

以 STEP 為基之物件陳列表示法進行產品組裝拆卸步驟推論

江吉祥 余志成*

國立台灣科技大學機械工程系

摘要

本文以產品資料交換標準 STEP 為基礎，建構一產品結構相關資料模型，透過資料模型之實體及屬性與產品結構資訊之對應關係，提出產品的陳列表現法，包括物件關聯圖與關聯矩陣，配合推論法則的導演進行產品組裝拆卸步驟之推論。物件關聯圖乃是利用圖示及含方向性關聯鏈結，呈現出產品空間結構與零件間接合方式。同時將含有產品結構資訊之關聯矩陣，經由兩階段之合理化步驟後，推導出合理之組裝順序，並利用拆卸步驟推論法則可將產品結構次組合化，減少不必要的細部分解，以達到最少之拆卸動作。

關鍵字：STEP、物件陳列表示法、物件關聯圖、關聯矩陣、產品結構資料模型

背景與目的

同步工程設計評估中，裝配、維修與回收拆卸都與零件接合、陳列方式有關，常有設計權衡交互影響的情形發生。適宜裝配的設計主要以模組化的設計、減少零件數目、簡化安裝動作及次數，達到降低組裝成本的目的[1]。Sturges 與 Kilani [13]進而將組裝動作參數化，分析設計的可裝配性指標。在適宜維修的設計方面，Bryan 等人[3]提出圖示鏈結與語意表現法，以 Icons 代表零組件，用 Links 描述零組件間關係，建構出一個圖形化的組裝架構圖，以推論維修所需的步驟。Ishii 等學者[10]進而應用此一方法並輔以五種鏈結關係，來描述零組間之接合方式，並嘗試應用於維修與材料回收中拆卸分析中的自動化。Dini 等人[4]則提出三種矩陣：鏈結矩陣、接觸矩陣及干涉矩陣，表現產品元件間的位置及鏈結關係架構，以利於

電腦程式的管理，並提出構成次組件的法則來決定次組件的形成，以決定組裝拆卸步驟。

隨著 STEP 標準的日漸成熟，不少學者依據 ISO 10303 之定義進行各種整合系統的發展與建立：如 Ou-Yang 與 Pei[14]發展以 STEP 為基礎的產品資料整合環境，用以轉換由電腦輔助設計系統至物料需求規劃工程資料與製造資料，使兩系統間的資料有一致表示法及傳遞轉換模式。Qiao [15]等學者以 STEP 為基礎，為電腦輔助排程系統發展一產品資料準備程序，來解決一致性的問題。Liu 等學者[12]運用 AP 210 之資料模組建立印刷電路板之可組性分析決策系統，用以確定此印刷電路板之元件位置配置及相關限制是否符合可組性之條件。Liu 與 Fischer[11]提出一以 STEP 為基礎之產品資料模組，包含零件幾何特徵、組裝鏈結關係及鏈結操作資訊，並將組裝相關資料從產品資料模組中轉換成組裝碼，運用於組裝適宜性分析上。盧東宏、蔡志成[18]運用 AP 203 來建構電子化型錄系統所需之產品資料模型，讓使用者於系統中查詢所得之資料可直接應用於電腦輔助系統中。

由於產品各種適宜性分析之進行皆與產品物件之組裝拆卸步驟相關，而組裝拆卸順序又與產品結構在空間中陳列狀況有密不可分因素，因此本文提出產品結構之陳列表示法主要目的，乃是期望在產品的初期設計階段，便於進行各項適宜性分析。在同步工程進行過程中，設計師需經常對產品資訊進行新增與修正，因此為使產品資訊保有一致性與可分享性，本文利用 STEP 產品資料交換標準，將產品結構資訊予以標準化。

產品結構與物件間的關係

傳統方法利用立體爆炸圖來表現物件組態及物件在空間中的配置狀況不僅較為複雜，且在概念設計階段，元件的幾何外形尚未決定，設計變動機會大，使立體爆炸圖之繪製顯得費時與不必要。為便於表現產品結構，本文將採用物件（object）及關聯（relationship）的方式，完整描述產品零組件間之實體鏈結及陳列干涉關係。

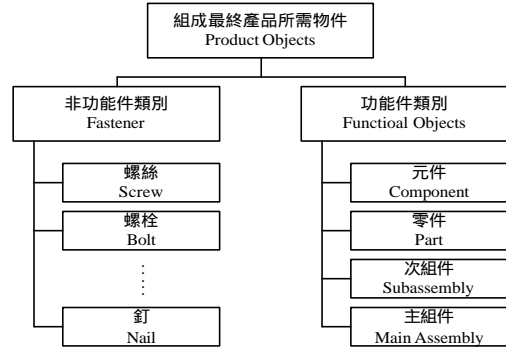


圖 1、產品物件之分類

組成產品物件

本文將組成最終產品所需的物件分成功能件與非功能件兩大類別：

功能件類別是指用來組成最終產品且能達成預定機能之主要物件群，包含元件、次組件、零件及主組件。元件（component）一詞是指除非使用會對此物件造成永久破壞的方式，否則無法將此物件再細分，且拆卸後的物件即使經過重新組合，也已喪失原本應有的功能[4]。次組件（subassembly）是指一物件可被拆卸成許多物件，且重新組裝後仍舊保有原本應有功能者稱之。零件（part）則代表不在現場組裝由元件構成的次組件，大多屬於市購的標準件，如馬達、感應器等。主組件（main assembly）是以最終產品結構之基座為基礎及直接鏈結到基座和透過其它零件而間接與基座有組裝關係之物件群所組成之產品結構主體。

非功能件類別主要是指分離的結合作件（fastener）[10]，用於維持由兩個或兩個以上的功能件的結構穩定性，如螺絲、螺帽等。圖 1 為組成產品所需物件的分類圖，產品的組裝與拆卸主要考慮到功能件間的關聯，而結合作件的目的是在於建立功能件間的關聯，因此其安裝或拆卸順序主要伴隨者所須固定的功能件，且在概念設計階段，物件間的固定方式常因設計適宜性的評估而改變，因此在陳列表示法與物件拆卸順序的推論只須考量功能件，可大幅簡化推論過程。

物件間的關聯性

產品組裝（Assembly）一詞有兩種意義[5]，一種是形容將數個元件組合在一起的動作，另一種則是經過加工（Artifact）所產生的結果，本文則著重於前意。本文將產品零組件間之關聯性分為以下兩大類：（1）實體鏈結（Physical Link）及（2）陳列干涉（Layout Interference），圖 2 所示為物件間關聯性的分類。

實體鏈結

所謂實體鏈結是指兩零件間存在直接接觸的鏈結關係，此類接合方式又可歸類成永久接合（Permanent Fastening）及可拆式接合（Removeable Fastening）兩種接合方式。永久接合是指使用外力、熱以導致零件的永久變形，或使用接合劑而使零件接合在一起，由於應用此接合方式的零件在進行拆卸時，經常導致零件的損傷，使零件無法重複使用，所以稱之為永久接合。例如使用焊接或黏著等方式接合在一起的零件，在進行拆卸後很難保有零件之完整性。另一方面，可拆式接合方式之特徵是可重複使用，且不會對零件造成破壞。可拆式接合方式中又可分為以分離的結合作件（Fastener）及幾何接合（Geometric Fastening）兩種接合方式。分離固定件乃指以螺栓、螺絲等非功能件來結合兩個物件，而幾何接合則是指使用物件本身的幾何特徵以達到接合目的，如卡榫、壓扣及旋入等方式。

兩零件間存在實體鏈結關係是指一零件 A_i 放置於治具上，另一零件 A_j 主動接近 A_i ，並以永久或/和可拆式接合方式穩定由此二

零件所形成之結構，對此鏈結對中之 A_j 而言稱為「主動鏈結」；對 A_i 稱之為「被動鏈結」。

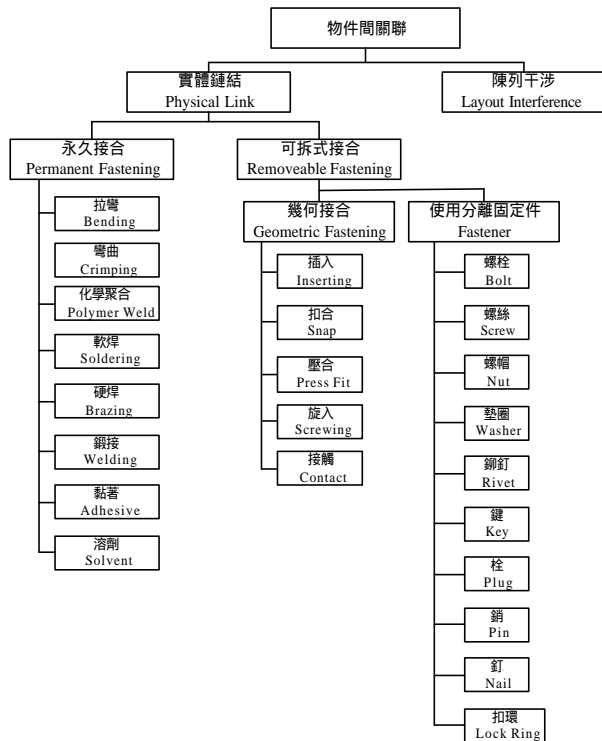


圖 2、物件間關聯性的分類

陳列干涉

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，吾人定義這兩個物件存在陳列干涉關係（Layout Interference）。所謂干涉關係是指解除某物件 A 之「主動式鏈結」，受到另一物件 B 的影響，必須先將 B 移除後，才能解除 A 的主動式鏈結；或物件 A 之主動式鏈結解除後，仍受物件 B 的影響，以致無法順利移出，稱之物件 B 在陳列上干涉物件 A，此種干涉的情況常發生於有上蓋或外罩的產品結構中。如圖 3 所示，零件 F 與 B、C、D、E 間並無直接的實體鏈結關係存在，但由於零件 F 是一上蓋，導致若不先移除 F，就無法接近零件 B、C、D、E 進行其主動鏈結的解除及零件的移出，所以零件 F 在陳列上干涉 B、C、D、E。類似的情形也存在於物件 E 與物件 C、D 之間，亦即 E 干涉物件 C 與物件 D。

此外實體鏈結關係與陳列干涉關係也可能同時存在於兩物件間，如零件 B 與 D，由於零件 D 的陳列狀況會妨礙零件 B 之主動鏈結的解除，因此需先移除零件 D，但零件 D 又受到零件 E 的干涉，所以若要解除零件 B 的主動鏈結並順利移出，則需依序移除 F、E、D。

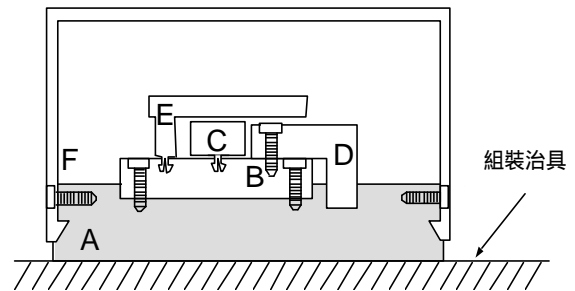


圖 3、物件結構示意圖

產品資料交換標準 STEP

由於 IGES 標準與 CALS 不足與不適用，國際標準組織(ISO; International Organization of Standard)組成工業自動化系統技術委員會 (Technical Committee 184 : Industrial Automation Systems and Integration) 負責數位化產品資料之表示法與交換技術之研發和標準訂定，其成果即為 ISO-10303 國際產品模組資料交換標準 (STEP ; S Tandard for the Exchange of Product model data)，其主要目的乃是支援整個產品生命週期中所有相關產品資料之一致表示法，和不同系統間資料交換的統一中性 (neutral) 格式，進而達成不同系統或部門之間產品資料交換目的。

由於 STEP 所涵蓋之範圍相當廣，可分為描述方法 (Description methods)、建構方法 (Implementation method)、一致性測試方法及架構 (Conformance testing methodology and framework)、整合資源 (Integrated resources)、應用協定 (Application protocols)、摘要測試組 (Abstract test suites) 六大部分 [6]，每個部分都賦予獨一編號，並清楚地規範出資料模型的表示法及資料互換的形式，用以完整描述產品生命週期。為達成不同系統或電腦輔助工具間的資料溝通與傳遞，便有一種資料敘述之方法 - EXPRESS 和 EXPRESS-G [6] 被發展而出，用來定義及描述所有的產品資料和模型。

在範圍廣大的 STEP 標準中，整合資源中的一般資源（Part 41 ~ Part 99）為最基本的產品資料描述部分，用來定義一般產品資料模型，包括：一般的產品描述、幾何和拓撲的表示法、產品結構組態及原料等，並作為其他不同領域的基礎支援。基於 Part 41[7]-產品描述及支援之基礎-提供了所有產品都會用到的一般性產品使用、分類及產品間的關係之資源結構的描述，以及 Part 44[8]-產品結構組態-在產品結構上，將產品分解成組件至零件的巢狀表示法來描述最終產品是由哪些組成元件組裝而來或是如何製造而來，所以因此本文主要引用此二部分的實體，作為產品組裝相關資料模型之建立基礎。茲將於下段介紹引用實體之功能及意義（表 1）。

表 1、實體之意義及其功能

實體名稱	意義及其功能
product	物件
product_category product_related_ product_category	物件所屬類別
product_definition_ relationship	物件間關聯
next_assembly_ usage_occurrence	零組件與其父組件間關係 零組件數量

產品結構資料模型之意義及功能

本文將組成最終產品之零組件分成功能件及非功能件，但現有 STEP 標準並無特定實體用以描述這種分類，我們以產品類別（product_category）實體來表示產品或產品類別所屬的產品類別。

產品類別間關係（product_category_relationship）是描述兩產品類別之關係。一產品類別可被定義成另一產品類別之次類別，例如“Non-functional Part”類別可分別是“Screw”類別及“Nut”類別之父類別。

基於應用目的的不同，產品（product）的意義也不盡相同，如組裝工業的下游接受來自上游的是組成其最終產品所需零組件，對上游零組件製造業者而言則是最終產品。為避免混淆，本文將屬於功能件類別的元件、零件、次組件及主組件，皆以產品表示。

產品所屬之產品類別（product_related_product_category），顧名思義，可利用此實體以描述產品所屬類別。

利用產品定義間關係（product_definition_relationship）描述兩產品定義之相互關係，且對於兩產品定義間之相同關係，只能使用一個產品定義間關係來加以描述。此實體可藉由 related_product_definition 和 relating_product_definition 兩個特殊屬性，將產品之父子層明確的表示出來。本文引用產品定義間關係實體來描述兩產品定義間之相互關聯（圖 2），利用 related_product_definition 屬性表示關聯對中之主動零件，以 relating_product_definition 屬性代表關聯對中之被動零件。

當必須一一指出組件中的組成零組件時，可用次組裝用法實例（next_assembly_usage_occurrence）來說明一組成零組件與其父組件間的關係。此實體繼承的兩個屬性值：relating_product_definition 及 related_product_definition，明確地表示父項與子項間的產品定義。

物件陳列表示法

為使產品結構視覺化，且便於產品組裝、維修拆卸及廢棄回收分析（DFX）之進行，本文提出以 STEP 為基之物件陳列表示法，包含關聯矩陣以及物件關聯圖。

關聯矩陣（Relationship Matrix, RM）之建構及意義

廖偉志、余志成[16]利用鏈結矩陣（LM）及干涉矩陣（IM），分別記錄產品零件間的實體鏈結狀況，及物件間移出的干涉情形，以便進行產品零件裝配拆卸步驟及生命週期終了之回收、回用區塊化之推論。本文則合併鏈結、干涉矩陣之紀錄方式，提出關聯矩陣（RM）來記錄產品結構陳列狀況及零件間之相互關係。

關聯矩陣（RM）是一個 $N \times N$ 的矩陣， N 代表該產品中功能零件的數目。關聯矩陣之每一行或列均代表某一功能件名稱，矩陣縱軸“ A ”為主動零件（Active），橫軸“ P ”為被動零件（Passive）。若兩功能件 A_i 、 A_j 間存在實體鏈結關係，且 A_i 主動鏈結到 A_j

上，則對於 A_i 與 A_j 這個鏈結對而言， A_i 稱為「主動鏈結」， A_j 稱之為「被動鏈結」，則 $RM(i, j)$ 以 “+” 表示。若兩零件 A_i 、 A_j 間存在陳列干涉關係，且 A_j 的「主動式鏈結」的移除受到某物件 A_i 的影響，以致物件 A_j 無法順利移出的情況產生，則 $RM(i, j)$ 以 “(+)” 表示。依此規則建立的矩陣，稱之為「關聯矩陣」。以圖 4 為例，其關聯矩陣如 (式 1) 所示。由於 Cover 主動鏈結至 Motor 上，且干涉其對 Base 之主動鏈結的解除，所以 $RM(4,3)$ 以 “+(+)” 表示。

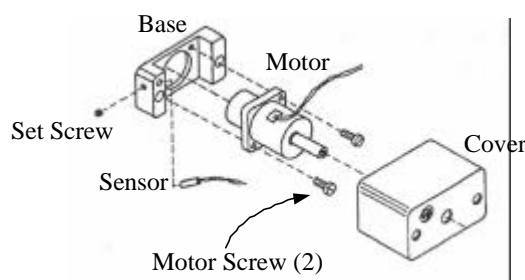


圖 5、改良式線性驅動器[2, p.9]

$$RM = \begin{matrix} & \begin{matrix} A \\ P \end{matrix} & \begin{matrix} \rightarrow \\ \downarrow \end{matrix} & \begin{matrix} \text{Base} & \text{Sensor} & \text{Motor} & \text{Cover} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Base} \\ \text{Sensor} \\ \text{Motor} \\ \text{Cover} \end{matrix} & \begin{bmatrix} & & & & \\ & + & & & \\ & & & & \\ & + & & & \\ + & (+) & (+) & (+) & \end{bmatrix} & \end{matrix} \quad (\text{式 1})$$

物件關聯圖示法

利用立體爆炸圖來表現物件外觀及物件在空間中的擺設狀況，所繪出的物件圖形，如圖 5 為改良式線性驅動器的立體爆炸圖。但若僅是想表達物件與其他物件間之空間裝配狀況，而無須實際描述出物件的外觀，可改以平面的點線圖表示，輕易地描繪出複雜組合物件的空間裝配狀況。物件鏈結階層圖[17]利用物件 (object) 及鏈結 (link) 的方式描述產品結構陳列裝況，以階層代表物件的裝配先後順序，此方式雖可表示出零件間之鏈結關係，但在陳列干涉關係表現上，卻稍顯不足。本文則改採以物件 (object) 及關聯 (relationship) 的觀點，將陳列干涉

的關係同時納入圖中，完整表現物件間之關聯。

物件關聯圖包含三個成員：物件、關聯及符號。物件代表組成最終產品的功能件，包含元件、零件及次組件，其中元件、零件以實線方框表示，次組件以虛線方框表示。關聯則包含單箭頭之線段及符號，分別表示關聯對中之主被動零件及其鏈結方式。本文先前已將物件間之關聯分為兩類：實體鏈結及陳列干涉，因此分別以實線段表示物件間之實體鏈結關係，輔以表 2 的符號來代表兩物件間之接合方式，而以虛線段代表物件間存在陳列干涉關係。關聯對中之兩物件以單箭頭之線段連結，箭頭方向指向被動物件，箭尾連接在主動物件上。物件間可存在一種以上的關聯方式，如圖 3 中之 F 和 A 之間裝配形式為同時採用幾何接合之壓扣和使用分離固定件之螺絲，稱之為「多重式鏈結」。

表 2、實體鏈結關係與符號之對照表

分離固定件	符號	幾何接合	符號	永久接合	符號
螺栓	\triangle	插入	①	拉彎	①
螺絲	\triangle	扣合	②	彎曲	②
螺帽	\triangle	壓合	③	化學聚合	③
墊圈	\triangle	旋入	④	軟焊	④
鉚釘	\triangle	接觸	⑤	硬焊	⑤
鍵	\triangle			鍛接	⑥
栓	\triangle			黏著	⑦
銷	\triangle			溶劑	⑧
釘	\triangle				
扣環	\triangle				

如圖 5 所示以 Base 為基座之產品結構，在實體鏈結方面，將 Motor 插入 Base 後並以兩個 Motor Screw 固定於 Base 上，接著將 Sensor 插入 Base 後以 Set Screw 固定於 Base 上，最後再將 Cover 扣合在 Motor 上。在陳列干涉方面，Cover 皆會影響 Motor 與 Sensor 之主動式鏈結的解除，因此 Cover 與 Motor 及 Sensor 間存在陳列干涉關係。利用物件關聯圖之點、線及符號表示法，依產品實際空間陳列狀況及零件間之接合關係，建構出圖 6 所示之物件關聯圖。

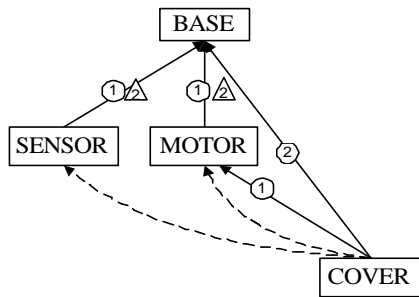


圖 6、改良式線性驅動器之物件關聯圖

STEP 為基之產品資料模型與物件陳列表示法之對映

先前以介紹過引用實體之意義及功能，本段將說明 STEP-Based 之產品結構資料模型與關聯矩陣及物件關聯圖間之對映路徑，使產品結構資料得以置入產品資料模型中，並予以標準化。

表 3、產品資料模型與陳列表示法之對映關係

陳列表示法	對映路徑
RM 之行 及 物件關聯圖中 箭頭物件	product_definition_relationship. relating_product_definition-> product_definition product_definition.formation-> product_definition_formation product_definition_formation. of_product-> product product.name
RM 之列 及 物件關聯圖中 箭尾物件	product_definition_relationship. related_product_definition-> product_definition product_definition.formation-> product_definition_formation product_definition_formation. of_product-> product product.name
關聯種類	[product_definition_relationship .relating_product_definition] [product_definition_relationship .related_product_definition] [product_definition_relationship .name]

為使產品結構資訊能順利地在資料模型與物件陳列表示法間具有互換功能，表 3 所示為關聯矩陣與產品結構相關資料模型之對映路徑。表 3 中所使用到的特殊符號意義

如下 [9]：

A => B：表示 A 為 B 之母型態

A <= B：表示 A 為 B 之子型態

A.d -> C：表示 A 的屬性 d 其資料型態為實體 C

A.d <- C：表示實體 C 被 A 的屬性 d 所引用

[]：括號內的條件要被滿足 (AND)

舉例而言，RM 之列表示關聯對中之主動物件，在資料模型中以 product_definition_relationship 之 related_product_definition 屬性表示之，且其屬性值為 product_definition，以“->”表示。而 product_definition 之 formation 屬性為 product_definition_formation，以“->”表示。product_definition_formation 之 of_product 屬性值為 product，因此由 product 之 name 屬性可得知物件名稱。

產品組裝步驟的推理

產品組裝是一種建立零組件間鏈結關係的連續程序，將零組件往主組件上裝配，以形成最終產品，因此產品零組件間鏈結順序的合理性，將影響最終產品是否能順利地組裝成功。在產品零件拆卸步驟的決定，則希望藉由物件間的關聯來推論必要拆卸的物件，以及判斷數個零件是否可以一次移出，以達到最少的拆卸步驟。

關聯矩陣合理化步驟

先前已說明關聯矩陣之建構方式，一般而言，由產品零件間之關聯性所產生出之最初化之關係矩陣不一定是合理的組裝順序，然而可經由以下兩階段的轉換步驟，產生合理之組裝順序：

- 轉換第一步驟之目標為將 RM 中對角線右邊有“+”之單元移至矩陣對角線之左方，且“+”能越往左上移越好。轉換方法為搜尋所有在矩陣對角線右方之值有“+”之單元，將其所在之第 i 行與第 j 行對調，並同時對調第 i 列與第 j 列。即當 j > i 時，且 RM(i, j) 之值為“+”或“+(+)”，則將 RM 之 i 行和 j 行對調且 i 列和 j 列互換，其目的可使較優先組裝之零件向矩陣之上方(列)與左方(行)方向移動。

2. 轉換第二步驟之目標為將對角線右邊之“ (+) ”單元有條件地移至矩陣對角線之左方，其轉換方法如同步驟一。所謂有條件地進行轉換是指當 $j > i$ 時，且 $RM(i, j)$ 之值為“ (+) ”，以及 $RM(i, j)$ 之值不為“ + ”時，始可進行第 i 行與第 j 行對調，並同時對調第 i 列與第 j 列之轉換程序。

重複此二轉換步驟，直到同時滿足以下兩個條件時為止，則此合理化之關聯矩陣由左到右，或由上到下之零件排列順序即為一合理之組裝順序：

1. $j > i$ 時， $RM(i, j)$ 之值不為“ + ”，及角線右方不存在“ + ”。
2. $RM(i, j)$ 為“ (+) ”，且 $j > i$ 時，則 $RM(j, i)$ 之值必為“ + ”，即在不違反條件 1 的情況下，應將“ (+) ”移至對角線左方，使對角線右方存在的“ (+) ”數量為最小值。

進行二步驟之轉換程序後之最終關聯矩陣之對角線的右方仍可能有“ (+) ”之單元存在，亦即 $RM(i, j)$ 之值為“ (+) ”，且 $j > i$ ，此情形表示組裝順序較優先的第 i 行零件若先裝配到主組件上，則會干涉組裝順序較後面的第 j 行零件對主組件的裝配動作。若此情況發生，並非指此零件順序為不合理組裝順序，而是此產品結構中勢必存在數個零件須先被組裝成次組件再被裝配到主組件上，始能順利將最終產品組裝成功。

功能件組裝順序之推論

本文以圖 7 所示之線性驅動器為例，進行合理的產品零件組裝順序推演。此產品組態包含主要的功能件類別，如 Cover、Base 及 Motor 等零件，以及具有穩定產品組態作用的非功能件類別，包括 Cover Screw、Set Screw、Motor Screw 及 End Plate Screw。為求得合理之組裝順序，必須反覆進行二步驟之轉換程序，直到關聯矩陣同時滿足先前所提的兩個條件。進行合理之產品零件組裝順序推演時，僅就功能件之組裝順序為考量重點，此乃是由於非功能件之順序會伴隨者所須固定的功能件之組裝順序而被決定。依關聯矩陣之建構方式，由於 Motor 主動鏈結到 Base 上，所以 $RM(6, 2)$ 以“ + ”表示。兩物件間可能因產品結構之陳列方式而導致干涉關係，如 End Plate 雖然與 Bush 間沒有實際接觸的鏈結關係存在，但由於 End Plate 的存在會影響 Bush 對主組件的組裝動作，所以

$RM(7, 4)$ 以“ (+) ”表示。除此兩種情況外，兩零件間也會有實體鏈結與干涉關係同時存在。如 End Plate 主動鏈結到 Stand-off 上，且會干涉其主動鏈結的解除，所以 $RM(7, 5)$ 以“ (+) ”表示。依此法則，可建構出 (式 2) 所示之關聯矩陣。

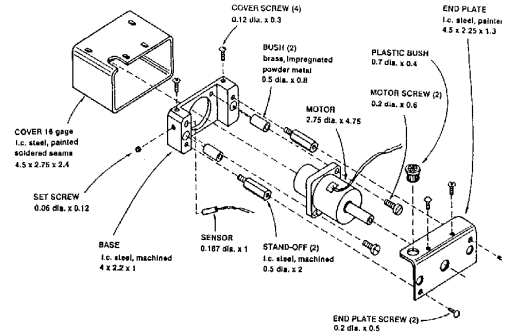


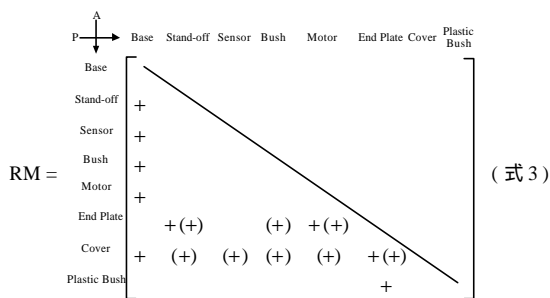
圖 7、線性驅動器的立體爆炸圖[2, p.6]

	Cover	Base	Sensor	Bush	Stand-off	Motor	End Plate	Plastic Bush
Cover	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Base								
Sensor			+					
Bush			+	+				
Stand-off			+	+				
Motor			+			(+)	(+)	
End Plate						(+)	(+)	(+)
Plastic Bush								+

(式 2)

(式 2) 是由產品零件間之關聯性所產生出之最初化之關係矩陣，此時由左而右，或是由上而下之零件順序並非合理的組裝順序，乃是由於對角線的右方尚有“ + ”存在。因此將對此矩陣進行第一階段的轉換程序，將 RM 中對角線右邊有“ + ”之單元移至矩陣對角線之左方。

(式 3) 是經過數次的行列對調後所得的結果，接著進行第二階段的確認步驟，由於對角線右方不存在“ (+) ”，已滿足先前所提的兩個條件，所以關聯矩陣中由上而下，或由左到右的零件順序是合理的組裝順序，但此組裝順序並非唯一。如 Stand-off 與 Sensor 之順序對調亦不會影響結果，仍為一合理之組裝順序。



由於關聯矩陣中的每一行或列均代表一個功能件名稱，而非功能件的順序便隨著功能件的組裝順序而被決定，如此可簡化組裝步驟的分析，但在實際進行組裝時，應將非功能件適當地加入組裝順序中，因此圖 7 線性驅動器的組裝順序如下：

1. 將 Base 置於組裝治具上。
2. 將 Stand-off 旋入 Base 上。
3. 將 Stand-off 旋入 Base 上。
4. 將 Sensor 插入 Base 並以一個 Set Screw 固定於 Base 上。
5. 將 Bush 插入 Base 上。
6. 將 Bush 插入 Base 上。
7. 將 Motor 插入 Base 並以兩個 Motor Screw 固定於 Base 上。
8. 將 End Plate 插入 Motor 並以兩個 End Plate Screw 固定於 Stand-off 上。
9. Cover 以兩個 Cover Screw 固定於 Base 上並以兩個 Cover Screw 固定於 End Plate 上。
10. Plastic Bush 插入 End Plate 上。

產品拆卸步驟的推理

進行產品拆卸的情況有兩種：產品故障進行維修與零件更換、產品進行廢棄回收拆卸工作。進行產品進行廢棄回收拆卸時，零件的分類拆卸是其必要的步驟，且需視回收的處理情況為何，始可決定拆卸步驟。如某一零件之處理方式為回用，則必須將單一零件拆出，不可與其他零件合併，方便零件整修處理；而若處理方式為回收再生處理，則可考量材料的相容性，若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；若某一區塊之處理方式為掩埋，則不需將個別零件拆出，直接將整個區塊拋棄。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。

在產品故障進行維修更換方面，著重於是否能接觸到欲更換的物件，因此在進行該物件的維修之前，必須先移除阻礙的物件。物件的拆卸順序可以由關聯矩陣推理出來，並可判定是否可以次組件的方式移除，且不影響以下拆除動作的次組件以達到最少的拆卸動作，物件拆卸法則如下述：

1. 與指定拆卸物件存在關聯之零件，均依序被列入必要拆卸零件群中。
2. 某物件 A 干涉經步驟 1 所推論所得之必要拆卸零件群之一，則物件 A 需被列入必要拆卸零件群。
3. 拆卸過程中有些物件可以子集合型態一同移除，可以減少不必要的細部分解工作。
4. 在移除物件時，若該物件採用分離的固定件作為鏈結，則需先拆除此固定件。

拆卸步驟推演實例

以圖 7 為例，若指定要拆卸 Motor 必須依序拆卸哪些物件？由(式 3)之 $RM(7,5) = (+)$ 知 Cover 會影響 Motor 的移出，且 Cover 的拆卸動作並不受任何物件的影響，所以可將 Cover 列入該被移除的物件中，並可將關聯矩陣簡化如(式 4)所示。在判斷實際拆 Cover 的步驟時，發現 Cover 仍藉由兩個 Cover Screw 與 Base 固定，以及兩個 Cover Screw 與 End Plate 固定，故拆卸 Cover 時需先拆卸此四個 Cover Screw。

接著由(式 4) $RM(6,5) = ++(+)$ 得知 End Plate 會影響 Motor 的移出，且原本干涉 End Plate 移出的 Cover 已被列入該被移除的物件中，所以 End Plate 可被列入該被移除的物件中，並可將關聯矩陣簡化後(式 5)所示。在判斷實際拆 End Plate 的步驟時，發現 End Plate 在插入 Motor 後，再藉由兩個 End Plate Screw 與 Stand-off 固定，故拆卸 End Plate 時需先拆卸兩個 End Plate Screw，再自 Motor 上取出 End Plate。

由於只有 End Plate 主動鏈結到指定拆卸物件上，且已被列入該被移除物件中，所以接著考慮指定物件 Motor 的主動鏈結關係。由(式 5) $RM(5,1) = +$ ，可知 Motor 主動鏈結到 Base 上，所以只要解除 Motor 與 Base 間的鏈結關係即可。在判斷實際拆 Motor 的步驟時，發現 Motor 在插入 Base 後，再藉由兩個 Motor Screw 與 Base 固定，故拆卸 Motor

時需先拆卸兩個 Motor Screw，再自 Base 上取出 Motor。

$$RM_1 = \begin{matrix} \begin{matrix} \text{Base} \\ \text{Stand-off} \\ \text{Sensor} \\ \text{Bush} \\ \text{Motor} \\ \text{End Plate} \\ \text{Cover} \\ \text{Plastic Bush} \end{matrix} & \begin{matrix} \text{Base} \\ \text{Stand-off} \\ \text{Sensor} \\ \text{Bush} \\ \text{Motor} \\ \text{End Plate} \\ \text{Cover} \\ \text{Plastic Bush} \end{matrix} \\ \begin{matrix} + \\ + \\ + \\ + \\ + \\ + \\ + \\ + \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ + (+) \quad (+) \quad + (+) \\ \\ \\ \\ + \end{matrix} \end{matrix} \quad (式 4)$$

$$RM_2 = \begin{matrix} \begin{matrix} \text{Base} \\ \text{Stand-off} \\ \text{Sensor} \\ \text{Bush} \\ \text{Motor} \\ \text{End Plate} \\ \text{Cover} \\ \text{Plastic Bush} \end{matrix} & \begin{matrix} \text{Base} \\ \text{Stand-off} \\ \text{Sensor} \\ \text{Bush} \\ \text{Motor} \\ \text{End Plate} \\ \text{Cover} \\ \text{Plastic Bush} \end{matrix} \\ \begin{matrix} + \\ + \\ + \\ + \\ + \\ + \\ + \\ + \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ + \end{matrix} \end{matrix} \quad (式 5)$$

經由以上三步驟的推論可得該移除物件的順序依序為 Cover End Plate Motor，所以本推論結果合理且為必要的拆卸步驟。以下為拆卸 Motor 時，一併考量非功能件之實際拆卸步驟：

1. 將兩個 Cover Screw 自 Cover 與 Base 上旋出。
2. 將兩個 Cover Screw 自 Cover 與 End Plate 上旋出。
3. 將 Cover 自 Base 與 End Plate 上取出。
4. 將兩個 End Plate Screw 自 End Plate 與 Stand-off 上旋出。
5. 將 End Plate 自 Motor 上取出。
6. 將 Motor Screw 自 Motor 與 Base 上旋出。
7. 將 Motor 自 Base 上取出。

結論與來努力方向

本文提出以物件陳列表法，描述產品結構在空間中之陳列狀況，以便於產品組裝拆卸步驟分析之進行。同時為使產品結構資料具有一致性及分享性，本文建構一以產品資料交換標準 STEP 為基礎之產品結構相關資料模型，並建立模型與物件陳列表法之對映路徑，使資料具有標準格式。

利用關聯矩陣，紀錄產品零件間之實體鏈結及陳列干涉關係，並以兩階段轉換法則及物件拆卸推論法則，分別可決定產品之合

理組裝步驟及最少之物件拆卸動作。為使產品結構視覺化，以物件關聯圖展現產品零組間在空間中之陳列狀況及接合方式。

至目前為止 STEP 產品資料交換標準仍在發展階段，就本文所針對的產品零組件組裝相關資訊領域來說，未來除可從其他部分 (Part) 或應用協定 (AP) 引用適宜之產品結構相關實體。另一方面則著手建構 STEP 有效範圍外之產品資料實體，並發表文獻，以期 ISO 組織成員能在產品結構領域內，著手進行更完善之規劃。

參考文獻

- [1] Boothroyd, G., and Dewhurst, P.,(1983),*Design for Assembly : A Designer's Handbook*, Boothroyd Dewhurst Inc., Wakerfield, Rhode Island, USA.
- [2] Boothroyd,G., Dewhurst,P., Knight,W. (1994) ,*Product Design for Manufacture and Assembly*
- [3] Bryan, C., Eubanks, C. , Ishii, K.(1992), "Data Representation for Serviceability Design", *ASME Design Theory and Methodology*, pp.1-8
- [4] Dini, G. , Santochi, M. (1992), "Automated Sequencing and Subassembly Detecting in Assembly Planning", *Annals of The CIRP*, Vol.41, pp.1-4
- [5] Homem de Mello, L.S., Lee S.(1983), *Computer-Aided Mechanical Assembly Planning*, Kluwer Academic Publishers
- [6] International Standard Organization 10303-1, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 1: Overview and Fundamental Principles, Dec. 1994.
- [7] International Standard Organization 10303-41, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 21: Integrated generic resources: Fundamentals of product description and support, Dec. 1994.
- [8] International Standard Organization 10303-44, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 21: Integrated generic resources: Product structure configuration, Dec. 1994.
- [9] International Standard Organization 10303-203, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 203 : Application Protocol :Configuration controlled design, Dec. 1994.
- [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] 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, March 1995, pp.33-46.
- [12] Liu, T.H., Trappey, A.J.C., and Shyu, J.B. (1999), "ISO 10303-Base PCB Assembly Data Model for Assembly

- Analysis”, *CONCURRENT ENGINEERING: Research and Applications*, Vol.7, NO.2, pp.159-176.
- [13] Sturges, R.H.Jr., 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
- [14] Ou-Yang, C., Pei, H.N. (1999), “Developing a STEP-Based Integration Environment to Evaluate the Impact of an Engineering Change on MRP”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.15, pp.769-779.
- [15] Qiao, L.H., Zhang, C., Liu, T.H., Ben Wang, H.P., and Fischer, G.W. (1993), “A PDES/STEP-based product data preparation procedure for computer-aided process planning”, *Computers in Industry*, Vol.21, pp.11-22.
- [16] 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, pp. 721-728. (NSC 87-2212-E-011-009)
- [17] 杜春長、余志成(1999), “產品維修適宜性的自動化分析”, 中華民國自動化科技學會第十一屆全國自動化科技研討會論文集, pp. 1387-1394. (NSC 88-2212-E-011-009)
- [18] 盧東宏、蔡志成(1999), “以 STEP 支援分散式機械設計電子化型錄系統之研究”, 中華民國自動化科技學會第十一屆全國自動化科技研討會論文集, pp. 229-236.

The ORG uses objects and directional links to depict product structures. The ORG is mapped to the RM, which is used to derive feasible assembly sequence. The product structure could be modeled into sub-sets by the proposed disassembly rules to achieve the minimum disassembly steps in the application of product servicing and recycling planning.

Keywords: STEP, Object Relationship Graph, Relationship Matrix, assembly sequence, disassembly sequence, product structure schema.

PRODUCT ASSEMBLY AND DISASSEMBLY ANALYSIS USING STEP BASED INFERENCE STRUCTURE

Jyi-Shyang Jinag
Jyh-Cheng Yu

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

ABSTRACT

The thesis establishes a product structure data model based on the STEP standards and proposes an algorithm to reduce feasible assembly sequences and the minimum disassembly procedure in product servicing and recycling. The author describes a computerized process to support the exchanging of product structure data. In concurrent analysis of product design, the import and export data adopt the format of ISO 10303-Part 21. A scheme of design representation is proposed, including the Object Relationship Graph (ORG) and the Relationship Matrix (RM), to picture the assembly and geometric relationship among the components in the layout design.