

Dijkstra算法在最佳抢修路径计算中的应用

叶品勇¹, 都洪基¹, 沈曦²

(1. 南京理工大学动力工程学院, 江苏 南京 210094; 2 南京钢铁联合有限公司, 江苏 南京 210035)

摘要: 为了保证配电网故障后的快速恢复正常供电, 将 Dijkstra 算法应用于基于 GIS 配电网的最佳抢修路径计算中。借助电网 GIS 的系统网络, 基于以空间换时间的方法, 改进拓扑网络的存储形式使 Dijkstra 算法在最短的时间内计算出最佳抢修路径。采用三个数组来存储网络拓扑图, 一个存储和路径相关的数据 (ArcList); 一个存储和节点相关的数据 (NodeList), 而数组 ArcAttrib 则用来记录各边的权值。最后通过算法实现证明了上述存储方法的可行性和快速性。

关键词: 配电网; GIS; 故障; Dijkstra 算法; 抢修路径

中图分类号: TM755 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897 (2006) 12-0039-03

0 引言

随着整个国家电网和区域电网的逐渐壮大和复杂化, 配电网发生故障的可能性将是不可避免的。而由此可能带来巨大的经济损失和不良的社会影响。因此, 当电力网络发生故障时能即时排除故障, 恢复配电网的正常供电就显得异常重要了。这必然涉及到配电网最佳抢修路径问题。

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。既是目前 GIS 系统网络分析中的一个研究热点, 也是 DMS 的重要组成部分, 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。

本文提出了基于 GIS 的配电网最佳抢修路径的数学模型, 并在此模型的基础上, 研究了 Dijkstra 算法的改进及其在 GIS 配电网中最佳抢修路径计算的实现方法。

1 最佳抢修路径的数学模型

假设有一城市交通抽象图如图 1 所示, 在 e 突发线路故障, 而抢修队此时正在 s 处, 为了能使抢修队在最短的时间内到达事故现场 (既由 s 到 e), 需要计算出最短路径通往事故现场——这就是最佳抢修路径问题。

采用有向图 $G(V, E)$ 来表示图 1 中的交通图, 令 $V = \{0, 1, 2, 3, 4\}$ 为顶点集, $E = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 为边集; W_k 为第 k 条边的权值。对 $a \in V, b \in V, p(a, b)$ 为顶点 a 到 b 的一条路径。则要求 s 到 e 的最短路径, 即使 $p(s, e)$ 的权值最小, 它等同于求

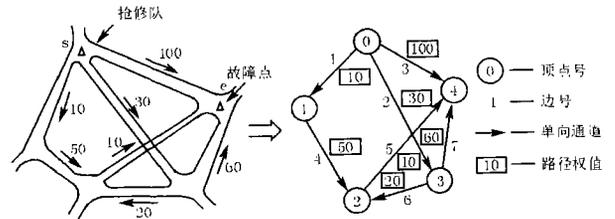


图 1 城市交通图及网络拓扑图

图 1 City transportation map and distribution network topology

$p(0, 4)$ 的最小权值。其数学表达式为:

$$F = \min_{p(0, 4)} \sum W_k \quad (1)$$

2 Dijkstra 算法的改进及实现

随着地理图形的导入, 基于 GIS 的平台就自动生成了相应的道路拓扑图, 因此我们只需研究算法, 结合 GIS 平台强大的拓扑分析功能, 就能很容易实现配电网的最佳抢修路径分析, 并且可以得到满意的结果。

经典的最短路径 Dijkstra 算法是目前多数系统解决最短路径问题采用的理论基础, 只是不同系统对 Dijkstra 算法采用了不同的实现方法。由于算法采用的数据结构及其实现方法受到计算机硬件发展水平的限制, 因此长期以来将空间存储问题放到了一个很重要的位置, 以牺牲适当的时间效率来换取空间节省。目前, 空间存储问题已不是要考虑的主要问题, 因此有必要对已有的算法重新进行考虑并进行改进, 以空间换时间来提高最短路径算法的效率。

2.1 经典 Dijkstra 算法的主要思想

对图 $G = (V, E)$, Dijkstra 算法需维护 2 个节点

集合 S : 源点 s 到目的点 d 的最短路径包含的顶点集合; $V - S$: 除去最短路径所包含的顶点外的其余顶点的集合。对每个顶点还要保留 2 个数组: a 源点至每个顶点的最短路径估计值; b 每个顶点在最短路径树中的父顶点。

Dijkstra 算法每次把 G 中以 S 集中的顶点为父点和以 $V - S$ 集中的顶点为子点的最短边的子点加入 S 中, 直到加完所有的顶点或当 $V - S$ 点集中只剩下最短距离为无穷大的点为止。该算法实际上是保证局部距离最短以获得整体距离最短, 是一种基于贪心策略的算法。若从源点到某点的路径不存在, 则可假设该点的最短路径是一条长度为无穷大的虚拟路径。

从上面分析可见, Dijkstra 算法过程是从未被确定为最短路径顶点的所有顶点中选择一个权值最小的弧段, 直到比较得到这一顶点为止, 然后再继续前

面相同的工作, 不断循环反复。因此, 如果不采用任何技巧各顶点以无序的形式存放在一个链表或数组中。那么要选择一个权值最小的弧段就必须把所有的未确定顶点都扫描一遍, 在大数据量的情况下, 这无疑是一个制约计算速度的瓶颈。要解决这个问题, 最有效的做法是在各顶点和边之间按顺序建立链表关系, 这样每循环一次即可找到一条路径, 比较路径权值, 从而快速得到最佳路径, 大大提高了算法的执行效率。

2.2 网络拓扑关系的建立

拓扑网络在数学和计算机领域中通常被抽象为图, 所以其基础是图的存储表示。一般而言, 无向图可以用邻接矩阵和邻接多重表来表示, 而有向图则可以用邻接表和十字链表表示, 其优缺点的比较见表 1 所示。

表 1 几种存储方式的比较

Tab 1 Comparison among several storing fashions

名称	实现方法	优点	缺点	时间复杂度
邻接矩阵	二维数组	易判断两点间关系, 易求顶点度	占用空间大	$O(n^2 + m \times n)$
邻接表	链表	节省空间, 易得到顶点的出度	不易判断两点间关系, 不易得到顶点的入度	$O(n + m)$ 或 $O(n \times n)$
十字链表	链表	空间要求小, 易求顶点出入度	结构较复杂	$O(n + m)$ 或 $O(n \times n)$
邻接多重表	链表	节省空间, 易判断两点间的关系	结构较复杂	$O(n + m)$ 或 $O(n \times n)$

表 1 比较了各种图的存储结构。在 GIS 中的网络一般为各种道路、管网、管线等, 这些网络一般都是有向带权图, 且不同的方向可能有不同的权值。并且根据最短路径算法的特性可以知道, 顶点的出度是个重要指标, 但是其入度在算法里则不必考虑。综合以上 4 种存储结构的优缺点, 在这里采用了两个数组来存储网络图, 一个用来存储和路径相关的数据 (ArcList), 另一个则存储和顶点相关的数据 (NodeList)。ArcList 用于存储以路径起点的顶点号为顺序的路径排列, 同一起点的路径可以任意排序。这个数组用来模拟于邻接矩阵的压缩存储方式, 其内容则具有邻接多重表的特点, 即一条边以两顶点表示。NodeList 相当于一个记录了顶点出度的索引表, 通过它可以很容易得到此顶点的出度以及与其相连的第一条路径在路径数组 ArcList 中的位置。此外, 属性数据是 GIS 中不可缺少的一部分, 因此用一个数组 (ArcAttrib) 来记录各边的相关属性值 (权值)。这样, 我们建立了三个数据表, 这时我们计算最佳路径所需的网络信息已经完备。在顶点已编号的情况下, 建立 ArcList 和 NodeList 两个表以及对

ArcList 的排序, 其时间复杂度共为 $O(2n + \lg n)$ 。图 2 是图 1 网络拓扑图采用这个结构的示意图。

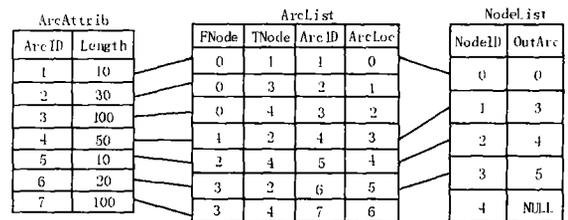


图 2 网络拓扑的存储结构

Fig 2 Structure of storing network

注: 上述三个数组 ArcAttrib 用于存储边的权值; ArcList 用于存储路径顶点关联数据; NodeList 用于存储顶点相关数据。ArcID、NodeID 分别为边和顶点, Length 记录了边的权值; FNode、TNode 记录相应边的出顶点和入顶点; ArcLoc 记录 ArcList 数组中各条边的排列序号; OutArc 记录与出顶点相连的第一条路径在 ArcList 中的位置, 且当其值为 NULL 时表示其出度为 0, 即没有指向其它顶点的路径。

2.3 Dijkstra 算法的实现

在构造出网络的存储结构之后可以很容易地得

到 Dijkstra 的算法实现。由数组 NodeList 和路径结点关联矩阵 ArcList 便可很容易地得到所要找的源点和终点以及由源点到终点的所有可能路径,然后再通过调用数组 ArcAttr 得到相应路径的权值,最后通过比较各个路径权值取最小者即为所求的最短路径。例如求顶点 0 到顶点 4 的最短路径,有以下四种情况,如图 3、4 所示。

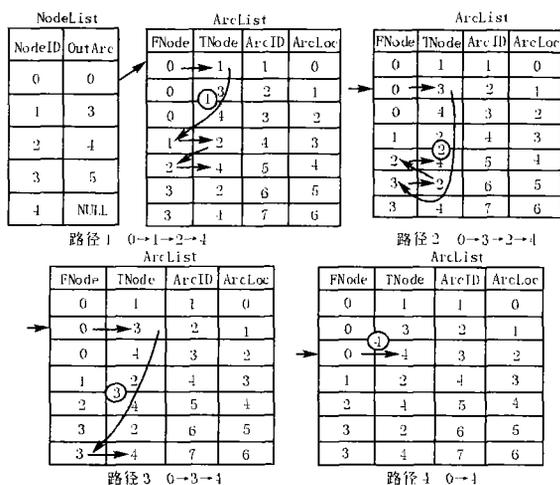


图 3 由顶点 0 到顶点 4 的所有路径

Fig 3 All paths from apex 0 to apex 4

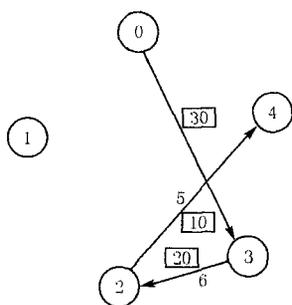


图 4 由顶点 0 到顶点 4 的最短路径

Fig 4 The shortest path from apex 0 to apex 4

表 2 以 0 为源点到各顶点的最短路径

Tab 2 The shortest paths from apex 0 to other apexes

源点	中间顶点	终点	路径权值
0		1	10
0		3	30
0	3	2	50
0	3,2	4	60

各路径权值分别是: $10 + 50 + 10 = 70$; $30 + 20 + 10 = 60$; $30 + 60 = 90$; 100 。取最小值 60,则最短路径为: (0, 3, 2, 4)。同理可以求出任意两点之间的最短路径。表 2 列出了从源点 0 到各顶

点的最短路径。

由上述分析可知,采用三个数组的存储结构虽然占用相对较多的存储空间,但是它能够快速有效地查找到任意两顶点之间的最短路径,这符合电网最佳抢修路径计算的要求,在最短的时间内得到最优通行路径,从而可以保证抢修队在最短的时间内到达事故现场。

3 结语

从上面的分析研究表明,本文提出的基于 GIS 配电网的最佳抢修路径分析数学模型的正确性以及 Dijkstra 算法在最佳抢修路径计算应用的可行性。

参考文献:

[1] 苏义荣,邱淘西,邱家驹. 配电网拓扑分析的研究 [J]. 浙江电力, 2001, 20(5): 35-45.
 SU Yi-rong, QIU Tao-xi, QIU Jia-ju. The Research of Power Distribution Network Analysis [J]. Zhejiang Electric Power, 2001, 20(5): 35-45.

[2] 黄远. Dijkstra 算法的基本思想及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
 HUANG Yuan. The Basic Thoughts and Application of Dijkstra Algorithm [M]. Beijing: China Machine Press, 2003.

[3] 孙才新,刘理峰. 电力地理信息系统及其在配电网中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
 SUN Cai-xin, LIU Li-feng. Electric Power Geographic Information System and Its Application in Distribution Network [M]. Beijing: Science Press, 2003.

[4] 郑勇,周步祥. 基于 GIS 系统的配电网结构分析 [J]. 计算机应用研究, 2004.
 ZHENG Yong, ZHOU Bu-xiang. Distribution Network Structure Analysis Based on GIS System [J]. Computer Application Research, 2004.

收稿日期: 2005-11-17; 修回日期: 2005-12-31

作者简介:

叶品勇 (1982 -), 男, 硕士研究生, 主要从事继电保护和电力系统稳定的研究; E-mail: yepinyong@yahoo.com.cn

都洪基 (1960 -), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统稳定、单片机和继电保护研究;

沈曦 (1967 -), 女, 工程师, 主要从事能源管理工作。

(下转第 51 页 continued on page 51)

- [D]. 天津:天津大学, 2001.
WEN Bao-lun Research of the Models of Urban Power Supply, Thesis[D]. Tianjin: Tianjin University, 2001.
- [6] 王振铭,等. 全国热电学术会议论文选编 [Z]. 中国电机工程学会热电专业委员会, 1990.
WANG Zhen-ming, et al Collection of Thesis at the National CHP Technology Conference [Z]. The CHP Commission of Chinese Society of Electrical Engineering, 1990.
- [7] 孙延海. 世界热电厂发展趋势 [EB/OL]. www. icxo. com. 2004. 4. 17.
SUN Yan-hai The Development Trend of International CHP Industry [EB/OL]. www. icxo. com. 2004. 4. 17.
- [8] 萧国权,徐绳均. 电力规划 [M]. 北京:水利电力出版社, 1993.
XIAO Guo-quan, XU Sheng-jun Power System Planning [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1993.
- [9] Regional Application Center Cooling, Heating and Power (CHP) Guidebook [Z]. 2001.
- [10] Tozer R, James R W. Heat Powered Refrigeration Cycles Applied Thermal Engineering [Z]. 1998
- [11] 北京中关村软件园热电厂冷联技术方案 [EB/OL]. www. Chinese. com. 2001. 3. 15.
The Technical Proposal of CHP of Zhong-guan Village in Beijing [EB/OL]. www. Chinese. com. 2001. 3. 15.

收稿日期: 2005-10-13; 修回日期: 2005-12-18

作者简介:

贺玉婷 (1980 -), 女, 硕士研究生, 从事电力系统规划方面的研究; E-mail: Heyt@enfi. com. cn

程浩忠 (1962 -), 男, 博导, 主要从事电压稳定、电网规划、电能质量、电力市场等方面的科研工作;

熊虎岗 (1974 -), 男, 博士, 研究方向为无功控制和电力系统电压稳定分析。

Design and analysis of CHP system applying for the large scale electro-area

HE Yu-ting¹, CHENG Hao-zhong¹, X DNG Hu-gang¹, XI Xun², XIA Yi², XI Zeng-hui², SHEN Xiao-lan²

(1. Institute of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. East Shanghai Power Supply Branch, Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200122, China)

Abstract: Distributed heating and power fashion are brought forward by many scholars and experts to relieve the tension of electric power supply. The concept of the new pattern CHP system is introduced in the paper, then the situation of the development of this technology in China and abroad is described. The planning principles and the selection method of devices are elaborated. To show the superiority of CHP, the most suitable CHP system of an international medical zone is designed. Its necessary economic targets are calculated and its capability to decrease the gap between the electricity peak and valley is analyzed. Its sensibility to some variable economic factors is discussed. After the comparison with the normal electrical grid, the conclusion is that CHP system is preponderant in the respects of both reliability and economical efficiency, and is worth being popularized.

Key words: CHP system; payback period of investment; RR; program of power supply

(上接第 41 页 continued from page 41)

Application of the Dijkstra algorithm in the best repairing path

YE Pin-yong¹, DU Hong-ji¹, SHEN Xi²

(1. Power Engineering College, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. Nanjing Steel Allied Co., Ltd, Nanjing 210035, China)

Abstract: In order to quickly restore the normal power supply after the distribution network breakdown, this paper applies the Dijkstra algorithm for the best repairing path computation in distribution network based on GIS. This method aids the electrical GIS system network, based on the method of trading the time by the space, improves the way to store network and makes the Dijkstra algorithm calculate out the best repairing path in the shortest time. Three arrays are employed to store the distribution network graph. One is used for storing the datum correlated with path (ArcList). The other is used for storing the datum correlated with node (NodeList). And the array ArcAttrib is used for recording each side value. Finally, the storing method is proved feasibility and rapidity through the algorithm realization.

Key words: distribution network; GIS; breakdown; Dijkstra algorithm; repairing path