

基于道路网络知识的启发式层次路径寻找算法

翁 敏^{1,2} 毋河海^{1,2} 杜清运^{1,2} 李林燕^{1,2}

(1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉大学教育部地理信息系统重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要: 基于道路网络的知识, 探讨了定义一个层次拓扑来帮助路径寻找及如何确定层次之间转换的入/出结点, 并结合启发式技术来提高路径计算性能的路径寻找算法。实验表明, 该方法不仅可以减少计算所需要的时间和空间, 也会产生一个符合人类思维特点的解。

关键词: 层次路径寻找; 道路网络; 启发式技术

中图法分类号: P208

在大量的最短路径算法中, 最具代表性的是基于贪心策略的 Dijkstra 算法和基于启发式搜索策略的 A* 算法。虽然它们都能保证获得最优解, 但实践表明, 随着网络规模的变大, 其计算时间会变得不可接受^[1-3], 所以, 需要修改已有的策略或者探索一种新的策略来提高已有算法的性能。对于在道路网络中的路径寻找来说, 一个可取的办法就是使用道路网络的知识定义一个层次拓扑来帮助路径寻找。对于道路网络的层次化, 文献[4-6]分别进行了研究, 它们的路径搜索过程的执行都是基于从起点或者终点的最近结点入/出毗邻高层次, 而文献[7]提出了在路径寻找过程中把起终点提升到高层次的方法来表示如何从位于低层次中的起终结点入/出毗邻的高层次。本文探讨在基于道路网络知识的层次路径算法中, 如何确定层次之间转换的入、出点, 并结合启发式技术来提高搜索速度。

1 基于知识的层次算法

基于知识的层次路径寻找可以描述为使用道路网络的知识来获得问题的解。依据道路网络的知识, 本文采用了一种大数据量的层次抽象方法。即根据道路网络中路段的不同等级特性, 将原来的整个道路网络分为两层: 主要道路层(高层次)和次要道路层(低层次)。层次细节由高到低逐渐

增多, 高层次是低层次的子集, 上下相邻的层次具有公共结点, 这些结点是层次转换的关键点。这样, 在道路网络的最短路径算法中应用层次思想, 可以将路径选择分层次地局限在道路网络一定的子网络中, 而不是在整个网络中来搜索最佳解。

1.1 层次算法思想

Dijkstra 算法等非层次算法是在一个单一层次上来确定最短路径的, 而层次算法是在非层次算法的基础上, 通过一系列如何处理分层结构的规则而丰富起来的算法。层次路径寻找策略的基本思想是逐步削减初始图, 即网络低层次的起点或终点总是向毗邻的高层次上溯, 每当找到进入毗邻高层次的最合理的入/出点, 就在高层次的子网络中继续搜索入/出点之间的路径, 在每个子网络中可采用任何一种非层次算法来获取最短路径。层次路径算法对于网络细节的关心是分层次逐步深化的, 因此, 通过网络的分层次结构来减小搜索图的规模, 就可以在一定程度上改善算法查找的运行时间。

在道路网络的分层结构中, 低层次网络包含网络中所有的道路和结点, 而高层次网络只包括主要道路和由主要道路交叉口形成的结点。高层次网络中的主要道路把整个网络分成许多自然格网, 在自然格网中的次要道路通过入/出结点和网络中的主要道路相连, 也就是所有在高层次中的结点是上下相邻的层次所具有的公共结点, 这些

结点是联系高层次和低层次的纽带。如图 1 所示, 结点 O 、 D 分别表示起点和终点, 包含它们的格网称之为起点格网 (O -grid) 和终点格网 (D -grid)。相应地, 在公共边上的结点 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 组成起点格网的入/出结点 (简称 E -node), 而 E_5 、 E_6 、 E_7 、 E_8 组成终点格网的入/出结点。则按照道路网络划分规则和层次路径寻找策略, 用层次方法获取的 OD 间的最优路径由以下三部分组成: 在低层次路网的 O -grid 中计算起点 O 到其中一个 E -node 的最短路径; 在低层次路网的 D -grid 中计算终点 D 到其中一个 E -node 的最短路径; 在高层次路网上计算 中 E -node 到中 E -node 之间的最短路径。

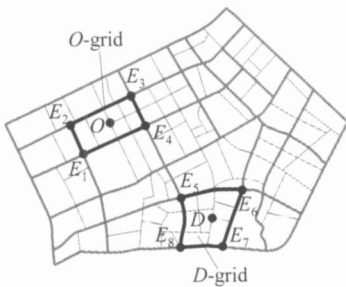


图 1 起终点的入/出结点

Fig. 1 Enter/Exit Node of Origin and Destination

从上面的描述中可以看出, 对于每一个子网络中路径的计算, 可以采用 Dijkstra 或 A^* 等平面算法来获取, 那么在该算法中, 最重要的步骤就是确定入/出高层次的结点 E -node。

1.2 层次算法中入/出结点的确定

确定入/出高层次的 E -node 的最好的方法就是在 O -grid 或 D -grid 中选择一个离起点或终点最近的 E -node^[6,8,9]。为了选择最近结点, 必须计算从 O 、 D 到它们相应的每个 E -node 的最短路径代价。但选择局部最近结点的方法不是最好的解决方法, 因为最佳路径并不一定都通过最近的 E -node。Chou 等^[8]提出了一种最好结点层次算法, 保证会得到最好的可能的层次解。虽然这种方法能保证使用任何一种层次算法都可以获得最好的解, 但是它需要大量的最短路径计算。实验表明, 把该算法应用到实际的道路网络中, 对于每一次计算结果, 最好结点层次算法的计算时间大约是最近结点算法时间的 7 倍^[8]。

最近结点和最好结点不能保证算法的精确性或者计算时间不可预计, 归根结底是因为起终点和入/出结点处于不同的层次上, 起点和终点都出现在次要道路的低层次中, 在高层次中没有表示出来。为了只用一次计算就可以获得正确的最

短路径, 采用结点提升层次算法来计算最优路径。结点提升层次算法是指把低层次中的起点和终点通过伪链把它们提升到高层次中来, 如图 2 所示, 通过用伪链分别连接 O 和 D 到相应的每个 E -node, 然后把 O 和 D 提升到主要道路网络高层次中来。伪链的代价就是预先计算好的连接两个结点的最优路径代价, 于是就可以在包含起点和终点的扩展后的主要道路网络高层次上进行 O 、 D 间最优路径的搜索了。如果最终的计算结果是某一 E -node 作为进入高层次的入口点, 那么就获取起点 O 和该 E -node 之间的最优路径进行路径导航。同样, 从终点 D 到选中的 E -node 间的伪链用它们之间的最优路径来替代。

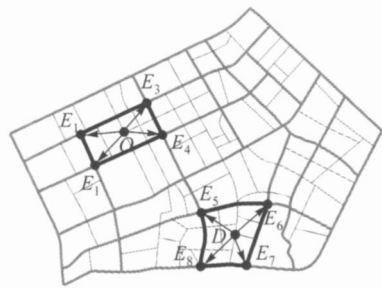


图 2 起终点提升到主要道路层

Fig. 2 Promoting Origin and Destination to the Major Roadway Level

1.3 启发式结点提升技术

结点层次提升算法需要在高层次上计算最优路径之前计算起点和终点到它们相应的 E -node 结点间的最优路径, 图 2 中需要进行 8 次最优路径计算, 而实际上在最后的解中只用了两条这样的路径。并且考虑到交通网络搜索不同于一般的数学上的网络搜索, 结点位置总是与一定的空间位置相联系, 从而由起点到终点必然具有一定的方向。因此, 本文使用一种启发式技术, 即选择一个合适的估价函数来删除不必要的路径计算, 使其寻找最优路径的搜索方向更快地趋近于终点。

1) 当路径计算是基于最小行驶距离标准时, 用 E -node(x_e, y_e) 到原点 $O(x_o, y_o)$ 的直线距离与该 E -node 到终点 $D(x_d, y_d)$ 的直线距离之和作为连接两个结点间的伪链的启发式估价。启发式估价可以定义为:

$$d_e = d(O, E) + d(E, D) = \sqrt{(x_o - x_e)^2 + (y_o - y_e)^2} + \sqrt{(x_e - x_d)^2 + (y_e - y_d)^2}$$

2) 当路径计算是基于最小行驶时间标准时, 通过伪链连接的两点间的启发式估价函数定义为:

$$t_e = d_e / v_g$$

式中, v_g 为格网中道路的平均行驶速度。

d_e 或 t_e 的属性值将替代两个结点间的最优路径而作为伪链的代价。在层次路径算法中,由选中的结点来确定形成最终路径的 Θ -grid 中的 E -node, 然后计算起点与选中的 E -node 间的最优路径来替代两点间的伪链,对 D -grid 重复相同的操作。

综上所述,完整的基于道路网络知识的启发式层次路径算法的流程如图 3 所示。

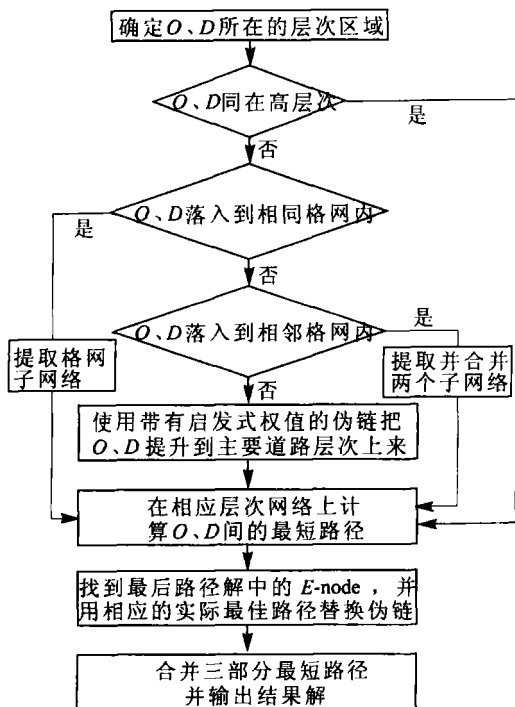


图 3 启发式层次路径算法流程

Fig. 3 Heuristic Hierarchical Wayfinding Algorithm

2 结果分析

层次路径寻找算法希望获得一个次优解,该解应尽可能地接近由传统的最短路径算法获得的最佳解。为了验证以上路径寻找算法的性能,利用 $V C^{++}$ 编写了最优路径搜索程序,并进行了实验。程序分别按 3 种方法搜索最短路径:传统

Dijkstra 算法、结点提升层次路径算法、启发式结点提升层次算法。实验采用的数字道路地图是武汉市城区图,共 10 794 条路段,6 879 个结点,按照道路等级将地图分为两层,快速路和主干道为主要道路层,一般道路和胡同为次要道路层。实验按照距离随机地选择 7 对起终点,在它们之间使用 Dijkstra 算法来获取最短路径,保证能获得最优解。图 4 为单纯从原始单一层次上运行距离最短路径算法的实例,几乎所有的路程都在一般道路上,图 5 为启发式层次路径算法实例。从图 5 和表 1 可看出,所得到的最优路径虽然在理论上未能达到距离最短,但用结点提升层次路径寻找算法所得到的最优路径也是一条次短路径,并且路径的大部分 (85% 以上) 在主干道上。从表 1 可以很明显地看到,层次路径算法与最佳路径算法相比较,其运行时间大大降低,只有原算法的 15% 左右。Dijkstra 算法的运行时间为 $O(n^2)$,对于大规模的道路网络,这个值非常高,而层次路径算法通过把在大范围网络中计算次优路径分成三部分在规模小得多的子网络中计算最优路径,因为每个子网络的范围都是原始网络的一小部分,所以用以计算最优路径的时间会明显减少。表 1 结果表明,随着起终点之间距离的增加,通过层次算法获得的路径与最佳路径之间的差异在减小,优势更明显;同时也表明,用启发式技术找到的路径与用层次算法找到的路径完全一致,且计算速度更快。



图 4 非层次最短路径算法实例

Fig. 4 Shortest Path Algorithm



图 5 启发式层次路径算法实例

Fig. 5 Heuristic Hierarchical Routing Algorithm

表 1 路径寻找算法的比较

Tab. 1 Comparison of the Wayfinding Algorithms

起点、目标点 ID	Dijkstra 算法		层次路径算法				启发式层次路径算法		
	路径长度/m	运行时间/ms	路径长度/m	超出距离/%	运行时间/ms	时间比率	主干道路径/%	路径长度/m	运行时间/ms
(4 214, 4 038)	815	469	815	0	78	0.17	-	815	78
(2 415, 1 761)	4 276	4 494	4 856	13.6	677	0.15	87.1	4 856	450
(347, 4 068)	8 065	5 792	8 309	3.0	800	0.14	89.5	8 309	682
(868, 4 170)	12 013	8 450	13 293	10.6	1 104	0.13	95.4	13 293	867
(1 707, 6 591)	15 058	13 422	16 380	8.8	1 667	0.12	97.1	16 380	1 250
(86, 6 729)	20 616	15 067	22 398	8.6	2 218	0.14	92.1	22 398	1 672
(135, 6 161)	32 883	15 958	35 280	7.3	2 268	0.14	95	35 280	1731

3 结 语

本文提出了一个基于知识的层次算法来实现路径寻找, 根据道路网络的层次特征, 把城市道路网络划分为主要道路层次和次要道路层次, 使最优路径的查找尽量在高层次上完成。通过把起终点提升到高层次上并使用启发式策略, 加快了路径搜索的速度。实验结果表明, 基于知识的层次路径算法有助于减少路径寻找所需要的计算时间和空间, 更符合人类的思维特点, 结果也更容易被接受。

参 考 文 献

- [1] Zhan F B, Noon C E. Shortest path Algorithms: an Evaluation Using Real Road Networks [J]. Transport. Sci., 1998, 32(1): 65-73
- [2] Karimi H A. Real-time Optimal Route Computation: a Heuristic Approach [J]. ITS J., 1996, 3(2): 111-127
- [3] Uchida T, Iida Y, Nakahara M. Panel Survey on Drivers' Route Choice Behavior Under Travel Time Information [C]. Vehicle Navigation and Information Systems Conf., Yokohama-shi, Japan, 1994
- [4] Zhao Y, Weymouth T E. An Adaptive Route-guid-

ance Algorithm for Intelligent Vehicle Highway Systems [C]. American Control Conference, Massachusetts, Boston, 1991

- [5] Yang T A, Shekhar S, Hamidzadeh B, et al. Path Planning and Evaluation in IVHS Databases [C]. Vehicle Navigation and Information Systems Conference, Dearborn, Michigan, 1991
- [6] Car A, Frank A U. General Principles of Hierarchical Spatial Reasoning-The Case of Wayfinding [C]. The 6th Int. Symposium on Spatial Data Handling, Edinburgh, Scotland, 1994
- [7] Quek K H, Thambipillai Srikanthan. Improving Hierarchical Route Computations for Roadway Networks [C]. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Oakland, USA, 2001
- [8] Chou Y, Romeijn E, Smith R L. Approximating Shortest Paths in Large-scale Networks with an Application to ITS [J]. INFORMS J. Computing, 1998, 10(2): 163-179
- [9] 陆峰, 周成虎, 万庆. 基于层次空间推理的交通网络行车最优路径算法 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(3): 226-231

第一作者简介: 翁敏, 博士生。现主要从事电子地图、GIS 空间分析方面的研究。

E-mail: wengmin@telecarto.com

A Heuristic and Hierarchical Wayfinding Algorithm Based on the Knowledge of Road Network

WENG Min^{1,2} WU H ehai^{1,2} DU Qingyun^{1,2} LI Linyan^{1,2}

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: On the basis of the knowledge about the road network, an integrated approach using heuristic techniques and an efficient search algorithm for route finding, which improves the performance of the hierarchical routing algorithm with acceptable loss of accuracy, are presented. This technique not only substantially reduces the time and space required in computation, but also produces human oriented and personalized solutions.

Key words: hierarchical wayfinding; road network; heuristic techniques

About the first author: WENG Min, Ph. D candidate. She is concentrated on the electronic map, spatial analysis of GIS.

E-mail: wengmin@telecarto.com