

## 以整體及局部外形資訊進行三維工件分類

### Classification of 3D Prismatic Parts Based on Global and Local Shape Information

計畫編號：NSC88-2212-E-009-036

執行期間：87/08/01---88/07/31

主持人：巫木誠 [mcwu@cc.nctu.edu.tw](mailto:mcwu@cc.nctu.edu.tw)

執行單位：國立交通大學工業工程與管理學系

#### 一、中文摘要(關鍵字:簡化骨架、群組技術、類神經網路)

本研究提出一個兩階段的沖壓件自動分類方法，這個方法是先取得沖壓件的簡化骨架，並以簡化骨架表達工件的整體外形資訊(global shape information)。分類的第一個階段是依據簡化骨架的有序樹狀結構，以樹狀比對(tree matching)的方法將同結構的沖壓件分成同一個工件群。分類的第二個階段是在同一個工件群中以逆傳遞類神經網路做更仔細的分類，此類神經網路的輸入是簡化骨架所轉成的向量表達法，並依據沖壓件的局部外形資訊調整向量表達法，使分類系統更有彈性。此二階段分類方法可用於構建一個沖壓件自動檢索系統，以便利沖壓件的設計與製造工作之進行；進而縮短產品上市時間及降低存貨成本。

#### 英文摘要(Keywords: Simplified Skeleton, Group Technology, Neural network)

This research presents an automatic classification scheme for punched parts. The classification is performed based on part's global shape descriptor modeled by their simplified skeletons. In the first stage, the simplified skeleton of a punched part is represented by a sequentially coded tree structure. Based on this tree representation, punched parts with similar tree structure can be clustered using a tree matching method. In the second stage, the parts within a cluster can be further classified by a back-propagation neural network classifier. The two-stage classification scheme can be used in a punched part

retrieval system aiming to facilitate the design and manufacturing tasks, which would greatly reduce the time-to-market and material inventory.

#### 二、計畫緣由及目的

沖壓件雖然只是二維形狀的平板，但是其種類繁多，任何形狀或尺寸上的變異，可能就是一個專屬的模具在生產。設計新產品時如果能儘量利用既有的沖壓件，不但可以節省成本，也可以加速量產的時間。要管理及檢索種類繁多的沖壓件，需要有良好的工件分類系統來輔佐，才能快速的找到所需的沖壓件以及做好模具的倉儲管理。

近年來有許多學者研究如何對工件進行自動分類[1, 2, 3, 4]，這類的研究大都是將工件的自動化編碼視為一個特徵辨視(feature recognition)的問題，亦即他們應用電腦從工件的幾何資料辨視出孔、槽、切齒或其它特定形狀等局部特徵，並根據此結果對工件進行編碼及分類。

工件特徵辨視的方法主要是考慮工件局部外形資訊(local shape information)的類似性，可是局部特徵相似並不代表工件的整體外形也類似。為了彌補局部外形資訊的不足，有些研究以簡化骨架[5]表達工件的整體外形資訊(global shape information)，再以簡化骨架做為工件分類的依據，此作法在特定的工件範圍內已獲得不錯的分類結果[6, 7]。但是這些研究經過大量的工件測試之後，顯示其仍有兩個缺點有待改進：第一是分類的準則缺乏彈性，無法調整分類的結果；第二是這些分類系統沒有階層的觀念，簡單和複雜外形

的工件都混合在一起處理，在工件類別很多時，有時無法構建出自動分類的機制。

為了克服上述兩大缺點，本研究發展一個沖壓件的自動分類法。這個方法的系統架構可分成四個模組。第一個模組先以 Wu 和 Wang 所發展的演算法[8]將沖壓件的外形輪廓轉換成正交多邊形，然後以 Wu 和 Chen 所發展的演算法[5]取得該圖形的簡化骨架。第二個模組是以本研究所提出的簡化骨架表達法，將簡化骨架表達成樹狀結構。第三個模組是粗分類或稱為分群，將具有相同樹狀結構的簡化骨架分成同一群。第四個模組是細分類，對同一群內的沖壓件以逆傳遞類神經網路為分類的工具，對簡化骨架做進一步的分類。因為類神經網路的輸入須為向量，所以在分類之前，需先將簡化骨架的樹狀結構轉成向量的表達方式。根據最後分類的結果顯示本方法確實克服了以往分類方法的兩大缺點。

### 三、研究方法

#### 3.1 沖壓件的分群

本研究所提的沖壓件分類方法是將沖壓件的整體外形資訊以簡化骨架表達，再依據簡化骨架對沖壓件做二階段的分類。分類的第一個階段是以樹狀結構比對(tree matching)的方法，將簡化骨架的樹狀結構相同的沖壓件分成同一群。第二個階段再利用逆傳遞(Back-Propagation)類神經網路對同一群沖壓件的簡化骨架進行分類。

沖壓件分群的方法是先取得簡化骨架的有序樹狀結構(coded tree structure)，使每一簡化骨架能有單一的樹狀結構表達法，再以此有序樹狀結構做兩兩比對，將具有相同有序樹狀結構的沖壓件歸成同一群。也就是說分群的準則是根據結構的類似性。有序樹狀結構的取得方法，第一是樹根的選擇，決定起始的連桿，第二再指派所有連桿一個順序編號形成有序樹狀結構。第三再將每一根連桿的權重依順序編號排成一個數列形成有序樹狀結構，以比對數列的方法完成沖壓件的分群。

#### 3.2 同群內沖壓件的分類

兩階段工件分類的第二個階段是對同一個工件群進行細分類。分類的依據是簡化骨架的向量表達法，使用逆傳遞(Back-Propagation)類神經網路[9]做為分類的工具。因為逆傳遞類神經網路是一個監督式(supervised)類神經網路，這種類神經網路必須先經過一個訓練的過程，才可以作為分類的工具。而且類神經網路的輸入須為向量的形式，所以在分類前需要將簡化骨架的樹狀結構轉換成以向量的方式。

簡化骨架轉成向量表達法有三件事要做，第一件事是決定骨架連桿的先後順序，第二件事是以一組數值代表連桿的屬性值，第三件事是將代表連桿的屬性值依照連桿順序排列起來，就得到簡化骨架的向量表達法。在本研究中，簡化骨架的連桿順序是由有序樹狀結構決定，以下只說明連桿屬性值的定義。

本研究以四個屬性表達每一根連桿所具備的屬性值，這些屬性包含連桿的幾何和拓撲資訊。利用這四個屬性記錄的數值(簡稱屬性值)，所推出的向量表達法可以還原為原來簡化骨架的樹狀結構。這四個屬性的定義如下。

1. 第一個屬性是連桿的相對內縮階度。
2. 第二個屬性是連桿的相對長度。
3. 第三個屬性是連桿與其母連桿的夾角。
4. 第四個屬性為該連桿所接的位置。

這四個屬性與簡化骨架的區域模擬特性可以作一個對比。第一個屬性代表該連桿模擬區域的寬，第二個屬性與模擬區域的長有關，第三個屬性是模擬區域的擺向，第四個屬性則是模擬區域擺放的位置。

得到所有連桿的四個屬性值之後，將每一個連桿的屬性值依照連桿的先後順序排列就是簡化骨架的向量表達法。

在使用逆傳遞類神經網路之前，要先訓練這個類神經網路，才能對輸入向量進行分類，詳細的訓練過程請參考 Lippmann 的

論文[9]。本研究使用的樣本工件不是由沖壓件中選取，而是由簡化骨架的有序樹狀結構產生，目的是要產生完整而且有顯著差異的樣本，降低人工取樣對分類結果的影響。第二階段分類的範圍是同一群的沖壓件，同一群沖壓件擁有相同的有序樹狀結構，因此同一群的樣本工件其簡化骨架的有序樹狀結構也要相同。本研究以有序樹狀結構為基礎，調整連桿連接的位置與長短，形成不同的簡化骨架做為樣本，以下是樣本工件的產生條件。

1. 子連桿與母連桿的接點只能在母連桿的兩端點或中點上。
2. 樣本工件的連桿的長度固定，主連桿為 1，第二層連桿為 0.5，第三層連桿為 0.25，依序減半。
3. 樣本工件各連桿的內縮階度相同，皆為 1。
4. 樣本工件經旋轉後不得與其它樣本工件相同，但翻面的工件則可，因沖壓件有正反面之分。

以圖 1.a 兩根連桿相連的簡化骨架為例，第一層的主連桿擺成水平，子連桿可以有上下各三個接點，產生六個樣本工件，經旋轉 180 度檢查其中有三個是重覆的，因此最後只有如圖 1.b 的三個樣本工件產生( $S_{a1}$ ,  $S_{a2}$ ,  $S_{a3}$ )。

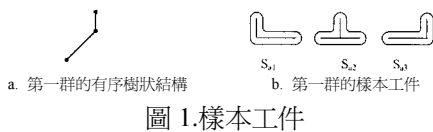


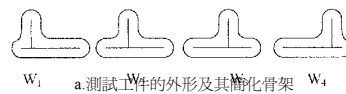
圖 1.樣本工件

本研究一共有三群樣本工件，每一群單獨訓練一個類神經網路，第一群有三個樣本工件( $S_{a1}$ ,  $S_{a2}$ ,  $S_{a3}$ )，分成三個不同的類別分別為  $G_{a1}$ ,  $G_{a2}$ ,  $G_{a3}$ 。第二群九個工件( $S_{b1}$ — $S_{b9}$ )分別指派為  $G_{b1}$  至  $G_{b9}$  九種類別，第三群( $S_{c1}$ — $S_{c14}$ )則是  $G_{c1}$  至  $G_{c14}$  十四個類別。

本研究選取了 55 個沖壓件做為分類的實例，這 55 個沖壓件依其簡化骨架的有序

樹狀結構可以分成三個工件群，第一個工件群有四個測試工件( $W_1$ — $W_4$ ) (如圖 2.a)；第二個工件群有 26 個測試工件( $W_5$ — $W_{30}$ )；第三個工件群有 25 個測試工件( $W_{31}$ — $W_{55}$ )。

測試工件的簡化骨架轉成向量表達法之後分別依工件群輸入至三個已完成訓練的類神經網路，每一個輸入向量計算的時間都不到 1 秒鐘即得到實際輸出向量。本研究依照分類的結果將測試工件整理在圖 2.b，每一個測試工件的類別是依表中輸出向量的數字最大者決定。



	$G_{a1}$	$G_{a2}$	$G_{a3}$
$W_1$	0.96	0.05	0
$W_2$	0.06	0.95	0.01
$W_3$	0.01	0.96	0.07
$W_4$	0	0.05	0.96

b. 測試工件的分類結果

圖 2. 第一群的測試工件

### 3.3 分類系統的加強

在分類的過程中我們可以發現，沖壓件只要有小突起，工件的簡化骨架就會多一根連桿，這種連桿多一根的情形會決定工件所屬的工件群，如沖壓件  $W_{17}$  和  $W_{19}$  都因為有一根小突起而被分到第二個工件群。但是這些凸起實在太小了，因此從整體外觀看起來這兩個工件與第一工件群裡的第三類工件也很類似。本研究對這種現象提出了一個解決方法，稱為特徵排除法。所謂的特徵排除法是將過短或過細的連桿視為工件的微小特徵，先將這些小特徵移除再進行工件的分類。

在本研究中，小特徵的認定是以人為的方式設定兩個閾值(threshold)，分別是連桿的第一個屬性的值和第二個屬性的值，當連桿的長度或內縮階度小於預設的閾值時，分類系統會先這些連桿視為小特徵，先移除這些連桿之後再對該工件進行分類。如測試工件從  $W_{17}$  開始，將第二個屬性的閾值設為 0.1，這些工件便可得到在第一工件群下的分類結果(表 1)。

表 1. 移除小特徵的工件分類結果

	$C_1$	$C_2$	$C_3$
W <sub>17</sub>	0	0.02	0.98
W <sub>18</sub>	0	0.02	0.98
W <sub>19</sub>	0	0.02	0.98
W <sub>20</sub>	0	0.02	0.98
W <sub>21</sub>	0	0.02	0.98
W <sub>22</sub>	0	0.02	0.98
W <sub>23</sub>	0.99	0.01	0
W <sub>24</sub>	0.99	0.01	0
W <sub>25</sub>	0.99	0.01	0
W <sub>26</sub>	0.02	0.98	0.02
W <sub>27</sub>	0.02	0.98	0.02
W <sub>28</sub>	0.02	0.98	0.02
W <sub>29</sub>	0	0.02	0.98
W <sub>30</sub>	0.02	0.98	0.02

在本研究中，使用者亦可以設定兩組以上不同水準的閾值，得到一個工件在不同工件群中的分類結果。這些分類結果可以依照用途的不同加以使用，例如工件的包裝盒可以從結構較複雜的工件群之分類結果選擇。特徵排除法有效的整合局部外形資訊，解決小特徵對本分類系統的影響，不僅使分類系統更有彈性而且分類結果的應用更為廣泛。

#### 四、結論

本研究提出一個兩階段的沖壓件分類方法，在這個方法中沖壓件要先轉成近似的正交多邊形，再以正交多邊形的簡化骨架表達工件的整體外形資訊(global shape information)。分類的第一個階段是依據簡化骨架的有序樹狀結構，以樹狀比對(tree matching)的方法將同結構的沖壓件分成同一個工件群。分類的第二個階段是在同一個工件群中以逆傳遞類神經網路依簡化骨架轉成的向量表達法做更仔細的分類。

這個二階段分類系統主要有以下五個優點：第一，二階段分類可以獲得相似程度不同的分類，增加分類結果的使用彈性。第二，二階段分類可以降低一個類神經網路的負擔，分類結果更正確。第三，透過本研究的特徵排除法，分類系統能整合整體與局部外形資訊在不同的工件群之間得到新工件適當的分類。第四，樣本工件是以給定的規則產生，不會受人為的影響改變分類結果。第五，本研究使用修正的簡化骨架表達法，工件的類似性變化為連續性，增加分類準則調整的彈性。

#### 五、參考文獻

1. Kaparthi, S., and Suresh, N., A neural network system for shape-based classification and coding for rotational parts. *International Journal of Production Research*, **29**, 1771-1784 (1991).
2. Chakraborty, K. and Roy, U., "Connectionist models for part-family classifications," *Computers Industrial Engineering*, **9**, 189-198 (1992).
3. Kao, Y. and Moon, Y. B., "A unified group technology implementation using the back-propagation learning rule of neural network," *Computers Industrial Engineering*, **20(4)**, 425-437 (1991).
4. Liao, T. W. and Lee, K. S., "Integration of a feature-based CAD system and an ARTI neural network model for GT coding and partfamily forming," *Computers Industrial Engineering*, **26(1)**, 93-104 (1994).
5. Wu, M. C., and Chen, J. R., A skeleton approach to modelling 2D workpieces, *Journal of Design and Manufacturing*, **4**, 229-243 (1994).
6. Wu, M. C., and Jen, S. R., "Global shape information modeling and classification of 2D workpieces," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **7(5)**, 261-275 (1994).
7. Cheok, B. T., Zhang, Y. F., and Leow, L. F., "A skeleton-retrieving approach for the recognition of punch shapes," *Computers in Industry*, **32**, 249-259 (1997).
8. Wu, M. C., and Wang, J. T., "An algorithm for converting the contour of 2D workpiece into a rectilinear polygon," *Computers in Industry*, **29**, 197-208 (1996).
9. Lippmann, R. P., "An introduction to computing with neural nets," *IEEE ASSP Magazine*, April, 4-22 (1987).