

精密单点定位技术的应用研究

张万强 赵俊三 付亚梁

(昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 6500293)

摘要: GPS 精密单点定位是最近几年发展起来的新技术, 利用 GPS 卫星精密星历及卫星钟差, 以单台接收机采集的非差分相位和伪距数据作为主要观测值来进行单点定位, 其精度能达到分米级。由于它可利用单台接收机在全球范围内进行静态或动态独立作业, 并且可以直接得到高精度的 ITRF 框架坐标。

关键词: 精密单点定位 精密星历 卫星精密钟差 数据预处理

1 精密单点定位技术的概述

GPS 技术发展已经将近 30 年了, 其应用也相当广泛, 作业的模式也是多种多样, 如 GPS 静态定位技术也相当的成熟了, 采用了许多的高精度的解算软件 (GAMIT, BERNESE, GIPSY) 进行数据处理。其定位的精度也是达到了 10^{-9} 。最近几年随着网络技术的发展, RTK 技术得到了很大发展, 也确实的提高了生产力。但是不管是静态定位技术还是 RTK 技术, 为了保证基线解算的可靠性和精度, 往往在一定的区域内布设一定密度的 GPS 基准站, 这必将大大的增加了成本的投入。另外, 对于一些崇山峻岭的西部地区, 人员根本无法到达或无法找到合适的基站, 必须寻找新的方法, 这样就产生了精密单点定位技术。

所谓的精密单点定位指的是利用全球若干地面跟踪站的 GPS 观测数据计算出的精密卫星轨道和卫星钟差, 对单台 GPS 接收机所采集的相位和伪距观测值进行定位解算。利用这种预报的 GPS 卫星的精密星历或事后的精密星历作为已知坐标起算数据; 同时利用某种方式得到的精密卫星钟差来替代用户 GPS 定位观测值方程中的卫星钟差参数; 用户利用单台 GPS 双频双码接收机的观测数据在数千万平方公里乃至全球范围内的任意位置都可以 2-4dm 级的精度, 进行实时动态定位或 2-4cm 级的精度进行较快速的静态定位, 精密单点定位技术是实现全球精密实时动态定位与导航的关键技术, 也是 GPS 定位方面的前沿研究方向^[1]。

2 精密单点定位基本原理

GPS 精密单点定位一般采用单台双频 GPS 接收机, 利用 IGS 提供的精密星历和卫星钟差, 基于载波相位观测值进行的高精度定位。所解算出来的坐标和使用的 IGS 精密星历的坐标框架即 ITRF 框架系列一致, 而不是常用的 WGS-84 坐标系下的坐标, 因此 IGS 精密星历与 GPS 广播星历所对应的参考框架不同。

2.1 ITRF 参考框架

ITRF 是国际协议地球参考系 (ITRS) 的具体体现, ITRF 的构成是基于 VLBI、LLR、SLR、GPS 和 DORIS 等空间大地测量技术和观测数据, 由 IERS 中心局 IERS CB 分析得到一组全球的站坐标和速度场。IERS 中心局每年将全球跟踪站的观测数据进行综合处理和分析, 得到一个 ITRF 框架, 并以 IERS 年报和 IERS 年报和 IERS 技术备忘录的形式发布。从 1988 年, IERS 已经发布了 ITRF88、89、90、91、92、93、96、97、2000、2005 等全球坐标参考框架^[2-4]。

ITRF 的定义是通过框架的定向、原点、尺度和框架时间演变基准的明确定义来实现。不同时期 ITRF 框架之间的四个基准分量定义

是不同的, 存在很小的系统性的差异, 当然这些差异可以通过 7 个参数表示。

2.2 精密单点定位基本原理

2.2.1 精密单点定位实际上就是伪距测量, 其观测方程如下: 真实的站距离:

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2}$$

则站星距离的观测值:

$$\bar{\rho}_i = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2}$$

$$-V_{\text{ion}} - V_{\text{trop}} + C \cdot V_{\text{p}} - C \cdot V_{\text{r}} \quad (1)$$

将(1)按照泰勒公式展开, 保留第一项:

$$\begin{aligned} \rho_i &= (\rho_0)_i - \frac{x_i - X_0}{(\rho_0)_i} dx - \frac{y_i - Y_0}{(\rho_0)_i} dy - \frac{z_i - Z_0}{(\rho_0)_i} dz \\ &= (\rho_0)_i + \frac{x_i - X_0}{(\rho_0)_i} dx + \frac{y_i - Y_0}{(\rho_0)_i} dy + \frac{z_i - Z_0}{(\rho_0)_i} dz \end{aligned}$$

$$(\rho_0)_i = \sqrt{(x_i - X_0)^2 + (y_i - Y_0)^2 + (z_i - Z_0)^2}$$

其中 $X = X_0 + dX, Y = Y_0 + dY, Z = Z_0 + dZ$

令:

$$l_i = \frac{x_i - X_0}{(\rho_0)_i}; m_i = \frac{y_i - Y_0}{(\rho_0)_i}; n_i = \frac{z_i - Z_0}{(\rho_0)_i}$$

$$L_i = (\rho_0)_i - \rho_i + C \cdot V_{\text{p}} - (V_{\text{ion}})_i - (V_{\text{trop}})_i$$

$$V_i = -l_i dX - m_i dY - n_i dZ - C \cdot V_{\text{p}} + L_i$$

在单点定位观测值的电离层延迟误差可以通过不同频率的信号到达接收机的时间差来进行改正, 对流层延迟的误差可以通过未知参数进行估计。其观测方程如下:

$$\rho_p = \rho + c(dt_r - dT^i) + M \times zpd + \varepsilon_p, \rho_q =$$

$$\rho + c(dt_r - dT^i) + a^i + M \times zpd + \varepsilon_q$$

式中 ρ_p 为无电离层伪距组合观测值; ρ_q 为无电离层载波相位组合观测值 (等效距离); ρ 为测站与 GPS 卫星的几何距离; dt_r 为 GPS 接收机钟差; dT^i 为 GPS 卫星 i 的钟差; M 为投影函数; zpd 为天顶方向对流层延迟; $\varepsilon_p, \varepsilon_q$ 分别为两种组合观测值的多路径误差进而观测噪声。将 ρ_p, ρ_q 当成观测值, 测站坐标、接收机钟差、无电离层组合模糊度及对流层天顶延迟参数视为未知数 X , 在未知数近似值 X^0 处, 带入到式中, 泰勒级数展开, 保留一次项误差方程写成矩阵形式为:

$$V = AX - L, \quad P$$

式中, V 为观测值残差向量; A 为设计矩阵; x 为未知数增量向量; l 为常数向量; p 为观测权矩阵^[5]。

2.2.2 数据预处理

精密单点定位中, 数据预处理的结果直接关系到其定位精度及可靠性, 而数据预处理的关键就是要准确地可靠地探测相位观测值中出现的周跳。对于每个出现周跳的地方增加一个新

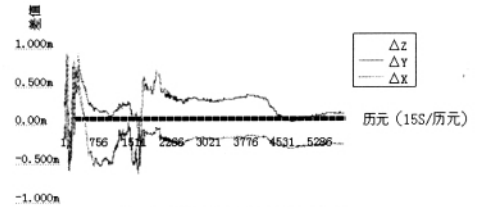


图1 第33天坐标的差值

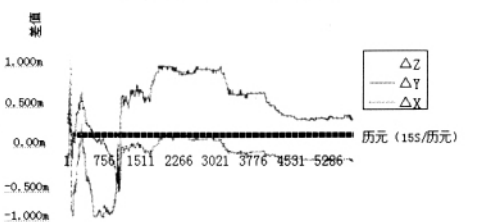


图2 第36天坐标的差值

的模糊度参数, 然后采用参数估计的方法进行。

2.2.3 精密单点定位的关键技术^[6]

精密单点定位实质就是非差分定位, 那么非差分定位的数学模型就是下面论述的。设卫星和接收机振荡器 t_0 时刻的相位分别为 $\Phi_s(t_0)$ 和 $\Phi_r(t_0)$, 那么根据频率与相位之间的积分关系, 即频率的时间积分值为相位变化值任意时刻的卫星信号和接收机信号的相位可以表示为

$$\phi_s(t_s) = \phi_s(t_0) + \int_{t_0}^{t_s} f_s(t) dt$$

$$\phi_r(t_r) = \phi_r(t_0) + \int_{t_0}^{t_r} f_r(t) dt$$

设 f 为基准频率, $\delta f_s(t)$ 为 t 时刻频率抖动, 则根据相位、频率和时间的相互关系:

$$\phi_s(t_s) - \phi_s(t_0) = \int_{t_0}^{t_s} f_s(t) dt =$$

$$\int_{t_0}^{t_s} (f + \delta f(t)) dt = f(t_s - t_0) + \int_{t_0}^{t_s} \delta f_s(t) dt$$

由相位、钟差与频率的关系: 相位偏差为频率抖动的时间积分, 而相位的偏差有等同于钟差与基准频率的积分

$$\int_{t_0}^{t_s} \delta f_s(t) dt = \Delta\phi_{sj}(t_s) - \Delta\phi_{sj}(t_0) = f(\delta t_{sj}(t_0)) - \delta t_{sj}(t_0)$$

因此非差分方程为:

$$\begin{aligned} \phi_y(t_r) &= \phi_n(t_0) - \phi_s(t_0) + f\tau + f\delta t_{rn} - f\delta t_{sj} \\ &+ f(\delta t_{rn}(t_0) - \delta t_{sj}(t_0)) + N + \xi_y(t_r) \end{aligned}$$

由于卫星和接收机信号初相位及由初始钟差引起的误差与模糊度不可分离, 将它们并入模糊度参数。

$$\Phi_y(t_r) = f \cdot \tau + f\delta t_{rn} + f\delta t_{sj} + N_y + \xi_y(t_r), \tau$$

$$= \rho(t_s, t_r) / C + \Delta t_{\text{trop}} + \Delta t_{\text{iono}} + \Delta t_{\text{mult}} + \Delta t_{\text{rel}}$$

最终 GPS 非差分相位观测值:

$$\begin{aligned} \Phi_y &= f\rho(t_s, t_r) / C - f\delta t_s + f\delta t_r + \delta\phi_{\text{trop}} \\ &+ \delta\phi_{\text{iono}} + \delta\phi_{\text{mult}} + \delta\phi_{\text{rel}} + N_y + \xi_{py}(t_r) \end{aligned}$$

2.3 精密单点定位的主要误差及其改正模型

在精密单点定位中,影响其定位结果的主要的误差包括:与卫星有关的误差(卫星钟差、卫星轨道误差、相对论效应);与接收机和测站有关的误差(接收机钟差、接收机天线相位误差、地球潮汐、地球自转等);与信号传播有关的误差(对流层延迟误差、电离层延迟误差和多路径效应)。

由于精密单点定位没有使用双差分观测值,所有很多的误差没有消除或削弱,所以必须组成各项误差估计方程来消除粗差。有两种方法来解决:a.对于可以精确模型化的误差,采用模型改正。b.对于不可以精确模型化的误差,加入参数估计或者使用组合观测值。如双频观测值组合,消除电离层延迟;不同类型观测值的组合,不但消除电离层延迟,也消除了卫星钟差、接收机钟差;不同类型的单频观测值之间的线性组合消除了伪距测量的噪声,当然观测时间要足够的长,才能保证精度。

3. 实例分析

3.1 数据来源

将 2009 年 2 月 2 日和 2009 年 2 月 5 日的 CORS 参考站数据和附近 IGS 站的数据一起处理。采用 IGS 提供的精密星历,同时选取 bjfs、wuhan、shao、kunm 四个 IGS 观测站的 GPS 观测数据进行无约束联合基线解算,整周模糊度固定后,得到两个参考站 JX01、JX02 精确 ITRF 参考框架坐标。实例中选择 2 个 CORS 站点,采样率为 15S,24 小时观测数据,结合精密星历并利用 GAMIT/GLOBK 软件进行高精度解算,和采用精密单点定位的结果的比较、分析。

3.2 数据处理

在 ftp://garner.ucsd.edu, 网站上下载 bjfs、

wuhan、shao、kunm 2009 年第 33 日和 36 日精密星历 SP3 文件和卫星钟差 CLK 文件,同时把参考站对应 33 和 36 日文件转化为 RINEX 标准格式。通过软件计算得:2009 年地 33 日和 36 日在每个历元与已知值的差值(如图 1、2)。

3.3 结果分析

从图 1 和图 2 中可以看出以下几点:3.3.1 根据定位的要求,定位中需要提供卫星的精密轨道和卫星钟差。目前,IGS 的几个数据分析中心已经具备可以提供精密轨道和钟差这个能力,但都是事后数据处理,根据 IGS 的数据质量分析报告,IGS 卫星所提供的卫星轨道精度能够达到 5cm,卫星的钟差优于 0.04ns,这种精度的卫星钟差和轨道基本可以满足定位的要求。3.3.2 在数据接收前几分钟,由于没有完全计算出整周模糊度的参数估计值,所以出现的 X、Y、Z 差值的波动较大,但是在后面的时间里面,由于观测时间的延长,数据趋于稳定,可以满足一般定位的要求。3.3.3 对流层的延迟参数估计值和接收机内部噪声影响还有待改进。

4 结论与有待解决的问题

4.1 IGS 发展至今,GPS 卫星预报轨道精度已经达到了 12~15cm,预报轨道的时间 24 小时预报缩短到 3 个小时的预报,卫星轨道的精度可以满足一般的定位要求。由于 IGS 现在还不能完全提供实时的和外推的精密卫星钟差。

4.2 精密单点定位技术满足长距离定位的要求,其使用 IGS 数据分析中心发布的精密星历和卫星钟差文件,在充分考虑所有不能忽略的误差模型改正,而且在运算正确的前提下,IGS 数据的可靠性和精度就决定了精密单点定位的精度和可靠性,因此我们在使用 IGS 数据之前,必须对数据的质量进

行一个分析,比如:分析电离层延迟、L1 和 L2 的多路径影响值 MP1 和 MP2 等等。

4.3 在动态长距离的定位将是今后精密单点定位的发展趋势,例如在飞机等高动态载体上 GPS 接收机测定摄影仪的光学中心在曝光瞬间的三维坐标,并将其作为附加观测值来参加空中三角测量的联合平差,这样就可以减少甚至不需要地面大地控制点,大大的减少了野外作业的时间,节约了人力、物力,提高了生产力。

参考文献

- [1]叶世榕.GPS 非差相位精密单点定位理论与实现[D].武汉:武汉大学,2002.
- [2]刘焱雄,周兴华,张卫红,等.GPS 精密单点定位精度分析[J].海洋测绘,2005,25.
- [3]Honda M, Murata M, Mizukura Y. GPS Precise Point Positioning Methods Using IGS Products for Vehicular Navigation Application [C].SICE-I-CASE International Joint Conference,Bexco, Busan, Korea,2006.
- [4]Le A Q, Tiberius C. Single-frequency Precise Point Positioning With Optimal Filtering[J].GPS Solution, 2007.
- [5]张小红.动态精密单点定位(PPP)的精度分析[J].全球定位系统,2006(1).
- [6]李征航,吴秀娟.全球定位系统技术的最新进展(第四讲)—精密单点定位 [J]. 测绘信息与工程, 2002,27(5):34-35.

作者简介:张万强,籍贯:云南省曲靖市;学校:昆明理工大学;国土资源工程学院;专业:地图制图学与地理信息工程。导师姓名:赵俊三(教授)。

```
(上接 66 页) t_arr [i].choose4 = myxml.  
FirstChild.childNodes[0].childNodes[4].firstChild;  
}
```

3 FLASH 与数据库文件

FLASH 与数据库文件制作的智能型习题课件与前两种方式也极为相似,其最大区别是后台的题库主要是利用数据库进行存放的,但由于 flash 不能直接读取数据库的数据,所以必须借助 asp.php.jsp 等动态脚本语言作为中介来搭起 Flash 和数据库之间的桥梁。为了实现 Flash 读取数据库里的内容 ASP 要负责把数据库里的数据读出来并以变量名 1= 值 1& 变量名 2= 值 2& 变量名 3= 值 3...的形式进行输出,这样的话就相当于是于在 ASP 中直接为 Flash 中的变量进行赋值,当 Flash 中接收到数据之后便可以直接引用这些变量的值,而 Flash 只是负责接受并以某种形式显示出来。简单介绍一下其设计的主要步骤:

第一步 设计数据库数据库的文件格式很多种,我们现以简单、常用的 ACCESS 数据库来存放题库。设计的数据可参照图 5 所示。

第二步 使用 ASP 动态脚本语言来设计从数据库中读取数据内容,并取得相应的题号、题目内容、选项 1、选项 2、选项 3、选项 4、正确答案这几项内容,并通过正确格式传输给 FLASH 文件,其主要代码如下:

```
<%  
set conn=server.CreateObject("adodb.connection")  
建立一个 conn 数据库连接对象  
conn.open "driver={microsoft access driver (*.mdb)};  
dbq=" & server.mappath("test.mdb")
```

```
set rs=server.createobject("adodb.recordset")  
rs.open "select * from test",conn,3,3  
if not rs.eof then ' 取出数据库中 test 数据表中  
的题目内容  
num=rs("qnumber")  
question=rs("question")  
choose1=rs("choose1")  
choose2=rs("choose2")  
choose3=rs("choose3")  
choose4=rs("choose4")  
answer=rs("correctanswer")  
' 按格式要求输出需要的数据内容  
response.write "ques=" & question  
response.write "&answer1=" & choose1  
response.write "&answer2=" & choose2  
response.write "&answer3=" & choose3  
response.write "&answer4=" & choose4  
response.write "&correctanswer=" & answer  
end if  
rs.close  
conn.close  
>%>
```

第三步:在 FLASH 文件中取得 ASP 中输出的数据,并进行规范显示,其主要代码如下:
mynews=new LoadVars() // 构建一个名为 mynews 的对象。
mynews.load("index.asp") // 读取外部名字叫 index.asp 动态网页执行结果的内容。
mynews.onLoad = function(success) {
if(success){

```
question.text=this.ques // 当载入数据成功后,取出  
题目内容。  
}  
question.text=" 数据读取失败,请检查路径或文件  
名"  
}  
b1.label="A."+mynews.answer1; // 取出选项 1 的内  
容  
b2.label="B."+mynews.answer2; // 取出选项 2 的内  
容  
b3.label="C."+mynews.answer3; // 取出选项 3 的内  
容  
b4.label="D."+mynews.answer4; // 取出选项 4 的内  
容  
correct.text=mynews.correctanswer; // 取出正确答  
案  
}
```

以上三种外部文件与 FLASH 合作的智能型习题课件的方法各有各的优缺点,相信同仁们在通过实践中能发现并找出适合自己的方法并进一步完善其功能的。

参考文献

- [1]赵志靖,周静.基于 Flash 和数据库技术构建网络课程的测验模块[J].中国教育信息化,2009(4).
- [2]缪亮,孔璐.基于 Flash 的智能题库设计与实现[J].开封教育学院学报,2005(3).
- [3]杨双丽,丁革健.基于 Flash 的简易智能题为系统开发[J].中国教育信息化,2005(3).