基于空间方向关系的配电网实用最佳抢修路径算法

朱有产　王春梅　刘　虎
(华北电力大学信息与网络管理中心　071003)

摘　要　以经典 Dijkstra 算法搜索时的无方向性及实际交通网络特有的空间分布特性为基础，提出了一种求配电网最佳抢修路径算法，算法的复杂度和网络节点 N 成线性关系，验证了该算法是一种实用、高效的最短路径分析解决方案。

关键词　交通网络　最短路径　Dijkstra 算法　空间方向

1　引言

配电网最佳抢修路径问题实际上属于城市交通网络中的最短路径问题，其目的是根据发生故障的地点以及抢修队目前所处的位置，及时派出抢修人员到达现场，从而使停电时间最短[1]。城市交通最短路径包括行车距离最短、行车时间最短、拥挤程度最低等多种评价准则，本文将最佳抢修路径限定为行车时间最短的路径。一般来说每条道路的通过时间是与道路的长度、等级、占用情况及相关交通信息有关，作者主要研究交通网络节点的空间位置对配电网最佳抢修路径的影响。电力 GIS 系统网络分析功能的应用之一就是解决配电网最佳抢修路径问题，所以可以利用 GIS 系统的网络分析功能，结合实际需要选择合适的最佳抢修路径算法，并有效利用城市交通网络特征之间的空间方位关系，来解决配电网的最佳抢修路径问题。

最短路径[2]问题在数学中被认为是 NP 问题，各种算法即使是较优的 Dijkstra 算法在求解时都有可能准备搜索所有的网络节点，在网络节点较大情况下，其算法的时间花费成倍甚至幂次增长，很难满足实际运算的需要。最短路径算法的设计过程中，因只考虑网络的拓扑特征或阶段特征，忽略了网络的空间分布特征，如边之间的相对位置关系等，使得搜索过程缺乏方向性。为此，本文提出了一种新的基于空间方向关系的实用最短路径算法，即以当前点和当前节点的邻接点与终点连线夹角最大作为贪婪搜索策略。

2　准备算法

2.1　准备算法基本原理

在算法中，为了选出组成最短路径的路段，采用夹角最大的贪婪算法，即在当前节点处，根据与当前节点相交的路段，取所有邻接点，以及与当前节点和终点连线的两直线夹角最大的节点，把该节点与当前节点间的路段即作为组成最短路径点，继续选取夹角最大的路段，直至当前节点为终点。夹角最大贪婪搜索策略如图 1 所示，图 1 中 A 和 B 表示最短路径的起始节点；C_1，C_2，C_3 分别表示中间节点（假设仅经过一个中间节点即可得到最短路径 AC_iB，$i=1$，2，3）。但实际短路径为 AC_3B，有 $S_{\triangle AC_3B} < S_{\triangle AC_2B} < S_{\triangle AC_1B}$，表明实际最短路径应该以起点与终点连线为下限；同时观察节点 C_1，C_2，C_3，可得$\angle AC_3B > \angle AC_2B > \angle AC_1B$，这与 $S_\triangle$ 关系是一致的，即最短路径扩展是应以当前节点与终点连线作为三角形较大角所对应的边。因此，可以认为，选取寻优评估函数$\angle AC_iB$ 时，由于 C_i 的选取不仅考虑了它到起始点的距离程度而体现出局部寻优的机理；同时，又考虑了它到终点的距离程度而体现了一定程度上的全局寻优的机理，因此，不仅大大提高了收敛的速度，而且选取$\angle AC_iB$ 的 Maximum 过程就是一个在局部最优和一定程度上全局最优折衷选择的过程。

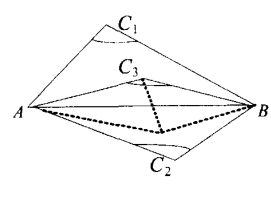

图 1　夹角最大贪婪搜索策略

利用准备算法求 O 点到 D 点间最短路径如图 2 所示，图 2 中 OD 是连接起点 O 和终点 D 的直线。如果将 OD 作为网络的一条边存在，则 OD 直线即为 O 点到 D 点的最短路径；如果 OD 不是网络中

的一条边，则在准备算法中，从起点 O 出发找到一个邻接点，该邻接点与 O 点的边与该邻接点与终点 D 的连线的夹角最大，即取

$$|f(\overrightarrow{PO},\overrightarrow{PD})| = \max_{i\in K}|f(\overrightarrow{P_iO},\overrightarrow{P_iD})| \tag{1}$$

式中，K 是 O 点邻接节点的数目；$f(\overrightarrow{l_1},\overrightarrow{l_2})$ 是求直线 l_1，l_2 夹角的函数。如在图 2 中取 P 点作为当前起点来替换 O 点，再找下一个使得 $P'P$ 和 PD 夹角最大的相邻节点 P'，如此反复直至得到当前起点 P 与终点 D 重合，则得到的一组路段就是起点与终点间最短路径的一个解。

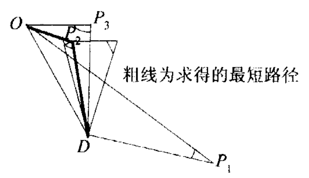

图 2　准备算法求得的 OD 间最短路径

2.2　算法描述

准备算法的算法流程图如图 3 所示。

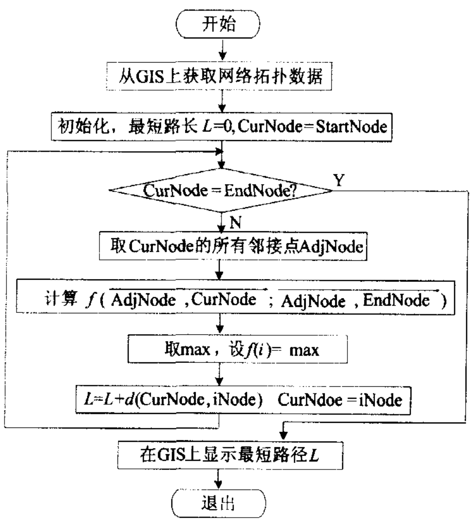

图 3　准备算法流程图

2.3　算法分析

在准备算法中，由于从起始点开始每经过一组邻接点时，只有一个节点，原一条相关联的边被选中，则直到选中的节点与终点重合时算法才结束，所以算法所要搜索的节点、边数极少，从而时间花费很少。由于求得的路径具有起、终节点的方向性趋势特征，所以在很大程度上可作为最短路径的参考。虽然由于算法条件过于简单，其可信程度难以保证，且仅能得到最短路径的一个最差解，但它却为研究下一步优化算法提供了启发性知识。

3　优化算法

3.1　优化算法的基本原理

如上所述，准备算法中每经过一个节点只选取该节点和起始点的关联边与该节点与终止节点连线夹角最大的一条边，不仅考虑了路段具有方向性特征，在选取局部最优解时也在一定程度上考虑了全局的最优性。但其结果的可信度却得不到保证。如果考虑在经过每一个节点的同时，又搜寻起、终点直线左右两边各一个满足前述交角最大的节点，及搜索一棵二叉树，自然就会提高解的精确性。

求 O 到 D 点的最短路径：设有一路径队列，最先放有起点 O，取出 O 作为当前节点，K_1 是所有与 O 点相连且 OK_1 与 OD 的夹角为负的节点，K_2 是所有与 O 点相连且 OK_2 与 OD 的夹角为正的节点，即

$$\angle(\overrightarrow{OD},\overrightarrow{OP_{i_1}}) < 0 \qquad i_1 \in K_1 \tag{2}$$

$$\angle(\overrightarrow{OD},\overrightarrow{OP_{i_2}}) \geqslant 0 \qquad i_2 \in K_2 \tag{3}$$

在 K_1 和 K_2 中分别找出满足式（1）的节点 P_1 和 P_2，有 Parent（P_1）= Parent（P_2）= 0，再将 P_1、P_2 放入路径队列，依次取出队列中的节点作为考虑对象，找出它们的子节点并放入队列，如此反复，直至队列为空，其中每个当前节点将最多有两个子节点。为了减少计算时间，并使构造的二叉树最小，可采用下列几种方法[3,4]：

（1）用准备算法所得的最差解作为优化算法的最短路径长的初始值$\angle$max。

（2）对路径队列采用 FIFO 策略，尽量减少节点遍历数。

（3）对子节点 P_1、P_2，在加入路径队列前进行判断。如果是终点 D 或已经访问过的节点，则不用加入路径队列，但要对其影响的节点和子节点的累计长度进行修改；如果该子节点当前的累加长度加上该点到终点 D 的直线距离大于当前终点 D 的累加长度，也不加入到路径队列，即不作为二叉树的分叉。

3.2　优化算法流程

优化算法流程如图 4 所示。对基于节点－弧段数据结构的优化算法，需定义一个存放节点编号的路径队列，即数组 Node []，用于存放节点的编

号，其中 i 是当前访问到的 Node [] 数组的序号，num 是 Node [] 数组中加入的节点的总数。

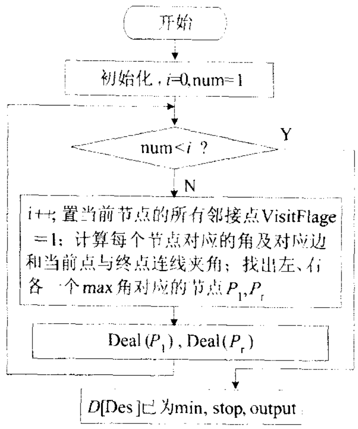

图 4　优化算法流程图

4　结束语

为了验证基于空间方向关系的使用最短路径新算法的效率，作者在开发某供电局配电网 GIS 系统上进行了相关试验。试验所用的城市道路图之一是某市供电局辖区的部分街道图，其路口节点数 $N=245$，路段（边）数 $m=410$，在该路网上任取 A、B、C、D 四点，用作者提出的算法求出 AB、CD 的最短路径，再与有关文献上的方法进行比较，结果如下表所示。N_1 为组成最短路径的路段个数；N_2 为求解过程中搜索的节点数；T 为求解所需时间（s）；L 为最短路径的长度（m）。

表　算法比较

算法	路径 AB				路径 CD			
	N_1	N_2	T/s	L/m	N_1	N_2	T/s	L/m
作者	29	36	1.9	33 652.4	15	20	1.6	30 598.4
有关文献	30	38	1.9	33 742.6	14	20	1.6	30 797.4

由上表可以得出如下结论：①作者采用的方法效果优于有关文献的方法，在搜索时间相当的情况下，精度有一定程度提高。②求解的时间与算法求解过程中搜索的节点数 N_2 大致成正比。③设网络中的节点总数为 N，节点的出度为 $d[n]$ $(n=1, 2, \cdots, N)$，$D=\max(d[n])$，则算法的复杂度与 $D \cdot N$ 成正比，其中 D 是有限常数，因而算法复杂度可表示为 $O(N)$。作者提出的算法的复杂度仅与节点数 N 成线性关系。传统的求最短路径算法，算法的复杂度与节点数 N 的幂次方成正比，如 Dijkstra 算法，复杂度为 $O(N^3)$，当节点数较大时，算法的时间花费极为庞大。所以在算法的时间复杂度上的优越性极其明显，算法性能优于有关文献。

参考文献

1　孙才新，周湶，刘理峰等著．电力地理信息系统及其在配电网中的应用．北京：科学出版社，2003

2　王朝瑞．图论（第 2 版）．北京：北京理工大学出版社，1997

3　付梦印，李杰，邓志红．限制搜索区域的距离最短路径规划算法．北京理工大学学报，2004，24（10）

4　刘云翔，陈荦，李军等．基于城市道路网的最短路径分析解决方案．小型微型计算机系统，2003，24（7）

The Algorithm of Distribution Network Practical Optimal Rush Repair Path Based Spatial Direction

Zhu Youchan

(North China Electric Power University)

Abstract　Based on the non-directional characteristics of the classical Dijkstra algorithm during the search and the particular spatial distribution of a real city transportation network, the algorithm of optimal rush repair path of the distributed network is put forward and the conclusion that the algorithm's complexity is proportion to the power of the number of nodes is presented. The instance shows that the algorithm is a practical and efficient realization of the shortest path analysis.

Keywords　tracffic network　shortest path　Dijkstra algorithm　spatial direction

收稿日期：2005－06－16