

不同随机模型在 GPS 单历元变形解算中的应用研究

邱卫宁^{1,2}, 齐公玉³, 邹进贵^{1,2}, 姚波⁴

(1. 武汉大学 测绘学院, 湖北 武汉 430079; 2. 武汉大学 灾害监测与防治研究中心, 湖北 武汉 430079;
3. 深圳市远东华强导航定位有限公司(河北分公司), 河北 石家庄 050200; 4. 冀中能源
邢东煤矿, 河北 邢台 054000)

Research on Different Stochastic Model in GPS Single Epoch Deformation Monitoring

QIU Weining, QI Gongyu, ZOU Jingui, YAO Bo

摘要: 针对单历元数据量少、结构不稳定等特点, 为尽可能地使 GPS 单历元变形计算更加准确, 将不同的随机模型应用到数据处理中, 分析比较各种模型处理的结果, 得出较有效的随机模型。为进一步提高 GPS 单历元变形解算精度提供了理论基础。

关键词: 随机模型; GPS; 单历元; 变形

一、引言

目前 GPS 数据处理多采用双差观测模型进行求解, 并假设不同卫星具有相同精度且相互独立, 然后通过误差传播定律得到观测值组合的方差-协方差阵。而对于单历元中的各卫星, 由于观测环境不同, 因此观测值之间存在一定的相关性。如果按常规的等权处理, 得出的最小二乘解将不再是无偏的。随着 GPS 技术的不断发展, 对 GPS 成果的实时性、动态性、高效性和可靠性要求越来越高, 各种有效的、实用的函数模型不断涌现^[1]。然而, 随着研究的深入, 研究人员越来越多地发现在函数模型建模已逐渐走向成熟的情况下, 若想更大程度上实现对 GPS 精度水平的突破, 必须借助随机模型。而 GPS 系统存在很多系统误差, 为确保设计矩阵的强度, 即使在计算过程中采用差分技术, 各种误差也不可能完全被消除。因此, 为进一步提高 GPS 处理成果的精度和可靠性, 须通过随机模型对差分残余的系统误差和噪声进行处理。

对于变形迅速的变形体, 需要实时解算其变形才能准确地掌握其变形规律, 因此需要对 GPS 单历元数据进行实时处理。单历元的数据结构不稳定, 容易受到各种因素的影响, 而变形对精度又有很高的要求。因此, 研究有效的随机模型, 对单历元 GPS 变形解算具有重要的理论意义。

二、GPS 单历元变形解算的数学模型

GPS 信号在传播的过程中需要穿过对流层和电离层, 在传播中不可避免地受到对流层、电离层、多路径、接收机钟差与卫星钟差的影响, 产生各种误差。考虑到各种影响, 载波相位观测方程可以写为

$$\lambda\varphi = \rho + c(dt - dT) - \lambda N - d_{ion} + d_{trop} + M + \varepsilon \quad (1)$$

式中 φ 为载波相位观测值; ρ 为实际的卫地距离; dt 为接收机钟差; dT 为卫星钟差; d_{ion} 为电离层引起的距离误差; d_{trop} 为对流层引起的距离误差; M 为多路径误差; ε 为观测噪声。通过线性化, 采用双差模式, 得出最小二乘函数模型

$$V = AX + BN - L \quad (2)$$

式中 L 为常数项; X 为 $[dx, dy, dz]^T$; N 为模糊度参数。当监测点变形前的坐标准确已知, 如果能够求解出整周模糊度, 其他误差根据各种模型进行修正, 则只需要观测 4 颗以上卫星即可求解出监测点的变形值。

一般高精度的变形监测中, 采用的基线较短, 模糊度可以通过其他方法进行求解, 如徐绍铨提出的似单差法; 陈永奇提出的宽巷组合法; 王新洲提出的 DC 算法等。这些方法从其他已知条件确定模糊度, 因此模糊度可以作为已知值进行处理, 此时变形值可以表示为

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (3)$$

式中 $l = L - BN$ 。从式(3)可以看出, 观测值随机模型 P 的选择对未知参数的解算结果有着直接的影

收稿日期: 2010-09-26; 修回日期: 2011-03-24

基金项目: 国土资源大调查项目(1212010914015); 国家自然科学基金资助项目(41074025)

作者简介: 邱卫宁(1956—), 女, 湖北武汉人, 教授, 主要从事数据处理方法研究工作。

响。因此需要对 P 的选择方法进行讨论与研究。

三、几种常用的观测随机模型

常用的非差观测模型主要有等权模型、高度角定权模型、信噪比定权模型和验后方差模型^[2]。等权模型一般不符合实际,验后方差不利于实时解算,而高度角的信息和信噪比都能从观测文件中得到,在良好的观测条件下,高度角和信噪比均能从一定程度上反映观测值的质量。因此,在实时动态解算中,使用高度角和信噪比确定随机模型是合理的。常用的模型公式如下。

1. 高度角指数模型

Han 和 Banres 研究了伪距和载波相位观测值质量与高度角之间的关系。认为观测值精度与卫星高度角之间可以用指数函数表示

$$\sigma = \sigma_0 (1 + a e^{-\varepsilon(t)/\varepsilon_0}) \quad (4)$$

式中 σ 为观测值在历元 t 时的标准差; σ_0 为观测值在天顶方向的标准差; a 为放大因子; $\varepsilon(t)$ 为卫星在 t 历元的高度角; ε_0 为参考卫星高度角。Han 给出参考值如表 1 所示。

表 1 指数模型的参考值

| 观测类型 | a/mm | $\varepsilon_0/(\text{°})$ |
|------|---------------|----------------------------|
| 伪距 | 8.666 667 | 20 |
| 载波相位 | 8.571 429 | 20 |

2. 高度角的三角函数模型

$$\sigma = \frac{1}{\sin E} \quad (5)$$

式中 σ 为观测值中误差; E 为卫星高度角。

3. 信噪比模型

利用接收机获得的信噪比信息,可建立如下随机模型

$$\sigma^2 = C_i 10^{-(C/N_0)/10} \quad (6)$$

式中 σ 为观测值中误差; C/N_0 为信噪比; C_i 为常

数项。Brunner 给出的参考值为 $1.61 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$ 。

文献[1]中指出,信噪比信息本身存在不确定性,而高度角模型和信噪比模型均是经验模型,其可靠程度取决于数据的质量,因此很难客观地反映未建模残差的特性。因此本文从各改正模型的公式出发,进行合理的改进,得出更加符合实际的随机模型计算公式。

四、本文提出的随机模型

一般情况下电离层延迟的实用公式可以表示为

$$T'_g = (1/\cos Z) \cdot T_g = (1/\sin E) \cdot T_g \quad (7)$$

对流层延迟的改正模型有多种,本文以 Hopfield 模型为例进行分析, Hopfield 模型的计算公式为

$$\Delta\rho = \Delta\rho_d + \Delta\rho_w = \frac{k_d}{\sin(E^2 + 6.25)^{0.5}} + \frac{k_w}{\sin(E^2 + 2.25)^{0.5}} \quad (8)$$

式中 k_d 、 k_w 均可根据气象参数计算得到。

从式(7)和式(8)可以看出,电离层延迟和对流层延迟都受到高度角的影响。此外,高度角同样会影响多路径误差的大小。因此高度角越大,则权值应该越大。本文根据式(7)和式(8)适当地调整式(5)中的函数,以使高度角的影响更大,因此得出本文使用的高度角定权公式为

$$\sigma = \frac{1}{\tan E} \quad (9)$$

五、数据验证

为了验证本文高度角定权法的有效性,选用一组数据分别使用非差模型的等权随机模型、高度角的 $\sin(\)$ 函数模型和本文的 $\tan(\)$ 函数模型进行求解。比较计算结果,得出更有效的随机模型。取 2009 年某次静态观测数据进行计算,结果如表 2 所示,表中 dX 、 dY 、 dZ 为 3 个方向与真值的差值。

表 2 不同随机模型的计算结果

| 历元 编号 | 等权法 | | | sin() 模型 | | | tan() 模型 | | |
|----------|--------|---------|--------|-----------|---------|--------|-----------|--------|--------|
| | dX | dY | dZ | dX | dY | dZ | dX | dY | dZ |
| 1 | 7.262 | 1.360 | 3.011 | 6.684 | -2.269 | 2.149 | 6.501 | 0.208 | -1.424 |
| 2 | 9.298 | -2.617 | 5.577 | 8.327 | -2.281 | 4.438 | 8.274 | 0.821 | 4.350 |
| 3 | 6.418 | -6.979 | -3.984 | 6.260 | -5.990 | -3.975 | 7.108 | -2.441 | -3.313 |
| 4 | 10.346 | -8.042 | -3.895 | 9.507 | -7.381 | -3.477 | 9.402 | -6.485 | -2.986 |
| 5 | 9.537 | -13.059 | -3.684 | 9.028 | -12.343 | -3.539 | 8.914 | -7.721 | -3.198 |
| 6 | 7.074 | -8.782 | -6.064 | 6.583 | -12.727 | -6.478 | 6.448 | -7.928 | -6.492 |
| 7 | 8.578 | -10.751 | -3.031 | 7.945 | -10.045 | -3.149 | 7.834 | -8.403 | -2.418 |
| 8 | 7.219 | -10.477 | -2.680 | 6.445 | -4.985 | -2.203 | 6.369 | -4.498 | -1.846 |
| 9 | 9.774 | -8.935 | -5.318 | 8.776 | -8.625 | -4.956 | 8.728 | -4.802 | -4.471 |
| 10 | 8.257 | -8.819 | -4.804 | 7.267 | -4.614 | -4.195 | 7.220 | -4.310 | -3.663 |

图1是3种随机模型根据各历元3个方向的误差算得的点位误差绘制的曲线,虚线和点划线分别是由等权法和 $\sin()$ 模型所得;实线为本文提出的 $\tan()$ 模型所得。

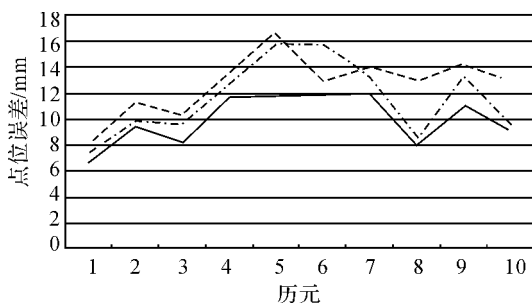


图1 不同随机模型的点位误差比较

从表2和图1中可以看出,两种高度角定权法均比等权法计算结果准确,而 $\tan()$ 模型比 $\sin()$ 模型的计算结果更加准确。因此从整体的结果可以看出,本文提出的 $\tan()$ 模型函数更有效。

六、结束语

变形量的求解正确与否关系到工程的安全,直接影响到人民群众的人身和财产安全。GPS单历元

变形结构稳定性差,受到随机模型的影响也较大,比较符合实际的随机模型可以进一步提高计算结果的精度。从数据的比较计算可以看出,使用本文提出的 $\tan()$ 随机模型得到的计算结果精度比较均匀,对GPS单历元变形解算精度的提高具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 徐锐. GPS 基线解算的质量控制与完整性监测[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [2] 孟黎. GPS 观测量随机模型的研究[D]. 桂林: 桂林工学院, 2008.
- [3] 刘志强, 黄张裕, 金建平. 利用卫星高度角和信噪比提高 GPS 定位精度的试验分析[J]. 测绘工程, 2008, 17(4): 54-58.
- [4] HAN S. Quality Control Issues Relating to Instantaneous Ambiguity Resolution for Real-time GPS Kinematics Positioning[J]. Journal of Geodesy, 1997(71): 351-361.
- [5] 李征航, 黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.
- [6] BRUNNER F K, HARTINGER H, TROYER L. GPS Signal Diffraction Modeling: The Stochastic SIGMA-d Model[J]. Journal of Geodesy, 1999(73): 259-267.

全国第二十三届海洋测绘综合性学术研讨会 暨纪念《海洋测绘》创刊30周年大会召开

【本刊讯】中国测绘学会海洋测绘专业委员会第二十三届海洋测绘综合性学术研讨会暨纪念《海洋测绘》创刊30周年大会于2011年9月9日至13日在湖南省长沙市召开。

会议由海洋测绘专业委员会和《海洋测绘》编辑部主办,由劳雷工业公司和美国Caris公司赞助。海洋测绘专业委员会主任、海司航保部副部长许春明致开幕词,总参测绘局局长翟跃欢、海军海洋测绘研究所政委裴莘、劳雷工业公司副总经理张劲宁分别致辞。海洋测绘专业委员会副主任、海军海洋测绘研究所总工欧阳永忠主持会议。来自国土资源部、交通运输部、水利部、中国科学院、高等院校、军队、测绘仪器厂商和军内外期刊出版界等系统的代表,共计200余人参加了会议。

本次会议共征集到文学类作品6篇、学术论文193篇,为历届之最。其中有181篇论文被收录入本届会议论文集,有20余篇论文和新产品信息在大会上进行了交流。宁津生院士、朱建军教授、吴美平教授等著名专家作了专题学术报告。内容涵盖了海洋重力测量、海洋磁力测量、海洋大地测量、海洋遥感、海洋地形地貌、多波束测深、GPS、GIS、卫星导航、数字海图研制与生产、海洋水文、海洋测绘标准规范以及测绘管理与教学等方面,基本反映了我国海洋测绘领域的理论研究、技术发展和实际应用的现状及水平。会上还对20余位获得“《海洋测绘》风采30年暨劳雷-Caris杯”优秀论文作者进行了颁奖。

会议期间还召开了第八届海洋测绘专业委员会第三次全体委员会议,40余位委员和代表共同研究和探讨了学会工作的特点、难点和要点以及下一步工作方案。

在研讨会同时,还召开了纪念《海洋测绘》创刊30周年座谈会,有46位《海洋测绘》编委、特邀代表和期刊出版单位领导参加了会议。代表们在肯定《海洋测绘》30年来取得的进步和成绩的同时,在努力提高论文质量、刊物核心竞争力和学术影响力以及办刊水平等方面进行了全面分析和深入探讨。

本次会议主题突出、内容丰富、气氛热烈、学术氛围浓厚,进一步扩大了海洋测绘专业委员会的感召力和《海洋测绘》期刊的影响力,达到了交流学术、促进合作、共创双赢和推动我国海洋测绘事业又好又快、科学发展的目的。

(蒋红燕 王克平)