

## 虛擬實境在彈性製造系統規劃與設計之研究

王中行

東海大學工業設計系(所) 副教授

cswang@mail.thu.edu.tw

張庭瑞

南開技術學院工業工程與管理系 講師

t237@nkc.edu.tw

郭宏偉

東海大學工業設計系(所) 研究生

g923701@student.thu.edu.tw

### 摘要

自動化科技近年來發展相當快速，應用範圍層次隨電子、半導體、資訊、光電、機械...等技術的進步而逐漸擴大，其中製造系統的彈性化、機敏化最明顯，其在硬體上結合 CNC 工具機、工業機器人、自動倉儲及無人搬運車...等，在軟體上整合電腦輔助設計/製造、產品資料管理、供應鏈管理、網路遠端監控...等，而朝向全面自動化生產與系統整合方向邁進。另一方面，以整合虛擬實境與製造系統的虛擬製造系統，主要提供一模擬環境，使製造系統從機台配置、廠房佈局、零件加工...等，都能在虛擬的環境下進行模擬、學習，故虛擬彈性製造系統應是一值得加以探討的研究領域與方向。

本研究旨在以虛擬實境為手段，利用虛擬實境軟體，完成建構一套虛擬彈性製造系統模組，以提供虛擬製造系統後續之應用發展。在規劃之初，先以派屈網路圖分析以三機台為主，所構成的彈性製造系統之最佳排程，再進行虛擬彈性製造系統設計，並發佈虛擬彈性製造系統網頁，以提供使用者操作與學習，並作為日後遠端彈性製造系統監控之發展架構。

**關鍵字：** 虛擬實境、彈性製造系統、虛擬製造、派屈網路圖、遠端監控。

## 一、前言

虛擬實境 (Virtual Reality) 是近年來興起的一項新的技術，它被稱為以4D的方式來模擬真實的世界，其中包括3D的幾何模型空間，加上1D的時間，若再配合VR硬體設備介面，將更可以達到一種如幻似真的效果。一般而言，虛擬實境系統具有以下四種特徵：整合環境(Integration)、融入實境(Immersion)、交談互動(Interaction)、想像創作(Imagination)；虛擬實境的運用相當的廣闊，包括了醫療、國防、製造、訓練、教育教學...等[13]。虛擬實境在製造相關領域應用，從虛擬廠區佈置(Virtual Plant Layout)、虛擬原型(Virtual Prototype)、網路虛擬製造(Web Virtual Manufacturing)、虛擬裝配(Virtual Assembly)，到虛擬工廠(Virtual Factory)的建立...等。

隨著工業生產技術的進步，製造業者為了提升自我生產競爭力，漸漸的將單一生產的機台模式，轉為多台機械連線的自動化生產模式，並以電腦化控制為方式，達成多種少量的彈性化生產模式，此觀念在1980年間漸漸的被運用在工業上，被稱為彈性製造系統(Flexible Manufacturing System, FMS)；彈性製造系統主要係結合所謂多個自動化島(Islands of Automation)而構成一個製造系統的觀念，其包括多台CNC加工機、搬運設備(無人搬運車、輸送帶、機械手)、倉儲系統(AS/RS)與監控電腦單元組成，而能順序完成不同工件的加工與儲存者，彈性製造系統對因應市場的快速反應，以及少量多樣的產品開發而言，應用上仍是相當廣泛[20]。

一套良好的彈性製造系統可能會花費相當高的成本、人力，因此為了避免這些風險的產生，設計一套『虛擬彈性製造系統』，將彈性製造系統結合虛擬實境，是近年來的發展趨勢。本研究即希望藉由網路化虛擬實境結合彈性製造系統，以架構一個虛擬彈性製造系統，藉由網路

提供生產者、操作者熟悉系統的操作、學習與規劃。

## 二、相關文獻探討

以虛擬實境為基礎，目前所衍生出來與本研究相關的應用領域，概略可分為下列五方面：虛擬實境軟體開發、虛擬環境建立、虛擬設計與虛擬團隊、虛擬製造、製造系統模擬。其相關文獻分別概述說明如下：

### 1. 虛擬實境軟體開發

謝信正[9]以探討虛擬實境的應用及建構虛擬實境軟體的比較，來研究虛擬實境現階段的優缺點及各種套件的優劣，並探討虛擬實境的未來展望。Huang [15]等人建立一網路整合製造實驗室為目標，再就 CAD/CAM/CAE 整合課程教學與網路化虛擬學習為導向提出說明。

### 2. 虛擬環境建立

許明鴻[10]以 3D 為基礎來製作網路虛擬實境，並將 Java 語法以 Java Applet 方式寫出一套 Rendering Engine，讓使用者不用再另外下載安裝其它的 plug-in 或支援 VRML 的瀏覽器，並建立一套網路協定，讓多使用者可以同時使用網路虛擬實境，達到身歷其境的虛擬世界。Mo[21]等人提出預先在規畫建立以 Manufacturing Message Specification (MMS) 和 Virtual Manufacturing Device (VMD)二種製造方式時，要先考的方向，再將此構想用來構成虛擬機械人的特定動作控制。Santoso[26]以 VRML 和 Java 語法建立一個簡單的網路 3D 虛擬環境，並以使用頭戴式頭盔觀看此一 3D 虛擬環境。Luo[18]等人，以結合影像檔與 3D CAD 模型，作為建立虛擬場景的效果，而應用於網路虛擬 CNC 銑床系統設計。

### 3. 虛擬設計與虛擬團隊

李榮顯[8]利用 Spatial 公司開發的 ACIS 幾何模型函式庫建立一套 VR-CAD 系統，並以 Pro/E 建構虛擬工具機，再以 Microsoft Visual C++ 6.0，利用 MFC 這套應用程式框架，產生各種視窗與容易操作的使用者介面，再用 World Tool Kit R9.0(WTK)來呈現虛擬環境及影像。陳裕民[12]利用統一模式化語言(Unified Modeling Language, UML)及物件導向分析、設計方法與技術來進行系統模式化分析與設計，使協助聯盟同步工程產品開發過程中虛擬多功能團隊之知識管理與分享，使提昇產品開發之效率，進而協助產業提高生產力與競爭力。

#### 4. 虛擬製造

丁鏞等人[2]採用多台電腦，針對六軸機械臂平台做虛擬的即時操控與監控，此研究中運用了 MathWorks 軟體進行即時監控，再以 EON 虛擬實境軟體呈現出一個虛擬的即時操控及監控畫面。史頌恩[3]建立一套網路平台，這個平台是將遠端使用者繪製的 AutoCAD 圖檔，運用虛擬實境的方式，將所繪製的 2D 圖檔轉成 3D 的畫面來呈現。李武鈺等人[4]運用 Java3D 等套件將一個六軸機械臂建立在一個電腦平台上，並且可以達到反向運動控制、動作教導、碰撞檢測及高階程式控制。詹朝基、蔡明忠[11]以結合網際網路、資料庫及虛擬製造的概念，將真實工廠的製造資訊、機台狀況和物流情形，建構一虛擬工廠環境，唯目前僅止於 3D 物件的開發。Qiu 等人[24]，以 Java 及 VRML 語言架構在網際網路上，建立第一套多人操作的 CNC 加工雛形系統。Yao 等人[30]進一步提出一個虛擬製造與量測的測試平台，運用了網際網路的方式完成一台車床虛擬加工與量測的動作，並作碰撞偵測。Ong 和 Nee[23]提出建立相關資料庫，以 VRML 軟體建構機械模型資料庫，並計算刀具切削力及刀具壽命，再以 JAVA Script 語法做為網頁上資料的傳輸介面，由資料

庫中擷取所需資料做即時顯示，達到模擬 CNC 工具機製造之研究。

#### 5. 製造系統模擬

林則孟[1]以探討製造系統各個離散事件的系統模擬方法為主。蔡世傑[6]在網際網路上，以運用 VRML 及 JavaScript 建立一個互動式且可控制之彈性製造系統模擬，唯此一彈性製造系統僅侷限發展於自動倉儲及輸送帶操作為主。趙柏鴻[5]運用派屈網路圖(Petri-Nets)分析彈性製造系統，將彈性製造系統之流程時間轉換成派屈網路圖，再運用派屈網路圖形達到一個最佳的排程，而有助於在彈性製造系統的執行效率分析的簡單化。

由以上的文獻回顧及探討中可以得知，虛擬實境的應用已日趨普遍，再加上網路的普及與網路傳輸的方便性，遠端網路監控已經成為發展趨勢；故如何製作一套可置於網路上的虛擬彈性製造系統，讓使用者透過網路的傳輸架構，進行學習與教學，成為本研究的发展目標。

### 三、虛擬彈性製造系統之架構

一個完整的網路化虛擬彈性製造系統，應具備以下幾項需求：

1. 視覺化 (Visualization): 藉由虛擬實境可以展現彈性製造系統在視覺上的效果，而將所見的工作機台逼真的在電腦上顯現出來。
2. 環境建構 (Environment Construction): 可以建構一個與真實彈性製造系統極為近似的加工環境。
3. 資訊展現 (Information Representation): 彈性製造系統所有相關機台的訊息、工件的狀態、稼動率...等，均可以及時顯示展現。
4. 製造特性 (Manufacturing Characterization): 在虛擬彈性製造系統中可以展現出製造中的特性，

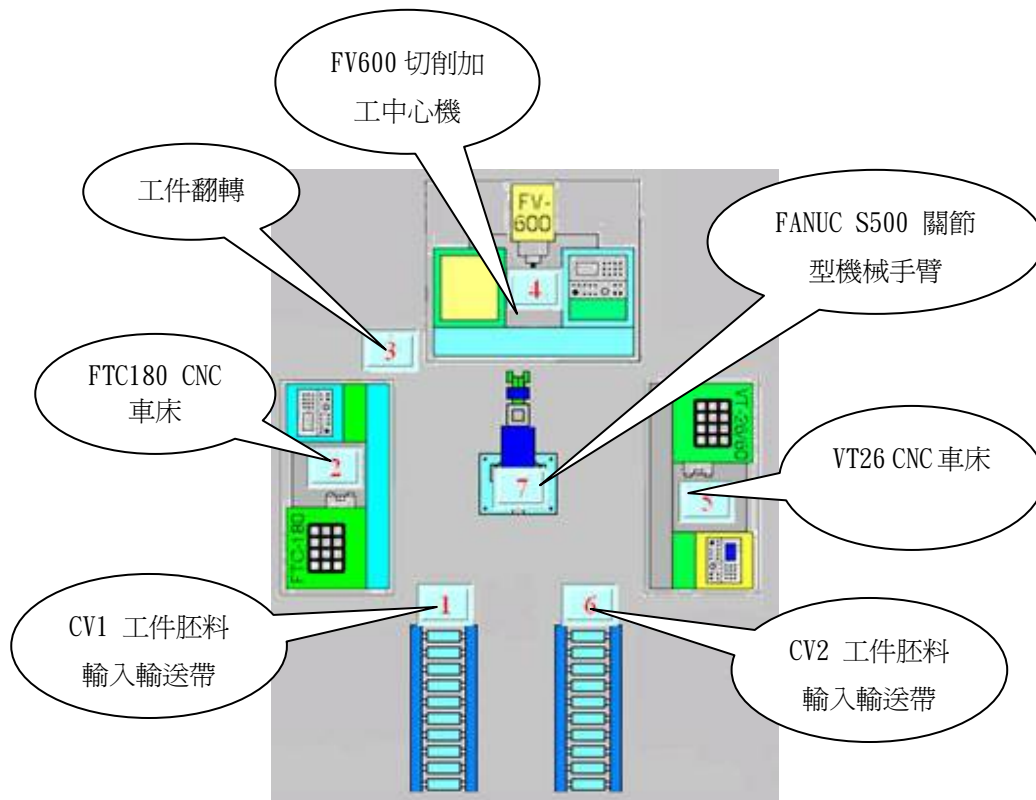


圖 1：彈性製造系統之位置配置規劃

例如：進給率、轉速、力回饋.....等，所有相關製造特性的展現說明。

5. 製造分析法則 (Analysis Algorithm and Methodology for Manufacturing)：虛擬彈性製造系統可以事先運用派屈網路圖之物件導向分析方法，使彈性製造系統達到最佳化設計的目標。
6. 網際網路與內部網路(Internet and Intranet)：虛擬彈性製造系統可以使用單機模擬，也可以運用網路概念，架設在網際網路上，達到多人學習之功能；亦可僅用於內部網路，視為Server電腦與內部電腦以及各個機台間的連線操作。
7. 模擬(Simulation)：虛擬彈性製造系統可以將所有製程動作進行模擬，可以讓使用者了解到所有彈性製造系統之工件運作過程、刀具的切削、可能的碰撞偵測...等，以便對於製程達到修改運用的目的。
8. 驗證 (Verification)：虛擬彈性製造系統可以直

接連接3D CAD/CAM系統，以實際的例子（本文以凸輪、日內瓦輪加工為例），完成加工模擬，進行系統驗證。

本研究根據上述要素，配合加工件（例如：凸輪、日內瓦輪或齒輪粗胚）的選定，以達成建立一個虛擬彈性製造系統為目標，在機台選定上，內容包括了六軸關節式機械手臂（FANUC S500機械手）、CNC車床兩台（台中精機VT26以及友嘉FTC180 CNC車床）、CNC銑床（友嘉FV600切削中心機）、工件輸出入輸送帶各一、工件翻轉台...等，相關機台的配置狀況圖形，如圖1所示。

系統架構上，首先針對規劃的彈性製造系統配置，以派屈網路圖架構，進行工件加工效率的分析，以達到最佳化設計的目標。接下來，便以

3D繪圖軟體（Pro/E 以及SolidWorks），建構整個虛擬彈性製造系統機台，再將此虛擬機台，匯入EON Studio虛擬實境軟體中，再根據彈性製造系統加工的性質，建立所有節點、碰撞偵測...的功能，測試完畢後，即可將此虛擬彈性製造系統發佈於網際網路上，使能透過網際網路，在遠端藉由網路對此虛擬彈性製造系統，進行驗證。

#### 四、彈性製造系統分析法則

派屈網路圖(Petri Nets)，被視為可用以分析系統行為的一種簡單且有效的模擬與分析工具，而被廣泛地應用於彈性製造系統之系統模式設計與分析。由於派屈網路圖是圖形化的建構工具，其藉由站區(Place)、暫態(Transition)與代物(Token)間的對應標記(Marking)間激發(Firing)轉換，以及設備間的狀態變化，來呈現一個彈性製造系統的動態行為，故派屈網路圖除以網路的形式表達複雜製造系統的同步行為(Concurrency)特性外，並能以數學形式進行製程的分析與驗證，以便於獲得有關製造系統結構和動態行為的資訊，作為系統績效評估與改善的依據，而被視為解決動態系統之離散事件(Discrete Events Dynamic System, DEDES)最有效的工具[14][16]。

##### 4.1 派屈網路圖在彈性製造系統之分析

本文僅就建置三台CNC機器與一台六軸機械手臂所構成的一個彈性製造系統，在加工執行效率上進行派屈網路圖分析，其中機台配置的位置是以實體的彈性製造系統為主(圖1)。首先針對彈性製造系統做代號建置，建構中的彈性製造系統主要由輸出入輸送帶(代號CV1、CV2)、CNC車床(友嘉FTC180，代號M1)、切削加工中心機(友嘉FV600，代號M2)、CNC車床(台中精機 VT26，代號M3)、六軸機械手臂(FANUC

S-500)所組而成。若欲生產某種形式加工物時，其物件需經過CNC車床(M1)，切削加工中心機(M2)與CNC車床(M3)等三種機台，則存有6種可能的排程形式，如圖2所示，再將所有3台加工機種可能排程(A到F)的行為步驟，展示於表1。

本文僅就圖 2(A)的時間派屈網路圖，顯示如圖 3，在圖 3 中  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  表示三台加工機(M1, M2, M3)的操作，這些暫態的輸入站區 P1, P3 和 P5 表示欲加工物的裝載，輸出站區 P2, P4 和 P6 則是完成加工機的操作，暫態的激發時間分別定義為：

$f(t_1) = o_1 \rightarrow$  表示機台 M1 的加工操作時間

$f(t_2) = o_2 \rightarrow$  表示機台 M2 的加工操作時間

$f(t_3) = o_3 \rightarrow$  表示機台 M3 的加工操作時間

在圖 3 的派屈網路圖模型，包含好幾個平行的路徑(P7 和  $t_1$ , P8 和  $t_2$ , P9 和  $t_3$ )，其能被簡化成一個基本派屈網路，如圖 4 所示，所以排程 A 的生產效率  $\lambda_A$ ，容易被求得(移動 P7, P8, P9 的輸入與輸出路徑)：

$$\lambda_A = \frac{1}{o_1 + o_2 + o_3 + a + 3b + 3c + d + 5e}$$

對於欲生產某形式加工件，其物件需經過友嘉FV600切削加工中心機、友嘉FTC180車床與台中精機 VT26 CNC車床的最佳排程，即可由分析六種加工排程之生產效率，再找出最大之生產效率值  $\max(\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C, \lambda_D, \lambda_E, \lambda_F)$  即可[5]。在實際線上加工排程測試，本文選定齒輪粗胚為加工工件，經分析結果，製造加工排程A，具有最佳之加工效率。

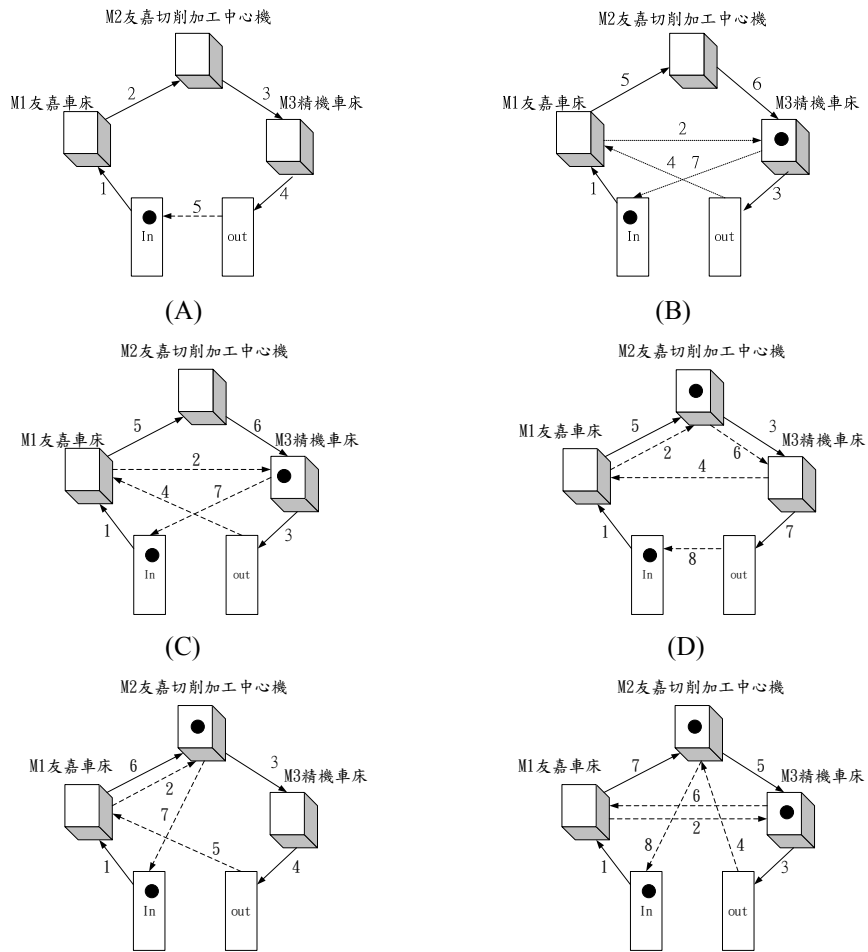


圖 2：三機台彈性製造系統之各種排程

表 1：說明圖 2 三機台的排程序列

排程	行為步驟
A	$In \Rightarrow M1 \Rightarrow M2 \Rightarrow M3 \Rightarrow Out \rightarrow In$
B	$In \Rightarrow M1 \rightarrow M2 \Rightarrow M3 \rightarrow Out \Rightarrow M2 \Rightarrow M3 \rightarrow In$
C	$In \Rightarrow M1 \rightarrow M3 \Rightarrow Out \rightarrow M1 \Rightarrow M2 \Rightarrow M3 \rightarrow In$
D	$In \Rightarrow M1 \rightarrow M2 \Rightarrow M3 \rightarrow M1 \Rightarrow M2 \rightarrow M3 \Rightarrow Out \rightarrow In$
E	$In \Rightarrow M1 \rightarrow M2 \Rightarrow M3 \Rightarrow Out \rightarrow M1 \Rightarrow M2 \rightarrow In$
F	$In \Rightarrow M1 \rightarrow M3 \Rightarrow Out \rightarrow M2 \Rightarrow M3 \rightarrow M1 \Rightarrow M2 \rightarrow In$

在表 1 中  $X \rightarrow Y$  表示機械手臂從 X 移到 Y。

$X \Rightarrow Y$  表示機械手臂擷取一個加工物從 X 移到 Y。

In 代表輸入輸送帶，Out 代表輸出輸送帶。

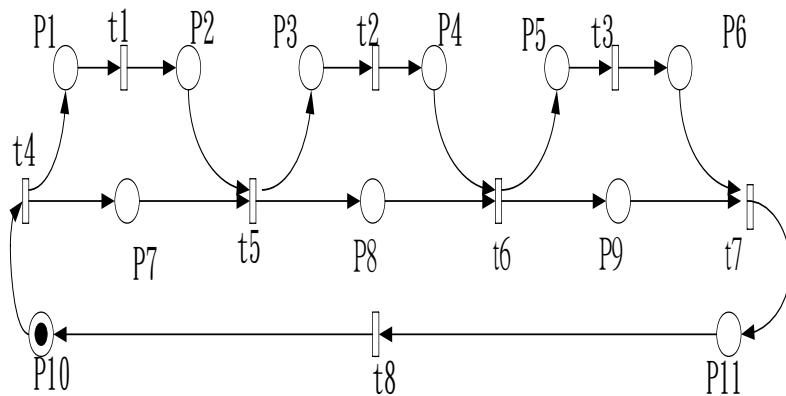


圖 3：三機台彈性製造系統排程 A 的派屈網路圖

機械手臂的動作序列，由路徑暫態  $t_4$ ， $t_5$ ， $t_6$ ， $t_7$ ， $t_8$  顯示於表 2，在表中  
 $a$  定義為抓取時間； $b$  定義為卸下時間； $c$  定義為裝載時間；  
 $d$  定義為放下時間； $e$  定義為移動時間

表 2：說明圖 3 排程 A 有關機械手臂的動作序列

暫態	操作	時間
$t_4$	從 In 抓取一個加工物，移到 M1 和裝載	$a+c+e$
$t_5$	從 M1 卸下貨物，移到 M2 和裝載	$b+c+e$
$t_6$	從 M2 卸下貨物，移到 M3 和裝載	$b+c+e$
$t_7$	從 M3 卸下貨物，移到 Out 和放下	$b+d+e$
$t_8$	從 Out 移動到 In	$e$

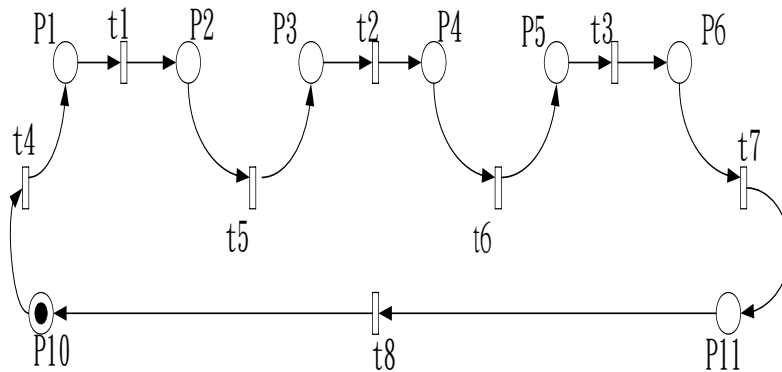


圖 4：三機台彈性製造系統排程 A 的派屈網路簡化圖

#### 4.2 彈性製造系統排程分析驗證

由於派屈網路圖是一種圖形化的建構工具，不僅容易使用、易於瞭解，且具有相當好的建構與分析能力，而有助於彈性製造系統的設計，提供彈性製造系統分析者一個簡易方便的分析工具，並具體達到應用派屈網路圖描述彈性製造系統中工作物件與機台的相互關係，藉由時間性的圖形事件，建構所有的工作排程模型，求其工作效率，續而從中求取最佳排程；又於不同的時間性派屈網路圖，其可能有同形的狀態圖形，可藉由同形的狀態派屈網路圖形，簡化一個龐大複雜的時間性派屈網路圖，以便於效率分析，而獲得有關於彈性製造系統生產效率的資訊，以求取可行的最佳排程。

### 五、虛擬彈性製造系統之設計

在建構虛擬實境在彈性製造系統之設計流程，參見圖 5，主要是以 Pro/E、SolidWorks、EON 軟體製作為主。首先取得工廠機台之實體尺寸，如：機器手臂、CNC 加工機台、輸送帶，以建構成 3D 圖檔。在所有的機台建構的過程當中，要分別的建構，因為在匯入 EON 的過程當中要將所有的機台做一個位置規劃，在匯入 EON 之後設計相對應的運動，並且發佈成為網頁模式。

在虛擬 3D 實體架構當中首先針對於物件的建構和分析，其過程包括了 3D 的虛擬實體外型與內部的屬性與行為。實際的工廠，經過了 3D 的繪圖軟體繪製，並且依各機件之間之規格、組成之關係，匯入了 EON Studio 中，在 EON Studio 當中運用了 Script 之語言規劃出各機件之間的狀態變化及互動關係。

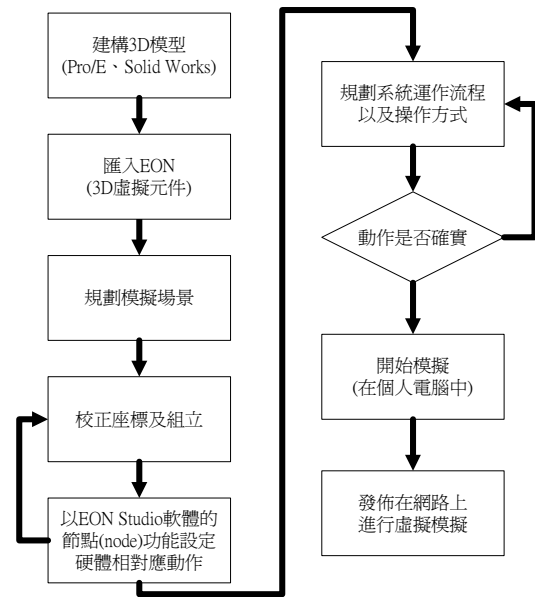


圖 5：虛擬彈性製造系統設計流程圖

#### 5.1 網路化虛擬彈性製造系統之架構

本研究主要是建立一個網路化虛擬彈性製造系統，內容包括了機械手臂(圖 6)、CNC 車床(圖 8)、CNC 銑床(圖 10)、輸送帶(圖 12)，在研究方法上，共分為四部份：

1. 在現場作實際的量測。取得彈性製造系統實體之相關尺寸，並拍攝實際照片，以供後續之 3D 圖素建構之使用及對照。
2. 將所取得的尺寸縮小比例，運用 SolidWorks 及 Pro/Engineer 繪圖軟體，將工廠中所有的工具機和所有的設備建構完成。將彈性製造系統各單元之零件分別各自以構圖軟體建構而成。因為在建構虛擬彈性製造系統的時候要將所有的零件分別各自的匯入。
3. 將運用 SolidWorks 2001 及 Pro/E 2002 構圖軟體所建構的圖檔 (\*.igs、\*.stl) 匯入 EON Studio(虛擬軟體)，將彈性製造系統之所有單元的位置分佈完成。並且運用 EON Studio 軟體之節點功能，製作虛擬彈性製造系統所需要之動作。如加工材料以機械手臂作抓取之動作、工



件加工機台之轉換、材料完成後之輸送搬運動作。

4. 運用 EON Studio 做完了所有的動作之後，將在 EON Studio 轉成網頁格式。

#### 5.1.1 機械手臂之架構

機械手臂在彈性製造系統中，扮演了一個很重要的角色，因為在這一連串的动作當中，它是扮演了一個操控者。從物件進料到一個完成的工件之中的加工過程，都是由它串連起來的，在虛擬的手臂中是模擬實際機械手臂的狀況，在虛擬工廠中完成夾取物件之工作。圖 6 為實際機械手臂的作動情形，圖 7 為由繪圖軟體下所建構之虛擬機械手臂。

#### 5.1.2 CNC 車床機台之架構

CNC 車床機台在整個彈性製造系統中負責了工件盤型部份之加工，經由彈性製造系統中的電腦控制，選擇所要加工的工件程式，完成了工件之加工的動作。圖 8 為實際 CNC 車床機台的實體圖，圖 9 為由繪圖軟體下所建構之虛擬 CNC 車床機台。

#### 5.1.3 CNC 切削中心機機台之架構

CNC 切削中心機機台它在彈性製造系統中所扮演的角色和 CNC 車床機台所扮演的角色是一樣的，也是負責加工的部份，但是它和 CNC 車床機台不同的地方是加工部位不一樣，是以銑削、鑽孔為主，它是刀具作動，而 CNC 車床機台是工件作動。圖 10 為實際 CNC 切削中心機機台的實體圖，圖 11 為由 3D 繪圖軟體所建構之虛擬 CNC 切削中心機機台。

#### 5.1.4 輸送帶之架構

輸送帶在彈性製造系統中是負責未加工的工件與加工完成的工件之輸送。輸送至定點之後交由機械手臂送至 CNC 之加工機台當中，作加工

的動作，加工完成之後再由機械手臂送至另一台輸送帶，並送至倉庫存放。圖 12 為實際輸出入輸送帶的實體圖，圖 13 為由 3D 繪圖軟體所建構之虛擬輸送帶。

#### 5.2 完整之虛擬工廠

將所有的機台結合起來，並且匯入 EON 軟體之中，構成了一個完整的虛擬工廠。在這個虛擬工廠當中，可以將一個工廠完整的呈現在個人電腦當中，並可依據加工流程進行虛擬操作學習。圖 14 為在 SolidWorks 繪圖軟體下建構之 3D 彈性製造系統部分模型，圖 15 為將所有由繪圖軟體下建構之 3D 機台元件，匯入 EON 虛擬軟體中，所建構的彈性製造系統。

#### 5.3 虛擬彈性製造系統作動原理

當一個虛擬彈性製造系統架構建立後，即可以 EON Studio 內建的功能節點，逐一來做相對應的控制動作。如：機械手臂的轉動運作、加工機械的安全門動作、場景的旋轉動作...等。在此中，虛擬的模擬中更加需要作出所謂的碰撞狀況偵測，以 EON Studio 中的碰撞節點功能，設定 EON Studio 中各物件的碰撞狀況以及碰撞後的情形。待所有功能的設定完畢，EON Studio 亦可將所完成的虛擬實境系統發佈成網頁格式，方便提供遠端的使用者來瀏覽這套虛擬彈性製造系統。圖 16 為在 EON 中依據機台的工作性質，所建立的功能節點作動圖，圖 17 為將完成後的虛擬彈性製造系統發佈於網頁的畫面，以及簡易的操作面版說明，圖 18 為虛擬彈性製造系統對應的模型樹(Simulation Tree)架構與物件狀態說明。

在 EON Studio 中使用的節點功能，來做各項機械動作，如：手臂的旋轉、安全門的開關動作...等。節點設定及其對應關係關係，如圖 19 所示，而相對關係設定請參照表 3。



圖 6：實際機械手臂

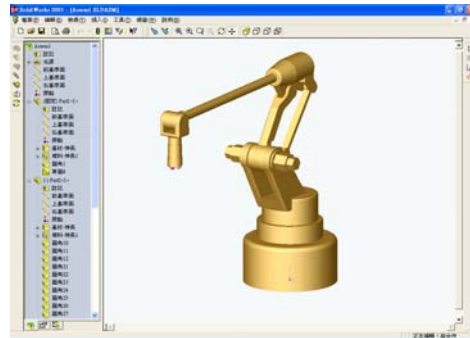


圖 7：繪圖軟體下所建構虛擬機械手臂



圖 8：CNC 車床實際機台

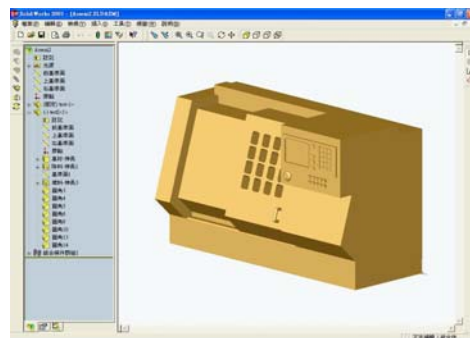


圖 9：繪圖軟體下所建構虛擬 CNC 車床機台



圖 10：CNC 切削中心機實際機台

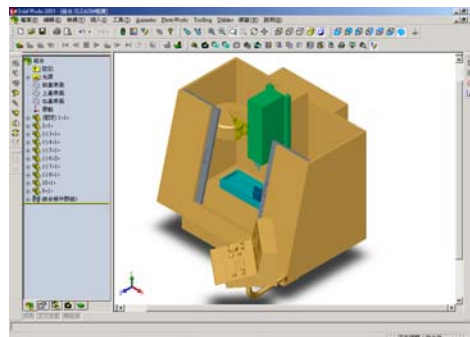


圖 11：建構的虛擬 CNC 切削中心機機台

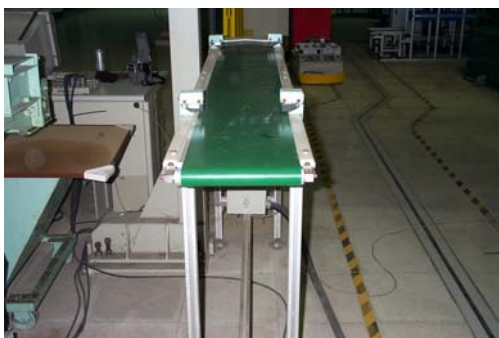


圖 12：實際輸送帶

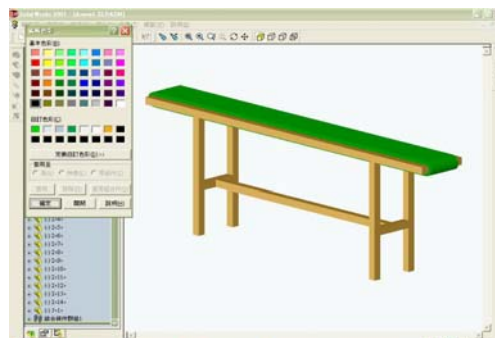


圖 13：繪圖軟體下所建構虛擬輸送帶

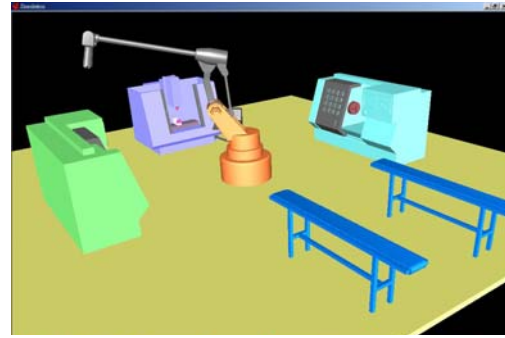
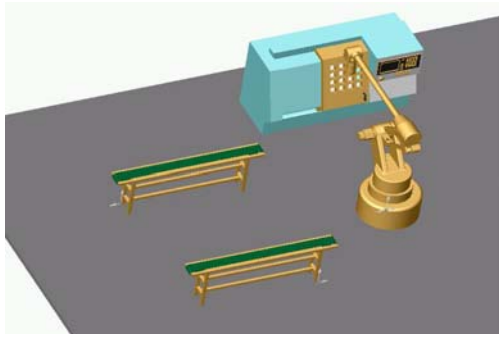


圖 14：Solid Works 繪圖軟體下建構之 3D 模型 圖 15：運用 EON 軟體所建構的彈性製造系統

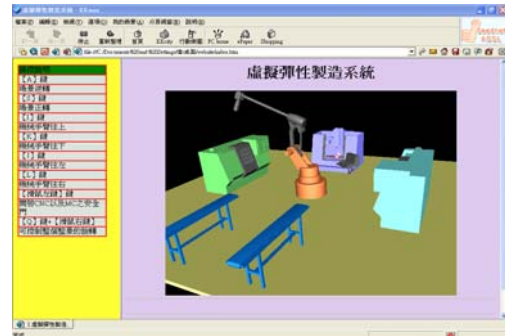
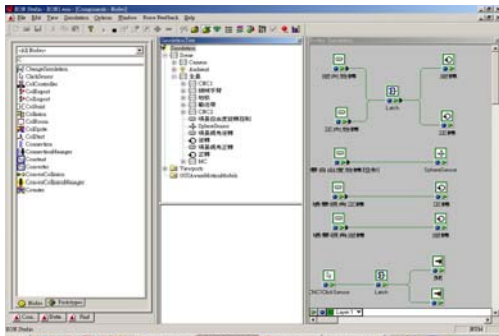


圖 16：在 EON 下所建構之作動關係

圖 17：發佈成網頁型態

<p>Simulation Tree</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Simulation             <ul style="list-style-type: none"> <li>Scene                 <ul style="list-style-type: none"> <li>Camera</li> <li>Ambient</li> <li>全景                     <ul style="list-style-type: none"> <li>CNC1</li> <li>機械手臂</li> <li>地板</li> <li>輸送帶</li> <li>CNC2</li> <li>MC</li> <li>場景自由度旋轉控制</li> <li>場景視角逆轉</li> <li>場景視角正轉</li> <li>逆轉</li> <li>正轉</li> <li>SphereSensor</li> </ul> </li> <li>ConvexCollisionManager</li> </ul> </li> <li>Viewports</li> <li>GUIAwareMotionModels</li> </ul> </li> </ul>	<p>CNC 電腦車床</p>	<p>MC 綜合加工機</p>
	<p>輸送帶</p>	<p>機械手臂</p>

圖 18：物件及模擬樹狀圖

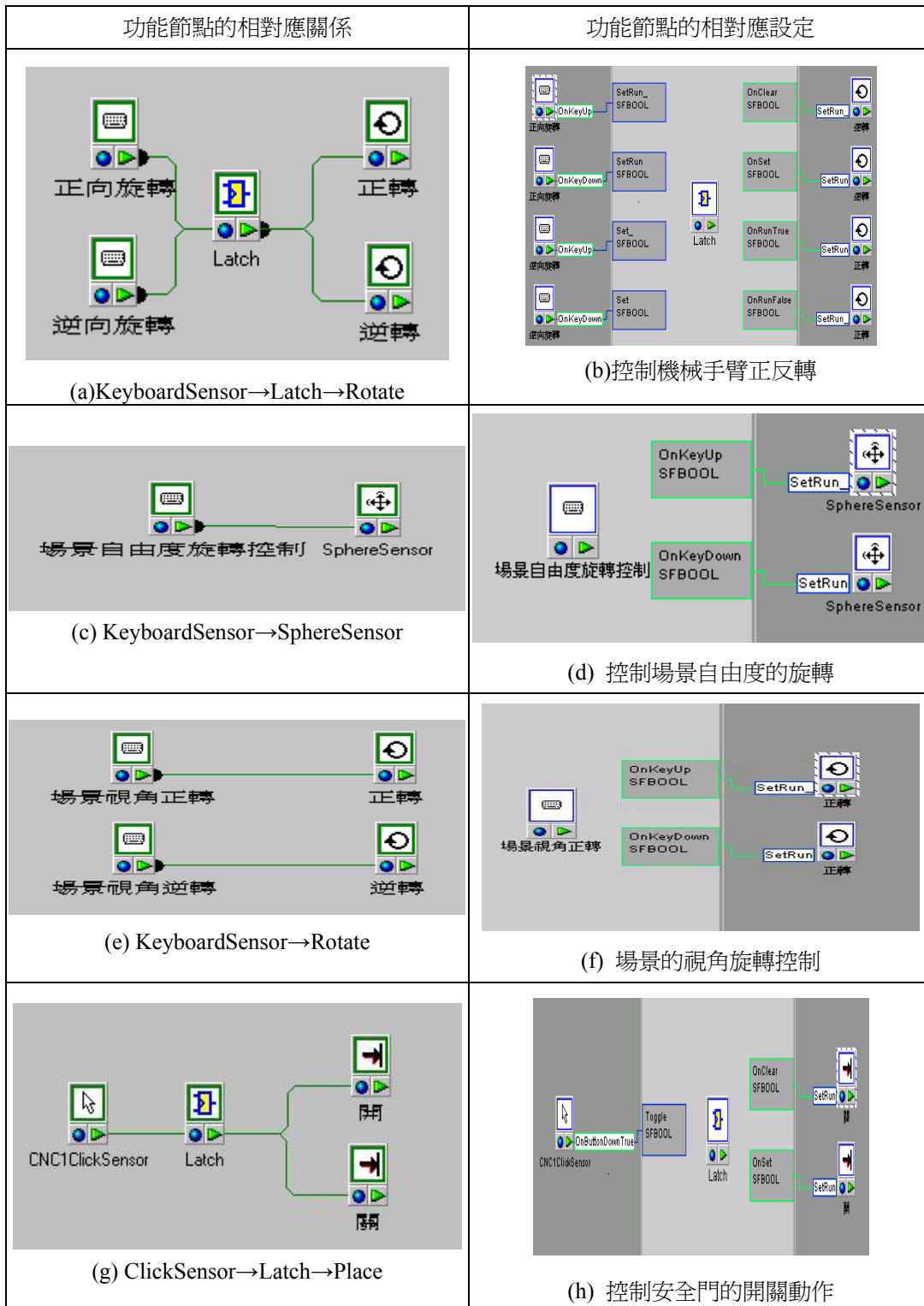


圖 19：節點對應關係

表 3：在圖 19 中節點相對關係設定說明

(a)	<p>設定以鍵盤控制機械手臂之正向與反向之旋轉動作，上下旋轉亦同此方法。 用二個 KeyboardSensor、Rotate，和一個 Latch 節點。</p>
(b)	<p>正向旋轉動作設定： 1.KeyboardSensor 節點選擇 OnKeyDown，將連接線拉至 Latch 節點，選擇 SetRun 2.Latch 節點選擇 OnRunTure，將連接線拉至 Rotate 節點，選擇 SetRun 3.KeyboardSensor 節點選擇 OnKeyUp，將連接線拉至 Latch 節點，選擇 SetRun_ 4.Latch 節點選擇 OnRunFalse，將連接線拉至 Rotate 節點，選擇 SetRun_ 反向旋轉動作設定： 1.KeyboardSensor 節點選擇 OnKeyDown，將連接線拉至 Latch 節點，選擇 Set 2.Latch 節點選擇 OnSet，將連接線拉至 Rotate 節點，選擇 SetRun 3.KeyboardSensor 節點選擇 OnKeyUp，將連接線拉至 Latch 節點，選擇 Set_ 4.Latch 節點選擇 OnClear，將連接線拉至 Rotate 節點，選擇 SetRun_ * Rotate 設定旋轉之軸心、方向及速度。</p>
(c)	<p>使用一個 KeyboardSensor 和一個 SphereSensor 節點。用 KeyboardSensor 來限制 SphereSensor 的使用時機。</p>
(d)	<p>1.在 KeyboardSensor 節點上，按滑鼠左鍵選擇 OnKeyDown，將連接線拉至 SphereSensor 節點上，選擇功能為 SetRun。 2.在 KeyboardSensor 節點上，按滑鼠左鍵選擇 OnKeyUp，將連接線拉至 SphereSensor 節點上，選擇功能為 SetRun_ 3.在 KeyboardSensor 節點上按滑鼠左鍵二下，選擇所要設定的按鍵。如 Q(VK_Q)。 4.在 SphereSensor 節點上按滑鼠左鍵二下，設定控制用來旋轉場景的滑鼠鍵 (左、中、右)。</p>
(e)	<p>由 KeyboardSensor 節點來控制 Rotate 節點，調整整個場景的旋轉。</p>
(f)	<p>旋轉動作設定： 1.KeyboardSensor 節點選擇 OnKeyDown，將連接線拉至 Rotate 節點，選擇 SetRun 2.KeyboardSensor 節點選擇 OnKeyUp，將連接線拉至 Rotate 節點，選擇 SetRun_ * Rotate 設定旋轉之軸心、方向及速度。</p>
(g)	<p>設定由 ClickSensor 節點經由 Latch 節點做激發(Toggle)動作，來控制 Place 節點動作。</p>
(h)	<p>安全門開關動作設定： 1.KeyboardSensor 節點選擇 OnbuttonDownTure，將連接線拉至 Latch 節點，選擇 Toggle 2.Latch 節點選擇 OnSet，將連接線拉至 Place 節點，選擇 SetRun 3. Latch 節點選擇 OnClear，將連接線拉至 Place 節點，選擇 SetRun_ * Place 節點設定移動量及設定為絕對位置關係。</p>

一般常採用的節點功能說明如下：

**Rotate** — 繞著 x y z 軸旋轉，Active 是設定起始動作與否。

**Keyboard Sensor** — 選擇所要使用的鍵盤按鍵。

**Sphere Sensor** — 場景的旋轉設定，可選擇滑鼠的左、中、右鍵來控制。

**Place** — 設定物件的位置，可設定絕對座標或相對座標，另設定移動所需的時間。

**Latch** — 設定 ClickSensor 作激發(Toggle)的動作。

**Click Sensor** — 可設定滑鼠的控制鍵，另可改變當滑鼠按下時的形狀。

在 EON Studio 中，碰撞節點是一個很重要的環節，其設定可由 ConvexCollisonManager 以及 ConvexCollision 二者來設定相互關係，相關模型樹與設定方式可參考圖 20。

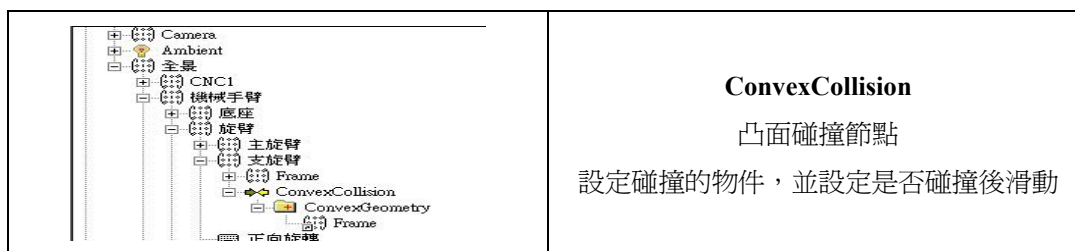


圖 20：碰撞功能節點設定

#### 5.4 EON Studio 的網頁發佈

在 EON Studio 下選擇 Files/Create web distribution 即可建立內定的網頁型式，並在建立的過程中，設定瀏覽時的標題以及模擬視窗的大小。另外，亦可設定模擬視窗的背景顏色...等事項。待轉出成網頁型態時，再以 HTML 語法修飾所製成的網頁，將所需的狀況、說明以及所要的網頁型態，加入所製成的網頁中，最後選定網址，發佈本系統。在此系統當中，也運用 EON Studio 之軟體，將所有功能鍵設定完成後，發佈成網頁，並且在網頁型態當中，加入了操作說明，以便操作者對於此系統進行操作了解。此系統的操作說明如下：

- 【A】鍵→場景逆轉      【S】鍵→場景正轉
- 【I】鍵→機械手臂往上 【K】鍵→機械手臂往下
- 【J】鍵→機械手臂往左 【L】鍵→機械手臂往右
- 【滑鼠左鍵】鍵→開啓 CNC 以及 MC 之安全門
- 【Q】鍵+【滑鼠右鍵】→可控制整個整景的旋轉

目前所完成的虛擬彈性製造系統網址如下：

<http://vfms.24cc.com>，參考圖 21 所示。

## 六、結論與討論

本研究已達成虛擬彈性製造系統之初步架構及分析，並成功的將所建構的虛擬彈性製造系統發佈於網頁中，讓遠端的使用者，也可以順利方便的透過網際網路，由網頁瀏覽器來觀看與學習這一套系統。本研究的具體成果如下：

- 1.以派屈網路圖為基，對彈性製造系統進行分析，獲得有關於彈性製造系統生產效率的資訊，以求取可行的最佳排程。
- 2.完成各個機台之 3D 繪圖，並配合虛擬軟體 EON 建構完成整個虛擬化彈性製造系統。
- 3.建立各個機台之交互操作功能，例如：機械手臂的迴轉、運動，CNC 工具機門的開關、主軸旋轉、場景的動態展示...等。
- 4.發佈此一虛擬彈性製造系統於網路，藉由網際網路，使學習者、操作者，可經由遠端瀏覽器直接進入本系統，達成本研究之初步目標。

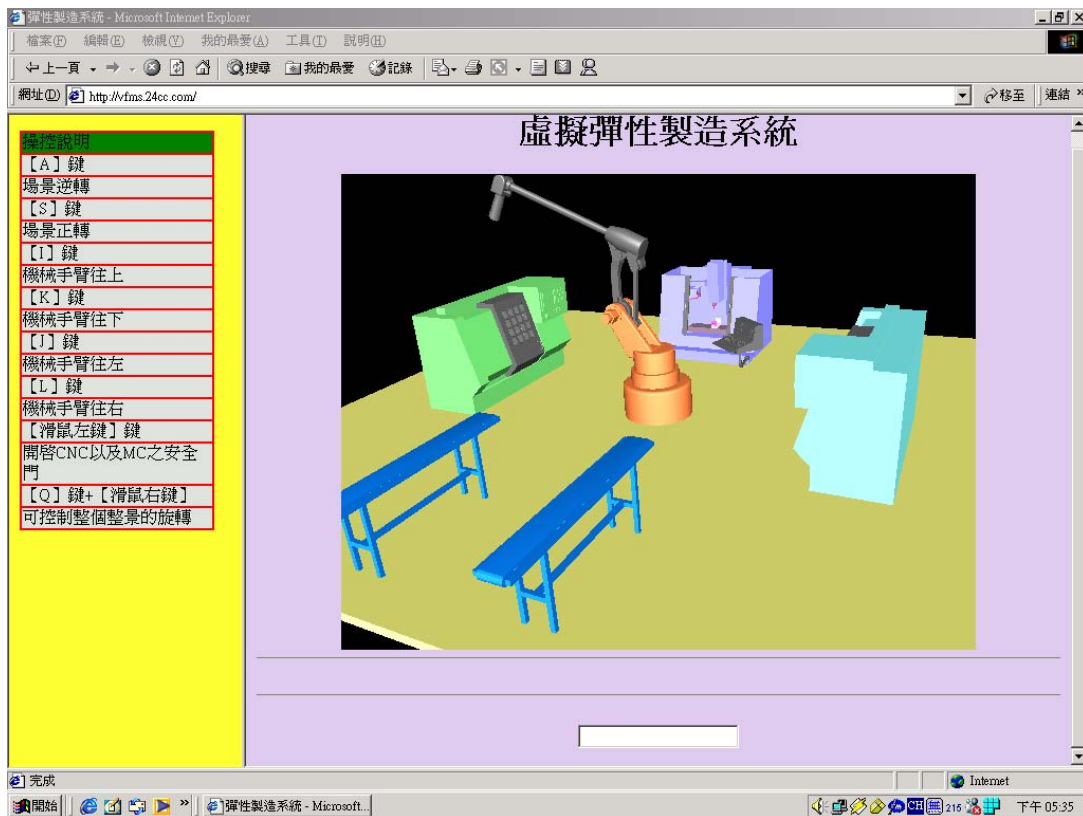


圖 21：發佈於網路的虛擬彈性製造系統

未來在相關的研究工作，可進行的研究方向如下，以得到一個最佳化的虛擬彈性製造系統。

1. 可進行網路化遠端操控整個彈性製造系統，使用者進而可在遠方客戶端的電腦，使用相關繪圖軟體，如：Pro/E、MasterCAM...等 CAD/CAM 軟體，將繪製完成的工件圖形轉成為 NC 碼，再將 NC 檔案以網際網路傳送至 Server 端電腦，匯入虛擬彈性製造系統，完成整個系統加工過程，以達成虛擬製造的目標。
2. 可進一步探討虛擬加工系統中，刀具切削加工之路徑與碰裝偵測。
3. 建立虛擬彈性製造系統之協同化合作產品開發環境，結合產品資料管理系統，以達成一完整之虛擬設計與製造整合系統。

## 參考文獻

1. 林則孟，(2002)，*系統模擬理論與應用*，滄海書局，2<sup>nd</sup> 版，Ch. 1。
2. 丁鏞，查厚錦，王鍾毅，林尚德，張義鋒，王世明，康淵，(2002)，“虛擬實境與 Stewart 六軸工具機之整合”，*第十九屆機械工程研討會論文集*，pp. 1-8。
3. 史頌恩，(2001)，*網路式虛擬實境建立系統於二維圖集再利用之初步研究*，國立交通大學土木工程所碩士論文。
4. 李武鈺，嚴家銘，林瑞璋，郭明達，(2002)，“多機械臂虛擬控制 — 使用 Java 3D”，*第十九屆機械工程研討會論文集*，pp. 1-8。
5. 趙柏鴻，(2000)，*以物件導向斐氏網路圖為基礎之彈性製造系統死鎖偵測與預防研究*，大葉大學自動化工程學系碩士論文。
6. 蔡世傑，(2000)，*虛擬實境架構於網際網路上模擬彈性製造系統 — 自動倉儲及輸送系統*，彰化師範大學工業教育學所碩士論文。
7. 徐鵬盛，(2001)，*虛擬實境之多軸工具機運動研究*，成功大學機械工程研究所碩士論文。

8. 李榮顯, (2001), “虛擬造型設計與虛擬製造核心環境之研發,” 90年國科會結案報告, pp. 1-8。
9. 謝信正, (2000), 網際網路建置虛擬環境之研究, 國立中央大學機械工程研究所碩士論文。
10. 許明鴻, (2001), 以X3D為基礎的網路虛擬實境之研究與實作, 國立台灣大學資訊工程研究所碩士論文。
11. 詹朝基、蔡明忠, (2002), “虛擬工廠之3D物件開發與應用研究”, 行政院國家科學委員會91年度技職院校應用性先期研究計畫成果報告, pp. 1-6。
12. 陳裕民, (2001), 聯盟同步工程知識管理方法、技術與系統研發, 90年國科會結案報告, pp. 1-4。
13. 瑋特擬真科技, (2002), *EON Studio 3D 虛擬實境整合互動網頁設計*, 全華科技圖書, 第七章。
14. Bowden, F.D.J., (2000), “A Brief Survey and Synthesis of the Roles of Time in Petri Nets,” *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 31, pp. 55-68.
15. Huang, S. H., Su, Q. I., et. al., (2001), “Development of a Web-based Integrated Manufacturing Laboratory,” *Computer Application in Engineering Education*, Vol. 9, No. 4, pp. 228-237.
16. Huang, Y., Jeng, M.D., Chung, S., (2001), “Design, Analysis and Implementation of a Real-World Manufacturing Cell Controller Based on Petri Nets,” *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 14, No. 3, pp. 304-318.
17. Jain, P.K., (2001), “Solving Resource Contention Problem in FMS Using Petri Nets and a Ruled Based Approach,” *International J. of Production Research*, Vol. 38, No. 4, pp. 785-808.
18. Luo, Y.B., et. al., (2002), “An Internet-enabled Image and Model-based Virtual Machining System,” *International Journal of Production Research*, Vol. 40, No. 10, pp. 2269-2288.
19. Mak, K.L., and Wang, X.X., (2002), “Production Scheduling and Cell formation for Virtual Cellular Manufacturing Systems,” *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 20, pp. 144-152.
20. Maleki, R.A., (1991), *Flexible Manufacturing Systems*, Prentice Hall, Ch. 3.
21. Mo, P.T., Wang, Y., and Tang, C.K., (1995), “The Use of the Virtual Manufacturing Device in the Manufacturing Message Specification Protocol for Robot Task Control,” *Computer in Industry*, Vol. 28, pp. 123-136.
22. Morris, S.B., (1995), *Automated Manufacturing Systems*, McGraw-Hill, Ch. 1 & Ch. 2.
23. Ong, S.K., Jiang, L., and Nee, A. Y. C., (2002), “An Internet-Based Virtual CNC Milling System,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 20-30.
24. Qiu, Z.M., et. al., (2001), “Multi-User NC Machining Simulation over the WWW,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 18, pp. 1-6.
25. Reyes, A., et. al., (2002), “Integrating Petri Nets and Hybrid Heuristic Search for the Scheduling of FMS,” *Computers in Industry*, Vol. 47, pp. 123-138.
26. Santoso, Y., and Prakash, E.C., (2000), “Building a Networked 3D Virtual Environment Using VRML and Java,” *IEEE Computer Graphics Conference*, pp. 538-541.
27. Shukla, C., Vazquez, M., and Chen, F., (1996), “Virtual Manufacturing - An Overview,” *Computers Industrial Engineering*, Vol. 31, No. 1/2, pp. 79-82.
28. Su, C.J., Lin, F.H., and Ye, L., (1999), “A New Collision Detection Method for CSG-Represented Objects in Virtual Manufacturing,” *Computer in Industry*, Vol. 40, pp. 1-13.
29. Wang, C.G., Chu, C.B., and Yin, C.W., (2001), “Implementation of Remote Robot Manufacturing over Internet,” *Computer in Industry*, Vol. 45, pp. 215-229.
30. Yao, Y., Li, J., Lee, W.B., Cheung, C.F., and Yuan, Z., (2002), “VMMC: a Test-bed for Machining,” *Computers in Industry*, Vol. 47, pp. 255-268.



# Using Virtual Reality for the Planning and Design of a Flexible Manufacturing System

Chung-Shing Wang

Associate Professor, Department of Industrial Design, Tung-Hai University

cswang@mail.thu.edu.tw

T.R. Chung

Lecturer, Department of Industrial Engineering and Management, Nan-Kai College

t237@nkc.edu.tw

Hung-Wei Kuo

Graduate Student, Department of Industrial Design, Tung-Hai University

g923701@student.thu.edu.tw

## ABSTRACT

Automation technology is rapidly increased with the fields of electron, semi-conductors, information technology, and mechanical industry during these years. The manufacturing system becomes more flexibility and agility. The key issues for manufacturing system in hardware including - CNC machine tools, industrial robots, automated retrieval and storage system and automated guided vehicle, and in the software including - computer aided design/manufacturing, product data management, and supply chain management. To meet the market in mass variety and less quantity need, the flexible manufacturing system plays the crucial role in the automated manufacturing system. With the integration of the Internet virtual reality and manufacturing system, the virtual manufacturing system can do machines layout, whole factory layout, parts machining in a virtual environment. The main project of this research is dedicated to build a virtual flexible manufacturing system.

This paper addresses the importance of integrating a virtual flexible manufacturing system with the Internet and proposes a web-based, scalable and distributed architecture for it. The whole system includes: all machines 3D drawing, using EON software for virtual reality building, nodes setting and collision detection for VR system. Petri-Net is used for analyzing the flexible manufacturing in advanced. Web distributed is made after the VR system is built. Users can operate and learn the system via Internet.

**Keywords:** *Virtual Reality, Flexible Manufacturing System, Virtual Manufacturing, Petri-Net, Remote Monitoring and Control.*