

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 創新異質整合智慧型手機相機模組之研究--子計畫三：成 像品質之數位影像演算法開發(2/3) 期中進度報告(完整版)

計畫類別：整合型  
計畫編號：NSC 98-2220-E-009-017-  
執行期間：98年08月01日至99年07月31日  
執行單位：國立交通大學電機與控制工程學系(所)

計畫主持人：黃聖傑  
共同主持人：趙世鈞

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99年05月28日

創新異質整合智慧型手機相機模組之研究—  
子計畫三：成像品質之數位影像演算法開發(2/3)

The Research and Applications of the Image Quality Improvement Algorithms  
for LC Lens (2/3)

計畫編號：98-2220-E-009-017-

執行期限：2009/08/01 ~ 2010/07/31

計畫主持人：黃聖傑 助理教授 Email: schuang@cn.nctu.edu.tw

執行機構：國立交通大學電機與控制工程研究所

## 一、前言

本計畫以開發相機模組之液態鏡頭為研究的重點，本研究將以成像品質修正及影像處理為主要研究方向，在演算法層次以及電路架構層次同步進行。在第二年的計畫之中，配合系統其他部分整合進度，由 LC Lens 與影像晶片設計入手。

首先將第一年之影像處理相關研究成果以 FPGA 平台先行測試，藉以分析相關數據並探討其整合之可能性。

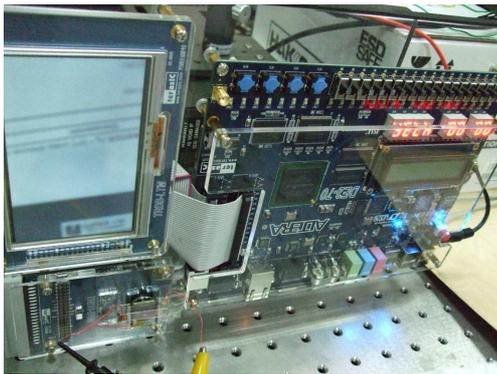


Fig. 1. 影像處理 FPGA 模組

已完成之 LC Lens 模組如 Fig. 2 所示。

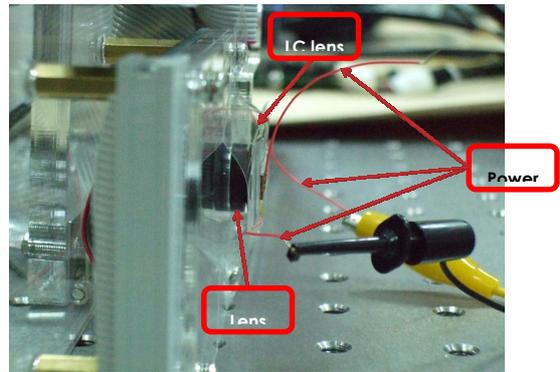


Fig. 2. LC Lens 模組.

加壓處理前影像呈現模糊狀態，如 Fig. 3 所示。

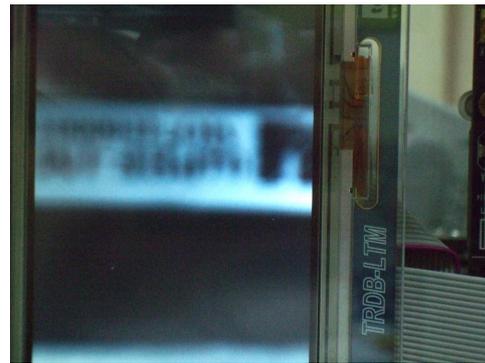


Fig. 3. 加壓前之模糊影像.

加壓後結果於 Fig 4 中展現，原本模糊影像變的可以分辨出字體型態，目前更持續改進演算法將顯示結果透過影像處理變的更為清晰。



Fig. 4. LC Lens 加壓後成像顯示.

結合 LC Lens 與 FPGA 影像模組之初步成果如 Fig. 5 所示。

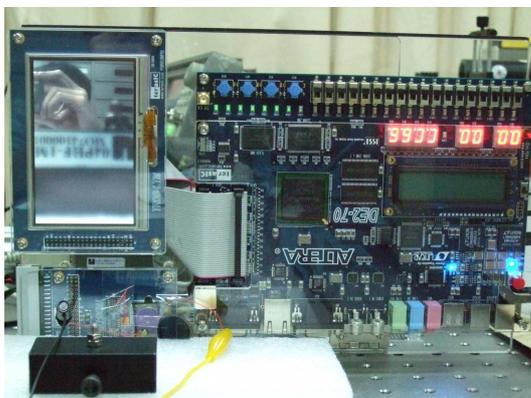


Fig. 5. 系統全貌與測試結果.

## 二、研究目的

以目前感測器技術，如：液晶電視與相機的CMOS 感測器對單色的解析度都已達10位元以上甚至更高，現在傳統的單色8位元表示法已不合所需，如：JPEG，無法提供更豐富的色彩，而JPEG XR 可以支援到單色16、32位元與浮點數壓縮，以滿足感測器所需，提供較高的動態範圍(High dynamic range, HDR)，從影像擷取端至壓縮演算法都不會失去任何資訊，即使放大倍率也無損畫質細膩的程度消費者只要選擇適當的顯示器與色調轉換公式(Tone mapping)即可享受高畫質的影像，且動態範圍的數值越高，對影像的長期保存也非常重

要，印表機和顯示器會遠遠超過現行JPEG技術的處理能力』，所以這新世代的JPEG XR 影像壓縮演算法會是未來的趨勢。

## 三、研究方法

JPEG XR 可以在相同的影像品質下提供比JPEG高一倍的壓縮率，有效降低檔案傳輸時間，如Fig 6.，JPEG XR 能提供與JPEG 2000 近四的影像品質，演算法複雜度卻大大減少，非常適合在低功耗的電子產品上，此外，JPEG XR 在無失真壓縮的表現也是同樣亮眼，能高達2.5 倍的壓縮率。

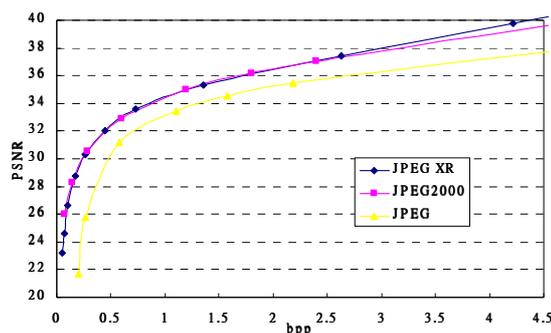


Fig. 6. PSNR Comparison between different image standard.



(a)



(b)

Fig. 7. Image Quality Comparison with (a) JPEG XR and (b) JPEG under the same compressed ratio 110.

演算法流程如圖3所示,由於壓縮過程中使用取樣會造成資料的流失, Pre-scaling的作用即為調整資料大小,增加表示範圍,在經過幾個後面元件的處理時,才不至於損失更多的原始資訊,在傳統的紅色、藍色、綠色中,不容易看出之間的關連,經過研究後發現,其實眼睛對亮度的敏感度比彩度還要強,所以色相轉換(Color space)的目的即是為了符合人眼特性, JPEG XR 採用與JPEG相同的轉換公式,目的都是為了減少RGB顏色在人類視覺上的關連性,由於JPEG XR 在色相轉換之前有動態調整過資料的表示範圍,所以在此會再將亮度調整一次表示範圍,以利後續處理,轉換後得到的資訊就可以進行下一部的分析。人眼對彩度的敏感度比較低,所以這部份也是影像壓縮的目標之一,主要取樣格式分為4:4:4、4:2:2與4:2:0,第一種格式是不取樣,完全保留資料進行後續編碼,所能提供的影像品質最高,但本身的資料量也最大,後面二者分別對彩度進行二分之一與四分之一取樣,目的都是減少處理的資料量,達到高效能低耗電的演算法,

並且維持一定的影像品質,以符合人類視覺系統。整個空間上的資訊的關連可以藉由頻率域的分析來判斷,可以得到頻譜的分佈來選擇需要的資訊,另一項研究發現人眼對高頻信號的敏感度沒低頻信號強,此一特性就可以再利用減少空間資訊上的累贅,進一步減少資料量,但缺點就是這類演算法的運算量太大,造成運算時間與硬體資源消耗資源過多,為了改善這缺點, JPEG XR 採用整數運算,並且有相同效果。

最後即是使用熵編碼(Entropy encode),利用霍夫曼(Huffman)的機率統計方式提供無損式的影像編碼,減少資料間的亂度,出現機率較頻繁者,在編碼時則給予少許的唯一代碼,相反的,出現機率低的係數,則給予較長的代碼,最後得到最簡的結果。

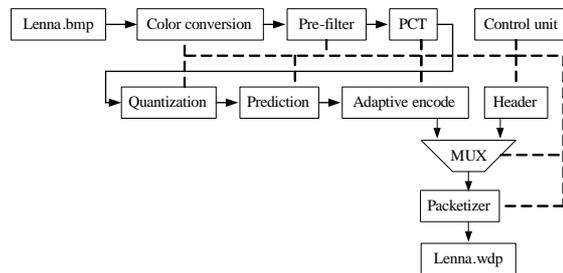


Fig. 8. JPEG XR Coding Flow.

## . Color Conversion

色相轉換的目的即是反映人眼對於訊號的接收方式,從眼睛外之物體來的光在視網膜上成像,形成了圖案視覺,人眼的光受體有2類,錐狀體(cones)和桿狀體(rods),每隻眼睛的錐狀體數量大約有600萬到700萬間,主要分佈於視網膜中央凹附近,並且對色彩很敏感,但必需要在光線足夠的地方才有功用,錐狀細胞又稱白晝視覺或亮光視覺。桿

狀細胞的數目就比錐狀細胞多很多了，大約有7500萬到15000萬，分佈在視網膜表面，功能適用來獲得視野中大體上的影像，對亮度相當敏感，例如白天看起來很鮮豔的花朵，在月光下看起來卻沒有色彩，這是因為只有桿狀體受到了刺激，此現象稱為夜視覺或昏暗視覺。經過上述討論，我們可以使用人眼對亮度比較敏感的特性來設計多種色相轉換公式，JPEG XR 採用的是由紅、綠、藍色組成的RGB色彩空間轉換成YUV，Y即是亮度，存放著大量對人眼相當敏感的資訊，U、V負責存放彩度的資訊。

$$\begin{aligned}
 V &= B - R \\
 U &= -\left[ R - G + \left\lfloor \frac{V}{2} \right\rfloor \right] \\
 Y &= G + \left\lfloor \frac{U}{2} \right\rfloor - \text{offset}
 \end{aligned} \tag{1}$$

where *offset* is 128.

### Pre-filter

影像處理上都是以方塊(Block)為基礎的處理方式，此方法雖然在編碼上有一定的效率，但是也會產生不自然的方塊效應(Blocking-effect)，在影像邊界處會造成鋸齒狀的結果，尤其在壓縮率越高時會越明顯，根據人類視覺系統發現，影像的邊受到了損毀，則人眼所看到的影像品質會大幅降低，所以為了解決這問題，前置濾波器也就孕育而生，目的即是為了解決邊緣因以方塊為準之轉換量化 (Block-Based Transform & Quantization) 所造成之不連續現象，同時保存原有物體邊緣之銳利度，濾波器也是以小方塊為單位進行處理，在影像邊界上的資料則另外處理，整個JPEG XR 有2層前置濾波器，其用意在於低壓縮

率時，影像本身的品質就不錯，可以選擇不進行濾波器的處理，節省運算時間，中等壓縮率時就採用一層濾波器，高壓縮率則進行二層濾波器處理，犧牲運算時間來獲取較好的影像品質，此外，濾波器還可以增加壓縮率，根據模擬結果，可增加壓縮率達 30%。

### Photo Core Transform

PCT即是整體壓縮法的核心，有別於JPEG的離散傅立葉轉換(Discrete Cosine Transform, DCT)，而是採用類似JPEG 2000 的離散小波轉換(Discrete Wavelet Transform, DWT)架構，進行多層的運算，過濾出高頻、中頻、低頻資料，以利後續的處理，將 Macroblock 切成 4x4 的Block 分別進行第一階段的轉換，每個 block 都產生一個DC 值與15個AC 值，當16個block 都處理完成後，在將 16個Block 的DC 值分別擷取出來做第二階段轉換，如圖 9，藍色方塊即代表DC 係數，再做一次PCT運算，最後得到1個DC 係數、15個低頻係數與240個高頻係數，為了進一步的增加PCT轉換效能，所以全部的轉換演算法都採用整數運算的方式處理，避免浮點數對硬體帶來的困擾。

### Quantization

根據人類視覺系統(Human visual system, HVS)研究發現眼睛在一個相對大範圍區域，辨別亮度上細微差異是相當的好，但是在一個高頻率亮度變動之確切強度的分辨上，卻不是如此地好。這個事實能在高頻率成份上極佳地降低資訊的數量。簡單地把頻率領域上每個成份，除以一个對於該成份的常數就可完成，且接著捨位取最接近的整數。這

是整個過程中的主要失真運算。以這個結果而言，經常會把很多更高頻率的成份捨位成為接近 0，且剩下很多會變成小的正或負數。JPEG XR 採用以分頻的方式來處理量化過程，主要分成直流、低頻與高頻段，每個頻段都除相同的數即可完成，而非 JPEG 的量化方式，以減少演算法複雜度。

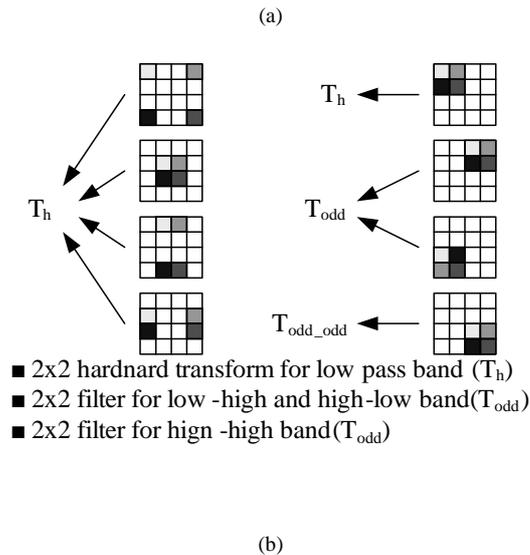
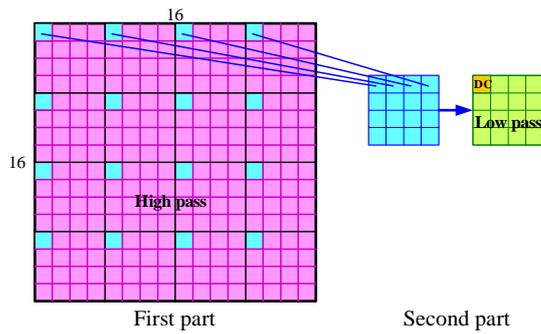


Fig. 9. The 1<sup>st</sup> part and 2<sup>nd</sup> part process of PCT.

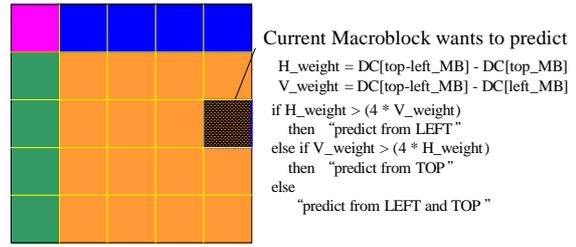


Fig. 10. DC prediction model.

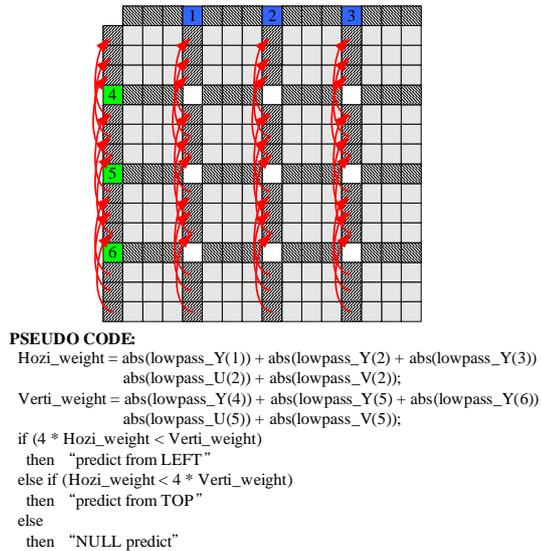
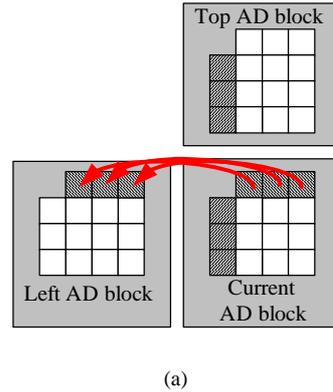


Fig. 11. (a) Prediction of AD low pass. (b) Prediction model and AC high pass.

## Prediction

為了減少資料在前後間的關係，所以就必須做個資料預測，類似 JPEG 的誤差脈衝編碼調變 (Differential Pulse Code

Modulation, DPCM), JPEG XR不採用每個係數間的運算,而是用Block 為單位進行資料預測,被預測的資料則視本身資料與周圍資料間的關係由特殊演算法決定,以確保經過預測後的資料是最精簡的,達到影像壓縮的目的。DC 值的預測如下列演算法所示,依照目前處理的Macroblock 所在位子,會有不同的預測方式,例如Fig. 9:Macroblock 的位在粉紅色的區域上,即是處理整張影像的第一個Macroblock,無任何資料可以預測,所以整個Macroblock 的資料將不進行預測,當分別處理到藍色與綠色區域的Macroblock 時,所能參考的資料只有左方與上方的Macroblock,所以進行特定方向的預測,黃色區域代表目前的Macroblock 有左方與上方的資料,則由演算法來決定往哪邊進行預測。Low pass 係數也稱為 AD係數,它的預測資料方向是跟隨DC 係數的方向, Fig. 6 說明了只有往左或往上參考,每次進行運算時,都只有三個係數會去進行運算,這原因是PCT在轉換時就經過設計,認為一個block 只需要三個係數進行運算即可,以減少系統的運算量與複雜度,High pass 係數稱為AC 係數,圖是個例子用來說明預測方式,空格代表 Low pass 係數的所在位子,預測演算法跟 Low pass band 的方式一樣,每個block 都只有三個係數會去計算,往左邊或上方的 block 來參考進行預測,目的還是希望能減少運算量與執行時間。

### Adaptive Encode and Packetize

JPEG XR 的掃描採用適應性掃描的方式,而非大家熟悉的固定掃描法。首先由系統先給一系列的掃描順序(Scan order) 與權重 (Weight) 作為預設值,

進行掃描時,就記錄該係數是否非零,是則在該係數的權重上累加,處理完一個block就進行更新掃描順序的動作,將掃描順序依照權重的大小重新排列,過程完全動態調整,如Fig. 12 所示,當掃描順序為第二的係數發現是非零的次數大於掃描順序為第一個係數時,就交換彼此的順序,目的就是減少資料間的亂度,使得非零係數能集中並先處理。

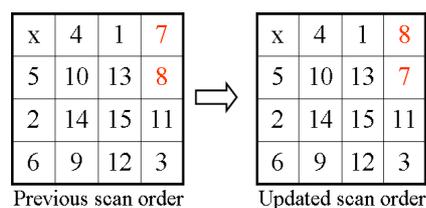


Fig. 12. Adaptive scan order updating example.

Run-Level Encode是JPEG XR 的特殊編碼方式,概念類似JPEG的串長編碼(Run Length Encoding),目的都是減少資料間的累贅,JPEG XR 採用固定位元數的編碼演算法,即根據不同頻段的係數給予特定的位元數來編碼,例如經過預測演算法後的高頻係數,大部分都集中在0附近,就固定使用2 bit 來編碼,或者低頻係數由於所包含的能量較大,就給予4 bit 編碼。當然,每個低頻係數都不一定能用 4 bit 來表示,係數大於 4 bit 能表示的範圍時就需要另外處理, Fig. 13 可以說明這處理流程,當一個block 進行適應性掃描將係數擷取出來並且給予4 bit 來編碼,發現係數17 會大於可編碼的空間,系統會將多餘的值(紅色底線部份)標示為Level,而前面3 個係數都未超過4 bit 可表示的範圍,所以把 Run 標示為 3,最後將可用4 bit 表示的部份(藍色底線)和係數查霍夫曼表進行輸出即可完成RLE編碼。

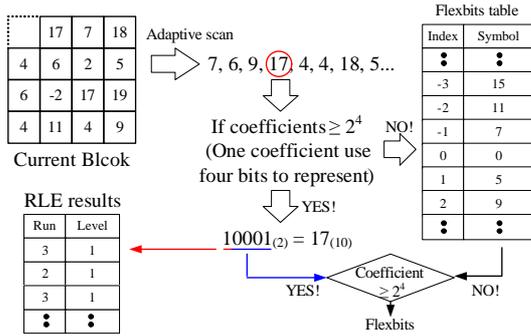


Fig. 13. Adaptive scan and Run-Level encode example – AD, and AC.

## System Architecture and Pipelining

JPEG XR 採用以 Macroblock 為單位的處理方式來進行編解碼，整體 JPEG XR 在歸劃上的困難點在於熵編碼器的設計，許多的適應性演算法來達成最佳化的壓縮，也就是說適應性演算法會一直回報目前狀況給系統，所以這部份在時序上得控制會是最大的挑戰，在管線的切割上，我們規劃為三級管線架構，Stage 1 包含色相轉換、前置濾波器，Photo core transform 與量化，經過 SRAM 將資料傳給 Stage 2 來進行資料預測的動作，最後由 Stage 3 收尾，做熵編碼與可變長度編碼 (Variable Length Coding, VLC)，每個 Stage 裡還有細部的管線架構，例如 Stage 1 裡的前置濾波器與 PCT 轉換，之所以切為三個 Stage 的原因在於資料預測演算法與熵編碼都有自己執行 block 的順序，這順序必須由本身 Macroblock 的內容決定，所以在這中間必須有管線暫存器 (SRAM) 來存放資料，根據上面討論，以三階管線執行是最有效率的方式。

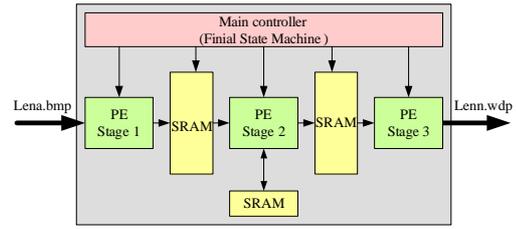


Fig. 14. Pipeline stage consideration of JPEG XR.

首先先分析內部 Stage 1 內部元件的特性，發現都是以 Block 為單元進行處理，一級傳給一級，這非常適合以管線方式進行處理，而 Stage 1 在硬體實做上有一個特別的東西就是前置濾波器，這會造成在處理 Block 時的錯誤，原因是前置濾波器與 PCT 所抓取的 Block 資料剛好不一樣，所以在中間必須建立暫存器陣列來存放部份資料，加入資料重複使用技術 (Data reuse)，以便 PCT 能夠順利抓取一個完整的 Block 資料，FSM 的規劃上就會多一個 Pre-processing 的狀態，目的就是為了暫存器陣列。

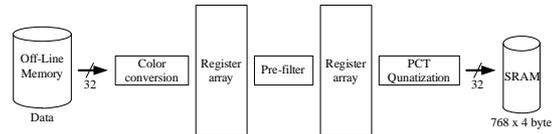


Fig. 15. Data flow of JPEG XR stage 1.

JPEG XR 再硬體設計上有一個困難點就是前置濾波器與 PCT 轉換所處理的 Block 並不是同一個，以前置濾波器所處理的 Block 剛好落在 PCT 要處理的 Block 的邊界上，如 Fig. 16 所示，虛線框框代表前置濾波器要處理的 Block，藍色區域則代表 PCT 所要處理的 Block，發現 PCT 要處理一個 Block 則必須由四個 Block 來組成，這是相當麻煩的地方，如果處理一個 Macroblock，就必須連同周圍的 Block 一起處理，所以我們設計了一套資料重複使用技術來解決重複處理的問

題，在前置濾波器與PCT中間加入暫存器陣列來暫存前置濾波器處理後的資料，我們比較加入資料重複技術在對外讀取的頻寬上減少了33%的讀取次數。

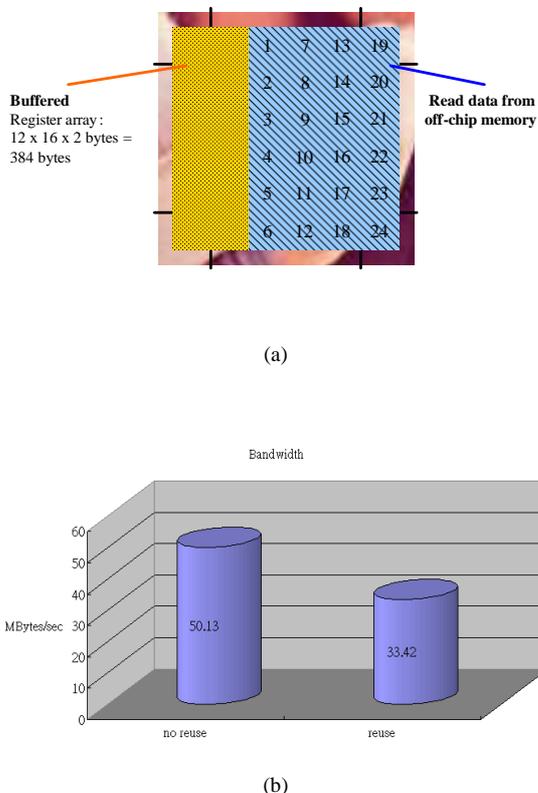


Fig. 16. Data reuse of pre-filter and PCT function.

#### Architecture design of JPEG XR

以 Fig. 17 管線執行方法來描述資料重複技術，Stage 1 在每個Macroblock 只需要處理24 個Block，剩餘的時間可以使用clock gating來節省功率消耗，主要原因式受限於後端VLC 的緣故。

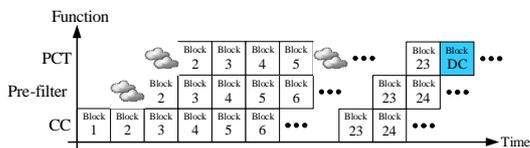


Fig. 17. DC block insertion on the function block pipeline.

前置濾波器演算法即是一堆數學，經過大量的加法、減法與移位，由多個 sub-program 組成的轉換，運算量相當大，如果為了節省面積與功率消耗，可以將這單元捨棄，權衡方式如前幾節所述。整體架構採用管線式設計，提升

Throughput 和Frequency，每個Block 可以連續一直處理，並分為邊界處理與非邊界處理單元，PCT的架構與Pre-filter 類似，不同的地方在於PCT必須將轉換後的Block，把DC 值回存至DC register array，準備做第二階段的處理，過濾出DC 與Low pass，以量化器的進行，PCT 也是採用管線設計方式，可以大量的處理資料，輸出由SRAM 負責儲存，演算法由多個加法、減法、移位器組成。

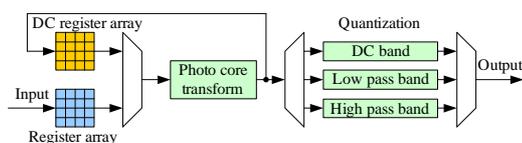


Fig. 18. PCT, and Quantization.

Prediction 在硬體實現上是最簡單的，只需要控制好FSM 讀取適當的係數進行減法運算，SRAM 1 與 SRAM 2 即為管線暫存器，容量為 768 Bytes 的原因是必須存放1 個 Macroblock 的所有係數，比較特別的地方就是SRAM 3 的存在，DC 係數要決定從哪個方向進行預測時，必須由左上方、上方與左方的Macroblock 的DC 係數來決定，所以SRAM 3 的功用即為存放上方那列所有Macroblock 的DC 值與部份AD值。

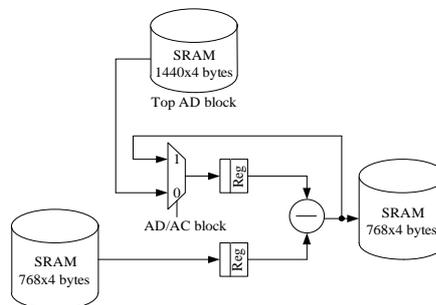


Fig. 19. Prediction architecture.

經過之前演算法的的討論，可得知 Entropy Coding 部份是JPEG XR 最複雜的地方，我們整理成硬體方塊圖，由多

個Sub-circuit 組成，綠色元件為一般的處理單元 (Processing Element, PE)，粉紅色即為 Feedback circuit，專門用來適應目前 bitstream 的狀態，達最佳的編碼狀態，資料路徑分為二條，一條專門處理DC 值的編碼，由DC coder 負責，另一條處理Low pass 和 High pass 的係數，經過適應性掃描後，將資料以串列方式供Run-Level Encode 的進行，將資料整理後，由Code Block Patten(CBP)記錄目前Macroblock 的情形，最後進行適應性霍夫曼編碼。

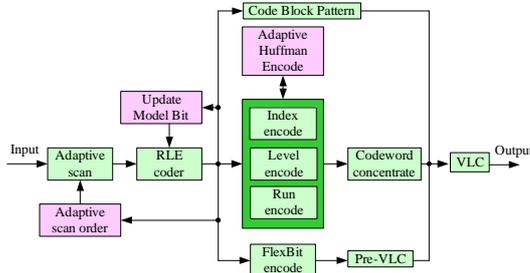


Fig. 20. Adaptive encode architecture.

### Implementation

表 I 為使用 Altera FPGA 合成 prototype 之結果。

TABLE I

#### IMPLEMENTATION RESULTS OF FPGA PROTOTYPE SYSTEM

Function Blocks	Adaptive Look-Up Tables (ALUTs)	Critical Path (ns)
Color conversion	484	51.01 for 4 coefficients
Pre-filter	4080	86.9 for 16 coefficients
PCT and quantization	5191	122.79 for 16 coefficients
Prediction	1952	10.2 for 1 coefficients
Adaptive encode	6262	18.215 for 1 coefficients
Packetizer	380	7.4 for 1 coefficients
On-chip SRAM	1440x4 Bytes (x1) 768x4 Bytes (x2)	

Processing Capability	44.2 Mega pixels within one second
	7.11 fps for 4:4:4 HDTV(1920x1080)
	42.66 fps for 4:4:4 VGA(720x480)
	145.43 fps for 4:4:4 CIF(352x288)

表 II 為各區塊之 power consumption 資料。

TABLE II.

#### POWER CONSUMPTION OF EACH MODULES IN PROPOSED DESIGN

Function Blocks	Power (mW)
Color conversion	8
Pre-filter	37
PCT/Quantization	47
Prediction	13
Adaptive Encode	78

TABLE III.

#### JPEG XR ENCODER CHIP SPEC

CKT name	: JPEG XR Encoder
Technology	: TSMC 0.18um 1P6M CMOS
Max. Frequency	: 62.5 MHz
Gate Count	: 651.3K
Chip Size	: 20.47 mm <sup>2</sup>

表 III 為目前規格，底下為 chip layout。

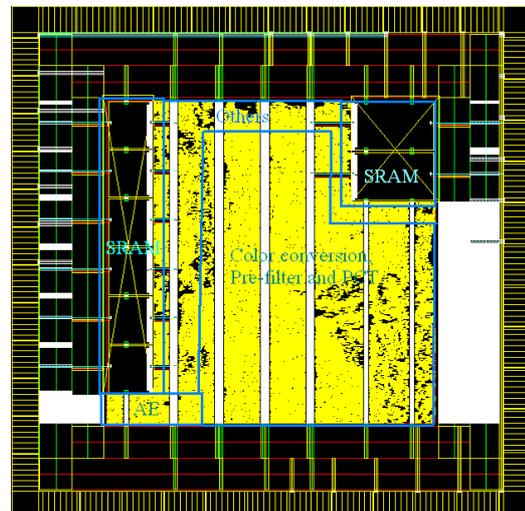


FIG. 21. THE LAYOUT OF JPEG XR ENCODER.

表 IV 為與目前 JPEG2000 chip 之比較。

TABLE IV.

HARDWARE COMPARISONS

	Liu	Hayashi	Proposed
Tech-nology	DONGBU 0.18 2P5M	Hitachi 0.18 2P5M	TSMC 0.18 1P6M
Area	20mm <sup>2</sup>	34.81mm <sup>2</sup>	20.47mm <sup>2</sup>
Fre-quency	100M Hz	55M Hz	62.5M Hz

更重要的是，本設計已成功運用於醫學影像無失真壓縮之處理，並與多家醫院臨床使用中。同時並將研究中之影像處理演算法，使用於微循環影像強化與處理，底下為相關影像與結果：



Fig. 22. Nailfold Microcirculation.

圖 22 微正常人之為循環血管影像，結合 Laplacian of Gaussian 之方法，可快速將血管邊界切割出來。Laplacian  $L(x,y)$  函式與影像強度之關係如下：

$$L(x,y) = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \quad (2)$$

上式可由圖 23 中之濾波器逼近其結果：

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Fig. 23. Two Discrete Approximations to the Laplacian

Filter

將所得結果平滑處理，可使用底下之式子 (3)：

$$LoG(x,y) = -\frac{1}{\pi\sigma^4} \left[ 1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

底下為不同生理情況之影像比較，圖 24 為健康人之微循環影像：



Fig. 24. Healthy Subject.

圖 25 為氣喘患者之微循環影像：

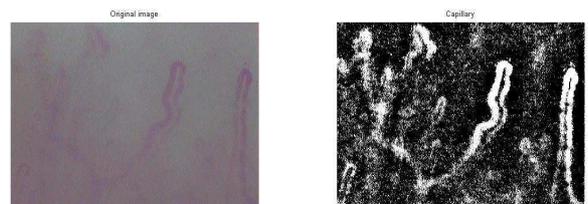


Fig. 25. Asthma.

圖 26 與圖 27 為癌症患者化療前後之比較：

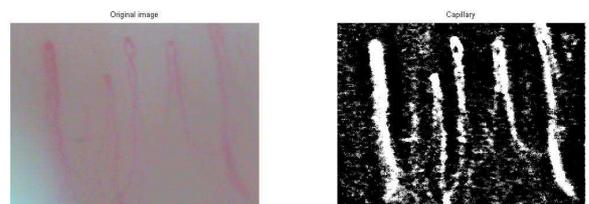


Fig 26. Early Cancer.

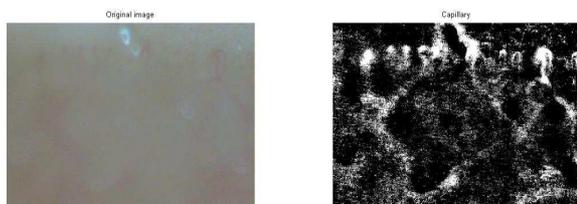


Fig 27. Cancer with Chemotherapy.

#### 四、計畫成果自評

在 2009 年度的計畫之中，我們已將 JPEG XR Encoder Chip 實現出來，目前是世界學術界第 1 顆 JPEG XR Encoder Chip，此項作品在 2008 年度已獲國際重量級的會議 International Conference on Image Processing, ICIP 接受，並已於國際期刊 IEEE Transaction 之中發表成果，同時榮獲 2008, 2009 之旺宏金砂獎，除此之外，並受邀發表於 2010 VLSI 專書(In-Tech publishing Inc.)。在今年度的計畫之中，將逐漸往更核心之部分進行探討與實現，利用已完成之 FPGA prototype 進一步與液態鏡頭前端各單元進行整合，並強化影像品質處理演算法。

#### 參考文獻

- [1] Chia-Ho Pan, Ching-Yen Chien, Wei-Min Chao, Sheng-Chieh Huang, Liang-Gee Chen, "Architecture design of full HD JPEG XR encoder for digital photography applications," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 54, No. 3, pp. 963-971, Aug. 2008. (SCI & EI).
- [2] Chia-Ho Pan, I-Hsien Lee, Sheng-Chieh Huang, Chung-Jr Lian and Liang-Gee Chen, "A Quality-of-Experience Video Adaptor for Serving Scalable Video Applications," IEEE Transactions On Consumer Electronics, Vol. 53, No. 3, pp. 1130-1137, Aug. 2007 (SCI & EI).
- [3] S. F. Lin, S.C. Huang, F. S. Yang, C.W. Ku, and L.G. Chen, "Power-efficient FIR Filter Architecture Design for Wireless Embedded System," IEEE Transactions on Circuits and Systems, Part II, Vol. 51, No. 1, pp 21-25, Jan. 2004 (SCI & EI).
- [4] Sheng-Chieh Huang, Hui-Min Wang, I-Cheng Chen, Chia-Ho Pan, Tzu-Der Chuang, Ching-Yen Chien, Lei-Chun Chou, You-Liang Lai, Ming-Yie Jan, Shih-Chun Chao, Chih-Hsun Yang, Su-Chin Shen, Mark C. Hou and Liang-Gee Chen, "A 62.5 MHz JPEG XR Lossless Image Encoder Chip Design for Biomedical Applications," International Journal of Electrical Engineering (revised).
- [5] " Pipelined Arithmetic Encoder Design for Lossless JPEG XR Encoder, " The 13th IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE 2009)
- [6] Ching-Yen Chien, Sheng-Chieh Huang, I-Cheng Chen, Lei-Chun Chou, Hui-Min Wang, You-Liang Lai, Ming-Yie Jan, Shih-Chun Chao, Chih-Hsun Yang, Su-Chin Shen, Tzu-Der Chuang, Chia-Ho Pan and Liang-Gee Chen, "A 62.5 MHz JPEG XR Lossless Image Encoder Chip Design for Biomedical Applications," International Symposium on Biomedical Engineering (ISOBME2008), 2008.
- [7] Ching-Yen Chien, Sheng-Chieh Huang, I-Cheng Chen, You-Liang Lai, Shih-Hsiang Lin, Yu-Chieh Huang, Lei-Chun Chou, Hui-Min Wang, Zhe-Ming Zhuang, Ming-Yie Jan, Shih-Chun Chao, Chih-Hsun Yang, Su-Chin Shen, Tzu-Der Chuang, Chia-Ho Pan and Liang-Gee Chen, "JPEG XR Encoder Chip Design for Biomedical Lossless Image," 19th VLSI Design/CAD Symposium, 2008.
- [8] Lei-Chun Chou, Yu-Chieh Huang, Shih-Hsiang

- Lin, Ching-Yen Chien, Yi-Cheng Chen, Sheng-Chieh Huang, "A Predictive Displacement Approach for Block Motion Estimation," The 3<sup>rd</sup> International Ph.D. Student Workshop on SOC, 2008.
- [9] Ching-Yen Chien, Sheng-Chieh Huang, Shih-Hsiang Lin, Yu-Chieh Huang, Yi-Cheng Chen, Lei-Chun Chou, Tzu-Der Chuang, Yu-Wei Chang, Chia-Ho Pan, Liang-Gee Chen, "A 100 MHz 1920×1080 HD-Photo 20 frames/sec JPEG XR encoder design," 15th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2008), pp. 1384 – 1387, Oct. 2008.
- [10] Ching-Yen Chien, Sheng-Chieh Huang, Shih-Hsiang Lin, Yu-Chieh Huang, I-Cheng Chen, Lei-Chun Chou, Ming-Yie Jan, Shih-Chun Chao, Chih-Hsun Yang and Su-Chin Shen, "JPEG XR Encoder Design for Biomedical Lossless Image," 2008 Conference on Engineering Technology and Applications on Chinese and Western Medicine, 2008.
- [11] 邱俊誠, 賴有梁, 王惠民, 周雷峻, 陳奕澄, 侯俊成, 黃聖傑, "生醫晶片及系統簡介", 2009 電子資訊第 15 卷, 第 1 期, 2009 年 6 月.
- [12] Sheng-Chieh Huang, "VLSI," 2010, In-Tech publishing Inc.