

文章编号:1000-582X(2010)12-021-06

装配线多技能作业人员优化配置模型

曹 乐,王 彪,刘 飞,李聪波

(重庆大学 机械传动国家重点实验室,重庆 400044)

摘 要:人员配置是影响装配生产效率的重要因素。针对装配人员岗位能力描述问题,提出了岗位适应度的概念,以技能等级和给定时间段内人员执行装配作业的累计时间为参数对岗位适应度进行描述,建立了以人员岗位适应度最大和装配线各工位之间作业人员岗位适应度差异最小为目标的装配线人员优化配置模型,设计了一种基于岗位适应度矩阵的启发式求解算法,通过举例分析验证了方法的可行性。

关键词:装配线;配置;模型;优化;算法

中图分类号: TB491

文献标志码: A

Mixed-skill worker assignment optimization model for assembly line

CAO Le, WANG Biao, LIU Fei, LI Cong-bo

(State Key Laboratory of Mechanical Transmissions, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: Worker assignment is one of the key factors which influence the productivity of assembly line. The concept of post fitness is presented for the description of the competency of assembly workers. The post fitness which takes the operator skill level and accumulated assembling time as parameters is formulated. An optimization model for assembly worker assignment is constructed, and the objectives are maximizing the post fitness for each assembly station and minimizing the difference of post fitness among operators working in the same assembly line. A heuristic algorithm based on the fitness matrix is presented. An example is presented for illustration and the results suggest that the approach is feasible.

Key words: assembly line; assignment; model; optimization; algorithms

人员配置是影响装配生产效率的重要因素,文献[1]对通用汽车车门装配线进行的研究发现,不同的人员配置下装配线的生产效率具有 15% 左右的差异。目前国内外围绕装配线人员配置问题开展了大量的研究工作并取得了不少研究成果^[2-8]。其中建立优化模型已经成为研究者关注的重点之一。如文献[9]将摩托车装配人员分为熟练与不熟练 2 类,建立了以降低节拍时间和人员数量为目标的作业人员优化配置模型。文献[10]针对 U 型装配线建立

了以降低装配线节拍为目标的人员优化配置模型。文献[11]将具有多技能的装配人员分为多个类别,针对多装配线人员优化分配问题,建立了以装配线之间人员转换次数最小为目标的混合整数规划模型。文献[12]以人员执行装配作业的时间为参数,建立了以生产效率最大和员工满意度最高为目标的装配线人员优化配置模型。笔者针对人员多技能情况,采用岗位适应度表示人员执行装配作业的能力,以技能等级和给定时间段内人员执行装配作业的累

收稿日期: 2010-07-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51035001);中央高校基本科研业务费资助项目(CDJZR10110015);重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2010BB9212)

作者简介: 曹乐(1975-),男,重庆大学博士,主要从事制造系统优化控制研究。(Tel)023-65103159;
(E-mail)lecao@cqu.edu.cn。

计时间为参数对岗位适应度进行描述,在此基础上建立了以人员岗位适应度最大和装配线各工位之间作业人员岗位适应度差异最小为目标的装配线人员优化配置模型,设计了一种基于岗位适应度矩阵的启发式求解算法。

1 岗位适应度的表示

文献[13-15]的研究表明,在重复性的生产活动中,人员执行某项活动的能力与其在近段时间内从事该项活动的时间具有很强的关联性。装配作业是一种具有重复性的生产活动,一般地,执行某一装配作业的时间越长,执行该项装配作业的能力也越高。笔者用岗位适应度来表示人员在某一装配岗位执行装配作业的能力,人员在某岗位上的技能等级越高,则其对该岗位的适应度也越高;人员近期从事某一装配活动的时间越长,则说明其在装配活动对应的装配岗位上的适应程度也越高。笔者将技能等级与执行装配作业的时间因素统筹考虑,通过加权和来表示装配人员对某一装配岗位的适应程度。

令 e_i 表示编号为 i 的装配人员, $i=1,2,\dots,N$; 令 a_j 表示 j 号装配岗位, $j=1,2,\dots,M$; 令 t_{ij} 表示给定时间段内 e_i 在岗位 a_j 的累计工作时间; 令 α_{ij} 表示依据累计工作时间计算的装配人员岗位适应度因子, α_{ij} 表示为

$$\alpha_{ij} = \frac{t_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq N} \{t_{ij}\}} \quad (1)$$

令 s_{ij} 表示 e_i 在岗位 a_j 上的技能等级, $s_{ij}=1,2,\dots,S$; 令 β_{ij} 表示考虑技能因素计算的装配人员岗位适应度因子, 则 β_{ij} 表示为

$$\beta_{ij} = \frac{s_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq N} \{s_{ij}\}} \quad (2)$$

令 w_a 和 w_β 分别表示适应度因子 α_{ij} 和 β_{ij} 的权重系数, 其中 $w_a + w_\beta = 1$; 令 γ_{ij} 表示人员 e_i 对装配岗位 a_j 的适应度, 则有

$$\gamma_{ij} = w_a \alpha_{ij} + w_\beta \beta_{ij} \quad (3)$$

以 3 个装配岗位和 3 个装配人员为例对岗位适应度的计算进行说明。设定权重系数 w_a 和 w_β 分别为 0.5, 人员技能等级以及给定时间段内人员累计在岗时间如表 1 所示。

根据定义 $\alpha_{ij} = \frac{t_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq N} \{t_{ij}\}}$, 有 $\alpha_{11} = \frac{342}{243} = 1, \alpha_{21} = \frac{150}{342} = 0.438, \alpha_{31} = \frac{0}{342} = 0$, 同理可以计算 $\alpha_{12}, \alpha_{22}, \dots, \alpha_{33}$ 的值, 结果如表 2 所示。

表 1 给定时间段内人员累计在岗时间

人员	(s_{ij}, t_{ij})		
	a_1	a_2	a_3
e_1	(4, 342)	(4, 0)	(3, 158)
e_2	(5, 150)	(3, 262)	(4, 88)
e_3	(0, 0)	(5, 354)	(4, 146)

表 2 岗位适应度因子 α_{ij}

人员	α_{ij}		
	a_3	a_1	a_2
e_1	1	0	1
e_2	0.438	0.74	0.557
e_3	0	1	0.924

根据定义 $\beta_{ij} = \frac{s_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq N} \{s_{ij}\}}$, 有 $\beta_{11} = \frac{4}{5} = 0.8, \beta_{21} = \frac{5}{5} = 1, \beta_{31} = \frac{0}{5} = 0$, 同理可以计算 $\beta_{21}, \beta_{22}, \dots, \beta_{33}$ 的值, 结果如表 3 所示。

表 3 岗位适应度因子 β_{ij}

人员	β_{ij}		
	a_1	a_2	a_3
e_1	0.8	0.8	0.75
e_2	1	0.6	1
e_3	0	1	1

加权计算后得到的人员 e_i 对作业活动 a_j 的适应度 γ_{ij} 如表 4 所示。

表 4 e_i 对作业活动 a_j 的适应度 γ_{ij}

人员	γ_{ij}		
	a_1	a_2	a_3
e_1	0.9	0.4	0.875
e_2	0.719	0.67	0.778
e_3	0	1	0.962

从表 4 可知, e_1 在岗位 a_1 和 a_3 具有较高的适应度, e_3 在岗位 a_2 和 a_3 上具有较高的适应度。由于 e_3 在岗位 a_1 上不具备上岗能力 ($s_{31}=0$), 因此其在 a_1 上的岗位适应度为 0。

2 装配线多技能人员优化配置模型

一般地,为了提高装配车间的生产效率,需要保证配置给装配车间各工位的人员都具有较高的生产能力,为了保证装配线各个岗位之间生产平衡,需要平衡装配线各个工位之间人员的能力差异。笔者以人员岗位适应度最大和装配线各工位之间人员岗位适应度差异最小为目标对装配车间人员优化配置问题进行建模,首先对模型中用到的符号进行描述:

J_p —待装配的产品, $p=1,2,\dots,P$; R_p —产品 p 的装配工序数; O_{pr} —产品 p 的第 r 道装配工序, $r=1,2,\dots,R_p$; e_i —编号为 i 的装配人员, $i=1,2,\dots,N$; a_j — j 号装配岗位; $j=1,2,\dots,M$; $g(p,r)$ —产品 J_p 的装配工序 O_{pr} 对应的岗位,当装配工序 O_{pr} 对应的岗位为 a_j 时, $g(p,r)=j$; $f(p,r)$ —分配给工序 O_{pr} 的装配人员,当装配工序 O_{pr} 分配的装配人员为 e_i 时, $f(p,r)=i$; γ_{ij} — e_i 对岗位 a_j 的适应度; C_{jpr} —参数,工序 O_{pr} 对应的装配岗位为 a_j 时, $C_{jpr}=1$; 否则 $C_{jpr}=0$; x_{ipr} —决策变量,工序 O_{pr} 配置的装配人员为 e_i 时, $x_{ipr}=1$, 否则 $x_{ipr}=0$ 。

目标函数和约束条件如下

$$\max Z_1 = \min_{1 \leq p \leq P} \{ \min_{1 \leq r \leq R_p} \{ \gamma_{f(p,r)g(p,r)} \} \}, \quad (4)$$

$$\min Z_2 = \sum_{1 \leq p \leq P} \sum_{1 \leq r \leq R_p} [\gamma_{f(p,r)g(p,r)} - \min_{1 \leq r \leq R_p} \{ \gamma_{f(p,r)g(p,r)} \}], \quad (5)$$

$$\text{ST: } \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^{R_p} x_{ipr} \leq 1 \quad \forall i, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ipr} = 1 \quad \forall p, r, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^M C_{jpr} = 1 \quad \forall p, r, \quad (8)$$

$$C_{jpr} = \{0, 1\} \quad \forall p, r, j, \quad (9)$$

$$x_{ipr} = \{0, 1\} \quad \forall p, r, i. \quad (10)$$

目标函数(4)保证装配岗位的人员岗位适应度最大化;目标函数(5)保证装配线各个装配岗位之间的人员适应度差异最小;约束条件(6)保证每个人员最多只能执行一项装配作业;约束条件(7)保证装配作业均有人员执行;约束条件(8)限制每道装配工序对应一个装配岗位;约束条件(9)限制参数 C_{jpr} 的值只能取 0 或 1;约束条件(10)限制决策变量 x_{ipr} 只能取 0 或 1。

3 基于岗位适应度矩阵的启发式求解算法

装配生产中的人员优化配置是一个复杂的组合优化问题^[7]。笔者针对该问题设计了一种基于岗位

适应度矩阵的启发式求解算法。其基本思想是将产品按装配优先级进行排序,优先级高的产品优先进行人员配置;人员稀缺的岗位优先进行人员配置;对于产品的不同装配岗位,保证每个岗位所配置人员之间的岗位适应度差异最小。具体步骤如下:

Step0:根据待装配产品工序确定装配岗位,选择可用人员,构建人员岗位适应度矩阵 E

$$E = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \gamma_{14} & \cdots & \gamma_{1m} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} & \gamma_{24} & \cdots & \gamma_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \gamma_{n3} & \gamma_{n4} & \cdots & \gamma_{nm} \end{bmatrix}.$$

Step1:定义矩阵 E^* , 令 $E^* = E$; 用 J 表示待装配产品的集合, 令 $J = J_p$;

Step2:从待装配产品集合 J 中选择优先级最高的产品 J^* 进行人员配置;

Step3:从矩阵 E^* 中选择产品 J^* 对应的装配岗位,构建产品 J^* 的人员岗位适应度矩阵 EP ;

Step4:令 γ_{*j} 表示矩阵 EP 中岗位 j 对应的最大岗位适应度,对产品 J^* 的每个装配岗位 j 计算 γ_{*j} ; 令 γ^* 表示 J^* 装配线的最小岗位适应度,保证 J^* 产品装配线上任意装配岗位所配置人员的岗位适应度不低于 γ^* ;

Step5:将矩阵 EP 中所有项与 γ^* 相减,形成配置矩阵 DM ,矩阵 DM 每一列中非负元素的个数对应于该岗位可配置人员的数量;

Step6:计算矩阵 DM 每列非负元素的个数,按照从小到大的顺序选择不同列进行人员配置,以保证人员稀缺的岗位优先配置人员,从而避免算法出现无解;对任意的列,选择最小非负值所在行对应的人员,将其配置给最小非负值所在列对应的装配岗位,保证 J^* 产品装配线上每个岗位之间人员岗位差异度最小;

Step7:从岗位适应度矩阵 E^* 中删除产品 J^* 所配置人员对应的行以及其岗位所对应的列,更新矩阵 E^* ; 从待配置产品集合 J 中删除 J^* , 更新集合 J ;

Step8:重复 Step2 到 Step7 直到集合 J 为空。

4 实验与分析

以某汽车空调装配车间人员配置为例进行,给定时间段内人员的岗位适应度如表 5 所示。车间待装配产品为 J_1 和 J_2 , 其中 J_1 装配优先级高于 J_2 , 产品 J_1 的装配工序包括 $O_{11}, O_{12}, O_{13}, O_{14}, O_{15}, O_{16}$ 和 O_{17} , 装配工序对应的装配岗位为分别为 $a_7, a_2, a_3, a_6, a_5, a_1$ 和 a_4 , 产品 J_2 的装配工序包括 O_{21} ,

$O_{22}, O_{23}, O_{24}, O_{25}$ 和 O_{26} , 其对应的装配岗位为分别为 $a_{11}, a_8, a_{10}, a_{13}, a_{12}$ 和 a_9 。

表 5 人员岗位适应度矩阵 E

人员	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}
e_1	0.804	0.000	0.311	0.000	0.522	0.863	0.000	0.000	0.582	0.000	0.000	0.401	0.804
e_2	0.000	0.518	0.489	0.846	0.000	0.000	0.000	0.406	0.000	0.437	0.000	0.000	0.000
e_3	0.000	0.453	0.000	0.492	0.000	0.000	0.973	0.542	0.427	0.000	0.499	0.603	0.000
e_4	0.685	0.000	0.360	0.000	0.481	0.676	0.000	0.000	0.412	0.000	0.000	0.603	0.685
e_5	0.000	0.529	0.000	0.306	0.000	0.000	0.576	0.000	0.000	0.000	0.000	0.376	0.000
e_6	0.000	0.000	0.510	0.000	0.984	0.000	0.000	0.000	0.402	0.432	0.000	0.000	0.000
e_7	0.546	0.000	0.000	0.352	0.674	0.000	0.000	0.000	0.830	0.379	0.834	0.000	0.546
e_8	0.368	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.599	0.000	0.373	0.000	0.495	0.427	0.368
e_9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.309	0.360	0.581	0.682	0.000	0.000	0.000	0.799	0.000
e_{10}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.684	0.000	0.000	0.816	0.844	0.314	0.376	0.000
e_{11}	0.574	0.756	0.647	0.992	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.379	0.314	0.000	0.574
e_{12}	0.602	0.978	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.834	0.357	0.432	0.602
e_{13}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.364	0.865	0.825	0.609	0.000	0.000	0.000
e_{14}	0.602	0.000	0.000	0.321	0.962	0.518	0.000	0.000	0.000	0.000	0.314	0.376	0.602
e_{15}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.311	0.364	0.533	0.638	0.000	0.689	0.618	0.000
e_{16}	0.000	0.000	0.493	0.000	0.000	0.000	0.802	0.000	0.000	0.646	0.331	0.386	0.000
e_{17}	0.368	0.518	0.522	0.306	0.000	0.000	0.948	0.000	0.000	0.862	0.000	0.000	0.368
e_{18}	0.000	0.968	0.000	0.818	0.000	0.311	0.000	0.257	0.432	0.000	0.000	0.000	0.000
e_{19}	0.579	0.832	0.000	0.313	0.357	0.335	0.000	0.000	0.000	0.000	0.314	0.376	0.579
e_{20}	0.000	0.453	0.000	0.000	0.313	0.000	0.576	0.430	0.000	0.432	0.676	0.846	0.000
e_{21}	0.986	0.000	0.356	0.000	0.522	0.000	0.594	0.421	0.592	0.000	0.000	0.000	0.986
e_{22}	0.368	0.704	0.684	0.306	0.666	0.311	0.364	0.293	0.373	0.390	0.314	0.000	0.368
e_{23}	0.000	0.000	0.000	0.496	0.000	0.659	0.964	0.000	0.000	0.598	0.000	0.376	0.000

选择优先级高的 J_1 进行人员配置, 建立适应度子矩阵 EP , 如表 6 所示。

表 6 J_1 对应的人员适应度子矩阵 EP
 $O_{11}, O_{12}, O_{13}, O_{14}, O_{15}, O_{16}$ 和 O_{17}

人 员	O_{11} a_4	O_{12} a_7	O_{13} a_2	O_{14} a_3	O_{15} a_6	O_{16} a_5	O_{17} a_1
e_1	0.000	0.000	0.311	0.863	0.522	0.804	0.000
e_2	0.000	0.518	0.489	0.000	0.000	0.000	0.846
e_3	0.973	0.453	0.000	0.000	0.000	0.000	0.492
e_4	0.000	0.000	0.360	0.676	0.481	0.685	0.000
e_5	0.576	0.529	0.000	0.000	0.000	0.000	0.306
e_6	0.000	0.000	0.510	0.000	0.984	0.000	0.000
e_7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.674	0.546	0.352
e_8	0.599	0.000	1.000	0.000	0.000	0.368	0.000
e_9	0.581	0.000	0.000	0.360	0.309	0.000	0.000
e_{10}	0.000	0.000	0.000	0.684	0.000	0.000	0.000

续表

人 员	O_{11} a_4	O_{12} a_7	O_{13} a_2	O_{14} a_3	O_{15} a_6	O_{16} a_5	O_{17} a_1
e_{11}	0.000	0.756	0.647	0.000	0.000	0.574	0.992
e_{12}	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.602	0.000
e_{13}	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
e_{14}	0.000	0.000	0.000	0.518	0.962	0.602	0.321
e_{15}	0.364	0.000	0.000	0.311	0.000	0.000	0.000
e_{16}	0.802	0.000	0.493	0.000	0.000	0.000	0.000
e_{17}	0.948	0.518	0.522	0.000	0.000	0.368	0.306
e_{18}	0.000	0.968	0.000	0.311	0.000	0.000	0.818
e_{19}	0.000	0.832	0.000	0.335	0.357	0.579	0.313
e_{20}	0.576	0.453	0.000	0.000	0.313	0.000	0.000
e_{21}	0.594	0.000	0.356	0.000	0.522	0.986	0.000
e_{22}	0.364	0.704	0.684	0.311	0.666	0.368	0.306
e_{23}	0.964	0.000	0.000	0.659	0.000	0.000	0.496
γ_{*j}	0.973	0.978	1	0.863	0.984	0.986	0.992

由表 6 知, $\gamma^* = 0.863$, 将适应度子矩阵 EP 中 所有项与 γ^* 相减, 得到配置矩阵 DM 如表 7 所示。

表 7 J_1 对应的配置矩阵 DM

人员	O_{11}	O_{12}	O_{13}	O_{14}	O_{15}	O_{16}	O_{17}
	a_4	a_7	a_2	a_3	a_6	a_5	a_1
e_1	-0.863	-0.863	-0.552	0.00	-0.341	-0.059	-0.863
e_2	-0.863	-0.345	-0.374	-0.863	-0.863	-0.863	-0.017
e_3	0.110	-0.41	-0.863	-0.863	-0.863	-0.863	-0.371
e_4	-0.863	-0.863	-0.503	-0.187	-0.382	-0.178	-0.863
e_5	-0.287	-0.334	-0.863	-0.863	-0.863	-0.863	-0.557
e_6	-0.863	-0.863	-0.353	-0.863	0.121	-0.863	-0.863
e_7	-0.863	-0.863	-0.863	-0.863	-0.189	-0.317	-0.511
e_8	-0.264	-0.863	0.137	-0.863	-0.863	-0.495	-0.863
e_9	-0.282	-0.863	-0.863	-0.503	-0.554	-0.863	-0.863
e_{10}	-0.863	-0.863	-0.863	-0.179	-0.863	-0.863	-0.863
e_{11}	-0.863	-0.107	-0.216	-0.863	-0.863	-0.289	0.129
e_{12}	-0.863	0.115	-0.863	-0.863	-0.863	-0.261	-0.863
e_{13}	-0.499	-0.863	-0.863	-0.863	-0.863	-0.863	-0.863
e_{14}	-0.863	-0.863	-0.863	-0.345	0.101	-0.261	-0.542
e_{15}	-0.499	-0.863	-0.863	-0.552	-0.863	-0.863	-0.863
e_{16}	-0.061	-0.863	-0.37	-0.863	-0.863	-0.863	-0.863
e_{17}	0.085	-0.345	-0.341	-0.863	-0.863	-0.495	-0.557
e_{18}	-0.863	0.105	-0.863	-0.552	-0.863	-0.863	-0.045
e_{19}	-0.863	-0.031	-0.863	-0.528	-0.506	-0.284	-0.550
e_{20}	-0.287	-0.41	-0.863	-0.863	-0.550	-0.863	-0.863
e_{21}	-0.269	-0.863	-0.507	-0.863	-0.341	0.123	-0.863
e_{22}	-0.499	-0.159	-0.179	-0.552	-0.197	-0.495	-0.557
e_{23}	0.101	-0.863	-0.863	-0.204	-0.863	-0.863	-0.367
非负值数	3	2	1	1	2	1	1

按照非负值数的大小顺序进行人员配置, 对配置矩阵 DM 任意列, 选择最小非负值所在行对应的人员, 将其配置给最小非负值所在列对应的装配岗位, 得到 J_1 的岗位配置如表 8 所示。

表 8 产品 J_1 岗位人员配置表

O_{11}	O_{12}	O_{13}	O_{14}	O_{15}	O_{16}	O_{17}
a_7	a_2	a_3	a_6	a_5	a_1	a_4
e_{17}	e_{18}	e_8	e_1	e_{14}	e_{21}	e_{11}

按照上述过程继续进行人员配置, 最终人员配置结果如表 9 所示。

表 9 最终岗位人员配置结果

O_{pr}	J_1							J_2					
	O_{11}	O_{12}	O_{13}	O_{14}	O_{15}	O_{16}	O_{17}	O_{21}	O_{22}	O_{23}	O_{24}	O_{25}	O_{26}
a_j	a_7	a_2	a_3	a_6	a_5	a_1	a_4	a_{11}	a_8	a_{10}	a_{13}	a_{12}	a_9
e_i	e_{17}	e_{18}	e_8	e_1	e_{14}	e_{21}	e_{11}	e_{15}	e_{13}	e_{12}	e_4	e_9	e_{10}
γ_{ij}	0.948	0.968	1	0.863	0.962	0.986	0.992	0.689	0.865	0.834	0.685	0.799	0.816

从表9可以看到,产品 J_1 的人员配置中,工序 O_{14} 对应岗位 a_6 上配置的装配人员 e_1 的岗位适应度最小,工序 O_{13} 对应岗位 a_3 上配置的装配人员 e_8 的岗位适应度最大,该产品装配线人员岗位适应度的最大差异为0.137;产品 J_2 的人员配置中,工序 O_{24} 对应的岗位 a_{13} 上配置的装配人员 e_4 的岗位适应度最小,工序 O_{22} 对应的岗位 a_8 所配置的装配人员 e_{13} 的岗位适应度最大,该产品装配线人员岗位适应度的最大差异为0.176。

5 结论

装配人员的能力差异是装配线人员配置中需要考虑的重要因素。针对装配人员执行装配作业的能力表示问题,提出了岗位适应度的概念,以技能等级和给定时间段内人员执行装配作业的累计时间为参数对岗位适应度进行了描述,为量化表示装配人员与装配岗位之间的适应程度提供了一种有效方法。

以人员岗位适应度最大和装配线工位之间人员岗位适应度差异最小为目标,建立了装配车间人员优化配置的数学模型,设计了一种基于岗位适应度矩阵的启发式求解算法。在保证优先级高的产品优先配置人员、稀缺性岗位优先配置人员的基础上,实现了装配车间人员的优化配置。

参考文献:

- [1] BUZACOTT J A. The impact of worker differences on production system output [J]. *International Journal of Production Economics*, 2002, 78(1): 37-44.
- [2] ALFARES H K. Survey, categorization, and comparison of recent tour scheduling literature [J]. *Annals of Operations Research*, 2004, 127(1/4): 145-175.
- [3] BEDDOE G R, PETROVIC S. Selecting and weighting features using a genetic algorithm in a case-based reasoning approach to personnel rostering [J]. *European Journal of Operational Research*, 2006, 175(2): 649-671.
- [4] CEVIKCAN E, DURMUSOGLU M B, UNAL M E. A team-oriented design methodology for mixed model assembly systems [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2009, 56(2): 576-599.
- [5] ERNST A T. Staff scheduling and rostering: a review of applications, methods and models [J]. *European Journal of Operational Research*, 2004, 153(1): 3-27.
- [6] RAGOTTE M J. The effect of human operator variability on the throughput of an AGV system. A case study: general motors car assembly plant - door AGV system [D]. Canada: University of Waterloo, 1990.
- [7] SABAR M B, MONTREUIL M F. Competency and preference based personnel scheduling in large assembly lines [J]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2008, 21(4): 468 - 479.
- [8] 侯东亮. 汽车底盘总装配线平衡及人员的最佳化配置研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2006.
- [9] COROMINAS A R, PASTOR J P. Balancing assembly line with skilled and unskilled workers [J]. *Omega*, 2008, 36(6): 1126-1132.
- [10] NAKADE K, NISHIWAKI R. Optimal allocation of heterogeneous workers in a U-shaped production line [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2008, 54(3): 432-440.
- [11] KUO Y, YANG T. Optimization of mixed-skill multi-line operator allocation problem [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2007, 53(3): 386-393.
- [12] MIRALLES C, GARCIA-SABATER J P, ANDRÉS C, et al. Branch and bound procedures for solving the assembly line worker assignment and balancing problem: Application to sheltered work centers for disabled[J]. *Discrete Applied Mathematics*, 2008, 156(3):352-367.
- [13] CELANO G, COSTA A, FICHERA S, et al. Human factor policy testing in the sequencing of manual mixed model assembly lines [J]. *Computers & Operations Research*, 2004, 31(1): 39-59.
- [14] COHEN L, STRAUSS L. Time study and the fundamental nature of manual skill [J]. *Journal of Consulting Psychology*, 1946, 10(3): 146-153.
- [15] DIGIESI S, KOCK A A, MUMMOLO et al. The effect of dynamic worker behavior on flow line performance [J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 120(2): 368-377.

(编辑 张小强)