

IGS 超快速星历预推 GPS 卫星轨道精度分析

张耀文¹, 贾小林², 杨志强¹

(1. 长安大学 地测学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安测绘研究所, 陕西 西安 710054)

摘 要:在 GPS 卫星星历中,除了 GPS 广播星历能被 GPS 用户实时获取进行实时定位和导航外,IGS 超快速星历(IGU 星历)有 24 h 的预推轨道也能被 GPS 用户实时得到,可以利用 IGU 星历的预推轨道进行实时定位和导航。文中对 IGS 发布的 IGS 超快速星历(IGU 星历)预推轨道精度进行了分析。研究表明,随着 IGU 发布的频度提高,其预推轨道精度也进一步提高,对于每天发布 4 次的 IGU 星历,预推轨道的前 6 h 轨道精度在 X、Y、Z 方向分别为 3.2 cm、3.4 cm、3.2 cm。

关键词:卫星星历;IGS 超快速星历;IGS 星历;轨道误差

中图分类号:P228

文献标识码:A

文章编号:1006-7949(2006)06-0024-03

The precision analysis of IGS ultra-rapid ephemeris

ZHANG Yao-wen¹, JIA Xiao-lin², YANG Zhi-qiang¹

(1. College of Geological and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Xi'an Institute of Surveying and Mapping, Xi'an 710054, China)

Abstract: Among the GPS satellite ephemeris, IGS ultra-rapid ephemeris which have twenty-four hours' prediction orbit can be obtained momentarily by GPS user besides GPS broadcasting ephemeris. Thus, IGU ephemeris can be used for navigation and real-time position. The prediction orbit precision of ultra-rapid ephemeris is analyzed, which was issued by IGS. The result shows that the prediction orbit precision is improved with the increase of issue frequency. For the IGU ephemeris issued four times in a day, the frontal six hours' prediction orbit precision is about 3.2 cm, 3.4 cm, 3.2 cm in each direction.

Key words: satellite ephemeris; IGS ultra-rapid precise ephemeris; IGS ephemeris; orbit error

全球定位系统(GPS)是基于无线电导航的卫星定位系统,已知卫星轨道是定位的前提条件,轨道(GPS 星历)直接影响着导航定位的精度^[1]。目前, GPS 卫星星历的提供方式有广播星历、超快速星历(IGU 星历)、快速星历(IGR 星历)和精密星历(IGS 星历)4 种类型。轨道精度由高到低分别为 IGS 星历、IGR 星历、IGU 星历和广播星历;对于实时性而言,广播星历和 IGU 星历预推轨道可实时获取,而 IGS 星历和 IGR 星历只能用于后处理^[2]。

GPS 广播星历,是通过卫星发射的含有轨道信息的导航电文,用户接收机接收到这些信号,经过解码便可以获得所需要的卫星星历,广播星历通常包括相对某一参考历元的开普勒轨道参数和必要的轨道摄动改正项参数^[3]。轨道参数由 16 个元素组成,每个卫星的广播星历每 2 h 更新一次,或者在用户

距离误差(URE)超过规定的限值时更新。广播星历由接收机实时获取,通过卫星导航系统的测轨分系统外推轨道得到,随着时间的推移,预推轨道会偏离实际轨道,导航和定位的精度降低,所以只能保证一定时间段内的精度要求,目前广播星历轨道精度大约为 3 m^[4]。

20 世纪 90 年代以来, GPS 一直在地学研究领域尤其是在大地测量领域扮演着一个举足轻重的角色。为了加强国际间 GPS 地学研究合作应用,国际大地测量学协会 IAG(International association of geodesy)于 1993 年成立了国际 GPS 地球动力学服务(IGS)组织,并于 1994 年 1 月正式运作,其主要任务是利用 GPS 空间对地观测技术研究地壳运动、监测海(冰)面变化、地球自转、极移以及大地坐标系维持等地球科学问题。目前,IGS 拥有分布在全球的

收稿日期:2006-07-23

项目来源:西安测绘研究所创新资助项目(CX0148)

作者简介:张耀文(1981~),男,硕士研究生。

万方数据

335 个 GPS 跟踪站和部分 GLONASS 跟踪站,对 GPS 卫星进行连续跟踪观测,其测量数据被发送到 IGS 数据分析与处理中心^[5],该中心统一解算 GPS 卫星星历,并向全球用户提供 3 种星历类型:IGS 星历、IGR 星历和 IGU 星历。IGS 星历用 SP3 格式给出 15 min 等间隔点上的卫星位置和卫星钟差,卫星轨道属于 ITRF 参考框架^[6-7]。IGS 星历要在 12 d 之后才能获取;IGR 星历是由 IGS 提供的快速星历,IGR 星历的产生方式和 IGS 星历的产生方式相同,数据格式及坐标框架也相同。但各分析中心在收集全球 IGS 监测站数据时,由于各监测站通讯的影响,采用的观测数据比计算 IGS 星历时所采用的测站数据少,IGR 星历在 17 h 之后即能获取。从 2000 年 3 月 10 日开始,IGS 中央局推出了一种新的轨道产品 IGU (IGS UltraRapid product) 轨道。每个 IGU 星历文件轨道弧长 48 h,前 24 h 是基于实测 GPS 数据的精密轨道,后 24 h 则是预推轨道。IGU 轨道首先由各分析中心独立产生各自的 IGU 轨道,然后 IGS 数据中心确定各个分析中心轨道的权,并最后形成综合 IGU 轨道^[8]。IGU 星历的产生方式和 IGS 星历的产生方式也相同,数据格式及坐标框架也相同。起初 IGU 轨道每天发布 2 次,分别在 UTC 时 3:00、15:00 发布,目前 IGU 轨道每天发布 4 次,分别在 UTC 时 3:00、9:00、15:00 和 21:00 发布,用户只需在 3 h 之后即可获取。同时,由于该轨道有 24 h 的预推轨道,因此也可作为实时使用。

广播星历与 IGU 星历都能被 GPS 用户观测实时得到,这对导航和实时定位是非常方便的。根据广播星历参数,可计算出卫星轨道。但其精度随着观测历元与参考历元的间隔增加而降低。而 IGU 星历文件轨道弧长 48 h,前 24 h 是基于实测 GPS 数据计算的精密轨道,后 24 h 则是预推轨道。用户可以将发布的 IGU 星历中的预推轨道应用于 24 h 的实时定位和导航。由于目前 IGU 轨道每天发布 4 次,因此一天中每次预推轨道的前 6 h 轨道不重叠。对于用户而言,一天内可用的 IGU 轨道至少有两种选择:一种是将一天中每次发布的 IGU 星历中的预推轨道的前 6 h 组合成 24 h 的轨道;另一种是直接使用每次发布的 24 h 的预推轨道。对于 IGU 星历一天发布两次的情况,文献[2]预推轨道的前 12 h 组合成 24 h 的轨道的精度进行了分析,本文仅对上述两种情况分别进行了比较。IGS 精密轨道综合了 7 个分析中心的解,精度约为 2 cm。基于此,采用 IGS 星历比较分析 IGU 星历的预推轨道在 X、Y、Z 方向上的轨道误差,在分析星历精度时,把 IGS 星

历当作“真值”。

1 IGU 星历预推 6 h 轨道精度分析

IGU 星历与 IGS 星历的格式完全相同,均为 SP3 的标准格式,而且 IGS 星历和 IGU 星历都直接给出了 15 min 采样间隔的卫星坐标。本文采用 2005 年 9 月 18 日的 IGS 星历与 2005 年 9 月 17 日在 UTC 时 3:00、9:00、15:00 和 21:00 分别发布的 IGU 星历中的后 24 h 的预推轨道的前 6 h 的预推轨道星历组合成为 24 h 的预推轨道进行比较,见表 1。表 1 中给出了 IGU 星历中预推轨道的前 6 h 预推轨道每一颗卫星在 X、Y、Z 方向上的轨道误差 (RMS) 统计值,并给出了 IGU 星历前 6 h 预推轨道的轨道误差的平均值。

表 1 IGU 星历中预推轨道的前 6 h 预推轨道精度统计

cm				
卫星号	D_X	D_Y	D_Z	D_P
1	1.7	4.1	2.1	4.9
2	3.8	4.0	2.8	6.2
3	2.6	2.5	2.3	4.3
4	2.8	1.6	1.9	3.7
5	3.4	2.6	2.6	5.0
6	2.4	1.7	1.6	3.3
7	3.0	3.7	2.6	5.4
8	2.6	2.9	3.1	5.0
9	3.4	3.3	2.7	5.4
10	4.7	2.9	4.3	7.0
11	3.6	2.3	3.1	5.3
13	4.3	6.7	3.6	8.7
14	2.9	6.0	3.9	7.7
15	2.9	1.9	3.2	4.7
16	3.1	2.3	2.7	4.7
18	2.8	2.9	3.1	5.1
19	3.6	3.7	3.9	6.5
20	6.6	6.1	6.0	10.8
21	3.0	3.5	4.3	6.3
22	2.9	3.0	4.9	6.4
23	3.7	6.5	2.7	8.0
24	1.8	4.3	1.9	5.0
25	3.3	2.5	3.0	5.1
26	4.2	2.3	3.0	5.6
27	1.9	2.2	2.9	4.1
28	4.4	5.4	5.3	8.8
30	3.3	1.9	2.7	4.7
31	2.2	3.3	4.0	5.6
平均值	3.2	3.4	3.2	5.8

2 IGU 星历预推 24 h 轨道精度分析

采用 2005 年 9 月 18 日的 IGS 星历与 2005 年 9 月 17 日在 UTC 时 3:00 发布的 IGU 星历中的后 24 h 的预推轨道进行比较,见表 2。表 2 给出了 IGU 星历中后 24 h 预推轨道的每一颗卫星在 X、Y、Z 方向上的轨道误差 (RMS) 统计值,并给出了

IGU 星历中后 24 h 预推轨道的轨道误差的平均值。

表 2 IGU 星历中后 24 h 预推轨道的精度统计 cm

卫星号	D_X	D_Y	D_Z	D_P
1	5.2	7.8	4.9	10.6
2	8.5	4.2	4.8	10.6
3	4.9	4.7	4.3	8.0
4	6.7	4.5	3.3	8.7
5	8.4	8.4	2.6	12.2
6	5.5	2.2	2.9	6.6
7	7.6	7.1	5.3	11.7
8	5.0	3.6	6.8	9.2
9	9.7	9.1	1.8	13.4
10	10.0	6.0	6.5	13.4
11	8.6	4.4	4.5	10.6
13	13.0	11.4	4.2	17.8
14	8.1	15.5	9.0	19.7
15	5.2	1.9	2.7	6.2
16	6.2	10.2	4.0	12.6
18	6.4	7.6	5.1	11.2
19	3.6	6.8	5.7	9.6
20	17.4	10.5	11.8	23.5
21	7.1	7.3	5.3	11.5
22	4.2	5.7	6.0	9.3
23	9.4	11.7	3.3	15.4
24	7.1	3.3	2.9	8.3
25	5.4	3.9	7.8	10.2
26	7.4	4.0	4.4	9.5
27	6.9	4.3	10.3	13.1
28	10.3	11.5	9.8	18.3
30	5.6	4.9	4.4	8.6
31	5.7	4.1	4.8	8.5
平均值	7.5	6.7	5.3	11.7

从表 1 和表 2 中,可以直观的看出 IGU 星历中预推轨道的前 6 h 预推轨道精度明显比 IGU 星历中的后 24 h 的预推轨道精度高,预推轨道精度大约 3 cm;图 1 和图 2 分别给出的是 IGU 星历中的 14 号卫星和 20 号卫星的后 24 h 预推轨道误差的变化,可以看出,IGU 星历中后 24 h 预推轨道提供的卫星位置精度随着外推时间的延长而逐渐降低。

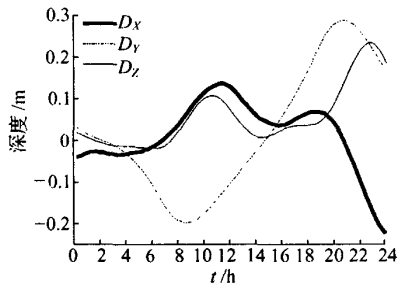


图 1 IGU 星历 14 号卫星在 X、Y、Z 方向上的轨道误差

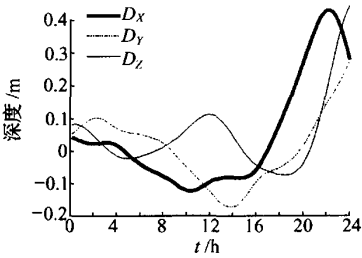


图 2 IGU 星历 20 号卫星在 X、Y、Z 方向上的轨道误差

3 结 论

本文对 IGS 提供的 IGU 预推轨道精度进行分析,结果表明:

1)IGU 星历中预推轨道的前 6 h 轨道在 X、Y、Z 方向的轨道精度分别为 3.2 cm、3.4 cm、3.2 cm,位置精度约 5.8 cm,其精度稍低于 IGS 星历,比广播星历精度高了约 2 个数量级。随着 Internet 技术的发展,用户可以方便快捷地获取 IGU 星历,如果将实时获取的 IGU 星历中的预推轨道用于导航和定位,将大大提高精度。

2)IGU 星历中 24 h 预推轨道在 X、Y、Z 方向的轨道精度分别为 7.5 cm、6.7 cm、5.3 cm,位置精度约 11.7 cm,分析表明,随着预推时间的增加精度降低。因此用户在条件许可的情况下尽量使用最新的预推轨道。

参考文献

[1]徐绍铨. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2001.
[2]吴显兵. GPS 星历精度分析[J]. 军事测绘,2005(2):24-26.
[3]周忠谟,易杰军,周琪. GPS 卫星测量原理与应用[M]. 北京:测绘出版社,1999.
[4]阳仁贵,欧吉坤,闻德保. GPS 广播星历误差及对定位结果的影响[J]. 测绘信息与工程,2006,31(1):1-3.
[5]帅平,陈定昌,江涌. GPS 广播星历误差及其对导航定位精度的影响[J]. 数据采集与处理,2004,19(1):107-110.
[6]魏子卿,葛茂荣. GPS 相对定位的数学模型[M]. 北京:测绘出版社,1998.
[7]李济生. 人造卫星精密轨道确定[M]. 北京:解放军出版社,1995.
[8]吴显兵. 星载 GPS 低轨卫星几何法定轨及动力学平滑方法研究[D]. 郑州:信息工程大学,2004.

[责任编辑:刘文霞]