

GPS 观测数据的仿真方法研究

程 燕 朱伟刚

(61081 部队 北京 100094)

The Study of GPS Observation Simulation

CHENG Yan, ZHU Weigang

摘要: 在研究 GPS 系统的基础上建立 GPS 观测数据的仿真模型, 编制相应的计算机程序, 并根据该模型仿真了 GPS 的静态和地面低动态的观测数据, 这对于论证 GPS 导航算法、设计 GPS 接收机等有一定的实用价值。

关键词: GPS; 观测值仿真; 数字仿真

一、引言

GPS 观测数据的仿真是卫星导航技术的重要组成部分。它的作用主要体现在两方面: 一是对 GPS 接收机的监测; 二是对软件即算法的验证。GPS 观测值的仿真, 一般由专门的 GPS 仿真软件或 GPS 仿真设备实现。Illgen 公司已经成功研制出各种条件下的 GPS 观测值的模型, 并研制出 GPS 信号发生器成品。另外, 瑞士伯尔尼大学研制的精密 GPS 定位软件中也有 GPS 仿真模块。近年来, 我国的许多专家学者也开始了 GPS 观测值及误差的仿真研究。

二、观测数据的生成

生成观测数据的主要内容如下:

1) 根据卫星星历、载体的位置以及载体的姿态, 进行可见卫星的判断, 仿真系统仅产生这些卫星的信号。

2) 迭代计算可见卫星信号传播时延。

$$R^j = R^j(t_{sv}^j, t) = \sqrt{[x_s^j(t_{sv}^j) - x_u(t)]^2 + [y_s^j(t_{sv}^j) - y_u(t)]^2 + [z_s^j(t_{sv}^j) - z_u(t)]^2} \quad (2)$$

由于 R^j 与 t_{sv}^j 有关, 因此需要迭代计算 t_{sv}^j , 迭代计算如下。

迭代初值

$$R_0^j = R^j(t, t) \quad (3)$$

$$t_{sv0}^j = t - \frac{R_0^j}{c} - \Delta\tau_{ion}^j - \Delta\tau_{trop}^j \quad (4)$$

迭代公式

$$R_i^j = R^j(t_{sv_{i-1}}^j, t) \quad (5)$$

$$t_{sv_i}^j = t - \frac{R_i^j}{c} - \Delta\tau_{ion}^j - \Delta\tau_{trop}^j \quad (6)$$

3) 根据各误差源对传播信号的影响, 确定各种观测值。

1. 可见星判断

对于相对于地球静止的用户来说, 只需在测站坐标系内判断卫星是否可见; 对载体姿态变化较大的用户, 需要顾及载体的姿态角。为了对不同情况有一个统一的判断条件, 对相对于地球静止的用户也考虑载体姿态角。所以进行可见星判断的已知条件是: 用户或载体的位置和姿态角以及各个卫星的位置。

2. 时延的计算

设第 j 颗卫星在系统时 t_{sv}^j 时刻发射信号, 信号经大气传播延迟, 接收机在系统时 t 时刻(数据仿真时刻)接收该信号。则两者之间的相互关系为

$$t_{sv}^j = t - \frac{R^j}{c} - \Delta\tau_{ion}^j - \Delta\tau_{trop}^j \quad (1)$$

式中 $\Delta\tau_{ion}^j$ 、 $\Delta\tau_{trop}^j$ 分别为电离层、对流层折射引起的时延; R^j 为第 j 颗卫星与接收机的几何距离。

迭代终止条件

$$|R_i^j - R_{i-1}^j| < \varepsilon \quad (7)$$

式中 ε 由所需要的精度决定。

3. 观测值的计算

伪距 ρ^j 的计算公式如下

$$\rho^j = \left(\frac{R^j}{c} + \Delta\tau_{trop}^j + \Delta\tau_{ion}^j + \Delta\tau_{t_{sv}}^j \right) c \quad (8)$$

则

$$\dot{\rho}^j = \left(\frac{\dot{R}^j}{c} + \dot{\Delta\tau}_{trop}^j + \dot{\Delta\tau}_{ion}^j + \dot{\Delta\tau}_{t_{sv}}^j \right) c \quad (9)$$

收稿日期: 2011-06-09; 修回日期: 2012-01-10

作者简介: 程 燕(1963—), 女, 山东曹县人, 高级工程师, 主要从事卫星导航工作。

$$\ddot{\rho}^j = (\frac{R^j}{c} + \Delta\ddot{\tau}_{trop}^j + \Delta\ddot{\tau}_{ion}^j + \Delta\ddot{\tau}_{sv}^j) c \quad (10)$$

计算多普勒频移,因有关系 $\omega = 2\pi f$,所以用载波多普勒频移(单位 Hz) f_d^j 描述。 t 时刻系统发送的第 j 颗卫星多普勒频率为

$$f_d^j = \frac{\dot{R}^j}{c} f_L \quad (11)$$

则多普勒频移变化率和变化率速度分别为

$$\dot{f}_d^j = \frac{\ddot{R}^j}{c} f_L \quad (12)$$

$$\ddot{f}_d^j = \frac{\dddot{R}^j}{c} f_L \quad (13)$$

式(12)、式(13)中 $\dot{R}^j$ 、 $\ddot{R}^j$ 、 $\ddot{R}^j$ 分别为用户到第 j 颗卫星的径向速度、径向加速度和径向加加速度。

第 j 颗卫星载波相位 ϕ^j 的计算公式如下

$$\phi^j = (\omega_L + \Delta\omega_L^j) (t + \Delta\tau_{ion}^j - \frac{R^j}{c} - \Delta\tau_{trop}^j) + \phi_{sv}^j + \phi_0^j + \phi_{\varepsilon}^j + \Delta\phi_{t_{sv}}^j + \varphi_{sv}^j(t) \quad (14)$$

三、仿真算例

本文利用上述方法进行了地面静态和低动态的 GPS 观测数据仿真,仿真效果的检验是通过与实测数据比较、与商业软件解算结果比较。

对于静态仿真,本文仿真了 5 个 IGS 监测站 2009 年 6 月 3 日 5—9 时的观测数据,采样率为 30 s,卫星钟差是精密星历提供的数据,并用 Pinnacle 软件进行单点定位解算,数据情况如表 1 所示。

表 1 仿真 IGS 监测站数据的解算坐标及与实际坐标的差值

m

IGS 监测站	仿真数据解算结果			仿真数据解算结果与 IGS 监测站坐标差		
	X 轴坐标	Y 轴坐标	Z 轴坐标	ΔX	ΔY	ΔZ
DRAO	-2 059 162.932	-3 621 104.391	4 814 427.181	-1.839 10	-4.009 8	5.167 99
DUBO	-417 603.338 1	-4 064 524.644	4 881 426.658	-0.307 94	-5.160 5	5.512 68
EISL	-1 884 949.464	-5 357 590.650	-2 892 886.506	-1.954 60	-5.330 0	-4.044 70
FAIR	-2 281 619.417	-1 453 594.403	5 756 956.043	-2.123 50	-1.404 3	5.810 02
FORT	4 985 380.865	-3 954 993.768	-428 425.857 1	5.759 83	-4.845 1	-0.570 92

从表 1 中可以看出,其解算坐标与 IGS 监测站的给定坐标比较最大差为 5.810 02 m, X 轴平均差为 2.396 994 m, Y 轴平均差为 4.149 94 m, Z 轴平均差为 4.221 262 m。

图 1 描述了仿真的 DRAO 监测站 GPS 卫星的 P2 伪距观测值同实际观测值的比较结果。由图 1 可以看出仿真的伪距与实际观测的伪距差在 50 m 以内,且并非平滑曲线。

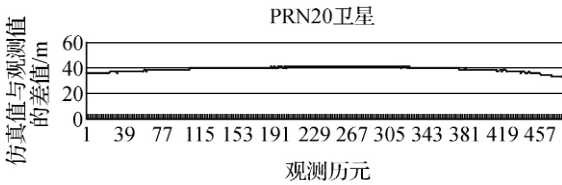


图 1 DRAO 监测站伪距仿真值 P2 与实际观测值的差值

对于动态数据的仿真,本文仿真了 1 h 采样率为 1 s 的轨迹,并采用 GeoGenius 软件解算,实际轨迹与仿真数据解算的轨迹如图 2 所示,各历元解算坐标与实际轨迹坐标差统计结果如表 2 所示。

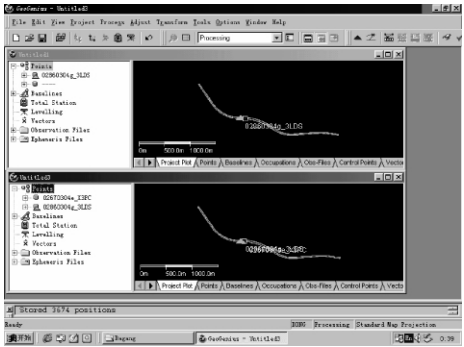


图 2 GeoGenius 软件解算轨迹与实际轨迹对比示意图

表 2 动态数据仿真精度统计表

m

坐标轴	最大差值 (绝对值)	最小差值 (绝对值)	平均差值 (绝对值)
X 轴	5.054 91	1.473 65	4.083 308
Y 轴	6.272 62	0.000 21	3.724 18
Z 轴	5.614 79	0.446 7	3.934 65

四、算例分析

从仿真算例中可以看出,仿真数据和实测数据

有一定的差别。其主要原因分析如下:

1) 仿真的卫星星历与实际卫星位置之间有误差。

2) 卫星钟差取自精密星历,与实际钟差之间存在误差。

3) 卫星和接收机的硬件通道延迟及噪声没有包括在仿真数据里。

4) 仿真的对流层和电离层延迟是一种平滑的模型,与真实情况不一致。

5) 在解算过程中接收机钟差是一未知参数,没有包含在仿真数据中。

6) 实测数据中含有多路径的影响,而仿真数据中则没有。

五、结束语

本文讨论了 GPS 观测数据的仿真方法。这对于研究 GPS 接收机的检测以及算法等方面有一定的实用价值。本文只是进行了初步的研究,从与实测数据的比较结果可以看出,两者之间还存在差异,需要作进一步研究。

参考文献:

[1] 许其凤. GPS 卫星导航与精密定位[M]. 北京: 解放军

出版社, 1994.

[2] 陈芳允. 卫星测控手册[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

[3] 周忠谟, 易杰军, 周琪, 等. GPS 卫星测量原理与应用[M]. 北京: 测绘出版社, 1999.

[4] 徐绍铨, 张华海, 杨志强, 等. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.

[5] 刘基余, 李征航, 王跃虎, 等. 全球定位系统原理及其应用[M]. 北京: 测绘出版社, 1999.

[6] 刘经南, 叶世榕. GPS 非差相位精密单点定位技术探讨[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2002, 27(3): 234-240.

[7] 高星伟, 葛茂荣. GPS/GLONASS 单点定位的数据处理[J]. 测绘通报, 1999(4): 8-13.

[8] 欧吉坤. GPS 测量的中性大气折射改正的研究[J]. 测绘学报, 1998, 27(1): 563-571.

[9] 张小红, 李征航, 蔡昌盛. 用双频 GPS 观测值建立小区域电离层延迟模型研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2001, 26(2): 140-143.

[10] 刘维真. GPS 信号信噪比的计算与测量[J]. 导航, 1987(2): 1-9.

(上接第 21 页)

[7] XIA Y, KAUFMANN H, GUO X F. Landslide Monitoring in the Three Gorges Area using D-INSAR and Corner Reflectors [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2004, 70(10): 1167-1172.

[8] 张建龙, VERNON H. SINGHRO Y, 等. 差分干涉测量技术在四川甲居滑坡监测中应用研究[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2010, 37(5): 554-557.

[9] DELACOURT C, ALLEMAND P, BERTHIER E, et al. Remote-sensing Techniques for Analysing Landslide Kinematics: a Review [J]. Bulletin de Société Géologique, 178(2): 89-100.

[10] 黄世奇, 刘代志. 星载 SAR 成像与 SAR 图像中一些不确定性因素分析[J]. 测绘学报, 2007, 36(2): 152-157.

(上接第 32 页)

[3] 邓敏, 刘启亮, 李光强, 等. 基于场论的空间聚类算法[J]. 遥感学报, 2010, 14(4): 702-709.

[4] PENG W X, TAO B, CLEMENTS A, et al. Identifying High-risk Areas of Schistosomiasis and Associated Risk Factors in the Poyang Lake Region, China [J]. Parasitology, 2010, 137(7): 1099-1107.

[5] 颜峻, 袁宏永, 疏学明. 用于犯罪空间聚集态研究的优化聚类算法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2009, 49(2): 176-178.

[6] MARTIN A A. Testing for Similarity in Area-based Spatial Patterns: A Nonparametric Monte Carlo Approach [J]. Applied Geography, 2009, 29(3): 333-345.