

船载天线伺服系统抗摇摆方案研究

王世虹

(石家庄通信测控技术研究所 石家庄 050081)

摘要 提出了四种切实可行的抗摇摆方案,包括坐标变换法、具有陀螺环的零值自跟踪方案、四轴稳定体制、X—Y天线座。从机械到电气方面详细分析了各方案的工作原理、设计要点、特点及适用场合。

关键词 伺服系统 坐标变换 横摇 纵摇 首摇 陀螺环 自跟踪 隔离度

对于雷达或通信设备而言,船载站与地面固定站的最大区别是:船载站天线在跟踪并对准目标的同时,还要抵抗船体的摇摆。摇摆使得天线座的姿态变化,天线无法对准目标。而地面固定站的天线座是固定不动的,不会影响天线的跟踪。因此,对于船载设备,伺服系统的抗摇摆极为重要。

通过总结多年伺服系统研究的成功经验,并借鉴国内外船载设备抗摇摆技术,提出四种切实可行的抗摇摆方案。这四种方案各有不同的特点,适用于不同的场合,可根据具体情况选择。

1 坐标变换法

该方案是用软件处理的方法补偿船摇,要求船上必须有惯导平台,它可以向伺服提供船摇信息,包括横摇、纵摇、首摇及航向信息。该方案的特点是:除要提供微机与惯导平台的接口外,对伺服系统的硬件没有额外的要求。换言之,伺服系统的硬件结构与地面固定站相同。使用该方案跟踪目标时只能采用数字引导或程序引导方式。

卫星轨道预报值为大地坐标,而伺服轴角编码器输出为甲板坐标,这就需要将大地坐标转换为甲板坐标,转换公式如下:

$$[D_j] = M_R \cdot M_p \cdot M_K \cdot [D_m]$$

式中: $[D_m] = [\cos E \cdot \cos A \quad \cos E \cdot \sin A \quad \sin E]^T$ 为卫星在大地坐标系中的坐标矢量, T 为转子。 A 、 E 为大地坐标系下的方位、俯仰角;

$[D_j] = [\cos E_j \cdot \cos A_j \quad \cos E_j \cdot \sin A_j \quad \sin E_j]^T$ 为卫星在甲板坐标系中的坐标矢量, A_j 、 E_j 为甲板坐标系下的方位、俯仰角;

M_R 、 M_p 、 M_K 为与船摇有关的转换因子:

$$M_R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos R & -\sin R \\ 0 & \sin R & \cos R \end{bmatrix};$$

$$M_p = \begin{bmatrix} \cos P & 0 & \sin P \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin P & 0 & \cos P \end{bmatrix};$$

$$M_K = \begin{bmatrix} \cos K & -\sin K & 0 \\ \sin K & \cos K & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

R 、 P 、 K 分别为船横摇、纵摇、首摇的角度。

上述坐标转换公式的推导较为简单,以船首摇为例,图 1 为船甲板的直角坐标系俯视图, Z 轴为垂轴,指向我们。 Y 轴为船的首尾线,指向为船头,是船的横摇轴。 X 轴为船的纵摇轴,垂直于船舷。假设 XOY 为大地坐标系,它是不动的, xoy 为甲板坐标系,现船首摇的角度为 K 。 M 点为卫星垂直投影在海平面上的点, OM 为卫星到船的斜距在海平面的投影,记为 S 。

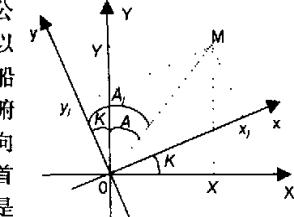


图 1 甲板的直角坐标系俯视图

以上两式经整理后结果为: $y_j = Y \cdot \cos K - X \cdot \sin K$, $x_j = Y \cdot \sin K + X \cdot \cos K$, $z_j = Z$ 。

即为如下矩阵形式:

$$\begin{bmatrix} y_j \\ x_j \\ z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos K & -\sin K & 0 \\ \sin K & \cos K & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y \\ X \\ Z \end{bmatrix}.$$

上式中:

$$y_j = S \cdot \cos E \cdot \cos A_j;$$

$$x_j = S \cdot \cos E \cdot \sin A_j;$$

$$\begin{aligned}
 z_j &= S \cdot \sin E_j; \\
 X &= S \cdot \cos E \cdot \sin A; \\
 Y &= S \cdot \cos E \cdot \cos A; \\
 Z &= S \cdot \sin E.
 \end{aligned}$$

即得出船首摇时的坐标转换公式：

$$[D_j] = M_k \cdot [D_m].$$

其余几个船摇转换因子的推导方法相同。

将用上述公式计算出的 A_j 、 E_j 角与轴角编码器输出的角度(这是在甲板坐标系中的天线指向角)按差值计算规律进行比较, 控制天线跟踪目标。

2 具有陀螺环的零值自跟踪方案

该方案要求设备带有跟踪接收机, 为提高隔离度, 伺服系统由三个环路组成: 调速环、陀螺环和位置环。其原理框图如图 2 所示。下面简要说明各环路的作用。

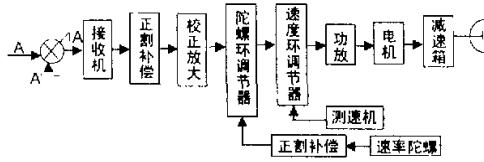


图 2 带有陀螺环的零值自跟踪方案原理框图

(1) 调速环

调速环即 PCU。 $K \cdot \beta \gg 1$ (K 为调速环主通道各环节放大量之积, β 为反馈通道传递系数), 则调速环闭环放大倍数与主通道无关, 它等于反馈通道传递系数的倒数。这样, 主通道功率放大器和电机的非线性将被克服。另外, 调速环还可以提高跟踪系统的快速性能。

(2) 陀螺环

可以把陀螺环称为空间调速环, 方位环路和俯仰环路各用一个压电速率陀螺, 两个陀螺都装在天线上。其中一个陀螺的敏感轴平行于俯仰轴, 另一个平行于方位轴(当 E 角等于零时)。当船体摇摆使天线指向发生变化时, 陀螺就会敏感这个变化而输出控制信息, 这个控制信号通过陀螺环使天线向着与摇摆相反的方向转动, 从而保持天线的指向不变。一般说来, 陀螺环的隔离度可达 20dB 以上, 隔离程度取决于摇摆频率处陀螺环的开环增益。要使陀螺环很好地隔离船体的摇摆, 陀螺稳定环应为宽带。

(3) 位置环

位置环完成对天线的位置控制。跟踪接收机输出与指向误差角相对应的误差电压, 该电压经正割

补偿和校正放大后加至陀螺环, 陀螺环带动天线转动, 使天线电轴对准目标。自跟踪环即位置环对船体摇摆的隔离度也可达到 20dB 以上。

3 采用四轴稳定体制

所谓四轴稳定体制是把 A—E 式天线座架放在一个具有内、外环框架的稳定平台上。外环框架轴(对应横摇轴)与船首尾线平行, 该轴的支撑件固定在甲板上。内环框架(对应纵摇轴)与船的首尾线相垂直, 内环轴支撑件固定在外环框架上。

在内环框架上装两个压电速率陀螺和两个水平传感器, 它们的敏感轴分别平行于内、外环框架轴。该方案需要两套伺服环路, 一套用来稳定平台, 另一套用来跟踪目标。

(1) 平台工作原理

平台为

两轴稳定系统, 两个轴独立工作, 相互间无任何交连。为简化设计, 两轴的稳定

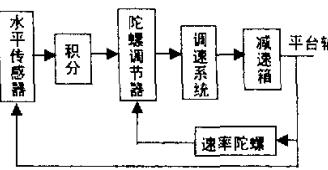


图 3 稳定平台系统原理框图

环性能基本相同。现以其中一轴为例来说明稳定平台的工作原理。稳定平台系统原理框图如图 3 所示。

图中, 以速率陀螺为反馈元件组成的环路称为空间测速环, 该环开环增益很大且带宽也很宽。对船体的摇摆扰动, 陀螺稳定环是一个负反馈环。当船体摇摆时, 陀螺就会敏感这个变化从而输出控制信号, 该控制信号经过陀螺环校正放大后加至调速系统, 调速系统带动横滚轴或纵滚轴向着摇摆方向相反的方向转动, 使平台保持水平。

任何陀螺都有漂移, 压电速率陀螺更不例外。此外, 陀螺零位输出不稳定, 这两个因素均造成平台在惯性空间中不能保持水平。为解决这个问题, 在陀螺环的外面再加一个位置环, 当由陀螺漂移使得平台不水平时, 水平传感器就会敏感这个变化从而输出控制信号, 该信号加至陀螺环, 陀螺环输出信号加至调速系统, 调速系统使平台转动, 又把平台拉到水平位置。

(2) 陀螺环误差产生的原因

一个稳定平台, 只具有陀螺环, 没有水平传感器组成的位置环, 无法实现长期的稳定工作。影响陀螺环稳定原因如下:

① 陀螺环本身是一个有差系统, 为了克服船体的摇摆, 陀螺必须保持一个相应的输出, 作为误差驱

动信号。此误差信号为角速度误差信号；

②平台结构的不平衡力矩,也必使陀螺保持一定的输出信号,该信号使平台转动,使平台位置无法稳定;

③陀螺零位输出不稳定,使平台产生不稳定的角速度输出;

④运算放大器和功率放大器的零点飘移,使平台产生角速度漂移。

为了克服上述误差源的影响,必须在陀螺环的外面再加一个位置环,来保障平台的水平。

(3) 对位置环的要求

●二阶无静差

为了克服陀螺以及位置环运算放大器的零点漂移,也就是抑制平台的漂移,位置环路必须设计成二阶无静差系统(见图4),这样不仅可以大大提高平台的稳定精度,且还可以降低对平台结构设计的静平衡要求。

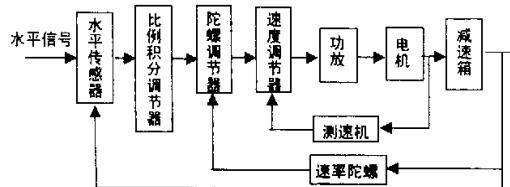


图4 位置环原理框图

● 位置环路要设计成窄带系统

对于稳定平台,要受到横向线加速度干扰。其干扰源有:当船体转弯时产生的向心加速度;船体加速或减速运动;由于平台不在摇摆

(上接第25页)

发过程也类似于 Java 卡应用程序的开发,具体开发过程如下所述:

第一步:安装 JDK;

第二步:安装 Java Card 2.1.1 Development Kit;

第三步:把 ETSI GSM 03.19 附录 A 和附录 B 中的 SIM 文件夹拷贝到适当的位置;

第四步:设置系统环境变量,根据 JDK 和 Java Card 2.1.1 Development Kit 的安装位置修改 PATH 和 CLASSPATH;

第五步:编译 ETSI GSM 03.19 附录 A 中的 Java 文件生成 class 文件;

第六步:在工作目录下建立 Java 示例源文件 MyToolkitApplet.java;

第七步:编译 MyToolkitApplet.java,生成 MyToolkitApplet.class 文件;

第八步:转换 MyToolkitApplet.class 文件,生成 ToolkitAppletExample.cap、ToolkitAppletExample.exp 和

中心,当船体摇摆时会产生晃动线加速度。由于这三种原因,即使平台保持水平时,水平传感器也会有输出,这将导致平台的不水平。这三种干扰信号的频率比陀螺漂移频率要高得多。为了只让水平传感器输出的慢变化信号加至陀螺环来克服陀螺的漂移,而不让水平传感器受横向线加速度干扰输出高频信号加至陀螺环,因此必须把位置稳定环路设计成窄带系统。

通常在七级海况下,对于大船(10⁴T以上)横摇周期为10秒左右,而纵摇周期在5秒左右。这就是说横摇干扰频率在0.1Hz左右,而纵摇频率在0.2Hz左右。如把位置环带宽设计成0.02Hz左右,由船摇干扰以及其他干扰给稳定平台带来的影响将微乎其微。但是,位置环带宽也不能过窄,过窄的话会降低位置环对各种因素所造成平台漂移的控制能力。

4 用 X—Y 制天线座

X—Y 制天线座是两根轴都水平配置,互相正交。相当于 A—E 制天线座的方位轴转到水平位置。因此,它的盲区在水平。这种形式的天线座 X 轴和 Y 轴都需要平衡,尤其是 X 轴的转动惯量极大,并且在伺服系统中要有坐标转换。这种天线座的优点是可以很方便地跟踪过顶目标。

参 考 文 献

- 1 方成一等.舰载雷达天线电子稳定方程的推导方法.雷达与对抗,1999.12
- 2 郑在齐.用于船上卫星定位稳定跟踪模型及其动态性能分析.现代防御技术,1993.5

ToolkitAppletExample.jca 三个文件。ToolkitAppletExample.cap 就是将下载到卡上的文件。

5 结束语

本文介绍了 STK Java 卡应用的开发过程,文中用的应用程序例子只是为了说明应用程序的一般结构,实际的应用程序要更加复杂,功能也更加强大。STK 卡已经在移动梦网和移动商务方面得到了广泛的应用,STK Java 卡必将进一步促进应用的发展。

参 考 文 献

- 1 黄森云等.智能卡应用系统.北京:清华大学出版社,2000
- 2 [美]Scott B·Cothery 等著,邵建平等译.智能卡开发者指南.北京:电子工业出版社,2000
- 3 Subscriber Identity Module Application Programming Interface (SIM API) for Java Card™.http://www.3gpp.org
- 4 Specification of the SIM Application Toolkit for the Subscriber Identity Module – Mobile Equipment (SIM – ME) interface. http://www.3gpp.org

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>