

捷联式天线稳定平台动力学建模与仿真分析

周瑞青 吕善伟

刘新华

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083) (中国航天科工集团 二院 25 所, 北京 100854)

摘要:对于体积有限制的战术导弹应用, 导引头天线伺服系统的体积受到严格限制, 传统的速率陀螺稳定平台的应用受到挑战, 为此提出采用捷联稳定方式来解决视线稳定问题。根据弹载捷联式天线平台的结构特点及稳定原理, 应用坐标变换方法, 完整地建立了两自由度捷联式天线平台的运动学与动力学模型。通过分析平台框架运动学耦合关系, 表明捷联稳定方式与速率陀螺稳定方式的基本区别在于信息的获取和控制方式上, 速率陀螺稳定方式是一种直接硬件稳定方法, 而捷联稳定方式是一种软件补偿方法。在此基础上, 对框架动力学耦合特性进行了数值仿真, 结果表明: 弹体对框架的耦合较强, 需要进行弹体解耦, 而框架之间的交叉耦合相对较弱, 实际设计时可以忽略。所得结果为进一步研究捷联式天线稳定平台提供了理论基础, 也为小型化导引头视线稳定平台系统的工程设计提供了一种解决方案。

关键词:天线稳定系统; 稳定平台; 捷联式陀螺仪; 动力学; 运动学

中图分类号: V 448.133

文献标识码:A 文章编号: 1001-5965(2005)09-0953-05

Dynamics modeling and simulation analyzing for strapdown antenna stable platform

Zhou Ruiqing Lü Shanwei

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Liu Xinhua

(No. 25 Institute of the Second Research Academy, CASIC, Beijing 100854, China)

Abstract: In space constrained tactical missiles, the size of seeker antenna servomechanism was restricted strictly, and rate gyroscope stabilization platform failed to work very well. The strapdown stabilization technique can be applied to stabilize line-of-sight (LOS). Based on configuration feature and stabilizing principle, a complete gimbal kinematics and dynamics model of two-degree-of-freedom strapdown antenna platform was achieved via coordinate transformation. The gimbal coupling characteristics was analyzed and simulated. Analysis indicates that main differences between strapdown stabilization platform and rate gyroscope stabilization platform lies in information obtaining and control mode. The rate gyroscope platform gets stability using hardware directly, while strapdown platform bases on software compensation. Simulating also shows that coupling between gimbals and missile body is strong, which need take effect measures to isolate. While cross coupling between outer gimbal and inner gimbal is weak, which can be ignored in practice. Results obtained will be a theoretical foundation for the further study of strapdown antenna platform, and it will be a engineering design suggestion for LOS stabilized system of miniaturized seeker.

Key words: antenna stabilization systems; stable platforms; strapdown gyroscope; dynamics; kinematics

导引头技术是精确制导战术导弹的核心技术之一,用来完成对目标的自主搜索、识别与跟踪。在拦截目标过程中,弹体的角运动和质心运动,以及外部载荷如风、气流等引起的扰动力矩会通过多种方式耦合到导引头天线上,严重影响天线的稳定与跟踪,为了实现可靠、高精度的目标跟踪,必须采用稳定平台来隔离弹体扰动。目前,速率陀螺稳定平台以其较高的稳定精度和具有较大的带宽而在战术导弹中获得广泛应用。但是,随着高精度、小型化导引头的发展需要,直接采用速率陀螺稳定天线的技术受到限制,为此提出采用捷联稳定方式来解决天线稳定问题^[1,2]。捷联稳定方式在船载、车载等武器系统中已有应用^[3,4],但是应用于弹上尚需要作进一步的研究。这主要是由于弹上天线稳定系统的特殊性,如动态响应快、环境条件恶劣和比较严格的体积限制,稳定指标要求较高,同时对稳定伺服框架的动态特性(如谐振频率、机械阻尼等)要求较宽,这就对弹上导引头捷联稳定方式提出更高的要求。

本文的工作是为进一步开展导引头天线捷联稳定性能的研究建立理论依据^[5],为工程化的捷联导引头提供理论指导。

1 捷联式天线平台系统坐标系定义

捷联式天线稳定平台采用方位-俯仰两自由度万向支架结构,外框为方位环,内框为俯仰环,天线安装在内框上,可以绕方位轴和俯仰轴运动,具有2个自由度。平台的惯性传感器,可以是陀螺仪三元组或一个惯性测量单元,置于框架的基座上,作为弹体角速度的敏感元件,弹体坐标系的天线方位、俯仰角信号由框架上的相对角位置传感器测量。为讨论问题方便,对2个框架分别建立坐标系,得到弹上天线平台坐标几何关系如图1所示。

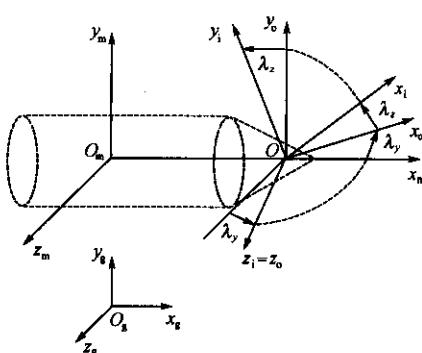


图1 动基座上天线坐标系与弹体坐标系几何关系

图中, $O_g x_g y_g z_g$ 为惯性参考坐标系; $O_m x_m y_m z_m$ 为弹体坐标系,原点 O_m 取在导弹质心上; $Ox_0 y_0 z_0$ 为外框坐标系, $Ox_i y_i z_i$ 为内框坐标系,原点 O 取在天线旋转中心上,且 O 点沿 x_m 方向与弹体质心 O_m 的距离为 ρ , Ox_i 轴沿测量敏感轴方向,指向目标为正; λ_x , λ_y , λ_z 分别为天线的方位角和俯仰角。

2 平台框架运动学关系

根据框架结构和复合运动原理,内框的运动由内框自身转动和随外框一起转动引起,外框的运动由外框自身转动和基座运动共同引起,因而天线的运动是内框、外框和基座运动的合成^[6]。

2.1 框架角速度

设弹体角速度矢量为

$$\omega_m(t) = [\omega_{mx} \quad \omega_{my} \quad \omega_{mz}]^T$$

外框角速度矢量为

$$\omega_o(t) = [\omega_{ox} \quad \omega_{oy} \quad \omega_{oz}]^T$$

则根据框架结构有:

$$\omega_i(t) = \begin{bmatrix} \omega_{mx} \cos \lambda_y - \omega_{mz} \sin \lambda_y \\ \omega_{my} + \dot{\lambda}_y \\ \omega_{mx} \sin \lambda_y + \omega_{mz} \cos \lambda_y \end{bmatrix} \quad (1)$$

同理,设内框角速度矢量为

$$\omega_a(t) = [\omega_{ix} \quad \omega_{iy} \quad \omega_{iz}]^T$$

则有:

$$\omega_a(t) = \begin{bmatrix} \omega_{ox} \cos \lambda_z + \omega_{oy} \sin \lambda_z \\ -\omega_{ox} \sin \lambda_z + \omega_{oy} \cos \lambda_z \\ \omega_{oz} + \dot{\lambda}_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 $\dot{\lambda}_y$ 为外框跟踪角速度; $\dot{\lambda}_z$ 为内框跟踪角速度。

由于天线安装在内框上,自身无滚转运动,与内框具有相同的角速度。将式(1)代入式(2)中,得到惯性空间天线角速度矢量:

$$\omega_a(t) = \omega_{as}(t) + \omega_{am}(t) \quad (3)$$

式中 $\omega_{as}(t)$ 为伺服框架跟踪角速度在天线坐标系中的投影矢量; $\omega_{am}(t)$ 为弹体角速度在天线坐标系中的投影矢量,且有:

$$\omega_{as}(t) = [\dot{\lambda}_y \sin \lambda_z \quad \dot{\lambda}_y \cos \lambda_z \quad \dot{\lambda}_z]^T \quad (4)$$

$$\omega_{am}(t) = \begin{bmatrix} \omega_{mx} \cos \lambda_z \cos \lambda_y + \omega_{my} \sin \lambda_z - \omega_{mz} \cos \lambda_z \sin \lambda_y \\ -\omega_{mx} \sin \lambda_z \cos \lambda_y + \omega_{my} \cos \lambda_z + \omega_{mz} \sin \lambda_z \sin \lambda_y \\ \omega_{mx} \sin \lambda_y + \omega_{mz} \cos \lambda_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

由式(3)的分解关系可知,天线角速度是由框架自身角速度和弹体角速度2部分的投影组成的。速率陀螺稳定方案中,框架上的速率陀螺可以直接测量惯性空间天线角速度 $\omega_a(t)$,并构成速度稳定闭环实现弹体运动隔离;采用捷联稳定结构后,惯性空间天线角速度不能直接测量得到,而是通过分别测量弹体角速度 $\omega_m(t)$ 和伺服框架跟踪角速度 $\lambda_y(t),\lambda_z(t)$,并在天线坐标系中投影后合成得到的。

2.2 框架角加速度

根据2.1节得到的框架角速度耦合关系,进一步可以得出框架角加速度的表达式。首先对式(1)进行微分,得到外框角加速度矢量为

$$\dot{\omega}_o(t) = R_{m,o}(t)\dot{\omega}_m(t) + R_{m,o}'(t)\omega_m(t)\lambda_y(t) + \ddot{\lambda}_y(t) \quad (6)$$

式中 $\dot{\omega}_m(t) = [\dot{\omega}_{mx} \dot{\omega}_{my} \dot{\omega}_{mz}]^T$ 为弹体角加速度矢量; $\ddot{\lambda}_y(t) = [0 \ \ddot{\lambda}_y \ 0]^T$ 为外框角加速度矢

$$\text{量 } R_{m,o}'(t) = \begin{bmatrix} -\sin\lambda_y & 0 & -\cos\lambda_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos\lambda_y & 0 & -\sin\lambda_y \end{bmatrix}; R_{m,o}(t)$$

为外框与弹体之间的坐标变换矩阵。

同理,对式(2)进行微分并整理,得到内框角加速度矢量为

$$\dot{\omega}_o(t) = \ddot{\Lambda}_z(t) + R_{o,i}(t)\ddot{\lambda}_y(t) + R_{o,i}'(t)\dot{\lambda}_z(t) + R_{o,i}(t)R_{m,o}(t)\dot{\omega}_m(t) + [R_{o,i}(t)R_{m,o}'(t)\lambda_y(t) + R_{o,i}'(t)R_{m,o}(t)\lambda_z(t)] \cdot \omega_m(t) \quad (7)$$

式中 $\ddot{\Lambda}_z(t) = [0 \ 0 \ \ddot{\lambda}_z]^T$ 为内框跟踪角加速度

$$\text{矢量 } R_{o,i}'(t) = \begin{bmatrix} -\sin\lambda_z & \cos\lambda_z & 0 \\ -\cos\lambda_z & -\sin\lambda_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; R_{o,i}(t)$$

为外框与内框之间的坐标变换矩阵。

由式(6)和式(7)可以看出,除框架自身角加速度外,弹体角加速度、角速度均可耦合到框架,同时内外框架角加速度之间也存在交叉耦合。

3 平台框架动力学建模

为方便,两自由度天线平台可看作由内框和外框2个活动刚体组成,根据框架结构需要分别考虑每个刚体的动力学模型并进行综合^[7,8]。

3.1 内框动力学模型

根据刚体定点运动的欧拉动力学原理,内框动力学方程为

$$M_i(t) = J_i \dot{\omega}_i(t) + \omega_i(t) \times J_i \omega_i(t) \quad (8)$$

式中 $M_i(t) = [M_{ix} \ M_{iy} \ M_{iz}]^T$ 为内框惯性力矩; J_i 为内框惯量阵。为简化分析,设内框转轴与惯性主轴一致,则内框惯量阵为对角阵,即 $J_i = \text{diag}(J_{ix}, J_{iy}, J_{iz})$ 。将式(8)展开,并考虑内框结构的质量不平衡力矩、摩擦和电缆柔性力矩等扰动力矩后,得到内框动力学模型为

$$J_i \ddot{\lambda}_z + K_{vi} \dot{\lambda}_z + K_{si} \lambda_z = T_{cz}(t) - T_{gci}(t) - T_{mci}(t) - K_{non,vi} f(\lambda_z) - K_{non,si} f(\lambda_z) - \rho_i m_i k_n g \cos \lambda_z \quad (9)$$

$$T_{gci}(t) = \dot{\lambda}_y^2 \frac{J_{iy} - J_{ix}}{2} \sin 2\lambda_z \quad (10)$$

$$\begin{aligned} T_{mci}(t) = & J_{iz} (\dot{\omega}_{mx} \sin \lambda_y + \dot{\omega}_{mz} \cos \lambda_y) - \\ & \dot{\lambda}_y \{ (J_{iy} - J_{ix}) [\omega_{my} \sin 2\lambda_z + \\ & (\omega_{mx} \cos \lambda_y - \omega_{mz} \sin \lambda_y) \cos 2\lambda_z] + \\ & J_{iz} (\omega_{mx} \cos \lambda_y - \omega_{mz} \sin \lambda_y) \} - \\ & (J_{iy} - J_{ix}) \{ \omega_{my} (\omega_{mx} \cos \lambda_y - \omega_{mz} \sin \lambda_y) \} \cos 2\lambda_z + \\ & 1/2 [\omega_{my}^2 - (\omega_{mx} \cos \lambda_y - \omega_{mz} \sin \lambda_y)^2] \sin 2\lambda_z \end{aligned} \quad (11)$$

式中 $T_{cz}(t)$ 为内框力矩电机的驱动力矩,即俯仰控制力矩; $T_{gci}(t)$ 是外框与内框的交叉耦合力矩; $T_{mci}(t)$ 是弹体对内框的耦合力矩; K_{vi} 为内框粘性摩擦系数; K_{si} 为内框电缆柔性系数; $K_{non,vi} f(\lambda_z)$ 与 $K_{non,si} f(\lambda_z)$ 分别为内框非线性摩擦力矩和非线性电缆柔性力矩; m_i 为内框系统的质量; ρ_i 为内框质心到转动支点的距离; k_n 为弹体横向过载系数; g 为重力加速度。

3.2 外框动力学模型

外框系统除自身力矩作用外,还有内框的反作用力矩,所以外框动力学方程为

$$M_o(t) = J_o \dot{\omega}_o(t) + \omega_o(t) \times J_o \omega_o(t) + R_{i,o}(t) M_i(t) \quad (12)$$

式中 $M_o(t) = [M_{ox} \ M_{oy} \ M_{oz}]^T$ 为外框惯性力矩; J_o 为外框惯量阵; $R_{i,o}(t)$ 为内框与外框之间的逆变换矩阵,且 $R_{i,o}(t) = R_{o,i}^T(t)$ 。与内框类似,设外框转轴与惯性主轴一致,则外框惯量阵也为对角阵,即 $J_o = \text{diag}(J_{ox}, J_{oy}, J_{oz})$ 。展开式(12)并考虑外框结构的质量不平衡力矩、摩擦和电缆柔性力矩等扰动力矩,得到外框动力学模型为

$$(J_{oy} + J_{ix} \sin^2 \lambda_z + J_{iy} \cos^2 \lambda_z) \ddot{\lambda}_y + K_{vo} \dot{\lambda}_y + K_{so} \lambda_y = T_{cy}(t) - T_{gco}(t) - T_{mco}(t) -$$

$$K_{\text{non}, \text{vo}}(\dot{\lambda}_y) - K_{\text{non}, \text{so}}(\dot{\lambda}_y) - \rho_o m_o k_n g \cos \lambda_y \quad (13)$$

$$T_{\text{geo}}(t) = \dot{\lambda}_y \dot{\lambda}_z (J_{ix} - J_{iy}) \sin 2\lambda_z \quad (14)$$

$$T_{\text{meo}}(t) = \dot{\omega}_{my}(J_{oy} + J_{ix} \sin^2 \lambda_z + J_{iy} \cos^2 \lambda_z) + \frac{J_{ix} - J_{iy}}{2} (\dot{\omega}_{mx} \cos \lambda_y - \dot{\omega}_{mz} \sin \lambda_y) \sin 2\lambda_z + \dot{\lambda}_z \{ (J_{ix} - J_{iy}) [\omega_{my} \sin 2\lambda_z + (\omega_{mx} \cos \lambda_y - \omega_{mz} \sin \lambda_y)] \cos 2\lambda_z - J_{iz} (\omega_{mx} \cos \lambda_y - \omega_{mz} \sin \lambda_y) \} + \frac{J_{ix} - J_{iy}}{2} \omega_{my} (\omega_{mx} \sin \lambda_y + \omega_{mz} \cos \lambda_y) \sin 2\lambda_z + (J_{ox} - J_{oz} - J_{iz} + J_{ix} \cos^2 \lambda_z + J_{iy} \sin^2 \lambda_z) \cdot \left(\frac{\omega_{mx}^2 - \omega_{mz}^2}{2} \sin 2\lambda_y + \omega_{mx} \omega_{mz} \cos 2\lambda_y \right) \quad (15)$$

式中, $T_{cy}(t)$ 为外框力矩电机的驱动力矩, 即方位控制力矩; $T_{\text{geo}}(t)$ 是内框与外框的交叉耦合力矩; $T_{\text{meo}}(t)$ 是弹体对外框的耦合力矩; K_{vo} 为外框粘性摩擦系数; K_{so} 为外框电缆柔性系数; $K_{\text{non}, \text{vo}}(\dot{\lambda}_y)$ 与 $K_{\text{non}, \text{so}}(\dot{\lambda}_y)$ 分别为外框非线性摩擦力矩和非线性电缆柔性力矩; m_o 为外框系统的质量; ρ_o 为外框质心到转动支点的距离。

4 仿真与分析

由式(9)与式(13)可以看出, 平台系统动力学模型比较复杂, 除质量不平衡力矩、摩擦和电缆柔性力矩等扰动力矩外, 两框之间及框架与基座之间均存在非线性耦合力矩。为了定量分析弹体耦合与框架交叉耦合, 本文对平台动力学模型进行了数值仿真。设某天线平台框架参数如下: 内框转动惯量为 $J_{ix} = 0.05 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$, $J_{iy} = 0.2 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$, $J_{iz} = 0.5 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$; 外框转动惯量为 $J_{ox} = 0.1 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$, $J_{oy} = 0.85 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$, $J_{oz} = 0.4 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$; 粘性摩擦系数 $K_{vi} = K_{vo} = 0.23 (\text{N} \cdot \text{m})(\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$, 柔性系数 $K_{si} = K_{so} = 0.06 (\text{N} \cdot \text{m})/\text{rad}$ 。并设弹体角速度为正弦波, 其频率为 3.0 Hz, 幅度分别为 0.26 rad/s, 1.05 rad/s 和 1.05 rad/s。仿真显示, 弹体无运动时, 框架交叉耦合为零, 说明静态时两框架轴相互正交, 这与 3.1, 3.2 节中内外两框转轴均与惯性主轴一致的假设相吻合。当弹体运动时, 针对是否考虑模型非线性及框架有无控制输入 4 种情况得到如图 2~图 5 所示的仿真结果。

其中, 图 2 是框架控制输入为 $[0 \ 0]^T$ 时弹体运动引起的框架耦合角速度, 图 3 是在给定弹体运动下, 框架控制输入分别为 $[1 \ 0]^T$ 和 $[0 \ 1]^T$

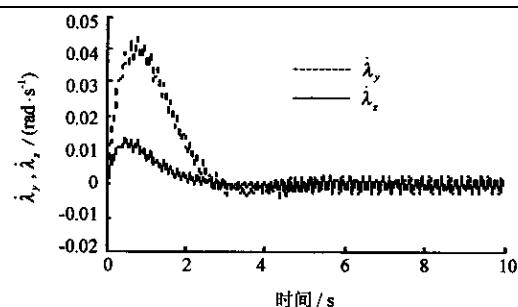


图 2 弹体运动引起的 $\dot{\lambda}_y$, $\dot{\lambda}_z$

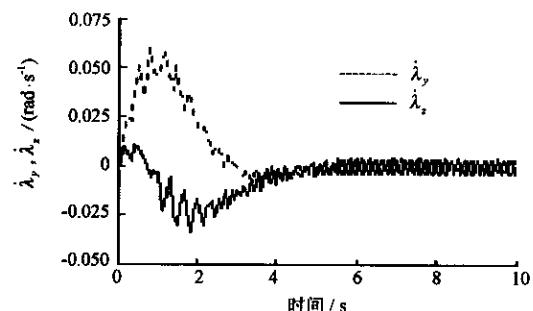


图 3 弹体运动与交叉耦合共同引起的 $\dot{\lambda}_y$, $\dot{\lambda}_z$

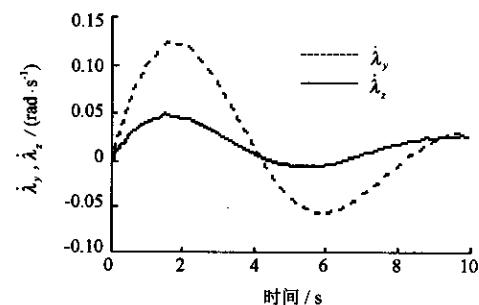


图 4 存在非线性时弹体运动引起的 $\dot{\lambda}_y$, $\dot{\lambda}_z$

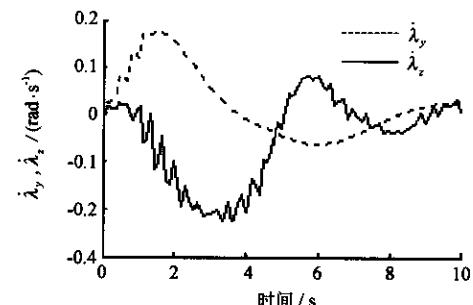


图 5 存在非线性时弹体运动与交叉耦合共同引起的 $\dot{\lambda}_y$, $\dot{\lambda}_z$

时得到的框架耦合角速度。可以看出, 图 3 的结果与图 2 差别不大, 说明内外框架交叉耦合对输出角速度影响较小。当模型中加入 $-0.5 \sim 0.5$ 的非线性时, 针对图 2 与图 3 两种情况分别得到图 4 和图 5 的仿真结果。由结果可知, 存在非线性时弹体耦合与交叉耦合均增大, 且弹体耦合约为 13%, 交叉耦合约为 7%。另外, 对于弹上导引头

天线稳定系统而言,质量不平衡力矩通常具有较大的影响,尤其是在弹体横向过载很大的情况下,所以需要精心设计伺服机构,减小偏心距离。

5 结束语

本文在全面考虑平台所受扰动力矩的条件下,建立了捷联式两自由度天线平台动力学模型,为捷联式天线平台控制系统的设计提供了理论依据。并通过分析平台框架运动学耦合关系,说明了捷联稳定方式与速率陀螺稳定方式的基本区别在于信息的获取和控制方式上,速率陀螺稳定方式是一种直接硬件稳定方法,而捷联稳定方式是一种软件补偿方法,其中的补偿算法是捷联稳定技术的核心,而惯性器件与相对传感器测量精度是影响捷联稳定精度的主要因素。在此基础上,对平台框架动力学耦合特性进行了数值仿真,结果表明:弹体对框架的耦合较强,需要进行弹体解耦,而框架之间的交叉耦合相对较弱,实际设计时可以忽略。本文的结果为进一步研究捷联式天线稳定平台提供了理论基础,也为小型化导引头视线稳定平台系统的工程设计提供了一种解决方案。

参考文献(References)

- [1] Rudin R T. Strapdown stabilization for imaging seeker [R]. AIAA-93-2660, 1993. 1~10

- [2] Kennedy P J, Kennedy R L. Direct versus indirect line-of-sight (LOS) stabilization [J]. IEEE Trans on Control Systems Technology, 2003, 11(1):3~15
- [3] 张岷峰,张忠敏. 船用数字两轴稳定控制系统[J]. 电子对抗技术,1996(1):34~40
Zhang Minfeng, Zhang Zhongmin. Shipboard digital biaxial stabilization control system [J]. Electronic Countermeasures, 1996(1):34~40 (in Chinese)
- [4] 王文清. 瞄准线捷联稳定原理及其应用[J]. 电脑开发与应用,1998, 11(1):14~16
Wang Wenqing. Strapdown stabilization principle and its application of line-of-sight [J]. Computer Development and Practice, 1998, 11(1):14~16 (in Chinese)
- [5] 周瑞青,吕善伟,刘新华. 捷联式天线平台的稳定性研究[J]. 北京航空航天大学学报,2003, 29(6):509~511
Zhou Ruiqing, Li Shanwei, Liu Xinhua. Study of stability for strapdown antenna platform [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003, 29(6):509~511 (in Chinese)
- [6] Mckerley C W. A model for a two degree of freedom coupled seeker with mass imbalance [J]. IEEE Proceedings on Control Systems Technology, 1996, 9(1):84~87
- [7] Waldmann J. Line-of-sight rate estimation and linearizing control of an imaging seeker in a tactical missile guided by proportional navigation [J]. IEEE Trans on Control Systems Technology, 2002, 10(4):556~567
- [8] 以光衡. 陀螺理论与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1990
Yi Guangheng. Gyroscope theory and application [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 1990 (in Chinese)

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>