

多媒體訊號處理(II)(1/3)- 子計畫二

高效率視訊編解碼演算法及架構設計

High Efficiency Video Coding Algorithm and Architecture Design

計畫編號：NSC89-2213-E-002-161

執行期限：89/8/1 ~ 90/7/31

計畫主持人： 陳良基 教授 國立台灣大學電機所

摘要

由於多媒體、電腦及通訊的快速發展，這三大領域的交集已成為眾所矚目的焦點。而影像資訊由於其多樣性、高頻寬、以及即時處理的特性，更成為下一世紀發展之重心。根據JPEG-2000和MPEG-4的發展，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。在本計畫中，我們將根據過去的成果，配合JPEG-2000和MPEG-4之規範，研究適合硬體設計與實現之影像視訊處理法則及其架構。這其中考慮了離散小波轉換 (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) 的技巧。如何將以上技術以硬體實作為基礎之考量，並做適當的整合將是計畫的關鍵成果。在這一期計畫中，我們針對幾個運算量最大的核心技術有了深入的了解與分析，並提出了適合的硬體架構設計，包括了發展適合用於硬體實現的高效率自動視訊切割演算法及相關架構設計、視訊物件形狀的移動估計演算法及硬體架構設計、以及考慮物件形狀之MPEG-4 材質移動估計器的低功率架構設計。此外，除了系統的模擬，硬體的實現也是重要的一環，預期在下一期計畫中可以完成相關硬體之架構設計之實現與最佳化之演算法則。

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 Motion Estimation、Segmentation、Error Concealment 的有效及可程式化之硬體架構。

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，其中最核心、運算量最大的處理單元，就屬考慮物件形狀的材質移動估計器(Texture Motion Estimator)、形狀編碼(Shape Coding)、以及在編碼器前級的自動物件切割系統(Automatic Video Segmentation)。於是我們便針對這三個和以往視訊編碼技術有相當大的差別且運算量很大的部分進行硬體架構設計的考量。

首先是考慮物件形狀的材質移動估計器。MPEG-4 中的材質移動估計器和以往有很大的不同，首先是要支援物件為基礎的編碼，必須要能支援多邊形比對(Polygon Matching)的功能，也就是在計算差值絕對值總和(Sum of Absolute Difference, SAD)時要把形狀的資訊加權進去，此外，MPEG-4 也支援更多移動估計的功能，如無限制移動估計(Unrestricted Motion Estimation)、重疊方塊移動補償(Overlapped Block Motion Compensation)、先進預測模式(Advanced Prediction Mode)、動態解析度轉換(Dynamic Resolution Conversion)，以及四分之一精度的移動估計(Quarter Pixel)，也就是說，MPEG-4 的移動估計對應於不同的應用具有相當大的彈性。我們發展出一個以一維心臟跳動式陣列為基礎的移動估計電路架構，這種架構具有可模組化的性質，也就是可以依目標應用的不同組合模組來達到要求，同時也利用簡單的判斷機制來減少運算單元中不必要的電路切換，節省資料路徑上的功率消耗，此外，這個架構除了一般的模式外，還支援先進預測模式，同時輸出四個小區塊以及一個大區塊的移

動向量。我們提出的移動估計之系統方塊圖如圖一所示，左邊的 Reference Data Buffer 為一在晶片上的記憶體，把會重覆使用的部分參考畫面放在此記憶體中，可以有效的降低晶片和外部記憶器的資料頻寬，也可以使得內部的運算速度可以較快，不會受到記憶體的牽制，一次採取四個值進入運算單元陣列，此部分為傳統的一維心臟跳動式陣列，但我們另外考慮了模組化的方式來對應多變的 MPEG-4 視訊標準，如圖二所示，對於較大的方塊，我們可以並聯我們的處理單元模組來達成，而對於較大的搜尋範圍，我們可以串聯模組來達成，如圖三所示。

在形狀編碼部分，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)如圖四所示，他的原理是因為一般的記憶體多是以位元組為最小單位，若以一個位元組來存取一筆二元的資料，會形成記憶體的浪費，若使用以一個位元存一筆資料的特殊記憶體，則會形成記憶體解碼器的浪費，而在資料分配二元移動估計的架構之中，資料是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)，如圖五所示，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。二元移動估計器、以內文為基礎的算術編碼器，再加上可變長度編碼器，整個形狀編碼的架構已經完整了。

視訊切割技術(Video Segmentation)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，我們在上一期的計畫中已經自行開發了一套新的視訊切割演算法，此方法是以背景登記(Background Registration)和改變偵測(Change Detection)為基礎的演算法，其系統方塊圖如圖五所示，另外，我們也提出了一種影子的消除技術，可以被應用於處理光影變化的視訊資料。演算法測試的結果如圖六所示。分析之後，我們發現，此種視訊切割演算法運算量最大的部分就是形態學運算。針對形態學運算，他的特性和以內文為基礎的運算是很像的，兩者在運算時，都需要能同時取得在一個搜尋窗中（在形態學中稱為建構元件(Structuring Element)）其他點的資料，所以也可以用延遲線來實現，此外我們又發現此類運算有一種特殊的性質：在相鄰點的運算之間，不僅用以運算的資料會相互重覆，連運算本身，都會一再地出現，於是我們提出了一個中間值重覆利用的架構來實現形態學的運算，分析結果顯示此種架構比起其他架構來說，在硬體的使用上更有效率。對於 8x8 大小的建構元件所對應的硬體架構如圖七所示，用此種架構來實現形態學梯度運算的架構如圖八所示。

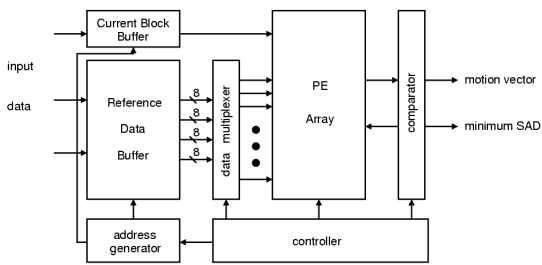
結論

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

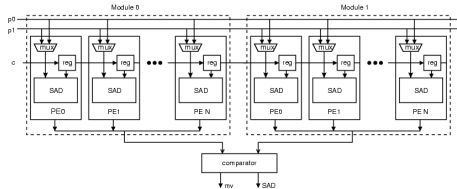
術就是離散小波轉換 (Discrete Wavelet Transform)、形狀編碼 (Shape Coding)、移動預測與補償 (Motion Estimation and Compensation)、影像切割 (Segmentation) 以及錯誤復原 (Error Resilience) 技巧。這些核心之系統及演算法的分析，以及其核心運算所對應之高效率硬體架構已大部分設計完成，可提供為多媒體、電腦及通訊等三大領域中軟硬體發展的重要參考資料。

參考文獻

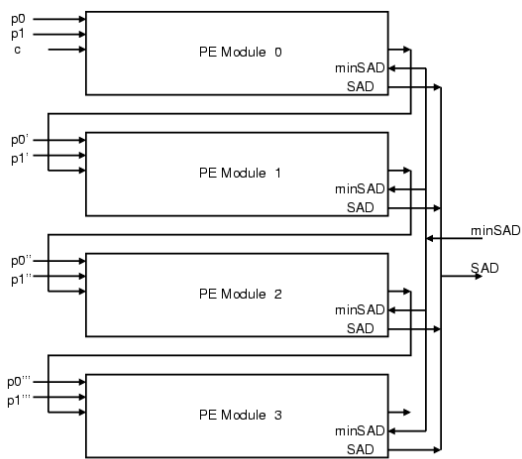
- [1] Thomas Sikora, "The MPEG-4 Video Standard Verification Model", IEEE Transactions on CSVT, vol 7, No.1, Feb 1997
- [2] "MPEG-4 Overview", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N1909, Oct 1997
- [3] "Overview of MPEG-4 functionalities supported in MPEG-4 Version 2", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N1914, Oct 1997
- [4] "MPEG-4 Video Verification Model Version 8.0", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG97/N1796, July 1997
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Y. K. Lai, L. G. Chen, "A Data-Interlacing Architecture with Two-Dimensional Data-Reuse for Full-Search Block-Matching Algorithm", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.8, No.2, pp124-127 April 1998.
- [8] 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 Circuits and Systems for Video Technology, Vol.6, No. 4, pp.407-411, August 1996.
- [9] MPEG Video Group, "Annex F: Preprocessing and Postprocessing," ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG11 N3056.
- [10] Roland Mech and Michael Wollborn, "A Noise Robust Method for 2D Shape Estimation of Moving Objects in Video Sequences Considering a moving camera," *Signal Processing*, vol. 66, pp.203-217, 1998.
- [11] Shao-Yi Chien, Shyh-Yih Ma, and Liang-Gee Chen, "An Efficient Video Segmentation Algorithm for Real-time MPEG-4 camera system," in *Proc. of Visual Communication and Image Processing 2000 (VCIP 2000)*, 2000.
- [12] Shao-Yi Chien, Shyh-Yih Ma, and Liang-Gee Chen, "A Partial-Result-Reuse Architecture and its Design Technique for Morphological Operations," in *Proc. of International Conference on Acoustic, Speech, and Signal Processing*, 2001.



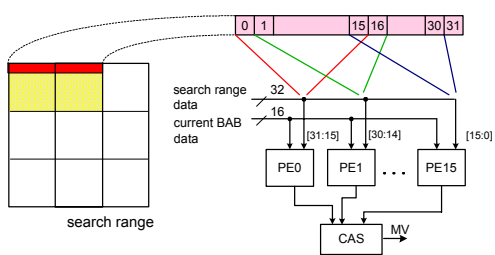
圖一、移動估計系統方塊圖



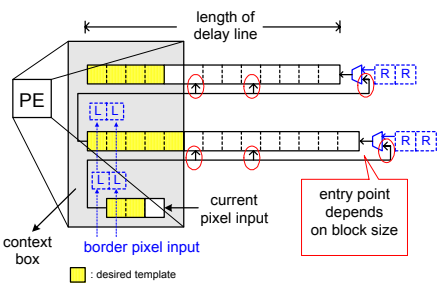
圖二、對應於較大方塊的架構



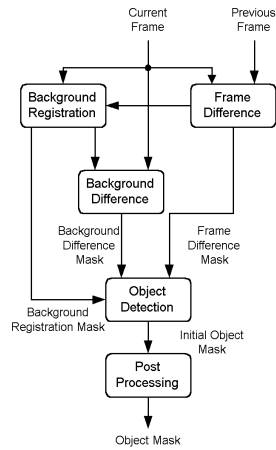
圖三、對應於較大搜尋範圍的架構



圖四、資料分配二元移動估計器



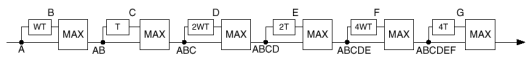
圖五、延遲線模組以內文為基礎之算術編碼器



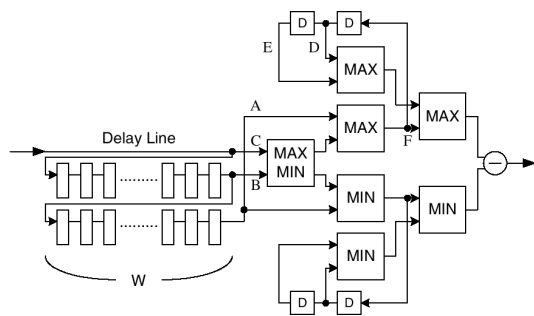
圖五、視訊切割系統方塊圖



圖六、視訊切割結果



圖七、以中間值重覆利用架構實現之8x8建構單元dilate形態學運算



圖八、以中間值重覆利用架構實現之形態學梯度運算