

空间映射方法研究及其在LTCC设计中的应用

邓建华¹, 王秉中¹, 甘体国²

(1. 电子科技大学物理电子学院 成都 610054; 2. 中国电子科技集团公司第十研究所 成都 610036)

【摘要】介绍了空间映射方法的一些基本概念、发展和数学表达。为了能在含大量复杂结构的LTCC电路建模和优化中实现空间映射方法应用,开发了空间映射系统实用软件,并给出了应用多重频率空间映射方法为LTCC平行耦合电容建立增强模型实例。这些工作的完成,能为加快复杂电磁元件设计、优化过程提供有效帮助。

关键词 空间映射; 低温共烧陶瓷; 元件建模; 优化
中图分类号 TN713.5 文献标识码 A

Research on Space Mapping Technology and Its Applications in LTCC Circuit Designs

DENG Jian-hua¹, WANG Bing-zhong¹, GAN Ti-guo²

(1. School of Physical Electronics, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054;

2. The 10th Research Institute of Electronics Technology Group Corporation of China Chengdu 610036)

Abstract The state of the art of space mapping technology, mathematic interpretation and applications in engineering optimization are introduced in this paper. In order to carry out the applications of space mapping technique in Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC) designs, this paper develops a space mapping system optimization software. An example of parallel capacitor model with the multiple frequencies space mapping technique has been established to illustrate the significance of modeling for passive component.

Key words space mapping; low temperature cofired ceramic; modeling; optimization

传统的无源优化技术直接利用电磁仿真响应或其派生物,采用数学方法寻优使响应逼近要求。该方法虽然准确,但时间成本大,对于参数量大且复杂的问题几乎不能实现。空间映射方法有望解决上述部分问题,它是结合电路仿真(粗糙模型)快速、成熟性与电磁仿真(精确模型)准确性的新的优化、建模思想,通过构造两模型空间参量映射关系将许多优化工作转移到粗糙空间进行,大大减少精确模型仿真次数,提高了优化效率^[1]。空间映射方法的提出为解决复杂、高成本电磁问题带来了新的思想,特别是低温共烧陶瓷电路(Low Temperature Cofired Ceramic, LTCC)中涉及到的多层结构电磁场仿真问题,如按传统方法依靠电磁场仿真软件进行优化,困难性较大,因此本文对空间映射优化方法进行简单阐述,并结合LTCC电路设计实例来说明该方法应用于无源电路优化和建模的具体过程。

1 空间映射优化思想简介

文献[2]提出了初始空间映射优化方法,该方法

假设精确模型和粗糙模型参量空间存在线性映射,粗糙模型或替代模型作为校准,来使设计优化加速。为了克服初始空间映射,需要大量预先准备好的精确仿真响应样本的缺点,文献[3]提出了主动空间映射方法。在该方法中,每次精确仿真不仅起验证作用,而且能参与迭代过程促进优化加速。为了改善空间映射方法的稳健性、收敛性、解决非线性问题能力、多参量空间问题能力和时间成本等,文献[4-7]先后提出了置信域主动空间映射方法、混合迭代主动空间映射方法、神经网络空间映射方法、隐式空间映射方法等。

1.1 空间映射思想的数学表达

某个优化问题定义为:

$$\mathbf{x}_f^* = \arg \min_{\mathbf{x}_f} U(\mathbf{R}_f(\mathbf{x}_f)) \quad (1)$$

式中 $\mathbf{R}_f \in \mathcal{R}^{m \times 1}$ 代表一个响应矢量有 m 个响应点(例如:求 S_{11} 值, m 代表频率点); $\mathbf{x}_f \in \mathcal{R}^{n \times 1}$ 代表一个参数矢量有 n 个参数(例如:EM仿真中的某个盒子的长宽高); U 为目标函数; \mathbf{x}_f^* 为精确空间参数的待定优

收稿日期:2005-10-10

基金项目:教育部重点科技项目(104166)

作者简介:邓建华(1977-),男,博士生,主要从事微波电路建模及优化方面的研究。

化值,被假设为唯一性。同理,粗糙空间 R_c 、 x_c 、 x_c^* 定义相似。如果能在精确空间和粗糙空间找到一个映射为:

$$x_c = P(x_f) \quad (2)$$

使得:

$$R_c(P(x_f)) \approx R_f(x_f) \quad (3)$$

可以优化粗糙模型(替代模型)得到其优化值 x_c^* , 通过逆映射得到的 $\overline{x_f}$ 可作为 x_f^* 的近似。

$$\overline{x_f} = P^{-1}(x_c^*) \quad (4)$$

从而避免对精确模型进行优化而得到精确模型优化参数。

1.2 空间映射优化过程的数学表达

空间映射优化方法最开始对粗糙模型进行优化,获得优化设计值 x_c^* , 随后建立映射 P 的过程是最小化下述目标函数:

$$\|g = R_f(x_f) - R_c(x_c^*)\|_2^2 \quad (5)$$

根据式(2)、(3), $R_c(P(x_f))$ 可作为改善粗糙模型(替代模型)的响应, 则式(1)优化问题可等价于:

$$\overline{x_f} = \arg \min_{x_f} U(R_c(P(x_f))) \quad (6)$$

式中 如果 R_c 足够逼近 R_f , 则 $\overline{x_f}$ 也足够逼近 x_f^* 。假设 x_c^* 是唯一的, 则式(6)的结果等价于使残余矢量 f 逼近 0。

$$f = f(x_f) = P(x_f) - x_c^* \quad (7)$$

1.3 参量抽取过程

参量抽取过程的概念是迫使粗糙空间响应逼近精确模型空间响应时, 所获得的粗糙模型(或改善、校正的粗糙模型, 即替代模型)参量, 数学表达为:

$$x_c^{(j)} = \arg \min_{x_c} \|R_f(x_f^{(j)}) - R_c(x_c)\| \quad (8)$$

要建立映射和更新替代模型, 参量抽取技术是关键步骤, 通过各种技术使替代模型和精确模型参数之间产生关联(它们的响应匹配)。然而, 不充分的响应数据会导致非唯一性, 该步骤的非唯一性可能引起算法失败。参量抽取技术也在不断发展中, 已经提出统计参数抽取、惩罚参数抽取、包含频率映射的参数抽取、梯度参数抽取和应用仿真软件进行参数抽取等技术。

1.4 空间映射优化过程的主要步骤

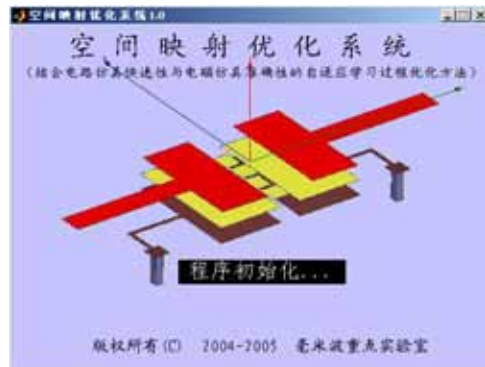
空间映射优化过程的主要步骤如下:(1) 为精确模型选定一个合适的粗糙模型;(2) 选择映射类别(如初始SM, ASM, 神经网络SM, ISM等);(3) 优化粗糙模型(初始替代模型), 得到其参数;(4) 由被优化的粗糙模型参数, 通过已建立映射的逆映射得

到当前精确模型参数, 并对精确模型进行仿真;(5) 如果误差标准满足, SM过程停止;(6) 如果误差标准未满足, 进行参数抽取;(7) 重建或更新替代模型(可能包含在步骤(6)或(8)中, 而不明显);(8) 优化已更新的替代模型, 得到其参数;(9) 回到步骤(4)。

2 空间映射方法研究及实现

国际上对空间映射方法只局限于进行一些理论研究及少量的试验性工作, 没有出现相关实用工具。如果空间映射优化方法及LTCC内嵌无源元件建模能够实现运行自动化, 即算法控制程序、电路仿真软件(如: ADS)和电磁仿真软件(如: HFSS)之间的进程调用及数据交换能自动运行, 将非常有利于该方法的推广及应用。

为了使该方法能够应用于实际电路设计工作中, 本文开展空间映射优化方法实用软件研制工作, 大部分关键技术已经解决并搭建好系统框架, 尚有一些调试工作没有完成。该软件具有良好的操作界面, 自动化程度高, 方便实用等特点, 将为复杂多参量无源元件优化设计提供帮助。软件基本界面如图1所示。



a 软件主界面



b. 初始空间映射算法设置界面

图1 空间映射优化软件的基本界面

3 空间映射在无源元件建模中的应用

空间映射方法除了能够应用于无源电路的多参数优化问题外,优化过程中获得的精确模型和粗糙模型之间的映射关系,能够与粗糙模型结合建立增强模型,大大提高所建模型的精度,同时具有粗糙模型快速性和精确模型精确性,使复杂无源元件建模工作有了新的发展思路。根据具体算法实现有多种建模思路,下面介绍一种具有宽频带、适用范围广等特点的模型建立方法,即多重频率空间映射建模。

多重频率空间映射建模中,频率范围被分为 N 个间隔,每一个频率间隔对应相应的适用粗糙模型,假设精确模型和 N 个粗糙模型参量之间都存在各自的映射关系,如图2所示(图2中, N 为2)。建模简单过程为:(1)在整个关心频率范围内获得满足精确模型和粗糙模型响应匹配的参量映射关系;(2)按照频率间隔划分,在电路仿真软件中把这些映射关系分别与相对应的粗糙模型结合起来构造增强模型,使之同时具有粗糙模型仿真的快速性与精确模型仿真的准确性。增强模型的建立如图3所示。所建模型的准确性与获得映射关系的准确性成正比,如需要更精确的增强模型,则需要花费更多的时间来获取精确模型和粗糙模型之间的映射关系。

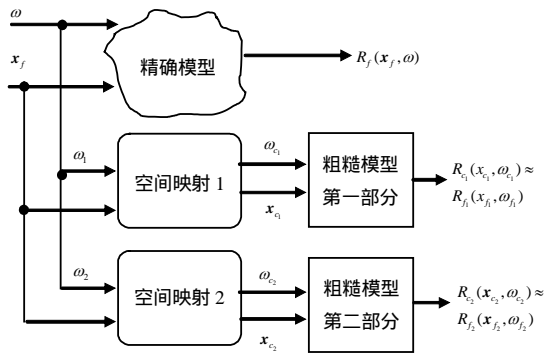


图2 多重频率空间映射关系

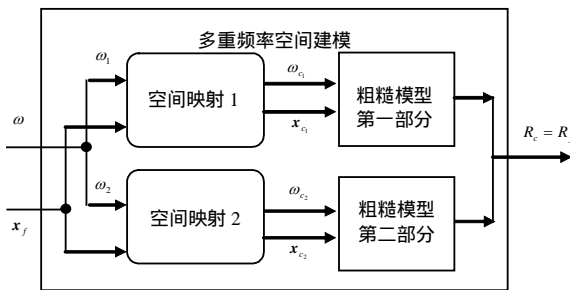


图3 多重频率空间映射建模

本文对LTCC电感、电容和滤波器等常用无源元件都进行了实验性的建模工作,效果较好。图4给出了

4层LTCC平行耦合电容的三维结构图,该结构也代表将应用于电磁仿真的精确模型,它的参数给定为 $x_f = [w_1 \ w_2 \ L \ S \ h]^T$ 。图5给出了上述电容相应的粗糙模型,该粗糙模型按照不同频率间隔包括两个部分:Gupta模型部分,适合于小于6 GHz频率范围内;Jansen模型部分,适合于大于6 GHz频率范围。粗糙模型将应用于电路仿真,它的参数给定为 $x_{c1} = [L_1 \ R_1 \ C_1 \ C_2]^T$ 和 $x_{c2} = [L_1 \ L_2 \ L_3 \ R_1 \ C_1 \ C_2]^T$ 。为了评定所建增强模型的性能,在1~12 GHz频率范围对所关心参量范围内的增强模型进行初始,并与精确模型仿真结果进行比较。精确模型的仿真 S 参数为 S_{ij}^f ,增强模型的为 S_{ij}^c ,两者之间误差 $E_{ij} = \sqrt{(\text{Re}[S_{ij}^f] - \text{Re}[S_{ij}^c])^2 + (\text{Im}[S_{ij}^f] - \text{Im}[S_{ij}^c])^2}$ 。

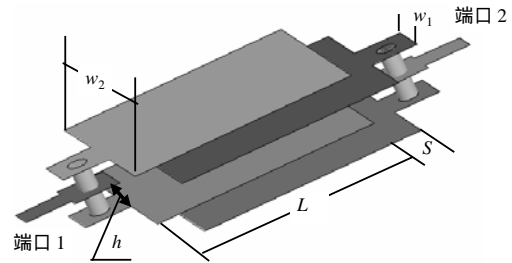


图4 平行耦合电容的精确模型

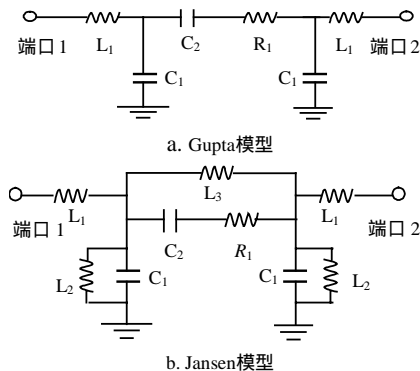
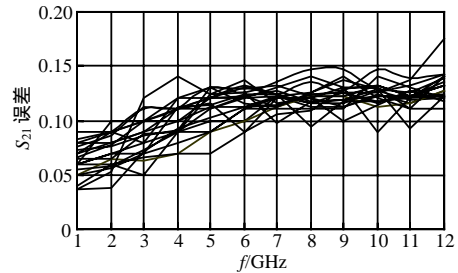


图5 平行耦合电容的粗糙模型(集总等效电路)

平行耦合电容的 S_{21} 和 S_{11} 误差如图6所示,从图可见,增强模型非常精确,而电路仿真时间远远小于精确模型的电磁仿真。



a. S_{21} 值误差

(下转第107页)

RISE的传输延迟。该传输延迟与CAN总线的平均传输延迟时间以及数据长度之间的关系如图6所示。随着数据长度的增大,RISE的传输延迟增幅趋于缓慢,而CAN总线的传输延迟迅速增大。事实上,当传输数据大于127 B时,CAN的传输延迟已远高于RISE的传输延迟。因此,RISE满足大数据传输,具有较好的适用性。

6 结论

通过对RTCC协议与REther协议的改进,在建立起来的硬实时综合业务以太网RISE通信系统中,其总线上传输的数据完全不会产生冲突,并能根据模式仲裁器确定其工作在RTCC模式还是在REther模式,从而彻底满足了硬实时、软实时和非实时数据混合传输的要求。

参考文献

- [1] IEEE802.3-2002. Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications[S]. 2002.
- [2] 曾家智, 李毅超, 韩蒙. 计算机网络[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2002.
- [3] VENKATRAMANI C, CHIUEH Tzi-cker. Design, implementation, and evaluation of a software-based real-time ethernet protocol[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1995, 25(4): 27-37.
- [4] ANSI/IEEE Std 802.4. Token-passing bus access method and physical layer specifications[S]. 1990.
- [5] ANSI/IEEE Std 802.9. Integrated services LAN interface at the medium access control and physical layers[S]. 1994.
- [6] 王志平, 熊光泽. 一种基于Ethernet的硬实时通信协议[J]. 计算机研究与发展, 2000, 37(10): 1252-1258.

编辑 熊思亮

(上接第74页)

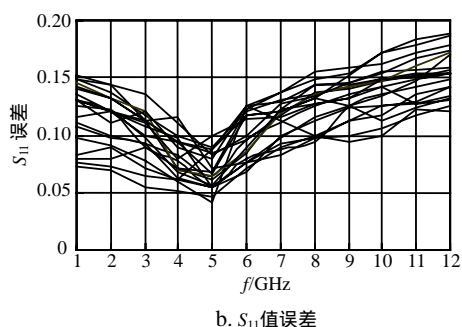


图6 增强模型和精确模型之间的 S 参数误差

4 结束语

空间映射方法结合电磁仿真准确性和电路仿真快速性,目的是用最少的高成本精确模型仿真次数获得满意的优化结果,是一种体现自适应学习过程的优化方法。该方法已经成功实践于LTCC无源电路设计和建模,在本质上加速了该类复杂电磁元件设计、优化过程。

参考文献

- [1] BANDLER J W, CHENG Q S, DAKROURY S A, et al. Space mapping: the state of the art[J]. IEEE Trans. MTT, 2004, 52: 337-361.
- [2] BANDLER J W, BIERNACKI R M, CHEN S H, et al. Space mapping technique for electromagnetic optimization[J]. IEEE Trans. MTT, 1994, 42: 2536-2544.
- [3] BANDLER J W, BIERNACKI R M, CHEN S H, et al. Electromagnetic optimization exploiting aggressive space mapping[J]. IEEE Trans. MTT, 1995, 43: 2874-2882.
- [4] BAKR M H, BANKLER J W, BIERNACKI R M, et al. A trust region aggressive space mapping algorithm for EM optimization[J]. IEEE Trans. MTT, 1998, 46: 2412-2425.
- [5] BAKR M H, BANKLER J W, GEORGIEVA N K, et al. A hybrid aggressive space-mapping algorithm for EM optimization[J]. IEEE Trans. MTT, 1999, 47: 2440-2449.
- [6] BAKR M H, BANDLER J W, ISMAIL M A, et al. Neural space-mapping optimization for EM-based design[J]. IEEE Trans. MTT, 48: 2307-2315.
- [7] BANDLER J W, CHENG Q S, NIKOLOVA N K, et al. Implicit space mapping optimization exploiting preassigned parameters[J]. IEEE Trans. MTT, 2004, 52: 378-385.

编辑 孙晓丹