

# GPS 短基线整周模糊度的直接解法

邱 蕾<sup>1,2</sup> 花向红<sup>1,2</sup> 蔡 华<sup>1,2</sup> 伍 岳<sup>3</sup>

(1 武汉大学测绘学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)  
(2 武汉大学灾害监测与防治研究中心,武汉市珞喻路 129 号,430079)  
(3 三峡大学三峡库区地质灾害教育部重点实验室,宜昌市大学路 8 号,443002)

**摘 要:**提出了在位移值较大的情况下(0.7 m),通过多种载波相位组合,解算短基线 GPS 整周模糊度的方法。导出了在解算过程中保证  $L_1$  和  $L_2$  载波的整周模糊度  $N_1$  和  $N_2$  为整数的条件,从而将 DC(direct calculation)算法<sup>[1]</sup>不仅推广到大变形的情况,而且推广到短基线 GPS 整周模糊度的解算,解决了快速准确解算短基线 GPS 整周模糊度的问题。  
**关键词:**GPS 短基线;组合观测值;整周模糊度;DC 算法  
**中图法分类号:**P228.41

文献[1]根据 GPS 监测网监测点变形前的坐标是已知的这一特点,提出了一种新的确定整周模糊度的方法——直接计算法(DC 算法)。这个方法的特点是在采用  $L_1$  载波时,当变形值小于 0.16 m 时,可以实时解算出整周模糊度,不需要进行模糊度的搜索与确认。但是在很多情况下,位移的绝对值往往大于 0.2 m,甚至可达 0.5 m 以上,例如悬索桥的变形。在这些情况下,则不能直接应用 DC 算法。为了扩大 DC 算法的应用范围,在文献[1]的基础上,通过对载波相位进行组合,提出了一种适合大位移值的 GPS 整周模糊度直接解算方法。该方法在位移值达到 0.7 m 时,仍可以直接解算 GPS 整周模糊度,并获得高精度的变形值。将该方法推广到一般的 GPS 短基线(基线长度小于等于 10 km)定位的应用中,得到了 GPS 短基线定位时整周模糊度的准确快速算法。

在 GPS 变形监测网中,由于变形监测的基线比较短(基线长度小于等于 10 km),在采用双差观测值后,可以大大消除卫星钟差、对流层、电离层延迟这些误差<sup>[2]</sup>。在基线小于 10 km 时,可以忽略这些误差的影响<sup>[3]</sup>。因此,可以解出整周模糊度:

$$\nabla \Delta N_{i-2}^{k_j} = \nabla \Delta \rho_{i-2}^{k_j} / \lambda - \nabla \Delta \phi_{i-2}^{k_j} \quad (1)$$

式中, $\nabla \Delta N_{i-2}^{k_j}$ 为两历元两测站得到的相位整周数

差之差; $\nabla \Delta \phi_{i-2}^{k_j}$ 为两历元两测站得到的相位差之差; $\nabla \Delta \rho_{i-2}^{k_j}$ 为两历元两测站得到的距离差之差<sup>[4]</sup>。当监测点的位移小于 0.164 8 m 时,位移对整周模糊度的影响小于等于半周。这种利用监测点的位移为约束条件直接解算单历元变形量的方法就称为 DC 算法<sup>[1]</sup>。

## 1 保证 $L_1$ 和 $L_2$ 载波的整周模糊度 $N_1$ 和 $N_2$ 为整数的条件

当位移值大到 0.7 m 时,如果还希望对整周模糊度的影响小于等于半周<sup>[5]</sup>,并应用式(1)计算整周模糊度,则由文献[1]知,载波相位的波长应为:

$$\lambda \geqslant 2\Delta d / \sqrt{3} \quad (2)$$

将位移值  $\Delta d=0.7$  m 代入式(2)。当位移值  $\Delta d=0.7$  m 时,如果还希望对整周模糊度的影响小于等于半周<sup>[5]</sup>,则载波相位的波长应为:

$$\lambda \geqslant 2 \times 0.7 / \sqrt{3} \geqslant 0.808 \text{ 3 m} \quad (3)$$

由文献[6]知,不同的载波相位组合观测值可以认为是不同波长和精度的载波相位观测值。设  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  为一理想卫星发射的双频相位观测值,则可得其组合观测值:

$$\varphi_{n,m} = n\varphi_1 + m\varphi_2 \quad (4)$$

2.2 DC 算法在短基线解算时的解算步骤

1) 先根据伪距双差解算精度优于 0.7 m 的待定点的初始坐标。

2) 根据待定点的初始坐标,用 DC 算法式(1)计算出宽巷的整周模糊度  $N_w$  和超宽巷的整周模糊度  $N_s$ 。

3) 应用式(8)解算  $L_1$  和  $L_2$  载波的整周模糊度  $N_1$  和  $N_2$ ,将计算的整周模糊度  $N_1$  代入误差方程<sup>[11-12]</sup>:

$$V = a\delta X + b\delta Y + c\delta Z - W \tag{9}$$

式中, $a、b、c$  为系数阵, $(\delta X,\delta Y,\delta Z)$  为变形量。

4) 利用  $L_1$  载波观测值,求待定点的最终坐标:

$$\hat{X} = (B^T B)^{-1} B^T L$$

式中, $B=(a,b,c)$  为系数阵。

3 试验及结果分析

为了检验本文的方法,在武汉市布置了一个 GPS 网,观测采用 Trimble 5700 接收机采集实测 GPS 数据,采样率为 15 s,观测时间为 90 min,网中有基线 16 条。按照本文提出的方法,对这 16 条基线进行解算,解算时都采用广播星历,解算结果与 GAMIT 软件解算结果进行比较,结果列于表 2。由表 2 可以看出,利用 DC 算法解算 GPS 的基线向量与 GAMIT 软件解算的基线向量差别都在 5 mm 以内, $X$  方向最大差值为 3.5 mm, $Y$  方向最大差值为 3.6 mm, $Z$  方向最大差值在 4.6 mm,表明该算法能达到较高的精度。

表 2 DC 算法解算的基线向量与 GAMIT 解算的基线向量比较

Tab.2 Comparison of the Baseline Resolution

序号	自编程序解算的基线分量/m			GAMIT 解算的基线分量/m			差值/mm		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	3 649.811 6	−1 017.467 2	−2 232.205 1	3 649.812 4	−1 017.467 3	−2 232.203 9	0.8	−0.1	1.3
2	5 776.260 1	−1 202.234 6	−3 475.985 8	5 776.259 5	−1 202.236 4	−3 475.988 2	−0.6	−1.8	−2.4
3	3 886.711 1	1 131.249 6	−1 663.427 0	3 886.709 7	1 131.250 6	−1 663.426 1	−1.4	1.0	1.0
4	7 314.082 9	5 667.677 2	3 961.660 9	7 314.084 1	5 667.678 1	3 961.660 6	1.2	0.9	−0.3
5	6 194.903 1	4 852.430 0	3 205.469 2	6 194.904 1	4 852.431 2	3 205.473 8	1.0	1.2	4.6
6	2 094.268 9	1 315.983 1	−419.576 8	2 094.268 0	1 315.984 3	−419.575 4	−0.9	1.2	1.4
7	1 589.183 5	−1 453.628 2	−293.705 7	1 589.184 3	−1 453.626 9	−293.702 8	0.8	1.3	2.9
8	1 547.830 6	−1 378.196 8	−191.688 9	1 547.828 8	−1 378.196 7	−191.686 8	−1.8	0.1	2.1
9	1 686.153 8	−1 344.503 4	43.681 3	1 686.153 4	−1 344.505 1	43.681 4	−0.4	−1.7	0.1
10	7 950.004 9	6 536.426 6	3 625.076 8	7 950.005 5	6 536.426 4	3 625.080 3	0.6	−0.2	3.5
11	2 094.272 1	−1 316.000 6	419.579 1	2 094.272 5	−1 316.003 5	419.579 7	0.4	−2.9	0.6
12	2 049.963 7	−555.535 9	−1 255.055 3	2 049.964 8	−555.536 2	−1 255.054 9	1.1	−0.3	0.4
13	4 184.773 7	−740.276 2	−2 498.890 6	4 184.772 5	−740.279 8	−2 498.888 8	−1.2	−3.6	1.8
14	5 688.161 8	575.719 4	−2 918.487 3	5 688.162 2	575.717 1	−2 918.489 7	0.4	−2.3	−2.4
15	8 809.631 2	−7 778.387 5	−4 049.286 5	8 809.634 7	−7 778.390 0	−4 049.285 7	3.5	−2.5	0.8
16	9 705.228 1	−6 647.134 1	−5 712.709 8	9 705.229 0	−6 647.135 9	−5 712.709 2	0.9	−1.8	0.6

参 考 文 献

[1] 王新洲,花向红,邱蕾. GPS 变形监测中整周模糊度解算的新方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007,32(1):24-26

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

[3] 邱蕾. GPS 变形监测中整周模糊度解算的新方法 [D]. 武汉:武汉大学,2006

[4] 吴万清,宁龙海,朱才连. 一种单频单历元 GPS 整周模糊度的解法方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2005,30(6):497-501

[5] 李洪涛,许国昌,薛鸿印. GPS 应用程序设计[M]. 北京:科学出版社,2000

[6] 刘基余. GPS 导航定位原理与方法[M]. 北京:科学

出版社,2003

[7] 邱卫宁,陈永奇. 用载波相位宽巷组合高精度确定大数值变形[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004,29(10): 889-892

[8] 陈永奇. 单历元 GPS 变形监测数据处理方法的研究 [J]. 武汉测绘科技大学学报,1998,23(4):324-328

[9] 廖远琴. 短基线 GPS 控制网整周模糊度的直接解算方法[D]. 武汉:武汉大学,2007

[10] 高成发,赵毅,万德钧. 用 LAMBDA 改进算法固定 GPS 整周模糊度[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006,31(8):744-747

[11] 唐卫明,孙红星,刘经南. 附有基线长度约束的单频数据单历元 LAMBDA 方法整周模糊度确定[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2006,31(8): 744-747