

基于遗传算法的低噪声轮胎花纹节距排列的优化方法

陈理君¹, 钟克洪¹, 张晓红¹, 张艳堃¹, 杨光大²

[1. 武汉工业大学, 湖北 武汉 430070; 2. 上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司, 上海 200082]

摘要:介绍了遗传算法在轮胎花纹节距排列低噪优化设计中应用的方法与步骤。将节距作为基因进行编码, 随机生成一个初始群体, 然后进行选择、交叉、变异和再生等遗传操作, 用适应度函数考核染色体个体的适应度, 直至遗传操作收敛到最优解。用遗传算法进行了低噪优化实例分析。结果表明, 该算法具有良好的收敛性和降噪优化效果, 为轮胎花纹其它设计参数的低噪优化提供了一种先进、实用和科学的研究思路。

关键词:轮胎花纹; 节距排列; 噪声; 优化设计; 遗传算法

中图分类号: TQ336.1⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1006-8171(2000)02-0076-05

轮胎花纹节距排列低噪优化是轮胎花纹低噪优化设计的一个主要途径^[1]。对于节距排列的选取方法已有很多专利成果^[2,3], 但这些方法往往只是针对某种具体应用, 可借鉴性较差, 甚至这些专利方案中的一些设计思想存在相互矛盾的地方, 莫衷一是。

在轮胎花纹节距排列低噪优化设计过程中, 一种较为可行的思路是: 选取若干的节距排列进行仿真分析^[4~6]并作噪声评价, 选取一个满意的排列作为产品实施的方案。在优化过程中存在的问题是如何选取候选排列方案 and 如何保证满意的排列方案存在于候选方案之中。一种较为直接的算法是: 产生所有可能的节距排列方案, 对其进行仿真分析和噪声评价, 筛选出最优的节距排列方案。这种算法看起来合理, 但实际上是不可行的, 因为这种算法存在组合爆炸的问题^[7]。可行的思路是深入了解问题的特性, 根据这些特性设计出有针对性的算法。

本工作采用遗传算法进行轮胎花纹节距排列低噪优化。

1 遗传算法介绍

遗传算法 (Genetic Algorithm) 是基于达尔

文进化论自然选择机制的一种搜索算法^[8~11]。它是一种全局搜索技术, 克服了局部搜索技术的许多缺陷。

由于遗传算法不能直接处理问题空间的参数, 因此, 在对问题求解之前, 必须先进行编码, 即把问题空间的参数转换为遗传空间的染色体。进行遗传操作 (交叉、变异) 之前还必须确定其适应度函数。

其操作方法为:

- (1) 对问题进行编码, 把问题的解表示为染色体;
- (2) 对染色体的集合 (群体) 进行处理;
- (3) 需要一个群体初始化过程, 随机产生一组解;
- (4) 利用适应度函数来评价每个解的优劣;
- (5) 使用一组遗传算子对现有群体实施遗传操作, 产生新一代的群体;
- (6) 算法的初始设置和结束条件由一组控制参数来确定。

1.1 编码

一个给定轮胎花纹方案由 a, b, c, d, e, ... 节距组成, 并且各节距的数目已知, 节距总数也已知, 可按如下方式进行编码。

$$C = \{e_i | i = 1, 2, \dots, N\} \quad (1)$$

式中, e_i 代表基因, $e_i \in \{a, b, c, d, e, \dots\}$ 。

由基因组成的一维串结构数据称为染色体(或称为个体),由多个个体可形成集团(群体)。这种编码方式具有较为明确的物理含义。

1.2 适应度函数

适应度函数的设计必须结合求解问题的特性,要能够体现出染色体(个体)的优劣。依据轮胎花纹低噪优化的目标不同,可设计3个适应度函数。

(1) 基于最高声峰值的适应度函数

最高声峰值 $P_{\max}$,即噪声谱中的最大声压值

$$P_{\max} = \max_{j=0}^k (P_j) \quad (2)$$

式中, $\max$ 代表取大符号。

$P_{\max}$ 是噪声大小的客观反映量,可用其作为评价量设计一个适应度函数 $f(C_i)$ 。

$$f(C_i) = \frac{1}{P_{\max,i}} \quad (3)$$

$f(C_i)$ 值越大,则噪声谱中的最大声压值越小,该染色体的适应度越强。

(2) 基于模糊综合评价的适应度函数^[12]

根据轮胎花纹噪声的特性和人对噪声的主观感觉,可对轮胎花纹噪声谱建立评价指数体系,再进行适当加权,合成综合评价指数 S 。

$$S = \sum_j \alpha_j P_j \quad (4)$$

式中 α_j ——各指数的权因数,其具体数值可通过实验模糊综合评判矩阵求逆解来确定;

P_j ——相关评价指数,诸如最大声峰值、起伏度、峰值离散度和噪声谱曲线趋势度等。

可用综合评价指数 S 作为评价量设计一个适应度函数 $f(C_i)$ 。

$$f(C_i) = \frac{1}{S_i} \quad (5)$$

$f(C_i)$ 越大,低噪声谱品质越好,人对此噪声的烦恼度越低,该染色体的适应度越强。

(3) 基于噪声容许标准线的适应度函数

目前,国内外尚无正式的轮胎噪声容许标准,轮胎生产厂一般根据汽车配套厂提出的要求作为达标值。图1所示为美国某研究中心为

汽车生产厂在选用配套轮胎时提出的噪声容许标准曲线^[13]。选择配套轮胎时,对应征方案及样品进行测试,如果测试结果的噪声谱线在标准线以下,则轮胎的噪声性能指标合格,否则为不合格。

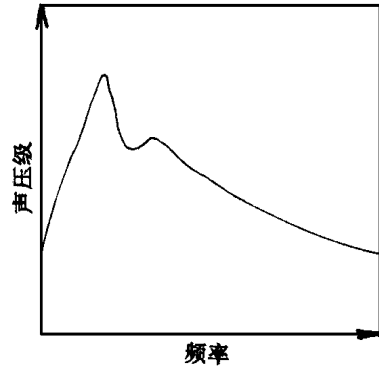


图1 噪声容许标准线

试验中,可将噪声仿真谱线同容许标准线进行比较,并计算差量 D 。

$$D = \sum_{j(P_{tj} > P_{sj})} (P_{tj} - P_{sj})^2 \quad (6)$$

$$\delta = \frac{\sum_{j(P_{tj} > P_{sj})} (P_{tj} - P_{sj})^2}{m} \quad (7)$$

式中 m ——序列数,值为 $10 \sim 10^3$;

P_{tj} ——频率为 k 时的测试或仿真谱线幅值;

P_{sj} ——频率为 k 时的容许标准线的对应谱线幅值。

可用这一差量作为评价量设计一个适应度函数 $f(C_i)$ 。

$$f(C_i) = \frac{1}{(1 + D_i)} + \delta \quad (8)$$

$f(C_i)$ 越大,实测或仿真噪声谱线就越符合噪声容许标准线。

在优化过程中,选取哪一个适应度函数作为目标函数还要按用户要求或地区、国别而定。

1.3 遗传算法流程

遗传算法的具体算法流程如图2所示。

1.4 遗传操作

(1) 初始群体的生成

第1代群体是根据各节距数目(由待优化方案确定)随机生成的。基因数量 N 为各节距数目的总和,即

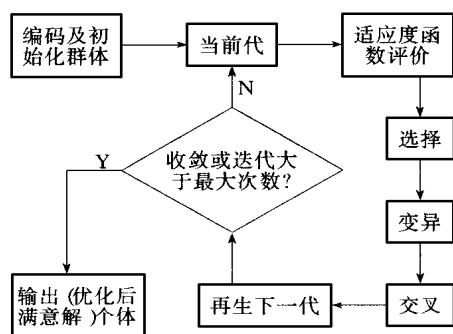


图2 遗传算法流程图

$$N = \sum n_j \quad (9)$$

式中, n_j 代表各节距 j 的数目。

基因 k 为节距 j 的概率为

$$P(e_k = j) = \frac{n_j}{N} \quad (10)$$

生成第1代群体的规模与 N 和 n_j 有关。若规模过小,生成的群体代表性不强,可能导致早熟,无法收敛至最优(满意)解;若规模过大,计算量相应也过大,与采用遗传算法的初衷背道而驰。在实验中发现,群体的规模取 N 的10倍左右较为合适。为便于选择操作的进行,群体的规模一般取4的整数倍。

(2) 选择操作

选择策略采用“分组联赛制”。将群体个体随机分为4个一组,根据适应度函数评价价值排出名次,前两名将参与下一代的再生及选择,而后两名则被淘汰,其空缺的位置由再生的下一代取代。“分组联赛制”策略不但可对群体进行选择,以实行群体的进化,而且有利于精英个体遗传至下一代,保证了群体的多样性。

(3) 交叉操作

每代个体之间的交叉操作是遗传算法优化的关键所在,它为遗传算法提供了一种高效并行的进化搜索方法。

“分组联赛制”中任一小组胜出的两个个体 i 和 j ,随机选取一个交叉点 s ,使两个双亲染色体 (Parent) 产生交叉操作,产生两个子体 (Child)。

$$\begin{aligned} \text{Child}(i) &= \text{Parent}(i) (0 \sim s) + \\ &\quad \text{Parent}(j) (s+1 \sim N-1) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{Child}(j) = \text{Parent}(j) (0 \sim s) +$$

$$\text{Parent}(i) (s+1 \sim N-1) \quad (12)$$

在物理上,其结构如图3所示。

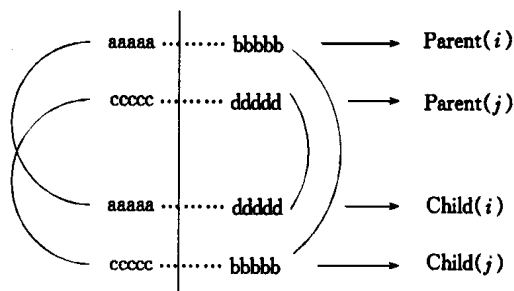


图3 交叉操作示意

(4) 变异操作

变异是防止群体过早陷入局部最优解而采取的操作,也是保证群体多样性的关键。变异的概率根据问题的具体特性而定。在算法中,对每个再生的子代个体均进行变异操作。对任一再生子代个体,从中任取两个基因进行交换。变异操作在物理上是两个节距的位置交换。

(5) 再生操作

对于第 g 代群体,经上述操作,用再生的子代取代已淘汰的群体个体,形成 $g+1$ 代群体。

由流程图(图2)可见,迭代的结束条件有两个:群体的最优个体适应度函数值趋于稳态值;迭代次数已满。

2 实例分析

本实验选取基于最高声峰值的适应度函数评价群体个体的适应性,并且取初始群体规模为1000,待优化方案为有关单位提供的某一设计方案,其节距排列为:

cabaedcbaedcbaebdcabaedabcbbaedcbcbabeadc-
bcacebdacbaecdb

图4为算法在适应度函数意义下最优个体的适应度函数值的收敛情况,其中横坐标为迭代次数 n ,纵坐标为最优个体与待优化方案最高声峰值的比值 γ 。

由图4可见,在算法初始阶段收敛很快,随着迭代次数的增加,收敛速度逐渐减慢。

优化后的节距排列为:

bccecdacbbcaaecbedaaebcbcbcaadaeaecbdcdca-
cececbecaaadcb

图5所示为优化前后的频域谱线图。

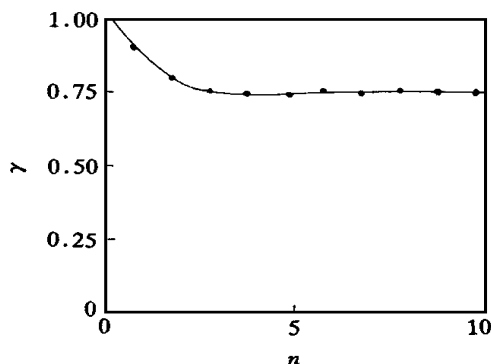
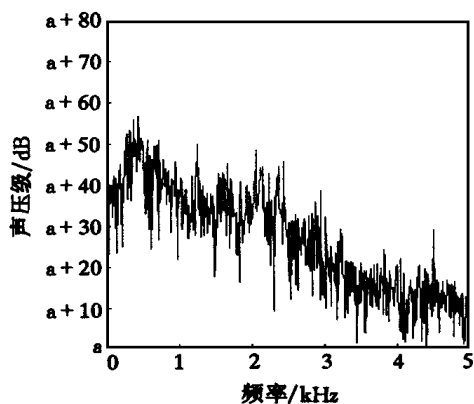
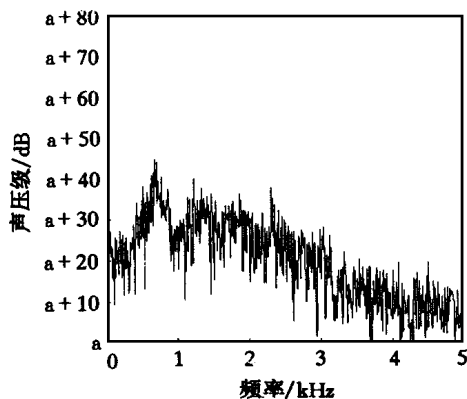


图4 遗传算法收敛示意图



(a) 优化前频谱图



(b) 优化后频谱图

图5 优化前后的频域谱线图

a 为声压级参考值

由图5可见,优化后最高声峰值降低了,并且频域能量在各频段的能量分布也更为均衡化,达到了低噪优化的目的。

应用中^[14]发现,优化后的轮胎周长可能会发生微小变化,在工程中这是不允许的。解决办法是:对节距比进行微调,使轮胎周长达到要求;另一种可行的解决办法为:算法收敛时,在

若干满意解中,选取轮胎周长变化较小者作为实施方案。

3 结论

用遗传算法进行轮胎花纹节距排列低噪优化,方法有效可行,降噪优化效果显著,可信度高,工程实用性强。鉴于遗传算法具有自适应性和鲁棒性,使得轮胎花纹节距排列的低噪优化过程有良好的收敛性和优化适应性。此外,本算法为轮胎花纹的其它参数的低噪优化提供了一种新颖的研究思路。

参考文献:

- [1] 陈理君,杨立. 轮胎花纹噪声的控制[J]. 轮胎工业, 1999,19(11):643-647.
- [2] Ewart E S. Pneumatic tire[P]. US,USP 2 006 197. 1935-06-25.
- [3] Buddenhagen F E. Tire casing with noiseless tread[P]. US, USP 2 612 928. 1952-10-07.
- [4] Park D H, Bathe K. Method for improving tread noise by relative rotation of a rib and simulation the effect thereof[P]. US,USP 4 788 651. 1988.
- [5] 陈理君,杨立,钱业青,等. 轮胎花纹噪声的发声机理[J]. 轮胎工业,1999,19(9):515-518.
- [6] 陈理君,杨立,钱业青,等. 轮胎花纹噪声的发声模型[J]. 轮胎工业,1999,19(10):599-602.
- [7] 卢开澄. 计算机算法引导:设计与分析[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [8] Holland J H. Adaptation in natural and artificial system[M]. MIT Press, 1975.
- [9] Goldberg D E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning[M]. Addison Wesley Publishing Company, 1989.
- [10] 陈国良. 遗传算法及其应用[M]. 北京:人民邮电出版社,1996.
- [11] 邢文训. 现代优化计算方法[M]. 北京:清华大学出版社,1999. 140-192.
- [12] 杨立. Fuzzy 综合评判在评价仿真噪声中的应用[J]. 模糊集理论及应用,1998(7):237-240.
- [13] Chen Lijun, Yang Li, Ma Hao, et al. Designing method for optimization low noise level tread pattern[A]. In: Proceedings International Rubber Conference '99 Seoul[C]. Seoul Korea: Korea Research Foundation, the Korean Foundation of Science and Technology Societies. 1999. 25-29.
- [14] 金家德. 遗传算法在轮胎花纹节距排列低噪优化中的应用[D]:[学位论文]. 武汉:武汉工业大学,1999.

收稿日期:1999-11-30

Optimization of tread pattern pitch arrangement for low noise tire based on genetic algorithm

CHEN Li-jun¹, ZHONG Ke-hong¹, ZHANG Xiao-hong¹, ZHANG Yan-kun¹, YANG Guang-da²

[1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070; 2. Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd., Shanghai 200082]

Abstract : The procedure for optimizing the tread pattern pitch arrangement in tire design based on the genetic algorithm is described. The pitches are coded as genes to form random a primary colony which are selected, crossed, varied and regenerated in the genetic process. The process won't stop using the adaptability function to measure the adaptability of single chromosome until the optimized solution is obtained from convergency. The analysis of an optimized example is made with the genetic algorithm. The results show that the algorithm possesses good convergency and lowering noise effect and provides an advanced, practical and scientific concept for lower noise optimization in other tread pattern parameters' design.

Keywords : tread pattern; pitch arrangement; noise; optimized design; genetic algorithm

2000 年客车行业将保持持续增长的态度

中图分类号: U461.1 文献标识码: D

据汽车行业主管部门官员分析, 1999 年全国的汽车产量可望超过 180 万辆, 产销率为 98%。其中轿车预计产销量均为 57.04 万辆, 销产率为 100%; 载货汽车预计产销量分别为 77.28 万和 75 万辆, 销产率为 98%; 客车预计产销量分别为 49.68 万和 48 万辆, 销产率为 97.5%。

汽车工业在经过连续 4 年低速增长之后, 1999 年首次出现两位数的增长, 这预示着将出现一种全行业持续增长的态势。

近两年来, 由于国家出台的多项重大经济调整政策开始实施并已产生效益, 将使 2000 年汽车市场总体需求继续保持较快增长势头, 增长速度不应低于 10%, 甚至有可能超过; 带动汽车市场增长的产品仍是大、中型客车和重型载货车, 而轿车和微型车的消费将为我国经济新的增长热点。

根据统计分析, 预计 1999 年大型客车产量为 7 800 辆, 占客车总产量的 1.56%, 增长率为

29.5%; 中型客车产量为 2.93 万辆, 占客车总产量的 5.9%, 增长率高达 72.8%; 轻型客车产量为 17.76 万辆, 占客车总产量的 35.75%, 增长率为 -1.0%; 微型客车产量 28.19 万辆, 占客车总产量的 56.75%, 增长率为 9.8%。

客车产销总量的增加与国家对公路投资的总体规模是一致的。1999 年我国公路里程已达 130 万 km, 高速公路超过 1 万 km。从某种程度来看, 公路建设超过地方经济的发展速度, 并快于汽车的增长。一旦汽车工业发展的外部环境得到改善, 现有的客车产量将有可能满足不了市场的需求。

根据国家机械局对 2000 年客车市场的预测, 客车的总产量有望达到 55 万辆, 增长率为 10%。其中大型客车产量为 1 万辆, 增长率为 30%; 中型客车为 5 万辆, 增长率为 80%; 轻型客车为 18 万辆, 增长率为 1%; 微型客车为 31 万辆, 增长率为 12%。随着 2000 年客车行业产品结构的进一步调整, 公路建设的进一步发展, 客车产量会有较大的增长。

(摘自《汽车商报》, 1999-12-22)