

GPS 基线质量自动判别的方法初探

牛琳^{1,2}, 陈建平^{1,2}

1 中国地质大学(北京), 北京(100083)

2 北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 北京(100083)

E-mail: libbyniu2004@163.com

摘要: 本文为了提高处理 GPS 基线的效率和质量, 结合了一定的图论的知识, 编写了相应的程序, 初步实现了基线质量的自动判别, 有一定的现实意义。

关键词: GPS; 基线质量; 自动判别

中图分类号: P228.4

1. 绪论

目前的 GPS 基线数据处理数据技术中尚存在着若干问题未能圆满解决, 为提高处理 GPS 基线的效率与质量, 商用软件中有许多人工干预功能来弥补。但目前的商用软件尚不能完全实现基线质量好坏的自动判别, 编写相应的计算程序有现实意义。GPS 基线质量一般是由以下的指标来考察的, 包括: 单基线的模糊度检验倍率和单位权中误差, 重复基线较差, 同步环及异步环闭合差等。

2. 基线解算阶段的质量控制

2.1 质量控制指标

质量控制指标^[1]:

<1>单位权方差因子 $\hat{\sigma}_0$

定义

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{f}} \quad (2.1)$$

其中:

V 为观测值的残差;

P 为观测值的权;

n 为观测值的总数。

实质

单位权方差因子又称为参考因子。

<2>数据删除率

定义

在基线解算时, 如果观测值的改正数大于某一个阈值时, 则认为该观测值含有粗差, 则需要将其删除。被删除观测值的数量与观测值的总数的比值, 就是所谓的数据删除率。

实质

数据删除率从某一方面反映出了 GPS 原始观测值的质量。数据删除率越高, 说明观测值的质量越差。

<3>RATIO

定义

$$RATIO = RMS_{\text{次最小}} / RMS_{\text{最小}} \quad (2.2)$$

显然, $RATIO \geq 1.0$

实质

$RATIO$ 反映了所确定出的整周未知数参数的可靠性, 这一指标取决于多种因素, 既与观测值的质量有关, 也与观测条件的好坏有关。

<4>RDOP

定义

所谓 $RDOP$ 值指的是在基线解算时待定参数的协因数阵的迹 ($tr(Q)$) 的平方根, 即

$RDOP = (tr(Q))^{1/2}$ $RDOP$ 值的大小与基线位置和卫星在空间中的几何分布及运行轨迹 (即观测条件) 有关, 当基线位置确定后, $RDOP$ 值就只与观测条件有关了, 而观测条件又是时间的函数, 因此, 实际上对与某条基线向量来讲, 其 $RDOP$ 值的大小与观测时间段有关。

实质

$RDOP$ 表明了 GPS 卫星的状态对相对定位的影响, 即取决于观测条件的好坏, 它不受观测值质量好坏的影响。

<5>RMS

定义

RMS 即均方根误差 (Root Mean Square), 即:

$$RMS = \sqrt{\frac{V^T V}{n-1}} \quad (2.3)$$

其中:

V 为观测值的残差;

P 为观测值的权;

n 为观测值的总数。

实质

RMS 表明了观测值的质量, 观测值质量越好, RMS 越小, 反之, 观测值质量越差, 则 RMS 越大, 它不受观测条件 (观测期间卫星分布图形) 的好坏的影响。

依照数理统计的理论观测值误差落在 1.96 倍 RMS 的范围内的概率是 95%。

<6>同步环闭合差

定义

同步环闭合差是由同步观测基线所组成的闭合环的闭合差。

特点及作用

由于同步观测基线间具有一定的内在联系, 从而使得同步环闭合差在理论上应总是为 0 的, 如果同步环闭合差超限, 则说明组成同步环的基线中至少存在一条基线向量是错误的, 但反过来, 如果同步环闭合差没有超限, 还不能说明组成同步环的所有基线在质量上均是合格的。

<6>异步环闭合差

定义

不是完全由同步观测基线所组成的闭合环称为异步环, 异步环的闭合差称为异步环闭合差。

特点及作用

当异步环闭合差满足限差要求时,则表明组成异步环的基线向量的质量是合格的;当异步环闭合差不满足限差要求时,则表明组成异步环的基线向量中至少有一条基线向量的质量不合格,要确定出哪些基线向量的质量不合格,可以通过多个相邻的异步环或重复基线来进行。

<7>重复基线较差

定义

不同观测时段,对同一条基线的观测结果,就是所谓重复基线。这些观测结果之间的差异,就是重复基线较差。

2.2 质量控制指标的应用

RATIO、RDOP 和 RMS 这几个质量指标只具有某种相对意义,它们数值的高低不能绝对的说明基线质量的高低。若 RMS 偏大,则说明观测值质量较差,若 RDOP 值较大,则说明观测条件较差。

3. 本文中所解决的问题

3.1 基线向量的解算

基线向量的解算是一个复杂的计算过程。解算时要顾及观测时段中信号间断引起的数据剔除、观测数据粗差的发现及剔除、星座变化引起的整周未知参数的增加等问题。

3.2 独立闭合环的搜索

独立闭合环搜索在测量工作中是很重要的一环^[2],其应用十分广泛,对于导线网,水准网和 GPS 控制网的测量成果检验评定有重要的意义。针对这些需要,出现了许多数学模型解算的方法。我们将结合图论的一些知识,考虑用矩阵表示由闭合环构成的网图,并通过对矩阵的处理达到搜索独立闭合环的目的。

这种方法在使用计算机处理的时候比较能体现出速度,大量的行列式变换通过计算机处理,可以达到快速得到网内独立闭合环的目的。

3.3 基线数据的自动检核

由于各种 GPS 接收机生成的基线数据文件格式不同,在 GPS 相应的处理系统中,为不同的 GPS 接收机各编写一个接口程序,形成标准输入文件,这个过程成为基线数据的提取。提取基线数据后,进行基线数据的检核。基线数据的检核分为自动检核和图上手动检核。检核包括:复测基线检核,同步环检核和异步环检核。

复测基线检核是不同时端对同一条基线的测量,检核的方法是计算不同时段较差其值应该符合规程规定:

$$W \leq 2\sqrt{2}\sigma \quad (3.1)$$

式中 σ 是接收机的标称精度

同步环是 GPS 接收机在同一时段内于三个以上测站上同步观测所构成的几何图形。由于模型误差和处理软件的缺陷,使同步环产生误差,其限差为

$$W \leq \sqrt{\frac{3n}{5}} \cdot \sigma \quad (3.2)$$

式中 n 为闭合环中边数

异步环是由不同时段观测基线所构成的闭合环路。异步环闭合差的限差为

$$W \leq 3\sqrt{3n}\sigma \quad (3.3)$$

4. 图论在 GPS 闭合环搜索中的应用

4.1 问题

对于一个 GPS 网, 我们将测站作为顶点, 将测站间的基线作为边, 就构成一个线图, 在研究 GPS 网数据处理的一些问题时, 只考虑各点与边的关系, 而将基线向量的数值特性和随机模型等分离开来单独考虑。这种思考方法, 将使我们所要研究的问题大大简化。图的矩阵表示方法有很多优点, 它使得图的有关信息能以矩阵的形式在计算机中存储起来加以变换, 利用矩阵的表示及其运算还可以得到图的一些有关性质。

图论是组合数学的一个分支, 是研究由线连接的点集的理论。图论研究的出发点是一些由顶点及连接这些顶点的连线所构成的线图, 在线图中顶点的位置分布及边的长短曲直都是可以任意描画的。这样很多实际问题就可以转化为线图关系, 我们只需要研究它有多少个顶点, 哪些顶点之间有边相连, 以及这些顶点, 边及整个线图所具有的特性, 就可以应用图论的方法解决我们的实际问题。

4.2 GPS 网中最小独立闭合环的自动搜索方法

GPS 网中最小独立闭合环的自动搜索算法^[3], 计算简单, 思路严密, 能够自动搜索出 GPS 网中的所有最小独立闭合环。经过实际计算证明, 没有重复和遗漏, 而且避免了闭合差计算时的手工输入, 减轻了内业计算工作量, 具有一定的实用价值。另外, 若对本算法作适当的修改, 还可用于三角网平差中角度闭合差的检验, 地理信息系统中宗地面积的自动求算, 以及水准网中闭合水准路线闭合差的检验等方面。

为了检验 GPS 网野外实测数据的质量, 往往需要计算 GPS 中同步环或异步环闭合差。以往这些闭合环都是由手工输入的, 不仅繁琐, 工作量大, 而且往往容易产生遗漏、重复或相关等错误。所以结合图论的知识, 提出 GPS 网中, 最小闭合环的自动搜索方法, 从而实现了 GPS 网中同步环、异步环闭合差的自动计算。

GPS 网中同步环或异步环闭合差的计算之前, 首先要选取同步环或异步环。选取的一般要求是, 这些闭合环应是 GPS 网中的最小闭合环。

若我们定义 GPS 网中从顶点 V_i 到 V_j 的最短路径为 V_i 到 V_j 的最少边数, 则包含边 V_iV_j 的最小闭合环是从 V_i 到 V_j 的, 除边 V_iV_j 最短路径与边 V_iV_j 组成的闭合环。若该闭合环中含有一边 (或以上) 的边在已搜索出的闭合环中没有出现过, 则该闭合环是 GPS 网中的包含边 V_iV_j 的最小独立闭合环。

由此可知, 求 GPS 网中的最小独立闭合环的问题, 实际上可转化为求 GPS 网中未被搜索过的边的两端点之间除该边外的最短路径。

一般地说, 对于 n 个点的 GPS 网, 其必要观测边为 $n-1$ 条。若观测了 $m(m \geq n-1)$ 条边, 则多余观测边为 $m-n+1$ 条, 其最小独立闭合环为 $m-n+1$ 个。

5. 用 VC 编写的深度优先搜索的实例

根据上面所讨论的方法, 此程序可直接读取结果文件 1 中的数据。并生成 GPS 网图如下:

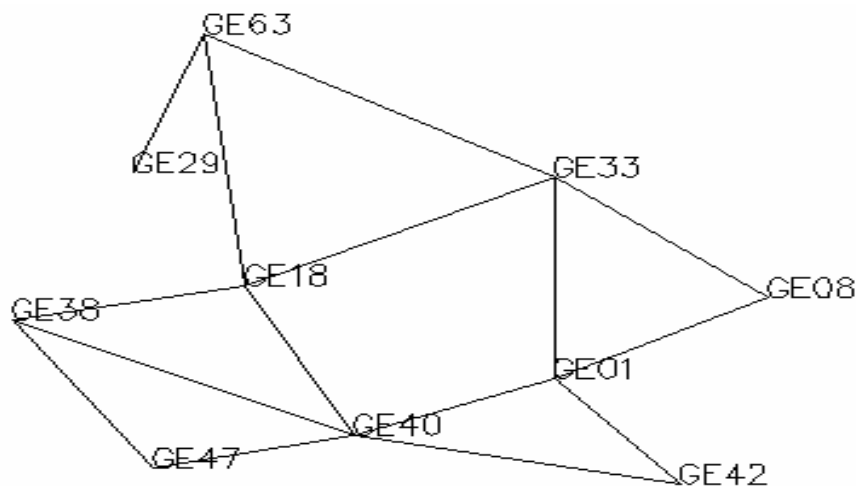


图 1 result1 文件的 GPS 网图

然后判断单基线的质量，就是要从 rms 和 ratio 两个的值方面来判断（因为不同边长的测量对于基线精度的要求是不一样的）。

评定的标准是：

表 1 固定判差别表

边长	≤5km	5-10km	> 10km
Rms	<0.010	<0.012	<0.015
Ratio	>2.5	>2.1	>2.0

（说明：在判别的时候首先Rms必须先符合要求，然后再进行Ratio的判断，而Ratio值越大表示其越可信）

然后根据这样的标准剔出不符合标准的基线，再生成一次已经剔出不符合标准的基线的结果文件 2。这样结果文件 2 已经剔除了不符合要求的基线。

然后根据深度优先搜索的方法进行最小独立闭合环的搜索，其结果如下：

GE38-GE18-GE40-GE38

GE08-GE33-GE01-GE08

GE18-GE33-GE63-GE18

GE40-GE42-GE01-GE40

然后根据输出的结果文件 2 判断闭合环的质量。^[4]

（1）首先进行绝对闭合差的判断，其评定的标准是：

σ -标准差 mm

a- 固定误差 mm

b- 比例误差系数

d-相邻两点间距离 mm

各级 GPS 网相邻两点间基线长度精度：（1）（2）都要判断。

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (b \cdot d \cdot 10^{-6})^2} \quad (5.1)$$

$$(1) \quad W \leq 3\sqrt{3n}\sigma \quad (5.2)$$

这个是整个独立闭合环应该满足的闭合差。

$$\begin{aligned} (2) \quad W_x &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_y &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_z &\leq 3\sqrt{n}\sigma \end{aligned} \quad (5.3)$$

这是每个坐标分量闭合差应该满足的。(其中 n 等于环中 GPS 点的个数)

其中

$$\begin{aligned} W_x &= \sum \Delta X \\ W_y &= \sum \Delta Y \\ W_z &= \sum \Delta Z \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2} \quad (5.5)$$

表 2 精度分级

级别	固定误差a (mm)	比例误差系数b
AA	3	0.01
A	5	0.1
B	8	1
C	10	5
D	10	10
E	10	20

然后根据上面的公式即可以计算出每个等级是否符合上面的精度要求。此种闭和差的要求是绝对闭合差的要求。

之后再判断相对闭合差的要求，其标准如下：

所谓环的相对闭合差有以下几类：

分量相对闭合差：

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\Delta X} &= \sum \Delta X / \sum S \\ \varepsilon_{\Delta Y} &= \sum \Delta Y / \sum S \\ \varepsilon_{\Delta Z} &= \sum \Delta Z / \sum S \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\varepsilon = (\varepsilon_{\Delta X}^2 + \varepsilon_{\Delta Y}^2 + \varepsilon_{\Delta Z}^2)^{1/2} \quad (5.7)$$

全长相对闭合差：

其中： $\sum S$ 为环长。

表 3 独立闭合环相对闭合差要求

等级	二等	三等	四等	一级	二级
坐标分量相对闭合差	2.0	3.0	6.0	9.0	9.0
环线全长相对闭合差	3.0	5.0	10.0	15.0	15.0

由于对于绝对闭合差和相对闭合差的判断的方法是相同的，所以我们现在只输出了绝对闭合差及其限差，在命令窗口输入要求等级所对应的 a 和 b，从而输出符合相应的等级条件的闭合环最后输出符合条件的结果文件 3。可分别自动计算出各闭合环的全长、各分量绝

对闭合差, 全长、各分量绝对闭合限差, 全长、各分量相对闭合差, 全长、各分量相对闭合限差等。

参考文献

- [1]刘基余, 李征航, 王跃虎, 桑吉章.全球定位系统原理及其应用[M].北京: 测绘出版社, 1999
- [2]施闯等.大规模高精度 GPS 网平差与分析理论及其应用[M], 2002
- [3]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
- [4]李洪涛, 许国昌, 薛鸿印等.GPS 应用程序设计[M].北京: 科学出版社, 1999。

The Elementary Method of Automatically Distinguish the Quality of Baseline in GPS

Niu Lin^{1,2}, Chen Jianping^{1,2}

Department of Global Science and Resource, CUGB, Beijing (100083)
Beijing Key Laboratory of Research and Exploration Information of Land Resources,
Beijing (100083)

Abstract

In this paper, in order to improve the quality of baseline in GPS, we use some picture theoretics, write the corresponding program in VC. The course can distinguish the quality of baseline automatically, and it has a certain extent realistic significance.

Keywords: GPS; The quality of baseline; automatically distinguish

作者简介: 牛琳, 现就读于中国地质大学(北京), 北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 05 级硕士研究生, 主要研究方向: 3S 技术合成。