

# 多天线 GPS软件系统

黄 发<sup>1,2</sup>, 晓利<sup>1</sup>, 陈永奇<sup>1</sup>

(1. 香港理工大学 土地测量及地理资讯学系, 香港; 2. 西南交通大学 土木工程学院 测量工程系, 四川 成都 610031)

## A Software System for Multi-antenna GPS

HU AN G Ding-fa, DING Xiao-li, CHEN Yong-qi

**摘要:**介绍了适于局域变形监测的多天线 GPS系统的数据处理软件部分。多天线 GPS系统是将多根 GPS天线通过一个称之为 GPS多天线开关(简称 GMS)的电子设备,同一台 GPS接收机相连,这种情况下,每个监测点上只需安置一个固定天线,就可完成变形监测,因而极大地减少了硬件的费用。

**关键词:**多天线 GPS系统;基线解算;网平差;高程转换

### 一、引言

多天线 GPS系统包括硬件和软件两部分。其硬件部分设计了一个特殊设备,即多天线开关(GMS),用于建立一台监测接收机与多个监测点上的固定天线阵列间的联系。本文设计的 GMS有 6个输入通道(联接 GPS天线),1个输出通道(联接监测点上的公共接收机),GMS逐个扫描每一根天线,就如同通过 1个开关,按一定时间间隔保持每根天线同接收机相连。该设置不改变 GPS的信号,接收机仍然像平常一样工作,GMS的这个特征使得市场上所提供的不同型号的 GPS接收机都能很好地应用于多天线 GPS系统。通过量测来自不同天线的 GPS信号,接收机可以获得不同监测点的观测值,它们经预处理,以文件形式记录在同一台接收机里,以便下一步的解算和分析。多天线系统的工作就好比用 1台接收机,在很短的时间间隔内,对监测点挨个地进行测量。在变形监测区域外的稳定点上设置参考站,所计算的所有监测点的坐标都是相对于该参考站的。参考站可以设置多个,至少有 1个参考站作为数据处理中心,以进行 GPS基线解算,变形分析和报警。

多天线 GPS系统的结构,本文不作讨论,其详细内容可参见文献[1]。下面将给出多天线 GPS系统的数据处理软件部分。

### 二、软件系统结构

为了确保软件的通用性,本文所设计的软件不仅适用于局域变形监测,同样也可作为通用 GPS数据处理软件包使用。软件设计中,算法和数据管理是两个同等重要的内容,因此该软件系统包括:基线解算,网平差,GPS大地高至正常高的变换,以及其他数据管理工具。

软件系统的结构框图见图 1,系统开发的软件平台为 Windows 98

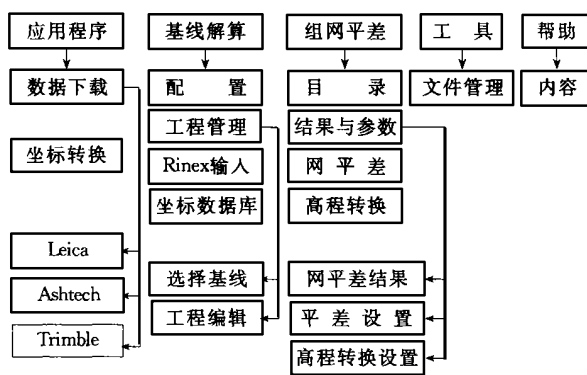


图1 软件结构

### 三、基线解算模块

利用 GPS技术进行高精度变形测量,其变形分析成功与否基本取决于坐标重复精度和可靠性,必须用数据处理软件认真处理偏差和测量误差。这里仅给出它的简单轮廓:

1. RINEX格式作为缺省数据格式,容许不同的接收机数据输入;
2. 改正观测值,尤其是电离层延迟和对流层延迟,钟差(包括卫星钟差和接收机钟差),地球自转和相对论效应;
3. 用广播星历计算 GPS卫星地固坐标,也可从 IGS网站下载精密星历进行精密后处理。长弧轨道首先被平滑,然后进行内插;
4. 对卫星,测站,相邻历元和双频波段间的观测值进行差分;
5. 用三差稳健估计探测周跳,并自动修复;
6. 用序贯最小二乘平差和卡尔曼滤波进行坐标解算;
7. 整周模糊度参数,采用一些有效的快速模糊度求解算法求解模糊度。由于边坡变形的特征常被作为缓慢动态处理,所以特别设置了已知坐标初始化整周模糊度选项;
8. 网平差能确保获得高精度的结果,有利于外业观测及时发现和剔除变形分析中的错误,并进行一些有用的转换。

### 1. 配置

本软件包最初是为局域变形监测设计的,所以考虑了这个特殊应用的一些特征,如:边坡变形监测。在边坡变形测量中,其变形速率是非常缓慢的。比如连续观测 24 h,有 10 cm 的位移,在监测系统里这将被视为较大的变形而予以报警,然而,这个值仅仅是 GPS 载波相位的半个波长,这意味着变形监测大多数时候是可以作为静态模型处理的。若两期观测内,监测点坐标的精度好于 10 cm,就可以及时由已知坐标初始化方法解求出整周模糊度值,这作为一个选项包含在软件系统里。图 2 给出了基线解算模块的配置。



图 2 基线解算的配置

数据处理方式有两个选择,标准定位方式,或已知基线上的整周模糊度初始化。数据处理参数包括:截止高度角,用于数据处理的观测值和解算监测点坐标的历元数,其中设置了两个特殊的参数。当用于终止历元时,为所有观测值;当用于计算坐标的历元数时,为所有历元仅给出一组坐标,即选择为静态定位模式。

### 2. 项目管理

对一个项目,当测量了多个点时,就可以有很多个不同的基线组合。项目管理对话框提供了解算单基线向量或多点向量的选项,图 3 给出了按照这个目的设计的用户界面。交互式对话便于重建基线组合和解算。



图 3 基线选择

### 3. 坐标数据库

为了确保载波相位整周模糊度值能够通过已知监测点坐标初始化,GPS 坐标结果存放在数据库里。在这个窗口里,坐标可以在数据库里添加,删除和编辑,保存在数据库里的数据也可以通过其他计算方法获得。

### 4. 试验结果

为了说明多天线 GPS 系统的可行性,本文布设了 1 个参考站和 2 个监测点,并对它们进行试验。2 个监测点上的两根天线,通过多天线开关与同一台接收机相连。GPS 多天线

开关有 6 个输入通道,1 个输出通道,本试验中用了 2 个输入通道。GPS 多天线开关的转换是由程序自动控制的,每个通道工作一定的时间间隔,试验中设置时间间隔为 990 s,即 16.5 min,这个间隔可以完成快速静态定位或在线动态测量。

首先进行快速静态定位。每根天线的观测时间是程序自行设定的 990 s,当一根天线观测了 990 s 时,GPS 就自动切换到另一根天线,每个通道都可以独立开关。GPS 将从第一个打开的通道开始,一个接一个地转向下一个。接收机不能识别 GPS 的转换,当 GPS 从一根天线转向另一根天线时,数据依然保持连续记录。因此,来自不同天线的所有数据将记录在 1 个文件里。在 GPS 转换天线间的联接时只有周跳出现,循环跟踪将一直进行到人为终止。

然后,进行 KOF(在线动态测量),意即用 OTF 技术解求出模糊度后,在很短的时间(如 1 个单历元),解算基线。图 4 是动态监视曲线图。图 5 表明了坐标的可重复性,同时从图上可看出坐标分量最大与最小值之差可达 4 cm,其重复精度在 0.5 至 1.0 cm。

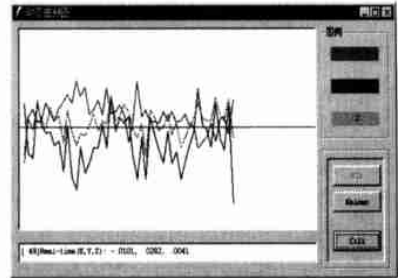


图 4 动态曲线图

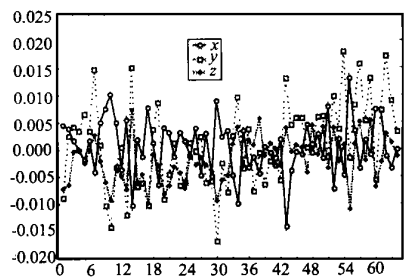


图 5 RTK 结果

图 6 给出了考虑所有观测值,并基于卡尔曼滤波方法的基线解算结果,由此可以看出:进行一定的观测历元后,根据卡尔曼滤波获得的坐标能很快收敛于真值。

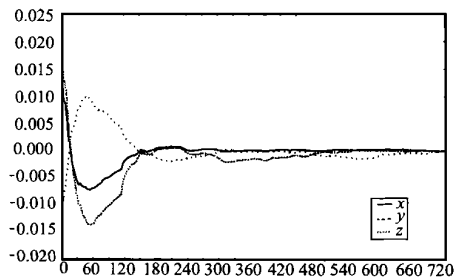


图 6 卡尔曼滤波结果

#### 四、网平差模块

基线解算提供的最后结果是 1984世界大地坐标系 (WGS84)中的坐标差值,基线是一条接一条解算的,所有这些基线都可以构成一个网,常常将环闭合差作为质量控制因子。该模块的主要任务是根据公共控制点进行网平差计算。如需要,可最后完成整个网的平移、缩放和旋转。图 7提供了数据转换的必要选项,如:经常使用的坐标系和投影 (UTM, Lambert, Gauss-Kruger 投影等)



图 7 网平差的设置

#### 五、高程转换模块

正如我们所知道的, GPS技术测得的高程是 WGS-84 橇球上的大地高,一般地,大地高 (表示为  $h$ ) 与正常高 (表示为  $H$ ) 有下面的关系。

$$H = h + N$$

$N$  是高程异常。

当在一定数量的公共点上分析 GPS大地高和正常高时,可以找到两个系统间基于多项式拟合技术的关系,根据这个关系可以从 GPS大地高获得同一区域的正常高。系统中也设计了高程转换的设计界面,包括公共控制点的输入和多项式阶数的选择。

#### 参考文献:

- [1] CHEN Y Q, DING X L and HUANG D F. A Multi-Antenna GPS System for Local Area Deformation Monitoring [R]. Tsukuba The International Symposium on GPS Application to Earth Science and Interaction with Other Space Geodetic Techniques, 1999.
- [2] CHEN Y Q and CHRZANOWSKI A. An Approach to Separability of Deformation Models [J]. Zeitsch f Vermess Heft. 1994, 2 96-103.
- [3] DING X L, REN D, SU B. An Intelligent Data Acquisition and Management System for Open Pit Slope Deformation Monitoring [R]. Hong Kong: 8th FIG Int. Symp. on Deformation Measurements, 1996.
- [4] HOFMANN-W ELLENHOF B, LICHTENEGGER H *et al.* Global Positioning System— Theory and Practice [M]. New York: Springer-Verlag Wien. 311-318.

#### 知识窗

中图分类号: P228.4

文献标识码: E

## GPS测量中的码载波相位扩散技术

高出地面 50~ 1 000 km之间的大气层称为电离层。由于太阳光的强烈辐射,电离层中的气体分子被电离,从而产生自由电子。GPS信号在通过电离层时也受到这种自由电子的非线性散射特性的影响。对于 GPS频率而言,电离层对测距 (卫星至地面的距离)的影响,最大时 (每天中午,卫星接近地平,太阳黑子剧烈活动期)可达 150 m;最小时 (每天夜间,卫星在天顶,太阳黑子宁静期)也有 5 m。因此,电离层误差是 GPS测量中不可忽视的重大误差源。

电离层误差对 GPS测量的影响,在边长约 20 km时,一般为  $\times 10^{-6} D \sim \times 10^{-6} D$ ,边长大于 20 km后,电离层误差将迅速增大为  $\times 10^{-6} D$ ,当电离层活动剧烈时,还会更大。为了克服电离层对长边测量的影响,多年来一直沿用双频 GPS接收机测量长边。但是,双频 GPS接收机也有不少缺点,例如:价格贵一倍,功耗大等等。

GPS测量有两种观测值:码观测值和载波相位观测值。就一阶项而言,电离层对码观测值的影响为  $\frac{40.3}{f^2} \int_s n_e ds$ ,对载波相位观测值的影响则为  $-\frac{40.3}{f^2} \int_s n_e ds$ 。

由此可见,从码观测值得出的距离偏短;反之,从载波相位观测值得出的距离则偏长。换言之,电离层对码观测值和载波相位观测值的影响,就其一阶项而言,数值相同,符号相反。而一阶项改正占电离层总改正的 99%。

鉴于电离层对码观测值和载波相位观测值的影响具有

这一重大特征,近年来,国际上不少学者试图利用这一特点,将码观测值和载波相位观测值进行加权组合,使其基本上消去电离层对 GPS单频观测值的影响,从而使单频 GPS接收机的测程超过 20 km,起到准双频接收机的作用。加权组合的关键是对这两种观测值如何加权。因为码观测值的严谨从 m级到 dm级,而载波相位观测值的精度却为 1~ 3 mm,两者相差太大。这给加权组合带来极大困难。1993年,美国学者雷蒙迪首先提出“码/载波相位扩散技术”(简称 CCD技术),并成功地用于实践。雷蒙迪等使用高精度单频接收机,在边长为 300 km时,提出的精度为  $\times 10^{-6} D \sim \times 10^{-6} D$ 。此项成果公布后,在国际上引起强烈反响。近 5年来,国内外大量实测结果表明:① 在长达 400 km的长边上,采用高精度单频接收机和具有 CCD技术的软件,无论内精度或外精度,相对精度均达到  $\times 10^{-6} D$ 。② 将一条精度长边 (132 km,用 Ashtech Z-12双频接收机观测 24 h,后处理采用精密星历和精密基线软件,结果精度为  $0. \times 10^{-6} D$ )的单频观测值,分割成 6时段,每时段为 20~ 90 min,采用具有 CCD技术的软件进行后处理,同精确值之差在 82~ 97 mm之间,平均相对精度为 1/146万。而且,差值均为正。这说明 CCD技术还有进一步提高的潜力。③ 采用 CCD技术是改造现有第一、二代单频 GPS接收机的最佳途径。

(谢世杰)