGRAPH '87, Jul 27-31 1987*, vol. 21, pp. 25-34, 1987.
- [13] J. Robinson and Y. Rahmat-Samii, "Particle swarm optimization in electromagnetics," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 52, pp. 397-407, 2004.