

## 產品裝配維修及回收設計同步化分析之物件陳列表示法

廖偉志 余志成

國立台灣科技大學 機械工程技術研究所

NSC 87-2212-E-011-009

### 摘要

本文針對概念設計階段的陳列設計，將產品零組件間的裝配和空間關係以物件 (Object) 和鏈結 (Link) 表示，建構物件鏈結階層圖，並轉換成鏈結矩陣 (Link Matrix) 和干涉矩陣 (Interference Matrix) 的知識架構，配合設計推論演算法則，推導出裝配合理性、拆卸順序和零件回收拆卸區塊，另外配合零件設計知識庫的重建和搜尋，本文所提出的設計表現法可應用於進行設計裝配性、維修模態和回收性的同步化分析。

關鍵字：陳列設計、同步工程、物件、鏈結、裝配、拆卸、維修、回收。

### 前言

在初期的設計過程中即進行相關程序的同步開發，可縮短研發時程、降低成本與提高品質，避免傳統序列式常因偏重滿足功能上的需求，而忽略了設計與相關程序間的互動關係，導致設計與下游程序配合上的問題，增加設計變更的困難與時程的延誤。尤其在裝配、維修與回收三者分析中都牽涉到零組件的接合方式、空間安排與模組化方式，因此在陳列設計 (Layout Design) 時即應針對產品的裝配零件效率 (Assembly/Part Efficiency)、維修模態分析 (Service Mode Analysis) 與材料回收和零組件回用的拆解特性進行同步化的評估，以期在概念設計階段掌握設計的最佳化，縮短研發時程與生命週期成本。

隨著近年來同步工程的興起，有許多研究文獻探討裝配、維修與回收的適宜性對系統陳列設計所產生的影響：

#### 適宜裝配的設計 (Design for Assembly, DFA)

分析裝配動作的次數、複雜性與零件設計效率，評估裝配的適宜性，並以模組化的設計與零件幾何設計的變更，來簡化安裝動作、方向、零件對位與存取，目的在減少裝配方面的成本。

Boothroyd 與 Dewhurst (1983) 提倡以減少零件數目來降低組裝成本，並依經驗法則計算裝配時間與設計效率 (Design Efficiency) 來評估設計的可裝配性。而 Sturges 與 Kilani (1992) 則將組裝動

作參數化，分析設計的可裝配性指標 (Assembly Index)。減少裝配步驟亦可達到 DFA 的目的，因此部分學者專注於裝配/拆卸步驟的自動化及最佳化 (Yokota 和 Brough, 1992; Golabi 等人, 1996); Mohammad 和 Kroll (1993) 以元件特徵 (Feature) 代替實體模型 (Solid Model) 檢查空間干涉狀況，並以啟發性的方法 (Heuristics) 推論出元件之間的空間相對位置以產生裝配順序。Laperriere 和 EIMaraghy (1992) 則以搜尋裝配步驟最少的路徑，並配合組合時的穩定性、定位次數、操作一致性和相似操作分類，作為最佳組合的判定依據。DFA 常建議整合數個零件成為一較複雜的模組，導致許多相關零件的設計變更，因此在設計初期即進行 DFA 的評估變得十分重要。

#### 適宜維修的設計 (Design for Serviceability, DFS)

產品與顧客的接觸始於產品製造的完成，產品的可維修性 (Serviceability) 直接影響保固維修成本與顧客對產品的滿意度與信心。Bryan (1992) 以圖示與語意表現法 (Semantic Representation, Duda, 1978)，建構出一個圖形化的組裝架構圖，描述設計的陳列 (Layout) 方式，以 Icons 代表零件、次組合與連結件，而 Links 則說明機械系統內零件彼此間的關係，並以推論 (Inferencing) 的方式表列出維修所需的步驟。Dini 等人 (1992) 則提出六個方向的干涉矩陣 (Interference Matrix)，描述零件移除時的空間干涉情形，並以電腦自動產生拆卸步驟。

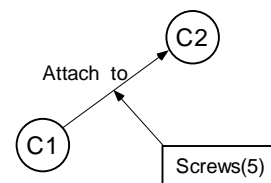


圖 1 簡單元件間的圖示鏈結關係

#### 適宜回收的設計 (Design for Recyclability)

雖然在部分工業界已開始重視環保性的設計，但大多限於一般的設計法則與個案式的討論，缺乏如 DFA 般較嚴謹的分析工具。Navinchandra (1991) 曾對設計與環保的相容性做過廣泛的探討，並分析材料再生所牽涉到的技術與成本。Kroll (1996) 以一個試算表的模式，提出工作測量分析 (Work-

Measurement Analysis) 來量化回收拆卸動作的困難度，以辨識出產品設計上的弱點。Ishii 等 (1993) 則藉其於 DFS 所提出的圖示一鏈結 (Icons-Linkers) 的圖形化架構，嘗試將環保的再生性分析 (Recyclability) 自動化。

現有文獻著重於單一設計適宜性的評估，為進行裝配、維修與回收的同步化分析，首先須建立共通的设计表現法，將概念设计中零件之間的裝配方式與空間幾何關係建構成推演模型，以配合推論法則進行拆裝順序的推導及可回收性評估，因此設計陳列表示法的研究為同步化设计中重要的一環 (廖偉志, 1998)。

### 物件陳列表示法

#### 物件鏈結階層圖

立體爆炸圖 (圖 2) 是許多工程師用來描述物件在空間中的陳設狀況，優點是立體圖所繪出的機件圖形，正如眼睛所見到的機件一般，可一目了然；缺點是立體圖的繪製較複雜，而在概念設計階段，各零組件的外型尺寸尚未確定，也不須以立體圖表示。若僅是表達物件與其他物件之間的空間裝配關係，本文主張以平面的點線圖 (Object-Link) 表示 (圖 3)，具有能快速的描繪出物件的空間裝配情況的優點，且不需接受特殊的製圖能力的訓練。

物件鏈結階層圖的組成元素包含物件、鏈結和階層。物件包含元件、組件和次組件。鏈結是指物件之間的幾何接合或是使用固定件的裝配方式。鏈結具有方向性，如 (圖 3) 物件 Cover 裝配在物件 Base 上，其方向指向 Base，代表 Cover 的裝配行為是屬於主動。而「裝配階層 (Assembly Hierarchy)」對於鏈結物件其階層高低代表裝配的主被動關係，如 Bush 裝在 Base 上，表示法是 Bush 在 Base 之下。若兩物件間不存在直接的鏈結關係，則階層的高低表示因空間干涉所造成的先後裝配順序。

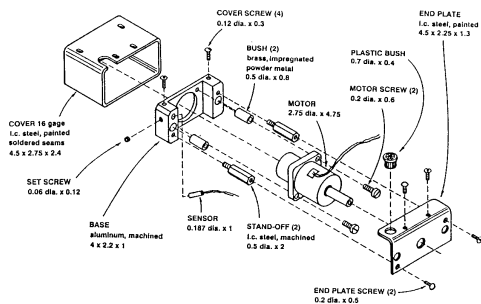


圖 2 線性驅動器的立體爆炸圖 (Boothroyd 等, 1994, p.6)

階層和鏈結的建立有下列原則：

1. 同層的物件之間不會有鏈結關係存在。(圖 4-A) 物件 B 和 C 在同一層，物件之間有鏈結關係，這是錯誤的，倘若之間確實存在裝配關係，正確的表示法應如 (圖 4-B)。

2. 同層的物件之間不會有鏈結關係存在。(圖 4-A) 物件 B 和 C 在同一層，物件之間有鏈結關係，這是錯誤的，倘若之間確實存在裝配關係，正確的表示法應如 (圖 4-B)。

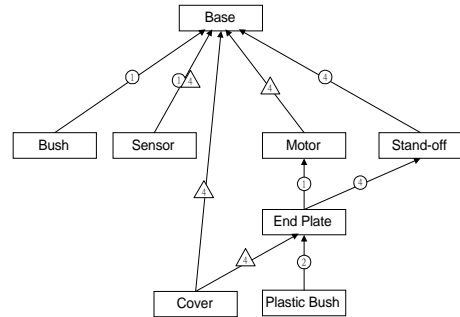


圖 3 線性驅動器的物件鏈結階層圖

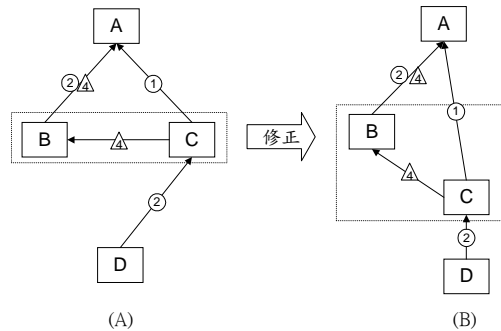


圖 4 物件鏈結階層圖法則-1

3. 同層的物件彼此在裝配順序上是獨立的，如圖 5 物件 B、C 和 D 同在一層，又同時與物件 A 有裝配行為，理論上由排列組合方式  $C_1^3 = 3$ ，會有三種可能的安裝順序。

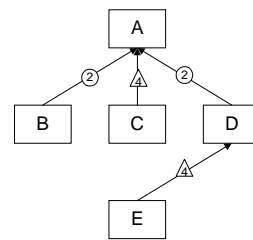


圖 5 物件鏈結階層圖法則-2

4. 階層之間的排列是代表安裝的先後。如圖 5 物件 E 裝在物件 D 上，所以必須在第二層以後，但物件 E 的加入是否會影響物件 B 和 C 的移除？由該圖是無法得知，必須藉由干涉關係的分析才能得知，但至少可獲得的結論是「低層物件可能會影響上層物件的移除，但上層物件絕對不會影響低層物件的移除」。

5. 物件間的鏈結存在一個以上的結合方式，稱為多重式鏈結，如圖 4 物件 B 和 A 之間裝配形式包括

「壓扣」和「螺絲」，則組合動作代碼順序為由左至右，即壓扣之後以螺絲固定。

### 鏈結矩陣 (Link Matrix, LM)

#### 1. 組裝類別分類代碼與符號

鏈結矩陣可對照物件鏈結階層圖，描述各物件間的裝配關係，其關係包含裝配模式和裝配動作的主被動性。裝配模式分成：(1) 使用分離固定件 (Fastener)，和 (2) 利用物件本身的幾何特徵或以焊接、黏著等來達到接合目的，稱之為幾何接合 (Geometric Fastening)，其所對應的代碼及符號如 (表 1)，組裝分類代碼採用二進位 (Binary) 有助於處理多重鏈結後的合成編碼問題，且在解碼後只會產生一組鏈結模式。

表1 組裝類別分類代碼及符號

分離固定件	代碼	符號	幾何接合	代碼	符號
墊片	1	①	插入	1	①
銷、釘、栓	2	②	扣合或壓合	2	②
固定環	4	③	拉彎或彎曲	4	③
螺絲	8	④	旋入	8	④
螺帽/螺釘	16	⑤	化學聚合物結合或樁	16	⑤
鉚釘	32	⑥	軟焊	32	⑥
			硬焊	64	⑦
			潤滑油	128	⑧
			黏著劑	256	⑨

#### 2. 鏈結矩陣的定義

物件之間的裝配動作分為主動和被動。若物件  $e_i$  裝配在  $e_j$  上， $e_i$  與  $e_j$  之間的鏈結關係對於物件  $e_i$  為「主動式」鏈結， $LM(i, j)$  內的數值為正；對於物件  $e_j$  稱為「被動式」鏈結， $LM(j, i)$  內的數值為負。 $LM(i, j)$  的數值即代表  $e_i$  與  $e_j$  依 (表 1) 代碼所表示的方式結合。當某一物件移除時即表示解除數值所代表物件間的結合方式 (表 1) 和 (圖 6)。由 (式 1) 得知 LM 是一個反對稱矩陣，並且在對角線的數值均為零。

$$LM = e_i \begin{matrix} & e_j \\ \begin{bmatrix} 0 & - & + & - & \dots & - \\ + & 0 & 0 & - & \dots & 0 \\ - & 0 & 0 & 0 & \dots & + \\ + & + & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & - \\ + & 0 & - & 0 & + & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

其中  $LM(i, j) = -LM(j, i)$

#### 3. 編碼方式

為了充分表現可能的裝配組合模式，組裝類別代碼以二進位法表示之，則多重組合所成的組合代

碼為唯一，例如某物件使用墊片和螺絲作為固定件，墊片和螺絲代碼分別為 1 和 8，合成的代碼為 9；反言之 9 的組合方式僅有一組，即 1 和 8。物件裝配方式若同時有「分離固定件」和「幾何接合」，則合成代碼是以「對」(Pair) 表示，例如：螺絲和壓扣的合成代碼為  $Pair(8, 2) = 8002$ ，後三碼是利用「幾何接合」，剩下的碼為「分離固定件」。合成代碼的最大碼數為 5 碼，因此可定義為前兩碼為「分離固定件」方式，後三碼為「幾何接合」(圖 6)，例如：某零兩組件之間的組合方式同時用到螺釘、螺絲、扣合和旋入四種，其總合成碼為  $Pair(16+8, 2+8) = 24010$ 。

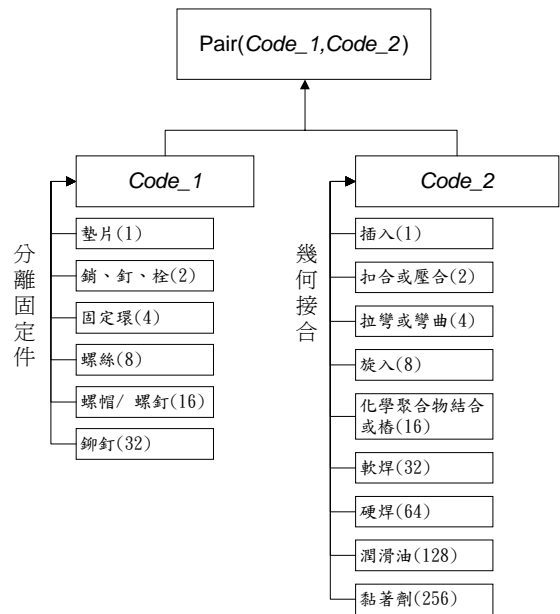


圖 6 組裝類別的合成編碼

首先對物件之間裝配關係較為單純的 (圖 2) 線性驅動器，根據鏈結矩陣的定義可以得到以下的結果：

表 2 線性驅動器裝配方式及代碼

對象	裝配方式	編碼	合成碼
sensorybase	插入+螺絲	Pair(8,1)	8001
bushybase	插入	Pair(0,1)	1
stand-off $\gamma$ base	旋入	Pair(0,8)	8
motorybase	插入+螺絲	Pair(8,1)	8001
end plate $\gamma$ stand-off	螺絲	Pair(8,0)	8000
end plate $\gamma$ motor	插入	Pair(0,1)	1
plastic bushy end plate	壓扣	Pair(0,2)	2
cover $\gamma$ base	螺絲	Pair(8,0)	8000
cover $\gamma$ end plate	螺絲	Pair(8,0)	8000

base sensor bush stand motor end plastic cover

$$LM_1 = \begin{matrix} & & & \text{-off} & & \text{plate bush} & & \\ \text{base} & \begin{pmatrix} 0 & -8001 & -1 & -8 & -8001 & 0 & 0 & -8000 \end{pmatrix} \\ \text{sensor} & \begin{pmatrix} 8001 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{bush} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{stand-off} & \begin{pmatrix} 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{motor} & \begin{pmatrix} 8001 & 0 & 0 & 0 & 0 & -8000 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{end plate} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 8000 & 0 & -2 & -8000 \end{pmatrix} \\ \text{plastic bush} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{cover} & \begin{pmatrix} 8000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8000 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

對於裝配關係較複雜如(圖7),其裝配順序先以零件A為基座,零件B插入至零件A中並以螺絲固定,零件C與零件B以壓扣結合,接著零件D插入至零件A,並以螺絲固定於零件B。零件E以壓扣方式和零件B結合,最後零件F以壓扣和螺絲固定於零件A上,其相對的鏈結矩陣如下:

$$LM_2 = \begin{matrix} & A & B & C & D & E & F \\ A & \begin{pmatrix} 0 & -8001 & 0 & -1 & 0 & -8002 \end{pmatrix} \\ B & \begin{pmatrix} 8001 & 0 & -2 & -8000 & -2 & 0 \end{pmatrix} \\ C & \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ D & \begin{pmatrix} 1 & 8000 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ E & \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ F & \begin{pmatrix} 8002 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

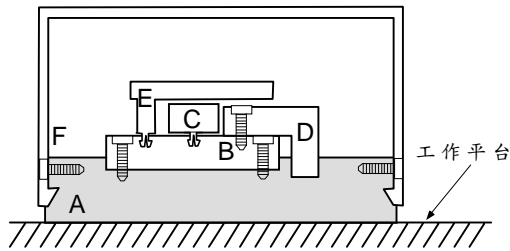


圖7 物件結構示意圖

#### 4. 解碼程序

由合成碼還原成單一碼,才能知道物件之間的結合方式。首先合成碼共有5碼,前二碼是「分離固定件」而後三碼是「幾何接合」,以[前二碼]為例若該碼不為零,則表示有使用分離固定件,但不知道包含幾種分離固定件,由(圖8)的解碼流程圖可以分離出原始碼,進而找出裝配方式。例如總合成代碼為24010,前二碼為24為分離固定件的合成碼,由於 $24 \leq 2^5$ ,因此可分離出第一個代碼16,剩下為 $24-16=8$ ,所以另一個代碼8分離出來,分離固定件為「螺釘」和「螺絲」,同理後三碼010為幾何接合,也可分離出個別代碼為8和2,分別代表「旋入」和「壓扣」。

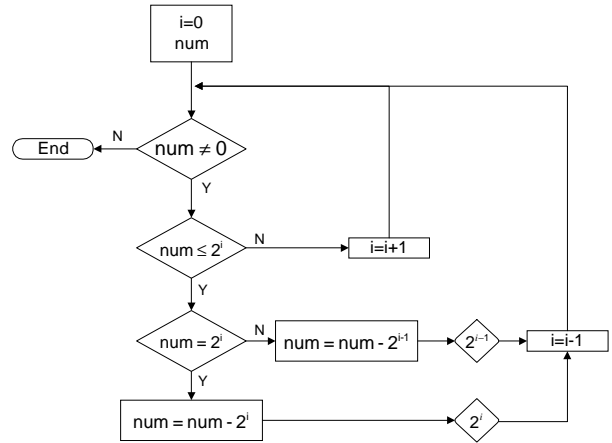


圖8 解碼流程圖

#### 干涉矩陣 (Interference Matrix, IM)

若某個物件 $e_j$ 的「主動鏈結」的移除受到某物件 $e_i$ 的影響,以致無法順利移出,則 $IM(i, j)=1$ ,反之 $IM(i, j)=0$ ,由此所建立的矩陣,稱之為「干涉矩陣」。(圖7)中物件B和D均裝配在物件A上,對於物件B與D而言,與物件A之間的裝配關係屬於「主動鏈結」,物件A、B和D正常的安裝順序為A-B-D。從圖中可發現物件D的加入導致物件B的主動鏈結無法解除,必須移除物件D後方能順利移除B,故物件D會影響物件B的移除,同理物件E也會影響物件C與D的主動鏈結移除。而相對於物件C的加入並不會影響任何物件的主動鏈結的移除。

當物件數目太多時,要考量全部物件的干涉效應是非常不容易的,因此依據先前定義所建構的干涉矩陣是「區域性」的結果 $IM_L$ ,必須檢查是否遺漏,重新整理成「全域性」的干涉矩陣 $IM_G$ ,否則進行拆卸推理會與實際不相符合,導因於最初矩陣資料建立的疏漏。另外,由于干涉矩陣上三角及對角線內的數值皆為零,代表已裝配的零件不會影響後來零件的安裝,滿足此條件 $e_1, e_2, \dots, e_n$ 便是一組可行的組裝順序。

以(圖2)的線性驅動器為例,其IM為(式6)。區域型干涉矩陣僅須考慮加入件附近的物件,如有裝配關係或物件本身的空間阻礙等,反覆進行,區域型矩陣若有交集處,則可推理出全域性矩陣。

$$IM_1 = \begin{matrix} & \text{base} & \text{sensor} & \text{bush} & \text{stand} & \text{motor} & \text{end} & \text{plastic} & \text{cover} \\ & & & & \text{-off} & & & \text{plate bush} & \\ \text{base} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{sensor} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{bush} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{stand-off} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{motor} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{end plate} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{plastic bush} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{cover} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

以(圖 7)的物件結構為例,使用「區域型」概念所得到的干涉矩陣如(式 5),若要移除物件 B,由(式 5)之第二行僅發現物件 D 僅須先移除,與事實不符,因為移除物件 D 須先移除物件 E,而物件 E 的移除又必須移除物件 F,總結來說物件 B 的移除所需要先後移除的物件為 F、E、D,因此(式 5)須修正為(式 6)。

$$IM_L = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C & D & E & F \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5)$$

$$IM_G = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C & D & E & F \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6)$$

### 鏈結干涉矩陣的推理

#### 物件鏈結階層圖的推理

物件鏈結圖示法的產生首先必須得到物件所在的階層(Level),我們定義第一層的階層最高,最後一層的階層最低。若同一層同時有好幾個物件,則左邊的是較先裝配的,其推理流程如下:

1. 若某一物件 b 之 LM 列皆為負值,  $LM(b, j) \leq 0$  且  $IM(b, j) = 0$ ,  $j = 1 \sim n$ , 則表示是一個基座(base),應置於第一層。
2. 若某一物件 k 裝配在第 m 層的物件上且  $IM(k, x) = 0$ , x 是第 m+1 層以上的已裝配零件,則該物件在第(m+1)層。
3. 若某一物件裝配在第 m 層的物件上,但影響第 n 層之某一物件的移除且  $n > m$ , 則此物件在第(n+1)層。

以線性驅動器為例,依據(式 2)和(式 4)可以得到以下結果:

1. LM 的 base 列皆為負值,且 IM 的 base 列皆為零,所以在第一層。
2. sensorybase 且 IM 的 sensor 列皆為零,由推理流程第二步驟可得到位於第二層。
3. bush、stand-off 和 motor 與 sensor 情形相同,所以也是位於第二層。

4. end platestand-off, 由推理流程圖第二或第三步驟可得知 end plate 在第三層。
5. 同理可推理出 plastic bush 和 cover 應置於第四層,整理以上過程可以得到(圖 3)的物件鏈結圖示法。

#### 物件維修步驟的推理

物件維修的拆卸步驟可以由 LM 和 IM 推理出來。其中 IM 因具有判定物件是否可以成為次組合(Sub-Assembly)能力,故其推理結果可以達到最少的拆卸步驟。(圖 10)為物件維修拆卸的流程圖,依循該拆卸流程圖可以得知:

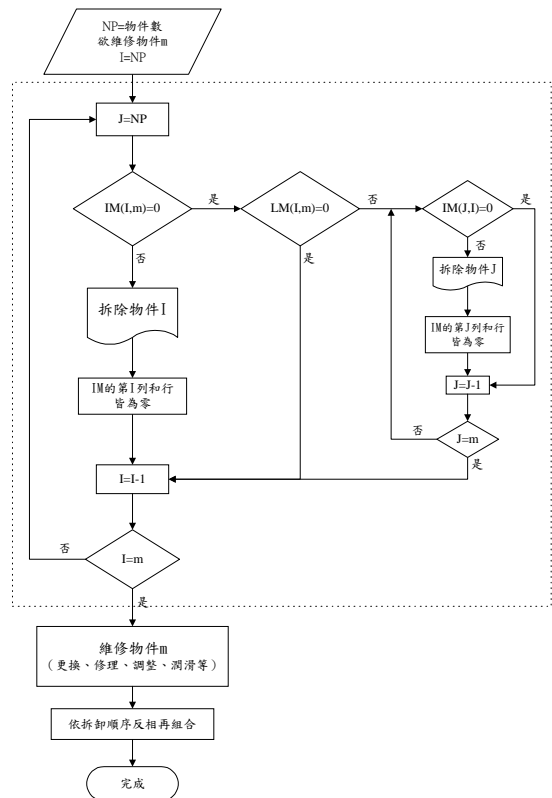


圖 10 物件維修步驟推理流程圖

1. 由 IM 該物件的行資料檢查是否有干涉物件。若存在干涉物件則必須先行移除,拆除的順序與裝配順序相反。
2. 由 LM 該物件的列資料找出移除某物件須拆除哪些鏈結,拆除過程中只拆除主動鏈結,有些物件可以次組合型態一同移除,可以減少不必要的細部分解工作。
3. 圖 10 的虛線區域是拆卸流程,物件維修完後必須再組裝回原貌,其順序是依據最初的裝配順序。

以(圖 7)為例,維修物件 A 必須依序拆除哪

些物件？由（式 6）的 A 行可得知沒有干涉物件，因此物件 A 為一個基座，由（式 3）的 A 列得知要維修物件 A 必須解除和物件 B、D 和 F 的鏈結關係，因為物件 F 在最初裝配順序比物件 B 和 D 為後面，另外移除物件 F 並無干涉物件，故物件 F 可直接從 A 上拆除。這種所謂的拆除 F 是指解除與其他物件的主動鏈結關係。接下來是解除物件 B 與物件 D 的鏈結關係，但是由 IM 發現影響物件 B 移動有物件 E 和 D，因此必須先拆除物件 E 和 D，依據裝配順序關係，故其拆卸順序為物件 E 和物件 D，最後解除物件 B 的鏈結因為解除 B 和 A 的主動鏈結後，物件 B 上尚有與物件 C 的被動鏈結，但 C 並不會影響 A 的移除，而可不予處理，物件 B 是以次組合物件移動，該次組合包含 B 和 C。所以，本推理可得結果是合理而必要的維修拆卸步驟。

表 3 移除 A 的拆卸步驟

拆除順序	鏈結關係
F&A	螺絲+壓扣
E&B	壓扣
D&B	螺絲
D&A	插入
B & A	螺絲+插入

#### 物件回收區塊的推理

產品回收處理方式包含回收、回用和廢棄。其拆卸程序與維修拆卸程序並不完全相同，對於維修程序來說，考量物件拆除的因素僅有裝配關係和幾何干涉關係，找出必要的拆卸步驟；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，材料彼此相容且不影響其他物件的移除時，在回收拆卸過程中可視為一個合併區塊（Block），不須分開處理，如部份熱塑性的塑膠材質具有相容的特性。否則各物件、組件自成一個區塊。因此，產品回收拆卸效率與區塊數目有密切關係，區塊數目越少其回收拆卸效率越高。

形成合併區塊的三要素：

1. 合併物件區塊內的物件包括使用的固定件其材質須具有相容性。若材質不具備相容性，則必須分類拆解以便於回收處理。
2. 物件區塊合併後必須保有穩定性，故區塊內的物件之間須存在鏈結關係。
3. 確保被合併後的區塊不得使任何物件變得完全無法移出。

以（圖 7）為例，假設各物件材質如下：

表 4 圖七設計之各物件材料表

物件	A	B	C	D	E	F	螺絲
----	---	---	---	---	---	---	----

材質	鐵合金	ABS	PC	PS	ABS	鐵合金	鐵合金
----	-----	-----	----	----	-----	-----	-----

其高分子材質間的相容性可以整理如表 5：

表 5 高分子材質的相容性

	B (ABS)	C (PC)	D (PS)	E (ABS)
B	-	●	○	●
C	●	-	×	●
D	○	×	-	○
E	●	○	●	-

●代表相容性佳。○代表少量相容。×代表不相容。

由以上的資料並配合（圖 11）的區塊化流程圖，物件區塊化的步驟如下：

1. 物件產生合併區塊後，LM 和 IM 會縮小成 RLM 與 RIM。
2. 根據形成合併區塊要素的第一條：「材質之間必須要有相容性」，符合該條件有 (A,F)、(B,C)、(B,E) 和 (C,E)。若物件之間有分離固定件，則必須一併考量。因此，(B,C)、(B,E) 和 (A,F) 滿足材質相容條件。
3. 由（式 4）可以得知 A-B、C-B、D-B、E-B 和 F-A 有裝配關係。
4. 綜合第二和第三步驟得知，有 (B,C)、(B,E) 和 (A,F) 可能成為合併區塊，但是必須形成合併區塊後，不會使已經存在物件的無法移出。檢查合併物件的 IM 和 LM，分別以 RIM 和 RLM 表示，零件合併成區塊後，合併的區塊成為一個次組件，因此區塊化的 LM 和 IM 會比原先的矩陣小，例如 M 和 N 合併成區塊，若 M 裝配順序較先，則簡化後的矩陣 M 列（行）的資料包含繼承 N 列（行）上的資料，IM 的 M 列（行）和 N 列（行）取聯集得 RIM。而同理 LM 的 M 列（行）和 N 列（行）則相加得 RLM。以零件 B 和 C 為例，合併後的干涉矩陣和鏈結矩陣運算方式如（式 10）和（式 12）所示。
5. （式 7）和（式 8）是合併區塊化的邏輯運算式，合併區塊後的 LM 和 IM 資料，將置於合併物件中裝配順序較先的位置，（式 6）經由（式 8）的邏輯運算後，可得到區塊化後 RIM 為（式 9），由該式可發現上三角不為零，表示物件 A 和 F 合併後有部份物件將無法拆除，不符合形成物件區塊的第三要件。物件 B 和 E 情況也是相同，形成區塊後導致物件 D 無法拆除。由（式 11）得知物件 B 和 C 可以形成合並且區塊不會影響其他物件的移出，（式 13）為（式 12）經邏輯運算簡化後的 RLM。

$$RLM_{M+N,i} = LM_{M,i} + LM_{N,i} \quad (7)$$

$$RLM_{i,M+N} = LM_{i,M} + LM_{i,N} \quad (8)$$

$$RIM_{M+N,i} = IM_{M,i} \vee IM_{N,i} \quad (8)$$

$$RIM_{i,M+N} = IM_{i,M} \vee IM_{i,N} \quad (8)$$

$i = 1 \sim p$ , 原矩陣零件數

$$RIM = \begin{matrix} & (A+F) & B & C & D & E \\ (A+F) & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ B & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ C & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ D & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ E & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (9)$$

$$IM = \begin{matrix} & A & B & C & D & E & F \\ A & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ B & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ C & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ D & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ E & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ F & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

$$RIM = \begin{matrix} & A & (B+C) & D & E & F \\ A & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ (B+C) & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ D & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ E & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ F & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (11)$$

$$LM = \begin{matrix} & A & B & C & D & E & F \\ A & \begin{bmatrix} 0 & -8001 & 0 & -1 & 0 & -8002 \end{bmatrix} \\ B & \begin{bmatrix} 8001 & 0 & -2 & -8000 & -2 & 0 \end{bmatrix} \\ C & \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ D & \begin{bmatrix} 1 & 8000 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ E & \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ F & \begin{bmatrix} 8002 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (12)$$

$$RLM = \begin{matrix} & A & (B+C) & D & E & F \\ A & \begin{bmatrix} 0 & -8001 & -1 & 0 & -8002 \end{bmatrix} \\ (B+C) & \begin{bmatrix} 8001 & 0 & -8000 & -2 & 0 \end{bmatrix} \\ D & \begin{bmatrix} 1 & 8000 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ E & \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ F & \begin{bmatrix} 8002 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (13)$$

物件區塊化後的拆解步驟與組裝步驟是相反。差別在於組裝過程是以單一物件為對象；區塊化後的拆解步驟是以多個物件構成的合併區塊和單一區塊為對象，如(式 11)的列(行)是 $\langle B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 \rangle$

$= \langle A, B+C, D, E, F \rangle$ ，共有 5 個區塊，拆解步驟為表 6 所示： $F \rightarrow E \rightarrow D \rightarrow (B+C) \rightarrow A$ 。

表 6 區塊化後的鏈結關係

拆除順序	鏈結關係
F&A	螺絲+壓扣
E&(B+C)	壓扣
D&(B+C)	螺絲
D&A	插入
(B+C) & A	螺絲+插入

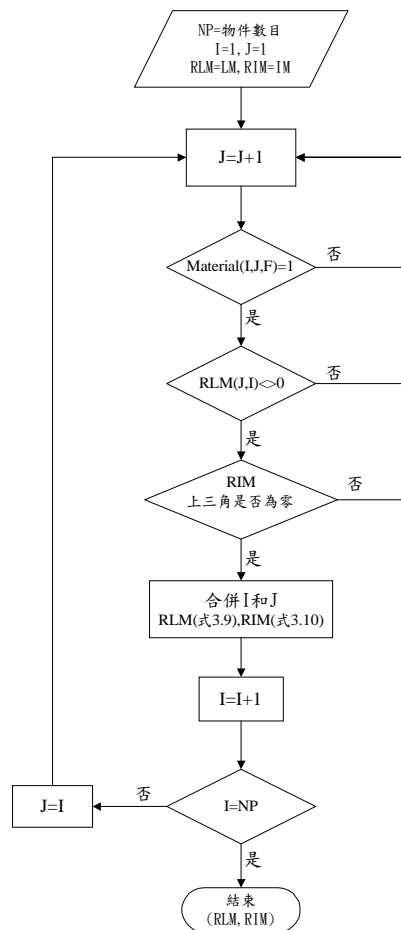


圖 11 區塊化流程圖

## 結論

本文研究物件陳列表示法統合產品裝配、維修和回收分析的共通關係，並提出物件鏈結階層圖、鏈結矩陣和干涉矩陣作為同步化分析的基礎。由物件鏈結圖示法的「階層」高低關係可得知零件裝配的主被動性與裝配順序，而物件鏈結階層圖另一方面可以鏈結矩陣(LM)和干涉矩陣(IM)作為運算架構，藉由LM與IM的推理可以得到：

### 1. 裝配順序合理性

若滿足干涉矩陣上三角為零，則矩陣中由左而右的物件順序，為一組可行的裝配順序。

### 2. 拆卸程序

可推出零件維修和回收時合理而必要拆卸步驟，避免多餘的細部拆卸步驟。

### 3. 回收合併區塊

配合零件的材質資料庫，符合「形成區塊三要素」則可以合併成一個區塊。在回收拆卸時可以視為單一組件移除，避免不必要的拆卸動作。

本文所提出的表示法便於電腦輔助分析的推導，可結合裝配性評估、維修模態分析與回收拆解效率分析，進行同步化設計分析的自動化。

## 誌謝

本研究蒙國科會編號NSC 87-2212-E-011-009計畫經費補助，僅此致謝。

## 參考文獻

- Boothroyd, G., Dewhurst, P.,(1983), *Design for Assembly: a designer's handbook*, Boothroyd Dewhurst Inc., Wakerfield, Rhode Island.
- Boothroyd, G. , Dewhurst, P. , Knight, W.(1994),*Product Design for Manufacture and Assembly*,pp.6
- Bryan, C., Eubanks, C. and Ishii, K., (1992) “Data Representation for Serviceability Design”, *ASME Design Theory and Methodology*, pp.1-8
- Dini,G. , Santochi,M.(1992), “Automated Sequencing and Subassembly Detecting in Assembly Planning”, *Annals of The CIRP*, Vol.41, pp.1-4
- Duda,R.O., et.al.,(1978), *Semantic Network Representations in Rule-Based Inference System*, Pattern-Directed Inference Systems, Waterman, D. and Hayes-Roth, F., eds., Academic Press, New York.
- Golabi, S., Abhary, K. , Luong, L. H.S.(1996), “An Automatic Approach for Assembly Sequence Planning”, *Engineering Design and Automation* 2(3), pp.171-185
- 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
- Kroll, E.(1996), “Application of Work-Measurement Analysis to Product Disassembly for Recycling”, *Concurrent Engineering: Research and Application*, Vol.4 No.2, pp.149-157
- Laperrirer, L. and ElMaraghy, H.A.(1992), “Planning of

Products Assembly and Disassembly”, *Annals of the CIRP*,Vol.41,pp.5-9

Mohammad, R. and Kroll, E.(1993), “Deriving Exploded Views by Graph Transformation for Assembly Planning”, *Advance in Design Automation*,DE-Vol.65-1, Vol.1, pp.183-193

Navinchandra, D.(1991), “Design for Environmentability”, *ASME Design Theory and Methodology*,DE-ol.31, pp.119-125

Sturges, R.H. and Kilani, M.I.(1992),“Towards an Integrated Design for an Assembly Evaluation and Reasoning System”, *Computer Aided Design*,Vol.24 No.2,pp.67-79

Yokota, K. and Brough, D.R.(1992), “Assembly / Disassembly Sequence Planning”, *Assembly Automation*, Vol.12 No.3,pp.31-38

廖偉志, “物件陳列表示法與產品組裝維修和回收設計同步化分析”, 國立台灣科技大學機械工程技術研究所, 碩士論文

## LAYOUT DESIGN REPRESENTATION AND CONCURRENT ANALYSIS OF ASSEMBLY SERVICEABILITY AND RECYCLABILITY

Wei-Jyh Liao  
Jyh-Cheng Yu

Department of Mechanical Engineering  
National Taiwan University of Science and Technology  
Taipei, Taiwan 106, R.O.C.

## ABSTRACT

The paper proposes a scheme of design representation to picture the assembly and geometric relationship among the components in the layout design. The concept of object and link is adopted to describe the layout as an interlinked structure of components. The design representation is transformed to a deductive model using the link Matrix and the interference Matrix. The deductive model will construct the inferencing engine for the concurrent analysis of assembly rationality, disassembly sequence, and recycling blocks.

Keyword: Layout Design, Concurrent Engineering, Link, Object, Assembly, Disassembly, Serviceability, Recycle