

# 基于地理信息系统的最短路径搜索算法

徐业昌<sup>1</sup> 李树祥<sup>1</sup> 朱建民<sup>2</sup> 许 岚<sup>2</sup> 曹次华<sup>3</sup>

(1 第一军医大学生物医学工程系图象研究室, 广州 510515)

(2 中国人民解放军总后勤部科学研究所总体室, 北京 100842)

(3 广州军区后勤部自动化站, 广州 510063)

**摘要** 最短路径问题(SP)是人工智能的一个活跃研究方向,也是交通网络分析系统的一个最基本问题,在理论和应用上有着广泛而深入的研究。本文从应用的角度,结合地理信息系统(GIS)的特点,设计了一种新的数据存储结构,改进节点搜索方法,并建立一种简捷的估价函数,为进一步解决交通网络的综合分析打下了基础。

**关键词** 最短路径问题,地理信息系统,优先搜索算法

## 1 引言

地理信息系统(GIS)是以计算机图形图像处理,数据库技术,测绘遥感技术及现代数学研究方法为基础,集空间(地理)数据和应用数据于一体的综合空间信息系统。GIS在军事和民用领域的诸多方面有着广阔的应用前景。

交通网络的综合分析是涉及到交通管理、物资流通、军事指挥等许多部门的一类复杂问题,也是GIS的一个重要应用方向。网络模型中的最短路径问题(SP)作为许多领域中选择最优问题的基础,在交通网络分析系统中占有重要地位。交通网络的线路分布,运输规划等都要反复进行最短路径计算。最短路径问题的解决方法很多,包括图论基本方法、启发式搜索方法<sup>[2~6]</sup>、动态规划方法<sup>[6~7]</sup>、神经网络方法<sup>[8~10]</sup>等。其中以Dijkstra算法为代表的启发式搜索方法在各种优化问题中应用非常广泛。但是这类算法的巨大存储量和计算量使它们在实用的大型网络中受到一定的限制。

基于地理信息系统的交通网络,一方面包含网络本身的拓扑特征;另一方面还包含了大量的与应用有关的数据以及反映地理位置特征的经纬度数据。所以应用于交通网络分析的最短路径算法,还应当考虑到交通网络本身的特点。

## 2 基于地理信息系统的改进最短路径算法

优先搜索算法在网络搜索过程中需要建立OPEN表和CLOSED表,同时还要不断插入和删除节点以修改OPEN表和CLOSED表的状态,这是造成优先搜索算法庞大存储量和计算量的主要原因。下面本文将结合地理信息系统的数据特点,从网络存储方法、路径搜索策略和估价函数等方面,对给定两点之间最短路径的优先搜索算法进行讨论。

### 2.1 交通网络的存储结构

网络存储方法很多,如邻接矩阵,邻接表等。用这些常用的方法存储交通网络,存储量庞大,而且不利于网络操作。基于网络的拓扑特点,本文提出一种新的网络存储结构,在节约存储空间的前提下,既有利于网络算法的实现,还可以根据需要,扩充数据域,有利于全面反映交通网络数据特征,对交通网络进行综合分析。

对于大型的交通网络,以交通节点为基础,对每个节点定义如下的数据结构:

```
typedef struct Graph-Node
```

```
{  
    long PointCode; //节点编号
```

```

float Longitude;//节点经度
float Latitude;//节点纬度
short VisitFlag;//节点访问标志
short EdgeNum;//节点邻接边数量
long * AdjPointCode;//相邻点编号域
float * EdgeData;//对应网络边数据域
};

```

这个数据结构完整地反映了网络的每个节点与其相邻边和节点的拓扑关系。以这个结构为基本单元,存储交通网络中的所有节点,可以完整地反映一个交通网络的拓扑和数据特征。与邻接矩阵相比,这种方法没有存储不存在的边,网络的拓扑结构清楚。与邻接表相比,每个节点的相邻边和相邻点在结构单元中顺序存储,不需要再设置链域。

在存储结构中设置节点访问标志域,取代了优先搜索算法网络搜索过程中的 OPEN 和 CLOSED 表,不仅节省了存储量,而且节省了大量用于修改 OPEN 和 CLOSED 表的时间。对于有向网络,这个数据结构没有存储任何多余的数据;对于无向网络,多存储了一倍边数据,但这个空间代价换取了后面网络搜索过程的简化。

## 2.2 网络搜索策略的改进

下面从估价函数和搜索过程两方面说明网络搜索策略的改进。

### 2.2.1 基于 GIS 的估价函数

交通网络的搜索不同于一般数学上的网络搜索,节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,这种方向可以通过节点的经纬度来反映。网络搜索过程中,定义沿着起点到终点的方向为空间有效方向,相反的方向为空间无效方向。实际应用中,由于客观因素的限制,有效方向上的路径可能不能被采用,而必须在无效方向上的一定距离内采用某些路径。

如图 1 所示,从  $P_1$  点出发有 5 条路径,路径 1、2 为无效路径,路径 4 为有效路径,路径 3、5 的一部分在有效方向上。搜索开始的时候,应该沿着所有的方向进行。达到一定距离后,应该自动判别路径 1、2 为无效路径,并终止在该方向的扩展搜索。对于路径 3、4、5,路径 4 虽然为有效路径,在实际应用中可能不能采用,所以有必要在无效方向上搜索一定距离,以便从路径 3、5 中得到可用路径。

假设用向量  $\vec{p}(n)$  表示节点  $n$  的位置,  $\vec{p}(o)$  和  $\vec{p}(d)$  分别表示起终点的位置,  $\vec{h}(n) = \vec{p}(n) - \vec{p}(o)$  表

示节点  $n$  相对起点的位置。以  $\vec{h}(n)$  为估价函数,对无效方向上的点  $m$ ,  $|\vec{h}(m)| > u |\vec{p}(d) - \vec{p}(o)|$  时,即停止该路径上的扩展搜索,从而可以大量减少无效搜索次数。根据实际应用,  $u$  设置为可调节的系数,以便在有效方向上的路径不能采用时,找到可用路径。向量  $\vec{p}(n)$  可以直接用节点的经纬度来表示。

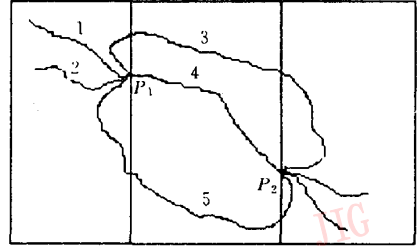


图 1  
Fig. 1

### 2.2.2 网络搜索过程

由于 Dijkstra 等优先搜索算法用邻接矩阵存储网络,不能反映网络的拓扑关系,而且存储大量不存在的边,所以每一轮搜索最小权值点的操作都是对网络的所有节点进行的,对于交通网络这样的稀疏网络,执行了大量冗余的搜索、比较和判断。采用本文的网络存储方法,初始化时,置节点 VisitFlag 为 2。搜索过程中,每次访问一个新节点,置节点 VisitFlag 为 1;每次确定一条最短路径,置其终点 VisitFlag 为 0。这样,每一轮扩展路径仅仅在当前最短路径终点的相邻节点中进行;搜索最小权值点仅在 VisitFlag 为 1 的节点中进行。

网络的搜索过程可以描述如下:

begin

装入网络数据,建立长度为节点数的节点状态表;  
搜索初始化(起始点 VisitFlag 置 0,起始点各相邻点置 1,其余点置 2.);

将起始点各相邻点号放入节点状态表,并计算各点权值;

while

在 VisitFlag 为 1 的各点中搜索权值最小的点;

根据估价函数  $\vec{h}(n)$  判别路径有效性,有效则继续下一步;否则强制该点 VisitFlag 为 0,继续搜索下一个最小权值点;是目标节点,结束搜索;否则继续下一步;

置该点 VisitFlag 为 0,并存储该点对应最短路径;

for 各相邻点



始,到搜索完成,在586微机上运行时间一般在2分钟以内。考虑硬件因素,与文献[5]提供的Dijkstra算法所用时间相比,仍有较大提高,基本上达到了实用的要求。

## 4 结 论

本文基于网络的拓扑关系,提出了一种区别于传统方法的实用的网络存储结构。在此基础上,通过设立简单的节点访问标志,取代以往的优先搜索算法中的OPEN和CLOSED表,简化网络搜索过程,大量减少了网络搜索过程中的无效操作,提高了算法效率。基于GIS的应用实践,本文提出一种简捷易于计算的估价函数,使网络搜索过程体现了一定程度的人工智能效果。

### 参 考 文 献

- 1 Adriano Pascoletti. An optimal algorithm for the period of a strongly connected digraph. *Information Processing Letters* 44,

- 1992; 313~316.
- 2 Richard E. Korf. Liner-space best-first search, *Artificial Intelligence* 62 1993; 41~78.
- 3 Peng C H, Wang J S, Lee R C T, Recognizing shortest-path tree in linear time. *Information Processing Letters* 57 1994; 77~85.
- 4 Esteban Feuerstein, Alberto Marchetti-Spaccamela. Dynamic algorithms for shortest paths in planar graphs. *Theoretical Computer Science* 116 1993; 359~371.
- 5 顾保南,尹良龙.实用最短路径算法. *华东公路*, 1994(1): 42~45.
- 6 陈森发.网络模型及其优化.南京:东南大学出版社,1992;301~310.
- 7 李景祥,陈恩华.一类法随机变权网络最短路径问题及其动态规划算法. *系统工程理论方应用*, 1993(3): 63~65.
- 8 Hopfield J J, Tank D W, "Neural" computation of decisions in optimization problems. *Biological Cybernetics* 52 1986 ;141~152.
- 9 Herbert E. Rauch, Theo Winarske, Neural networks for routing communication traffic. *IEEE Control Systems Magazine*, 1988 : 26~31.
- 10 Mustafa K. Mehmet Ali, Faouzi Kamoun. Neural networks for shortest path computation and Routing in computer networks. *IEEE Transactions on Neural networks*, 1993;4(6)941~953.



徐业昌,第一军医大学生物医学工程系医学图象研究室硕士生,现从事地理信息系统在军事医学领域应用的研究。

李树祥 1963年毕业于哈尔滨工业大学,后任国防科技大学教授,现任第一军医大学生物医学工程主任、教授、博士生导师。82-85留学美国,回国后从事计算机图象处理、计算机视觉、模式识别等方面研究工作。现主要研究方向为医学图象处理、医学图象三维重建、医学图象数据库等,研究成果获多项军队和国家级奖励。

朱建民 1990年毕业于国防科技大学计算机系,获硕士学位,现任中国人民解放军后勤科学研究所高级工程师。主要从事军事指挥自动化、后勤管理综合数据库、地理信息系统等方面的研究工作。

许 岚,1995年毕业于北方交通大学,硕士学位,现任中国人民解放军后勤科学研究所工程师。从事军事指挥自动化、地理信息系统等方面的研究工作。

王金友,1965年毕业于北京邮电大学,现任广州军区后勤自动化工作站站长、高级工程师,主要从事军事指挥自动化、后勤管理综合数据库等方面的研究。

曹次华,1988年毕业于中国人民解放军测绘学院,硕士学位,现任广州军区后勤自动化工作站高级工程师,主要从事军事指挥自动化、军事指挥地理信息系统等方面的研究。

## A Improved Best-first Search Algorithm Based on Geographical Information System

Xu Yechang<sup>1</sup>, Li Shuxiang<sup>1</sup> Zhu Jianmin<sup>2</sup>, Xu Lan<sup>2</sup>

(1 Medical Image Lab, Department of BME, First Military Medical Univ. Guangzhou 510515)

(2 The Institute of Logistics Science of PLA, Beijing 100842)

(3 The Auto Mated Station of Logistics of Guangzhou of PLA, Guangzhou 510063)

**Abstract** Best-first search is a general heuristic search algorithm for shortest-path problem. Its applicability is limited by its exponential memory requirement. In this paper, a new data structure for storing traffic network is presented. The search procedure is improved on the advantage of this data structure. On the other hand, a new heuristic estimate function based on the characteristic of GIS is discussed in this paper. The improved algorithm is used in a traffic analysis system.

**Keyword** Shortest-path problem, Best-first search, Geographical information system

科技活动

### 预告：二月信息技术科普报告会

——地理信息科学技术专场

报告：1. GIS 发展现状与展望

报告人：方裕教授，国家科委 GIS 专家组长、北京大学计算机系副主任

2. 将我国 GIS 产业推向新的高潮

报告人：李德仁院士，武汉测绘科技大学校长

3. 振兴民族软件工业，开发一流 GIS 产品

报告人：吴信才教授，中国地质大学(武汉)信息工程学院院长

4. GIS 在政府机关宏观决策中的应用

报告人：张清浦研究员，中国测绘科学研究院副院长