

基于蚁群算法的两地之间的最佳路径选择*

李祚泳¹, 钟俊¹, 彭荔红²

(1. 成都信息工程学院, 四川 成都 610041;

2. 厦门大学 环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要:应用蚁群算法于公路交通系统,引入“状态参数”表示天气、路质、路况等诸多不确定因素对公路交通的影响,提出两地之间满足“合理路径”的条件和包含不确定因素影响的“虚拟路径”长度新概念及其计算公式,比较计算出的各路径的“虚拟路径”长度,可从两地的诸多“合理路径”中,优选出最佳路径,实例模拟计算结果表明蚁群算法用于公路系统中的最佳路径的实时查询是有效和可行的。

关键词:蚁群算法;组合优化;交通系统

中图分类号:TP18

文献标识码:A

组合优化问题大多是 NP 型问题,对于此类问题至今尚无满意的解决办法。近年来,随着计算技术的发展,遗传算法(GA)、模拟退火算法、禁忌搜索(Tabusearch)算法、人工神经网络(ANN)等模拟进化算法得到了迅速发展,并已被用于组合优化问题的求解^[1-4]。两地之间若有多条路径可供选择,但由于受到天气、路质、路况、车流等诸多不确定因素的影响,从省时、省费用和安全角度考虑,两地之间的最短实际路径并非最佳路径。因此,有必要建立公路实时查询系统,供旅客和驾驶员实时作出最佳选择。这样的问题是与 TSP 组合优化问题相联系的。由意大利学者 Dorigo 等人提出的蚁群算法是一种新型的模拟进化算法。该算法通过候选解组成的群体进化过程达到寻求组合优化之目的。本文在交通系统中,考虑了天气、路质、路况等多种不确定因素的影响,将两地之间的实际路径长度转换成具有这些影响的“虚拟路径”长度,并将蚁群算法思想用于两地之间的最佳路径选择。

1 蚁群算法的原理及其实现

(1) 蚁群算法的基本思想

蚂蚁具有找到蚁巢与食物之间的最短路径的能力。蚂蚁的这种能力是靠其所经过的路径上能留下一一种随时间推移会逐渐消逝的挥发性分泌物(俗称信息素)来实现的。当蚂蚁在一条路上前进时,会留下挥发性信息素,后来的

蚂蚁选择该路径的概率与当时这条路径上该信息素的强度成正比。对于一条路径,选择它的蚂蚁越多,则在该路径上所留下的信息素强度就越大。而强度大的信息素会吸引更多的蚂蚁,从而形成一种正反馈。正是通过这种正反馈,蚂蚁最终可以寻找出最短的路径。蚁群算法的基本原理及其实现详见文献[6]和文献[7]。

(2) 蚁群算法模型

为模拟蚂蚁的行为,以求解 N 个城市的 TSP 问题为例。已知有 N 个城市,寻找一条访问两个城市之间的最短路径。设蚁群中蚂蚁数量为 m , $d_{ij}(i, j = 1, 2, \dots, N)$ 表示城市 i 和 j 之间的路径长度,此处选用的是无向图 $G(N, E)$, 即 $d_{ij} = d_{ji}$ 。 N 是城市个数, E 是城市的连通的边的集合。设 $B_i(t)$ 表示 t 时刻位于城市 i 的蚂蚁个数, 则有 $m = \sum_{i=1}^N B_i(t)$; $\tau_{ij}(t)$ 表示 t 时刻在 ij 连线边 $e(i, j)$ 上残留的信息量。初始时刻,在各条路径上的信息量相等, 设 $\tau_{ij}(0) = C$ (C 为常数,通常取为 0)。蚂蚁 $k(k = 1, 2, \dots, m)$ 在运动过程中,根据各条路径上的信息量决定转移方向, t 时刻蚂蚁 k 由位置 i 转移到 j 的概率 $p_{ij}^k(t)$ 由下式表示:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in allowed_k} [\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}, & j \in allowed_k \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

* 收稿日期:2003-06-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40271024)

作者简介:李祚泳(1944-),男,四川宜宾人,成都信息工程学院教授,博士生导师,研究方向:人工神经网络,遗传算法,物元可拓,投影寻踪技术,免疫算法及蚁群算法等。

其中, $allowed_k = \{N - tabu_k\}$ 表示蚂蚁 k 下一步允许选择的的城市, 而 $tabu_k$ 表示第 k 个蚂蚁的禁忌表, $tabu_k(s)$ 表示禁忌表中第 s 个元素; η_{ij} 表示由城市 i 转移到城市 j 的期望程度(又称可见度), 可根据某种启发式算法具体确定, 当 $\eta_{ij} > 0$ 时, 邻域 i 处蚂蚁按概率 p_{ij} 移至邻域 j 的概率; 当 $\eta_{ij} \leq 0$ 时, 邻域 i 的蚂蚁做邻域搜索, 其搜索半径(或步长)为 r ; α 、 β 分别表示蚂蚁在运动过程中所积累的信息及启发式因子在蚂蚁选择路径中所起的不同作用, 它们是控制信息激素强度与可见度的相对重要性的参数。可见, 转移概率是可见度和 t 时刻信息激素强度的权衡。

与真实蚂蚁系统不同, 人工蚁群系统具有一定的记忆功能, 用 $tabu_k (k=1, 2, \dots, m)$ 记录蚂蚁 k 目前已走过的城市。随着时间的推移, 以前留下的信息激素逐渐消逝。设信息激素的保留系数为 $\rho (0 < \rho < 1)$, 它体现了信息激素强度的持久性; 而 $1-\rho$ 表示信息激素的消逝程度(信息激素蒸发)。经过 Δt 时段, 蚂蚁完成一次循环, 各路径 $e(i, j)$ 上信息激素量需按式(2)刷新:

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

式中

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

其中, $\Delta \tau_{ij}^k$ 表示第 k 只蚂蚁在本次循环(Δt 时间内)中, 在路径 $e(i, j)$ 边上留下的信息激素量。故 $\Delta \tau_{ij}(\Delta t)$ 表示全部 m

只蚂蚁在本次循环(Δt 时间内)中在路径 $e(i, j)$ 边上留下的信息激素量; 而 $\Delta \tau_{ij}^k$ 用下式计算:

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L_k, & \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁在本次循环中经过路径 } e(i, j) \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

式中, Q 为常数, L_k 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中所走过路径的长度, 它可表示为

$$L_k = \sum_{i=1, j=1}^n d_{ij} \quad (5)$$

式中, n 表示蚂蚁 k 在本次循环中所漫游的城市数目($n \leq N$)。

以上诸式中出现的参数 Q 、 C 、 α 、 β 、 ρ 可用试验方法确定其最优组合; $\tau_{ij}(t)$ 、 $\tau_{ij}(t + \Delta t)$ 及 $p_{ij}^k(t)$ 的表达形式可根据具体问题而定。上述过程是一个递推过程, 易于在计算机上实现, 其停止条件可以用固定循环次数或者当进化趋势不明显时停止计算。

2 两地之间最佳路径选择的蚁群算法模拟

全国部分主要城市之间的公路交通路径示意图如图1所示。试用蚁群算法选择昆明至天津两城市之间的最佳路径。

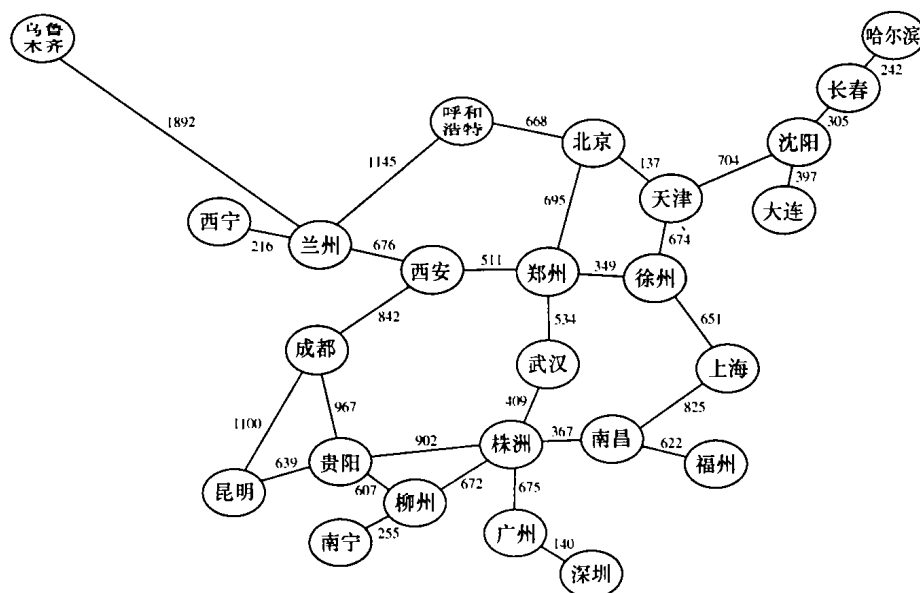


图1 全国主要城市交通示意图

首先需找出可选路径, 其依据条件为: ① i, j 两城市之间的路径必须存在; ② 一次循环中, 城市名不得重复。此二条件由禁忌表控制, 通过计算机遍历程度自动查找法查出昆明至天津的可选路径有 36 条。其次, 依据从城市 i 移动到 j 的转移概率 p_{ij}^k 公式(1), 从 36 条可选路径中, 挑选出

满足 $p_{ij}^k \geq 0.05$ 的“合理路径”14 条, 如图 2 所示。由城市 i 转移到城市 j 的期望程度 η_{ij} 定义为 i 与 j 之间的路径长度的倒数, 在用公式(1)~(5)进行算法循环迭代过程中, 分别引入 k_{ij} 、 h_{ij} 、 r_{ij} 等“状态参数”表示天气、路质、路况等不确定因素对公路交通的影响程度。考虑到这些影响后, 将

公式(5)表示的实际路径长度 L_k 用“虚拟路径”长度公式(6)替换:

$$L_k^* = \sum_{i=1, j=1}^n d_{ij} [1 + h_{ij}(1 + k_{ij}) + r_{ij}] \quad (6)$$

式中,各种不确定因素的“状态参数”取值范围列于表 1。

因此,转移概率公式(1)中的期望程度 η_{ij} 应与“虚拟路径”长度成倒数关系,即

$$\eta_{ij} = 1/d_{ij} [1 + h_{ij}(1 + k_{ij}) + r_{ij}] \quad (7)$$

算法运行过程中,各参数运行数据列于表 2。

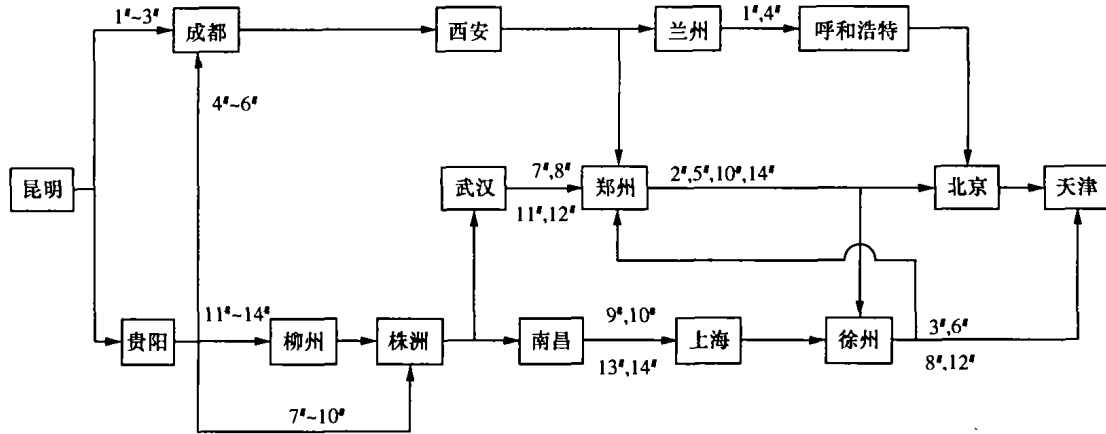


图 2 昆明至天津转移概率 $p_{ij}^* \geq 0.05$ 的 14 条合理路径图

表 1 不确定因素的“状态参数”取值范围

状态	天气状态(k_{ij})						路质状态(h_{ij})			路 况(r_{ij})		
	阴、晴	小雨 (小雪)	中雨 (中雪)	大雨 (大雪)	暴雨	暴风雨	国道	省道	乡间道	正常	维修	塌方
状态 参数值	0	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-3	0.1-0.2	0.2-0.4	0.4-1	0	0.1-0.2	K(足够 大的数)

表 2 初始化参数取值

参数	α	β	ρ	Q	C	τ_{\min}	τ_{\max}	m	N_{\max}
运行数据	1	1	0.5	1	0	0	50	70	50

从昆明至天津的 14 条“合理路径”中,两两相邻城市 i, j 的连接路径 $e(i, j)$ 在各种不同模拟状态条件下的“状态参数”取值及运行结束后按公式(6)将实际路径长度换算成“虚拟路径”长度的值列于表 3。再结合图 2 所示 14 条“合理路径”所经过的城市,分别计算出昆明至天津的 14

条“合理路径”在不同条件下的总“虚拟路径”长度值列于表 4。从表 4 可见,在第一种和第三种模拟情况下,路径 2 的虚拟长度均最短(实际长度也最短),因此路径 2 为最佳路径。在第二种情况下,路径 7 的虚拟长度最短,故此条件下可选路径 7 为最佳路径。

表 3 两两相邻城市连接路径在不同条件下的“状态参数”值及“虚拟路径”值

路径名	状态参数			实际路径长度 (km)	“虚拟路径”长度
	天气 k_{ij}	路质 h_{ij}	路况 r_{ij}		
兰州-西安	0, 0.5, 0.3	0.1	0, 0, 0	676	744, 777, 764
呼和浩特-北京	0, 0.3, 1	0.2	0, 0.2, 0	668	802, 975, 935

北京-郑州	0,1,1.5	0.1	0,0,0	695	765,834,869
北京-天津	0,0.3,0	0.1	0,0,0	137	151,156,151
郑州-武汉	0,0.1,0.3	0.2	0,0,0	543	652,662,684
郑州-徐州	0,0.3,0.5	0.1	0,0,0	549	384,394,401
兰州-呼和浩特	0,0.1,0.5	0.1	0,0,0.2	1145	1260,1271,1546
西安-郑州	0,0.3,0.2	0.2	0,0.2,0	511	613,746,634
西安-成都	0,0.1,0.5	0.1	0,0.2,0	842	926,1103,968
成都-昆明	0,0.2,0.3	0.2	0,0,0.2	1100	1320,1364,1606
成都-贵阳	0,0.5,1	0.2	0,0.2,0.2	967	1160,1451,1547
昆明-贵阳	0,0.3,1.5	0.2	0,0,0.2	639	767,805,1086
贵阳-柳州	0,0.3,0.1	0.1	0,0,0.2	607	668,686,795
贵阳-株洲	0,0.2,0.1	0.1	0,0.2,0	902	992,1191,1001
柳州-株洲	0,0.3,0.1	0.2	0,0,0	672	806,847,820
株洲-武汉	0,0.5,0.1	0.1	0,0,0.2	409	450,470,536
株洲-南昌	0,0.2,0.1	0.2	0,0,0	367	440,455,448
南昌-上海	0,0.3,0.1	0.2	0,0.2,0.2	825	990,1205,1172
上海-徐州	0,0.2,1	0.2	0,0,0.2	651	781,807,1042
徐州-天津	0,1,1.5	0.1	0,0,0.2	674	741,809,977

表 4 昆明至天津各通路不同情况下的“虚拟路径”长度值(单位:km)

合理路径	实际路径长度 L_k	虚拟路径长度 L_k^*		
		第一种情况	第二种情况	第三种情况
1 [#]	4568	5203	5646	5970
2 [#]	3285	3775	4203	4228
3 [#]	3476	3984	4416	4586
4 [#]	5074	5810	6538	6997
5 [#]	3791	4382	5095	5255
6 [#]	3982	4591	5308	5613
7 [#]	3325	3777	4118	4327
8 [#]	3516	3986	4331	4685
9 [#]	4058	4711	5272	5278
10 [#]	4565	5270	5847	5722
11 [#]	4604	5251	5651	5942
12 [#]	4795	5460	5864	6000
13 [#]	5337	6185	6805	6893
14 [#]	5844	6744	7380	7337

3 结论

蚁群算法用于两地之间最佳路径选择具有如下特点:

①无论对于局部区域或大范围的公路交通系统,都可以通过创建包含了路径所有属性的数据库,用蚁群算法实现两地之间最佳路径的实时查询,因而具有实用性;

②本方法实现了蚁群的协同工作,减少了计算时间的循环次数,提高了效率;

③把不同状态条件稍加改变,该方法还可以应用于其他优化问题,因此本方法适用范围广;

④蚁群算法具有正反馈、分布式计算特点,易于与某种启发式算法相结合,从而发现较优解;

⑤蚁群算法的计算时间会随着问题复杂而迅速增长,算法过程中参数值的合理选择亦还需要进一步研究。

蚁群算法用于公路查询系统仅是一种尝试,有许多理论和应用问题还有待深入研究。

参考文献:

- [1] 云庆夏. 进化算法[M]. 北京:冶金工业出版社,2000:1~180.
- [2] 阎平凡, 张长水. 人工神经网络与模拟进化计算[M]. 北京:清华大学出版社,2000:133~147.
- [3] 李祚泳, 彭荔红, 吕玉嫦. 基于遗传算法优化的普适卡森指数公式[J]. 中国环境科学, 2001, 21(2):148~151.
- [4] 李祚泳, 汪淮. 地物波谱组合识别模型参数的遗传优化[J]. 红外与毫米波学报, 2001, 21(3):205~208.
- [5] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies[A]. Proc. of the First European Conference on Artificial Life[C]. Paris:Elsevier Publishing,1991:134~142.
- [6] 马良. 全局优化的一种新方法[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(9):61~62;83
- [7] 张纪会, 徐心和. 一种新的进化算法——蚁群算法[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(3):84~87;109

An Application of Ant Colony Algorithm to Selection of Optimization Route bwtween Two Sites

LI Zuo-yong¹, ZHONG Jun¹, PENG Li-hong²

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610041, China;

2. Research Center of Environment Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Ant colony algorithm was used to highway traffic systems. The state parameters were defined to represent the effect of weather, road quality, road surface conditon etc for highway traffic systems. Conditions of "rational route" was presented, new concept of "fictitious route" length included the effect of uncertain factors were made between two cities and the formula. The optimization route between two cities can be selected from many "rational routes" by comparing "fictitious route" lengths of all routes. Result of analogy to cases shows that it is effective and practicable using ant colony algorithm to inquire promptly the optimization route between two sites of a highway system.

Key words: Ant Colony Algorithm; Combinational Optimization; Traffic System