

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 數位視訊傳輸系統之超大型積體電路架構設計與製作 (I)

### VLSI Architecture Design and Implementation of Mixed Mode Analog Front-End Signal Processor for Digital Video Transmission (I)

計畫編號：NSC 88-2215-E002-042

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：汪重光 執行機構及單位名稱：國立台灣大學電機系

#### 一、中文摘要

本文介紹一用於纜線調變解調器之雙模正交振幅調變/殘邊帶調變超大型積體電路架構以解決末端迴路瓶頸的問題。為了提供給正交振幅調變與殘邊帶調變兩種模式的實體層同步，將採用經等化過的通道之決策導向方式來設計符號時序與載波恢復系統。藉由使用基於最小均方多層盲等化演算法，整個系統於以下的環境下執行有限字長模擬： $\pm 6\text{kHz}$  載波頻率偏移， $\pm 200\text{ppm}$  符速率偏移，距載波  $20\text{kHz}$  遠處有  $-82\text{dB}$  的載波浮動，以及在類比數位轉換器輸入有  $37\text{dB}$  的信號雜訊比。

**關鍵詞：**正交振幅調變/殘邊帶調變、纜線調變解調器、實體層同步、決策導向、最小均方、盲等化、有限字長

#### Abstract

This project proposes a dual-mode QAM/VSB transceiver VLSI architecture of cable modems to solve the bottleneck of the last-mile loops. In order to perform physical layer synchronization for both QAM and VSB modes, decision-directed methods are adopted using equalized channel for both symbol timing and carrier recoveries. Using the multi-stages LMS-based blind equalization algorithm, finite word-length simulations of full system were conducted under the conditions of  $\pm 6\text{kHz}$  carrier frequency offset,  $\pm 200\text{ppm}$  symbol-rate offset,  $-82\text{dB}$  carrier jitter at  $20\text{kHz}$  away from the carrier frequency, and  $37\text{dB}$  SNR at ADC input.

**Keywords:** QAM/VSB, cable modem, synchronization, decision-directed, LMS, blind equalization, finite word-length

#### 二、計畫緣由與目的

由於數位通信和超大型積體電路技術的快速成長，用戶端之寬頻網路設施之需求已不斷的在提升。因此在 1996 年 Telecommunication Deregulation Act 同意電話與有線電視業者可以在寬頻設施，如家庭購物、線上互動式影像與電玩、遠距教學、電子商務等，進行競爭。在有線電視方面，混合光纖/同軸電纜(HFC)的技術已被使用以提升局部區域存

取網路之傳輸率。此種技術因其寬頻和高成本效率的特性吸引了有線電視公司和設備業者。

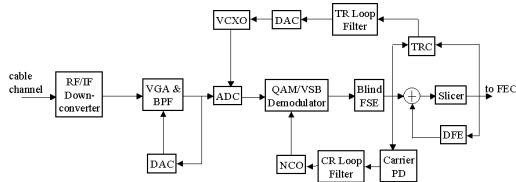
傳統上有線電視網路提供了低成本單向廣播，其信號是根據 NTSC 類比電視規格，每個頻道分布  $6\text{MHz}$  的頻寬。未來家庭式纜線資料傳輸設施將提供寬頻和網際網路的功能，而在光纖網路單元至家庭這一段的同軸電纜連接將是寬頻設施主要的考量。其中最重要的便是如何設計一高速的數位有線電視接收器。美國之 ATSC 已制定採用現行之 VSB 傳統類比 NTSC 電視之頻寬。而在數位電視廣播於 HFC 網路的調變技術中，正交振幅調變(QAM)與殘邊帶調變(VSB)是兩大競爭之技術。Grand Alliance(GA)採用了由 Zenith 在 terrestrial ATV 廣播所提的 VSB 傳輸模式，因其具有較 QAM 好的測量結果。另一方面，MCNS、DAVIC 之工業界團體和 IEEE 802.14 WG 將 QAM 列入傳輸的標準。[1][2]

理論上 QAM 和 VSB 兩種傳輸系統是相當的，其均具有高效率頻寬使用，且在相同的頻寬下能夠傳遞相等的資料速率。然而此兩種模式也有許多不同處，它們的載波在相同的射頻頻譜上分布時是不相同的，QAM 是在頻譜的中央，而 VSB 則是在整個頻譜的旁邊。此外，Zenith 的 VSB 系統使用了一個 pilot tone 來使得接收信號即使在  $0\text{dB}$  的信號雜訊比情況下也能讓載波恢復系統工作，並且使用了段同步字元和欄同步字元來做為取樣時間恢復系統和可適性等化器的訓練字串；然而在 QAM 方面，為了提升傳輸率則省去了這些助於同步傳輸的輔助字元和信號，故其所要求的接收信號雜訊比將比較高。本計畫目的在提出一 QAM/VSB 雙模接收機之超大型積體電路架構以解決纜線數據機在用戶端的頻寬問題。

#### 三、結果與討論

圖二顯示了此一 QAM/VSB 雙模接收機。從同軸纜線來的射頻信號先被移頻至 SAW 濾波器的頻帶以做為頻帶選擇的處理，再使用一個降頻器將信號降至  $1\text{-}7\text{MHz}$  頻帶的低中頻信號以利採用 CMOS 的超大型積體電路技術加以處理。此一帶通信號透過數位式的自動增益控制放大器將信號強度調至類比數位轉換器的動態範圍內，再進行類比數位轉換。取樣頻率取在四倍的 QAM 符號速率，以符合取樣定理。之後再使用數位解調器將此低中頻信號降至基頻，如此可以便於載波恢復、符號時序恢復及盲等

化的信號處理，來消除同軸纜線通道中照成的干擾。在盲等化器輸出後，信號進入決策裝置，得到的資料再透過後級的 de-interleaver, Reed-Solomon 解碼器和 descrambler 後便可得到傳送的資訊。

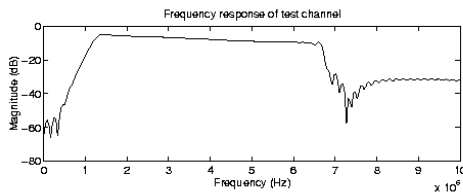


圖二、QAM/VSB 雙模接收機架構

以下便分別敘述部份方塊圖的設計和結果，以及整個系統的模擬。

#### A. 解調器及盲等化器

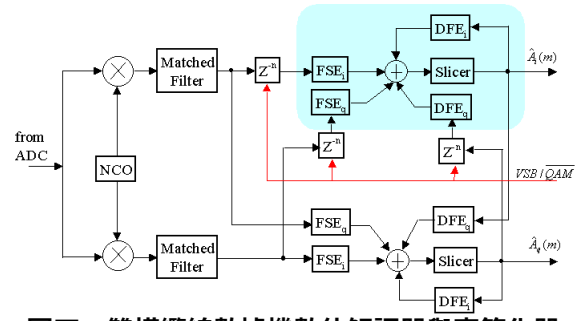
圖三顯示了通道的效應，由於阻抗不匹配照成的反射效應以及非理想的分線器破壞了頻譜的平坦性而照成了嚴重的自我干擾現象，須要使用一個可適性的等化器來平衡此一通道效應。



圖三、HFC 網路量測之頻率響應

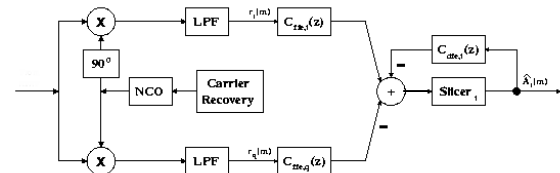
本計畫提出了一 QAM/VSB 雙模基頻複數混合式等化器和一雙模數位解調器，如圖四所示。因數位類比轉換器在低中頻的帶通信號進行取樣，所以輸入解調器的信號頻率為 21.52MHz。兩支相同的數位有限脈衝響應濾波器用來將移頻後的鏡像成份去除，同時也降低信號的時脈至 10.76Mpsps 給下面的等化器使用。在 QAM 的系統中，此盲等化器是一基頻複數混合式的可適性等化器，乃由前饋式線性等化器和迴饋式等化器所構成，其中迴饋式是為了防止雜訊的提升，而前饋式等化器採用 T/2 分數間隔等化技巧來達到較好的成果並且可以減低時序恢復子系統的工作量。雖然輸入信號速率為 10.76Mpsps，前饋式等化器操作在 5.38MHz 來進一步的降低信號速率。且因輸入信號及等化係數均為複數型式，因此前饋和迴饋式等化器均需四個有限脈衝響應數位濾波器。

然而對 VSB 信號而言，其符號速率為 10.76Mpsps，所以數位解調器必須工作於 21.52MHz 才能有 T/2 的分數間隔等化功能。為了讓 VSB 信號能和 QAM 信號共用硬體，因此提出了一準分數間隔等化架構，其簡化型式如圖五所示，也就是透過一對正交同步載波將低中頻的 VSB 信號降至基頻，而其複數型式的輸出將被以符號速率的時脈解調出來，之後使用複數系數可適性等化器來等化複數信號輸入。兩組前饋式線性等化器對 QAM 而言是實部和虛部，而對 VSB 而言則是奇數部和偶數部。因此對 VSB 系統而言，必須加入延遲單位使得



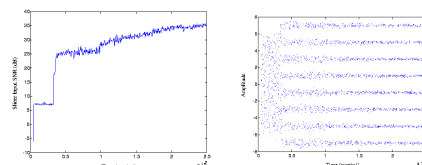
圖四、雙模纜線數據機數位解調器與盲等化器

奇數部與偶數部的運算能夠同步。直觀上看，虛部的路徑可以對抗因傳輸通道的振幅和相位失真所照成的相互干擾，同時也能用來內差兩個取樣符號內部的值。而就理論上而言，此複數型式的符號速率取樣也可達到取樣定理，避免頻譜重疊。因此，10.76Mpsps 的數位解調器輸出可以達到分數間隔等化，而解調器除了在載波頻率和低通有限脈衝響應濾波器外大致相同。



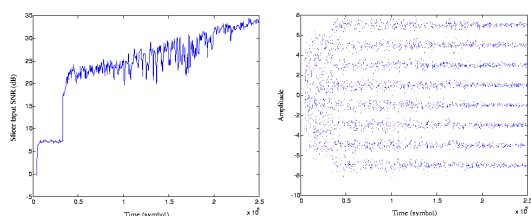
圖五、用於 VSB 系統之準分數間隔等化架構

在系數調整部份，因 QAM 系統無訓練字串，所以必須使用接收信號來達成。在文獻中可以看到很多盲等化器的演算法，如多層最小均方等化、Godard 常模數演算法[3][4]和 Sato 自我恢復等化[5]，都可以用來和載波恢復系統相互合作。本文所提之混合式盲等化器乃使用多層最小均方等化演算法，此演算法可以在與載波恢復和時序恢復系統並存時表現良好。此一演算法在處理 QAM 信號時第一階段先暫時將信號視為 QPSK 型式，藉由等化係數的改變可將信號大致分成四群，而在這一階段載波和符號時序的偏移也會被移除。以下幾個階段信號將被視為更高階的 QAM 型式來更一步的消除通道干擾。當符號錯誤率降至 1%以下，迴饋式等化係數將開始被調整以進一步降低錯誤率，以達系統要求。圖六顯示此等化器對 64QAM 的模擬結果。



圖六、64QAM 的信號等化收斂

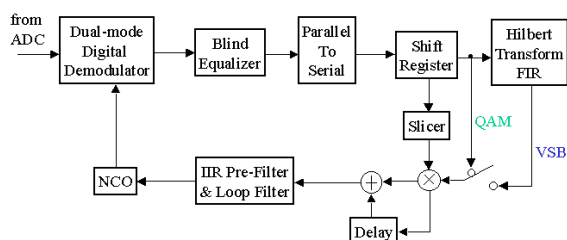
另一方面在 VSB 的信號處理中，與 QAM 類似，先將信號暫時視為 2-VSB，而大致等化成兩群，接下來則再視為更高階的 VSB 信號來進一步的消除通道干擾和降低符號錯誤率。圖七顯示 VSB 信號的收斂狀況。



圖六、8VSB 的信號等化收斂

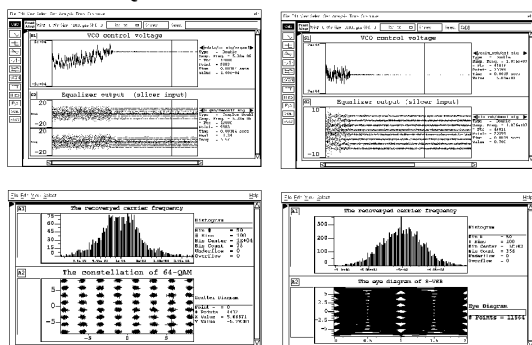
## B. 載波恢復系統

載波相位的偏移會轉動信號的星狀分布，同時降低接收信號的信號雜訊比，因此需要一個準確載波來達到同步接收的目的。圖七所示為所提的決策導向載波恢復系統架構，使用的信號為盲等化器的輸出。為減少電路的複雜度，盲等化器乃放在載波恢復迴路中來避免盲等化器的反旋轉效應及給帶通等化系數更新錯誤決策的重新調變訊號。



圖七、QAM/VSB 決策導向載波恢復系統

整個載波恢復系統包括了雙模載波錯誤偵測器、無限長脈衝響應預先濾波器、迴路濾波器、數字控制振盪器。首先一多工器將盲等化器輸出變成串列式。接下來 Hilbert 轉換有限長脈衝響應濾波器計算存於暫存器資料的正交值 其輸出對 VSB 模式有所幫助，但對 QAM 模式則無意義，因此為了省功率消耗在 QAM 模式下則關閉。

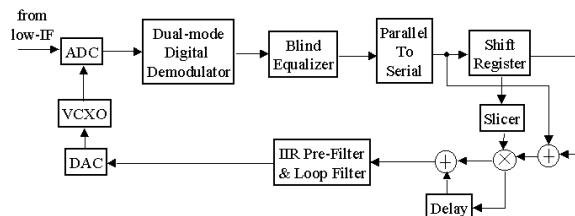


圖八、載波恢復系統模擬結果  
(左)QAM 模式 (右)VSB 模式

圖八顯示此一系統的模擬，QAM 傳輸時通道頻率偏移設在 10kHz。為了維持電路設計的準確性，許多電路的考量，如二補數運算、延時現象、溢位現象等均在此 C 語言系統模擬中加入。而在 SPW 模擬時是使用 27dB 信號雜訊比的白噪音通道。VSB 模式則是使用 -5kHz 的頻率偏移。兩者的模擬均顯示可補償載波頻率偏移，且在穩態時也具有低相位擾動。

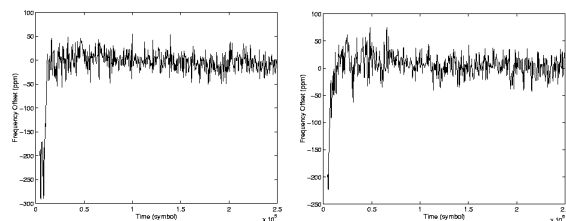
## C. 時序恢復系統

圖九顯示所提的雙模時序恢復系統，所採用的方法決策導向提前延後技術，並使用經過等化過的通道來降低因通道干擾造成的資料從屬的雜訊。所使用的迴路濾波器和載波恢復系統均為 PI 濾波器，此外一個一階的無限長脈衝響應預先濾波器用來改善相位擾動現象。最後迴路濾波器的輸出送至數位類比轉換器來產生類比控制電壓以控制石英振盪器。

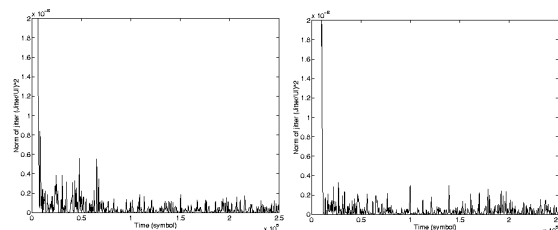


圖九、QAM/VSB 雙模提前延後時序回復系統

此時序恢復系統並用多級最小均方盲等化演算法的有限字長模擬結果如圖十、十一所示。在穩態時，時序擾動明顯的被減低，此乃因可適性等化器錯誤的減少照成符號時脈變動的改良。



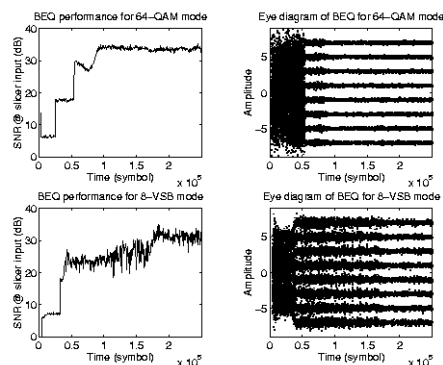
圖十、符號時序偏移軌跡 (左)64QAM (右)8VSB



圖十一、符號時序擾動軌跡 (左)64QAM (右)8VSB

## D. 系統模擬

使用多級最小均方盲等化演算法，數位類比轉換的信號雜訊比在 37dB，載波偏移量為  $\pm 6\text{kHz}$ ，符號速率偏移量為  $\pm 200\text{ppm}$ ，在距載波 10kHz 處有 -82dBc 的相位擾動，進行有限字長的系統模擬，其結果如圖十二所示。所得結果可用於數位有線電視 QAM/VSB 雙模傳輸，其中 64QAM 的信號雜訊比要求為 33dB，8VSB 則為 30dB。



圖十二、整個接收機的系統模擬結果

#### 四、計畫成果自評

本計畫提出了一用於高速數位有線電視接收機的超大型積體電路架構，使得兩種競爭中的調變技術 QAM 及 VSB 可以整合在一起。系統中包含了類比前端、雙模盲等化器、載波恢復和時序恢復系統，且數位電路的實現可通用於 QAM 和 VSB。整個系統架構的設計和模擬都根據超大型積體電路特性和有限字長。結果顯示當類比數位轉換器輸入信號雜訊比在 37dB， $\pm 6\text{kHz}$  載波頻率偏移， $\pm 200\text{ppm}$  符號速率偏移和距載波頻率 10kHz 處有 -82dBc 載波相位擾動時，64QAM 模式的信號雜訊比約 30dB，8VSB 模式約 28dB。

#### 五、參考文獻

- [1] Brian James, "High Definition Television - Defining The Standard", *NCTA Technical Papers*, pp. 375-381, 1994
- [2] Tony Filanowski, "QAM for broadband networks: the right choice," *Communication Technology*, pp. 36, 82-85, Jun. 1995
- [3] D.N. Godard, "Self-recovering equalizer and carrier tracking in two-dimensional data communication systems," *IEEE Trans. On Comm.* Vol. COM-28, no. 11, pp. 1867-1875, Nov. 1980
- [4] J.R. Terichler and M.G. Larimore, "New processing techniques based on the constant modulus adaptive algorithm," *IEEE Trans. Acoust. Speech. Signal Processing*, vol. ASSP-33, pp. 420-431, Apr. 1985
- [5] Y. Sato, "A method of self-recovering equalization for multi-level amplitude modulation," *IEEE Trans. Commun.* Vol. COM-23, NO. 6, pp. 679-682, June 1975