

物聯網技術於水產養殖之 智慧化輔助決策應用

張致銜¹ · 王郁峻² · 陳陽德³ · 林志遠² · 葉信利³ · 吳龍靜¹ · 沈鈺棠⁴

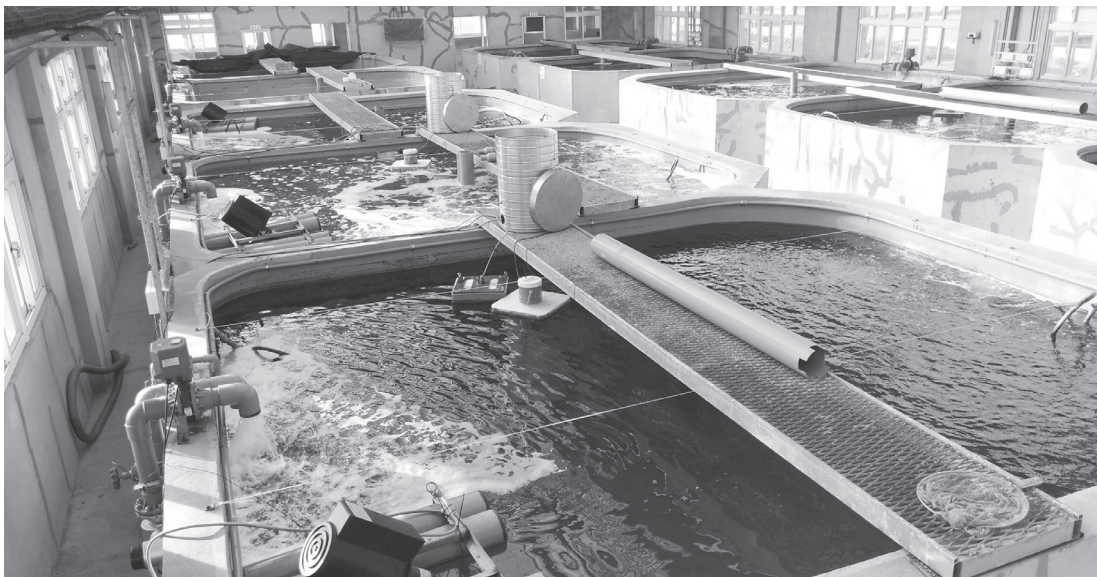


圖 1. 水產試驗所海水水繁養殖中心的石斑魚養殖模場。

一、前言

糧食安全為現今全球關注的重要議題，依據聯合國糧農組織（FAO）發行之「世界漁業及水產養殖狀況」（SOFIA）2016年報資料顯示，1990年以來全球天然漁撈量幾乎停滯在9,000萬公噸左右，然水產養殖產量快速上升，2014年已超越漁撈產量成為水產蛋白質的主要來源，預計到2025年全球水產養殖產量將達到1億噸。目前亞洲已占全球水產養殖產量的90%及消費量的50%，此外，臺灣的水產養殖技術在國際上頗具盛名，曾贏得「養殖王國」之美譽；由於橫跨熱帶、亞熱帶緯度，具有水產養殖品項

註 1：行政院農業委員會水產試驗所沿海資源研究中心。

註 2：行政院農業委員會水產試驗所企劃資訊組。

註 3：行政院農業委員會水產試驗所海水繁養殖研究中心。

註 4：財團法人工業技術研究院智慧微系統科技中心。

多樣性的地理優勢，適於人工繁養殖的發展，而歷年來魚塭集約養殖的累積經驗，以及擁有 200 種以上水產魚介貝類之種魚及魚苗育成繁養殖技術，均居全球之冠。

然過去 2、30 年來，我國總產能均侷限在約 30 萬公噸左右，另一方面，水產養殖業面臨環境變化、氣候災害、疾病等風險之頻繁影響，此外勞動人力短缺、養殖經驗傳承及人力老齡化等問題亦為產業發展瓶頸，種種癥結點皆顯示我國養殖產業需逐步調整生產型態與發展方向。

物聯網（Internet of Things, IoT）是在網際網路基礎上延伸和擴展的網絡，物體間按照約定的協議，通過訊息傳輸及感應設備進行訊息交換或通訊，以實現智能化識別、定位、追蹤、監控及管理之目的。其應用遍及智慧交通、智慧城市、環境保護、農漁畜業、海洋環境等多個領域。此外，物聯網技術也廣泛應用於水產養殖領域，原理大多運用多種感測元件布建於養殖環境，針對水質與養殖環境進行監測，以達確保水產養殖生物之最適生長，進而節能省力、降低成本、並增加整體養殖效益。

為突破低機械化及自動化之產業發展瓶頸，以及產業受天然災害及人為因素無法有效、穩定提升產能與良率等問題，世界各國近年來紛紛於農業導入資通訊技術，以物聯化及人工智慧（AI）解決農業面臨的困境，爰此，我國業已於 2016 年展開智慧農業 4.0 計畫，將相關技術應用納入「新農業政策」中推動，進一步促進整體農業產業結構之轉型與智慧化發展。

本研究由行政院農業委員會水產試驗所（簡稱水試所）於 2017 年度起共同執行智慧農業 4.0 相關研究計畫，2017 年初步以水試所海水繁養殖研究中心石斑魚養殖模場（圖 1）為基礎，除既有之進排水、海水電解等基本維生系統外，將運用資通訊科技、物聯網及智能互聯概念，整合無線資通訊科技之感測元件、發展環控系統、水質微氣候等多元感測之聯網感控技術，目標應用物聯網技術建置一套智慧化水產養殖物聯網系統，以協助解決傳統養殖經驗傳承不易之問題，達到智慧回饋控制、輔助決策應用之目的。

二、智慧化石斑魚養殖物聯網系統

（一）系統架構

本系統於試驗場域內運用多模監測模組、聯網感控模組開發、參數邏輯控制、現場資料實測及影像等，將環境與水質參數之感控聯網元件以模組化設備導入模場設施，並配合規劃妥適之配管、配線、通訊協定整合開發，其中包含養殖監控聯網子系統與養殖決策可視化子系統等兩項子系統，其架構如圖 2。

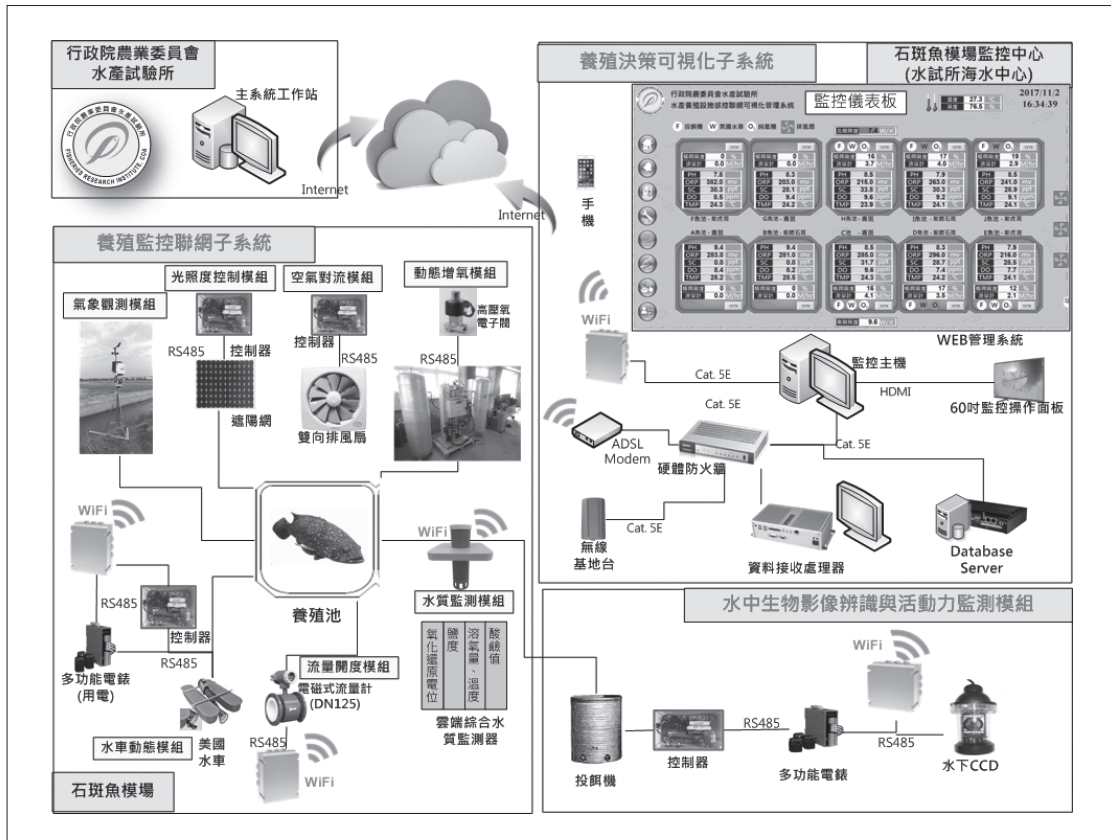


圖 2. 智慧化水產養殖物聯網系統架構圖。

(二) 養殖監控聯網子系統

藉由養殖生產階段之環境物聯網監測物件建置本子系統，目標監控養殖場域環境各項動態以提升該養殖環境穩定度，監測項目包含水質參數（溶氧量（以下簡稱 DO）、酸鹼值（以下簡稱 pH）、水溫、鹽度、氧化還原電位（以下簡稱 ORP）及模場室內外環境氣象參數（氣溫、濕度、氣壓等），具有生物影像辨識活動力監測、環境感控以及多模水質監測等功能。

(三) 養殖決策可視化子系統

本子系統（圖 3）目的為整合養殖過程中各項養殖設備包含電力與水流量控制器、開度控制閥、氧氣閥、水車聯網、高壓氧氣閥、投餌機、遮陽網與通風扇

等進行自動控制，其所有感測物件所蒐集紀錄的相關監測資料（包含各項水質參數、水車運轉狀態和投餌參數），進行後續的回饋分析，以輔助智慧決策控制，方便現場人員作業。

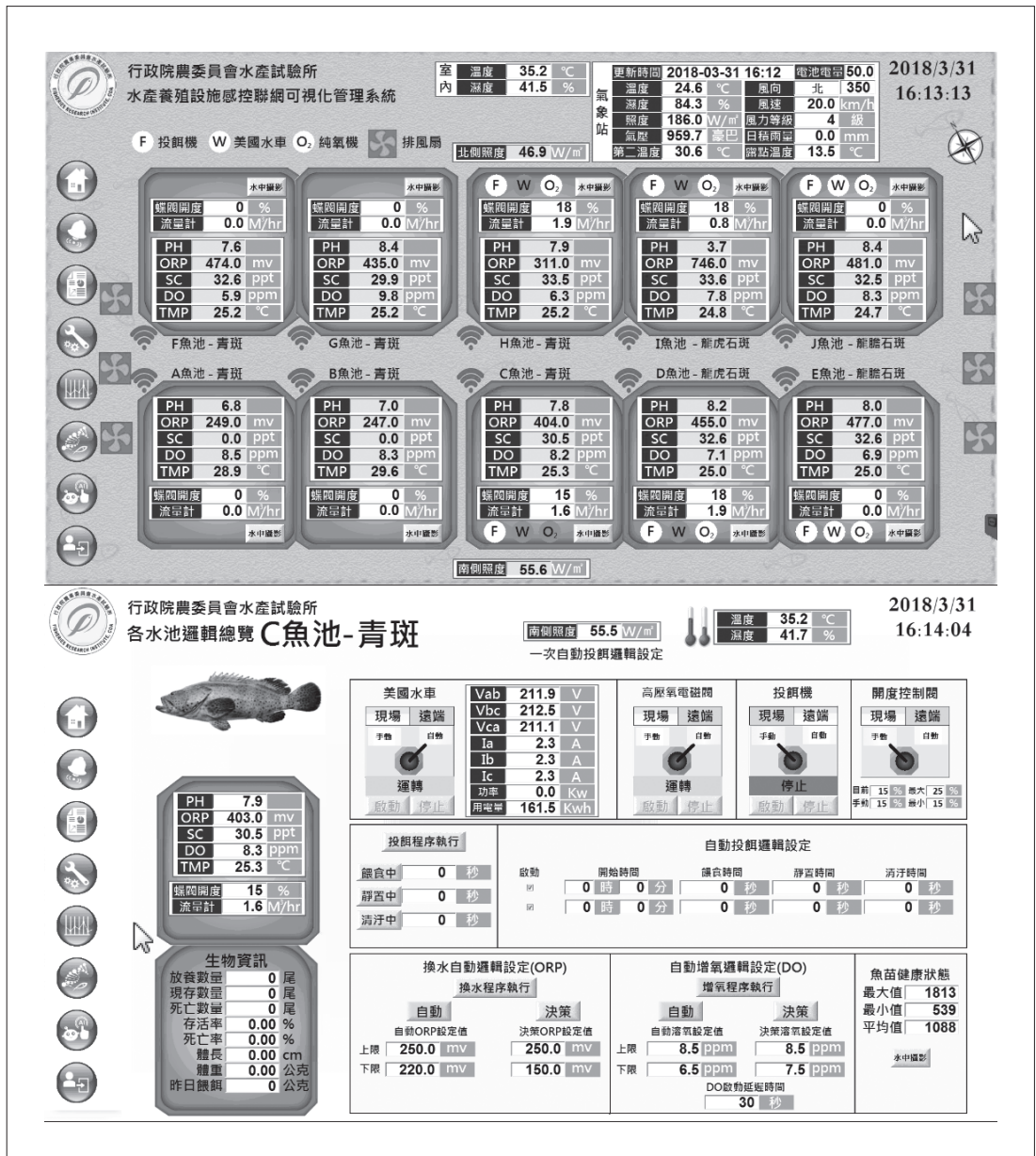


圖 3. 養殖決策可視化子系統操作介面。

三、智慧輔助養殖決策控制應用

(一) 智慧決策方法論

回饋控制推論演算主要目的是能透過即時的多重感測器的趨勢運算來獲得更早的預警，達到預防效果。回饋控制推論方法使用主成分分析 (PCA, Principal components analysis) 和類神經網路 (ANN, artificial neural network) / 機械學習等演算法進行結合與推論。其中動態溶氧量特徵值辨識技術運用 PCA 和 ANN 分析模式，目標進行未來 24 小時的養殖池水質變化預測。資料分析會將現場安裝的感測器當前所測得的數據 (DO、pH、鹽度、水溫、ORP、氣溫、濕度等) 和過去 24 小時測得的 DO 輸出值當成主要輸入數據。

(二) 智慧決策增氧 / 水質回饋控制模式運作

本系統自動投餌控制整合「智慧決策增氧 / 水質回饋控制模式」(圖 4) 區分成兩項應用控制程序，其一為「溶氧智慧決策回饋控制」(圖 5) 主要是調控增氧設備之水車動態模組 (增氧水車) 與動態增氧模組 (高壓氧閥)，達成控制水中溶氧量之目的；另一項為「水質智慧決策回饋控制」(圖 6) 係動態監測水質參數 (ORP 及 pH)，並利用流量開度模組之換水設備維持穩定水質。此外，除藉由累計之歷史資料的機器學習可調整各項控制閥值的靈敏度，運用即時資料計算的即時特徵值大數據資料 (如斜率、變異平均等) 更可進一步調控增氧 / 水質控制，並配合歷史資料進行調校。

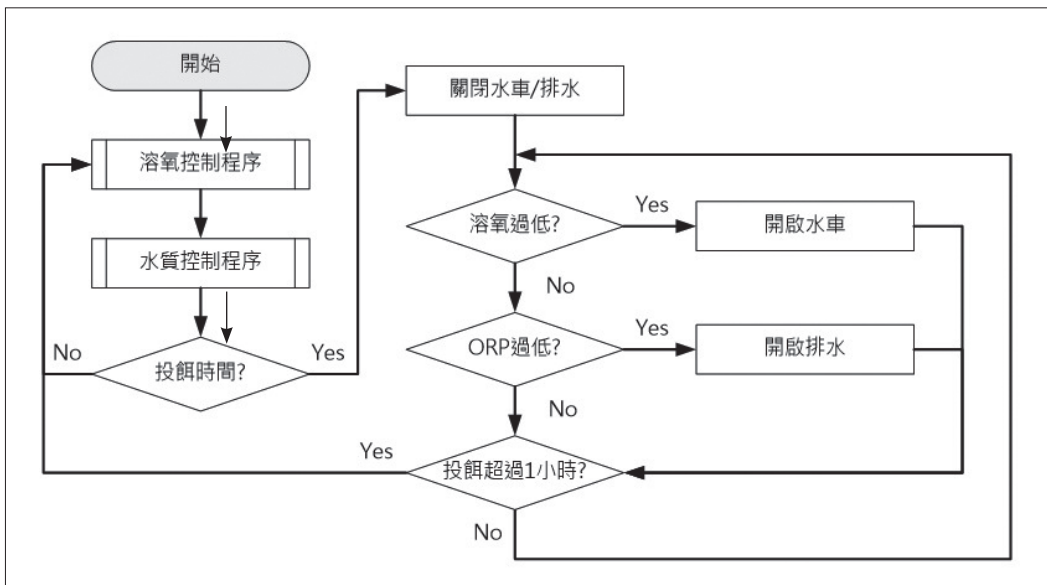


圖 4. 自動投餌控制、溶氧控制及水質控制交互關係流程圖。

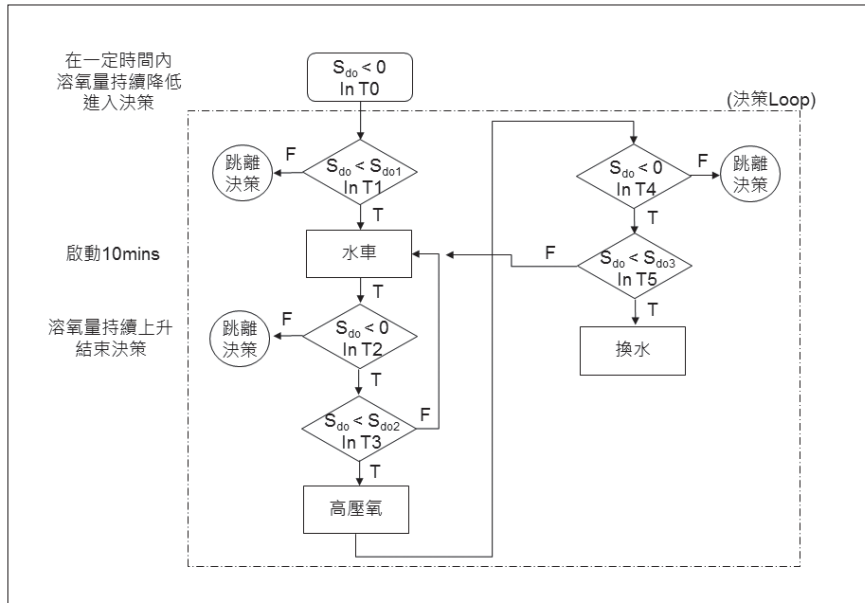


圖 5. 溶氧智慧決策回饋控制邏輯圖。

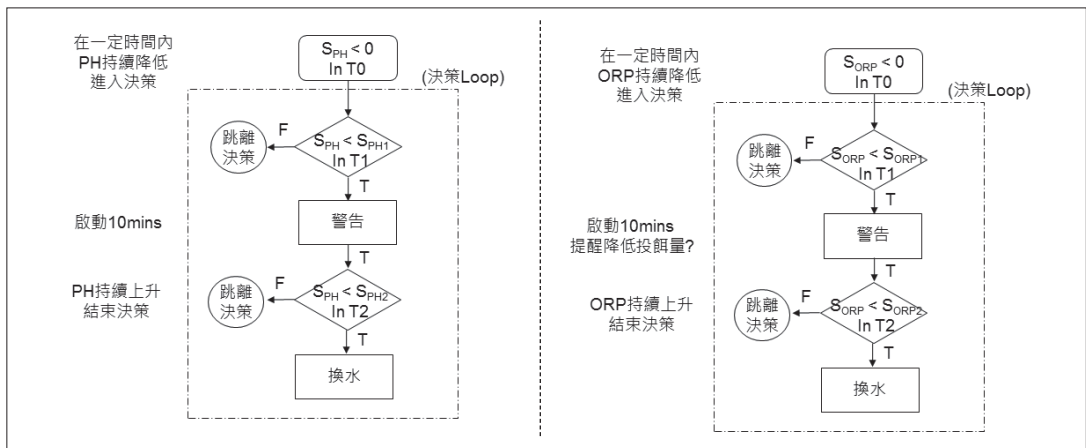


圖 6. 水質智慧決策回饋控制邏輯圖 (左圖為 pH 值、右圖為 ORP 值)。

(三) 增氧回饋控制運作

透過增氧回饋控制機制輔助水車動態模組、動態增氧模組、流量開度模組的開啟和關閉的調控機制，為因應養殖可能需求，增氧回饋控制機制分成三個模式：「智慧決策增氧回饋控制模式」、「自動增氧回饋控制模式」及「強制手動增氧回饋控制模式」。為了確保養殖池維持正常供氧，故「強制手動增氧回饋控制模式」有其絕對優先權，而「自動增氧回饋控制模式」和「智慧決策增氧回饋控制

模式」之權限差別在於上下限值的設定，各項感測器在上下限內會以「智慧決策增氧回饋控制模式」作為優先操作，而當各項感測器超過上下限值時會以「自動增氧回饋控制模式」為優先。

此控制模式設置的主要目的是因應劇烈天候變化（颱風、瞬間強降雨等）和不確定因子（如魚病、環境污染等）等無法預測的外在因子所產生的增氧回饋控制模式，使系統可依上下限閾值表進行增氧裝置的開啟和關閉，減少人力使用，也能避免 24 小時開啟的增氧措施，造成電力及能源的浪費。然為預防系統可能產生不可控的內在因子（如感測器故障、系統當機等），以及智慧分析結果和養殖經驗衝突等問題，故仍保留強制手動開啟和關閉增氧裝置的「強制手動增氧回饋控制模式」，以因應突發狀況。

四、系統效益初步評估與未來展望

系統自 2017 年 10 月開始測試運作，以下就人力、電力和用水 3 方面進行初步效益評估。首先以人力而言，原單一場區的管控需要約 2 個人力每日不定時到現場管理，實驗組養殖池單池水車開機時間每日可減少 50%。而針對省水量估算，以養殖池每池容量 50 噸水（5m 長×5m 寬×2m 深），對照組 24 小時排水流量視為 100% 用水，以目前實驗組估算每日減少 1/5 換水量，省水比例 20% 為計算基礎，則估算每池養殖池每月可節省用水量約 300 噸。

本研究初步以石斑魚模場作為智能化養殖示範場域，並試驗聯網系統之輔助決策應用成效，並透過規格模組化設備（如水車供氧、投餵設備、感控聯網系統、回饋控制、智慧輔助決策等）整合場域內養殖池之各種監控模組，初步建置完成水產養殖設施感控聯網可視化管理系統。本系統包括智慧環控設施之養殖監控聯網、水中生物影像辨識與活動力監測、養殖決策可視化等子系統，透過模組化整合各項感控、聯網、監測、記錄功能，持續蒐集養殖過程之水質參數、水電狀態、室內外氣象、投餌與生物參數等各項關鍵數據，並同步進行水質分析、餌料投餵、水電監控測試驗證等，運用智慧養殖決策輔助控制學習，演算出最適當的決策控制參數，藉以保持石斑魚模場養殖環境的穩定度，提升石斑魚養殖效益。

另一方面，未來將進一步結合大數據分析與深度學習回饋控制技術以建構更完整智能養殖技術之外，亦將串聯養殖生產技術、養殖設施設備、資通訊、物聯網、人工智慧或相關前端技術，結合持續累積水試所專家經驗與基礎養殖環境參數導入資料庫系統，藉以傳承養殖經驗，使得養殖經驗可持續累積、傳承與最適應用。