

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

自由曲面薄殼脫模性

Partibility of Free-form Surface

計畫編號：NSC-91-2212-E-002-036-

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：陳漢明 國立台灣大學機械工程研究所

共同主持人：

計畫參與人員：

一、摘要

現今的產品，為了人體工學、視覺美觀的因素，產品的設計具有複雜曲面，複雜曲面通常造成判斷可脫模性困擾，在模具設計的流程中將會增加相當多的時間。本計畫提出四個方法，其用意判斷可不可脫模、找尋最小包覆角錐與最大脫模角錐和圓錐，進而定量描述脫模方向。對於不可脫模的產品，以分層法則來找出最佳分模線，其方法與目的如下：

1. 遞迴旋轉座標法則：判斷物體的可脫模性。
2. 循邊法則：建立自由曲面法向量之凸殼角錐。
3. 裁減法則：量化物體可以脫模的範圍與方向。
4. 分層法則：界定分模區塊，與分模對，並決定切割物體的方向。

物體的脫模性可由遞迴旋轉座標法則判斷，不可脫模物件可由分層法則將物體區分成數個小區塊，藉由區塊的重組，可以找出干涉最少的分模對，此方法可以作為電腦輔助設計製造(CAD/CAM)系統中模具設計方面的利器。

關鍵字：脫模方向，自由曲面造型，射出成型。

Abstract

Nearly, large of production designed with free form shape for esthetics and ergonomics. In mold design, all of

these freeform surfaces cause confused parting problems and waste time to solve them. Mold and casting are suitable for variety of design and widely used in industry because of variety and shorter time cost. In this project, we prefer four methods to find out the visibility, the convex polyhedron, the parting polyhedron and parting cone of freeform shape using quantified statements. We use divided layer method to find out the optimal parting line for un-partable shape. All of these four methods describe as following:

1. Recursive rotating coordinate method: to determine the partibility of free-form surface.
2. Boundary search method: to construct the convex polyhedron of free-form surface.
3. Clipping method: to quantify the parting behavior of free-form surface.
4. Divided layer method: to decompose object and reassemble them.

The partibility of object was determined by recursive rotating coordinate method. If the object is un-partable, it will be decomposed into several sub-objects by divided layer method. And the parting direction with minimum under cuts will be found out by reassemble these sub-objects. It would be helpful for mold design in CAD/CAM system.

Keyword: Parting direction, Free-form surface, Injection mold.

二、源由與目的

近年來自由曲面儼然成為除了產品功能之外，影響產品設計的另一個重要因素了。自由曲面的產品，如果是經由鑄造或射出成型製造的話，那麼在設計時，就需要注意到是否可以脫模(partibility)。然而一個複雜的曲面是否可以脫模，是不容易經由傳統的方法判定的！為此，本文提出一個判斷可否脫模的快速方法，這個方法不但適用於自由曲面的物件，同時也適用於簡單規則表面的物件。

過去的研究中，Ravi 評估特定九個參數對於脫模方向的影響，並藉此設定分模面(parting surface)的位置[1]。Wong 提出一個類似 Ravi 的方法。以切面方法 slicing algorithm 在模型上等間隔放置若干個平行於脫模方向的切面，試圖以二維方式解決複雜的三維曲面問題[2]。Chen 的概念則是將模型分割為矩形柱(dexel model)，進而評估脫模方向。因 Wong 的切平面或是 Chen 的矩形柱都是不連續的取樣，故此類方法，對於變化劇烈的形狀，易做出錯誤的判斷。

Zhou 將模型上所有的特徵分離出來，然後找出各特徵可能的脫模方向。以各特徵的組合作為選擇脫模方向的主要考量，並引入具有權重的評估函數中[4]。

Woo 與 Chen 根據物件表面的高斯圖(Gaussian maps)建立此物件的可視圖(visibility maps)，並將可視圖的觀念應用在判斷脫模、銑切加工的可行性上[5,6]。Gan 證明了可視圖與高斯圖有互補的關係，也就是彼此互相垂直[7]。

Lu 以圓柱狀切面(vector plane)，將物件以二維方式計算三維的可視圖[8]。其方法將高斯圖的應用又向前推進了一步。

本研究除了判斷脫模性問題外，尚對自由曲面物件分層，分層的主要

原則以曲率正負為主，並將曲率為負的區塊分類為五種類型，透過各區塊間組合，決定最佳分模方向。

三、結果與討論

本研究結果包含四個主要項目，分述如下：

3.1 遞迴旋轉座標法則

本法則以反覆旋轉法向量終點，將物體所有法向量皆旋轉到同一側。在齊次座標中，對任意方向的旋轉矩陣，如下方程式：

$$M(\vec{R}, \theta) = \begin{bmatrix} (1-a^2)\cos\theta + a^2 & -ab\cos\theta - c\sin\theta + ab & -ac\cos\theta + b\sin\theta + ac & 0 \\ -ab\cos\theta + c\sin\theta + ab & (1-b^2)\cos\theta + b^2 & -bc\cos\theta - a\sin\theta + bc & 0 \\ -ac\cos\theta - b\sin\theta + ac & -bc\cos\theta + a\sin\theta + bc & (1-c^2)\cos\theta + c^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

對於任意擺置的模型，都能將旋轉到相同的座標位置，並確保其法向量最低點至少兩點，若超過三點以上，則顯示 z 軸會通過最低點所形成的凸多邊行。圖 1 為汽車頂蓋模型的彩現圖。透過本法則，將汽車頂蓋模型旋轉至特定位置後，如圖 2 所示，其法向量最低點，恰好落於一平面 H 上。

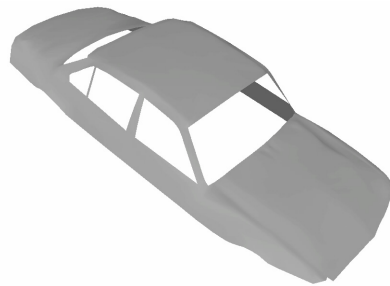


圖 1、汽車頂蓋模型彩現圖

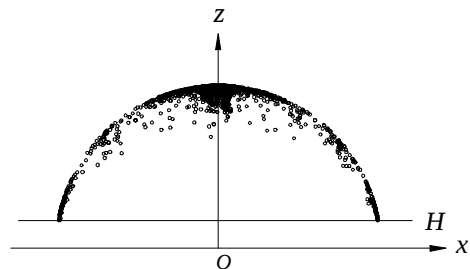


圖 2、旋轉後的法向量分佈

3.2 循邊法則

本循邊法則以找尋凸多邊形為目的，法則的概念為：當法向量的最低

點找到後，必可找到通過這些最低點的外接圓，由最低點所形成的多邊形頂點出發，往外成長一邊，且該邊滿足與原多邊形邊夾角最大，如圖 3(a)，步驟進行至多邊形外面已經沒有點為止，其結束後的情況如圖 3(b)所示，其複雜度為 $O(n\log n)$ 。

以圖 1 中的汽車模型為例，透過尋邊法則所找到的凸多邊形如圖 4 所示，本例子中，其最低點為兩點，故其連線必通過 z 軸。

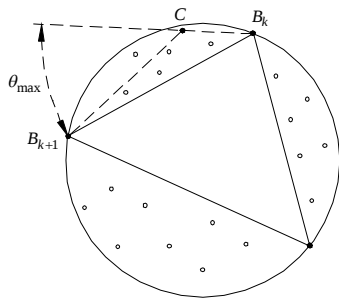


圖 3(a)往外部找尋夾角最大的邊

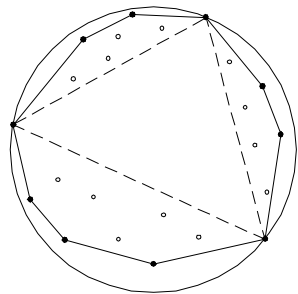


圖 3(b) 循邊法則完成之示意圖

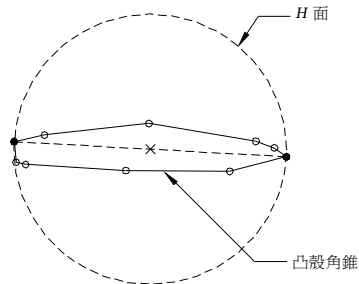


圖 4 以循邊法則所建立後的凸殼角錐

3.3 裁減法則

本法則目的在於找出脫模角錐，其存在的條件為凸殼角錐也必須同時存在，換句話說，該物件必須為可脫模物件，而藉由凸殼角錐的菱邊，以裁減方則可以在空間中建立一個脫模角錐，所找到的脫模角錐，即表示所

有通過該角錐內的法向量，對該物件而言皆是可脫模的方向，而脫模原錐是其最嚴格的定義，如圖 5 所示，脫模原錐內切於脫模角錐，而脫模原錐可代表一個脫模方向與可脫模的容許夾角，圖 6 即是汽車模型的脫模原錐表示圖。

從表一可知以上三個法則的效率，表中的滑鼠為不可脫模模型，經過三次遞迴旋轉座標運算便收斂，汽車模型為特殊例子，亦在五次運算後即收斂。

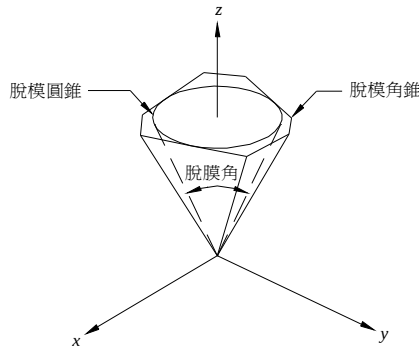


圖 5、脫模原錐與脫模角錐之關係

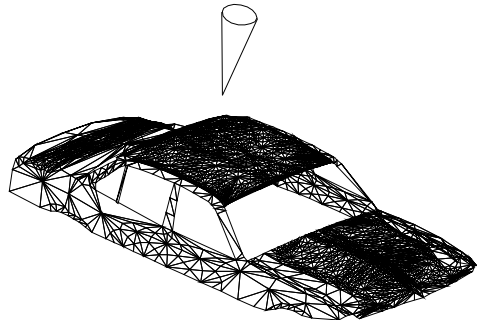


圖 6、汽車模型之脫模角錐

表一、應用於各模型之效率表現

模型	車頂	人臉	滑鼠
三角網格總數	4118	34048	29502
單位法向量終點轉動次數	5	3	3
法向量終點在 H 面上數目	2	3	3
最低點所連區域外之交點數	4116	1049	NA
脫模角錐的稜邊數目	10	12	NA
脫模角(degrees)	19.84	29.75	NA
總運算時間(ms)	100	420	241

3.4 分層法則

我們以分層法則，針對自由曲面物體表面的曲率變化，將物體分離為數個子區塊，如圖 7 面具模型，圖中

的眼球部分即被個別分離出來，屬於凸區塊。而對於物體區塊的類型，我們區分為六種大類別，如圖 8 所示。依特徵分類一共分為六類，其中前五類都是凹區塊中才會出現，一般合併的判斷上是不需要考慮做過深層判斷之第六類凸區塊的狀況，因此在凸區塊是不會有過切產生的，會產生過切的位置一定是凹區塊所在的位置才有可能。

根據此方法我們針對每個區塊做脫模角錐合併的動作，其組合的方式以凸區塊為出發點，與鄰近的區塊合併，並保持其脫模對存在的最大可能。當所有合併的可能都決定後，選擇過切數最小的組合方式，在逕行對物件切割圖。如圖 9 滑鼠物件所示，圖左為分層法則計算後的區塊，以脫模對所選擇的最佳切割方向如圖右所示，兩顏色間的界線，即為所選的分模線。

圖 10 左是物件的點資料，該物件形狀為一個球體，包含六個凹洞，其對應的凸殼角錐如圖 10 右，透過脫膜對的整合，可將數個脫膜角錐合併，選擇其中產生干涉最少的脫膜對作為脫膜方向，其結果如圖 11 左所示，將物件分離為上半部與下半部，上半部的彩現圖如圖 11 右所示，亦即表示由開方向切割後，該上部分所剩餘的干涉部分，則需透過滑塊等機構，方可使物件脫膜。

四、結論

本文的方法，解決了不可脫模物件，在選擇分模線上的困擾，不可脫模物件的分模線並非唯一，其他諸多考慮因素還包含加工便利性，美觀等，而本文提供一個可行的方向，並可作為電腦輔助工程判斷的利器。

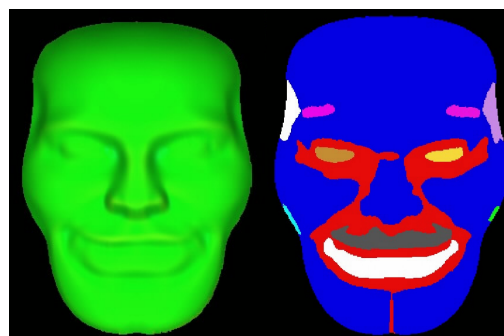


圖 7、以分層法則對物體做區塊分離

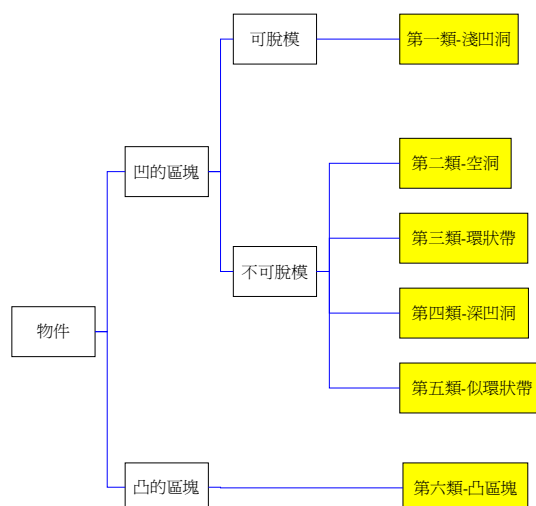


圖 8、分層法則之物體區塊分類表

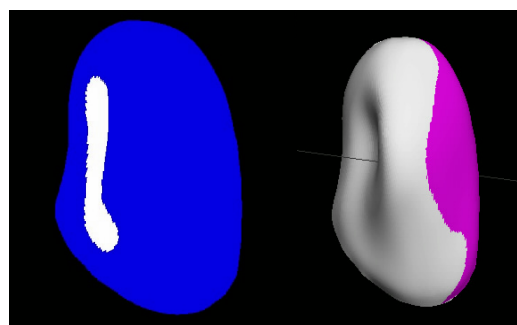


圖 9、以分層法則對物體做區塊分離

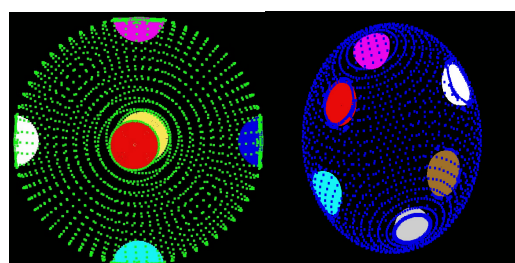


圖 10、物件各區塊對應之凸殼角錐

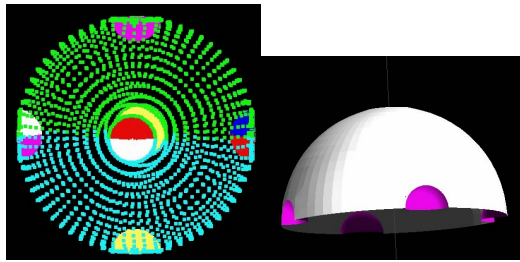


圖 11、脫膜對之合併與切割方向選擇

四、參考文獻

1. Ravi, B., and Srinivasan, M. N., "Decision criteria for computer-aided parting surface design," *Computer Aided Design*, Vol.22, No.1, pp.11-18 (1990).
2. Wong, T., Tan, S. T., and Sze, W. S., "Parting Line Formation by Slicing A 3D CAD Model," *Engineering with Computers*, Vol.14, pp.330-343 (1998).
3. Chen, Y. H., Wang, Y. Z., and Leung, T. M., "An investigation of parting direction based on dexel model and fuzzy decision making," *International Journal of Production Research*, Vol.38, No.6, pp.1357-1375 (2000).
4. Zhou, Z. Y., Gao, S. M., Gu, Z. C., and Shi, J. Y., "A Feature-Based Approach to Automatic Injection Mold Generation," *IEEE Proceedings of Geometric Modeling and Processing*, pp.57-68 (2000).
5. Woo, T. C., "Visibility maps and spherical algorithms," *Computer-Aided Design*, Vol.26, No.1, pp.6-16 (1994).
6. Chen, L. L., Chou, S. Y., and Woo, T. C., "Separating and Intersecting Spherical Polygon: Computing Machinability on Three-, Four-, and Five-Axis Numerically Controlled Machines," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.12, No.4, pp.305-326 (1993).
7. Gan, J.G., Woo, T. C., and Tang, K., "Spherical Maps: Their Construction, Properties, and Approximation," *ASME Journal of Mechanical Design*, Vol.116, pp.357-363 (1994).
8. Lu, H. Y., and Lee, W. B., "Detection of interference elements and release directions in die-cast and injection-moulded components," *Proceedings of Instantaneous Mechanical Engineers*, Vol.214, pp.431-441 (2000).