

SCHEDULING AND SEQUENCING PROBLEM OF MIX-MODEL-ASSEMBLY-LINE (RID: A329)

Niu Hao ¹, Anna M. Coves Moreno ², Gerrit Faerber ³

¹ Henan Science and Technology University, No.48, Xiyuan Road, Jianxi, Luoyang, Henan, 471039, niuhao@mail.haust.edu.cn

^{2,3} Universitat Politècnica de Catalunya, Av.Diagonal, 647, planta 11, 08028 Barcelona, Spain, anna.maria.coves@upc.es, gerrit_faerber@gmx.de

ABSTRACT

Mixed Model Assembly Line is the general trend of the automobile industry in our country. The scheduling and sequencing problem is the key technology of the assembly line. Toyota (Japan) production system admits workers to stop the conveyor whenever they fail to finish the operation within their work station in a mixed model assembly line, so, the conveyor stoppage is an important subject in sequencing problem for mixed model assembly line in the Toyota production system. According to this subject, its object of the industrial organization policy is minimizing the total conveyor stoppage time. While in the mixed model assembly line of the United States, if the worker is not able to finish the work piece when he arrives the end position, he returns to the start station, leaving the unfinished work piece to be done by the auxiliary worker. In this situation, the object of the industry organization policy of the mixed model assembly line in the United States which is quite different from that of Japan is minimizing the unfinished work load. Studying on the industry theory of the United States, this paper aims at minimizing the utility time (the time used by the auxiliary worker for completing the unfinished work piece), idle time (the time used for the worker is kept for waiting for a work piece to enter the boundary of his allowable work area) and the cost of production under the conditions of different lengths of the assembly line. This paper also studies the relationship between the number of stations, different models of the work pieces needed to process and the time calculated by the computer. One of the results of this paper is when other conditions of the mixed model assembly line (for example, the number of work pieces, the number of stations, the kind of different work piece models, etc.) are settled, the idle time, utility time and the cost of the idle time, utility time are decreased with the increasing of the length of the line (within the length of 15m and 22m). This paper uses the algorithm of Branch and Bound for finding the optimal sequencing of the assembly line. Results show that the algorithm of Branch and Bound is a useful method for finding the optimal results, but it is not suitable for large scale and complicated assembly lines. So, for large scale mixed model assembly line with numerous of work stations and kinds of work pieces, new and more practiced algorithms for example Genetic Algorithm (GA) and Simulated Annealing Algorithm (SAA) are needed to be used.

Keywords: Mix-Model-Assembly-Line, Scheduling and sequencing, Branch and Bound

RID:A329

混流装配线的生产调度问题

牛皓,¹ Anna M.Coves Moreno,² Gerrit Färber.³

¹ 河南科技大学机械电子工程系, 河南洛阳涧西区西苑路48号, 471039, niuhao@mail.haust.edu.cn

^{2,3} 西班牙巴塞罗那理工大学工业管理与控制学院, Av. Diagonal 647, Barcelona, Spain, 08028,
anna.maria.coves@upc.es, gerrit_faerber@gmx.de

摘要

混流生产装配线是我国汽车工业发展的必然趋势, 其生产调度问题是装配线的关键技术所在。与以丰田公司为代表的日本汽车工业管理策略不同的美国汽车工业其生产管理目标之一是“最小化总的未完成工作量”。本文依照美国工业管理思维研究了在不同生产线长度与最小化辅助加工时间, 最小化工人空闲时间, 最少辅助加工时间, 最小化工人空闲时间成本的关系, 同时也研究了不同工作站数目, 待加工零件的品种和数目条件下的计算速度, 并用分支定界法求解出最优目标函数。结果显示分支定界法是极有用的组合优化方法, 但对于复杂大规模的生产线不是很适用。

关键词: 混流装配线, 生产调度, 分支定界法

1. 概述

流水装配线作为一种高效的生产组织形式, 早在本世纪初就开始应用于汽车的装配。然而随着用户对产品多样化, 个性化, 小批量的需求, 混流装配线 (MMAL) 被越来越多的厂商接受, 并已显示其优越性。例如德国 OPEL 汽车公司提供一系列有关其产品发动机马力, 型号, 尺寸, 车身颜色, 尺寸等清单供用户选择, 然后根据用户实际需求生产汽车。由于其灵活的生产方式和多品种的产品系列使其在市场上占有越来越多的份额。

我国汽车厂家目前以单一车型为主, 但开发高效, 适用的混流生产装配线是我国汽车工业发展的必然趋势。混流生产装配线要解决得关键技术问题是生产调度问题。以日本丰田公司为代表的日本汽车工业的生产管理策略是这样的: 当某工人在其作业域内在规定时间内不能完成组装作业时, 本作业域的工人就停止传送带的移动, 继续

进行组装作业, 直到完成后再启动传送带。因为按照日本丰田管理思路, 操作工人在其作业域内不能完成的作业被视为不合格产品, 而不合格产品是绝对不允许从前道工序流到后道工序的。因此日本汽车工业生产管理的目标函数比较常见的是“传送带停止时间最小化”。而美国汽车工业生产管理策略是当某工人在其作业域内在规定时间内不能完成组装作业时, 本作业域的工人直接进行下一车辆的组装作业, 没有完成的作业由组装线以外的辅助工人完成。因此根据其生产管理策略而制定的目标函数通常是“最小化总的未完成作业量”。

本文是依照美国工业管理思维研究了在不同的生产线元素例如生产线长度, 工作站数目, 待加工零件的品种和数目, 等条件下最小化辅助加工时间, 最小化工人空闲时间, 最小化辅助加工时间成本, 最小化工人空闲时间成本, 以及最佳各工作站长度等问题。

2. 生产流水线形式。

混流装配线是用来加工不同产品品种的作业线。在加工过程中, 不同的品种所需的加工时间不同。每一作业域只有一名工人操作。作业域有两种, 即封闭型和开放型。他们的区别在于在开放型作业域中当工人完成本作业域作业时, 可以跨越本作业域而进入其他作业域提前进入下一作业的生产, 而在封闭作业域工人不能越过作业域边界。

本文所研究的是作业域左边界开放式装配线, 也就是说工人在完成本作业域操作的情况下可以进入前一作业域提前开始下一作业的操作。图 1 所示为两种形式的作业域。实线表示操作工人沿装配线运动方向进行操作, 虚线表示

工人返回作业域左边界。图左方箭头表示加工顺序。图 1a 是封闭型，图 1b 是开放型。自然第一作业域左边界总是封闭的，因此在计算中其计算表达式需根据是否是第一作业域而有不同的形式。

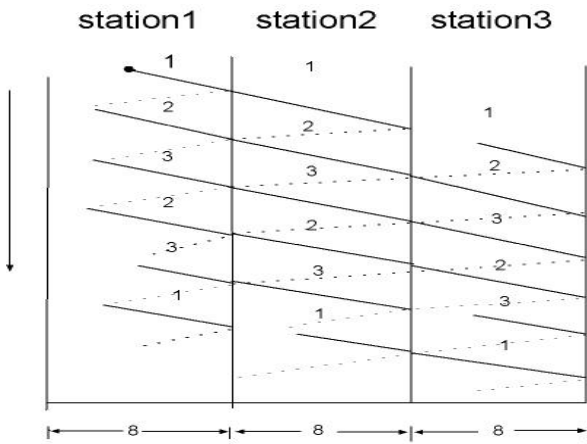


fig 1a

图 1a 封闭型工作站

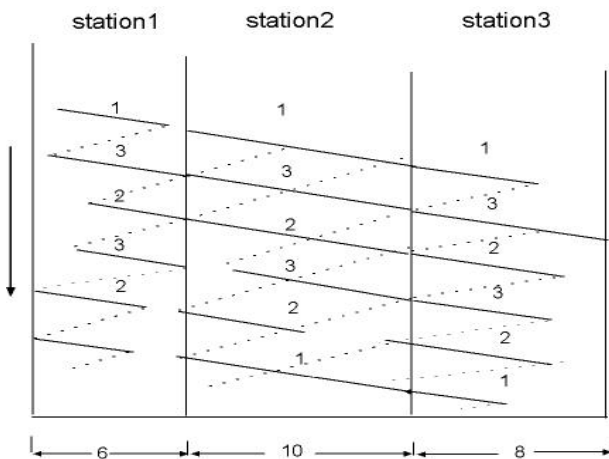


fig 1 b

图 1b 开放型工作站

3. 符号及变量的定义

为了进行作业线的计算，需定义以下符号及变量：

- i ---- 工作站, $i \in \{1, 2, \dots, N\}$
- j ---- 作业件, $j \in \{1, 2, \dots, N\}$
- m ---- 作业件品种
- P ---- 最小作业组合中作业品种的数目

- L_{max} ---- 装配线最大总长度
- N ---- 工作站数目
- $t_{m,i}$ ---- 品种 m 在工作站 i 的装配时间
- V_c ---- 装配线运行速度
- V_g ---- 工人走动速度
- S_i^0 ---- i 工作站起始参考点
- $S_{i,j}$ ---- 工人在 i 工作站对于 j 工件的起始作业点
- $d_{i,j}$ ---- 工人对于 i 工作站 j 工件逆流水线行走的距离
- $I_{i,j}$ ---- 工人在 i 工作站 j 工件的空闲时间
- $U_{i,j}$ ---- 工人在 i 工作站 j 工件的辅助加工时间
- L_i ---- 工作站 i 的长度
- $R_{m,j}$ ---- 如果 j 作业是品种 m 则是 1, 否则是 0
- a ---- 作业线上两作业投放时间间隔

4. 定义及公式

下列公式是作业线左端开放式的形式。但其第一个工作站左端总是封闭的，也就是说第一个工人不可能在其工作站起始参考点 S_1^0 之前开始工作。因此有关起始点，空闲时间，逆行方向距离的表达式分别有两个，要取决于是否是第一工作站。

两种表达式中公用的参数是作业线总长度，各个作业在每个工作站所需作业时间，要加工的每种作业品种的数目，其中最小作业组合的定义是这样的：例如要加工 6 个作业件，其中第一品种是两个，第二品种是一个，第三品种是三个，其最小作业组合就是 2/1/3。

4.1. 起始点

操作工人开始某一零件的起始位置就是起始点。在左端开放式工作站中，某工人的起始工作点未必就是本站工作站的左边界。

$$\text{第一工作站, } S_{1,j+1} \geq S_1^0$$

其它工作站

$$S_{i,j+1} = S_{i,j} + v_c \cdot \sum_{m=1}^M (R_{m,j} \cdot t_{m,i}) - v_c \cdot U_{i,j} - d_{i,j}$$

条件是：

$$S_{i+1,j} \geq S_{i,j} + v_c \cdot \sum_{m=1}^M (R_{m,j} \cdot t_{m,i})$$

4.2. 辅助加工时间

按照美国工业管理思路,在操作工人到达其工作站右边界但还没有完成本作业的操作时,本工人返回左边界继续进行下一作业的操作,没有完成的作业交由辅助工人完成,辅助工人完成该作业的时间叫辅助作业时间。对于所有的工作站有以下

表达式:

$$U_{i,j} = \text{MAX} \left\{ \sum_{m=1}^M R_{m,j} \cdot t_{m,i} - \frac{(L_1 + L_2 + \dots + L_i) - S_{i,j} + S_1^0}{v_c}, 0 \right\}$$

4.3. 空闲时间

与以上情况相反的是,当操作工人结束本作业域的作业,但由于上一操作工还未结束其作业域的作业从而导致本工人还不能开始下一作业的操作时,本工人就要停止操作,其等待的时间就是空闲时间。

对于第一个工作站,其表达式为:

$$I_{i,j+1} = \text{MAX} \left\{ 0, a - \left[\frac{S_{i,j} - S_1^0}{v_c} + \sum_{m=1}^M (R_{m,j} \cdot t_{m,i}) - U_{i,j} \right] \right\}$$

对于其它工作站表达式为:

$$I_{i,j+1} = \text{MAX} \left\{ 0, a - \frac{d_{i,j}}{v_c} \right\}$$

4.4. 逆作业线运行方向距离:

当操作工人完成本作业域作业,沿逆作业线方向以 V_g 速度返回,直到遇到下一作业件并开始其操作,其间操作工人所行走的距离叫逆作业线运行方向距离。

对于第一个工作站,其表达式为:

$$d_{i,j} = \text{MIN} \left\{ S_{i,j} - S_1^0 + v_c \cdot \sum_{m=1}^M (R_{m,j} \cdot t_{m,i}) - v_c \cdot U_{i,j}, a \cdot v_c \right\}$$

对于其他工作站表达式为:

$$d_{i,j} = \text{MIN} \left\{ S_{i,j} + v_c \cdot \sum_{m=1}^M (R_{m,j} \cdot t_{m,i}) - v_c \cdot U_{i,j} - S_{i,j+1}, a \cdot v_c \right\}$$

4.5. 目标函数

本文是按照美国工业管理思路进行研究的,目的是求得最优加工顺序,每个工作站的最优长度以使辅助加工时间和工人空闲时间最小化。

最小辅助加工时间目标函数表达式为:

$$\text{MIN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N U_{ij}$$

最小工人空闲时间目标函数为:

$$\text{MIN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N I_{ij}$$

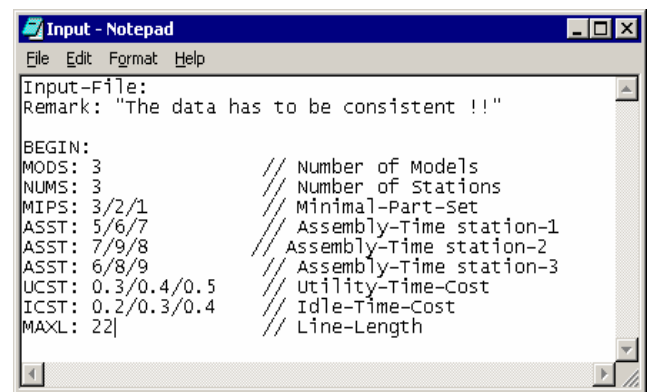
5. 分支定界算法

本文用分支定界算法编制优化程序,计算是在 Pentium-III 450 MHz 机子上运行的。

5.1. 数据的输入

起始数据输入一个叫 Input.txt 的文件中,该文件中作业品种数,工作站数,最小作业组合重复作业次数,流水线移动速度,最小作业组合,某一作业件在某一工作站作业时间,每种产品辅助加工费用,每种产品空闲时间费用及流水线总长分别用 MODS, NUMS, FREQ, CONS, MIPS, ASST, UCST, ICST, MAXL 表示。(如下表 1 所示)。

表 1 起始数据输入表

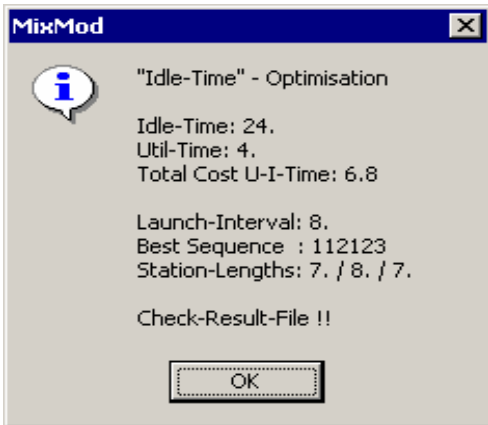


5.2. 结果的输出

作业线工人空闲时间,辅助加工时间及空闲时间费

用, 辅助加工时间费用这些数据结果用一个叫 MixMod 的文件输出, 作业件在作业线上的投放间隔, 最优作业排序及每个工作站的长度数据结果也同时输出。(如下表 2 所示)。

表 2 计算结果输出表



5.3. 讨论

当改变生产线元素例如改变生产线长度, 工作站数目, 待加工零件的品种和数目时, 目标函数最小辅助加工时间, 最小工人空闲时间以及最小辅助加工时间费用, 最小工人空闲时间费用将有不同程度的改变。

5.3.1. 生产线长度

表 3 生产线长度与空闲时间, 辅助时间及成本关系表

长度(米)	空闲时间(分)	辅助时间(分)	成本(元)
15	58	38	30. 6
16	52	32	26. 4
17	46	26	22. 2
18	40	20	18
19	35	15	14. 5
20	30	10	11
21	27	7	8. 9
22	24	4	6. 8
23	21	1	4. 7
24	20	0	4
25	20	0	4

本文研究了在其它生产元素不变的情况下, 生产线总

长度从 15 米增加到 25 米, 辅助加工时间, 工人空闲时间以及辅助加工时间费用, 工人空闲时间费用随其变化的关系。数据如上表所示。

由以上表可以看出, 辅助加工时间, 工人空闲时间以及辅助加工时间费用, 工人空闲时间费用随生产线长度增加而减少, 但当生产线长度增加到一定程度时, 这三个变量已不再变化。

5.3.2. 工作站数目

工作站数目是根据被加工零件的需求而制定的, 也就是说在买方市场条件下, 是根据用户需求而制定的, 其数目的增加无疑将使计算复杂化。在其它生产元素不变的情况下, 工作站数目与计算时间的关系如下表所示(本例待加工零件品种为 3)

表 4 工作站与计算时间关系表

工作站(个)	计算时间(秒)
1	4
2	15
3	78
4	746

5.3.3. 加工零件的品种

待加工零件的品种也是根据用户的需求而制定的, 零件品种越多, 计算时间也越长。在其它生产元素不变的情况下, 待加工零件的品种与计算时间的关系如下表所示(本例工作站数目为 3):

表 5 加工零件的品种与计算时间关系表

加工零件品种(个)	计算时间(秒)
1	4
2	9
3	37
4	560

由以上表可以看出, 当待加工零件的品种增加到 4 时, 计算机运行速度也明显减慢, 由此可以看出, 分支定界法对于大规模复杂装配线求解不是很实用。

6. 结论

本文按照美国汽车工业管理思路研究了生产线长度与最小化辅助加工时间,最小化工人空闲时间以及辅助加工时间费用,工人空闲时间最少费用问题的关系以及不同加工零件品种,不同工作站数目与计算速度的关系,并用分支定界法求解出最优目标函数。结果显示分支定界法是极有用的组合优化方法,特别在不同品种零件的加工时间相差很大的情况下。原因在于在此情况下,在计算过程中可以去掉许多分支而使计算时间大大缩短。但当工作站的数目比较大,需加工的零件的数目和品种较比较多时,而这种复杂大规模的混流生产装配线又是未来我国汽车工业发展的必然趋势,分支定界法的计算速度和计算时间就不能满足要求。对于未来复杂大规模的混流生产线应选用的其它真正方便实用的组合优化方法例如遗传算法和模拟退火法是今后值得研究的方向。

参考文献

- [1] 赵晓波, 周兆英. 混合车型组装线的投入顺序问题. 中国机械工程 1998 年第 9 卷第 3 期: 28-31
- [2] 赵伟, 等. 准时生产方式下混流装配线的调度问题. 管理科学学报 2000 年 2 月 23-28
- [3] Armin Scholl. Balancing and Sequencing of Assembly Lines. Second Edition. Darmstadt, Germany. 1999.
- [4] Yano, C. A. and R. Rachamadugu Sequencing to Minimize Work Overload in Assembly. 1991
- [5] Bhaba R. Sarker and Haixu Pan. Designing a Mixed Model Assembly Line to Minimize The Costs of Idle and Utility Times. Computers and Industry Engineering 34, 609-628. 1997.
- [6] Z. Xiaobo and Katsuhisa Ohno. Properties of a sequencing problem for a mixed model assembly line with conveyor stoppages. Europe Journal of Operation Research 124 (560-570). 2000.
- [7] Bhaba R. Sarker and Haixu Pan. Designing a mixed-model, open station assembly line using mixed-integer programming, Journal of Operation Research. 2001.