

文章编号: 1000-6893(2002) 02-0177-03

Pareto 基因算法多目标翼型优化设计

隋洪涛, 陈红全, 黄明恪

(南京航空航天大学 601 教研室, 江苏 南京 210016)

MULTI-OBJECTIVE AIRFOIL OPTIMIZATION USING PARETO GENETIC ALGORITHM

SUI Hong-tao, CHEN Hong-quan, HUANG Ming-ke

(Faculty 601, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

摘 要: 基于 Pareto 最优解的定义, 通过构造新型的联赛式选择复制等算子而发展了一种适合于求解多目标优化设计的 Pareto 基因算法。通过等级法来正确识别每一代中近 Pareto 波阵面的解, 从而消除选择误差达到快速收敛的目的。为提高解的分布性: 采用小生境技术解决了基因材料多样性损失问题; 采用常规实数编码方式配合平均交叉算子解决了编码端点效应问题。将所发展的方法应用于多目标翼型优化设计中, 获得了理想的 Pareto 波阵面, 为决策者提供了一个可选的有效解数据库。

关键词: 基因算法; Pareto 最优解; 多目标优化设计; 翼型

中图分类号: V224 文献标识码: A

Abstract: Based on the definition of Pareto optimum, a Pareto Genetic Algorithm (PGA) suitable for multi-objective optimization is developed using a set of operators and strategies in this paper. The search process of the PGA is speeded up by presenting a ranking method. The distribution of the solutions on the Pareto front is improved from two angles. Firstly, the niching technology is used to keep the genetic diversity. Secondly, the real coding combined with an average crossover operator is used to eliminate the ending effect of the GA coding. Then the constructed PGA is used to solve the multi-objective airfoil optimization problem. And the satisfying Pareto front is obtained.

Key words: genetic algorithm; Pareto optimum; multi-objective optimization; airfoil

本文是基于 Pareto 最优解的定义, 通过各种策略构造一种适合于求解多目标优化设计的 Pareto 基因算法^[1,2], 并将其应用于多个设计状态的翼型优化设计中。

1 Pareto 最优解定义

多目标优化问题的最优解与单目标优化问题的最优解有着本质上的不同, 所以为了正确求解多目标优化问题, 有必要对其最优解的概念^[3]进行定义。

多目标优化问题可以描述为

$$\min_x F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)] \quad n \geq 2 \quad (1)$$

式中: $f_i(x)$, ($i = 1, 2, \dots, n$) 为分量目标函数; C 为多目标优化模型约束集。

定义 1 设 $x^1 \in C$, $x^2 \in C$, 若 $f_i(x^1) < f_i(x^2)$, ($i = 1, 2, \dots, n$), 且其中至少有一个严格不等式成立, 则称解 x^1 比解 x^2 优越。

定义 2 若 $x^* \in C$, 且在 C 中不存在比 x^* 更优越的解 x , 则称 x^* 是多目标最优化模型式(1)的 Pareto 最优解, 又称为有效解。由所有 Pareto 最优点构成的子空间称为 Pareto 波阵面。

2 Pareto 基因算法构造

求解多目标优化问题的基因算法不同于单目标优化设计的基因算法。首先要基于 Pareto 最优解的数学定义考虑如何评价 Pareto 最优解, 然后设计与之相适应的选择复制、交叉和变异等基因遗传算子。因此由此而构造的基因算法被称为 Pareto 基因算法。

(1) 联赛式选择复制算子 基于 Pareto 最优解的定义构造了新型的联赛式选择复制算子:

首先从当前群体中任意选取 2 个个体 x_1 和 x_2 (即联赛规模为 2)。然后 2 个个体之间根据定义 1 进行优越关系比较: 如果其中 1 个个体(记为 x^*)比另 1 个个体优越, 则 x^* 个体被选中且复制到下一代中; 如果 x_1 不比 x_2 优越, x_2 也不比 x_1 优越, 则随机选取其中 1 个个体复制到下一代中。这一过程反复进行, 直到复制到下一代的个体数

达到预先设定的数目为止。

(2) 等级分类法

为了在每一代中确切分辨近 Pareto 波阵面的解, 加速算法收敛速度, 考虑采用 Pareto 等级法对每一代个体进行预处理, 然后再进行选择复制操作。

首先, 按照定义 1 对当前群体中的 N 个个体进行优越关系比较, 把其中优越的 n_1 个个体的等级标定为 1; 然后, 对剩下的 $(N - n_1)$ 个个体进行优越关系比较, 把其中优越的 n_2 个个体的等级标定为 2。以此类推, 直到标定完所有的个体为止。

(3) 小生境技术(Niching) 用 Pareto 基因算法求解多目标优化设计问题的根本目的就是要求出整个 Pareto 波阵面。这里采用小生境技术提高解的分布性。

共享函数定义为

$$S(d) = \begin{cases} 1 - d_{ij}/\sigma_{share} & \text{当 } d < \sigma_{share} \\ 0 & \text{当 } d \geq \sigma_{share} \end{cases} \quad (2)$$

式中: σ_{share} 为共享半径; $d_{i,j}$ 为 i 和 j 两个个体间距离。

用以衡量个体间拥挤程度的小生境数 m_i 定义为共享函数之和, 即

$$m_i = \sum_{j=1}^N S(d) \quad (3)$$

(4) 编码方式与交叉算子 为消除端点效应, 本文采用常规实数编码方式, 并配合使用平均交叉算子

$$\begin{cases} C_1 = rP_1 + (1 - r)P_2 \\ C_2 = rP_2 + (1 - r)P_1 \end{cases} \quad (4)$$

式中: P_1, P_2 为父代个体; C_1, C_2 为子代个体; r 为随机数。

3 Pareto 基因算法气动优化设计

考虑采用具有直观性、局部性和保凸性的 B 样条曲线^[4]来描述气动外形。并将所构造的 Pareto 基因算法应用于多目标翼型优化设计。

考虑 2 个目标的翼型优化设计问题

$$\begin{cases} \max J_1(\gamma) = C_l & \text{设计状态: } \begin{cases} Ma = 0.20, \\ \alpha = 8.0^\circ \end{cases} \\ \min J_2(\gamma) = C_d & \text{设计状态: } \begin{cases} Ma = 0.78, \\ \alpha = 1.2^\circ \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

式中: C_l, C_d 分别为翼型的升力系数和阻力系数; γ 为翼型外形。约束条件: 相对厚度 0.10 ~ 0.12。

用上述所构造的 Pareto 基因算法和翼型基因表达结合求解速度比较快的基于有限体积法的隐式推进 Euler 方程解算器对问题式 (5) 进行了数值模拟。图 1 给出了进化了 120 代所获得的 Pareto 波阵面以及波阵面上由亚音速高升到跨音速低阻变化的部分翼型。由图 1 可见, 此波阵面是比较理想的; 同时由于解的分布性得以解决, 因此所获得的 Pareto 最优解的可信度更高, 从而为决策者提供了一个可选的有效解数据库。

由本文的结果可以说明用基因算法求解多目

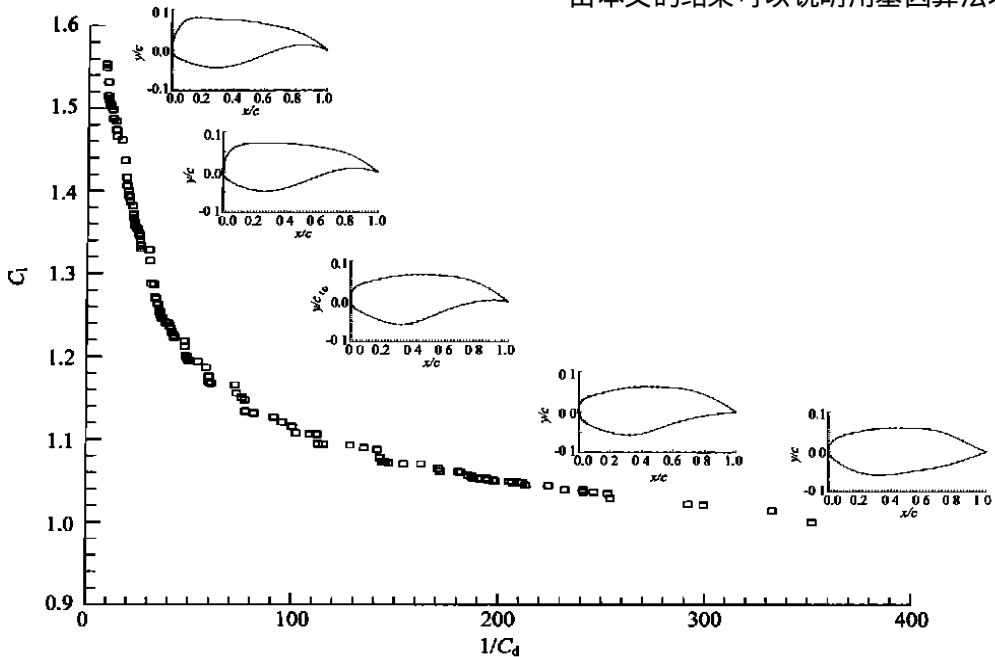


图 1 Pareto 波阵面

标优化问题的 Pareto 最优解集是可行的、有效的, 还可考虑将其推广于多学科多目标优化设计问题。

参 考 文 献

- 1 Goldberg D E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning[M]. Reading MA: Addison Wesley, 1989. 1- 57.
- 2 Davis L. Handbook of genetic algorithms[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 1- 32.
- 3 解可新, 韩立兴, 林有联. 最优化方法[M]. 天津: 天津大学出版社, 1998. 218- 276.
(Xie K X, Han L X, Lin Y L. Optimization method[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1998. 218- 276.)

- 4 隋洪涛, 陈红全, 黄明恪. 基于 Euler 方程的翼型优化设计高效基因算法研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2001, 33(4): 347- 350.

(Sui H T, Chen H Q, Huang M K. Genetic algorithms for airfoil optimization using Euler equation solver[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2001, 33 (4): 347- 350.)

作者简介:



隋洪涛 (1973-) 男, 山东招远人, 南京航空航天大学博士研究生。主要从事基因遗传算法, 气动优化设计方面研究。联系电话: 025-4892735; 电子邮件: suihongtao@sina.com

(责任编辑: 吴小勇)