

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邏輯與資料模組。

學習重點

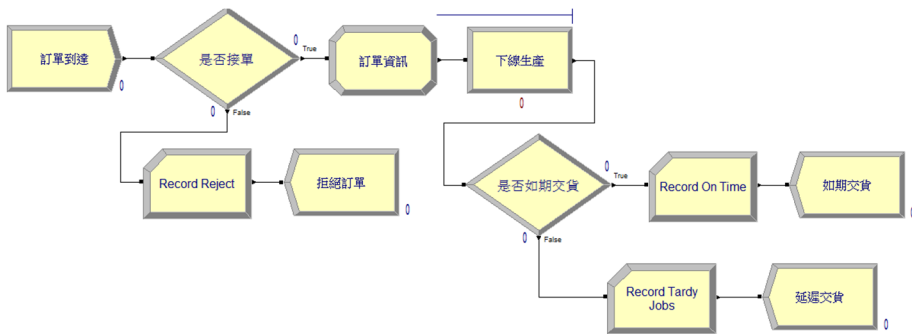
- 訂單的排序與投料控制，產能的時程安排
- Steady State Simulation的概念與分析方式
- 1-dim Variables vs. 1-dim Expressions

Review

- Attributes, Variables的區別
- Assign與Record模組
- Tally與Time Persistent平均值的區別
- Statistics模組
- Terminating Simulation

5.1 Example 5-1 排程與交期表現

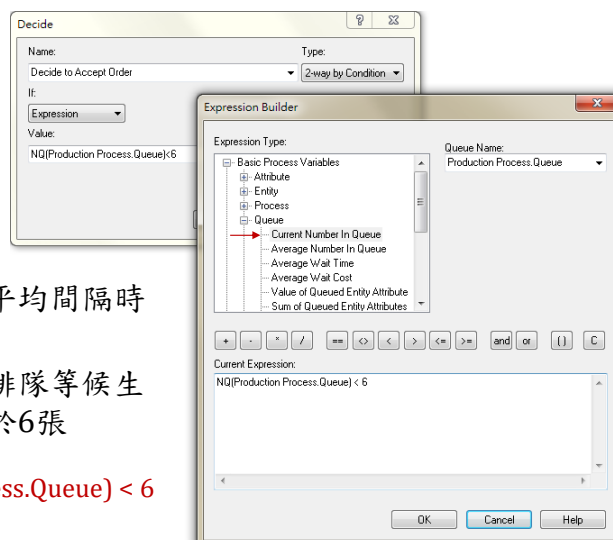
- 系統根據目前工作量決定是否接受新訂單，接受的訂單可按照不同考量進行排序，並在生產完畢後記錄訂單交期表現。
- 模擬特點：使用attributes控制後續流程與計算績效
- 模擬目的：訂單排程是否顯著影響接單與交期表現



Decide模組讀取系統的動態內容

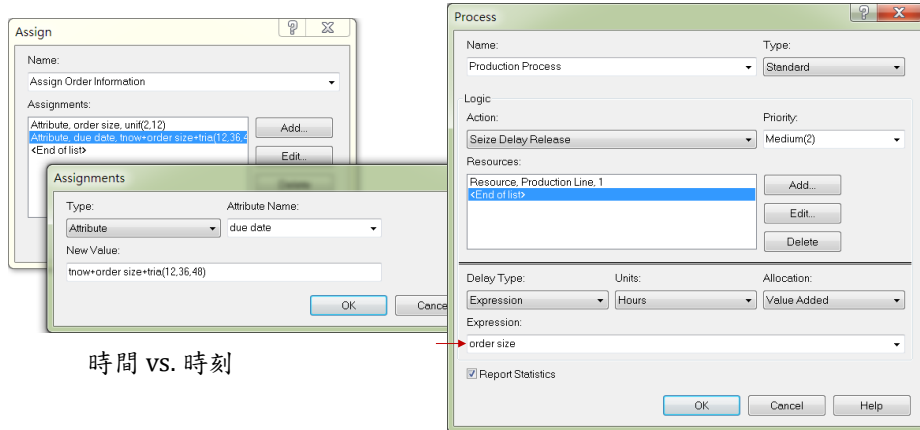
- 訂單隨機到達，平均間隔時間為6小時，
- 接單條件：已在排隊等候生產的訂單必須少於6張

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



運用訂單的Attribute內容

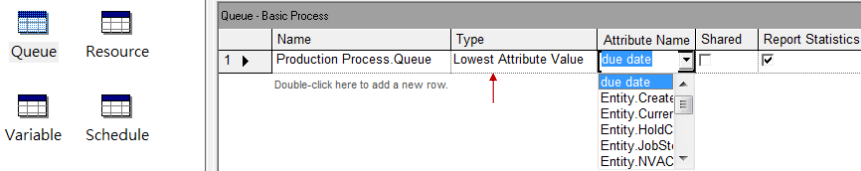
- order size: 訂單所需生產時間(=x) ~ 均勻分佈於2至12小時
- due date: 距離交期時間具有 $x + \text{tria}(12, 36, 48)$ 小時的機率分佈



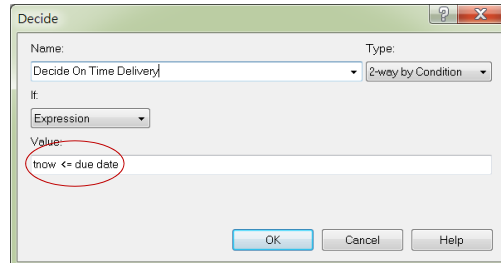
時間 vs. 時刻

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。

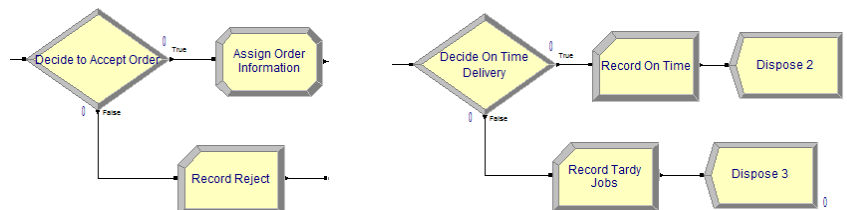


生產後判斷交期是否延誤



- 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

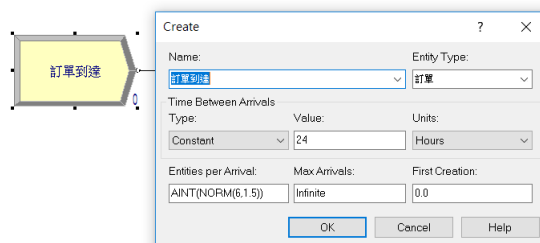
| | NQ<6 | NQ<8 | NQ<8+EDD | NQ<8+SPT |
|-------|------------|------------|------------|------------|
| 拒絕訂單數 | 129.9±12.8 | 126.4±14.6 | 132.8±13.3 | 116.3±12.6 |
| 準時訂單數 | 423.9±16.3 | 250.3±29.5 | 235.2±23.2 | 580.9±7.6 |
| 延誤訂單數 | 238.7±16.1 | 422.6±27.2 | 436.3±23.2 | 102.6±3.5 |

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：投料控制與產能排程

- 訂單每隔24小時釋出，數量不定



AINT:取整數

- 日班有兩條平行生產線，夜班只有單一生產線
- 接單決策考慮訂單總作業時間，取代訂單數目

Schedule 模組 (capacity)

The image shows two screenshots from a simulation software. The top screenshot is the 'Schedule - Basic Process' dialog box. It has a table with columns: Name, Type, Time Units, Scale Factor, File Name, Durations. Row 1: 產線班表, Capacity, Hours, 1.0, File Name, 2 rows. Below this is a 'Durations' dialog box with a table: Value, Duration. Row 1: 1, 2, 12. Row 2: 2, 1, 12. The bottom screenshot is the 'Resource - Basic Process' dialog box. It has a table with columns: Name, Type, Schedule Name, Schedule Rule, Busy / Hour. Row 1: 生產線, Based on Schedule, 產線班表, Ignore, 0.0. A dropdown menu is open for 'Schedule Rule' with options: Wait, Ignore, Preempt.

Wait: 現有工作完成後下班，延後上班

Ignore: 現有工作完成後下班，準時上班

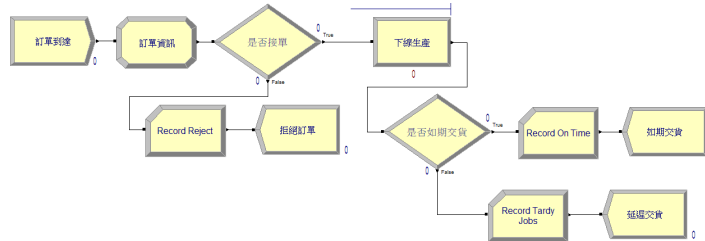
Preempt: 立即下班，上班後再完成現有工作

Decide: 依據等候訂單的總量

The image shows two screenshots from a simulation software. The left screenshot is the 'Decide' dialog box. It has fields for Name (是否接單), If (Expression), and Value (Inow * SAQUE(下線生產 Queue.NSYM(訂單大小))/1.5 <= 訂單交期). The right screenshot is the 'Expression Builder' dialog box. It shows the 'Expression Type' 'Queue' and the 'Current Expression' 'Inow * SAQUE(下線生產 Queue.NSYM(訂單大小))/1.5 <= 訂單交期'.

SAQUE函數: 將等候區內所有個體的某個屬性加總起來

Example 5-1 new



- **Scheduled Utilization** 以1.5為基準來計算資源使用率
- **Instantaneous Utilization** 是計算日班與夜班使用率的平均

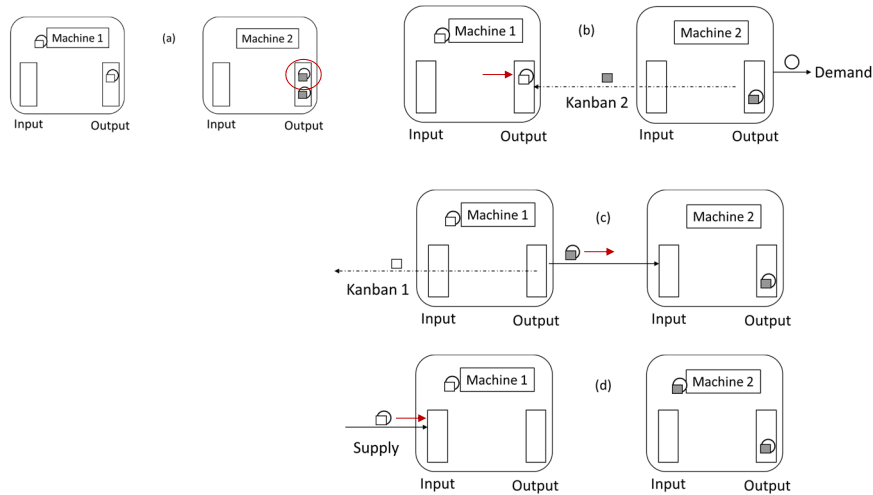
| Resource | | | | | | |
|---------------------------|---------|------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| Usage | | | | | | |
| Instantaneous Utilization | Average | Half Width | Minimum Average | Maximum Average | Minimum Value | Maximum Value |
| 生產線 | 0.9322 | 0.01 | 0.8814 | 0.9732 | 0.00 | 1.0000 |
| Number Busy | Average | Half Width | Minimum Average | Maximum Average | Minimum Value | Maximum Value |
| 生產線 | 1.5286 | 0.01 | 1.4630 | 1.5787 | 0.00 | 2.0000 |
| Number Scheduled | Average | Half Width | Minimum Average | Maximum Average | Minimum Value | Maximum Value |
| 生產線 | 1.5000 | 0.00 | 1.5000 | 1.5000 | 1.0000 | 2.0000 |
| Scheduled Utilization | Average | Half Width | Minimum Average | Maximum Average | | |
| 生產線 | 1.0191 | 0.01 | 0.9753 | 1.0525 | | |

5.2 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

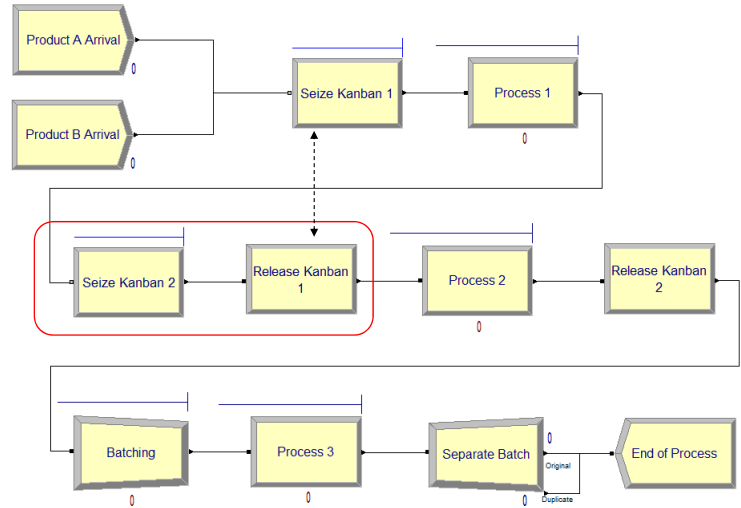


規劃流程架構

- 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

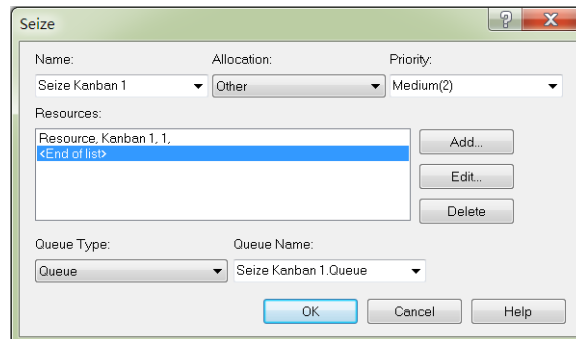
- 代表產品到達的Create模組
- 以Seize模組與Release模組來取得與釋出看板
- 代表各站作業的Process模組
- 使用Batch模組累積同類型產品以進行批量加工，再由Separate模組解散整批產品，恢復個別entity的流程

看板系統流程的初步設計



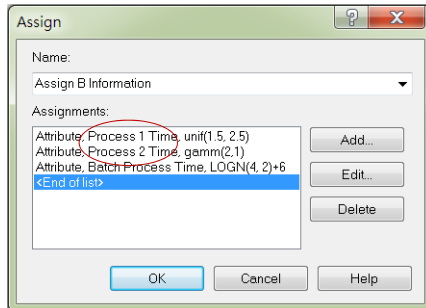
以Seize模組控制資源的使用順序

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



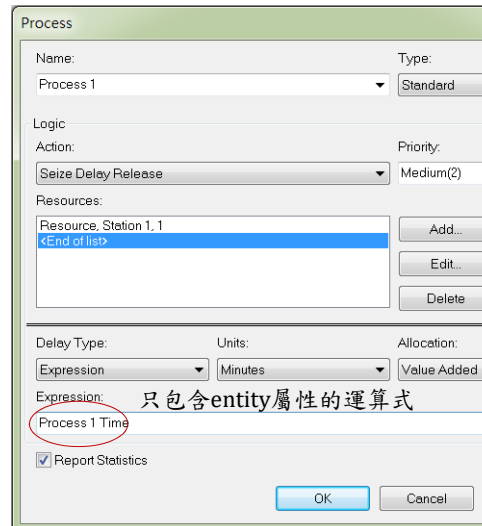
Assign模組預先設定各站作業時間

產品A, B的作業時間不同



The Assign dialog box shows the Name field set to 'Assign B Information'. Under the Assignments section, three entries are listed: 'Attribute: Process 1 Time, unif(1.5, 2.5)', 'Attribute: Process 2 Time, gamm(2,1)', and 'Attribute: Batch Process Time, LOGN(4, 2)*6'. The third entry is selected. Buttons for Add, Edit, and Delete are visible.

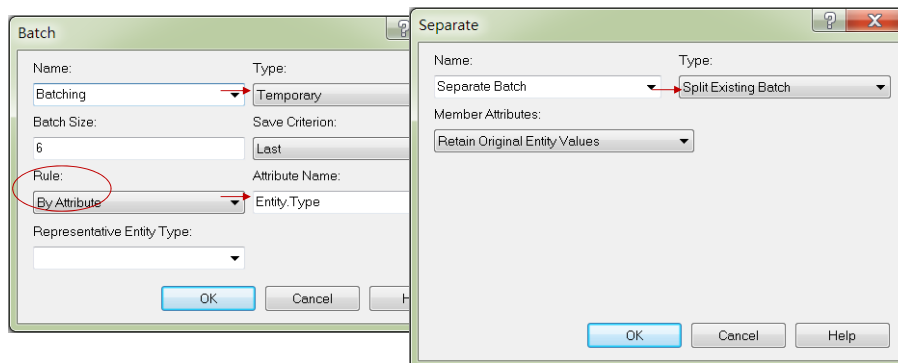
透過共同的Process 1 Time屬性，
使Process 1模組可處理不同產品



The Process dialog box shows Name: 'Process 1' and Type: 'Standard'. Under Logic, Action is 'Seize Delay Release' and Priority is 'Medium(2)'. Under Resources, 'Resource: Station 1, 1' is listed. Under Delay Type, Expression is 'Process 1 Time', Units is 'Minutes', and Allocation is 'Value Added'. A note next to the Expression field says '只包含entity屬性的運算式'. The Report Statistics checkbox is checked.

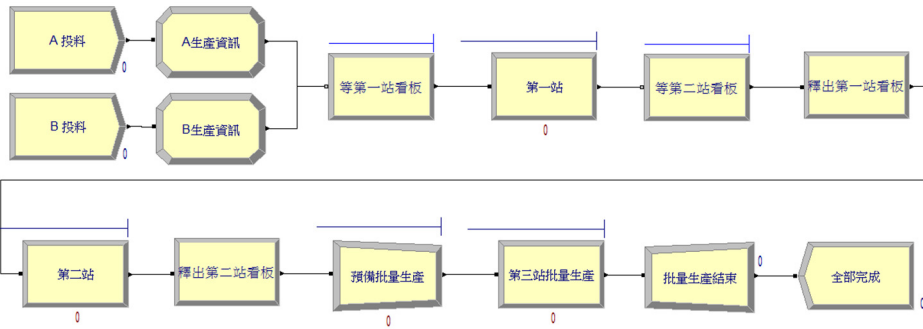
Batch與Separate模組控制批量流程

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



The Batch dialog box shows Name: 'Batching' and Type: 'Temporary'. Batch Size is '6' and Save Criterion is 'Last'. Rule is 'By Attribute' and Attribute Name is 'Entity.Type'. Representative Entity Type is empty. The Separate dialog box shows Name: 'Separate Batch' and Type: 'Split Existing Batch'. Member Attributes is 'Retain Original Entity Values'.

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 |

5.3 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 |

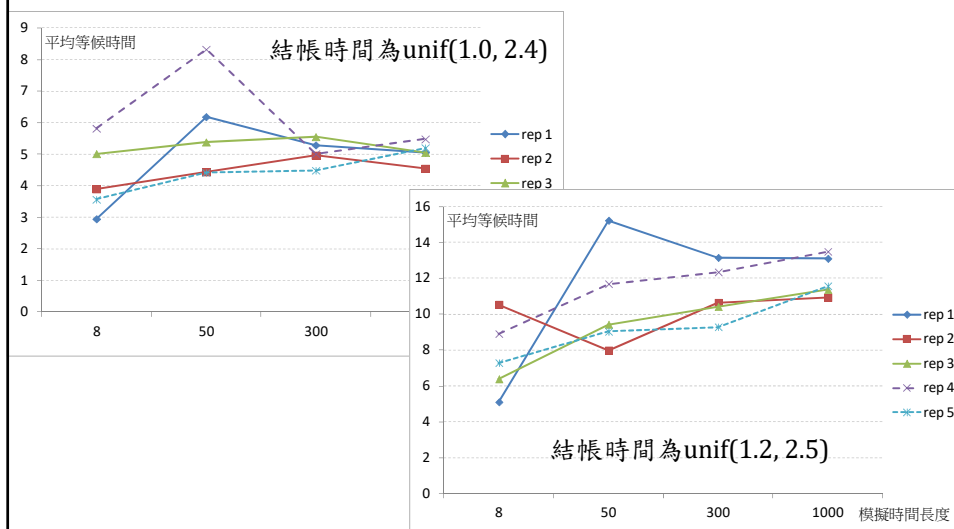
2-1單站結帳作業 結帳時間為unif(1.0, 2.4)

| 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

| Name | Type | Expression | Collection Period | Report Label | Output File |
|------|------|---|--------------------|--------------|--------------------|
| 1 | WIP | Time-Persistent EntitiesWIP(Product A) + EntitiesWIP(Product B) | Entire Replication | WIP | L:\simBook\WIP.dat |

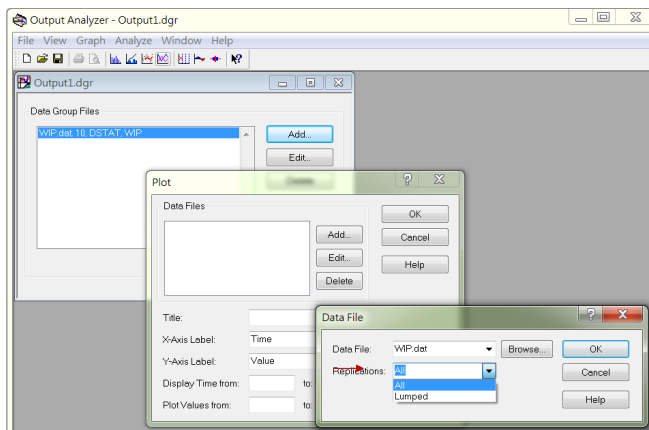
1.輸出至外部檔案*.dat

Caution: 避免中文路徑

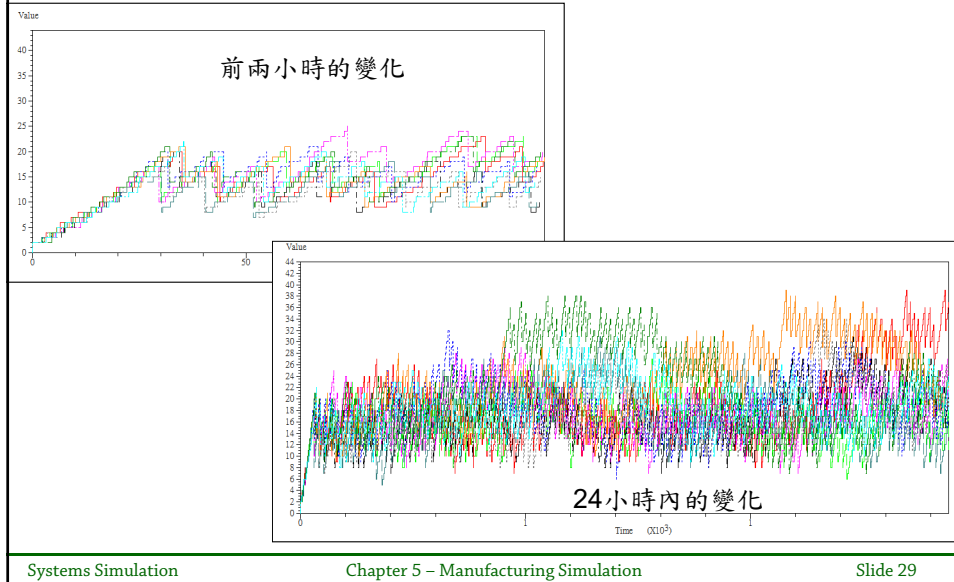
2.在Output Analyzer
建立新群組檔案，抓
入剛輸出的外部檔案



5.1

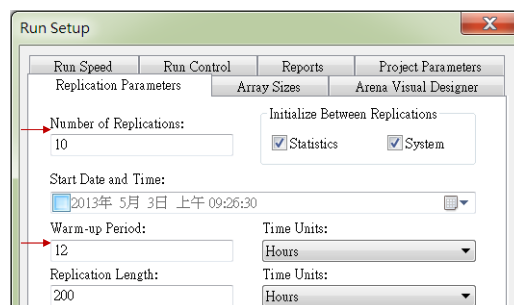


以 Welch's Plots 偵測起始偏差



5.4 Steady State Simulation的實驗設定

- (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

$$x_1, \dots, x_n, \underbrace{x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+K-1}, x_{n+K}}_{\text{接近 identically distributed}}$$

接近 identically distributed

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

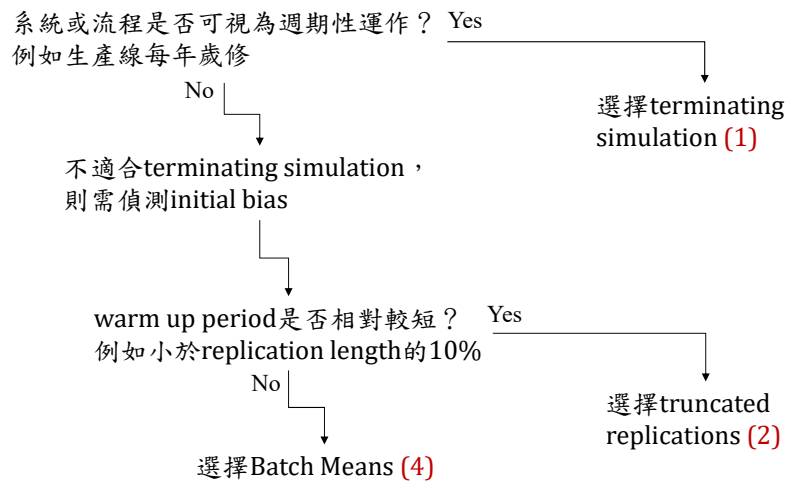
批量 b 夠大，各批的平均值 (batch means) 幾乎是互相獨立，可用來建立可信賴區間

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



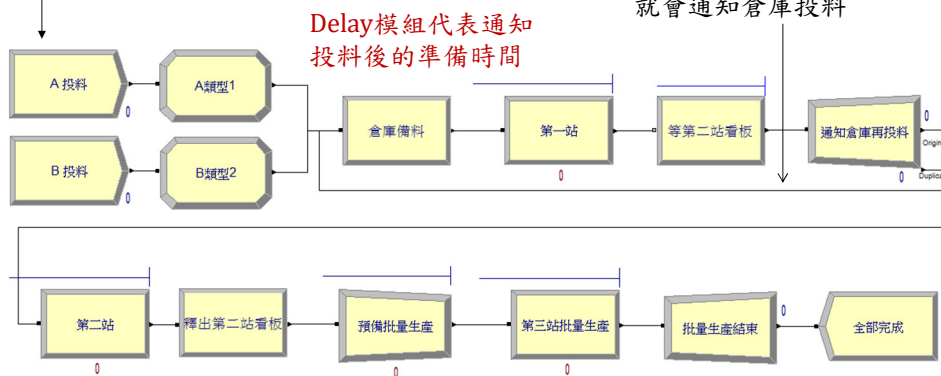
5.5 Example 5-5

- 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



Expressions 重新設定隨機變化

| Name | Rows | Columns | Data Type | File Name | Expression Values |
|--------------------|------|---------|-----------|-----------|-------------------|
| Preparation Time | 2 | | Native | | 2 rows |
| Process 1 Time | 2 | | Native | | 2 rows |
| Process 2 Time | 2 | | Native | | 2 rows |
| 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

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: Preparation Allocation: Other

Delay Time: Preparation Time(Type) Units: 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

| Name | Rows | Columns | Data Type | Clear Option | File Name | Initial Values | Report |
|------------|------|---------|-----------|--------------|-----------|----------------|--------------------------|
| num_A | | | Real | System | | 1 rows | <input type="checkbox"/> |
| num_B | | | Real | System | | 1 rows | <input type="checkbox"/> |
| batch_size | 2 | | Real | System | | 2 rows | <input type="checkbox"/> |

| 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: Batching Type: Temporary

Batch Size: batch_size(Type) Save Criterion: Last

Rule: By Attribute Attribute Name: Entity.Type

Representative Entity Type:

OK Cancel Help

1-Dim Expression設定不同的批量生產時間

Process模組根據Type屬性，以不同運算式處理批量不同產品。

隨批量大小而變

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