

# Systems Simulation



VISUAL  
COMPONENTS

郭幸民

smguo@nkfust.edu.tw

[www2.nkfust.edu.tw/~smguo/teaching/simulation.htm](http://www2.nkfust.edu.tw/~smguo/teaching/simulation.htm)

## 課程目的

- 依序敘述從你住家到學校需要經過的路段
  - 敘述路程中的重要地標與令你記憶深刻的事物。
  - 估計最快與平均所需的交通時間。
  - 判斷最有可能發生延誤的路段？
  - 思考是否有其他有競爭力的路徑？
- 教導學生流程分析的概念，藉由流程概念與模擬軟體來建構基本的製造與服務系統，運用實驗設計以分析並改善系統績效。
- 模擬軟體是工具，不是教學目的

## 教科書與成績計算

- 教科書: 郭幸民, **系統模擬與ARENA應用**, 滄海書局
- 投影片與教學影片  
[www2.nkfust.edu.tw/~smguo/teaching/simulation.htm](http://www2.nkfust.edu.tw/~smguo/teaching/simulation.htm)
- 範例程式下載: [www2.nkfust.edu.tw/~simlab/simtext.htm](http://www2.nkfust.edu.tw/~simlab/simtext.htm)
- 參考書: Kelton *et al.*, "Simulation with ARENA", McGraw-Hill  
陳昱均、康舒涵, Visual Components 4.0實作教學, 全華
- 成績計算

|               |            |                         |
|---------------|------------|-------------------------|
| Homework      | <b>50%</b> | 助教: 沈亮穎                 |
| Final Exam    | <b>40%</b> | <b>Warning:</b> 作業不可抄襲, |
| Participation | <b>10%</b> | 考試包含上機實作測驗              |

## 預定教學進度

|       |                   |                |
|-------|-------------------|----------------|
| 1-2   | Chapter 1, 2      | 系統模擬概念、ARENA介紹 |
| 3-4   | Chapter 4         | 服務系統模擬         |
| 6-7   | Chapter 5         | 製造系統模擬         |
| 8-9   | Chapter 6         | 模擬實驗設計與最佳化     |
| 10-11 | Chapter 7         | 供應鏈模擬          |
| 12-13 | 補充教材              | 物料搬運模擬         |
| 14    | Chapter 10        | 虛擬亂數與變異數降低技術   |
| 15-16 | Visual Components |                |
| 18    | <b>Final Exam</b> |                |

## Chapter 1

### What is Systems Simulation?

本書所談的模擬是在電腦的軟體環境中建立製造或服務系統/流程的模型，然後讓軟體執行模型的運作，並記錄相關的績效，以做為分析或改進系統/流程的依據。

模擬的結果可以協助你深入了解問題的癥結，推測修改流程可能造成的影響，進而節省不必要的時間與成本，甚至發揮更大的經濟效益。

### What Are Systems?

- 已存在或構想中的實體設施或工作流程
  - 生產系統、服務系統、倉儲設施、供應鏈
  - 戰備演習
  - 主題樂園的人潮移動
  - 年金制度的存續
  - 機場安檢人力部署
  - 流感疫情的控制
  - 國中會考的分級
- 模擬目的— **measure**, control, improve, design

## Study Real Systems or Models?

- 假設量販店希望能紓解尖峰時段的結帳人潮，店長可以選在周末實地進行不同控管方式的實驗。
  - 優點是真實系統與真實作業，結果不容置疑，缺點是實驗方式可能造成秩序大亂，顧客抱怨增加。
- 第二個選項是在打烊後動用員工扮演顧客以進行實驗。
  - 優點是不影響營業，還可以將結完帳的顧客調回來反覆演練，缺點是參與的員工人數有限，不能代表各式各樣的顧客，效果可能有差異，還要支付加班費。
- 第三個選項是運用數學或模擬建構模型，並進行分析。

## 大巨蛋的逃生模擬

2015-04-21 15:03:48 聯合晚報 記者游智文 / 台北報導

- 中華民國消防設備師公會全國聯合會創會理事長高士峯表示，北市府採的是「絕對安全」標準，用「極端值」來形容，並不適當。他表示，北市府和遠雄雙方都沒錯，北市府希望保障民眾絕對安全，因此提出更高標準的檢驗標準，而遠雄則是從法律的觀點檢視，要求符合現行法規規範，由於現行法規偏向「相對安全」，因此出現落差。
- 他表示，遠雄用的模擬軟體EXODUS 使用模擬人員之步行速度輸入參數值是每秒1.5公尺，而日本的模擬軟體Sim Tread 是以1.2公尺，但實務上通常是1公尺為基準；而台灣中央機關認可的防火避難性能驗證軟體工具為則是EXODUS及Simulex這兩套軟體，日本Sim Tread 目前並非台灣官方所認可的模擬軟體。

## 超現實外線能力 破壞電玩遊戲規則

2016-02-25 15:39 NBA台灣 udn記者吳孟儒 / 綜合外電報導

- 柯瑞(Stephen Curry)今天追平連127場三分命中的聯盟最佳紀錄，以他的表現來說，要將紀錄往上推應該不會有太大意外。
- 而柯瑞可怕的外線能力，除了讓對手都俯首稱臣，遊戲工程師也為此大傷腦筋，因為柯瑞甚至比在電玩裡面還要神，柯瑞曾在對巫師單場投進11記三分球、攻下51分，ESPN就曾用NBA 2K模擬了這場比賽，**模擬50次還是無法打出這樣的成績**。
- 遊戲開發商想要讓柯瑞現實身手完全還原在電玩世界，但另一方面他們卻已經著手調整了柯瑞在電玩內的命中率，讓他的三分準星可以「再差一點」，希望可以阻止玩家打1人球隊。很顯然的這2點完全衝突，也正是遊戲工程師最為難的地方。

## What is a Good Model?

- Model – 描述系統組成架構與運作規則
  - 建構模型是科學，也是藝術
  - 描述要完整，不能漏掉重要元素或環節
  - 不需要鉅細無遺，但是要能表達系統特性
  - 主觀或客觀地驗證模型與真實系統的差異
  - 建模過程有助於增進了解或發現改善機會
- 以模型進行分析的優缺點
  - 比較方便、快速、便宜、安全
  - 注意模型與真實系統的差異

## Simulation Models

系統模擬的模式具備下列條件：

- 運用邏輯或數學關係來描述訂單或顧客在系統內的流程運作。
- 以變數代表系統狀態的變化。
- 可記錄隨時間而演變的系統狀態。
- 可計算系統在一定時間運作後的績效表現。
- 可控制實驗，重複獲得相同的結果。

## Characteristics of Simulation

- 時間性(time)：系統的運作隨時間不斷進行，分析過程可能比結果更有價值。
- 狀態變化(state change)：系統狀態隨時間而改變，通常以離散數值來代表，在瞬間完成改變。
- 隨機性(stochastic)：系統改變的時間與方向不固定，事先無法完全掌握。

Time: 隨著時間演進，顧客陸續到達，處理完成後離開

State change: 流程內的顧客數目不斷改變

Stochastic: 顧客到達時間與服務時間均有隨機變化

## 模擬的組成元素 (1)

- 個體(entity)通常是顧客、產品或訂單，是系統服務的對象，複雜的系統可能有多種類型。
- 屬性(attribute)是描述個體的特徵或相關資料，好比每張身分證都有相同欄位，但是欄位的記載內容不同。
- 資源(resource)是負責服務個體的人員或設備，或說是個體使用資源，使用完畢後個體繼續後面的流程。
- 等候區(queue)是個體等候使用資源的暫存區，可以有容量限制，也可以設定不同的排隊規則

## 模擬的組成元素 (2)

- 變數(variable)是描述系統現況或做為控制參數，前者可以觀察，但是不能任意變更，後者可以由使用者變更數值，並觀察對系統的影響。
- 事件(event)是在瞬間發生並改變系統狀態或個體屬性，例如顧客到達改變店員的工作狀態。事件的發生可導致另一個事件在一段時間後發生，例如列車從台北出發，就會導致列車到達高雄的事件。
- 程序(process)是一道處理步驟，通常由兩個相關的事件一前一後而組成，中間的間隔是程序所需的時間。

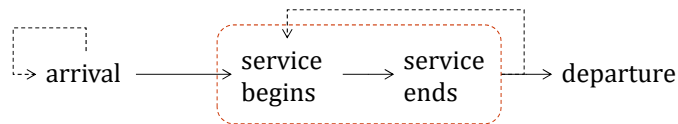
## 模擬的運作方式

- 模擬的控制機制首先安排第一個事件的發生，之後會連鎖帶出後續的事件，事件的時間點通常用亂數來決定，並按照時間先後發生。當事件發生時，模擬軟體將執行

- (1)更新系統狀態
- (2)紀錄相關績效
- (3)安排未來將發生的事件



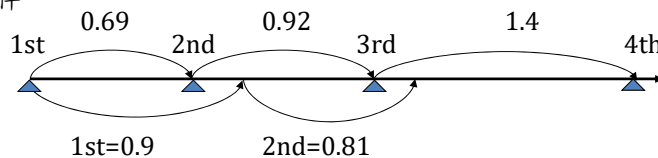
假設你在旁觀察超市結帳的服務流程



## Next Event Simulation

- 超級市場只有一個結帳櫃台，第一個到達的顧客(entity)會導致收銀員(resource)開始工作，接著模擬必須安排第二個顧客的到達事件以及第一個顧客結帳完成的事件。
- 模擬會將時鐘(variable)推進到下一個事件的時間點，這要看第二個顧客是否在結帳完成之前到達。

顧客到達事件



服務時間長度

## 模擬前10名顧客的流程

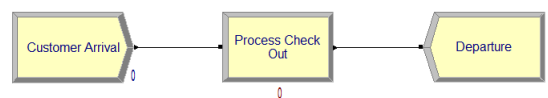
顧客的服務開始時間 $S_i$ 取決於到達時刻 $A_i$   
與前一個顧客的離開時刻 $D_{i-1}$

| 顧客 | 到達時刻<br>A | 下個顧客<br>到達間隔 | 服務開始<br>S | 等待時間<br>W | 服務時間        | 離開時刻<br>D | 流程時間<br>T |
|----|-----------|--------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| 1  | 0.00      | <b>0.69</b>  | 0.00      | 0.00      | <b>0.90</b> | 0.90      | 0.90      |
| 2  | 0.69      | <b>0.92</b>  | 0.90      | 0.21      | <b>0.81</b> | 1.71      | 1.02      |
| 3  | 1.61      | <b>1.40</b>  | 1.71      | 0.10      | <b>1.46</b> | 3.17      | 1.56      |
| 4  | 3.01      | <b>0.32</b>  | 3.17      | 0.16      | <b>2.36</b> | 5.53      | 2.52      |
| 5  | 3.33      | <b>1.10</b>  | 5.53      | 2.20      | <b>0.20</b> | 5.73      | 2.40      |
| 6  | 4.43      | <b>3.40</b>  | 5.73      | 1.30      | <b>2.10</b> | 7.83      | 3.40      |
| 7  | 7.83      | <b>0.23</b>  | 7.83      | 0.00      | <b>1.80</b> | 9.63      | 1.80      |
| 8  | 8.06      | <b>1.50</b>  | 9.63      | 1.57      | <b>1.40</b> | 11.03     | 2.97      |
| 9  | 9.56      | <b>0.34</b>  | 11.03     | 1.47      | <b>0.80</b> | 11.83     | 2.27      |
| 10 | 9.90      | <b>0.79</b>  | 11.83     | 1.93      | <b>1.70</b> | 13.53     | 3.63      |

Q: 模擬MLB比賽，會有哪些事件？哪些需要亂數？

## Simulation Using ARENA

從顧客進入流程開始，敘述流程的每個步驟，直到流程結束。



使用者的工作主要在於確定流程順序與內容設定。

模擬軟體負責安排未來事件與控制模擬的進行，  
也自動處理系統狀態的更新與資料紀錄

## Advantages of Simulation

- 可分析非常複雜的系統
- 可處理不確定性與尖離峰變化
- 節省解決問題的時間與成本
- 可以實驗各種想法，幾乎沒有風險
- 電腦軟硬體의 進步
  - 更方便的使用介面
  - 從模組應用到程式語言的建模能力
  - 實驗設計與統計分析的功能
  - 3D動畫呈現系統的運作 (visual components)

<https://www.youtube.com/watch?v=hRA4SlBG5sc>

## The Bad News

- 只是績效評估工具
- 需要客觀且正確的資訊與數據
- 隨機的結果需要反覆實驗與統計分析
- 需要軟體操作、流程分析、機率統計的概念
- 永遠記得模型與真實的差異

### How to avoid simulation?

- 如果有較適合的方法可用
- 如果明天就要得到答案
- 如果只需要簡略的答案
- 如果不清楚流程細節

## Chapter 2

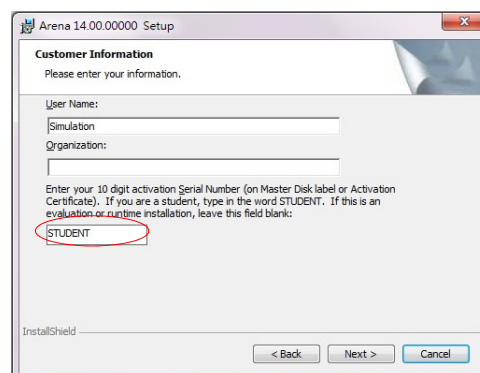
### Introduction to ARENA

ARENA發展至今已經有二十多年的歷史，前身是SIMAN程式語言，現在還是以SIMAN為核心，當你建構一個流程模擬時，模式其實會被轉換成一長串的程序指令。

ARENA擅長建構錯綜複雜的製造或服務流程，在教育市場居於領先地位，但是它不針對任何產業而設計，在商用市場上不容易跟專為特定產業設計的軟體競爭。

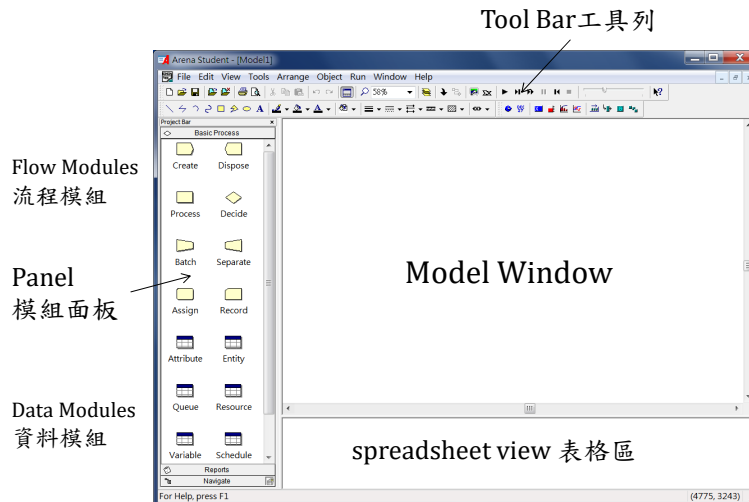
## Installing ARENA 15.0

- 安裝前會檢查並安裝微軟的Net Framework
- 安裝過程皆選擇預設值
- 序號請輸入STUDENT
- Arena內建範例檔案位於媒體櫃的文件檔案夾內



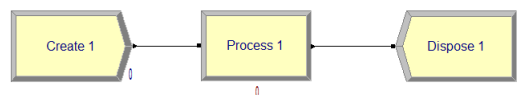
Rockwell Software\Arena\Book Examples

## ARENA視窗環境



## I. 簡易的單站結帳模擬

第一章的單站結帳作業範例：顧客到達櫃台前準備結帳，必要時排隊等候服務，結帳完成後離開。

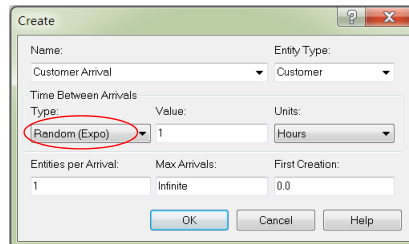


Example 2-1.doe

0. 拉下File Menu，選擇New以開啟一個新的model window
1. 選擇Basic Process面板裡的Create模組，移入model window來模擬顧客到達。
2. 移入Process模組來模擬排隊接受服務的過程。
3. 移入Dispose模組，代表服務過的顧客離開流程。
4. 使用delete鍵與connect按鈕修改模組之間的連結。

## The Create Flowchart Module

- Entities的流程起點，雙響以開啟模組
- 輸入名稱 Customer Arrival，以便使用者與ARENA識別。
- Entity Type Customer為個體類型的名稱



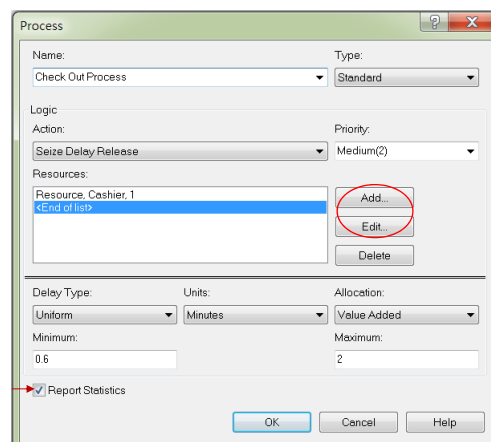
- Random代表顧客隨機到達
- 將平均到達時間間隔改為 2 minutes

## The Process Flowchart Module

- 輸入模組名稱 Check Out Process，各模組名稱不可相同
- Logic – Action: Seize Delay Release

- 設定使用的資源名稱為 Cashier，使用1單位
- 設定使用資源的時間為 Uniform(0.6, 2) minutes

- Report Statistics自動記錄相關績效如排隊人數、資源使用率



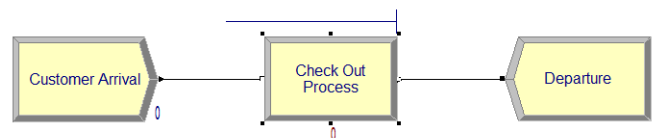
## Delay Type的選項

| 類型         | 說明          | 數值設定                                                | 適用場合               |
|------------|-------------|-----------------------------------------------------|--------------------|
| Constant   | 常數，時間固定不變   | 固定值                                                 | 自動化作業              |
| Normal     | 常態分佈        | 平均值(Mean)<br>標準差(Std Dev)                           | 與平均值差距越大，可能性越低     |
| Triangular | 三角形分佈       | 最小值(Minimum),<br>最可能值(Most Likely),<br>最大值(Maximum) | 在一定區間內變化，且知道最有可能的值 |
| Uniform    | 在區間內的均勻分佈   | 最小值(Minimum),<br>最大值(Maximum)                       | 只知道在一定區間內變化        |
| Expression | 由機率變數組成的運算式 |                                                     | 複雜或不規則變化           |

ARENA根據設定為每個顧客產生一個亂數，代表結帳時間

## The Dispose Flowchart Module

- Entities 的流程終點
- ARENA會紀錄每個個體的流程時間、流程內的加值時間等



| Process - Basic Process |                   |          |                     |           |           |            |         |             |         |         |
|-------------------------|-------------------|----------|---------------------|-----------|-----------|------------|---------|-------------|---------|---------|
|                         | Name              | Type     | Action              | Priority  | Resources | Delay Type | Units   | Allocation  | Minimum | Maximum |
| 1 ▶                     | Check Out Process | Standard | Seize Delay Release | Medium(2) | 1 rows    | Uniform    | Minutes | Value Added | 0.6     | 2       |

- 點選任一個模組，視窗下方的表格區(spreadsheet view)會出現模組的內部設定，可以直接在表格區進行更改

## Data Modules的內容

The screenshot displays three data module configuration windows in Arena:

- Entity - Basic Process:** A table with columns: Entity Type, Initial Picture, Holding Cos..., Initial VA..., Initial NV..., Initial Wai..., Initial Tran..., Initial Other..., and Report Statistics. Row 1 is for 'Customer' with 'Picture.Re' as the initial picture and 'Report Statistics' checked.
- Resource - Basic Process:** A table with columns: Name, Type, Capacity, Busy / Hour, Idle / Hour, Per Use, StateSet Name, Failures, and Report Statistics. Row 1 is for 'Cashier' with 'Fixed Capacity' type and a 'Capacity' of 1 (circled in red). 'Report Statistics' is checked.
- Queue - Basic Process:** A table with columns: Name, Type, Shared, and Report Statistics. Row 1 is for 'Check Out Process Queue' with 'First In First Out' type. 'Report Statistics' is checked.

## Run Setup設定模擬的時間長度

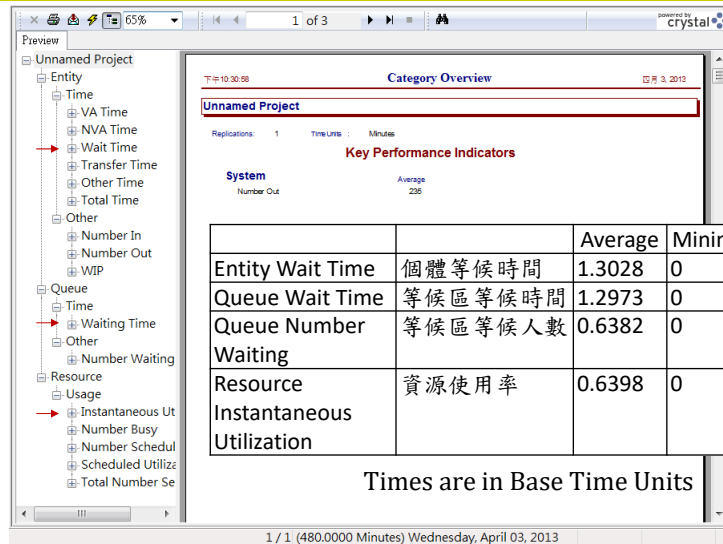
- **Number of Replications**是模擬進行的次數，ARENA會以不同的亂數進行多次模擬，每次模擬結果略有差異。
- **Replication Length**設定模擬的時間長度，即流程運作的時間，Time Units定義時間單位，預設值是小時。
- **Base Time Units**欄位，是模擬結果所使用的時間單位。
- 從Run Menu的下拉選單中選擇Go (Run > Go)，或是直接按下工具列裡的播放按鈕▶。

The Run Setup dialog box shows the following settings:

- Number of Replications:** 1
- Start Date and Time:** 2013年 4月 3日 下午 08:16:43
- Warm-up Period:** 0.0
- Replication Length:** 8
- Hours Per Day:** 24
- Base Time Units:** Minutes
- Terminating Condition:** (empty)

Buttons at the bottom: 確定 (OK), 取消 (Cancel), 套用(A) (Apply), 說明 (Help).

## Category Overview分層顯示模擬結果



Example 2-1.doe

Times are in Base Time Units

## Week 1 Homework

Part 1: 購買教科書與安裝ARENA 15.0

[www2.nkfust.edu.tw/~smguo/](http://www2.nkfust.edu.tw/~smguo/)

Part 2: 自行建構Example 2-1.doe，並確認模擬結果相同。

