

多媒體訊號處理(III)(3/3)- 子計畫二
高效率視訊編解碼演算法及其架構設計
High Efficiency Video Coding Algorithm and Architecture Design
計畫編號：NSC90-2213-E-002-095
執行期限：90/8/1 ~ 91/7/31
計畫主持人： 陳良基 教授 國立台灣大學電機所

摘要

由於電腦、通訊及消費電子的快速發展，這三大領域的交集已成為眾所矚目的焦點。而多媒體通信由於其多樣性、高頻寬、以及即時處理的特性，更成為 3C 整合的發展重心。特別是最近提出的 MPEG-4 標準，具有高壓縮比及以物件為基礎的編碼功能，目前已經是多媒體通信領域的核心技術。本計畫的目標即是針對 MPEG-4 多媒體通信系統做演算法及硬體架構設計。而本年度的重點在於 MPEG-4 視訊壓縮中和物件觀念相關的幾個關鍵技術的開發與硬體實作，以及更先進的壓縮技術之開發。包含了自動視訊切割演算法(automatic video segmentation)之硬體架構設計、物件形狀編碼(object shape coding)之硬體架構設計、應用於視訊物件材質編碼(texture coding)以 lifting 為基礎的離散小波轉換架構(discrete wavelet transform)之研究、以及以 Sprite 為基礎的高效能視訊壓縮技術演算法之研究(sprite coding)。在演算法的發展上，除了效能的考慮之外，運算複雜度的分析及硬體實現可能性都是考量的重點。而架構設計則是以完成低功率、高效率的即時視訊編碼系統為設計目標。此外，因應系統整合單晶片的未來趨勢，系統化的考量也是本計畫的重點。因此，本計畫完成後，將可具完整MPEG-4視訊編碼系統晶片高效率硬體的設計能力及對於最新一代視訊壓縮技術有廣泛且深入之

了解，更能具有對整個視訊編碼系統軟硬體整合的能力。

研究動機與發展現況

國際標準組織在歷年來，已經不斷的制訂了許多影像壓縮相關的標準，例如 JPEG、H. 261、H. 263、MPEG-1、MPEG-2 等。針對多媒體、電腦與通訊的整合已經成為明顯的趨勢，在新的 JPEG-2000 和 MPEG-4 標準中，這三者的交集將是關注的焦點。經過初步的研究，我們發現在這些高效率視訊編解碼演算法中，離散小波轉換 (Discrete Wavelet Transform)、形狀編碼 (Shape Coding)、移動預測與補償 (Motion Estimation and Compensation)、影像切割 (Segmentation) 以及錯誤復原 (Error Resilience) 技巧為其主要的核心技術，而本計畫的目的就是研究與實現這些核心技術的演算法及其架構設計。系統的目標為針對 JPEG-2000 和 MPEG-4 中對多媒體、電腦及電訊傳輸的要求，所提出的高壓縮比 (High Compression Ration)、物件基礎 (Object based) 存取和與網路(network) 傳輸結合的一項整合之技術。由於「硬體實現」仍是將來不可或缺的方式，本計畫將針對現有標準規範以及硬體 IC 之特性，提出有效率之架構及演算法。預期將推演出 JPEG-2000 之特殊二維 DWT 運算需求及有效架構，對於 Object-based 編碼特性提出結合 Video Capture 之 Segmentation 作法，並針對 MPEG-4 之即時及多功能式運

算，提出在 shape coding 以及 segmentation 的有效及可程式化之硬體架構。此外，針對 MPEG-4 中所提出以 sprite 為基礎的高效能視訊壓縮技術 (sprite coding)，我們也將提出適用於即時系統的快速演算法。

研究方法與成果

我們的研究主要著重在新一代的影像及視訊壓縮技術，也因此，新一代的壓縮標準 JPEG2000 和 MPEG-4 就成為研究的重點。而在 MPEG-4 編碼標準中首先支援了以物件為基礎的編碼技術，這項編碼技術使得 MPEG-4 編碼系統和傳統以畫面為基礎的編碼技術如 MPEG-2 有很大的不同，最大的不同處為因應以物件為基礎的編碼方式而生的物件遮罩 (object mask) 之相關技術，包括了視訊切割 (video segmentation) 以及形狀編碼 (shape coding)，此外，以物件為基礎的編碼也衍生出許多不同於以往的高效率編碼系統，以 sprite 為基礎的編碼 (sprite coding) 就是其中的佼佼者，採用此種編碼方式可以在極低位元率下達成極佳的視訊品質。而對於 JPEG2000 的相關研究中，離散小波轉換為其核心運算，所以我們也對其有深入的研究。所以本年度計畫的成果可以分為此四部分來討論，分別是視訊切割之架構設計、形狀編碼之架構設計、以 sprite 為基礎的編碼系統、以及提昇式之離散小波轉換之架構設計。

首先是視訊切割技術 (Video Segmentation) 的架構設計，視訊切割技術可以把視訊資料中移動的物體標示出來，並且產生其相對的形狀資訊，為 MPEG-4 編碼系統中很重要的部分，我們在第一年的計畫中已經自行開發了一套新的視訊切割演算法，而在上一年的計畫之中，我們也提出了一個針對此演法之核心運算—形態學運算—所設計的中間值重覆利用 (Partial-Result-Reuse, PRR)

的架構，其可以在很低的硬體成本下達到極佳的生產率 (throughput)。在本年度的計畫中，我們提出了一個完整的視訊切割系統的硬體架構如圖一所示，整個系統分為灰階的部分和二元的部分，灰階部分的核心為用來去除影子的形態學梯度運算，此部分我們使用 PRR 的架構來實現，如圖二所示，而二元部分的核心為一個可程式化二元處理單元陣列如圖三所示，圖三中的每一個處理單元都可以程式化成四種不同的組態，對於不同的應用，我們可以改變此陣列的組態及執行迴圈數來達成系統的要求。整個架構可以放在一個單晶片中以實現單晶片之視訊切割系統或是整合於 MPEG-4 系統單晶片之中以提供物件編碼的功能。

在形狀編碼部分，MPEG-4 的形狀編碼系統方塊圖如圖四所示，其核心運算為二元移動估計 (Binary Motion Estimation) 和以內文為基礎的運算編碼 (Context-based Arithmetic Coding)，對於二元移動估計的架構，和材質移動估計的原理是相同的，但是有更多化簡的考量，我們提出了一個資料分配二元移動估計的架構 (Data Dispatch Binary Motion Estimation, DDBME) 如圖五所示，他的原理是把資料以一筆資料一個位元的方式，存在以位元組為最小單位的記憶體中，在做移動估計運算的時候，再一次讀出 32 位元，再把資料巧妙地分配在 16 個運算單元之上，如此一來就可以在記憶體大小和解碼器大小之間，取得一個最佳的平衡。對於以內文為基礎的運算編碼的部分，我們提出了一個延遲線模組架構 (Delay Line Mode, DLM)，如圖六所示，因為以內文為基礎的運算編碼在運算至每一個點時，都需要同時能存取到其週圍的點，所以使用延遲線是一個很可行的方法，另外又因為 MPEG-4 所定義的方塊大小是可變的，所以我們在延遲線上面加上一些多工器，就可以依需求而改變延遲線的長度。

以 sprite 為基礎的編碼方式是一個新一代的物件編碼技術，在此技術之中，背景的物件的資訊會被儲存於 sprite 記憶體之中，如圖七所示，在傳輸資料的時候，背景的部分只需傳輸一次，對於不同時間的畫面只要傳送整體移動估計參數和前景的資訊即可，使用此種編碼方式，可以達成在極低位元率的情況之下達成不錯的品質。在 sprite 編碼系統之中，關鍵的部分在於 sprite 的產生，而這個部分往往也是運算量最大的部分，針對這部分的運算，我們提出了兩種新的演算法，稱為畫面省略 sprite 產生法 (frame-skipping sprite generation) 和多 sprite 產生法 (multiple sprite generation)。前者如圖八(a)所示，在攝影機移動量不大的時候，畫面中出現的新資訊不多，處理這些畫面對 sprite 的產生並沒有多大的助益，反而會付出多餘的運算量，畫面省略 sprite 產生法會先偵測畫面中新資訊出現的比例，若少於一個水準，則略去不做，藉此能在維持 sprite 品質的前題之下提昇處理速度。多 sprite 產生法如圖八(b)所示，相對於原本使用單張 sprite，使用多張 sprite 可以在不增加運算的情況之下提昇運動模型的準確度，以達更好的視覺效果。

提昇式離散小波轉換 (discrete wavelet transform) 也是本年度計畫的重點之一。它也是 JPEG2000 中的核心運算，佔整體運算時間約 28%，而離散小波轉換的示意圖如圖九(a)所示。近年來所提出的提昇式 (lifting-scheme) 離散小波轉換因為其具有較低的硬體成本及記憶體需求，已經被廣為採用，它使用預測及更新的方法來替代原本濾波器形態的離散小波轉換，如圖九(b)所示。本年度的計畫我們提出了一個新穎的離散小波轉換架構，如圖十所示，這個架構使用了摺疊式 (folding) 的設計，和其他

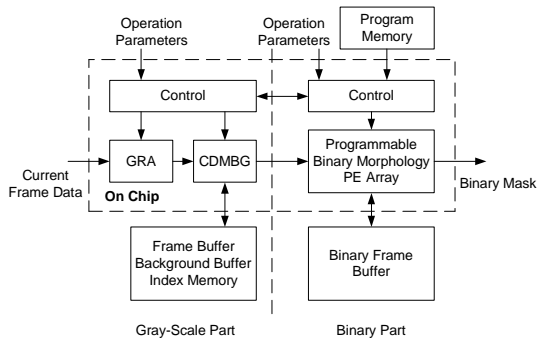
已提出的硬體架構相比，有較少的硬體成本。

結論

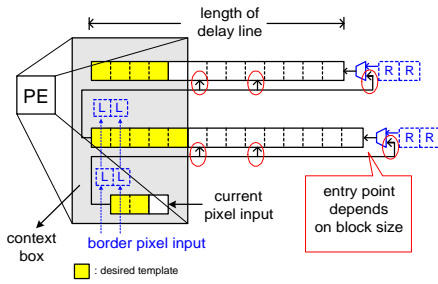
MPEG-4 和 JPEG2000 為最新的視訊及影像壓縮標準，根據此二標準，我們發現，高壓縮比並具有物件基礎的編碼功能，將是未來影像及視訊編碼的趨勢，而其所對應之核心技術就是離散小波轉換 (Discrete Wavelet Transform)、形狀編碼 (Shape Coding)、移動預測與補償 (Motion Estimation and Compensation)、影像切割 (Segmentation) 以及錯誤復原 (Error Resilience) 技巧。這些核心之系統及演算法的分析，以及其核心運算所對應之高效率硬體架構已大部分設計完成，可提供為多媒體、電腦及通訊等三大領域中軟硬體發展的重要參考資料。

參考文獻

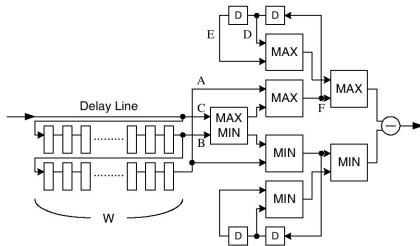
- [1] Thomas Sikora, "The MPEG-4 Video Standard Verification Model", *IEEE Transactions on CSVT*, vol 7, No.1, Feb 1997
- [2] MPEG Video Group, *The MPEG-4 Video Standard Verification Model version 18.0*, ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG11 N3908, 2001.
- [3] M. Vishwanath, R. M. Owens and M. J. Irwin, "VLSI Architectures for the discrete wavelet transform," *IEEE Trans. Circuit and Systems-II*, vol. 42, no. 5, pp. 305-316, May 1995.
- [4] IAN H. Witten, Radford M. Neal, and John G. Cleary, "Arithmetic Coding for Data Compression", *Comm. of ACM*, Vol. 30, No. 6, pp. 520-540, June 1987.
- [5] P.-C. Wu, L.-G. Chen, and T.-D. Chiueh, "Scalable Implementation scheme for multirate FIR filters and its application in efficient design of subband filter banks", *IEEE Trans. on CSVT*, Vol.6, No. 4, pp.407-411, August 1996.
- [6] MPEG Video Group, "Annex F: Preprocessing and Postprocessing," ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG11 N3056.
- [7] S.-Y. Chien, S.-Y. Ma, and L.-G. Chen, "Efficient moving object segmentation algorithm using background registration technique," *IEEE Transactions on CSVT*, vol. 12, no. 7, July 2002.
- [8] H.-C. Chang, Y.-C. Chang, Y.-C. Wang, W.-M. Chao, L.-G. Chen, "VLSI architecture design of MPEG-4 shape coding," *IEEE Transactions on CSVT*, vol. 12, no. 9, Sept. 2002.
- [9] C.-J. Lian, K.-F. Chen, H.-H. Chen, and L.-G. Chen, "Lifting based discrete wavelet transform architecture for JPEG2000," in *Proc. ISCAS2001*, May 2001.



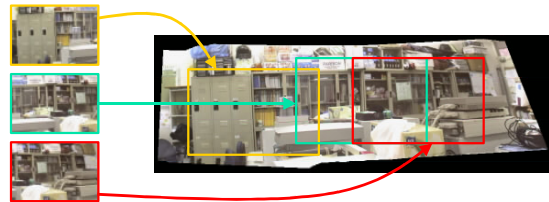
圖一、視訊切割系統硬體架構



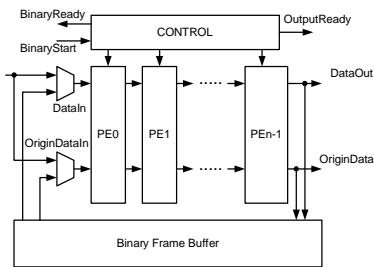
圖六、延遲線模組以內文為基礎之算術編碼器



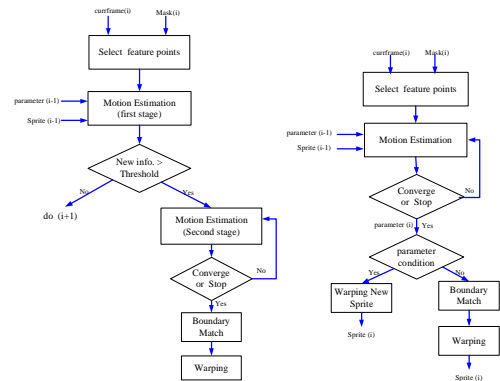
圖二、以中間值重覆利用架構實現之形態學梯度運算



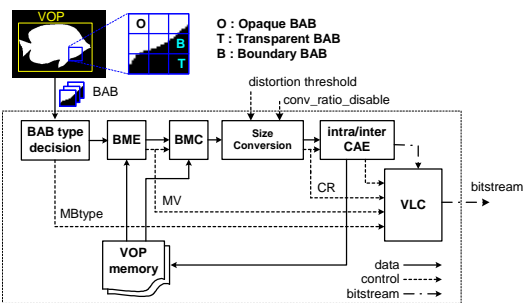
圖七、Sprite產生之示意圖



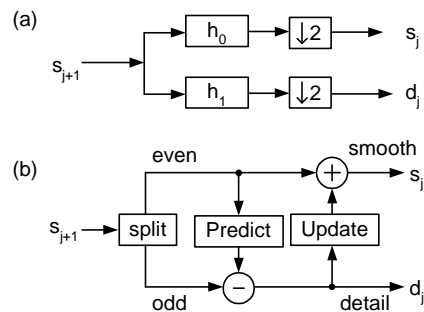
圖三、可程式化二元形態學處理單元陣列架構



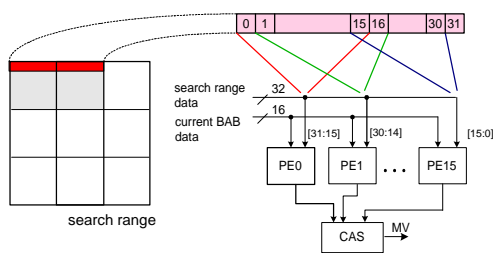
圖八、畫面省略sprite產生法和多sprite產生法之演算法流程圖



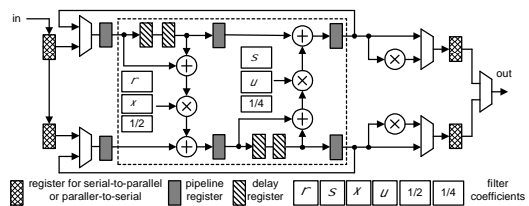
圖四、形狀編碼系統方塊圖



圖九、提昇式離散小波轉換示意圖



圖五、資料分配二元移動估計器



圖十、摺疊式架構