

使用全域相似性之後處理方法改善除雜訊影像品質之研究

鍾幸宜

亞洲大學 資訊傳播學系

研究生

e-mail: miss09300@gmail.com

陸清達

亞洲大學 資訊傳播學系

教授

e-mail: lucas1@ms26.hinet.net

沈俊宏

亞洲大學 資訊傳播學系

副教授

e-mail: shenj@asia.edu.tw

摘要

有效移除干擾雜訊對影像處理而言，是一項非常重要的研究工作；本文提出以後處理的方法改善移除受到雜訊干擾影像中的椒鹽雜訊效能，提高後處理影像的品質。本文方法的第一級使用可變視窗與像素機率調適之方法，移除受干擾影像中的脈衝雜訊，然後在移除雜訊之影像中，將原本影像的乾淨像素及其週圍像素建立像素碼簿，並設立適當的門檻值，從整張影像區塊中，挑選最接近的像素區塊當作最佳碼字，然後將受干擾像素的中心像素進行替換，亦即以乾淨像素替換第一級均化得到的重建像素。實驗結果證實：本文提出來的後處理系統，確實可以有效的改善除雜訊演算法的效能，使峰值信噪比提升，並且讓後處理影像更接近原始乾淨的影像，改善重建影像的品質。

關鍵詞：影像雜訊移除、後處理、可變視窗、像素機率調適、像素向量量化。

Abstract

The quality of digital image would be deteriorated by the corruption of impulse noise in the record or transmission. How to efficiently remove this impulse noise for a corrupted image is an important research task. This study proposes a post-processing method for the improvement of a denoised image in the corruption of salt-and-pepper noise. In the first stage, a variable-size local window incorporated with pixel probability adaptation method is employed to remove impulse noise for a noisy image. In the second stage, a codebook which is constituted of a clean pixel with its surrounding neighbors by using the denoised image is established for post-processing. A restored pixel and its neighbors in a local window are compared with each codeword of the codebook to select an

optimum codeword. The restored pixel is replaced by the center pixel of the optimum codeword when the distance between the optimum codeword and the pixels in the local window is smaller than a given threshold. A smoothed pixel is replaced by a clean version. Experimental results show that the proposed post-processing method can improve the quality of a denoised image. The objective measure in terms of peak SNR can be further improved.

Keywords: Image denoising, post processing, variable-size window, pixel probability adaptation, pixel vector quantization.

1. 前言

數位影像及影片在擷取、傳輸的過程中，可能會受到脈衝雜訊干擾而產生損毀，導致人眼誤判，這些受雜訊干擾的影像也會對後續的影像處理造成嚴重的影響。為了使人眼更容易判斷影像中的資訊，有越來越多的研究嘗試改善影像中的雜訊干擾[1]-[24]。利用電腦來改善數位影像品質，增強影像信號或擷取影像的重要資訊，使人眼能理解、或使機器能感知、機器能更加容易分析圖像內的資訊，以便將其進行其他處理或應用，因此如何有效移除干擾雜訊，並重建乾淨影像對於影像處理來說是一項非常重要的研究工作。

近幾年來，已經有許多研究提出新方法來抑制影像中的脈衝雜訊，最常被廣泛運用的是中值濾波器[8]，因為中值濾波器擁有很好的雜訊抑制能力及高計算效率，但是該方法可能會使影像變得模糊，因為受干擾影像與乾淨影像的像素都被修正後，會造成影像失真的情形。為了解決上述問題最有效的方法就是使用選擇性濾波器，例如使用自適性中值(adaptive median, AM)濾波器[16]、像素絕對誤差中值(pixel-wise MAD, PWMAD)濾波器[11]、自適性中心權重中值(adaptive center-weighted median, ACWM)濾波器[9]與方向權重中值(directional

weighted median, DWM)濾波器[13]。上述中值濾波器中，會先偵測受雜訊干擾之像素，然後透過中值濾波器來移除脈衝雜訊，使得受干擾影像可以還原成乾淨的影像，這些方法可以避免過度損毀乾淨的像素，並讓影像不會模糊且失真，但是這些方法在高雜訊密度的環境中，重建影像的效果仍有改善的空間。

為了將毀損嚴重的影像有效重建，有許多新的濾波器被研究出來，例如：開關順序(open-close sequence, OCS)濾波器[12]、修正型方向權重中值(modified directional-weighted-median, MDWM)濾波器[20]、邊緣辨別雜訊偵測選擇性濾波器(boundary discriminative noise detection, BDND)[21]、與邊緣保留演算法(edge-preserving algorithm, EPA)[10]。其中 OCS 濾波器採用數學留數雜訊偵測器來辨別毀損的像素，在高雜訊密度時表現不錯，但是在低雜訊密度下就無法完好保留影像的細節，因為會誤判未損毀像素為雜訊像素，導致重建的像素產生較多的失真。MDWM 濾波器[20]首先做雜訊的偵測，然後修正方向權重中值濾波器[13]，MDWM 濾波器[20]提供較精確的雜訊偵測法以及更多的邊緣偵測候選方向，使得重建影像的物件邊緣像素可以有效重建，故影像品質比 DWM[13]方法佳。BDND[21]則提供較準確的雜訊偵測方法，該方法使用大小為 21x21 的大型視窗來偵測脈衝雜訊，使得雜訊估測的準確度提高，但是相對計算複雜度也提高許多，因此相當耗時。EPA 濾波器[10]可以有效率的移除椒鹽雜訊，甚至對於嚴重雜訊干擾的環境下，也能有效的重建影像，該方法有兩個階段，第一個階段為偵測雜訊像素，第二階段則是將偵測到的雜訊像素做替換處理；雖然 EPA 邊緣保留濾波器可以有效率的移除椒鹽雜訊，甚至在嚴重雜訊干擾的環境下，也能夠有效的重建影像，但是邊緣保留演算法沒有考慮相鄰視窗間的像素變動方向的關聯性，可能會造成在邊緣變動方向的選擇結果發生錯誤，出現邊緣變動方向紊亂的情形，導致該方法在低雜訊密度環境下表現不佳。FSM 濾波器[22]可以有效率的移除椒鹽雜訊，甚至在嚴重雜訊干擾的環境下，也能有效的重建影像，該方法分為兩個階段，第一階段為偵測雜訊像素，用椒鹽雜訊強度去判斷是否為可疑雜訊，第二階段利用門檻值做篩選，並判斷是否做濾波的動作。最佳方向之開關權重中值濾波[2]結合開關順序濾波器[21]及方向權重中值濾波器[13]，先偵測是否有可疑雜訊，

如果確定受雜訊干擾，則先將極值像素先移除，再施予開關中值濾波，並用疊代的方式提高雜訊移除的效能，這個濾波器[2]在處理高密度雜訊之效能較優越。邊緣保留與相鄰視窗變化調整法[4]修正 EPA 濾波器[10]，增加考慮相鄰像素變動必須保持關聯性的方式，使得邊緣保留演算法的邊緣變動方向，在相鄰視窗間具有一致性，採用像素間變動的一致性來偵測受雜訊干擾的像素，然後施予均值濾波，達到重建原始清晰影像的像素值，提高邊緣方向偵測結果正確性的目標。可變視窗與像素機率調適之方法[6]，第一階段算出視窗中乾淨像素的個數，找到視窗中的乾淨像素最大值及最小值，之後將所有乾淨像素與視窗中的最大值及最小值做比較，並將每個像素歸類，接著算出最大值與最小值在乾淨像素視窗的機率，作為重建受干擾像素的權重，最後將視窗中的像素最大值與最大值機率值相乘，加上像素最小值與最小值機率相乘，得到一個替代關注像素的替換值。因為相鄰的乾淨像素與關注像素最接近，所以用視窗中乾淨的像素機率來決定重建受干擾像素的權重，讓比較接近關注像素的值更容易被選中替換。在文獻[17]中使用局部與全部圖像訊息的方式移除椒鹽雜訊，該方法提出更準確地估計的圖像的雜訊密度，並以全部圖像信息為基礎的雜訊密度估測結果，用於後續的雜訊偵測，並小幅修正移除雜訊後的影像，提升重建影像的品質。Liu 等人提出兩階段脈衝雜訊移除技術[18]，在第一階段使用秩排序的差異(rank-ordered absolute difference, ROAD)偵測雜訊的候選像素，然後在第二階段中，利用局部最小邊緣像素差，確定雜訊候選像素是否確定為雜訊像素，避免邊緣像素可能被錯誤地偵測為雜訊，接著使用加權均值濾波以疊代的方式移除脈衝雜訊。在文獻[15]中以修正型非對稱修整中值濾波方式，將一個分析視窗中的極值像素(8位元影像中的像素值為 0 或 255)，以視窗中的非極值像素取平均的方式替換極值像素，移除受干擾影像中的脈衝雜訊，該方法可以在高雜訊密度的環境中，有效移除椒鹽雜訊。

為了提升脈衝雜訊移除的效能，本研究提出以後處理的方法改善移除受到雜訊干擾影像中的椒鹽雜訊效能，首先使用可變視窗與像素機率調適之方法[6]，移除受干擾之影像中的脈衝雜訊，然後在移除雜訊之影像中，將原本影像的乾淨像素以及其週圍像素建立像素碼簿(codebook)，並設立適當的門檻值，從整張

影像區塊中，挑選最接近的像素區塊當作最佳碼字(codeword)，然後將受干擾像素的中心像素進行替換，以乾淨像素替換第一級均化得到的重建像素，使後處理影像更接近原始乾淨的影像，改善重建影像的品質。

本文其他章節的架構如下：第二節介紹本文提出之使用全域相似性之後處理方法、第三節呈現實驗成果、第四節為本文的結論。

2. 脈衝雜訊移除之方法

使用全域相似性之後處理方法改善除雜訊影像品質之研究的過程可以分為兩個階段，第一階段進行可變視窗之像素機率調適之雜訊移除法，進行受干擾影像之脈衝雜訊移除；第二階段在移除雜訊之影像中，將原本影像的乾淨像素及其週圍像素建立像素碼簿(codebook)，並設立適當的門檻值，從整張影像區塊中，挑選最接近的像素區塊當作最佳碼字(codeword)，然後將受干擾像素的中心像素進行替換，以乾淨像素替換第一級均化得到的重建像素，達到提升影像品質的目的。

2.1 可變尺寸分析視窗

首先令 $X_{i,j}$ 表示座標 (i, j) 的像素，可變視窗之像素機率調適之雜訊移除法使用可變動尺寸之方型視窗，視窗的尺寸會根據偵測結果是否包含乾淨像素而改變，如果在分析視窗中沒有找到任何乾淨的像素，就會擴大視窗的尺寸，如式(1)：

$$W_{2s+1}(i, j) = \left\{ \begin{array}{l} X(i+m, j+n) \mid \text{where } m, n \in \\ (-s \sim s) \end{array} \right\} \quad (1)$$

其中： $s=1$ 代表 3×3 視窗，並且以 $X_{i,j}$ 為中心像素； $W_{2s+1}(i, j)$ 為分析視窗內的像素集合。

如果當前的分析視窗 $W_{2s+1}(i, j)$ 沒有任何乾淨像素，則濾波窗口將會從四個側面擴大一個像素，亦即將式(1)的 s 變數增加 1，視窗尺寸擴大為 5×5 ，使得更多像素涵蓋到分析視窗中，增加乾淨像素被涵蓋的機會。如果在分析視窗中有找到乾淨像素，則分析視窗不再擴大；相對的，如果依然找不到乾淨像素，則繼續擴大分析視窗，直到視窗尺寸到達上限 7×7 ，則停止擴大。

為了判斷可變尺寸分析視窗中的像素是否為乾淨像素，可以根據像素是否為極值(0 或

255)來做初步的判斷，並且使用乾淨像素旗標 $F_{i,j}^{clean}$ 來表示，如式(2)所示：

$$F_{i,j}^{clean} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \quad \text{if } X_{i,j} \notin \text{extreme} \\ 0, \quad \text{otherwise} \end{array} \right\} \quad (2)$$

由式(2)可以得知：當分析視窗中的像素不為極值，將該像素歸類為乾淨像素，並且將對應的乾淨像素旗標 $F_{i,j}^{clean}$ 設定為 1；相對的，如果某一像素為極值，則該像素有可能不是乾淨像素，故將對應的乾淨像素旗標 $F_{i,j}^{clean}$ 設定為 0。因此我們可以透過式(2)來估算分析視窗中，乾淨像素的數量，做為分析視窗是否需要擴大或像素是否需要替換的參考。

分析視窗的乾淨像素，可以透過計算乾淨像素旗標 $F_{i,j}^{clean} = 1$ 的數量得到，計算方法如式(3)：

$$N_{i,j}^{clean} = \sum_i \sum_j F_{i,j}^{clean} \quad (3)$$

其中： $N_{i,j}^{clean}$ 為分析視窗中乾淨像素的總數量。

進行受干擾像素替換時，分析視窗尺寸的初始狀態為 3×3 ，然後根據式(2)、(3)計算乾淨像素數量 $N_{i,j}^{clean}$ ，並判斷是否大於零，如果成立，則停止擴大視窗，並且進行像素替換處理。相對的，如果乾淨像素數量 $N_{i,j}^{clean}$ 等於零，表示分析視窗中沒有乾淨像素，故透過式(1)將視窗擴大直到找到乾淨像素為止，為了避免除雜訊後的影像產生過度模糊現象，分析視窗的尺寸上限設定為 7×7 。

2.2 機率調適之雜訊移除法

機率調適之雜訊移除法分析一個可變尺寸分析視窗中乾淨像素的分佈機率，該方法使用分佈機率的特性，將乾淨像素區分為兩的區塊，分別為最大及最小像素值，依序把視窗中的每個乾淨像素與最大值及最小值做比較，判斷該像素接近最大值或最小值，並將其像素歸類為最大值類別或最小值類別，算出最大值在乾淨像素中所佔的機率及最小值的機率，用分佈機率作為重建受干擾像素的權重值，並替換中心點像素值，以分佈機率高像素去平均中心點像素值，達到移除脈衝雜訊的目的。

接下來將介紹機率調適之雜訊移除法，首

先找出分析視窗中的乾淨像素 $X'_{i,j}$ 的最大像素值及最小值像素值，先前已經將極值(0 或 255)移除，所以分析視窗中皆為乾淨像素，並且從這些乾淨像素中找出最大值 X'_{\max} 及最小值 X'_{\min} ，如式(4)、(5)所示：

$$X'_{\max} = \max\{X'_{i,j} | X'_{i,j} \in W_{2s+1}(i,j)\} \quad (4)$$

$$X'_{\min} = \min\{X'_{i,j} | X'_{i,j} \in W_{2s+1}(i,j)\} \quad (5)$$

為了要判斷分析視窗中的每個乾淨像素屬於最大值區塊或最小值區塊，必須計算分析視窗中的每個乾淨像素 $X'_{i,j}$ 與式(4)、(5)的最大值 X'_{\max} 及最小值 X'_{\min} 的像素距離，如式(6)、(7)：

$$d_{i,j}^{\max} = |X'_{i,j} - X'_{\max}| \quad (6)$$

$$d_{i,j}^{\min} = |X'_{i,j} - X'_{\min}| \quad (7)$$

其中： $d_{i,j}^{\max}$ 表示像素 $X'_{i,j}$ 與 X'_{\max} 的像素距離； $d_{i,j}^{\min}$ 表示像素 $X'_{i,j}$ 與 X'_{\min} 的像素距離。

根據式(6)、(7)計算每個像素與視窗中的最大值及最小值的像素距離可以做為判斷該像素 $X'_{i,j}$ 接近最大值 X'_{\max} 區塊或最小值 X'_{\min} 區塊，如式(8)、(9)：

$$F_{i,j}^{\max} = \begin{cases} 1, & \text{if } d_{i,j}^{\max} \leq d_{i,j}^{\min} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$F_{i,j}^{\min} = \begin{cases} 1, & \text{if } d_{i,j}^{\max} > d_{i,j}^{\min} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

由式(8)、(9)可以得知：若該像素 $X'_{i,j}$ 的 $d_{i,j}^{\max}$ 小於 $d_{i,j}^{\min}$ ，將該像素歸類為最大值區塊，並且將對應的最大值旗標 $F_{i,j}^{\max}$ 設定為 1，否則將 $F_{i,j}^{\max}$ 設定為 0；相對的，如果該像素的 $d_{i,j}^{\max}$ 大於 $d_{i,j}^{\min}$ ，將該像素歸類為最小值區塊，並把對應的最小值旗標 $F_{i,j}^{\min}$ 設定為 1，否則將 $F_{i,j}^{\min}$ 設定為 0。因此我們可以透過式(8)、(9)來估算分析視窗中，乾淨像素屬於最大值及最小值的個數，做為此分析視窗中的分佈機率值的參考。

分析視窗中的乾淨像素屬於各類群的數量，可以計算最大值旗標 $F_{i,j}^{\max} = 1$ 的數量及最小值旗標 $F_{i,j}^{\min} = 1$ 的數量得到，如式(10)、(11)所示：

$$N_{i,j}^{\min} = \sum_i \sum_j F_{i,j}^{\min} \quad (10)$$

$$N_{i,j}^{\max} = \sum_i \sum_j F_{i,j}^{\max} \quad (11)$$

其中： $N_{i,j}^{\min}$ 為分析視窗中像素屬於最小值的像素總數量， $N_{i,j}^{\max}$ 為分析視窗中像素偏向最大值的像素總數量。

利用分析視窗中屬於最大像素值總數量 $N_{i,j}^{\max}$ 及屬於最小像素值總數量 $N_{i,j}^{\min}$ 可以得到該分析視窗乾淨像素屬於最大值的機率 P_{\max} ，及屬於最小值的機率 P_{\min} ，如式(12)、(13)

$$P_{\max} = N_{i,j}^{\max} / N_{i,j}^{\text{clean}} \quad (12)$$

$$P_{\min} = 1 - P_{\max} \quad (13)$$

利用式(12)及(13)算出來的機率值若較高，代表該分析視窗的像素較接近機率高的像素值 X'_{\max} 或 X'_{\min} ，利用這個特性作為重建受干擾像素的權重以達到影像重建的效果。

將視窗中最大像素值與對應的機率值相乘，加上最小像素值與對應的機率相乘，可以得到一個重建像素值 $\hat{X}_{i,j}$ ，並且取代關注像素 $X_{i,j}$ ，如式(14)：

$$\hat{X}_{i,j} = P_{\max} \cdot X'_{\max} + (1 - P_{\max}) \cdot X'_{\min} \quad (14)$$

利用式(14)逐一處理影像中的每一個受干擾像素，便可以得到除雜訊影像。

2.3 第二級全域相似性之後處理方法

受脈衝雜訊干擾之影像經過除雜訊演算法處理後的圖像可能會產生模糊失真，現有的研究方法僅從事除雜訊演算法對影像進行雜訊移除，無法進一步對除雜訊影像進行校正，本文方法是將除雜訊影像施予後處理，將除雜訊影像中的乾淨像素及其週圍像素建立像素碼簿(codebook)，並設立適當的門檻值，將第一級重建像素進行替換，改善除雜訊演算法的效

能，作法如圖 1 所示：

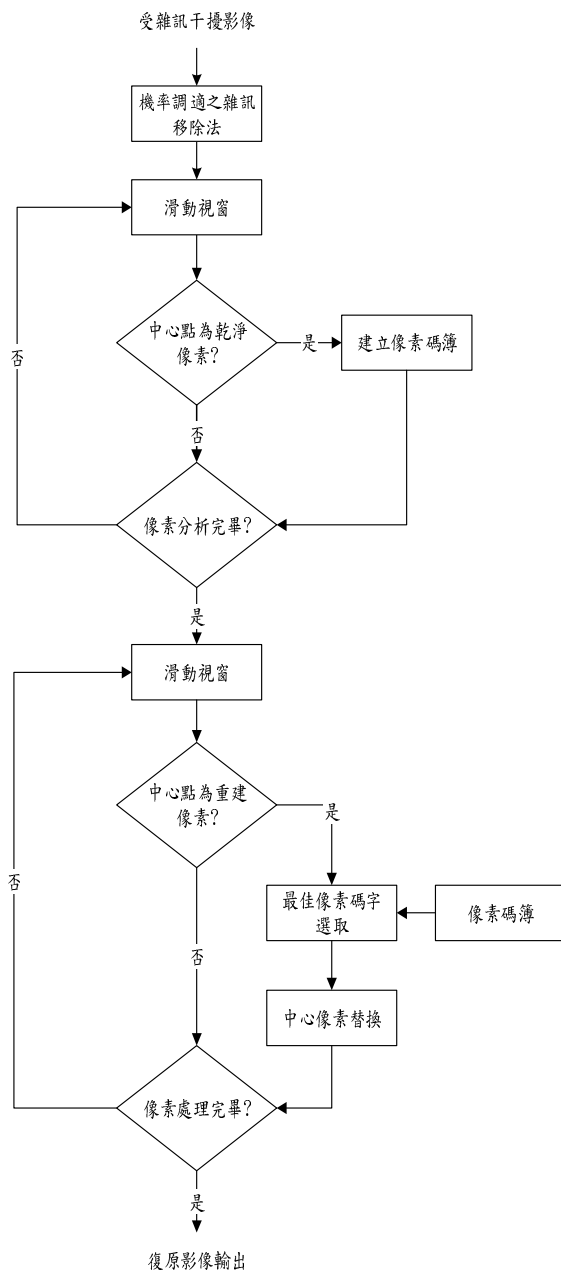


圖 1 除雜訊影像後處理之流程圖。

圖 1 為本文除雜訊影像的後處理流程圖，首先將受干擾影像進行機率調適之雜訊移除法移除雜訊，接著以滑動視窗來分析每一個像素，先判斷視窗的中心點是否為乾淨像素，若分析視窗的中心點為乾淨像素，便將該分析視窗的像素建立至像素碼簿(codebook)，若分析視窗的中心點不是乾淨像素，便分析下一個像素，直到全部像素分析完畢。接著利用滑動分析視窗偵測中心點是否為重建像素，若是重建像素便從像素碼簿(codebook)裡篩選出最佳像素碼字，做中心像素的替換，直至像素處理完畢，輸出後處理的影像。若分析視窗的中心像

素為乾淨像素，則不予後處理，確保後處理影像的品質。

本文利用除雜訊後的影像，以 3x3 分析視窗為範圍，逐一判斷中心點是否為乾淨像素，若中心點是乾淨像素，便將這 3x3 的分析視窗的全部像素，在像素碼簿(codebook)中，建立該新建的碼字(codeword)。而像素碼簿的優點是擁有整張影像的全域資訊，可以做為提升除雜訊影像品質的方法。

接著再次運用 3x3 分析視窗分析除雜訊影像的每一個像素，若中心點是重建像素，即從像素碼簿(codebook)中，逐一比對每一個碼字，挑選最接近分析視窗的像素碼字，如式(15)：

$$c(p^*) = \arg \min_p \{d(\tilde{s}(i, j), c(p))\} \quad (15)$$

其中：p*表是最接近分析視窗的像素碼字索引。

經由式(15)選中的碼字代表重建影像中，與目前分析視窗最接近的視窗方塊，而且中心像素為沒有遭受脈衝雜訊干擾的乾淨像素。為了避免後處理的影像的品質劣化，可以利用碼字相似距離門檻值σ做為篩選最佳像素碼字的門檻，如式(16)：

$$\tilde{s}(i, j) = \begin{cases} c(p), & \text{if } d(\tilde{s}(i, j), c(p^*)) < \sigma \\ \tilde{s}(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

其中：d(̃s(i, j), c(p*))代表最佳像素碼字c(p*)與分析視窗的像素距離，可以由式(16)計算求得：

$$d(\tilde{s}(i, j), c(p^*)) = \sum_{\Delta = -2}^2 |\tilde{s}(i + \Delta, j + \Delta) - c(\Delta, \Delta, p^*)| \quad (17)$$

在式(17)中，計算分析視窗中的像素與最佳像素碼字每個像素之間的總距離，可以做為兩者的相似度測度值；若像素總距離d(̃s(i, j), c(p*))越大，代表分析視窗中的像素與最佳像素碼字不相似。相反的，d(̃s(i, j), c(p*))越小，代表分析視窗中的像素與最佳像素碼字很相似。

由式(16)可以得知：若最佳像素碼字c(p*)與分析視窗的相似度很高，亦即d(̃s(i, j), c(p*)) < σ，代表整張影像中，有一個區塊與分析視窗相似，而且中心像素為乾淨像素，因此使用該乾淨像素取代第一級經由均化重建的像素，提升影像品質。相對的，若是

最佳像素碼字 $c(p^*)$ 與分析視窗的相似度較低，亦即 $d(\tilde{s}(i, j), c(p^*)) \geq \sigma$ ，代表整張影像中，沒有一個區塊與分析視窗極度相似，因此維持第一級的重建像素不變，避免使後處理影像品質劣化。

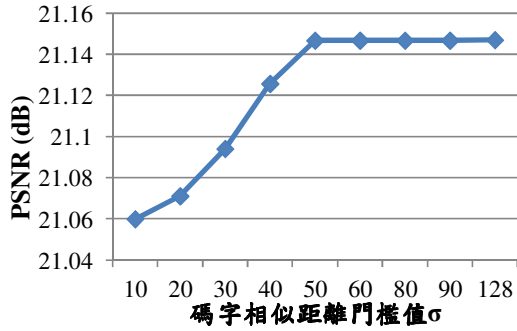


圖 2. 90% 的雜訊密度下，碼字相似距離門檻值 σ 與後處理影像的變化關係圖。

表 1 重建 Lena 影像之峰值訊雜比(PSNR (dB)) 之比較表

Noise density	Denoising method			
	DWM	MDBUT MF	PA	Proposed
10%	40.78	37.91	42.53	43.71
20%	37.02	34.78	39.12	39.98
30%	34.63	32.29	36.92	37.69
40%	32.51	30.32	35.16	35.90
50%	30.23	28.18	33.87	34.49
60%	27.69	26.43	32.29	32.87
70%	25.23	24.30	30.95	31.37
80%	21.00	21.70	29.12	29.59
90%	15.45	18.40	26.84	27.05

圖 2 是在 90% 的雜訊密度下，分析 50x50 影像的碼字相似距離門檻值 σ 與 PSNR 值變化的關係圖；由式(16)可以得知：當碼字相似距離門檻值越小時，表示後處理替換的像素越少，亦即使用影像的全域訊息越少，所得到的 PSNR 值較低。相對的，若碼字相似距離門檻值越大時，表示後處理替換的像素越多，亦即使用影像的全域訊息越多，所得到的 PSNR 值提高，後處理的影像品質提升。由圖 2 可以發現：當碼字相似距離門檻值 σ 為 50 時，已經使峰值信噪比 PSNR 值提升至最高狀態，因此本文的實驗中，均將 σ 設為 50。由圖 2 也可知本文的方法可以有效改善除雜訊演算法的效

能，並且讓後處理影像更接近原始乾淨的影像，改善重建影像的品質。

3. 實驗結果

為了評估本文的後處理系統效能，我們使用“Lena”及“Boat”影像加入椒鹽雜訊，在雜訊密度 10%~90% 的環境中，分別以方向權重中值濾波器(directional weighted median filter, DWM)[13]、修正型非對稱修整中值濾波器(modified decision based unsymmetric trimmed median filter, MDBUTMF)[15]、可變視窗與像素機率調適之方法(probability adaptation, PA)[6]和本文提出的全域相似性之後處理方法(Proposed)進行效能比較，我們使用峰值訊雜比(peak signal to noise ratio, PSNR)及呈現處理受干擾影像的圖片來評估除雜訊後的數位影像品質，並將實驗結果分別以圖表呈現。



圖 3 Lena 影像在 10% 椒鹽雜訊干擾時，除雜訊影像成果圖：(a) 遭受干擾之影像；(b) 使用方向權重中值(DWM)濾波器；(c) 使用修正型非對稱修整中值(MDBUTMF)濾波；(d) 使用可變視窗與像素機率調適(PA)之方法；(e) 使用本文方法後處理的影像；(f) 原始影像。

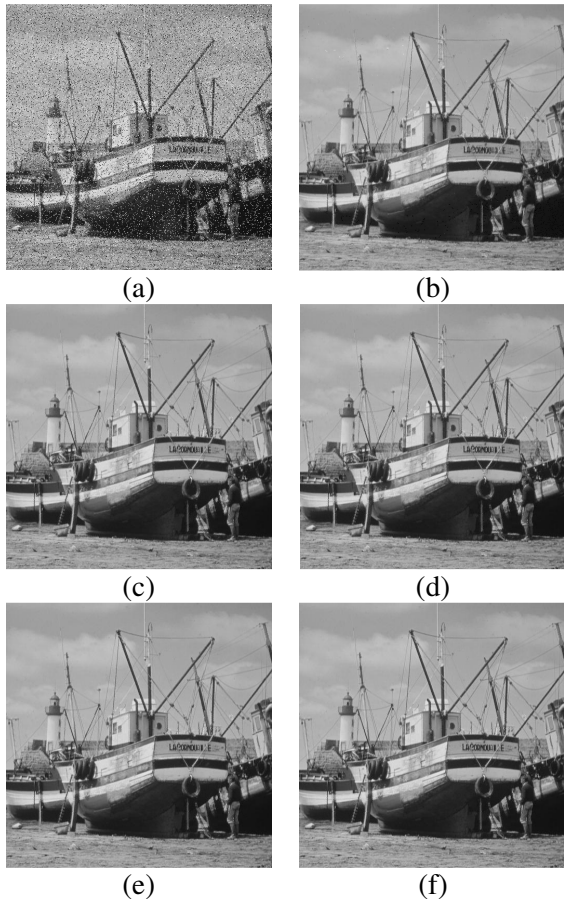


圖 4 Boat 影像在 10%椒鹽雜訊干擾時，除雜訊影像成果圖：(a)遭受干擾之影像；(b)使用方向權重中值(DWM)濾波器；(c)使用修正型非對稱修整中值(MDBUTMF)濾波；(d)使用可變視窗與像素機率調適(PA)之方法；(e)使用本文方法後處理的影像；(f)原始影像。

表 1 呈現以峰值訊雜比(peak signal to noise ratio, PSNR)為評估標準之比較表，各種不同雜訊移除演算法修復遭受密度 10%至 90%之椒鹽雜訊干擾的“Lena”影像，由表 1 可以看出：在中、低雜訊密度的環境中(雜訊密度為 10~70%)，修正型非對稱修整中值濾波器的表現較差，最主要的原因為該方法僅排除分析視窗的極值像素，直接做中值濾波，無法有效的保留圖像中的物件邊緣特徵。相對的，可變視窗與像素機率調適之方法(PA)的效能非常優良，主要原因為該方法透過分析視窗中以極大值、中間值、極小值依照出現機率做適當的權重，可以呈現影像中的邊緣特徵，因此在低雜訊密度的環境中，具有足夠乾淨像素，所以能有效的重建遭到脈衝雜訊破壞的像素；經由本文方法施予後處理之後，可以持續提升重建影像的品質，主要原因是本文方法不僅使用局部分析視窗的機率分佈特性，而且還使用影像的

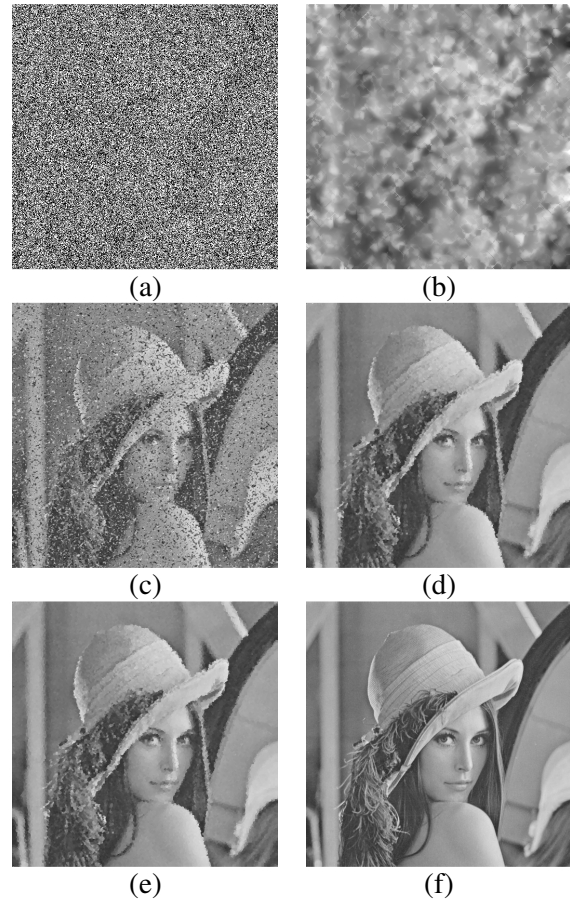


圖 5 Lena 影像在 90%椒鹽雜訊干擾時，除雜訊影像成果圖：(a)遭受干擾之影像；(b)使用方向權重中值(DWM)濾波器；(c)使用修正型非對稱修整中值(MDBUTMF)濾波；(d)使用可變視窗與像素機率調適(PA)之方法；(e)使用本文方法重建後的影像；(f)原始影像。

全域資訊中，未受雜訊干擾的像素對除雜訊影像進行後處理，可以讓影像品質變得更清晰。在嚴重雜訊密度的環境中(雜訊密度為 70%~90%)，方向權重中值濾波器(DWM)[13]與修正型非對稱修整中值濾波器(MDBUTMF)[15]兩種方法的效能衰減非常嚴重；相對的，可變視窗與像素機率調適之方法(PA)的品質雖然有降低，但是依然能夠持續對受干擾影像進行雜訊移除的效果，而且重建影像品質大幅優於方向權重中值濾波器(DWM)與修正型非對稱修整中值濾波器(MDBUTMF)；將除雜訊影像經由本文方法施予後處理之後，依然可以在各種雜訊密度的環境鏡中，持續提升重建影像品質。由於本文方法得到的 PSNR 數值隨著雜訊密度升高的驟降程度皆不大，因此我們可以確信：使用本文的後處理方法，確實可以提升除雜訊影像的品質。

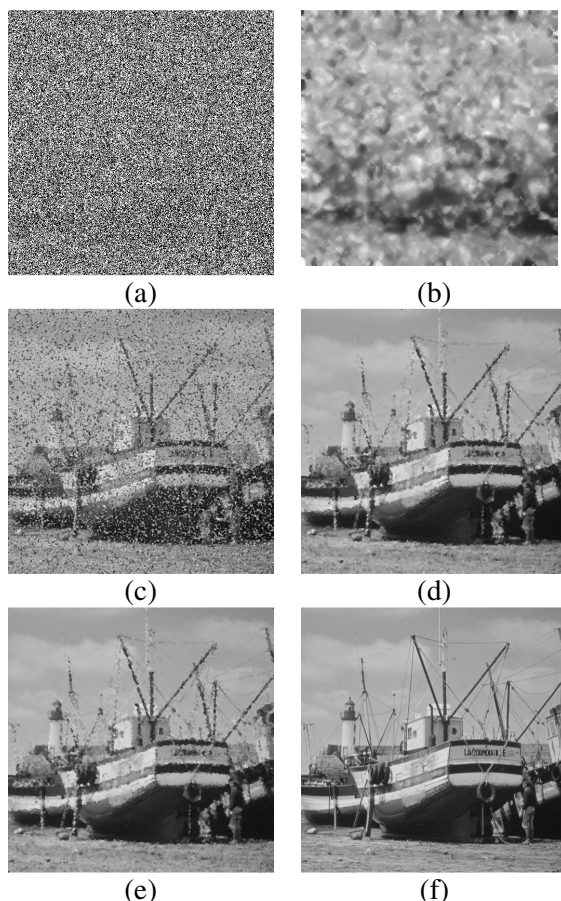


圖 6 Boat 影像在 90% 椒鹽雜訊干擾時，除雜訊影像成果圖：(a) 遭受干擾之影像；(b) 使用方向權重中值(DWM)濾波器；(c) 使用修正型非對稱修整中值(MDBUTMF)濾波；(d) 使用可變視窗與像素機率調適(PA)之方法；(e) 使用本文方法重建後的影像；(f) 原始影像。

圖 3 呈現 “Lena” 影像在 10% 椒鹽脈衝雜訊干擾時，以各種不同演算法除雜訊影像的成果比較圖，由圖中可以看出各種方法在低雜訊密度的環境下，都可以有效的移除脈衝雜訊，而且重建影像都非常優良。圖 4 呈現 “Boat” 影像在 10% 椒鹽脈衝雜訊干擾時，以各種不同演算法除雜訊影像的成果比較圖，由圖中可以看出各種方法在低雜訊密度的環境下，都可以有效的移除脈衝雜訊，而且重建影像都非常優良，除雜訊影像成果與圖 4 的 “Lena” 影像效果一致。圖 5 呈現 “Lena” 影像遭受 90% 之椒鹽雜訊干擾，以各種不同演算法修復結果(如圖 5(b)~(e) 所示)，由圖 5(b)~(c) 可以明顯觀察到：“Lena” 影像因為受到嚴重雜訊密度干擾的關係，使用方向權重中值濾波器(DWM)重建的影像已經完全無法辨識影像的內涵；使用修正型非對稱修整中值濾波器(MDBUTMF)雖然可以重建 “Lena” 影像，但是依然存在許多脈衝雜

訊，除雜訊效果不佳；使用可變視窗與像素機率調適(PA)及本文之方法能有效的重建受干擾像素，達到提升重建影像品質的目的。圖 6 呈現 “Boat” 影像遭受 90% 之椒鹽雜訊干擾，以各種不同演算法修復結果(如圖 6(b)~(e) 所示)，由圖 6(b) 可以看出：使用方向權重中值濾波器(DWM)重建的影像的畫面已經無法辨識影像的紋路與特徵，效能很差；由圖 6(c) 可以看出 “Boat” 影像可以概略看出形狀，但是船上的纜繩已經看不到，而且整張影像佈滿了許多脈衝雜訊，因此使用修正型非對稱修整中值濾波器(MDBUTMF)，處理嚴重雜訊干擾的影像時，效果也不佳；由圖 6(d) 及 6(e) 可以看出：使用可變視窗與像素機率調適(PA)及本文之方法能有效的重建受干擾像素，船的形狀很清楚，而且部分纜線也依然可見，可以辨識影像的重要特徵，比起方向權重中值濾波器(DWM)與修正型非對稱修整中值濾波器重建的影像(圖 6(b)~(c)) 而言，濾波效果明顯優越許多。

4. 結論

本文提出使用全域相似性之後處理方法來改善除雜訊影像品質，透過建立像素碼簿(codebook)，並設立適當的門檻值，挑選最佳碼字(codeword)，進行中心像素替換，以乾淨像素替換第一級均化得到的重建像素，便可以得到後處理影像，提高重建影像的正確性。經由實驗結果證明：本文提出的後處理方法確實可以持續改善可變視窗與像素機率調適的演算法的除雜訊效能，在各種雜訊密度的環境下(雜訊密度 10%~80%) 能改善除雜訊影像的品質，而且不會讓重建的影像產生模糊化的現象，經由後處理的除雜訊影像可以有效的保留邊緣與各種圖像特徵，所以看起來很清晰。

誌謝

本研究由科技部專題研究計畫之經費支助，計畫編號為 MOST 104-2221-E-468-007。

參考文獻

- [1] 吳俊霖、吳豐佑、林龍駿，“一個改良式切換中值濾波器由高汙染影像移除脈衝雜訊”，*技術學刊*，卷 24，期 2，pp. 143-156，2009。
- [2] 周子雋，“使用最佳方向之開關權重中值濾波於脈衝影像雜訊移除之研究”，*碩士論*

- 文，*亞洲大學資訊傳播學系*，台中，2011。
- [3] 莊旭銘，“一個可保留影像邊緣特性的雜訊移除演算法及其硬體實作”，*碩士論文，國立成功大學資訊工程學系*，台南，2006。
- [4] 陳淇鈺，“使用邊緣保留與相鄰視窗變化調整法於受干擾影像中移除椒鹽雜訊”，*碩士論文，亞洲大學資訊傳播學系*，台中，2013。
- [5] 張凱育，“用來移除雜訊的高成效距離矩陣濾波器”，*碩士論文，國立台北教育大學資訊科學系*，台南，2005。
- [6] 張郡芳，“使用可變視窗與像素機率調適之影像椒鹽雜訊移除”，*碩士論文，亞洲大學資訊傳播學系*，台中，2015。
- [7] 蔡長諺，“用於突波雜訊移除之適應性中值影像濾波器”，*碩士論文，國立成功大學資訊工程學系*，台南，2005。
- [8] Bovik, A. *Handbook of Image and Video Processing*. New York: Academic, 2000.
- [9] Chen, T. and Wu, H. R., “Adaptive Impulse Detection Using Center-Weighted Median Filters,” *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-3, Jan. 2001.
- [10] Chen, P. Y. and Lien, C. Y., “An Efficient Edge-Preserving Algorithm for Removal of Salt-and-Pepper noise,” *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 15, pp. 833-836, July 2008.
- [11] Crnojevic, V. Senk, V. and Trpovski, Z., “Advanced Impulse Detection Based on Pixel-Wise MAD,” *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 11, No. 7, pp. 589-592, July 2004.
- [12] Deng, Z., Yin, Z. and Xiong, Y., “High Probability Impulse Noise-Removing Algorithm Based on Mathematical Morphology,” *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 14, No. 1, pp. 31-34, Jan 2007.
- [13] Dong, Y. and Xu, S., “A New Directional Weighted Median Filter for Removal of Random-Valued Impulse Noise,” *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 14, No. 3, pp. 193-196, Mar. 2007.
- [14] Eng, H. L. and Ma, K. K., “Noise Adaptive Soft-Switching Median Filter,” *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 10, No. 2, pp. 242-251, Feb. 2001.
- [15] Esakkirajan, S., Veerakumar, T., Subramanyam, A. -N., and Chand, P. -C., “Removal of High Density Salt and Pepper Noise Through Modified Decision Based Unsymmetric Trimmed Median Filter,” *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 18, No. 5, pp. 287-290, 2011.
- [16] Hwang, H. and Haddad, R. A., “Adaptive Median Filters: New Algorithms and Results,” *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 4, No. 4, pp. 499-502, Apr. 1995.
- [17] Li, Z., Cheng, Y., Tang, K., Xu, Y. and Zhang, D., “A Salt & Pepper Noise Filter Based on Local and Global Image Information,” *Neurocomputing*, Vol. 159, pp. 172-185, 2015.
- [18] Liu, L., Chen, C. -P., Zhou, Y., and You, X. “A New Weighted Mean Filter with A Two-Phase Detector for Removing Impulse Noise,” *Information Sciences*, Vol.315, pp. 1-16, 2015.
- [19] Lu, C. -T. , “Removal of Salt-and-Pepper Noise Using Gain Masker Adapted by Switching Pixel Variance and Edge Direction,” *International Journal of Electrical Engineering*, Vol. 21, No. 1, pp. 21-31, Feb. 2014.
- [20] Lu, C. -T. and Chou, T. -C., “Denoising of Salt-and-Pepper Noise Corrupted Image Using Modified Directional-Weighted-Median Filter,” *Pattern Recognitions Letters*, Vol. 33, No. 10, pp 1287-1295, July 2012.
- [21] Ng, P. -E. Ng and Ma, K. -K., “A Switching Median Filter with Boundary Discriminative Noise Detection for Extremely Corrupted Images,” *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 15, No. 6, pp. 1506-1516, June 2006.
- [22] Toh, K. K. V., Isa, N. A. M., “Noise Adaptive Fuzzy Switching Median Filter for Salt-and-Pepper Noise Reduction,” *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 17, No. 3, pp. 281-284, Mar. 2010.
- [23] Zhang, S. and Karim, M. A., “A New Impulse Detector for Switching Median Filters,” *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 9, No. 11, pp. 360-363, Nov. 2002.
- [24] Zhang, X. and Xiong, Y., “Impulse Noise Removal Using Directional Difference Based Noise Detector and Adaptive Weighted Mean Filter,” *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 16, No. 4, pp. 295-298, Apr. 2009.