

# 利用多尺度區域雜訊不一致性之影像拼接偵測

郭天穎、卓宥亦、邱建璋  
國立台北科技大學電機工程系

## 二、 本論文所提出之方法

**摘要**—由於影像編輯軟體快速的發展，使得數位影像可藉由影像編輯軟體修改其影像內容資訊，成為一張全新的影像。外來拼接篡改為一種常見的篡改方式。一張影像的生成，通常會經由不同的感測器與後處理而產生，所以不同來源的影像會含有不同大小的雜訊量，基於此現象，本論文利用多尺度主成分分析估測雜訊程度演算法來偵測影像拼接，以改善現有文獻偵測率之問題。此外，我們利用 EGB 影像分割(EGB segmentation)的結果，與先做雜訊程度估測再經分群的結果做結合，用以獲得最佳的篡改區域定位圖。在實驗階段，我們用哥倫比亞未壓縮圖像拼接檢驗資料庫當作我們的測試資料庫，從實驗結果顯示，我們提出利用多尺度區域雜訊不一致性之影像拼接偵測較現有文獻方法更加強健與準確。<sup>1</sup>

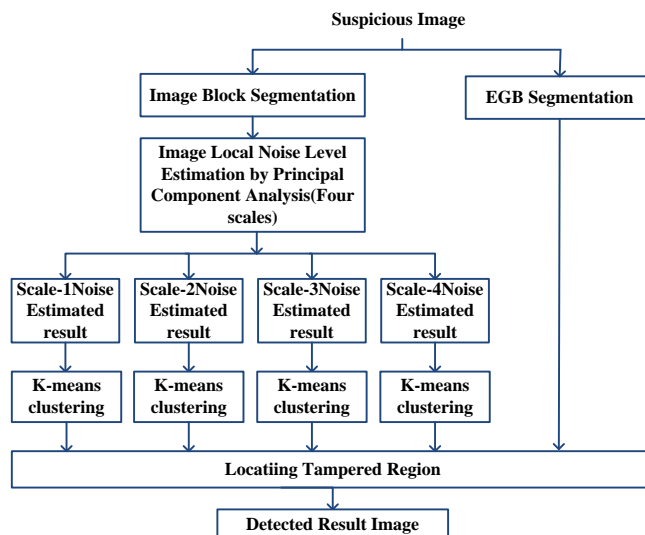
### 一、 簡介

隨著影像編輯軟體的快速發展，在先進的技術背後伴隨而來的是數位影像的真實性問題。外來拼接篡改(Splicing)即為影像篡改偵測中，一種簡單又易於實現的篡改方式，此種篡改操作通常是複製影像的某個區域，貼至另一張影像上，試圖修改或隱藏影像原始表達的意義。

幾種用來偵測外來拼接篡改的方法，如利用色差不一致、雜訊不一致、色彩濾片陣列、相機反應函式與光線不一致等，即是使用相機內部所形成的硬體特徵做為偵測之依據，在眾多方法當中，本論文先著重在利用雜訊不一致的特性來做篡改區域的偵測這個領域。

過去文獻[1][2][3]作者利用估測影像上的區域雜訊，將與來源影像一之區域雜訊量不一致的區域找出來，並將它們認為為來源影像二的區域，但該偵測方法所估測出來的結果，由於通常只使用單一大小的視窗內容做雜訊量估測，且使用的雜訊估測方法也估測的不夠精準，故容易導致偵測結果不夠準確，使得會存在許多的誤判區域，無法有效將來源影像一的區域與來源影像二的區域定位出來。

本論文採用多尺度主成分分析估測雜訊程度演算法作為偵測之依據，同時能達到保留當地雜訊資訊與準確估測雜訊兩項優點，提升該演算法提取雜訊特徵之能力，期許在來源影像一的區域上之雜訊程度與來源影像二的區域上之雜訊程度能精確估測出來，以便後續偵測之用。其次，我們提出利用對影像做 EGB 分割的結果與藉由多尺度利用主成分分析估測雜訊程度再經分群的結果做結合，以便排除估計失誤造成錯誤偵測之影響。



圖一：影像拼接篡改偵測之流程圖

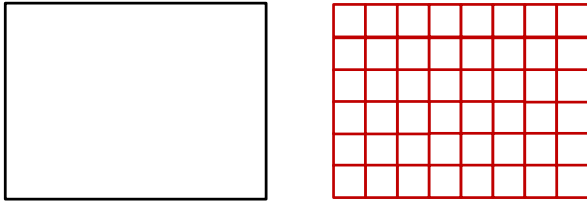
本論文之利用區域雜訊不一致特性偵測影像拼接篡改方法之詳細架構如圖一所示，主要分為分割影像(Image block segmentation)、多尺度利用主成分分析估測影像雜訊程度(Image noise level estimation by principle component analysis)、K-means 分群分析(K-means algorithm)、EGB 分割(EGB Segmentation)與篡改區域定位(Location tampering region)五個部分，在第一個部分，我們先對影像進行分割，以區塊為單位進行後續運算；在第二部分，使用多尺度利用主成分分析估測雜訊演算法，估計出在不同尺度下區塊當中所含的雜訊程度；接下來第三部分，透過K-means 分群分析對於所估測出的雜訊進行分類，將來源影像一的區域與來源影像二的區域劃分開來；再來在第四部份，對輸入影像進行 EGB 分割(EGB segmentation)，使用點與點間顏色的差異關係將輸入影像將應屬於同一個部份的區域劃分在一起，由於同一區域內應只含有來源影像一的區域或來源影像二的區域，而不會 EGB 分割分割出的同一區域內同時含有來源影像一的區域與來源影像二的區域，故可將此分割結果用在後處理上用以抹除掉較小的誤判區域；最後第五部份，利用 EGB 分割後的結果，進一步定位出遭受篡改之區域。

### 2.1 分割影像

首先，先將輸入之影像分割成多個不重疊區塊，以區塊為一個單位去進行後續的雜訊估測；由於將影像分割成較大的區塊，會使得估測的結果讓一些不屬於該區域的部分，因為被劃分為同一個區塊當中，而導致判斷錯誤，但若將影像分割成小區塊，會導致運行的時間過長，故在本論文當中，將輸入影像分割成  $R \times R$  大小的不重疊區塊，如圖二， $R \times R$  大小設定為我們將輸入影像資

<sup>1</sup>本研究由國科會贊助，計畫編號 NSC 101-2221-E-027-078-MY2

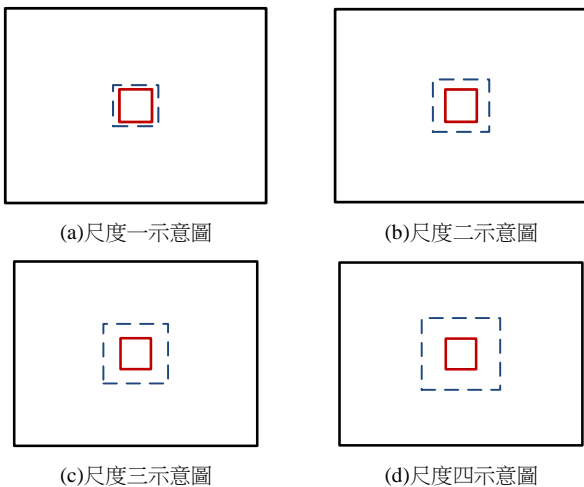
料庫之影像分割成不同大小的區塊做偵測準確度測試與時間複雜度測試，看此資料庫影像分割成何種大小的區塊能同時保有準確度高且運算時間少，就將此結果拿來使用，此大小不可超過影像長與寬取最大值乘上 0.04，並假設來源影像一的區域與來源影像二的區域皆大於  $R \times R$  的大小，這樣不但可以使誤判率下降並可使運算時間大幅降低。



圖二：分割影像示意圖

## 2.2 多尺度利用主成分分析估測影像區域雜訊量

將影像分割完成後，接下來對每個分割出的大小為  $R \times R$  之區塊利用主成分分析估測影像雜訊量演算法[4]進行區域雜訊估測，以欲估測之區塊為中心，隨著輸入影像的大小，展開四種大小的視窗，如圖三(a)(b)(c)(d)，所展開的視窗大小設定為輸入影像之長寬取較大值，再分別乘上 0.04、0.05、0.06 與 0.07 的比例，做為四個尺度的視窗大小，接下來將四個尺度上，虛線視窗內所涵蓋的內容，分別進行雜訊估測，再將估測出的雜訊值分別填回到該尺度的  $R \times R$  的區塊當中(中間小方框所涵蓋的區域)，也就是估測雜訊所展開的視窗範圍會隨著影像的大小做改變，但所影響的區域為不變的  $R \times R$  區域。



圖三：尺度示意圖

## 2.3 K-means 分群分析

接下來對 2.2 節中所估算出來的四個尺度結果分別進行分群，使不同尺度上的結果之來源影像一的區域與來源影像二的區域能劃分開來，做法為將所有非重疊區塊上所估測出的雜訊量，分成  $k(k=2)$  個群集，利用下述四個步驟

- 1) 將所有估測出的雜訊值做排序，取最大與最小值做為兩個群集的初始中心點
- 2) 將每個區塊所估測出的雜訊值，看接近哪個中心點

就分到該群集中

- 3) 重新計算這兩個群集的平均值，當成新的中心點

- 4) 重複第(2)與第(3)個步驟，直到中心點不再變動

將 2.2 節中所估測出的雜訊值分為兩類之後，我們將這兩類分別由白色與黑色來做標記。

## 2.4 EGB 分割

另一方面，我們對輸入影像採用 EGB(Efficient Graph-Based)分割[7]，因為此方法比採用平均值移動法(Mean Shift)來的快速，且有令人滿意之效果。EGB 分割除了能快速將影像分割，還能保留低變化區域的細節，意即輪廓；並忽視高變化區域的細節，意即雜訊。；在實際對竄改圖作分割中，可藉由點與點間顏色上的差異關係，將影像上應屬於同一區塊的部分劃分在一起，且不會因分割得太細而導致各個區域太小，使我們可以用於後處理上。

## 2.5 篡改區域定位

在做篡改區域定位前，首先對四個從 2.2 節中所得到的結果利用式(1)做結合，我們將結合後的結果，黑色定義為第一類雜訊(影像來源一)，而白色定義為第二類雜訊(影像來源二)，灰色定義為由於條件不夠強烈而無法判別的待定區域。

$$\begin{cases} \text{第一類雜訊, if 四個尺度中有三個尺度同一區塊為第一類雜訊} \\ \text{第二類雜訊, if 四個尺度中有三個尺度同一區塊為第二類雜訊} \\ \text{待定區域, otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

使用公式(1)做結合雖然運算速度很快，但四尺度結合的結果有些區域會產生無法判別的情況，可能會產生四個尺度同一位置區塊上有兩個尺度為第一類雜訊兩個尺度為第二類雜訊的情況，我們將它判別為灰色的待定區域，這時我們將使用馬可夫隨機場的觀念[6]，考慮周遭區塊的狀況來判定該區域，待定區域塊的產生，代表該位置無法利用現有資訊判斷是屬於來源影像一的區域或來源影像二的區域，此時我們以該四個尺度結合後之欲估測的待定區域為中心，考慮該待定區域在四個尺度上與鄰近一階區域間的關係，我們採用兩種鄰居系統，如圖四所示為兩種鄰居系統，有黑色點的區域代表為要判斷的待定區域，接著計算能量函數  $U_s(x_s)$ ，如式(2)與(3)，其中  $V_c(x_s)$  為 clique potential， $x_s$  為欲模型化之像素位置， $x_t$  為 clique 中所有像素位置， $\bar{x}_{s,c}$  為每一個 clique 上的平均灰階強度， $n_c$  為每一個 clique 中的像素數量，將 255 與 0 分別代入式(2)再代入式(3)中，看何者所算出的能量較小，代表發生為該狀況的機率較高，藉由周圍的關係決定該區域應該判別填入黑色(來源影像一的區域)亦或是白色(來源影像二的區域)才會與周遭較為相似，使結果較為合理。



圖四：本論文定義之兩種鄰居系統(clique)結構

$$V_c(x_s) = \left| x_s - \frac{1}{n_c} \sum_{t \in c} x_t \right| = \left| x_s - \bar{x}_{s,c} \right| \quad (2)$$

$$U_s(x_s) = \sum_{c \in Q_s} V_c(x_s) \quad (3)$$

最後將四尺度結合加上 GRF 後的結果與 EGB 分割後的結果做結合，統計 EGB 分割所分割的每個區域中，所涵蓋的第一類雜訊(影像來源一)與第二類雜訊(影像來源二)的數量，如式(4)，讓四尺度結合 GRF 的偵測結果一些較小的誤判區域會被抹除，較大的誤判區域由於不足以判別為影像來源一的區域或影像來源二的區域而判別為無法判定區域，只有真正屬於影像來源一的區域或影像來源二的區域會被找出來，且因為是與 EGB 分割的結果結合，偵測出來的結果仍可保留與原來拼接區域幾乎一樣的輪廓。

$$\begin{cases} \text{第一類雜訊, if 第一類雜訊數} > 0.67 \times \text{EGB 劃分區域總像素量} \\ \text{第二類雜訊, if 第二類雜訊數} > 0.67 \times \text{EGB 劃分區域總像素量} \\ \text{無法判定區域,} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

### 三、實驗結果與討論

#### 3.1 實驗環境

本論文所提出之方法主要採用 C/C++ 語言，並配合 OpenCV2.3.1 函式庫編寫而成；其中在本論文估測雜訊的部分，使用的利用主成分分析估測雜訊程度演算法程式碼為文獻[4]作者所提供的開放原始碼 c 程式碼做為我們提取影像特徵的依據；而相比較的方法，很感謝文獻[1]作者 Siwei Lyu 提供我們 matlab 程式碼做測試，在程式當中只含有雜訊估測的部分，故我們對此程式加入 matlab 裡的 k-means 內建函式來找出篡改區域，使我們能夠做篡改偵測準確度的比較；而硬體設備方面，主要為 Intel Core™ i3-2350M 2.3GHz 與 4G DDR3 記憶體。對於實驗所使用之測試影像，以哥倫比亞未壓縮圖像拼接檢驗資料庫[8]提供的影像資料庫做為我們來源資料庫，因為此資料庫在網路上有開放下載，且許多關於篡改偵測的文獻也都有使用此資料庫來做測試；其中哥倫比亞未壓縮圖像拼接檢驗資料庫共有 180 張大小為 757x568、1002x666 或 1152x768 未經壓縮的全彩影像，這些影像是由四種相機經兩兩拼接後所產生的竄改圖，所以在往後的分析上，我們將所有影像分為六大類，每類為 30 張，表一為六大類影像的詳細資料，並將屬於相機二的區域(範圍較小)當作篡改區域；此外，在 2.1 節中所提到的分割區塊大小選擇上，在此資料庫經過我們對於幾個分割成不同大小結果進行測試後，發現分割成 21x21 來做，可使偵測正確率較高且運算時間也較短。

表一:六類篡改詳細資訊

	相機一	相機二(篡改區域)	影像大小
第一類篡改	Canon G3	Canon 350D Rebel XT	757x568
第二類篡改	Canon G3	Kodak DCS 330	757x568
第三類篡改	Canon G3	Nikon D70	757x568
第四類篡改	Canon 350D Rebel XT	Kodak DCS 330	1152x768

第五類篡改	Nikon D70	Canon 350D Rebel XT	1002x666
第六類篡改	Nikon D70	Kodak DCS 330	1002x666

本論文採用四種評估標準作為實驗結果的指標，分別為正確率(Accuracy, Acc%)、精確率(Precision, Pre%)、召回率(Recall, Rec%)、F\_Measure% 作為評估準確度之結果，如公式(5)。

$$\begin{aligned} \text{Acc\%} &= \frac{|TP| + |TN|}{U} & \text{Pre\%} &= \frac{|TP|}{|TP| + |FP|} \\ \text{Rec\%} &= \frac{|TP|}{|TP| + |FN|} & \text{F\_Measure\%} &= \frac{2 \cdot \text{Pre\%} \cdot \text{Rec\%}}{\text{Pre\%} + \text{Rec\%}} \end{aligned} \quad (5)$$

其中  $U$  代表整張影像； $TP$  (True Positive) 為屬於篡改區域且被正確判斷的區域； $FN$  (False Negative) 為屬於篡改區域但被誤判的區域； $TN$  (True Negative) 為屬於非篡改區域且被正確判斷的區域； $FP$  (False Positive) 為屬於非篡改區域但被誤判的區域；符號  $| \cdot |$  代表區域影像之像素的數量。

#### 3.2 準確度評估實驗結果

以下的準確度分析為雙方皆經雜訊估測再分群後的結果，並不經過形態學及其它後處理，因為在 Lyu 的論文[1]中並無詳細描述如何做後處理的部分，六類經由四種不同相機所形成之篡改圖實驗評估結果如表二至表七所示，從比較表中的數據顯示，本論文提出之多尺度主成分分析估測雜訊程度演算法，在正確率、精確率、召回率與 F\_Measure 四個項目，幾乎皆優於 Lyu 的方法，另一方面，從偵測結果圖上看，圖五為本論文的方法與 Lyu 的方法未加後處理結果比較圖，本論文提出之方法對於來源影像一的區域與來源影像二的區域皆大幅的降低誤判的機率，證實本論文之方法確實能有效解決只使用單一視窗估測雜訊與使用估測不夠準確的雜訊演算法而導致估測結果不夠準確問題，使整體準確度上升。

在後處理的部分，在相關文獻當中通常是對雜訊估測的結果進行形態學處理，而本論文的方法是使用 EGB 的結果來做後處理，圖六為本論文方法中的各個步驟，從結果中可得知我們提出將利用 EGB 分割分割後的結果與雜訊分群後的結果做結合，能夠成功地將不屬於篡改區域的部分移除，並將一些不足以劃分為來源影像一的區域或來源影像二的區域之區域，標記為灰色的無法判定區域，使真正的來源影像一的區域或來源影像二的區域能更準確的被定位出來，接下來，圖七為本論文的方法及 Lyu 的方法皆經過後處理過後的比較圖，從結果當中顯示，我們的結果因為在雜訊偵測的準確度上提升，且使用 EGB 分割來做後處理，使得偵測結果誤判較 Lyu 的方法少了許多。

表二:第一類拼接篡改圖之評估結果

	Acc	Pre	Rec	F_Measure%
Lyu's	54.73	37.84	62.76	45.22
Proposed	81.91	71.27	94.82	79.13

表三: 第二類拼接篡改圖之評估結果

	Acc	Pre	Rec	F_Measure%
Lyu's	51.97	36.1	62.62	44.7
Proposed	<b>78.82</b>	<b>65.45</b>	<b>80.5</b>	<b>69.65</b>

表四: 第三類拼接篡改圖之評估結果

	Acc	Pre	Rec	F_Measure%
Lyu's	50.5	30.57	63.66	38.73
Proposed	<b>66.42</b>	<b>51.15</b>	<b>71.78</b>	<b>53.84</b>

表五: 第四類拼接篡改圖之評估結果

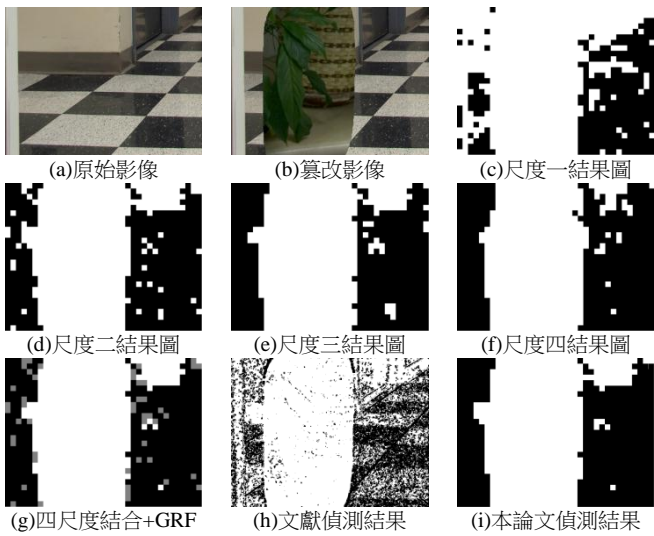
	Acc	Pre	Rec	F_Measure%
Lyu's	52.94	25.98	71.29	36.34
Proposed	<b>86.32</b>	<b>77.83</b>	42.47	<b>48.3</b>

表六: 第五類拼接篡改圖之評估結果

	Acc	Pre	Rec	F_Measure%
Lyu's	51.54	25.2	62.26	34.02
Proposed	41.07	<b>27.62</b>	<b>98.30</b>	<b>42.24</b>

表七: 第六類拼接篡改圖之評估結果

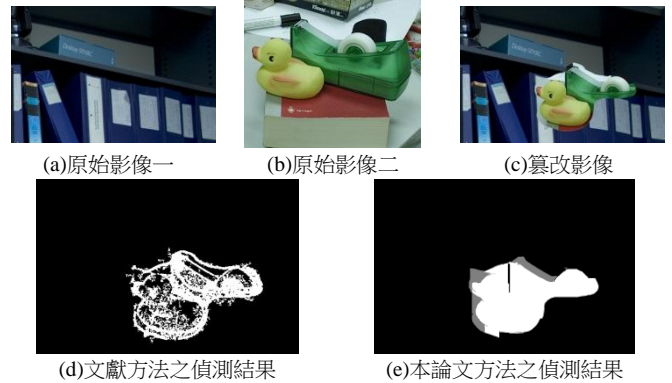
	Acc	Pre	Rec	F_Measure%
Lyu's	46.75	24.45	65.32	34.9
Proposed	<b>52.74</b>	<b>37.58</b>	<b>83.13</b>	<b>46.93</b>



圖五: 本論文方法未加後處理偵測之比較範例



圖六: 本論文有加後處理偵測之範例



圖七: 本論文有加後處理偵測之比較範例

## 結論

本論文利用主成分分析估測雜訊演算法, 改善過去其它使用雜訊偵測影像拼接之方法估測雜訊準確度之問題, 並使用多尺度的方式來估測區域雜訊, 使偵測結果更加準確, 進而改善過去論文因只使用單一視窗大小估測錯誤而導致誤判的情形, 最後使用 EGB 分割分割之後的結果, 來定位篡改區域, 將一些細微判斷錯誤的區域移除, 並將不夠強健之區域定義為無法判定區域。本論文提出之方法除了能保有穩定的偵測表現外, 我們同時降低過去文獻仍有許多零散偵測錯誤的問題, 由此可知, 本論文所提出之方法, 更能做為一強健性的數位影像鑑識機制。

## 參考文獻

- [1]. X. Pan, X. Zhang and S. Lyu, "Exposing Image Splicing with Inconsistent Local Noise Variances," *Computational Photography (ICCP), 2012 IEEE International Conference on*, pp. 1 - 10, 28-29 April 2012.
- [2]. X. Pan, X. Zhang and S. Lyu, "Exposing Image Forgery with Blind Noise Estimation," *The 13th ACM Workshop on Multimedia and Security (MM&Sec)*, Buffalo, NY, September 2011.
- [3]. B. Mahdian and S. Saic, "Using noise inconsistencies for blind image forensics," *Journal: Image and Vision Computing - IVC*, vol. 27, no. 10, pp. 1497-1503, Sep. 2009.
- [4]. S. Pyatykh, J. Hesser and L. Zheng, "Image Noise Level Estimation by Principal Component Analysis," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 22, pp. 687-699, Feb. 2013.
- [5]. 郭天穎、吳家宏, 基於馬可夫隨機場之表格文件擷取系統, 國立台北科技大學電機工程系碩士論文, 中華民國九十八年七月
- [6]. 郭天穎、廖正豪, 利用色彩濾片陣列及旋轉不變特性之影像鑑識系統, 國立台北科技大學電機工程系碩士論文, 中華民國九十九年七月
- [7]. P. Felzenszwalb and D. Huttenlocher, "Efficient Graph-Based Image Segmentation," *Int'l J. Comput. Vision*, vol. 59, no. 2, pp. 167-181, 2004.
- [8]. Y. F. Hsu and S. F. Chang, "Columbia Uncompressed Image Splicing Detection Evaluation Dataset" Available: <http://www.ee.columbia.edu/lndvmm/downloads/authspluncmp/>