

基于改进蚁群算法求解最短路径和 TSP 问题

宋世杰, 刘高峰, 周忠友, 卢小亮

(内江师范学院 数学与信息科学学院, 四川 内江 641112)

摘 要: 为了能高效地求解最短路径和 TSP 问题, 利用速度恒定的蚂蚁群, 行走最短路径的蚂蚁首先达到终点这个基本原理, 提出了一种改进的蚁群算法。因为只要有一个蚂蚁达到终点, 算法停止, 所以该算法避免了蚂蚁往返爬行所消耗的时间。针对一定规模的最短路径和 TSP 问题, 设置足够量的蚂蚁群, 通过该算法能较快地求出全局最优解或者能很好逼近最优解的近似解, 算法的时间复杂度是线性级的, 迭代次数较少, 而且该算法是并行处理的。通过实验仿真, 结果表明算法是可行有效的。

关键词: 蚁群算法; 最短路径; TSP 问题; 并行性

中图分类号: TP183

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)04-0144-04

An Improved Ant Colony Algorithm Solving the Shortest Path and TSP Problem

SONG Shi-jie, LIU Gao-feng, ZHOU Zhong-you, LU Xiao-liang

(School of Mathematics and Information, Neijiang Normal College, Neijiang 641112, China)

Abstract: In order to efficiently solve the shortest path and TSP problem, according to the constant speed of ant colony, the path on which the ant first reaches the destination is the shortest. An improved ant colony algorithm is proposed. If an ant has achieved the destination, the algorithm stopped, so the algorithm has avoided the time that ants out and home crawl. For the certain scale shortest path and TSP problem, the algorithm can obtain the global optimal solution or an approximate solution which is greatly close to the optimal solution, and its time complexity is linear. It has less iterations and this algorithm is parallel processing. Simulation result shows that this algorithm is feasible and effective.

Key words: ant colony algorithm; shortest path problem; TSP; parallelism

0 引言

随着社会的不断发展, 最短路径问题已广泛应用于交通运输、物流配送、网络分析、管道铺设、厂区选址与布局等与生产实践息息相关的问题。以交通运输为例, 搜索城市路网中两点间的最短路径就显得极其重要。但在实际运用中发现, 当城市路网结点过多时经典算法就会导致计算量急剧增加, 搜索开销相当大, 效率很低。

蚁群算法是由意大利学者 Dorigo 等人于 20 世纪 90 年代初期通过模拟自然界中蚂蚁集体寻径的行为而提出的一种基于种群的启发式随机搜索算法^[1-4], 蚁群算法具有并行性、鲁棒性、正反馈性等特点。蚁群算法最早成功应用于解决著名的旅行商问题(TSP),

以及二次分配问题(QAP)、车间任务调度问题(JSP)、图的着色问题、网络路由等许多复杂的组合优化问题^[5-8]。

目前, 蚁群算法在求解最短路径和 TSP 问题时容易陷入局部最优、迭代次数多、时间复杂度高^[9-12]。文中利用速度恒定的蚂蚁群, 行走最短路的蚂蚁首先达到终点这个基本原理, 在问题空间中同时构造问题的多个解, 很好地解决了蚁群算法在求解最短路径和 TSP 问题的局限性。

1 蚁群算法的基本原理

生态学家发现蚂蚁在寻找食物时总是可以找到食物源到巢穴之间的最短路径, 这是因为蚂蚁在搜寻食物源时, 能在其走过的路径上释放一种蚂蚁特有的信息素, 可以将信息传递给其它蚂蚁并影响其对路径的选择。当蚂蚁碰到一个还没有走过的路口时就随机地挑选一条路径前行, 并释放与路径有关的信息素, 通常

收稿日期: 2009-08-02; 修回日期: 2009-10-30

基金项目: 四川省教育科研计划项目(07ZB043)

作者简介: 宋世杰(1987-), 男, 四川成都人, 研究方向为线性规划;
刘高峰, 硕士, 讲师, 研究方向为启发式算法。

蚂蚁会以较大概率选择信息素浓度高的路径,并加强该路径的信息素浓度,当越来越多的蚂蚁选择信息素浓度高的路径,而其它路径上的信息素浓度却会随时间衰减,最终蚂蚁能找到一条从食物源到巢穴的最短路径^[1-4]。

下面以 M. Dorigo 所举的例子具体说明蚁群算法的原理。

如图 1 所示,设 A 为巢穴, E 是食物源,蚂蚁只能经 H 或 C 由 A 到 E,或由 E 到 A, B 到 H、D 到 H 的距离为 1, B 到 C 和 D 到 C 的距离为 0.5,为了说明信息素与路径之间的关系,作以下假设:

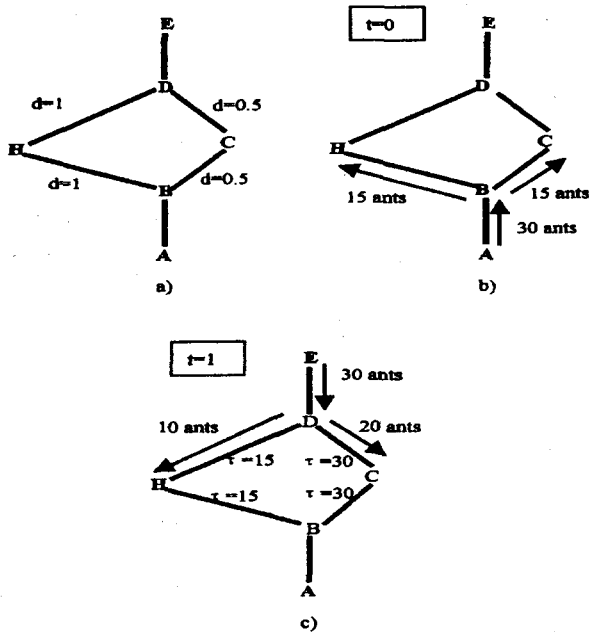


图 1 蚁群系统示意图

①所有蚂蚁运动的速度相等;

②信息素蒸发量与时间成正比,即路径上信息素的剩余量与路径的长度成反比;

③蚂蚁选路的概率与所选路上信息素的浓度成正比。

在 $t = 0$ 时刻有 30 只蚂蚁由 A 到达 B,此时路径 BH、BC 上没有信息素,所以蚂蚁将以等概率选择 BC、BH 路径,于是各有 15 只蚂蚁分别选择路径 BH 和 BC,因为路径 BHD 的长度是路径 BCD 的 2 倍,当 B 点的蚂蚁到达 D 点后,路径 BCD 上的信息素是 BHD 上的 2 倍。

在时刻 $t = 1$ 有 30 只蚂蚁从 E 到达 D,因为路径 DC 上的外激素量是 DH 上的 2 倍,根据蚂蚁选路特点,将会有 20 只蚂蚁选择 DC,而只有 10 只蚂蚁选择 DH。

以此类推,当 $t = 2, 3, 4 \dots$ 时,将会有更多的蚂蚁选择路径 BCD。经过较长时间运动后,蚁群最终会沿

着最优路径 ABCDE 运动^[1,5,9]。

2 最短路径问题的改进蚁群算法及实现

2.1 最短路径问题改进蚁群算法的基本思想

总体思想是利用速度恒定的蚂蚁群,同时从起点出发,每只蚂蚁选择下一步路径的概率是等可能的,一旦有蚂蚁达到终点时,此时算法就结束,因为速度恒定,行走最短路的蚂蚁才会首先到达终点,所以首先到达终点的蚂蚁所走路径为最优路径,路程为最短路径。

(1)利用蚁群算法的并行性,每只蚂蚁都同时行动,每过一个时刻都前行同样的路程。假设每只蚂蚁在路径点上等概率地选择要走的路,即不考虑信息量问题。当然,不可走的路径和已走过的路径不重复选,并要防止走进死胡同。

(2)以物理上速度一定时,路程与时间成正比,这一基本定理为基础,假设每只蚂蚁的前进速度相等且为常量,再引入离散单位时间量(算法中迭代一次表示一个单位时间)。第一个到达终点的蚂蚁所用的时间是最短的,那么该蚂蚁所走的路径即为我们要求的最短路。

(3)从起点开始,经过一个单位时间后,所有蚂蚁有两个状态:①没到达所选路径终点的蚂蚁,那么该蚂蚁在下一个单位时间继续在该路径上行进;②到达了路径终点的蚂蚁,该蚂蚁在下一个单位时间选下一个路径。

(4)只要保证至少有一只蚂蚁选择最短路径行进就能得到最短的路径的全局解,所以这里只要保证有足够的蚂蚁,就能得到全局最优解。

(5)此算法的时间复杂度只与蚂蚁群的数量 m 与最短路的长度 n 有关,并且算法的时间渐近表示为 $\Theta(mn)$ 。

2.2 最短路径问题改进蚁群算法的实现步骤

STEP1 初始化起点 begin point 和终点 end point,初始化 D 和 d 值。 D 表示蚂蚁所选路径的长度, d 表示该只蚂蚁在该条路径上已经走过的距离,将 m 只蚂蚁放在起点。并将起点放入每只蚂蚁对应的栈 stack 中。

STEP2 经过一个单位时间 t ,判断 d 与 D 是否相等,若 $d = D$ 表示蚂蚁到了所选路径终点,将路径终点放入这只蚂蚁对应的栈 stack 中,并选择下一个能走的路径,更新 D 和 d 值,否则继续在该路径上行进。

STEP3 判断是否走进了死胡同。若是则返回上一个点,现在所在的点不再选。

STEP4 计算路径选择的概率 P , $P = 1/N$, N 为当前能选择的路径数。

STEP5 判断最快的一只蚂蚁是否到达终点。若未到达终点,则重复 STEP2 至 STEP4 过程,否则返回这只蚂蚁所走的路径。

2.3 最短路径问题改进蚁群算法的实验及分析

以四川省部分城市的交通图来说明文中算法的有效性。将该交通图转化为含有 27 个结点的无向图(见图 2),各城市表示图中的结点,城市之间的距离为无向图上边的权值。以结点 10(青川)为起点,结点 25(凉山)为终点,求该交通路网中的起点到终点的最短路径。实验结果如表 1~表 3 所示。

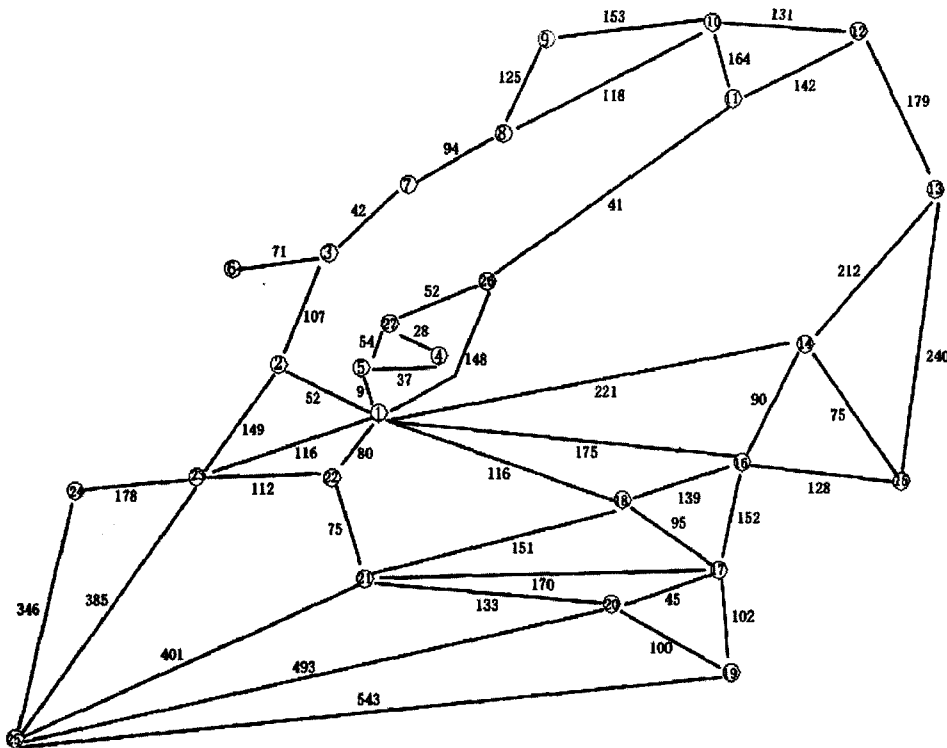


图 2 四川省部分城市交通图

由改进蚁群算法结果(见表 1)可以看出,当蚂蚁数量达到 5000 时,得到的是全局最优解;与基本蚁群

表 1 指定起点与终点的改进蚁群算法计算结果

实验次数	蚂蚁个数	路径长度	迭代次数	最短路径
1	100	910	910	10→8→11→26→27→4→5→1→22→23→25
2	500	895	895	10→8→7→3→2→23→25
3	1000	855	855	10→11→26→1→23→25
4	5000	823	823	10→8→11→26→27→5→1→23→25
5	10000	823	823	10→8→11→26→27→5→1→23→25

表 2 指定起点与终点的蚁群算法计算结果

实验次数	蚂蚁个数	路径长度	最短路径
1	100	964	10→11→8→7→3→2→23→25
2	500	855	10→11→25→1→23→25
3	1000	852	10→8→11→26→1→23→25
4	5000	837	10→11→26→27→4→5→1→23→25
5	10000	826	10→11→26→27→5→1→23→25

表 3 不同起点与终点的改进蚁群算法计算结果

起点	终点	路径长度	迭代次数	最短路径
1	13	433	433	1→14→13
24	15	599	599	24→23→1→14→15
3	14	380	380	3→2→1→14
11	15	452	452	11→26→27→5→1→14→15
21	9	465	823	21→22→1→5→27→26→11→8→9

算法^[1~4]求解的结果(见表 2)相比较,说明文中提出的改进蚁群算法解决了基本蚁群算法在求解最短路径问题容易陷入局部最优的缺点,并且改进蚁群算法的

迭代次数较少;由表 3 可以看出,当蚂蚁数量足够时,提出的改进蚁群算法都能找到任意两点间的最短路径。

根据以上实验数据,可以得出改进蚁群算法比基本蚁群算法^[1~4]需要的迭代次数少,时间复杂度低,克服了容易陷入局部最优的局限性。虽然从原理上改进蚁群算法需要依赖于较多数量的蚂蚁群,但实验中达到满意效果需要的蚂蚁数量并不大,另外,当真正意义上的并行计算机诞生后,改进蚁群算法的时间复杂

度就完全取决于迭代次数(迭代次数取决于最短路的长度 n),而与蚂蚁数量无关,改进蚁群算法的时间复杂度就是 $\Theta(n)$ 。

3 TSP 问题的改进蚁群算法及实现

3.1 改进蚁群算法求解 TSP 问题基本思想

总体思想是利用速度恒定的蚂蚁群,同时从起点出发,每只蚂蚁选择下一个结点的概率是等可能的,所选择的结点不能在栈中出现过,每只蚂蚁所选择的结点存入栈中,一旦有蚂蚁回到起点时,此时算法就结束,因为速度恒定,行走最短回路的蚂蚁才会首先到达起点,所以首先到达起点的蚂蚁所走的路径即为最短回路。

3.2 改进 TSP 算法实现的步骤

SETPI 初始化起点 begin point,初始化 D 和 d 值,

D 表示蚂蚁所选路径的长度, d 表示该只蚂蚁在该条路径上已经走过的距离。将 m 只蚂蚁放在起点, 并将起点放入每只蚂蚁对应的栈 $stack$ 中。

SETP2 经过一个单位时间 t , 判断 d 与 D 是否相等, 若 $d = D$ 表示蚂蚁到了所选路径终点, 将路径终点放入这只蚂蚁对应的栈 $stack$ 中, 并选择下一个能走的路径, 更新 D 和 d 的值, 否则继续在该路径上行进。

SETP3 判断是否走进了死胡同。若是则返回上一个点, 现在所在的点不再选。

SETP4 计算路径选择的概率 P , $P = 1/N$, N 为当前能选择的路径数。

SETP 5 判断最快的一只蚂蚁是否走过了所有结点并回到了起点, 若未回到起点, 重复 SETP 2 至 SETP 4 过程, 否则返回该蚂蚁所走的路径。

3.3 TSP 改进蚁群算法实验及分析

以 15 个结点的街道网络图(见图 3)来说明改进蚁群算法求解 TSP 问题的有效性。实验结果如表 4 所示。

由计算结果(见表 4)表明, 当蚂蚁数量足够时, 改进蚁群算法可以解决 TSP 问题, 并且解决了基本蚁群算法^[1~4]在求解 TSP 问题时容易陷入局部最优的缺点, 并且迭代次数少, 时间复杂度低, 能较快得出最优解。

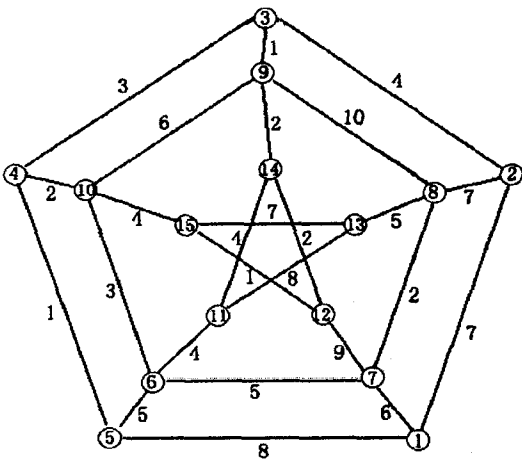


图 3 街道网络图

4 结束语

蚁群算法的理论研究和实际应用表明, 它是一种很有前途的仿生优化算法, 被广泛应用到各种领域, 具有良好的应用前景。但基本蚁群算法时间复杂度高, 迭代次数多, 不利于快速搜索一条最短路径。文中给出的改进蚁群算法, 利用蚁群算法的并行性, 速度一定时行走时间少路程短这一基本原理, 较好地解决了蚁群算法求解最短路径和 TSP 问题搜索时间长, 迭代次数多, 易于陷入局部最优的缺点。

表 4 TSP 改进蚁群算法计算结果

蚂蚁个数	路程	迭代次数	路径
10	79	79	1→7→12→15→13→11→14→9→8→2→3→4→10→6→5→1
100	71	71	1→7→12→14→11→6→5→4→3→9→10→15→13→8→2→1
200	63	63	1→7→6→11→14→12→15→13→8→2→3→9→10→4→5→1
400	54	54	1→7→8→13→11→6→5→4→10→15→12→14→9→3→2→1
800	54	54	1→7→8→13→11→6→5→4→10→15→12→14→9→3→2→1

参考文献:

[1] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies[C]//Proc of the First European Conference of Artificial Life. Paris: Elsevier Publishing, 1991.

[2] Dorigo M, Gambardella L M. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53-66.

[3] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V. Ant system for job-shop scheduling[J]. Belgian Journal of Operations Research Statistics and Computer Science, 1994, 34(1): 39-53.

[4] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. Ant system: Optimization by a colony of cooperating Agents[J]. IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics-part B, 1996, 26(1): 29-41.

[5] 李祚冰, 钟俊, 彭荔红. 基于蚁群算法的两地之间的最佳路径选择[J]. 系统工程, 2004, 22(10): 88-92.

[6] 李士勇. 蚁群算法及其应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 150-220.

[7] 靳凯文, 李春葆, 秦前清. 基于蚁群算法的最短路径搜索方法研究[J]. 公路交通科技, 2006, 23(3): 128-134.

[8] 马军建, 董增川, 王春霞, 等. 蚁群算法研究进展[J]. 河海大学学报, 2007, 33(2): 139-143.

[9] 胡娟, 王常青, 韩伟. 蚁群算法及其实现方法研究[J]. 计算机仿真, 2004(7): 10-14.

[10] 胡小兵, 黄席樾, 张著洪. 一种新的自适应蚁群算法及其应用[J]. 计算机仿真, 2004(6): 108-111.

[11] 毕军, 付梦印, 张宇河. 一种改进的蚁群算法求解最短路径问题[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(3): 107-109.

[12] 吴庆洪, 张纪会, 徐心和. 具有变异特征的蚁群算法[J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(10): 1240-1245.