

基於 Human Visual System (HVS) 之影像加強

Contrast Enhancement Based On Human Visual System (HVS)

黃茂育

崑山科技大學電子系
成功大學工程科學研究所
myhuang@mail.ksut.edu.tw

黃悅民¹, 王明習²

成功大學工程科學研究所
¹raymond@mail.ncku.edu.tw
²mswang@mail.ncku.edu.tw

摘要

本文主要使用 Human visual system (HVS) [1]理論作影像加強,使得對人類眼睛感受得到的 just noticeable difference (JND) 作加強,而人類眼睛看不到差異(i. e. 小於 JND)的部分不予增強,如此一來能減少雜訊和過多的影像加強產生。

我們提出的方法,交互採用 3X3 及 5X5 的矩陣(mask)來作掃描處理,採用這種互換式的方法,主要理由是 3X3 的矩陣較小,所以執行速度相對地也較快,而 5X5 的矩陣比 3X3 的矩陣更能準確地判斷 JND 和雜訊,雖然會稍微降低程式執行速度,且比 3X3 矩陣佔較多的資源空間,但相對於雜訊的判別卻有不小的幫助,可是,如果單純只用 5X5 的矩陣來處理,則會在處理時在大於 JND 周圍產生多餘的雜訊;當然,也可以使用較大的矩陣來掃描,對雜訊的判別更準確,但相對的,程式執行速度也更慢了。

在對於 X 光片之類的影像作加強處理時,本文介紹的方法比 UM[2]和 JGACE[3]方法在 JND 對比提昇方面的效能更出色,且雜訊和過多的影像加強的產生也更少。

關鍵詞: Human visual system, HVS, Contrast enhancement

I. 簡介

在電腦影像處理中有一個重要的步驟,那就是從輸入影像自動地且正確地取出適當的特徵(如:邊緣,角落,等等)。而特徵取出演算法的執行則必須確切地仰賴輸入影像的品質。而影像增強演算法,它適當地改善輸入影像特徵架構的清晰度,能夠被包含在一般化的架構中,例如,增強分割結果的客觀性,獲得改善與目的相匹配的模組。然而,雜訊的不被增強也是一個非常重要的過程,因為尖銳化操作會過份增強雜訊。

在對比增強過程,灰階修正(histogram modification)是使用一個可調適的轉換函數(adaptive transformation function)的選擇以獲得要求的輸出。除了可調適的轉換函數的選擇以外,相對參數的選擇也是個很困難的問題,因為我們所要的對比增強是非常多變的,會因像素與影像而異。例如,有些轉換函數能增強影像中屬於黑暗區域範圍的對比,另外的一些則導致中間區域灰階的伸長或壓縮。通常,對比增強是靠一個調適的非線性函數來完成這項工作。實際上,我們不知道一般的自動系統的參數是否為了所有影像提供最理想的實施;儘管在某些設定基礎上演算法的選擇,或事先已知區域知識都可能導致一個令人不滿意的對比增強。在本文說明幾項不同的技巧。

線性對比延伸 (Linear contrast stretch),

直方圖均化 (Histogram equalisation) [6] 和多波段過濾 (Multichannel filtering) [7] 是全世界使用最廣泛的三種技術。而調適的直方圖均化 (adaptive histogram equalisation, AHE) [6]，對比限制調適的直方圖均化 (contrast limited adaptive histogram equalisation, CLAHE) [7] 和導引調適的對比增強 (JND guided adaptive contrast enhancement, JGACE) 是屬於影像對比增強方法更深入的類別。然而，這些技術都有著一些特有的缺點伴隨。線性對比延伸方法幾乎不能夠同時提升影像的所有部分，而如果在直方圖中有高峰點 (high peaks)，直方圖均化 (AHE) 的方法會有過度增強影像對比的傾向，而且多波段過濾則需要約束輸入影像的空間頻率範圍。AHE 應用於影像的每個小區塊局部地修改灰階 (grey-scale)，因而需要決定區塊的尺寸。而 CLHAE 方法則是 AHE 技術的改進，其中局部對比增益 (contrast-gain) 是受限於局部直方圖的高度。但這個方法在平滑區域不能完全去除雜訊增強，並且對比增益極限是與影像的選擇有關。JGACE 的方法是包括某些基本人類視覺性質的通用技術，但是，它需要一個連續參數的選擇。而且還必須加入一些基本人類視覺性質：對比靈敏性，彩色調適，顏色失真，等等是一個多限制條件的最佳化問題。

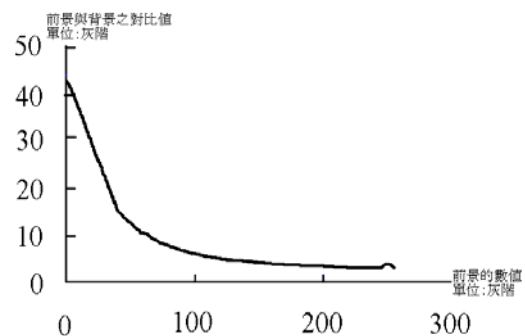
由以上敘述我們可以知道有不少影像加強的方法，但都有一定的問題存在；因此，每一種方法都有其適用的領域與範圍。所以，沒有一套演算法能處理所有的影像。

II. 人類視覺系統(HVS)

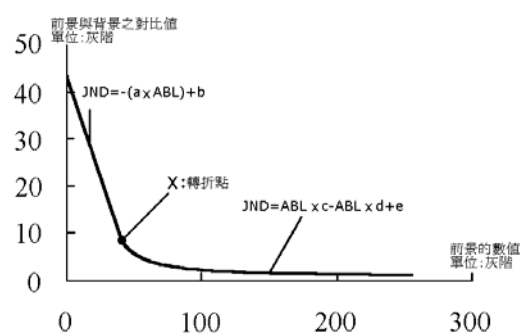
在影像的物件 (前景) 與背景之間的對比差異超過人類眼睛所能感受到的 JND 對比值，則人類就可以感受到物件與背景的存在，不同的背景就有不同的 JND 對比值，在灰階 0~255 的 JND 曲線，如圖一所示。

在本文中為了更方便使用 HVS 原理，所

以我們將 HVS 特性曲線利用 SPSS 作回歸分析，求得其逼近方程式，而我們以前景在灰階 44 時做為轉折點 X，如圖二所示；在 X 之前我們用一次回歸分析來推導方程式，在 X 以後則是用二次回歸分析。而在圖二中，回歸分析所得的方程式裡，所表示的 a、b、c、d、e 分別是 a 為一次回歸分析方程式的一次項係數其數值為 1.003，b 為一次回歸分析方程式的常數項其數值為 44.0348，c 為二次回歸分析方程式的平方項係數其數值為 0.002，d 為二次回歸分析方程式的一次項係數其數值為 0.0652，e 為二次回歸分析方程式的常數項其數值為 7.5756。



圖一 HVS 方程式曲線圖



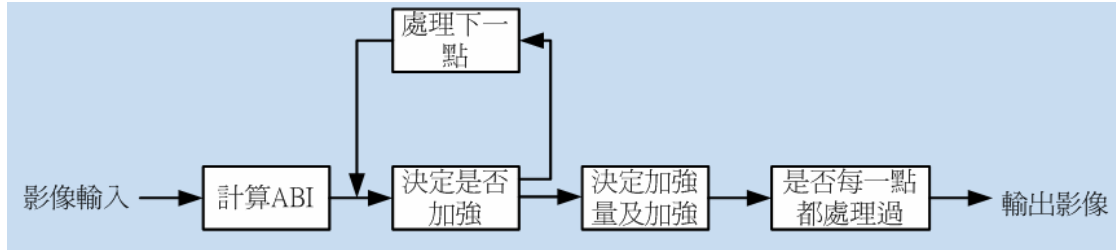
圖二 HVS 方程式回歸分析圖

III. 影像加強演算法

本文的理論基礎是基於 HVS 理論，因此在對每個點做加強時，要將周圍對正在處理的點之影響考慮近來，因此我們有三個選擇，可

用 3X3 或 5X5 或 7X7 的矩陣來進行運算，但是如果用 3X3 的矩陣來做太過粗糙，用 7X7 的矩陣來做則造成運算太慢的缺點，所以本文

採用 3X3 和 5X5 兩種矩陣一起使用的折衷辦法來做運算。圖三是本系統的架構圖，而我們將整個系統分為以下三個步驟



圖三 系統架構圖

步驟一：算「平均背景亮度」(ABI) (Average Background Intensity) [1]

一張要加強的圖讀進來時要在其上下左右做擴充，這樣用矩陣做運算時才不會發生錯誤。例如，一張 512X512 的圖讀進來時會將它放到一個 516X516 的矩陣。本文採用由上而下，先左而右的移動方式一格一格的由左到右做運算，每次用 3X3 和 5X5 這兩種矩陣取出原圖的一部分，取出的資料存放在矩陣的情形如圖四和圖五所示(其中 X：正在處理的點)。

矩陣中的每個點要乘上所在位子的加權值，加權值的大小為各點和正在處理的點之直線距離，也就是 3X3 的 A1 就乘上 B2，A2 就乘上 B1...，5X5 的 A1 乘上 B5，A2 乘上 B4...，而 B1 為 1，B2 為 $\sqrt{2}$ ，B3 為 2，B4 為 $\sqrt{5}$ ，B5 為 $2\sqrt{2}$ ，之後將它們全部加起來在除於背景總點數 BP (Background Points) (3X3 BP 就是 8，5X5BP 就是 24)，得到的數值就是「平均背景亮度」。而所整理出來的公式如下：

A1×B2	A4×B1	A7×B2
A2×B1	X (A5)	A8×B1
A3×B2	A6×B1	A9×B2

圖四 3×3 的矩陣，A1~A9 (A5 除外)：對正在處理的點有影響的點

$$ABI = \frac{\left(\sum_{k=1}^{BP} A_k B_T \right)}{BP} \quad (1)$$

其中 T 為 ()：

A1×B5	A6×B4	A11×B3	A16×B4	A21×B5
A2×B4	A7×B2	A12×B1	A17×B2	A22×B4
A3×B3	A8×B1	X (A13)	A18×B1	A23×B3
A4×B4	A9×B2	A14×B1	A19×B2	A24×B4
A5×B5	A10×B4	A15×B3	A20×B4	A25×B5

圖五 5×5 的矩陣，A1~A25 (A13 除外)：對正在處理的點有影響的點

$$T = \begin{cases} 1, \text{if } \left| \frac{BP}{2} + 1 - K \right| = \sqrt{BP+1} \text{ or } 1 \\ 2, \text{if } \left| \frac{BP}{2} + 1 - K \right| = \sqrt{BP+1} \pm 1 \\ 3, \text{if } \left| \frac{BP}{2} + 1 - K \right| = 2\sqrt{BP+1} \text{ or } 2 \\ 4, \text{if } \left| \frac{BP}{2} + 1 - K \right| = \sqrt{BP+1} \pm 2 \\ \quad \quad \quad \text{or } 2\sqrt{BP+1} \pm 1 \\ 5, \text{if } \left| \frac{BP}{2} + 1 - K \right| = 2\sqrt{BP+1} \pm 2 \end{cases} \quad (2)$$

步驟二：「JND」的計算

JND 的計算是引用我們之前 HVS 曲線的逼近公式：

$$JND = \begin{cases} -(ABI \times a) + b, & ABI \leq X \\ (ABI^2 \times c) - d \times ABI + e, & ABI > X \end{cases} \quad (3)$$

步驟三：對比加強

1. 決定是否加強：

(1). 如果滿足下列情形就不加強：

- (a) 處理點剛好等於 ABI。
- (b) 處理點產生 JND，且為獨立點。
- (c) 處理點和其周圍的點產生 JND，但 JND 不夠大。

(2) 如果處理點小於 ABI 就將其亮度往下拉。

(3) 如果滿足下列情形就加強（加強後並不會產生 JND）：

- (a) 在 3X3 和 5X5 的矩陣中皆不會產生 JND。
- (b) 在 5X5 的矩陣中產生 JND，但在 3X3 的矩陣中並不會產生 JND。

(4) 如果滿足下列情形就大幅加強：

- (a) 圖原本就有的 JND。
- (b) 處理點和其周圍的點產生 JND，且 JND 夠大。

2. 決定加強量：

(1) 如果滿足上述之第二點情形就減少 α 倍（10%）的 JND。

(2) 如果滿足上述之第三點中（a）的情形就加強 β 倍（70%）的 JND。

(3) 如果滿足上述之第三點中（b）的情形就加強 β 倍（70%）的 JND，不過此時的 JND 是用 3X3 的矩陣所算出的。

(4) 如果滿足上述之第四點的情形就加強 8 倍 JND。

3. 獨立點的判別法：

若是處理點在 5X5 的矩陣中不會產生 JND，但在 3X3 的矩陣中並會產生 JND，這時得處理點就當它為獨立點。

4. 判斷 JND 是不是夠大：

本實驗是採取以處理的點為中心，取它右邊的六個點和下方的六個點，依照前面的方法把這些點當作處理的點，看它們再 5X5 的矩陣和 3X3 會不會都產生邊，將符合條件的個數記起來，就看往右和往下找到的個數和是否大於六。

(a) 若小於六，就不要理它。

(b) 若大於等於六，則表示 JND 夠大。

往右找的時候一旦發現了不符合條件的點時，要停止往右方找下去，同樣的，往下找的時候一旦發現了不符合條件的點時，要停止往下方找下去。

IV. 實驗結果

我們分別使用 UM 和 JGACE 的方法，針對不同的影像作處理（如：圖六、圖七），以下為演算法中參數的選擇：

表 1. 加強量為 60%、70%、80% 之 BV、DV 的差異

BV	圖六	圖七	DV	圖六	圖七
60%	21.1734	5.7731	60%	8.7048	12.9319
70%	21.8899	7.5379	70%	9.0198	14.8674
80%	22.1771	10.8738	80%	9.0927	12.7519

1. 用六個點來判斷 JND 的大小

(a) 那六個點即便是以處理的點為中心，取它右邊的六個點和下方的六個點。

(b) 當你把點數設定太大時，圖中大部分的點都會被當成獨立點，而獨立點在本實驗是不被加強的，因此由圖六-a 可看出加強的部分並不明顯。

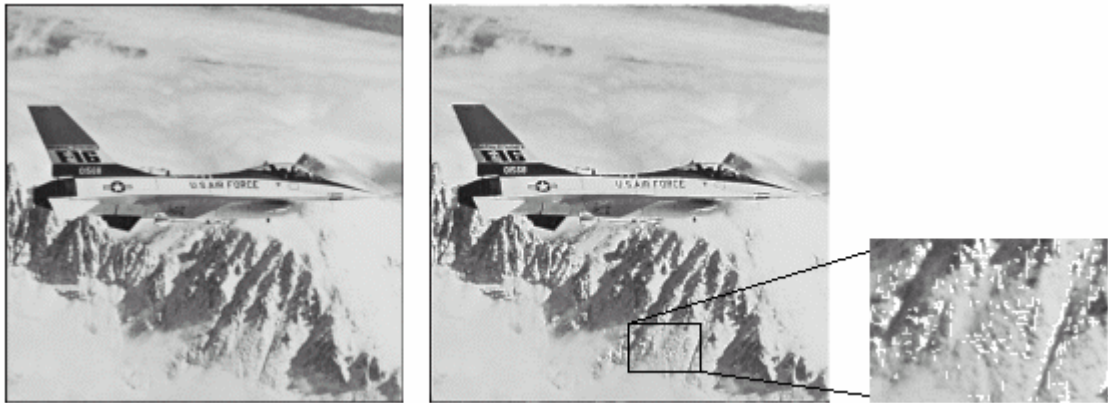
(c) 相反的當你把點數設定太少時，原本圖中就有的獨立點，會被當成可加強的

點，因此由圖六-b 可看出雜訊變多了。

2. 對比增益的決定

減少 α 倍 (10%) 是因為 ABI 小於 JND 時，不能向下減少太多，否則會再產生多餘的 JND，所以，減少 α 倍 (10%) 最為恰當；增加 β 倍 (70%) 是因為當增加量超過 β 倍 (70%) 時，雖然數據在理論上它還不是

JND，不過用肉眼看時，雖然不是很清楚，不過可隱約的看到 JND 的存在，因此 β 倍 (70%) 是最接近而又不會隱約看到 JND 的數據，而且從表 1 來看，當超過 β 倍 (70%) 時 BV(background variance)[8]變大時，DV(detail variance)反而變小。



六-a

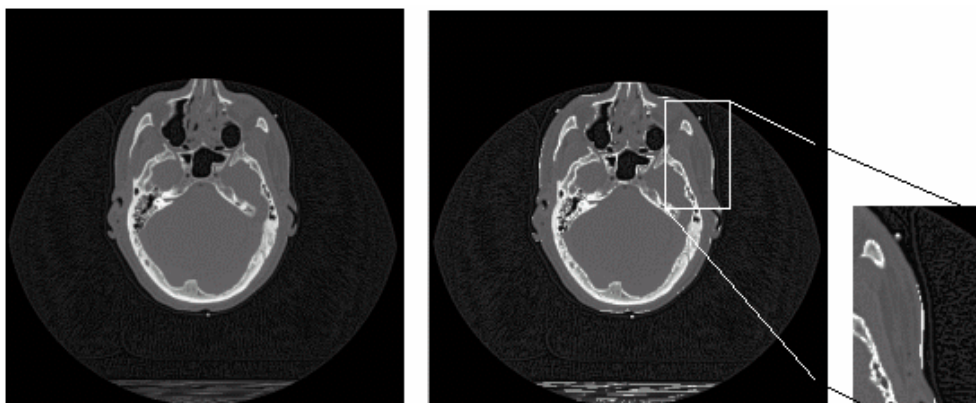
六-b

圖六. (a) 過多的點來判斷 JND 之結果 (b) 太少的點來判斷 JND 之結果

3. 在大幅加強時是 8 倍 (如圖七-a) 的 JND

在圖中有一些點它在理論上是 JND，不過肉眼不是看的很清楚，而這些點又不是很重要的資訊時，我們可能會不希望在加強後它出現，因此若你把這個值設的太大，如圖七-b，

原本你看的不是很清楚的一些雜訊會出現，這時你又會覺得雜訊又變多了雖然它原本就是存在的。而 8 倍的 JND 就是基於這個理由而定的。


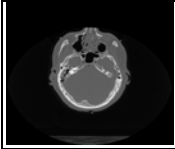


七-a

七-b

圖七. (a) 加強 8 倍時 (b) 過度加強時，超過 8 倍

表 2. 與 JGACE、UM 之 BV 和 DV 比較

圖名	演算法	BV (改變前)	DV (改變前)	BV (改變後)	DV (改變後)
	本實驗	19.8536	8.1550	21.8899	9.0198
	JGACE			39.4921	17.9921
	UM			31.4896	13.6139
	本實驗	1.4663	11.2562	7.5379	14.8674
	JGACE			3.4213	21.0045
	UM			2.1036	17.5234

用這三個演算法對圖六、圖七的原始影像加強，然後對於加強後的 BV、DV 作比較，並整理成表 2。

由表 2 的數據可知，雖然本論文所提出的方法在一般影像加強較為其他兩種遜色，但在 X 光片方面的影像加強，卻是比 JGACE、UM 來的優秀。

V. 結論

本論文中我們以 HVS 的原理提出的新方法，它是在 X 光影像方面較為 JGACE、UM 好的方法，而除此之外我們所提出的這個新方法，還有以下特點：

由於它是基於 HVS 的理論上，所以這個新方法只會對眼睛看到的部分作加強，不會加強多餘的雜訊。新方法採用 3X3 和 5X5 的矩陣混合使用來掃描影像，與以往的方法固定用 3X3 或 5X5 的矩陣不同，可以將雜訊的加強降到更低。

新方法還有一項更重大的特點，那就是它的加強量可以任意調整，而且，無論加強多少倍的量，都不會加強到肉眼看不到的部分。而本論文所提出的新方法，雖然現在只有在 X 光片方面的影像加強較為優秀，但未來將會再作進一步的改良，使其在其他方面的影像加強更優良。

參考文獻

- [1] V. Caselles “Shape Preserving Local Histogram Modification,” *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 8, no. 2, pp. 220-230, 1999.
- [2] M. D. Levine, *Vision in Man and Machine*. New York: McGraw-Hill, 1985.
- [3] S. M. Pizer, E. P. Amburn, J. D. Austin, and R. Cromartie “histogram equalization equalization and its variations,” *Comput. Vision, Graphics and Image Processing*, vol. 39, pp. 355-368, 1987.
- [4] A. Polesel, G. Ramponi, and V. J. Mathews, “Enhancement via adaptive unsharp masking,” *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, no. 3, pp. 505-510, 2000.
- [5] R. H. Sherrier and G. A. Johnson “Regionally adaptive histogram equalization of the chest,” *IEEE Trans. Medical Images*, vol. 6, no. 1, pp. 1-7, 1987.
- [6] T.L. Sundareshan, M.K. Roehrig, “Adaptive image contrast enhancement based on human visual properties,” *IEEE Trans. Medical Images*, vol. 13, no. 4, pp. 573-586, 1994.
- [7] P.G. Tahoces, J. Correa, and M. Souto, “Enhancement of chest and breast radiographs by automatic spatial filtering,” *IEEE Trans. Medical Images*, vol. 10, no. 3,

- pp. 330-335, 1991.
- [8] G. Ramponi, "A cubic unsharp masking technique for contrast enhancement," *Signal Processing*, vol. 67, pp.211-222, 1998.