

Design of a Calibration-Free Salinometer with Replaceable Electrode Strips

Chang-Yu Chen Chun-Yueh Huang*

Department of Electrical Engineering, National University of Tainan, 70005, Taiwan

*E-mail:cyhun@gm2.nutn.edu.tw

Abstract

In this paper, a calibration-free salinometer with replaceable electrode strips is proposed, whose sensor is designed by bipolar screen-printed electrode strips. The proposed salinometer system can be used to detect the salinity of substances containing salt, and it can be applied to the detection of salinity in food and in mariculture sea water for evaluating whether its salinity meets the suitable value.

In the salinometer, an EFM32 microprocessor is used to be the main control element, which includes an ARM MCU, a 12-bit digital-to-analog converter (DAC), and a 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The detection procedure is divided into two steps. In the first step, a 3.3V 100Hz square wave generated by DAC of EFM32 will stimulate the sensor in salinometer, and then the sensor will generate a reaction current after the testing sample is dropped on the sensor. The reaction current will be transferred to the corresponding voltage by a transfer circuit, and then the corresponding voltage will be measured by ADC in 100 μ s. The EFM32 will analyze the reaction voltages in different salinity concentrations to determine the different delay times of the second step measurement. In the second step, waiting for the determined delay time in first step, the ADC will measure the reaction peak voltage and transmit it to mobile device by the universal asynchronous receiver/transmitter (UART) in the EFM32 connected to the Bluetooth module. Then, the APP of the mobile device will show the detected voltage and salinity in the sample.

For system verification, a set of brine standard solutions are used to test the proposed salinometer and to establish the calibration curve. Based on the calibration curve, a lot of samples are used to detect and analyze the salinity concentration. Comparing the measurement results of different samples by the proposed salinometer with those by the commercial salinometers, the proposed salinometer has the feature of easy sensor replacement, remote control, calibration-free, small size, and low cost.

Keywords: Salinometer, microprocessor, Bluetooth, mobile device APP

* Corresponding author: cyhun@gm2.nutn.edu.tw

一個可更換電極試片的免校正鹽度計之設計

陳昶宇 黃俊岳

國立台南大學電機工程學系

摘要

本文提出一個可更換電極試片的免校正鹽度計，該鹽度計之感測器是使用雙極式網板印刷電極試片，此鹽度計系統主要用於檢測含鹽成份之物質鹽度，可應用於檢測食品中所含有的鹽度，以及評估海水養殖的鹽度是否符合標準值。

在設計上，此系統乃使用 EFM32 微處理器做為中央控制元件，檢測過程分兩個步驟進行，首先，透過 EFM32 中的數位類比轉換器 (DAC) 輸出一個 3.3V 100Hz 方波訊號對感測器試片上的含鹽樣品進行掃描，並透過轉換電路將樣品所產生的反應電流轉換成擁有尖端脈衝波的反應電壓，在經由 EFM32 中的類比數位轉換器(ADC)在 100 μ s 時，量測此反應電壓並回傳 EFM32，而 EFM32 會依照不同鹽度所產生的不同反應電壓來設定第二次量測所需要的延遲時間，接著在第二次量測中，ADC 會先延遲所設定的延遲時間後才開始量測，此時量測的結果即為峰值電壓，接著，藉由 EFM32 中的通用非同步收發傳輸器 (UART) 連接藍芽模組傳送此尖端峰值電壓給行動裝置，並由行動裝置裡的 APP 顯示出計算後得到的電壓與鹽度。

在系統驗證上，我們使用自行調配的鹽水做為標準液，並使用本鹽度計進行量測，依所量測結果建立此系統之校正曲線。此外，我們將鹽度計針對不同樣品的量測結果，與市售鹽度計所測的不同樣品量測結果進行比對驗證。實驗結果顯示本文所提出的鹽度計系統具有感測器易於更換、遠端操控、免校正、體積小、及低成本的特點。

關鍵字: 鹽度計、微處理器、藍芽、行動裝置 APP

1. 緒論

近年來，大眾對於養身的觀念越來越注重，所以少油、少鹽、少糖已成為現代飲食中極為重要的趨勢。但由於現代人多數以外食為主，以致於無法自行去控制一天所食用的油鹽糖含量，導致一天食用的油鹽糖含量容易超過標準值。

其中又以鹽最容易超過一天所食用之標準，原因在於現今的食品中鹽的應用非常廣泛，例如，增添食物風味、加工食品的添加劑，用於醃製食品以增加其保存期限與風味，然而食用過量的鹽會導致人體吸收過量的鈉，高鈉攝入會導致高血壓、腎臟疾病、心血管疾病、肝硬化、中風等疾病罹患風險增加[1-2]，所以如何控制鹽的攝取就變得相當重要。雖然市面上已有用來檢測鹽度的鹽度計，但多數體積都較為龐大在攜帶上較為不易、使用時需先進行校正、感測區電極損壞後不易更換並影響檢測結果之缺點，因此開發一個低成本、體積小、免校正、感測區易於更換之鹽度感測器是有其發展潛力的。

1.1 商用鹽度計介紹

目前市面上已有多種鹽度計之商品，價格從幾百元的簡易鹽度計到幾萬元的專業鹽度計都有，使用的測量原理和方法也有所不同，大致上有電導率法、滴定法與折射率法，而目前市售鹽度計大多都採用電導率作為量測方法。在構造上通常為一體式的設計，主要元件為鹽度顯示器、金屬製的感測電極、控制按鈕與電池放置處，一般使用電導率量測法的鹽度計所能量測之鹽度範圍為 0%~10%，而準確度在鹽度 1%~10% 為 $\pm 5\%$ ，在鹽度 0%~0.99% 為 $\pm 0.05\%$ [3]。

關於使用鹽度計的操作步驟如下：

- (1) 將鹽度計感測電極區處於乾淨的狀態下進行校正。
- (2) 將待測物液體塗抹 2~3 滴至感測電極區。
- (3) 按下開始按鈕並進行量測。
- (4) 待 3 秒後顯示出待測物之鹽度。
- (5) 並在下一次量測或結束量測前以清水進行清洗。

2. 研究方法

2.1 電導率量測法

電導率量測法(Conductivity Measurement)[4-5]是對兩個浸泡在電解質溶液的金屬或石墨電極施加固定之交流電流，使電解質溶液裡的陰陽離子往電極移動而產生電流，如圖 1(a)所示。然而由於不同電解質溶液的電導率不同，產生的反應電流也不相同，其關係可藉由歐姆定律去做推導

$$V = IR \quad (1)$$

因電導(G)的定義為電阻的倒數，其與電流關係式為

$$I = VG \tag{2}$$

為了求出電解質溶液之電導需要考慮到電極常數與電解質溶液的電導率，其關係式為

$$G = \frac{k}{K} \tag{3}$$

G：電導(S)

k：電解質溶液的電導率(S/cm)

K：電極常數(cm^{-1})

其中，電極常數與平行電極之面積與兩個電極之間距離有關如圖 1(b)所示，其關係式為

$$K = \frac{d}{a} \tag{4}$$

其中

K：電極常數(cm^{-1})

d：電極之間距離(cm)

a：電極的面積(cm^2)

電導率量測法就是以此特性來量測不同溶液的反應電流，並將其轉換為反應電壓進行量測與觀察。

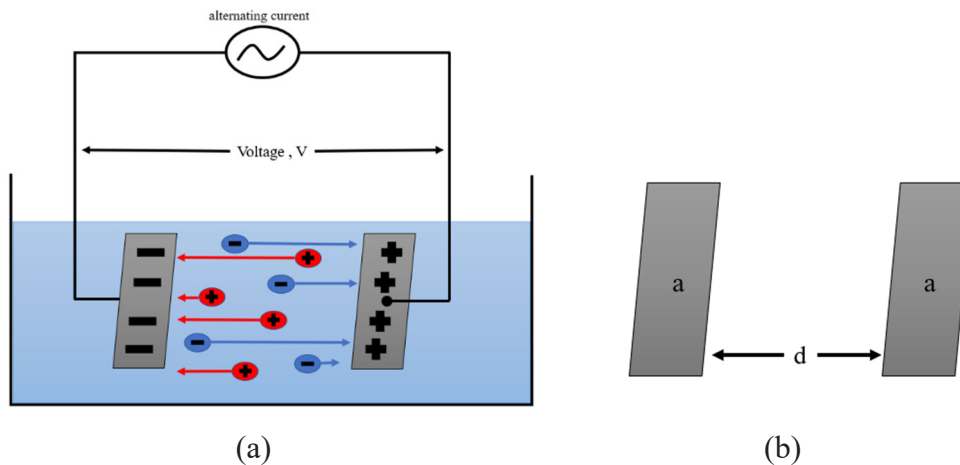


圖 1 (a)電導率量測法架構，(b)平行電極結構圖

2.2 電導率與濃度的關係

由於離子是導電溶液中的電荷載子，所以当浓度越大，導電溶液中的離子數目也會越多，這就會造成導電溶液的導電率會越高，然而此現象只適用於稀溶液和未達到飽和的溶液，這是因為導電溶液中離子間的相互作用而導致，在稀溶液中，因離子數目較少，離子間的相互作用較少，所以其電導率會與濃度呈線性增

加，當濃度慢慢增加，其離子間的相互作用也越來越多，這時電導率會與濃度呈非線性的變化，而當濃度超過最大飽和度時，甚至會出現濃度增加，但電導率卻下降[6]。

2.3 鹽度感測器試片

本系統所使用之鹽度感測器試片，如圖 2(a)所示，其設計與製造是來自於超極生技公司(UltraE Co., Ltd)，在試片前端設計出兩行平行之電極，如圖 2(b)所示，可將此兩行平行電極當作電導率量測法裡的電極給予固定之交流電流，藉此量測待測物之電導率，除此之外，此感測器試片的兩行平行電極可以當作一個電容去等效看待[7]，其關係式為

$$C = \epsilon \frac{A}{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{LW}{D} \quad (5)$$

其中

ϵ_0 = 真空之介電係數

ϵ_r = 液體之介電係數

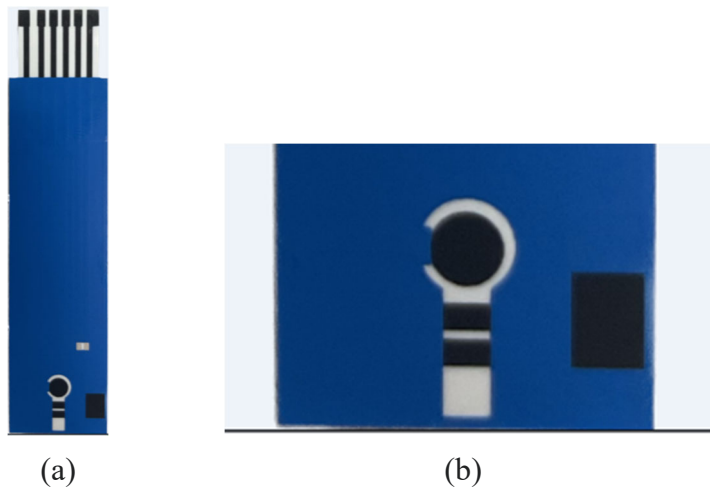


圖 2 (a)鹽度感測器試片，(b) 感測器試片前端兩行平行的電極

3. 鹽度計系統設計與實現

3.1 鹽度計系統架構

本系統設計所提出的鹽度計系統之架構，如圖 3 所示，其主要原理是藉由電導率量測法之觀念去設計，架構上主要控制核心為 EFM32 微處理器，微處理器中內含兩組 12bit 的 DAC(數位類比轉換器)，和一組內含八通道 12bit 的 ADC(類比數位轉換器)以及擁有 6 組 16bit 的數位 I/O Ports 控制介面。

藉由行動裝置中的 APP 與藍芽發送開始量測之訊號給 EFM32，收到訊號後，EFM32 中的 DAC 會開始產生頻率 100Hz、振幅 3.3V 的方波信號輸出，並將之施加於感測器試片上，屆時感測器試片前端電極會與檢測溶液產生出微小的反應

電流，並由轉換電路將此反應電流轉換成擁有尖端脈衝波之反應電壓，轉換後的反應電壓會被 EFM32 中的 ADC 進行尖端峰值電壓之量測，最後在藉由 EFM32 中的 UART(通用非同步收發傳輸器)與藍芽模組做溝通並將尖端峰值電壓傳送至行動裝置，而行動裝置中的 APP 會將收到的尖端峰值電壓經過計算後顯示出相對應的電壓值與鹽度。

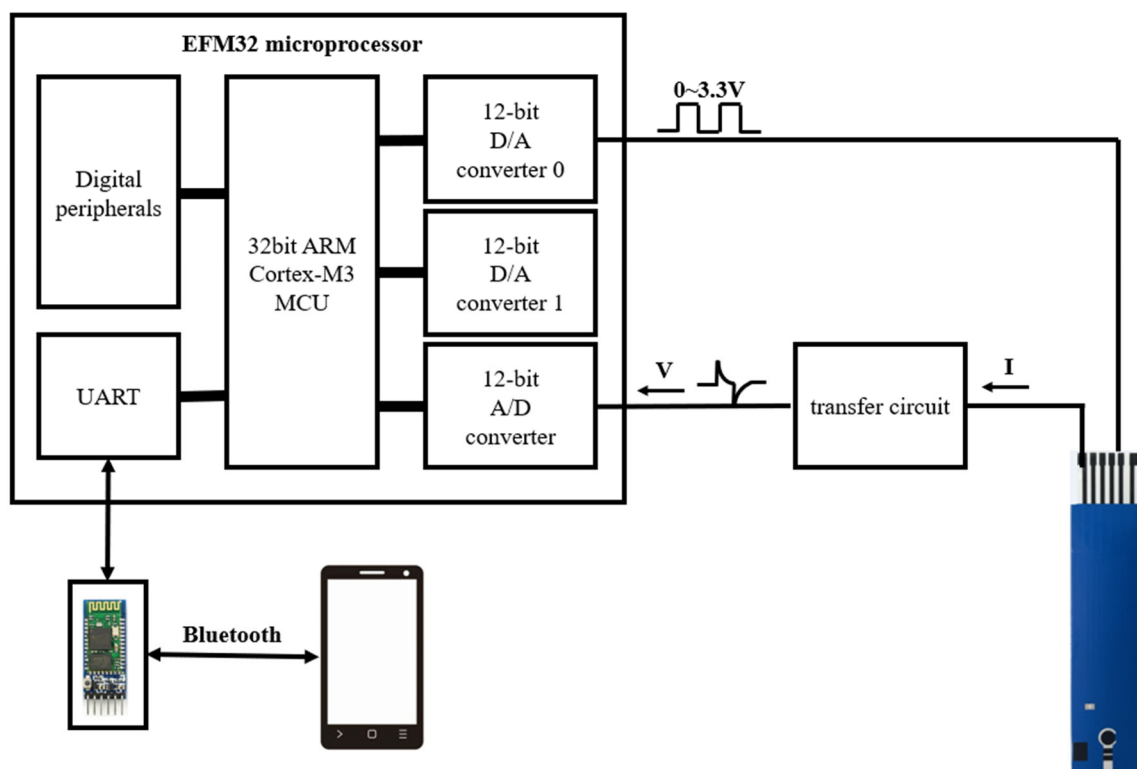


圖 3 鹽度計系統之架構圖

3.2 轉換電路介紹

本系統所設計之轉換電路是由電流轉電壓電路與積分電路所組成的，如圖 4 所示，電流轉電壓電路主要架構是由一個放大器與一個電阻與一個電容所組成，其中電阻 R1 用於提供負回授，而電容 C2 主要用增加電路的穩定性，積分電路主要架構是由一個電阻 R2 與一個電容 C3 所組成，而電容 C1 為感測器試片，原因在於感測器試片可以等效為一個電容。

由於感測器試片只會產生出反應電流，所以需要使用電流轉電壓電路將之轉換成反應電壓才能讓 ADC 進行量測，而經過轉換後的反應電壓會呈現為尖端脈衝波的波型，如圖 5 所示，原因在於感測器試片的電流只會發生在輸入訊號轉態的瞬間，並且由於溶液間的鹽度不同產生的反應電流也不同，導致轉換後尖端脈衝波的峰值電壓也會不相同，所以可以藉由峰值電壓去推算出相對應的鹽度。然而由於轉換後尖端脈衝波的峰值電壓只維持幾個微秒間的時間，所以如何去讀取準確的峰值電壓就變得相當重要，而最簡單的方式就是使用較高階的 ADC 以增快採樣率與轉換速度，但這樣也會增加開發所需要的成本，所以在於降低開發成

本的前提下，採用積分電路做為替代，由於積分電路能將輸入累計後再輸出，所以可以將尖端脈衝波轉換成三角波或鋸齒波[8]，本系統以此特性在電流轉電壓電路輸出端再接上積分電路，將原先尖端脈衝波轉換為較為平緩的類三角波，得以將峰值電壓的維持時間延長，如圖 6(a)變為圖 6(b)所示，此做法可以降低對於 ADC 採樣率與轉換速度的需求，以降低開發所需要的成本。

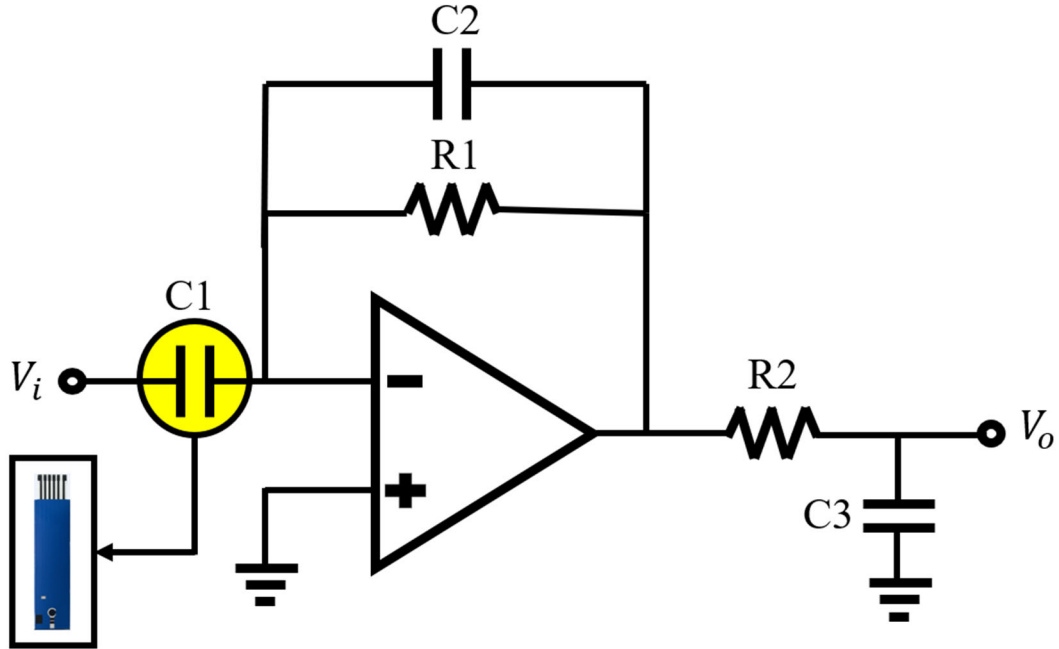


圖 4 轉換電路結構圖

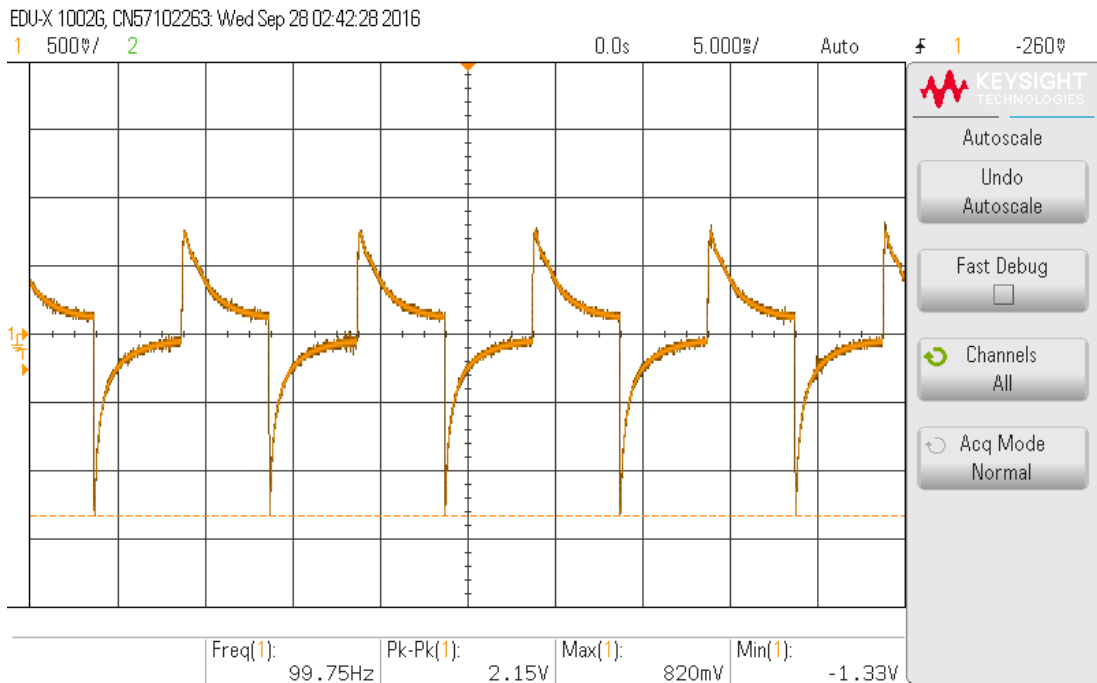
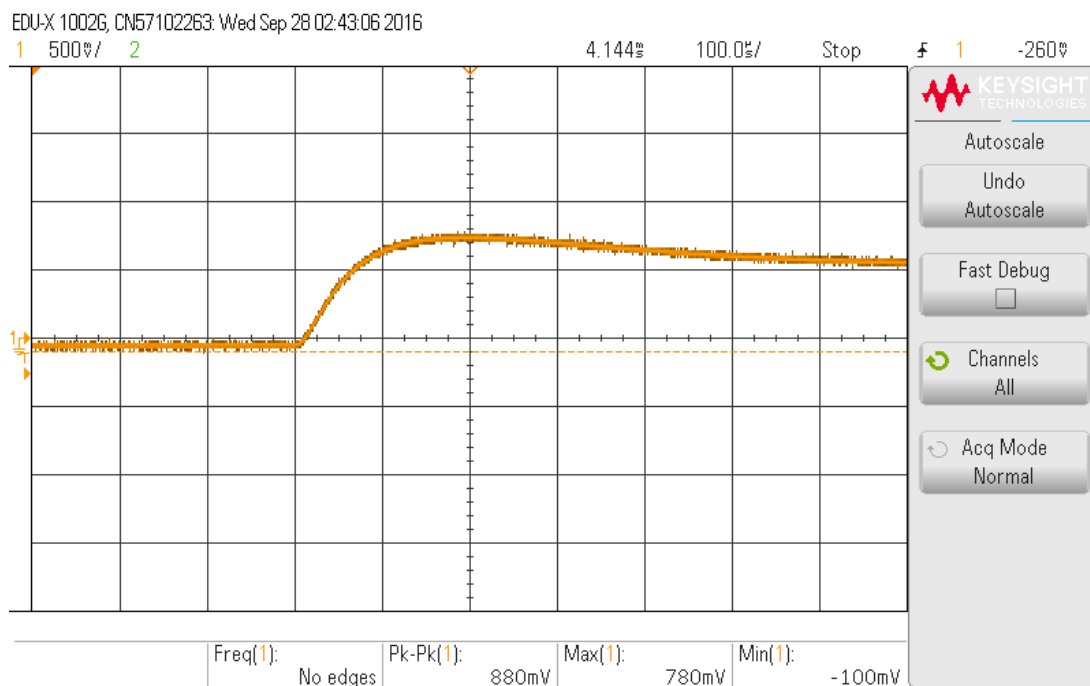
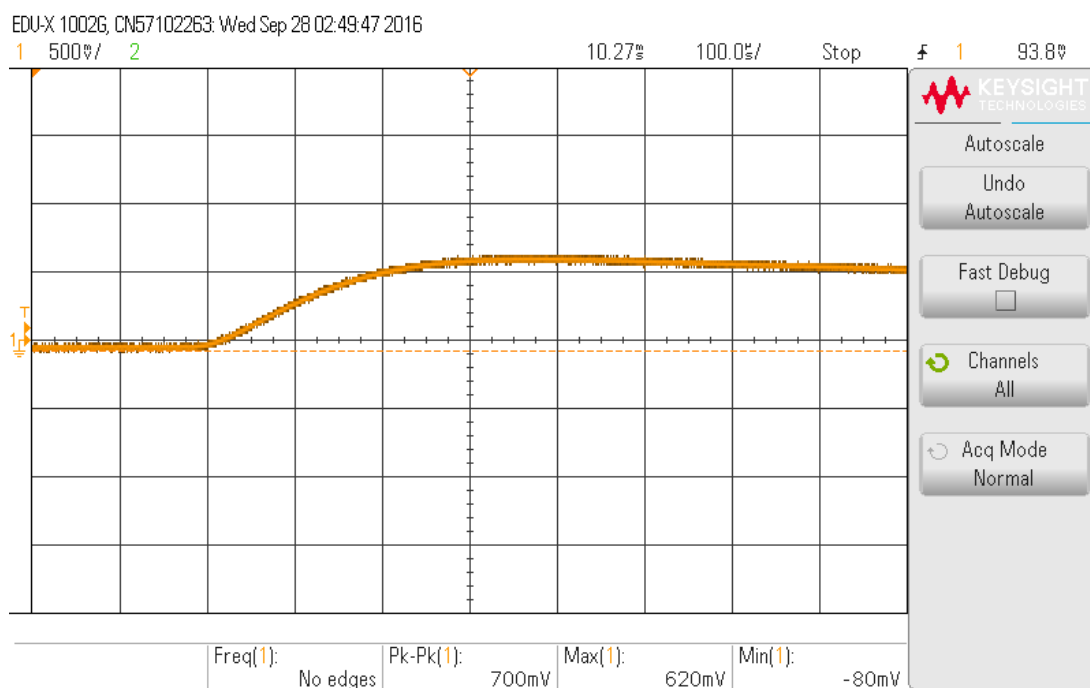


圖 5 電流轉電壓電路轉換後的尖端脈衝訊號



(a)



(b)

圖 6 (a)積分電路輸入訊號，(b)積分電路輸出訊號

3.3 鹽度計之尖端峰值電壓量測

根據電導度與濃度的關係，我們可以發現到當濃度越大，導電溶液中的離子數目也會越多，這就會造成導電溶液的導電率會越高，產生的反應電流也會越大，而經過轉換後的尖端峰值電壓也會越大，又因為感測器試片等效為一顆電容，所以會有電容充放電的特性，而不同濃度產生的反應電流會使充放電的時間有所不同，這也使不同濃度的尖端峰值電壓出現的時間也不相同，例如：量測 10%濃度之鹽水時，尖端峰值電壓出現的時間大約為 255 μ s，量測 1%濃度之鹽水時，尖端峰值電壓出現的時間大約為 290 μ s。

為了能夠量測到不同濃度的尖端峰值電壓，就會需要控制 ADC 的量測時間，並且能夠自行判斷不同濃度來調整不同的量測時間，因此，在設計上會進行兩次的量測，第一次量測會先量測時間經過 100 μ s 的反應電壓，並以此作為下次量測時所需延遲時間的判斷依據，並建立判斷程式，在建立判斷程式之方法為量測濃度 10%~0.01%的自行調配之鹽水，並藉由觀察示波器中尖端峰值電壓所出現之時間，在將此觀察到的時間設定為此濃度在判斷程式中的延遲時間結果，那麼在進行第二次量測時，ADC 就會延遲判斷程式中所設定的延遲時間後在進行量測，並得到正確的尖端峰值電壓，圖 7 為 ADC 兩次量測之電壓時間關係圖。

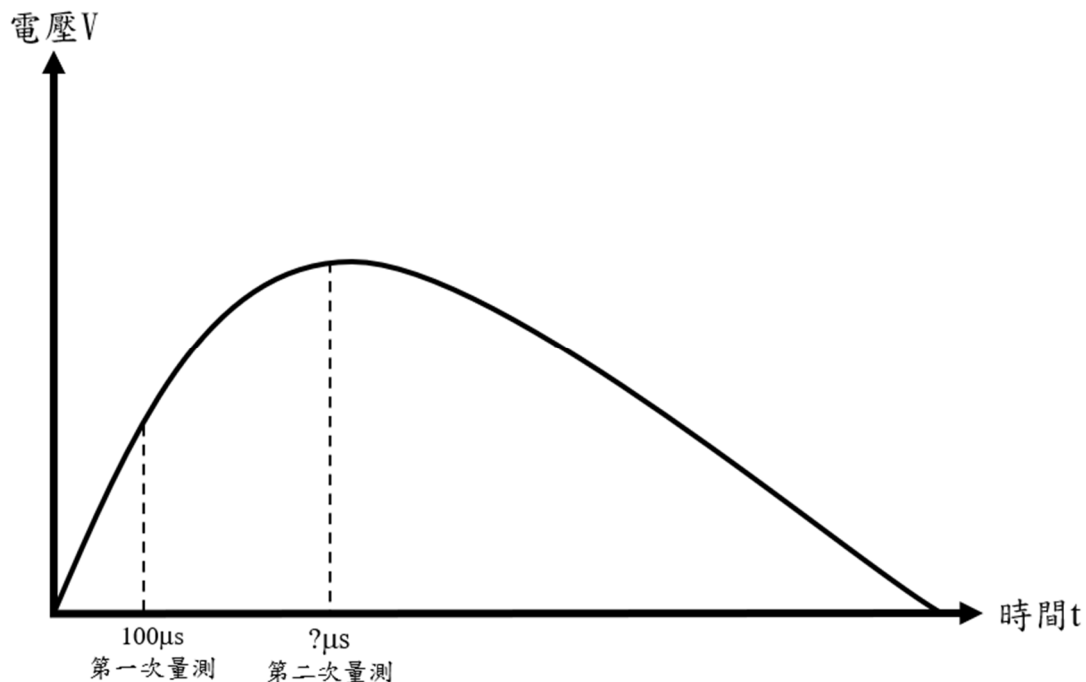


圖 7 ADC 兩次量測之電壓時間關係圖

3.4 行動裝置顯示系統

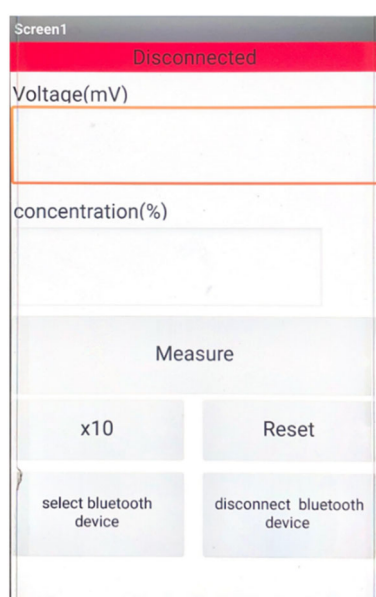
本系統所設計的行動裝置顯示系統是使用 App Inventor 所撰寫，行動裝置上的 App 介面如圖 8(a)所示，主要分為三大區塊，藍芽連接顯示區、數值顯示區、指令操作區。

藍芽連接顯示區主要負責顯示目前藍芽連接之狀態，如有連接其他裝置狀態條則會呈現綠色，如圖 8(b)所示，未連接時狀態條則會呈現紅色。

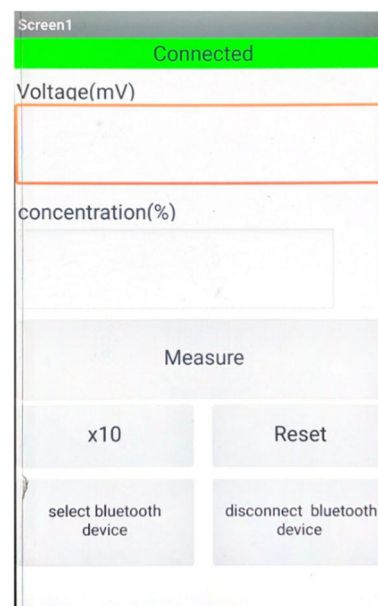
數值顯示區主要負責顯示量測之電壓與鹽度，電壓的部分，由於 UART 一次只能傳送 8 個位元，而 ADC 轉換後為 12 個位元，所以需要分為兩次傳送，待行動裝置接收到兩組 8 位元資料後再將之重新組合為 12 位元的資料，並經過計算後轉換為電壓值，鹽度的部分，需先找出最大飽和鹽度，目前使用此系統量測到的電壓觀察到當超過 10% 鹽度時，會有電壓下降的狀況發生，所以判斷此系統的最大飽和鹽度為 10%。之後再利用 10% 鹽水調配出其餘不同濃度之鹽水標準液進行校正曲線建立，藉由量測標準液之電壓與標準液濃度之 log 值進行繪製，其校正曲線如圖 9 所示，其關係式為 $y=504.43x+2659.2$ ，並將此關係式代入 App 程式中進行計算，就能將電壓值轉換為相對應的鹽度。

指令操作區主要有五種指令操作，分別為：

- (1) Measure: 用於量測，按壓後會發送開始量測之訊號給 EFM32。
- (2) x10: 用於將稀釋 10 倍之樣品鹽度還原為稀釋前的鹽度。
- (3) Reset: 擁有兩種功能，短壓用於將 x10 後的鹽度還原，長壓用於將數值顯示區的數值清除。
- (4) select bluetooth device: 用於選擇所要連接之藍芽設備。
- (5) disconnect bluetooth device: 用於斷開所連接之藍芽設備。



(a)



(b)

圖 8 (a)行動裝置 App 介面，(b) 裝置連接狀態

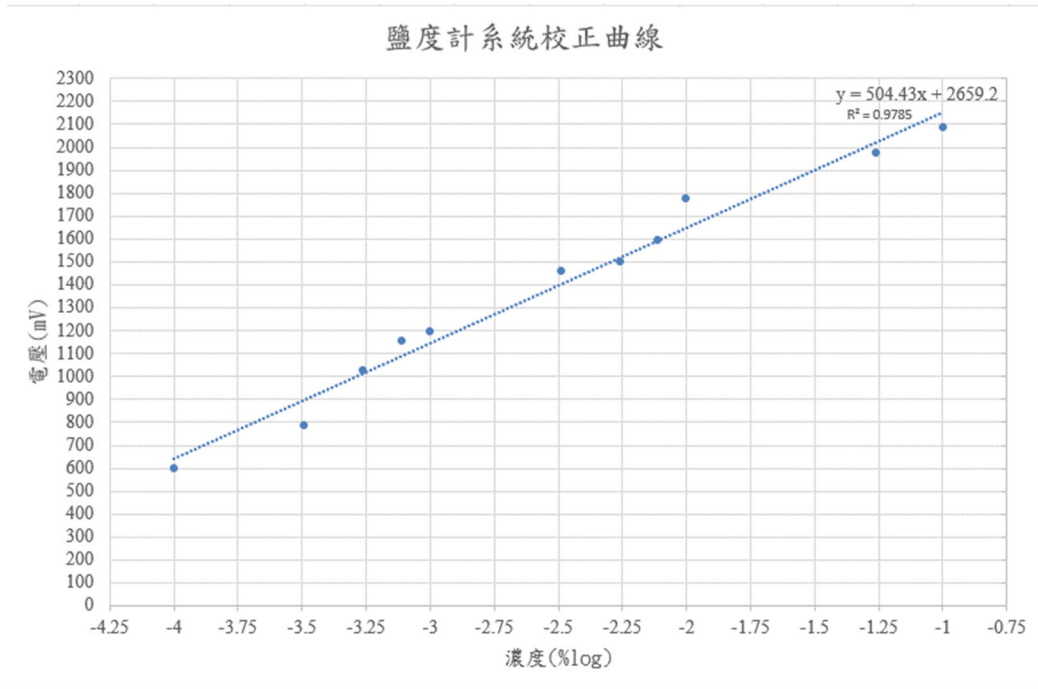


圖 9 鹽度計系統校正曲線

4. 實驗結果與討論

在鹽度計系統驗證的部分將會對不同含鹽成份之物質進行量測，並將此量測之結果與商用鹽度計量測結果參考值[9]進行比對驗證，圖 10 為本鹽度計系統之整合硬體環境圖。為了確保量測結果的準確性，會先使用自行調配之鹽水對鹽度計系統與感測器試片進行驗證，並在量測不同測試樣品時，將會採用不同之感測器試片進行量測，以防止感測器試片上發生此次測試樣品與前次測試樣品之殘留物混合的現象，而影響到量測結果。

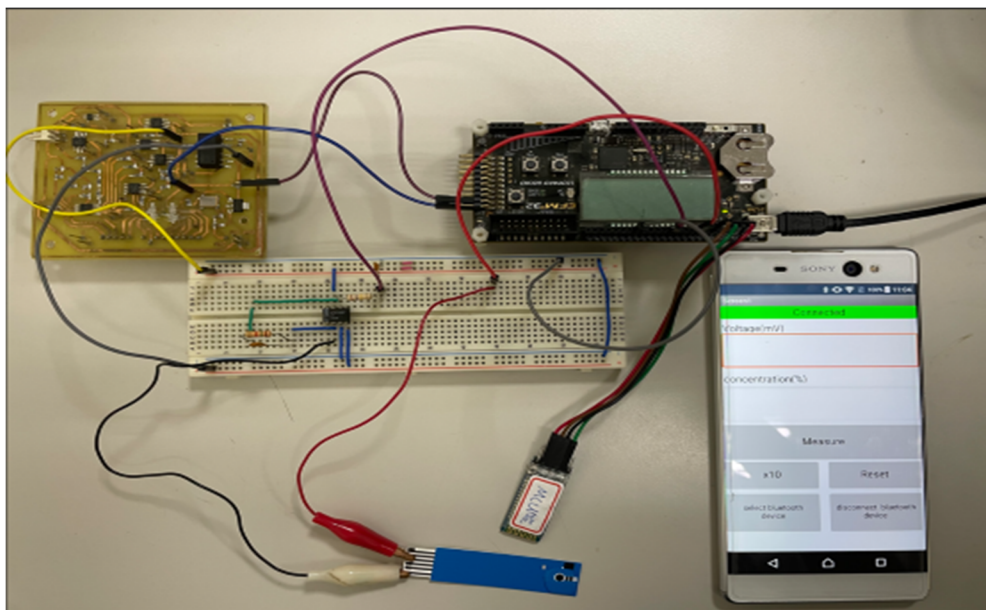


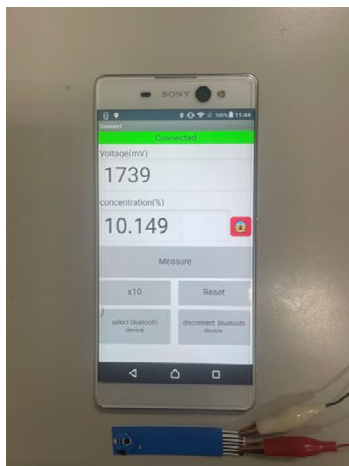
圖 10 鹽度計系統之整合硬體環境圖

4.1 鹽度計系統驗證

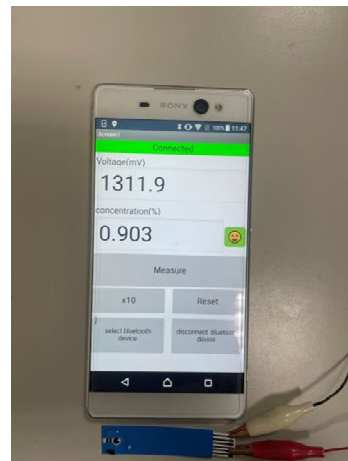
為了驗證本系統在檢測上的準確度，將使用自行調配之鹽水進行測試，分別為 10%、1%、0.1%、0.01% 濃度之鹽水，並且每個樣品都進行三次量測，如表 1 為樣品三次量測之鹽度與電壓結果，圖 11 為樣品第一次量測的行動裝置顯示結果，在三次量測中由於會因為外在環境的影響造成鹽水中離子往兩邊電極移動的作用有些微差距，但皆在可容許的誤差範圍內，所以從結果顯示來看量測到的鹽度與樣品濃度的差異不大。

表 1 鹽水樣品三次量測之鹽度與電壓結果

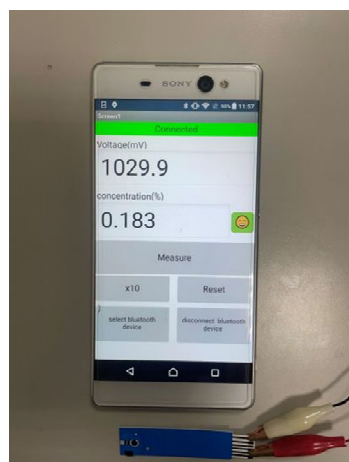
樣品	第一次量測鹽度	第一次量測電壓	第二次量測鹽度	第二次量測電壓	第三次量測鹽度	第三次量測電壓
10%	10.149%	1739mV	9.785%	1732.6mV	9.965%	1735.8mV
1%	0.903%	1311.9mV	0.887%	1308.7mV	0.891%	1309.5mV
0.1%	0.183%	1029.9mV	0.161%	1007.3mV	0.144%	988mV
0.01%	0.009%	489.2mV	0.009%	488.4mV	0.009%	488.4mV



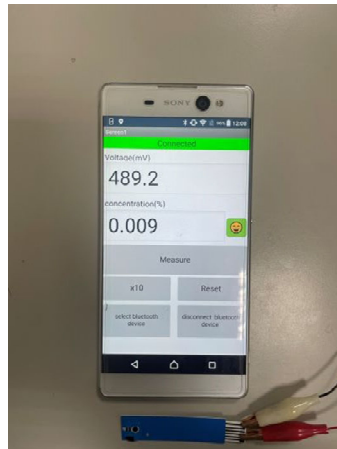
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 11 (a) 10% , (b) 1% , (c) 0.1% , (d) 0.01%

4.2 鹽度感測器試片驗證

為了驗證本系統所使用之感測器試片在不同試片間是否可以達到免校正與單一試片的重複使用性，將會使用自行調配之鹽水對感測器試片進行測試，分別使用 10%、1%、0.1%濃度之鹽水進行驗證。

在免校正的測試上，將會使用三種濃度之鹽水對五片感測器試片進行量測，並在每次量測前都會先以清水進行清潔並滴上新的鹽水後再進行量測，表 2 為五片感測器試片在 3 種濃度之鹽水所量測到的鹽度結果，藉由計算標準偏差 SD 與相對標準偏差 RSD 來判斷是否可以達到免校正，可以看到標準偏差 SD 值小於 1% 與相對標準偏差 RSD 值小於 10% 顯示其誤差非常小，所以證明本系統所使用之感測器試片在不同試片間是可以達到免校正。

表 2 感測器試片免校正驗證結果

感測器試片免校正驗證			
試片號碼	濃度 10%	濃度 1%	濃度 0.1%
試片-1	10.01%	0.963%	0.101%
試片-2	10.34%	1.045%	0.096%
試片-3	9.70%	0.998%	0.090%
試片-4	10.67%	1.099%	0.100%
試片-5	9.92%	1.050%	0.102%
平均鹽度	10.13%	1.03%	0.10%
標準偏差 SD	0.38%	0.05%	0.00%
相對標準偏差 RSD	3.77%	5.06%	5.03%

在重複使用性測試上，將會採用一片感測器試片對單一濃度之鹽水進行 30 次量測的方式進行，所以 3 種濃度皆採用不同試片進行，並在每次量測前都會先以清水進行清潔並滴上新的鹽水後再進行量測，其結果如表 3 所示，藉由計算標準偏差 SD 與相對標準偏差 RSD 來判斷感測器試片的重複使用性，可以看到標準偏差 SD 值小於 1% 與相對標準偏差 RSD 值小於 10% 顯示其誤差非常小，所以可以證明本系統所使用之感測器試片在重複使用性上是沒問題的。

表 3 感測器試片重複使用性驗證結果

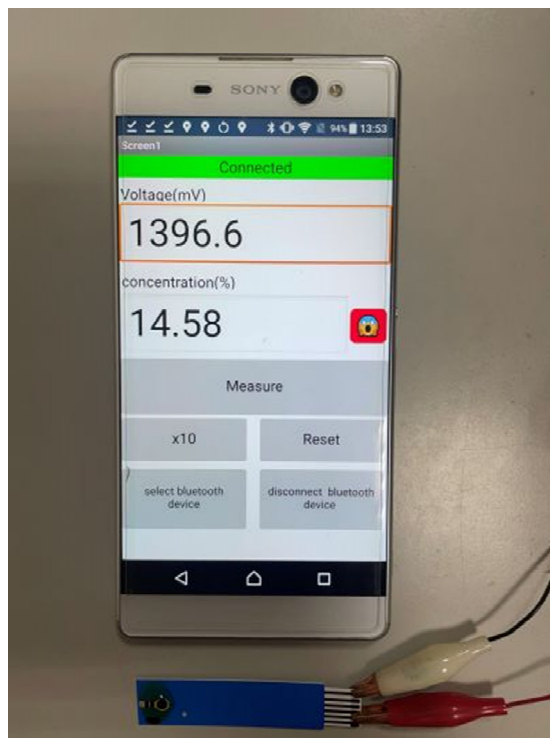
感測器試片重複使用性驗證											
濃度 10%				濃度 1%				濃度 0.1%			
1	10.24%	16	9.43%	1	1.008%	16	0.903%	1	0.109%	16	0.101%
2	9.65%	17	9.48%	2	1.017%	17	0.879%	2	0.105%	17	0.102%
3	10.24%	18	9.61%	3	1.021%	18	0.903%	3	0.111%	18	0.103%
4	10.34%	19	9.43%	4	0.989%	19	0.907%	4	0.105%	19	0.104%
5	10.01%	20	9.83%	5	1.017%	20	0.879%	5	0.094%	20	0.101%
6	10.38%	21	9.35%	6	0.998%	21	0.907%	6	0.103%	21	0.104%
7	10.10%	22	9.97%	7	0.980%	22	0.899%	7	0.100%	22	0.096%
8	9.92%	23	9.56%	8	0.924%	23	0.891%	8	0.100%	23	0.103%
9	9.87%	24	9.70%	9	0.903%	24	0.883%	9	0.100%	24	0.104%
10	9.97%	25	9.26%	10	0.899%	25	0.907%	10	0.098%	25	0.100%
11	10.01%	26	9.31%	11	0.883%	26	0.855%	11	0.100%	26	0.100%
12	9.26%	27	9.22%	12	0.891%	27	0.891%	12	0.101%	27	0.100%
13	9.79%	28	9.18%	13	0.891%	28	0.843%	13	0.099%	28	0.100%
14	9.79%	29	9.18%	14	0.875%	29	0.824%	14	0.101%	29	0.099%
15	9.39%	30	9.10%	15	0.899%	30	0.832%	15	0.101%	30	0.100%
30 次平均鹽度			9.69%	30 次平均鹽度			0.91%	30 次平均鹽度			0.10%
標準偏差 SD			0.38%	標準偏差 SD			0.06%	標準偏差 SD			0.00%
相對標準偏差 RSD			3.92%	相對標準偏差 RSD			6.14%	相對標準偏差 RSD			3.32%

4.3 高鹽度樣品量測結果

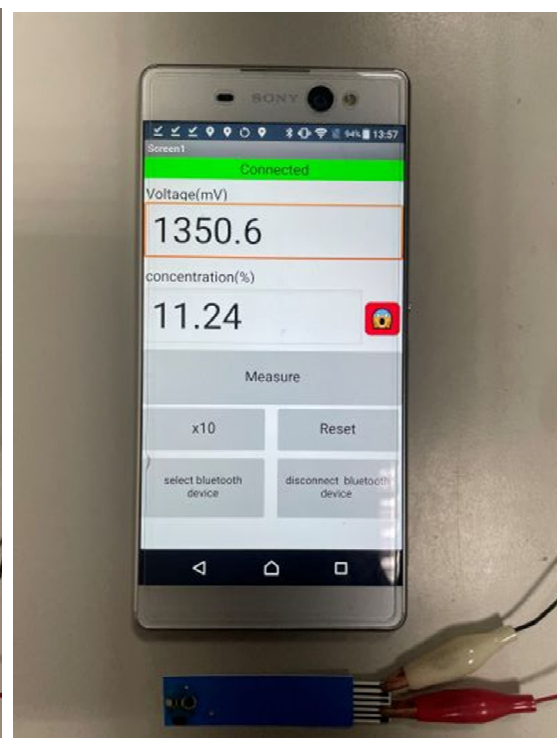
在高鹽度中選擇使用醬油與豆瓣醬做為量測樣品，由於高鹽度樣品的鹽度較高，會使離子間的相互作用較多，因而導致量測結果不準確，所以在量測前需與飲用水採用 1:9 的比例混合進行 10 倍的溶液稀釋。量測後之鹽度只需按壓 App 上的 x10 按鈕就能還原稀釋 10 倍前的鹽度，表 4 為三次量測之鹽度與電壓結果，圖 12 為醬油與豆瓣醬第一次量測的行動裝置顯示結果。

表 4 高鹽度樣品三次量測之鹽度與電壓結果

樣品	第一次量測鹽度	第一次量測電壓	第二次量測鹽度	第二次量測電壓	第三次量測鹽度	第三次量測電壓
醬油	14.58%	1396.6mV	11.66%	1357.1mV	12.09%	1363.5mV
豆瓣醬	11.24%	1350mV	11.77%	1358.7mV	11.45%	1353.8mV



(a)



(b)

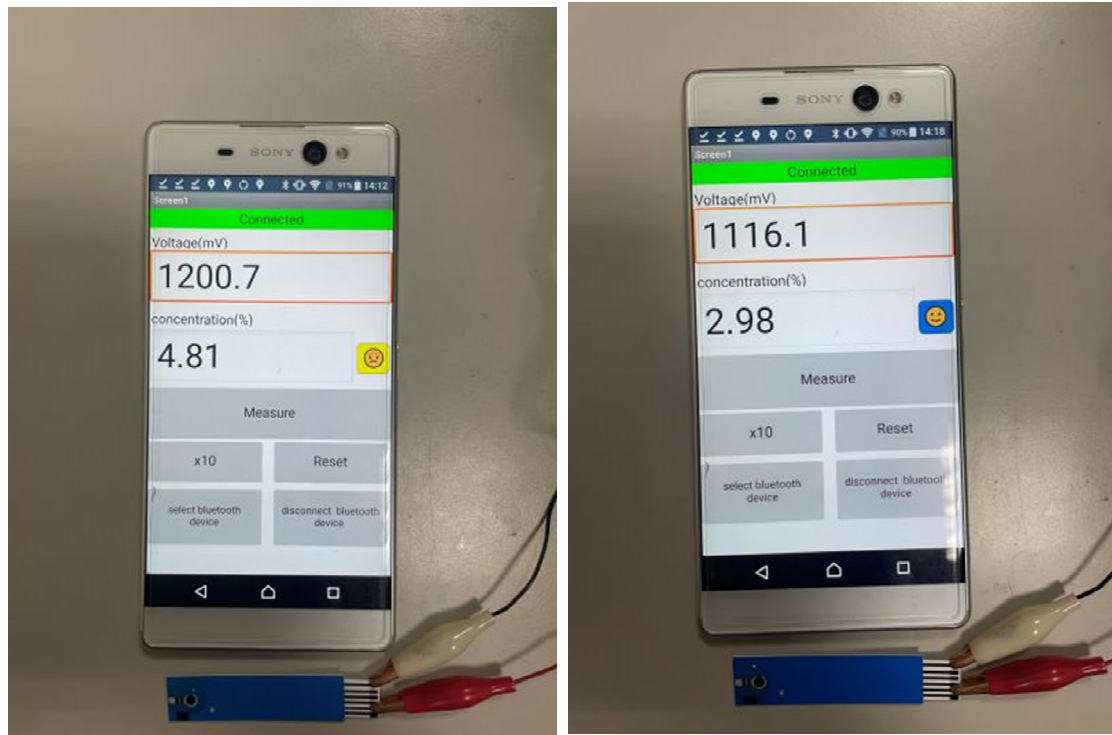
圖 12 (a)醬油，(b) 豆瓣醬

4.4 中鹽度樣品量測結果

在中鹽度中選擇使用韓式烤肉醬與番茄醬做為量測樣品，由於韓式烤肉醬與番茄醬本身為膏狀物含水量較少，不易於量測，所以在量測前需與飲用水採用 1:9 的比例混合進行 10 倍的溶液稀釋，量測後之鹽度只需按壓 App 上的 x10 按鈕就能還原稀釋 10 倍前的鹽度，表 5 為三次量測之鹽度與電壓結果，圖 13 為韓式烤肉醬與番茄醬第一次量測的行動裝置顯示結果。

表 5 中鹽度樣品三次量測之鹽度與電壓結果

樣品	第一次量測鹽度	第一次量測電壓	第二次量測鹽度	第二次量測電壓	第三次量測鹽度	第三次量測電壓
韓式烤肉醬	4.81%	1200.7mV	4.29%	1180.6mV	5.20%	1214.4mV
番茄醬	2.98%	1116.1mV	2.73%	1100.8mV	2.77%	1103.2mV



(a)

(b)

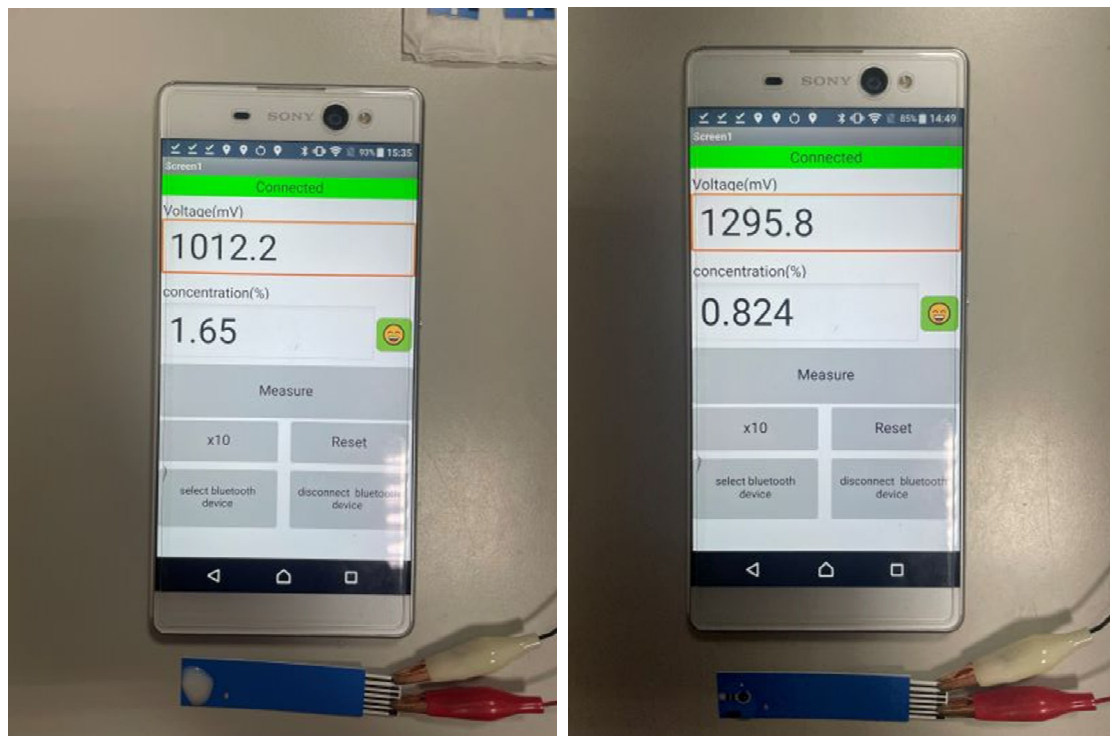
圖 13 (a) 韓式烤肉醬，(b) 番茄醬

4.5 低鹽度樣品量測結果

在低鹽度中選擇使用美乃滋與生理食鹽水做為量測樣品，由於美乃滋本身為膏狀物含水量較少，不易於量測，所以在量測前需與飲用水採用 1:9 的比例混合進行 10 倍的溶液稀釋，量測後之鹽度只需按壓 App 上的 x10 按鈕就能還原稀釋 10 倍前的鹽度，生理食鹽水則無需稀釋就可以直接進行量測，表 6 為三次量測之鹽度與電壓結果，圖 14 為美乃滋與生理食鹽水第一次量測的行動裝置顯示結果。

表 6 低鹽度樣品三次量測之鹽度與電壓結果

樣品	第一次量測鹽度	第一次量測電壓	第二次量測鹽度	第二次量測電壓	第三次量測鹽度	第三次量測電壓
美乃滋	1.65%	1012.2mV	1.77%	1024.2mV	1.59%	1005.7mV
生理食鹽水	0.82%	1295.8mV	0.89%	1309.5mV	0.93%	1316.8mV



(a)

(b)

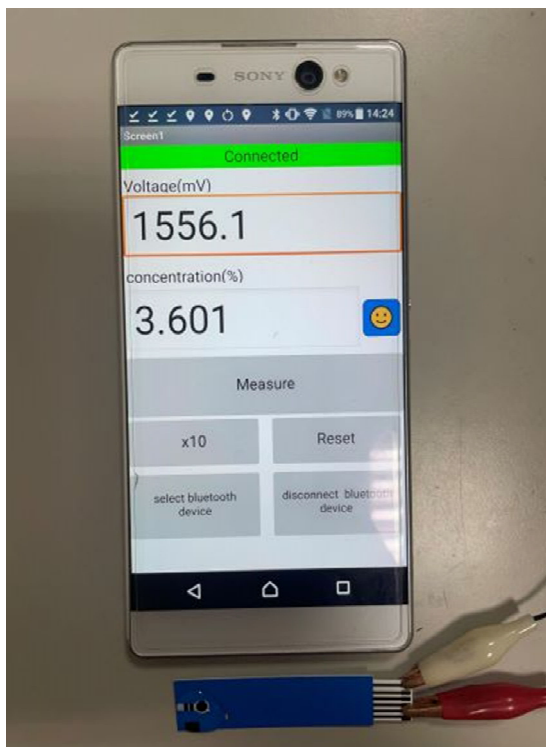
圖 14 (a) 美乃滋，(b) 生理食鹽水

4.6 海水與飲用水量測結果

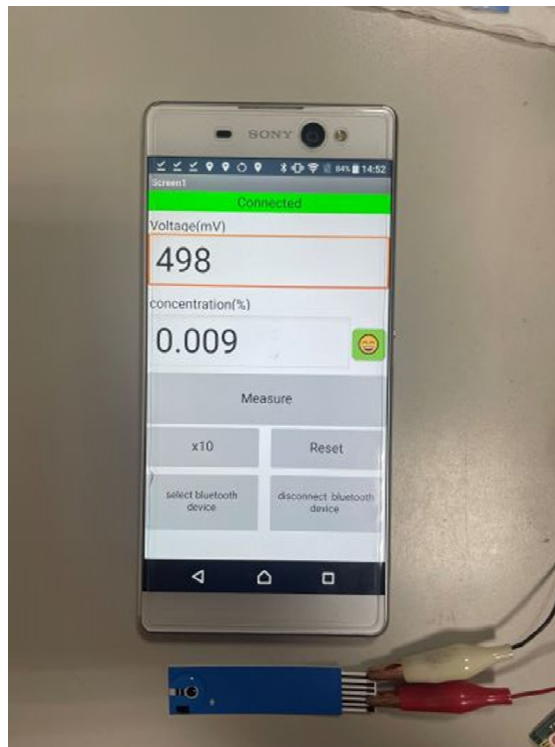
海水的鹽度會因地而異，原因在於不同地區的蒸發量與降雨量有所差異而導致[10]，海水樣品是使用台南漁光島附近的海水做為量測樣品，飲用水則採用經由飲水機過濾後的過濾水作為量測樣品，兩者都無需稀釋就可以直接進行量測，表 7 為三次量測之鹽度與電壓結果，圖 15 為海水與飲用水第一次量測的行動裝置顯示結果。

表 7 海水與飲用水三次量測之鹽度與電壓結果

樣品	第一次量測鹽度	第一次量測電壓	第二次量測鹽度	第二次量測電壓	第三次量測鹽度	第三次量測電壓
海水	3.60%	1556.1mV	3.42%	1547.3mV	3.13%	1531.1mV
飲用水	0.01%	498mV	0.01%	504.5mV	0.01%	522.2mV



(a)



(b)

圖 15 (a) 海水，(b) 飲用水

4.7 鹽度計系統比對驗證

藉由本系統量測不同鹽度樣品的三次量測結果，將三次結果的鹽度取平均值做為此樣品的鹽度，並將此鹽度與商用鹽度計量測結果參考值進行比對驗證，在海水的部分，商用鹽度計量測結果參考值中標示一般海水鹽度為 3.1%~3.8%之間，這邊取其平均值作為商用儀器的海水鹽度，表 8 為本系統平均鹽度數值與商用鹽度計量測結果參考值，圖 16 為比對結果，可以看到醬油的部份有些許落差，判斷可能為不同廠家所生產的醬油含鹽度不相同而導致，但大部分樣品所量測結果與商用儀器量測結果參考值幾乎吻合，所以從此結果來看，本鹽度計系統可以量測到正確的鹽度。

表 8 本系統平均鹽度數值與商用鹽度計量測結果參考值

樣品	自製儀器鹽度平均	商用儀器鹽度
醬油	12.78%	14%
豆瓣醬	11.49%	11%
韓式烤肉醬	4.77%	4.80%
番茄醬	2.83%	3%
海水	3.38%	3.45%
美乃滋	1.67%	1.60%
生理食鹽水	0.88%	0.90%
飲用水	0.01%	0%

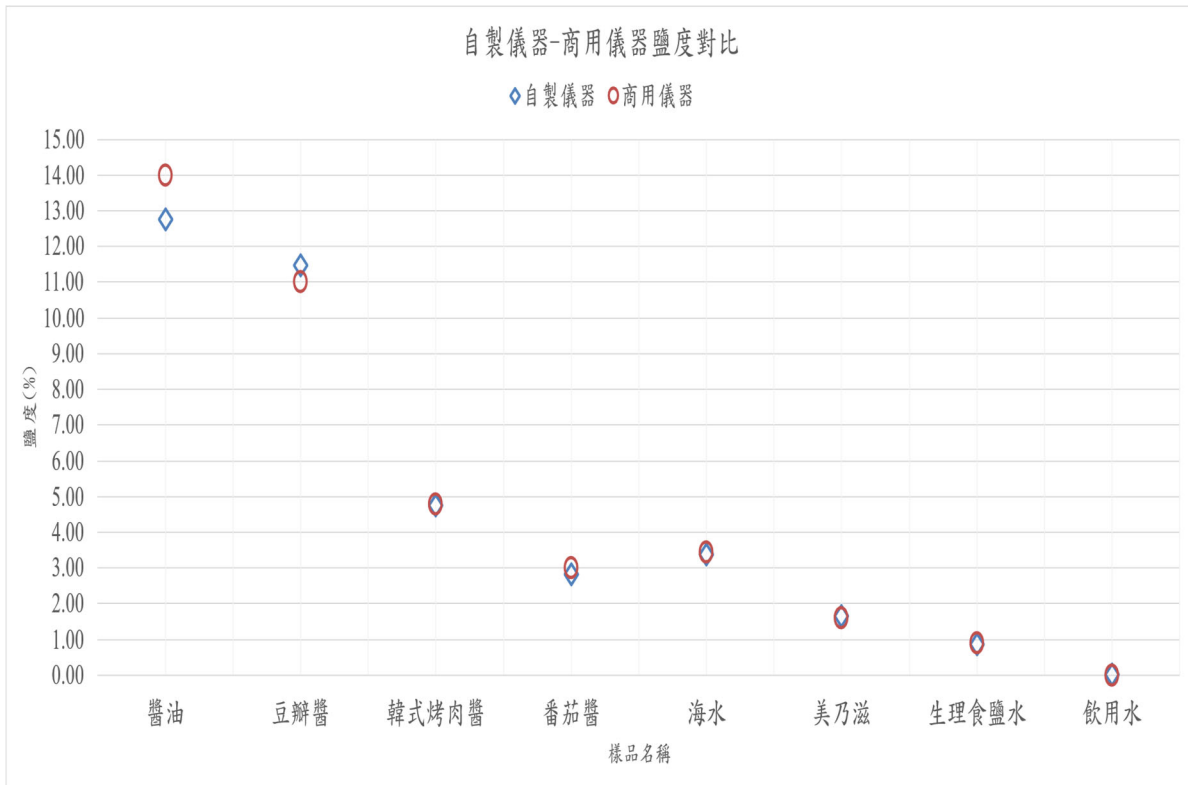


圖 16 本系統與商用鹽度計量測結果參考值比對結果

5. 結論

本文所提出一個可更換電極試片的免校正鹽度計設計，系統控制核心採用 EFM32 微處理器，感測器的部分，不同於商用鹽度計所使用的嵌入式金屬樣品感測器，而是採用超極生技公司所設計之雙極式網板印刷電極試片做為樣品感測器，使本系統具有感測器易於更換之特點，並且由感測器試片驗證實驗中證明此試片具有重複使用性與免校正之特點，也因為具有重複使用性之特點所以量測一次的成本小於 1 塊台幣，另外本系統是藉由峰值電壓做為電壓與鹽度之間的轉換依據，但峰值電壓只維持幾個微秒的時間，對於 ADC 選用的需求較高，所以在自行設計之轉換電路中增加積分電路來延長峰值電壓的時間以降低對於 ADC 採樣率與轉換速率的需求並使成本降低，並透過藍芽模組與行動裝置做連結，就能藉由行動裝置裡的 APP 對鹽度計系統進行操控，以達到遠端操控之特點，而且相較於其他商用儀器都為一體式的設計，本系統將樣品感測器與顯示裝置都採取外部連接的方式，這使得此感測器系統本身的體積能夠縮減，並更易於攜帶。

在驗證實驗中，使用商用鹽度計量測結果參考值為依據，並與本系統所量測之鹽度結果進行比對，比對結果顯示，本系統與商用鹽度計量測結果參考值幾乎吻合，由此結果來看，本系統具備高準確度之特點。

6. 致謝

本研究感謝超極生技股份有限公司提供雙極式網板印刷電極試片，以幫助本論文完成研究。

7. 參考文獻

- [1] Robinson AT, Edwards DG, Farquhar WB. “The Influence of Dietary Salt Beyond Blood Pressure.” *Curr Hypertens Rep.* 2019 Apr 25;21(6):42.
- [2] Agócs R, Sugár D, Szabó AJ. “Is too much salt harmful? Yes.” *Pediatr Nephrol.* 2020 Sep;35(9):1777-1785.
- [3] ATAGO CO.,LTD,數字式鹽度計.
<https://www.atago.net/product/?l=zh&f=products-salt-top.php>
- [4] Fondriest Environmental, Inc. “Conductivity, Salinity and Total Dissolved Solids.” *Fundamentals of Environmental Measurements.* 3 Mar 2014. Web.
<https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/>.
- [5] Radiometer analytical, Conductivity: Theory and Practice,
<https://www.tau.ac.il/~chemlaba/Files/Theoryconductivity.pdf>
- [6] Gray, James R. “Conductivity Analyzers and Their Application. Down, R.D; Lehr, J.H. Environmental Instrumentation and Analysis Handbook.” *Wiley.* 2004: 491–510.
- [7] 簡台翔, 氯離子濃度感測器設計, 國立臺南大學電機工程研究所,2022.
- [8] Wikipedia contributors. (2022, November 5). Integrator. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia.* Retrieved 05:34, November 7, 2022, from
<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Integrator&oldid=1120105647>
- [9] ATAGO CO.,LTD,鹽度計使用指南.
https://www.atago.net/zh_cn/pdf/parfect_guide/salt-meter-guide_zh.pdf
- [10] Mark A. Suckow, “Steven H. Weisbroth, Craig L. Franklin.” *Seawater (Second Edition).* 1995. Pages 29-38.

