

## Approach for Antenna Design by Using Support Vector Machine Regression<sup>\*</sup>

LI Shou-lin<sup>1</sup>, LI Xiu-ping<sup>2</sup>, ZHANG Ying<sup>1</sup>

(1. College of Computer, China West Normal University, Nanchong Sichuan 637002, China;

(2. School of Telecommunication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** An approach for antenna design by using Support Vector Machine (SVM) Regression modeling technique is presented. Three important printed dipole antenna layout dimensions are used to capture critical input-output relationships in the SVM regression model. Once fully developed, the model has been shown to be as accurate as an EM simulator and much more efficient computationally than Artificial Neural Network(ANN) model for antenna design and optimization.

**Key words:** nonlinear regression; antenna; support vector machine regression; optimization

EEACC:5270

## 支持向量机回归法在天线设计中的应用<sup>\*</sup>

李寿林<sup>1</sup>, 李秀萍<sup>2</sup>, 张 鹰<sup>1</sup>

(1. 西华师范大学 计算机学院, 四川 南充 637002; )

(2. 北京邮电大学 电信工程学院, 北京 100876 )

**摘要:** 提出了一种利用支持向量机回归进行天线设计的方法. 以印刷偶极子天线为例, 通过对3个主要的天线参数进行训练以捕捉天线结构尺寸和天线性能之间的关系, 从而建立支持向量机回归模型. 该模型在保证快速计算的前提下显示出比神经网络模型更高的计算精度, 从而节省天线设计和优化时间.

**关键词:** 非线性回归; 天线; 支持向量机回归; 最优化

中图分类号: TP181

文献标识码: A 文章编号: 1005-9490(2007)04-1285-04

通常, 我们通过场分析软件进行天线仿真<sup>[1]</sup>实现天线的设计, 该方法准确但是比较费时, 尤其对于天线的优化, 更是耗时的工作, 而且效果往往不理想. 通过等效电路模型的设计工作比较容易理解天线的物理连接, 但是, 不是所有的天线结构都可以很容易的得到其等效电路模型, 而且等效电路模型的仿真结果精度较差. 于是, 文献[2]将神经网络应用在天线的设计中, 该方法可以实现快速的天线设计和优化, 计算精度也比等效电路模型得到了很大的提高.

本文所应用的支持向量机<sup>[3-4]</sup> (Support Vector Machine, SVM)于20世纪90年代由Vapnik提出. 它建立在统计学习理论(Statistic Learn Theory, SLT)的

VC(Vapnik-Chervonenkis)维理论和结构风险最小理论基础上, 根据有限样本信息在模型的复杂性和给定数据逼近精度之间寻求最佳折衷, 以期获得最好的推广能力. 目前支持向量机广泛应用于模式识别、回归问题、数据挖掘等方面. 支持向量机回归方法的基本思想是通过一个非线性映射, 将数据样本映射到高维空间, 并在这个空间进行线性回归.

本文将 SVM 回归方法用于印刷偶极子天线设计中, 通过天线仿真训练数据建立 SVM 回归模型. 利用此模型可以根据输入的天线尺寸, 直接得到天线匹配性能, 该方法适于快速的天线设计以及优化. 本文将该方法与文献[2]的神经网络模型进行了比

收稿日期: 2006-09-10

基金项目: 江苏省专用集成电路设计重点实验室开放课题资助(JSICK0602); “863”计划支持; 四川省教育厅重点科学科研项目基金资助(2005A109); 西华师范大学校立科研项目基金资助(05A009)

作者简介: 李寿林(1979-), 男, 1979年生, 研究生, 主要研究方向为模式识别与智能信息处理、基于网络的计算机应用,

lishoulin@jn.gov.cn.

较,结果表明在保证快速计算的前提下,天线的设计精度得到了进一步的提高。

## 1 印刷偶极子天线设计<sup>[1]</sup>

印刷偶极子天线的结构如图1(a),俯视图如图1(b)所示,其相应的结构尺寸见表1。带有通孔的微带巴伦线是馈电点到两个印刷偶极子臂的平衡—不平衡变压器。偶极子臂以及微带巴伦线的长度大约 $\lambda/4$ 波长,微带线的接地板和偶极子臂在同一平面。本文所研究的天线工作于ISM频段,带宽为2.4~2.483.5GHz。天线在FR4介质板上加工,介质板的厚度: $h=0.8\text{ mm}$ ,介电常数 $\epsilon_r=4.5$ 以及损耗角正切 $\tan\delta=0.014$ 。正面的微带线馈线通过通孔和印刷偶极子振臂相连。

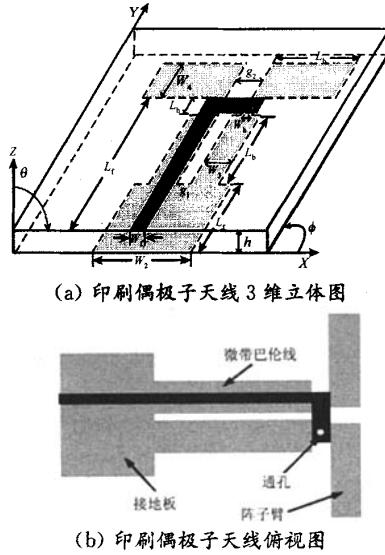


图1 天线结构图

表1 2.45 GHz天线尺寸列表 单位:mm

参数	尺寸
阵子臂	$L_d$
	$W_d$
	$g_2$
微带巴伦线	$L_b$
	$L_h$
	$g_1$
	$W_f$
	$W_b$
	$W_h$
通孔	$R$
接地板	$L_g$
	$W_g$

图2给出了2.45GHz印刷偶极子天线在Agilent仿真软件ADS Momentum里的仿真结果,由图可知,天线的中心工作频率为2.46GHz,回波损耗 $S_{11}=-30\text{ dB}$ ,驻波比小于1.5时的工作带宽为450

MHz(2.2~2.65GHz)。

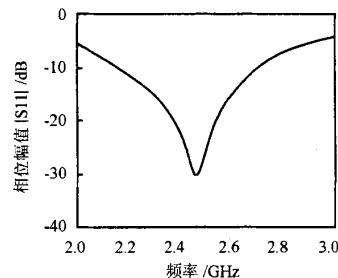


图2 2.45 GHz印刷偶极子天线EM仿真曲线

经过分析,该印刷偶极子天线的三个关键参数为阵子臂长度 $L_d$ ,微带巴伦线长度 $L_b$ ,以及阵子臂宽 $W_d$ 。在天线分析的基础上提取训练数据,结合下文的支持向量机回归方法得到计算模型便可以进行天线设计。

## 2 支持向量机回归原理

支持向量机回归问题<sup>[3-7]</sup>可以表述如下:设已知训练集 $\{(x_1, y_1), \dots, (x_e, y_e)\} \in (X \times Y)^e$ ,其中 $x_i$ 为输入数据, $y_i$ 为输出数据, $x_i \in X = R^n$ , $y_i \in Y = R$ , $i=1, \dots, l$ 。根据训练集寻找 $R^n$ 上的一个实值函数 $f(x) = w^T \cdot \varphi(x) + b$ ,其中 $\varphi(x)$ 把输入向量 $x$ 映射成Hilbert空间中的向量, $w$ 和 $b$ 分别是权向量和偏置。这样,对于任一输入模式向量 $x$ ,都可以由该函数 $y = f(x)$ 来推断所对应的 $y$ 值。

支持向量机回归问题又分为线性支持向量机回归和非线性支持向量机回归。线性支持向量机回归可看作上述所描述回归问题的特例,即 $\varphi(x) = x$ ,此时 $f(x) = w^T \cdot x + b$ ,这个线性函数对应于空间 $R^n \times R$ 上的一个超平面。从几何上看,线性支持向量机回归就是寻找一个 $n+1$ 维空间 $R^{n+1}$ 上的超平面。我们先考虑线性支持向量机回归问题,然后由它引出非线性支持向量机回归。

根据SVM理论,定义 $\epsilon$ 为不敏感损失函数:

$$L_\epsilon(y) = \begin{cases} 0 & |f(x) - y| < \epsilon \\ |f(x) - y| - \epsilon & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

引入松弛因子 $\xi \geq 0$ , $\xi^* \geq 0$ 后,令

$$\begin{cases} (w^T \cdot x_i + b) - y_i \leq \epsilon + \xi \\ y_i - (w^T \cdot x_i + b) \leq \epsilon + \xi^* \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (2)$$

以该函数作为约束条件最小化目标函数:

$$\phi(w, \xi, \xi^*) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi + \xi^*) \quad (3)$$

其中, $C > 0$ ,称为惩罚参数,控制超出误差 $\epsilon$ 的惩罚程度。通常,并不直接求解上述约束极值问题,而是采用优化方法引入其对偶问题:

$$\begin{aligned} & \min \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^l (\alpha_i^* - \alpha_i)(\alpha_j^* - \alpha_j)(x_i, x_j) + \\ & \epsilon \sum_{i=1}^l (\alpha_i^* + \alpha_i) - \sum_{i=1}^l y_i(\alpha_i^* - \alpha_i), \\ & \text{s. t. } \sum_{i=1}^l (\alpha_i^* + \alpha_i) = 0 \\ & 0 \leq \alpha_i, \alpha_i^* \leq C, i = 1, 2, \dots, l. \end{aligned} \quad (4)$$

求解对偶问题,假设  $\alpha_i^*, \alpha_i, i = 1, 2, \dots, l$  代表对偶问题的解,则计算得到线性支持向量机回归模型:

$$f(x) = w^T \cdot x + b = \sum_{i=1}^l (\alpha_i^* - \alpha_i)(x_i, x) + b \quad (5)$$

如果  $\alpha_i$  和  $\alpha_i^*$  不全为 0, 则其所对应的输入模式向量  $x_i$  称为支持向量。

现在考虑函数  $\varphi(x)$  将  $x$  映射到 Hilbert 空间, 然后在该空间进行线性回归。记  $K(x_i, x) = (\varphi(x_i), \varphi(x))$ , 称之为核函数, 其为满足 Mercer 定理条件的函数。核函数有多种, 常用的有: Guass 径向基核  $\exp(-\gamma ||x_i - x||^2)$ ; 多项式核  $((x_i, x) + c)^d$ ; 两层感知器  $\tanh(\beta_0(x_i, x) + \beta_1)$ 。

如果用  $K(x_i, x)$  替代式(5)中的  $(x_i, x)$ , 则得到非线性支持向量机回归模型:

$$f(x) = w^T \cdot \varphi(x) + b = \sum_{i=1}^l (\alpha_i^* - \alpha_i)K(x_i, x) + b \quad (6)$$

其中,  $b$  按下列方式计算: 选择位于开区间  $(0, C)$  中的  $\alpha_j$ , 则

$$b = y_j - \sum_{i=1}^l (\alpha_i^* - \alpha_i)K(x_i, x_j) + \epsilon \quad (7)$$

若选的是  $\alpha_k^*$ , 则

$$b = y_k - \sum_{i=1}^l (\alpha_i^* - \alpha_i)K(x_i, x_k) - \epsilon \quad (8)$$

支持向量机的体系结构可以表示成如图 3 所示。

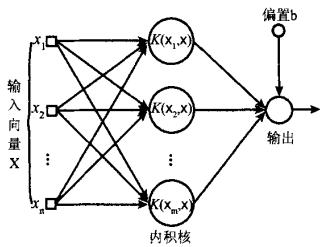


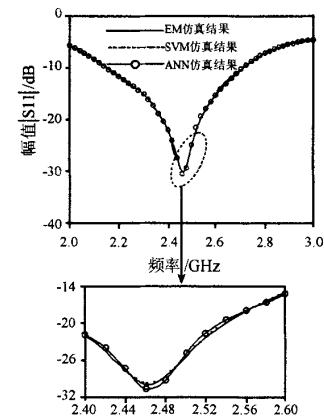
图 3 支持向量机体系结构示意图

### 3 仿真结果与比较

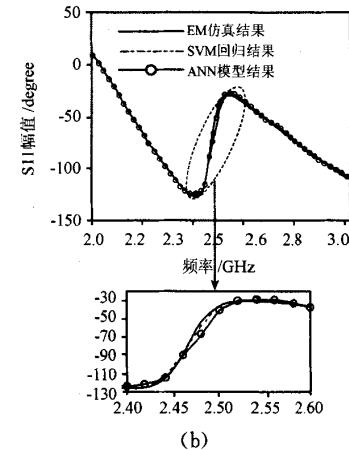
在本文如图 1 的天线结构设计中, 只考虑天线的 3 个关键结构尺寸  $L_d, L_b, W_d$  的变化, 变化范围如表 2 所示, 其他参数如表 1 所示, 保持值不变。在频率范围 2~3 GHz 用 Agilent ADS Momentum 仿真软件以频率、 $L_d, L_b, W_d$  为输入得到天线的回波

损耗(包括幅度和相位), 这些数据能够捕获天线关键尺寸结构和天线匹配性能之间的关系, 本文将其作为实验数据。利用 1 377 个样本输入输出数据对作为训练数据, 选取天线尺寸为  $L_d = 21.4, L_b = 23, W_d = 6$  的一组数据作为测试数据。

选用  $\epsilon$  不敏感损失函数作为支持向量机的损失函数, Guass 径向基核为核函数。以频率、 $L_d, L_b, W_d$  作为支持向量机的输入模式向量, 回波损耗的幅值和相位分别作为支持向量机的输出做非线性支持向量机回归。对于输出为幅值的情况选取参数  $C = 100, \gamma = 80, \epsilon = 0.001$ , 经计算得到 1 261 个支持向量, 训练得到的回归模型的测试结果与测试数据的相关系数为 0.999 973, 均方差为 0.001 3。对于输出为相位的情况选取参数,  $C = 200, \gamma = 60, \epsilon = 0.001$  经计算得到 1 345 个支持向量, 训练得到的回归模型的测试结果与测试数据的相关系数为 0.999 672, 均方差为 0.404 6。将实验结果与 Agilent ADS Momentum 仿真软件得到的结果以及文献[2]的三层神经网络模型所得结果进行比较, 如图 4 所示。



(a) 三层神经网络模型仿真结果的比较



(b) 支持向量机回归、神经网络模型所得结果以及 EM 仿真结果比较

表2 天线关键结构尺寸取值范围

天线主要参数	变化范围/mm
阵子臂长 $L_d$	21~21.8
微带巴伦线长 $L_b$	22.6~23.4
阵子臂宽 $W_a$	5.6~6.4

这里我们以均方差的计算公式作为神经网络模型和 SVM 回归模型所得结果与仿真结果之间的误差公式. 图 4(a)中,用神经网络模型得到的结果与 EM 仿真之间的误差为 0.063 1,支持向量机回归模型所得结果与 EM 仿真之间的误差为 0.001 3. 图 4(b)中,神经网络模型得到的结果与 EM 仿真之间的误差为 5.691 4,而支持向量机回归模型所得结果与 EM 仿真之间的误差仅为 0.404 6. 由此可以看出,支持向量机回归模型所得的精度比 ANN 的精度更高,尤其对于相位的模拟.

神经网络采用的是传统意义上的经验风险最小准则,与之相比,支持向量机回归基于结构风险最小准则,能够综合考虑曲线的平滑与误差程度,克服“过学习”问题,提高泛化能力. 神经网络结构设计比较复杂,隐藏层层数、每个隐藏层的神经元数目、学习率参数、动量参数,权值矩阵初始值等都需要预先确定,需要相当的经验. 支持向量机回归也需要预先确定核函数、等,但是相对简单.

## 4 结束语

本文将支持向量机回归法结合在天线设计中,

与神经网络模型相比较,该方法所建立的模型在保证快速计算的前提下显示出了更高的计算精度,结果表明该方法可以有效提高天线的设计和优化速度以及设计精度.

## 参考文献:

- [1] 李秀萍,刘禹,曹海英. 基于 RFID 应用的小型化印刷偶极子天线设计[J]. 北京邮电大学学报,2006,29(5): 75-78.
- [2] Li Xiuping ,Gao Jianjun, Georg Boeck. Printed Dipole Antenna Design by Artificial Neural NetworkModeling for RFID Application[J]. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 2006,16(6):607- 611.
- [3] Gunn S R. Support Vector Machines for Classification and Regression[R]. Technical Report, Image Speech and Intelligent Systems Research Group, University of Southampton, 1998.
- [4] Smola A J, Schölkopf B. A Tutorial on Support Vector Regression[J]. Statistics and Computing, 2004,14: 199-222.
- [5] collobert R, Bengio S . SVMTorch: Support Vector Machines for Large-Scale Regression Problem[J]. Machine Learning, 2001, 143-160.
- [6] Schölkopf B, Smola A, Williamson R, and Bartlett P L. New Support Vector Algorithms[J]. Neural Computation, 2000, 12: 1207-1245.
- [7] Schölkopf B, Platt J, Shawe-Taylor J, Smola A J, and Williamson R C. Estimating the Support of a High-Dimensional Distribution[J]. Neural Computation, 2001, 13: 1443-1471.
- [8] Li Xiuping ,Gao Jianjun , Microwave Nonlinear Device Modeling Using Artificial Neural Network[J]. Semicond Sci Technol, 2006,21:833-840

## 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>