聖約翰科技大學 

資訊工程系碩士班

碩士學位論文

學號：102M06011

一次用飲料杯材質及相關外觀之低複雜 度影像檢測

Low Complexity Approach of Material and Relative Appearance Detection for Beverage Cup

研 究 生：張育嘉

指導教授：鄧有光博士

中華民國 104 年 7 月 15 日

杯子材質及相關外觀之低複雜度影像檢測

研 究 生：張育嘉

指導教授：鄧有光

時 間：104 年 07 月 15 日

論 文 摘 要

一次用飲料杯，即為使用一次即丟的飲料杯。是為了滿足飲食文 化與方便性的關係，而有喝完就可以丟掉的特性，根據環保署的調查 報告指出，國人一次用飲料杯一年的使用量高達 15 億個，如何能夠 有效的回收這些飲料杯，是個重要的議題。一次用飲料杯材質包含有

紙類、PP、PS(保麗龍)、PLA、其他(PET…等)，依據政府法規可回收 的種類包含有紙杯、PP 杯、PS 杯、PLA 杯。本研究提出利用影像辨 識的相關技術來檢測分類這些可回收紙杯，包括影像前處理去雜訊以

利後續的動作，例如：為了能辨識飲料杯的邊界，需先經過灰階轉 換、高斯模糊，邊點檢測等前處理，再藉由對邊點做上、下、左、右 的投影可找出杯子的邊界，並依據其特徵劃分析出不同的區域，包含 了杯身、杯蓋、吸管區域。材質的訓練樣本是依照實際檢測值來作為 分類基礎，可分為 5 類。比對的方法，是利用差異絕對值和(sum of absolute difference, SAD)來當作相似的成本，此方法首先是將目前圖 片與訓練樣本圖片縮放到一樣的尺寸，再利用 SAD 找出最小成本， 此最小成本所屬的材質種類就有很高機率是目前圖片的材質。各個材

質平均比對的時間如下，紙杯平均花費 103ms、PLA 杯平均花費 90ms、PP 杯平均花費 106ms、PS 杯平均花費 86ms，當中吸管在不同 材質的辨識率如下，紙杯的辨識率為 100%、PLA 杯的辨識率 為 66%、PP 杯的辨識率為 95%、PS 的辨識率杯為 100%，未來將搭 配 SMART CARD 儲值，作為回收的獎勵機制。

關鍵詞：一次用飲料杯、Canny、影像辨識、SAD、材質

ABSTRACT

The beverage cups influence food culture and environmental issues. EPA announced that the amount of beverage cup amounted to 1.5 billion in the 2011, and gradually pay attention to this problem. The beverage cups include the paper, PP, PS, PLA, PET…etc.. In this paper, we proposed an image

based recognition system to detect the beverage cup. These methodologies contained the image processing techniques and simple geometric operations to find the appearance of the cup, such as cup cover, straws, cup body. The image processing technologies contained the gray level transformation, Gaussian distribution and edge detection (Canny). Furthermore, we use the image matching approach based on Sum of Absolute Difference (SAD) to find the corresponding material. It can improve recycle efficiency, saving the labor power of beverage cup recycle, and making a contribution to the environment and recycle. The average time cost was 103ms. The accuracy rate were: straw 90%, PLA 66%, PP 95%, PS 100%, PAPER 100%.

Keywords: Beverage Cups, Canny Detection, Image Recognition, SAD, Texture

致謝

首先感謝鄧有光老師給予我這次口試的機會，也非常感謝評審楊勝源老師與 陳永輝老師指出本篇論文中諸多的錯誤。藉由修正這些錯誤，可讓論文品質提昇 不少。

感謝鄧有光老師、廖一評老師、博鈞學長，平常時間的教導。感謝學長葉俊 宏、楊鴻偉、吳泓德、鐘明峰，以及同學委倫、淨衣、鎮宇、冠慶、元勳、仁餉 能夠陪伴並度過這些年，以及感謝系辦鄭林合主任、前主任王進德、周姐、韻 婷，系辦工讀的時光有很多歡樂，以及院辦王毓饒院長、宜慧，院辦幫忙的時 光。

很感謝父母這些年來無怨無悔的付出，支持我讀完大學與碩士。

目錄

第一章 緒論.................................................................................................1 1.1 研究動機與研究背景......................................................................1 1.2 研究目的..........................................................................................5 1.3 獎勵制度..........................................................................................6 1.4 章節大綱..........................................................................................7

第二章 實驗環境.........................................................................................8 2.1 檢測對象..........................................................................................8 2.2 檢測環境介紹..................................................................................8 2.2.1 檢測設備描述...............................................................................9 2.2.2 影像擷取工具...............................................................................9 2.2.3 檢測平台.......................................................................................9 2.2.4 光源...............................................................................................9 2.3 系統流程........................................................................................10

第三章 影像前處理...................................................................................13 3.1 灰階轉換........................................................................................13 3.2 高斯模糊........................................................................................14 3.3 Canny 邊緣檢測.............................................................................17

第四章 區域檢測.......................................................................................22 4.1 杯子的邊緣檢測...........................................................................22 4.2 吸管的檢測....................................................................................23 4.3 杯口檢測........................................................................................24

第五章 材質檢測.......................................................................................25 5.1 訓練樣本訓練方法與步驟............................................................26 5.2 材質分析........................................................................................28 5.3 比對訓練樣本................................................................................39 5.4 判斷顏色.......................................................................................39

第六章 分析結果.......................................................................................40 6.1 實驗結果........................................................................................41 6.2 實驗數據........................................................................................42

第七章 結論與未來展望...........................................................................53 7.1 結論................................................................................................53 7.2 未來展望........................................................................................54 參考文獻

圖目錄

圖 1.1 飲料杯材質使用數量..................................................................... 5 圖 1.2 飲料杯材質使用百分比................................................................. 6 圖 2.1 辨識環境....................................................................................... 11 圖 2.2 系統流程....................................................................................... 13 圖 2.3 攝影機擷取杯子畫面................................................................... 14 圖 2.4 (a) 灰階化 (b) 影像 edge 邊點圖................................................. 14 圖 2.5 結果圖........................................................................................... 15 圖 2.6 (a)200X200 (b)警告視窗.............................................................. 15 圖 3.1 (a) Lena (b) Lena 灰階.................................................................. 16 圖 3.2 高斯曲線....................................................................................... 18 圖 3.3 (a)高斯平滑-變異數 1(b)高斯平滑-變異數 50 (c)高斯平滑-變異

數 100 (d) 高斯平滑-變異數 20...................................................... 19 圖 3.4 (a)G1-10-80 (b)G1-10-90 (c)G1-20-80 ........................................ 21 圖 3.5 (a)G50-10-80 (b)G50-20-90 (c)G50-10-90 (d)G50-20-80........... 22 圖 3.6 (a)G100-10-80(b)G100-20-90(c)G100-10-90(d)G100-20-80 ...... 23 圖 3.7 G20-20-80 .................................................................................. 24 圖 4.1 (a)Canny 邊點圖(b)杯子範圍為藍色部分.................................. 26 圖 4.2 程式偵測吸管區域...................................................................... 26

圖 4.3 程式偵測杯口區域...................................................................... 27 圖 5.1 杯口材質訓練步驟...................................................................... 29 圖 5.2 Paper 的 RGB 直方圖 .................................................................. 31 圖 5.3 PS 的 RGB 直方圖....................................................................... 34 圖 5.4 PP 的 RGB 直方圖....................................................................... 35 圖 5.5 PLA 的 RGB 直方圖................................................................... 37 圖 5.6 COVER 的 RGB 直方圖............................................................. 39 圖 5.7 比對區域....................................................................................... 42 圖 6.1 杯子回收檢測階層圖................................................................... 43

表目錄

表 1.1 一次用飲料杯回收機.................................................................. 7 表 1.2 自備環保杯目前優惠與辦法........................................................ 9 表 1.3 回收獎勵金制度辦法.................................................................. 10 表 5.1 正規化 Paper................................................................................ 32 表 5.2 正規化 PS .................................................................................... 34 表 5.3 正規化 PP .................................................................................... 35 表 5.4 正規化 PLA ................................................................................. 37 表 5.5 正規化 Cover............................................................................... 39 表 6.1 照片規格及處理時間.................................................................. 44 表 6.2 紙杯(Paper)實驗數據.................................................................. 45 表 6.3 PLA 杯實驗數據 ....................................................................... 47 表 6.4 PP 實驗數據 .............................................................................. 48 表 6.5 PS 實驗數據 .............................................................................. 50 表 6.6 吸管實驗數據.............................................................................. 51 表 6.7 可以處理的杯蓋實驗數據.......................................................... 52 表 6.8 無法處理的杯蓋實驗數據.......................................................... 53 表 6.9 實驗數據...................................................................................... 55

第一章 緒論

1.1 研究動機與研究背景

飲料店、便利商店、速食店在台灣到處林立，上班族、學生族群 通常都是人手一杯手搖飲料。由於喝完後就可以直接丟掉的便利性， 往往造成回收不易，對環境產生影響，環保署指出[13]「一次用飲料

杯使用後如遭隨意丟棄，除耗用大量自然資源外，常導致排水溝渠阻 塞；於河川中漂流後，則可能堆積於河岸、海岸亦造成景觀及生態環 境的破壞。」

荒野保護協會在 2010 年國際淨灘日，針對海洋垃圾會影響海洋景 觀、危害了海洋生物等議題，公告一次用飲料杯為海洋垃圾的四大惡 人之一。

在 2011 年環保署指出[12][21]，一次用外帶式飲料杯年使用約十 五億兩千萬，各材質使用量如圖 1.1 圖 1.2 所示，其中紙類使用量約 九億(59%)、PP 使用量約三億(20%)、PS(保麗龍)使用量約兩億 (13%)、PLA 使用量約一億 (7%)。因為紙、PLA 為可自然分解材質， 較 PLA 成本貴，所以業者大多使用紙杯與不可分解的 PP 杯、保麗龍 杯。

環保署為了使一次用飲料杯能夠有效回收、減量，公告[12][21] 「一次用外帶飲料杯源頭減量計畫」與「一次用外帶飲料杯回收獎金 制度」，這兩個計畫。

2014 年環保署試辦回收機，功能如表 1.1。

辨識飲料杯當中面臨的問題有

1. 紙杯與 PS 保麗龍杯是不透明，PP、PLA、是透明的

1

2. 杯子外觀會有相關企業的商標

3. PP、PLA 由於是透明的，以攝影機角度來看，杯身外的商標會 造成誤判為有背蓋

4. PP、PLA 由於是透明的，以攝影機角度來看，杯身內的內容物 會造成誤判為有背蓋

5. 杯蓋、杯膜如果較平滑沒有顏色且沒有使用過(即沒插過吸管) 無法辨識出有杯蓋

期望本系統，可以處理 Paper、PP、 PS、 PLA 約 99%。

10

9

8

7

6

5

億

4

3

2

1

0

9

3

2

1

0.01

PAPER PP PS PLA PET 材質

圖 1.1 飲料杯材質使用數量[12][21]

2

PLA

7%

PS

13%

PP

PET

0%

PAPER

20%

PAPER PP PS PLA PET

60%

圖 1.2 飲料杯材質使用百分比[12][21]

3

表 1.1 環保署的一次用飲料杯回收機回收流程[22]

| 技術面  | 分類  | 操作方式 |
| --- | --- | --- |
| Step 1:影像辨識材質 Step 2:分類 Step 3:減容裝置 | Step 1:紙類保麗龍 Step 2:塑膠 Step 3:其他 | Step 1:手機號碼，點選確認 Step 2:於投入口放置飲料杯 Step 3:點選飲料杯放妥按鍵 Step 4:點選結束回收按鍵 |

4

1.2 研究目的

飲料杯有 5 種回收種類，1 年數量約 15 億，然而完整的飲料杯 有吸管、封膜、飲料杯等各種組合，但真正有價值的只有飲料空杯。 若以人工方式回收將會浪費大量人力，因此藉由資訊處理等自動化技 術，將可解決大量的飲料杯問題。

本研究的動機如下：

1. 目前飲料杯辨識系統較昂貴，希望能開發一個低成本的系統。 2. 目前的系統計算時間上較複雜，希望以低複雜度的概念快速辨識飲 料杯材質。

3. 目前的系統沒有判斷吸管的功能，希望增加判斷吸管殘留的功能。

5

1.3 獎勵制度

政府對飲料杯的因應政策，2011 年提出「一次用外帶飲料杯源頭 減量計畫」與「一次用外帶飲料杯回收獎金制度」。 表 1.2 [15]指出民眾自備環保杯比例僅 4.4%，當中最大原因為 「即使相同連鎖業者，對於環保杯優惠方式仍有所不同」。表 1.3 表 達未來可以結合 SMART CARD 提供儲值功能，提高回收便利。

表 1.2 自備環保杯目前優惠與辦法[14][15][16] [17] [18]

| 環保署制定 由(廠商)三項選 擇一樣 | 現金回饋：購買之飲料容量 650 毫升（含）以 上，每杯至少折價 2 元，以下至少折價 1 元；或 飲料售價 9 折。 集點優惠：購買 1 杯飲料集 1 點，集滿至多 10 點可兌換或折抵至少 30 元之店內商品。 飲料加量：如以中杯飲料價格購得大杯飲料，中 杯與大杯飲料之價差至少 2 元。 |
| --- | --- |
| 飲料店業  | 星巴克飲品折價 10 元 金礦咖啡、伯朗咖啡、西雅圖咖啡飲品折價 5 元 85 度 C、Mister Donut 飲品折價 3 元 |
| 便利商店業  | 7-ELEVEn、全家、萊爾富、OK、來來超商咖啡 折價 3 元 |
| 速食業  | 肯德基：自備環保杯買飲料每杯集 1 點，5 點可 換 32 元以內飲料 麥當勞：每杯 1 點，集 5 點可換 30 元飲料 漢堡王：每杯 1 點，集 10 點可換 30 元飲料 |

表 1.3 回收獎勵金制度辦法[19][20]

6

| 業者  | 辦法 |
| --- | --- |
| 飲料店業  | 飲料空杯至同品牌連鎖體系任一門市回收: 可兌換回收獎金 每兩個空杯可兌換一元 一日一人 100 元為限 |
| 便利商店業 |
| 速食店業 |

1.4 章節大綱

本篇論文分七個章節，各章內容簡述如下：

● 第一章 : 緒論

說明研究動機與研究背景、研究目的、章節大綱。

● 第二章：研究環境

說明研究限制、獎勵制度、系統流程。

● 第三章 : 影像前處理

說明照片規格、簡述影像前處理(載入圖片、灰階轉換、高斯平 滑、邊緣檢測)。

● 第四章 : 區域檢測

簡述杯子的邊緣檢測、吸管的檢測、杯蓋的檢測。

● 第五章 : 材質檢測

簡述訓練樣本分類方式、比對訓練樣本。

● 第六章 : 分析結果

簡述實驗環境，討論實驗結果及實驗數據。

● 第七章 : 結論與未來展望

總結本論文的成果和不足，以及未來研究的展望。能應用在哪方 面和改進的方向。

7

第二章 實驗環境

2.1 檢測對象

飲料店、速食店等業者會將飲料分為大杯、中杯與小杯，然而各 個業者所定義杯子的尺寸不一定一致，當中可能是長、寬或是容積的 差異。本實驗依據普遍性較高的類型作為檢測的範圍，並且限制一次 只處理一個飲料杯，限制飲料杯最大高 20cm 寬 15cm，最小高 8cm 寬 8cm。

2.2 檢測環境介紹

本研究採用固定光源影像檢測環境，以模擬實際回收機所需，影 像辨識環境俯視，如圖 2.1 所示。



圖 2.1 辨識環境

8

2.2.1 檢測設備描述

檢測設備所使用的規格為 2.1G Hz CPU、8G RAM 並搭載 Windows 8.1 作業系統、Microsoft Visual Studio 2013 C++ 和 OpenCV 等開發套件。

2.2.2 影像擷取工具

影像擷取設備為 Logitech Webcam C310 × 1，連接個人電腦做即時 處理，並將欲辨識的杯子放入黑箱，杯口朝向上方，拍攝完整的飲料 杯，擷取後的影像會有完整杯口和杯身。設置位置為中間 25 公分， 高 40 公分以及下傾斜角約 45 度。

2.2.3 檢測平台

由 5 個 50 平方公分大小的壓克力板黏貼而成的黑色箱子，可以固 定光源(影像亮度一致)，可以防止外界光線干擾，上層覆蓋了不透光 的黑布，並在內層放置光源與攝影機，製作了一個密閉的環境，且固 定一個放置檢測樣本的位置。

2.2.4 光源

光源由 4 個 LED，每個 LED 發光角度為 120 度，光通量約 64 lm，輸入電壓為 DC 12V。因為太劇烈的光源會造成拍攝時的陰影， 此影響會對後面的處理造成誤判，所以本實驗是配合攝影機的角度打 光。

9

2.3 系統流程

圖 2.2 系統流程

如圖 2.2 本研究系統流程概分以下三個部分。

1.前處理：載入圖片後做影像灰階轉換、高斯模糊及 Canny 測邊偵 測。

2.區域偵測：找出杯身影像之邊界、是否有吸管與否、偵測杯口長度 及大小。

3.材質偵測：利用杯口區域影像與各個訓練樣本比對，以訓練結果值 來判斷所檢測材質。

檢測材質部分，將於第五章中詳細逐一介紹，包含訓練樣本、比對方 法及分析結果。

圖 2.3(a)提示使用者按下畫面，2.3(b)為攝影機的畫面，當按下錄 影按鍵後將會開始執行辨識的動作。圖 2.4(a)是將圖 2.3(b)轉化為灰階

10

進一步高斯平滑圖 2.4(b)將圖 2.4(a)使用 Canny 測邊取得邊點圖 2.5 為 本實驗的結果介面，Cover 程式內為杯口區域，此是偵測是否有杯蓋 Straw 吸管的代稱，在此為偵測是否有吸管 Cup Height 杯子高，是攝

影機擷取到的圖片中物體，物體中的畫素長度 Cup Ratio 杯子寬，是 攝影機擷取到的圖片中物體，物體中的畫素寬度 Material 材質，此處 為杯口區域與訓練樣本逐一比較，當數值越接近就判斷為其材質。 Time 計算攝影機擷取圖片後到偵測結束的時間，圖 2.6 當偵測杯口和

以上部份有吸管或是有背蓋將會出現警告視窗。



圖 2.3 攝影機擷取杯子畫面



圖 2.4 (a) 灰階化 (b) 影像 edge 邊點圖

11

圖 2.5 結果圖

圖 2.6 (a) 200×200 (b) 警告視窗

12

第三章 影像前處理

3.1 灰階轉換

灰階轉換[7] [8] [9]，是將 RGB 色彩空間轉換為灰階，每一個灰階 像素只有 0 到 255 種變化，其中 255 最亮，0 最暗。圖 3.1(a)Lena 的 原始圖，圖 3.1(b)為灰階後的效果，灰階轉換的方程式如方程式(1)所 示：

Gray = R\*0.299 + G\*0.587 + B\*0.114 (1)

Gray：灰階，R：紅色，G：綠色，B：藍色

圖 3.1 (a) Lena (b) Lena 灰階

13

3.2 高斯模糊

高斯模糊[10][11]也稱作高斯平滑，可以應用於本研究中用來抑制 影像雜訊的演算法。傳統的抑制影像雜訊演算法是使用均值演算法， 將遮罩內的像素值取平均，利用平滑的概念抑制雜訊。而高斯模糊是 利用高斯分布的截面當作平滑的權重，達到不同的模糊效果。一維高 斯分布的公式如方程式(2)所示：

 (2)

r 是模糊半徑 （ ）

是圓週率(約近 3.1416)

e 是自然對數底，等於 2.7183

σ 常態分布的平均數與標準差。

從圖 3.2 可觀察，不同的變異數對高斯分布有不同的效果，變異 數較小，其分布較不均勻，有較少的平滑效果，變異數較大，分布較 均勻，有較多的平滑效果，如方程式(3)所示。

14

圖 3.2 高斯曲線

二維高斯曲線定義為

2πσ2 e-u2+v2

G(u,v)=1

2σ~~2~~ (3)

15

如圖 3.3 為 Lena 高斯平滑-變異數 1、50、100、20 的效果呈 現。

圖 3.3 (a)高斯平滑-變異數 1(b)高斯平滑-變異數 50 (c)高斯平滑-變異數 100 (d) 高斯平滑-變異數 20

16

3.3 Canny 邊緣檢測

John Canny（1986）提出 Canny 邊緣檢測器的 3 個評估準則 [1][2][3][4]：

1.好的檢測：算法能夠儘可能多地標識出圖像中的實際邊緣。 2.好的定位：標識出的邊緣要與實際圖像中的實際邊緣儘可能接近。 3.最小響應：圖像中的邊緣只能標識一次，並且可能存在的圖像雜訊 不應標識為邊緣

當中 Canny 邊緣檢測器使用步驟如下：

1. 先利用高斯模糊來平滑圖像以除去雜訊去除過多的細紋。

2. 每個像素上計算其梯度方向和梯度量。假若在這梯度方向 上，該像素的梯度量大於二個鄰近值的量，有則該像素為邊 點，沒有為非邊點。較弱的邊點可利用遲滯門檻化予以去除。

其演算法原理：尋求像素之梯度的最大值來找邊緣點。梯度 的計算為使用高斯濾波器的導數。這個方法中使用兩個臨界值來檢 測強邊緣和弱邊緣，輸出強邊緣與有相連接的弱邊緣

17

圖 3.4 為高斯模糊-變異數 1 取強邊 80 弱邊 10、強邊 90 弱邊 10 和強邊 80 弱邊 20。



圖 3.4 (a)G1-10-80 (b)G1-10-90 (c)G1-20-80

18

圖 3.5 高斯模糊-變異數 50 取強邊 80 弱邊 10、強邊 90 弱邊 20、強邊 90 弱邊 10 和強邊 80 弱邊 20。

圖 3.5 (a)G50-10-80 (b)G50-20-90 (c)G50-10-90 (d)G50-20-80

19

圖 3.6 為高斯模糊-變異數 100 取強邊 80 弱邊 10、強邊 90 弱邊 20、強邊 90 弱邊 10 和強邊 80 弱邊 20。

圖 3.6 (a)G100-10-80 (b)G100-20-90 (c)G100-10-90 (d)G100-20-80

20

圖 3.7 為本實驗的數值，高斯模糊-變異數 20 取強邊 80 弱邊 20， 此數值能在飲料杯的辨識取得較佳的結果。



圖 3.7 (a)G20 (b)G20-20-80

21

第四章 區域檢測

區域偵測在於取得的邊界的範圍，取出它的特徵，依照其特徵劃 分出不同的區域，[10][11]利用影像了水平投影與垂直投影值，其優點 是在於方法較簡單明瞭且快速。

4.1 杯子的邊緣檢測

區域的檢測是使用投影，投影方法是利用 Canny 產生的邊點圖， 做水平投影和垂直投影，找出杯子的範圍

如圖 4.1(b)，以水平投影為例，其水平掃描線會從上往下一列一 列掃描，若在水平掃描線中發現邊點，則該掃描線的高度位置標記為 有物件(true)，反之標記成無物件(false)，此時，從上方往下方看，第 一個有物件的位置，則為杯子頂端(程式並命名 CupTop)，從下方往上 方看，第一個有物件位置的，為杯子底端(程式命名為 CupBottom)。 垂直投影，從左方往右方看，第一個有物件的位置，則為杯子左 端(程式命名為 Cupleft)，從右方往左方看，第一個有物件位置的位 置，則為杯子的右端(程式程式命名為 CupRight)，目的為辨識杯子的 大小，計算長與寬的比例。

22



圖 4.1(a)Canny 邊點圖(b)杯子範圍為藍色部分

4.2 吸管的檢測

如圖 4.2 吸管的檢測法是用水平掃描線由上往下掃描，每條掃描 線會找出吸管的左右邊界(Strawleft 與 Strawright)，當邊界寬度大於門 檻值時，則判定此掃描線已超出吸管範圍，並確定為杯口上緣。並劃

出吸管區域。

圖 4.2 程式偵測吸管區域

23

4.3 杯口檢測

如圖 4.3 杯子中的最寬處通常也就是杯口的寬度，且杯口寬度的 中心通常為杯口的中心，為了檢測杯口的橢圓範圍，本研究中利用杯 口上緣到杯口中心的距離，作為橢圓的短軸，並將杯口寬度邊界到杯 口中心的距離，當作橢圓的長軸，推算出杯口橢圓。目的為找出辨識

材質區域，並標示出偵測到杯口區域。



圖 4.3 程式偵測杯口區域

24

第五章 材質檢測

材質的檢測[5][6]，將事先拍攝好的杯子，以人工的方式做分 類，假設分為 5 類，其中 0 ≤ n ≤4。在實際偵測材質時，會以目前 的杯子圖片，跟這 5 類的圖片做比對，若第 n 類的圖片最相似，則 目前的杯子屬於第 n 類的材質

25

5.1 訓練樣本訓練方法與步驟



圖 5.1 杯口材質訓練步驟

26

訓練主要將原始影像中擷取有效的特徵。如圖 5.1 以下詳述介紹 訓練步驟。

Step 1: 載入要訓練影像。

Step 2: 圖片前處理灰階轉換、高斯平滑、測邊。

Step 3: 使用水平投影與垂直投影，擷取杯口區域

Step 4: 擷取的杯口區域

Step 5: 將擷取的杯口區域正規化

27

5.2 材質分析

待測的圖片及每個元素會先縮放到解析度為 200x200，之後待測 的圖片會對 PP, PLA, PAPER 和 PS 集合內的每個元素做 SAD 相減， 並找出在 PP, PLA, PAPER 和 PS 等集合中各自的最低成本，最後將這 些成本收集起來比較大小，其中最小的成本所屬的材質集合，就是最 後判斷的材質。

Training Sample = {PAPER、PS、PP、PLA}

PAPER = {paper1, paper2, … , paper20}

PS = {ps1, ps2, … , ps4}

PP = {����1, ����2, … , ����13 }

PLA = {������1, ������2, … , ������19}

圖 5.2 為紙類樣本的平均值方圖統計，樣本數為 20，由 X 軸來 看，發現 Y 軸的，R、G、B 在 242 到 255 擁有較多頻率，代表這個 是偏白色的樣本。

Paper Histogram

350000

300000

250000

200000

150000

100000

50000

0

09

8 1

7 2

6 3

5 4

4 5

3 6

2 7

1 8

0 9

9 9

8 0

1

7 1

1

6 2

1

5 3

1

4 4

1

3 5

1

2 6

1

1 7

1

0 8

1

9 8

1

8 9

1

7 0

2

6 1

2

5 2

2

4 3

2

3 4

2

2 5

2

R G B

圖 5.2 Paper 的 RGB 直方圖

28

表 5.1 正規化 Paper

| 000  |  | 001 |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 002  |  | 003 |  |
| 004  |  | 005 |  |
| 006  |  | 007 |  |
| 008  |  | 009 |  |
| 010  |  | 011 |  |
| 012  |  | 013 |  |
| 014  |  | 015 |  |
| 016  |  | 017 |  |

29

| 018  |  | 019 |  |
| --- | --- | --- | --- |

30

圖 5.3 為保麗龍樣本的平均值方圖統計，樣本數為 4，由 X 軸來 看，發現 Y 軸的，R、G、B 在 252 到 255 擁有較多頻率，代表這個 樣本是純白色。

PS Histogram

100000

90000

80000

70000

60000

50000

40000

30000

20000

10000

0

09

8 1

7 2

6 3

5 4

4 5

3 6

2 7

1 8

0 9

9 9

8 0

1

7 1

1

6 2

1

5 3

1

4 4

1

3 5

1

2 6

1

1 7

1

0 8

1

9 8

1

8 9

1

7 0

2

6 1

2

5 2

2

4 3

2

3 4

2

2 5

2

R G B

圖 5.3 PS 的 RGB 直方圖

表 5.2 正規化 PS

| 000  |  | 001 |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 002  |  | 003 |  |

31

圖 5.4 為 PP 杯的平均值方圖統計，樣本數為 13，由 X 軸來看， 發現 Y 軸的，R、G、B 在 0 到 18 擁有較多頻率。特徵跟 PLA 差異 不大易誤判。

PP Histogram

120000

100000

80000

60000

40000

20000

0

09

8 1

7 2

6 3

5 4

4 5

3 6

2 7

1 8

0 9

9 9

8 0

1

7 1

1

6 2

1

5 3

1

4 4

1

3 5

1

2 6

1

1 7

1

0 8

1

9 8

1

8 9

1

7 0

2

6 1

2

5 2

2

4 3

2

3 4

2

2 5

2

R G B

圖 5.4 PP 的 RGB 直方圖 Histogram

表 5.3 正規化 PP

| 000  |  | 001 |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 002  |  | 003 |  |
| 004  |  | 005 |  |

32

| 006  |  | 007 |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 008  |  | 009 |  |
| 010  |  | 011 |  |
| 012 |  |

33

圖 5.5 為 PLA 杯的平均值方圖統計，樣本數為 19，由 X 軸來 看，發現 Y 軸的，R、G、B 在 0 到 18 擁有較多頻率，特徵跟 PP 差 異不大易誤判。

PLA Histogram

200000

180000

160000

140000

120000

100000

80000

60000

40000

20000

0

09

8 1

7 2

6 3

5 4

4 5

3 6

2 7

1 8

0 9

9 9

8 0

1

7 1

1

6 2

1

5 3

1

4 4

1

3 5

1

2 6

1

1 7

1

0 8

1

9 8

1

8 9

1

7 0

2

6 1

2

5 2

2

4 3

2

3 4

2

2 5

2

R G B

圖 5.5 PLA 的 RGB 直方圖

表 5.4 正規化 PLA

| 000  |  | 001 |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 002  |  | 003 |  |
| 004  |  | 005 |  |

34

| 006  |  | 007 |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 008  |  | 009 |  |
| 010  |  | 011 |  |
| 012  |  | 013 |  |
| 014  |  | 015 |  |
| 016  |  | 017 |  |
| 018 |  |

35

圖 5.6 為杯蓋的平均值方圖統計，樣本數為 29，由 X 軸來看，發 現 R、G、B 在 Y 軸有較平均的頻率。

Cover Histogram

100000

90000

80000

70000

60000

50000

40000

30000

20000

10000

0

09

8 1

7 2

6 3

5 4

4 5

3 6

2 7

1 8

0 9

9 9

8 0

1

7 1

1

6 2

1

5 3

1

4 4

1

3 5

1

2 6

1

1 7

1

0 8

1

9 8

1

8 9

1

7 0

2

6 1

2

5 2

2

4 3

2

3 4

2

2 5

2

R G B

圖 5.6 杯蓋的 RGB 直方圖

表 5.5 正規化 Cover

| 000  |  | 001 |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 002  |  | 003 |  |
| 004  |  | 005 |  |

36

| 006  |  | 007 |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 008  |  | 009 |  |
| 010  |  | 011 |  |
| 012  |  | 013 |  |
| 014  |  | 015 |  |
| 016  |  | 017 |  |
| 018  |  | 019 |  |
| 020  |  | 021 |  |
| 022  |  | 023 |  |

37

| 024  |  | 025 |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 026  |  | 027 |  |
| 028 |  |

38

5.3 比對訓練樣本

比對的方法，是利用差異絕對值和(sum of absolute difference, SAD)當作相似成本，計算方式是先將目前圖片如圖 5.7 與目標圖片縮 放成一樣的大小，之後逐點計算差異絕對值和並將其當作目前成本， 算法如方程式(4)。

每張圖片均會有 SAD 成本，其中最小的 SAD 為最相似的材質。 SAD 成本

��������ℎ

ℎ������ℎ��

∑ ∑ |��1(��, ��) − ��2(��, ��)|

��=0 (4)

��=0



圖 5.7 比對區域

5.4 判斷顏色

因為 R、G、B 的值若近似，則為白、黑、灰，也就是沒有顏色， 因此我們將根據 R、G、B 的值是否近似來決定材質有沒有顏色。但 要 R=B=G 完全相等幾乎是不可能的事，為了放寬這樣的判斷，將

R、G、B 值的範圍劃分成 16 等份。若 R、G、B 都在相同等份則判斷 沒有顏色。

39

第六章 分析結果

當飲料杯進行回收時，會遇到如圖 6.1 所示的樹狀結構，當一個 完整回收狀況需要杯子沒有吸管、沒有背蓋、沒有異物，才能回收。

杯子

有吸管 沒吸管

有杯蓋 沒杯蓋

杯蓋有紋理 杯蓋有顏色 杯蓋有平滑 有異物

沒有異物

圖 6.1 杯子回收檢測階層圖

40

6.1 實驗結果

表 6.1 由同一個程式，在不同的項目中的不同的環境執行， 若在 Raspberry Pi 搭配 Camera 執行，其優點是可以直接存取，但會有偽色 與色偏的狀況發生，而且 Camera 鏡頭怕靜電；反之 G12 相機擁有較

佳的穩定性，影像品質較好，缺點是無法直接存取；而 Logitech Webcam C310，對光源相當敏感，有自動補光，且可以直接存取，處 理時間較快。

表 6.1 照片規格及處理時間

| 項目  | Camera in Raspberry Pi | Canon PowerShot G12 | Logitech Webcam C310 |
| --- | --- | --- | --- |
| 實體 |  |  |  |
| 尺寸(像素)  | 640(寬度， 像素) 480(高度， 像素) | 3648(寬度，像素) 2736(高度，像素) | 640(寬度，像素) 480(高度，像素) |
| 可以直接存取 可以  |  | 不可以  | 可以 |
| 偽色、色偏、 摩爾紋 | 有  | 沒有  | 沒有 |
| 影像處理時間  | 1~2 秒  | 2~3 秒  | 0.8~1.5 秒 |
| 其他  | raspberry pi 鏡頭怕靜電 | ISO:ISO-80 焦距 12mm 曝光時間 1/30 光圈孔徑 f/305 | 自動補光 |

41

6.2 實驗數據

本研究專案對記憶體 18.5MB。表 6.2 列出攝影機可以處理的 限制，杯子高度的範圍是 197px 到 349px，杯子寬度的範圍是 166px 到 208px，當中處理平均時間為 103ms。

表 6.2 紙杯(Paper)實驗數據

| 編 號 | 結果圖  | 杯子高 Cup Height | 杯子寬 Cup Width | 長寬比 Aspect Ratio | 材質 Material | 處理時間 Time |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  |  | 197px  | 166px  | 0.84  | Paper  | 85ms |
| 2  |  | 223px  | 170px  | 0.76  | Paper  | 88px |
| 3  |  | 250px  | 171px  | 0.68  | Paper  | 120ms |
| 4  |  | 251px  | 182px  | 0.72  | Paper  | 89ms |
| 5  |  | 253px  | 170px  | 0.67  | Paper  | 125ms |
| 6  |  | 253px  | 169px  | 0.66  | Paper  | 127ms |

42

| 7  |  | 257px  | 174px  | 0.67  | Paper  | 111ms |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 8  |  | 259px  | 175px  | 0.67  | Paper  | 85ms |
| 9  |  | 264px  | 172px  | 0.65  | Paper  | 120ms |
| 10  |  | 267px  | 173px  | 0.64  | Paper  | 91ms |
| 11  |  | 318px  | 179px  | 0.56  | Paper  | 113ms |
| 12  |  | 349px  | 208px  | 0.59  | Paper  | 90ms |

43

表 6.3 列出 PLA 杯在攝影機可以處理的限制，當中杯子高度範圍 是 218px 到 296px，杯子寬度範圍是 183px 到 194px，當中處理平均 時間為 90ms。

表 6.3 PLA 杯實驗數據

|  | 編號 結果圖  | 杯子高 Cup Height | 杯子寬 Cup Width | 長寬比 Aspect Ratio | 材質 Material | 處理時 間 Time |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  |  | 218px  | 183px  | 0.83  | PLA  | 89ms |
| 2  |  | 222px  | 186px  | 0.83  | PLA  | 90ms |
| 3  |  | 249px  | 188px  | 0.75  | PLA  | 90ms |
| 4  |  | 294px  | 191px  | 0.64  | PLA  | 89ms |
| 5  |  | 295px  | 190px  | 0.64  | PLA  | 91ms |
| 6  |  | 296px  | 194px  | 0.65  | PLA  | 91ms |

44

表 6.4 為 PP 杯可以被攝影機拍攝的限制，當中杯子高度範圍是 210px 到 310px，杯子寬度範圍是 179px 到 236px，當中處理平均時間 為 106ms。

表 6.4 PP 實驗數據

|  | 編號 結果圖  | 杯子高 Cup Height | 杯子寬 Cup Width | 長寬比 Aspect Ratio | 材質 Material | 處理時 間 Time |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  |  | 210px  | 179px  | 0.85  | PP  | 92ms |
| 2  |  | 214px  | 178px  | 0.83  | PP  | 88ms |
| 3  |  | 249px  | 188px  | 0.75  | PP  | 138ms |
| 4  |  | 250px  | 188px  | 0.75  | PP  | 97ms |
| 5  |  | 251px  | 187px  | 0.75  | PP  | 89ms |
| 6  |  | 263px  | 188px  | 0.71  | PP  | 124ms |

45

| 7  |  | 293px  | 229px  | 0.78  | PP  | 118ms |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 8  |  | 299px  | 188px  | 0.62  | PP  | 119ms |
| 9  |  | 310px  | 236px  | 0.76  | PP  | 97ms |

46

表 6.5 為 PS 杯可以被攝影機拍攝的限制，當中杯子高度範圍是 332px，杯子寬度範圍是 192px，當中處理平均時間為 86ms。

表 6.5 PS 實驗數據

|  | 編號 結果圖  | 杯子高 Cup Height | 杯子寬 Cup Width | 長寬比 Aspect Ratio | 材質 Material | 處理時間 Time |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  |  | 332px  | 192px  | 0.57  | PS  | 86ms |

47

如表 6.6 有吸管的杯子在攝影機可以處理的當中杯子高最小 197px 到 349px，杯子寬最小 166px 到 208px，當中處理平均時間為 103ms。

表 6.6 吸管實驗數據

|  | 編號 結果圖  | 杯子高 Cup Height | 杯子寬 Cup Width | 長寬比 Aspect Ratio | 吸管 Straw | 處理時間 Time |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  |  | 252px  | 226px  | 0.89  | Has Straw  | 106ms |
| 2  |  | 256px  | 184px  | 0.71  | Has Straw  | 105ms |
| 3  |  | 260px  | 205px  | 0.78  | Has Straw  | 104ms |
| 4  |  | 261px  | 190px  | 0.72  | Has Straw  | 108ms |
| 5  |  | 270px  | 152px  | 0.56  | Has Straw  | 103ms |
| 6  |  | 296px  | 188px  | 0.63  | Has Straw  | 99ms |
| 7  |  | 302px  | 191px  | 0.63  | Has Straw  | 96ms |
| 8  |  | 324px  | 190px  | 0.58  | Has Straw  | 104ms |

48

| 9  |  | 331px  | 192px  | 0.58  | Has Straw  | 103ms |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10  |  | 326px  | 191px  | 0.58  | Has Straw  | 104ms |

表 6.7 可以處理的杯蓋實驗數據

|  | 編號 結果圖  | 杯子高 Cup Height | 杯子寬 Cup Width | 顏色 Color | 杯蓋 Cover | 處理時間 Time |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  |  | 339px  | 200px  | Has  | Has  | 1821ms |
| 2  |  | 324px  | 185px  | Has  | NO  | 1807ms |
| 3  |  | 327px  | 179px  | has  | has  | 1812ms |
| 4  |  | 248px  | 185px  | has  | has  | 1751ms |
| 5  |  | 252px  | 183px  | has  | has  | 1852ms |
| 6  |  | 239px  | 223px  | has  | has  | 1754ms |
| 7  |  | 242px  | 226px  | has  | has  | 2276ms |
| 8  |  | 297px  | 194px  | has  | has  | 1896ms |
| 9  |  | 295px  | 190px  | has  | has  | 1861ms |

49

| 10  |  | 253px  | 180px  | has  | has  | 1943ms |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 11  |  | 256px  | 181px  | has  | has  | 1942ms |
| 12  |  | 259px  | 179px  | has  | has  | 2013ms |
| 13  |  | 299px  | 190px  | has  | has  | 1870ms |
| 14  |  | 249px  | 185px  | no  | has  | 1833ms |
| 17  |  | 297px  | 190px  | no  | has  | 1753ms |
| 18  |  | 239px  | 176px  | has  | has  | 1754ms |
| 19  |  | 238px  | 174px  | has  | has  | 1772ms |

表 6.8 無法處理的杯蓋實驗數據

|  | 編號 結果圖  | 杯子高 Cup Height | 杯子寬 Cup Width | 顏色 Color | 杯蓋 Cover | 處理時間 Time |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  |  | 339px  | 200px  | Has  | Has  | 1821ms |
| 2  |  | 252px  | 201px  | Has  | Has  | 1762ms |
| 3  |  | 249px  | 198px  | Has  | Has  | 1756ms |

50

| 4  |  | 269px  | 152px  | Has  | No  | 1766ms |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 5  |  | 234px  | 175px  | Has  | No  | 1719ms |
| 6  |  | 234px  | 168px  | Has  | No  | 1740ms |
| 7  |  | 247px  | 181px  | has  | no  | 1728ms |
| 8  |  | 213px  | 173px  | has  | no  | 1753ms |

51

本研究收集了 65 個種類的杯子，包含了紙杯、PS 杯、PP 杯、 PLA 杯、有吸管、有背蓋的杯子，本方法論的實施結果如表 6.9，當 中 Paper 與 PS 獲得較高的辨識成功率的原因如章節 5.2，兩者數值有 明顯的差異；PLA 獲得較低的辨識成功率的原因如章節 5.2，由於數 值與 PP 並沒有明顯差異，而造成這兩者之間的誤判。

表 6.9 實驗數據

| 材質  | 成功率 |
| --- | --- |
| 吸管  | 90% (18/20) |
| PAPER  | 100% (60/60) |
| PLA  | 66% (33/50) |
| PP  | 95% (43/45) |
| PS  | 100% (05/05) |

52

第七章 結論與未來展望

7.1 結論

本研究利用影像辨識的前處理技術以利後續的動作，為了能辨識 區域，需先經過灰階轉換、高斯模糊，邊緣檢測，藉由邊緣檢測產生 的邊點對整體區域辨識，將取出它的特徵，依照其特徵劃分出不同的 區域，當中有杯身、杯蓋、吸管區域。

材質依照人工方式來分類，其中分為 5 類。比對的方法，是利用 差異絕對值和(sum of absolute difference, SAD)當作相似成本，計算方 式是先將目前圖片與目標圖片正規化，逐點計算差異絕對值並將之總 和當作目前成本。

各個材質平均處理時間，紙杯平均 103ms、PLA 杯平均 90ms、PP 杯平均 106ms、PS 杯平均 86ms，當中辨識率吸管辨識率 90% 、PLA 杯辨識率 66%、PP 杯辨識率 95%、PS 杯辨識率 100%、PAPER 杯 辨識率 100%。

對未來整體回收可行性高可以搭配 SMART CARD 儲值，作為回 收獎勵的機制。

53

7.2 未來展望

未來本系統可以改善方向如下：

1.增加判斷材質 PET

2.增加一個不同角度的攝影機辨識是否有異物

3.搭配 SMART CARD 儲值，作為回收獎勵的機制

4.長寬未來可以參考線性代數中平行四邊形轉換為矩形以求得正確的 杯子的長寬。

54

參考文獻

[1] Canny, J. “A Computational Approach To Edge Detection,”IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp.679-714, 1986

[2] Geng Hao “Improved Self-Adaptive Edge Detection Method Based on Canny,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 527 - 530, 2013

[3] Gupta, A “DGW-canny: An improvised version of Canny edge detector” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 1–6, Dec. 2011 [4] Huili Zhao “Improvement of canny algorithm based on pavement edge detection,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 964- 967 , 2010

[5] Large Area Imaging Detector for Long-Range,Passive Detection of Fissile Material Klaus P. Ziock, William W. Craig, Lorenzo Fabris, Richard C. Lanza, Shawn Gallagher, Berthold K. P. Horn, and Norm W. Madden IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 51, NO. 5, pp.2238— 2244 , 2004

[6] Material Detection Based on GMM-Based Power Density Function Estimation and Fused Image in Dual-energy X-ray Images Hossein Pourghassem, Nooshin Jafari Fesharaki, Ava Tahmasebi 2012 Fourth International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks pp.365—368, 2012

[7] Schowengerdt,R.A. Techniques for Image Processing and Classification in Remte Sensing, Academic Press, New York, 1983

[8] Poynton, C.A. A Technial Introdution to Digital Video, John Wiley & Sons, New York,1996

[9] Russ J.C.. The Image Processing Handbook, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton ,Fla. , 1999

[10] 鍾國亮,影像處理與電腦視覺第五版,東華

[11] Jung-Hua Tseng, Chun-Shu Wang, Jung-Hua McAndrew, Alasdair,高立,數位 影像處理

[12] 一次用外帶飲料杯源頭減量及回收獎勵金實施方式，行政院環保署 http://w3.epa.gov.tw/epalaw/search/LordiDispFull.aspx?ltype=16&lname=46 90（100.01.04.訂定）

[13] 行政院環保署-只用一次，喝完就丟的飲料杯，對環境造成的影響很大 嗎？行政院環境保護署

2015/7/10 http://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=35545&CtNode=34136&mp =epa (2014 年 10 月 06 日)

55

[14] 環保署呼籲業者明顯標示 自備飲料杯優惠 大紀元

2015/7/10 http://www.epochtimes.com/b5/12/2/14/n3512435.htm (2012 年 02 月 14 日)

[15] 購買飲料自備環保杯 多項優惠難並行？ MoneyDJ 財經知識 庫 http://www.moneydj.com/kmdj/blog/BlogArticleViewer.aspx?a=09a03094 -02b4-4eb1-8982-000000014652#ixzz3fOdYGBaP (2012 年 02 月 13) [16] 隨身帶瓶享優惠 回收更便利 台南市政府全球資訊網

2015/7/10 http://www.tainan.gov.tw/tainan/dep\_news.asp?id=%7BAD61FE1 A-4280-4731-A99C-057CC4E5E46A%7D (2011 年 05 月 01 日) [17] 自備飲料杯優惠 5 月 1 日開跑桃園環保局稽查 大紀元 2015/7/10 http://www.epochtimes.com/b5/11/4/29/n3243074.htm1 (2011 年 04 月 29 日)

[18] 飲料杯減量 8 成業者折扣優惠 中央通訊社

2015/7/10 http://history.n.yam.com/cna/society/201101/20110115193879.htm l (2011 年 01 月 15 日)

[19] 台飲料杯減量 未配合可罰 30 萬 中央通訊社

2015/7/10 http://news.cts.com.tw/cna/society/201101/201101140652801.html (2011 年 01 月 14 日)

[20] 飲料杯強制回收 2 空杯換 1 元 中央通訊社

2015/7/10 http://www.cna.com.tw/news/firstnews/201008040035- 1.aspx (2010 年 08 月 04 日)

[21] 1 年 15 億個飲料杯 台環署促源頭減量 中央通訊社

2015/7/10 http://www.cna.com.tw/news/firstnews/201006200042- 1.aspx (2010 年 06 月 20 日)

[22] 台北鬧區現「飲料杯回收機」http://e-info.org.tw/node/100413

56

附錄 1-實驗樣本紙杯 PAPER

| 編號 | 實體直徑 (CM) | 實體高 (CM) | 攝影機 (寬)pixel | 攝影機 (高)pixel |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  | 8.5  | 9  | 640  | 480 |  |
| 2  | 8.8  | 12.5  | 640  | 480 |  |
| 3  | 8.5  | 14  | 640  | 480 |  |
| 4  | 9.3  | 12.5  | 640  | 480 |  |
| 5  | 9  | 13  | 640  | 480 |  |
| 6  | 9  | 13.5  | 640  | 480 |  |
| 7  | 9  | 12.3  | 640  | 480 |  |

57

| 8  | 8.9  | 12.5  | 640  | 480 |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 9  | 8.9  | 16.5  | 640  | 480 |  |
| 10  | 9.9  | 17.5  | 640  | 480 |  |

58

附錄 2-實驗樣本 PP 杯

| 編號 | 實體直徑 (CM) | 實體高 (CM) | 攝影機 (寬)pixel | 攝影機 (高)pixel |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  | 9.5  | 10  | 640  | 480 |  |
| 2  | 9.4  | 9.3  | 640  | 480 |  |
| 3  | 9.3  | 12.3  | 640  | 480 |  |
| 4  | 9.4  | 13  | 640  | 480 |  |
| 5  | 9.5  | 13  | 640  | 480 |  |
| 6  | 9.4  | 13  | 640  | 480 |  |
| 7  | 9.2  | 15  | 640  | 480 |  |

59

| 8  | 11.8  | 14  | 640  | 480 |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 9  | 11.6  | 15.3  | 640  | 480 |  |

60

附錄 3-實驗樣本 PLA 杯

| 編號 | 實體直徑 (CM) | 實體高 (CM) | 攝影機 (寬)pixel | 攝影機 (高)pixel |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  | 9.5  | 15  | 640  | 480 |  |
| 2  | 9.5  | 15  | 640  | 480 |  |
| 3  | 9.5  | 15  | 640  | 480 |  |
| 4  | 9.5  | 15  | 640  | 480 |  |
| 5  | 9.5  | 12.5  | 640  | 480 |  |
| 6  | 9.5  | 11  | 640  | 480 |  |
| 7  | 9.5  | 10.6  | 640  | 480 |  |

61

| 8  | 9.5  | 10.6  | 640  | 480 |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 9  | 9.25  | 12.5  | 640  | 480 |  |
| 10  | 9.4  | 12.5  | 640  | 480 |  |

62

附錄 4-實驗樣本 PS 杯

| 編號 | 實體直徑 (CM) | 實體高 (CM) | 攝影機 (寬)pixel | 攝影機 (高)pixel |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  | 9.3  | 17.5  | 640  | 480 |  |

63