文章编号:1674-2974(2024)04-0153-08 DOI:10.16339/j.cnki.hdxbzkb.2024181

考虑拆解故障的退役产品人机混流线插单调度

任莹晖†,万家伟,匡增彧,谢晖
(湖南大学 机械与运载工程学院,湖南 长沙 410082)

摘 要:多源异构退役3C产品服役阶段产生的结构变形可能引发自动拆解设备故障,性能漂移失效会扰动拆解工艺规划和生产调度.以退役3C产品人机混流拆解线为研究对象,研究退役产品拆解故障导致的插单调度问题.构建量化不确定性拆解序列和拆解深度的AND/OR节点网络模型.以最大化工位利用率为优化目标,拆解故障产品缓存搬运阈值为变量,建立人机混流线插单调度模型.采用二维实数编码方式编码,选用遗传算法求解.选取58种品系退役智能手机的人机混流聚类拆解产线数据实例验证.结果表明,构建的人机混流线插单调度模型能有效制定工位利用率最大的阈值插单调度方案.实例聚类的3类混流拆解线优化后的最大工位利用率分别为80.3%、73.2%、81.3%.

关键词:回收利用;退役产品;拆解故障;插单调度;AND/OR节点模型
中图分类号:TP18;TB497 **文献标志码**:A

Decommissioned Products Manual-automatic Hybrid Line Insertion Order Scheduling Considering Disassembly Faults

REN Yinghui†, WAN Jiawei, KUANG Zengyu, XIE Hui
(College of Mechanical and Vehicle Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The structural deformation generated by multi-source heterogeneous decommissioned 3C products in the service stage may cause the failure of automatic disassembly equipment. The performance drift failure will also disturb the disassembly process planning and production scheduling. Taking the decommissioned 3C product mixed-flow disassembly line as the research object, this study investigates the insertion order scheduling problem caused by decommissioned product disassembly failure in decommissioned products. An AND/OR node network model is constructed to quantify uncertain disassembly sequence and depth. With the optimization goal of maximizing workstation utilization and the variable of disassembly fault product buffering and transfer threshold, a mixed manual-automatic line reordering schedule model is established. Then, it is encoded by two-dimensional real-number coding and solved by a genetic algorithm. Finally, data instances of 58 varieties of decommissioned smartphones with mixed manual-automatic disassembly lines are selected for verification. The results show that the established manual-automatic hybrid line scheduling model can effectively develop the threshold scheduling scheme of maximum workstation utilization. The optimized maximum utilization rates of the three types of mixed-flow

* **收稿日期**:2023-10-06
基金项目:国家重点研发计划资助项目(2020YFB1713002), National Key Research and Development Program of China (2020YFB1713002)
作者简介:任莹晖(1979—),女,湖南永州人,湖南大学副教授,工学博士
† 通信联系人,E-mail: rebecca_ryh@163.com

disassembly lines in the example clustering are 80.3%, 73.2%, and 81.3%, respectively.

Key words: recycling; decommissioned product; disassembly fault; insertion order scheduling; AND/OR node model

退役3C产品的回收、拆解、再利用是推动可持续制造和实现碳循环、碳达峰的有效途径之一[1]. 现阶段,拆解再利用企业多采用人工拆解线和自动拆解线独立运作的方式完成多源异构退役3C产品的拆解生产[2-4]. 但是退役3C产品个体在服役阶段产生的结构变形或功能漂移失效现象不一,如连接紧固强度变化或结构功能件缺失等问题,不但影响拆解规划(拆解深度和拆解工艺)的稳定性,更会导致自动拆解设备出现无法完成任务而停机退出的拆解故障. 当前,将未完成个体从拆解故障工位退出,再插单至人工拆解线完成后续任务,是人机混流拆解线处理自动设备拆解故障最常见方式[5-7]. 虽然人工拆解线柔性强,能随时处理各类退出任务,但作业效率低、成本高. 且人工插单干预扰动了原混流线调度方案,影响车间工位利用效率和完工成本[8]. 因此,如何选择合适的人机混流线订单插入管理策略,提升退役3C产品人机混流拆解线工位利用率,成为解决人机混流线拆解故障产品插单调度的重要问题.

目前,国内外学者针对人机混流产线的调度研究主要面向正向生产调度. 例如,李燚等[9]考虑混流装配车间中人机协同操作导致的工位过载问题,设计一种汽车混流装配调度模型,提高装配生产效率. 郭具涛等[10]针对最小化装配单元混流装配线,提出了一种调控优化自适应复合参数的智能调度方法. 余泽康[11]提出一种针对阀门混流装配的人机交互调度方法,提高了生产效率和质量. 孔繁森等[12]为获得人机混流任务分配问题的最优资源利用方案,建立一种任务分配调度模型,兼顾了操作过程和决策过程的任务复杂度. Takata等[13]考虑了产品种类及其生产量的波动情况,提出以预期总生产成本最小化为目标的人机混流装配调度方法. 刘俨后等[14]针对混流装配线随机作业时间问题,提出了一种装配线混流调度优化模型. 离散制造型人机混流正向调度过程大多假设产品装配序列为标准、稳定的正向工艺序列. 而退役产品多源、异构的产品特点决定了产品拆解过程的拆解序列和拆解深度不确定,产品的拆解序列不具备标准化处理的假设条件. 同时,退役产品自动拆解设备柔性不足,容易产生拆解故障. 发生拆解故障的退役产品转由人工进行拆解,造成订单插入扰动. 所以,如何确定退役产品人机混流拆解过程的拆解序列及拆解深度,解决拆解故障导致的订单插入扰动,是退役产品人机混流拆解插单调度的重点.

对于订单插入扰动问题,正向生产订单插入研究多集中在某一固定生产单元. 裴海燕等[15]构建了一种联合重调度模型,提高了生产、维护及调度的稳定性. 张祥等[16]提出一种多目标动态调度模型,采用动态交互层对紧急订单进行快速处理. Zhang等[17]设计一种蚁群算法和启发式多智能体算法混合的新算法,兼顾了计算效率和调度方案的最优性. 刘俨后等[18]建立一个指派问题模型,通过非停线动态调度实现紧急订单的最大限度优先交付. 王一荻等[19]针对钢铁生产的热轧工序,提出一种热轧重调度方法,消除了订单扰动对生产连续性和质量稳定性产生的不良影响. 房倩云[20]面向订单装配型企业,建立紧急订单接受决策模型,实现企业利润最大化. 常用的订单插入原则包括:退单插单原则[21]、重排插单原则[22]、顺延插单原则[23]. 但正向生产订单插入研究难以解决逆向拆解的拆解深度和拆解序列的不确定性问题. 相较于正向生产,退役3C产品逆向拆解的拆解深度和拆解序列均不确定,各生产单元均可能存在订单插入. AND/OR网络可以将所有可行的拆卸序列在单个图中完整地表达出来,并且有向边的属性能够描述拆解深度不确定性[24]. 而人机混流拆解故障产生的插入订单相对于人工拆解线原订单的优先级更高,适合采用顺延插单的插单原则.

本文考虑退役3C产品在服役阶段产生的漂移失效导致人机混流拆解车间作业调度过程中订单插入扰动的问题,研究退役3C产品人机混流线订单插入策略. 以顺延插单原则为基础,构建AND/OR节点网络模型,量化不确定的拆解工艺流程和拆解深度. 建立人机混流拆解线柔性作业车间调度模型,并求解最优调度方案. 最后选用实例验证模型和算法的可行性.

1　问题描述与建模

1.1　问题描述

考虑拆解故障的退役3C产品人机混流拆解线插单调度问题调度过程描述如下:将某批次待拆解退役3C产品通过聚类分为k类结构高度相似产品J,记为$\{J_{11},J_{12},\cdots,J_{1n},\cdots,J_{k1},J_{k2},\cdots,J_{ks}\}$,$J_{ks}$表示第$k$类第$s$台退役3C产品.每类退役3C产品同时进入人工拆解线和自动拆解设备的工作站M,记为$\{M_{11},M_{12},\cdots,M_{1n},\cdots,M_{k1},\cdots,M_{kv}\}$,$M_{kv}$表示第$k$类退役3C产品拆解线第$v$个工作站.每类退役3C产品拆解线的拆解序列是固定的n道工序O,记为$\{O_{i1},O_{i2},\cdots,O_{ij},\cdots,O_{kn}\}$,$O_{kn}$表示第$k$类退役3C产品拆解线第$n$道工序,且拆解过程必须遵守工序紧前紧后关系.其中,第i类退役3C产品拆解线第j道工序的拆解时间记为T_{ij}.由于退役3C产品的结构或性能一致性不同等扰动因素,自动拆解工作站出现拆解故障,导致待拆解产品退出自动拆解设备,进入半成品拆解存储区的概率为P_{ij},记为$\{P_{11},P_{12},\cdots,P_{ij},\cdots,P_{kn}\}$,$P_{kn}$表示第$k$类退役3C产品拆解线第$n$道工序出现拆解故障的概率.半成品拆解存储区的待拆解品需根据订单插入原则定期转入人工拆解线完成后续拆解,会对原有人工拆解订单序列造成扰动.

本文考虑退役3C产品人机混流拆解逆向生产的拆解故障插单调度问题,以降低拆解故障给车间后续生产带来的影响,最大化工位利用率为目标,寻求最优的拆解故障产品缓存搬运阈值.模型假设如下:

1)同一类退役3C产品的结构一致性强,拆解工序完全一致.

2)每个工作站某一时刻只能拆解一道工序,拆解过程不可中断.

3)不同退役3C产品从自动拆解线退出时间波动较小,可视为常值.

4)忽略工件在各工作站运输的时间,工件可以在各个工作站之间运输.

5)工件加工时间包括机器加工时间和其他相关工作准备时间.

6)不考虑能源消耗、成本约束等其他条件.

1.2　人机混流线插单调度模型

1.2.1　AND/OR节点网络

退役3C产品工艺路径规划决定了车间作业过程中拆解序列和拆解深度的决策,描述产品工艺路径的选择是产品工艺规划的前提.本文构建如图1所示的人机混流线AND/OR节点网络模型,综合规划插单调度方案.

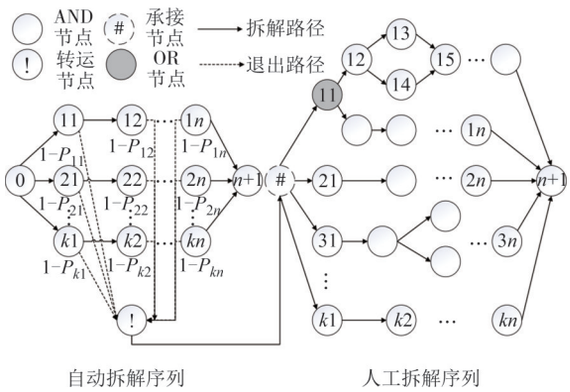


图1　AND/OR节点网络示意图

Fig.1　AND/OR node network diagram

定义1 节点:图1中标有字符n的圆代表节点,记为$\{11,12,\cdots,1n,\cdots,k1,\cdots,kn\}$,不同节点代表不同的工序.其中,0节点表示起始节点,n+1节点表示终结节点,均为虚拟节点,!节点表示转运节点,#节点表示承接节点.批次中每款退役3C产品拆解序列都从起始节点出发,到终结节点结束.0节点紧后工序的数量体现了聚类分析后的不同品类退役3C产品结构的差异性.#节点后多条退役3C产品拆解序列表示来料产品拆解完工程度不确定性导致人工拆解序列产生差异.

定义2 AND节点:图1中无阴影的节点为AND节点.若选择AND节点所代表的工序,则该节点所有紧后节点所代表的工序都必须被选择.特别规定起始节点和终结节点为AND节点.

定义3 OR节点:图1中带灰色阴影的节点为OR节点.若选择OR节点所代表的工序,则该节点的所有紧后节点所代表的工序中仅能选择一个.

定义4 转运节点:图1中!节点为转运节点.当转运节点的紧前工序节点输送退役产品数量达到转运节点的搬运阈值时,方可开始转运.转运节点是一种特殊的OR节点.

定义5 承接节点:图1中虚线圆的节点为承接节点.承接节点的紧前工序必须为转运节点.承接节点是一种特殊的AND节点.

1.2.2　基于AND/OR节点网络的拆解调度模型

1)索引与参数.i为产品种类索引,$i\in\{1,2,3,\cdots,k\}$,k为聚类分析后退役3C产品品类数;j,q分别为人工拆解和自动拆解的工序索引,

$j, q \in \{1, 2, 3, \cdots, n\}$,$n$为单条退役3C产品拆解线工序总数;$g$为退役3C产品编号索引,$g \in \{1, 2, \cdots, f\}$,$f$为某类退役3C产品进入对应产线的总数;$i_g$表示第$i$类第$g$个退役3C产品;$P_e$为节点性质参数,0-1变量,若$e$节点是AND节点,则$P_e$值为1,否则为0;$t$为时间索引,$t \in T = \{1, 2, 3, \cdots\}$,$T$为加工时间;$T_{igj}$表示第$i$类第$g$个退役3C产品第$j$道工序加工时间;$T_{igq}$表示第$i$类第$g$个退役3C产品第$q$道工序加工时间;$C$为完工时长;$C_{\max}$为最大完工时长;$Q_{\max}$为缓存区最大数量.

2)决策变量.X_{igj}为工序选择0-1变量,若第i类第g个退役3C产品被分配到第i类自动拆解设备第j道工序,则X_{igj}为1,否则为0;Y_{igq}为工序选择0-1变量,若第i类第g个退役3C产品被分配到第i类退役3C产品人工拆解线第q道工序,则Y_{igq}为1,否则为0;P_{ij}为故障概率变量,表示退役3C产品在第i类退役3C产品产线第j道自动拆解工序出现故障,输入转运节点的概率;Q为转运节点存储变量.

3)目标函数.以退役产品人工拆解线最大工位利用率为调度优化目标.

$$f = \max \frac{\sum_{i=1}^{k}\sum_{g=1}^{f}\sum_{j=1}^{n}(X_{igj} \times T_{igj})}{C_{\max}} \tag{1}$$

4)约束条件.

$$ST_{igj} \geqslant PT_{i(g-1)j}, \forall i, g, j \tag{2}$$

$$T_{igj} \leqslant CT, \forall i, g, j \tag{3}$$

$$\begin{cases} X_{ig(j+1)} \geqslant P_e \cdot X_{igj}, \forall i, g, j \\ Y_{ig(q+1)} \geqslant P_e \cdot Y_{igq}, \forall i, g, q \end{cases} \tag{4}$$

$$C'_{\max} = \sum_{i=1}^{k}\sum_{g=1}^{f}\sum_{j=1}^{n}(X_{igj} \times T_{igj}) + \sum_{i=1}^{k}\sum_{g=1}^{f}\sum_{q=1}^{n}(Y_{igq} \times T_{igq}) \tag{5}$$

$$Q = \sum_{i=1}^{k}\sum_{g=1}^{f}(1 - X_{igj}) \leqslant Q_{\max}, j = n \tag{6}$$

$$X_{igj}, Y_{igq}, P_e \in \{0, 1\}, \forall i, g, j, q, e \tag{7}$$

$$T_{igj} \geqslant 0, \forall i, j, q \tag{8}$$

其中:式(2)为退役3C产品拆解先后顺序约束,表示在第j道工序,第i类第g个退役手机需等待第i类第$g-1$个退役手机加工完成后才能开始加工;式(3)保证了每一道工序的拆解时间均小于拆解线生产节拍;式(4)为AND和OR节点性质约束,确定退役手机的拆解深度;式(5)表示人机混流后的总加工时长;式(6)为保证存储区退役手机数量不能超出阈值的约束;式(7)和式(8)表示决策变量的取值范围约束.

2 算法设计

本文提出的拆解故障产品缓存阈值插单调度模型,即在存储区容量最大值和最小值之间分配一个能使人工拆解工位利用率最高的搬运阈值.而拆解故障导致的退出会对人工拆解线的拆解序列造成极大的扰动,且随着待拆解品存储区最大容量的增加,本文调度模型的求解难度和复杂度将会呈几何式增长.遗传算法(Genetic Algorithm,GA)的原理、操作比较简单,鲁棒性强,能较好地处理限制条件的约束,并且具备较强的全局寻优能力,可以快速地在大范围的搜索空间中寻找最优解空间,能够很好地解决该类范围分配优化问题[25].因此,基于遗传算法求解,本文提出基于AND/OR节点网络的人机混流拆解插单调度模型,算法流程如图2所示.首先,完成聚类分析,将退役产品按结构和拆解难度划分为不同的品类;其次,将故障概率等参数输入模型;最后,采用遗传算法对插单调度模型进行求解.

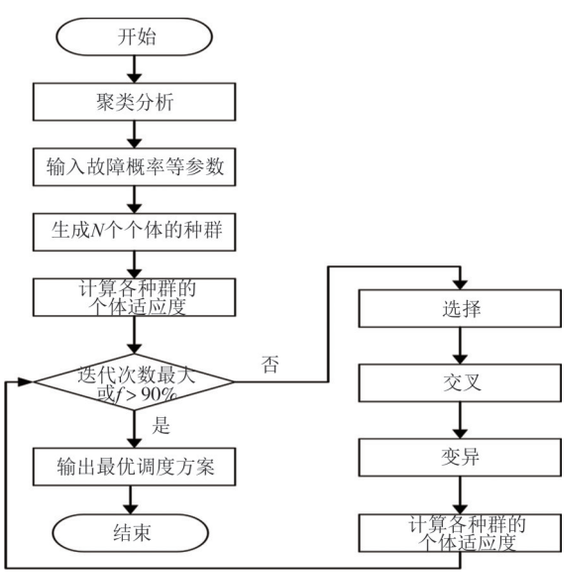


图2 算法流程

Fig.2 Algorithm flow chart

遗传算法实现步骤为:

步骤1 染色体编码.退役3C产品人机混流拆解插单调度时通过故障概率及节点参数描述不确定的拆解深度和拆解序列,仅需对无法拆解存储区的搬运阈值进行优化,因此构建如图3所示的染色体编码.行数和列数分别代表由于自动拆解设备拆解故

障,退出产品的仓储区和对应仓储区的搬运阈值.每一行的首尾分别为初始节点和终止节点.其中,初始节点对应仓储区容量的最小值,终止节点对应仓储区容量的最大值.

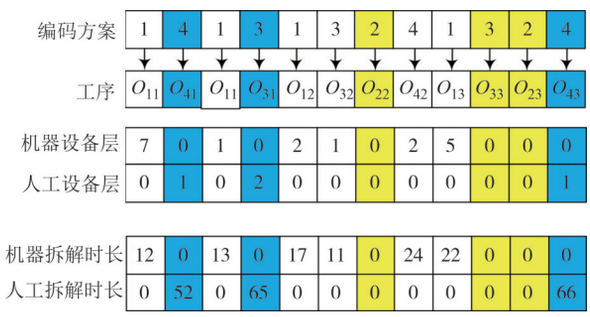


图 3　染色体编码

Fig.3　Chromosome coding

步骤 2 初始化种群.初始化种群是指输入各工位拆解故障概率P_{ij}、拆解时间T_{ij}、生产节拍CT、工序紧前紧后关系等参数,完成初始染色体编码后产生的一系列可行解.这些可行解的初始编码构成初始种群.二维实数编码的种群初始化相对来说较为简单,种群的个体即为问题的解,无须通过函数进行转换.

步骤 3 适应度函数.本文提出的调度问题选择工位利用率作为评价指标,要求人工拆解线拆解时间占总工作时间的比率最大.并且在满足产能需求的情况下,减少拆解故障对后续生产的扰动.选择目标函数f作为适应度函数,公式如式(1)所示.

步骤 4 种群迭代.本过程选取上一代种群中适应度较高的两个解,将其特征进行交叉,形成新的解,对新的解进行随机突变,以增加它的多样性.完成交叉变异过程后,用新的解替代适应度较低的解,实现种群的迭代过程.

步骤 5 收敛.当群体趋于稳定,人工拆解线工位利用率达到90%或种群迭代次数达到最大代数时停止运算.最大代数一般取100~1 000.

3　实例验证

本文选取某公司的退役手机人机混流拆解线为例,考虑由拆解故障导致的订单插入的扰动因素,验证本文构建的人机混流拆解插单调度模型有效性.

3.1　拆解线与待拆解产品信息

某公司的人机混流拆解线配置了10台自动拆解设备和10工位人工拆解作业.退役手机现行人工拆解工艺流程分为4步:后盖拆解,通过加热吸附的方式打开后盖;螺钉拆解,由于该工序拆解时间较长,设置2个工位同时进行拆解,以提高拆解线平衡率;电池拆解,溶解易拉胶拆卸电池;最后完成屏幕拆解.人工拆解流程如图4所示.自动拆解设备为转盘式流水拆解机构,如图5所示.旋转平台设8个拆解工位,分为上下料、后盖加热、后盖吸附、视觉检测定位、螺钉拆解、电池拆解以及屏幕拆解.每个工位的拆卸总时间控制在36 s以内,每小时的拆解数量90台左右.其中,为了匹配自动拆解设备36 s的设计拆解节拍,将螺钉拆解分2个工位完成.由于退役手

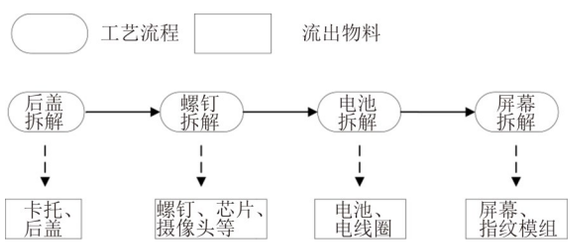
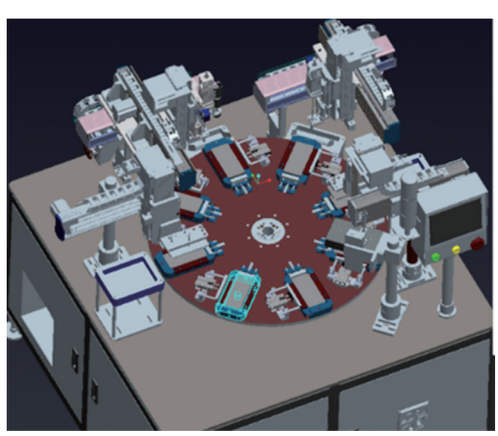
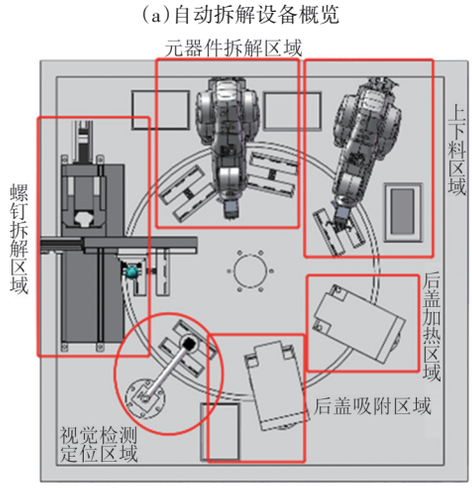


图 4　人工拆解流程

Fig.4　Manual disassembly flow chart



(a)自动拆解设备概览



(b)各拆解模块分布

图 5　自动拆解装备

Fig.5　Automatically disassemble equipment

机服役差异,自动拆解过程中易发生如黏胶介质未失效、螺丝滑丝等意外拆解故障事件,导致无法完成某工位拆解任务而停机.每一个工位发生拆解故障的概率不确定,发生拆解故障工位的待拆解品由人工干预退出,形成紧急订单插入人工拆解线完成后续拆解.根据该公司生产历史数据,本文假设各工位拆解故障概率为30%.

选取2020年来主流市场不同品牌的58款智能手机为实验对象.将58款退役手机聚类为3类.每类退役手机的品类、内部结构以及拆解难度相似,各工位的拆解时长比较稳定.对各工位拆解时长数据进行正态拟合,各拆解工序数据拟合情况如表1所示,其中μ为均值,σ^2为方差.经检验,极大似然比P=0.105,说明该组数据符合正态分布,具有平稳的特性,能够作为后续仿真研究的基础.

表1 退役手机人工拆解工序数据拟合情况

Tab.1 Process data fitting of the decommissioned mobile phone manual disassembly process

工作站	后盖拆解		螺钉拆解1		螺钉拆解2		电池拆解		屏幕拆解	
	μ/s	σ^2	μ/s	σ^2	μ/s	σ^2	μ/s	σ^2	μ/s	σ^2
第1类拆解线	85.00	7.37	104.50	3.41	104.50	3.41	24.00	3.65	80.00	8.13
第2类拆解线	32.00	4.93	73.50	2.60	73.50	2.60	12.00	4.33	37.00	6.72
第3类拆解线	68.00	4.26	87.50	2.37	87.50	2.37	43.00	6.50	55.00	5.90

3.2 调度方案及优化结果

由于退出的未完全拆解品与原订单序列在优先级上差异不大,因此不考虑使用退单插单原则.重新生成订单序列会导致各工位拆解故障概率发生变化,对后续拆解过程造成较大的扰动,因此不考虑使用重排插单的原则.为了实现该公司利润最大化,后续研究过程采用顺延插单的原则.

为证明调度模型的有效性,本文设置以下3种方案进行对比.

方案1 实时插单,即一旦产生拆解故障,人工拆解线未完成拆解的订单延后,先拆解由自动拆解设备退出的待拆解品.

方案2 满载插单,即将自动拆解设备退出的待拆解品存放至半成品存储区,当数量达到半成品存储区最大容量后,人工拆解线未完成订单延期,完成插入拆解故障订单后,继续拆解原人工拆解线订单序列产品.

方案3 阈值插单,即当半成品存储区存放故障产品数量达到设定的阈值后,人工拆解线未完成订单延期,完成插入拆解故障订单后,继续拆解原人工拆解线订单序列产品.

本文采用Plant Simulation仿真软件对该公司的拆解线调度过程进行建模,分别对满载搬运、实时搬运2种调度方式进行仿真优化分析.结果如表2所示.3类退役手机拆解线阻塞率为0,均有较大的产能盈余,且工位利用率差异大,生产线平衡率低,具有较大的改进空间.存储区容量设置为最大值和最小值时,调度方案均不是最优.因此针对故障产品的存储区阈值进行优化,即在存储区容量最大值和最小值之间分配一个能使人工拆解工位利用率最高的最佳值.

表2 仿真结果对比

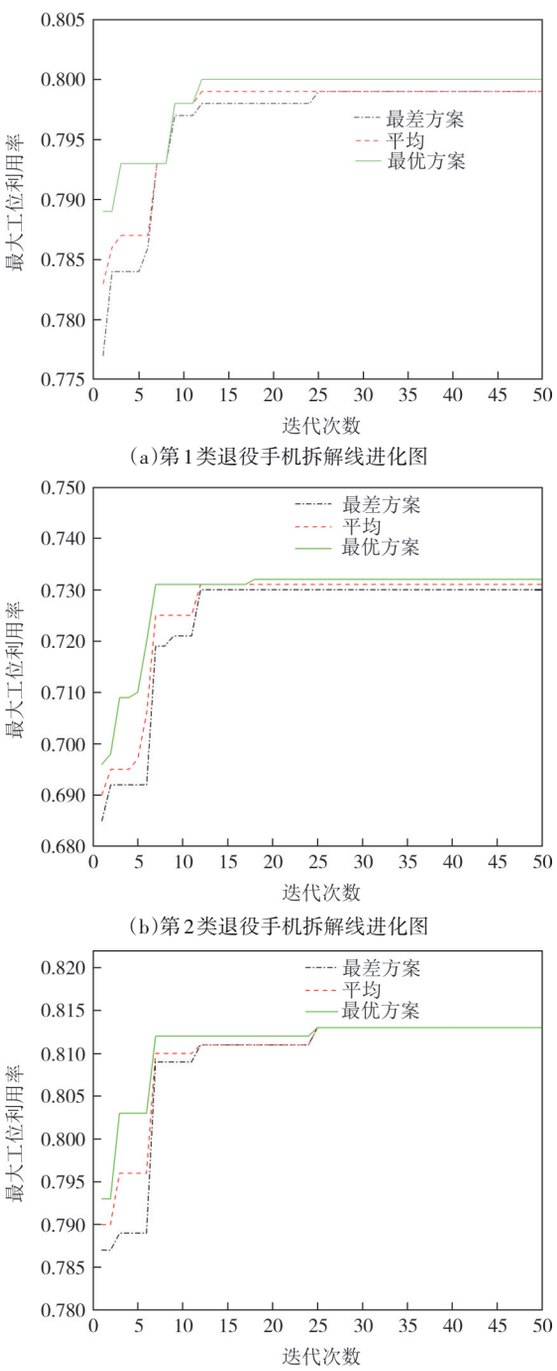
Tab.2 Comparison of simulation results

工作站	搬运策略	工位利用率/%				
		后盖拆解	螺钉拆解1	螺钉拆解2	电池拆解	屏幕拆解
第1类拆解线	满载搬运	77.08	99.70	99.33	25.18	84.31
	实时搬运	85.65	99.70	99.33	25.53	89.61
第2类拆解线	满载搬运	62.06	61.19	68.87	11.19	35.50
	实时搬运	66.83	68.30	75.98	13.22	41.72
第3类拆解线	满载搬运	57.35	82.65	91.75	45.15	57.63
	实时搬运	63.01	96.59	99.42	51.53	67.21

根据该公司实际拆解退役手机数据绘制AND/OR节点图,并采用遗传算法进行求解.设置遗传算法参数,交叉率为0.8,变异率为0.1,种群数为20,遗传算法最大迭代次数为50,存储区最大存储容量为30,自动拆解设备拆解故障概率根据产线历史数据设定为30%.

GA迭代曲线如图6所示.由图6可知,不同类型的退役手机拆解线最优调度方案不同.在满载搬运的插单原则下,3类退役手机拆解线调度方案最差.此时,最大工位利用率分别为77.1%、65.9%、75.9%;而GA算法迭代后寻得最优调度方案,3类退役手机拆解线最大工位利用率分别为80.3%、73.2%、81.3%.

GA算法采用实数编码时,种群的个体即为问题的解,优化后调度方案如表3所示.3类拆解线电池无法拆解仓储区最佳搬运阈值分别为28、21、18台退役手机,其他仓储区的搬运阈值都较低.由表2可知,螺钉拆解工位拆解时间较长,电池拆解工位容易产生较长空闲时间.在减少对人工拆解扰动的前提下,电池拆解工位能够接收更多从自动拆解设备退出的退役手机.因此,优化后调度方案中电池无法拆解仓储区的搬运阈值远高于其他仓储区.结果表明,基于AND/OR节点网络的插单调度模型能针对不同退役产品求解工位利用率最大的阈值插单调度方案.



(a)第1类退役手机拆解线进化图

(b)第2类退役手机拆解线进化图

(c)第3类退役手机拆解线进化图

图6　GA迭代曲线

Fig.6　Iterative curves of GA

表3　优化后调度方案

Tab.3　Optimized dispatching scheme

仓储阈值	第1类/台	第2类/台	第3类/台
后盖半成品	2	1	1
螺钉半成品(1)	8	6	6
螺钉半成品(2)	9	5	6
电池半成品	28	21	18
屏幕半成品	1	7	2

4　结 论

对退役产品人机混流线插单调度进行了研究,得出了以下结论:

1)考虑退役产品人机混流拆解线的拆解故障等不确定性因素,构建了AND/OR节点网络,量化描述拆解序列和拆解深度的不确定性.基于AND/OR网络,构建考虑拆解故障概率的插单调度模型,并采用遗传算法求解调度问题.

2)以某公司退役手机人机混流拆解线为例,对比分析了阈值插单调度方案、实时插单和满载插单调度方案.本文建立的调度模型能解决自动拆解设备拆解故障扰动插单调度问题,制定不同退役产品的拆解插单阈值调度方案.

3)未来可综合考虑工件运输时长、资源约束、自适应引导车调度等其他扰动因素对插单调度模型的影响,进一步研究退役产品人机混流拆解线插单动态调度问题及求解算法.

参考文献

[1]　谢西金,蔡云梅.废旧手机回收处理现状及其治理模式研究[J].环境科学与管理,2022,47(7):10-15.
XIE X J,CAI Y M. Research on current status of recycling and treatment of waste mobile phones and its governance model[J]. Environmental Science and Management,2022,47(7):10-15.

(in Chinese)
[2] 尹凤福,杜泽瑞,李林,等. 基于双种群遗传算法的废旧智能手机拆卸序列规划[J]. 机械工程学报,2021,57(17):226-235.
YIN F F,DU Z R,LI L,et al. Disassembly sequence planning of used smartphone based on dual-population genetic algorithm[J]. Journal of Mechanical Engineering,2021,57(17):226-235.(in Chinese)
[3] 雒骏, 杨军, 王璞, 等. 兰州市废旧手机产生量预测分析研究[J]. 环境科学与管理, 2017, 42(3): 47-51.
LUO J, YANG J, WANG P, et al. Forecast on waste mobile phone production in Lanzhou City[J]. Environmental Science and Management, 2017, 42(3): 47-51.(in Chinese)
[4] HARPER G,SOMMERVILLE R,KENDRICK E,et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles[J]. Nature, 2019, 575: 75-86.
[5] 任伟, 王志刚, 杨华, 等. 基于神经符号的动力电池拆解任务与运动规划[J]. 计算机研究与发展, 2021, 58(12): 2604-2617.
REN W, WANG Z G, YANG H, et al. NeuroSymbolic task and motion planner for disassembly electric vehicle batteries[J]. Journal of Computer Research and Development, 2021, 58(12): 2604-2617.(in Chinese)
[6] 陈斌斌. 机器人避碰约束的人机协作拆解序列规划研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2021.
CHEN B B. Research on sequence planning of robot disassembly with collision avoidance constraints [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology,2021.(in Chinese)
[7] BRUNO G, ANTONELLI D. Dynamic task classification and assignment for the management of human-robot collaborative teams in workcells[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 98(9): 2415-2427.
[8] ARTIGUES C, ROUBELLAT O. An efficient algorithm for operation insertion in a multi-resource job-shop schedule with sequence-dependent setup times [J]. Production Planning & Control, 2002, 13(2): 175-186.
[9] 李燚,唐倩,刘联超,等. 基于改进蚁群算法的汽车混流装配调度模型求解[J]. 中国机械工程,2021,32(9):1126-1133.
LI Y,TANG Q,LIU L C,et al. An improved ACO algorithm for automobile mixed-flow assembly scheduling problems[J]. China Mechanical Engineering,2021,32(9):1126-1133.(in Chinese)
[10] 郭具涛,吕佑龙,戴铮,等. 基于复合规则和强化学习的混流装配线调度方法[J]. 中国机械工程,2023,34(21):2600-2606.
GUO J T, LÜ Y L, DAI Z, et al. Compound rules and reinforcement learning based scheduling method for mixed model assembly lines [J]. China Mechanical Engineering, 2023, 34(21): 2600-2606.(in Chinese)
[11] 余泽康. 阀门的人机协同装配系统研究[D]. 无锡:江南大学, 2022.
YU Z K. Research on valve human-robot cooperative assembly system[D]. Wuxi:Jiangnan University,2022.
[12] 孔繁森,高天宇,李惠敏,等. 考虑任务复杂性的人机联合任务分配问题研究[J]. 机械工程学报,2021,57(7):204-214.
KONG F S,GAO T Y,LI H M,et al. Research on human-robot joint task assignment considering task complexity[J]. Journal of Mechanical Engineering,2021,57(7):204-214.(in Chinese)
[13] TAKATA S,HIRANO T. Human and robot allocation method for hybrid assembly systems[J]. CIRP Annals,2011,60(1):9-12.
[14] 刘俨后,麻娟,左敦稳,等. 基于改进烟花算法的随机装配线混流调度[J]. 控制与决策,2019,34(4):751-758.
LIU Y H, MA J, ZUO D W, et al. Mixed-model sequencing of stochastic assembly line based on improved fireworks algorithm[J]. Control and Decision,2019,34(4):751-758.(in Chinese)
[15] 裴海燕,蒋祖华,胡家文,等. 插单扰动下流水线生产与维护的重调度优化[J]. 工业工程与管理,2017,22(1):50-57.
PEI H Y, JIANG Z H, HU J W, et al. Integrating rescheduling with preventive maintenance in the flow-shop problem under rush orders [J]. Industrial Engineering and Management, 2017, 22(1):50-57.(in Chinese)
[16] 张祥,王艳,纪志成. 加急订单扰动的多目标柔性作业车间动态调度问题研究[J]. 南京理工大学学报,2021,45(3):344-351.
ZHANG X, WANG Y, JI Z C. Multi-objective dynamic flexible job-shop scheduling problem under urgent order disturbance[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2021, 45(3):344-351.(in Chinese)
[17] ZHANG S C, WONG T N. Flexible job-shop scheduling/rescheduling in dynamic environment: a hybrid MAS/ACO approach [J]. International Journal of Production Research, 2017, 55(11): 3173-3196.
[18] 刘俨后,麻娟,牟健慧,等. 面向紧急订单的混流装配线动态调度[J]. 计算机集成制造系统,2017,23(12):2647-2656.
LIU Y H, MA J, MOU J H,et al. Dynamic sequencing of mixed-model assembly line oriented to rush orders [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(12): 2647-2656.(in Chinese)
[19] 王一荻,李志伟,张文新,等. 考虑订单扰动因素的热轧重调度分布估计算法[J]. 计算机应用,2022,42(8):2628-2636.
WANG Y D, LI Z W, ZHANG W X, et al. Estimation of distribution algorithm for hot rolling rescheduling with order disturbance[J]. Journal of Computer Applications,2022,42(8):2628-2636.(in Chinese)
[20] 房倩云. 面向订单装配型企业的急单决策研究[D]. 天津:天津大学,2010.
FANG Q Y. Research on rush orders strategy oriented to ATO enterprises[D]. Tianjin:Tianjin University,2010.(in Chinese)
[21] 胡东波, 王国庆, 左小德. 实时动态排产系统研究[J]. 中国机械工程,2004, 15(8): 698-703.
HU D B, WANG G Q, ZUO X D. Study on real-time dynamic production schedule system[J]. China Mechanical Engineering, 2004,15(8):698-703.(in Chinese)
[22] 严浩云,李宏余. 基于面向负荷的生产控制的紧急订单插单问题[J]. 计算机集成制造系统,2009,15(9):1809-1815.
YAN H Y,LI H Y. Rush order inserting problem based on load-oriented manufacturing control technique [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems,2009,15(9):1809-1815.(in Chinese)
[23] 董鹏,陈丙艳. 制造业生产车间插单行为的研究[J]. 上海建材,2022(4):6-14.
DONG P, CHEN B Y. Research on order inserting behavior of manufacturing workshop [J]. Shanghai Building Materials, 2022(4): 6-14.(in Chinese)
[24] 马新一,匡增彧,卓晓军,等. 考虑不确定性条件的退役产品拆解柔性调度[J]. 工业工程,2023,26(4):144-153.
MA X Y, KUANG Z Y, ZHUO X J, et al. Flexible scheduling of decommissioned product disassembly under uncertain conditions [J]. Industrial Engineering Journal, 2023, 26(4): 144-153.(in Chinese)
[25] 王玖河, 高辉, 刘欢. 基于遗传算法的共享助力车调度问题研究[J]. 工业工程, 2021, 24(1): 90-96.
WANG J H, GAO H, LIU H. A research on shared motorcycle scheduling problem based on genetic algorithms[J]. Industrial Engineering Journal,2021, 24(1): 90-96.(in Chinese)