

# 利用行動裝置自動偵測硬幣

## Coin Detection by Mobile Devices

林武杰、曾致崴、卓欣欣

Wu-Ja Lin, Chih-Wei Tseng, Sin-Sin Jhuo

在這篇論文中，我們提出一個可以在行動裝置上辨識手上硬幣位置與大小的系統。此系統利用行動裝置的攝影機取像，將圖像的色彩空間從 RGB 轉換為 Lab，利用特徵保留分群法量化轉換後的圖像，接著將圖像內容的邊線找出來，並且利用此邊線資訊偵測出圓，最後計算出硬幣的位置與尺寸大小。由實驗結果顯示，此系統能夠成功將圖像上的硬幣偵測出來。

In this manuscript, a system which automatically measures the number of coins by using mobile devices is proposed. The proposed system converts the color space of captured image from RGB to Lab, applies feature-preserving clustering algorithm to quantize the transformed image plane, finds edges and circles in quantized image, and finally determines the number of coins. The experimental results show that the proposed system can successfully detect coins in the given images.

### 一、簡介

近幾年來，隨著運輸系統效率快速提升，人們在國與國之間來回不斷的停駐、旅行，雖然他們旅行的目的可能不同，例如：出差或渡假，但是大多數人可能都有一個相同的問題，那就是用他們所不熟悉的貨幣消費。在國外，人們進行消費時不可避免地會需要支付或收取零錢。對於那些不熟悉外國貨幣的人們來說，在找零時必須花較多的時間去計算正確的硬幣金額。如果人們有一個工具可以自動計算出正確的硬幣金額，這將是非常方便的。此論文的目的便是在於開發一個系統，讓此系統可以在行動裝置上執行，並且能夠正確的偵測人們手上的硬幣位置與尺寸大小。在未來，該系統可以進一步

擴充功能，使其能夠自動分辨幣值，計算出硬幣正確的金額總數。

由於目前已有許多行動裝置配備照相功能，本論文所提出的系統，是使用行動裝置內建照相機，拍下置於手上的硬幣照片，並且自動偵測硬幣。為了偵測照片中的硬幣，首先將照片圖像的色彩空間從 RGB 轉換至 Lab，然後將 Lab 圖像中分離出來的 a 圖像進行色彩量化，使圖像中的硬幣較為顯著。接著利用高斯平滑化、Canny 邊緣檢測，以及圓的霍氏轉換<sup>(1)</sup>等步驟，將圖像中的硬幣自動偵測出來。需注意的是，為了使系統更具實用價值，以便讓人們待在國外的期間每天使用此系統，所有的計算必須快速，尤其是圖像量化步驟的計算速度。在過去幾年中，許多快速的量化方法被開發出

來，並且應用在各種圖像應用程式。例如：Tsai's 的動量保持二值化技術<sup>(2)</sup> 以及其應用<sup>(3-4)</sup>，Lin 與 Tsai's 利用保留主軸方向的技術進行資料分群<sup>(5)</sup>，Yang 與 Lin 的徑長加權中心切割等方法<sup>(6-7)</sup>。在此論文當中，提出利用特徵保留分群法來進行量化，因為它是使用數學公式去量化圖像，因此在執行上速度較快。

本論文的後半部份如下，所提出的系統將在第二節作介紹，同時特徵保留分群法也在第二節作說明。系統的實驗結果於第三節進行討論，在本節中，硬幣偵測的步驟中將分為量化處理與不量化處理這兩種方式，藉此比較二種方式的辨識結果與執行速度。

## 二、系統設計

本研究提出的方法使用下列步驟偵測圖像上的硬幣。

演算法：硬幣偵測演算法

輸入：行動裝置所拍攝的照片圖像

輸出：圖像上的硬幣位置與尺寸大小

步驟一：將圖像的色彩空間從 RGB 轉換至 Lab。

步驟二：使用特徵保留分群法量化上一步驟所取得 Lab 圖像所分離出來的 a 圖像。

步驟三：應用高斯平滑化與 Canny 邊緣偵測，找出量化後 a 圖像的邊線。

步驟四：使用霍氏轉換偵測上一步驟圖像中所包含的圓。

步驟五：輸出硬幣位置與尺寸大小。

第一步驟是將圖像的色彩空間從 RGB 轉換至 Lab，進行色彩空間轉換的原因，是因為在 Lab 色彩空間中，兩顏色之距離遠近與人的視覺感知上的差異成正比。接著系統量化 Lab 圖像的 a 圖像，藉此凸顯出圖像中的硬幣，使硬幣邊緣較為顯著。此系統選擇 a 圖像，而不選擇 L 圖或 b 圖，其原因為 a 圖能夠提供適當的硬幣位置資訊，而不顯露太多細節資訊 (L 圖則是提供太多不需要的細節)，以避免誤導硬幣偵測的結果。在量化 a 圖像之後，本系統使用高斯平滑化以及 Canny 邊緣偵測，取得量化後 a 圖像的邊線。計算出邊緣像素可以大量減

低下一步驟進行圓偵測的計算量。最後，再利用霍氏轉換，偵測出圖像上的硬幣位置與尺寸大小。以下將解釋第二步驟所使用的特徵保留分群法。對於 Lab 色彩轉換、高斯平滑化、Canny 邊緣偵測，以及霍氏轉換有興趣的讀者，可以參照 (1)，以獲取更多資訊。

### 1. 特徵保留分群法

本系統中第二個步驟使用特徵保留分群法來量化 Lab 圖像中分離出來的 a 圖像。接下來，將仔細說明特徵保留分群法。假設 a 圖像尺寸為  $M \times N$ ，圖像中每個像素的灰階值形成一集合  $S = \{\chi_\kappa\}_{\kappa=1}^{M \times N}$ ， $\chi_\kappa$  為圖像中第  $\kappa$  個像素的灰階值， $\forall \kappa = 1, \dots, M \cdot N$ 。為量化 a 圖的灰階值至 C 個階層，將 S 集合作為特徵保留分群法的輸入數據。此演算法使用分區方法，將 S 集合以階層式進行二分式切割，共分 C-1 次以得到 C 個群集，例如：若要將 S 分成 C = 3 個群集，此演算法第一次將 S 分為  $S_A$  與  $S_B$  二個群集， $S = S_A \cup S_B$ 。令  $|S_A|$  為  $S_A$  的大小，即群集  $S_A$  所包含的資料點數。假設  $|S_A| < |S_B|$ ，這個方法接下來選擇  $S_B$  這個群集，並且將之進一步再二分為兩個子群集，分別是  $S_{B1}$  與  $S_{B2}$ ，所以三個群集即為  $S_A$ 、 $S_{B1}$  與  $S_{B2}$ ，而且  $S = S_A \cup S_{B1} \cup S_{B2}$ ，而所需要的三種灰階值，即為  $S_A$ 、 $S_{B1}$  與  $S_{B2}$  三個群集個別所包含的資料點之平均值。下列將說明特徵保留分群法的二分法。

將  $S_A$  與  $S_B$  的平均值分別以  $m_A$  與  $m_B$  表示，令  $p_A = |S_A| / |S|$ ， $p_B = |S_B| / |S|$  分別代表  $S_A$  與  $S_B$  二個群集所包含之資料點數量佔總數的比例。特徵保留二分演算法是利用保持四個限制條件，推導出公式去計算未知數  $m_A$ 、 $m_B$ 、 $p_A$  與  $p_B$ 。其中，四個限制條件分別為

$$p_A + p_B = 1 = 100\% \quad (1)$$

$$p_A m_A + p_B m_B = \frac{1}{M \times N} \sum_{\kappa=1}^{M \times N} \chi_\kappa = \bar{\chi} \quad (2)$$

$$p_A m_A^2 + p_B m_B^2 = \frac{1}{M \times N} \sum_{\kappa=1}^{M \times N} \chi_\kappa^2 = \overline{\chi^2} \quad (3)$$

$$p_A |m_A| + p_B |m_B| = \frac{1}{M \times N} \sum_{\kappa=1}^{M \times N} |\chi_\kappa| = \overline{|\chi|} \quad (4)$$

(注意，在此假設  $\bar{x} = 0$ ，如果不是這樣的話，可先將輸入資料  $\chi_k \in S$  進行移動轉換，使得  $\bar{x} = 0$ 。我們可以證明  $m_A$ 、 $m_B$ 、 $p_A$  與  $p_B$  的計算公式並不受移動轉換的影響) 公式 (2) 代表

$$m_B = -\frac{p_A}{p_B} m_A \quad (5)$$

將公式(5)代入(3)，可以得到  $\frac{p_A}{p_B} m_A^2 + \frac{p_A(p_B + p_A)}{p_B} m_A^2 = \bar{x}^2$ 。因此計算  $m_A$  的公式為

$$m_A = \pm \sqrt{\frac{p_B}{p_A} \bar{x}^2} \quad (6)$$

一旦計算出  $m_A$  之後， $m_B$  便可以用公式 (5) 計算出來，接下來只剩下決定  $m_A$  使用的正負號，以及計算出  $p_A$  與  $p_B$ 。計算  $p_A$  與  $p_B$  的數值後，由公式 (1) 可以推導出公式 (7)

$$p_B = 1 - p_A \quad (7)$$

將公式 (5) 帶入 (4)，可以得到  $p_A |m_A| + p_A |m_A| = |\bar{x}|$ ，亦即  $2p_A |m_A| = |\bar{x}|$ ，因此表示  $4p_A^2 m_A^2 = |\bar{x}|^2$ 。利用公式 (6)，得到  $4p_A^2 \frac{p_B}{p_A} |\bar{x}|^2 = |\bar{x}|^2$ ，利用公式 (7)，

可得到  $4p_A(1-p_A)\bar{x}^2 = |\bar{x}|^2$ ，上述公式等同於下列式子  $4\bar{x}^2 p_A^2 - 4\bar{x}^2 p_A + |\bar{x}|^2 = 0$ ，因此得到

$$p_A = \frac{4\bar{x}^2 \pm \sqrt{(4\bar{x}^2)^2 - 4(4\bar{x}^2)(|\bar{x}|^2)}}{2(4\bar{x}^2)} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{1 - \frac{|\bar{x}|^2}{\bar{x}^2}}$$

利用公式 (5)–(8)，便可計算出所有的未知數  $m_B$ 、 $m_A$ 、 $p_B$  與  $p_A$ 。另外，上式中， $m_A$  必須決定其運算使用之正負符號，因此我們檢查是否大部份的資料點都大於  $m_A$ ，如果大於  $m_A$  則選擇加法，否則為減法。在  $S$  作二分法時，對每個點  $\chi_k \in S$ ，如果  $|\chi_k - m_A| < |\chi_k - m_B|$ ，則將  $\chi_k$  分類到  $S_A$  這群，否則分類為  $S_B$  群。

### 三、實驗結果

本研究所使用的實驗圖像 A1 與 A2 分別顯示在圖 1 與圖 2。此系統將圖像的色彩空間從 RGB 轉換至 Lab，接著應用特徵保留分群法去處理 Lab 圖像中所分離出來的 a 圖像，將其進行色彩量化。藉由偵測量化後 a 圖像中的圓形，本系統可將硬幣的位置與尺寸大小標示出來。



圖 1. 於手上放置七枚硬幣的樣本原圖 A1。



圖 2. 於手上放置五枚硬幣的樣本原圖 A2。



圖 3. 以 A2 為例對其分離出來之 a 圖像作量化的結果圖。

圖 3 為 A2 的 a 圖像量化後的結果，為了方便說明，利用四種顏色來代表四個量化後的灰階值。被分類為同一群集之像素，會使用同一種顏色來顯示。在偵測量化後圖形中的圓形之前，a 圖像需先做高斯平滑化與 Canny 邊緣偵測，以減少之後進行圓形偵測的計算量與系統的負擔，其結果如圖 4 所示。另一方面，將 A2 的 a 圖像直接作平滑化與邊緣偵測 (但不做量化)，然後將其結果顯示在圖 5。將上述兩種作法所產生的結果圖相互作比較，



圖 4. 以圖 3 的結果作高斯平滑化與 Canny 邊緣偵測之結果圖。



圖 5. 直接以 A2 的 a 圖像 (不作量化處理) 作高斯平滑化與 Canny 邊緣偵測之結果圖。

圖 4 顯示硬幣的輪廓被強調出來，這樣的結果可以讓後續進行的圓形偵測較為成功 (參考圖 6 與圖 7)。圖 6 為 A2 硬幣偵測的結果圖，偵測的結果以藍色圓圈標示。圖 7 則為 A2 不經量化處理的硬幣偵測結果圖。由圖 6 得知所有硬幣皆被偵測出來，雖然圖片下方有一個硬幣與所畫出的藍圈稍微不符合。相較之下，直接以 A2 作邊緣偵測的圖 7 則有 4 個硬幣沒有偵測到。會得到這樣的結果並不令人意外，因為圖 5 中壹元硬幣的邊緣輪廓反應非常



圖 6. 以 A2 經量化處理之 a 圖像其硬幣偵測結果圖。



圖 7. 以 A2 不經量化處理，直接採用 a 圖像作硬幣偵測的結果圖。

弱，導致後續步驟無法偵測出圓。

上述的實驗也實作在 A1 上，其中經過量化處理與未經過量化處理過的邊緣偵測結果被顯示在圖 8 與圖 9。硬幣偵測結果則分別顯示在圖 10 與圖 11。A1 的偵測結果與 A2 的結果類似，由圖 10 中可以得知，A1 上的硬幣皆被偵測出來，雖然右上角的拾元並沒有成功偵測出正確大小，其原因是



圖 8. 以 A1 為例，將分離的 a 圖像作量化處理後的 Canny 邊緣偵測結果圖。



圖 9. 以 A1 的 a 圖像 (不作量化處理) 作 Canny 邊緣偵測的結果圖。

邊緣偵測的結果顯示圓的邊線有些變形。相較之下，圖 9 則是沒有經過量化處理過的圖像直接作邊緣偵測，其右下角幾乎看不到任何壹圓硬幣的邊緣線條，因此結果可想而知，圖 11 未顯示偵測到任何一個壹圓硬幣，此外，左下的拾元硬幣也沒被偵測到。此實驗是 2.4 GHz 雙核心 Intel 處理器以及 2 GB 的記憶體體的電腦模擬的結果，其運算時間為 0.06 秒。

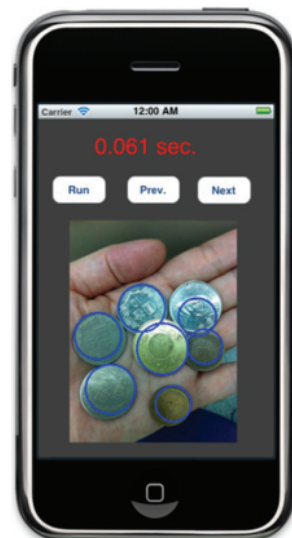


圖 10. 以 A1 經量化處理之 a 圖像作硬幣偵測的結果圖。



圖 11. 以 A1 的 a 圖像 (不作量化處理) 作硬幣偵測的結果圖。

## 誌謝

感謝國科會提供本研究相關之經費補助，補助之計畫編號為 NSC 100-2221-E-150-053。

## 參考文獻

1. R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Prentice Hall (2002).
2. W.-H. Tsai, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, **29** (3), 377 (1985).
3. S.-C. Cheng and W.-H. Tsai, *Pattern Recognition*, **27** (11), 1439 (1994).
4. C.-K. Yang, J.-C. Lin, and W.-H. Tsai, *IEEE Transactions on Communication*, **45** (12), 1513 (1997).

5. J.-C. Lin and W.-H. Tsai, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **16** (5), 554 (1994).
6. C. Y. Yang and J. C. Lin, *Computer and Graphics*, **20** (4), 577 (1996).
7. C. Y. Yang and J. C. Lin, *Electronic Letters*, **30** (10), 757 (1994).



林武杰先生為國立交通大學資訊科學博士，現任國立虎尾科技大學資訊工程系助理教授。

Wu-Ja Lin received his Ph.D. in computer and information science from National Chiao Tung University. He is currently an assistant professor in the Department of Computer Science and Information Engineering at National Formosa University.



曾致崴先生為國立虎尾科技大學資訊工程系碩士班學生。

Chih-Wei Tseng is currently a M.S. student in the Department of Computer Science and Information Engineering at National Formosa University.



卓欣欣小姐為國立虎尾科技大學資訊工程系碩士班學生。

Sin-Sin Jhuo is currently a M.S. student in the Department of Computer Science and Information Engineering at National Formosa University.