

文章编号: 1000-8152(2000)02-0300-03

300-302

基于进化动力学的人工生命创发性模型*

刘健勤 魏敏洁

(中南工业大学信息工程学院·长沙, 410083) (国防科技大学自动控制系·长沙, 410073)

蔡自兴

(中南工业大学信息工程学院·长沙, 410083)

常文森

TP18

摘要: 提出并构造了一种新的人工生命意义下的创发性($2+2+n$)模型,同前人的工作相比,该模型的突出特点在于:将 2 维形状纳入创发性分析过程并使模型拓展至多维结构形式,描述了 2 维表现型平面至 2 维基因型平面映射的复杂非线性过程,建立了多维创发性计算机制.该模型的非线性描述功能和动力学特征为智能信息处理系统增强 NP 问题求解能力的工作提供了一种强有力的工具.

关键词: 生物控制论; 人工生命; 混沌动力学

文献标识码: A

创发性模型

进化动力学

An Emergent Artificial Life Model Based on Evolutionary Dynamics

LIU Jianqin and WEI Minjie

(College of Information Engineering, Central South University of Technology · Changsha, 410083, P. R. China)

CHANG Wensen

(Department of Automatic Control, National University of Defense Technology · Changsha, 410073, P. R. China)

CAI Zixing

(College of Information Engineering, Central South University of Technology · Changsha, 410083, P. R. China)

Abstract: This paper proposes a new emergent artificial life ($2+2+n$) model. Compared with the existing techniques in the field, the original contributions of our work are expressed in the expansion of its basic structure into multidimensional form and incorporating two dimensional traits into emergent analysis processes. Because of the description for complex nonlinear mapping processes from two dimensional phenotype planes to two dimensional genotype space and multi-dimensional ones, the nonlinear descriptive ability of the model for dynamic features provides a strong tool for intelligent information processing systems.

Key words: biological cybernetics; artificial life; chaotic dynamics

1 引言(Introduction)

在人工生命系统中,由进化动力学所描述的进化机制在属性方面突出地表现为复杂性和多样性,其机理可概括为创发性机制,后者是前者产生的原因,前者的发生又为后者的描述提供了条件.进化动力学是指以非线性动力学为分析手段来研究进化机理、属性和行为的科学.创发性是指进化过程中自组织机制所具备的使进化性状出现非线性变化的特性,Langton C G,金子邦彦等的工作表明创发性的根源可由混沌机制予以解释.复杂性增加的方向可通过“通往混沌边缘的进化”^[1]来分析.自从 Langton C G 提出关于进化的混沌分析思想^[2]以来,该点已成为一个活跃的研究领域,它也属于人工生

命的重要研究方向.该方面的工作以 Langton,金子邦彦, Rasmussen S 等的研究较为著名^[1-7]. Langton 采用了信息论测度来分析进化的统计特征,金子邦彦等则提出了一个计算机模拟算法,作为进化的动态仿真.金子邦彦等的工作侧重于演示复杂性、多样化以及创发性.铃木、金子^[4]引入简单时变程序作为小鸟相互间模仿发声的近似描述,他们的演示程序,被认为是研究通向混沌边缘的进化仿真示例,也被认为是一个较好的经过简化和抽象后所得的简单人工生命过程.从共同进化的角度来看,复杂性和多样性的机理,适于在包含环境、群体等诸因素的生态仿真框架中被加以动态考察,这样高维、多模式的信息处理机制才有可能被予以体现.对此应从创发机理角度进行

* 基金项目:国家自然科学基金(69685009),国家教委留学回国人员科研启动基金(97-832),国家教委图像信息处理与智能控制开放实验室基金(TKLJ9705),湖南省自然科学基金(97-36)资助项目.

收稿日期:1998-05-25; 收修改稿日期:1999-03-11.

考察和研究,以充分体现反映进化的非线性动力学刻划。

2 多维创发性模型及其计算机制 (Multi-dimensional emergent model and its computational mechanism)

本文提出并构造了一个基于进化计算的多维创发性进化动力学模型——(2+2+n)模型。该模型共分三个主要部分,个体的表现型构造是由二维 Gumowusky 和 Mira 方程来产生的二维形状。对基因型和表现型的映射采用上述混沌方程加以空间上的度量 and 刻划,群体对象的适应度是按照一定的规划来规定的,令群体规模为 $n(n \geq 2)$ 在该模型中进化计算过程与含有混沌环节的基因型——表现型过程结合在复合的层次化模型中,该模型的概貌如图 1 所示,该模型名称(2+2+n)是源于基因型维数 2、表现型维数 2、群体规模 $n(n \geq 0)$ 。

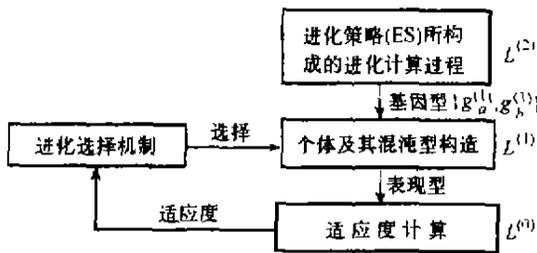


图 1 模型概貌
Fig. 1 Model overview

在该模型中采用进化策略(ES)算法作为进化计算的具体形式,并且以共同进化的思想来描述适应度的决策规则。进化策略是以随机信号施加于群体所产生的动态过程。目前常用的两种 ES 方法,分别是 $(\mu + \lambda)$ -ES 和 (μ, λ) -ES。前者是由 μ 个父辈产生 λ 个子代,所有个体均进行竞争,能够生存下来的在下一代中又可作为父辈。后者则仅限于 λ 个子代进行竞争,每一代中父辈个体均被替换掉。这种策略将个体的寿命限制为一个世代。随机信号的产生方式是将动态作用施加在个体上,例如不失一般性地可采用如下形式:

$$\begin{aligned} \sigma'_i &= \sigma_i \exp(\tau' N_i(0,1) + \tau N_i(0,1)), \\ x'_i &= x_i + N(0, \sigma'_i), \end{aligned}$$

其中 x 表示当前位置向量, σ 表示与 x 各维相对应的方差向量, x', σ' 则是新产生的向量, $N(0,1)$ 表示标准的高斯型随机变量, $N_i(0,1)$ 表示第 i 个独立同分布的标准高斯型随机变量, τ 是与 i 有关的系数, τ' 则与 i 无关,这两个系数主要对分布幅度起加权调整作用。在进化计算的共同进化过程中,可引入较复杂的联系方式,在 $L^{(2)}$ 层中采用逻辑斯谛方程形式

的动力学机制,这样,ES 过程就成为:

$$q_{n+1} = q_n + l_n,$$

其中 l_n 采取前面所述的 ES 的高斯形式。于是有 $Q = |q_0, q_1, \dots, q_N|$, 这 N 个不同个体就可作为输出 $g_a^{(1)}$ 和 $g_b^{(1)}$ 传给 $L^{(1)}$ 层,在 $g_a^{(1)}, g_b^{(1)}$ 的参数影响下 $L^{(1)}$ 所采用的 Gumowusky 和 Mira 方程就会出现不同的丰富特性,这里的 $g_a^{(1)}, g_b^{(1)}$ 在 $L^{(1)}$ 中理解为基因型,该混沌方程在空间中形成的二维轨迹就对应于该个体的表现型,这里共取 1 万个点。在该模型中二维混沌动力学机制采用了 Gumowusky 和 Mira 方程的形式:

$$\begin{cases} x_{n+1} = y_n + b(1 - 0.05y_n^2)y_n + f(x_n), \\ y_{n+1} = -x_n + f(x_{n+1}). \end{cases}$$

其中, $f(x) = ax + 2(1-a)x^2/(1+x^2)$ 。这里的 a, b 分别对应于模型中的 $g_a^{(1)}, g_b^{(1)}$, 图 2 给出了对应不

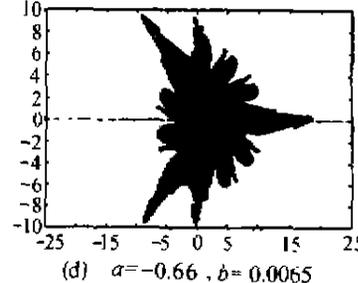
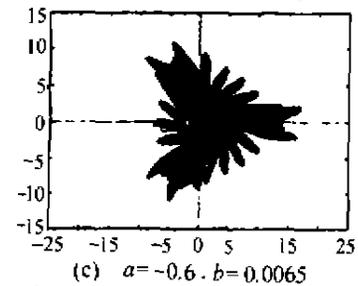
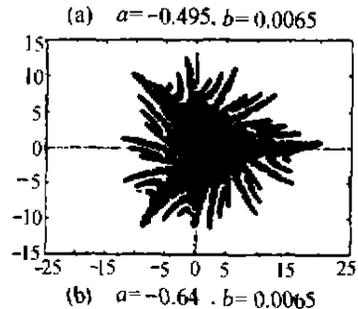
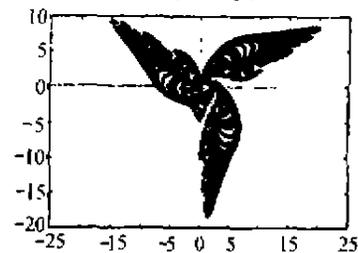


图 2 混沌轨迹
Fig. 2 Chaotic traits

同 $(g_a^{(1)}, g_b^{(1)})$ 取值的混沌轨迹,由1万个数据点绘出。

在该模型中适应度取值采取离散形式,即 $\{1, 2, 3\}$ 中的某一值,相应规则为:

1) 在一定分辨率的空间网格阵上保持区域内部连通性和边界连续性;

2) 所形成的图形既不太小也不太大(设其上下限阈值为 S_L 和 S_D)。

这样就不但淘汰掉那些出现不动点或周期点的那些个体,而且淘汰掉形状面积过大或过小的个体,以使群体形状适中,这样就将与群体对象相对偶的环境隐式地以共同进化方式作用于群体,反映群体元素间相互的必要联系所隐含的共同进化约束,由该模型的进化计算过程可产生出具有很好非线性的个体形状,当然这里所有的概念均是在人工生命系统的范畴内加以讨论的。

现有进化动力学中金子邦彦的模型最有代表性,他的模型表现型为1维,基因型为1维,群体约束于 $L \times L$ 的方格中(一般 L 也没有象群体规模那样取得很大的数值),将其记为 $(1, 1, L^2)$ 模型。作者将表现型,基因型构造为2维,可描述较为常见的2维形状对象,将群体规模直接与上述形状相联系,使得进化计算过程中群体可在更为广泛的空间(例如任意拓扑性质)情形中进行演化,非线性描述能力和动力学特性得到显著增强,从该模型框架可知,它易于扩展至 $(3, m, n)$ 型以及更为一般的形式 $(m \geq 3)$,当然在其扩展中合适混沌动力学方程和高维信号空间约束是必须和应被重视的。采用 $(2+2+n)$ 模型对信号的演化过程进行考察,从计算机仿真的角度,发现了2维空间中能以混沌为基础的创发性出现区域之间存在着稳定的过渡空间,即创发性在2维空间中是处于不同的非连通集合族之内,这个结论是前人所未曾报道的。图3给出了一个有代表性的实验结果,其中阴影区域表示具有创发性行为的区域。

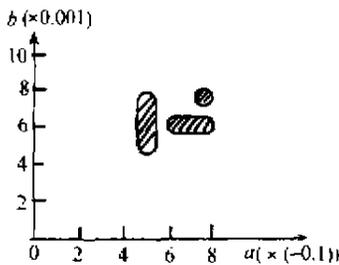


图3 创发性区域
Fig.3 Emergence area

3 结论(Conclusion)

通过 $(2+2+n)$ 创发性模型的构造,将混沌动力学和随机信号过程综合于进化计算系统之中,有效地表达了进化动力学的非线性特性,该模型的特色主要反映在:1)混沌动力学、随机过程、进化计算在非线形模型中的综合性;2)混沌动力学组成的多层结构及其时空动态特性这两个方面,该方法可用于复杂非线性对象的进化计算建模和仿真。

参考文献(References)

[1] Kaneko K and Suzuki J. Evolution to the edge of chaos in an imitation game [A]. Artificial Life III [C]. Santa Fe, New Mexico, USA, 1992, 53-54

[2] Langton C. Life at the edge of chaos [A]. Artificial Life II [C]. Santa Fe, New Mexico, USA, 1990, 41-92

[3] Nagel K and Rasmussen S. Traffic at the edge of chaos [A]. Artificial Life IV [C]. MIT, USA, 1994, 222-235

[4] Suzuki J and Kaneko K. Imitation games [J]. Physics D, 1994, 75: 328-342

[5] Kaneko K. Relevance of dynamic clustering to biological networks [J]. Physics D, 1994, 75: 55-73

[6] Kaneko K and Ikegami T. Homeochoas; dynamic stability of a symbiotic networks with population dynamics and evolving mutation rates [J]. Physics D, 1992, 56: 406-429

[7] 刘健勤 人工生命理论及其应用[M]. 北京:冶金工业出版社, 1997

本文作者简介

刘健勤 1964年生,分别于南开大学,西安交通大学,中南工业大学获理学学士、工学硕士、工学博士学位。曾在西安交通大学工作8年,日本RICOH信息与通信研究所作为客座研究员工作1年,现为中南工业大学信息工程学院副教授,出版学术专著1本,在国内外发表学术论文80余篇,研究方向为生物控制论,人工生命,粗糙集理论。

魏敏洁 1963年生,毕业于西安建筑科技大学自动化系,在西安理工大学自动控制理论及应用专业获硕士学位,现为中南工业大学信息工程学院讲师,发表论文10余篇,主要从事计算机过程控制研究。

常文森 1935年生,1961年毕业于军事工程学院,现为国防科技大学自动控制系教授,博士生导师,在国内外发表论文30余篇,获部级奖5项,研究方向为机器人控制,磁悬浮控制。

蔡自兴 1938年生,1962年西安交通大学工业电气化与自动化专业本科毕业,现为中南工业大学智能控制研究所所长,教授,博士生导师,联合国专家,出版著作,教材10余本,在国内外发表论文300余篇,目前研究方向为智能控制,人工智能,智能机器人和工业自动化等。