

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

基因演算法於二維空蝕水翼逆向設計及最佳設計之應用

Application of Genetic Algorithms to Inverse Design and Optimal Design
of Two-Dimensional Cavitating Hydrofoils

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC-89-2611-E-002-031

執行期間：89年08月01日至90年07月31日

計畫主持人：郭真祥

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學造船及海洋工程學系

中 華 民 國 90 年 07 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

基因演算法於二維空蝕水翼逆向設計及最佳設計之應用(I)

Application of Genetic Algorithms to Inverse Design and Optimal Design of
Two-Dimensional Cavitating Hydrofoils

計畫編號：NSC-89-2611-E-002-031

執行期限：89年08月01日至90年07月31日

主持人：郭真祥

國立台灣大學造船及海洋工程學系

計畫參與人員：陳振哲

國立台灣大學造船及海洋工程學系

計畫參與人員：韓卓軒

國立台灣大學造船及海洋工程學系

一、中文摘要

本計畫的目標在於發展一套二維空蝕水翼設計工具。本研究結合基因演算法以及勢流計算程式，針對二維空蝕水翼進行最佳化設計。設計目標在給定一個壓力分佈，經過最佳化的過程，進而設計出相對應的二維水翼幾何外型。二維水翼幾何外型採用 B-spline 曲線來表示，透過控制點的移動能夠產生局部變形能力。所建立的方法以 NACA4412 翼形進行驗證。將進一步發展壓力分佈的最佳化工具，成為完整的翼形最佳化工具。

關鍵詞：二維空蝕水翼，幾何最佳化設計，基因演算法。

Abstract

The purpose of this project is to deal with optimal design problems of two-dimensional cavitating hydrofoils. For the optimization we will adopt genetic algorithms (GAs), GAs are known to be robust optimization algorithms and have been getting wide popularity in the field of numerical optimization. In the research we link the potential flow calculation method for two-dimensional cavitating hydrofoils, and GAs to solve the inverse problems with a specified pressure distribution.

Keywords: Two-dimensional Cavitating Hydrofoil, Geometric Optimal Design, Genetic Algorithms.

二、緣由與目的

本計畫目標針對二維之空蝕水翼在給定限制條件下，如何設計二維之空蝕水翼之幾何形狀，進而得到最佳性能。在相關的研究方面，文獻[1]將此類問題分成兩階段處理：第一階段先對目標壓力(target pressure)分佈曲線進行最佳化。第二階段再利用目標壓力分佈曲線，以逆向設計方法求解滿足此目標壓力分佈之翼形。

在水翼設計問題中，我們經常遭遇到兩類設計情況，分別為直接設計問題(Direct problem) 和反算設計問題(Inverse problem)。直接設計問題指的是由給定的水翼幾何形狀計算其流場的特徵如流速及壓力等。而反算設計問題則是求取水翼的幾何形狀來滿足所要求的流場特徵。本研究採取反算設計的架構。第一階段中，透過最佳化的方法，將限制條件以壓力分佈的方式呈現，並且在壓力分佈上表示流場特徵，第二階段的工作則負責將第一階段得到的目標壓力分佈，以流場分析程式與基因演算法結合，求得對應壓力分佈的水翼幾何形狀。

針對反算設計之方法，文獻[2]使用傳統最佳化方法，而文獻[1]及[3]則以基因演算法為之。由文獻[1][3]之結果得知，基因演算法應用於反算設計亦顯示極好之結果。二維水翼幾何曲線是以 B 木條曲線(B-spline)表示(如圖一所示)，水翼必須滿足給定的壓力分佈，利用基因演算法求取最佳之 B 木條曲線之控制點以滿足上述目標壓力分佈。

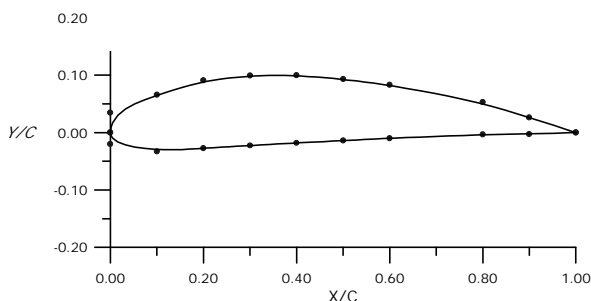
基於對基因演算法之優點之體認以及其應用效果相關文獻之研讀，加上吾人使用基因演算法的經驗[4][5]，本研究將二維空蝕水翼設計最佳化分成二階段進行計算，皆以基因演算法處理反算及目標壓力分佈最佳化等最佳化問題。

三、二維翼形幾何表示

從設計的角度來看，如何準確地表示二維翼形的幾何形狀是非常重要的。我們希望使用較少數控制點(control point)能夠準確地表示我們所要的水翼形狀。同時也希望在使用上具有較高的自由度，可以方便地針對翼型幾何進行調整。因此我們選擇 B-spline 曲線 [6]作為表示翼形的方法。

B-spline 曲線具有局部控制的特性，並且可以經由階數 (order) 的控制，改變曲線的平順程度。以上的兩個特性符合我們設計上的需求。

在本研究中，水翼幾何的表示採用上下表面兩條 B-spline 曲線(型態為 open B-spline)來表示翼形。在每一條曲線上分佈 11 個控制點。控制點的第一點及最後一點分別固定在座標 (0,0) 及(1,0)上以確定翼形是封閉的形狀。並且將控制點第二點 x 座標固定為 0，確保在導緣在兩條曲線連接處斜率連續。變化控制點第二點的 y 軸座標，及其餘控制點的 xy 座標值，來對整個翼形進行形狀變化。



圖一：二維翼型幾何與 B-Spline 曲線控制點。

四、基因演算法與二維翼型設計

基因演算法是基於物種競爭及生物繁衍變異的觀念所建立的一種最佳化方法。在達爾文提出的“演化論”中，主張“物進天擇，適者生存”。其中敘述，在資源有限的環境下，生態群體中的每一個生物個體，為了生存，而必須相互競爭。在競爭的過程中，適應程度較差的個體所爭取到的資源，相對少於適應程度較佳的個體。適應程度不佳者也較為容易被環境中選擇機制淘汰，成為競爭的失敗者。適應程度佳的個體因為能獲得較多的資源其繁殖子代的機會較多，能夠有利其留下自己的基因。

同時在繁衍的過程中，透過有性生殖的方式，讓個體間交換基因組合，產生新的子代。以及基因突變的機制，可以使基因組合多樣化，增加適應環境的機會。藉著物種競爭及繁衍變異的作用，物種一代一代逐步適應環境，成為更能夠適應環境的族群。

基因演算法包含以下步驟：首先，隨機產生初始族群。之後，族群中的個體由適應函數評估其適應能力，適應能力較佳者配與較高的機率，使之能在選擇機制下生存，也可以獲得較多的交配(crossover)機會。之後，由選擇機制進行淘汰，在此一階段適應能力不佳的個體會被剔除。接著由基因操作重組基因使組合多樣化，產生新的子代。新的世代產生後，再次評估、選擇、基因操作、產生新世代，重複循環直至最佳解達到穩定的狀態。

近年來基因演算法被廣泛使用在各種領域，同時也證明了其在最佳化問題，具有強健的能力。

運用基因演算法在給定一個壓力分佈之下計算水翼的幾何形狀。最佳化問題之目標函數如下式所示：

$$\text{minimize } f = \int [C_p^p(x, s) - C_p^t(s)]^2 ds \quad (1)$$

其中， $C_p^p(x, s)$ 為目前翼型所算出的壓力分佈， $C_p^t(s)$ 為目標翼型的壓力分佈。S 為沿著壓力曲線的弧長。

在最佳化過程，首先給定一目標壓力分佈 C_p^t 及初始水翼幾何控制點 B^0 。

水翼幾何控制點 B 的搜尋範圍如下式所示：

$$B = B^0 + \Delta X \quad (2)$$

其中 ΔX 代表搜尋範圍，其數值介於 $[-0.04C, 0.04C]$ 之間，而 C 代表翼展弦長(Chord length)。

上述的翼形表示方式與基因演算法結合，每一個翼形對應到 34 個變數。我們將變數變化的範圍設定為 $-0.04C < x_i < 0.04C$ 及 $-0.04C < y_i < 0.04C$ 。

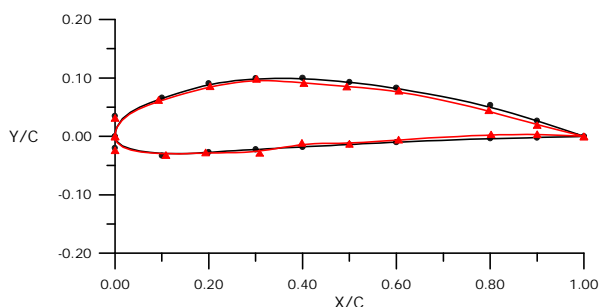
將控制點的位置向量 B 帶入流場分析程式，產生每組水翼幾何對應的壓力分佈，經由基因演算法將翼形幾何的控制點逐步修正使水翼壓力分佈能與目標壓力分佈一致。

運用基因演算法進行最佳化計算的相關參數整理於表一。

表一：基因演算法相關參數

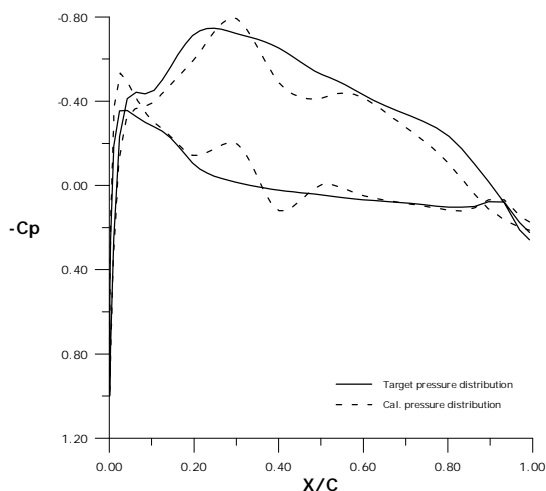
參數說明	參數值
Population size	100
Number of generation	200
Crossover probability	0.6
Mutation probability	0.01
Type of selection	Tournament selection
Type of crossover	Uniform crossover
Scaling	Linear scaling

圖二顯示在初始演化代數中最佳的翼型幾何與目標翼型幾何的圖形，其中圓點所組成的翼型代表目標翼型，三角形所組成的翼型代表目前所設計之翼型。



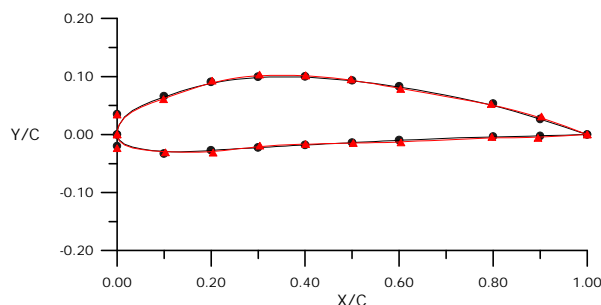
圖二：初始演化代數中設計翼型與目標翼型之比較。

圖三顯示在初始演化代數中最佳的翼型壓力分佈與目標壓力分佈之比較，其中實線所組成的壓力曲線代表目標壓力分佈，虛線所組成的壓力曲線代表目前所設計之壓力分佈。結果顯示，在初始演化代數中，壓力分佈上有著相當不同的型態。

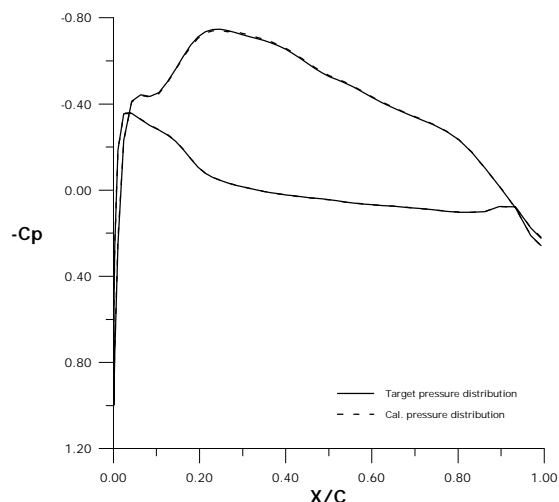


圖三：初始演化代數中計算壓力分佈與目標壓力分佈之比較。

經過基因演算法的最佳化計算之後，所設計出之翼型已經漸漸趨近目標翼型。將計算結果整理於圖四及圖五。



圖四：最終設計翼型與目標翼型之比較。



圖五：最終設計之壓力分佈與目標壓力分佈之比較。

由圖四及圖五結果顯示，本研究所提出的最佳化方法能夠有效的針對目標壓力分佈求得相對應的二維翼型幾何。

研究結果也顯示水翼的幾何形狀對於壓力分佈之影響非常的強烈。在水翼幾何形狀的細微變化，都會使壓力分佈有著大幅度的改變。這種壓力分佈與水翼幾何形狀間的關係，意味著些微的形狀改良都能改變水翼的性能，也說明了在這方面有相當的研究空間。

五、計畫成果自評

以反算設計架構而成的水翼設計工具，對一個有設計經驗的設計者而言是個相當有用的工具。運用基因演算法的搜尋能力來搜尋翼型幾何形狀，結合流場分析工具，可以得到符合設計需求的翼形。進一步針對壓力分佈進行最佳化設計，就可以得到符合設計性能的水翼幾何形狀。

本研究將進一步進行壓力分佈最佳化工具的發展，發展方向將採用基因演算法在具限制條件下對壓力分佈作最佳化設計。

六、參考文獻

- [1] Shigeru Obayashi and Sasumu Takanashi, "Genetic Optimization of Target Pressure Distributions for Inverse Design Methods", AIAA Journal Vol.34, No.5 May 1996.
- [2] 辛敬業, "應用邊界元素法之二維翼面設計方法", 第八屆造船及輪機工程研討會論文集, pp.314-318, 1995
- [3] I. De Falco and R. Del Balio and A. Della Cioppa and E. Tarantino, "Breeder Genetic Algorithms for Airfoil Design Optimization", Proceedings of 1996 IEEE, International Conference on Evolutionary Computation (ICEC '96), pp.71-81, May 20-22, 1996.
- [4] Jyh-bin Suen and Jen-shiang Kouh, "The Application of Genetic Algorithms in Multimodal Functions Optimization", The Third International Student's Congress of Asia-Pacific Region Countries at Vladivostok, Russia, Oct. 1999.
- [5] Jyh-bin Suen and Jen-shiang Kouh, "Using Genetic Algorithms for Series Propeller Design Optimization", Third International Conference on Marine Technology ORDA 99, 1999.
- [6] David F. Rogers and J. Alan Adams, Mathematical Elements For Computer Graphics, McGraw-Hill, pp. 305-355.