



整合振動感測與智慧決策之水產養殖 精準投餵系統

Integration of Vibration Sensing and Intelligent Decision-making for
Precision Feeding in Aquaculture

吳適達 S. T. Wu¹、廖育成 Y. C. Liao²、林克臻 K. J. Lin²、
蔡詠安 Y. A. Cai²、陳思瑜 S. Y. Chen¹、陳志仁 C. J. Chen³、
莊俊德 C. T. Chuang⁴、林志遠 C. Y. Lin⁵
工研院(ITRI) 智慧感測與系統科技中心 ¹工程師、²副工程師、
³正工程師/副組長、⁴副經理
農業部(MOA) 水產試驗所 技術服務組 ⁵研究員

摘要/Abstract

本研究主要開發一套創新的智慧化精準投餵系統，以解決傳統水產養殖業的人力短缺和投餵品質問題。該系統整合水下振動感測技術與適應性投餵決策模型。其中，基於振動感測器的魚群攝食活動力監測模組，能有效反應魚群的攝食活動力，避免影像感測活動力受光線干擾等問題；此外，具備學習機制的適應性投餵決策模型，能依據養殖戶的操作習慣，建立個人化的投餵模式。實驗結果顯示，系統模型決策的停餌時間和漁民相差平均僅1.4分鐘(4.8%)，最大不超過4分鐘(12%)，證實了系統的實用性，可以代替人工，提供有效率和有品質的投餵作業。

This study primarily develops an innovative intelligent precision feeding system to address the labor shortage and feeding quality issues in traditional aquaculture. The system integrates underwater vibration sensing technology and adaptive feeding decision models. The fish activity sensing module, based on vibration sensors, can effectively reflect the feeding activity of fish and avoid the light interference issues of image-based activity sensing. Moreover, the adaptive feeding decision model with learning capabilities can establish personalized feeding patterns based on the operating habits of aquaculture farmers. Experimental results show that the stop-feeding time determined by the system model differs from that of fishermen by an average of only 1.4 minutes (4.8%), with a maximum difference of no more than 4 minutes (12%). This confirms the practicality of the system, which can replace manual labor and provide efficient and high-quality feeding operations.

關鍵字/Keywords

水產養殖(Aquaculture)、精準投餵(Precision Feeding)、魚群活動力感測(Fish Activity Sensing)、投餌決策(Feeding Decision)



前言

根據聯合國糧農組織(FAO) 2024年最新發布的《世界漁業和水產養殖狀況》報告⁽¹⁾指出，2022年全球水產品總產量首次突破1.85億噸，創下歷史新高。其中，水產養殖業產量達9,400萬噸，占總產量的51%，首次超越捕撈漁業的9,000萬噸。這項數據顯示，水產養殖業已成為全球食品供應體系中不可或缺的重要環節。

在水產養殖(Aquaculture)的生產成本中，飼料支出占30~70%⁽²⁾，是養殖戶最主要的生產支出。研究指出，飼料投餵量的控制對養殖成效有著決定性的影響：過量投餵不僅造成飼料浪費，更會導致養殖水體污染，影響水質參數如溶氧量、氨氮含量等⁽³⁾；相反地，投餵不足則可能造成魚群生長遲緩，導致延長養殖週期，降低經濟效益。因此，如何精確控制投餵量成為養殖管理中關鍵的課題之一。

目前國內養殖場的投餵方式主要可分為三類：純人工投餵、定時定量自動投餵，以及結合智能控制的遠端投餵系統。傳統的人工投餵主要依靠養殖漁民的經驗判斷，透過目視觀察魚群活動狀況來決定投餵時機與用量。而自動投餵系統則是按照預設的時間和數量進行投餵，雖然可以減輕人力負擔，但缺乏根據實際情況進行即時調整的彈性。至於智能控制系統，雖然提供了遠端操作的便利性，但大多數系統仍無法準確感知魚群的即時攝食狀況，導致投餵效率未能最佳化。

本研究主要開發一套智慧化的精準投餵(Precision Feeding)系統，以解決目前

傳統養殖投餵上的問題。該系統的特色包含基於振動感測器的魚群攝食活動力感測技術，以及適應性的投餵決策模型，不僅能適用於各種不同的攝食魚種（浮餌和沉餌），更可以根據不同養殖戶的操作習慣，量身打造個人化的投餵決策模型。

精準投餵系統與活動力感測技術

工研院所開發的智慧化精準投餵系統，主要藉由監測投餵期間魚群的攝食活動力來進行投餵決策。一般監測魚群攝食活動力的方式為使用水面或水下攝影機：水面攝影機可辨識魚群攝食時產生的水面水花，透過水花的面積來量化魚群攝食的強度，然而此方法易受光線影響，如將水面反光誤判為水花，或在清晨、傍晚光線不足時投餵會影響辨識準確度；而水下攝影機則是透過魚群攝食時的影像變化來量化攝食強度，此方法只適用於水質清澈的養殖環境，如海上箱網或室內設施養殖，一般戶外養殖池由於水下能見度低（小於30公分），無法採用此方法。

為了解決影像辨識攝食活動力的問題，工研院的系統採用水下振動感測器作為活動力感測模組，能夠感測魚群攝食時產生的水波擾動，相較於水面或水下影像感測器，可以避免光線不足或反光干擾的問題，同時還能夠依魚群攝食水層調整感測器深度，以適應攝食浮餌和沉餌餌料的魚種。

已開發完成的精準投餵系統雛型機和系統運作流程如圖一和圖二所示。系統硬體包含：活動力感測模組、秤重模組、投餌機、運算主機和通訊模組。其中，活動力感測模組負責監測魚群攝食的活動力，感測訊號介接至運算主機由活動力辨識演



▲圖一 精準投餌系統雛型機

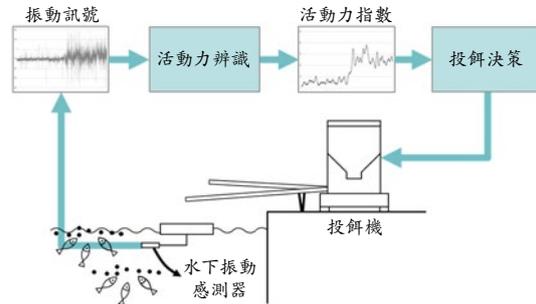
算法轉換成活動力指數，作為投餌決策 (Feeding Decision) 和投餌機控制的依據。秤重模組用來量測每次投餌的重量資訊，資料可透過通訊模組上傳雲端資料庫儲存，將漁民日常投餌作業進行數位化記錄。

此系統可應用於傳統養殖的戶外養殖魚塢，只需將搭載活動力感測器的浮台置於噴料管的落料區附近，並將原有的投餌機連結主控箱，即可進行智慧化的自動投餌控制，若需記錄每次的投餌量，則可再加裝設磅秤模組於投餌機下方。

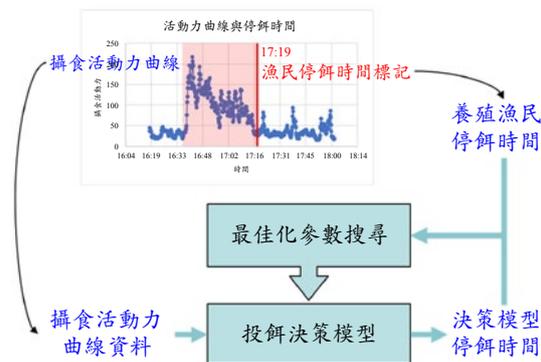
投餌決策模型與模型訓練效果

目前國內養殖漁民大多採用自動投餌機以定時或定量方式進行飼料投餌，雖然已有智慧化的精準投餌系統在市場上推出，但若更進一步配合漁民原本的投餌習慣來進行系統調整，讓系統成為漁民的分身，將可使漁民放心地把投餌工作交給智慧化的精準投餌系統。

本研究開發的精準投餌系統採用具有



▲圖二 精準投餌系統運作流程圖



▲圖三 模型學習架構

學習機制的投餌決策模型，如圖三，能夠透過漁民日常投餌紀錄訓練模型參數，讓模型學習漁民的投餌習慣。

為驗證此方法的可行性，我們於農業部水產試驗所提供的戶外養殖池進行資料收集，養殖物種為龍虎斑，數量為560尾左右，平均魚隻體重為0.5公斤，以長4公尺、寬4公尺、深2公尺的箱網圈養。實驗一共收集了12個回合的漁民投餌資料進行模型訓練，資料包含投餌期間的魚群攝食活動力數據以及漁民判斷停餌的時間標記，模型訓練後可以找到屬於漁民的投餌決策模型參數，再將訓練得到的參數輸入模型進行回測，得到的結果如表一所示。模型在12個回合的投餌中，決策停餌時間和漁民



▼表一 12個回合的投餵紀錄和模型學習回測結果

Round	日期	開始投餌時間	養殖漁民		精準投餵系統		投餵時間誤差	
			停餌時間	投餵時間 (min)	停餌時間	投餵時間 (min)	絕對誤差 (min)	相對誤差 (%)
1	10/22	16:38	17:19	41.0	17:18	40.3	0.7	1.7
2	10/23	7:01	7:40	39.0	7:39	37.5	1.5	3.8
3	10/24	7:00	8:00	60.0	7:57	57.3	2.7	4.4
4	10/24	15:28	16:00	32.0	15:57	28.7	3.3	10.4
5	10/25	16:00	16:23	23.0	16:23	22.5	0.5	2.2
6	10/26	7:25	7:55	30.0	7:52	26.5	3.5	11.7
7	10/27	16:03	16:32	29.0	16:32	28.8	0.2	0.6
8	10/29	8:35	8:54	19.0	8:52	17.7	1.3	7.0
9	10/29	16:19	16:41	22.0	16:41	22.3	0.3	1.5
10	10/30	8:02	8:21	19.0	8:20	18.0	1.0	5.3
11	10/30	16:19	16:42	23.0	16:43	24.0	1.0	4.3
12	11/1	15:30	15:46	16.0	15:47	16.7	0.7	4.2
平均							1.4	4.8

相差平均1.4分鐘(4.8%)，最大不超過4分鐘(12%)，顯示模型學習漁民的投餵決策具有不錯的效果，初步已達到可代替漁民日常投餵工作的標準。

結 論

本研究開發的智慧化精準投餵系統，整合了水下振動感測技術與適應性投餵決策模型。基於水下振動感測器的魚群攝食活動力辨識模組，能夠有效反應魚群的攝食活動力，不僅解決了影像感測在光線干擾、光線不足和水質混濁環境下的應用限制，也提供不同攝食魚種（浮餌和沉餌）的應用彈性。適應性的投餵決策模型，可依漁民投餵資料學習模型參數，提供貼近漁民投餵習慣的個人化精準投餵系統。本研究透過實驗收集了12個回合的漁民投餵資料進行模型訓練，訓練回測結果顯示，模型決策的停餌時間和漁民相差平均為1.4分

鐘(4.8%)，最大不超過4分鐘(12%)，證明模型學習漁民的投餵決策具有不錯的效果，充分證實了系統的實用性，能夠在日常投餵工作中代替人工投餵，解決人力和投餵品質的問題。📌

誌 謝

本研究為經濟部「113年度科技專案—晶片驅動精準農業之晶片創新與關鍵模組研發計畫(1/5)」之研究成果，以及農業部水試所提供驗證場域，特此感謝。

參考文獻

- 糧農組織。《2024年世界漁業和水產養殖狀況：藍色轉型在行動》<https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd0690zh>
- De Verdal, H., Komen, H., Quillet, E., Chatain, B., Allal, F., Benzie, J. A., & Vandeputte, M. (2018). Improving feed efficiency in fish using selective breeding: a review. *Reviews in Aquaculture*, 10(4), 833-851.
- Munguti, J. M., Kirimi, J. G., Obiero, K. O., Ogello, E. O., Kyule, D. N., Liti, D. M., & Musalia, L. M. (2020). Aqua-feed wastes: Impact on natural systems and practical mitigations—A review. *Journal of Agricultural Science*, 13(1), 111.