

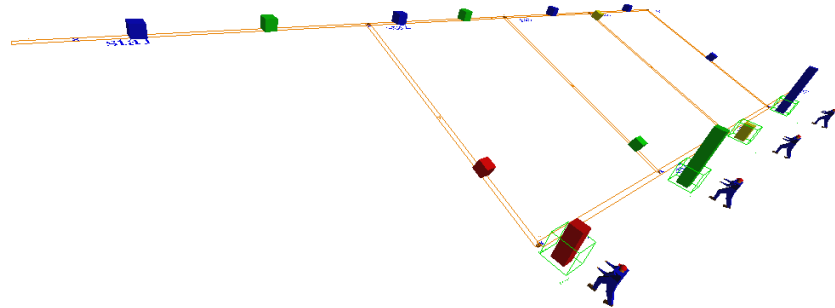
实验二、自动分拣系统的建模与仿真

1. 实验目的

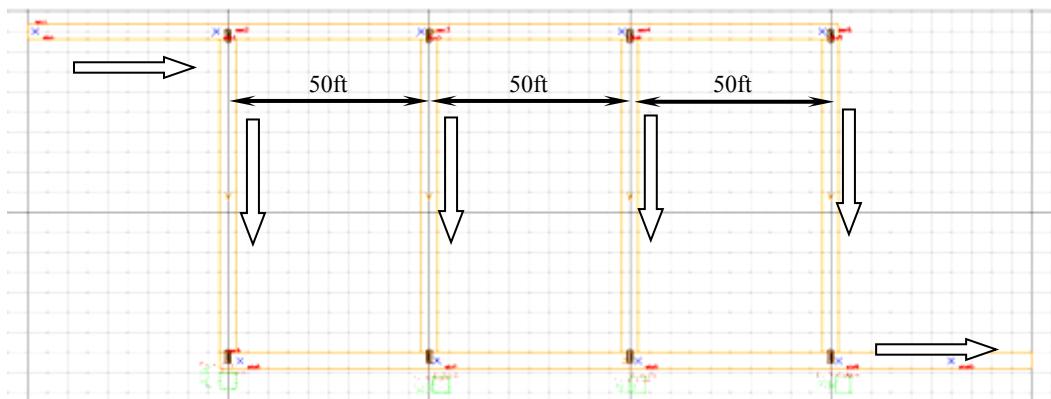
通过学习 AutoMod 提供的 conveyor 系统建模，熟悉其运动系统定义和画图工具的使用，认识现代物流领域中常见的自动分拣作业系统的基本原理与功能。

2. 实验内容

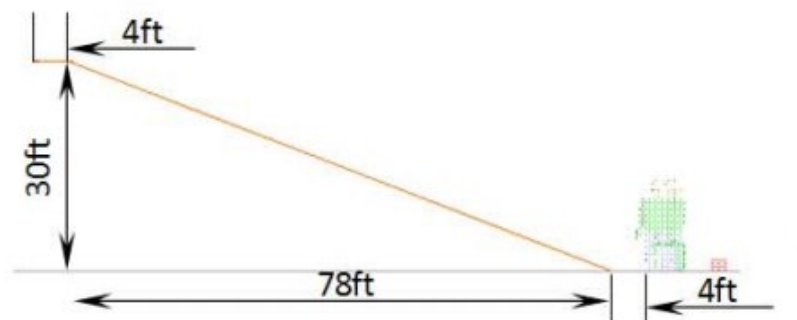
在如下的一个分拣系统中，沿一条传送带传送的货物，根据各自的品种被分别送至不同的操作台，经检验，将合格产品每 10 个打包后，被取走；检验不合格的货物由一条传送带送往检修处。



分拣传送带的空间结构如下所示：



传送带空间布置的俯视图



传送带空间布置的左视图

分拣系统的流程描述和系统参数如下：

四种货物 L_a、L_b、L_c、L_d 各自独立到达高层的传送带入口端；

L_a 的到达频率服从正态分布函数 normal 400, 50 秒；

L_b 的到达频率服从正态分布函数 normal 200, 40 秒；

L_c 的到达频率服从均匀分布函数 uniform 500, 100 秒；

L_d 的到达频率服从均匀分布函数 uniform 150, 30 秒；

不同货物分别从四条倾斜的传送带送到下层传送带的检验包装处；

每个检验包装操作台需操作工一名，每检验一件货物占用的时间，服从参数为 1（分钟）的指数分布；

每种货物都可能不合格产品，检验合格的产品放入箱笼，不合格的通过地面传送带送往检修处进行修复；

L_a 合格率为 95%；L_b 为 96%；L_c 为 97%；L_d 为 98%；

传送带的传送速度选默认速度。

对上述传送分拣系统进行建模，仿真系统一天 8 个小时的运行状况，并完成思考题。

3. 实验步骤

（1）在一个新建的 model 中定义唯一的 process 系统，并定义 process、load、resource（操作工、队列）等实体及其参数；

（2）建立一个 conveyor 系统，用画图工具画出系统的空间布置，在传送带上布置适当的站点（station），定义各段传送带的参数等；

（3）在 process 系统的 source file 中编写逻辑代码，定义系统的逻辑流程；

（4）运行调试模型，直到模型按照实际系统流程正确运行；

（5）定义适当的 business graph；

（6）运行模型，得到数据和图表等多种结果输出；

（7）根据结果输出对系统进行分析

作业与思考题

（1）该分拣系统一天的总货物流量约为多少？

（2）按照目前的配置，该系统能够承受的最大日流量是多少？

（3）“给实验一添加 conveyor 的顾客行走路线，并做如下实验对比：

1）所有 Conveyor 参数采用默认值；

2）将所有 Conveyor 的运行参数改为很大的值；

观察系统有何变化与不同？并对 conv 系统参数的设置对银行排队系统的影响作出分析。

实验二详细解析

本实验的重点在于学习创建 Conveyor 传送带系统中制图工具面板绘制输送带系统的路径与站点。学习灵活使用多维的 Process 来精简你的仿真程序代码。

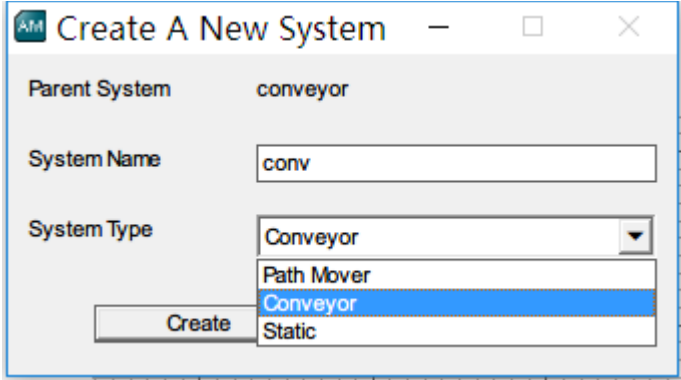
表 3-1 Conveyor 系统的 Process 系统

Process系统		
项目	名称	备注
Process	P check	4维，货物的检验
	P in	货物进入轨道搬运系统
	P out	4维，根据检验结果将货物送到箱笼或检修处
	P send	4维，将箱笼中的货物按照10个一批打包运走
Loads	L a	货物a，到达服从normal 400,50秒
	L b	货物b，到达服从normal 200,40秒
	L c	货物c，到达服从uniform 500,100秒
	L d	货物d，到达服从uniform 150,30秒
	L dummy	驱动货物搬离箱笼的处理程序
Load Attributes	LA rate	标记load检验的合格率
Resourxes	R check	4维，检验工人
Queues	Q out	4维，检验合格的货物在此等待打包带走
Order List	OL out	4维，待搬离货物的逻辑缓存区
Variables	V in	4维location变量，货物分叉点（即站点sta2~sta5处）
	V out	4维location变量，货物的检验处（即站点sta6~sta9处）
	V quality	整型变量，标记检验结果，“1”为合格，“2”为次品
指令（加粗字体为新指令）	begin/end arriving procedure, send to die, move into, travel to , set , use Resource (for Time_Expression), if...then...else, order , wait to be ordered , procindex	

1-1 根据实验一新建一个模型（conveyor）

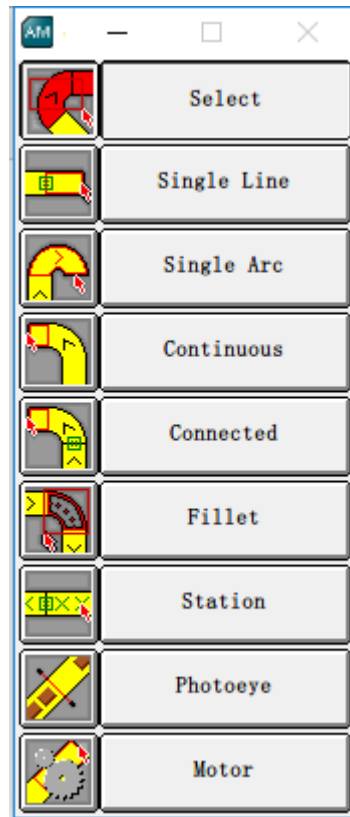
1-2 新建一个 conveyor 系统

Step1 在模型的主界面窗口菜单栏点击 System 选项 - New，打开 Create A New System 视窗在 Create a New System 视窗的 System Type 中选择 Conveyor。并在 Name 栏填入系统名称，点击 Create 即出现输送带系统的设计平台。



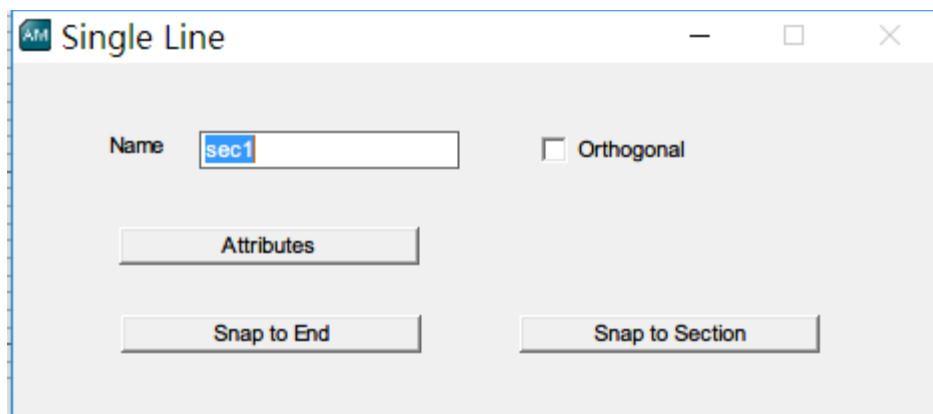
Create A New System 视窗

在输送带系统的设计平台，你可以利用不同的工具，如 Section、Transfer、Station、Photoeye、Motor 来构建一个输送带系统。本模型中构建的输送带系统较为简单，仅需使用工具箱中的 Single Line 和 Station 即可。



Conveyor 工具箱

Step2 点击 Conveyor 工具箱中的 Single Line 选项，打开 Single Line 视窗。



Single Line 视窗

- **Name:** 定义当前输送带 section 的名称，默认为 secX，“X”会自动变序
- **Orthogonal:** 勾选此项会强制所画的输送带区段必须为平行或者垂直。
- **Attributes:** 点击此项将出现 Edit Conveyor Section 视窗，包含了对该段输送带的相关参数设定，如宽度，速度，加减速，Load 间隔等，相关设定可以参考 User Guide 中 Conveyor Systems - Section 部分。输送带的参数默认为继承 DefaultSection 的参数设置，勾选相应参数可修改之，覆盖遗传参数设置值。

Edit Conveyor Section 视窗

- **Snap to End:** 点击此项可强制当前构建区段与已画好区段的结束位置连接。
 - **Snap to Section:** 点击此项可强制当前构建区段与已画好区段中间某位置连接。
- Step3** 在工作视窗中你想要放置输送带的开始位置点选一下，移动鼠标到你想要结束的位置再点选一下，就可以完成下层输送带 sec1 的构建。箭头方向代表输送带的传输方向。



绘制输送带 sec1

可以连续在工作视窗中放置输送带完成输送带系统的布局，但是本模型中的输送带不在一个平面上（见左视图），还需编辑输送带的起止三维坐标，下面以倾斜输送带段 sec2 为例详述。

Step4 点击 Conveyor 工具箱中的 Select 选项出现 Selection 视窗，在工作视图中点击已绘制的 sec2（也可以勾选 Lists All Graphic Entities 选项），在 Selection 视窗点击 Sections - sec2，点击 Edit 打开 Section Edit 视窗。根据左视图中可知 Y 方向投影长为 78ft，起始点高为 30ft，则根据 sec1 的 y 轴坐标位置输入 sec2 的 xyz 轴参数如下图。

Section Edit

Name: sec1 Piece Number: All

X Y Z

Start: -100 -40 0

End: 100 -40 0

Radius: 2.0 Feet ☐ Minor Arc ☐ Clockwise

Buttons: Split, Templates, Change Direction, Attributes, OK, OK, Quit Edit Paths, OK, Quit Edit Each

Section Edit

Name: sec2 Piece Number: All

X Y Z

Start: 50 40 30

End: 50 -38 0

Radius: 2.0 Feet ☐ Minor Arc ☐ Clockwise

Buttons: Split, Templates, Change Direction, Attributes, OK, OK, Quit Edit Paths, OK, Quit Edit Each

Section Edit 视窗

注：坐标位置数据仅供参考，同学们可以根据自己 sec1 的坐标参数自行调整其余 sec 参数

- **Templates:** 点击此项可以为输送带导入输送带的模型显示图样
- **Change Direction:** 点击此项可以改变输送带的传输方向
- **Attributes:** 点击此项将出现 Edit Conveyor Section 视窗，同前。

Step5 按照以上步骤完成输送带段的绘制，还需注意每条倾斜输送带段还需间隔 50ft，即 X 值相差 50。

Tips : 在绘制输送带的过程中 Transfers 是自动生成的，无需绘制。

Step6 点击 Conveyor 工具箱中的 Station 选项，出现 Station 视窗，在工作视窗的传送带上点击，布置适当的站点（station）。

Station

Name: sta1 Type: DefaultStation

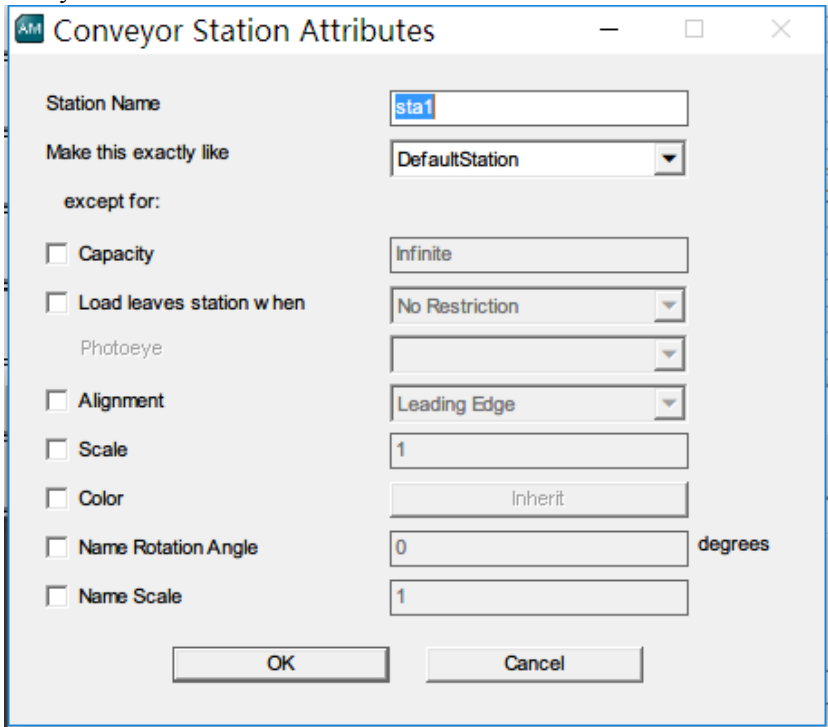
Buttons: Attributes

☒ Snap To Path While Banding Section: Snap To:

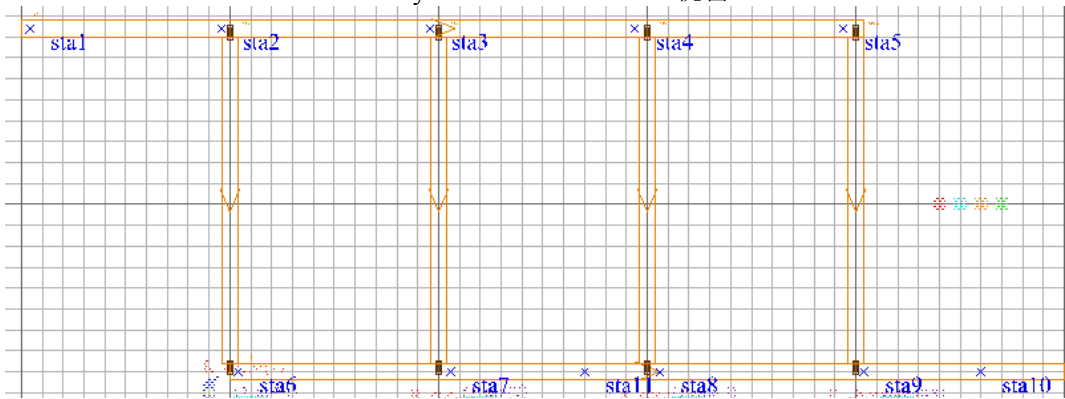
Station 视窗

- **Name:** 定义当前站点 Station 的名称，默认为 staX，“X”会自动变序。
- **Attributes:** 点击此项将出现 Conveyor Stations Attributes 视窗，包含了对该段输送带的

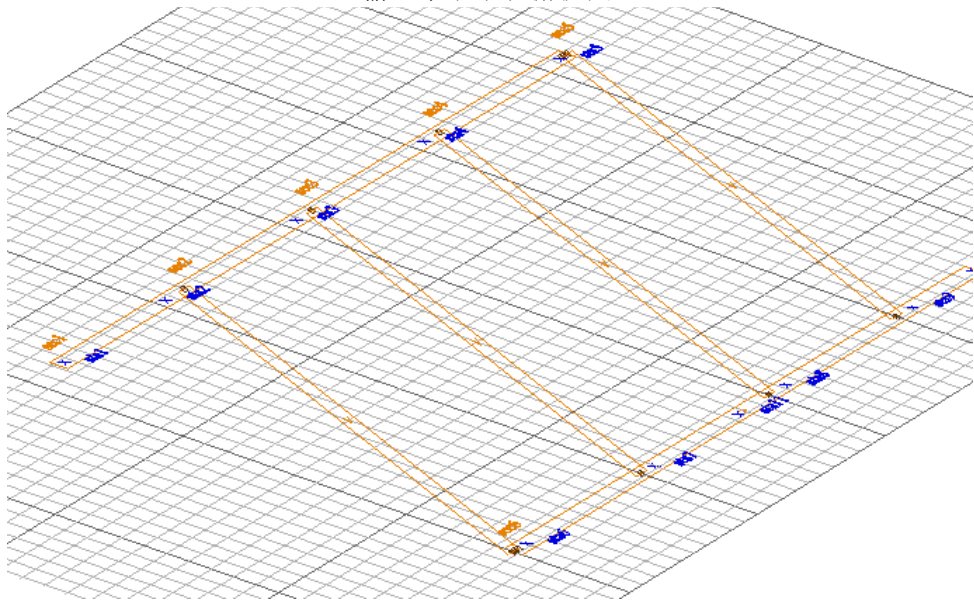
相关参数设定，如容量，对齐方式，大小等，相关设定可以参考 User Guide 中 Conveyor Systems - Station 部分



Conveyor Stations Attributes 视窗



输送带子系统俯视图

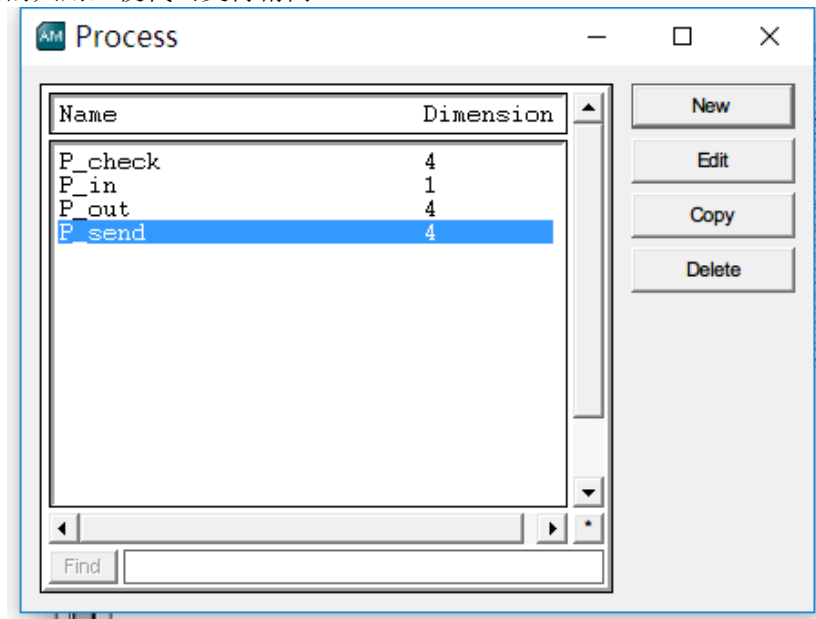


输送带子系统侧视图

Step7 在模型的主界面窗口菜单栏点击 **System** 选项 - **Open**，打开 **Open A System** 视窗，选择主模型 **cv**，点击 **open**，返回主模型编辑视窗定义各种实体。

2-1 定义 Process

Step1 定义 **P_check**, **P_out**, **P_out**, **P_send**，详细定义 **Process** 的步骤参见实验一。定义 **Process** 的 **Dimension** 为 4，则相同名字的 **Process** 具有不同的编号，即 **procindex**。这种设置有利于代码的共用，使代码变得精简。

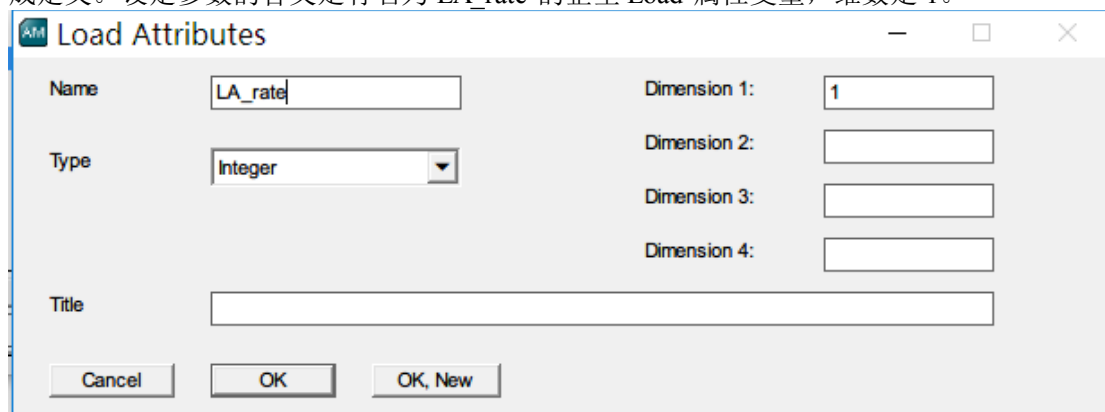


实验三的 Process 视窗

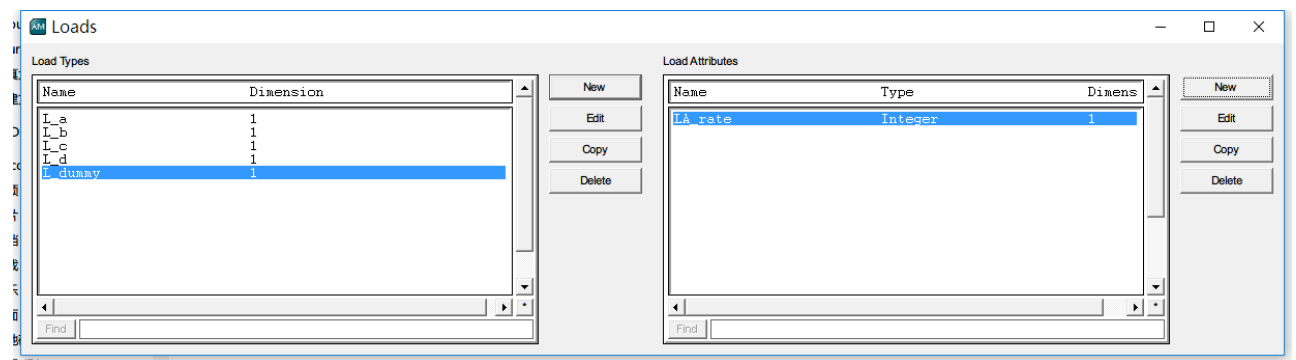
2-2 定义 Loads

Step1 定义 **L_a**, **L_b**, **L_c**, **L_d**, **L_dummy**，货物的第一个 **Process** 均为 **P_in**，到达规律见表 **Process** 系统，详细步骤参见实验一.定义 **Loads**。

Step2 定义 **Loads** 的属性变量 **LA_rate**，点击 **Load** 视窗中右侧 **Load Attributes - New**，打开 **Loads Attributes** 视窗，输入 **Name** 为 **LA_rate**，类型为 **Integer**，维数是 1，点击 **OK** 即可完成定义。设定参数的含义是有名为 **LA_rate** 的整型 **Load** 属性变量，维数是 1。



Loads Attributes 视窗

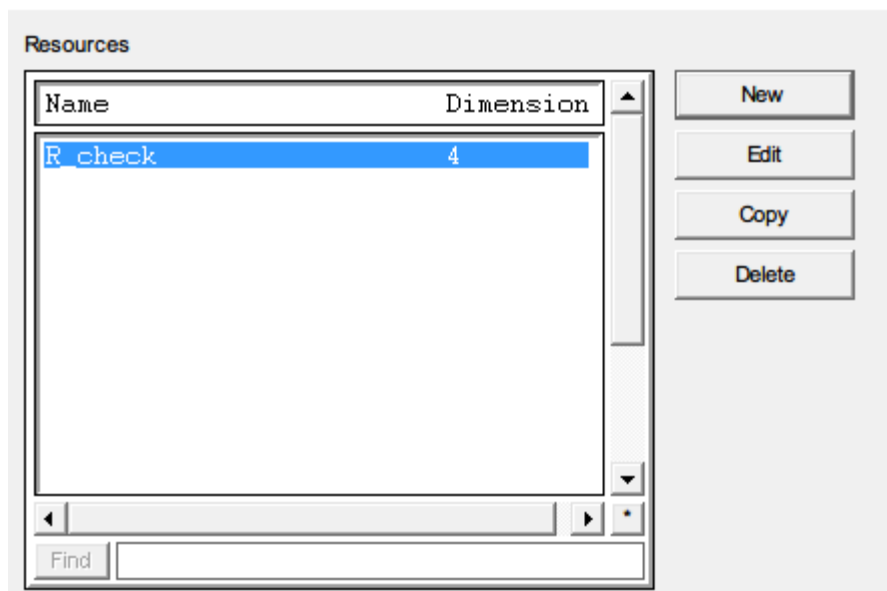


实验三的 Loads 视窗

2-3 定义 Resources

Step1 定义 R_check，在 Edit A Resource 视窗中输入 Number of Resources 为 4。其它选项为默认。详细步骤参见实验一.定义 Resources。

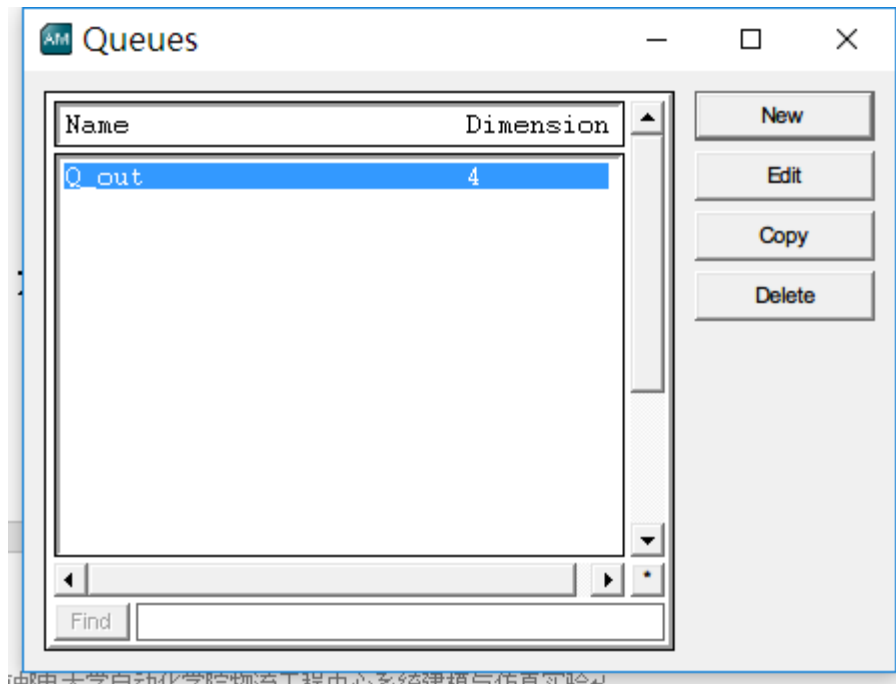
Resources



实验三的 Resources 视窗

2-4 定义 Queues

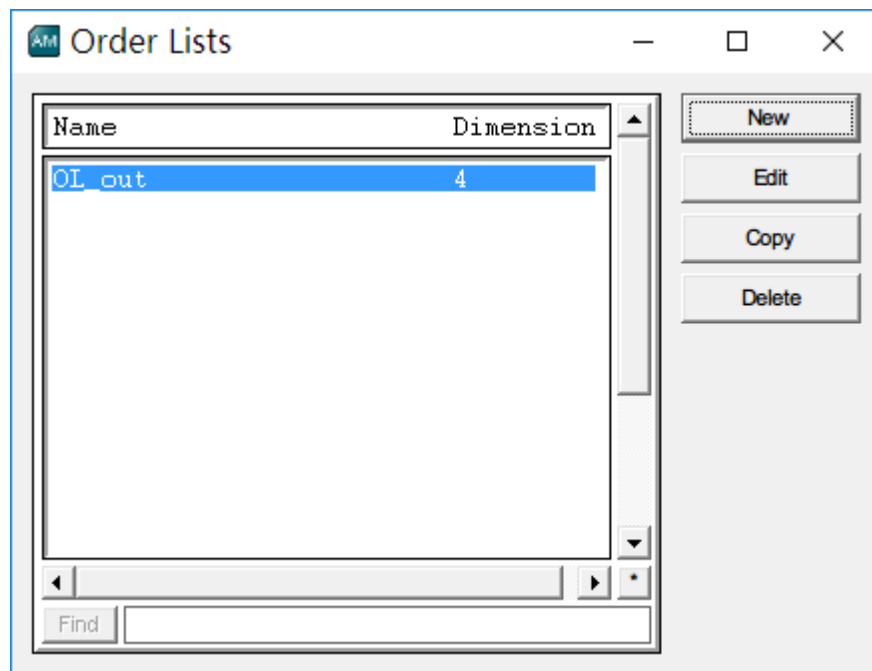
Step1 定义 Q_out，数量为 4，容量无限，详细步骤参见实验一.定义 Queues。



实验三的 Queues 视窗

2-5 定义 Order Lists

Step1 定义 OL_out，维数为 4，其它选项为默认，详细步骤参见实验一.定义 Order Lists。



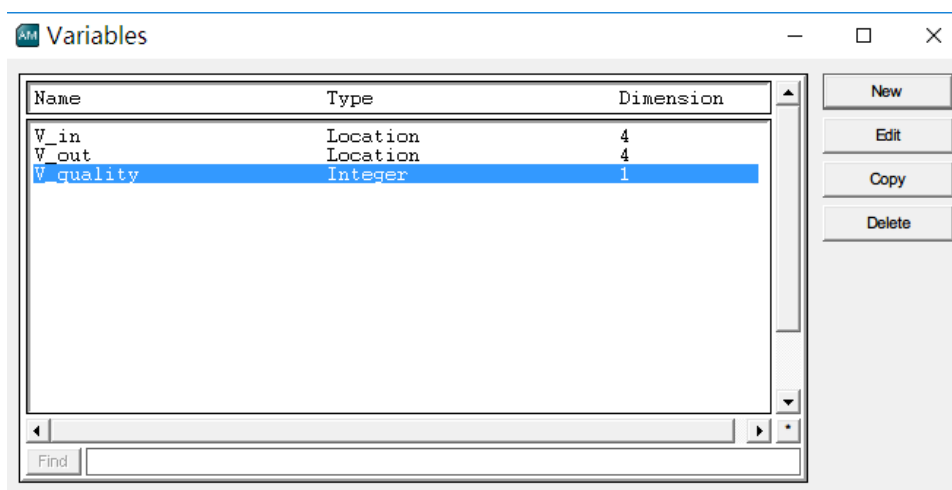
实验三的 Order Lists 视窗

2-6 定义 Variables

Step1 定义 V_quality，类型为 Integer，其它选项默认，详细步骤参见实验一.

Step2 定义 V_in，V_out，类型为 Location，维数为 4，其它选项默认，详细步骤参见实验

一。



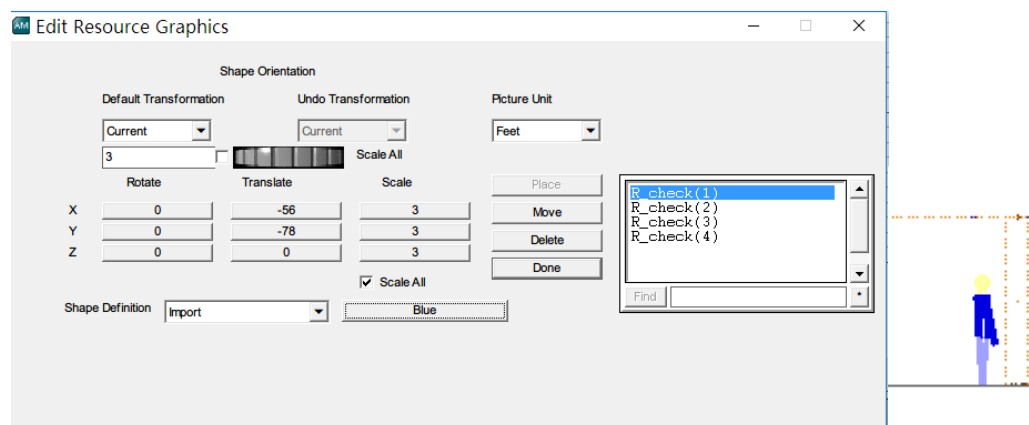
实验三的 Variables 视图

3 绘制平面模型布置图

Step1 定义模型中的 Loads 的三维视图，详细步骤参见实验一。绘制模型平面布置图。

Step2 定义模型中的 Resources 的三维视图，本模型中希望检验处的工作人员以真实系统中人的样子显示，则需要做出如下设置：

Step2-1 在 Edit Resouce Graphics 视窗中点击下拉菜单 Shape Definition 中的 Import 选项，打开 Choose A graphics formatted file，在 Automod 安装路径下找到：automod /demos /graphics /cell /man3.cel，选中后确定即可导入。

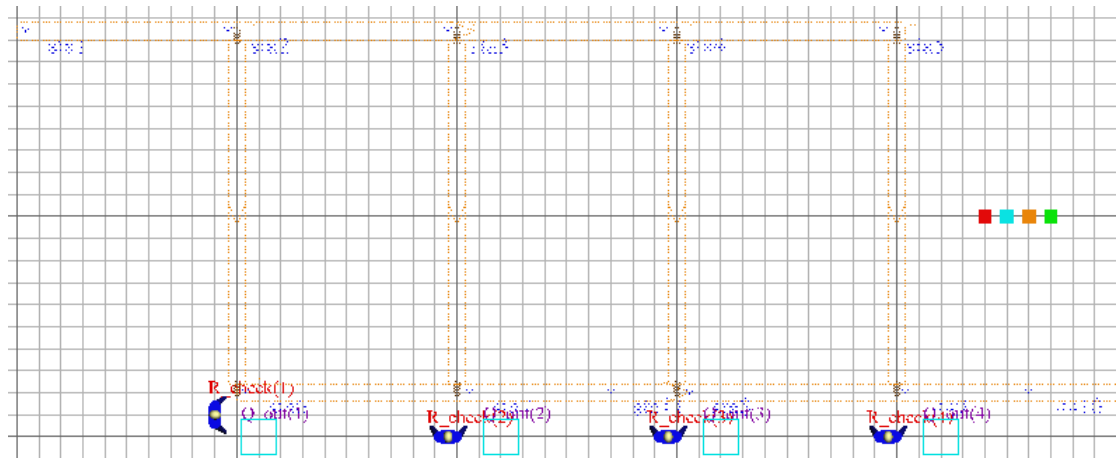


Edit Resouce Graphics 视窗

导入后的 Resource

Step2-2 导入之后还可以对资源的颜色，大小，位置等进行定义，如改变颜色为 Blue。

Step3 定义模型中的 Queues 的三维视图，详细步骤参见实验一。绘制模型平面布置图。



本模型的完整平面布置图

4 定义 Source file

Step1 定义 source file 文件 `conveyor.m`，详细步骤参见实验一.定义 Source file，模型代码如下图。

```
1begin model initialization function
2  set V_in(1) to conv.sta2
3  set V_in(2) to conv.sta3
4  set V_in(3) to conv.sta4
5  set V_in(4) to conv.sta5
6  set V_out(1) to conv.sta6
7  set V_out(2) to conv.sta7
8  set V_out(3) to conv.sta8
9  set V_out(4) to conv.sta9
10 return true
11end
12
13begin P_in arriving procedure
14  move into conv.sta1
15  if load type = L_a then
16    begin
17      set LA_rate = 95
18      send to P_check(1)
19    end
20  else if load type = L_b then
21    begin
22      set LA_rate = 96
23      send to P_check(2)
24    end
25  else if load type = L_c then
26    begin
27      set LA_rate = 97
28      send to P_check(3)
29    end
30  else
31    begin
32      set LA_rate = 98
33      send to P_check(4)
34    end
35  end
36end
```

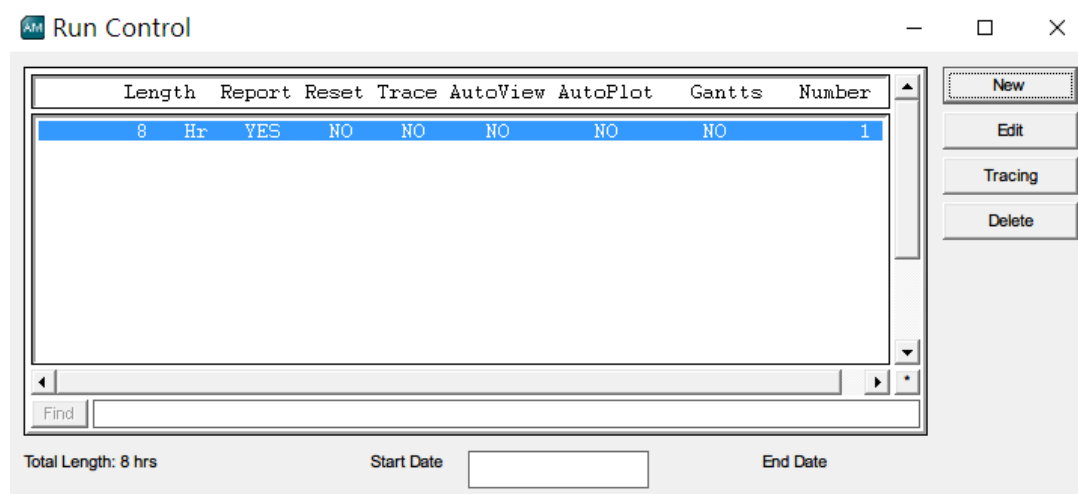
```

35end
36
37begin P_check arriving procedure
38  travel to V_in(procindex)
39  travel to V_out(procindex)
40  use R_check(procindex) for e 1 min
41  set V_quality to oneof(LA_rate:1,100-LA_rate:2)
42  clone 1 load to P_send(procindex) nlt L_dummy
43  send to P_out(procindex)
44end
45
46begin P_out arriving procedure
47  if V_quality = 2 then
48    begin
49      travel to conv.sta10
50      send to die
51    end
52  else
53    begin
54      move into Q_out(procindex)
55      wait to be ordered on OL_out(procindex)
56    end
57end
58
59begin P_send arriving procedure
60  if OL_out(procindex) current loads > 10 then
61    order 10 loads from OL_out(procindex) to die
62end
63

```

5 设定 Run Control

Step1 要求仿真系统工作一天 8 小时的运行状况，则可设定 Snap Length 为 8 小时，Number of Snaps 为 1，点勾 AutoMod Report 选项，详细步骤参见实验 1. 设定 Run Control。



实验三的 Run Control 视窗

6 定义 Business Graphics

Business Graph 的主要功能就是帮助建模者得到动态的相关图表，包括折线图、直方图、饼图等，统计图会随模型目前的状态而改变图表，你可以在模型的编辑视窗或者模拟视窗中。

设定 Business Graphics，并且在模型运行时打开定义的 Business Graphics，动态查看统计图表的变化。在本实验中我们将建立一个统计图表显示 Q_out(1)和 Q_out(2)中 Load 的数量实时跟踪。图表名为 LoadsInQueues，记录系统运行一天的状况。

Step1 点击 Process 工具箱中的 Business Graphics 选项，打开 Business Graphics 视窗。

Step2 点击 New 建立一个新的统计图表，可见生成了默认名为 graph0 的图表，输入图表名字 (Graph Name) 为 LoadsInQueues，图表类型 (Graph Type) 为 Timeline，这时会跳出新的文本框，这是对该类型图表的参数设置，选择不同类型的图表所需设定的参数也不同。

TimeLine 的部分包含了一下几个参数：

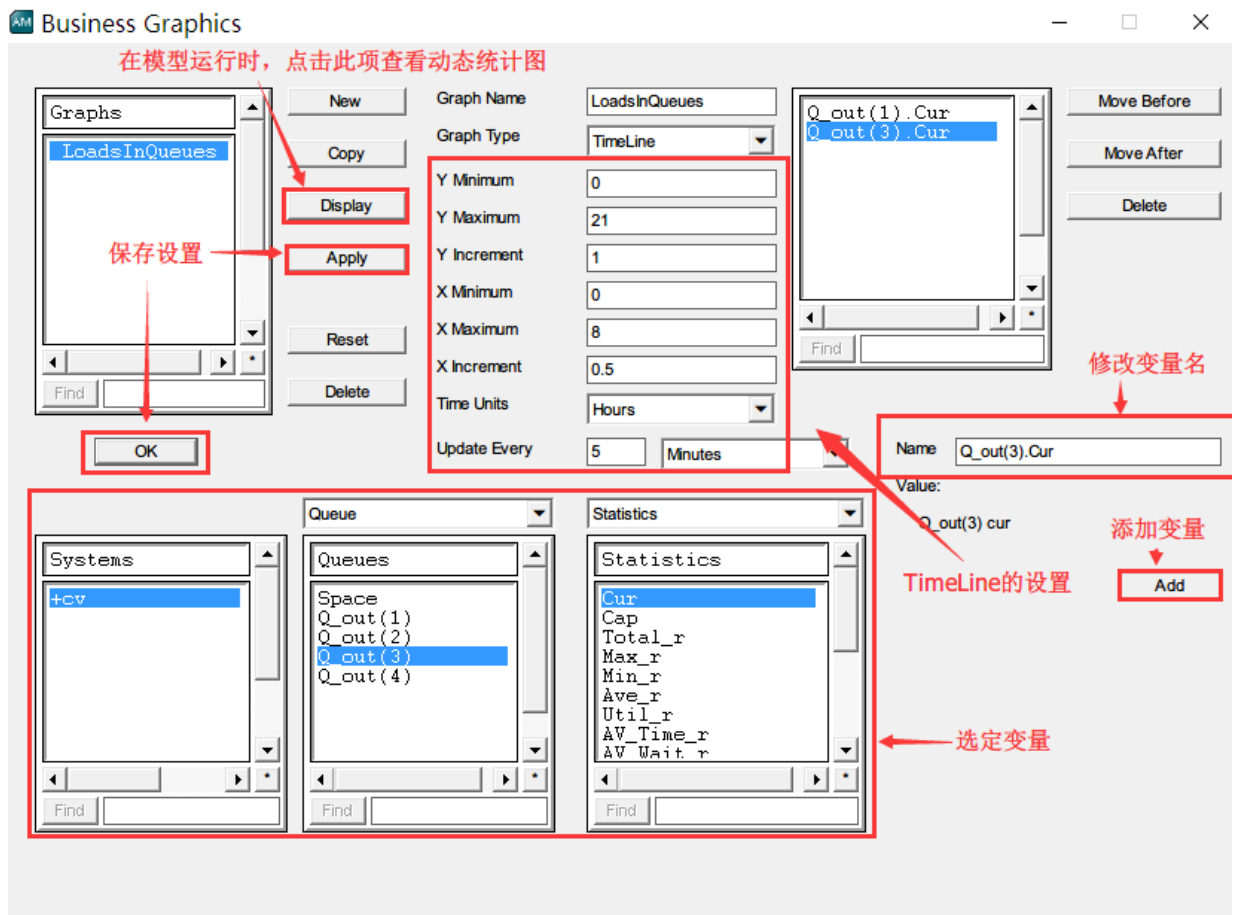
- Y Maximum: 定义 Y 轴的大值，预设值为 10。
- Y Increment: 定义 Y 轴的小分度，预设值为 1。
- X Minimum: 定义 X 轴的小值，预设值为 0。
- X Maximum: 定义 X 轴的大值，预设值为 10。
- X Increment: 定义 X 轴的小分度，预设值为 1。
- Time Unit: 时间单位，选项有 Seconds, Minutes, Hours, Days。
- Update Every: 更新时间，可自行设定时间及单位。

在本实验中可设参数如图 Business Graphics 视窗所示。

Step3 选择随时间变化的变量，本实验中选取 Q_out(1)和 Q_out(2)的当前所含 Load 的数量，你可以从 Business Graphics 视窗下面的三个列表设定统计数据来自的系统，系统内的单元及单元内的统计项目。确定选择的统计项目后可与左边输入一个显示在图表上的变量名字，或者也可以使用默认名，后点击 Add 选项完成一个变量的添加。对想删除的变量选中后点击 Delete 即可。

Step4 完成所有设置后一定要点击 Apply 保存设置，或者点击 OK 保存设置并关闭视窗，直接关闭视窗是不能保存设置的。

Step5 模型运行过程中，在模拟界面点击菜单 View - Business Graphics 打开 Business Graphics 视窗，点击 Display 选项可查看动态统计图。

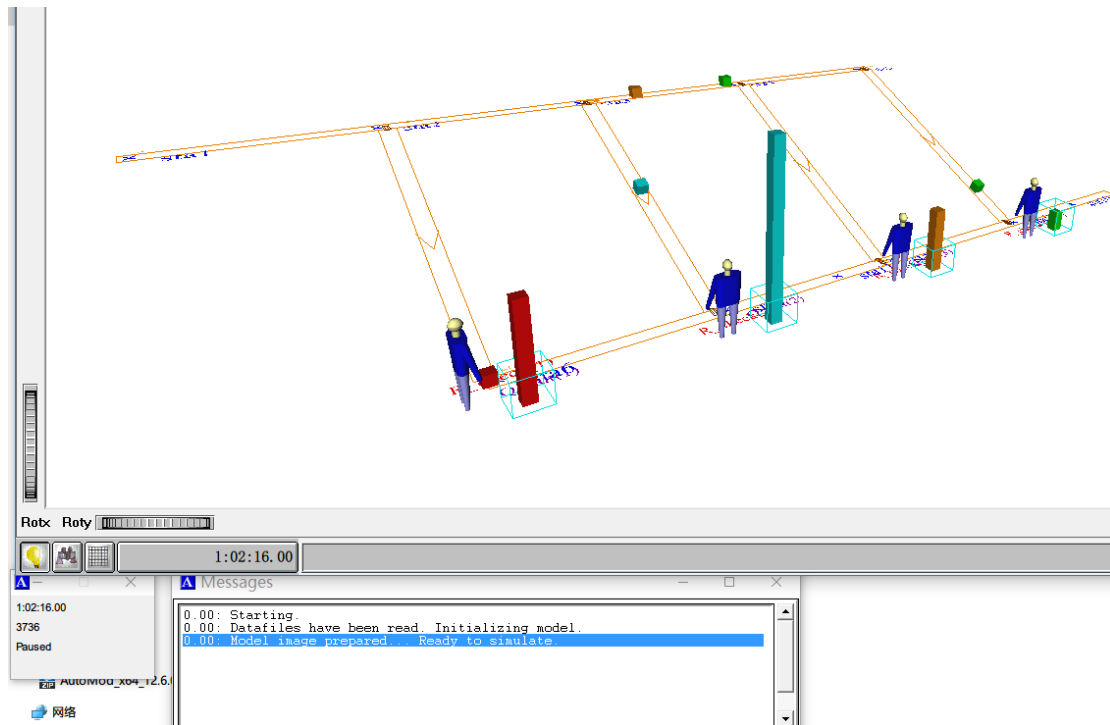


在 Statistics 的项目会因为不同的实体而又不同性质的 Statistics，基本上可以从 Statistics 的名称加上前后了解该 Statistics 选项的含义：

- - **r**: 相对时间统计值，是指系统后一次重置（Reset）后统计的数值，如 Total_r。
- - **a**: 绝对时间统计值，是指系统从一开始执行模型后统计的数值，如 Total_a。
- **w**: wait statistics，如 wTotal_r, wTotal_a
- **state**: state statistics，如 stateTotal_r, wTotal_s
- **traf**: traffic statistics，如 trafTotal_r
- **trafw**: traffic wait statistics，如 trafwTotal_r
- **down**: Resource 的 downtime statistics，如 downTotal_r

7 模型运行

- Step1** 点击编辑界面菜单中 Run 下的 Run Model 选项或者使用快捷键 Ctrl+R，运行模型。
- Step2** 改变视野以便于观看仿真动画，点击 File 菜单下的 Save Startup Config 选项保存视野。
- Step3** 点击模拟界面菜单的 Control 下的 Continue 或者使用快捷键 p，启动仿真运行。
- Step4** 点击模拟界面菜单的 View 下的 Business Graphics 查看动态统计图。



实验三 模型运行界面

8 查看运行结果

Step1 仿真输出结果：可以发现仿真输出结果是按照各个系统分开输出的，这里我们截取了 Process System 的 Process Statistics 和 Resource Statistics, Conveyor System 的 Section Statistics 进行分析。

Name	Total	Cur	Average Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_Wait
P_in	463	0	0.00	—	2	0	—	0.06
P_out(1)	72	10	9.70	—	21	0	—	3880.97
P_out(2)	143	17	9.93	—	21	0	—	1999.12
P_out(3)	56	13	9.57	—	21	0	—	4920.55
P_out(4)	187	2	10.47	—	21	0	—	1611.86
P_check(1)	73	1	0.47	—	2	0	—	184.37
P_check(2)	144	1	1.28	—	4	0	—	256.67
P_check(3)	57	1	0.61	—	2	0	—	309.63
P_check(4)	189	2	2.24	—	5	0	—	340.78
P_send(1)	72	0	0.00	—	1	0	—	0.00
P_send(2)	143	0	0.00	—	1	0	—	0.00
P_send(3)	56	0	0.00	—	1	0	—	0.00
P_send(4)	187	0	0.00	—	1	0	—	0.00

Process Traffic Limit Statistics

Process System 的 Process Statistics

Name	Total	Cur	Average Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_Wait	State
R_check(1)	72	0	0.12	1	1	0 0.123	49.02	0.00	Up ----
R_check(2)	143	0	0.31	1	1	0 0.307	61.83	0.00	Up ----
R_check(3)	56	0	0.15	1	1	0 0.148	76.13	0.00	Up ----
R_check(4)	187	0	0.33	1	1	0 0.332	51.16	0.00	Up ----

Process System 的 Resource Statistics

Section Statistics									
Name	Total	Cur	Average	Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_Wait
sec1	458	0	1.05	Infinite	4	0	—	65.74	
sec2	188	1	0.60	Infinite	2	0	—	91.29	
sec3	56	0	0.17	Infinite	1	0	—	87.57	
sec4	143	0	0.47	Infinite	2	0	—	95.20	
sec5	72	0	0.22	Infinite	1	0	—	87.57	
sec6	463	4	2.27	Infinite	5	0	—	141.40	

Conveyor System 的 Section Statistics

Step2 仿真结果分析

(1) 该分拣系统一天的总货物流量 由仿真输出结果可知, 进入输送带系统的 Load 有 463 个, 仿真结束时留在输送带系统的 Load 有 1+4=5 个, 可认为该分拣系统一天的总货物流量 =463 - 5=458 个, 圆整后为 460 个。

(2) 该系统能够承受的大日流量 Resource 的数据可看出 4 个检验工人的大利用率为 0.327, 小的仅为 0.121, 可见工人能够承受现在物流量的 3 倍以上的工作量, 即 460*3=1380 个, 若是再增快货物 a 和货物 c 的到达速度还可以提升更多的处理量。

Step3 得出仿真结论

目前系统的剩余生产力还很多, 可以通过方案一: 增大货物流量来提高系统资源的利用效率; 方案二: 弃置其中两条倾斜输送带, 让两种货物从一条输送带下来, 这样检验工人也可以减为 2 个, 降低成本。但是这样工人处理每个货物的时间会增加, 工人还需将两种货物分开, 处理逻辑也需要作相应改变, 读者可以自行尝试。这两种方案在改进的过程当中还需要配合考虑输送带系统的处理能力, 避免输送带系统堵塞而影响生产效率。

9 模型优化

Step1 通过提高货物的到达速率以提高货物流量, 如货物 a 为 normal(100,50)s, 货物 c 为 uniform(150,100)s。

Step2 再次分析仿真输出结果。

Process Statistics									
Name	Total	Cur	Average	Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_Wait
P_in	806	0	0.00	—	1	0	—	0.10	

Process System 的 Process Statistics (部分)

Resource Statistics										
Name	Total	Cur	Average	Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_Wait	State
R_check(1)	283	1	0.58	1	1	0	0.584	59.39	0.00	Up
R_check(2)	143	0	0.28	1	1	0	0.284	57.19	0.00	Up
R_check(3)	186	0	0.43	1	1	0	0.431	66.75	0.00	Up
R_check(4)	187	0	0.38	1	1	0	0.379	58.33	0.00	Up

Process System 的 Resource Statistics

Section Statistics									
Name	Total	Cur	Average	Capacity	Max	Min	Util	Av_Time	Av_Wait
sec1	799	1	1.94	Infinite	5	0	—	70.03	
sec2	188	1	0.60	Infinite	2	0	—	92.32	
sec3	187	1	0.62	Infinite	3	0	—	95.88	
sec4	143	0	0.44	Infinite	1	0	—	89.10	
sec5	285	2	1.21	Infinite	6	0	—	122.22	
sec6	806	3	3.37	Infinite	7	0	—	120.30	

Conveyor System 的 Section Statistics

由上可见, 系统的日处理量达到了 806 - (1+1+1+2+3)=798 个, 比原来多了 340 个, 检验工人的利用率也有所提升, 大为 0.596, 小为 0.278。可见改进的方向是正确的。

Step3 同学们还可以设定不同的参数, 多次分析仿真输出结果, 寻找更满意的设计方案。也可以尝试方案二, 改变系统逻辑, 进行仿真优化。