

基于遗传算法的多色服装裁剪分床解耦优化方法^①

董 辉^② 林文杰 王瑶为 吴 祥 张文安^③

(浙江工业大学信息工程学院 浙江省嵌入式系统联合重点实验室 杭州 310023)

摘 要 为满足服装企业在生产过程中合理制定多颜色服装裁剪分床计划的需求,提出了一种基于遗传算法的多色服装裁剪分床解耦优化方法。首先通过分析多色服装裁剪分床问题的特点,将实际生产限制量化为约束条件,从而建立了非线性整数规划的优化模型;其次提出一种基于最小二乘法(LS)的解耦策略,结合遗传算法对服装生产误差和投入生产的裁床数量同时优化,在寻优过程中,通过解耦策略将非线性优化问题分解成一系列线性回归子问题,降低了问题的难度,可快速有效地进行求解,从而得到最佳多色裁剪分床方案,减少裁床投入、布料浪费,实现资源利用的最大化;最后针对4个实际生产案例,将该算法与现有方法进行对比,结果表明所提算法的求解精度和运行时间都更优,具有良好的应用价值。

关键词 多色服装;裁剪分床优化;非线性整数规划;遗传算法(GA);最小二乘法(LS)

0 引 言

随着现代智能制造技术的发展,服装工业的转型面临着严苛的技术挑战,而服装裁剪分床是其中的核心技术之一^[1]。服装裁剪分床是指在生产条件的限制下,通过某种方法为服装订单设计合理的生产方案。生产方案具体涉及服装生产过程中需要投入的裁床数量、不同尺码的组合排列(尺码组合方案)、不同颜色服装样片的铺布层数(铺布层数方案)。服装裁剪分床方案与布料原材料利用率、裁剪设备使用量直接相关。针对相同的服装订单,使用不同分床方法得到的裁剪分床方案也不相同。因此,通过优化分床方法设计高效的裁剪分床方案,从而减少人工工作量,降低生产成本,对于企业提高经济效益具有重大的现实意义^[2]。

根据服装订单颜色数量的不同,裁剪分床优化问题可细分为单色裁剪分床优化问题和多色裁剪分

床优化问题,两者的分床方案在数学上可用不同维度且相互耦合的矩阵描述。具体地说,两者的尺码组合方案都可用二维矩阵表示,而铺布层数方案有所差别。铺布层数方案的矩阵列宽与服装订单的颜色数相同,单色问题的铺布层数方案是一维向量,而多色问题的铺布层数方案是二维矩阵。矩阵维度的差异表明两个问题决策变量的数量不一致,且变量之间的耦合程度也有所区别,两者的不同造成了数学建模和求解上的差异。针对单色裁剪分床优化问题,Charlotte 等人^[3]建立了裁剪分床优化问题的数学模型,以裁剪成本作为其优化目标,采用启发式算法求解。周治辰等人^[4]以布料利用率最高为优化目标,在考虑实际生产因素的基础上,建立了数学模型,采用退火蚁群混合算法进行求解。刘艳梅等人^[5]建立以投入裁床数最少且生产误差不超过企业允许最大值为目标的数学模型,采用遗传算法结合概率搜索求解裁剪分床方案。江丽林等人^[6]以裁剪误差最小为优化目标,提出自适应加速因子粒

① NSFC-浙江省两化融合联合基金(U1709213)和国家自然科学基金(61573319)资助项目。

② 男,1979年生,博士,教授;研究方向:智能控制,工业物联网;E-mail: hdong@zjut.edu.cn

③ 通信作者,E-mail: wazhang@zjut.edu.cn

(收稿日期:2019-12-30)

子群算法 (self-adaptive acceleration particle swarm optimization algorithm, SAPSO) 嵌套搜索裁剪分床方案, 并对比等量优化分床法^[7], 结果表明 SAPSO 所设计的分床方案具有更小的生产误差。Ahlem 等人^[8]研究了裁剪分床问题和平面排料问题, 以材料利用率最大为优化目标, 提出低层协作杂交^[9]的遗传退火算法分别对裁剪分床问题和平面排料问题进行优化; 随后, 两人又将裁剪分床和平面排料作为一个全局问题, 采用 4 种启发式算法进行寻优求解^[10]。

上述研究虽提出了合理的单色裁剪分床优化方法, 但并不适用于多色裁剪分床优化问题。相较于单色订单, 多色服装订单的维度随需求的不同而明显变化, 上述优化方法并未考虑维度变化对求解的影响; 更进一步, 由问题规模增大引起的决策变量增多、变量间耦合关系复杂化使得上述算法直接求解多色裁剪分床优化问题容易陷入局部最优, 导致多色裁剪分床方案不理想, 无法达到生产要求。然而, 随着市场需求的发展和个性化定制需求的增多, 多色裁剪分床需求越趋强烈。目前针对多色裁剪分床优化问题的理论研究鲜有可见, 市场相关产品也少之又少。睿柯科技公司推出的服装裁剪智能导航系统虽集成了多色裁剪分床功能, 但由于未全面考虑实际影响因素, 致使裁剪分配效率低下, 无法满足实际生产的需要^[7]。对此, 服装工厂一般依靠人工经验将多色订单拆分成多个单色订单并采用单色裁剪分床优化方法来设计多色裁剪分床方案 (人工方法)。该措施虽解决了多色服装生产问题, 但拆分订单生产本质上不是全局优化过程, 导致所设计的裁剪方案需要投入较多的裁床数, 造成设备和人工成本骤增。因此, 如何快速设计高效的多色裁剪分床方案依然是现阶段服装行业一个棘手的难题^[11-12]。

针对多色服装裁剪分床优化难的现象, 本文提出了一种基于遗传算法的多色服装裁剪分床解耦优化方法 (decoupling optimization method for multi-color clothing cut order planning based on genetic algorithm, MCOP-GA), 解决了目前多色服装裁剪分床优化方法效率低下的问题。首先, 采用二进制遗传算法对

裁床数和尺码组合进行线性加权寻优; 其次, 结合基于最小二乘法 (least square, LS) 的解耦方法计算相应的铺布层数方案, 避免遗传算法直接求解高维度优化问题陷入局部最优, 提高求解精度和速度。最后, 将所提算法与现有方法进行对比实验, 验证该算法的可行性与优越性。

1 多色服装裁剪分床优化模型

1.1 问题描述

多色服装裁剪分床优化问题一般是指在有限的裁剪设备上生产多颜色服装订单, 通过优化分配裁床的使用、统筹设计服装样片在裁床上的组合排列以及铺布方案, 从而得到生产高效、成本节约的裁剪方案。在实际生产中, 服装生产成本包括面料、设备、人工成本; 面料成本通常占生产总成本的 50% ~ 60%^[13], 设备成本和人工成本也占较大的比重。为使生产成本最小化, 合理使用生产设备, 多色裁剪分床方案往往无法保证无差生产服装订单, 即会存在服装生产误差。因此, 服装生产误差和裁床的使用量是多色裁剪分床优化问题的一般评价指标。然而, 两个指标具有冲突性, 一般情况下, 缩减裁床数量, 往往会使生产误差增大; 追求无差生产, 则需投入较多的裁床。由此可见, 多色服装裁剪优化问题的本质是对裁床数量和服装生产误差综合优化, 从而得到成本最低的裁剪方案。

本文的多色服装裁剪分床优化问题仅针对单一款式、单一面料、多种颜色、多个尺码的服装订单。存在某多色服装订单, 该订单共需裁剪 y 种颜色、 n 个尺码, 第 i 种颜色、第 j 个尺码的衣服待产量为 a_{ij} , 订单如矩阵 A 所示。假设生产该订单需要 m 台裁床, 布料裁剪所涉及的尺码组合方案可用配比矩阵 B 描述, 铺布层数方案可用层数矩阵 C 描述, 矩阵 B 和 C 的组合即为多色服装的裁剪分床方案。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{y1} & a_{y2} & \cdots & a_{yj} & \cdots & a_{yn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1j} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2j} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ b_{z1} & b_{z2} & \cdots & b_{zj} & \cdots & b_{zn} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mj} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1i} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2i} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{z1} & c_{z2} & \cdots & c_{zi} & \cdots & c_{zy} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mi} & \cdots & c_{my} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(2)、(3)中, b_{zj} 表示第 j 个尺码的服装样片在第 z 台裁床上的待裁服装件数, b_{zj} 的解空间较小, 一般情况下, $b_{zj} \leq 5$; c_{zi} 表示第 i 种颜色的服装样片在第 z 台裁床上的铺布层数, 解空间较大, 一般情况下, $c_{zi} \leq 2000$ 。已知 b_{zj} 和 c_{zi} , 即可计算第 i 种颜色、第 j 个尺码衣服产量 $O_{ij} = \sum_{z=1}^m b_{zj} \times c_{zi}$ 。因此, 本文的目的是求解 $\mathbf{B}$ 和 $\mathbf{C}$, 使得多色裁剪分床方案可以投入最少的裁床数进行服装生产, 且生产方案具有最小的生产误差。

1.2 数学模型

本文建立以服装生产误差最小、裁床投入最少为优化目标的数学模型, 如下所示。

目标函数为

$$\min(F) = \{F_1, F_2\} \quad (4)$$

$$F_1 = \sum_{i=1}^y \sum_{j=1}^n (a_{ij} - \sum_{k=1}^m b_{kj} \times c_{ki})^2 \quad (5)$$

$$F_2 = m \quad (6)$$

约束条件为

$$0 \leq b_{kj} \leq l, \quad k = 1, 2, \cdots, m, \quad j = 1, 2, \cdots, n \quad (7)$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^y c_{ki} \leq d, \quad k = 1, 2, \cdots, m \quad (8)$$

$$0 \leq \sum_{j=1}^n b_{kj} \leq p, \quad k = 1, 2, \cdots, m \quad (9)$$

$$0 < m \quad (10)$$

$$b_{kj}, c_{ki}, m \in N \quad (11)$$

上述优化模型中, 式(4)表示优化目标, 式(5)表示

第 1 个优化目标为生产误差平方和, 式(6)表示第 2 个优化目标为投入生产的裁床数量; 式(7)中, l 表示单规格服装最大可裁件数, 约束式(7)的设置可使不同规格服装共用一块布料进行裁剪, 有利于提高布料利用率; 式(8)中, 受限于裁床高度限制, d 表示每台裁床允许的最大铺料层数; 式(9)中, 受限于裁床宽度限制, p 表示每层铺料的最多可裁件数; 式(10)、(11)表示所求变量为自然数。

2 多色服装裁剪分床解耦优化方法

针对多色服装裁剪分床优化模型, 本文提出一种基于遗传算法的多色服装裁剪分床解耦优化方法。首先, 对决策空间相对固定的尺码组合方案和裁床数量进行遗传优化。其次, 设计了一种基于最小二乘的解耦策略, 在遗传寻优过程中快速计算决策空间相对较大的铺布层数方案, 不仅避免遗传算法作用于高维度的优化问题陷入局部最优^[14], 提高效率; 而且可引导遗传算法向最优解搜索, 提高精度。最后, 对算法搜索到的最优解进行解码, 从而筛选最优的裁剪方案。

2.1 遗传编码

遗传寻优首先要对优化量进行遗传编码。遗传编码分为实数编码和二进制编码, 本文优化模型的决策变量为自然数, 故采用二进制编码策略。二进制编码是将优化量表示成只含有 0 和 1 的字符串, 抽象成二进制染色体的过程。假设多色裁剪方案需投入 3 台裁床, 则可将裁床基因编码成由两位基因组成的基因段“11”; 同理, 描述尺码组合方案的配比矩阵 $\mathbf{B}$ 采用相同的方法编码。首先, 依据经验法确定裁床数量上限 g , 将 g 编码成 k_1 位的二进制基因段; 随后, 对 $\mathbf{B}$ 进行编码, 即对 $\mathbf{B}$ 中所有元素 b_{zj} 进行二进制编码。因 b_{zj} 在迭代过程中是变化的, 为防止基因位数不够造成信息丢失, 要为 b_{zj} 分配足够的基因位。最后, 合并所有基因片段组成染色体。

具体编码规则如下。

(1) 根据模型约束式(7), 对 l 进行二进制编码, 计算基因段的位数 k_2 。

(2) 对 b_{zj} 二进制编码, 记录基因段 e_{zj} 和基因位

f_{ij} 。

(3) 比较 f_{ij} 与 k_2 的大小,若 $f_{ij} < k_2$, 则基因段 e_{ij} 左侧补 0,直至长度为 k_2 。

2.2 基于最小二乘的解耦策略

多色服装裁剪分床优化问题是一个维度高的优化问题,遗传算法在处理决策变量较多的高维度优化问题时容易陷入到局部最优。本文综合考虑了最小二乘法在处理线性回归问题时的高效性^[15],提出了一种基于最小二乘的解耦策略,将非线性优化问题分解为一系列线性回归子问题,降低了问题的难度。相较于直接采用遗传算法进行全局搜索,该策略可快速计算解空间相对较大的层数矩阵 C ,从而提高搜索精度和速度。

基于最小二乘的解耦方法步骤如下。

步骤 1 将染色体的 k_1 位床数基因解码,转换为十进制值 m ,代表当前染色体所需的裁床数量;将配比基因段分解成 $m \times n$ 个长度为 k_2 的基因段,分别转换为十进制值;解码后得到维度为 $m \times n$ 的配比矩阵 B 。

步骤 2 若矩阵 $B \times B^T$ 非奇异,根据最小二乘公式 $C = (B \times B^T)^{-1} \times B \times A^T$ 可拟合出层数矩阵 C ,并以四舍五入的原则取整;若矩阵 $B \times B^T$ 奇异,则重新初始化该条染色体。

步骤 3 若层数矩阵 C 中某个元素 c_{ij} 为负数,则令 $c_{ij} = 0$,对 C 中第 j 列的其他数据重新拟合。

步骤 4 将 B 中第 i 行剔除,生成新矩阵 D ,维度为 $(m-1) \times n$;记订单 A 中第 j 行向量为 E ,维度为 $1 \times n$ 。

步骤 5 若矩阵 $D \times D^T$ 非奇异,按公式拟合向量 $Q = (D \times D^T)^{-1} \times D \times E^T$,维度为 $(m-1) \times n$;若矩阵 $D \times D^T$ 奇异,则重新初始化染色体。

步骤 6 将 Q 四舍五入取整,按序更新 C 中第 j 列中除 c_{ij} 外的值;若 C 中所有值非负,停止计算;否则,返回步骤 2。

2.3 适应度函数

适应度的概念在遗传算法中被用来表示个体趋近于最优解的优良程度,其是优化目标的抽象。为了对服装生产误差和裁床数量两个指标同时优化,

需要对两个目标有所侧重。本文的适应度函数是两个优化目标的加权和,为服装生产误差目标设置常数权重 1,床数目标设常数权重 q 。权重 q 可调节两个目标的优先级,昂贵面料的服装追求极致的服装生产误差,可将 q 设为小值;当侧重人工和设备成本时,可设大 q 。适应度函数见式(12)。

$$f = \frac{1}{\sum_{i=1}^y \sum_{j=1}^n (a_{ij} - \sum_{k=1}^m b_{kj} \times c_{ki})^2 + q \times m} \quad (12)$$

2.4 遗传操作

本文采用轮盘赌选择法筛选子代,各个体被选中的概率与其适应度大小成正比,同时保留本代中最优染色体到下一代。该选择算子虽然具有一定的随机性,但能够保证一定的进化度,使得适应度较高的个体被选择的概率更大,从而可使遗传算法向好的方向进化。

在保留新的染色体子代后,种群群体发生变化,为进行下一次的迭代要对二进制形式的染色体种群进行交叉和变异操作。交叉算子通过模拟自然界生物的杂交过程对个体进行交叉操作,不断产生新的个体,其在扩展求解空间、获得全局最优解的过程中发挥着至关重要的作用。本文采用单点交叉算子,即随机产生交叉点,互换父母染色体的基因位,交叉概率记为 p_a 。允许相似个体之间的近亲繁殖,一定程度上保护优秀的基因模式。变异运算在交叉操作之后,变异算子在遗传算法中具有局部搜索作用,决定算法的求精能力。本文采用基本位变异,根据概率对染色体的某个基因进行位变异,变异概率记为 p_m 。

遗传算法要有停止判断机制,本文为遗传算法设定了两个停止机制。第一,设置算法的最大迭代次数,当算法迭代到最大迭代次数时停止迭代。第二,算法的适应度值迭代次不变,停止迭代。迭代结束后,输出群体中最优染色体的值,该条染色体承载最优的裁剪方案。

2.5 算法流程

本文所提的基于遗传算法的多色服装裁剪分床解耦优化方法流程图如图 1 所示。

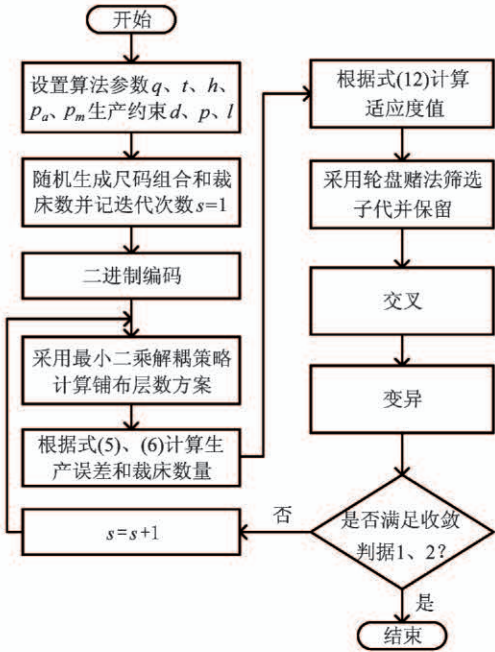


图1 MCOP-GA 算法流程图

3 应用实例与对比分析

服装工厂的计算机算力一般,为模拟服装工厂的环境,选择本实验的配置环境,硬件配置为 Intel (R) Core(TM) i5-3337U,CPU 主频为 1.80 GHz,内存为4 GB;软件环境为 64 位 Windows 7 操作系统,安装 Matlab 2010 实验仿真平台。

为了验证所提算法在多色裁剪分床优化问题上的优越性,选取 SAPSO^[6]人工方法、基于线性加权策略^[16]的遗传算法 (genetic algorithm, GA) 以及市面现有的商业软件 (commercial software, CS) 进行对比。本文实验数据来源于宁波天斗科技有限公司 2018 年 7 月份的实际服装订单,分别是 2、3、4、5 种颜色的服装订单,2~5 种颜色的服装订单是目前服装工厂较为频繁生产的订单,数据如表 1 所示。

GA-LS 的参数设置如下,交叉概率 $p_a = 0.9$, 变异概率 $p_m = 0.1$, 最大迭代次数 $t = 400$, 第二收敛判据 $h = 20$, 根据人工经验设置权重 $q = 250$ 。裁床性能指标由宁波天斗信息科技有限公司提供,设置最大辅料层数 $d = 500$, 每层辅料最大可裁件数 $p = 8$, 单规格最大可裁件数 $l = 3$ 。

3.1 应用实例

在实际应用中,一般情况下,服装生产的最大误

表 1 多色服装订单

订单 编号	颜色	尺码				
		XS	S	M	L	XL
1	藏青	323	1075	1166	605	173
	黑色	54	186	248	189	76
	黄色	140	178	110	28	0
2	米色	179	247	141	27	0
	黑色	179	262	154	47	0
	黑色	412	711	783	464	206
3	麻灰	155	350	227	247	54
	暗红	113	165	113	113	13
	藏青	103	247	330	247	103
4	黑色 P94	118	250	454	448	313
	黑色 P95	59	125	227	224	156
	浅绿 P86	101	204	360	340	231
	浅绿 P87	101	204	360	340	231
	墨绿 P85	88	187	340	338	231

差率为 5%,本文以该指标评判裁剪方案是否满足生产要求,计算公式见式(13)。

$$e = \sum_{i=1}^y \sum_{j=1}^n a_{ij} \times 5\%$$

(13)

采用 MCOP-GA 对表 1 中的服装订单进行 10 次裁剪分床优化,记录生产误差、裁床数量以及计算时间 3 个指标,裁剪分床结果见表 2。

由表 2 结果可知,对于相同的服装订单,裁剪分床结果不尽相同,可见所提算法具有一定的随机性,对同一订单进行裁剪分床实验,可能会得到不同的裁剪方案。根据式(13)计算各订单的最大服装生产误差,分别为 205、85、258、302 件,而表 2 中各订单的最大误差分别为 11、13、24、38 件。由此可知,在误差指标上,所提算法的裁剪分床结果符合生产要求。在时间指标上,4 个订单的计算时间都在 30 s 以内,随订单复杂程度的不同略微浮动。在裁床数指标上,二色订单的裁床数量都为 5 床,三色订单的裁床数全部为 3 床,四色订单有 4 床和 5 床两种方案,五色订单则有 4~6 床的不同结果。

为描述所提 MCOP-GA 算法的收敛过程,选取表 2 中的最优解呈现其适应度曲线如图 2 所示。由图可知,对于本文的实验订单,MCOP-GA 算法分别在迭代到 58、65、190、230 次时收敛,说明该算法收敛速度快,体现了高效性。

表2 MCOP-GA 的多色服装裁剪分床优化结果

序号	订单1			订单2			订单3			订单4		
	裁床数 /台	误差 /件	时间 /s	裁床数 /台	误差 /件	时间 /s	裁床数 /台	误差 /件	时间 /s	裁床数 /台	误差 /件	时间 /s
1	5	9	7.39	3	11	9.17	5	15	22.52	4	36	28.92
2	5	11	7.51	3	13	7.94	5	15	21.17	4	18	26.43
3	5	7	7.41	3	9	8.17	4	17	19.87	6	15	27.82
4	5	4	7.82	3	12	8.12	5	12	20.49	4	30	26.41
5	5	5	7.44	3	8	8.19	5	12	24.34	6	33	25.28
6	5	7	7.47	3	11	9.28	4	23	22.34	4	38	23.93
7	5	11	7.28	3	9	7.33	4	24	23.53	5	31	27.04
8	5	7	7.36	3	10	9.00	5	12	22.54	5	16	22.06
9	5	8	7.62	3	12	8.71	5	13	23.75	6	17	21.40
10	5	7	7.43	3	13	7.98	4	13	22.96	6	24	21.81

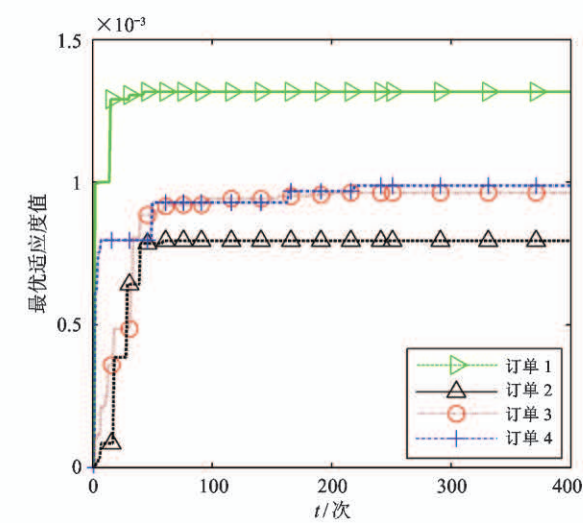


图2 MCOP-GA 算法的收敛曲线图

3.2 对比实验

为更全面评价所提算法的综合性能,将所提算法与现有方法进行对比实验。各算法分别计算 10 次,并选取最优结果在裁床数量、生产误差、计算时间三方面进行比较,比较结果如表 3 所示。

由表 3 数据可知,采用线性加权策略的 GA 直接求解多色裁剪方案,各订单的误差率分别为 8.18%、44.03%、17.15%、26.9%,未能达到企业的生产要求;同时,GA 算法在裁床数和计算时间方面也无明显优势。相较于 GA,MCOP-GA 的误差率全部都小于 0.50%,分别为 0.10%、0.47%、0.25%、0.30%;在裁床数和计算时间方面也显著优于前者,最快的 1 号订单计算时间达到了 7.82 s,其他订单

的计算时间在 30 s 以内;各订单的裁床数指标分别为 5、3、4、4 台;从 3 个指标综合分析,所有订单由 MCOP-GA 所设计的裁剪方案均比 GA 更优。由此可见,基于最小二乘法的解耦策略可避免遗传算法陷入局部最优,进而提高遗传算法的求解精度和速度。

表3 对比实验结果

订单 编号	方法	裁床数 /台	误差 /件	时间 /s	误差率 /%
1	GA	5	335	18.42	8.18
	SAPSO	6	15	9.36	0.37
	CS	5	11	8.00	0.27
	MCOP-GA	5	4	7.82	0.10
2	GA	6	745	22.41	44.03
	SAPSO	9	25	16.25	1.48
	CS	3	17	15.68	1.00
	MCOP-GA	3	8	8.19	0.47
3	GA	6	884	35.55	17.15
	SAPSO	11	15	23.73	0.29
	CS	5	38	26.24	0.74
	MCOP-GA	4	13	22.96	0.25
4	GA	6	1623	45.42	26.9
	SAPSO	15	30	34.11	0.50
	CS	6	46	35.36	0.76
	MCOP-GA	4	18	26.41	0.30

观察 SAPSO 的裁剪分床结果,在误差率方面均小于 5%,达到了生产要求;在计算时间方面,分别为 9.36 s、16.25 s、23.73 s、34.11 s,总体来说计算时

间较快;然而,在裁床数投入方面,4 个订单的裁床数投入分别为 6、9、11、15,其远高于其他方法。由此可见,采用人工 SAPSO 方法,将多色订单拆分成单色订单处理,虽可解决生产问题,但其本质上不是一个全局的优化过程,从而需要较多的裁床数投入,造成了生产资源的浪费。

相比较于 GA、SAPSO、CS 的分床结果较为理想;其在裁床数和生产误差上的均衡性更强,虽 3、4 号订单的生产误差比 SAPSO 更高,但其对于裁床数的使用更合理;在计算时间指标上与 SAPSO 差异细微。

上述分析可知,GA 的裁剪分床结果未达到生产要求。SAPSO 虽可解决生产问题,但资源浪费较为严重;CS 的裁剪分床结果比 SAPSO 更合理,效率较高。为更直观比较 MCOP-GA 与 SAPSO、CS 在性能上的区别,图 3 将表 3 中除 GA 外的裁剪分床结果绘制成三维折线图,展示 3 种算法在裁床数量和生产误差指标上的区别。由图可知,△、○、* 三维折线分别表示 SAPSO、CS、MCOP-GA 的多色裁剪分床结果,三者在订单编号和裁床数量指标所组成的二维平面的投影点体现了各算法在裁床数量上的区别;在生产误差方面,MCOP-GA 的折线处于三维空间中最低位置;在裁床数量指标上,其黑色 * 投影点具有最少的裁床数量;而在计算时间上,表 3 结果已表明其高效性。由此可知,在最短的时间内,MCOP-GA 可设计出裁床数投入最少、生产误差最低的多色裁剪分床方案,从而使企业可以最低的成本、最快的时间进行服装生产。

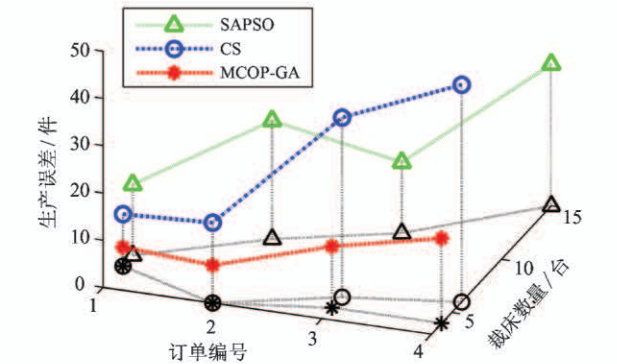


图 3 多色裁剪分床结果三维图

综上所述,MCOP-GA 在多色裁剪分床优化问题

中具有明显的高效性和优越性。鉴于本文算法的可靠性和高效性,宁波天斗信息科技有限公司已经将其投入实际产业化应用中,图 4 展示了裁剪工人使用基于所提算法的分床软件指导服装裁剪。



图 4 算法商业化

4 结 论

本文设计的基于遗传算法的多色服装裁剪分床解耦优化方法为服装企业的多色服装裁剪分床问题提供了一种新的解决方案。所提方法通过将多色服装裁剪分床的裁床数量和尺码组合方案抽象成遗传算法的染色体进行遗传搜索,在搜索过程中,采用基于最小二乘的解耦方法计算相应的铺布层数方案,降低求解难度,提高求解速度和精度。通过实验验证,所提方法可快速计算出多色服装裁剪分床方案,有效地减小生产误差、减少裁床数使用,进而提高生产效率、节省成本。针对多色服装裁剪分床研究工作后续可考虑利用多目标算法解决目标权重需要人为设定的问题,降低人工超参数对算法的影响。同时,如何更快速地设计更加复杂的个性化多色服装裁剪分床方案,以及考虑更加细致的实际生产因素进行更加精确的优化是一个值得深入探索的方向。

参考文献

- [1] Mok P Y, Kwong C K, Wong W K. Optimisation of fault-tolerant fabric-cutting schedules using genetic algorithms and fuzzy set theory[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 177(3): 1876-1893
- [2] 庾武, 郑攀, 常亭亭, 等. 基于层次分析法的服装裁剪分床影响因素[J]. *纺织学报*, 2013, 34(4): 148-152
- [3] Charlotte J B, Jane C, Avril S, et al. Cut order planning for apparel manufacturing[J]. *IIE Transactions*, 1998, 30(1): 79-90
- [4] 周治辰, 费树岷. 基于退火蚁群混合算法的裁剪分配优化系统的研究[J]. *工业控制计算机*, 2014, 27(11): 39-41
- [5] 刘艳梅, 颜少聪, 纪杨建, 等. 大批量定制服装裁剪分床计划的两阶段优化方法[J]. *计算机集成制造系统*, 2012, 18(3): 479-485
- [6] 江雨林, 周巨栋, 董辉. 基于自适应加速因子粒子群优化算法的裁剪分床研究[J]. *计算机测量与控制*, 2018, 26(1): 181-184 + 189
- [7] 郑攀, 庾武. 服装裁剪自动分床系统的研究与开发[J]. *山东纺织经济*, 2013(11): 76-79
- [8] Ahlem B, Rym M. A hybrid genetic algorithm for the cut order planning problem[C]//The 20th International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems, Kyoto, Japan, 2007: 454-463
- [9] Talbi E G. A taxonomy of hybrid metaheuristics[J]. *Journal of Heuristics*, 2007, 8(5): 541-564
- [10] Rym M, Ahlem B. Heuristics for the combined cut order planning two-dimensional layout problem in the apparel industry[J]. *International Transactions in Operational Research*, 2016, 23(1): 321-353
- [11] Guo Z X, Wong W K, Leung S Y S, et al. Mathematical model and genetic optimization for the job shop scheduling problem in a mixed- and multi-product assembly environment; a case study based on the apparel industry[J]. *Computers and Industrial Engineering*, 2006, 50(3): 202-219
- [12] Dawn M, Douglas R. Cut scheduling in the apparel industry[J]. *Computers and Operations Research*, 2007, 34(11): 3209-3228
- [13] Wong W K, Leung S Y S. Genetic optimization of fabric utilization in apparel manufacturing[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 114(1): 376-387
- [14] 刘刚, 赵海洋, 陈华, 等. 基于改进的量子遗传算法的认知无线网络频谱分配方法[J]. *高技术通讯*, 2015, 25(8-9): 760-765
- [15] 田垅, 刘宗田. 最小二乘法分段直线拟合[J]. *计算机科学*, 2012, 39(6): 482-484
- [16] 周福礼, 王旭, 周林, 等. 面向全生命周期质量经济性的汽车外购件供应商组合优选模型[J]. *计算机集成制造系统*, 2019, 25(5): 1259-1271

Decoupling optimization method for multi-color clothing cut order planning based on genetic algorithm

Dong Hui, Lin Wenjie, Wang Yaowei, Wu Xiang, Zhang Wenan

(College of Information Engineering, Zhejiang Provincial United Key Laboratory of Embedded Systems, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023)

Abstract

To meet the needs of garment enterprises to design flexible cut order planning of multi-color garments (MCOP), a decoupling optimization method of MCOP problem based on genetic algorithm (MCOP-GA) is proposed. Firstly, an optimization model for nonlinear integer programming is presented by analyzing the characteristics of MCOP problem and the production factors are quantified to be its constraints. Secondly, a decoupling strategy based on least square (LS) is proposed, which combines genetic algorithm to simultaneously optimize the output error of garments and the number of cutting machines. During optimization process, the decoupling approach decomposes the nonlinear integer optimization problem into a series of linear regression sub-problems, which simplifies MCOP problem. Therefore, the optimal scheme is quickly obtained to decrease the number of cutting machines and reduce the waste of materials to maximize the utilization of resources. Finally, according to the results of four practical cases, the proposed algorithm achieves a higher level in precision and efficiency than the existing methods. MCOP-GA has good application value.

Key words: multi-color garments, cut order planning, nonlinear integer programming, genetic algorithm (GA), least square (LS)