

應用訊號型態成份分析法於數位化老舊膠捲影片修復的研究

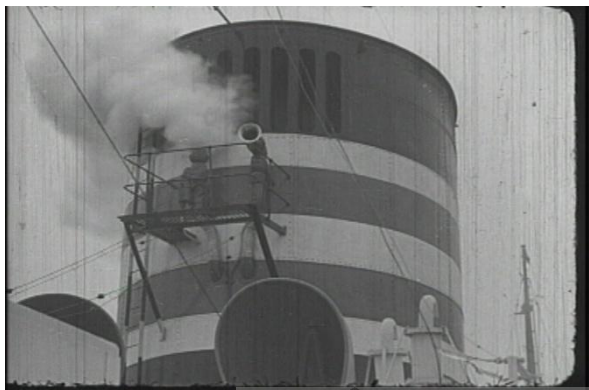
陳文政、沈岱範

國立雲林科技大學電機工程研究所

摘要 —本論文目的是以數位影像處理的方式去除舊膠捲影片的直線黑刮痕雜訊。因形態學成份分析法(Morphological Component Analysis(MCA))已成功應用在兩紋去除技術中,且因為兩滴雜訊類似舊膠捲影片的刮痕雜訊,因此本論文將參考兩紋去除技術作舊膠捲影片的修復。本論文重點是有系統的利用訊號和影像的形態學成份分析的方法來分離訊號成份,以去除影像上的刮痕以及不清晰的部份。其中形態學成份分析的重點在於(1)分離訊號所需要的字典,我們運用訊號的稀疏表示,使用相關的演算法來作字典的學習。(2)刮痕和非刮痕成份的訊號,最後,加入刮痕偵測演算法與 adaptive 橫向 1-D median filter 於系統架構。本論文成功的修復目前台南藝術大學提供的台灣日治時代舊紀錄片,技術成熟後可進一步修復全球各地之舊膠捲影片。

一、簡介

台灣於 1895 年至 1945 年之間由日本所統制管轄,日本人和台灣人當時的文化、藝術、社交..等等發展都被舊式攝影機所記錄。因此日據時期台灣舊紀錄片是我國至今所保留下來當中其中一項很重要的文化資產,它包含許多的歷史性、藝術性,以及文化的記錄。但因為時代變遷以及珍藏不易加上人為因素...等問題,導致舊紀錄片影像出現污損、刮痕...等瑕疵。因此,我們冀望運用現代數位影像處理的相關技術,開展出一套舊膠捲影片修復的演算法,提升日據時代寶貴舊紀錄片的珍藏價值。



圖一、日據時代的舊紀錄片

台南藝大音像藝術學院院長井迎瑞於民國 98 年給予本實驗室 10 部數位化日據時代的影片(每部五分鐘),希望以電腦技術修復這些珍貴的紀錄片。

故本實驗室在此計畫著重在數位化的修復上,並先進影像處理技術修復此數位化影片。近年來全世界陸續有運用數位影像處理技術修復舊膠捲影片的相關研究,IEEE 出現多篇期刊及會議論文[1-4]。

自 IEEE member Li-Wei Kang et al. [5]的兩紋去除研究,形態學成分分析法(Morphological Component Analysis (MCA))成功應用在影像視訊兩紋雜訊的去除上。因為兩紋類似老舊膠捲影片上的刮痕雜訊,故本論文嘗試採用 MCA 方法去除老舊膠捲影片上的刮痕雜訊。本論文主要貢獻為 1.成功運用 MCA 方法去除單張老舊膠捲數位化影片上的刮痕雜訊 2. 針對刮痕特性,發展刮痕偵測演算法及橫向 Adaptive 1-D Median filter 刮痕濾除方法。並將刮痕偵測演算法加入 MCA 方法於刮痕雜訊的去除。

二、訊號型態成份分析法 MCA

假設有 N-sample 的訊號或影像 x 是 k 個形態組合的線性組合

$$y = \sum_{k=1}^K x_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (1)$$

MCA 整個架構旨在解決逆問題,建立在從線性混和的訊號,恢復 $(x_k)_{k=1 \dots K}$ 。MCA 假設每一個 x_k 可以用基底 Φ_k 來做稀疏表示

$$x_k = \Phi_k \alpha_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (2)$$

這裡的 α_k 代表的是稀疏係數向量(稀疏的意思是指有少數係數是大的,而大多數是微不足道的)。因此一個字典可以由數個轉換 (Φ_1, \dots, Φ_k) 所建立,對每一個 k , x_k 在 Φ_k 裡是以稀疏來表示。而在 Φ_j , $j \neq k$, x_k 則不是以稀疏來表示。換句話說,字典 (Φ_1, \dots, Φ_k) 必須是相互不連貫的。因此,字典 Φ_k 扮演重要的判別角色在不同種類的內容,特別是將 x_k 分離出其他部分內容。這是一個關鍵的發現在分離演算法的成功。為了分解的目的,字典必須建立在一個或多個轉換的集合,通常每一個對應於一個正交基。

然而,增廣字典(augmented dictionary) $\Phi = [\Phi_1, \dots, \Phi_k]$ 會對訊號 x 有過完備的表示(Overcomplete Representation)。因為它的未知數大於方程式數量,這個系統是未定的系

統(Underdetermined System)。稀疏性這個特性可以在理想的狀況被使用來找它的唯一解。在文獻[6]和[7]，提出解決未定的系統(Underdetermined System)，而且還原形態組合 $(x_k)_{k=1...K}$ 的方法。他利用以下的 Constrained Optimization Problem 解決這個問題。

$$\min \sum_{k=1}^K \|\alpha_k\|_p^p \text{ such that } \|y - \sum_{k=1}^K \Phi_k \alpha_k\|_2 \leq \tau \quad (3)$$

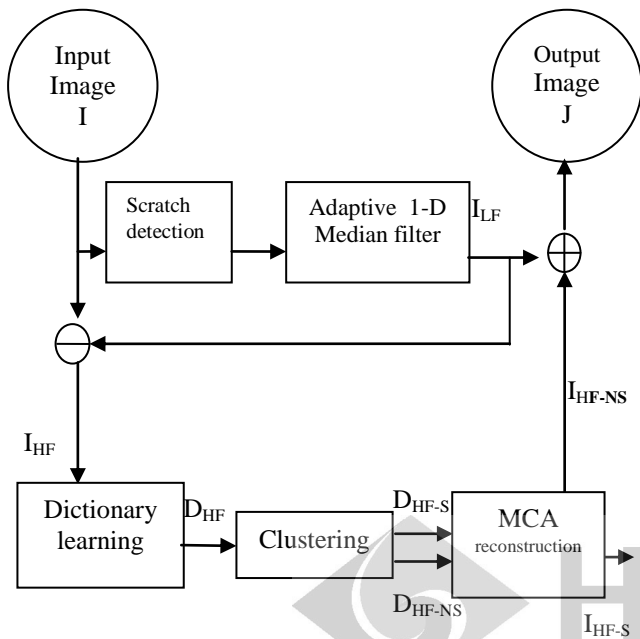
其中 $\|\alpha\|_p^p$ 是 penalty quantifying sparsity(感興趣的區域是 $0 \leq p \leq 1$)，而 τ 表示的是一個常數。如果在系統內沒有雜訊而且這個線性疊加模型是精確的($\tau=0$)，一個等式的產生將會替換先前的不等式。

$$\min \sum_{k=1}^K \|\alpha_k\|_p^p \text{ such that } \|y - \sum_{k=1}^K \Phi_k \alpha_k\|_2 = \tau \quad (4)$$

這個方程式有足夠的彈性可以合併外在的影響進而引導形態組合找到它們更適合的構成要素；這些影響將會微調分解的過程直到它完成分離訊號的任務。

三、基於刮痕位置偵測之 MCA 刮痕去除方法

我們以 Li-Wei Kang et al.[5]提出之兩紋去除架構為基礎，建立基本 MCA 刮痕去除的架構，我們先是對影像 I 進行刮痕偵測，對刮痕位置使用 Adaptive 1-D Median filter，濾除掉高頻的雜訊，得到一張低頻的影像 I_{LF} 及高頻的影像 I_{HF} ，將此高頻的雜訊 I_{HF} 經過字典學習得到 D_{HF} ，刮痕與非刮痕字典的分類得到 D_{HF-S} 、 D_{HF-NS} ，最後再使用 MCA 演算法重建非刮痕高頻部份 I_{HF-NS} 並與低頻的影像 I_{LF} 相加，完成刮痕去除，得到 J。



去訓練學習，解決下列公式的最佳化，得到高頻影像字典 D_{HF} 。

$$\min \frac{1}{n_p} \sum_{k=1}^{n_p} \left(\frac{1}{2} \|P_{train}^k - D_{HF} \alpha_{train}^k\|_2^2 + \lambda \|\alpha_{train}^k\|_1 \right) \quad (5)$$

P_{train}^k 是 I_{HF} 第 k 個 patch, $k = 1, 2, 3, \dots, n_p$, α_{train}^k 為 P_{train}^k 的 Sparse coefficients, D_{HF} 是高頻字典, λ 為 Regularization parameter=0.15

3.3 Clustering

本節的目的為將高頻影像字典 D_{HF} 分類為刮痕字典 D_{HF-S} 與非刮痕字典 D_{HF-NS} , 在 3.4 MCA reconstruction 可以有效利用刮痕字典 D_{HF-S} 與非刮痕字典 D_{HF-NS} 以及它的 Sparse coefficients 來重建影像。我們採用 Li-Wei Kang et al. [5] 所用的 HOG based 方法做分類。先使用 HOG(Histograms of oriented gradients) 描述每個 dictionary atom 的特徵, 根據特徵, 再使用 K-Means 演算法將 D_{HF} 分為刮痕字典 D_{HF-S} 與非刮痕字典 D_{HF-NS} 。

3.4 MCA reconstruction

本節我們使用 MCA 的觀念, 根據刮痕字典 D_{HF-S} 與非刮痕字典 D_{HF-NS} , 重建刮痕高頻影像 I_{HF-S} 與非刮痕高頻影像 I_{HF-NS} 。

解決訊號重建的問題, Li-Wei Kang et al. [5] 於雨紋去除採用 Orthogonal Matching Pursuit algorithm(OMP) implementation 來重建雨紋與非雨紋訊號。因此我們亦採用 Orthogonal Matching Pursuit algorithm(OMP) 的 implementation 來重建我們的刮痕影像 I_{HF-S} 與非刮痕影像 I_{HF-NS} 。

MCA 重建演算法步驟

Step1. 演算 OMP implementation, 解決以下公式(6)(7)的 NP-hard problem, 得到與 D_{HF} 相對應的 Sparse coefficients α_{HF}^k 。

$$\min \|P_{HF}^k - D_{HF} \alpha_{HF}^k\|_2^2 \quad \text{s. t.} \quad \|\alpha_{HF}^k\|_0 \leq L \quad (6)$$

$$(\alpha_{HF}^k)_{opt} = \arg \min \frac{1}{2} \|P_{HF}^k - D_{HF} \alpha_{HF}^k\|_2^2 + \lambda \|\alpha_{HF}^k\|_1 \quad (7)$$

for each $P_{HF}^k \in R$, $k = 1, 2, 3, \dots, n_p$, P_{HF}^k 是 I_{HF} 第 k 個 patch, D_{HF} 是高頻字典, α_{HF}^k 是 P_{HF}^k 的 Sparse coefficients, L 為 α_{HF}^k 最大非零系數數量, $D_{HF} = [D_{HF-S} \cup D_{HF-NS}]$, λ 為 Regularization parameter=0.15, $(\alpha_{HF}^k)_{opt}$ 為公式(2)minimizing, 對應 P_{HF}^k 於 D_{HF} 。

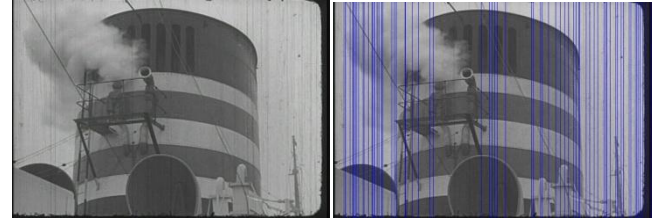
Step2. 找出 D_{HF-S} 的 Sparse coefficients- $\hat{\alpha}_{HF-S}^k$ 與 D_{HF-NS} 的 Sparse coefficients- $\hat{\alpha}_{HF-NS}^k$ 。根據 Step1 得到的 α_{HF}^k 對應 P_{HF}^k 。找出重建 P_{HF}^k 的 Sparse coefficients $\hat{\alpha}_{HF}^k$, 並計

算對應到 D_{HF-S} 的 Sparse coefficients $\hat{\alpha}_{HF-S}^k$ 與 D_{HF-NS} 的 Sparse coefficients $\hat{\alpha}_{HF-NS}^k$ 。

Step3. 重建刮痕高頻影像 I_{HF-S} 與非刮痕高頻影像 I_{HF-NS} 利用 Step2 得到的 D_{HF-S} 的 Sparse coefficients $\hat{\alpha}_{HF-S}^k$ 與 D_{HF-NS} 的 Sparse coefficients $\hat{\alpha}_{HF-NS}^k$ 。計算第 k 個 I_{HF-S} patch, $\hat{P}_{HF-S}^k = D_{HF-S} * \hat{\alpha}_{HF-S}^k$; 計算第 k 個 I_{HF-NS} patch, $\hat{P}_{HF-NS}^k = D_{HF-NS} * \hat{\alpha}_{HF-NS}^k$, 得到刮痕高頻影像 I_{HF-S} 與非刮痕高頻影像 I_{HF-NS}

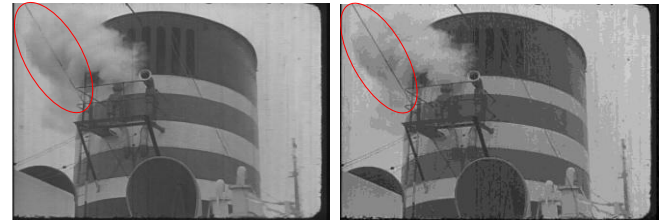
Step4. 刮痕去除影像輸出

輸出影像 $J =$ 低頻影像 I_{LF} + 非刮痕高頻影像 I_{HF-NS} 。



(a) 刮痕膠捲影像

(b) 刮痕偵測結果($\alpha=0.3$)

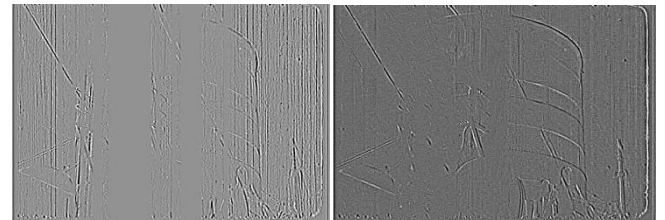


(c) 低頻部分

(d) proposed method

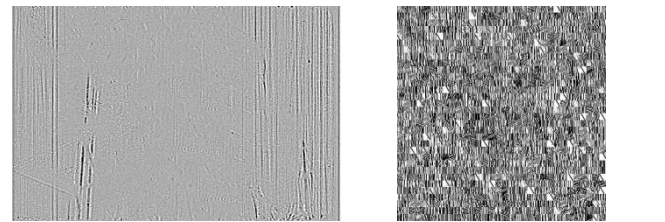
(使用自適應 1-D 中值濾波器)

(使用 MCA 重建非刮痕高頻部分)



(d) 高頻部分 I_{HF}

(e) 非刮痕高頻部分 I_{HF-NS}



(f) 刮痕高頻 I_{HF-S}

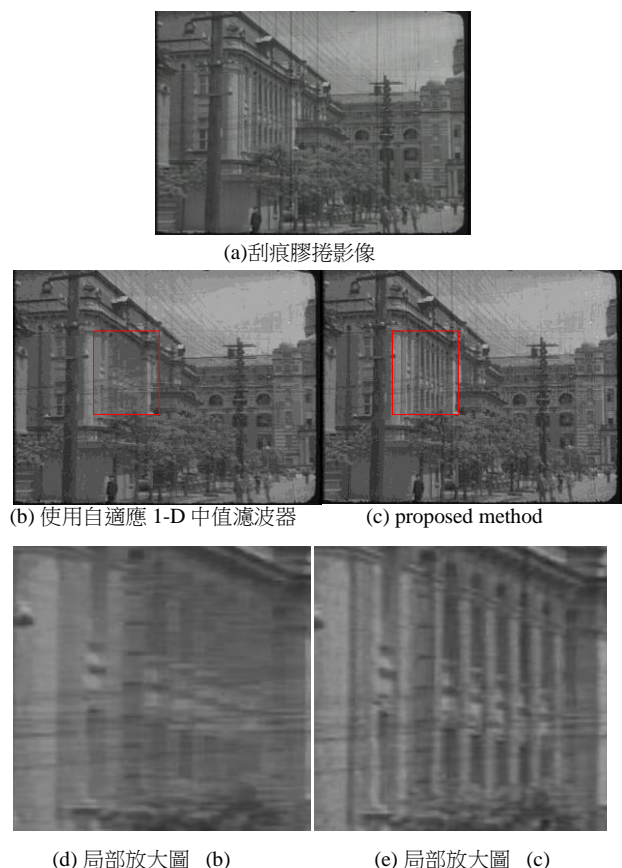
(g) 重建所使用的字典

圖三、基於刮痕位置偵測之 MCA 刮痕去除流程

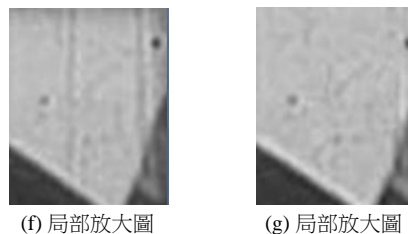
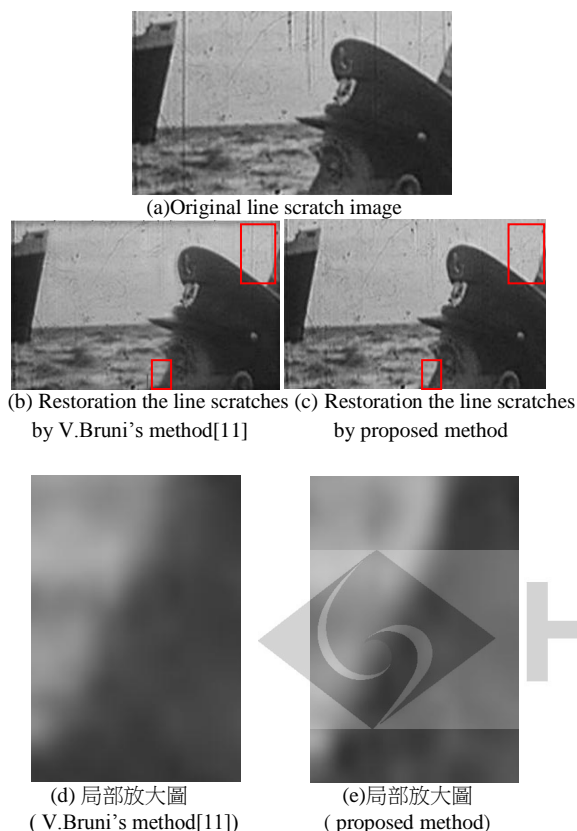
四、實驗結果

本章我們展現我們的提出的基於刮痕位置偵測之 MCA 刮痕去除效果與自適應 1-D 中值濾波器以及國外刮痕去除之會議論文 V.Bruni's method[4]做比較。圖三到五展現我們的刮痕去除效果。圖四與只做自適應 1-D 中值濾

波器做比較。圖五與 V.Bruni's method[4]做比較，展現出我們提出的方法優於 V.Bruni's method[4]。



圖四、刮痕去除效果比較



圖五、與國外會議論文比較刮痕去除效果

圖三(c)雖然使用刮痕偵測與自適應 1-D 中值濾波器將大部分刮痕濾除，但是同時也將非刮痕部分濾除。使用 proposed method 可以將濾除的非刮痕部分重建回來，如圖三(g)。圖四與只做自適應 1-D 中值濾波器比較。發現圖四(d)與圖四(e)，窗戶部分明顯 proposed method 會比單純只用自適應 1-D 中值濾波器效果好，proposed method 將被濾除的窗戶線條重建回來。圖五 V.Bruni's method[4]相比較。我們的方法在軍官的鼻樑的位置上，明顯比較清晰。在刮痕偵測上面，右上角兩條刮痕我們有偵測到並去除它，而 V.Bruni's method[4]沒有偵測到這兩條刮痕。

結論

在本論文我們提出以 MCA 的特性應用在直線黑痕雜訊的去除上，MCA 使用 sparse coding 的觀念以及字典學習的方法，去除刮痕雜訊。此外我們針對刮痕特性，發展刮痕偵測演算法及橫向 Adaptive 1-D Median filter MCA 系統架構中，得到最佳的刮痕去除效果。

參考文獻

- [1] Zhang, Hongying, Wu, Yadong, and Kuang, Zhonglin, "An Efficient Scratches Detection and Inpainting Algorithm for Old Film Restoration," pp. 75-78, 2009.
- [2] K. Chishima and K. Arakawa, "A method of scratch removal from old movie film using variant window by Hough transform," in *Communications and Information Technology, 2009. ISCIT 2009. 9th International Symposium on*, 2009, pp. 1559-1563.
- [3] Xu, Jin, Guan, Jinghuo, Wang, Xingdong, Sun, Jun, Zhai, Guangtao, and Li, Zhengguo, "An OWE-based Algorithm for Line Scratches Restoration in Old Movies," in *Circuits and Systems, 2007. ISCAS 2007. IEEE International Symposium on*, 2007, pp. 3431-3434.
- [4] V. Bruni, D. Vitulano, and A. Kokaram, "Fast removal of line scratches in old movies," in *Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference on*, 2004, pp. 827-830 Vol.4.
- [5] Kang, Li-Wei, Lin, Chia-Wen, and Fu, Yu-Hsiang, "Automatic Single-Image-Based Rain Streaks Removal via Image Decomposition," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 21, pp. 1742-1755, 2012.
- [6] J. L. Starck, M. Elad, and D. L. Donoho, "Image decomposition via the combination of sparse representations and a variational approach," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 14, pp. 1570-1582, 2005.
- [7] M. E. J.L.Starck, and D.Donoho, "Redundant Multiscale Transforms and their application for morphological component analysis," *Advances in Imaging and Electron Physics*, vol. 132, 2004.
- [8] <http://www.ux.uis.no/~karisk/dle/index.html#ssec61>.
- [9] F. B. J. Mairal, , J. Ponce and G. Sapiro, "Online learning for matrix factorization and sparse coding," *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 11, pp. 19-60, 2010.