

文章编号:1007-2829(2006)01-0042-04

蚁群算法及其应用

宋雪梅¹, 李兵²

(1. 河北理工大学 计控学院, 河北 唐山 063009; 2. 唐山学院, 河北 唐山 063009)

关键词: 蚁群算法; 旅行商问题; 组合优化**摘要:** 蚁群算法是近几年来迅速发展起来的、并得到广泛应用的一种新型模拟进化优化算法。研究表明该算法具有并行性、鲁棒性等优良性质。对蚁群算法理论及其进展情况做了简要的综述,介绍了该算法在理论和实际问题中的应用,并对其前景进行了展望。**中图分类号:** TP 301.6 **文献标识码:** A

0 引言

随着科学技术和现代化生产的迅猛发展,优化问题在各行各业中的地位越来越重要,而实际优化问题也更加复杂,因此,迫切需要新的优化理论和方法。

众多优化问题类型中的组合优化问题很早就引起了人们的兴趣,但是由于许多组合优化问题都是 NP-难题,对于这类问题,至今尚无很好的解决办法。近年来,随着计算技术的发展,一些新的智能算法(如遗传算法、进化策略、模拟退火、禁忌搜索(tabu search)算法等)得到了迅速发展和广泛应用。特别是模拟进化算法(GA, GP, ES),无论理论研究还是应用研究都空前活跃,它们为解决许多复杂优化问题提供了崭新的途径。同时一些新的模拟进化算法也逐渐发展起来,蚁群算法(ant colony algorithm, ACA)就是一种新型的模拟进化算法。本文对 ACA 及其应用研究进展加以综述,旨在进一步推动这一领域的理论与应用研究。

1 蚁群算法

1.1 蚁群算法原理

ACA 是受自然界中真实蚁群的集体行为的启发而提出的一种基于群体的模拟进化算法。1991年, M. Dorigo 等人充分利用了蚁群搜索食物的过程与旅行商问题(TSP)之间的相似性,通过模拟蚁群搜索食物的行为来求解 TSP 问题。

蚂蚁这类群居动物,虽然个体的行为极其简单,但由这些简单的个体所组成的蚁群却表现出极其复杂的行为特征,能够完成复杂的任务;不仅如此,蚂蚁还能够适应环境的变化,如在蚁群运动路线上突然出现障碍物时,蚂蚁能够很快地重新找到最优路径。人们经过大量研究发现,蚂蚁个体之间是通过一种称之为外激素(pheromone)的物质进行信息传递,从而能相互协作,完成复杂的任务。蚁群之所以表现出复杂有序的行为,个体之间的信息交流与相互协作起着重要的作用。蚂蚁在运动过程中,能够在它所经过的路径上留下该种物质,而且能够感知这种物质的存在及其强度,并以此指导自己的运动方向。蚂蚁倾向于朝着该物质强度高的方向移动。因此,由大量蚂蚁组成的蚁群的集体行为便表现出一种信息正反馈现象:某一路径上走过的蚂蚁越多,则后来者选择该路径的概率就越大。蚂蚁个体之间就是通过这种信息的交流达到搜索食物的目的。

1.2 蚁群算法基本模型

我们以求解平面上 n 个城市的 TSP 问题($1, 2, \dots, n$ 表示城市序号)为例说明 ACA 的模型。 n 个城市的 TSP 问题就是寻找通过 n 个城市各一次且最后回到出发点的最短路径。

为模拟实际蚂蚁的行为,首先引入如下记号:设 m 是蚁群中蚂蚁的数量。 $d_{ij}(i, j=1, 2, \dots, n)$ 表示城市 i

收稿日期:2005-08-29

基金项目:唐山市重点实验室项目(04360802D-2)唐山学院博士创新项目(05001C)

作者简介:宋雪梅(1979-),女,河北涿州人,河北理工大学计控学院硕士生。

和 j 之间的距离, $\tau_{ij}(t)$ 表示在 t 时刻城市 i 和 j 之间的路径上残留的信息量。来模拟实际蚂蚁的信息素浓度。

在初始化的时候, m 个蚂蚁被放置在不同的城市上, 赋予每条边上的信息量为 $\tau_{ij}(0)$ 。每个蚂蚁 k 的 tabu_k 的第一个元素赋值为它所在的城市。

用 $p_{ij}^k(t)$ 表示在 t 时刻蚂蚁 k 由城市 i 转移到城市 j 的概率, 则

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{r \in \text{allowed}_k} \tau_{ir}^\alpha(t) \eta_{ir}^\beta(t)}, & j \in \text{allowed}_k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

其中 allowed_k 表示蚂蚁 k 下一步允许走过的城市的集合, 它随蚂蚁 k 的行进过程而动态改变; 信息量 $\tau_{ij}(t)$ 随时间的推移会逐步衰减, 用 $1-\rho$ 表示它的衰减程度; α, β 分别表示蚂蚁在运动过程中所积累的信息量及启发式因子在蚂蚁选择路径中所起的不同作用; $\eta_{ij}(t)$ 为由城市 i 转移到城市 j 的期望程度, 可根据某种启发算法而定。

经过 n 个时刻, 蚂蚁 k 走完所有的城市, 完成一次循环。此时, 要根据下式对各路径上的信息量作更新:

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \quad (2)$$

其中:

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (3)$$

$\Delta\tau_{ij}^k$ 表示蚂蚁 k 在本次循环中在城市 i 和城市 j 之间留下的信息量, 其计算方法根据计算模型而定, 在最常用的 ant cycle system 模型中:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L_k, & \text{若蚂蚁 } k \text{ 在本次循环中经过城市 } i \text{ 和城市 } j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

其中 Q 为常数, L_k 为蚂蚁 k 在本次循环中所走路程的长度。

1.3 蚁群算法流程

步骤 1 $nc=0$ (nc 为迭代步数或搜索次数); 每条边上的 $\tau_{ij}(0)=c$ (常数), 并且 $\Delta\tau_{ij}=0$; 放置 m 个蚂蚁到 n 个城市上。

步骤 2 将各蚂蚁的初始出发点置于当前解集 $\text{tabu}_k(s)$ 中; 对每个蚂蚁 $k(k=1, \dots, m)$, 按概率 p_{ij}^k 移至下一城市 j ; 将城市 j 置于 $\text{tabu}_k(s)$ 中。

步骤 3 经过 n 个时刻, 蚂蚁 k 可走完所有的城市, 完成一次循环。计算每个蚂蚁走过的总路径长度 L_k , 更新找到的最短路径。

步骤 4 更新每条边上的信息量 $\tau_{ij}(t+n)$

步骤 5 对每一条边置 $\Delta\tau_{ij}=0$; $nc=nc+1$ 。

步骤 6 若 $nc <$ 预定的迭代次数 $NCMAX$, 则转步骤 2; 否则, 打印出最短路径, 终止整个程序。

2 蚁群算法研究现状

ACA 是模拟自然界中真实蚁群的觅食行为而形成的一种模拟进化算法, 是 20 世纪 90 年代意大利的 M. Dorigo 等学者提出的。受到其取得了较好的实验结果的影响, ACA 激起了其他学者的研究热情, 并取得了许多研究和应用成果。10 年多来的研究结果已经表明: ACA 用于组合优化具有很强的发现较好解的能力, 具有分布式计算、易于与其他方法相结合、鲁棒性强等优点, 在动态环境下也表现出高度的灵活性和健壮性。在求解 TSP、QAP 问题方面, 与遗传算法、模拟退火算法等算法比较, ACA 仍是最好的解决方法之一。

然而, ACA 存在搜索时间过长; 易于停滞的问题。为了克服这些缺点, 不少学者提出了改进算法。下面简要介绍一下对 ACA 的几个改进之处。

文献^[1]提出了最大、最小蚁群系统 MMAS(max-min ant system)。其基本思想是(1)每次循环结束后, 只有最优解所属路径上的信息量被更新, 以此来加快收敛速度;(2)为了避免搜索时出现停滞现象, 各路径上的信息量被限制在范围 $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ 内;(3)初始时刻, 各路径上的信息量取最大值。所有蚂蚁完成一次循

环后,按公式(5)对路径上的信息量作全局更新:

$$\begin{aligned}\tau_{ij}(t+1) &= (1-\rho) \times \Delta\tau_{ij}(t) + \tau_{ij}^{best}(t), \rho \in (0,1) \\ \Delta\tau_{ij}^{best} &= 1/L^{best}\end{aligned}\quad (5)$$

允许更新的路径可以是全局最优解,或本次循环的最优解。实践证明逐渐增加全局最优解的使用频率,会使该算法获得较好的性能。

文献^[2]提出了一种基于排序的蚂蚁系统(ASrank):在完成一次循环后,将蚂蚁所经路径按从小到大的顺序排列,即 $L_1(t) \leq L_2(t) \leq \dots \leq L_m(t)$,并根据路径长度赋予不同的权重,路径较短的权重较大。全局最优解的权重为 ω ,第 r 个最优解的权重为 $\max\{0, \omega - r\}$,按公式(6)更新各路径上的信息量:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho) \times \tau_{ij}(t) + \sum_{r=1}^{\omega-1} (\omega-r) \times \Delta\tau_{ij}^r(t) + \omega \times \Delta\tau_{ij}^{\omega}(t), \rho \in (0,1) \quad (6)$$

其中, $\Delta\tau_{ij}^r = 1/L^r(t)$, $\Delta\tau_{ij}^{\omega} = 1/L^{\omega}(t)$ 。

文献^[3]则提出了一种新的信息素更新策略:其一,局部信息素修改时,挥发系数动态改变;其二,全局信息素更新时,则将蚂蚁所走路的较短的那些路径上的信息素加强,而较差的那些路径上的信息素减弱。

文献^[4]主要提出了一种相遇算法,其基本思想是在求解 TSP 问题中,用两只蚂蚁共同完成对一条路径的搜索,以使搜索速度提高。

文献^[5]提出了一种变异策略,其核心思想是为了克服蚁群算法收敛较慢的问题,采用逆转变异方式,随机地进行变异,以增大进化时所需的信息量。这种变异机制充分利用了 2-交换法简洁高效的特点,因而具有较快的收敛速度。

还有不少其他文献作了改进,例如,引入交叉算子以提高搜索多样性,引入分支因子 r 作为衡量群体多样性的指标,当 r 低于某一值时,对各路径上的信息素作动态调整,以期望克服停滞现象等等。

3 蚁群算法的应用

对蚁群算法的应用研究是 ACA 的很大一部分。目前,蚁群算法已成功地在通讯、交通及人工智能等领域中应用,最突出的是求解 NP-难的组合优化问题。主要应用领域包括:

(1) 二次分配问题(QAP):二次分配问题是指分配 n 个设备给 n 个地点,从而使得分配的代价最小,其中代价是设备被分配到位置上方式的函数。QAP 是继 TSP 之后蚁群算法应用的第一个问题,实际上, QAP 是一般化的 TSP。

(2) 车间任务调度问题(JSP)。JSP 问题指已知一组 m 台机器和一组 t 个任务,任务由一组指定的将在这些机器上执行的操作序列组成。车间任务调度问题就是给机器分配操作和时间间隔,从而使所有操作完成的时间最短,并且规定两个工作不能在同一时间在同一台机器上进行。

(3) 车辆路线问题(VRP);VRP 问题来源于交通运输。已知 m 辆车,每辆车的容量为 d ,目的是找出最佳行车路线在满足某些约束条件下使得运输成本最小。

(4) 机构同构判定问题:在机械设计领域普遍存在的机构同构判定问题,将该类问题转化为求解其邻接矩阵的特征编码值的问题,利用蚁群算法对 NP 完全问题所具有的抵御组合爆炸的能力进行求解,在参数选择合适的情况下,取得了令人满意的结果^[7]。

(5) 学习模糊规则问题:从组成系统模糊语言规则的数据中自动地学习问题。J. Casillas 等人研究利用蚁群算法学习模糊规则^[8]。

4 展望

从 M. Dorigo 第一次提出蚂蚁算法到现在只有十年多的时间,许多文献已经证明该算法是一个非常有效的解决组合优化问题的工具。目前该算法还有许多值得研究的地方,主要是:(1) 进一步提高算法的收敛速度。算法的收敛速度一直是人们关心的问题,虽然 ACA 经过改进后,收敛速度有了很大的提高,但对于解决大规模组合优化问题,还不是很理想(当然,这一点也是其它启发式算法中也存在的);(2) 对算法的收敛性进行理论研究;(3) 利用 ACA 的思想来解决更广泛的复杂问题,其关键是怎样将问题转化为网络图的形式;(4) 系统的分析方法和数学基础,参数选取标准等。

参考文献:

- [1] 吴斌,史忠植.一种基于蚁群算法的 TSP 问题分段求解算法[J]. 计算机学报,2001,24(12):1328-1333
- [2] 吴庆洪,张纪会等.具有变异特征的蚁群算法[J]. 计算机研究与发展,1999,36(1):240-245
- [3] Stutzle T, Hoos HH. MAX-MIN ant system and local search for the traveling salesman problem. In: IEEE Int'l Conf on Evolutionary Computation. Indianapolis: IEEE Press; 1997: 309~314
- [4] Lee SG, Jung TU, Chung TC. An effective dynamic weighted rule for ant colony system optimization. In: Proc. of the 2001 Congress on Evolutionary Computation Vol2. IEEE Press, 2001
- [5] Tsai CF, Tsai CW. A new approach for solving large traveling salesman problem using evolution ant rules. In: Neural Networks, IJCNN 2002, Proc. of the 2002 Int'l Joint Conf on, Vol 2. Honolulu: IEEE Press, 2002: 1540-1545
- [6] 周勇,陈洪亮.蚁群算法的研究现状及其展望[J]. 微型电脑应用,2002(2):23
- [7] 何清华,肖人彬,师汉民. 蚁群算法在机构同构判定中的实现[J]. 模式识别与人工智能,2000,14(4):406-412
- [8] CASILLAS J, etc. Learning Cooperative fuzzy rules using ant Colony optimization algorithms [R]. Technical Report-00119, Spain: Department of Computer Science and Artificial Intelligence, University of Granada, 2000

Research on Ant Colony Algorithm and its ApplicationSONG Xue-mei¹, LI Bing²

(1. Computer and Automatic Control School, Hebei Polytechnic University, Tangshan Hebei 063009, China; 2. Tangshan College, Tangshan Hebei 063009, China)

Key words: Ant colony algorithm; TSP; combinatorial optimization

Abstract: Ant colony algorithm is a new type of imitating evolution optimization algorithm that has rapidly developed and widely used these years. The researches show that it is collateral and robust. It is summarized that theory and evolvement of ant colony algorithm and its application on the theoretic and practical problems in this paper. Aand paper views on the prospects of ant colony algorithms is made at the is same thme.

(上接第 37 页)

5 结束语

TMS320C203 作为高速信号处理器(DSP)具有快速运算与处理数据的能力,结合 JPEG 压缩编码算标准,完全可满足视频图象处理的实时性要求。若根据视频图象传输具体性能要求,使用功能更强的 DSP 芯片,例 TMS320C201,可进一步提高图象传输速率及传输质量。

参考文献:

- [1] 朱铭皓. DPS 应用系统设计[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [2] 张卫宁. TMS320C2000 系列 DSP 原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
- [3] 彭启琮. DPS 技术[M]. 北京:电子科大出版社,2000.

The Telephone Cable Video Image Transmission System Based on DSP

MA Ling

(Changchun Hebei University of Science and Technology, Changchun Jilin 130002, China)

Key words: digital signal processor; modem; image compress

Abstract: Digital Signal Processor (DSP) has a distinct function in processing the digital signal fast. It has been widely applied to the fields of communication, aerospace, network and household appliance, etc. Today, DSP has become one of the industrial technologies and markets that has the largest developing potential. The article introduces the video image transmission system. realized by the telephone cable, which is based on the center of TMS320C2000.