

# 基于高精度定位天线相位中心偏差的分析

乐四海, 王 强, 张向征

(中国人民解放军 61081 部队, 北京 100094)

**摘 要** 在卫星导航定位测量中, 天线相位中心的偏差对相对定位结果的影响, 根据天线性能的好坏可达数十毫米, 对于准确度要求非常高的测量来说, 这种影响是不能忽视的。通过天线相位的测量, 找出使用频点相位中心的物理位置, 从而提高测量准确度, 是卫星导航定位测量中迫切需要解决的问题。从影响 GPS 高精度定位误差源的分析出发, 在对 GPS 接收天线相位中心误差分析的基础上, 提出了一种基于类似整周模糊度搜索策略和测量值平差的思想来消除高精度定位天线相位中心偏差, 从而得到接收机天线真实位置, 并通过实测数据和仿真说明了这种效果。

**关键词** 天线; 相位中心; 模糊度; 平差

中图分类号 TN967.1

文献标识码 A

文章编号 1003-3106(2010)05-0030-03

## Analysis on Antenna Phase Center Deviation Based on High-precision Positioning

YUE Si-hai, WANG Qiang, ZHANG Xiang-zheng

(The Unite 61081 of PLA, Beijing 100094, China)

**Abstract** During the measurement of satellite navigation positioning, the antenna phase center deviation affects the result of relative positioning, reaching to ten millimeter according to antenna performance. The influence can't be ignored for high-precision measurement. By measuring antenna phase, we can find physic position of phase center using frequency points and then improving the accuracy of measurement. It is urgent to resolve the problem of measurement in satellite navigation positioning. This paper analyzes the error-source which influences GPS high precision positioning. On the base of the antenna phase center error analysis of GPS, an idea based on integer ambiguity searching tactic and even-difference of measurement value is exerted to eliminate antenna phase center deviation in order to find the true location of antenna. The results of simulation show that this method is feasible.

**Key words** antenna; phase center; ambiguity; even-difference

## 0 引言

目前全球已经运营或在建的卫星导航系统有美国的 GPS 系统、俄罗斯的 GLONASS 系统和欧洲的伽利略系统, 它们均属于被动定位系统, 通过接收 4 颗卫星信号解算出用户位置信息。卫星导航精密测量技术已经广泛应用于经济建设和科学技术的诸多领域, 尤其是大地测量学及其相关学科领域, 包括地球动力学、海洋大地测量学、天文学、地球物理勘探、资源勘探、工程测量与工程变形监测等。测量型天线作为高精度卫星导航接收机的重要组成部分, 其性能如何直接关系到卫星导航接收机测量精度的大小, 而天线的相位中心变化、时钟误差、位置误差和多径效应是高精度卫星导航测量系统中的显著误差源。

## 1 天线相位中心及常用测量方法

### 1.1 天线相位中心

天线的相位中心是其等效辐射中心。理想天线

存在唯一的相位中心, 其等相面为球面, 因此接收不同方向的卫星信号时不会因为天线本身产生额外的相位差而造成定位测量结果的偏差。然而在整个波束空间存在唯一相位中心的天线实际上是不多的, 绝大部分天线在整个波束空间不存在唯一的相位中心, 只在主瓣某一范围内相位保持相对恒定。此时接收天线在接收不同方向的卫星信号时会引入额外的相位差异, 从而产生定位测量误差。卫星导航领域更为关注天线相位中心变化对定位测量结果的影响, 为了描述天线相位中心变化, 需要引入平均相位中心和相位中心偏移量的概念。平均相位中心的含义为: 整个天线波束空间内的实际等相面如果用一个理想等相球面来拟合, 拟合残差的平方和最小, 则拟合球面的球心即为天线的平均相位中心。平均相位中心与天线参考点的偏移称为相位中心偏移量, 实际等相面与拟合球面的偏移称为相位中心变化量。

接收机天线相位中心既非天线几何中心, 也不

收稿日期: 2010-02-03

是一个稳定的点,而是与入射信号仰角、方位角、信号频率和天线形式有关。卫星导航接收机的观测量是以天线的相位中心为基准的,而在作业时,天线的安置却是以其几何中心为准。观测时天线的相位中心与其几何中心并不一致,这会给测量引入误差。与仰角有关的相位中心变化,主要造成相对高程测量上的误差和测站间基线的尺度误差,而与方位角相关的相位中心变化则会导致水平位置的误差。根据天线相位中心稳定性的好坏,这种误差为数毫米到数厘米。对于伪码测距定位来说,这种误差远小于定位精度,可以忽略不计,但是对于采用载波相位测量的精密相对定位而言,这种误差是不容忽视的。

1.2 天线相位中心的测量方法

卫星导航接收天线相位中心的测量可定义为室内测量法和室外测量法。

室内测量法采用微波暗室的环境条件,通过矢量网络分析仪测量天线接收信号的相位与参考通道信号相位之比来测定天线的相位中心,测试原理框图如图 1 所示。

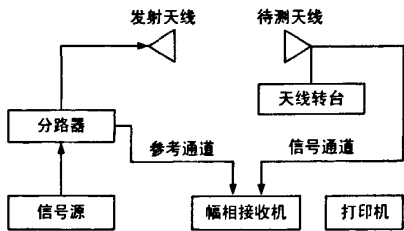


图 1 室内测量法原理

室内测量的优点是:① 不受时间、室外环境的影响,随时都可以对测量环境进行复现,测量重复性、复现性好;② 测量准确度高,特别适用于实验室检测和天线生产厂对天线定时时的检测。

天线相位中心误差检测示意图。如图 2 所示。

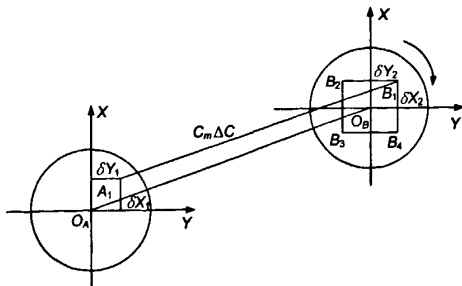


图 2 天线相位中心误差检测示意图

室外测量法是利用实际导航卫星信号对天线相位中心进行测量,即在超短基线或短基线上先将 2 台 GPS 接收机及其天线分别安置在基线的 2 个基

线点上,精确对中和整平,按统一约定的方向指向北,观测一个时段(1.5 h),此为第 1 个观测时段;之后,固定 1 个天线(见图 2,简称 A 天线)不动,另外一个天线(见图 2,简称 B 天线)依次转动 90°、180°、270°,观测 3 个时段;然后 B 不动,原固定的 A 天线依次旋转 90°、180°、270°,再观测 3 个时段,求出各个时段的基线值,利用最小二乘法求出天线相位中心误差。室外测量法具有操作简单、方便、成本低等特点,已被广泛采用。室外测量法复现性差,测量准确度也远不及室内测量法。2 种测量方法测量原理不同,但各有其特点,可根据不同的需要以及测量准确度和测量条件的不同,来选定适合的测量方法。

1.3 天线相位中心偏差分析

天线位置偏差示意图如图 3 所示。

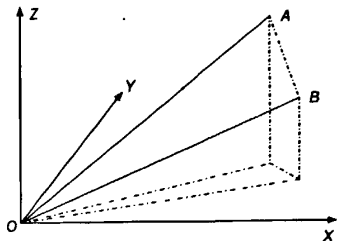


图 3 天线位置偏差示意图

设天线的测量位置为 A,实际相位中心为 B。接收机位于坐标原点 O 处。不考虑其他因素影响,伪距观测方程为:

$$[(X_s - X)^2 + (Y_s - Y)^2 + (Z_s - Z)^2]^{1/2} = \rho_0$$

将其在观测点近似坐标处用级数展开,可得线性化的观测方程为:

$$l_i dX + m_i dY + n_i dZ = \rho_0$$

式中,  $l_i = \frac{X_s - X_0}{\rho_0}$ ;  $m_i = \frac{Y_s - Y_0}{\rho_0}$ ;  $n_i = \frac{Z_s - Z_0}{\rho_0}$ 。

若由于接收机天线的位置误差及相位中心偏差而使  $\rho_0$  有了增量  $d\rho$ ,由此引起的接收机坐标误差为  $(\delta_X, \delta_Y, \delta_Z)$ ,则它们之间存在下列关系:

$$l_i \delta_X + m_i \delta_Y + n_i \delta_Z = d\rho$$

上式表明,接收机位置误差在接收机至发射机方向上影响接收机坐标。影响的大小取决于  $d\rho$  的大小以及接收机与发射机之间连线夹角。

1.4 天线相位偏差对高精度定位影响

为了说明天线相位偏差对高精度定位结果的影响,下面进行如下实验验证,即对同一台 GPS 接收机,采用室外测量法测出天线相位中心后的定位结果(如图 4)与未进行天线相位中心测试的定位结果

(如图5)进行比较。结果表明:经过天线相位中心校准接收机的定位结果(0 m)明显优于未经校准同一接收机的定位结果(-0.3 m)。

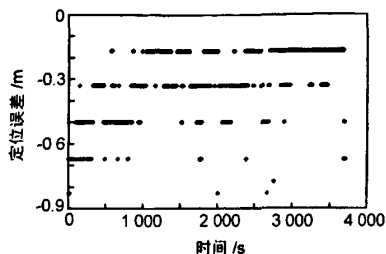


图4 未测出相位中心定位结果

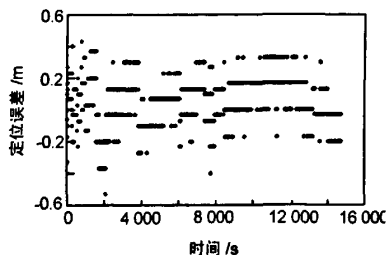


图5 测出天线相位中心定位结果

## 2 天线相位中心偏差算法和仿真

为了进一步说明相位中心和几何中心偏差对定位结果的影响,采用类似整周模糊度搜索及测量值平差的算法仿真得到接收天线真实位置。

通过在微波暗室对接收天线进行旋转和倾斜,可以采样不同方位角和仰角下的多个校正点,很好地覆盖天线上半球面的相位方向图;校正点坐标可通过光学照相机获得,并视其为真实值,在每一个校正点,接收机停留一段时间进行静态测量,将观测量平均以消除相位噪声的影响。对于所有的校正点观测量,经过一定的观测时间累积后,可以通过曲线拟合等手段去除噪声干扰,得到一个固定测量值  $\varphi_i$ ,其中包含了各种误差项,但各个误差项均不会发生变化。取接收天线测量值作为原始值,求出发射机与接收机间距离值  $\rho_i$ ,将此距离值  $\rho_i$  与观测量  $\varphi_i$  相减,得到观测残差  $\Delta\varphi_i$ ,并求出残差平方和  $\Delta\varphi$ 。以天线原始值为圆心,适当长度(取决于对误差值的估计)为半径作球体,建立天线相位中心真实值的搜索空间,在此空间里不断取值,重复上述步骤得到残差平方和  $\Delta\varphi$ ,可以从搜索空间中找到使残差平方和  $\Delta\varphi$  最小的一个值,这个值即为天线的实际相位中心。在搜索过程中,可以采取将球体分块的办法来减小运算量。

依据上面的分析,对算法进行仿真。在接收机运动平面取 25 个坐标已知点,将增加了噪声的仿真

观测数据作为固定测量值  $\varphi_i$ ,改变发射机坐标,得到观测残差的平方和  $\Delta\varphi$ 。仿真结果如图6所示。

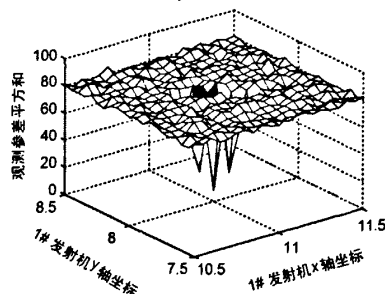


图6 对天线相位中心位置估计的仿真结果

为图形显示方便起见,仿真中只对接收机的  $x$  轴、 $y$  轴组成的空间进行搜索。从图6中可以看到,在产生仿真观测数据的(11,8)坐标处,得到了观测残差的平方和  $\Delta\varphi$  最小值。该算法的分辨精度取决于接收载波的精度,仿真观测数据中加入了均值为0、均方差为  $\pm 0.04$  周(0.8 cm)的随机噪声,对位置估算的仿真表明,在  $x$  轴方向分辨精度为0.2 cm,  $y$  轴方向的分辨精度为0.3 cm。另外,在每个测量点的接收机位置偏差也会对结果产生影响。

该算法采用观测值平差的办法来估计接收天线的实际相位中心位置,由于测量中还受到接收天线的位置和相位中心偏差、通道不一致性误差等影响,最后解算出来的接收天线相位中心位置和实际的位置反而会有偏差,但是,这种偏差对最终的定位解算是有益的。

## 3 结束语

在卫星导航定位测量中,天线相位中心的偏差对相对定位结果的影响,根据天线性能的好坏可达数毫米至十几毫米。对于准确度要求非常高的测量来说,这种影响是不能忽视的。针对高精度定位接收天线相位中心的偏差进行了分析,通过天线相位测量数据的估算和仿真,找出在卫星导航使用频点相位中心的物理位置,从而提高测量准确度。✚

### 参考文献

- [1] 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,1997.
- [2] 魏子卿,葛茂荣.GPS相对定位的数学模型[M].测绘出版社,1998.
- [3] 殷海涛,熊永良.GPS测量中多路径效应的研究[J].铁路航测,2003(3):12-14.
- [4] 王晓强.GPS测量中多路径误差的影响[J].地壳形变与地震,2000,20(1):56-59.

### 作者简介

乐四海 男,(1974-),中国人民解放军61081部队工程师。主要研究方向:卫星导航。

## 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>