

基于免疫遗传算法的低噪声轮胎花纹结构参数优化

陈理君¹, 何 灿¹, 李福军², 吴桂忠²

(1. 武汉理工大学 自动化学院, 湖北 武汉 430070; 2. 北京橡胶工业研究设计院, 北京 100039)

摘要:在遗传算法的基础上引入免疫概念, 提出免疫遗传算法, 并进行轮胎花纹结构参数优化。免疫遗传算法有效克服了遗传算法易退化、早熟、速度慢和解单样性等缺陷, 加强了轮胎花纹低噪声优化过程中的收敛性和优化适应性, 提高了优化速度和可信度, 并能使解多样性, 扩大了设计选择空间。

关键词:轮胎; 花纹噪声; 免疫遗传算法; 节距

中图分类号: TQ336.1; TB533+.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2006)11-0653-05

在低噪声轮胎的设计与优化中, 轮胎花纹参数的优化有着至关重要的作用, 目前多采用遗传算法进行优化。随着技术的进步, 对优化速度和效率的要求进一步提高, 基于遗传算法的轮胎参数优化方法虽然克服了其它局部搜索技术的许多缺点, 但存在着退化、早熟、速度慢、耗时长、解单样性等不足。

本工作结合遗传算法和免疫算法的优点, 提出免疫遗传算法对轮胎花纹结构参数进行优化。

1 免疫遗传算法的应用原理

1.1 方法介绍

遗传算法是一种具有“生成+检测”迭代过程的搜索算法^[1], 而免疫遗传算法则具有借鉴生物免疫系统的自适应识别和排除侵入机体的抗原性异物的功能, 将生物免疫系统的学习、记忆、多样性和识别特点引入遗传算法。在实际应用时, 目标函数和约束条件作为抗原输入, 随后产生初始抗体群, 并通过一系列遗传操作及抗体亲和度的计算, 在保持抗体多样性的情况下, 找出针对该抗原的抗体, 即问题的解。免疫遗传算法可以有效地提高适应度, 避免早熟现象, 提高搜索速度和效率。免疫遗传算法流程如图 1 所示。

1.2 轮胎花纹参数优化

1.2.1 抗原识别

抗原识别主要模拟人体免疫系统中 T 和 B 细

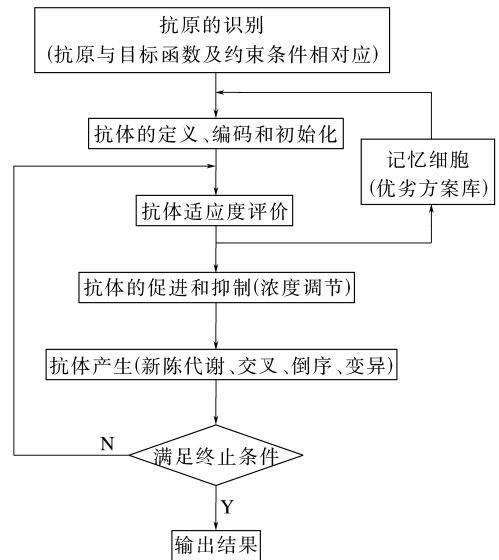


图 1 免疫遗传算法流程

胞的功能, 对曾经出现过的抗原再次入侵产生快速、高效的二次免疫应答, 有效提高优化速度。

抗原即为免疫遗传算法所要解决的问题, 不同低噪声轮胎花纹设计需求对应于不同的抗原, 抗原识别主要是判断新抗原是否为记忆中的抗原, 即新的优化问题是否为记忆中的优化问题。

定义一个最大抗原相似度(S_m), 并使

$$S_m = \bigcup_{i=0}^k (S_k) \quad (1)$$

式中, $\bigcup$ 为取大符号, $S_k = c_n / c_k$, c 为对抗原各种特征信息的综合评价指数, c_n 为新抗原评价指数, c_k 为记忆抗原评价指数。

以基于最大声压级峰值适应度函数的优化为

例, $S_k = c_n / c_k = P_n / P_k$, P_n 为新抗原的最高声压级峰值评价, P_k 为记忆抗原的最高声压级峰值评价。

若 $|S_m - 1| \leq \partial$ (∂ 可依据经验数据或具体优化要求取值), 则可认为新抗原就是记忆中的抗原, 即新的优化问题是记忆中的优化问题。

1.2.2 抗体的定义、编码和初始化

一般把抗体定义为函数在约束条件下的可行解。例如一个给定轮胎花纹方案由 $a, b, c, d, \dots$ 节距组成, 且各节距的数目和节距总数已知, 可按如下方式进行编码:

$$W = \{e_i \mid i = 1, 2, \dots, N\}$$

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

由基因组成的一维串结构数据称为抗体, 由多个抗体可形成抗体群, 这种编码方式具有较为明确的物理含义。

在产生初始群体时, 首先进行抗原识别, 判断是否为新抗原, 若不是, 则从记忆细胞中取出相应的抗体组成免疫遗传算法的初始群体, 否则, 随机产生初始群体。

1.2.3 抗体相似度计算

在选定父本抗体时, 为避免近亲繁殖, 防止退化, 需要对抗体进行相似度计算。为计算方便, 定义一个算符——异或算符 $\otimes$ [2]。对于 X 和 Y 两种轮胎花纹节距排列, 令

$$X = [x_1 x_2 \dots x_n]$$

$$Y = [y_1 y_2 \dots y_n]$$

$$Z = [z_1 z_2 \dots z_n]$$

定义

$$Z = X \otimes Y = [z_1 z_2 \dots z_n] \quad (2)$$

当 $x_i = y_i$ 时, $z_i = 0$; 当 $x_i \neq y_i$ 时, 则 $z_i = 1$ 。令

$$m = \sum_{i=1}^n \bar{z}_i (\bar{z}_i \text{ 为 } z_i \text{ 的补, 即 } 0 \text{ 变 } 1, 1 \text{ 变 } 0), \text{ 可得}$$

X 和 Y 相似度为:

$$\sigma = (m/n) \times 100\%$$

若 $\sigma \geq 30\%$, 则认为 X 和 Y 为“近亲”, 需选取其它节距排列替换其中一组排列。

例如, 在节距排列优化中, 有 A 和 B 两组轮胎花纹节距排列 [3]:

A: 1101 0110 0101 1110 1011;

1001 1010 1110 0100 0111

B: 1101 0110 0101 1110 1011;

1101 1010 1110 0100 1011

首先将它们转换为十六进制, 得到

A: D65EB; DAE47

B: D65EB; DAE4B

根据式(2), A 组经异或计算后得出 01111, $m=1$, $\sigma=20\%$, 因此可以认为 A 组两排列不是“近亲”; 而 B 组经异或计算后得出 01110, $m=2$, $\sigma=40\%$, 故 B 组两排列为“近亲”, 予以替换。

在节距比优化中, 由于一个节距比用两位十六进制数表示 [3], 对于如下两组节距比

D: AD F1 C2 AB BE; AD C2 B3 AB BE

E: A4 B3 CD BB F3; A5 B3 C4 B6 D4

根据式(2), D 组经异或计算后得到 01100, $m=3$, $\sigma=60\%$, 为“近亲”, 予以替换; 而 E 组经异或计算后得到 10111, $m=1$, $\sigma=20\%$, 故不为“近亲”。对“劣性”坏方案, 做类同处理, $\sigma \geq 60\%$ 时应予以替换。

1.2.4 抗体适应度评价

设计适应度函数来评价抗体的优劣性, 适应度函数的设计必须结合求解问题的特性, 以体现出抗体的优劣。依据轮胎花纹低噪声优化的目标, 可设计 3 个适应度函数 [3]。本工作选取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。将噪声仿真谱线与噪声容许标准线进行比较, 计算差量 D 和 δ :

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

$$\delta = \frac{\sum_{j(P_{ij} > P_{sj})} (P_{ij} - P_{sj})^2}{K} \quad (3)$$

式中, K 为序列数, 大小为 $10 \sim 10^3$; P_{ij} 为频率 k 时的声压级测试或仿真谱线幅值; P_{sj} 为频率 k 时的声压级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:

$$f(c_i) = \frac{1}{1+D} + \frac{1}{1+\delta} \quad (4)$$

$f(c_i)$ 越大, 实测或仿真噪声谱线越接近噪声容许标准线。

基于最高声峰值与基于模糊综合评价的适应度函数应用方法类似。在实际优化中, 选取哪一个适应度函数作为目标函数需按用户要求或地

区、国别而定。

1.2.5 浓度调节控制 B 细胞分泌抗体

浓度调节机制类似于自然免疫系统的 T 细胞的调节作用,为了维持抗体的多样性和系统平衡,对浓度过高的抗体进行抑制^[4]。

计算当前群体中适应度相近的抗体浓度,个体浓度即相近个体总数与群体中总抗体数的比值,浓度高则增加该抗体的变异概率(即抑制),反之则减小该抗体的变异概率(即促进)。

抗体相似性通过抗体编码的欧氏距离(Euclidean Distance)求取^[5]。

设以下轮胎节距比:

$$X: x_1 x_2 \cdots x_n \quad Y: y_1 y_2 \cdots y_n$$

它们的相似度(O)为:

$$O = (1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{\sum_{i=1}^n |x_i + y_i|}) \times 100\%$$

若 $O \geq 70\%$,则认为两抗体相似。于是,抗体 i 的浓度(C_i)定义为^[6]:与抗体 i 相似度大于 70% 的抗体数与 N 之比;则基于抗体相似性的抗体变异概率为:

$$Q_s(x_i) = 1 - \alpha \left[\frac{O_p(x_i)}{\sum_{i=1}^N \rho(x_i)} + \frac{(1-O)e^{-\frac{C_i}{\beta}}}{N} \right] \quad (5)$$

$$\rho(x_i) = \sum_{j=1}^N |f(x_i) - f(x_j)|$$

式中, α 和 β 为常数调节因子, $0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1$; x_i 为抗体; $f(x_i)$ 为适应度函数; $\rho(x_i)$ 为抗体的矢量距。

可以看出,变异概率既与抗体适应度有关,又与抗体相似度有关。抗体浓度越高,其产生变异的概率越高。这样处理在一定程度上可以克服抗体陷入局部最优解的问题,保持了抗体的多样性。

1.2.6 抗体的产生

新陈代谢通过免疫选择^[6]来进行,剔除退化严重、适应度过低的抗体,保持群体的优越性。

交叉与变异是遗传算法的基本操作,交叉是对经适应度评价符合要求的任意两个抗体 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)^[3]。在

实际优化中,再加入重交叉倒序操作,其物理结构如下:

Parent(i) aaaaaa.....bbbbbb

Parent(j) ccccc.....ddddd

对 Parent(i)倒序后再与 Parent(j)交叉:

Parent(i) bbbbbb.....aaaaa

Parent(j) ccccc.....ddddd

Child(i) bbbbbb.....ddddd

Child(j) ccccc.....aaaaa

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。从任一再生子代个体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。免疫遗传算法采取了提高变异概率及加大变异面的做法。变异是按 $30\% \sim 40\%$ 的概率进行的,产生变异的位也是按概率随机选择,例如,对于以下节距排列:A300C1A785 采取变异操作,随机选取变异位后,第 1 位与第 4 位交换,第 3 位与第 8 位交换,得到新的节距排列:037AC1A085。

1.2.7 抗体记忆细胞的分化和更新

自然免疫系统在第二次遇到某抗原时,免疫反应能够迅速有效地排除抗原,在免疫学中称为二次应答。自然免疫系统甚至能对以前从未遇到过的抗原产生二次应答,二次应答具有时间短、速度快及合成抗体持续时间长等特点。二次应答反映了免疫具有系统的记忆功能。

为了模拟自然免疫 T 和 B 细胞的记忆功能,建立优库存储高亲和度的抗体细胞。如果不是新抗原,则更新记忆细胞相关内容,用当前群体中适应度高的个体替换记忆细胞中适应度低的个体;如果是新抗原,则把当前群体中适应度高的个体加入记忆细胞中。

另外建立劣库存储亲和度比较差的抗体细胞,使用异或算法将抗体与劣库中的抗体比较,若相似度高于 30% ,则予以替换。

1.2.8 循环与结果输出

种群更新后判断是否满足停止条件,若满足,输出结果;若不满足,再进入下一次循环操作。

2 优化实例分析

分别用免疫遗传算法和遗传算法对轮胎花纹参数进行优化,使用相同的基于噪声容许标准线的适应度函数。

图 2 和 3 所示分别为用两种算法在迭代 10 次之后的噪声声压级曲线。由图 2 和 3 可见,免疫遗传算法的收敛速度明显快于遗传算法。优化结果表明,在迭代次数相同的情况下,免疫遗传算法降噪效果更为明显,它在速度和效率方面比遗传算法明显提高。

从表 1 也可以看出,要达到同一优化目标(如最高声压级峰值),免疫遗传算法优化所需迭代次数明显少于遗传算法。

3 结语

应用免疫遗传算法进行轮胎花纹的设计和优化,在遗传算法的基础上引入免疫概念,有效克服了遗传算法易退化、早熟、速度慢、解单样性等缺陷,加强了轮胎花纹低噪声优化过程中的收敛性和优化适应性。它在节距排列组合上引入了 Fuzzy 贴近度处理技巧,在节距比优化中引入欧

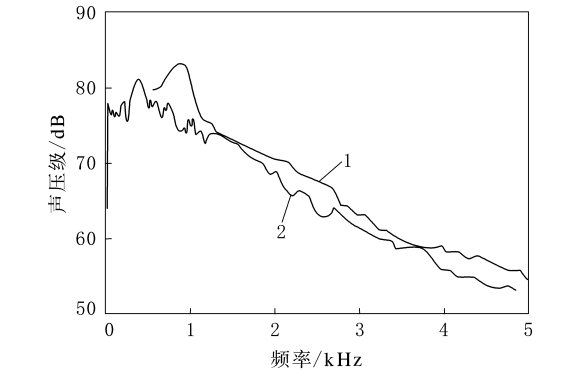


图 3 免疫遗传算法优化结果
注同图 2。

表 1 两种方法达到各声压级峰值所用迭代次数

项 目	最高声压级峰值/dB				
	90	88	86	85	83
遗传算法	0	1	2	5	9
免疫遗传算法	0	1	2	3	6

氏距离,操作更快速、合理。仿真结果表明,免疫遗传算法提高了轮胎花纹优化速度和效率,可信度高,并能使解多样性,增大了设计选择空间。

参考文献:

[1] 韩生廉,花克勤. 遗传算法的不充分性及其改进方法[J]. 液压气动与密封,2001,12(6):14-16.
[2] 陈理君,符健豪. 微处理机模糊控制[M]. 中国台北:台湾儒林图书公司,1993. 57-1 014.
[3] 陈理君,钟克洪,张晓红,等. 基于遗传算法的低噪声轮胎花纹节距排列的优化方法[J]. 轮胎工业,2000,20(2):76-79.
[4] 杨唐胜,陈文清. 一种与遗传算法类似的人工免疫算法[J]. 武汉理工大学学报,2005,27(10):107-108.
[5] 杨孔雨,王秀峰. 免疫进化模型及其在优化计算中的应用[J]. 系统仿真学报,2005,17(4):801-805.
[6] 王煦法,张显俊,曹先彬,等. 一种基于免疫原理的遗传算法[J]. 小型微型计算机系统,1999,20(2):118-120.

第 14 届中国轮胎技术研讨会论文

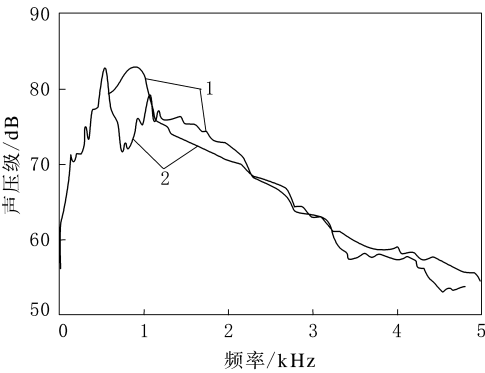


图 2 遗传算法优化结果
1—噪声曲线;2—模拟曲线。

Optimization of structural parameters of tread patterns based on immune genetic algorithm

CHEN Li-jun¹, HE Can¹, LI Fu-jun², WU Gui-zhong²

(1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry, Beijing 100039, China)

Abstract: The immune concept was introduced based on the genetic algorithm to propose an im-

mune genetic algorithm, by which the structural parameters of tread patterns were optimized. The defects, such as susceptible degeneration, premature, low speed and monosolution of genetic algorithm, were eliminated by using immune genetic algorithm, at the same time, the convergence during the optimization of tread patterns' noise and the adaptability of optimization improved, the speed and confidence of optimization increased, and the multi-solutions were obtained to provide more choices in design.

Keywords: tire; tread patterns' noise; immune genetic algorithm; pitch

贝卡尔特新生产基地 BSAP 开业

中图分类号: TQ330.38⁺9

文献标识码: D

2006 年 9 月 28 日, 贝卡尔特在沈阳的第 2 个工厂——贝卡尔特沈阳精密钢制品有限公司 (BSAP) 开业庆典隆重举行。辽宁省政府、省外经贸厅、沈阳市有关领导, 比利时驻华大使, 轮胎生产企业代表、相关媒体及贝卡尔特总部和在华企业的有关人员出席了庆典仪式。

BSAP 于 2005 年 12 月 14 日在沈阳经济技术开发区成立, 为独资企业, 产品涉及橡胶增强用精细钢丝和工程子午线轮胎用钢丝帘线。该厂占地 12 万 m², 总投资近 2.4 亿元人民币, 计划生产能力 6 万 t。项目分三期完成, 2006 年 8 月 8 日一期工程完工, 部分设备已安装投入生产, 到年底生产能力可达 2 万 t。值得一提的是, 工程从奠基到完工历时仅 115 天, 创造了建设周期奇迹, 也创造了贝卡尔特建厂周期记录。目前, 该厂有员工 60 人, 年底将增加 1 倍, 届时贝卡尔特在沈阳的员工总数将达到 750 人。

贝卡尔特副总裁 Marc Vandecasteele 先生在致词中说, BSAP 的落成使贝卡尔特在沈阳的累计投资总额达到 9 亿元人民币, 这充分表明了贝卡尔特进一步加强东北市场地位的决心。他对政府有关部门长期以来给予的大力支持和鼎力相助以及为其与客户共同发展创造的良好环境表示衷心的感谢。

贝卡尔特紧跟市场发展, 力争成为国内外客户认可的世界级高质量产品供应厂家。为达此目的, 公司将继续投资。为充分满足市场需求, 贝卡尔特已将其中国工厂 (江阴、沈阳、威海) 产能扩大至 20 万 t, 通过在江阴、上海、常州和无锡的工厂不断扩大其它钢丝产品市场。同时, 通过苏州工厂所提供的相关产品和服务在亚洲市场积极拓展

在先进材料及先进镀膜技术领域的活动。基于先进金属变形及先进材料和镀膜两种核心技术, 贝卡尔特一直在寻求持续盈利发展, 旨在巩固其在全球市场和技术两方面的领导地位, 通过其范围广泛的高科技产品、系统和服务为客户提供更高的附加价值。

随着我国经济的不断增长和汽车工业的重点发展, 沈阳作为贝卡尔特在华发展的重点基地之一, 未来几年将生产更多品种的钢丝产品 (如胶管钢丝), 并将进一步扩大投资和增加生产能力, 以便为东北地区及中国市场提供更多的高新技术产品, 同时每年还有 35% 左右的产品出口到美国、欧洲、韩国等其它国家。

贝卡尔特现拥有总雇员 17 400 人, 在全球 120 多个国家拥有销售平台, 年销售额为 30 亿欧元。目前在华已设立了 14 个公司和 1 个亚洲地区总部。

(本刊编辑部 黄丽萍供稿)

米其林的白炭黑自行车轮胎

中图分类号: TQ336.1

文献标识码: D

英国《欧洲橡胶杂志》2006 年 188 卷 3 期 42 页报道:

米其林向公众以及专业运动员推出了一个新系列的自行车轮胎。这种轮胎延续了米其林在运动自行车轮胎中采用全白炭黑以提供最大抓着力做法。该公司说, 当骑手向一侧倾斜进入弯道时, 该轮胎可使他增加 7° 倾斜角, 相当于比普通赛车轮胎增加了 40% 的横向抓着力。

米其林宣称, 这种轮胎具有比任何赛车轮胎都低的滚动阻力, 有 6 种鲜艳的颜色供选择, 在轮胎接地处有一条炭黑补强的胶条。

(涂学忠摘译)