

Integrating Optical Identification and Fluorescent Protein to Develop a Preliminary Screening System for Toxic Com-pounds

Huai-En Tsai¹ Sheng-Wen Li¹ Jun-Ren Huang^{1,*} Kun Yi Pu¹
Bo-Yu Chen² Ping-Hsin Wang² Shih-Ming Li¹ T.L. Chang² Jen-Jee Chen³

Department of Electrical Engineering, National University of Tainan, Taiwan¹
Department of Biological Sciences & Technology,
College of Artificial Intelligence, *National* Chiao Tung University, Taiwan³
*E-mail : a3850587@gmail.com

Abstract

This paper uses the fluorescence expression of special fluorescent protein (which is mixed with the food sample) to determine whether the food is toxic or not. Compared to traditional detection and judgment procedures, they are usually expensive, not portable and quite time consuming. Therefore, this paper combines the IoTtalk (an IoT platform) and the smart phone with optical camera to realize a “portable” analytical system. Exploiting the easy to carry and easy to use characteristics of smartphone, users can capture the fluorescence reaction results in real time, and then send the picture to the IoT platform. Upon the receipt of the picture, the platform will send the picture to the application server, the toxic compound screening server, for testing results and determining whether the food sample is toxic or not. To realize the idea and make the testing result reliable, we propose a two stage learning based optical image recognition detection algorithm for preliminary screening. In the first stage, pictures of different fluorescence concentration samples are captured for calibration and model training. Then, the second stage will exploit the trained model in the first stage to detect and screen the fluorescent reaction results of the testing object. Our method will apply gray card balance, white balance, or gray world algorithm for calibration to correct the color deviation of photos and then execute the numerical weighting algorithm to the testing area of the photo in both the first and second stage. Integrating the Internet of Things (IoT) platform and mobile devices, we propose a preliminary screening system for toxic compounds in this work. The system provides operators and users a mobile screening platform. Thus, inspections can be done at any time and any place. The proposed mobile screening service is easy to operate for users while ensuring the required immediacy and correctness.

Keywords: mobile optical image recognition, Internet of Things (IoT), IoTtalk, fluorescent protein, toxic compounds screening

* Corresponding author: a3850587@gmail.com
DOI : 10.3966/222344892020101002005

結合手機實現行動式毒性化合物初步篩檢系統

蔡懷恩¹ 李聖文¹ 黃君仁^{1,*} 蒲坤義¹
陳柏予² 王秉心² 李世明¹ 張翠玲² 陳建志³

國立臺南大學電機工程系¹

國立臺南大學生物科技系²

國立交通大學電機工程系³

*E-mail: a3850587@gmail.com

摘要

本篇論文利用特殊螢光蛋白與待測食品混合後的螢光表現量，來判定食品是否具有毒性。然而，傳統固定式實驗室所使用的分析儀器，價格昂貴且不具備可行動性，過程費時，無法即時產生檢測結果，故本論文結合 IoTtalk 物聯網平台及具備光學相機之智慧型手機，利用行動裝置便於攜帶且容易使用的特性，可即時擷取螢光反應結果，再藉由物聯網平台與後端毒性化合物篩檢伺服器判斷並回覆初步檢測結果。為了讓手機也具備可參考的檢測準確率，本文提出一二階段校正學習及光學影像辨識檢測演算法。第一階段將取樣校正照片並計算校正曲線與學習，第二階段則利用前階段的學習結果對待測物的螢光反應結果進行辨識與檢測。無論第一或第二階段，我們的方法均會對照片使用灰卡平衡、白平衡或灰度世界演算法進行校正，以修正照片的顏色偏差，然後對待測區域進行數值加權算法。本文所提出結合物聯網平台與行動裝置之毒性化合物初步篩檢系統，不僅提供操作人員與使用者行動篩檢平台，同時保證了檢測所需的即時性與專門性。

關鍵詞：行動光學影像辨識、物聯網、IoTtalk、螢光蛋白、毒性化合物篩檢。

1. 緒論

近年來食品安全事件層出不窮[1]，食安議題逐漸受到重視，消費者對所吃的食物產生疑慮，要消除該疑慮，使社會大眾相信所吃的食物是安全的，如何快速確認食品安全無毒是保障身體健康的關鍵[2]，以重建安全的食品體系。本篇論文利用 mRFP-Ub 特殊螢光蛋白[3]與待測食品混合後的螢光表現量，來判定食品是否具有毒性；含有 mRFP-Ub 的重組蛋白置於低溫的環境培養會增加其紅色螢光的表現性，培養到一定程度時即可藉由此重組蛋白判斷待測食品的毒性，若將無毒食品加入含有 mRFP-Ub 的重組蛋白中，則不影響其原有的螢光表現量；反之，若加入的是有毒物質，則重組蛋白的螢光表現量將銳減，此特性可以作為判定食品是否具有毒性的依據[4]，我們也能藉此建立一套偵測有毒物質的篩檢系統。然而，目前這類生物感測器檢測分析需使用專門的分析儀器，無此專業之人士無法勝任，並且分析儀器價格昂貴及不具備可行動性，同時我們也考慮到傳統固定式實驗室的檢測判斷程序相當費時，無法即時產生檢測結果，故本論文結合 IoTtalk 物聯網平台[5]及具備光學相機之智慧型手機，利用行動裝置便於攜帶且容易使用的特性，可即時擷取螢光反應結果，再藉由物聯網平台與後端毒性化合物篩檢伺服器快速判斷並立即回覆初步檢測結果。

由於手機現在全世界廣泛使用，本研究選擇具備光學相機之智慧型手機進行實驗。一般來說，現在的手機都具備高畫素的拍攝功能，使用者使用個人的手機當場把螢光蛋白溶液的反應結果拍攝下來，接著將拍攝的照片藉由 IoTtalk 上傳至篩檢伺服器，篩檢伺服器使用本文所設計之二階段校正學習及光學影像辨識檢測演算法進行初步篩檢，然後也將手機及相機等相關資訊、照片和結果儲存於後端，可於日後提供同樣手機或相機照片校正與學習之用，而使用者則立即在個人的裝置中看到待測食品的毒性檢測結果。

如何結合物聯網平台與行動光學辨識，以及使用本研究所設計之二階段校正學習及光學影像辨識檢測演算法分析待測食品是否具有毒性化合物是本篇論文的主要核心構想，校正學習及光學影像辨識檢測方法分成兩階段，第一階段將取樣校正照片並計算校正曲線與學習，接著第二階段則利用前階段的學習結果對待測物的螢光反應結果進行辨識與檢測，因為取樣的照片包含環境、相機感光元件...等的雜訊干擾，所以無論第一或第二階段，我們的方法均會對照片使用灰卡平衡[6]、白平衡[7]或灰度世界演算法[8]進行校正，以修正照片的顏色偏差，接著對待測區域進行數值加權算法，進行完這些前置處理後，如果正在進行的是第一階段方法，將使用線性迴歸利用取樣的數據集進行計算與學習，擬合出一個預測模型；如果是第二階段，待測照片要進行判讀與檢測待測食品是否具有毒性，則使用第一階段習得的預測模型協助即時判斷篩檢結果。本文所提出結合物聯網平台與行動裝置之毒性化合物初步篩檢系統，不僅提供操作人員與使用者一行動篩檢平台，可以在任何時間與任何地點進行檢測，亦具備簡易操作之特性，同時保證了檢測所需的即時性與專門性。最後我們將呈現一雛型系統，並陳述實驗經驗與結果在本篇論文之中。

本論文主要分為六大章節，各節內容簡述如下：

- 第一章 簡介本論文內容，並說明研究動機與目的。
- 第二章 描述與探討相關研究文獻與討論。
- 第三章 介紹背景知識，並講述問題定義。
- 第四章 本論文所提出的演算法將在此章節 作完整介紹。
- 第五章 實驗結果，並呈現本論文之雛型系統實作。
- 第六章 結論與未來展望。

2. 文獻探討與討論

2.1 文獻探討

在文獻中[11-32]皆提出結合不同結構的光學附件組裝在具備光學相機的手機上，接著將發光二極管(LED)照向實驗樣品並且成像在手機螢幕上，然後對成像目標進行不同的分析以及輸出結果。文獻[9-14]說明現在的手機多數已配備有光學相機，結合不同結構的光學附件，即可與手機進行整合在手機上創建行動式光學顯微鏡、螢光傳感器和診斷技術。接著，文獻[15][16]展示結合手機的無透鏡顯微鏡，不使用任何透鏡、雷射或其他龐大的光學元件，利用簡單的 LED 垂直照明結構照向樣品，從而在手機螢幕上產生樣品的無透鏡成像。文獻[17][18]則在手機上進行寬廣螢光成像，使用簡單且經濟實惠的光學元件構成附件接著組裝到手機上，開啟 LED 照射樣品，樣品的螢光在手機螢幕上進行成像。

文獻[19][20]在手機上展示螢光流式細胞術的成像，利用自製廉價的泵浦組件將待測物導入 LED 照射範圍內，接著手機的感光元件就可獲取流動細胞的影像並快速標記細胞的數量，進一步用於估計樣品溶液內的目標螢光物體的密度。文獻[21][22] 展示了一個在智慧型手機上運行的過敏原測試平台(稱為 iTube)，該平台利用附加在手機上的檢測試管進行比色測定，用於敏感和特異性檢測食品中的過敏原，由兩個獨立的 LED 垂直照明測試管以及控制管進行檢測，測定管內的過敏原則吸收照明光後，接著使用應用程式捕獲手機中圖像的強度變化，並且顯示食物樣品的過敏原污染量。

文獻[23-27]則在手機上安裝可攜式螢光顯微鏡，該技術利用 LED 進行照射，可檢測分離的螢光奈米物體，包括病毒以及單一 DNA 分子，如大腸桿菌、腺病毒或甲型 H1N1 流感病毒顆粒。接著，文獻[28][29]展示了一種可附加在手機上的細胞計量平台，用於測量人體血液樣本中紅血球和白血球的濃度以及血紅蛋白濃度，使用單獨的光學附件捕獲血液樣本的螢光和圖像，接著透過手機運行自製開發的應用程式進行快速處理，執行計數血細胞和血紅蛋白密度。

文獻[30]則利用手機進行神經毒劑模擬物的定量和分級之分析，透過自製樂高(LEGO)暗箱並加上紫外光(UV)或可見光燈照射暗箱內的 96 孔盤樣品，接著手機拍攝每一孔樣品的螢光反應並且使用分水嶺和形態侵蝕算法在色彩空間中對圖像進行處理以完成分析。文獻[31]展示智慧型手機上的相機可用於低成本和 PM2.5 細粒度的監控，在監控中使用了一種基於學習的方法，從手機拍攝的圖像中提取與空氣質量相關的特徵，這些圖像特徵將構建出霧度模型，接著使用該模型可根據待測圖像估算 PM2.5 濃度。光學相機模組幾乎已經成為手機的必需配備，許多研究利用帶有光學相機的手機搭配額外附件讓行動光學檢測變成可行，而且具備低成本、簡單操作等優點，本論文結合特殊的 mRFP-Ub 螢光重組蛋白及手機上內建的光學模組進行食安檢測，不需要額外附件模組，透過軟體校正與算法提供即時與專門的毒性化合物初步篩檢，同時結合無線通訊與物聯網平台，本研究所提出的系統允許大規模地、在任何時間或任何地點、多處同步進行各自所需的待測物毒性檢測，而且物聯網平台與檢測伺服器將能協助儲存所有歷史檢測資料與相關資訊，日後提供同樣型號手機或相機影像校正與學習之用，提升篩檢準確率。

2.2 問題定義

本研究使用的重組蛋白 mRFP-Ub 的菌液螢光(530/590nm)強度位於 6000 左右作為 100%，再依比例配置不同濃度的菌液 2cc 於試管內，這些濃度包括：100%濃度菌液(純 2 cc 菌液)、90%濃度菌液(1.8 cc 菌液)、80%濃度菌液(1.6 cc 菌液)、70%濃度菌液(1.4 cc 菌液)、60%濃度菌液(1.2 cc 菌液)、50%濃度菌液(1 cc 菌液)、40%濃度菌液(0.8 cc 菌液)、30%

濃度菌液(0.6 cc 菌液)、20%濃度菌液(0.4 cc 菌液)、10%濃度菌液(0.2 cc 菌液)、和 0%濃度菌液(0 cc 菌液)。標準的有毒物質測試的流程為，當 100%的螢光菌液(純 2 cc 菌液)接觸有毒物質後造成存活細胞量大約剩下 50%時，稱之為半數致死濃度(Lethal Concentration 50%, LC50)，也被定義為細胞凋零的濃度，所以接著將該試管置入光譜分析儀進行光學影像辨識檢測，若檢測結果為其螢光強度降至 40%以下(包含 40%)時，該待測物質就被判定為有毒物質，需要更精密的儀器檢測並判斷其毒害內容物質。

本研究所欲討論的問題是，取代傳統的光譜分析儀，結合 IoTtalk 物聯網平台及具備光學相機之智慧型手機，使用者利用行動裝置便於攜帶且容易使用的特性，即時擷取螢光反應結果，再藉由物聯網平台與後端伺服器實施光學影像校正與辨識檢測演算法，是否能正確且快速分析待測試管的螢光濃度並判斷螢光強度是否低於 40%。我們將採取兩種方式判斷分析的正確率與效能：(1)各方式對於上述 11 種不同濃度待測試管的濃度判斷誤差；(2)各方式對 11 種不同濃度待測試管，判斷其為無毒螢光濃度與有毒螢光濃度的正確率。

3. 背景知識

在此章節中，我們首先介紹特殊螢光蛋白 mRFP-Ub 的特性，接著對常見的物聯網平台進行說明與比較，然後介紹 IoTtalk 物聯網平台及其功能，接著再闡述照片取樣時雜訊干擾造成的顏色誤差，最後定義本論文所研究的問題。

3.1 特殊螢光蛋白(mRFP-Ub)

根據文獻[3][4]，質體 mRFP-Ub 是由 Addgene 公司[32](Cambridge, MA)生產並販賣進行生物科技實驗。mRFP-Ub 的編碼區分別用正反向寡核苷酸基因擴增，因為發現轉殖入大腸桿菌(E.coli)的重組蛋白 mRFP-Ub，置於低溫的環境培養會增加其紅色螢光的表現性，所以使用 T&A 克隆載體將 mRFP-Ub 轉殖進 DH5 α 大腸桿菌，以便於分析蛋白的特性以及結構，接著挑選抗 ampicilin 的菌落並進行測序，其中 Ub (ubiquitin；泛素)是一個分子信號，是一種轉譯後修飾在泛素蛋白酶體降解路徑上，會標記在細胞內摺疊錯誤或是不需要存在的蛋白質身上，所以當泛素蛋白酶體接受到這個分子標記，就會把該蛋白質降解掉，而重組蛋白 mRFP-Ub 的結構也因此改變，導致原有的螢光表現量開始銳減。經過反覆的實驗後得知，可利用 mRFP-Ub 加入有毒物質後的螢光表現量變化，作為判定食品是否具有毒性的依據。

3.2 IoTtalk 物聯網平台

根據文獻[33]所述，在 IoTtalk 中，物聯網設備可以用功能或特徵(feature)來表示其在物聯網應用中的角色，為了易於描述，接下來將 feature 定義為物聯網設備的特定輸入或輸出“能力”，例如 MorSensor [5]設備具有溫度感測器可以輸入數值給 IoTtalk，然後轉傳給需要此資訊的設備，所以該設備具有 Input Device Feature (IDF)，該 feature 稱為“Temperature”，而智慧型手機具有螢幕可輸出资訊，所以設備具有 Output Device Feature (ODF)，稱為“Display”，如圖 3.1 所示。

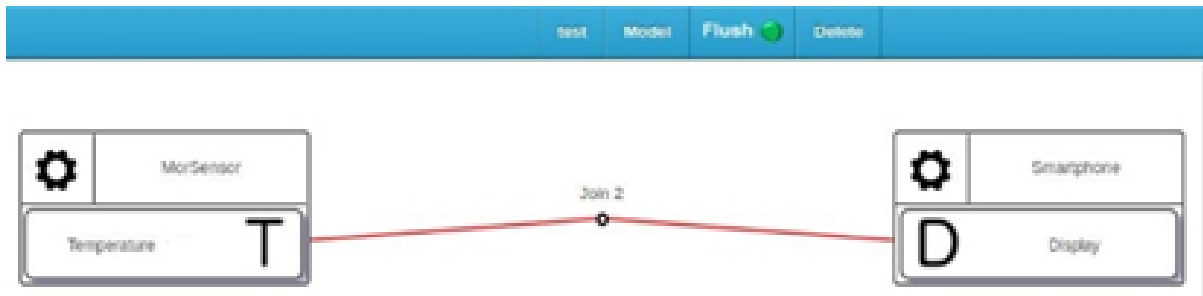


圖 3.1 IoTalk 的 Feature 說明

根據文獻[5]所述，IoTalk 的 Network Domain (圖 3.2 (c))是 EasyConnect [44]的輕量級版本，EasyConnect 建立在基於 ETSI OneM2M 的系統之上(使用 OpenMTC 作為核心)，然而 IoTalk 從 EasyConnect 中排除了 OpenMTC，因此可以較大幅度地開放使用，並輕鬆將其安裝在主機上。如圖 3.2 所示，IoTalk 包括兩個 Domains: Device Domain 和 Network Domain，在本研究中 Device Domain (圖 3.2 (a))包含 Server Device (圖 3.2 (b))和 Smart Phone (圖 3.2(d))；在 Network Domain 是 IoTalk 伺服器，IoTalk 負責作為 Device Domain 中所有物聯網設備功能與互連的管理系統，為設備提供可重複使用的網路應用。

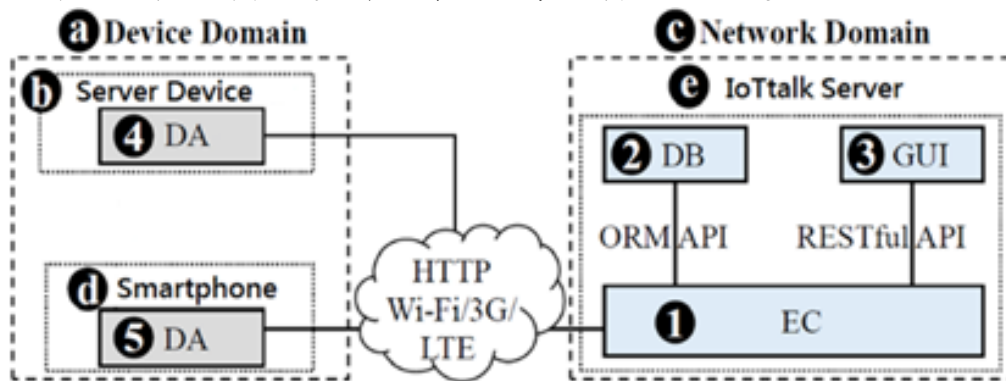


圖 3.2 IoTalk 平台

IoTalk 伺服器由三個系統組成，分別是：Database (DB)系統 (圖 3.2 (2))、Execution and Communication (EC)系統 (圖 3.2 (1))以及 Graphical User Interface (GUI)系統 (圖 3.2 (3))。EC 對物聯網設備的特徵或能力進行系統式分類，並管理及自動配置 IDF 和 ODF 與物聯網裝置的對應功能進行連接，透過 Object-Relational Mapping (ORM) API [34]將所有相關資訊儲存在 DB 中；EC 基於 HTTP 的 RESTful API 與 Device Domain 的裝置進行資料交換，並定義以 IDF 連接 input device，讓 input device 傳遞訊息給 EC，還有定義以 ODF 連接 output device，讓 output device 接收信息。當物聯網設備向 IoTalk 註冊或從 IoTalk 註銷時，Device Application (DA；圖 3.5 (4),(5))會指示 EC 更新 DB 中的設備狀態。基於 OpenMTC、AllJoyn [46]和 OneM2M 的物聯網平台都可以與 IoTalk 共存，IoTalk 設計透過 EC 與這些物聯網平台連接起來，而且 IoTalk 伺服器的部分不需要進行修改

3.3 雜訊、干擾與元件差異

如圖 3.3 所示，手機拍攝的照片事實上包含了許多雜訊或干擾在裡面，而這些雜訊或干擾包括環境光線、背景雜訊、試管雜訊、相機感光元件...等，即使是相同時間、相同地點與相同環境，由不同手機拍攝、取樣的照片也會有所不同，如圖 3.4。為了解決上述問題，本研究會嘗試對照片實施不同的效正，如灰卡平衡、白平衡或灰度世界演算法...等，而方法的內容與實驗結果將會分別在第四、第五章詳細敘述。

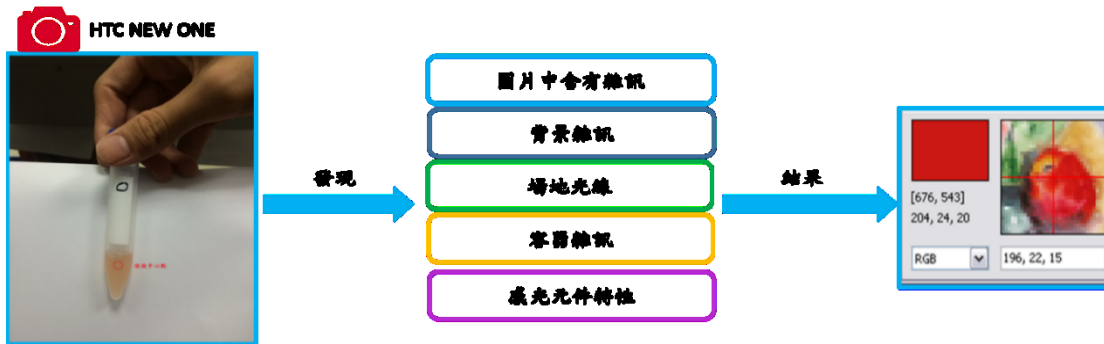


圖 3.3 手機拍攝的照片中包含許多雜訊

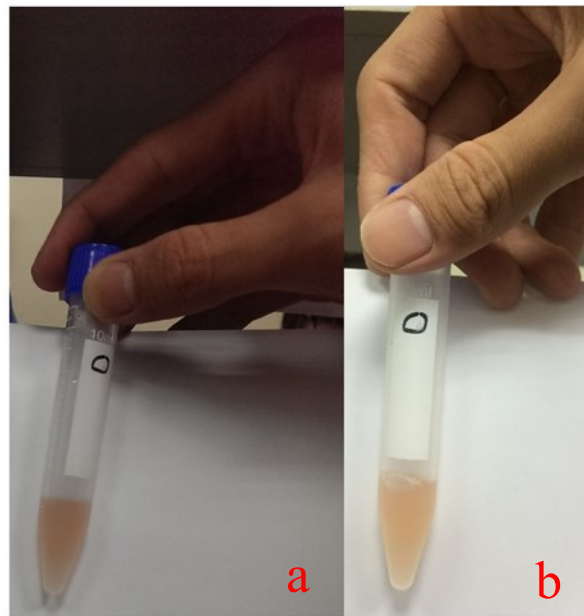


圖 3.4 不同手機拍照所得結果：(a)HTC 手機;(b)iphone 手機

4. 二階段校正學習及光學影像辨識檢測演算法

針對前段所敘述的食品安全檢測問題，我們提出一個二階段校正學習及光學影像辨識檢測演算法來協助完成檢測，校正學習及光學影像辨識檢測方法分成兩階段，第一階段為訓練階段，將先取得作為訓練的不同濃度之樣本的照片，並且對每張樣本照片進行影像校正，再計算特殊螢光蛋白 mRFP-Ub 的濃度對色彩校正曲線並進行學習，接著第二階段則利用前階段的學習結果對待測物的螢光反應結果進行辨識與檢測，因為取樣的照片內容會包含環境光線、雜訊、相機感光元件...等的干擾，所以無論第一或第二階段，我們的方法均會對照片進行校正，使用的校正方法包括灰卡平衡、白平衡或灰度世界演算法，以修正照片的顏色偏差，接著對待測區域進行數值加權算法，然後再接續進行數據集的計算與學習，或判讀與檢測待測食品是否具有毒性。

在此章節中，我們先闡述本研究的系統架構以及使用與運作流程，接著說明校正與加權方法，最後介紹校正學習及光學影像辨識檢測。

4.1 初步篩檢系統架構

本節將初步篩檢系統架構(如圖 4.1)分成三個部分闡述： 1) 使用者手機(圖 4.1 (a))、 2)

IoTtalk 平台(圖 4.1 (b))以及 3) 初步篩檢伺服器(圖 4.1 (c))。

1) 使用者手機：使用者使用手機(圖 4.1 (a))對特殊螢光蛋白 mRFP-Ub 溶液進行拍攝與取樣後，接著執行手機的 Device Application (DA)程式，並藉由“選擇圖片”按鈕選擇要上傳照片，照片即上傳至 IoTtalk 平台。



圖 4.1 初步篩檢系統架構示意圖

2) IoTtalk 平台：如圖 4.2 所示，在 IoTtalk 平台的 GUI 介面中可點選如圖 4.2 的區域，選擇已註冊的設備，每個設備會搭配一個編號，避免錯誤操作，而在本文中，使用者手機的 DA 程式編號是 19，所以我們可以在 IoTtalk GUI 介面中找到一個對應的設備(圖 4.2 左上)，一旦使用者上傳照片後，IoTtalk 平台因此也會接收到照片，並將此照片從“IDF：ImageInput”轉傳至“ODF：ServerOutput”(圖 4.2 (3))(這是我們事先已經在 IoTtalk 上設定好的連線(圖 4.2 Join 1))，故一旦 IoTtalk 平台自手機收到照片即馬上傳傳給初步篩檢伺服器(圖 4.1 (c))，接著初步篩檢伺服器(圖 4.1(c))(已註冊的 ODF 編號為 88)，將會收到 IoTtalk 平台所傳遞的照片，並進行後續的分析以及訓練或檢測，等到初步篩檢伺服器完成螢光蛋白的辨識後，再回傳分析結果給 IoTtalk 平台，接著 IoTtalk 平台會從“IDF：ServerInput”(圖 4.2 (4))接收到分析結果，然後再透過事先建立好的連線(圖 4.2 Join 2)，將其轉傳至“ODF：ImageOutput”(圖 4.2 (5))，這時同一支手機已註冊的 ODF(編號為 19)，將會收到 IoTtalk 平台傳輸的分析結果並顯示在手機螢幕上。

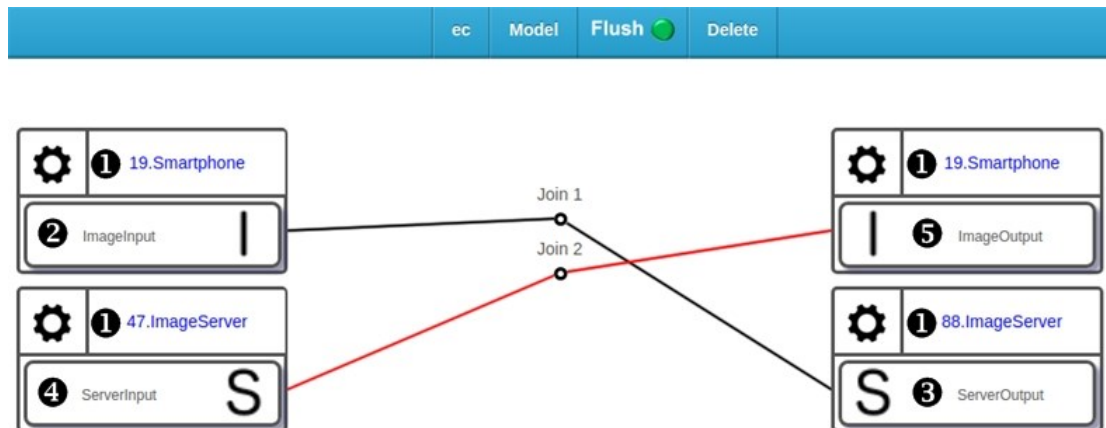


圖 4.2 IoTtalk 平台的 GUI 介面

3) 初步篩檢伺服器：初步篩檢伺服器(圖 4.1(c))使用 OpenCV[36]中影像辨識模組進行開發，實作本文所設計之二階段校正學習及光學影像辨識檢測演算法進行毒性化合物初步篩檢，流程如圖 4.3 所示。在進行第一或第二階段運算之前，校正階段會選擇是否對照片進行使用灰卡平衡、白平衡或灰度世界演算法進行校正，目的是為了修正照片的顏色偏差，接著對待測區域選擇是否進行數值加權算法；進行完校正階段後，如果尚未擬

合預測模型，則進行第一階段，將使用線性迴歸，利用取樣的數據集進行計算與學習，擬合出一個預測模型；如果已有擬合預測模型，待測溶液的照片要進行判讀與檢測待測食品是否具有毒性，則使用第一階段習得的預測模型協助即時判斷篩檢結果並完成第二階段，最後將分析結果記錄下來再透過 IoTalk 平台回傳至使用者手機。

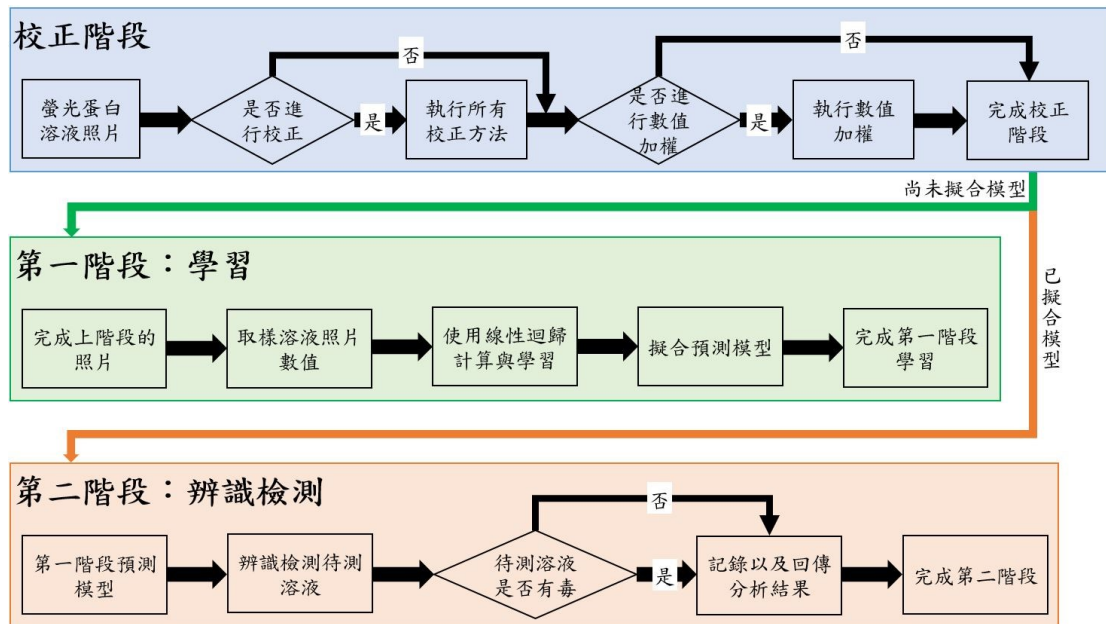


圖 4.3 二階段校正學習以及辨識檢測流程圖

4.2 校正演算法

1. 灰卡平衡

根據文獻[6]，可以利用圖像中的灰點進行色溫估計，而灰點為三原色(RGB)數值相等的點，使用不同色溫的灰點以及其在照片中成相後的色差，我們可以用來估計光源的色溫，經測試結果顯示該算法具有良好的校正效果，且有實現簡單及低複雜度等優點。

因此在本研究中使用三種灰卡進行灰卡平衡，並評估其效果，分別是：1)淺灰卡，顏色較淺，RGB 數值為(211,211,211)、2)JJC 18%攝影中性灰卡[37]，專門攝影所使用的灰卡，用以校正攝影機或照片，RGB 數值為(128,128,128)、以及 3)深灰卡，顏色較深，RGB 數值為(105,105,105)。使用時，會將淺灰卡、JJC 18%攝影中性灰卡、或深灰卡擺放至螢光蛋白溶液後方作為背景，再接著把待測物質與溶液的反應結果拍攝下來，然後對拍攝得來的照片進行正規化(normalization)的平衡處理，我們可以想像原本的灰卡 RGB 數值為 $[Gray]^{original}$ ，而原本的螢光蛋白溶液 RGB 數值為 $[RGB]^{original}$ ，會因為環境與感光元件的雜訊導致失真，使得這兩個位置的顏色 RGB 數值分別變成 $[Gray]^{(sample+noise)}$ 以及 $[RGB]^{(sample+noise)}$ ，因此要進行灰卡平衡校正，這個校正演算法的步驟如下：

步驟一：首先檢測照片中純粹灰卡的區域，取得其照片中的 RGB 數值，並計算其平均， $[Gray]_{avg}^{(sample+noise)}$ ，作為失真後的灰卡 RGB 數值。

步驟二：已知灰卡正確的顏色數值 $[Gray]^{original}$ ，所以可以藉由步驟一取得的照片中灰卡 RGB 平均數值 $[Gray]_{avg}^{(sample+noise)}$ ，計算此張照片的失真倍率 L ，

即：

$$L = \frac{Gray^{original}}{Gray_{avg}^{sample+noise}} \quad (1)$$

步驟三：使用步驟二所得的失真倍率 L 修正照片中螢光蛋白溶液區域的 pixel 之 RGB 數值，藉由灰卡平衡校正，可以得到每一個 pixel v 之校正後 RGB 數值 $RGB(v)^{after}$ 為：

$$RGB(v)^{after} = L \times RGB(v)^{sample+noise}, \quad (2)$$

v 是 pixel 在照片上的座標。

步驟四：如果修正後的 $[[RGB(v)]^{after}$ 任一個成員數值大於 RGB 的最大值(256)，即把此數值設定為 256。

2. 白平衡

根據文獻[7]，自動白平衡(Auto White Balance; AWB)是任何相機在圖像重建中最重要處理步驟之一，AWB 的目標是確保在具有不同色溫的光源下，所拍攝的圖像都能具備顏色恆定性，例如，如果用具有低色溫的光源照射白色物體，則拍攝出的圖像中將顯得偏紅，但在高色溫的光源情況下，拍攝出的圖像將顯得偏藍，所以 AWB 會調整顏色分量，使拍攝出來的圖像，看起來都像是在自然光下拍攝。

本研究中，白平衡的做法為：先使用 RGB 直方圖(histogram)[38]顯示照片在 0 至 255 中顏色數值所佔的像素量 $[[Pixel]]^{all}$ ，其中 RGB 直方圖會記錄像素點的位置，接著除去照片中佔 5% 直方圖之左右兩邊極端值 $[[Pixel]]^{left}$ 和 $[[Pixel]]^{right}$ 的像素量，其餘 95% 的像素量 $[[Pixel]]^{last}$ 以線性的方式拉長成平均分佈。圖 4.5 為校正前使用 iPhone 手機拍攝純菌液 0 cc 以及 2 cc 螢光

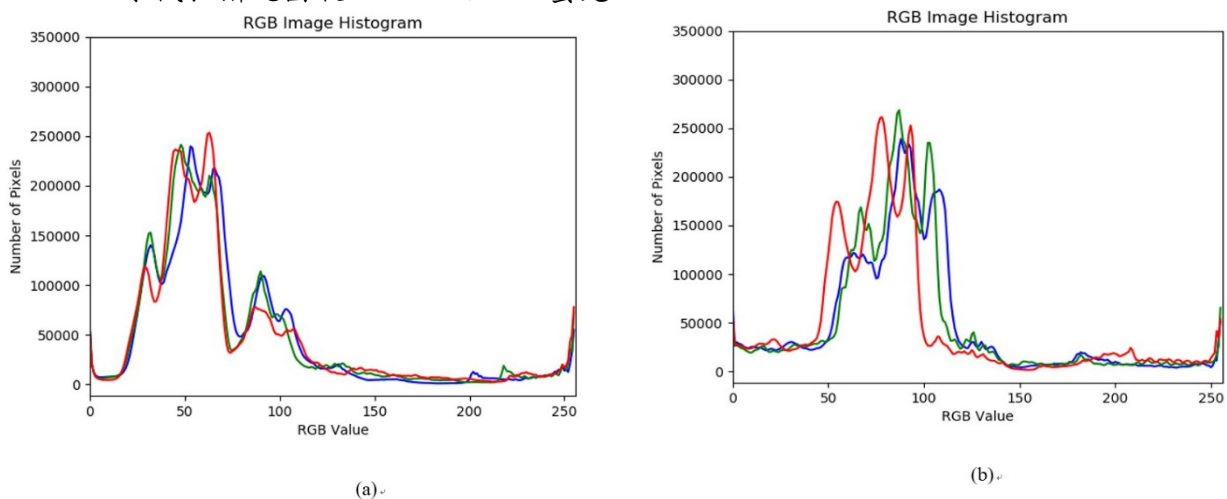


圖 4.4 校正前螢光蛋白照片的 RGB 直方圖：(a) 0cc 菌液；(b) 2cc 菌液

蛋白的照片轉成 RGB 直方圖，圖 4.5 為校正後的照片轉成 RGB 直方圖。

所以白平衡校正演算法的步驟如下：

步驟一：首先計算照片溶液直方圖所佔的像素量 $[[Pixel]]^{all}$ ，接著計算佔直方圖最左方 2.5% 的像素量 $[[Pixel]]^{left}$ ，以及最右方 2.5% 的像素量 $[[Pixel]]^{right}$ ，然後除去左右兩邊共佔 5% 的像素值，方法如下：

$$Pixel^{last} = Pixel^{all} - Pixel^{left} - Pixel^{right}. \quad (3)$$

步驟二：扣除整體像素量 5%後，原本 100%的像素量減至 95%，為了補滿整張照片，首先計算線性拉長的倍率 S ：

$$S = \frac{100}{95}. \quad (4)$$

步驟三：得到線性拉長的倍率 S 後，補足整張照片的像素量， $[[Pixel]]^{new}$ ，方法如下：

$$Pixel^{new} = S \times Pixel^{last}. \quad (5)$$

3. 灰度世界演算法進行平衡

根據文獻[8]所述，灰度世界算法以灰度世界假設為基礎，該假設認為 RGB 三個數值的平均趨於同一灰度值。從物理意義上講，灰色世界算法是假設自然界景物對於光線的平均反射均值在總體上是個定值，這個定值近似灰色，灰度世界演算法將這一假設強制應用於待處理圖像，可以從圖像中消除環境光的影響，獲得原始場景圖像。

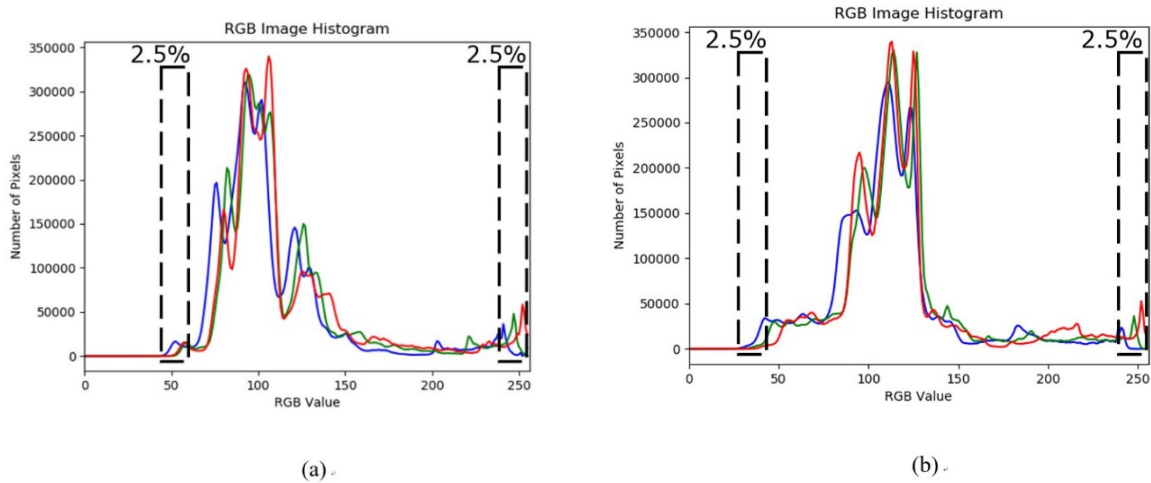


圖 4.5 校正後螢光蛋白照片的 RGB 直方圖：(a) 0cc 菌液；(b) 2cc 菌液

因此在本研究中會將照片中的 RGB 分別計圖，由此灰階圖調整 RGB 各別的平均值，使得新的 RGB 平均值趨於同一個灰度，而灰度世界演算法的步驟如下：

步驟一：首先計算照片中 RGB 三個數值的平均值，分別為 R_{avg}^{all} 、 G_{avg}^{all} 以及 B_{avg}^{all} ，接著灰度世界假設 RGB 三個數值的平均值趨於同一灰度值 K ，因此計算 K 如下：

$$K = (R_{avg}^{all} + G_{avg}^{all} + B_{avg}^{all})/3. \quad (6)$$

步驟二：將照片中每個像素點 i 的 RGB 數值 $R^{org}(i)$ 、 $G^{org}(i)$ 以及 $B^{org}(i)$ 分別進行修正，方式如下：

$$R^{new}(i) = K/R_{avg}^{all} * R^{org}(i), \quad (7)$$

$$G^{new}(i) = K/G_{avg}^{all} * G^{org}(i), \quad (8)$$

$$B^{new}(i) = K/B_{avg}^{all} * B^{org}(i). \quad (9)$$

步驟三:如果任何像素 i 的 $R^{new}(i)$ 、 $G^{new}(i)$ 或 $B^{new}(i)$ 的數值大於 RGB 的最大值(256)，就固定其數值為 256。

4.3 加權算法

此階段會蒐集完成校正演算法的照片，根據文獻[39]所述，HSV(Hue 色相，Saturation 飽和度，Value 明度)是一種視覺感知的顏色模型，由於 HSV 可以更好地反映人類對顏色的感知和識別，因此非常適合圖像處理。該量化指標較客觀，在螢光圖像中的 H 值可以更好的區分病毒。所以採取的方式為檢測照片中純粹螢光蛋白溶液的區域並取得其照片中的 HSV 顏色數值，我們可以得知原本的溶液數值為 $HSV^{original}$ 對其顏色數值進行加權算法後變為 HSV^{weight} 而數值加權算法分析的方法如下：

步驟一:首先檢測照片中純粹螢光蛋白溶液的區域，取得其照片中的 HSV 數值，並計算溶液中 HSV 三個數值的平均值，分別為 $H_{avg}^{original}$ 、 $V_{avg}^{original}$ 以及 $S_{avg}^{original}$ 。

步驟二:因為要觀察照片的 H 值所以選擇固定明度 V 值，調整至較高的數值 1000，接著藉由步驟一取得的照片中溶液 V 平均數值 $V_{avg}^{original}$ ，計算此張照片的加權倍率 W，即：

$$W = 1000/V_{avg}^{original}. \quad (10)$$

步驟三:使用**步驟二**所得的加權倍率 W 提高照片中螢光蛋白溶液區域的平均 H 數值，藉由加權校正，可以得到校正後的 H 數值 H_{avg}^{weight} ：

$$H_{avg}^{weight} = W \times H_{avg}^{original}. \quad (11)$$

步驟四:如果修正後的 H_{avg}^{weight} 數值大於 H 的最大值(360)，即把此數值設定為 360。

(一)階段一：計算校正曲線與學習

此階段會蒐集 100%濃度菌液(純 2 cc 菌液)、50%濃度菌液(純 1 cc 菌液調成 2 cc)、和 0%濃度菌液(純 0 cc 菌液調成 2 cc)的取樣照片，經過校正階段的預處理以後，所得的不同濃度的溶液顏色數值即當作數據集(dataset)，作為訓練數據(training data)，接著使用線性迴歸(Linear Regression)方法利用取樣的數據集進行計算與學習，然後擬合出一個預測模型，根據文獻[50]所述，在螢光圖像中利用 HSV 顏色空間的 H 值可以更好的分析圖像，所以線性迴歸分析的方法如下：

步驟一:因為檢測的 HSV 顏色數值都會對應到每種濃度菌液(cc 菌液)，因此一元線性迴歸分析法的預測模型為：

$$Y_t = a + bx_t, \quad (12)$$

t 為溶液濃度， Y_t 為某濃度的菌液數量， x_t 為某濃度的 HSV 當中 H 的顏色數值， a 為截距(Intercept)以及 b 為斜率(Slope)。

步驟二:首先將訓練數據的菌液數量以及 H 顏色數值代入式子(12)，並計算出 a 截距以及 b 為斜率， a 與 b 可由下列式子求得：

$$\hat{a} = \bar{Y} - \hat{b}\bar{x}, \quad (13)$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_t^n (x_t - \bar{x})(y_t - \bar{y})}{\sum_t^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (14)$$

為計算所得模型的準確度，我們可以均方誤差(mean-square error；MSE)數值，計算方法如下：

藉由正確菌液數量與預測菌液數量相減然後在平方之後求和平均，所以 MSE 可由下列式子求得：

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_t^n (y_t - \bar{y})^2. \quad (15)$$

m 為數據集數量。

(二)階段二：辨識與檢測

此階段將會使用第一階段習得的預測模型即時判斷篩檢結果，在實驗中我們會將 100% 濃度菌液(純 2 cc 菌液)、90%濃度菌液(2 cc 內含 1.8 cc 菌液)、80%濃度菌液(2 cc 內含 1.6 cc 菌液)、70%濃度菌液(2 cc 內含 1.4 cc 菌液)、60%濃度菌液(2 cc 內含 1.2 cc 菌液)、50%濃度菌液(2 cc 內含 1 cc 菌液)、40% 濃度菌液(2 cc 內含 0.8 cc 菌液)、30%濃度菌液(2 cc 內含 0.6 cc 菌液)、20%濃度菌液(2 cc 內含 0.4 cc 菌液)、10%濃度菌液(2 cc 內含 0.2 cc 菌液)、和 0%濃度菌液(2 cc 內含 0 cc 菌液)作為測試數據(testing data)，利用學習後的模型預測每一份菌液的濃度，並計算均方誤差(mean-square error；MSE)，計算預測值的式子如下：

步驟一：從式子(13)和(14)得知 \hat{a} 和 \hat{b} 並代入式子(12)，就可以建立預測模型，接著只要給定顏色數值 x_t ，即可求出預測菌液數量值。

根據文獻[3]，當 100%濃度菌液加入毒性化合物以後，經過反應，若其螢光顏色降到如同 40%濃度菌液之螢光顏色或更低，則表示該化合物有毒，以 40%濃度菌液之螢光顏色作為閾值，本檢測系統除輸出預測濃度值外，將一併輸出檢測結果是有毒/無毒，並根據此結果的正確性計算其檢測正確率，依評估本研究所提出之基於物聯網的初步檢測系統之效能。

5. 實驗模擬

藉由前章節所提到的概念以及演算法，將在本論文之雛型系統進行實作，結合物聯網平台與行動光學辨識，並使用本研究所設計之二階段校正學習及光學影像辨識檢測演算法分析待測食品是否具有毒性化合物，除了判斷是否有毒外也在此觀察各廠牌的手機以及演算法的數據，結論出手機與演算法有相輔相成的組合並且記錄起來，以便日後提供同樣手機或相機照片校正與學習之用。

在此章節中，我們首先介紹本研究的雛型系統架構以及檢測流程，接著說明雛型系統當中所使用的設備以及詳細規格，最後闡述校正學習以及光學影像辨識檢測的結果。

5.1 雛型系統設計

圖 5.1 是雛型系統架構以及檢測流程的示意圖，系統內包含使用者手機、IoTtalk 物聯網平台以及篩檢伺服器，使用者使用個人的手機當場把螢光蛋白溶液的反應結果拍攝下來，

接著將拍攝的照片藉由 IoTtalk 上傳至篩檢伺服器，篩檢伺服器使用本文所設計之二階段校正學習及光學影像辨識檢測演算法進行初步篩檢，然後將相關手機及相機資料、照片和結果儲存於後端，提供日後同樣手機或相機照片校正與學習之用，而使用者則立即在個人的裝置中看到檢測結果。

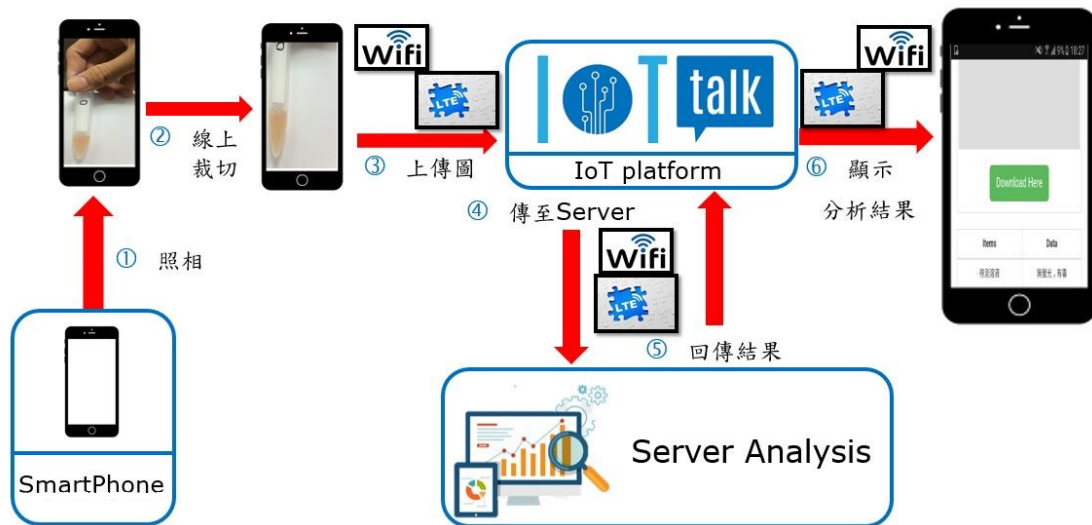


圖 5.1 離型系統架構以及檢測流程

5.2 系統設備

在此節中將介紹系統所使用的軟硬體設備資訊，其中包含 IoTtalk 物聯網平台、一台篩檢伺服器，其詳細規格如下所述：

- IoTtalk 物聯網平台：
 - 軟體：版本：IoTtalk 1.0
 - Oracle VM VirtualBox 版本：Version 5.2.6 Edition
 - 作業系統類型：Linux
 - 作業系統版本：Ubuntu(64-bit) 16.04LTS
- 篩檢伺服器(Server)：
 - 硬體：CPU：Intel i7-2600@3.4Ghz
RAM：8GB DDR3 SDRAM
 - 軟體：作業系統：Windows 7 64bit
 - 瀏覽器版本：Internet Explorer 11 (11.0.9600.18204)
 - HTML 版本：HTML 5
 - Python 版本：Python 3.6.1
 - OpenCV 版本：OpenCV 3.4.1
- 智慧型手機(Smart Phone)：
 1. Asus ZenFone 2 (ZE551ML)
 2. Apple iPhone 6s Plus
 3. Samsung Galaxy A7

5.3 實驗結果

本實驗為首先將純 2 cc 菌液、純 1 cc 菌液和純 2 cc 菌液的螢光溶液蛋白的顏色數值當數據集作為訓練數據(training data)，利用線性迴歸(Linear Regression) 取樣的數據集進

行計算與學習，然後擬合一個預測模型並計算每種演算法的均方誤差(mean-square error; MSE)，手機在拍攝照片前會先將相機設定都調整一致的參數，如曝光(EV)、底片感光度(ISO)、預設白平衡數值 K ... 等。圖 5.2 為各手機拍攝的照片執行不同演算法以及加權，接著比較各數值並選出數值較低的方法，也就是 MSE 數值為粗體格式代表該數值表現良好。

MSE	無	灰度世界	白平衡	深灰卡	18%灰卡	淺灰卡
Asus無加權	0.00824045	0.038212	0.048901	0.011907	0.009229	0.03323
Asus加權	0.092656	0.044618	0.0807554	0.080288	0.066363	0.078614
iPhone無加權	0.037754	0.012067	0.029288	0.045852	0.079058	0.01798
iPhone加權	0.058946	0.02058	0.062107	0.050377	0.086352	0.035096
Samsung無加權	0.037936	0.014399	0.034958	0.042458	0.043371	0.013898
Samsung加權	0.0672	0.022819	0.05869	0.052015	0.066784	0.00949

圖 5.2 各手機以及演算法的 MSE

從圖 5.2 觀察到 Asus 表現良好的 MSE 分別由前三名次排為：使用無校正(無加權)、18%灰卡平衡(無加權)以及深灰卡平衡(無加權)；iPhone 表現良好的 MSE 分別由前三名次排為：灰度世界演算法(無加權)、淺灰卡平衡(無加權)以及灰度世界演算法(有加權)；Samsung 表現良好的 MSE 分別由前三名次排為：淺灰卡平衡(有加權)、淺灰卡平衡(無加權)以及灰度世界演算法(無加權)。三種廠牌手機比較 MSE 數值可得知 Asus 表現為最佳、其次是 Samsung 以及最後是 iPhone。藉由上述的觀察，我們知道每支手機使用的感光元件不相同，甚至每家廠牌所使用的預設白平衡參數可能不同，也因為預設的白平衡無法關閉，所以每種校正方法對各種手機所表現的 MSE 數值有不一致性。

接著使用預測模型進行預測待測溶液的菌液數量以及誤判率，因為在本研究中定義純 0.8 cc (40%濃度)菌液數量為閾值，如果預測數值為包含 0.8 cc (40%濃度)以下的菌液，就代表混合到毒性化合物因此得判定有毒，反之判斷無毒的話就列為誤判；如果反而預測數值是 0.8 cc (40%濃度)以上的菌液，就代表沒有混合到毒性化合物因此得判定無毒，反之判斷有毒的話就列為誤判。挑選 MSE 排名當中前三名進行比較如圖 5.3 所示，也挑選誤判率排名當中前三名進行比較，如圖 5.4 所示，使用粗體格式代表該數值表現良好。

	MSE排名	校正方法	正確菌液數量	0 cc	0.2 cc	0.4 cc	0.6 cc	0.8 cc	1 cc	1.2 cc	1.4 cc	1.6 cc	1.8 cc	2 cc	誤判率
Asus	1	無	預測菌液數量	0.07094	0.30441	0.26078	0.4454	0.7351	0.88	1.20281	1.46262	1.6726	1.8346	2.0491	0.00%
Asus	2	18%灰卡	預測菌液數量	0.08655	0.33164	0.34144	0.4079	0.7598	0.8577	1.11931	1.38733	1.6649	1.7767	2.0557	0.00%
Asus	3	深灰卡	預測菌液數量	-0.0486	0.32283	0.53676	0.6459	0.624	1.1186	1.06709	1.40528	1.4611	1.876	1.93	0.00%
iPhone	1	灰度世界	預測菌液數量	-0.0558	0.22629	0.50271	0.7869	0.9112	1.1426	1.3287	1.51122	1.7038	1.7409	1.9132	0.09%
iPhone	2	淺灰卡	預測菌液數量	-0.0526	0.27465	0.52542	0.8511	0.9265	1.1316	1.37753	1.5615	1.7163	1.8034	1.9211	0.18%
iPhone	3	灰度世界(加權)	預測菌液數量	-0.0705	0.30004	0.58315	0.8407	0.9961	1.2086	1.23615	1.36841	1.6625	1.6875	1.8619	0.18%
Samsung	1	淺灰卡(加權)	預測菌液數量	-0.0479	0.267	0.39425	0.7469	0.934	1.1164	1.24372	1.50382	1.7567	1.7493	1.9315	0.09%
Samsung	2	淺灰卡	預測菌液數量	-0.0527	0.24383	0.4191	0.7728	0.9545	1.1319	1.32024	1.55483	1.7773	1.7761	1.9209	0.09%
Samsung	3	灰度世界	預測菌液數量	-0.0497	0.2384	0.46348	0.8166	0.9334	1.1221	1.32777	1.5529	1.7614	1.801	1.9277	0.18%
光譜分析儀		螢光強度	預測菌液數量	-0.0145	0.26705	0.53139	0.7726	0.8778	1.0304	1.26308	1.46401	1.6894	1.7852	1.9841	0.09%

圖 5.3 前三名校正方法預測菌液的數量

	MSE排名	校正方法	正確菌液數量	0 cc	0.2 cc	0.4 cc	0.6 cc	0.8 cc	1 cc	1.2 cc	1.4 cc	1.6 cc	1.8 cc	2 cc	誤判率
Asus	1	無	預測菌液數量	0.07094	0.30441	0.26078	0.4454	0.7351	0.88	1.20281	1.46262	1.6726	1.8346	2.0491	0.00%
Asus	2	18%灰卡	預測菌液數量	0.08655	0.33164	0.34144	0.4079	0.7598	0.8577	1.11931	1.38733	1.6649	1.7767	2.0557	0.00%
Asus	3	深灰卡	預測菌液數量	-0.0486	0.32283	0.53676	0.6459	0.624	1.1186	1.06709	1.40528	1.4611	1.876	1.93	0.00%
iPhone	1	灰度世界	預測菌液數量	-0.0558	0.22629	0.50271	0.7869	0.9112	1.1426	1.3287	1.51122	1.7038	1.7409	1.9132	0.09%
iPhone	7	淺灰卡	預測菌液數量	-0.0762	0.26784	0.70791	0.7967	0.8617	1.3192	1.54555	1.51622	1.8063	1.9424	1.7571	0.09%
iPhone	8	深灰卡(加權)	預測菌液數量	-0.0695	0.34746	0.77965	0.7541	1.0186	1.3671	1.47038	1.51851	1.6562	1.8081	1.7024	0.09%
Samsung	1	淺灰卡(加權)	預測菌液數量	-0.0479	0.267	0.39425	0.7469	0.934	1.1164	1.24372	1.50382	1.7567	1.7493	1.9315	0.09%
Samsung	2	淺灰卡	預測菌液數量	-0.0527	0.24383	0.4191	0.7728	0.9545	1.1319	1.32024	1.55483	1.7773	1.7761	1.9209	0.09%
Samsung	3	灰度世界	預測菌液數量	-0.0497	0.2384	0.46348	0.8166	0.9334	1.1221	1.32777	1.5529	1.7614	1.801	1.9277	0.18%
光譜分析儀		螢光強度	預測菌液數量	-0.0145	0.26705	0.53139	0.7726	0.8778	1.0304	1.26308	1.46401	1.6894	1.7852	1.9841	0.09%

圖 5.4 前三名誤判率預測菌液的數量

藉由圖 5.3 以及圖 5.4 的結果觀察可得知，即使 MSE 是前三名或是前三名的誤判率，有

些校正方法預測的數值跟正確的有明顯的差異，雖然判定有無毒性的結果上達到正確。藉由上述的觀察未來在預測數值的準確度還可以進一步調整並優化校正方式，除了研究其他校正方式外，校正的數值處理也會深入探討，期許最後達到些許的誤差。

藉由上述的定義並算出該預測模型的誤判率，其中✓代表判斷正確；✗代表判斷錯誤，挑選 MSE 排名當中前三名進行比較如圖 5.5 所示，也挑選誤判率排名當中前三名進行比較如圖 5.6 所示。

	MSE排名	校正方法	正確菌液數量	0 cc	0.2 cc	0.4 cc	0.6 cc	0.8 cc	1 cc	1.2 cc	1.4 cc	1.6 cc	1.8 cc	2 cc	誤判率
Asus	1	無	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.00%
Asus	2	18%灰卡	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.00%
Asus	3	深灰卡	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.00%
iPhone	1	灰度世界	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.09%
iPhone	2	淺灰卡	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.18%
iPhone	3	灰度世界(加權)	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.18%
Samsung	1	淺灰卡(加權)	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.09%
Samsung	2	淺灰卡	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.09%
Samsung	3	灰度世界	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.18%
光譜分析儀		螢光強度	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.09%

圖 5.5 前三名校正方法預測有毒性的誤判率

	MSE排名	校正方法	正確菌液數量	0 cc	0.2 cc	0.4 cc	0.6 cc	0.8 cc	1 cc	1.2 cc	1.4 cc	1.6 cc	1.8 cc	2 cc	誤判率
Asus	1	無	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.00%
Asus	2	18%灰卡	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.00%
Asus	3	深灰卡	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.00%
iPhone	1	灰度世界	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.09%
iPhone	7	深灰卡	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.09%
iPhone	8	深灰卡(加權)	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.09%
Samsung	1	淺灰卡(加權)	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.09%
Samsung	2	淺灰卡	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.09%
Samsung	3	灰度世界	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.18%
光譜分析儀		螢光強度	預測毒性是否正確	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0.09%

圖 5.6 前三名誤判率的校正方法

藉由圖 5.5 以及圖 5.6 的結果觀察可得知本研究的閾值判斷正確率偏低，雖然閾值在判斷上要正確比較困難，但還是有手機使用特定校正方法後達到正確判別，不過除了閾值外也有手機使用校正方式後，在 0.6cc 以及 1cc 的判斷上發生誤判，而 MSE 排名前三名的校正所得的誤判率不一定是最佳表現；反之誤判率排名表現不錯卻在 MSE 排名中表現不明顯。從誤判率分析可大致上了解 Asus 適合無校正(無加權)、18%灰卡平衡(無加權)以及深灰卡平衡(無加權)，但 Asus 不適合灰度世界演算法(無加權)、淺灰卡平衡(無加權)以及淺灰卡平衡(有加權)；iPhone 適合灰度世界演算法(無加權)、深灰卡平衡(無加權)以及深灰卡平衡(有加權)，但 iPhone 不適合無校正(無加權)、無校正(有加權)、灰度世界演算法(有加權)、白平衡(無加權)、白平衡(有加權)、18%灰卡平衡(無加權)、18%灰卡平衡(有加權)、淺灰卡平衡(無加權)以及淺灰卡平衡(有加權)；Samsung 則適合淺灰卡平衡(有加權)、淺灰卡(無加權)以及灰度世界演算法(無加權)，但 Samsung 不適合無校正(無加權)、無校正(有加權)、灰度世界演算法(無加權)、灰度世界演算法(有加權)、白平衡(無加權)、白平衡(有加權)、18%灰平衡(無加權)、18%灰平衡(有加權)。藉由上述的觀察可推測每支手機適用於不同的校正方法以及不適用的校正方法，經由不斷將手機及相機等相關資訊和結果儲存於篩檢伺服器，可於日後提供同樣手機或相機照片校正與學習之用從校正方法可對應使用者手機進行選擇，未來將研究更多廠牌的手機和校正後的分析結果，用以累積資訊資料庫的資訊，等到足夠可大數據分析後就可先讓使用者選擇手機廠牌，然後進行最適合的校正方式

6. 結論與未來展望

在本論文中，利用 mRFP-Ub 特殊螢光蛋白與待測食品混合後的螢光表現量，來判定食品是否具有毒性，結合 IoTalk 物聯網平台及具備光學相機之智慧型手機，利用行動裝置便於攜帶且容易使用的特性，可即時擷取螢光反應結果，再藉由物聯網平台與後端毒性化合物篩檢伺服器判斷並回覆初步檢測結果，以建立一套偵測有毒物質，並具有快速判斷的篩檢系統。我們所設計之二階段校正學習及光學影像辨識檢測演算法，將取樣校正照片並計算校正曲線與學習，接著利用前階段的學習結果對待測物的螢光反應結果進行辨識與檢測，分析食品是否具有毒性化合物。而校正方法可對應使用者手機進行選擇，每種手機類行適合使用的校正不盡相同，從研究分析可分為兩個部分：從 MSE 排名來比較，Asus 表現良好的前三名為使用無校正(無加權)、18%灰卡平衡(無加權)以及深灰卡平衡(無加權)，iPhone 表現良好的前三名為灰度世界演算法(無加權)、淺灰卡平衡(無加權)以及灰度世界演算法(有加權)，Samsung 表現良好的前三名為淺灰卡平衡(有加權)、淺灰卡平衡(無加權)以及灰度世界演算法(無加權)；由誤判率排名來比較，Asus 適合無校正(無加權)、18%灰卡平衡(無加權)以及深灰卡平衡(無加權)，iPhone 適合灰度世界演算法(無加權)、深灰卡平衡(無加權)以及深灰卡平衡(有加權)，Samsung 則適合淺灰卡平衡(有加權)、淺灰卡(無加權)以及灰度世界演算法(無加權)。

本文所提出結合物聯網平台與行動裝置之毒性化合物初步篩檢系統，不僅提供操作人員與使用者行動篩檢平台，可以在任何時間與任何地點進行檢測，亦具備簡易操作之特性，同時保證了檢測所需的即時性與專門性。

未來，將利用 IoTalk 物聯網平台支援多用戶於不同位置使用不同裝置進行篩檢，由各別用戶或不同裝置所上傳之照片與數據將成為重要的數據集，資料庫累積大數據協助進一步優化檢測的結果與精準度，尤其是校正方式在 HSV 顏色空間中，可以利用 S 以及 V 的數值的權重進行交叉驗證，確認數值是否具有參考性，進而過濾掉雜訊的數值，這也是我們接下來的研究方向。

7. 參考文獻

- [1]. “台灣食品安全事件列表” [Online]. Available: <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B0%E7%81%A3%E9%A3%9F%E5%93%81%E5%AE%89%E5%85%A8%E4%BA%8B%E4%BB%B6%E5%88%97%E8%A1%A8>
- [2]. Jia-Chi Chiou, A.H.H.L., Hang-Wai Lee, Wing-Tak Wong, “Food Safety Special Issue: Rapid testing methods for food contaminants and toxicants,” in Journal of Integrative Agriculture, vol.14, no.11, pp.2243-2264, November 2015.
- [3]. Tsui-Ling Chang, Yi-Han Huang, Yi-Dan Ou, “The role of ginsenosides in inhibiting ubiquitin activating enzyme (E1) activity,” in Journal of Functional Foods, vol.7, pp.462-470, July 2014.
- [4]. T.L. Chang, C.H. Wang, “Combination of quercetin and tannic acid in inhibiting 26S proteasome affects S5a and 20S expression, and accumulation of ubiquitin resulted in apoptosis in cancer chemoprevention,” in Biol. Chem., vol.394, no.4, pp.561-575, April 2013.
- [5]. Yi-Bing Lin, Yun-Wei Lin, Chun-Ming Huang, Chang-Yen Chih, Phone Lin, “IoTtalk: A Management Platform for Reconfigurable Sensor Devices,” in IEEE Internet of Things Journal, vol.4, no.5, pp.1552-1562, October 2017.
- [6]. J. Y. Huo, Y. L. Chang, J. Wang, and X. X. Wei, “Robust automatic white balance algorithm using gray color points in images,” in IEEE Trans. Consum. Electron., vol.52, no.2, pp.541-546, May 2006.
- [7]. R.C. Bilcu, “Multi-frame auto white balance,” in IEEE Signal Processing Letters, vol.18, no.3, pp.165-168, March 2011.

- [8]. N.M. Kwok, D. Wang, X. Jia, S.Y. Chen, G. Fang and Q.P. Ha, "Gray World based Color Correction and Intensity Preservation for Image Enhancement," in 2011 4th International Congress on Image and Signal Processing, vol.5, pp.994-998, October 2011.
- [9]. D.N. Breslauer, R.N. Maamari, N.A. Switz, W.A. Lam, D.A. Fletcher, "Mo-bile Phone Based Clinical Microscopy for Global Health Applications," in PLoS ONE, vol.4, no.7, pp.e6320, July 2009.
- [10]. Aydogan Ozcan, "Computational im-aging, sensing and diagnostics," in 17th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, pp.657-659, October 2013.
- [11]. Ahmet F. Coskun, Aydogan Ozcan, "Computational imaging, sensing and diagnostics for global health applica-tions," in Current Opinion in Biotech-nology, vol.25, pp.8-16, February 2014.
- [12]. S.K. Vashist, O. Mudanyali, E.M. Schneider, R. Zengerle, A. Ozcan, "Cellphone-based devices for bioana-lytical sciences," in Analytical and bi-oanalytical chemistry, vol.406, no.14, pp.3263-3277, November 2014.
- [13]. Xiayu Xu, Altug Akay, Huilin Wei, ShuQi Wang, Belinda Pinguan-Murphy, Bjorn-Erik Er-landsson, XiuJun Li, WonGu Lee, Jie Hu, Lin Wang, Feng Xu, "Advances in Smartphone-Based Point-of-Care Di-agnostics," in Proceedings of the IEEE, vol.103, no.2, pp.236-247, February 2015.
- [14]. J. C. Contreras-Naranjo, Q. Wei and A. Ozcan, "Mobile Phone Based Micros-copy, Sensing, and Diagnostics," in IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol.22, no.3, pp.1-14, May 2016.
- [15]. D. Tseng, O. Mudanyali, C. Oztoprak, S.O. Isikman, I. Sencan, O. Yaglidere and A. Ozcan, "Lensfree Micros-copy on a Cell-phone," in Lab on a chip, vol.10, no.14, pp.1787-1792, July 2010.
- [16]. O. Mudanyali, D. Tseng, C. Oh, S.O. Isikman, I. Sencan, W. Bishara, C. Oztoprak, S. Seo, B. Khademhosseini, A. Ozcan, "Compact and Cost-Effective Lensless Telemedicine Microscopy for Global Health Appli-cations," in 2011 IEEE Global Human-itarian Technology Conference , pp.62-65, October 2011.
- [17]. H. Zhu, O. Yaglidere, T.-W. Su, D. Tseng, A. Ozcan, "Cost-effective and compact wide-field fluorescent imag-ing on a cellphone," in Lab on a chip, vol.11, no.2, pp.315-322, January 2011.
- [18]. H. Zhu, O. Yaglidere, T.-W. Su, D. Tseng, A. Ozcan, "Wide-field fluores-cent imaging on a cell-phone," in 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS, pp.315-322, January 2011.
- [19]. H. Zhu, S. Mavandadi, Ahmet F. Coskun, O. Yaglidere, A. Ozcan, "Optofluidic Fluorescent Imaging Cy-tometry on a Cell Phone," in Analyti-cal Chemistry, vol.83, no.17, pp.6641-6647, July 2011.
- [20]. Hongying Zhu, Sam Mavandadi, Ah-met F. Coskun, Oguzhan Yaglidere, and Aydogan Ozcan, "Fluorescent flow-cytometry on a cell-phone," in 2012 Conference on Lasers and Elec-tro-Optics (CLEO), vol.10, no.13, pp.1-2, May 2012.
- [21]. Ahmet F. Coskun, J. Wong, D. Khoda-dadi, R. Nagi, A. Tey, A. Ozcan, "A personalized food allergen testing platform on a cellphone," in Lab on a chip, vol.13, no.4, pp.636-640, Febru-ary 2013.
- [22]. A. F. Coskun, J. Wong, D. Khodadadi, R. Nagi, A. Tey and A. Ozcan, "Cell-phone based food allergen test-ing," in 2013 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), pp.1-3, June 2013.
- [23]. Zhu H, Sikora U, Ozcan A, "Quantum dot enabled detection of Escherichia coli using a cell-phone," in The Ana-lyst, vol.137, no.11, pp.2541-2544, June 2012.
- [24]. Q. Wei, H. Qi, W. Luo, D. Tseng, S. J. Ki, Z. Wan, Z. Gorocs, L. A. Bentolila, T.-T. Wu, R. Sun, and A. Ozcan, "Fluores-cent imaging of single nanoparticles and viruses on a smart phone," in ACS Nano, vol.7, no.10, pp.9147-9155, September 2013.

- [25]. Qingshan Wei, Hangfei Qi, Wei Luo, Derek Tseng, Laurent A. Bentolila, Ting-Ting Wu, Ren Sun, Aydogan Ozcan, "Single nanoparticle and virus detection using a smart phone based fluorescence microscope," in 2014 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) - Laser Science to Photonic Applications, pp.1-2, June 2014.
- [26]. Wei Q, Luo W, Chiang S, Kappel T, Mejia C, Tseng D, Chan RY, Yan E, Qi H, Shabbir F, Ozkan H, Feng S, Ozcan A, "Imaging and sizing of single DNA molecules on a mobile-phone," in ACS Nano, vol.8, no.12, pp.12725-12733, December 2014.
- [27]. Qingshan Wei, Wei Luo, Samuel Chiang, Tara Kappel, Crystal Mejia, Derek Tseng, Raymond Yan, Lok Chan, Eddie Yan, Hangfei Qi, Faizan Shabbir, Haydar Ozkan, Steve Feng, Aydogan Ozcan, "Field-portable smartphone microscopy platform for wide-field imaging and sizing of single DNA molecules," in 2015 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), pp.1-2, 2015.
- [28]. M. V. D'Ambrosio, M. Bakalar, S. Bennuru, C. Reber, A. Skandarajah, L. Nilsson, N. Switz, J. Kamgno, S. Pion, M. Boussinesq, T. B. Nutman, D. A. Fletcher, "Point-of-Care Quantification of Blood-Borne Filarial Parasites with a Mobile Phone Microscope." in Science Translational Medicine, vol.7, no.286, pp.286re4, May 2015.
- [29]. Zhu H, Sencan I, Wong J, Dimitrova S, Tsenga D, Nagashimaa K, Ozcana A, "Cost-effective and rapid blood analysis on a cellphone," Lab on a chip, vol.13, no.7, pp.1282-1288, April 2013.
- [30]. Xiaolong Sun, Alexander A. Boulgakov, Leilani N. Smith, Pedro Metola, Edward M. Marcotte, Eric V. Anslyn, "Photography Coupled with Self-Propagating Chemical Cascades: Differentiation and Quantitation of G- and V-Nerve Agent Mimics via Chromaticity," in ACS Cent. Sci, vol.4, no.7, pp.854-861, June 2018.
- [31]. X. Liu, Z. Song, E. Ngai, J. Ma, W. Wang, "PM2.5 monitoring using images from smartphones in participatory sensing," in 2015 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), pp. 630-635, April 2015.
- [32]. "Addgene: Homepage" [Online]. Available: <https://www.addgene.org/>
- [33]. Y. B. Lin, Y. W. Lin, C. C. Tai, C. Y. Chih, T. Y. Li, Y. C. Wang, C. C. Huang, and S. C. Hsu, "EasyConnect: A Management System for IoT Devices and Its Applications for Interactive Design and Art", in IEEE Internet of Things Journal, vol. 6, no. 2, pp. 551-561, 2015.
- [34]. "Machine-to-Machine communications (M2M): mIa, dIa and mId interfaces" [Online]. Available: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/
- [35]. "OCF-AllJoyn" [Online]. Available: <https://openconnectivity.org/developer/reference-implementation/alljoyn>
- [36]. "OpenCV library" [Online]. Available: <https://opencv.org/>
- [37]. "GC-1 2-in-1 White Balance & Gray Card - JJC" [Online]. Available: http://www.jjc.cc/index.php/Product/product_info/id/236
- [38]. "How to Use Color Histograms" [Online]. Available: <https://kenrockwell.com/tech/yrgb.htm>
- [39]. Zheng, Xiaoxuan, Xiong, Hongkai, Li, Yong, Han, Baohui, Sun, Jiayuan, "RGB and HSV quantitative analysis of autofluorescence bronchoscopy used for characterization and identification of bronchopulmonary cancer", in Cancer Medicine, vol. 5, No. 11, pp. 3023-3030, October 2016.

