

文章编号:1672-6413(2006)01-0016-03

# 基于载体姿态测量的双轴卫星天线初始对准算法

夏鲁瑞, 何汉辉, 李纪莲

(国防科学技术大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 天线初始对准技术是移动卫星通讯系统的关键技术之一, 在数字罗盘测得载体姿态的基础上, 推导出了天线实际转过的方位角和仰角, 从而确定了一种实用的天线初始对准算法。

关键词: 姿态测量; 卫星天线; 初始对准

中图分类号: TN828.5 文献标识码: A

## 0 引言

对于高性价比的车载和船载卫星通讯天线, 国内市场一直有强烈的需求。天线初始对准技术是这种移动卫星通讯系统的关键技术之一。本文采用数字罗盘测量出载体的姿态, 然后根据天线坐标系和载体坐标系之间的确定关系以及卫星在地理坐标系中的位置计算出天线初始对准的方位角和仰角, 从而确定了一种实用的天线初始对准算法。

## 1 双轴卫星天线的结构型式

图1为双轴卫星天线的结构原理图。

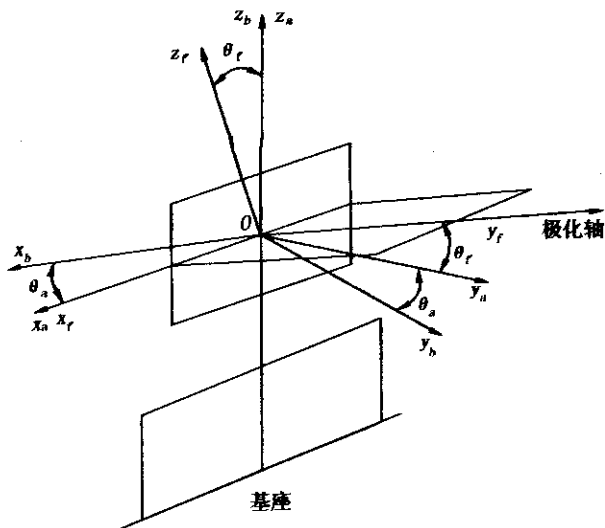


图1 双轴卫星天线结构原理图

图1中  $Ox_b y_b z_b$  为载体坐标系(约定);  $a$  为方位环, 其坐标系为  $Ox_a y_a z_a$ ,  $Oz_a$  和  $Oz_b$  重合,  $Ox_a y_a z_a$  相对  $Ox_b y_b z_b$  绕  $Oz_b$  的转角  $\theta_a$  为方位角;  $f$  为俯仰环, 其

坐标系为  $Ox_f y_f z_f$ ,  $Ox_a$  和  $Ox_f$  重合,  $Ox_f y_f z_f$  相对  $Ox_a y_a z_a$  绕  $Ox_f$  的转角  $\theta_f$  为仰角, 在俯仰轴上安装卫星天线, 天线极化轴(指向)与  $Oy_f$  轴平行。显然, 在载体处于某一确定位置的情况下,  $Oy_f$  轴(天线极化轴)在  $Ox_b y_b z_b$  中的位置由  $\theta_a$  和  $\theta_f$  唯一确定。

## 2 天线系统中的坐标系

### 2.1 地理坐标系 $Ox_t y_t z_t$ ( $Oxyz$ )

地理直角坐标系  $Ox_t y_t z_t$  的原点  $O$  选在载体的重心处,  $Oz_t$  轴与通过  $O$  点的铅垂线相重合, 即  $Oz_t$  轴垂直于该点的大地水平面, 向上为正。  $x_t Oy_t$  平面与原点的大地水平面相重合,  $Ox_t$  指向正东,  $Oy_t$  指向正北。通常称为东北天坐标系, 见图2。

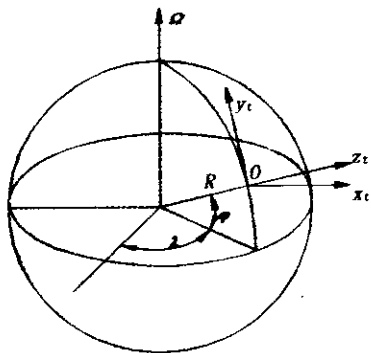


图2 地理坐标系

### 2.2 载体坐标系 $Ox_b y_b z_b$ 与数字罗盘

载体坐标系  $Ox_b y_b z_b$  的原点  $O$  选在载体的重心处, 纵轴  $Oy_b$  沿载体首尾指向首部, 横轴  $Ox_b$  指向载体右侧,  $Oz_b$  垂直于载体平面,  $Ox_b y_b z_b$  构成右手直角坐标系。当载体没有俯仰和横滚运动时,  $x_b Oy_b$  平面即为水平面。

用北向基准线和航向之间的夹角表示航向角  $H$ ; 用载体纵轴与水平面之间的夹角表示俯仰角  $P$ ; 用载体横轴与水平面之间的夹角表示横滚角  $R$ , 如图 3 所示。当已知航向角、俯仰角和横滚角的大小时, 载体相对于当地地理坐标系的角位置完全可以确定。

本系统采用美国霍尼维尔 (Honeywell) 公司的 HMR3000 数字罗盘获取载体的三轴姿态。安装时要尽可能地使数字罗盘的三个轴与载体坐标系重合, 并且安装以后罗盘的位置不能再改变。

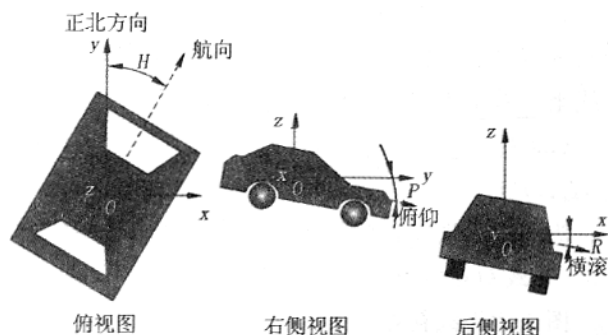


图 3 航向角、俯仰角和滚摇角定义

### 2.3 天线坐标系 $Ox_c y_c z_c$ 和旋转变压器

天线坐标系上有方位轴和俯仰轴, 其坐标轴的规定为: 当天线抛物面垂直向上, 俯仰轴垂直于车的纵轴线时, 选定为坐标轴的方向。

天线系统安装在载体上, 它们之间的位置关系是确定的, 这个确定的位置关系由旋转变压器的零点位置决定。旋转变压器安装时, 应使其零点位置与天线坐标系重合, 且安装以后, 位置不能再改变。这样, 当数字罗盘和旋转变压器安装以后, 载体坐标系和天线坐标系之间的关系就是确定的。

### 3 天线初始对准算法

对于双轴天线来说, 初始对准算法就是计算出天线坐标系中天线的方位角和仰角。计算过程如下: 在已知地理坐标系中天线方位角和仰角的基础上, 根据数字罗盘测得的载体姿态参数, 推导出载体坐标系中天线的位置, 再根据载体坐标系和天线坐标系之间的确定关系, 推导出天线坐标系中天线的方位角和仰角。

#### 3.1 地理坐标系中天线的方位角和仰角

已知载体所处的经度  $A$ 、纬度  $C$  和卫星的经度  $B$ , 可根据以下公式计算出地理坐标系  $Oxyz$  中天线的方位角  $A_z$  和仰角  $E_z$ :

$$\begin{cases} A_z = 180^\circ + \arcsin \frac{\sin(A-B)}{\sqrt{1-\cos^2 C \cdot \cos^2(A-B)}} \\ E_z = \arctan \frac{\cos C \times \cos(A-B) - 0.151}{\sqrt{1-\cos^2 C \cdot \cos^2(A-B)}} \end{cases} \quad (1)$$

万方数据

地理坐标系中天线的指向如图 4 所示。取天线

$OE$  为单位矢量, 则根据图 4 可求出它在地理坐标系中的坐标  $(x, y, z)$ :

$$\begin{cases} x = \cos E_z \cdot \cos A_z \\ y = \cos E_z \cdot \sin A_z \\ z = \sin E_z \end{cases} \quad (2)$$

#### 3.2 载体坐标系中天线的位置

先假设载体坐标系与天线坐标系完全重合, 但与地理坐标系不重合。在已知地理坐标系中天线坐标的基础上, 根据数字罗盘输出的航向角  $H$ 、俯仰角  $P$  和横滚角  $R$  求解载体坐标系中天线的位置。此时问题转化为如下的数学问题: 已知天线矢量  $OE$  在地理坐标系中的坐标, 当载体坐标系从与地理坐标系重合开始, 相对地理坐标系分别绕方位轴、俯仰轴、横滚轴依次旋转  $H$ 、 $P$ 、 $R$  后, 求天线  $OE$  在载体坐标系中的坐标。

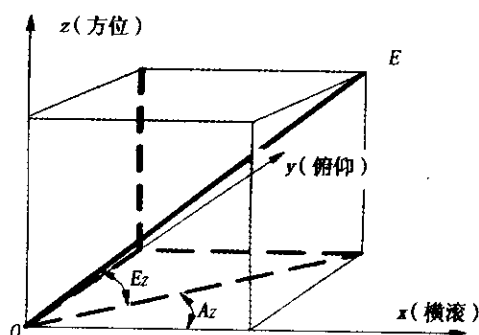


图 4 地理坐标系中天线的方位角和仰角

根据欧拉角 ( $H$ 、 $P$ 、 $R$ ) 坐标变换关系, 可求出从地理坐标系到载体坐标系的变换矩阵  $M^b$ :

$$M^b = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & cR & sR \\ 0 & -sR & cR \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} cP & 0 & sP \\ 0 & 1 & 0 \\ -sP & 0 & cP \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} cH & sH & 0 \\ -sH & cH & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cPcH & cPsH & sP \\ -sRsPcH - cRsH & -sRsPsH + cRcH & sRcP \\ -cRsPcH + sRsH & -cRsPsH - sRcH & cRcP \end{bmatrix}$$

其中令  $c$  为  $\cos$ ,  $s$  为  $\sin$ 。把  $M^b$  代入下式:

$$\begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} = M^b \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix},$$

可求得载体坐标系  $Ox_b y_b z_b$  中天线的坐标  $(x_b, y_b, z_b)$ :

$$\begin{cases} x_b = cPcHx + cPsHy + sPz \\ y_b = (-sRsPcH - cRsH)x - (sRsPsH - cRcH)y + sRcPz \\ z_b = (-cRsPcH + sRsH)x - (cRsPsH + sRcH)y + cRcPz \end{cases} \quad (3)$$

设在载体坐标系  $Ox_b y_b z_b$  中天线的方位角和仰角

分别为  $A_{zb}$ 、 $E_{zb}$ 。在载体坐标系  $Ox_b y_b z_b$  中,有:

$$\begin{cases} x_b = \cos E_{zb} \cdot \cos A_{zb} \\ y_b = \cos E_{zb} \cdot \sin A_{zb} \\ z_b = \sin E_{zb} \end{cases}$$

那么载体坐标系  $Ox_b y_b z_b$  中天线的方位角和仰角  $A_{zb}$ 、 $E_{zb}$  为:

$$\begin{cases} E_{zb} = \arcsin z_b \\ A_{zb} = \arcsin \frac{y_b}{\cos E_{zb}} \end{cases} \quad (4)$$

$A_{zb}$  所在区间大致可由  $A_z - H$  的数值决定。

### 3.3 天线坐标系中天线的方位角和仰角

由 2.3 可知,载体坐标系和天线坐标系之间的关系是确定的。仿照 3.2 我们可以这样假设,载体坐标系  $Ox_b y_b z_b$  经过模拟航向角  $H_o$ 、俯仰角  $P_o$ 、横滚角  $R_o$  的依次旋转,到达天线坐标系  $Ox_c y_c z_c$ 。只不过这里的  $H_o$ 、 $P_o$ 、 $R_o$  是未知的量,需要用实验来确定。

实际安装时,要尽可能地保证天线坐标系与载体坐标系重合,即使不重合,也应保证它们之间的角度非常小。这样,由于欧拉角 ( $H_o$ 、 $P_o$ 、 $R_o$ ) 非常小,根据三角函数的近似关系,并略去高次项,可把载体坐标系到天线坐标系的变换矩阵表示为:

$$M_b^c = \begin{bmatrix} 1 & H_o & P_o \\ -H_o & 1 & R_o \\ -P_o & -R_o & 1 \end{bmatrix}$$

将  $M_b^c$  代入下式:

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = M_b^c \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix}$$

可求得天线坐标系  $Ox_c y_c z_c$  中天线的坐标 ( $x_c$ ,  $y_c$ ,  $z_c$ ):

$$\begin{cases} x_c = x_b + H_o \cdot y_b + P_o \cdot z_b \\ y_c = -H_o \cdot x_b + y_b + R_o \cdot z_b \\ z_c = -P_o \cdot x_b - R_o \cdot y_b + z_b \end{cases} \quad (5)$$

在天线坐标系  $Ox_c y_c z_c$  中,有:

$$\begin{cases} x_c = \cos E_{zc} \cdot \cos A_{zc} \\ y_c = \cos E_{zc} \cdot \sin A_{zc} \\ z_c = \sin E_{zc} \end{cases} \quad (6)$$

那么在天线坐标系  $Ox_c y_c z_c$  中天线的实际转过的方位角和仰角  $A_{zc}$ 、 $E_{zc}$  为:

$$\begin{cases} E_{zc} = \arcsin z_c \\ A_{zc} = \arcsin \frac{y_c}{\cos E_{zc}} \text{ 或 } \arccos \frac{x_c}{\cos E_{zc}} \end{cases} \quad (7)$$

### 3.4 实验确定 $H_o$ 、 $P_o$ 、 $R_o$ 的方法步骤

(1) 先由载体所处的经度、纬度和卫星的经度,根据式(1)求出地理坐标系中天线的方位角  $A_z$  和仰角  $E_z$ 。

(2) 再由数字罗盘输出载体的三轴姿态角,根据式(3)求出载体坐标系中天线的坐标 ( $x_b$ ,  $y_b$ ,  $z_b$ ),并根据式(4)求出此时的方位角  $A_{zb}$  和仰角  $E_{zb}$ 。

(3) 按  $A_{zb}$ 、 $E_{zb}$  转动天线对准卫星,由于载体坐标系和天线坐标系近似重合,所以此时应该能收到卫星信号。

(4) 手动调整天线,找到信号最大的位置,得到天线实际转过的方位角  $A_{zc}$  和仰角  $E_{zc}$ ,再根据式(6)求得天线坐标系中天线的坐标 ( $x_c$ ,  $y_c$ ,  $z_c$ )。

(5) 把 ( $x_b$ ,  $y_b$ ,  $z_b$ ) 和 ( $x_c$ ,  $y_c$ ,  $z_c$ ) 代入式(5),即可求出  $H_o$ 、 $P_o$ 、 $R_o$ 。

为了减小误差,应该进行多次实验求平均值。

### 3.5 天线初始对准过程的算法流程

图 5 为天线初始对准算法流程图。

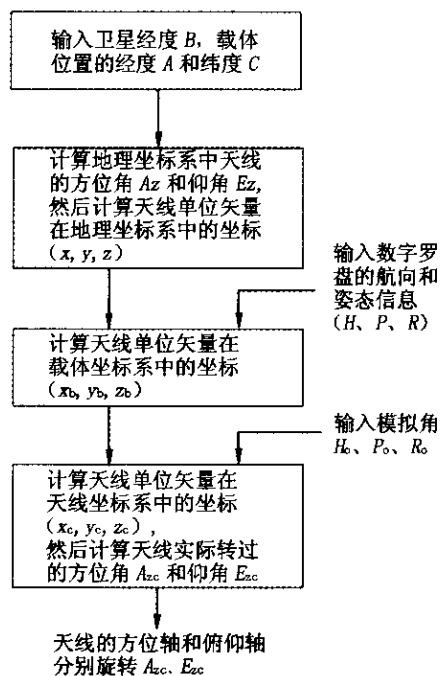


图 5 天线初始对准算法流程图

## 4 结束语

本文提出了一种基于载体姿态测量的卫星天线初始对准算法,针对目前广泛研究的车载和船载移动卫星通讯天线,只要采用数字罗盘测出载体的三轴姿态角,就可以在天线初始对准过程中采用此算法快速得到天线实际的方位角和仰角。

此算法从理论上解决了移动载体卫星通讯天线的初始对准问题,为一些软件的编制提供了理论基础,有一定的实用价值。

(参考文献和英文摘要转第 21 页)

然后定时查询系统不同的测试工位是否有待测的半导体放电管, 若没有待测的放电管, 则产生中断启动料

斗添加待测元件或报警; 若有待测的放电管, 则启动测试, 分选半导体放电管。

## 5 结束语

本文叙述的分布式半导体放电管分选测试系统是单片机应用的一个实例, 通过对红外收发传感器、CAN-BUS 总线、RS-232 等的一些扩展, 即可应用于半导体放电管的分选测试, 体现出了单片机开发的自主性和灵活性。另外, 整个系统设计采用模块化的设计理念, 各模块功能独立, 易于管理, 模块间联系紧密, 结构紧凑, 充分显示出模块化设计的合理性和易实现性。

## 参考文献:

- [1] 陈永甫. 红外辐射红外器件与典型应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [2] 张培仁, 孙占辉, 张欣, 等. 基于 C 语言编程 MCS-51 单片机原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] 杨振江, 孙占彪, 王曙梅, 等. 智能仪器与数据采集系统中的新器件及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.

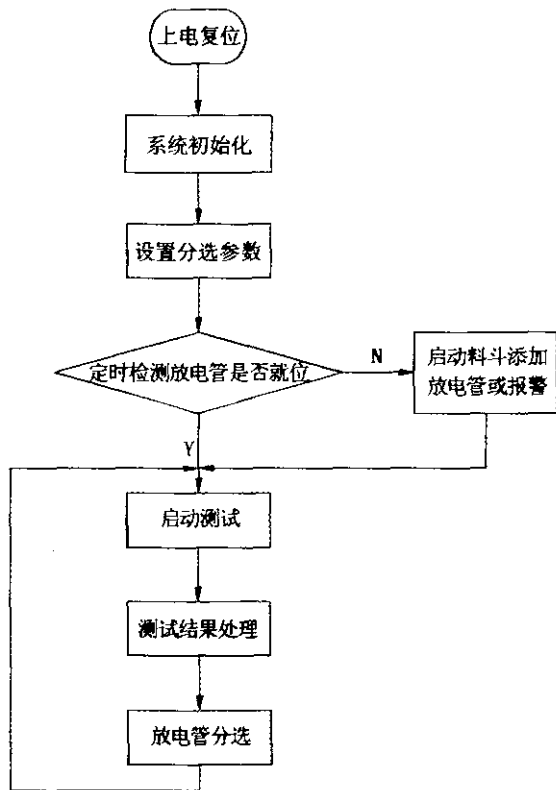


图 5 系统程序框图

# A Distributed Testing and Sorting System of Semiconductor Discharge Tube

ZHANG Yao-yu, MAO Yu-liang, XU Xiang-he

(Mechanical Engineering Department, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** This paper briefly deals with the design of the distributed testing and sorting system of semiconductor discharge tube, refers to the application of infrared sensor and data communication by CAN field bus, which fully reflects the advantage of the modular design.

**Key words:** semiconductor discharge tube; CAN-BUS; modular design; test system

(上接第 18 页)

参考文献:

- [1] 邓四化. 卫星接收天线仰角和方位角计算公式的推导[J].

中国有线电视, 1998(8): 45-46.

- [2] 沈民谊, 蔡镇远. 卫星通信天线、馈源、跟踪系统[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1993.

# Research on an Initial Alignment Algorithm of Two Axis Satellite Antenna Based on Carrier Attitude Measurement

XIA Lu-rui, HE Han-hui, LI Ji-lian

(College of Mechanics and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** The initial alignment of antenna is one of key technology in satellite mobile communication system. On the basis of measuring carrier attitude by digital compass, this paper deduces the azimuth and elevation of rotating antenna, and presents a utility initial alignment algorithm of antenna.

**Key words:** 万方数据 measurement; satellite antenna; initial alignment

## 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>