

蚁群算法概述

温文波 杜 维
(浙江大学 控制科学和工程系 浙江 杭州 310027)

摘要 介绍了一种用于解决复杂优化问题的新的启发式算法——蚁群算法。其特点在于:个体功能相对较弱,联系方法间接,而且没有监视机构。该算法用于解决组合优化问题,如 TSP、QAP、JSP 等效果很好。
关键词 蚁群算法 组合优化 复杂优化
中图分类号 O231 **文献标识码** A **文章编号** 1007-7324(2002)01-0019-04

An Abstract on the Ant Colony Algorithms

WEN Wen-bo ,DU Wei

(Zhejiang Uni. Depart. of Control Science and Engineering ,Hangzhou 310027 ,China)

Abstract A new heuristic solution to combinatorial optimization problem-ant colony algorithms is introduced. Its characteristic are without a supervisor ,all agents with relatively simple functions and indirect communications work in a co-operative manner. The algorithms worked well in combinatorial optimization problems such as TSP ,QAP ,JSP etc. .
Keywords ant colony algorithms ;combinatorial optimization ;complex optimization

1 蚁群算法的产生

蚂蚁是自然界中常见的一种生物,人们对蚂蚁的关注大都是因为“蚂蚁搬家,天要下雨”之类的民谚。然而随着近代仿生学的发展,这种似乎微不足道的小东西越来越多地受到学者们的关注。1991年 M. Dorigo 等人首先提出了蚁群算法(Ant Colony Algorithms),人们开始了对蚁群的研究(相对弱小,功能并不强大的个体是如何完成复杂的工作的(如寻找到食物的最佳路径并返回等)。在此基础上一种很好的优化算法逐渐发展起来。

2 蚁群算法

2.1 蚁群算法原理

蚁群算法是一种由于受自然界生物的行为启发而产生的“自然”算法。它是从对蚁群行为的研究中产生的。正如 M. Dorigo 等人在关于蚁群算法的第 1 篇文章中指出的“蚁群中的蚂蚁以“外激素”(Stigmergy)为媒介的间接的异步的联系方式是蚁群算法的最大的特点^[1,2]。蚂蚁在行动(寻找食物或者寻找回巢的路径)中,会在它们经过的地方留下一些化学物质(我们称之为“外激素”)。这些物质能被同一蚁群中后来的蚂蚁感受到,并作为一种信号影响后到者的行动(具体表现在后到的蚂蚁选择有这些物质的路径的可能性,比选择没有这些物质的路径的可能性大得多),而后到者留下的外激素会对原有的外激素进行加强,并如此循环下去。

这样,经过蚂蚁越多的路径,在后到蚂蚁的选择中被选中的可能性就越大(因为残留的外激素浓度较大的缘故)。由于在一定的时间内,越短的路径会被越多的蚂蚁访问,因而积累的外激素也就越多,在下一个时间内被其他的蚂蚁选中的可能性也就越大。这个过程会一直持续到所有的蚂蚁都走最短的那一条路径为止。如图 1 所示^[1,4,9,10]。

图 1 中有一条蚂蚁经过的路径,我们假设 a 点是食物,而 e 点是蚂蚁的巢穴(如图 1a)所示。在某一个时刻忽然有一个障碍物出现在蚂蚁经过的路径中,原有的路径被切断,从 a 点到 e 点的蚂蚁就必须在 b 点决定应该往左还是往右走。而从 e 点到 a 点的蚂蚁也必须在 d 点决定选择哪条路径。这种决定会受到各条路径上以往蚂蚁留下的外激素浓度(即残留信息浓度)的影响。如果向右的路径上的外激素浓度比较大,那么向右的路径被蚂蚁选中的可能性也就比较大一些。但是对障碍出现

收稿日期 2001-05-17;修改稿收到日期 2001-09-21
作者简介 温文波(1977-),男,福建龙岩人,1999 年毕业于浙江大学工业自动化专业,获学士学位,现为浙江大学控制科学与工程系硕士研究生,主要研究方向为模糊控制、人工智能;
杜 维(1938-),男,安徽合肥人,1962 年毕业于浙江大学自控专业,现为浙江大学控制科学与工程系教授、博导,主要研究领域为模糊控制、智能信息处理、预测控制及 DCS。

后第一个到达 b 点或 d 点的蚂蚁而言,因为没有外激素的影响,所以它们选择向左或者向右的可能性是一样的,如图 1b)所示。

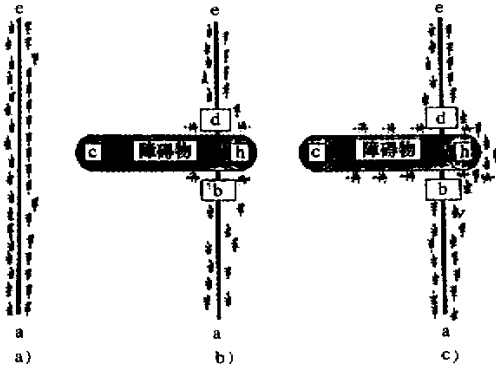


图 1 蚂蚁的路径示意图

若以从 a 点到 e 点的蚂蚁为例进行说明,对于从 e 点到 a 点的蚂蚁而言过程基本是一样的。由于路径 bhd 比路径 bcd 要短,因此选择 bhd 路径的第一只蚂蚁要比选择 bcd 的第一只蚂蚁早到达 d 点。此时,从 d 点向 b 点看,指向路径 dhb 的外激素浓度要比指向路径 dc b 的外激素浓度大。因此从下一时刻开始,从 e 点经 d 点达到 a 点的蚂蚁选择 dhb 路径比选择 dc b 路径的可能性要大得多。从而使路径 bhd(或 dhb)上外激素浓度与路径 bcd(或 dc b)上外激素浓度的差变大。而外激素浓度差变大的结果是选择路径 bhd(或 dhb)路径的蚂蚁进一步增加,这又导致外激素浓度差进一步加大。

在自然界中,蚁群的这种寻找路径的过程表现为一种正反馈的过程^[9~11],与人工蚁群的寻优算法极为一致。如我们把只具备了简单功能的工作单元视为“蚂蚁”,那么上述寻找路径的过程可以用于解释人工蚁群的寻优过程。

由以上分析可知,人工蚁群和自然界蚁群的相似之处在于,两者优先选择的都是含“外激素”浓度较大的路径。这在两种情况下,较短的路径上都能聚集比较多的外激素,两者的工作单元(蚂蚁)都是通过在其所经过的路径上留下一定信息的方法进行间接的信息传递。

而人工蚁群和自然界蚁群的区别在于,人工蚁群具有一定的记忆能力。它能够记忆已经访问过的节点;另外,人工蚁群在选择下一条路径的时候并不是完全盲目的,而是按一定的算法规律有意识地寻找最短路径(如在 TSP 问题中,可以预先知道下一个目标的距离)。

2.2 蚁群算法的实现

现在用 TSP 问题的分析,来说明基本蚁群算法 AS(Ant System)是如何实现的^[10]。假设将 m 只蚂蚁放入到 n 个随机选择的城市中,那么每一只蚂蚁每一步的行动是,根据一定的依据选择下一个它还没有访问的城市;同时,在完成一步(从一个城市到达另外一个城市)或者一个循环(完成对所有 n 个城市的访问)后,更新所有路径上的残留信息浓度。选择下一个城市的依据主要是两点: $\tau_{ij}(t)$ —— t 时刻连接城市 i 和 j 的路径上残留信息的浓度,即由算法本身提供的信息; η_{ij} ——由城市 i 转移到城市 j 的启发信息,该启发信息是由要解决的问题给出的,由一定的算法实现。在 TSP 问题中一般取 $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ (d_{ij} 表示城市 i, j 间的距离, η_{ij} 在这里可以称为先验知识)。那么, t 时刻位于城市 i 的蚂蚁 k 选择城市 j 为目标城市的概率是:

假如 $j \in N_i^k$ (1)

则 $P_{ij}^k(t) = \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \eta_{ij}^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} \tau_{il}^\alpha(t) \eta_{il}^\beta} = 0$ (2)

也即“蚂蚁”选中某一个城市的可能性是题目本身所提供的启发信息与从“蚂蚁”目前所在城市到目标城市路径上残留信息量的函数。

式中 α ——残留信息的相对重要程度;

β ——期望值的相对重要程度;

N_i^k ——所有可能的目标城市,即还没有访问的城市。为了避免对同一个城市的多次访问,每一只蚂蚁都保存一个列表 $\text{tabu}(k)$,用于记录到目前为止已经访问的城市;

$P_{ij}^k(t)$ —— t 时刻蚂蚁由 i 城到 j 城的概率。

为了避免残留信息过多引起的残留信息淹没启发信息的问题,在每一只蚂蚁完成对所有 n 个城市的访问后(也即一个循环结束后),必须对残留信息进行更新处理,模仿人类记忆的特点,对旧的信息进行削弱。同时,必须将最新的蚂蚁访问路径的信息加入 τ_{ij} 。这样得到

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

式中 ρ ——残留信息的保留部分;

$1 - \rho$ ——残留信息被削弱的部分,为了防止信息的无限累积, ρ 必须小于 1;

$\Delta \tau_{ij}^k$ ——蚂蚁 k 在时间段 t 到 $(t+n)$ 内的访问过程中,在 i 到 j 的路径上留下的残留信息浓度。

在文献 [10] 中, M. Dorigo 还介绍了 $\Delta \tau_{ij}^k$ 的 3 种

不同的实现方法,分别称为 ant-cycle, ant-density, ant-quantity 算法。对于前一种算法:

$$\Delta\tau_{ij}^k = Q/L_k \tag{4}$$

如果蚂蚁 k 在 t 到 $(t+n)$ 时间中选择了路径 (i,j) , Q 为常量, L_k 表示蚂蚁 k 在本次循环中所选择路径的总长度。如果没有选择该路径,则

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = 0 \tag{5}$$

而后两种算法与前一种算法的区别在于,后两种算法中每走一步(即从时间 t 到 $(t+1)$)都要更新残留信息的浓度,而非等到所有蚂蚁完成对所有 n 个城市的访问以后;同时式(4)的取法也有所不同。在 ant-density 算法中, $\Delta\tau_{ij}^k = Q$;而在 ant-quantity 算法中, $\Delta\tau_{ij}^k = Q/d_{ij}$ (d_{ij} 表示 i 和 j 的距离),即在 ant-density 算法中,从城市 i 到 j 的蚂蚁在路径上残留的信息浓度为一个与路径无关的常量 Q 。而在 ant-quantity 算法中,以 d_{ij} 为城市 i 到城市 j 的距离,残留信息浓度为 Q/d_{ij} ,即残留信息浓度会因为城市距离的减小而增大。文献[10]中给出了上述 3 种方法的比较,结果是 ant-cycle 算法的效果最好,这是因为它用的是全局信息—— Q/L_k ;而其余两种算法用的是局部信息—— Q/d_{ij} 和 Q 。这种更新方法很好地保证了残留信息不至于无限累积,如果路径没有被选中,那么上面的残留信息会随时间的推移而逐渐减弱,这使算法能“忘记”不好的路径,即使路径经常被访问也不至于因为 τ_{ij} 的累积,而产生 $\tau_{ij} \gg \eta_{ij}$ 使期望值的作用无法体现。

在以上算法中 Q, α, β, ρ 的最佳组合可以由实验确定。

Ant-cycle 算法的实现方法如图 2 所示。

2.3 蚁群算法的发展

自从 1991 年 M.Dorigo 等人首先提出蚁群算法以来,吸引了许多研究人员对该算法进行研究,并成功地运用于解决组合优化问题,如:TSP(Traveling Salesman Problem)^[1,4,8~10],QAP(Quadratic Assignment Problem)^[7,10],JSK(Job-shop Scheduling Problem)等。蚁群算法可以用于解决许多组合优化问题,只要能做到用一个图表来阐述将要解决的问题,能定义一种正反馈过程(如 TSP 问题中的残留信息),问题结构本身能提供解题用的启发式信息(如 TSP 问题中城市间的距离),约束机制的建立(如 TSP 问题中已访问城市的列表)。几年前,ACO(Ant Colony Optimization)作为一种包含自从 1991 年 M.Dorigo 等人提出蚁群算法以来,许多相关算法的框架被提出来。1998 年,ACO 的第一届学术会议 ANTS '98 召开,更引起了研究者的广泛关注。

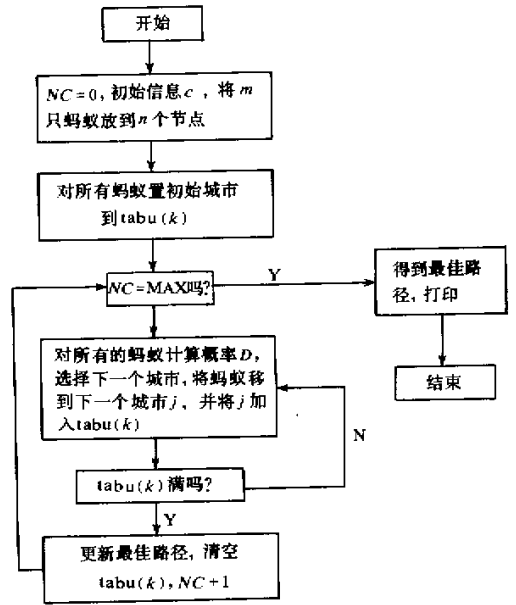


图 2 Ant-cycle 算法框图

AS(Ant System)是最早的随着蚁群这个概念提出来的算法,它首先被成功地运用于 TSP 问题。虽然与已经发展完备的一些算法(如 GA 等)比较起来,基本蚁群算法计算量比较大,而且效果也并不一定更好,但是它的成功运用还是激起了人们对蚁群算法的极大兴趣,并吸引了一批研究人员从事蚁群算法的研究。AS 的优点在于:正反馈,从而能迅速找到好的解决方法;分布式计算可以避免过早地收敛,强启发能在早期的寻优中迅速找到合适的解决方案。AS 算法被成功地运用于许多能被表达为在图表上寻找最佳路径的问题^[9,10,12]。

ACS(Ant Colony System)与 AS 的区别主要在于:ACS 算法中,蚂蚁在寻找最佳路径的过程中只能使用局部信息,即采用局部信息对外激素浓度进行调整;在所有进行寻优的蚂蚁结束路径寻找后,外激素的浓度会再一次调整,这次采用的是全局信息,而且只对过程中发现的最好路径上的外激素浓度进行加强;有一个状态传递机制,用于指导蚂蚁最初的寻优过程,并能积累问题目前状态^[12]。

MMAS(MAX-MIN Ant System)是到目前为止解决 TSP, QAP 等问题最好的 ACO 类算法。和其他寻优算法比较起来,它仍然属于最好的解决方案之一。其特点在于:只对最佳路径增加外激素的浓度,从而更好地利用了历史信息(这与 ACS 算法的调整方案有点类似);为了避免算法过早收敛于并非全局最优的解,将各条路径可能的外激素浓度限制在 $[\tau_{min}, \tau_{max}]$,超出这个范围的值被强制设为

τ_{min} 或者是 τ_{max} ,可以有效地避免某条路径上的信息量远大于其余路径 ,使得所有的蚂蚁都集中到同一条路径上 ,从而使算法不再扩散 ;将各条路径上外激素的起始浓度设为 τ_{max} ,这样便可以更加充分地进行寻优^[4]。

1998 年 Gutjahr 首先在他的论文中证明了 ACO 类算法的收敛性^[6]。因篇幅所限 ,不再赘述。

3 结束语

蚁群算法 AA(Ant Algorithm)来源于对自然界蚂蚁寻找从蚁巢到食物的最短路径并找到回巢路径方法的研究。它是一种并行算法 ,所有“ 蚂蚁 ”(工作单元)独立行动 ,没有监督机构 ;它是一种合作算法 ,每一只“ 蚂蚁 ”选择路径时 ,有残留信息的路径被选中的可能性要比没有残留信息的路径大得多 ;它是一种鲁棒算法 ,因为只要对算法作小小的修改 ,就可以运用于别的组合优化问题。算法的历史还不到 10 年 ,它的发展远没有形成完整的理论体系 ,许多理论问题和实际运用问题还有待于逐步解决。但是可以预料 ,随着研究的深入 ,蚁群算法将给我们展示一个分布式和网络系统的优秀寻优算法。

参考文献 :

[1] Colomi A. Distributed optimization by ant colonies[R]. Proc. of 1st

European Conf. Artificial Life.

[2] Dorigo M ,Gianni Di Caro ,Thomas Stutzle. Ant algorithms[J]. Future Generation Computer System 2000 ,16 5-7 .
[3] Dorigo M ,Luca ,Maria Gambardella. Ant colony for the traveling salesman problem[R]. TR ,IRIDIA ,1996 .
[4] Dorigo M ,Vittorio Maniezzo ,Alberto Colomi. The Ant System :optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on systems ,Man and Cybernetics-Part B ,1996 ,26(1) :1-13 .
[5] Thomas Stützle ,Holger H Hoos. MAX-MIN Ant System[J]. Future Generation Computer System 2000 ,16 889-914 .
[6] Dorigo M. Heuristic from nature for hard combinatorial optimization problems[J]. International Transactions in operational research. ,3 (1) :1-21 .
[7] Gambardella L M ,Taillard E D ,Dorigo M. Ant colonies for the quadratic assignment problem[J]. Journal of the Operational Research Society 1999 ,50(2) :167-176 .
[8] Gambardella ,Luca Maria ,Dorigo M. Solving symmetric and asymmetric TSPs by ant colonies[R]. Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation 1996 ,137-142 .
[9] Dorigo M ,Luca Maria Gambardella. Ant Colony System :A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem[R]. TR ,IRIDIA ,1996 .
[10] Walter J ,Gutjahr. A Graph-based Ant System and its convergence [J]. Future Generation Computer System 2000 ,16 837-888 .
[11] Chang C S ,Tian L ,Wen F S. A new approach to fault section estimation in power system using ant system[J]. Electric Power System Research ,1999 ,49 63-70 .
[12] Monarché N ,Venturini G ,Slimane M. On how pachycondyla apicalis ants suggests a new algorithm[J]. Future Generation Computer System 2000 ,16 937-946 .

上海海宁 测氧专家

上海海宁仪表公司

上海海宁仪表公司研制生产的 JGY-系列氧化锆分析仪 ,是一种使用可靠的智能型自动化仪表 ,技术指标达到国际水平。

●JGY-系列氧化锆分析仪

寿命一年以上 空气单点校正
用户二百余家 遍布全国各地

◆JZC-系列智能巡测仪

16~64 点自由输入
抗干扰、抗雷击
带打印、通讯功能

▷XXS-八点闪光报警器

▷XB-3201 单点信号报警器
质量可靠 堪称一流

地址 上海市小木桥路 223 弄 1 号楼 202 室
邮编 200032
电话 021-64034768 64179772 64030805
传真 021-64034768

总经理 钱顺豪
手 机 013601689440
网 址 <http://WWW.shhn.com.cn>
E-mail shhnco@online.sh.cn