GPS 定位数据在海洋一号卫星中的应用与比较

陆春玲[1] 张 伍[2]

[1](航天东方红卫星有限公司总体部 北京 100086)

[2](中国空间技术研究院总体部)

摘 要

简要介绍了海洋一号卫星星载 GPS 接收机的定位原理、流程和应用，探讨了一种在轨定位结果的确认和互验方法. 借助于卫星工具包软件 (STK), 利用 NASA 网站公布的 HY-1 卫星两行根数 (TLE) 进行卫星轨道推算，生成星下点位置，并与相应时刻星载 GPS 接收机实测数据得到的星下点位置进行比较，由此得到两种方法定位结果之间的偏差，用实际在轨数据验证了两者的位置符合程度.

关键词 海洋一号卫星; GPS 定位

1 引言

海洋一号 (HY-1) 卫星于 2002 年 5 月 15 日发射成功. 它是中国第一颗海洋水色遥感卫星，也是第一颗长寿命试验业务型小卫星，所装载的高动态 GPS 接收机首次正式用于卫星定位. HY-1 卫星的 GPS 接收机可以实时提供卫星所在的定位信息 (时间、瞬间三维位置和三维速度), 还可以提供精密授时. 这些定位数据和图像数据一起通过数据传输通道实时下传到地面站，为遥感图像定位、数据处理和生成快速准确的分析报告提供了充分服务，在国内民用遥感卫星业务化应用中属首次.

海洋观测属于中尺度大面积观测. 在广阔的海域很难找到合适的地面控制点，因此用 GPS 实现海洋遥感图像定位尤为重要. 随着 GPS 定位技术在航天领域的应用， GPS 还将应用于航天器姿态测量、提供实时速高比及用差分 GPS 完成飞船的交会和对接等.

2 HY-1 卫星 GPS 定位原理及定位流程

GPS 导航星系统是一个无源测距系统，HY-1 卫星采用伪距定位原理，利用 GPS 接收机在某一瞬间测定至少 4 颗 GPS 星的伪距，根据已知的 GPS 星历书、用户与导航星间的伪距、距离变化率、卫星时钟校正参数、大气传播校正参数等数据，通过定位计算确定出航天器的运动状态 [1].

2003-10-16 收到原稿， 2004-03-05 收到修定稿

设在某一观测时刻，对一颗导航卫星的观测值为距离 d_i^* 和距离变化率 $\dot{d}_i^*$ 为

$$d_i^* = [(x - x_{si})^2 + (y - y_{si})^2 + (z - z_{si})^2]^{1/2} + c \cdot \Delta t_u,$$

$$\dot{d}_i^* = \frac{(x - x_{si})(\dot{x} - \dot{x}_{si}) + (y - y_{si})(\dot{y} - \dot{y}_{si}) + (z - z_{si})(\dot{z} - \dot{z}_{si})}{[(x - x_{si})^2 + (y - y_{si})^2 + (z - z_{si})^2]^{1/2}} + c \cdot \Delta \dot{t}_u.$$

这里，第 i 颗导航星的位置 (x_{si}, y_{si}, z_{si}) 和速度 $(\dot{x}_{si}, \dot{y}_{si}, \dot{z}_{si})$ 可由导航卫星星历求出. 方程中包含此时用户星的 8 个状态，即位置 (x, y, z)，速度 $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$，钟差 Δt_u 和频差 $\Delta \dot{t}_u$. 因此，当某一时刻捕获的导航卫星数量多于 4 颗时，即可通过观测值列出 8 个以上的观测方程，进而求解得到此时的用户状态，达到定位的目的.

考虑到 GPS 卫星采用 WGS-84 坐标系统，为了方便运算，海洋一号卫星的定位解算也在 WGS-84 系统中进行. 图 1 给出了 HY-1 卫星 GPS 接收机的定位流程.

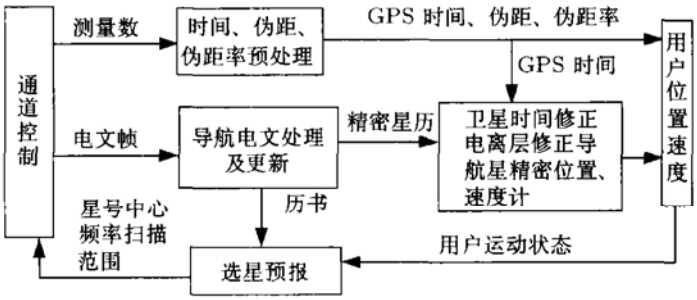


图 1　HY-1 卫星 GPS 接收机定位流程

Fig.1　The positioning process of HY-1 GPS receiver

3　HY-1 卫星定位数据的获取与应用

目前 HY-1 卫星 GPS 系统提供的是 WGS-84 协议地球坐标系中的定位数据. 数据内容包括卫星瞬时所在的时间、瞬间三维位置和三维速度，这些实时定位数据既可以通过遥测信道，也可以通过 X 频段数传信道下传到地面站，实现了星上数据资源的共享与信息的双路径备份. 两种方式提供的定位数据均为每 32 s 更新一次，将这些定位数据进行处理，可以得到遥感器成像区域的每一像元的位置信息，可用于分析遥感图像中目标点的精确位置.

以 2003 年 5 月 22 日的 GPS 数据为例，GPS 接收机提供的卫星位置信息处理成物理量后如表 1 所示，历时 12 min，共计 23 组数据.

对于图像地理定位来说，知道成像时刻的轨道位置 (x, y, z) 后，需要经过坐标转换，才能得到图像点在大地坐标系下的位置 (B, L, H)，转换公式如下 [2]:

$$B = \arctan\left[\tan\phi\left(1 + \frac{ae^2 \sin B}{zW}\right)\right], \quad L = \operatorname{argtan}\left(\frac{y}{x}\right),$$

$$H = \frac{r\cos\phi}{\cos B} - N, \quad N = \frac{a}{W}, \quad W = (1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2},$$

$$\phi = \arctan\left[\frac{z}{x^2+y^2}\right], \quad r = \sqrt{x^2+y^2+z^2}.$$

其中, B 为经度, L 为纬度, H 为高度, $a = 6378.137\,\mathrm{km}$ 为地球椭球长半轴, $e^2 = 0.006\,694\,379\,990\,13$ 为地球椭球第一偏心率.

表 1 2003 年 5 月 22 日 GPS 接收机获得的 HY-1 卫星定位数据

Table 1 Positioning data of HY-1 GPS receiver (May 22, 2003)

时间 /(hhmmss)	x/m	y/m	z/m	r/m	$v_x/(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$	$v_y/(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$	$v_z/(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$	$v/(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$
09 38 58	−2 951 238	4 169 442	5 021 776	7 163 259	−1353.74	5311.35	−5191	7549.141
09 39 31	−2 992 530	4 337 173	4 852 896	7 163 582	−1226.83	5170.88	−5362.72	7549.959
09 40 03	−3 029 748	4 500 307	4 678 622	7 163 912	−1099.14	5023.88	−5528.42	7550.557
09 40 35	−3 062 874	4 658 636	4 499 151	7 164 248	−971.13	4870.77	−5687.65	7550.951
09 41 07	−3 091 897	4 811 976	4 314 693	7 164 602	−842.62	4711.74	−5840.73	7551.465
09 41 39	−3 116 804	4 960 133	4 125 430	7 164 954	−714.11	4547.02	−5987.19	7551.939
09 42 11	−3 137 591	5 102 924	3 931 574	7 165 304	−585.28	4376.44	−6127.08	7552.277
09 42 43	−3 154 263	5 240 167	3 733 348	7 165 655	−456.86	4200.52	−6260.29	7552.769
09 43 15	−3 166 831	5 371 703	3 530 984	7 166 021	−328.71	4019.47	−6386.57	7553.308
09 43 47	−3 175 305	5 497 355	3 324 687	7 166 381	−200.92	3833.09	−6505.83	7553.726
09 44 19	−3 179 706	5 616 981	3 114 693	7 166 751	−73.93	3642.12	−6617.62	7554.032
09 44 51	−3 180 049	5 730 419	2 901 238	7 167 119	52.33	3446.54	−6722.08	7554.319
09 45 23	−3 176 372	5 837 522	2 684 560	7 167 487	177.47	3246.47	−6819.12	7554.566
09 45 55	−3 168 702	5 938 150	2 464 896	7 167 846	301.57	3 042.43	−6 908.48	7554.761
09 46 27	−3 157 087	6 032 196	2 242 492	7 168 219	424.28	2834.37	−6990.34	7555.033
09 46 59	−3 141 563	6 119 519	2 017 592	7 168 585	545.6	2622.6	−7064.42	7555.246
09 47 31	−3 122 184	6 200 003	1 790 452	7 168 946	665.46	2407.22	−7130.62	7555.348
09 48 03	−3 098 995	6 273 539	1 561 320	7 169 294	783.49	2188.54	−7188.84	7555.328
09 48 35	−3 072 061	6 340 055	1 330 454	7 169 656	899.5	1967.75	−7238.95	7555.365
09 49 07	−3 041 445	6 399 445	1 098 113	7 170 016	1013.54	1743.23	−7281.12	7555.185
09 49 39	−3 007 219	6 451 601	864 550	7 170 353	1125.32	1516.83	−7315.08	7554.966
09 50 11	−2 969 453	6 496 493	630 022	7 170 704	1234.96	1288.01	−7341.2	7554.953
09 50 43	−2 928 218	6 534 046	394 794	7 171 059	1341.99	1057.65	−7359.01	7554.773

计算纬度 B 时需要用迭代计算, 通过编制程序, 迭代后处理出了 GPS 定位数据 (x, y, z) 转换成星下点大地坐标的位置数据 (B, L, H), 如表 2 所示.

表 2 用 GPS 数据和用两行根数生成的地理位置比较

Table 2 A comparison of nadir positions derived with GPS data and TLE

GPS 定位数据 (x, y, z) 转换成星下点 (B, L)			用 STK 软件外推的星下点位置 (L, L, A)			
时间 /(hhmmss)	B/(°)	L/(°)	时间 /(hhmmss)	L/(°)	L/(°)	A/km
09 38 58	44.514	125.2918	09 38 58	44.436	125.266	795.3867

续表 2

GPS 定位数据 (x, y, z) 转换成星下点 (B, L)			用 STK 软件外推的星下点位置 (L, L, A)			
时间 /(hhmmss)	B/(°)	L/(°)	时间 /(hhmmss)	L/(°)	L/(°)	A/km
09 39 31	42.647	124.6046	09 39 31	42.568	124.58	795.0145
09 40 03	40.777	123.9497	09 40 03	40.699	123.926	794.6525
09 40 35	38.906	123.3234	09 40 35	38.827	123.301	794.3032
09 41 07	37.032	122.7225	09 41 07	36.953	122.701	793.9689
09 41 39	35.157	122.1441	09 41 39	35.078	122.123	793.652
09 42 11	33.28	121.5858	09 42 11	33.201	121.566	793.3546
09 42 43	31.402	121.0454	09 42 43	31.323	121.026	793.0791
09 43 15	29.523	120.521	09 43 15	29.444	120.502	792.8274
09 43 47	27.643	120.011	09 43 47	27.564	119.993	792.6017
09 44 19	25.762	119.5137	09 44 19	25.683	119.496	792.404
09 44 51	23.88	119.0277	09 44 51	23.802	119.01	792.236
09 45 23	21.998	118.5519	09 45 23	21.919	118.535	792.0995
09 45 55	20.115	118.0852	09 45 55	20.037	118.068	791.996
09 46 27	18.232	117.6263	09 46 27	18.153	117.61	791.9272
09 46 59	16.348	117.1745	09 46 59	16.27	117.158	791.8942
09 47 31	14.464	116.7288	09 47 31	14.386	116.713	791.8983
09 48 03	12.579	116.2884	09 48 03	12.501	116.272	791.9406
09 48 35	10.695	115.8524	09 48 35	10.617	115.836	792.0218
09 49 07	8.81	115.4202	09 49 07	8.733	115.404	792.1428
09 49 39	6.926	114.9912	09 49 39	6.848	114.975	792.304
09 50 11	5.041	114.5645	09 50 11	4.963	114.549	792.5058
09 50 43	3.156	114.1394	09 50 43	3.079	114.124	792.7484

4　以两行根数外推星下点地理位置

卫星遥感图像的地理定位一般采用测控站提供的轨道根数外推的方法，轨道测量精度和轨道拟合的算法都将影响轨道根数的精度. 为了比较用轨道根数定位与 GPS 定位结果的偏差，在实际的应用中需要有另一条 “精确轨道” 与 GPS 定位数据比对. 文中用到的轨道数据来自于美国 NASA 在互联网中公布的两行根数 (two line element)，它以标准的两行数据格式表示出某一时刻卫星轨道倾角、升交点、偏心率、近地点幅角、平近点角、每天运行圈数等信息. 为了数据比对，在网上下载了 2003 年 5 月 22 日 HY-1 卫星的两行根数 (TLE) 列于表 3.

有了两行轨道根数后，用 Satellite Tool Kit (STK) 软件可以直接读取两行根数文件，选择轨道模型为 MSGP-4 (Merged Simplified General Perturbations-4)，卫星在任一时刻的轨迹就可以很容易描述出来.

STK 软件在卫星报告中选 LLA Position 选项，选择起始时间、时间步长，可以得到

与 GPS 数据时刻严格对应的一组星下点地理经、纬度和高度 (L, L, A), 见表 2.

以上根据 GPS 定位数据和 NASA 提供的轨道根数分别计算出了星下点地理位置, 将表 2 的数据表示在同一张图上, 如图 2 所示. 可以看出, 用两种方法计算的星下点位置重合得很好.

表 3 2003 年 5 月 22 日 HY-1 卫星的两行根数

Table 3 The two line element of HY-1 (May 22, 2003)

行号	卫星号、密级分类	国际注册号	轨道历元时间	第一导数项	第二导数项	BStar 阻力项	星历类型	星历号
1	27430U	02024A	3142.182 490 73	0.000 076 63	0	0.002 96,6	0	346
行号	卫星号	倾角 /(°)	升交点赤经 /(°)	偏心率	近地点角距 /(°)	平近点角 /(°)	每天运行圈数	总圈数
2	27430	98.7481	200.7235	0.000 396 6	95.1749	264.9883	14.302 621 63	5315

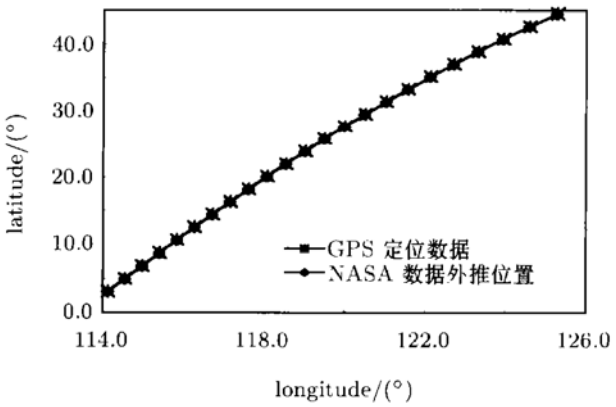


图 2 用 GPS 和两行根数推算的星下点地理位置比较

Fig.2 A comparison of nadir positions derived with GPS data and TLE

5 星下点距离偏差计算结果

根据上述两种方法得到的同一时刻星下点位置, 可以用两点间的球面距离公式求解出两行根数定位与 GPS 定位结果的距离偏差. 首先, 用 Matlab 软件将两种方法得到的 (经度, 纬度) 数据点进行多项式拟合, 求出两条曲线的方程, 然后再求出两条轨迹间的距离.

图 3 给出了用 GPS 和 NASA 轨道根数 TLE 获得的星下点位置的距离偏差数据. 可以看出, 任一时刻两种定位结果的地理位置距离偏差均在 150—245 m 之间.

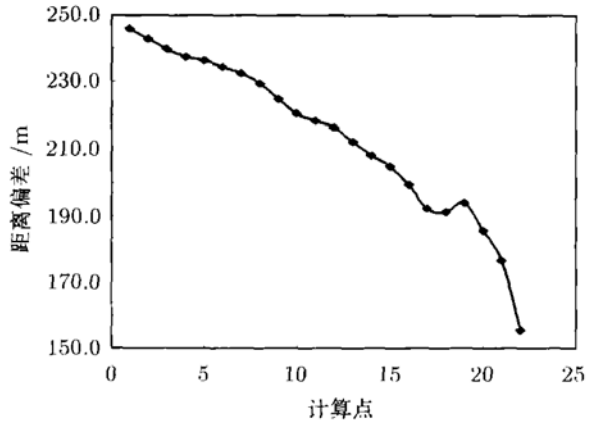


图 3　用 GPS 和 NASA 轨道根数 TLE 获得的星下点位置的距离偏差
Fig.3　The distant of the nadir position between using GPS data and NASA TLE

6　结论

通过计算比较，可以看出 GPS 定位数据和以 NASA 提供的轨道根数 TLE 推算的星下点地理位置符合程度较好，两者在同一时刻的位置偏差在 150—245 m 之间. 对于海洋一号卫星 CCD 相机 250 m 的地面像元分辨率来说，这样的位置偏差意味着有 1 个像元的定位误差.

以上结果是以 NASA 提供的 TLE 数据为参考基准得到的，如果有地面测控站的轨道数据，则可以进行三方比较. 本文比较了 GPS 和用 NASA 轨道根数确定的定位结果之间的偏差，有利于用多种方法进行图像的几何校正. 但这不能用于验证 GPS 接收机的地面定位精度，因为 NASA 提供的轨道数据同样存在误差，对这一误差大小有待于进一步确认. 通过对已知目标成像来确认 GPS 接收机的定位精度是一种直接的方法，但引起图像定位误差的因素很多，除 GPS 测量误差外，还有姿态确定误差、仪器安装误差、时钟误差等，对于在轨飞行的卫星，上述误差往往无法分离. 所以如何确认星载 GPS 定位系统的定位精度需更广泛的讨论和研究.

参 考 文 献

[1] Sun Jiabing. Remote Sensing Principles, methods and Applications. Beijing: Mapping and Survying Press, 1997. 32—36. in Chinese (孙家柄. 遥感原理、方法和应用. 北京: 测绘出版社, 1997. 32—36)

[2] Zhou Zhongmou *et al.* Measuring principle and application of GPS. Beijing: Mapping and Survying Press, 1997. 20—21. in Chinese (周忠谟等. GPS 卫星测量原理与应用. 北京: 测绘出版社, 1997. 20—21)

THE APPLICATION AND COMPARISON OF GPS POSITIONING DATA ON HY-1 SATELLITE

LU Chunling[1] ZHANG Wu[2]

[1](*DFH Satellite Co. Ltd., Beijing* 100086)

[2](*System Department, Chinese Academy of Space Technology*)

Abstract

HY-1 Satellite was launched successfully on May 15th, 2002. It is the first ocean color observation satellite in China. On the other hand it is the first long life experimental and operational small satellite in China. The on-board GPS receiver was successfully used in navigation and give out the precise time. The positioning principle, flow chart and application of the GPS receiver on HY-1 satellite are introduced in this paper. A method to confirm and verify the on orbit positioning data is discussed. Using the Two Line Elements (TLE) from NASA web, the satellite orbit is calculated by the Satellite Tool Kit (STK) software so to obtain the nadir positions, then, the real GPS data at that time are processed and converted to the nadir positions. The nadir geodetic positions from GPS data are compared with those from the TLE. The difference of nadir positions between GPS and TLE methods are given. It is very helpful to give the comparison using the real on-board data.

Key words HY-1 satellite, GPS positioning