

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

次世代數位影音多用途光碟系統之光機電整合研究(III)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2213-E-009-110

執行期間： 88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

計畫主持人：吳炳飛 國立交通大學電機與控制工程學系
共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習之得報告一份

赴大陸地區出差或研習之得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告畫一份

執行單位：國立交通大學電機與控制工程學系

中 華 民 國 88 年 10 月 20 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

次世代數位影音多用途光碟系統之光機電整合研究(III)

The Integration in Optics ,Mechanics, and Electronics of Digital Versatile Disc Systems(III)

計畫編號：NSC 89-2213-E-009-110

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：吳炳飛 國立交通大學電機與控制工程學系

一、中文摘要

光碟機發展至今，其系統已有相當固定的架構及動作原理，新一代「次世代數位影音多用途光碟機」(簡稱DVD)系統與傳統之光碟機系統比較下，其光學特性有許多規格上的演進，因此其光電感測系統架構必然須重新評估設計。本研究計畫主要重點在將以往在光電元件設計及系統整合評估之經驗，進行DVD光學架構特性探討，並對聚焦循軌伺服機構各次系統及致動器音圈馬達特性加以分析研究，同時導入繞射元件及積體光學的設計法則。本計畫研究成果包含開發出以新理論進行繞射元件設計之方法，並依分析DVD規格完成聚焦循軌補償器之設計流程，

在光碟機的存取時序上，主軸伺服在整個存取時間上扮演相當重要的角色，而且隨著倍速的提昇，主軸伺服變換的時間便跟著增長，所以，為了減少主軸馬達變換轉速的時間及穩定時轉速的精準，在本計劃中，我們提出模糊控制加上鎖相迴路的混合控制器，希望能達成上述的目的。

本研究重點為設計驅動電路的補償電流來減少光碟機主軸馬達的轉矩漣波，以增加光碟機之讀取效率。首先，建立馬達的靜態和動態的模型以分析光碟機主軸馬達的特性，然後利用光碟機主軸馬達的動態模型來模擬高速操作下馬達的反電動勢波形。其次，利

用反電動勢波形和由驅動電路所量測到的電流來模擬及觀察馬達的轉矩漣波。為了減少轉矩漣波，我們研發了一個補償電路來產生能夠用來減少馬達振動和噪音的合成電流。此補償電路能夠大大地提升光碟機主軸馬達的轉度，增加光碟機之讀取效率。

算術編碼法的壓縮技術，已經被廣泛的應用到工業界許多標準規格上，如JPEG2000、JBIG、JBIG2，然而算數編碼法在實作上，卻有其潛在的困難，由於算術編碼法所採用的編碼方式，是採取依符號出現的機率，做一連串子區間的切割，因此有限長度的精確度、運算複雜度及累積次數統計所需花費龐大記憶體...等，都造成算術編碼法在實作上無法容易實現的主要原因。基於此，本研究將針對適應性多符號算術編碼法，提出有限歷史長度加權模型的機率模型，來解決適應性算術編碼法在實作時，需使用龐大記憶體的缺點，並進一步的將 Coding Pass 中，計算複雜且費時的除法器避免，以加速編解碼速度的提升，並進而實現在VLSI Chip上。我們以TSMC 0.35um 1P4M CMOS的製程，實際製作出一顆晶片，經TimeMill的量測，其最大操作速度可到達66.7 MHz，晶片面積為4.82 x 4.82 mm²，功率損耗為0.58 W。

關鍵詞：次世代數位影音多用途光碟機、聚焦循軌伺服控制、光電訊號感測、繞射元件、主軸馬達模糊控制

二、DVD 現況

DVD— 它是數位式多用途光碟片 (Digital Versatile Disc) 的縮寫— 也是儲存科技的代言人。它的資料傳送速度比一般的 CD ROM 更快, 而儲存的資料也比一般的 CD ROM 更多。一片 DVD 碟片最多可以儲存 17GB 的資料, 它可以儲存各種資料, 聲音甚或是影像。它的用途很廣, 舉凡是娛樂, 電腦, 商業資訊或是遊戲都可以藉由它來做絕佳的儲存媒介。DVD 在未來將會取代音樂 CD, 錄影帶, LD, CD-ROM 以及遊戲的包裝。屆時 DVD 將會被普遍應用在主流的電子產業, 電腦生產廠商以及電影工業中。由於其史無前例的支援特性, 使得它搖身一變成為數位資料儲存媒體的新標準。

DVD 則單面就有 4.7GB 的容量, 為 CD 的 72 倍。但由於 DVD-ROM 價格一直居高不下, 所以目前和個人電腦的搭配率並不高。但預計台灣在關鍵零組件的技術方面可以全面突破, 屆時由於台灣廠商具低成本的競爭優勢, DVD-ROM 的價格將會更低廉, 並逐漸地完全取代 DVD-ROM。在目前台灣的光碟機產量佔全世界的 23%。

光學讀取頭 (Pick-up Head) \ IC 晶片組 (Chipsets) \ 轉動馬達 (Spindle Motor) 是 DVD 生產的三大關鍵零組件。台灣由於有半導體工業的基礎, 所以晶片組的技術半年就可突破; 而轉動馬達的技術本來就不會很困難, 將可解決。

最困難的則是光學讀取頭, 但台灣有光電所的研發努力, 和政府的支持, 所以預計在一年半就可解決這方面的技術難題。由於台灣的生產成本比日本美國都低很多, 這也是台灣最大的競爭優勢。

在光碟機的研究當中, 如何增加光碟機的資料讀取速度與減少平均讀取時間是研發之中最主要的考量。本計劃是針對光碟機主軸馬達的驅動技術設計驅動電路補償電流來減少光碟機主軸馬達的轉矩漣波, 以增加光碟機之讀取效率。一般來說, 光碟機主軸馬達使用直流無刷馬達的原因不外乎它優異的加速度特性、好的速度/轉矩特性及轉速容易控制等特性。除此之外, 直流無電刷馬達亦有噪音低和有良好的熱耗散等優點。在硬體架構中, 直流無電刷馬達的架構類似一個直流永磁馬達。這個架構是用線圈定子及一個永久磁鐵的轉子所組成。直流無刷馬達的線圈電流是經由電力電子來切換而非經由機械換向器轉換。因此, 直流無刷馬達提供高電力密集度、高可靠性和高效率。

三、計畫成果

(1) 無需除法器及低記憶體使用率的適應性多符號算術編解碼晶片 (WLPAC)

圖 1 為編解碼晶片的系統方塊圖, 依照其電路動作的特性分類為 3 個區塊, 分別為: 一、控制路徑 (Control Path), 主要負責整個編解碼流程中的狀態控制, 提供資料路徑及輸出/入路徑中所需的控制訊號, 另外在此控制路徑上, 加上了測試時的考量, 以便將整個編解碼晶片的狀態及內部訊號抓出來觀測; 二、資料路徑 (Data Path), 負責整個編解碼流程中, 資料的運算及儲存; 三、輸出/入路徑 (I/O Path), 由於算術編碼法在資料路徑上, 資料處理的時間是不定時的, 因此在輸出/入端, 以非同步傳輸的方式, 做資料的輸出/入介面。

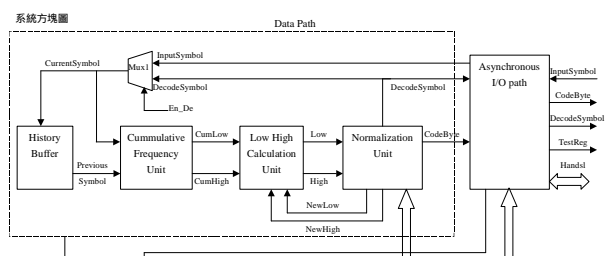


圖 1 編解碼晶片的系統方塊圖

在經過 Verilog-XL、TimeMill、PowerMill 的模擬和 DRACULA 的驗證後，將我們所開發的晶片(圖 2)以下的整理：

- } 使用台積電 0.35-um 1P4M CMOS 的製程
- } 最大操作頻率為 66.7 MHz
- } 最大功率損耗為 580.47mW
- } 內建 240 Bytes 單一輸出埠非同步靜態存取記憶體
- } 總邏輯閘數為 65160 個
- } 核心面積為 3.07 mm x 3.07mm
- } 晶片總面積為 3.86 mm x 3.86 mm
- } 具即時處理能力的高壓縮率適應性算術編碼晶片
- } 採用新的機率統計模組，節省大量大記憶體需求
- } 歷史緩衝區的使用，不需使用除法器
- } 輸入為多符號(multi-alphabet)的資料
- } 具非同步傳輸介面
- } 具有編碼及解碼的功能
- } 採取 80 Pin 的 CQFP 封裝，使用的接腳有 75 Pin
- } 提供三種測試模式，可分別測試內部控制電路、解碼符號搜尋電路、正規化單元的輸出情形

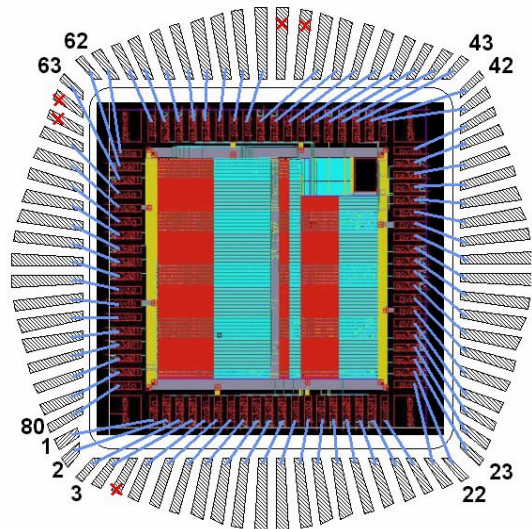


圖 2 80 Pin CQFP 包裝模擬結果

可以看出 WLPAC 晶片其編解碼的速度，有大幅的提升，雖然晶片的操作速度只有 66.7 MHz，其編碼速度可以比 K6-III 400MHz 最快可提升到 14.82 倍之多，比 PII 450MHz 最快可以提升到 13.34 倍之多；而解碼端的速度同樣的也有大幅的提升，其解碼運算速度最快可以比 K6-III 400MHz 提升到 7.64 倍之多，比 PII 450MHz 提升 6.47 倍，而其平均編解碼的平均速度提升，如圖 3、圖 4。圖中，將 K6-III 400MHz 的平均時間的倒數設為 1 個單位，來計算 WLPAC Chip 在編解碼時，速度提升的倍數。

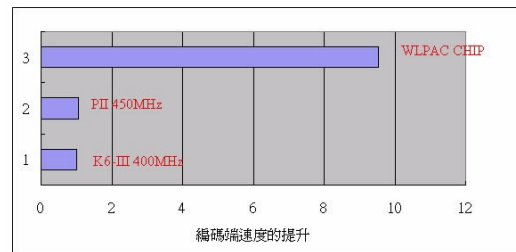


圖 3 WLPAC CHIP 編碼速度的提升

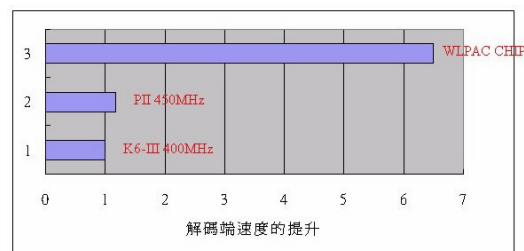


圖 4 WLPAC CHIP 解碼速度的提升

(2) 驅動電路的補償電流以減少光碟機主軸馬達的轉矩漣波，增加光碟機之讀取效率

在光碟機的研究當中，如何增加光碟機的資料讀取速度與減少平均讀取時間是研發之中最主要的考量。本計劃是針對光碟機主軸馬達的驅動技術設計驅動電路補償電流來減少光碟機主軸馬達的轉矩漣波，以增加光碟機之讀取效率。一般來說，光碟機主軸馬達使用直流無刷馬達的原因不外乎它優異的加速度特性、好的速度/轉矩特性及轉速容易控制等特性。除此之外，直流無刷馬達亦有噪音低和有良好的熱耗散等優點。在硬體架構中，直流無刷馬達的架構類似一個直流永磁馬達。這個架構是用線圈定子及一個永久磁鐵的轉子所組成(參見圖 5)。直流無刷馬達的線圈電流是經由電力電子來切換而非經由機械換向器轉換。因此，直流無刷馬達提供高電力集中度、高可靠性和高效率。直流無刷馬達的典型系統方塊圖如(圖 6)所示。為了將直流電源轉換成交流電源，我們可以利用轉子位置來定出切換時序以達到換向之效果。

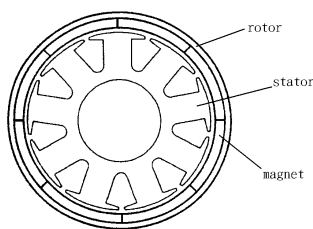


圖5 無刷主軸馬達的架構

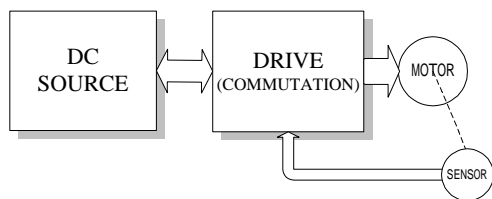


圖6 無刷馬達的簡單方塊圖

一般而言，利用矩形或弦波型式的電流來驅動一個直流無刷馬達，其轉矩漣波可能在旋轉盤中引起噪音和振動，因而降低速度控制方面的效能。從馬達的轉矩特性觀點而言，減少轉矩漣波的方法有二：一個是透過改變磁場特性；另一個是透過改變輸入電流波形。換句話說，我們能夠經由設計不同的磁場架構或是透過改變輸入線圈的電流波形來補償馬達的磁場。現今，用於光碟驅動的直流無刷馬達其磁場架構大致上以經固定。在本文中，介紹反電動勢波形的電腦分析(圖7及圖8)，並且探討輸入電流，磁場和轉矩之間的關係。在考慮這些關係後，我們設計出一個補償電路以產生合成電流來減少轉矩漣波，而且這個補償電路是可以很容易整合到驅動晶片中。

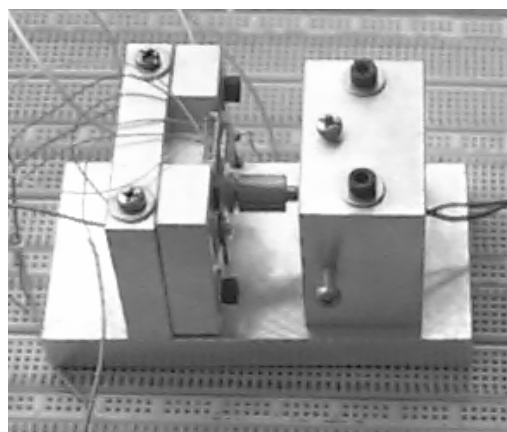


圖7 反電動勢測量的實驗

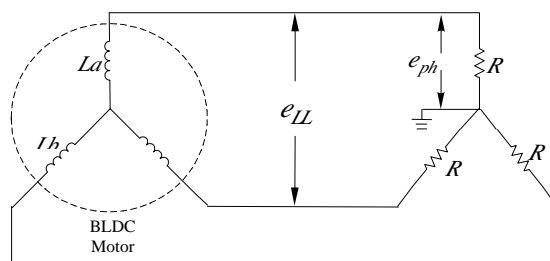


圖8 反電動勢測量的等效電路

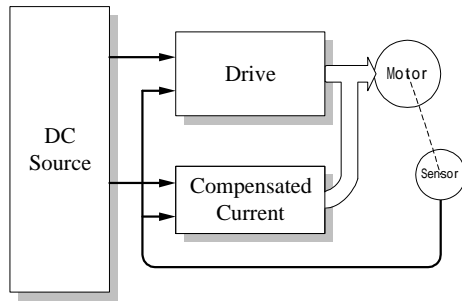


圖9 改良的無刷馬達系統方塊圖

在本文中，研發了一個從三相直流無刷馬達的驅動電路外部提供所設計的補償電流(圖9)。這個補償電流提供一個可以實際減少轉矩漣波的方法，使一般驅動器的轉矩漣波從10.8%減少為2.7%。在實際光碟機的主軸馬達應用方面，轉矩漣波的減小能夠除去振動、噪音和改進伺服控制方面的精確度。另外，本研發之補償電路不需要更換原本的驅動電路，故可以減短研發之時程。在未來的研究方面，補償電流電路和原本驅動電路將被整合在一起並且可以提供有效的電流控制。

(3)DVD 繞射元件設計

在系統整體架構方面，現有各大廠商之DVD光電感測機構由傳統式體積、重量較大的分散式光學元件組成架構逐漸採用微光光學元件(Microoptics)及積體光電元件的組合。其優點在於體積小，重量減輕，讀取性能增加，並能降低成本。其代價則是在製作上需要精密的加工技術。繞射元件即為一種存相位式的微光學元件，Dammann最早提出如何設計傅氏平面的表面蝕刻光學繞射元件，元件本身由週期性蝕刻柵紋所組成，經由光的照射可在透鏡後的傅氏平面上獲得想要的光度分佈。其設計過程採用複雜的數值計算，

目前的研究趨勢是藉由光學繞射理論以電腦模擬方式設計純相位光柵，並採用VLSI技術的罩幕(masking)與蝕刻(etching)方式製

作出微光學元件。由於繞射元件可事先利用電腦設計所需的樣式，再以積體電路製作方式使體積縮小，因此以這種方式製作元件既簡單又可實現大量生產的目的，同時此類元件可產生微小且複雜的對稱及非對稱光影圖案，且能進行一對多或多對多的光學信號傳遞，解決一些較複雜的光點成像，適用於許多先進的系統上，例如巢狀超立方體(cellular hypercube)交連圖形的光學交連系統(optical interconnection system)空間傳遞的光平行計算系統(optical parallel computing system)、類神經網路系統(analog neural networks)以及光纖通訊(fiber communication)等。

設計非對稱光學繞射元件的製作方法已有許多文獻提出討論，目前最常被用以設計此類元件且較快得到元件效率的方法，首推疊代式傅氏轉換法(iterative fourier transform algorithm; IFT)。但在許多系統應用上，繞射元件主要是擔任資訊傳輸或調變的用途，所以各階繞射光點間強度的均勻度及光點強度是否能依特定比例分佈是較繞射效率來的重要，然而疊代式傅氏轉換法在這些方面較缺乏控制能力。因此本計畫中首先應用IFT法設計出一個範本元件，再另外採用「均值互補法」之動態修正技術來重新設計繞射元件，希望達到輸出光點間強度平均值的改善。至於可變強度控制之繞射元件設計，我們則是以「單點修正法」及「動態加權函數」來設計一個灰階繞射光學元件，如圖10所示，用以證明本計畫所提出之法則可達到元件輸出強度依比例分佈的目的。

其次，在IFT設計法則中，如果要產生非對稱成像光點，我們必須增加元件的相位階度(phase level)，通常設計成四階以上。但此舉卻增加了元件蝕刻的次數，不但在製作時易產生校準誤差(adjusting error)，同時提高了製作成本。為此本計畫研發出一

種新的演算法則：疊代離散式分數傅氏轉換法 (iterative discrete fractional fourier transform ; IDFRT)。新的設計法則具有 IFT 的快速演算特性，但卻能設計出成像距離可變動的 Fresnel 繞射元件，如圖 11 所示。最重要的是，新法則能以二階相位繞射元件達到非對稱成像光點的目的。

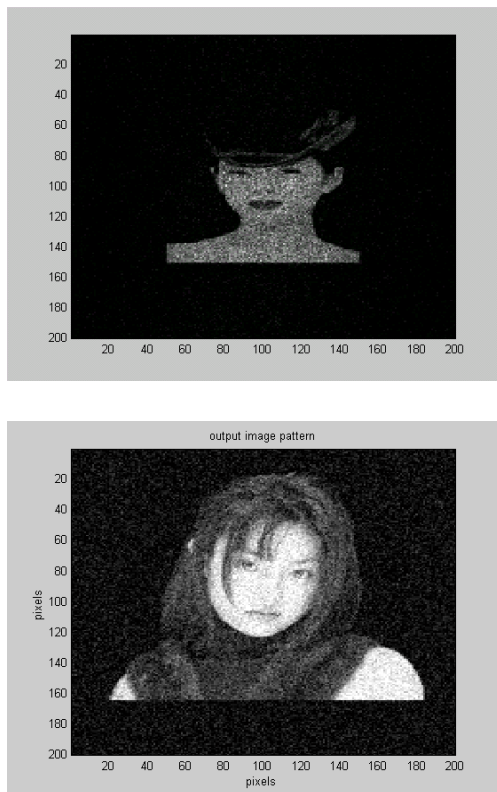
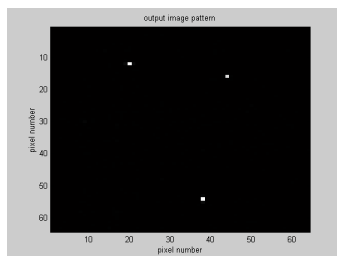
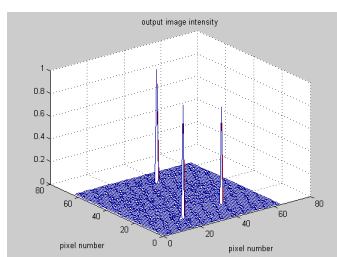


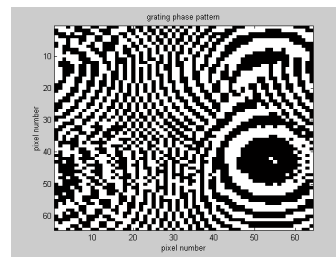
圖 10 繞射元件灰階成像圖



(a) 二維影像



(b) 三維強度分佈圖



(c) 相位分佈示意圖

圖 11 IDFRT 演算法設計中場 (mid-field) 效應的二元相位元件

四、結論

根據 2000 年 6 月份光訊雜誌之統計資料顯示，隨著全球經濟景氣的好轉，世界光電產業也呈現出更為強勁的復甦氣象，1999 年世界光電市場規模約估為 1417 億美元，較 1998 年 1224 億美元的市場規模成長了 15.7%，在高科技產業族群中表現十分突出。光儲存市場則以 317 億美元，22.3% 的市場佔有率居第二位，其中光碟機市場規模為 264 億美元。雖然 CD-ROM 光碟機已經出現負成長現象，但是眾所矚目的 DVD 世代交替效果卻有延遲進展的趨勢，反而在 DVD Player 方面可看出倍數式的成長，使得產品結構有了較大的變化。

本計畫執行經由對 DVD 伺服系統各部份的瞭解及分析，根據系統所需的穩定性、頻寬等求出適當的參數設計出動態補償器以完成整個聚焦循軌架構的設計，並在光學機制上發展出以繞射理論設計能產生複雜光點之二元純相位繞射元件，以作為發展新式光學讀取架構之基礎，綜合成果如下：

1. 發展出以疊代編碼法、模擬退火法、及疊代式分數傅氏轉換法則來設計分佈強度可控制之繞射元件。現階段可用於三光束循軌法之應

- 用，未來則可發展雙焦點之繞射元件供 DVD 雙焦點架構使用。
2. 分析出聚焦及循軌伺服系統的補償器設計規格，其中包括系統頻寬上下限、低頻及共振頻增益、以及相位餘裕及增益餘裕值。
 3. 將量測數據加以系統判別法則處理後將聚焦系統及微調循軌致動器系統降為二階系統，粗調循軌致動器系統則化為雙積分系統，再依規格完成補償器設計。

展望未來，雖然 DVD 在現今市場產值及普遍率仍有限，不過已呈現相當的成長幅度，未來的發展值得期待。藉由此計畫的執行，已對關鍵技術有進一步的掌握及研發成果，並經由計畫執行中培育出碩博士級光碟機系統設計人才，對我國光儲存科技產業有相當之助益。

五、參考文獻

1. M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," IEEE Trans. Image Processing, vol. 1, pp. 205-220, April 1992.
2. S. Mallat, "Multifrequency channel decomposition of images and wavelet models," IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing, Vol.37, pp.2091-1989.
3. S. A. Martucci, "Symmetric convolution and the discrete sine and cosine transforms," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 42, no. 5, pp. 1038-1051, May 1994.
4. J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelets coefficients," IEEE Transactions on Signal Process. 41. 3445-3462, 1993.
5. A. Said and W. A. Pearlman, "A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees," IEEE Transactions on Circuits Systems Video Technol. 6(3), 243-250, 1996.
6. Taubman, D, "High performance scalable image compression with EBCOT," Image Processing, 1999. ICIP 99. Proceedings. 1999 International Conference on Volume: 3, 1999, pp. 344-348.
7. P. G. Howard, "Text image compression using soft pattern matching," Computer Journal, 40(2/3): 146-156, 1997.
8. R. C. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital Image Processing", Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1992, pp.348-349
9. Khalid Sayood, "Introduction to Data Compression" University of Nebraska at Lincoln, Morgan Kaufmann Publishers, Inc. Jan. 1996
10. I. H. Witten, R. M. Neal, and J. G. Cleary "Arithmetic Coding for Data Compression" Communications of the ACM, vol. 30(6), pp. 520-540, June 1987
11. C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," Bell Syst. Tech. J. 27, 379 (1948)
12. P. Elias, in N. Abramson, "Information Theory and Coding", McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1963.
13. J. J. Rissanen, "Generalized Kraft inequality and Arithmetic Coding," IBM J. Res. Develop. 20 198(1976)
14. R. C. Pasco, "Source Coding Algorithms for Fast Data Compression,," Ph.D. Thesis, Department of Electrical Engineering, Stanford University, Stanford, CA, May 1976
15. J. Rissanen and G. G. Langdon, Jr. "Arithmetic Coding" IBM Journal of Research and Development, vol. 23(2), pp. 149-162, Mar. 1979
16. J. Rissanen and G. G. Langdon, Jr. "Universal Modeling and Coding" IEEE Transactions of Information Theory, vol. IT-27(1), pp. 12-33, Jan. 1981
17. G. G. Langdon, Jr., and J. Rissanen, "Compression of Black-White

- Images with Binary Arithmetic Coding” IEEE Transactions of Communications, vol. COM-29, pp. 857-867, June 1981
18. G. G. Langdon and J. Rissanen “A Simple General Binary Source Code” IEEE Transactions of Information Theory, vol. IT-28(5), pp. 800-803, Sep. 1982
 19. G. G. Langdon, Jr. “An Introduction to Arithmetic Coding” IBM Journal of Research and Development, vol. 28(2), pp. 135-149, Mar. 1984
 20. P. G. Howard and J. S. Vitter “Analysis of Arithmetic Coding for Data Compression” Proceedings of Data Compression Conference, DCC’91., pp 3-12, 1991
 21. P. G. Howard and J. S. Vitter “Arithmetic Coding for Data Compression” Proceedings of the IEEE, v. 82(6), pp. 857-865, June 1994
 22. Bart Vanhoof, Mercedes Peon, Gauthier Lafruit, Jan Bormans, Lode Nachtergaele and Ivo Bolsens “A Scalable Architecture for MPEG-4 Wavelet Quantization” Journal of VLSI Signal Process Systems for Signal, Image, and Video Technology Vol. 23, No. 1, pp. 93-107, October 1999
 23. M. Ghanbari, “Arithmetic Coding with Limited Past History” Electronics Letters, 20th June 1991, Vol. 27, No. 13
 24. J. Rissanen and K. M. Mohiuddin “A Multiplication-Free Multialphabet Arithmetic Code” IEEE Transactions on Communications, vol. 37(2), pp. 93-98, Feb. 1989
 25. Alistair Moffat, Neil Sharman, Ian H. Witten, Timothy C. Bell, “An empirical evaluation of coding methods for multi-symbol alphabets” Data Compression Conference, 1993, DCC’93., 1993
 26. X. Xue and W. Gao “High Performance Arithmetic Coding for Small Alphabets” Proceedings of Data Compression Conference, DCC ’97., pp. 477 ,1997
 27. L. Wall, K. Ferens, and W. Kinsner, “Real-Time Dynamic Arithmetic Coding for Low Bit-Rate Channels” Proceeding of the IEEE Data Compression Conference, pp. 381-391, 1993
 28. S. R. Kuang, J. M. Jou and Y. L. Chen, “The Design of an Adaptive On-Line Binary Arithmetic-Coding Chip” IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, vol. 45(7), pp. 693-706, July 1998
 29. X. Xue and W. Gao, “Arithmetic Coding with Improved Solution for the Carry-over Problem” Proceeding of Data Compression Conference, DCC ’97., pp. 476, 1997
 30. W. B. Pennebaker, J. L. Mitchell, G. G. Langdon, Jr. and R. B. Arps “An overview of the basic principles of the Q-Coder adaptive binary arithmetic coder” IBM Journal of Research and Development, vol. 32(6), pp. 717-726, Nov. 1988
 31. J. L. Mitchell and W. B. Pennebaker “Optimal hardware and software arithmetic coding procedures for the Q-Coder” IBM Journal of Research and Development, vol. 32(6), pp. 727-736, Nov. 1988
 32. W. B. Pennebaker and J. L. Mitchell “Probability estimation for the Q-Coder” IBM Journal of Research and Development, vol. 32(6), pp. 737-752, Nov. 1988
 33. J. L. Mitchell and W. B. Pennebaker “Software implementations of the Q-Coder” IBM Journal of Research and Development, vol. 32(6), pp. 753-774, Nov. 1988
 34. B. B. Arps, T. K. Truong, D. J. Lu, R. C. Pasco and T. D. Friendman “A multi-purpose VLSI chip for adaptive data compression of bilevel images” IBM Journal of Research and Development, vol.

- 32(6), pp. 775-795, Nov. 1988
35. G. G. Langdon, Jr. "Probabilistic and Q-Coder Algorithms for Binary Source Adaptation" Data Compression Conference, DCC'91, pp. 13-22, 1991
 36. B. Fu and K. K. Parhi "Generalized Multiplication-Free Arithmetic Codes" IEEE Transactions on Communications, vol. 45(5), pp. 497-501, May 1997
 37. B. Fu and K. K. Parhi "Generalized Multiplication Free Arithmetic Codes" 1995 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS '95., vol. 1, pp. 437-440, 1995
 38. B. Fu and K. K. Parhi "Two VLSI Design Advances in Arithmetic Coding" 1995 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS '95., vol. 2, pp. 1440-1443, 1995
 39. H. Printz and P. Stuble "Multialphabet Arithmetic Coding at 16 Mbytes/sec" Proceedings of Data Compression Conference, pp. 128-137, Mar. 1993
 40. H. Y. Lee, L. S. Lan, M. H. Sheu and C. H. Wu "A Parallel Architecture for Arithmetic Coding and Its VLSI Implementation" IEEE 39th Midwest symposium on Circuits and Systems, vol. 3, pp. 1309-1312, 1996
 41. M. Peon, R. R. Osorio and J. D. Bruguera "A VLSI Implementation of an Arithmetic Coder for Image Compression" Proceedings of the 23rd EUROMICRO Conference New Frontiers of Information Technology, EUROMICRO 97, pp. 591-598, 1997
 42. Jeff Kordik, "Computer Modeling and Analysis of Brushless DC Motors with Skewed Rotor Magnets". *Incremental Motion Control System and Devices*, pp.17-24, 1990.
 43. T. Nakata, N. Takahashi and K. Uehara, "Analysis of Magnetic Characteristics of A Brushless DC Motor Taking into Account the Distribution of Magnetization", *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol. May-22, No.5, 1986, pp.1084-1086.
 44. J. Y. Hung, and Z. Ding, "Design of currents to reduce torque ripple in brushless permanent magnet motors", *IEE Proc. B*, Vol. 140, No. 4, 1993, pp. 260-266.
 45. "Electro-Craft Handbook", Fifth Edition, August 1980.
 46. JHE Miller, "Definition of κ_T and κ_E for Brushless DC Motors", *Incremental Motion Control System and Devices*, 1992, pp.87-96.
 47. Renato Carlson, Michel Lajoie-Mazenc, and Joao C., "Analysis of Torque Ripple Due to Phase Commutation in Brushless dc Machines", *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol.28, No.3, 1992, pp.632-638.
 48. Carsten-Sunke Berendsen, Gerard Champenois, and Alain Bolopion, "Commutation Strategies for Brushless DC Motors: Influence on Instant Torque", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.8, No. 2, 1993, pp.231-236.
 49. Hoang Le-Huy, Robert Perret, and Rene Feuillet, "Minimization of Torque Ripple in Brushless DC Motor Drive", *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol.22, No.4, 1986, pp.748-755
 50. 楊玟萍, CD-ROM 型光碟機產業現況分析, 光電資訊, 第 27 期, 民國 84 年 9 月。
 51. 工研院光電所光碟機資料(1)-(3), 1994 年人才培訓講義。
 52. 經濟部工業局八十五年度工業技術人才培訓計畫講義, 民國 84 年 11 月。

53. 工研院光電所 DVD 資料 , 1994 年人才培訓講義。
54. “DVD: The inside story,” Sony. [Http://www.sel.sony.com/](http://www.sel.sony.com/)
55. 喬作文等, *光學頭光學系統研究報告*, 工研院光電所資料 , 1996。
56. 資訊零組件雜誌, 1995, 12 月份。
57. 邵元慶著, *光碟的世界, 第三波*, 1995。
58. 黃德容著, *光碟機技巧徹底研究*, 第三波, 1995。
59. 張宗凱等, *DVD 光學頭致動器研究報告*, 工研院光電所資料 , 1996。
60. 陳宏年等, *微小型光學頭元件*, 工研院光電所資料 , 1996。
61. 謝漢萍, *高記錄密度碟片之伺服系統的研究*, 計畫期中報告 , 1996。
62. 王崢嶸, *DVD 問世在即, 產業整裝待發*, 光訊雜誌, 第 60 期, 民國 84 年 8 月。
63. 任所之, *數位影碟的循軌*, 光訊雜誌, 第 60 期, 民國 84 年 8 月。
64. Merchant, Optical Recording technical overview, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Mass., 1990.
65. Braat, Bowhuis, et. al., Principles of Optical Disk Systems, Adam Hilger Ltd. Publisher, Boston, SA, 1985.
66. Braat and Bowhuis, “Position sensing in videodisk readout,” Appl. Opt. 17, pp.2013-2021, 1978.
67. Musha et. Al., “Optical head for digital audio disks,” Proc. SPIE, vol. 329, pp.48-55, 1982.