

遗传算法在两分频扬声器系统设计中的应用

屠晶石, 沈勇

(南京大学声学研究所, 南京 210093)

摘要: 文章论述了运用遗传算法优化设计两分频扬声器分频网络的方法。使用实测的扬声器阻抗、频响数据, 模拟扬声器接入分频网络后扬声器系统的响应, 并运用遗传算法对系统响应进行优化设计。文中给出的实例表明, 设计结果和实测的曲线是一致的。

关键词: 遗传算法; 扬声器系统; 分频网络

中图分类号: TN912 **文献标识码:** A

Use of genetic algorithms in two-way loudspeaker system design

TU Jing-shi, SHEN Yong

(The Institute of Acoustics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: In this article, a method to design two-way loudspeaker crossover networks by genetic algorithms is described. The measured sound-pressure-frequency response and the impedance-frequency response of the woofer and the tweeter are used to simulate the response of the system when the loudspeakers are connected to crossover. The component values of the crossover are selected by genetic algorithms such that some responses are optimum. A design example shows that the calculated and measured frequency-response are accordant.

Key words: genetic algorithms; loudspeaker system; crossover network

1 引言

分频网络的设计是扬声器系统设计中的重要环节, 分频网络对扬声器系统的性能有着极大的影响。传统的设计方法是使用滤波器公式计算分频器元件值。这种方法假定扬声器的阻抗是固定的纯阻, 而事实上扬声器的阻抗是复数值, 其幅度随着频率而变化, 因此用公式确定的元件值必须经过反复的调试才能获得满意的效果。当分频器使用的元件较多时, 这种调整将非常困难, 难以取得好的效果。

随着计算机的广泛运用, 分频器 CAD 技术得到了发展。利用实测的扬声器频响曲线和阻抗曲线, 采用最优化技术选择分频网络的元件值, 使系统响应达到预期的目标。这种方法使得分频器设计工作变得简单而有效。

一个好的分频网络必须达到以下要求:

(1) 各扬声器加上分频器后, 在其重放频带内,

声压幅度响应平坦, 在重放频带以外, 声压幅度响应按一定斜率衰减。

(2) 各频段在分频点附近响应适当, 从而保证系统的总体幅度响应平坦。

(3) 系统的指向性指标符合要求。

国内外已有人在利用优化算法设计分频器方面作了一些工作^[1~4]。但在这些工作中有的只是对各频带单独优化, 无法保证各频带结合后的频响是否平坦; 有的对整个系统的频响进行优化, 但无法保证各频带频响符合要求。这些工作均未对指向性指标提出要求。所使用的优化算法都是局部搜索算法, 结果依赖于初始值, 对不同的初值, 算法将收敛到不同的局部最优。

针对前人工作的不足, 我们采用了一种全局搜索算法——遗传算法, 并使用线性加权法和法来解决这个多目标优化问题, 获得了比较好的效果。

2 理论方法

2.1 遗传算法的原理

遗传算法是一种模拟生物进化过程的优化算法, 它的基本流程如图 1 所示。

收稿日期: 2000-07-10; 修回日期: 2000-09-29

作者简介: 屠晶石(1976), 男, 江苏南京人, 硕士研究生, 从事电声学
的研究。

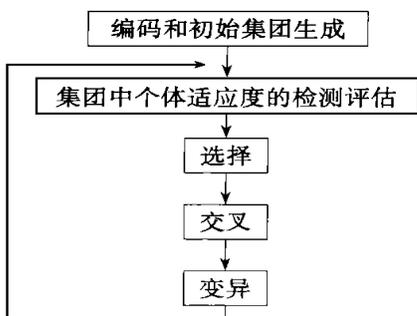


图1 遗传算法的基本流程

遗传算法在求解时是从多个解开始的,这多个解的集合称为一个种群。其中的每一组解称为个体或染色体。算法开始时,随机生成包含 N 个个体的种群,然后对每个个体的适应度进行计算。适应度是用来表示解的优劣的量,适应度值越大,解的质量越好。根据适应度及选择策略计算每个个体的选择概率,根据选择概率在种群中选择个体进行交叉、变异等遗传操作,用后代替换掉整个群体产生新的种群。适应度越高的个体被选择的机会越大,因此新种群中的解的质量将好于旧的种群。这样一代代进行下去,直到满足终止条件。

与传统的优化算法相比,它有如下几个优点:

- (1) 遗传算法在解空间的多个区域内进行搜索,故能以极大的概率找到全局最优解。
- (2) 遗传算法不依靠任何搜索空间的外部知识,仅用适应度函数来指导搜索的方向。对不同的问题,只要设计相应的适应度函数,无需修改算法的其它部分。
- (3) 遗传算法不需要初始值,仅要给出各待定参数的范围即可,使用更为方便。

2.2 适应度函数的计算

定义 \bar{x} 为一个给定的分频网络的元件值, x_i 可以是电容、电感或电阻值。扬声器加上分频网络后的声压传输函数为:

$$H(s, \bar{x}) = \frac{1}{P_0} \frac{P(s, \bar{x})}{V_{in}(s)}$$

其中 $P(s, \bar{x})$ 为声场中某点声压的拉普拉斯变换, $V_{in}(s)$ 为分频网络输入电压的拉普拉斯变换。我们还可以将 $H(s, \bar{x})$ 表示为:

$$H(s, \bar{x}) = H_c(s, \bar{x}) H_L(s, \bar{x})$$

其中:

$$H_c(s, \bar{x}) = \frac{V_{out}(s, \bar{x})}{V_{in}(s)}$$

$$H_L(s) = \frac{1}{P_0} \frac{P(s)}{V_g(s)}$$

$V_{out}(s, \bar{x})$ 为分频网络输出电压的拉普拉斯变换, $H_c(s)$ 为分频网络的电压传输函数。 $P(s)$ 为未加分频网络时扬声器在声场中某点引起的声压的拉普拉斯变换, $H_L(s)$ 为扬声器的声压传输函数。

一个多分频扬声器系统总的声压传输函数为:

$$H_s(s, \bar{x}) = \sum_i H_i(s, \bar{x})$$

在稳态正弦情况下 $s = j2\pi f$, f 为频率, $j = \sqrt{-1}$ 。

通过计算机测量设备可以得到扬声器阻抗及声压传输函数在离散频率点上的复数值,则根据以上讨论,对一组给定的分频网络元件值,可计算出加上分频网络后各扬声器的声压传输函数频响以及整个系统的声压传输函数。

定义误差函数为:

$$error(\bar{x}) = \sum_i W_i \left[20 \log_{10} \left| \frac{H(j2\pi f_i, \bar{x})}{G(j2\pi f_i)} \right| \right]^2$$

其中 $G(j2\pi f_i)$ 为目标函数,对某个频段的响应, $G(j2\pi f_i)$ 为高通、低通滤波器的传输函数。对整个系统的响应, $G(j2\pi f_i)$ 为常数 1。上式中 W_i 为加权系数,如果在某些频率点处的频率响应与目标函数的吻合程度比其他频率点处更为重要,则加权系数应取相对较大的值。对于整个系统的响应,各频率点的重要性相同,加权系数取常数 1。对于高音扬声器和低音扬声器的响应,在截止频率附近和通带频率的响应与目标函数的吻合程度比阻带频率处更为重要,在截止频率附近与通带频率处,加权系数取 1,在阻带频率处使加权系数减小,并且与截止频率距离越远的点,其加权系数越小。

对不同的声压传输函数,可得到不同的误差函数。我们的目的是调整分频网络的元件值,使这几个误差函数尽可能最小化,这是一个多目标最优化问题。我们采用了线性加权和法来解决这个问题,即定义:

$$E(\bar{x}) = \sum_i K_i error(\bar{x})$$

从而将这个多目标最优化问题转化为求 $E(\bar{x})$ 最小化的单目标最优化问题。

在遗传算法中适应值越大表示个体的性能越好,故我们将 $E(\bar{x})$ 作一变换,得到适应函数为:

$$f(\bar{x}) = 1/[1 + E(\bar{x})]$$

3 设计实例

利用前面叙述的方法,我们对一个两分频系统

进行了设计。设计时已考虑了低音单元和高音单元在音箱上的位置引起的声学性能的变化,这使得分频网络的设计更为精确、实用。

图2为实测的高、低音扬声器频响曲线,分频网络结构如图3所示。

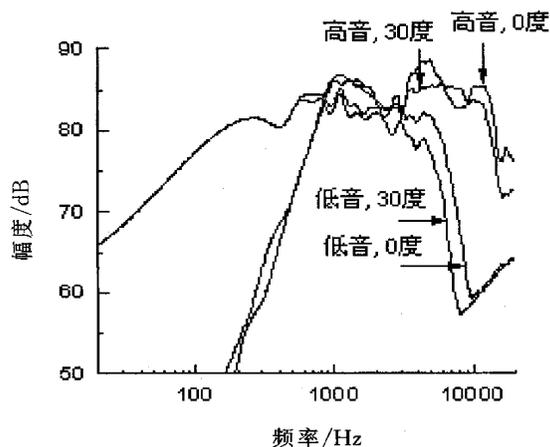


图2 高低音扬声器实测频响

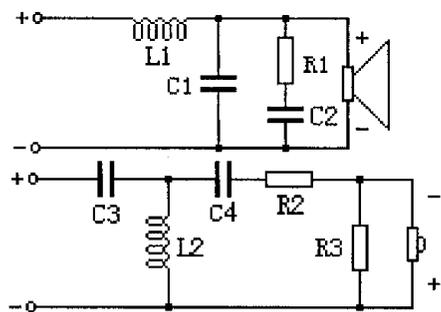


图3 分频网络结构图

设定接入分频网络后低音扬声器和高音扬声器的声压传输函数的目标分别为 Butterworth 低通、高通滤波器函数。系统在 0° 、 30° 位置的声压传输函数的目标为常数 1。设定分频点为 3000Hz, 使用遗传算法优化后得到分频网络的元件值为:

$$R1 = 2.1\Omega, R2 = 1.3\Omega, R3 = 12.4\Omega$$

$$L1 = 0.56\text{mH}, L2 = 0.31\text{mH}$$

$$C1 = 0.43\mu\text{F}, C2 = 11.6\mu\text{F}, C3 = 4.7\mu\text{F}, C4 = 10.6\mu\text{F}$$

图4为根据以上元件值计算的接入分频器后高低音扬声器及整个系统的声压频率响应曲线。

我们根据优化的元件值制作了分频器,扬声器接入分频器后的实测频响曲线如图5所示。

4 结论

比较图4与图5可见,声压频响的计算值与测量值是一致的,各频段的响应以及系统在 0° 、 30° 位

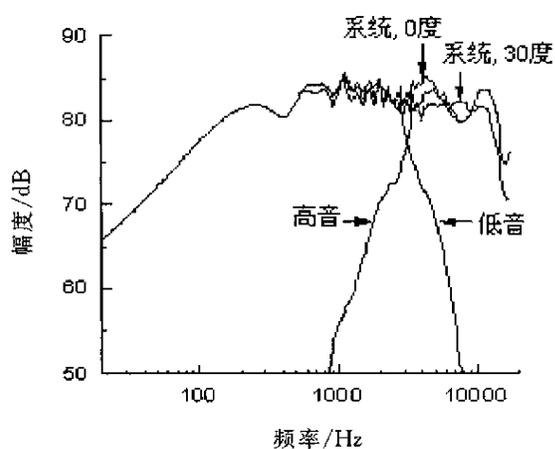


图4 计算得出的系统频率响应

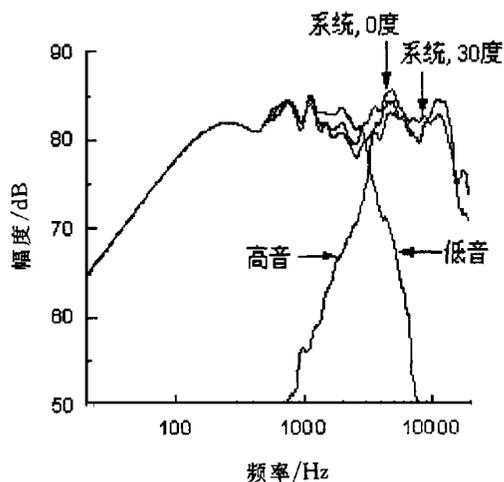


图5 实测的系统频率响应

置的响应都达到了预期的指标,其结果令人满意。

从本文的讨论可知,运用遗传算法优化设计分频网络是可行的。相信随着计算机测量设备的不断普及,计算机辅助设计分频器的方法一定会得到广泛的运用。

参考文献:

- [1] G. J. Adams, S. P. Roe. Computer-aided design of loudspeaker crossover networks [J]. J. Audio Eng. Soc., 1982, 30: 496-503.
- [2] R. P. de Wit, A. J. M. Kaizer, F. J. Op de Beek. Numerical optimization of the crossover filters in a multiway loudspeaker system [J]. J. Audio Eng. Soc., 1986, 34 (Mar): 115-123.
- [3] Witold Waldman. Simulation and optimization of multiway loudspeaker systems using a personal computer [J]. J. Audio Eng. Soc., 1988, 36 (Sept): 651-663.
- [4] 徐柏龄, 孙海泓. 扬声器分频网络的计算机辅助设计 [J]. 电声技术, 1989, 63(3): 1-5.