

## 天线简述

# 基于平行坐标的天线结构优化过程可视化研究\*

尤 芳,仇原鹰,曹鸿钧,段宝岩

(西安电子科技大学机电学院, 西安 710071)

**【摘要】** 将可视化技术引入天线结构优化计算过程中,采用平行坐标技术实时显示优化过程中设计空间中敏感度信息、约束函数信息等的相关状态,克服了笛卡儿坐标系无法描述多维数据空间的困难,使优化过程变得“透明”、“可视”,实现了对计算过程的跟踪和驾驭,提高了优化的质量与效率。

**【关键词】** 天线;优化;可视化;平行坐标

中图分类号:TN820 文献标识码:A

## Research on Visualization for Antenna Structural Optimization Based on Parallel Coordinates

YOU Fang, QIU Yuan-ying, CAO Hong-jun, DUAN Bao-yan

(School of Electromechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**【Abstract】** In this paper, visualization technology is introduced to optimization computing process for antenna structures. To overcome the difficulty that the Cartesian coordinate system cannot describe the multidimensional data space, a new powerful visualization tool, namely parallel coordinates visualization technology, is applied to display interrelated information of design space, such as the information of gradient and restriction function. Then, optimization computing process is made transparent and visible. Thus, the optimization process can be tracked and manipulated and the efficiency and quality of optimization are enhanced to a certain extent.

**【Key words】** antenna; optimization; visualization; parallel coordinates

## 0 引言

天线结构是一种大型复杂精密的机电结构,随着天线结构向高增益和轻量化等方向发展,对天线各项性能指标的要求日趋严格。优化设计可以在天线各项性能指标之间进行协调,迅速找到满足设计要求的满意的设计方案。在国外,优化设计已是天线结构设计中不可缺少的重要环节。在国内,结构设计通常依赖实践经验来确定设计方案,根据对结构所要求的功能,按照经验预先确定结构的几何尺寸和选用材料,然后进行结构分析,确定其是否可行,优化技术的应用尚不够普及。其原因主要在于目前的天线结构优化设计仍然停留在数字式和非可视化的阶段<sup>[1]</sup>,优化模型建立过程及优化求解过程对设计人员来说都是一个黑箱,需要设计人员同时掌握深厚的优化知识和结构设计知识,这在一定程度上制约了优化技术在工程结构设计中的应用。

此外,科学计算可视化技术作为发现和理解科学计算过程中问题和现象的有利工具<sup>[2]</sup>,在许多领域中得到了广泛的应用。但是在天线结构优化计算过程中,可视化技术尚未能得到充分的应用,科学计算仍然以批处理方式进行,不能进行交互处理,使用者无法了解优化迭代过程中的现象,以便及时对计算过程进行引导和干预,只能被动地等待计算结果的输出,而大量的输出数据又只能通过人工方式处理,不仅不能得到直观的结果信息,而且人工处理数据工作又十分冗繁、费时。

本文的主要工作是将平行坐标可视化技术应用于天线结构优化计算过程中<sup>[3-5]</sup>,将优化过程中的输出数据以图形、图表等简单直观的形式显示,应用视觉效果促进设计人员对问题的理解,使设计人员了解在优化计算过程中发生的现象,并可改变参数,对计算过程实现引导和控制,促进优化技术的普及与应用,提高优化的质量与效率。

\* 收稿日期:2007-07-10 修订日期:2007-10-19

基金项目:国防基础预研项目(K1101010101)

## 1 天线结构优化过程的可视化

### 1.1 天线结构优化设计的数学模型

天线结构优化设计的内容之一就是将天线结构实际问题抽象成天线优化设计的数学模型。它反映了设计问题中各主要因素间内在联系的数学关系,是对天线结构设计变量、性能与性质约束以及目标函数综合分析后给出的有关优化设计模型的定量表示。天线结构优化设计的一般数学模型可描述为

$$\begin{aligned} & \text{Find } X \in R^n \\ & \text{Min } F(X) \\ & S. T. g_i(X) \leq 0, (i = 1, \dots, m) \\ & h_j = 0, (j = 1, \dots, k) \\ & X \in [X^L, X^U] \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $X$  为设计变量; $F(X)$  为目标函数; $g$  为不等式约束; $h$  为等式约束; $X^L, X^U$  分别为设计变量的上、下限。在天线结构优化的数学模型中,目标函数可以是结构重量、反射面精度、电气性能指标、结构可靠度等;约束包括结构重量(当反射面精度作为目标时)、反射面精度(当结构重量作为目标时)、固有频率约束、应力约束、电性能指标约束等;设计变量包括背架结构下弦节点坐标、结构形状截面尺寸等。

在以下的所有说明中,将以某 16 m 天线背架结构部分参数优化为例。具体优化模型描述如下:(1) 目标函数为反射面精度最高;(2) 设计变量 27 个(经变量归并处理后),包括 24 个结构形状截面尺寸和 3 个背架结构下弦节点坐标;(3) 约束条件 4 个,包括结构重量约束、应力约束、最高固有频率约束、最低固有频率约束。

### 1.2 优化计算过程的可视化

优化过程可视化不仅仅是初始设计与最终结果的图形、图表显示<sup>[6-7]</sup>,而且是贯穿优化计算过程的始终,从而揭示中间迭代过程数据变化的规律与特征,为用户及时调整参数提供依据。在本文所开发的基于 Delphi 的天线结构优化过程可视化软件中<sup>[8]</sup>,采用平行坐标可视化技术用户可以直观地了解优化过程中的一些信息,如目标函数和约束函数的迭代历程、目标函数和约束函数的当前敏感度信息及敏感度历史、约束函数的位置、当前点的设计变量值、当前点的应力云图以及位移云图等;而且用户还可以根据优化迭代过程中数据变化的规律对优化过程进行干预,如暂停优化、重新选择合理的初始点、对不敏感的设计变量进行冻结、重新建模等,以提高优化效率与质量,从而实现对优化过

程的跟踪和驾驭。

#### 1.2.1 敏度信息的可视化

优化迭代过程中的敏感度分析可以为下一次迭代提供可靠的依据。如果有变量在迭代过程中对改善设计的梯度较小,则可以视其为被动变量,在下次迭代时将其从变量中删除,减小优化迭代的规模。而在过几步后,当变量变得敏感时,又可将其加入变量组。即设计变量的规模在整个迭代过程中是可变的。在图 1 当前点敏感度信息显示区中,相互平行的等间距竖直轴线分别代表各个设计变量,将某个设计函数对每个设计变量的敏感度值对应到设计变量所属的坐标轴上,相邻坐标轴上的点通过直线依次连接。选定设计函数,则该函数对所有设计变量的敏感度就以蓝色多边线(即颜色较深的多边线)形式直观地显示出来;选定设计变量,则以红色竖直线(即图 1 中颜色较深的竖直线)显示设计变量所属的坐标轴。敏感度历史体现所有设计函数在某个指定设计变量处的敏感度值变化情况。在敏感度历史显示区中,相互平行的等间距竖直轴线分别代表优化的迭代次数,将每次迭代时某个设计函数对指定设计变量的敏感度值对应到当次迭代所属的坐标轴上,相邻坐标轴上的点通过直线依次连接。这样,5 个设计函数在某个指定设计变量处的敏感度值历史就成为 5 条多边线。

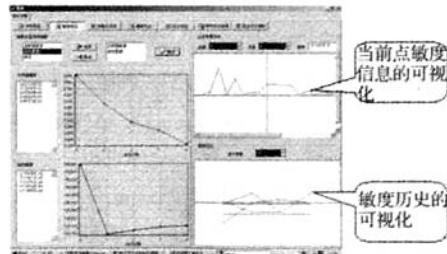


图 1 平行坐标可视化技术在敏感度信息中的应用

#### 1.2.2 约束函数信息的可视化

平行坐标可视化技术在约束函数信息中的应用如图 2 所示。红色区域(即水平线以上区域)表示约束函数不满足约束条件(即违背约束条件),绿色区域(即水平线以下区域)表示约束函数满足约束条件,水平线则代表临界约束。相互平行的等间距竖直轴表示每一个约束函数,而穿过 4 条平行轴的多边线是连接相邻平行轴上经归一化处理的约束函数值形成的。给定每个约束函数的上下限,穿过 4 条平行轴的多边线的位置就可以告诉我们在当前情况下约束函数的状况(如满足、临界或违背约束条件)。

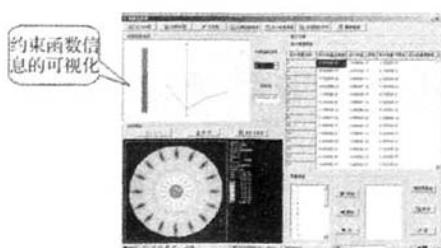
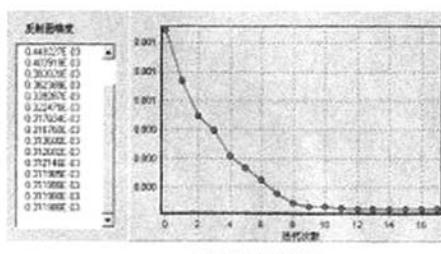


图2 平行坐标可视化技术在约束函数信息中的应用

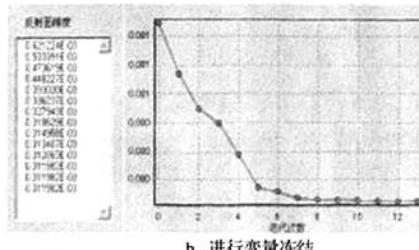
如图2所示的约束函数信息显示区中,4个约束函数均处于水平线以下,表明在当前设计点处约束函数满足约束条件,红色的竖直轴(即图2约束函数信息显示区中颜色较深的竖直线)表示选定的约束函数的位置。

### 1.2.3 优化结果分析与讨论

优化迭代过程是一个复杂而又漫长的过程,如何根据迭代过程中的规律,有效地调整可控参数,提高优化效率与质量是最终目的。本算例共设27个设计变量,优化迭代每循环一次需进行30次重分析。使用配置为Intel奔腾4处理器2.4GHz,256Mb内存,操作系统为Windows2000 Professional的计算机,每次有限元分析需时约13min,优化迭代一次约需6.5h。在迭代过程中,根据敏感度的变化规律,采取变量冻结技术改变设计变量规模来实现对优化过程的驾驭,图3a、3b分别表示为未进行变量冻结及进行变量冻结时,目标函数(反射面精度)的迭代历程。



a. 未进行变量冻结



b. 进行变量冻结

图3 目标函数迭代历程

对比图3a、3b可以得出:根据设计方案的敏感度信息变化,采取变量冻结技术,减小设计变量规模,对提高优化效率是行之有效的。

## 2 结语

将平行坐标可视化技术应用于天线结构优化计算过程中,通过图形、图表等直观的形式显示迭代过程中设计空间的有关信息,诸如目标函数和约束函数的迭代历史、敏感度信息、约束函数信息等,并通过变量冻结技术对优化过程进行操控,实现了对计算过程的跟踪和驾驭,提高了优化效率。

## 参 考 文 献

- [1] 段宝岩. 天线结构分析、优化与测量[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1998.
- [2] 唐泽圣. 科学计算可视化[J]. 中国计算机用户,1996,(3,4):5~6.
- [3] Inselberg A, Dimondale B. Parallel coordinates: A tool for visualizing multidimensional geometry[C]. In Proceedings of IEEE Visualization 90, Los Alamitos, CA, 1990:361~378.
- [4] Amit Goel. Visualization in problem solving environments[D]. Master Paper, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1999.
- [5] Siirtola H. Direct manipulation of parallel coordinates[C]. Information Visualization IV'00, Proceedings International Conference on Information Visualization, IEEE Computer Society, 2000:373~378.
- [6] 吴六永,薛晓滨. 工程设计可视化技术研究及其应用[J]. 计算机辅助设计与制造,1998,(1):21~24.
- [7] 段宝岩,张劲柏. 基于可视化的工程结构优化设计[J]. 计算力学学报,2001,18(4):435~442.
- [8] 迟忠先. Delphi6.0开发实务[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

尤芳 女,1973年生,硕士。研究方向为优化过程的可视化。

仇原鹰 男,1958年生,教授,博士生导师。研究方向为智能机器人控制技术、机械手动力学。

曹鸿钧 男,1968年生,副教授,硕士生导师。研究方向为结构和多学科优化设计。

段宝岩 男,1955年生,教授,博士生导师。研究方向为先进制造技术、工程结构优化设计、机电一体化等。

## 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](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>