

置信区间渐进空间映射算法优化设计共形微带天线

朱永忠^{1,2}, 岳亮³

(1. 西北工业大学电子信息学院, 陕西 西安 710075; 2. 武警工程学院, 陕西 西安 710086;
3. 西安电子科技大学天线与微波技术国家重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘要: 介绍了一种快速收敛的置信区间渐进空间映射算法. 将置信区间的概念和渐进空间映射算法结合在一起, 进一步加快精细模型与设计目标的逼近速度, 提高了优化效率, 通过此算法设计了一个谐振频率在2.5GHz的柱面共形微带天线. 与先前的渐进空间映射算法相比, 该方法进一步减少了计算时间, 提高了设计效率.

关键词: 粗糙模型; 精细模型; 空间映射算法; 共形天线

中图分类号: O193

文献标识码: A

文章编号: 1000-2073(2011)03-0042-04

Design and optimization of conformal microstrip antenna with trust region aggressive space mapping

Zhu Yongzhong^{1,2}, Yue Liang³

(1. Department of Electronic Engineering Northwestern Polytechnical University Xi'an, Shaanxi 710072, China;
2. EN GG College of the Chinese People Armed Police Force, Xi'an 710086 Shaanxi, China;
3. National Key Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A trust region aggressive space mapping algorithm is presented, the algorithm (TRASM) integrates a trust region methodology with the aggressive space mapping (ASM), it avoids false convergence in the optimization of surrogate model and speeds up the approximation between fine model and design object. And then the algorithm (TRASM) is used in the optimized conformal antenna with resonant frequency 2.5 GHz is designed. The results are better than the design specifications. The new algorithm is verified faster and more efficient.

Key words: coarse model; fine model; space mapping algorithm; conformal antenna

0 引言

对共形天线的设计而言, 传统的设计方式是将平面微带天线的形式直接用到共形上来, 然后根据天线的不同安装载体进行优化, 由于载体的影响, 这样直接优化将非常费时, 特别是如果直接对精确的模型进行优化, 所花费的时间将难以估计. 而空间映射算法(Space Mapping)^[1]技术非常适合用来优化一些计算复杂度很高的问题. 目前人们已经提出了包括渐进空间映射^[2]、隐式空间映射^[3]和自适应空间映射^[4]等算法, 和不同程度的改进算法^[5-9], 这些算法都是不断改善精细模型与设计目标的逼近速度, 并最终实现精细模型与设计目标的逼近.

收稿日期: 2011-03-20

基金项目: 武器装备预研基金项目(9140A24050407DZ01)

作者简介: 朱永忠(1980-), 男, 陕西西安人, 博士后, 研究方向为微波天线与射频电路技术.

文献[9]首次利用渐进空间映射算法实现了柱面共形天线的快速优化.本文在文献[9]的基础上,将置信区间渐进空间映射算法推广到共形天线的优化设计之中,结合腔模理论(粗糙模型)的成熟性与电磁仿真(精确模型)的准确性,通过构造可信赖区间,大大减少精确模型仿真次数,提高了优化效率.结果表明,该算法迭代步数大大减少,显示出该方法的优越性.

1 置信区间渐进空间映射算法

置信区间渐进空间映射算法(TR-ASM)是对渐进空间映射算法(ASM)的进一步改进,它将置信区间的概念和ASM算法结合在一起.它的基本思想是每次迭代在一个区域内试图找到一个好的点.在第 k 次迭代,算法在一个区域上寻求一个试探点.该区域称为置信区间,通常是以当前迭代点为中心的一个小邻域.试探点往往是某个子问题在置信区间的解.试探点求出后利用某一评价函数来判断它是否可以被接受为下一个迭代点.置信区间保证了每次ASM迭代都提高了粗糙空间和精细空间之间的一致性.

与ASM算法相比,TR-ASM引入了置信区间的概念,它使得算法的收敛过程是单调递减的.此外,它还引入了递归多点参数提取技术,这进一步增强了算法的稳定性,但同时也增加了优化的工作量.

具体操作如下:

- (1) 设置初始值 $x_{\text{em}}^{(j)}$,模型向量 $\mathbf{B}(j)$,粗糙模型和精细模型的关系 $f(j)$,置信区间的半径,令 $\delta^{(j+1)} = \delta^{(j)}$;
- (2) 计算迭代步长 $h^{(j)}$,其中 $\delta = \delta^{(j+1)}$,令 $= \parallel h^{(j)} \parallel_2$;
- (3) 如果 $\leq \delta_r$,算法结束,否则,计算新的迭代点 $x_{\text{em}}^{(j+1)}$,设集合 $V = \{x_{\text{em}}^{(j+1)}\}$;
- (4) 多点参数提取,得到 $f^{(j+1)}$;
- (5) 由评价函数得,如果当前点可以接受,转步骤(10);
- (6) 如果 $|V| = 1$, V 中只有一个元素,转步骤(9),否则转步骤(7);
- (7) 比较使用 $|V|$ 个点和 $|V| - 1$ 个点的参数提取得到的 $f^{(j+1)}$,若 $f^{(j+1)}$ 稳定在某一位,表示多点参数提取成功,缩小置信区间半径,转步骤(2);
- (8) 若 $|V| = n$,估算近似Jacobian矩阵得到新的迭代步长 $h^{(j)}$,其中 $\delta^{(j+1)} = \delta$,转步骤(3);
- (9) 由 $x_{\text{em}}^{(j+1)}$, $f^{(j+1)}$ 和添加临时点,加入集合 $|V|$,转步骤(4);
- (10) 更新矩阵 $\mathbf{B}(j)$ 到 $\mathbf{B}(j+1)$;
- (11) 如果满足截止条件 $\parallel R_{\text{em}}(x_{\text{em}}) - R_{\text{os}}(x_{\text{os}}^*) \parallel \leq \varepsilon$,算法结束;
- (12) 由评价函数,判断是否增加置信区间半径;
- (13) 令 $j = j + 1$,转步骤(1).

2 优化设计实例

2.1 设计目标与结构参数

本文运用柱面共形天线的设计实例^[9],验证置信区间渐进空间映射算法的优越性,并与文献[9]中渐进空间映射算法进行比较.这里结合腔模理论(粗糙模型)的成熟性与电磁仿真(精确模型)的准确性,对柱面共形天线进行优化计算.以 x_{os} 和 x_{em} 分别表示粗糙模型和精细模型待优化的参数向量.以优化天线的反射系数为例,目标函数为共形天线在谐振点的反射系数.

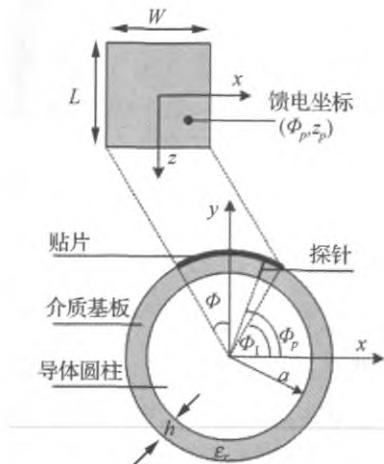


图1 共形天线结构示意图

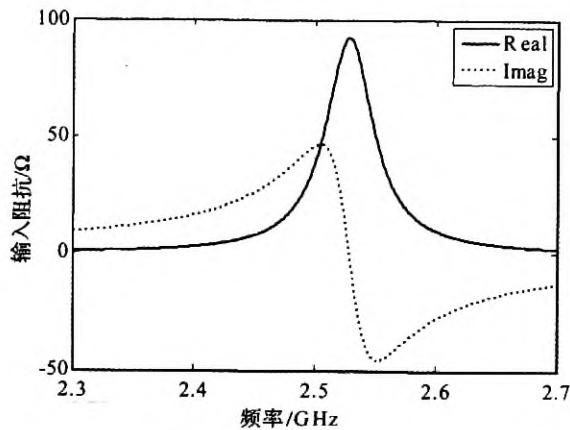


图2 粗糙模型初始点的输入阻抗

图1给出了探针馈电的柱面共形天线的结构,已知的参数有圆柱体半径 $a = 50\text{mm}$,探针角度 $\phi_p = 90^\circ$,馈电处输入阻抗 Z_{in} 为 50Ω ,采用相对介电常数 ϵ_r 为 2.25,厚度 $h = 1\text{ mm}$ 的基板.设计目标为:在中心频率为 $f_c = 2.5\text{GHz}$ 处,天线的反射系数 $|S_{11}| \leq 0.1$.这里需要优化参数的就是探针位置 z_p ,贴片宽度 W 和长度 L .由平面矩形贴片天线的设计公式计算得到粗糙模型的初始参数 $[W \ L] = [47.0679 \ 39.559]\text{mm}$,假设探针的初始点 = 10mm.采用腔模理论计算粗糙模型,得到初始点 $[W \ L \ z_p] = [47.0679 \ 39.559 \ 10]\text{mm}$ 处的反射系数如图2和3所示,可以看出,粗糙模型在初始点与设计目标还相差较远,需要进一步优化计算.

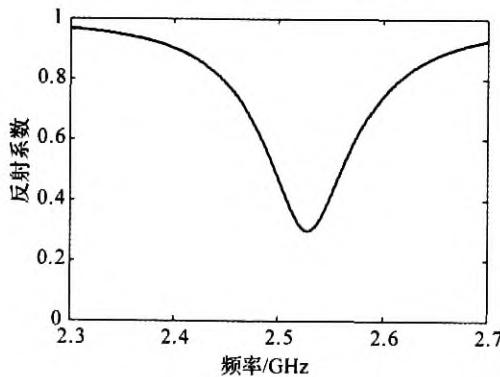


图3 粗糙模型初始点的反射系数

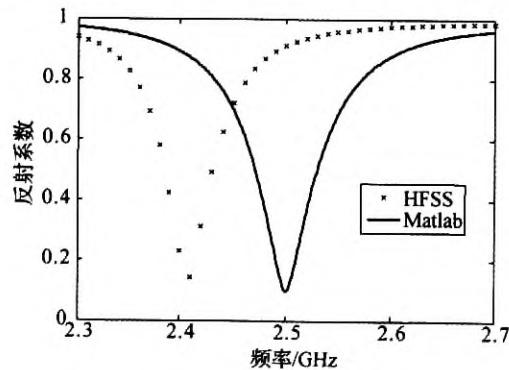


图4 TR-ASM 优化前精细模型的反射系数

2.2 TR-ASM 优化精细模型

本文对渐进空间映射算法进行了演变,改进了迭代步长 $h^{(j)}$ 的选取机制,确定置信区间的半径 δ ,从而缩短优化时间.在优化过程中采用多点参数提取,就是在 $x_{em}^{(j)}$ 的领域随机产生一些扰动点,然后在这些点同时执行参数提取,

$$\text{minimize} = R_{os}(x_{os}^{(j)} + \Delta x) - R_{em}(x_{em}^{(j)} + \Delta x), \quad (1)$$

式(1)中 Δx 表示一组随机的扰动量.多点参数提取可以有效提高提取结果的唯一性.

在设计中,将粗糙模型的优化参数 $x_{em}^{(0)} = x_{os}^{*} = [48.4 \ 40 \ 8]\text{mm}$ 作为精细模型初始点的参数,利用 TR-ASM 算法实现自动优化,图4给出了精细模型在 $x_{em}^{(0)} = x_{os}^{*} = [48.4 \ 40 \ 8]\text{mm}$ 的反射系数.不难看出,由初始点算得的精细模型,在 2.4GHz 处出现谐振,不满足设计指标,进入精细模型的 TR-ASM 优化,发现经过 TR-ASM 算法的 5 步迭代,计算函数收敛,优化结束.图5给出了 TR-ASM 算法的收敛特性.由此得出的精细模型的反射系数与目标值相吻合,如图6所示.因此最终得到的天线优化参数为 $x_{em}^{(5)} = x_{em}^{*} = [28.7 \ 39.4 \ 6.2]\text{mm}$.优化总时间为 158min,与文献[9]比较,旧算法需要经过 9 步迭代,历时 231min 精细模型才能得到目标值,而本文的算法比它快了 73min,可见利用 TR-ASM 优化共形贴片天线,可以极大减少计算时间,提高设计效率.

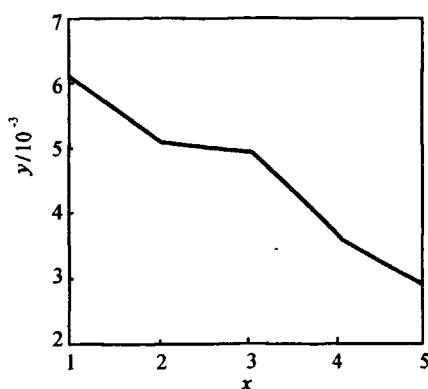


图5 TR-ASM 算法的收敛特性

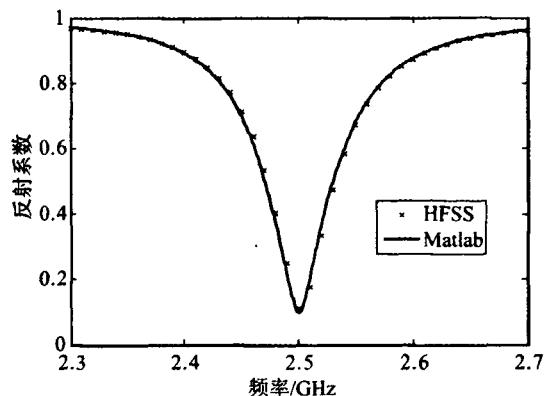


图6 TR-ASM 优化后精细模型的反射系数

3 结束语

置信区间渐进空间映射算法(TR-ASM)是对渐进空间映射算法的进一步改进,它在渐进空间映射算法的基础上,引入置信区间和多参数提取,提高了算法的稳定性,而且减少了精细模型的计算次数,为复杂结构的天线设计提供了快速精确计算的平台。但是在具体计算过程中,要适当选取适宜的置信区间,并尽可能地在算法中实现区间半径的自适应调整,才能更好应用于工程实践。

参考文献:

- [1] Bandler J W, Biernacki R M, Chen Shao Hua, et al. Space mapping technique for electromagnetic optimization[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1994, 42(11): 2536-2544.
- [2] Bandler J W, Biernacki R M, Chen Shao Hua, et al. Electromagnetic optimization exploiting aggressive space mapping[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1995, 43(12): 2874-2882.
- [3] Bandler J W, Cheng Q S, Nikolova N K, et al. Implicit space mapping optimization exploiting preassigned parameters[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2004, 52(1): 378-385.
- [4] Koziel S, Bandler J W, Cheng Q S, et al. Adaptive space mapping with convergence enhancement for optimization of microwave structures and devices[J]. IEEE MTT-S. Microwave Symposium Digest, 2008, 56(9): 987-990.
- [5] Cheng Q S, Bandler J W, Koziel S, et al. Tuning space mapping optimization exploiting embedded surrogate elements[J]. IEEE MTT-S. Microwave Symposium Digest, 2009, 57(7): 1257-1260.
- [6] Cheng Q S, Bandler J W, Koziel S, et al. Combining coarse and fine models for optimal design[J]. IEEE Microwave Magazine, 2008, 9(1): 79-88.
- [7] Bakr M H, Bandler J W, Biernacki R M, et al. A trust region aggressive space mapping algorithm for EM optimization[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1998, 46(12): 2412-2425.
- [8] 邢连发,雷振亚,谢拥军.新型高收敛隐式空间映射算法设计微波滤波器[J].电子与信息学报,2011,33(3):744-748.
- [9] 岳亮,谢拥军,李沙,等.渐进空间映射算法优化设计柱面矩形贴片天线[J].电子器件,2009,32(3):674-676.

(责任编辑:子 实)

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>