

GPS 数据联合处理中天线自定义问题

吉长东^{1,2}, 徐爱功¹

(1. 辽宁工程技术大学 测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 山东省基础地理信息与数字化技术
重点实验室 山东 青岛 266510)

摘 要: 为了研究 GPS 数据联合处理, 采用自定义和工程实际相结合的方法, 在对 GPS 天线的几何相位中心、电学相位中心、物理相位中心和标志相位中心及其相互关系进行阐述的基础上, 根据 TGO 软件中天线定义格式定义了 Leica AT502 天线。用工程实际数据证明所提出自定义天线方法的完整性、准确性和可靠性。为 GPS 数据的联合处理提供了理论依据, 具有实际应用价值。

关键词: 天线自定义; GPS 数据联合处理; 相位中心; Leica AT502

中图分类号: P 237

文献标识码: A

Self-defined antenna in GPS data joint processing

JI Changdong^{1, 2}, XU Aigong¹

(1. College of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China ;

2. Key Laboratory of Geomatics and Digital Technology, Shandong Province, Qingdao 266510, China)

Abstract: In terms of GPS data joint processing, this study investigates Geometric Phase Center, the Electric Phase Center, Physical Phase Center, Nominal Phase Center in GPS antenna and their relationships. Based on the antenna form in TGO software, LEICA AT502 antenna is defined. The engineering practice proves that the technique developed for user-defined antenna is complete, accurate and reliable. The technique provides a theoretical basis and practical mean in GPS data joint processing.

Key words: user-defined antenna; GPS data joint processing; phase center; Leica AT502

0 引 言

GPS 在测绘领域的应用越来越广, 对于大规模 GPS 网建设很难实现完全同一型号的 GPS 接收机进行观测, 为此, 就存在不同品牌或同一品牌不同型号的 GPS 接收机的联合工作的问题。对多种型号 GPS 接收机观测数据的联合处理, 一般采用 RINEX 标准格式, 但是对于精密数据处理仍需要知道具体的天线型号。

徕卡公司的 LGO、天宝公司的 TGO 和泰雷斯的 GNSS 是三种常用的 GPS 数据处理软件。其中 LGO 和 GNSS 采用加密锁, TGO 是开放软件, 该软件具有功能强大、使用方便、自动化程度高和结果可靠等优点, 在测绘领域应用较广^[1]。本文在 TGO 软件中完成徕卡 GPS 接收机天线的自定义, 对于泰雷斯 GPS 接收机的天线自定义, 可作类似处理。探讨通过自定义天线来对 GPS 数据联合处

理的新途径, 经某地区 GPS 控制网改造工程实践, 证明了该方法的有效性、可行性和能够有效地避免由于天线相位中心改正的不同对定位精度的影响, 在保证数据处理精度的前提下可以大大地提高作业效率。

1 自定义天线原理

在 GPS 测量时, 观测值都是以接收机天线的相位中心位置为准的, 而天线的相位中心与其几何中心, 在理论上应保持一致。但是观测时天线的相位中心随着信号输入的强度和方向不同而有所变化, 这种差别叫天线相位中心的位置偏差, 这种偏差的影响可达数毫米至厘米^[2], 而如何减少相位中心的偏移对 GPS 定位结果的影响, 选择正确的天线类型是不同品牌或不同型号的 GPS 接收机观测数据联合处理至关重要的。

收稿日期: 2007-02-05

基金项目: 山东省基础地理信息与数字化技术重点实验室开放基金资助项目 (SD080702); 教育部博士学科专项科研基金项目资助 (20060417004); 辽宁省教育厅高等学校科学研究基金资助项目 (2008294); 辽宁工程技术大学地理空间信息技术与应用实验室基金资助项目 (2007008)。
作者简介: 吉长东 (1970-), 男, 辽宁 锦州人, 副教授, 博士研究生, 主要从事高精度 GNSS 数据处理教学和科研工作。本文编辑: 于永江

电学相位中心 (简称相位中心, EPC) 通常是 GPS 信号的实际观测的参考点, 一般有两个, 即 L_1 和 L_2 的电学相位中心, 那么 L_1 和 L_2 电学相位中心可以定义为一个空间的理论点, 即 L_1 载波固定, 同时接收 L_2 载波的平均点, 由于接收信号的实际位置是 GPS 信号入射角的函数, 因此, 天线的电学相位中心并不是固定在相同的点, 随着卫星信号高度角的变化而变化, 必须用平均值来确定^[3-4]。

天线物理相位中心 (也称几何相位中心, PPC) 通常位于天线内部的芯片上, 由于不便于量测, 一般要通过天线标志中心来实现, 所谓的天线的标志中心就是在 GPS 天线外部设置一个天线高的量取位置, 它既不是电学相位中心, 也不是在物理相位中心, 而这个位置所对应的中心称为天线标志中心, 其与物理相位中心是一致的^[5-6]。

天线参考点 (ARP) 定义为 GPS 天线上能被实际测量的物理点, 通常位于天线座的底部 (BA) 和通常是指前置放大器的底部。对不同类型的天线而言, ARP 一般是不同的, 但其很少位于天线的扼流圈上, GPS 数据处理中, 一定要注意 ARP、斜高或其它仪器高的测量方式之间的差别^[7]。

天线物理相位中心偏差是量测到天线外部的已知点 (通常是天线底部)。GPS 天线高是从地面点的测量标志到天线参考点 (ARP) 之间的垂直距离。

由于 GPS 天线本身的特性, 其电学相位中心与物理相位中心一般不一致, 不仅在北、东和高程三个方向存在一个固定的偏差 (北和东方向一般比较小, 高程方向比较大), 同时, 电学相位中心与卫星的高度角、方位角、信号的强度和站星间的几何距离有关, 随着它们的变化而变化, 因此, GPS 联合数据处理和高精度的 GPS 测量, 天线偏差和相位中心改正必须考虑进去。

在自定义天线时, 必须明确天线的物理相位中心、电学相位中心、几何相位中心、天线标志中心、天线参考点及其相互关系, 如图 1。

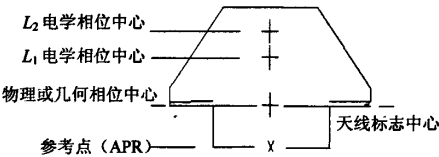


图 1 GPS 天线中心与参考点间的关系
Fig.1 center and reference points of the antenna

2 自定义天线

用 TGO 软件处理不同品牌 GPS 接收机数据时, 必须到 Trimble 网站下载最新的配置文件 (Configuration), 如果你所用的天线类型在软件中不存在, 采用下述过程可在 TGO 软件中创建一个自定义天线。

在 TGO 中自定义天线包括两项工作: 一是创建一个相位中心变化文件, 由 L_1 和 L_2 天线相位中心偏差 (phase center offsets) 和相位中心随卫星高度角变化的改变量; 二是修改 “antenna.ini” 文件, 其中天线高的参考点是天线的相位中心。可通过修改已有相位中心变化文件来创建天线相位中心变化文件, 文件中的相位中心偏差和相位中心改变量可到 NGS 和 IGS 网站下载, 需要注意 NGS 和 IGS 所发布的文件格式相同, 但与 TGO 软件天线的配置文件格式不同, 差别是天线电学相位中心的参考点和高度角变化所引起的改变量的次序不同。NGS 或 IGS 格式的天线相位中心偏差是从天线的参考点算起的, 而 TGO 格式的天线相位中心偏差是以物理天线相位中心作起算点。

下面以 Leica AT502 天线为例说明天线相位中心变化的差别, 对于 Leica AT502 天线, Trimble 版本的天线相位中心变化文件 (命名为 lat502.ngs) 显示 L_1 的电学相位中心在物理相位中心上 16.2mm, 而 L_2 电学相位中心在物理相位中心之上 19.8mm, 文件格式如下:

```
; LEI AT502 Aero element L1/L2, External
NGS (2) 99/06/14

; Mean phase center (mm) North East Up
L1 Nominal Offset = 0.3 2.0 16.2
L2 Nominal Offset = -1.4 1.8 19.8

; Elevation range (deg) Start Stop Step
Elevation Range = 5 90 5

; Azimuth step size (deg)
Azimuth Step = 0

; Asimuth/elevation corrections (mm)
AZ=0

; L1
0.0, 0.3, 3.3, 5.5, 7.1, 8.3, 8.9, 9.1, 9.1, 8.8, 8.2,
7.4, 6.4, 5.3, 4.2, 2.9, 1.5, 0.0

; L2
0.0,-4.6,-2.7,-1.1, 0.5, 1.6, 2.4, 2.8, 2.9, 2.6, 2.0,
1.1, 0.3,-0.6, -1.3,-1.5,-1.2, 0.0
```

对相同类型的天线, NGS 版本的天线相位中心变化文件显示 L_1 的电学相位中心是在参考点之上 61.8mm, 而 L_2 的电学相位中心是在参考点之上 65.4mm, 文件格式为:

```
LEI AT502 Aero element L1/L2, External
NGS (2) 99/06/14
      0.3      2.0      61.8
0.0, 1.5, 2.9, 4.2, 5.3, 6.4, 7.4, 8.2, 8.8,
9.1, 9.1, 8.9, 8.3, 7.1, 5.5, 3.3, 0.3, 0.0, 0.0
      -1.4      1.8      65.4
```

```
0.0, -1.2, -1.5, -1.3, -0.6, 0.3, 1.1, 2.0, 2.6,
2.9, 2.8, 2.4, 1.6, 0.5, -1.1, -2.7, -4.6, 0.0, 0.0
```

可以看出在两种版本天线相位中心变化文件中, 北和东方向的偏差是相同的, 随着卫星高度角的变化天线的电学相位中心的变化值, NGS 版本的高度角是从 90° 到 0° , 步长以 5° 递减, 而 Trimble 版本的高度角是从 0° 到 90° , 步长以 5° 递增, 数值的大小是相同的, 但顺序相反。

根据 TGO 软件中的 “antenna.ini” 文件以及天线相位中心变化文件中所定义的天线参考点和天线的物理相位中心之间的关系可知, 增加一种新的天线类型, 需要在 “antenna.ini” 文件的 [RINEX] 部分添加一行指令, 对于 Leica AT502 天线记作: Ant55=LEI AT502, 0, default=0, 其中 LEI AT502 是关键词, An55 是接着上边 Ant54 的连续编号, default=0 则表示默认量测方法。

下面给出自定义天线完整的选项, 实际应用中只需把有说明的行定义完整即可, 无需定义全部选项。

[LEI AT502]: 关键词, 必须与 [RINEX] 部分填充的 “LEI AT502” 一致。

Name=Leica AT502: 键入名, 右边的 “Leica AT502”, 是在 TGO 的下拉菜单中出现的名字。

Manufacturer=Leica: 天线制造商。

Class=Survey: 天线所在的天线组 (包括 Survey, Mapping, Positioning, Machine Control and Ag.), 任何来自 CORS 的天线都属于 Survey 组。

PartNumber=: 天线序列号。

CharCode=L6: 是由 2 个字符的字母和数字组合而成的, 且编码必须唯一, 可以用在 trimble 的二进制 DAT 文件和 RTK 测量中的 CMR 形式的数据传输。

Type=65: 键入号码, 根据最后一个 “Type=64”, 加 1 即可。

MeasMethod0=0.000 00, 0.045 60, 0.00000, “Bottom of antenna mount”: 天线的量高方法, 是物理相位中

心到天线高测量点之间的垂直距离, 一个天线可有多种量高方法, 第一种方法是 0, 以后依次递增 1; 紧跟着是第一个数值是天线半径或天线盘的边缘 (对应的是斜高); 第二个数值是垂直测量使用, 是从参考点到 L_1 物理相位中心的偏差; 第三个数值是 4000 ST 内部天线的卷尺改正因子, 对于其它所有天线, 该值设为零。

RINEXMethod=0: 一种量测方法, 用于 RINEX 格式的转换。

RINEXName=LEIAT502: RINEX 格式文件头中的天线名称, 长度必须小于 20 个字符, 导入 RINEX 文件时, 使用该名称从数据库中选择天线。

RINEXName=LEI AT502

RINEXName=LEICA AT502

PhaseCorrTable=

NGSCorrTable=lat502.ngs: 只与高度角有关的相位改正表文件。

Freq=2: 其中 2 是双频, 若单频则是 1。

GraphicsFile=Leica_AT502.jpg: 天线的图片文件^[8]。

3 自定义天线的验证

Leica AT502 天线的物理相位中心在 ARP 上 0.045 60 m (见 antenna.ini), Trimble 格式的相位中心偏差是 0.016 2 m (lat502.ngs), 于是 ARP 到电学相位中心之间的距离 (NGS PCV) 为 ARP 到物理相位中心的距离加上物理相位中心到电学相位中心的距离, 即: $0.045\ 60 + 0.016\ 20 = 0.061\ 80\text{m}$, 见图 1。

天线相位中心偏差包括北、东和高程三个方向的分量, 但是天线模型的影响主要体现在椭球高 (大地高), 可以通过固定 L_1 、 L_2 和 L_3 分别解算基线, 这样测试 L_1 和 L_2 相位中心偏差有三种解算方式, L_3 解算是组合 L_1 和 L_2 观测值, 并能提供进一步的确认。验证采用的是某工程 GPS 网中的一个点, 用 GAMIT 软件结合 TFORM 工具处理 24 h 的观测数据获得该点准确的大地高是 114.400 m。而用 TGO 处理结果如表 1, 通过比较椭球高, 说明新定义的天线类型正确而有效^[9-11]。

表 1 测试结果较差 单位: m

Tab.1 difference of test results unit: m

基线解算类型	椭球高	真值	较差
L_1 固定	114.401	114.400	0.001
L_2 固定	114.402	114.400	0.002
L_3 固定	114.399	114.400	-0.001

4 结 论

在多种 GPS 接收机观测数据联合处理中,准确的天线定义对保证成果的精度和提高作业效率是至关重要,同时 GPS 接收机的硬件更新速度很快,很容易出现后处理软件中天线未知的情况,为此,研究天线自定义有着实际的意义,通过研究得出如下几点结论:

(1) 探讨了相位中心、物理相位中心 (PPC)、电学相位中心 (EPC)、几何相位中心、天线标志中心和参考点 (ARP) 及其关系,为天线的自定义奠定了坚实的基础。

(2) IGS、NGS 天线格式与 Trimble 主要差别是天线相位中心偏差起算点的不同。

(3) 以 Leica AT502 天线为例,给出了完整的自定义过程,并用某工程 GPS 网中的一个点的大地高作验证,证明了结果可靠,可以推广到其它后处理软件中对未知的天线进行子定义和具体的工程实践中。

参考文献:

[1] 张述清.全球定位系统的数据处理系统-TGO 功能扩展应用[J].测绘

通报,2006(10):36-38

[2] 寇艳红.GPS 原理与应用(第二版)[M].北京:电子工业出版社,2007.

[3] 杨社年,王迎节.卫星导航接收天线相位中心的测量[J].无线电工程,2006,36(5):33-35.

[4] 刘志超,李征航.GPS 接收机天线相位中心与几何中心不重合对基线解算的影响[J].测绘信息与工程,1997(2):10-13.

[5] 高伟,晏磊,徐绍铨,姜玉祥.GPS 天线相位中心偏差对 GPS 高程的影响及改正研究[J].仪器仪表学报,2007,28(9):2052-2057.

[6] 郭际明,史俊波,汪伟.天线相位中心偏移和变化对高精度 GPS 数据处理的影响[J].武汉大学学报:信息科学版,2007,32(12):1143-1146

[7] 鲁雪松,陈义.GPS 接收机噪声对天线相位中心检测的影响分析[J].测绘工程,2003,12(3):29-30.

[8] Documentation for the Trimble Total Control™ Release 2.73[EB/OL].
http://www.hydroнав.com/images/landsurvey/pdf/TotalControlTN.pdf, 2007.

[9] 尚军平,傅德民,邓颖波.天线相位中心的精确测量方法研究[J].西安电子科技大学学报,2008,24(04):354-356.

[10] 徐绍铨,高伟,耿涛等. GPS 天线相位中心垂直方向偏差的研究[J].铁道勘察,2004(3):6-8.

[11] 陈 峰;麻凤海.数理统计在 GPS 成果质量检验中的应用[J].辽宁工程技术大学学报,2007,26(S2):11-15

~~~~~

※※※※※※※※

※ 待发表文章 ※

※ 摘要预报 ※

※※※※※※※※

## 基于遗传算法的 GPS 病态方程的解算

郭秋英<sup>1</sup>, 徐遵义<sup>2</sup>

(1. 山东建筑大学 土木工程学院; 2. 山东建筑大学 计算机科学与技术学院, 山东 济南 250101)

**摘 要:**为准确解算仅有少数几个历元的 GPS 载波相位观测数据的病态定位方程,将 GPS 快速定位的病态方程求解问题转化为一个函数优化问题,应用遗传算法求解病态方程,避免了法方程的求逆运算,从而可以得到参数的近似最优解。实验表明,通过设计合适的适应度函数、确定合理的初始种群范围并选择合适的遗传算法运行参数,可使 GPS 快速定位病态方程参数浮点解的精度得到大大提高,接近参数正确值,有利于快速固定模糊度。该成果对于缩短 GPS 定位时间、提高 GPS 定位精度具有一定的意义。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训：

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们：

- ※ 易迪拓培训官网：<http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网：<http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店：<http://shop36920890.taobao.com>