

文章编号: 2095-4980(2016)03-0347-03

靶场试验 BD/GPS 测量系统组合选星算法

卓 宁

(92941 部队 96 分队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘 要: 针对靶场试验多星测量系统接收机的应用, 为了提高导航系统的定位精确度, 将北斗(BD)与全球定位系统(GPS)进行组网增加可见星。在分析几何精度因子(GDOP)与定位精确度关系基础上, 提出一种模糊选星方法, 对组网卫星星座进行优化组合。仿真结果表明, 不论是单一系统还是双系统, 模糊选星算法精度因子接近当下时刻最优, 且组合系统在可见星和精确度方面优于单一定位系统, 其研究结果对北斗系统的精确度验证和多星测量系统接收机在靶场的应用具有重要参考意义。

关键词: 北斗; 全球定位系统; 几何精度因子; 定位精确度; 选星

中图分类号: TN911

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201603.0347

Selecting-satellites algorithm for BD/GPS integrated system on range test

ZHUO Ning

(Element 96, Unit 92941 of PLA, Huludao Liaoning 125000, China)

Abstract: According to the application of multi-constellation receiver on range test, for improving the position precise of satellite navigation system, Beidou and Global Positioning System(GPS) are integrated to increase visible satellites. By analyzing the relationship between Geometric Dilution Of Precision(GDOP) and satellite position precise, a fuzzy selecting-satellites algorithm is proposed, which can make integrated satellites optimized. Simulation results indicate that the values of GDOP calculated by the new algorithm are close to the best one, both for single system and for double system; and the integrated system is superior to single system in satellites availability and positioning precise. The results can provide a reference for precision validation of Beidou system and the application of multi-constellation receiver on range test.

Key words: Beidou; Global Positioning System; Geometric Dilution Of Precision; positioning precise; selecting-satellites

全球定位系统(GPS)卫星导航测量系统以其全天候、实时连续、高精度度、全航区覆盖等诸多优点在靶场测控领域得到了广泛应用^[1]。北斗卫星导航系统是我国自主研制的导航星测量系统, 采用与 GPS 系统相同的被动式定位原理, 与 GPS 系统相比, 具有信息完整、加密性强、稳定、可靠的特点^[2-3]。由于北斗卫星导航系统尚未组网完成, 并且可见星受应用环境影响较大, 在可见星数目较少的情况下, 难以得到满足精确度要求的定位结果, 甚至无法进行定位解算。将北斗与 24 颗 GPS 导航卫星进行组网, 既可以避免美国战时对我国卫星导航的限制, 又可以解决在北斗组网完成之前有效提高北斗卫星导航的定位精确度和可靠性的问题, 从而提高靶场导航测量系统定位精确度^[4-5]。

从组网星座中选择空间位置合适的卫星是得到最佳定位解算的关键, 本文在分析影响定位精确度的几何精度因子的基础上, 提出了一种模糊选星算法, 得到一组几何精度因子(GDOP)最小的星座组合。

1 星座组合的必要性

1.1 几何精度因子 GDOP

定位精确度是卫星导航系统的一个重要技术指标, GDOP 反映了用来定位的可见星在空间几何的分布情况, 是影响定位精确度的主要因素, GDOP 的计算公式为:

收稿日期: 2015-04-10; 修回日期: 2015-08-06

$$GDOP = \sqrt{\text{trace}(\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1}} = \sqrt{\frac{\text{trace}(\mathbf{H}^T \mathbf{H})^*}{|\mathbf{H}|^2}} = \frac{\sqrt{\text{trace}\{(\mathbf{H}^T \mathbf{H})\}}}{|\mathbf{H}|} \quad (1)$$

式中: $\mathbf{H}$ 为 $n \times n$ 维观测矩阵, n 维表示可见星的数量。卫星导航系统的精确度可以表示为:

$$\delta = GDOP \cdot \delta_0 \quad (2)$$

式中 δ_0 是伪距测量精确度。由式(2)可见, 在测距精确度一定的情况下, 应尽量采用精度因子小的一组星座来获得较高的定位精确度。因此, 在进行选星计算时, 所选的星座组合要满足 GDOP 值最小^[6]。

1.2 多面体体积对 GDOP 的影响

在可见星座中选择 4 颗卫星参与导航定位, 令 $A = \sqrt{\text{trace}\{(\mathbf{H}^T \mathbf{H})^*\}}$, 则式(1)的 GDOP 可以化为:

$$GDOP = \frac{1}{6} \cdot \frac{A}{V} \quad (3)$$

式中 V 是由用户到卫星的单位矢量的端点围成的多面体体积。由式(3)可知, GDOP 值随多面体体积的增大而减小, 虽然随着 V 的增加, A 也变化, 但总体趋势仍是以减小为主。

2 基于模糊的选星算法

对组网卫星进行定位解算, 伪距差分需要同时观测到 5 颗以上的卫星, 且北斗和 GPS 卫星数均大于等于 2 颗; 而载波相位差分还要再加上校验误差所需的另外一颗卫星, 所以选择的卫星数为 6 颗。

本文以伪距差分为例进行选星计算, 在所有高度角大于 10° 的可见星中, 选高度角最大的卫星作为第 1 颗卫星, 选高度角最小的卫星作为第 2 颗卫星。设所选的第 1 颗卫星的方位角和仰角分别为 A_1, E_1 , 第 2 颗为 A_2, E_2 , 设除去所选择第 1 颗和第 2 颗卫星外的所有可见卫星的方位角和仰角分别为 α_i, β_i , $i=1, 2, \dots, n$ 。选择第 3~5 颗星时要受方位角和高度角 2 种因素的影响, 具有不确定性, 所以借鉴模糊综合评判的思想, 采用模糊选星法。

基于模糊的选星法^[7]就是在考虑多种因素的影响下, 运用模糊数学方法对选星过程做出综合评价, 优选出最佳星座组合, 具体的评判步骤如下:

Step1: 建立因素集。定义 $A_1 + 90^\circ$ 与 α_i 之间的夹角为 CA_i , E_1 与 β_i 之间的夹角为 CE_i , 这 2 个夹角构成模糊向量: $\mathbf{R}_1 = [CA_1 \ CA_2 \ \dots \ CA_m]$, $\mathbf{R}_2 = [CE_1 \ CE_2 \ \dots \ CE_m]$, 由这 2 个向量构造表示这 2 个因素之间模糊关系的模糊矩阵为: $\mathbf{R} = [\mathbf{R}_1^T \ \mathbf{R}_2^T]^T$ 。

Step2: 建立评判集。评判集 $\mathbf{V} = (v_1, v_2, \dots, v_m)$, 其中 v_1 表示星座选择的最优, v_2 表示次之, 依次递推下去直到 v_m , 所对应的数值分别是 $0 \sim m$ 。

Step3: 建立权重集^[8]。 $\mathbf{Q} = [q_1 \ q_2]$, 且 $q_1 + q_2 = 1$ 。选星时, 考虑使仰角尽量小, 且卫星的方位角分布均匀, 所以本文实例中采用专家经验法进行权重设置 $\mathbf{Q} = [0.66 \ 0.34]$ 。

Step4: 进行模糊变换 $\mathbf{F} = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{R}$ 。

Step5: 在 $\mathbf{F}$ 中, 最小元素对应的卫星即是第 3 颗卫星, 同理可以选出第 4 颗和第 5 颗卫星。

Step6: 确定 $\mathbf{F}$ 上每个分量的综合评价指标, 利用公式 $\mathbf{W} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{V}^T$ 计算。

3 实验及结果分析

为验证方法的正确性, 利用卫星模拟器模拟 GPS L1 和 L2 频段、北斗 B1 和 B2 频段的卫星数据进行仿真分析。测试数据段共有数据 1 400 s, 数据采样率为 1 Hz, GPS 卫星数为 7~8 颗星, GDOP 为 2.0~2.5, BD 卫星数为 7~8 颗星, GDOP 为 3.1~3.9, 表 1 是某一时刻观测到的 GPS/BD 原始数据。

采用本文提出的模糊选星法, 首先选取高度角最大的 C04 号卫星作为第 1 颗卫星, 选取高度角最小 G02 号卫星作为第 2 颗卫星, 然后将 G02 号卫星的方位角分别加 $90^\circ, 180^\circ$ 和 270° 得 $171.2^\circ, 261.2^\circ$ 和 351.2° , 利用模糊的选星算法找出 G08 号、C04 号和 G21 号就是要选的剩下 3 颗星, 则判断组合(C04, G02, G08, C04, G21)是最佳卫星组合。

表 2 是模糊选星法在双系统卫星组合及单系统选星中的应用, 从计算出的结果可以看出双系统组合选星的 GDOP 较单一系统 GDOP 值要略小些, 同时采用模糊选星法计算的单系统 GDOP 值也是所有组合选星中最小的, 限于篇幅不一一列出。

表 1 GPS/BD 原始数据
Table1 Original data of GPS/BD

positioning systems	satellites	elevating angle/(°)	azimuth angle/(°)	R_{SN}/dB
GPS	G02	14.1	81.2	10.5
	G05	32.3	153.3	15.3
	G08	36.5	170.2	16.6
	G09	22.7	275.2	12.8
	G15	37.1	81.1	16.8
	G21	59.8	333.4	20.3
	G26	67.0	12.8	22.5
Beidou	C03	60.4	323.2	21.5
	C04	81.2	246.3	31.8
	C07	31.3	175.2	15.0
	C09	80.5	12.4	33.2
	C12	45.5	49.9	19.4
	C14	70.5	126.7	26.7
	C16	56.7	310.5	20.1

表 2 模糊选星法计算的 GDOP 值
Table2 GDOP by fuzzy selecting-satellites algorithm

satellites combination	C04 G02 G08 C04 G21	C04 C07 C12 C16	G02 G08 G21 G26
GDOP	3.678	4.265	4.325

4 结论

本文提出一种简单实用的系统组合选星方法, 仿真结果表明该方法较常规选星方法具有算法简单易实现、定位精确度高等优点。随着北斗导航定位系统在靶场的广泛应用, 将北斗卫星和 GPS 等卫星资源组合定位, 会大大提高导航定位精确度, 同时避免导航盲区现象。本文提出的选星方法仅是这方面工作的一种尝试, 尚需进一步改进和完善, 以满足不同系统的兼容性、多星接收设备及组合定位算法的设计与优化等要求。

参考文献:

- [1] 高成发, 胡伍生. 卫星导航定位原理与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011. (GAO Chengfa, HU Wusheng. The Principle and Application of Satellite Navigation and Positioning[M]. Beijing: China Communication Press, 2011.)
- [2] 刘基余. 北斗卫星导航系统的现状与发展[J]. 遥测遥控, 2013, 34(3): 1-8. (LIU Jiyu. Status and development of the Beidou navigation satellite system[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2013, 34(3): 1-8.)
- [3] 宗干, 郭金运, 李国伟, 等. 北斗卫星导航系统单频伪距绝对定位精度分析[J]. 全球定位系统, 2013, 38(3): 1-7. (ZONG Gan, GUO Jinyun, LI Guowei, et al. Precision analysis of Beidou navigation satellite system single-frequency pseudorange absolute positioning[J]. Gns World of China, 2013, 38(3): 1-7.)
- [4] 庞春雷, 赵修斌, 卢艳娥, 等. COMPASS/GPS 双模导航定位精度分析及仿真[J]. 现代防御技术, 2011, 39(4): 35-39. (PANG Chunlei, ZHAO Xiubin, LU Yane, et al. Analysis and simulation of positioning precise in COMPASS/GPS combined navigation[J]. Modern Defense Technology, 2011, 39(4): 35-39.)
- [5] 熊剑, 刘建业, 赖际舟, 等. 基于结构分解的 GPS/INS 组合导航粒子滤波技术[J]. 控制与决策, 2012, 27(6): 957-960. (XIONG Jian, LIU Jianye, LAI Jizhou, et al. GPS/INS integrated navigation particle filter based on structural decomposition[J]. Control and Decision, 2012, 27(6): 957-960.)
- [6] 曾庆化, 刘建业, 胡倩倩, 等. 北斗系统及 GNSS 多星座组合导航性能研究[J]. 全球定位系统, 2011, 1(1): 52-57. (ZENG Qinghua, LIU Jianye, HU Qianqian, et al. Research on Beidou and GNSS multi-constellation integrated navigation[J]. Gns World of China, 2011, 1(1): 52-57.)
- [7] 王晞, 李伟. 空间数据质量的模糊综合评价方法探讨[J]. 现代测绘, 2011, 34(3): 31-33. (WANG Xi, LI Wei. Spatial data quality evaluation method of fuzzy comprehensive[J]. Modern Surveying and Mapping, 2011, 34(3): 31-33.)
- [8] 尚梦云, 高晖, 常青, 等. GPS/GLONASS/BDS 三系统组合定位的定权方法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(3): 374-379. (SHANG Mengyun, GAO Hui, CHANG Qing, et al. Weighting methods in GPS/GLONASS/BD integrated positioning[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014, 12(3): 374-379.)

作者简介:

卓 宁(1976-), 女, 安徽省蚌埠市人, 硕士, 主要从事无线电外测数据处理、试验精确度鉴定等方面的研究. email: rachelzn568@163.com.