

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
[出國類別：實習]

「改善室內及高樓層 GSM/DCS 通信品質技術」報告

服務機關：中華電信長途及行動通信分公司

台北營運處 高雄營運處

出國人：職 稱：工程師 副工程師

姓 名：劉一誠 郭明憲

出國地點：法國

出國期間：自 89 年 12 月 8 日至 89 年 12 月 24 日

報告日期：90 年 7 月

摘 要

自 1997 年國內行動電話市場開放後，時至今日台灣行動電話普及率(Penetration Rate)已達 85%以上。由於行動電話無遠弗屆之便利性，廣為用戶所接受，幾乎人手一機，成為個人必備通訊工具。在市場激烈競爭下，各家業者無不卯足全勁，戰場從室外延伸至室內涵蓋，因而室內通信品質之良窳，逐漸成為用戶選擇使用那家系統業者之關鍵。

職等二人即因此奉派赴法國實習「改善室內及高樓層 GSM/DCS 通信技術」課程，含行程為期 17 天。實習目的即冀在北電公司有系統的訓練課程中，以提昇改善室內通信設計技能，本報告書綜合實習課程資料彙整而成，內容分為下列各章：

第一章：室內涵蓋解決辦法

第二章：室內涵蓋的範圍和容量

第三章：室內頻率規劃

第四章：RF 設計

第五章：室內涵蓋解決方法過程和對策

第六章：感想及建議

目 錄

第一章：室內涵蓋解決方法

| | |
|-------------------------------------|---|
| 1.1 介紹 | 6 |
| 1.2 不同的解決方法 | 6 |
| 1.2.1 大型細胞涵蓋室內的應用 | |
| 1.2.2 微細胞(室外)提供室內涵蓋方法 | |
| 1.2.3 利用增波器延伸涵蓋室內方法 | |
| 1.2.4 利用專屬的 BTS 提供室內(Pico cell)涵蓋方法 | |
| 1.3 PICO CELL 的解決方案 | 8 |
| 1.3.1 BTS 系統 | |
| 1.3.1.1 北電的 BTS | |
| 1.3.1.2 有關功率 | |
| 1.3.2 分散天線系統 | |
| 1.3.2.1 RF 天線 | |
| 1.3.2.2 分散式天線系統 | |
| 1.3.3 關於安裝 | |

第二章：室內涵蓋的範圍和容量

| | |
|----------------------------|----|
| 2.1 網路和室內涵蓋之解決方法 | 17 |
| 2.2 涵蓋的問題 | 17 |
| 2.3 話務的問題 | 18 |
| 2.3.1 單一的解決方法 | |
| 2.3.2 話務和 BTS | |

第三章：室內頻率規劃

| | |
|----------------------------|-----------|
| 3.1 室內 Pattern 的重用 | 20 |
| 3.2 小部份的 Pattern 重用 | 20 |

3.2.1 頻率跳躍

3.2.2 小部份的 pattern 重用

第四章：RF 設計

| | |
|---------------------|-----------|
| 4.1 有關 RF 論題 | 22 |
|---------------------|-----------|

4.1.1 室內分集

4.1.2 有效等向輻射功率(EIRP)和干擾(INTERFERENCES)

4.1.3 電磁相容(EMC)和最大允許曝露(MPE)的限制

4.1.4 Pico cell 參數

| | |
|-----------------|-----------|
| 4.2 鏈路預算 | 24 |
|-----------------|-----------|

4.2.1 目的

4.2.2 使用中的系統靈敏度

4.2.3 室內 Radio 的餘裕

| | |
|------------------------|-----------|
| 4.3 RF 設計上的一些依據 | 26 |
|------------------------|-----------|

4.3.1 量測作業

4.3.2 模擬工具

第五章：室內涵蓋解決方法過程和對策

| | |
|---------------|-----------|
| 5.1 簡介 | 29 |
|---------------|-----------|

| | |
|-----------------|-----------|
| 5.2 全部過程 | 29 |
|-----------------|-----------|

| | |
|----------------------------|-----------|
| 5.3 室內涵蓋解決方法之事前準備階段 | 31 |
|----------------------------|-----------|

5.3.1 客戶需求

5.3.2 RF 事前準備階段

5.3.2.1 建築物特徵

| | |
|--------------------------|-----------|
| 5.3.2.2 有關業者在網路上的考量 | |
| 5.3.2.3 量測需求 | |
| 5.4 RF 設計階段 | 34 |
| 5.4.1 簡介 | |
| 5.4.2 BTS 容量大小的選擇 | |
| 5.4.3 RF 在設計上限制的確認 | |
| 5.4.3.1 對 RF 的可能對策 | |
| 5.4.3.2 模型上的限制 | |
| 5.4.3.3 RF 對策 | |
| 5.5 對策 1：光中繼器解決方法 | 38 |
| 5.5.1 設計過程中主要觀念 | |
| 5.5.2 圖解式的設計過程 | |
| 5.6 對策 2：慣例的解決方法 | 39 |
| 5.6.1 過程簡介 | |
| 5.6.2 詳細的過程 | |
| 5.7 室內 RF 設計報告 | 42 |
| 第六章：感想及建議 | 44 |

第一章：室內涵蓋解決方法

1. 1 介紹

依據業者及網路成熟度的等級，面對室內涵蓋的應用，有下列各種不同的解決方案：

- (1) 由室外大型基地台提供室內涵蓋範圍。
- (2) 由室外微基地台提供室內涵蓋範圍。
- (3) 利用增波器 (repeaters) 延伸室內涵蓋範圍。
- (4) 利用室內專屬的 BTS 提供室內涵蓋範圍。

1. 2 不同的解決方法

1.2.1 大型細胞涵蓋室內的應用

大型細胞網路通常被適當配置以確保用最少的 BTS 得到最大的涵蓋目標，因此，BTS 的配置以得到最大的涵蓋範圍為目的，在話務需求下的設計意含著需要高密度的站台。

某些不同於室內應用之涵蓋範圍必須確保在狹窄的區域內，為了提供室內涵蓋，大型細胞網路均被設計能提供明確的臨界電場強度，在室內的環境中，依鏈路預算(Link budget)且整合一些數字，可表示預期的平均衰減，其中主要的有

- Indoor Penetration Factor(室內穿透因數)

此因數的數值範圍從 10db 到 25db，是電波穿入牆壁所造成的損失，這是由統計的方法得到的。

- 一些額外的邊限(Margin)以保證得到建築區內的 QoS，此 Margin 可表示信號變動的強度。

例如在 1800MHZ 頻段，在都會區之 IPF 可考慮為 15db，保留 11db 的 Margin

以保證室內之 QoS 可達 90%，這個意味著無線規劃上的門檻遠勝於正統的室外涵蓋設計。因此，在都會區格子狀的網路上站台，應適當的限制，站台與站台間的距離約為 500 公尺左右，且應密集分佈。

1.2.2 微細胞(室外)提供室內涵蓋方法

利用微細胞解決室內涵蓋的方法是利用一個基地台和在建築物屋頂下適當位置裝設天線，通常被配置在大都會區的環境中以承載話務。

就如同解決室外涵蓋的方法一樣，微細胞的設計就像大型細胞網路一樣，也須考慮 IPF 及室內傳播餘裕的問題。

在細胞間利用建築物的掩飾，可有效的隔離干擾信號，因此，在較高密度區域的基站，可達成高功率的發射，由實驗的方式，每平方公里可容量 20 40 個基站。

藉由高頻譜使用效率，微細胞是提供解決高容量及大涵蓋範圍的方法。

1.2.3 利用增波器延伸涵蓋室內方法

此種解決室內涵蓋方法，乃是利用增波器(Repeater)將存在於室外(macro/micro cell)的信號饋入到室內天線網路，這樣雖能將室外涵蓋區延伸到建築物內，但不能提供額外的話務容量。

這是一種低費用的解決方案，但是增波器的使用須注意一些要點，諸如可能造成的阻塞或是基站接收靈敏度的降低，這意味著增波器之功率放大器的增益須有微調的功能。

1.2.4 利用專屬的 BTS 提供室內(Pico cell)涵蓋方法

pico cell 可由下列方式獲得：

- 由 macro/micro BTS 的一個扇形細胞供給室內射頻系統。
- 由一個 BTS 供給室內分散天線系統。
- 由分散的基站供給室內分散天線系統。

細胞可由一個樓層或數個樓層構成，或是建築物的左右部份構成或是分散在校園之間的建築物所構成，每一個細胞等同於一個標準型基站所提供的扇形細胞，但在做 pico cell 設計時，須考慮建築物內部三度空間的存在，以上所提的系統可以保證有 100%的涵蓋品質，但在規劃上的負擔是比較高的，例如找出適當的 BTS 位置和提出適當的分散天線系統的結構。

1.3 PICO CELL 的解決方案

pico cell 的解決方法可由二個不同元件來構成

BTS 和分散天線系統，如 Fig 1-1 所示

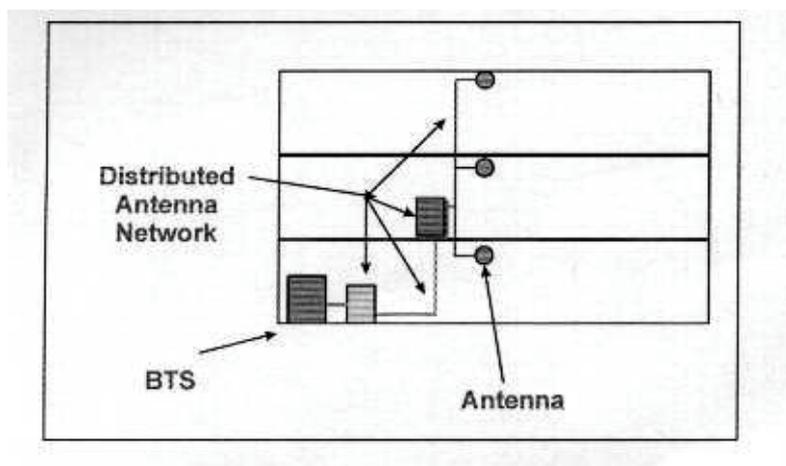


Fig 1-1

1.3.1 BTS 系統

為完成一個 pico cell 的應用，關於 BTS 系統提供很多的解決方法，範圍從高功率、高容量之 S8000BTS 到小容量、小功率之 Pico Node BTS，不同型 BTS 之選用需考慮下列幾點因素：

- 提供話務容量和容量的發展
- 所需的頻譜
- 可能的頻率規劃

- 功率分配
- 施工上的限制
- 費用的考量

1.3.1.1 北電的 BTS

北電的 BTS 依其特性有下列幾項分類

容量的 Solutions

- 小容量 BTS : 2TRX 之 S2000L 和 S2000H , 3TRX 之 Pico Node BTS
- 大容量 BTS : S8000

功率的 Solutions

- 低功率 BTS : 2W Pico Node BTS 、 2.5W S2000L 、 8W Pico Node BTS
- 高功率 BTS : 24W S2000H 、 30W S8000

綜合的 Solutions

北電利用 Pico Node Solutions 提供專屬的共同研究方法，這等於一個小的 GSM 系統，它整合了 MSC、BSC 和一些 BTS，形成一個真正的小型系統。

1.3.1.2 有關功率

- BTS 的功率

BTS 應該針對功率需要而提供功率，在最初始所需功率的估計是比較困難的，關於這一點主要的要靠射頻分配技術來決定。

在同軸電纜的應用設計，為了保證天線端的 EIRP 值和補償饋電線的損失，必須傳送足夠的功率，在光纖的應用設計中，則只需低功率的 BTS 就可應付。

- 功率的分配

假使有好幾個 BTS 在使用，就像 Pico Node Approach 一樣，BTS 簡單的分配 RF 的結構，以代替整片已涵蓋的樓層，每一個 BTS 減少涵蓋區域，並可

減少天線的數量，同時需求的功率也較小。

1.3.2 分散天線系統

不管 RF 的來源是 Repeater 或是 BTS，分散天線系統的結構，很容易再細分成 2 個系統，而每個次系統都同等重要。

- 射頻天線：依照輸入到天線端的功率大小可提供涵蓋範圍，因此天線是 RF 涵蓋品質的一個重要元件。
- RF 分配系統：此系統目的在於饋線饋入天線需要有適當的功率，根據電纜的固定損失和施工上的限制，此 RF 分配系統是很重要的。

1.3.2.1 RF 天線

RF 的空中介面可由二個方法獲得

- 標準的室內天線
- 洩漏饋線系統
- 室內天線

依室內應用的分類，天線製造商已製造出不同型式(含外觀)的室內天線，室內天線可分為全向性天線(omni)及方向性天線(directional)，這些室內天線所提供的增益約 2 至 7dbi，對於要涵蓋室內大區域，如會議室，使用室內天線是最好的方法。

- RF 設計上的考量

從無線的觀點而言，天線可以提供給一點很強的信號，天線可說是一個區域化的信號來源，其主要特性為 EIRP(有效等向輻射功率)，它必須提供充足的功率以確保涵蓋範圍，但 RF 信號也不能太強，以避免洩漏到室外，在室內細胞與室外大型細胞網路之間，因電波的洩漏而產生干擾，影響話務及交遞的問題，是設計室內涵蓋範圍須面臨的主要風險。

良好的天線裝設位置，將提供良好涵蓋範圍，天線裝設不能太靠近窗口以

減少信號洩漏到室外。為確保室內涵蓋範圍所要求的高功率與限制功率
以避免信號外洩等二個問題之間 RF 系統的 EIRP 值應妥善的安排。

- 天線位置

天線的裝設位置須考量下列幾點因素

- 涵蓋區的形狀：依據涵蓋區的形狀，適當的選用全向性或方向性天線。
- 靠近窗口：避免信號洩漏至室外，天線不能指向窗口的方向。
- 避開金屬元件：天線不可接近像天花板內之空調系統之風管，避免輻射
Pattern 變形。

- 洩漏饋線系統

洩漏電纜與傳統的同軸電纜具有相同的外觀，同時具有耦合及饋電的功
能，對它來說，它的外導體有輻射孔，允許信號洩漏到外部的環境中。

- 洩漏電纜適於應用的地方

需要均勻的涵蓋範圍 - 在此種情況之下，電纜長度不宜太長(通常依設計的
考量，例如少於 50 公尺)，在電纜的頭端與尾端之
間，因沿線的衰減將會深深的影響信號強度。

嚴格的邊界限制 - 在接近電纜的方向上，由耦合損失亦可提供良好的信號
涵蓋，但離電纜 50 公尺遠處，則需要沒有信號的存在。

- 洩漏電纜的 RF 特性

洩漏電纜就像一個 RF 擴散系統，它的信號並不是從一特定點發射，而是
整條電纜，其主要特性為：

沿線的衰減因數 - 就像一般的同軸電纜一樣，其損失由傳播信號的內導體
產生。

耦合損失 - 由洩漏電纜外部導體的輻射口所量測到的洩漏效果，稱為耦合
損失，它定義為距離洩漏電纜 6 公尺左右位置，以二分之一

波長偶極天線所測得的傳播損失，一般約在 70 ~ 74db。

- 洩漏電纜的應用
- 設計上的應用
- 估算離洩漏電纜某距離 90%的耦合損失
- 儘可能把洩漏電纜限定在一個區域運作
- 估計洩漏電纜的長度
- 利用洩漏電纜的頭部與尾部等二點，計算鏈路預算
- 利用雙斜率傳播模式預估涵蓋區域
- 針對室內設計需要調整 power 地點的選擇
- 裝設在狹長區域的中間部份
- 裝設在大區域的周圍

1.3.2.2 分散式天線系統

現今標準的分散式天線系統及光纖中繼系統是解決建築物內部電波涵蓋的二個主要系統。

同軸電纜分散系統

標準的同軸電纜分散系統結構是由下列組成：

- 同軸電纜和接頭
- 岔路器：2 路、3 路、4 路
- 雙向放大器和衰減器

室內天線電纜系統分佈方式如下圖所示：

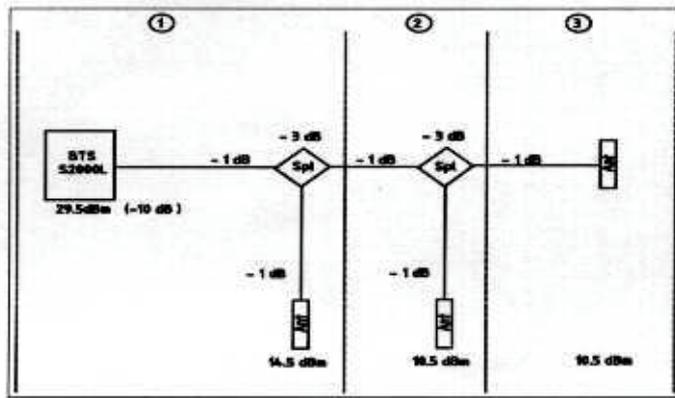


Fig-1-2

在室內應用方面，在衰減的考量下，使用直徑 7/8”或 1 1/4”的同軸電纜是較好的，但在施工的限制下，使用 1/2”的同軸電纜也是可行的，主要還是依照設備的需要及鏈路預算計算來決定。

同軸電纜分散系統，這種技術的主要特性，就是電纜的線性衰減，假如一個被動的分散系統功率不足，也可以再加上 Repeater 來使用，像這種情況，當主動元件影響功率且影響全系統的靈敏度，那我們必須做鏈路預算的檢討，同軸電纜分散系統另一個優點就是可以使用於一個寬頻帶系統，允許好幾個網路同時加到一條電纜上運作，以大樓擁有者而言，對於大樓內部的施工次數愈少愈好。

同軸電纜分散系統適用於：

- 少於 200 300 公尺之短距離分散系統
- 小於 5 層樓之小型建築物

同軸電纜分散系統的使用須有下列的考量：

- 關於衰減串接元件的數目等等，每一支天線必須做鏈路預算。
- 衰減能夠很快的成為一個可限制系統大小的一個參數。
- 就設計上來說，允許有一些彈性，例如可增加天線，但不容易去變動系統再次的安裝。
- 就操作上的限制，必須注意同軸電纜的配置。

光纖中繼系統

光纖中繼分散系統有低衰減損失的好處，同時可提供相同的功率給分散天

線，下圖為光纖中繼分散系統的架構圖

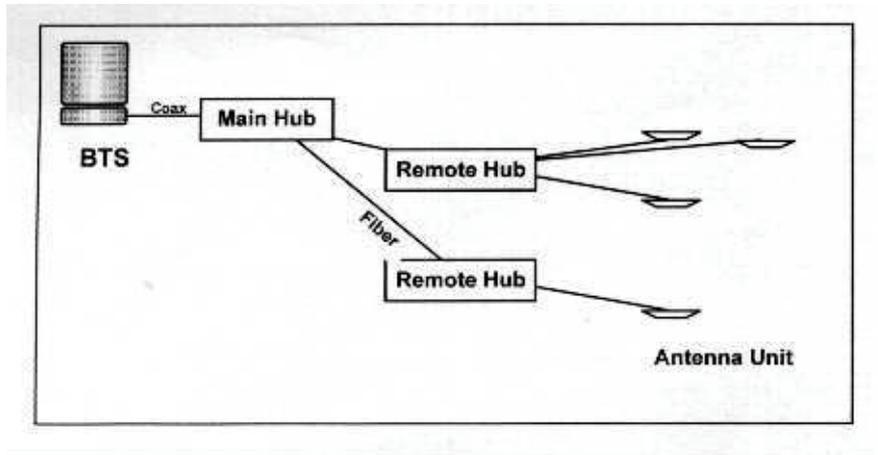


Fig 1-3

上圖是利用雙光纖中繼系統來解決信號的分配，主 HUB 設備裝在 BTS 附近，其功能將 RF 信號轉換成光信號，而 Remote HUB 的功能是將光信號轉換為 RF 信號，可被當成一個 RF port 來使用，可連接天線設備。

光系統可在單模態或多模態之光纜上運作，單模態具有低衰減的特性，但很少被廣泛的使用，一般使用單模態中繼分散系統其距離可達 3 公里以上，而使用多模態中繼分散系統其距離只能達 1 公里。

光纖中繼分散系統的應用

光纖中繼分散系統具有下列特性：

- 天線分散系統的配置範圍可達 1 公里以上，而不產生衰減。
- 對每一付天線均具有同樣的 EIRP 值。
- 施工容易。

光纖中繼系統獨特的適用範圍

- 超過 200 公尺的大區域範圍。
- 超過 10 層樓的大型建築物。

- 需要快速建設完成提供服務的某些應用。
- 光纖系統的基礎設施可再利用。

現今市場上實際能提供光纖中繼分散系統的有

LGC system 及 Britecell 等二家公司

LGC system 公司所提供之光纖中繼分散系統特性如下：

- 使用多模態光纖中繼分散系統。
- 信號由 UTP/STP 連接至遠端的天線。
- 主 HUB 可支援 4 個 Remote HUB。
- 一個 Remote HUB 可支援 4 付天線單元(RAU)。
- 一付 RAU 可支援一付天線，同時可提供一個外部 RF 同軸連接埠。

Britecell 公司所提供之光纖中繼分散系統之特性如下：

- 使用單模態光纖電纜。
- 信號由同軸電纜系統供給遠端天線。
- 一個主 HUB(又稱 TFL)可支援 4 個 Remote HUB(又稱 TFA)。
- 一個 TFA HUB 可支援一付固有天線和一付輔助天線。
- 可提供一個或二個 RF Port，供 coaxial distribution 使用。

1.3.3 關於安裝

在一個建築物內部完成系統的建置，意味著像 Picocell 的解決方法一樣，在系統的設計上，安裝作業佔有很大的影響，依照站台工程作業，必須考慮下列幾點：

- 安裝容易 - 為了不擾亂在建築物內工作中的人員在上班時間儘量不要施工。
- 容易接近 - 假定有些主動元件在工作中，應考慮在維護上接近的可能性。
- 設台的評估 - 站台的設立應該不會造成對環境產生外觀上、雜音上、熱度

上及對鄰近設備產生 EMC 干擾等困擾。

- 規定的問題 - 應遠離電話線，強電力線等可能影響系統的設施。

第二章：室內涵蓋的範圍和容量

2.1 網路和室內涵蓋之解決方法

在室內的應用方面，業者最感興趣的是改善室內的涵蓋品質，因為對大樓內的使用來說，呼叫中斷是用戶最感厭煩的事，業者處理室內涵蓋的問題，是依網路的發展方法來解決，而網路的發展可分為三個階段。

(1) 早期階段

本階段最主要的目的是以最少的費用得到最大的涵蓋，例如像著名熱鬧的景點的室內涵蓋，大都由大型細胞網路負責。

(2) 密集階段

當網路的負荷愈來愈重，實施網路密集化以解決涵蓋的問題，例如微細胞被配置在熱鬧景點或是大規模區域，此微細胞基地台在微細胞區域內，允許提供較優的涵蓋品質給室內的用戶。

(3) 成熟階段

當網路技術變成較成熟時，一般業者也正尋找不同室內涵蓋的解決方法以延伸他們的話務基礎，利用 indoor cell 以提昇涵蓋品質，更能捕捉更多的話務，利用 Repeater 來擴展 indoor cell 以及用 pico cell 方式是解決室內涵蓋的二種方法。

2.2 涵蓋的問題

大型細胞網路並不保證有 100% 的涵蓋品質，特別是低樓層、地下室停車場及電梯內部，涵蓋品質要求愈高，則在室外大型細胞網路之間之站台距離要愈短，要最高的涵蓋品質就要有最多的站台餘裕，但由於 C/I 值及頻率重用技術的限制，在大型細胞網路站台之間之最小距離不能小於 500 公尺。

微細胞允許對每一樓層的涵蓋品質可達到 80% 或者 90%，但是在電梯內或地下室

停車場等區域之涵蓋仍維持現狀，這是一個區域性的解決方法，對沿著街道方向的建築物配置微細胞基地台可得到信號品質改善的好處。

Indoor cell 如前所述是由 Repeater 或 Pico cell 來提供，它允許全面的涵蓋，譬如達到 99%，無論在那個區域需要 RF 信號，它就能提供。

像這樣的解決方法，天線分散網路被配置在建築物的樓層，以提供需要涵蓋的區域，而天線系統可針對個別大樓、電梯、停車場及狹小區域而設置，同時也必須考慮話務的分佈。

為達到最高頻譜效率，利用牆壁對信號隔離造成的衰減特性，一組同樣的頻譜可以在大樓與大樓之間重複使用。

2.3 話務的問題

2.3.1 單一的解決方法

針對建築物內部所產生的話務，從一開始就必須注意，並不保證由 macro cell 或 micro cell 能提供足夠的涵蓋範圍來解決話務所產生的問題，甚至，例如配置 micro cell 以提高話務容量，也可能不足因應由全體使用者所產生的話務。

Repeater 的使用並不能解決話務的需求，而使用 Repeater 只不過是將母細胞延伸，假如母細胞所提供的涵蓋範圍並不是很好，那麼過多的話務，將對母細胞產生重負荷，將促使室內涵蓋區域變小。

處理室內話務的需求，最適當的方法就是配置專屬的 BTS。

2.3.2 話務和 BTS

知道容量的需求，如何去提供所需的無線資源，可用歐蘭 B 法則的中繼效能，算出所需的無線頻道數，簡單的說是要採用 2 個 O_2 或是一個 O_4 。

選擇 BTS 要適用下列情況

- 實際容量需求 - 依據某些限制，由 BTS 決定涵蓋範圍。
- 可能增加的話務 - 假如在室內有大量使用者或者是數據的使用，將會產生大量的話務，BTS 的配置必須解決此話務的增加量，低容量的 BTS 比較容易裝設，但是很容易就達到過荷，而使用高容量之 BTS 比較能解決話務量增加的問題，但是對超越涵蓋範圍，則有危機的存在。
- 頻譜和頻率規劃的需求 - 依照可以使用的頻譜而所提供的容量，包括 BTS 也可以選擇這些資源，由於頻率問題是一個很重要的話題，從設計開始就必須被考慮，在 Pattern 重用的缺乏下，多少個 TRXS 就需要多少個頻率，至少要相等，這些頻率在同一細胞上必須不相鄰，也就是說頻譜需要規劃。頻譜是一種很少的資源，為解決室內涵蓋而可以使用的頻率應該適合 BTS 的選擇與頻率的規劃。

第三章：室內頻率規劃

3.1 室內 Pattern 的重用

室內的頻率規劃可以三度空間配置方式被重用,在每一樓層之間可以用水平或垂直方式規劃頻率重用,如圖 3-1 所示。

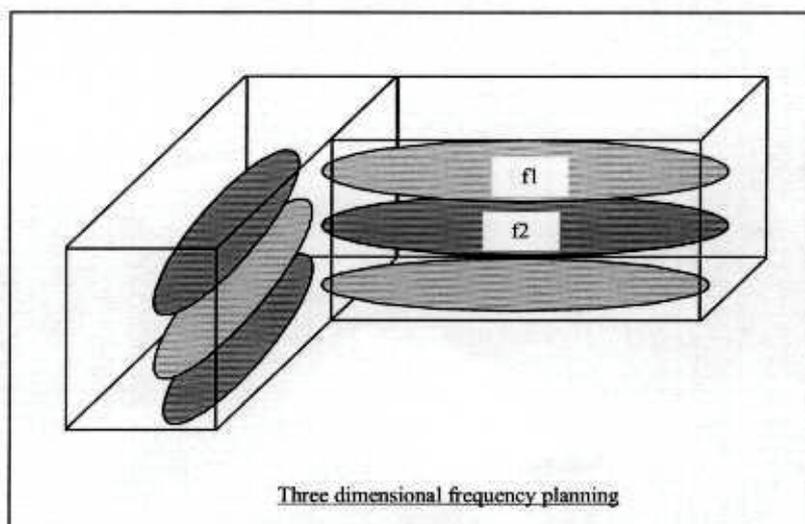


Fig 3-1

利用牆壁和樓板對信號造成衰減的特性,做為頻率的隔離,這樣頻率就能在低干擾風險下被重用,在不同樓層之間,利用樓板對信號衰減的特性所產生的隔離作用,則頻率在每隔一層樓可再重複使用。

3.2 小部份的 Pattern 重用

3.2.1 頻率跳躍

頻率跳躍並不屬頻率重用規劃技術範圍,但是依其特徵,它可以對付因行動電話移動速度慢所造成的信號衰落,為了改善通信情況,至少需要 4 組頻率來做頻率跳躍,假如使用頻率跳躍技術,當在設計鏈路預算時,對移動速度慢的行動電話,並不給予明確的餘裕,但對廣播頻道而言(BCCH),並保持原有的設計考量。

3.2.2 小部份的 Pattern 重用

小部份的 Pattern 重用技術是特別適合於室內應用的場合：

- 頻譜資源的缺乏
- 期望有合適頻率重用距離
- 提供充足的容量以達到高頻譜效率

由下列方式可將小部份 Pattern 重用技術,配置在三度空間 Pattern 重用模式上面。

- 指配 HSN 給每一個細胞
- 針對可用的頻譜指配 MAIO

註：

HSN : Hopping Sequence Number

MAIO : Mobile Allocation Index Offset

室內小部份 Pattern 重用的例子可由下圖表示

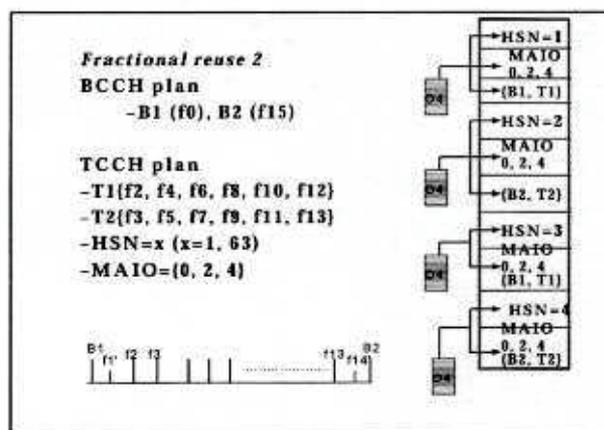


Fig 3-2

第四章：RF 設計

4.1 有關 RF 論題

4.1.1 室內分集

在室內電波涵蓋的應用當中，分集並不是讓人感興趣的項目，所謂分集就是使用雙天線系統，亦即送收、分離，利用二套天線分散系統以達到分集的效果，其實並不容易做到而且花費也較貴，在室內涵蓋鏈路預算中，大部份只限制下鏈的部份。

4.1.2 有效等向輻射功率(EIRP)和干擾(INTERFERENCES)

在 EIRP 的設計上應該注意預防的一些措施，為了無隙縫涵蓋上的考量，在各樓層之間應該提供均勻的 EIRP，同時在樓層與樓層之間應該避免干擾現象產生。對於高樓層尤須特別注意，由於在這些樓層曝露在室外基地台所提供的涵蓋範圍內，屬於強干擾地區，例如像塔狀的旅館(國內如新光三越站前大樓)，反之，為解決在高樓層的室內涵蓋，須避免信號外洩造成潛在干擾來源。

隨著樓層愈高，干擾愈會產生，而 EIRP 應該隨著樓層的增高而減少，但仍須有足夠能力去克服干擾的問題。因此，選取較乾淨的頻率，配屬給高樓層使用是必要的。

4.1.3 電磁相容(EMC)和最大允許曝露(MPE)的限制

電磁相容上的考量(EMC)

當天線直接被裝設在對準 PC、電話機或是其它家庭電氣用品時，必須考慮電磁相容問題，對於最大輻射功率應加以限制。例如在美國或歐盟國家規定，輻射功率不能超過 3V/M。

決定最大 EIRP 值可由下列自由空間傳播模式求得

$$E = \sqrt{\frac{EIRP * 30}{d^2}}$$

其中 E 表 V/M

EIRP 單位為 W

d 表距離公尺

因此在天線與電子設備之間對於 EIRP 的輻射，應有適當的間隔，例如相隔 1 公尺 EIRP 只能為 24dbm，相隔 2 公尺 EIRP 只能有 30dbm 等等。

最大允許曝露上的考量(MPE)

MPE 定義為人類對輻射水準所能接受的程度，目前已有二種方式存在，即受控型與非受控型，受控型仍針對施工人員或設計人員，而非受控型乃針對一般大眾，在行動通信的應用中美國法律規定，對受控型之功率密度

(mw/cm²)，限制不得大於 $D = f(\text{Mhz})/300$

對非受控型其限制不得大於 $D = f(\text{Mhz})/500$

另外可由 EMC 公式算出最小距離

$$D = \sqrt{\frac{EIRP * 30}{d^2}}$$

4.1.4 pico cell 參數

微細胞特性

在大型細胞網路的話務承載與 pico cell 話務承載之間，為了保證有良好的平衡點，微細胞的交遞和管制再利用等特性，應該被列入管理。

因此 pico cell 的話務管理目的是有效利用資源，例如 pico cell 可函納到所有網路上用戶所產生的話務，但 pico cell 也僅只能支援網路內共有的話務，而非網路內用戶所產生的話務必須被引接至大型細胞網路。

乒乓式交遞

適當的功率預算設定，可避免在 pico cell 與 Network 之間產生乒乓交遞，造成無謂的系統負載。

表列鄰近細胞數

pico cell 的目的並不是做移動的服務，而交遞僅可能發生在進入室內細胞的那一點而已，因此鄰近細胞是要限制的，一般只能有一個或二個。

4.2 鏈路預算

4.2.1 目的

- 定義設計的臨界值
- 定義在平衡或是下鏈限制的情況下，最大可用的 EIRP
- 定義那一個臨界值需要量測

在鏈路預算作業中應考量的事項

- 由被動分配系統所產生的衰減損失
- 在使用中現用系統的靈敏度及功率修正

下表為室內鏈路預算的計算表格

| | BTS | MS |
|------------------------------|----------|------|
| Tx PA Output Power | | |
| Combiner Loss | | |
| Sensitivity | | |
| Antenna Gain | | |
| Body loss | x | |
| Distribution System | | |
| BTS Noise Figure | | |
| Rx diversity | | |
| distribution item | quantity | loss |
| 1/2" feeder | | |
| 7/8" feeder | | |
| 2way splitter | | |
| 3way splitter | | |
| 4way splitter | | |
| connector | | |
| total loss | | |
| Repeater UL gain | | |
| Repeater DL gain | | |
| Repeater NF | | |
| System characteristic | | |
| Max System EIRP | | |
| System sensitivity | | |
| Radio margin | | |
| System design margin | | |
| Quality margin | | |
| Slow moving mobile margin | | |
| Link Budget | | |
| DL budget | | |
| UL budget | | |
| Worst LB | | |
| Design Threshold | | |
| Available system EIRP | | |

Fig 4-1

4.2.2 主動元件系統及其靈敏度

主動元件系統(如雙向射頻放大器或是光中繼器)允許改善可用的功率,但也可能影響到整個系統的靈敏度,由下列標準公式可計算出系統的靈敏度

$$S = -119.7 + E_b/N_0 + F \quad (\text{for uplink})$$

其中 $E_b/N_0 = 7.5\text{dB}$

F 為接收系統的雜音指數

如下圖雜音指數 F 可由下列公式獲得

$$F = F_1 + (F_2 - 1)/G_1$$

其中 F 表示雜音指數

G 表示增益

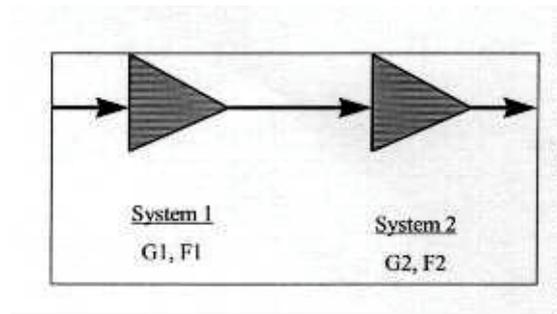


Fig 4-2

4.2.3 室內 Radio 的餘裕

當在建立室內鏈路預算時，除了標準的需求外，也須要一些額外的餘裕。

- 低速移動所須的餘裕

對於低速移動之行動電話，甚至是在靜止狀態，必須預留 6dB 的餘裕以對抗快速的信號衰落。(在頻率跳躍系統不留餘裕)

- 系統設計餘裕

在 RF 的設計上，由施工可能造成的影響，例如饋電線長度的改變或接頭所造成的損失，應預留 2dB 的餘裕。

- 由預測模式所造成的不準度，預留陰影餘裕 8dB。

4.3 RF 設計上的一些依據

在 RF 的設計上必須依據 2 種方法來考量

- 從施工的能力上
- 從電波涵蓋的觀點上

4.3.1 量測作業

實行電波量測是為了核對預定天線裝設位置所產生的涵蓋和傳播是否符合原先的設計。

本量測技術在使用上有所限制

- 發射機及天線必須裝在建築物內部

- 場強量測工具必須由一個人攜帶
- 標準無線基站之查驗作業(RSV)內容，是檢查涵蓋品質(QOC)和服務品質(QOS)

4.3.2 模擬工具

不同模擬工具有不同目的

- 預估涵蓋範圍

以人工就樓層規劃之 RF 設計，利用模擬工具是一種快速的預估方法。

北電公司已發展出一些 Excel 傳播工具，根據雙斜率室內傳播模式，且包括牆壁、樓板所造成的損失估計，其傳播模式如下：

$$L=32 + 20\log D + (n_{x_wall})\cdot(A_{x_wall}) + (n_{y_floor})\cdot(A_{y_floor})$$

其中 L：傳播損失 dB

D：傳播距離公尺

n_{x_wall} ：同材質牆壁的數目

A_{x_wall} ：牆壁的衰減值

n_{y_floor} ：同材質樓層數目

A_{y_floor} ：樓層的衰減值

下表表示不同材質對造成信號的衰減值

| Material | Brick | Concrete | Floor | Plaster wall | Light wall | Thick wall |
|------------------|-------|----------|-------|-----------------|---------------|---------------|
| Loss factor (dB) | 3-5 | 8-12 | 22-24 | 1-2 | 2-4 | 14-18 |

Fig 4-3

此模式只適用幾百公尺內的預估涵蓋，此涵蓋範圍與 EIRP 值有關

- 可畫出預估涵蓋範圍地圖

利用射線追蹤法的技術及光學原理,並根據二度空間傳播模式可以預估產生涵蓋範圍的地圖,同時考慮不同的材料型式和室內環境來決定涵蓋範圍和洩漏至外面的信號的大小。

模擬工具的限制

- 利用軟體在做 RF 模擬設計之前,樓層規劃必須很細密的執行。
- 資料庫必須建立起各種不同材質對信號造成衰減的資料。
- 傳播模式須要一些基本的校正工作,也就是如何去做?須耗時多久?
- 須考慮時間及資源的損耗。

第五章：室內涵蓋解決方法過程和對策

5.1 簡介

本章的目的仍是提供一些一般的指引，以達成室內之涵蓋設計，當要完成一個室內涵蓋設計，最後必須選擇的條件是 BTS 種類和天線分配系統網路的型式。

5.2 全部過程

有關室內 RF 解決方法，無論如何使用，為了達成室內涵蓋設計，全部過程由 Fig 5-1 所示，根據樓層規劃，經由系統的配置以確定那個地方需要涵蓋。

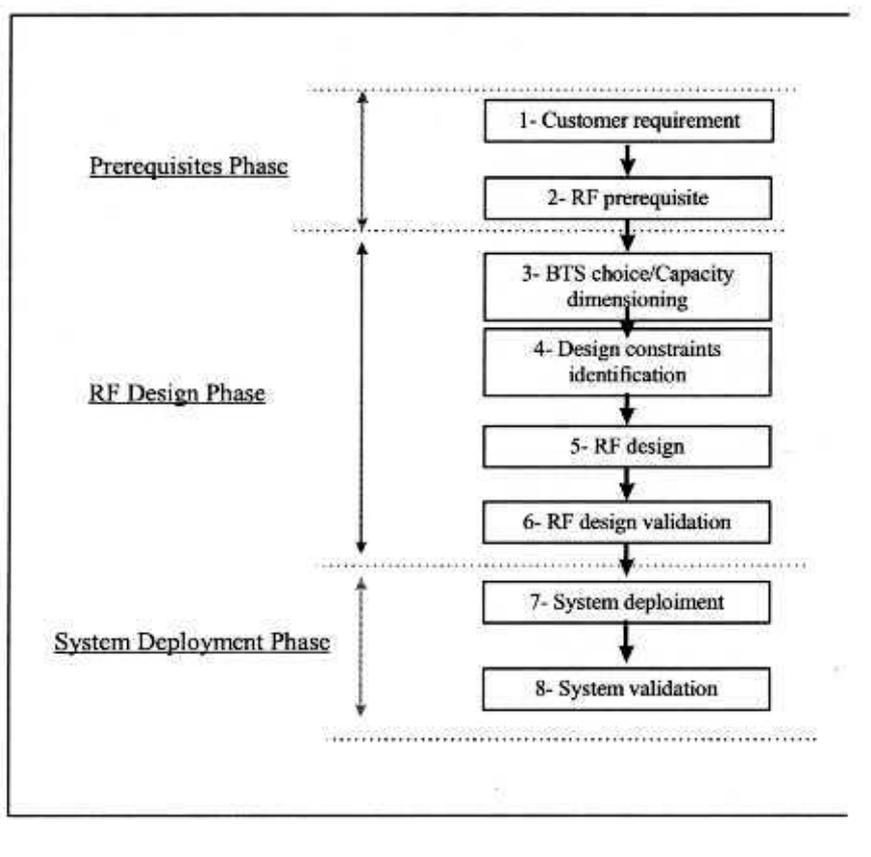


Fig 5-1

預先準備階段

1. 客戶要求

為了確認什麼類型的客戶將進入室內服務區，根據所需涵蓋範圍和話務承載

需求，準備特別的技術規格或召集會議，有些特別客戶對於討厭的事情和系統外觀要求，必須將之列入考量。

本階段所產生的結果有：

- 需要涵蓋區域和服務等級
- 可承載多少話務
- 特定客戶的希望

2. 對 RF 必須預先具備的條件

本工作目的在於 RF 進入室內所有的要求，應該執行站台查勘及量測，以確定建築物內可用的基礎設施，以及涵蓋上的問題。

本階段所產生結果有：

- 對 BTS/Repeater 和饋纜天線可能裝設的位置和限制。
- 列出可用的頻率。
- 列出網路上的限制。

RF 設計階段

3. BTS 的選擇

依照需要的用途，有好幾種 BTS 的配置方法在前面已經提過，在此一階段系統的大小是為了符合容量上的需要，功率上的要求和頻譜的利用率。

本階段所產生的結果有

- BTS 的數量和型式
- BTS 的裝設位置

4. 確認設計上的限制

為了選擇最好的 RF 對策，對於環境四週，什麼是缺乏的資源，例如在網路方面、無線方面和業者本身的規劃。

5. RF 設計

很明顯的一般經由建築物的樓層規劃，才能建立起室內 RF 設計。

本階段所產生結果有：

- RF 設計目標和系統規範
- RF 設計的假設和門檻
- RF 系統技術
- 樓層規劃之 RF 系統結構。

6. RF 設計的確認

關於下列幾點應該做到設計上的確認

- 對於涵蓋目標，一些量測和預測必須達到系統的要求。
- 對於施工及所有材料是否符合設計效果，應要求設計人員做循環確認。

系統配置階段

7. 依據設計結果，裝設室內涵蓋系統

8. 系統確認

有些站台查驗(RSV)作業，也許可以導引出室內涵蓋品質(QOC)和細胞間網路之 QoS，必要時再作修正。

5.3 室內涵蓋解決方法之事前準備階段

為了決定採用那一種對策，下列有幾點須要事先確認：

- 客戶在可能的涵蓋範圍內和容量上的需求
- RF 在環境上的規範

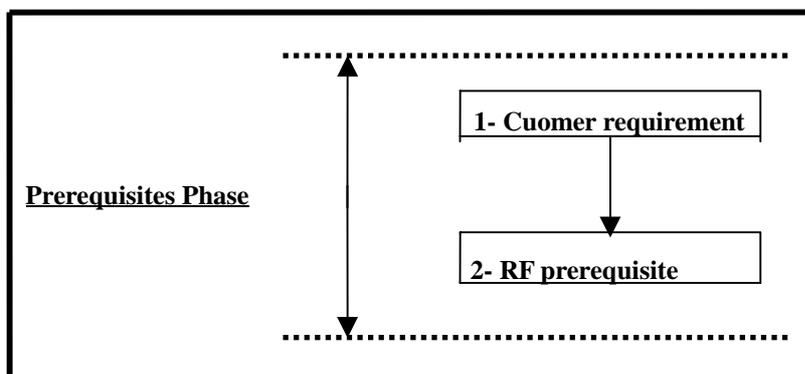


Fig 5-2

5.3.1 客戶需求

客戶的要求應該被限定為：

- 涵蓋範圍的 QOS：大樓的那個區域應該被涵蓋，且須具備什麼樣的品質。
- 話務考量：預期承載多少話務或者多少涵蓋率及多少用戶。

5.3.2 RF 事前準備階段

5.3.2.1 建築物特徵

根據涵蓋區域和無線電傳播，應該記述大樓的特徵。

區域確認，應提供下列項目資料

- 對建築物的樓層規劃，須包含那些地方該被涵蓋，更要知道話務的重點分佈地方，例如餐館、公共區域或是貴賓室。
- 可能的 BTS 裝設位置
- 可能的天線裝設位置(天花板或牆壁)
- feeder 的佈放路徑(尤其管道間)和已存在的基礎設施，例如同軸電纜或光纜。

傳播上的論題

為了傳播目的，應該考慮下列的資訊

- 牆壁的材質、位置、相關的衰減值
- 窗口的型式、性質及相關的穿透率
- 房間排列型式、開放空間、寢室、密閉的辦公室

假如建築物之全部特性需要知道，則應執行 RF 之模擬量測作業。

5.3.2.2 有關業者在網路上的考量

在 GSM 網路，無線電的重要資源有

- 可用的頻譜
- 電場強度

在網路上之室內細胞之相互影響有下列幾點

- 話務管理
- 頻率分享
- 交遞管理

細胞間相互影響的程度，是依據 RF 在密閉室內細胞程度和室內涵蓋設計要求程度而定。

話務管理

假如涵蓋範圍能夠由室內細胞來支援，則微細胞的交遞，話務捕捉等特性，均能達到話務上的管理，否則，假如沒有可利用的一些特性，在話務管理上就比較困難，它意味著室內涵蓋範圍含覆在大型網路細胞裏面，亦即室外涵蓋範圍包覆在室內細胞外面，因此這是一種信號強度設計的競爭，也就是說由 pico cell 和 Outdoor cell 所提供之信號強度間的競爭。

頻率分享

GSM 系統業者也許沒有充足的頻譜可指配給室內涵蓋使用，像這種情況，一些頻譜的再利用，可由室外大型細胞來提供，以改善頻譜效率，依據距離的再使用，在室內細胞和其它細胞之間可分享同樣的頻率，同時亦可依環境上的限制要求，可有不同的水準，有些無線設備對外界的輻射程度有最高的限制，例如從室內 pico cell 輻射到室外的電場應低於 -90dbm。

交遞管理

為提供無隙縫的服務應確定在進入建築物的那一點作交遞，在這種情況及細胞涵蓋的要求下，應該考慮細胞重疊區域

5.3.2.3 量測需求

假如 RF 在建築物內的特性是需要的，則必須在品質的要求下去執行模擬量測作業。

- 建築物內之傳播行為(穿透率、電梯內之涵蓋問題)

- 由室外細胞所影響室內的涵蓋
- 由室內細胞輻射到外面的場強

5.4 RF 設計階段

5.4.1 簡介

RF 設計上的處理步驟，如前所言，包括下列

- BTS 的選擇
- 所有在 RF 上的限制確認
- RF 設計
- RF 設計的有效性

以下是 RF 設計階段的詳細流程

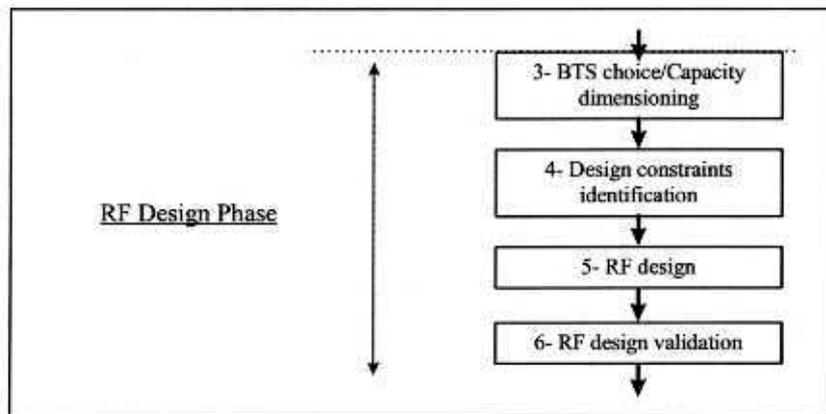


Fig 5-3

5.4.2 BTS 容量大小的選擇

BTS 或 Repeater 型式的選擇必須符合下列幾項因素：

- 話務問題：BTS 是否能夠滿足由室內所產生的話務
- 頻譜的可利用度
- 功率需求問題：BTS 系統如何去分配 RF 功率
- 施工問題：BTS 應如何去裝設

下表表示各種不同 BTS 解決方法的正反效果評估

| Solution | Coverage | Traffic | Corporate Features |
|------------------------|----------------|----------------------|--------------------|
| Macro cell | No deep indoor | No extra traffic | Not supported |
| Micro cell | No closed room | Capacity improvement | Not support |
| Repeater extended cell | 99% QoC | Like donor cell | Like donor cell |
| Pico cell | 99% QoC | Traffic dimensioned | supported |

Fig 5-4

5.4.3 RF 在設計上限制的確認

本階段的目的是決定在室內設計過程中，包含什麼是缺乏資源，根據限制率，可提出不同的解決方法(至少二個)

5.4.3.1 對 RF 的可能對策

下列提出二個對策來討論

對策 1：光纖中繼器系統

此對策是依據光纖中繼系統的特性，不管系統的大小，對所有天線均饋入相同的 EIRP 值，。

推動配置此系統的觀念，是在一個涵蓋空間的計劃，不須要依各別工程上作研討，只要知道一付天線可涵蓋多少範圍，可由單一表面比例處理，允許估算天線的數目和系統的大小，而室外大型細胞網路部份則可忽略。

對策 2：慣例的方法

本對策根據 RF 傳播研究對大樓涵蓋解決方法採用同軸分散天線網路方式來解決，此觀念是對建築物內部和外部的傳播行為和 RF 之涵蓋限制要有一個估算，室內涵蓋設計能夠達到解決室內和室外在無線電上的限制。

5.4.3.2 模型上的限制

建築物內細胞需求之綜合表格應包含下列各項

| Topic | Criteria |
|---------------------|--------------------------|
| Indoor Objectives | Area to cover |
| | Traffic to support |
| Network Constraints | Frequency allocation |
| | Traffic management |
| Operators issues | Engineering requirements |
| | Installation constraints |
| | Deployment delay |

Fig 5-6

上表並不是一個完整的表格，但可提供選擇有關室內 RF 對策的重因素。

5.4.3.3 RF 對策

- RF 困境

應該提供什麼樣的室內品質，它可能對大型細胞網路有何影響，它所採取對策是根據那一種資源，需要多少費用。

關於室內的需求在前面已論述過，是方法的選擇而不是另一種連結到缺乏資源之確認上，什麼比較重要？是技術限制、人力資源需求或者是全部的費用。

- 對策準則

以下是根據限制的準則，列出適當的解決方法

技術限制的解決方法：

假如其限制點是網路上的整合，對於室內涵蓋設計應該小心去執行，此時寧可配置一些人力資源去執行模擬量測、設計及施工，採用對策 2 是合適的。

資源限制的解決方法：

假如其限制點是人力資源，關於多少室內細胞需要配置，以最少人力資源去達成室內涵蓋設計，在這種情況，在施工目的上人力須要被限制，採用對策 1 是合適的。

費用：

對策 1 與對策 2 之主要不同是在硬體上的費用及工程上的費用，關於對策 1(光中繼器基礎)之硬體費用較少，同時對工程作業上的需求也較少，差不多一般的解決方法均能使用，而且能快速的配置完成。

對策 2 對於硬體費用發費較多，但也包含比較多的工程作業其配置費用較少(對同軸電纜+天線或洩漏電纜之解決方法，其施工費用比其本身硬體費用大約高 2-5 倍)。

結論：

假如建築物要涵蓋的範圍比較大，或者在建設速度上要求要快，應該考慮採用對策 1，否則採用對策 2 則較為有效。

風險分析

在設計的每一個過程當中所產生的風險，應該能夠被評估出一些額外的費用和在施工上的遲延。

對策 1 的風險

- 在技術面的誤判以及無線電環境的限制，須要一些 RF 的研究以達成系統的適當運作。
- 在 RF 系統設計上，去評估系統的大小，須要一些額外的天線設備。

對策 2 的風險

- 評估工程施工作業之下的風險
- 施工時間上的風險

以上所有的風險均可能造成成本上的增加和時間上的延遲。

5.5 對策 1：光中繼器解決方法

此方法之主要目的在找出最適當的天線位置和配置光中繼天線分配系統。

5.5.1 設計過程中主要觀念

其主要觀念是在光中繼器系統特性(低 loss)獲得最大利益，例如在現用系統中保證在每一支天線上，均有相同的 EIRP，而且在 feeder 任何長度上所造成的衰減，都不需浪費時間考慮。

由鏈路預算和天線所提供的涵蓋就可表現出建築物所屬類型，此部份的設計僅包含天線裝設位置和光分配系統的大小，對不同類型的建築物，天線所提供的涵蓋價值列表，它所含的意義是

- 僅做一次的鏈路預算
- 僅需一次的量測可知天線提供的涵蓋範圍
- 毋須執行功率預算分配

因此對所有 RF 設計作業，只限於樓層規劃分析和天線統計。

5.5.2 圖解式的設計過程

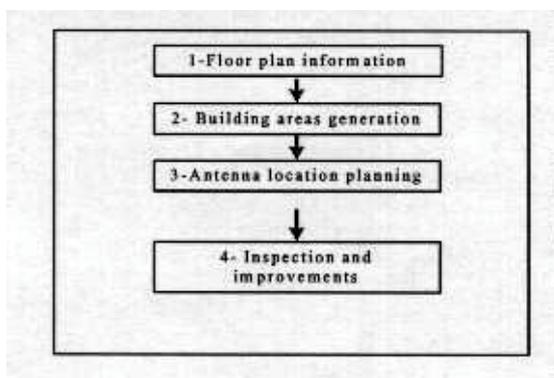


Fig 5-7

5.6 對策 2：慣例的解決方法

5.6.1 過程圖示

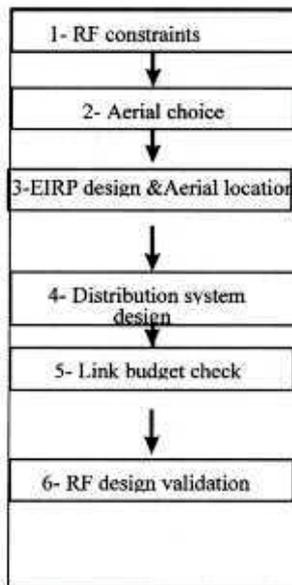


Fig 5-8

5.6.2 過程說明

用二種不同的方法可執行此過程

(1) 從 BTS 到天線

計算在 RF 結構中的每一點的功率，最後預估天線之 EIRP 值和涵蓋區域。

(2) 預估天線 EIRP 值以配合 RF 的限制和所須的涵蓋區域(以上需要 RF 量測或

使用預測工具)，然後建立 RF 結構以達成所需目標。

以下表示詳細的處理過程

1. RF 限制

本階段是一個很特別的焦點，應了解設計上的 RF 輸入、與室外大型細胞涵

蓋的合作，其目的在決定 RF 對那一種的限制及其程度，應加以確認。

本階段所產生結果為：

- 由室外細胞特徵及其信號強度而影響室內涵蓋。

- 建築物之傳播衰減。
- 輻射到室外之信號強度限制。
- 室內細胞之 EIRP 值之限制。
- 由室內細胞可能產生對大型細胞網路的影響。

2. 天線系統的選擇

可選用普通天線或是洩漏電纜等二種方式

選用天線系統的情況

- 希望有較高的 EIRP 值。
- 像大型室內區域，會議室等需要涵蓋的地方。
- 需要限制的系統配置。

選用洩漏電纜的情況

- 像走廊、隧道和地下室等需要涵蓋的地方。
- 對外面輻射需要非常低功率的應用。

3. EIRP 設計和天線位置

為避免一些錯誤，當在設計系統的時候，在施工上或 RF 方面，應與現場(業主)工程師做全面的合作。

本階段所產生結果為：

- 依據樓層規劃，決定天線或洩漏電纜的裝設位置。

4. 分配系統設計

RF 分配系統的選擇，是採用光纖或同軸，應考慮下列情況

- 現有基礎設施的利用度

在某些情況，任何基礎設施均能達到再利用，例如光纖系統。

- 分散的區域。
- 假如散射狀的建築物需要涵蓋，建議使用光纖中繼方法。

- 假如系統需要涵蓋 5 層樓以下地區，建議採用同軸電纜方式。
- 假如系統需要涵蓋 10 樓以上地區，建議採用光纖中繼方法。

費用的問題

使用光纖中繼方法或是同軸電纜方式，在二者之間的費用比較如下所述：

- 對七層樓以下或小型分散區域，採用同軸電纜方式比較便宜。
- 對七層樓以上或是大型分散區域，採用光纖中繼系統比較有效。

本階段所產生的結果為：

- 在樓層規劃上，完整的 RF 結構(天線+饋電線)可由下圖所示

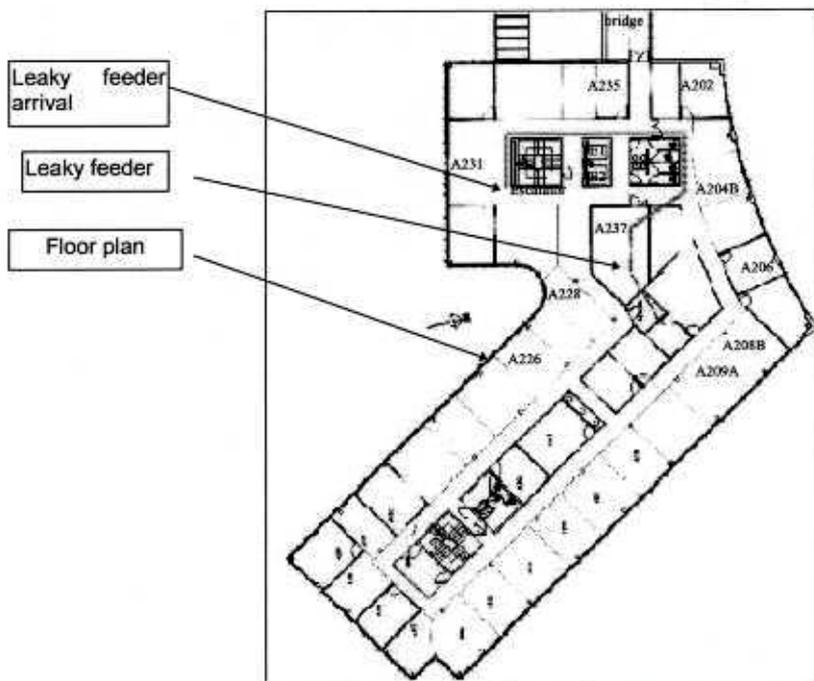


Fig 5-9

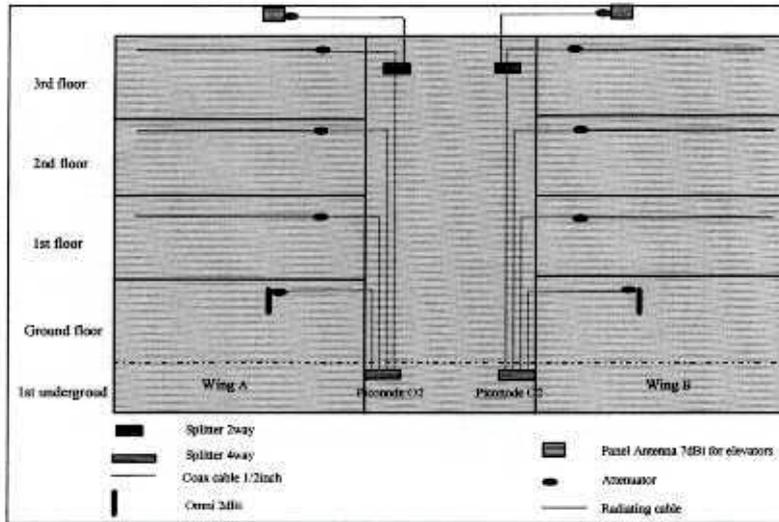


Fig 5-10

5. 鏈路預算核對

一旦分配系統設計完成，就要核對鏈路預算的平衡，至少在最差的 RF 情況(最多衰減情況，最遠分散區域，最大串接系統)，這是一個很重要的問題，對上鏈路不做鏈路預算，對下鏈限制或平衡，應達到鏈路預算要求。

本階段所產生之結果為：

- 對每一系統應做鏈路預算(每一樓層，每一支天線)

6. RF 設計的有效性

由 CW/RSV 量測或者做模擬試驗，可確認 RF 在設計上的效果。

5.7 室內 RF 設計報告

一旦完成室內涵蓋設計，則亦應提出設計報告，內容包括：

話務的前提考量

EIRP 和頻率前提考量

樓層規劃，並標出涵蓋區域

RF 設計結構規劃

材料表和其它參考事項

鏈路預算

涵蓋地圖和量測結果

以上資料傳送到現場工程單位，做為工程施工的依據。

第六章：感想及建議

在邁入二十一世紀的新紀元，未來行動通信業務的需求，除提供優質的語音服務外，無線寬頻的數據傳輸、動態影像及多媒體服務等功能將是未來主流。

GSM 行動電話無線分封數據服務(GPRS)將在本(90)年八月開放，以及第三代行動電話系統(3G)即將來臨(電信總局將在年底釋放五張 3G 執照)，為因應相關系統新的服務需要，在高樓層室內通信規劃設計上，建議下列數點：

1. 室內通信除傳統語音服務外，即將加入分封數據服務(GPRS)，考量訊務量的增加，BTS 設備容量上設計需預留餘裕。
2. 為配合將來系統擴充的彈性，如 3G 系統的加入等，室內涵蓋佈纜方式由同軸電纜方式，改採光纖中繼方式。
3. 高樓層室內涵蓋改善所費不貲，為避免投資浪費，建採共構方式規劃建設。