

文章编号: 1001-0920(2004)10-1117-04

分层交互式进化计算及其应用

巩敦卫, 郝国生, 周 勇, 孙晓燕

(中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 针对目前交互式进化计算存在的局部搜索能力不强、效率低下等问题, 将分层的思想引入交互式进化计算, 提出了分层交互式进化计算, 给出了算法实施的关键问题, 分析了算法的效率, 将其应用于服装设计, 通过算例验证了算法的有效性。

关键词: 交互式进化计算; 分层; 服装设计

中图分类号: TP29 **文献标识码:** A

Hierarchical interactive evolutionary computation and its application

GONG Dun-wei, HAO Guo-sheng, ZHOU Yong, SUN Xiao-yan

(College of Information and Electronics Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China Correspondent: GONG Dun-wei; E-mail: dwgong@vip.163.com)

Abstract: Hierarchy theory is introduced to interactive evolutionary computation and hierarchical interactive evolutionary computation is put forth aiming at inefficient local search problem of the existing interactive evolutionary computation. Implementation of the algorithm is presented and efficiency of the algorithm is analyzed. The application of the algorithm to fashion design validated the efficiency.

Key words: interactive evolutionary computation; hierarchy; fashion design

1 引 言

交互式进化计算(IEC)是一种基于人的主观评价得到进化个体适应度的进化计算方法^[1]。它将人的智能评价与进化计算有机地结合起来,突破了建立被优化系统的显式性能指标的限制,大大扩充了进化计算的应用范围。交互式进化计算已成功地应用于服装设计、乐曲创作、语言处理和韵律控制、知识获取和数据挖掘等领域^[2-5]。

在交互式进化计算中,人直接评价由个体表现型决定的系统输出。由于人对进化个体的分辨能力的限制,即使个体在最优值的邻域,也很难在较短的进化代数内到达最优值,因此交互式进化计算的局

部搜索能力不强。为解决这一问题, Lee 等在交互式进化计算中加入直接操作(DM)算子,当种群进化到一定程度后,对较优个体施加直接操作,通过人为改变个体的部分基因型来改善该个体的性能,从而提高进化计算的局部搜索能力,减少进化的代数^[6]。这种方法从本质上说是部分基因型的枚举搜索,虽然比传统的交互式进化计算的性能有所提高,但其效率仍然难以满足实际需求。

本文将分层的思想引入交互式进化计算,提出分层交互式进化计算(HIEC)。文中给出了算法实施的关键问题,分析了算法的效率;将其应用到服装设计中,通过算例验证了算法的收敛性能和效率。

收稿日期: 2003-11-20; 修回日期: 2004-03-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60304016)。

作者简介: 巩敦卫(1970-),男,江苏铜山人,副教授,博士,从事进化计算、智能控制等研究;郝国生(1972-),男,河北张家口人,硕士生,从事进化计算、并行计算的研究。

2 分层交互式进化计算

2.1 基本思想及需要解决的问题

本文提出的分层交互式进化计算的基本思想是: 利用交互式进化计算使进化种群在整个编码空间中进行搜索; 当全局搜索进行到一定程度时, 转入基于较优个体产生的新种群在关键基因段的区域搜索; 当区域搜索进行到一定程度时, 转入基于新的较优个体产生的新种群在新的(部分)关键基因段的更小区域搜索。如此进行下去, 直到得到满意解为止。

为便于说明, 本文的分层交互式进化计算只考虑两层, 即全局搜索和感兴趣区域的局部搜索。在实现分层交互式进化计算时, 需要解决以下 3 个方面的关键问题: 1) 全局搜索终止的判定; 2) 局部搜索基因段的选定; 3) 局部搜索的实现。

2.2 全局搜索终止的判定

当进化种群的个体适应度间相差较小时, 全局搜索很难提高算法的性能。此时终止全局搜索, 进入局部搜索。记 $x_i(t)$ 为第 t 代(全局)进化种群 $\bar{x}(t)$ 的第 i 个进化个体, $f(x_i(t))$ 为其适应度值, 则有

$$\delta(t) = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (f(x_i(t)) - f(\bar{x}(t)))^2}, \quad (1)$$

当 $\delta(t_{gs}) \leq \Delta$ 时 (Δ 为阈值), 说明进化个体适应度值的差异较小, 进化进入局部搜索阶段。此时, 全局进化终止代数 t_{gs} , 全局搜索最优个体为

$$x_{go}(t_{gs}) = \arg \max_i f(x_i(t_{gs})). \quad (2)$$

2.3 局部搜索基因段的选定

记全局搜索结束后得到的最优个体的基因为 $x_{go}(t_{gs}) = x_{go_1}, x_{go_2}, \dots, x_{go_l}$, 其中 x_{go_i} 为最优个体表现型第 i 部分对应的基因段, 其长度为 $l_i, i = 1, 2, \dots, l$ 。若评判者认为个体表现型第 j 部分尚需改进, 不失一般性, 令 $j = 1$, 则局部搜索区域为 $S_l = \{ *^{l_1}, x_{go_2}, \dots, x_{go_l} \}$, 其中 $*^{l_1}$ 是长度为 l_1 的 0-1 字符串集。由 S_l 的表达式可以看出, 局部搜索阶段的局部搜索区域比全局搜索区域明显减小, 因而可望提高算法的优化性能。

2.4 局部搜索的实现

局部搜索的实现步骤如下:

步骤 1: $t = 0$, 在局部搜索区域内产生初始种群 $\bar{x}_l(t)$ 。

步骤 2: 解码, 评判进化种群的适应度 $f(\bar{x}_l(t))$ 。

步骤 3: 局部搜索终止条件判断, 若满足局部搜索终止条件, 则停止, 输出优化结果; 否则, 执行下列步骤:

- 1) 选择, 采用遗传操作产生新种群;
- 2) 解码, 评判进化个体的适应度 $f(\bar{x}_l(t))$ 。

由于是在局部区域搜索, 对于相同规模的进化种群而言, 局部区域的点被采样的概率比全局区域的点要大得多, 这样在局部区域找到最优值的概率就很大。对进化个体适应度的评判是对其表现型的某一部分进行评价, 评判者容易分辨不同个体的优劣, 这样进行局部搜索的精度较高。因此, 在局部区域搜索更容易找到最优个体。

与传统遗传算法相同, 这里遗传操作包括交叉和变异操作, 如采用单点交叉和单点变异, 交叉和变异操作概率根据实际情况适当选取。局部搜索终止条件可以是进化代数达到预定终止代数, 也可以是进化种群个体间的差异小到给定的阈值或其他条件。

3 效率分析

本节对分层交互式进化计算和直接操作交互式进化计算的效率进行分析。在全局搜索阶段二者是相同的, 因此只考虑局部搜索的效率。

首先分析分层交互式进化计算的效率。对局部搜索区域采用二进制编码, 若编码长度为 n , 则可表示的状态为 2^n 个; 若新的进化种群规模为 m , 则考虑在进化过程中保留最优个体, 每次替换一个最差个体的情况, 此时分层交互式进化计算是基于种群的搜索, 最多经 $2^n - m + 1$ 次迭代便可找到最优解。

然后分析直接操作交互式进化计算的效率。对于有 2^n 个状态的局部区域, 第 1 次找到最优解的概率为 $1/2^n$, 第 2 次找到最优解的概率为 $\frac{2^n-1}{2^n} \times \frac{1}{2^n-1} = \frac{1}{2^n}, \dots$ 。要保证找到最优解, 一般需要 2^n 次迭代。通常 $m > 1$, 因此 $2^n - m + 1 < 2^n$ 。也就是说, 分层交互式进化计算与直接操作交互式进化计算相比, 使用较少的迭代即可找到最优解。

另外, 分层交互式进化计算在同一交互界面上同时显示 m 个个体, 个体间的差异容易辨别, 因而适应度的赋值更加客观, 这有利于提高算法的精度; 而直接操作遗传算法对个体适应性的评价是串行的, 由于人的易疲劳性, 个体间的差异难以辨别, 适应度的赋值主观性较大, 使得算法的精度难以提高。

4 在服装设计中的应用

4.1 应用背景

服装设计的目标是给出“好的设计”,然而不同人对“好的设计”有不同的标准,要得到一个显式表示的适应度函数是不可能的,因此用传统的进化计算方法进行服装设计是不现实的。交互式进化计算直接通过用户给出进化个体的适应值,将其应用于服装设计则变得可行。若交互式进化计算中的种群进化采用遗传算法,则称为交互式遗传算法(IGA)。

Kim 等^[2]将 IGA 应用于服装设计,建立了服装设计辅助系统。Lee 等^[6]将直接操作用于 IGA 的进化种群,但这种方法误操作的概率很大。本文建立的 IGA 服装辅助设计系统用于比较分层 HIEC 和 DMIEC 的性能。系统将服装分为袖子、领口和腰身 3 部分,每一部分用 4 位二进制数表示,其中 2 位表示款式,2 位表示颜色,这样每一部分都有 4 种款式,每种款式有 4 种颜色。相应地,搜索空间为 $2^{12} = 4096$ 。IGA 服装 CAD 根据用户偏好和情绪的反馈,从 4096 个候选服装设计中选出“好的设计”。

4.2 参数设置与个体替换方法

为更好地比较分层 HIEC 和 DMIEC 的性能,本文对两种算法在全局搜索阶段采用完全相同的方法和参数,仅比较二者的局部搜索性能。

IGA 服装 CAD 的全局搜索采用比例选择、单点交叉和单点变异等遗传操作。由于用户对个体直接进行评估,每代种群规模不宜过大,这里设置为 8。

其他参数设置如下:交叉概率为 0.25,变异概率为 0.001,全局搜索结束的方差阈值为 5。

在全局和局部搜索中,采用保留最优个体并替换最差个体的方法,其界面如图 1 所示。图 1 界面是进化到第 2 代的种群,右上角是上一代的最优个体。在本代中用户评估值最低的是第 3 个个体,在第 2 代种群进化之前,第 3 个个体首先被上一代最优个体替换。若本代有多个最差个体,则将其同时替换掉。

4.3 实验设计

本文采用 ACCESS 8.0 作为开发工具,将基因代码存储在数据库中。在遗传操作过程中,首先对数据库中的基因代码进行遗传操作,然后解码并将表现型呈现在用户面前。当用户对每个个体评估结束后,用户的评估值作为对应个体的适应值,供遗传操作使用。当全局搜索进行到某一代,用户对所有个体评估值的方差低于设定值 5 时,即进入局部搜索阶段。

HIEC 局部搜索的开始界面如图 2 所示。这里可指定搜索的局部名称,如图中对袖子进行局部搜索,搜索空间大小只有 $2^4 = 16$;还可设置 HIEC 局部搜索的参数。参数设置后,即进入 HIEC 局部搜索阶段。DMIEC 进入局部搜索的界面如图 3 所示。这里可直接操作的有服装的组成部分(图 3 为领口)、颜色和款式。图中服装的效果图随着相应值的改变而变化。



图 1 上代最优个体替换本代最差个体



图2 HIEC 局部搜索开始界面

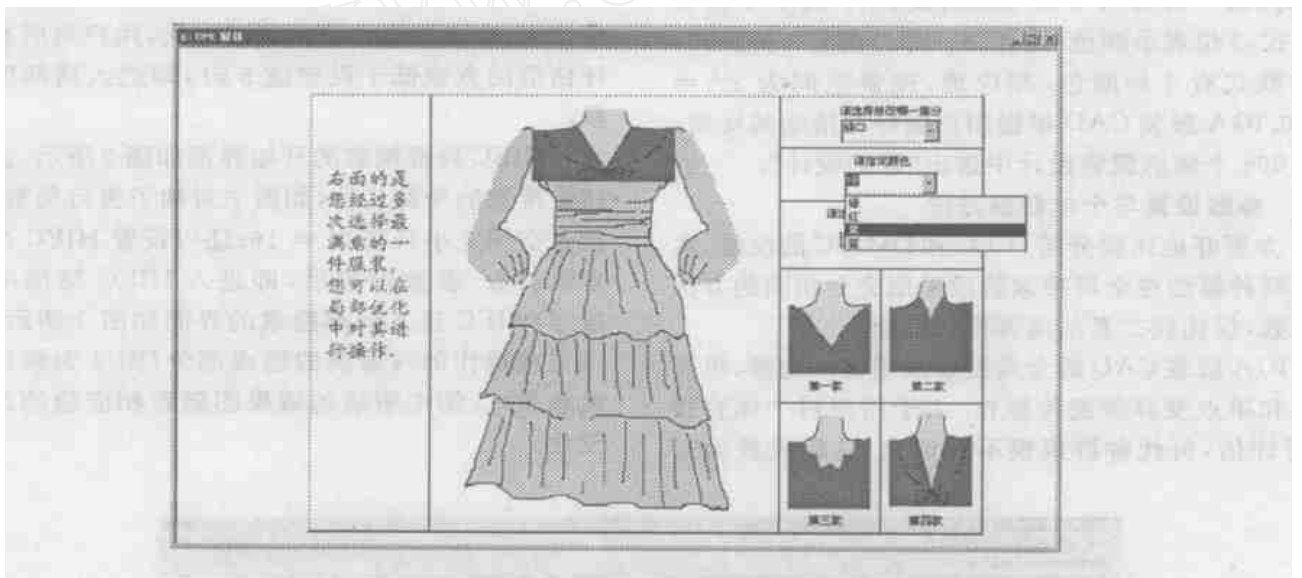


图3 DMIEC 局部搜索界面

4.4 实验结果

本文利用上述 IGA 服装设计CAD, 对HIEC 和DMIEC 的收敛代数和收敛时间等进行比较 结果表明,HIEC 在局部搜索中只需少数几代便可出现最优个体, 而DMIEC 的局部直接操作则需多次选择甚至重复比较才能得到最优个体 局部搜索开始时,HIEC 和DMIEC 都出现或接近出现最优个体, 但HIEC 将最优个体呈现在用户面前的时间更快, 而DMIEC 则要经过多次选择才能找到最优个体, 时间很长 因此HIEC 比DMIEC 的优化性能好

5 结 语

针对目前交互式进化计算存在的局部搜索能力

不强、效率低下等问题, 本文将分层的思想引入交互式进化计算, 提出了分层交互式进化计算 文中给出了算法实施的关键问题, 分析了算法的效率, 并将其应用到服装设计中, 通过仿真验证了算法的有效性 本文结果为提高交互式进化计算的局部搜索能力提供了一条可行途径 需要进一步研究的问题包括: 1) 交互式进化计算基于多个较优个体的局部搜索实现方法; 2) 高性能进化计算方法在交互式进化计算全局和局部搜索中的应用及其性能分析

(下转第 1124 页)

选择以上述采样点为中心的 Gaussian 型隶属函数, 取初值 $x(0) = (1.5 \ 0)^T$, 可调参数

$$\alpha = \beta = s + \frac{2(2 + \frac{B^2}{\lambda_{\min}(\overline{Q})})\lambda_{\max}^2(\overline{P})}{\lambda_{\min}(\overline{Q})},$$

$$s = 1.5, \tau = 1.$$

对倒立摆系统进行仿真, 其输出跟踪误差和状态响应分别如图1和图2所示. 仿真结果从另外一个角度说明了本文提出的基于模糊逻辑系统的鲁棒跟踪控制器是有效的

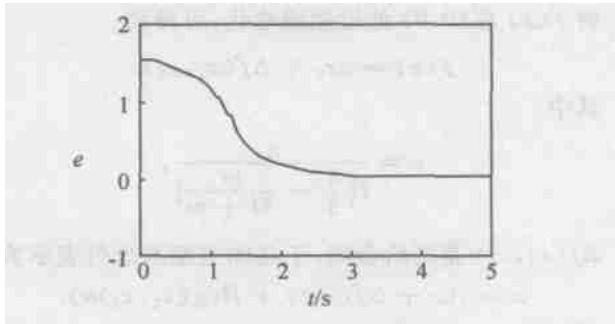


图1 倒立摆输出跟踪误差

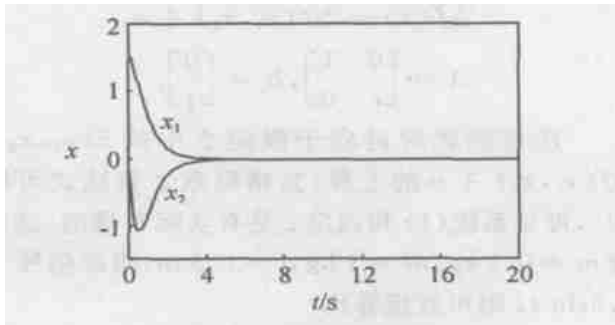


图2 倒立摆状态响应

(上接第1120页)

参考文献(References):

- [1] Takagi H. Interactive evolutionary computation: Fusion of the capabilities of EC optimization and human evolution[J]. *Proc of the IEEE*, 2001, 89(9): 1275-1296
- [2] Kim H S, Cho S B. Application of interactive genetic algorithm to fashion design[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2000, 13(6): 635-644
- [3] Tokui N, Iba H. Music composition with interactive evolutionary computation[A]. *Proc of the 3rd Int Conf on Generative Art*[C]. Milan, 2000: 215-226
- [4] Morita T, Iba H, Ishizuka M. Generating emotional

参考文献(References):

- [1] 王耀青. 一类不确定参数系统鲁棒控制问题的研究[J]. *信息与控制*, 1998, 27(3): 167-178
(Wang Yaoqing. Study on the robust control for a class of uncertain system s[J]. *Information and Control*, 1998, 27(3): 167-178.)
- [2] 刘粉林, 王银河, 张嗣瀛. 具有不确定未知界的相似组合系统的鲁棒分散输出控制[J]. *自动化学报*, 2000, 26(3): 332-338
(Liu Fenlin, Wang Yinhe, Zhang Siying. Robust decentralized output feedback control of similar composite system s with uncertainties of unknown bounds[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2000, 26(3): 332-338.)
- [3] 刘粉林, 黎阳生, 王银河, 等. 不确定相似组合系统的分散自适应输出反馈控制[J]. *信息与控制*, 2000, 29(2): 97-101
(Liu Fenlin, Li Yangsheng, Wang Yinhe, et al. Decentralized output feedback adaptive control of similar composite system s with uncertainties[J]. *Information and Control*, 2000, 29(2): 97-101.)
- [4] Wang Lixin. Fuzzy system s are universal approximations[A]. *Proc IEEE Int Conf on Fuzzy System s*[C]. San Diego: Piscataway, 1992: 1163-1170
- [5] Shaocheng Tong, Qingguo Li, Tianyou Chai. Fuzzy adaptive control for a class of nonlinear system s[J]. *Fuzzy Sets and System s*, 1999, 101(1): 31-39
- [6] Ni ML, Chen Y. Decentralized stabilization and output tracking of large-scale system s[J]. *Automatica*, 1996, 32(7): 1077-1080

voice and behavior expression by interactive evolutionary computation[A]. *Proc of the 62nd Annual Meeting of Japan Society for Information Processing* [C]. Yokohama, 2001: 45-46

- [5] Iwasaki T, Kimura A, Todoroki Y, et al. Interactive virtual aquarium[A]. *Proc of the 5th Annual Conf of the Virtual Reality Society of Japan* [C]. 2000: 141-144
- [6] Lee J H, Cho S B. Analysis of direct manipulation in interactive evolutionary computation on fitness landscape[A]. *Proc of the 2002 Congress on Evolutionary Computation* [C]. Honolulu, 2002: 460-465