

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：英國華威大學進修報告

頁數 37 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台電公司人力資源處/陳德隆/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

張志遠/台電公司/第四核能發電廠/十等一般工程師/02-24903550

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：95.12.31~97.10.31 出國地區：英國

報告日期：97.12.31

分類號/目

關鍵詞：影像處理

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、進修計畫緣由及目的。
- 二、出國行程概述。
- 三、華威大學簡介。
- 四、在英國期間遭遇之困難及獲得的協助。
- 五、進修主題與心得：

數位影像驗證 - 主要之研究目的是針對充斥在人們日常生活中且數量龐大的數位影像，利用數位影像處理技術來輔助確認所看到的照片是否真實且未經人為變造，尤其當影像做為法院呈堂證供時，其真實性是否經得起考驗，因此數位影像驗證(Digital Image Forensics)近年來成為新興的研究課題，除了利用相機之數位簽章來驗證影像之來源外，並針對數位簽章模擬不同之攻擊，以瞭解其對數位簽章之影響。

- 六、建議事項與感想。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

出國報告(出國類別：進修)

英國華威大學進修報告

服務機關：台灣電力公司第四核能發電廠

姓名職稱：張志遠 十等一般工程師

派赴國家：英 國

出國期間：95/12/31~97/10/31

報告日期：97/12/31

目 錄

壹、計畫緣由及目的.....	P2
貳、出國行程概述.....	P3
參、華威大學簡介.....	P4
肆、出國期間遭遇之困難及獲得的協助.....	P7
伍、進修主題與心得	
一、以內容為基礎的影像搜尋系統 (Content-Based Image Retrieval)	P9
二、數位影像鑑定(Digital Image Forensics)	P18
陸、建議事項與感想	P30
參考文獻	P31

壹、計畫緣由及目的

核能電廠經過幾十年的發展與進步，電廠中各系統之控制系統已由傳統硬接線控制逐漸被現代化的電腦化網路控制系統所取代，台電現階段興建中的核四計畫一、二號機的儀控控制系統大量使用電腦來控制，電腦及網路成爲系統的核心。控制電腦化的趨勢，大大降低運轉員的負擔，但也增加系統的複雜性，同時加重維護的困難度。因此增進維護人員對數位化控制系統的應變處理能力，是一件刻不容緩的任務。

影像檢測目前已廣泛使用在產品品質的檢測，爲一種非接觸式的感測技術。影像技術雖已存在數十年，但因運算量大，一直無法提升其實用性，近年來拜電腦科技的不斷更新，以前費時的運算工作，已不再是這項技術的瓶頸，通常在電腦上透過軟體進行影像處理的演算，達到影像處理的效果。大部分影像處理的演算法都是由軟體執行，在需要快速且即時處理影像資料時，則會透過硬體提供高速的運算。

在電廠運轉中，常需要運轉人員定期檢視設備運轉狀況，且以目視檢測，這種方式難免有疏漏之處；若能以高解析度攝影機搭配適當的軟體，即可全年無休地監視設備運轉狀況，一旦有異常發生，影像軟體會根據設定的參數自動產生警報，以通知人員處理。

本人於 95 年參加公司「菁英留學計畫」出國進修人員甄選，該年度共選派 10 人，本人有幸通過徵選，獲得公司資助出國進修兩年之機會，申請赴英國華威大學 (University of Warwick) 進修電腦科學博士學位。

貳、出國行程概述

時 間	地 點	工作概要
95 年 12 月 31 日~96 年 1 月 1 日	桃園國際機場→倫敦 Heathrow 國際機場→考文垂	去程(台北→倫敦→考文垂)
96 年 1 月 1 日~97 年 10 月 30 日	英國華威大學	攻讀電腦科學博士學位
97 年 10 月 30 日~10 月 31 日	考文垂→倫敦 Heathrow 國際機場→桃園國際機場	回程(考文垂→倫敦→台北)

參、華威大學簡介

華威大學是一所聞名遐邇的英國大學，名列英國十大著名學府，研究教學享有國際盛譽。華威大學於 1965 年獲得皇家特許，現有學生 15900 位，其中包括來自 106 個不同國家的 2500 位海外學生。大學位於英格蘭中部考文垂 Coventry 市郊，所在位置如圖 1，坐火車 1 個半小時（汽車兩小時）即可抵達倫敦。學校擁有三處現代化校園，較小的 Westwood 和 Gibbet Hill 校園距離中央校園大約 10 分鐘步行距離。華威大學下設三大學院：文學院、理學院和社會學院，1984 年大學建立了科學園區，位於英國主要商業區的戰略位置，目前園內設有 65 家高科技公司。大學周圍鄉間不乏歷史風景，如 Warwick 城堡、莎士比亞故居 Stratford-upon-Avon。



圖 1、華威大學所在地(Coventry)位置圖

華威大學不但教學方法富創意，而且校園生活國際化，擁有兩個圖書館，每週七天開放，網路電腦室一天 24 小時開放。大學的藝術中心是英國最大的藝術中心之一，包括兩家大型音樂廳、二所劇院、一家電影院和一個音樂中心；運動設施則包括游泳館，60 英畝的室外操場以及英國大學屈指可數 Frisbee 球場。校區內生活設施健全，學生會有五個大型酒吧、一個夜總會，一個無線電廣播電臺，還有餐館、書店和三家銀行；學生會組織的娛樂活動總是有大批觀眾。

華威大學名列英國十大學府，在研究教學評估中名列前茅，其中一些學科更被列入全英大學三強位置；有口皆碑的專業包括：MBA、商科、工程、經濟學與電腦科學。其他受到高度評價的專業包括：生物科學、教育、電影研究、法律、政治學與國際研究。在英國著名的 The Guardian Newspaper 的 Top10 評選中，華威排名第 4。華威大學的另一顯著特點是與金融界、商業界以及製造業的企業有密切聯繫，因此在畢業生就業方面表現出色

在華威大學進修電腦科學博士學位期間，Dr. Chang-Tsun Li 為本人論文之指導教授(Supervisor)，系主任 Dr. Roland Wilson 則為本人論文之 Advisor，Dr. Li 是個台灣人，曾在中正理工學院擔任助理教授，而後被 Dr. Wilson 延聘至英國擔任教職，兩人在影像處理領域均有卓越的學術成就。英國的博士課程不須選修課程，本人研究領域為影像處理，目前在電腦科學中佔有一定重要的份量，其理論亦應用在各種科技應用上。

在研究室裡，有來自各國的博士生，如中國、台灣、巴基斯坦、馬來西亞、印度，剛開始還真的聽不懂來自不同國家的人講英語的腔調，但相處久了，總算勉強聽懂他們的口語，中東的學生，他們甚至沒有學音標，所以有時發音純粹照著感覺；雖然離開學生生活已有一段時間，研究時常需要去復習一些以往久未接觸的數學，

博士生的留學生活中，沒有所謂的假期，得要安排自己的作息及進度，與碩士生按表操課的生活截然不同。

在研究的過程中，每年每人都要就自己的研究對系中全部的博士生做簡報，每星期也要參加不同的演講，汲取別人的經驗以啓發自己的研究。在三十分鐘的英文簡報中，用英文做簡報及回答聽者的問題，對於我來說是一個難得的經驗，雖然已有許多簡報經驗，但全程使用英文還是頭一遭，爲了一次簡報，不斷地對著鏡子反覆地練習，很幸運地通過了考驗；後來的第二次的簡報，就輕鬆不少。

肆、出國期間遭遇之困難及獲得的協助

在此次赴英國留學前，曾因公赴美分別在聖荷西及 Danbury CT 待了三個月及四個月，來英國前以為應該很快地適應英國的生活，不過發覺要適應英國生活，還真的得花一番功夫，在英國，似乎沒有「客戶至上」的觀念，對於習慣國內的客服服務方式的台灣人而言，每每遇上問題，就得花上起碼兩星期的時間才能獲得滿意的答案；相對地，在台灣往往一通電話就可輕鬆地解決生活上的一些問題，所以英國的生活對我來說，真的過得很辛苦；

英國物價高的名聲早已耳聞，但來了之後才真的見識到這種高物價的英國社會，在英國每月最大的花費，應該是住宿，學校所提供的宿舍雖然舒適，但相對地得付出高額的房租(420 鎊/月)，就公司提供的旅費來說，實在無法負擔；所以只能選擇校外住宿，約 250 鎊/月；而吃的問題，每天得展現我的好手藝，來填飽肚子。

華威大學裡的台灣學生每年約有一百多人，比起中國留學生一千多人並不算多，台灣留學生大多來這進修碩士課程，而中國留學生很多是從大學開始唸，雖然台灣人不多，但仍有台灣同學會的組織，隨時提供台灣學生所需的協助，並且不定時的舉行聚會提供大家資訊交流的管道，也結交一些年紀比我小上一輪的朋友，感受到他們的年輕活力。

在英國開立銀行帳戶也花了好一番功夫，因為國際學生身分關係需要學校協助開立證明才能申請銀行戶頭，另外還得準備一堆文件，申請表及文件交給銀行後還得等候審查而不是立即能取得帳戶，與台灣的作業程序完全不同，所以第一個月幾乎是天天身懷鉅款，還好終於在第二個月順利完成銀行開戶，也花了好一段時間才適應英國銀行的作業方式。

指導教授 Dr. Li 是個很好的教授，雖然他的工作相當忙碌，但他仍抽出時間與學生定期討論每個人的進度，關心每個學生在生活或課業上所遭遇的困難，不但從他那學習到做研究的方法，也間接學習到他的思考邏輯方式，及積極的處事態度。

在異國留學不易，生活上遭遇大大小小的困難，兩年在英國的生活一路上受到相當多人的幫助，才能克服種種困難，也豐富了自己的人生經歷。

伍、進修主題與心得

本研究主題，因指導教授於第二年改變研究主題，故分為兩個部份，進修第一年的主題為以內容為基礎的影像搜尋系統(Content-Based Image Retrieval)，第二年主題為數位影像鑑定(Digital Image Forensics)，將在以下章節分述研究主題內容。

一、以內容為基礎的影像搜尋系統(Content-Based Image Retrieval，簡稱 CBIR)

(一)簡介

此研究主題以內容為基礎的影像搜尋系統 Content-Based Image Retrieval (CBIR)，主要用來解決在現今電腦多媒體盛行的時代，所產生大量的多媒體檔案的搜尋的問題。

隨著電腦和網路的快速發展，數位影像的數目與使用也日益頻繁，如何讓使用者在這龐大的資料庫中有效率的搜尋自己想要的資訊，自然成爲一個熱門的話題。早期的影像檢索方式上仍然以文字爲主，例如使用影像的檔名、標題或關鍵字來描述影像的內容，然後把這些文字當作索引和影像一起儲存。由於每張圖都必須以人工的方式建立索引的關鍵字，面對日漸增大資料庫十分曠日費時，另外檢索時使用者選擇的索引關鍵對於結果好壞亦有相當大的影響。因此，有許多的研究工作者開始投入研究以影像內容(image content)爲查詢基礎的影像資料庫搜尋系統(Content-Based Image Retrieval 簡稱 CBIR)，以取代原先以文字爲基礎的查詢方式。

綜觀 CBIR 所應用的技術，從圖 2 的系統架構中，可以瞭解其使用的技術、方法

及流程。

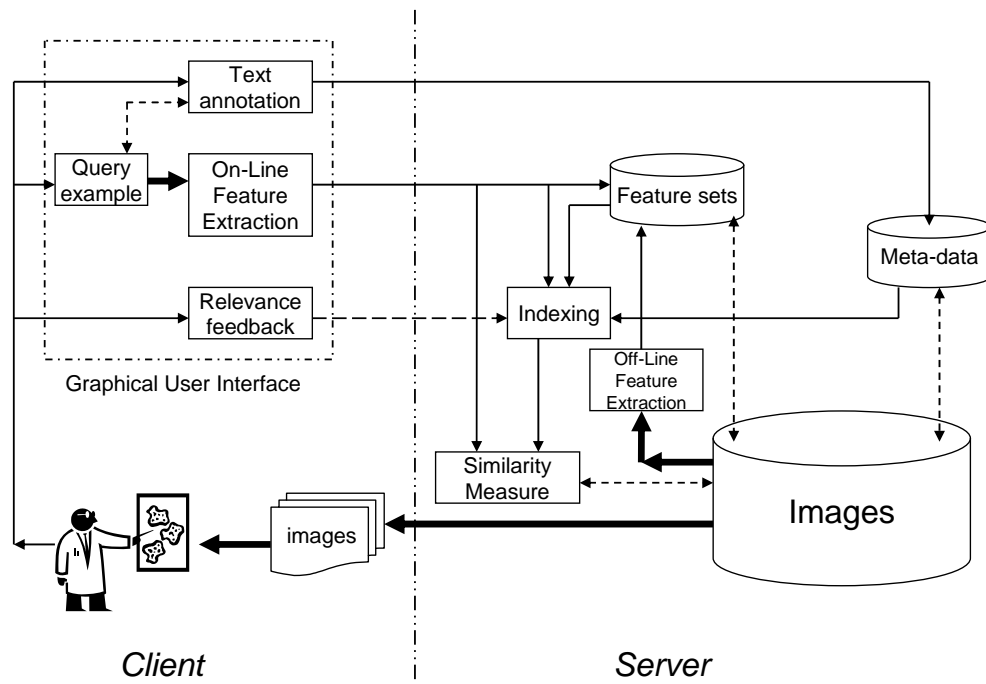


圖 2、CBIR 架構

(二)現今之應用系統

CBIR 是一個集合資料庫管理、資訊擷取及電腦視覺三種技術的一個新興的熱門研究課題。其可應用在不同的領域中，如網際網路搜尋引擎(Internet search engines)、犯罪預防，如指紋及臉孔辨識等。現在已存在許多實用的系統，如 QBIC, PhotoBook, VisualSeek, Blobworld 及 PicHunter。

QBIC

IBM QBIC(Query by Image Content)系統，是最早的擷取系統，可檢索的條件包括關鍵字和影像的顏色、紋理、形狀等特徵。在 QBIC 系統，提供三種查詢方式：

- 一、使用者可指定查詢影像中主要的顏色
- 二、查詢影像中相像素出現的機率
- 三、由使用者化出期望影像中所須要顏色物件之方塊，並設定其代表的形

狀。

俄國之 Hermitage Museum Project 採用 QBIC 系統的核心技術來檢索該館眾多藝術品資料。

PhotoBook

PhotoBook 是由麻省理工學院所開發的影像檢索系統。基本上也提供了以顏色長條圖、形狀和紋裡為查詢索引。所不同的是使用者可根據領域的不同自行選擇所需的特徵和比對的演算法，並提供了 FourEyes 這個互動式的學習代理人 (Interactive Learning Agent) 作為使用者介面，可根據使用者所提供的範例影像，自動建立並選擇最適於使用者的影像建模 (Modeling) 方式。

VisualSeek

VisualSeek，由哥倫比亞大學的新媒體技術中心所開發。將物件之間的空間關係亦納入考量以提高搜索的能力。

VisualSeek 影像檢索系統是一個能讓使用者在全球資訊網上進行影像及視訊搜尋，由哥倫比亞大學所開發，提供與其它系統不同的檢索的獨特功能，如結合內容與空間資訊查詢、自動區域提取，直接以顏色特徵檢索等功能，它允許使用者指定查詢影像的任意的區塊及其特徵的參數，並可提取出在影像資料庫所查詢到之影像的相似區塊。因此，其相似度量測是藉由比較影像的區塊而非整張影像。它用一顏色組 (colour set) 來代表每一個顏色區塊，從檢索此一顏色組來加快顏色比對的速度。除了顏色特徵外，它亦結合空間資訊，如尺寸、位置及與其它區域的關係。

Virage

VIR (Visual Information Retrieval) Image Engine 是由 Virage 公司所推出，除了搜尋引擎外，還有一些媒體管理的工具，VIR ImageEngine 是根據顏色及其相對位置、紋裡與形狀作為特徵，並可以讓使用者指定不同特徵的比重，

以達到最佳效果。

(三)特徵值的擷取

以能夠代表影像內容的特徵當作索引的條件，並在系統中自動擷取，將可大幅提昇檢索效能，其中常用的低階(low level)的影像特徵，包括影像的顏色(color)、紋理(texture)、形狀(shape)…等。

1. 顏色(color)

顏色特徵的使用十分普遍，以人類視覺而言，顏色是最自然的影像特徵之一。可分為整張圖的顏色分佈比例主要顏色及顏色位置的比對，常見的就是以彩色直方圖(color histogram)為特徵，其優點為運算簡單且不受影像平移與旋轉所影響，但無法取得空間上的資訊，所以兩張完全不同的影像可能會有相同的結果因此往往須配合其他特徵值的使用。

2. 紋理(Texture)

幾乎所有物質的表面都是紋理特性，紋理包括物質表面的結構排列及其周遭環境的環境紋理辨識，在影像處理中用來描述紋理的三種方式為統計的、結構上的和頻譜的方法[4]。對人類而言極為容易，但是藉由電腦來處理卻有其困難度，因此如何自動化辨識與分析亦是一門研究課題。

3. 形狀(Shape)

將影像形狀視為特徵的好像，在於形狀不會因為影像平移、旋轉而改變，形狀演算法的基礎是建立在將影像加以邊緣增強邊緣檢測與邊緣。

4. 語意(Semantic)

之前所述之特徵(顏色紋理形狀)一般稱為低階(low-level)的查詢方式。而語意稱為高階(high-level)的查詢方式，使用者可跟根據影像的內容或意義來查詢想要的影像，此種的查詢方式必須在資料庫建立時，經由人力對影像內容

加以詮釋。

(四)相似度量測(Similarity Measures)

相似度(Similarity)量測是由比較在特徵空間之特徵值而得到。主要有四類相似度量測：顏色 (Color)、紋理(texture)、形狀(Shape)及物件與關係相似度(object and relationship)。直方圖比對(Histogram matching)廣泛地使用在大部份影像檢索系統中，例如 QBIC, VisualSeek 等。全域的直方圖(global histogram)的缺點在其易受強度變化(intensity variations)、顏色扭曲(colour distortions)及裁切(cropping)的影響。除此之外，還包括 region-based image comparison, an integrated region matching (IRM) approach, and unified feature matching (UFM) for region-based image retrieval 亦已被提出以使影像檢索取得較佳的結果。

(五)相關性反饋(Relevance Feedback)

古諺 “An image is more than a thousand words” 描繪出影像語意的豐富性。語意鴻溝(semantic gap)存在於由影像內容中所萃取的低階特徵值與人類視覺感官的高階概念。例如，從名畫“蒙娜麗莎的微笑”，很難利用低階特徵值去代表「微笑」的語意，因為微笑在人類的視覺感官上是主觀的，導致因不同人而有不同的詮釋。語意鴻溝目前仍是 CBIR 企待克服的主題。

相關性反饋首次被提出於 MARS 影像檢索系統，主要是結合人類感官與電腦的輔助來增進系統的效能。藉由使用者的介入，動態反饋由人類感官的輸入來訓練系統，以減低語意鴻溝並趨近人類主觀的意識。

減低語意鴻溝的處理方式可分為離線式及在線式，離線式包括監督式學習(supervised learning)，非監督式學習(unsupervised learning) 或 結合兩者方式來進行。而在線式(on-line)則包括相關性反饋 (relevance feedback) 及統計分類(Statistical classification)，相關性反饋由系統提供使用者輸

入界面，以提供使用者針對檢索結果的意見。統計分類則具相似內容的檢索結果，根據低階特徵值，將檢索結果分成若干類別。

大部分的影像檢索系統專注在查詢影像與目標影像的相似性的量測上，卻忽略了目標影像間的相似度量測。CLUE 方法 (CLUster-based rEtrieval of images by unsupervised learning)被提出，加入了目標影像間的相似度量測，以完全利用了相似度來增進系統的效能。此系統的檢索結果為以群為單位，而非傳統的有序對的檢索結果。

(六)乳房 X 光片檢查(Mammography)之應用

根據衛生署最新的統計，我國女性乳癌的發生率正逐年增加中，而且一年之內的上升幅度高達 14%，目前已攀升至女性罹患癌症的第 2 位，預估台灣每年約有將近 4,000 多名婦女罹患乳癌，同時它也是女性癌病死亡率第 5 位。另外，相較於歐美，我國乳癌患者的年齡比較輕，同時罹病年齡也有逐漸下降的趨勢，因此實在是不容我們忽視的一種疾病。圖 3 所示為女性胸部構造剖面圖。

Anatomy of the Female Breast

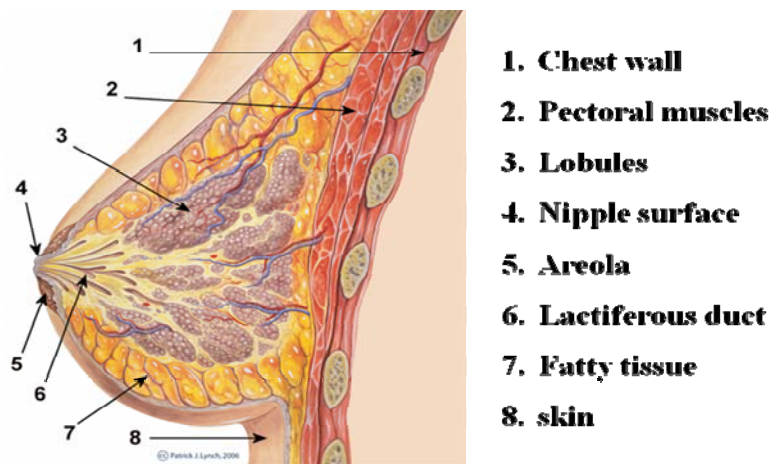


圖 3、女性胸部構造剖面圖

由於乳癌已成為導致女性死亡的主因，放射線乳房攝影篩檢成為檢驗乳癌

很重要的一項利器，但由於放射線攝影的限制及受乳房組織的干擾，放射線醫生無法以目視從 X 光片找出很細微的病灶；因此，藉由使用 CBIR 的技術來找出影像資料庫中類似的影像以供醫生做比對參考，可輔助醫生來檢視 X 光片，避免誤判或疏忽。

放射線乳房攝影篩檢時，會對左右胸部拍攝上下及側邊各兩張 X 光照片，如圖 4 所示，乳癌主要的病徵為 Mass 及 Microcalcification，如圖 5 所示。在實驗中，使用了南佛羅里達大學(University of South Florida)所建立的 DDSM 資料庫(Digital Database for Screening Mammography) ，來進行影像分割算法之測試。

- Two projections (MLO and CC) are taken for each breast.

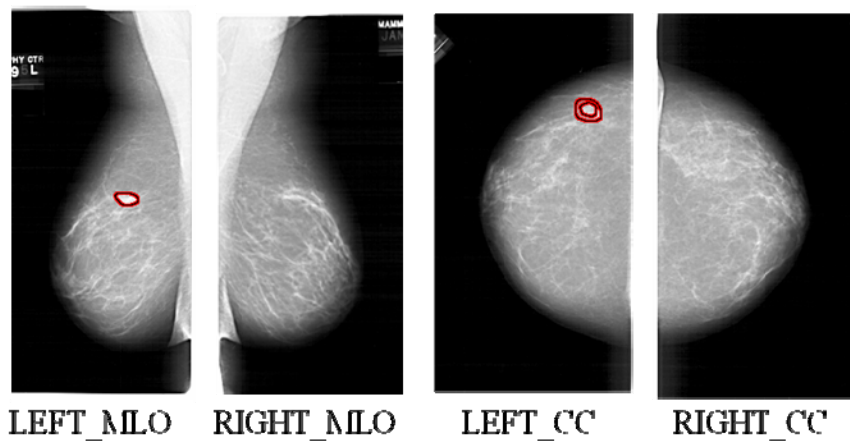
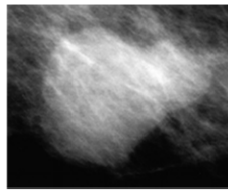


圖 4、4 張乳癌 X 光片檢查影像

- Masses



- Microcalcification

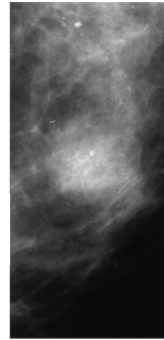
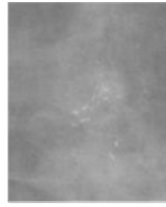


圖 5、乳癌主要病徵 (Mass 及 Microcalcification)

實驗中，我們使用了 Region Growing 算法及 Level Set 方法來對乳房 X 光篩檢影像做影像分割。Region Growing 算法是基於一個預定的準則 (criteria)，將我們所感興趣的部份(如 Mass 或 Microcalcification)，從其中一個種子畫素(Seed)開始逐漸擴展，使得 Mass 或 Microcalcification 能夠分割出來，分割結果如圖 6 所示。

Region Growing 演算法如下：

```
SET Seed to the value of the brightest pixel
SET var1 to the result of the first region growing operation
FOR ( Intensity = n1; step= 2; n2 )
    IF abs (neighborhood - seed) < Intensity THEN
        add the pixels into the region which include the seed.
    ENDIF
    SET var2 to the area of new region growing
    IF ( var2/var1 < 1.07 ) THEN /* "1.07" is experiment value
*/
        SET var1 to var2
    ENDIF
ENDFOR
SET output to var1
```

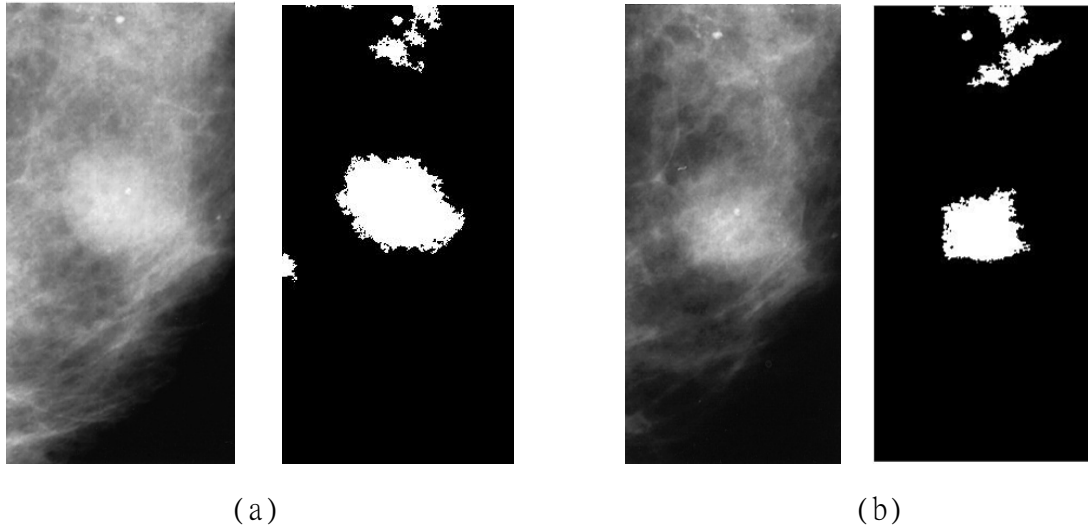


圖 6、以 Region Growing 方法做影像分割結果

另一個影像分割實驗所使用的 Level Set 方法其原理簡述如下：

考慮 Zero Level Set $x(t)$ 所對應的 Level Set 函數 ϕ ，則有

$$\phi(x(t), t) = 0 \quad (1)$$

對 Eq(1) 兩邊求關於時間的偏導數，得

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \nabla \phi(x(t), t) * \frac{\partial x}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

假設 F 為外法向量方向的速度，則

$$\frac{\partial x}{\partial t} * n = F, \text{ 此處 } n = \nabla \phi / |\nabla \phi|.$$

因此，我們便得到基本方程式

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + F |\nabla \phi| = 0 \quad (3)$$

除此基本方程式之外，還有其它一些方程式，它們都能從 Eq.(1) 推導出來。基本方程式 Eq.(3) 是 Level Set 函數及對應的 Level Set 在法向量方向之力 F 的推動下的演化方程式。其一般性演算法為 (1) 設定 Level Set 函數的初始狀態；(2) 確定力 F 的形式；(3) 按基本方程式推導 Level Set 函數的各狀態；(4) 對於每一 Level Set 函數的狀態求解 Zero Level Set。圖 7 所示，為以 Level Set 算法做影像分割的結果。

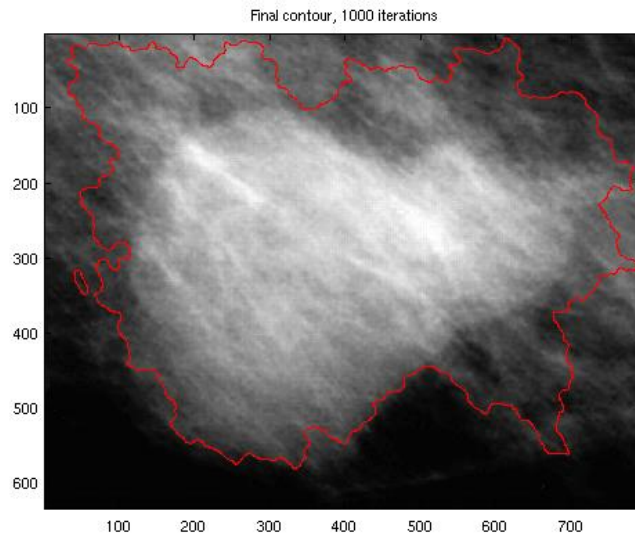


圖 7、以 Level Set 算法做影像分割結果

二、數位影像鑑定(Digital Image Forensics)

(一)簡介

由於多媒體與網路技術快速的發展，低價數位輸入設備隨手可得，如數位相機、掃描器等，使得多媒體資料如影像 (image)、視訊 (video)，可以很容易的取得，另因影像編輯軟體之普及且編輯功能強大，如 Photoshop or Paintshop 等，克服了傳統暗房的技術，使得完整無誤的複製或幾近無破綻的變造 (forge) 變得相當容易，再加上網際網路的助長，促使非法複製或變造的傳播更為快速。

爲了追查數位影像是否經惡意使用，近來新興的多媒體利用於數位浮水印技術 (digital watermarking) 之著作權保護的功能，可用來確認數位影像的真實性，是一相當新開發重要的核心技術，它的限制是須在影像產生前就內嵌在影像中。但目前普及的數位多媒體產品尚未配備此一功能，僅在一些專門且高價的商品才有這樣的機能。在數位照片裡，一般都會內嵌一項 EXIF 資訊 (EXchangeable Image file Format)，包含相機型號、拍攝時間及拍攝時相機的設定，這些資訊在經重新壓縮

或重新取樣等編修動作後，會到遭到破壞或遺失。

數位影像已存在許久，且數量龐大，充斥在我們的日常生活中。我們如何確認所拿到的照片是真實且未經變造的，著實需要有效的軟硬體來幫助確認，尤其當影像做為呈堂證供時，其真實性是否經得起考驗，也是人們所關心的，因此數位影像驗證(Digital Image Forensics)近年來成為新興的研究課題。

數位影像驗證研究領域，可分成多種不同的方向：相機來源驗證(source identification)、相機來源分類(source classification)及影像完整性驗證(integrity verification)。本文專注於相機來源驗證(source identification)，它主要以相機的指紋辨識(biometrics of camera)來區分影像的來源或影像是否經過變造。對於如 Google 等大型影像資料庫，因很難收集到全部市面上既有的相機產品之指紋，因此來源分類(source classification)則是我們感興趣的課程，如圖 8 所示。影像完整性驗證(integrity verification)則應用在如報章雜誌上所引用的影像，人們所關心的是其真實性，是否經過變造，如圖 9 所示。



1) From Scanner

(Image from H. Farid, "Digital Image Forensics", Scientific American, Jun, 2008)



2) From Computer

(Image from Wang Zhang, a Chinese computer painter)



3) From Digital Camera

圖 8、Source Classification



圖 9、Integrity Verification

在本文中，我們專注使用相機感測器之 pattern noise 做為相機之數位簽章，以用來辨別數位影像是用何種相機所拍攝；另外一些可能破壞數位簽章的潛在性攻擊也在我們的討論中。

(二)數位相機影像處理流程

數位影像鑑定利用了數位相機不同的軟體或硬體的特性，例如鏡頭系統輻射狀扭曲特性(lens radial distortion)、感測器缺陷(sensor imperfections)、彩色濾光片陣列插補算法(colour filter array (CFA) interpolation algorithms)及影像的固有特性等。

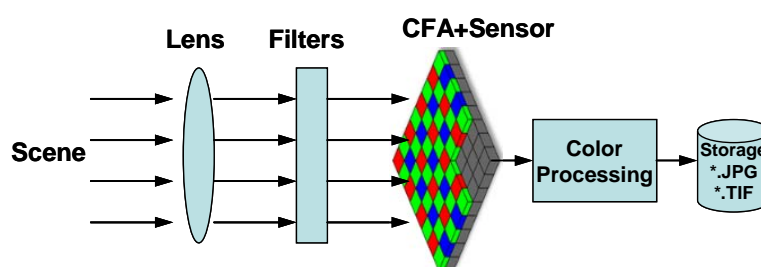


圖 10、數位相機影像處理架構

數位相機影像處理架構如圖 10，從圖中的流程來看，可意會到被攝物的光線透過鏡片系統、防變形濾光片及彩色濾光片，由感測元件上的光二極體元件所吸收。而後感測器的原生資料再經由彩色處理模組、雜訊抑低、咖嗎校正、白平衡、銳化及 JPEG 壓縮等後續處理。感測器為數位相機核心元件，用以獲取入射光線的

強度。數位相機所使用的感測器分為 CCD 或 CMOS 兩種感測器。由於感測器只具感測單一顏色的特性，為組成一張彩色照片，相機須使用三個感測器分別感測紅、黃、藍三原色，此方法僅使用在一些高階的數位相機上。數位相機製造商為降低相機的成本，改以彩色濾光片陣列(colour filter array)搭配插補算法(interpolation algorithm)並來達到可接受的效果。

(三)影像來源識別(Source Identification)

影像具有許多特徵值，可用來執行影像來源識別(source identification)的工作，例如鏡片系統的偏差(Lens aberration)，感測器缺陷（畫素缺陷及感測器模式雜訊, pattern noise)及 CFA 插補算法及影像特徵值。由於感測器模式雜訊 pattern noise 可應用於竄改檢測及相機來源檢測及它可耐受幾何變換而不改變，因此研究主題專注在使用 pattern noise 來做影像相機來源之檢測。

1. 感測器模式雜訊(Sensor Pattern Noise)

利用相機本身感應器（charge-coupled device (CCD)與 CMOS）所產生的「pattern noise」特性，處理數位相機辨識問題。相機的 pattern noise 是由一些因素產生，如像素的不一致性與光學元件干擾等，且每台相機即使是同一型號，在生產過程中所引進的 pattern noise（或稱為數位簽章）也有差異。在這方面，一個共通的做法是，利用數位影像處理的雜訊濾波器，將 pattern noise 擷取出來，再利用圖形識別領域理的分類器(classifier)做相機辨識（當然也對應著照片內容辨識）。

1.1 缺陷及雜訊

參考模式雜(reference pattern noise)被提出做為相機的數位簽章(digital signature)，圖 11 所示為分析影像感測器之雜訊來源，Pixel Non-Uniformity (PNU)

雜訊由於製造感測器之製程所產生，每一台相機的 pixel Non-Uniformity 均不同，因此可用來代表每一台相機的數位簽章，其它的雜訊，我們則使用不同的雜訊濾波器濾除，以得到純正的 PNU 雜訊。

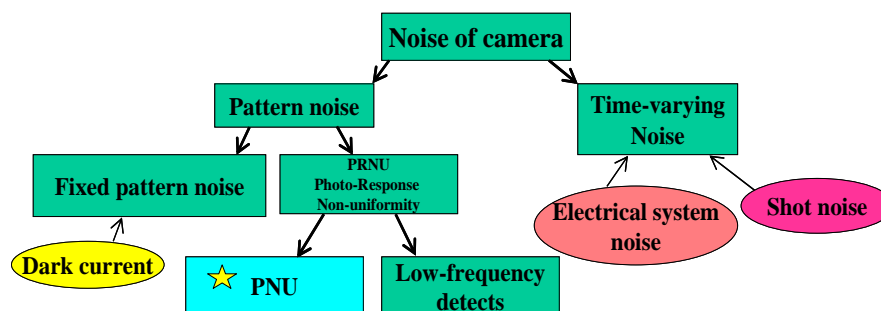


圖 11、Pattern noise of imaging sensors

1.2 相機識別算法 (Camera Identification Algorithm)

為了實驗驗證算法之需求，我們收集及建立一個數位影像資料庫，其內包括七種不同廠牌及型號的相機所拍攝的照片。每一種相機，拍攝 50 張藍色的晴空，主要是儘量維持 pattern noise 相同，使能夠準確地提取 reference pattern noise 做為某一相機唯一的數位簽章(signature)。另外隨機拍攝 200 張不同校園中景物的照片，以作為識別算法的測試影像。表 1 列出影像資料庫所使用相機之規格，拍攝時設定相同的畫素，使資料庫盡可能簡單化。

Camera Brand	Sensor	Native resolution	Image format
Canon IXUS 850 IS	1/2.5" CCD	2048*1536	JPEG
Canon A400	1/3.2" CCD	2048*1536	JPEG
Canon IXY 500	1/1.8" CCD	2048*1536	JPEG
Fujifilm S602Z	1/1.7" CCD	2048*1536	JPEG
Fujifilm A920	1/1.6" CCD	2048*1536	JPEG
Olympus FE-210	1/2.5" CCD	2048*1536	JPEG
Olympus C730UZ	1/2.7 " CCD	2048*1536	JPEG



表 1、影像資料庫之相機及照片規格

爲了提取每一相機的數位簽章，首先，將 50 張藍天的照片轉換至頻域，然後使用韋恩雜訊濾波器來提取每一張照片個別的 pattern noise。相片的 pattern noise 可以 Eq.(4)來達成。而 reference pattern noise P_c 則計算所有 50 張照片 n_k ($k = 1\sim 50$) 的平均值，作爲拍攝這些數位照片的數位簽章。從 Eq.(5)中可看出 P_c 是計算 50 張照片之 pattern noise 平均值。

$$n_k = I_k - F(I_k) \quad (4)$$

$$P_c = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n n_k \quad (5)$$

此處， n 是用來計算 reference pattern noise 的照片總張數 ($n=50$)； F 則是一個去雜訊濾波器，我們使用一個以小波爲基礎(wavelet-based)去雜訊濾波器； n_k 是從個別影像中所擷取出的 pattern noise。爲了辨識照片的來源，我們計算每一張影像之 n_k 與求得之相機的 reference pattern noise P_c 之間的相關度(correlation)。在本文中，定義了內相關度 “Intra-correlation”，代表測試影像之 pattern noise 與拍攝測試影像所用的相機之數位簽章

(reference pattern noise)間之相關度，外相關度(Inter-correlation) 代表測試影像之 pattern noise 與其他相機之數位簽章(reference pattern noise) 間之相關度。相關度的方程式如 Eq. (6)所示。

$$\rho_c(I_k) = \text{corr}(n_k, P_c) = \frac{(n_k - \bar{n}_k)(P_c - \bar{P}_c)}{\|n_k - \bar{n}_k\| \|P_c - \bar{P}_c\|} \quad (6)$$

在圖 12 中，我們使用了三台不同的數位相機 (A: Fujifilm FinePix S602Z, B: Canon IXUS 850IS, C: Olympus C730UZ)，以觀察 Intra-correlation 及 Inter-correlation 之間的關係。從圖中可看出 ρ_{AA} 、 ρ_{BA} 及 ρ_{CA} 之分佈曲線的關係，可用以判斷分辨影像是利用那一台相機所拍攝。

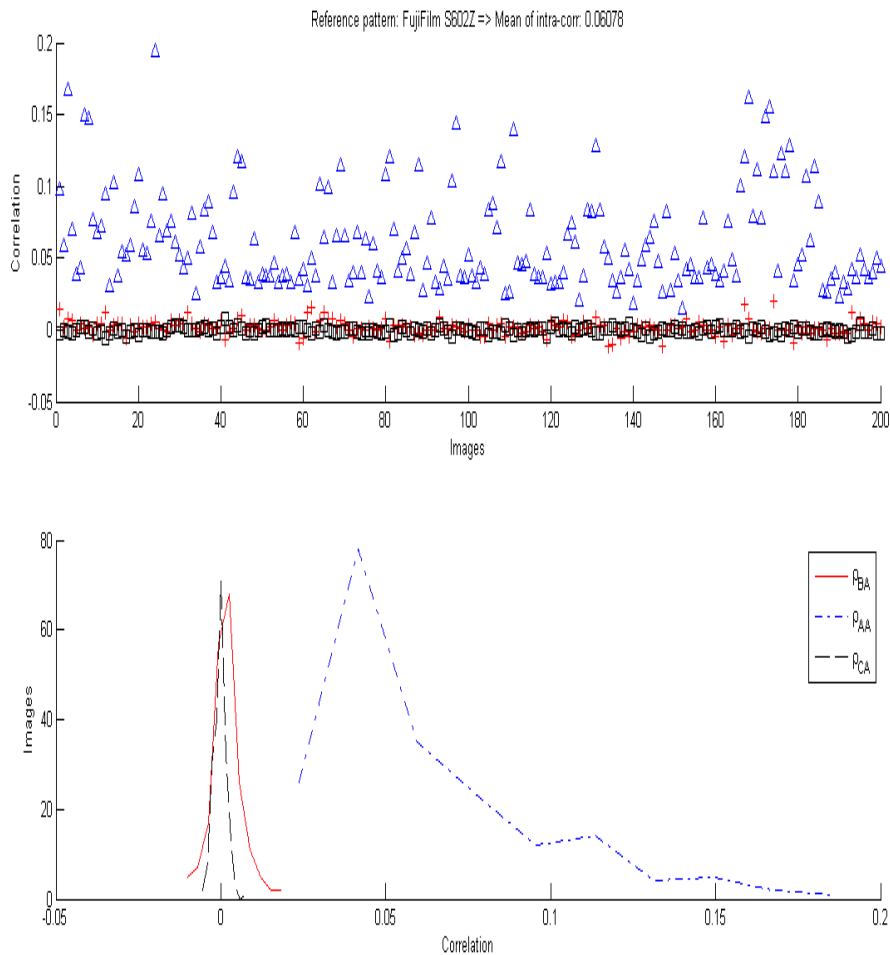


圖 12、Experimental results of source identification

2. 潛在性的攻擊

由於 pattern noise 具有相加性，其可能受人蓄意篡改，使其避開相機來源辨識檢測軟體的檢測，藉以誤導刑事鑑定的結果。下面我們用兩個方法來模擬針對 pattern noise 所做的攻擊，這些結果可讓我們進一步瞭解 pattern noise 一些現象。

2.1 簽章取代(Signature Substitution)

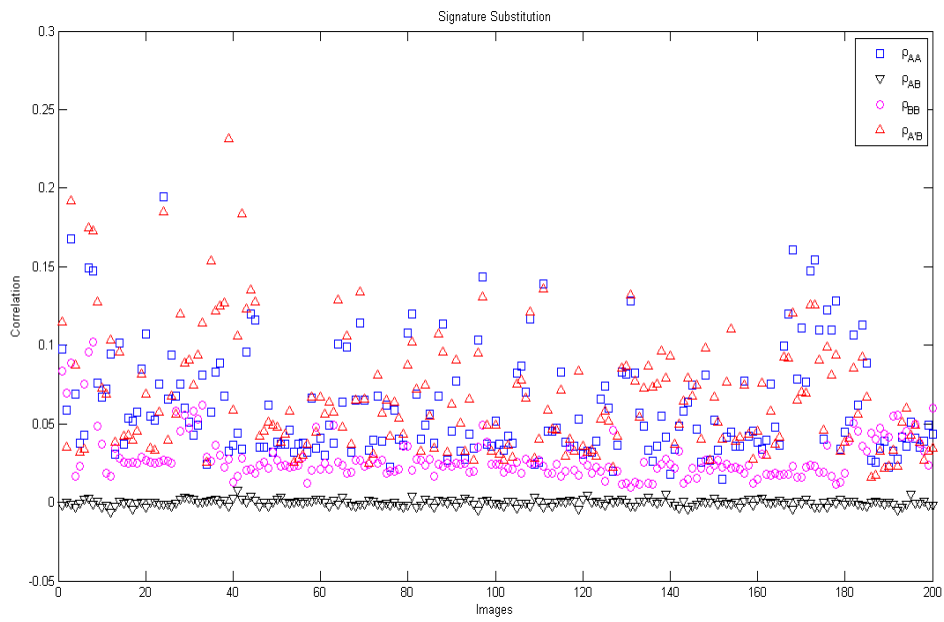
一種可能的攻擊是簽章取代(signature removal)，此攻擊，移除原來相機 A 的數位簽章，並內嵌入相機 B 的數位簽章，使相機來源辨識器誤判影像的來源為相機 B。以下在方程式 Eq.(7) 定義簽章取代的攻擊行為。

$$I_{A'} = I_A - \alpha P_A + \beta P_B \quad (7)$$

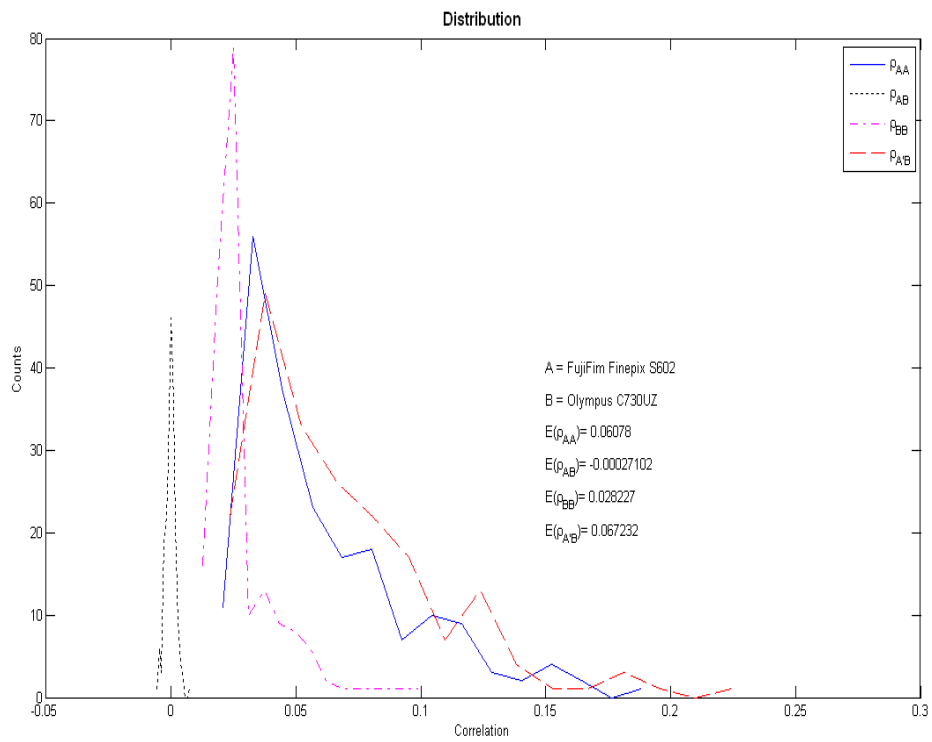
此處 α ， β 為常數，分別定義為相機 A 與 B 的數位簽章的強度

在實驗中，使用方程式 Eq.(7) 對 200 張由相機 A (FujiFilm Finepix S602) 所拍攝的測試照片做攻擊，移除每一張測試照片相機 A 的數位簽章，並以相機 B (Olympus C730UZ) 的數位簽章取代。 $\alpha=1$ 及 $\beta=1$ 之實驗結果如圖 13 所示。在圖 13(a) 中，表示出相機 A 之內相關性 ρ_{AA} (intra-correlation of camera A)，相機 B 之內相關性 ρ_{BB} (intra-correlation of camera B)，相機 A 所拍攝之照片與相機 B 之數位簽章間之外相關性 ρ_{AB} (inter-correlation) 及相機 A 所拍攝之照片經攻擊後 A' 與相機 B 之數位簽章間之外相關性 $\rho_{A'B}$ (inter-correlation)。

從圖 13(b) 可看出，經攻擊後， $\rho_{A'B}$ 有類似於 ρ_{BB} 之分佈情形，因此取代攻擊成功地欺騙了相機來源辨識器，使其誤判這些測試照片是由相機 B 所拍攝。



(a)



(b)

圖 13、 Demonstration of signature substitution attack

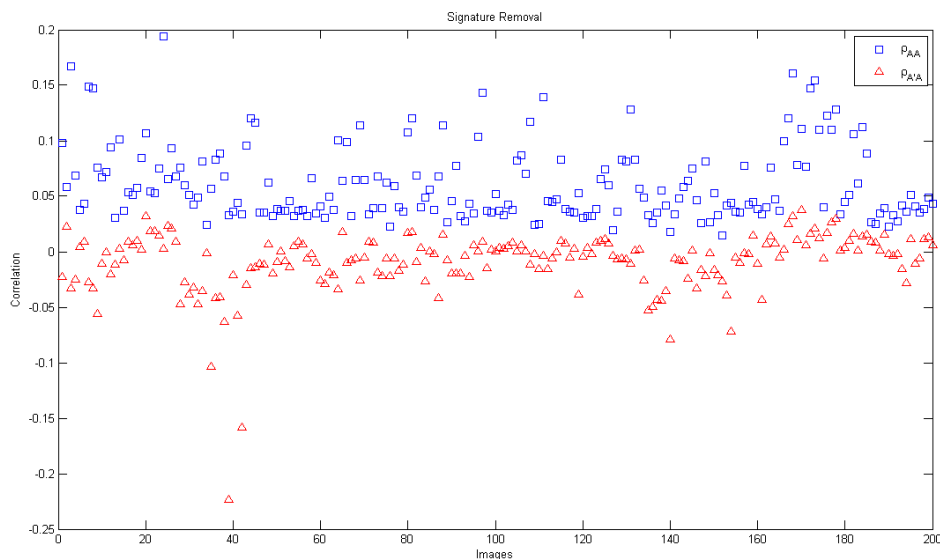
2.2 簽章移除(Signature Removal)

另一種可能的攻擊是簽章移除(signature removal)，此攻擊簡單地移除影像中原始相機之數位簽章，使其無法被相機來源辨識器所偵測其相機來源。以下在方程式 Eq.(8) 定義簽章移除的攻擊行為。

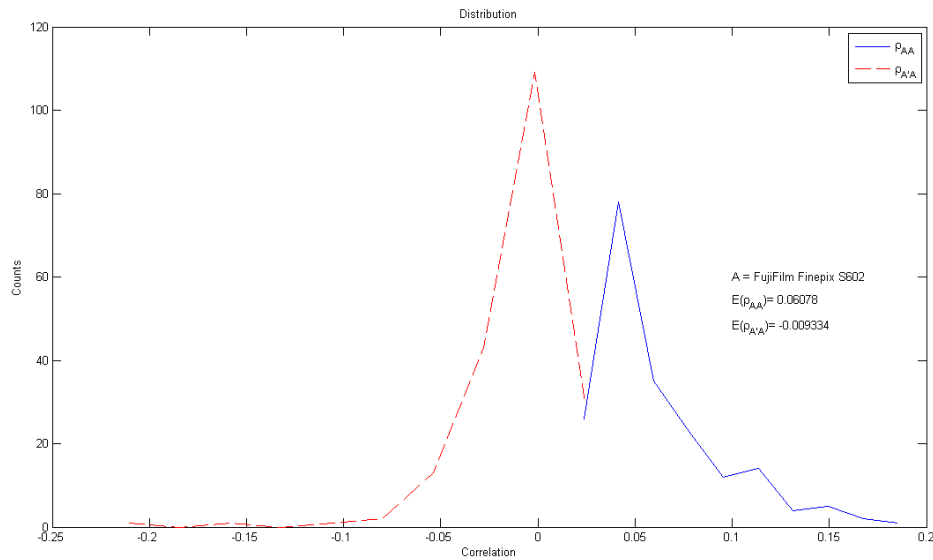
$$I_{A'} = I_A - \alpha P_A \quad (8)$$

此處 α 是一常數，取 $\alpha = 0.75$ 。

在實驗中，使用方程式 Eq.(8) 對 200 張由相機 A (FujiFilm Finepix S602) 所拍攝的測試照片做攻擊，實驗結果如圖 14 所示。在圖 14(a)中，藍色方形代表每張測試影像的 pattern noise nk 與相機 A 之數位簽章 P_A 之間的相關性 (correlation)；紅色三角形代表每張測試影像經簽章移除攻擊後所取得的 pattern noise nk' 與相機 A 之數位簽章 P_A 之間的相關性 (correlation)。在圖 14(b)中，可以觀察到藍色實線之曲線(攻擊前)的分佈 ρ_{AA} (期望值為 $E(\rho_{AA}) = 0.06078$)，下移至紅色虛線之曲線(攻擊後) $\rho_{A'A}$ (期望值 $E(\rho_{A'A}) = -0.009334 \approx 0$)。因此，此攻擊成功欺騙了相機來源辨識器(source identifier)，使其認為這些影像非攝自相機 A。



(a)



(b)

圖 14、Demonstration of the attack of signature removal with subtracting $0.75 * \text{sensor reference pattern noise}$.

3. CFA 插補算法(CFA Interpolation Algorithm)

景物的光線經由鏡頭系統進入相機，被影像感測器所收集。相機廠商採用彩色濾光片陣列並搭配插補算法來產生彩色照片，以降低相機成本，提高競爭力。CFA 置放在影像感測器之前，每個感測器的畫素感測單一的顏色，而依據鄰近的畫素值，利用插補算法算出近似的其它兩個原色。大部份相機使用 Green-Red-Green-Blue (GRGB) 貝氏模式 CFA。其他的相機也有利用不同的 CFA，例如 Cyan-Yellow-Green-Magenta (CYGM) 模式、Red-Green-Blue-Emerald (RGE) 模式、或 Cyan-Magenta-Yellow (CMY) 模式。貝氏 CFA 模式如圖 15 所示。

相機製造商開發他們獨家的插補算法，因此藉由估算影像所使用獨特之插補算法，作為相機的數位簽章，亦可偵測影像之相機來源。

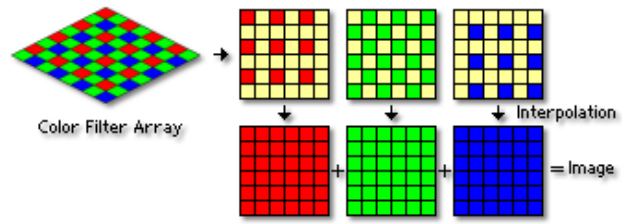


圖 15、Bayer CFA pattern and interpolating process

陸、建議事項與感想

- 1、從學習到的影像搜尋系統(CBIR)方面的技術，可以瞭解其技術可以應用在許多電廠維護檢測方面，尤其是在非破壞檢驗之目視檢測，建議可以建立一套類似乳癌 X 光片檢查的目視檢測影像資料庫，一方面可做為訓練人員使用，另一方面可應用 CBIR 技術，以目視檢測照片來搜尋具類似條件的影像以供比對，如此可使得目視檢測更為精準。
- 2、在電廠運轉中，常需要運轉人員定期檢視設備運轉狀況，且以目視檢測，這種方式難免有疏漏之處，例如電廠之發電機轉子或汽機葉片之檢測，若能以高解析度攝影機搭配適當的軟體，即可全年無休地監視設備運轉狀況，一旦有異常發生，影像軟體會根據設定的參數自動產生警報，通知人員處理。
- 3、增加邊遠地區進修外語機會：目前訓練所僅開辦專業課程，邊遠地區單位缺乏外語課程，建議公司增加邊遠地區同仁增進外語能力之機會或使同仁有機會接觸第二或第三語言。
- 4、國外有許多值得台灣借鏡的地方，無論是做事的方法，如工安的規定等，在英國，凡是執行工務的人員，小至清潔或除草，一律穿著反光背心，因此英國的低工安事故是世界有名的。英國執行工作，亦一切按照程序來做，很像核能電廠遵守程序書的文化，這次能至國外走一趟，確實增加不少見聞。
- 5、電腦科技日新月異，尤其傳統電廠現今已面臨須更替新的系統，建議公司可定期邀請國內外廠商向同仁介紹新技術，新方法，累積同仁對新科技的靈敏度。

參考文獻:

- [1] D.L. Pham, C.Y. Xu, and J.L. Prince, "Current Methods in Medical Image Segmentation," Annual Review of Biomedical Engineering, vol. 2, pp. 315-337, 2000.
- [2] B.S. Manjunath, J.-R. Ohm, V.V. Vasudevan, and A. Yamada, "Color and Texture Descriptors," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 11, no. 6, pp. 703-715, 2001.
- [3] B.S. Manjunath and W.Y. Ma, "Texture Features for Browsing and Retrieval of Image Data," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 18, no. 8, pp. 837-842, 1996.
- [4] H. Tamura, S. Mori, and T. Yamawaki, "Textural Features corresponding to Visual Perception," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. SMC-8, pp. 460-473, 1978.
- [5] J.R. Smith and S.-F. Chang, "Tools and Techniques for Color Image Retrieval," Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology-Storage and Retrieval for Image and Video Databases IV, San Jose, CA, 1996.
- [6] R.Zhao and W.I. Grosky, "Negotiating the Semantic Gap: From Feature Maps to Semantic Landscapes," Pattern Recognition, vol. 35, pp. 593-600, 2002.
- [7] R.M. Haralick and L.G. Shapiro, "Survey: Image Segmentation Techniques," Computer Vision, Graphics, Image Processing, vol. 29, pp. 100-132, 1985.
- [8] E.L. Hall, R.P. Kruger, S.J. Dwyer, D.L. Hall, R. McLaren, and G.S. Lodwick, "A Survey of Preprocessing and Feature Extraction Techniques for Radiographic Images," IEEE Transactions on Computers, vol. c-20, no. 9, pp. 1032-1044, 1971.
- [9] M. Sezgin and B. Sankur, "Survey over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Evaluation," Journal of Electronic Imaging, vol. 13, no. 1, pp. 146-165, 2004.
- [10] S. Aksoy and R.M. Haralick, "Texture Features for Image Database Retrieval," Proceedings of IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries, in conjunction with CVPR '98, Santa Barbara, 1998.
- [11] S. Santini and R. Jain, "Similarity Measures," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 21, no. 9, pp. 871-883, 1999.
- [12] C.-H. Wei and C.-T. Li, "A Logistic Regression Approach to Content-Based Mammogram Retrieval," Department of Computer Science, University of Warwick, Coventry, UK, Research Report CS-RR-426, 2006.

- [13] C.-H. Wei, C.-T. Li, and R. Wilson, "A General Framework for Content-Based Medical Image Retrieval with its Application to Mammograms," Proceedings of SPIE International Symposium on Medical Imaging, 2005.
- [14] C.-H. Wei and C.-T. Li, "Content-Based Multimedia Retrieval," in Encyclopedia of Multimedia Technology and Networking, pp. 116-122, M. Pagani, Ed. Idea Group Publishing: Hershey, PA, USA, 2005.
- [15] D.A. White and R. Jain, "Similarity indexing: Algorithm and Performance," Proceedings of SPIE: Storage and Retrieval for Image and Video databases IV, San Jose, CA, USA, 1996.
- [16] I. El-Naqa, Y. Yang, N.P. Galatsanos, R.M. Nishikawa, and M.N. Wernick, "A Similarity Learning Approach to Content-Based Image Retrieval: Application to Digital Mammography," IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 23, no. 10, pp. 1233-1244, 2004.
- [17] P.Howarth, A. Yavlinsky, D. Heesch, and S. Rüger, "Visual Feature for Content-Based Medical Image Retrieval," Proceedings of Cross Language Evaluation Forum (CLEF) Workshop 2004, Bath, UK, 2004.
- [18] C.-H. Wei, C.-T. Li, and R. Wilson, "A Content-Based Approach to Medical Image Database Retrieval," in Database Modeling for Industrial Data Management: Emerging Technologies and Applications, pp. 258-291, Z.M. Ma, Ed. Idea Group Publishing: Hershey, PA, USA, 2006.
- [19] R. Bayer and E. McCreight, "Organization and Maintenance of Large Ordered Indexes," Acta Informatica 1, pp. 173-189, 1972.
- [20] A. Guttman, "R-Trees: A dynamic index structure for spatial searching," Proceeding 1984 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pp. 47-57, 1984.
- [21] N. Beckmann, H.P. Kriegel, R. Schneider, and B. Seeger, "The R*-tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles," Proceedings of the 1990 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Atlantic City, NJ, USA, 1990.
- [22] I.K. Fodor, "A Survey of Dimension Reduction Techniques," U.S. Department of Energy, Lawrence Livermore National Laboratory, Technical Report UCRL-ID-148494, 2002.
- [23] X.S. Zhou and T.S. Huang, "Relevance feedback in image retrieval: A comprehensive review," Multimedia Systems, vol. 8, no. 6, pp. 536-544, 2003.
- [24] Y. Rui, T.S. Huang, M. Ortega, and S. Mehrota, "Relevance Feedback: A Power Tool for Interactive Content-Based Image Retrieval," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 8, no. 5, pp. 644-655,

- 1998.
- [25] Y. Rui, T.S. Huang, and S. Mehrota, "Content-Based Image Retrieval with Relevance Feedback in MARS," Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing, Santa Barbara, California, USA, 1997.
 - [26] I. Ruthven and M. Lalmas, "A Survey on the Use of Relevance Feedback for Information Access Systems " The Knowledge Engineering Review, vol. 18, no. 2, pp. 95-145, 2003.
 - [27] A.M. Aisen and L.S. Broderick, "ASSERT: A Physician-in-the-Loop Content-Based Retrieval System for HRCT Image Databases," Computer Vision and Image Understanding, vol. 75, pp. 111-132, 1999.
 - [28] M.D. Heath and K.W. Bowyer, "Current Status of the Digital Database for Screening Mammography," Digital Mammography, Kluwer Academic Publishers, pp. 457-460, 1998.
 - [29] Y. Rui and T.S. Huang, "Image Retrieval: Current Techniques, Promising Directions, and Open Issues," Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 10, pp. 39-62, 1999.
 - [30] P. Aigrain, H.J. Zhang, and D. Petkovic, "Content-Based Representation and Retrieval of Visual Media: A State-of-the-Art Review," Multimedia Tools and Applications, vol. 3, pp. 179-202, 1996.
 - [31] R. Zhao and W.I. Grosky, "Narrowing the Semantic Gap - Improved Text-Based Web Document Retrieval Using Visual Features," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 4, no. 2, pp. 189-200, 2002.
 - [32] C.-H. Wei, C.-T. Li, and R. Wilson, "A Content-Based Approach to Medical Image Database Retrieval," Database Modeling for Industrial Data Management: Emerging Technologies and Applications, 2006.
 - [33] Y. Chen, J. Li, and J.Z. Wang, Machine Learning and Statistical Modeling Approaches to Image Retrieval: Kluwer Academic Publishers, 2004.
 - [34] Y. Rubner and C. Tomasi, "Perceptual Metrics for Image Database Navigation," Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 29-30, 2000.
 - [35] J.R. Smith and S.-F. Chang, "VisualSEEK: a Fully Automated Content-Based Image Query System," Proceedings of the Fourth ACM International Conference on Multimedia, Boston, Massachusetts, USA, 1996.
 - [36] M.O. Gueld, D. Keysers, T. Deselaers, and M. Leisten, "Comparison of global features for categorization of medical images " Proceedings of SPIE: Medical Imaging 2004: PACS and Imaging Informatics, 2004.
 - [37] M. Bober, "MPEG-7 Visual Shape Descriptors," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 11, no. 6, pp. 716-719, 2001.
 - [38] T. Gevers and A.W.M. Smeulders, "PicToSeek: Combining Color and Shape

- Invariant Features for Image Retrieval," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 9, no. 1, pp. 102-145, 2000.
- [39] M. Flickner and H. Sawhney, "Query by Image and Video Content: The QBIC System," IEEE Computer, vol. 28, no. 9, pp. 23-32, 1995.
- [40] C. Faloutsos, R. Barber, M. Flickner, J. Hafner, W. Niblack, D. Petkovic, and W. Equitz, "Efficient and Effective Querying by Image Content," Journal of Intelligent Information Systems, vol. 3, pp. 231-262, 1994.
- [41] C. Carson, S. Belongie, H. Greenspan, and J. Malik, "Blobworld: Image Segmentation Using Expectation-Maximization and Its Application to Image Querying," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 8, pp. 1026-1038, 2002.
- [42] I. J. Cox, M.L. Miller, T.P. Minka, T.V. Papathomas, and P.N. Yianilos, "The Bayesian Image Retrieval System, PicHunter: Theory, Implementation, and Psychophysical Experiments," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 9, no. 1, pp. 20-37, 2000.
- [43] IBM, "The Hermitage Museum Project," <http://www.hermitagemuseum.org/>.
- [44] R.T. Ng and A. Sedighian, "Evaluating multidimensional indexing structures for images transformed by principal component analysis," Proceedings of SPIE, Storage and Retrieval for Still Image and Video Databases IV, 1996.
- [45] L.I. Smith, "A Tutorial on Principal Components Analysis," 2002.
- [46] Wikipedia, "Spatial Index," http://en.wikipedia.org/wiki/Spatial_index
- [47] L.G. Shapiro and G.C. Stockman, Computer Vision: Prentice Hall, 2001.
- [48] Y. Chen, J.Z. Wang, and R. Krovetz, "CLUE: Cluster-Based Retrieval of Images by Unsupervised Learning," IEEE transactions on Image Processing, vol. 14, no. 8, pp. 1187-1201, 2005.
- [49] S. Basu, A.D. Bimbo, A.H. Tewfik, and H.J. Zhang, "Introduction to the Special Issue on Multimedia Database," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 4, no. 2 pp. 141-145, 2002.
- [50] Wikipedia, "Information retrieval - Performance measures," http://en.wikipedia.org/wiki/Information_retrieval
- [51] A. Rosset, H. Muller, M. Martins, N. Dfouni, J. Vallee, P. Vallee, and R. Osman, "Casimage Project: A Digital Teaching Files Authoring Environment," Journal of Thoracic Imaging, vol. 19, no. 2, pp. 103-108, 2004.
- [52] M.L. Giger, Z. Huo, M.A. Kupinski, and C.J. Vyborny, "Computer-Aided Diagnosis in Mammography," Medical Imaging Processing and Analysis, vol. 2, pp. 915-1004, 2000.

- [53] T.M. Lehmann, M.O. Güld, D. Keysers, T. Deselaers, H. Schubert, B. Wein, and K. Spitzer, *Similarity of Medical Images Computed from Global Feature Vectors for Content-Based Retrieval*: Springer Berlin / Heidelberg, 2004.
- [54] E.J. Delp, "Features of Breast Abnormalities in Mammograms," <http://cobweb.ecn.purdue.edu/~ace/mammo/mammo.html#features>
- [55] R.Chandrasekhar and Y. Attikiouzel, "A Simple Method for Automatically Locating the Nipple on Mammograms," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 16, no. 5, pp. 483-494, 1997.
- [56] H.D. Cheng, X.J. Shi, R. Min, L.M. Hu, X.P. Cai, and H.N. Du, "Approaches for Automated Detection and Classification of Masses in Mammograms," *Pattern Recognition*, vol. 39, no. 4, pp. 646-668, 2006.
- [57] M.Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models," *International Journal of Computer Vision*, pp. 321-331, 1988.
- [58] C. Li, C. Xu, C. Gui, and M.D. Fox, "Level Set Evolution Without Re-initialization: A New Variational Formulation," 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), San-Diego, California, USA, 2005.
- [59] R.N. Strickland and H.II. Hahn, "Wavelet Transforms for Detecting Microcalcifications in Mammograms," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 15, no. 2, pp. 218-229, 1996.
- [60] A.J. Méndez, P.G. Tahoces, M.J. Lado, M. Souto, J.L. Correa, and J.J. Vidal, "Automatic Detection of Breast Border and Nipple in Digital Mammograms," *Computer Methods and Programs in Biomedicine* vol. 49, pp. 253-262, 1996.
- [61] L. Tian and H.-M. Tai, "Secure images captured by digital camera," in *Consumer Electronics, 2006. ICCE '06. 2006 Digest of Technical Papers. International Conference on*, 2006, pp. 341-342.
- [62] P. Blythe and J. Fridrich, "Secure Digital Camera," *Digital Forensic Research Workshop*, Aug. 2004.
- [63] H. T. Sencar and N. Memon, "Overview of State-of-the-art in Digital Image Forensics," in *Indian Statistical Institute Platinum Jubilee Monograph series titled Statistical Science and Interdisciplinary Research*. World Scientific Press, 2008.
- [64] T. V. Lanh, K.-S. Chong, S. Emmanuel, and M. S. Kankanhalli, "A Survey on Digital Camera Image Forensic Methods," in *IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2007*, pp. 16-19.
- [65] J. Lukas, J. Fridrich, and M. Goljan, "Digital camera identification from sensor pattern noise," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 1, pp. 205-214, Jun 2006.

- [66] M. Chen, J. Fridrich, and M. Goljan, "Digital imaging sensor identification (further study)," in Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX, San Jose, CA, USA, 2007, pp. 65050P-13.
- [67] M. Chen, J. Fridrich, M. Goljan, and J. Lukas, "Source digital camcorder identification using sensor photo response non-uniformity," in Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX, San Jose, CA, USA, 2007, pp. 65051G-12.
- [68] M. Chen, J. Fridrich, M. Goljan, and J. Lukas, "Determining Image Origin and Integrity Using Sensor Noise," Information Forensics and Security, IEEE Transactions on, vol. 3, pp. 74-90, 2008.
- [69] M. Goljan and J. Fridrich, "Camera identification from cropped and scaled images," in Security, Forensics, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents X, San Jose, CA, USA, 2008, pp. 68190E-13.
- [70] M. Goljan, J. Fridrich, and J. Lukas, "Camera identification from printed images," in Security, Forensics, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents X, San Jose, CA, USA, 2008, pp. 68190I-12.
- [71] H. Gou, A. Swaminathan, and M. Wu, "Robust scanner identification based on noise features," in Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX, San Jose, CA, USA, 2007, pp. 65050S-11.
- [72] N. Khanna, A. K. Mikkilineni, A. F. Martone, G. N. Ali, G. T. C. Chiu, J. P. Allebach, and E. J. Delp, "A survey of forensic characterization methods for physical devices," Digital Investigation, pp. S17-S28, Sep 2006.
- [73] M. Kharrazi, H. T. Sencar, and N. Memon, "Blind source camera identification," in Image Processing, 2004. ICIP '04. 2004 International Conference on, 2004, pp. 709-712 Vol. 1.
- [74] Y. Sutcu, S. Bayram, H. T. Sencar, and N. Memon, "Improvements on Sensor Noise Based Source Camera Identification," in Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference on, 2007, pp. 24-27.
- [75] A. Swaminathan, M. Wu, and K. J. R. Liu, "Nonintrusive component forensics of visual sensors using output images," Ieee Transactions on Information Forensics and Security, vol. 2, pp. 91-106, Mar 2007.
- [76] A. Swaminathan, M. Wu, and K. J. R. Liu, "Digital image forensics via intrinsic fingerprints," Ieee Transactions on Information Forensics and Security, vol. 3, pp. 101-117, Mar 2008.
- [77] M. H. M. Yusof and V. K. Madasu, "Signature verification and forgery detection system," in Research and Development, 2003. SCORED 2003.

- Proceedings. Student Conference on, 2003, pp. 9-14.
- [78] J. Lukas, J. Fridrich, and M. Goljan, "Determining digital image origin using sensor imperfections," in Image and Video Communications and Processing 2005, San Jose, CA, USA, 2005, pp. 249-260.
- [79] N. Khanna, G. T. C. Chiu, J. P. Allebach, and E. J. Delp, "Forensic techniques for classifying scanner, computer generated and digital camera images," in Acoustics, Speech and Signal Processing, 2008. ICASSP 2008. IEEE International Conference on, 2008, pp. 1653-1656.
- [80] W. Wang and H. Farid, "Exposing digital forgeries in video by detecting duplication," in Proceedings of the 9th workshop on Multimedia & security Dallas, Texas, USA: ACM, 2007.
- [81] H. Farid, "Exposing digital forgeries in scientific images," in Proceedings of the 8th workshop on Multimedia and security Geneva, Switzerland: ACM, 2006.
- [82] M. Chen, J. Fridrich, J. Lukáš, and M. Goljan, "Imaging Sensor Noise as Digital X-Ray for Revealing Forgeries," in Information Hiding, 2008, pp. 342-358.
- [83] J. K. Guo, D. Doermann, and A. Rosenfeld, "Local correspondence for detecting random forgeries," in Document Analysis and Recognition, 1997., Proceedings of the Fourth International Conference on, 1997, pp. 319-323 vol.1.
- [84] A. C. Popescu and H. Farid, "Exposing Digital Forgeries by Detecting Duplicated Image Regions," Dartmouth College, Computer Science 2004.
- [85] W. Wang and H. Farid, "Exposing digital forgeries in interlaced and deinterlaced video," Ieee Transactions on Information Forensics and Security, vol. 2, pp. 438-449, Sep 2007.
- [86] N. Khanna, A. K. Mikkilineni, G. T. C. Chiu, J. P. Allebach, and E. J. Delp, "Forensic classification of imaging sensor types," in Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX, San Jose, CA, USA, 2007, pp. 65050U-9.
- [87] A. C. Popescu and H. Farid, "Exposing digital forgeries in color filter array interpolated images," Ieee Transactions on Signal Processing, vol. 53, pp. 3948-3959, Oct 2005.