



广义阻尼LAMBDA方法及其在长基线实时定位中的应用

曹士龙, 蔚保国, 伍蔡伦, 贾浩男

Generalized damped LAMBDA method and the application in long baseline real-time positioning

CAO Shilong, YU Baoguo, WU Cailun, and JIA Haonan

引用本文:

曹士龙, 蔚保国, 伍蔡伦, 等. 广义阻尼LAMBDA方法及其在长基线实时定位中的应用[J]. [全球定位系统](#), 2023, 48(4): 69–74. DOI: [10.12265/j.gnss.2023043](#)

CAO Shilong, YU Baoguo, WU Cailun, et al. Generalized damped LAMBDA method and the application in long baseline real-time positioning[J]. [Gnss World of China](#), 2023, 48(4): 69–74. DOI: [10.12265/j.gnss.2023043](#)

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12265/j.gnss.2023043>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[一种单频单历元BDS / GPS组合整周模糊度解算方法](#)

An Ambiguity Algorithm for Single Frequency and Single Epoch Combination of GPS and BDS

全球定位系统. 2018, 43(1): 75–80

[地基伪卫星单历元三频组合逐级模糊度解算方法](#)

Single epoch three carrier ambiguity resolution for ground base positioning system

全球定位系统. 2020, 45(2): 44–48

[零基线约束的参考站间模糊度固定方法研究](#)

Research on Ambiguity Fixing Method of Reference Station with Zero Baseline Constraint

全球定位系统. 2017, 42(6): 66–71

[BDS三频与双频模糊度解算性能分析](#)

Performance Analysis of BDS Triple-frequency and Dual-frequency Ambiguity Resolution

全球定位系统. 2017, 42(4): 60–65

[BDS / GPS中长基线宽巷厘米级RTK算法](#)

BDS / GPS medium-long baseline quasi-centimeter RTK algorithm

全球定位系统. 2019, 44(2): 54–58

[GAMIT10.71解算GNSS长基线精度分析](#)

GAMIT 10.71 resolution GNSS long baseline precision analysis

全球定位系统. 2020, 45(5): 14–19



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.12265/j.gnss.2023043

广义阻尼 LAMBDA 方法及其在长基线实时定位中的应用

曹士龙^{1,2}, 蔚保国^{1,2}, 伍蔡伦^{1,2}, 贾浩男^{1,2}

(1. 卫星导航系统与装备技术国家重点实验室, 石家庄 050081; 2. 中国电子科技集团公司第五十四研究所, 石家庄 050081)

摘要: 在长基线实时定位中, 相邻观测值之间具有强相关性导致法方程出现病态, 此时载波相位整周模糊度难以快速固定. 针对这一问题, 在传统阻尼最小二乘模糊度降相关平差 (least-squares ambiguity decorrelation adjustment, LAMBDA) 方法基础上, 提出了广义阻尼 LAMBDA 方法, 并推导出载波相位模糊度的单历元解表达式. 该方法利用了坐标和载波相位模糊度的先验信息, 在改善法方程病态性的同时也提高了浮点模糊度的解算精度, 有助于整周模糊度的快速固定. 采用两条长基线 (266 km 和 456 km) 实测数据进行验证, 改进后的方法相比于传统方法, 载波相位模糊度固定率提高了 28.8%; 当放大因子 $c=0$ 时, 广义阻尼 LAMBDA 方法与传统阻尼 LAMBDA 方法等价. 选择澳大利亚连续运行参考站系统 (continuous operation reference system, CORS) 网中四条长基线实时数据流进行测试, 实验结果表明: 在基线长度小于 1 000 km 的多系统实时定位中可以获得水平优于 0.02 m, 高程优于 0.04 m 定位精度. 基于广义阻尼 LAMBDA 方法在长基线实时定位中具有一定的应用参考价值.

关键词: 广义阻尼最小二乘模糊度降相关平差 (LAMBDA); 模糊度解算; 长基线; 实时定位

中图分类号: P228.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-9268(2023)04-0069-06

0 引言

GNSS 实时相对定位技术能够为用户提供精确的三维坐标、速度和时间等信息, 已被广泛应用于精密测量、精细农业、气候变化监测和地质灾害预警等诸多领域^[1-3]. 整周模糊度解算是实现 GNSS 精密相对定位的关键. 如何提高定位精度和整周模糊度的收敛速度, 国内外学者进行了深入而广泛的研究^[4-6]. 在基于模糊度域搜索方法中, 最小二乘模糊度降相关平差 (least-squares ambiguity decorrelation adjustment, LAMBDA) 法是公认搜索最快、理论最为严密的方法^[7].

在长基线实时定位中, 短时间内的观测值之间存在相关性, 会导致法方程病态, 当引入对流层延迟参数后, 进一步加剧了法方程的病态性. 另外, 随着基线长度的增加, 与空间相关的残余误差影响也逐渐增大, 通常无法实现单历元模糊度固定, 需要一定的收

敛时间^[8-10]. 如何缩短模糊度的收敛时间, 提高模糊度固定的正确率, 仍然值得进一步研究. 金星等^[11]针对单频单历元组合载波相位差分技术定位过程中存在的秩亏及病态问题, 提出将伪距观测值引入, 采用经验分权法定权的一种新的模糊度降相关方法. 易重海等^[12]对历元间坐标差虚拟观测误差方程进行重构, 提出一种改进的历元间坐标差方法, 削弱了法方程的病态性, 提高了模糊度固定的稳定性和效率. 当观测数据质量不佳时, 采用经典 LAMBDA 法计算的模糊度固定解仍然可能出现错误值. 为此一些学者提出了部分模糊度固定算法^[13-15], 只求解具有最大成功率的模糊度固定解, 从而提高参数的估计精度. 高旺等^[16]提出一种基于部分固定策略的多系统组合的长基线模糊度快速解算方法, 实现了长距离基准站间模糊度快速固定. 刘根友等^[17]在传统 LAMBDA 方法的基础上结合参数约束平差, 提出了阻尼 LAMBDA 方法, 改善了法方程的病态性, 提高了模糊度解算效

收稿日期: 2023-03-14

资助项目: 石家庄市科技计划项目 (226130417A)

通信作者: 曹士龙 E-mail: caoshilong2006@163.com

率. 本文借鉴该算法的思路, 将部分模糊度固定与阻尼 LAMBDA 方法结合起来, 提出了一种改进的 LAMBDA 方法, 实现了阻尼 LAMBDA 方法和部分模糊度固定算法的统一. 在此之前, 简要介绍一下阻尼 LAMBDA 方法.

1 阻尼 LAMBDA 方法

在最优化方法中, 为了解决法方程的病态问题, 通过适当加大矩阵主对角元素改善法方程的条件数, 降低法方程的病态性. 阻尼 LAMBDA 方法将坐标先验的权阵作为阻尼因子添加到载波相位观测方程的法方程中, 既改善了法方程的病态性, 也实现了单历元固定载波相位模糊度.

阻尼 LAMBDA 方法的观测方程为

$$\begin{cases} \mathbf{V}_X = \mathbf{X}, & \mathbf{P}_X \\ \mathbf{V}_\varphi = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}\mathbf{Y} - L_\varphi, & \mathbf{P} \end{cases} \quad (1)$$

式中: \mathbf{V}_X 为坐标先验值的误差项; \mathbf{V}_φ 为双差载波相位观测值的残差项; \mathbf{X} 为非模糊度参数向量, \mathbf{Y} 为模糊度参数向量, \mathbf{A} 和 \mathbf{B} 分别为相应的系数矩阵; L_φ 为双差载波相位观测值的常数项; \mathbf{P}_X 为坐标参数的先验权阵, 也称为阻尼矩阵; \mathbf{P} 为载波相位观测值先验权阵.

阻尼 LAMBDA 方法的法方程为

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} + \mathbf{P}_X & \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{A} & \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} L_\varphi \\ \mathbf{B}^T \mathbf{P} L_\varphi \end{bmatrix} \quad (2)$$

由于添加了阻尼矩阵, 该法方程变为满秩方程. 这里的先验坐标值一般通过伪距单点定位或者伪距差分定位计算得到, 先验权阵 \mathbf{P}_X 的形式为

$$\mathbf{P}_X = \mathbf{Q}_{XX}^{-1} \approx \mathbf{A}^T \mathbf{P}_\rho \mathbf{A} \quad (3)$$

式中: \mathbf{A} 为观测方程的系数阵; \mathbf{P}_ρ 为伪距观测量权阵, 与载波相位观测量的权阵 \mathbf{P} 关系为

$$\mathbf{P}_\rho = \alpha \mathbf{P}. \quad (4)$$

式中, α 为伪距与载波相位观测量的权比值, 需要根据客观的先验精度来确定.

阻尼 LAMBDA 方法本质上是附有坐标约束条件的整数最小二乘法. 通过对坐标施加约束条件, 改善法方程的病态性. 单频观测数据采用单历元阻尼 LAMBDA 方法定位时, 一般只有在 0.5 m 精度以内的坐标约束才可能获得比较可靠的结果, 而双频接收机可以适当放宽到 1 m^[17]. 文献 [17] 中详细对比分析了不同精度的初始坐标约束对模糊度解算的影响, 本文不再赘述.

而在实际解算过程中, 随着参与解算的历元数增加, 模糊度的浮点解精度会逐渐提高, 最后收敛于整数. 因此, 为了充分利用已有坐标和模糊度的先验信息, 本文提出了一种改进的阻尼 LAMBDA 方法, 也称为广义阻尼 LAMBDA 方法.

2 广义阻尼 LAMBDA 方法

2.1 法方程的构建

广义阻尼 LAMBDA 方法的观测方程为

$$\begin{cases} \mathbf{V}_X = \mathbf{X}, & \mathbf{P}_X \\ \mathbf{V}_B = \mathbf{Y}, & \mathbf{P}_B \\ \mathbf{V}_\varphi = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}\mathbf{Y} - L_\varphi, & \mathbf{P} \end{cases} \quad (5)$$

平差准则为

$$\mathbf{V}_\varphi^T \mathbf{P} \mathbf{V}_\varphi + \mathbf{V}_X^T \mathbf{P}_X \mathbf{V}_X + \mathbf{V}_B^T \mathbf{P}_B \mathbf{V}_B = \min \quad (6)$$

广义阻尼 LAMBDA 方法的法方程为

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} + \mathbf{P}_X & \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{A} & \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B} + \mathbf{P}_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} L_\varphi \\ \mathbf{B}^T \mathbf{P} L_\varphi \end{bmatrix} \quad (7)$$

简记为

$$\begin{bmatrix} N_{aa} + \mathbf{P}_X & N_{ab} \\ N_{ba} & N_{bb} + \mathbf{P}_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{U}_a \\ \mathbf{U}_b \end{bmatrix} \quad (8)$$

进一步简记为

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} N_{aa} + \mathbf{P}_X & N_{ab} \\ N_{ba} & N_{bb} + \mathbf{P}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{\hat{X}\hat{X}} & \mathbf{Q}_{\hat{X}\hat{Y}} \\ \mathbf{Q}_{\hat{Y}\hat{X}} & \mathbf{Q}_{\hat{Y}\hat{Y}} \end{bmatrix} \quad (9)$$

这里的 \mathbf{P}_X 为坐标参数的先验权矩阵, \mathbf{P}_B 为模糊度参数的先验权矩阵. 对坐标和模糊度参数取较大权时, 称为强约束; 当取较小权时, 称为弱约束. 因此在广义阻尼 LAMBDA 方法中, 除了对坐标参数给予先验权阵外, 对所有模糊度参数也给予先验权阵. 初始模糊度参数的先验方差矩阵具有如下形式:

$$\mathbf{P}_B = \text{diag} \left(\frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2}, \frac{\sigma_0^2}{\sigma_2^2}, \dots, \frac{\sigma_0^2}{\sigma_m^2} \right) \quad (10)$$

式中: σ_0^2 为载波相位单位权方差; σ_m^2 为第 m 个模糊度的先验方差. 具体可采用式 (11) 计算:

$$\sigma_m^2 = \frac{c(1-|\delta|)^2}{\sin^2(EI)} + 1 \quad (11)$$

式中: $|\delta|$ 为先验浮点模糊度参数的小数部分; EI 为卫星高度角; c 为放大因子 (通常取 0 或 1). 初始模糊度先验方差计算公式不仅考虑了高度角的影响, 而且考虑了浮点解靠近整数的程度. 特别指出, 当 $c=0$ 时, 广义阻尼 LAMBDA 方法与传统阻尼 LAMBDA 方法等价; 当部分模糊度参数的 $c=0$ 时, 广义阻尼

LAMBDA 方法等价于部分模糊度固定方法。

广义阻尼 LAMBDA 方法不仅充分利用了先验坐标信息, 而且充分利用了载波相位模糊度的先验信息, 在改善法方程病态性的同时也提高了浮点模糊度的解算精度, 有助于载波相位模糊度的快速固定。

2.2 浮点解的单历元表达和固定解的更新

广义阻尼 LAMBDA 方法中浮点解 \hat{Y} 的单历元解表达式为

$$\hat{Y} = [(N_{bb} + P_B) - N_{ab}^T(N_{aa} + P_X)^{-1}N_{ab}]^{-1}[U_b - N_{ab}^T(N_{aa} + P_X)^{-1}U_a] \quad (12)$$

浮点解 \hat{Y} 的协因数阵为

$$Q_{\hat{Y}\hat{Y}} = [(N_{bb} + P_B) - N_{ab}^T(N_{aa} + P_X)^{-1}N_{ab}]^{-1} \quad (13)$$

浮点解 \hat{X} 的表达式为

$$\hat{X} = (N_{aa} + P_X)^{-1}(U_a - N_{ab}\hat{Y}) \quad (14)$$

模糊度固定后, 按照下式更新浮点解 \hat{X} , 得到固定解 \check{X}

$$\check{X} = \hat{X} - (N_{aa} + P_X)^{-1}N_{ab}(\hat{Y} - \check{Y}) \quad (15)$$

固定解 \check{X} 其协方差矩阵

$$Q_{\check{X}\check{X}} = Q_{\hat{X}\hat{X}} - Q_{\hat{X}\hat{Y}}Q_{\hat{Y}\hat{Y}}^{-1}Q_{\hat{Y}\hat{X}} \\ = (N_{aa} + P_X)^{-1} - Q_{\hat{X}\hat{Y}}(N_{bb} + P_B)^{-1}Q_{\hat{Y}\hat{X}} \quad (16)$$

3 算例验证分析

为了测试所提出的广义阻尼 LAMBDA 方法的性能, 本节选取澳大利亚连续运行参考站系统 (continuous operational reference system, CORS) 网中的 4 个测站 (STR1、PARK、MOBS 和 MCHL) 的实测数据进行验证分析。基线名称及长度如表 1 所示。

表 1 基线名称及长度 km

名称	测站	长度
基线1	STR1-PARK	266
基线2	STR1-MOBS	456
基线3	MCHL-PARK	736
基线4	MCHL-STR1	996

3.1 事后仿动态数据分析

本节选择 2019 年 10 月 1 日基线 1 和基线 2 的 24 h 实测数据进行事后仿动态处理。对比测试方案如表 2 所示。

表 2 广义阻尼 LAMBDA 测试方案

方案	具体策略
方案1	传统阻尼LAMBDA方法
方案2	广义阻尼LAMBDA方法(全部c=0)
方案3	广义阻尼LAMBDA方法(高度角<30, 小数部分>0.25周时, c=0)

以 GPS 和北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellita System, BDS) 定位模式为例, 分别采用上述三种方案求解整周模糊度, 统计模糊度固定成功率。对比结果如图 1 所示。

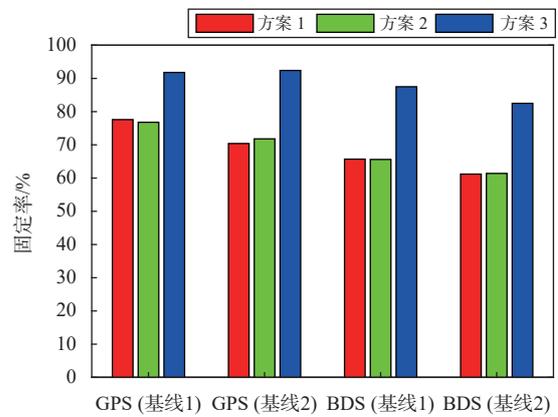


图 1 不同方案的模糊度固定率统计对比

由图 1 可知, 方案 1 的平均固定率为 68.7%, 方案 2 的平均固定率为 68.9%, 二者结果基本相同, 这也验证了当 $c=0$ 时广义阻尼 LAMBDA 方法与传统阻尼 LAMBDA 方法等价; 方案 3 的平均固定率为 88.6%, 相比方案 1, 方案 3 的固定率提高了 28.8%, 说明广义阻尼 LAMBDA 方法可有效提高载波相位模糊度的固定率。

3.2 长基线实时定位效果

为了测试广义阻尼 LAMBDA 方法在实时长基线定位中的定位精度, 本节利用澳大利亚 CORS 网实时数据流进行测试。测试时间为 2021 年 3 月 29 日四条长基线的实测数据。其中状态空间表示 (state space representation, SSR) 产品采用法国空间研究中心 (Centre National d'Etudes Spatiales, CNES) 播发的实时流。数据处理策略如表 3 所示。

图 2 是统计的各测站的定位误差随时间变化的序列。

将各基线在 N、E、U 三个方向误差的均方根 (root mean square, RMS) 进行统计对比, 如图 3 所示。

表 3 实时长基线解算策略

项目	处理策略
定位模式	GPS+Galileo+BDS
观测频率	GPS:L1+L2; Galileo:E1+E5b; BDS:B1+B2
系统权比	GPS:Galileo:BDS=3:3:2
估计方法	Kalman滤波
高度角/采样率	15°、1 s
待估参数	3个坐标分量、双差模糊度(载波伪距权比: 100:1)、天顶对流层延迟(GMF投影函数+随机游走过程噪声 $1.0 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$)
电离层延迟	消电离层组合
卫星星历	广播星历+ CNES的SSR产品(5 s)
地球潮汐改正	IERS conventions2010

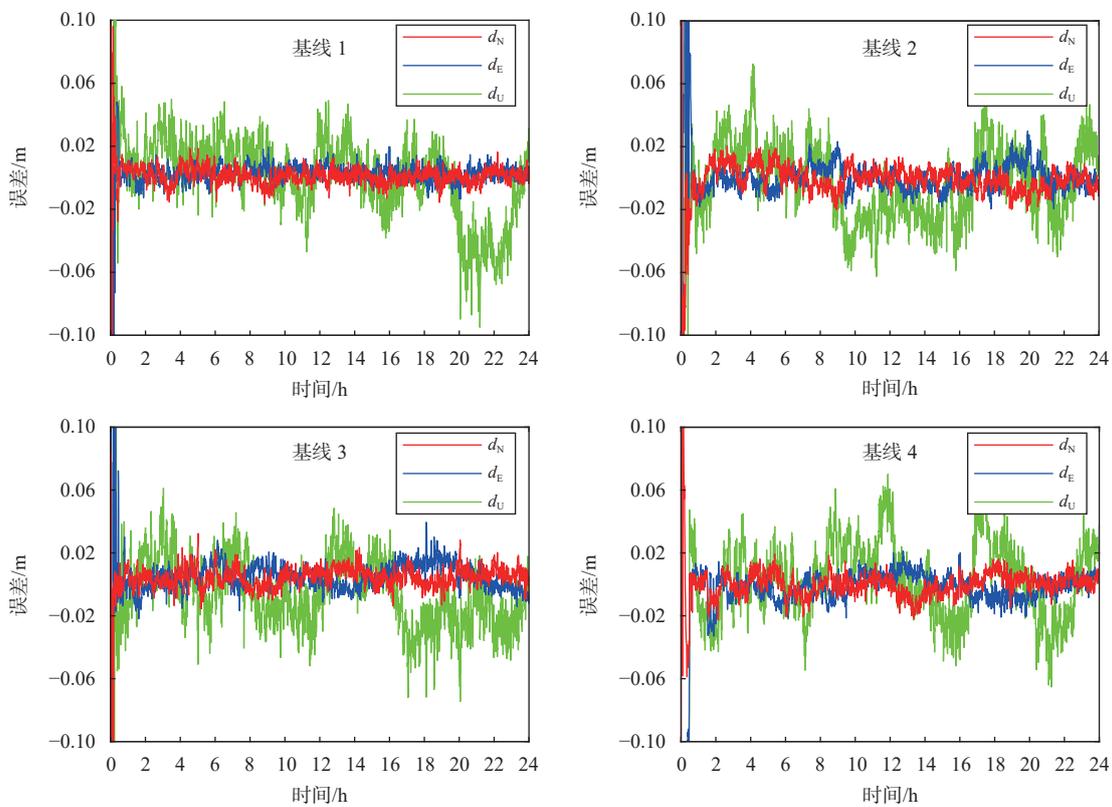


图 2 各个测站实时动态定位误差

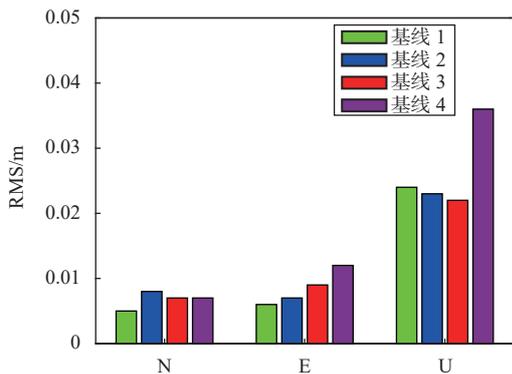


图 3 各个测站实时动态定位误差

统计各个基线中的固定成功率和首次固定时间(判断标准为连续 10 个历元满足 ratio 值大于 3), 对比结果如图 4 所示。

从统计结果看出, 四条基线的水平定位误差平均值小于 0.02 m, 高程定位误差平均值小于 0.04 m. 第一条基线的首次固定时间最短 (10.5 min), 随着基线长度增加, 首次固定时间也逐渐增加. 其余三条基线的首次固定时间均超过 15 min. 四条基线的平均首次固定时间为 16.75 min, 平均固定率为 78.8%.

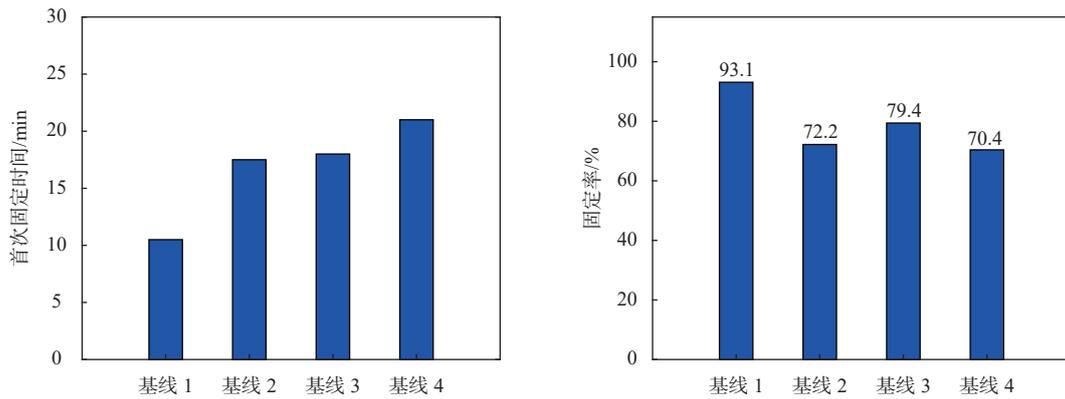


图 4 首次固定时间(左)与固定率(右)对比

4 结束语

本文针对长基线定位中由于法方程病态性导致模糊度收敛时间较长,模糊度固定率较低等问题,在传统阻尼 LAMBDA 方法基础上,结合部分模糊度固定算法,充分利用坐标和载波相位模糊度的先验信息,提出广义阻尼 LAMBDA 方法.既实现了二者形式上的统一,又改善了方程的病态性,有助于载波相位模糊度的快速固定.基于澳大利亚 CORS 站的长基线实测数据,将新方法与传统阻尼 LAMBDA 方法进行对比测试,结果表明,广义阻尼 LAMBDA 方法可有效提高模糊度的固定率.采用四条长基线的实时数据流测试了新方法的定位精度.结果表明,在基线长度小于 1 000 km 的实时定位中,采用广义阻尼 LAMBDA 方法可获得水平方向优于 0.02 m,高程方向优于 0.04 m 的定位精度,具有一定的应用参考价值.

参考文献

- [1] ODOLINSKI R, TEUNISSEN P J G, ODIJK D. Combined BDS, Galileo, QZSS and GPS single-frequency RTK[J]. *GPS solutions*, 2015, 19(1): 151-163. DOI: [10.1007/s10291-014-0376-6](https://doi.org/10.1007/s10291-014-0376-6)
- [2] SHI C, ZHAO Q L, HU Z G, et al. Precise relative positioning using real tracking data from COMPASS GEO and IGSO satellites[J]. *GPS solutions*, 2013, 17(1): 103-119. DOI: [10.1007/s10291-012-0264-x](https://doi.org/10.1007/s10291-012-0264-x)
- [3] 王生亮, 刘根友, 高铭, 等. GPS RTK/UWB 紧组合精密动态定位性能分析[J]. *全球定位系统*, 2021, 46(2): 69-76.
- [4] 祝会忠, 李军, 蔚泽然, 等. 长距离 GPS/BDS 参考站网多频载波相位整周模糊度解算方法[J]. *测绘学报*, 2020, 49(3): 300-311.
- [5] TEUNISSEN P J G, JONGE P D, TIBERIUS C C J M. The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: its performance on short GPS baselines and short observation spans[J]. *Journal of geodesy*, 1997, 71(10): 589-602. DOI: [10.1007/s001900050127](https://doi.org/10.1007/s001900050127)
- [6] 孙妍艳, 刘翠芝. 基于自适应差分进化算法的高维模糊度搜索[J]. *全球定位系统*, 2018, 43(1): 36-42.
- [7] TEUNISSEN P J G. GPS carrier phase ambiguity fixing concepts[M]. *GPS for Geodesy*, Springer, Berlin, Heidelberg, 1998: 319-388.
- [8] 曹士龙, 刘根友, 王生亮, 等. GPS 超长基线解算的误差特性与精度分析[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2023, 48(2): 260-267.
- [9] 张钰玺, 张小红, 刘全海, 等. 航空测量场景下的中长基线动态定位方法[J]. *测绘学报*, 2019, 48(7): 871-878.
- [10] 于文浩, 张云, 韩彦岭, 等. 北斗三频中长基线差分定位性能研究[J]. *全球定位系统*, 2018, 43(4): 102-109.
- [11] 金星, 王玲, 黄文德, 等. 一种单频单历元 BDS/GPS 组合整周模糊度解算方法[J]. *全球定位系统*, 2018, 43(1): 75-80.
- [12] 易重海, 陈源军. 顾及历元间坐标差信息的 GPS 模糊度快速固定改进方法[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2019, 44(4): 489-494.
- [13] BRACK, A. Reliable GPS + BDS RTK positioning with partial ambiguity resolution[J]. *GPS solutions*, 2017, 21(1): 1083-1092. DOI: [10.1007/810291-016-0594-1](https://doi.org/10.1007/810291-016-0594-1)
- [14] 舒宝, 刘晖, 张晋升, 等. 基于 BDS/GPS 组合定位的部分模糊度固定效果分析[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2017, 42(7): 989-994, 1001.
- [15] LI P, ZHANG X. Precise point positioning with partial ambiguity fixing[J]. *Sensors*, 2015, 15(6): 13627-13643. DOI: [10.3390/s150613627](https://doi.org/10.3390/s150613627)
- [16] 高旺, 高成发, 潘树国, 等. 基于部分固定策略的多系统长距离基准站间模糊度快速解算[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2017, 42(4): 558-562.
- [17] 刘根友, 朱耀仲, 韩保民. GPS 单历元定位的阻尼 LAMBDA 算法[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2004, 29(3): 195-197.

作者简介

曹士龙 (1986—), 男, 博士, 工程师, 研究方向为 GNSS 精密定位技术及相关嵌入式软件开发。

蔚保国 (1966—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为卫星导航系统体制、地面运控、终端芯片、测试评估以

及位置服务系统。

伍蔡伦 (1981—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为卫星导航与信号处理。

贾浩男 (1990—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为室内外无缝定位技术及智能导航硬件开发。

Generalized damped LAMBDA method and the application in long baseline real-time positioning

CAO Shilong^{1,2}, YU Baoguo^{1,2}, WU Cailun^{1,2}, JIA Haonan^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Satellite Navigation System and Equipment Technology, Shijiazhuang 050081, China; 2. The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: In long baseline real-time positioning, strong correlation between adjacent observations resulting in ill-conditioned normal equation which is adverse to fast integer solution of carrier phase ambiguity. In this contribution, a generalized damped least-squares ambiguity decorrelation adjustment (LAMBDA) method was proposed based on traditional LAMBDA method and the solution expression for carrier phase ambiguity in single epoch also be derived. This method uses the prior information of coordinates and carrier phase ambiguity to improve the ill-condition of the normal equation and the solution accuracy of floating ambiguity, which is helpful for the fast integer ambiguity solution. Two long baselines (266 km and 456 km) measured data were used to verify. Compared with the traditional method, the ambiguity fixed rate of the improved method was increased by 28.8%. When the amplification factor $c=0$, the generalized damped LAMBDA method was equivalent to the traditional damped LAMBDA method. Four long baseline real-time data streams from the Australian continuous operation reference system (CORS) network were selected for testing. The experimental results show that multi-system real-time positioning accuracy was better than 2 cm in the horizontal direction and 4 cm in the elevation direction with a baseline length of less than 1 000 km. The generalized damped LAMBDA method has certain application reference value for long baseline real-time positioning.

Keywords: generalized damped LAMBDA; ambiguity resolution; long baseline; real-time positioning