

# 應用於彩色影像的改良式中值濾波器

高世恆<sup>1</sup> 周賢興<sup>2</sup>

1. 國立宜蘭大學電子工程學系研究生
2. 國立宜蘭大學電子工程學系副教授

## 摘要

本文提出一個以中值濾波器為基礎架構的簡易非線性影像濾波器演算法, 此濾波器能有效的處理脈衝雜訊對數位彩色影像所造成的影響, 並改善傳統濾波器所產生的色變問題。它的特點在於: (1) 濾除彩色影像雜訊所需計算較向量濾波器簡潔, 因此較適用於各種低成本之即時性應用和實現; (2) 可同時處理傳統濾波器和向量濾波器在處理彩色影像時對影像平滑和邊緣正確性折衝的問題。由實驗結果顯示, 本文所提出之演算法在移除脈衝雜訊之效果優於傳統濾波器, 並顯著降低處理雜訊後對影像邊緣所造成的破壞。

**關鍵詞:** 中值濾波器、向量濾波器、脈衝雜訊

# An Improved Median Filter For Color Images with Impulse Noise

Shi-Hung Gao<sup>1</sup> Hsien-Hsin Chou<sup>2</sup>

1. Graduate Student, Department of Electronic Engineering, National Ilan University.
2. Associate Professor, Department of Electronic Engineering, National Ilan University.

## ABSTRACT

In this paper, we propose a simple non-linear image filter based on the median filter structure. The proposed algorithm achieves the effective noise-removal for color image with impulse noises, and reduces the discoloration problem of the traditional filter. The major advantages of the novel method include: (1) it takes less calculations than the vector filter in the color image process, so the proposed method is more suitable for using in several low-cost and real-time applications. (2) It can deal with the tradeoff problem between image smoothing and edge correction caused in the filtering process. The experimental results show that our method performs better effect than traditional filter and significantly reduces the damages of image edge in the procedure of removing the impulse noise.

**Keywords:** Median filter, Vector filter, impulse noise

## 一、前言

隨著寬頻網路及 3G 系統的普及，多媒體通訊的需求幾乎無所不在，對於數位影像的應用和延伸當然也不在話下。而在整個影像資料處理的步驟中，雜訊處理和影像復原可說是影像處理的首要之務[1]。畢竟，失真太大的影像資料不但沒有應用上的價值，甚至會造成不可彌補的問題。例如，當雜訊太大的影像資料如 X 光片出現在遠距醫療系統上，或錯誤的影像地圖出現在導航系統中，其可能造成的損失是無法想像的。而目前的影像感測裝置，如 CCD 及 CMOS 等多會在產生影像資料的過程中或是在不穩定的傳輸通道中受到脈衝式雜訊干擾。因此在影像處理的研究領域中，雜訊抑制一直是熱門的研究項目之一，對於處理方式可區分為空間域(Spatial Domain)和頻率域(Spectral Domain)兩大類。

一般來說，空間域處理相對於將影像資料視為連續性頻率強度變化的頻率域影像處理而言，較適合於加成性(Additive)雜訊干擾上的處理[3]，如傳輸過程常見的脈衝式及附加式隨機雜訊。原因是空間域的處理重點在於直接處理小遮罩區域影像的組成元素，也就是我們所謂的像素值(Pixel)，因此處理的方式簡潔快速，而且效果明顯。而頻率域的處理重點在於一連串的轉換估算，過程較為繁雜，因此比較適合於大範圍影像資料的壓縮、還原和轉換上。

傳統空間域中最受歡迎的影像濾波器之一為著名的中值濾波器 (Median Filter) [4]，對一些常見的隨機雜訊，它提供了絕佳的雜訊降低效能，而且比起線性平滑濾波器，處理後造成的影像模糊化顯著較小。但是當中值濾波器用在處理彩色影像時，經常會產生色變的問題；這是因為彩色影像是個多維度 (Multichannel)[7] 的影像，如 RGB 三色相影像，當我們分別對每個原色相平面獨立處理時，破壞了各平面間的色彩關聯性，將造成 RGB 平面所組成向量方向

改變的情況(如圖 1 所示)。因此取而代之發展出專門處理彩色影像的向量中值濾波器 (Vector Median Filter)[6]。後者在處理彩色影像時雖然可以得到較正確的色彩關聯(如圖 2 所示), 但是不考慮相鄰像素之連續性, 因此在影像邊緣容易形成鋸斷狀和凹凸的情況, 使得一些需要精確輪廓或內含文字的影響可靠性下降。

另外, 由於通訊傳輸中的影像所加成的雜訊可能僅破壞某部分色相, 而向量濾波器對於空間遮罩內的像素處理都是統整式的, 降低了雜訊消除的重要條件, 也就是影像平滑的功能。因此許多文獻提出各種改善演算法, 比如向量方向濾波器 (Vector Directional Filter; VDF)[11]或方向距離濾波器 (Directional Distance Filter; DDF)[12]。但無一例外的, 它們都增加了複雜的數學計算, 尤其因精確度要求必須使用較大的空間遮罩時, 更大幅降低了空間濾波器簡潔快速的優勢。

本文中, 我們提出一個以調整輸出為架構的簡易中值濾波器, 它能針對彩色影像受到脈衝雜訊的破壞情況來做調整, 有效的保存重要的影像資訊。在本論文的第二章我們將比較目前常見的影像濾波器的優、缺點, 第三章我們會說明所提出結合式濾波器的架構和論點, 第四章呈現實驗結果, 最後是結論。

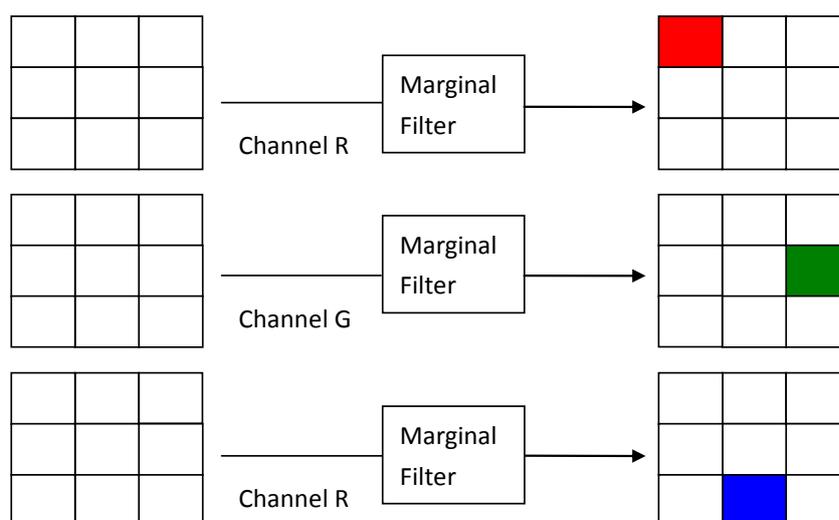


圖 1 傳統的非線性中值濾波器在處理彩色影像空間遮罩時, 所造成輸出影像不一致的問題

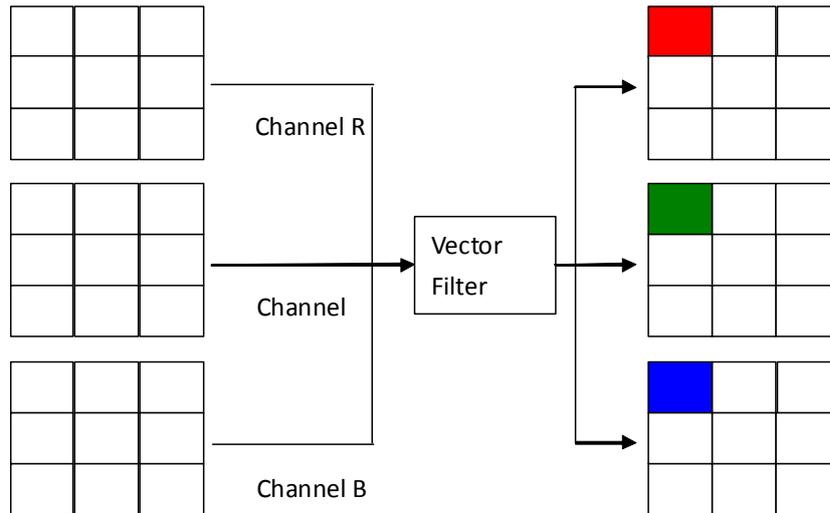


圖 2 向量濾波器在處理彩色影像的情況

## 二、文獻回顧

首先我們介紹幾種常見的影像空間濾波器，其工作原理將作為進一步討論的基礎。

### 2.1 最小誤差濾波器

最小誤差濾波器即我們常說的中值濾波器 (Median Filter)，原理是將影像中的像素值排序比較，選誤差最小的為輸出，表示如下：

$$Y(i, j) = \text{median} \{ X(i-s, j-t) \mid (s, t) \in W \} \quad (1)$$

其中， $Y$  為空間遮罩  $W$  內像素值排序後選取中間值的輸出。

$$X_{(1)} \leq X_{(2)} \leq \dots \leq X_{(N-1)} \leq X_{(N)} \quad (2)$$

中值濾波器的特點在於能處理差異極大的像素值，如影像傳輸中常遇到的脈

衝雜訊或胡椒鹽雜訊 (Salt and Pepper Noise), 在能容忍一部分的影像細微資訊濾除的情況下, 中值濾波器都能保持不錯的效果。而它本身也演生不少濾波器, 如權重中值濾波器 (Weighted Median Filters)[8]、中央權重中值濾波器 (Center Weighted Median Filters)[9] 和適應中值濾波器 (Adaptive Median Filters)[10] 等。

## 2.2 最小平方差濾波器

### A. 向量中值濾波器 (Vector Median Filter ; VMF)

利用 RGB 平面上像素值所組成的向量, 比較空間遮罩內其他向量的歐基里得距離 (Euclidean Distance), 表示如下:

$$D_i = \sum_{j=1}^N d(X_i, X_j) \quad (3)$$

其中,  $D$  代表誤差距離, 然後以差異最小所對應的像素值  $i$  為輸出, 或者是說以相似度最高(Maximum Likelihood Estimate ; MLE) 的像素為代表輸出結果。

$$D_{(1)} \leq D_{(2)} \leq \dots \leq D_{(N-1)} \leq D_{(N)} \quad (4)$$

### B. 向量方向濾波器 (Vector Directional Filter ; VDF)

和 VMF 的原理相同, 只不過 VDF[11] 考慮的是向量間角度的差異, 表示如下:

$$A_i = \sum_{j=1}^N \theta(X_i, X_j) \quad (5)$$

其中,  $A$  代表誤差角度, 然後以誤異最小所對應的像素值的為輸出, 也可表示成下列式子。

$$x_{(1)} = \arg \min_{x_i \in W} \sum_{j=1}^N \theta(x_i, x_j) \quad (6)$$

### C. 方向距離濾波器 (Directional Distance Filter ; DDF)

相較於 VMF 和 VDF，DDF[12] 除了考慮到角度上的差異，也同時考慮到距離上的差異。可以說是結合上述兩種濾波器的特點，其表示如下：

$$\Omega_i = \sum_{j=1}^N \theta(x_i, x_j) \times \sum_{j=1}^N d(x_i, x_j) \quad (7)$$

其中，DDF 在距離上的誤差是採用曼哈頓距離 (Manhattan distance ; City-Block) 來計算，最後以誤差最小所對應的像素值的為輸出。

$$\Omega_{(1)} \leq \Omega_{(2)} \leq \dots \leq \Omega_{(N-1)} \leq \Omega_{(N)} \quad (8)$$

我們舉宜蘭大學標誌圖案加入雜訊影響和濾波器處理結果為例，從圖 3(c) 中我們可看出來中值濾波器在邊緣上造成部分 RGB 向量的偏差錯誤，但是中值濾波器對於影像平滑的效果很好，在高雜訊下的環境及保持影像結構完整上都有極佳的表現。而向量中值濾波器(d)則較無向量偏差的問題，但是將每個 RGB 的空間遮罩合成向量來表示，因此所合成的向量遮罩都是獨立運作，而造成鄰近向量強度或是方向上的不一致，使得邊緣破損。向量方向(e)和方向距離濾波器(f)增加複雜計算，對於邊緣破壞的情況稍有改善，但是因結構上的限制，仍然有部分破損的情況。我們的目標即在發展一種更簡易的演算法來解決傳統這些濾波器的缺陷。

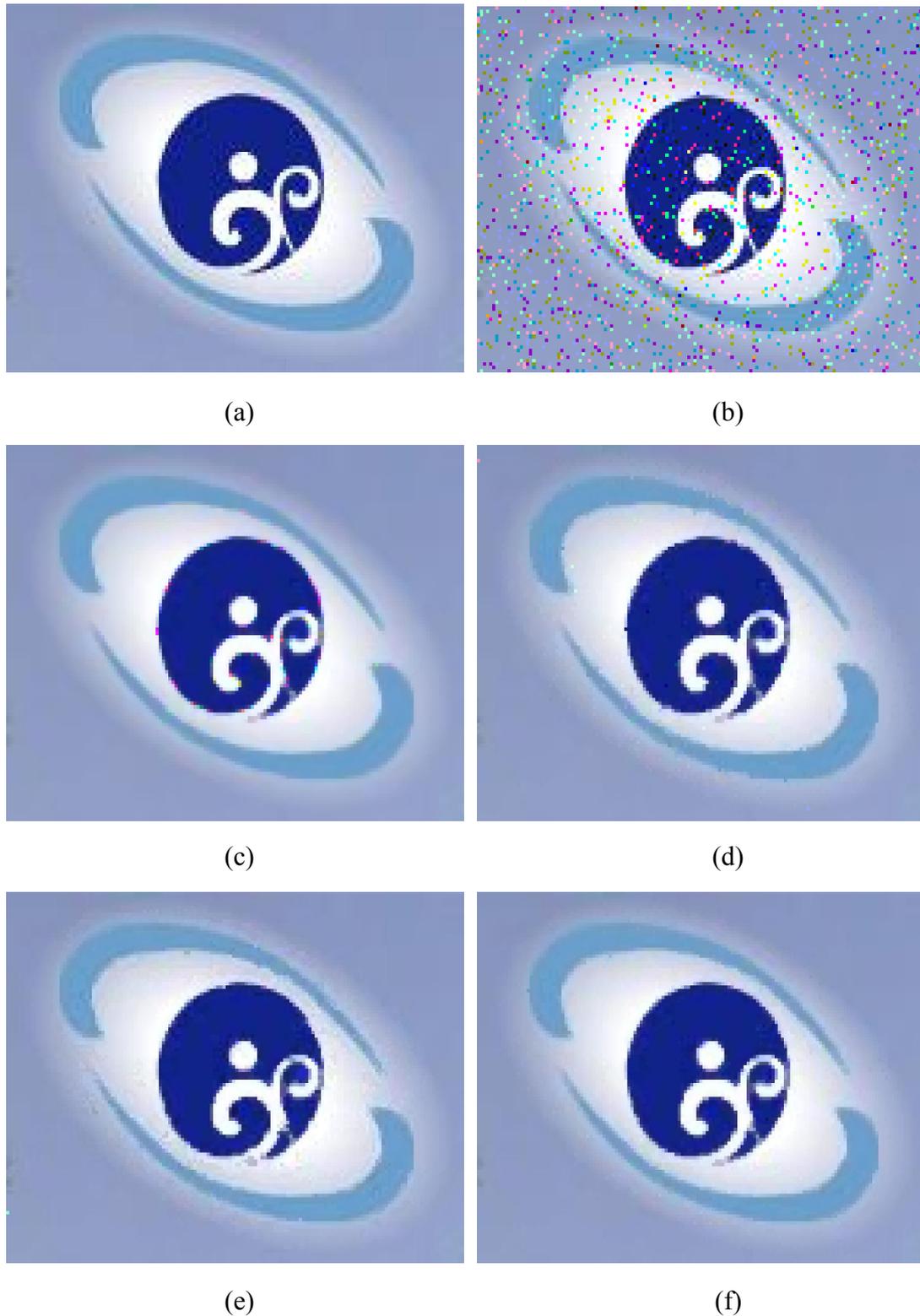


圖 3 宜蘭大學標誌圖案加入雜訊影響和濾波器處理結果：(a) 原始影像，(b) 加入胡椒鹽 (Salt and Pepper) 雜訊，雜訊比為 5%，(c) 中值濾波器處理後的影像 (邊緣色變)，(d) 向量中值濾波器處理後的影像 (邊緣鋸齒化)，(e) 向量方向濾波器處理後的影像，(f) 方向距離濾波器處理後的影像

### 三、所提出的改良式濾波器架構

#### 3.1 理論架構

我們考慮現實多媒體通訊中的影像像素，經常是以 RGB 三位元組串列傳輸，因此所加成的雜訊可能僅破壞單一或部分色相。當數位影像遭到脈衝雜訊影響後，會產生正常像素原色值被雜訊改變的問題，所以就 RGB 影像的情況而言，會有幾種可能：一、三個 RGB 平面上的空間遮罩同時存在相同或不同位置的雜訊；二、RGB 平面上有任兩個空間遮罩同時存在相同或不同位置的雜訊；三、RGB 平面上有任一個空間遮罩存在雜訊；四、RGB 平面上的空間遮罩沒有雜訊。由圖 4、圖 5、圖 6 可看出錯誤的像素值造成向量方向偏移所產生的色變問題。因此，當一個像素僅受到部分破壞時，其他未被破壞的色相原色值其實仍保有相當重要的資訊。

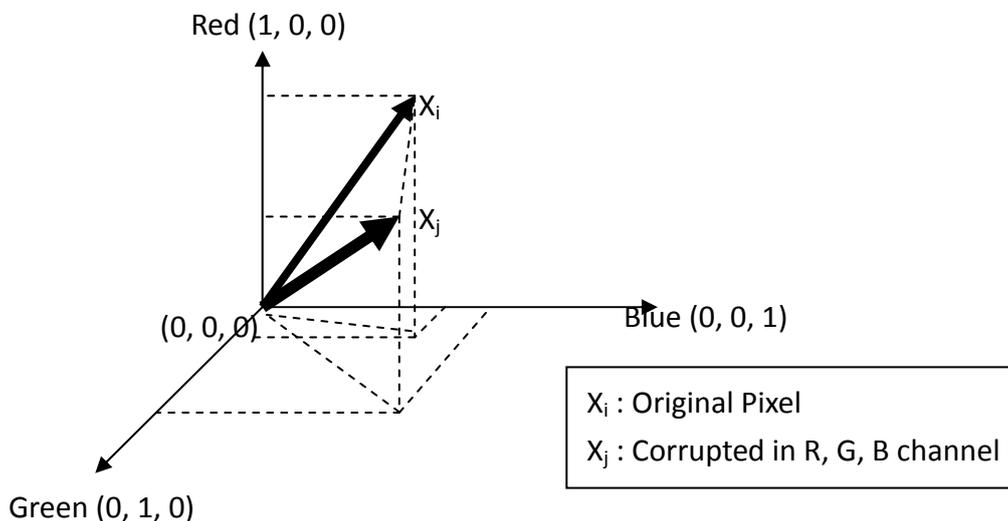


圖 4 RGB 平面上的空間遮罩同時存在相同或不同位置的雜訊所造成的向量方向偏移

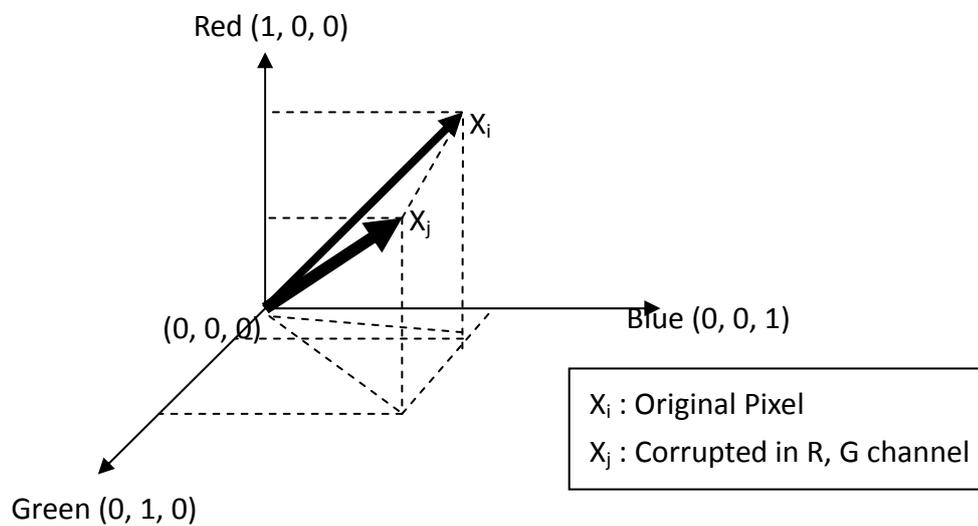


圖 5 RGB 平面上有任兩個空間遮罩同時存在相同或不同位置的雜訊所造成的向量方向偏移

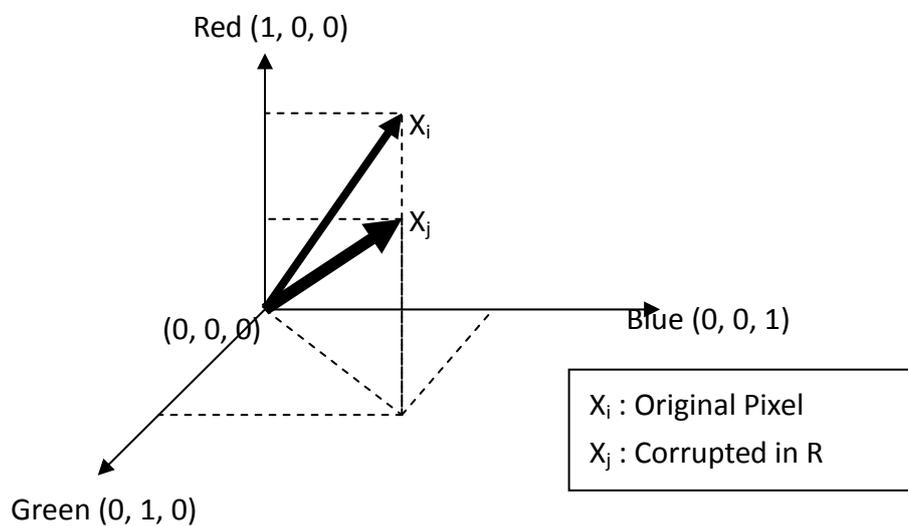


圖 6 RGB 平面上有任一個空間遮罩存在雜訊所造成的向量方向偏移

### 3.2 演算法架構

當我們比較傳統濾波器和向量濾波器後可發現，改變 RGB 位置輸出的方式主要只有在邊緣容易產生顏色偏差，而在影像結構上卻可保持一定的平滑效果。亦即中值濾波器有較佳的平滑效果，只是忽略了各色相層間的關連性。因此我們相信中值濾波輸出在雜訊環境下是可靠的，但應該補強原來各色相層關連性的比重。相較於固定輸出向量模式，當我們適當的調整 RGB 的輸出中值，使其各色相保留原鄰近之相似性，不但可以得到較正確的邊緣結構，同時也可以降低顏色偏差的問題。所以我們以結合中值和向量的模式來進行最佳選擇上的判斷依據，當脈衝雜訊出現在彩色影像的 R、G、B 平面上時我們便可藉由中值濾波來進行雜訊處理，並且結合向量模式來檢查向量方向和強度上是否有偏差，以保留各原色相間之部分關聯性，其步驟如下：

Step 1：找出影像受到雜訊影響後的情況組合，大致上分為八組。

$$W = \{W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7, W_8\} \quad (9)$$

其中，W 為可能的組合，依次為：

$W_1$  (Original R, Original G, Original B) 、

$W_2$  (Median R, Median G, Median B) 、

$W_3$  (Median R, Original G, Original B) 、

$W_4$  (Original R, Median G, Original B) 、

$W_5$  (Original R, Original G, Median B) 、

$W_6$  (Median R, Median G, Original B) 、

$W_7$  (Original R, Median G, Median B) 、

$W_8$  (Median R, Original G, Median B) 。

在此，我們考慮了彩色影像受到脈衝雜訊時的所有可能情況。

Step 2：進行相似度 (誤差) 之間的比較以找出相似度最大 (誤差比最小的組合)。

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^8 \theta(w_i, w_j) * \sum_{j=1}^8 \|w_i, w_j\| \quad (10)$$

最後以誤差比最小的為最佳輸出組合。

$$\gamma = \text{Small} \{ \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_7, \alpha_8 \} \quad (11)$$

這裡我們可以明顯看到，所需的向量運算僅為固定的八組，相較於傳統向量濾波器，所需計算是隨著使用的空間遮罩尺寸而定，而空間遮罩大小又往往與影像還原的精確度成正相關。其中最小的遮罩都需要  $3 \times 3 = 9$  組向量運算，而當要求高精確度而放大遮罩尺寸時，例如  $5 \times 5$  或以上時，我們改進的中值濾波演算法所提供的簡潔優勢是顯而易見的。

#### 四、實驗結果分析與討論

對於數位影像受到雜訊影響和處理過後的變化，通常是採用絕對誤差 (Mean Absolute Error ; MAE) 以及均方誤差 (Mean Square Error ; MSE) 作為評估的依據。其定義如下：

$$MAE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^{M \times N} |X_i - Y_i| \quad (12)$$

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^{M \times N} (X_i - Y_i)^2 \quad (13)$$

其中， $M$ 、 $N$  為影像尺寸， $X$  為原始的影像色值， $Y$  為處理過後的影像。為了測試並比較濾波器對於雜訊處理和重要影像資訊保留的能力，我們以 MAE 來

評估影像處理過後的好壞。測試影像以 I-Lan University Mark 107×144 bits、Baboon 200×200 bits 和 Parrot 200×200 bits 的 RGB 彩色影像為測試目標。我們同時以最小 3×3 遮罩為例，並加入固定大小 (0 or 255) 和隨機性 (0~255) 的脈衝雜訊來測試不同雜訊模式下，相關影像濾波器和我們所提濾波器的處理結果。

在表 1、表 2 和表 3 中，我們以固定大小(胡椒鹽)雜訊為干擾雜訊，加入到 I-Lan University Mark、Baboon 及 Parrot 的影像中，雜訊比分別為 10%和 20%，顯示出來的數據為處理過後的 MAE 值。表 4、表 5 和表 6 則以隨機大小雜訊為干擾雜訊，同樣是以 I-Lan University Mark、Baboon 及 Parrot 為測試對象，雜訊比分別為 10%、20%，顯示出來的數據為處理過後的 MAE 值。從實驗數據顯示，我們提出的方法和原圖片的 MAE 誤差上，均比傳統方法降低了 30%以上，改善情況極為明顯。

表 1 加入脈衝雜訊比為 10%、20% 的固定大小雜訊之 I-Lan University Mark 影像的處理結果，數據為處理過後的 MAE 值

Impulse Noise	10%	20%
Median filter	2.3479	3.2957
VMF	3.0164	4.7577
BVDF	3.1314	5.4347
DDF	2.5003	3.7493
Proposed filter	1.3734	2.5465

表 2 加入脈衝雜訊比為 10%、20% 的固定大小雜訊之 Baboon 影像的處理結果，數據為處理過後的 MAE 值

Impulse Noise	10%	20%
Median filter	8.7290	9.7494
VMF	9.8657	11.9910
BVDF	10.9868	14.0985
DDF	9.1309	11.4993
Proposed filter	5.3559	7.5738

表 3 加入脈衝雜訊比為 10%、20% 的固定大小雜訊之 Parrot 影像的處理結果，數據為處理過後的 MAE 值

Impulse Noise	10%	20%
Median filter	3.9384	4.8704
VMF	4.7318	6.5846
BVDF	5.7048	8.2494
DDF	4.1277	5.4447
Proposed filter	1.9560	3.4965

表 4 加入脈衝雜訊比為 10%、20% 的隨機大小雜訊之 I-Lan University Mark 影像的處理結果，數據為處理過後的 MAE 值

Impulse Noise	10%	20%
Median filter	2.6349	4.0330
VMF	3.0296	4.7102
BVDF	3.2640	5.2355
DDF	2.5661	3.9672
Proposed filter	1.4000	3.0112

表 5 加入脈衝雜訊比為 10%、20% 的隨機大小雜訊之 Baboon 影像的處理結果，數據為處理過後的 MAE 值

Impulse Noise	10%	20%
Median filter	8.4515	9.1268
VMF	8.9842	10.2292
BVDF	10.0865	11.0727
DDF	8.5007	9.2929
Proposed filter	3.1735	9.1268

表 6 加入脈衝雜訊比為 10%、20% 的隨機大小雜訊之 Parrot 影像的處理結果，數據為處理過後的 MAE 值

Impulse Noise	10%	20%
Median filter	4.1571	5.9423
VMF	4.7214	7.3622
BVDF	5.5802	7.6648
DDF	4.2029	5.9569
Proposed filter	1.9943	4.0889

圖 7 延續圖 3 宜蘭大學校徽的實例，但改以受到另一種隨機雜訊的情況來討論。我們仍然可以很清楚看到在圖(b)中中值濾波器造成的色變問題和圖(c)中向量濾波器的邊緣鋸齒現象。經改使用本文所提之濾波器後，在圖(f)中明顯獲得了相當程度的改善。我們也再一次強調，此例中是為了保持相同比較基準，因此統一使用 $3 \times 3$ 遮罩；若為了獲得較佳平滑濾波效果，我們可以改採更大尺寸的遮罩，此時其他的向量濾波器所需的運算將以二次方 $O(n^2)$ 增加，而本文所提演算法則維持原來的簡潔特性，顯然較適合通訊上的即時應用。

圖 8 和圖 9 中，我們使用其他文獻所採用的狒狒和鸚鵡彩色影像[1,2]，分別顯示加入脈衝模式雜訊並經由濾波器處理後的結果。我們可從數據和影像中發現，改良式的中值濾波器可避免傳統濾波器對於影像過度平滑所造成的破壞，並保留影像重要的結構資訊，如圖 8(f)中狒狒的鬍鬚都能清晰保留。同時也能避免向量獨立運作所造成臨近像素值之間的不連續性，如比較圖 9(d)(f)中鸚鵡的喙緣。最後，為了比較出所提出方式與其他技術之差異，我們以 MSE 的曲線圖(圖 10 和圖 11)來表示其效能上的差異。對於脈衝式雜訊之率除效果而言，很明顯依序為  $MF > DDF > VMF > BVDF$ ，即中值濾波器通常有較佳的抑除能力。實驗結果證明，改良式的中值濾波器在一定雜訊比下兼具傳統及向量濾波器的優點，而且隨著雜訊加大，它的平滑效果越接近於中值濾波器，不像向量濾波器會因為雜訊加大而嚴重降低濾除雜訊的效果。

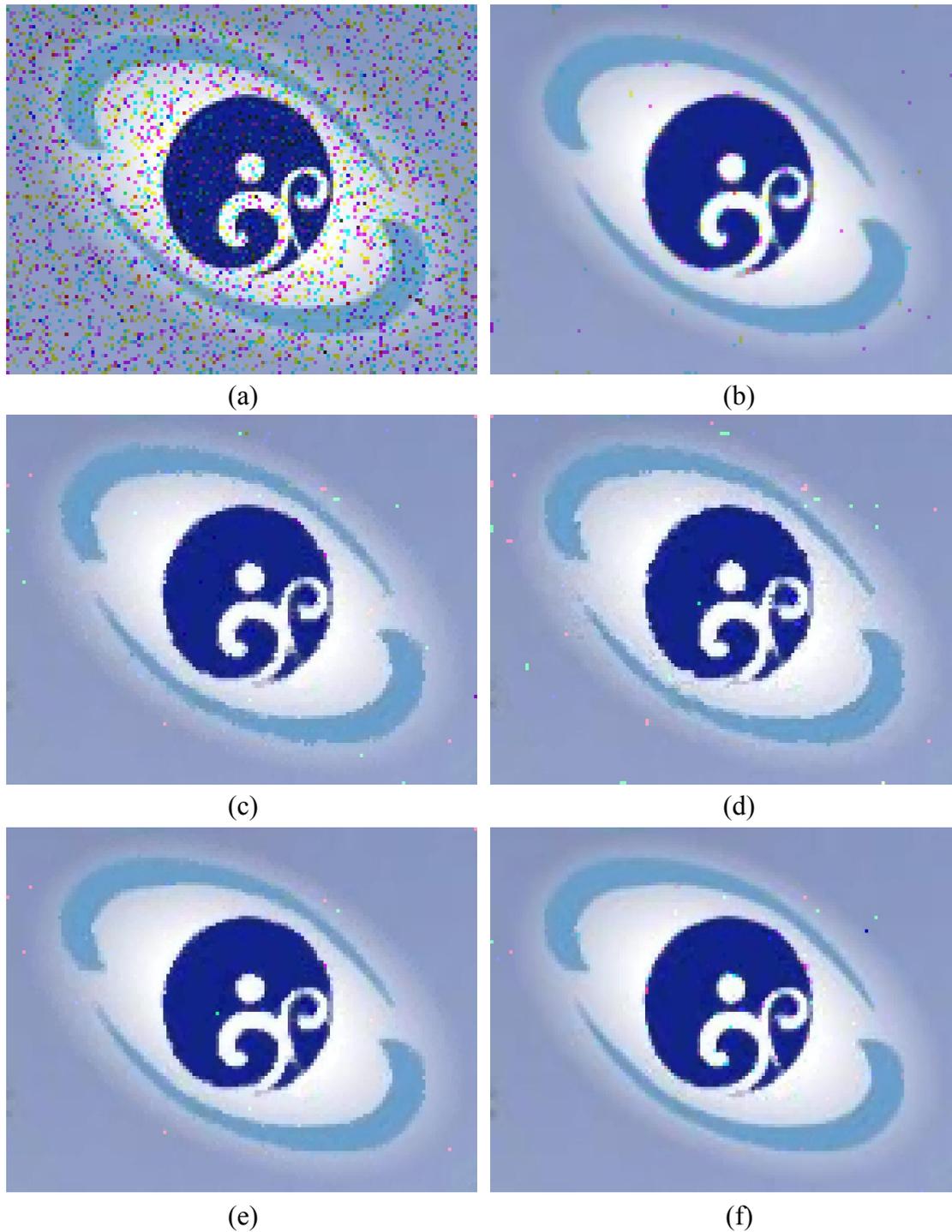


圖 7 (a)加入隨機性雜訊比為 10% 的 I-Lan University Mark 影像 (b)中值濾波器的處理結果 (c)向量中值濾波器的處理結果 (d)向量方向濾波器的處理結果 (e)方向距離濾波器處理後的影像 (f)所提出之方法的處理結果

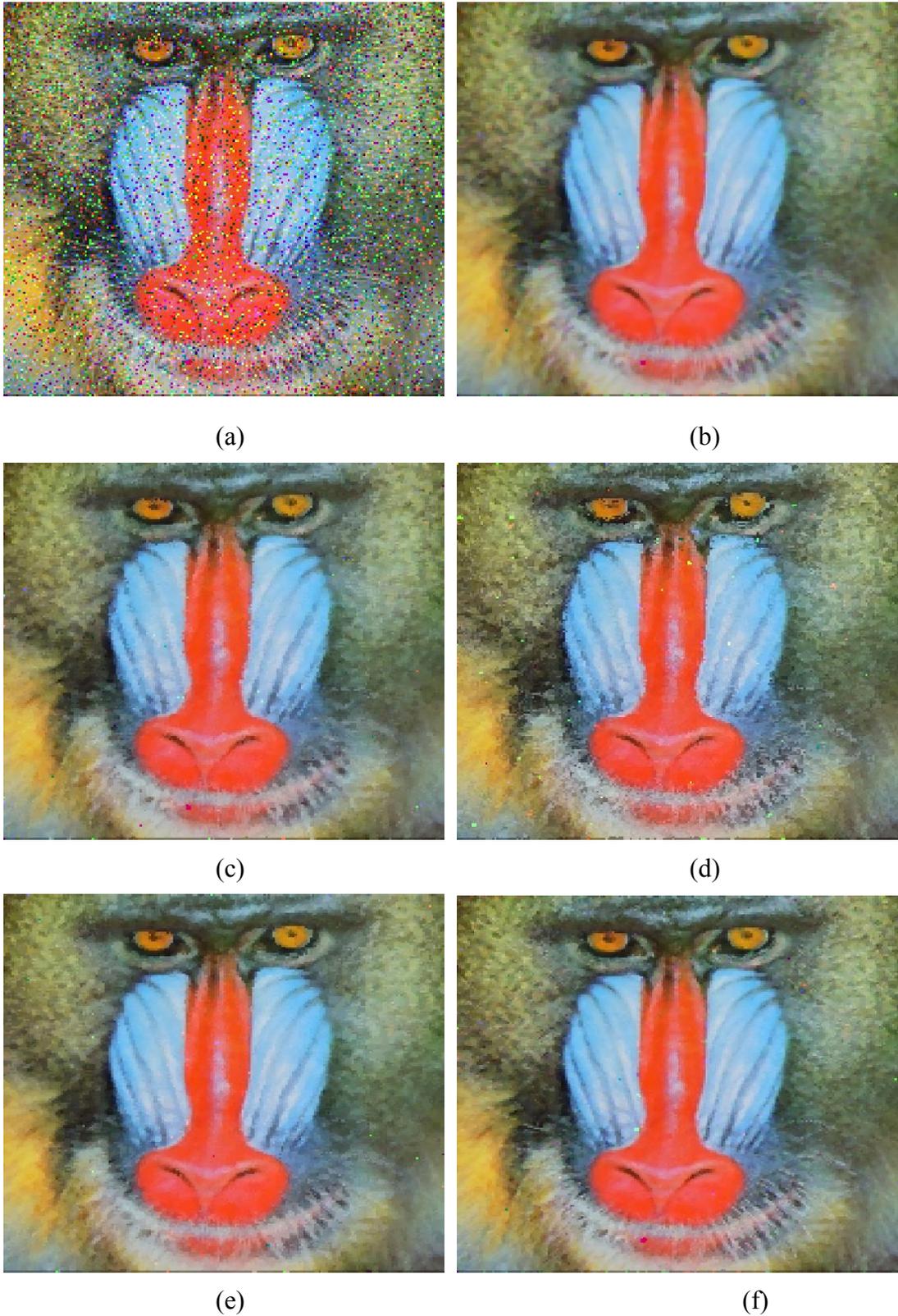


圖 8 (a)加入胡椒鹽雜訊比為 10% 的 Baboon 影像 (b)中值濾波器的處理結果 (c) 向量中值濾波器的處理結果 (d)向量方向濾波器的處理結果 (e)方向距離濾波器處理後的影像 (f)所提出之方法的處理結果

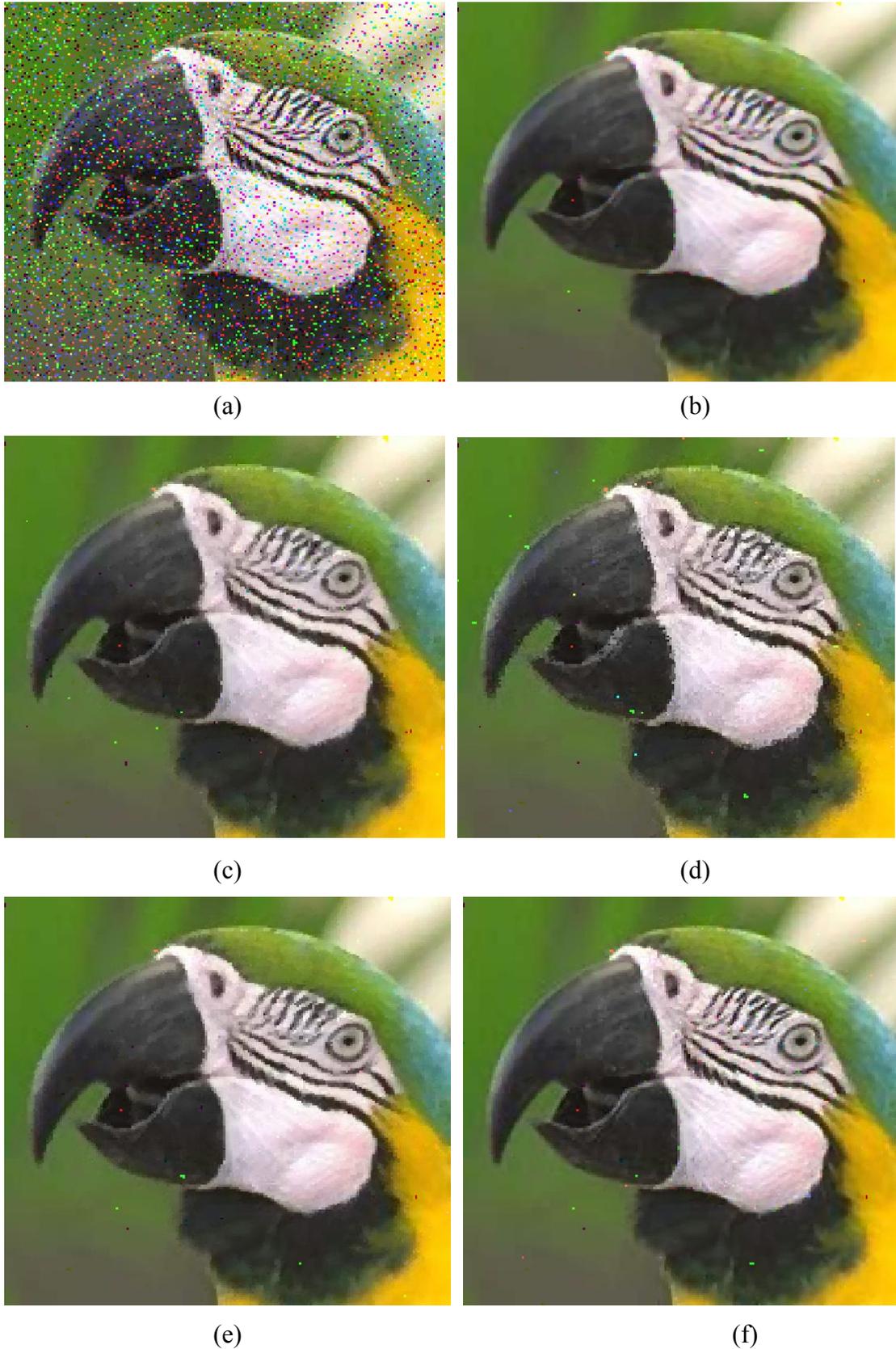


圖 9 (a)加入胡椒鹽雜訊比為 10% 的 Parrot 影像 (b)中值濾波器的處理結果 (c)向量中值濾波器的處理結果 (d)向量方向濾波器的處理結果 (e)方向距離濾波器處理後的影像 (f)所提出之方法的處理結果

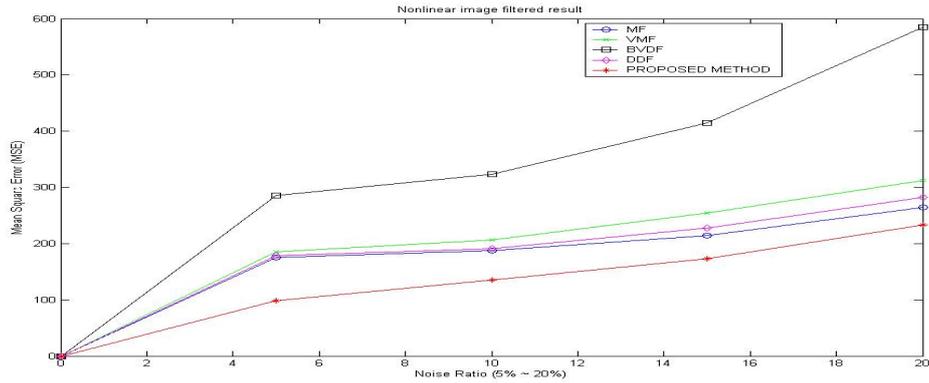


圖 10 加入胡椒鹽(0 or 255)雜訊比為 5%、10%、15% 以及 20% 的 Baboon 影像，結果以 MSE 曲線圖呈現

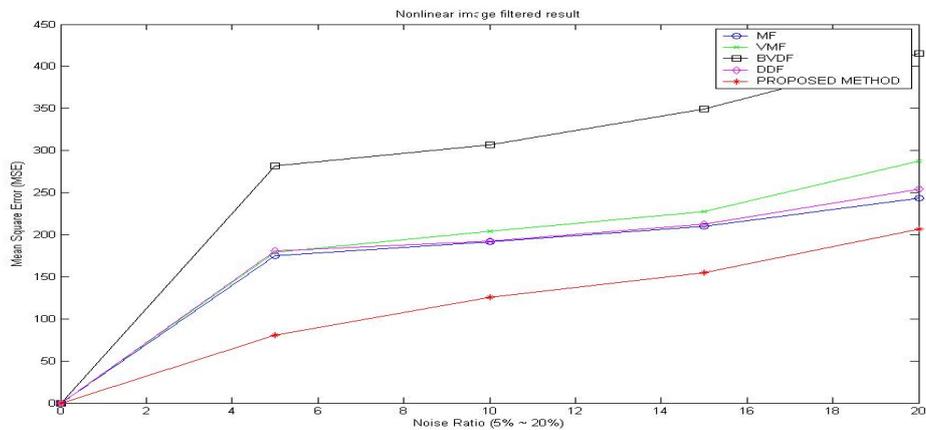


圖 11 加入隨機值(0 ~ 255)雜訊比為 5%、10%、15% 以及 20% 的 Baboon 影像，結果以 MSE 曲線圖呈現

## 五、結論

在多媒體通訊日益頻繁的現代，對快速簡易的彩色影像濾波器需求無疑是極為迫切的。影像濾波器本身的功效和所需的運算代價經常是成正比的，使用者必須在其中取得一定權衡。本文嘗試由常用的中值濾波器出發，加入有限的運算代價，以改善其對彩色影像處理的能力。實驗結果證實了我們的濾波器效果確實能符合所設計的目的，新演算法在移除脈衝雜訊之效果優於傳統濾波器，並顯著降低處理雜訊後對影像邊緣所造成的破壞；而在高精確度要求下，本演算法更可大幅減少所需要的運算。

## 參考文獻

- [1] Giovanni Sicuranza; Sanjit Mitra; Jerry D.Gibson, Nonlinear Image Processing ( Communications, Networking and Multimedia), Hindawi Publishing Corporation, 2001.
- [2] Lukac, R.; Smolka, B.; Martin, K.; Plataniotis, K.N.; Venetsanopoulos, A.N., “Vector Filtering for Color Imaging”, IEEE Trans, Signal Processing Magazine, IEEE, Volume 22, Issue 1, Jan 2005.
- [3] Gonzales; Woods; Prentice Hall, Digital Image Processing 2nd Edition, Prentice Hall; 2nd edition, January 15, 2002.
- [4] Sung-Jea; Yong Hoon Lee, “Center Weight Median Filter And Their Application to Image Enhancement”IEEE Trans, Circuits and Systems, 1991.
- [5] Kazumfumi Ito; Jaiqi Xiong, “Gaussian Filters for Nonlinear Filtering Problem” IEEE Trans, Automatic Control, IEEE Transactions on Volume45, Issue 5, May 2000.
- [6] Jaakko Stole; Petri Haavisto; Yrjo Neuvo, “Vector Median Filter”, Proceedings of the IEEE, Vol. 78, No. 4, April 1990.
- [7] Rastislav Lukac; Bogdan Smolka, “Application of the Adaptive Center-Weight Vector Median Farmwork for the Enhancement of cDNA Microarray Images”, Slovak Image Processing Center, Int, J, Apple, Math, Compute, Sci, 2003.
- [8] Lin Yin; Ruikang Yang; Gabbouj, M.; Neuvo, Y., “Weighted Median Filters: A Tutorial”, Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, IEEE Transactions on [see also Volume 43, Issue 3, March 1996.
- [9] Sung-Jea Ko; Yong Hoon Lee, “Center Weighted Median Filters and Their Applications to Image Enhancement”, Circuits and Systems, IEEE Trans, Vol. 38, September 1991.
- [10] H. Hwang; R. A. Haddad, “Adaptive Median Filters: New Algorithms and Results”, IEEE Trans, Image Processing, IEEE Transactions on, Vol. 4, No. 4, April 1995.
- [11] Plataniotis, K.N.; Androustos, D.; Venetsanopoulos, A.N.; “Vector Directional Filter: An Overview”, Electrical and Computer Engineering, Volume1, 25-28 May 1997.
- [12] Karakos, D.G.; Trahanias, P.E.; “Combining vector median and vector directional filters: the directional-distance filters”, IEEE Trans, Image Processing, 1995. Proceedings., International Conference on Volume1, 23-26 Oct. 1995.