

用于微波天线的三维面形测量技术

吕乃光 桑新柱 邓文怡 董明利

(北京机械工业学院电子信息工程系)

摘要:在三维立体视觉测量原理的基础上,建立了用于微波天线面形测量的三维视觉测量系统。分析了该测量系统优于其他测量系统的主要优点,给出了它的测量原理,介绍了系统组成及其功能,通过对微波天线的面形测量,验证其可行性。对空间点位进行多次重复测量表明: x, y 方向的测量标准差优于0.1 mm, z 方向的测量标准差优于0.18 mm,满足微波天线的面形测量要求。

关键词:微波天线;视觉测量;三维测量

中图分类号:TH761.7 文献标识码:A 文章编号:1671-451X(2002)05-0016-03

目前三维测量的方法很多^[1],其中,三维视觉测量技术用于微波天线面形测量具有非接触测量、测量时间短、对环境要求低、测量范围大等优点。

本文以微波天线为测量研究对象,介绍三维视觉测量技术的原理、系统的组成及实现,最后给出实际测量的实验结果和结论。

1 三维视觉测量技术原理

利用CCD摄像机可以获取一个三维物体的二维图像,这就是实际空间坐标系和摄像机像平面坐标系之间的透视变换。通过摄像机在不同方位拍摄的两幅或两幅以上的二维图像,可以综合出物体的三维曲面轮廓^[2]。如图1所示,为说明

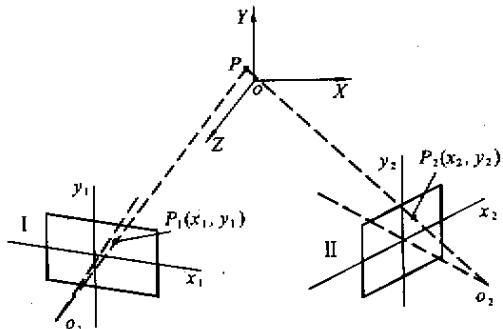


图1 物空间坐标系和摄像机在两不同方位的像平面坐标系
问题方便,设物空间坐标系为XYZ,CCD像面的

像平面坐标系分别为 x_1y_1 和 x_2y_2 。

现以CCD摄像机在两个方位为例,说明系统的透视变换关系。如图1所示, P 为任一空间三维物点,设其物空间坐标为 $P(X, Y, Z)$,其在摄像机方位I和摄像机方位II CCD像面上的像点坐标分别为 $P_1(x_1, y_1)$ 和 $P_2(x_2, y_2)$ 。

对摄像机方位I像点坐标与物点坐标有如下变换关系^[2]:

$$\begin{bmatrix} x_1w_1 \\ y_1w_1 \\ w_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ a_5 & a_6 & a_7 & a_8 \\ a_9 & a_{10} & a_{11} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中, w_1 为非零参数; a_1, a_2, \dots, a_{11} 为系统变换矩阵的元素,与第一个摄像机的安放位置及成像系统I的参数有关,可通过系统定标来确定。

摄像机方位II像点坐标与物点坐标有如下变换关系:

$$\begin{bmatrix} x_2w_2 \\ y_2w_2 \\ w_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 & b_4 \\ b_5 & b_6 & b_7 & b_8 \\ b_9 & b_{10} & b_{11} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中, w_2 为非零参数; b_1, b_2, \dots, b_{11} 为系统变换矩阵的元素,与第二个摄像机的安放位置及成像系统II的参数有关,也可通过系统定标来确定。方程(1)和(2)可分别化为

$$[P \quad Q \quad R_1]A = [x_1, y_1]^T; \quad (3)$$

$$[P \quad Q \quad R_2]B = [x_2, y_2]^T, \quad (4)$$

收稿日期:2001-12-17。

作者简介:吕乃光(1944-),男,教授,北京,北京机械工业学院电子信息工程系(100085)。

基金项目:北京市教育委员会科技发展计划资助项目(99KJ43)。

$$\text{式中, } P = \begin{bmatrix} X & Y & Z & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ X & Y & Z & 1 \end{bmatrix};$$

$$R_1 = \begin{bmatrix} -x_1 X & -x_1 Y & -x_1 Z \\ -y_1 X & -y_1 Y & -y_1 Z \end{bmatrix}; R_2 = \begin{bmatrix} -x_2 X & -x_2 Y & -x_2 Z \\ -y_2 X & -y_2 Y & -y_2 Z \end{bmatrix}; A = [a_1, a_2, \dots, a_{11}]^T; B = [b_1, b_2, \dots, b_{11}]^T.$$

a_{11} 和 b_{11} 加起来共 22 个未知参数, 利用一个已知靶点和它在两个方位 CCD 像面上的像点可建立 4 个线性方程. 欲求 22 个未知参数, 则至少需 6 个已知靶点. 利用已知的 6 个或 6 个以上靶点, 根据上述方程, 便可解得这些参数. 这是测量工作的第一步, 即求出双摄像机组成的测量系统的变换矩阵 A 和 B , 称为系统定标.

测量的第二步是根据被测点 P 在两个方位 CCD 像面上的像点坐标 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) , 求得未知点 P 的物空间三维坐标 (X, Y, Z) .

由方程(1)和(2)还可得到下方程:

$$\begin{bmatrix} (a_1 - a_9 x_1) & (a_2 - a_{10} x_1) & (a_3 - a_{11} x_1) \\ (a_3 - a_9 y_1) & (a_6 - a_{10} y_1) & (a_7 - a_{11} y_1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} x_1 - a_4 \\ y_1 - a_3 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} (b_1 - b_9 x_2) & (b_2 - b_{10} x_2) & (b_3 - b_{11} x_2) \\ (b_3 - b_9 y_2) & (b_6 - b_{10} y_2) & (b_7 - b_{11} y_2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} x_2 - a_4 \\ y_2 - a_3 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

由上述方程可方便地求得 3 个未知数 X, Y 和 Z , 即 P 点的三维空间坐标值. 这样就可以利用摄像机在两个不同方位拍摄的两个二维图像逐点测量物体的三维轮廓.

2 系统组成及实现

为了提高系统的测量精度和可靠性, 采用了摄像机在四方位对称分布采集图像的测量系统, 两两组成图像对, 一是对测量数据进行对比, 发现、剔除偶然误差, 二是通过对可靠的测量数据进行平均, 部分地消除由于透镜畸变和摄像机分布带来的误差. 在微波天线面形测量技术的研究中, 考虑了两种测量系统, 一种是离线测量系统, 另一种是在线测量系统. 离线测量系统是由一台 CCD 摄像机、一块图像采集卡、靶标、特征点及 PC 机构成的测量装置, 被测对象是直径为 600 mm 的微波天线, 其硬件结构示意图如图 2 所示.

摄像机围绕定标靶和被测微波天线在四个位

置对称放置, 在每一位置同时完成采集定标靶和被测天线图像的工作, 特征点作为检测的目标. 图像采集卡用于把图像采集到计算机内, 三维已知的定标靶用于完成摄像机方位标定, 计算机完成

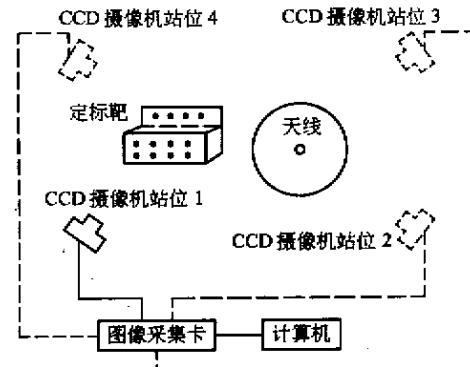


图 2 测量系统硬件结构示意图

图像采集、处理、摄像机标定和数据计算的工作. 软件包括 数据采集、图像处理、系统标定、图像匹配、三维坐标计算及面形分析.

离线测量系统采用一个 CCD 摄像机, 采用的设备少, 成本低, 但测量时间长, 要求被测对象和靶标严格静止, 对环境要求较为严格. 在线测量系统采用四个 CCD 摄像机, 同时分布在四个方位, 采用的设备较多, 成本较高, 但测量时间短. 采用的四个摄像机如果能够同步采图, 可排除测量环境的振动影响.

3 测量结果和结论

在试验中以直径为 600 mm 的抛物面形微波天线为检测对象, 在四个方位采集图像, 两两组成图像对, 分别计算出其表面上的 22 个特征点的三维坐标, 然后进行平均以部分消除由于透镜畸变和方位影响带来的测量误差, 计算结果如表 1 所示.

用以上坐标值进行最小二乘拟合, 得到三维

表 1 测量点的三维坐标 (mm)

点号	X	Y	Z
1	-207.730	405.523	50.622
2	-214.061	499.652	47.265
3	-205.113	603.025	56.800
4	-107.740	277.786	45.297
5	-116.501	338.130	22.636
6	-123.680	401.417	9.287
7	-128.451	472.742	4.847
8	-122.940	543.449	7.877
9	-117.700	607.917	19.365

续表 1 (mm)

点号	X	Y	Z
10	-107.287	680.086	40.275
11	9.872	230.869	43.956
12	5.620	297.305	9.485
13	134.010	271.976	28.377
14	131.821	337.263	0.819
15	128.349	413.661	-17.332
16	130.368	492.514	-20.768
17	124.452	561.099	-14.198
18	122.799	638.270	5.221
19	112.206	699.199	26.795
20	230.540	371.974	20.348
21	239.447	491.113	11.039
22	233.183	590.353	20.306

二次曲面的方程 转换成标准方程如下：

$$x^2/724.86 + y^2/722.33 = z. \quad (7)$$

由此得到的抛物面方程进行三维重构, 得到天线的三维重构图如图 3 所示.

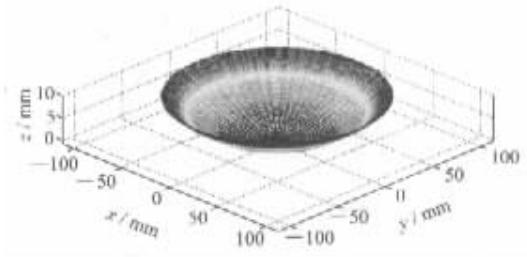


图 3 被测天线的三维重构图

对空间点位进行多次重复测量表明: x 和 y 方向的测量标准差优于 0.1 mm, z 方向的测量标准差优于 0.18 mm, 满足微波天线的测量要求.

参 考 文 献

- [1] Frank C, Brown G M, Song M M. Overview of three-dimensional shape measurement using optical methods. *Opt. Eng.*, 2000, 39(1): 10~22
- [2] 邓文怡, 吕乃光, 董明利等. 数字摄影测量技术在三维测量中的应用. *光电子·激光* 2001, 12(7): 697~700

A three-dimensional shape measurement technique for microwave antenna

Lu Naiguang Sang Xinzhu Deng Wenyi Dong Mingli

Abstract : On the basis of the principle of 3-D stereo-vision measurement, a 3-D vision measurement system for the shape measurement of microwave antenna is constructed. The main advantages are analyzed and the principle is presented. The constituents and their functions of this system are introduced and validated in the experiment by measuring the shape of microwave antenna. 3-D coordinates of the points in the space are measured time after time. It is seen that the standard error (σ) in x or y direction is over 0.1 mm and in z direction precedes 0.18 mm.

Key words : microwave antenna ; videogrammetry ; 3-D shape measurement

Lu Naiguang Prof. ; Dept. of Electronic Information Eng., Beijing Institute of Machinery, Beijing 100085, China.

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)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)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、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),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>