

A Surveying Method of Muti-Function Corner Reflector for SAR Antenna

Jiuyang Liu, Tieli Yang, Xin Guo

School of civil Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan Liaoning
Email: 1484474658@qq.com, yangtieli@126.com, 945042141@qq.com

Received: Jan. 7th, 2016; accepted: Jan. 23rd, 2016; published: Jan. 29th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

SAR (Synthetic Aperture Radar) is a relatively new method of measurement. It can be used in every day and every time of the daytime, and so on and it has been well applied in all kinds of aspects. For SAR, it is very important to measure the accuracy of the calibration. The positioning principle of the muti-function corner reflector is described in this paper, precision positioning measurement method under two conditions: horizontally placed field setting and zenith placed calibration field standard setting is also studied. Besides, we also measure the method of MYS vertex coordinates, and obtain good effects, which could be a reference for other people..

Keywords

Calibration, Corner Reflector, Measurement, Precise Positioning

一种标定阵列天线的多功能角反射器测量方案

刘九阳, 杨铁利, 郭鑫

辽宁科技大学土木工程学院, 辽宁 鞍山
Email: 1484474658@qq.com, yangtieli@126.com, 945042141@qq.com

收稿日期: 2016年1月7日; 录用日期: 2016年1月23日; 发布日期: 2016年1月29日

摘要

SAR (雷达干涉测量)是现在较为新的测量方法, 其具有全天性、全天时等测量特点, 已经很好的应用在

各个方面。对于SAR，反射角的标定测量精度是非常重要的。本文阐述角反射器的定位原理，对室外标定时水平放置、检校场标定时天顶放置两种状态下的精密定位测量方案进行研究，研究其测量顶点内角坐标的方法，并得到很好的效果，对其他人员起到借鉴作用。

关键词

标定，角反射器，测量，精密定位

1. 引言

SAR 在最近 10 年来有了很大的发展。但是，由于时间和空间的失相干以及大气效应的影响，传统的差分干涉测量的应用受到很大的限制。而角反射器由于可人为地控制其几何形状、尺寸、结构和安放位置，因此在 SAR 图像上显示出稳定的、清楚的、较高的振幅信息，能够实现在低相干区域进行 SAR 技术监测地表微量形变的潜力，近年来得到了广泛的应用和发展。角反射器被安装在研究区域，雷达入射光线照射到角反射器时相互垂直的两个或三个表面，经过几次反射，入射光线将沿原路径的逆方向反射回去，在图像上形成显著的亮点，亮点尺寸和亮度宽度均为一个分辨单元。

角反射器对 SAR 设备的定位精度指标的准确性进行有效评估，对 SAR 定位精度起到很好的作用，然而，由于角反射器的结构，使得传统测量设备和方法显得无能为力，对于角反射器内角顶点的准确测量更是个难以解决的问题，本文依据全站仪能够精确测量距离、角度的原理，结合内置的自由设站功能，巧妙的解决了精确测量内角顶点的精确定位问题，并根据该原理设计实验得以确认，后又在实际定位中加以使用，收到了很好的效果，在提高效率的同时，精度也大幅度提高。

2. 定位原理

在综合标定场使用的角反射器结构如图 1。

角反射器在标定 SAR 设备中的安置方式如图 2。

角反射器的坐标测量，采用多点边角交会[1]，经方向距离严密平差[2]，确定其坐标。已知在角反射器周围有 N 个已知点，对已知点在方向观测值和距离观测值进行改正[3]，得到角反射器位置的精密坐标；如图 3 所示。

R_{ij} 为 i 到已知点 ($j=1,2,\dots,n$) 的方向观测值观测值。由此可以得出方向误差方程式为：

$$V_{ij} = -\delta_z - a_{ij}\delta_{xi} - b_{ij}\delta_{yi} + l_{ij} \quad (1)$$

式中 δ_z 为测站定向未知参数也就是 Z 坐标改正数， δ_{xi} 为 X 坐标改正数， δ_{yi} 为 Y 坐标改正数[4]。

$$a_{ij} = \frac{\rho\Delta y_{ij}}{s_{ij}^2}, b_{ij} = \frac{\rho\Delta x_{ij}}{s_{ij}^2} \quad (2)$$

常数项为：

$$l_{ij} = a_{ij}^0 - z^0 - R_{ij} \quad (3)$$

式中 a_{ij} 为根据 i, j 近似坐标计算的方位角， z^0 为测站的近似方位角；

对应的 S_{ij} 为 i 到已知点 ($j=1,2,\dots,n$) 的距离观测值，也可以列为相应的误差方程式。

因为现场距离在 15 米以内，采用机器人高精度自动观测[5]，可以认为等精度观测，故取方向观测值的权为 1，距离观测值的权也取值 1，所以权阵为单位阵。



Figure 1. Structure of corner reflector
图 1. 角反射器结构图



Figure 2. Two main setting mode of corner reflector
图 2. 角反射器的两种基本安置照片图

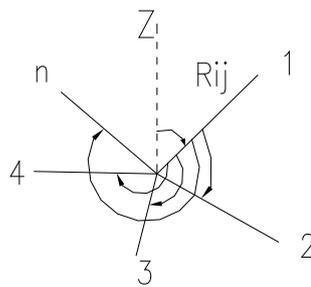


Figure 3. Principle of positioning
图 3. 定位原理图

N 个方向的误差方程式可以写成矩阵形式:

$$V = AX + L \tag{4}$$

$$\text{式中 } V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & a_{i1} & b_{i1} \\ 1 & a_{i2} & b_{i2} \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & a_{in} & b_{in} \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} \delta_z \\ \delta_{xi} \\ \delta_{yi} \end{bmatrix}, \quad L = \begin{bmatrix} l_{i1} \\ l_{i2} \\ \dots \\ l_{in} \end{bmatrix}$$

根据最小二乘原理组法方程[6]:

$$(A^T PA)X + A^T PL = 0 \quad (5)$$

令 $C = A^T PA, W = A^T PL$ ，式可以写成： $CX + W = 0$

$$X = \begin{bmatrix} \delta_z \\ \delta_{xi} \\ \delta_{yi} \end{bmatrix}, \text{ 所以改正后的坐标为:}$$

$$\begin{aligned} X_{REAL} &= X_g + \delta_x \\ Y_{REAL} &= Y_g + \delta_y \\ Z_{REAL} &= Z_g + \delta_z \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)中, X_{REAL} 为改正东坐标, Y_{REAL} 为改正后的北坐标, Z_{REAL} 为改正后的高程。

通过严密坐标改正, 可以到的到安置反射器点的严密坐标, 在根据此点的坐标, 用几何方法[7]算出角反射器内顶角的坐标, 具体算法见本文第3节。

3. 角反射器内顶角测量方法

本节主要描述如何求取角反射器内角顶点坐标的方法步骤。

3.1. 外业安置位置测量过程

1) 根据角反射器的安置位置, 选择合适的附近可用已知点作为确定角反射器[8] [9]的参考点, 并安置反射棱镜;

2) 根据角反射器进行全站仪对中;

3) 依次观测每个已知点上的棱镜, 并记录距离和方向值;

4) 利用全站仪的自由设站功能求出仪器中心的坐标。

为检验该方法和全站仪的自由设站功能完备性, 可进行验证性测量, 具体结果见本文第4节。

3.2. 角反射器内顶角测量方法

首先根据多点边角交会的方法求出安置位置的严密坐标, 在根据角反射器内顶角[10]与安置位置的几何关系求出内顶角的公式模型, 算出角反射器内顶角的坐标。

角反射器安置方向为天顶方向, 所以, 根据雷达[11] [12]和角反射器固有的尺寸, 可以算出一个差值。这个差值加上安置位置的坐标就能算出角反射器内顶角的坐标。根据角反射器构造尺寸和规格模型, 可以用几何方法展示其各个关系, 如图4所示 O 为内顶角, $OA = OB = OC$, $\angle AOB = \angle AOC = \angle BOC = 60^\circ$, 但是需要知道面与面的厚度, 这样才能算出 O 点到安置位置的距离。材料厚度为 d 厘米, 由于面与面的特殊关系, 可以算出差值。

根据 SAR 的要求材料的性质, 可以知道面与面的夹角为 90° , 所以单个面的夹角为 45° , 此时根据几何关系 $L = \frac{d}{\tan 45^\circ}$, 算出内顶角 O 到安置距离。然而, 如图1所示, 角反射器顶角需要截断一个小角, 所以还需要减去一定的值 d' , 也就是说真正的改正值为 $d - d'$, 所以, 角反射器内顶角坐标的安置的坐标的 Z 加上 $d - d'$ 的值。

4. 数据对比分析

实验采用角反射器附近的四个点安置棱镜坐标进行数据分析[13] [14]。四个点 Point1070, Point1071, Point1072 和 Point1102 的坐标位置及用严密坐标算出的点 Point1104 的坐标位置如图5所示。

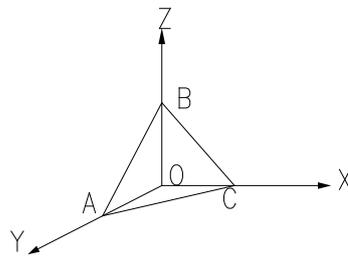


Figure 4. Geometry diagram of corner reflector
图 4. 角反射器几何简图

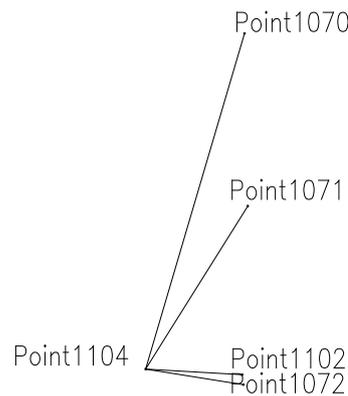


Figure 5. Plane position of measurement point
图 5. 测量点的平面位置

具体坐标见下表 1。

在一个点 1104 上安置全站仪进行观测，提取的测站坐标与原有成果表对比如下表 2。

Point1104 的坐标是根据前四个点坐标经过严密平差算出来的，其精度与原有成果进行了对比，可以看出 X 相差为 0.4 毫米，Y 相差为 1.3 毫米，精度完全满足要求。根据上面的算法，本实验比较的多个已知点的数据，如下表 3 所示。

从表 3 可以看出，四个点中与原有 X 坐标差值最大的为 Point1105，差值为 0.5 毫米，与原有 Y 坐标最大差值为 Point1108，差值为 1.2 毫米，精度满足要求，所以此严密平差方法解算坐标很精确，算出的角反射器内顶角精度较高，方法可取。

5. 结论

本文从理论上进行推导，加以实验验证，并成功运用到 SAR 设备的标定中的角反射器定位工作中，表明用全站仪自由设站功能对角反射器进行定位的方法是可取的。

通过实践表明，应该注意以下问题

- 1) 角反射器内角安置必须铅垂；
- 2) 附近用于标定的已知点精度必须足够；
- 3) 测量时可以采用具有自动观测的机器人进行，能有效减小测量误差；
- 4) 距离观测和方向观测的精度匹配问题值得探讨，但由于本次实验观测距离都比较近，则作了等权简化处理。

Table 1. List of results of known points
表 1. 已知点成果表

点号	X	Y
Point1070	4,369,104.4431	408,152.8243
Point1071	4,369,105.2137	408,112.0834
Point1072	4,369,104.1554	408,069.9123
Point 1102	4,369,103.8679	408,072.2769

Table 2. Compared results of the setting points
表 2. 定位结果对比表

点号	解算坐标/m	原有成果/m	较差/m
Point 1104	4,369,081.2422	4,369,081.2418	0.0004
	408,073.5972	408,073.5985	-0.0013

Table 3. Comparison between more calculating coordinates and the original coordinate difference
表 3. 多点解算坐标与原有坐标差值比较

点号	与原有 X 坐标差值 mm	与原有 Y 坐标差值 mm
Point 1105	0.5	0.8
Point 1106	0.3	1.1
Point 1107	0.4	0.7
Point 1108	0.2	1.2

基金项目

本研究受到辽宁科技大学大学生科研训练项目资助。

参考文献 (References)

- [1] 杨浩, 智文河, 丁学政. 后方交会的严密平差方法[J]. 四川测绘, 2002(3): 123-125.
- [2] 张忠良, 杨友涛, 刘成龙. 轨道精调中后方交会点三维严密平差方法研究[J]. 铁道工程学报, 2008(5): 35-37.
- [3] 唐渝. 后方交会精度估算分析研究[J]. 建材发展导向: 下, 2014(3): 1672-1675.
- [4] 朱宝训, 刘成龙, 杨天宇. 后方交会方法及其精度评定[J]. 铁道勘察, 2004(6): 24-26.
- [5] 向荣. CRInSAR 大气校正及监测地表形变研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [6] 程滔. CR、PS 干涉形变测量联合解算算法研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2007.
- [7] Ferretti, A., Prati, C. and Rocca, F. (2001) Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **39**, 8-20. <http://dx.doi.org/10.1109/36.898661>
- [8] Groot, J. and Otten, M. (1994) SAR Imaging of Corner Reflectors Larger Than the Spatial Resolution. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **32**, 721-724.
- [9] 单世铎, 赵拥军. 干涉合成孔径雷达(INSAR)复图像配准方法[J]. 测绘学院学报, 2005, 2(22): 131-133.
- [10] 尤红建, 向茂生. 机载干涉雷达数据的直接地学编码处理[J]. 现代雷达, 2006, 1(28): 38-41.
- [11] 陈尔学, 李增元. 星载 SAR 影像地理编码算法研究[J]. 高技术通讯, 2000, 2(10): 53-58.

- [12] 刘秀芳, 刘佳音, 洪文. SAR 图像地理编码处理流程的研究[J]. 遥控遥测, 2005(4): 12-17.
- [13] Xia, Y., Kaufmann, H. and Guo, X.F. (2002) Differential SAR Interferometry Using Corner Reflectors. 2002 *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'02*, Toronto, 24-28 June 2002, 1243-1246.
- [14] Donald, M. and Kiyoshi, G. (2001) Assessment of SMALL Pas-sive Corner Reflectors for Geometric Correction of Radar-Sat Fine Mode SAR Data. *ACRS 2001, 22nd Asian Conference on Remote Sensing*, Singapore, 5-9 November 2001, 1026-1031.