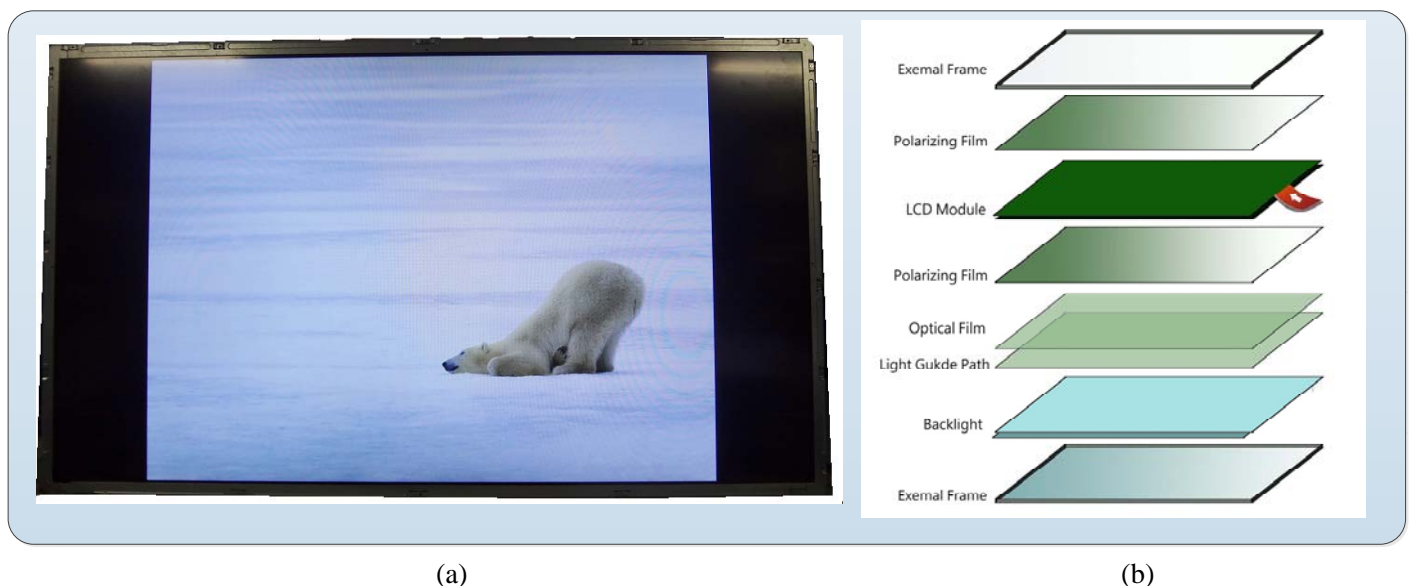


## 十二、研究計畫內容：

- (二) 研究計畫之背景及目的。請詳述本研究計畫之背景、目的、重要性及國內外有關本計畫之研究情況、重要參考文獻之評述等。本計畫如為整合型研究計畫之子計畫，請就以上各點分別述明與其他子計畫之相關性。
- (三) 研究方法、進行步驟及執行進度。請分年列述：1.本計畫採用之研究方法與原因。2.預計可能遭遇之困難及解決途徑。3.重要儀器之配合使用情形。4.如為整合型研究計畫，請就以上各點分別說明與其他子計畫之相關性。5.如為須赴國外或大陸地區研究，請詳述其必要性以及預期成果等。
- (四) 預期完成之工作項目、成果及績效。請分年列述：1.預期完成之工作項目。2.對於學術研究、國家發展及其他應用方面預期之貢獻。3.對於參與之工作人員，預期可獲之訓練。4.預期完成之研究成果及績效（如期刊論文、研討會論文、專書、技術報告、專利或技術移轉等質與量之預期績效）5.本計畫如為整合型研究計畫之子計畫，請就以上各點分別說明與其他子計畫之相關性。

### (二) 研究計畫之背景及目的：

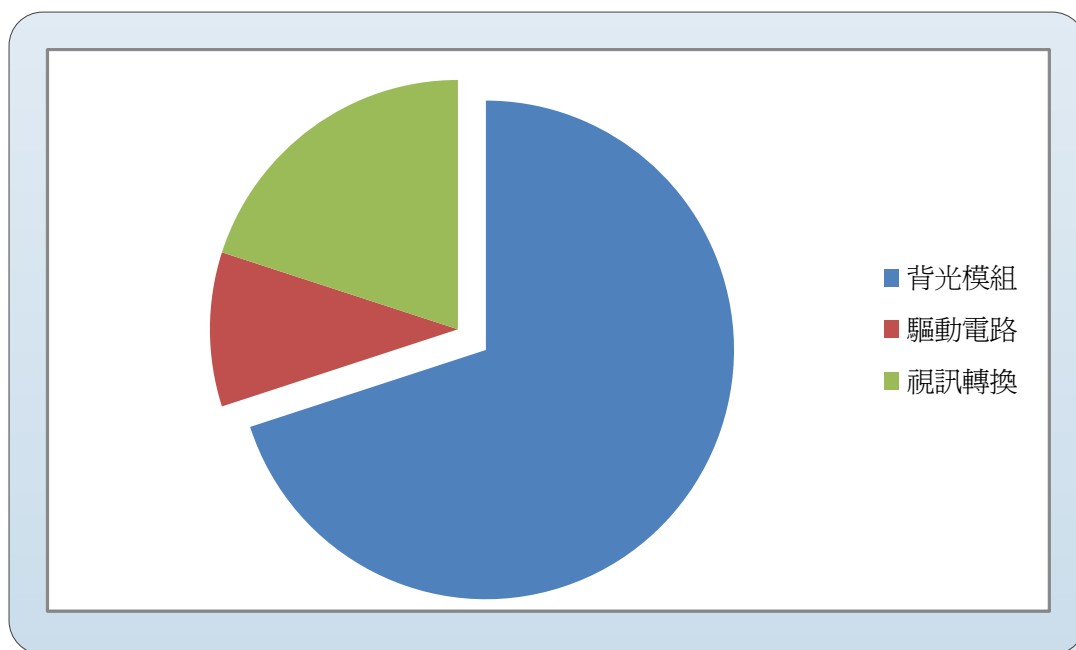
我們將影像對比度增強演算法實踐於奇美節能背光液晶LCD(Liquid Crystal Display)上，如圖一(a)所示，主要薄膜電晶體液晶顯示器(Thin film transistor liquid crystal display)為非自發光之顯示，必須透過背光源投射光線(backlight module)，光線會穿透薄膜電晶體液晶顯示器面板中之偏光膜(Polarizing Film)、玻璃基板(Glass substrate)、液晶層(Liquid Crystal)、彩色濾光片(Color Filter)、玻璃基板(Glass substrate)、偏光膜(Polarizing Film)等相關零組件(如圖一(b))，最後進入人之眼睛成像，達到顯示之功能。



圖一、奇美LCD與背光架構 (a) 奇美節能背光液晶LCD (b) LCD 組成架構

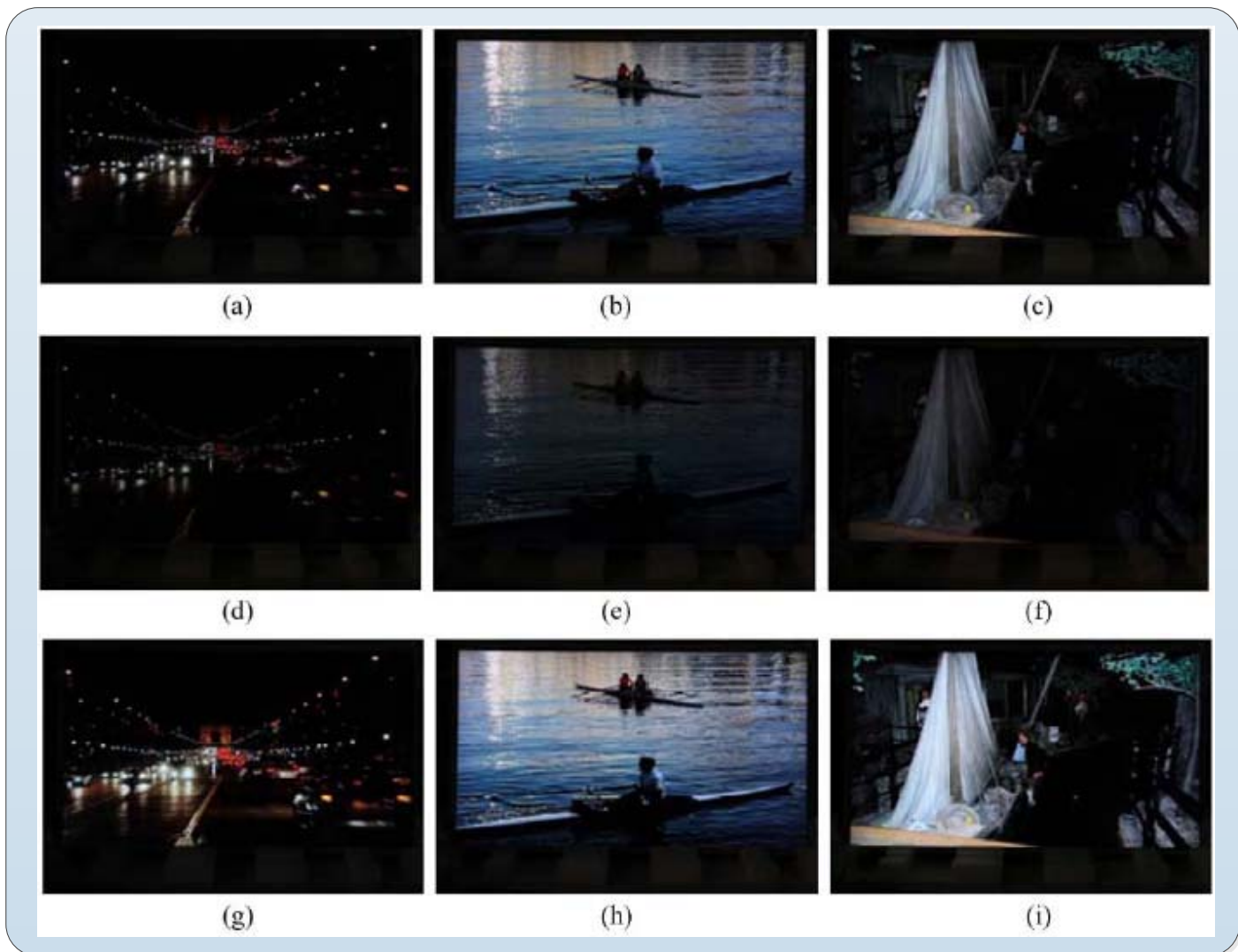
然而隨著大尺寸之液晶螢幕產生，伴隨著功率消耗增加問題，但仔細去分析整體液晶電視的耗能關鍵，其實會發現，一部液晶電視消耗能源最多的就是背光模組(Backlight Module)又稱背光板，如圖二所示，幾乎佔了整體液晶電視的70%功率消耗，但是為了達到較低功率消耗，可藉由調降背光強度達到降低整體功率消耗，雖能有效降低液晶電視功率消耗，但會導致影像對比度降低，進而造成整體影像品質降低，為了改善整體影像對比度我們提出影像對比度增強演算法，而且所提出的能見度增強演

算法將建構於Gamma-based演算法的基礎上，並結合HE-based演算法的優點，能夠藉由影像本身的資訊來自動獲得對比度增強，因此影像可獲得適當地對比度調整，使得人眼視覺感官上能夠呈現更為多元的鮮豔色彩，並且實踐在奇美節能背光液晶LCD(Liquid Crystal Display)上，同時顯示出最佳影像品質與LCD最低功率消耗。



圖二、液晶電視整體消耗分析

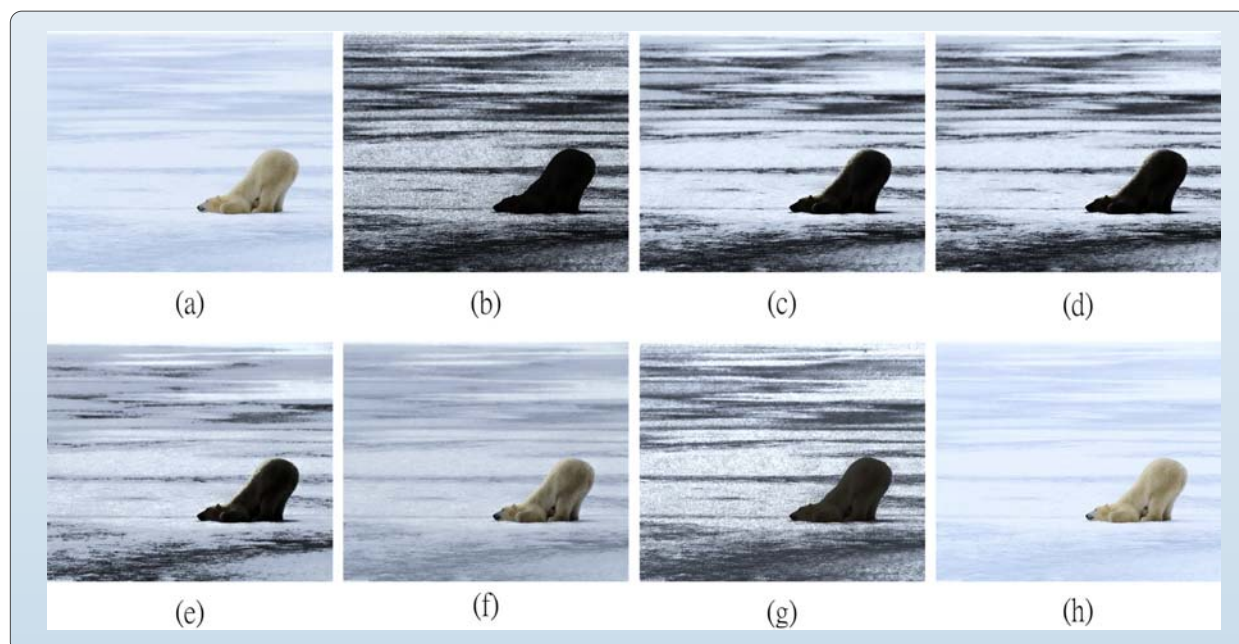
我們所提出的對比度演算法[9]，實踐於奇美節能背光液晶LCD(Liquid Crystal Display)，並且同時達到電視有高品質影像與低功率的消耗，如圖三所示，(a), (b), (c)為輸入影像與全背光模式，(d), (e), (f) 為原始影像與半背光模式，由以上兩種相同原始影像與不同背光模式，可觀察出(a), (b), (c)雖能獲得一定的品質效果，但全背光開啓會導致功率消耗較高。在(d), (e), (f)中將背光強度降低一半，雖能降低功率消耗，但影像品質以降低，失去許多細節。而(g), (h), (i) 為經我們對比度增強演算法與半背光下的結果，由圖可見影像品質明顯提升，相較於(a), (b), (c) 經過我們的影像增強演算法後的影像，不需開啓全部背光就可獲得相對品質甚至更好的影像品質。



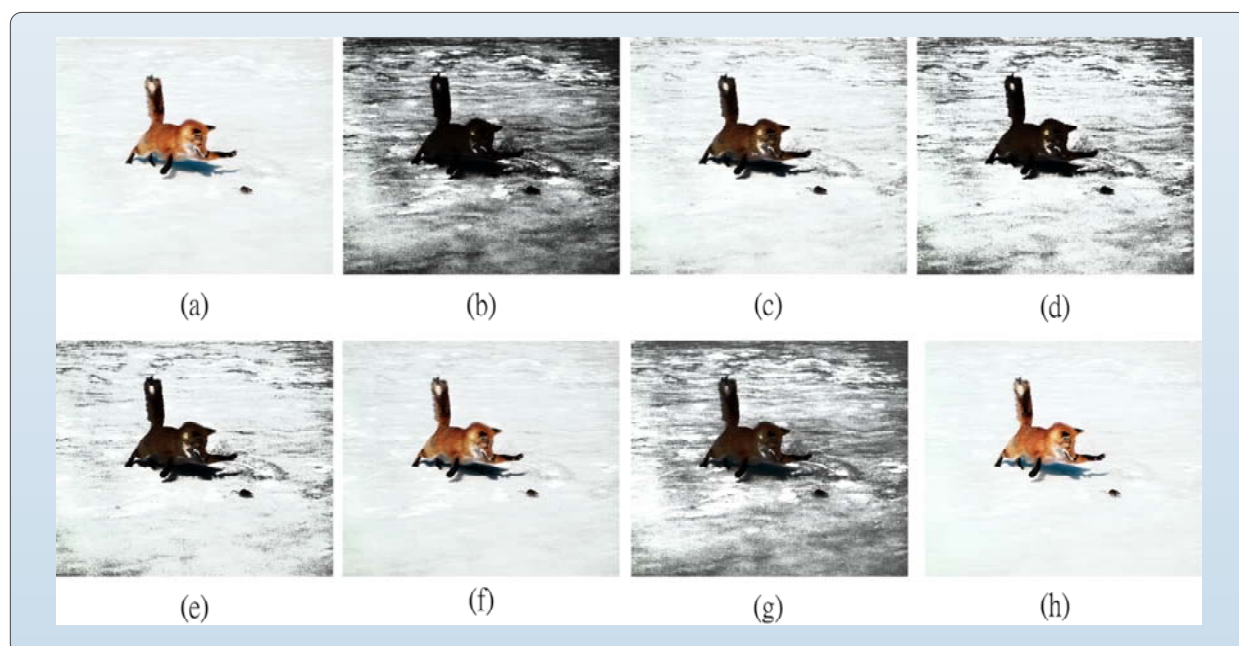
圖三、影像品質與背光模組 (a), (b), 與 (c) 為原始影像與全背光模式；(d), (e), 與 (f) 為原始影像與半背光模式；(g), (h), 與 (i) 為經過我們對比度增強影像的演算法與半背光模式

現階段「高畫質數位影像增強技術用於顯示器智能背光控制」已具體的實踐高畫質靜態影像上在奇美節能背光液晶LCD (如圖一所示)，我們的影像增強演算法增強效果優於其他現有影像增強技術，也已經過奇美電子嚴謹的產品驗證，研究結果將發表於**IEEE Transactions on Image Processing (Ranking: 16/244= 6%)**，且已申請美國專利，圖四、圖五為目前我們所提出的演算法與目前最著名的演算法結果比較圖，如圖四與圖五中(b)-(h)，過目前著名演算法Traditions Histogram Equalization (THE)[1]、Brightness preserving Bi-Histogram Equalization (BBHE)[2]、Dualistic Sub-Image Histogram Equalization (DSIHE)[3]、Recursive Sub-Image Histogram Equalization (RSIHE)[4]、Recursively Separated and Weighted Histogram Equalization (RSWHE)[5]、Dynamic Contrast Ratio enhancement and inverse Gamma Correction (DCRGC)[6]，皆無法獲得較好影像品質，如圖四所示，THE, BBHE, DSIHE, RSIHE, DCRGC, 北極熊與極地色彩嚴重失真，RSWHE雖無明顯失真，但整體亮度降低。此外圖五狐狸影像，THE, BBHE, DSIHE, RSIHE, DCRGC, 狐狸與白雪區域色彩亦嚴重失真，RSWHE與原圖比較下無明顯增強效果，而我們所提出的演算法 Adaptive Gamma Correction with Weighting Distribution (AGCWD)[9]，可以針對不同條件下的影像有效進行影像品質提升，且不損失影像細節(如圖六所示)，圖七為軟體演算法流程圖，證實出此演算法的學術價值、工業價值與經濟價值，具體的提升台灣面板顯示產業的競爭力。

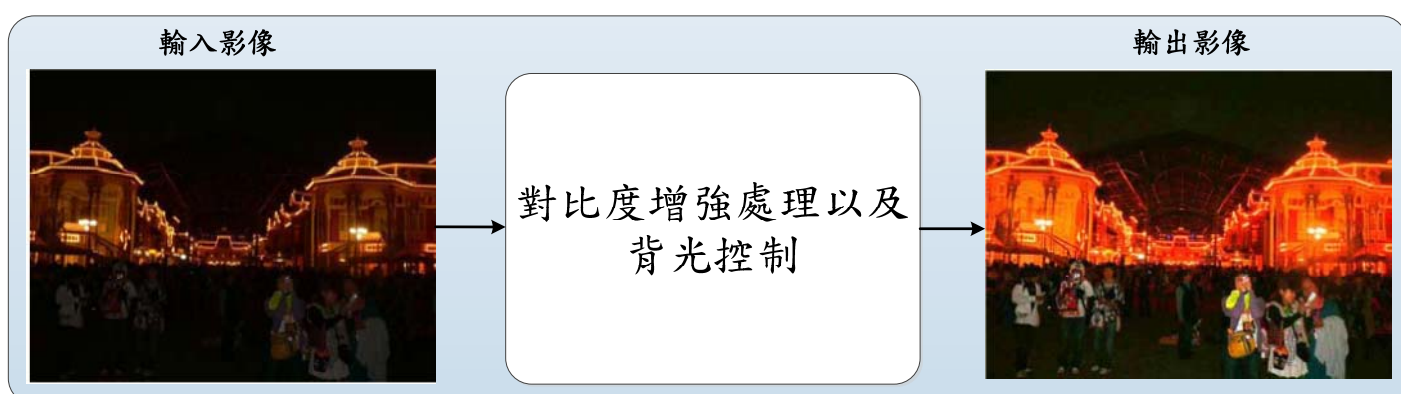




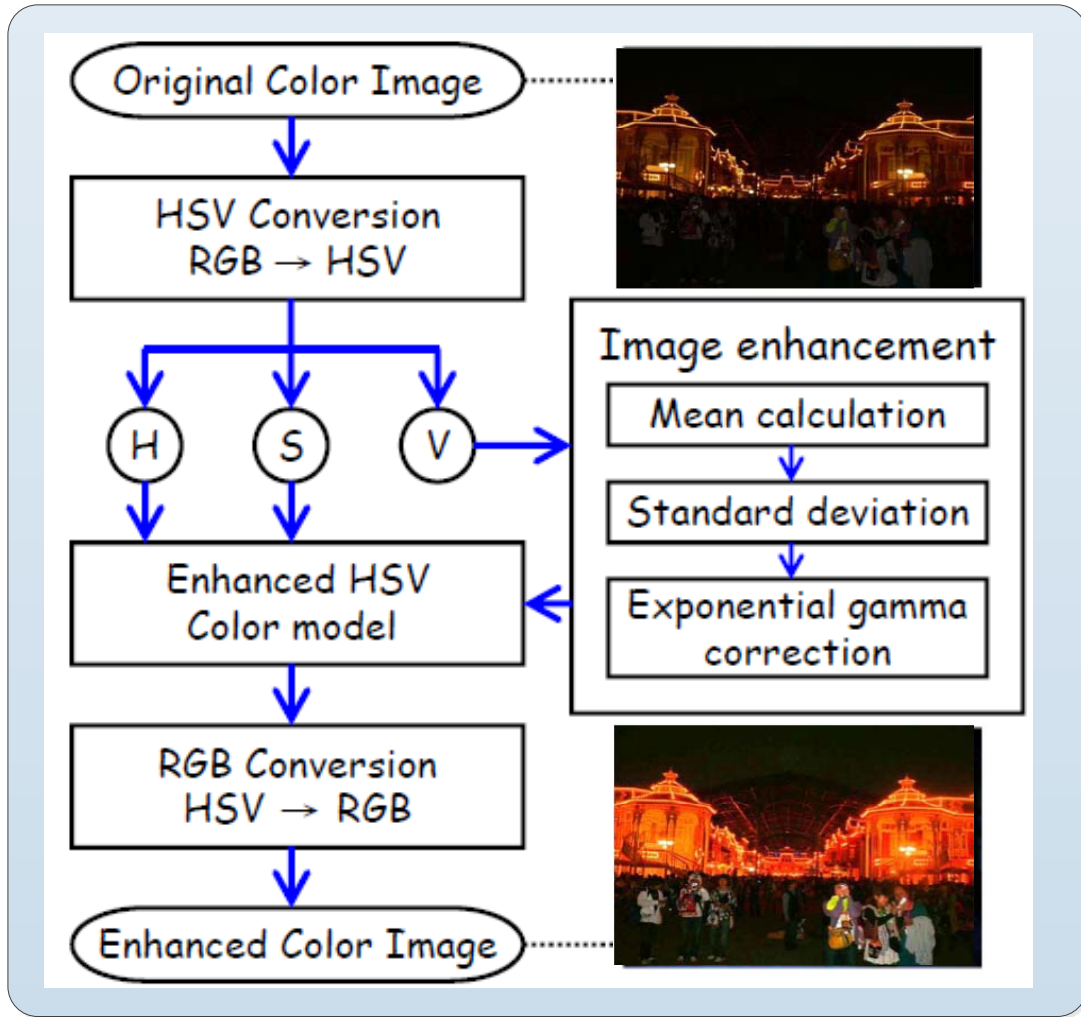
圖四、“北極熊”影像增強比較圖：(a) 原始影像 (b) THE, (c) BBHE, (d) DSIHE, (e) RSIHE, (f) RSWHE, (g) DCRGC, (h) AGCWD.



圖五、“狐狸”影像增強比較圖：(a) 原始影像 (b) THE, (c) BBHE, (d) DSIHE, (e) RSIHE, (f) RSWHE, (g) DCRGC, (h) AGCWD.



圖六、提出影像增強演算法設計示意圖



圖七、演算法設計架構說明圖

如上述所提及的知名影像對比度演算法 THE [1]、BBHE [2]、DSIHE [3]、RSIHE [4]、RSWHE [5]、DCRGC [6]，以下我們將簡短地描述這幾個主要方法[1]-[6]。

### 1.Traditional Histogram equalization (THE) [1]

令  $X$  為  $L$  個灰階所組成的影像， $X(i,j)$  代表該影像之像素  $(i,j)$  的灰階值，則此張原始影像  $X$  可以被表示成  $X = \{ X(i,j) \in \{ X_0, X_1, \dots, X_{L-1} \} \}$ 。當我們給定一張二維輸入影像  $X$  之後，其所對應之機率密度函數 (Probability Density Function)  $PDF(X_k)$  被定義為：

$$PDF(X_k) = \frac{n_k}{n}, \text{ where } k = 1, 2, 3, \dots, L-1, \quad (1)$$

$n_k$  代表灰階值  $X_k$  為輸入影像  $X$  出現的次數， $n$  是在輸入影像中像素的總共點數。以機率密度函數 (Probability Density Function) 為基礎，我們定義累積分佈函數 (Cumulative Distribution Function) 如下所示：

$$CDF(X_h) = \sum_{h=0}^k PDF(X_h). \quad (2)$$

最後一種基於累積分佈函數(Cumulative Distribution Function)所得到的轉換函數表示為：

$$f(X_k) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)CDF(X_k). \quad (3)$$

$f(X_k)$ 代表輸入影像中的灰階值  $X_k$  經過轉換函數計算後得到的灰階值。

## 2. Brightness preserving Bi-Histogram Equalization (BBHE) [2]

令  $X$  為  $L$  個灰階所組成的影像， $X(i,j)$ 代表該影像之像素 $(i,j)$ 的灰階值，則此張原始影像的平均值定義為  $X_m$ ，其可以被表示成  $X_m \in \{X_0, X_1, \dots, X_{L-1}\}$ 。以此平均值  $X_m$  為基礎，則原始影像可被平均值分解成兩個子影像  $X_L$  和  $X_U$ 。子影像  $X_L$  和  $X_U$  可被分別表示為：

$$X_L = \{X(i,j) \mid X(i,j) \leq X_m, \forall X(i,j) \in X\}. \quad (4)$$

$$X_U = \{X(i,j) \mid X(i,j) > X_m, \forall X(i,j) \in X\}. \quad (5)$$

接下來，子影像  $X_L$  與  $X_u$  各自的機率密度函數(Probability Density Function)可被定義為：

$$PDF_L(X_k) = \frac{n_k}{n_L}, \text{ where } k = 1, 2, 3, \dots, X_m. \quad (6)$$

$$PDF_U(X_k) = \frac{n_k}{n_U}, \text{ where } k = X_{m+1}, X_{m+2}, X_{m+3}, \dots, X_{L-1}. \quad (7)$$

$n_k$ 代表灰階值  $X_k$ 在輸入影像  $X$ 出現的次數， $n_L$ 與  $n_u$ 則代表子影像  $X_L$ 與  $X_u$ 各自的像素總共點數。以各子影像的機率密度函數(Probability Density Function)為基礎，其所對應之個別的累積分佈函數(Cumulative Distribution Function)可被定義成：

$$CDF_L(X_h) = \sum_{h=0}^k PDF_L(X_h). \quad (8)$$

$$CDF_U(X_h) = \sum_{h=X_m+1}^k PDF_U(X_h). \quad (9)$$

類似於 THE[1]中累積分佈函數(Cumulative Distribution Function)與轉換函數之間的關係，BBHE[2]利用各子影像的累積分佈函數(Cumulative Distribution Function)定義出轉換函數並分別對子影像進行增強。則子影像  $X_L$  與  $X_u$  所對應之轉換函數可以個別表示為：

$$f_L(X_k) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)CDF(X_k), \text{ where } k = 1, 2, 3, \dots, X_m. \quad (10)$$

$$f_U(X_k) = X_{m+1} + (X_{L-1} - X_{m+1})CDF(X_k), \text{ where } k = X_{m+1}, X_{m+2}, X_{m+3}, \dots, X_{L-1}. \quad (11)$$

$f_L(X_k)$ 和  $f_U(X_k)$ 代表子影像  $X_L$ 與  $X_u$ 中的灰階值經過轉換函數計算後得到的灰階值。

## 3. Dualistic Sub-image Histogram Equalization (DSIHE) [3]

DSIHE[3]與上述所提及之 BBHE[2]方法類似，輸入影像  $X$  也必須經過門檻值分割成兩個子影像  $X_L$  與  $X_u$ ，並各自產生出所對應之轉換函數進行增強，但不同的地方在於 DSIHE[3]所採用的門檻值是依據輸入影像  $X$  中的中間值  $X_e$  進行設定。

當計算出輸入影像  $X$  所對應之累積分佈函數(Cumulative Distribution Function)之後，輸入影像之中間值

$X_e$  可被表示為：

$$CDF(X_h) = \sum_{h=0}^{X_e} PDF(X_h) \cong 0.5. \quad (12)$$

#### 4. Recursive Sub-image Histogram Equalization (RSIHE) [4]

與前述提及之 BBHE[2]與 DSIHE[3]兩種方法類似，在 RSIHE[4]中輸入影像  $X$  也必須經過門檻值分割成子影像，不同點在於 RSIHE[4]分割後的子影像數量較多，其利用輸入影像  $X$  所得到的累積分佈函數 (Cumulative Distribution Function) 得到三個門檻值，產生四個子影像之後個別進行影像增強。令原始影像  $X$  的累積分佈函數 (Cumulative Distribution Function) 定義成  $CDF(X_k)$ ，則所得到之三個門檻值  $X_1$ ， $X_2$ ，和  $X_3$  如下表示：

$$CDF(X_h) = \sum_{h=0}^{X_1} PDF(X_h) \cong 0.25. \quad (13)$$

$$CDF(X_h) = \sum_{h=0}^{X_2} PDF(X_h) \cong 0.5. \quad (14)$$

$$CDF(X_h) = \sum_{h=0}^{X_3} PDF(X_h) \cong 0.75. \quad (15)$$

#### 5. Recursively Separated and Weighted Histogram Equalization (RSWHE) [5]

不同於其他以直方圖為基礎 (HE-based) 的方法直接對原始影像的直方圖，RSWHE[5]提出一種權重直方圖函數 (Histogram Weighting Function) 計算出權重化機率密度函數 (Weighted Probability Density Function)  $PDF_w(X_k)$ ，並以  $PDF_w(X_k)$  為基礎產生權重化累積分佈函數 (Cumulative Distribution Function)  $CDF_w(X_k)$ ，並繪製出權重化轉換函數。則權重化機率密度函數 (Weighted Probability Density Function)  $PDF_w(X_k)$  可表示為：

$$PDF_w(X_k) = PDF_{\max} \left( \frac{PDF(X_k) - PDF_{\min}}{PDF_{\max} - PDF_{\min}} \right)^{\alpha^i}, \text{ where } k = 1, 2, 3, \dots, L-1, \quad (16)$$

其中  $PDF(X_k)$  代表原始影像  $X$  之機率密度函數 (Probability Density Function)， $PDF_{\max}$  代表機率密度函數中的最大值， $PDF_{\min}$  代表機率密度函數中的最小值，而  $\alpha^i$  為權重化適應參數。

最後 RSWHE[5] 演算法將依據權重化機率密度函數 (Weighted Probability Density Function) 對原始影像進行均等化 (Equalization) 後得到增強後影像。

#### 6. Dynamic Contrast Ratio Gamma Correction (DCRGC) [6]

為了進一步改善顯示裝置的視覺品質，在調整螢幕顯示對比的同時，對其對比度增強是有必要的。因此，動態對比率增強 (Dynamic Contrast Ratio Enhancement) 與反伽瑪調整 (Inverse Gamma Correction) 則同時產生於 DCRGC 演算法 [6]。在這個演算法中共有兩組直方圖資料，其中一個是正規化基礎直方圖資料 (Normalized foundation histogram data)  $PDF_f(k)$ ，其獲得是經由反伽瑪轉換函數 (inverse gamma

transform function)的差值運算，可被表示為：

$$\begin{aligned} PDF_r(k) &= Gr(k) - Gr(k-1), \text{ where } k = L-1, L-2, \dots, 1. \\ PDF_r(0) &= Gr(0) = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

而  $Gr$  代表正規化反伽瑪函數(Normalized inverse gamma correction function)，可被定義為：

$$Gr(l) = \left( \frac{k}{255} \right)^r, \text{ where } k = L-1, L-2, \dots, 1, \quad (18)$$

其中  $r$  代表為適當的參數，且經由實驗結果被設定為 2.2。另一個正規化灰階直方圖資料(Normalized gray histogram data)  $PDF_h(k)$ ，其獲得是經由計算每個像素  $k$  在輸入影像  $X$  中所出現的次數  $n_k$ ，則可被表示為：

$$PDF_h(k) = \frac{n_k}{n}, \text{ where } k = 1, 2, 3, \dots, L-1, \quad (19)$$

其中  $n$  是在輸入影像中像素的總共點數。根據  $PDF_r$  與  $PDF_h$ ，正規化組合直方圖資料(Normalized combination histogram data)  $PDF_c(k)$ 可被定義為：

$$PDF_c(k) = PDF_h(k) \times Ci + PDF_r(k) \times (1 - Ci), \text{ where } k = 1, 2, 3, \dots, L-1, \quad (20)$$

其中  $Ci$  代表可經由使用者設定的對比度強度。因此，基於正規化組合直方圖資料(Normalized combination histogram data)所得到的轉換函數表示為：

$$T(k) = 255 \times \sum_{h=0}^k PDF_c(h), \text{ where } k = 1, 2, 3, \dots, L-1, \quad (21)$$

雖然上述幾個有名的能見度增強(Visibility enhancement)演算法擁有直觀且演算法時間複雜度低的特性，使得程式開發者能夠便利的實行在及時的處理系統上。但是這些演算法仍然有些很明顯的缺點需要改進。THE[1]、BBHE[2]、DSIHE[3]和 RSIHE[4]雖然能大幅提升陰暗場景的亮度，但卻會使得對比度產生失真現象，並額外產生一些明顯的雜訊。RSWHE[5]解決了對比度失真和雜訊產生的情形，但在陰暗的場景中卻不能得到明顯的能見度增強效果。DCRGC[6]雖然能夠自動地增強影像對比，但不幸地是，DCRGC[6]仍然有一個對比度強度需要使用者精準地去調整。然而我們的影像對比度增強演算法 AGCWD[9]，可以針對不同條件下的影像有效進行影像品質提升，且不損失影像細節，且已經實踐於奇美大尺寸液晶電視顯示器(Liquid Crystal Display)上，演算法介紹如下：

我們發表在 IEEE Transactions on Image Processing 的軟體演算法(ACGWD)[9]，達到最好的對比度增強以及細節的維持，分為五個重要步驟：Image Statistics Computation (ISC), Weighting Probability Density Function (WPDF), Smoothed Cumulative Distribution Function (SCDF), Adaptive Gamma Correction (AGC), Final Luminance Transformation (FLT)，主要步驟分別說明如下：

#### 步驟 1) Image Statistics Computation (ISC),

在  $[l_{min}, l_{max}]$  此範圍中， $X = \{X(i, j)\}$  為輸入影像灰階影像二維座標， $l_{max}$  為輸入影像亮度之最大值， $l_{min}$  表示輸入影像亮度之最小值， $X(i, j)$  表示為輸入影像的強度且  $\{l_{min}, l_{min+1}, l_{min+2}, \dots, l_{max}\}$ 。此



機率密度分佈(Probability Density Function)  $PDF$  定義如下

$$PDF(l) = \frac{nl}{MN} \quad (22)$$

此處  $l = l_{min}, l_{min+1}, l_{min+2}, \dots, l_{max}$  ,  $nl$  表示為像素的強度，且  $MN$  為輸入影像大小。

## 步驟 2) Weighting Probability Density Function (WPDF),

權重機率密度分佈可表示為

$$PDF_w(l) = \max(PDF) \times \left( \frac{PDF(l) - \min(PDF)}{\max(PDF) - \min(PDF)} \right)^\alpha \quad (23)$$

此處  $l = l_{min}, l_{min+1}, l_{min+2}, \dots, l_{max}$  ,  $PDF_w(l)$  為權重密度函數， $\max(PDF)$  為  $PDF(l)$  的最大值， $\min(PDF)$  為  $PDF(l)$  的最小值， $\alpha$  為調整性參數且範圍  $[0.1, 0.5]$ ，經過實驗測試此  $\alpha$  設為 0.5。

## 步驟 3) Smoothed Cumulative Distribution Function (SCDF),

原始的累積分布函數可透過  $PDF_w(l)$  表示為

$$CDF_s(l) = \sum_{l=l_{min}}^{l_{max}} \frac{PDF_w(l)}{\sum PDF_w} \quad (24)$$

此處  $l = l_{min}, l_{min+1}, l_{min+2}, \dots, l_{max}$  ,  $\sum PDF_w$  表示權重機率的總和， $CDF_s(l)$  表示平滑後的  $CDF$ 。

## 步驟 4) Adaptive Gamma Correction (AGC),

透過伽瑪校正，根據以下計算可獲得轉換函數

$$T(l) = (l_{max} - l_{min}) \times \left( \frac{l - l_{min}}{l_{max} - l_{min}} \right)^\gamma \quad (25)$$

此處  $l = l_{min}, l_{min+1}, l_{min+2}, \dots, l_{max}$  ,  $T(l)$  為轉換函數； $\gamma = 1 - CDF_s(l) \times P$  ,  $P$  為可調性參數範圍  $[0.5, 1]$ ，經過實驗測試此  $P$  設為 1。

## 步驟 5) Final Luminance Transformation (FLT)

$Y = \{Y(i, j)\}$  為輸出影像，可表示為

$$Y = \{T(X(i, j)) \mid \forall X(i, j) \in X\} \quad (26)$$

$X(i, j)$  為輸入影像的強度， $Y(i, j)$  表示輸出影像亮度的強度

然而我們所提出**IEEE Transactions on Image Processing**的演算法[9]中有大量的高運算複雜度，若是使用軟體方式，將我們的演算法實踐在「Full HD 1080p 高畫質的動態影片」上，會無法達到高畫質的動態影片的即時處理，因此我們提出兩年的國科會研究計畫，將我們原先發展的「高畫質數位影像增強技術用於顯示器智能背光控制」軟體演算法，透過硬體的實踐，達到「Full HD 1080p 高畫質的動態影片即時處理」。為了使設計的硬體有效的達到即時處理，並且讓我們所設計的硬體使用最少的硬體成本達到最高的處理速度，我們先將原有的演算法透過數學的方式化簡，避免大量的除法和指數運算，來達到硬體實踐的可行性，我們也將提出**硬體可重組架構(Hardware Reconfigurable Architecture)**，透過閒置硬體再利用的方式，動態切換硬體功能，不但能避免硬體的閒置，而且能大幅度減少硬體成本，透過硬體架構平行處理以及有效資源分配，提升整體硬體使用率大幅提升，進而提升單位時間資料輸出量(Throughput)，同時結合奇美節能背光液晶LCD (Liquid Crystal Display)上的背光模組控制，一方面有效地針對輸入之影像明亮程度，智慧型調整背光源本身的亮度控制，將輸出影像有效的調整高品質的影像，提升整體之視覺對比度和影像細節，進而改善整體影像品質。本計畫高畫質數位顯示器增強結合背光控制技術軟體演算實踐於硬體架構，主要規劃分為兩年：第一年，影像增強與細節強化演算法化簡為硬體可執行架構。第二年，高效能且低成本的硬體架構實踐以及晶片下線。

### (三) 研究方法、進行步驟及執行進度：

本計畫高畫質數位顯示器增強結合背光控制技術軟體演算實踐於硬體架構，將應用於奇美節能背光液晶 LCD(Liquid Crystal Display)上，此演算法達到「Full HD 1080p 高畫質的動態影片即時處理」，主要規劃分為兩年：第一年，影像增強與細節強化演算法化簡為硬體可執行架構。第二年高效能且低成本的硬體架構實踐以及晶片下線。我們利用此兩年期工作與研究，達到 Full HD 1080p 高畫質的動態影片的即時運算，最後製成實體晶片，並且導入奇美節能背光液晶 LCD(Liquid Crystal Display)上。

#### 第一年: 影像增強與細節強化演算法化簡為硬體可執行架構

軟體能輕易實作出除法以及指數運算，然而硬體在除法以及指數實踐上，除了較困難外相對時間也較長，所以需將演算法化簡為適合硬體的運算，並增加運算速度，同時達到即時影像處理也能降低資料

運算量。我們發表在 *IEEE Transactions on Image Processing* 的軟體演算法(ACGWD)[9]中含有大量除法和指數運算，不利於硬體執行與實踐，所以在實踐之前必須經過化簡，爲了有效的避免複雜的除法和指數運算，但又要保持影像的品質效果，我們將演算法的除法和指數運算，透過對數(Log) 和牛頓均差分內插法(Newton's divided difference interpolation formula)，獲得簡化除法和指數運算的最佳近似值此外我們也加入了細節強化演算法，提升整體影像的對比與細節呈現，化簡方法如下：

### 1) Hardware consideration of $\log_2 k$ :

$\log_2 k$  計算出來的範圍爲

$$k \in [1, 2^{p+1}) \quad (27)$$

$$\log_2 k = p + \log_2 h \quad (28)$$

此處的  $p$  與  $h$  爲正實數，我們能獲得  $p$  與  $h$  算法：

$$p = \text{floor}(\log_2 h) \quad (29)$$

以及

$$k = h2^p \quad (30)$$

$$h = \frac{k}{2^p}, h \in [1, 2) \quad (31)$$

此處  $p$  的數值是由  $k$  最大位元所獲得， $h$  是  $k$  向右位移獲得結果。

### 2) Hardware consideration of $2^k$ :

$2^k$  計算出來的範圍爲

$$k \in [p, 0) \quad (32)$$

我們可以將  $k$  分解爲  $p$  跟  $h$

$$k = p + h \quad (33)$$

以及

$$p = k - p, h \in [0, 1) \quad (34)$$

此處的  $p$  爲正實數，於是我們可推得

$$2^k = 2^p \times 2^h \quad (35)$$

以及

$$p = \text{floor}(\log_2 h) \quad (36)$$

在設計期間我們利用牛頓均差分內插法(Newton's divided difference interpolation formula)來獲得最佳近似值，達到低計算複雜度。

令

$$\pi_n(x) = \prod_{k=0}^n (x - x_k) \quad (37)$$

然而

$$f(x) = f_0 + \sum_{k=1}^n \pi_{k-1}(x)[x_0, x_1, \dots, x_k] + R_n \quad (38)$$

餘項爲

$$R_n(x) = \pi_n(x)[x_0, x_1, \dots, x_n, x] = \pi_n(x) \frac{f^{(n+1)}(\zeta)}{(n+1)!}, x_0 < \zeta < x_n \quad (39)$$

因此透過牛頓均差分內插法此近似函數，我們可以獲得  $\log_2 k$  與  $2^k$  的最佳近似值

$$\log_2 h \approx [(0.1519h - 1.02123)h + 3]h - 2.13, h \in [1, 2) \quad (40)$$

$$2^h \approx [(0.079h + 0.2242)h + 0.6967]h + 0.999, h \in [0, 1) \quad (41)$$

如(40)與(41)的結果， $\log_2 h$  與  $2^h$  在指定區間範圍中，可使用(44)與(45)的方程式配合(28)與(35)的運算達到最佳近似數值，因而降低運算複雜度以及提升整體效能。

爲了讓影像細節品質更進一步的提升，在此我們額外加入 Summed Area Table(SAT) 影像細節強化演算法，提升整體影像對比度以及細節。詳細演算法如下：

$$NPC(i, j) = Y(i, j) + Y(i-1, j) + Y(i, j-1) - Y(i-1, j-1) \quad (42)$$

此處  $Y$  爲影像亮度資訊。

$$\begin{aligned} Sum(i, j) = \\ NPC(i + down, j + down) - NPC(i - up, j + down) - NPC(i + down, j - up) + NPC(i - up, j - up) \end{aligned} \quad (43)$$

$$Avg(i, j) = \frac{Sum(i, j)}{(2 \times Q_1 + 1) \times 2} \quad (44)$$

此處  $up$  爲原點像素(Pixel)上方像素索引， $down$  爲原點像素(Pixel)下方像素索引， $Q_1$  爲視窗半徑鄰近點。

$$Y'(i, j) = Y(i, j) + (1 + Q_2) \times (Y(i, j) - Avg(i, j)) \quad (45)$$

此處  $Q_2$  為增強比例， $Y'(i, j)$  為細節增強後的亮度資訊。

目前預計將此硬體導向的演算法成果實踐在奇美大尺寸液晶電視顯示器 (Liquid Crystal Display) 上，和先前的軟體演算法(ACGWD)[9]的視覺成像達到最大的相似度，並且適合硬體實踐，為了達到此硬體演算法的最佳穩定性，我們會實測許多不同情況條件下之影像與動態 Full HD 1080p 影像，同時記錄相關測試結果。

## 第二年：硬體架構實踐以及晶片下線

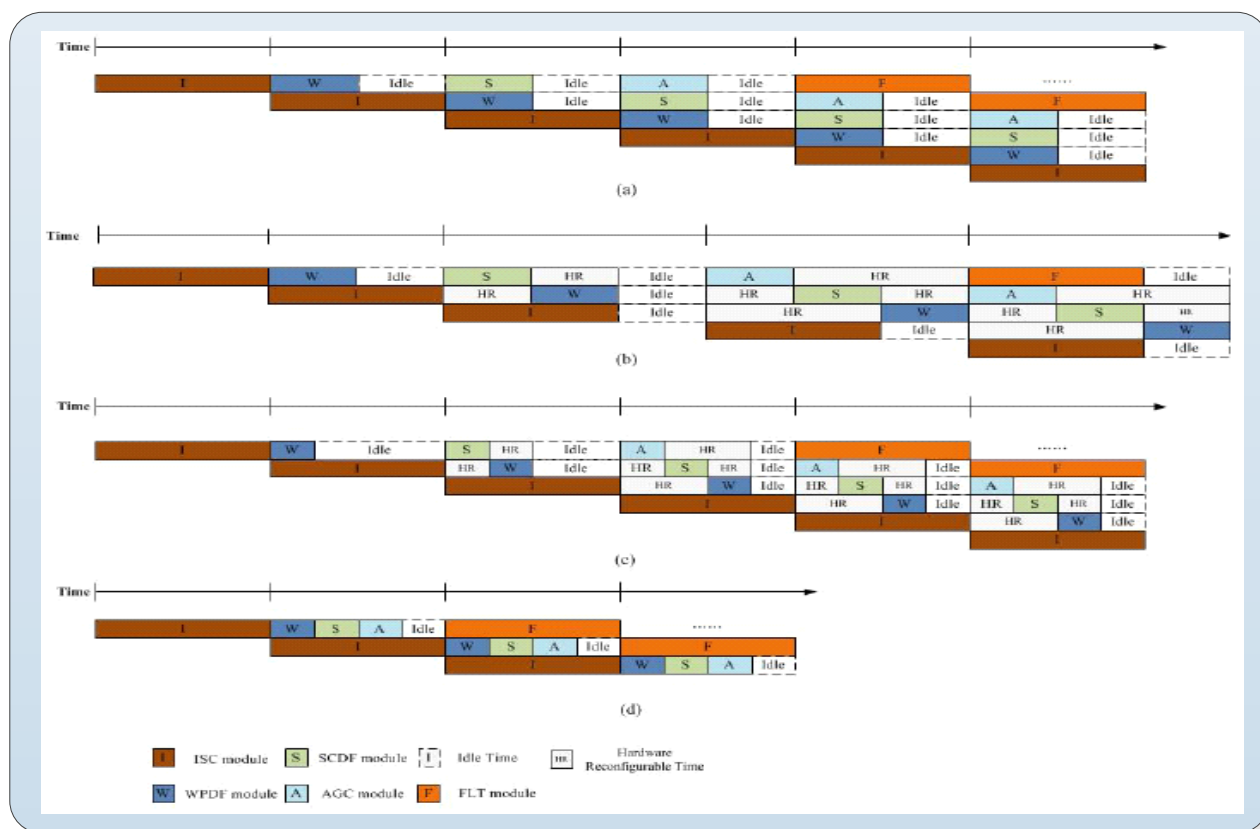
數位視訊不斷追求高畫質，各種顯示裝置，不斷追求大尺寸，對於如此高品質與大尺寸影像，若要達成即時動態影片處理，須善加規劃硬體架構，因此為了讓硬體導向演算法(hardware-oriented algorithm)達到最大處理效能，預計將此硬體架構切五個階層(Stage)，並使用管線(Pipeline)架構進行硬體運算加速，然而在管線(Pipeline)執行當中，會有某些運算單元呈現閒置(Idle)，導致硬體使用率不佳，因此我們採用硬體可重組架構(Hardware Reconfigurable Architecture)，同時支援並且動態的切換不同的運算單元，在不同運算方程式下進行硬體單元切換，降低硬體閒置(Idle)情況，提升硬體使用率。此外我們也提出硬體摺疊架構(Hardware Folding Architecture)技術，取代傳統硬體電路，降低硬體成本，為了實現對比度增強演算法硬體的即時性，首先必須改善整體的單位時間資料輸出量(Through-Put)，我們將目前將硬體架構分為最大的平行度的五個階層(Stage)：Image Statistics Computation (ISC), Weighting Probability Density Function (WPDF), Smoothed Cumulative Distribution Function (SCDF), Adaptive Gamma Correction (AGC), Final Luminance Transformation (FLT)，並且使用管線(Pipeline)進行資料排程，如圖八中所示，雖然管線(Pipeline)能提升整體單位時間資料輸出量(Through-Put)，但仍然存在著兩個主要問題：

問題 1) 如圖八(a)所示，Image Statistics Computation(ISC)主要統計影像直方圖資訊，此步驟需要花費一張影像大小的時脈週期(Clock Cycle)，相較於Weighting Probability Density Function (WPDF)、Smoothed Cumulative Distribution Function (SCDF)、Adaptive Gamma Correction (AGC)這幾個步驟，僅需Image Statistics Computation(ISC)約三分之一的時脈週期(Clock Cycle)即可完成該模組運算，導致這WPDF、SCDF、AGC三個模組進入閒置(Idle)狀態，造成硬體使用率不佳，為了解決硬體使用率的問題，我們提出硬體可重組架構(Hardware Reconfigurable Architecture)，將閒置(Idle)的硬體動態的切換運算單元，透過動態的可重組技術，降低元件閒置情形(Idle)，因此原圖八(a)管線(Pipeline)架構可更改為圖八(b)。更進一步的對此三個運算單元進行分析，我們設計出WPDF、SCDF、AGC 這三個模組的硬體可重組架構(Hardware Reconfigurable Architecture)，如圖九所示，透過我們所設計的硬體重組架構(Hardware Reconfigurable Architecture)可以在WPDF、SCDF、AGC不同運算方程式下進行硬體單元切換，除了能有效降低硬體的コスト，還能降低硬體閒置(Idle)情況，提升整體硬體效能。

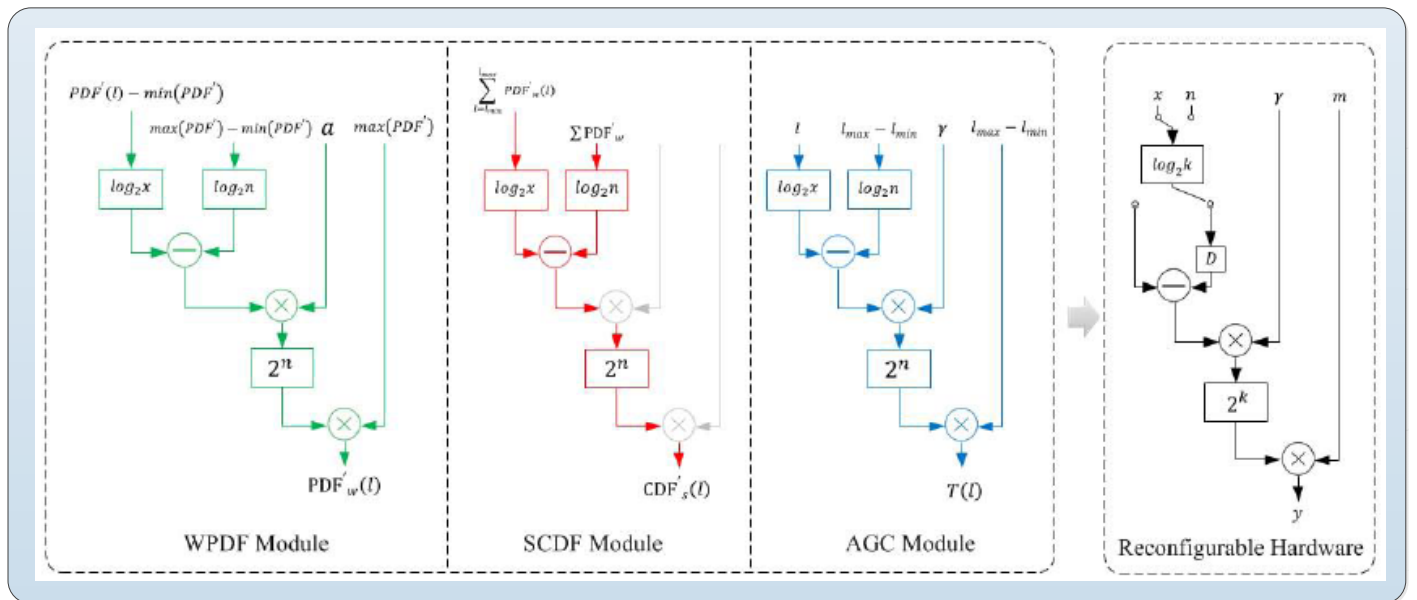


問題 2) 我們所提出的硬體重組架構(Hardware Reconfigurable Architecture)，雖然解決了 ISC 統計影像直方圖運算步驟的瓶頸，但也造成 WPDF、SCDF、AGC 成為主要的瓶頸，如圖八(b)第四階層(Stage)所示，ISC 統計影像直方圖運算步驟已完成，但須等待硬體重組架構(Hardware Reconfigurable Architecture) 硬體單元運算切換，導致單位時間資料輸出量(Through-Put)無法提升，為了解決WPDF、SCDF、AGC 瓶頸，為了降低 ISC 運算時間，我們提出 Half-Histogram (HH) 解決此問題，不僅能降低影像統計運算時間、階層(Stage)與暫存器(registers)數量，還能維持原始影像品質，進而節省硬體成本。然而我們最新平行架構如圖八(c)所示。

最後我們將硬體架構最佳化，將整體的硬體架構化簡為三階管線(Pipeline) 硬體架構，達到最佳硬體使用率，圖八(d)為我們所提出的管線(Pipeline)硬體架構。

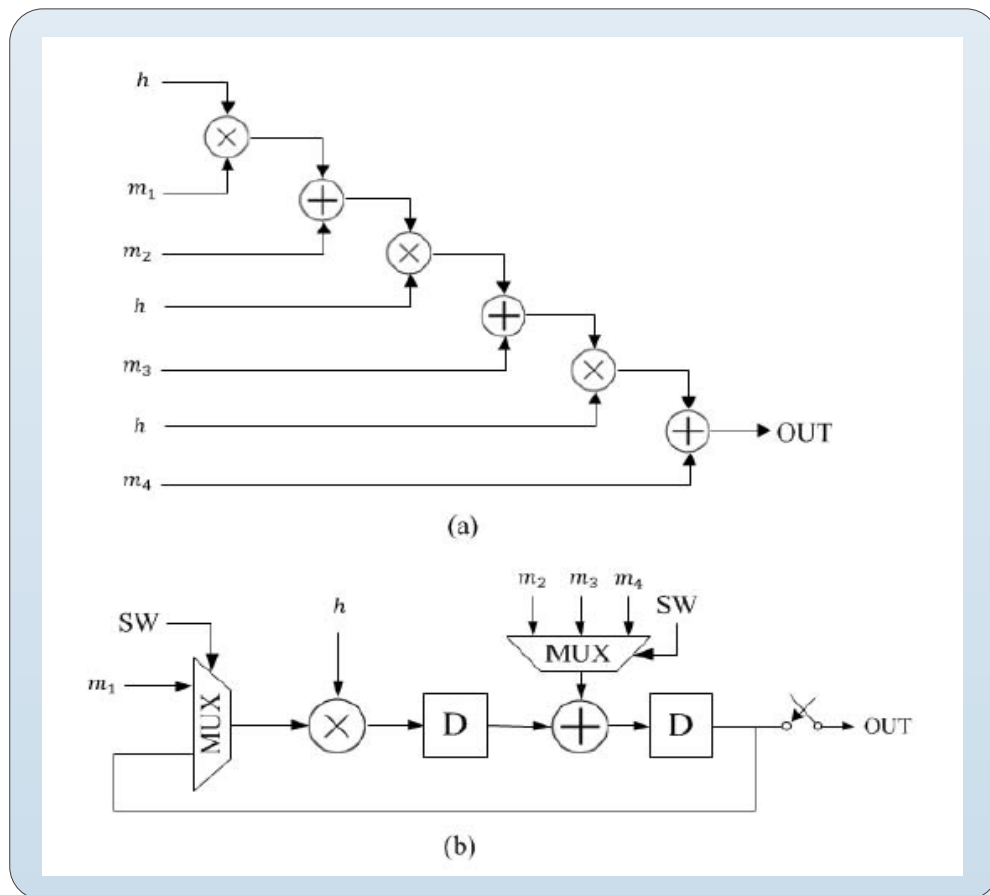


圖八、目前提出方法的 Pipeline 架構 (a) 原始五階 Pipeline 架構設計. (b) 提出 Hardware Reconfigurable 後 Pipeline 架構. (c) 提出 Half-Histogram 後 Pipeline 架構. (d) 提出三階 Pipeline 架構.



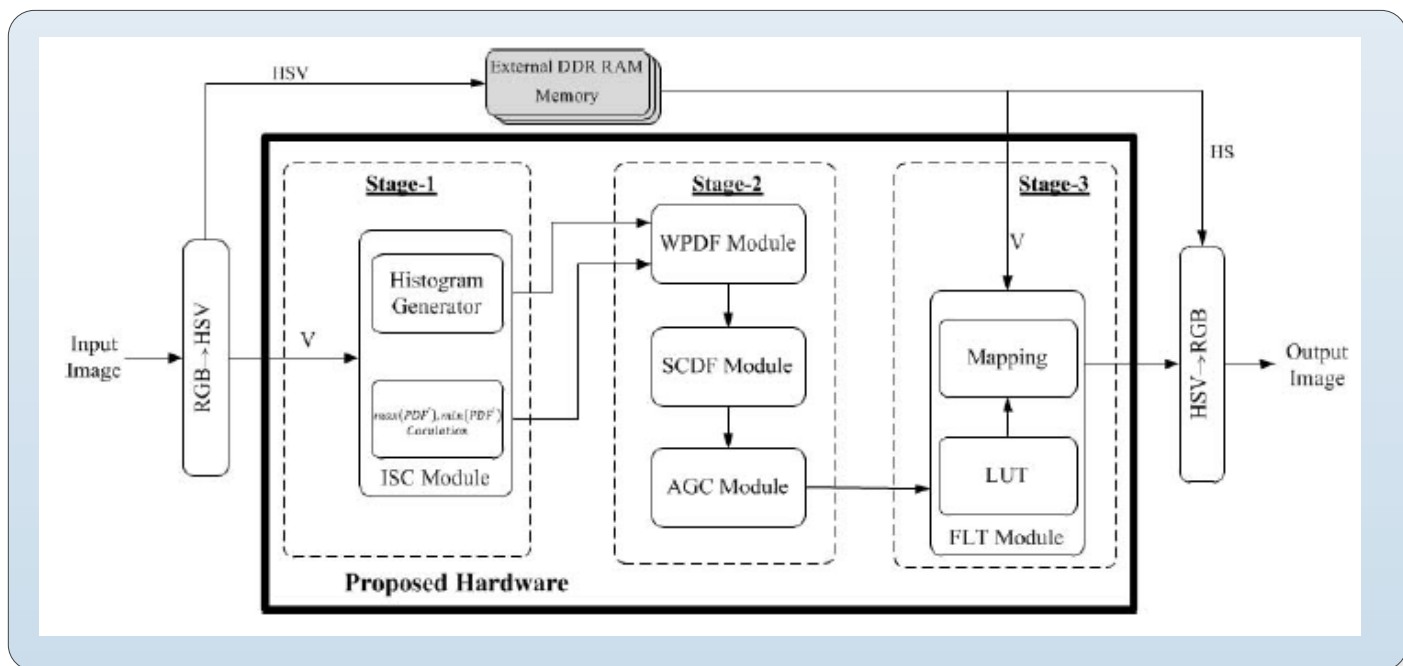
圖九、硬體重組架構示意圖

電路面積與硬體成本成正比關係，雖整體硬體已達到最佳使用率，但不代表硬體成本已降為最低，以硬體實踐出的  $\log_2 h$  與  $2^h$  為例， $\log_2 h \approx [(0.1519h - 1.02123)h + 3]h - 2.13$ ， $2^h \approx [(0.079h + 0.2242)h + 0.6967]h + 0.999$ ，我們從  $\log_2 h$  與  $2^h$  近似方程式可觀察出，有共同  $h$  參數，僅參數  $m$  不同，若依照傳統電路實踐出此硬體，電路是以平行展開進行運算，如圖十(a)所示，然而在實踐出摺疊架構(Folding Architecture)之前，所實踐出的  $\log_2 h$  與  $2^h$  需要兩倍相同面積大小電路，無法有效降低硬體成本。由於兩個電路架構相同，且為了有效降低硬體成本，我們提出摺疊架構(Folding Architecture)，可將  $\log_2 h$  與  $2^h$  不同參數地方使用多工器替代，依照不同狀態提供不同參數選擇，運算單元部分可縮減為一個，並且以串列方式進行運算，如圖十(b)所示，經過摺疊架構(Folding Architecture)運算後相較於圖十(a)，電路明顯的小了許多，不但降低電路面積且成本也相對降低。

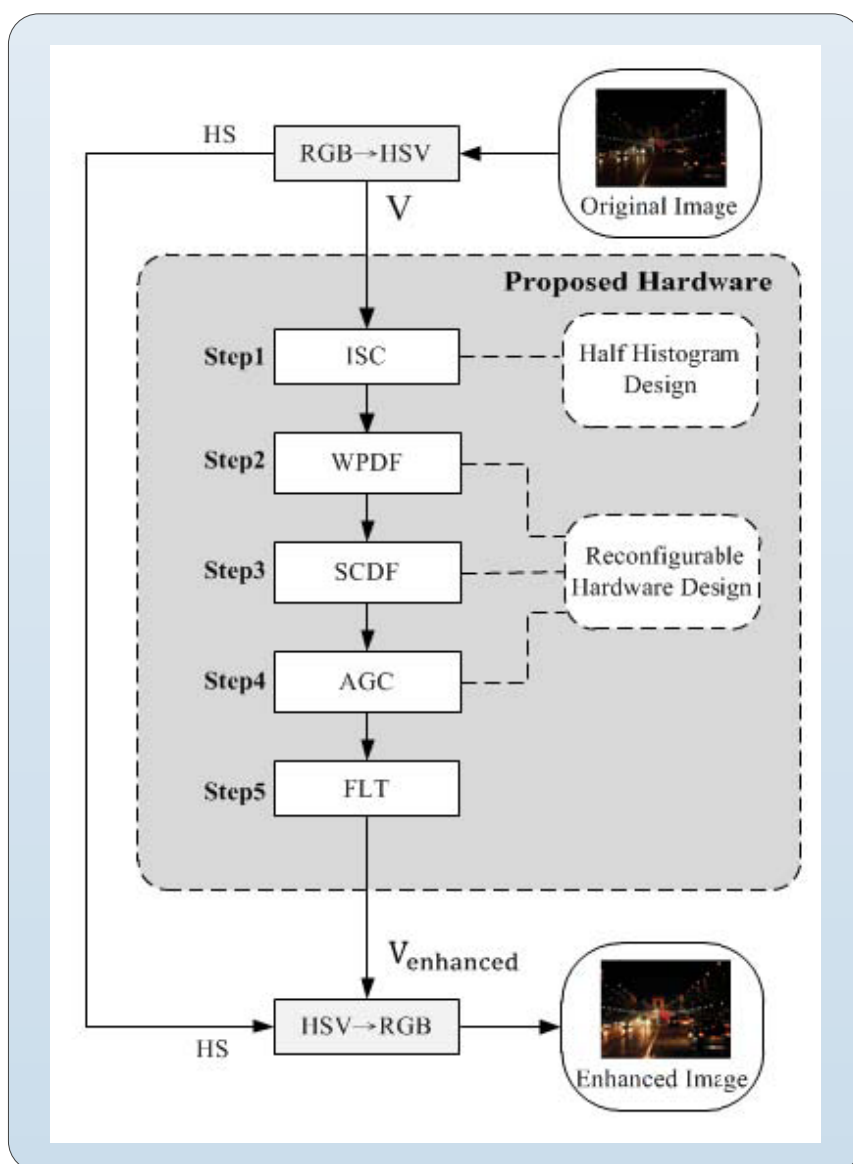


圖十、 $\log_2 h$  與  $2^h$  模組 (a) 傳統架構設計, 與 (b) Folding Architecture 架構設計.

圖十一為我們經過硬體可重組架構(Hardware Reconfigurable Architecture)與硬體摺疊架構(Hardware Folding Architecture)硬體化簡與規劃的電路，流程分為主要三個階層(Stage)運算如下，先將輸入影像 RGB 色彩空間轉換至 HSV 色彩空間，第一階層(Stage)進行輸入影像的直方圖統計(ISC)，第二階層(Stage)使用 ISC 結果，進行 WPDF、SCDF、AGC 運算，然而以 8bit 像素(Pixel)為例，像素(Pixel)最大值為 255，因此第三階層(Stage)將像素(Pixel)所有運算結果算出，並存於 Look-Up-Table (LUT) 中，且將 Look-Up-Table(LUT)的結果對應回原始數值，最後將 HSV 色彩空間轉回原始 RGB，即可獲得增強後的影像。如圖十二為我們所提出的影像對比度增強的硬體架構。



圖十一、硬體演算法架構



圖十二、對比度增強演算法硬體架構

影像對比度增強經過對數和牛頓均差分內插法簡化和指數運算的最佳近似值，降低整體硬體實踐演算法的運算複雜度以及時間複雜度。硬體方面我們使用管線(Pipeline)、硬體重組架構(Hardware Reconfigurable Architecture)與硬體摺疊架構(Hardware Folding Architecture)硬體規劃，達到硬體最佳使用率以及單位時間資料輸出量(Through-Put)，進而實現「Full HD 1080p 高畫質的動態影片」即時處理。我們將於執行計畫期間完成影像增強軟體演算法的硬體架構，實踐於奇美大尺寸液晶電視顯示器上(Liquid Crystal Display)背光面板上，並且針對多種不同影像與 Full HD 1080p 高畫質的動態影片進行測試，確保所提出的硬體架構能應用於各種條件下之影像，以及達到「Full HD 1080p 高畫質的動態影片」即時處理，於執行計畫期間將對計畫內容進行細部的修改，直到定稿完成以後將會將局部的研究成果投稿至一些知名的國際研討會進行發表在知名的國際期刊。以上階段採用 FPGA 驗證此硬體演算的架構，經過驗證後的硬體架構，我們要將此硬體演算法架構晶片下線製成晶片，所以必須先經過後段晶片製程步驟，佈局、繞線與驗證，確定驗證無誤後將進行晶片下線，目標為實踐出影像增強與細節增強晶片，並且導入目前相關顯示裝置，達到高品質影像顯示。

（四）預期完成之工作項目進行步驟、執行進度及成果：

在此部份，我們以一張預計進度甘梯圖(Gantt Chart)來表示。

第一年、影像增強與細節強化演算法化簡為硬體可執行架構

月次 工作項目	第一 月	第二 月	第三 月	第四 月	第五 月	第六 月	第七 月	第八 月	第九 月	第十 月	第十一 月	第十二 月
相關數學化簡文獻研讀探討	✓	✓	✓									
模擬驗證化簡演算方法				✓	✓	✓	✓					
驗證對比度增強化簡方法設計						✓	✓	✓	✓			
軟體演算法與化簡演算法比較與探討								✓	✓	✓	✓	
撰寫專題研究報告											✓	✓
預計累計研究進度 百分比(%)	5	10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100



## 第二年、硬體架構實踐以及晶片下線

月次 工作項目	第一 月	第二 月	第三 月	第四 月	第五 月	第六 月	第七 月	第八 月	第九 月	第十 月	第十一 月	第十二 月
相關硬體架構規劃文獻研讀探討	✓	✓										
硬體導向演算法設計			✓	✓	✓	✓						
驗證硬體導向演算法模擬驗證					✓	✓	✓	✓	✓			
兩年成果進行整合								✓	✓	✓	✓	
撰寫專題研究報告											✓	✓
預計累計研究進度百分比(%)	5	10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100

本計劃的目的在建立一個「高畫質數位影像增強技術用於顯示器智能背光控制」系統，使用於 Full HD 1080p 大尺寸吋液晶電視，此設計將基本影像對比與細節品質提升，且結合智能背光控制，不僅大大提升整體觀看品質，還能有效降低電視功率消耗，提升整體系統的實用性。

預計完成的工作項目如下：

1. 建立與實現一個完整 Full HD 1080p 高畫質的動態影片及時處理系統。
2. 建立與實現一個完整的高畫質數位影像增強技術顯示器智能背光控制系統。
3. 討論對於影像對比以及細節增強技術更多元化應用，開拓新的學術議題。

由於本人過去在嵌入式軟體演算法與系統設計和視訊多媒體系統設計擁有許多豐富的經驗，並且擁有多項美國與台灣專利，並將關鍵技術與相關專利成功的技術移轉給台灣的軟體和晶片系統設計公司，本人也是其中的重要技術顧問，此對未來此領域的發展趨勢及走向亦能完全掌握。本計劃的重點，除了全方位的考量之外，更重要的是把學識、經驗與技術傳承下去，進而培養更多此一領域的人才，進而提升國家在學術領域之國際競爭力。

### 參考文獻

- [1] R. C. Gonzalez and R. E., Digital Image Processing, 3rd Edition, Prentice Hall, 2008.  
<http://www.imageprocessingplace.com/>
- [2] Y. Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 43, no. 1, pp. 1-8, 1997.

- [3] Y. Wan, Q. Chen, and B. Zhang, "Image Enhancement Based on Equal Area Dualistic Sub-Image Histogram Equalization Method," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 45, no. 1, pp. 68-75, 1999.
- [4] Bing-jian Wang, Shang-qian Liu, Qing Li and Hui-xin Zhou, "A Real-Time Contrast Enhancement Algorithm for Infrared Images Based on Plateau Histogram," *Infrared Physics and Technology*, vol. 48, pp. 77-82, April 2006.
- [5] K. S. Sim, C. P. Tso, and Y. Y. Tan, "Recursive Sub-Image Histogram Equalization Applied to Gray-Scale Images," *Pattern Recognition Letters*, vol. 28, pp. 1209-1221, 2007.
- [6] Mary Kim and Min Gyo Chung, "Recursively Separated and Weighted Histogram Equalization for Brightness Preservation and Contrast Enhancement," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, pp. 1389-1397, Aug. 2008.
- [7] Z.-G. Wang, Z.-H. Liang, and C.-L. Liu, "A real-time image processor with combining dynamic contrast ratio enhancement and inverse gamma correction for PDP," *Displays*, vol. 30, no. 3, pp. 133-139, Jul. 2009.
- [8] C. Xianqiao, W. Qing, Y. Xinping, and C. Xiumin, "The enhancement for foggy traffic image based on em algorithm," in *International Symposium on Computational Intelligence and Design*, Jun. 6-7 2009, pp. 261-264.
- [9] Y.-S Chiu, F.-C Cheng and S.-C Huang, "Efficient Contrast Enhancement Using Adaptive Gamma Correction and Cumulative Intensity Distribution" *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics.*, pp. 2946-2950, Oct. 2011.
- [10] J. Scott and M. Pusateri, "Towards real-time hardware gamma correction for dynamic contrast enhancement," *IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop*, oct. 2009, pp. 1 - 5.
- [11] Mary Kim and Min Gyo Chung, "Recursively Separated and Weighted Histogram Equalization for Brightness Preservation and Contrast Enhancement," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, pp. 1389-1397, Aug. 2008.