

應用灰色關聯分析於賈伯濾波偵測之影像去雜訊

鄭群星
景文科技大學
環物系
副教授
cscheng@just.edu.tw

焦名楷
國立臺北科技大學
電腦與通訊研究所
碩士生
T7360388@ntut.edu.tw

黃士嘉
國立臺北科技大學
電腦與通訊研究所
副教授
schuang@ntut.edu.tw

摘要

本研究主要在改善中值濾波器對於影像去雜訊的處理效果，應用灰色理論的灰色關聯度分析於賈伯濾波轉換上，提出一種創新影像去雜訊的演算法，針對胡椒鹽之雜訊進行分析，根據賈伯轉換對於影像空間域、頻率域的紋理有著良好的描述與表示，以及應用灰色關聯分析計算出影像資訊序列的內容之關聯程度，來判別出其雜訊點的位置，以利中值濾波器能準確地對雜訊點進行去除操作。實驗結果顯示針對各種胡椒鹽強度的雜訊影像均能展現出去雜訊的效果，並證明所提出的方法在去雜訊的同時也能保留住影像的細節資訊，使得去雜訊後影像與原始影像有著最高的相似度。

關鍵詞：影像去雜訊、賈伯濾波器、灰色關聯度分析。

Abstract

In this paper, we study improved median filter for image restoration treatment effect. Application of Gabor filter conversion with Grey Relational Analysis, proposed an innovative image restoration algorithms, which used gray relational analysis to calculation the relation degree of the image information sequence content, to distinguish the location of the noise point for pepper salt noise image. Therefore let median filter can accurately remove the noise point. The experimental results show our method has a good effect of reduction noise and retain the detail information of original image. Finally the image has the highest similarity with the original image.

Keywords: reduction noise, Gabor filter, Grey Relational Analysis.

1. 前言

在影像處理的研究及實際應用中，如影像分割、特徵擷取、紋理分析…等，在對影像的像素內容進行分析處理前，需先對欲分析影像資訊做一些前置處理，藉以此降低後續分析產生誤判的狀況，其中影像雜訊去除即為一重要的影像前置處理步驟。

傳統應用於空間域上的去雜訊技術有中值濾波及均值濾波等方法，但其方法主要是使用濾波遮罩對整張原始影像資訊做運算，有時為了增強去雜訊的效果，會調大濾波遮罩的大小，但是此種方法在去除雜訊的同時，也犧牲了許多的影像細節資訊，而造成影像邊緣的模糊。為了在降低雜訊信號的過程中，仍能保留影像輪廓邊緣的細節資訊，因此雜訊點的準確偵測就變得相當重要。

本研究應用在賈伯濾波器 (Gabor Filter) [7][9][11][14~15][17] 於去雜訊處理過程，透過賈伯濾波器對於影像輪廓、細微資訊有著敏感的特性，以此精確地偵測出所有雜訊點，但由於影像部分邊緣資訊會被賈伯濾波器保留下來，因此透過灰色理論[8]中的灰關聯度對雜訊遮罩做分析，以區分出邊緣與雜訊，將真正雜訊點予以保留。

為了避免傳統影像去雜訊時要對整張影像資訊做運算，而造成影像模糊程度提高的現象，本研究將影像去雜訊過程，分成兩個步驟，分別是 (1) 影像雜訊點偵測 (Noise-Spot Detection)、(2) 影像雜訊點填補處理 (Noise-Spot Recover)。經由賈伯濾波器將雜訊點精確偵測後，以影像連續點具漸層變化的特性，以遮罩中值選取的方式填補，就能有效地還原成原始影像。

2. 理論介紹

2.1 賈伯濾波器

賈伯濾波器為一局部性的傅立葉轉換

(Fourier Transform)，它的特性與傅立葉轉換相同，其轉換過程中為了實現局部轉換，將採用一高斯函數 (Gaussian Function) 為窗函數 (Window Function) 來進行處理，由於在海森堡測不準原理 (Uncertainty Principle) 已證明高斯函數可同時兼具時間軸和頻率軸的解析度 [10]，因此可使經賈伯濾波器後的資料，在時間軸和頻率軸的性質相互對稱的特性，其時域數學定義如(1)式所示。

$$G_x(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\pi(\tau-t)^2} e^{-j2\pi f\tau} x(\tau) d\tau \quad (1)$$

為了將此轉換實作並應用於二維影像上，根據高斯函數會從兩邊界逐漸遞減到近似零的性質，可將(1)式推導成如(2)式所示。

$$g(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = e^{-\frac{\bar{x}^2 + \gamma^2 \bar{y}^2}{2\sigma^2}} e^{2\pi \frac{x}{\lambda} + \psi} \quad (2)$$

其中， $\bar{x} = x \cos \theta + y \sin \theta$, $\bar{y} = -x \sin \theta + y \cos \theta$
(3)

在經過賈伯濾波器進行處理的過程，稱之為賈伯轉換，而在經過賈伯轉換處理的後續影像，則稱為賈伯影像。賈伯濾波器已被成功應用於許多領域 [5][12~13][16]，其中以在人臉辨識領域上有著相當不錯的效果，由於賈伯濾波器可將五官的輪廓區域做強化動作，使五官更加明顯而達到更高的辨識能力如圖 1 所示，而賈伯濾波器之特性與優點如下：

- (1) 賈伯濾波器具有較好的空間域、頻率域的紋理描述，且有著較優良的表示性。
- (2) 賈伯濾波器實際上有如人類視覺系統之觀察事物輪廓及紋理的特性。
- (3) 相較於其他邊緣偵測演算法，其有較低的計算複雜度。

賈伯濾波器能對影像細節的擷取，其過程是先將輸入影像轉化為灰階影像，並在影像上任意取一個像素視窗，透過設定適當的角度及頻率參數，經公式(2)轉換後，將可濾波及強化影像細節資訊。



圖 1. (a)原始影像 (b)Gabor 濾波後影像

2.2 灰色關聯度分析理論

灰色系統理論是由中國學者鄧聚龍教授 [8]，所提出的一種多用途之系統理論，其中的灰色關聯分析是系統變化狀態的一種測度，根

據因素之間發展態勢的相似程度，來衡量因素之間關聯程度的方法且已運用在不同的領域 [1~4][6]。

其方法仍係分析系統內時間序列變化狀態的關係的比較，求出參考數列與各比較數列之間的關聯程度。其比較數列與參考數列之灰關聯度值越大，則表示關係越緊密而有著相同的特性或發展趨勢。

茲將其理論說明如下：

假設有參考序列 x_0 列與比較序列 x_i 兩序列，表示如(4)及(5)式所示，

$$x_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\} \quad (3)$$

$$x_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\} \quad (4)$$

其灰色關聯度分析之灰關聯度值的運算步驟如下：

首先，計算參考序列與比較序列各分量的關聯係數值，其計算公式如(5)式所示。

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)} \quad (5)$$

其中序列數值差，如(6)式所示。

$$\Delta_i(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (6)$$

其中辨識參數 ρ ，為介於 0 到 1 之間的數值，如果其數值越大，則關聯度分析上有著較高的分辨能力，通常以 0.5 帶入。由於關聯係數值為序列中各個分量的關聯程度值，為了將所有分量的訊息資訊來進行一個整體性的考量，將以求其平均值的方式，來表示與目標序列整體關聯程度，即為灰色關聯度值 r_i ，其公式如(7)式所示。

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k), k = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

最後將所有序列進行關聯度值的大小排序，關聯度越大者表示其與參考序列最具相關性。

3. 本研究所提出的方法

本研究所提出的影像去雜訊的方法，如圖 2 所示可分成 (1) 影像雜訊點偵測、(2) 影像雜訊點修復處理兩大模組，其中雜訊點偵測模組中，又可分為二個主要步驟，分別為賈伯濾波器細節資訊擷取及基於雜訊遮罩之灰色關聯度去除邊緣資訊。在最後的雜訊點修復模組中，則以簡單且快速的遮罩中值取代影像雜訊點做影像還原處理，圖中 TH 為門檻值。

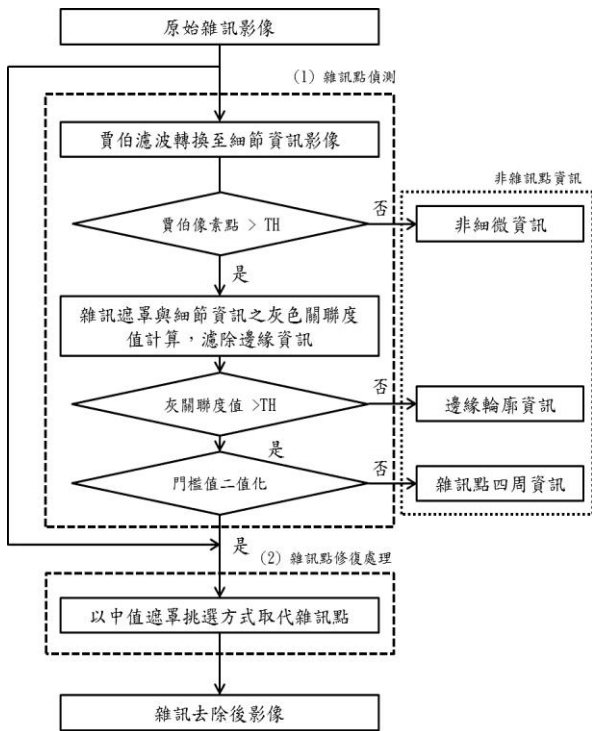


圖 2. 本研究所提方法的詳細流程圖

3.1 影像雜訊點的偵測

雜訊影像經賈伯濾波器快速地擷取細節資訊後，會有部分誤判的邊緣資訊被保留下來，如圖 3(b) 所示。為了避免後續的影像修復處理，對影像邊緣的過度修復，造成不必要的影像邊緣模糊化現象，為此定義了一個雜訊遮罩 (Noise Mask) 如圖 4 所示，來進行邊緣點的判斷，其遮罩所呈現為一中間高及四周低的壘起形狀，其展現出了賈伯轉換後之影像的雜訊點的分佈特性。



圖 3. (a) 原始影像 (b) 賈伯影像

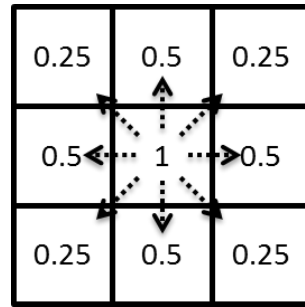


圖 4. 灰色參考序列之雜訊遮罩

將此雜訊遮罩、賈伯影像所遮罩住的視窗影像，分別序列化成灰色關聯度分析中的參考序列與比較序列後，將雜訊遮罩與賈伯影像的像素資訊做灰色關聯度分析後，可進一步獲得去除邊緣資訊的賈伯影像，如圖 5(a) 所示，最後再透過一門檻值二值化方法 (Binary Threshold)，通常以中間值 0.5 作為門檻值，將得出精確的雜訊點位置，如圖 5(b) 所示。

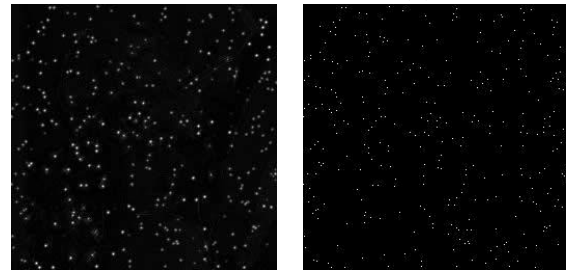


圖 5. (a) 使用灰關聯度去邊後賈伯影像 (b) 二值化影像

3.2 雜訊點的處理

影像去雜訊處理後，由於在影像填補的過程中，為了使人眼不會感覺到像素點的劇烈變化，通常都會以周圍鄰近點預測方式來進行修補，其中中值預測填補相較於均值預測填補有著較自然的填補效果，因此在雜訊點偵測後的步驟，本研究採用中值非線性數字濾波器技術處理過程中，將使用一個 $M \times M$ 大小的濾波遮罩，對於所偵測的特定雜訊點位置，擷取其周圍的像素值做排序後，取其中值像素值取代目前遮罩的中心點像素值，達到有效去雜訊的修復結果。

4. 實驗結果

在本研究中以 256×256 的 Lena 影像，加入不同強度的胡椒鹽雜訊 (Pepper and Salt Noise) 來進行比較，其比較對象包含了均值濾波法、中值濾波法以及本研究所提出賈伯轉換以灰色關聯度分析為基礎的方法。

首先，以低中高三個不同雜訊強度的等級

進行分析，包含：(1)有視覺上的影像品質、(2)模糊程度的判斷，以及(3)數據上的比較，其中包含了公式(8)的信號雜訊比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR)：

$$SNR = 10 \log \frac{\sum_1^{n_x} \sum_1^{n_y} f(x,y)^2}{\sum_1^{n_x} \sum_1^{n_y} [f(x,y) - f_d(x,y)]^2} \quad (8)$$

公式(9)的峰值雜訊比 (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)

$$PSNR = 10 \log \frac{\max(f(x,y))^2}{\frac{1}{n_x n_y} \sum_1^{n_x} \sum_1^{n_y} [f(x,y) - f_d(x,y)]^2} \quad (9)$$

以及公式(10)的原始影像均方誤差 (Mean Square Error, MSE)

$$MSE = \frac{1}{n_x n_y} \sum_1^{n_x} \sum_1^{n_y} [f(x,y) - f_d(x,y)]^2 \quad (10)$$

其三種胡椒鹽雜訊強度分別是低強度的 0.006、中強度的 0.2 以及高強度的 0.6 胡椒鹽雜訊，最後，將所有方法與原始影像的信號雜訊比做一計算，並以列表及折線圖的方式做呈現，在所有方法上，所使用的去雜訊遮罩皆以 3x3 大小的四周鄰近 8 點來進行去雜訊處理。

4.1 低胡椒鹽強度雜訊

如圖 6(b)所示顯示 0.006 強度的胡椒鹽雜訊，所帶來的雜訊量相當的少，如圖 6(d)所示可以清楚看到均值濾波在預測雜訊點的像素值時，有著較劇烈像素值變化，造成人眼對其修復的紋理漸層並不是那麼自然，這就是為什麼本研究所提出的方法不採用均值方法來修復的原因。而仔細比較如圖 6(c)及圖 6(e)所示的中值濾波方法與本研究所提出方法，在影像邊緣線條上中值濾波較為模糊，而本研究所提出的方法較為清晰。由表 1 的數值比較可以發現中值濾波方法的結果竟然不如雜訊影像，其原因為修復的模糊程度已大於雜訊點所帶來的更大破壞，本研究所提出的方法有效改善此缺陷，且其 SNR、PSNR 及 MSE 均有改善。

表 1. 0.006 胡椒鹽雜訊與各種去雜訊方法之比較數據值

	SNR	PSNR	MSE
原始雜訊影像	19.6517	26.4123	20.7976
中值濾波方法	25.4203	32.1808	9.8940
均值濾波方法	21.1962	27.9568	19.8806
本文提出方法	27.8065	34.5671	4.7690



圖 6. 低胡椒鹽雜訊視覺比較 (a)原始影像 (b)0.006 雜訊影像 (c)中值濾波影像(d)均值濾波影像(e)本研究方法之影像

4.2 中胡椒鹽強度雜訊

如圖 7(b)所示加強了胡椒鹽的雜訊程度至 0.2，其對原始影像有著相當程度的破壞，使用如圖 7(d)所示均值濾波的方法已完全無法有很好的去雜訊效果，如圖 7(c)所示在使用中值濾波方法，雖然仍然有著去雜訊效果，但其線條資訊部分之模糊現象相當明顯，如圖 7(c) 所示的帽子邊緣以及臉部鼻子的部分，此外部分雜訊點也無法有效消除。如圖 7(e)所示本研究所提出的方法，不只雜訊完全去除，且影像細微品質也相當良好，表 2 則為其 SNR、PSNR 及 MSE 之比較表。

表 2. 0.2 胡椒鹽雜訊與各種去雜訊方法之比較數據值

	SNR	PSNR	MSE
原始雜訊影像	4.6229	11.3835	25.6382
中值濾波方法	19.6251	26.3857	14.7633
均值濾波方法	12.6331	19.3937	59.2198
本文提出方法	24.3591	31.1197	11.1930



圖 7. 中胡椒鹽雜訊視覺比較 (a)原始影像 (b)0.2 雜訊影像(c)中值濾波影像 (d)均值濾波影像 (e)本研究方法之影像

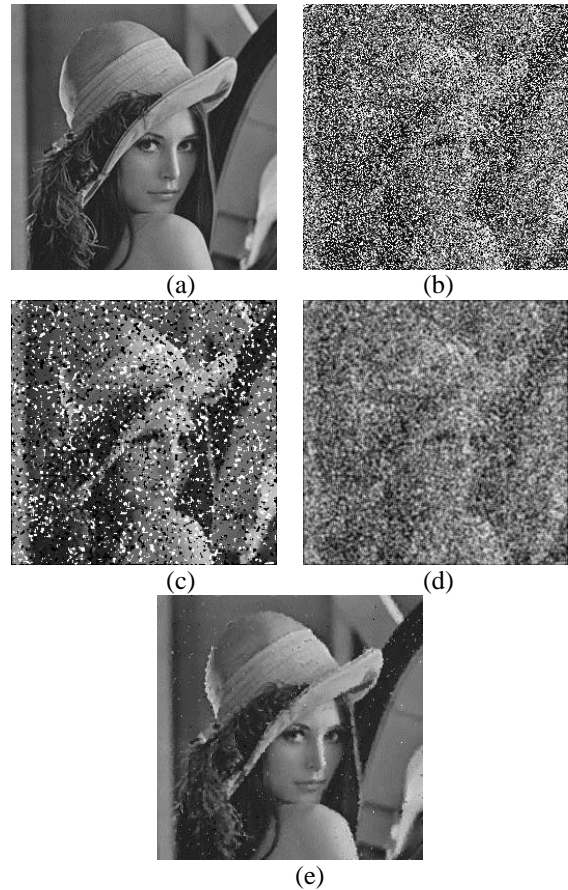


圖 8. 高胡椒鹽雜訊視覺比較 (a)原始影像 (b)0.6 雜訊影像 (c)中值濾波影像 (d)均值濾波影像 (e) 本研究方法之影像

4.3 強胡椒鹽強度雜訊

如圖 8(b)所示，以高強度的 0.6 胡椒鹽雜訊，嚴重地破壞了原始影像，肉眼以幾乎無法辨識。如圖 8(c)及 8(d)所示使用均值濾波與中值濾波方法皆無法還原雜訊影像，如圖 8(e)所示使用本研究所提出的方法在輪廓邊緣上，雖然有些許不平滑，但整體去雜訊影像結果仍有著很好的辨識程度，表 3 則為其 SNR、PSNR 及 MSE 之比較表。

表 3. 0.6 胡椒鹽雜訊與各種去雜訊方法之比較數據值

	SNR	PSNR	MSE
原始雜訊影像	0.1900	6.5705	75.8782
中值濾波方法	4.3259	11.0865	43.4408
均值濾波方法	6.8032	13.5637	63.8159
本文提出方法	19.6160	26.3766	17.7335

如圖 9 至圖 11 所示分別為採用 (1) 中值濾波法 (2) 均值濾波法 (3) 本研究所提出的方法之 SNR、PSNR、MSE 在三種胡椒鹽雜訊強度下的比較圖，由圖中顯示本研究採用的方法均較其他方法有更好的去雜訊效果。

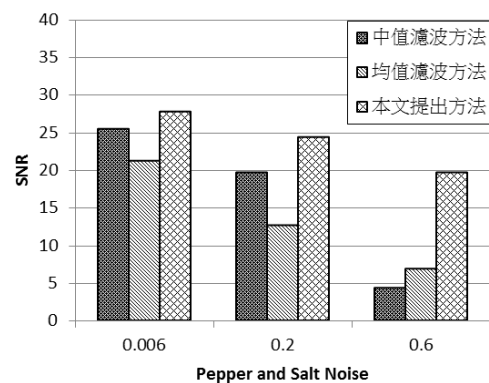


圖 9. 高中低雜訊強度之 SNR 比較

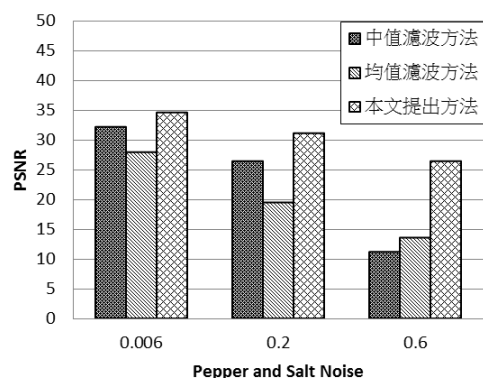


圖 10. 高中低雜訊強度之 PSNR 比較

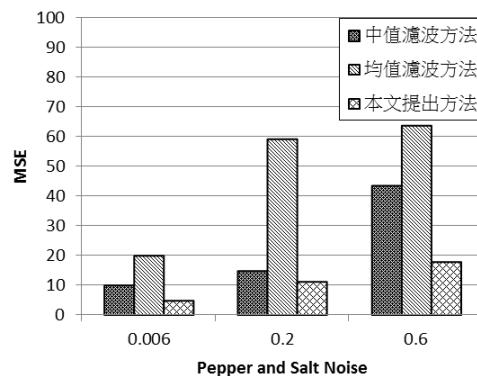


圖 11. 高中低雜訊強度之 MSE 比較

如表 4 所示則為在不同雜訊強度對不同的去雜訊方法，以其 PSNR 的訊號雜訊比值做比較，並以折線圖的方式表示。如圖 12 所示顯示本研究所提出的方法在去除不同強度的胡椒鹽雜訊上，都保持著較好的去雜訊效果。

表 4. PSNR 值與雜訊強度之各比較方法的數據資料

雜訊強度 去雜訊方法	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
原始雜訊影像	14.3883	11.3835	9.5752	8.3724	7.3740	6.5705	5.9146	5.3282	4.8402
中值濾波方法	29.8713	26.3857	21.7844	17.9019	14.1260	11.0865	8.8702	7.0146	5.6112
均值濾波方法	22.1783	19.3937	17.3419	15.9755	14.7092	13.5637	12.6756	11.8239	11.2113
本文提出方法	32.4467	31.1197	30.3335	29.3125	28.3827	26.3766	23.8346	20.0286	16.2594

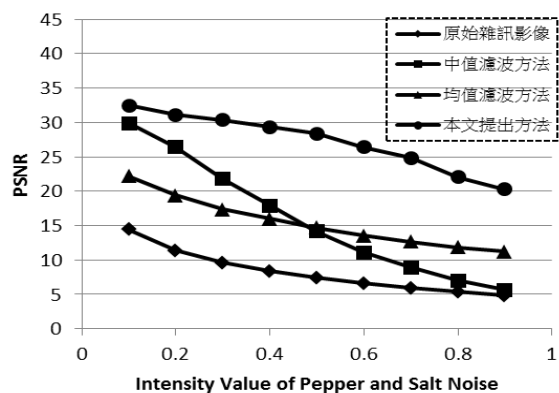


圖 12. PSNR 值與雜訊強度之各比較方法的折線圖

5. 結論

本研究在影像去雜訊研究中，提出了一種創新的去雜訊方法，透過結合賈伯濾波器的轉換與灰色關聯度分析，可有效地找出雜訊點的位置，進而完成更好的去雜訊效果。在實驗結果中，分析了一般去雜訊方法的缺失，且從圖像品質與影像測量數據資料中，均證明了本研究所提出的方法在去雜訊上的優越性。由於影像的去雜訊好壞，將嚴重地影響了後續影像的處理，本研究所提出的去雜訊方法可有效的將

雜訊影像作出很好的還原，將對於其他影像演算法帶來良好的前置處理效果。

參考文獻

- [1] 鄭群星, 林聖文, 段裘慶, "應用灰色系統於平板電腦之購買選擇", *2012 民生電子研討會*, 2012 年 11 月 16 日。
- [2] 鄭群星, 李典霖, 高立人, "應用灰色預測於灰階影像之邊緣銳化", *2012 民生電子研討會*, 2012 年 11 月 16 日。
- [3] 鄭群星, 吳泓霖, 段裘慶, "應用灰色系統於智慧型手機之選擇", *ITIA 2012 資訊技術與產業應用研討*, 2012 年 6 月。
- [4] 鄭群星, 廖振宏, "應用灰色關聯分析於無線感測網路定位系統之設計", *2009 資訊技術應用及管理研討會*, 6 月 27 日, 2009。
- [5] Ayinde, O. and Yang, Y. H. (2002). "Face recognition approach based on rank correlation of Gabor-filtered images." *Pattern Recognition*, Volume 35, 6, pp. 1275-1289.
- [6] Chyun-Shin Cheng, "Fingerprint Recognition Using Discrete Wavelet Transformation and Grey Relational Analysis", *The Journal of Grey System*, Vol.20, N0.2, pp93-pp108, 2008.

- [7] Daugman, J.G. (1980), "Two-dimensional spectral analysis of cortical receptive field profiles", *Vision Res.* 20 (10): 847–56, PMID 7467139
- [8] Deng Julong, Control problems of grey system, *System and Control Letters*, pp.288-294,1982.
- [9] J. Yang, L. Liu, T. Jiang, Y. Fan, "A modified Gabor filter design method for fingerprint image enhancement," *Pattern Recognition*, Volume 24, Issue 12, August 2003, Pages 1805–1817
- [10] J. G. Daugman. "Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters," *Journal of the Optical Society of America A*, 2(7):1160–1169, July 1985.
- [11] Koller, K. Daniilidis, and H. Nagel, "Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 10, pp. 257–281, Jun. 1993.
- [12] Liu, C. and Wechsler, H. (2002). "Gabor feature based classification using the enhanced fisher linear discriminant model for face recognition," *IEEE Transactions on Image Processing*, Volume 11, Issue 4, pp. 67-476.
- [13] Liu, C. and Wechsler, H. (2003). "Independent component analysis of Gabor features for face recognition." *IEEE Transactions on Neural Networks*, Volume 14, Issue 4, pp.919-928.
- [14] R. Mehrotra, K.R. Namuduri, N. Ranganathan, "Gabor filter-based edge detection," *Pattern Recognition*, Volume 25, Issue 12, December 1992, Pages 1479–1494
- [15] Thomas P. Weldon*, William E. Higgins, Dennis F. Dunn, "Efficient Gabor filter design for texture segmentation," *Pattern Recognition*, Volume 29, Issue 12, December 1996, Pages 2005–2015
- [16] Wang, Y., Chua, C. S. and Ho, Y. K. (2002). "Facial feature detection and face recognition from 2D and 3D images." *Pattern Recognition Letters*, Volume 23, Issue 10, pp.1191-1202.
- [17] Y. Hamamoto, S. Uchimura, M. Watanabe, T. Yasuda, Y. Mitani, S. Tomita, "A gabor filter-based method for recognizing handwritten numerals," *Pattern Recognition*, Volume 31, Issue 4, April 1998, Pages 395–400