

# 第一节 案例学习——传输系统

## 一、介绍

通常，确定一个由许多车辆组成的传输系统的传输能力是很难的。根据一些参数，例如车辆运行的优先权、操作时间等，来进行简单的计算几乎是不可能的。尽管如此，没有一家公司希望看到扩充性的计划执行后，确在未来得不到满足。因此，仿真就变得尤为有用，它让未来的使用者确信自己的投资会实实在在第得到效益。

## 二、情景描述

我们要建造一个类似于下图 1-1 中的系统：

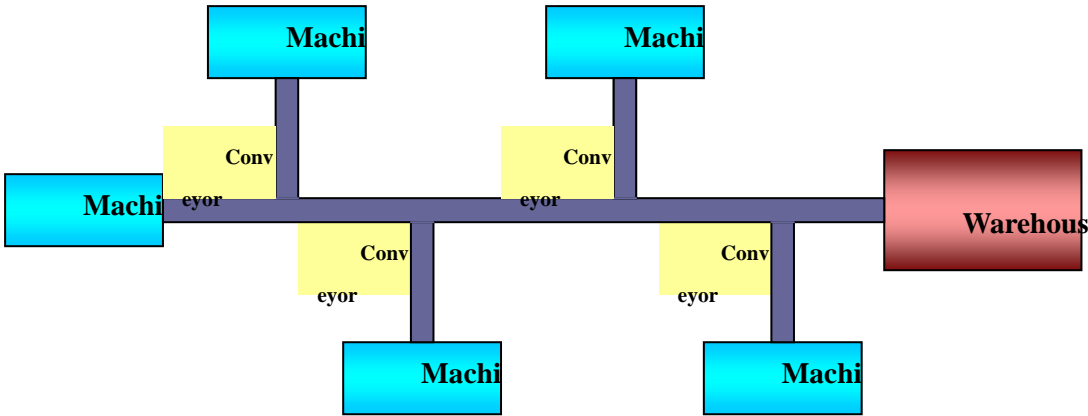


图 1-1 系统图

这个系统由 4 条边传送带和一个长 50 米的主传送带组成，主传送带连接 machine 1 和 warehouse。所有的产品流都是从 machines（服务端）开始，通过传送带到达 warehouse。有 machines 生产的产品是箱子的形状，产品长宽都是 50cm。虽然主要传送带组成一个整体，但它由 5 个部分组成，您需要注意：除了传送带系统的第一个部分是从 machine 1 到 switch 1、最后一个部分是从 switch 4 到 warehouse 的，其他三个部分均是从上一个 switch 到下一个 switch。这五个部分的传送带均为 10 米长，而四个边传送带均为 5 米长，并且所有传输带的传输速度都是 1 米/秒。

当主传送带上传送的箱子和边传送带传送的箱子同时到达时，在主传送带上运输的箱子的优先权高于边传送带。当边传送带出现箱子时，电子眼就会测量边传送带上的箱子和主传送带上箱子间的距离是否至少为 1 米。如果是的话，主传送带开关（switch）前方 1 米处会举起一个挡板。边传送带上的箱子被传送至主传送带上，这个动作的时间被称为处理时间，不同传送带的处理时间不同。与此同时，主传送带上传送过来的箱子就会被挡在挡板前面。这个过程完成以后，挡板被抽走，传送带上的箱子继续传送至下一个目的地。

第一、二、三和四个传送带开关（switch）的每个箱子的处理时间分别等于 2、2、10、5 秒。因为前两个传送带开关是新设备，技术先进，所以处理时间短一些。

机器供应商说机器（machine）一分钟最多生产 8 个箱子，一般来说，一分钟平均生产 4 个箱子。这就意味着，平均生产每个箱子需要花费 15 秒钟。由于小偏差的存在，生产时间可能会存在 1 秒左右的时间偏差，符合从 14.5 秒到 15.5 秒的一个均匀分布。

---

公司不知道机器是否能平均 4 秒钟生产一个箱子，并且在这样的机器设置下，这个系统会不会产生拥挤。我们这样定义拥挤：至少一条传送带上全是箱子，使得机器（machine）停止生产。公司还想知道通常这种拥挤会发生在那个地方。

### 三、任务

1、进行事前的估算，或者说评估传输系统的传输能力，假设每个机器的生产能力是一样的。预计系统在哪里发生第一次拥挤？

2、建一个名为 transport1.Mod 的仿真，试验下机器每 4 秒生产一个箱子是否可能。再建一个名为 transport2. mod 的仿真，测试所有机器生产能力都一致的情况下，系统最大运输能力能达到多大？

3、建一个名为 transport3. mod 的仿真，通过不断调整每台机器的生产能力来观察整个系统的生产量会不会增长。但需要注意的是，每台机器最高至能每分钟生产 8 个箱子。

4、对于改进这个系统，你有什么建议？提高传送带的速度是否能提高整个系统的生产量？

---

## 第二节 ED仿真建议

ED 提供了好几种在上一节中提到的建模方式。当然如果您有更好的建模方法，不妨试一试。

我们这里建模，将传送带分为不同的部分，如下图 2-1 所示。图中的数字代表不同部分的长度。

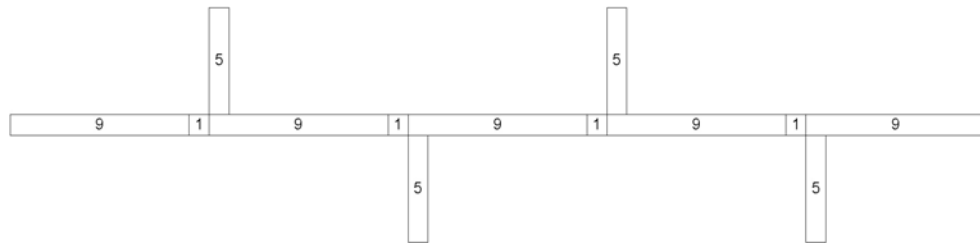


图 2-1 传输系统部分组成图

这个方法的优点在于不再需要测量箱子和新加入点的距离。当一个箱子今日 1 米那个部分，其他箱子则不能从边传送带传送到主传送带上。一旦 1 米那个部分是空闲的，箱子则可以从边传送带传送至主传送带。当一个箱子到达时，另外一个箱子则不能进入 1 米那个部分。在 ED 软件中传送带开关（switch）由机器代替。因此，箱子看上去像是离开了传送带，但实际上不是这样，因为模型只是一个现实的代表。

用 4DScript 命令 `Openinput`、`Closeinput`、`Openoutput` 和 `Closeoutput`，你可以调整打开关闭原子输入输出的频次。记住，这样一来原子的参数将被覆盖。当你想打开原子的进入时，使用命令 `Closeinput`，任何产品将进入不了原子。

## 第三节 样例——传输系统

### 一、任务一

这个仿真需要确定的是这个传输系统可能达到的最大运输能力，尽管这个仿真是假设每个机器的生产能力都一样，每个机器的生产能力可以各尽不同。传送带的速度不同也将影响系统的处理效率。

下图中的方形框标示传输系统：

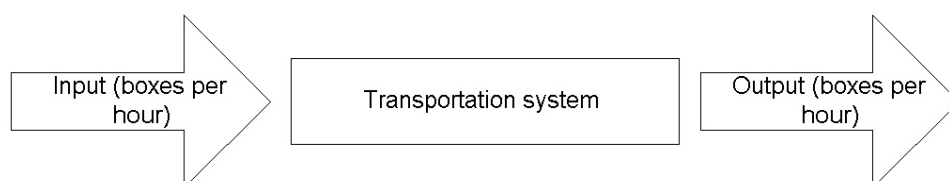


图 3-1 传输系统图

传输系统最大物料流不超过每小时 2400 个箱子，很显然，机器是不能符合这个数字的。然后，潜在的处理能力可能会大一些，也可能少一些。

假设没有技术限制条件的话，传送带的速度为 1 米/秒，箱子长为 50 厘米，如果机器 1（machine1）一秒钟生产 2 个箱子的话，一分钟内就能传送 120 个箱子。不过这只是一个计算演练，没有实际价值。

这里的处理能力被约束限定为传送带处理时间。毕竟，如果一个箱子从边传送带传送带主传送带上需要花费 10 秒钟的话，机器的生产时间一定会超过 10 秒，这是边传送带无论如何都会堵塞。

4 个边传送带的处理时间分别为 2、2、10、5 秒，必然地，边传送带带 1 分钟内最多能处理 30、30、6、12 个箱子。传送带的速度为 1 米/秒，因为箱子长 50 厘米，所以传送带的速度不是一个现在条件，这样 1 秒钟可以传输 2 个箱子。

在这个案例中，当机器 3 每分钟生产 5 或 6 个箱子的话，连接机器 3 的边传送带将会拥挤，主传送带运输优先权高于边传送带通常会引起边传送带的堵塞，这样的情况一般很难计算。

如果边传送带 3 的开关（switch 3）是这个系统物料流的限制因素。那这个系统最大处理能力只能达到每分钟 1800 个，实际能力可能会比这个更小。

假设个机器生产能力不同，4 个边传送带每分钟分别能处理 30、30、6、12 个箱子，因此整个系统 1 分钟内能处理 78 个箱子，再加上机器 1 生产的箱子，最大物料流已经远远超过我们之前算的 2400 个了。

### 二、任务二至任务四

#### 1、 步骤一：问题规划及目的

在上面的学习中，系统的概括已大概描述出来了，但是公司具体背景没有被考虑进去。

这个案例学习的目的主要是看这个系统是否能平均一分钟处理 4 个箱子。另外，我们希望能仔细观察系统处理过程，了解不同因素导致系统最大处理能力的变化。

这个案例中，置信区间没有被主要考虑，我们只要在每个情况下观察堵塞的情况，不断

的去改变一些条件，找到系统能力边缘。

学习这个案例的目的，在于看看每台机器生产能力相同和不相同的情况下，系统最大处理能力能够达到多少。

2、步骤二：建模

建模的核心是要找到系统布局，这个我们已经在前面的系统描述中大概弄清楚了。

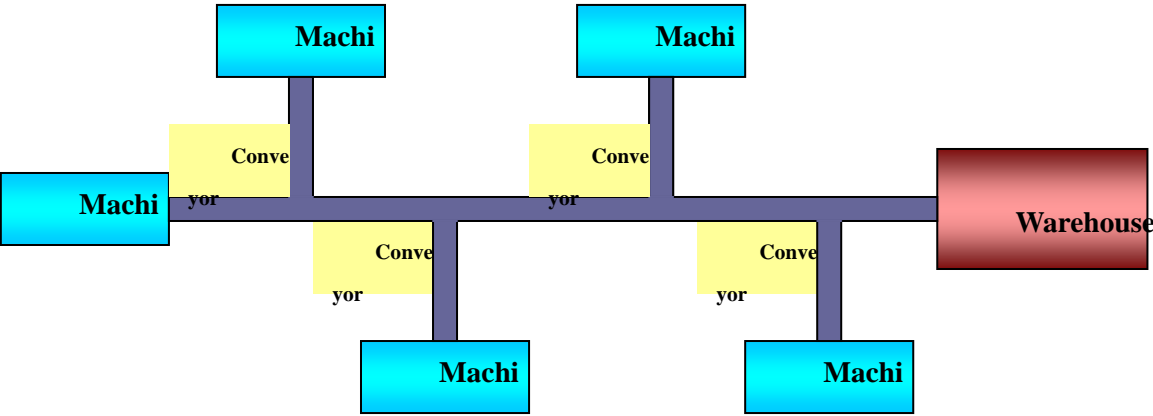


图 3-2 系统布局

(1) 系统描述

5个机器产生箱子，用传送带传送。主传送带连接机器1和仓库，连同另外4个边传送带，所有传送带的速度都是1米/秒。箱子有机器生产处理，由各个传送带传送到仓库。

主传送带上的箱子优先权高于边传送带上的箱子。

所有定量的数据包括传送带各部分长度和处理时间等都陈列在下表 3-1 中：

Conveyor section	Leng th	Conveyor switch	Proc ess time
Main conveyor section 1	10 m	From side conveyor machine 2	2
Main conveyor section 2	10 m	From side conveyor machine 3	sec
Main conveyor section 3	10 m	From side conveyor machine 3	2
Main conveyor section 4	10 m	From side conveyor machine 4	sec
Main conveyor section 5	10 m		10
Side conveyors	5		sec
	m		5
			sec

表 3-1 量化数据表

(2) 数据收集

所有必要的信息，例如速度、处理时间、生产时间等都是需要关注的的数据。

正常来说，数据收集通常始于时间计数，并且时间需要被转换成分布和参数。

(3) 系统的模型表达

系统最小的元素是箱子，箱子长 50 厘米。传送带速度为 1 米/秒。一般箱子尝试的时间间隔从 5 秒到 20 秒不等，这个由机器的设置决定。而时钟秒则是仿真运行的最小时间单位，所有，所有参数都是以秒来定义的。

到达形式：产品到达时间间隔也是模型需要定义的一个参数，一般符合均匀分布，变化区间大概为 1 秒钟。最初，产品到达时间间隔大概为 15 秒，这样产品到达时间间隔就会服

从均匀分布  $U(14.5, 15.5)$ 。假如每分钟生产 6 个箱子，那产品到达时间间隔符合均匀分布  $U(9.5, 10.5)$ 。

传送带：所以的传送带长度都如图 2-1 所示，平均速度为 1 米/秒。因此发生堵塞的话，箱子之间的距离就会变短。

处理操作：这个操作只对边传送带传送过来的箱子有用。

仓库 (warehouse)：这个模型只有一个缓冲区：仓库 (warehouse)，仿真模型所以的箱子都会进入这个点，仓库的能力设为 100,000

(4) 从建模到程序

在这个模型的建立中，我们用的是标准原子的方法，而不用 4DScript 编程语言。这个案例相对应的程序名字叫做 `transport.mod`，通过将这个程序导入到 ED 软件中去，我们可以看到这个模型是怎么建立的。这个模型和我们在 1-1 节中讲到的系统概括是一样的。在 ED 软件中，传送带用名字“Accumulating Conveyors”命名。处理操作将由服务器元素 (Server element) 代表。您需要特别注意，主传送带上的 1 米范围内阻挡箱子的模型是如何建立的。

3、步骤三：有效性验证

模型编译，只是会检查程序的输入或计算错误，通过动画模拟，我们就能密切关注传送带功能：传送带拥挤时，箱子累积；主传送带和边传送带传输货物的优先权不同。

4、步骤四：试验设计

我们需要关注这个系统什么时候会发生拥挤，相对与其他案例来说，置信区间不被考虑。同时，在上面的部分我们提到，秒钟时这个仿真用到的最小单位。但是实际应用中，我们用一个标准的时间单位会比较方便。命令 `hr(a)` 可以将 `a` 这个时间自动转换为秒，例如 `hr(1)` 就是 3600 秒。

通过一些测试，模型运行时间最好为 4 个小时。不过，这个案例运行一次就足够观察结果了。根据这个试验的目的来分析，预热期是没有必要的，因为过一小段时间以后，这个系统就会发生拥挤。

5、 选择哪个案例？

Scenarios	Machine 1	Machine2	Machine 3	Machine 4	Machine 5
<i>scenario 1</i>					
<i>boxes p/m</i>	4	4	4	4	4
<i>iat (in sec)</i>	$15 \pm \frac{1}{2}$	$15 \pm \frac{1}{2}$	$15 \pm \frac{1}{2}$	$15 \pm \frac{1}{2}$	$15 \pm \frac{1}{2}$
<i>scenario 2</i>					
<i>boxes p/m</i>	5	5	5	5	5
<i>iat (in sec)</i>	$12 \pm \frac{1}{2}$	$12 \pm \frac{1}{2}$	$12 \pm \frac{1}{2}$	$12 \pm \frac{1}{2}$	$12 \pm \frac{1}{2}$

<i>Scenarios</i>	<i>Machine 1</i>	<i>Machine2</i>	<i>Machine 3</i>	<i>Machine 4</i>	<i>Machine 5</i>
<i>scenario 3</i>					
<i>boxes p/m</i>	8	8	4	8	8
<i>iat (in sec)</i>	$7\frac{1}{2}\pm\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}\pm\frac{1}{2}$	$15\pm\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}\pm\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}\pm\frac{1}{2}$

表 3-2: 案例选择 (iat 是以秒为计数的到达时间间隔)

经理们一般都会选择方案一，而方案二每台机器生产能力一样时，系统能达到最大处理能力的策略。方案三中的每台机器都达到了最大生产能力，除了第三台，因为每当第三台机器的生产能力接近每分钟 5 个箱子时，边传送带就会发生拥挤堵塞，所以这个方案中第三台机器的生产能力只有每分钟 4 个箱子。

#### 6、步骤五：输出结果分析

所有方案都是在测试，这个系统是否能传送这些货物且不发生拥挤？上面 3 个方案，貌似只有第一个可行，第二个和第三个都会发生拥挤。

第一个方案中，平均物料流为一小时 1200 个箱子，第二个和第三个方案中每小时分别能运输 1500 个和 2160 个箱子。我们之前算过，每小时系统能最多运输 2400 个箱子。由于 switch3 的处理时间为 10 秒钟，所以边传送带一分钟最多只能传输 6 个箱子，因此，理论上这个系统每小时最多能传输 2250 个箱子。

#### 7、步骤六：结论及评价

这个系统的每台机器每小时处理 4 个箱子是完全可能的，每小时处理 5 个箱子也有可能，但是如果数量再多一点的话，系统就会拥挤。

假设每台机器生产量不一样的话，这个系统每小时最多能传输 2160 个箱子。如果将边传送带 3 和 4 的处理时间减小到 2 秒，系统的最大处理能力能提高。或者把边传送带 3 和 4 放在边传送带 1 和 2 的前面，这样处理时间长的传送带离目的地远一些，这样也能提高系统的处理能力。在不同方案测试中，我们可以发现改变传输带的运输速度是没有什么帮助的，因为影响系统效率的是不同边传送带之间的关系，而不是他们的运行速度。

---

## 第四节 模型解释

在这节中，我们 要学习这个案例，更多的建议将会给出。

### 一、问题

我们可以看到不同传送带的优先权对系统效率有影响，因此我们尝试一下两者不同的优先权策略：

- 1、主传送带的优先权高于边传送带；
- 2、一旦有箱子进入主传送带，箱子就必须在传送带开关前 1 米处等待。

因此，这里有两个汇合处附近的点可以坐位箱子的等待处，如下图，有一个点在主传送带和边传送带汇合处前一米的位置上，第二个点在边传送带与主传送带的汇合处。

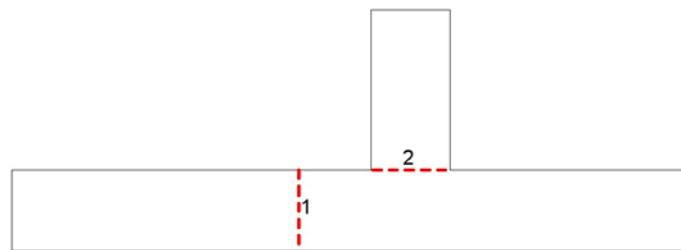


图 4-1 汇合处点图

如果传送带开关处如果没有箱子的话，主传送带上的箱子就可以通过点 1，如果主传送带上点 1 到传送带开关处，这个 1 米区域内，没有箱子的话，边传送带上的箱子就可以通过点 2。

因此，这个 1 米距离区域可以被单独地建模，这样你就可以很容易地判断在这个原则空间内是否有箱子，传送带开关最好也以单独的一个原子来建模。

当然，如果不建 1 米距离的区域，我们就需要去计算传送带上箱子的精确位置，这样就需要用到 4DScript 的命令 `xloc(a)`。这个命令显示箱子进入的原子在 x 轴上的坐标值。如果箱子需要在汇合处外 1 秒钟运行的距离等待，那么所有箱子的运行速度就会改变，按这个方法也可以解决我们的问题。



## 二、原子间的联系

完整的模型如下图 4-2 所展示，我们用 5 个源（source）来代表 5 个机器，这 5 个源产生箱子的概率符合均匀分布。处理时间用有确定时间的服务（server）来表示。这个系统由累计的传送带组成。

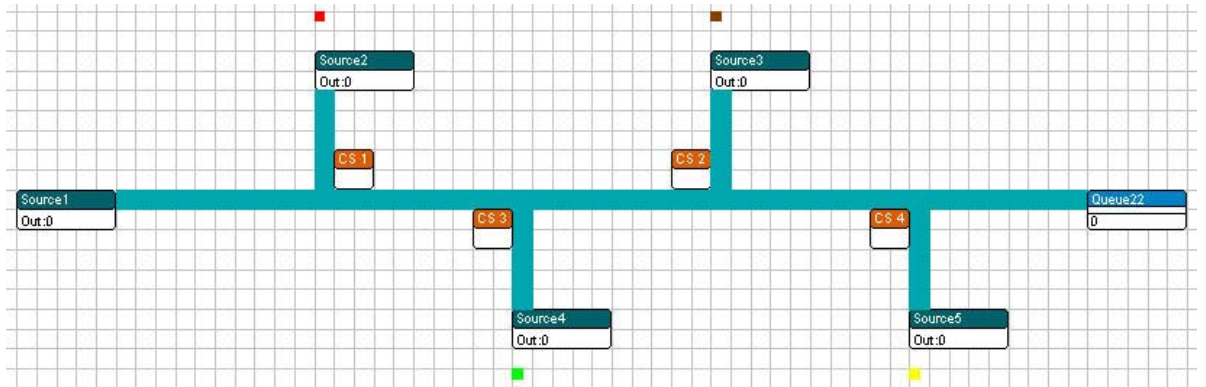


图 4-2 传输系统模型界面图

这个案例中一共有四个汇合处，因此这四个汇合处的建模方法类似。图 4-3 把每个汇合处清晰地表达出来了。由于处理操作，边传送带的箱子可以很快地通过传送带。

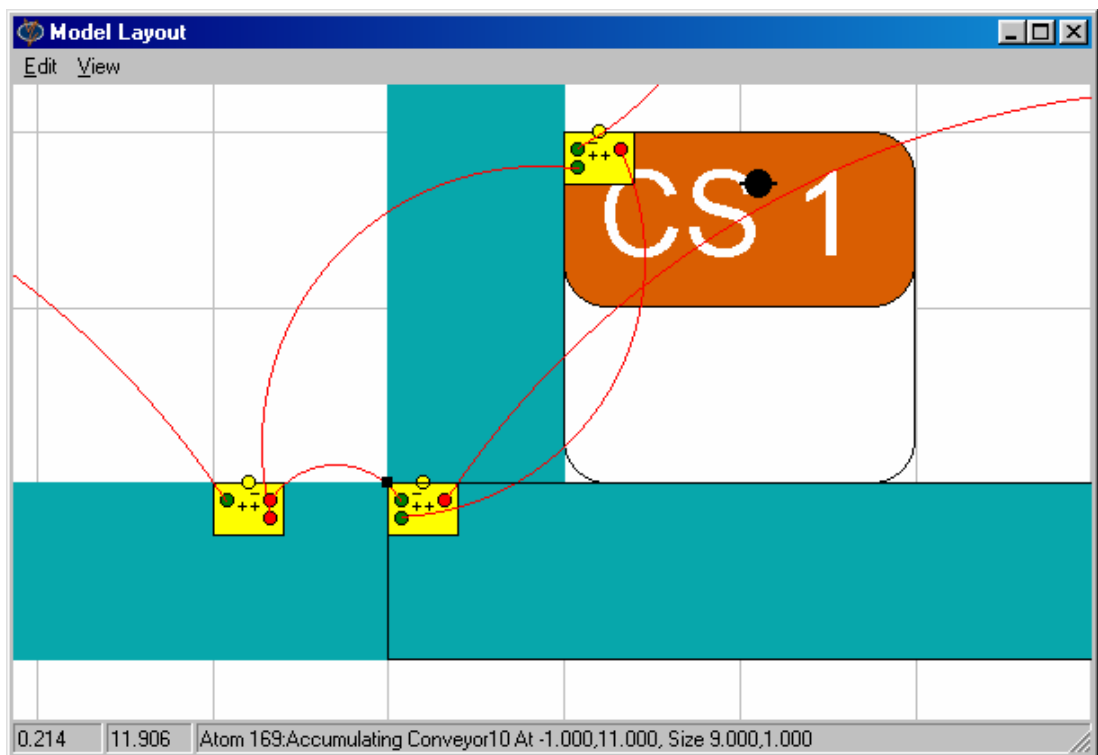


图 4-3 汇合处细节图

在每个汇合处，有三个相连的原子，汇合处前 1 米距离范围内是第一个原子，处理优先权的店算第二个原子，主传送带 9 米的传输距离区域为第三个原子。这一米距离的传送带把箱子从处理处传输出来，传输 1 米距离。

注意到图 4-3 中，1 米距离的输出口到处理操作的输入口，这个空的区域是为了表示从传送带到处理操作的过程，反方向也可以表示，但不是表示产品的实际路径。

---

如果边传送带有物品经过汇合处，那一米区域处就应该将输送过来的箱子挡住。您可以输入下面的服务触发命令：

进入触发：closeinput (in (2, c))

推出触发：openinput (in (2, c))

In (2, c) 这个命令在 server 处作用，closeinput (in (2, c)) 命令的功能是当传送带开关处有箱子通过时，使箱子进入汇合处一米距离区域的功能关闭。openinput (in (2, c)) 命令的功能是当箱子离开传送带开关处时，打开汇合处一米距离区域能够进入的功能。

同样，作用在一米距离区域的命令可以这么写：

进入触发：closeinput (out (2, c))

推出触发：if (content (c) =0, openinput (out (2, c)))

这样，closeinput (out (2, c)) 命令可以使得当一米距离区域没有箱子时，server（即传送带开关）处打开。

跟这个案例相关的模型名字分别叫做 transport1.mod, transport2.mod and transport3.mod, 您可以在程序文件夹里找到。