

混合型装配线平衡问题求解方法研究

于兆勤, 苏 平

(广东工业大学 机电工程学院, 广州 510006)

摘要: 对混合型装配线平衡问题进行了描述和数学建模, 提出一种启发式求解算法, 求解目标是最小化工作站数目. 为进一步优化求解结果, 对启发式算法求解的结果进行仿真研究, 分析各工作站的工作率、等待率和阻塞率, 并以此为依据调整部分作业任务的分配, 允许不同品种产品的相同作业任务安排在不同的工作站中, 以对求解结果进行修正, 进一步均衡各工作站的作业量. 该求解方法既简化了求解过程, 又兼顾到了系统的瞬时特性和作业任务的不可拆分性对求解结果的影响, 实例分析验证了方法的有效性.

关键词: 装配线平衡; 混合型; 启发式算法; 仿真

1 引 言

随着科学技术的不断发展, 社会的进步, 人们的消费观念也在发生不断的变化, 社会经济的发展和市场的日趋饱和, 导致了产品消费节奏的明显加快, 消费行为更具有选择性, 客户的个性化需求越来越高. 企业面临着产品的生命周期越来越短、产品的交货期越来越短、订货批量减小、订货品种增多、生产管理难度越来越大等问题. 为了在日趋激烈的市场竞争中立于不败之地, 企业必须能够对客户的个性化需求做出快速响应, 因此多品种、小批量的生产方式已经成为企业的主要生产方式. 产品品种的增加和生产计划的多变, 对企业生产与管理的灵活性要求显著提高. 为此, 越来越多的企业选择能够进行多品种混合生产的柔性生产线, 特别是以装配生产为主的企业, 如家电、电子产品制造等行业, 则更需要一种能够进行多品种混合装配的流水线.

多品种混合型装配线可在同一条生产线上混合连续地生产结构相似、工艺接近的不同品种的产品, 可以在不占用大量库存的情况下, 快速响应市场的变化^[1]. 为合理、有效地使用多品种混合型装配线, 必须解决以下两个问题^[2]:

- 1) 多品种混合型装配线平衡问题, 即将产品装配过程的所有作业任务适当地安排到各个工作站中, 使各工作站的作业时间接近;
- 2) 多品种混合型装配线排序问题, 即确定不同品种产品投入生产线的顺序.

本文的研究主要集中在多品种混合型装配线平衡问题. 对混合型装配线平衡问题国内外许多学者进行了大量研究^[3-9], 目前的研究主要集中在两个方面, 第一, 对于给定生产节拍, 最小化工作站数; 第二, 对于给定的工作站数, 最小化生产节拍^[8]. 前者是在生产节拍确定的情况下, 求解一种作业任务分配方案, 使装配线在满足各工作站作业量均衡的同时, 所占用生产资源最少; 后者是在生产资源确定的情况下, 求解一种作业任务分配方案, 使各工作站作业量均衡的同时, 达到生产节拍最小. 由于混合装配线上不同品种产品所包含的作业

任务不尽相同,而且对于相同的作业任务不同品种产品的作业时间也可能不同,因此求解混合装配线平衡问题是比单品种装配平衡问题更复杂的问题.目前较普遍采用的一种近似求解方法是首先将混合装配线等效为单品种装配线,然后按照单品种装配线平衡问题求解方法求解混合装配线平衡问题^[4-8].其等效过程就是将几种品种产品装配作业顺序图合并为综合作业顺序图,每个作业任务的作业时间是几种产品按照需求比例的加权平均值,当某种产品不包含综合作业顺序图中某项作业任务时,则视其作业时间为0.这种处理方法可以使混合装配线平衡问题在一定程度上得到简化,但是由于求解过程中作业任务分配的依据是几种产品的平均作业时间,当不同品种产品在同一作业任务上的作业时间相差悬殊时,会造成较大瞬时负荷的不平衡.同时这种处理方法限制了不同品种产品的相同作业任务一定分配到同一工作站中,由于这种作业任务的不可拆分性,给均衡各工作站作业量带来了一定的困难.文献[3]采用分支定界法求解混合装配线平衡问题,允许不同品种的相同作业任务分配到不同的工作站,但求解过程比较复杂.

本文对混合装配线平衡问题进行了描述和数学建模,由于该问题属于NP难题,故设计一种启发式算法对问题进行求解,求解过程中作业任务分配依据是综合作业顺序图和每项作业任务的平均作业时间.为进一步优化求解结果,对启发式算法求解的结果进行了仿真研究,分析各工作站的工作率、等待率和阻塞率,并以此为依据调整部分作业任务的分配,以对求解结果进行修正.在作业任务调整中允许不同品种产品的相同作业任务安排在不同的工作站中,使各工作站的作业量得到进一步的均衡.这种方法既简化了求解过程,又兼顾到了系统的瞬时特性和作业任务的不可拆分性对求解结果的影响,实例分析验证了方法的有效性.

2 问题的描述

多品种混合型装配线是指在同一条装配线上混合连续地生产不同品种的产品,这些产品结构上相似,工艺相近.每种产品的装配由若干任务组成,这些任务的先后顺序关系由装配工艺决定.产品装配中任务之间的关系可用产品作业顺序图描述,如图1所示,图(a)为品

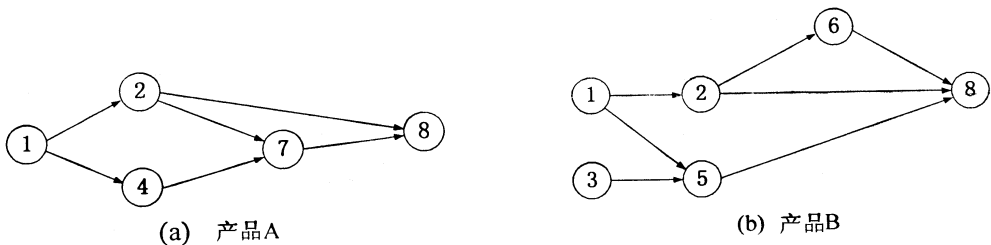


图1 作业顺序图

种A产品作业顺序图;图(b)为品种B产品作业顺序图.两种产品的装配有部分相同的作业任务,如任务1、任务2和任务8.不同品种产品在相同作业任务上的作业时间可能相同,也可能不同.将这样两种以上的产品混合在同一条装配线上装配,其装配线平衡问题要比单品种装配线更加复杂.为反映多品种产品在同一条装配线上混合装配时各作业任务的先后顺序关系,将装配线上各个品种产品的作业顺序图汇总成为一个综合作业顺序图,如图2所示.解决多品种混合装配线平衡问题可以通过优化各工作站中的任务分配和适当增加并行工作站来实现,本文采用优化各工作站中的任务分配的方法实现多品种混合装配线平衡,并假设

所有任务均是相容的任务,即在满足作业先后顺序约束的前提下,任务可以分配到任意工作站中.实际上,若存在不相容任务,按照优化原则分配任务之后,对不相容的任务进行适当调整,便可实现满足任务相容性约束条件下的生产线平衡.

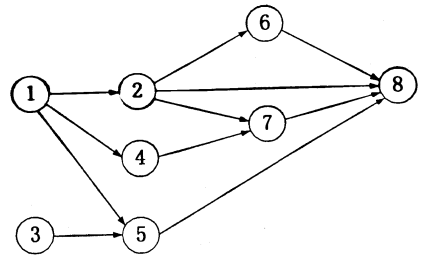


图 2 产品 A和 B综合作业顺序图

3 数学建模

在对混合型装配线进行数学建模之前,定义以下符号:

M —产品的种类数;

N —总作业数;

D_m —对类型为 m 的产品的需求量, $m = 1, 2, \dots, M$;

D —计划期内对全部产品的需求量, $D = \sum_{m=1}^M D_m$;

q_m —第 m 种类型产品需求量占总需求量的比例, $q_m = D_m / D, (0 \leq q_m \leq 1, \sum_m q_m = 1)$;

T —计划期;

C —生产节拍;

S —生产线上工作站数目;

T_{mj} —第 m 种类型产品在第 j 个工作站中的总作业时间, $m = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, S$;

t_{mi} —第 m 种类型产品的第 i 个作业的作业时间 $m = 1, 2, \dots, M, i = 1, 2, \dots, N$;

$x_{ij} \in \{0, 1\}$: 1, 表示第 i 个作业被安排到第 j 个工作站中; 0, 表示第 i 个作业没有被安排到第 j 个工作站中, $i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, S$;

J —目标函数.

混合型装配线平衡问题可用下面数学模型描述:

$$\min J = w_1 SST + w_2 S \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^S x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^S jx_{ij} \leq \sum_{l=1}^S lx_{kl}, \quad i, k = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$C = T \sum_{m=1}^M D_m \quad (4)$$

$$T_{mj} = \sum_{i=1}^N t_{mi} x_{ij}, \quad m = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, S \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, S \quad (6)$$

$$C - \sum_{m=1}^M q_m \cdot T_{mj} \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, S \quad (7)$$

目标函数 (1) 包含两个优化目标, 其一是装配线上工作站数目 S , 最小化工作站数目; 其二是各工作站作业时间的均方差 SST , 最小化 SST 以均衡各工作站负荷, SST 的表达式为:

$$SST = \frac{\sum_{k=1}^S \left[\sum_{m=1}^M q_m T_{mk} - \frac{\sum_{j=1}^S \sum_{m=1}^M q_m T_{mj}}{S} \right]^2}{S} \quad (8)$$

约束条件 (2) 保证每一项作业只能安排在一个工作站内; 约束条件 (3) 为作业的先后顺序约束, 其中, 作业任务 i 是作业任务 k 的紧前任务; 约束条件 (4) 为平均生产节拍, 生产节拍是指生产线上连续出产两个产品的时间间隔, 因为混合装配线中不同品种产品装配时间不同, 所以生产节拍随时间变化; 约束条件 (5) 为第 m 种类型产品在工作站 j 中的总作业时间; 约束条件 (7) 表示所有产品在第 j 在各工作站中的作业时间平均值不能超过平均生产节拍 C .

4 求解方法

由于公式 (1)–(7) 所描述的混合装配线平衡问题属于 NP-hard, 故本文采用启发式算法与离散事件系统仿真相结合的方法对问题进行求解. 首先设计一种启发式算法, 将作业任务安排到各个工作站, 优化目标是在给定平均生产节拍 C 的情况下, 最小化工作站数目; 然后对算法所得结果进行仿真研究, 根据仿真结果, 如各工作站工作率、等待率和阻塞率以及生产节拍等指标, 分析装配线的动态过程, 找出瓶颈工作站, 再对各工作站中的任务在满足作业先后顺序约束下进行局部调整, 以达到生产线平衡, 最终实现优化目标 (1).

4.1 任务分配的启发式算法

为最小化工作站数目, 在进行任务分配时, 应尽量使每一个工作站满负荷, 即其总作业时间平均值尽量接近平均生产节拍 C (由公式 (4) 求得). 设 M 种产品混合装配, 其装配工序中共包含 N 个任务, 则任务 i 的平均作业时间为 $t_i = \sum_{m=1}^M q_m t_{im}$ ($i = 1, 2, \dots, N$). 在产品综合作业顺序图中, 每个节点代表一个任务, 节点之间的有向弧线代表任务之间的先后顺序关系. 用 $P = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 表示任务集合; $P_i = \{y_{i_1}, y_{i_2}, \dots, y_{i_{k_i}}\}$ 表示任务 i 的先行任务集合; $Q_i = \{z_{i_1}, z_{i_2}, \dots, z_{i_{l_i}}\}$ 表示任务 i 的先行任务中尚未安排到工作站中的任务集合, 当 $Q_i = \emptyset$ 时表明任务 i 无先行任务或所有先行任务已全部安排到工作站中, 任务 i 是当前可安排的任务; $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 表示当前可安排的任务集合; $S_j = \{s_{j_1}, s_{j_2}, \dots, s_{j_{v_j}}\}$ ($j = 1, 2, \dots, S$) 表示第 j 个工作站中安排的任务集合; $F = \{f_1, f_2, \dots, f_v\}$ 表示当前已安排到工作站中的任务集合, $F = \bigcup_{j=1}^S S_j$. 为使工作站数目尽可能少, 在安排任务时, 应在满足约束条件 (7) 前提下, 采用 t_i 大者优先安排的分配策略, 使工作站尽可能满负荷. 任务分配算法如下:

步骤 1 初始化 $E = \emptyset$; $F = \emptyset$; $Q_i = P_i$; $S_j = \emptyset$; 设工作站编号初值 $j = 1$.

步骤 2 搜索当前可安排的任务

1) 设计数初值 $i = 1$;

2) 若 $Q_i = \emptyset$, 说明任务 i 是当前可安排的任务, 暂时将其加入 E 中, 即令 $I = \{x_i\}$, $E = E \cup I$, 进入本步骤的 3), 否则, 直接进入本步骤的 3);

3) $i = i + 1$, 若 $i > N$, 从 E 中减去目前已安排到工作站中的任务, 即 $E = E - (E \cap F)$, 进入步骤 3), 否则, 转向本步骤的 2).

步骤 3 在可安排任务集合中选择任务,并将其安排到工作站中

- 1) 对集合 E 中的成员所代表的任务按照计算的 t_i 由大至小依次排序;
- 2) 首先将 t_i 最大的任务 e_a 试安排到工作站 S_j 中,即,令 $J = \{e_a\}, S_j = S_j \cup J$;
- 3) 判断约束条件 (7) 是否满足,若满足,则保留本步骤的 2) 中的安排;若不满足,即工作站 S_j 中总作业时间 $\sum_{m=1}^M q_m T_{mj} > C$, 取消本步骤的 2) 中的安排,令 $S_j = S_j - J$, 并在 E 中按照任务的 t_i 由大至小依次寻找可安排的任务 e_a , 若存在任务 e_a (即当其加入工作站 S_j 后,仍能满足约束条件 (7)), 则将任务 e_a 安排到工作站 S_j 中,令 $J = \{e_a\}, S_j = S_j \cup J$, 进入本步骤的 4); 若不存在任务 e_a , 则令 $j = j + 1$, 并将当前 E 中 t_i 最大的任务 e 加入到新的工作站 S_j 中,即令 $J = \{e\}, S_j = S_j \cup J$, 进入本步骤的 4);
- 4) 令 $P = P - J, F = F \cup J, E = E - J$;
- 5) 设计数初值 $k = 1$;
- 6) $Q_k = Q_k - Q_k \cap J$;
- 7) $k = k + 1$, 如果 $k > N$ 进入本步骤的 8), 否则, 转向本步骤的 6);
- 8) 判断是否所有任务已经全部安排到工作站中, 如果是, 即 $P = \emptyset$, 进入步骤 4, 否则转向步骤 2, 继续尚未分配的任务。

步骤 4 结束。

按照上述步骤,将任务分配到各个工作站中.因为任务分配中的优化目标是 minimized 工作站数目,任务分配的结果可能造成前面的工作站负荷率较高,而后面的工作站负荷率较低,使生产线上各工作站中负荷不平衡.另外,算法的任务分配中作业量的依据是多个品种产品的平均作业时间,由于不同品种产品之间的作业任务和时间的差异,难于实现装配线的动态平衡.为此,通过仿真,模拟多品种产品的混合装配过程,分析系统动态性能,对各分配到工作站中的任务进行局部调整,以进一步平衡各工作站间负荷。

4.2 多品种混合装配线仿真建模及平衡问题研究

为进一步优化求解结果,采用仿真技术对采用启发式算法求解的结果进行仿真研究.图 3 为应用 eM-Plant 仿真软件对多品种混合装配线建模的一个例子,例中,生产线上有四个工作站分别是 workstation1 workstation2 workstation3 和 workstation4,产品从 Entrance 流入,从 Exit 流出. Event Controller 是事件控制器,通过事件控制器来控制事件发生时刻. Proctime1 Proctime2 Proctime3 和 Proctime4 分别用于对上述四个工作站设定作业时间.每个工作站的作业时间是分配到该工作站所有任务的作业时间的总和,因为不同品种产品包含的作业任务有所不同,而且不同品种产品在相同作业任务上的作业时间也可能不同,所以不同品种产品在同一工作站的工作耗用时间不同,因此根据上节启发式算法的得到的任务分配结果,在 Proctime i ($i = 1, 2, 3, 4$) 中用 Smtalk 语言

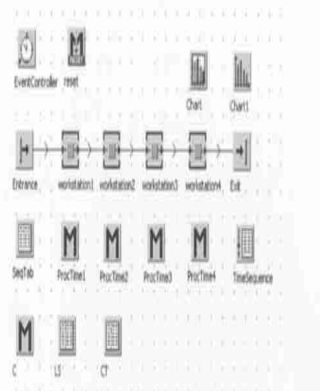
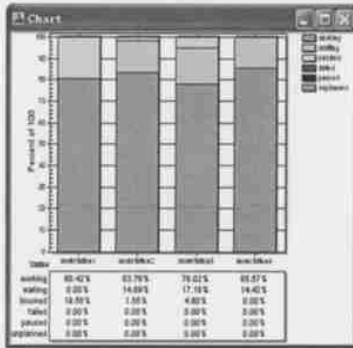
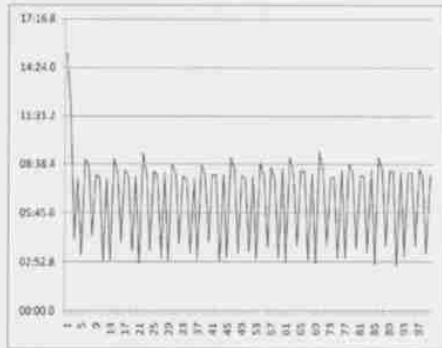


图 3 多品种混合装配线仿真模型举例

编程,定义分配到 workstation i 中的任务以及每个品种产品所包含的任务和作业时间,从而控制每种产品在工作站中的作业时间. Chart 用于显示各工作站工作率、等待率和阻塞率等指标.



(a) 各工作站工作率、等待率和阻塞率



(b) 节拍瞬时值

图 4 仿真结果举例

图 4 为图 3 模型的运行结果,图 4(a)中的柱状图,显示出每个工作站工作时间、等待时间和阻塞时间的百分率,即工作率、等待率和阻塞率,反映出系统的动态过程.若某工作站的工作率相对其他工作站低,说明分配到该工作站的作业量较低,如图中 workstation3,应适当增加作业任务.若某工作站等待率较高,说明其紧前工作站的作业时间较长,这种情况应从两方面分析,一方面是由于其紧前工作站的平均负荷较高,如图中 workstation2 的平均负荷高于 workstation3,这是静态分析;另一方面,即使紧前工作站的平均负荷低于本工作站,也可能会出现较高的等待率,如 workstation3 的平均负荷低于 workstation4, workstation4 的等待率也比较高,这是由于不同品种产品作业时间的差异造成的瞬间的等待,反映的是在瞬态过程中的等待时间,这个时间很难用数学模型来描述.若某工作站阻塞率较高,说明其后续工作站的作业时间比本工作站长,也分为静态和动态两种情况分析,分析方法与分析等待率类似.

图 4(b)显示生产线上连续两件产品的时间间隔,即生产节拍的瞬时变化情况.因为多品种产品按照一定的顺序循环投入装配线上,而不同品种产品的装配时间不同,所以,生产节拍按照产品投放的循环周期变化.平均节拍反映了装配线的生产能力,当多品种产品装配作业任务在各个工作站中的分配合理,使各工作站等待和阻塞率较低,工作率高,平均生产节拍就会比较高.所以生产节拍也是反映作业任务在各个工作站中的分配合理性的一个指标.

通过对仿真结果的分析,找出作业任务分配的改善方向,调整作业任务分配,进一步优化求解结果.

5 实例分析

某电子厂生产办公设备,在一条混合装配线上生产 A 、 B 、 C 三种产品,一个季度的需求量为 $D_A = 1020$ 台、 $D_B = 850$ 台、 $D_C = 510$ 台,每种产品的需求量占总需求量的比例分别为

$q_A = \frac{3}{7}$ 、 $q_B = \frac{5}{14}$ 和 $q_C = \frac{3}{14}$. 三种产品的综合作业顺序图如图 5 所示,每个任务作业时间如

表 1所示,其中, t_{iA} 、 t_{iB} 和 t_{iC} 分别表示品种 A、B 和 C 第 i 个任务的作业时间; \bar{t}_i 表示三个品种以需求比例为权值的加权平均值.表中有些任务的作业时间为 0 表示与其对应品种的产品不包括该作业任务,例如,只有 B 产品包括任务 9,而 A 产品和 C 产品均不包括任务 9.考虑一天工作时间 8 小时,每月 22 个工作日,则一个季度为 66 个工作日,平均生产节拍可以根据公式 (4) 计算为:

$$C = \frac{T}{\sum_{m=1}^M D_m} = \frac{66 \times 8 \times 60}{(1020 + 850 + 510)} = 13 \text{ 分 } 8 \text{ 秒} = 798 \text{ 秒}$$

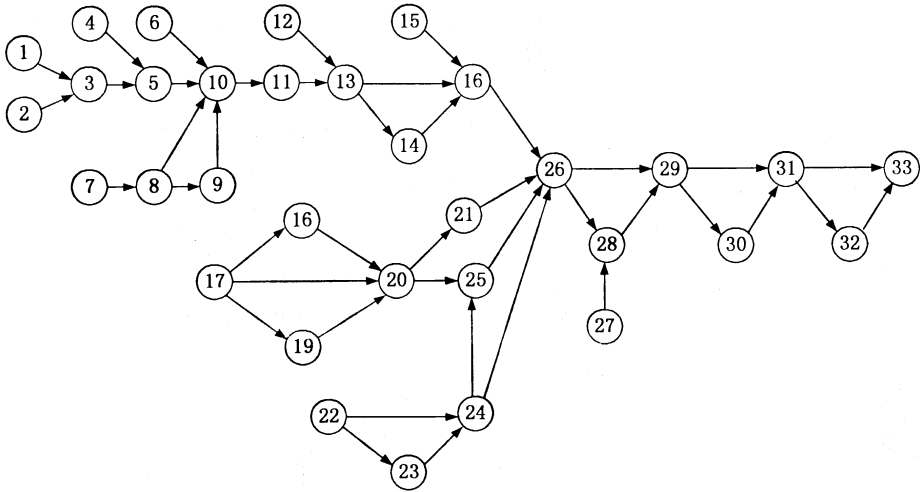


图 5 产品 A、B、C 综合作业顺序图

表 1 各产品各个作业任务的标准作业时间 (单位: 秒)

任务	作业时间				任务	作业时间				任务	作业时间			
i	t_{iA}	t_{iB}	t_{iC}	\bar{t}_i	i	t_{iA}	t_{iB}	t_{iC}	\bar{t}_i	i	t_{iA}	t_{iB}	t_{iC}	\bar{t}_i
1	360	300	360	339	12	130	140	130	134	23	176	0	88	94
2	500	250	500	411	13	220	280	220	242	24	180	290	100	202
3	119	288	119	179	14	0	242	0	86	25	150	0	120	90
4	0	290	104	104	15	379	300	379	351	26	150	150	150	150
5	120	150	120	131	16	117	144	117	127	27	0	120	0	43
6	245	300	245	265	17	400	400	380	396	28	0	170	0	61
7	170	140	182	162	18	400	0	0	171	29	384	428	384	400
8	90	70	100	85	19	0	0	350	75	30	0	400	0	143
9	0	60	0	21	20	200	210	150	193	31	410	390	406	402
10	120	144	120	129	21	0	350	0	125	32	0	286	310	169
11	120	147	120	130	22	360	300	350	336	33	200	144	160	171

根据图 5 给出的综合作业顺序图和表 1 给出的任务的作业时间,按照 3.1 节介绍的启发式算法分配任务,求解结果如表 2 所示,将其称为分配方案 1.

表 2 分配方案 1

工作站 <i>j</i>	任务 <i>i</i>	工作站 <i>j</i>	任务 <i>i</i>
1	1 2 27	5	8 9 19 20 21 24 25
2	15 17	6	10 11 13 14 16
3	3 6 22	7	26 28 29 30
4	4 5 7 12 18 23	8	31 32 33

用 eM-Plant 仿真软件对混合装配线建模,如图 6所示.按照分配方案 1对模型中 ProcTime *i* 编程,置入每个品种产品在各个工作站中的作业时间.运行仿真模型,仿真结果如图 7所示.装配线上各工作站工作率平均值为 74.64%,生产节拍平均值为 16分 55秒.从仿真结果可以看出: 1)工作站工作率最高为 77.78%,最低为 69.47%; 2)生产节拍平均值高于公式 (4)的计算值.工作站的工作率一方面反映出分配到工作站中的作业量大小,另一方面反映出配线的负荷平衡情况;生产节拍平均值高于计算值是由于瞬时负荷不平衡造成的,由于混合装配线上不同品种产品存在作业任务和作业时间上的差异,所以装配线上瞬时负荷不平衡必然存在,而理论计算中没有涉及到瞬时负荷不平衡对生产节拍的影响,因此由仿真结果得到生产节拍平均值必然高于理论计算值.

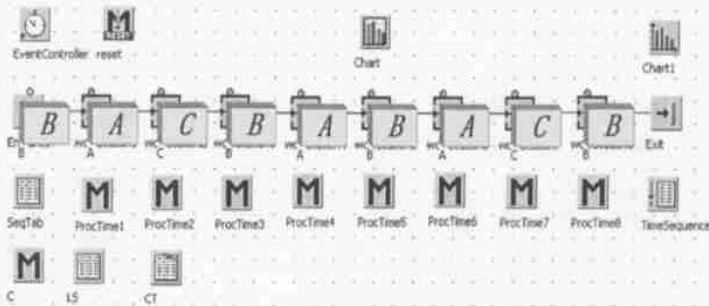
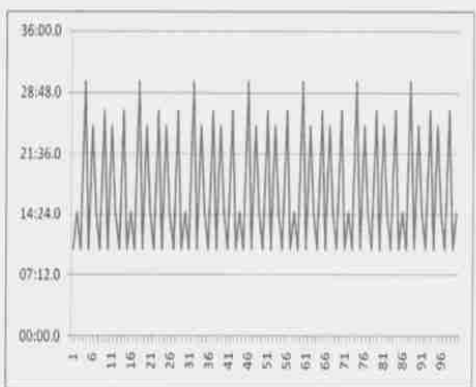
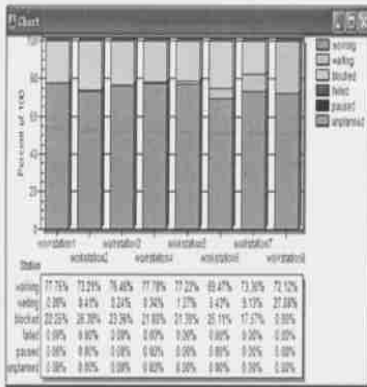


图 6 混合装配线仿真模型



(a) 各工作站工作率、等待率和阻塞率

(b) 节拍瞬时值

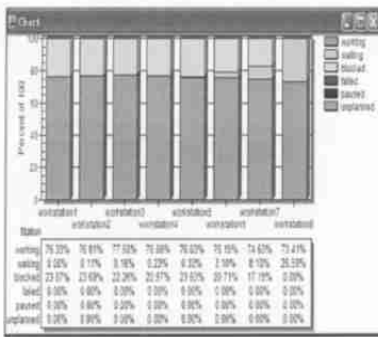
图 7 分配方案 1仿真结果

根据上述分析对作业分配进行调整.首先由仿真结果找出瓶颈工作站,对其中部分作业

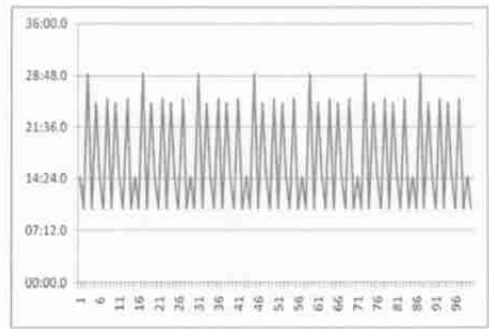
任务在满足作业先后顺序约束的情况下进行调整,这种调整允许不同品种产品的相同作业任务安排到不同的工作站中,这样有利于均衡各工作站的作业量;其次调整过程中尽量均衡同一工作站中不同品种产品的作业量,以降低装配线瞬态不平衡率,减少阻塞或等待时间,提高工作站工作率.调整后的分配方案称为分配方案 2如表 3所示.仿真模型运行结果如图 8所示,装配线上各工作站工作率平均值为 75.97%,生产节拍平均值为 16分 40秒.可以看出,与分配方案 1相比均有一定程度的改善.

表 3 分配方案 2

工作站 j	任务 i	工作站 j	任务 i
1	1 2(A B) 17(C) 27	5	8(A C) 9 19 20 21 24 25
2	2(C) 15 17(A B)	6	10 11 12(A) 13 14 16
3	3 6 22	7	26 28 29 30
4	4 5 7 8(B) 12(A C) 18 23	8	31 32 33



(a) 各工作站工作率、等待率和阻塞率



(b) 节拍瞬态值

图 8 分配方案 2仿真结果

6 结 论

本文将启发式算法与系统仿真相结合,对多品种混合型装配线平衡问题进行了研究.多品种混合型装配线平衡问题属于 NP-hard,很难用精确方法求解,启发式方法是较为有效的方法.但是由于不同品种产品之间作业任务和时间上的差异,理论上的建模和求解很难体现出系统的动态特征,特别是通过多品种综合作业顺序图将多品种装配线等效成单品种装配线,再用单品种装配线平衡方法研究多品种装配线平衡问题就更难找到最优解.生产系统仿真是对生产过程的模拟,通过对多品种混合型装配线仿真结果分析,可以得到许多用数学建模和分析方法所得不到的信息,这些信息可支持系统的分析和优化.从本文的算例分析可以看出,理论计算和仿真结果存在一定的差距,这种差距是由于系统动态特性而产生的,而系统动态特性很难用数学方法表达,所以将数学建模和求解与仿真分析结合起来研究多品种混合型装配线平衡问题是一种有效的方法.

参考文献:

[1] Rahimi-Vahed A R, Rabbani M, Tavakkoli-Moghaddam R, Torabi S A, Jolai F. A multi-objective scatter search for a mixed-model assembly line sequencing problem[J]. Advanced Engineering Informatics, 2007, 21(1): 85-99.

[2] Miltenburg J, Sinnamoni G. Scheduling mixed model multi-level just-in-time production systems[J]. International

- Journal of Production Research, 1989, 27(9): 1487-1509.
- [3] Bukchin Y, Rabinowitch I. A branch-and-bound based solution approach for the mixed-model assembly line-balancing problem for minimizing stations and task duplication costs [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174(1): 492-508.
- [4] Matanachai S, Yano C A. Balancing mixed-model assembly lines to reduce work overload [J]. IIE Transactions, 2001, 33(1): 29-42.
- [5] Vilarinho P M, Simaria A S. A two-stage heuristic method for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations [J]. International Journal of Production Research, 2002, 40(6): 1405-1420.
- [6] Karabati S, Sayin S. Assembly line balancing in a mixed-model sequencing environment with synchronous transfers [J]. European Journal of Operational Research, 2003, 149(2): 417-429.
- [7] Xhao X, Ohno K, Lau H S. A balancing problem for mixed model assembly lines with a paced moving conveyor [J]. Naval Research Logistics, 2004, 51(3): 446-464.
- [8] Simaria A S, Vilarinho P M. A genetic algorithm based approach to the mixed-model assembly line balancing problem of type II [J]. Computers & Industrial Engineering, 2004, 47(4): 391-407.
- [9] 宋华明, 韩玉启, 杨慧. 多品种混合型装配流水线的平衡设计 [J]. 中国机械工程, 2003, 14(6): 475-478.
- [10] Song huaming, Han yuqi, Yang hui. Mixed-model assembly line balancing design [J]. China Mechanical Engineering, 2003, 14(6): 475-478.

A Method for Mixed-model Assembly Line Balancing Problem

YU Zhao-qin, SU Ping

(Faculty of Mechatronics Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract In this paper, mixed-model assembly line balancing problem is described and modeled, and a heuristic procedure was proposed to solve the problem with the objective of minimizing the number of workstations. To improve the solution further, the simulation model for the mixed-model assembly line was developed, and the ratio of working time, waiting time and blocking time was analyzed. Based on the study of the simulation model, the solution was improved by reassigning some tasks to other workstations, which allow a common task to be assigned to different stations for different models, aiming at smoothing the workload balance within each workstation. The method simplifies the procedure of searching the solution and considers the dynamic characteristic and the restriction of a common task must be assigned to a single station synchronously that affect the solution. Finally, an example was given to show the efficiency of the method.

Keywords assembly line balancing; Mixed-model; heuristic method; simulation