

运筹学大作业：机械手调度优化

Lecturer: 王焕钢 hgwang@tsinghua.edu.cn

Student: 个人或小组合作（不多于三人） group-leader@mails.tsinghua.edu.cn

1 课题背景

当加工特种产品时，往往对车间的真空、温度等加工环境以及产品的拿取、转移等加工操作有较高的要求。一种常见的加工模式是由一只机械手及其等半径围绕的多个加工腔室形成一个加工设备，再对多个这样的加工设备进行组合，然后在设备组合的整个区域中保持稳定的加工环境，最后由机械手全程负责产品的拿取和转移。设备组合的示意图如图 1 所示。

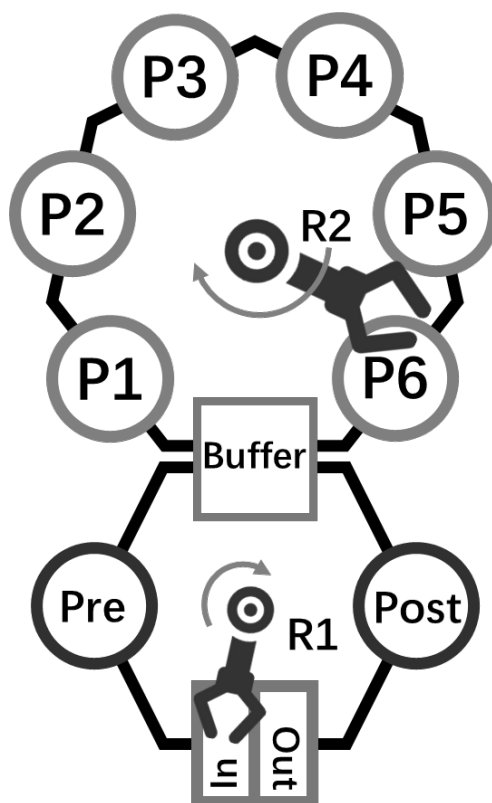


图 1: 设备组合示意图

在图 1 中, In 与 Out 分别是产品的入口和出口, In 存放待加工的产品, Out 存放加工完成的产品。Pre 与 Post 是产品在加工前的准备腔室和加工后的检测腔室。P1、P2、...、P6 是产品的 6 个加工腔室, 产品将在这些不同的加工腔室中进行多种工艺的加工。Buffer 为连接两个设备的缓冲腔室, 负责两个设备间产品的传递。R1 和 R2 是两个机械手, 负责产品在腔室加工前后的取放以及设备内的腔室之间的传递, 其中 R1 可以往返于 In、Out、Pre、Post 和 Buffer, R2 可以往返于 P1、P2、...、P6 和 Buffer。

在产品加工的过程中, 有时会出现多个动作需要完成, 但是每个机械手每个时刻至多执行一个动作的情况。这些动作的执行顺序会对产品的加工时间产生很大的影响。在实际生产中, 需要找到最优的机械手调度顺序, 以使得工厂能够在最短的时间内完成产品的加工任务。显然, 机械手可行的调度顺序有很多种, 而课题则需要其中搜索出最优的调度方案 (之一)。随着工艺的增多, 机械手调度的搜索空间或可行解空间会呈指数级增长。(这是一个 NP 难问题。)

2 课题设定

考虑如图 1 的设备组合, 并对设备中的腔室进行如下的设定:

1. 产品在腔室内的处理过程中, 不需要机械手参与产品的固定、翻转或其他辅助操作;
2. 出入口 In/Out 不允许存放半成品, 产品的加工以及存放须严格按照其对应的工艺路径进行;
3. 除了 In/Out 之外的其他腔室的容量限定为一件产品, 即在任意时刻至多存放或者加工一件产品;
4. 产品完全放入某个腔室后, 相应工艺会立即开始执行, 加工结束后可以停留一段时间后再从腔室中取出;

同时对每只机械手做出以下设定:

5. 机械手只能顺时针旋转;
6. 机械手的初始位置由调度方法决定;
7. 机械手在任意时刻至多拿取或转移一件产品;
8. 机械手不能与其他机械手发生碰撞, 即在 Buffer 腔室中不可同时对产品进行装载和卸载;
9. 机械手从腔室中取出产品的时间为 1s;
10. 机械手将产品放入腔室中的时间为 1s;
11. 机械手在相邻两个腔室之间的旋转时间为 1s, 其中 In 和 Out 两者视为一个腔室。

根据以上的设定, 两只机械手将一件产品从 Pre 腔室中取出并完全放入到 P5 腔室所需的全部时间为 10s (R1 将产品从 Pre 取出到放入 Buffer 需 3s, R2 将产品从 Buffer 取出到放入 P5 需 7s)。

3 课题内容

在本课题中，每小组应对机械手调度问题进行建模，并选择自己喜欢的求解方法来解决课题设定下的三个问题（一种求解方法即可，多种方法以最优的一种方法计分）。每个问题的最优调度都要求总加工时间最短，并需要给出最优调度的总加工时间、机械手动作序列及每个动作发生的时刻、搜索算法运行时间。

(a) 求加工 8 件产品 A 的最优调度。产品 A 的工艺路径及时间为

A : In \rightarrow Pre(60s) \rightarrow Buffer \rightarrow P1(240s) \rightarrow P2(300s) \rightarrow P3(360s) \rightarrow P4(390s)
 \rightarrow P5(270s) \rightarrow P6(330s) \rightarrow Buffer \rightarrow Post(100s) \rightarrow Out

其中括号内为对应腔室所需的加工时间，Pre(60s) 表示自产品放入到 Pre 至允许取出需消耗 60s 时间。

(b) 求加工 8 件产品 B 的最优调度。产品 B 的工艺路径及时间为

B : In \rightarrow Pre(60s) \rightarrow Buffer \rightarrow P1/P2(500s) \rightarrow P3/P4(660s) \rightarrow P5/P6(570s)
 \rightarrow Buffer \rightarrow Post(100s) \rightarrow Out

其中 P1/P2 表示 P1 和 P2 对应的工艺相同，每件产品只需进入 P1 或 P2 腔室其中之一完成加工即可。

(c) 求加工 4 件产品 C 和 4 件产品 D 的最优调度。产品 C 和 D 的工艺路径及时间分别为

C : In \rightarrow Pre(60s) \rightarrow Buffer \rightarrow P1(180s) \rightarrow P3(360s) \rightarrow P5(200s)
 \rightarrow P6(330s) \rightarrow Buffer \rightarrow Post(100s) \rightarrow Out
 D : In \rightarrow Pre(60s) \rightarrow Buffer \rightarrow P1(180s) \rightarrow P2(300s) \rightarrow P4(390s)
 \rightarrow P5(200s) \rightarrow Buffer \rightarrow Post(100s) \rightarrow Out

举例来说，当工厂任务是完成 1 件产品 D 的加工时，对应的输出结果除了总完成时间为 1259s 外，还应输出与表 1 类似的调度方案（允许简写或标号）。另外需提供搜索算法程序输出结果所需的计算机时间。

表 1: 输出结果示例

序号	机械手动作	动作时刻
1	R1 将产品 D 由 In 传递到 Pre	0
2	R1 将产品 D 由 Pre 传递到 Buffer	63
3	R2 将产品 D 由 Buffer 传递到 P1	66
4	R2 将产品 D 由 P1 传递到 P2	249
5	R2 将产品 D 由 P2 传递到 P4	552
6	R2 将产品 D 由 P4 传递到 P5	946
7	R2 将产品 D 由 P5 传递到 Buffer	1149
8	R1 将产品 D 由 Buffer 传递到 Post	1153
9	R1 将产品 D 由 Post 传递到 Out	1256

4 课题要求

表 2: 评分细节

任务	分值
问题 (a)	60
问题 (b)	30
问题 (c)	10
最优解正确的情况下，算法效率越高，分值越高	

4.1 程序要求

实验程序须由各小组独立完成并附有一定的注释。编程语言不限，要求详细说明程序及结果所对应的软件环境及硬件配置。推荐使用 MATLAB，向量计算较为方便。

4.2 报告要求

研究报告应包含但不限于以下内容：题目、作者、摘要、关键词、概述、问题提出、解决方案、实验结果、讨论、结论、参考文献、附录。报告宜提交 PDF 文档，并同时提交对应的可编辑文档（doc、docx 或 tex 等）。评分细节如表 2 所示。报告应由各小组独立完成，其中，

- “作者” 须按各组员的作业贡献从大到小排序；
- “问题提出” 与 “解决方案” 等部分可自定章节的详细名称；
- “解决方案” 或 “附录” 宜说明各解题步骤对应的代码模块的名称（不宜直接粘贴代码）；
- “附录” 中须说明所有参与研究工作的人员及具体的工作内容。

4.3 提交要求

每小组将研究报告、实验程序代码一起打包，以 “OR2018-组长学号-组长姓名” 的形式命名（如 “OR2018-2013011503-陈湛江.zip”），并上传到网络学堂，同时以邮件附件的形式发送到全部助教的邮箱。每组上交一份作业即可，重复提交以最后一次作业为准，并按最后一次提交时间记分。在作业完成水平相同的前提下，作业提交得越早，获得的加分越多。

作业提交截止时间为本学期第 16 周周日（2018 年 6 月 17 日）的 24:00:00（以网络学堂为准），大作业原则上不接受补交。请务必在考试周之前交齐所有课程作业及研究报告，否则将不能参加期末考试。

4.4 注意事项

关于大作业的所有内容和要求均已在上述文档中说明，部分事项特强调如下：

- 实验代码和研究报告均要求各小组独立完成，**杜绝抄袭**。抄袭将直接影响课程的最终成绩；
- 大作业提交的**截止时间**为 2018 年 6 月 17 日，原则上不接受补交，请务必及时完成并上交。未交将直接影响期末考试的参加资格；
- 大作业须以“OR2018-组长学号-组长姓名”的形式命名，并提交到网络学堂，**同时**以邮件附件的形式发送到全部助教的邮箱：czj17@mails.tsinghua.edu.cn 和 mwm17@mails.tsinghua.edu.cn；
- 课题各小问的满分并不只是对应着正确求出该问题的最优调度解，数学建模的合理性、搜索算法的高效性、实验结果的完整性，以及研究报告的逻辑清晰与语言通顺等方面，均为考察指标；
- 实验程序的结果要求可复现，须在作业中详细说明程序所对应的软件环境；搜索算法的运行时间是搜索算法性能的重要考量方式，但考虑到不同的硬件配置对运行时间有较大的影响，故请一并提供结果所对应的硬件配置。实际评阅过程中会视情况在统一的硬件环境下对实验程序进行测试；
- 研究报告中须说明所有参与研究工作的人员及具体的工作内容，并按其贡献大小进行排序。

如有任何疑问请及时联系老师或助教。