

Image Contrast Enhancement Technique For Standard Definition Television

應用於標準解析度電視的影像對比技術

何昆展

逢甲大學電機工程系

D9573581@fcu.edu.tw

陳建志

逢甲大學電機工程系

D9539479@fcu.edu.tw

王壘

逢甲大學電機工程系

leiwang@fcu.edu.tw

摘要—隨著近十年來消費性電子產品的普及，影像處理的技術也有明顯的改善。為了滿足 Thin Film Transistor Liquid Crystal Display (TFT-LCD) 影像顯示之高品質需求，目前顯示技術主要是以高對比度、高飽和度及高解析度為主要的研究方向。

基於直方圖均化法 (Histogram Equalization, HE) 的作法，此篇論文提出一個簡單的對比增強方法，命名為「適應性增量分配直方圖均衡化法」(Adaptively Increase the Value of Histogram Based on Histogram Equalization, AIVHE)，以提供一個便利且有效的機制以控制對比增強的程度。AIVHE 利用輸入影像的平均亮度產生一逐漸增加之增量值，以修改原始的機率密度函數 (probability density function, PDF)。

為了驗證 AIVHE，本篇論文將 AIVHE 演算法實現在由本研究所提出的 TFT-LCD 顯示發展平台上之 Field Programmable Gate Array (FPGA) 以實現即時影像處理。透過實做以證明 AIVHE 適合以硬體實現其功能，使其提供強大的即時影像處理的能力，以達到即時影像處理的需求。

關鍵詞—對比增強、液晶顯示器、現場可程式邏輯閘陣列、影像處理

Abstract—Consumer demand for products that utilize enhanced images has risen tremendously, with an expected

growth continuing well into the next decade. Research has proved that assuring high contrast, saturation and resolution is required to achieve a high quality TFT-LCD system display.

A contrast enhancement scheme named Adaptively Increasing the Value of Histogram Equalization (AIVHE), based on the Histogram Equalization (HE) method, poses a convenient and effective mechanism to control the rate of contrast enhancement. AIVHE offers a gradual mean brightness increment of image, thus, modifying the original probability density function (PDF).

For verifying the AIVHE, this project will implement an AIVHE algorithm than can be used on FPGA hardware of the TFT-LCD development platform for real-time image processing. This research proves that the method can be implemented on FPGA hardware, providing a powerful real time image processing ability that reaches time consuming operation demand.

Index Terms—contrast enhancement、TFT-LCD、FPGA、image processing

一、介紹

有鑒於 TFT-LCD 已成為平面顯示器的主

流，而 TFT-LCD 的影像品質將成為消費者一個非常重要的考量因素，因此目前 TFT-LCD 之顯示技術以高對比度、高色彩飽和度、低功率消耗、高解析度以及提升動畫性能為主要研究方向。而人眼對亮度細節的分辨能力遠高於人眼對色彩細節的分辨能力，高對比度的顯示能讓顯示的影像表現層次分明，而低對比度的顯示會造成顯示的影像平淡無奇，因此影像對比大大地影響消費者的主觀感知印象，且是造成顯示器性能區別的主因之一，因此我們便著重在研究及探討 TFT-LCD 的影像對比增強技術上。我們可以將到目前為止被提出的技術分為兩大類：分別為全域增強方法和直方圖均化方法。

(一) 全域增強方法

全域增強方法是最普遍被應用如：直方圖拉伸法 (Histogram Stretching, HS) [1]和局域對比控制法 (localized contrast manipulation method) [2]的方法。

HS 用於將影像的直方圖延展至全域的動態灰階範圍如圖一所示，其適合使用於直方圖較集中的影像上，而其藉由方程式(1)能夠獲得新的輸出像素；局域對比控制法是運用每一個影像區域的最小值、最大值和平均值的統計資訊，以獲得轉換影像灰階的函數。然而這些增強影像對比的方法，由於不能調整其參數且無排除雜訊的能力，因此均無法精確地增強影像對比。

$$Newpixel = \frac{Inputpixel - Lowpixel}{Highpixel - Lowpixel} \times 255. \quad (1)$$

$Newpixel$ 、 $Inputpixel$ 、 $Highpixel$ 和 $Lowpixel$ 分別為輸出像素的灰階、輸入像素的灰階、影像中最高的灰階和影像中最低的灰階。

(二) 直方圖均化法

直方圖均化法 (Histogram Equalization, HE) [3]是增強影像對比非常普遍的方法，此方法將每個輸入影像的灰階均等分配後產生新的灰階如

圖二所示，以增強影像的對比。考慮一輸入之數位影像 $f(x, y)$ ，其灰階之動態區域為 $[0, L-1]$ ，及影像 f 包含的所有像素數量為 N ，則定義機率密度函數 (Probability Density Function, PDF) 為方程式(2)，其中 L 為影像的最大灰階。

$$p_k(k) = \frac{n_k}{N}, \quad \text{for } k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (2)$$

在方程式中， n_k 為灰階 k 在整個影像中所佔之像素數量。利用 PDF 可求得累積分佈函數 (Cumulative Distribution Function, CDF) 如方程式 (3)，由 CDF 可得到輸入輸出之轉移函數為方程式(4)，其中 X_0 和 X_{L-1} 分別為最大及最小的亮度值。

$$c_k(k) = \sum_{i=0}^k p_k(i), \quad \text{for } k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (3)$$

$$f(x) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)c(x) \quad (4)$$

雖然此轉換函數能夠增強影像的對比，但由於無法準確地控制增強的程度，因此經常產生令人不滿意的視覺效果而受到批評；所以，目前有許多解決方法已被提出，用以克服這個缺點，其中三種最有名的方法分別為：改良式直方圖均化法 [4]、[5]、[6]；空間域處理直方圖均化法 [7]、[8]、[9]；和 PDF 整形直方圖均化法 [10]、[11]。

為了改善 HE 方法，BBHE [4] 和 RMSHE [5] 將輸入影像的直方圖以平均亮度為依據分割成兩個或兩個以上的子直方圖，再將每個子直方圖做 HE 方法的處理。BPDHE [6] 將輸入影像的直方圖以局域的最大值為依據分割成兩個以上的子直方圖，再將子直方圖重新分佈灰階範圍，最後將重新分佈灰階的子直方圖做 HE 方法處理。上述的三個方法在某些情況仍然會產生不自然的影像對比。空間域處理直方圖均化法 [7]、[8]、[9] 可以產生比較好的對比增強效果，然而這些方法均需要依賴龐大的計算量。

PDF 整形直方圖均化法將原始影像的 PDF 修改以產生新的 PDF，再利用新的 PDF 獲得適性的輸入-輸出轉移函式。此類方式較知名的有 BUBO [10] 和 AMHE [11] 兩種方法：前者使用一臨界值限制 PDF，以預防有些灰階的 PDF 太大或太小而導致灰階顯著的變化；而 AMHE 則是重新繪製原始 PDF 的形狀。雖然此兩種方法均能有效地使影像對比增強，但是在某些情形下，這些方法仍然無法將影像延展至更廣泛的灰階分佈。

在此我們提出一個簡單增強影像對比的方法，命名為「適應性增量分配直方圖均衡化法」(Adaptively Increase the Value of Histogram Based on Histogram Equalization, AIVHE)，其具有良好的對比增強效果且可以預防灰階過度地改變，是一個更有效地增強影像對比的方法。且本實驗室已著手開發 TFT-LCD 顯示技術發展平台，以使理論上的影像處理方法能落實在硬體電路的層次以支援即時影片畫面的處理，我們將利用此平台實現此技術，使其可以應用在顯示器產品上。

在第二節，將對 AIVHE 方法作一個詳細地介紹，並使用 MATLAB/Simulink 模擬驗證 AIVHE 的影像對比增強效果；而第三節中，將介紹 TFT-LCD 發展平台以及 AIVHE 以此平台驗證的結果；最後在第四節中簡要地敘述此研究的重點，且考量未來研究的目標，以做為整篇論文的結論。

二、AIVHE 對比增強方法

BUBO 使用一臨界值限制 PDF，以預防有些灰階的 PDF 太大或太小而導致灰階顯著的變化，是一個有效的影像對比增強技術，但是在某些情形下，仍然無法將影像延展至更廣泛的灰階分佈，因此我們以 HE 方法為基礎，提出一個新的對比增強方法，簡稱為 AIVHE。其特色為提供兩個可讓使用者調整的參數，分別為：權重參數 β 與初始值 γ ，用於控制亮、暗區域擴展的範

圍，以及控制整體對比增強的效果；其亦提供一個對比增強的機制，藉由可適性約束函數 $\alpha(k)$ 與權重參數 β 來自動調整 PDF 的形狀。而可適性約束函數 $\alpha(k)$ 則由初始值 γ 與平均亮度 X_m 所決定。此方法藉由原始的 PDF ($P(k)$) 獲得到新的 PDF ($P_{AIVHE}(k)$)，調整 PDF 的形狀，達到影像對比增強的效果，並且防止影像灰階產生過度改變，AIVHE 可保持自然之視覺觀感，而不會造成原始影像呈現不自然之現象。

AIVHE 藉由基準值 P_{bas} 將原始的 PDF 分割為上、下兩塊區域。將大量的 $P(k)$ 限制於 P_h ，使之約束 $P_{AIVHE}(k)$ 的變化。AIVHE 利用改變 $P(k)$ 獲得 $P_{AIVHE}(k)$ ，如方程式(5)：

$$P_{AIVHE}(k) = \begin{cases} P_h & , \text{if } P(k) \geq P_h \\ P(k) - \alpha(k)(P(k) - P_{bas}) \times \beta & , \text{if } P_{bas} < P(k) < P_h \\ P(k) + \alpha(k)(P_{bas} - P(k)) \times \beta & , \text{if } P(k) \leq P_{bas} \end{cases} \quad (5)$$

方程式中， P_{bas} 定義為平均分佈值 (影像的總畫素除以灰階總數， N/L)，可以防止輸出不必要的影響。 P_h 則定義為兩倍的 P_{bas} ，如此可將 $P_{AIVHE}(k)$ 分為兩個相等面積，以獲得有效的影像對比增強效果。 β 值可讓使用者自行控制，以調整影像對比增強的效果； β 值的遞增使得低於 P_h 的 $P_{AIVHE}(k)$ 比例增加，因而縮小與 P_h 的差距，而降低對比增強的效果，反之 β 值的遞減使得低於 P_h 的 $P_{AIVHE}(k)$ 比例減少，因而增加與 P_h 的差距，而增強對比增強的效果。

$$\alpha(k) = \begin{cases} \left(1 - \frac{X_m - k}{X_m}\right)^2 \times (1 - \gamma) + \gamma & , \text{if } k \leq X_m \text{ and } \gamma > 0 \\ \left(1 - \frac{k - X_m}{(L-1) - X_m}\right)^2 \times (1 - \gamma) + \gamma & , \text{if } k > X_m \text{ and } \gamma > 0 \\ 0 & , \text{if } \gamma < 0 \end{cases} \quad (6)$$

在方程式(5)中，可適性約束函數 $\alpha(k)$ ，以參考平均亮度 X_m 作自動調整，當 k 值愈接近平均

亮度時， $\alpha(k)$ 會逐漸增加，如方程式(6)。初始值 γ 為一實數，範圍為 $[-1, 1]$ 。藉由方程式(6)得知：當 γ 值大於等於零時， $\alpha(k)$ 為一正數；當 γ 值小於零時， $\alpha(k)$ 為零。 γ 值可讓使用者自行控制，以控制亮、暗區域擴展的範圍；當 γ 值愈大時， $P_{AIVHE}(k)$ 的兩端所占有的比例愈多，則亮、暗區域擴展的範圍愈小，反之當 γ 值愈小時， $P_{AIVHE}(k)$ 的兩端所占有的比例愈少，則亮、暗區域擴展的範圍愈大。當 γ 為負值時，限制其 $\alpha(k)$ 為零，能使得對比增強後的影像在不失真的情況下獲得最多的亮、暗灰階分佈。圖一列出當藉由 AIVHE 改變 γ 值與 β 值時所輸出各種不同參數之 PDF 與 CDF。圖一(a)為原始的 PDF，圖一(b)~(c)為不同參數改變的 PDF。圖一(d)~(f)為 CDF，分別由圖一(a)~(c)求得。

AIVHE 可以讓使用者依個人的喜好藉由 γ 值用於控制亮、暗區域擴展的範圍，產生自然的直方圖分佈；藉由 β 值用於控制整體對比增強的效果，產生令人滿意的對比增強結果。採用各種不同的參數值 γ 與 β ，調查參數的影響，由模擬結果得知，若將參數值 γ 與 β 皆設為 0.35，能使大多數的輸入影像得到對比清晰的影像，當輸入低對比的影像，可產生自然對比增強的結果；而當輸入高對比的影像，則可防止過度增強的結果。

藉由 $P_{AIVHE}(k)$ 計算累積密度函數 $C_{AIVHE}(k)$ ，如方程式(7)：

$$C_{AIVHE}(k) = \sum_{i=0}^k P_{AIVHE}(i), \quad \text{for } k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (7)$$

由於 $C_{AIVHE}(k)$ 一直地累積，且累積至最後的 $C_{AIVHE}(k)$ 值不會為 1，因此我們必須正規化 $C_{AIVHE}(k)$ ，使得輸出影像的灰階範圍為 $[0, L-1]$ ，如方程式(8)：

$$f(k) = (L-1) \times \left(\frac{C_{AIVHE}(k)}{C_{AIVHE}(L-1)} \right) \quad (8)$$

圖二列出輸入-輸出轉移函數。圖二(a)為 $C_{AIVHE}(k)$ 正規化處理前，所得到的輸入-輸出轉移函數，圖二(b)為 $C_{AIVHE}(k)$ 正規化處理後，所得到的輸入-輸出轉移函數，由圖可知，沒有經正規化處理所得到的輸入-輸出轉移函數，無法使得影像灰階呈現全域的分佈，因此無法有效的利用影像灰階。

為了評估 AIVHE 對比增強的效果，因此我們模擬測試不同的影像，且與其他對比增強方法的模擬結果作比較，如：HE [3]、BBHE [4]、RMSHE [5] 和 BUBO [10]，其每一個方法中的參數，皆是根據其研究論文中所建議的數值：對 RMSHE 而言，我們設定 r 的值為 2；BUBO 中的 α 值則設定為 0.7。

圖三顯示三張由 AIVHE 處理後的對比增強影像，且此三張對比增強後的影像，皆證明 AIVHE 可以達到理想地對比增強的效果；圖四、圖六顯示以不同方法的對比增強影像，其中以 AIVHE 產生的影像比其他方法產生的影像更為清晰；而圖五、圖七分別為圖四、圖六中影像的直方圖，從圖五、圖七中我們可以發現 HE、BBHE 和 RMSHE 無法有意義地改變灰階範圍，且 AIVHE 比 BUBO 更能有效利用動態灰階寬度。

由於以往的影像對比增強方法缺乏硬體平台實際驗證影像增強的效果，因此在下一節，我們將介紹本研究開發的 TFT-LCD 顯示技術發展平台，以及運用此平台驗證 AIVHE 是否能夠支援即時影像的處理，且應用於標準解析度電視上。

三、AIVHE 硬體實作

為了使理論上的影像處理方法能落實在硬體電路的層次以支援即時影片畫面的處理，本研究已著手開發 TFT-LCD 顯示技術發展平台，此發展平台利用虹晶科技 (Socle Technology) 所開發的 SoC 嵌入式系統 CDK (Cheetah Development Kit) 發展平台，在加上一塊特別設計的視訊解碼系統模組板，作為驗證即時影像處理

的基本平台。

CDK 平台的功能方塊圖如圖八所示。De-Interlaced module 主要的功能為接收和解碼視訊傳輸資料中 SAV 和 EAV 參考時序的掃瞄線及圖場資訊。視訊傳輸資料透過 Contrast Enhancement module 增強影像對比,再送至 Color Space Converter module(CSC)將增強後影像的色彩空間(YCbCr)轉換成 RGB 色彩空間,接著將資料送至 LCD Controller module 產生 LCD 時序控制訊號和 RGB 資料,並且輸出至 LCD 顯示器,以觀察對比增強的結果並驗證之。

由於 CDK 發展平台本身並不包含有動態視訊輸入功能,因此另外設計了一塊可連接至 CDK 發展平台的視訊解碼系統模組板,以實現可處理即時影像的 TFT-LCD 顯示技術發展平台,視訊解碼系統模組板如圖九所示。為了使數位系統能夠處理標準解析度電視(Standard Definition Television, SDTV)影像輸入,我們利用圖九中的視訊解碼晶片(VIDEO DECODER IC)將類比訊號轉換為數位影像資料的格式(ITU-R BT.656)。

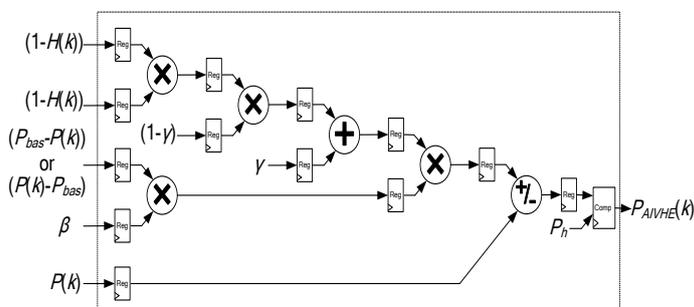
ITU-R BT.656 為最普遍的數位視訊標準:其傳輸速率為 27 Mhz;輸出格式為 4:2:2 YCbCr 的抽樣方式。由於 ITU-R BT.656 使用 YCbCr 色彩空間作為其影像資料格式,其中 Y(發光度)的值可以決定影像的對比及亮度,另外 Cb 與 Cr 的值分別可以決定影像的色調與飽和度,因此在發展平台中,我們將著重於 Y 分量的處理而忽略 Cb 和 Cr 的部分,以完成即時影像對比增強的處理。

為了在硬體中實現影像對比增強演算法,當我們在設計 AIVHE 使之增強影像對比時,即以簡單且有效率為方向做為考量。在 AIVHE 的實作中,其包含主要有四大函數,分別為:一、計算原始直方圖;二、計算平均亮度;三、計算 $P_{AIVHE}(k)$ 並正規化 $C_{AIVHE}(k)$;四、產生輸入對應輸出的轉移函數。

在硬體設計時,我們分析方程式(6),發現 $\alpha(k)$ 的調整與平均亮度 X_m 有關係。我們假設當 k

小於或者等於 X_m 時, $(X_m - k) / X_m$ 為 $H(k)$, 則 $\Delta H(k)$ 增加 $-1 / X_m$; 另一方面, 當 k 大於 X_m 時, $(k - X_m) / ((L - 1) - X_m)$ 為 $H(k)$, 則 $\Delta H(k)$ 增加 $1 / ((L - 1) - X_m)$ 。在實作時, 利用 FPGA 中的 Block RAM, 建立一查找表(Look Up Table, LUT), 查找表的內容為: 一連續數字 $1 / X_m'$, X_m' 的範圍為 $[0, L - 1]$, 以此方式可以加快硬體處理的速度。

圖十為平行化處理方程式(5), 適當的在電路中加入暫存器, 提高硬體電路的資料吞吐量, 因而可達到即時消費性電子產品的需求。



圖十、平行化處理方程式(5), 當 $k \leq X_m$ 時 $H(k) = (X_m - k) / X_m$; 當 $k \geq X_m$ 時 $H(k) = (k - X_m) / ((L - 1) - X_m)$

為了評估實現及設計的 AIVHE 硬體電路, 我們採用 Xilinx 公司所推出的 AccelDSP 設計工具協助我們實現硬體電路並分析使用的邏輯閘數量、硬體工作頻率等資訊。Xilinx AccelDSP 優點為可在系統層次中開發硬體演算法。由以上得知, Xilinx AccelDSP 可以加快我們從演算法至硬體電路的開發。

根據 AccelDSP 所得到的硬體資訊, AIVHE 的電路建構於 Xilinx Spartan-3(XC3S4000)FPGA 晶片中, 所需要使用的資源量為: 3342 Slices Flip Flop、4 BRAMs 和 17 MULT18x18s。此硬體電路最快的處理頻率為 60.1 MHz, 每兩個時脈訊號即可運算產出一筆新的資料, 如圖十一所示, 意指: 此硬體電路可以達到 30.05 MSPS(Sample per Second), 其速度比標準解析度電視(Standard Definition Television, SDTV)規格

快兩倍以上。

此設計以藉由 MATLAB/Simulink 模擬驗證，並藉由 Xilinx System Generator 產生硬體描述語言程式碼 (Hardware Description Language codes, HDL codes)。圖十二為 AIVHE 以軟體模擬及硬體實作的轉換曲線(CDF)比較，我們可以發現兩者的結果是吻合的。圖十三為硬體實作的結果，其中 γ 與 β 選用上述論文中建議的值。

四、結論

在此篇論文中，我們提出一個影像對比增强的新方法，簡稱為AIVHE，用以提高影像顯示的品質。透過輸入的影像，根據其平均亮度 X_m 與初始值 γ ，決定可適性約束函數， $\alpha(k)$ ，其使AIVHE能夠有效地增強影像對比的效果，同時此AIVHE可以有效地分佈亮、暗區域的影像灰階，以提高影像灰階的使用效率。此篇論文說明了AIVHE不僅提供自然的影像對比之增強效果、且能提高顯示的品質、以及預防處理後的影像過度增強或失真。

由於AIVHE的演算法簡單且適合硬體實作，因此我們可以將AIVHE實現於硬體上，以達到即時影像處理的需求，使此可調整的影像對比增強方法也非常適合應用在消費性電子產品。

由實驗結果得知，AIVHE的硬體電路，適合應用於標準解析度電視，但無法應用於目前市場的主流，高解析度電視(High Definition Television, HDTV)；雖然 γ 、 β 均可調整對比的效果，但在兩者之間並無一個機制。因此未來的研究目標為：一、透過改良AIVHE的硬體電路，使得改良後的硬體電路在資料處理的速度方面更為快速，以滿足HDTV的需求，甚至滿足未來要求更為嚴苛的高畫質電視。二、修改演算法，希望能將兩個參數合併，使消費者只需一個參數即可調整影像的對比效果。

七、參考文獻

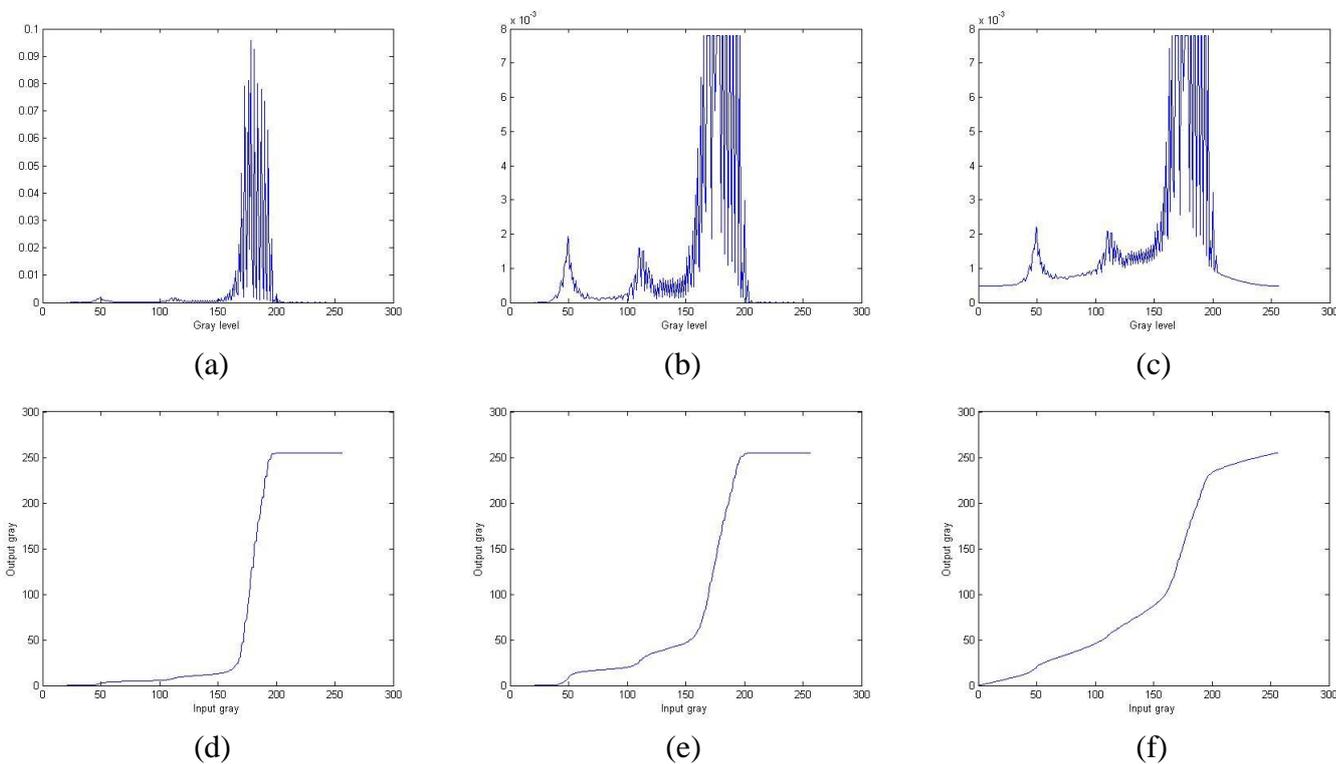
- [1] R. Crane, *Simplified Approach to Image Processing*, Prentice-Hall, 1994.
- [2] Z. Yu and C. Bajaj, "A Fast and Adaptive Method for Image Contrast Enhancement", in *2004 Proc. of ICIP*, Vol.2, pp. 1001-1004, Oct. 2004.
- [3] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital image processing*, Prentice-Hall, Inc., 2001.
- [4] Y. T. Kim, "Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol.43, No.1, pp.1-8, Feb. 1997.
- [5] S-D Chen, and A. R. Ramli, "Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for scalable brightness preservation", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 49, no. 4, pp. 1301-1309, Nov. 2003.
- [6] Haidi Ibrahim, and Nicholas Sia Pik Kong, "Brightness preserving dynamic histogram equalization for image contrast enhancement", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 53, no. 4, pp. 1752 - 1758, November 2007.
- [7] K. Zuiderveld, "Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization," in *Chapter VIII.5, Graphics Gems IV*, Cambridge, MA, Academic Press, pp.474-485, 1994.
- [8] J-Y Kim, L-S. Kim, and S-H. Hwang, "An Advanced Contrast Enhancement Using Partially Overlapped Sub-block Histogram Equalization", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.11, No.4, pp.475-484, April. 2001.
- [9] Haidi Ibrahim, and Nicholas Sia Pik Kong, "Image Sharpening Using Sub-Regions Histogram Equalization", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 55, no. 2, pp.891 - 895, May 2009.
- [10] S. Yang, J. Oh, and Y. Park, "Contrast Enhancement Using Histogram with Bin

Underflow and Bin Overflow", in *2003 Proc. of ICIP*, Vol. 1, pp.881 - 884, Sep. 2003.

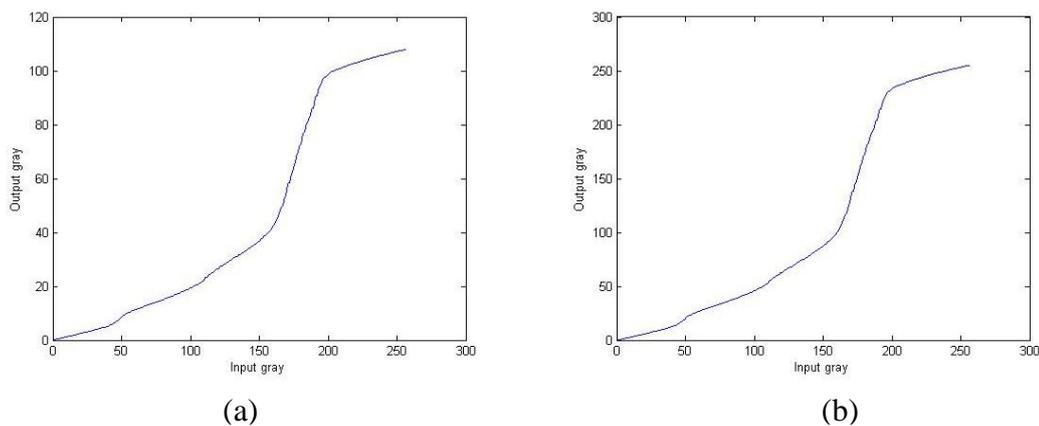
[11] H-J Kim, J-M Lee, J-A Lee, S-G Oh, W-Y Kim, "Contrast Enhancement Using Adaptively Modified Histogram Equalization", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.4319, pp.1150 - 1158, Dec. 2006.

[12] Xilinx Inc., *AccelDSP Synthesis Tool, User Guide*, Release 10.1.03, Sept. 2008.

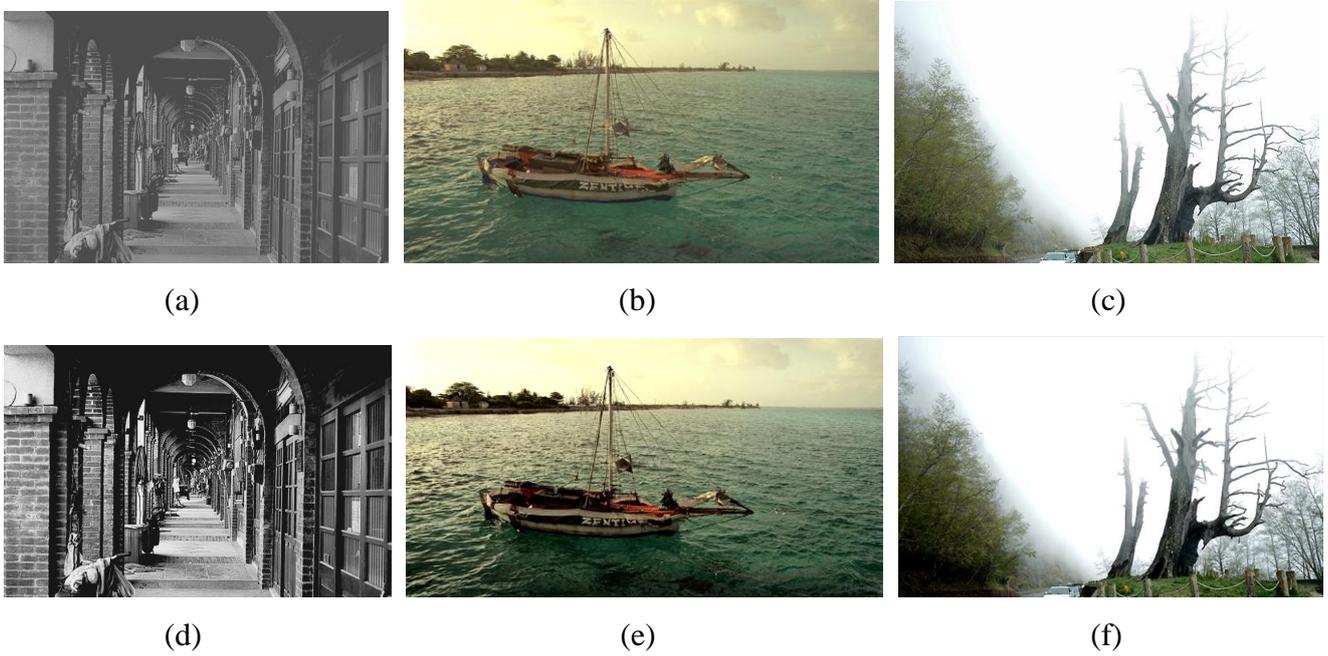
[13] Ching-His Lu, Yu-Sheng Wang, Lei Wang, and Hong-Yang Hsu, "A Platform Implementation for Real Time Image Processing", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.5353, pp. 238-247, December 2008.



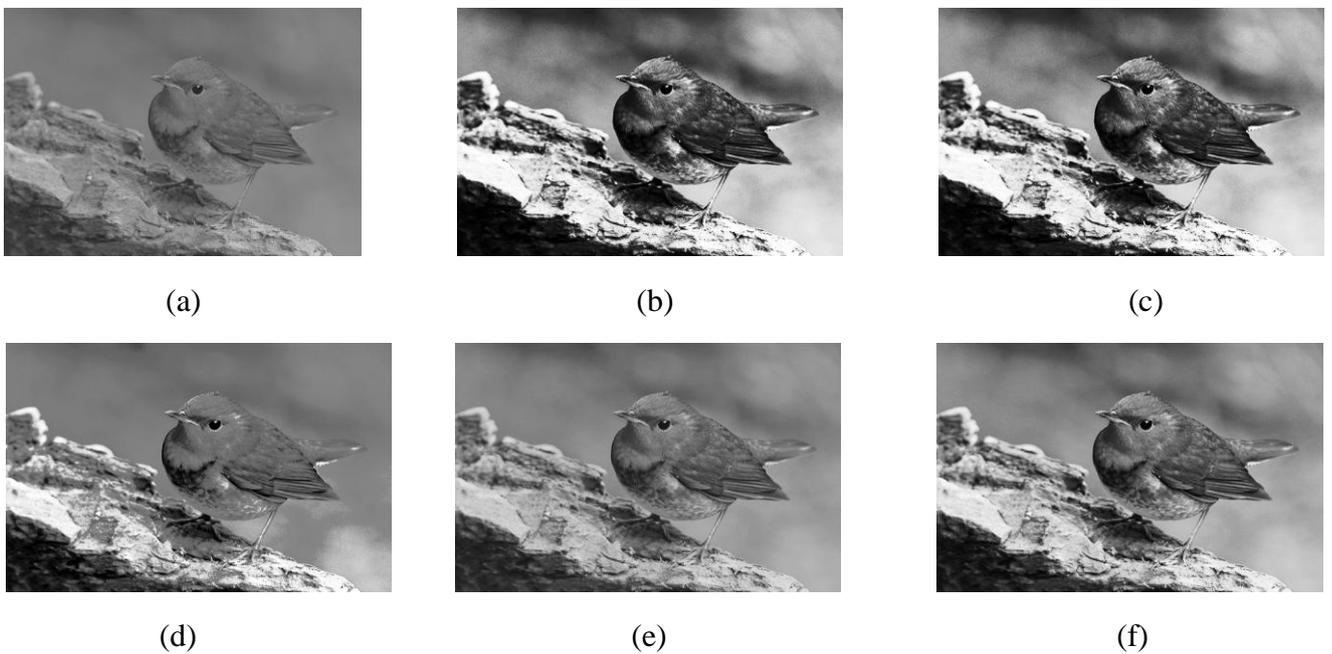
圖一、(a) 輸入影像的原始PDF，(b) 調整後的PDF $\beta=0.35$ 、 $\gamma=-0.35$ ，(c) $\beta=0.35$ 、 $\gamma=0.35$ ，(d) 輸入影像的原始CDF，(e) 調整後的CDF $\beta=0.35$ 、 $\gamma=-0.35$ ，(f) $\beta=0.35$ 、 $\gamma=0.35$



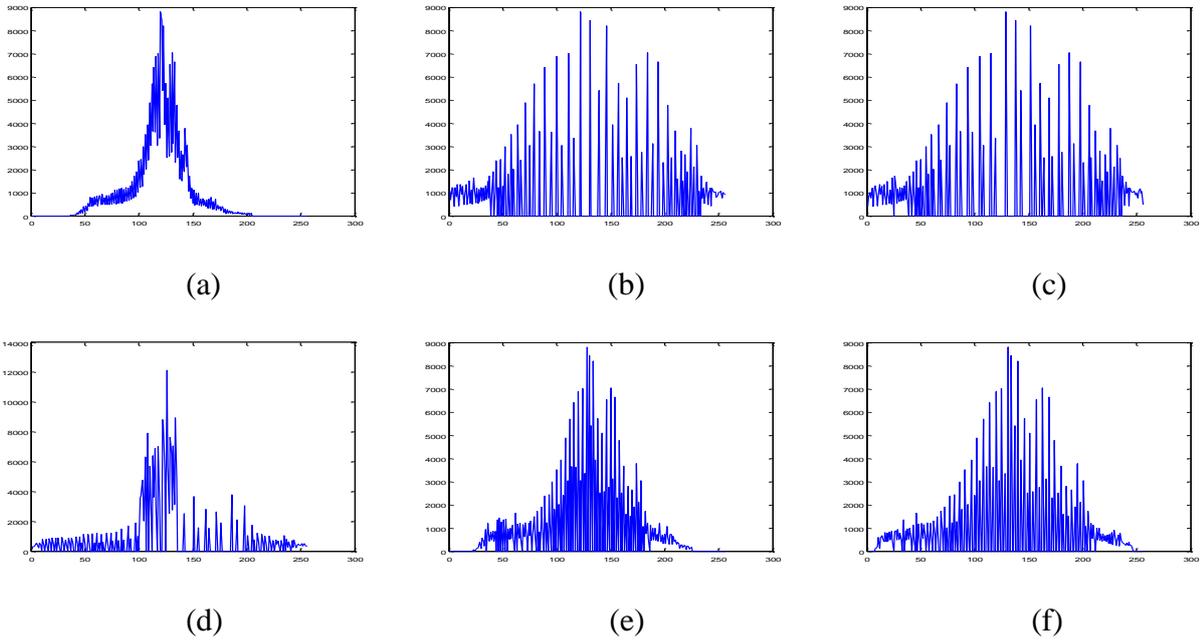
圖二、 輸入-輸出轉換函數：(a) $C_{AIVHE}(k)$ 正規化處理前，(b) $C_{AIVHE}(k)$ 正規化處理後



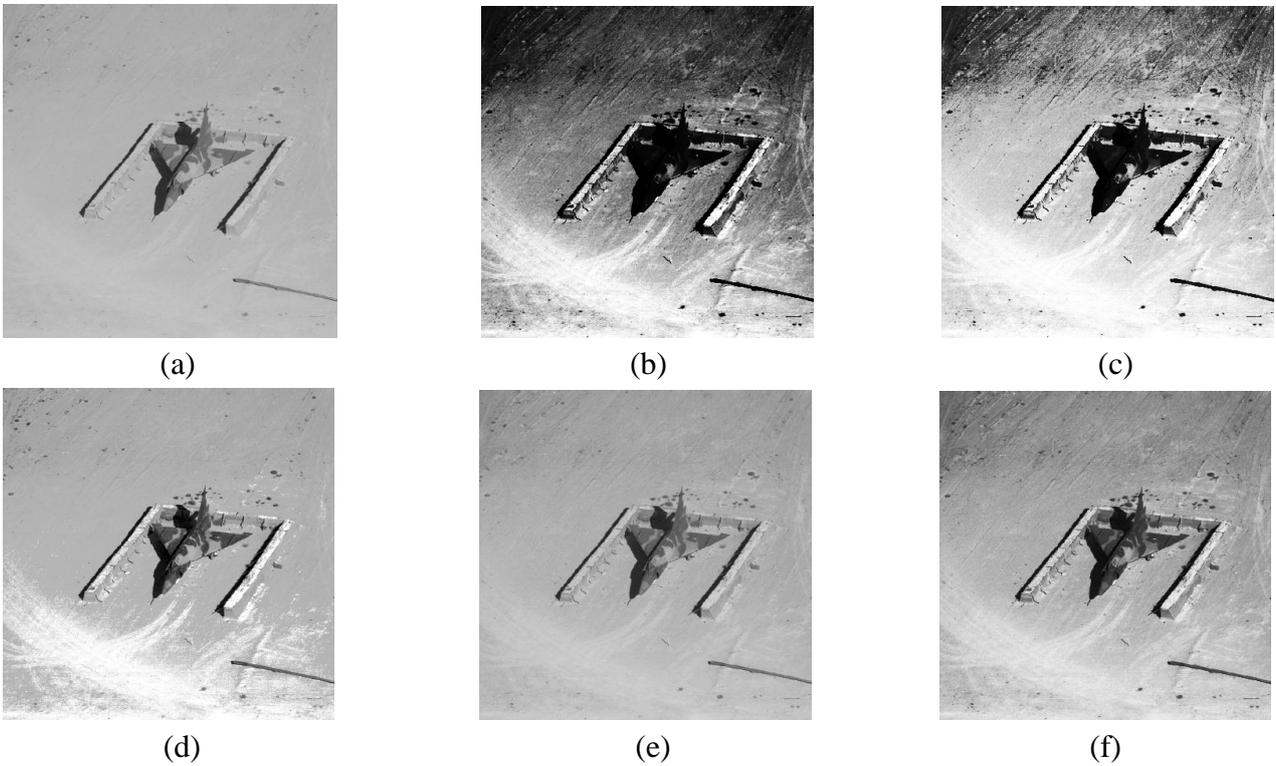
圖三、 對比增強結果：(a)、(b)、(c)輸入影像，(d)、(e)、(f) AIVHE的增強結果。



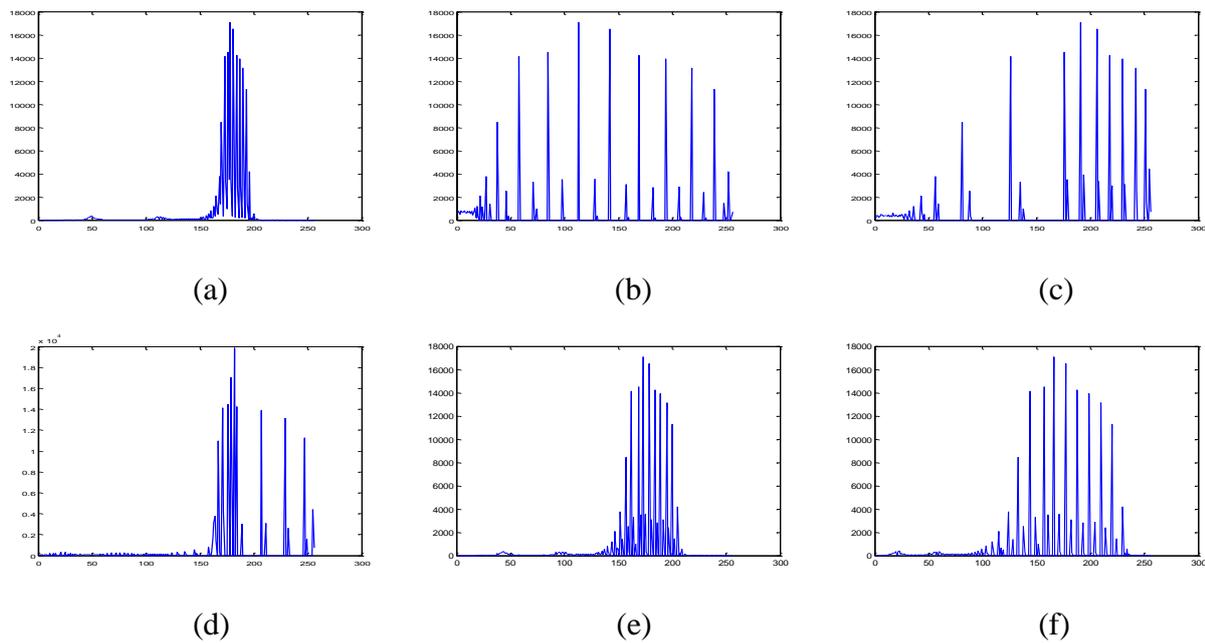
圖四、 對比增強結果：(a) 輸入影像，(b) HE的增強結果，(c) BBHE的增強結果，(d) RMSHE的增強結果，(e) BUBO的增強結果，(f) AIVHE的增強結果。



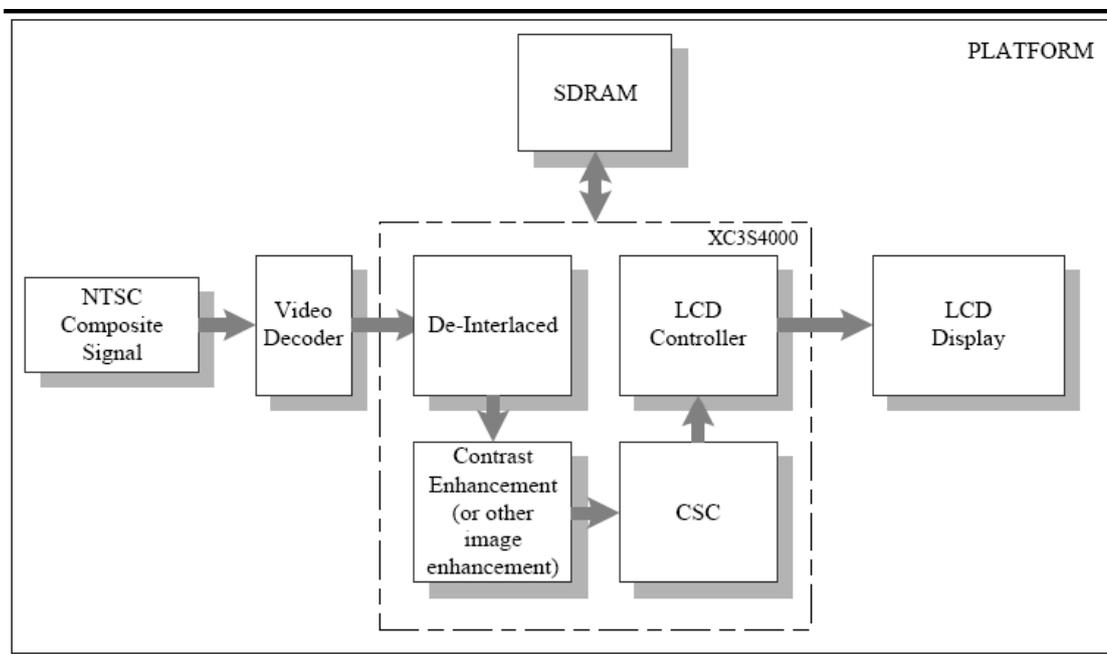
圖五、顯示圖四中影像的直方圖：(a) 輸入影像，(b) HE的增強結果，(c) BBHE的增強結果，(d) RMSHE的增強結果，(e) BUBO的增強結果，(f) AIVHE的增強結果。



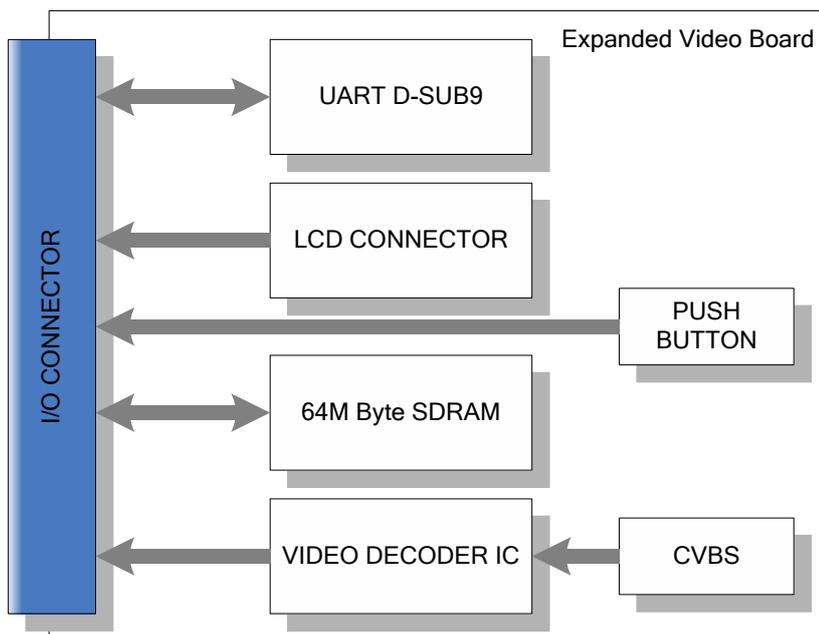
圖六、對比增強結果：(a) 輸入影像，(b) HE的增強結果，(c) BBHE的增強結果，(d) RMSHE的增強結果，(e) BUBO的增強結果，(f) AIVHE的增強結果。



圖七、顯示圖六中影像的直方圖：(a) 輸入影像，(b) HE的增強結果，(c) BBHE的增強結果，(d) RMSHE的增強結果，(e) BUBO的增強結果，(f) AIVHE的增強結果。



圖八、CDK 平台的功能方塊圖



圖九、視訊解碼系統模組板方塊圖

- Utilization

Information	Count	Percentage Use
Number of Slice Flip-Flops added for Registered Inputs	13	
Number of Slice Flip Flops	3,342 out of 55,296	6%
Number of 4 input LUTs	1,506 out of 55,296	2%
Number of occupied Slices	2,858 out of 27,648	10%
Number of Slices containing only related logic	2,858 out of 2,858	100%
Number of Slices containing unrelated logic	0 out of 2,858	0%
Total Number of 4 input LUTs	1,601 out of 55,296	2%
Number of bonded IOBs	55 out of 489	11%
Number of RAMB16s	4 out of 96	4%
Number of MULT18X18s	17 out of 96	17%
Number of BUFGMUXs	1 out of 8	12%

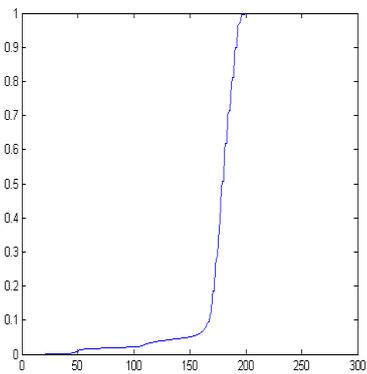
- Performance Information

Name	Requested Frequency	Maximum Frequency	Minimum Period	Max Throughput	Input Sampling
Clock	60.0 MHz	60.1 MHz	16.6390 ns	2	30.050 MSPS

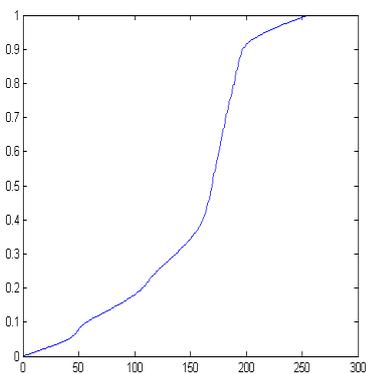
- Timing Summary

Path Name	Maximum Frequency	Minimum Period
Register to Register (worst case)	60.1 MHz	16.6390 ns

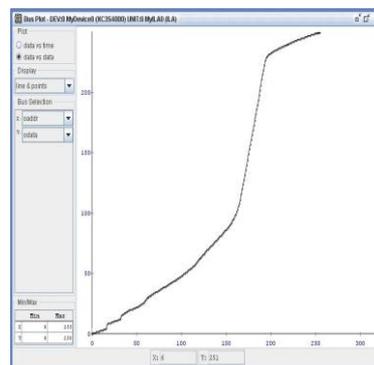
圖十一、AIVHE 硬體電路資源使用量



(a)

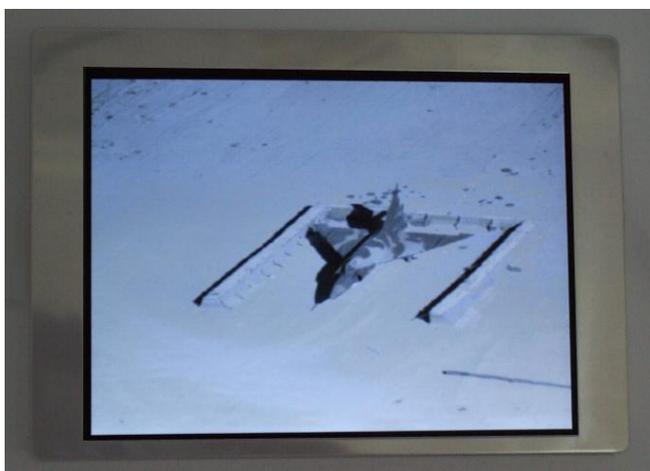


(b)



(c)

圖十二、CDF 比較：(a)原始圖片 CDF，(b)軟體模擬 CDF，(c)硬體測試 CDF



(a)



(b)

圖十三、硬體實驗結果(a)原始圖片(b)AIVHE 增強後的圖片