

文章编号: 1004-4353(2017)02-0150-04

基于智能混合算法的织物自动配色方案 优化设计

汪 岚

(黎明职业大学 机电工程与自动化学院, 福建 泉州 362000)

摘要: 为了提高织物自动配色的通用性和精确性,建立了以成本最优为目标的自动配色数学模型. 针对染色过程多约束条件的特点和传统遗传算法存在的缺陷,提出了一种基于智能混合算法求解自动配色方案的优化方法. 首先利用正交实验设计法、自适应适值函数调整以及适值相似度判别策略等措施对遗传算法进行了改进,然后融入具有较强局部搜索能力的模拟退火算法进行进一步迭代优化,最终实现了自动配色方案的优化设计. 分别运用传统遗传算法和智能混合算法对自动配色模型进行仿真和实测,结果表明:智能混合算法改善了全局寻优能力、收敛速度和稳定性,且在保证配色质量的条件下,生产成本较之传统遗传算法的优化成本降低了 1.7% 以上,具有较好的工程实用价值.

关键词: 自动配色; 智能混合算法; 适值相似度判别; 模拟退火算法

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

Scheme optimization design for fabric automatic color matching based on intelligent hybrid algorithm

WANG Lan

(College of Mechanical and Electrical Engineering , Liming Vocational University ,
Quanzhou 362000 , China)

Abstract: In order to improve the versatility and accuracy of the fabric automatic color matching, an automatic color matching model for optimizing cost was established. According to the characteristics of dye process with multi-constraint conditions and defects of basic genetic algorithm, a kind of method was put forward to solve the automatic color matching scheme base on intelligent hybrid algorithm. The genetic algorithm was improved which use the efficient operation such as taguchi design, self-adaptive function adjustment and fitness similarity discrimination strategy. Then the simulated annealing algorithm with strong local search ability was integrated into improved genetic algorithm, and the scheme optimization design for fabric automatic color matching was achieved. The simulations and experiments were carried out by using basic genetic algorithm and intelligent hybrid algorithm respectively. The results show that the intelligence hybrid algorithm can improve the capacity of global optimization, convergent speed and stability. The dye cost based on intelligence hybrid algorithm was less than basic genetic algorithm, it will has good engineering practical value.

Keywords: automatic color matching; intelligent hybrid algorithm; fitness similarity discrimination; simulated annealing algorithm

织物配色是指印染企业为了生产某种色泽的
和助剂的混合比例以及生产工艺参数的方案. 配
织物,从众多的原料中搭配出适合该织物的染料
色方案好坏将直接影响企业的产品质量和生产效

率,对于企业有着显著的经济意义.传统的配色方案主要依靠人工经验确定,存在效率低且未必是最优方案的局限性.为了更全面、有效地分析各因素对染色结果的影响,本文以成本最小化为优化目标,构建了织物自动配色数学模型,目的是实现对染色结果的定量分析,为后续的色泽在线软测量提供分析依据.

自动配色问题是一个典型的多约束条件组合优化问题,目前常用的智能优化算法有遗传算法^[1-2]、粒子群算法^[3-4]、BP算法^[5-6]等.但由于染色过程中需考虑的约束条件日趋多元和复杂化,因此基本型优化算法在解决自动配色问题中有各自的不足.为此,本文提出一种智能混合新算法,通过引入带惩罚项的自适应适值函数、隔代保护策略等手段对传统遗传算法进行改进,并融入模拟退火算法^[7-8]作进一步优化.仿真实验结果表明,本文提出的方法能快速有效地对织物配色自动优化问题进行求解,获得最优的配色方案且有效地降低生产成本.

1 自动配色数学模型

不同的织物有其固定搭配的染料和助剂.自动配色数学问题的优化目标是在满足时间、温度和色差等多约束的条件下,获得成本最优的配色方案.自动配色数学模型如下:

$$\begin{aligned} \min f(x) &= \sum_{i=1}^n f_i(x_i), \\ \text{s. t. } a_i &\leq n_i \leq b_i (i=1,2,\dots,5); \\ k_1 &\leq v \leq k_2; \\ T_1 &\leq t \leq T_2; \\ U_1 &\leq w \leq U_2; \\ Q_1 &\leq q \leq Q_2; \\ D_1 &\leq \Delta E \leq D_2. \end{aligned} \quad (1)$$

自动配色模型包括目标函数和约束条件两部分.目标函数中, $f_i(x_i)$ 为染料、助剂和水电等成本.约束条件中,约束1为浓度比例约束,其中 n_i 为染色配方中3种染料和2种助剂的浓度比例, a_i 和 b_i 分别为各浓度的上下限值;约束2—约束4依次为升温速率约束、保温时间约束和保温温度约束;约束5为质量约束,当指标值在 Q_1 和 Q_2 之间时判定产品为合格品,否则为次品;约束6为色差约

束,当实际染样与客户标样之间的色差值在 D_1 和 D_2 之间时判定产品为合格品,否则为次品.

2 智能混合算法

传统遗传算法在求解优化问题时容易因早熟而陷入局部最优.为了更好地解决自动配色问题,本文提出了一种智能混合算法.新算法综合利用了遗传算法的良好全局寻优能力和模拟退火算法的局部搜索能力,既充分发挥了遗传算法收敛速度快以及模拟退火算法搜索区域广的优点,又有效解决了遗传算法早熟和模拟退火算法搜索效率低的问题.

2.1 改进遗传算法

1) 编码与初始种群生成策略.由于传统遗传算法采用随机生成初始种群,所以难以有效保证初始种群均匀分散于解空间;因此,本文初始种群生成策略采用的是正交初始化种群^[9],即先设计正交表,然后进行因素量化,最终将生成的正交数组作为初始种群.这样,可有效地保证初始种群的全面性和典型性.本文采用实数编码方式对染色体的基因进行编码.

2) 构造含有自适应惩罚项的适值函数.为防止极少量适值极高的个体因快速繁殖而导致算法过早收敛,本文构造了含有自适应惩罚项的适值函数.将式(1)中各约束变换成标准形式 $g_i(x) \leq 0$, 并作为惩罚项引入到个体适值函数中,具体设置如下:

$$F(x) = \frac{K}{f(x) + r(t) \sum_{i=1}^m [\max(0, g_i(x))]^2}. \quad (2)$$

式(2)中的 K 为常数; $r(t)$ 为惩罚因子,该因子随个体的可行性与否自适应调整适值,这样可有效避免早熟和局部收敛,实现全局寻优.

3) 隔代保护策略.种群进化到后期后,会出现少量适值极高的个体存在于大量重复个体中.此时该类少量个体可能会因为数量偏少而未被选择,则大量重复个体进化将会导致算法收敛效果不佳甚至不收敛.为了避免这一情况发生,本文引入隔代保护策略,即将第 i 代所产生的部分高适值个体存放于保护区(一旦保护区内个体数量达到上限,则采取保留高适值,淘汰低适值个体),待

到 k 代后,再将保护区内的个体取出并融入当代种群中(种群数量不变,淘汰相同数量低适值个体).利用该策略,可保证当代高适值个体免遭淘汰,进化成果得以保障.

4) 选择、自适应交叉变异操作.选择操作采用精英个体保留策略,即将当代适值最优的个体保留至下一代,其余个体按轮盘赌选法进行操作.传统的固定式交叉率和变异率,其设置具有一定的盲目性,容易造成局部最优现象的产生;因此,本文交叉变异操作采用自适应算法策略,具体设置详见文献[10].交叉率和变异率会根据每代的迭代变化情况进行自适应的动态调整,可有效地控制新个体生成速率的快慢,保持种群的多样性.

2.2 模拟退火算法

假设遗传算法的第 i 代个体的初始最优适值为 $F^*(i)$,经过选择、自适应交叉变异后产生新的最优适值为 $F'(i)$,令 $\Delta F = F'(i) - F^*(i)$, T 为当前温度,则模拟退火算法的步骤如下:

- 1) 若 $F'(i) < F^*(i)$,则 $F'(i)$ 保留至下一代种群, $F^*(i)$ 被淘汰;
- 2) 若 $F'(i) > F^*(i)$,引入 Boltzmann 判断因子 $\exp(-\Delta F/T)$;
- 3) 若 $\exp(-\Delta F/T) < [0,1]$,则 $F'(i)$ 保留至下一代种群, $F^*(i)$ 被淘汰;
- 4) 若 $\exp(-\Delta F/T) \geq [0,1]$,则 $F^*(i)$ 保留至下一代种群, $F'(i)$ 被淘汰.

2.3 最优区个体适值相似度判别策略

传统的遗传算法单纯地将进化代数上限作为算法终止的唯一判别依据,因此有其局限性,一旦算法收敛到全局最优解,则后续进化已无意义.为了有效提高算法效率,本文增加了进化终止判别新依据,即最优区个体适值相似度判别策略.策略原理为:将种群中的个体按适值由高到低进行排序,将第 i 代排名前 10% 的个体存放于适值最优区,计算最优区个体适值相似度,公式如下:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n [F_{\text{best}}(i) - \bar{F}_{\text{best}}(i)]^2 \leq \delta, \tag{3}$$

式(3)中 n 为最优区个体数量, δ 为最优区个体适值相似值, $F_{\text{best}}(i)$ 和 $\bar{F}_{\text{best}}(i)$ 分别为第 i 代进化结束后对应的最优区个体适值及其平均值.当式(3)成立,判断当前第 i 代最优区内的个体适值相似度高,一旦连续 j 代得出相似度高的结论,则判别当

前已获得全局最优解,进化终止,否则继续进化.

2.4 智能混合算法的具体步骤

- 1) 改进遗传算法各参数初始化,实数编码,生成正交初始种群 P_0 ;
- 2) 评价种群各个体的适值,进行隔代保护操作;
- 3) 是否间隔 k 代,若是,生成新种群 P'_1 ,否则维持原种群 P_1 ;
- 4) 进行选择、自适应交叉变异操作,生成新种群 P_2 ;
- 5) 进行模拟退火操作,生成新种群 P_3 ;
- 6) 判断进化终止条件是否满足,若满足,进化终止;否则,进化代数加 1,转步骤 2).

3 结果分析与讨论

利用 Matlab 7.1 软件编程实现智能混合算法,主要参数设定为:种群规模为 100, $\delta = 10^{-4}$,交叉率 $P_{c_1} = 0.3$ 、 $P_{c_2} = 0.7$,变异率 $P_{m_1} = 0.001$ 、 $P_{m_2} = 0.01$,最大进化代数 $Genmax = 100$.分别采用传统遗传算法(GA) 和智能混合算法(IHA) 连续运行 50 次程序并取平均值,当获得全局最优值或进化代数上限到达时算法终止.传统遗传算法与智能遗传算法的仿真对比结果如表 1 所示,适值与进化次数关系如图 1 所示,实验对比结果如表 2 所示.

表 1 传统遗传算法和智能混合算法的优化结果

算法	最优适值	方差	进化代数	运行时间/s
传统遗传算法	0.831 0	0.024 7	69	7.8
智能混合算法	0.881 6	0.009 6	28	3.1

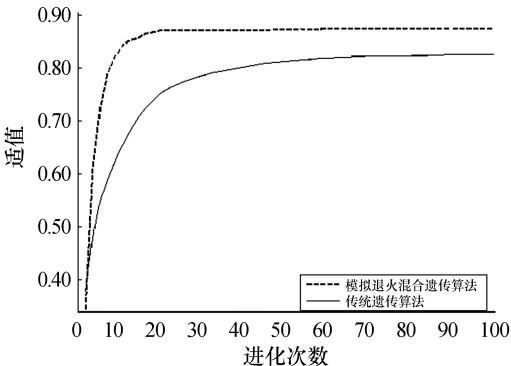


图 1 传统遗传算法和智能混合算法的仿真结果

表 2 传统遗传算法与智能混合算法的优化实验结果

配色方案	算法	染料组合/ %(o. w. f)	助剂组合/ mL	升温速率/ (℃/min)	保温温度/ ℃	保温时间/ min	成本/ (万元·t ⁻¹)	色差	质量指标
第 1 组 (浅黄)	GA	0.005 0.122 0.007	21.190 1.430	2.0	56.0	48.0	0.143 7	0.247	0.852
	IHA	0.007 0.118 0.005	21.187 1.418	2.2	60.8	51.0	0.139 3	0.217	0.929
第 2 组 (紫罗兰)	GA	1.002 0.015 1.998	71.300 2.110	2.0	48.0	52.0	3.492 5	0.483	0.937
	IHA	0.988 0.010 1.965	70.000 2.090	2.1	50.6	53.2	3.432 3	0.430	0.951
第 3 组 (蓝灰)	GA	1.056 0.084 2.450	75.140 2.870	2.0	60.0	50.0	4.173 5	0.797	0.873
	IHA	1.012 0.124 2.380	70.700 2.500	1.9	55.2	52.9	4.079 7	0.688	0.910

由表 1 和图 1 可看出,智能混合算法较之传统遗传算法上升速度快,进化代数少,能迅速达到最优适值 0.881 6,方差明显小于传统遗传算法,且运行时间不足传统遗传算法的 1/2,说明智能混合算法收敛速度快、稳定性好且全局搜索能力强,算法切实可行. 由表 2 的实验结果可以看出,虽然两种算法的优化方案获得的配色质量都满足要求,但智能混合算法给出的配色方案,其与客户标样之间的色差以及质量指标都明显优于传统遗传算法,而且成本比传统遗传算法的优化成本降低 1.7%以上. 由此可看出,智能混合算法给出的配色方案更合理,更适合多约束条件下织物自动配色问题的求解.

4 结论

- 1) 本文建立的自动配色数学模型合理地反映了染色过程各影响因素对染色结果的影响,利用该模型可实现对工艺参数的定量分析,能够为后续色泽在线软测量提供依据.
- 2) 本文提出的智能混合算法将改进的遗传算法和模拟退火算法融合起来,优势互补,既提高了算法的收敛速度和搜索效率,又避免了早熟和局部最优. 仿真结果验证了本文算法的合理有效性,可为自动配色方案优化设计以及智能控制提供条件.
- 3) 本文实验结果表明,利用智能混合算法求

解织物自动配色问题,可获得更优的配色方案. 该方案不仅能有效提高配色精度、产品质量和生产效率,而且降低了生产成本,对企业具有很好的经济价值. 本文方法对其他工业多约束条件优化问题的研究也具有一定的借鉴意义.

参考文献：

[1] 叶斌,金福江,汤仪平. 基于粒子滤波色织物染色配方预测算法[J]. 纺织学报,2014,35(8):64-68.

[2] 汪岚. 基于混合遗传算法的染色优化模型与仿真[J]. 计算机工程,2009,35(22):218-220.

[3] 陈怀忠,何仁初,史桂丽. 基于改进 PSO 算法的自动配棉工艺参数优化设计[J]. 纺织学报,2014,35(6):142-147.

[4] 张秉森,刘晓洁. 神经网络在计算机配色中的应用[J]. 印染,2005,31(2):83-85.

[5] 刘姣,刘东. 基于混合遗传算法的红兴隆分局水资源优化配置[J]. 水土保持研究,2013,20(6):177-181.

[6] 江件. 模拟退火混合遗传算法及其实现[J]. 重庆文理学院学报(自然科学版),2009,28(5):65-67.

[7] 林兰芬,欧冠男,陆俊虎. 多约束条件下的自动配棉的混合遗传算法[J]. 浙江大学学报(工学版),2009,43(5):801-806.

[8] 飞思科技产品研发中心. Matlab 6.5 辅助优化计算与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2003:173-181.

[9] 汪岚. 混合自适应遗传算法优化多目标染色配方模型[J]. 计算机与应用化学,2012,29(7):121-124.

[10] 汪岚. 基于智能混合算法的车辆配送路径优化[J]. 延边大学学报(自然科学版),2015,41(3):261-266.