

## Comparison and application of interval multi-objective evolutionary algorithm based on preference

Du Ningqing

Xidian University, Xi'an

**Abstract:** Interval multi-objective optimization problems are very popular and important. There exist few evolutionary optimization methods for directly solving them, and these existing methods aim at finding a set of well-converged and evenly-distributed Paretooptimal solutions. Three preference-based interval multi-objective evolutionary algorithms are surveyed to obtain the most preferred solution fitted the decision maker's preferences. Additionally, the above algorithms are applied in robot path planning problems under a special environment, and are compared about their performance. The research enriches the methods of solving robot path planning problems under a special environment, and improves the optimization performance of the problems.

**Key words:** evolutionary algorithm; multi-objective optimization; interval; preference; robot; path planning

Received: 2020-03-12; Accepted: 2020-03-27; Published: 2020-03-29

# 基于偏好的区间多目标进化算法的比较与应用

杜宁清

西安电子科技大学, 西安

邮箱: nqdu90@hotmail.com

**摘要:** 区间参数多目标优化问题是普遍存在且非常重要的。目前直接求解该类问题的进化优化方法非常少, 且已有方法的目的是找到收敛性好且分布均匀的 Pareto 最优解集。为得到符合决策者偏好的最满意解, 本文综述 3 种基于偏好的区间多目标进化算法, 并将其应用于特定环境下机器人路径规划问题, 比较 3 种算法的性能。研究结果可丰富特定环境下机器人路径规划的求解方法, 提高机器人路径优化效果。

**关键词:** 进化算法; 多目标优化; 区间; 偏好; 机器人; 路径规划

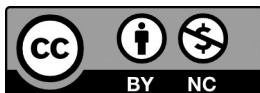
收稿日期: 2020-03-12; 录用日期: 2020-03-27; 发表日期: 2020-03-29

---

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## 1 引言

现实生活和科学领域的很多问题可归结为优化问题，通常需要优化的目标函数有多个，且这些目标函数之间是相互冲突的；此外，由于实体系统或环境固有的偶然不确定性，以及由有限数据、测量条件限制和近似建模等导致的认知不确定性的影响，这些目标函数和（或）约束函数中往往含有不确定参数，如模糊数、随机变量和区间，这类问题称为不确定（参数）多目标优化问题。与获取随机变量满足的分布或描述模糊数的隶属函数相比，不确定参数的范围更容易得到，因此，区间参数优化方法广泛应用于许多实际的优化问题，如机器人路径规划、机翼设计、汽车设计等。

进化算法是模拟自然界生物进化和遗传变异机制而形成的一种全局搜索算法，经过 40 多年的理论与应用研究，进化算法显示出优越的解决复杂优化问题的能力。采用进化算法直接解决区间参数多目标优化问题时，目的是找到收敛性好且分布均匀的 Pareto 优化解集，而在实际应用中，往往仅需要找到一个最满意解，为此，需决策者参与，选择满足其偏好的最满意解。

机器人路径规划问题是机器人导航技术中的研究热点之一，其实质是约束优化问题。近年来，采用进化算法求解机器人路径规划问题取得了一定的成果。Liu 等人提出基于蚁群算法的路径规划方法，并应用于多机器人系统。曹政才等人针对未知环境下移动机器人路径规划问题，提出一种基于改进神经网络和模拟退火算法相结合的方法。雷大江等人利用基于扩散方程的改进型路径搜索算法，解决足球机器人的运动路径规划问题。巩敦卫等人研究多地貌环境下的机器人路径规划问题，以通行时间和危险程度为优化目标，采用微粒群算法求解。文献 [4] 的模型是通行时间为区间的两目标优化问题，为简便起见，文献仅采用加权法将通行时间转化为确定数值，不难发现，此种转化具有一定的主观性。此外，由于其中一个目标函数值为区间，上述文献中提及的进化算法，也不能解决文献 [4] 中的区间两目标优化问题。

本文总结 3 种基于偏好的区间多目标进化算法，并解决文献 [4] 中提出的机器人路径规划问题，通过实例验证 3 种算法的性能。研究结果不仅丰富了特

定环境下机器人的路径规划的求解方法，并且提高了机器人路径优化效果。

## 2 基于偏好的区间多目标进化算法

在优化过程中融入决策者偏好的方法有3种：第1种是先决策后优化，也称先验法；第2种是先优化再决策，也称后验法；第3种是边优化边决策，也称交互法。本节详细阐述以下3种基于偏好的区间多目标进化算法。

第1种是后验法。该方法在采用文献[7]提出的不精确传播多目标进化算法（Imprecision-propagating Multi-objective Evolutionary Algorithm, IPMOEA）得到问题的 Pareto 优化解集后，决策者从中选择其最满意的解。

第2种是基于偏好多面体的区间多目标交互进化算法（Solving Interval Multi-objective Optimization Problems Using Evolutionary Algorithms with Preference Polyhedron, PPMOEA）。该算法采用边优化边决策的方法，为减少决策者的评价负担，利用凸锥建立决策者的隐式偏好函数-偏好多面体，并利用该多面体引导算法向决策者偏好的区域搜索。具体策略如下：采用 IPMOEA 算法进化  $\tau$  代后，每隔  $\tau$  代，从非被占优解中选取拥挤度最大的  $\eta \geq 2$  个优化解，请求决策者从中挑选一个最差解，并从  $\eta$  个优化解和上一次的最好解中选择一个最好解；用提交给决策者的优化解，在目标空间中构建一个偏好多面体，在接下来的  $\tau$  代中，利用该偏好多面体对进化个体偏好排序，通过优先保存决策者喜欢的非被占优解，引导算法向决策者偏好的区域搜索，算法达到终止条件时，决策者从非被占优解和上一次的最好解中选出一个最满意解。

算法步骤如下：

**步骤1** 初始化规模为  $N$  的种群  $P(0)$ ；取进化代数  $t=0$ ，采用 IPMOEA 算法进化  $\tau$  代；

**步骤2** 如果  $(t-1) \bmod \tau = 0$ ，当非被占优解个数  $\eta \geq 2$  时，从中选择拥挤度最大的  $\eta$  个优化解；否则，转步骤4；

**步骤3** 决策者从被选出的优化解中选择一个最差解，并从  $\eta$  个优化解和上一次的最好解中选择一个最好解；以最差解为顶点，在目标空间中构建偏好多面体；

**步骤4** 用规模为2的联赛选择策略、交叉和变异等遗传操作生成相同种群规模的子种群  $Q(t)$ ；

**步骤5** 合并种群  $P(t)$  和  $Q(t)$ ，并记作  $R(t)$ ；

**步骤6** 用基于偏好多面体的优化解排序策略,选取  $R(t)$ 中前  $N$ 个优势个体,构成种群  $P(t+1)$ ；

**步骤7** 判定算法终止条件是否满足，如果是，决策者从非被占优解和上一次的最好解中选出一个最满意解；否则，令  $t=t+1$ ，转步骤2。

第3种是基于偏好方向的区间多目标交互进化算法 (Optimizing Interval Multi-objective Problems Using IEAs with Preference Direction, PDMOEA)。该算法在文献 [13] 的基础上，采用边优化边决策的方法，进一步利用决策者的偏好信息，从偏好多面体中提取出决策者的偏好方向，以最差值为参考点、偏好方向为参考方向，构建一个区间成就标量函数，称为进化个体的逼近度，利用逼近度将具有相同序值相同偏好的个体排序，引导算法向决策者偏好区域搜索。

### 3 多地貌不确定环境下机器人路径规划模型

针对多地貌不确定环境下机器人路径规划问题，文献 [4] 构建了如下数学模型：

$$\text{Min} = [T(X), D(X)]^T \text{ s. t. } g_j(X) \geq 0, \quad j=1,2,\dots,k \quad (1)$$

其中， $T(X)$  是通行时间的函数。当机器人在同一地貌中移动时，在区域  $i$  中的通行时间为  $[t_i^-, t_i^+] = [P_i/v_i^+, P_i/v_i^-]$ ，其中， $v_i^-$  是机器人通过时的最小速度， $v_i^+$  为最大速度， $P_i$  为机器人在区域  $i$  的路径长度。当机器人在不同地貌移动时，从区域  $i$  移动到区域  $i+1$  的通行时间为  $[t_{i \rightarrow i+1}^-, t_{i \rightarrow i+1}^+] = [t_i^- + t_{i+1}^-, t_i^+ + t_{i+1}^+] = [P_i'/v_i^+ + P_{i+1}'/v_{i+1}^+, P_i'/v_i^- + P_{i+1}'/v_{i+1}^-]$ ，因篇幅所限， $P_i'$  和  $P_{i+1}'$  的计算公式这里不再列出，有兴趣的读者可参见文献 [4]。 $D(X)$  是危险度的函数，表示危险源对整条路径的危险程度：

$$D = \begin{cases} 0, & \text{Dis} > \text{Dis}_{\max} \\ \sum_{i=1}^m S_{\Delta QP_i P_{i+1}} / S_{\Delta QST}, & \text{Dis}_{\min} < \text{Dis} < \text{Dis}_{\max} \\ 1, & \text{Dis} < \text{Dis}_{\min} \end{cases}$$

其中,  $Q$  表示危险源,  $S_{\Delta QST}$  表示危险源与起点  $S$  和终点  $T$  构成的直线所围面积,  $S_{\Delta Qp_i p_{i+1}}$  表示危险源与任意两个通过点所围面积,  $Dis = \min \{ Dis(Q, p_m) \}$ ,  $Dis_{\min}$  表示危险距离的下界,  $Dis_{\max}$  表示危险距离的上界。  $g_i(X)$  为约束条件, 要求危险源与路径不发生碰撞。

## 4 算法在机器人路径规划中的应用

为验证 3 种算法的可行性与有效性, 将其应用于机器人路径规划问题中。采用 MATLAB7.0 编程, 运行环境为英特尔 Pentium (R) Dual-Core CPU, T4400, 2.20GHz, 2.0GB 内存。由于 3 种算法皆求解最大化问题, 故通过把目标乘以  $-1$ , 将问题 (1) 转化为最大化问题。3 种算法均独立运行 20 次, 并求取这些运行结果的平均值。

### 4.1 仿真环境

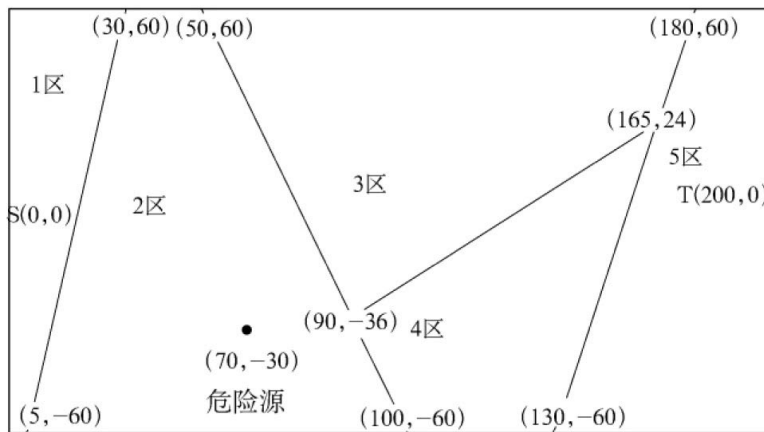


图 1 仿真环境

以  $ST$  所在直线为  $x$  轴, 垂直于  $ST$  的直线为  $y$  轴, 建立坐标系, 其中起始点坐标位置为:  $S(0, 0)$ , 目标点坐标位置为:  $T(200, 0)$ 。考虑图 1 所示的仿真环境, 其中危险源在区域 2 中, 位置为:  $ds = (70, -30)$ 。各区域的权值依次为  $w = [1, 0.4, 1, 0.8, 0.6]$ , 权值越大, 该区域越难通过。速度依次设置为:  $v^+ = [28, 40, 50, 34, 35]$ ,  $v^- = [20, 13.36, 20, 17.76, 15]$ 。

## 4.2 参数设置

3种算法采用如下的参数设置：种群规模为40；进化代数为100代；采用模拟二进制交叉、多项式变异，交叉、变异概率分别为0.9、0.1；交叉、变异的分布指标皆为20；决策者的评价个体数为3，评价间隔代数为10。

## 4.3 偏好函数

用如下拟凹单调增加偏好函数：

$$V(f_1, f_2) = 1.25T(X) + 1.50D(X)$$

模拟决策者决策，从选出的非被占优解中选择一个最差解，并衡量决策者对优化解的满意程度，如此，可不必考虑决策者的疲劳和评价不一致性问题。

## 4.4 仿真结果与分析

图2图示了3种算法得到的 Pareto 前沿，由图2可以看出：（1）两种交互算法得到的 Pareto 前沿比 IPMOEA 算法得到的前沿更接近于真实 Pareto 前沿，这说明，优化过程中融入决策者的偏好信息，有利于提高算法的收敛性；（2）IPMOEA 算法得到的前沿比两种交互算法得到的前沿分布得广，这是因为在两种交互算法中，优化过程融入了决策者的偏好，算法的搜索集中在决策者的偏好区域中。

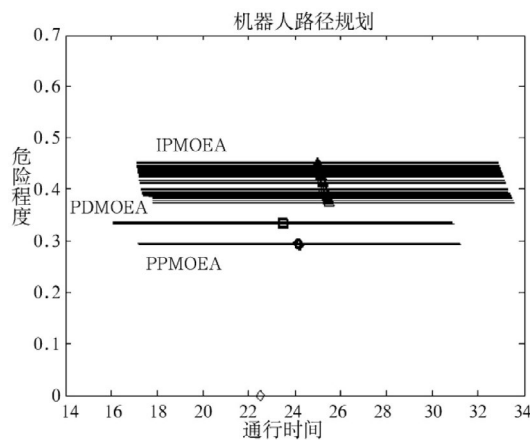


图2 3种算法的前沿

图3给出3种算法得到的路径，表1列出3种算法在5个性能指标上的比较结果。由表1可以看出：

(1) 交互法明显优于后验法，这说明，与后验法相比，交互法能在较短时间内找到决策者更满意的解；(2) PDMOEA算法优于PPMOEA算法，这是因为明确决策者的偏好方向，有助于算法沿偏好方向搜索。

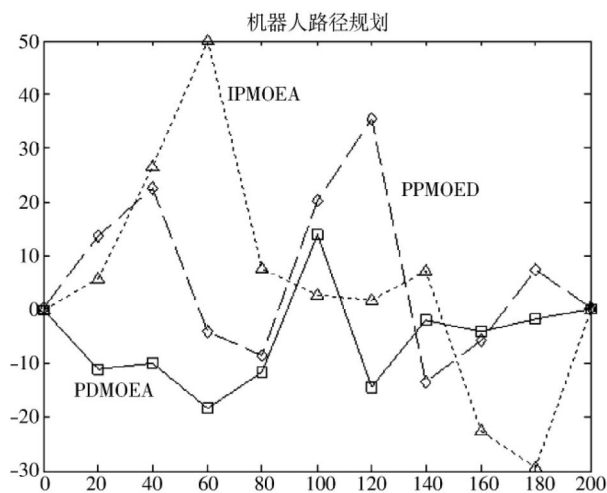


图3 3种算法得到的路径

表1 3种算法比较

	IPMOEA	PPMOEA	PDMOEA
路径长度	228.40	215.17	214.73
危险程度	0.49	0.28	0.26
通行时间	[ 15.82, 30.55 ]	[ 14.80, 28.43 ]	[ 14.74, 28.32 ]
最大偏好函数值	-20.37	-19.39	-19.31
运行时间	12.73	10.24	6.68

综上所述，对于多地貌不确定环境下机器人路径规划问题，与后验法相比，交互法能够在更短时间内，找到路径更短、通行时间更少、危险程度更小、且更符合决策者偏好的最优路径。

## 5 结束语

针对多地貌不确定环境下的机器人路径规划问题，本文总结了3种基于偏



好的区间多目标进化算法, 实验结果表明, 在优化过程中融入决策者的偏好是找到决策者最满意解的有效方法。决策者的偏好信息还可以用其他形式表示, 例如: 目标的相对重要性, 结合其他形式的偏好信息, 研究特定环境下机器人路径规划的区间进化求解方法, 是笔者需要进一步研究的课题。

## 参考文献

- [ 1 ] Oberkampf W L, Helton J C, Joslyn C A, et al. Challenge problems: Uncertainty in system response given uncertain parameters [ J ] . Reliability Engineering and System Safety, 2004, 85 ( 1-3 ) : 11-19.
- [ 2 ] Zaman K, Rangavajhala S, McDonald M P, et al. A probabilistic approach for representation of interval uncertainty [ J ] . Reliability Engineering and System Safety, 2011, 96 ( 1 ) : 117-130.
- [ 3 ] Zhao Z H, Han X, Jiang C, et al. A nonlinear intervalbased optimization method with local-densifying approximation technique [ J ] . Structure and Multidisciplinary Optimization, 2010, 42 ( 4 ) : 559-573.
- [ 4 ] 巩敦卫, 耿娜, 张勇. 多地貌环境下的移动机器人路径规划研究 [ J ] . 控制与决策, 2012, 27 ( 5 ) : 708-712.
- [ 5 ] Majumder L, Rao S S. Interval-based optimization of aircraft wings under landing loads [ J ] . Computers and Structures, 2009, 87 ( 3-4 ) : 225-235.
- [ 6 ] 巩敦卫, 郝国生, 周勇, 等. 交互式遗传算法原理及其应用 [ M ] . 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [ 7 ] Limbourg P, Aponte D E S. An optimization algorithm for imprecise multi-objective problem functions [ C ] //Proceedings of the 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation. 2005, 1: 459-466.
- [ 8 ] Gong D W, Qin N N, Sun X Y. Evolutionary algorithms for multi-objective optimization problems with interval parameters [ C ] //Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and

Applications. 2010: 411–420.

- [ 9 ] 耿娜. 特定环境下机器人路径规划 [ D ] . 徐州: 中国矿业大学, 2011.
- [ 10 ] Liu S R, Mao L B, Yu J S. Path planning based on ant colony algorithm and distributed local navigation for multirobot systems [ C ] //Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. 2006: 1733–1738.
- [ 11 ] 曹政才, 温金涛, 吴启迪. 未知环境下一种移动机器人实时最优路径规划方法研究 [ J ] . 电子学报, 2010, 38 ( 11 ) : 2535–2539.
- [ 12 ] 雷大江, 汤金川, 刘力锐, 等. 基于扩散方程的改进型路径搜索算法在机器人足球中的应用 [ J ] . 计算机与现代化, 2010 ( 11 ) : 19–23.
- [ 13 ] Sun J, Gong D W, Sun X Y. Solving interval multi-objective optimization problems using evolutionary algorithms with preference polyhedron [ C ] // Proceedings of the 13th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation. 2011: 729–736.
- [ 14 ] Sun J, Gong D W, Sun X Y. Optimizing interval multi-objective problems using IEAs with preference direction [ C ] //Proceedings of the 18th International Conference on Neural Information Processing. 2011: 445–452.