

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別: 實習)

參加「行動數據通信於高樓/隧道內之設計技術」研習
及「無線寬頻分佈系統(Point to Multipoint)技術實地」研習

	服務機關	職稱	姓名
出國人	中華電信行動通信分公司	副工程師	劉神杉
	中華電信行動通信分公司	副工程師	林財旺
	中華電信總公司	助理工程師	曹展傑
	中華電信行動通信分公司	專員	熊彥壽

出國地區: 瑞典

出國期間: 91年10月19日至91年11月1日

報告日期: 92年3月14日

系統識別號:C09104771

公務出國報告提要

頁數: 63 含附件: 否

報告名稱:

實習「行動數據通信於高樓/隧道內之設計技術」及「無線寬頻分佈系統技術」

主辦機關:

中華電信行動通信分公司

聯絡人/電話:

陳月雪/23442808

出國人員:

劉神扶 中華電信行動通信分公司 經營規劃處 副工程師
林財旺 中華電信行動通信分公司 工務處 副工程師
曹展昭 中華電信股份有限公司 網路處 助理工程師
熊彥豪 中華電信行動通信分公司 工務處 專員

出國類別: 實習

出國地區: 瑞典

出國期間: 民國 91 年 10 月 19 日 -民國 91 年 11 月 01 日

報告日期: 民國 92 年 03 月 13 日

分類號/目: H6/電信 H6/電信

關鍵詞: 室內涵蓋系統,饋纜分佈網路,光纜分佈網路

內容摘要: 室內涵蓋系統建設於大樓或隧道,可提供大樓及隧道內之行動電話語音服務及行動數據服務;此外考量建設成本及佈建複雜度,建設室內涵蓋共構系統,利用POI匯接各行動電話業者之基地台,並使用光纜分佈網路或饋纜分佈網路等相關技術;為高樓及隧道室內涵蓋之未來發展趨勢。建設共構之室內涵蓋系統,應注意各系統間之干擾問題,以及各行動電話系統匯接進入此共構室內涵蓋系統,各系統之信號強度及話務之分佈情形仍能與各業者各自興建獨立系統之情況相當。第三代行動電話系統最主要的優勢即為提供高速率之行動數據通信,因此良好之室內與隧道涵蓋為不可缺少之必要基礎建設,因此包含第三代行動通信系統之室內涵蓋系統,為將來建設室內涵蓋系統之重要發展方向。然而第三代行動電話系統使用WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access)分碼多工技術,與目前GSM使用之TDMA(Time Division Multiple Access)方式有所不同,因此在設計室內涵蓋系統時,須考量WCDMA之相關特性例如呼吸效應等。於高樓及隧道內提供行動數據通信最重要即為提供良好之訊號涵蓋,建設室內共構系統為提供良好之訊號涵蓋,最經濟並且最有效之方法。本報告對室內共構系統、相關技術及元件皆有詳細描述,可作為維護及未來規劃設計之參考。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

摘 要

室內涵蓋系統建設於大樓或隧道，可提供大樓及隧道內之行動電話語音服務及行動數據服務；此外考量建設成本及佈建複雜度，建設室內涵蓋共構系統，利用 POI 匯接各行動電話業者之基地台，並使用光纜分佈網路或饋纜分佈網路等相關技術；為高樓及隧道室內涵蓋之未來發展趨勢。

建設共構之室內涵蓋系統，應注意各系統間之干擾問題，以及各行動電話系統匯接進入此共構室內涵蓋系統，各系統之信號強度及話務之分佈情形仍能與各業者各自興建獨立系統之情況相當。

第三代行動電話系統最主要的優勢即為提供高速率之行動數據通信，因此良好之室內與隧道涵蓋為不可缺少之必要基礎建設，因此包含第三代行動通信系統之室內涵蓋系統，為將來建設室內涵蓋系統之重要發展方向。然而第三代行動電話系統使用 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 分碼多工技術，與目前 GSM 使用之 TDMA (Time Division Multiple Access) 方式有所不同，因此在設計室內涵蓋系統時，須考量 WCDMA 之相關特性例如呼吸效應等。

於高樓及隧道內提供行動數據通信最重要即為提供良好之訊號涵蓋，建設室內共構系統為提供良好之訊號涵蓋，最經濟並且最有效之方法。本報告對室內共構系統、相關技術（如饋纜分佈網路或光纜分佈網路）以及元件（POI、光纜分部系統等）皆有詳細描述，可作為維護及未來規劃設計之參考。

目錄

一、 目的.....	1
二、 過程.....	1
三、 心得.....	2
三.一 概述.....	2
三.二 高樓之行動數據通信.....	2
三.三 隧道內之行動通信.....	25
三.四 WCDMA 室內涵蓋系統規劃實例.....	44
三.五 相關設備.....	51
三.六 室內涵蓋系統之網管系統.....	60
四、 感想與建議.....	62

一、目的

職等依中華電信股份有限公司九十一年十月九日信人二字第 91A3501113 號函及十月十一日信人二字第 91A3501116 號函赴瑞典實習行動數據通信於高樓／隧道內之設計技術及無線寬頻分佈系統(Point to Multipoint)技術，此行主要之目的為瞭解：

- (1)世界目前高樓內提供行動數據服務之涵蓋技術及未來方向。
- (2)世界目前隧道內提供行動數據服務之涵蓋技術及未來方向。
- (3)高樓／隧道內行動數據服務之涵蓋設計技術及未來之規劃方向等。
- (4)無線寬頻分佈系統(Point to Multipoint)技術及未來之規劃方向等。

熟習本建設案設備之性能和操控，並學習相關技術，俾利日後設計、建設及維運工作。

二、過程

日 期	地 點	行 程
91/10/19 ~ 20	台北 - 斯德歌爾摩	去程
91/10/21 ~ 30	斯德歌爾摩	參加行動數據通信於高樓／隧道內之設計技術及『無線寬頻分佈系統(Point to Multipoint)技術實習
91/10/31 ~ 11/1	斯德歌爾摩- 台北	回程

三、心得

三.一 概述

行動通信的語音服務市場已接近飽和，營收的拓展將依賴提高數據服務比重而獲得，未來之 3G 行動電話系統更是以提供數據服務為主要業務，是以提供良好行動數據通信品質已成為非常重要之課題，要確保網路品質除了須建構優良數據核心網路外，如何提供良好之無線訊號也是一項重要的議題，以 GSM 行動電話系統來說，一般之語音服務，無線頻道訊號強度-85 dBm 甚至-90 dBm， $C/I > 9$ dB 即可有很好之語音品質，但若要提供行動數據通信服務，無線頻道信號強度就可能需要達到-80 dBm ~ -75 dBm， C/I 甚至要求到達 12 dB 才能有較好品質提供高速率服務，至於 3G 系統其 E_b/N_0 之大小更大大影響系統容量及傳輸速率，信號品質於系統之效益影響巨大。因此良好且無死角之涵蓋訊號為提供行動數據通信服務之一項極為重要議題。

此外目前行動電話業者為數眾多，於公共場所利用共構方式提供涵蓋已是必然趨勢，如何整合各家業者不同基地台系統以提供良好之無線信號於共同之涵蓋區域，也將是業界共同努力的目標。

本篇以無線技術之觀點，針對高樓建築及隧道等特殊環境區域應如何設計，以提供良好行動數據通信服務提出討論，此外也將簡單介紹相關設計元件及相關網管系統。

三.二 高樓之行動數據通信

三.二.一 高樓及室內環境的獨特性

一般高樓層環境由於其位置較高，因此對於室外細胞皆會存在視線路徑傳播 (line of sight) 效應，且如果其牆壁為玻璃帷幕之材質，穿透損失非常低時，在高樓層處常會收到四面八方室外細胞傳來之訊號，但由於缺乏主導信號及同頻干擾等因素，導致 C/I 太低，常造成手機滿格但卻無法提供服務。

此外高樓建築物牆壁之不同材質會影響其穿透損失，進而影響訊號之衰減程度。一般建築狀況及材質之衰耗 dB 值如下表：

各種牆壁及材質穿透損失測量值

材質種類	穿透損失[dB]	頻率[MHz]
Loss from one floor	8-20	1300
Concrete Block Wall	13-20	1300
1 floor + 1 wall	40-50	1300
Sheet Rock (3/8 in)	2	9600
Concrete Pillar (diam=0.6m)	12-14	1300
All metal	26	815
Loss due to turn corner	10-20	1300
Glass (no tint)	0-2	
Tint Glass + metal miniblind	10-15	

而針對第三代電話系統與一般 GSM 行動電話系統之使用技術差異，現行之 GSM 行動電話系統之調變方式，係將系統頻寬以 FDM 方式以 200 KHz 劃分無線載波頻道，每個載波頻道再以 TDMA(Time Division Multiple Access)方式劃分時槽，利用時槽內之資訊比次(bits)傳送訊務，而第三代行動電話系統則採用 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access)技術，以分碼多工之技術傳送訊務。不同調變方式自是牽動不同之系統設計技術；於室內環境中，就 WCDMA 行動電話之應用而言，下述狀況值得特別考量：

- 非常短之傳播距離時：多路徑延遲差遠小於 1 chip，耙式接收器(Rake Fingers)無法區別不同的多路徑，所以將沒有多路徑分集。並且同調頻寬(Coherence Bandwidth)是非常寬的，一般是 10 到 50 MHz，因此 3.84MHz 是幾乎像是窄頻帶而且沒有頻率分集。
- 移動速度非常慢時：位元編排之效應非常小，假設沒有多路徑分集和沒有位元編排時，需要較高的 E_b/N_0 ，而且會降低容量，無論如何，視線路徑內傳播狀況的改善是非常明顯的。
- 不同的建築物有著不同的傳播狀況：不同建築物的傳播環境明顯不同。若只使用一種“典型”室內傳播模型給所有不同建築物，訊號標準偏差會超過 18dB。

- 假設使用與室外系統相同的頻率，建築物的穿透損失決定容量的大小，假設建築物是完全的「金屬盒」（穿透損失無窮大），涵蓋室內的細胞是為隔離的室內系統，具有單獨之容量。另一個極端，假設建築物的穿透損失是 0，這整個室內面積將會變成一個軟交遞的區域（在室內微細胞和室外的大型細胞間），如此一來，容量增益變成幾乎是 0。

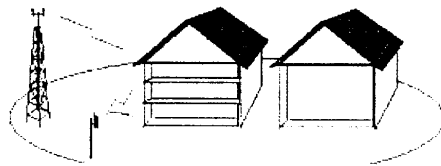
三.二.二 高樓室內涵蓋之方法

用於高樓室內涵蓋之一般方法如下：

(1) 增強無線電波穿透建築物：

這種設計方法是使用室外細胞之基地台提供高樓室內之涵蓋，如下圖所示，因此必需將建築物穿透損失，作為一損耗因素計算於鏈路估算中，這種方法主要的優點為簡單，不需要獲得建築物所有人的允許，在整棟建築物內配佈電纜，建設室內涵蓋網路。

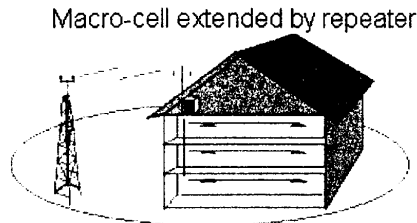
Macro cell and Micro cell



這種方法的缺點是涵蓋的可靠度較低，若在較高樓層，訊號來自不同室外細胞，將使得 C/I 很差，以致無法提供服務，此外在某些建築物或區域(例如地下室和隧道)，室內涵蓋無法由室外提供，在容量方面無法提供專屬於室內建築物之容量，因此建築物以室外細胞之基地台提供室內之涵蓋，並不太適合提供行動數據通信服務，因為行動數據通信服務除須要穩定之無線電波涵蓋外，也需要足夠之容量。

(2) 利用轉發台(Repeaters):

使用轉發台，傳送行動電話訊號至建築物內，如下圖所示。



轉發台下行鏈路之功能乃將室外細胞之無線電訊號由轉發台天線接收，經過放大，再經由電纜及室內天線傳送至建築物室內達成涵蓋，反向之上行鏈路乃將室內手機訊號藉由室內接收天線由轉發台放大後轉給室外母台；事實上轉發台只能將涵蓋延伸至室內，卻是無法增加額外之容量，因轉發台涵蓋新增之容量需求，仍需由室外母台之容量提供。

(3) 建築物內專用基地台：

使用專用基地台細胞或微細胞台，藉由光纖、同軸電纜、洩波電纜及室內天線等經適當設計以提供室內涵蓋。以基地台涵蓋室內，除提供較佳之信號品質以外，也可同時獲得系統容量增益，但卻是昂貴的解決方案，因此主要使用於大型建築物且有高容量需求的地方。如果僅是提供涵蓋而非考量容量需求，轉發台可以納入評估。

(4) 建設共構室內涵蓋網路：

以經濟效益觀點而言，由各業者共同出資興建建築物內之涵蓋系統，如下圖所示。相關設備包含被動元件之 POI (Point Of Interface)，天線、饋纜等，或是主動元件之光纜分佈網路，匯接各業者之行動電話系統，提供穩定且良好之室內涵蓋服務，將是未來發展之趨勢且為不錯之方案。



Multicasting In-building-cell

三.二.三 室內涵蓋系統之設計

(1) 室內涵蓋路徑損失模型

(A) 自由空間傳播損失—Free Space Loss

$$L(\text{dB}) = 32.5 + 20 \cdot \log f + 20 \cdot \log d$$

L = path loss (dB)

f = frequency (MHz)

d = transmitter to receiver separation (km)

(B) 室內傳播模型 (一)—Modified Keenan-Motely Model:

$$L(\text{dB}) = 32.5 + 20 \cdot \log f + 20 \cdot \log d + k \cdot F(k) + p \cdot W(k) + D(d - d_b)$$

L = path loss (dB)

f = frequency (MHz)

d = transmitter to receiver separation (km)

k = number of floors traversed by the direct wave

F = floor attenuation factor (dB)

p = number of walls traversed by the direct wave

W = wall attenuation factor (dB) (note 1)

D = linear attenuation factor (dB/m) (note 2)

d_b = indoor breakpoint (m) (note 2)

note 1: 一般較薄之牆壁衰減值約 7 dB，較厚之牆壁衰減值約 10 dB

note 2: For distance above the breakpoint, add typically 0.2 dB/m

Typical breakpoint = 65 m

(C) 室內傳播模型 (二)

(a) 空曠大廳、停車場

$$L(\text{dB}) = 23 \cdot \log (4 \cdot \pi \cdot f \cdot d / c)$$

(b) 辦公室環境

$$L(\text{dB}) = 25 \cdot \log (4 \cdot \pi \cdot f \cdot d / c)$$

f = frequency (Hz)

d = transmitter to receiver separation (m)

c = speed of light = $3 \cdot 10^8$ m/s

(D) 室內傳播模型 (三) — Simplified formula:

Simplified formula: $50 \text{ dB} + 0.8 * \text{distance(m)}$ (900MHz)

Simplified formula: $58 \text{ dB} + 0.8 * \text{distance(m)}$ (2050MHz)

(2) 經驗值之室內傳播路徑損失公式

經過量測眾多不同型式建築物之室內傳播路徑損失，獲得下述經驗公式。此公式適用於利用室內天線設計涵蓋，但不適用於使用漏波電纜。

$$PL(x)[dB] = PL(x_0) + 10 * n * \log\left(\frac{x}{x_0}\right) + \sum_{k=1}^K l_k + X\sigma$$

$PL(x)$ = path loss at 1 meter from the indoor antenna;

$PL(x_0)$ = 30-32 dB for 800 MHz signals;

$PL(x_0)$ = 38-40 dB for 1900 MHz signals.

$1.5 \leq n \leq 6$, is the path loss exponent;

$\sum_{k=1}^K l_k$ = sum of all wall/floor penetration losses;

$X\sigma$ = variable with zero mean, due to lognormal shadowing

n 的值從 1.5 到 6，雖然此公式為一般通用公式，但在此公式中的每個變數能夠代表不同型式的建築物。

上述公式只估計路徑損失。實際在某一特定點的信號位準，是由三項組成：

$$\text{Path_Loss}(X) * \text{Lognormal_fading}(X) * \text{Fast_fading}(X)$$

當接收位置與天線存在視線路徑時，快速衰退(Fast Fading)相同於 Ricean 分佈理論，當不存在視線路徑時，則應用 Rayleigh 分佈理論。

在某些特別的傳播環境，其路徑損失是可預測的：

- 沿著長的走廊，傳播狀況類似導波管，路徑損失小於 2，典型值為 1.5 到 1.8 之間。
- 若在第一 Fresnel 區域無阻擋時，傳播特性遵循自由空間($n=2$)。例如大會堂，開放的會館視線路徑存在時。

(3) 一般建議

一般來說，室內天線的涵蓋範圍，在相同的樓層是較不同樓層易於預測；若在相同樓層但信號強度不穩定時，主要來自幾個因素：

- 牆的穿透損失因不同的牆壁材質從 1 到 10 dB 不等(表 5.2.1 給予典型地牆壁穿透損失測量值)。
- 在路徑損失方面，不同的信號入射角，能夠產生超過 15dB 的差異 (Normal 和 Grazing Incidence)。
- 當在轉角處轉向時，經驗上會有超過 20 dB 信號強度的改變。
- 在相同樓層信號標準的偏差一般是在 3 到 12dB。

不同的樓層，較不易準確預測涵蓋是較大或較小。影響信號強度之因素如下：

- 由於樓層結構的不同，導致樓層穿透損失有較大的差異(約 8 to 30 dB)。
- 因 Normal 和 Grazing Incidence 導致超過 15 dB 的樓層穿透損失差異。
- 路徑損失不一定會依照樓層的數目比例增加。有一種可能的原因是在 2 或 3 樓層以上，信號從周圍的建築物被反射變成最具支配力的信號，而直接的信號反而變成較不明顯。
- 假設使用一種路徑損失模型計算在不同樓層之涵蓋，其標準偏差會大於 18 dB，這種情形的誤差經常是不可接受的。

為正確地預測室內涵蓋，需要在一些不同室內環境狀況下做量測。在某種環境下的測量結果，可適用於在不同建築物但有著相同的環境，只需要改變一些較次要的 dB 值(例如，額外的牆壁或是較少的柱子等)，藉此估計出涵蓋範圍。

我們建議在設計大樓涵蓋時，於每一層樓皆佈建室內天線，其原因如下：

- 涵蓋區域將會具有較高的可靠度，假設在每個樓層使用相對較多數目之低增益天線，如此一來，在大部分地區皆存在視線路徑傳播狀況，將近 100%的室內區域的可靠度能夠被達成。
- 假設涵蓋區是來自不同樓層的天線，當需要計算涵蓋區時，在每個樓層將有許多的不確定因素需要實際的測量，這將非常耗費時間。

在每個樓層需使用多少的室內天線，依據幾個因素考量：

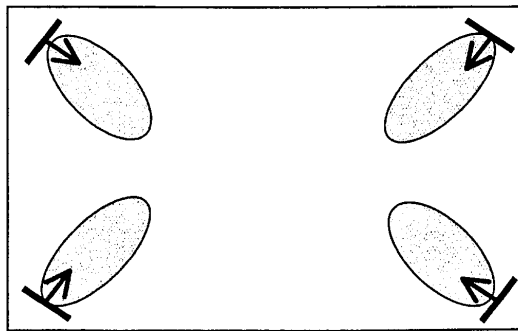
- (A) 建築物的大小
- (B) 建築物平面的完整形狀
- (C) 樓層的路徑損失斜率
- (D) 每個天線系統的發射功率強度及接收機雜訊指數
- (E) 在建築物內需要之涵蓋比例

在每個樓層須要增加若干天線，設計所遵循之因素：

- (F) 大型建築物的大小
- (G) 不規則的樓層平面
- (H) 高的路徑損失
- (I) 在整個室內系統，高的上鏈路雜訊指數
- (J) 較低發射功率強度之天線
- (K) 室內涵蓋需求接近 100%

使用多數量之低增益天線，比起使用較少數目但高增益天線，將更能提供訊號強度一致以及高可靠度之涵蓋品質。分佈較多數目的低增益天線與樓層交叉將會提供巨觀的分集，以及明顯的分集增益。每個天線會提供額外的 Tx/Rx 分集，因為不會在相同時間發生整個天線系統全被遮蔽。

由於上述之情形，我們推薦在每個樓層使用較多的分佈天線，例如每個樓層 2 到 4 甚至更多。此外，若樓層為規則的形狀（方形或長方形），則是使用方向性天線最佳的地方，並且將天線安裝在建築物的四個角落，使主要的波束指向中心是為較佳的設計，如下圖。



分散天線較單一的天線可提供全面涵蓋。它並提供巨觀分集可克服 lognormal 遮蔽效應。安裝天線於接近建築物的邊緣，讓主要的波束指向中央，避免朝向外界，具有如下的效用：

- 在建築物的邊緣增加室內信號強度，會減少室內與室外基地台間發生交遞之機率。
- 可減少信號去干擾建築物外，以及減少從建築物外來的干擾，避免手機在接近建築物的邊緣發送較高的功率。

Qualcomm 公司建議在室內天線使用延遲元件，以從不同的天線獲得不同的人工延遲(> 1 chips)，以解決室內缺少多路徑分集的問題。模擬的結論證明下鏈路容量有顯著的改善。

超大型的建築物或是樓層有著非常不規則的形狀，可依照下列方法正確地估計需要的天線數目：

- 依據相似環境樓層的測量結果，決定在此型態的建築物下一支天線能夠涵蓋多寬、多遠（沿著主波束，旁波束及背波束）。
- 依據建築物的大小和加上足夠的重疊部分當作是”安全餘裕”，可以決定多少的天線是被需要的。
- 需要多少的安全餘裕，是依照室內區域需要何種的可靠度，安全餘裕值在 99%的區域可靠度將大於 90%區域的可靠度。

洩波電纜能夠在不規則的區域提供較佳的涵蓋，例如彎曲的隧道等

三.二.四 室內細胞和室外細胞間的交遞

在設計 GSM 室內系統時，首先須掃描室外基地台射入建築物內之控制頻道的信號位準，選擇最小信號強度頻道配置於室內系統，以減少同頻道干擾。

在 WCDMA 行動電話系統，於建築物內配置不同頻率是相當困難。主要的困難點在於硬交遞，WCDMA 硬交遞的可靠度不如 AMPS 或 GSM 的交遞，甚至遠不如 WCDMA 軟式交遞。

假設在室內和室外系統佈建相同的頻率，將面對另一種不同的考慮，也就是說將有極大百分比的軟交遞會在室內和室外系統間發生。

三.二.五 室內細胞之容量

(1) 佈建室內基地台之情況

於 GSM 系統在室內細胞及室外大型細胞，佈建相同的頻率，可能在兩細胞間會發生顯著的同頻道干擾。但是建築物的牆壁就像是自然的屏

障，可從室外細胞中隔離出室內細胞。較高的建築物穿透損失，將使得室內細胞有較多的隔離，並且有較大的室內容量。另一方面，假設建築物穿透損失太小，這會造成室內微細胞和周圍的室外大型細胞間很強的相互干擾。對於 WCDMA 來說，整個室內細胞會變成一個軟交遞的區域，在這個情形，等於增加了一個 WCDMA 的細胞(室內細胞)在另一個 WCDMA 細胞(室外細胞)之上。如果配置相同頻率，每個手機從室內細胞至室外細胞將會發生軟交遞。如此一來室內細胞之容量增益將幾乎是 0，這使整個工作沒有意義。

既然來自室外細胞之無線電訊號會干擾到室內細胞並且降低其容量，在增加室內細胞之前，室內涵蓋是從既存的室外基地台提供，如果涵蓋訊號較弱，增加室內細胞之後，容量增益與涵蓋品質將會較佳。但是當某些建築物內來自室外細胞之信號強度很強時，室內涵蓋非常好，此時將不需要增加其他的室內微細胞。若有額外的室內容量需求，可嘗試在室外的基地台增加較多的載波。

(2) WCDMA 室內容量最大理論值

在先前章節討論的室內微細胞系統增加之容量最低值是 0，這個章節將討論室內微細胞系統增加容量之最大上限，室內微細胞容量增加最大理論值是多少呢?何者限制容量，是下鏈路或是上鏈路?

讓我們注意下述公式，室外系統上鏈路容量為

$$Pole_Capacity = \frac{PG * SG}{(Eb/No) * VAF * (1+f) * K} + 1$$

在室內系統，處理增益和語音活動因素與室外系統相同。 E_b/N_0 至少在上鏈路能夠被考慮成相同。唯有兩項因素是不相同的，sectorization gain SG/K 和外細胞的干擾 $(1+f)$ 。

符合最大容量的情形為建築物穿透損失和樓板穿透損失是無窮大，所以每個細胞可看成單一獨立的，隔離的細胞沒有外細胞的干擾。因此，每個細胞符合 $f=0$ ， $SG/K=1$ 最大上鏈路容量為

$$Indoor_Pole_Capacity = \frac{PG}{(Eb/No) * VAF} + 1$$

假設，在室外系統我們使 $SG/K=2.5/3$ ， $(1+f)=1.65$ 時，室內系統最大容量大約是 1.6 和戶外系統容量一樣多，導因於缺少從室外系統的干擾。

從現實考量，假設建築物穿透損失和樓層穿透損失 $>20\text{dB}$ ，這個表示在扣掉穿透損失之後，從室外系統來的干擾強度將只剩 1%，因此，除非建築物是非常地接近室外細胞基地台之天線，否則任何的建築物穿透損失 $>20\text{dB}$ 時將會像是隔離的系統，並且能夠有較高的室內容量。建築物穿透損失 $>15\text{dB}$ 將會有一些百分比的容量衰減。

其次讓注意上鏈路容量公式

$$\text{Number_of_users}(N) = \frac{\text{Total_Power_Available_for_Traffic_Channels}}{(\text{Ave._required_Traffic_pwr_per_user}) * VAF}$$

語音活動和整體功率在話務頻道對室內或室外系統是相同的，唯一的差異是每個使用者需要的平均功率。

$$\text{Ave._required_Traffic_pwr_per_user} \propto \left[\frac{Eb}{No} \right] * No \propto No$$

手機接收器雜訊較高時，手機需要基地台發射較大之功率以維持 BER/BLER。手機使用在室外環境，下鏈路之干擾遠大於熱雜訊強度。此干擾強度相當高，足以影響限制到下鏈路容量。無論如何，假設建築物穿透損失大於 20 dB，室內的手機將感受較小之干擾，手機接收器雜訊強度也將會相當小，此時僅需要很小的功率就足以維持其 BER/BLER。在這種情形下室內容量將會提高，下鏈路此時不再是容量的瓶頸，這時上鏈路容量反變成是決定室內容量的限制。

結論，WCDMA 室內系統上限容量為單一隔離基地台極限容量，公式如下。

$$\text{Indoor_Pole_Capacity} = \frac{PG}{(Eb/No) * VAF} + 1$$

在實際的生活中，室內的容量將是在此上限值與下限值間，來自基地台外之干擾強度較低時，容量將會接近其上限，反之亦然。

三.二.六 牆壁穿透損失與建築物穿透損失之比較

一些說來這兩個名詞不是很容易能清楚區別，實際上，這兩者之間是有差異存在，這裡將兩者主要差異摘要說明如下：

(1) 牆壁穿透損失 (WPL)：

- 定義為牆壁外的信號強度和牆壁內的信號強度之差。
- 在相同的建築物，依其在建築物內位置點不同其牆壁穿透損失值也會不同，當位置點接近窗戶和位置點無窗戶，差異值會大於 10 dB。
- normal 和 gazing incidence，牆壁穿透損失差異會大於 15 dB。

(2) 建築物穿透損失(BPL)：

- 定義為街道上測量的平均信號強度和建築物第一層內測量的平均信號強度差，在每個建築物這是唯一的值。
- 此建築物穿透損失決定室外到室內的平均隔離度，所以會影響到室內微細胞台之容量。

主要的差異：

- 建築物穿透損失是一個平均值。這個值是被許多因素影響，例如外牆、內牆、天花板、地板、建築物的尺寸、建築物的形狀等。
- 建築物有低的牆壁穿透損失並不必然有低的建築物穿透損失。一般來說，建築物的尺寸較大有較高的建築物穿透損失，即使是玻璃的牆壁亦然。大賣場的牆壁經常有大的建築物穿透損失值；高塔經常有非常小的建築物穿透損失。
- 玻璃的牆不一定有低的牆壁穿透損失。未著色的玻璃可以只有 0 到 2dB 間的牆壁穿透損失；著色的玻璃（金屬著色材質）將使牆壁穿透損失大於 10 dB；著色的玻璃加上鋁製小型的百葉窗，將使牆壁穿透損失大於 15 dB。

三.二.七 室內涵蓋系統概述

利用專用之室內基地台建設室內涵蓋系統，可分為兩種方式：(A) 建設數量甚多之微細胞型基地台，(B) 以單一基地台加上建設室內涵蓋系統。

一般室內涵蓋以建立室內涵蓋系統為多，室內涵蓋系統包含匯接各業主基地台之 POI 設備，以及饋纜或是光纜分佈網路，再加上末端之室內天線或是洩波電纜。因它可由各業者共同興建，匯接各業者不同頻率之行動電話

系統，輸入至共用之室內涵蓋系統。因此可以較經濟之建設經費完成室內涵蓋。室內涵蓋系統之作用，如同是將基地台的涵蓋範圍延伸。其功率是從基地台分出，並且經由室內天線分散到各樓層。

一般室內涵蓋系統大略可分為下述兩種：

(1) 使用主動元件之光纖分佈網路(Optical Fiber Distribution System)：

光纖之優點為能夠延伸至非常長之距離，(從 1 公里到數 10 公里)，光纖分佈網路利用此優點將無線電訊號轉換成光訊號，傳送至較遠距離後，再將光訊號還原為無線電訊號，涵蓋離基地台較遠距離之待涵蓋地點，但是光纖分佈網路之輸出功率較低，如果建設之系統載波數較多，每個載波之功率將會較低，此因數為 $10 \cdot \log(N)$ ，N 指的是載波數。因為被整體功率限制住，如果載波數較多時，將使得每個載波的功率減小。

(2) 使用饋纜分佈網路(Cable Distribution System)：

利用基地台或 POI 輸出埠之功率，經由饋纜及分歧器分散至各樓層，缺點為須考慮饋纜損失，基地台輸出功率可否足夠分配至各樓層。

三.二.八 光纖分佈網路

光纖分佈網路的主要部分可分為

(1) 無線電 \leftrightarrow 光轉換單元 (Main Unit 或 Master Unit)：

此單元連接至基地台或是 POI。其功能在下鏈路方向為，由無線電訊號轉換成光訊號，並且將光訊號藉由光纖傳送。而在上鏈路方向功能為，將光訊號轉換成無線電訊號，再傳回至基地台接收器。

(2) 光纜：

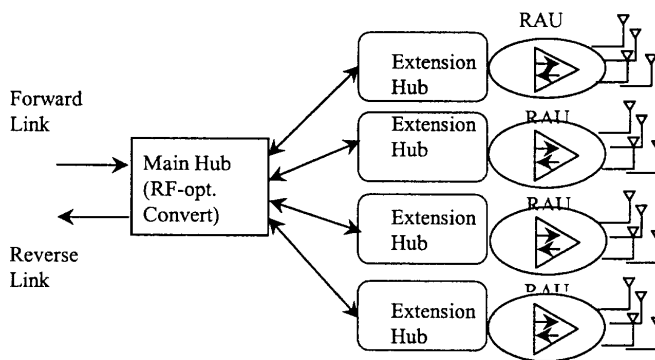
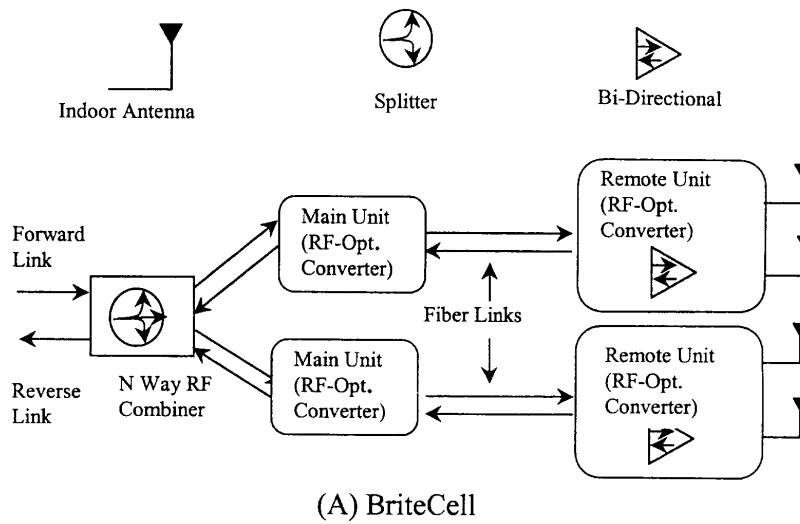
光纜之功能為大部分系統使用單模光纖，但也有部分系統使用多模光纖，光纜能夠使用在長距離，並且比起 RF 饋纜容易佈放，易於到達建築物內任何位置。

(3) 光 \leftrightarrow 無線電轉換單元：(Remote Unit)

此單元連接到一個或多個室內天線。在下鏈路其功能為將光訊號轉換成無線電訊號，並且將訊號放大，在上鏈路方向，其功能為前級放大無線電訊號，並轉換成光訊號。

(4) 光纜分佈網路架構圖

目前商用之光纜分佈網路可分為 BriteCell 及 LGC DAS，BriteCell 包含 Main Unit 及 Remote Unit，Main Unit 與 Remote Unit 間使用光纖連結，Remote Unit 直接經由饋纜連接天線，而 LGC DAS 包含 Main Hub、Extension Hub 及 RAU，Main Hub 與 Extension Hub 間利用光纖連接，Extension Hub 與 RAU 使用 Cat 5 電纜，也就是一般之網路線，RAU 再經由饋纜連接天線。兩種主要差異為 LGC DAS 比 BriteCell 多了 RAU。兩系統之架構如下圖所述。

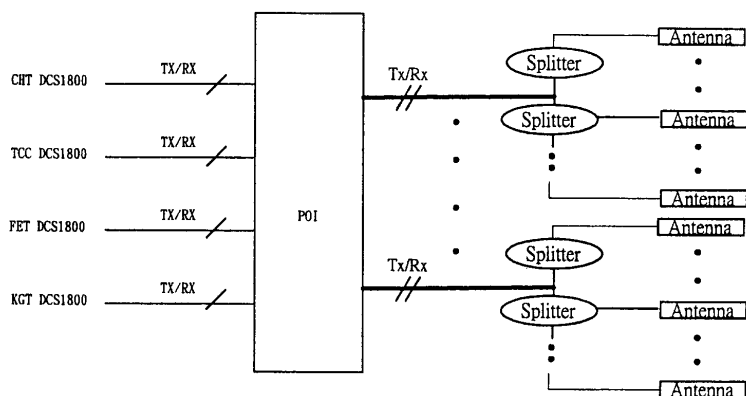


光纖分佈網路基本結構圖：(A)Brite Cell; (B) LGC 的光纖分佈網路

光纖分佈網路之輸入功率非常小(約 0 到 10 dBm)，而基地台之功率通常大於 40 dBm，因此使用多路功率分歧器，一個基地台能夠驅動多個室內分佈系統，而需要考慮的是一個基地台所能提供的容量。事實上，有時需要使用衰減器減小功率，以避免過度驅動室內涵蓋系統。

三.二.九 饋纜分佈網路

饋纜分佈網路是由基地台/POI 之輸出埠，經由饋纜連接至功率分歧器，再由饋纜連接至室內天線以提供涵蓋。除了使用室內天線外也可使用洩波電纜(又稱為放射電纜)，利用洩波電纜是在室內傳送 RF 能量的另外一種方法，應用在需要提供均勻場強服務或電波特別困難到達的地方。下圖為匯接 4 套 GSM 1800 行動電話系統之饋纜分佈網路架構圖。

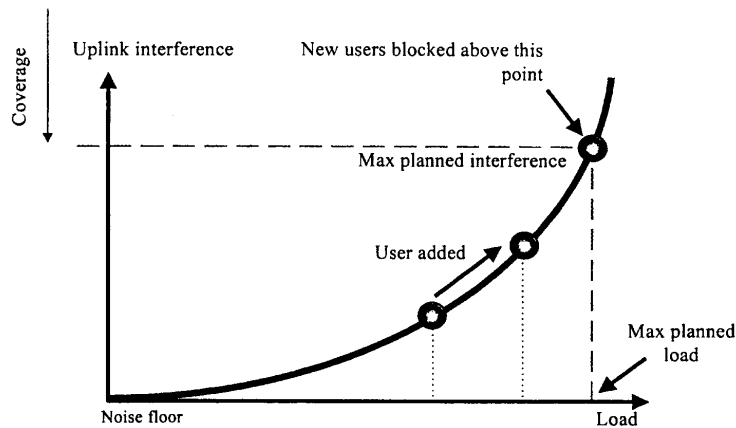


匯接各業者之饋纜分佈網路架構圖

三.二.十 WCDMA 一般室內系統設計準則

(1) 2G 系統與 3G 系統室內涵蓋設計之差異點

(A) 以涵蓋面來討論，2G 系統之室內涵蓋受容量或負荷之影響不似 3G 系統明顯。3G 系統之涵蓋與容量及負荷之關係如下圖所示。當用戶越多也就是負荷越重時，干擾也就越來越嚴重，此時涵蓋面積將會因為上鏈路之干擾過多， E_b/N_0 低於基地台可接受之 E_b/N_0 值。導致涵蓋面積縮小。



(B) 3G 系統上、下鏈路之話務容量設計並非均等，設計時須考量上、下鏈路之話務類型及話務量等情況。

(C) 3G 系統會因為 near far problem 影響整體系統之容量，在上鏈路較遠之手機須要發射較高之功率，才能使基地台接收到其訊號，較大之手機發射功率同時也造成了干擾，同理在下鏈路基地台須發射較大之功率才能將訊號傳送至較遠之手機，此時也會造成干擾，影響細胞之涵蓋區域。

(D) 3G 系統存在呼吸效應，當涵蓋區域負荷狀態不同時，其涵蓋區域大小也會不同，話務越重時涵蓋區域越小。

(2) 在每層樓使用數目較多之室內天線，此種狀況下，在各層樓各位置，手機至天線存在視線路徑傳播之情況較易存在。測量結果證明，在相同的信號強度下，當手機與天線存在視線路徑傳播狀況時，上鏈路容量會較高。

(3) 假設室內區域使用與室外細胞不同頻率時，室內細胞與室外大型細胞不會發生互相間的干擾問題，僅存在基地台外的干擾，這是來自其他樓層漏洩的能量。正如先前所提，這樣將會提高系統容量，但是須面對的是室內室外細胞間之硬式交遞問題。

- 當建築物需要高容量(容量細胞)，順向信號位準需設計 ≥ -80 dBm；
- 當建築物需要低容量(僅涵蓋)，信號位準能夠放寬至 -90 dBm；
- 當為了涵蓋額外的開放環境，信號位準能夠放寬低至 -95 dBm

(4) 假設室內區域使用與室外大型細胞相同頻率，不需要硬交遞，但是室內細胞與室外大型細胞間的互相干擾將是個問題，基地台的干擾信號來自室外系統或是來自其他樓層漏洩的能量。在這種情形，樓層的穿透損失和建築物的穿透損失對於室內系統的容量扮演重要的角色。室內與室外間較高的隔離度會有較佳的容量。

- 當建築物需要高的容量(容量細胞)，在室內系統，下鏈路信號強度設計最少需比在室外系統多 15 dB，此乃為了避免與室外系統發生軟式交遞。
- 當僅為增加室內涵蓋，並不需要配置室內微細胞，使用轉發台是便宜的解決方案。

(5) 對室內系統來說，上鏈路容量限制為主要之容量限制因素，不像下鏈路容量，主要受到 HPA 之發射功率限制，當容量飽和時，有新的通話產生將會被阻擋。在斷話發生前，上鏈路有軟容量，且聲音品質會變成非常不好。

定義室內容量為：“容量=最大數目使用者(或 1% 阻塞率之歐蘭值)能夠在此系統被提供”

依此定義，上鏈路容量不是個常數，以下參考的因素將影響上鏈路容量：

- 細胞邊緣信號位準：在相同數量的手機下，在接近信號強度-80 dBm 處比起接近-100 dBm 處時，有較低的 BER/BLER。
- 行動電話移動速度：當手機是固定比起手機是移動時，有較低的 BER/BLER。
- 視線路徑傳播情況：平均信號強度相同時，假設不存在視線路徑傳播比起存在視線路徑傳播時，移動手機將導致較高的 BER/BLER。
- 用戶的分布：視線路徑傳播與無視線路徑傳播面積百分比，手機是移動或固定的百分比，使用者在很強的涵蓋或是接近細胞邊緣的百分比，所有的因素都將影響整體 BER/BLER。

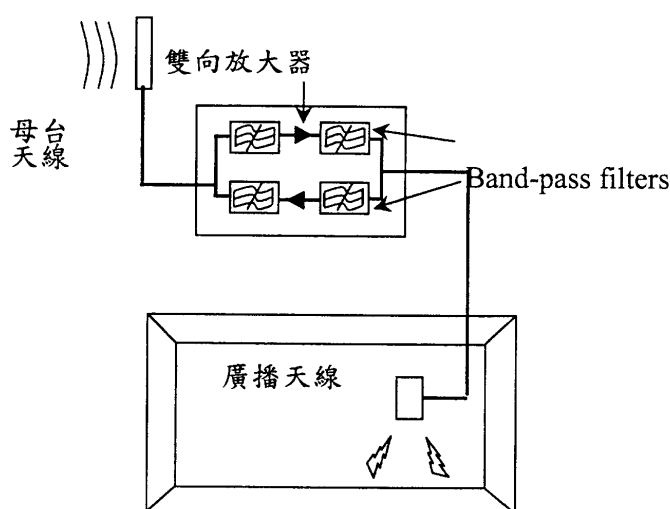
(6) 當細胞需要高容量，使用多個載波。多個載波的解決方案較分割細胞的方法提供較高的容量增益，室內細胞分割將在基地台間導致額外百分比的軟式交遞，會減少容量增益。

(7) 當細胞分割是必要的，嘗試使用建築物自然的結構去分割細胞(例如像是“C”型的建築物可分割成 3 個基地台，每一側一個基地台)，這會減少不需要的軟交遞。

三.二.十一 WCDMA 轉發台(Repeaters)

轉發台之功能為引導無線電電波進入建築物。下圖表示轉發台主要的構成單元。它組成有：

- (1) 母台天線(Donor Antenna)：一般使用高增益 (≥ 20 dBi)、窄波束天線。高增益天線能夠加強信號強度，窄波束能限制被選擇的接收信號源頭，減少導引波被污染。
- (2) 雙向放大器：一般之增益值為 40-80 dB 和雜訊指數為 8-10dB。
- (3) 廣播天線：天線型式，依據不同之應用而有所不同。



(4) 佈建轉發台時一些重要事項：

- (A) 母台天線必須為高增益，並且安裝位置須在所接收信號很強並且信號清楚的地方。

轉發台能夠增強在死點的信號強度，但是不能使信號雜訊比(SNR)優於原始源信號。假設放大後雜訊指數 > 1 ，雜訊比放大後將會比原始信號差。

一般來說，母台天線安裝的位置，必須為由母台基地台發射出來信號強度是非常強並且信號清楚之地點。此接收信號強度典型值在-70 dBm 到-80 dBm 間，且 E_c/I_o 約 -7 到-9 dB。

(B) 母台和分佈天線間之最小隔離度

在母台和分佈的天線間最小的隔離度，最少須大於 10 到 15 dB。假設無法滿足此種情況，系統將導致正回授，而變成不穩定。

以空間隔離方式，估計隔離度之計算函數如下：

$$I[dB] = 28 + 40 * \log \left[\frac{d}{\lambda} \right], \text{ for vertical speration}$$

$$I[dB] = 22 + 20 * \log \left[\frac{d}{\lambda} \right], \text{ for horizontal speration;}$$

λ 是波長， d 是兩天線間，邊對邊的隔離度

舉例來說，假設轉發台有放大到最大下鏈路增益 80 dB 時，我們在母台天線和分佈天線間最少需要 95 dB 的空間隔離度。假設系統是 800MHz 的系統 ($\lambda=1$ foot) 並且使用垂直隔離，對於室外系統實體的隔離在兩天線間需要 47 feet。至於室內系統，母台天線經常是在建築物外，分佈天線則在建築物內，針對此種情形，隔離度是計算包含建築物的穿透損失，所以所需之隔離空間可以減少。

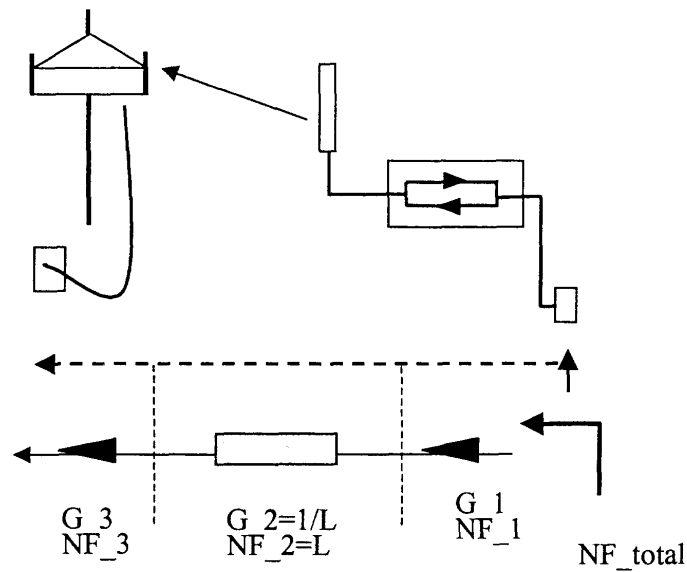
(C) 上行和下行鏈路間的平衡

建設轉發台一般所發生之錯誤，是在下行鏈路使用高功率的放大器，但沒有在上行鏈路減少整體之雜訊指數，結果造成不平衡系統，導致涵蓋邊緣附近的手機不能夠在上行鏈路工作，但卻因很強的下行鏈路產生額外的干擾。

依據室內天線所在位置，以及饋纜長度、使用分歧器室型式及數量、連接器數量等等資料，算出整體系統之鏈路估算，並使整個系統達到下行與上行鏈路平衡為設計之關鍵所在，且必須計入串級雜訊指數，如下圖所示。

計算接收靈敏度參考點在天線連接器處，首先必須計算系統中整體雜訊指數（轉發台 + 傳播 + 基地台接收器）使用 Frii 公式：

$$NF_{total} = NF_{-1} + \frac{NF_{-2}-1}{G_{-1}} + \frac{NF_{-3}-1}{G_{-1}*G_{-2}} + \dots$$



計算整體上鏈路雜訊指數和接收器靈敏度，參考點位於分佈天線之天線連接器

在下行鏈路的方向，發射功率為指配給特定”信號”使用時之話務頻道功率，而不使用整體 Tx 發射功率（此包含所有管理訊息和其他話務頻道功率）

(D) 轉發台能夠增加涵蓋，但無法提升容量之功用

轉發台能夠提供信號能量穿過無線電波阻礙物，其主要功能為延伸涵蓋至原基地台電波無法到達的地方，例如，地下停車場、隧道及有著高的建築物穿透損失之大型賣場等，無論如何，轉發台延伸涵蓋處之容量，是來自母台基地台所提供。

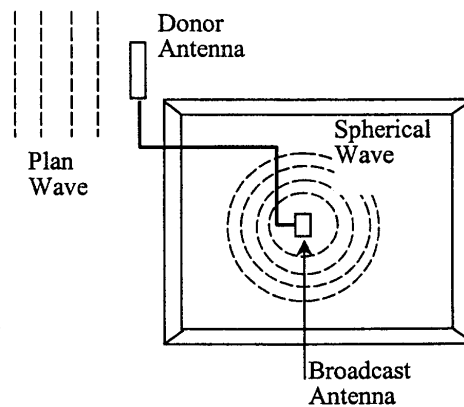
轉發台一般而言不能提供明顯的容量增益。主要功能僅在信號微弱的地點增加下鏈路訊號強度。反過來說，假設不是適當地設計，它會產生額外的干擾，影響到其他的細胞。在上鏈路方向沒有容量增益。因此，在此情形，下行鏈路容量是限制因素，導因於從微弱點移動需要大的下鏈路功率，適當地設計轉發台將會改善下鏈路容量，因而改善整體容量。假設上鏈路容量被限制住，將沒有容量增益。

(E) 被動轉發台無法提供功能

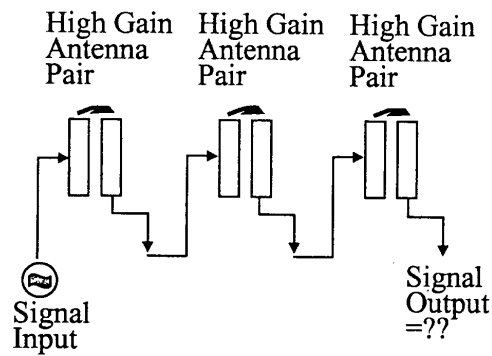
典型地 WCDMA 轉發台放大器能夠提供 40 到 100 dB 的增益在上鏈路和下鏈路。為什麼不能使用被動轉發台，也就是沒有放大器但是使用高增益天線代替放大器之轉發設備？例如，使用非常高增益天線，去增加母台被接收的信號強度。假設需要的話，為什麼不重複使用高增益天線增強信號強度？

不幸的是，這組設備將不會工作，這有兩個原因：

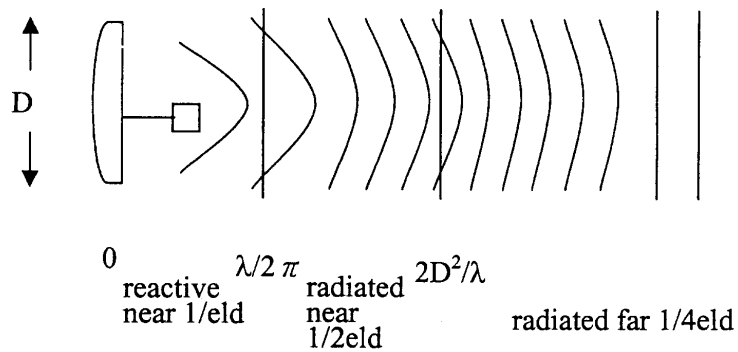
- (a) 廣播天線（轉發台對手機方向）將會轉變“平面波”到“球形波”（如下圖所示）。此意指假設手機位置剛好距離廣播天線一公尺處，路徑損失大約是 40 dB（路徑損失在開始的 1 公尺在 1900 MHz 是 40 dB，在 800MHz 是 32 dB），所以，縱使母台天線所在的位址有很強的信號強度（RSSI+Antenna_Gain = -60 dBm），在距離廣播天線一公尺遠之處，信號位準立刻降至-100 dBm，這將使得被動轉發台幾乎不能使用。



- (b) 為什麼不加上一些高增益天線階段性推動信號強度（如下圖所示），甚至加強信號？因為天線不是放大器，它不能夠真實地提供信號能量增益（除非我們能夠製造“永久運動的機器”，也就是說不用作什麼功就能增加能量）。事實上天線增益是由信號的集中來提供，而不是信號放大。因此，輸出信號強度從天線鏈僅能夠比輸入信號強度低，不管是如何高的天線增益。事實上，當天線操作在近場區域，天線增益不是很好定義。天線增益僅定義在遠場區域（如圖所示）



永久運動機器”串極 N 階段的高增益天線對放大能量”將不能工作



天線的近場和遠場是天線實體尺寸的函數

(F) 轉發台不能串接使用多次

所有轉發台皆存在雜訊指數 > 1 ，意即轉發台將使信號雜訊比降低，每個信號經過轉發台，它的信號雜訊比將會衰減一次。所以不能串接數個轉發台在一起並且重複太多次，否則最後的信號雜訊比將會非常差。

三.三 隧道內之行動通信

三.三.一 簡介

隧道內之行動通信系統規劃設計主要考量兩大需求，一為提供良好之涵蓋，另一為提供足夠之容量。如再考量建設成本，以及隧道內空間的問題，則將各業者系統整合收容於一套共同之涵蓋系統，是為提供隧道內之行動通信經濟又有效的方案。

隧道內之涵蓋系統，其主要設備包括匯接各業者基地台之 POI(Point Of Interface)設備、同軸電纜，分歧器、天線及洩波電纜等被動原件，或是放大器、光纜分佈網路等主動原件。設計系統之基本架構，須考慮現場環境及系統之可靠度，如果完全使用被動系統元件，日後之維修成本可能會較少，但是如果是在長隧道或是基地台設備功率無法全部提供之建設地點，考量現場之實際狀況，必須使用主動元件，例如光纜分佈網路等，此外光纜佈建比起 RF 饋纜佈放較為容易，但是光纜分佈網路須考量電源及建設成本等相關議題。

隧道涵蓋設計，首先最好利用查測設備(例如 TEMS)量測隧道內之電波環境，並分析結果。此外可參考其他國內外隧道案例，設計規劃隧道內之行動通信涵蓋系統。建設收訊良好的隧道涵蓋系統，除必須有良好之規劃設計外，施工及相關設備如饋纜、功率分歧器、洩波電纜或天線之選擇，也是重要之議題。

如採用隧道共構涵蓋系統，所有電信經營者之行動電話系統從不同之基地台匯入隧道共構涵蓋系統時，必須考量各系統間不會產生干擾，以確保各系統能夠正常運作。同時各系統之輸出功率須考量用戶之話務必須平均分佈，以確保不會因使用之標準不同而有造成話務分佈差異。

三.三.二 隧道內電波環境特點

- (1) 開放空間以及車站可視為自由空間傳播環境。
- (2) 走廊及通道存在導波管效應，但是仍有突然增加的損失，以及存在角落效應。
- (3) 牆壁及地板會有額外之損失。此外電波也會經由多路徑傳播反射。

(4) 隧道內的傳播損失較難以預測。

三.三.三 工程原理

(1) 信號強度需求

隧道內之信號強度要求，以 GSM 1800 系統來說，一般設計之收信強度約為-80 dBm，以及 95%之涵蓋可靠度，以此 1800MHz 頻段標準設計涵蓋系統時，其他如 GSM 900 或是 800MHz 之行動電話系統，其收訊品質都會較 GSM 1800 系統優良。此原因包括 GSM 900 或是 800MHz 行動電話系統頻率較低，其傳播損失以及電纜損失都較低等。收信強度之設計規劃，必須以細胞邊緣之信號強度高於信號設計最低需求(SSreq)，作為整個系統規劃設計之臨界條件。

設計規劃之信號需求強度 SSreq，必須依照行動台接收機之靈敏度，以及 Rayleigh 變化餘裕、人體損失以及干擾餘裕，以 GSM 1800 系統來討論，在細胞邊緣計算之 Sreq 計算如下：

$$\begin{aligned}MS_{sens} &= -104 \text{ dBm} \quad (\text{行動台靈敏度}) \\RF_{marg} &= 3 \text{ dB} \quad (\text{Rayleigh 變化餘裕}) \\IF_{marg} &= 3 \text{ dB} \quad (\text{干擾餘裕}) \\BL &= 3 \text{ dB} \quad (\text{人體損失}) \\SS_{req} &= MS_{sens} + RF_{marg} + BL + IF_{marg} \\SS_{req} &= -104 + 3 + 3 + 3 = -95 \text{ dBm} \\SS_{req} &= -95 \text{ dBm}\end{aligned}$$

為了使網路品質良好並且涵蓋比例優於 95%，5 dB 之對數變化標準差必須加入計算。得到之信號強度 Sdesign，用於規劃設計網路之設計接收強度。

$$\begin{aligned}SS_{design} &= SS_{req} + 5 \text{ dBm} \\SS_{design} &= -90 \text{ dBm}\end{aligned}$$

以-80dBm 為設計信號強度，比起-90dBm 之信號強度，將更能確保在正常狀況下得到較佳之語音品質。

優良之語音品質除了考量信號強度之外，也必須有良好之細胞規劃設計，例如頻率規劃及參數設計等要素，各因素配合良好才能優良之語音品質。

(2) 鏈路估算

對行動電話系統來說，涵蓋範圍估算最重要的即是達到上鏈路及下鏈路之功率平衡。平衡之系統，不會一直以基地台最大輸出功率來輸出功率。下鏈路預算估計手機之功率接收強度為

P_{BTS} = 基地台發射功率

G_a = 天線增益 (全向性天線 2 dBi)

L_f = 饋纜損失 (7/8" 饋纜在 GSM1800 頻段，每 100m 為 6.2 dB)

L_s = 分歧器及方向性耦合器損失 (2-way 為 3 dB, 3-way 為 5 dB)

L_{iface} = POI 匯接所有系統之設備 (損失為 7 dB)

當計算鏈路預算時，基地台設備之接收靈敏度以及輸出功率，視各系統設備而定。POI 輸入埠為基地台信號匯接至共構涵蓋系統之連接點。鏈路公式如下：

$$P_{BTS} = SS_{design} + L_p - G_a + L_f + L_s + L_{iface}$$

天線選擇可依照不同之鏈路估算需求，以及滿足天線安裝地點最接近手機為考量條件下選擇不同類型之天線。

由於系統個別天線安裝位置不同，依照使用之分歧器數目以及連接饋纜長度，各天線之損失會不一樣。系統設計規劃時，必須保持從基地台輸出功率匯接至 POI 輸入埠端，限制在每個載波為 2W，各天線合併後每個載波限制在 2 Watts (33 dBm)，以利各系統完整之規劃。

(3) 有效的等向輻射功率

有效之等向輻射功率 EIRP，為在天線主要方向之發射功率

$$EIRP = P_{BTS} - L_f - L_s + G_a$$

在涵蓋系統中之個別天線將會有不同之 EIRP，其原因為安裝位置之不同，其饋纜以及分歧器之損失也會不同，就如同天線之不同增益，無論如何，必須規劃在經過整個系統後，會有良好之 EIRP，因此必須仔細規劃設計室內涵蓋系統。

三.三.四 隧道涵蓋之相關限制及因素

(1) 設計考量

隧道之傳播損失 L_b ，較為困難預測，因為隧道之形狀及大小，牆壁及屋頂材質，彎曲度數等因素，都會有不同之電波損失。以經驗值來看，隧道長度約大於 200 公尺後，可以將傳播損失視為近乎接近線性。長方形之橫切面每公里有 10-15 dB 之損失，如果隧道為半圓形狀每公里為 35-40dB 之損失；Rule of thumb：假設自由空間損失在第一個 200 公尺，約接近 80 dB (900)MHz，此後每公里增加損失 10-40 dB。

L_w 參數為考量牆壁損失，用來描述隧道內，車輛行進時在傳輸路徑上被遮蔽時之阻擋效應，建議值為 30 dB。

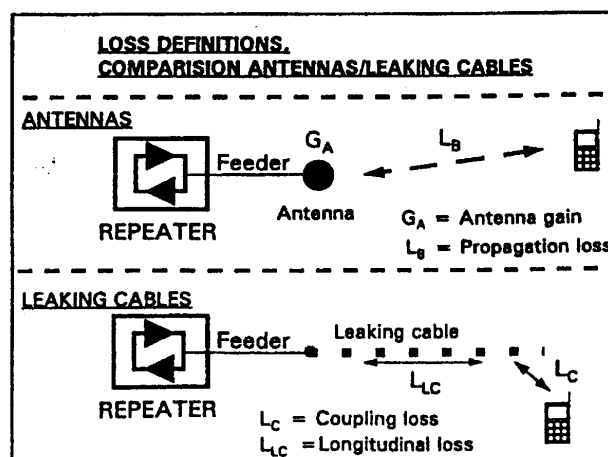
在隧道內有不同形式之遮蔽，依據隧道之功能及相對大小，最極端的例子為地下鐵系統，火車幾乎填滿整個橫切面，信號也較不易進入列車內。

粗略的計算顯示，在長隧道使用天線是非常不恰當的。假設可能的傳播損失為 125 dB。起初 200 公尺和阻擋餘裕為 110 dB (80+30)，剩下之 15 dB 大約能夠另外提供 400 公尺至 1500 公尺涵蓋（依照隧道型狀，傳播損失將會不同，決定可涵蓋多遠）。

在臨界情形，建議使用洩波電纜代替天線，在窄隧道只有洩波電纜能夠提供穩定的信號。

天線設計方式之損失計算公式：

$L_{tot} = L_f + L_s + L_w - G_a + L_b$ ，當使用洩波電纜的話，可使用型錄已知數據 L_{lc} 及 L_c 來代替上述公式之 G_a 及 L_b ，如下圖所示



所以, $L_{tot} = L_f + L_s + L_w + L_{lc} + L_c$ (dB), where

L_f : Total feeder loss

L_s : Total loss in power splitters

L_w : Blocking margin due to vehicles

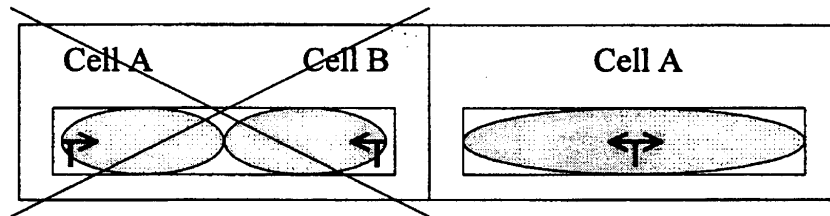
L_{lc} : Longitudinal loss in the leaking cable

L_c : Coupling loss, in the leaking cable

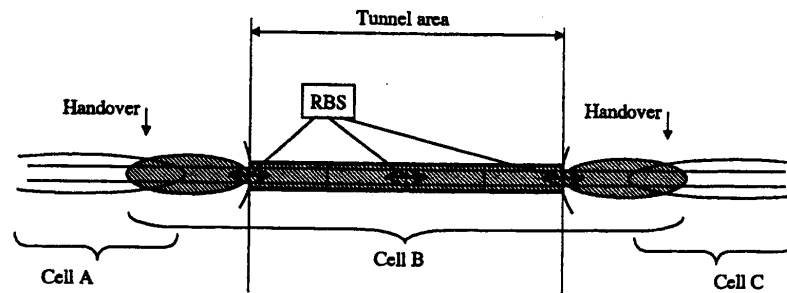
L_b : Propagation loss

(2) 交遞

隧道內之細胞規劃，原則上不建議在隧道內發生任何交遞，除非列車在隧道內不是高速行進。如果環境許可的話，建議採用單一細胞涵蓋整段隧道以避免交遞於隧道內發生，如下圖所示。



在隧道進出口處會發生訊號強度瞬間飄移，因此不建議在隧道進出口執行交遞動作。可以利用方向性天線將隧道內細胞之訊號向隧道外發射，使隧道內細胞信號向外延伸，天線指定方向為從隧道口向隧道外發射，如下圖所示。



細胞涵蓋完整之隧道。方向性天線安裝於隧道口，使得隧道內之訊號向外延伸，使得交遞點遠離隧道進出口

(3) 細胞重疊

交遞演算法使用最短 filter，這指的是 filtering 程序(Tf)時間接近 1 秒(正確為 0.96 s)。MS 在 3 秒內解碼 BSIC 最強之鄰居(Tbsic)，交遞執行能夠接近於瞬間。得到之整體交遞時間(Tho) 為 $Tho=Tf+Tbsic=4$ 秒。

火車之時速假設約為 80 km/h = 22 m/s。此時信號重疊之區域須至少有 80 米，以利交遞之順利執行。

三.三.五 洩波電纜佈建概述

(1) 佈建洩波電纜之重要事項如下：

(A) 交連損失(Coupling Loss)：定義功率接收損失值，以 1/2 波長雙極天線距洩波電纜 2 公尺處(亦有人以 1.5 米或 20 呎來定義)，量測所接收之功率，並與洩波電纜內的功率比較，得到功率損失值。可以定義 50%或是 90%之可靠度。90%一般使用在數位傳輸。依不同定義其理想值為 50 到 80 dB。

(B) 軸向損失, Logitudinal Loss (或稱為介入損失, Insertion Loss)：無線電波於洩波電纜內隨長度增加所造成之衰減，其值為頻率的函數。

(C) 操作模式：洩波電纜可以操作在兩種不同模式：交連模式和輻射模式。

(D) 交連模式(洩漏模式)

(a) 假設槽間距離小於 10 公分，此電纜為交連模式

(b) 信號強度的隨機波動非常大，任何接近的障礙物將會產生強烈的影響，分散信號。

(c) 隨著距離增加，信號衰減非常快速，對長電纜甚至遵循 r^{-2} 。

(E) 輻射模式

(a) 產品為定製，在電纜內為規則的槽距

(b) 比交連模式更有效率

(c) 隨機波動非常小，接近障礙物之影響小。

(d) 信號衰減隨著距離的關係衰減較慢，對長電纜之關係式為 r^{-1} 。

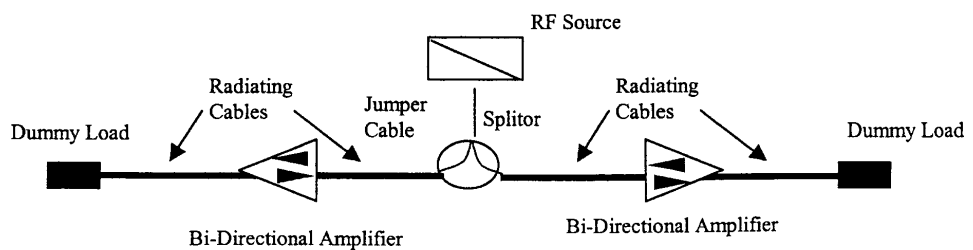
(2) 一般佈建法則：

- (A) 當需要涵蓋距離從饋纜處算起長度超過 60 呎，實務上可考慮平行佈放洩波電纜。
- (B) 此外當涵蓋從電纜算起長度超過一百呎，則須採用平行洩波電纜佈放。
- (C) 信號衰減嚴重之環境須依實際經驗修正。
- (D) 涵蓋可靠度高於 90%時，典型之餘裕值為高過交連損失 9 dB
- (E) 線性放大器具有介入損失典型值為 10 到 30dB 間。

典型地漏洩電纜鏈路估算表

Generic Power Budget (Forward)		
	Gain	Loss
Tx Power [dBm]	_____	
Jumper Loss [dB]		_____
Power Divider [dB]		_____
Logitudinal Loss [dB]		_____
Coupling Loss [dB]		_____
Amplifier Gain [dB]	_____	
Safe Margin [dB]		_____
Gain-Loss [dBm]		(A) _____
Receiver Sentivity [dBm]		(B) _____
System Allowance [dB]		(A) - (B) _____

Generic Power Budget (Reverse)		
	Gain	Loss
Mobile Power [dBm]		
Jumper Loss [dB]	_____	_____
Combiner Insertion [dB]		_____
Logitudinal Loss [dB]		_____
Coupling Loss [dB]		_____
Amplifier Gain [dB]	_____	
Noise Figure [dB]		_____
Safe Margin [dB]		_____
Gain-Loss [dBm]		(A) _____
Receiver Sentivity [dBm]		(B) _____
System Allowance [dB]		(A) - (B) _____



洩波電纜連接圖

三.三.六 地下隧道應用案例

(1) 概述

隧道涵蓋方案最重要之兩需求為，良好之隧道涵蓋訊號品質及足夠之話務容量。為了達到上述之兩需求，各行動電話業者共用相同之共構涵蓋系統，共同分攤建設經費，此為最經濟且效果最佳之隧道涵蓋方案。

設計隧道涵蓋系統，可從國外相關專案獲取相關的參考技術資訊，例如義大利有 90 個隧道相關的經驗。此外元件的選擇也是非常重要，例如饋纜、不同比例之功率分歧器，功率分歧器、洩波電纜及天線必須謹慎選擇。

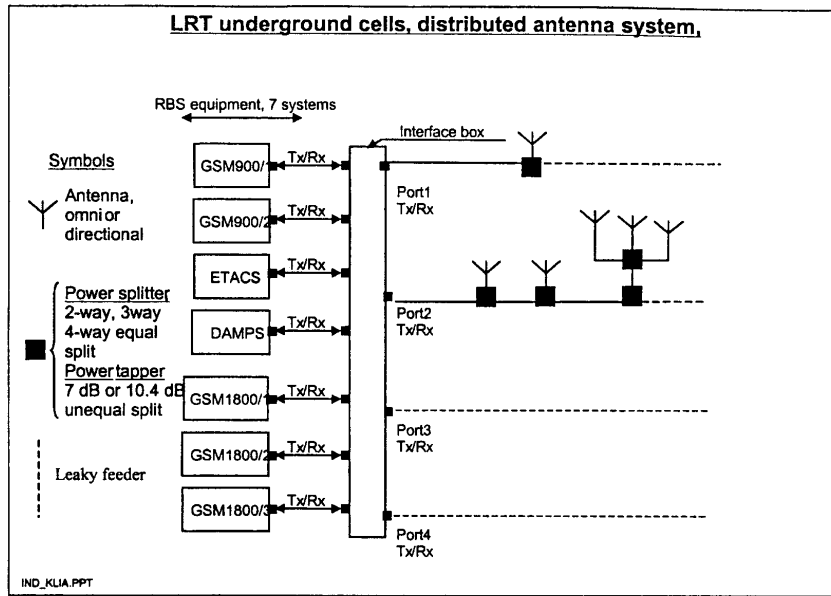
設計隧道涵蓋系統如環境許可，其先前作業須利用測試儀器測量車箱內之穿透損失，例如利用 TEMS Test Transmitter。車箱穿透損失測量所得之量測值，應用於隧道內涵蓋系統設計時相關鏈路計算參考數據資料。如果可能的話，穿透損失測量時，最好包涵所有匯接行動電話系統之所有頻段。

如果地下隧道屬於短隧道，例如不超過 1 公里，可以僅使用被動元件，佈建饋纜分佈網路，來提供涵蓋，可以降低建設成本，減少日後之維修成本，或是涵蓋系統之電源消耗。

被動式隧道涵蓋系統，也可稱為饋纜分佈網路，其組成元件包涵 POI、饋纜，功率分歧器、不同比例之功率分歧器、各式接頭以及洩波電纜及天線。

POI 之功能為匯接多業者或多系統之基地台，將各基地訊號合併（依照規劃設計將收發分開或是收發合併皆可）。然後再利用光纜分佈網路或是饋纜及分歧器傳送至天線，傳播行動電話訊號。

饋纜（同軸電纜）用於被動系統主要之訊號傳輸。與光纜比較其主要之優點為，塑造涵蓋區域時較為彈性。連接之天線價格便宜且天線易於安裝，且功率分配經由功率分歧器及不同比例之功率分歧器，分配功率。此項技術為成熟且經過實務驗證。饋纜分佈網路皆使用被動原件，因此在涵蓋系統中無任何元件需要管理；如果以網管的角度來看，饋纜分佈網路就無法達到其各原件可被監控之功能。例如功率分歧器故障影響涵蓋時，就無法藉由網管系統監控相關故障問題。



隧道使用饋纜分佈網路之示意圖..

室內涵蓋系統之 POI 可以整合現有 GSM 之系統與未來 3G 之 WCDMA 與 CDMA 2000 系統，目前台灣各業者之頻率如下，可以就各業者之頻段，設計共用之共構系統。

GSM 1800 系統

DCS1800			
電信業者	Channel No.	Downlink (MHz)	Uplink (MHz)
中華電信	568 – 623	1816.4 – 1827.4	1721.4 – 1732.4
台灣大哥大	680 – 745	1838.8 – 1851.8	1743.8 – 1756.8
	766 – 774	1856.0 – 1857.6	1761.0 – 1762.6
遠傳電信	624 – 679	1827.6 – 1838.6	1732.6 – 1743.6
	746 – 755	1852.0 – 1853.8	1757.0 – 1758.8
和信電信	512 – 567	1805.2 – 1816.2	1710.2 – 1721.2
	756 – 765	1854.0 – 1855.8	1759.0 – 1760.8

GSM 1800 系統 (北區)

GSM900			
電信業者	Channel No.	Downlink (MHz)	Uplink (MHz)
中華電信	25 - 100	940.1 - 955.1	894.1 - 909.1
遠傳電信	20-24	938.9 - 939.9	893.9 - 894.9
	106-124	955.1 - 959.9	910.1 - 914.9

3G 系統

電信業者	執照	使用技術	Downlink (MHz)	Uplink (MHz)
遠致電信	執照 A	WCDMA	2110~2125	1920~1935
聯邦電信	執照 B	WCDMA	2125~2135	1935~1945
台灣大哥大	執照 C	WCDMA	2135~2150	1945~1960
中華電信	執照 D	WCDMA	2150~2165	1960~1975
亞太行動寬頻	執照 E	CDMA 2000	870~890	825~845

註：執照 A 至執照 D 包含 TDD 頻段，於上表中未列入

POI 一般為雙工模式，也就是從基地台出來既為 Tx 與 Rx 結合。匯接進入 POI，POI 須提供不同基地台不同頻率間之隔離度。一般之基本隔離度要求為，在相同之頻帶範圍為 >20 dB，不同頻帶範圍，800/900 與 1800MHz 為大於 44 dB，VSWR < 1.5。

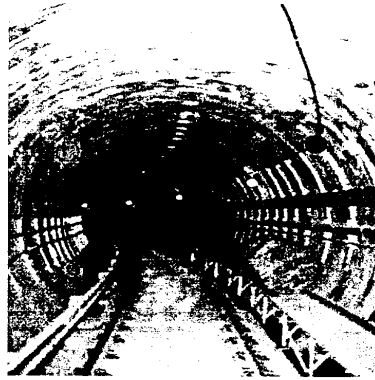
POI 須考量匯接之系統數設計其輸入埠，如果只有 GSM 1800 行動電話系統時，其輸入埠就為 4，如果未來包含 3G 與現有 GSM 900 及 GSM1800 就須結合 11 套系統，輸入埠就為 11。依照匯接系統之多寡其 Insertion loss 也會不同。

此外 POI 最大允許輸入功率（典型值為每一輸入埠 100W）、最大功率時須符合干擾，互調變及 Spurious emission 之要求、一般進入 POI 之每一載波 2W，一般工作溫度之需求為 0-50°C

(2) 新加坡地下鐵隧道內交連損失 (Coupling loss) 量測案例

在新加坡之此案例為在地下鐵隧道內測量 800 及 1800MHz 自由空間之交連損失值(coupling loss)。並將量測之數值與饋纜供應商型錄交連損失值(coupling loss)相比較。交連損失測包含垂直與水平面，並依據 IEC-96 方法測試。

由下圖為此地下鐵隧道之實體相片，圖示紅點處為地下鐵使用之 450 MHz 通訊系統佈建之洩波電纜安裝位置。綠點為行動電話隧道涵蓋共構系統佈建之洩波電纜安裝位置。

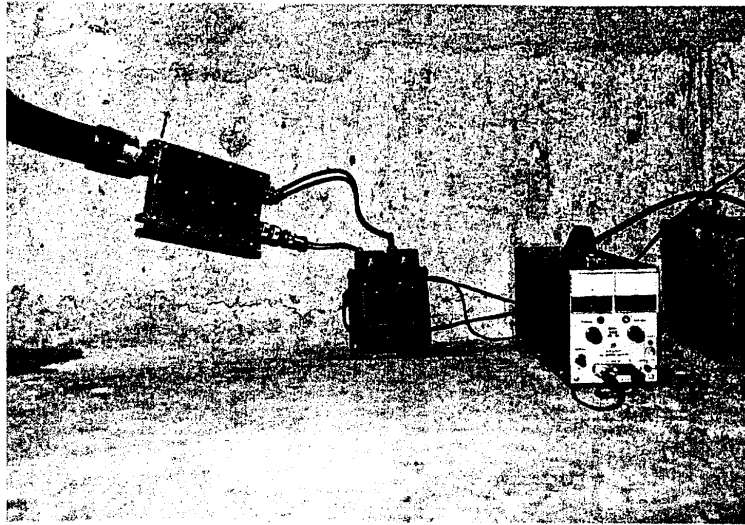


相關之測量設備與工具說明如下

- (A) 藉由 TEMS 發射器產生量測信號，並使用雙工-濾波器結合 900 及 1800 MHz 之量測訊號。
- (B) 信號強度之測量與處理使用 TEMS Light kit，包含 TEMS 行動接收機及 palm top 電腦

TEMS 發射器說明如下

TEMS 發射器是由 Ericsson GH388 改裝而成，用來發射 GSM 系統之頻率(也就是 900 或 1800 MHz)。其功能包含有選項傳送完整之 BCCH 頻道或僅傳送同步頻道。在 BCCH 通道連續性傳送，以達到傳送假的突波在 BCCH 時槽，當其他 7 個時槽填滿未調變載波。輸出功率可調整於 20 dBm 至 27 dBm，並且每一發射器功率可校正。量測時連接洩波電纜如下圖所示。



針對隧道測試，使用之設定值如下

連續傳送

Pout (900 MHz) = 22.5 dBm

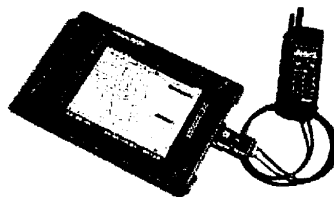
Chnr = 60

Pout (1800 MHz) = 21.8 dBm

Chnr = 600

TEMS Light 說明如下

TEMS Light 為 TEMS 行動接收器連接 palmtop PC，使用選取筆操作。PC 程式為正常 TEMS 簡化版本，但可以藉由選取筆在掃描之地圖上記錄定點。紀錄檔之資訊利用色彩標示顯示於掃描之地圖上，關於每一標註有其個別視窗包含更多資訊。實體如下圖所示



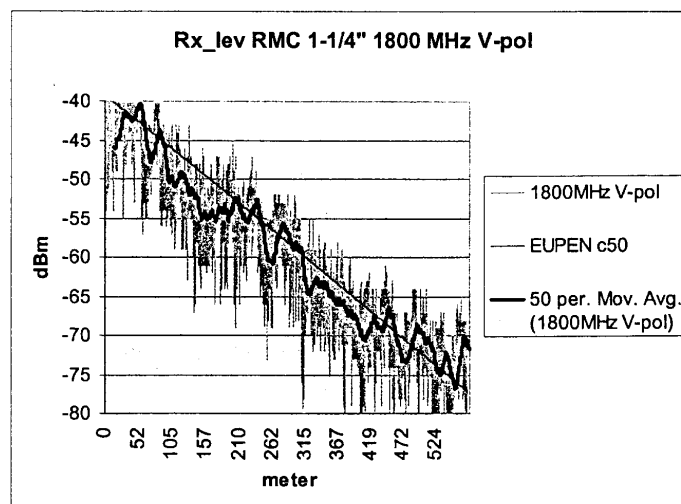
TEMS 接收器量測說明

手持標準增益 2.15 dBi 天線並距離洩波電纜 2 米處沿著隧道行走，同時紀錄 900MHz 與 1800MHz 信號強度。測量選樣同時在水平與垂直面如下圖所示。



測試結果

在兩隧道不同段分別測試 7/8" RMC 及 1-1/4" RMC，紀錄測試值並傳送至 PC 以供統計處理。下圖顯示沿著隧道(長度 691 米)Rf 信號強度量測，給定之輸入功率為 22.5 dBm。量測值並與理論計算信號強度"EUPEN c50"比較，各段隧道及頻率測試結果請參照 appendix A & B。



Measured signal levels inside tunnel (IEC-96)

量測之結果如下表所示，量測之平均信號強度(包含 900 及 1800MHz 垂直以及水平) 與理論值比較約低於理論值 1.6 dB。測試結果之測量精確值是依據 TEMS 接收器。

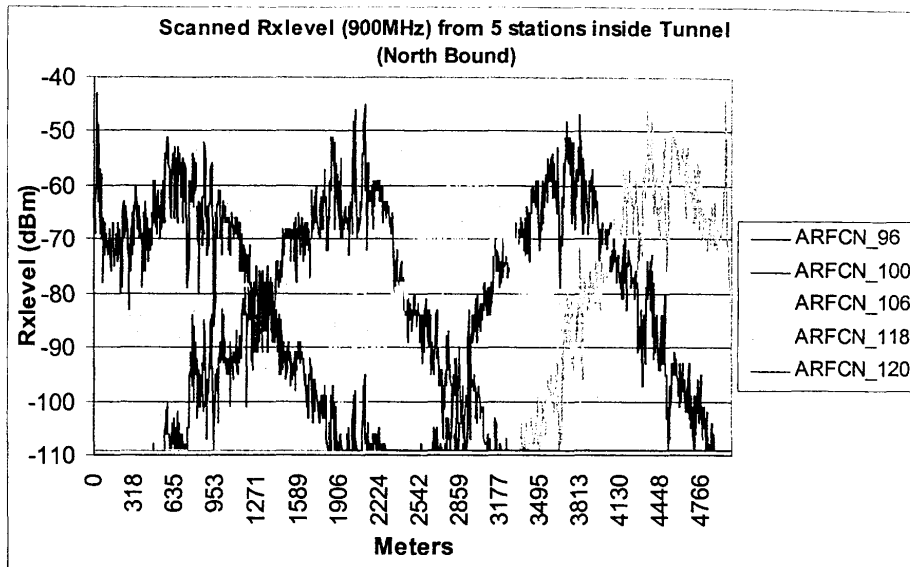
Cable EUPEN RMC	Fq MHz	Pol	Average TEMS dBm	EUPEN c50	DIFF dB	STD EV
7/8"	900	V	-60.3	-55.9	-4.4	6.8
7/8"	900	H	-54.0	-55.9	+1.9	4.8
7/8"	900	V	-60.4	-59.1	-1.3	7.4
7/8"	900	H	-58.7	-59.1	+0.4	8.1
1-1/4"	1800	V	-60.6	-53.0	-7.6	7.7
1-1/4"	1800	H	-52.6	-53.0	+0.4	5.5
1-1/4"	1800	V	-59.0	-58.0	-1.0	10.8
1-1/4"	1800	H	-59.3	-58.0	-1.3	10.7
Total			-58.1	-56.5	-1.6	7.7

(3) 新加坡地下鐵隧道涵蓋驗證

新加坡地下鐵隧道涵蓋系統之信號強度要求為-80 dBm。因此涵蓋驗證須在地下鐵尖峰運轉並且車速在每小時 80 公里條件下，於車廂內藉由使用 TEMS light 量測。其量測之信號強度須大於設計之最低要求值-80 dBm。測試取樣點須同時紀錄 900 及 1800 GSM 系統，並且包含整個隧道以及各基地台皆須測試。

測試結果

下圖為 GSM 900 系統，在整段隧道涵蓋包含 5 個基地台之量測結果。所有 GSM 900 及 GSM 1800 測試結果請參閱 appendix C，測試結果各頻段信號強度皆大於-80 dBm。



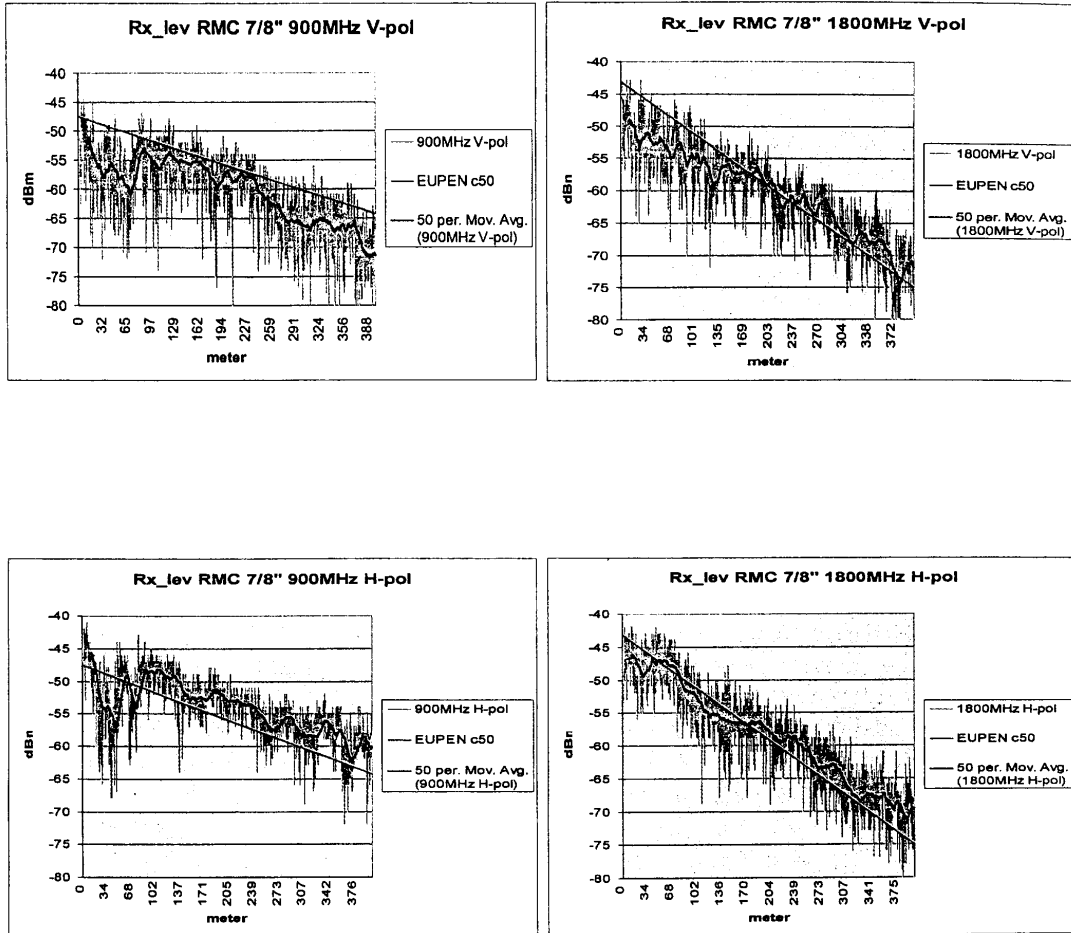
結論

共構室內涵蓋系統可結合不同系統不同頻段多家業者，結合各系統/業者信號，灌入單一雙工模式洩波電纜。隧道內之共識內涵蓋系統除了用於隧道內之設計也可利用在建築物內之涵蓋設計。

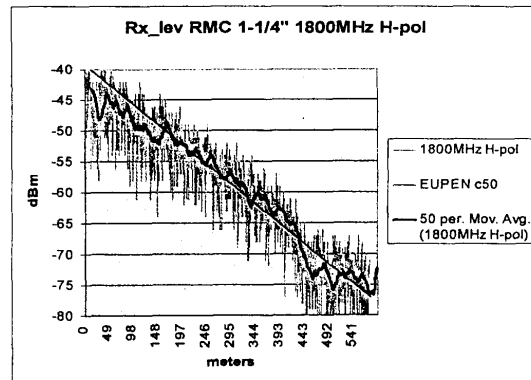
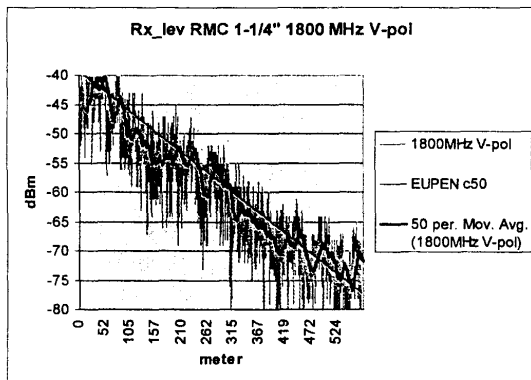
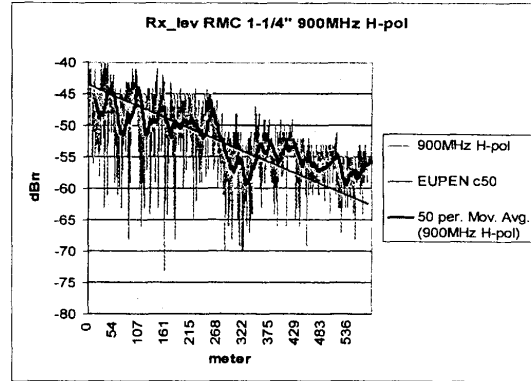
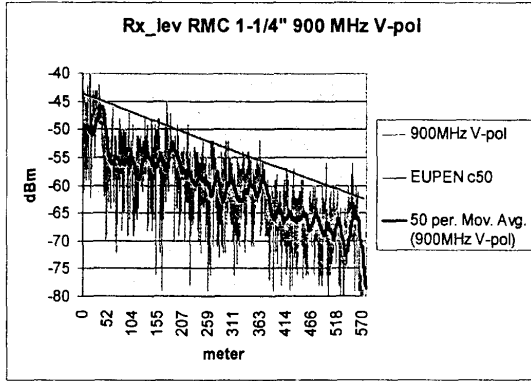
在此新加坡地鐵案例中共有 6 業者 7 套行動電話系統，包含類比與數位系統，匯接至隧道涵蓋共構系統。此為單一且經濟之方案，利用雙工模式多頻道結合器也就是 POI，匯接所有行動電話系統，再接入單一涵蓋系統。信號涵蓋要求、干擾問題以及環境限制也為設計共構系統之重要考量。

對各行動電話業者來說，共構涵蓋系統為最佳之隧道涵蓋解決方案。其原因為在隧道內只須一次的安裝，並且可使用最少之天線及饋纜，而且各業者共同均攤建設成本。只須克服匯接各系統之相關干擾問題，隧道共構涵蓋系統實為隧道內涵蓋最佳解決方案。

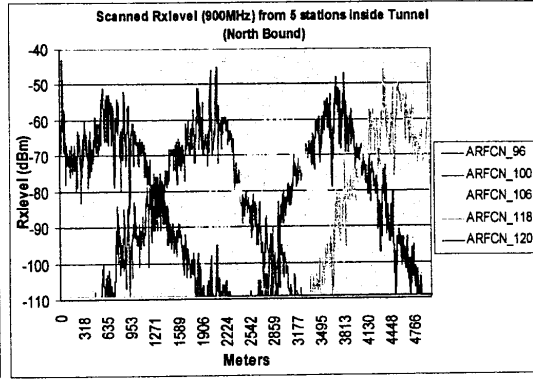
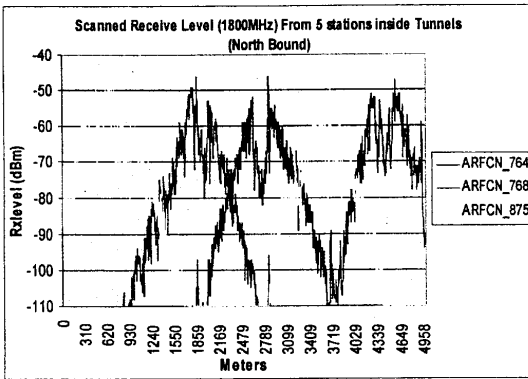
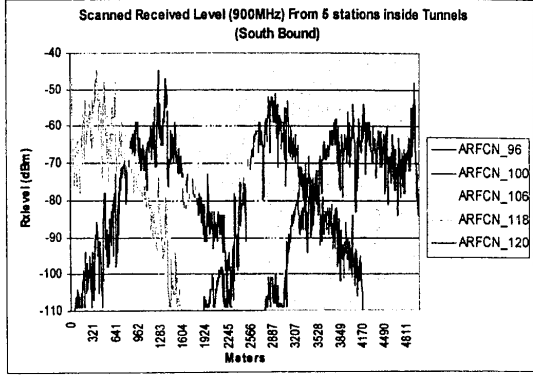
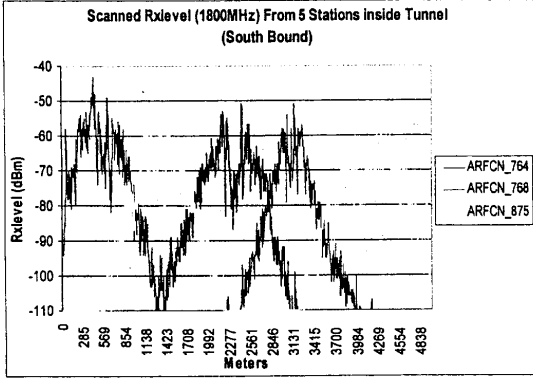
Appendix A



Appendix B



APPENDIX C



三.四 WCDMA 室內涵蓋系統規劃實例

三.四.一 設計規劃時所需之相關資訊

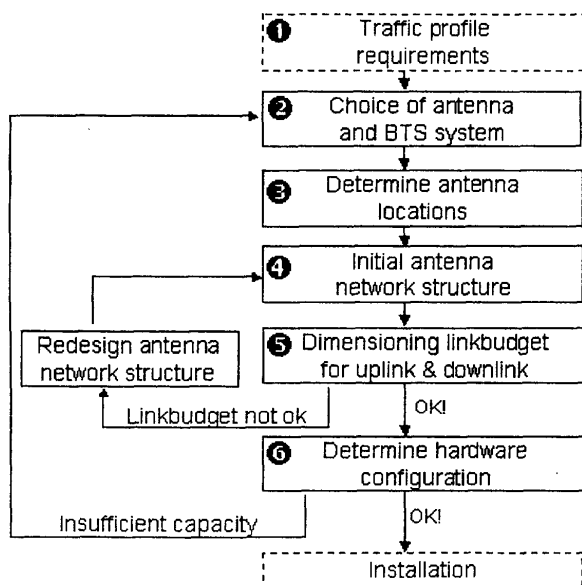
(1) 與規劃 2G 系統時，所需相同之資訊：

- (A) 周圍環境之信號干擾
- (B) 涵蓋區域包含差異餘裕
- (C) 話務品質
- (D) 用戶數
- (E) 每用戶之話務量
- (F) 建築物特性

(2) 設計 WCDMA 時所須之額外資訊

- (A) 基礎建設之可能重用性
- (B) 佈建之載波數
- (C) 話務型態及提供之數據傳送速度
- (D) 可用之無線電接取承載

三.四.二 設計涵蓋系統之工作流程及實例探討



(1) 話務概況需求

以下將舉出一個例子來探討

涵蓋地點之類型：購物中心

涵蓋地點之地理特性：都會區

干擾狀況：中等程度之干擾

內部傳播特性：每 25 米衰減 3 dB

涵蓋機率： $\geq 95\%$

話務類型：

會話類型話務：語音 30 Erlang

互動類型話務：

服務類型	請求 (上鏈路)	下載(下鏈路)	用戶數	每戶用瀏覽數
WWW	1 kB	600 kB	20	5
E-mail	0.5 kB	200 kB	20	10

(2) 選擇天線和基地台系統

WCDMA BTS 組態為單一細胞使用一個載波數

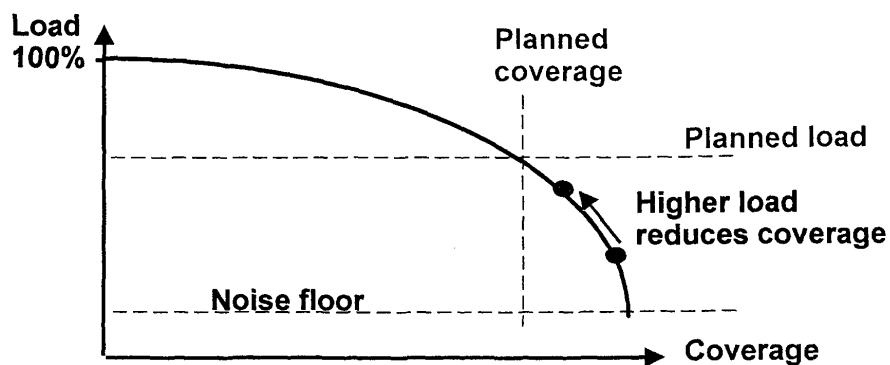
最大基地台輸出功率：43 dBm (20 W)

採用被動元件方案使用饋纜分佈網路

手機為 Class 4：語音服務時發射功率為 21 dBm (125 mW)

手機為 Class 3：數據服務時發射功率為 24 dBm (250 mW)

假設最大負載水準為上鏈路 60% 以及下鏈路 75%

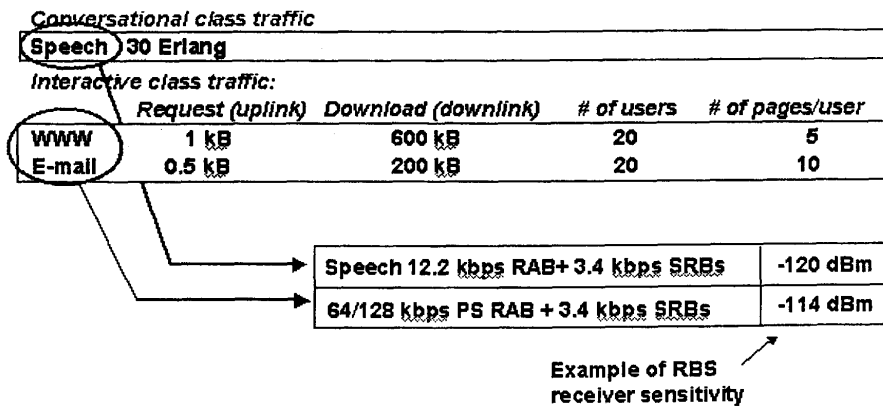


(3) 決定天線位置

- (A) 在做無線電規劃時須與建築物之業主協商，了解關於建築物結構之特性。
- (B) 避免安裝方向性天線直接在外牆或是天線方向朝向建築物外。
- (C) 天線安裝位置在 zigzag-pattern 已達成良好之無線電波分散延伸，並且有良好之 C/I.
- (D) 在較窄的室內全向性天線與方向性天線場型其差異微小
- (E) 規劃較多之天線比起在建築物中央安裝唯一天線較佳
- (F) 控制溢出室外之無線電電波
 - (a) 例如機場之登機門，接近繁忙之道路等
 - (b) 最小信號強度能夠藉由使用查測設備驗證（較高之頻段如 1800 MHz），並且加上 1 dB 補償空氣介面額外損失值
- (G) 不適合安裝天線之位置：
 - (a) 建築物標示處附近
 - (b) 電子遮蔽或其他電器設備附近
 - (c) 火警滅火設備附近

(4) 上鏈路及下鏈路之鏈路估算

- (A) 對應話務類型至適合之無線電接取承載
- (B) 系統估算



會話類型話務

語音 12.2 UL = 30 Erlang => 在上鏈路同時存在 30 個語音用戶

語音 12.2 DL = 30 Erlang => 在下鏈路同時存在 30 個語音用戶

互動類型話務

$$M = \frac{n_{sub} * n_{pages} * \left(\frac{Y}{R_{peak} * \tau_{session}} + t_{downswitchdelay} \right)}{3600}$$

公式內相關參數說明如下：

n_{subs} ：用戶數

n_{pages} ：每一用戶瀏覽網頁之數目

Y：承載，也就是在每一 session 傳送之應用資料量

R_{peak} ：RAB 最大傳送速率

$\tau_{session}$ ：session 效率 (不包含表頭及重傳).

$t_{downswitchdelay}$ ：extra time it takes for the channel element resources to be fully released after going from dedicated to common channel

下鏈路同時使用互動類型服務之用戶數：

WWW： $20 * 5 * (((600 * 8) / (128 * 0.7)) + 1) / 3600 = 1.52$

E-mail： $20 * 10 * (((200 * 8) / (128 * 0.7)) + 1) / 3600 = 1.05$

Total = 2.57

上鏈路同時使用互動類型服務之用戶數：

WWW： $20 * 5 * (((1 * 8) / (64 * 0.2)) + 1) / 3600 = 0.05$

E-mail： $20 * 10 * (((0.5 * 8) / (64 * 0.2)) + 1) / 3600 = 0.07$

Total = 0.12

在此例將假設 downswitch delay 為 1 秒，以及 session efficiency 在上鏈路為 0.2，下鏈路為 0.7。

下鏈路最大用戶數

Service	Users
Speech 12.2 kbps RAB+ 3.4 kbps SRBs	168
64/64 kbps PS RAB + 3.4 kbps SRBs	25
64/128 kbps PS RAB + 3.4 kbps SRBs	13
64/384 kbps PS RAB + 3.4 kbps SRBs	3

上鏈路最大用戶數

Service	Users
Speech 12.2 kbps RAB+ 3.4 kbps SRBs	52
64/64 kbps PS RAB + 3.4 kbps SRBs	10
64/128 kbps PS RAB + 3.4 kbps SRBs	10
64/384 kbps PS RAB + 3.4 kbps SRBs	10

負載比例公式如下：

$$Load = \frac{\# \text{ of sim .Speech } 12.2k}{Max .user \text{ for Speech } 12.2k} + \frac{\# \text{ ofsim } .64 / 128 \text{ kbps}}{Max .usersfor \text{ } 64 / 128 \text{ kbps}}$$

系統之上鏈路負載比例為 58.9 % => 小於設計要求之 60% 負載比例
=> 負載符合乎設計需求

系統之下鏈路負載比例為 37.6 % => 小於設計要求之 75% 負載比例
=> 負載符合乎設計需求

上述計算為檢查系統負荷在上、下鏈路皆不超過合適之負載比例

(5) 鏈路估算

(A) 下鏈路估算

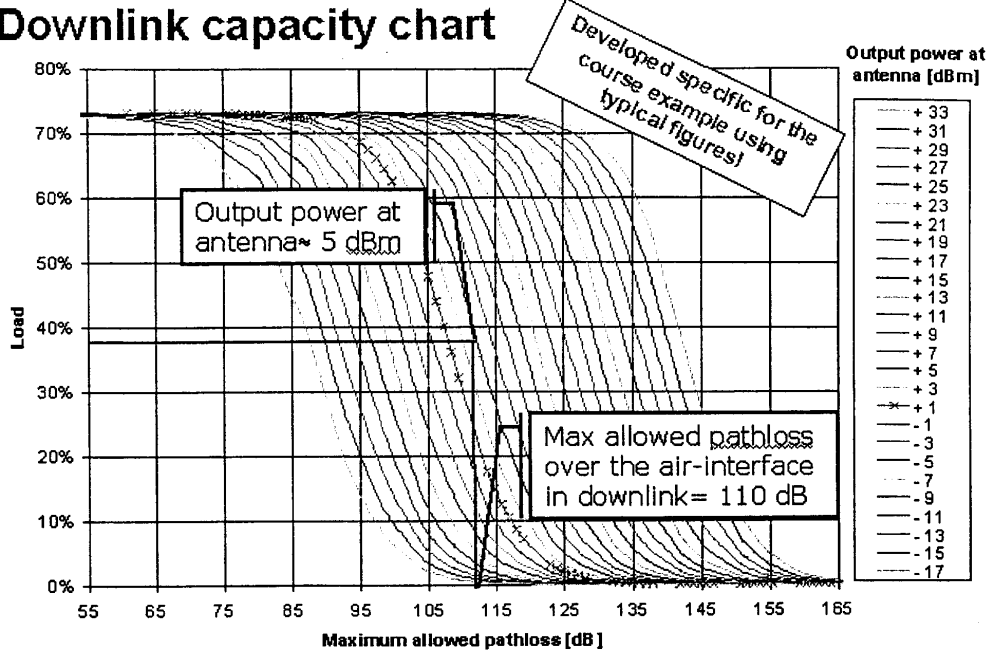
<i>Antenna network</i>	Conversational class traffic	Interactive class traffic
	<i>UE class 4</i>	<i>UE class 3</i>
Pets	41,7 dBm	41,7 dBm
Jumper cable	-3 dB	-3 dB
Power tapper 15/1	-0,1 dB	-0,1 dB
Coaxial cable	-15 dB	-15 dB
3-way powersplitter	-5,5 dB	-5,5 dB
Jumper cable	-3 dB	-3 dB
Antenna gain	2 dBi	2 dBi
Linkbudget in network	17,1 dBm	17,1 dBm
<i>Air-interface</i>		
Bodyloss	-3 dB	0 dB
Indoor Log Normal Fading Margin	-4 dB	-4 dB
Power control margin	-4,5 dB	-4,5 dB
To used in downlink capacity chart	5,6 dBm	8,6 dBm

Note that the linkbudget for all services have to be calculated!

Conversational class traffic is limiting in downlink.

(B) 下鏈路容量圖

Downlink capacity chart



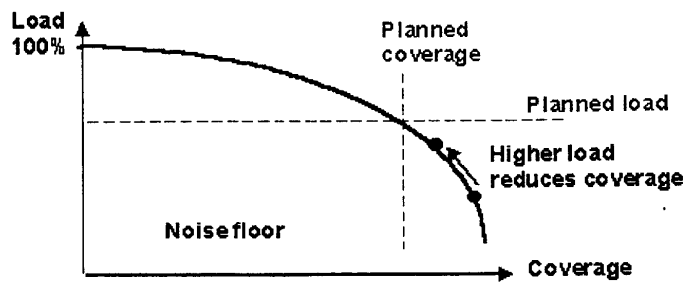
(C) 上鏈路雜訊提昇

負載增加時，雜訊同時也會提昇，負載比例與雜訊之關係式如下假

$$I_{ul} = 10 \log \left(\frac{1}{1 - \text{Loading}} \right)$$

假設上鏈路系統最大負載接近 60% 時，在上鏈路雜訊將提昇 4 dB。

負載比例與涵蓋大小之關係圖如下



(D) 上鏈路估算

<i>Antenna network</i>	Conversational class traffic	Interactive class traffic
	<i>UE class 4</i>	<i>UE class 3</i>
PBTS	41,7 dBm	41,7 dBm
Jumper cable	-3 dB	-3 dB
Power tapper 15/1	-0,1 dB	-0,1 dB
Coaxial cable	-15 dB	-15 dB
3-way powersplitter	-5,5 dB	-5,5 dB
Jumper cable	-3 dB	-3 dB
Antenna gain	2 dBi	2 dBi
Linkbudget in network	17,1 dBm	17,1 dBm

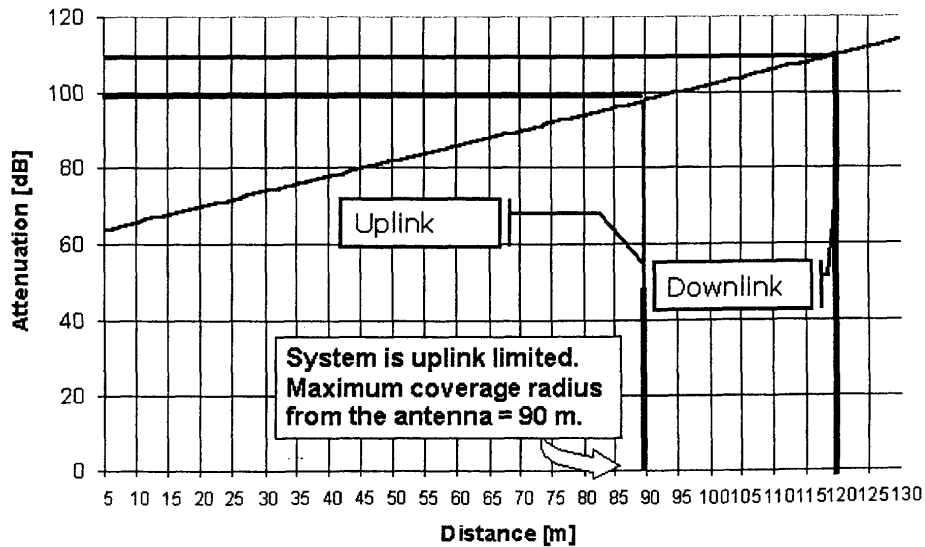
<i>Air-interface</i>		
Bodyloss	-3 dB	0 dB
Indoor Log Normal Fading Margin	-4 dB	-4 dB
Power control margin	-4,5 dB	-4,5 dB
To used in downlink capacity chart	5,6 dBm	8,6 dBm

Note that the linkbudget for all services have to be calculated!

Conversational class traffic is limiting in downlink.

(E) 室內環境之無線電電波傳播

粗略假設室內涵蓋使用頻段為 2050MHz，建築物內部有內牆，穿透損失每 25 公尺 3 dB。相關電波衰減如下圖所示。



(F) 經過以上之步驟，就可完整之規劃室內涵蓋系統，但如果使用光纜分佈網路時，相關鏈路計算，須參考設備廠商之遠端光電轉換設備之輸出功率，作為鏈路估算之下鏈路源頭輸出功率，當使用相同之光纜分佈網路設備，載波數增多時遠端光電轉換設備之輸出功率將會降低，詳細數據須參照各家設備廠商之型錄資料，作為設計規劃輸出功率之依據。

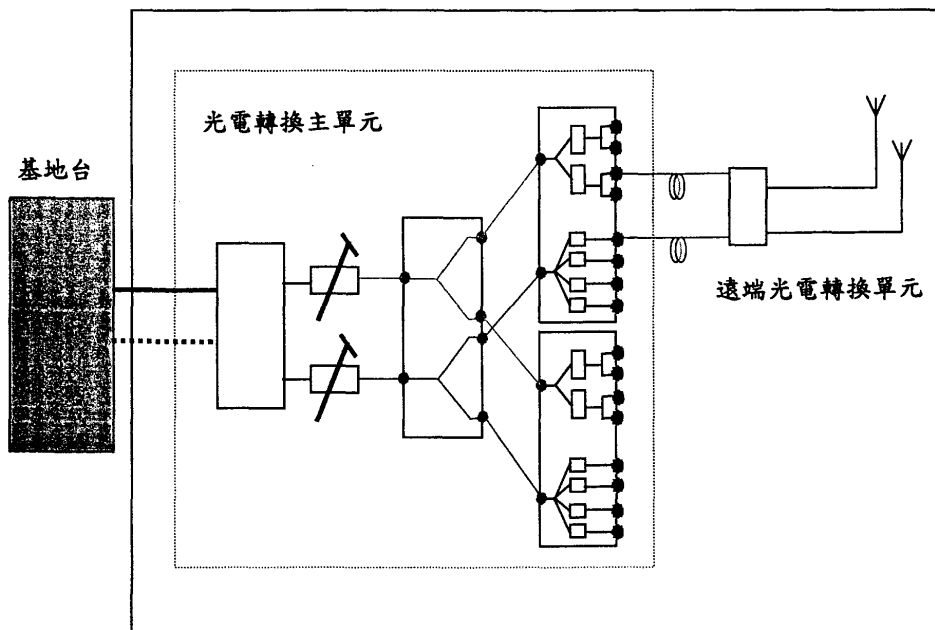
三.五 相關設備

三.五.一 概述

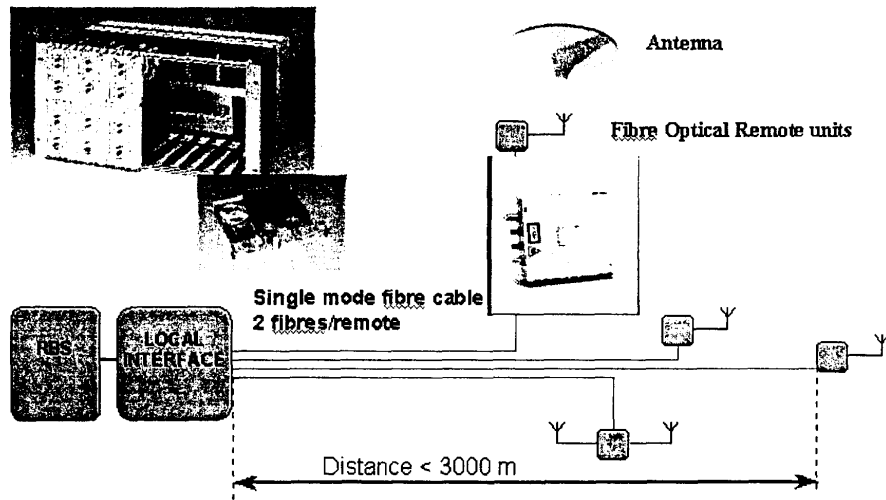
應用於室內涵蓋網路之設備可包括主動元件之光纜分佈網路，被動元件之 POI、饋纜、分歧器、室內天線等相關設備，本章節將著重在介紹光纜分佈網路以及 POI 等較為關鍵之設備元件。

三.五.二 光纜分佈網路(Optical Fiber Distribution System)

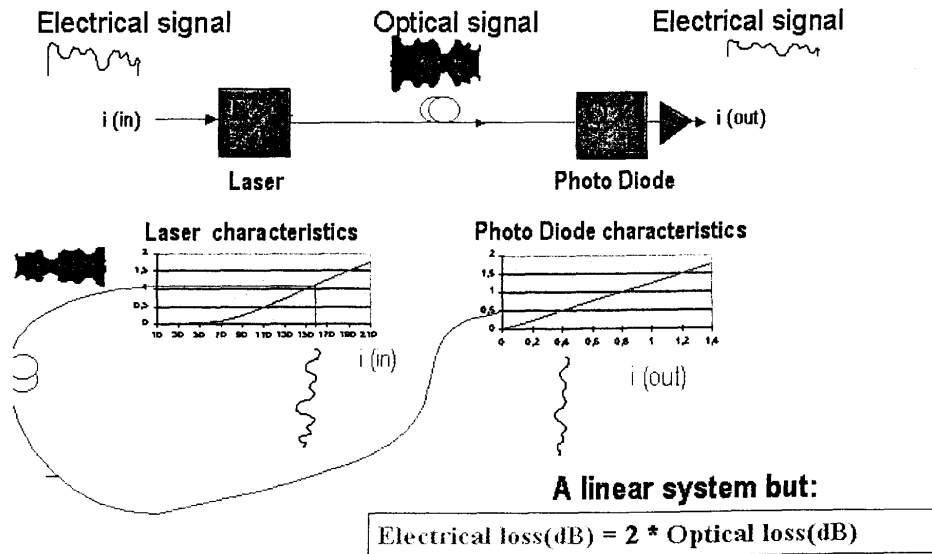
光纜分佈網路其組成之主要元件包含光電轉換主單元、光纜及遠端光電轉換單元，其基本架構圖如下圖所示，各單元之功能將於本節描述。

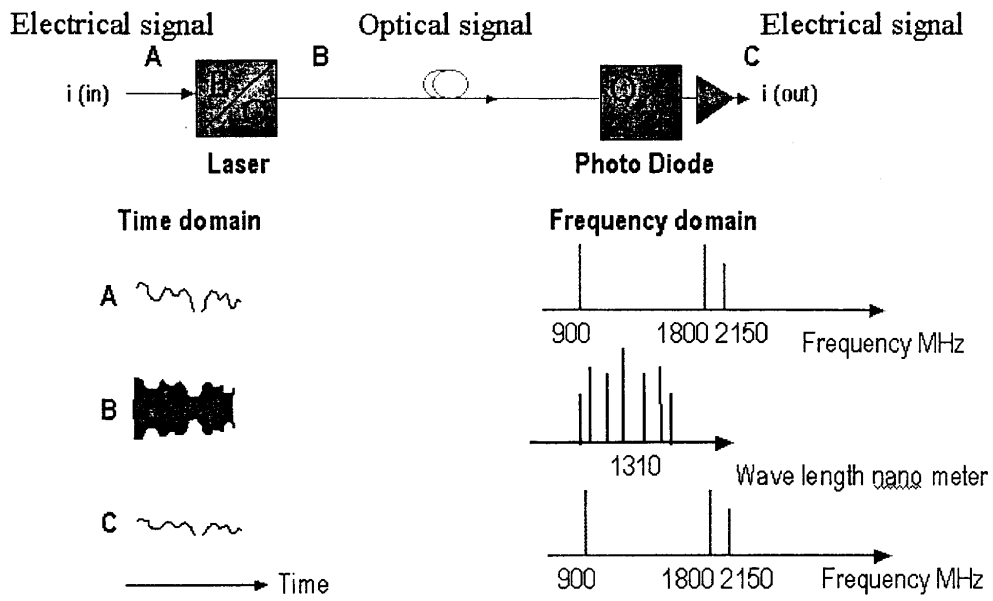


光纜分佈網路現有廠商相關設備連接示意及相關設備圖示，如下圖所示

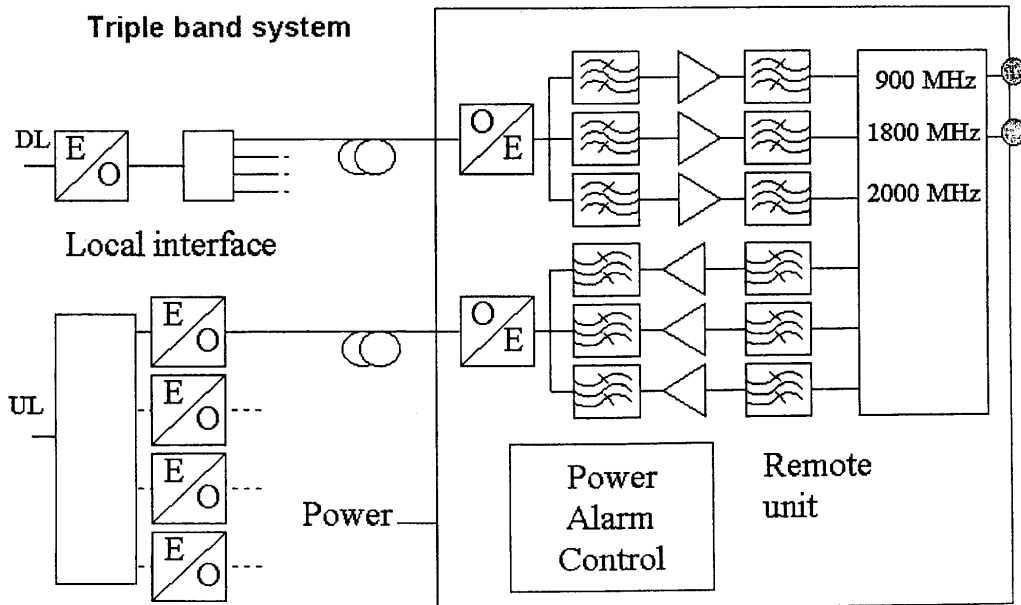


光纜分佈網路主要原理即為將 RF 訊號轉換成光訊號，再利用光訊號低損失之特性作為遠距離傳輸，末端再由光訊號還原成訊號，其光電轉換之特性如下圖所示





為因應未來第三代行動通信系統，設備廠商已研發出三頻之光纖分佈網路，其相關設備之方塊圖如下圖所示。

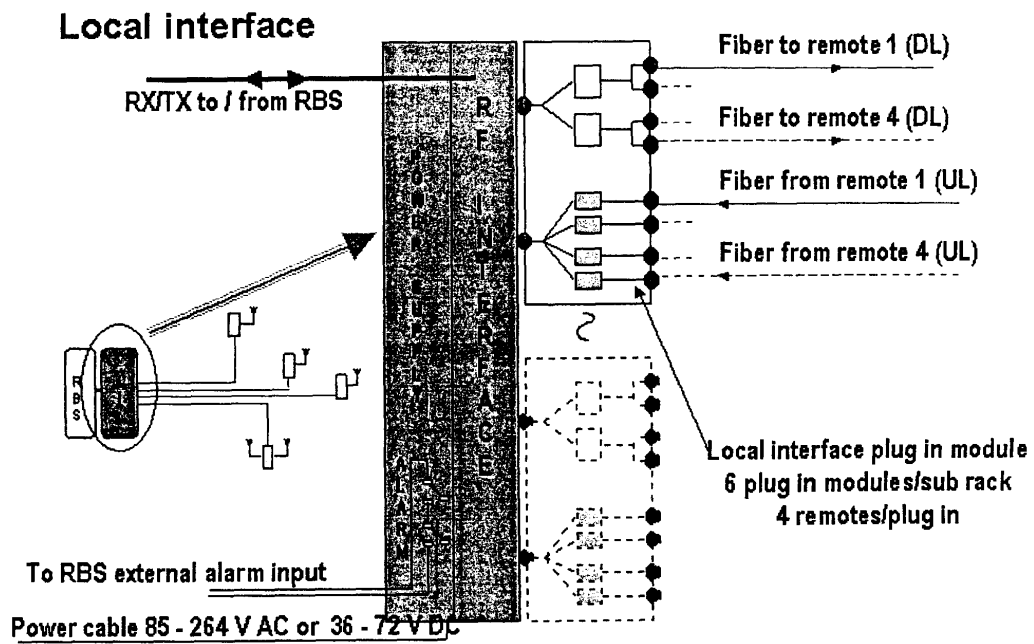


光纜分佈網路各單元之功能說明如下：

(1) 光電轉換主單元

光電轉換主單元依各廠家不同之名稱可分為，Master Unit、Main Unit 或 Local Interface。其主要功能在下鏈路為將 RF 訊號轉換成光訊號，再藉由光纜傳送至遠端光電轉換單元；而在上鏈路之功能為，將光訊號轉換為 RF 訊號。

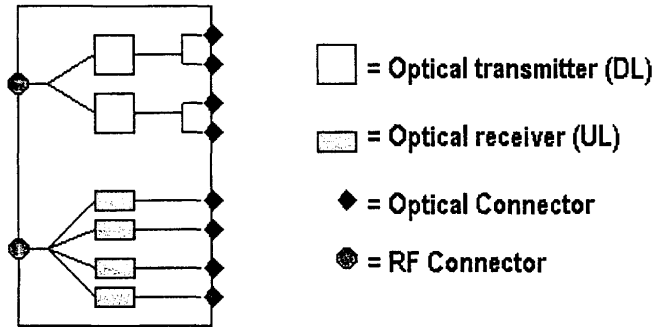
其內部功能示意圖如下圖所示。



光電轉換主單元之 RF 輸入介面，將來自基地台之無線電訊號(Rx/Tx 合併)，再分成上鏈路及下鏈路，分別經過適當之功率衰減，下鏈路經過分歧器傳送至光發射器，上鏈路經過合併器接收來自光接收器之訊號。

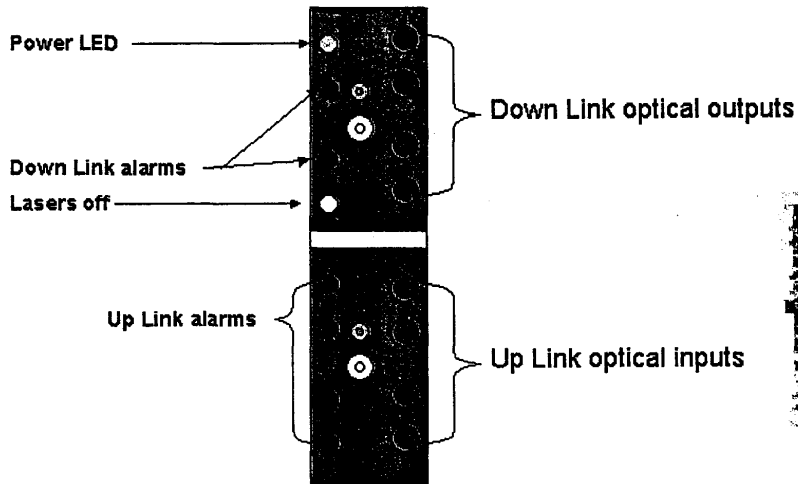
一般光電轉換主單元為模組式，可依遠端光電轉換設備之數量彈性規劃所需要之模組，而一般模組之功能及圖像如下圖所示：

Local interface plug-in module



光電轉換主單元提供相關模組告警功能如下圖所示：

Local interface plug in module Alarms



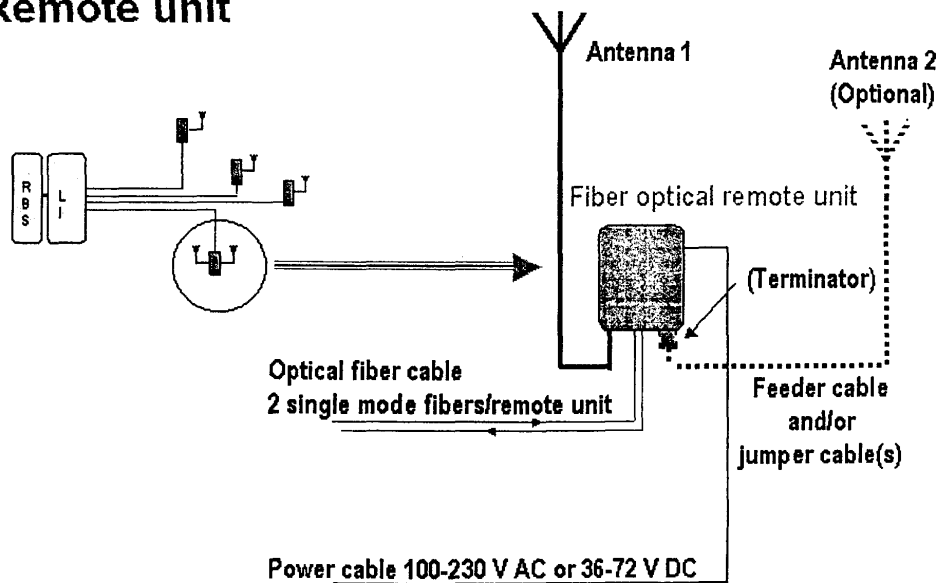
光電轉換主單元之功能摘要如下：

- (A) 將基地台輸入之信號，分為上鏈路及下鏈路獨立兩不同路徑，如基地台端輸入信號為收發合併送出時，須使用 duplex 將輸入信號收發分開，送入內部光電轉換設備
- (B) 光電轉換主單元內部包含上鏈路及下鏈路之衰減器，可依規劃使用之情形，調整信號強度
- (C) 當有多組光電轉換主單元插入模組時，光電轉換主單元須分散下鏈路信號，至各插入模組之光發射器
- (D) 當有多組光電轉換主單元插入模組時，光電轉換主單元須結合來自各插入模組光接收器之上鏈路信號。
- (E) 光電轉換主單元提供相關模組告警功能

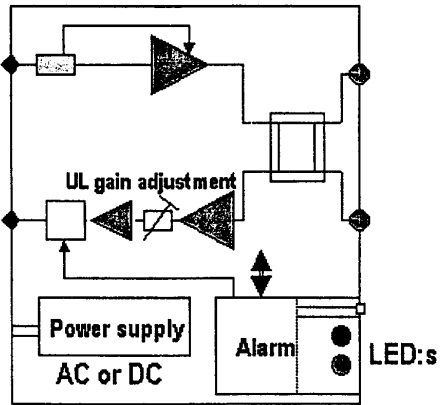
(2) 遠端光電轉換單元

遠端光電轉換單元利用光纜連接光電轉換主單元，每一遠端光電轉換單元須使用 2 蕊光纖，上下鏈路各一，連接光電轉換主單元，如下圖所示。遠端光電轉換單元再將光訊號轉換成電訊號，並且收發合併送出，再經過饋纜接天線，提供涵蓋。

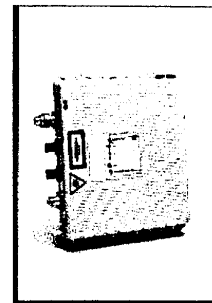
Remote unit



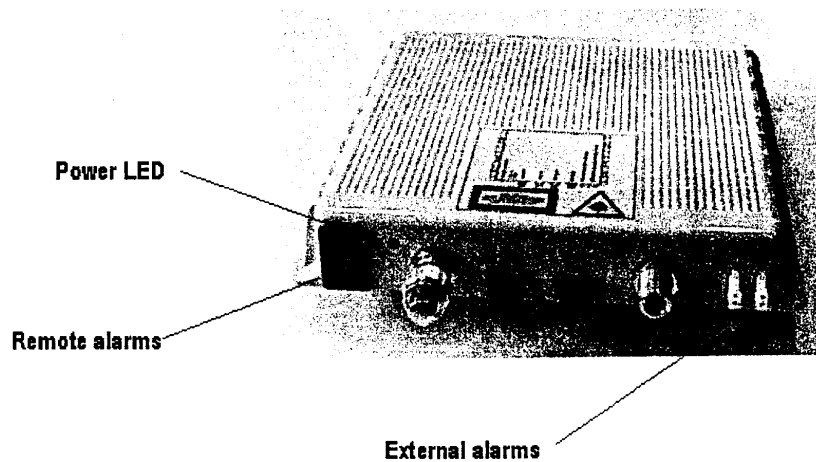
遠端光電轉換單元之設備內部功能，在下鏈路為光接收器接收來自光電轉換主單元下鏈路之光訊號，轉換成為電訊號並且將無線電訊號放大，而在上鏈路為接收上鏈路無線電訊號放大，並轉換成光訊號傳送透過上鏈路之光纖傳送至光電轉換主單元。



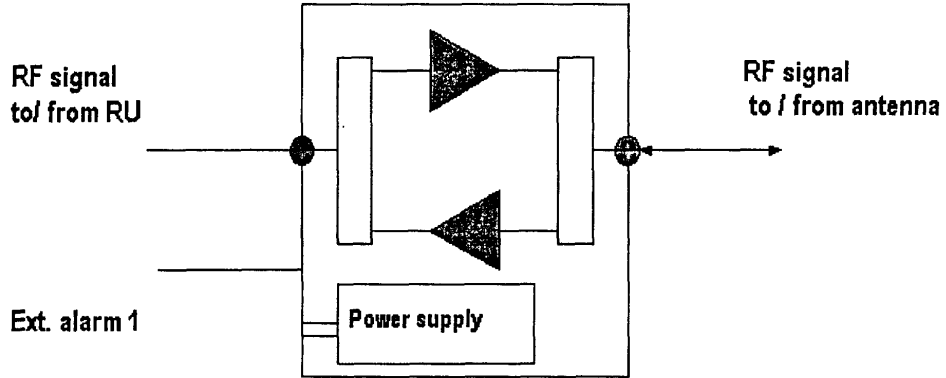
- = Optical transmitter (UL)
- ▭ = Optical receiver (DL)
- ◆ = Optical Connector
- = Antenna Connector



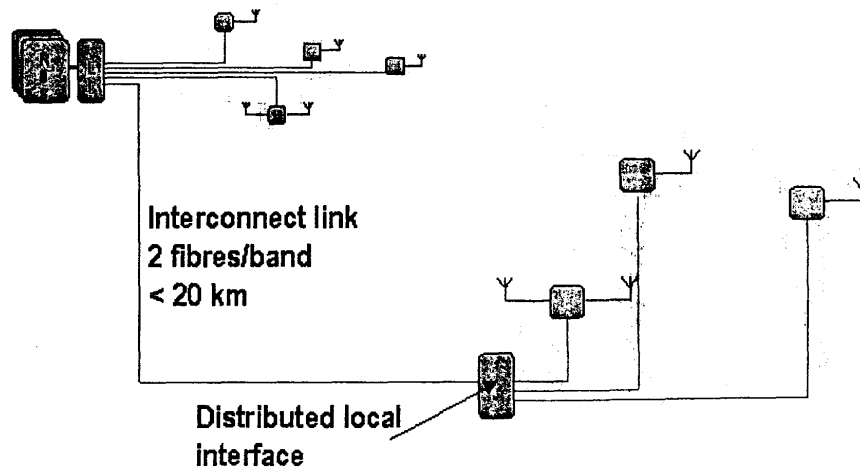
遠端光電轉換設備之實體相片



如遠端光電轉換設備之輸出功率過低，無法符合設計需求，某些光纜分佈網路在遠端光電轉換設備輸出端連接增波器，利用增波器來增強無線電訊號，其方塊圖如下圖所示。



光纜分佈網路實例利用之相關設備連結示意圖，如下圖所示



(3) 光纜分佈網路之設計要點

(A) 遠端光電轉換設備之下鏈路輸出功率，須依照各廠家設備之型錄資料參考設計，當載波數增多時功率會降低，如下表為某廠家設備之遠端光電設備功率輸出資料，規劃涵蓋區域時須依照此輸出功率規劃可涵蓋範圍。

Carriers	DL power
2	10 dBm/Carrier
4	6.7 dBm/Carrier
8	4.3 dBm/Carrier
12	3.0 dBm/Carrier

(B) 須考量整個光纜分佈網路之 Noise Figure 之問題，整個光纜分佈網路產生之干擾公式如下

$$I = -121 + 10\log(N) + Nf + \text{Gain} - X,$$

I: 干擾訊號, -121: 熱雜訊 (GSM 系統), N: 使用之遠端光電設備數, Nf: 遠端光電設備之 Noise Figure, Gain: 上鏈路增益, X: 至基地台之所有衰減值。

設計涵蓋範圍時，除須考量下鏈路可涵蓋之範圍，也須可量基地台上鏈路訊號強度是否足夠，以及 C/I 比至少須大於 9 dB，如此才能確保涵蓋範圍內之用戶可以通話。

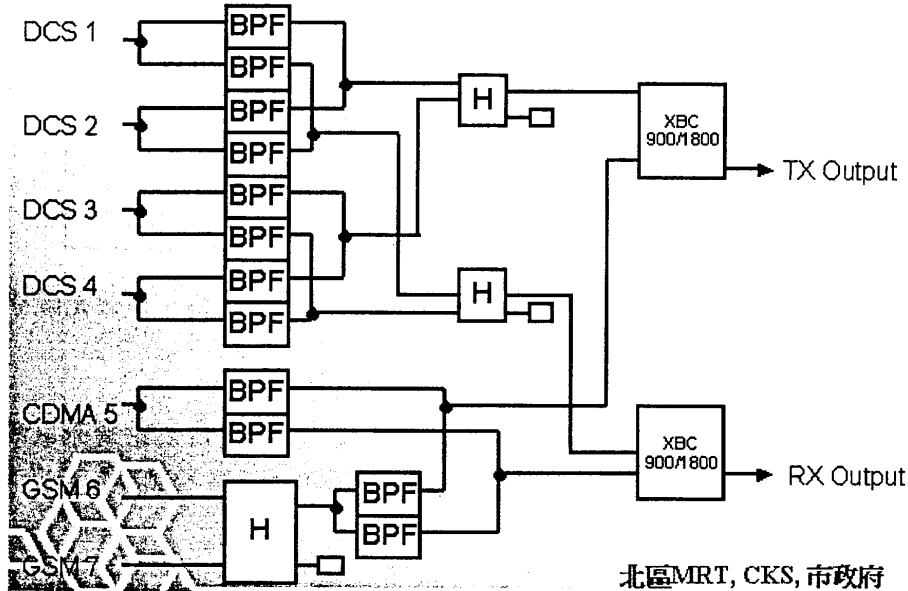
三.五.三 POI (Point Of Interface)

(1) POI 功能說明

POI 功能為匯接各基地台之訊號，POI 必須視匯接之系統與基地台數量以及匯接系統之使用頻率規劃設計，當匯接系統眾多且頻率相近時，如將所有系統合併，且各系統間之隔離度不夠時，可能會造成匯接系統間產生諧波造成干擾，影響其中某匯接系統。

POI 之設計，須考量匯接之系統數與頻率，以降低彼此間之干擾問題為重點，例如可利用 bandpass filter 過濾系統/頻段後在合併，或是以收發分開之方式降低下鏈路頻率間之諧波落入某系統上鏈路頻段，或是只將頻段差距較遠之系統合併，例如將 CDMA 2000 (800 MHz) 與 3G (2 GHz) 頻段合併，GSM 900 與 GSM 1800 合併，可避免 800 MHz 下鏈路干擾 900 MHz 頻段之上鏈路。

一般 POI 之內部可利用濾波器(filter)或是 hybrid 組合而成，利用濾波器 (filter)設計之 POI，由於各系統/頻段之信號經過濾波器過濾，可減少彼此間之干擾問題產生。如下圖所示。



設計 POI 時，將可能會產生相互間干擾之頻段，利用濾波器將各不同系統/頻段過濾，或是將所有系統之上鏈路與下鏈路頻段分離，然後再將過濾後之頻段分別利用 hybrid 合併，然後再依設計規劃連接至末端設備(天線或洩波電纜等)。

如匯接系統數較少，且彼此間之頻段不易發生諧波干擾可僅使用 hybrid 將信號合併即可，但使用 hybrid 之缺點為眾多信號在 hybrid 合併容易產生彼此間諧波干擾，因此系統間頻率相近時不適宜使用。

三.六 室內涵蓋系統之網管系統

三.六.一 概述

室內涵蓋系統之網管系統，主要功能為提供監視及控制整個涵蓋網路系統之各個元件，當涵蓋系統發生問題時，能夠快速監看整個系統狀況及故障原因。

室內涵蓋網路可分為主動系統或是被動系統，如整個涵蓋網路為使用被動元件時(例如 POI，分歧器，天線等被動元件)，被動元件就無法提

供相關監控信號所以就無法建構被動元件之網管系統，如果採用主動元件例如光纜分佈網路，即可利用光纜分佈網路之相關網管功能建構整個涵蓋網路之網管系統。

而室內涵蓋網管系統又可分為整合至基地台網路之網管系統或是獨立之室內涵蓋網管系統，而整合至基地台網路之網管系統，係透過基地台設備之告警外接輸入點，將設備告警監控輸出點連接至基地台設備之告警外接輸入點，當涵蓋系統之設備故障時，將會透過基地台之告警外接輸入點，傳送至基地台系統之網管系統。

獨立之室內涵蓋網管系統，係利用光纜分佈網路之相關網管設備獨立建構涵蓋系統之網管系統，且可利用光纜分佈網路相關設備之外部告警輸入點，連接門禁，消防，火警，電力等相關機房監控信號，構成完整之網管系統。

以利用光纜分佈網路之網管系統為例其主要功能為監督及控制光纜分佈網路之各元件狀況，例如光電轉換主單元之光雷射是否故障，檢查相關光設備是否正常動作。對於遠端光電轉換設備來說，可檢查連接之 RU 是否正常動作。

三.六.二 光纜分佈網路網管功能相關配合設備

光纜分佈網路網管功能相關配合設備，包含警告控制單元，此單元裝設於光電轉換主單元模組。其主要功能為蒐集所連接之遠端光電轉換單元，以及光電轉換主單元本身相關之告警信號，並儲存告警信號至內部記憶體，並且可利用串列 RS 232 傳送完整之告警狀態，提供系統完整之監督。

圖形化使用者介面相關軟、硬體，網管系統提供圖形化使用者介面，顯示所有告警狀態於圖示中。並且使用輪詢機制顯出系統中之告警狀態紀錄檔（告警發生之年月日時間以及可能之原因）。並且提供組態設定之功能，如以管理者登錄網管系統，可顯示系統組態選單，加入設定涵蓋系統之組態，例如增加遠端光電設備等。

光纜分佈網路一般所監控之訊號如下表所示

Master subrack	
RX1 (*)	Received optical power Low
RX2(*)	Received optical power Low
RX3(*)	Received optical power Low
RX4(*)	Received optical power Low
TX1(*)	Transmitted optical power Low
TX2(*)	Transmitted optical power Low
Data Link	Internal data link errors
12V	Power supply problems

Slave subrack	
RX1(*)	Received optical power Low
RX2(*)	Received optical power Low
RX3(*)	Received optical power Low
RX4(*)	Received optical power Low
TX1(*)	Transmitted optical power Low
TX2(*)	Transmitted optical power Low
Data Link	Internal data link errors
12V	Power supply problems

(*) for each local units

每個光鏈結會有個別之告警訊息(上鏈路及下鏈)，每一告警能夠藉由可程式組態遮罩使個別告警訊號失能。

光纜分佈網路網管系統，常可利用串列 RS 232 介面連接至電腦，部分廠商也提供選項配備，內建機架式電腦，作為網管系統之中樞，而網管系統除本身提可圖形化之顯示介面於本身之顯示螢幕外，也可利用網際網路之技術，透過輸入網管主電腦之 IP 及授權帳號密碼，遠端登入網管系統，透過 Web Browser 顯示網管系統之所有狀態。

四、感想與建議

- (1) 在行動通信市場快速發展及激烈競爭情況下，各行動電話業者為求生存必須保有舊有之用戶，並且開發更多新的用戶，提供無死角之語音涵蓋就成為必備之條件。也就是說不管是在隧道或是超高大樓提供行動電話服務，成為爭取客源最基本之條件。

- (2) 目前行動電話之主要收入為語音服務，且已漸趨飽和，如何增加新的收入成為一重要議題，相信行動數據服務將是未來增加收入最重要的來源；行動數據服務除了要有新、炫及方便之加值服務外，最重要的仍為涵蓋方面之基礎建設，有了良好之信號涵蓋，加值服務才能落實於每個角落。
- (3) 建構高樓及隧道內之室內涵蓋系統，如由業者個別獨自出資興建，不僅所費甚鉅，同時過多之設備、饋纜及天線，也會難以說服建築物所有者同意於其建築物建設室內涵蓋系統，因此如何建設一套室內涵蓋系統，由各行動電話業者共同出資均攤成本，此共同使用之室內涵蓋系統能夠匯接各業者不同頻段/系統之基地台，成為一重要議題，也為未來發展之趨勢。
- (4) 針對未來第三代行動通信系統，室內涵蓋系統之設計、規劃要點也將會是提供行動數據服務，成敗之重要關鍵。
- (5) 應多與本國及各國之行動電話業者、設備製造商等經驗交換，共同討論室內涵蓋之相關技術及未來方向，汲取更多新知等，以最少之成本建設最高品質之室內涵蓋系統，以提供良好之行動數據服務。