

GPS 水准的高程精度方法与分析

张迪 赵国强 谢李鑫

中煤航测遥感集团有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v5i4.1412

[摘要] (全球定位系统, GPS), 是以人造卫星为基础高精度无线导航系统, 1973年美国国防部开始研究和开发GPS。该研究主要经历了三个阶段, 第一阶段为方案论证和初步设计阶段, 从1973年到1979年; 第二阶段为全面研制和试验阶段, 从1979年到1984年; 第三阶段于1993年完成实用组网。GPS系统的工作原理是利用卫星向全世界各个地方实时性提供三维位置。它可收集数据, 数据处理, 检测与协调^[1]。除此之外, 它的保密性和抗干扰性还可以为广大用户提供服务, 为不同类型的服务对象确定精确的三位坐标。

[关键词] GPS; 保密性; 抗干扰性

中图分类号: P216+.1 **文献标识码:** A

Elevation accuracy method and analysis of GPS leveling

Di Zhang Guoqiang Zhao Lixin Xie

China Coal Aerial Survey and Remote Sensing Group Co., LTD

[Abstract] (Global Positioning System, GPS) is a high-precision wireless navigation system based on artificial satellites. In 1973, the United States Department of Defense began to research and develop GPS. The research mainly went through three phases, the first phase was the program demonstration and preliminary design phase, from 1973 to 1979; the second phase was the full-scale development and testing phase, from 1979 to 1984; the third phase was completed in 1993 for practical networking. The GPS system works by using satellites to provide three-dimensional positions in real time to various locations around the world. It allows data collection, data processing, detection and coordination^[1]. In addition, its confidentiality and anti-interference properties allow it to serve a wide range of users by determining the exact three-dimensional coordinates for different types of service recipients.

[Key words] GPS; confidentiality; anti-interference.

引言

GPS系统在当今社会越来越普及, 尤其是作为汽车的守护神, 已经成为世界上应用最广泛的导航系统。同时, GPS导航系统已经成为目前最流行的导航系统, 包括导航、调度、定位和指挥。我国的北斗系统、欧洲的伽利略和俄罗斯的格罗纳斯也属于四大全球定位系统。

GPS技术以其测量精度高、速度快的优点在测绘市场上迅速普及, 并且能够有效提升测绘工作效率。由于传统测量方法中水平和高度的参考数据不同, 因此必须使用独立的定位点来测量水平和高度。此外, 观察方法也不尽相同。通过测量水平角度和边缘来测量平面的位置。通常使用的仪器和设备包括全站仪、钢丝绳等, 而高度是通过水准仪或三角水准仪测量的。

GPS地理定位技术可以同时确定平面坐标和点的高度, 但这些数据不能用于实际的测量和测绘生产。主要原因是GPS获得的高度不同于现实要求的正常高度, 是从特定参考椭球体获得的

地球高度之一, 另一个是相对于地球引力势的正常高度。因此, GPS提供的三维坐标不同于其他坐标。两个高程系统之间的差异以不规则和异常高程值表示。具体原因是地球质量的不均匀分布导致了高程输出的不确定性, 即不同地区、不同时间、不同空间的向量不同。

因此, 在创建三维建模时, 必须将大地测量高度转换为正常高度。一般的方法是使用数学模型来拟合高级纳米线。然后使用接收到的高度纳米线值转换GPS高度。

1 实验区域数据获取

1.1 实验区域选择

此次实验在兰核浓缩有限公司内部的铁路上进行实验, 实验选择轨道距离510米。由于是公司内部的自用铁路轨道, 对安全和实验方面有很大的保障, 对实验人员和仪器的安全性也有保证。GPS控制点分配方案结合兰州某现有线路, 采用RTK、水准仪和全站仪三方配合, 接收该线路的全三维数据, 并通过实例验

Geological and Mineral Surveying and Mapping

证结果。试验区内通常有53个已知控制点。线路中有25个已知控制点,分别位于曲线的内侧轨道上。三个标记位于曲线外侧的轨道和轨道附近。高程拟合模型的动态RTE技术作为一种快速、高精度的测量方法,得到了越来越多的应用,而动态RTE技术获取的三维数据具有平面精度高、高程精度低的特点,将动态rt2获得的GPS高程转换为正常高程时,需要使用转换方法提高高程精度。

提出了一种自动二次曲面造型的解析端口变换方法,并通过实例对自动二次曲面拟合模型和自动平面拟合模型进行了分析比较。

地面高度和正常高度之间的关系可以表示为:

$$\varepsilon = H_d - H_z \quad (2.1)$$

式中: ε 表示高程异常, H_d 表示大地高程, H_z 表示正常高程。

1.2 平面模型

该模型是把研究区域内的所有的高程异常当做是平面函数的点坐标。该模型的表达式为:

$$\varepsilon_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i \quad (2.2)$$

式中: $a_i (i=0,1,2)$ 表示平面模型的参数, ε_i 表示高程异常, (x_i, y_i) 表示研究区域内已知点的坐标。

平面模型对应的误差方程的矩阵形式如下:

$$V = AX - L \quad (2.2.1)$$

式中: $V = (V_1 \ V_2 \ \dots)^T$, 表示改正数,

$A = (a_0 \ a_1 \ \dots)^T$, 表示系数矩阵,

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, L = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \end{pmatrix}, \text{表示高程异常的矩阵。}$$

根据间接平差原理可得:

$$X = (A^T \ A)^{-1} * (A^T \ L) \quad (2.2.2)$$

可通过Matlab进行编程, 聪儿节省时间同时可快速得到所需参数。该参数的计算至少需测量研究区内3个控制点的水准高程和GPS高程。

1.3 二次曲面模型

该模型把研究区域内的所有高程异常看作为1个曲面网。该点可设微公共点, 其平面位置和高程异常值坐标为, $x \ y$ 并假设其有以下关系:

$$\xi = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy + a_4 x^2 + a_5 y^2 \quad (2.3)$$

式中: ξ 表示已知高程异常值, (x, y) 表示已知高程拟合点的平面坐标值, a_0, a_1, \dots, a_5 为所求参数。

如果观测了 n 个观测值 (n 个联测了水准的GPS点), 则可列出 n 个误差方差式:

$$\begin{aligned} V_1 &= a_0 + a_1 x_1 + a_2 y_1 + a_3 x_1 y_1 + a_4 x_1^2 + a_5 y_1^2 - \xi_1 \\ V_2 &= a_0 + a_1 x_2 + a_2 y_2 + a_3 x_2 y_2 + a_4 x_2^2 + a_5 y_2^2 - \xi_2 \\ &\dots \\ V_n &= a_0 + a_1 x_n + a_2 y_n + a_3 x_n y_n + a_4 x_n^2 + a_5 y_n^2 - \xi_n \end{aligned} \quad (2.3.1)$$

式中: $V = (V_1 \ V_2 \ \dots)^T$, 表示改正数。 $A = (a_1 \ a_2 \ \dots)^T$, 表示系数矩阵。

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1 y_1 & x_1^2 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2 y_2 & x_2^2 & y_2^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, \xi = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \dots \end{pmatrix},$$

表示高程异常的矩阵。则误差方差的矩阵形式为:

$$\xi + V = XA \quad (2.3.2)$$

令 $\hat{A} = A^0 + \hat{A}$, $l_{n,1} = \varepsilon - XA^0$, 式中 A^0 为参数

a_0, a_1, \dots, a_5 的近似值矩阵, 于是可得误差方程为:

$$V = X\hat{a} - l \quad (2.3.3)$$

根据最小二乘原理, 上式中的 \hat{a} 必须满足 $V^T P V = \min$

的要求, 其中 P 为权阵, 为此, 求偏导得:

$$\frac{\partial V^T P V}{\partial \hat{a}} = 2V^T P \frac{\partial V}{\partial \hat{a}} = 2V^T P X \quad (2.3.4)$$

转置后得:

$$X^T P V = 0 \quad (2.3.5)$$

解之, 得:

$$\hat{a} = (X^T P X)^{-1} X^T P l \quad (2.3.6)$$

最后即可求得:

$$A = (a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5)^T \quad (2.3.7)$$

则二次曲面可表示为:

$$\xi = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \quad (2.3.8)$$

通过Matlab编程,可以很快求出所求参数,使用该模型的计算需要至少6个GPS点和电平位置。

1.4 平面拟合模型控制点数影响分析

上述模型要求至少安装三个控制点,但在实践中,如果控制点数量较大,则需要适当选择最低控制点。

在本篇文章中,将仪器自动选择的控制点称为节点。不同节点的选择对模型结果有非常重要的影响。精确选择节点以优化自适应模型非常重要。

1.4.1 自动节点选择

在次,我们想出了一种不等间隔节点的自动选择的算法,这种算法可以自动选择模型所需的节点和节点数,并使用最小二乘法计算模型参数。在自动节点选择过程中引入了质量指标的概念。质量指标是评价控制网设计质量的标准。

自动选择节点的步骤如下:

假设测试区域中的每个控制点都可以视为一个节点,并计算每个节点与相邻节点之间的距离。

计算每个节点和相邻节点之间的质量指数g,并消除较小的质量指数。

1.4.2 设立一个点

针对自动选取最小节点形成的平面拟合模型精度达不到4级的问题,引入1~4个控制点对GPS高程数据进行可行性分析。本次试验测量的既有线路500m范围内的引入线内外轨起点控制点进行可行性研究,如图4.3所示,用星号表示。使用已建立的自动平面模型进行高程调整。引入控制点后,内外轨通过率可达92%,最大剩余误差绝对值可达24.16mm。

1.4.3 设立两个点

对于测区内的每条测线,在测线的头部和末端引入两个控制点进行高程调整,如图44所示。图中的星点位置为选定的控制点。一方面,自动水平模型用于高度调整。引入两个控制点后,内外

轨合格速度可达96%、100%,最大残余误差14.0mm。

1.4.4 设立三个点

在500米的测量区域中,选择一个控制点在直线的起点和终点,中间的一个控制点,用图中的星形表示公差,在引入三个控制点之后,自动水平模型被用于高度调节。计算表明,飞机自适应结果的内轨合格率达96%,最大剩余误差为14.76mm。飞机适配结果外导轨合格率为100%。

1.4.5 设立四个点

在开始和结束时引入控制点,在中间选择两个控制点进行模型分析如上述4.6所示。图中的星形位置是选择的控制点。首先,自动飞机模型用于高度调整。经计算,平车内轨合格率100%。取余量的绝对值,最大余量为13.8mm,最小余量为0.2mm。水平通过结果的外轨合格率为100%,最大余量为140mm,最小余量为0.03mm。

2 研究结论

GPS技术作为一种高效、高精度的测量手段已经广泛地应用于工程实践,随着我国铁路与各个行业的快速发展,现有测量要求越来越高,因此将动态RTE技术应用于现有轨道具有重要意义。本文主要研究结论和成果如下:GPS技术可同时测量三维坐标,但高程坐标精度不高。针对GPS技术获取的高程数据转换为水平高程数据精度低的问题,提出了一种二次曲面自动拟合模型,并提出了不等螺距控制点的自动选择算法。通过编程实现最佳控制点的自动选择,建立高程拟合模型:

针对兰州市现有线实测间距不均匀的问题,引入不同数量的控制点,对实测数据进行自动拟合。结果表明,自动拟合二次曲面GPS标高数据小于500m需要引入多个检查点。

[参考文献]

[1]田晓,郑洪艳,许明元,等一种改进的适用于不同地形的GPS高程拟合模型[J].测绘通报,2017(1):35-38.

[2]任洁.GPS-RTK技术在既有铁路高程勘测中的应用方法研究[D].兰州交通大学,2020.

[3]高云,张维宽,王财.GPS拟合高程精度浅析[J].电子测试,2013(05):91-92.