

# 对称单面鳍线的人工神经网络模型\*

胡香荣\*\* 徐 军 薛良金

(电子科技大学应用物理研究所 成都 610054)

【摘要】采用知识人工神经网络模型拟对称平面鳍线，通过利用先验知识减小输入映射关系的复杂度，建立了知识人工神经网络模型，减少了训练样本的数量。同时保留了全波时域有限差分法的准确性，而且具有快速简便的优点。

关键词 神经网络模型；基于知识的；鳍线；毫米波

中图分类号 TN802.2

鳍线是一种可应用于毫米波段的重要集成传输输线，已有大量的工程应用报道<sup>[1,2]</sup>，对其传输特性的分析鳍线的方法很多，如谱域法、模式匹配法<sup>[1]</sup>、复功率守恒法<sup>[2]</sup>，但这些方法推导复杂，要得到比较精确的结果需要多次迭代，对计算机资源有一定的要求。使用时域有限差分法(FDTD)和有限元方法，可以精确模拟鳍线的传输特性<sup>[3]</sup>，但其对计算机资源要求更高，耗时长。

近年来，由于神经网络具有良好的学习能力、较小的内存需求、较快的实时操作、良好的推广性及运用简便的优点，得到了广泛的关注。神经网络可以为微波电路结构提供快速和精确的模型<sup>[6-8]</sup>。为了建立精确的人工神经网络模型，需要提供大量的训练样本描述在工作范围内微波电路的几何和结构及其参数的变化，训练样本一般通过电磁场模拟计算得到，当需要提供的训练样本数量过多时，电磁场模拟计算的工作量巨大，使得神经网络模型的建立很困难。通过神经网络的自学习功能减小输入输出映射关系的复杂度是减少训练样本数量的有效方法，依据这个原则，文献[5,6]提出采用基于知识的人工神经网络模型，这种知识可以是已经有的解析方程、经验公式，或者已经建立的人工神经网络模型，它们含有电路结构的信息，但无法在期望的工作范围内给出要求的精度。使用基于知识的人工神经网络模型被证明能够在保证模型精确的同时，有效减少训练样本的数量。本文使用时域有限差分法产生训练样本，在已有近似公式的基础上训练生成对称单面鳍线的神经网络模型，具有全波分析的准确性和神经网络模型计算快速的优点。

## 1 神经网络模型的建立

对于图1的对称单面鳍线，鳍线的波导波长  $l_g$  和特性阻抗  $z_0$  为<sup>[9,10]</sup>

$$l_g = \frac{l_0}{\sqrt{e_e - (l_0/l_{c0})^2}} \quad (1)$$

$$z_0 = \frac{z_{0\infty}}{\sqrt{e_e - (l_0/l_{c0})^2}} \quad (2)$$

式中  $e_e$  为等效介质常数， $l_0$  为自由空间波长； $l_{c0} = l_c(e_r = 1)$  为尺寸相同，空气填充的加鳍波导的截止波长； $l_c$  为鳍线的截止波长； $e_r$  为鳍线中介质基片的相对介电常数； $z_{0\infty}$  为尺寸相同，空气填充的加鳍波导在  $f \rightarrow \infty$  时的特性阻抗。其中

$$e_e = \left( \frac{l_c}{l_{c0}} \right)^2 \quad (3)$$

2001年1月16日收稿

\* 信息产业部预研基金资助项目

\*\* 女 23岁 硕士生

对称单面鳍线中主模的  $I_c$  和  $I_{c0}$  和  $z_{0\infty}$  为

$$I_c = 2[A + a + s(e_r - 1)] \tag{4}$$

$$I_{c0} = 2[A_0 + a] \tag{5}$$

$$A = \left[ \frac{(1 + \sqrt{e_r})b}{\pi} \right] \ln \left[ \operatorname{csc} \left( \frac{\pi w}{2b} \right) \right] \tag{6}$$

$$A_0 = \left[ \frac{2b}{\pi} \right] \ln \left[ \operatorname{csc} \left( \frac{\pi w}{2b} \right) \right] \tag{7}$$

$$z_{0\infty} = \frac{120\pi^2 \left( \frac{b}{I_{c0}} \right)}{\left[ B + \tan \left( \frac{pa}{2I_{c0}} \right) \right]} \tag{8}$$

$$B = \frac{2b}{I_{c0}} \left\{ \ln \operatorname{csc} \left( \frac{\pi w}{2b} \right) + \frac{Q \cos^4 \left( \frac{\pi w}{2b} \right)}{1 + Q \sin^4 \left( \frac{\pi w}{2b} \right)} + \frac{1}{16} \left( \frac{b}{I_{c0}} \right)^2 \left[ 1 - 3 \sin^2 \left( \frac{\pi w}{2b} \right) \right]^2 \cos^4 \left( \frac{\pi w}{2b} \right) \right\} \tag{9}$$

$$Q = \left[ 1 - \left( \frac{b}{I_{c0}} \right)^2 \right]^{-1/2} - 1 \tag{10}$$

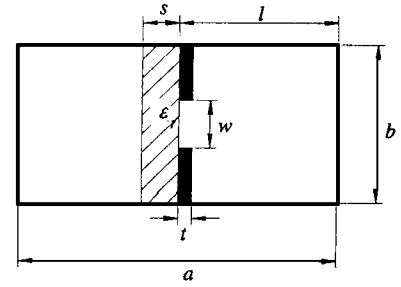


图1 对称单面鳍线的结构

采用上面给出的近似公式求得的传播常数与较准确的结果比较,相对误差小于  $\pm 4.5\%$ <sup>[9]</sup>,  $z_0$  的准确程度约为  $\pm 2\%$ <sup>[8]</sup>。这些近似公式给出的对称单面鳍线波导波长  $I_g$  和特性阻抗  $z_0$  的精度较低,将被作为已经具有的先验知识,用来建立更加精确的人工神经网络模型,神经网络模型的训练方案如图2所示。

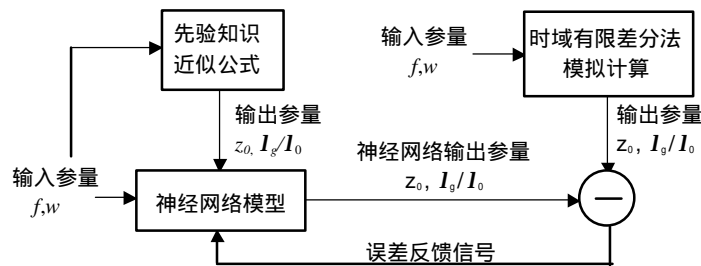


图2 基于知识的神经网络模型的训练方案

在训练方案中,近似公式的输出参量特性阻抗  $z_0$  和归一化波导波长  $I_g/I_0$  与其他输入参量频率  $f$  和鳍线槽宽  $w$  一起作为神经网络模型的输入参量。神经网络模型通过训练将反映已有近似公式的输出参量与模型输出参量之间的映射关系,当它们相同时,神经网络模型退化成一对一的映射关系。

对称单面鳍线的神经网络模型采用仅有一个隐藏层的多层感知器神经网络,隐藏层神经元选择双曲形式的非线性活化函数,输出层神经元选择线性活化函数。

模型参量变化的范围如表1所示,其他的参量是固定值,为:  $a=7.112\text{ mm}$ ,  $b=a/2$ ,  $s=0.254\text{ mm}$ ,  $l=3.556\text{ mm}$ ,  $t=10\text{ }\mu\text{m}$ ,  $e_r=2.22$ 。选择6个不同  $w$  宽度的对称单面鳍线结构进行时域有限差分法的模拟计算,从  $26\text{ GHz}\sim 40\text{ GHz}$  频率范围内每个结构计算8个频率点,总共产生48个训练样本。

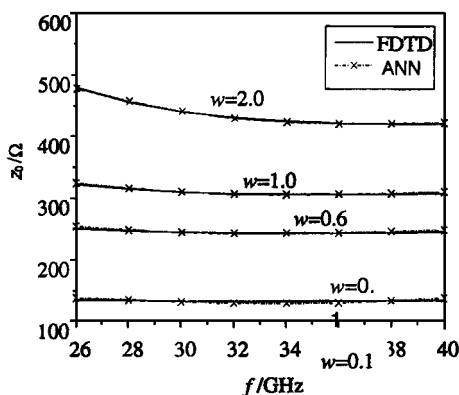
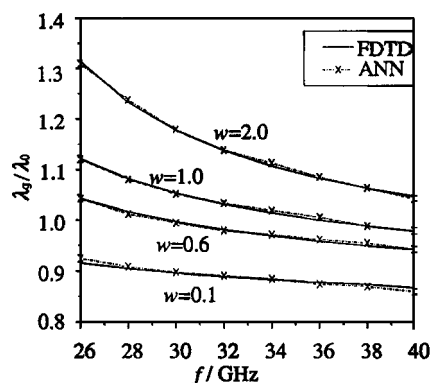
表1 神经网络模型的变化参量及范围

输入参量	频率 $f$ / GHz	鳍线槽宽 $w$ / mm
最小值	26	0.05
最大值	40	3.50

本文中,反向传播法被用于多层感知器神经网络的训练<sup>[1]</sup>。神经网络的输入层,输出层和隐蔽层分别含有4,2,5个神经元。

## 2 结果

训练后的神经网络模型使用一系列的测试本来证实其有效性,测试样本不同于训练样本。图3和图4给出了时域有限差分法的模拟计算结果与神经网络模型得到的映射输出之间的比较。由图3、图4可知,神经网络模型不仅可靠而且精确,而其计算时间极短。

图3 特性阻抗  $z_0$  的比较图4 归一化波导波长  $\lambda_g/\lambda_0$  的比较

## 3 结束语

对称单面鳍线的基于知识的人工神经网络模型在有效减少全波分析训练样本数量的同时,不仅保留了全波时域有限差分法模拟的准确性,而且具有快速简便的优点,本文建立的人工神经网络模型在毫米波鳍线设计中具有实用价值。

### 参 考 文 献

- 1 徐 军, 李 超, 龙 毅. 一种新型毫米波集成功率合成器的研究. 电子科技大学学报, 1999, 28(4): 374~377
- 2 徐 军, 龙 毅, 李 超. 毫米波宽带集成振混频组件的研究. 电子科技大学学报, 2000, 29(1): 41~44
- 3 Vahldieck Ruediger, Bornemann Jens. A modified mode-matching technique and its application to a class of quasi-planar transmission lines. IEEE Trans on MTT-33, 1985, 10: 916~926
- 4 Mansour Raafat R, Macphie Robert H. A unified hybrid-mode analysis for planar transmission lines with multilayer isotropic/anisotropic substrates. IEEE Trans. on MTT-35, 1987, 12: 1 382~1 391
- 5 王秉中. 一个计算单面鳍线传播常数的经验公式. 电子学报, 1984, 12(6):
- 6 Creech G L, Paul B, Lesniak C, et al. Artificial neural networks for fast and accurate EM-CAD of microwave circuits. IEEE Trans, 1997, MTT-45: 794 ~ 802

- 7 Watson P M Gupta K C, Mahajan R L. Development of knowledge based artificial neural networks for microwave components. IEEE, MTT-S, Int Microwave Symp Dig, 1998: 9~12
- 8 Wang F, Zhang Q J. Knowledge based neural models for microwave design. IEEE Trans, 1997, MTT-45: 2 333~2 343
- 9 王秉中, 薛良金. 鳍线设计的经验公式. 电子学报, 1985, 1: 9~18
- 10 Sharma Arvind K, R Hofer Wolfgang J. Empirical expressions for fin-line design. IEEE Trans, 1983, MTT-31: 350~355
- 11 Bishop C M. Neural networks for pattern recognition. New York: Oxford Univ Press, 1996

## Artificial Neural Network Models for Symmetrical Unilateral Fin-Lines

Hu Xiangrong    Xu Jun    Xue Liangjin

(Institute of Applied Physics, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** In this paper, a knowledge-based artificial neural network is used to model the symmetrical unilateral fin-lines. Utilizing prior knowledge for reducing complexity of input-output relationships that the Artificial Neural Network (ANN) must learn, it allows an accurate ANN model to be developed with less training data which is very advantageous when training data is expensive/time Consuming to obtain, such as with EM simulation. The neural network is electromagnetically developed with a set of training data that are produced by the finite element method (FDTD). which is robust both from the angle of time of computation and accuracy.

**Keywords** artificial neural network; knowledge based; fin lines; millimeter wave

· 科研成果介绍 ·

### VXI 总线测试软件平台

主研人员：陈光曙 王雁东 代俊光 顾亚平等

VXI总线测试软件平台利用面向对象的编程方法和C++的封装、继承、多态性，建立了控件基类，实现了图形化编程的运行机制。采用有向图深度优化遍算法，并通过消息驱动和多线程实现了软件的执行和调试。并利用所开发的VISA函数库和驱动程序库，实现了对VXI模块即插即用的控制能力。

· 甬 江 ·