



大连理工大学
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

离散事件仿真 洗衣机总装产线仿真实验 实验报告

学 院（系）： 经济管理学院
专 业： 物流管理专业
姓 名： 严梓锴
学 号： 201903020
指 导 教 师： 白朝阳
完 成 日 期： 2022 年 3 月 31 日

大连理工大学
Dalian University of Technology

目录

洗衣机总装产线仿真实验	1
1 实验内容.....	1
2 实验方法.....	1
2.1 离散事件仿真基本概念.....	1
2.2 离散事件仿真基本要素.....	2
2.3 实验策略.....	2
2.3.1 事件调度法.....	2
2.3.2 活动扫描法.....	3
2.3.3 进程交互法.....	3
3 实验模型.....	3
4 智能体.....	3
4.1 实体对象.....	4
4.2 动画对象.....	7
4.3 其他对象.....	8
5 实验仿真程序.....	10
6 实验结果.....	10
7 实验思考.....	11
7.1 模型存在的不足之处及优化方案.....	11
7.2 思考题.....	12
7.2.1 相关概念定义.....	12
7.2.2 解答.....	13
8 参考文献.....	16

图目录

图 1 离散事件仿真基本概念图.....	1
图 2 离散事件仿真基本要素.....	2
图 3 每星期重复时间表.....	9
图 4 Main 智能体的界面整体布局	10
图 5 运行过程.....	10
图 6 传送带无聊运输间距优化后的实验图	12
图 7 最小工作站数量条件下连贯运行的生产线示意图.....	14
图 8 最小生产节拍条件下连贯运行的生产线示意图.....	15

表目录

表 1 思考题相关概念定义.....	12
表 2 实验参数 1	13
表 3 实验参数 2	14

洗衣机总装产线仿真实验

1 实验内容

创建一个工厂车间的模型。工厂生产洗衣机。这个特别的车间进行生产的最后环节——用两个部件组装最后的洗衣机——机体和机门。

车间工作方式如下：

- 部件进入车间，由输送机运到组装站。
- 装配机器人用一个机体和一扇机门组装一台洗衣机。
- 成品由传送带运到包装线，在那里工人们把它包装在盒子里。
- 每 10 个成品组成一批，由卡车运出工厂。

2 实验方法

2.1 离散事件仿真基本概念

在离散事件模拟中有几个基本概念：

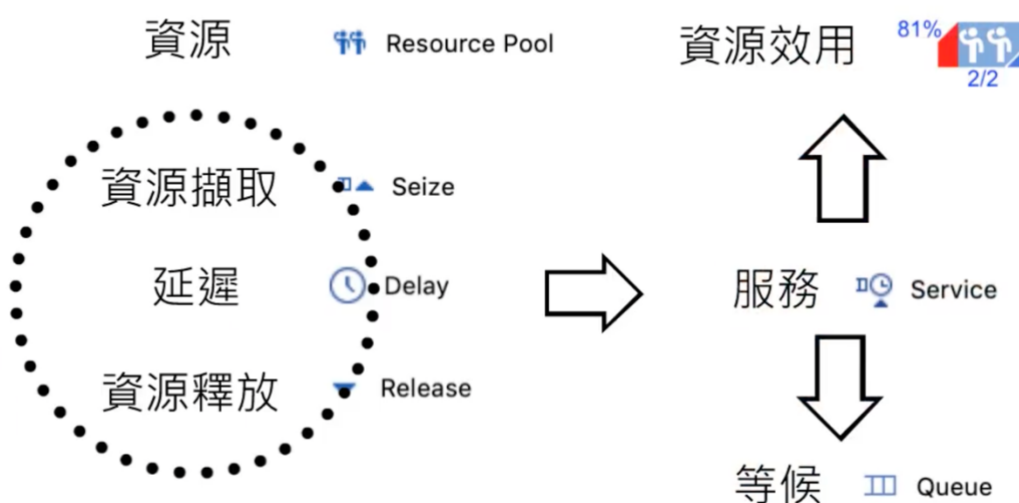


图 1 离散事件仿真基本概念图

资源：每一个实体进入系统之后都会占用资源（例如流水线上的组装机器人）

资源截取：使用资源的过程。

延迟：产生于资源截取之后，表示一段时间内对资源的占用。

释放：使用完资源之后会对资源进行释放。

服务：Anylogic 中将资源截取、延迟、释放三个概念合并到一起形成了一个新的概念，即服务。

等候：由于存在资源的占用，因此存在等候线（队列），例如等待被加工的元件组成的队列。

资源效用：资源占用率。

2.2 离散事件仿真基本要素

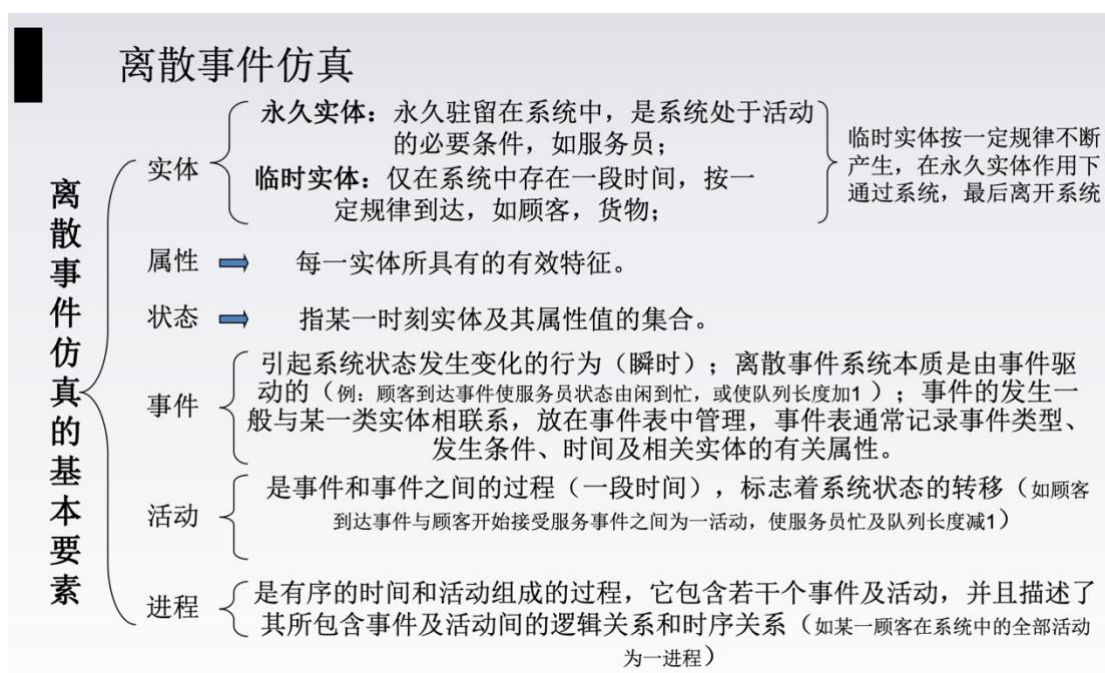


图 2 离散事件仿真基本要素

2.3 实验策略

离散事件仿真的实验策略共分为事件调度法(event schedule, ES)、活动扫描法(activity scanning, AS)、进程交互法(Process Interactive, PI)三类。

本实验采用的方法为**进程交互法**。以下首先对三类策略的基本概念进行解释。

2.3.1 事件调度法

事件：引起系统状态发生变化的行为（瞬时）；离散事件系统本质是由事件驱动的（例：顾客到达事件使服务员状态由闲到忙，或使队列长度加1）；事件的发生一般与某一类实体相联系，放在事件表中管理，事件表通常记录事件类型、发生条件、时间及相关实体的有关属性。

基本思想：用事件的观点来分析真实系统，通过定义事件及每个事件发生引起系统状态的变化，按时间顺序确定并执行每个事件发生时有关的逻辑关系^[1]。

2.3.2 活动扫描法

活动：是事件和事件之间的过程（一段时间），标志着系统状态的转移（如顾客到达事件与顾客开始接受服务事件之间为一活动，使服务员忙及队列长度减1）。

基本思想：用活动的观点建模。系统由成分组成，而成分包含着活动，这些活动的发生必须满足某些条件：每一个主动成分均有一个相应的活动子例程；仿真过程中，活动的发生时间也做为条件之一，而且是较之其它条件具有更高的优先权^[2]。

2.3.3 进程交互法

进程：是有序的时间和活动组成的过程，它包含若干个事件及活动，并且描述了其所包含事件及活动间的逻辑关系和时序关系（如某一顾客在系统中的全部活动为一进程）。

基本思想：进程交互法采用进程描述系统，将模型中的主动成分所发生的事件及活动按时间顺序进行组合，从而形成进程表。一个成分一旦进入进程，只要条件满足，将完成该进程的全部活动^[3]。

结合洗衣机总装产线仿真实验的相关特性，适合采用**进程交互**的策略（该策略被广泛应用于工业生产流水作业环节）。

3 实验模型

4 智能体

（1） 洗衣机机体（body）

绘制洗衣机机体。

- 一个正方形

（2） 洗衣机机门（Door）

绘制洗衣机机门。

- 一个小圆点（大小小于洗衣机机体）

（3） 洗衣机产品（Product）

绘制洗衣机产品。

- 洗衣机机门和洗衣机机体的组合（洗衣机机门在上）

- 在最上层再叠一个盒子（box），大小为刚好遮住洗衣机机体，并设置属性“是否可见”为不可见（后续流水线上包装完成后会重新设置 box 可见，用于展现包装操作的结果）。

4.1 实体对象

（1）洗衣机机体源（sourceBodies）

◆ 主要参数

模块：Source

名称：sourceBodies

到达通过：速率时间表（schedule）

新智能体/智能体类型：body

◆ 目的作用

产生洗衣机机体，模拟生产环节中洗衣机机体元件不断到达生产车间。

（2）洗衣机机门源（sourceDoors）

◆ 主要参数

模块：Source

名称：sourceDoors

到达通过：速率时间表（schedule）

新智能体/智能体类型：Door

◆ 目的作用

产生洗衣机机门，模拟生产环节中洗衣机机门元件不断到达生产车间。

（3）洗衣机机体储存队列（bodies）

◆ 主要参数

模块：Queue

名称：bodies

最大容量：√

智能体位置：shareBodyStorage

新智能体/智能体类型：body

◆ 目的作用

存放到达的洗衣机机体。

（4）洗衣机机门储存队列（bodies）

◆ 主要参数

模块：Queue

名称：doorsStorage

最大容量: $\sqrt{\quad}$

智能体位置: shareDoorStorage

新智能体/智能体类型: Door

◆ 目的作用

存放到达的洗衣机机门。

(5) 洗衣机机体运输传送带 (conveyorBodies)

◆ 主要参数

模块: Conveyor

名称: conveyorBodies

长度: 通过路径定义

速度: 0.5 米每秒

智能体位置: shareConveyorBodies

改变智能体长度: $\sqrt{\quad}$

智能体长度: 2 米

新智能体/智能体类型: body

◆ 目的作用

将洗衣机机体运输到组装区。

(6) 洗衣机装配器 (assembler)

◆ 主要参数

模块: Assembler

名称: assembler

数量 1: 1

数量 2: 1

速度: 0.5 米每秒

新智能体: Product

资源集: robot 1

延迟时间: minute() 秒

智能体位置 (延迟): node1

智能体位置 (队列 1): node

智能体位置 (队列 2): node2

组装智能体类: Product

智能体类型 (输入 1): body

智能体类型 (输入 2): Door

◆ 目的作用

装配洗衣机，使用一个洗衣机机体元件和一个洗衣机机门元件，每装配一台洗衣机需要调用一个装配机器人的资源，装配一个洗衣机需要花费 1 分钟。

(7) 运输到包装区的传送带 (moveToPackaging)

◆ 主要参数

模块: Conveyor

名称: moveToPackaging

长度: 通过路径定义

速度: $0.5 * \text{meter} * \text{second}()$ 米每秒

智能体位置: shareMoveToPackaging

改变智能体长度: $\sqrt{\quad}$

智能体长度: 2 米

新智能体/智能体类型: body

◆ 目的作用

将组装完成的洗衣机运输到包装区。

(8) 洗衣机包装台 (packagePlace)

◆ 主要参数

模块: Service

名称: packagePlace

队列容量: 1

延迟时间: triangular(40,50,120) 秒

智能体位置 (队列): sharePrePackaging

智能体位置 (延迟): sharePackage

离开时: agent.box.setVisible(true)

智能体类型: Product

◆ 目的作用

对洗衣机进行包装操作，包装时间按照三角分布，包装完成后显示洗衣机的外包装盒。

(9) 批量发货 (batch)

◆ 主要参数

模块: Batch

名称: batch

批大小: 10

新批: 智能体 (Agent)

智能体位置: shareLoading

元素类型: Product

批类型：Agent

◆ 目的作用

将包装好的洗衣机成批打包发货，10 个洗衣机为一批。

(10) 出口 (sink)

◆ 主要参数

模块：Sink

名称：sink

◆ 目的作用

洗衣机出系统。

4.2 动画对象

(1) 工厂车间图片 (factory_layout.png)

◆ 目的作用

可视化生产车间的布局。

(2) 洗衣机机体储存区 (shapeBodyStorage)

◆ 主要参数

类型：矩形节点

名称：shapeBodyStorage

◆ 目的作用

可视化洗衣机机体存储区的布局。

(3) 洗衣机机门储存区 (shapeDoorStorage)

◆ 主要参数

类型：矩形节点

名称：shapeDoorStorage

◆ 目的作用

可视化洗衣机机门存储区的布局。

(4) 洗衣机包装等候区 (shapePackage)

◆ 主要参数

类型：矩形节点

名称：shapePackage

◆ 目的作用

可视化洗衣机的包装等候区的布局。

(5) 洗衣机发货等候区 (shapeLoading)

◆ 主要参数

类型：矩形节点

名称：shapeLoading

◆ 目的作用

可视化洗衣机包装完成后等待发货的发货区的布局。

(6) 洗衣机机体运输到达节点 (node)

◆ 主要参数

类型：点节点

名称：node

◆ 目的作用

可视化洗衣机机体运输到装配区的等候节点。

(7) 洗衣机机门等待节点 (node2)

◆ 主要参数

类型：点节点

名称：node2

◆ 目的作用

可视化洗衣机机门等待装配的等候节点。

(8) 洗衣机组装节点 (node3)

◆ 主要参数

类型：点节点

名称：node3

◆ 目的作用

可视化洗衣机装配节点。

(9) 洗衣机预包装等待节点 (shapePrePackage)

◆ 主要参数

类型：点节点

名称：shapePrePackage

◆ 目的作用

可视化洗衣机产成品到达包装区等待进入包装等待区的节点。

4.3 其他对象

(1) 米 (meter)

◆ 主要参数

类型：变量

名称：meter

类型：int

初始值：1

◆ 目的作用

定义米的长度（本实验设定此变量只是为了介绍变量的使用方式，无该变量下依然能够正常实验）

（2）时钟（clock）

◆ 主要参数

类型：时钟

◆ 目的作用

用于显示当前时间。

（3）速率时间表（schedule）

◆ 主要参数

类型：时间表

名称：schedule

类型：速率

单位：每秒

时间表定义：间隔（开始，结束）

持续类型：星期

每星期重复时间表：

每星期重复时间表：

周日	周一	周二	周三	周四	周五	周六	开始	结束	值
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	上午 9:00	下午 1:00	1.0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	下午 2:00	下午 6:00	1.0

图 3 每星期重复时间表

◆ 目的作用

用于设定车间洗衣机机体和洗衣机机门到达的速率和时间段，模拟真实生产环境下原材料到达的情况。

（4）装配机器人（robot）

◆ 主要参数

类型：Resouce Pool

名称：robot

容量：15

◆ 目的作用

装配洗衣机所需调用的资源。用于模拟生产环境下真实的资源情况。

5 实验仿真程序

实验仿真程序如图 4 图 5 所示。

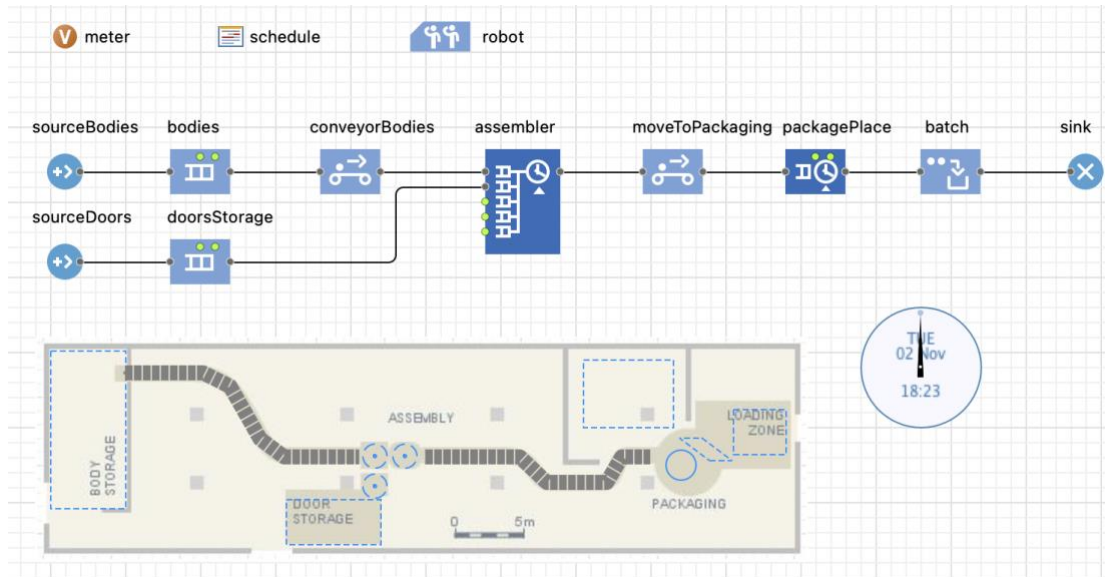


图 4 Main 智能体的界面整体布局

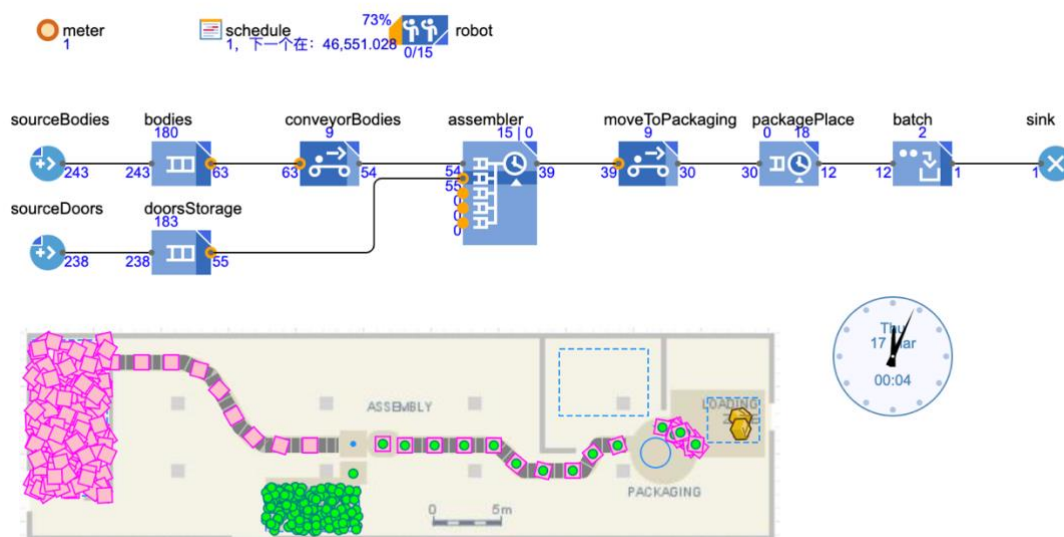


图 5 运行过程

6 实验结果

- ✓ 洗衣机机体和机门按照设置的速率时间表按速率呈指数分布到达。
- ✓ 传送带稳定运行，未出现卡壳现象。
- ✓ 产成品经过包装后成批有序运出。

7 实验思考

7.1 模型存在的不足之处及优化方案

(1) 样例参数下，洗衣机组装效率严重低于原料到达速率。

① 问题描述：

在样例的参数下，洗衣机机门和洗衣机机体的到达速率均为 1/秒；而组装台组装一个洗衣机成品的时间为 1 分钟，且只有一个组装机器人可进行组装操作。洗衣机组装效率严重低于原料到达速率，导致传送带上的物料运输无法连贯。

✓ 优化方案：

- ① 增加装配机器人的个数。
- ② 提高装配机器人装配洗衣机的速度。
- ③ 减少每秒到达的洗衣机机门和机体的数量。
- ④ 调低传送带的运输速率。

✧ 优化案例：

以增加装配机器人个数为例：装配机器人每装配一台洗衣机需要 60 秒；传送带的运输速率为 0.5 米/秒，洗衣机机体的宽度为 2 米，及每 4 秒运输一个洗衣机机体到达装配区；若需要连贯运输，则计算得至少需要相同工作效率的装配机器人 15 个（即本实验报告内的数据）。经检验，该方案可以实现生产的节拍性、连贯性。

(2) 传送带上物料间隔距离较大，有大量运输空间可以利用。

② 问题描述：

当前模型通过改变传送带上智能体的长度（2m）来改变洗衣机机体在传送带上的间隔，若适当减小实体大小可以提高运输效率。

✓ 优化方案：

- ① 调整智能体长度为 1m。

✧ 优化案例：

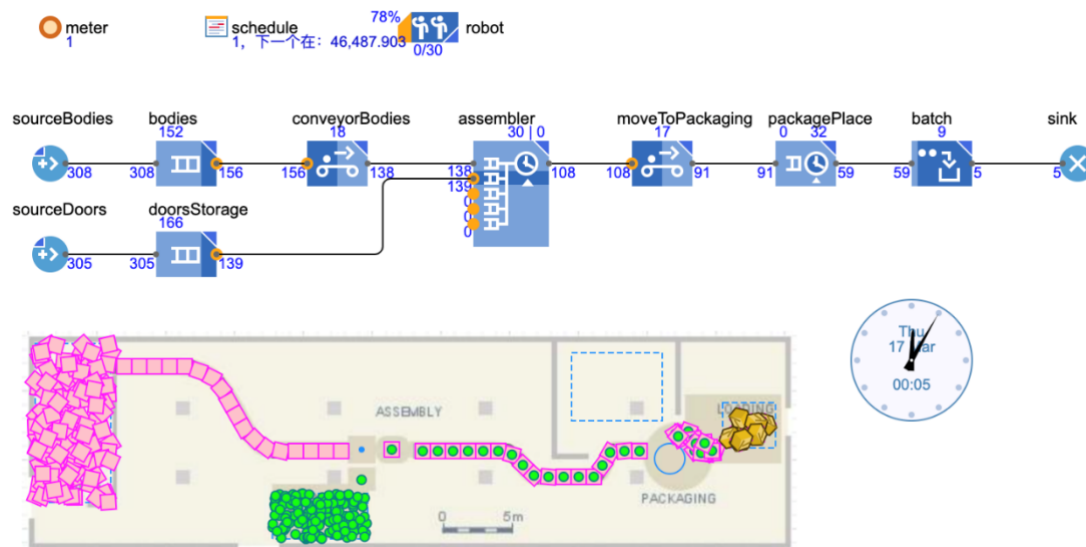


图 6 传送带无聊运输间距优化后的实验图

由此可见，减少传送带上的物料间隔可以提高传送带的物料运输效率。

7.2 思考题

7.2.1 相关概念定义

为了便于以下思考题的解答，避免歧义，并对思考过程进行量化表示，在此定义相关的概念如表 1 所示。

表 1 思考题相关概念定义

概念	符号	含义	单位
装配线节拍 ^[5]	r	装配线上连续出产两件相同制品的时间间隔。	秒/个
装配线效率	e	装配线上单位时间内产出某种制品的数量。	个/秒
工作站		装配线上的最小作业单位	
工作站装配时间	t	单位工作站上装配单位产品所需要的时间	秒
工作站效率	v	单位工作站上单位时间内产出某种产品的数量。	个/秒
工作站数量	q	装配线上工作站的数量。	个

7.2.2 解答

(1) 给定装配线节拍，求最小工作站数。

假设装配线上有多个装配环节，现讨论单个装配环节上，在给定装配线节拍的情况下，最小工作站数量。

由以上定义不难得出如下的关系表达式：

① 装配线节拍和装配线效率的关系

$$e = \frac{1}{r}$$

② 工作站装配时间与工作站效率的关系

$$v = \frac{1}{t}$$

在给定装配线节拍的情况下，装配线的效率也就随之确定。为了使得装配线能够按照节拍运行，需要保证每个装配环节的装配效率均不小于设定的装配线效率，于是产生如下关系表达式。

③ 工作站数量、装配线效率、工作站效率之间的关系

$$qv \geq e$$

即：

$$q \geq \frac{e}{v}$$

由此，推导出工作站数量与装配线节拍之间的关系。

④ 装配线节拍、工作站数量、工作站装配时间的关系

$$q \geq \frac{t}{r}$$

因此，当给定装配线节拍 r 时，装配线上每个装配环节的工作站数量都必须满足上述表达式。由此得出装配线上单位装配环节的最小工作站数量为 $\left\lceil \frac{t}{r} \right\rceil$ （其中 $\lceil \cdot \rceil$ 表示向上取整）

以洗衣机总装线模型为例，洗衣机机体和机门的装配环节的相关参数值如下。（在此以机器人代表工作站，一个机器人等同于一个工作站）

表 2 实验参数 1

参数	符号	参数值	解释
----	----	-----	----

装配线节拍	r	4 秒	根据传送带传送速率和洗衣机机体的长度推算得出
工作站装配时间	t	60 秒	单位机器人装配单位洗衣机耗时 60 秒

由此计算得出，所需要最小工作站数量（最小机器人数量）为 15 个。

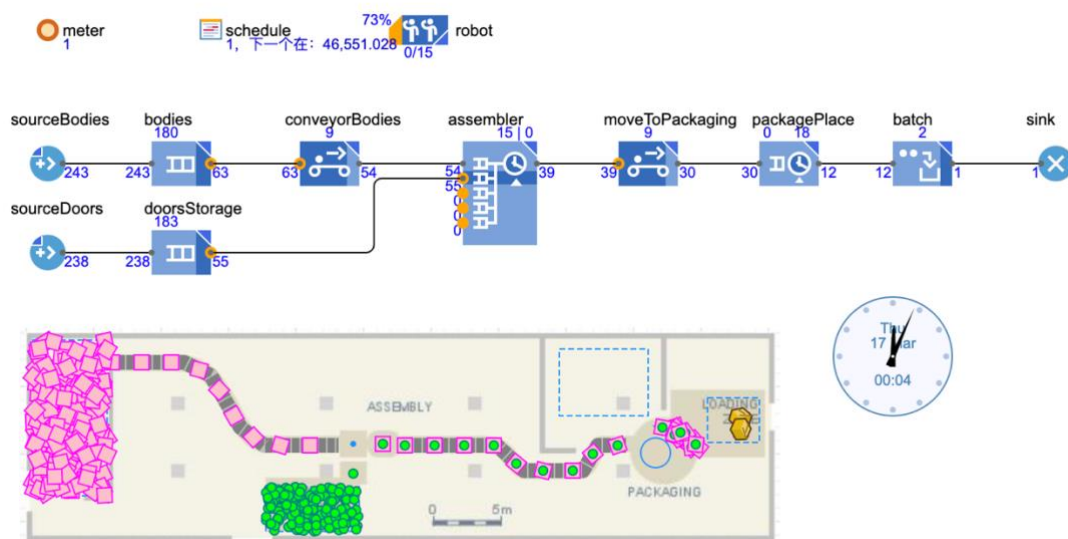


图 7 最小工作站数量条件下连贯运行的生产线示意图

(2) 给定装配线最小工作站数，使装配线节拍最小。

接上述推导过程，当装配线上的工作站数量确定时，为了保证生产线的连贯平稳运行，推导出如下关系式。

⑤ 装配线节拍、工作站数量、工作站装配时间的关系

$$r \geq \frac{t}{q}$$

由此可得，装配线节拍最小为 $\frac{t}{q}$ 。

以本实验模型为例，相关参数如下。

表 3 实验参数 2

参数	符号	参数值	解释
----	----	-----	----

工作站数量	q	1 个	初始给定仅有 1 个机器人可以进行装配作业
工作站装配时间	t	60 秒	单位机器人装配 单位洗衣机耗时 60 秒

当给定最小工作站数量为 1 时（即仅有 1 个机器人能够进行装配作业），则相应的生产线节拍为 60 秒。

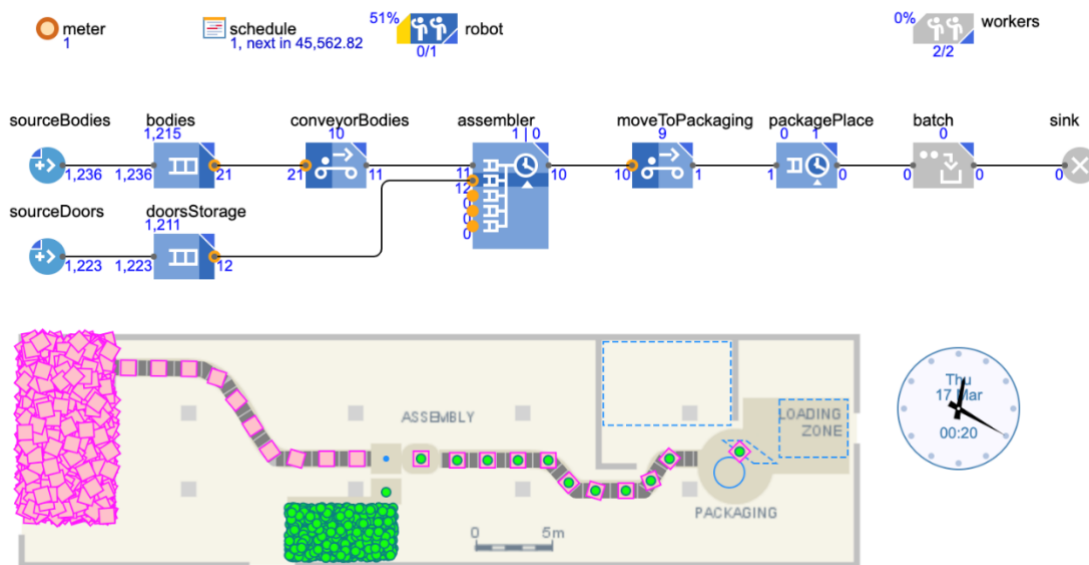


图 8 最小生产节拍条件下连贯运行的生产线示意图

(3) 在装配线的工作站数和节拍得到优化的条件下，平衡装配线上工作站的负荷。

首先给出相关概念。

生产线平衡^[6]：依照流水线作业的工程顺序，以生产目标算出周期时间，将作业分割或者结合，使各个工序的负荷均匀，以提高生产效率的方法。

工艺平衡率^[6]：工艺平衡率是指生产线中各个工作站的标准工作时间的一致性程度。衡量一条生产线是否运行良好和顺畅，生产线平衡率是一个非常重要的指标。而当生产线出现瓶颈工序时，就会不可避免的影响到生产线的平衡率。平衡率改善的基本原则是通过调整工序的作业内容来使各工序作业时间接近或减少这一偏差。

平衡装配线上工作站负荷的原则方法：

- ① 首先应考虑对瓶颈工序进行作业改善，作业改善的方法，可参照程序分析的改善方法及动作分析、工装自动化等 IE 方法与手段；
- ② 将瓶颈工序的作业内容分担给其它工序；
- ③ 增加各作业员，只要平衡率提高了，人均产量就等于提高了，单位产品成本也随之下降；
- ④ 合并相关工序，重新排布生产工序，相对来讲在作业内容较多的情况下容易拉平衡；
- ⑤ 分解作业时间较短的工序，把该工序安排到其它工序当中去。

具体做法：

- ① 减少耗时最长的工序（第一瓶颈）的作业时间
- ② 作业分割，将此作业的一部分分割出来移至工时较短的作业工序
- ③ 利用或改良工具、工装、机器。将手工改为工具、工装、机器或在原有工具、工装做改善，以提升效率，缩短作业工时。
- ④ 提高作业者的技能，通过工作教育，提升作业者的技能。
- ⑤ 调换作业者，调换效率较高或熟练作业人员（如需要较大力气的作业须由男员工作业）
- ⑥ 增加作业者，上面的几项都做了，还未达到效果，就得考虑增加此工序的忍受。

8 参考文献

- [1] 豆丁网.离散事件系统仿真策略 <https://www.docin.com/p-146214.html>
- [2] bilibili. 离散事件模拟基本概念 https://www.bilibili.com/video/BV18y4y1t7Xn?spm_id_from=333.337.search-card.all.click
- [3] 離散事件模擬 1-流程與動畫 <https://www.youtube.com/watch?v=nsgHG4M9ibI>
- [4] bilibili.豆丁网.离散事件系统仿真策略
- [5] 马士华,林勇编著.第四章 生产设施布局与物流优化 企业生产与物流管理.清华大学出版社,2009.01.
- [6] 孙建华,高广章,蒋志强.生产线平衡的手段与方法研究[J].成组技术与生产现代化,2004,21(4)