

智慧化石斑魚養殖物聯網系統之初步建置

張致銜¹、陳陽德²、王郁峻¹、林志遠¹、葉信利²

¹水產試驗所企劃資訊組、²海水繁養殖研究中心

前言

依據聯合國糧農組織 (FAO) 於 2016 年發行之「世界漁業及水產養殖狀況」(SOFIA) 年報資料顯示，2015 年後，人工養殖已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，全球漁產供應量近二分之一將會源自水產養殖。在臺灣，石斑魚屬高經濟價值之養殖魚種，2015 年養殖產量雖僅約 2.4 萬公噸，然而總產值高達新臺幣 70 億元，佔全臺養殖漁業整體產值的五分之一。現階段石斑魚成魚多為傳統露天魚塭養殖，以 2017 年石斑魚漁塭養殖戶為例，每池每噸水產能約 5 kg，育成率 60–70%，然而魚塭環境備受外在環境、氣候 (颱風、寒害) 影響甚大，故近年來漸以設施養殖模場為發展之新趨勢。

物聯網 (Internet of Things, IoT) 是在國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，讓所有能行使獨立功能的一般物體實現互聯互通的網路，以實現智能化識別、定位、追蹤、監控及管理之目的 (ITU, 2005)。近年我國也已發展多樣化之物聯網應用於水產養殖領域 (王與張，2009；吳，2010；林等，2011；紀，2008；林等，2016)，其應用方式多為於養殖池架設各項

監控設備，對養殖池內之水質參數進行監測並將資料回傳進行即時回饋控制，確保養殖生物良好的生長，以增加收益、節電省水。

本所於 2016 年農委會 e 化計畫研究時，利用無線資訊科技，結合綠能發電、養殖用水電量及多參數水質、氣象等之監測與自動回饋機制，建構多參數融合自動化監控系統，每池建立裝置容量 5 kW 的太陽光電組及最高總功率 700 W 之單一風力發電之綠能發電系統，另透過水質數據來調節水閥水量以提升省水效率 (林等，2016)。

本研究將配合本所海水繁養殖研究中心石斑魚模場，初步建置以智慧化石斑魚養殖技術為基礎之水產養殖設施感控聯網可視化管理系統 (圖 1)，並依序闡述養殖模場設施環境、養殖監控聯網子系統、養殖決策可視化子系統等方面初步探討智慧化養殖技術之應用與未來展望。

智慧化石斑魚養殖物聯網系統架構與原理

本研究選定本所海水繁養殖研究中心石斑魚模場養成場域 (圖 2) 作為導入智慧化養殖之示範場域，主要工作在於完成物聯網監測相關硬體之架設，同時運用多模監測模組、聯網感控模組開發、參數邏輯控制、現

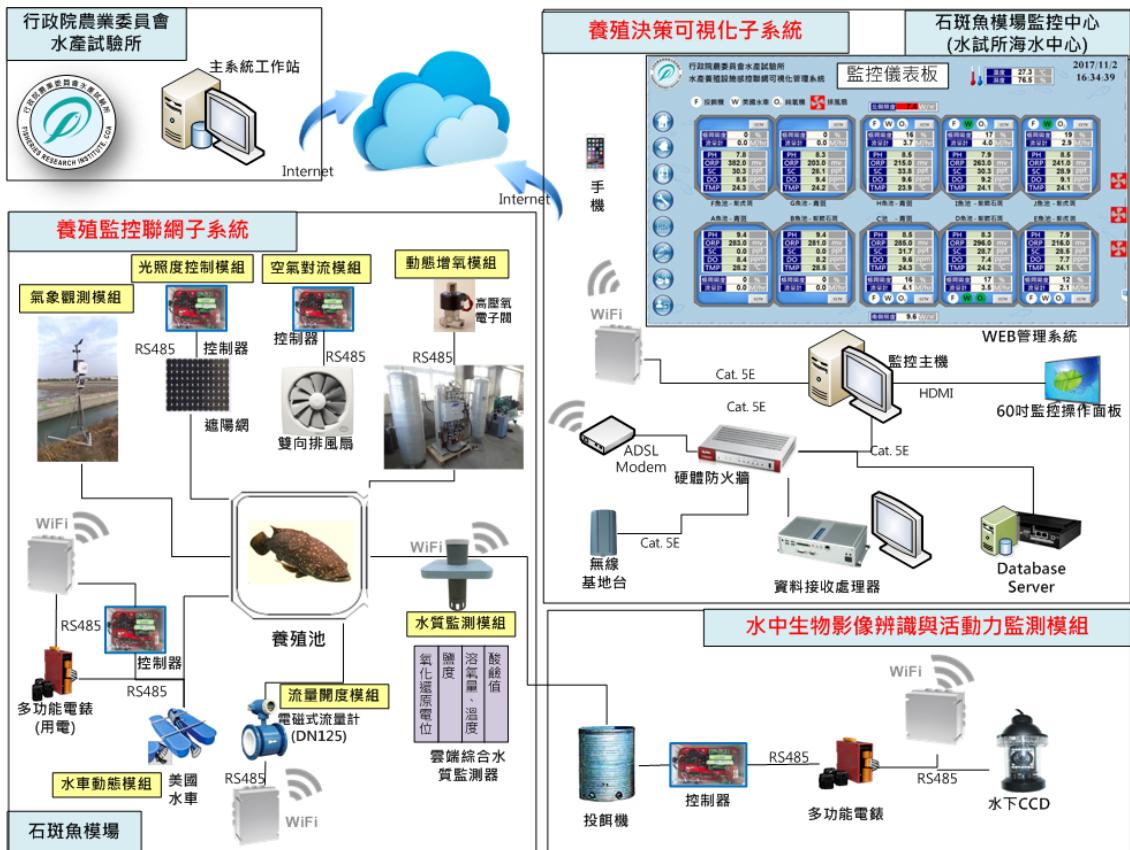


圖 1 水產養殖設施感控聯網可視化管理系統架構圖



圖 2 本所海水中心石斑魚模場現場

場資料實測及影像決策回饋等，以提升養殖場應用感控聯網架構後之養殖效率與節能。

本模場為室內養殖場，目前場內蓄養石斑成魚共 10 座 50 噸水養殖池，為室內流水

式養殖經過海水電解消毒系統過濾消毒，具有進排水系統、基本維生系統。環境與水質參數感控聯網技術以模組化設備形式導入石斑魚模場設施，並配合規劃妥適之配管、配線、通訊協定，整合開發為水產養殖設施感控聯網可視化管理系統，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 1。

一、養殖監控聯網子系統

本子系統目標為進行養殖生產階段之環境物聯網監測物件建置，係提升該養殖環境穩定度，目的主要為監控養殖池、環境各項動態等，監測項目包含水質參數、水電用

量、模場室內外環境參數等。主要包括環境感控功能、多模水質監測功能以及生物影像辨識與活動力監測模組，分述如下：

(一) 環境感控功能

運用本系統之各項環境感測器透過可程式控制器 (programmable logic controller, PLC)，進行感測端之聯網控制，進而調控模場大環境感控聯網系統，維持室內場域動態環境調節改善，其中包含多項環境控制模組，(1)空氣對流模組：透過溫溼度感測器及戶外氣象參數進行場域上方東西兩側之對流通風扇運轉之調控；(2)溫度光照控制模組：透過不同光照角度位置之光照度感測器進行養殖池上方動態遮陽網調控；(3)動態增氧模組：透過供氧系統之高壓氧開關閥進行氧氣量調控；(4)流量開度模組：養殖池水流量動態調控之回饋控制；(5)動態水車模組：水車動態調控之回饋控制。(6)氣象觀測模組：模場室外環境氣象監測，包括氣象觀測自記式記錄儀及感測記錄各項氣象參數 (包含風向、風速、氣溫、濕度、露點溫度、雨量、照度等)。

(二) 多模水質監測功能

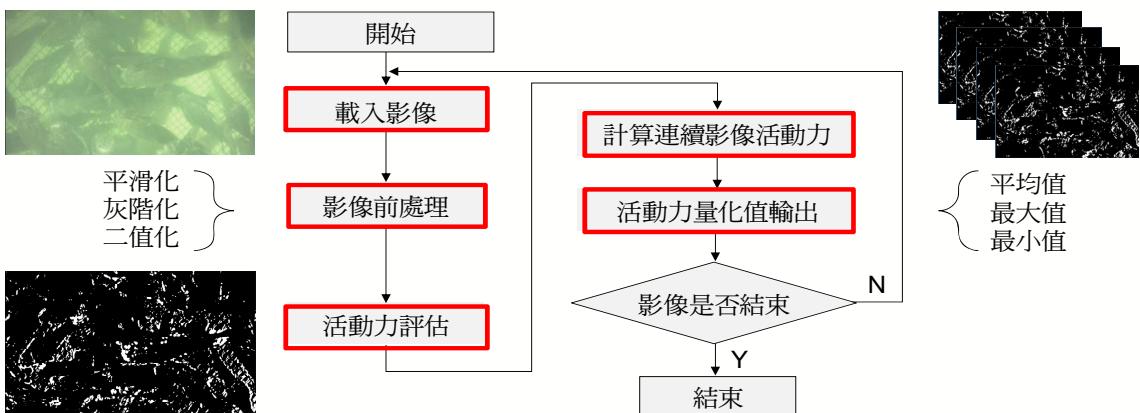


圖 3 水中生物影像辨識分析原理

綜合水質監測模組依模場養殖池現場進行水溫、溶氧量 (DO)、酸鹼度 (pH)、鹽度、氧化還原電位 (ORP) 等等水質參數進行監測。同時具有防水封裝，以因應養殖環境的溫濕度、鹽度及海水影響。另藉由聯網感控模組設計開發，以多元感測聯網感控技術，整合各項養殖設施與水質感測設備，提供更精準的感測與聯網功能。

(三) 生物影像辨識與活動力監測模組

本項技術原理是運用水中高解析鏡頭影像 (CCD) 拍攝擷取魚群活動力畫面，在魚不離水的情形下完成低重疊性影像的攝影取像，並開發連續性影像的處理技術，以計算養殖魚群平均活動力量測與計量 (圖 3)。模組同步將影像資料及辨識設定值回傳養殖決策可視化系統輔助投餌控制、產量估算、資料蒐集與驗證分析，此外整合自動投餌控制模組，以減少人為操作造成之養殖生物耗損及資源浪費，進而輔助飼料精準投餌提升養殖生產效能、密度。

二、養殖決策可視化子系統

在養殖過程中需要即時掌握各項養殖環境與生物參數資訊才能達到良好的養殖管

理，本子系統納入前項養殖監控聯網子系統之環境感控、多模水質監測以及生物影像辨識與活動力監測功能模組之各項感測端與控制端，進一步整合各項養殖設備包含電力與水流量控制器、開度控制閥、高壓氧氣閥、水車聯網、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、生物和投餌參數)，皆納入本子系統進行後續的回饋分析，以輔助智慧決策控制。並同步進行水質分析、餌料投餵、水電監控的最佳產能模擬，並基於產能情況遠端修正管理，以進一步探勘分析養殖效率及成本效率(圖4為養殖決策可視化子系統畫面圖)。



圖 4 養殖決策可視化子系統畫面

三、智慧輔助養殖決策控制

養殖決策控制的部分主要係運用養殖程序控制的資料收集、處理，進而學習並演算出最適當的決策控制參數，下達給 PLC 控制器以產生新的養殖控制程序。再透過新程序所回傳的資料，修正決策控制參數，不斷地循環學習。其中資料產生、程序控制、決策控制、顯示紀錄及報表之資料轉換透過 LAN 以及網路傳遞，並以網頁來呈現，另外子系統可進行資料統計分析，提供報表與

歷史紀錄以供查詢運用。

其中「智慧決策增氧/水質回饋控制模式」(圖 5)區分成兩種應用控制項，其一為「增氧智慧決策回饋控制」主要是調控增氧設備之動態水車模組(美國水車)與動態增氧模組(高壓氧閥注入)，達成控制水中溶氧量的目的；另一項為「水質智慧決策回控制饋」主要在於動態監測水質參數(ORP 及 pH)，利用換水設備之流量開度模組維持穩定水質。此外，除透過累計之歷史資料的學習可調整各項控制閥值的靈敏度，運用即時資料和歷史資料計算的即時特徵值大數據資料(如上升/下降斜率、變異平均等)進一步更可進行增氧/水質的調控。

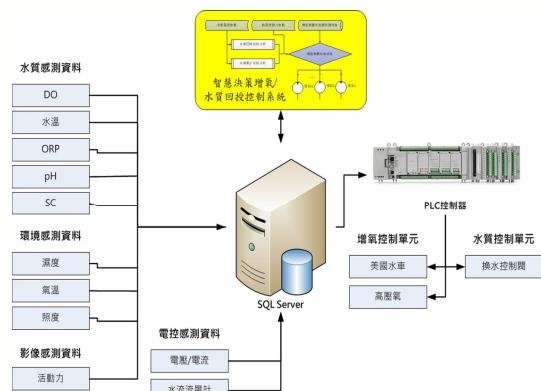


圖 5 智慧決策增氧/水質回饋控制與運作模式

透過增氧回饋控制機制是為了輔助動態水車模組、動態增氧模組、流量開度模組的開啟和關閉的調控機制，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」，而其相關流程如圖 6 所示。

增氧回饋控制為了確保養殖池維持正常

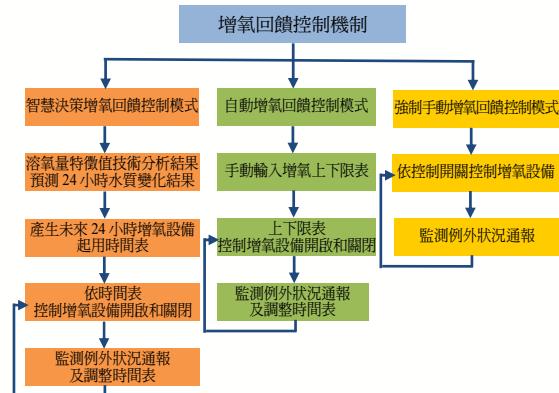


圖 6 增氧回饋控制機制流程圖

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(颱風期間、短時間強降雨等)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，讓系統可以依上下限閥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。但為因應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)和智慧分析結果和養殖經驗衝突的問題，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」，以防止突發狀況。

四、養殖魚種試驗

初步系統運作試驗共分為三種操作模式，包含「溶氧控制」、「水質控制」、「自動投餌控制」。其中，「溶氧控制」以

DO 為主要觀察指標，DO 降到下限時會開啟水車，而 DO 超過上限後會關閉水車，進而觀測水車電力使用的效益；「水質控制」現階段則以 ORP 作為主要觀測指標，ORP 降到下限時會開啟排水，而 ORP 超過上限後會關閉排水，以紀錄用水效益；「自動投餌控制」在設定時間進行投餌後，即關閉水車，避免水流干擾魚群進食，當投餌後的一個小時後啟動水車及排水開度閥至少一小時以上，進行排污功能，以避免殘餘飼料污染水質。而水車運轉和排水開度會遵循溶氧控制及水質控制規則進行循環控制。

本研究於 2017 年 10 月至 11 月進行為期之 50 天先期養殖投餌試驗，並以龍膽石斑作為試驗魚種，進行實驗組(系統輔助養殖)(圖 7)與對照組(人為養殖操作)之差異比較，兩種模式單次飼料投餌量都相同。在放養 50 天後量測魚體，其中兩池的魚體量測結果顯示，在實驗組之總重量約 197 kg，平均體重約 602 g/尾；而對照組總重量約 176 kg，平均體重約 535 g/尾。推測實驗組因投餌情形不受人為因素影響造成誤差，且養殖池環境在系統管理可穩定控制水質、供氧、投餌及排污，魚群平均體重成長幅度較大；而對照組因人為因素可能導致投餌量與次數無法標準化，水質環境與供氧不穩定，因而魚體成長幅度小，造成其收獲總重量較少(如表)。

五、系統效益初步評估

系統自 2017 年 10 月開始運作測試，以下就人力、電力和用水三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，當



時間

南側照度 70.6 W/m²

溫度 28.5 °C
濕度 62.0 %

2017/11/22
14:24:22

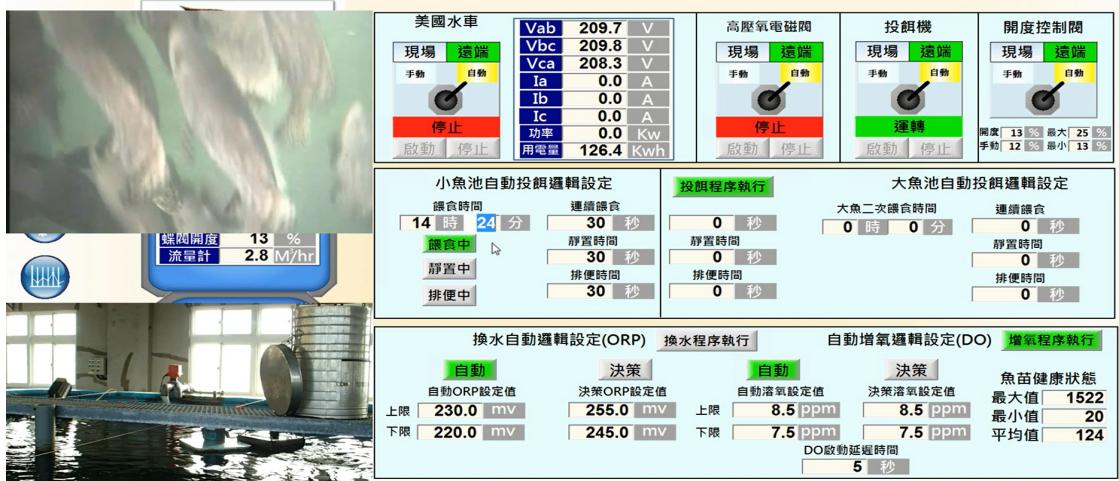


圖 7 實驗組投餵情形

實驗組與對照組總重量比較

		總重量 (kg)	隻數	平均體重 (g)	活存率 (%)
實驗組	初放養	108	336	321.42	
	50 天	197.46	328	602.01	97.61
對照組	初放養	104.4	336	310.71	
	50 天	176.48	330	534.78	98.21

系統導入後可單一人力遠端管理場區，並可視情況每日巡視 1 次，每日節省 1 人次以上人力。其次就省電效益，對照組養殖池 24 小時單池水車開機視為 100% 用電，而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(5 m 長 × 5 m 寬 × 2 m 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五分之一換水量，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。

結語與展望

本所初步以石斑魚模場作為智能化養殖示範場域，整合單元式模組結合感控聯網環境之初步示範建置，作為模組規格化(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)之智慧養殖基礎。後續將進一步藉由累積資訊化養殖經驗、紙本記錄數位化以及操作流程視覺化，並整合本所專家經驗與基礎養殖環境參數導入資料庫，促使養殖經驗可持續累積傳承，達到最適應用，同時透過資料庫累積數據以作為產業分析基礎，優化水產養殖基礎資料庫。

另本研究之資料分析與評估成果，將整合介接至智慧農業 4.0 共通資訊平台，同時串聯產官學界資源建立智慧養殖漁業技術聯盟，加速研發符合產業所需之技術，更進一步提升產業應用及研究多元性成果，有效落實產業鏈整合，促進養殖產業前瞻發展。