

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

數位廣播之電腦軟體接收機(第2年) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-216-037-MY2
執行期間：96年08月01日至97年07月31日
執行單位：中華大學通訊工程學系

計畫主持人：陳棟洲
共同主持人：宋朝宗
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：蔡協倫
碩士班研究生-兼任助理人員：康鼎暉
碩士班研究生-兼任助理人員：韓適堯

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 97年10月30日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

數位廣播之電腦軟體接收機

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 95-2221-E-216-037-MY2

執行期間：95年8月1日至97年7月31日

計畫主持人：陳棟洲

共同主持人：宋朝宗

計畫參與人員：韓適堯、蔡協倫、康鼎暉

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 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書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中華大學通訊工程學系

中 華 民 國 97 年 10 月 28 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

數位廣播之電腦軟體接收機

計畫編號： NSC 95-2221-E-216-037-MY2
執行期間： 95年08月01日至97年07月31日
計畫主持人： 陳棟洲 中華大學通訊工程學系

摘要

基於軟體無線電技術的蓬勃發展，以及其特有之彈性、適應性、升級性、共通性，因此備受學術界與產業界所矚目。目前大家所探討之軟體無線電所利用之可程式化硬體幾乎都是指數位信號處理器、微處理器、或是可程式邏輯陣列晶片，而大家卻忽略了一個目前大家最常使用、最容易使用、也最普及的可程式化硬體-電腦。我們可以善加利用大家身邊的個人電腦，以個人電腦來開發適合應用之軟體無線電產品，而數位廣播便是一個非常適合發展的應用。數位廣播在世界各地都即將取代傳統類比廣播而成為未來音訊廣播與電視廣播之主流，目前台灣也都在積極實驗試播與開播中，在不久的將來，將可預見數位廣播產業的蓬勃發展。目前市面上已有相關之數位廣播接收機產品，這些產品皆屬硬體定義無線電接收機，價格也較昂貴。另一方面，目前也有很多人是使用電腦透過網路來收聽廣播節目，但受限於網路的速度，所接收之音訊品質都很不理想。既然已有很多人透過網路使用電腦來收聽廣播節目，可見將電腦來做為數位廣播接收機是非常可行且實用的。因此本計畫將以軟體無線電系統架構的觀念，只要外加些許的硬體電路，包括接收天線、濾波器、低雜訊放大器、A/D 轉換器，將無線電類比信號轉換成數位信號，再透過 USB 介面將數位信號傳至電腦，之後便利用電腦超強之數位信號處理與計算能力，以電腦軟體程式設計方式來處理後端之所有基頻信號，包括信號同步、OFDM 解調、子載波調變解對映、解交錯、通道解碼、語音解壓縮等等，最後透過電腦之喇叭將音訊輸出，實現一個不一樣的「軟體」無線電數位廣播接收系統。

關鍵詞：數位廣播、軟體無線電、電腦

目錄

摘要	I
目錄	II
圖目錄	III
表目錄	V
1. 前言	1
2. 數位音訊廣播技術	3
3. 數位音訊廣播系統架構	6
3.1 音訊編碼	6
3.2 能量分散	8
3.3 間空摺積編碼	9
3.4 時間交錯	16
3.5 區塊分割	17
3.6 QPSK 符元對應	19
3.7 頻率交錯	19
3.8 差別運算	21
3.9 正交多工訊號產生器	21
4. 數位音訊廣播之傳送框架架構	22
4.1 同步通道	23
4.2 快速資訊通道(FIC)	25
4.3 主要服務資訊通道(MSC)	33
5. 數位音訊廣播電腦軟體接收機之實現	35
5.1 數位音訊廣播基頻接收系統之數位信號處理平台	37
5.2 快速資訊通道解碼	41
5.3 主要服務通道解碼	52
6. 結論	55
參考文獻	56

圖目錄

圖 2.1、DAB Frame	5
圖 2.2、Block diagram of DAB transmitter	5
圖 3.1、數位音訊廣播傳送系統架構	7
圖 3.2、音訊訊框架構	8
圖 3.3、二元亂數序列的電路圖	8
圖 3.4、(4, 1, 6)摺積編碼架構圖	9
圖 3.5、時間交錯示意圖	16
圖 3.6、傳送信號產生方塊圖	18
圖 3.7、快速資訊通道的區塊分割	18
圖 3.8、主要服務通道的區塊分割	18
圖 3.9、QPSK 符元對映的示意圖	19
圖 3.10、星狀圖	19
圖 3.11、補零成 2048 的示意	21
圖 3.12、Guard interval 的示意圖	21
圖 4.1、DAB Frame	22
圖 4.2、快速資訊區塊架構圖	25
圖 4.3、快速資訊群組型態 0 之架構	27
圖 4.4、快速資訊群組型態 0 擴充 0 的架構	28
圖 4.5、快速資訊群組型態 0 擴充 1 的架構	29
圖 4.6、快速資訊群組型態 0 擴充 2 的架構圖	32
圖 4.7、快速資訊群組型態 1 的架構圖	33
圖 4.8、網路層封包模式的架構圖	34
圖 5.1、Block diagram of DAB receiver	36
圖 5.2、數位廣播電腦軟體接收機之系統架構	36
圖 5.3、數位音訊廣播的解碼系統	37
圖 5.4、數位音訊廣播傳送訊框	38
圖 5.5、無用符元及相位參考符元	38
圖 5.6、經過低通濾波器的頻譜	39
圖 5.7、未經過頻率同步的星狀圖	40

圖 5.8、經過頻率同步的星狀圖	40
圖 5.9、經過差別運算後的星狀圖	41
圖 5.10、音訊訊框的訊框頭欄位的架構	54
圖 5.11、DAB 節目頻寬速率與容量單元關係	54

表目錄

表 2.1、數位廣播傳輸模式之 OFDM 參數	4
表 3.1 廣播音訊框架資料串流率	6
表 3.2、間空索引規則	11
表 3.3、參數 I 、 L 與音訊編碼速率的關係	12
表 3.4 音訊服務元件保護對應表	13
表 3.5、參數 I 、 L 與資料速率的關係(Set A)	15
表 3.6、參數 I 、 L 與資料速率的關係(Set B)	15
表 3.7、資料速度為 $8n$ Kbit/s 的保護階層和副通道大小(Set A)	16
表 3.8、資料速度為 $32n$ Kbit/s 的保護階層和副通道大小(set B)	16
表 3.9、時間交錯編碼規則	17
表 3.10、頻率交錯的相關係數對應表	20
表 4.1、四種傳輸模式之參數定義	23
表 4.2、傳輸模式中 Phase Reference Symbol 之 indices 間之關係	24
表 4.3、快速資訊群組型態表	26
表 4.4、使用短格式的副通道保護索引	30
表 5.1、FIG0/0 的實際解碼表	42
表 5.1、FIG0/0 的實際解碼表	44
表 5.3、子通道大小	46
表 5.4、FIG0/2 的實際解碼表	47
表 5.5、FIG1/1 的實際解碼表	48
表 5.6、MSC 的實際解碼表	53
表 5.7、位元率指引	54

1. 前言

在音訊廣播的技術發展中，1918 年超外差式接收機被發明，大幅改善了無線電廣播的接收品質。1933 年，調頻 FM 理論的提出，使語音傳播的傳真度更邁前了一大步。自 1920 年第一個商業廣播電台 KDKA 成立於匹茲堡以來，音訊廣播市場即被調幅(AM)和調頻(FM)所佔有。但由於傳統類比音訊廣播有諸多無法滿足收聽者的需求，正如同其他通訊系統，音訊廣播系統也將正式進入數位化時代。最初的數位音訊廣播所採用的系統為 NICAM (Near Instantaneously Companded Audio Multiplex)、DSR (Digital Satellite Radio) 或 ADR (Astra Digital Radio)，但並沒有辦法完全取代現有的傳統廣播系統，尤其是在行動接收能力方面。至 1980 年德國廣播技術研究所著手研究數位音訊廣播(DAB)技術，並於 1985 年於德國慕尼黑進行數位廣播實驗。於 1986，歐洲國家之政府研究機構、廣播機構與民間企業團體共同組成 Eureka 聯盟，並開始制定 Eureka-147 數位音訊廣播規範，並於 1995 年 2 月，歐洲電信標準組織 (European Telecommunications Standard Institute, ETSI) 完成制訂「數位音訊廣播系統標準」。除了歐洲各國之外，美國、日本、中國與韓國等也相繼跟進發展數位音訊廣播系統，全球正式開啟了數位音訊廣播的潮流。數位化音訊廣播為單頻共享多頻道之廣播系統，其不僅能傳送語音、音樂，並可做圖片、影像及數據傳送服務。其播送之音樂具有 CD 般的優美音質，利用單頻網路，在行動接收時，可一路聽到底，不需轉換接收頻率，有無雜訊、無干擾以及數位化多媒體廣播之功能，將帶給人類在獲取資訊上有莫大的方便，也將提昇人類生活之品質。

我國也於民國八十四年由經濟部委託工研院電通所執行「數位廣播系統技術」計畫，八十七年由交通部電信總局擬定數位廣播推動草案，並且在八十八年由行政院新聞局召開「草擬廣電法數位廣播電視相關條文」將數位廣播納入條文草案中。民國八十九年一月十四日，交通部正式公告進行 Eureka-147 數位音訊廣播試播實驗，我國正式進入數位廣播時代。民國九十四年，交通部正式發出六張數位廣播 DAB 籌備執照，並在同年九月，IC 之音與台灣大哥大、倚天資訊、台北之音攜手合作的台倚數位廣播(北區 10B 211.648MHz)，將成為全台灣第一家正式全天候試播的數位廣播電台，透過數位廣播收音機，北台灣的聽眾已經可以收聽 CD 品質的 IC 之音與台北之音的各項節目。數位廣播在 1.536MHz 頻寬內可輕易、靈活變換音訊節目數目，除了音訊服務，數位廣播也同時可提供數據服務。

基於軟體無線電技術的蓬勃發展，以及其特有之彈性、適應性、升級性、共通性，因此備受學術界與產業界所矚目。目前大家所謂之軟體無線電系統是利用寬頻 A/D 轉換器使

高頻類比信號如中頻 (Intermediate Frequency ; IF) 或射頻 (Radio Frequency ; RF) 變成數位信號，後續的數位信號處理便可一般用途的數位信號處理器 (DSP)、微處理器、或可程式邏輯陣列晶片(FPGA)，藉執行軟體程式的方式來處理轉換後的數位信號[1-6]。軟體無線電系統雖利用軟體可程式化之特性而具有較大之產品彈性(flexibility)，但這類產品還是得藉助硬體(數位信號處理器、微處理器、或可程式邏輯陣列晶片)來實現。以目前之技術，這些硬體之價格還是不便宜，且以消費者喜新厭舊之特性，雖然產品功能可升級而無損其性能，但往往會因產品之外表造型而重新購買新產品，如此便損害了軟體無線電之基本利基，也是造成軟體無線電商業化之一項阻礙。正因如此，我們有一個新想法，即目前大家所探討之軟體無線電所利用之可程式化硬體幾乎都是指數位信號處理器 (DSP)、微處理器、或是可程式邏輯陣列晶片(FPGA)，而大家卻忽略了一個目前大家最常使用、最容易使用、也最普及的可程式化硬體-電腦。我們可以善加利用大家身邊的個人電腦，以個人電腦來開發適合應用之軟體無線電產品，而數位廣播便是一個非常適合發展的應用。數位廣播在世界各地都即將取代傳統類比廣播而成為未來廣播之主流，在不久的將來，將可預見數位廣播產業的蓬勃發展。目前市面上也有相關之數位廣播接收機產品，這些產品皆屬硬體定義無線電，價格也較昂貴。另一方面，目前也有很多人是使用電腦透過網路來收聽音訊廣播節目，但受限於網路的速度，所接收之音訊品質都很不理想。既然已有很多人透過網路使用電腦來收聽音訊廣播節目，可見將電腦來作為數位廣播接收機是非常可行且實用的。因此本計畫便以軟體無線電系統架構的觀念，只要外加些許的硬體電路，包括接收天線、低雜訊放大器、A/D 轉換器，將無線電類比信號轉換成數位信號，再透過 USB 介面將數位信號傳至電腦，之後便利用電腦超強之數位信號處理與計算能力，以電腦軟體程式設計方式來處理後端之所有基頻信號，包括信號同步、OFDM 解調、子載波調變解對映、解交錯、通道解碼、語音解壓縮等等，最後透過電腦之喇叭將音訊輸出，將節目呈現出來，實現一個不一樣的「軟體」無線電數位廣播接收系統。如此將可大幅降低數位廣播接收機之硬體價格，也可改善透過網路來收聽音訊廣播節目與收看電視節目的低品質，得到一高品質、低價格之電腦應用。

2. 數位音訊廣播技術

數位音訊廣播系統是使用正交分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiplex; OFDM)技術、成音壓縮技術及通道編碼技術來處理數位信號，以甚低的資料傳送速率傳輸類似 CD 品質之成音信號。正交分頻多工技術是將相當數量之窄頻信號以正交排列分式組成寬頻信號，各子載波(sub-carrier)窄頻信號彼此間不會相互干擾，可更有效率地使用頻寬，且可對抗衰落通道以及避免符碼間干擾(Inter-Symbol Interference; ISI)的影響。成音信號壓縮則使用 MPEG (Moving Pictures Expert Group) 技術，以最少位元傳輸高品質成音信號。通道編碼技術則是將成音信號及數據資料透過迴旋編碼與交錯技術，可將衰落通道所造成之整束錯誤 (burst error)轉為隨機錯誤(random error)，再經由解碼器做錯誤更正，以提高解碼器之解碼效能，克服接收機在行動中之接收不良現象，提供高品質之傳輸。

數位廣播運作基本需求是在移動接收時依然可獲得高品質之傳輸，但移動接收時常會產生多路徑傳播，這是因電磁波會經由建築物、汽機車、樹木、高山等障礙物產生散射、繞射及反射現象，使電波以不同路徑傳送到接收天線。由於多路徑傳送信號而產生一長串回響 (echoes)，使接收機所接收之相鄰符碼產生符碼間干擾(ISI)，數位廣播(DAB)使用正交分頻多工之多載波調變技術解決此項干擾。多載波調變簡單的理念是將高速率資料串劃分成 K 個並聯之低速率資料串並且調變這些分開的副載波，這將增加符碼時間 T_s ，可避免符碼間干擾(ISI)的影響。另一方面較長的回響需較長的保護期間及較長的符碼時間 T_s ，為了保持系統靈活度，數位音訊廣播有四種傳送模式(TM)被定義，其參數如表 2.1 所示。傳輸模式一(TM I)有較長的保護期間(約 250 μ s)，是為設計在較大涵蓋區域使用，因有較長的回響，它適合在長回響下之單頻網路使用，典型兩台發射機距離 60 公里，相對於 200 μ s，傳送模式一可抗拒快速相位脈動，將使用在 VHF 區域內，我國之數位音訊廣播系統便使用此傳輸模式。傳輸模式二(TM II)大部分處理固定地形位置，如山區等，這模式適合傳送 L 頻道 1.5GHz 上。傳輸模式三(TM III)為衛星傳輸而設計，這個模組也可傳送在回響不是太長之陸地上。傳輸模組四是介於模式一(TM I)與模式二(TM II)之間，使用在加拿大特殊廣播位置情況。

表 2.1、數位廣播傳輸模式之 OFDM 參數

參數	TM I	TM II	TM III	TM IV
頻率上限(MHz)	375	1500	3000	750
載波數量	1536	384	192	768
載波頻率(kHz)	1	4	8	2
框架期間(ms)	96	24	24	48
框架符碼	76	76	153	76
無效符碼期間(μs)	1297	324	168	648
保護期間(μs)	246	62	31	123
全部符碼期間(μs)	1246	312	156	623

數位音訊廣播系統由三個介面所組成：服務傳送介面(Service Transport Interface; STI)、整合性傳送介面(Ensemble Transport Interface; ETI)與數位廣播介面(Digital Audio Broadcasting; DAB)。服務傳送介面(STI)可視為服務提供者(service provider)，此介面提供語音、文字、圖片甚至動畫等資訊相關信號。服務傳送介面(STI)於歐洲標準是 ETS 300 797 [7]，在 24ms 框架內之傳輸率為 2048Kb/s。整合性傳送介面(ETI)則視為整合信號提供者(ensemble provider)，此介面將服務傳送介面(STI)的各項信號整合成 G703 或 G704 架構信號，再由光纖、微波或衛星傳送給數位廣播發射站台。整合性傳送介面(ETI)於歐洲標準是 ETS 300 799 [8]，同樣在 24ms 框架內之傳輸率為 2048Kb/s。當數位廣播發射站台接收到 ETI 信號，由數位廣播發射機經旋積編碼(convolutional encoding)、交錯(interleaving)、差分正交相位移鍵(DQPSK)與正交分頻多工(OFDM)調變成數位廣播框架(DAB Frame)信號，再做升頻與信號放大，最後經天線將節目信號輻射到數位廣播接收機上。數位廣播(DAB)的歐洲標準則是 ETS 300 401 [9]。

數位廣播框架(DAB Frame)如圖 2.1 所示，其基本架構是由同步頻道(Synchronization Channel; SC)、快速資料頻道(Fast Information Channel; FIC)及主要服務頻道(Main Service Channel; MSC)等三部份所組成。同步頻道(SC)分空白符碼(Null Symbol)和參考符碼(TFPR)兩部份。空白符碼主要作用是提供接收機辨認每個傳輸框的時間起點，參考符碼主要作用是估計傳輸頻道的狀態和提供自動頻率控制及用來當差分解調器的參考起點。快速資料頻道(FIC)主要作用是攜帶傳輸框的控制訊息，接收機端必須解讀出此頻道內資料，才能進一步知道如何解出主要服務頻道內的語音資料及數據資料。主要服務頻道則是放置所有廣播節目與服務之資料。主要服務頻道可分成數個副頻道(sub-channel)，每個副頻道有自己各

別的錯誤防護與時間交錯，所有副頻道構成共同交錯框架(Common Interleaved Frames; CIF)。每一共通交錯框架(CIF)傳送時間為 24 ms，共含有 55296 位元。所有數位廣播節目之位元傳輸率則為 2304Kb/s。對於傳送之語音資料及數據資料，利用不同的錯誤更正碼之碼率來提供不同等級之錯誤防護。主要服務頻道將所有副頻道構成共同交錯框架(CIF)之後，加入快速資料頻道(Fast Information Channel; FIC)。輸出之位元串再做 DQPSK mapping 與頻域交錯(frequency interleaving)後，再加上 Null symbol 與 TFPR symbol 後並做 OFDM 調變以完成 DAB 訊框，最後經由 RF 電路將訊號送出。傳送端之架構如圖 2.2 所示。

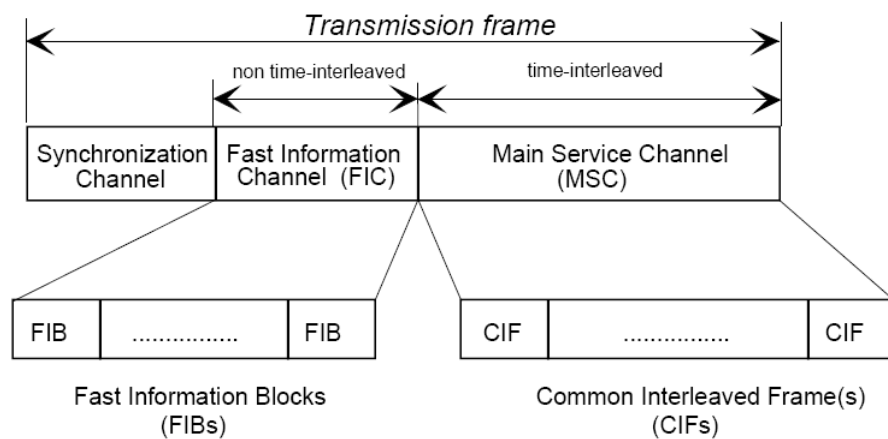


圖 2.1、DAB Frame [9]

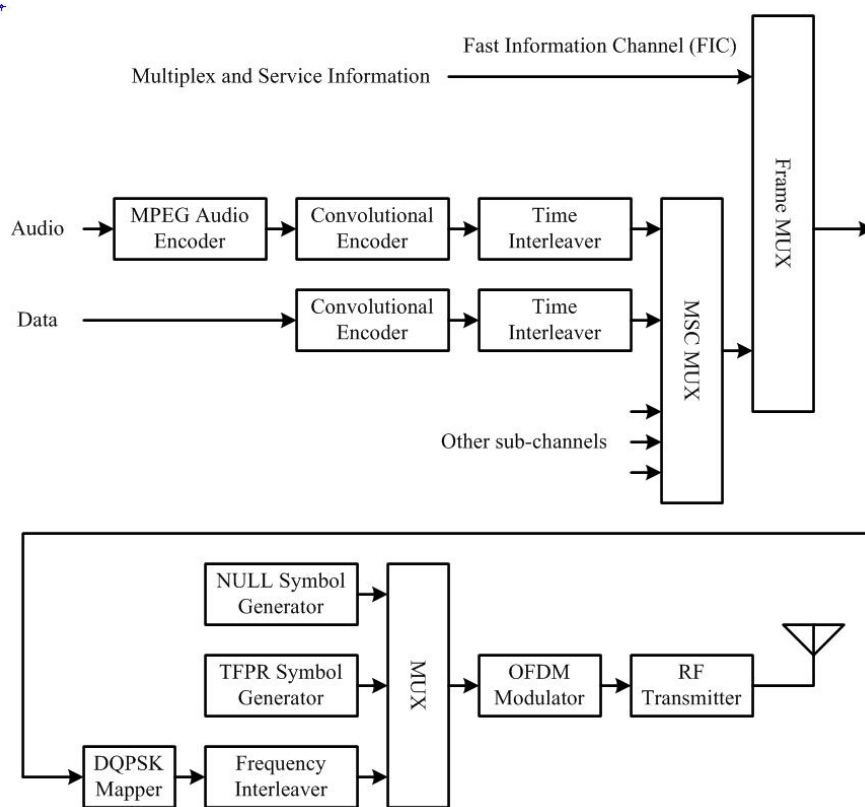


圖 2.2、Block diagram of DAB transmitter

3. 數位音訊廣播系統架構

數位音訊廣播傳送系統架構如圖 3.1 所示[9]。傳送的音訊或資料會經過能量分散 (Energy dispersal)、間空摺積碼(Punctured convolution coding)、時間交錯(Time interleaving)、QPSK 符元對應(QPSK symbol mapping)、頻率交錯(Frequency interleaving)和差別運算 (Differential modulation)等步驟後，再進入正交多工訊號產生器(OFDM Signal generator)，就變成是數位音訊廣播的傳送訊框。

3.1 音訊編碼

數位音訊廣播的音訊節目資料是以 MPEG-1/2 Layer II 的技術為基礎編碼而成。MPEG-1/2 Layer II 的編碼技術，主要運用人類聽覺心理學，將聲音頻譜平均畫分成 32 個子頻帶，聽覺較敏感的子頻帶使用較多位元的量化，聽覺較不敏感的子頻帶使用較少位元的量化，壓縮的失真，人耳幾乎無法察覺。MPEG-1/2 Layer II 以 48KHz (MPEG-1)或 24KHz (MPEG-2)的取樣頻率，依聲音品質的需求將取樣之聲音訊號編碼為資料速率為 8 ~ 384 Kbps 之 MPEG 邏輯訊框(logic frame)。一般來說，高品質的立體聲訊號會選舉使用高於 128 Kbps 之編碼位元率，一般說話聲音則使用低於 96 Kbps 之編碼位元率。音訊編碼是將 32 samples 轉換至 32 子頻帶，以 384 samples 為一組，再將 3 組封裝成一個訊框，然後把 1152 個 PCM 訊號 (3 組 384 samples)的 audio frame 編成一個 MPEG-1 或兩個 MPEG-2 的 24ms 的邏輯訊框(logic frame)。數位廣播音訊框架資料串流率，如表 3.1 所示。

表 3.1 廣播音訊框架資料串流率

Sampling frequency	48 KHz	24 KHz
位元率指引	Audio bit rate (Kbit/s)	Audio bit rate (Kbit/s)
0001	32	8
0010	48	16
0011	56	24
0100	64	32
0101	80	40
0110	96	48
0111	112	56
1000	128	64
1001	160	80
1010	192	96
1011	224	112
1100	256	128
1101	320	144
1110	384	160

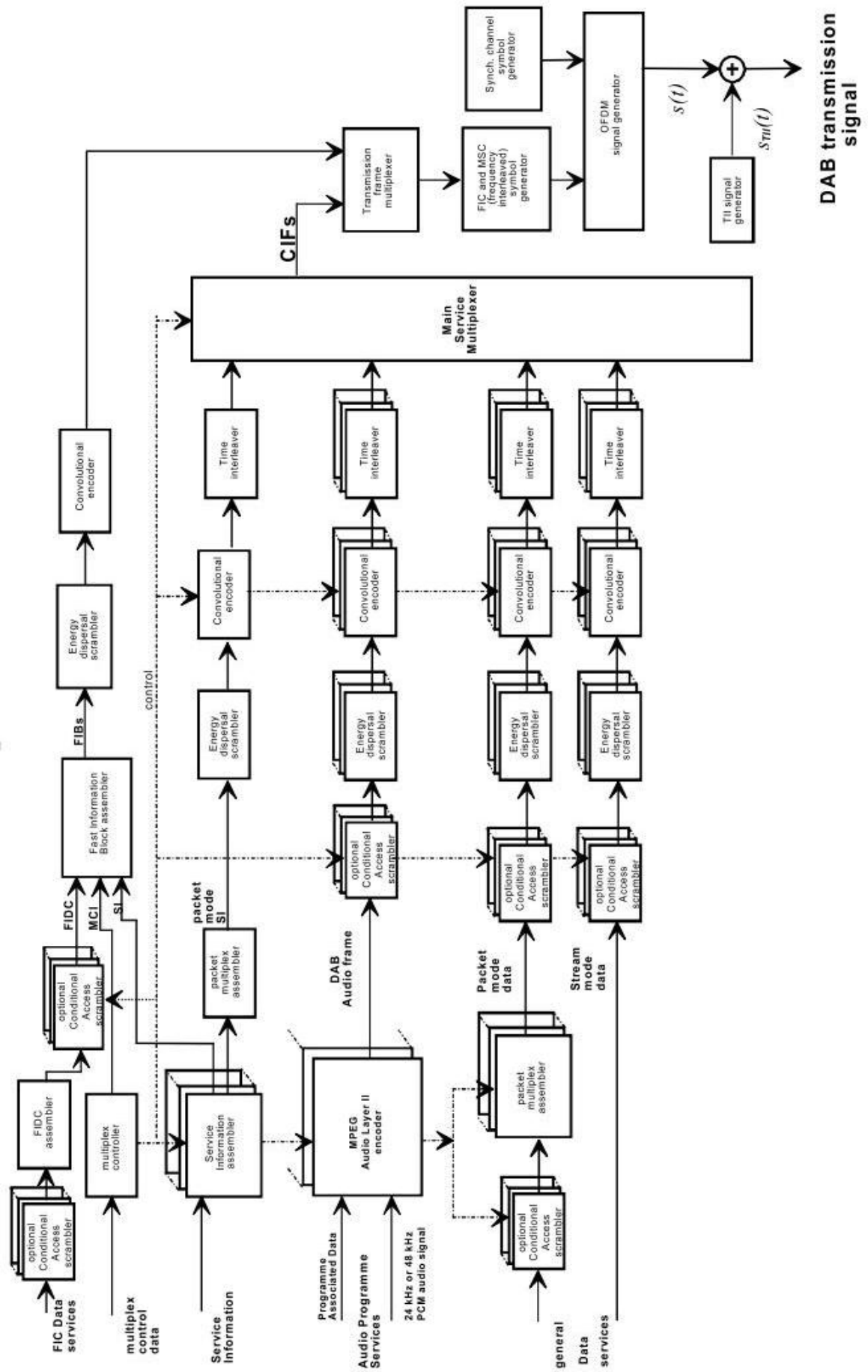


圖 3.1、數位音訊廣播傳送系統架構 [9]

音訊編碼後之音訊訊框架構如圖 3.2，最前面是 32 個位元的訊框頭欄位，會記載後面是否有 16 個位元的錯誤偵測碼欄位，再來的位元分配欄位中每一個副頻帶用 4 個位元表示，然而如果位元分配欄位為零，則表示後面的縮放倍率和副頻帶取樣點就不存在，而剩下的資料就會被算在附屬資料欄位中。

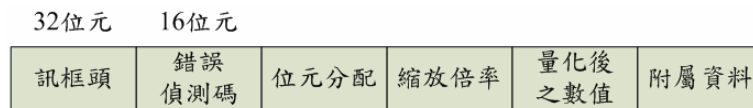


圖 3.2、音訊訊框架構

3.2 能量分散(Energy dispersal)

能量分散是為了避免資料的能量太過集中，如果沒有執行能量分散，資料在經過快速傅利葉運算後，會造成部分時間的數值很大，其他時間的數值很小。這樣對發射和接收端都不好，所以會使用能量分散，使得資料接近亂數，讓能量平均分佈。能量分散的執行方法就是把輸入的資料與二元亂數序列(Pseudo-random binary sequence, PRBS)作互斥或(XOR)，讓輸出資料接近隨機亂數。以模式一來說，快速資訊通道(FIC)的資料每 768 位元會執行一次能量分散，而主要服務通道(MSC)則是每一個邏輯訊框(Logic frame)的資料執行一次。

解碼的時候就是把接收到的資料，再跟二元亂數序列再作一次互斥或，就會得到原來的資料。二元亂數序列的生成多項式為

$$P(x) = x^9 + x^5 + 1$$

二元亂數序列的電路架構如圖 3.3 所示，其暫存器的初始值為 1。

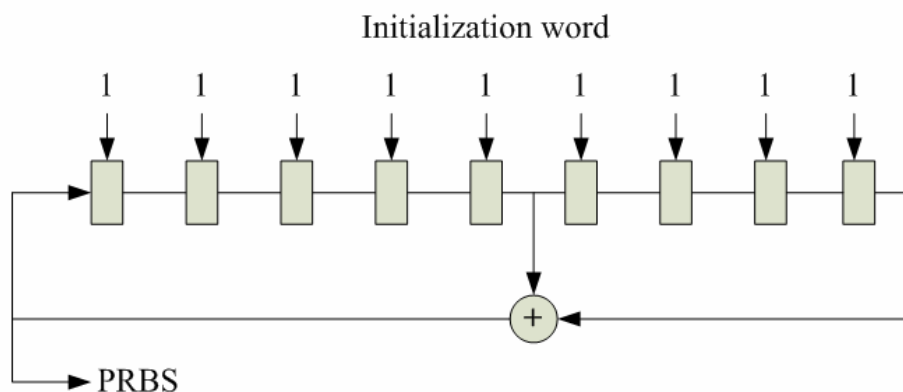


圖 3.3、二元亂數序列的電路圖

3.3 間空摺積編碼 (Punctured convolutional coding)

數位音訊廣播的通道編碼提供了對等保護(EEP)和不對等保護(UEP)兩種保護方法，快速資訊通道和資料主要是使用對等保護，而音訊節目則使用不對等保護。數位音訊廣播的通道編碼是採用間空摺積碼，以碼率為 1/4、constraint length 為 7 的(4, 1, 6)摺積碼為母碼 (mother code)，其產生多項式如下：

$$x_{0,i} = a_i \oplus a_{i-2} \oplus a_{i-3} \oplus a_{i-5} \oplus a_{i-6};$$

$$x_{1,i} = a_i \oplus a_{i-1} \oplus a_{i-2} \oplus a_{i-3} \oplus a_{i-6};$$

$$x_{2,i} = a_i \oplus a_{i-1} \oplus a_{i-4} \oplus a_{i-6};$$

$$x_{3,i} = a_i \oplus a_{i-2} \oplus a_{i-3} \oplus a_{i-5} \oplus a_{i-6};$$

其編碼架構如圖 3.4。其中的暫存器初始值為零，當進入摺積編碼之前，每一段未編碼資料的最後要額外加六個位元的 0，因為每一段資料連續傳送進來，暫存器就會被前一段資料所改變，然而最後的六個 0，就可以使得暫存器歸零。

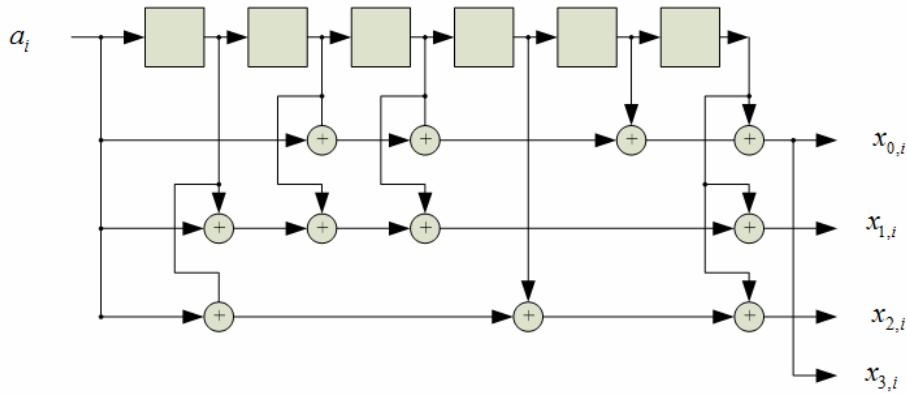


圖 3.4、(4, 1, 6)摺積編碼架構圖

數位音訊廣播採用間空摺積碼，因此經母碼編碼後之資料會再按照多工組態的定義刪除部分資料，此程序即為間空(puncture)。不同的 puncturing pattern 將產生不同碼率的編碼，提供資料不同的保護等級。數位音訊廣播系統提供 24 種不同的保護等級，其 puncturing vector 如表 3.2 所示。每一個保護階層以 32 個數值為單位，數值 1 表示保留，數值 0 則反之，得到之碼率為 $8/(8 + PI)$ ，所以 PI 越高則保護層級越高。經母碼編碼後之資料以 128 個位元為一區塊(block)，每一區塊再以 32 個位元為一子區塊(sub-block)，每一子區塊再依表 3.2 之 puncturing vector 進行間空。每一個區塊完成間空程序後將產生 $4(8 + PI)$ 個位元資料。每一段經母碼編碼後之資料的最後 24 個位元(每一段未編碼資料的最後所額外加入的六個位元 0 經母碼編碼後所產生之最後 24 個位元)則固定使用 puncturing vector $V_T = (1100 1100 1100 1100 1100)$ 進行間空得到最後 12 個位元(稱之為 tail bits)。所有完成間空程

序之區塊再加上 12 個位元的 tail bits 便形成一 punctured codeword。有些時候還會在 punctured codeword 的 tail bits 之後再加入 padding bits “0”，以確保編碼完成後之資料位元數為 64 的倍數(1 CU = 64 bits)。

在模式一中，快速資訊通道有固定的間空規則，快速資訊通道是以三個快速資訊區塊(FIBs)為一個編碼單位(共 768 位元)，768 位元的快速資訊通道資料最後加上六個 0，經過摺積編碼後變成 3096 位元。然後在把資料分為 3072 位元和 24 位元兩個部分，第一部分以 128 位元為單位(稱區塊 block)，每 128 個位元再分成 4 個子區塊(sub-block)，每個子區塊有 32 位元，最前面 21 個子區塊是用 $PI=16$ 進行間空，剩下 3 個子區塊則使用 $PI=15$ 進行間空。第二部分的 24 位元 tail bits 則使用 puncturing vector $V_T = (1100\ 1100\ 1100\ 1100\ 1100\ 1100)$ 來進行間空。三個快速資訊區塊經過穿刺摺積編碼後有 2304 位元。在模式一中，快速資訊通道包含 12 個快速資訊區塊(9216 位元)，快速資訊通道經過穿刺摺積編碼後形成三個正交多工符元(OFDM symbol)的資料。

主要服務通道使用兩種保護方式，不對等保護(UEP)和對等保護(EEP)。UEP 對音訊資訊特別有用，在一個 24ms 之框架內分成 4 個群組：群組 1 構成框架頭端、同步資訊、位元分配及選擇尺度因素，在這部份若有一個位元錯誤將導致全框架失真，所以必須使用較穩定之低碼率編碼；群組 2 包含一個六位元尺度因素，尺度因素高位元部份如發生錯誤將導致數位廣播信號突然衰落或放大，這些錯誤會產生惱人的聲音，但能隱藏到某些成音位準內；群組三包含編碼位元，這些資料位元代表 32 個副頻道之取樣大小，群組三位元錯誤最不敏感；群組四包含節目相關資料及循環重複檢查碼(Cyclic Redundancy Check, CRC)，此群組與群組二有較相近的保護。每一段的迴旋碼可分為數個連續的 128bits 區塊，每個區塊又可分成 4 個 32bits 的子區塊，間空程序(puncturing procedure)就是以每一段子區塊來完成。每個等份經由間空向量表進行間空程序。經過音訊編碼以及 energy dispersal scrambler 後的每一個 24ms 邏輯訊框共含有 I 個位元。再經由(4, 1, 6)摺積編碼後產生 $4I$ 個位元的資料，每 128 個位元為一個區塊，共分為 L 個區塊來進行間空程序。 I 與 L 會因不同的音訊編碼速率而不同，如表 3.3。以 24ms 邏輯訊框時間共 L 個區塊再依不同的音訊編碼速率區分成四個群組，各有 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 個區塊，分別使用 PI_1 、 PI_2 、 PI_3 、 PI_4 保護等級進行 puncture。最後再加入 12 個 tail bits 形成 codeword。有些 codeword 還需要加入 padding bits 以確保最後的資料位元數是 64 的倍數，以完成完整的編碼程序。整個音訊服務元件的 protection profiles 如表 3.4。

表 3.2、間空索引規則

	$V_{PI} = (v_{PI,0}, v_{PI,1}, \dots, v_{PI,31})$
PI=1 : code rate : 8/9	1100 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000
PI=2 : code rate : 8/10	1100 1000 1000 1000 1100 1000 1000 1000
PI=3 : code rate : 8/11	1100 1000 1100 1000 1100 1000 1000 1000
PI=4 : code rate : 8/12	1100 1000 1100 1000 1100 1000 1100 1000
PI=5 : code rate : 8/13	1100 1100 1100 1000 1100 1000 1100 1000
PI=6 : code rate : 8/14	1100 1100 1100 1000 1100 1100 1100 1000
PI=7 : code rate : 8/15	1100 1000 1000 1000 1100 1000 1000 1000
PI=8 : code rate : 8/16	1100 1100 1100 1100 1100 1100 1100 1100
PI=9 : code rate : 8/17	1110 1100 1100 1100 1100 1100 1100 1100
PI=10 : code rate : 8/18	1110 1100 1100 1100 1110 1100 1100 1100
PI=11 : code rate : 8/19	1110 1100 1110 1100 1110 1100 1100 1100
PI=12 : code rate : 8/20	1110 1100 1110 1100 1110 1100 1110 1100
PI=13 : code rate : 8/21	1110 1110 1110 1100 1110 1100 1110 1100
PI=14 : code rate : 8/22	1110 1110 1110 1100 1110 1110 1110 1100
PI=15 : code rate : 8/23	1110 1110 1110 1110 1110 1110 1110 1100
PI=16 : code rate : 8/24	1110 1110 1110 1110 1110 1110 1110 1110
PI=17 : code rate : 8/25	1111 1110 1110 1110 1110 1110 1110 1110
I=18 : code rate : 8/26	1111 1110 1110 1110 1111 1110 1110 1110
PI=19 : code rate : 8/27	1111 1110 1111 1110 1111 1110 1110 1110
PI=20 : code rate : 8/28	1111 1110 1111 1110 1111 1110 1111 1110
PI=21 : code rate : 8/29	1111 1111 1111 1110 1111 1110 1111 1110
PI=22 : code rate : 8/30	1111 1111 1111 1110 1111 1111 1111 1110
PI=23 : code rate : 8/31	1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1110
PI=24 : rate : 8/32	1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111

表 3.3、參數 I 、 L 與音訊編碼速率的關係

Audio bit rate (kbit/s)	I	L
32	768	24
48	1 152	36
56	1 344	42
64	1 536	48
80	1 920	60
96	2 304	72
112	2 688	84
128	3 072	96
160	3 840	120
192	4 608	144
224	5 376	168
256	6 144	192
320	7 680	240
384	9 216	288

表 3.4 音訊服務元件保護對應表

Audio bit rate (Kbit/s)	<i>p</i>	<i>L1</i>	<i>L2</i>	<i>L3</i>	<i>L4</i>	<i>PI1</i>	<i>PI2</i>	<i>PI3</i>	<i>PI4</i>	number of padding bits
32	5	3	4	17	0	5	3	2	-	0
32	4	3	3	18	0	11	6	5	-	0
32	3	3	4	14	3	15	9	6	8	0
32	2	3	4	14	3	22	13	8	13	0
32	1	3	5	13	3	24	17	12	17	4
48	5	4	3	26	3	5	4	2	3	0
48	4	3	4	26	3	9	6	4	6	0
48	3	3	4	26	3	15	10	6	9	4
48	2	3	4	26	3	24	14	8	15	0
48	1	3	5	25	3	24	18	13	18	0
56	5	6	10	23	3	5	4	2	3	0
56	4	6	10	23	3	9	6	4	5	0
56	3	6	12	21	3	16	7	6	9	0
56	2	6	10	23	3	23	13	8	13	8
64	5	6	9	31	2	5	3	2	3	0
64	4	6	9	33	0	11	6	5	-	0
64	3	6	12	27	3	16	8	6	9	0
64	2	6	10	29	3	23	13	8	13	8
64	1	6	11	28	3	24	18	12	18	4
80	5	6	10	41	3	6	3	2	3	0
80	4	6	10	41	3	11	6	5	6	0
80	3	6	11	40	3	16	8	6	7	0
80	2	6	10	41	3	23	13	8	13	8
80	1	6	10	41	3	24	17	12	18	4
96	5	7	9	53	3	5	4	2	4	0
96	4	7	10	52	3	9	6	4	6	0
96	3	6	12	51	3	16	9	6	10	4
96	2	6	10	53	3	22	12	9	12	0
96	1	6	13	50	3	24	18	13	19	0
112	5	14	17	50	3	5	4	2	5	0
112	4	11	21	49	3	9	6	4	8	0
112	3	11	23	47	3	16	8	6	9	0
112	2	11	21	49	3	23	12	9	14	4

表 3.4 音訊服務元件保護對應表(續)

Audio bit rate (kbit/s)	<i>p</i>	<i>L1</i>	<i>L2</i>	<i>L3</i>	<i>L4</i>	<i>PI1</i>	<i>PI2</i>	<i>PI3</i>	<i>PI4</i>	number of padding bits
128	5	12	19	62	3	5	3	2	4	0
128	4	11	21	61	3	11	6	5	7	0
128	3	11	22	60	3	16	9	6	10	4
128	2	11	21	61	3	22	12	9	14	0
128	1	11	20	62	3	24	17	16	19	8
160	5	11	19	87	3	5	4	2	4	0
160	4	11	23	83	3	11	6	5	9	0
160	3	11	24	82	3	16	8	6	11	0
160	2	11	21	85	3	22	11	9	13	0
160	1	11	22	84	3	24	18	12	19	0
192	5	11	20	110	3	5	4	2	5	0
192	4	11	22	108	3	10	6	4	9	0
192	3	11	24	106	3	16	10	6	11	0
192	2	11	20	110	3	22	11	9	13	8
192	1	11	21	109	3	24	20	13	24	0
224	5	12	22	131	3	8	6	2	6	4
224	4	12	26	127	3	12	8	4	11	0
224	3	11	20	134	3	16	10	7	9	0
224	2	11	22	132	3	24	16	10	15	0
224	1	11	24	130	3	24	20	12	20	4
256	5	11	24	154	3	6	5	2	5	0
256	4	11	24	154	3	12	9	5	10	4
256	3	11	27	151	3	16	10	7	10	0
256	2	11	22	156	3	24	14	10	13	8
256	1	11	26	152	3	24	19	14	18	4
320	5	11	26	200	3	8	5	2	6	4
320	4	11	25	201	3	13	9	8	10	8
320	2	11	26	200	3	24	17	9	17	0
384	5	11	27	247	3	8	6	2	7	0
384	3	11	24	250	3	16	9	7	10	4
384	1	12	28	245	3	24	20	14	23	8

若以音訊編碼速率為 192 Kbit/s、保護等級是 3 為例子，一個 24ms 邏輯訊框時間共有 $I = 192\text{Kbps} \times 24\text{ms} = 4608$ bis。再經由(4, 1, 6)摺積編碼後產生 $4I = 18432$ 個位元的資料，每 128 個位元為一個區塊，共分為 $L = 144$ 個區塊，再將其分成 $L_1 = 11$ 、 $L_2 = 24$ 、 $L_3 = 106$ 、 $L_4 = 3$ 四個群組，分別依 $PI_1 = 16$ 、 $PI_2 = 10$ 、 $PI_3 = 6$ 、 $PI_4 = 11$ 的保護等級進行 puncture。四個群組各別編碼後得到 $L_1 \times 4(8 + PI_1) = 1056$ 、 $L_2 \times 4(8 + PI_2) = 1728$ 、 $L_3 \times 4(8 + PI_3) = 5936$ 、 $L_4 \times 4(8 + PI_4) = 228$ 。最後再加入 12 個位元的 tail bits，形成共 8960 個位元的 codeword。由於 8960 個位元等於 140 CUs，因此便不需要在加入 padding bits 便完成整個編碼程序。

對等保護(ECP)主要用於數據資料之中，依據資料速率可以分為 $8n$ Kbps (Set A)和 $32n$ Kbps (Set B)這兩種。一樣是以一個 24ms 邏輯訊框為單位共含有 I 個位元。再經由(4, 1, 6)摺積編碼後產生 $4I$ 個位元的資料，每 128 個位元為一個區塊，共有 L 個區塊，再區分成兩個群組，各有 L_1 、 L_2 個區塊，分別使用 PI_1 、 PI_2 保護等級進行 puncture。最後再加入 12 個 tail bits 形成 codeword。Set A 與 Set B 在不同資料速率下參數 I 與 L 分別如表 3.5 與表 3.6 所示，protection profiles 則分別如表 3.7 與表 3.8 所示。

表 3.5、參數 I 、 L 與資料速率的關係(Set A)

Data bit rate (kbit/s)	I	L
8	192	6
:	:	:
:	:	:
$8n$	$192n$	$6n$
:	:	:
:	:	:
1 728	41 472	1 296

表 3.6、參數 I 、 L 與資料速率的關係(Set B)

Data bit rate (kbit/s)	I	L
32	768	24
:	:	:
:	:	:
$32n$	$768n$	$24n$
:	:	:
:	:	:
1 824	43 776	1 368

表 3.7、資料速度為 $8n$ Kbit/s 的保護階層和副通道大小(Set A)

Data bit rate (kbit/s)	保護切換欄位	p	$L1$ $L2$	$PI1$ $PI2$	Convolution Coding rate	Sub-channel size(CUs)
$8n$	11	4-A	$\frac{4n-3}{2n+3}$	3 2	3/4	$4n$
$8n$	10	3-A	$\frac{6n-3}{3}$	8 7	1/2	$6n$
$\frac{8}{8n (n>1)}$	01	2-A	$\frac{1}{2n-3}$ $\frac{5}{4n+3}$	13 12 14 13	3/8	$8n$
$8n$	00	1-A	$\frac{6n-3}{3}$	24 23	1/4	$12n$

表 3.8、資料速度為 $32n$ Kbit/s 的保護階層和副通道大小(set B)

Data bit rate (kbit/s)	保護切換欄位	p	$L1$ $L2$	$PI1$ $PI2$	Convolution Coding rate	Sub-channel size(CUs)
$32n$	11	4-B	$\frac{24n-3}{3}$	2 1	4/5	$15n$
$32n$	10	3-B	$\frac{24n-3}{3}$	4 3	4/6	$18n$
$32n$	01	2-B	$\frac{24n-3}{3}$	6 5	4/7	$21n$
$32n$	00	1-B	$\frac{24n-3}{3}$	10 9	4/9	$27n$

3.4 時間交錯 (Time interleaving)

當訊號強度在一段時間內快速衰弱，這一段訊號的解碼就會幾乎完全錯誤，時間交錯的原意就是希望時間上的連續錯誤能分攤到不同的音訊訊框，作法是將 1 個音訊訊框平分到 16 個連續的時間交錯訊框，如圖 3.5 所示。所以解碼端要連續收到 16 個時間交錯訊框才能解出一個音訊訊框。

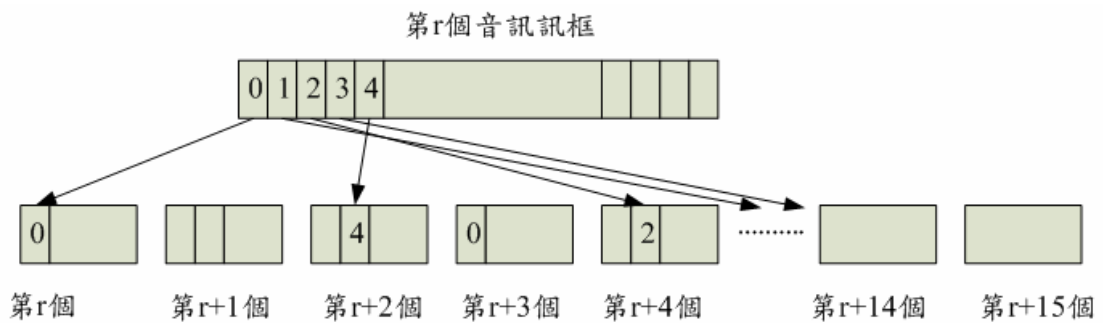


圖 3.5、時間交錯示意圖

接下來我們解說時間交錯的作法，假設經過間空摺積編碼後的訊框為

$$B_r = (b_{r,0}, b_{r,1}, \dots, b_{r,i_r}, \dots, b_{r,M_r-1})$$

b_{r,i_r} 為訊框中的一個位元， r 代表訊框的時間，經過時間交錯後的訊框為

$$C_r = (c_{r,0}, c_{r,1}, \dots, c_{r,i_r}, \dots, c_{r,M_r-1})$$

C_{r,i_r} 為經過時間交錯後的訊框裡面一個位元，依下式可得到 C_{r,i_r} ，其中的參數如表 3.9 所示。

$$C_{r,i_r} = \begin{cases} b_{r',i_r} & \text{if } i_r \leq M_r - 1 \\ 0 & \text{if not} \end{cases}$$

表 3.9、時間交錯編碼規則

$R(i_r/16)$	$r'(r, i_r)$
0	r
1	$r - 8$
2	$r - 4$
3	$r - 12$
4	$r - 2$
5	$r - 10$
6	$r - 6$
7	$r - 14$
8	$r - 1$
9	$r - 9$
10	$r - 5$
11	$r - 13$
12	$r - 3$
13	$r - 11$
14	$r - 7$
15	$r - 15$

3.5 區塊分割 (Block partitioner)

在執行完能量分散、穿刺摺積編碼、時間交錯後，把資訊快速通道和共同交錯訊框整合在一起，就是一個新階段的開始。再經過區塊分割、QPSK 符元對應、頻率交錯、差別運算後，把資料加上相位參考符元(phase reference symbol)和無用符元(null symbol)結合成一個數位音訊廣播的傳送訊框，如圖 3.6。

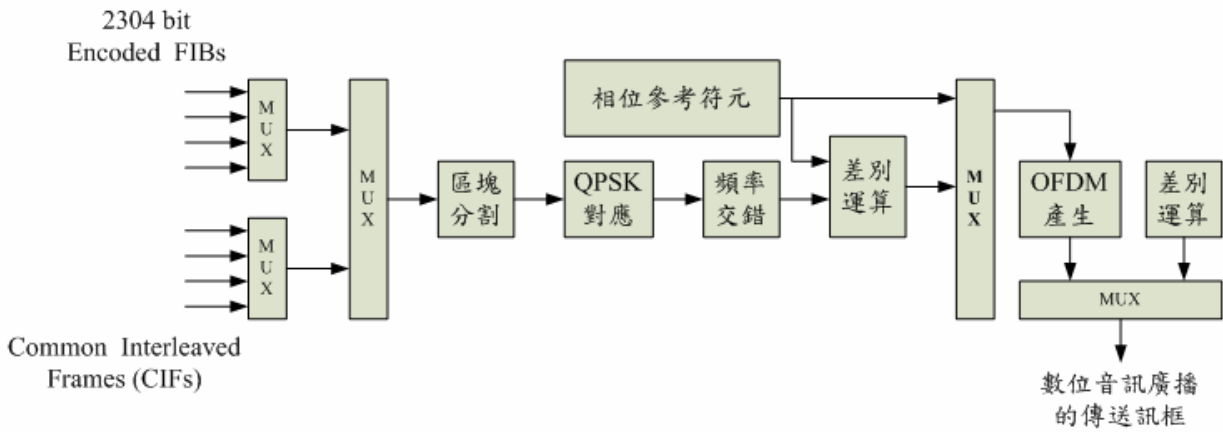


圖 3.6、傳送信號產生方塊圖

區塊分割就是把資訊快速通道和共同交錯訊框整合在一起的資料，區塊分割成正交分頻多工符元的大小(3072 位元)。快速資訊通道是將 4 段 2304 位元的資料，切割成 3 個正交多工符元，並且給予編號，如圖 3.7 所示。再將 4 段共同交錯訊框(55296 位元)，切割成 72 個正交多工符元，並且給予編號，如圖 3.8。

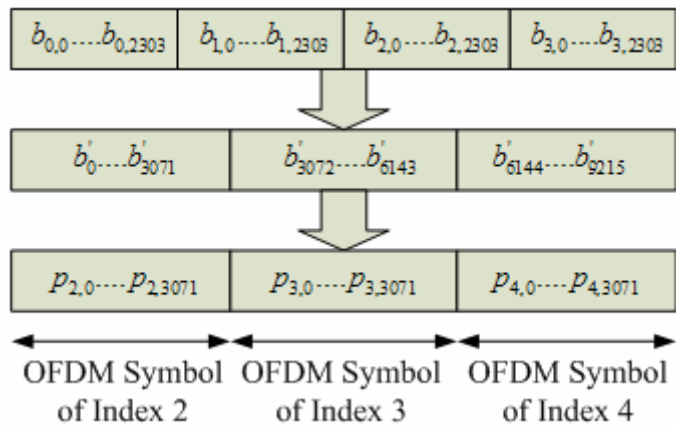


圖 3.7、快速資訊通道的區塊分割

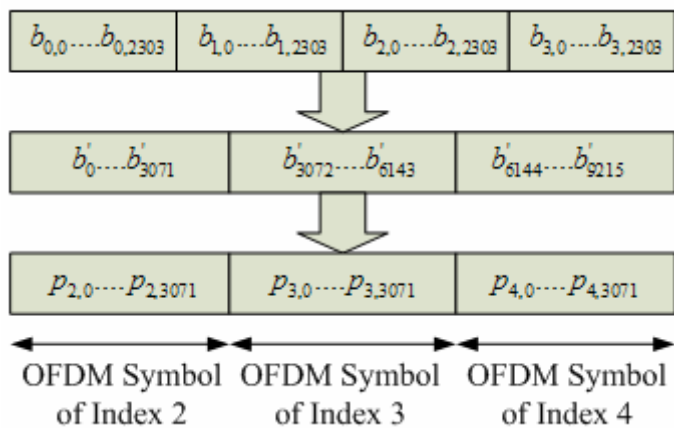


圖 3.8、主要服務通道的區塊分割

3.6 QPSK 符元對應 (QPSK symbol mapping)

區塊分割後資料大小為每一 OFDM symbol 含有 3072 個位元，區塊分割後之資料位元記為 $p_{l,n}$ ，其中 l 表示正交多工符元的編號、 n 為資料位元編號。每一 OFDM symbol 中 3072 個位元被 mapping 成 1536 個 QPSK symbol:

$$q_{l,n} = \frac{1}{\sqrt{2}}[(1-2p_{l,n}) + j(1-2p_{l,n+K})] \quad \text{for } n = 0, 1, 2, \dots, K-1.$$

其中， $K = 1536$ 。QPSK mapping 的示意圖與星狀圖分別如圖 3.9 與圖 3.10 所示。

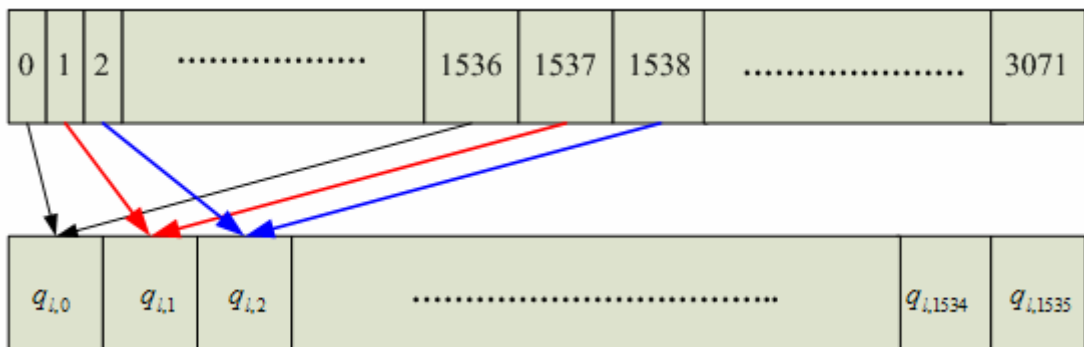


圖 3.9、QPSK 符元對映的示意圖

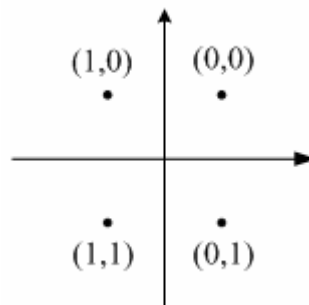


圖 3.10、星狀圖

3.7 頻率交錯 (Frequency interleaving)

頻率交錯是把將相鄰的 QPSK symbol，用頻譜不相鄰的子載波來傳送，使得錯誤可以分散開來。頻率交錯在方法上跟時間交錯並不相同，差別在於頻率交錯的作用，是在單一的訊框 $q_{l,n}$ 上交錯。當 $p_{l,n}$ (3072 個位元) 經過 QPSK 符元對應後變成 $q_{l,n}$ (1536 個符元)，再經過頻率交錯的重新排列得到 $y_{l,k}$ ，其中 $-K/2 \leq k < 0$ and $0 < k \leq K/2$ 。

令一排列為

$$\Pi(i) = 13\Pi(i-1) + 511 \pmod{2048} \text{ and } \Pi(0) = 0 \text{ for } i = 1, 2, \dots, 2047$$

產生集合 A :

$$A = \{\Pi(0), \Pi(1), \Pi(2), \dots, \Pi(2047)\}$$

將集合 A 中數值小於 256 以及大於 1792 和 0 移除，使得剩下來數值的個數等於 $q_{i,n}$ 的個數 (1536 個位元)，然後產生新的集合 D :

$$D = \{d_0, d_1, d_2, \dots, d_{1535}\}$$

為了把集合 D 的數值限定在 -768~768，然後算出數值 k 就是頻率交錯的次序：

$$k \in \{-768, -767, -766, \dots, 768\} \setminus \{0\}$$

$$k = d_n - 1024$$

頻率交錯之前後次序排列關係如表 3.10。

表 3.10、頻率交錯的相關係數對應表

i	$\Pi(i)$	d_n	n (QPSK 符元次序)	k (頻率交錯次序)
0	0			
1	511	511	0	-513
2	1010	1010	1	-14
3	1353	1353	2	329
4	1716	1716	3	692
5	291	291	4	-733
6	198			
7	1037	1037	5	13
8	1704	1704	6	680
9	135			
10	218			
11	1297	1297	7	273
12	988	988	8	-36
13	1067	1067	9	43
14	46			
15	1109	1109	10	85
13	592	592	11	-432
17	15			
18	706	706	12	-318
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2044	1676	1676	1533	652
2045	1819			
2046	1630	1630	1534	606
2047	1221	1221	1535	197

3.8 差別運算(Differential modulation)

作過 QPSK 符元對應後的資料，經過頻率交錯後，再來就是差別運算，至於作差別運算的原因是為了減低接收端的複雜度。一般來說 QPSK 符元要做相位同步，但經過差別運算後符元跟符元的位置是相對而不是絕對，所以就可以不必作相位同步的部分，差別運算的方法如下：

$$z_{l,k} = z_{i-1,k} \cdot y_{l,k} \text{ for } l = 2,3,4,\dots,L \text{ and } -\frac{K}{2} \leq k \leq \frac{K}{2}$$

其中， l 是正交多工符元的編號， k 子載波的索引， $y_{l,k}$ 是頻率交錯後的符元， $z_{l,k}$ 是經過差別運算後的符元， $z_{1,k}$ 是相位參考符元，所以第一次運算就是 $l=1$ 相位參考符元跟 $l=2$ 的正交多工符元作差別運算。

3.9 正交多工訊號產生器 (OFDM Signal generator)

QPSK 的訊號有用符元只有 1536 位元，再進入 IFFT 之前要先補零成 2048 位元，如圖 3.11。然後再把最後的 504 位元複製到最前面當作保護區(Guard interval)，來抵抗符元間的干擾(Inter Symbol Interference, ISI)，如圖 3.12。

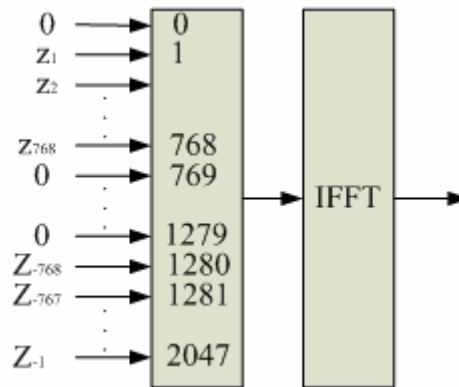


圖 3.11、補零成 2048 的示意

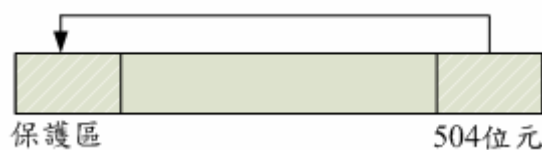


圖 3.12、Guard interval 的示意圖

4. 數位音訊廣播之傳送框架架構

數位廣播框架(DAB Frame)如圖 4.1 所示，其基本架構是由同步頻道(Synchronization Channel; SC)、快速資料頻道(Fast Information Channel; FIC)及主要服務頻道(Main Service Channel; MSC)等三部份所組成。同步頻道(SC)分空白符碼(Null Symbol)和參考符碼(TFPR)兩部份。空白符碼主要作用是提供接收機辨認每個傳輸框的時間起點，參考符碼主要作用是估計傳輸頻道的狀態和提供自動頻率控制及用來當差分解調器的參考起點。快速資料頻道(FIC)主要作用是攜帶傳輸框的控制訊息，接收機端必須解讀出此頻道內資料，才能進一步知道如何解出主要服務頻道內的語音資料及數據資料。主要服務頻道則是放置所有廣播節目與服務之資料。主要服務頻道可分成數個副頻道(sub-channel)，每個副頻道有自己各別的錯誤防護與時間交錯，所有副頻道構成共同交錯框架(Common Interleaved Frames; CIF)。每一共通交錯框架(CIF)傳送時間為 24 ms，共含有 55296 位元。所有數位廣播節目之位元傳輸率則為 2304Kb/s。對於傳送之語音資料及數據資料，利用不同的錯誤更正碼之碼率來提供不同等級之錯誤防護。主要服務頻道將所有副頻道構成共同交錯框架(CIF)之後，加入快速資料頻道(Fast Information Channel; FIC)。輸出之位元串再做 DQPSK mapping 與頻域交錯(frequency interleaving)後，再加上 Null symbol 與 TFPR symbol 後並做 OFDM 調變以完成 DAB 訊框。每一個傳輸訊框包含連續的 OFDM 符元，OFDM 符元的個數則因不同的傳輸模式而有所不同，相關參數則如表 4.1 所示。

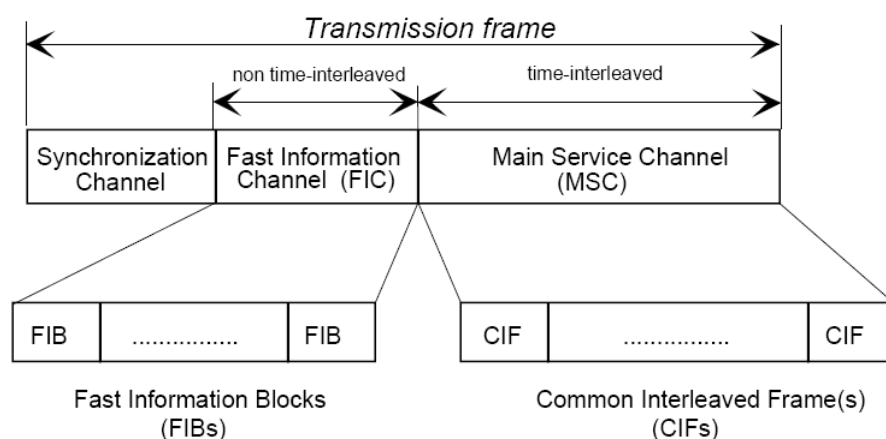


圖 4.1、DAB Frame [9]

表 4.1、四種傳輸模式之參數定義[9]

Parameter	Transmission mode I	Transmission mode II	Transmission mode III	Transmission mode IV
L	76	76	153	76
K	1536	384	192	768
T_F	196 608 T 96 ms	49 152 T 24 ms	49 152 T 24 ms	98 304 T 48 ms
T_{NULL}	2 656 T ~1,297 ms	664 T ~324 μ s	345 T ~168 μ s	1 328 T ~648 μ s
T_S	2 552 T ~1,246 ms	638 T ~312 μ s	319 T ~156 μ s	1 276 T ~623 μ s
T_U	2 048 T 1 ms	512 T 250 μ s	256 T 125 μ s	1 024 T 500 μ s
Δ	504 T ~246 μ s	126 T ~62 μ s	63 T ~31 μ s	252 T ~123 μ s

4.1 同步通道 (Synchronization Channel)

同步通道是由無用符元和相位參考符元所構成，主要就是利用這兩個符元的特性在做接收訊號的同步。

傳輸訊框的第一個 OFDM 符元是 null symbol。Null symbol 在模式一中，包含 2656 個位元，比一般的正交多工符元(OFDM)長度來的大，基本上 null symbol 不傳送資料，最多只會攜帶電台識別資訊(TII)，所以能量接近零。在做同步的時候是將利用能量低和符元長度較大的特性來確定傳送訊框的起始點。

傳輸訊框的第一個 OFDM 符元相位參考符元。相位參考符元的大小為一個標準的正交多工符元，做為下一個 OFDM 符元做 differential modulation 的相位參考。相位參考符元被定義為

$$z_{1,k} = \begin{cases} e^{j\varphi_k} & \text{for } -\frac{K}{2} \leq k < 0 \text{ and } 0 < k \leq \frac{K}{2} \\ 0 & \text{for } k = 0 \end{cases}$$

$$\varphi_k = \frac{\pi}{2}(h_{i,k-k'} + n)$$

其中 k 為正交多工的副載波的編號， i 、 k' 、和 n 的數值，可由表 4.2 得到。

表 4.2、傳輸模式一中 Phase Reference Symbol 之 indices 間之關係

k 的範圍		k'	i	n
min	max			
-768	-737	-768	0	1
-736	-705	-736	1	2
-704	-673	-704	2	0
-672	-641	-672	3	1
-640	-609	-640	0	3
-608	-577	-608	1	2
-576	-545	-576	2	2
-544	-513	-544	3	3
-512	-481	-512	0	2
-480	-449	-480	1	1
-448	-417	-448	2	2
-416	-385	-416	3	3
-384	-353	-384	0	1
-352	-321	-352	1	2
-320	-289	-320	2	3
-288	-257	-288	3	3
-256	-225	-256	0	2
-224	-193	-224	1	2
-192	-161	-192	2	2
-160	-129	-160	3	1
-128	-97	-128	0	1
-96	-65	-96	1	3
-64	-33	-64	2	1
-32	-1	-32	3	2
1	32	1	0	3
33	64	33	3	1
65	96	65	2	1
97	128	97	1	1
129	160	129	0	2
161	192	161	3	2
193	224	193	2	1
225	256	225	1	0
257	288	257	0	2
289	320	289	3	2
321	352	321	2	3
353	384	353	1	3
385	416	385	0	0
417	448	417	3	2
449	480	449	2	1
481	512	481	1	3
513	544	513	0	3
545	576	545	3	3
577	608	577	2	3
609	640	609	1	0
641	672	641	0	3
673	704	673	3	0
705	736	705	2	1
737	768	737	1	1

4.2 快速資訊通道(FIC)

快速資訊通道是由快速資訊區塊(FIBs)所構成，每一個快速資訊區塊(FIBs)包含數個不等的快速資訊群組(FIG)，而快速資訊區塊的大小固定是 256 個位元，如 4.2 圖所示。快速資訊區塊的最前面 240 個位元屬於資料的部分，最後 16 個位元是循環冗餘檢查碼(Cyclic Redundancy Check, CRC)，會根據前面 240 個位元的資料計算得到循環冗餘檢查碼(CRC)，其產生多項式為：

$$G(x)=x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

快速資訊區塊的資料欄位，由有用的資料欄位(Useful data field)、結束標記(End marker)和補丁(Padding) 所組成。有用的資料欄位(Useful data field)是由一個或多個快速資訊群組 (FIG)資組成，最多有 30 個位元組(byte)的資料。結束標記(End marker)是由八個位元的 1 所組成，當有用的資料欄位包含 30 個位元組，則結束標記就不會存在，如果有用的資料欄位小於等於 29 個位元組，則結束標記就會出現。補丁(Padding)是當有用的資料欄位和結束標記相加不足 30 個位元組，補丁就會以位元組的整數倍數，把快速資訊區塊的資料欄位補到 30 個位元組。

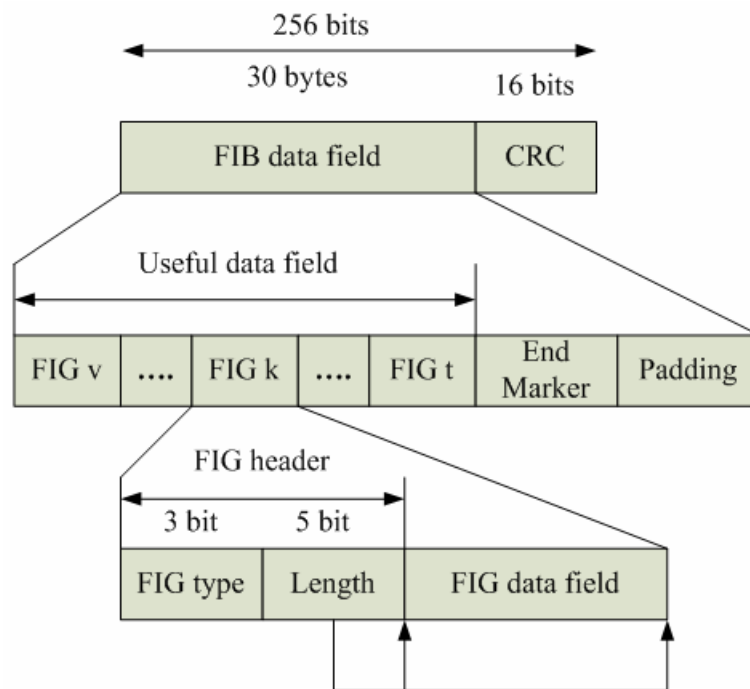


圖 4.2、快速資訊區塊架構圖

4.2.1 快速資訊群組(FIG)

快速資訊區塊中包含數個快速資訊群組(FIG)，快速資訊群組攜帶多工組態資訊(MCI)、服務資訊、文字標籤、快速資訊資料通道(FIDC)以及條件存取(Conditional Access)等資訊。如表 4.3 的定義，不同的快速資訊群組型態分別定義攜帶不同的資訊。如圖 4.2 所示，一個快速資訊群組(FIG)以快速資訊群組型態、資料長度和快速資訊群組資料欄位三個區塊所組成。最前面 3 個位元是表示快速資訊群組型態，最多可以表示八種型態，再來資料長度的 5 個位元則是記錄快速資訊群組資料欄位有多少資料量，最後的資訊群組資料欄位的大小就是根據資料長度的定義。

表 4.3、快速資訊群組型態表

FIG type number	FIG type	FIG application
0	000	MCI and part of SI
1	001	Labels, etc (part of the SI)
2	010	Labels, etc (part of the SI)
3	011	Reserved
4	100	Reserved
5	101	FIC Data Channel (FIDC)
6	110	Conditional Access (CA)
7	111	Reserved (except for Length 31)

4.2.2 多工組態(MCI)

多工組態定義電波頻道中共同交錯框架的副頻道的位置、大小及錯誤保護，還有電波頻道裡面的有哪些服務項目，並且建立服務元件之間的連結，或是服務元件和副頻道及快速資訊資料之間的連結。當電波頻道的狀態需要重新調整，也可以使用多工重組態，來改變目前的多工組態。

多工組態(MCI)包含在快速資訊群組型態 0 (FIG type 0)的裡面，而快速資訊群組型態 0 的架構如圖 4.3 所示。最前面 3 個位元由表 4.3 可知是快速資訊群組型態 0，接著 5 個位元是記錄快速資訊群組資料欄位有多少資料量。後面快速資料群組的資料欄位內容，最前面的 8 個位元是快速資訊群組型態 0 的固定欄位。其中，目前/下次多工組態欄位(Current/Next, C/N)表示多工組態是否改變，0 表示沒有，1 則反之。然後目前/其他電波頻道欄位(Other Ensemble, OE)表示是否使用目前的電波頻道，0 表示沒有，1 則反之。再來

節目/資料欄位(Program/Data, P/D)表示資料代表服務識別碼是用 16 位元的音訊節目或是 32 位元的數據資料，0 表示 16 位元，1 則反之。再來擴充型態欄位(Extension)代表是哪一種擴充型態，由於快速資訊群組型態只有 8 種型態，並不足夠使用，所以增加擴充型態欄位，5 個位元最多可提供 32 種類型，但這麼多種類並不會全部介紹，我們只會探討我們後面解碼所會使用到的擴充型態。

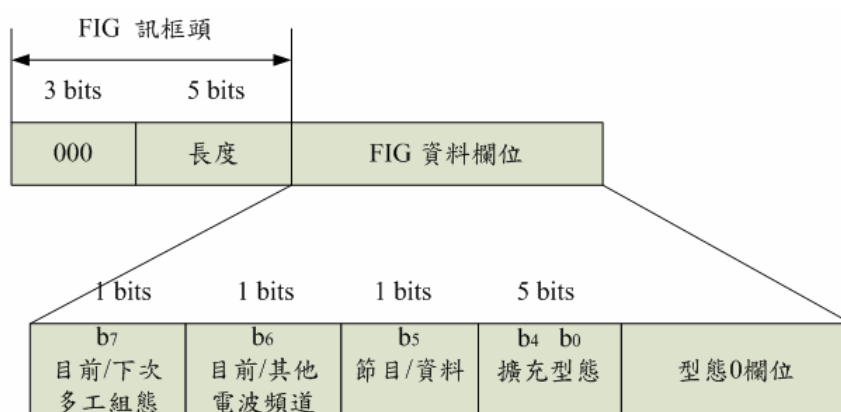


圖 4.3、快速資訊群組型態 0 之架構

快速資訊群組型態 0 擴充攜帶的是電波頻道資訊，在一般情況下，快速資訊群組型態 0 擴充 0 (FIG0/0)是在第一個快速資訊區塊(FIB)內傳送。在模式一中，主要服務通道(MSC)有四個共同交錯訊框(CIFs)，所以 FIG0/0 會出現四次來對應四個共同交錯訊框(CIFs)。如圖 4.4，快速資訊群組型態 0 擴充 0 (FIG0/0)的前面三個欄位為目前/下次多工組態、目前/其他電波頻道和節目/資料。擴充欄位 00000 表示擴充 0，再來就是 16 個位元的電波頻道識別碼(Ensemble Identifier, EId)，其中前面 4 個位元國家代碼(Country Identification)，代表台灣的是 1101。接著是 2 個位元的改變旗標(Change flag)，主要是告訴我們副通道或是服務架構是否有改變，其中 00 表示沒有改變，所以最後的事件改變欄位就不存在、01 表示副通道有改變、10 表示服務架構有改變以及 11 表示兩者都有改變。警報旗標(Alarm flag, AL flag)表示是否有警報系統，1 表示有，0 則反之。然後共同交錯訊框計數編碼(CIF count)，為 0000 到 4999 之數值，每出現一個共同交錯訊框就加 1，當超過 4999 記數就會歸零重頭開始，計數的數值計算方式，把第一部分 5 個位元乘上 250 再加上第二部分 8 個位元的總合。假設收到的資料是 00110 10100000 則計算結果就是 $6 \times 250 + 156 = 1656$ 。最後是事件改變欄位(Occurrence change)，這個欄位當改變旗標不是 00 時才存在，這 8 個位元式指示副通道或服務架構改變的時間點，當此欄位的數值等於共同交錯訊框計數編碼後面 8 個位元，此時就是改變的時間點。

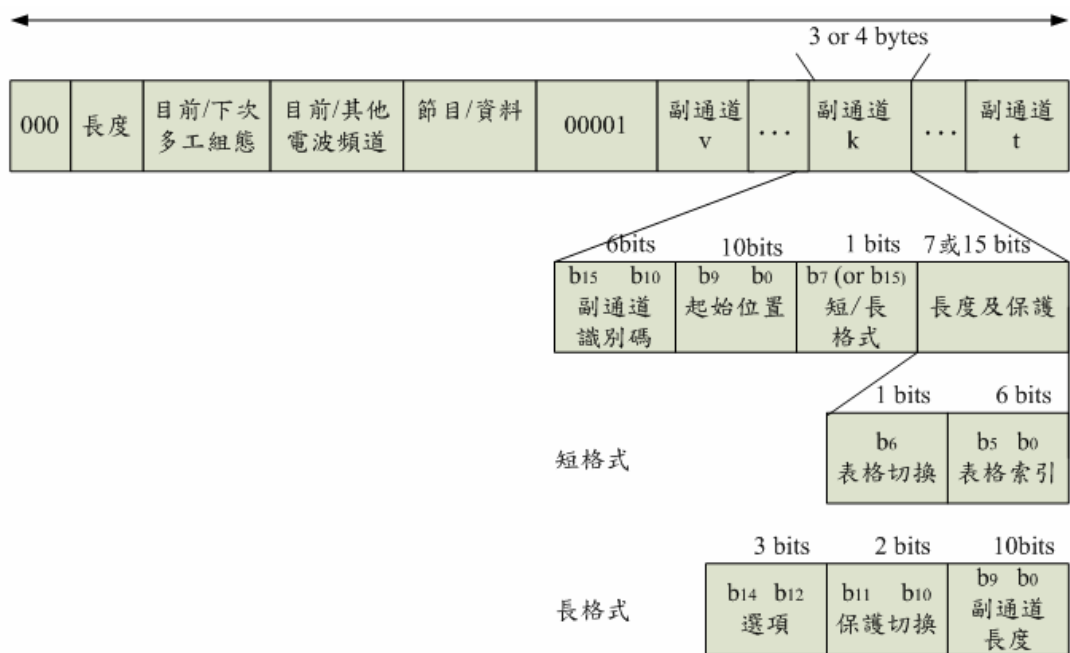


圖 4.5、快速資訊群組型態 0 擴充 1 的架構

表 4.4、使用短格式的副通道保護索引

Index	Sub-channel Size(CU)	Protection level	Bit rate (kbit/s)	Index	Sub-channel Size(CU)	Protection Level	Bit rate (kbit/s)
0	16	5	32	33	64	5	128
1	21	4	32	34	84	4	128
2	24	3	32	35	96	3	128
3	29	2	32	36	116	2	128
4	35	1	32	37	140	1	128
5	24	5	48	38	80	5	160
6	29	4	48	39	104	4	160
7	35	3	48	40	116	3	160
8	42	2	48	41	140	2	160
9	52	1	48	42	168	1	160
10	29	5	56	43	96	5	192
11	35	4	56	44	116	4	192
12	42	3	56	45	140	3	192
13	52	2	56	46	168	2	192
	x			47	192	1	192
14	32	5	64	48	116	5	224
15	42	4	64	49	140	4	224
16	48	3	64	50	168	3	224
17	58	2	64	51	208	2	224
18	70	1	64	52	232	1	224
19	40	5	80	53	128	5	256
20	52	4	80	54	168	4	256
21	58	3	80	55	192	3	256
22	70	2	80	56	232	2	256
23	84	1	80	57	280	1	256
24	48	5	96	58	160	5	320
25	58	4	96	59	208	4	320
26	70	3	96		x		
27	84	2	96	60	280	2	320
28	104	1	96		x		
29	58	5	112	61	192	5	384
30	70	4	112		x		
31	84	3	112	62	280	3	384
32	104	2	112		x		
	x			63	416	1	384

快速資訊群組型態 0 擴充 2 主要記載服務架構，從這裡可以知道副通道與服務之間的關係，而其欄位如圖 4.6 所示。節目/資料欄位是 1 或 0，將會影響到服務元件中服務識別碼欄位(Service Identifier)的長度，節目/資料欄位是 0 則服務識別碼欄位為 16 個位元，反之則為 32 個位元。擴充欄位 00010 表示為擴充 2，後續的資料會攜帶數個服務元件(Number of service component)。服務元件的內容中，最前面的服務識別碼欄位就如前面所提到的，有 16 個位元或 32 個位元兩種分別，接著區域旗標欄位(Local flag)表示服務會涵蓋的範圍，0 表示全區域，1 則反之。條件存取識別碼欄位(Conditional Access Identifier, CAId)屬於加密功能，台灣目前並沒有使用，所以固定是 000。接下來的服務元件數目，這告訴我們有多

少個服務元件，當然有幾個服務元件就有幾個服務元件描述欄位。最後的服務元件描述，依照傳輸機制代碼欄位(Transport Mechanism Identifier, TMId)分為 4 種類型:

- 傳輸機制代碼=00:表示此服務元件為主要服務通道的串流音訊，其後的音訊服務型態(Audio Service Component Type, ASCTy)中，000000 為前景音樂(Foreground sound)、000001 代表背景音樂(Back ground sound)和 000010 表示為多聲道擴充音樂(Multi-channel audio)。接下來的副通道識別碼欄位，用來識別服務元件屬於哪一個副通道，然後主要或次要服務欄位(Primary / Secondary)裡面，1 是主要，0 則反之。最後的條件存取欄位是指示該服務使用的存取控制系統，0 為沒有條件存取，1 則反之。後面的欄位多有重複，所以我們只講解其中不一樣的欄位。
- 傳輸機制代碼=01:表示此服務元件為主要服務通道的串流資料。
- 傳輸機制代碼=10:表示此服務元件以做速資訊資料通道的方式傳送，所以後面有快速資訊資料通道識別碼欄位來表示對應到位置。
- 傳輸機制代碼=11:表示此服務元件為數據資料(data)，並以封包的方式傳送，所以後面有數據資料服務元件識別碼，而不需要副通道識別碼。

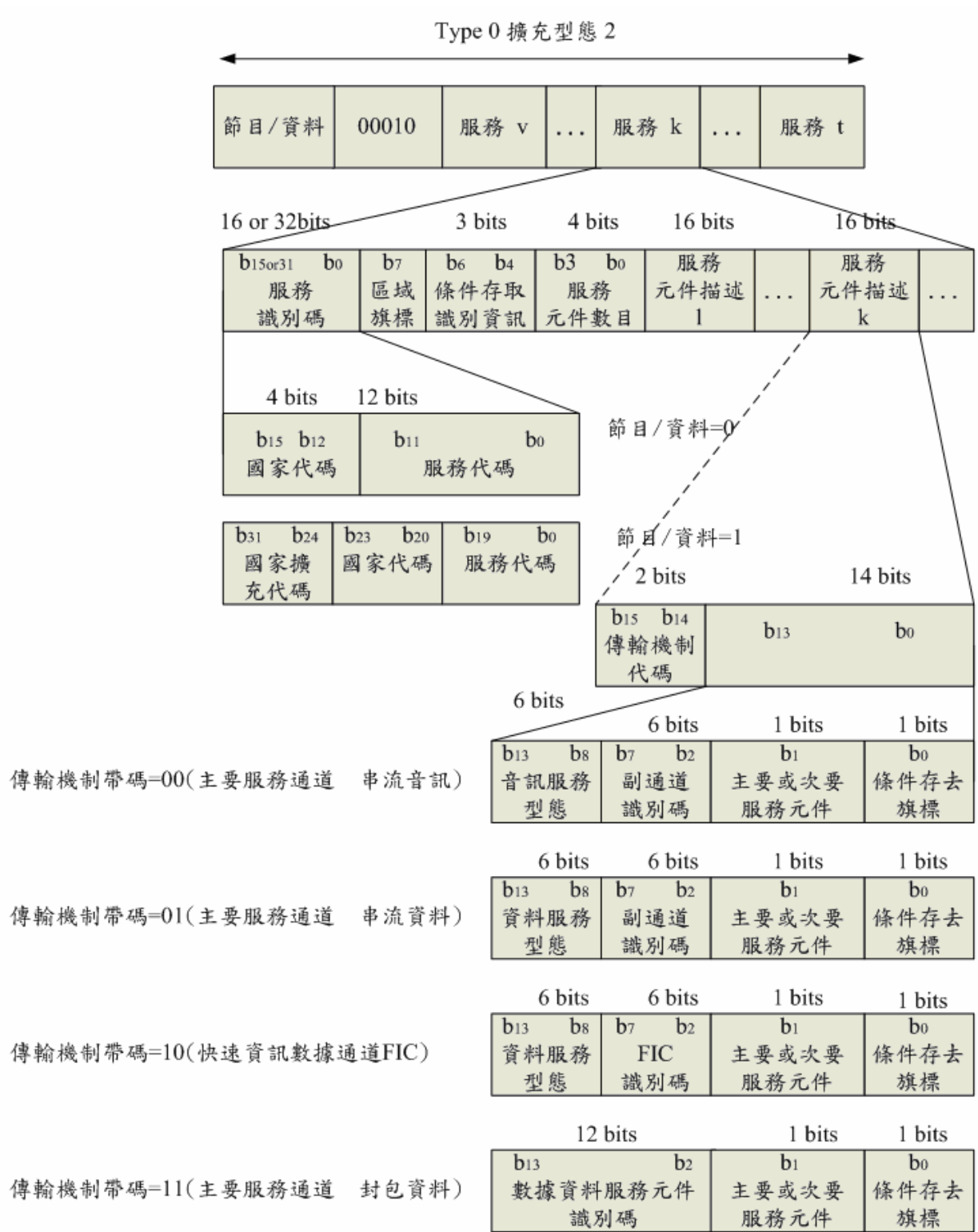


圖 4.6、快速資訊群組型態 0 擴充 2 的架構圖

快速資訊群組型態 1 (FIG 1) 主要記載文字標籤，然而不同的擴充型態，就表示不同服務的文字標籤，下面我們只會介紹電波頻道文字標籤和節目服務文字標籤。如圖 4.7、FIG 1 的擴充型態欄位有三個位元，表示有 8 種類型，但是有一些並不使用，而是給以保留。

擴充型態欄位 000，表示擴充 0，為快速資訊群組型態 1 擴充 0 (FIG1/0)，主要是記載電波頻道文字標籤。其內容最前面的 16 個位元中，前面 4 個位元是國家代碼，後面 12 個位元表示電台頻道代碼，再來就是文字標籤欄位，其內容是以 8 個位元為一個單位，使用 ASCII 編碼。最後 16 個位元，表示文字標籤是否要顯示顯示成縮小標籤，0 不要，1 則反之。再來介紹擴充型態欄位 001，表示擴充 1，為快速資訊群組型態 1 擴充 1 (FIG1/1)，主要是記載節目服務文字標籤。最前面 16 個位元，前面依然是國家代碼，後面就變成服務代碼，根據服務代碼我們就知道這個服務的節目名稱為何。

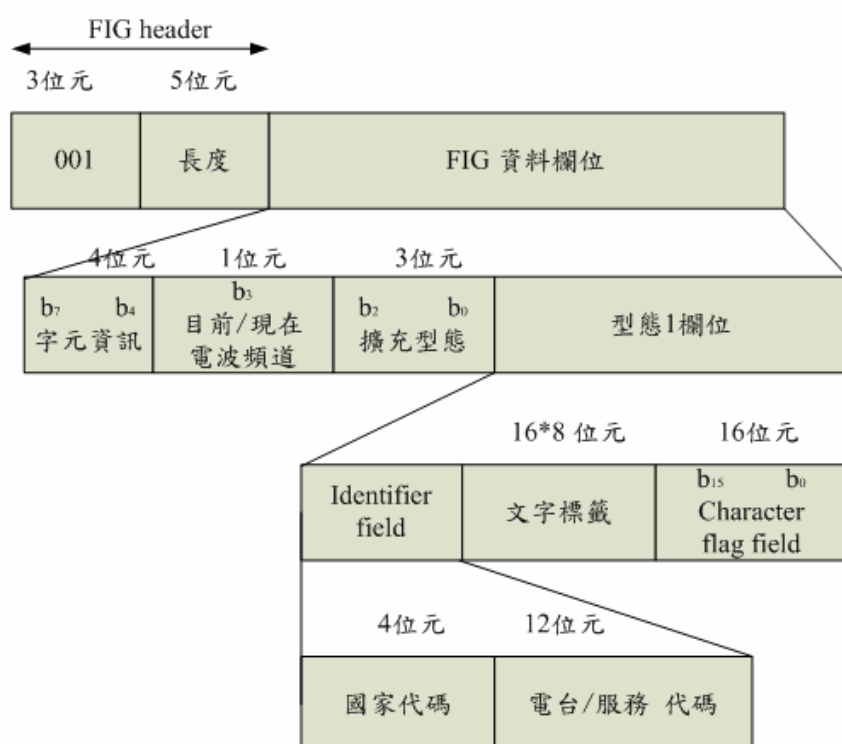


圖 4.7、快速資訊群組型態 1 的架構圖

4.3 主要服務資訊通道 (MSC)

前面我們已經提到在模式一中，主要服務通道的資料在編碼前以 24ms 為單位先分段成邏輯框架(Logic frame)，每一段都對應一個共同交錯框架，再為共同框架編號，稱為共同框架計數，這部分的資料定義在多工組態(MCI)裡面。在主要服務資訊通道的服務元件有串流模式(Stream mode)和封包模式(Packet mode)兩種。串流模式中每一個服務元件都有固定的傳輸速度，每秒傳送固定的位元，數據和音訊節目都是使用副通道傳送，其中的差別，只是音訊節目主要使用不對等保護(Unequal Error Protection, UEP)，數據資料一般使

用對等保護(Equal Error Protection, EEP), 但也可以使用不對等保護。串流模式雖然很好用, 但是它有最小使用容量, 如果不足就會使用補丁, 所以如果傳送低速資料的時候, 就會有不必要的浪費。跟串流模式不同, 封包模式是把不同型態的資料, 放在封包訊框架構中在傳送, 如此就算傳送低速資料也不會浪費, 傳送的方法分為網路層(Network level)和資料(data group level)群組成兩種, 在網路層中每一個封包都包含封包頭(Packet header)、封包資料(Packet data)和錯誤偵測碼(CRC)這三部分, 整體的封包格式, 如圖 4.8 所示:

封包長度: 以二位元代表封包總長, 其中 00 表示長度 24 位元組, 01 表示長度 48 位元組, 10 表示長度 72 位元組, 11 表示長度 86 位元組。

封包連續索引: 以二位元重複 00、01、10 和 11, 所以如果封包有遺漏就可以清楚發現。

第一/最後指引: 以二位元表示式資料的開始、中間或結束, 00 表示中間, 01 表示結束, 10 表示開始, 而 11 則是代表資料只有一個封包。

封包地址: 以 10 位元表示服務元件的代號。

封包命令旗標: 這一個位元是告訴我們, 後面資料是一般數據資料還是特定命令, 0 表示一般數據資料, 1 表示特定命令。

有用資料長度: 表示有用資料裡面有多少位元組, 範圍從 0 至 91。

封包 CRC: 把前面收到的資料帶入公式, 就可以得到 CRC 檢查碼, 暫存器狀態設定為 1。

$$G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

如果資料長度很長, 就可以使用封包模式中的資料群組, 先把資料加上額外資訊後包裝好, 再分割成多個網路層的封包資料來傳送。

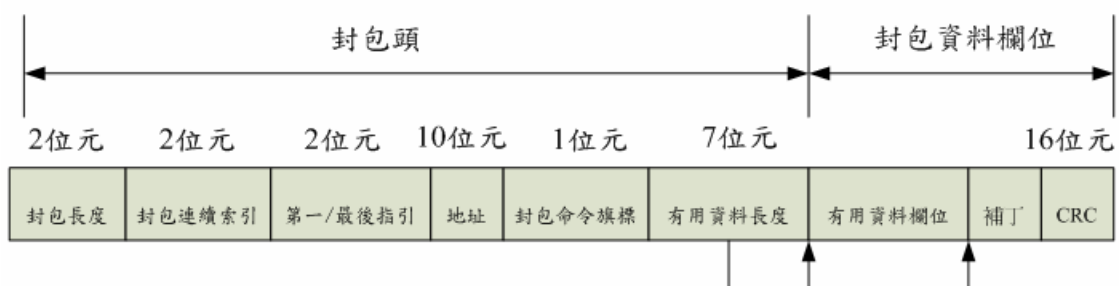


圖 4.8、網路層封包模式的架構圖

5. 數位音訊廣播電腦軟體接收機之實現

接收數位廣播信號之接收機其操作原理與數位廣播發射系統所進行順序剛好相反，如圖 5.1 所示。從接收天線接收到數位廣播信號後在調諧器內部將高頻信號轉換為中頻或基頻帶信號，並過濾掉其他廣播電台的數位廣播信號。數位廣播調諧器需有高的接收靈敏度及調諧準確度，由於移動接收及本地振盪器頻率偏移造成都卜樂效應影響，可使用自動頻率控制(Automatic Frequency Control; AFC)修正偏移的頻率。信號框架的時序同步可使用振幅檢測器(Envelope Detector)以偵測傳送框架的空白符碼信號，做為計算信號符碼的起點，接著將 1.536MHz 頻寬之數位廣播信號透過 COFDM 調變器使 COFDM 信號分成同相分量(I)的及正交分量(Q)，再分別經過類比數位轉換器(A/D)轉變成數位信號，由快速富立葉轉換架構(FFT)將數位信號整合到解多工器上。如圖所示經差分解調後在解多工器內分為同步頻道(SC)、快速資訊頻道(FIC)及主要服務頻道(MSC)。主要服務頻道內之數據是依據快速資訊頻道(FIC)中所傳送的多工架構資訊(MCI)，分成數個副頻道邏輯架構。相對於發射系統中，在接收系統上解頻率交錯是緊接在解多工器後，但發射系統僅在主要服務頻道使用時間交錯，所以僅於接收系統的主要服務頻道做解時間交錯，以使位元序列恢復原來的順序。在發射系統通道編碼中加入額外位元之迴旋碼編碼技術用以避免傳送過程信號衰落影響傳送品質，在接收系統通道解碼時由迴旋碼中一定數量之保護位元識別出某些程度傳送錯誤碼並加以更正。最後，成音解碼器是將資訊壓縮之 MPEG 信號重新恢復原有資訊傳輸速率之脈波碼調變(PCM)節目信號，以轉換為較適合於播出或儲存的位元，經數位類比轉換(D/A)後提供原來成音節目信號。另外，還會有與節目相關的數據(PAD)及與廣播節目無關之串流模組形式或封包模組之非 PAD (N-PAD)被輸出。

確立數位音訊廣播之傳輸原理後，接著便規劃數位廣播電腦軟體接收機(PC-based Software Defined Receiver for DAB)之架構。我們所規劃之數位廣播電腦軟體接收機的架構如圖 5.2 所示，包括有前端 RF 接收電路、USB 界面、以及基頻數位信號處理之電腦程式三大部份。在前端 RF 電路有接收天線、濾波器(filter)、低雜訊放大器(LNA)與振盪器，將無線電波接收後降至中頻(IF)，便由 ADC 轉換為數位信號，並透過 USB 界面將數位信號傳至電腦，後續之數位信號處理便由具強勢計算功能之電腦來完成。

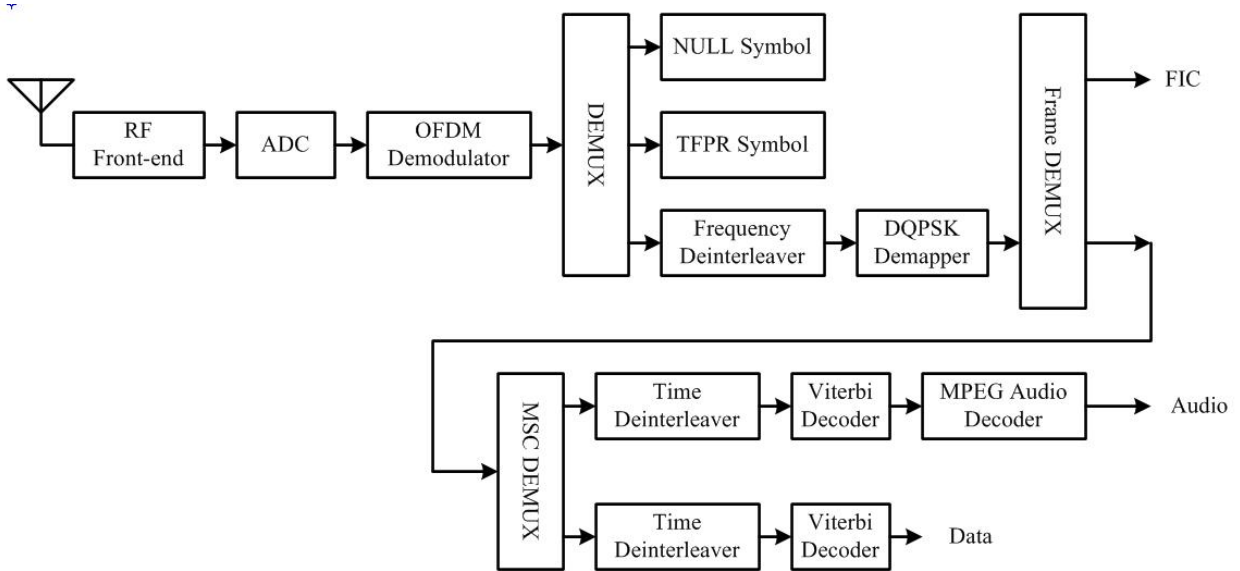


圖 5.1、Block diagram of DAB receiver

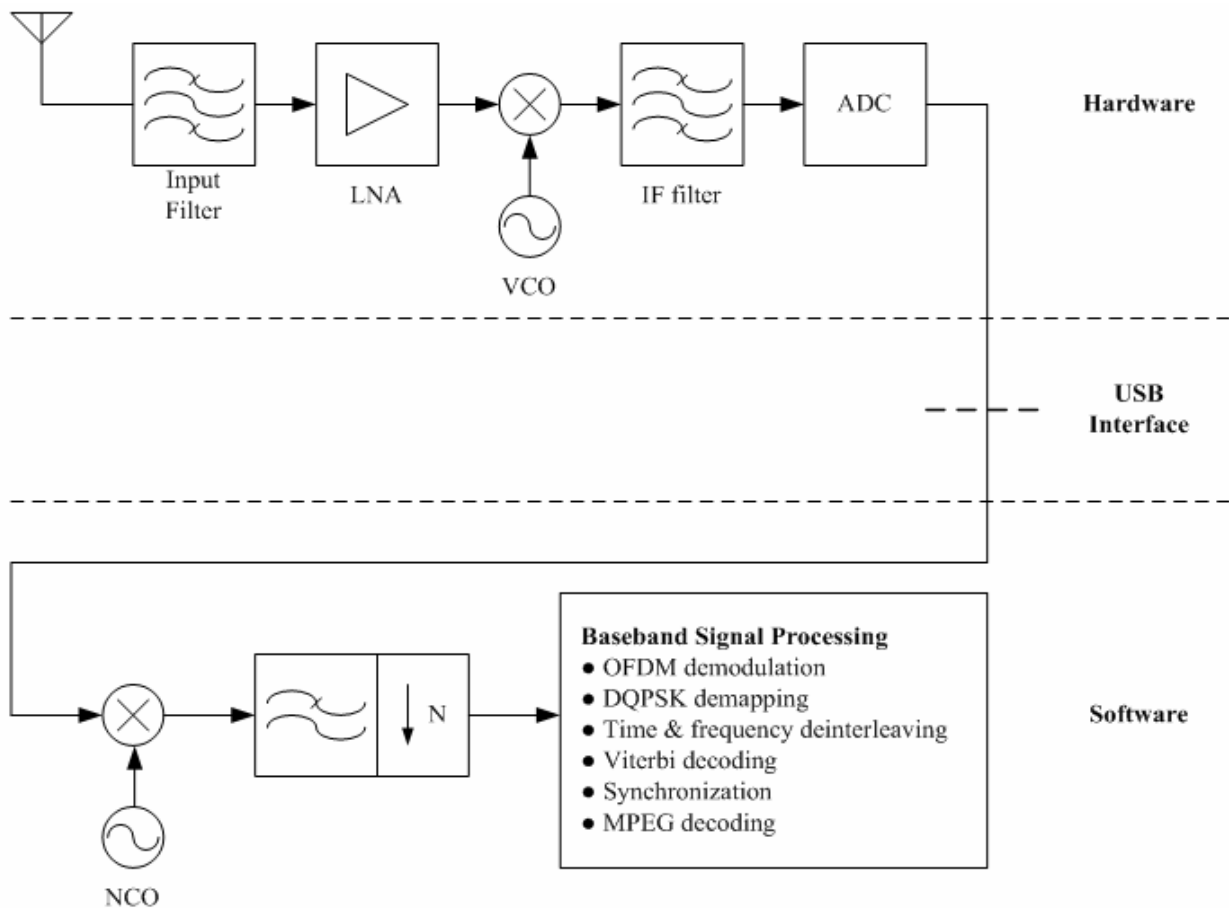


圖 5.2、數位廣播電腦軟體接收機之系統架構

5.1 數位音訊廣播基頻接收系統之數位信號處理平台

我們使用 Simulink 軟體建構 DAB 基頻接收系統之數位信號處理平台，如圖 5.3 所示。Simulink 平台包括有訊號源、頻率同步、正交多工符元的解調、等化器、解差別運算、頻率解交錯和解 QPSK，再來分為兩部分，快速資訊通道不經過時間反交錯，主要服務通道經過時間反交錯、威特比解碼和能量反分散。其中，訊號源是採用參考文獻[]所提供之 DAB 實際接收之訊號源。

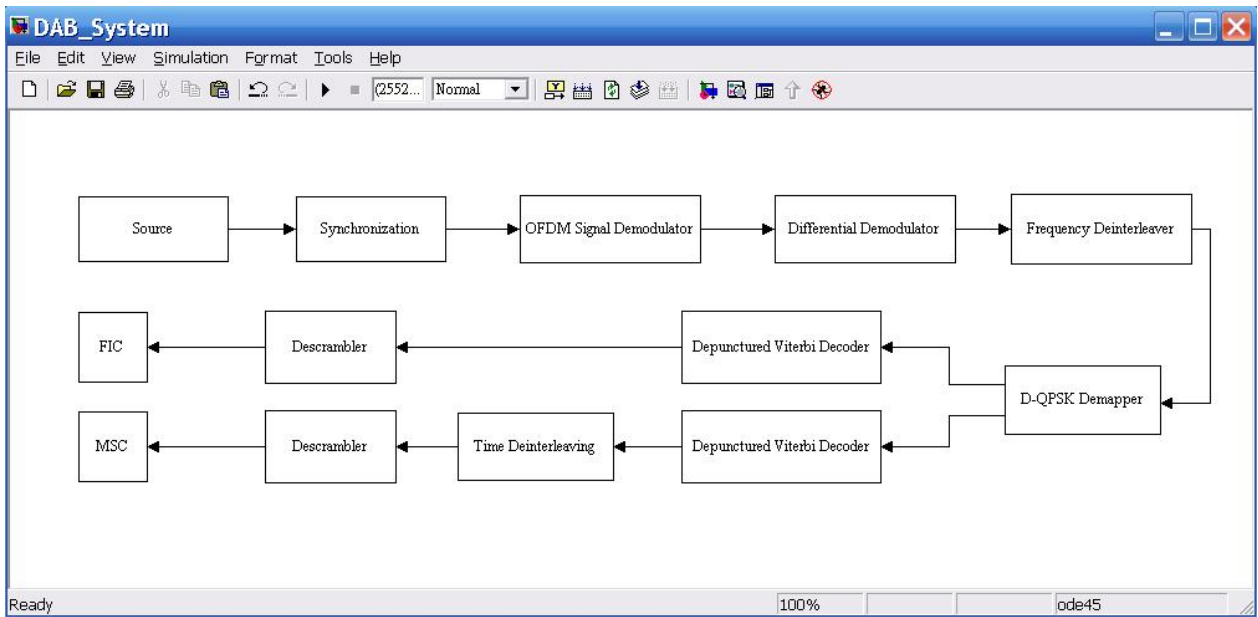


圖 5.3、數位音訊廣播的解碼系統

當接收到已降至中頻 38.912 MHz 而且經過 8.192 MHz 取樣後的訊號後，再將訊號進入我們做的數位音訊廣播的解碼系統之前，我先將進行框架位元的同步，然後再乘上 \cos 和 \sin ，把 I/Q -channel 分離，然而我們使用數位的方法去處理，將 I -channel 乘以 $\{1, 0, -1, 0\}$ ； Q -channel 乘以 $\{0, -1, 0, 1\}$ ，處理過後的訊號如 5.4 圖所示。把其中的無用符元和相位參考符元放大來看，如圖 5.5 所示，可以明顯看到訊號有一段能量特小的部分便是無用符元，後續接著一段有規律性的訊號就是相位參考符元。當訊號執行完分離 I/Q -channel 後，就可以把訊號輸入 Simulink 的解碼系統中，先將訊號經過低通濾波器，再把訊號降 4 倍頻，這因為我們對中頻訊號的取樣率是 8.192 MHz，但是基頻訊號的取樣率為 2.048 MHz，所以必須降 4 倍頻，執行完後訊號的頻譜，如圖 5.6 所示。

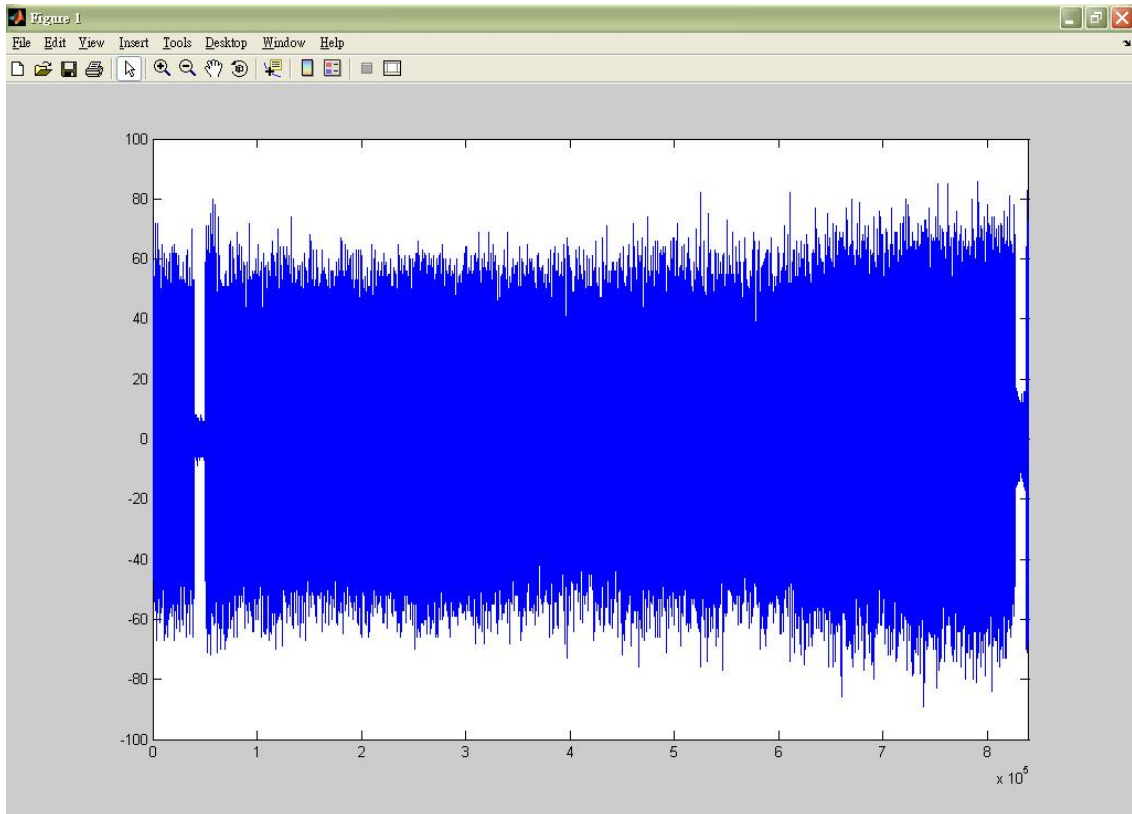


圖 5.4、數位音訊廣播傳送訊框

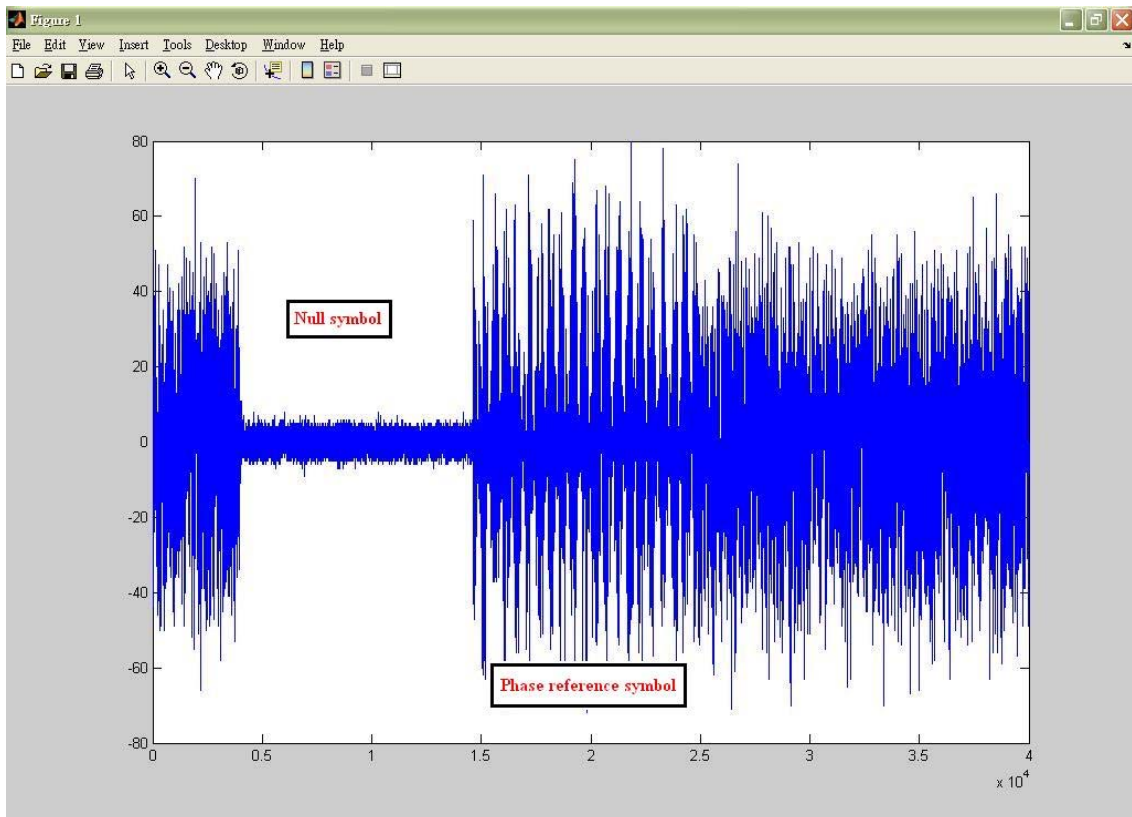


圖 5.5、無用符元及相位參考符元

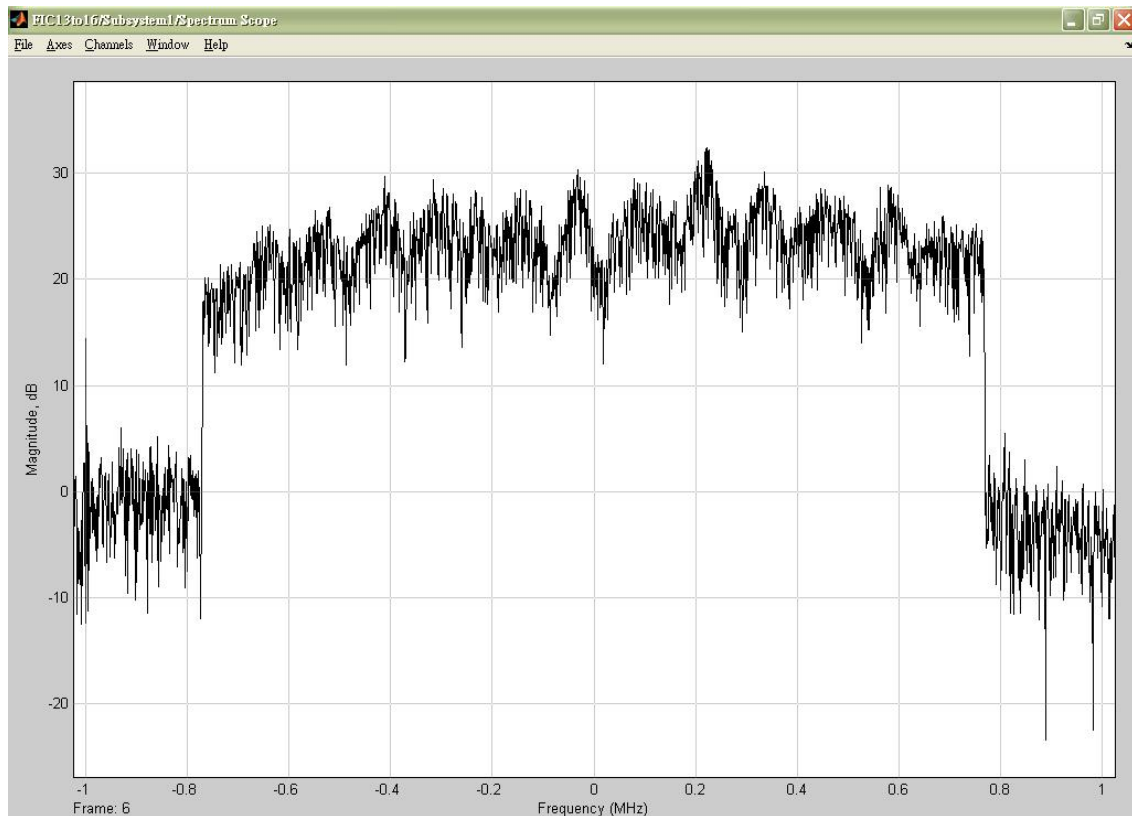


圖 5.6、經過低通濾波器的頻譜

接著進行估測頻率偏移的數值，再進行正交多工符元的解調之前，把估測到的頻率偏移量補償回去，完成頻率同步。然後經過正交多工符元的解調，其中先移除前面 504 個位元的保護區，然後經過快速傅利葉轉換並且移除不要的位元。接下來利用我們已知的相位參考符元來進行估測通道效應，然後移除訊號之中的通道效應，以達到等化器的效果。我們在此把訊號接出來，觀察其星狀圖分布，圖 5.7 是未經過頻率同步的星狀圖，然而圖 5.8 則是有經過頻率同步的星狀圖，而圖中的位元則是分散在八個相位，這是差別運算所造成的結果。

經過等化器後的訊號，再進行解差別運算，使得位元對應回 $\pi/4$ 、 $3\pi/4$ 、 $5\pi/4$ 和 $7\pi/4$ 這 4 個相位，如圖 5.9 所示。然後訊號經過頻率解交錯，把它還原到原本的頻譜，最後經過解 QPSK，回到位元的形式。接著把資料分個為快速資訊通道和主要服務通道，然後把快速資訊通的位元，經過威特比解碼和能量反分散並且解釋解碼完的 FIC。根據 FIC 的資料來決定，我們要解碼 MSC 中的哪一個副通道，然後把抓出來的資料經過時間反交錯、威特比解碼和能量反分散，就可以解出服務元件。

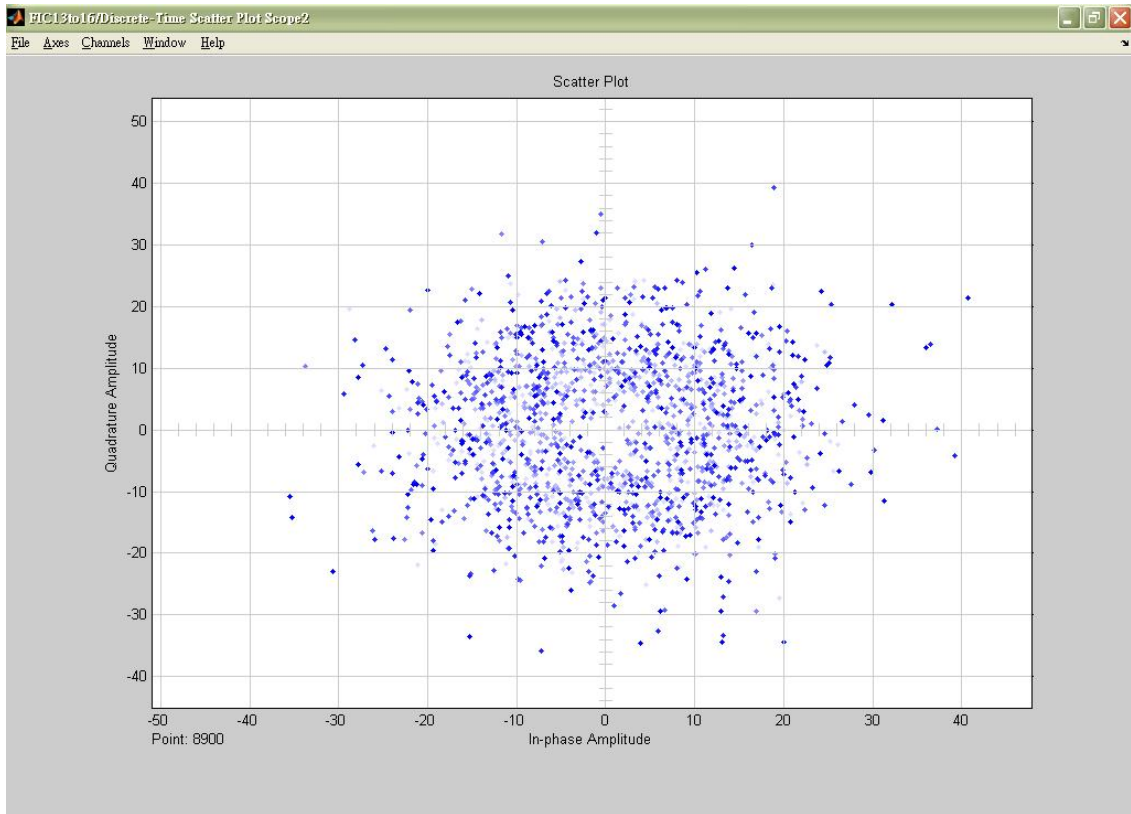


圖 5.7、未經過頻率同步的星狀圖

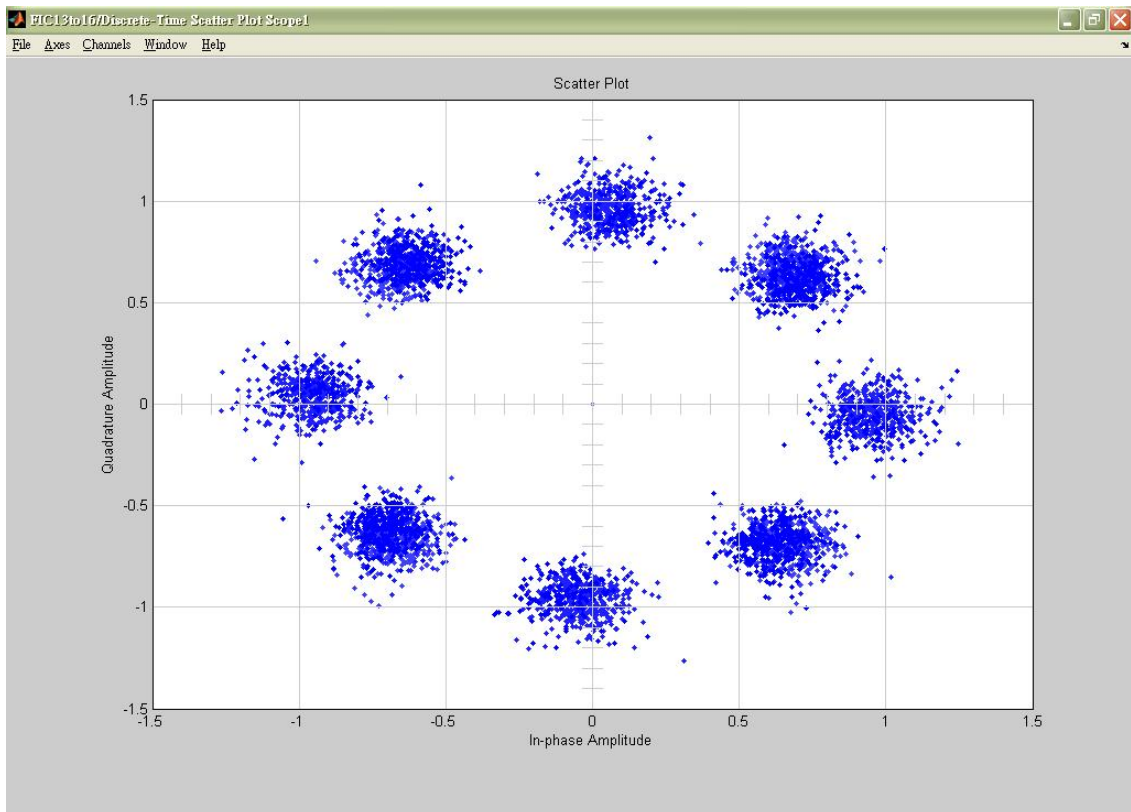


圖 5.8、經過頻率同步的星狀圖

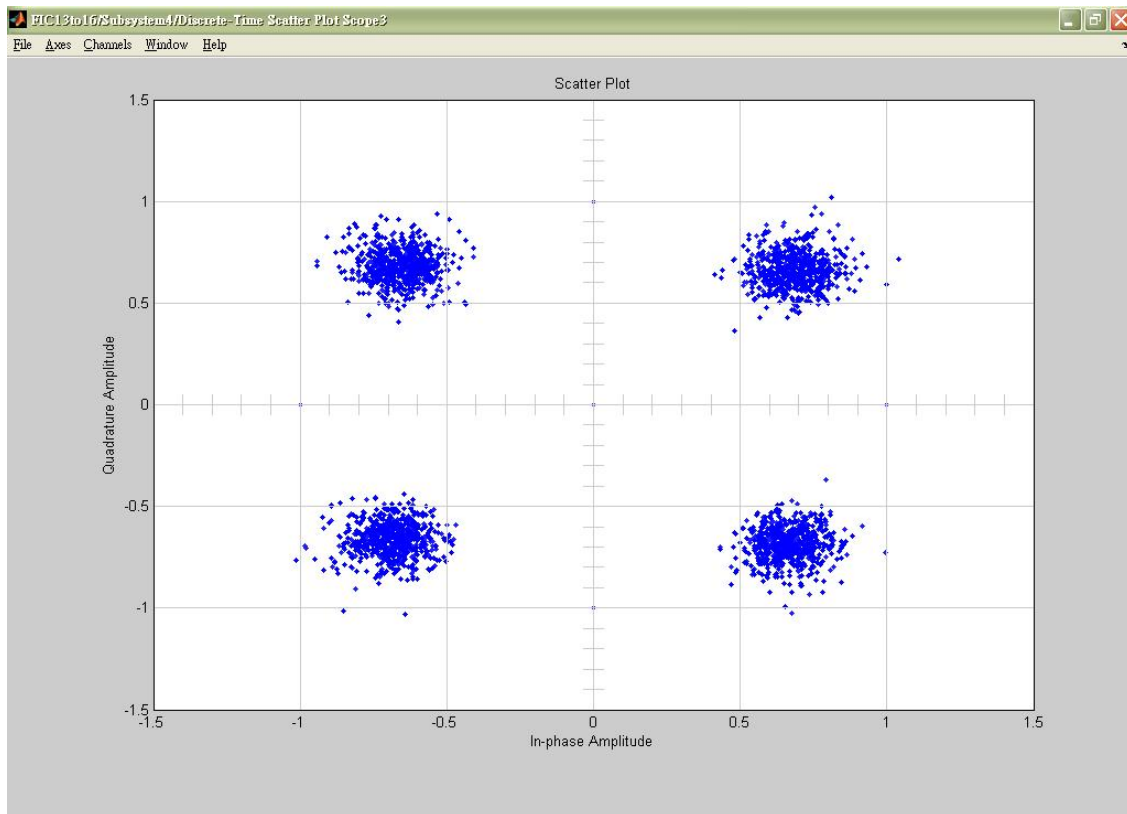


圖 5.9、經過差別運算後的星狀圖

5.2 快速資訊通道解碼

接收到解碼完的快速資訊通道(FIC)，FIC 的編碼是以 768 位元一個單位(3 個 FIB)，在模式一中有 4 個共同交錯訊框(CIF)，所以就會有 4 段 768 位元的 FIC，然而 FIG0/0 一般會放在第一段的 FIB 中，至於其他的 FIG 並沒有特定位置，因為 FIG 種類繁多，因此我們將只會把使用到 FIG 解碼出來，如 FIG0/0、FIG0/1、FIG0/2 等。

我們從第一段的 FIB 中抓到 FIG0/0，如表 5.1，最前面 3 個位元，表示為 FIG0。接著 5 個位元為 00101，所以有 5 個位元組(Byte)，表示長度欄位後面接著的資料有 40 個位元。然後 3 個位元分別是目前/下次多工組態欄位(C/N)、目前/其他電波頻道欄位(OE)和節目/資料欄位(P/D)，表示目前多工組態、目前電波頻道和 16 位元的音訊節目。再來的擴充型態欄位，則表示擴充型態 0 (FIG0/0)。接下來 16 個位元的電波頻道識別碼(EId)，前面 4 個位元，代表台灣，後面 12 個位元表示台倚電台。下面 2 個位元的改變旗標(Change flag)，表示都沒有改變，所以最後的事件改變欄位就不存在。再來的警報旗標 0 (AL flag)，表示沒有警報系統。最後的共同交錯訊框計數欄位(CIF count)收到 00110 10011100 ($6 \times 250 + 156 = 1656$)。

表 5.1、 FIG0/0 的實際解碼表

FIG0/0		
位元定義	FIC 輸入	FIC 解碼
FIG type	0	FIG type 0
	0	
	0	
Length	0	5Byte 計算結果 5*8=40(bit)
	0	
	1	
	0	
	1	
C/N	0	目前
OE	0	目前
P/D	0	16 bit 的音訊節目
Extension	0	FIG0/0
	0	
	0	
	0	
	0	
Country Identification	1	台灣
	1	
	0	
	0	
	0	TM 電台
	0	
	0	
	1	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	1	
	0	
	Change flag	
0		
AL flag	0	沒有
CIF count(1)	0	6
	0	
	1	
	1	
	0	
CIF count(2)	1	156 計算結果 6*250+156=1656
	0	
	0	
	1	
	1	
	1	
	0	
0		

我們接下來解碼 FIG0/1，FIG0/1 主要攜帶副通道的大小、位置和保護層級。就最前面 3 個位元，表示為 FIG0。接著 5 個位元為 10111，所以表示有 23 個位元組(Byte)，表示長度欄位後面接著的資料有 184 個位元。然後 3 個位元分別是目前/下次多工組態欄位(C/N)、目前/其他電波頻道欄位(OE)和節目/資料欄位(P/D)，表示目前多工組、態目前電波頻道和 16 位元的音訊節目。再來的擴充型態欄位，則表示擴充型態 1 (FIG0/1)。接下來 6 個位元的副通道識別碼(SubChId)，表示這是副通道 0。接下來 10 個位元的起始位置欄位(Start Address)，表示從第 0 個 CU 開始。接著的短/長欄位(Short/Long from)就是表示後續的格式是使用短格式，表格切換欄位(Table switch)固定為 0，再來的表格索引欄位(Table index)為 35，然後查表 5.3 我們會知道，副通道 0 包含 96 個 CU，保護階層為 3，傳輸速率(bit rate) 128 (kbit/s)。當我們知道副通道 0 有 96 個 CU (6144 個位元) 而且從第 0 個 CU 開始，所以知道如果要解碼副通道 0，就是從 MSC 的資料中，抓最前面的 96 個 CU，接著根據傳輸速率 128 (kbit/s)和保護階層 3，下面為我們計算出來資料經過穿刺摺積編碼的結果：

11 個區塊(L1=11)：使用 PI=16，每 32 位元留 24 個位元，得到 $11 \times 128 \times 24 / 32 = 1056$ 。

22 個區塊(L1=22)：使用 PI=9，每 32 位元留 17 個位元，得到 $22 \times 128 \times 17 / 32 = 1496$ 。

60 個區塊(L1=60)：使用 PI=6，每 32 位元留 14 個位元，得到 $60 \times 128 \times 14 / 32 = 3360$ 。

3 個區塊(L1=3)：使用 PI=10，每 32 位元留 18 個位元，得到 $3 \times 128 \times 18 / 32 = 216$ 。

最後的 24 位元，以固定以 V_T 為規則來間空，得到 $24/2=12$ 位元的 tail bits。以上總和為 6140 個位元，還要加上 4 個 0 的 padding bits，變成 6144 個位元，等於 96 個 CUs。當我們從上面的計算式中，了解穿刺摺積編碼的編碼方式後，就會知道有哪一些位元被刪除掉，便可以反向的將資料補回去，以還原資料。依照上面的解法，我們發現 FIG0/1 有 6 的副通道，為副通道 0 至 5，所以我們知道有六個服務節目。

再來我們要解碼 FIG0/2，FIG0/2 主要記載服務架構，如表 5.4，最前面 3 個位元，表示為 FIG0。接著 5 個位元為 11010，所以表示有 26 個位元組(Byte)，表示長度欄位後面接著的資料有 208 個位元。然後 3 個位元分別是目前/下次多工組態欄位(C/N)、目前/其他電波頻道欄位(OE)和節目/資料欄位(P/D)，表示目前多工組、態目前電波頻道和 16 位元的音訊節目。再來的擴充型態欄位 00010 表示擴充型態 2 (FIG0/2)。再來 4 個位元，代表台灣。接著為服務識別碼欄位(Service Identifier)。接下來區域旗標欄位(Local flag)表示全區域。然而條件存取識別碼欄位(CAId)，台灣目前並沒有使用，所以固定 000。再來服務元件數目欄位(Number service components)，表示有一個服務。後續就是描述服務元件的性質和所屬的副通道。第一個傳輸機制代碼欄位(TMId)，表示串流音訊，然後根據其後的音訊服務

型態(ASCTy)，我們知道是前景音樂，接下來的副通道識別碼欄位，顯示服務元件屬於副通道 0。最後兩個欄位，表示為主要服務和無條件存取。

接著我們要解 FIG 1，FIG 1 攜帶文字標籤的訊息。如表 5.5，前面欄位我們就不再多做描述，將直接看型態 1 欄位的內容，最重要的是電台/服務代碼和文字標籤這兩個欄位，電台/服務代碼欄位讓我們知道，文字標籤欄位屬於哪一個電台或是服務。

表 5.2、FIG0/1 的實際解碼表

位元定義	FIC 輸入	FIC 解碼
FIG type	0	
	0	
	0	
Length	1	23 (Byte) 23*8=184(bit)
	0	
	1	
	1	
	1	
C/N	0	目前
OE	0	目前
P/D	0	16 bit
Extension	0	FIG0/1
	0	
	0	
	0	
	1	
SubChId	0	副通道識別碼 (0)
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
Start Address	0	從第 0 個 CU 開始
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
Short/Long from	0	短格式
Table switch	0	固定
Table index	1	索引(35) Size(96CU) Protection(3) 128 kbit/s
	0	
	0	
	0	
	1	
	1	

表 5.2、FIG0/1 的實際解碼表(續)

位元定義	FIC 輸入	FIC 解碼
SubChId	0	副通道識別碼 (1)
	0	
	0	
	0	
	0	
	1	
Start Address	0	從第 96 個 (CU)開始
	0	
	0	
	1	
	1	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
Short/ Long from	0	短格式
Table switch	0	固定
Table index	1	索引(35) Size(96CU) Protection(3) 128 kbit/s
	0	
	0	
	0	
	1	
	1	
SubChId	0	副通道識別碼 (2)
	0	
	0	
	0	
	1	
	0	
Start Address	0	從第 192 個 CU 開始
	0	
	1	
	1	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	

表 5.3、子通道大小

Index	Sub-channel size (CU)	Protection level	Bit rate (kbit/s)	Index	Sub-channel size (CU)	Protection level	Bit rate (kbit/s)
0	16	5	32	33	64	5	128
1	21	4	32	34	84	4	128
2	24	3	32	35	96	3	128
3	29	2	32	36	116	2	128
4	35	1	32	37	140	1	128
5	24	5	48	38	80	5	160
6	29	4	48	39	104	4	160
7	35	3	48	40	116	3	160
8	42	2	48	41	140	2	160
9	52	1	48	42	168	1	160
10	29	5	56	43	96	5	192
11	35	4	56	44	116	4	192
12	42	3	56	45	140	3	192
13	52	2	56	46	168	2	192
	x			47	208	1	192
14	32	5	64	48	116	5	224
15	42	4	64	49	140	4	224
16	48	3	64	50	168	3	224
17	58	2	64	51	208	2	224
18	70	1	64	52	232	1	224
19	40	5	80	53	128	5	256
20	52	4	80	54	168	4	256
21	58	3	80	55	192	3	256
22	70	2	80	56	232	2	256
23	84	1	80	57	280	1	256
24	48	5	96	58	160	5	320
25	58	4	96	59	208	4	320
26	70	3	96		x		
27	84	2	96	60	280	2	320
28	104	1	96		x		
29	58	5	112	61	192	5	384
30	70	4	112		x		
31	84	3	112	62	280	3	384
32	104	2	112		x		
	x			63	416	1	384

表 5.4、FIG0/2 的實際解碼表

位元定義	FIC 輸入	FIC 解碼
FIG type	0	
	0	
	0	
Length	1	26Byte 26*8 =208(bit)
	1	
	0	
	1	
	0	
C/N	0	目前
OE	0	目前
P/D	0	16 bit
Extension	0	FIG0/2
	0	
	0	
	1	
	0	
Country Identification	1	台灣
	1	
	0	
	1	
Service Identifier	0	服務代碼 1
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	1	
Local flag	0	全部區域 沒有加密
CAId	0	
	0	
Number service components	0	1 個
	0	
	0	
	1	
TMId	0	串流音訊
	0	
ASCTy	0	前景音樂
	0	
	0	
	0	
SubChId	0	副通道 識別碼 0
	0	
	0	
	0	
	0	
P/S	1	主要服務元 件
CA	0	無條件存取

表 5.5、 FIG1/1 的實際解碼表

位元定義	FIC 輸入	FIC 解碼
FIG type	0	
	0	
	1	
Length	1	
	0	
	1	
	0	
	1	
Charset	0	
	0	
	0	
	0	
OE	0	
Extension	0	FIG 1/1
	0	
	1	
Country Identification	1	台灣
	1	
	0	
	1	
Service Identifier	0	服務代碼 1
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	1	
	Character Field	
1		
0		
0		
1		
0		
0		
1		
0		
C		0
		1
		0
		0
		0
		0

	1	
	1	
	0	-
	1	
	0	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	0	R
	1	
	0	
	1	
	0	
	0	
	1	
	0	
	0	A
	1	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	1	
	0	D
	1	
	0	
	0	
	0	
	1	
	0	
	0	
	0	I
	1	
	0	
	0	
	1	
	0	
	0	
	1	
	1	
	1	O
	1	
	1	
	1	

	1	
	0	-
	1	
	0	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	0	
	1	T
	0	
	1	
	0	
	1	
	0	
	1	
	0	
	0	
	0	A
	1	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	1	
	0	I
	1	
	0	
	0	
	1	
	0	
	0	
	1	
	0	Y
	1	
	0	
	1	
	1	
	0	
	0	
	1	
	0	O
	1	
	0	
	0	
	1	
	0	
	0	
	1	

	0	I
	0	
	1	
	1	
	0	
	0	
	0	
	1	
	0	空字元 (Null)
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
Character flag field	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	

5.3 主要服務通道解碼

我們從上一個小節中，對 FIG0/0、FIG0/1 和 FIG0/2 進行解碼後，可依解出之快速資訊通道的資訊來對主要服務通道中的副通道進行解碼。我們以副通道 0 服務元件的解碼為例，根據 FIG0/1 的描述，從 MSC 的資料中，抓最前面的 96 個 CU (6144 位元)，然後經過 Simulink 的解碼系統解出，副通道 0 的串流音訊。在表 5.6 中，我們只顯示了音訊訊框最前面的 32 位元的訊框頭，後續的音訊資料再使用 MPEG 音訊解碼器，就可以得到 PCM 聲音訊號。訊框頭欄位的內容定義如圖 5.10，最前面的 12 個位元是同步字碼欄位(Sync word)，其數值是 12 個 1，接著 1 個位元的欄位 ID，表示使用的是 MPEG-1 或是 MPEG-2，數值 1 為 MPEG-1，數值 0 則代表 MPEG-2，數位廣播中 MPEG-1 的取樣率是 24 KHz，則 MPEG-2 的取樣率是 48 KHz。然後 Layer 欄位只有 Layer II，固定為 10。接下來 1 個位元的保護錯誤欄位中，0 是有 CRC，1 則反之。再來是位元率指引欄位(bit rate index)，這個部份依 ID 欄位的指示是 MPEG-1(取樣率是 24 KHz)或是 MPEG-2(取樣率是 48 KHz)定義如表 5.7。接著取樣率欄位目前只有固定是 01。後續的補丁欄位(padding slot)和 Private 欄位的數值目前也都是固定為 0。模式欄位(mode)分為 4 種，00 表示立體音(stereo)、01 表示結合立體音(joint stereo)、10 表示兩個獨立聲道(dual channel)以及 11 表示單聲道(single channel)。接下來的模式指引欄位(mode extension)，表示從哪一個副通道開始進行兩聲道的取樣點結合，其中 00 表示副通道 4、01 表示副通道 8、10 表示副通道 12 和 11 表示副通道 16。再來的兩個欄位是屬於版權相關訊息，第一個是版權欄位(copyright)，0 表示無版權，1 則反之；第二個是原版/複製版欄位(original/copy)，0 表示原版，1 則反之。最後的高頻增強資訊欄位(emphasis)，其中 00 表示沒有使用、01 表示 50/15us、10 表示保留和 01 表示 CCITT J.17。

表 5.6 顯示我們針對副通道 0 服務元件的訊框頭的解碼結果，最前面的是同步字碼欄位(Sync word)，當出現 12 個數值 1，就表示我們的解碼是正確的。接著的欄位 ID，表示使用的是 MPEG-1，然而 Layer 欄位只有 Layer II，所以固定為 10。接下來 1 個位元的保護錯誤欄位中，表示是有 CRC。再來是位元率指引欄位(bit rate index)，知道位元率為 128 Kbit/s。取樣率欄位目前皆是 01，由 ID 欄位知道是 MPEG-1，所以取樣率為 24 KHz。目前數位廣播沒有補丁而且 Private 欄位原則上不使用，所以這兩個欄位都是為 0。模式欄位(mode)則為立體音。接下來的模式指引欄位(mode extension)，表示從副通道 4 開始進行兩聲道的取樣點結合。版權欄位(copyright)表示無版權；原版/複製版欄位(original/copy)則表

示原版。最後的欄位表示並沒有使用高頻增強。

我們對實際接收的訊號源進行主要服務通道(MSC)進行解碼，解碼後顯示此訊號為台倚電台的服務，共解出六個節目，分別是 IC_RADIO、VOT_TAIYI2、CLASSICAL、BBC、ETEN_AUDIO_5 和 ETEN_AUDIO_6，下面我們將節目速率與其經過編碼後容量單元的關係做了整理，如圖 5.11。

表 5.6、MSC 的實際解碼表

位元定義	MSC 輸入	MSC 解碼
Sync word	1	同步字元正確
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
	1	
ID	1	代表 MPEG-1
Layer	1	Layer II
	0	
錯誤保護	0	有 CRC
Bit rate index (kbit/s)	1	128 kbit/s
	0	
	0	
	0	
sampling frequency	0	48 ks/s
	1	
padding slot	0	沒有補丁
Private	0	不使用
mode	0	獨立聲
	0	
mode extension	0	副通道 4 to 31
	0	
copyright	0	無版權
Original / copy	0	原版
emphasis	0	沒有使用
	0	

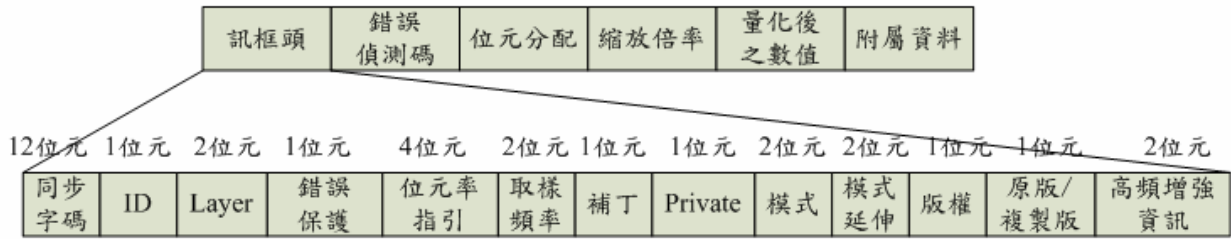


圖 5.10、音訊訊框的訊框頭欄位的架構

表 5.7、位元率指引(bit rate index)

Sampling frequency (kHz)	48	24
位元率指引	Audio bit rate (kbit/s)	Audio bit rate (kbit/s)
0001	32	8
0010	48	16
0011	56	24
0100	64	32
0101	80	40
0110	96	48
0111	112	56
1000	128	64
1001	160	80
1010	192	96
1011	224	112
1100	256	128
1101	320	144
1110	384	160

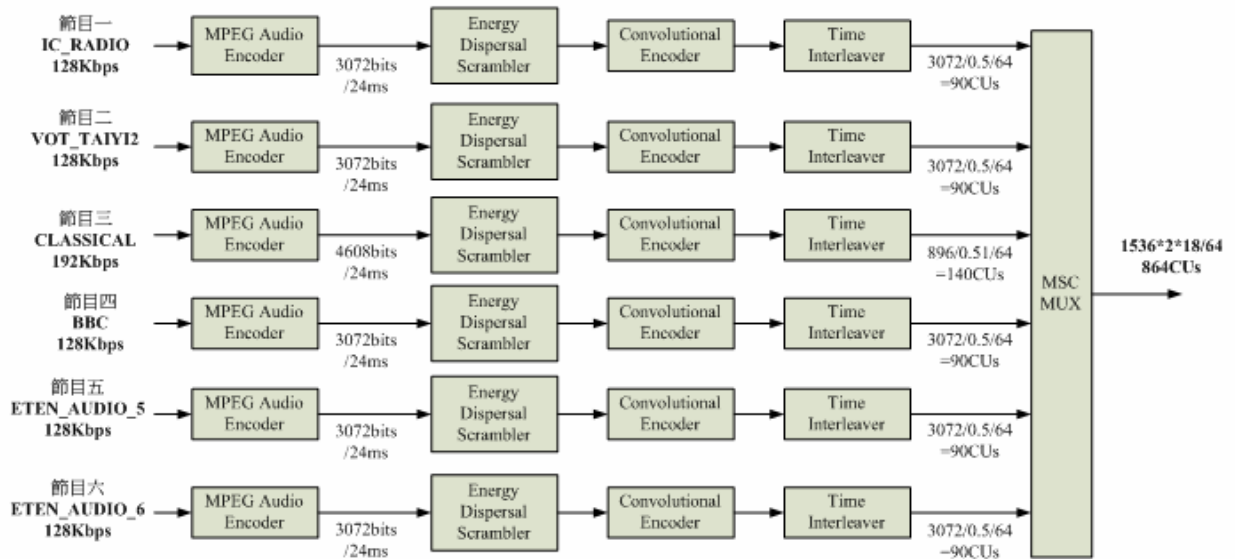


圖 5.11、DAB 節目頻寬速率與容量單元關係

6. 結論

本計畫提出一個不一樣的「軟體」無線電數位廣播接收系統的概念，以軟體無線電系統架構的觀念，可以在電腦外外加些許的硬體電路，包括接收天線、濾波器、低雜訊放大器、A/D 轉換器，將無線電類比信號轉換成數位信號，再透過 USB 介面將數位信號傳至電腦，之後便可利用電腦超強之數位信號處理與計算能力，以電腦軟體程式設計方式來處理後端之所有基頻信號，包括信號同步、OFDM 解調、子載波調變解對映、解交錯、通道解碼、語音解壓縮等等，最後透過電腦之喇叭將音訊輸出。本計畫也完成以 Simulink 軟體建構之 DAB 基頻接收系統之數位信號處理平台，並對實際的數位音訊廣播訊號源進行解碼，也順利解出數位音訊廣播訊號之同步通道、快速資訊通道、以及主要服務通道的資訊。由本計畫之執行成果可顯示以電腦為基礎實現軟體無線電數位廣播接收系統得可行性。

參考文獻：

- [1] Joseph Mitola III, "The software radio architecture," *IEEE Communications Magazine*, No. 5, pp. 26-38, May 1995.
- [2] Joseph Mitola III, "Technical challenges in the globalization of software radio," *IEEE Communications Magazine*, No. 2, pp. 84-89, February 1999.
- [3] Joseph Mitola III, *Software radio architecture: objected-oriented approaches to wireless systems engineering*, New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [4] Paul Burns, *Software defined radio for 3G*, Boston: Artech House, 2003.
- [5] Markus Dillinger, Kambiz Madani, and Nancy Alonistioti, *Software defined radio :architectures, systems, and functions*, NJ :Wiley, 2003.
- [6] Walter Tuttlebee, *Software defined radio: enabling technologies*, England :John Wiley & Sons,c2002.
- [7] ETSI: EN 300 797, Digital Audio Broadcasting (DAB); Distribution interfaces; Digital base-band In-phase and Quadrature (DIQ) Interface, 1999.
- [8] ETSI: EN 300 799, Digital Audio Broadcasting (DAB); Distribution interfaces; Ensemble Transport Interface (ETI), 1997.
- [9] ETSI: EN 300 401, Radio broadcasting systems: Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers, 2001.
- [11] Wolfgang Hoeg and Thomas Lauterbach, *Digital audio broadcasting: principles and applications of digital radio*, Wiley, 2003.
- [12] P. Dambacher, *Digital broadcasting*, The Institution of Electrical Engineers, 1996.
- [13] Robin Blair, *Digital techniques in broadcasting transmission*, Focal Press, 2002.
- [14] 尤信程、林信標、鄭獻勳、劉玉蓀編著，"數位廣播接收機原理及實作"，全華圖書股份有限公司出版。
- [15] 葉振明、蔡文彬編著，"數位廣播實務"，全華圖書股份有限公司出版。