

水產養殖無線感知嵌入式系統之研究

林浩庭

摘 要 本研究為『水產養殖無線感知嵌入式系統之研究』，臺灣位於亞熱帶地區，受地理環境與極端氣候變異影響，常有高溫、寒流與颱風等情況發生，導致沿海地區魚塭常有海水倒灌、水災與魚群大量暴斃，以致水產養殖業損失慘重，漁民們血本無歸。此外，剩餘的投餌飼料及養殖生物的代謝產物，其富含之有機物及無機物，亦是影響養殖水體之重要因素。現今從事水產養殖業人員逐漸高齡化，人力缺乏，水產養殖技術斷層。然而，在日新月異之電腦科技與感測技術發展下，本研究將自主發展與建立無線感知系統於水產養殖環境，以 LabVIEW 建立嵌入式系統(Embedded System)-包含中央處理系統與水質監測平台系統，中央處理系統以 NI myRIO 平台為硬體設備，水質監測平台系統則以 Arduino 板和 pH 值、溫度、溶氧量與鹽度感測器之軟硬體溝通，讀取各項水質參數，並建立 XBee 雙向無線傳輸，以使中央處理系統與水質監測平台系統可相互無線傳輸，將水質監測平台系統所擷取之數據，傳至中央處理系統進行儲存與分析，最後將中央處理系統資料庫內之資料即時顯示，可使水產養殖人員即時得知水產養殖環境之水質狀況。本研究透過感測器即時量測水產養殖環境之狀況，可對水產養殖環境進行觀察、監測及管理，協助水產養殖人員提早準備、判斷與適時調整飼養方式，提高漁產品產量與品質，大幅降低災害風險的發生。

關鍵詞：水產養殖、無線傳輸系統、感測器

Development of the Wireless Embedded System for Aquaculture

Hao-Ting Lin

ABSTRACT This study is to develop the wireless sensing embedded system for aquaculture. Taiwan is located in a subtropical region, affected by geographical environment and extreme climate variability. There are often extremely high and cold temperature. In addition, typhoons usually occur in summer every year. Seawater intrusions and floods in coastal areas result in large number of fish died, so aquaculture industry and fishermen bear severe economic losses. Moreover, the remaining feeds and metabolites rich of organic and inorganic materials can significantly affect the aquaculture environment. Also, the aquaculture industry gradually become aging, lack of manpower, aquaculture technique will face challenges. However, with the development of computer technology and sensing technique, the wireless sensing embedded system will be developed and established in the aquaculture environment. In this study, the central processing system and water quality monitoring platform system are established by LabVIEW software. A central processing system is set up by NI myRIO platform as hardware device. The water quality monitoring platform system is set up by Arduino board and pH, temperature, dissolved oxygen and salinity sensors as software and hardware communication. Read the various water quality parameters and establish XBee wireless transmission so that a central processing system and water quality monitoring platform system can communicate with each other. Data obtained from the water quality monitoring platform system are transmitted to the central processing system for storage and analysis. Finally, the data in the central processing system can display instantly and the aquaculture personnel

國立中興大學生物產業機電工程學系專任助理教授。Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, 145 Xingda Rd., South Dist., Taichung City 402, Taiwan.

通訊作者。Corresponding author, E-mail: haotlin@nchu.edu.tw

can be aware of the water quality of the aquaculture environment. In this study, the status of the aquaculture environment can immediately be observed, monitored and managed via sensors. Therefore, it is helpful to assist aquaculture personnel to prepare, judge and adjust their feeding methods in advance. The wireless sensing embedded system can improve the production and quality of fish products and significantly reduce the occurrence of disaster risks.

Keywords: Aquaculture System, Wireless Transmission, Sensor

一、前言

漁業對於全球許多國家而言是重要的產業，主要可分為「捕撈漁業」及「養殖漁業」兩大類。「捕撈漁業」可分為遠洋漁業、近海漁業與沿岸漁業，「養殖漁業」包含「海面養殖」與「內陸養殖」。近年來由於過度撈捕及氣候劇烈變遷等，使各海域漁業資源逐漸萎縮，聯合國海洋法公約第六十二條與第六十五條等明定捕撈魚種和數量均需加以限制。此外，為了供應豐富的蛋白質來源，各國養殖漁業比重逐年上升，在臺灣以內陸養殖占大宗。臺灣養殖漁業之魚種，有許多高經濟價值的魚種，包含午魚、鰻魚、石斑等。由於臺灣面積小，水產養殖面積有限，集約式的養殖易造成水產生物發生疾病，若能提高水產養殖環境之管理能力，減少天災與疾病造成的損失，便能有更高的利潤。因此，水產養殖環境之水質穩定性，對於養殖漁業而言十分重要，如水質環境不適合，可能造成魚生理上的不良影響。在水產養殖水質管理上，水溫、pH 值、氨、亞硝酸、溶氧及鹽度為主要之水質管理因子。水產魚類多為變溫動物，適合的水溫範圍介於 $4^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，水溫主要由氣溫與日照時間影響，若水溫變化過大或超出容忍範圍，易危害魚的健康[1]。養殖池的鹽度變化主要受日照蒸發、降雨與換水所影響，超出魚種的鹽度忍受範圍，易造成死亡。溶氧量(Dissolved Oxygen, DO)為水中氧氣溶解量，主要由空氣中的氧溶入及水中植物光合作用產生的氧組成，大部分由水中植物光合作用為主，空氣中的氧約占 20%，其溶氧量單位為 mg/L 或 ppm。水中溶氧量並不固定，將隨水質條件而變動，如：pH 值、 CO_2 含量、底質狀況、水位深度、鹽度、水溫、氣壓、光照強度與藻類含量等。低水溫高氣壓，溶氧高；反之，溶氧低。另外，水色也會影響養殖生物的成長情況，水色深表示水中藻類等浮游生物數高，耗氧大；反之，則表示水中植物不足，提供較少氧氣。一般水產養殖溶氧值應在 5ppm 以上較安全[2]。pH 值為水中氫離子濃度，以 $\text{pH}=-\log[\text{H}^+]$ 表示，水產養殖生物最適生長環境介於 6.5~9，光照會影響水中 pH 值[1]。pH 值的酸鹼性會影響水中總氨氮(Total Ammonium Nitrogen)之化學平衡關係。2017 年

P.-Y. Yang 等人使用回歸分析方法預測養殖池的水質狀況，實驗分析溫度、pH、導電度、鹽度與前次溶氧量來探究氧濃度的含量[3]。

嵌入式系統為將個人電腦的硬體設備縮小整合在單晶片上，即電腦硬體的輸入單元、輸出單元、控制單元、算術邏輯單元、記憶單元與電腦的系統軟體和應用軟體，皆整合至單一晶片上。雖然嵌入式系統處理性能較個人電腦差，但體積較小，易於和其他系統整合。2012 年 Sai 等人發展無線網路水質監測單元於多魚池之研究。開發之可攜式水質測量裝置安裝於浮動平台上，測量水質參數，如溶氧量、pH 值、溫度、壓力和導電率。透過中央單元進行遠程監測、控制和數據傳輸。此系統具有防水與抗惡劣環境條件，最後利用 LabVIEW 進行軟硬體處理[4]。2017 年 Marivic 和 Febus 在可控的水產環境中，進行水質參數相互影響性之研究，利用樹莓派整合感測器系統探討溫度、pH 和自來水流率之關係，分析比較變動自來水流速與 pH 和溫度之間的相關性[5]。本研究將以 NI myRIO 平台與 XBee 無線傳輸進行開發實作。NI myRIO 為一嵌入式系統裝置，可用於多用途設計概念快速實現之應用。2018 年 Thirumurugan 利用 myRIO 進行開發無人自走車，以 LabVIEW 軟體作為設計[6]。2019 年 Isidro 等人利用 XBee 與 LabVIEW 建立無線控制應用於壓電致動器，其研究採用單進單出控制方式於高精度之位置控制。PI 控制器實現於 NI myRIO 平台。實驗結果顯示，雖然使用 XBee 無線技術相較於有線傳輸呈現較差的表現，但具有潛力應用於工業機台之控制[7]。

本研究將發展與建立無線感知系統於水產養殖環境，以 LabVIEW 建立嵌入式系統-包含中央處理系統與水質監測平台系統，中央處理系統以 NI myRIO 平台為硬體設備，水質監測平台系統則以 Arduino 板和 pH 值、溫度、溶氧量與鹽度感測器之軟硬體溝通，並建立 XBee 雙向無線傳輸，使中央處理系統與水質監測平台系統可相互無線傳輸，將水質監測平台系統所擷取之數據，傳至中央處理系統進行儲存、分析，最後將中央處理系統資料庫內之資料即時顯示，可使水產養殖人員即時得知水產養殖環境之水質狀況。此外，XBee 模組分別安裝於水質監

測平台與中央處理系統上，水質監測平台已設計防水封條作為防水封裝，安裝於水車系統上。中央處理系統則安裝於水產養殖環境之電控箱上，並未直接與水質環境接觸。

二、嵌入式系統架構設計

嵌入式系統為一含微處理器用於處理單一或多功能之系統，可透過撰寫程式，將所需執行之特定功能燒錄至嵌入式系統中。本研究採用 NI myRIO-1900 作為嵌入式系統主控單元，NI myRIO-1900 為一個可攜帶式重置 I/O 裝置，體積小及低功率，提供 10 個類比輸入、6 個類比輸出、40 個數位輸出入、聲音和電源輸出等，搭配 667MHz Dual-Core ARM 與 Cortex-A9 處理器，可透過 USB 和 802.11b,g,n 進行與主控電腦連接，並支援 SPI 與 UART 等通訊協議，另內建 WiFi。圖 1 為 NI myRIO 前視圖，可看出有四組 LED 與 XILINX Zynq 晶片。圖 2 為 NI myRIO 上視圖，有一 USB 孔及電腦連接孔裝置。圖 3 為 NI myRIO 擴充槽，具有 AIO、DIO、Encoder、PWM、UART、I2C 與 SPI 通道。

圖 4 為本研究設計之無線感知嵌入式系統於水產養殖環境之架構圖，其系統為利用嵌入式系統透過 XBee 傳輸方式，監測水產養殖環境中之溫度、鹽度、溶氧值與 pH 值。四組感測器以 RS485 系統連接於一終端板上，其終

端板與 XBee 模組作連接，另嵌入式系統亦設計一 XBee 模組，與感測器之無線傳輸系統作對傳。溫度、鹽度、溶氧與 pH 感測器皆為銘祥科技實業股份有限公司出產，其型號分別為 PT100 To RS485 Transmitter、SC-485、DO-485 與 pH-485。

三、無線資料傳輸系統

資料傳輸系統在感測器量測數據資料傳遞上佔很重要的角色，一般資料傳輸架構可分有線傳輸及無線傳輸。無論何種傳輸技術，接需具備傳送裝置(Sending Device)、傳輸媒體(Transmission Media)與接收裝置(Receiving Device)。相較於有線傳輸架構，無線傳輸系統具有結構簡單、維護方便、低功率消耗與彈性高等優點。在養殖魚塢池現場，因面積大、戶外長時間日曬雨淋且鹽度高，對有線傳輸而言，需考量佈線及定期更換的成本，維護上也較為費時費工。本研究將採用無線通訊模組作為資料傳輸之架構，以連結水質監測平台系統與中央處理系統，進行資料傳輸。

表 1 為各種無線傳輸媒體特性表。為了滿足魚塢池實際使用情形，本研究將採用 XBee 傳輸媒體進行設計開發與實際場域通訊，以達通訊距離可用範圍最佳化。圖 5 為本研究選擇使用之 XBee 晶片實體圖。表 2 為本研究採用 XBee 無線傳輸媒體規格。



圖 1、NI myRIO-1900 前視圖

Fig. 1 The front view of NI myRIO-1900



圖 2、NI myRIO-1900 上視圖
Fig. 2 The top view of NI myRIO-1900



圖 3、NI myRIO-1900 擴充槽
Fig. 3 Expansion slots of NI myRIO-1900

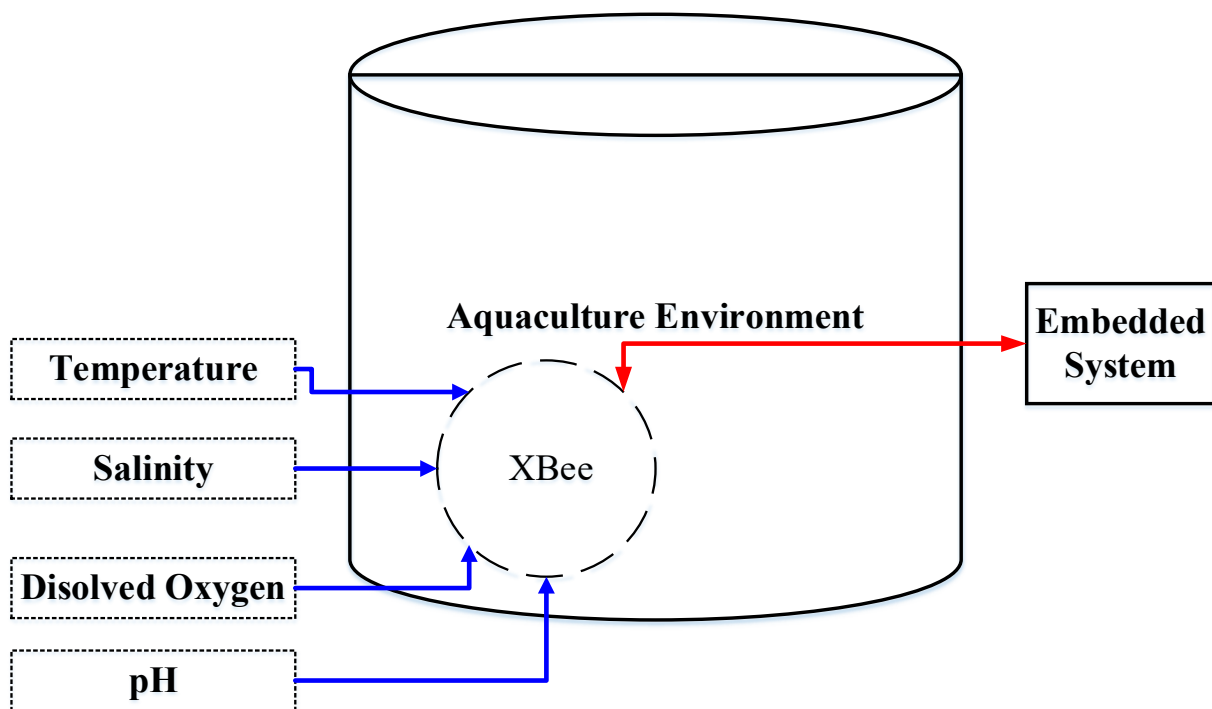


圖 4、無線感知嵌入式系統於水產養殖環境之架構圖
Fig. 4 The structure of the wireless embedded system for aquaculture

表 1、各種無線傳輸媒體特性表 [8]

Table 1 Characteristics of various wireless transmission media [8]

傳輸媒體	傳輸速率	通訊距離
紅外線	115 Kbps 至 4 Mbps	0 m 至 2 m
藍芽	1 Mbps 至 24 Mbps	0 m 至 10 m
XBee	10 Kbps 至 250 Kbps	10 m 至 100 m
蜂巢式無線電 2G	9.6 Kbps 至 144 Kbps	
蜂巢式無線電 3G	144 Kbps 至 3.84 Mbps	
蜂巢式無線電 4G	可達 100 Mbps	
通訊衛星	可達 2.56 Tbps	



圖 5、XBee 晶片實體圖

Fig. 5 XBee chip physical diagram

表 2、XBee 無線傳輸媒體規格

Table 2 XBee wireless transmission media specifications

傳輸距離	室內：最大 60 公尺 室外：最大 1200 公尺
傳輸功率	最大 6.3mW
資料傳送速率	250Kbps
傳送接收電流	傳送端：45mA (3.3V) 接收端：31mA (3.3V)
休眠模式電流	<1uA
工作電壓	2.1~3.6V
工作頻率	ISM 2.4 - 2.5 GHz
工作溫度範圍	-40~85°C
支援網路型態	點對點，點對多點

四、實驗結果與討論

圖 6 為本研究開發之整體無線感知嵌入式系統實體圖，包含：電腦、myRIO、XBee 和感測元件等，軟體使用 LabVIEW 2018 進行自主開發。圖 7 為本研究開發之水產養殖環境人機介面圖。實際將開發之無線感知嵌入式系統於金目鱸魚水產養殖環境進行實測。實驗場域位於高雄市彌陀區，養殖規模為 2 分地，天候一年以晴朗為主，然而在夏季常有颱風伴隨大量雨水，與極高溫出現；冬季常有寒流來襲，水溫常有極低溫影響。圖 8 為金目鱸魚養殖環境溫度與 pH 值在冬天一天的變化值，取樣頻率為 1 小時，其金目鱸魚適合的養殖生長 pH 環境為 7.83

到 8.17。pH 值在白天因水中藻類行光合作用， CO_2 濃度下降，pH 值上升；在夜間因水中藻類行呼吸作用， CO_2 濃度上升，pH 值下降。圖 9 為金目鱸魚養殖環境溫度與鹽度值在冬天一天的變化，可發現鹽度值與溫度並無相關性。本研究採用之感測元件，含溫度、鹽度、溶氧與 pH 感測器，依原廠建議於使用開始校正後，可於一年後再進行校正。表 3 為溫度感測器校正結果，可量測溫度範圍介於 -100°C 至 300°C 。表 4 為鹽度感測器校正結果，其環境操作溫度為 27.2°C ，環境相對濕度為 55.7%。表 5 為溶氧感測器校正結果，其環境操作溫度為 26.2°C ，環境相對濕度為 56.0%。表 6 為 pH 感測器校正結果，其環境操作溫度為 27.3°C ，環境相對濕度為 56.2%。



圖 6、無線感知嵌入式系統實體圖

Fig. 6 The wireless embedded system diagram

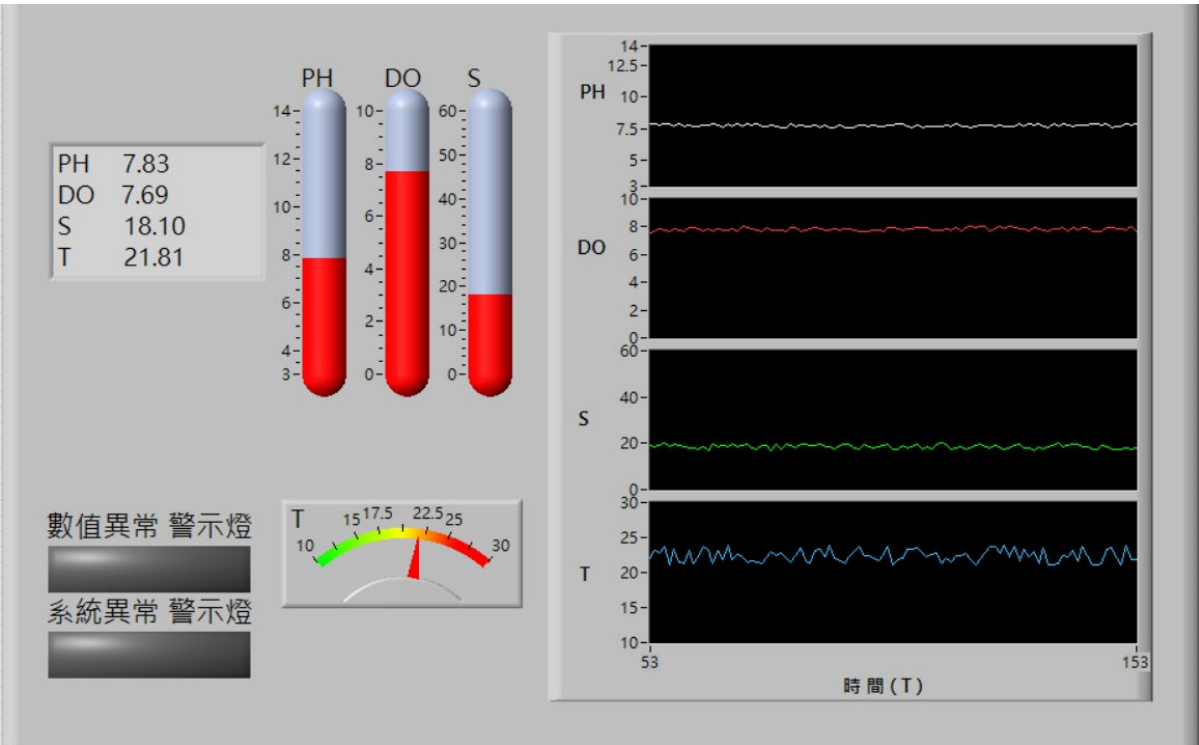


圖 7、水產養殖環境人機介面

Fig. 7 Human-machine interface in aquaculture environment

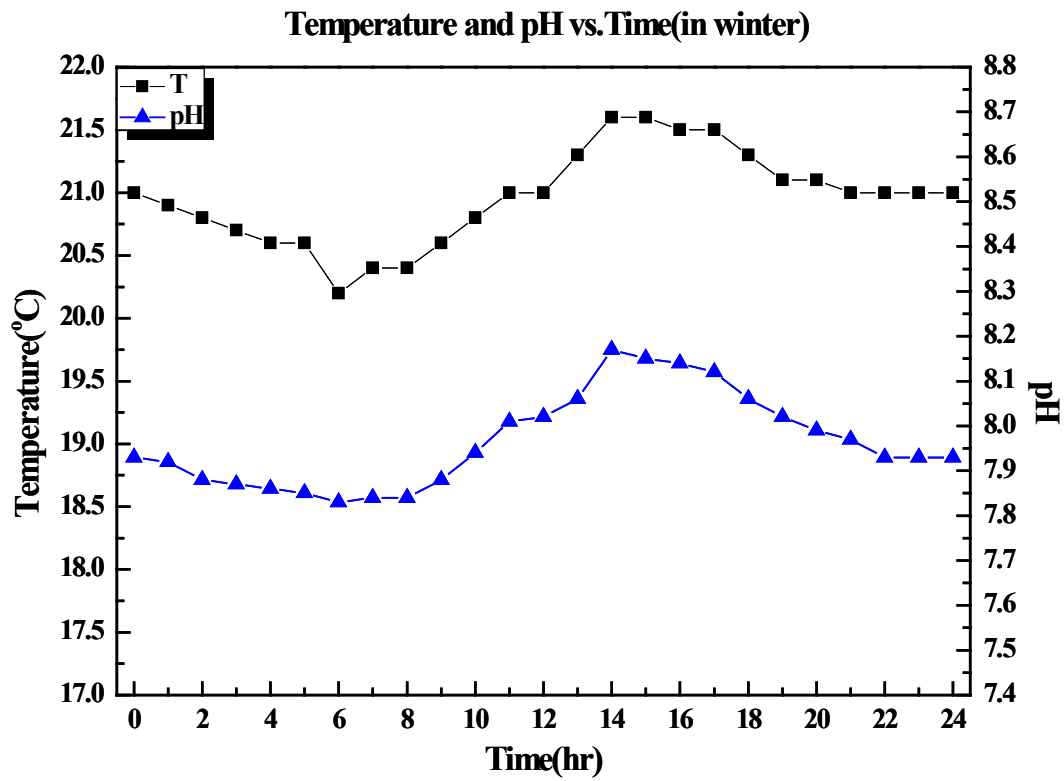


圖 8、冬天金目鱸魚養殖環境溫度與 pH 值一天的變化

Fig. 8 Results of temperature and pH values of breeding environment for *Lates calcarifer* in winter

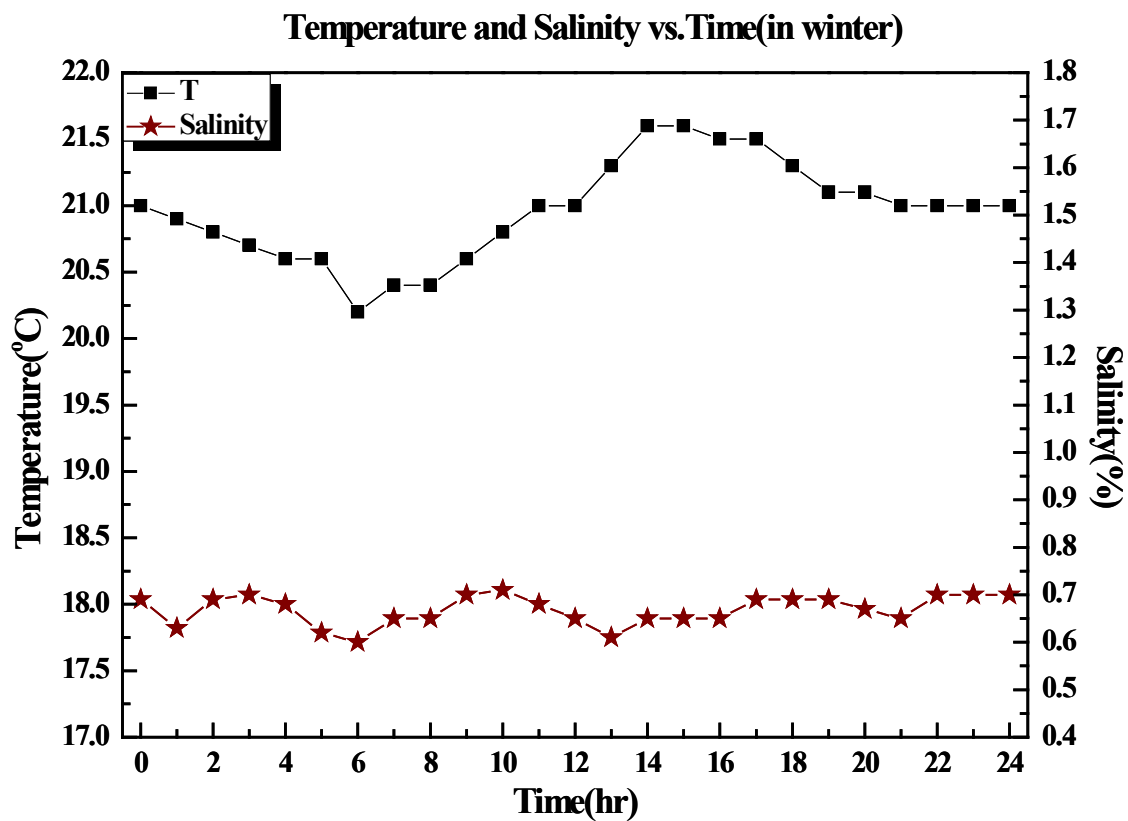


圖 9、冬天金目鱸魚養殖環境溫度與鹽度值一天的變化

Fig. 9 Results of temperature and Salinity values of breeding environment for *Lates calcarifer* in winter

表 3、溫度感測器校正結果

Table 3 Calibration results of the temperature sensor

溫度值	電流值
-100°C	4mA
0°C	8mA
100°C	12mA
200°C	16mA
300°C	20mA

表 4、鹽度感測器校正結果

Table 4 Calibration results of the salinity sensor

工作標準	結果
0.0 ppt	0.0 ppt
20.0 ppt	19.9 ppt
35.0 ppt	34.8 ppt

表 5、溶氧感測器校正結果

Table 5 Calibration results of the dissolved oxygen sensor

工作標準	結果
0.00 ppm, Na ₂ SO ₃	0.00 ppm
26.7°C / 8.0 ppm, Air	26.0°C / 8.0 ppm

表 6、pH 感測器校正結果

Table 6 Calibration results of the pH sensor

工作標準	結果
10.0	10.0
7.0	7.0

五、結論

本研究成功建立水產養殖無線感知嵌入式系統，透過感測器、嵌入式裝置與圖控式軟體，透過 XBee 與中央處理系統進行雙向無線傳輸。本研究透過感測器即時量測水產養殖環境之狀況，水產養殖環境將可即時觀察、監控及管理，協助水產養殖人員提早準備、判斷與適時調整飼養方式，提高漁產品產量與品質，大幅降低災害風險的發生。

六、參考文獻

- [1] Summerfelt, R. C. (2000). "Water quality considerations for aquaculture."
- [2] 杜金蓮、王姿文、曾福生 (2016). 「養殖魚塭溶氧與氣候變動之關係-以南部吳郭魚養殖池為例」. 水試專訊 56:35-38。
- [3] Yang, P.-Y., Tsai, J.-T., Chou, J.-H., Ho, W.-H. and Lai, Y.-Y. (2017). "Prediction of water quality evaluation for fish ponds of aquaculture." Proceedings of the SICE Annual Conference 2017, Kanazawa University, Kanazawa, Japan. September 19-22.
- [4] Vaddadi, S. K., Sadistap, S. S. and Kumar, P. (2012). "Development of embedded wireless network and water quality measurement systems for aquaculture." 2012 Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST), Kolkata, India, December 18-21.
- [5] Belen, M. C. D. and Cruz, F. R. G. (2017). "Water quality parameter correlation in a controlled aquaculture environment." 2017 IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), Manila, Philippines, December 1-3.
- [6] Thirumurugan, P., Arunrajan, S., Nagaarjun, S., Prakash, K. and Sivamanikandan, R. (2018). "Unmanned Ground Vehicle with NI LabVIEW using myRIO." Global Research and Development Journal for Engineering, 3: 64-69.
- [7] Calvo, I., Barambones, O., Chouza, A., Abrahams, S., Beckers, G., Slechten, D. and Velasco, J. (2019). "Building Wireless Control Applications with XBee and LabVIEW." Appl. Sci., 9: 2379.
- [8] Vermaat, M. E., Sebok, S. L., Freund, S. M., Campbell, J. T. and Frydenberg, M. (2017). Discovering Computers 2018: Digital Technology, Data, and Devices, pp.10-2-10-33. Cengage Learning.

2020 年 02 月 01 日 收稿

2020 年 05 月 05 日 修正

2020 年 05 月 27 日 接受

