



## 工业工程综合技能实验课程报告



课 程 名 称: 工业工程综合技能实验      指 导 教 师: 戈鹏

所 在 学 院: 商学院      专                  业: 工业工程

学 生 姓 名: 任宇吉

二〇二四年六月

# 1 实验目的

通过本实验，参与者可以掌握生产线设计和运营的基本原理，理解如何设计和优化生产线，提高生产效率和产品质量，学会优化生产线布局、平衡生产工序、识别和改进瓶颈学习状态机和发布-订阅模式的应用，通过编写和调试 Lua 代码，熟悉状态机和发布-订阅模式在生产线调度中的应用。调度各个机器运营，以展开生产，提升综合工业工程技能。

# 2 实验原理

本实验的核心原理是通过状态机和发布-订阅模式，实现对生产线中各个机器的高效调度和协调，从而优化生产线的整体运营。以下是各关键原理的详细介绍：

## 2.1 生产线调度

生产线调度涉及对整个生产线中各个机器的协调控制，确保物料从原料区到成品区的高效流动。通过状态机和发布-订阅模式，可以实现以下调度任务：

- 物料搬运：机械臂从库存区抓取原料，将其放置在传送带上，传送带将原料运输到下一个加工点。机械臂将原料从传送带上上料到工作区，在工序结束后卸料到传送带。
- 工序处理：在不同加工点（如写字机）进行相应的工序处理（如工序 A 和工序 B）。
- 质量控制：通过检查器对产品进行质量检查，确保成品符合标准。
- 成品管理：将合格的成品运输到成品区。

产线布局 and 各个机器位置关系如下：

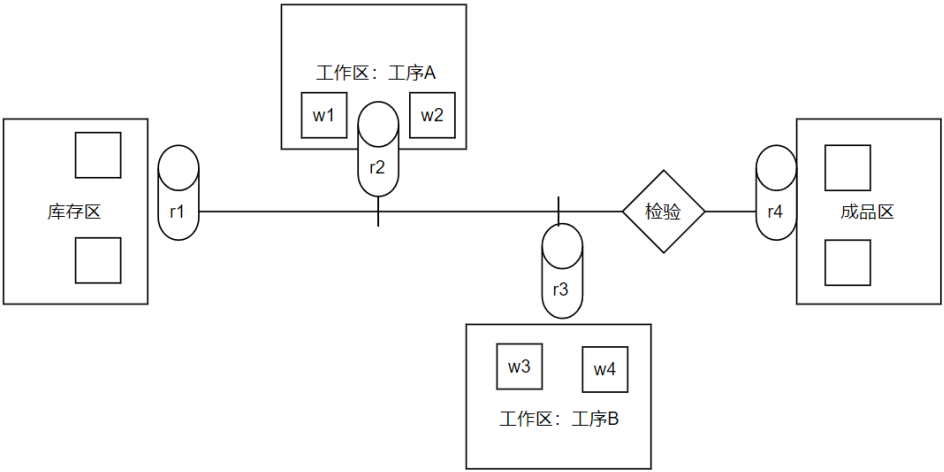


图 1: 产线布局

**生产线操作流程**解释如下:

1. 库存区 (Storage Area): 原料存放区。
2. 机械臂 1 (r1): 从库存区抓取原料, 放置到传送带上。
3. 传送带 (Conveyor): 运输原料到机械臂 2 (r2)。
4. 机械臂 2 (r2): 将原料上料到工作区 1 的写字机 1 或写字机 2 进行工序 A。
5. 工作区 1: 工序 A (w1, w2): 进行工序 A 处理。
6. 机械臂 2 (r2): 完成工序 A 后下料到传送带。
7. 传送带 (Conveyor): 运输到机械臂 3 (r3)。
8. 机械臂 3 (r3): 将原料上料到工作区 2 的写字机 3 或写字机 4 进行工序 B。
9. 工作区 2: 工序 B (w3, w4): 进行工序 B 处理。
10. 机械臂 3 (r3): 完成工序 B 后下料到传送带。
11. 检查器 (Inspector): 检查产品质量。
12. 机械臂 4 (r4): 将成品从传送带卸载到成品区。

## **2.2 状态机 (State Machine)**

**状态机**是一种建模方法, 通过定义一组状态和状态之间的转换规则, 描述系统的行为。在本实验中, 每个机器都可以处于不同的状态, 如空闲、运行、加载、卸载、处理和检查。状态机的使用能够清晰地定义每个机器在不同状态下的行为, 确保生产线各个部分协调工作。

- 状态: 每个机器都有多个可能的状态, 例如空闲 (IDLE)、运行 (RUNNING)、加载 (LOADING)、退出 (EXIT)、处理 (PROCESSING) 和检查 (INSPECTING)。
- 状态转换: 机器根据事件触发在不同状态之间转换。例如, 机械臂完成加载状态 (LOADING) 后, 可以进入运行状态 (RUNNING)。

## **2.3 发布-订阅模式 (Publish-Subscribe Pattern)**

**发布-订阅模式**是一种消息传递模式, 允许系统中的不同组件通过事件进行通信, 而无需直接相互调用。这个模式提高了系统的模块化和可扩展性。

- 发布 (Publish): 当一个机器的状态发生改变时, 会发布一个事件, 通知系统中的其他组件。
- 订阅 (Subscribe): 其他机器可以订阅这些事件, 以便在相应事件发生时采取行动。

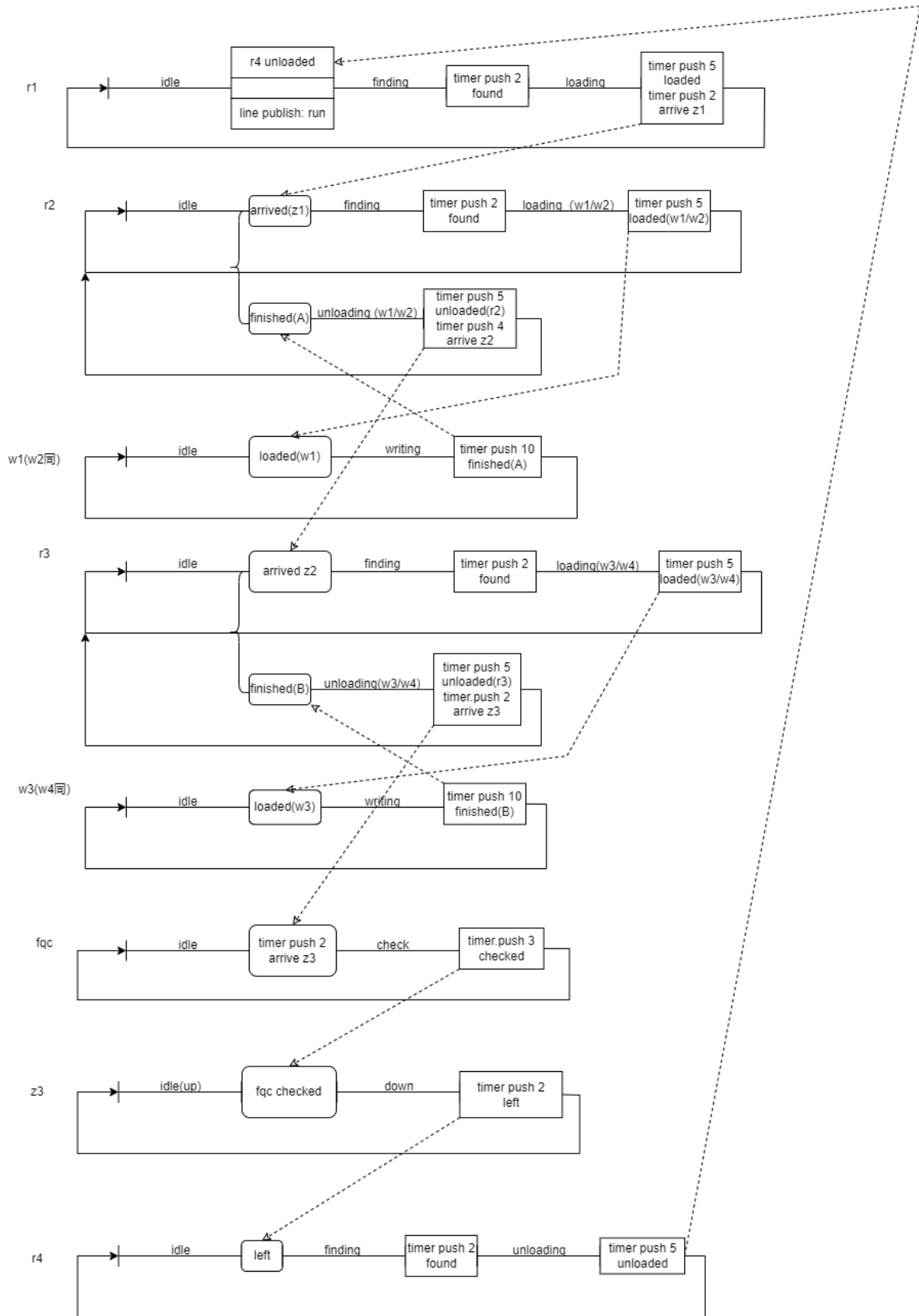


图 2: 状态转移图

各机器状态转移和订阅发布机制如图 2。状态转移图最左边是 machine 名字，横线上是状态名字，方框是本机器产生的事件，圆框是引用别的机器的事件。每个虚线箭头的首尾分别是发布者和订阅者。

#### 状态转移图说明

1. r1（机械臂 1）：从空闲状态（idle）到找到原料（finding），然后加载原料（loading）并将其放到传送带上（unloading）。
2. r2（机械臂 2）：从空闲状态（idle）到找到传送带上的原料（finding），加载原料（loading），完成工序 A 后卸载到传送带（unloading）。
3. w1, w2（写字机 1, 写字机 2）：从空闲状态（idle）到加载原料（loaded），进行工序 A（writing），完成后通知机械臂 2（finished(A)）。
4. r3（机械臂 3）：从空闲状态（idle）到找到传送带上的原料（finding），加载原料（loading），完成工序 B 后卸载到传送带（unloading）。
5. w3, w4（写字机 3, 写字机 4）：从空闲状态（idle）到加载原料（loaded），进行工序 B（writing），完成后通知机械臂 3（finished(B)）。
6. 检查器（Inspector）：从空闲状态（idle）到检查（check），完成检查后通知机械臂 4（checked）。
7. r4（机械臂 4）：从空闲状态（idle）到找到传送带上的成品（finding），加载成品（loading），并卸载到成品区（unloading）。

### 3 实验步骤

1. 初始化机器：定义生产线中的各个机器及其初始状态。
2. 订阅事件：各机器订阅相关事件，以便在状态变化时进行响应。
3. 启动生产线：从机械臂 1 开始抓取原料，依次触发各机器的操作。
4. 事件处理：根据发布的事件和机器的状态转换规则，协调各机器的操作，确保物料在生产线中的流动和处理。
5. 状态转换：通过状态机实现各机器的状态转换，确保生产过程的连续性和效率。

### 4 实验结果

通过实验，我们成功地实现了一个基于 Lua 编程的生产线调度系统。在这个系统中，各个机器按照预定的工艺流程协调工作，实现了从原料抓取到成品出货的完整生产流程。具体实验结果包括：

- 生产流程的顺利执行：机械臂和传送带在各个工作站之间有效地传递原料，保证了生产线的连续运作。
- 状态机的有效运用：各个机器根据不同的状态进行自动切换，如空闲、运行、加载、卸载、处理和检查等，确保了生产过程中的逻辑正确性和连贯性。
- 事件驱动的生产调度：发布-订阅模式有效地实现了机器之间的通信和协作，各个工作站能够及时响应生产状态的变化，提高了生产线的效率和响应能力。
- 实验数据的收集和分析：通过实时监控和记录，收集了生产线运行过程中的关键数据，如各个工序的处理时间、生产效率和产品质量等，为后续的优化和改进提供了依据。

对 4 个产品的时间数据收集如下：

生产阶段	产品 1				产品 2			
	具体过程	开始时刻	结束时刻	持续时间 (s)	具体过程	开始时刻	结束时刻	持续时间
上料	等待被抓取	0:02	0:09	0:07	等待被抓取	0:25	0:32	0:07
	下放至传动带	0:09	0:19	0:10	下放至传动带	0:32	0:42	0:10
运输	传送	0:19	0:24	0:05	传送	0:42	0:47	0:05
	等待	0:24	0:26	0:02	等待	0:47	0:49	0:02
	等待被抓取	0:26	0:34	0:08	等待被抓取	0:49	0:57	0:08
加工 1	下放	0:34	0:42	0:08	下放	0:57	1:05	0:08
	等待	0:42	0:44	0:02	等待	1:05	1:07	0:02
	笔就位	0:44	0:46	0:02	笔就位	1:07	1:09	0:02
	加工结束	0:46	1:13	0:27	加工结束	1:09	1:36	0:27
	笔回位	1:13	1:15	0:02	笔回位	1:36	1:38	0:02
	等待	1:15	1:17	0:02	等待	1:38	1:56	0:18
运输	等待被抓取	1:17	1:21	0:04	等待被抓取	1:56	2:00	0:04
	下放至传动带	1:21	1:34	0:13	下放至传动带	2:00	2:13	0:13
	等待	1:34	1:48	0:14	等待	2:13	2:27	0:14
	传送	1:48	1:52	0:04	传送	2:27	2:31	0:04
	等待	1:52	1:54	0:02	等待	2:31	2:37	0:06
加工 2	下放	1:54	2:02	0:08	下放	2:37	2:45	0:08
	等待	2:02	2:04	0:02	等待	2:45	2:47	0:02
	笔就位	2:04	2:06	0:02	笔就位	2:47	2:49	0:02
	加工结束	2:06	2:33	0:27	加工结束	2:49	3:16	0:27
	笔回位	2:33	2:35	0:02	笔回位	3:16	3:18	0:02
	等待	2:35	2:37	0:02	等待	3:18	3:22	0:04
质检	等待被抓取	2:37	2:43	0:06	等待被抓取	3:22	3:28	0:06
	抓取放置	2:43	2:50	0:07	抓取放置	3:28	3:35	0:07

表 1: 产品 1 和产品 2 的生产过程表

生产阶段	产品 3				产品 4			
	具体过程	开始时刻	结束时刻	持续时间 (s)	具体过程	开始时刻	结束时刻	持续时间
上料	等待被抓取	0:49	0:57	0:08	等待被抓取	1:14	1:23	0:09
	下放至传动带	0:57	1:07	0:10	下放至传动带	1:23	1:33	0:10
运输	传送	1:07	1:12	0:05	传送	1:46	1:51	0:05
	等待	1:12	1:36	0:24	等待	1:51	2:19	0:28
	等待被抓取	1:36	1:44	0:08	等待被抓取	2:19	2:27	0:08
加工 1	下放	1:44	1:52	0:08	下放	2:27	2:35	0:08
	等待	1:52	1:54	0:02	等待	2:35	2:37	0:02
	笔就位	1:54	1:56	0:02	笔就位	2:37	2:39	0:02
	加工结束	1:56	2:23	0:27	加工结束	2:39	3:06	0:27
	笔回位	2:23	2:25	0:02	笔回位	3:06	3:08	0:02
	等待	2:25	2:27	0:02	等待	3:08	3:26	0:18
运输	等待被抓取	2:27	2:31	0:04	等待被抓取	3:26	3:30	0:04
	下放至传动带	2:31	2:44	0:13	下放至传动带	3:30	3:43	0:13
	等待	2:44	2:58	0:14	等待	3:43	3:57	0:14
	传送	2:58	3:02	0:04	传送	3:57	4:01	0:04
	等待	3:02	3:04	0:02	等待	4:01	4:06	0:05
加工 2	下放	3:04	3:12	0:08	下放	4:06	4:14	0:08
	等待	3:12	3:14	0:02	等待	4:14	4:16	0:02
	笔就位	3:14	3:16	0:02	笔就位	4:16	4:18	0:02
	加工结束	3:16	3:43	0:27	加工结束	4:18	4:45	0:27
	笔回位	3:43	3:45	0:02	笔回位	4:45	4:47	0:02
	等待	3:45	3:47	0:02	等待	4:47	4:51	0:04
质检	等待被抓取	3:47	3:53	0:06	等待被抓取	4:51	4:57	0:06
	抓取放置	3:53	4:00	0:07	抓取放置	4:57	5:04	0:07

表 2: 产品 3 和产品 4 的生产过程表

## 5 实验总结

本实验旨在验证基于状态机分离和发布订阅机制的自动化调度系统在模拟生产线中的有效性。通过设计和运营一条包含库存区、机械臂、传送带、工作区和成品区的生产线，我们记录并分析了五个产品的全流程时间数据。实验结果显示，各产品的总生产时间较为均匀，平均总耗时约为 1911 秒。

本次实验总结如下：1. 验证自动化调度系统的有效性

- 实验结果表明，基于状态机分离和发布订阅机制的自动化调度系统能够有效协调生产线各个环节，确保生产线高效、稳定地运行。
- 通过事件触发的方式实现机械臂、传送带和写字机之间的紧密配合，减少了生产过程中的等待时间和停机时间。

## 2. 掌握生产线设计和调度的实践经验:

- 实验过程中，我们详细了解了生产线各个组成部分的功能和相互关系，包括库存区、机械臂、传送带、工作区和成品区。
- 通过编写 Lua 代码进行调度，我们深入学习了如何利用编程语言实现复杂的生产线调度逻辑，并解决了实际运行中遇到的问题。

## 4. 识别改进方向和优化潜力:

- 实验结果显示，生产线各环节时间分布合理，但仍有进一步优化的空间。我们可以通过改进机械臂调度算法、优化传送带速度和减少非工作时间来提高生产效率。
- 在未来的研究中，可以引入更多高级算法和技术，如机器学习和人工智能，以进一步提升自动化调度系统的智能化水平和适应性。

总之，本次实验不仅验证了自动化调度系统在生产线中的可行性和有效性，还为我们提供了丰富的实践经验和宝贵的数据支持，为未来更复杂的生产线优化和调度系统开发奠定了坚实基础。