

水准网结点间最短路径搜寻方法探讨

Discussion on the Search Method for the Shortest Path between the Horizontal Network Nodes

穆高飞

Gaofei Mu

中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司 中国·陕西 西安 710054

Xi'an Engineering Investigation & Design Research Institute of China National Nonferrous Metals Industry Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710054, China

摘要: 论文介绍了图论的相关知识,进而采用广度优先搜索法(Breadth-First-Search),自动读取数字水准仪电子记录数据文件中的原始数据,找出水准网结点之间最短路径,为后续生成树准备数据。

Abstract: This paper introduces the relevant knowledge of graph theory, and then adopts the breadth-first search method (Breath-First-Search) to automatically read the raw data in the electronic record data file of the digital level, find out the shortest path between the level network nodes, and prepare the data for the subsequent generation tree.

关键词: 水准网; 最短路径; 结点; 深度优先搜索

Keywords: leveling network; shortest path; node; depth first search

DOI: 10.12346/se.v5i1.8111

1 引言

随着测绘科学技术的发展,数字水准仪以其精度高、使用方便、操作简单、速度快等优点正被广泛用于各种精度等级的水准网测量,随之而来的水准网平差软件也越来越多,目前主流的水准网平差软件有武汉大学的科傻 Cosa、北京山维科技股份有限公司的清华山维 Nasew 及南方测绘公司的南方平差易软件等。这些软件均为按条件严密平差,平差后都没有统计水准网结点之间的距离,而现行标准、规范均对水准网路线结点之间的长度有规定,即结点之间的路线长度不应大于相应等级路线长度的 70%^[1]。

表 1 为 GB 50026—2020《工程测量标准》对结点之间路线长度的规定。

表 1 《工程测量标准》对结点之间路线长度的规定

等级	每千米高差全中误差 (mm)	路线长度 (km)	水准仪级别	水准尺	观测次数		往返较差、附合或环线闭合差	
					与已知点联测	附合或环线	平地 (mm)	山地 (mm)
二等	2	—	DS1、DSZ1	条码因瓦、线条式因瓦	往返各一次	往返各一次	4√L	—

等级	每千米高差全中误差 (mm)	路线长度 (km)	水准仪级别	水准尺	观测次数		往返较差、附合或环线闭合差	
					与已知点联测	附合或环线	平地 (mm)	山地 (mm)
三等	6	≤50	DS1、DSZ1	条码因瓦、线条式因瓦	往返各一次	往一次	12√L	4√n
						往返各一次		
四等	10	≤16	DS3、DSZ3	条码式玻璃钢、双面	往返各一次	往一次	20√L	6√n
五等	15	—	DS3、DSZ3	条码式玻璃钢、单面	往返各一次	往一次	30√L	—

注: 1 结点之间或结点与高级点之间的路线长度不应大于表中规定的 70%;
 2 L 为往返测段、附合或环线的水准路线长度(km), n 为测站数;
 3 数字水准测量和同等级的光学水准测量精度要求相同,作业方法在没有特指的情况下均称为水准测量;
 4 DSZ1 级数字水准仪若与条码式玻璃钢水准尺配套,精度降低为 DSZ3 级;
 5 条码式因瓦水准尺和线条式因瓦水准尺在没有特指的情况下均称为因瓦水准尺。

表 1 中,二等精度线路长度没有规定,是因为二等水准测量精度很高,工程测量中基本不用二等水准,如果采用二等水准距离也不能超过规范中要求的 750km^[2],五等精度线

【作者简介】穆高飞(1989-),男,中国陕西乾县人,本科,工程师,从事变形监测与无人机航空摄影研究。

路长度没有规定,是因为五等水准测量精度要求很低,现行的水准测量很容易满足相应的精度指标要求。

2 数字水准仪记录格式分析

数字(电子)水准仪,是基于自动安平水准仪,在望远镜光路中,增加了分光镜和探测器(CCD)^[1],并采用钢瓦条码标尺和图像,处理电子系统构成的光机电测量一体化的高科技测量仪器。

数字水准仪电子记录的水准测量原始数据文件一般包括以下内容:

文件头,包含文件名称、观测人员、测量的模式、仪器的型号、测量的条件等信息;测站信息,一般按照测量的先后顺序存储在不同的数据行内,含有点号、测量时间、线路号、前尺读数 Rf、前视距离 HD、后尺读数 Rb 和后视距离 HD。

测段,含有 Start-Line 标志,表示一个测段的开始,测量模式代码(如 BFFB、BF、BBFF、aBFFB、aBFFB、aBBFF),测段的前视距离累计值 Df,后视距离累计值 Db 和测段的高差 Sh,高差不符值 dz,含有 End-Line,表示测段结束标志,含有“#####”标志的行为无效性,表示所观测的外业数据超限而需要重新观测的数据,含有“Measurement repeated”的数据行是水准标尺重新测量的标志,其表示下一行数据是对其上一行超限数据的重新观测。含有“Station repeated”的数据行表示测站重新观测,该行后的观测数据是对超限测站的重新观测,一般每个测段由多个测站构成。

根据数字水准仪原始数据电子记录数据文件结构信息,进行数据读取,读取的方法为:首先打开数据文件并按照规定进行读取数据,读入文件头,并开始寻找测段的开始标识;找到后按照需求有选择性地读入测站数据,直至遇到测段结束标志,最终提取保存有用的数据。

3 结点的确定和相应点赋权值

对于水准控制测量网点,一般可按已知点、结点、一般点进行划分,权值可人为赋值为 3、2、1,如表 2 所示。

表 2 不同类型点对应的权值表

点类型	权值
已知点	3
结点	2
一般点	1

3.1 结点搜寻与确定

对水准测量原始数据电子记录数据文件进行自动搜寻,当某点仅有前视读数或者后视读数并且该点含已有高程值时,则该点即为已知点,并赋予权值 3,当该点无高程值时,可认为是支水准路线断点,按一般点对待;当某点既有前视读数又有后视读数时,并且重复次数大于等于 3 次时,即为结点,并赋予权值 2;当某点仅有一次前视读数和后视读数

时,则该点即为一般点,并赋予权值 1。

3.2 图论的相关定义

图算法描述了如何处理图以及发现一些定性(量)的结论。它是基于图论的原理,利用节点之间的关系来推算复杂系统的结构和变化。是图分析的有效工具之一,为分析连接数据提供了一种可靠的办法,图(Graph)是由顶点的有穷非空集合 $V(G)$ 和顶点之间边的集合 $E(G)$ 构成, G 表示图通常表示为: $G=(V, E)$, V 是图 G 中顶点的集合, E 是图 G 中边的集合。如果 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 则用 $|V|$ 表示图 G 中顶点的个数,也称图 G 的阶, $E=\{(u, v | u \in V, v \in V)\}$, 用 $|E|$ 表示图 G 中边的条数。

树(Tree)是 $n(n \geq 0)$ 个结点的有限集合, $n=0$ 时称为空树。在任意一颗非空树中;有且仅有一个特定的称为树根的结点。当 $n > 1$ 时,其余结点可分为 $m(m > 0)$ 个互不相交的有限集合 $T_1, T_2, T_3, \dots, T_m$, 其中每个集合本身又是一棵树,并且称为树根的子树(subtree)。

若连通图 G 的一个子图是一棵包含图 G 中所有顶点的树则该子图称为图 G 的生成树(SpanningTree)。图的生成树是不唯一的。

3.3 结点之间最短路径搜寻

从图中的某一顶点出发,按照某种搜索方法沿着图中的边对图中的所有顶点访问一次且仅访问一次,就叫图的遍历(Traversing Graph),它是图的基本运算一般采用深度优先搜索法(Depth-First-Search)和广度优先搜索法(Breadth-First-Search)。

3.3.1 深度优先搜索法

深度优先搜索法(Depth-First-Search)英文缩写为 DFS,属于图算法的一种,是一种针对图和树的遍历算法。

深度优先搜索法的主要思路是从图中任一个未访问的顶点开始,沿着一条路径一直到最后顶点,然后原路返回,再沿着另一条路径一直到最后一个顶点,不断重复此过程,直到所有顶点都遍历完成,如图 1 所示。

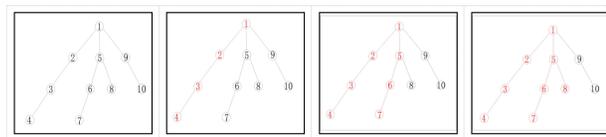


图 1 深度优先遍历及顺序图

①从根节点 1 开始遍历,它相邻的子节点有 2、5、9,先遍历子节点 2,再遍历 2 的子节点 3,然后再遍历 3 的子节点 4。

②从根节点 1 开始沿着左侧的路径遍历到子节点 4,此时,子节点 4 再无临边,然后,从子节点 4 回溯到上一个节点 3,查看节点 3 是否还有除子节点 4 以外的节点。没有,则继续回溯到节点 2,节点 2 也没有除 3 以外的节点,回溯到根节点 1,根节点 1 还有除 2 以外的子节点 5、9,所以从

子节点 5 开始又进行深度优先遍历。

③同理，从子节点 7 开始往上回溯到节点 6，节点 6 没有除子节点 7 以外的子节点，再往上回溯到 5，发现节点 5 有除子节点 6 以外的子节点 8，所以此时会遍历节点 8。不断重复此过程，直至所有节点都遍历完成。

深度优先搜索法，能够找出所有解决的方案，优先搜索一棵子树，然后是另一子树，所以和广度优先搜索法相比较，需要占用的内存相对较少，但是要遍历多次，搜索所有可能的路径，标识做了之后还要取消。在深度很大的情况下效率不是很高。

3.3.2 广度优先搜索法

广度优先搜索法 (Breath-First-Search) 也称宽度优先搜索法，英文缩写为 BFS；广度优先搜索法的思想是从某个顶点 V 出发，访问该顶点的所有邻接点 $V_1, V_2, V_3, \dots, V_N$ ，然后从邻接点 $V_1, V_2, V_3, \dots, V_N$ 出发，再访问他们各自的所有邻接点，重复上述步骤，直至所有的顶点都被访问过。广度优先遍历图如图 2 所示。

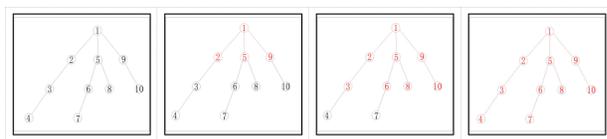


图 2 广度优先遍历及顺序图

- ①从根节点 1 开始，遍历与根节点 1 相邻的 2、5、9 子节点。
- ②第一层节点 2、5、9 遍历完成后，开始遍历第二层节

点 3、6、8、10。

③重复以上操作，直至遍历所有节点。

广度优先搜索法属于一种盲目的搜寻法，目的是系统地展开并检查图中的所有的节点，以寻找结果。它并不考虑结果的可能位置，而是彻底地搜索整张图，直至找到结果为止。对于解决最短或最少问题特别有效，而且寻找深度小，每个节点只访问一遍，节点总是以最短路径被访问，所以第二次路径确定不会比第一次短，搜索效率高，时间短，但是相对于深度优先搜索法而言，广度优先搜索法一般需要存储产生的所有结点，计算机需要耗费大量的内存来存储数组，占的存储空间要比深度优先搜索法大得多。

4 结语

当某条记录与另一条记录中起终点号相同，或者起始点号与终止点号相同时，则比较这两条记录中的距离，距离小的这条记录就是结点之间最短路径。这就是我们需要寻找的最短路径。最短路径的距离、高差，既是后续寻找最小独立闭合环进行水准网平差的计算数据，也是判定结点之间路线长度是否满足标准规范要求的依据。

参考文献

- [1] GB 50026—2020 工程测量标准(附条文说明)[S].
- [2] GB/T 12897—2006 国家一、二等水准测量规范[S].
- [3] 胡彬彬,夏金超,孟祥广.数字水准仪观测数据文件预处理[J].地理空间信息,2008,6(5):133-135.