

IGR 轨道外推及其在对流层实时监测中的应用研究

陈宪冬^{1,2} 黄丁发¹ 殷海涛¹

(1 西南交通大学地理空间信息工程中心,成都市二环路北一段 111 号,610031)
(2 西安科技大学测量系,西安市雁塔路中段 58 号,710054)

摘 要:在精密定轨和轨道外推理论的基础上,对比分析了由 IGS 快速轨道(IGS rapid orbit,IGR)外推 1 d 的轨道与 IGS 最终轨道间的差异,用此外推轨道和最终轨道分别按长基线双差网解方案计算了 BRUS、IENG、PTBB 等欧洲一些 IGS/TAI 站的天顶湿延迟(zenith wet delay, ZWD),并对两种轨道下各站的 ZWD 进行了对比。轨道对比结果显示,除异常卫星外,“病态”卫星的 IGR 外推 1 d 的轨道仍具有一定的高精度。而 ZWD 的对比结果则表明,当剔除异常卫星的影响并对“病态”卫星加以适当处理后,IGR 外推 1 d 的轨道用于对流层实时监测是可行的。

关键词:对流层监测;实时;轨道外推;IGR;IGS

中图法分类号:P228.41

众所周知,采用不同的解算方法、解算软件、干/湿映射函数、水平梯度模型、截止高度以及使用不同的卫星轨道等都会对 ZWD 的外符合精度造成不同程度的影响,而是否具有高精度的 GPS 实时轨道更是 ZWD 能否高精度、近实时解算的关键。由于 IGS 实时星历的使用受到一定的限制,而一般单位受观测网络小、网际数据难以共享、技术力量薄弱、软硬件条件不足等因素的制约,难以进行高精度 GPS 实时定轨工作,因而对对流层监测中的实时轨道问题进行研究具有重要的现实意义。文献[1]给出了用 IGS 超快星历配合星历指数进行轨道松弛的对流层实时监测方法。本文试图在精密定轨和轨道外推理论的基础上,探讨 IGR 轨道外推在 ZWD 实时计算中的可行性。

1 IGR 外推轨道及其精度分析

本文星历对比及 ZWD 的计算均在 BERNESE42 软件下进行,具体的轨道积分及轨道外推采用的模型选择及参数设置见表 1。星历数据主要为 2005 年 12 月 24 至 30 日的 IGS 最终星

历及 IGR 星历(SP3 文件及配套的 ERP 文件),有关卫星的异常变动(如卫星发射、卫星变轨、卫星演习等)则通过 CODE 或 MIT 等外部渠道获取。图 1 给出了 SV01、SV02、SV03、SV04 等四颗“健康”GPS 卫星的 IGR13550. sp3 外推 1 d 的轨道与其 IGS13551. sp3 拟合内插轨道的坐标差异情况(其他“健康”卫星的轨道精度与这四颗类似)。图 2 给出了 SV09、SV15、SV25、SV29 等全部共四颗“病态”卫星的 IGR13550. sp3 外推 1 d 的轨道与其 IGS13551. sp3 拟合内插轨道的差异情况。由图 1 和图 2 可以看出,“健康”卫星的 IGR 外推轨道不仅具有较高的精度(径向小于 0.1 m,纵向小于 0.5 m,轨道面法向小于 0.25 m),而且其变化也较为平稳;而“病态”卫星的外推轨道精度尽管有所下降,但也具有一定的高精度(径向小于 0.3 m,纵向小于 2.0 m,轨道面法向小于 0.2 m)。之所以得到如此高精度的外推轨道,一方面在于使用的是高精度的 IGR 星历(及相应的星钟改正和 ERP 数据),另一方面,得益于精细的轨道摄动建模及 BERNESE42 的高精度轨道积分和轨道外推算法。

值得说明的是,本研究中的 ERP 数据和 UT1-UTC 数据使用的均是事后结果,真正实时

应用中,应按某种算法外推出这些数据。由图 3 可见,在没有大的地球运动异常(如地震等)情况下,ERP 及 UT1-UTC 的变化具有明显的规律

性,根据其变化趋势可以构造出高精度的外推算 法,其外推精度对 IGR 外推 1 d 轨道的影响亦可 控制在 30% 内。

表 1 轨道积分及轨道外推中所考虑的因素及参数
Tab. 1 Factors and Parameters in Orbit Intergration and Extrapolation

影响因素	参数设置	影响因素	参数设置
时间系及惯性系	IGST/IGRT,J2000	太阳光压模型	BERN2
星钟改正的多项式阶次	2 阶	地影影响	Yes
重力场模型及完全阶次	JGM3,12 阶次	月影影响	No
地球固体潮	Yes	相对论加速度影响	Yes
海洋潮汐及模型	Yes,CSR4.0	轨道积分迭代次数	2
极移潮	Yes	轨道拟合之多项式阶次	10 阶
大气潮	No	轨道拟合之分段长度	1 h
日、月及行星历表	DE200	轨道变分之多项式阶次	12 阶
日、月引力	Yes	轨道变分之分段长度	6 h
金、木、水、火星引力	Yes		

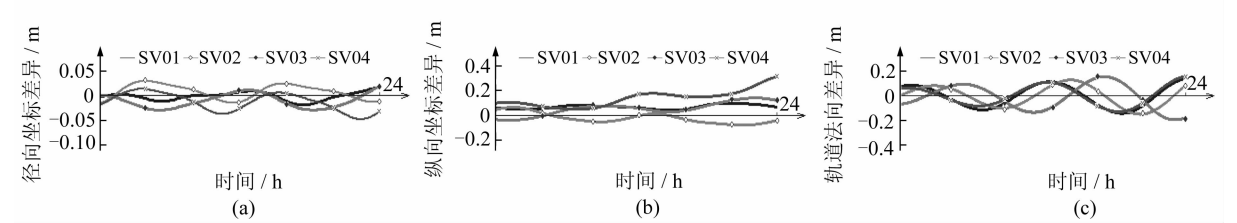


图 1 正常 GPS 卫星的 IGS13551 内插轨道与其 IGR13550 外推 1 d 轨道的坐标差异
Fig. 1 Orbit Differences of GPS Healthy Satellites Between IGS13551 Interpolated Orbits and IGR13550 Extrapolated One Day Orbits

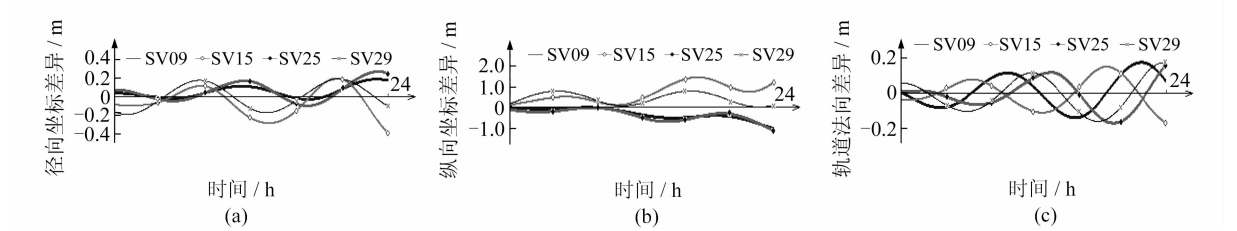


图 2 “病态”卫星的 IGR13550 外推 1 d 轨道与其 IGS13551 内差轨道的坐标差异
Fig. 2 Orbit Differences of GPS Ill Satellites Between IGR13550 Extrapolated One Day Orbit and IGS13551 Interpolated Orbit

2 IGR 外推轨道与 IGS 最终轨道下的 ZWD 对比

为了研究 IGR 外推 1 d 的轨道在 ZWD 解算中的可行性,笔者从 SOPAC 网站下载了 2005 年 12 月 24 至 30 日期间欧洲的 BRUS、PTBB、IENG、NPLD、WAB2 等 IGS/TAI 站的 Ashtech Z12T 接收机(均由高精度的原子钟所驱动)的良好观测数据和高精度的测站坐标。选择同型号接收机及优良的 IGS/TAI 站的目的 在于尽量避免 内、外部环境以及不同型号接收机的性能差异可能 对 ZWD 造成过大的影响。ZWD 的计算均采

用 BERNES42 软件按长基线双差网解方案进行, 对流层经验模型采用 SAAS 模型,映射函数采用 NMF,卫星截止高度角设为 10°,每 h 引入一个天 顶湿延迟改正参数 ZWD。图 4(a)给出了 2005 年 年积日为 360 至 364 的 BRUS、IENG、PTBB 三个 站的 IGR 外推 1 d 的轨道与其 IGS 最终轨道下计 算的 ZWD 的结果差异(以 IGS 最终轨道下的 ZWD 为参考真值),包含不“健康”卫星。

由图 4 可见,在包含不“健康”卫星的情况下, IGR 外推 1 d 的轨道和 IGS 最终轨道下的 ZWD 差值除个别时段超过 5 mm 外,大多在 3~5 mm 以下,由于“病态”卫星毕竟是少数,而其径向轨道 误差又多在 0.5 m 以下(ZWD 的计算精度主要

与径向轨道误差有关),因而当对不“健康”卫星以及低仰角的不良观测数据进行适当处理后,将 IGR 外推轨道误差对 ZWD 的影响控制在 5 mm 之下是完全可能的。图 4(b)说明删除异常卫星和“病态”卫星后的 IGR 外推 1 d 轨道计算的 ZWD 精度比不删除时有明显提高,年积日 360 d 删除的是 9、15、25、29 这四颗卫星,年积日 361 d 删除的是 8、9、15 这三颗卫星。

众所周知,数值天气预报对实时或近实时的天顶湿延迟的精度要求为 6 mm 时,可降水量(PWV)才能满足 1 mm 的精度要求^[2]。考虑到异常卫星

及“病态”卫星的探测和处理存在不可靠因素,加之 ERP 参数外推可能有较大的误差影响,因而 IGR 外推 1 d 的轨道用于 1 mm 精度的 PWV 监测存在一定的困难,但如果将 PWV 的精度要求予以适当降低(如降至 1.5 mm,对应 ZWD 的精度要求放宽为 9 mm),则高精度的 IGR 外推 1 d 轨道用于实时对流层监测是完全可行的。至于对“病态”卫星的处理问题,国内外许多学者作了大量的研究,也得出了一些有效的方法,如剔除“病态”卫星、降低“病态”卫星的权重、对所有卫星或只对“病态”卫星进行轨道松弛等^[3-5]。

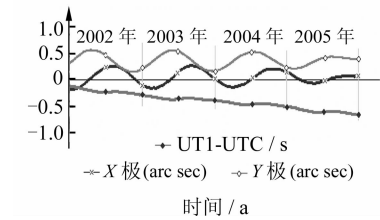


图 3 2002 年至 2005 年的极移及 UT1-UTC 参数

Fig. 3 ERP and UT1-UTC Data of Year 2002 to 2005

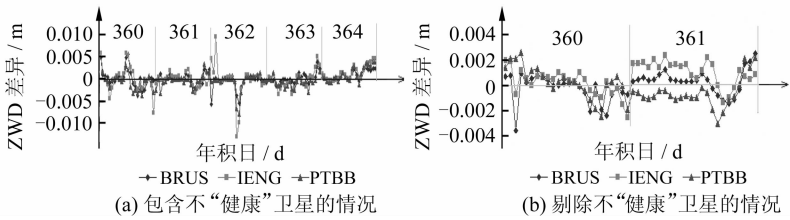


图 4 IGR 外推 1 d 轨道和 IGS 最终轨道的 ZWD 差异

Fig. 4 Difference of ZWDs Estimated from IGR Extrapolated One Day Orbits and IGS Final Interpolated Orbits

目前,IGR 星历的时间(即 IGRT)精度已经很高,GPS 星钟的变化也比较稳定^[1],因而摄动模型的精度(如光压模型)以及 ERP 的外推效果将是制约 IGR 外推轨道的外符合精度得以进一步提高的重要因素,高精度的光压模型以及 ERP 外推算算法将是进一步研究的重点。

参 考 文 献

[1] 殷海涛,黄丁发,熊永良,等. IGS 超快星历在对流层实时监测中的应用研究[J]. 西南交通大学学报(自然科学版), 2006, 41(1): 97-101

[2] 宋淑丽,朱文耀,廖新浩. 地基 GPS 气象学研究的主要问题及最新进展[J]. 地球科学进展, 2004, 19(2): 250-259

[3] Ge M R, Eric C, Jennifer H. Reducing the Satell-

ite Orbit Error Effects in Near Real-Time GPS Zenith Tropospheric Delay Estimation for Meteorology [J]. Geophysical Research Letters, 2000, 27: 1 915-1 918

[4] Kruse L P, Sierk B, Springer T, et al. GPS-Meteorology Impact of Predicted Orbit on Precipitable Water Estimates[J]. Geophysical Research Letters, 1999, 26: 2 045-2 048

[5] Ge M, Calais E, Haase J. Automatic Orbit Quality Control for Near Real-Time GPS Zenith Tropospheric Delay Estimation[J]. Physics and Chemistry of the Earth (A), 2001, 26(3): 177-181

第一作者简介:陈宪冬,讲师,博士生。主要从事 GPS 及 GIS 方面的教学与软件开发工作。
E-mail:cyt200310@tom.com

Application of IGR Extrapolated Orbit in Real-Time Tropospheric Monitoring

CHEN Xiandong^{1,2} HUANG Dingfa¹ YIN Haitao¹

(1 Center of Geomatic Engineering, Southwest Jiaotong University, 111 Erhuan Road, Chengdu 610031, China)

(2 Department of Survey, Xi'an University of Science and Technology, 58 Middle Yanta Road, Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on the theory of precise orbit determination and orbit extrapolation, the differences between IGS rapid orbit (IGR) extrapolated one day orbits and IGS final orbits is

[9] 缪玲娟. 小波分析在光纤陀螺信号中的应用研究[J]. 宇航学报, 2000, 21(1): 43-46

[10] 汤巍, 李士心, 刘鲁源, 等. 关于陀螺信号处理中小波基选取的研究[J]. 中国惯性技术学报, 2002, 10(5): 28-30

[11] 成礼智, 王红霞, 罗永. 小波的理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004

[12] Nassar S, El-Sheimy N. Wavelet Analysis for Improving INS and INS/DGPS Navigation Accuracy[J]. Journal of Navigation, 2005, 58: 119-134

第一作者简介: 吴富梅, 硕士。主要从事动态大地测量数据处理研究。
E-mail: wfm8431812@163.com

SINS Initial Alignment Based on Wavelet Transform and Sequential Robust Adjustment

WU Fumei¹ YANG Yuanxi²

(1 Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, 66 Middle Longhai Road, Zhengzhou 450052, China)
(2 Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, 1 Middle Section, Yanta Road, Xi'an 710054, China)

Abstract: A new method is presented to determine the original attitude based on the wavelet transform and three-parameter sequential robust adjustment. First the wavelet multi-resolution analysis is applied to de-noise the noise components from the measurements of gyros and accelerometers. Then the original attitude angles are calculated by the three-parameter sequential robust adjustment. By the simulating stationary data, it is determined that this new method can ensure high alignment accuracy in short time.

Key words: SINS; initial alignment; wavelet transform; sequential robust adjustment

About the first author: WU Fumei, master, engaged in kinematic geodetic data processing .
E-mail: wfm8431812@163.com

(上接第 616 页)

analyzed. And using these two kinds of orbits, the ZWDs of some European IGS/TAI stations, such as BRUS, IENG, PTBB, NPLD, WAB2 etc. are estimated and compared. The difference of the orbits shows that except the problem satellites (such as manoeuvre, modeling, bad phase or/and bad code data satellies), all the other satellites, including healthy satellites and ill satellites, have IGR extrapolated one day orbits with an accuracy better than 0.5 m in radial-axis. The comparison of the ZWDs shows that excluding the problem and ill satellites', using the IGR extrapolated one day orbits, a negligible bias and an RMS less than 5 mm can be obtained wrt IGS final orbits. The IGR extrapolated one day orbits has the potential in real-time tropospheric monitoring applications.

Key words: tropospheric monitoring; real-time; orbit extrapolating; IGR; IGS

About the first author: CHEN Xiandong, lecturer, Ph. D candidate, majors in the teaching and software programming in GPS and GIS domains.
E-mail: cyt200310@tom.com