

Determining Orbit of COMPASS-M1 Using International Laser Ranging Service Data

JIA Xiaolin¹, FENG Laiping², REN Hongfei³, SONG Xiaoyong⁴

¹*Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, 1 Middle Yanta Road, Xi'an, China*

²*Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, 1 Middle Yanta Road, Xi'an, China*

³*Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, 66 Middle Longhai Road, Zhengzhou, China*

⁴*Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, 1 Middle Yanta Road, Xi'an, China*

e-mail: jiaxlch@263.net; fenglaiping@163.com; renhongfei336@163.com; sxyong@21cn.com

Abstract: Precise orbit determination of COMPASS-M1 satellite is carried out using observation data of international laser connection survey network. The determined orbits are compared with international CPF ephemeris. The comparison results show that the orbits determined using five days' observation data are not steady in the condition of lack of observation data. The precision of forecasting orbits is decreased rapidly. And the error of the orbits determined using seven days' observation data are large. However orbits determined using ten days' observation data are steady and are better for orbit forecasting.

Keywords: COMPASS-M1; ILRS; CPF ephemeris; satellite orbit determination

基于国际激光联测资料的 COMPASS-M1 定轨

贾小林¹, 冯来平², 任红飞³, 宋小勇⁴

¹西安测绘研究所, 西安市雁塔中段 1 号, 710054, 中国

²西安测绘研究所, 西安市雁塔中段 1 号, 710054, 中国

³信息工程大学测绘学院, 郑州市陇海中路 66 号, 245005, 中国

⁴西安测绘研究所, 西安市雁塔中段 1 号, 710054, 中国

e-mail: jiaxlch@263.net; fenglaiping@163.com; renhongfei336@163.com; sxyong@21cn.com

摘 要: 利用国际激光联测网观测资料, 开展了 COMPASS-M1 精密定轨, 并将定轨结果与国际 CPF 星历进行了比较。结果显示, 在观测资料较少的情况下, 5 天解不稳定, 轨道预报精度将很快下降, 7 天解轨道误差较大, 而 10 天解轨道稳定, 有利于轨道预报。

关键词: COMPASS-M1; ILRS; CPF 星历; 卫星定轨

1 引言

2008 年 12 月以来, 国际激光联测网 (International Laser Ranging Service, 简称 ILRS) 对 COMPASS-M1 进行了激光联测试验。分布全球的激光测距网和国内的激光测距站对 COMPASS-M1 进行长期长弧段的激光测距观测, 获得高精度的激光测距值, 可用于对 COMPASS-M1 的精密定轨、轨道和卫星钟差的精度评估、无线电测距系统误差的标定等。本文采用多天的激光联测资料对 COMPASS-M1 进行了精密定轨研究。

2 激光联测方案

2.1 国际激光测距网

国际激光测距网成立于 1998 年, 是民间的科学合

作组织, 挂靠在国际大地测量联合会 (International Association of Geodesy, 简称 IAG) 之下。ILRS^[1]负责协调全球激光站对卫星和月球进行联合观测, 收集和分发激光观测数据以便全球共享, 组织相关讨论并改进观测技术, 改进数据分析的模型和方法, 讨论激光测距数据的科学应用, 参与常规联合观测的激光测距站有 40 多个。我国卫星激光测距网成立于 1989 年, 现包括上海、长春、昆明、武汉、北京 5 个固置站、两个流动站以及中国科学院国家天文台与阿根廷合作的圣胡安(San Juan)站, 共计 8 个站。

对于 COMPASS-M1 带有 42 个激光反射器, 近地点高度为 21500km, 轨道倾角为 55.5 度, 飞行周期为 773.39min, 重量为 2200kg, 是一个比较稳定的激光测距目标^[2,3]。至 2009 年 8 月, 对 COMPASS-M1 实施

观测的全球激光站共 21 个, 其中国内的北京和长春站参加了观测。参加 COMPASS-M1 试验观测的测站分布见图 1。

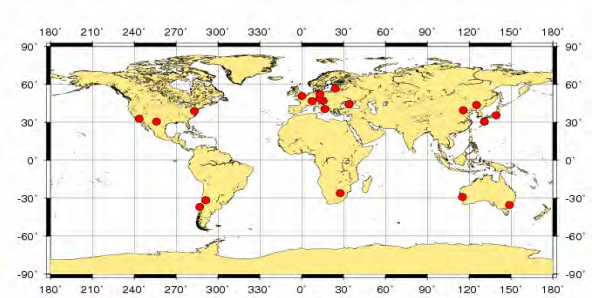


Figure 1. The distributing of International Laser Ranging stations
图 1. 参加 COMPASS-M1 观测的国际激光站分布

2.2 激光站对COMPASS-M1 的覆盖性

图 2 给出了国内北京和长春 2 个激光测距站在 2009 年 5 月 1 日-7 日 7 天内可观测的 COMPASS-M1 星下点轨迹^[4]。图 3 是上述时段内国际激光测距网的 21 个激光测距站对 COMPASS-M1 可观测弧段。

从以上两图中可以看出, 仅利用国内 2 个激光观测站不能对 COMPASS-M1 全弧段观测, 利用国际激光联测网中的 21 个站则可以实现全弧段的观测。

3 数据处理与分析

3.1 激光观测数据

2008 年 12 月-2009 年 8 月, 全球激光站对

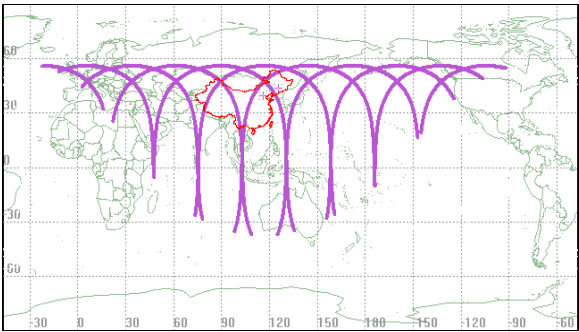


Figure 2. Internal two stations' visible sub stellar point trace
图 2. 国内 2 个站可视的星下点轨迹

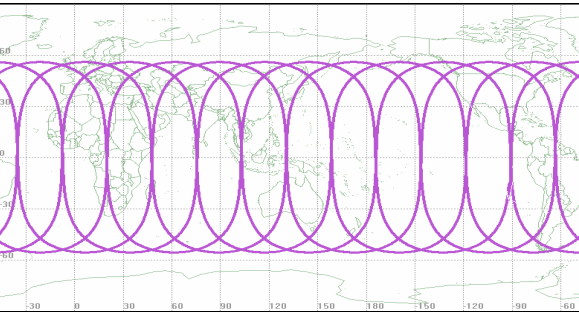


Figure 3. Visible substellar point trace of twenty-one internal laser ranging stations
图 3. 21 个国际激光测距站可视的星下点轨迹

COMPASS-M1 进行了观测, 其中 Hartebeesthoek 站和 Matera 站 2009 年 6 月才开始观测。表 1 列出了 COMPASS-M1 从 2008 年 12 月-2009 年 8 月的全球观测资料的情况, 由于 COMPASS-M1 卫星离地面高, 观测难度很大, 所以获得观测资料较少。

Table 1. Observation data of COMPASS-M1
表 1. COMPASS-M1 观测资料

Satellite	Site Name	Station	Start Date	End Date	No. Passes	No. Points	No. Minutes
COMPASS-M1	Beijing	7249	02-May-2009	02-May-2009	1	7	2,100
	Changchun	7237	05-Dec-2008	25-Jul-2009	35	167	50,100
	Concepcion	7405	04-Dec-2008	24-Jul-2009	28	206	61,800
	Graz	7839	23-Dec-2008	21-Jul-2009	25	186	55,800
	Greenbelt	7105	08-Jan-2009	15-Jun-2009	9	57	17,100
	Hartebeesthoek	7501	23-Jun-2009	24-Aug-2009	2	26	7,800
	Herstmonceux	7840	05-Dec-2008	29-Aug-2009	40	196	58,800
	Katziwely	1893	05-Dec-2008	21-Jul-2009	33	206	61,800
	Koganei	7308	13-Jan-2009	25-Jun-2009	9	55	16,500
	Matera	7941	03-Jun-2009	30-Jun-2009	5	23	6,900
	McDonald	7080	17-Dec-2008	24-Aug-2009	27	125	37,500
	Monument Peak	7110	10-Dec-2008	26-Aug-2009	27	235	70,500
	Mount Stromlo	7825	21-Dec-2008	20-Aug-2009	32	254	76,200
	Potsdam	7841	18-May-2009	18-May-2009	1	4	1,200
	Riga	1884	20-Apr-2009	20-Apr-2009	1	11	3,300
	San Juan	7406	10-Dec-2008	26-Aug-2009	104	868	260,400
	Simeis	1873	13-Jan-2009	22-Jun-2009	6	66	19,800
	Tanegashima	7358	16-Dec-2008	29-Aug-2009	24	108	32,400
	Wettzell	8834	15-Dec-2008	27-Jul-2009	14	85	25,500
	Yaragadee	7090	04-Dec-2008	29-Aug-2009	77	712	213,600
	Zimmerwald	7810	23-Dec-2008	27-Aug-2009	36	114	34,200

3.2 激光观测数据处理

3.2.1 数据处理模型

定轨所采用的力学模型、测量模型及参考系^[5,6]如下:

力学模型: (1) 重力场模型: 采用 JGM-3 重力场模型, 取 10×10 阶; (2) N 体摄动: 太阳、月亮的摄动; (3) 相对论摄动; (4) 潮汐摄动: 固体潮摄动、海潮摄动; (5) 太阳辐射压摄动: 采用基于对有效面积积分的光压模型, 光压系数在定轨中一并解算。

测量模型: (1) Marini-Murray 大气折射模型; (2) 固体潮引起的台站位移; (3) 永久潮汐项对台站的影响; (4) 海潮负荷潮对台站的影响; (5) 地球自转形变对台站的影响。

参考系: (1) J2000.0 平赤道(x-y 平面)和平春分点(x 轴方向); (2) 站坐标系为 ITRF2000; (3) 板块模型亦为 ITRF2000; (4) IAU76 岁差; (5) IAU1980 章动模型; (6) DE403/LE403 行星历表。

3.2.2 数据处理及分析

采用 2009 年 5 月 1 日-10 日的观测数据, 进行定轨试验。10 天数据中, 共有 8 个站有观测数据, 分别为 Changchun、McDonald、Mount Stromlo、San Juan、Simeis、Wettzell、Yaragadee、Zimmerwald, 约 13000 个观测量。除 2009 年 5 月 10 日无观测数据外, Changchun、Simeis、Zimmerwald 仅有几个观测量, Wettzell、San Juan、Mount Stromlo 不超过 50 个观测量, McDonald、Yaragadee 两站的数据量站全部数据量的 98.9%。同时, 观测量集中多几分钟内, 无多站共观测量。

分别采用 5 天、7 天和 10 天的观测数据进行定轨, 定轨残差分别为 6cm、18cm 和 58cm。同时轨道互差如下:

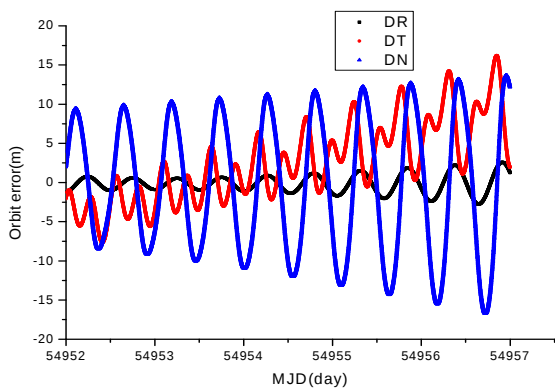


Figure 4. The compared orbit results using five and seven days' observation data

图 4.5 天定轨结果与 7 天定轨结果比较

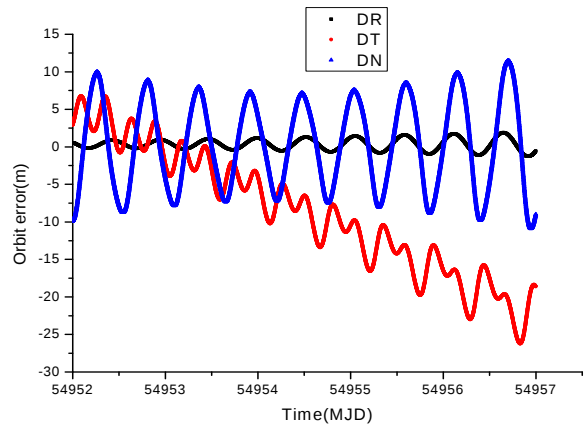


Figure 5. The compared orbit results using five and ten days' observation data

图 5.5 天定轨结果与 10 天定轨结果比较

由图 4 和图 5 可以看出, 7 天、10 天解与 5 天解最大差异在 RNT 方向最大值不超过 30m。同时可以看出, 由于各站观测资料的分布原因, 差异在 T、N 方向均较大。

为了进一步比较定轨精度, 将其与国际 CPF 星历进行了比较。CPF 星历是 2006 年 8 月起国际激光测距网 (ILRS) 用于多种目标测距的星历, 该星历不仅可用于人造卫星的激光测距, 而且还可用于月球及其转发器等目标的激光测距。其轨道比较见表 2 和图 6-图 8:

Table. 2 The difference between orbits determined using several arcs and CPF ephemeris

表 2. 不同定轨弧长定轨结果与国际 CPF 星历比较

项目 定轨弧长	DR	DT	DN	DP
5 天	0.993	12.107	5.706	13.421
7 天	3.150	22.696	21.717	31.570
10 天	0.710	12.529	11.257	16.858

由图 6~图 8 和表 2 可以看出: 与国际 CPF 星历比较, 5 天解不稳定, 轨道预报精度将很快下降, 7 天解轨道误差较大, 而 10 天解轨道稳定, 有利于轨道预报。

4 结论

本文对 COMPASS-M1 的国际激光联测情况进行了介绍, 采用实测数据进行了激光定轨分析, 指出目前 COMPASS-M1 地面 2 万多公里, 观测难度大, 激光观测资料较少, 在这种情况下, 应尽量加长定轨的弧段。同时, 与国际 CPF 星历的比较也显示, CPF

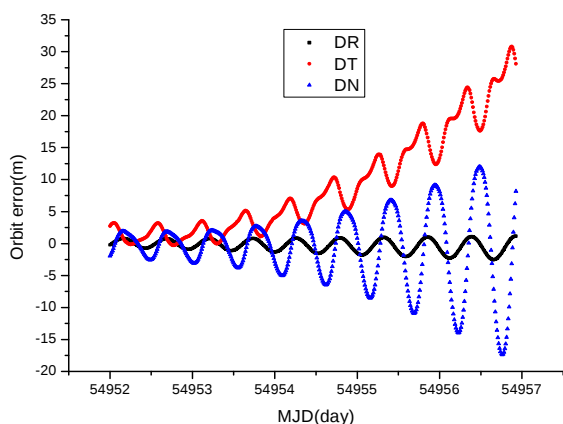


Figure 6. The difference between orbits determined using five days' observation data and CPF ephemeris

图 6. 5 天定轨结果与国际 CPF 星历比较结果

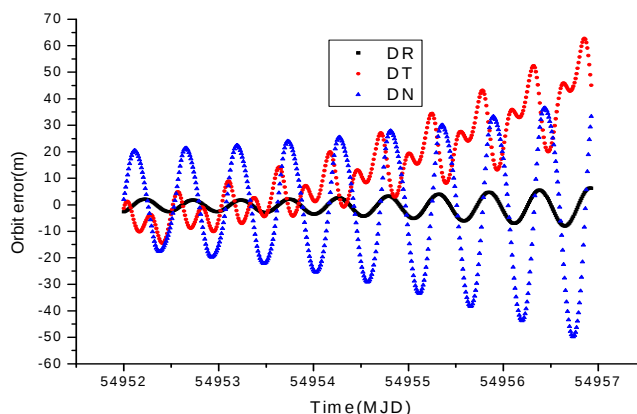


Figure 7. The difference between orbits determined using seven days' observation data and CPF ephemeris

图 7. 7 天定轨结果与国际 CPF 星历比较结果

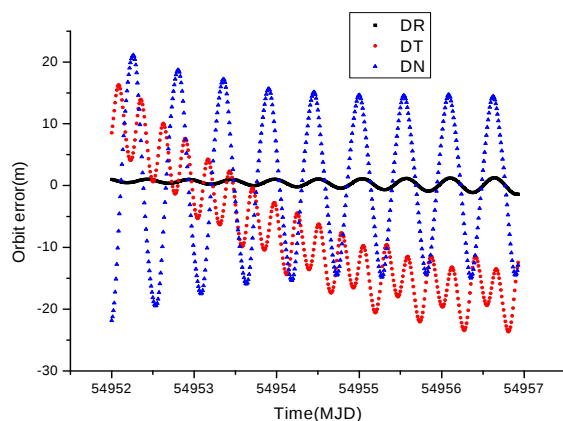


Figure 8. The difference between orbits determined Using ten days' observation data and CPF ephemeris

图 8. 10 天定轨结果与国际 CPF 星历比较结果

星历有很高的精度，在径向上可达到米级，这有利于延长卫星观测弧段，增加观测圈数^[7]。目前我国仅两个站参加观测，均观测的时段不长，为了提高定轨精度，建议我们国内的激光观测站加强观测，发挥国际

激光联测对 COMPASS-M1 试验的作用。

References (参考文献)

- [1] M. R. Pearlman, C. E. Noll, W. Gurtner, E. C. Pavlis. INTERNATIONAL LASER RANGING SERVICE (ILRS). http://iag.dgfi.badw.de/fileadmin/IAG-docs/Travaux_ILRS.pdf.
- [2] http://www.dgfi.badw-muenchen.de/satellite_missions/list_of_satellites/com1_reflector.html.
- [3] http://www.dgfi.badw-muenchen.de/satellite_missions/list_of_satellites/com1_support.html.
- [4] Yang Yin, Wang Qi. Application in Computer Simulation using STK[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005.
杨颖, 王琦. STK在计算机仿真中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [5] Li Jisheng. Satellite Orbit Determination[M]. Beijing: People Liberation Army Press, 1995.
李济生. 人造卫星精密轨道确定[M]. 北京: 解放军出版社, 1995.
- [6] Liu Lin. Spacecraft Orbital Theory[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2000.
刘林. 航天器轨道理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [7] Zhang Haifeng, Zhang zhongping. SLR Ephemeris and Its Application in Satellite Orbit Broadcast[J]. Shanghai Astronomical Observatory Chinese Academy of Sciences Annual Report, 2000.
张海峰, 张忠萍. SLR新星历及其在卫星预报中的应用[J]. 中国科学院上海天文台年刊, 2000.