

# 智能天线结构模糊自适应变形控制实验研究

于登云, 夏人伟, 赵国伟, 赵 豫

(北京航空航天大学 宇航学院, 北京 100083)

**摘 要:** 基于 dSPACE 半物理仿真系统和所研制的压电作动器, 设计并构建了智能天线结构实验平台, 进行了结构变形控制实验研究。实验中采用常规 PID 作为基本控制方法, 并在此基础上设计了一种模糊自适应 PID 控制器, 将两种方法对应的不同控制效果进行了对比。结果表明: 在所给的实验条件下, 基于压电材料可实现对智能天线结构变形的控制, 作动器控制变形量最大可达  $166\ \mu\text{m}$ ; 两种控制方法均可对结构变形进行控制, 模糊自适应方法的绝对位置控制精度达到  $\pm 0.5\ \mu\text{m}$ ; 应用模糊自适应 PID 控制方法对结构进行变形控制, 较之常规 PID 控制方法能够降低系统响应的超调量, 缩短稳定时间, 提高控制精度, 得到更好的控制过程。

**关键词:** 智能结构; 天线; 模糊控制; 自适应控制系统

中图分类号: TN821<sup>+</sup>.91

文献标识码: A

文章编号: 1000-1328(2006)02-0245-05

## 0 引言

空间天线或其它精密结构需要保持较高的形状及位置精度, 以确保各方面性能。采用智能结构技术能对这类结构进行精密定位和形状控制, 可望有效的提高结构性能。

智能结构研究工作起始于 20 世纪 80 年代初。80 年代后期到 90 年代以来, 国际上发表了大量关于智能结构的研究论文。在实际应用方面, 国外研究人员也作了不少尝试, 其中比较有代表性的是美国 JPL (喷气推进实验室) 于 20 世纪 90 年代初开展的 PSR 研究计划, 研发了一种集成有位移传感器和力致动器的低电压压电主动单元结构, 用这种智能结构来实现空间精密分段反射镜的低量级振动及形状控制<sup>[1]</sup>。

我国在智能结构方面的研究主要侧重于理论与数值仿真及梁板结构控制。对于更复杂的桁架结构, 有代表性的工作有南京航空航天大学所作的基于模态控制和模态滤波技术的实验研究<sup>[2]</sup>。北京航空航天大学对于柔性自适应桁架及其振动控制也进行了最优控制实验研究<sup>[3]</sup>。在智能结构的模拟仿真方面, 也已经有人做了相关工作并取得一定成果<sup>[4,5]</sup>。

本研究以抛物面天线背架为应用目标, 设计构建了智能天线结构实验平台, 将自行设计制造的 PZT 压电作动器集成到实验背架中作为主动控制元件, 并设计了一种模糊自适应 PID 控制器, 基于

dSPACE 半物理仿真系统和 Matlab 进行了结构变形控制实验。

## 1 基于 dSPACE 的变形控制实验平台

### 1.1 抛物面天线背架桁架

本研究设计的抛物面天线背架, 是一个焦距为 0.48m 的三维桁架结构。该桁架共有 10 片骨架, 每片有 7 根桁架杆, 每片间由 3 根桁架杆连接, 共 100 根杆, 关节接头采用预紧螺纹压紧, 片间夹角为 36 度, 口面圆直径为 1.296m。构建实验平台时, 只考虑了抛物面天线背架的一个局部, 共 3 片, 片间角度为 36 度。整个实验平台包括抛物面天线背架桁架、主动元件(压电作动器)、功率放大器、信号传感(电涡流传感器、信号前置器)、dSPACE 控制器、PC 控制台六个部分, 系统构成如图 1 所示。

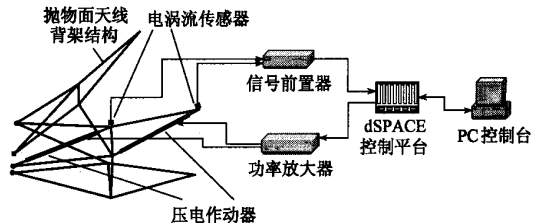


图 1 实验平台系统构成

Fig.1 Structure of the Testbed System

1.2 PZT-5 压电作动器研制

本研究采用了将压电堆在结构上串联,压电堆间电学并联的方法,自主设计制造成有较大冲程的 PZT-5 作动器。其输出位移  $\delta$ 、结构外力  $F$  及外加电压  $\phi$  间关系可表示为

$$m\ddot{\delta} + c\dot{\delta} + k\delta = F + kd\phi \tag{1}$$

其中  $k$ 、 $d$  分别为等效刚度系数和等效电致作动系数。图 2 为 PZT-5 压电作动器结构,该作动器尺寸为  $\phi 12 \times 210\text{mm}$ ,经实验测试,最大位移输出量为  $166\text{ }\mu\text{m}$ ,最大输出力可达到  $156\text{N}$ 。

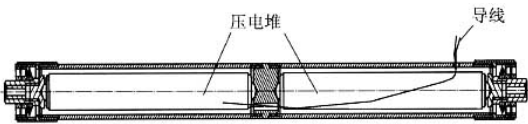


图 2 PZT-5 压电作动器结构图  
Fig.2 Structure of the PZT-5 piezoelectric ceramic actuators

2 PID 结构变形控制方法

定义系统输入误差

$$e(t) = u_t - u_0 \tag{2}$$

其中  $u$  表示结构单元在系统坐标系下的位移。依据基于经典控制理论的 PID 控制方法,控制器反馈电压表达式如式 3 所示。

$$\phi(t_i) = K_m \left( K_p e(t_i) + K_i \int_0^{t_i} e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \right) \Big|_{t=t_i} \tag{3}$$

式中  $K_m$  为反馈控制矩阵,  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  分别为比例、积分和微分因子,  $\phi$  为 PID 调节后的输出控制电压。

3 模糊自适应 PID 控制器设计<sup>[6]</sup>

在设计过程中, PID 参数自适应的思想就是找出 PID 控制器的三个参数  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  与误差  $e$  和误差变化率

$$ec = \frac{de}{dt} \tag{4}$$

之间的模糊关系,在控制过程中通过不断检测  $e$  和  $ec$ ,根据模糊控制规则来对三个 PID 控制参数进行在线修正,以满足不同  $e$  和  $ec$  对控制器参数的不同要求,从而使被控对象具有良好的动、静态性能。

3.1 确定模糊控制器的结构

基于对系统的上述分析,将偏差  $e$  和偏差变化率  $ec$  作为模糊控制器的输入, PID 控制器的三个参

万方数据

数  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  作为输出。定义它们的模糊集同时为  $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ ,论域均为  $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。

3.2 建立模糊控制规则

从系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等方面来考虑,  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  的作用如下:

(1) 比例系数  $K_p$  的作用是加快系统的响应速度,提高系统的调节精度。 $K_p$  越大,系统的响应速度越快,系统的调节精度越高,但易产生超调,甚至导致系统不稳定。 $K_p$  取值过小,则会降低调节精度,使响应速度缓慢,从而延长调节时间,使系统动、静态特性变坏。

(2) 积分系数  $K_i$  的作用是消除系统的稳态误差。 $K_i$  越大,系统的稳态误差消除越快,但如果  $K_i$  过大,在响应过程的初期会产生积分饱和现象,从而引起响应过程的较大超调。若  $K_i$  过小,将使系统稳态误差难以消除,影响系统的调节精度。

(3) 微分作用系数  $K_d$  的作用是改善系统的动态特性。其主要作用是反应偏差信号的变化趋势。并能在偏差信号值变得太大之前,在系统引入一个有效的早期修正信号,从而加快系统的响应速度,减少调节时间。

模糊控制设计的核心是总结工程设计人员的技术知识和实际操作经验,建立合适的模糊规则表,得到针对  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  三个参数分别调整的模糊控制表<sup>[7]</sup>。表 1 到表 3 分别为  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  的模糊控制规则。

表 1  $K_p$  模糊控制规则  
Table 1  $K_p$  Fuzzy Control Rule

| $\begin{smallmatrix} ec \\ e \end{smallmatrix}$ | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
|---|----|----|----|----|----|----|----|
| NB  | PB | PB | PM | PM | PS | ZO | ZO |
| NM  | PB | PB | PM | PS | PS | ZO | NS |
| NS  | PM | PM | PM | PS | ZO | NS | NS |
| ZO  | PM | PM | PS | ZO | NS | NM | NM |
| PS  | PS | PS | ZO | NS | NS | NM | NM |
| PM  | PS | ZO | NS | NM | NM | NM | NB |
| PB  | ZO | ZO | NM | NM | NM | NB | NB |

3.3 量化因子和比例因子的确定

当计算机进行模糊计算时,为了进行模糊化处理,必须将输入变量从精确值转换到相应的模糊论域中,需要将输入变量乘以相应的系数即量化因子。同样,由于模糊算法的输出量也仅仅是论域中的值,还不能直接用于控制对象,还需要乘以一个比例因

子将它转化成精确控制量。在模糊控制器的设计中,需要考虑输入变量和输出控制量的变化范围以及论域的大小,合理选取量化因子和比例因子。

表 2  $K_i$  模糊控制规则

Table 2  $K_i$  Fuzzy Control Rule

| $ec$<br>$e$ | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|
| NB          | NB | NB | NM | NM | NS | ZO | ZO |
| NM          | NB | NB | NM | NS | NS | ZO | ZO |
| NS          | NB | NM | NS | NS | ZO | PS | PS |
| ZO          | NM | NM | NS | ZO | PS | PM | PM |
| PS          | NM | NS | ZO | PS | PS | PM | PB |
| PM          | ZO | ZO | PS | PS | PM | PB | PB |
| PB          | ZO | ZO | PS | PM | PM | PB | PB |

表 3  $K_d$  模糊控制规则

Table 3  $K_d$  Fuzzy Control Rule

| $ec$<br>$e$ | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|
| NB          | PS | NS | NB | NB | NB | NM | PS |
| NM          | PS | NS | NB | NM | NM | NS | ZO |
| NS          | ZO | NS | NM | NM | NS | NS | ZO |
| ZO          | ZO | NS | NS | NS | NS | NS | ZO |
| PS          | ZO | ZO | ZO | ZO | ZO | ZO | ZO |
| PM          | PB | PS | PS | PS | PS | PS | PB |
| PB          | PB | PM | PM | PM | PS | PS | PB |

3.4 Matlab 模型建立

应用 Matlab 中的模糊逻辑工具箱 (Fuzzy Logic Toolbox)实现模糊控制模块的搭建,生成模糊推理系统,得到内部结构如图 3 所示的模糊控制器,实现模糊控制逻辑<sup>[8]</sup>。

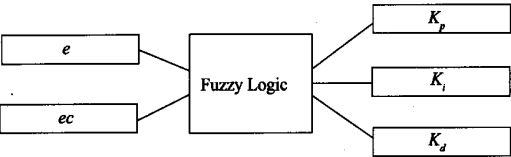


图 3 模糊控制器内部结构

Fig.3 Internal structure of fuzzy controller

针对整个实验平台控制系统,在 Matlab/Simulink 中建立模糊自适应 PID 控制系统模型<sup>[9]</sup>。系统设计框图如图 4。

其中,DS2103\_B1 为 dSPACE 控制器 D/A 接口,输出控制电压到功率放大器以驱动主动元件;DS2002\_B1 为 dSPACE 控制器 A/D 接口,采集位移传感器信号; $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  为 PID 控制的比例、积分和微分因子, $K_m$  为反馈控制矩阵, $K_e$ 、 $K_{ec}$  为量化因子, $C_p$ 、

万方数据

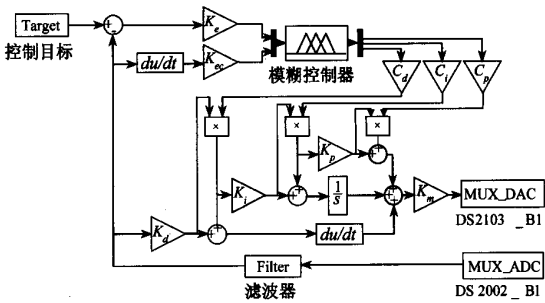


图 4 控制系统设计框图

Fig.4 Frame structure of control system

$C_i$ 、 $C_d$  为比例因子;滤波器采用 ButterWorth 低通滤波器,以去除反馈中的高频噪声。

4 结构变形控制实验

本研究针对所构建的天线控制模型,基于 dSPACE 系统进行了结构变形的控制实验,对如图 5 所示的一个单一天线平面进行平面内的变形控制。在结构杆 13、45 上配置作动器,在节点 5、3 关节面处配置了电涡流传感器检测节点位移,分别为测点 1、2。位移量按法线方向进行测量,方向矢量分别为  $(-0.42,0,0.91)$ 、 $(-0.42,0,0.91)$ 。

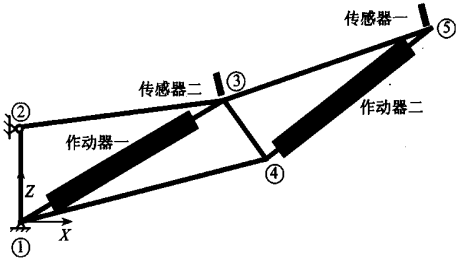


图 5 桁架节点编号及作动器、传感器配置

Fig.5 Node No. of truss and deployment of actuators and sensors

实验中,反馈控制矩阵通过实验测试获得,通过反复试验优化选取一组适当的 PID 参数以及模糊控制的量化和比例因子,得到了较为理想的结构变形控制结果。

5 试验结果及结果分析

5.1 变形恢复试验

变形恢复实验中,桁架测点 1、2 分别具有  $-25\mu\text{m}$  和  $-14.5\mu\text{m}$  初始位移,通过在一、二作动器上施加电压将测点位置恢复到零位移状态。在两组

对比试验中,分别在  $t = 5$  秒时采用常规 PID 方法和模糊自适应方法对结构进行控制。表 4 和表 5 分别为测点 1、2 在不同控制方法下的控制效果数据对比。图 6 和图 7 为测点 1 在 PID 和模糊自适应控制下的位移变化曲线,图 8 和图 9 为测点 2 在这两种控制方法下的位移变化曲线。

表 4 PID 控制与模糊自适应控制效果对比(测点 1)

Table 4 PID vs. fuzzy of control effect (M.P 1)

|                     | PID 控制  | 模糊自适应控制   |
|---------------------|---------|-----------|
| 最大超调/ $\mu\text{m}$ | 10.4    | 2.7       |
| 稳定时间/ $s$           | 9       | 7         |
| 残余偏差/ $\mu\text{m}$ | $\pm 2$ | $\pm 0.5$ |

表 5 PID 控制与模糊自适应控制效果对比(测点 2)

Table 5 PID vs. fuzzy of control effect (M.P 2)

|                     | PID 控制  | 模糊自适应控制   |
|---------------------|---------|-----------|
| 最大超调/ $\mu\text{m}$ | 13.0    | 5.6       |
| 稳定时间/ $s$           | 9       | 7         |
| 残余偏差/ $\mu\text{m}$ | $\pm 2$ | $\pm 0.5$ |

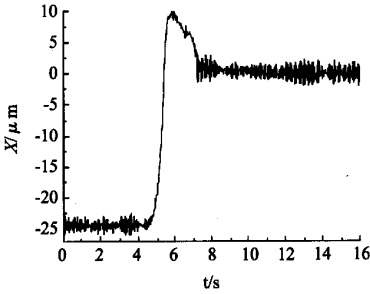


图 6 PID 控制测点 1 位移变化

Fig. 6 Displacement of measure point 1 under PID control

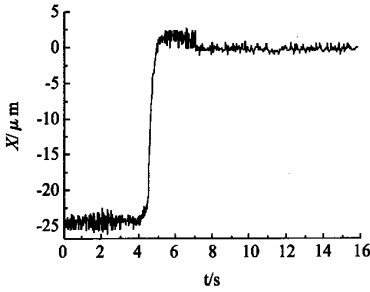


图 7 模糊自适应控制测点 1 位移变化

Fig. 7 Displacement of Measure Point 1 under Fuzzy Control

采用模糊自适应控制后,PID 参数得到在线调整。整个控制过程得到改善,最大超调量分别降低到常规控制方法的 10.6%和 43%,稳定时间降低了 22%,最终位置控制精度提高了 75%。

万方数据

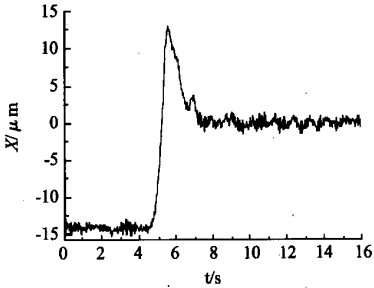


图 8 PID 控制测点 2 位移变化

Fig. 8 Displacement of Measure Point 2 under PID Control

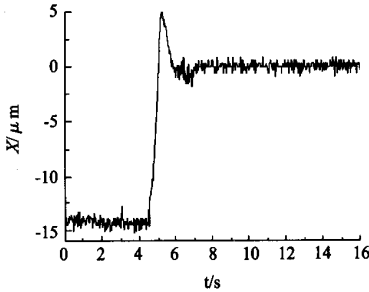


图 9 模糊自适应控制测点 2 位移变化

Fig. 9 Displacement of Measure Point 2 under Fuzzy Control

5.2 目标控制点阶跃位移输出实验

在目标控制点阶跃位移输出实验中,保持测点 2 位置不变,控制测点 1 位置在  $t = 5\text{ s}$  时由零位移处阶跃至  $20\text{ }\mu\text{m}$ 。图 10 为采用常规 PID 控制时测点位移变化曲线,图 11 为模糊自适应控制下测点位移变化曲线。如表 6 所列出实验数据可以看出,两种方法均可控制测点的位置达到目标,但模糊自适应控制方法的位置控制精度更高,绝对误差在  $0.5\text{ }\mu\text{m}$ ;超调量仅为原来的 24%,稳定时间缩短 25%,可实现较好的控制过程。

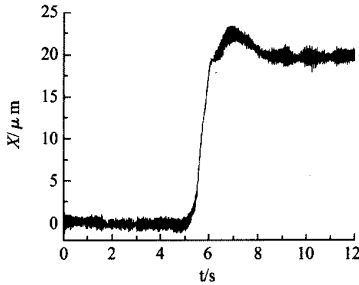


图 10 PID 控制测点位移变化

Fig. 10 Displacement of Measure Point under PID Control

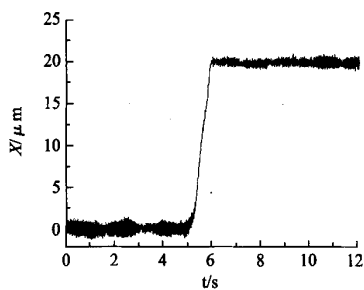


图 11 模糊自适应控制测点位移变化

Fig.11 Displacement of Measure Point under Fuzzy Control

表 6 阶跃输出实验结果对比

Table 6 Compare of step output experiment

|         | 最大超调/ $\mu\text{m}$ | 稳定时间/ $s$ | 残余偏差/ $\mu\text{m}$ |
|---------|---------------------|-----------|---------------------|
| PID 控制  | 3.4                 | 8         | $\pm 2$             |
| 模糊自适应控制 | 0.8                 | 6         | $\pm 0.5$           |

6 结论

本研究采用压电材料作为主动元件对结构进行变形控制,表现出了良好的变形控制性能,控制变形量最大可以达到  $166\text{ }\mu\text{m}$ ;对比常规 PID 以及模糊自适应 PID 控制方法,后者表现出了更优越的控制性能,绝对位置控制精度达到了  $\pm 0.5\text{ }\mu\text{m}$ ,证明了运用模糊控制理论在线调整 PID 控制参数,对智能天线结构进行控制的可行性。

参考文献:

[1] 刘天雄,林益明,陈烈民.智能结构及其在空间飞行器中的应用[J].强度与环境,2004,31(2):20-27[LIU Tian-xiong, LIN Yi-ming, CHEN Lie-min. Intelligent Structure and it's applications in spacecraft[J]. Structure and Environment Engineering, 2004,31(2): 20-27]

[2] 刘福强,岳林,张令弥.基于模态滤波器的柔性智能桁架结构振动主动控制实验研究[J].航空学报,2000,21(6):508-511[LIU Fu-qiang, YUE Lin, ZHANG Ling-mi. Experimental study of active vibration control of flexible space intelligent truss structures via modal filters[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2000,21 (6):508-511]

[3] 赵国伟,黄海,夏人伟.柔性自适应桁架及其振动最优控制实验[J].北京航空航天大学学报,2005,31(4):434-438[ZHAO Guo-wei, HUANG Hai, XIA Ren-wei. Flexible adaptive truss testbed and its optimal control experiment for vibration[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2005,31(4):434-438]

[4] 龙连春,隋永康.空间智能结构的一种最优调控方法[J].北京工业大学学报,2003,29(2):133-137[LONG Lian-chun, SUI Yong-kang. Optimum control method of intelligent space structures[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2003,29(2):133-137]

[5] 司洪伟,李东旭.智能结构中致动器数目与位置的优化[J].宇航学报,2003,24(6):594-597[SI Hong-wei, LI Dong-xu. Opt im iza tion of the number and loca tion s of the actuators in smart struc-tures[J]. Journal of Astronautics,2003,24(6):594-597]

[6] 李士勇.模糊控制神经控制和智能控制论[M].第2版.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1998[LI Shi-yong. Fuzzy Control. Neurocontrol and Intelligent Cybernetics [M]. 2<sup>nd</sup> edition. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 1998 (in Chinese)]

[7] 陶永华.新型PID控制及其应用[M].第2版.北京:机械工业出版社,2003[TAO Yong-hua. New-Style PID Control and Its Applica-tion [M]. 2<sup>nd</sup> edition. Beijing: China Machine Press, 2003 (in Chi-nese)]

[8] 张国良,曾静,柯熙政,邓方林.模糊控制及其 MATLAB 应用[M].西安:西安交通大学出版社,2002[ZHANG Guo-liang, ZENG Jing, KE Xi-zheng, DENG Fang-lin. Fuzzy Control and Its Applica-tion in MATLAB [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2002 (inChinese)]

[9] 侯勇严,孙瑜,郭文强.一种自适应模糊 PID 控制器的仿真研究[J].陕西科技大学学报,2004,22:48-52[HOU Yong-yan, SUN Yu, GUO Wen-qiang. A simulation research of a self-tuning fuzzy PID controller based on MATLAB [J]. Journal of Shan Xi University of Science and Technology, 2004,22:48-52]



于登云(1961-),男,北京航空航天大学在职博士研究生,研究员,飞行器设计专业,研究方向为航天器总体设计与控制。  
通信地址:北京航空航天大学宇航学院(100083)  
电话:(010)82316611  
E-mail:yudg@cast.cn

(下转第 267 页)

- IEEE Trans EMC, 1997, 39(2): 147 - 155
- [4] Martin P Robinson, Trevor M knson, Christos Christopoulos. Analytical formulation for the shielding effectiveness of enclosures with apertures[J]. IEEE Trans EMC, 1998, 40(3): 240 - 247
- [5] 郭剑, 邹军, 何金良, 曾嵘. 基于 Vector Fitting 的金属薄壳电磁脉冲屏蔽效能的计算[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(10): 1302 - 1305 [Guo Jian, Zou Jun, He Jin-liang, Zeng Rong. Evaluation of EMP Shielding effectiveness for metallic shells based on the vector fitting method[J]. JT singhua Univ(Set&Tech), 2004, 44(10): 1302 - 1305]
- [6] 刘川, 蒋全兴. 利用屏蔽室壁面的标准测试口测量孔缝泄漏及材料的屏蔽效能[J]. 安全与电磁兼容, 2002(2): 27 - 29 [Liu Chuan, Jiang Quan-xing. A Method for measuring the leak through aperture and the material's shielding effectiveness by the

standard window in shielding enclosure[J]. Safety & EMC, 2002(2): 27 - 29]

- [7] Lu Feiyan, Sha Fei. Analysis for shielding effect of metal plate with apertures with FDTD[A]. 3<sup>rd</sup> International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2002: 739 - 743



作者简介: 何鸣(1973 -), 男, 讲师, 博士研究生, 导航、制导与控制专业, 研究方向为电磁兼容、图像处理。

通信地址: 陕西省西安市第二炮兵工程学院 303 教研室(710025)

E-mail: heming76118@sina.com

## Influence of Apertures in the Electronic Equipment of Missile on Electromagnetic Shielding Effectiveness

HE Ming, LIU Guang-bin, HU Yan-an, JIANG Li-qiang

(The second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** Electromagnetic shielding effectiveness of electronic equipment directly influences the EMC performance of the missile weapon system. And the electromagnetic leakage from apertures on case of the device is an issue which can not be ignored. Aiming at this problem, EZ-FDTD, a FDTD computing software, is used to the FDTD modeling in this paper. The influence of apertures' shape, number, size and arrangement on electromagnetic shielding effectiveness of the electronic equipment is analyzed and computed. Based on this, some improving methods are introduced. To prove the validity of methods described here, the electromagnetic shielding design of the case of electronic equipment of a certain missile is carried out, and the electromagnetic shielding effectiveness is improved by 26 dB.

**Key words:** Apertures; Missile weapon; Electronic equipment; Cabinet; Electromagnetic shielding; Shielding effectiveness

(上接第 249 页)

## Experimental Research on Deformation Control for Intelligent Antenna Structure based on Self Tuning Fuzzy Control

YU Deng-yun, XIA Ren-wei, ZHAO Guo-wei, ZHAO Yu

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

**Abstract:** With dSPACE simulation system and developed piezoelectric ceramic actuators, an intelligent antenna structure was designed and founded as a testbed and the experiments concerned of deformation control were developed in this work. The traditional PID method was adopted in the experiments and a self tuning fuzzy PID controller was also established. The different control effects correspond to each method were compared in this paper. The results show that under given conditions, the piezoelectric structures are valid in the structures' deformation control. The maximum displacement control capacity of the actuator is 166  $\mu\text{m}$ . The two methods both can achieve the deformation control and the absolute position accuracy of the self tuning fuzzy control can reach  $\pm 0.5 \mu\text{m}$ . Compared to the routine PID control method, the newly developed self tuning fuzzy PID controller can depress the overshoot, shorten the stable time, and improve the control accuracy to acquire a better control process.

**Key words:** Intelligent structures; Antennas; Fuzzy control; Self tuning control systems

## 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>