

# 多 Agent 系统中的协同进化研究

高 坚, 崔志燮

(烟台大学计算机学院, 烟台 264005)

**摘 要:** 协同进化作为多 Agent 系统研究的一个重要手段, 近几年得到了广泛的关注和快速发展, 渐渐成为进化研究的一个主流方向。该文系统介绍了协同进化的研究现状, 分析总结了协同进化的基本特点, 并指出了协同进化可能的发展方向。

**关键词:** 多 Agent 系统; 协同进化; 竞争协同进化; 合作协同进化

## Study of Co-evolutionary in Multi-agent Systems

GAO Jian, CUI Zhixie

(School of Computer Science and Technology, Yantai University, Yantai 264005)

**【Abstract】** Co-evolutionary is an important technique in study of multi-agent systems. Recent year, it is widely interested and quickly developed, and may be a major study of evolutionary. This paper introduces the study status of co-evolutionary, includes the basic characters of co-evolutionary, and presents what may be developing trend of study of co-evolutionary.

**【Key words】** Multi-agent systems; Co-evolutionary; Competitive co-evolutionary; Cooperate co-evolutionary

多 Agent 系统(Multi-agent systems, MAS)研究的目的是要解决复杂问题的理解和描述, 并在此基础上进行复杂问题的合作求解。这就需要多个 Agent 协调它们的行为, 以便一起工作达到一个共同的目的。然而, 由于 MAS 中每个 Agent 都具有自主性, 在求解过程中按照自己的意图、信念和利益进行活动, 常常会导致矛盾和冲突。因此, 如何有效地协调多个 Agent 的行为, 达到共同的目的就成为 MAS 研究中的一个关键问题。

进化计算是模拟生物进化过程中优胜劣汰规则和群体内部染色体信息随机交换的随机优化算法。协同进化在进化过程中既充分发挥每个个体的自主能动性, 又在进化中通过协作或对抗进行相互学习和自我完善, 从而达到整个群体协同进化的目的。协同进化的特点恰恰与 MAS 的特点相适应。因此, 人们将协同进化应用于 MAS 的研究中, 取得了很好的效果。

协同进化分为合作协同进化和竞争协同进化。合作协同进化要求一定数量的 Agent 个体一起工作来解决一个共同的问题。竞争协同进化要求有相对适应值度量而不是绝对适应值度量。依据求解问题的不同, 一个多 Agent 系统既能进行合作协同进化, 也能进行竞争协同进化, 甚至兼而有之。

### 1 竞争协同进化

竞争协同进化通过适应值函数定义, 如果该函数依赖于当前群体, 则它是竞争的。

#### 1.1 两个个体的情况

竞争协同进化的最简单情况是两个 Agent 的竞争: 一个冠军与一个挑战者。这里通常使用登山法且挑战者代表新的方向。如果挑战者比冠军好, 则挑战者成为冠军且一个新的挑战者被选取。

Samuel's 1959 年研究的国际象棋策略的自动学习就是一个早期的例子<sup>[1]</sup>。在他的工作中, 挑战者学习整个比赛过程。如果它的学习使它变成一个更好的棋手, 则它成为冠军。如

果挑战者是一个弱的棋手, 则通过学习可能发现了一个更强的挑战者。

Pollack 等<sup>[2]</sup>在 1996 年研究了军棋的策略问题。通过个体 Agent 之间的竞争, 他们成功进化了一个有能力的棋手。他们的工作也是针对两个个体: 一个冠军和一个挑战者。

#### 1.2 一个群体的情况

竞争协同进化很自然地应用于一个群体的进化系统中。所需要的就是一个概念——“较好”: 即何时一个个体比另一个好。

Juille 等<sup>[3]</sup>在研究纠缠螺旋线问题中用一个群体来协同进化。在群体中通过竞争适应值函数鼓励个体求变。即点仅给能正确回答问题的个体。他们假设如果一个个体在变化中发现问题域中的小生境, 则该个体得到提升, 且直到进化中出现同样覆盖此小生境的更成功的个体后才从群体中删除。

Angeline 等<sup>[4]</sup>还比较了通过竞争适应值进化所得到的解与通过“专家”学习所得到的解, 前者优于后者。其原因是专家学习系统不能提供足够的正反馈给进化者。换句话说, 当一个群体通过竞争适应值自身竞争时, 总是提供正反馈且进化出一个非常好的策略。

#### 1.3 多个群体的情况

Rosin 等<sup>[5]</sup>讨论了 3 个游戏: Tic Tao Toe, Nim, Go。其策略是用遗传进化算法通过两个群体竞争进化而来。一个称为宿主群体, 另一个称为寄生群体。研究发现, 在多群体竞争中需要两个新技术: 竞争适应值分配和分享抽样样本。

竞争适应值分配与 Juille 在纠缠螺旋线问题研究中的方法非常类似, 即个体的回报通过在群体中的竞争得来。一个宿主群体的个体适应值取决于它能吃掉多少寄生者和多少其

**基金项目:** 国家自然科学基金资助重大项目(60496323)

**作者简介:** 高 坚(1961—), 男, 硕士、副教授, 主研方向: 多 Agent 系统, 智能优化计算; 崔志燮, 工程师

**收稿日期:** 2005-11-17 E-mail: hnr-1@163.com

它宿主个体也能吃掉相同数目的寄生者。

分享抽样样本是指挑选寄生群体的代表性样本,以便减少不必要的竞争次数。分享抽样样本可能选择这样的寄生者作样本,它能挑战宿主的大量变种。

Thomas等<sup>[6]</sup>在研究竞争协同进化时,针对“盲鼠群”问题(一群猫追捕一群盲鼠的群体之间的竞争),提出了直接进化群体能更有效地提高群体的竞争力。

#### 1.4 竞争适应值算法

Angeline等<sup>[4]</sup>讨论了竞争适应值的算法。他们首先回顾了Axelrod's1989年研究的多重囚徒两难问题。该问题需要两组策略对抗。为评估每个策略的排位,Axelrod用每一个策略对抗另外的每一个策略,因此,n个策略就是 $n^2$ 次竞争。Angeline指出,当n增大或竞争变得更复杂时,每进化一代所需的竞争次数太多。

Hillis在1992年研究了16个整数阵列的排序。也是用一个竞争适应值函数,但与Axelrod的全部竞争相比,它需要两个群体,且函数每进化一代仅用 $n/2$ 次竞争。Angeline指出这个方法对某些问题可能是不适用的。

Angeline采用竞赛适应值,它是一个群体的二元竞争,每进化一代需要 $n-1$ 次竞争。其结果是策略的一个偏序且只需要一个群体。当一个群体采用竞赛适应值自身竞争时,总给进化者提供正反馈且总是进化出一个非常好的策略。

## 2 合作协同进化

合作协同进化由Potter等提出<sup>[7]</sup>。其框架是允许合作种类平行进化,结合起来产生一个完整的解。每一类相对于另一类独立遗传且自身进化。种类群体依次评估。个体与其它种类的代表相结合从而形成一个完整的解。

协同进化是指在一个共同的任务中为了不同的角色而进化不同的Agent。在竞争协同进化中,这种角色是相互敌对的,即一个Agent失败就是另一个Agent获胜。在合作协同进化中,所有的Agent分享成功的回报和失败的惩罚。能较好地应用合作协同进化的问题就是其解能自然地分解成子部分且每个部分相互交互和合作。即每部分能在自身群体内独立进化且每个群体贡献最好的个体给解。

Cao等<sup>[8]</sup>在研究合作机器人系统时,将合作的定义分解成3个部分:任务,合作机制和系统表现。系统的总体效用有增加就是合作协同进化。同时,合作也是通过效用的扩展来衡量的。Cao指出,无合作系统的效用有时甚至低于自然聚集行为的效用。

### 2.1 合作中的通信

在合作协同进化中,一般有两种合作模式。一种是集中模式,它采用集中控制,协调群体进化,因此自然地有明确的交互和通信任务。另一种是非集中模式,其中的合作是通过个体的进化改变环境或小生境来相互影响(或称为交互),这里没有明确的通信任务。

Cao等指出,非集中模式比集中模式有几个固有的优点,包括容错性、平行性的自然扩展和可靠性等。然而他们又称“没有发现直接支持这些结论的任何公开发表的实验,也不清楚非集中模式的这些特点是否能抵消集中模式中系统的协调特性。

### 2.2 没有通信的合作

某些研究者认为,合作中的通信不是必需的。Cao等参考了两个研究者的工作。这两个研究者的兴趣在于机器人甚至不知道另一些机器人的存在,就能达成合作,即没有通信

的合作。事实上,在他们的观点中,通过环境的通信完全不能算通信。

## 3 总结

在传统的进化算法中经常采用精英策略,即选择(保留)优秀个体的策略。因此,个体通常希望提高自己在进化中被选择(保留)的可能性,要提高自己被选择的可能性就要提高自身适应值,而提高自身适应值就是相对降低其它个体的适应值。研究发现,此时,很可能会出现“共谋”现象——即群体中的个体相互“勾结”,使对方的适应值不能再有明显的提高。这种现象限制搜索空间,导致收敛到局部最优解。为避免这个问题,人们提出了适应值分配,分享抽样样本和名誉堂等技术。这就是竞争协同进化和合作协同进化。

### 3.1 竞争协同进化的特点

(1)适应值:基于“主/寄”独立进化群体中选择的个体的直接竞争。

(2)导致“军备竞赛”:两个群体相互驱使对方提高表现水平和复杂性。

(3)3个技术:竞争适应值分享;分享样本;名誉堂(鼓励保留好个体)。

### 3.2 合作协同进化的特点

(1)多种类群体协同进化。

(2)对问题进行有机分解(子问题)。

(3)联合评估。

(4)进行交互、共享适应值和信度分配。

(5)进化压力提供一种激励。

(6)允许求解更复杂的问题。

### 3.3 合作协同进化的模式

(1)集中控制模式:

1)静态目标搜索:群对个体(单目标搜索,有通信)。

2)动态整体性多目标搜索:群对群(有通信)。

(2)自治协同模式:

1)动态单目标搜索(无通信)。

2)动态非整体性多目标搜索(无通信,目标不相互协调)。

3)动态单目标搜索(有通信,效率较低)。

## 4 进一步工作

多Agent系统的主要研究任务之一是合作求解问题。因此,合作协同进化在多Agent系统的研究中可能有更好的发展空间。在合作协同进化中有待进一步研究的问题有:合作的定义和度量,即问题如何分解,子问题间如何相互依赖进化,信度如何分配,多样性如何保持等。另一方面,由于Agent的智能性,“无通信”的合作协同进化也是一个很好的研究方向。此外,文献[6]提出的直接进化群体也应引起注意。

## 参考文献

- 1 Samuel A L. Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers[J]. IBM Journal of Research and Development, 2000, 44(1/2): 206-226.
- 2 Pollack J, Blair A, Land M. Cooperative of a Backgammon Player[C]. Proceedings of the Fifth Artificial Life Conference, Nara, Japan. MIT Press, 1996.
- 3 Juille H, Pollack J B. Co-evolving Intertwined Spirals[C]. Proceedings of the Fifth Annual Conference on Evolutionary Programming, MIT Press, 1996: 461-467.

(下转第192页)