

# 近三年 VLBI 观测的数据处理及分析

魏二虎<sup>1,3</sup> 刘经南<sup>2</sup> 潘培鲸<sup>4</sup>

(1 武汉大学测绘学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)  
(2 武汉大学卫星导航定位技术研究中心,武汉市珞喻路 129 号,430079)  
(3 武汉大学地球空间环境与大地测量教育部重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)  
(4 广州市城市规划勘测设计研究院,广州市建设大马路 10 号,510060)

**摘要:**介绍了标准 NGS 数据格式与 IVS(international VLBI service for geodesy and astrometry)网站公布的新格式之间的差异,将 2005~2007 年的 VLBI 数据进行了格式转换,利用由挪威大地测量研究所和澳大利亚地球科学研究所共同开发的 OCCAM 6.2 软件解算出大地测量参数( $X_p, Y_p, UT1-UTC, d\psi, de$ ),并在解算过程中,将两种不同的 UT1 内插模型进行了对比,同时还将解算结果与 IERS 网站公布的数据进行了对比。  
**关键词:**VLBI;OCCAM 6.2;大地测量参数;分析  
**中图法分类号:**P228.6

目前,地面 VLBI 技术已大大提高了射电参考系和地固参考系的测量和维持精度,并通过地球定向参数序列和章动序列的解算将这两个参考系联系起来<sup>[1]</sup>。VLBI 观测数据原来按照美国国家大地测量局(NGS)所开发的 ASC II 码方式存储,此格式称为 NGS 格式<sup>[2]</sup>。但近年来,IVS 网站上所公布的 VLBI 观测数据格式与标准 NGS 格式存在一些差异。为了利用软件来进行地面 VLBI 的数据处理,有必要将其转换为标准 NGS 格式。由于 VLBI 观测所产生的庞大数据量以及复杂的处理过程,寻找一种有效的数据处理方式显得尤为重要。本文在介绍标准 NGS 数据格式转换的基础上,将 2005~2007 年的地面 VLBI 数据转换为标准的 NGS 格式,然后利用 OCCAM 6.2 软件解算出期间的大地测量参数( $X_p, Y_p, UT1-UTC, d\psi, de$ )。

## 1 VLBI 数据来源及格式

本文所使用的 2005~2007 年的 VLBI 数据来自 IVS<sup>[3]</sup>网站。  
标准 NGS 格式数据文件的基本内容包括测

站坐标、射电源的赤经和赤纬、观测的参考频率、观测延迟及延迟率误差、测站系统温度、电缆改正、大气温度、大气压力、测站有关时延和时延率的电离层改正等参数,具体包括首单、测站数据单、射电源数据单、辅助参数单和观测数据单。  
近年来,IVS 网站上新出现的 VLBI 数据格式与标准 NGS 格式在测站数据单、射电源数据单和辅助参数单是相同的,区别在于首单和观测数据单。在新格式数据中,首单 ASC II 数据描述符中多了对新增第 9 行的注释,即经过修正的观测延迟误差和观测延迟率误差,并新增了观测数据单的第 9 行,即加入了改正后的观测延迟和改正后的观测延迟率误差的数据记录。  
为得到标准 NGS 格式的数据,根据两种格式的 VLBI 数据,需删除新格式数据首单 ASC II 数据描述符中对第 9 行的描述,并用第 9 行的记录数据代替第 2 行即可。基于此格式,笔者编写了格式转换程序,并将 2005~2007 年的数据进行了转换。

## 2 VLBI 数据处理软件

目前,有关地面 VLBI 的数据处理软件有

OCCAM、CALC/SOLVK、GLOBAK、GLORIA、MODEST、GEOSAT、SteelBreeze 等。本文使用的是 OCCAM 6.2。

软件用于实现 VLBI 时间延迟和时间延迟率观测量的物理模型描述、观测量对模型中各参数的偏导数进行计算和平差处理。为实现常规天测和测地 VLBI 观测资料的上述处理过程,需要涉及资料管理、模型选取、众多参数配置与控制、参数初值与基本常数的准备以及测站气象和仪器状态参量输入等复杂工作。软件由若干个可执行程序组成,它们必须按照严格的顺序执行才能得到正确的 VLBI 结果。执行程序可通过批处理文件或由人工自动地调用,其中的物理模块主要由三部分组成(ftp://ftp.ga.gov.au/sgac/vlbi/OCCAM6\_2/DOC/occam.pdf):① 计算模型和标准数据文件模块,包括数据准备、岁差章动、测站改正和偏导数计算、几何模型模块;② 平差计算模块,包括 Kalman 滤波法、最小二乘配置法和经典最小二乘法模块;③ 应用程序模块,包括从 OCCAM 标准文件中获取的信息模块和从 Obs-Calc (观测值-计算值)文件中获取的信息模块。

### 3 计算分析

#### 3.1 参数的选择

传统的 VLBI 数据处理软件中,常使用最小二乘和最小二乘配置方法处理上述问题,软件中的钟偏项和大气扰动项被近似地表示为分段多项式,使用者需根据实际情况对时间段和多项式的阶数进行选择 and 调整,这样将带有很强的主观因素,因此很难进一步提高精度。Herring 等学者<sup>[4]</sup>提出了一种使用卡尔曼滤波的方法来建立时钟参数和大气参数随机模型的新方法,它能反映出有关大地测量、地球动力学和天体测量参数随机处理后的估值。这种方法被许多学者所承认,并且在 1994 年被 IERS 所接受。OCCAM 软件在使用卡尔曼滤波方法来解算大地测量参数时,采用随机模型取代最小二乘法中有关时钟和大气延迟的线性多项式参数模型。其中,已知参数包含固体潮参数、海洋荷载潮汐改正数、大气改正数和岁差参数;非随机参数包含 VLBI 测站的位置、射电源的坐标和 EOP 参数。文献<sup>[5]</sup>表明,固定 VLBI 台站坐标和射电源的位置,将其余参数如测站时钟误差和钟漂、大气天顶延迟、CIS 和 CTS 连接参数,即地球定向参数和章动参数( $X_p, Y_p, UT1-UTC, d\phi, d\epsilon$ ),作为未知数来求解时,解算

结果很好。本文就是基于这种方法来进行解算的。

#### 3.2 UT1 内插模型的选择

世界时(UT)是建立在地球自转运动基础上的,地球自转速率的不均匀性和极移都会对 UT 产生影响。自 1956 年起,国际上决定在由天文方法直接测得的世界时 UT0 中加上极移改正项  $\Delta\lambda$  和地球自转速率变化的季节性改正项  $\Delta T_s$ ,这样就有了世界时 UT1 和 UT2,它们之间的关系为:

$$UT1=UT0+\Delta\lambda$$

$$UT2=UT1+\Delta T_s=UT0+\Delta\lambda+\Delta T_s$$

另外,带谐潮可以引起绕地球自转轴的转动惯量变化,因此也可以引起地球自转速率的周期变化<sup>[6]</sup>。本文将扣除周期小于 35 d 的带谐潮改正之后的 UT1 称为 UT1R,将扣除包括从 5 d 到 18.6 a 的带谐潮改正之后的 UT1 称为 UT1S<sup>[7]</sup>。

软件中关于如何对短期 UT1 的变化进行处理提供了两种模型,第一种是 IERS standards (1989)提供的提取周期小于 35 d 的短周期项;第二种是 IERS conventions (1992)提供的提取 5 d 到 18.6 a 的短周期和长周期项。为使 UT1 插值得更好,提取出周期小于 35 d 的短期变化是必须的。笔者分别利用两种模型对 2007 年的 VLBI 数据进行了处理,所得的结果如图 1 所示。

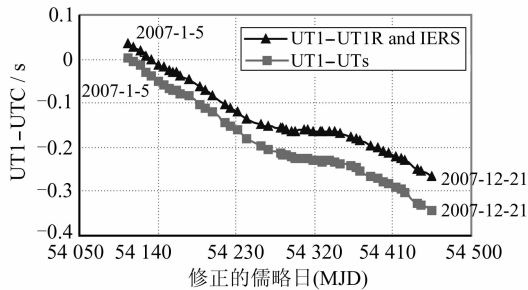


图 1 2007 年采用不同 UT1 内插模型所得的结果  
Fig. 1 Results of Different UT1 Interpolation Models of in 2007

根据图 1 的解算结果可知,采用第一种模型所得的结果与 IERS 网站公布的数据吻合得相当好,二者之间的差值最小为 0.03 ms,最大也仅为 0.47 ms。采用第二种模型所得的结果与 IERS 公布值之间则存在较大的差值,并显示出一定的系统误差,二者之间的最小差值为 0.03 s,最大差值为 0.08 s。出现这种结果的原因是 IERS 网站中所给出的 1 d 序列的 EOP 数据中并未包含周期在 5~35 d 的带谐潮改正项。本文的解算过程中选择先提取小于 35 d 的短周期项,然后内插,再将这些短周期项存储于最终的 UT1 时间序列

中,即采用 IERS standards (1989)所提供的提取周期小于 35 d 的短周期项模型。

### 3.3 2005~2007 年 VLBI 数据解算分析

在对 2005~2007 年的数据解算过程中,本文采用 IAU 1980 章动模型、CSR4.0 海洋潮汐模型,并选择相隔 7 d 的观测数据进行解算。如果某些观测数据量太大,则软件无法解算出成果;如果某些观测数据质量太差,则解算结果误差太大而无法采用,所以,本文并不是严格按照 7 d 时间间隔进行解算和分析的。如果解算当天所得结果的精度不高或无法得到结果,本文选择前后一天或两天的数据重新进行解算,得到最终的参数时间变化序列。

完成数据解算之后,将结果与 IERS 网站公布的 CIS 和 CTS 连接参数数据([http://hpiers.obspm.fr/iers/eop/eopc04\\_05](http://hpiers.obspm.fr/iers/eop/eopc04_05))进行对比,发现  $X_p$ 、 $Y_p$ 、 $UT1-UTC$ 、 $d\psi$  和  $d\epsilon$  五个参数在与 IERS 公布值相减并取绝对值之后的平均差异分别为 0.338 mas、0.320 mas、0.176 ms、0.165 mas 和 0.075 mas。各个参数在 2005~2007 年的平均解算精度见表 1。

表 1 2005~2007 年  $X_p$ 、 $Y_p$ 、 $UT1-UTC$ 、 $d\psi$  和  $d\epsilon$  的解算精度

Tab.1 Accuracy of  $X_p$ 、 $Y_p$ 、 $UT1-UTC$ 、 $d\psi$  and  $d\epsilon$  During 2005-2007

年份	$\sigma x/\text{mas}$	$\sigma y/\text{mas}$	$\sigma(UT1-UTC)/\text{ms}$	$\sigma d\psi/\text{mas}$	$\sigma d\epsilon/\text{mas}$
2005	0.066	0.068	0.003	0.140	0.056
2006	0.065	0.068	0.003	0.138	0.055
2007	0.055	0.062	0.003	0.124	0.049
平均	0.062	0.066	0.003	0.134	0.053

从表 1 可以看出,在 2005~2007 年的解算结果中,2005 年和 2006 年的解算精度基本相同,但与前两年相比,2007 年的解算精度除  $UT1-UTC$  的精度相差不大外, $X_p$ 、 $Y_p$ 、 $d\psi$  和  $d\epsilon$  的平均解算精度均有较大的提高,每年的提升量分别为 15.4 %、8.8 %、10.1 %、10.9 %。

### 3.4 精度比较

为检验本文解算结果的精度,与文献[5,8]中解算所得的地球定向参数结果进行了比较分析。其中,文献[8]中 2003 年地球定向参数的平均解算精度分别为 0.16 mas、0.13 mas、0.006 9 ms、0.29 mas 和 0.12 mas;文献[5]中 2004 年地球定向参数的平均解算精度分别为 0.077 mas、0.069 mas、0.003 ms、0.155 mas 和 0.062 mas。本文解算结果与 2003 年的解算结果相比, $X_p$ 、 $Y_p$ 、 $UT1-UTC$ 、 $d\psi$  和  $d\epsilon$  五个参数的平均解算精度

分别提高了 61.3 %、49.2 %、95.7 %、53.8 % 和 55.8 %;与 2004 年的解算结果相比,除  $UT1-UTC$  外, $X_p$ 、 $Y_p$ 、 $d\psi$  和  $d\epsilon$  的解算精度分别提高了 19.5 %、4.3 %、13.5 % 和 14.5 %。

## 4 结 语

通过此次解算试验可以看出,OCCAM 6.2 软件在固定 VLBI 测站坐标和射电源的位置时,解算出的 2005~2007 年 CIS 和 CTS 连接参数的精度同 IERS 网站所公布的数据相比是令人满意的。产生差异的原因一方面是由于 IERS 网站所公布的地球定向参数序列是在综合 VLBI、GPS、SLR 和 DORIS 等数据结果的基础上加权取平均得出的;另一方面,本文仅考虑了大气荷载、海洋潮汐和天线温度变形对观测值的影响。而实际上,在每个 VLBI 测站附近都有自己独立的冰雪荷载数据、土壤湿度荷载数据和非潮汐性海洋荷载数据,这些都需要在将来的数据处理中考虑进去。

## 参 考 文 献

[1] Charlot. IERS Anual Report 1996 [R]. Observatoire de Paris, France, 1996

[2] Vandenberg N R. NGS Card Format [OL]. <http://lupus.gsfc.nasa.gov/global/ngs-doc.html>, 1998

[3] International VLBI Service for Geodesy & Astrometry. IVS 网站 [OL]. <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/>, 2008

[4] Herring T A, Davis J L, Shapiro I I. Geodesy by Radio Interferometry: The Application of Kalman Filtering to the Analysis of Very Long Baseline Interferometry Data [J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95 (B8): 12 561-12 581

[5] Wei Erhu, Liu Jingnan. Estimation of Geodetic Parameters with VLBI Data of Last 5 Years [J]. Geospatial Information Science, 2007, 10 (1): 12-16

[6] 高布锡. 天文地球动力学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997

[7] McCarthy D D. IERS Technical Note No. 21 [OL]. <http://www.iers.org/MainDisp.csl?pid=46-25772>, 1996

[8] 魏二虎, 刘经南, 李征航, 等. 空间 VLBI 观测量估计大地测量参数的模拟计算 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31 (10): 875-878

第一作者简介:魏二虎,副教授,博士。现主要从事空间大地测量和地球动力学研究。  
E-mail:ehwei@sgg.whu.edu.cn

On Data Processing with Last Three Years of VLBI Observation

WEI Erhu<sup>1,3</sup> LIU Jingnan<sup>2</sup> PAN Peijing<sup>4</sup>

(1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Research Center of GPS, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 Key Laboratory of Geospace Environment and Geodesy, Ministry of Education, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(4 Guangzhou Urban Planning and Design Survey Research Institute, 10 Jianshe Road, Guangzhou 510060, China)

**Abstract:** The difference between the new format and standard NGS format is introduced; and the data of 2005-2007 which is downloaded from IVS is transfered to the standard format. With OCCAM 6.2 software developed by Norwegian Geodetic Institute and institute of geoscience in Australia, the parameters of geodetic interest ( $Xp$ ,  $Yp$ , UT1-UTC,  $d\psi$ ,  $d\epsilon$ ) are computed. In the data processing, the results with different interpolation models of UT1 are compared. The difference in accuracy is analyzed; and some conclusions are drawn.

**Key words:** VLBI; OCCAM 6.2; geodetic parameters; analysis

About the first author: WEI Erhu, associate professor, Ph. D. He is engaged in the research on spatial geodesy and geodynamics.  
E-mail: ehwei@sgg.whu.edu.cn

+++++

(上接第 1253 页)

Improved Event-Process Based on Spatiotemporal Model

WU Changbin<sup>1</sup> LUE Guonian<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Virtual Geographical Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, 1 Wenyuan Road, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** Event can represent semantic meaning of spatiotemporal changes, but hardly illuminate detail operations of inner alteration and represent continual or more complex changes. The authors analyzed the scale and subdividable characters of event and relationship between event and process. An improved event-process based spatiotemporal model(E-PSTM) is proposed, in which view event is composed of some processes. There are three types of changes, disperse, linear and nonlinear, and process operations are divided into creation, alteration, maintenance and so on. The logical structure of E-PSTM with object-oriented method is designed, and it is applied to cadastral alteration system. It can be efficiently queried and backdated the events, processes and semantic information about parcel spatiotemporal change.

**Key words:** spatiotemporal model; event-process; semantic; cadastral alteration

About the first author: WU Changbin, Ph.D candidate, lecturer, majors in GIS and spatio-temporal model.  
E-mail: changbin\_wu@263.net