

基于 Delaunay 三角网的 GNSS 控制网闭合环自动搜索算法研究及应用

钟全金 (江西理工大学建筑与测绘工程学院, 江西赣州 341000)

摘要 计算 GNSS 控制网的同步环和异步环的闭合差是衡量 GNSS 控制网测量精度的重要依据, 然而某些商业 GNSS 软件不能完全搜索所有闭合环。在建立 Delaunay 三角网基础上, 提出了一种新的 GNSS 控制网闭合环自动搜索算法, 并根据此算法采用 C# 语言编写软件。结果表明, 该算法实现了 GNSS 控制网所有闭合环的闭合差快速计算和检核, 提高了 GNSS 控制网测量精度, 丰富了农业生产实践作业效率。

关键词 GNSS; Delaunay 三角网; 同步环; 异步环; 闭合差

中图分类号 S12 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)25-10522-02

Research and Application of GNSS Control Network Closed Loop Automatic Search Algorithm Based on Delaunay Triangulation

ZHONG Quan-jin (School of Architectural and Surveying & Mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000)

Abstract Calculating loop closure difference of synchronous and asynchronous of GNSS control network is an important basis for measuring the accuracy of GNSS control network, however, some commercial GNSS software can't search all closed ring. A new kind of GNSS control network closed loop automatic search algorithm was put forward on the basis of establishing Delaunay triangulation net, and C# was used to develop software according to the algorithm. Studies showed that the algorithm realized fast calculation and check of closed error of all closed loop of GNSS control network, improved the measurement accuracy GNSS control network and enriched the practical efficiency of agricultural production.

Key words GNSS; Delaunay triangulation; Synchronizing ring; Asynchronous ring; Closed error

在 GNSS 控制网数据处理过程中往往需要计算 GNSS 网中同步环和异步环的闭合差。以往这些闭合环的计算方法有两种: ①通过手工计算完成虽然灵活, 但费时又易出错, 对于复杂情况就不适用; ②采用诸如 HD2003 数据处理软件包、南方 GPS 处理软件和 TGO 数据处理软件等商用软件进行搜索闭合环及其闭合差, 然而这类软件有些不但搜索闭合环和计算其闭合差速度慢, 而且不能搜索所有可能的闭合环组合, 易遗漏, 如 HD2003 数据处理软件包^[1]。为此, 笔者在构建 Delaunay 三角网^[2]基础上, 提出了一种新的 GNSS 控制网闭合环自动搜索算法, 并根据此算法采用 C# 语言编写软件, 实现了 GNSS 控制网的所有闭合环的闭合差快速搜索、计算和检核, 提高了 GNSS 控制网测量精度, 同时大大地提高了农业规划设计效率。以下对其算法及其应用进行详细探讨。

1 GNSS 控制网闭合环概述

GNSS 控制网中的闭合环包括同步环和异步环, 同步环是指在用 GNSS 进行测量中, 由 3 台或 3 台以上接收机进行同步观测所获得的基线向量构成的闭合多边形。异步环是由数条独立基线边构成的闭合多边形。在探讨 GNSS 控制网闭合环自动搜索算法过程中涉及到边界边和边界结点两个概念。边界边是指只属于一个三角形的边, 如图 1 所示边 AO 和 OE。边界结点是指从该点出发的边中有 3 条或 3 条以上的边界边, 如图 1 所示 O 点有 4 条边界边, O 点是边界结点, 其余都不是。

2 算法描述

笔者提出的基于 Delaunay 三角网的 GNSS 控制网闭合环自动搜索算法可以分以下步骤进行。

2.1 构建边界边集合 利用 GNSS 控制点坐标数据建立 Delaunay 三角网, 然后对其三角形的各边进行是否是基线的判断。删除不是基线的三角形的边, 如果三角形的 3 边都不是基线, 则从 Delaunay 三角网踢出这个三角形。最后根据“1”中的定义, 搜索出 Delaunay 三角网中所有的边界边。

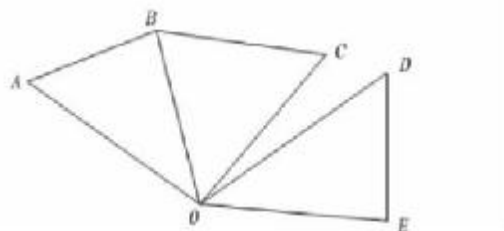


图 1 边界边和边界结点示例

2.2 构建边界结点集合 根据“1”中的边界结点定义搜索具有 3 条或 3 条以上边界边的边界点。

2.3 搜索同步环和异步环^[3] 根据同步观测的时间搜索具有 3 台或 3 台以上基线的三角形, 确定同步环并且建立同步环集合。异步环的搜索分两步: ①搜索最简结点异步环; ②搜索无边界结点的边界异步环。最简结点异步环是指搜索每个结点所有可能的边界闭合路线, 找出所有不重复的边数最少的边界闭合路线。无边界结点的边界异步环是指在最简结点异步环的基础上, 找出没有被最简结点异步环所使用的边界边, 进而搜索其所有的闭合环。

2.4 计算闭合环的闭合差^[4] 由基线的观测时段数可以搜索出同步环及其异步环的所有组合, 利用相关数据信息可以进行各种闭合环的闭合差和基线平均值计算。根据《GBT 18314-2009 全球定位系统 (GPS) 测量规范》的同步环及异步环限差要求进行闭合环的限差计算, 最后对每组闭合环组合进行超限判别检核。

图 2 为程序设计的基本流程。

作者简介 钟全金 (1991-), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 研究方向: 工程测绘及空间数据采集技术等方面, E-mail: 1043260131@qq.com。

收稿日期 2013-08-01

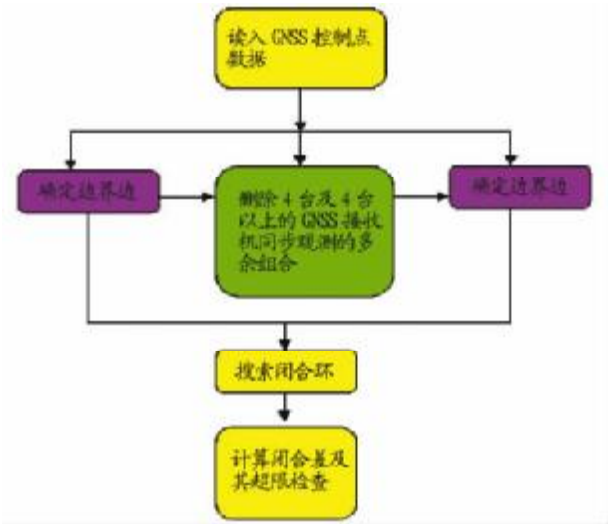


图2 软件流程

同步环:G218 G217 G219
限差:Ws=0.003 1 Wx、y、z=0.001 8
同步 (1):合格
时段: G217→G218, 2085 G217→G219, 2081 G218→G219, 2081
闭合差:Ws=0.000 2 Wx=0.000 1 Wy=0.000 1 Wz=0.000 1
同步 (2):合格
时段: G217→G218, 2096 G217→G219, 2092 G218→G219, 2092
闭合差:Ws=0.001 1 Wx=0.000 1 Wy=0.000 9 Wz=0.000 6

图3 同步环的各种基线组合

异步环:G202 G201 G203
时段数:
1 G201→G202 (1): 2042
2 G201→G203 (2): 2031 2042
3 G202→G203 (3): 2042 2043 2044
限差:Ws=0.0453 Wx、y、z=0.0262
组合 (1):合格
时段: G201→G202, 2042 G201→G203, 2031 G202→G203, 2042
闭合差:Ws=0.005 9 Wx=0.002 8 Wy=0.003 7 Wz=0.003 7
组合 (2):合格
时段: G201→G202, 2042 G201→G203, 2031 G202→G203, 2043
闭合差:Ws=0.010 8 Wx=0.001 0 Wy=0.008 4 Wz=0.006 7
组合 (3):合格
时段: G201→G202, 2042 G201→G203, 2031 G202→G203, 2044
闭合差:Ws=0.008 5 Wx=0.007 2 Wy=0.001 2 Wz=0.004 4
组合 (4):合格
时段: G201→G202, 2042 G201→G203, 2042 G202→G203, 2043
闭合差:Ws=0.004 2 Wx=0.001 7 Wy=0.002 9 Wz=0.002 6
组合 (5):合格
时段: G201→G202, 2042 G201→G203, 2042 G202→G203, 2044
闭合差:Ws=0.008 1 Wx=0.004 5 Wy=0.006 7 Wz=0.000 3

图4 异步环的各种基线组合

3 算例及其分析

根据此算法,笔者利用当前较流行的 C#语言和 WPF 技

术编写了搜索 GNSS 控制网闭合环的软件^[5]。现以笔者以在赣州市某县标准良田测绘任务中布设的一个边点混连式的 GNSS 控制网为例进行该算法和软件试用分析。如图 3 所示,首先搜索 GNSS 控制点组合,然后计算坐标增量限差和边长限差。根据同一观测时段搜索同步环所有组合,计算其闭合差并检核其是否超限。如图 4 所示,异步环的路线为 G202、G201 和 G203,这个异步环包含了观测时段、限差计算结果和 5 种异步环组合的闭合差及其限差超限检核等信息^[6]。

研究证明,依据此算法搜索同步环和异步环不会有遗漏现象,如图 5 软件界面中紫色边界构成的环为异步环,其余的为同步环。与此同时,软件也详细地搜索计算出异步环的多种基线组合全部信息,具有搜索所有闭合环并计算其闭合差和超限检核功能,大大提高了其 GNSS 控制网的测量精度^[7]。

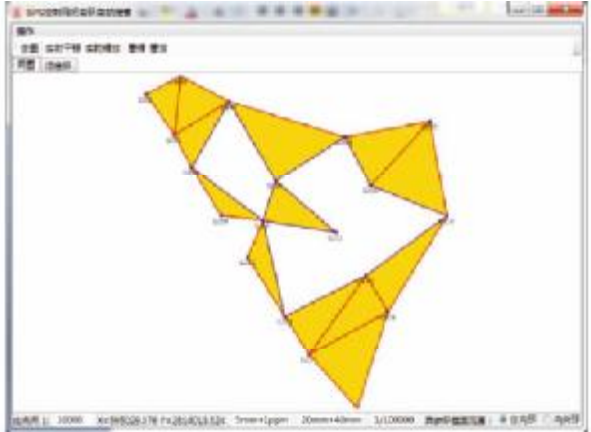


图5 主界面

4 结语

基于 Delaunay 三角网的 GNSS 控制网闭合环自动搜索算法配合该软件不仅可以较好地解决同步环和异步环搜索遗漏问题,而且软件给出了其闭合环的所有不同基线组合及其相关信息。最后,该算法适用于所有接收机且数量不限,具有很强的实用性,现已经被赣州市某单位生产实践所用并取得较好的效果,大大提高了野外农业规划测绘设计工作效率。

参考文献

[1] 李征航,黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2008.

[2] 单煦翔. 一种高效构建 Delaunay 三角网的算法[J]. 江南大学学报:自然科学版,2010,9(4):191-195.

[3] 陈玉莹. 控制网最小独立闭合环的搜索算法[J]. 工程勘察,2010(5):65-69.

[4] 白征东. GPS 网中最小独立闭合环的自动搜索[J]. 测绘科技动态,1994(2):18-21.

[5] 刘汉青,丁久中,孙福安,等. GPS 控制网质量控制软件的开发与应用[J]. 物探装备,2008(2):122-125.

[6] 罗三明,黄曲红,王西宁,等. 控制网最小独立闭合环自动搜索算法研究[J]. 大地测量与地球动力学,2009(6):93-100.

[7] 高桂裳,余学翔,丁恺,等. GPS 网外业观测成果质量检核[J]. 测绘信息与工程,2008,33(4):22-24.