一、问题背景介绍

调度是指将有限的资源在时间上分配给若干个任务，以满足或优化一个或多个目标。在生产制造领域，作业车间调度问题(*Job-shop Scheduling Problem*，*JSP*)是实现制造业生产高效率、高柔性和高可靠性的一类经典问题。*JSP* 可定义为：n 个工件在 m 台机器上加工，每个工件有特定的加工路线，每个工件使用机器的顺序及每道工序所需时间给定，需要确定如何安排工件在每台机器上工件的加工顺序，使得某种指标最优。一般 *JSP* 的目标为确定每个机器上工序的加工顺序和每个工序的开始加工时间，使得最大完成时间最小或其他指标最优（其中最大完成时间为系统中第一个工件开始加工至最后一个工件加工完成所需要的时间）。

随着制造业生产环境的愈加柔性化和复杂化，实际生产过程对生产调度的要求也逐渐提高。近年来，批量调度问题得到了越来越多的关注。批量调度问题是对 *JSP* 问题的扩展，生产线中的每类工件由单个拓展为多个。所谓批量调度，即当生产线中一类或多类工件到达一定数量时，可将工件的待加工批量分为多个子批，每个子批包含一定数量的单个工件，从而使得生产线不同阶段的机器实现加工时间的重叠生产，最终令最大完成时间 C_{max} 得以缩短，从而提高生产效率。如图 1 所示案例中，设生产线中有 3 台机器和 2 类工件，工件 A 在三台机器上的加工时间分别为 2、4、2，工件 B 在三台机器上的加工时间分别为 4、2、4。若不采取分批策略，则生产线的最大完成时间 C_{max}=12；若采取分批策略，例如将工件 A 均分为两批，工件 B 也均分为两批，则可实现最大完成时间的减小，如图 1 中（顺序 AABB 所示）进行分批后 C_{max}=10；此外，进行分批后，也能实现如图 1 中顺序 ABAB 和 BABA 所示的调度方式，即可令两种工件在同一台机器上进行交错加工，可进一步缩短最大完成时间。

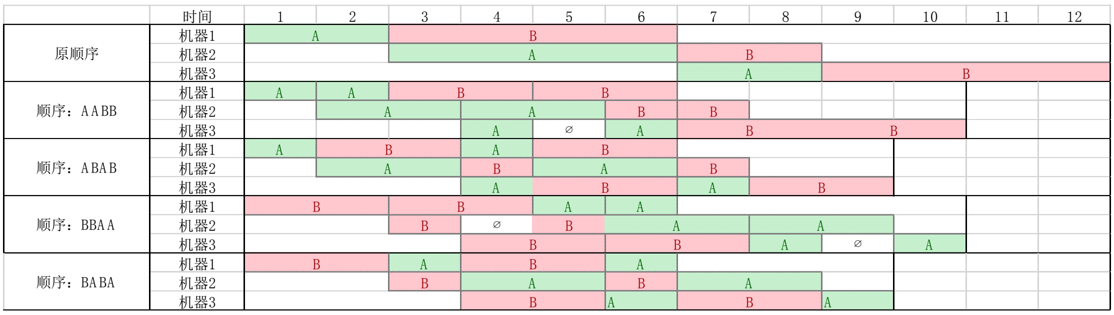

图 1 进行分批后生产线的最大完成时间变化

值得注意的是在生产过程中，一般会规定分批时的最小批量，即一批工件所包含的工件个数不能小于该值。

除去分批调度的引入，伴随着柔性生产线的应用，换模时间（*setup time*）也需要作为考虑因素进行研究。若生产线中存在具备加工不同种类工件能力的机器，当该机器加工完某类工件后再进行另一类工件的加工时，通常需要进行模具的更换或具体工艺参数的调整，这个调整过程所需的时间即称为换模时间。

二、问题描述

现在有一条生产线由 10 个工位组成，生产线可加工 n 类不同的工件。每个工位中至少包含一台机器。同工位内的机器可认为完全相同，称包含多台机器的工位为并联工位。各个工位中的机器数量如表 1 所示。某批工件进入某并联工位加工时可选择其中任何一台机器进行加工。生产线示意简图如图 2 所示。忽略工件在不同工位之间转移所需的时间。

表 1 各工位中的机器数量

工位编号	工位内机器数量
1	1
2	2
3	3
4	3
5	3
6	2
7	2
8	4
9	1
10	1

设机器 i 的代号为 M_i（同一工位内的机器代号均相同），工件 i 的代号为 J_i。输入参数如各类工件在各机器上的加工时间、不同工件在不同机器上先后加工时的换模时间、各类工件的总批量等信息见具体题目。

选择题目 1 至 3 中任意两个题目，根据题目中给出的参数信息，查阅相关论文资料，明确应包含的约束，建立对应数学模型，并通过设计对应求解算法，求解得到该输入下使得最大完成时间 C_{max} 最小的调度方案（根据查阅的资料也可再另外采用其他目标，但最大完成时间必须作为一个目标实现）。调度方案应包括的信息为：（1）各类工件的应分为多少批次，

以及每个批次包含的工件数量是多少；（2）各个批次的工件在各台机器上开始加工的顺序。

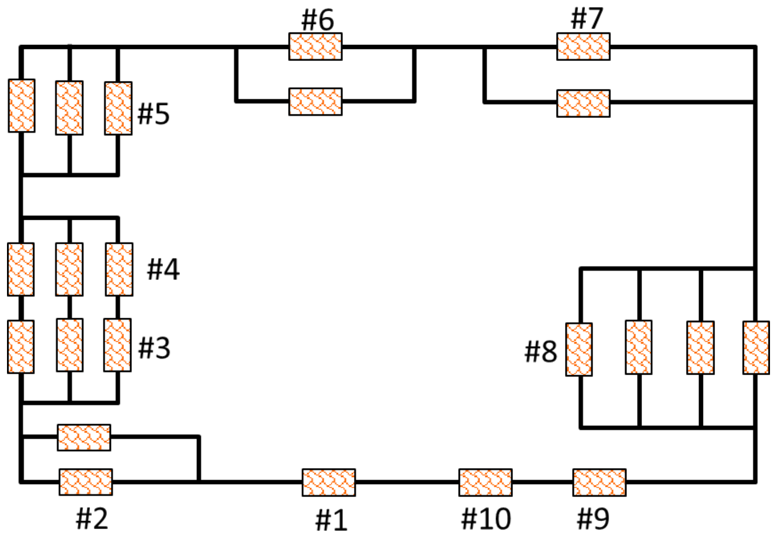

图 2 生产线简图

三、题目

共 3 个题目，分别对应不同的生产环境。注意各类输入数据都有 5 个算例 case，分别一一对应（即加工时间中的 Case1+工件总批量中的 Case1+换模时间中的 Case1+机器宕机参数中的 Case1/工件到达时间窗中的 Case1 是整个 Case1 的全部输入）。

题目 1. 确定性情况

本题目中所有输入均为确定量。设所有工件在系统时间为 0 时均已到达生产线。输入参数包括工件加工时间、工件批量和换模时间三类。

各工位的单个工件在各个机器上的加工时间如表 2 所示（单位：秒）。以表 2-case1 为例，该例中可看出生产线共可加工生产 5 种不同类型的工件。注意表中的时间指的是在一台机器上的加工时间，例如 Case1 中 J_1 在 M_2 上的加工时间 324s 指的是 J_1 在 2 号工位中的一台机器上的加工时间，J_1 在 2 号工位的另一台机器上的加工时间同样也是 324s，其余同理。0 表示该工件在该工位上无加工步骤。可知 Case1 中各工件的加工工艺路径为：

J_1：M_1-> M_2->M_3->M_4->M_5->M_6->M_7->M_8->M_9->M_{10}

J_2：M_1-> M_2->M_3->M_4->M_7->M_8->M_{10}

J_3：M_1-> M_3-> M_4->M_5->M_6->M_8->M_9->M_{10}

J_4：M_1-> M_2->M_5->M_6->M_7->M_9->M_{10}

J_5：M_1->M_2->M_3->M_4->M_5->M_6->M_7->M_8->M_9->M_{10}

其余 Case 中的数值与 Case1 中数值含义相同。

表 2 各工位的单个工件在不同工位的加工时间

Case1					
	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
M_1	175	170	180	190	170
M_2	324	280	0	320	364
M_3	389	300	370	0	312
M_4	342	380	390	0	366
M_5	472	0	400	413	446
M_6	431	0	515	414	434
M_7	260	240	0	322	280
M_8	666	644	710	0	648
M_9	120	0	150	190	122
M_{10}	180	195	140	100	186
Case2					
	J_1	J_2	J_3		
M_1	275	170	364		
M_2	120	240	0		
M_3	142	84	78		
M_4	0	96	199		
M_5	215	0	474		
M_6	316	0	0		
M_7	291	158	122		
M_8	514	0	612		
M_9	0	344	122		
M_{10}	101	94	210		
Case3					
	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
M_1	102	100	180	84	127

M_2	218	0	314	198	264
M_3	126	48	0	0	444
M_4	178	164	390	0	0
M_5	414	0	400	153	326
M_6	321	0	515	144	418
M_7	180	240	0	332	0
M_8	400	644	710	0	368
M_9	260	0	150	460	94
M_{10}	90	195	140	100	212
Case4					
	J_1	J_2	J_3	J_4	
M_1	98	70	80	42	
M_2	156	28	0	0	
M_3	38	101	37	0	
M_4	86	64	90	187	
M_5	47	144	89	189	
M_6	0	122	84	224	
M_7	66	81	72	122	
M_8	159	246	0	146	
M_9	42	111	0	78	
M_{10}	78	42	278	10	
Case5					
	J_1	J_2	J_3	J_4	
M_1	289	86	580	111	
M_2	444	122	362	0	
M_3	322	347	0	0	
M_4	0	128	261	155	
M_5	682	321	149	322	
M_6	478	0	266	314	

M_7	124	0	433	292	
M_8	108	361	0	0	
M_9	0	0	460	290	
M_{10}	140	100	400	200	

各工件的总批量（即包含的单个工件的总数量）如表 3 所示。

表 3 各工件的总批量

Case1					
J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	最小批量 S
400	500	800	500	400	100
Case2					
J_1	J_2	J_3			最小批量 S
300	150	200			50
Case3					
J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	最小批量 S
30	50	60	50	40	10
Case4					
J_1	J_2	J_3	J_4		最小批量 S
200	250	200	100		50
Case5					
J_1	J_2	J_3	J_4		最小批量 S
600	200	300	400		100

换模时间矩阵如表 4 所示。以表 4-case1 中（J_1,J_2）对应的(1,3,1,1,0,0,4,1,0,3)为例，表示 J_1 换到 J_2 的换模时间，在 M_1 上为 1×1000s=1000s，M2 上为 3×1000s=3000s，M_3 上为 1×1000s=1000s 并以此类推。注意（J_1,J_2）和（J_2,J_1）一般不相等。

表 4 换模时间矩阵

Case1					
	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
J_1	0	(1,3,1,1,0,0,4,1,0,3)	(1,0,1,2,2,4,0,2,1,2)	(1,1,0,0,2,2,4,0,3,2)	(1,1,2,4,3,1,4,5,3,1)
J_2	(1,3,2,1,0,0,1,2,0,4)	0	(1,0,4,4,0,0,0,3,0,1)	(1,3,0,0,0,0,4,0,0,7)	(1,3,7,1,0,0,6,4,0,1)

J_3	(1,0,1,4,3,2,0,1,2,4)	(1,0,3,4,0,0,0,1,0,1)	0	(1,0,0,0,4,5,0,1,3,2)	(1,0,5,4,2,2,0,6,1,4)
J_4	(1,2,0,0,4,4,1,0,2,3)	(1,2,0,0,0,0,3,0,0,6)	(1,0,0,0,4,5,0,3,2,2)	0	(1,1,0,0,5,5,2,0,1,6)
J_5	(1,1,2,3,3,2,4,5,1,3)	(1,3,6,2,0,0,7,1,0,4)	(1,0,6,7,2,2,0,1,1,2)	(1,1,0,0,4,4,3,0,2,7)	0
Case2					
	J_1	J_2	J_3		
J_1	0	(1,1,1,0,0,0,2,0,0,2)	(1,0,1,0,2,0,1,2,0,2)		
J_2	(2,1,1,0,0,0,1,0,0,2)	0	(2,0,4,3,0,0,1,3,2,1)		
J_3	(2,0,1,0,1,0,2,3,0,1)	(2,0,3,4,0,0,3,1,1,2)	0		
Case3					
	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
J_1	0	(1,0,1,1,0,0,4,1,0,3)	(1,1,0,2,2,4,0,2,2,2)	(2,1,0,0,2,1,3,0,1,4)	(1,2,1,0,2,1,0,4,3,2)
J_2	(1,0,2,1,0,0,1,3,0,4)	0	(2,0,0,4,0,0,0,3,0,2)	(2,0,0,0,0,0,4,0,0,5)	(2,0,7,0,0,0,0,4,0,2)
J_3	(1,4,0,2,2,1,0,2,2,2)	(1,0,0,5,0,0,0,3,0,2)	0	(1,2,0,0,4,5,0,0,3,2)	(1,1,0,0,3,2,0,0,5,4)
J_4	(3,2,0,0,1,2,2,0,2,4)	(1,0,0,0,0,0,3,0,0,6)	(3,1,0,0,5,5,0,0,3,1)	0	(1,2,0,0,5,6,0,0,1,4)
J_5	(1,2,1,0,2,1,0,4,3,2)	(1,0,6,0,0,0,0,5,0,2)	(4,1,0,0,3,2,0,0,5,1)	(2,1,0,0,4,6,0,0,2,2)	0
Case4					
	J_1	J_2	J_3	J_4	
J_1	0	(2,3,1,1,2,0,4,1,1,3)	(1,0,1,2,2,0,2,0,0,2)	(1,0,0,1,2,1,4,0,3,2)	
J_2	(1,2,1,2,1,0,5,2,3,1)	0	(1,0,4,4,2,2,1,0,0,1)	(1,0,0,2,1,1,4,4,1,7)	
J_3	(2,0,2,1,1,0,2,0,0,2)	(2,0,4,4,3,2,2,0,0,2)	0	(1,0,0,2,4,5,1,0,0,2)	
J_4	(2,0,0,3,2,1,4,0,3,4)	(1,0,0,3,2,2,2,1,1,5)	(1,0,0,1,5,5,3,0,0,2)	0	
Case5					
	J_1	J_2	J_3	J_4	
J_1	0	(1,3,1,0,2,0,0,4,0,3)	(1,2,0,0,2,4,2,0,0,2)	(1,0,0,0,2,2,4,0,0,2)	
J_2	(1,3,1,0,2,0,0,4,0,3)	0	(1,2,0,4,1,0,0,0,0,1)	(1,3,0,0,0,0,4,0,0,7)	
J_3	(2,3,0,0,4,1,1,0,0,1)	(3,1,0,1,4,0,0,0,0,3)	0	(1,0,0,1,4,5,2,0,3,2)	
J_4	(3,0,0,0,1,1,5,0,0,1)	(1,2,0,0,0,0,3,0,0,6)	(2,0,0,4,1,3,1,0,2,3)	0	

题目 2. 机器可能出现宕机的情况

在题目 1 的基础上，考虑机器出现宕机的情况。

生产过程中，生产线中的机器可能会出现故障导致停机，此时该机器不能再继续进行加工。以表 5-case1 为例，可能出现机器宕机的工位为 6 号工位和 9 号工位。机器处于正常状态和宕机状态的时间分别服从参数为 λ_i 和 μ_i 的指数分布（i 表示工位编号，这里有 M_6 和 M_9 两个取值），λ_i 和 μ_i 的取值如表 5 所示。其余输入参数如加工时间等与题目 1 中相同。

表 5 λ_i 和 μ_i 的取值

Case1			
M_6		M_9	
λ_{M6}	μ_{M6}	λ_{M9}	μ_{M9}
1/1000000	1/10000	1/2000000	1/15000
Case2			
M_3		M_7	
λ_{M3}	μ_{M3}	λ_{M7}	μ_{M7}
1/500000	1/10000	1/1000000	1/10000
Case3			
M_1		M_8	
λ_{M1}	μ_{M1}	λ_{M8}	μ_{M8}
1/100000	1/5000	1/200000	1/5000
Case4			
M_4		M_5	
λ_{M4}	μ_{M4}	λ_{M5}	μ_{M5}
1/300000	1/2000	1/500000	1/5000
Case5			
M_2		M_{10}	
λ_{M2}	μ_{M2}	λ_{M10}	μ_{M10}
1/1000000	1/10000	1/2000000	1/10000

题目 3. 工件动态随机到达的情况

在题目 1 的基础上，考虑工件并非系统 0 时间、动态、随机到达的情况。

实际生产中，所有工件并不一定在生产开始时就已达到生产线等待加工，而是可能存在不同的到达时间。设 J_i 到达生产线的时间 AT_i 服从均匀分布 U $[E_i，L_i]$，即 J_i 到达生产线的时刻处于时间窗$[E_i，L_i]$内；并假设 J_i 包含的所有批量均一次性到达生产线。各工件到达的时间窗如表 6 所示（单位：秒）。其余输入参数如加工时间等与题目 1 中相同。

表 6 各工件达到时间的时间窗

Case1		
	E_i	L_i
J_1	0	0
J_2	0	100000
J_3	150000	250000
J_4	150000	250000
J_5	300000	500000
Case2		
	E_i	L_i
J_1	0	0
J_2	0	50000
J_3	100000	150000
Case3		
	E_i	L_i
J_1	0	10000
J_2	0	0
J_3	15000	25000
J_4	25000	30000
J_5	25000	40000
Case4		
	E_i	L_i
J_1	10000	30000

J_2	50000	100000
J_3	0	0
J_4	20000	35000
Case5		
	E_i	L_i
J_1	0	500000
J_2	0	0
J_3	150000	250000
J_4	250000	350000

要求：

1、 每个小组必须完成第一题，和， 第二、三两题中的一个任选题目 ；

2、 对于第一题，要求有数学建模、求解方法、计算结果 ；

3、 对于第二或者第三题，要有解决的方法（通过数学模型或者其他启发式方法），并且进行系统仿真建模，利用仿真结果来验证求解的结果。