

基於無線感測網路的水產養殖監控系統

王紹宇

亞洲大學資訊科學與應用學系

e-mail: g96251001@ms1.asia.edu.tw

張春明

亞洲大學資訊科學與應用學系

e-mail: cmchang@asia.edu.tw

摘要

台灣地區四週環海，擁有先天獨特的環境如洋流與黑潮，為漁、蝦海洋生物等提供了良好的棲息環境，近年來由於配合國際漁業管理趨勢以及漁獲量配額管理制度，造成遠洋漁業作業漁場的減少，國內開始發展養殖漁業，面對漁產品替代性高及國際競爭壓力，養殖漁業開始必須面臨轉型朝向科技化養殖漁業。有鑒於此，本研究實地訪查屏東當地龍膽石斑魚的經營者，瞭解養殖流程現況，利用 Tmote Sky 無線感測器，經由既有擴充介面，增建自製水質溶氧感測器架設無線感測器網路，並透過基地台接收感測數據傳送至使用者圖形化介面，達到水質溶氧量即時監控與警示，降低大量魚群死亡所造成的損失。

關鍵詞：無線感測網路、嵌入式作業系統 TinyOS、溶氧感測器

Abstract

Surrounding by ocean, Taiwan has a unique geographical environment. Regarding to the geographical environment, Taiwan has ocean currents, such as the Kuroshio (the Japan Current), that go by regularly. Such an environment offers a good habitat to many kinds of fish and shrimp, and also provides a good opportunity for fisheries to establish themselves in Taiwan. However, due to limitations imposed by international fisheries management and the "Catch quota management system," offshore fishing has decreased in recent years. For Taiwan, aquaculture fisheries have to be developed instead. Such aquaculture fisheries also need to be transformed by implementing modern technologies in order to face the competition of fish alternatives as well as international competition. Therefore, this study investigates the local culture flow of Queensland grouper in Pingtung through on-site visits to assess the actual situation. Wireless sensors called "Tmote Sky" were used in this study. We expanded the use of the sensor by joining an additional self-made water oxygen sensor. By setting up this wireless sensor network, the detected data was sent to the user graphic interface. We could monitor the dissolved oxygen

water quality" to reduce the death rate of the fish.

Keywords: Wireless Sensor Network、TinyOS、Oxygen Sensor

1 緒論

無線感測器 (Wireless sensor) 隨著近年來通訊與微機電技術提昇，研究應用範圍不斷擴展至各領域，生活周遭幾乎處處可見感測器 (譬如聲音、張力震動、水流沖力等) 將感測器建置於欲採集相關資訊環境中，經處理單位進行運算處理後，經由網路與基地台 (Base station) 進行資訊接收與傳輸，使用者透過網路即可進行資料瀏覽與流程處理成為無線感測網路 (Wireless Sensor Network, WSN)。感測器本身由於受到外接電池提供運作能源影響，傳輸距離大約在數公尺至一百公尺內，為了將其傳輸距離得以延長與能源有效利用，當感測器距離基地台太遠時將透過多跳躍機制 (multi-hop)[8]，尋找最有效率之傳輸路徑將收集到的資料進行回傳。感測器由於易建置、低功耗、高擴充性，受到相關研究領域人員的喜愛並朝向多元化發展層面，下面將敘述無線感測網路在不同領域中的應用：

- (1) 環境監測應用：感測器用於監測氣候，對影響葡萄園生長因素如日照、濕度、溫度，每隔一分鐘做一次收集並長期保存作為日後分析。美國 Great Duck Island 利用感測器監測島上海燕的棲息狀況，使研究人員不需至島上收集資訊破壞棲息環境，克服收集生態環境數據不易取得的狀況。在溫室環境中，傳統市場買到當地氣候環境條件買不到的物種。透過無線感測器不需佈線，改善有線時灌溉的困難度達到溫室環境控制方便性 [10][15][16]。
- (2) 智慧化家庭網路應用：將無線感測網路與居家環境中電器做緊密的結合，達到自動開啟和相互協調 [6][9]。
- (3) 食品安全應用：對捕獲到的魚，透過漁箱進行溫度監控，船家即使長時間在海上作業，販賣時也可保持新鮮 [18]。

- (4) 醫療應用：透過感測器收集病患健康狀況並收集訊息，使偏遠地區得以獲得必要醫療診斷。其次在家庭照護應用，為了因應高齡化社會，Intel針對阿爾茲海默氏症(Alzheimer's disease)患者，發展利用無線通訊技術連接感測器，提高訊息傳遞的效率與減輕照護人員壓力[14][17]。
- (5) 監測安全應用：監測橋樑、高速公路等道路環境，對其老舊橋樑與橋墩放置感測器，收集橋樑溫度、濕度、震動幅度減少因斷橋所造成的生命損失[20]。
- (6) 預警系統應用：委內瑞拉安地斯山脈居民長期遭受山洪的威脅，利用無線感測網路，能保護當地居民生命安全與減少經濟損失[19]。

1.1 研究動機

台灣地理位置適中海岸線長達 1,600 餘公里，小島 70 餘處，四處環海，西部為平坦緩和的陸棚其擁有黑潮、洋流與季風吹拂，東部地區屬寒暖流交會之處，為漁、蝦、貝類等提供了良好的棲息環境，長期在業者共同努力之下，快速成長並成果豐碩，對農業經濟發展貢獻卓著，在台灣經濟發展過程中，扮演著相當重要的角色。

但近年來由於受到全世界景氣低迷的影響與配合國際漁業管理趨勢及漁獲量配額管理制度，遠洋作業漁場減少，作業成本增加，在漁獲量方面，民國八十九年為一百三十五萬公噸，民國九十年漁業生產量為一百三十一萬公噸，減產約三十八萬公噸減產比率為 2.84%，使得漁產品在市場上逐漸供不應求。

另一方面，全球暖化問題日益嚴重，暖化可能造成特定物種在特定地區消失，影響漁業範圍包括水產養殖及捕撈，捕撈受到自然環境因素影響較水產養殖大，並且影響水中溶氧濃度、酸度、毒性物、養分等分佈狀況，改變魚類生態，衝擊小型漁業型態區域的漁業經濟[5]。

此外，海洋資源由於人類利用益趨頻繁包括跨國物資運送、軍事武器試驗、能源探勘等，易造成海洋污染成為其附加價值，生態平衡逐漸失調，遠洋漁業漁獲量不如以往。政策方面台灣於民國九十一年一月一號加入世界貿易組織後，由於水產品替代性較高，部分水產品由於關稅大幅度降低而被大量進口取代，國產大宗水產品將逐漸面對世界強大市場競爭壓力，且養殖漁業經營者逐年高齡化，因此為了在未來創造商機，養殖漁業產業轉型與

結構調整必須朝向科技型養殖漁業發展，以利用於提高產業競爭力與經營層次，保護生態環境和諧創造高品質養殖水產品，將同時使台灣養殖漁業由傳統性產業蛻變為優質養殖漁業時代。

國內目前養殖偏重於高經濟價值魚類，研究水產養殖行為方面多為水產養殖自動化管理，如何能在龐大的設備採購成本中發展出一套屬於自己需求的管理方式，以達到降低生產成本有效利用資源並改善養殖環境，確保魚類順利生長水質管理將是一個重要課題。水中溶氧低於魚類生存標準時，魚類將會停止生長、厭食甚至死亡，而隨著溶氧升高魚類的生長速度、攝食能力、代謝能力都將隨之上升。因此水中溶氧量管理將是對於養殖業非常重要的環節[13]。

1.2 研究目的

目前養殖漁業多為使用實體線路進行監測，相較於依賴經營者的經驗法則判斷現場狀況，大幅降低了靈活度與準確性，利用無線感測技術則可以改善其缺失。

本研究依據養殖漁業所面臨的困難進行訪查獲得研究問題，主要資料由屏東當地經營者訪問得知。在研究過程中嘗試改善經營者，在養殖龍膽石斑魚所遭遇到的水質管理狀況與釐清實驗相關問題。

感測器部分使用 Moteiv 公司所生產的 Tmote Sky 無線感測器，如圖 1 所示。



圖 1 Tmote Sky 感測器

Tmote Sky 無線感測器本身具有定位、資料收集、接收功能、低電流消耗與擴充介面，使實驗可進行自製水質溶氧感測單位連接，達到即時監控養殖水質溶氧狀況與進行管理，基地台部分使用 Tmote Sky 安裝 TOSBase，接收其他感測點所收集的資料，經 USB 介面傳送至電腦上透過使用者圖形化介面，將收集到水質與溫度感測數據透過感測點進行監看。適時提

出系統警訊畫面發出聲音，本研究期望能透過嵌入式系統高擴充性、體積小、成本低廉、機動性高易建置，提供養殖漁業經營者改善設備與經驗之不足，使經營者對於水質資訊獲得了解以利於管理。

2 相關背景

本節將探討養殖漁業現況與龍膽石斑生長背景，以及無線感測網路如何透過嵌入式系統 TinyOS 發展應用領域。

2.1 水產養殖業龍膽石斑現況及發展方向

由於海洋資源過度開發，使得國際社會對於部分高度洄游性魚類採取保護，海洋捕撈漁業的產品比例以開始逐漸降低，最近五年的成長率呈現負 2%，另一方面，水產養殖漁業因技術發達，在近五年間水產養殖漁業出現 35% 的高成長率。[5]

此外，根據 2001 年國際糧農組織估算結果，至 2010 年以前水產養殖產量在全部漁業產量的比重應可從現今的 20% 提 40% 以上，台灣目前主要養殖方式為淺海養殖、內陸魚塭養殖、海洋箱網養殖三種方式。內陸魚塭養殖方式約佔了 41 萬公頃為養殖方式之冠，主要又可細分為淡水養殖與鹹水養殖，前者主要養殖作物為吳郭魚、鯉魚、虱目魚，後者主要養殖作物為石斑魚、草蝦。就歷年石斑魚產量與產值統計數據來看，養殖魚種前三名石斑魚囊括其中，可見有不可忽視的份量[5]。

龍膽石斑又稱鞍帶石斑，屬於暖水性魚類，分佈範圍很廣，可在鹽度 11-14ppt、溫度 22-28 度、溶氧量需為 5ppm 以上，當鹽度低於 5ppt 即會死亡。生長速度極快，對環境的抵抗力極強，價格約在台幣 600 元屬於高經濟生物，主要銷售市場為中國大陸、香港、日本、南韓及東南亞。

傳統養殖石斑魚大量人力資源在撿苗分級、餵食，台灣薪資於東南亞國家屬於中高階級，如何降低人力成本增加利潤，導入養殖漁業自動化將是企業轉型化經營重要的一環。例如自動定時提供魚餌飼料，減少人力餵食的麻煩與誤判，提供水車監控一般室外養殖區，夜間由於沒有陽光其水中二氧化碳升高氧氣降低，故夜間大多依靠水車提高養殖池中的溶氧濃度，萬一水車葉片因故卡住導致燒毀，無法順利提高池中溶氧濃度，養殖區中魚群將會因低於溶氧濃度而死亡，故須監控系統提醒[11]。

水產養殖的另一特色，為魚塭水質容易受

到細微環境變化而無法掌控與海水環境無法比擬，當水質遇到藻類優養化加速水中氧氣消耗時，將導致魚群受到藻類毒素中毒死亡，又水生生物依賴優良水質，因此水質需 24 小時密切關注，維護水質狀況，水質感測技術可利用其優勢達到水質檢測與減少人力成本，為養殖漁業中不可或缺之技術之一。

2.2 無線感測網路

2002 年『E化台灣』的名詞出現後，朝著資訊台灣為目標開始慢慢邁進，經過了E化生活、Wi-Fi、WiMAX，到現在無所不再的感測器。使人類開始感受到資訊所帶來的便利與依賴，無線感測網路由於其體積小、容易建置，其概念應用越來越普遍與常見，其架構，如圖 2 所示。

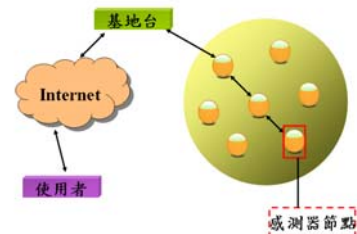


圖 2 無線感測網路架構

無線感測網路應用範圍廣泛，成為當今世界上備受關注的技術焦點，2003 年 MIT 技術評論 (Technology Review)，在預測未來技術發展報告中，將其列為改變世界的 10 大技術之一[10]。

無線感測網路具有動態性、適應性與資料處理能力，以通訊為中心散佈大量小型感測器採集數據所建構而成，為一種特殊的點對點 (Ad-hoc) 網路與傳統無線網路相比，其節點密度高具有喚醒機制與容錯能力，可依其需求藉由拓僕變化自行組織，進行傳輸路線安排與省電。

2.3 無線感測器

無線感測器因其應用領域不同，所以產生多種客製化感測器，組成元件包含感測器元件、處理元件、通訊元件等，透過嵌入式系統使感測器具有無線通訊、感應與資料處理能力。當感測器建置於環境中，可依照感測器提供之功能對環境進行感測，而資料取得透過無線傳輸，將多個感測器組成傳輸路徑傳回資料

接收端，提供使用者資料分析與對應動作。

無線感測器因具有運算、以及感測功能，透過多跳躍機制建立最佳傳輸路徑，當感測器不在傳輸路徑中感測器即進入休眠達到省電效果[2]。

感測器透過感測單元 (Sensing Unit) 和訊號轉換 ADC (Analog-to-Digital)，將環境中收集到的相關資訊經由化學變化與力學變化產生之電流與電壓，透過訊號轉換元件 ADC 將感測元件感測到的類比訊號經由數位訊號傳送至處理單元，處理單元包含了處理元件和儲存元件，負責執行使用者撰寫的程式，控制感測器中的感測單元並下達指令與接收資料封包，進行封包解讀依其封包狀況提供處理，如同電腦中的中央處理器 (CPU)。上述封包傳輸透過的則是感測器中的傳輸單元，傳輸單元主要工作將處理單元接收與傳輸資料透過無線傳輸方式將感測得到的資料傳送出去進行此動作，介質包含紅外線、光纖介質、無線電波等。感測器的感測流程設計除了需要長時間使用外還必須考量到能源消耗，因此系統運作多為直接在記憶體中執行，以提高穩定度與系統效能[13]。

2.4 溶氧感測器

水質監控方面水中溶氧量為判斷水質優劣重要因素之一，水中溶氧量需達到水中生物基本需求量以進行呼吸作用維持生存，當水中溶氧量不足易引起水中生物各種症狀與病變，如呼吸困難、嚴重者死亡，直接造成養殖業者損失與競爭力下降，如何保持養殖水中適當的溶氧量為重要議題。現今溶氧感測由於電氣化學趨於成熟，利用電極量測產生的氧化還原反應測量水中溶氧量已是常見的技術，根據氧化還原反應產生之電壓大小與水中含氧容量成正比，可推測檢測環境中水中溶氧量 [7][12]。

感測器於檢測環境中其適用性與感測強弱可依以下四點做判定：

- (1) 應答時間：環境中被檢測物質，透過感測系統達到 90% 系統穩定狀態所需的時間
- (2) 靈敏度 (sensitivity)：感測系統對檢測環境中待檢測物質所產生之訊號強弱，以溶氧感測器為例，即水中溶氧濃度 (ppm) 產生一毫安培電流 (mA)，即 $mv(mA)/ppm$ 關係，而感測系統不穩定因素包括溫度、濕度、感測器因感測使用次數所造成的老化等，都會對其檢測結果造成影響。

- (3) 穩定性 (stability)：感測系統在感測環境中測試一段時間後，需檢測系統的標準線是否有偏離原點的現象。

- (4) 選擇性 (selectivity) 以溶氧感測器為例，除了水中溶氧量的檢測外尚有其他反應物質可能也在對其感測系統產生訊號，因此選擇性的定義為感測器對偵測物質 (氧) 訊號佔總訊號的比例[12]。

2.5 嵌入式作業系統

無線感測器嵌入式作業系統為感測器節點上基礎核心軟體，透過微處理機可有效提供管理硬體資源與任務執行，使用者不需直接在硬體上編制開發程序，使應用程序更為方便開發提高開發效率。

另一方面，傳統的嵌入式系統並不適用於感測器網路，這些作業系統對於硬體資源有著較高的需求，在感測器節點資源有限下難以滿足，無線感測器網路作業系統必須依其所處環境量身剪裁針對硬體最低資源要求，與傳統作業系統需要實現複雜的流程管理有著很大的差異[3]。

2.5.1 TinyOS

TinyOS 為美國加州柏克萊大學分校所開發出的一套開放原始碼無線感測器作業系統，其設計目標為程式碼量小，低耗電量可適用於不同應用，TinyOS 屬於『元件式』結構體系作業系統，此結構已廣泛應用於嵌入式作業系統中，TinyOS 依據應用使用元件 (component) 來實現各種功能，且只包含必要元件，達到減少程式量與佔用記憶體儲存資源，輕易增減控制執行功能提高系統執行效能，編譯器可避免資料競爭的現象同時執行多個要求快速回應控制運作。

TinyOS 能夠運用在眾多節點且操作頻繁的無線感測網路應用中，原因為可實現事件 (event) 驅動機制，當事件所對應的硬體發生中斷時，處理事件的 CPU 能迅速的提供事件處理程序使任務繼續執行下去，並於處理完畢之後進入休眠狀態，提高 CPU 使用率與節省能源消耗[8]。

TinyOS 基於 FIFO (First In First Out) 任務調度方式，因感測器硬體資源有限且較短流程的開發任務可能頻繁的執行，傳統式的流程調度方式並不適用於感測器網路作業系統，透過使用 FIFO 能夠使較短流程的開發任務共享暫存空間並快速進行切換，當開發任務為空著

時，CPU 進入休眠狀態，外圍處理器處於工作狀態時，任何外部中斷皆可喚醒 CPU[4]。

基於事件驅動模式主動式通訊方式使 TinyOS 能快速的回應傳送過來的事件訊息有效提高 CPU 使用率，TinyOS 特性包含：

- (1) 元件基礎(component based)的結構，TinyOS 提供的內建系統元件，功能各不相同，譬如閃光(Blink)、計時(Timer)等等。當程式設計者設計應用程式時，將所需用到的元件做一連結即可。
- (2) 兩種負責處理同步的函式，任務(task)與事件，任務是一種延遲計算的機制，一旦被執行則必須執行到完畢，任務之間不允許相互中斷，適用於短時間流程或非即時的運算，事件被觸發之後亦會執行到結束，但事件可中斷正在執行的任務或是其他的事件。
- (3) 雙向運算(split-phase operation)的機制，命令(command)函式開始做運算，另一個則是運算完成之後的事件函式，以傳送封包為例，傳送端呼叫「send」command，表示傳送開始，當傳送完成後，會觸發「sendDone」event，代表傳送完成。雙向運算的好處是，等待運算完成時，可以先進行其他的事件運算要求，不需浪費等待時間[8]。

2.5.2 NesC 語言

TinyOS 元件庫(component library) 包含網路協定(network protocol)、及獲得感測器資料的程式工具，這些程式全部皆由 nesC (network embedded system C) 所撰寫而成。nesC 與 TinyOS 同為柏克萊大學分校開發，nesC 為一種擴展語法類似於 C，其最大特點在於將元件化與模組化 (module) 和事件執行結合在一起，並且採用任務與事件的開發模型。TinyOS 提供協同模型(concurrency model)，其最終目的使程式設計者減少重新設計所花費的時間。其 nesC 基本概念如下：

- (1) 介面(interface)：nesC 中，提供者(provider)元件跟使用者(user)元件間介面具有雙向交換能力。在介面中事件函數由介面使用者實現而命令(command)函數，函數由介面提供者實現。
- (2) 元件：nesC 中，元件包含了兩類其中一個模組另一是結構(configuration)。在模組中主要是將命令、任務和事件所需

之應用程式具體實現並於模組中，可使用與提供多個介面，而結構主要則是透過介面將不同的元件或是各個模組連結在一起，結構亦可使用或是提供介面。

- (3) 連結(wired)：在 nesC 中一個新的保留語法，其表示方式為“→”，稱之為 wired，主要為連結使用者與提供者實作介面[3][8]。

3. 研究方法

本節透過養殖漁業經營者訪查，制定系統架構與系統開發達到研究目標做詳加介紹。

3.1 系統架構

研究初期與屏東龍膽石斑經營者進行訪查，目的了解龍膽石斑魚養殖生長環境、養殖流程現況，經營者由於設備僅擁有一水車數台，水車開啟數量每窟最低兩台一天二十四小時開啟，夜間時為了避免水車發生單台故障，故夜間開啟三台，避免龍膽石斑發生水中缺氧而引發大規模死亡，水質方面需每日引海水來做添加魚塢之用，假若水質不理想僅進行海水再次添加，無法從中得到水質資訊不良的原因，是否為溫度過高使得水中溶氧量不足等。

上述問題判斷方式為經營者仰賴自身經驗，導致浪費掉多餘的人力資源與電費消耗。經營者與科技型養殖漁業相差勝遠，訪談過後經營者並提出希望協助提升養殖技術轉型，依水質資訊提供水質溶氧監控與警示，提升魚塢中龍膽石斑存活率。

使用 Tmote Sky 無線感測器，建置水質溶氧感測網路，節點放置魚塢四周收集溫度數據，利用感測器擴充介面連接水質溶氧感測器，資料傳輸透過 ZigBee 傳輸協定進行點對點 (Ad-Hoc) 短距離傳輸，感測點將在感測網路中進行呼叫，位於傳輸路徑的節點進行最佳傳輸路徑規劃，透過無線傳輸頻道，傳輸感測資料至基地台，接收其他感測點所發送過來的資料透過 USB 介面傳送回電腦。使用者圖形化介面將水質溶氧感測器，量測到的電壓與溫度數據顯示出來。利用水中養殖檢測方法標準作業程序[1]，檢測環境水中溶氧量。經監控系統判斷，當水中溶氧度小於最低需求量 5ppm 時，系統即顯示警示窗口並發出警示聲，其系統架構如圖 3 所示。

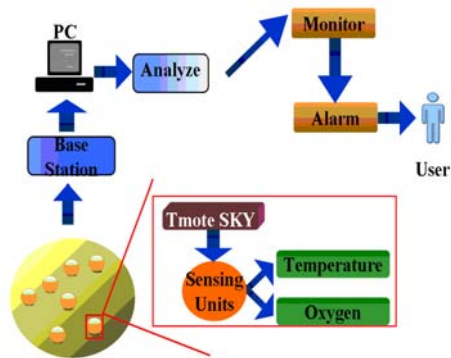


圖 3 系統架構

目前國內水質溶氧感測器需仰賴國外進口，就感測頭部分需要 0.8 至 2 萬元間，為了使經營者不需瞬間投入大量設備成本，故使用了自製低價水質溶氧感測器，其反應時間、應答時間皆適合現場實際應用與無線感測器進行整合，透過系統整合進行水質資訊監控達到警示作用，即時掌握魚塢水中溶氧量，降低水中因缺氧所帶來的傷害，改善目前所遭遇到的困境。

3.2 系統開發

本研究無線感測器使用由Moteiv公司所生產的Tmote Sky，採用TI的MSP430 作為運算核心，搭配溫度、濕度、光感度等感應器，與低電耗，可依使用者需求進行使用，假使無法利用上述感應器功能獲得環境中所需的數值，Tmote Sky提供了擴充連接介面（如圖 4所示），讓使用者連接感測單位讀取ADC資訊。

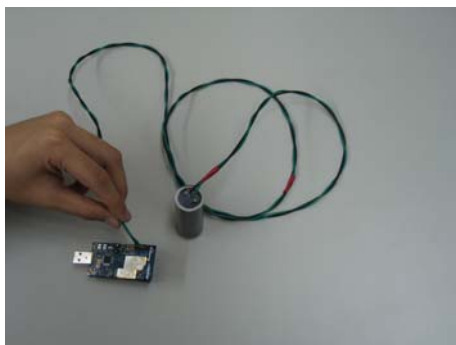


圖 4 擴充介面之連接

檢測水中溶氧量透過水質溶氧感測器轉換成類比電壓訊號讀取電壓值，輸入Tmote Sky擴充介面，其中由ADC轉換成數位訊號後傳入微處理機處理，如圖 5所示。

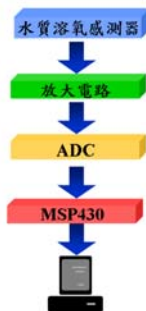


圖 5 水質感測流程

水質溶氧感測器部分，本研究採用游政勳 [12]於 2005 年提出的低造價溶氧感測器製作方法。根據伽瓦尼（Galvanic cell）電池原理之電器化學反應作為設計基礎，利用金屬活性造成的電位差選用金屬，電極正極選用銀（Ag）負極選用鋅（Zn），以電解溶液 1 莫耳氯化鉀（KCL）填入，PE 保鮮膜以隔絕待測溶液，作為氧分子穿透進入電解液之媒介，置於純水中使系統平衡。使用前利用恆溫箱可控制檢測溫度的特性，製作升溫與降溫檢量線，溶液中氧氣分子透過透氣膜進入與金屬正極產生還原反應負極感生氧化反應，實驗原理根據下述：

Ag(+)& Zn(-):

正極(+)反應： $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

陰極(-)反應： $Ag + Cl^- \rightarrow AgCl_{(s)} + e^-$

電池總反應： $O_2 + 4Ag + 2H_2O + 4Cl^- \rightarrow 4AgCl_{(s)} + 4OH^-$

依氧化還原反應電壓大小與水中含氧量成正比，檢測水質溶氧感測器電壓，在不同氧氣濃度下所產生的電壓值呈線性。因水質溶氧感測器所輸出電壓變化太小，故加入放大電路（如圖 6所示）以增強電位便於觀察。

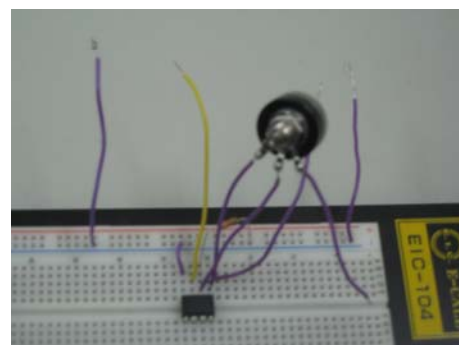


圖 6 放大電路

利用示波器檢視連接了放大電路的水質溶氧感測器，後發現電壓變化明顯較之前顯著，檢測之電壓與溶氧結果如圖 7所示。

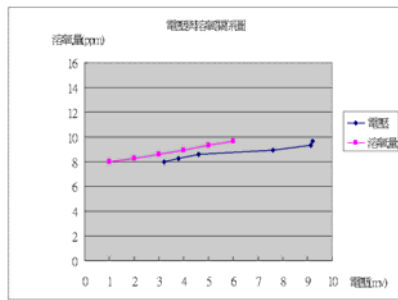


圖 7 電壓與溶氧關係圖

最後利用此結果連接Tmote Sky開啟使用者圖形化介面，介面設計魚塢數量為五窟，並利用感測點散佈在周邊緊貼魚塢，進行個別監控當水中含氧量與溫度為正常時呈現綠燈，反之紅燈作為警示並發出聲音，警示出現後可點選監看發生異常之魚塢資訊，系統整合如圖 8 所示。

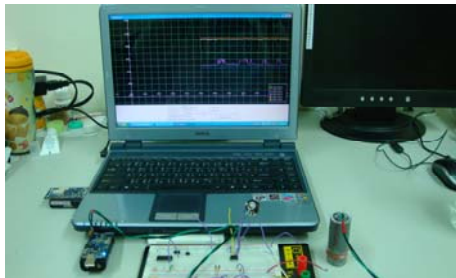


圖 8 系統整合

假若魚塢因所處時間、地點不相同使大氣壓力不為標準狀態時，則可透過方程式計算水質含氧量，其方程式如下[1]：

$$C_p = C \times P \left[\frac{(1 - P_{wv}/p)(1 - \theta P)}{(1 - P_{wv})(1 - \theta)} \right]$$

C_p =當非標準狀態時的溶氧量 (mg/L)

C =在標準 1 大氣壓 (atm) 時的溶氧量 (mg/L)

P =不是一大氣壓時的氣壓 (atm)

P_{wv} =水蒸氣 (atm)，可由下式求得

$$\ln P_{wv} = 11.8571 - (3840.70/T) - (216961/t^2)$$

T =凱氏溫度 (°K)

$$\theta = 0.000975 - (1.425 \times 10^{-5} t) + (6.436 \times 10^{-8} t^2)$$

t =攝氏溫度 (°C)

當水中溶氧量低於魚類生存標準質時，讓經營者獲得水質資訊，判斷水車供氧時間以達到水中溶氧監控目的。

4. 結論

無線感測網路所扮演的角色越來越重要，感測器在生活應用中提供新的選擇，此次透過龍膽石斑魚經營者的訪查發現，在改善傳統養殖漁業成為科技化養殖漁業，需要對養殖環境全盤了解。水質感測系統由於其價位偏高與建置方面多為有線，對於剛接觸的經營管理者實在難以立即增加設備成本。本研究透過 Tmote Sky 感測器使用 TinyOS 嵌入式作業系統，結合低造價溶氧感測器實作水質溶氧無線感測系統，透過監控溫度與水中溶氧量，提供水質溶氧資訊給經營者，若龍膽石斑發生水中溶氧量低於魚類生存標準質時系統將提出警訊發出聲音，經營者可藉由此系統制訂水車開放標準。成果歸納如下：

- (1) 藉由 Tmote Sky 感測器高擴充性、成本較低、易建置及機動性高等優勢提升了無線水質感測網路的實用性與接受度。
- (2) 改善經營者長期依靠經驗作決策的習慣，提供水質溶氧數據並可於溶氧低於魚類生存標準質時顯示警訊發出聲音作為參考。
- (3) 節省魚塢監控所消耗掉的人力與時間，提供二十四小時進行監控的水質無線感測網路。
- (4) 使用低造價溶氧感測器建置水質溶氧無線感測網路成本，其成本低於進口感測器。

誌謝

王紹宇的研究獲得國科會計畫的補助，計畫編號為 NSC 97-2218-E-468-008-。

參考文獻

- [1] 水中溶氧檢測方法標準作業程序, **農業工程研究中心**。
- [2] 王兆慶, ”以 Wireless Sensor Network 做定位之實作”, **國立中正大學電機工程研究所碩士論文**, 2006。
- [3] 王殊、胡富平、屈曉旭, **無線傳感器網路的原理及應用**, 北京航空航天大學出版社, 2007。
- [7] 水中溶氧檢測方法標準作業程序, **農業工程研究中心**。
- [8] 王兆慶, ”以 Wireless Sensor Network 做定位之實作”, **國立中正大學電機工程研究所碩士論文**, 2006。
- [9] 王殊、胡富平、屈曉旭, **無線傳感器網路的原理及應用**, 北京航空航天大學出版社, 2007。
- [10] 王斌, ”無線傳感器操作系統 TinyOS 的研究”, **計算機與現代化**, 期 149, pp. 67-70, 2008。
- [11] 行政院農業漁業署, **行政院農業委員會漁業署九十年年報**, 行政院農業漁業署, 2002。
- [12] 李志坤, ”基於無線傳感器網路技術的家庭智能化系統”, **山東大學碩士學位學位論文**, 2005。
- [13] 洪明鴻、謝禮丞、黃錫泉, ”極微電應用於水中微溶氧量之研究”, **農機與生機論文發表會**, 2007。
- [14] 孫殿宜、蔡孟伸, ”架構於無線感測網路資料收集系統之設計與實現”, **臺北科技大學學報**, 40 卷 1 期, pp.1-16。
- [15] 張巍巍, ”基於無線傳感器網路技術的智能家庭應用研究”, **西北工業大學碩士學位論文**, 2006。
- [16] 喬曉軍、張馨、王成、任東、何秀紅, ”無線感測器網路在農業中的應用”, **農業工程學報**, pp. 232-234, 2005。
- [17] 陳靖惠, ”台灣地區石斑魚養殖產業之企業經營與轉型策略-個案研究”, **國立中山大學經濟學研究所碩士在職專班碩士論文**, 2007。
- [4] 王斌, ”無線傳感器操作系統 TinyOS 的研究”, **計算機與現代化**, 期 149, pp. 67-70, 2008。
- [5] 行政院農業漁業署, **行政院農業委員會漁業署九十年年報**, 行政院農業漁業署, 2002。
- [6] 李志坤, ”基於無線傳感器網路技術的家庭智能化系統”, **山東大學碩士學位學位論文**, 2005。
- [18] 游政勳, ”低造價溶氧感測器之研發”, **國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文**, 2005。
- [19] 謝文川、李盈節、謝文雄, ”植基於第三代行動通訊環境嵌入式無線感測網路系統應用—以水產養殖監控為例”, **WSN2008**, 2008。
- [20] Ana Bhargava and Mike Zoltowski., “Sensors and Wireless Communication for Miedical Care,” **Proceedings of the 14th International Worshap on Database and Expert Systems Applications (DEXA'03)**, 2003.
- [21] Greatduckislang.net, <http://www.greatduckislang.net>。
- [22] Intel Corporation.Hetrogeous sensor networks[EB/OL], <http://intel.com/research>。
- [23] Jeongyeup Paek, Krishna Kant Chintalapudi, Ramesh Govindan, John Caffrey, Sami Masri., “A Wireless Sensor Network For Structural Health Monitoring: Performance and Experience,”
- [24] Karl Crowley, June Frisby, Steve Edwards, SeamusMurphy,MarkRoantree, DermotDiamond. “Wireless Temperature Logging Technology for the Fishing Industry,” **2004IEEE**, 2004.
- [25] Ning Xu., “A Survery of Sensor NetWork Applications,” **University of Southern California** .
- [26] N. Kurata, B. F. Spencer, Jr. And M. Ruiz-Sandoval. “Application of Wireless Sensor NetworkMote.for.Buliding.Risk.Monitoring,” http://www.unl.im.dendai.ac.jp/INSS2004/INSS2004_papers/PosterPresentations/P8.pdf.