

行政院國家科學委員會專題研究計畫期末成果報告

仿生形自主式水下載具之基本研究(I) Basic Study on Biomimetic AUVs(I)

計畫編號：NSC 89-2611-E-002-013

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：鄭勝文 邱逢琛 郭真祥 蔡進發 郭振華
國立臺灣大學造船及海洋工程學系

一、中文摘要

現階段自主式水下載具基本架構乃軍用潛艦或魚雷之架構與自動控制技術之單純組合，並未由自主性及運用目的之觀點進行感測器、訊號處理器、運動控制器、致動器、推進器及外型之整合最佳化，致存在諸如小範圍運動之靈活性不足、推進效率偏低、無法適應未知作業環境等問題。為解決現階段自主式水下載具基本架構之關鍵課題，本整合型計畫依據人工智慧領域之代理者觀念，研發一部具備魚類外形及其感測、知覺、行為規劃、運動控制、學習等功能之仿生型自主式水下載具(BAUV)試驗機，進行相關試驗與改良，可望針對水下未知環境之適應能力、低速徘徊運動操控能力、推進效率等問題提供根本的解決方案。本報告為第一年期之期末報告。

關鍵詞：水下載具、水下導航、水下技術

Abstract -- The technology in connection with the development of unmanned underwater vehicle has advanced to the point where such vehicles now offer a potential for significant improvements in ocean science and engineering applications. Existing autonomous underwater vehicles are robotic submarines moved by rotary propellers and control surfaces. The basic design structure follows its predecessors, i.e., military submarines and torpedoes. The low efficiency of the small diameter propellers coupled with the stiff hull leads to short mission time, low maneuverability,

and low adaptability in unstructured environment. To explore the possibility of substantial gains we have turned to the design of comparably sized biological systems for inspiration. In this report, we describe our current status of the first year. Our goal is to build a fish-like underwater vehicle as a testbed to investigate interactions and coordination among appearance, motion, behavior, and perception modules.

Keywords: Underwater Vehicle, Underwater Navigation, Underwater Technology

二、緣由與目的

為解決現階段自主式水下載具(AUV)架構在低速徘徊控制、高速巡航之能源效率等問題，本整合型計畫依據代理者[agent;人工智慧領域術語，意指具備感測(sensing)、知覺(perception)、行為規劃(behavior planning)、學習(learning)、運動控制(motion control)及動作(movement)能力之人工系統，能代替人類自行完成指定工作目標，而不需人類指示細部作業內容]觀念，研發一部具備魚類外形及其感測、知覺、行為規劃、運動控制、學習等功能之仿生型自主式水下載具(BAUV)試驗機(testbed)，進行相關試驗與改良，可望針對水下未知環境之適應能力、低速徘徊運動操控能力及推進效率等問題，提供根本的解決方案。

本計畫擬研發之BAUV架構區分為

五大部分，各由一個子計畫負責，分述如下：

- (1)子計畫(一)：仿生型自主式水下載具阻力推進性能之研究(I),(II),(III); 進行 BAUV 黏性流場中阻力與推進性能之計算及實驗之驗證，從提昇推進效率之觀點，提供最佳化外形設計 (efficiency-based design) 所需基本資料。依據 BAUV 可能推進模態，分為穩態 (steady state) 及暫態 (transient state) 阻力推進性能之評估。
- (2)子計畫(二)：仿生型自主式水下載具運動性能之研究(I),(II),(III); 進行 BAUV 運動之數學模型建構、數值模擬及實驗之驗證，求取本體 (body) 及鰭(fin) 之流力動力係數，並整合現存魚類外形相關流體動力特性資料，從運動及操控性能之觀點，提供最佳化外形設計 (maneuverability-based design) 所需基本資料。由於總計畫之探討重點在於停留、轉向、突進、急煞等小範圍複雜動作，本子計畫成為 BAUV 外形設計工作之主軸。
- (3)子計畫(三)：仿生型自主式水下載具行為控制系統之研究(I),(II),(III); 負責 BAUV 動作所需軟/硬體之研發。包括行為控制模組 (behavior control module)、運動控制模組 (motion control module) 及機構/致動器模組 (mechanism/actuator module) 之規劃/模擬/設計/製作/測試，其中，用以選擇最適行為之知覺資訊 (perceptual information; 即外界及內部狀態資訊) 由子計畫(四)提供，而最佳化演算模組 (optimization module) 由子計畫(五)提供。
- (4)子計畫(四)：仿生型自主式水下載具感測及知覺系統之研發(I),(II),(III); 負責 BAUV 外界/內部狀態感測及知覺所需軟/硬體之研發。包括感測器模組 (sensor module) 及知覺模組 (perception module) 之規畫/模擬/設計/製作/測試。
- (5)子計畫(五)：平行化基因演算法應用於仿生型自主式水下載具幾何外型設計與行動規劃最佳化之研究(I),(II),(III); 負責建構外形設計及動畫所需軟/硬體基礎架構 (infrastructure)，包括現存魚類軀體/鰭

形狀幾何模型之建立，最佳化演算模組之研發，及虛擬魚類 (virtual fish) 之製作。本子計畫提供其他子計畫所需軟體發展環境。

三、成果

1. 總計畫

根據子計畫(一)、子計畫(二)、及子計畫(五)所建議之 BAUV 外形曲線，以及子計畫(三)之機構初步設計，現階段正進行 BAUV 之細部設計及機構運動之數值模擬和評估。

2. 子計畫(一)

- (1) 參考魚體實體，及低阻翼形，設計一魚體幾何。目前已建構出一魚體幾何。
- (2) 設計尾鰭，有部份的研究尾鰭直接採用 NACA 的對稱翼形。錦鯉的尾鰭厚度相當薄可以使用平板來取代即可，在實務上也比較可行；理論上可以用翼形來設計。

- (3) 發展黏性流場計算程式，使其適於計算魚體的穩態解，計算魚體不變形的流場，比較出低阻的外形。目前程式正在測試中。

- (4) 建構一透明水箱，以高速錄影機拍攝活魚波動、擺動的實況，分析其運動時魚體與尾鰭的運動軌跡。目前已完成錄影的工作，正進行影像數位化擷取與分析魚體運動的姿勢。

3. 子計畫(二)

魚類外形因生活形態之需，經長期演化而成的最適化外形，通常是下述三種運動性能的妥協，即巡航與衝刺(Cruising & Sprinting)、突進(Accelerating)、操控(Maneuvering)等三種運動性能。而前二者主要關係到包含魚體和尾鰭在內的波動運動(Undulatory Motion)，後者則主要關係到魚類胸鰭的往復運動(Oscillatory Motion)，然而通常還更可能包括魚體、尾鰭、胸鰭的同時運動與交互影響，譬如行進中的急速迴旋運動。是故，為求建立針對仿魚 BAUV 以運動性能為基礎的最佳化外形設計(Motion-based design)之能力，子計畫二擬以三年為期致力於魚類運

動機制的探究，如停留、轉向、突進、急煞等運動機制之解明與再現模擬，並進行實驗驗證。而第一年之主要工作項目有四：(1)建立包含魚體、尾鰭、胸鰭作用之魚類運動數學模式；(2)蒐集包含魚體、尾鰭、胸鰭運動相關之流體動力係數資料庫；(3)進行魚類運動模擬計算；(4)進行運動性能與外形相關性之初步探討。

目前進度為細長撓性體波動推進之運動模擬，內容包括其理論推導、數值計算方法、程式撰寫及初步的計算例等。

4. 子計畫(三)

本年度進行機構及驅動器模組之規劃與設計，以及運動控制器之研發，機構及驅動器模組之設計規格如下：

- (1) 本體分為三節，以剛性連桿串接。擺動尾鰭時，頭節必須有相對應之擺動，以減少行進中之流體阻力。
- (2) 胸鰭各以二個伺服馬達控制。
- (3) 魚體外型以彈性金屬網包覆，外罩一層減阻材料。
- (4) 魚體全長以 2 公尺為原則，長寬比以 4 倍為原則。
- (5) 已完成運動控制介面，包含伺服馬達及編碼器之介面。

5. 子計畫(四)

(1) 水下視覺系統硬體研發

在仿生型載具未完成前，擬採用小型無線遙控模型潛艇作為水下載台。

(2) 水下視覺系統軟體研發--光流(optical flow)計算

2D 視覺影像處理部分，針對動態視覺功能，本計畫以光流為主要依據。正從事像質改善、邊緣偵測、特徵抽取、影像分割、辨識等二維處理。

6. 子計畫(五)

(1) 幾何外形：在 BAUV (仿生型自主式水下載具) 的幾何外型設計上，必須考慮 BAUV 內部機構的裝載問題，經過討論之後，BAUV 的寬度必須在 50cm 以上，才能有足夠的空間放置馬達等器具。再者考慮 BAUV 的長度最好在 2 米以內，因此長寬比約為 4:1 左右。初步選定一尾肥胖的錦鯉作為設計 BAUV 的參考魚，根據此錦

鯉的側視圖與上視圖建立幾何外型，由於此錦鯉的長寬比大於一般的錦鯉，因此假設其剖面形狀為橢圓形，以滿足其肥胖的特點。最後將其外型等比例放大至全長(從頭部最前端至尾鰭最後端) 200 cm，寬 40cm，高 50cm，再加上魚鰭，即成為 BAUV 的初步外型。

(2) 運動：在錦鯉的運動方面，由於錦鯉前進之時，會將背鰭、胸鰭、腹鰭及肛鰭收縮，以減少前進時的阻力，因此考慮前進運動時，可以只考慮錦鯉身體與尾鰭兩部份的運動。假設錦鯉身體的擺動是由脊柱的變形所產生，且限制脊柱的變形方向僅在於水平方向，便可用脊柱(基準線)的變形來代表錦鯉的運動姿勢。依此原理，套用錦鯉運動時的變形模式，便可以求得錦鯉運動時的脊柱姿勢，再將 BAUV 各剖面形狀建立在變形後的脊柱(基準線)之上，便可以得到 BAUV 在運動時的幾何外型。

五、結語

1. 本報告為總計畫第一年期之期末報告，本計畫之目的為建立 BAUV 試驗機，可依任務及所在環境自行產生最佳之行為模式及推進操控性能，提高自主式水下載具之工作能力，增廣其應用範疇。
2. 本計畫所建立之魚類運動、推進、形體設計，模擬環境系統，將有助於高性能水下載具技術之發展。智慧型感知行為控制系統，可望為下一代 AUV 提供新的設計架構。

六、參考文獻

1. 鄭勝文、邱逢琛編譯，1997，*水下技術通論*，國立編譯館。
2. 鄭勝文、邱逢琛、蔡進發、郭振華，1998，“「自主式水下載具整合型研究計畫」成果報導”，國科會科學發展月刊，第 26 卷第 1 期。
3. Webb, P.W., 1984, "Form and function in fish swimming," *Scientific American*, 251(1).

4. Azuma, A., 1992, *The Bio-Kinetics of Flying and Swimming*, Springer-Verlag, New York.
5. Maes, P., editor, 1991, *Designing Autonomous Agents*, The MIT Press, Cambridge, MA.
6. Barret, D.S., M.S. Triantafyllou, 1995, "The design of flexible hull undersea vehicle propelled by an oscillating foil," *Proc. of 9th Int'l Symp. on Unmanned, Unthethered Submersible Tech.*, pp.111-123.
7. Kato, N. and M. Furushima, 1996, "Pectorial fin model for maneuver for underwater vehicles," *Proc. of IEEE Symp. on Autonomous, Underwater Vehicle Technology*, pp49-56.
8. Bandyopadhyay, P. R., et.al., 1997, "Low-speed maneuvering hydrodynamics of fish and small underwater vehicles," *ASME Journal of Fluid Engineering*, 119, pp.136-144.
9. Toates, F., 1980, *Animal Behaviour - A Systems Approach*, John Wiley & Sons.