

文章编号: 2095—0411 (2012) 01—0078—04

一种改进的蚁群算法求解车辆的最短路径问题^{*}

薛国新, 王 岳

(常州大学 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 基于交通网中交通流参数关系模型, 提出了新的状态转移概率计算公式, 同时在信息素更新策略中引入交通流密度因子, 使算法可以根据时变的路网信息求解车辆的最短路径; 利用蚁群算法和遗传算法相结合的思想来避免基本蚁群算法在求解车辆最短路径时易陷入局部最优解的缺陷。实验仿真结果表明, 改进后的蚁群算法较基本蚁群算法能准确快速地找到基于时间的最短路径, 并能有效解决实际交通系统中的最短路径问题, 具有一定的实际意义和参考价值。

关键词: 蚁群算法; 最短路径问题; 实时交通信息

中图分类号: TP 301.6

文献标识码: A

Improved Ant Colony Algorithm for the Shortest Vehicles Path

XUE Guo-xin, WANG Yue

(School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: Based on the model of the traffic parameters, a new computing formula of the transition probability is proposed. And traffic density factor is introduced in pheromone update strategy, and as a result, the algorithm could resolve the shortest path problem with the real-time traffic information. To avoid the algorithm converging to the local optimal result, the ant colony algorithm was combined with genetic algorithm. The results of the experimentation prove that the improved algorithm could find the shortest path more accurately and quickly than the basic algorithm. Besides this, the improved algorithm can resolve the shortest path problem of traffic system of reference value and actual meaning.

Key words: ant colony algorithm; shortest path problem; real-time traffic information

对于车辆最短路径问题的研究主要是将其转化为图论中的最短路径问题, 然后利用传统的最短路径算法求解车辆的最短路径。然而传统的最短路径算法是基于搜索路径的耗费具有可加性的假设, 并假设这些耗费是确定的。但是, 在实际交通网络中, 边的权值往往是随时间变化的, 是有关时间的函数。因此, 传统的方法不能解决非线性路径耗费的路径问题。近年来随着蚁群算法^[1]成为研究的热点问题, 人们开始研究利用蚁群算法来解决实际交

通系统中的最短路径问题。文献 [2] 指出传统的最短路径算法不能适用于网络中边权值为时变随机动态网络中最短路径问题的求解。文献 [3] 从最短路径算法的理论基础入手, 从理论上证明了传统最短路径算法在时间依赖的网络上不能有效地求解最短路径问题。文献 [4] 提出将传统蚁群算法应用于时变网络, 并提出了带杂交算子的蚁群算法。文献 [5] 将蚁群算法和遗传算法结合, 将蚁群算法每次遍历后形成的解作为初始种群进行单点交叉

^{*} 收稿日期: 2012—01—06

作者简介: 薛国新 (1962—), 男, 江苏武进人, 研究员。

计算,避免陷入局部最优解,提高算法收敛速度。文献 [6] 在考虑到影响交通最佳路径选择的各种不确定因素,如天气、路质、路况、车速等,对基本蚁群算法模型进行了改进。

在以上研究的基础上,本文提出了基于实时交通信息的状态转移概率计算公式,同时在基本的蚁群算法信息更新策略中加入流量因子,利用实时交通流量来更新路网信息素的值。采用文献 [5] 提出的将蚁群算法每次遍历后形成的解作为初始种群进行单点交叉计算,避免算法陷入局部最优解,使算法可以更快地搜索到最优路径。

1 蚁群算法

蚁群算法^[7]是一种模拟昆虫王国中蚂蚁群体智能行为的仿生优化算法,它具有很强的鲁棒性、优良的分布式计算机制、易于与其他方法相结合等优点。下面以求解 TSP 问题的蚁群算法为例介绍算法的基本模型。

设蚁群中蚂蚁的数量为 m , d_{ij} ($i, j=1, 2, \dots, n$) 表示城市 i 和城市 j 之间的距离, $\tau_{ij}(t)$ 表示 t 时刻路径 (i, j) 上的信息量。初始时刻,各条路径上信息量相等,设 $\tau_{ij}(0) = c$ (c 为常数),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, $p_{ij}^k(t)$ 表示在 t 时刻蚂蚁 k 由位置 i 转移到位置 j 的概率:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ik}(t)]^\beta}{\sum_{s \in \text{allowed}_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha \times [\eta_{is}(t)]^\beta} & \text{若 } j \in \text{allowed}_k \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\text{allowed}_k = \{c - \text{tabu}_k\}$ 表示蚂蚁 k 下一步允许选择的城市, tabu_k 用来记录蚂蚁 k 当前所走过的城市; α 为信息启发式因子,表示轨迹的相对重要性; β 为期望启发式因子,表示能见度的相对重要性; $\eta_{ij}(t)$ 为启发函数,其表达式如下:

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (2)$$

在每只蚂蚁走完一步后,要对残留信息进行更新处理。一般 $t+n$ 时刻在路径 (i, j) 上的信息量可按如下规则进行调整

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \times \tau_{ij}(t) + \tau_{ij}(t) \quad (3)$$

$$\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \tau_{ij}^k(t) \quad (4)$$

式中: ρ 表示信息素挥发系数, $\tau_{ij}(t)$ 表示本次循环中路径 (i, j) 上的信息素增量, $\tau_{ij}^k(t)$ 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中留在路径 (i, j) 上的信息量。

根据信息素更新策略不同基本蚁群算法模型可以分为 Ant-Cycle 模型、Ant-Quantity 模型和 Ant-Density 模型。

2 动态路网

2.1 动态路网的数学表示

将动态路网表达为 $G = (V, E, W)$, 其中 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$ 是有限节点集, 对应于路网的路节点。 $E = \{(v_i, v_j) \mid v_i, v_j \in V\}$, 对应于路节点之间的实际路段。 $W = w_{ij}(t)$, (其中, $(v_i, v_j) \in E$), 表示车辆在时刻 t 通过路段 (v_i, v_j) 所花费的时间。

利用上面的表示方法, 车辆在 t_0 时刻从出发地 v_0 到目的地 v_i 的路径可以表示成:

$$\Pi_i(t_0) = (v_0, t_0) (v_1, t_1) (v_2, t_2) \dots (v_i, t_i)$$

其中, t_i 是到达节点 v_i 的时间。车辆基于时间最短路径问题就是计算从出发点到的地行驶路径中花费时间最少的路径。

2.2 动态路网的参数因子

动态路网描述的是实际的交通道路网络, 其中路网中的节点 (V) 和不同路段 (E) 的实际路径长度可以认为是不变的, 而变化的是车辆在不同时刻通过固定路段花费的时间。影响车辆通行时间的因素有: 路段的等级、长度、车道数、路段上的交通流量、交通密度、以及机动车辆自身的性能因素如车速等。在众多的因素中尤以交通流量、交通流密度及车速最为重要^[8]。

动态路网参数的取值主要来源于实时采集到的路网信息, 目前的路网信息数据采集技术主要有非自动和自动两种方式^[9-12]。非自动采集技术是指需要有人工干预才能完成相关交通流参数信息的采集, 如试验车移动调查、人工采集法等等。自动采集技术是指依靠采集设备完全自动感知道路使用者的通过或存在, 从而实现对路网交通信息的全方位、实时的数据采集。自动采集技术又分为固定型采集技术和移动型采集技术两类。固定型采集技术主要有波频、磁频和视频等, 移动型采集技术有电

子标签、GPS 和汽车牌照自动判别等。

3 改进的蚁群算法

3.1 启发函数计算公式

交通网中车辆的最短路径问题考虑时间最短时，把基本蚁群算法的启发函数表达式改为如下形式：

$$\eta_{ij}(t) = \frac{1}{T_{ij}(t)} \tag{5}$$

$$T_{ij}(t) = \frac{d_{ij}(t)}{U_{ij}(t)} \tag{6}$$

其中 $T_{ij}(t)$ 为蚂蚁在 t 时刻由路径节点 i 到 j 所花费的时间， $U_{ij}(t)$ 为蚂蚁在 t 时刻由路径节点 i 到 j 的平均速度。 $U_{ij}(t)$ 可由速度与交通密度关系模型求的，其中交通密度可以实际测得。

3.2 信息素更新策略

文献 [13] 证明了信息素的全局刷新规则明显优于局部刷新规则，故选取 Ant-Cycle 模型的信息素更新策略。根据基于时间的最短路径模型对 Ant-Cycle 模型作如下修改：

$$\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\theta \cdot Q}{T_k} & \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁经过 } (i, j) \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \tag{7}$$

其中 θ ($0 \leq \theta = \frac{q_{\text{阻塞}} - q}{q_{\text{阻塞}}} \leq 1$ ， $q_{\text{阻塞}}$ 为道路阻塞交通流密度， q 为道路实时交通流密度) 反映实时交通密度大小， T_k 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中所走路径花费的时间。

3.3 路径交叉杂交

在求解最短路径问题中，基本蚁群算法存在搜索速度慢，易陷入局部最优解的缺陷。采用文献 [5] 蚁群算法和遗传算法融合的做法，对每次迭代中得到的路径进行杂交处理，来改进上述缺陷。即

假设有 m 只蚂蚁，在一次迭代中会产生 m 条路径。对 m 条路径进行路径花费时间长短的降序排列，采取路径花费时间较长与路径花费时间较短的相结合的策略进行一点交叉杂交。计算杂交后的路径花费时间长度，若小于杂交前的路径花费时间长度，则用新路径取代原路径，同时更新相应路径上每条边的信息素，否则不进行更新。

4 算法的实现

根据以上对算法的修改，改进后的算法步骤如下：①初始化参数值，令 $t=0$ ，最大迭代次数为 N_{max} ，最短路径长度 L_{min} 为可能的最大值，赋予路网个边上相等数量的信息量 $\tau_{ij}=C$ (C 为常数)。②将 m 只蚂蚁放在初始节点 O 。③蚂蚁个体根据状态转移概率公式 (1) 计算的概率选择路节点，其中启发函数选取公式 (5)。④若蚂蚁到达终点路节点 S ，则停止搜索。保存蚂蚁经过的路径，并计算路径长度。⑤当 m 只蚂蚁搜索完成后，得到 m 条路径。对 m 条路径按花费时间长度进行降序排列。⑥采取路径较长与路径较短相结合的策略进行一点交叉杂交。计算杂交后的路径时间，若小于杂交前的路径时间，则用新路径取代原路径，同时更新相应路径上每条边的信息素，否则不进行更新。⑦如果达到设置的最大迭代次数，则退出程序。否则迭代次数加 1，转步骤②。

5 仿真实验与结果

为了验证改进算法的效果，建立了 20 个路节点的道路网，对每条边的实际长度和交通流密度赋予人工模拟值。出发路节点设为 0，目的地路节点设为 19，算法中参数取值如表 1 所示。

表 1 测试中的参数设置

Table 1 Parameters set in test					
蚂蚁数目	α	β	ρ	Q	最大迭代次数
10	0.3	5	0.1	10	100

当道路都畅通的时候，分别采用本文提出的改进蚁群算法算法和基本蚁群算法进行模拟计算，结果如表 2 所示。

表 2 道路畅通测试结果

Table 2 Results with smooth traffic		
	基本蚁群算法	改进后的蚁群算法
最优路径	0→1→4→10→16→17→19	0→1→7→12→13→15→18→19
路径实际距离/km	8.5	9.5
路径花费时间/min	17.979 8	17.019 6

仿真结果表明，改进的蚁群算法可以根据路网实时的交通流密度求得时间最短路径。假设路节点 13 到 15 和 17 到 19 的路径上发生阻塞，交通流密

度达到阻塞密度。此时重新用两种算法进行仿真计算，结果如表 3 所示。

表 3 道路阻塞测试结果
Table 3 Results with traffic congestion

	基本蚁群算法	改进后的蚁群算法
最优路径	0→1→4→10→16→17→19	0→2→3→4→10→16→18→19
路径实际距离/km	8.5	9.0
路径花费时间/min	≫17.979 8	18.276 1

仿真结果表明，改进后的算法可以根据实际的交通状况避免交通拥挤路段，选择最优路径。

6 结 论

基于交通流参数模型，本文提出了一种改进的蚁群算法。仿真实验表明改进的蚁群算法可以根据测得的交通流密度计算得到车辆的最短路径。同时对于道路网中经常出现的突发事件造成的拥堵现象，改进后的蚁群算法也可以实现有效的避让。蚁群算法涉及到的参数较多，参数的不同取值对算法的性能影响也较大。因此改进的算法在求解基于实时交通信息的大型路网的最短路径问题时，各个参数的取值还需要进一步研究和优化。

参考文献：

[1] Dorigo M, Birattari M, Stutzle T. Ant colony optimization—Artificial ants as a computational intelligence technique [J]. IEEE Computational Intelligence Magazine, 2009, 1 (4): 28—39.

[2] Hall R W. The fastest path through a network with random time—dependent travel time [J]. Transportation Science, 1986, 20 (3): 182—188.

[3] 谭国真, 高文. 时间依赖网络中最小时间路径算法 [J]. 计算机学报, 2002, 25 (2): 165—172.

[4] 陈立潮, 刘佳, 吕亚男. 带杂交算子的蚁群算法求解动态网络中的最短路径问题 [J]. 计算机工程与科学, 2007, 29 (5): 81—82.

[5] 刘永强, 常青, 熊华钢. 改进蚁群算法求解时变网络中最短路径问题 [J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 35 (10): 1 245—1 248.

[6] 夏兰. 基于改进蚁群算法的交通最佳路径研究 [J]. 计算机与数字工程, 2009, 37 (1): 28—31.

[7] 段海滨. 蚁群算法原理及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 34—36.

[8] 刘伟. 基于蚁群算法的动态路径诱导研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2008.

[9] 姜桂艳, 常安德, 吴超腾. 基于 GPS 浮动车的交通信息采集方法 [J]. 吉林大学学报, 2010, 40 (4): 971—972.

[10] 钱寒峰, 林航飞, 杨东援. 浮动车车速处理分析系统中的数据融合技术 [J]. 计算机工程与应用, 2007, 43 (31): 230—232.

[11] 曹晶, 李清泉. 城市路网中浮动车数据和线圈数据的融合 [J]. 交通与计算机, 2008, 26 (4): 11—14.

[12] 张航, 田冬军, 曾宪宝, 等. 城市道路交通检测器优化配置方法研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2008, 32 (6): 1 161—1 164.

[13] 张文洁, 邓卫. 基于蚁群算法的动态路径选择问题 [J]. 交通科技与经济, 2009, 11 (1): 51—53.