

GPS/GLONASS 组合系统的 PDOP 计算和分析

蔡昌盛 戴吾蛟 匡翠林

(中南大学 测绘与国土信息工程系 湖南 长沙 410083)

Calculation and Analysis of PDOP for Combined GPS/GLONASS Systems

CAI Changsheng, DAI Wujiao, KUANG Cuilin

摘要: 在组合 GPS/GLONASS 绝对定位中,由于系统时间的差异需要估计一个额外的未知参数,使得位置精度因子(PDOP)的计算随之产生变化。给出针对 GPS/GLONASS 双系统组合的 PDOP 计算方法,利用实测数据,比较 GPS 单系统和 GPS/GLONASS 组合系统的 PDOP。结果表明,在当前星座条件下增加 GLONASS 系统后,PDOP 得到了显著改善。

关键词: GPS; GLONASS; PDOP

一、引言

GLONASS 系统逐渐复苏,到目前为止已有 26 颗在轨卫星,其中 21 颗卫星正常工作,2 颗卫星备用,3 颗卫星处于维护阶段。预计在不到一年的时间内,GLONASS 系统将成为拥有 24 颗工作卫星的完整星座^[1]。GLONASS 的复苏使得目前主要基于 GPS 单系统的应用逐渐向 GPS/GLONASS 双系统的应用过渡。GPS 和 GLONASS 的联合具有很多的优势:① 更多可见卫星有助于提高定位精度和可靠性,特别是在高纬度地区,由于 GLONASS 系统具有较高的轨道倾角,用户能观测到更多的 GLONASS 卫星;② 由于 GLONASS 卫星采用频分多址(FDMA)方式,使得 GPS/GLONASS 组合系统具有更强的抗干扰能力。为了方便与 GPS 系统的集成应用,新一代 GLONASS 卫星 GLONASS-K 将增加码分多址(CDMA)的方式^[2]。

PDOP 是衡量卫星导航系统定位精确程度的一个重要指标。特别是在组合 GPS/GLONASS 应用中,引入 GLONASS 后 PDOP 的改善程度决定了组合系统能否有效地提高定位精度。文献[3-5]计算了双卫星系统的 PDOP,但在计算过程中未顾及不同卫星系统间的差异,将双系统简单地当做一个系统来对待。本文考虑 GPS 和 GLONASS 的系统时间差异,给出针对 GPS/GLONASS 组合的 PDOP 计算方法,该方法同样适用于 GPS/Galileo、GPS/Compass 双星组合 PDOP 的计算。

二、组合系统 PDOP 的计算

在 GPS 伪距绝对定位中,其定位精度主要由两方面决定:① 等效距离误差;② 卫星的几何分布。卫星的几何分布对精度的影响可以通过精度因子 DOP 来反映。DOP 通常根据由设计矩阵构成的一个精度因子矩阵来计算,如式(1)所示^[6]

$$Q_x = (A^T A)^{-1} \quad (1)$$

式中 A 为设计矩阵。GPS 绝对定位中需要估计 4 个未知参数,即 3 个位置坐标分量和 1 个接收机钟差参数,因而相应于这 4 个未知参数的设计矩阵共有 4 列,如式(2)所示

$$A_{\text{GPS}} = \begin{bmatrix} u_1 & v_1 & w_1 & 1 \\ u_2 & v_2 & w_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_n & v_n & w_n & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 n 表示 GPS 卫星的个数; u 、 v 、 w 分别为观测方程中相应于位置坐标分量 x 、 y 、 z 的系数。由式(1)和式(2)计算出的相应 3 个坐标分量的 DOP 矩阵具有如下形式

$$Q_x = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

PDOP 可以通过式(4)计算获得

$$\text{PDOP} = \sqrt{q_{11} + q_{22} + q_{33}} \quad (4)$$

在 GPS/GLONASS 组合绝对定位中,由于 GPS 和 GLONASS 采用了不同的时间系统,因而在

收稿日期: 2010-11-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41004011);中南大学前沿研究计划资助项目(2009QZZD002);中南大学自由探索计划资助项目(201012200086)

作者简介: 蔡昌盛(1977—),男,湖北荆州人,博士,副教授,主要研究方向为 GNSS 精密单点定位。

GLONASS观测方程中必须引入一个额外的未知参数,即GPS/GLONASS系统时间差参数^[7]。待估未知参数增加到5个,其相应的设计矩阵为

$$A_{\text{GPS/GLO}} = \begin{bmatrix} u_{i1} & v_{i1} & w_{i1} & 1 & 0 \\ u_{i2} & v_{i2} & w_{i2} & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{in} & v_{in} & w_{in} & 1 & 0 \\ u_{j1} & v_{j1} & w_{j1} & 1 & 1 \\ u_{j2} & v_{j2} & w_{j2} & 1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{jm} & v_{jm} & w_{jm} & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中*i*代表GPS卫星;*j*代表GLONASS卫星;*n*为GPS卫星的个数;*m*为GLONASS卫星的个数。矩阵中的5列分别为观测方程中对应位置坐标分量(*x y z*)、接收机钟差、GPS/GLONASS系统时间差参数的系数。本文中采用式(2)和式(5)计算PDOP的方法分别称为“四参数法”和“五参数法”。

图1是利用2010年10月8日北京地区IGS站BJFS的数据,并采用四参数法和五参数法分别计算获得的PDOP。BJFS站使用的是Trimble NeTR8接收机,能同时接收GPS和GLONASS观测数据。采用四参数法计算时,将GLONASS卫星简单地当做GPS卫星来对待。五参数法区分GPS卫星和GLONASS卫星,能真实地体现卫星的几何分布与定位精度的关系。从图1中可以看出,通过四参数法和五参数法计算获得的PDOP存在差异,四参数法的计算结果明显偏小。图2显示的是图1前2h的计算结果,从中可以更清楚地看出四参数法和五参数法计算结果的差异。四参数法由于未考虑GPS/GLONASS系统时间差这一未知参数,计算结果并不能真实地反映卫星的几何分布对定位精度的影响。图3给出了两种方法计算PDOP的差值,其平均为0.1,最大达到了1.4,因而错误地使用四参数法将会对计算PDOP产生较大影响。

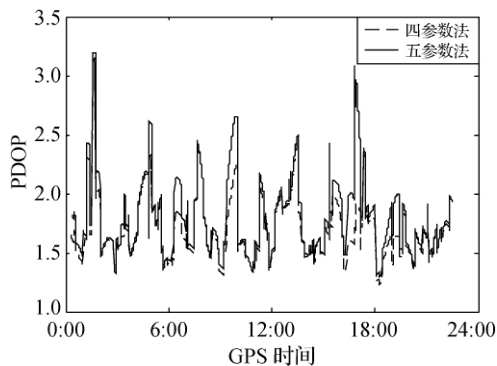


图1 四参数法和五参数法24h PDOP结果对比

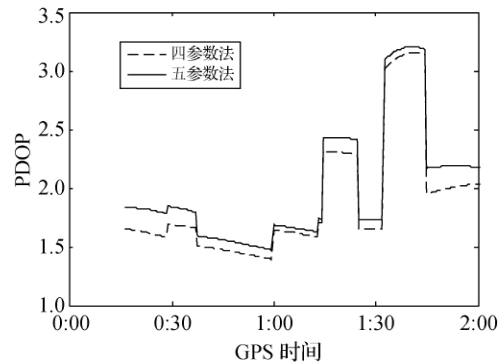


图2 四参数法和五参数法2h PDOP结果对比

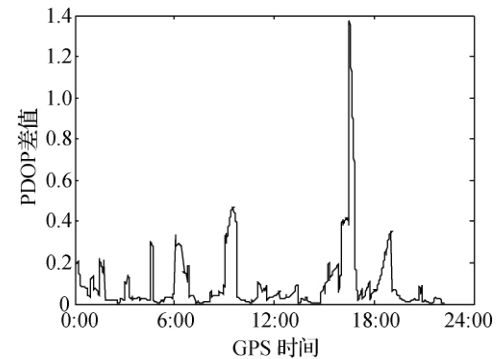


图3 四参数法和五参数法PDOP结果差值

三、GPS单系统与GPS/GLONASS组合系统PDOP的比较

在GPS/GLONASS组合定位中,更多的可见卫星将能有效地改善PDOP。为了调查GPS/GLONASS组合系统相比GPS单系统PDOP的改善情况,选择位于中国境内IGS站的数据利用五参数法进行计算,它们是位于北京的BJFS站、拉萨的LHAZ站和乌鲁木齐的URUM站,数据采集时间是2010年10月8日。3个测站均配备了可以同时观测GPS和GLONASS数据的双系统接收机。观测数据采样率为30s,截止高度角设为15°。

图4~图6分别给出了GPS/GLONASS组合系统与GPS单系统的PDOP和卫星数情况。表1给出了3个测站PDOP和卫星数24h的统计结果。BJFS站平均有7.6颗GPS卫星和4.8颗GLONASS卫星参与了PDOP计算,组合系统PDOP明显比单系统PDOP小。在测站LHAZ,观测期间最少的GPS卫星数只有4颗,卫星数量直接导致了计算的PDOP最大达到了7.3。增加GLONASS后,PDOP显著变小,特别对于单系统比较大的PDOP尤为明显。URUM站平均增加了4.3颗GLONASS卫星,PDOP由最大10.9降到4.2。从表1可以看出3个站PDOP的改善情况,平均值改善率最大达到了31%,最大值改善率最大达到了61%。

表1 3测站 PDOP 和卫星数统计

		GPS	GPS/GLO	改善率/(%)	
BJFS	PDOP	最小值	1.5	1.3	13
		最大值	4.7	3.2	32
		平均值	2.4	1.8	25
	卫星数	最小值	6	9	
		最大值	11	17	
		平均值	7.6	12.4	
LHAZ	PDOP	最小值	1.6	1.3	19
		最大值	7.3	3.7	49
		平均值	2.6	1.8	31
	卫星数	最小值	4	8	
		最大值	10	16	
		平均值	7.4	12.2	
URUM	PDOP	最小值	1.5	1.3	13
		最大值	10.9	4.2	61
		平均值	2.4	1.9	21
	卫星数	最小值	4	5	
		最大值	11	16	
		平均值	7.7	12.0	

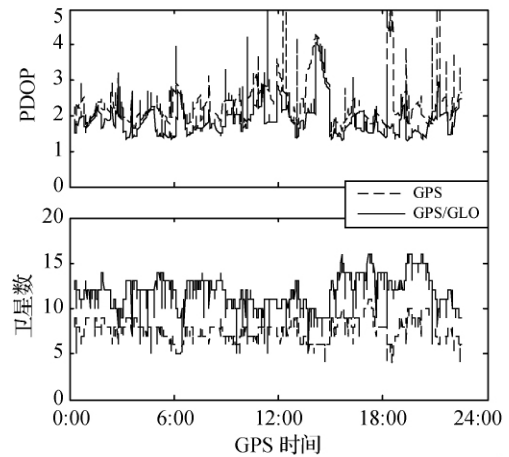


图6 乌鲁木齐 URUM 站 GPS/GLONASS 组合系统与 GPS 单系统 PDOP 和卫星数比较

四、结束语

考虑到在组合 GPS/GLONASS 绝对定位中,需要估计一个额外的未知参数,本文给出了 GPS/GLO-NASS 组合定位 PDOP 计算的五参数法。使用五参数法计算的 PDOP 能更准确地反映卫星几何与定位精度的关系,而错误地使用四参数法将会获得虚假的 PDOP 结果。并利用位于我国境内的 3 个 IGS 站的数据分别计算了 GPS/GLONASS 组合系统和 GPS 单系统的 PDOP。结果表明,在当前的 GPS 和 GLONASS 星座下组合 GPS/GLONASS 系统能显著改善 PDOP,平均 PDOP 的改善最大达到了 31%。随着 GLONASS 卫星数量的进一步增加, GPS/GLONASS 组合系统将能更大程度地改善 PDOP,从而有利于进一步提高定位精度。

参考文献:

- [1] CAMERON A. The System: GLONASS Forecast Bright and Plentiful [EB/OL]. 2010-10-01. <http://www.gpsworld.com/gnss-system/the-system-glonass-forecast-bright-plentiful-10580>.
- [2] CAMERON A. GLONASS Up to Date and Out of State [EB/OL]. 2010-03-22. <http://www.gpsworld.com/gnss-system/glonass/news/glonass-up-date-and-out-state-9710?print=1>.
- [3] 张中兆,滕宇. GPS/GLONASS 共用 PDOP 研究[J]. 航空电子技术,2004,35(3):11-14.
- [4] 王祖光,杨开伟,王宝成. GPS/GLONASS 组合系统性能分析[J]. 测绘通报,2010(6):38-40.
- [5] 蒋虎,余金培. GALILEO 和 GPS 综合系统 PDOP 评估[J]. 全球定位系统,2007,32(2):21-24.
- [6] 徐绍铨,张华海,杨志强,王泽民. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003:59-60.
- [7] HABRICH H. Geodetic Applications of the Global Navigation Satellite System (GLONASS) and of GLONASS/GPS Combinations[D]. Bern: University of Bern, 1999:57-58.

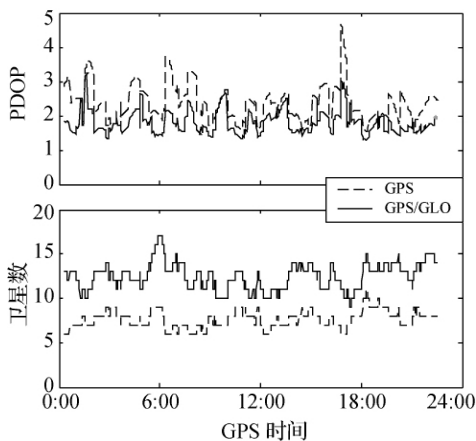


图4 北京 BJFS 站 GPS/GLONASS 组合系统与 GPS 单系统 PDOP 和卫星数比较

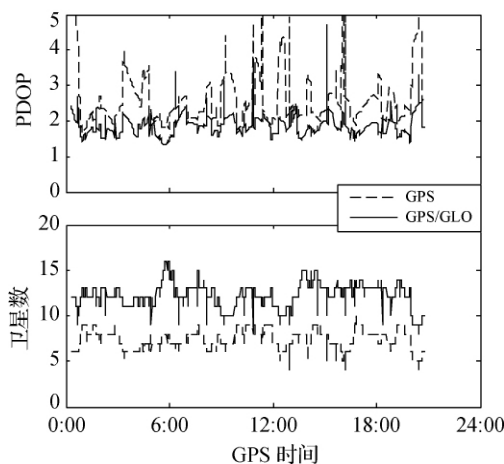


图5 拉萨 LHAZ 站 GPS/GLONASS 组合系统与 GPS 单系统 PDOP 和卫星数比较