

Chapter 5

Steady State Simulation 製造系統模擬

本章透過製造業的排程與生產控管範例介紹更多的流程與資料模組。

學習重點

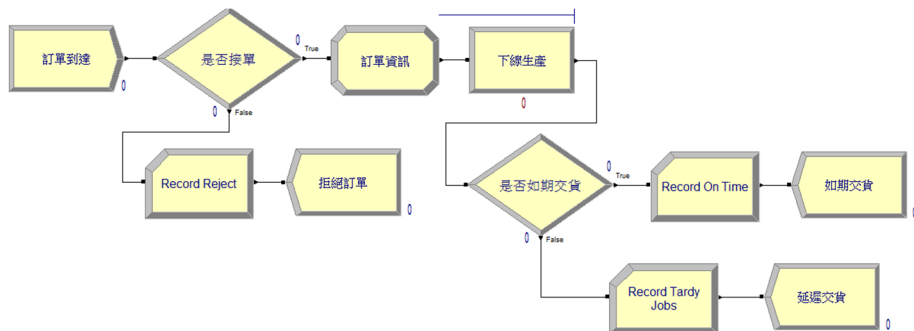
- 訂單的排序與投料控制，機台的故障與換線
- Steady State Simulation的概念與分析方式
- 1-dim Variables vs. 1-dim Expressions

Review

- Attributes, Variables的區別
- Assign模組
- Tally與Time Persistent變數的區別
- Statistics模組
- Terminating Simulation

Example 5-1: 排程與交期表現

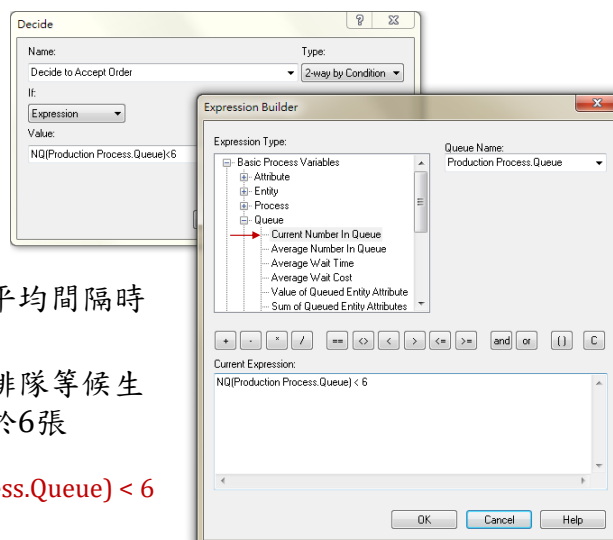
- 系統根據目前工作量決定是否接受新訂單，接受的訂單可按照不同考量進行排序，並在生產完畢後記錄訂單交期表現。
- 模擬特點：使用attributes控制後續流程與計算績效
- 模擬目的：訂單排程是否顯著影響接單與交期表現



Decide模組讀取系統的動態內容

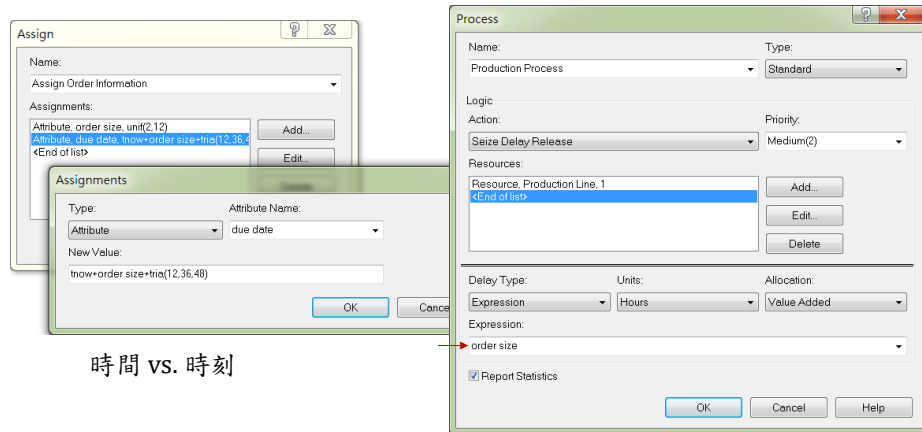
- 訂單隨機到達，平均間隔時間為6小時，
- 接單條件：已在排隊等候生產的訂單必須少於6張

$NQ(\text{Production Process.Queue}) < 6$



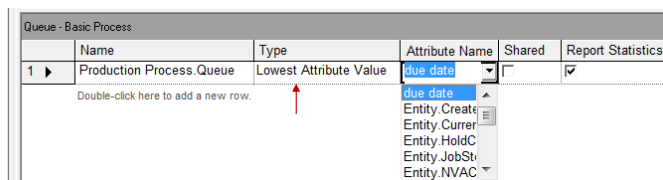
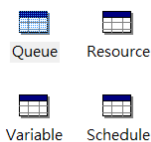
運用訂單的Attribute內容

- order size: 訂單所需生產時間($=x$) ~ 均勻分佈於2至12小時
- due date: 距離交期時間具有 $x + \text{tria}(12, 36, 48)$ 小時的機率分佈

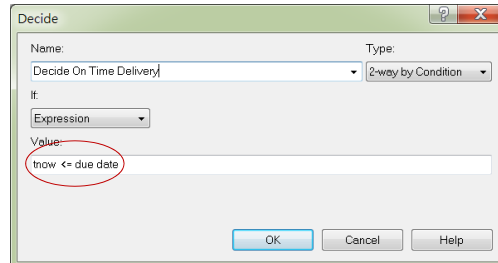


依訂單屬性排定等候順序

- 選擇Queue資料模組，Type欄位預設為First In First Out，代表按照訂單到達的先後順序
- 改為Lowest Attribute Value，在Attribute Name的欄位選擇屬性**due date**，則為排程的EDD法則，或是選擇**order size**，則為排程的SPT法則。

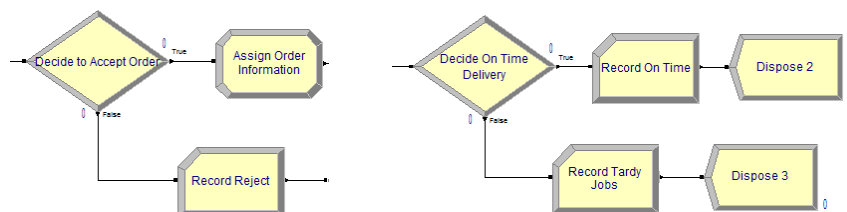


生產後判斷交期是否延誤



- tnow為模擬時鐘的variable，due date為個別訂單的attribute
- 從第二個Decide模組連到對應的Record模組。

Record模組的計數器功能



- Type: Count
- Record Reject記錄被拒絕的訂單數目。
- Record On Time與Record Tardy Job分別記錄在交期前完成與交期延誤的訂單數目。

各種排程方式的模擬結果比較

Replication Length=200 days, Number of Replications=20

	NQ<6	NQ<8	NQ<8+EDD	NQ<8+SPT
拒絕訂單數	129.9±12.8	126.4±14.6	132.8±13.3	116.3±12.6
準時訂單數	423.9±16.3	250.3±29.5	235.2±23.2	580.9±7.6
延誤訂單數	238.7±16.1	422.6±27.2	436.3±23.2	102.6±3.5

1. 接單條件應不應放寬為NQ<8？
2. 排隊規則從FIFO改為SPT可提升交期表現

Caution: What are needed to complete the experiment?

補充教材A：計劃保養與隨機故障

每處理100張訂單，保養半天

Failure - Advanced Process								
	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Count	Down Time	Down Time Units	Uptime in this State only
1	計劃保養	Count	29.5	Days	100	0.5	Days	
2	產線故障	Time	EXPO(50)	Days	DaysTo	2	Hours	

平均50天會故障，維修兩小時

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	生產線	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		2 rows	☒

Failures	
Failure Name	Failure Rule
1 計劃保養	Wait
2 產線故障	Preempt

Wait: 現有工作完成後，進行維修

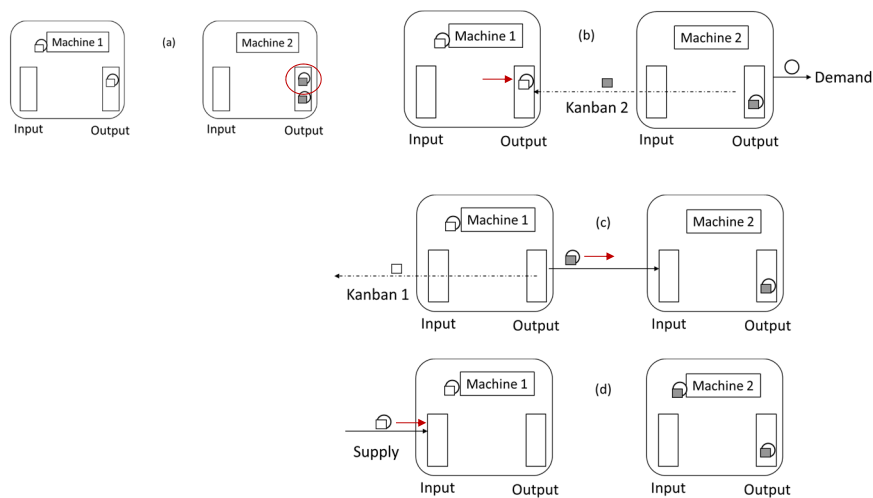
Preempt: 立即維修，再完成現有工作

Example 5-2 看板生產系統

- 從倉庫送達的產品必須先取得**第一站看板**，才能進入第一站。產品離開第一站前，必須取得**第二站看板**，才能釋出第一站看板並進入第二站。
- 第三站**沒有看板**，產品在第二站完成處理後，可直接釋出看板並前往第三站。
- 第三站採取批量加工的模式，同類型的產品必須累積到一定數量後才能進行加工，加工後完成全部製程。

	投料間隔	第一站處理時間	第二站處理時間	第三站批量	第三站批量處理時間
Product A	unif(2,5)	1.6	norm(1.9,0.4)	6	tria(2,4, 6)+6
Product B	expo(2)+3	unif(1.5, 2.5)	gamm(2,1)	6	LOGN(4, 2)+6

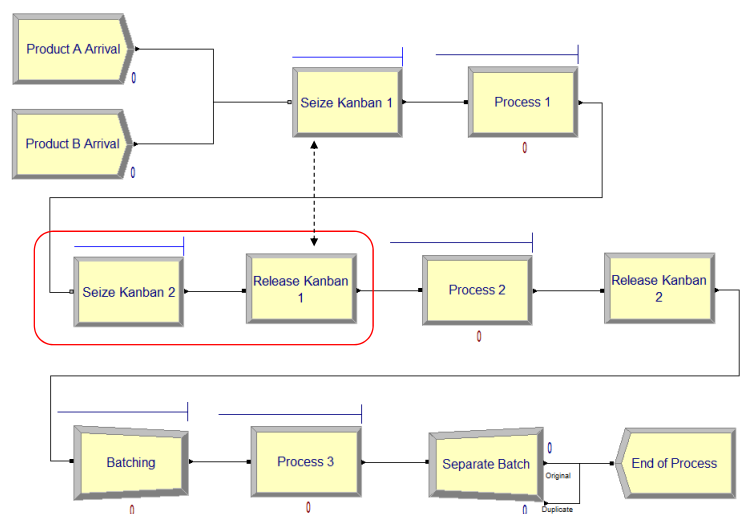
看板控制物料流動的過程



規劃流程架構

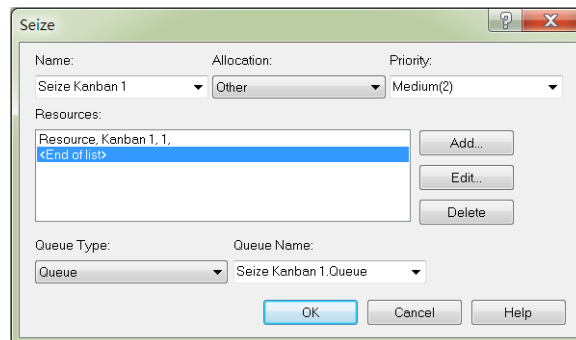
- 代表兩種產品的兩種entities: Product A, Product B
 - 紀錄產品相關資訊的attributes
 - 代表三站機器的三種resources: Station 1, ..., Station 3
 - 看板是一種通行證，也是resources: Kanban 1, Kanban 2
-
- 代表產品到達的Create模組
 - 以Seize模組與Release模組來取得與釋出看板
 - 代表各站作業的Process模組
 - 使用Batch模組累積同類型產品以進行批量加工，再由Separate模組解散整批產品，恢復個別entity的流程

看板系統流程的初步設計



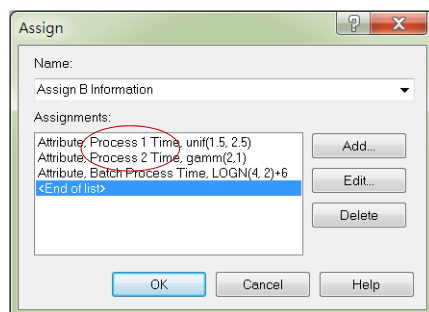
以Seize模組控制資源的使用順序

- Seize Kanban 1 → Process 1 → Seize Kanban 2 →
Release Kanban 1 → Process 2 → Release Kanban 2

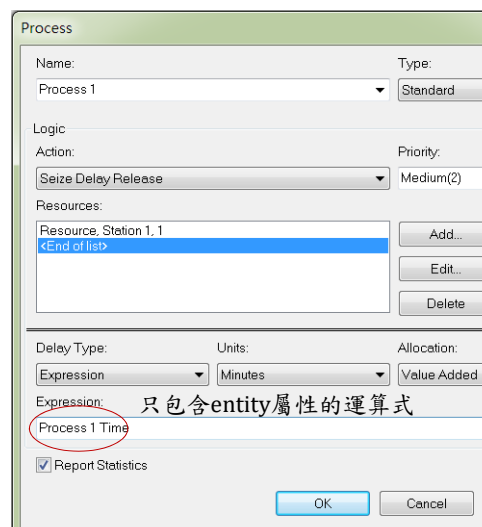


Assign模組預先設定各站作業時間

產品A, B的作業時間不同

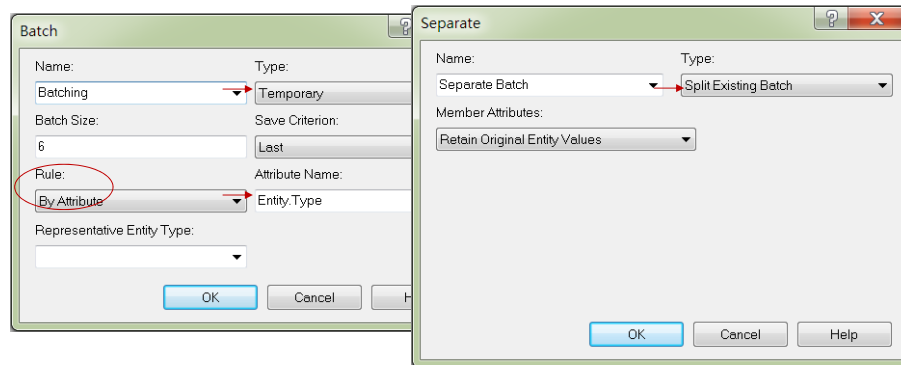


透過共同的Process 1 Time屬性，
使Process 1模組可處理不同產品

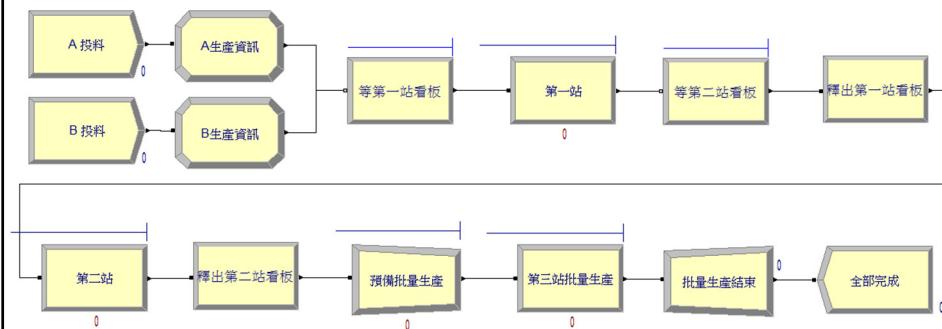


Batch與Separate模組控制批量流程

Batch模組的Type選項為**Temporary**，這允許後續的Separate模組解散批量，恢復各個entity的流程



Example 5-2 v15



Example 5-2的模擬結果

Resource 資料模組：將Kanban 1的數量與Kanban 2的數量都改為2。

Run > Setup: Replication Length設為24 hours。

Average Total Time		Average Number in Queue	
Product A	Product B	Seize Kanban 1.Queue	Batching Queue
34.0483	38.5183	3.6672	5.0133

Steady State Simulation

- Steady state simulation的系統是連續運作的型態，沒有設定結束條件，又被稱為無限期間(**infinite horizon**)的模擬型態。
- Steady state simulation目的通常是評估長期運作下的平均績效，例如生產線的每小時產出率。
- Q1: 可是需要模擬多久才能代表長期運作？
- Q2: **Empty & idle**的起始狀態是否為常態？是否會影響模擬？

比較不同時間長度的模擬結果

5-2看板系統

Replication Length	Average Total Time	
	Product A	Product B
8 hours	30.7217	35.4434
24 hours	34.0483	38.5183
100 hours	40.0244	43.6376
300 hours	39.8805	43.9851

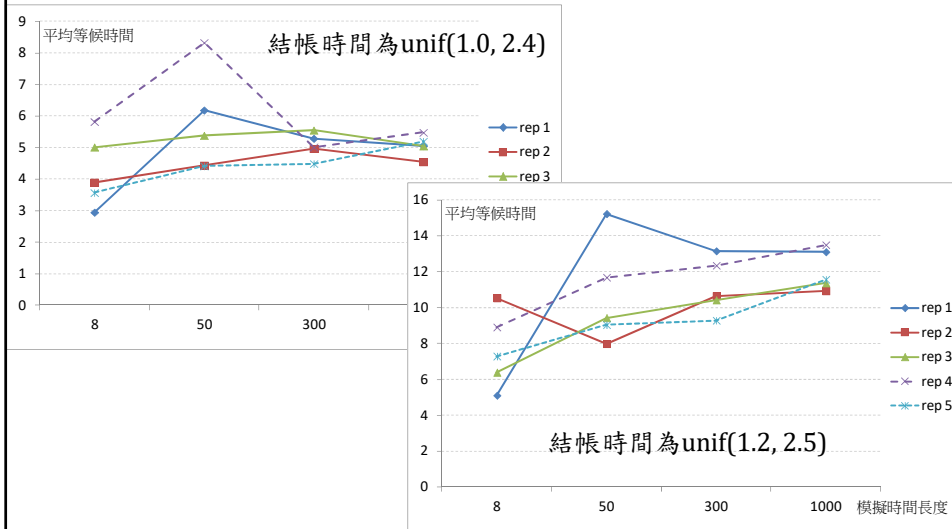
2-1單站結帳作業 結帳時間為unif(1.0, 2.4)

Replication Length	Average Wait Time
8 hours	2.9495
50 hours	6.1880
300 hours	5.2912
1000 hours	5.0589

Initial Bias影響模擬結果

- 起始偏差的產生是因為模擬啟動時，流程內沒有任何entity，資源也無事可做，這稱為empty and idle的起始狀態，通常會造成平均等待時間或流程內的平均數目偏低。
- 越是龐大或是壅塞的系統越會受到起始偏差的影響。
- 庫存模擬的庫存起始值也會影響結果，起始值過大會使平均庫存量或供貨水準偏高。
- Terminating simulation也可能產生initial bias

單站結帳等候時間的起始偏差



偵測並評估Initial Bias的影響

Welch's Plot

- 選擇適當的模擬時間長度
- 追蹤並記錄流程重要數據隨時間的變化
- 重複進行多次replications
- 繪圖觀察數據的變化
- 從整體來判斷initial bias的影響時間長度

Alternative

- 執行很長的replication，希望能“淹沒”initial bias的影響

紀錄看板系統WIP變化並繪圖

Statistic - Advanced Process					
	Name	Type	Expression	Collection Period	Report Label
1	WIP	Time-Persistent	EntitiesWIP(Product A) + EntitiesWIP(Product B)	Entire Replication	WIP

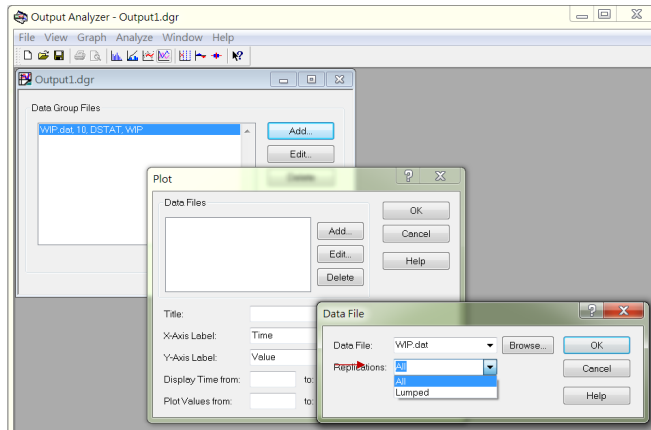
1.輸出至外部檔案*.dat

Caution: 避免中文路徑

2.在Output Analyzer
建立新群組檔案，抓
入剛輸出的外部檔案



5.1

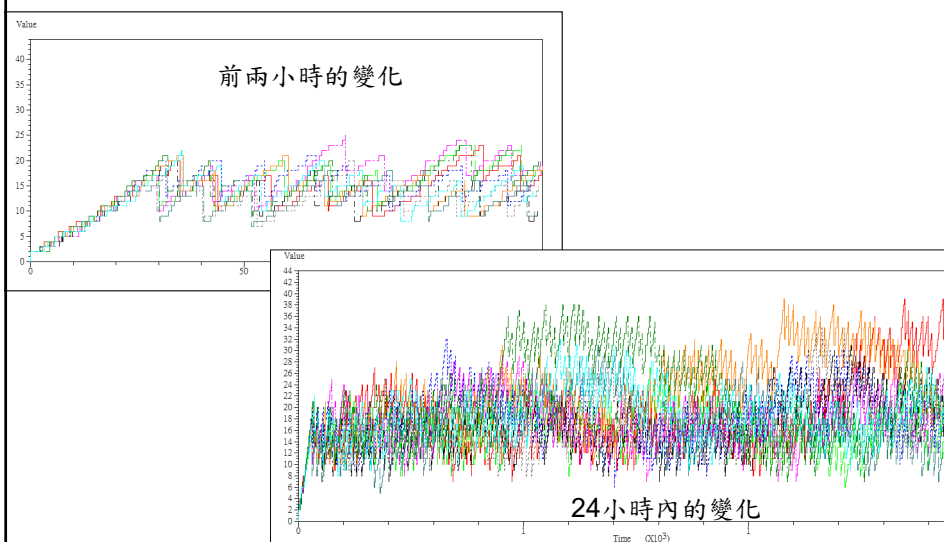


Systems Simulation

Chapter 5 – Manufacturing Simulation

Slide 25

以Welch's Plots偵測起始偏差



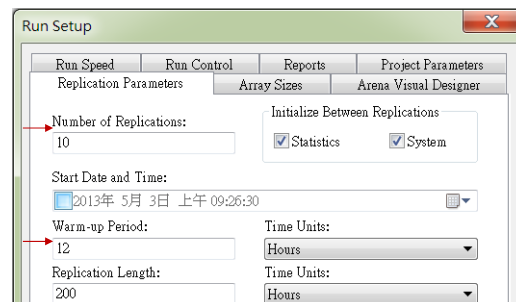
Systems Simulation

Chapter 5 – Manufacturing Simulation

Slide 26

Steady State Simulation的四種實驗設定

- (1) 20 replications, replication length=240 hours, no warm up
- (2) 20 replications, replication length=240 hours, warm up=12 hours
- (3) 1 replication, replication length=4800 hours, no warm up
- (4) 1 replication, replication length=4800 hours, warm up=12 hours



四種實驗設定的結果

- (1) 20 replications, replication length=240 hours, no warm up
- (2) 20 replications, replication length=240 hours, warm up=12 hours
- (3) 1 replication, replication length=4800 hours, no warm up
- (4) 1 replication, replication length=4800 hours, warm up=12 hours

	Product A Total Time		Product B Total Time	
	Average	Half-width	Average	Half-width
實驗(1)	38.4370	3.45	42.6248	3.47
實驗(2)	38.7033	3.64	42.8737	3.66
實驗(3)	39.3940	2.35	43.5811	2.62
實驗(4)	39.4180	2.23	43.6032	2.76

為何(3)(4)會有 half-width ?

Batch Means Estimation

令 x_i 為第 i 個顧客的等候時間， $x_{n+1} \dots$ 為warm up後的資料

$x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+K-1}, x_{n+K}$

接近identically distributed

$\underbrace{x_{n+1}, \dots, x_{n+b}}_{\bar{x}_1}, \underbrace{x_{n+b+1}, \dots, x_{n+2b}}_{\bar{x}_2}, \dots, \underbrace{x_{n+(m-1)b+1}, \dots, x_{n+mb}}_{\bar{x}_m}$

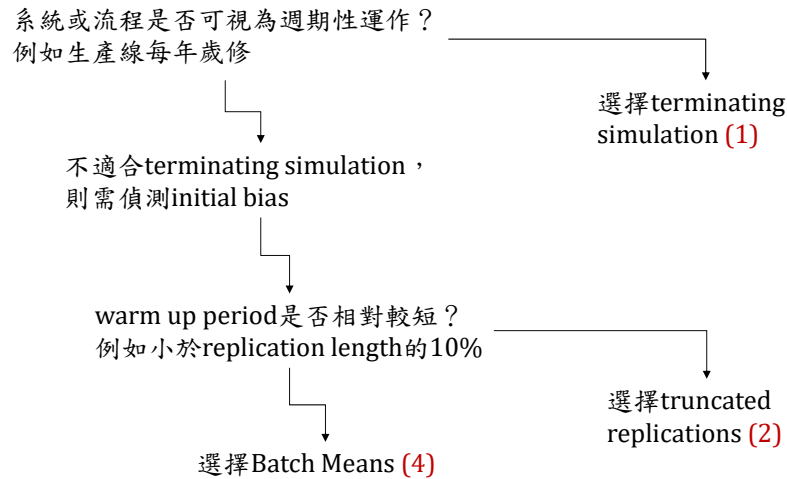
批量 b 夠大，各批的平均值(batch means)幾乎是互相獨立，可用來建立可信賴區間

Batch Means與可信賴區間

- ARENA至少需要320個數據才開始計算Batch Means
- Batch Means數目在20至40之間，批量越大越好
- 如果數據不足，模擬結果的半寬會顯示“Insufficient”
- 有時候即使數量夠，欄位也可能出現“Correlated”，代表統計方法檢定認為批量平均值不為相互獨立

Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Product A	34.0483	(Correlated)	13.0939	72.5903
Product B	38.5183	(Insufficient)	11.4479	78.7606

Batch Means vs. Truncated Replications



Example 5-5

- 看板系統的進料過程獨自運作，無視於實際生產進度，造成物料到達現場後，可能要長時間等待第一站的看板。
- **改進方案**：將倉庫自主送料的決策改為由第一站主控，只有第一站完成產品並送往下游時，才通知倉庫繼續投料，這樣更符合拉式控制的觀念。
- Basic Process面板的Separate模組的另一用法是複製相同的entity，將標示複製品(**Duplicate**)的出口連回流程起點，代表通知倉庫投料，標示本尊(**Original**)的出口則連接Process 2模組，代表產品繼續前往第二站。

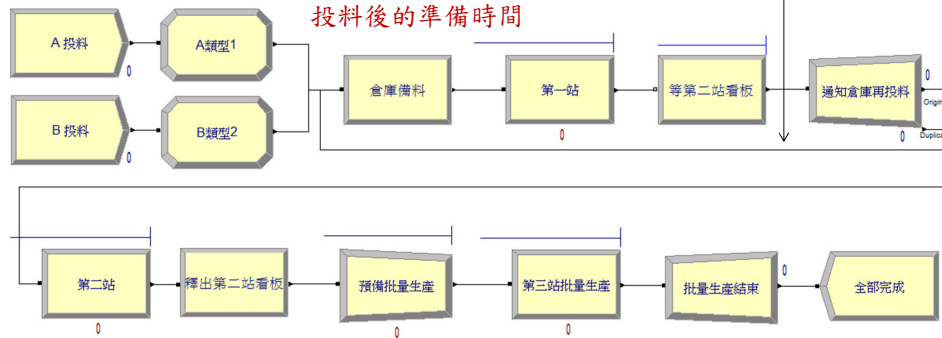
拉式控制投料的流程設計

Max Arrivals=1

Entities per Arrival=num_A

Delay模組代表通知
投料後的準備時間

產品在第一站完成處理
並取得第二站看板時，
就會通知倉庫投料



Expressions重新設定隨機變化

Expression - Advanced Process						
	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
1	Preparation Time	2		Native		2 rows
2	Process 1 Time	2		Native		2 rows
3	Process 2 Time	2		Native		2 rows
4	Batch Process Time	2		Native		2 rows

Expression Values	
1	unif(2,5)
2	expo(2)+3

一維公式

Assign

Name:

Assign A Information

Assignments:

Attribute, Type, 1

End of list

Add...

Edit...

Delete

OK

Cancel

Help

Expression **Preparation Time (Type)** 為
每個複製的產品重新設定作業時間

Delay

Name:

Allocation:

Preparation

Other

Delay Time:

Units:

Preparation Time(Type)

Minutes

OK

Cancel

Help

Delay模組根據Type屬性，以不同機率
分佈處理不同產品。

1-Dim Variables設定兩種不同的生產批量

Variable - Basic Process							
	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values
1	num_A			Real	System		1 rows
2	num_B			Real	System		1 rows
3	batch_size	2		Real	System		2 rows

Initial Values	
1	4
2	6

一維變數

Batch模組根據Type屬性，讓不同產品的批量不同。

Batch

Name: Type:

Batching: Temporary

Batch Size: Save Criterion:

Rule: Attribute Name:

Representative Entity Type:

OK Cancel Help

1-Dim Expression設定不同的批量生產時間

Expression - Advanced Process						
	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
1	Preparation Time	2		Native		2 rows
2	Process 1 Time	2		Native		2 rows
3	Process 2 Time	2		Native		2 rows
4	Batch Process Time	2		Native		2 rows

Expression Values	
1	trial(2,4,6)+batch_size(1)
2	LOGN(4,2)+batch_size(2)

隨批量大小而變

Process模組根據Type屬性，以不同運算式處理批量不同產品。

Process

Name: Type:

Logic: Priority:

Action: Medium(2)

Resources:

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

Report Statistics ☐

OK Cancel Help

Expression與Variable的比較

	Variable	Expression
內容	實數	實數、函數、機率分布的運算公式
使用方式	直接讀取數值	根據公式內容重新產生亂數並重新計算
能否變更	可在模擬過程中被設定或更改	公式固定不變
記錄分析	可分析模擬過程的平均值與極值	不適用
1維與2維向量	可	可
範例	庫存量、載客數	隨機變化的作業時間

Results of Truncated Replications

Statistic - Advanced Process					
	Name	Type	Expression	Report Label	Output File
1 ▶	output rate	Output	$(\text{EntitiesOut}(\text{Product A}) + \text{EntitiesOut}(\text{Product B})) / (\text{tnow} - 720)$	output rate	

Double-click here to add a new row.

Statistic模組設定在模擬結束後
才計算產出率

Question: 為何先前範例不考慮產出率？

Number of replications=20, warm up period=12 hours,
replication length=240 hours

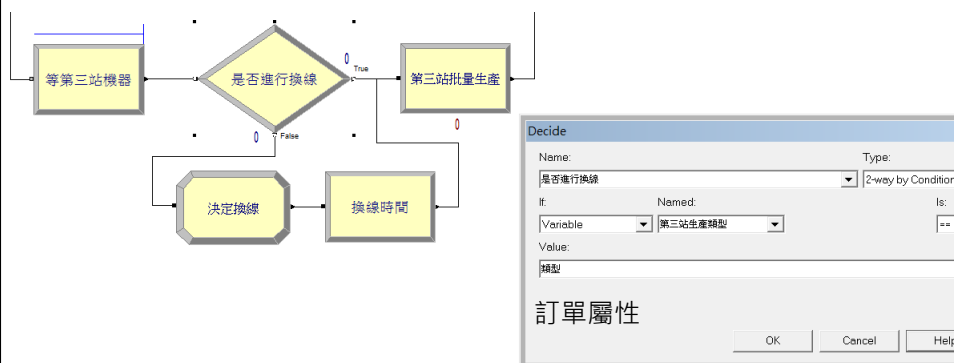
模擬結果顯示output rate=0.5839，half-width=0.0，
20次replications的產出率變動範圍為0.5810~0.5871

補充教材B: Machine Setup

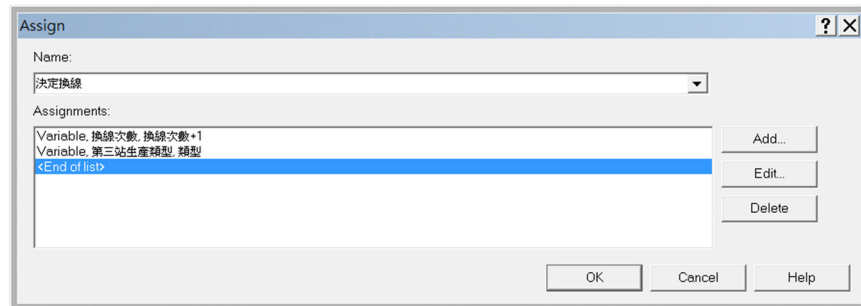
- 機台常因處理的產品不同而必須進行清理與調整
- 影響實際產出與交期表現
- Example 5-6: 第三站的機台從A到B或從B到A，都需要進行4分鐘的setup，如果處理相同類型產品，則無須setup。
- 扣除setup時間後，product A批量生產時間修改為 $\text{tria}(0, 2, 4) + \text{batch_size}(1)$ ，product B批量生產時間修改為 $\text{LOGN}(2, 2) + \text{batch_size}(2)$ 。

比對機台與訂單的類型

Variable 第三站生產類型：記錄機台最近處理的產品類型(1 or 2)



更改機台類型與記錄



Setup前，更新機台的設置為目前的訂單類型

Example 5-6 v15

