

配送中心

1 背景

Neduco 公司的配送中心效率不高，资源不足。公司要对它进行改进，增设运输车、叉车，加大卸载区域的面积。管理人员想通过研究，来确定运输车、叉车的数量、卸载区域的面积。

卡车载着托盘到达配送中心。司机把卡车停在有空位的停车位，再把托盘卸载到卸载区，卸载完托盘后，就离开配送中心。叉车把卸载区的托盘搬运到仓库。几辆叉车可以同时卸载区域作业。当卸载区域的托盘已经搬运完，叉车将一直等待托盘到来，管理人员也不给空闲的叉车安排其他任务。

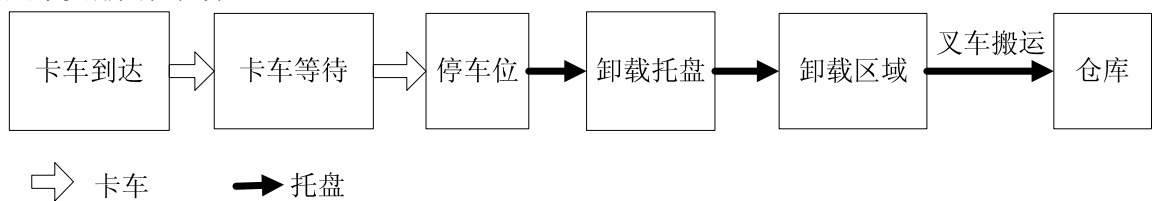


图 1 作业流程图

2 问题

1. 增加停车位，可以节约司机的等待时间，那么要设置多少停车位才合适呢？
2. 如果雇佣太多叉车，将要支付额外的成本。相反，司机数量太少就不能在规定的时间内完成工作。那么雇佣多少司机才合适？
3. 卸载区域存放托盘的容量是多少只？已知卸载区域的面积越大，存放的托盘就越多。停车位数量、叉车数量和卸载区域的面积是相互影响的。增加停车位的数量，可以减少卡车的等待时间，但是降低了卡车利用率；增加叉车的数量，可以提高托盘的搬运效率，就允许相应地减小卸载区域的面积（即更小存放托盘的容量也满足要求）。因为实际上，卡车到来 1 小时后，叉车才开始工作，所以在这段时间内，托盘堆积在卸载区域。但是一天的工作结束时，叉车会把托盘全部搬运到仓库。

3 模型任务

每天 8:00 到 16:00，到来的卡车数量符合平均值为 40 的负指数分布；每台卡车装载的托盘数量符合 6 到 16 的离散平均分布，平均值为 11；那么平均每小时 55 只托盘到达配送中心（ $40 \times 11 \div 24 = 55$ ）。每只托盘的卸载时间符合 2 到 3 分钟的平均分布，所以一个停车位每小时能卸载 24 只托盘（ $60/2.5$ ）。

每天 9:00 到 17:00，叉车把托盘从卸载区运输放置到仓库的时间，符合 2 到 4 分钟的均匀分布，那么一台叉车平均每小时搬运 20 只托盘（ $60/3$ ）。

如果单位时间内，卸载和搬运的托盘数量，比来到配送中心的托盘数量少，那么卸载区域内的托盘将越积越多，因此停车位和叉车的数量不能少于 3（ $3 \times 24 > 55$ 、 $3 \times 20 > 55$ ）。

3.1 任务一

计算停车位和叉车的利用率 ρ_1 、 ρ_2 （托盘到达速率/托盘卸载或搬运的速率，如错误！未找到引用源。）。首先研究 3 个停车位和 3 台叉车的模型（ 3×3 ），再研究 3×4 、 4×3 等模型，如果某种模型的运行结果是车队等待时间、工作效率等指标满足要求，就没有必要研究 5×5 的模型。

表格 1

停车位数量 (k1)	$\rho_1=55/24k_1$	叉车数量 (k2)	$\rho_2=55/20k_2$
3	0.76	3	0.91
4	0.57	4	0.69
5	0.46	5	0.55

考虑到将来作业量增长，该怎么办呢？因为工程实施后，很难再改变停车位的数量和卸载区域的面积，所以如果作业量增加，就得再采购叉车。

3.2 任务二

管理人员要求，改进配送中心后，要保证每个卡车司机等待空闲停车位的时间不超过 5 分钟。仿真得出满足要求的停车位和叉车数量的最小值；在这种最小设置的模型中，卸载区域堆积托盘数量的平均值和最大值是多少。

4 建模仿真

使用 Enterprise Dynamics 软件，有许多方法可以实现这个模型。下面的建模方法，尽量避免了 4DScript 语言，比较适合初学者。

4.1 流程描述

- 1) 卡车来到。没有空车位，则形成卡车队列。
- 2) 如果有空闲的停车位，卡车队列中第一辆卡车就到达该停车位，开始卸载托盘。
- 3) 托盘堆放在卸载区域，卸载完成后的卡车离开配送中心。
- 4) 叉车来到卸载区域。
- 5) 叉车把卸载区域的托盘搬运到仓库。

4.2 概念模型

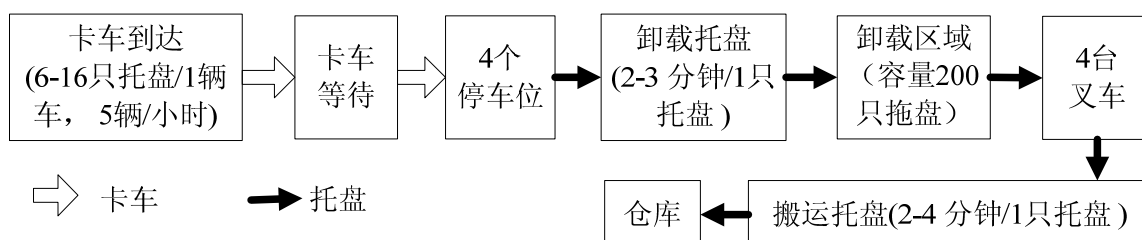


图 2

4.3 模型原子设计

表格 2 原子与系统元素的对应关系

原子种类	系统元素	备注
源原子	卡车	到达时间间隔服从负指数分布
序列原子	卡车队列	卡车在此等待空闲的停车位
	托盘队列	卸载区域堆积托盘
	仓库	不用设置属性
服务器原子	停车位 Dock	在此每一辆卡车“变成” 6-16 只托盘
	卸载托盘 Unload Pallets	2-3 分钟卸载一只托盘
	叉车 Forklift	2-4 分钟搬运一只托盘
可用性控制器原子	虚拟的元素	组合这两种原子，用来设置停车位的开放时间和叉车的工作时间
时间表可用性原子		
监视器原子	虚拟的元素	显示卸载区域的托盘数量

4.4 生成原子

从原子库中拖出（按住鼠标左键）1 个Source原子、3 个Queue原子、12 个Server原子、2 个Availability Control原子、2 个Time Schedule Availability原子、1 个Monitor原子，把各原子按照概念模型中的位置摆好，如图 3 生成所需原子对象所示。

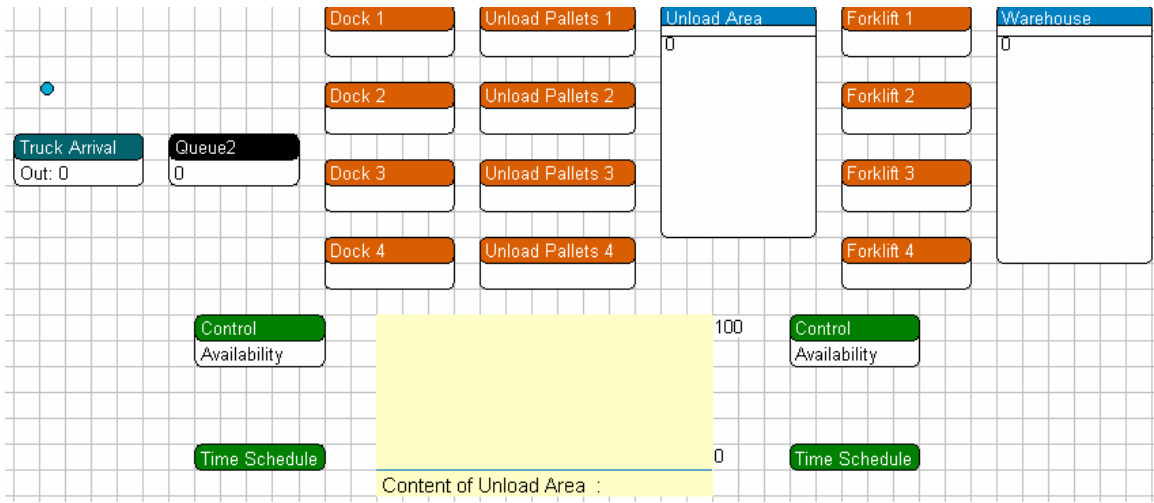


图 3 生成所需原子对象

4.5 连接端口

先显示出连接的端口，在 2D模型视图中点击菜单栏中的View/Channels/Enabled，或者快捷键Ctrl+R，会显示出每个原子的端口，点击Queue端口左侧的“+”，增加可连接的端口，然后连接各个端口如图 4 各连接端口的连接所示：

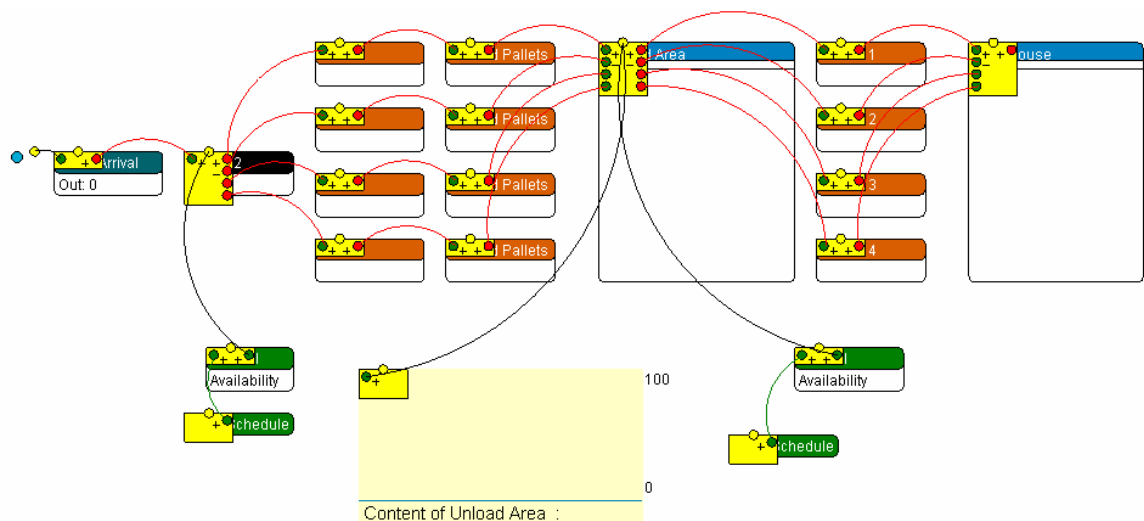


图 4 各连接端口的连接

4.6 定义各种原子

4.6.1 Product 原子

在模型中，双击 Product 原子，打开其参数视窗。改变其 Visualization 选项卡中的选项“3D icon”，选择“Cube”。

4.6.2 产生卡车的Source原子的设置，其他保持默认值。

注：每小时 5 辆卡车到达，所以平均的到达间隔时间 12 分钟（ $60 \div 5 = 12$ ）。

表格 3

Atom name	Truck Arrival
间隔时间	negexp(mins(12))
第一个到达时间	negexp(mins(12))

4.6.3 代表卡车队列、托盘队列、仓库的 3 个Queue 原子的设置，其他为默认值。

表格 4

Atom name	Queue2	Unload area	Warehouse
容量	10	100000	10
发送到	4. A random open channel	①2. An open channel	1
进入时触发	0	0	②Label([lastarrival], c) := Time

注：① An open channel，使得该原子产生的产品，尽量从第一输出通道离开。卸载区域的托盘，尽量用第一台叉车搬运托盘，然后才可能用第二台叉车，再依次第三、四台叉车，使得这些叉车的利用率不同。

②Label([lastarrival], c) := time 这个命令，每当托盘到达仓库，就把当前时刻记录到托盘的LastArrival标签中。一天的工作结束时，这个标签就记录了最后一只托盘进入仓库的时刻。

4.6.4 代表停车场的4个Server原子的设置，其他为默认值：

表格 5

Atom name分别为	Dock 1、Dock2、Dock 3、Dock 4
预置时间	0
循环时间	0
离开时触发	①icon(i) := IconByName([Pallet.bmp])
分批	②duniform(6,16)
分批规则	1 in B out

注：① Dock产生的托盘离开时，把图标设置成托盘的形状。

②duniform(6,16) 是 6~16 的随机离散分布。怎样模拟从卡车上卸载托盘的过程。可以用服务器原子的分批处理功能（Batch），解决这个问题。；

但是值得注意的是，卸载一只托盘的时间（2 到 3 分钟），要在卸载服务器（Unload Pallets 原子）上进行设置（见表格 6）。

4.6.5 代表卸载托盘的4个Server原子的设置，其他为默认值：

表格 6

Atom name分别为	Unload Pallets 1、Unload Pallets 2、Unload Pallets3、Unload Pallets 4
预置时间	0
循环时间	uniform(mins(2),mins(3))

4.6.6 代表叉车搬运托盘的4个Server原子的设置，其他为默认值：

表格 7

Atom name分别为	Forklift 1、Forklift 2、Forklift 3、Forklift 4
预置时间	0
循环时间	uniform(mins(2),mins(4))

4.6.7 设置停车位开放时间的Availability control和Time Schedule Availability原子。Availability control 原子更名为Availability control for truck，设置如右图。Time Schedule Availability原子的设置如下图。



	Time	Down=1
1	0	0
2	hr(8)	1

图 6 卡车时间表

刻到 8 小时，Queue2 的输入通道允许

注：①图 5 设置，勾选 Inputs，控制Queue2 的输入通道。图 6 卡车时间表中，Down=1 的列，0 表示允许通过，1 表示禁止通过。仿真开始的 0 时

图 5 设置

4.6.8 设置停车位开放时间的Availability control和Time Schedule Availability原子。Availability control原子更名为Availability control for forklift，设置如右图。Time Schedule Availability原子的设置如下图。

注：仿真开始 1 个小时，叉车才开始工作。因为下班之前，叉车不停地搬运，直到把所有的托盘搬运完，叉车才停止，所以这里不必设置叉车的停止时间。

配合使用可用性控制器原子和时间表原子。把时间表原子输出通道与可用性控制器原子的输入通道相连，把两个可

	Time	Down=1
1	0	1
2	hr(1)	0

图 8 叉车时间表

用性控制器原子的输入通道分别与 Queue2、与 Unload Area 的中心通道相连。

图 7 设置

4.6.9 Monitor原子的设置

表格 8

Enter Subscript	Content of Unload Area
Refresh rate[s]	60
Variable to monitor	contents
①取消Auto adjust选项	注：①Y轴的最大值等于固定值 ②显示Y轴
②勾选Show Y-axis选项	

1. 编译、重置、运行模型

利用下图所示的控制器来控制仿真的运行速度和运行时间，并利用各个按钮来对仿真的细节进行控制。



图 9 仿真控制器

5 设计试验

试验的目的是观测卡车的平均等待时间、叉车的日平均工作时间、卸载区域的托盘的数量，并得到这些数据的正确可靠的报告。

5.1.1 设计试验的相关问题：

① 单次运行或者子运行的方式，② 单次运行需要持续多长时间，③ 试验的预热期需多长时间，④ 试验要运行多少次；⑤ 研究哪种组合情况（比如 5 个停车位和 5 台叉车的组合，或者 3×3 、 4×3 、 4×4 ）。

第一个问题，通常，卡车从 08:00 工作到 16:00，叉车从 09:00 工作到 17:00。但是我们把工作日设成 08:00 到 20:00，共 12 小时，保证系统能应付将来更大的业务。如果仿真运行到 20:00 时，叉车还没有搬运完托盘，那么配送中心必须实行 13 或者 14 个小时的工作制。因为我们不允许把当天的工作任务延迟到第二天，所以把试验设置成单次运行，单次运行时间是一个工作日（12 个小时）。

第二个问题，因为每个工作日结束时系统清空（停车位、缓冲区没有卡车，卸载区域没有托盘），所以可以认为这是一个终结系统（仿真一开始，系统立即进入稳定的状态），不需要设置试验的预热期。

第三个问题，每次运行，将产生相互独立的结果，所以至少运行 5 次，才能建立一个达到某一置信度的置信区间，所以我们设置单次运行 100 次是足够的。运行 100 次，每次运行一个工作日，那么相当于模拟配送中心运营 5 个月。

第四个问题，从前文（模型任务的任务一）的计算可知，需要研究 3×3 、 3×4 、 4×3 、 4×4 的情况。

5.1.2 试验步骤：

a. 定义试验设置：

设置仿真方法，观察期，观察次数和预热期，如错误！未找到引用源。。其他设置保持默认值。

b. 定义执行方式(PFM)：

PFM1 卡车的平均等待时间，Avg Wait (in Min)，avgstay(cs)/60
(如图 11 PFM1)。

PFM2 叉车日工作时间，Avg Workday (in Min)，label([lastarrival].cs)/60 -60

PFM3 卸载区域的平均托盘数量，Avg Stock，avgcontent(cs)

PFM4 卸载区域的托盘的数量的最大值Max Stock，maxcontent(c)

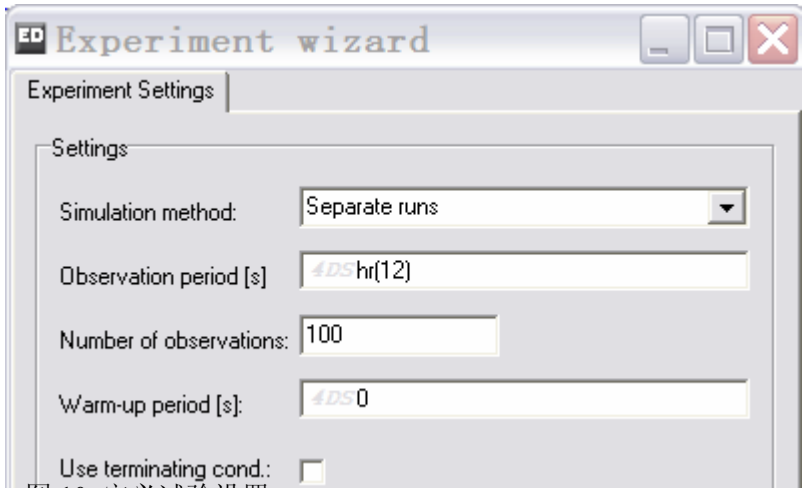


图 10 定义试验设置

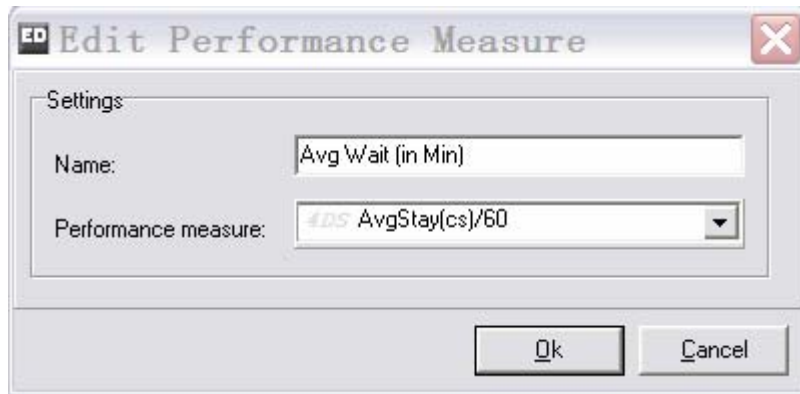


图 11 PFM1

c. 开始试验、生成报告：

若生成标准报告，设置置信度为 95%，得到表 1。

表 1

	Average	St.Deviation	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Minimum	Maximum
Queue2 Avg Wait (in Min)	1.46	1.52	1.16	1.76	0	6.87
Unload Area Avg Stock	7	5.49	5.92	8.07	0.67	35.03
Unload Area Max Stock	43.44	17.76	39.96	46.92	10	96
Warehouse Avg Workday (in Min)	443.75	15.96	440.62	446.88	382.73	489.96

6 结论和建议

按照以上试验的方法，分别研究 3×3 、 3×4 、 4×3 、 4×4 的情况，从表 1 得出错误！未找到引用源。。

表格 9

停车位数量 x 叉车数量 输出变量	3x3	3x4	4x3	4x4
卡车司机平均等待时间（分钟）	9.0	7.9	1.3	1.5
叉车平均工作时间（分钟）	483	451	471	443
卸载区域的托盘的数量的平均值	22.5	4.5	21.8	7

卸载区域的托盘的数量的最大值	60.2	37.4	65.6	43
----------------	------	------	------	----

卡车司机的平均等待时间，与停车位数量相关的。设置 3 个停车位时，等待时间是 8 分钟，比规定的目标时间长。设置 4 个停车位时，平均等待时间是 2 分钟，达到了 5 分钟的要求。

在所有组合的情况下，叉车的平均工作时间，达到了 480 分钟的要求。设置 4 个停车位与设置 3 个停车位的情况相比，叉车的平均工作时间减少 20 到 30 分钟。

通常把卸载区域的面积，作为其他因素的函数。

卸载区域的托盘数量低于 30。为什么 4 个停车位和 3 个停车位的仿真结果相比，停车位的托盘的数量的最大值增大？设置 4 个叉车，与 3 个叉车相比，停车位的托盘的数量的最大值减小。50 只托盘存位，3 个叉车就足够。要记住，这个试验结果是基于试验的设置，试验设置不同，仿真结果不同：例如如果运行 200 天，数据都增加（解释原因）。

只有 4×3 和 4×4 的设置才能满足要求（卡车司机等待时间不超过 5 分钟）。若设置 3 个叉车时，则司机工作量太大。在高峰期时，为了满足托盘数量对卸载区域容量的要求，应提供 70 个托盘存位。这种设置的另一个优点是，将来业务增加时，增设第 4 台叉车。