



基于先验算法的服装生产流水线设计优化

盛玥曦^a, 侯珏^{a,b}, 杨阳^{a,b}, 刘正^{b,c,d}

(浙江理工大学, a. 服装学院; b. 服装数字化技术浙江省工程实验室; c. 国际时装技术学院;
d. 丝绸文化传承与产品设计数字化技术文化和旅游部重点实验室, 杭州 310018)

摘要: 针对服装生产线员工变动频繁、技能熟练度不一致以及设备布局受限等造成的流水线部件逆流和不平衡问题, 提出了一种基于先验算法的服装生产工序组合关联规则挖掘方法, 以优化流水线设计。根据服装工艺和生产特点提出了工序编码方法, 通过改进 Apriori 算法来挖掘用于流水排布的生产工序关联规则, 建立了以逆流情况和流水线平衡为约束的评判指标, 通过工序内容与评判指标进行流水线优化排布。结果表明: 优化后的流水线完全避免了零部件在路径上的传递损失, 流水线的排布效率提高了 20%, 线内工位平均均衡比相较于原有产线提高了 20%, 排布内容更切合工厂生产实际环境和经验要求。使用该方法挖掘工序关联组合具有较好的可靠性, 工序组合的应用有利于提升流水线排布的实际意义。

关键词: 服装生产; 工序组合; 关联规则; 流水线; Apriori 算法

中图分类号: TS941.19

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2024)05-0337-10

引文格式: 盛玥曦, 侯珏, 杨阳, 等. 基于先验算法的服装生产流水线设计优化[J]. 浙江理工大学学报(自然科学), 2024, 51(3): 337-346.

Reference Format: SHENG Yuexi, HOU Jue, YANG Yang, et al. Optimization of garment production line design based on the Apriori algorithm[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2024, 51(3): 337-346.

Optimization of garment production line design based on the Apriori algorithm

SHENG Yuexi^a, HOU Jue^{a,b}, YANG Yang^{a,b}, LIU Zheng^{b,c,d}

(a. School of Fashion Design & Engineering; b. Zhejiang Provincial Engineering Laboratory of Clothing Digital Technology; c. International Institute of Fashion Technology; d. Key Laboratory of Silk Culture Heritage and Products Design Digital Technology, Ministry of Culture and Tourism, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problems of countercurrent and unbalance of assembly line components caused by frequent staff changes, inconsistent skill proficiency and limited equipment layout in garment production line, a method of mining association rules for garment production process combination based on the Apriori algorithm was proposed to optimize assembly line design. Based on the clothing process and production characteristics, a process coding method was developed, Apriori algorithm was improved to mine the production process association rules used for flow arrangement, and an evaluation index constrained by countercurrent situation and pipeline balance was proposed. The optimization and layout of the assembly line were carried out by process content and evaluation index. The experimental data show that the optimized assembly line completely avoids the transmission loss of parts in the path, the layout efficiency of the assembly line is increased by 20%, the average balance of workstations on the production line is increased by 20% compared to the original production line, and the layout content is more in line

收稿日期: 2023-11-02 网络出版日期: 2024-03-14

基金项目: 浙江省科技计划项目(2023C03181)

作者简介: 盛玥曦(1999-), 女, 浙江金华人, 硕士研究生, 主要从事服装生产管理方面的研究。

通信作者: 刘正, E-mail: koala@zstu.edu.cn

with the actual production environment and experience requirements of the factory. To sum up, the mining process association combination using the method has good reliability, and the application of process combinations is of practical significance to improving the assembly line layout.

Key words: clothing production; process combination; association rules; assembly line; Apriori algorithm

0 引言

流水线排布方法的选择是决定服装生产效率的重要因素^[1]。大部分服装生产企业存在劳动力不足,基础资源短缺的现状^[2],其中:劳动力的缺乏包括线上工作人员的缺乏以及流水线排布人员的缺乏^[3],基础资源短缺主要体现在生产机器的数量限制。上述生产现状导致服装生产整体技术水平不高、管理方法粗放^[4],工位工人无法熟练完成作业内容,流水线排布过于依赖管理人员经验的问题产生。实际生产时流水线内部件倒流问题频发,运行平衡程度低,生产效率不佳。

为了解决流水线平衡问题,学者提出了多种改进方法。梁会芹等^[5]使用自适应遗传算法提高搜索效率,解决了流水线平衡程度低下问题;黄珍珍等^[6]采用拓扑方法和遗传算法建立自动优化模型,实现流水线平衡再优化;闫亦农等^[7]改进了粒子群优化,开发服装生产流水线编制软件,实现智能化编制;朱江龙等^[8]基于 NSGA-II 多目标算法提供多种服装生产编制效率较高的编排参考方案;Yemane 等^[9]结合手动线平衡技术与计算机模拟建模以找到最佳生产方案;Sime 等^[10]将 ARENA 仿真软件用于建模和仿真评估了不同的“假设”场景以重新配置装配线。上述改进方法有效提高了流水线运行平衡效率,然而大多数生产厂的工作人员和机器资源受限,需要较多资源的流水排布受到制约。陈莎等^[11]构建混合生产线平衡优化模型;郑路等^[12]建立混合生产模块化排序与工序分配的联合优化模型,李雪霞等^[13]采用智能化缝制单元;Bongomin 等^[14]使用排序位置权重技术来提高生产效率并减少工位数量。这些优化方法提高了流水线平衡效率并节省了部分资源,但在优化的前提条件上忽略了实际生产作业人员技术限制,使优化在应用受到制约。孙影慧等^[15]通过对生产工序排布重组优化流水线,建立了生产流水线仿真模型;葛敬玮等^[16]通过工序标准化作业管理提高了流水线反应速度和生产效率。然而实际生产并非严格遵循生产部件在线内的线性转移的约束条件,使优化后的排布方案难以复现。

基于上述现状,为了使流水线优化后的方案更好地适应服装实际生产方式和环境,本文提出了一种基于先验算法的服装生产工序组合关联规则挖掘方法以优化流水线排布设计。首先,通过制定工序编码规则并改进 Apriori 算法模型得到生产工序组合;然后,将已挖掘出关联工序的组合内容应用于流水线的重新排布;最后,将结果在路径损失率、排布效率和工位作业均衡比这三个指标上进行对比,同时结合实际生产情况对比重新排布和参考排布结果。

1 研究方法

1.1 基于改进 Apriori 算法的生产工序关联构建

关联规则挖掘技术是数据挖掘常用的方法,用于发现数据集中项集之间的相关关系,包括 Apriori 算法、FP-Growth 算法和 Eclat 算法^[17]。关于服装生产工序的数据集较为稀疏且相对较小,而 FP-Growth 算法和 Eclat 算法适用于大规模数据集且在数据集稀疏或项集较大时实现相对复杂,故此实验使用 Apriori 算法。Apriori 算法利用逐层搜索迭代明确数据库项集的关系并构建规则,设项集 $I = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_n\}$ 是数据中所有项的集合,事务(TID) $T = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_n\}$ 是所有事务的集合,每个事务 T_n 包含的项集都是 I 的子集。事务与项集的关系如表 1 事务内容列表所示。

采用 Apriori 算法挖掘关联规,因迭代搜索过程中多次扫描数据集而生成大量冗杂中间项集,影响计算效率和降低挖掘结果的指向性^[18]。Belhassena 等^[19]提出将大量数据管理到不同的分布式索引中,并对索引中的每个点实现频繁挖掘算法以提升挖掘效率。本文先分析目标服装的具体工艺内容,后筛选与该工艺相关的关键词条并生成相应项集。将筛选后项集应用于 Apriori 算法,以减小数据集的规模,使生成结果复杂性得到显著降低。

本文提出的服装生产工序组合 Apriori 改进算法基本框架如图 1 所示,首先通过搜索数据库获取与目标服装的工艺特点相关的数据,然后遍历筛选项集生成关于工序内容的候选频繁项集 1。计算每个候选频繁项集 1 中各工序的支持度,支持度表示

表 1 事务内容列表

事务	项集
T_1	单针平上袖(I_1),三线平拷袖笼(I_2)
T_2	单针合夹底一段(I_3),单针合侧袋口一段(I_4),五线拷侧缝连合袖底缝(I_5)
T_3	单针合三夹一合肩缝(I_6),单针明缉肩缝(I_7),单针走定后领及后夹(I_8),单针明缉前刀片(I_9), 手工剪主唛两头(I_{10}),手工修剪尺码唛一个(I_{11})
T_4	单针三夹一合肩缝(I_6),单针明缉肩缝止口线(I_{12}),单针走定后夹一段(I_{13}),单针平上袖连比袋位(I_{14})
...	...
T_n	...(I_d)

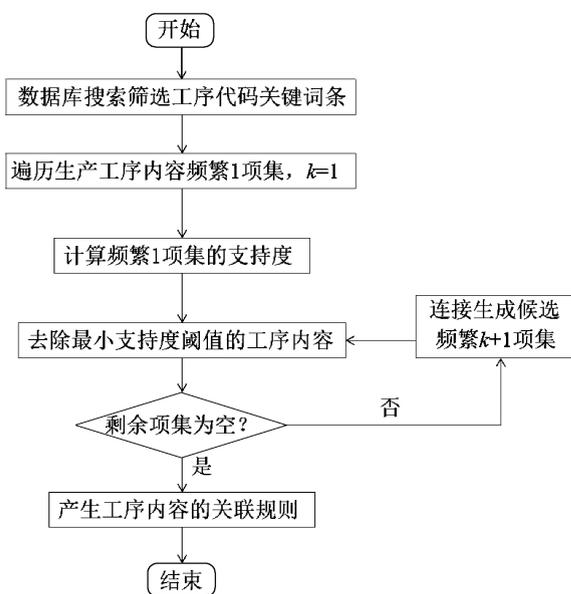


图 1 改进 Apriori 算法流程

每个工序内容项集在整个数据集中的出现频率^[20],是筛选频繁项集的重要条件^[21]。将计算得到的支持度与预先设置的最小支持度进行对比,其取值影响生成频繁项集的数量,小于最小支持度阈值的工序内容项集将被去除^[22]。判断剩余的项集是否为空,成立则生成关联规则;不成立时,继续挖掘生成 $n+1$ 项工序内容频繁项集。通过置信度和支持度衡量关联规则是否有实际意义和价值,置信度表示项集 A 发生前提下 B 发生的频率^[23],提升度表示项集 A 的出现对项集 B 的出现有多大程度的影响。

1.2 服装生产工序编码方法

在服装生产领域,工序的命名标准化程度低导致实际生产中出现复杂凌乱的描述。大量存在着微小差异文本但实际工作内容相同,或者描述相似但工艺细节存在较大差异的问题。若直接采用生产线的描述构建模型会产生巨量的项集,为了解决这个问题,需要对工序的内容进行分类和统一编码。服装生产工序通常包括所需的作业机器、缝纫动作以及被缝纫的对象部件信息。本文将工序的编码分为

如下 3 个部分 9 个字节:

a) 机器编码:占工序代码的第 1 个字节,用于表示执行工序所需的缝纫机器内容。

b) 动作编码:占工序代码的第 2—5 字节,分为主要动作和同步或次要动作两部分。此编码表示执行工序的缝纫动作,包括了一或两个动作在工序执行中的顺序和方式。例如“单针夹缉大小袖叉连缉转”中的“夹缉”和“缉转”“手工翻上领两角连修剪两角”中的“翻”和“修剪”。

c) 部件编码:占工序代码的第 6—9 字节,分为主要部件和同位部件或副部件两部分。此编码表示工序所涉及的服装部件,包括了一或两个在工序中操作部件。例如“单针合袖底缝连走定橡筋”中的“袖底缝”和“橡筋”“单针量定洗唛个及时间唛”中的“洗唛”和“时间唛”。若工序内仅包含一个动作或一个部件,无描述字节内容将用“00”代替,以确保编码的一致性和完整性。工序内容编码并列词根图解如图 2 所示。

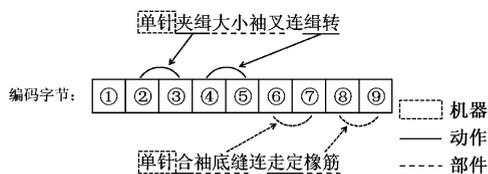


图 2 编码并列词根图解

以“单针平上袖”工序内容为例,其编码后的工序代码为“1os00sl00”,部分工序编码内容如表 2 所示。

1.3 流水线优化评判指标

大多数服装生产流水线物流传输是槽流,生产中部件可以横向或斜向移动,工位安排在槽的两侧方便拿放部件,但容易忽略部件的流向约束,实际生产线工位布局如图 3(a)所示。服装单件流生产布局图解如图 3(b)所示,U 形布局使生产部件单向流动线性运行,更易约束传递方向。基于实际流水线的流向、布局和存在的问题,本文提出了更贴合运行流畅度的评判标准——“路径损失率”指标。现有大部分排布方法部件将路径传递归纳进排布约束内容

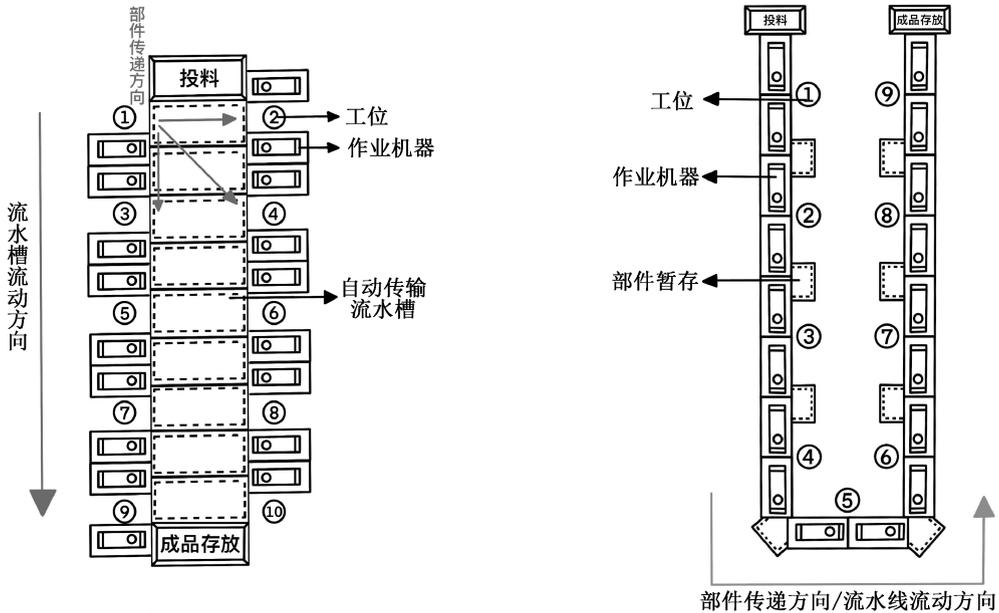
中,保证此参数在流水线指标中的通用性和适用性。图3(a)中生产部件跟随中间槽流动,而工位槽两侧,根据传递动作习惯,将由后往正前方或对角线的斜前方的一个工位传递的动作定义为损失一个单位,逆向跨位传递的损失单位由跨越的工位数决定。计算路径损失率 R_l 具体参考式(1):

$$R_l/\% = \frac{s_r}{S} \times 100 \quad (1)$$

其中: S 为工单步骤总数,位; s_r 为工单中的倒流步骤数,位。其中需注意的是由于传递到最后的工位表明所有工序任务已结束,故工单步骤总数应减去最后工位的工作内容。

表2 部分工序编码方式表

机器编码		动作编码		部件编码			
1 字节		2,3 字节(4,5 字节)		6,7 字节		8,9 字节	
机器内容	编码	主要动作 (次要动作内容同)	编码	主部件	编码	同位部件, 副部件	编码
手工	h	暗上	se	门襟	mj	缝	of
单针平车	1	夹缉	cj	里襟	lj	一片	oo
双针平车	d	明包	ob	袖子	sl	两片	ot
单针车配拉筒	t	包	wu	袖中	sm	滚边	go
刀车	n	卷	ro	侧缝	cm	折边	zo
双线拷缝车	2	夹	cl	袖克夫	sc	衩	co
三线拷缝车	3	拷边	ol	上领	uc	宝剑头(大)	bl
五线拷缝车	5	打刀口	pc	下领	dc	宝剑头(小)	bs
烫台	0	烫开	ot	前中	fc	贴	to
...



(a) 实际工厂生产布局图

(b) 单件流生产布局图

图3 生产布局图

考虑到服装流水线为人工排布,排布效率的评价指标较为模糊。为了清晰表示排布效率,本文将需考虑的目标工序量作为排布效率的判断依据,计算排布效率 E_a 具体参考式(2):

$$E_a/\% = \frac{\Delta N}{N} \times 100 \quad (2)$$

其中: N 为工单需排布的总工序数,个; ΔN 为将组

合工序看作一个新个体后需排布的工序的减少量。

流水线运行平衡是判断运行效率的依据,工位作业均衡比是基于流水线平衡提出的进一步对比指标,是精确到工位平衡的对比。与基本流水线平衡计算的定义和计算方法一致,保证了测量单位一致性和数据收集一致性。本文将工位分配工序的工作总时间与流水线总的平衡时间进行比对,通过均衡

比判断优化的结果,计算工位作业均衡比 B 具体参考式(3):

$$B/\% = \frac{T_i/1}{T_p/N_w} \times 100 \quad (3)$$

其中: T_p 为产品生产的额定工时, s; N_w 为已知的工人数, 个; T_i 为工位 i 的工作额定工时, s。

上述 3 个新指标适用于不同实例比较内容, 不针对特定情景, 有一定通用性。

2 生产工序组合算法分析与求解

2.1 实际生产排布分析

本文实验数据来源于嘉兴某上市公司的服装生产线, 选择的目标对象具体款式和生产流程如图 4

和图 5 所示。文中后续排布应用实验中的工序内容均为图 5 衬衫工序流程的工序内容。衬衫前衣身设有公主线切缝, 后衣身设有育克, 领子为三夹领, 袖子设有袖中线切缝, 明门襟, 底摆, 袖口处采用包边工艺。

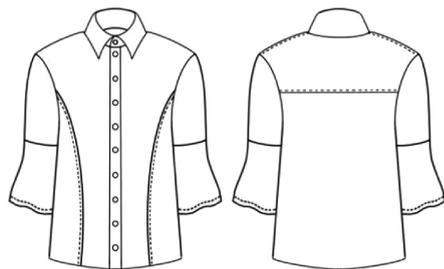


图 4 衬衫款式图

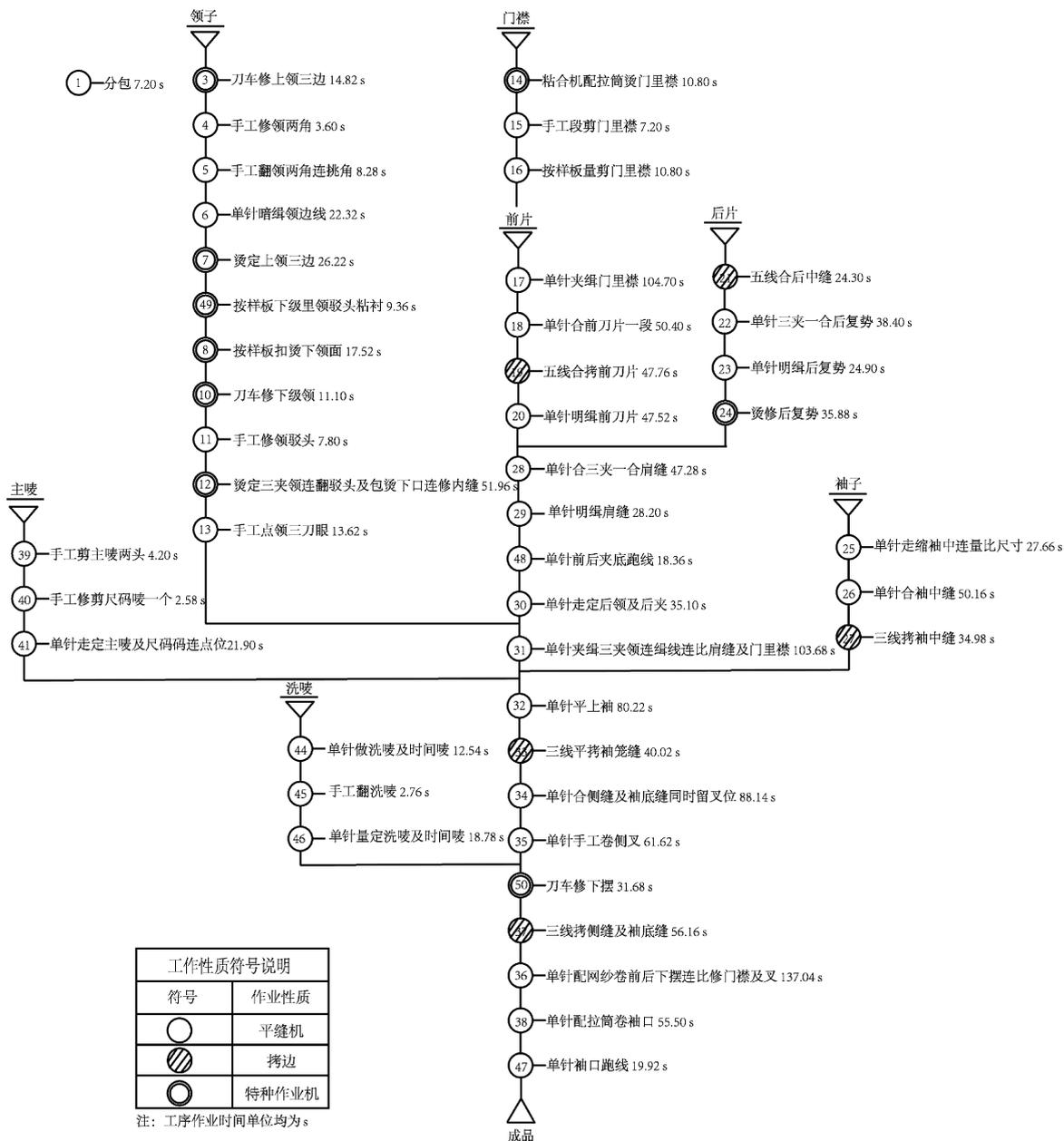


图 5 衬衫工序流程图

通过在合作工厂进行调研发现,实际流水排布存在明显倒流和平衡程度不高的情况,但实际工厂并没有采用其他基于单件流提出的更优的排布方法,其原因有如下:

a) 部件的流动非严格的单件流模式。由图 3 的布局图可得流水线实际生产中部件流动方式是跟槽横向或斜向传递,而严格的单件流布局是“U”形流动,在布局上方向单一,使实际生产的布局更容易出现部件倒流现象。

b) 工作人员熟练度受限。工序在工位上分配受限是现有流水排布方法不适用于大部分生产厂的重要原因。产品设计的复杂性和风格快速变化使生产人员无法跟上生产流程,对生产力有一定的影响^[24]。这让实际工厂工作分配存在指向性,过于依赖熟练工、高水平工人和对厂内人员熟悉的相关人员,且工厂内工作人员频繁变动导致部分工位无法保证作业熟练度。

c) 工作机器资源受限。工位的机器分配也是现有理想排布方法不适用的原因。工厂由于资金、场地等约束,特种作业机器数量有限,且单工位分配工作机器过多既不符合实际布置,不能保证作业人员能熟练使用每台机器。

上述原因造成了实际生产流水线效果较差的现状,本文提出了通过发现隐藏规律得到关联工序的方法,以针对流水线问题作出有效决策。

2.2 实验模型参数设置

为了验证关联规则模型的有效性,本文选择服装生产过程中极为常见且典型的“平装袖”做法。选取合作服装生产厂嘉欣丝绸 2021 年 12 月至 2023 年 3 月共 170 种服装生产内容的工单工序数据进行预处理。该数据集包含关于所有工单的工位工序记录共 2217 条。实际生产每个工位实际工作量有限,需限制最大项集数目。实验设置最大的项集长度为 3,意为工序关联结果内包括至少两条,至多 3 条。为了约束最大项集数目标,此时需要适当提高最小支持度阈值;且最终目标需要少而精的工序组合,故需提高算法的搜索精度以得到更为可靠关联规则结果,此时需要适当提高置信度阈值。通过反复实验调整和评估,最终设置参数阈值,其中支持度为 0.130,置信度为 0.80,在此参数下观察算法运行的结果与实际组合情况相符。

2.3 工序组合模型求解

由于工厂生产的服装款式不断更新,因此生产

工序数据库有较强的即时更新性,生产布局对应不同的服装款式具有其独特性。优化模型的主要目标是在更新性较强的数据库中提高搜索精度和效率,以减少大量冗余的中间项集,便找到对应生产所需的工序组合。筛选包括“平装袖(s100、slm0、sd00、sd0f、sn00, …)”编码的数据,在实验模型中遍历生成有关此工艺的工序内容频繁项集,最终挖掘出的工序间关联结果如表 3 所示。

表 3 关联规则挖掘表

工艺内容	关联	支持度	置信度	提升度
1	3ol00sc00→los00sloo	0.455	0.80	2.2
2	1os00sd0f→5ol00sd0f	0.364	0.80	5.5
3	5ol00sd0f→1os00sd0f	0.182	0.90	5.5
4	1os00sl00→3ol00sc00	0.182	0.90	2.2

由于对数据库进行了初始筛选,使得数据库原始项目数精简,数据样本由原有的两千多项减少至 187 项,极大减少了算法的搜索时间;算法的迭代次数也随数据库内容的稀疏性降低有了一定程度的减少。由表 3 可得最终挖掘出的关联工序内容有明确指向性,没有其他与工作任务无关的干扰选项,只针对“平装袖”这一工艺的工序内容而非未筛选前包含的数据库内杂乱的频繁项集。由表 3 可知,工序(3ol00sc00, los00sloo)、(1os00sd0f, 5ol00sd0f)是实验得出的关于平装袖的关联工序组合,其支持度为 0.455、0.182,置信度为 0.80、0.90,提升度为 2.2、5.5。提升度数值大于 1,表明在所筛选的数据库内若工序 3ol00sc00 和工序 los00sloo 均存在,则工序 3ol00sc00 在某一工位的出现会对工序 los00sloo 在同一工位出现概率有极大提升,投射出的现实意义为这 2 个工序在一个工作工位上的组合性更高。通过将实验结果和实际未在数据集内的 2023 年 4—6 月的部分工单内容进行比对,目标组合结果与实际排布内容吻合度达 80%,切合实际流水排布的习惯。同时将实验结果予以工厂流水线作业人员进行人工审核有效性,结果表明关联规则分析结果与排布人员的排布习惯相似,与相关作业人员的工作内容也基本吻合。

3 工序组合在流水线排布的应用实例

3.1 实例对象编码筛选

根据选定衬衫款式得到组合工序关联对象,此次应用分别对平上袖(s100、slm0、sd00、sd0f、sn00, …)、后复式(bf00、bf0f)、三夹领(3c00、3cb0、3co0,

…)、门里襟(mj00, ml00, lj00, ljt0, …)、前刀片(prff, prfd)、拉筒袖口(sk00)、下摆(db00, db0f)、唛头(zm00, cm00, zc00)和拼缝(pm00, pm0f)工艺内容的命名特征在数据库内进行项集筛选。

3.2 实例生产工序组合应用

组合工序在排布中的应用主要有两方面,一是为了使排布结果与实际工作习惯更加切合,二是为了减少排布对象数量以提高排布效率。为了实现上述目标,此次实例应用采用关联规则两次筛选的试验方法。第一次筛选得到强关联工序组合内容,为流水线排布奠定实际工序组合基础;第二次筛选得到较强关联工序组合,给后续流水线排布提供实际参考。通过两次筛选找到与工作习惯切合的目标,并减少排布工序数量。进行两次

关联工序组合搜索要求进一步调参,第一次运行仍使用支持度为 0.130、置信度为 0.80 的参数;第二次需要找到包含更多项的较大项集,相应设定较低的最小支持度,参数调整支持度为 0.100、置信度为 0.60。通过降低阈值得到更全面的关联规则,最终挖掘得到的关联规则拓展内容如表 4 所示,其中因参数调整得到的拓展组合内容为表中 5,6 两组。工序“3ol00sc00、los00sloo”同时出现在同一工位时工序“1pt00scsf”出现的可能性为 68%,且提升度 >1 ,表明工序“3ol00sc00、los00sloo”的同时出现对“1pt00scsf”出现在同一工位的可能性有一定提升。通过参数阈值的调整,同时出现了除强关联工序外置信度与提升度稍低但也具有参考意义的结果。

表 4 关联规则拓展挖掘表

组别	关联规则	支持度	置信度	提升度
1	3ol00sc00→los00sloo	0.455	0.80	2.2
2	1os00sd0f→5ol00sd0f	0.364	0.80	5.5
3	5ol00sd0f→1os00sd0f	0.182	0.90	5.5
4	1os00sl00→3ol00sc00	0.182	0.90	2.2
5	3ol00sc00、los00sloo→1pt00scsf	0.116	0.68	1.3
6	1pt00scsf→3ol00sc00、los00sloo	0.116	0.68	1.3

最终得到此案例的所有工序组合内容如表 5,包含了 8 组实例对象工艺工序相关组合内容应用于后续排布。通过调整最小支持度得到的稍强关联规则是基于实际情况的拓展搜索,挖掘出现频率仅次于强关联规则的内容,能较为有效地减少排布工作以提高效率。

表 5 关联工序内容

组别	关联工序
门里襟	15,16
前刀片	18,19
后复式	22,23
肩部拼缝	28,29
侧缝拼缝	34,37
平上袖	32,33
拉筒袖口	38,47
唛头	39,40,41

3.3 实例应用结果及分析

以上文的组合工序为基础,将组合应用于流水线优化排布。过程中控制各工序节拍浮动范围,作业工序严格遵循生产的前后关系和工位实际工作要求。同时根据相关参考文献[4]和文献[5]提出的流

水线优化排布方法,本文也将嘉欣丝绸的生产实例对象进行了重新排布,得到了参考 1、2 工序安排。表 6 为优化前后工位工序内容表,内包含了本文实验优化后排布、参考排布和实际生产排布下每个工位的工作工序内容和是否存在倒流工序内容。图 6 为三组工位工作时间及均衡比对照图,将表 6 各个工位的工作总时间和均衡比进行计算,后将本文实验优化后的工时和均衡比数据分别与参考排布和工厂实际排布情况进行比对,得到图 6(a)—(b),图 6(c)—(d),图 6(e)—(f)三组关于工位工时和工位均衡比的对比图。

将优化后的流水排布与实际排布内容进行比较,由表 6 实际工位工序安排内容可得,工厂实际排布中工序 3、4、5、6、10、14、15、16、34、37 均为倒流,路径损失共 13 步,路径损失率为 29%。表 6 中优化和参考 1、2 的工位工序安排内容在排布过程中严格限制了流向,路径损失均为 0。由于在实验过程中同时考虑了其他可能性的组合内容,使排布结果有更多的组合内容供以备选,给路径优化和效率提升提供了更大空间,在排布效率上使用了 8 组工序组合,使排布目标对象减少了 9 个,排布效率提高了

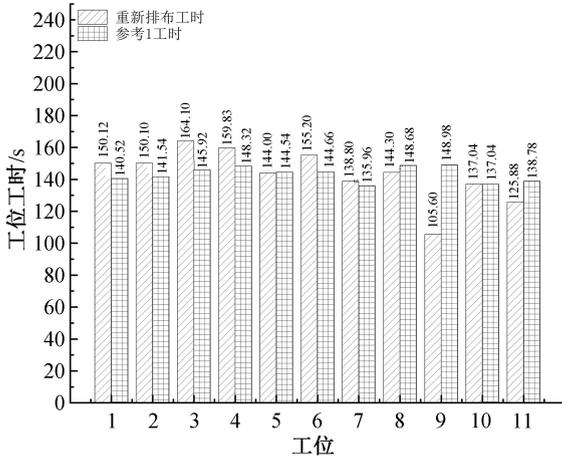
20%。由表6中的工位工序分配内容可得由实验得到的表5的组合工序内容在参考1、2的排布中并未全部实现,将经验性工序组合分开排布会造成工序分配至熟练度较低工位上,从而造成时间的隐性浪

费。由于优化排布过程结合工序组合在工位机器数量,工序分配上都做了符合实际生产的约束,故上述关于参考排布1、2的工序、机器的分配问题均未出现。

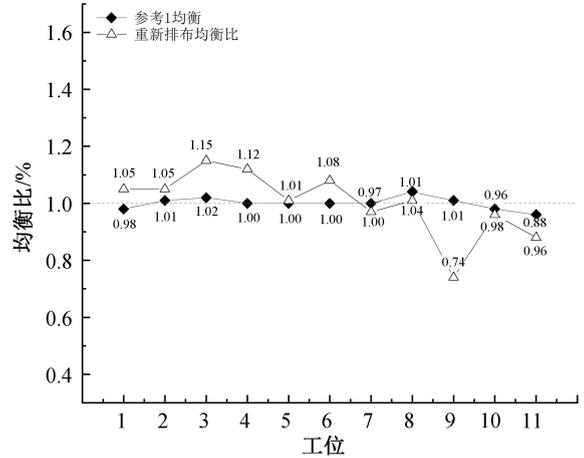
表6 优化前后工位工序内容

工位	优化后工位安排		参考1工位安排		参考2工位安排		实际工位安排	
	工序内容	倒流 工序 内容	工序内容	倒流 工序 内容	工序内容	倒流 工序 内容	工序内容	倒流 工序 内容
1	18,19,21,25	—	1,14,15,21,22,23,25	—	3,4,5,6,14,15,16,21,22	—	18,19,21,25	—
2	1,14,15,16,17,49	—	16,17,39,40,41	—	7,8,23,24,25,49	—	1,17,22,23	—
3	7,8,10,11,12,13,24	—	18,19,20	—	17,39,40,41,44	—	7,8,11,12,15,16,24,49	15,16
4	3,4,5,6,20,22,23	—	24,26,28,49	—	18,19,26	—	20,25,29,30,39,40,41	—
5	26,28,29,48	—	3,4,5,27,29,30,48	—	20,28,29,45,46	—	6,13,31	6
6	27,32,33	—	6,32,33	—	10,27,23,48	—	26,32,48	—
7	30,31	—	7,8,10,34	—	11,33,34	—	34,37,44,45,46	34,37
8	34,37	—	35,37,50	—	12,30,35	—	3,4,5,10,14	3,4,5,10,14
9	35,39,40,41,44,45	—	11,36	—	13,31,50	—	35,36,50	—
10	36	—	12,13,38,47	—	37,38,47	—	38,47	—
11	38,47,46,50	—	31,44,45,46	—	36	—	27,33	—

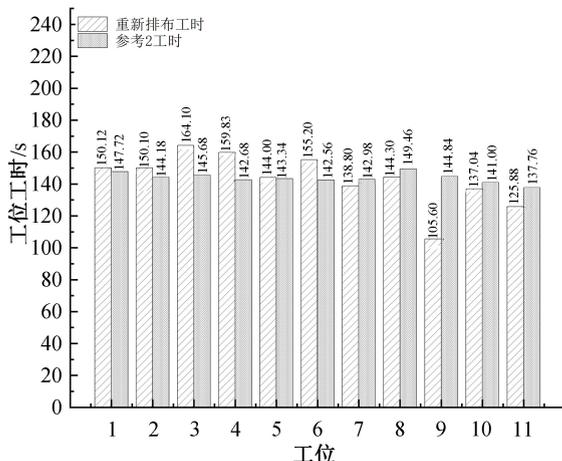
注:表中划横线工序为组合工序内容。



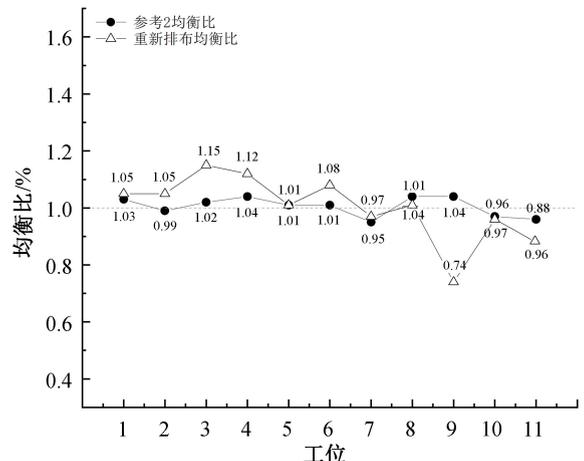
(a) 重新排布和参考1排布工位工时条形图



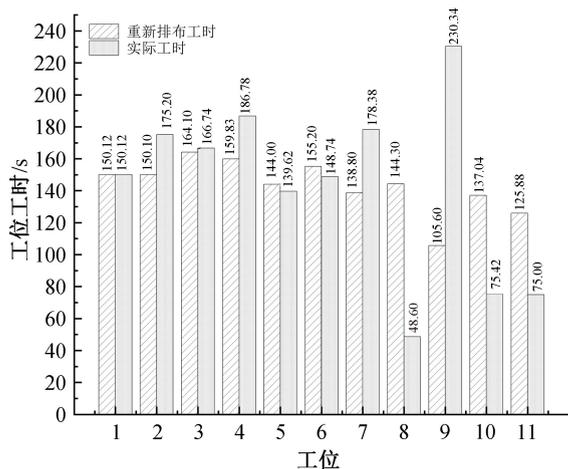
(b) 重新排布和参考1排布工位均衡比点线图



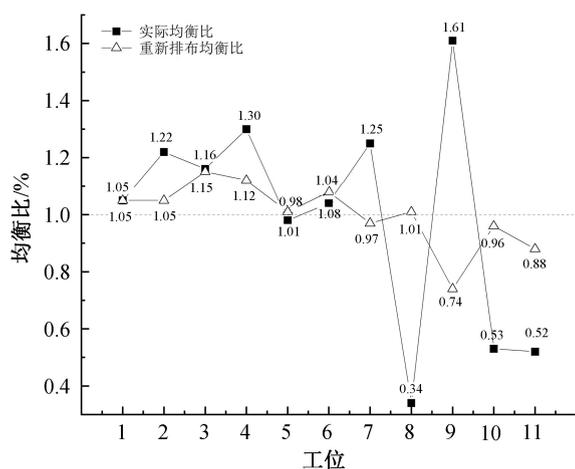
(c) 重新排布和参考2排布工位工时条形图



(d) 重新排布和参考2排布工位均衡比点线图



(e) 重新排布和实际排布工位工时条形图



(f) 重新排布和实际排布工位均衡比点线图

图 6 工位作业时间及均衡比对照图

由图 6(e)—(f) 可知优化后的流水线平衡和工位均衡比相较于实际生产得到了明显提升,将每个工位的优化后均衡比与实际生产均衡比以 1 为参照目标进行差值平均,优化后的工位平均均衡比相较于实际提升了 20%。由图 6(a)—(b)、图 6(c)—(d) 可得,与参考排布工序 1、2 相比优化后整体的平衡度稍显不足,但结合组合工序内容后在流水线工序的整体分配上更切合实际生产情况。由表 6 的工位工序安排内容可得参考 1、2 流水线所需生产机器分别为 22 和 23 台,优化后线内机器为 17 台,在对基础资源的要求较为严苛的实际情况下机器数的优化能较好减少成本支出。且表 6 中例如参考 1 工位工序安排中工位 1 所需的烫台、单针机、刀车、五线包缝机和参考 2 工位工序安排中工位 1 所用的烫台、单针机、五线包缝机在实际情况下不会让同一个工人操作,体现其工位机器的布置去实际化的现象;优化后线内工位所需机器均为 1 到 2 台,避免了一个工位作业机器过多。

综上所述,由结果对比实际和参考排布内容的提升性和有效性可得,采用基于 Apriori 算法挖掘生产工序关联规则以辅助实际生产流水线排布的方法有实际意义。

4 结 论

本文提出了改进 Apriori 算法挖掘服装生产工序关联规则的方法,结合实际生产作业情况将工序组合应用于流水线优化排布,解决现有文献的排布方法部分工厂不适用的问题,对生产工厂的流水排布工作提供决策支持和更切合实际、可行的建议,更好地适应当下行业发展。本文所得主要结论如下:

a) 生产工序编码方法的提出有效改善了因相似名称而产生混淆的情况,提高了工序内容的可搜索性和查找性。

b) 对工序项集进行筛选以优化关联规则,有效提升关联规则搜索的指向性。将工序组合应用于流水线排布,有效提高排布效率,路径损失和工位作业均衡比的指标,降低了排布成本。

c) 实验将工作经验性内容通过关联规则搜索转化为实际参考依据,使流水线排布更迎合工厂运行和工人操作习惯,解决服装生产排布内容和实际对应生产环境架空的流水排布问题,将生产经验和生产环境纳入约束条件,使生产排布有现实和科学依据。

参考文献:

- [1] Chutima P. A comprehensive review of robotic assembly line balancing problem [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2022, 33(1): 1-34.
- [2] 杨燕. 服装生产精益化管理的优化方案分析[J]. 化纤与纺织技术, 2022, 51(9): 85-87.
- [3] 冯晨月, 毕研伟, 潘力. 服装生产线平衡优化方法研究与展望[J]. 化纤与纺织技术, 2023, 52(1): 58-60.
- [4] 许栋樑. 基于精益生产理论的服装流水线优化研究[J]. 北京服装学院学报: 自然科学版, 2017, 37(4): 68-75.
- [5] 梁会芹, 费树岷. 自适应遗传算法在服装生产流水线平衡问题中的应用[J]. 工业控制计算机, 2009, 22(11): 57-59.
- [6] 黄珍珍, 莫碧贤, 温李红. 基于遗传算法及仿真技术的服装生产流水线平衡[J]. 纺织学报, 2020, 41(7): 154-159.
- [7] 闫亦农, 刘立枝, 雒彬钰, 等. 基于粒子群算法的服装生

- 产流水线编制[J]. 纺织学报, 2018, 39(10): 120-124.
- [8] 朱江龙, 肖爱民, 王成佐, 等. 基于 NSGA-II 多目标算法的服装生产流水线平衡[J]. 毛纺科技, 2022, 50(12): 63-69.
- [9] Yemane A, Gebremicheal G, Meraha T, et al. Productivity improvement through line balancing by using simulation modeling[J]. Journal of Optimization in Industrial Engineering, 2020, 13(1): 153-165.
- [10] Sime H, Jana P, Panghal D. Feasibility of using simulation technique for line balancing in apparel industry[J]. Procedia Manufacturing, 2019, 30: 300-307.
- [11] 陈莎, 修毅, 李雪飞. 基于遗传算法的服装大规模定制生产线平衡优化[J]. 纺织学报, 2022, 43(12): 144-150, 159.
- [12] 郑路, 颜伟雄, 胡觉亮, 等. 基于模块化的服装混合流水线平衡优化[J]. 纺织学报, 2022, 43(4): 140-146.
- [13] 李雪霞, 张志斌, 褚建立. 基于智能化缝制单元的服装柔性生产线的构建[J]. 毛纺科技, 2020, 48(10): 77-80.
- [14] Bongomin O, Mwasiagi J I, Nganyi E O, et al. Improvement of garment assembly line efficiency using line balancing technique [J]. Engineering Reports, 2020, 2(4): e12157.
- [15] 孙影慧, 杜劲松. 服装单件生产流水线仿真优化[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2019, 45(2): 236-242.
- [16] 葛敬玮, 王文静, 祖倚丹. 小型服装企业快速反应生产流水线应用研究[J]. 天津纺织科技, 2022(1): 28-31.
- [17] Heaton J. Comparing dataset characteristics that favor the Apriori, Eclat or FP-Growth frequent itemset mining algorithms[C]//SoutheastCon 2016. Norfolk: IEEE, 2016: 1-7.
- [18] 李瑞, 李浩然. 关联规则的 Apriori 算法改进[J]. 信息与计算机(理论版), 2015(9): 32-33.
- [19] Belhassena A, Wang H Z. Trajectory big data processing based on frequent activity [J]. Tsinghua Science and Technology, 2019, 24(3): 317-332.
- [20] 叶福兰. 基于改进的 FP-growth 算法的高校课程关联度实证研究[J]. 科技和产业, 2020, 20(4): 186-190.
- [21] 王振武. 数据挖掘算法原理与实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017, 35-37.
- [22] Cong Y. Research on data association rules mining method based on improved apriori algorithm[C]//2020 International Conference on Big Data & Artificial Intelligence & Software Engineering (ICBASE). Bangkok: IEEE, 2020: 373-376.
- [23] 黄莉婷, 苏川集. 白话机器学习算法[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019: 36-40.
- [24] Abteew M A, Kumari A, Babu A, et al. Statistical analysis of standard allowed minute on sewing efficiency in apparel industry [J]. Autex Research Journal, 2020, 20(4): 359-365.

(责任编辑:张会巍)