

# On Realization of Symbol Timing with UWB System in the Multipath Environment

Zhao Weichun Liu Danpu Yue Guangxin

Beijing University of Posts and TeleCommunications, BeiJing, 100876

st2001@sina.com, dpliu@bupt.edu.cn

**Abstract:** Symbol synchronization is an important constitute of Ultra Wide Band communication. In this paper, a realization of symbol timing is given, which is based on the widely accepted Intel S\_V channel model. We analyze the effects of symbol timing on bit error rate in multipath environment. The simulations show that the method provided by this paper can find the symbol timing accurately and make rapid acquisition possible.

**Keywords:** UWB, synchronize, RAKE receiver, acquisition, tracking

## 用于微带天线分析中的矢量有限元---完全匹配层方法

班永灵<sup>1</sup> 周乐柱<sup>2</sup> 聂在平<sup>1</sup>

1 电子科技大学电子工程学院, 四川成都 610054

2 北京大学信息科学技术学院, 北京 100871

<sup>1</sup>HO\_TVFEM@std.uestc.edu.cn <sup>2</sup>lzzhou@sunrise.pku.edu.cn

**摘要:** 本文以腔基微带贴片天线输入阻抗的计算为例, 结合矢量有限元方法 (VFEM), 主要讨论了 Sacks's PML[1]技术中关键参数的选取对计算精度的影响。分别针对不同的空气层厚度、PML 层厚度、以及多层网格的加权系数, 计算了相应条件下的输入阻抗, 通过与采用矢量有限元+边界积分法 (VFEM/BI) 所得结果的对比, 讨论了各种情况下计算精度的不同。最后作为总结给出了几点有助于提高 PML 计算精度的建议。

**关键词:** 有限元 完全匹配层 微带天线

## Vector Finite Element Method/Perfectly Matched Layer for Calculation of Microstrip Antenna

BAN Yong-ling<sup>1</sup> ZHOU Le-zhu<sup>2</sup> NIE Zai-ping<sup>1</sup>

1 School of Electronic Engineering, UESTC, Si Chuan Chengdu 610054

2 School of Infor. Sci. and Technol., Peking University, Beijing 100871

<sup>1</sup>HO\_TVFEM@std.uestc.edu.cn <sup>2</sup>lzzhou@sunrise.pku.edu.cn

**Abstract:** The Vector finite element method (VFEM) is adopted to calculate input impedance of cavity-backed microstrip antenna. In this paper, the effects on computing precision due to choices of several fundamental parameters are discussed. In terms of different air layer thickness, PML thickness and weight coefficients of multi-grid, the corresponding input impedances are computed, and compared to the results from VFEM/BI, which shows the importance of right choices of key parameters. Finally, several advices benefiting to advance the performance of PML technique are proposed.

**Keywords:** FEM, PML, Microstrip antenna

## 引言

对于像天线辐射问题这样涉及到开放无限区域问题的求解，不管是有限元法，还是 FDTD 法都必须采用合适的方法处理边界的截断。完全匹配层技术最先由 Berenger[1]在 1994 年在 FDTD 中用于边界网格的截断，并且 Katz[2]证明，相比较传统的吸收边界条件，PML 技术具有更高的精确度。由于 Berenger 最初提出的 PML 需要调整 Maxwell 方程，这种调整对于在 FDTD 和 FEM 中实施 PML 带来极大地不便，因此实际上是直到 Sacks[3]于 1995 年提出各向异性介质的 PML，PML 技术才开始在计算电磁学领域特别是 FEM 中得到广泛应用。非常重要的是，这种各向异性介质 PML 不需要对 Maxwell 方程作任何预处理，非常适合在 FEM 中实施。从我们掌握的文献看，基于 VFEM 与 PML 相结合用于微带天线输入阻抗分析的文献还不多见，基于此，本文将 VFEM/PML 法用于背腔式微带贴片天线输入阻抗的计算，本文的计算结果证明了该方法在天线近场特性计算方面与 VFEM/BI 一样有效；接着重点讨论了对 PML 计算精度有影响的参数选取，最后根据我们 PML 实施的经验给出了几点有助于提高计算精度的建议。

## 1 微带天线的分析模型

所考虑的微带贴片天线的一般结构如图 1，在一导电板上加工出一矩形凹槽，使微带贴片的基片正好坐落在凹槽内。采用 Sacks's PML 截断边界，PML 层的外边界以理想电导体 PEC 模拟，相应的几何模型如图 2。

腔体内及表面缝隙  $S_a$  上的场可通过下述变分问题求得

$$\begin{cases} \delta F(\mathbf{E}) = 0 \\ \hat{\mathbf{n}} \times \mathbf{E} = 0 \quad \text{在电壁上} \end{cases}$$

其中

$$\begin{aligned} F(\mathbf{E}) = & \frac{1}{2} \iiint_V [(\nabla \times \mathbf{E}) \cdot \tilde{\mu}_r^{-1} \cdot (\nabla \times \mathbf{E}) - k_0^2 \mathbf{E} \cdot \tilde{\epsilon}_r \cdot \mathbf{E}] dV \\ & + \iiint_{V_s} \mathbf{E} \cdot (jk_0 Z_0 \mathbf{J} + \nabla \times \tilde{\mu}_r^{-1} \cdot \mathbf{M}) dV \\ & + \frac{1}{2} jk_0 Z_0 \left\{ \iint_{S_r} \frac{1}{R} (\hat{\mathbf{n}} \times \mathbf{E}) \cdot (\hat{\mathbf{n}} \times \mathbf{E}) dS + \frac{d}{Z_L s} \iiint_{V_i} \mathbf{E} \cdot \mathbf{E} dV \right\} \end{aligned}$$

其中  $V$  是整个腔体， $V_s$  是仅包含馈源的腔体部分， $V_i$  是仅包含负载的腔体部分， $d$  和  $s$  分别代表探针负载的长度和横截面面积， $\mathbf{J}$  和  $\mathbf{M}$  分别是源电流，源磁流， $S_r$  是表面缝隙部分， $R$  表示表面  $S_r$  的表面电阻。当离散单元位于腔体内， $\tilde{\epsilon}_r$ 、 $\tilde{\mu}_r$  取的是天线基片的介电常数和磁导率，当单元位于空气层时， $\tilde{\epsilon}_r$ 、 $\tilde{\mu}_r$  取的是自由空间的  $\epsilon_0$ 、 $\mu_0$ ，当单元位于 PML 层的不同区域时， $\tilde{\epsilon}_r$ 、 $\tilde{\mu}_r$  的选取可根据上述原则取值，均是形如单轴各向异性介质参数的对角形张量。

本文采用矩形块（六面体）单元离散有限元区域腔体。腔中每个单元内任意一点的场可用电场矢量在其棱边上的矢量基函数插值得到。

## 2 PML 参数讨论

本文算例的微带天线结构如图 1，腔体尺寸为  $7.5\text{cm} \times 5.1\text{cm} \times 0.08779\text{cm}$  ( $a \times b \times c$ ) 的长方体腔，矩形贴片大小为  $5.0\text{cm} \times 3.4\text{cm}$ ，腔体里基片介质参数电介质常数  $\epsilon_r = 2.17$ ，损耗正切为 0.0015。腔体镶嵌在导电平面内，贴片由一电流探针（位于  $x_f = 1.22\text{cm}$ ,  $y_f = 0.85\text{cm}$  处）激励，探针负载位于  $x_L = -2.2\text{cm}$ ,  $y_L = -1.5\text{cm}$  处。

探针馈源是一种经常使用的天线激励源，对薄介质基片，探针馈源可用焊接在导电底板和贴片之间

的电流丝线（其上的电流为恒定值）代替。此时输入阻抗（其实部、虚部在下文中分别计为  $R_{in}$ 、 $X_{in}$ ）由馈电处（探针与导电底板的焊点处，其对应  $xoy$  平面内的坐标在图 1 中以  $(x_f, y_f)$  表示）观察到的在探针与贴片、导电面两个焊点间的电压差与探针上的激励电流之比值（其以及探针负载的详细的处理可参考[5]）。

PML 层厚度  $c_1 = 0.26\lambda$  不变，图 3 给出了随空气层厚度  $c_0$  变化的输入阻抗。从图中可看出当  $c_0 > 0.02\lambda$  时，空气层厚度  $c_0$  对计算结果有很小的影响。理论上  $c_0$  可以取得相当小而不会失去 PML 的有效性，但在实际的计算中  $c_0$  总有一定底线，太小的网格已很难模拟真实的物理场，数值离散引起的色散误差已不能忽视。

空气层厚度  $c_0 = 0.06\lambda$  不变，图 4 给出了随 PML 层  $c_1$  厚度变化的输入阻抗。PML 层均剖两层网格，从图中可看出，当  $c_1$  取  $0.26\lambda$  时，计算结果最好，这是因为此时的网格尺寸能更好的模拟物理场的变化。因此 PML 层厚度不仅要大，剖出合适尺寸的网格才是最重要的。 $c_1$  取  $0.26\lambda$  时，计算结果还相当好，但  $c_1$  取  $0.20\lambda$  时，输入阻抗实部  $R_{in}$  就出现了比较大的误差，因此，相对于空气层厚度，PML 层厚度对计算结果有更大的影响。

空气层厚度  $c_0 = 0.06\lambda$ ，剖一层网格，PML 层厚度  $c_1 = 0.26\lambda$ ，剖两层网格，PML 参数  $\xi(\omega)$  如[5]，在下面的计算中， $\gamma = 5.0$ ，对不同层的网格， $l(x, y, z)$  取不同值，取值的规则是使  $l(x, y, z)$  沿分界面法向呈现递增的趋势。设 PML 层与空气层相邻的一层网格为第一层网格， $l(x, y, z)$  取  $l_1$ ，在另一层网格中取  $l_2$ 。图 5 给出了  $l_2 = 1.0$  不变  $l_1$  取值的不同对计算结果的影响。从图 5 中可看出，当  $l_1 \leq 0.1$  时，在一些频点处的输入阻抗产生较大的误差，而当  $l_1 \geq 0.5$  时，计算结果就相当好。事实上， $l_1$ 、 $l_2$  取的值差别较大时，由于 PML 区域中的场不可能这么剧烈地变化，以致于网格不能比较精确地模拟它，从而造成不容忽视的数值误差，当然计算结果也不会好。

### 3 论文插图

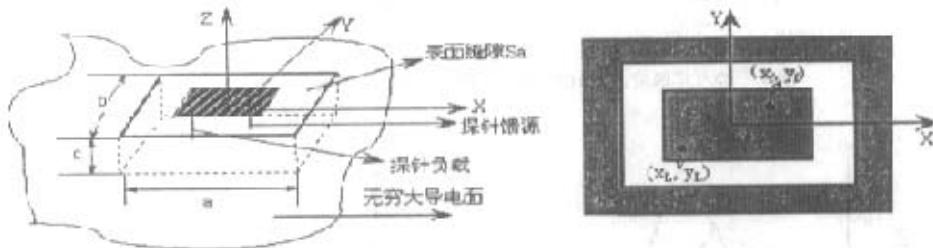


图 1 腔基微带贴片天线及其表面结构

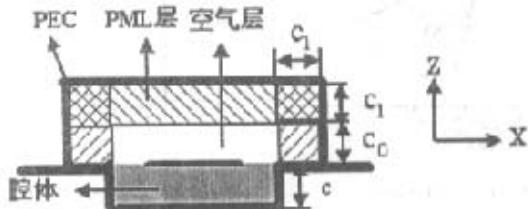


图 2 加有 Sacks's PML 层的微带天线的剖面图

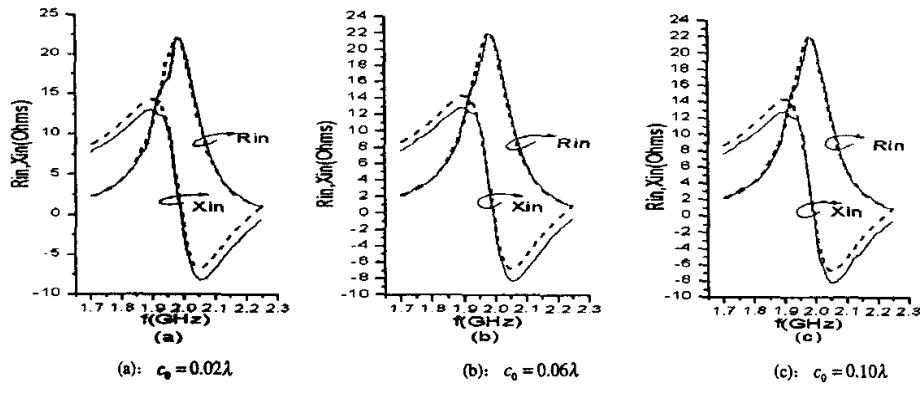


图3 PML 层厚度  $c_1 = 0.26\lambda$  不变, 随空气层厚度  $c_0$  变化的输入阻抗

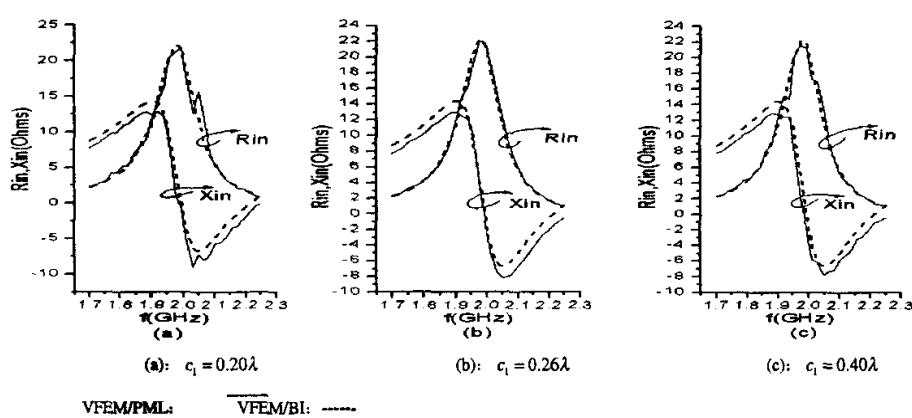
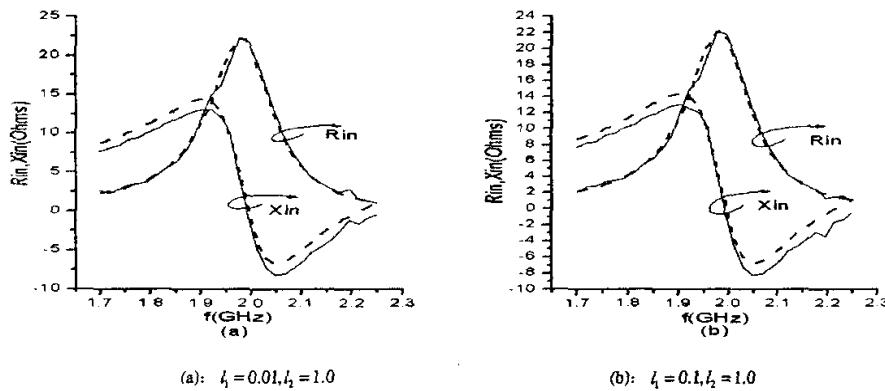


图4 空气层厚度  $c_0 = 0.06\lambda$  不变, 随 PML 层  $C_1$  厚度变化的输入阻抗



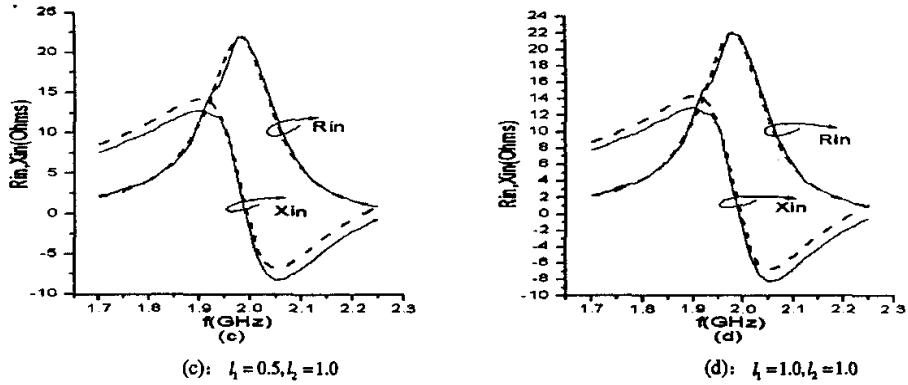


图 5 PML 参数  $\zeta$  虚部中  $l(x, y, z)$  对不同层网格进行加权时权重不同对输入阻抗的影响

## 4 结论

从上述计算的结果可看出, 各向异性介质的 Sacks's PML 与 Edge-Based FEM 结合的混合方法在解决天线的辐射问题方面非常有效。PML 层与空气层的厚度在计算中取相当小的值就可以得到与文献一致的结果, 在网格剖分时, 只要网格尺寸合适, 对空气层与 PML 层也不需要细剖。相对于采用边界积分方程截断边界, Sack's PML 虽然增加了有限元的计算区域, 但由于所加的 PML 层与空气层厚度均很小, 又不需要细剖, 该混合方法对内存量并没有大的增加, 而且非常重要的是, 它保留了有限元矩阵的高度稀疏性。另外如果有限元程序对各向异性介质适用的话, Edge-Based FEM Sacks's PML 的实施非常简单。

最后作为总结给出在结合有限元具体实施 Sack's PML 的过程中有助于提高计算结果精确性与稳定性的几点建议:

- 空气层的厚度、PML 层的厚度均为频率  $\omega$  的函数, 分别取  $0.06\lambda$ 、 $0.26\lambda$  即可;
- PML 参数  $\zeta$  应满足因果性条件[4], 其虚部应取为  $\omega$  的函数;
- PML 层被剖分成多层网格时, 各层网格的加权系数  $l(x, y, z)$  应沿分界面法向呈递增趋势, 而且不同网格的加权系数的差别不宜太大。

## 参 考 文 献

- 1 J. P. Berenger, A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves, *J. Comput. Phys.*, vol.114, no.2, Oct. 1994, pp.185-200
- 2 D. C. Katz, E. T. Thiele and A. Taflove, Validation and extension to three dimension of the Berenger absorbing boundary condition for FDTD meshes, *IEEE Microwave Guided Lett.*, vol.4, no.3, Aug. 1994., pp.268-270
- 3 Z. S. Sacks, D. M. Kingsland, R. Lee and Jin-Fa Lee, A perfectly matched anisotropic absorber for use as an absorbing boundary condition, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.43, no.12, Dec. 1995, pp.1460-1463
- 4 M. Kuzuoglu and R. Mittra, Frequency dependence of the constitutive parameters of causal perfectly matched anisotropic absorbers, *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol.6, no.12, Dec. 1999, pp.447-449
- 5 班永灵,《填充各向异性介质的背腔式微带天线的矢量有限元法分析》, 北京大学硕士论文, 2003 年 5 月.

班永灵, 1978 年出生, 男, 河南夏邑人, 电子科技大学博士研究生, 分别于 2000 年 7 月、2003 年 7 月在山东大学数学院信息与计算科学系获理学学士学位、北京大学电子学系获理学硕士学位。现主要从事有限元法(特别是高阶矢量有限元)、微带天线分析与设计以及电磁散射的研究。

## 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>