

● 杨国为 著

人工生命模型

Models of Artificial Life



科学出版社

www.sciencep.com

人工生命模型

杨国为 著

国家自然科学基金项目
山东省自然科学基金项目

青岛大学出版基金资助出版

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书是关于人工生命模型的一本专著,介绍了作者提出的组织级人工生命(人工神经网络)功能模型、器官级人工生命(人工脑)功能模型,以及个体人工生命模型、群体人工生命(人工鱼)模型。已有的人工生命模型大多数是宏观时间(大尺度时间)上生命的繁殖、自组织和进化模型,而本书则着重研究人工生命体日常(小尺度时间)智能信息处理及其与环境交互作用(交换物质、能量和信息)的模型。

本书适合从事智能科学、系统科学、信息科学、计算机科学、控制科学等领域研究的学者、研究生和工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

人工生命模型/杨国为著. —北京:科学出版社, 2005

ISBN 7-03-016001-0

I. 人… II. 杨… III. 生物模拟—研究 IV. Q811.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 083910 号

责任编辑:吕建忠 陈砺川/责任校对:郝 岚

责任印制:吕春珉/封面设计:三画设计

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>

铭浩彩色印装有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年9月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2005年9月第一次印刷 印张: 12 1/4

印数: 1—2 000 字数: 231 000

定价: 25.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话: 010-62136131 编辑部电话: 010-62138978-8001 (BI01)



杨国为，北京科技大学工学博士，江西师范大学理学硕士，中国科学院半导体研究所神经网络实验室博士后，江西樟树人。现为中国人工智能学会理事，中国人工智能学会可拓工程专业委员会副秘书长，中国人工智能学会智能控制与智能管理专业委员会委员，青岛大学教授。已独立完成2本著作，以第一发明人身份申请3个发明专利，公开发表60余篇学术论文，其中20余篇以第一作者身份发表的论文被SCI、EI、ISTP检索。目前正主持国家自然科学基金、山东省自然科学基金等基金的课题。

序

很高兴，杨国为教授的专著《人工生命模型》在科学出版社出版了。

杨国为教授在北京科技大学攻读博士学位期间，曾被评为优秀博士生。我们共同开展了人工生命和人工智能方面的研究工作。他的敬业精神、工作效率和数学功底给我留下了深刻印象。

《人工生命模型》专著，主要基于他在攻读博士学位期间的研究工作和成果，其独到之处在于，他提出了人工生命的“广义模型化”方法。他不仅将“大系统控制论”的“广义模型化”方法应用于复杂人工生命系统，而且提出并建立了人工脑、人工鱼的若干新的模型，创造性地发展了“广义模型化”方法。人工生命是新的复杂科学技术领域，还有许多问题有待进一步研究，任重道远。

我相信，《人工生命模型》专著的出版，将对我国人工生命科学技术的发展做出积极的贡献。为了祝贺杨国为博士《人工生命模型》一书的出版，特赠诗一首：

人工生命高峰攀
师徒携手同攻关
广义模型有创新
青出于蓝胜于蓝

中国人工智能学会 指导委员会主席 涂序彦

2005年3月10日

前 言

C.Langton^[1]认为,人工生命不仅是对科学和技术的挑战,也是对社会道德、哲学和宗教的挑战。像哥白尼的太阳系统模型一样,它将促使我们重新审视我们在宇宙中的位置和利用在自然中扮演的角色。涂序彦^[2]提出的“广义人工生命”框架给我们展示了利用人工生命学科开发和发展工程技术新产业以及新产品,特别是对发展军事工业中的军事装备,发展动植物的新品种、新种群,治疗诊断疾病,延长人类寿命等方面的诱人应用前景。人工生命是当前生命科学、信息科学、系统科学及工程技术的发展方向之一。

人工生命学科已诞生近 20 个年头,尽管人工生命研究成果累累,但是人工生命还没有完善的理论体系。各种人工生命理论、方法、技术有待发展和创新,人工生命的许多应用还有待大力开发,人工生命学科本身仍需不断发展。因此人工生命的研究工作者任重而道远。

人工生命建模是人工生命研究中十分重要、必不可少的内容。建立人工生命的广义模型,包括数学模型、知识模型、关系模型等,有利于描述人工生命的性能(包括自组织、自适应、突变、协同、竞争、感知、学习、联想记忆)和行为(包括进化、繁殖、生长等),有助于理解自然生命智能信息处理和适应环境等生命活动过程,进而模拟、延伸和扩展自然生命。虽然人工生命建模工作取得了丰硕成果,人工生命研究学者利用元胞自动机、L-系统、遗传算法、进化策略、进化规划、耗散结构理论、协同学、突变论、混沌、分形等理论和工具给出了生命繁衍(增殖)模型、进化模型、竞争模型、形态生成模型、人工生态模型、学习模型、免疫模型等^[3~9],具体包括人工鱼个体模型(形态学模型、生物力学模型、行为运动模型、感知模型、群体模型、集群模型)^[10~13]、人工鱼的繁殖生长模型^[14,15]、人工鱼的认知进化模型^[16,17]、广义人工生命概念模型、广义人工生命模型^[2,18~21]、生命系统广义模型、人工脑模型^[22~25]、进化机器人模型^[26~28]、虚拟生物模型^[29~33],以及新陈代谢模型、多细胞人工生命的进化模型、自适应自组织建模、细胞分裂模型、植物形态模型、人工食物链模型、人工生物化学模型、影响群体动态特性的拓扑学、捕食动物—被捕食动物模型和寄生虫模型、宿主物种模型、动物动力学模型等^[34~45],但是已有的许多模型强调宏观时间(大尺度时间)上生命的繁殖、自组织和进化,基本上不考虑生命体日常(小尺度时间内)行为、智能信息处理、与环境交互作用(交换物质、能量、信息)的模拟、延伸和扩展问题。为提高人工社会中的人工生命的智能和创造性,

本书从个别侧面研究广义人工生命高级信息处理模型、广义人工生命感知联想记忆模型、广义人工生命拟人处理矛盾冲突的模型化方法、广义人工生命运动规律模型及其随机连续切换模型等。

这些内容具体包括以下几方面：

(1) 系统地讨论了人工生命的研究内容、广义人工生命的学科框架、广义人工生命的研究对象、广义人工生命的实现技术、广义人工生命的研究方法、广义人工生命的应用前景。

(2) 提出人工生命模型广义化的必要性(单一数学模型化方法的局限性、单一数学模型的适用性)，介绍广义模型的概念(集成模型、控制论模型、“变粒度”模型、智能模型)，及模型广义化的方法步骤。

(3) 系统而扼要地综述和研讨了广义人工生命的建模基础和工具。

(4) 提出了组织级人工生命(人工神经网络)功能模型：①提出一种新的多层感知神经网络模式分类模型；②提出并证明了应用BP学习算法进行模式分类的隐患定理；③提出了分式线性神经网络FLNN，证明该神经网络是可无限逼近 R^m 无界闭子集 R^n 上的，在无穷远有极限的任意连续映射，扩充了传统前向神经网络，包括BP网络的非线性逼近能力；④提出基于神经网络的广域上非线性连续映射分块并行建模的方法，该建模方法发展了大系统广义模型和“分解—集结”建模方法；⑤证明可用前向神经网络构造无损数据压缩器，提出了基于虚拟信源和神经网络的无损数据压缩方法。

(5) 提出了器官级人工生命(人工脑)功能模型：提出并用软件实现了一种人工脑时变容错域的感知联想记忆(TVFTFPAM)模型，该模型模拟了人类大脑联想记忆的容错域随时间变化的特点。模型可以根据记忆样本的重要性，为记忆样本在不同时间设计适当的容错域；给出了一种新的知识模型——物元系统与或网(MESAN)及基于MESAN的拟人推理方法。TVFTFPAM模型和MESAN可用于建立拟人化地解决矛盾，开拓创新的概念设计专用人工脑模型。

(6) 提出了个体人工生命、群体人工生命(人工鱼)模型：提出扩展人工鱼模型和人工鱼的局部运动规律建模与模型的随机连续切换方法；较好地解决了动画角色多运动规律模型随机连续切换的难题。

本书主要内容来源于作者在涂序彦教授指导下所获的研究成果。其中有些内容已开始应用到实际中，因而比较完善和系统；有些内容还只是局限在理论探索阶段，有待发展和深化。书中错误或不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

涂序彦教授审阅了全书，提出了修改建议，作者对此表示衷心感谢。

本书是国家自然科学基金项目“人工动物的自繁衍理论和方法”(项目编号：60075012)和“基于物元动态系统分析的智能化模型化概念设计研究”(项目编号：60375014)，以及山东省自然科学基金项目“创新设计思维的可拓模型和基

于该模型的智能 CAD 软件”（项目编号：Y2002G16）的研究成果。本书的出版得到了青岛大学出版基金的资助。

杨国为

2005 年 2 月于中国科学院半导体研究所
神经网络实验室

目 录

第1章 人工生命概述	1
1.1 人工生命概述	1
1.2 人工生命研究的内容	2
1.2.1 “数字生命”的研究	2
1.2.2 数字社会	2
1.2.3 数字生态环境	2
1.2.4 人工脑	3
1.2.5 进化机器人	3
1.2.6 虚拟生物	3
1.2.7 演化算法	4
1.3 广义人工生命的概念模型	5
1.3.1 广义人工生命的基本概念	5
1.3.2 广义人工生命的学科构架	6
1.3.3 广义人工生命的研究对象	6
1.3.4 广义人工生命的实现技术	9
1.3.5 广义人工生命的研究方法	10
1.3.6 广义人工生命的应用前景	11
1.4 小结	12
第2章 人工生命模型广义化	13
2.1 人工生命模型广义化的必要性	13
2.1.1 人工生命的单一数学模型	13
2.1.2 人工生命数学模型化的困难	14
2.2 人工生命广义模型的概念	18
2.3 广义模型的体系	21
2.4 模型广义化的方法	27
2.5 小结	31
第3章 人工生命的建模理论与方法评述	32
3.1 生物科学	32
3.2 系统科学	32
3.3 信息科学	32

3.4	人工智能	32
3.5	元胞自动机	34
3.6	L-系统: 形态形成的模型系统	36
3.7	遗传算法	38
3.8	进化策略	42
3.9	进化规划	43
3.10	混沌	45
3.11	分形	47
3.12	耗散结构理论——自组织条件方法论	49
3.13	协同学——自组织协同动力学方法论	50
3.14	突变论——自组织演化途径方法论	51
3.15	动物转基因技术	52
3.15.1	转基因动物的定义	53
3.15.2	转基因动物的研究进展	53
3.15.3	转基因动物的研究方法技术	53
3.15.4	动物转基因技术的应用及存在的问题	56
3.16	动物克隆技术	57
3.16.1	克隆动物的定义	58
3.16.2	动物克隆的程序	58
3.16.3	动物克隆技术与动物转基因技术的关系	60
3.17	复杂性研究	61
3.18	多 Agent 理论	61
3.19	人工神经网络	62
3.20	小结	63
第 4 章	人工脑信息处理神经网络模型	65
4.1	神经网络模型	66
4.2	前向网络	67
4.3	前向神经网络的分类(能力)模型	69
4.4	应用 BP 学习算法进行模式分类的隐患定理	73
4.5	一种新的多层感知神经网络模式分类模型	74
4.6	分式线性神经网络及其非线性逼近能力的研究	80
4.6.1	分式线性神经网络	81
4.6.2	分式线性神经网络的非线性逼近能力	82
4.7	基于神经网络的广域上非线性连续映射分块 并行建模方法的研究	86

4.7.1 广域上非线性连续映射分块并行建模的必要性	86
4.7.2 广域上非线性连续映射的神经网络分块并行模型	89
4.8 基于虚拟信源和神经网络的无损数据压缩方法的研究	94
4.8.1 0 与 1 字符串的虚拟信源	96
4.8.2 虚拟信源的一种神经网络模型	97
4.8.3 基于虚拟信源的无损数据压缩原理	97
4.8.4 实验结果	99
4.9 小结	99
第 5 章 人工脑感知联想记忆模型	100
5.1 时变容错域的感知联想记忆模型及其实现算法	100
5.1.1 时变容错域的四层感知联想记忆模型及其实现算法	101
5.1.2 时变容错域感知联想记忆模型的遗忘与记忆扩充	109
5.1.3 仿真实验与讨论	112
5.2 人工脑可控容错域的联想记忆模型与仿真实现	114
5.2.1 可控容错域联想记忆的样本容错域(吸引域)的设计	114
5.2.2 可控容错域联想记忆模型的分块并行确定方法	116
5.3 小结	117
第 6 章 人工脑拟人处理矛盾的物元动态系统模型化方法	119
6.1 广义物元系统可拓集的概念	119
6.2 广义物元系统可拓集的运算	121
6.3 限制	122
6.4 广义限制物元系统和广义限制物元系统的可拓关系	124
6.5 广义问题的概念	125
6.6 广义问题的模型	126
6.7 广义问题的求解	126
6.7.1 对立问题的转换及转折解法	127
6.7.2 不相容问题的转换及转折解法	128
6.7.3 不相容关系问题的转换及转折解法	129
6.7.4 广义问题求解的过程	129
6.7.5 广义问题求解的算法	130
6.8 物元可拓集中面向实际的关联函数的建立方法	134
6.9 n 维物元系统集上的关联函数的建立方法	136
6.10 物元系统与或网及拟人推理	144
6.10.1 物元系统与或网的概念及特点	145
6.10.2 基于物元系统与或网的拟人推理	150

6.11 小结	158
第7章 人工鱼的广义模型	160
7.1 人工鱼模型概述	160
7.2 扩展的人工鱼模型	164
7.3 人工鱼的局部运动规律建模和模型的随机连续切换	164
7.4 觅食物行为的运动规律模型	168
7.5 求偶行为的运动规律模型	173
7.6 人工鱼的社会行为系统	173
7.7 小结	175
第8章 结论和展望	176
参考文献	178

第1章 人工生命概述

1.1 人工生命概述

1987年,在美国 Los Alamos 召开的第一次“人工生命”研讨会(ALIFEI)上, Santa Fe 研究所的 C.Langton 教授高度总结和提炼了人们关于人工生命的各种见解,给出了“人工生命(artificial life, AL)”学科的描述性定义,为人工生命的广泛和深入研究起到了积极作用。

C.Langton 认为^[1]: Artificial Life is the study of man-made systems that exhibit behaviors characteristic of natural living system (人工生命是关于展示自然生命系统行为特征的人造系统的学科), It complements the traditional biological sciences concerned with the analysis of living organisms by attempting to synthesize life-like behaviors within computers and other artificial media (它试图通过综合在计算机和其他人工媒体内的类似生命行为的方式来补充关于活组织分析的传统生物科学), By extending the empirical foundation upon which biology is based beyond the carbon-chain life that has evolved on Earth, Artificial Life can contribute to theoretical biology by locating life-as-we-know-it within the larger picture of life-as-it-could-be (通过把经验性的生物学基础拓展到地球上已进化的碳链生命之外,把“如我们所知的生命”定位于更广阔的形象,即“如其所能的生命”,人工生命将能对理论生物学做出贡献)。

“人工生命是研究怎样通过抽取生物现象中的基本动态规律来理解生命,并且在物理媒体上,如计算机上,重建这些现象,使它们成为一种新的实验方式和受操纵”。

“人工生命学科”的诞生,为人们探究生命的起源、生命的进化等一系列生物学基本问题,乃至宇宙秩序与组织形成和演化规律等更重大问题,提供了富有启示的概念、思想和研究方法,使人们可以从一个新的视角重新审视生命的本质、秩序的起源。十几年来,在 C.Langton 倡导的“人工生命”研究框架下,国际上在“细胞级”人工生命(内部系统)、“器官级”人工生命(内部系统)、“个体级”人工生命(内部系统)、“群体级”人工生命(外部系统)、“生态系统”级人工生命(外部系统)等方面取得了丰硕的研究成果^[2,8,24,46]。

1.2 人工生命研究的内容

1.2.1 “数字生命”的研究

所谓“数字生命”是指那些以电脑为工具和媒体, 电脑程序为生命个体的人工生命的研究。这方面以 T.Ray 的数字生命世界 Tierra 为代表。

T.Ray 把生物学上有机体进化的概念引入计算机领域, 用数字计算机提供的资源、CPU 时间及操作系统, 为数字生命提供生存环境。他设计的数字生命以数字为载体, 用于探索生命进化过程中所出现的某些现象、行为, 特别是系统的“突现”行为。

数字生命的研究中一种重要的模型是元胞自动机 (cellular automata, CA)。一类特殊的二维元胞自动机是布尔网络。其每个元胞都是一个布尔自动机, 每个元胞状态为 1 或 0, 当元素的连接是随机的且每个自动机的转换函数也是随机的, 就得到随机布尔网络。随机布尔网络表现出比较复杂的突现行为。A.S. Kauffman 深入地研究了随机布尔网络。

1.2.2 数字社会

Joshua M. Epstein 和 R. Axtell 在计算机上创建了一个称为“糖境 (sugarscape)”的数字社会。这个人工社会可用来研究人类社会文化和经济的进化过程。他们设计的人工社会是这样一种计算机模型, 它包含: ①一群具有自主性的行为者; ②一个独立的生存环境; ③管理者、行为者与环境之间, 以及环境中各个不同要素之间相互作用的规则。

数字社会是由各个行为者自我组织形成的, 由各个行为者在简单规则的支配下, 与人工环境交互作用突现形成的。数字社会的行为者是能够随时间发生变化或者具有适应性的数据结构。每个行为者具有遗传特性、文化特性以及管理它与环境及其他行为者之间的规则。其中, 行为者的遗传特性在其生命期间是固定的。

1.2.3 数字生态环境

挪威的 Keith Downing 提出了一个名为“欣快区” (euphotic zone, EU-ZONE) 的进化的水中数字生态环境, 目的是提供一种实验手段, 用以观察生态系统是如何从原始状态进化而来以及复杂生态系统的突现行为。它是利用物理和化学模型, 结合进化规律建构以碳元素为基础的水中生态环境, 可用来观察低等动物的形体进化及生存竞争。

1.2.4 人工脑

日本国际现代通信技术基础研究院 (ATR) 的进化系统部 (Evolutionary Systems Department) 致力于开发新的信息处理系统, 这种系统具有自主性和创造性, 研究人员把这样的系统称为“人工脑 (artificial brain, AB)”。人工脑不仅能够自发地形成新的功能, 而且能够自主地形成自身的结构。其研制者并不想单纯地再现生物大脑的功能和结构, 而是想得到在某些方面优于“生物脑”的信息处理系统。

1.2.5 进化机器人

Rodney A. Brooks 提出了基于行为的设计方法, 设计了比传统设计方法行动更快和更灵活的机器人——进化机器人, 对于同一任务, 其编码长度可以是传统设计方法的 1/1000。进化机器人的操作方式是自主型的, 其定位、移动等是实现形成的, 其“智能”也是由各个并行执行的“小过程”自组织“突现”形成的, 并且这样的“小过程”分散在整个系统中。进化机器人具有比传统机器人更快的速度和更好的灵活性、鲁棒性, 进化算法可以比较容易地植入到这样的系统中, 其硬件、软件的设计以及测试费用都比以前要少。

D. Floreano 和 F. Mondad 成功地用 Kheoera 机器人实现了一个进化系统。1990 年, Pattie Maes 用“增强学习”(reinforcement learning) 策略实现六足 Genghis 机器人的步行协调。Takashi Gmi 用进化方法在八足 OCT-1b 机器人上实现步行协调。进化机器人是机器人发展的一个新方向, 它把人工生命的概念和思路引入到这个领域。

1.2.6 虚拟生物

人们在 20 世纪 90 年代早期开始研究“视觉创建过程 (visual creation process)”。1993~1994 年, Christa Sommereer 和 Laurent Mignonneau 介绍了他们的第一个“交互式计算机装置 (interactive computer installations)”——A-Volve, 用户可以自己创造人工生物, 与它们交互作用且看着它们进化。1995 年, 他们又发展出另一个系统“Phototropy”, 用户可以通过饲养, 使它们繁殖, 与虚拟的昆虫交互作用。1996 年, 他们对于虚拟生物的建构产生了兴趣, 观察简单结构是如何通过遗传操作形成复杂形态的, 开发了“遗传操纵器 (genetic manipulator, GENMA)”, 在这个系统中, 用户可以研究人工昆虫的设计方案和形状。在实时交互式环境 A-Volve 中, 访问者可以与在一个充满水的玻璃缸中活动的虚拟生物进行交互作用。这些虚拟生物的形成受到进化规则以及人们创造力的影响。人们可以通过用手指在接触屏上设计任何形状的图形来产生三维的虚拟生物, 这

些生物自动“成活”并且能够在水中游动。A-Volve 现在被安装在日本 NHK 大楼。GENMA 可使人们从微观层次操纵虚拟生物的形成。人工生命及遗传编程用于构造生命结构,允许人们可以实时地操纵“虚拟基因”。

华人女学者 XiaoYuan Tu^[10]用人工生命的方法进行计算机动画的创作,利用动物形态、习性和行为模型,在不需任何“关键帧”的情况下,成功地创作了“人工鱼 (artificial fish)”,用计算机实现了“人工动物”共有的基本特征——生物力学、运动、感知和行为。人工鱼具有可变形的由肌肉驱动的鱼体、鱼眼睛,以及具有行为、感知和运动中心的鱼脑。类似于真鱼,人工鱼体现了最重要的动物行为的特性,实现了由感知引导行动的功能。能够表现出多种行为:避障、捕食、逃逸、集群和交配等。人工鱼是有着丰富行为活动的人工生命,人工生命仿真过程启动后,人工鱼将按它们自己的意图和对周围环境的感知,在虚拟的海洋世界中自由徜徉。每条鱼都是独立自主的、有自激发功能的智能体。既有反射行为,又有主动行为;既有逼真的个体行为,又有丰富的群体行为。它们是自主的、适于生活在连续、动态的三维虚拟世界中的虚拟机器鱼。

人工鱼是具有广泛行为的人工动物,为人工生命领域人工动物的构造提供了很好的范例。自然生命的基本特征是自繁衍、自进化、自组织和自适应,“晓媛的鱼”已具有了自然生命的两个重要特征——自组织和自适应,但它们还缺乏自然生命的两个基本特征——自繁衍和自进化。

陈泓娟^[14]以人工鱼为对象,研究了人工动物的自繁衍、自进化的理论方法和实现技术,建立“人工鱼”的自繁衍和自进化模型,将人工生命的“自繁衍”和“自进化”特性引入动画的创作,提高了人工鱼动画的创作效率和自动生成能力。

人工鱼自繁衍模型的建立和算法的研究,一方面使得人工鱼具有了更全面的生命特征,扩展了人工鱼的优良品种和鱼种,另一方面为人工生命领域人工动物的构造提供了很好的例子。进一步可推广移植于其他人工动物的创作和生成,比如,建立人工猫、人工狗等动物的自繁衍模型,乃至建立一个虚拟的动物王国、虚拟生态系统等,促进自动化、计算机科技领域中“人工生命”、“人工智能”等新方法、新技术的发展。

斑晓娟^[17]在“人工鱼”已有的工作基础上,进一步研究认知建模方法,建立人工鱼的认知模型,提高人工鱼的智能水平,实现基于“动物逻辑 (animal logic)”的、具有认知能力的高级行为规划功能。同时,将人工生命的“自进化”特性引入动画创作,建立认知模型,利用认知模型,改进“人工鱼”的自进化能力。

1.2.7 演化算法

演化算法研究(远远早于人工生命的诞生)主要是提供具有演化特征的算

法,遗传算法是其中之一。许多新的算法正在研究中。由于遗传算法的整体搜索策略和优化计算是不依赖于梯度信息的,所以它的应用非常广泛,尤其适合处理传统搜索方法难以解决的复杂的非线性问题。人工生命研究的重要内容就是进化现象,遗传算法是研究进化现象的重要方法之一。

1.3 广义人工生命的概念模型

1.3.1 广义人工生命的基本概念

涂序彦教授在广义人工生命建模方面进行了奠基性工作,给出了广义人工生命的六元组概念模型,即生命系统的广义模型体系。

C.Langton 提出的人工生命概念和定义合理吗?全面吗?C.Langton 的“人工生命”强调生命的“行为”特征(外部特征);强调用软方法技术 SMT(指用人工生命的理论模型、计算方法、软件程序、软件工具、开发平台等)来模拟、仿真人工生命。在 C.Langton 的人工生命学科框架下,人工生命主要指计算机上虚拟的数字生命。C.Langton 的人工生命概念是狭义的。若人工生命的研究学者禁锢在 C.Langton 的“人工生命”范畴内工作,那将大大限制人工生命学科的发展,人们难以认识人工生命的全貌。实际上,C.Langton 在文献[1]中就说:“I have been only partially successful, and the article should certainly not be taken as ‘defining’ artificial life in any way (我仅部分成功,无论如何这篇文章不应作为‘人工生命’的定义)。”

人工生命学科在不断发展、壮大,它的内涵不仅仅是 C.Langton 所说的那些内容。人工生命应研究生命的内部特征,生命“内部特征”和“功能”才是内在本质。人工生命不仅仅是自然生命模拟,而且也是自然生命的延伸和扩展。只有这样,人工生命学科才能吸取人工智能发展的经验教训,明确发展目标和任务,短期应用目标与长远目标相结合,应用与理论研究相结合,工程技术与生物科学相结合,才能持续向前发展。为此,涂序彦教授提出了“广义人工生命”的概念^[2],为人工生命的研究开发及应用展示了广阔的驰骋空间。

广义人工生命(generalized artificial life, GAL)是“自然生命”的模拟、延伸和扩展,是“具有类似自然生命的性能或行为的人造系统”,也可以用六元组概念模型来表示为

$$GAL = \{NLP, NLB; EAL, BAL; VAL, RAL\} \quad (1.1)$$

式中, GAL——广义人工生命(generalized artificial life);

NLP——类自然生命性能(natural life-like property);

NLB——类自然生命行为(natural life-like behavior);

EAL——工程人工生命(engineering artificial life);