

產品拆卸與重組裝程序分析網路化的探討

李溢明、何健志、駱炳江、余志成*

國立高雄第一科技大學 機械與自動化工程系

摘要

本文探討產品在後製程分析中，包括維修與生命週期終了廢棄處理的拆卸與重組裝步驟推演的自動化，並藉由網際網路進行設計的交換與分析，以期達到同步工程設計的目的。同步工程的產品開發理念主張在概念設計階段便考量產品生命週期各階段對設計的要求，減少未來設計變更所造成的研發時程與成本的增加。產品的後製程階段主要包括產品的維修保養與產品報廢後的回收處理，這兩個階段都牽涉到零件的拆卸與重組裝，而這些階段的組裝性考量與製造階段的可組裝性所考量的因素有相當大的差異；維修階段講求的是故障零件拆裝程序的簡化，這牽涉到產品零件的陳列設計，而產品回收則注重以最少的步驟達成材料的分類拆解。本文將以關聯矩陣（Relationship Matrix）表現產品的物件結構，配合推論法則，以 Matlab 撰寫產品組裝拆卸步驟自動化的分析模組。網際網路技術將是未來同步工程的重要載具，為便於產品設計資訊的傳遞、交換與管理，本文將以網際網路為平台，融合 XML 與 STEP 等技術，以 PDML（Product Data Markup Language）描述產品結構陳列設計的資料模型，結合以 Matlab 撰寫的拆卸裝配分析模組，進行產品維修與回收拆裝步驟分析的自動化，以作為未來同步工程之產品開發的基礎。

關鍵詞：同步工程、組裝順序、拆卸、XML、STEP、關聯矩陣、PDML

一、前言

傳統序列式的產品開發流程中，往往只注重滿足功能需求，卻常常忽略與產品生命週期其他各階段之間的配合，導致太多與太晚的設計變更，因而造成了成本無謂的增加。同步工程主張在研發初期概念設計階段，即將整個產品生命週期中影響產品設計的重要因素，考慮到設計裡面【8】，使得產品不僅符合顧客需求，同時降低未來製造、維護、與廢棄的支出。

後製程階段的相關分析，如可維修性分析與產品廢棄處理，由於消費者與環保意識抬頭，日益受到重視。在可維修性分析中，主要是故障零件的調整與更換，因此牽涉到必要零件的拆解與重組裝。而當產品已無法修復再利用時，則必須報廢處理，將廢品依處理方式的差異，以最短的時間與步驟將產品予以分類拆解，以便回收再生利用。這兩方面都牽涉到零件拆卸與重組裝的困難度，直接受到產品零組件的接合與

陳列結構的方式的影響。然而這些陳列設計資訊卻缺乏一套標準化的資料模型，使得後續的相關分析，需藉由工程師從工程圖自行判讀，或從產品原型直接的拆解評估。Ishii 等【10】以圖示與語意表現法（Semantic Representation），建構出一個圖形化的組裝架構圖，以 Icons 代表零件、次組合與連結件，Links 表示系統內零件彼此間的關係，描述設計的陳列方式。江吉祥與余志成則提出以關聯矩陣（Relationship Matrix）【4】來表示產品陳列結構，再配合推論法則得到拆卸與重組裝的合理化步驟，達到分析的自動化，有助於概念設計階段對產品可維修與可回收性的評估。

隨著科技的日新月異，網際網路技術與程式語言開發已趨成熟，況且在進行同步工程時，因為各部門可能會作資料的評估與修改，或者不同地域的設計單位會作資料的交換，故資料標準化是必然的。ISO

* 聯絡作者:jcyu@ccms.nkfust.edu.tw

10303 (STEP) 【11】提供了一套產品資訊的交換標準與泛用的語言架構，許多學者依據 STEP 的定義，發展出各種系統整合環境【6】【15】。而為了使分析不受時間與地點的限制，以 Web 為基發展相關分析系統已成為一種趨勢，XML (eXtensible Markup Language) 語言具備了自定標籤、可在任何平台使用、標準化與各國語言通用的優點【16】。本文將利用網際網路作為資料交換的平台，藉由 STEP 為基的設計資料模型【7】與 XML 建構產品結構資料，以達到產品資料交換、管理與修改的網路化。並以產品陳列設計為載具，藉由 ASP.Net (以 C# 撰寫) 設計分析輸入介面，結合伺服器端以 Matlab 所撰寫的產品重組裝與拆卸的分析模組，闡述產品拆卸與重組裝分析自動化與網路化的架構。

二、後製程分析

後製程分析主要考量產品的維修與回收的可行性，可維修部分影響了產品維修成本與顧客對產品的信心，而可回收性則攸關回收處理成本，本節將探討這兩個階段相關產品拆卸與重組裝分析所需考量的設計資料，以便資料模型的建立【6】。

(一)、維修處理分析

適宜維修的設計 (Design for Serviceability, DFS) 在於研究產品的維修瓶頸，用以改進設計組合、簡化拆卸步驟、權衡零件壽命與維修困難度，確保使用者的滿意度及降低產品維修成本。產品維修性可從兩方面來探討：故障的風險性與其直接維修成本。故障的風險性即元件故障對產品機能所造成的效應，可藉由故障模態與效應分析(FMEA)評估【12】，辨識出主要的故障模態。而故障的直接維修成本則取決於主要的維修零件在產品陳列設計中的可接近性與重組裝性。若要自動分析維修零件的拆卸與重組裝順序，必須要有產品的結構資料，包括零件之間的結合方式，以及零件間的遮蔽與空間關係，造成零件之間組裝順序的限制。

(二)、回收處理分析

產品的回收處理主要分作零件回用、材料再生與焚化/掩埋廢棄等【9】，而回收程序的拆卸主要考量材料的相容性和回收處理方式，對於處理方式相同的零件，且不影響其它物件的移除時，在回收拆卸過程中可視為一個合併區塊 (Block)【1】【2】；例如同樣是要焚化廢棄的零件，或是材料再生方式相容的零件，便不需要進一步的拆解分類，以減少不必要的拆卸動作。因此在回收處理時，必須了解材料種類、回收處理的相容性與產品的結構資料。

三、陳列設計表現法

(一)、物件與鏈結

組成產品的物件中可分為功能件 (Functional Component) 與結合作件 (Fasteners)【4】。功能件是指組成最終產品且能達成預定機能之主要物件群，如元件、零件...等；而非功能件則是指使兩個或兩個以上之功能件達到結構穩定的結合作件，如螺絲、鉚釘、扣環、...等(圖 1)。

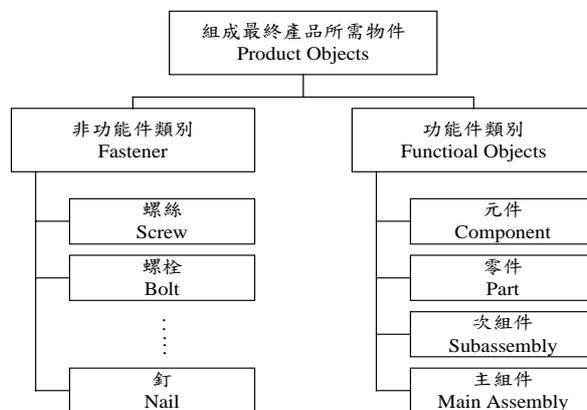


圖 1 產品物件分類

功能件之間的關聯性可分為兩大類：(1) 實體鏈結 (Physical Link) 及 (2) 陳列干涉 (Layout Interference)【4】。所謂實體鏈結是指兩物件間存在直接接觸的鏈結關係，以分離的結合作件或是以功能件本身的幾何特徵如螺紋與內建的扣件(snap)，作為鏈結的方式。物件間除了有實際接觸的鏈結關係外，兩物件間不論有無接觸到，皆可能因產品結構空間陳列

的影響，而使得一個物件在移除過程中受到另一個物件影響，兩個物件之間的關係稱為陳列干涉 (Layout Interference) (圖 2)。

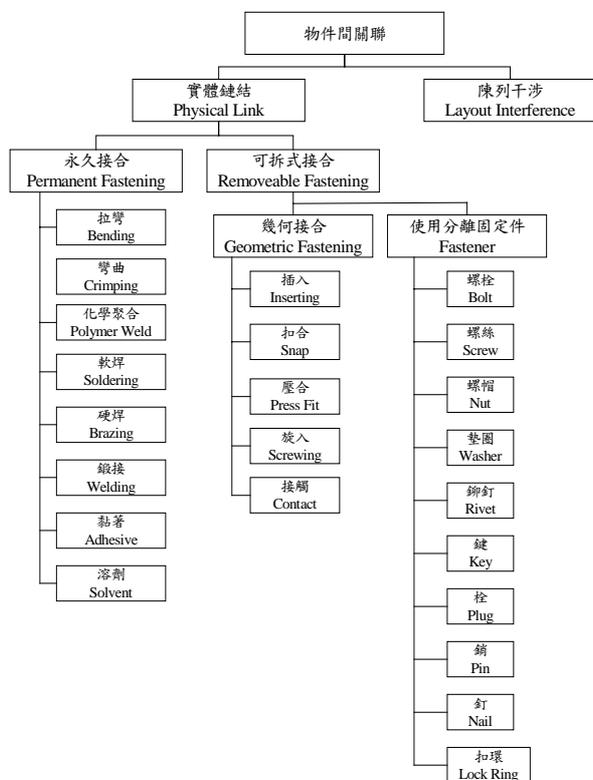


圖 2、物件間關聯性的分類

(二)、關聯矩陣

在進行產品拆卸與重組裝的分析時，需瞭解產品組成物件之間的鏈結關係，本文將利用關聯矩陣 (Relationship Matrix) 表示法【8】來描述產品的空間結構，並依據其推論法則，推導出產品重組裝與拆卸合理化步驟。

在關聯矩陣中，我們只列出了功能件，而暫時忽略分離結合件，因為結合件目的在穩定物件結構，本身並不具其他的產品功能，且達到固定結構的方式不限於特定的結合件，尤其在概念設計階段的評估，常會因製造方式或是可組裝性的考量而變更，亦可以功能件本身的幾何特徵作為固定，不藉助分離的結合件。同時因結合件的安裝順序一般都是伴隨在所要固定的功能件之後，故在分析組裝拆卸順序時，可先忽略結合件，在找出功能件的合理組裝順序時，再依序

插入相關的結合件，可大幅減少未來組裝順序推論的時間。

關聯矩陣為 $N \times N$ 的矩陣，其中 N 代表待分析產品的功能件數，矩陣縱軸代表主動件 (Active, i 軸)，橫軸代表被動件 (Passive, j 軸)，橫軸與縱軸的物件順序是相同的。對於存在實體鏈結關係的零件對 A_i 與 A_j ，若在組裝過程中，零件 A_i 會先置於治具上，或是裝到組合中的主組件上，而另一零件 A_j 在之後鏈結在 A_i ，並以永久或/和可拆式接合方式，使這二個零件形成穩定的結構，對此鏈結對中之 A_j 而言，稱為「主動件」；對 A_i 稱之為「被動件」。各個功能件在不同的鏈結關係中可能分別作為主動件與被動件。

關聯矩陣描述功能件之間的關連性，包括「實體鏈結」與「陳列干涉」，分別以“+”與“(+)”表示之，關聯矩陣表示陳列關係的方式詳述如下：

- “+” 表示零件與零件間有「實體鏈結」關係，如圖 3，組裝時物件 A 是先固定到主組件上，而後物件 D 再以螺絲固定到物件 A，在這個鏈結對中，物件 D 稱為主動件，物件 A 稱為被動件，矩陣中在物件 D 的那一列與物件 A 的那一行中以“+”表示之，而其實體鏈結的方式是以「連結件」：螺絲。
- “(+)” 表示零件與零件間有「陳列干涉」關係，如圖 3，物件 C 要移除時，若物件 E 尚未移出，則受到物件 E 的遮蔽，以致無法順利移除，故物件 E 對物件 C 存在陳列干涉的關聯，鏈結關係以“(+)”表示。
- “+(+)” 表示零件與零件間同時具有「實體鏈結」與「陳列干涉」關係，如圖 3，物件 D 主動鏈結到物件 B，故存在「實體鏈結」關係。而當要移除物件 B 時，受到物件 D 之干涉，以致無法順利移出，所以物件 B 和物件 D 之鏈結關係也存在「陳列干涉」，故物件 D 對物件 B 的鏈結關係以“+(+)”表示之
- “0” 表示零件與零件間同時不存在「實體鏈結」與「陳列干涉」關係，故在關聯矩陣中，

“0”通常都不表示出來，如圖 4 中，對應關係的空白處

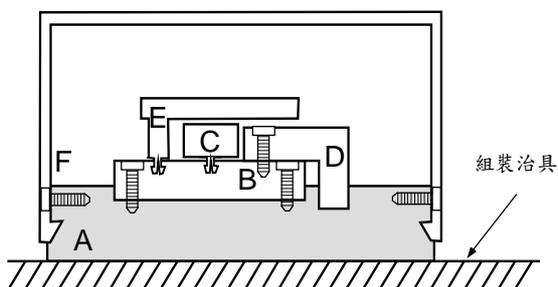


圖 3 產品陳列關係例

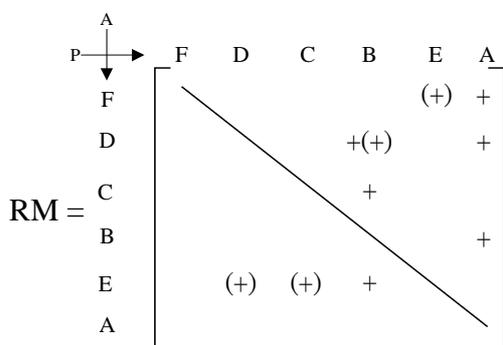


圖 4 陳列關係的關聯矩陣

在以資料庫記錄關聯矩陣時，我們採用物件與鏈結的觀念建立關連式資料庫，每一筆資料描述鏈結關係中的主動與被動件，以及鏈結的方式，避免當零件數目太多時，矩陣維數過大，造成運算與資料儲存的負擔，再配合資料庫重組與搜尋的方式，推論出組裝與拆卸的步驟【3】。但關聯矩陣仍然是一個非常方便的表示法，便於設計工程師視覺上評估產品的陳列結構，因此本文將以關聯矩陣作為陳列設計的表現法，配合推論法則，運用 Matlab 便利的矩陣運算工具，撰寫出產品重組裝與拆卸之自動化分析模組。

四、拆卸與裝配順序推論自動化

(一)、合理化關聯矩陣的特性

當關聯矩陣中的物件順序由上而下，是一個合理的組裝順序時，關聯矩陣將具有以下特性：

- 對角線右方不存在“+”，代表存在鏈結關係的物件對，其被動件的安裝順序在主動件之

前，因此當主動件要固定時，被動件已經存在，不會有無法安裝的情形。

- 對角線右方不存在“（+）”，代表先安裝的物件不會干涉到後安裝的物件，造成後安裝的物件無法安裝的問題。或者當對角線右方存在“（+）”，但該干涉鏈結無法再不影響第一點的條件，將“（+）”移至對角線左下方，即對角線右方之“（+）”之數量為最少，此時將會有次組件的存在。

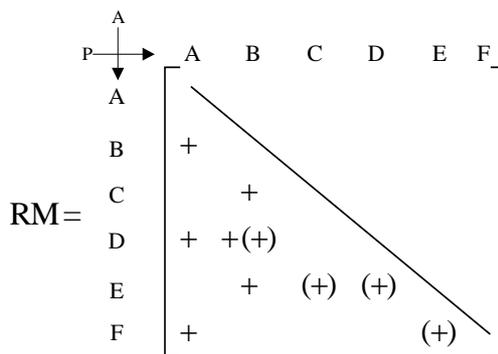


圖 5 合理化的關聯矩陣

(二)、拆卸與裝配順序的推論流程

一般而言，一開始我們所建立的最初關聯矩陣不一定是合理的組裝順序，可經由以下的推論法則，成為一個合理化的關聯矩陣，因而推論出可行的組裝順序，關聯矩陣合理化順序之推論法則分述如下：

- 矩陣對角線右邊有“+”表示被動件主動裝配在主動件上，跟定義相反，故需將右邊有“+”之符號移到對角線左邊才合理，其作法是將該鏈結對的兩個物件順序互調。
- 矩陣對角線右邊有“（+）”表示被動件受到主動件之干涉導致無法順利移出，故需將對角線右邊有“（+）”之符號移到對角線左邊，其作法是將該鏈結對的兩個物件順序互調。
- 對角線右邊“（+）”無法在不使矩陣對角線右上角產生實體鏈結“+”移動到對角線左邊時，我們可以判斷有次組件存在，也就是說，所有只與右上角干涉鏈結的物件對存在鏈

結關係的物件，必須先組成一個次組合之後，才將這個次組合裝到主組件上，否則無法安裝。我們可將這些往對角線移動，使其集中，形成次組合。

(三)、Matlab 分析模組

本文以關聯矩陣配合上述推論法則，進行產品拆卸與重組裝之自動化分析模組的撰寫。圖 6 為該模組分析流程，feasible.exe (組裝分析程式)與remove.exe (拆卸分析程式) 為以 Matlab 所撰寫的分析函式執行檔，來判斷拆卸與重組裝合理化步驟，分析結束之後，會產生拆卸與重組裝的分析結果(.txt 檔)，得到你所分析產品的資訊，並把這些資訊傳送到瀏覽器。當觸發 feasible.exe 模組時，此模組會去做判斷分析，分析完之後會產生虛線之內的分析結果。當使用者欲觸發 remove.exe 分析指定零件的拆卸步驟時，再藉由之前組裝分析程式之分析結果 (1 處 .txt 檔)，分析判斷出合理的且最小的拆卸與重組裝順序。

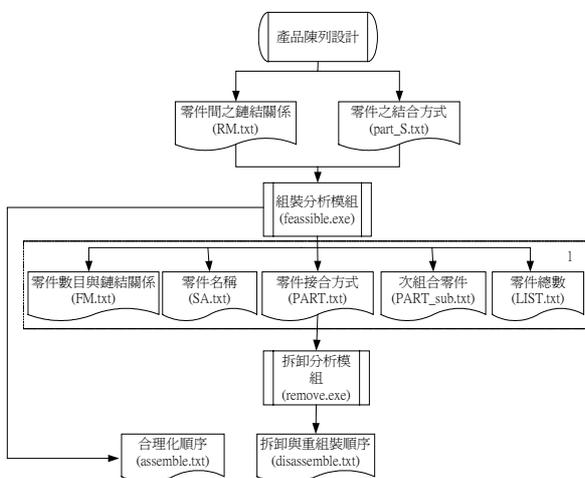


圖 6 組裝與拆卸分析模組流程圖

五、產品結構陳列設計的資料模型

(一)、產品設計資料模型

隨著 STEP 的日益發展，許多學者藉著 ISO10303 定義出許多不同系統環境的資料模型，當中有一些學者即以 STEP 建構產品設計資料模型【8】【13】，主要分為功能資料、實體資料和管理資料三個部份。功

能資料涵蓋了產品之需求 (Customers' Requirements)、設計機能(Functional Design)和產品特性(Product Characteristics) (圖 7)；實體資料描述產品之結構組成、幾何、製程和材料等細部資訊；而管理資料則為設計過程中維持及控制設計變更及產品版本之資訊。為達成同步工程分析的網路化，資料模型將可以 XML 來描述，做以利於設計資料的交換與分析。

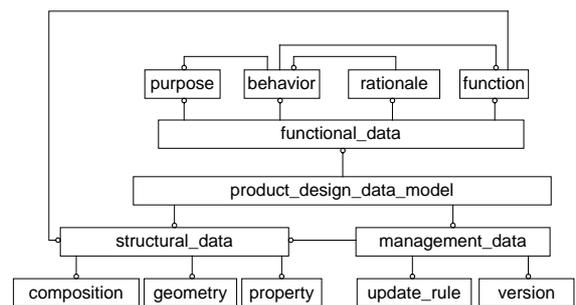


圖 7 產品設計資料模型之 EXPRESS-G 表示法

(二)、XML 與 PDML 簡介

XML「可擴展標示語言」(eXtensible Markup Language) 是用於標示具有結構性資訊的電子文件的標示語言，根據國際標準 -- Standard Generalized Markup Language (SGML) -- ISO 8879:1986 所製定而成的，XML 具有的優點包括：

- 一種超語言，具有自我描述能力
- 開放平台
- 支援多語系
- 簡單且統一

PDML (Product Data Markup Language) 為一種以 XML 為 based 發展出來的語言，融合了 STEP (Standard for the Exchange of Product model data)、XML 等技術，並以 Internet 為平台，建立一套具標準化的產品設計資料表示，其目的是希望以 PDML 描述的產品資料可以在不同的系統間流通使用，而不需要作格式的轉換【5】【17】。

(三)、以 XML 建立設計資料模型

本研究針對產品之組裝與拆卸順序的分析，利用 PDML 來描述產品資料，並建立 XML 的產品資料文件，並導入 STEP，使得此產品資料文件能夠在不同的系統間流動使用與分析，而不需經過格式的轉換，縮短產品資料傳遞的程序。

在產品拆卸與組裝的分析中，主要與產品的實體資料相關，包括產品之結構組成、幾何、製程和材料等細部資訊，本研究首先採用 IDEF1X 資料分析法，由 IDEF0 建立之概念設計功能模型中，藉由圖形中的輸入、輸出、控制與機制粹取出所需要的資訊，這一部分主要是引用 ISO 10303 part 41 與 part 44 的實體作為資料模型建立的基礎。接著以 STEP 之 EXPRESS-G 圖形加以詳加描述，圖 8 為關聯矩陣引用資料模型中結構模組的 Express-G 圖。再藉由 XML 語言定義出產品設計資料模型對應之 DTD(Document Type Definition)，作為統一格式的標準，架構出以 PDML【14】為標準之資料模型。並藉由網際網路的介面工具，進行產品資料交換、管理與修改。同時可結合網路化的分析工具，如產品拆卸與重組裝順序分析時，直接從 XML 的資料庫轉換與取得所需的資料，再藉由分析模組得到合理化的組裝與拆卸步驟。

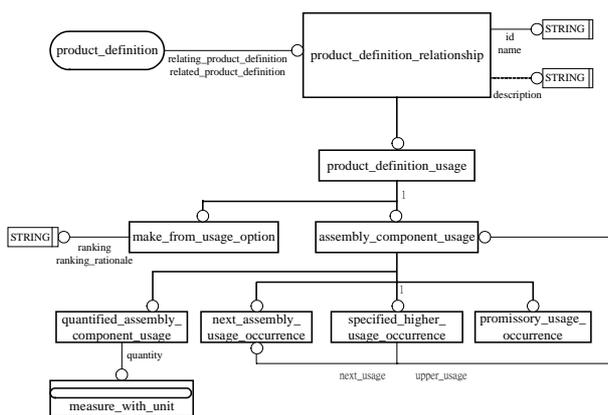


圖 8 產品結構模組之 EXPRESS-G 表示法

(四)、應用範例

如圖 3 所示，零件 E 主動鏈結至零件 B，為了

描述其關係，利用 XML 建立其產品資料模型，如圖 9。將其存成.xml，即可在網頁上呈現該產品之資料(圖 10)。



圖 9 以 XML 建構產品結構資料



圖 10 將 XML 建構結果顯現於網頁

六、分析網路化架構

(一)、分析流程

本文將發展一套以網際網路為平台的網路化分析架構，其流程如圖 11，分述如下：

- 首先以網路介面做為工程師描述陳列設計的工具，將零件表、零件間的陳列關係與鏈結方式在客戶端輸入，產品的結構資料將傳至伺服器端，並以 XML 的資料格式記錄下來
- 再藉由由分析介面輸入工程師所欲分析的指令，如合理化裝配順序的推導，特定零件的拆卸與重組裝順序等，網路將連結 Matlab 所建立的分析模組，針對之前所輸入的產品陳列資料，進行分析。

- 分析結果將以網頁方式回傳到客戶端，不受時地的限制，增加分析的效率，達到同步工程分析的目標。

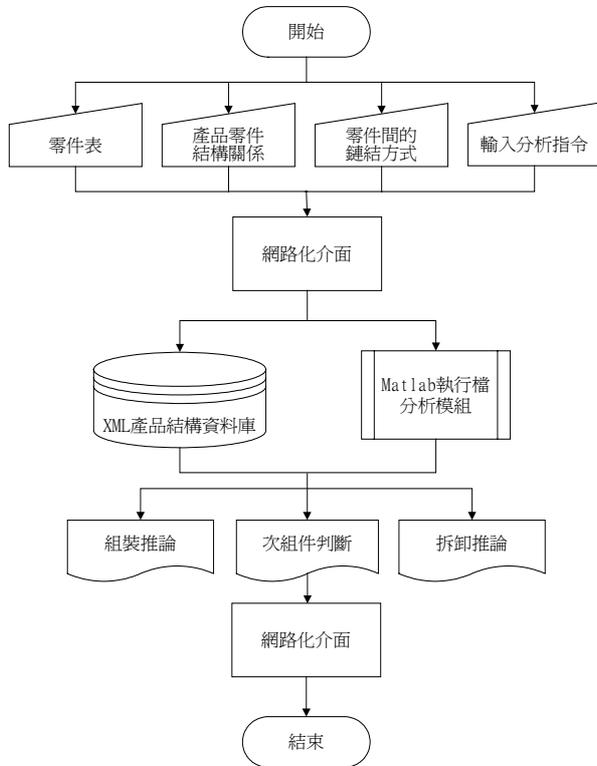


圖 11 網路化分析流程圖

(二)、網路化分析介面設計

在開發程式的選擇上，使用 Visual Studio.NET 作為分析輸入介面系統的開發工具，紀錄產品結構資料包括零件表、零件間的陳列關係與鏈結方式，以 XML 格式儲存資料庫。連接以 Matlab 撰寫的分析模組，分析結果先存成一個.txt 檔，之後藉由介面將分析結果的.txt 檔顯現在網頁上，系統介面如圖 12 所示。

該系統的功能包括：

- XML 格式結構設計資料庫建立
- 產品合理的組裝順序分析
- 產品關聯矩陣的呈現
- 使用者任意指定零件之最小拆卸與重組裝順序



圖 12 產品組裝分析系統

(三)、應用例

以圖 3 的結構設計為例，將此工作平台之所有零件(A、B、C、D、E 和 F)先全部輸入(圖 13)，再建立其零件與零件間的鏈結關係與接合方式，建立完成後，即可對其組裝合理化順序作分析，其分析結果會顯現在圖 14 之 Assembly Sequence 之表格內。

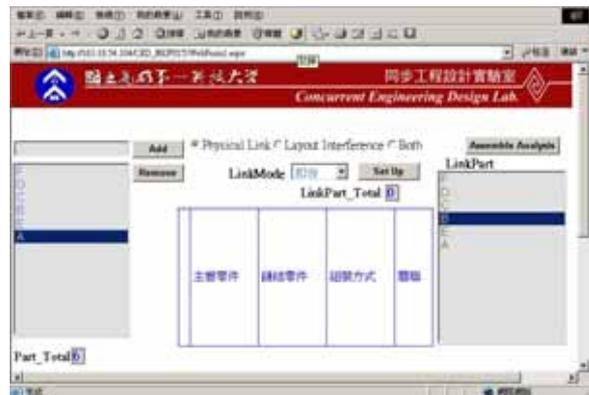


圖 13 產品結構資料的建立範例

於圖 14 的介面中，可依據所想要拆卸的零件，將其零件名稱輸入後，即會觸發分析模組，並將其分析結果顯現於 Disassembly Sequence 之表格內，得到該零件最少的拆卸順序。



圖 14 產品零件的拆卸分析範例

七、結論

本文探討產品陳列設計的表示方式，以關聯矩陣表現產品的物件結構，配合推論法則，用以實現產品維修與生命週期終了廢棄處理的拆卸與重組裝步驟推演自動化。研究中結合 PDM 產品資料管理、STEP 標準化產品資料和 WWW 全球資訊網三項技術，來解決資料交換和資訊共享的問題。而藉由網路平台的技術，結合設計資料庫與以 Matlab 撰寫產品組裝拆卸步驟自動化的分析模組，實現同步工程與設計分析網路化的架構。

八、參考文獻

1. 廖偉志、余志成、杜春長(1998)，「電腦輔助產品裝配維修及回收性同步化分析」，中國機械工程學會第十五屆全國學術研討會，製造與材料組論文集。
2. 廖偉志、余志成(1998)，「產品裝配維修及回收設計同步化分析之物件陳列表示法」，中國機械工程學會第十五屆全國學術研討會，固力與設計組論文集。
3. 杜春長(1999)，電腦輔助產品裝配維修及回收同步化分析，國立台灣科技大學機械系碩士論文。
4. 江吉祥、余志成(2000)，「以STEP為基之物件陳列表示法進行產品組裝拆卸步驟推論」，中國機

械工程學會第十七屆全國學術研討會，製造與材料論文集，pp.617-625，Dec. 8-9, 2000，高雄第一科技大學

5. 陳國田(2000)，「XML於產品資料交換的應用」，國立台灣科技大學工業管理所碩士論文。
6. 林怡君、吳品先、余志成(2001)，「以 STEP為基之產品設計資料模型進行產品可維修性分析」，第十二屆全國自動化科技研討會論文集，雲林虎尾技術學院。
7. 林怡君、余志成(2001)，「以STEP為基支援同步工程概念設計之設計資料型」，中國機械工程學會第十八屆全國學術研討會，電腦輔助設計論文集，台灣科技大學。
8. 吳品先、余志成(2002)，「產品概念設計的同步化分析」，中國機械工程學會第十九屆全國學術研討會論文集，虎尾技術學院。
9. Chen, R. W., Navin-Chandra, D., Prinz, F. B. (1993), "Product Design for Recyclability: A Cost Benefit Analysis Model and its Application", Electronics and the Environment, IEEE, pp.178 – 183.
10. Ishii, K., Eubanks, C.F., and Marks, M., (1993) "Evaluation Methodology for Post-manufacturing Issues in Life-cycle Design," Concurrent Engineering: Research and Application, Vol.1, pp.61-68.
11. International Standard Organization 10303-1, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 1: Overview and Fundamental Principles, Dec. (1994)
12. Gevirtz, C. (1994), Developing New Products with TQM, New York: McGraw-Hill.
13. Liu, T.H., Fischer, G.W. (1995), "An Assembly Code Classification and Coding Schema Based on a STEP Mechanical Product Model",

Manufacturing Review, Vol.8,NO.1,pp.33-46

14. Burkett, W.C. (1999), PDML White paper : "A New Paradigm for Product Data Exchange and Integration".
15. Wang, F. and Mills, J. (2000),"A Product Data Model and Processor Supporting Virtual Product Development", Proc. of the ASME 2000 Design Engineering Technical Conferences And Computers and Information in Engineering Conference, DETC2000/CIE-14618.
16. Extensible Markup Language(XML)1.0 specification :
<http://www.w3.org/TR/1998/REC-xml-19980210>
17. Product Data Markup Language Introduction :
<http://www.pdml.org/pdmlintro.html>