

交通部電信總局委託大同大學研究案

數位廣播共同發射平台可行性之研究

Practicability Study of Common Antenna Tower for Digital Broadcasting

期末報告

委託機關：	交通部電信總局
受委託機關：	大同大學 通訊研究所
計畫主持人：	黃啟芳 副教授
協同主持人：	張知難 教授、許超雲 副教授
研究生：	陳巽琦、葉佩蘭、梁家豪

計畫期間：91 年 4 月 1 日至 91 年 10 月 31 日

目 錄

第一章 前言	1
第二章 業者已有之規劃	7
第三章 國外之商業運轉實例	10
第四章 共塔營運技術之考慮	14
第五章 天線共塔時其安裝與電波覆蓋之考慮	35
第六章 閃電對鐵塔的影響	45
第七章 結論與建議	52
參考文獻	55

摘要

本報告針對數位電視(DVB-T)、數位廣播(DAB)，未來在對社會大眾服務的發展，以及其本身技術的演變，在政府「共平台、共塔」營運的期望下，做了技術上各個角度的分析。其中包含外國業者之資料搜集與分析、單頻網之佈建問題、「共塔」時天線之相關特性分析，以及雷擊對「共塔」天線之威脅等等之探討，以供政府部們及相關業者之參考。

第一章 前言

廣播音訊、視訊技術的數位化是當前的世界潮流與趨勢。此種新技術不僅可提昇廣播畫質及廣播音質的水準、也增加無線電頻譜使用效益，降低訊號干擾，使廣播業者得以提供數據廣播、多媒體、多元化的服務，以滿足民眾的需求。



圖 1-1



圖 1-2

目前台灣地區數位電視的傳輸標準已決定採用歐規 DVB-T COFDM，其實驗電台台北市地區已於八十九年六月開始試播並於日前在台灣西部，以多頻網(Multiple Frequency Network) 作正式開播。圖 1-1 顯示本所研究人員配合電視學會之工程師在南部做場強及電波覆蓋區量測與評估之情況。另一方面，歐規的音訊廣播 DAB (Digital Audio Broadcasting) Eureka 147，其試播實驗電台也在八十九年三月則分別於北、中、南部地區進行試播實驗，效益

頗為顯著。本所曾受交通部電信總局對該 DAB 廣播網進行全台西部之場強及電波覆蓋區量測與評估[1]，見圖 1-2。

表 1-1 中列述了目前國內數位音訊廣播(DAB)試播實驗電台架設現況，政府已核發架許證 25 張，核發電台執照 7 張；另一方面，表 1-2 所列是五家數位電視業者所分配到的頻段，圖 1-3 及表 1-3 則說明數位電視廣播，已架設的四個發射站與其頻段及發射功率。目前業者還是以傳統的多頻網作服務，而其間也尚未有傳輸網路之設計，例如，三義發射站是接收北部發射站之電波，以中繼型式作發射。

鑑於歐洲、日本廣播天線之架設皆採共用鐵塔方式經營管理，既省錢，又可有效使用頻率，且歐洲廣播業區分為發射機製造者、發射站台經營者、媒體節目供應商等三大主體，各司其職，專業分工嚴謹。發射站台採共用鐵塔方式自有其經濟效益，而國內有關數位廣播共同鐵塔之研議，近年來即由立法院科技及資訊委員會責成新聞局主導，並於八十九年三月十三日該局召開之籌建「廣播與電視共同鐵塔」協調會中，達成初步共識，目前正由該局與主管機關內政部、陽明山國家公園管理處保持聯繫積極推動中。

本研究即針對「天線共同鐵塔」之提議，分別從技術面與策略面進行探討。所謂「天線共同鐵塔」的觀念含有多方面的意義，可列如下：

- a. 傳輸內涵類似而不同之廣播、通訊公司礙於地型之限制，設置天線共同鐵塔，以降低後來加入的公司之初期投資成本。例如，電話公

司之微波鏈站(microwave relay)之設置，或無線通訊基地台之設置等。因營運性質相近，其天線之互偶(coupling)或干擾(interference)要多加考慮。

- b. 傳輸內涵互異而不同之廣播、通訊公司礙於地型之限制，設置天線共同鐵塔，純圖設置之方便性。例如考慮中的數位電視與數位廣播之天線共塔(甚至與調頻電台業者共塔)。
- c. 近來歐洲發展出之數位廣播模式，即發射站台經營者、媒體節目供應商分屬不同公司，各司其職，專業分工。這時發射站台經營者即與目前台灣地區之有線電視之營運一樣。這種「天線共同鐵塔」之概念，所牽涉已全非技術問題，而是涉及商業營業模式(business model)。

本計劃涵蓋之研究範圍包括上述三項，前一項純屬技術探討；後兩項則是商業策略與技術投資之研究。在營業模式方面，則要廣泛的收集歐洲這方面之資料，進而分析以形成建議。本計畫目的在配合政府「廣播與電視共同鐵塔」之方案，就政策面、技術面進行評估，同時也亦考察國外共用鐵塔之經營管理方式，針對其共用鐵塔方式，分析營運型式與單頻網之設計與投資之間的投資規模，以評估其於國內適用之可行性。

表 1-1 數位音訊廣播(DAB)試播實驗電台建設現況

區 域	電台 名稱	發射機 架設地點	核發試播電台執照日期
全 區	中國 廣播公司 (北)	台北地區 竹子山	90.09.05
	中國 廣播公司 (北)	桃園地區 龍潭店子湖	90.09.05
	中國 廣播公司 (北)	新竹地區 東光路	90.09.05
	中國 廣播公司 (中)	苗栗地區 中山路	90.09.05
	中國 廣播公司 (中)	台中地區 忠明南路	90.09.05
	中國 廣播公司 (中)	彰化地區 芬園鄉	90.09.05
	中國 廣播公司 (南)	嘉義地區 民雄虎尾寮	90.09.05
	中國 廣播公司 (南)	台南地區 永華路	90.09.05
	中國 廣播公司 (南)	高雄地區 中山二路	90.09.05
	中國 廣播公司 (北)	花蓮地區 水源街	91.05.21
	中央 廣播電台 (北)	台北地區 竹子湖	89.06.14
	中央 廣播電台 (北)	新竹地區 老湖口	89.06.14
	教育 廣播電台 (合作電台)(中)	彰化地區 八卦山	90.07.24
	教育 廣播電台 (合作電台)(南)	台南地區 關仔嶺	90.09.25
	警察 廣播電台 (合作電台)(南)	高雄地區 旗山中寮	91.04.02
	漢聲 廣播電台 (合作電台)(中)	苗栗地區 火災山	(已架設完成待查驗)
北 區	台北之音廣播電台 (1)	台北地區 杭州南路	91.06.21
	勁報 廣播電台 (合作電台)	台北地區 忠孝東路	(發射機架設中)
	亞洲 廣播電台一台 (2)	台北地區 板橋市	90.07.10
	亞洲 廣播電台二台 (2)	新竹地區 青草湖邊	91.02.05
	飛碟 廣播電台 (3)	台北地區 羅斯福路	89.10.16
中 區	全國 廣播電台 (2)	台中地區 中港路	90.07.16
	真善美 廣播電台 (3)	台中地區 東海大學旁	89.11.16
南 區	高屏 廣播電台 (1)	高雄地區 新光路	(已架設完成待查驗)
	大眾 廣播電台 (2)	高雄地區 民權二路	89.12.05
	南台灣之聲廣播電台 (3)	高雄地區 民族一路	89.11.16
合 計	核發架許證 26 張		核發電台執照 23 張

(備註) 1.試播頻率配置：

全區	中廣	11C：220.352 MHz
	中央	11D：222.064 MHz
單區	台北之音、勁報、高屏	(1) 10B：211.648 MHz
	亞洲、全國、大眾	(2) 10C：213.360 MHz
	飛碟、真善美、南台灣	(3) 10D：215.072 MHz

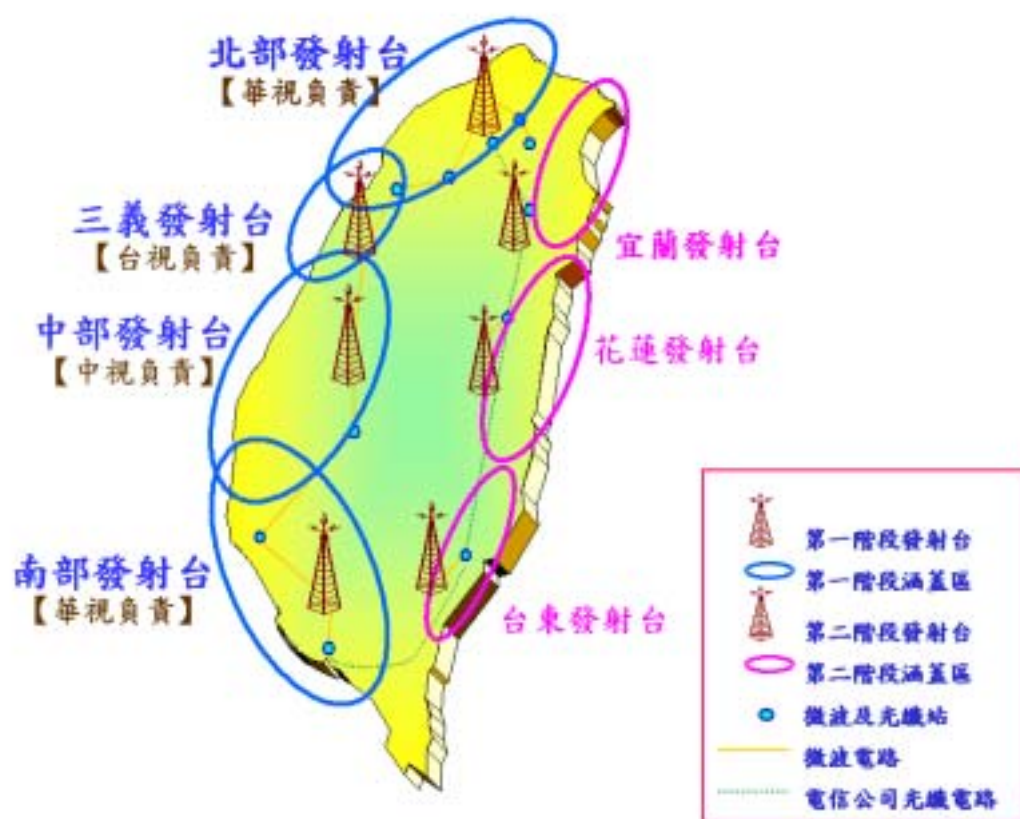
2. (1)(2)(3)：表系統聯網播送信號

3. (北)(中)(南)：指發射機架設地點之區域

91.04.23 製表

表 1-2

電視台	UHF channels	Video Frequency Intervals
中視	24, 25	537.25 - 541.75 MHz, 543.25 - 547.75 MHz
公視	26, 27	549.25 - 553.75 MHz, 555.25 - 559.75 MHz
民視	28, 29	561.25 - 565.75 MHz, 567.25 - 571.75 MHz
台視	31, 32	579.25 - 583.25 MHz, 585.25 - 589.75 MHz
華視	34, 35	597.25 - 601.75 MHz, 603.25 - 607.75 MHz



數位電視訊號涵蓋與分工示意圖

圖 1-3

表1-3

發射站	發射頻段	發射功率
台北陽明山	CH34 590-596 MHz	5KW
苗栗三義	CH31 572-578 MHz	3.4KW
台中鳳鳴	CH24 530-536 MHz	5KW
高雄旗山中寮	CH35 596-602 MHz	5KW

第二章 業者已有之規劃[2]

2.1 前言

新聞局於八十四年間擬主導國內五家無線電視台共同在小觀音山中段民防電台與華視北部發射台間的三角地帶興建，「北部地區電視共同轉播站」，由台視委請沈祖海建築師事務所完成規劃草案，經新聞局多次與內政部營建署、財政部國有財產局、交通部國有財產局、交通部電信總局、交通部民航局、行政院環保署、農業委員會、陽明山國家公園管理處等相關單位協商，並進行籌建。各單位鑑於竹子山電台群集區腹地狹隘且多為國有地，屬保育林地之特定保護區，土地不易取得，實有必要興建轉播站共同鐵塔，惟經費高達新台幣近陸億元，經行政院核示「不宜由政府補助，廣電基金亦無力籌撥，因所需經費難以籌措，爰暫緩推動，俟日後經費無虞，由新聞局以主管機關立場於現行法令範圍從旁協助，再行協調籌建」。

2.2 業者評估已勘查地點比較優劣[2]

儘管共同鐵塔的推動不易，業者仍以北部地區適當之興建位製做了分析評估：

1. 大屯山：見通率好，最適合興建轉撥站共同鐵塔，惟屬飛航管制區。
2. 七星山：見通率好，最適合興建轉撥站共同鐵塔，惟無道路，基地狹窄

等缺點。

3. 小觀音山中段：原新聞局屬意新建基地，經評估該地點僅較大屯山、七星山標高低 40 至 80 公尺，且因飛航管制區受限於飛航管制站仰角 1° 之限制，致鐵塔興建高度上限無法超過大屯山、七星山，角 1° 之限制，致鐵塔興建高度上限無法超過大屯山、七星山，故無實質上的效益。
4. 小觀音山東段：民視建議地點亦即台視鐵塔旁空地，此地標高 1035 公尺相較於小觀音中段所新建之鐵塔高度較高且已超過大屯山。

綜合上列分析，評估結果除大屯山，七星山因先天因素無法興建外，在現有竹子山電台群集區內以小觀音山東段為最適合興建地點。

2.3 北區地區數位電視共同塔台規劃業者之建議案 [2]

經多方評估，五家數位電視業者也以提出初期之北部地區數位電視共同塔台規劃，建議如下：

1. 以台視原站台位置利用原有機房鐵塔，增建配合數位系統所需之機房與備用鐵塔，結合原有的主鐵塔及機房以容納即將開播的五家電視台之數位設備及民視與台視的類比設備，並提供未來行動及固定通信業者使用。
2. 原自立式鐵塔，目前公台視及民視類比廣播使用，未來類比停播後改為數位廣播之主鐵塔。

3. 利用原站台位址興建，且合併使用原有機房鐵塔作為共同塔台，對國家公園之景觀及生態破壞可減至最低並節省興建成本，降低各成員之財務負擔。

第三章 國外之商業運轉實例

3.1 東京鐵塔

東京鐵塔高 333 公尺(見右圖圖 3.1), 是行之多年的商業天線共塔有名的例子。東京的幾乎全部廣播電視臺的電波都從東京塔發出, 連電視廣播電波(9 頻道) 和 FM 廣播電波(5 頻道), 共達 14 道頻廣播電波 (www.tokyotower.co.jp/)。東京所在的關東地區, 乃屬大區域的平坦地形, 較適合以此種大鐵塔作廣播發射。日本在試驗其數位電視廣播時, 也是利用東京鐵塔坐電波發射。



3.2 新加坡之現況



圖3.2 新加坡 Mobile TV in Bus

目前新加坡所做的數位電視服務, 是利用已佈建之歐規DVT-T系統專對公

共交通工具的移動接收廣播。服務的載具包含公共汽車(見圖3.2)、捷運、渡輪與輕軌車等。負責商業運轉的公司為 Media Corp.。當局估計，整個新加坡每天約有150萬人次搭乘各種交通工具。

歐規DVB-T系統之完善服務有賴於單頻網 (Single-Frequency Network, SFN) 之建立，其也是進行移動接收服務最重要的一環。目前 Media Corp. 所建之單頻網如圖3.3 所示，節目由總公司以承租之 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 透過光纖網路 (SONET/SDH) 傳至主發射站，以 UHF CH37、水平極化，用 2kW 作全島之發射。

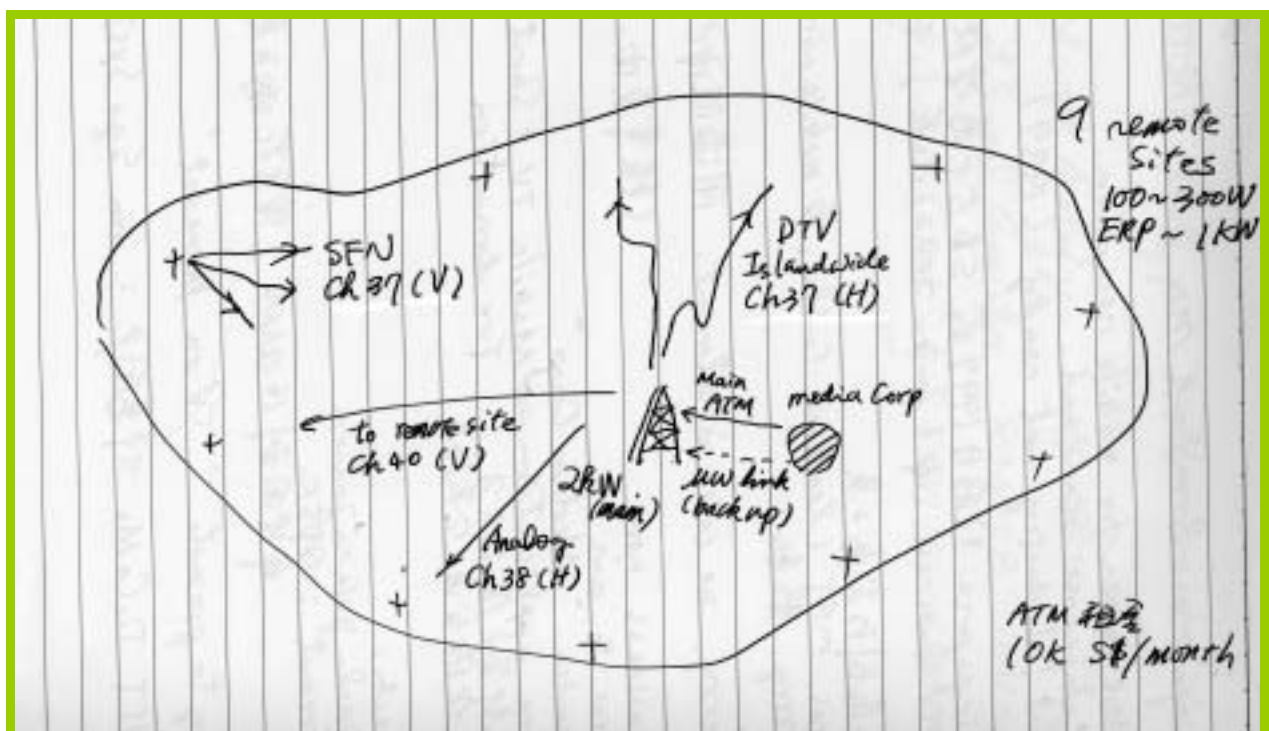


圖3.3 新加坡 Media Corp. 所建之單頻網

在同時，主發射站亦以一單極天線(見圖3.4)，以 UHF CH40、垂直極化波向

分佈在全國四周之九個 remote sites 發射訊號，後者再以UHF CH37、但為垂直極化、功率約100~300W作發射(EPR ~ 1kW)，進而形成一以UHF CH37 為頻率，但為雙極化服務之單頻網。目前，該系統乃以QPSK作調變，希望儘快以16QAM作服務，但估計，要再加新幣兩百萬元之投資。

圖3.4



依本案研究人員在當地之實際接收的經驗，該網路內大抵容易接收，不過該國目前只有一Media Corp. 電視台，論及共塔與制播分離之問題，新加坡並無下章節所要分析之大區域寬頻傳輸與發射之問題。

新加坡政府於1999年撥款新幣五千萬元，作為扶植數位電視廣播之十年基金，然而至2002年年中，經費已耗去80%，但生意卻在短期內尚難普及。職是之故，數位電視廣播雖然提供一全新、功能多樣的新科技，然而吾人須了解，其成功與否，須有賴商業服務之有效運轉。近日，Media Corp. 有意推動“TV on Phoneset”之高階應用。

3.3 上海地區數位廣播之現況

近日，在上海地區，不等中國自有之數位電視傳輸標準之訂定，已開始在試

播歐規 DVB-T 數位電視。拜賜於新建之東方明珠電視發射塔(見右圖3-5，屬上海東方明珠公司) 之有利位置，其即以該塔做發射。另外，同屬該商業集團的兩家原該地區之 PAL 頻道也以「東方明珠」塔作發射。所以這也是一「共塔」模式。



[vm.rdb.nthu.edu.tw/mallok/ Photo/photo_contest.asp](http://vm.rdb.nthu.edu.tw/mallok/Photo/photo_contest.asp)

第四章 共塔營運技術之考慮

4.1 前言

有如前述，數位廣播之「共塔」，會因營運組合與規模，而有不同之定義與設計。「制播分離」是一創新概念，但事實上其牽涉到的問題很廣。尤其在多張執照內做如此資源運用時，除了所謂 ”business model” 之思考外，其所導入之技術問題，也有待分析與了解。

一般來講，假如輻射執照之頻寬夠寬，DAB 系統都可以利用Ensemble multiplexer之多工技術(下文分析)，在單頻網內作多節目之服務，見圖4-1[3]。

「制播分離」當然可以，所謂「共塔」，就是單張執照的發射塔而已。然而，在DVB-T方面，因其有SD/HD之選擇(options)，彈性就沒有這麼大。

總之，多張執照的「共塔」服務，須要多方了解，本章即針對可能的技術問題，做一分析。

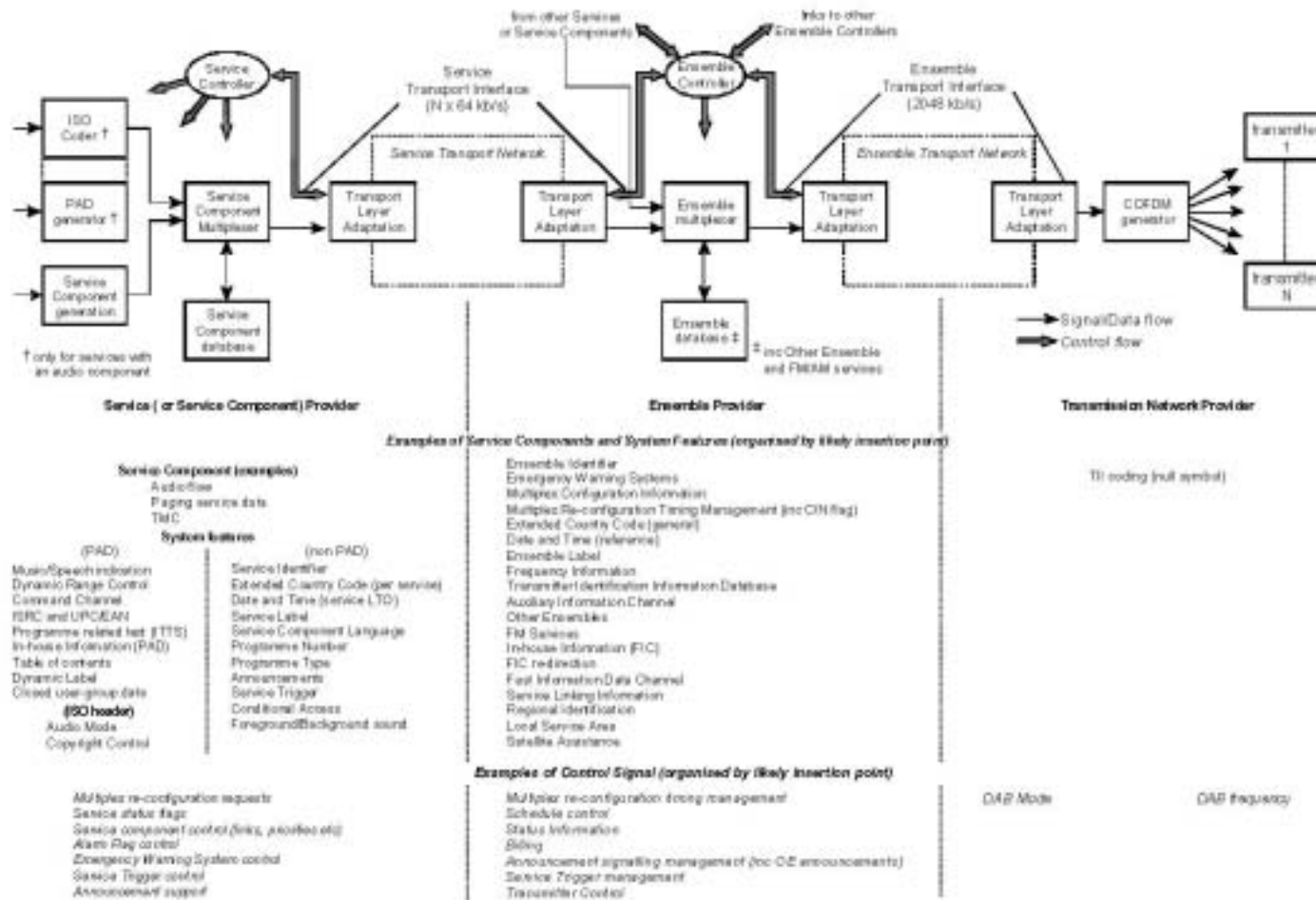
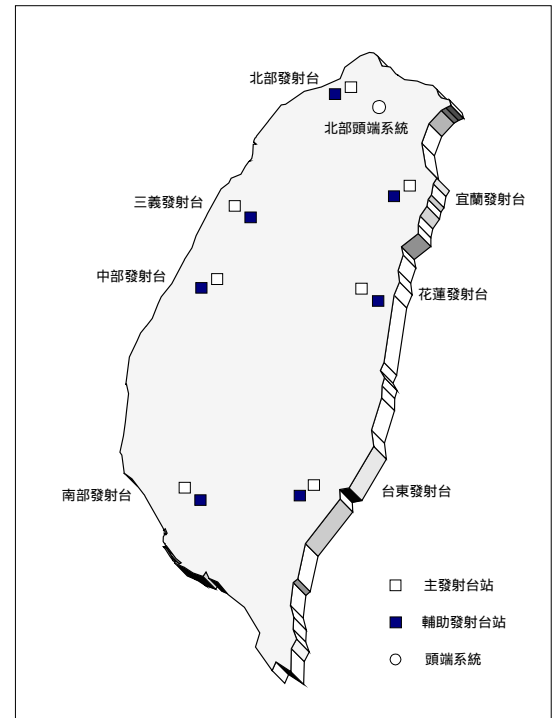


Fig. 4.2.1 The conceptual DAB network

4.2 單頻網內之多家頻道之傳輸

歐規DAB、DVB-T系統提出設計單頻網(SFN – Single-Frequency Network)架構是其一重要特徵，俾利於大區域服務與移動接收(右圖圖4-2，台灣地區預計之單頻網主發射台)。所謂單頻網應用於通訊系統者，可參考尚在應用的 Pager system。因為其也是屬單向發射的通訊系統，但是其



乃narrow band者，數據傳輸速度不高，已無相關技術問題。

要在同一單頻網內提供多頻道之服務，同屬歐規 DAB (Digital Audio Broadcasting) Eureka 147 有所謂 “Ensamble Multiplexer” 之技術，見下圖圖4-3[4]。其可透過標準介面：

- Service Transport Interface (STI) (EN 300797)
- Ensemble Transport Interface (ETI) (EN 300799)
- Digital baseband In-phase and Quadrature (DIQ) interface (EN 300798)

將節目供應者以公眾網路G.703/G.704之介面 (2Mb/s) 傳至該Ensamble Multiplexer，後者則再以同樣G.703/G.704之介面傳至發射站，經OFDM調變之後廣播輻射出去。

所以以經營角度來看，是實上可細分為 (見圖4-4)[5]：content providers、

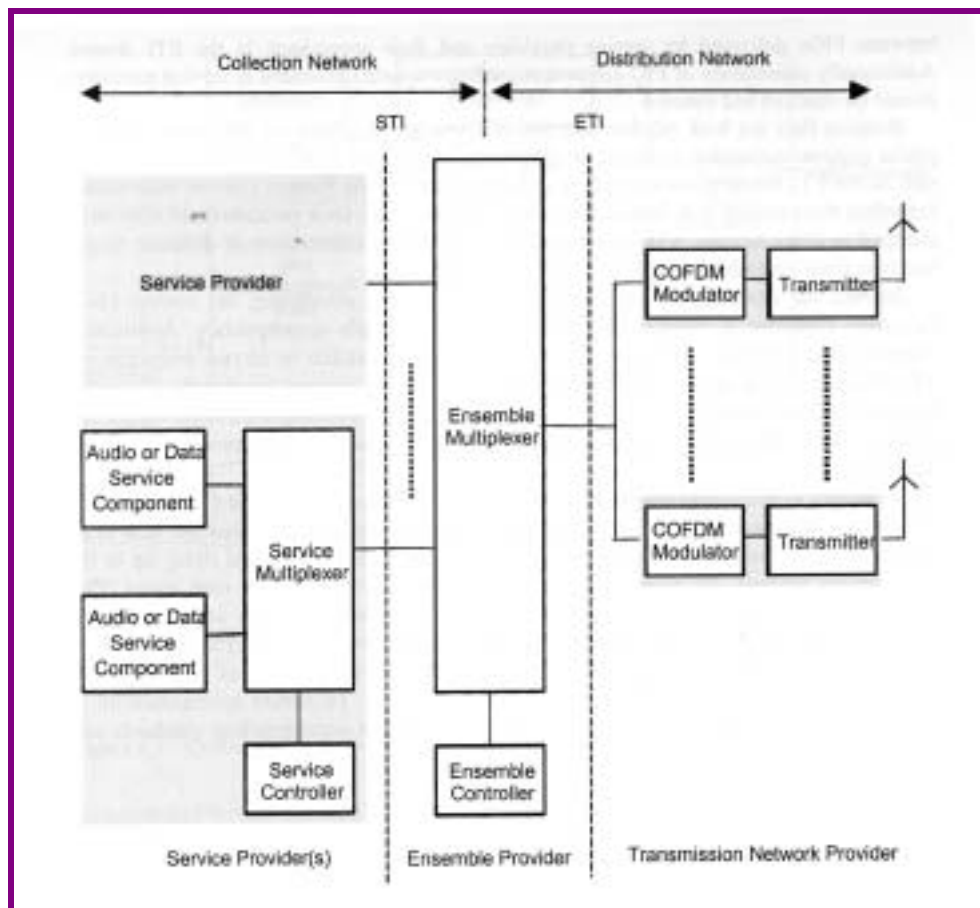


圖4-3

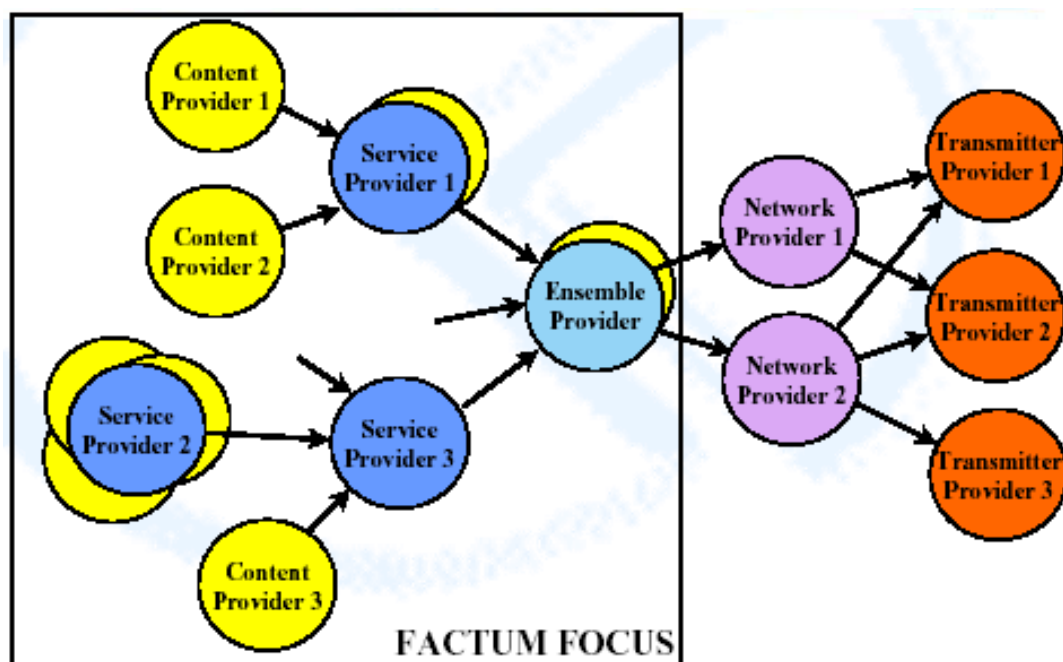


圖4-4

service providers、Ensamble providers、network providers and transmitter providers。右圖圖4-5 即為一商業型Ensamble Multiplexer [6]。



圖4-5

雖然理論上 DAB 可以利用多工，將數個節目以一射頻頻段作發射，容許的節目數目與以何頻寬作發射，則有多種可能。加拿大曾以16個節目而多工在一7MHz的電視頻道作發射，雖然實驗上，其確實可以在有多重電波反射的環境中，接收良好，但是整個營運系統也失去彈性。也因此，最後所定義的所謂“DAB block”乃為1.5MHz，其可承載 5~7 個節目服務。一般來說，1.5MHz 已足夠傳載一 MPEG coded A/V bit stream。不過，以上所分析，對應於營用者來講，這情況只是一張頻譜執照 (Spectrum License) 內的「共塔」。如要多張頻譜執照內的「共塔」，牽涉到的技術問題將與以下對DVB-T系統之分析類似。

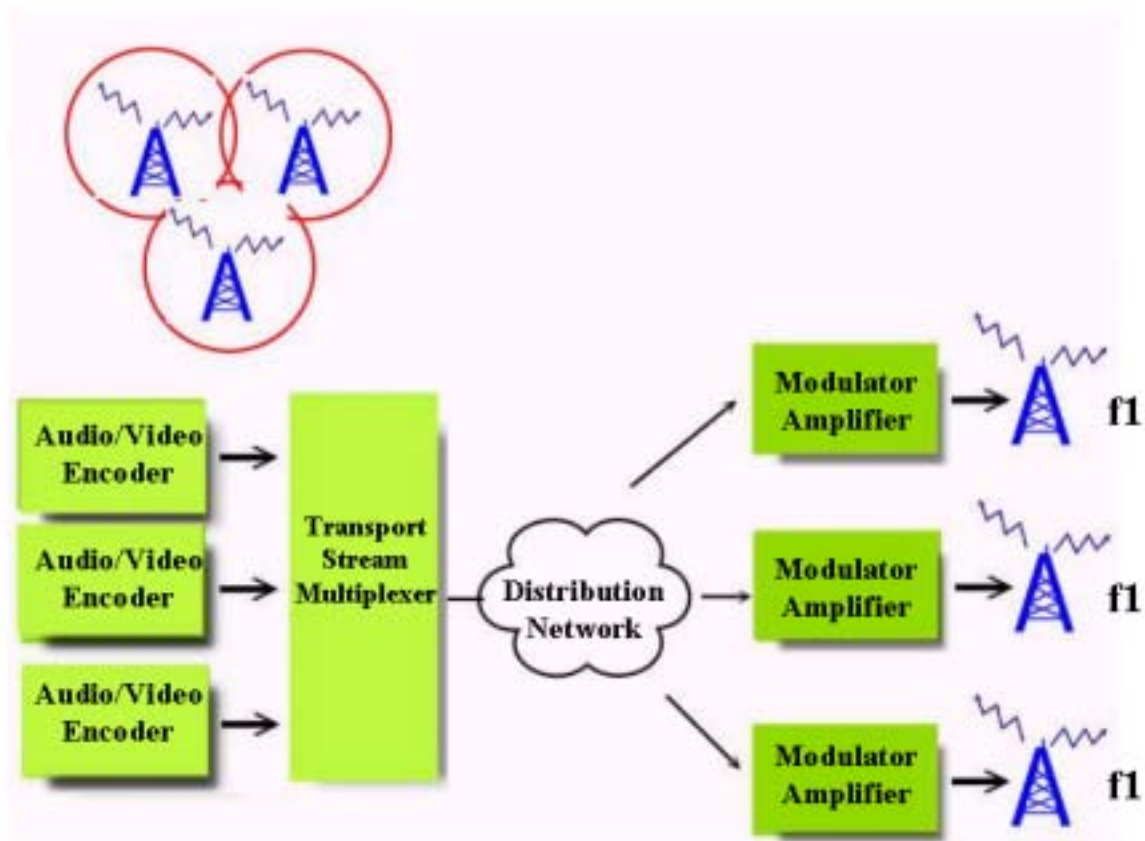


圖4-6

觀念上，數位電視廣播之商業服務型態，應與圖4-3、圖4-4一樣，然而在 Ensamble Multiplexer 方面，假如只是多個非HDTV節目在一執照頻譜內作單頻網之廣播，參考上圖圖4-6，吾人亦可以一”stream multiplexer”來作多工，經傳輸網路之後到多個發射站作發射。然而，假如考慮多樣化的服務彈性，如HD/SD的切換 多媒體的製播，則DVB-T 尚無明顯成功的科技可參考。英國的數位電視網六家 Multiplex Operators (BBC, Digital 3/4, SDN, Ondigital (3)) [7]，網路的規劃也無上述那麼單純，見下圖圖4-7 [8]：

Network configurations

4 configurations studied:

- National single frequency network (SFN)
 - single 8 MHz UHF channel for whole country
- Regional SFN
 - all stations in a region are on 1 UHF channel
- Sub-regional SFN
 - main station and its relays are in SFN
- Multi-frequency network (MFN)
 - like conventional analogue planning

圖4-7

綜合以上看法，本案在研究台灣地區之數位電視制播分離、共塔發射服務之目標時，暫且考慮是五家電視台的節目並不經 Ensemble Multiplexer，而是各以6MHz 之頻寬（執照頻寬），一起饋入傳輸網路，如衛星、微波鏈或光纖網路等，再傳至發射站。單頻網內，如須要透過租用電信公司或以已有之電視公司的寬頻幹線，如光纖網路(SONET/SDH)或微波鏈路。關於這方面傳輸技術，ETSI 有以下標準可作參考 - “TS 101191 for the specification of a Mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization”。如採用微波傳輸，EN 300748 有建議之 Multichannel Microwave Distribution System (MMDS)〔 10GHz〕技術。

以下茲就三項技術問題作討論：

- 寬頻發射之挑戰

- 傳輸延遲對單頻網之影響
- 畫質服務等級之考慮

A. 寬頻發射之挑戰

所謂「共塔」，假如如業者目前的構想，只是土地、機房和鐵塔的共用，傳輸發射系統還是各走各的，這樣只是把天線放在一起的 "Antenna Farm"，與「制播分離」的觀念是毫無關係的。相反地，出於「制播分離」的角度，為了符合業者覆蓋區(Coverage area)一樣，以及各業者保有其服務條件之調整彈性，整個系統就必須參與執照頻道全部發射。在 DAB 方面，因其執照頻譜是1.5MHz，只要該區之DAB 服務總頻寬不致過大，發射技術上應無問題。以目前台灣地區之 DAB 頻譜分配來說，自最低之 10B：211.648 MHz (單區 台北之音、勁報、高屏) 至最高的 11C：220.352 MHz (全區 中廣) 來算，其是 8.704MHz 頻寬，這樣的頻寬也比台灣地區之電視頻道頻寬 6MHz，多了2.704MH而已。以一般的單極或雙偶極天線 (monopole or dipole antenna)作發射，是毫無問題的。

相反地，不管五家電視台以後是否會因新科技而以"Ensemble Multiplexer"方式作廣播，或直接以目前五台所佔的 172.5 MHz 頻寬作發射，參考圖4-8所示DVB-T頭端之系統方塊圖，如此工程將是一大挑戰。

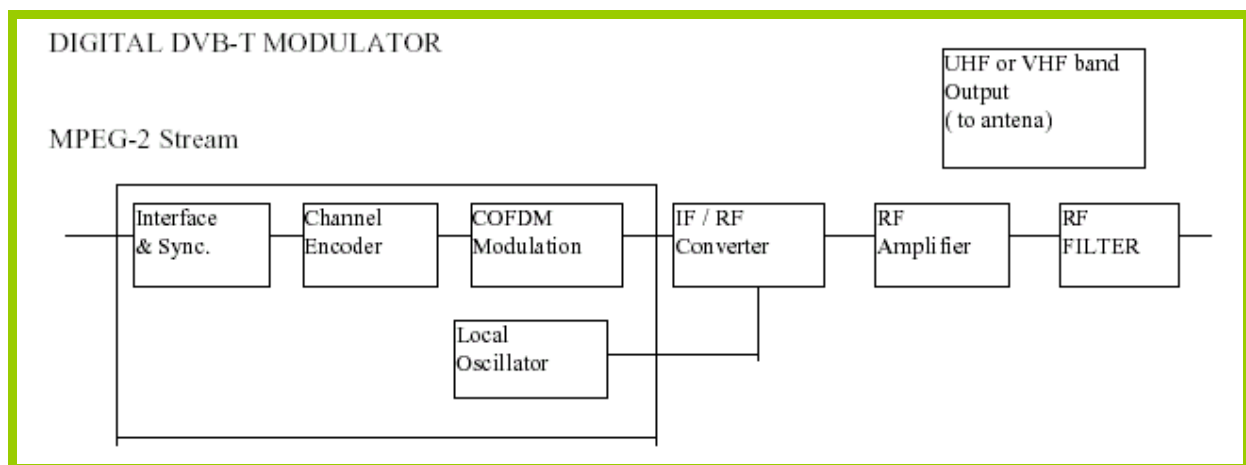


圖4-8

B. 傳輸延遲對單頻網之影響

單頻網的運作，首要要求發射機發射數位電視訊號，到接收機要收到相同之頻率以及相同或接近之時序(timing)。發射機間之頻率誤差會致使接收機端，OFDM 內之載頻無法保有正交 (orthogonality) 之特性。另外，在移動接收時，接收機對 Doppler Effect 之容忍度也會降低。而發射機間之時序誤差，會使得系統原設定之GI (Guard Interval) 失效，而惡化單頻網的服務。因此，目前在工程上要求OFDM 內之載頻間隔(carrier spacing)誤差須低於1%內；而GI之誤差須低於個位百分比內。

然而，在電氣上，任何電子訊號經過傳輸、處理，必然會經歷衰減與延遲。在數位廣播SFN系統中，從多工器出發經傳輸網路至發射天線止，就會引出多項的訊號延遲，見圖4-9 [4]。其中，傳輸網路常常是透過租用的E1/T1(single DAB)、ATM(multiple DAB block, single/multiple DVB-T)專線(leased lines)，其訊號延遲，須網路佈建者量測評估及補償。在進一步說明之前，吾人須了

解，一般單頻網之同步調整，都是以接收GPS之1pps 脈衝與 10MHz單頻訊號為之。前者做時序 (timing) 調整(影響 Guard Interval)；後者則供本地振盪器 (OSC) 作參考(影響 OFDM 運作)。圖4-10示意新加坡 DVB-T 之同步系統。

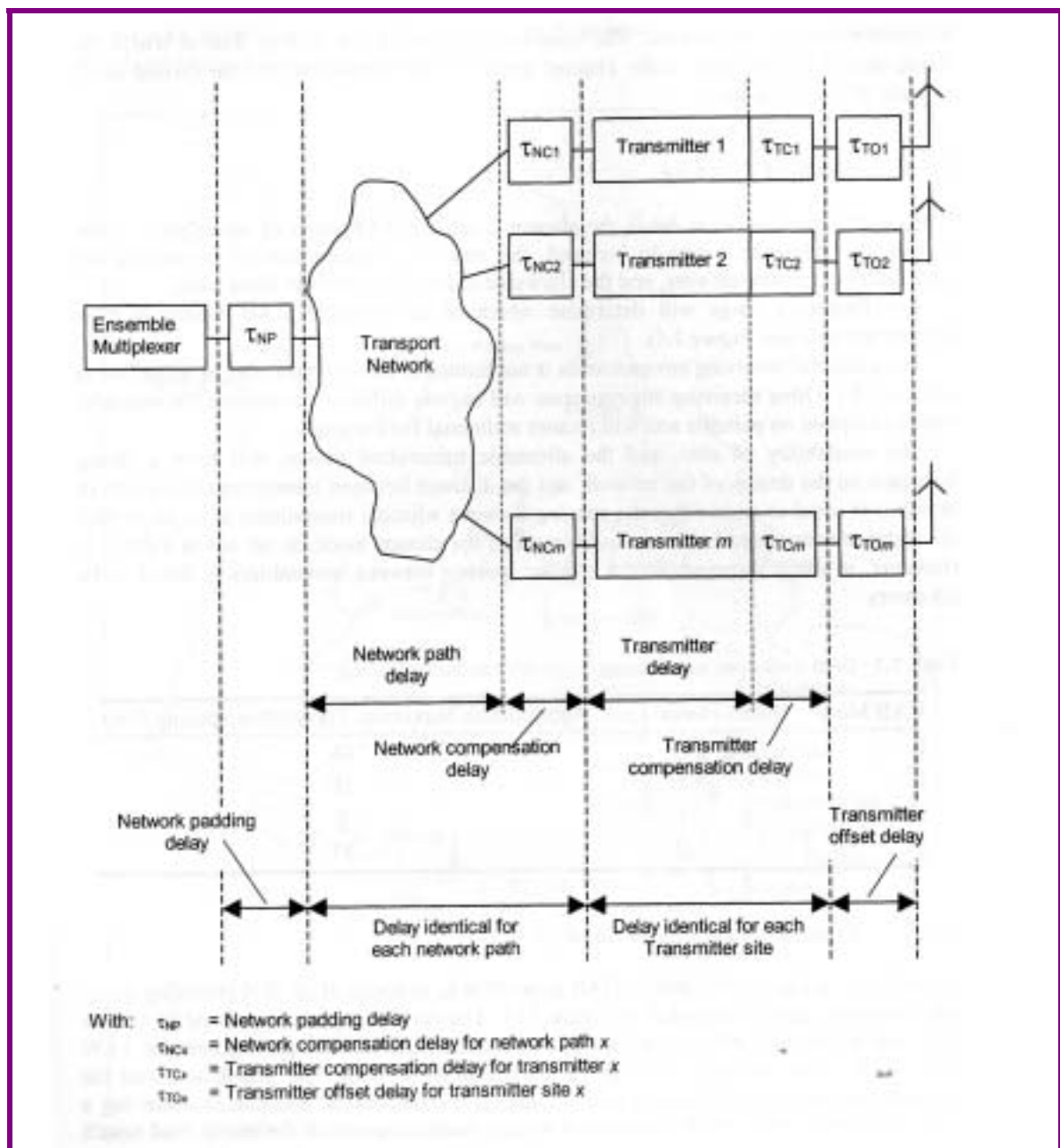


圖4-9

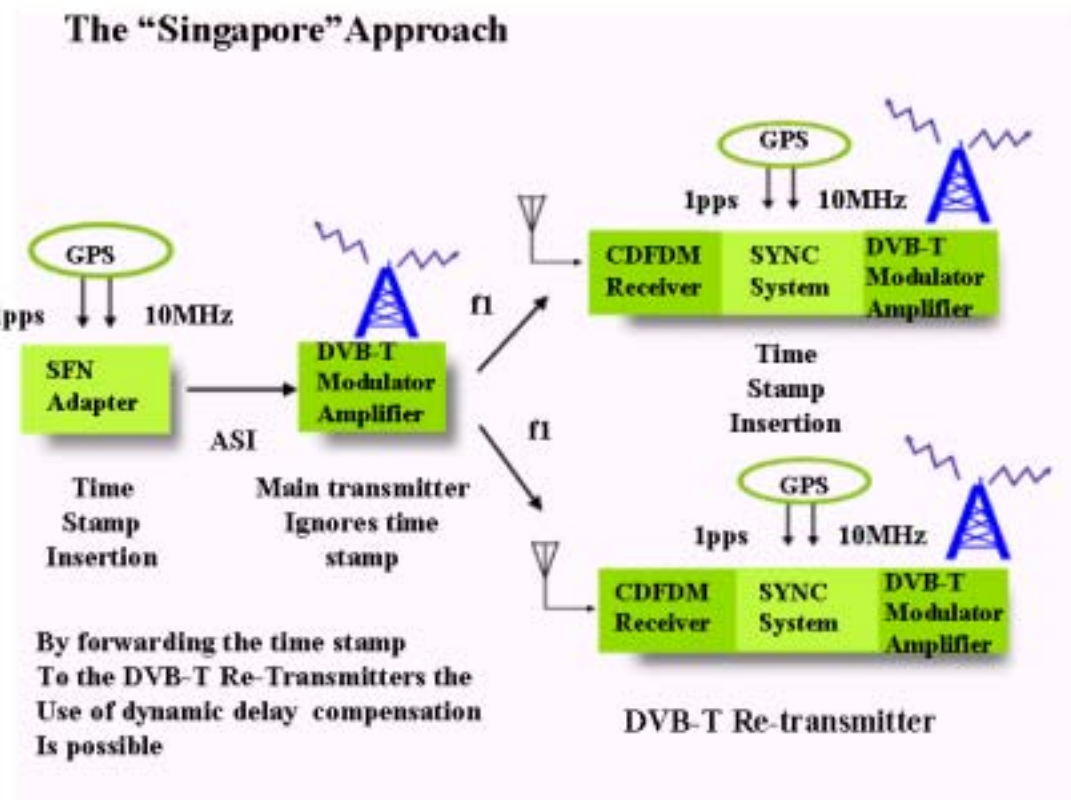


圖4-10

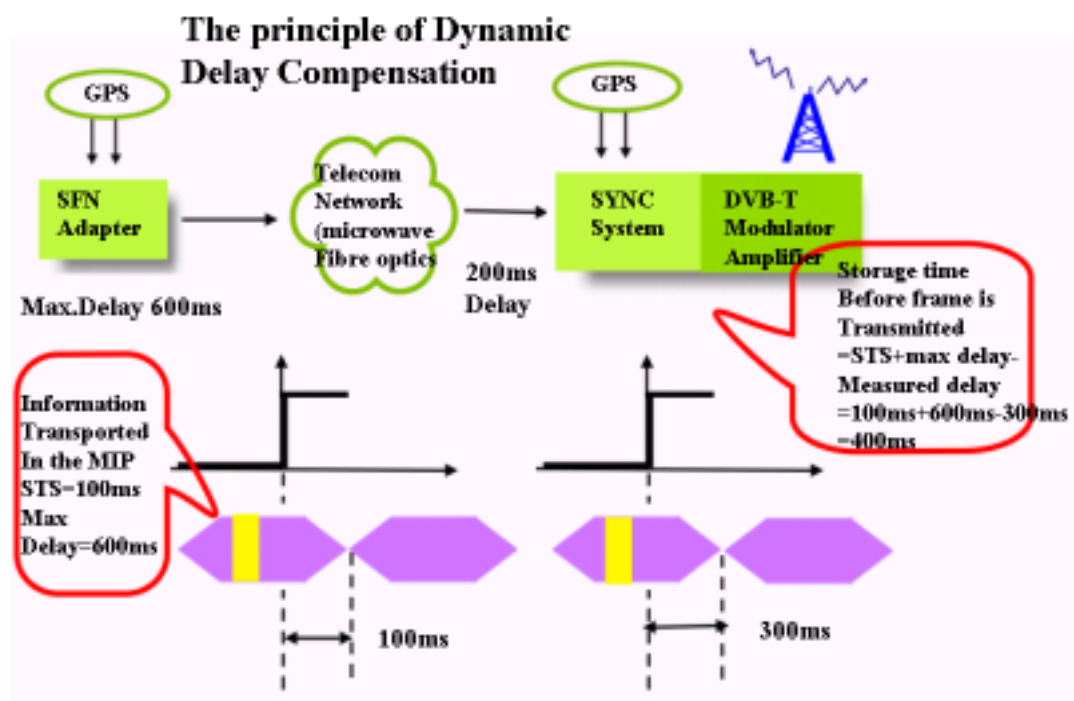


圖4-11

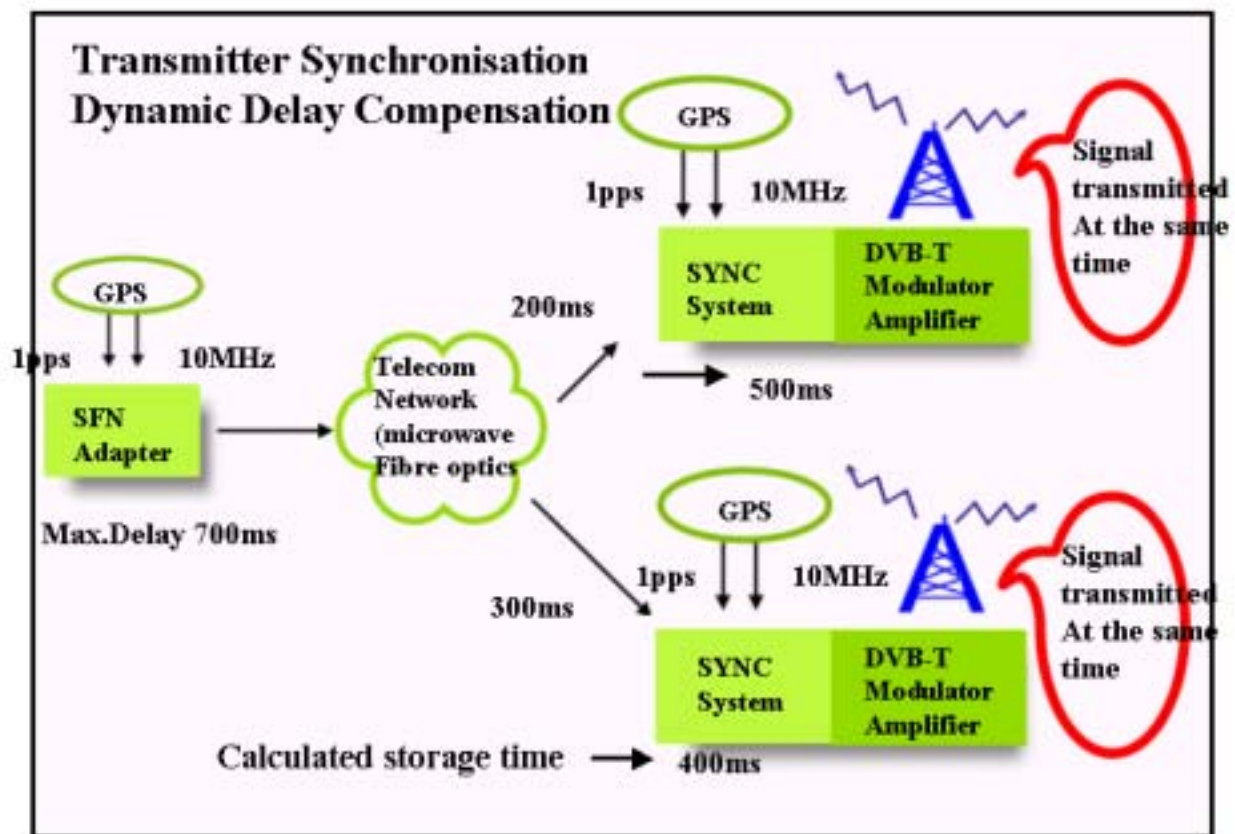


圖4-12

職是之故，設備廠商會使用所謂「動態延遲補償技術」(Dynamic Delay Compensation)來做調整[9]，見圖4-11、圖4-12，讓在單頻網中，所有發射台是幾乎同時發射出 OFDM 訊號。不過這項技術有一前題，即要同時「知道」訊號經傳輸網路在到達各個發射台時，已經經歷多少延遲，然後在各台計算出應有的「補償延遲」(storage time)。「補償延遲」加上傳輸網路之延遲，各台總值一樣而達到同步。

然而傳輸網路延遲之動態估算，在技術上，頗具挑戰。尤其寬頻傳輸時，將會有系統色散現象(dispersion)，即頻率高低，經長途傳輸，延遲各有不同。

也就是說，在 DVB-T 多頻道作單頻網服務，甚至DAB 多頻道或DVB-T一頻道在像我們台灣地區作運作時(參考右圖圖4-13)，傳輸網路對同步的影響，都值得注意。

目前可供使用的傳輸網路有：

- ATM Network
 - 須長期租金
 - 無法到達任何地方
- 衛星中繼
 - 各地可接收
 - 容易受氣候影響
- 微波鏈路
 - 方便已具該頻譜執照者
- “off-air” 接收
 - 便宜但只適合佈建初期的MFN 網路

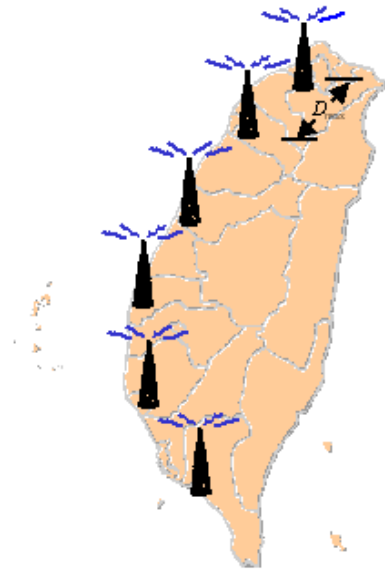


圖4-13

整體來講，這些傳輸網路之延遲效應對單頻網之影響，都要做評估與掌握。

工程上，假如得知整個傳輸路線所經過之傳輸媒介 (Transport Media - SONET/SDH, Cable, Twist-Pair ...)，以及路線所經過的設備，如 Demultiplexer/Multiplexer、Switcher、Router、Repeater 等等，吾人可借助

網路模擬軟體作延遲的估計。OPNET即是一這範疇中有明的工具。以下先對其作一簡介。

OPNET 為具物件導向概念的商業軟體，其網路相關功能模組非常齊全，內建許多常用完整的協定模組與標準範例可參考使用，涵蓋目前主要網路設備製造廠商的網路元件模組，包括：3Com、Cisco、Novell....等，其已有十多年歷史，是一套非常強而有力的網路模擬工具，在通信、國防及電腦網路領域已經被廣泛認可和採用。在功能方面，其可提供友善的圖形界面設計工具，利用階層的方式讓使用者很容易的建立網路拓樸，自行定義網路架構中每一個 Node 及 Link 屬性，依據不同的屬性、網路流量資料去做模擬分析，以決定如此的網路規劃是否適當，而所產生的統計結果可以用各種方式呈現，包括向量圖、分布圖、直方圖、機率密度函數圖等；並提供應用程式介面，讓使用者能使用高階語言建立、修改網路模組、加入自訂的功能，同時具有無線網路模組的介面，以提供模擬分析衛星、微波及其他無線網路技術的設計。

簡單的敘述，OPNET 模擬軟體就是由節點模組所定義出來的節點來組成網路拓樸，而每個節點內部的運作方式與具備有怎樣的功能，則另外再由程序模組裡頭的一些狀態轉移圖來表示。而每個狀態內部則是由類似 C 語言程式的程式碼來設定功能。至於各狀態間如何轉移，怎樣才能轉移，都有必須條件式的設定。圖 4-14 在說明所述的這些步驟。

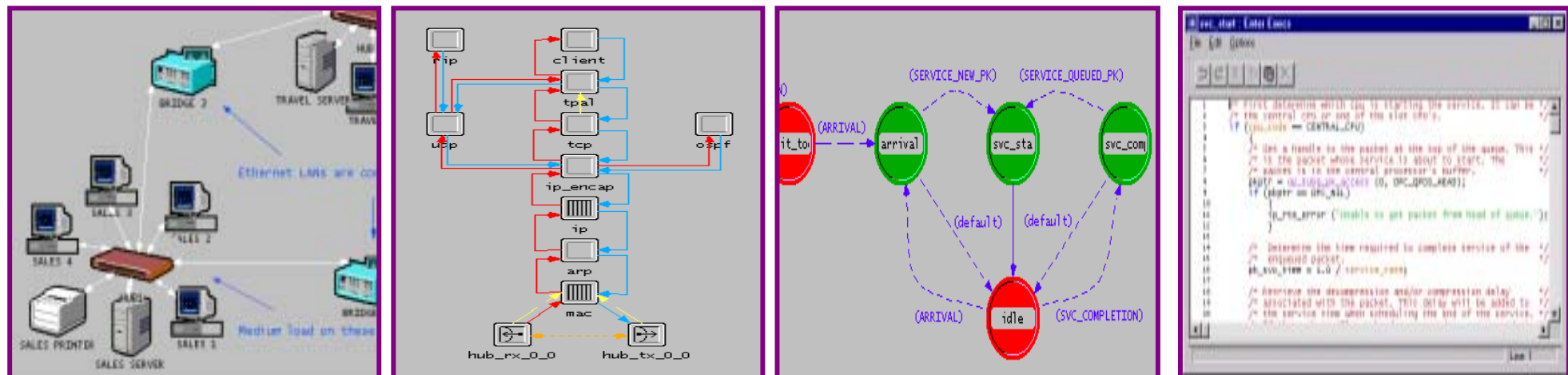


圖4-14

利用 OPNET，吾人便可以以電腦模擬，在台灣地區建立單頻網時，不管是 DVB-T 或 DAB 節目，估計在全島傳輸時網路上可能造成的延遲，便於在作 SFN 規劃時做相對的調整與補償。吾人須留意的是，因使用之頻寬不同，DVB-T 可能是租用 ATM (QoS 可確保)專線，而 DAB 可能是租用 E1(2.048 Mb/sec.)專線，但在幹線(backbone – SONET/SDH)內傳輸時，同屬是 payload，兩者之延遲是一樣的。會造成明顯延遲的是：

- 一、末端不同的傳輸媒介，如 ATM 是走光纖或同軸電纜；E1 是走雙絞銅線(twisted-pair)，兩者的傳輸速度是迥殊的。
- 二、沿途幹線中所穿插裝設的設備，一般來講，設備的訊號處理延遲是值得關心的，常常比傳輸延遲之值要大。

圖 4-15 顯示的是一模擬實驗例子。從台北到高雄(圖 4-15 (a))，以 OC-48 (2488.32 Mb/sec) 幹線傳輸來說，OPNET 模擬計算出來的傳輸延遲是圖 4-15 (b)中的曲線。從最短的新竹是 0.33ms 到最遠的高雄要 1.13ms。基本上這項延遲與傳輸距離是成正比的。接下來假如吾人進一步考慮幹線中，設備(在此以 repeater 為例)之延遲的效果，模擬計算加入一至五台，訊號至高雄的延遲量，其結果顯示在圖 4-16 中。一台 repeater 大概會增加 0.1ms 的延遲量。目前中華電信南北 OC-48 幹線延路就有加設五台 repeater。

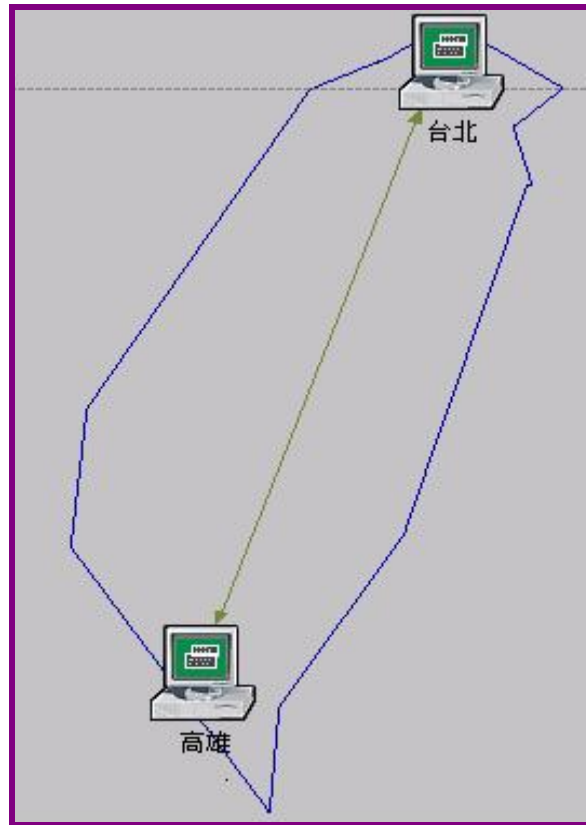


圖 4-15 (a)

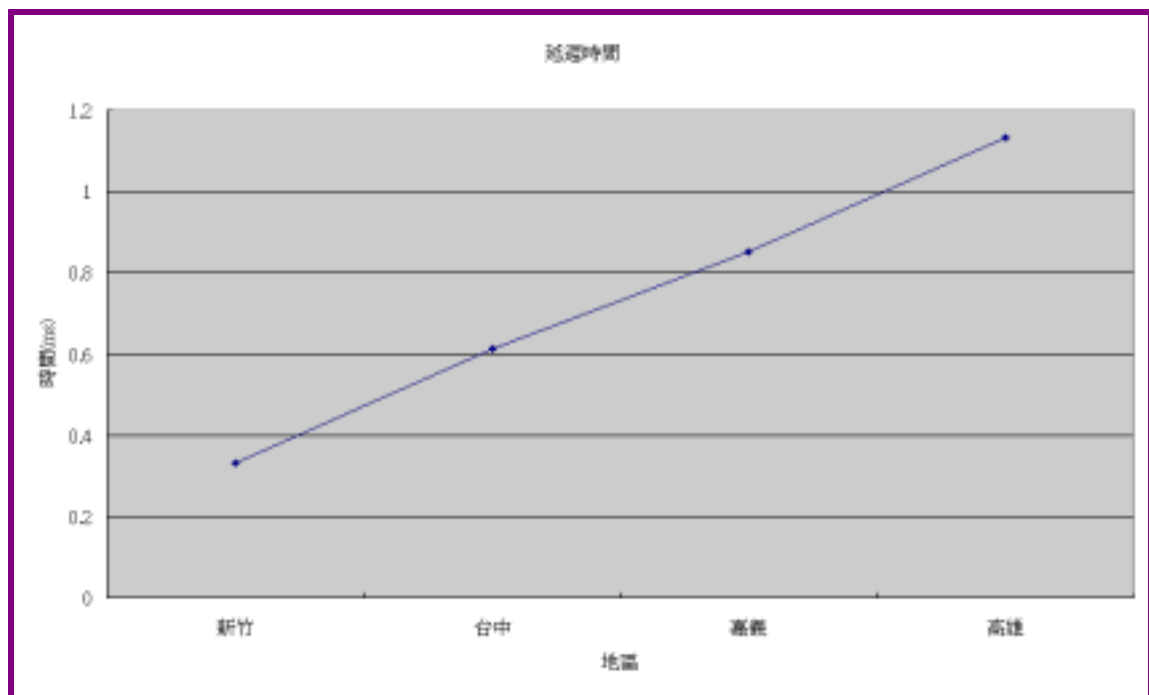


圖 4-15 (b)

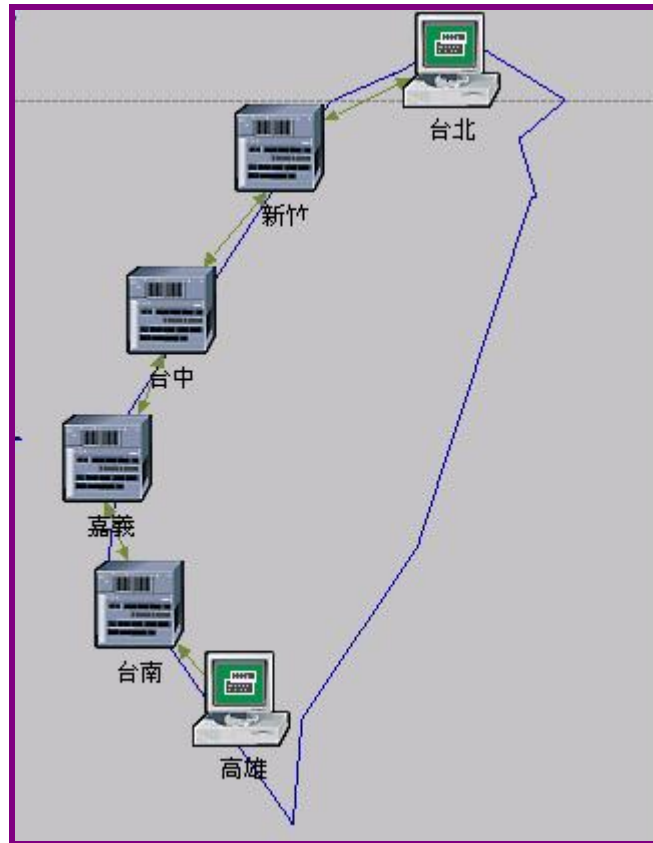


圖 4-16 (a)

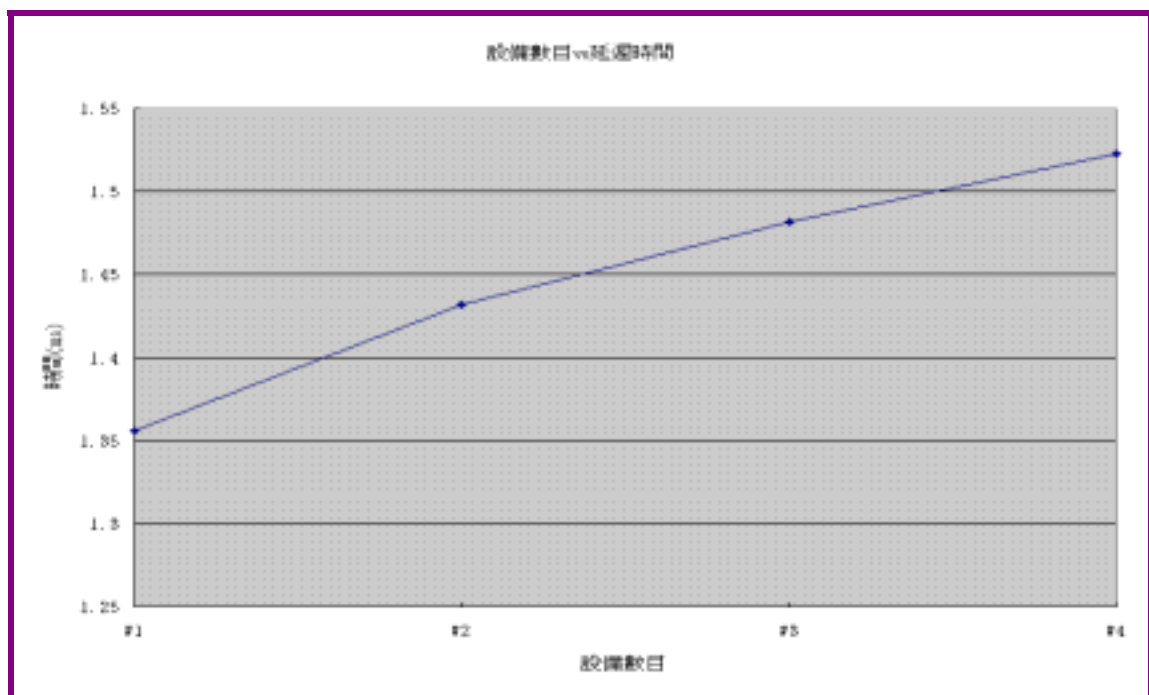


圖4-16 (b)

如上所述，假如網路內之傳輸媒介與設備能有充份了解的話，針對「廣播共塔」的目的，OPNET 是一理想的模擬計算工具，適合未來台灣地區在佈建 DVB-T或DAB之單頻網時，做時序同步調整時之輔助工具。

C. 畫質服務等級之考慮

OFDM 調變技術中，不同的 modulation scheme，可提供不同傳輸速度，參考圖4-17。從最低速的 5Mb/s 到最高速的 31Mb/s。一般要進行 HDTV 服務，傳輸速度要大於 19Mb/s 以上。

Modulation	Code rate	Guard interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4.98	5.53	5.85	6.03
	2/3	6.64	7.37	7.81	8.04
	3/4	7.46	8.29	8.78	9.05
	5/6	8.29	9.22	9.76	10.05
	7/8	8.71	9.68	10.25	10.56
16-QAM	1/2	9.95	11.06	11.71	12.06
	2/3	13.27	14.75	15.61	16.09
	3/4	14.93	16.59	17.56	18.10
	5/6	16.59	18.43	19.52	20.11
	7/8	17.42	19.35	20.49	21.11
64-QAM	1/2	14.93	16.59	17.56	18.10
	2/3	19.91	22.12	23.42	24.13
	3/4	22.39	24.88	26.35	27.14
	5/6	24.88	27.65	29.27	30.16
	7/8	26.13	29.03	30.74	31.67

圖4-17

傳輸速度可以以下列公式計算[10]：

$$\text{Useful data bit rate} = \frac{B \times C \times M \times N}{T} \quad \text{bits/sec}$$

where

B – the efficiency of the RS block code

C – convolution code rate (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 or 7/8)

M - # of bits per carrier (2: QPSK, 4: 16-QAM, 6: 64-QAM)

N - # of data carriers used (1512 for 2k; 6048 for 8k)

T – total duration of the symbol including the GI

本公式同時適合DAB也適合DVB-T。很顯然地，Guard Interval 之值會影響傳輸速度。然而，單頻網在佈建時，就須考率到應有的Guard Interval，即圖 4-13 中的 D 值就要決定。因此，假如業者有不同畫質之營運計劃，談「共塔」、共單頻網是不容易地。

這種有關不同服務營運衝擊「共塔」設計投資之問題，也會發生在 FM 與 DAB 之間，主要是其額定輻射功慮互異，見圖 4-18。

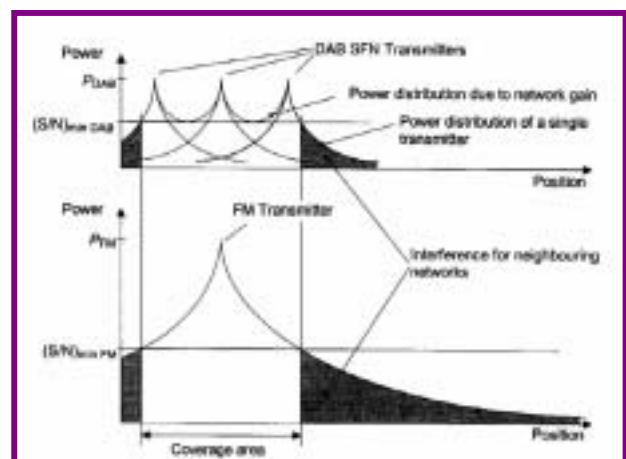


圖 4-18

還好，DVB-T 在發展時，就提供一所謂 ”Hierarchical” 之營運設計。數位電視假如要考慮共塔營運，正如前述，服務分類如不同，例如高解電視節目相對於行動接收，則因數據速度不同(net bit rate)相對會影響單頻網的佈建。依照Guard Interval 理論，net bit rate 低者，發射站密度可較為疏散。假如要兼顧兩者之需求，則吾人須求之於DVB-T之Hierarchical的系統設計。

Hierarchical broadcast 可提供兩種模式化服務：

---simulcast

---multicast

對於前者，在同樣電波涵蓋區內，同時提供兩種不同速度的 MEGA transport stream，低速者稱為 High Priority (HP) stream；而高速者是稱為 Low Priority (LP) stream。他們兩者的 BER vs. C/N 圖[11]，見下圖圖 4-19：

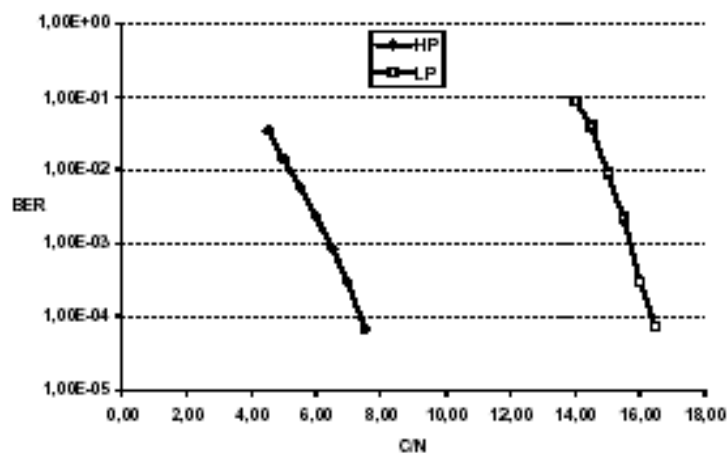


圖 4-19

圖中曲線的形狀不會因系統參數設定而改變，只會位移而已。

有此認識，多家電台共塔營運時，Hierarchical SFN 是可以考慮的。在其中，LP 服務者須有充分的發射站數量，共塔比例高，而 HP 的服務者則只有部分發射站即可。

第五章 天線共塔時其安裝與電波覆蓋之考慮

當吾人在考慮共塔傳統的廣播，其電波覆蓋區(coverage)之設計皆基於一假設，即接收端是用固定天線且是裝設於屋頂上，所以約有 10 公尺之離地高度(AGL, Above Ground Level)。至少在電視廣播，且在如美國這種住宅型態的地區是如此。然而，在 DVB-T/DAB 的廣播環境，吾人無法支持這種假設，其乃基於幾項理由：

1. DVB-T/DAB 乃為適合移動接收而設計，因此 AGL 大概要設為 1.5 公尺。根據研究，如以 DAB 為例，在 Band 1，這種高度的改變，電場強度會有 10dB 的變動。
2. 與傳統廣播做比較，DVB-T/DAB 有臨界接收特別明顯的特性，其在完美接收與接收失敗之場強差異，在同地點，只有數個 dB 之差。

職是之故，定奪某一地區是否屬於“覆蓋區”，其訊號的接收度(signal availability)要良好。國外在做規劃時其準則是，在每一平方公里單位區域內，該值要在 99% 以上，其才能算是位在覆蓋區內。

一般來講，目前的 DAB 接收機需要其訊號雜訊比(single-to-noise, S/N)是在 14dB 以上。假如考慮到 OFDM 的接收增益(即含天線之接收狀況)，其在 Band 1 內相對需求的場強約是 37dB($\mu\text{V}/\text{m}$)，不過有些研究指出的數值略有不同，但總之，相差也在 1 或 2dB 內。所謂 37dB($\mu\text{V}/\text{m}$)的最低場強，是指一位置點的接收，而且是以汽車車頂為計。假如考慮到涵蓋區在一單位一

平方公里內需 99% 的 single availability，那麼該值顯然就要再高。隨著位置變動而致場強值的變化，可以以統計學做模型，大致來說，其會是接近 log-normal 分析。在市郊非大樓林立地區，其標準差約有 4 dB。

工程上，場強的規劃模型是定平均值的場強，也就是說，是已超過 50% 位置來定，而非 99%，而且 AGL 都是改定 10 公尺而非 1.5 公尺。假如這樣，相對估計的場強是 56 dB($\mu\text{V}/\text{m}$)。

另一有關“覆蓋區”的設計因素是 Gap Filler 的考慮。Gap Filler 的安置是提供涵蓋區內的一些電波死角，額外的功率，以作為彌補。一般來講，工程上，Gap Filler 並不需要與單頻網內的其他的發射端同步。假如是其為一再發射器，其原理就如圖 5-1 所示，其一重要特性是接收與發射天線需有足夠的隔絕度(isolation)。假如共塔的需求也要應用到 Gap Filler 的配置上的話，多種天線在小空間的安裝，其間的互相干擾(下文討論)，將對隔絕度的要求，頗具挑戰。

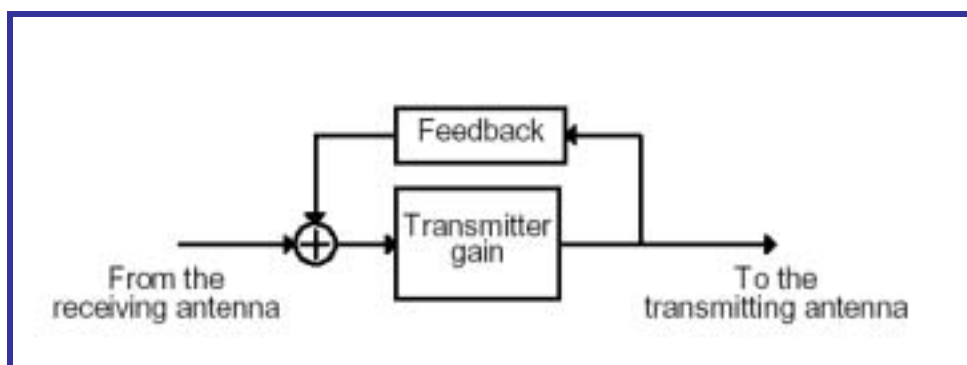


圖 5-1

因此，假如吾人視 Gap Filler 亦為廣播共塔系統配置的一部份的話，則所強

調的天線隔絕度就需注意以下幾點：

- 其所安置之建築物或鐵塔之大小與高度
- 其在建築物或鐵塔上之位置
- 天線的輻射場型(radiation pattern)
- 其電波強區域與主發射天線的地理相對關係
- 其四周之地形地物，因為後者會引起多重繞射

國外的實驗證明，水泥之構造物能有較佳的隔絕度，隔絕度一般要求在 80dB 左右[11]。依照下述的天線之耦合研究可知，共塔的線，尤其其工作頻率相近者，假如是垂直極化的發射，最好分多層不同高度安裝。

一般天線擺設太於靠近的話，其電磁波會產生互耦(coupling effect)的現象，以致影響原有天線之電氣特性。這問題在吾人討論天線「共塔」的應用時，須特別加以了解。目前DAB的發射只要是以雙偶極天線 (Dipole)作電波發射。例如中廣用於新竹、高雄、苗栗發射站的是 Kathrein Antenna (Type 774 813 m)

Specification:

Frequency range - 174 – 230 MHz (for DAB Ch 11)

Polarization - Vertical

其結構如圖 5-2 所示；而其輻射場型則是於圖 5-3。

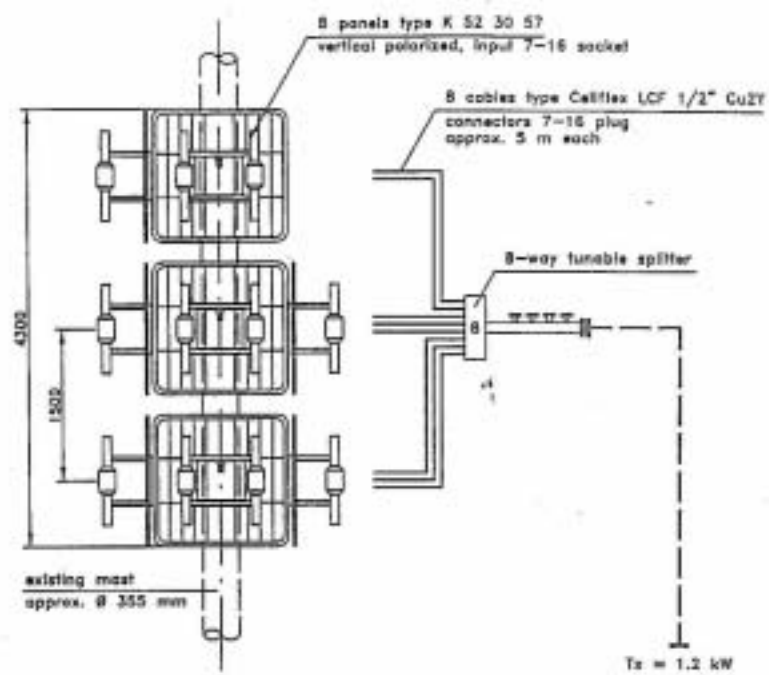


圖 5-2

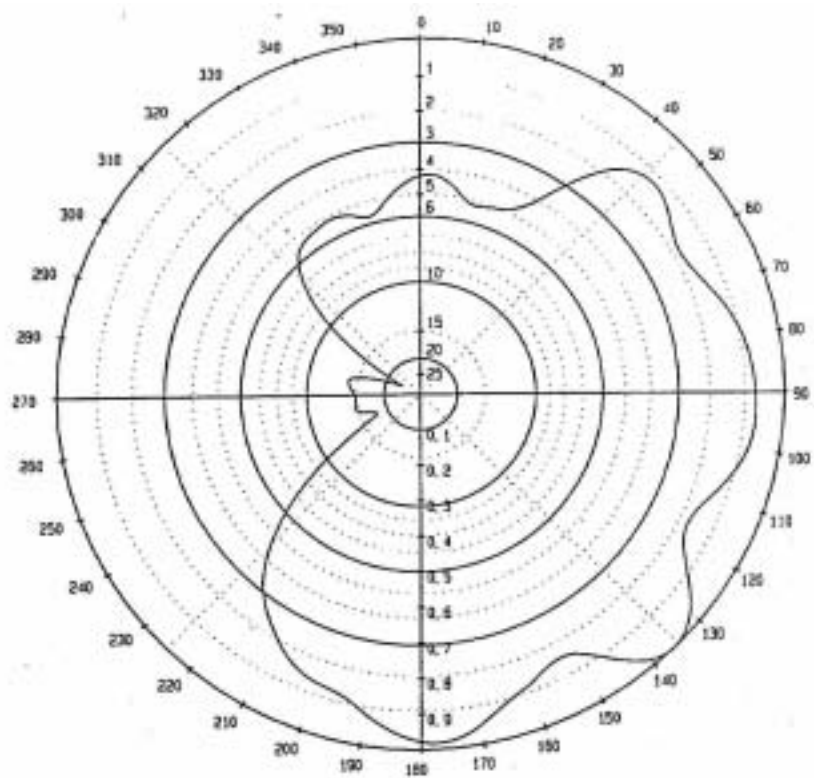


圖5-3



(a)



(b)



(c)



(d)

圖5-4

這類天線很廣泛用於VHF/UHF頻段作大功率的發射，圖5-4 (a)(b)(c) 所示為某一型這類天線，在大同大學電波無反射室進行量測的情況。事實上，這類天線有些外表(radome)看似偶極天線，但其內隻金屬體有可能是屬 L-type 作設計，見圖5-4 (c)。圖5-4 (d)是美國Dielectric天線公司的另一型Dipole.

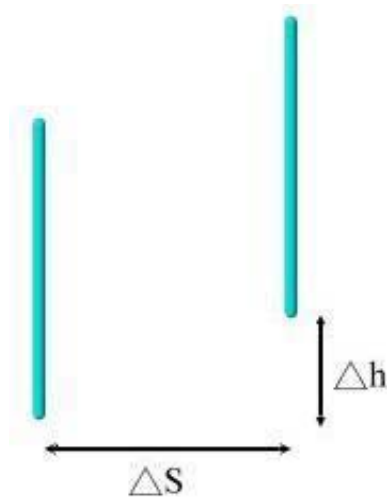


圖 5-5

為了研究共塔時，偶極天線間可能的耦合效應，吾人以 WIPL-D 電磁分析軟體，針對圖 5-5 中的兩支一樣的偶極天線作模擬。其中的偶極天線饋入點在中央，長度是以操作頻率約 200MHz(DAB band)作設計。在空間上，兩者的高度差是 Δh ；水平位置差是 Δs 。圖 5-6 與圖 5-7 是分別變化 Δh 及 Δs (單位皆是公尺)所計算出之耦合係數 S_{21} (scanned frequency 180~230MHz)。另一方面，圖 5-8 與圖 5-9 是同樣的模擬實驗(scanned frequency 80~220MHz)，但是其中一支改為 FM 頻段 100MHz 之長度。

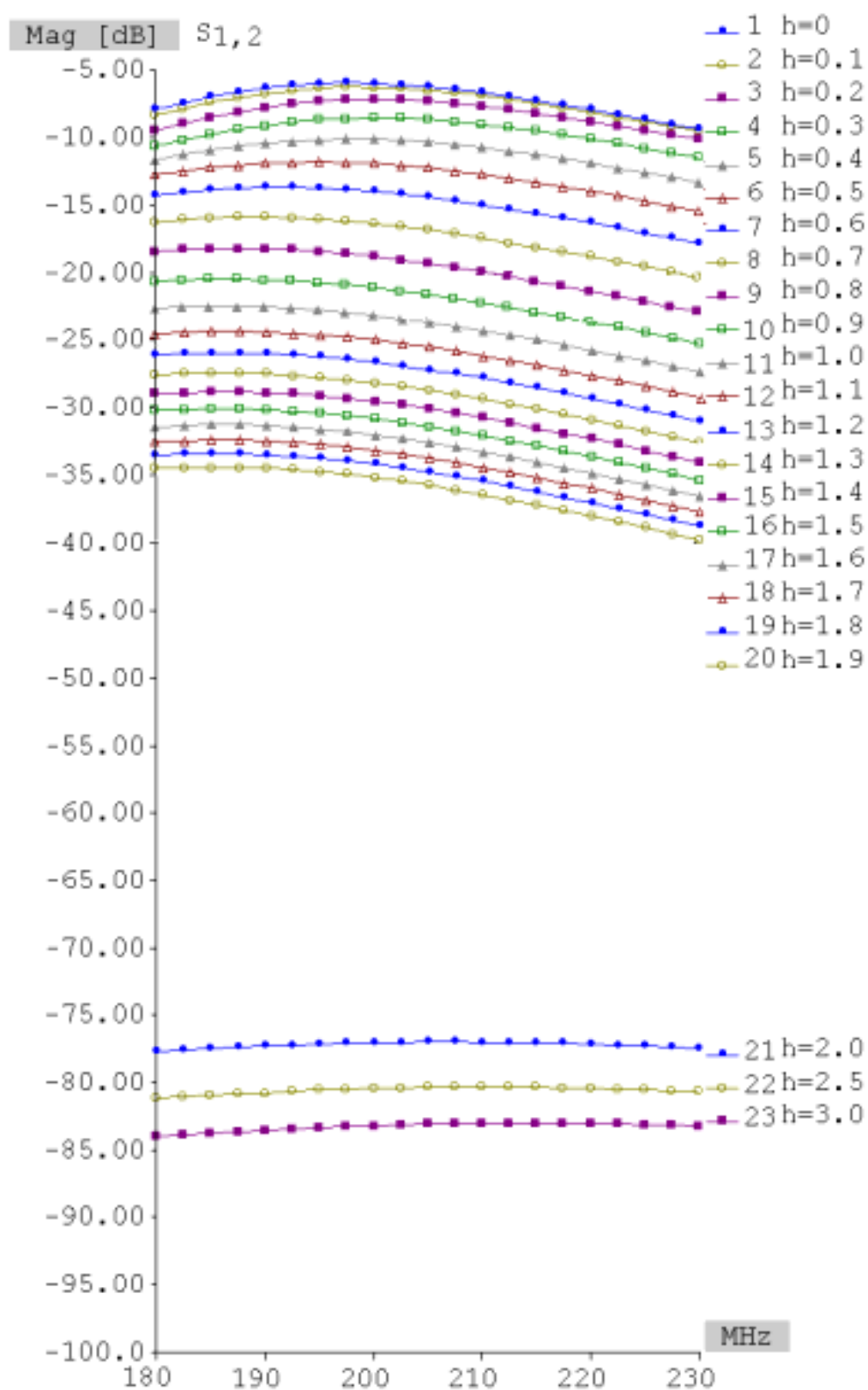


圖 5-6

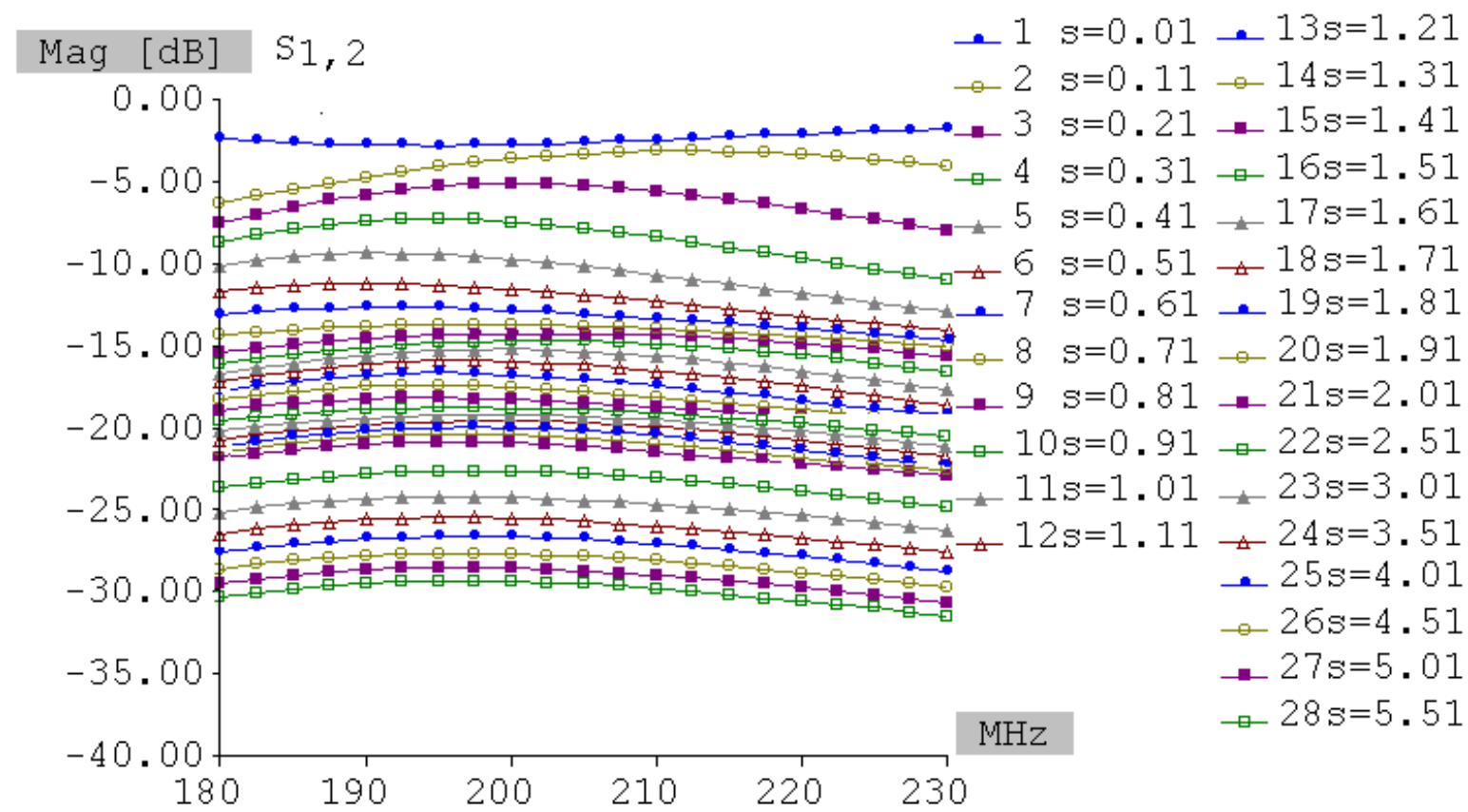


圖5-7

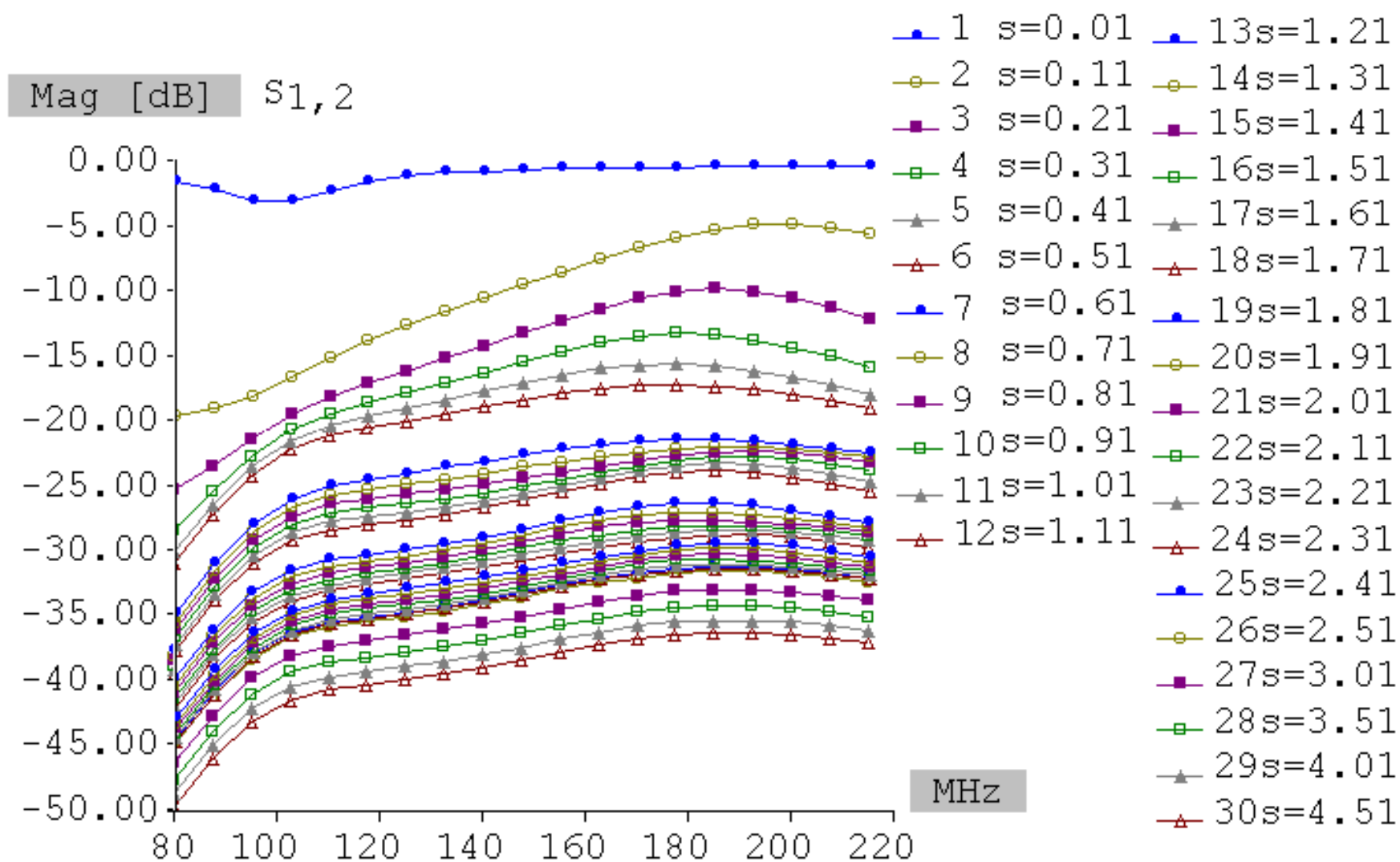


圖5-8

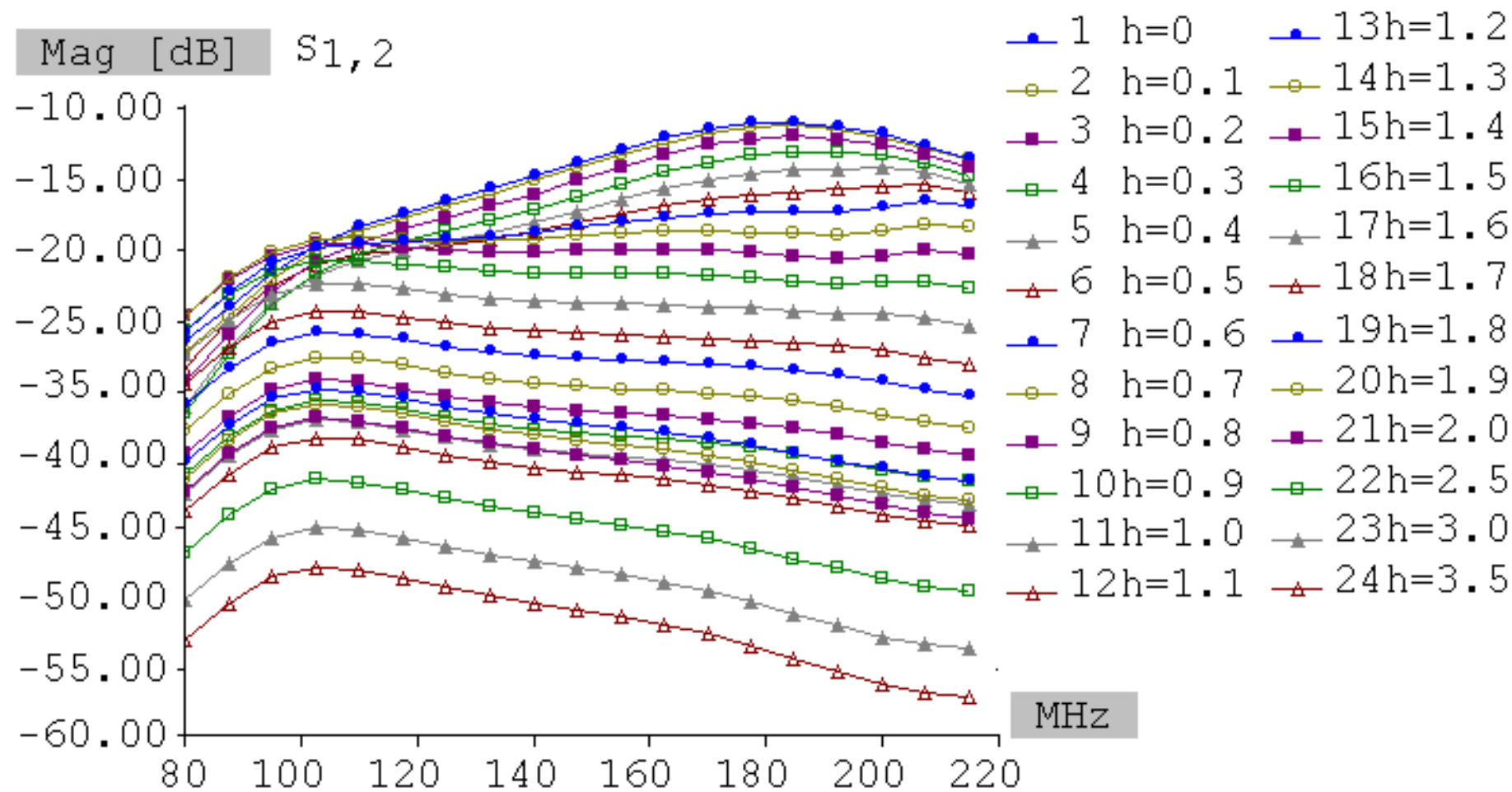


圖5-9

第六章 閃電對鐵塔的影響

雷雨發生時，經常會伴隨著打雷、閃電，而置於郊外空曠的地方的鐵塔，往往容易成為目標而遭受雷擊。因此要避免裡頭的設備儀器因雷擊而造成損壞，保護的措施是不可少的。所以可在建塔之前可先用模擬的方法去了解雷擊對塔的影響，並做好保護措施。吾人根據文獻[12]中提供的模擬方法及例子做說明。

在右圖圖 6-1 中的模擬例子主要可分為幾個 TLM (Transmission-Line Modeling)組合而成，(1)LIGHTNING RETURN STROKE MODEL，(2)THE LPS(lightning protection structure) MODEL，(3)GROUND SYSTEM MODEL。整個結構是要分析暫態電流和電壓經過這些 TLM 內部所產生的電磁效應，該文獻所使用的模擬方法是 FDTD (Finite-Difference Time-Domain)。

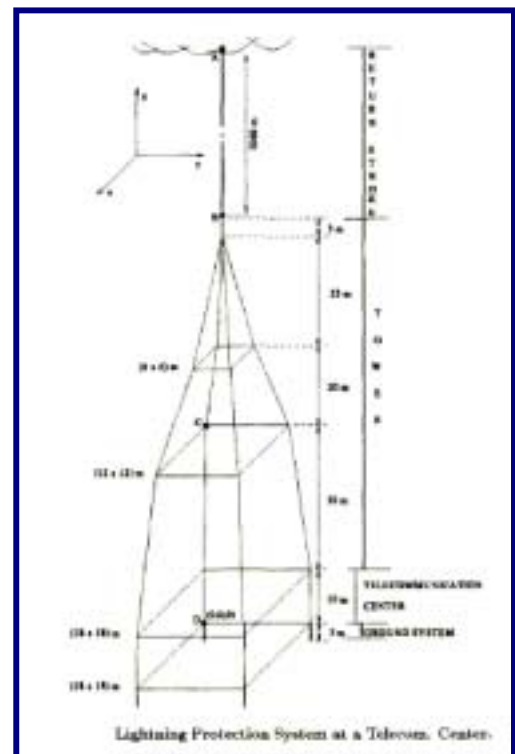


圖 6-1

至於電場，磁場的獲得是將所有 TLM(Transmission-Line Modeling)分成很多小段，由流經上面的電流，透過 Maxwell equation 計算得到的。

$$E_s(x, y, z, t) = \frac{K_s}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^3} \int_0^t I(\tau - r/c) d\tau$$

$$E_i(x, y, z, t) = \frac{K_i}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^3} \frac{\partial I(t - r/c)}{\partial(t - r/c)}$$

$$E_r(x, y, z, t) = \frac{K_r}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} I(t - r/c)$$

$$H(x, y, z, t) = \frac{K_A}{4\pi} \left[\frac{1}{r^3} I(t - r/c) + \frac{1}{cr^2} \frac{\partial I(t - r/c)}{\partial(t - r/c)} \right]$$

下面圖 6-2 中的 3 個圖顯示雷擊在 LPS (lightning protection structure) 上的 B 點的電流，電場及磁場隨時間的變化。

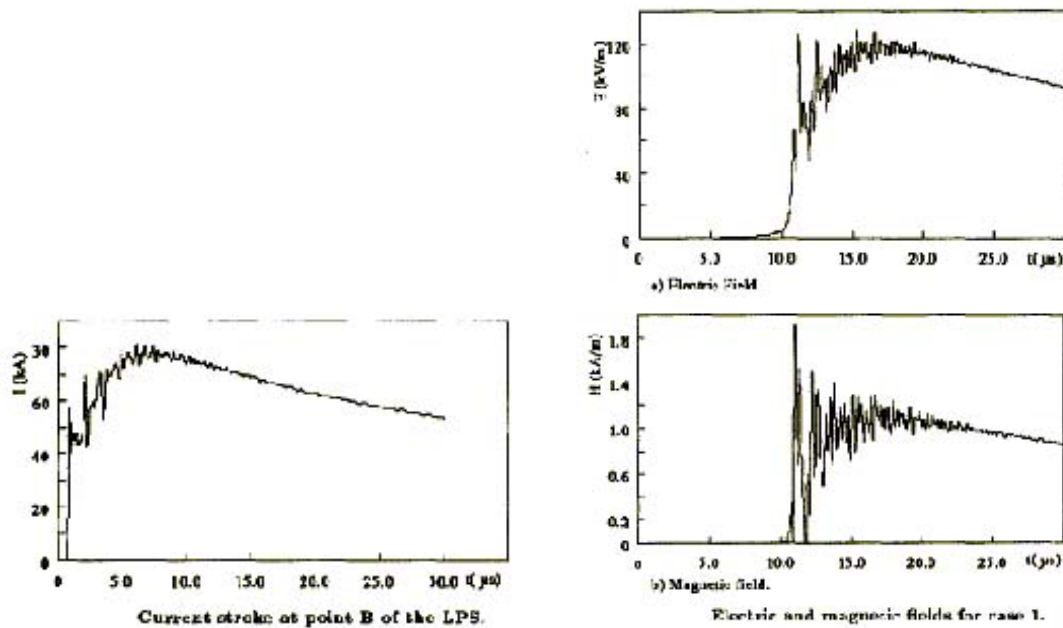


圖 6-2

還有下圖比較沒有接 ground system 的情形(同樣打在 B 點上)，取而代之的

是 8Ω 的電阻，會發現其所得到的磁場高於前面的例子。可見接地系統的差別對避雷是有影響的。

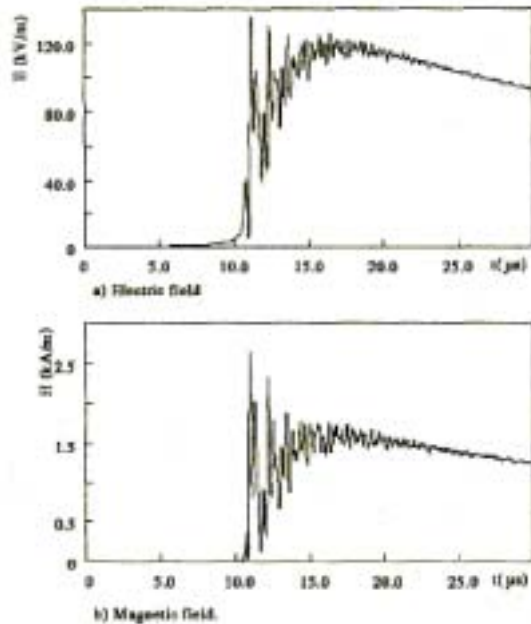


圖 6-3

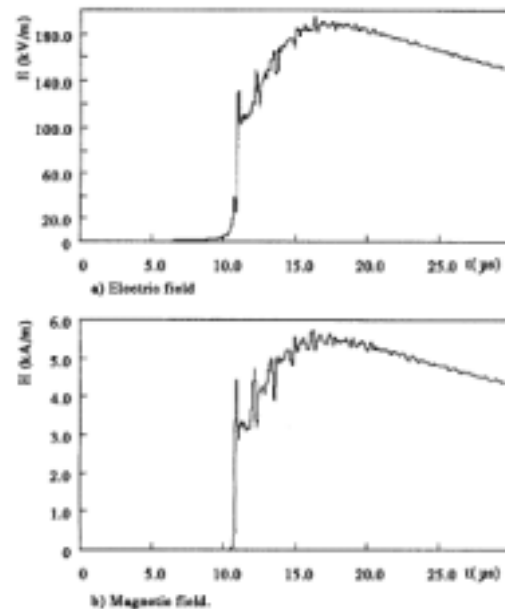


Figure 6. Electric and magnetic fields, for case 4.

圖 6-4

另外可比較當雷擊直接打在 D 點上，且沒有 LPS 及 ground model 的情形，發現電場及磁場的強度很高。

由上面引述文獻中提供一種模擬方法可去預測某點遭遇雷擊的情況，可將此方法用在模擬共塔的結構(下圖圖 6-5 為業者規劃要建的 DVB-T 共用鐵塔)，在考慮電氣安全情況下，預測此塔中較適合擺設天線的位置。天線的擺設位置或置於塔側或置於塔頂，優先考量的重點往往是發射電場強度的分布的情形，天線和天線之間干擾的情形，現在將擺設的位置遇到雷擊的狀況也列入考量，將來塔建成了，也可以避免因雷擊而造成設備故障的困擾。

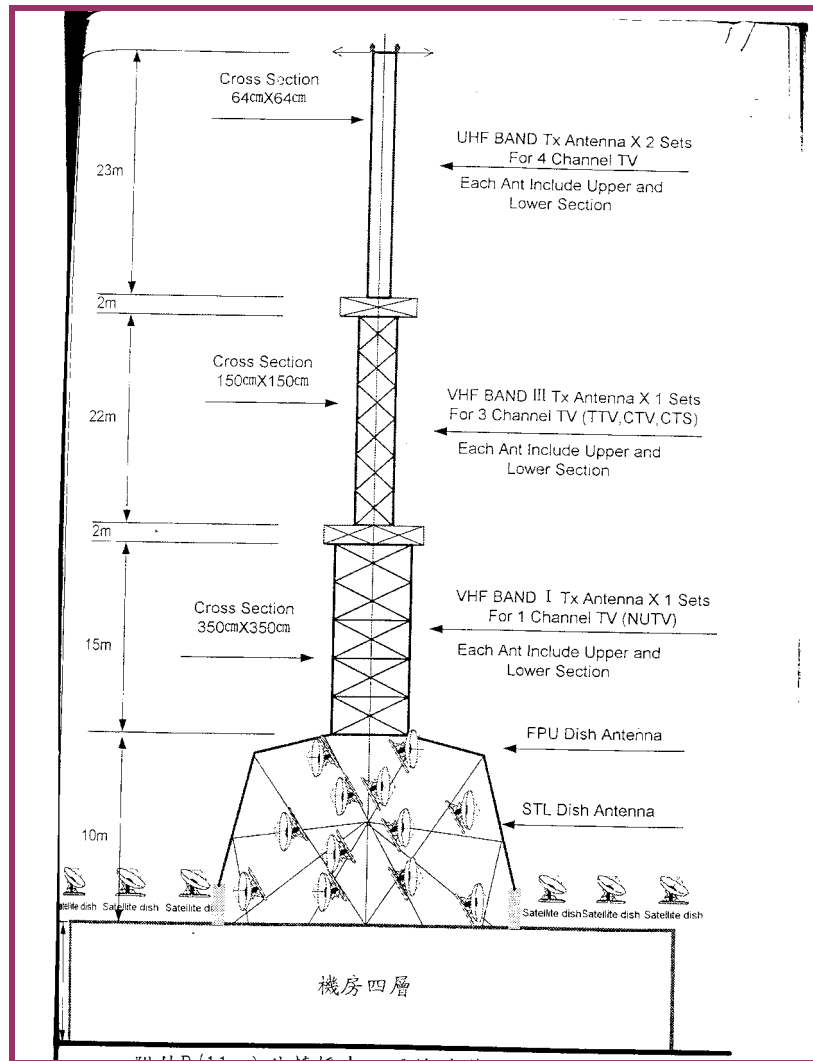


圖 6-4

為了說明，茲再舉文獻一例，引述在日本研究人員裝設的避雷措施 (dissipation array system-DAS) [13] 去觀測前後遭遇雷擊的差別[13]。此量測地點在靠日本沿海的一個城市 Hakui city，其位置如下圖圖 6-5 所示，其每年下雷雨的天數也可由圖 6-6 圖表得知。 Hakui city 可說是日本最常下雨的一個城市，它的電信中心中的設備常因雷擊而故障。



Fig. 4 Observation place.

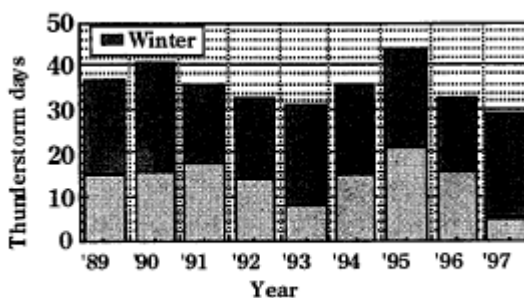


Fig. 2 Thunderstorm days in the observation area.

圖 6-5

圖 6-6

DAS(dissipation array system)是發展來減少雷擊直接在建築物上的可能性。但其執行效率在實際情況有待證實。因此這次觀測主要比較裝設 DAS 前後雷擊發生的機率，從 1991 到 1994 年為沒有 DAS 裝置的時候，1995 年以後為有裝設 DAS 裝置的情況。圖 6-7 所示為鐵塔與建築物裝設了該裝置的結構圖。

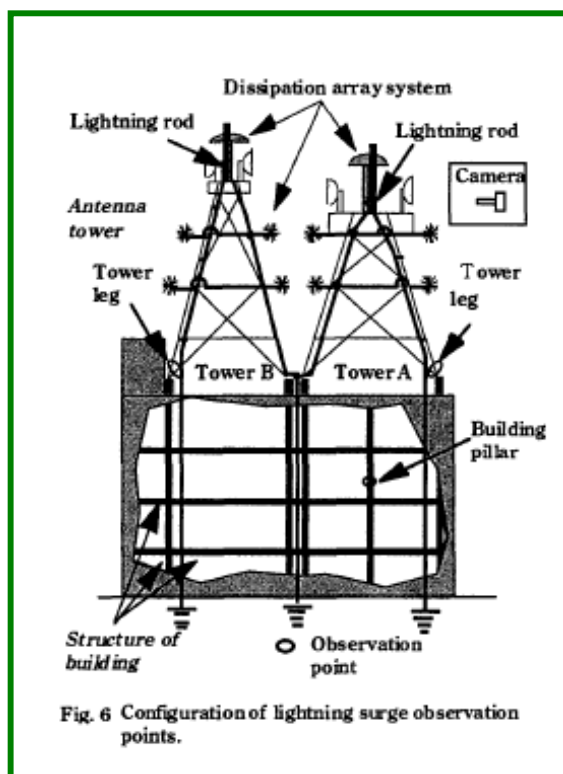


Fig. 6 Configuration of lightning surge observation points.

圖 6-7

圖 6-8 所示為工程人員在整個結構體的四個點，在雷擊瞬間所量測到的湧浪電流(surge current)。湧浪電流引起的 EMP (Electromagnetic Pulse)，如此寬頻又高功率的電磁波，對以時序作操作基礎又配備記憶體의現代數位機器來說，威脅性特別強大。

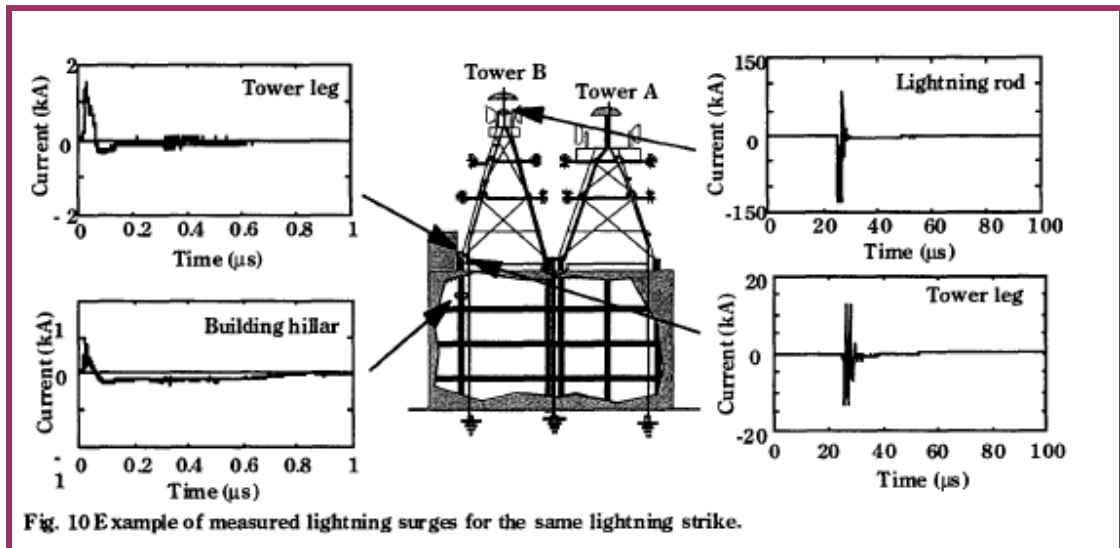


Fig. 10 Example of measured lightning surges for the same lightning strike.

圖 6-8

下面兩圖，圖 6-9(a)(b)，左為觀測在鐵塔基腳湧浪電流之產生機率；右圖為觀測在建築物支柱湧浪電流之產生機率。左圖觀測的結果為比較未裝設 DAS 之前觀測到 4 次湧浪電流，裝設 DAS 之後觀測到 3 次湧浪電流，這個觀測資料顯示產生機率在鐵塔基腳並沒有改變。右圖未裝設 DAS 之前觀測到 13 次湧浪電流，裝設 DAS 之後觀測到 9 次湧浪電流。這個觀測資料顯示產生機率在建築物支柱有稍微降低。

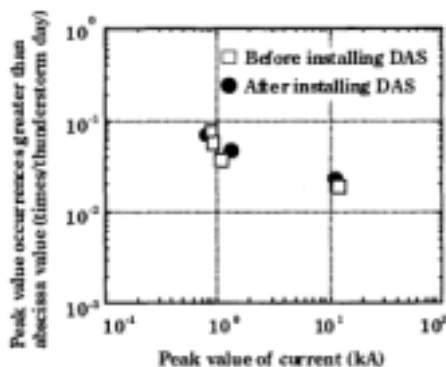


Fig. 11 Occurrence probability of peak value at leg of antenna tower.

(a)

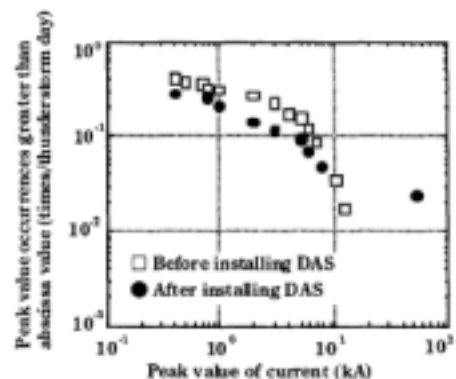


Fig. 12 Occurrence probability of peak value at pillar in the building.

(b)

圖 6-9

由上面文獻中了解,工程上一方面可使用模擬的方法去預測電磁場在鐵塔不同的位置點的電磁量之變化,另一方面亦可實際裝設避雷新措施去觀測它的效能。

第七章 結論與建議

在本報告中，研究人員已提出「數位廣播共同發射平台可行性之研究」的各項因素分析，尤其對技術上可能遭受到的挑戰，也一併說明。在技術上，吾人也利用電腦模擬軟體OPNET，進行 DVB-T/DAB 節目在單頻網經過電信網路傳輸時，可能會遭遇到的訊號延遲。該項模擬技術，可在未來我國業者進行SFN佈建時，提供協助。另一方面，針對天線安裝在「共塔」的鐵塔上時，互相之間可能引起的電磁互耦效應，吾人也利用電腦模擬軟體WIPL-D 進行分析計算，可供實務上當參考。

另外，關於台灣地區數位電視頻道設置問題，吾人也值得討論。目前台灣地區之數位電視已正式開播，國內計有五家無線電視台，即台視、中視、華視、民視與公視等，參與節目之製播。在本案進行之初，交通部在頻譜的分配上，參考表 1-2，公視原是規劃在 Channel 51、52，整體頻寬等於從 537.25 MHz 至 709.75 MHz，計為約 172.5 MHz，以中心頻率 623.5 MHz 計，是 13.8%，相當寬頻。其在工程上對以下幾點不利：

- a) 正如本報告所分析，會因寬頻發射天線、傳輸之複雜，造成成本提高、輻射涵蓋不佳等效應。
- b) 類似的原因，往後數位電視如透過漏波電纜，對捷運系統作廣播，也會有成本提高、收視不佳等效應。
- c) 大同大學通訊研究所開發適於歐規 DVB-T COFDM 之接收端天線的經

驗也指出,因要求在此寬頻內要有良好的駐波反射比 (VSWR) (見下圖圖 5-1), 也會犧牲天線之感度、增加複雜度與成本。

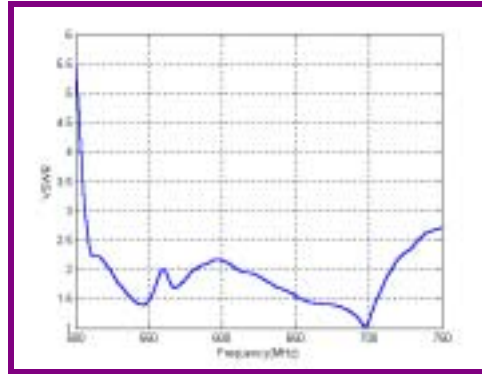


圖 5-1

因此,為了台灣地區整體 DVB-T 之單頻網有效運作,並且有利整體往「制播分離、共塔發射」之目標邁進、促進接收端之工業,本案於期中報告便建議最高頻段之公共電視台,其頻段有必要往下調整。而今,交通部已接納建議,將其重新配置於 Channel 26、27,我國整體數位電視廣播頻寬便降至 70.5MHz,有利於接收端天線之開發。

正如本報告所陳述,數位廣播共塔構想,須要多方來分析解決各項技術問題。為了培養我國在這方面的科技,本案建議,業者可透過政府的協調,初期利用一現有的廣播鐵塔,進行「共塔」之廣播實驗。以DAB廣播來說,要服務大台北地區,可考慮位處圓山上之中央電台鐵塔(圖5-2、圖5-3),進行運轉服務。在該地點,對目前的FM業者,不管既有的調頻廣播或未來之IBOC廣播,亦可納入「共塔」之廣播項目。

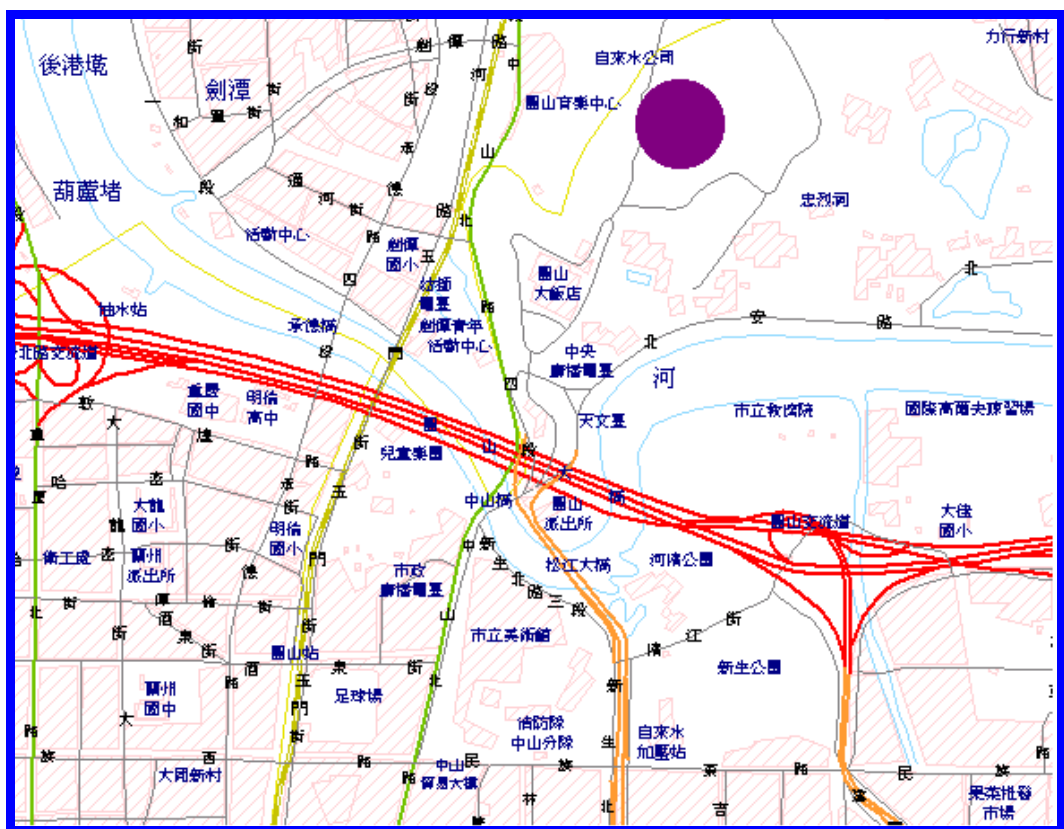


圖5-2



圖5-3

參考文獻

- [1] 張知難、黃啟芳、許超雲，數位音訊廣播【DAB】系統工程測試及研究，
結案報告，交通部電信總局委託大同大學研究案，91年1月
- [2] 本章資料大部分承蒙中華民國電視學會提供
- [3] http://www.deetc.isel.ipl.pt/sistemastele/disciplinas/STd/arquivo/dab/volume3_v4_000405web.pdf
- [4] W. Hoeg and T. Lauterbach, Ed., *Digital audio broadcasting – principles and applications*, John Wiley & Sons, Ltd., 2001.
- [5] www.factum.se/PDF/2DAB%20Systems.pdf
- [6] [www.radiofoshan.com.cn/techdmb/ manual/manual3-itis.htm](http://www.radiofoshan.com.cn/techdmb/manual/manual3-itis.htm)
- [7] <http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/pdf/ibc99gdp.pdf>
- [8] <http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/present/#db>
- [9] “Scenarios for DVB-T Implementations in Taiwan,” HARRIS company,
2002 數位廣播與數位電視國際研討會，Taipei，July, 2002
- [10] Mark Massel, *Digital Television – DVB-T COFDM and ATSC 8-VSB*,
digitalTVbooks.com, 1999/2000
- [11] ETSI TR 101 190 v.1.1.1
- [12] G. P. Caixeta and J. Pissolato Filho, “Electromagnetic fields generated by
lighting on protection structures of telecommunication centers,”
- [13] N. Kuwabara *et. al.*, “Probability occurrence of estimated lighting surge
current at lighting rod before and after installing dissipation array
system (DAS),” IEEE 1998.