

运用 GAMIT10.34 解算成都地区的 GPS 可降水量

王 皓, 李国平, 陈娇娜

(成都信息工程学院大气科学学院, 四川 成都 610225)

摘要: 基于麻省理工学院(MIT)2008 年发布的 GAMIT 最新版(v10.34), 就其在 Linux 操作系统上的安装方法以及解算天顶总延迟(ZTD)和反演 PWV 的流程进行探讨, 并以成都地区地基 GPS 观测网的运用为例, 总结 GAMIT 软件的使用经验及注意事项。

关 键 词: GPS; GAMIT; 解算; 可降水量

中图分类号: P458.1⁺21

文献标识码: A

1 引言

全球定位系统 GPS(Global Position System)具有全天候、连续性和实时性的精密三维导航与定位功能, 而且具有良好的抗干扰性和保密性。随着 GPS 技术的快速发展和广泛应用, 大地测量学已发生了革命性的变化, 并在天文学、地球动力学、地震学、气象学等学科的相关研究中得到应用。特别是作为一种大气探测新技术, 在利用 GPS 观测数据反演大气可降水量(PWV)的应用中得到极大重视和迅速发展, 已形成一门新的交叉学科—GPS 气象学, 目前其在气象业务中用于监测大气水汽的技术称为 GPS/MET。

2 GPS 遥感水汽的基本原理

GPS 卫星发射的无线电波在穿越大气层时, 受到电离层和对流层的折射影响, 从而造成无线电信号的延迟。大气的延迟可分成电离层延迟和对流层延迟, 电离层延迟可通过双频技术得到消除。而对流层延迟, 即天顶总延迟(ZTD, Zenith Total Delay)由静力延迟(ZHD, Zenith Hydrostatic Delay, 也称干延迟 ZDD, Zenith Dry Delay)和湿延迟(ZWD, Zenith Wet Delay)构成, 即: $ZTD = ZHD + ZWD$ 。ZTD 一般通过 GPS 数据处理软件根据 GPS 接收的原始观测数据解算出, 而 ZHD 可由相关模型算得, 如采用 Saastamoinen^[1] 模型(SA 模型): $ZHD = 10^{-6} \frac{k_1 R p_s}{g_m M_d}$, 其中 p_s 为地面气压, R 为理想气体普适常数, M_d 为干空气摩尔质量, g_m 为垂直大气柱质量中心的引力加速度, 即可通过相应的地面气压值估算出 ZHD。ZTD 减去 ZHD 得到相应的 ZWD, 再通过 ZWD 与 PWV 之间的转换关系式^[2]: $ZWD = \Pi \cdot PWV$, 则可得到大气可降水量(GPS PWV)。其中 Π 为无量纲水汽转换系数, $\Pi = \frac{10^6}{\rho_w R_v [(k_3/T_m) + k_2]}$, 式中 ρ_w 为液态水密度, $k_2' = k_2 - k_1 \frac{R_d}{\rho_w}$, k_1, k_2, k_3 为实验常数(文中分别取 77.6k/hPa, 71.92k/hPa, $3.754 \times 10^5 k^2/hPa$), T_m 为对流层大气加权平均温度, 可由 Bevis 经验公式: $T_m = 70.2 + 0.72 T_s$, 其中 T_s 为地面气温。也可根据当地多年探空资料建立 T_m 的本地化修正方案^[3], 以提高可降水量反演的精度。

3 GPS 数据处理软件

在上述利用 GPS 遥感水汽的过程中, 分为两个阶段, 第一阶段称为数据解算阶段, 即通过 GPS 数据处理软件根据 GPS 接收的原始观测数据解算出 ZTD, 属于大地测量问题; 第二阶段, 称为水汽反演阶段, 即通过 ZTD 估算出可降水量, 属于气象学问题。

在解算阶段, 与一般 GPS 数据处理软件不同的是, 需用大范围、高精度、专业级的 GPS 数据处理软件, 以满

足大气水汽探测高精度的要求。目前高精度解算 GPS 观测数据的软件主要有美国麻省理工学院(MIT)与斯克里普斯海洋研究所(SIO)开发的 GAMIT 软件,瑞士伯尔尼大学天文研究所开发的 Bemese 软件,美国喷气推进实验室(JPL)开发的 GPSY/OASIS 软件。由于 GAMIT 不但计算精度高,速度快,而且开放源代码,便于使用者按照自己的需要进行修改,加之 GAMIT 是一款免费软件,用户可以进入 <http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/gtgk-download-form.html> 阅读填写相关内容,取得授权后即可进入 MIT 的 FTP 服务器 <ftp://guest@chandler.mit.edu> 免费下载使用,并且还能得到后继更新,因此在国内应用较广。MIT 于 2008 年 7 月 17 日发布了 GAMIT 最新版(v10.34),2008 年 10 月 22 日又发布了该版最新的修改补丁。基于 GAMIT 10.34,就其安装方法以及解算 ZTD 和反演 PWV 的流程进行探讨,并以成都地区地基 GPS 观测网的运用为例,总结 GAMIT 软件的安装和使用经验以及注意事项。

4 GAMIT 软件的安装与配置

GAMIT 需要在 Linux 操作系统上运行,论文是建立在 Fedora 7 版的 Linux 操作系统上。

4.1 编译安装 gcc

安装 GAMIT 之前还需要先安装编译环境软件 gcc,以 gcc-4.2.2 为例,拷贝 gcc-4.2.2.tar.gz 到/usr/src 目录,在此目录下按以下命令解压:

```
% tar-xzvf gcc-4.2.2.tar.gz
```

gcc-4.2 以下的版本还应打开/usr/src/gcc-4.2.2/libf2c/libi77/fio.h 文件修改以下内容:将'#define MAXUNIT 100'改为'#define MAXUNIT 10000'。然后从终端进入/usr/src/gcc-4.2.2 文件夹下,输入以下命令:

```
% ./configure
```

```
% make
```

```
% make install
```

4.2 安装 GAMIT

GAMIT 软件包括软件的源代码和安装包两部分,将安装包目录/source 下的文件拷贝到用户目录 home/wh/gamit(home/wh/gamit 可以是任意一个目录,以 home/wh/gamit 为例)中,然后在该文件夹下解压 libraries.10.34.tar.Z,找到 Makefile.config 文件后,修改你想要改动的参数。最后从终端进入 home/wh/gamit,输入以下命令:

```
% ./install-software
```

安装结束后进入用户目录找到 bash-profile 文件(通常是隐藏的),进行如下修改:

```
PATH = $PATH: $HOME/bin:/home/wh/gamit/gamit/bin:/home/wh/gamit/kf/bin:/home/wh/gamit/com
```

```
HELP-DIR=/home/wh/gamit/help/
```

```
export HELP-DIR
```

```
export PATH
```

配置完后重新启动计算机从而完成该软件的安装。

5 数据准备

5.1 原始数据准备

GAMIT 是高精度的 GPS 数据处理软件,在基线解算时需要考虑多种误差的影响,要求对 GPS 原始观测数据和各项参数表文件按不同文件目录正确存放,而且参数表文件要预先配置好,这对解算精度至关重要。下面以处理 2004 年 8 月 1 日(该年的第 214 天)成都地区地基 GPS 观测网的原始观测数据为例,加以具体说明。

数据取自成都地区地基 GPS 观测网中的成都(CHDU)、郫县(PIXI)2个GPS连续观测站,为提高解算精度,有必要加入一定数量的长基线站,文中加入了北京(BJFS)、昆明(KUMN)和武汉(WUHN)3个国内永久性 IGS 跟踪站,采用轨道松弛解处理模式。具体作法是先在/home/wh下创建工作目录2004,在2004目录下再创建 tables子目录,与tables并列的可以创建该年积日目录214,把相对应的文件拷贝到对应的文件夹中。一般214目录中放入RINEX格式(ssssdddf.yyt,其中t为文件类型)的文件,主要分为以下几类:观测值文件(O文件),GPS导航电文文件(N文件),气象数据文件(M文件),精密星历文件(SP3文件)。在原始数据准备过程中,可以利用一个很实用命令doy,以方便求出年积日和GPS周等,或者进入<http://www.ngs.noaa.gov/CORS/instructions3/>查询得到,然后进入<ftp://igsb.jpl.nasa.gov/pub/product>找到对应天的文件进行下载。

进入tables目录,参数表文件一般模板里有,若缺少对应年和时段的数据可以到IGS(<http://igsb.jpl.nasa.gov/>)网站上下载,其中tables目录中主要包括:

- (1)pole. 极移参数
- (2)antmod.dat 天线高及相位中心偏移模式参数
- (3)nutabl. 摄动历表
- (4)utl. 国际时间系统表
- (5)soltab. 太阳星历表
- (6)luntab. 月亮星历表
- (7)gdetic. 大地水准面参数表
- (8)rcvant.dat 接收机及天线类型信息
- (9)svnav.dat 卫星数目、编号等信息
- (10)leap.sec. 跳秒表

用以下命令建立与/gamit/tables目录的链接:

```
% links.tables.obsolete J2000 2004
```

5.2 文件编辑

将以下几个文件编辑好,一并放入tables目录中

(1)L文件

用命令 `sh-rx2apr-site chdu2140.04o(或其它站点)-nav chdu2410.04n-chi 5` 产生成都单测站文件(一行),然后放入lexam4.214文件中编辑生成最后的L文件。

(2)station.info文件

需要按照规定的格式手工编辑,可以参考/templates/station.info的格式,或者用命令 `sh-upd-stnfo-files./chdu2140.04o-exam emed-orbt exam` 进行自动添加完成。

(3)sestbl.文件

它是数据处理方案的核心控制文件、光压模型、卫星高度截止角、天顶延迟、大气延迟模型、解的类型以及迭代次数等很多参数都在该文件里配置,具体方案需要具体设定。为了利用气象数据文件zssssy.ddd,还需要设置Output met=Y。

(4)sittbl.文件

在该文件中可以对测站进行约束以及设置大气模型等参数。

(5)session.info文件

此文件包含年、月、采样间隔、历元数、起始时间及卫星编号,可以手工编辑,也可以在计算时用 `sh-makexp` 创建。

6 数据处理

数据准备好了之后可以按照如下步骤进行进一步处理:

(1)在单目目录中运行links.day连接计算所需要的配置文件

```
% links.day 2004 214 exam (exam 为工程名)
(2)makexp 程序建立所有准备文件的输出及一些模块的输入文件:
% sh-makexp-expt exam-orbt exam-yr 2004-doy 214-sess 99-srin-nav chdu2140.04n-sinfo 30 00 00 2880
(3)执行 sh-bcfrit 程序由 nav 文件生成星历表文件(T 文件),或执行 sh-sp3fit 程序由 sp3 文件生成星历表文件,或者直接从 SOPAC 拷贝 G 文件:
% sh-bcfrit-f chdu2140.04n-d 2004 214-o exam
或
% sh-sp3fit-f igs14602.sp3-o exam-d 2004 214
检查 G 文件:
% sh-check-sess-sess 214-type gfile-file gexam4.214
(4)makej 程序读取观测文件(RINEX 格式),得到用于分析的卫星时钟文件 J 文件:
% makej chdu2140.04n jchdu4.214 (jchdu 与导航文件 chdu 相匹配)
检查 J 文件:
% sh-check-sess-sess 214-type jfile-file jchdu4.214
(5)makex 生成接收机时钟文件(K 文件)和观测文件(X 文件):
% makex exam.makex.batch
(6)建立与执行批处理:
% fixdrv dexam4.214
(7)执行 csh bexam4.bat 或者 gbat bexam4.bat
```

7 结果查看与精度评定

在计算的结果文件(Q 文件)中可以查看解算精度与可靠性是否符合标准,一般要求均方根残差 $nrms$ 应在 0.5 以下,若大于 0.5 则可能是由于未除去大周跳或某一参数解算有误。该例的 $nrms$ 平均值为 0.29,符合解算精度标准(见表 1)。从解算结果可以看出,基线精度优于地壳形变分析所要求的 10^{-7} 这一精度,这就为后面解算可降水量的精度奠定了基础。

8 解算延迟量与反演可降水量

8.1 GAMIT 计算可降水量的功能

用 GPS 数据处理软件解算出天顶总延迟 ZTD 后,可以采用独立程序进一步据此反演出可降水量,也可继续运用具有水汽反演功能的 GPS 数据处理软件来完成这一工作。而 GAMIT 拥有估算每个测站天顶总延迟 ZTD,干延迟 ZHD、湿延迟 ZWD 以及可降水量 PWV 的功能,它采用如下方法进行计算:

$$ATDEL(EL)=ZHD * DRYMAP(EL)+ZWD * WETMAP(EL)$$

这里 ATDEL 为与卫星高度截止角(EL)有关的大气延迟,DRYMAP 和 WETMAP 分别为与卫星高度截止角有关的干、湿延迟的计算模型。DRYMAP 和 WETMAP 的大小近似等于卫星高度截止角的余割值,但这个“余割法则”有时会因为地球曲率及 GPS 卫星信号在传播过程中所经过的路径的弯曲程度不同而产生较大偏差。一般计算 ZHD 和 ZWD 的模型采用 Saastamoinen 模型,DAYMAP 和 WETMAP 自 GAMIT 1996 年发布以来其缺省模型为 A. Niell 设计的 NMFH 和 NMFW 改正模型,从而取代了 1985 年由 Davis 等设计的 CFA22.2 模型,但现在的软件仍可以选用 CFA 的改正模型。在

表 1 基线边解算精度统计

基线边名称	基线长度(m)	精度(m)	相对精度
BJFS-CHDU	1461509.02220	0.00878	6.01×10^{-9}
BJFS-PIXI	1460922.36944	0.00877	6.00×10^{-9}
BJFS-WUHN	1015585.04545	0.00487	4.79×10^{-9}
BJFS-KUNM	2020152.54444	0.01122	5.55×10^{-9}
CHDU-PIXI	42046.53532	0.00406	9.65×10^{-9}
CHDU-WUHN	986013.79269	0.00887	8.99×10^{-9}
CHDU-KUNM	633924.98355	0.00397	6.26×10^{-9}
PIXI-WUHN	1014772.85071	0.00886	8.73×10^{-9}
PIXI-KUNM	658323.00608	0.00395	6.00×10^{-9}
WUHN-KUNM	1289171.26438	0.01024	7.94×10^{-9}

GAMIT 中,所用模型的精度都经过严格测试。选择适宜的改正模型固然重要,但设定合理的卫星高度截止角也很关键,一般在 $5^{\circ}-20^{\circ}$ 之间为宜。所有的天顶延迟模型在 GAMIT 的计算中是通过 sittbl. 中所定义的关键词来控制的。

8.2 GAMIT 解算可降水量

首先要有气象数据文件 zssssy.ddd 或者气象数据文件 RINEX met (.yym) file,前者数据里的气压和气温的值均采用日平均值。在计算干延迟量和反演可降水量时气压和气温都是十分关键的数据,若用 Z 文件则不能得到实时结果。若要得到实时结果,只能从与 GPS 接收机配套的自动气象站(AWS)获取,而 AWS 拥有以分钟为间隔的气象数据,从而可实时解算可降水量。然而实际应用中,存在气象数据(M 文件)不易得到,没有与 GPS 配套的气象观测,或者气象观测记录格式与 M 文件格式不符等实际问题,从而影响水汽反演。如果可以得到或通过插值得到气象观测资料,可按照 M 文件规定的数据格式,根据气象观测数据构建相应的 M 文件,然后就可以依照以下命令来反演可降水量:

% sh-metutil-f oexama.214-m *2140.04m-i (时间间隔单位为秒,默认是 2 小时)
以成都(CHDU)站 2004 年第 214 天(即 2004 年 8 月 1 日)的解算数据为例,解算得到的 met-chdu.04214 文件如下:

表 2 2004 年 8 月 1 日成都站 2 小时间隔的 GPS 数据解算结果										
年 Yr	日序 Doy	时 Hr	分 Mn	秒 Sec	总延迟 ZTD (mm)	静力延迟 ZHD (mm)	湿延迟 ZWD (mm)	可降水量 PWV (mm)	地面气压 Press (hPa)	地面气温 Temp (K)
2004	214	0	0	0	2455.80	2156.69	299.11	49.06	945.45	297.06
2004	214	2	0	0	2450.40	2152.47	297.93	48.85	943.60	296.96
2004	214	4	0	0	2457.20	2150.88	306.32	50.19	942.90	296.66
2004	214	6	0	0	2467.20	2150.19	317.01	51.90	942.60	296.36
2004	214	8	0	0	2449.00	2151.79	297.21	48.71	943.30	296.76
2004	214	10	0	0	2426.90	2152.02	274.88	45.27	943.40	298.66
2004	214	12	0	0	2421.10	2150.88	270.22	44.62	942.90	299.76
2004	214	14	0	0	2414.60	2148.60	266.00	43.92	941.90	299.76
2004	214	16	0	0	2420.80	2145.40	275.40	45.69	940.50	301.66
2004	214	18	0	0	2411.00	2144.26	266.74	44.23	940.00	301.46
2004	214	20	0	0	2420.50	2145.63	274.87	45.36	940.60	299.56
2004	214	22	0	0	2424.90	2154.07	270.83	44.61	944.30	298.76
2004	214	24	0	0	2416.50	2154.30	262.20	43.11	944.40	298.06

为节省篇幅,只列出 2 小时一次的解算结果,对于天气分析预报来说,计算可降水量一般选用半小时甚至更短的时间间隔,这样更能反映水汽快速变化的特性,以满足对中小尺度恶劣天气短临预报的需要。

9 结束语

对于不同的硬件配置,GAMIT 软件的安装与运行过程可能有微小的差异,但这不影响最后的精度,但需要注意的是需要解算的数据要转化为 GAMIT 可读的格式,要及时更新 utl, pole, leap, sec, luntab, nutabl 等参数表文件使之与相应的时间对应;若解算结果中 nrms 值过大时,可用 cview 进一步人工修复;在反演水汽的过程中,若缺少气象数据 M 文件,可以根据气象观测资料,按照 M 文件规定的数据格式,填写生成 M 文件。

GAMIT 作为一个较为复杂的涉及多学科知识的专业软件,在实际使用时,会遇到各种各样的问题(包括卫星、测量、气象、计算机和操作系统等方面的),这需要在实践中不断摸索与总结。运用 GAMIT 计算可降水量的过程中还存在不少需要调试和研究的问题,例如局地情况是否满足 GAMIT 所提供的解算模型,哪些参数需要修改,怎样修改才合理,区域 GPS 站网布局对计算精度的影响,区域 GPS 网中需要加入多少个 IGS 站的数据才能获得最佳效益。这些问题的不断试验与总结,对于 GAMIT 在计算大气水汽总量中的运用具有重要的实用价值。

这也是 GPS 气象学中一个技术性很强的基础工作。

致谢:感谢美国麻省理工学院地球、大气和行星科学系授权使用 GAMIT 软件及更新补丁,感谢四川省地震局提供 GPS 原始观测数据。

参考文献:

- [1] Saastamoinen J. Atmospheric Correction for the Troposphere and Stratosphere in Radio Ranging of Satellites [J]. The Use of Artificial Satellites for Geodesy Monogr, 1972, 15: 247—251.
- [2] Davis J L, Herring T A, Shaprio I L, et al. Geodesy by Radio Inter-ferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Baseline Length[J]. Radio Sci., 1985, 20: 1593—1607.
- [3] 葛茂荣, 刘经南. PC-GAMIT 软件及其应用[J]. 测绘通报, 1997, 2: 21—23.
- [4] 王留朋, 过静, 金慧华等. GAMIT 在 LINUX 操作系统上的安装和使用[J]. 全球定位系统, 2005, 6: 43—46.
- [5] 王志强, 李军. GAMIT 使用指南[J]. 全球定位系统, 2002, 2: 36—39.
- [6] 陈明. Linux 基础与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 1—262.
- [7] 王天应, 施闯. GAMIT 在 PC 机上的安装和使用[J]. 地理空间信息, 2007, 5: 116—118.
- [8] 郭洁, 李国平, 黄 宸. 基于 40 年探空资料的川渝地区对流层加权平均温度及其局地建模[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(增刊): 43—46.
- [9] 毛健, 魏峰远. GAMIT 在红旗 5.0 LINUX 操作系统上的安装和使用[J]. 山西建筑, 2008, 3: 354—355.

Solution of GPS precipitation water vapor in Chengdu area by using GAMIT10.34

WANG Hao, LI Guo-ping, CHEN Jiao-na

(School of Atmospheric Science, CUIT, Chengdu 610225, China)

Abstract: The installation method on the Linux operating system and the procedure about the calculation zenith total delay (ZTD) as well as the PWV derivation are based on the GAMIT latest edition (v10.34) put up by the Massachusetts Institute of Technology (MIT) in March 2008. It takes the application of the ground GPS network in Chengdu area as an example to summarize the application experience and precautions of the GAMIT software.

Key words: GPS; GAMIT; derivation; precipitation; water vapor