

以複製區域分析偵測偽造數位影像之研究

林曾祥

中央警察大學資訊管理學系
副教授

e-mail : jslin@mail.cpu.edu.tw

鄧少華

中央警察大學資訊管理學系
教授

e-mail : pdeng@mail.cpu.edu.tw

楊永富

中央警察大學資訊管理研究所
研究生

e-mail : im953090@mail.cpu.edu.tw

摘要

數位相機的出現與普及，使得日常生活中隨處可見數位影像的蹤跡。而由於數位資料容易修改的特性、再加上影像處理軟體功能的日漸強大，過去被認為能夠記載真實畫面的相片，在數位時代中已經受到嚴厲的考驗。

本研究的內容主要是探討偽造數位影像偵測技術中的複製區域分析方法。複製-移動類型的竄改是在影像之中複製一片區域、再用這片複製區域覆蓋掉同一張影像中可能存在的重要跡證，當偵測到數位影像中存在多塊特徵值相同的區域時，就能夠斷定影像可能遭到竄改。本文除了介紹目前已經提出的複製區域分析方法之外，另外則探討現有分析方法未能解決的問題。

針對現有複製區域分析方法所未能解決的問題，本研究以現有複製區域分析方法為基礎、結合紋理分析領域的研究成果，提出一個結合不同領域的複製區域分析方法，以克服旋轉、對比調整、與縮放等影像處理對於重覆區域分析結果的干擾。本研究提出的方法目前屬於初步構想的階段，對於偽造數位影像的偵測效果有待後續實驗加以驗證。

關鍵詞：偽造數位影像鑑識、複製區域分析、紋理分析、旋轉不變特徵。

Abstract

With the advent of digital cameras, digital images have become part of our daily life. However, the credibility of digital

images has faced severe challenges in the digital era due to the intrinsic nature of easy modification of digital data and the powerful function of modern image process/edit software.

In this study, we focus on the duplicated-region detection, which is part of the whole digital forgery detection family. Copy-move forgery copies regions of an image and try to cover possible evidence of the same image with the copied ones. We can assert that images could be tampered with as some regions with the same feature are detected in the same image. In addition to introducing the existing methods of duplicated region detection, we also discuss associated unsolved problems in this research field.

We have proposed a plausible solution to deal with the problems in the field of duplicated-region detection, which combines existing techniques with texture analysis to solve the problem of duplicated region distortion due to rotation, contrast tuning, and scaling of images. The proposed method is in its developing stage, and further experiments have to be conducted to evaluate its effect on detecting digital forgeries.

Keywords: forgery image forensics, duplicated region analysis, texture analysis, rotation invariant feature.

1. 前言

本研究內容主要是針對偽造數位影像鑑識方法中之複製區域分析的研究，以下分為問題描述、研究動機、主要研究方法及步驟等，內容分述如下。

1.1 問題描述

長久以來，由相機所拍攝的相片一直是記錄事件的重要工具，能夠忠實地保留事件發生的真實畫面，在某些特別的應用上，例如法庭上做為有罪或無罪判決的證據而言，相片的可信度更是扮演相當重要的角色。

現今科技的進展日新月異，數位相機的出現迅速地取代了傳統相機的使用，過去以底片記錄影像的方式，也逐漸地轉變成以數位資料格式進行儲存拍攝的畫面，就是所謂的數位相片或是數位影像檔案。在數位相機如此普遍的

同時，由數位相機產生的數位影像、是否仍保有傳統相片的可信度是值得我們深思的一個問題。

表1的內容是目前可用於偵測偽造數位影像的相關技術列表。對於偽造數位影像的鑑識方法，主要可以依據分析方法是否需要額外的驗證資訊，分為主動式與被動式等兩類偵測技術。主動式的偽造數位影像偵測技術需要數位影像之中具有某種特定的驗證資訊，才能夠進行數位影像的完整性驗證，例如：數位浮水印、數位簽章、與錯誤修正碼等方法[1-7,9,10,12-14,18,19,21,25-31,38-46]。

另一方面，被動式的偵測技術被認為是偽造數位影像偵測領域中新興的研究方向，又可稱之為盲型偵測法〈blind detection〉，因為這類偵測技術不需要數位影像中、必須存在影像完整性的驗證資訊才能夠進行竄改的偵

表1 偽造數位影像的鑑識技術分類

須額外驗證資訊	偽造數位影像的鑑識技術		相關研究
是	數位浮水印 數位簽章 錯誤修正碼		[1-7,9,10,12-14,18,19,21,25-31,38-46]
否	影像編碼資料分析	複製區域分析	Fridrich, Soukal, & Lukáš (2003)[11] Popescu & Farid(2004)[34] Luo, Huang, & Qiu(2006)[23] Mahdian & Saic(2007)[24]
		訊號週期性分析	Popescu & Farid(2005)[32][33] Prasad & Ramakrishnan(2006)[35]
		成像裝置特徵分析	Johnson & Farid(2006)[17] Lukáš, Fridrich, & Goljan(2006)[22] Swaminathan, Wu, & Liu(2007)[36]
		影像接縫分析	Wang & Zhang(2007)[37]
	物理特性分析	物體光源分析	Johnson & Farid(2005)[15] Johnson & Farid(2007)[16] Lee, Yoon, Doo, Har, & Choi(2007) [20]



圖1 犯罪現場相片經過“複製-移動”偽造的範例：(a)原始影像；(b)偽造影像[24]

測[24]。被動式偽造數位影像偵測技術的基本原理是以統計數位影像分析、光影分析等方式，判斷數位影像資料是否遭到竄改，這一類偵測技術包括：複製區域分析、訊號週期圖樣分析、相機感光元件圖樣分析、以及物體光源不一致分析等方法[11,15-17,20,22-24,32-37]。

1.2 研究動機

數位影像是由一連串的數位資料所構成，由於數位資料本身容易被修改的特性、再加上數位影像處理軟體的普遍、與處理功能的不斷精進，一旦有心人利用影像處理軟體對數位影像進行巧妙地修改，一般人在視覺上將難以發現數位影像經過修改的端倪。以「複製-移動〈copy-move〉」的數位影像竄改為例，圖1是犯罪現場的數位影像[24]，左方的(a)圖為原始拍攝影像，右方的(b)圖為經過複製原始影像某些區域將下方血跡覆蓋掉的偽造影像。若是沒有兩張相片進行並列比較，一般人在視覺上難以察覺到(b)圖中有重要跡證遭到抹除。這樣的結果，可能使得數位影像記錄事實的可信度遭到嚴重質疑，例如在法庭上以數位相片判斷事實真偽，進行有罪或無罪判決的證據。目前針對偽造數位影像之複製區域的偵測主要有 Fridrich et al.(2003)[11]、Popescu & Farid(2004)[34]、Luo et al. (2006)[23]、Mahdian & Saic(2007)[24]等學者所提出的分析方法。然

而影像處理時可能對複製區域進行增加雜訊、模糊化、亮度或對比調整、以及旋轉等操作，使得複製區域能夠融入覆蓋區域的背景之中、產生以假亂真的偽造影像[9]。當複製區域遭到某些影像處理之後，前述的複製區域分析方法可能無法正確偵測出經過竄改的複製區域。因此本研究首先介紹現有複製區域偵測技術的分析方法，隨後探討現有方法尚未解決的課題、並提出本研究團隊所構想的解決方案。

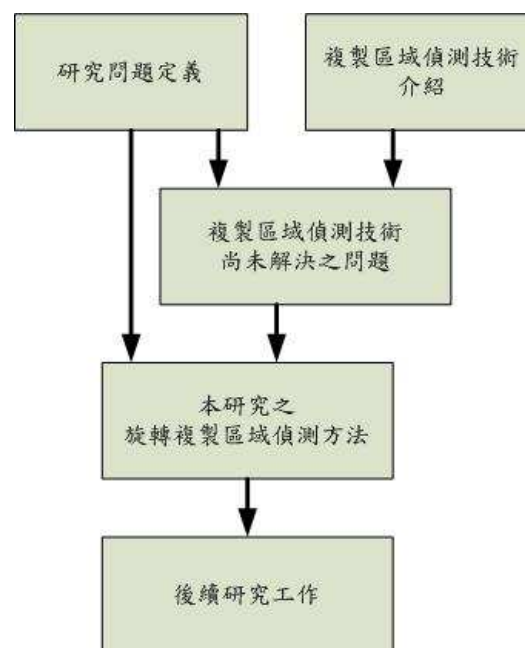


圖2 本研究之研究步驟及方法

1.3 主要研究方法及步驟

本研究首先對於複製區域分析方法的研究問題進行定義；接著蒐集、整理、與說明目前學術研究針對偽造數位影像之複製區域偵測所提出的相關分析方法，並比較這些方法的相異性與尚未解決的問題；隨後闡述以現有的複製區域分析方法為基礎，從紋理分析的研究領域之中、發掘可用來解決本研究問題的相關研究成果，提出結合不同領域的解決方案，並依此導引本研究團隊後續需要深入進行的研究方向。

1.4 研究貢獻

本研究的主要貢獻在於整合說明現有偵測偽造數位影像之複製區域的分析方法、與分析比較現有方法尚未能夠解決的相關問題；接著嘗試將紋理分析領域、與偽造影像鑑識領域之複製區域分析進行結合，提出一個可以補充現有技術不足之處的解決方案，提高複製區域分析方法對抗各種反偵測手段的強韌度。

1.5 本研究內容簡介

第2部份對於本研究所要探討的問題進行定義；第3部份則對於目前以複製區域分析法偵測數位影像竄改的相關技術進行介紹，並分析現有方法未能解決的問題；在第4部份說明本研究結合紋理分析與複製區域分析的解決方案，對於現有複製區域分析方法的問題提供可行的解答；在第5部份的內容中說明本研究方案尚待解決的問題；最後的結論對於本研究進行總結，同時提出本研究團隊後續將深入進行的研究方向。

2. 研究問題的定義及分析

在本小節中，我們就本研究的探討對象及研究問題進行說明，分述如下。

2.1 探討對象

(1) 數位影像

本研究中的數位影像指的是存放在數位儲存裝置中的數位影像檔案。數位儲存裝置指的是硬碟機、軟碟片、快閃記憶體〈flash memory〉、光碟片〈CD、DVD〉等各類資訊儲存媒體。

(2) 原始數位影像

本研究內容所探討的原始數位影像檔案，指的是利用成像裝置〈例如：具有 CCD 或 CMOS 等感光元件的數位相機〉將真實世界的場景，經由電子訊號處理、色彩值插補、以及內部演算法運算後，直接儲存到數位儲存裝置的數位影像。

(3) 偽造數位影像

偽造數位影像指的是使用影像編輯、處理軟體，對原始數位影像檔案進行剪貼、旋轉、模糊等修整的操作，使處理後的數位影像檔案與原始數位影像檔案產生差異。

(4) 「複製-移動」類型的偽造數位影像

「複製-移動(copy-move)」類型的偽造指的是以影像處理軟體、對數位影像中的一塊選取區域進行複製，接著將複製的區域貼到同一張影像上的另一塊區域，覆蓋掉原始數位影像中同等面積的畫素，藉此扭曲影像原來所要表達的意義。

2.2 問題的分類與定義

本研究提出下列兩個研究問題：

- (1) 目前有哪些方法可用於偵測偽造數位影像中的複製區域？

圖3為偽造數位影像的範例，左上方的影像為原始數位影像，右上方為經過「複製-移動」竄改的偽造數位影像，下方6張圖分別代表偽造數位影像在不同的 JPEG 壓

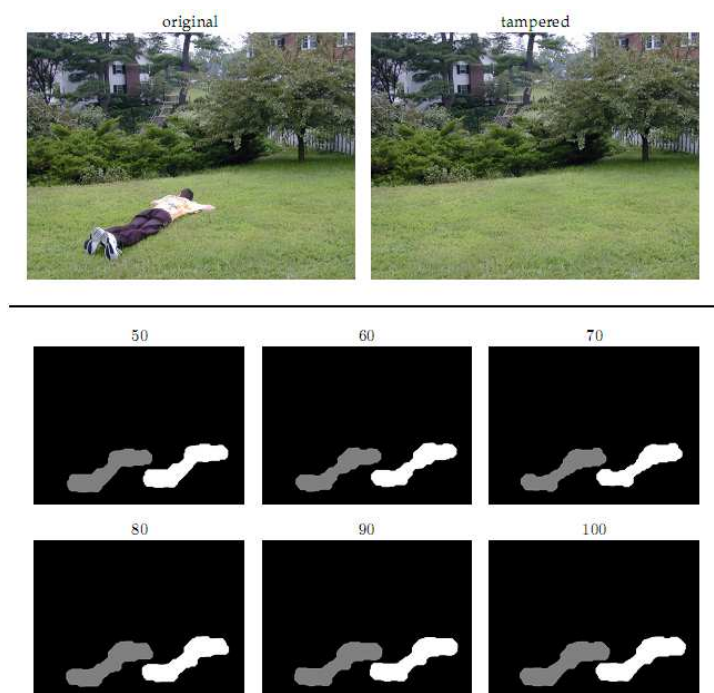


圖3 「複製-移動」類型的偽造數位影像[34]

縮品質下、以 Popescu & Farid [34]的方法進行複製區域分析的結果。由圖中可以看出經過「複製-移動」竄改的偽造數位影像，在影像中會存在著二、或多片特徵值相同的複製區域〈duplicated image regions〉，因此可以藉由分析數位影像中是否存在複製區域，判斷影像是否遭到竄改。

本問題的解答在於蒐集相關的複製區域偵測技術，並對這些相關技術的分析方法進行說明、並分析其尚未解決的問題，為後續研究提供一些可以再深入思考的發展方向。

- (2) 有何種可行的方案能解決現有偵測複製區域技術的問題？

為了使複製區域能夠融入原來的背景之中、不被人眼所察覺，偽造者通常會在被覆蓋的區域進行各種影像修整，例如：複製區域的旋轉、亮度 / 對比度調整、縮放、增加雜訊等操作，這些操作都可能使分析方法無法有效地偵測出偽造數位影像上存在的重覆區域。

因此，本問題的解答在於提出更為強健的可行方法，使得複製區域分析方法的偵測能力不受特定影像處理方法的干擾。

3. 複製區域的鑑識技術

數位影像檔案經過影像處理軟體巧妙地變造之後，雖然一般人的視覺感官難以辨別畫面之中的異狀，但是在構成數位影像畫面的數位編碼資料中卻常留下數位影像處理的特殊統計特徵，因此可以利用統計或數學模式對數位影像進行分析，找出影像經過數位竄改的跡證[32,33]。

本節後續篇幅將對偽造數位影像的複製區域偵測技術進行介紹。

3.1 複製區域的分析方法

3.1.1 基本原理

常見的偽造數位影像是由數位影像中複製一塊紋理複雜的區域，企圖湮滅掉同一張影像中重要的跡證[11,23,24]。圖 4 是一張利用複

製區域進行偽造的範例[11]，上圖是偽造影像、下圖為原始影像，將兩張圖進行比較可以發現，原始影像左方的吉普車被同一張影像的「樹葉複製區域」所覆蓋。因為樹葉圖案對人眼來說是屬於紋理較複雜的區域，將這樣的區域以影像處理軟體進行「複製」、「貼上」的操作、放到原來吉普車所在的位置，再對複製區域的邊緣部份進行適當的「羽化」處理，能夠輕易地產生一張真假難辨的偽造影像。

此類偽造方式是利用同一張影像上的複製區域進行影像竄改，在這樣的局部〈local〉複製區域上的某些統計特徵值，例如雜訊成份分布、調色盤資訊等，與整體〈global〉影像的特徵值是一致的，因此不容易採取以局部對整體統計值之不一致分析的策略、區別數位影像中利用「複製-移動」竄改的影像區域[11]。

Farid(2003)[8]認為我們可以分析數位影像中是否存在重覆區域，藉以辨別影像是否遭到蓄意竄改。因為就統計的觀點來看，在一張數位影像中，發現兩塊大面積影像區域之某種

特徵值完全一致的發生機率是極低的。Luo et al.(2006)[1]曾經針對 100 張自然影像進行分析，分析結果發現在同一張自然影像中出現兩塊相似區域、而這些區域的面積大於整張影像尺寸之 0.85% 的機率非常小、甚至不可能出現。因此若是在影像檔中發現了此種現象，便可以思考該數位影像檔在產生之後，是否經過有心人複製了區域 A，企圖掩蓋掉同一張影像上區域 B 中的重要跡證。

3.1.2 分析方法

以分析數位影像中的複製區域，進行的偽造數位影像偵測有 Fridrich et al.(2003) [11]、Popescu & Farid(2004)[34]、Luo et al. (2006)[23]、與 Mahdian et al. (2007)[24]等學者的研究。這些研究的分析步驟大致上是相同的，主要的差別在於不同的研究採用不同的區塊特徵值進行區塊間的相似度衡量。特徵值的不同關係著區塊比對的正確率、以及複製區域經過不同的影像處理之後，是否還能夠被正確地比對出來，這方面的議題留待 3.2 節進行討論。以下內容將對複製區域的主要分析步驟進行說明。

(1) 將數位影像視為由畫素所構成的二維影像矩陣。

(2) 以滑動視窗〈slide window〉的處理方式，計算多個小區塊的特徵值。

以圖 5 為例，圖中的灰色方塊代表一張數位影像矩陣，方塊中的一個方格代表影像的一個畫素，紅色虛線方塊代表一個滑動視窗，在這個範例中使用 3×3 畫素的滑動視窗進行說明，由(a)至(e)代表的是滑動視窗依序在影像矩陣中移動的過程。

區塊特徵值是利用滑動視窗範圍內的畫素值進行計算，(a)至(e)所計算出來



圖4 複製區域的偽造數位影像範例[11]

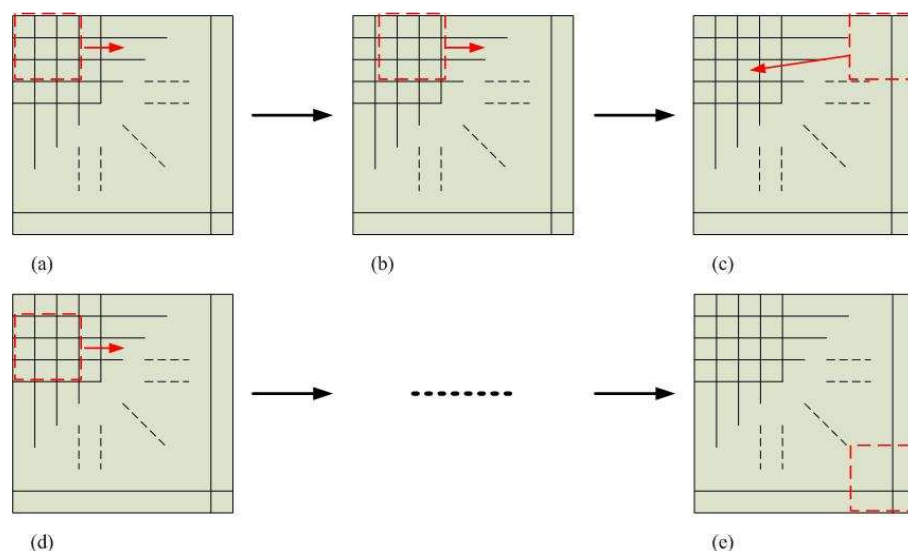


圖5 滑動視窗處理

的特徵值分別代表滑動視窗所在位置的影像區塊特徵值。滑動視窗是以影像矩陣的左上角為起點(a)，當計算完(a)的區塊特徵值後，便向右移動一個畫素(b)。滑動視窗的右邊界到達影像矩陣的右邊緣時(c)，視窗就再回到影像矩陣的左邊緣，同時向下移動一個畫素(d)，之後再依據(a)至(c)這些的步驟反覆運作，直到計算到影像矩陣右下角的區塊特徵值為止。

假設滑動視窗的大小為 $R \times R$ 畫素，對於解析度為 $M \times N$ 畫素的數位影像而言，總共需要計算出 $(M - R + 1) \times (N - R + 1)$ 個區塊特徵值。以一張 640×480 的數位影像、尺寸為 20×20 的滑動視窗為例，總共需要算出 286, 281 個區塊特徵值[24]。

- (3) 比較所有區塊特徵值的相似度，特徵值比對結果大於某個門檻值表示兩區塊相同。

在這個步驟中由於需要比對數量龐大的區塊特徵值，因此會有一些特別的比對方式以降低比對演算的時間複雜度，例如：Fridrich et al.(2003) [11]、Popescu & Farid(2004)[34]、與 Luo et al.(2006)[23]等

人的方法是先以類似辭典編纂〈lexicographic〉的方式對區塊特徵值進行排序，再取出鄰近的區塊特徵值進行相似度衡量〈因為特徵值相近，故排序後區塊會彼此相鄰〉；Mahdian et al.(2007)[24]則是以 k-d tree 的資料結構表示法，加快特徵值相近之區塊的搜尋速度。

- (4) 在影像中標示相似區塊的位置，如此可以看出影像中的複製區域。

以圖 6 為例，左上方的圖為原始數位影像，右上方的圖是利用圖中的草皮以「複製-移動」進行竄改的偽造數位影像。下面 6 張圖是利用 Popescu & Farid(2004)[34]的複製區域分析法，分別對不同 JPEG 壓縮品質的偽造影像進行複製區域分析後、將相似區塊標示出來的結果。

3.2 目前複製區域偵測技術的比較分析

複製區域分析的第一個難題是影像中的區塊數量龐大，比對的時間可能與區塊的數量呈現指數般地成長，因此分析方法必須在可接受的錯誤接受率之下〈false positive〉，儘可能地降低區塊比對運算的時間複雜度；另一方面

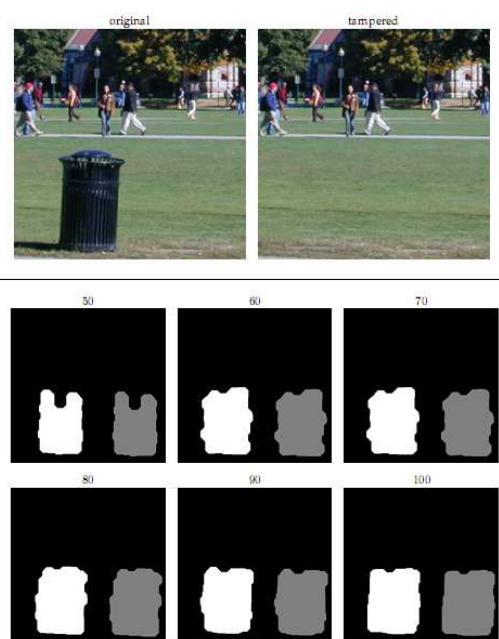


圖6 相似區塊標示範例[34]

，因為影像可能以失真的 JPEG 格式儲存、且複製區域可能經過各種影像修整工具的處理，例如對比調整、增加雜訊、模糊化的處理等，使得複製區域與原來區域之間的特徵可能只是近似而非完全匹配，因此第二個難題在於如何選用一個適當而穩健的相似度測量指標、提高複製區域比對的成功率[11]。

目前複製區域分析方法的其中一個不同點是對於計算出來的區塊特徵值採取不同的處理方式進行排序，以提高大量區塊特徵值比對的效率。例如：Fridrich et al.(2003) [11]、

Popescu & Farid(2004)[34]、與 Luo et al.(2006)[23]等學者的方法是先以類似辭典編纂〈lexicographic〉的方式對區塊特徵值進行排序，再進行相似度的衡量；而 Mahdian et al.(2007)[24]則是以 k-d tree 的資料結構表示法，加快特徵值相近之區塊的搜尋速度。另一個最主要的差異在於採用不同的區塊特徵表示法，如表 2 所示。

當偽造者以複製-移動方式進行數位影像竄改時，影像之中的複製區域與覆蓋區域的背景不一定能夠天衣無縫地融合在一起，此時一般人可能以肉眼就能夠識破影像遭到竄改的痕跡。為了產生一張以假亂真的偽造影像，偽造者通常會對複製區域進行如表 3 左方所列的各種影像處理。這些影像處理的操作可能並非有意規避偽造影像分析的偵測，但是對於複製區域分析方法確實造成一些困擾，因此在複製區域分析時，選用不同的區塊特徵表示法，有助於提高複製區域歷經不同的影像處理後、區塊相似度比對正確率。

表 3 為複製區域分析方法對抗影像處理的比較，表格中標示的圓圈表示分析方法的實驗中已經可以處理的各種影像處理，也就是對於區塊相似度的比對正確率不會受到如雜訊、JPEG 壓縮等影像處理的影響。由表中可以看出由於後期研究採用不同的區塊特徵表示法，在複製區域的經過多種影像處理後仍然能

表2 複製區域分析法採取的區塊特徵表示法

相關研究	區塊特徵表示
Fridrich et al.(2003)[11]	離散餘弦係數(DCT coefficients)
Popescu et & Farid (2004)[34]	主成分分析(PCA)
Luo et al. (2006)[23]	7 個特徵向量(詳見[23]) (1)分別在三個色彩平面(RGB)計算出三個特徵值 (2)在 Y 色彩平面($Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$)，以不同方向將區塊等份切割，計算四個特徵值
Mahdian et al. (2007)[24]	模糊動差不變量(blur moment invariants)

夠正確的進行相似度比對。

對於複製區域進行旋轉與比例縮放等操作也是製作出逼真偽造影像的重要手段，然而目前的複製區域分析方法都還未能夠處理這類的問題，因此本研究於下一節提出一個構想的方案以解決區塊旋轉後的比對問題。

4. 旋轉複製區域的偵測技術

基於 3.2 節所提到目前的複製區域分析方法尚未能夠解決的問題，本研究團隊嘗試提出一個結合現有複製區域研究與紋理分析領域研究成果的解決方案，其原理與偵測方法於以下兩小節進行說明。

4.1 本研究構想的原理

由 3.1.2 節的與圖 5 可以得知目前複製區域分析方法的基本概念，也就是將數位影像視為由畫素所構成的二維矩陣，接著利用滑動視

窗的處理方法計算每一個區塊的特徵值，最後再以特徵值做為不同區塊間相似度的衡量。

以圖 7 為例，上方是一張解析度為 2272×1706 畫素的數位影像，下方是將影像中兩個 32×32 畫素之區塊放大的結果。下方的兩個區塊就相當於 3.1.2 節中所介紹的複製區域分析步驟中、使用滑動視窗經過影像矩陣的不同區域所看到的影像區塊一樣，由下方兩張並列的區塊可以看出來自不同區域的影像區塊具有不同的紋理變化。在不同的區塊表現出不同紋理變化的基本概念下，本研究認為借助紋理分析領域的研究成果、將有助於解決目前複製區域分析方法尚未能夠解決的問題(見 3.2 節)。

紋理分析主要是對影像中的紋理圖案〈texture〉進行辨識、分類、與檢索的研究工作。在實際的應用上，同樣的紋理圖案在影像中的表示可能因為像機的拍攝角度、環境的光線照明條件等因素的不同，而產生不同旋轉角度、明暗 / 對比度、與不同尺度的顯示，因此

表3 複製區域分析方法對抗影像處理的比較表

相關研究影像處理	Fridrich et al. (2003)[11]	Popescu et & Farid (2004)[34]	Luo et al. (2006)[23]	Mahdian et al. (2007)[24]
平移 (translation)	○	○	○	○
增加雜訊 (additive noise)		○	○	○
JPEG 影像壓縮 (JPEG compression)		○	○	○
模糊化 (blurring)			○	○
對比調整 (contrast)				○
旋轉 (rotation)				
比例縮放 (scaling)				



圖7 數位影像中不同區塊的紋理圖案

進行紋理分析時，必須採取不同的策略以降低上列因素對於辨識結果的影響。對於經過旋轉之紋理圖案辨識，在相關領域中已經歷一段長久的研究、並發展出多種處理紋理旋轉不變特徵的辨識策略[2,3,6,7,13,14,19,25-31]。

以 Mellor, Hong, & Brady(2008)[28]的研究為例，他們採用多個濾波器的組合〈combinations of filters〉，能夠將紋理圖案轉換成旋轉方向〈rotation〉、對比調整〈contrast〉、與不同尺度〈scale〉不變的特徵表示法，即使將紋理圖案進行旋轉、對比調整、以及進行比例縮放後，對於紋理圖案的分類仍然具有不錯的辨識效果。因此本研究期望能夠將紋理分析對於影像紋理圖案辨識的長處、應用在複製區域分析工作，降低影像處理對於區塊比對正確率的干擾。

4.2 旋轉複製區域的偵測方法

本研究提出對於旋轉複製區域偵測的分析方法大致上與 3.1.2 節的所介紹的方法相同，主要的差異在於採取紋理分析中的旋轉不

變描述表達小區塊的特徵，分析方法如圖 8 所示。

(1) 影像矩陣使用滑動視窗處理。

如同目前已經提出的複製區域分析方法一樣，將數位影像視為由畫素所構成的二維矩陣，而使用滑動視窗一次移動一個畫素，逐一地計算小區塊的特徵值，圖 8(a)。

(2) 計算小區塊的特徵值。

這個步驟是以滑動視窗所在位置的影像資料計算區塊的特徵值，但是由於目前複製區域分析法所使用的區塊特徵表示法、其實驗結果尚無法對旋轉後的區塊與原來被複製的區塊進行相似度比對，因此我們建議可以探討紋理分析領域的旋轉、對比、尺度不變描述法[28]表達區塊特徵的可能性，以解決當下複製區域分析所面臨的難題，圖 8(b)。

(3) 區塊相似度的比對。

目前複製區域分析的方法主要是以小區塊比對的方式進行，在 3.1.2 節曾經提到需要比對的區塊數量十分龐大，因此在這個步驟中最重要的工作是要提高比對的效率，在相關的研究中是先對區塊特徵值進行排序、以降低最相似區塊搜尋的時間複雜度[11,23,24,34]。

一旦找到相似度最接近的區塊後，便可以使用 χ^2 做為兩區塊〈相當於不同紋理圖案〉的紋理區塊相似度衡量指標[28]，若是超過一定門檻值，則認為兩區塊的紋理圖案是相同的，圖 8(c)。

(4) 繪製複製區域的位置。

在這裡我們採用 Farid(2003)[8]與 Luo et al.(2006)[23]對於自然影像特性的看法，也就是一般來說在自然影像中不太可能會出現面積大於影像尺寸一定比例的重覆區域，若是有這樣的現象出現，那麼我們就必須質疑數位影像的真實性。

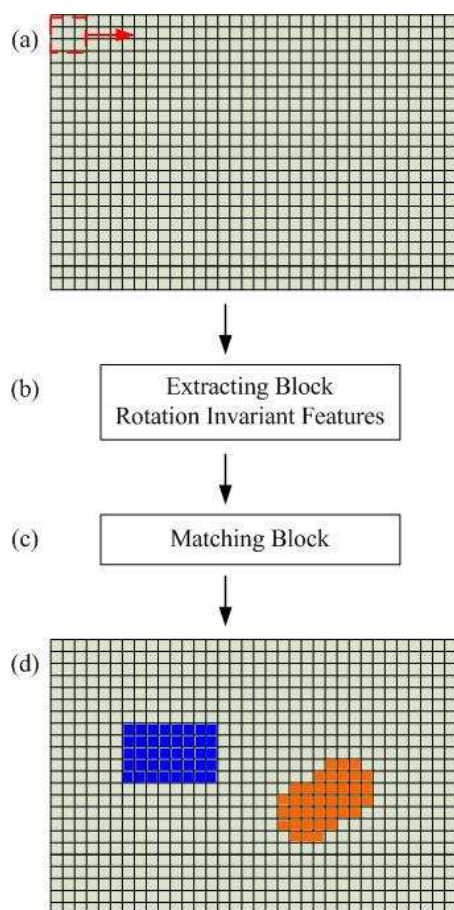


圖8 旋轉複製區域分析方法

當分析出一群彼此連接的相似區塊後，我們可以採用如同 Luo et al. 的方法、進一步計算這些重覆出現的區域是否超過數位影像尺寸的一定比例[23]。在確定偵測出複製區域後，接著在影像矩陣中將這些複製區塊標示出來，就可以在影像矩陣中看到兩塊面積約略相等的重覆區域，圖 8(d)。最後，圖 8(d) 可以做為一個影像遮罩，我們可以把它跟原來數位影像進行重疊，以肉眼檢視相對應的兩片區域是否具有高度相似性。

5. 本研究尚待解決的問題

本研究在第 4 節所提出的旋轉複製區域分析方法在目前僅止於一個初步的構想，對於這個方法在實際偽造數位影像的應用，還有待規劃、設計一系列嚴謹的實驗，以觀察這個方法對於經過旋轉、尺度縮放、與對比 / 明暗度調整之區塊比對的實際效果。

就紋理分析來看，紋理辨識實驗設計所使用的紋理圖案是屬於比較大型的影像區塊，如此一來可以藉由較多的畫素資訊求得一個比較準確的紋理特徵描述〈feature descriptor〉，而複製區域分析基於下列理由必須採取相對較小影像區塊做為特徵運算的輸入單元。

以圖 9 做為說明範例，在影像中存在兩片重覆區域，左邊表示原來的區域，寬度、高度為 8×5 ，右邊則表示經過旋轉後的複製區域。圖 9(a) 所使用的滑動視窗尺寸為 3×3 ，略小於所要偵測的區域，當進行一次移動一個畫素的方式掃描過複製區域時，用來計算區塊特徵的畫素資訊全部都是屬於複製區域範圍內的畫素，因此區塊特徵的相似度會相當地高。反之，圖 9(b) 的滑動視窗尺寸為 10×10 ，當經過複製區域計算區塊特徵時，因為做為區塊特徵值運算的畫素有一部分是來自複製區域範圍外的資訊，在進行區域相似度衡量時，若是採取較嚴格的門檻值篩選，那麼很容易將實際上應該是重覆區域的區塊給排除掉，造成複製區域分析上的誤差。

因此，要將紋理分析的旋轉不變特徵描述、應用在複製區域的分析工作時，我們必須以小區塊的紋理變化圖案進行實驗，驗證紋理分析中的旋轉不變特徵描述應用在小區塊辨識、相似度比對的區別能力，讓這樣的不變特徵描述能夠實際應用在目前偽造數位影像鑑識的研究之中。

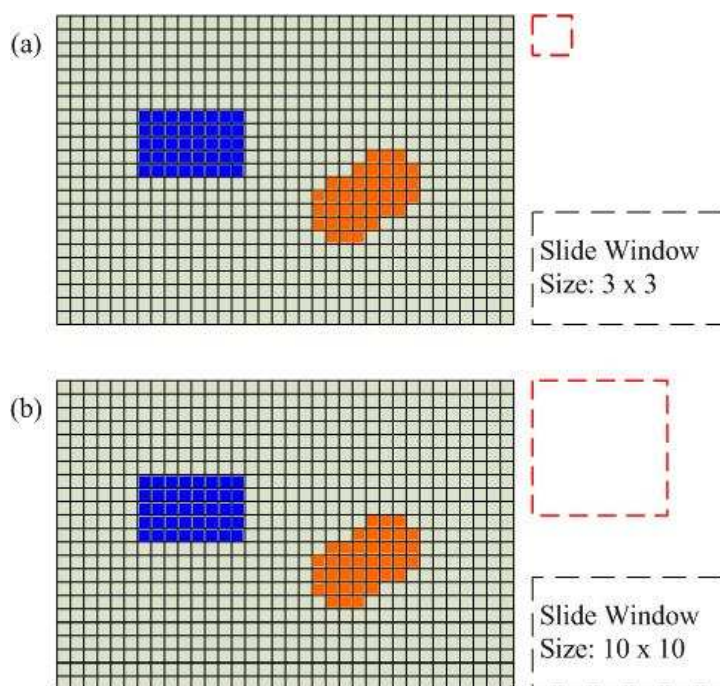


圖9 滑動視窗尺寸對於複製區域分析的影響

6. 結論

本研究的結論就研究貢獻與後續研究工作加以說明，分述如下。

6.1 研究貢獻

常見的數位影像竄改是在影像中複製一塊紋理複雜的區域，移動、貼到同一張影像上的另一塊區域，藉此抹除掉影像中可能的重要跡證、扭曲影像原來所要表達的意義。本研究的第一個貢獻是對目前可用以偵測偽造數位影像的複製區域分析方法進行介紹，目前的偵測技術對於複製區域的主要分析步驟大致相同，是利用滑動視窗逐次拜訪影像矩陣中的重疊區塊、計算區塊特徵值、並比對區塊相似度以尋找出影像之中的重覆區域。

這些複製區域分析方法的主要差異點在於採用了不同的區塊特徵表示法，特徵表示法的不同，關係著區塊比對的正確率、以及複製區域經過不同的影像處理之後，是否還能夠被正確地比對出來。偽造者對複製區域進行增加

雜訊、模糊化、對比調整等影像處理是為了使竄改部分不易被肉眼所察覺，但是這種操作卻可能使得複製區域的分析更加困難。目前分析方法所採用的區塊特徵表示法，在複製區域經過平移、增加雜訊、JPEG 壓縮、模糊化、與對比調整後，仍然可以有效地比對出影像中的重覆區域，但是對於旋轉與比例縮放等兩種常見的影像處理，則尚未提出較佳的解決方案。因此，本研究的第二個貢獻則是提出一個以現有複製區域分析為基礎、結合紋理分析的方案，期望這個新的方法能夠解決目前進行數位影像複製區域分析時的問題。

6.2 後續研究工作

經過第 3 節對於複製區域分析的相關研究進行介紹與比較之後，我們可以看到這方面的研究工作經過多年的發展之際，仍然有許多值得努力的空間。我們的研究團隊於第 4 節提出一個結合不同研究領域的構想，希望能夠扮演解決偽造數位影像問題的一塊小拼圖，並逐

漸排列出鑑識偽造數位多媒體這片新興研究領域的完整架構。

本研究基於現有複製區域分析方法使用滑動視窗進行影像分析的概念，將受到滑動視窗所遮罩的範圍當做一塊具有紋理圖案的影像區塊。目前這個構想的問題在於使用紋理分析的方法處理相對較小的紋理圖案時，因為畫素資訊量較少的關係，是否還能夠求得一個準確、具有區別效力的旋轉不變特徵描述？基於上述理由，本研究團隊的後續研究工作將設計一套嚴謹的實驗步驟以驗證紋理特徵描述應用在複製區域分析上的效果，實驗的觀察可分為兩個重點：

- (1) 將紋理分析的旋轉不變特徵描述應用於各種固定大尺寸的影像進行分析〈例如 512×512 〉，觀察此種不變特徵描述對於不同的固定尺寸影像是否具有區別力。
- (2) 將紋理不變特徵描述應用在同一張影像上、相對較小尺寸的影像區塊比對，觀察此種特徵描述在小區塊紋理辨識的效果。更進一步的實驗設計則是逐次縮小影像區塊的尺寸、求得可應用的臨界值，而決定滑動視窗的可用尺寸。

參考文獻

- [1] Al Baloshi, M. and Al-Mualla, M. E., "A Dct-Based Watermarking Technique for Image Authentication," *2007 IEEE/ ACS International Conference on Computer Systems and Applications*, pp. 754-760, 2007.
- [2] Arivazhagan, S., Ganesan, L., and Priyal, S. P., "Texture Classification Using Gabor Wavelets Based Rotation Invariant Features," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 27, No. 16, pp. 1976-1982, 2006.
- [3] Campisi, P., Colonnese, S., Panci, G., and Scarano, G., "Reduced Complexity Rotation Invariant Texture Classification Using a Blind Deconvolution Approach," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 28, No. 1, pp. 145-149, 2006.
- [4] Chang, H. T., Wu, C. Y., and Kuo, C. J., "Image Authentication and Tampering Localization Based on Watermark Embedding in The Wavelet Domain," *2004 7th International Conference on Signal Processing Proceedings*, pp. 2332-2335, 2004.
- [5] Coelho, F. B., Barbar, J. S., and Do Carmo, G. S. B., "The Use of Watermark and Hash Function for The Authentication of Digital Images Mapped Through The Use of The Wavelet Transform," *Second International Conference on Internet and Web Applications and Services*, ICIW'07, 2007.
- [6] Cohen, F. S., Fan, Z., Patel, M. A., "Classification of Rotated And Scaled Textured Images Using Gaussian Markov Random Field Models," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 13, No. 2, pp. 192-202, 1991.
- [7] Deng, H. and Clausi, D. A., "Advanced Gaussian MRF Rotation-Invariant Texture Features for Classification of Remote Sensing Imagery," *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 685-690, 2003.
- [8] Farid, H., "Digital Doctoring: How to Tell The Real from The Fake," *Significance*, Vol. 3, No. 4, pp. 162-166, 2003.

- [9] Farid, H., "Creating and Detecting Doctored and Virtual Images: Implications to The Child Pornography Prevention Act," **Technical Report**, TR2004-518, Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, 2004.
- [10] Fridrich, J., "Image Watermarking for Tamper Detection," **IEEE International Conference on Image Processing**, pp. 404-408, 1998.
- [11] Fridrich, J., Soukal, D., and Luká?, J., "Detection of Copy-Move Forgery in Digital Images," **Proc. Digital Forensic Research Workshop**, Cleveland, OH, 2003.
- [12] Inoue, H., Miyazaki, A., and Katsura, T., "Wavelet-Based Watermarking for Tamper Proofing of Still Images," **IEEE International Conference on Image Processing**, pp. 88-91, 2000.
- [13] Jafari-Khouzani, K. and Soltanian-Zadeh, H., "Radon Transform Orientation Estimation for Rotation Invariant Texture Analysis," **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Vol. 27, No. 6, pp. 1004-1008, 2005.
- [14] Janney, P. and Yu, Z., "Invariant Features of Local Textures - A Rotation Invariant Local Texture Descriptor," **IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, pp. 1-7, 2007.
- [15] Johnson, M. K. and Farid, H., "Exposing Digital Forgeries by Detecting Inconsistencies in Lighting," **Proceedings of the 7th Multimedia and Security Workshop 2005**, pp. 1-9, 2005.
- [16] Johnson, M. K. and Farid, H., "Exposing Digital Forgeries in Complex Lighting Environments," **IEEE Transactions on Information Forensics and Security**, Vol. 2, No. 3, pp. 450-461, 2007.
- [17] Johnson, M. K. and Farid, H., "Exposing Digital Forgeries Through Chromatic Aberration," **Proceedings of the Multimedia and Security Workshop 2006**, pp. 48-55, 2006.
- [18] Kim, I., Han, S.-S., and Shin, J.H., "An Improved Tamper-Detection Method for Digital Images," **IEEE International Symposium on Industrial Electronics**, Vol. 1, pp. 227-231, 2001.
- [19] Lahajnar, F. and Kovacic, S., "Rotation-Invariant Texture Classification," **Pattern Recognition Letters**, Vol. 24, No. 9-10, pp. 1151-1161, 2003.
- [20] Lee, J.-B., Yoon, Y.-I., Doo, K.-S., Har, D.-H., and Choi, J.-S., "Detecting Digital Forgeries Using of a Lighting Direction," **2007 International Conference on Consumer Electronics**, 2007.
- [21] Lin, P. L., Hsieh, C.-K., and Huang, P.-W., "A Hierarchical Digital Watermarking Method for Image Tamper Detection and Recovery," **Pattern Recognition**, Vol. 38, No. 12, pp. 2519-2529, 2005.
- [22] Luká?, J., Fridrich, J., and Goljan, M., "Detecting Digital Image Forgeries Using Sensor Pattern Noise," **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering**, 2006.
- [23] Luo, W., Huang, J., and Qiu, G., "Robust Detection of Region-duplication Forgery in Digital Image," **18th International Conference on Pattern Recognition**, Vol. 4, pp. 746-749, 2006.
- [24] Mahdian, B. and Saic, S., "Detection of Copy-move Forgery Using a Method Based on Blur Moment Invariants,"

- Forensic Science International*, Vol. 171, pp. 180-189, 2007.
- [25] Manian, V. and Vasquez, R., "Scaled and Rotated Texture Classification Using a Class of Basis Functions," *Pattern Recognition*, Vol. 31, No. 12, pp. 1937-1948, 1998.
- [26] Manthalkar, R., Biswas, P.K., and Chatterji, B.N., "Rotation and Scale Invariant Texture Features Using Discrete Wavelet Packet Transform," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 24, No. 14, pp. 2455-2462.
- [27] Manthalkar, R., Biswas, P.K., and Chatterji, B.N., "Rotation Invariant Texture Classification Using Even Symmetric Gabor Filters," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 24, No. 12, pp. 2061-2068, 2003.
- [28] Mellor, M., Hong, B.-W., and Brady, M., "Locally Rotation, Contrast, and Scale Invariant Descriptors for Texture Analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 30, No. 1, pp. 52-61, 2008.
- [29] Muneeswaran, K., Ganesan, L., Arumugam, S., and Soundar, K. R., "Texture Classification with Combined Rotation and Scale Invariant Wavelet Features," *Pattern Recognition*, Vol. 38, No. 10, pp. 1495-1506, 2005.
- [30] Ojala, T., Pietikainen, M., and Maenpaa, T., "Multiresolution Gray-Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No. 7, pp. 971-987, 2002.
- [31] Pietikainen, M., Ojala, T., and Xu, Z., "Rotation-Invariant Texture Classification Using Feature Distributions," *Pattern Recognition*, Vol. 33, No. 1, pp. 43-52, 2000.
- [32] Popescu, A. C. and Farid, H., "Exposing Digital Forgeries by Detecting Traces of Resampling," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 53, No. 2, pp. 758-767, 2005.
- [33] Popescu, A. C. and Farid, H., "Exposing Digital Forgeries in Color Filter Array Interpolated Images," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 53, No. 10, pp. 3948-3959, 2005.
- [34] Popescu, A.C. and Farid, H., "Exposing Digital Forgeries by Detecting Duplicated Image Regions," *Technical Report*, TR2004-515, Department of Computer Science, Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, 2004.
- [35] Prasad, S. and Ramakrishnan, K. R., "On Resampling Detection and Its Application to Detect Image Tampering," *2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 1325-1328, 2006.
- [36] Swaminathan, A., Wu, M., and Liu, K.J. R., "Intrinsic Fingerprints for Image Authentication and Steganalysis," *Proceedings of SPIE-IS and T Electronic Imaging - Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX*, 2007.
- [37] Wang, J. and Zhang, H., "Exposing Digital Forgeries by Detecting Traces of Image Splicing," *8th International Conference on Signal Processing*, Vol. 2, 2007.
- [38] Wang, M.-S. and Chen, W.-C., "A Majority-Voting Based Watermarking Scheme for Color Image Tamper Detection and Recovery," *Computer Standards and*

- Interfaces*, Vol. 29, No. 5, pp. 561-570, 2007.
- [39] Wu, H.-C. and Chang, C.-C., "Detection and Restoration of Tampered JPEG Compressed Images," *Journal of Systems and Software*, Vol. 64, No. 2, pp. 151-161, 2004.
- [40] Wu, J., Zhu, B. B., Li, S., and Lin, F., "A Secure Image Authentication Algorithm with Pixel-Level Tamper Localization," *2004 International Conference on Image Processing*, Vol. 3, pp. 1573-1576, 2004.
- [41] Wu, Y., "Detecting Tampered Image Blocks Using Error Correcting Code," *2004 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, Vol. 4, pp. 2047-2050, 2004.
- [42] Xie, R., Wu, K., Li, C., and Zhu, S., "An Improved Semi-Fragile Digital Watermarking Scheme for Image Authentication," *2007 IEEE International Workshop on Anti-counterfeiting, Security, Identification*, pp. 262-265, 2007.
- [43] Yeh, F.-H. and Lee, G. C., "Content-Based Watermarking in Image Authentication Allowing Remedying of Tampered Images," *Optical Engineering*, Vol. 45, No. 7, 2006.
- [44] Zhang, Y.-D., Tang, S., and Li, J.-T., "Secure and Incidental Distortion Tolerant Digital Signature for Image Authentication," *Journal of Computer Science and Technology*, Vol. 22, No. 4, pp. 618-625, 2007.
- [45] Zhu, H., Zhao, C., and Tang, C., "A Fragile Watermarking Scheme for Tamper Detection and Recovery of Image," *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, Vol. 2, pp. 9748-9751, 2006.
- [46] Zhu, X., Ho, A. T.S., and Marziliano, P., "A New Semi-Fragile Image Watermarking with Robust Tampering Restoration using Irregular Sampling," *Signal Processing: Image Communication*, Vol. 22, No. 5, pp. 515-528, 2007.