

數位攝影機信號處理器即時

FPGA 系統驗證

<企劃書>

隊伍名稱：NKFUST

指導老師：夏世昌老師

隊長：呂長霖

隊員：卓立凱

學校：國立高雄第一科技大學

目錄

項目		頁次
壹、	動機與目的-----	3
貳、	製作內容-----	5
一、	內插演算法-----	5
二、	即時色彩內插處理器架構-----	6
三、	光源亮度控制演算法-----	7
四、	色彩處理-----	7
參、	結論-----	10

壹、動機與目的

近年來隨著科技的進步，數位式的視訊訊號系統，漸漸的取代傳統類比式的視訊訊號系統，數位化的視訊應用，也越來越普及，目前產品包括影音光碟、數位電視廣播、影像電話、以及視訊會議等。更由於超大型積體電路與數位影像處理技術的快速發展，取像系統也由傳統的光學相機，進步到彩色數位攝影裝置，如數位電子照相機，數位攝影機，智慧型監視器等，這些電子產品因為具有體積小，重量輕，低耗電，可靠度高等優異的性能，在消費性電子產品市場上，廣受消費者的喜愛。

首先針對數位攝影裝置的系統組成做一簡單的介紹，其基本的組成方塊圖如圖 1-1 所示。

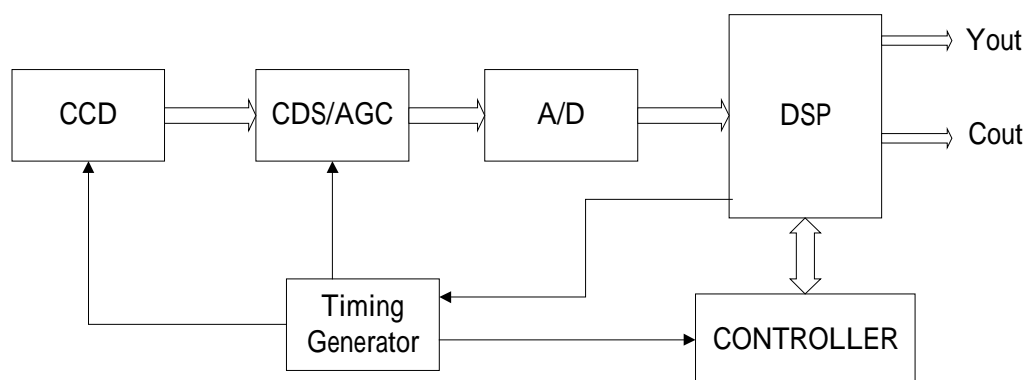


圖 1-1 數位攝影系統組成方塊圖

大部分的彩色數位攝影系統，都是利用電荷耦合元件(Charge Couple Device，CCD)來進行影像取像的工作，CCD 係利用光電效應(Photoelectric Effect)，把所感測到的入射光的大小轉化成相對應的電氣信號。

CCD 感測器輸出之類比視訊信號需要經過一連串的处理，再送到數位信號處理器(Digital Signal Processor，DSP)，其中較重要的處理過程如下[1]：CCD 信號需要經過相關二重取樣(Correlated Double Sampling，CDS)做低雜訊輸出，自動增益控制(Auto Gain Control，AGC)將信號作放大，類比/數位轉換器(A/D converter，A/D)把輸入的類比信號轉成 DSP(Digital Signal Processor)輸入端之數位信號。

時序產生電路(Timing Generator)主要是產生 CCD 驅動電路所需之信號，諸如水平同步信號(Horizontal sync signal)、垂直同步信號(Vertical sync signal)、水平驅動電路觸發(Clock Output for CCD Horizontal Register Drive)、取樣及保持電路觸發(Data Sample and Hold Pulse)、類比數位轉換時脈(A/D Clock)等。

數位信號處理器(DSP)的功能，主要可以分成四個部份。第一部份包括在 CCD 取樣系統中所牽涉到的影像處理，如光學黑色位準補償(Black Clamp)、自動曝光調整(Auto Exposure, AE)、自動白平衡(Auto White Balance, AWB)、對於彩色濾波陣列(CFA)進行色彩信號的內插(Interpolation)。經由這些處理可得到對應於畫面每一個像素的全彩格式之彩色影像資訊。第二部份是修正與美化的後級處理，如透鏡閃爍補償、色彩修正(Color Correlation)、伽碼修正(Gamma Correlation)、影像邊界加強(Edge Enhancement)、以及亮度對比的調整等，第三部分是產生同步信號，如畫面的垂直同步信號、水平同步信號、時序產生電路輸入信號。最後是彩色分離，將彩色影像資料分離出亮度和彩度資料，如 RGB 轉 YCbCr，將亮度與彩度訊號分別送到顯示設備，做影像輸出。

不論彩色數位攝影系統應用於何種領域，影像品質的優劣為其最重要的一環，攸關整個取像系統的優劣，而整個彩色數位攝影系統中最重要的關鍵組件就是數位信號處理器，它是整個系統的核心靈魂，其中的演算法決定影像的品質，並且擔任控制整個系統運作的主控角色。目前有很多關於此方面的演算法，已經被提出，然而以硬體實作為考量的演算法則相當少，目前有關攝影處理技術相關之晶片組，皆掌握在日本人手中，基於上述的原因，本研究：數位攝影機信號處理器即時 FPGA 系統驗證。

貳、製作內容

一、內插演算法

在高階的攝影系統中，通常會使用三個 CCD 分別對 RGB 三原色的信號取樣，之後，再把三個取樣的訊號合成，成為彩色影像，在消費性產品的應用上為了降低 CCD 的尺寸及節省硬體成本，只使用一個 CCD 陣列感測器，為了獲得 RGB 三種顏色信號，通常會在 CCD 鏡頭前加上彩色濾波陣列(Color Filter Array)，讓 CCD 的每一個像素(Pixel)，只感測到紅、藍、綠三種顏色中的一個，因為一個像素只取樣一種顏色，未取樣的兩種顏色必須要用內插演算法來計算還原。關於內插演算法的研究有：

(1) 多項式函數的內插：nearest neighbor 是零次多項式的內插演算法，linear 和 bilinear 內插演算法[2]，是一次多項式的內插演算法，cubic B-spline[4]和 cubic convolution[2][5]是三次多項式的內插演算法。nearest neighbor、linear 和 bilinear 這些方法，有低計算量，所需記憶體少的優點，但是因為內插還原的影像會有邊緣模糊 (edge blurring) 和偽色 (color alias) 的問題，因此，這些演算法在彩色數位攝影系統很少被採用。

(2) 其他改進方法：這些方法是針對內插後影像品質不佳和偽色的問題作解決，其中有 Tetsuya Kuno 色彩相關區別 (Discriminated Color Correlation)內插演算法[3]，還有 Wolfgang Fichtner 所提出的 EPNI 內插演算法[6]，這兩個演算法，可以得到較佳的內插結果，但在計算時需要用到 9 條線的記憶體，另外，計算的複雜度亦高，使得硬體的製作成本增加。

相較於以上的文獻，本企劃提出一個新的內插演算法，這個演算法與 bilinear 內插相同，只需要用到 2 條線的記憶體，內插還原的影像品質，在影像邊緣和解析度上均優於 bilinear 內插，由於所需硬體資源低，故可以滿足低成本與低消耗功率的需求。

二、即時色彩內插處理器架構

依照上一章所提的內插演算法，我們可以用來設計一個高效率並且達到即時處理的內插處理器，這個內插處理器的相關的介面和系統架構圖，如圖 3-1，因為用我們所提出的演算法做內插需要用到 3 條掃描線的資料，因此要用 2 條線的緩衝器來儲存前 2 條掃描線的資料，圖中 Line Buffer-1 和 Line Buffer-2 分別被用來儲存第 i 和第 $i+1$ 條掃描線的資料，為了達到即時處理的目的，第 i ，第 $i+1$ 和第 $i+2$ 掃描線的資料在每個時脈週期來時，被同時並列送到處理器做處理，而且在輸出端會有一組完成內插計算的紅藍綠色彩成分輸出，圖 3-2 為輸出和輸入的時序圖，在最初的第一和第二條掃描線時，因為資料不足，所以，內插的輸出值是不正確的，整個內插輸出在第 3 條線的第 6 個時脈時，內插的輸出值才是正確的。

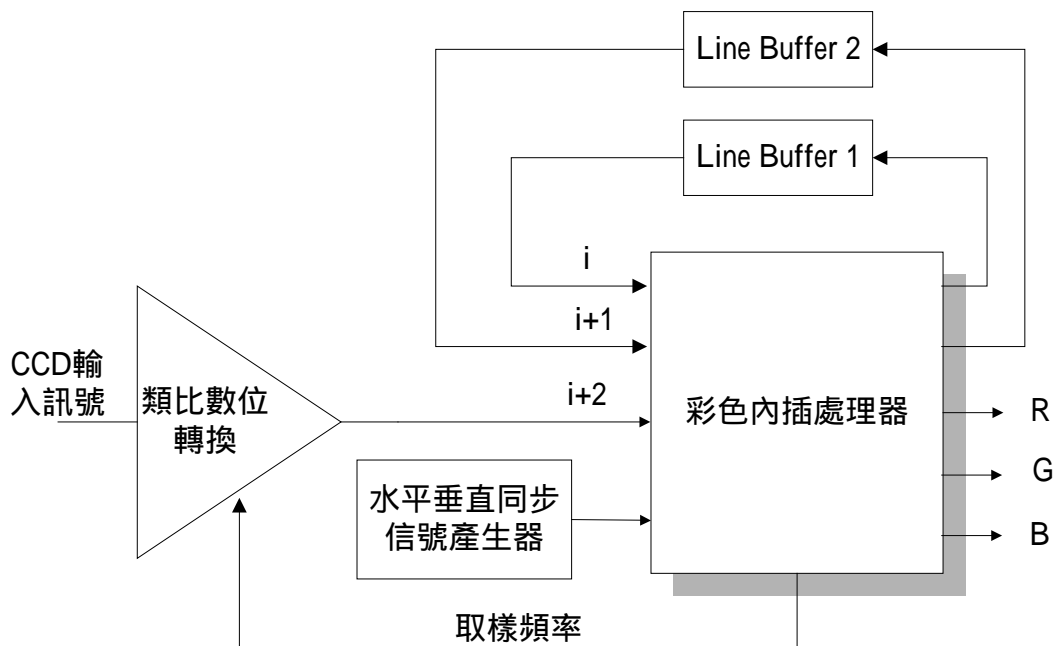


圖 3-1 色彩內插處理器介面

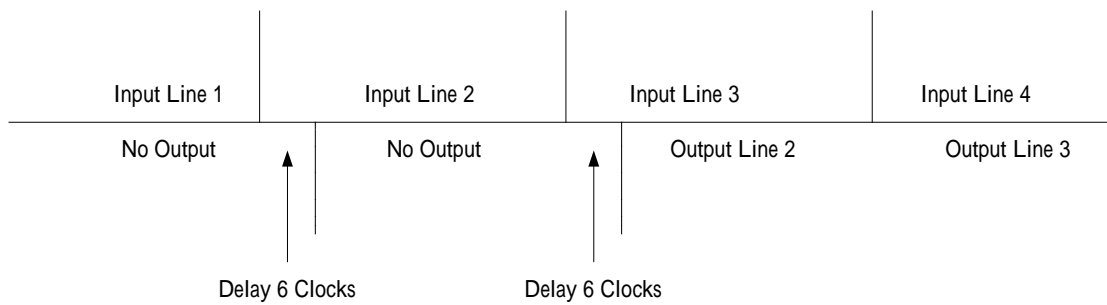


圖 3-2 色彩內插處理器輸出輸入時序圖

三、光源亮度控制演算法

在實際視訊投影簡報器上，由於光源會隨實際應用場合環境改變，而產生光源分佈不均勻現象，在一個畫面上造成有些地方太暗但有些地方太亮，解決的方法如圖 4-1，可以利用曝光偵測降低 CCD 曝光時間，再利用自動增益控制調整亮度，最後經光源平衡的調整，使畫面的亮度達到均勻。

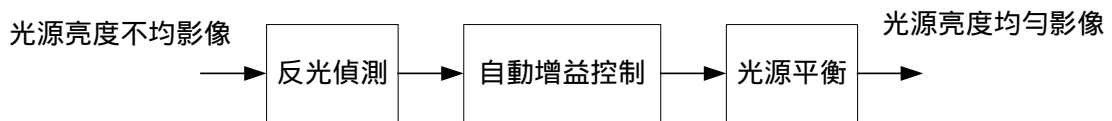


圖 4-1 光源亮度控制流程圖

四、色彩處理

由於視訊投影簡報器使用的環境光源色溫不同，會造成影像色彩的偏差，可以利用自動白平衡來解決色彩偏差的問題。本章探討有關色彩信號處理包括白平衡，色彩轉換及加強。

1. 自動白平衡技術

當我們取一張白色的卡片，在室外太陽光下觀看，這張卡片看起來是白色，把卡片拿到室內的日光燈下，卡片看起來還是白色，將卡片拿到鎢絲燈泡下，卡片看起來還是白色，既使把卡片放下黃色的燈泡下，經過一段時間，卡片看起來仍然是白色，雖然不同的光源讓白色卡片反射不同的光譜，但是人類的眼睛有能

力去調適讓卡片看起來是白色。要讓機器達到上述的功能，顯得比較困難，當白色的卡片在不同的光源下，從數位相機所取到的影像，會隨光源改變而不同，在室外太陽光下和室內日光燈或鎢絲燈下所拍到的影像，會有顏色上的差異。圖 5-1 所示，即是在不同的光源條件下，所拍攝的影像，在日光燈下，因為日光燈燈管內含螢光劑故光譜中有螢光成份，所發出的光其色溫較高偏藍綠色，拍攝物呈現偏藍色，在鎢絲燈下，因為鎢絲燈發的光色溫較低偏橙紅色，拍攝物呈現偏紅色。圖 5-3 為色彩與色溫的對照圖，從其中可以看出，紅光為低色溫，藍光為高色溫。為了修正光源色溫的變異，所造成的影像顏色偏差，必須將 RGB 三顏色間的偏移做平衡，這個修正在數位取相系統稱為白平衡，通常使用軟體或硬體自動完成。

2. 色彩轉換

色彩空間 (color space) 為一個顏色的數學表示法，比較常見的彩色座標系統有 RGB、YIQ、YUV、YCbCr、CMYK，其中 RGB 主要應用於電腦圖像，YIQ、YUV、YCbCr 用於彩色視訊系統，CMYK 用於彩色印表機上，這些座標系統都可以經由轉換互相對應。

RGB 座標的表示法在處理影像的傳輸及儲存時，顯得沒有效率，當做畫面傳輸時，RGB 三個成分都要使用同樣的頻寬，影像做儲存時，要用到畫面像素 3 倍的記憶體空間，當彩色影像在 RGB 彩色座標上做色彩處理，也沒有效率，例如：當我們要改變一個彩色影像的亮度時，需要從 frame buffer 讀取 RGB 的值，將 RGB 的值經過計算得到亮度，對每一個 RGB 亮度作調整，最後將新的 RGB 值存回 frame buffer，假如我們將系統的座標改用亮度與色彩，做色彩或是亮度的調整時，只需計算亮度信號即可。基於上述的理由，彩色視訊使用亮度與色差信號，最常用的有 YUV、YIQ、YCbCr 三種，其中我們設計的系統使用 YCbCr。

RGB 與 YCbCr 的色彩轉換，關係式如 (5-13)。

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.257 & 0.504 & 0.098 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5-13)$$

最後在用反矩陣 (5-14) , 得到 RGB 信號。

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.164 & 1.596 & 0 \\ 1.164 & 0 & 2.018 \\ 1.164 & -0.813 & -0.391 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \right) \quad (5-14)$$

在硬體實現時, Y、Cb、Cr 分別以 8 位元表示, 利用 (5-13) 會用到小數的運算, 使硬體變得複雜, 為了簡化硬體, 將 (5-13) 改寫成 (5-15), 其中乘以 1/256 可以由移位器來實現, 將矩陣係數四捨五入取整數, 矩陣運算只要 8 位元乘法器即可完成。

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 65.738 & 129.057 & 25.064 \\ -37.945 & -74.494 & 112.439 \\ 112.439 & -94.540 & -18.285 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5-15)$$

3. 色彩加強

經由上一節的色彩座標轉換後, 將 RGB 的顏色轉換成亮度信號與彩度色差信號, 可以經由調整 Y 信號改變亮度, 或調整 Cb、Cr 信號改變色彩的對比, 當增加 Y 信號, 提高畫面的亮度時, 會造成影像的色彩會變淡, 因此, Cb、Cr 信號亦要隨之調整, Cb、Cr 信號的變化範圍為 ±112, 偏移量 128, 與 Y 信號變化範圍 0~239, 偏移量 16 不同, 我們可以直接對 Y 加上一個值, 採用平移的方式調整亮度, 這個方法卻不適用於 Cb、Cr 信號。對於 Cb、Cr 信號增強的方法, 先將 Cb、Cr 減去偏移量, 再做增益放大, 最後再加回偏移量得到調整後的結果, 如式(5-16)(5-17), 其中 k 為增益係數, 從實驗的結果中發現, 利用這樣的方法, 可以達到色彩加強的效果。模擬結果如圖 5-6、圖 5-7。

$$Cb = k * (Cb - 128) + 128 \quad (5-16)$$

$$Cr = k * (Cr - 128) + 128 \quad (5-17)$$

參、結論

在本企劃中提出一個高效率彩色內插演算法及低成本的硬體共用架構，內插演算法是根據邊緣權值及局部增益的特性來發展，從模擬結果可以看出演算法的效能優於其他兩者，利用高效率彩色內插演算法為基礎，設計即時處理時間排程管線式的硬體架構來完成硬體實現，處理時兩個色彩的內插平行運算，此硬體只需要 3 條線的記憶體數量，即可達到高解析的影像品質。

對於因為使用環境的因素改變，所造成影像品質不佳的問題，也提出幾個改善的演算法，當光源不足，導致影像過暗，可以透過自動增益控制的方法得到改善，當光源太亮，造成影像過曝而反光，可以透過反光偵測，得知影像過亮，作為調整曝光時間的參考，對於光源分佈不平均，造成投影的影像一邊暗一邊亮的情形，提出光源平衡演算法來解決，讓修正後的影像畫面看起來光源平均分佈。

對於使用光源色溫不同，所造成影像色彩偏差的問題，提出自動白平衡演算法來改善，影像色彩不夠鮮豔的問題，可以利用色彩加強，加大顏色間的對比獲得改善。CCD 取樣後的信號，經過上面的步驟處理完後，從螢幕輸出的影像可以得到接近於人眼所看到的真實影像。

硬體實作以 FPGA 完成，透過串列埠介面傳輸，可以由電腦端控制處理器的動作或調整相關的控制參數，使輸出畫面更真實，同時也內建測試信號，作為驗證測試的參考。

本企劃所提出的硬體架構及相關的演算法，經過實際系統上運作驗證，並從輸出畫面影像品質的評估得知，所設計的數位信號處理器，適用於低消耗功率高解析度的數位相機或是視訊簡報系統。