

用改进遗传算法优化全等宽 平行耦合微带线带通滤波器

刘 锋, 卢万铮, 郑秋容

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘 要:用级联法设计全等宽耦合微带线带通滤波器时,要多次对参量进行调整、验证,尺度不好把握,难以得到最佳值。针对此问题,将改进的遗传算法与级联法结合使用,不需对参量反复调整,这不仅节省了设计时间,且能一次得到最佳参量值。通过例子证明此方法是有效的。

关键词:级联法; 遗传算法; 适应度函数

中图分类号:TN713 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)03-0064-04

半波长平行耦合微带线带通滤波器是微波集成电路中广为应用的带通滤波器形式。这种滤波器可实现的相对带宽,若采用窄带近似设计方法,最窄可到(2~3)%,最宽只为(20~25)%;采用宽带近似设计方法,相对带宽可达60%。在半波长平行耦合微带线带通滤波器的基础上,又引伸和发展了多种变型结构,如具有平行耦合线分裂环谐振器式滤波器^[1]、应用阶梯阻抗谐振器的平行耦合微带线滤波器^[2],这些变型带通滤波器其相对带宽一般在40%以内。文献[3]提出了一种全等宽平行耦合微带线带通滤波器的设计方法,它采用耦合线节级联的方式直接设计。级联直接设计可以采用相同的耦合线节构成滤波器,因而各半波长谐振器尺寸均匀,宽度相同,结构简洁,适用的相对带宽范围为(30~80)%。就设计过程而言,文献[3]所述方法在初选节数 N 和奇偶模特性阻抗比 m 后,需要分析设计的衰减特性能否满足要求,通过适当调整 N 和 m ,直至设计的衰减特性满足要求,因此属试探法。由于要同时对 N 和 m 进行多次调整,不但调整的尺度不好把握,且很难达到最佳值。本文根据所要设计滤波器的衰减特性要求,利用改进遗传算法直接得出最佳 N 和 m 。然后选择介质板,计算出滤波器的尺寸^[3],而不需要反复调整参量。

遗传算法是建立在遗传学与自然选择基础上的自适应搜索方法^[4],对解决函数优化、组合优化问题,具有很强的鲁棒性^[5]。但是,在实际应用中,简单遗传算法存在着收敛速度慢和易陷入局部最优解等缺陷。为克服这些问题,本文对遗传算法做了相应的改进。

1 全等宽耦合微带线带通滤波器的设计原理

全等宽耦合微带线带通滤波器^[3]采用级联直接设计法,级联直接设计法以开路式对称耦合线节为单元电路,其 A 参数为

$$\begin{cases} A_1 = D_1 = \frac{m+1}{m-1} \cos \theta \\ B_1 = j \frac{Z_{\infty}}{2(m-1) \sin \theta} [(m-1)^2 - (m+1)^2 \cos^2 \theta] \\ C_1 = j \frac{\sin \theta}{(m-1) Z_{\infty}} \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期:2002-07-01

作者简介:刘 锋(1979-),男,湖北潜江人,硕士生,主要从事电磁场与微波技术研究;
卢万铮(1943-),男,四川合江人,教授,博士生导师,主要从事电磁场与微波技术研究

其中 $m = Z_{oc}/Z_{oo} (m > 1)$, Z_{oc} 、 Z_{oo} 分别为奇、偶模特性阻抗, θ 为耦合线节相对于滤波器中心频率的电长度。1 个可逆对称二端口网络, 在对称负载 $R_s = R_L = R_0$ 条件下, 其以分贝为单位的衰减特性可用 A 参数表示为

$$A_{dB} = 10 \lg [(1(A + CR_0)^2 - 1)^2 / (4|C|^2 R_0^2)] \quad (2)$$

在 $f=f_0$ 即 $\theta = 90^\circ$ 时, 若要信号无衰减地传输, 其匹配条件为: $r = 2/(m - 1)$, 其中 $r = Z_{oc}/R_0$, 通常 $R_0 = Z_0 = 50 \Omega$, 根据常用介质及 Z_{oo} 情况, m 的取值范围大致为 1.7 ~ 4.0。

将 $N + 1$ 节相同开路式耦合线节级联起来, 形成 N 个半波长谐振器, 便可构成全等线宽耦合微带线带通滤波器。由于 $N + 1$ 节耦合线节相同级联后仍是可逆对称二端口网络, 将元素为式(1)的 $N + 1$ 个 A 参数矩阵连乘, 得出总的 A 参数矩阵, 其元素代入式(2), 便可算得滤波器的衰减特性。从上述可知, 应用级联直接法设计全等宽耦合微带线带通滤波器, 设计变量只有 m 和 N 。利用遗传算法得出满足条件的最佳 m 和 N 后, 根据 r 、 m 可得出耦合线节的 Z_{oc} 和 Z_{oo} , 然后算出滤波器的具体尺寸。

2 改进的遗传算法

在用基本遗传算法求解此问题时, 它存在着收敛速度慢和易产生早熟现象等缺陷。除确定编码策略、交叉算子、变异算子、群体规模、终止进化条件等参数外, 还必须确定交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 等参数, 对于后一部分参数的确定没有具体易行的有效方法, 常常通过多次试验而确定, 且难以取到最合适值。本文对基本遗传算法做了以下相应的改进, 主要是: ①产生均匀分布的初始种群; ②自适应的交叉概率和变异概率; ③参数可变的适应度函数。

2.1 初始种群的产生

在许多改进的遗传算法中, 初始种群的产生依然采用完全的随机方式, 而没有解决初始种群中各个体在解空间中的分布情况。这有可能让许多个体都集中在某一局部区域内, 不利于扩大搜索空间和收敛到全局最优解。我们可以在初始种群的产生上要求各个体之间保持一定的距离, 使各个体尽可能均匀地分布在整个解空间上。设个体的长度为 k , 种群的规模大小为 N , 则要求入选种群的所有个体之间的广义海明距离 $GH^{[6]}$ 必须满足: $CH_{ij} \geq (k - b) (i \neq j)$, 式中 i, j 为两个个体 ($i, j = 1, 2, \dots, N$), b 为一常数, 视不同的编码形式而定。一般若为二进制编码, 则设定 $b = \text{int}(k/2)$; $N = 3K (K > 4)$ 。广义海明距离 GH 越大, 字符串间所包含的不相同模式的数量就越多, 种群中的模式也越多。初始种群采取这种方式产生就能保证随机产生的各个体间有较明显的差别, 使它们能比较均匀地分布在解空间上, 保证初始种群含有较丰富的模式, 从而增加搜索收敛于全局最优解的可能。

2.2 交叉概率和变异概率

遗传算法的参数中交叉概率 P_c 与变异概率 P_m 的选择, 是影响遗传算法行为和性能的关键所在, 直接影响算法的收敛性。 P_c 、 P_m 越大, 新个体产生的速度就越快, 而遗传模式被破坏的可能性也越大, 使得具有高适应度的个体结构很快就会被破坏。但是, 如果 P_c 、 P_m 过小, 会使搜索过程缓慢, 以至停滞不前。可以这样确定它们的值: 当适应度值低于平均适应度值时, 说明该个体是性能不好的个体, 对其采用较大的交叉概率和变异概率; 如果适应度值高于平均适应度值取值, 说明该个体性能优良, 对其根据其适应度值取相应的交叉概率和变异概率。这里采用如下的 P_c 和 P_m 计算表达式:

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - \frac{(P_{c1} - P_{c2})(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}}, & f' \geq f_{avg} \\ P_{c1} & f' < f_{avg} \end{cases}, \quad P_m = \begin{cases} P_{m1} - \frac{(P_{m1} - P_{m2})(f - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}}, & f \geq f_{avg} \\ P_{m1} & f < f_{avg} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中 f_{max} 为群体中最大的适应度值; f_{avg} 为每代群体中平均适应度值; f' 为要交叉的 2 个个体中较大的适应度值; f 为要变异个体的适应度值。 $P_{c1} = 0.9, P_{c2} = 0.6, P_{m1} = 0.1, P_{m2} = 0.001$ 。

2.3 适应度函数的选取

若要设计一耦合微带线带通滤波器, 中心频率为 f_0 , 频率在 f_{p1} 到 f_{p2} 之间衰减小于 A_s (通常为 3 dB), 频率为 f_{s1} 及 f_{s2} 时衰减大于 A_s (如 40 dB)。以 θ_{p1} 、 θ_{p2} 表示对应于通带边界频率 f_{p1} 、 f_{p2} 的电长度, 则 $\theta_{p1} = \frac{\pi}{2} \times \frac{f_{p1}}{f_0}$ 、

$\theta_{p2} = \frac{\pi}{2} \times \frac{f_{p1}}{f_0}$, 同理, 可求出 f_{s1}, f_{s2} 的电长度分别为 θ_{s1}, θ_{s2} 。

1) 对于种群中的每个染色体, 先把它译码得出它对应的 m 和 N 值, 算出 θ 取 $\theta_{p1}, \theta_{p2}, \theta_{s1}$ 和 θ_{s2} 时对应的衰减量, 依次记为 $A_{p1}, A_{p2}, A_{s1}, A_{s2}$ 。

2) 优化的最佳情况是 A_{p1}, A_{p2} 最接近 A_r , 同时阻带最小衰减量 A_{s1}, A_{s2} 比 A_s 足够大, 而前者显得更重要, 因为它决定滤波器的 3 dB 带宽, 所以给两者以不同的加权系数。

$$y = 0.9 \times [|A_{p1} - A_r| + |A_{p2} - A_r|] + 0.1 \times [(A_s - A_{s1}) + (A_s - A_{s2})] \tag{4}$$

$$\text{Fit}(y) = \begin{cases} 1 - 0.5 \times \left| \frac{y-b}{a} \right|^\alpha & |y-b| < a \\ \frac{1}{\left| \frac{y-b}{a} \right|^\beta} & \text{其它地方} \end{cases} \tag{5}$$

这样由求 y 的最小值转到求 $\text{Fit}(y)$ 的最大值。其中 b 的理想值是 $\min(y) = y^*$, 这里取 b 为当前第 i 代中 y 的最小值。由于 $|y-b| = a > 0$ 时, $\text{Fit}(y) = 0.5$, 故在理想情况下, a 是适应度值为 0.5 时 y 到 $\min(y)$ 的距离, 这里可取为 $(A_r + A_s)/5$ 。 α, β 是参数, 通常可取 $\alpha = 1$, 使得适应度值在 $[0.5, 1]$ 之间是线性的, 如图 1(a) 所示。而对于在全局最优解 y^* 附近变化比较缓慢的函数, 用 $a = 0.5$ 可以使 $\text{Fit}(y)$ 较灵敏地反映出 y 值的变化情况, 如图 1(b) 所示; 另外, 在算法的后期, 则可以有效地拉开最优解附近点的适应度值, 作为一种鼓励手段便于做出敏感选择, 从而有利于以后的进化。这里 α 在进化总代数的前一半取 0.5, 后一半取 1。 β 取 2, 以人为地贬低适应度差的个体, 并且在未知 $\max(y)$ 的情况下也能保证 $\text{Fit}(y) \in [0, 1]$ 。

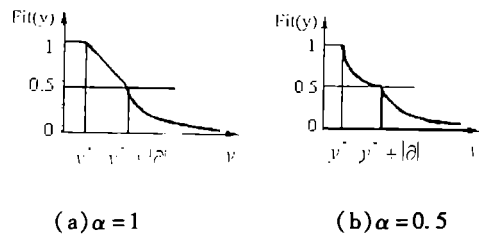


图 1 $\text{Fit}(y)$ 随 y 值的变化

3 计算实例与结果评述

以文献[3]的例 1 为例: 设计一耦合微带线带通滤波器, 中心频率 $f_0 = 6$ GHz, $f = 4.5 \sim 7.5$ GHz 衰减小于 3 dB, $f_{s1} = 3.6$ GHz 及 $f_{s2} = 8.4$ GHz 时衰减大于 35 dB, 输出端微带线特性阻抗 $Z = 50 \Omega$ 。

文献[3]选择 $m = 2.4, N = 5$ 。用本文的方法设计, 选择二进制编码, 1 个染色体由 15 个基因组成, 其中前 12 个用来表示 m 的值 (m 在 1.7 ~ 4.0 之间), 后 3 个用来表示 N 的值, 种群大小为 50。得到的最佳参数值为: $m = 2.375, N = 5$, 图 2(a) 是滤波器的衰减特性, 图 2(b) 是它们的 3 dB 带宽比较, 图 2(c) 是它们的阻带最小衰量的比较。从图中可以看出, 本文所得的结果较文献[3]在 3 dB 带宽上更接近要求, 阻带衰减量也更大。然后, 选择 $\epsilon_r = 2.56, h = 1.5$ mm 的介质板, 根据 m 的值得出各项参数和滤波器的具体尺寸如下: $w = 0.61$ mm, $s = 0.30$ mm, $\lambda_r/4 = 9.007$ mm, 考虑到终端缩短效应, $\lambda_r/4$ 取 8.80 mm。图 3 是用 EM 软件模拟的结果。从图中可以看出, 滤波器的衰减特性能满足要求。

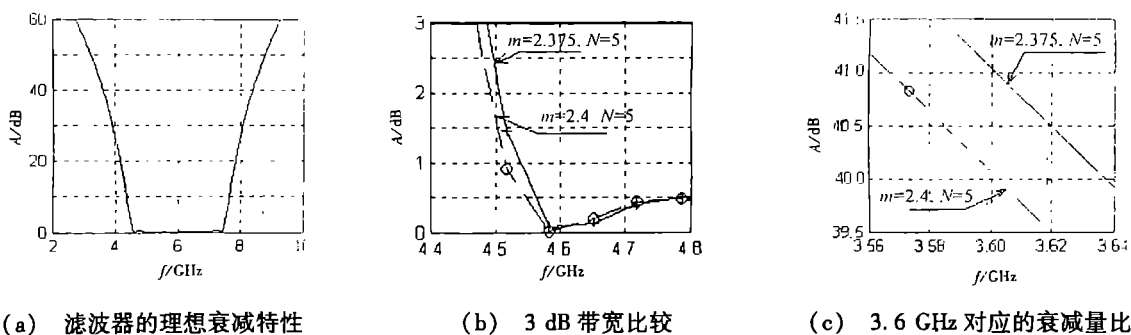


图 2 滤波器的衰减特性

4 结束语

本文在遗传算法中,采用均匀分布的初始种群和自适应的交叉概率和变异概率,来提高算法的收敛速度和避免陷入局部最优解,并将此算法与级联法结合,用来优化全等宽微带线带通滤波器,它能快速准确地得到最佳的参量值,最后在实例中证明此方法是有效、准确的。

参考文献:

- [1] Makimoto M, Yamashita S. Band - pass Filters Using Parallel Coupled stripline stepped Impedance Resonators [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1980,28(12):1413 - 1417.
- [2] Sheta A F, Coupe F P. Miniature Microstrip Stepped Impedance Resonator Band - pass Filters and Diplexers for Mobile Communications [J]. IEEE Microwave Theory and Techniques Symposium Digest, 1996, (4):607 - 610.
- [3] 王安国,林杞楠. 全等宽平行耦合微带线带通滤波器的设计 [J]. 电路与系统学报, 2000, (3): 43 - 47.
- [4] 林宝勤,卢万铮,胡绘斌,等. 基于遗传算法的无源滤波器设计 [J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(3): 70 - 73.
- [5] 王小平,曹立明. 遗传算法 - 理论、应用与软件实现 [M]. 西安:西安交通大学出版社, 2002.
- [6] 吴 斌,吴 坚,涂序彦. 快速遗传算法研究 [J]. 电子科技大学学报, 1999, 28(1): 641 - 645.

(编辑:门向生)

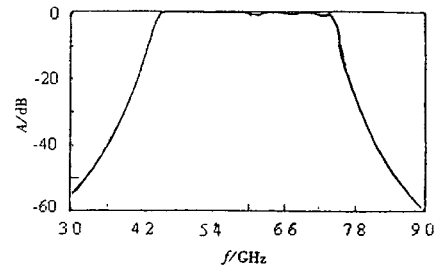


图3 EM 仿真结果

An Improved Genetic Algorithm Optimizing the Band - pass Filter of Parallel Coupled Microstrip Lines with Equal Width

LIU Feng, LU Wan - zheng, ZHENG Qiu - rong

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: In designing the Band - pass filter of parallel coupled microstrip lines with equal width by using cascade method, some parameters should be adjusted many times and the results should be validated repeatedly thus causing some difficulties in determining the optimum parameters. To counter this problem, the combination of an improved genetic algorithms and the cascade method is presented in this paper. The optimal parameters can be obtained, by using the combinative method, through single computation and without adjustments. At last the validity of the method is verified through an example.

Key words: cascade method, genetic algorithms, fitness function