

# 光纖射頻技術應用於行動通信DCS1800 室內涵蓋之設計與研究

尚立人<sup>1</sup> 吳佳倫<sup>2</sup> 楊德生<sup>3</sup>

<sup>1</sup>德霖技術學院 電腦與通訊工程系 副教授

<sup>2</sup>德霖技術學院 電腦與通訊工程系 兼任講師

<sup>3</sup>欣桃天然氣股公司 經理

## 摘要

本論文研討光纖射頻技術於捷運系統、高速鐵路、地下鐵路等大眾運輸工具等在隧道及室內覆蓋行動通訊應用。從理論及工程實務面提出解決方案，提出規劃中應遵循的基本鏈路計算原則與方式，充分讓設計者掌握光纖中繼器和基地台與手機之間上下行增益平衡的計算步驟。最後以某捷運系統之洩波電纜系統為實際案例做為行動通信室內涵蓋論證規劃設計的參考實績。

關鍵字：光纖射頻，光纖中繼器，室內涵蓋，洩波電纜。

## **Research and Design of Radio over Fiber Technologies in In-door Coverage for DCS1800 Cellular Communications**

**Li-Jen Shang<sup>1</sup> Chia-Lun Wu<sup>2</sup> Ter-Saheng Yang<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Department of Computer and Communication Engineering, De-Lin Institute of Technology

<sup>2</sup> Lecturer of Computer and Communication Engineering, De-Lin Institute of Technology

<sup>3</sup>Manager, Shintao Natural Gas Co., Ltd

### **Abstract**

This thesis is to investigate the Radio over Fiber technologies which applied for mobile phone coverage working with Metro, High-Speed Railway and Subway such as analysis for public coverage of an indoor transition system. It is based on the theory and practical engineering principle which provide guidelines and formulas for link budget design to help designers fully control and analyze the single output power of uplink and downlink between fiber repeaters and mobile phones as well as base station. Finally, the results of this leakage cable system and practically applied to indoor coverage design for Metro Rapid Transit System.

Key words : Radio over Fiber, Fiber Repeater, Indoor Coverage, Leakage Cable.

## 壹、前言

台灣大眾運輸工具提供給民眾多元化高速便捷的交通服務例如：台灣鐵路的地下化建設，高速鐵路現代化，都會型的捷運系統等。對於行動通信的建置技術發展也相對的提升以符合未來新世代通信服務的需求。

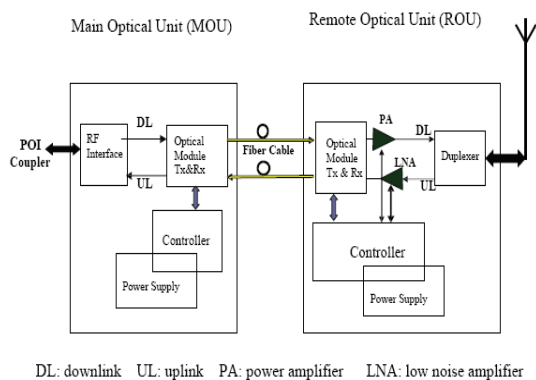
本文以行動通信DCS1800 (Digital Communication System, DCS)系統架構為例，研究如何規劃與整合不同頻段的系統在隧道及月台內，所使用光纖中繼器的上行低雜訊放大器，應如何有效設計使它操作在線性工作區，因此系統設計應如何設定上行最小耦合損失(Minimum Couple Loss, MCL)，同時提出光纖中繼器設計之鏈路預算應如何減小其接收靈敏度等技術問題，進行研究及設計有效解決方案。

## 貳、光纖中繼器設計原則

### 一、基本原理

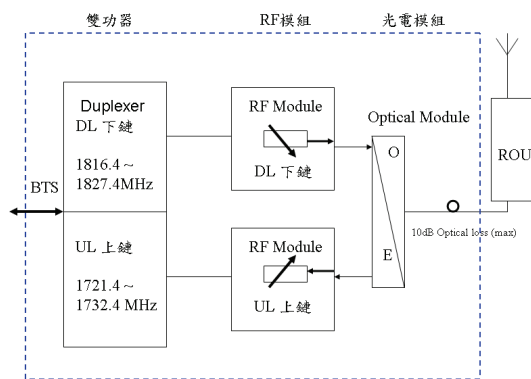
光纖中繼器(Fiber Repeater, FR)工作原理如圖一所示。基本上FR分成二部份，第一部份為主機部份(Main Optical Unit, MOU)，其功能為將下鏈(Down Link, DL)信號對雷射光做調變而後送入光纖中傳送，同時將上鏈(Up Link, UL)的光信號由O/E模組轉換成射頻(Radio Frequency, RF)信號；第二部份為遠端機部份(Remote Optical Unit, ROU)，其功能為對下鏈信號做檢波，並對上鏈信號做調變。

使用光纖中繼器較不會造成熱雜訊過度放大的問題，因此在光纖系統中的信號雜訊比值，比傳統的系統有更好的效果。



圖一 設備方塊圖。

圖二為MOU設備方塊圖[1]，主機分為上鏈、下鏈兩部分。下鏈RF模組接收基地台下鏈的RF信號約+13dBm[2]，主要功能是将RF信號衰減至E/O模組可以接受的大小，亦可以将信號分成多路以送至各個遠端機，所以下鏈RF模組是RF可調式數位衰減器與分配器的組合。下鏈RF模組之輸出信號經RF電纜連接至E/O模組調變光信號輸出。

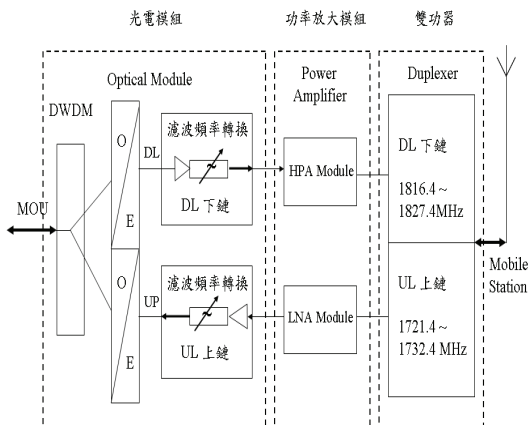


圖二 MOU設備方塊圖。

從遠端機上鏈之光信號透過光纖送入O/E 模組，經O/E模組還原成RF信號再輸入上鏈RF模組；上鏈RF模組基本上是RF可調式數位衰減器與合併器(combiner)，功率分配後亦是衰減上鏈之信號，但衰減的目的是光纖中繼器的雜訊準位，一定要使輸入基地台的雜訊準位小於-121dBm，這十分重要，因為一個基地台服務的對象是很多個手機；任何大於-121dBm的雜訊輸入都有可能使其他信號強度低之手機的通話中斷，造成通話品質降低。

ROU設備方塊圖如圖三所示[3]，遠端機位於無線端以服務手機。在下鏈部分，遠端機的O/E模組在接收到主機傳過來的光信號後，將光信號轉換成射頻信號，射頻信號經過放大處理後，再透過天線發射出去。所以基本架構是O/E模組、中頻濾波頻率轉換模組及高功率放大器模組的組合。

同理，在上鏈部分，手機的信號被遠端機天線接收後，調制在光信號上經由另一條獨立光纖傳回主機，主機把光信號轉成射頻信號並經過處理後，送回基地台。所以基本架構是低雜訊放大器模組、中頻濾波頻率轉換模組及O/E模組的組合。



圖三 ROU設備方塊圖。

## 二、影響行動通信相關問題研究

### (一)、文獻討論分析

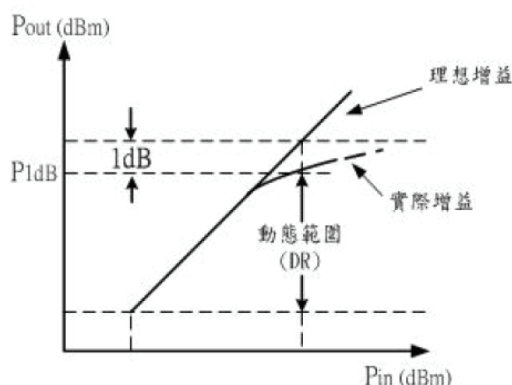
影響上行輸出互調因素[4]如表一所示。

表一 影響上行輸出互調因素。

影響上行輸出互調因素			
影響因素	影響對象	相關問題	影響程度
1. 互調干擾	對系統業者	互調和雜散信號落在鄰近營運商的頻帶。	下行信號造成同頻干擾。
	對基地台涵蓋	在使用大功率寬頻時，互調指標比較高，由於帶寬選擇過程中所有的通道都共用一個功率放大模組，而後級的濾波器是一個寬頻濾波器，對通帶內的互調信號沒有抑制作用。	很難滿足IS95規範對互調信號的要求。
2. 信號涵蓋	本身上行信號	光纖中繼器下行功率放大產生的雜訊和互調信號通過光纖中繼器內部的雙工器進入上行通道，如果此信號過高就會嚴重干擾上行信號。	造成信號涵蓋範圍降低。
實例說明			
雜訊和互調指數(dBm)	雙工器隔離度(dB)	下行功率放大器產生的雜訊和互調對上行通道的干擾(dBm)	光纖中繼器雜訊係數(dB)
-36	70	-106	5
雜訊準位(dBm)	載波雜訊比C/I(dB)	所需最小上行信號準位(dBm)	
-101	9	> -92	

因此解決互調因素的核心技術[5]有兩個方法：

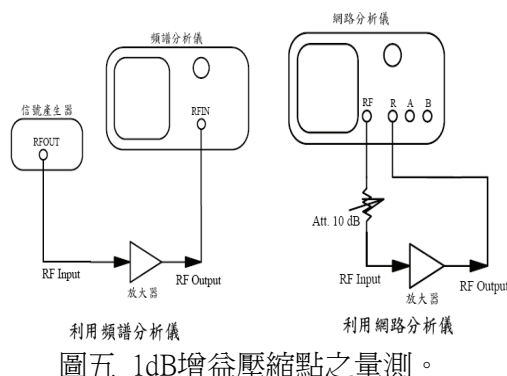
1. 提升設備本身的線性度之準位控制(Automatic Level Control, ALC)能力，使系統運行在線性工作區控制功率增益1dB壓縮點的動態範圍值內。定義為輸入訊號對輸出訊號之比值偏離1dB時的指標，也就是功率增益比理想的線性增益值偏離1dB。1dB壓縮點主要用來表示如圖四動態DR(dynamic range)的上限值，當超過1dB壓縮點時，輸出與輸入之間將不會呈現線性關係( $P_{out} = P_{in} + \text{Gain}$ )。



圖四 1dB壓縮點及動態範圍。

對於一個低雜訊放大器來說，除了雜訊指數、增益及輸入輸出返回損耗等特性外，其非線性之特性亦是非常重要的。主動元件因具有非線性特性之關係，雖然放大器之增益於小訊號時為線性的，但當輸入訊號之功率增大時，其增益就會逐漸減小。因此定義出1dB增益壓縮點(1dB Compression Point)來表示放大器之線性工作範圍。

其定義為當輸入訊號之功率增大到一定強度時，其非線性之增益區剛好比線性增益區減少1dB此時之訊號強度即為P1dB，其量測方式如圖五 1dB增益壓縮點之量測。



圖五 1dB增益壓縮點之量測。

## 2. 三階交互調變IMD3

第三階交差點IP3是對於功率放大器其線性度是否良好的方法，其定義為輸入訊號對輸出訊號的基頻與第三階諧波的延伸交叉點。如圖八第三階交差點。

避免產生三階互調。其優點如下說明：

- (1)選擇適當的頻點組合。拉開始用頻段距離選用無三階互調頻段工作點，使三階互調不會落在所使用的頻點內。
- (2)採用自動增益功率(Automatic Power Control, APC)技術，即時減小發射功率以減低互調準位，使其不至於進入主動元件的非線性區。
- (3)提高光纖中繼器前端的選擇性，抑制干擾信號；改善光纖中繼器輸入級的線性度，提高互調品質因素；提高功率放大的選擇性。

當基地台加入光纖中繼器使信號在系統處理上額外增加時間延遲導致下行功率控制不收斂時，下行容量將急劇下降。功率控制不收斂是指超出基地台和光纖中繼器組成的系統穩定邊界條件的情況，需要進一步研究，找出穩定邊界條件和規則，以獲得足夠的系統穩定餘裕，避免整個系統在實際運行中出現容量大幅下降的情況。

## 三、光纖中繼器之鏈路計算

經以上論述可以瞭解，影響上行輸出雜訊功率的因素有兩個：雜訊指數和手機功率。當光纖中繼器增益設置比有效路徑損失小時，光纖中繼器雜訊指數對基地台的影響比較小（如果在此基礎上再留10dB左右的餘裕，光纖中繼器對基地台影響將會小於0.3dB）。選擇雜訊係數盡可能小的光纖中繼器。合理調整光纖中繼器的增益，嚴格控制光纖中繼器的發射功率，才能避免上行雜訊給網路帶來的不利影響。

### 1.路徑損失(Path Loss, PL)

依據費利茲自由空間方程式(Friis free space equation) [6]，如式(1)所示：

$$Pr(d)=Pt Gt Gr \lambda^2/(4 \pi)^2 d^2 L \quad (1)$$

$Pr(d)$ ：發射端天線與距離為d時，接收端之接收功率。

$Pt$ ：發射端功率。

$Gt$ ：發射端天線增益。

$Gr$ ：接收端天線增益。

$\lambda$ ：信號波長。

$d$ ：發射端與接收端距離。

$L$ ：與距離無關的系統損失因數。

依據弗勞恩霍夫距離(Fraunhofer distance) [7]，如式(2)所示：

$$df=2D^2/\lambda \quad (2)$$

D：是天線之最大尺寸。

$d_f$  稱為弗勞恩霍夫距離， $d_f$ 需滿足下列兩個條件：

(1)  $d_f > D$ ， $d_f > \lambda$ ，且在Large Scale傳播模式下在距離 $d_0$ 之接收功率。

(2)  $d > d_0 > d_f$ ， $P_r(d_0)$ ，且預測較遠距離為 $d$ 處之接收功率 $P_r(d) = P_r(d_0)(d_0/d)^2$ 。

當滿足所

列條件其關係，如式(3)所示：

$$P_r(d)_{dBm} = P(d_0) + 20 \log(d_0/d) \quad (3)$$

## 2. 基地台及手機增益鏈路計算

有關的基本參數如表二所示。

表二 鏈路計算參數表。

	雜訊指數 Noise Figure NF(dB)	訊號雜訊比 (S/N)min(dB)	雜訊準位 Noise Floor Nmin(dBm)	靈敏度 Sensitivity S(dBm)	輸出功率 Output Power Po(dBm)
基地台	10	9	-121	-102	44
手機	12	9	-121	-100	30

基地台與手機靈敏度(Sensitivity) S是最低雜訊準位Nmin及雜訊指數NF以與最低信號雜訊比 $(\frac{S}{N})_{min}$ 之和如式(4)所示：

$$S = N_{min} + NF + (\frac{S}{N})_{min} \quad (4)$$

天線之服務範圍在最低可通信條件下射頻信號上鏈最大路徑損失決定如式(5)所示：

$$PL_{UL,max} = P_{O,MS} - S_{BTS} \quad (5)$$

$PL_{UL,max}$ ：信號上鏈最大路徑損失。

$P_{O,MS}$ ：手機輸出功率。

$S_{BTS}$ ：基地台靈敏度。

射頻信號下鏈之最大路徑損失如式(6)所示：

$$PL_{DL,max} = P_{O,BTS} - S_{MS} \quad (6)$$

$PL_{DL,max}$ ：下鏈之最大路徑損失。

$P_{O,BTS}$ ：基地台輸出功率。

$S_{MS}$ ：手機靈敏度。

因此兩方向最大路徑損失之差異程度稱之不平衡(Imbalance, Imb)如式(7)所示：

$$Imb = PL_{DL,max} - PL_{UL,max} \quad (7)$$

依據IS95規範的要求為例提出鏈路計算方式步驟如下：

(1)求得基地台與手機台之靈敏度如下：

基地台的靈敏度 $S_{BTS}$

$$= (-121dBm) + 10dB + 9dB = -102dBm$$

$$\text{手機的靈敏度 } S_{MS} = (-121dBm) + 12dB + 9dB = -100dBm$$

(2)求得在最低可通信條件下射頻信號上鏈最大路徑損失 $PL_{UL,max}$ ：

$$\begin{aligned} PL_{UL,max} &= P_{O,MS} - S_{BTS} \\ &= 44dBm - (-100dBm) \\ &= 144dB \end{aligned}$$

(3)求得在最低可通信條件下射頻信號下鏈最大路徑損失 $PL_{DL,max}$ ：

$$\begin{aligned} PL_{DL,max} &= P_{O,BTS} - S_{MS} \\ &= 30dBm - (-102dBm) \\ &= 132dB \end{aligned}$$

(4)求得兩方向最大路徑損失之差異程度不平衡Imb為：

$$\begin{aligned} \text{Imb} &= \text{PL DL,max} - \text{PL UL,max} \\ &= 144\text{dB} - 132\text{dB} = 12\text{ dB} \end{aligned}$$

顯然兩方向的最大路徑損失不平衡，若欲將下鏈之輸出功率調大，此時會很明顯的產生更多不平衡，故下鏈之功率調高對系統平衡無太大的幫助。

## 參、重要關鍵問題研究

### 一、傳輸距離

光纖中繼器採用光纖進行傳輸，光信號在光纖中傳輸的損失非常小，光纖中繼器信號傳輸的距離主要是受信號延遲的限制。DCS1800數位通信系統採用分時多工進階技術(Time Division Multiple Access, TDMA)，每載頻分為8個通道分時共用，即每載頻8個時槽。時槽之間的保護間隔很小，為消除手機到BTS的傳播延遲，DCS系統採用手機提早一個額定時間來補償延遲，時間提早量的數值範圍設定在0~233  $\mu\text{S}$ ，對應信號傳播約70Km，由於信號一去一回是雙向的，所以GSM信號在每載頻8個時槽，空間傳播距離是35Km。

當引入光纖中繼器延伸信號傳播距離時，信號的傳播延遲包括了在光纖中繼器上的延遲和在空中傳播的延遲。光信號在光纖的介質中傳播時，速度是無線信號在空氣中傳播的2/3，加上光纖中繼器的延遲（約5  $\mu\text{S}$ ）和無線信號在空中傳播延遲，因此光纖中繼器距離基地台最遠不應該超過20Km。

### 二、光纖中繼器增益的計算

在行動通信基地台和手機間加入光纖中繼器設備，其中系統信號會產生熱雜訊，增加熱雜訊會直接影響降低基地台的接收靈敏度。

#### (一)、基地台系統雜訊

基地台接收端的系統雜訊在沒有加入光纖中繼器的情況下，基地台接收端的雜訊為熱雜訊和基地台雜訊係數之和，稱為基地台系統雜訊。

熱雜訊功率的計算式，如式(8)所示：

$$P_{th} = 10\log[KT B] \quad (8)$$

其中：

K：波茲曼常數， $1.38 \times 10^{-23} \text{ J}^\circ\text{K}$ 。

T：絕對溫度，290°K。

B：信號頻寬，200KHz/Channel。

基地台接收端的系統雜訊的計算式，如式(9)所示：

$$P_{bts} = 10\log[KT B] + NF_{bts} \quad (9)$$

其中：

$NF_{bts}$ ：基地台雜訊係數，2dB。

$P_{bts}$ ：基地台接收端的系統雜訊。

$$P_{bts} = 10\log[KT B] + NF_{bts}$$

$$= -121\text{dBm/Hz} + 2\text{dB} = -119\text{dBm}$$

當加入光纖中繼器後，該基地台成為光纖中繼器信號來源後，其接收端的雜訊為基地台雜訊加上光纖中繼器的雜訊增量。

#### (二)、加入光纖中繼器後基地台接收端雜訊變化

基地台接收端接收到光纖中繼器的雜訊功率與光纖中繼器的上行增益有關，以下是光纖中繼器上行增益對基地台輸入端雜訊的計算式，如式(10)所示：



$$P_{rep}=10\log[KTB]+P_{bts}+NF_{rep}+G_{rep} \quad (10)$$

其中：

$P_{rep}$ ：光纖中繼器輸出的雜訊功率。

$P_{bts}$ ：基地台接收端的系統雜訊。

$NF_{rep}$ ：光纖中繼器的雜訊係數。

$G_{rep}$ ：光纖中繼器的UL增益。

把從基地台發射機至光纖中繼器的所有損耗計為路徑損失 $L_p$ ，則光纖中繼器產生，在基地台接收端的雜訊功率 $P_{rep}'$ ，如式(11)所示：

$$P_{rep}' = P_{rep} - L_p = 10\log[KTB] + P_{bts} + NF_{rep} + G_{rep} - L_p \quad (11)$$

$$= -119 + NF_{rep} + G_{rep} - L_p$$

引入光纖中繼器後，基地台接收端的總雜訊  $P_{bts-total}$  為基地台系統雜訊  $P_{bts}$  和光纖中繼器在基地台接收端產生  $P_{rep}'$  的雜訊總和[7]，計算式推導如式(12)所示：

$$P_{bts-total} = P_{bts} + P_{rep}'$$

$$= 10\log[10 P_{bts} + 10 P_{rep}']$$

$$= P_{bts} + 10\log[1 + 10^{(NF_{rep}-NF_{bts}+G_{rep}-L_p)/10}]$$

令：

$$10\log[1 + 10^{(NF_{rep}-NF_{bts}+G_{rep}-L_p)/10}] = \Delta N_{bts} \quad (12)$$

則：

$$P_{bts-total} = P_{bts} + \Delta N_{bts}$$

從以上計算可以看到，引入光纖中繼器以後，基地台接收端的雜訊功率比無光纖中繼器時增加了  $\Delta N_{bts}$  之雜訊增量。

雜訊增量與基地台、光纖中繼器

雜訊係數、光纖中繼器的增益、基地台發射機至光纖中繼器的路徑損失有關。

根據式(12)計算：

- 1.當  $NF_{rep}-NF_{bts}+G_{rep}-L_p=0$  時，基地台接收端的雜訊增量  $\Delta N_{bts}=3\text{dB}$ 。
- 2.當  $NF_{rep}-NF_{bts}+G_{rep}-L_p=-6$  時，基地台接收端的雜訊增量  $\Delta N_{bts}$  降為  $0.97\text{dB}$ ，也就是說基地台的靈敏度下降了  $0.97\text{dB}$ 。這樣可以認定光纖中繼器引入基本上對基地台是沒有影響的。一般基地台雜訊係數  $NF_{bts}$  為  $2\text{dB}$ ，依式(10)計算光纖中繼器在基地台接收端產生的雜訊功率  $P_{rep}$  為  $-125\text{dBm}$ 。

工程實務中，基地台和光纖中繼器的雜訊係數一定，雜訊增量主要受光纖中繼器增益和基地台發射機至光纖中繼器的路徑損失的影響。一般基地台雜訊係數  $NF_{bts}$  為  $2\text{dB}$ ，光纖中繼器雜訊係數  $NF_{rep}$  通常為  $5\text{dB}$ ，那麼光纖中繼器的增益  $G_{rep}$  應比基地台發射機至光纖中繼器的路徑損失  $L_p$  小  $8\text{dB}$ ，才能把基地台接收端的雜訊增量控制在  $1\text{dB}$  以內。

在網路設計中，如果目標覆蓋的範圍較大，需要到多個光纖中繼器並聯才能完成覆蓋，這種情況下基地台接收端的雜訊為基地台底雜訊與基地台接收到各光纖中繼器雜訊的總和為：

$$P_{bts-total} = 10\log[10P_{bts} + 10(P_{rep}')]$$

$P_{rep}'$  為每一個光纖中繼器在基地台接收端產生的雜訊， $n$  為光纖中繼器的數量。為了控制光纖中繼器總和的雜訊準位，即總和的  $\Delta N_{bts}$  保持小於  $1\text{dB}$ ，需要減小每一個光纖中繼器的增益。

上述導論相關雜訊準位的關係式如表三所示。

表三 雜訊準位關係式。

基地台接收端加入光纖中繼器後的總雜訊增量		
基地台雜訊準位表示如下式： $10\log[1 + n 10^{(NF_{rep}-NF_{bts}+G_{rep}-PathLoss)/10}] \text{ dB}$		
$n$	$\Delta N_{bts}$ ：雜訊增量(n) $= NF_{rep} - NF_{bts} + G_{rep} - L_p \text{ (dB)}$	$P_{bts}$ ：基地台接收端系統雜訊(dB)
0	0	3
1	-6	1.77
2	-9	0.98

光纖中繼器對基地台產生的雜訊增量 $\Delta N_{bs}$ 相等，那麼， $n$ 個光纖中繼器時每一個光纖中繼器在基地台接收端產生的雜訊 $P_{rep}'$ ，比一個光纖中繼器時產生的雜訊-125dBm相比，需滿足條件為： $P_{rep}' < -125 - 10\log n$ 。

如果每一個光纖中繼器的路徑損失相等，那麼， $n$ 個光纖中繼器時，每一個光纖中繼器的增益 $G_{rep}'$ 比一個光纖中繼器時的增益 $G_{rep}$ 小 $10\log n$ 。

$G_{rep} < G_{rep} - 10\log n$ ， $n$ 個光纖中繼器在基站接收端產生的總雜訊增量將控制在1dB以內。總之，設置光纖中繼器上行增益時需考慮基地台發射機至光纖中繼器接收機的路徑損失和並聯在該基地台上光纖中繼器的數量。

光纖中繼器一般從基地台直接耦合信號，光纖中繼器的路徑損失 $L_p$ 為耦合器的耦合損失，同樣的原理，光纖中繼器的上行增益需比耦合損失小8dB左右。假設並接兩台光纖中繼器在工程實務中，我們一般選擇高耦合比的耦合器，使輸入光纖中繼器的信號在0dBm，這樣基地台至光纖中繼器的路徑損失為39dB，而光纖中繼器的上行增益設定值為27dB，保證了光纖中繼器引入後，原基地台靈敏度基本不受影響。上述導論相關光纖中繼器的上行增益計算方式如表四所示。

表四 光纖中繼器上行增益計算方式。

光纖中繼器的上行增益計算方式	
光纖中繼器上行增益UL $G_{rep}$ (dB)	路徑損失( $L_p$ )+基地台雜訊係數( $NF_{bs}$ )-光纖中繼器雜訊係數( $NF_{rep}$ )+雜訊增量 $\Delta N_{bs} = 27$
$n$	$\Delta N_{bs}$ ：加入 $n$ 個光纖中繼器之雜訊增量( $n$ )
0	0
1	-6
2	-9
基地台雜訊係數 $NF_{bs}$ (dB)	2
光纖中繼器的雜訊係數 $NF_{rep}$ (dB)	5
光纖中繼器至基地台發射機路徑損失 $L_p$ (dB)	路徑損失( $L_p$ )=耦合損失(Coupling loss)+同纜損失(Cable Loss)+合併損失(Combiner Loss) = 39
耦合損失Coupling loss(dB)	30
同纜損失Cable Loss(dB)	2
合併損失Combiner Loss(dB)	7

### 三、光纖中繼器與手機之間上下行平衡計算

設置光纖中繼器的下行增益，也就是控制光纖中繼器的輸出功率，需要考慮的是光纖中繼器與手機之間上下行平衡的問題[8]。為保證上下行平衡，光纖中繼器的發射功率需滿足如式(13)所示：

$$P_o = P_m + NF_m - NF_{rep} \quad (13)$$

其中：

$P_o$ ：光纖中繼器發射功率。

$P_m$ ：手機發射功率。

$NF_m$ ：手機雜訊係數。

$NF_{rep}$ ：光纖中繼器雜訊係數。

手機最大發射功率 $P_m = 33\text{dBm}$ ，手機雜訊係數 $NF_m = 6\text{dB}$ ，光纖中繼器雜訊係數 $= 5\text{dB}$ 。因此光纖中繼器的發射功率 $P_o$ 最大為： $P_o = 33 + 6 - 5 = 34\text{dBm}$ 這是設置光纖中繼器下行功率要注意的問題。

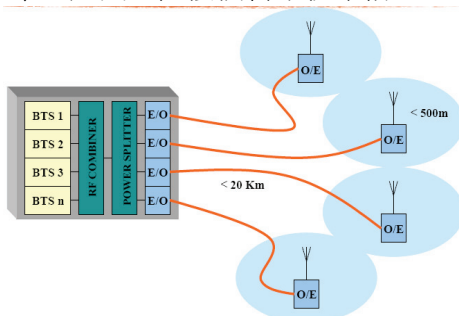
光纖中繼器在工程中，設置增益時還需考慮收發天線之間的隔離度，要求增益必須小於收發隔離度，才能避免中繼器發生本地振盪。

## 肆、光纖中繼器應用解決方案

## 一、光纖中繼器組合方式

### (一)、點對點系統

光纖中繼器點對點系統，是一種由MOU和ROU組合成無線信號轉發架構，系統利用光電轉換技術，將射頻信號轉換成光信號進行遠端傳輸，有效降低對收發天線的隔離度要求，且有效應用在隧道或地形複雜的環境中，如圖四直接偶合系統架構。

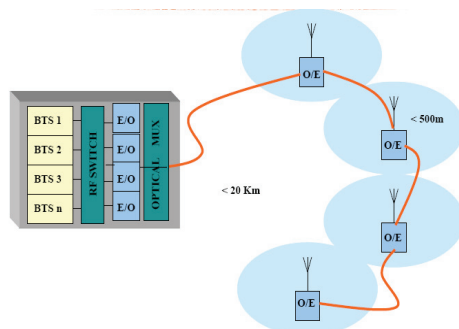


圖四 直接偶合系統架構。

## (二)、點對多點系統

光纖中繼器點對多點系統，是一種由MOU和ROU組合成無線信號轉發架構，系統利用高密度分波多工系統技術，將射頻信號轉換成光信號進行遠端傳輸，有效降低對收發天線的隔離度要求和光纖使用的資源。

在光纖資源有限的情況下被充分使用，大幅降低工程建置成本，且有效應用在隧道或地形複雜的環境中，在工程實務應用中可是現場的實際需要靈活組合適合的系統架構。如圖五點對多點系統架構。


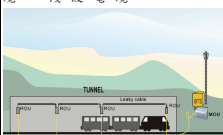


圖五 點對多點系統架構。

### (三)、相關方法和本法優缺點比較

經過第參章對光纖中繼器的重要關鍵技術有深入的瞭解後，第肆章進階說明如何應用光纖中繼靈活彈性的組合架構來解決行動通信在不同環境的信號涵蓋需求，接下來提出相關方法和本法的優缺點作比較，這樣有助於掌握設備功能與決定系統架構[9]-[10]。所以改善室內通信品質的解決方案如表五相關方法優缺點比較表所示。

表五 相關方法優缺點比較表。

相關方法優缺點比較		
方法解析	優點	缺點
1. 射頻中繼器 + 同軸電纜 + 天線 	有較佳的系統容量，適用於話務量低的郊區或農村、鄉鎮地區。	無助於系統容量，易發生干擾，成本過高，交遞 (Handoff) 過於頻繁。
2. 光纖中繼器 + 光纖電纜 + 洩波電纜 	成本最低，不會發生干擾，光纖損耗低，易施工等諸多優點。	無助於系統容量。

依據上述所分析的優缺點整合歸納出光纖中繼搭配洩波電纜及指向型天線是解決隧道內訊號涵蓋的最佳選擇。故運用此設計方案將於第二節之實際案例中做分析。因此本研究以某甲捷運之訊號涵蓋設計作為實際例子，以驗證本研究所提出的設計原則與方式。

## 二、場強涵蓋計算

實際案例：某甲R3 - R8設計實務。

### (一)、室內涵蓋需求及驗收方法

依據表六站體/月台及地下建物內部和車行隧道信號涵蓋區域規劃表需求，作為室內涵蓋需求及驗收方法之依據如下：

1. 信號涵蓋可靠度須大於或等於95%。
2. 長時間話於是內涵蓋區：以步行方式測試，涵蓋範圍內甲方各系統測試次數1次以上。
3. 隧道涵蓋：以車行方式測試，各系統上下行方向需各測試至少2次，隧道內訊號交遞順利，且不得斷話。如遇會車狀況，訊號強度亦比照涵蓋標準之規定。

表六 站體/月台及地下建物內部和車

行隧道信號涵蓋區域規劃表。

某甲2+3G信號涵蓋品質驗收標準							
系統	區域A	訊號強度 (dBm)	區域B	訊號強度 (dBm)	區域C	訊號強度 (dBm)	信號涵蓋 率(%)
2G	商場, 大堂, 詢問處, 售票處, 販賣店, 電扶梯, 候車室, 出入口, 月台	≥-75	停車場	≥-85	電梯內、中央監控室、台鐵機房、男女廁所、車行隧道沿線各緊急逃生通道、樓梯間、辦公室	≥-90	95%
3G		≥-80					
			隧道及出入口			≥-85 ≥-90	95% 5%

### (二)、系統架構

整體系統網路架構規劃需要隧道內環境的配合及信號涵蓋規劃再配合隧道內FR系統架構圖七站體暨隧道內信號涵蓋架構圖。



### 1.R4至R4A站體場強計算

- (1)R4站體：195m、R4車站BTS提供R4至R4A隧道內涵蓋信號。共構機房至隧道口約181m(1-5/8"同軸電纜損失8dB)，隧道長度：1600m。共構機房裝設光纖中繼器MOU×1。
- (2)交叉口：裝設FR，ROU×2(南、北隧道各一部)，共構機房POI輸出端連接MOU×1，MOU輸出端連接光纜至交叉口ROU輸入端。
- (3)R4至R4A南/北隧道暨隧道內第三軌道壁面上緣各佈放1-5/8" 洩波電纜一條，洩波電纜連接至ROU輸出端。

### 2.R4至R4A隧道內洩波電纜信號涵蓋分析：

- (1)【R4隧道口至隧道內】、【R4A隧道口至隧道內】、【POI+1-5/8" 洩波電纜】涵蓋距離POI經1-5/8" 同軸電纜至南/北隧道口連接1-5/8" 洩波電纜信號涵蓋分析如式(14)、(15)、(16)所示：

$$Po_{(ROU)} = Pt(bts) - L_{POI} - L_{CC} \quad (14)$$

其中：

$Po_{(ROU)}$ ：ROU至隧道洩波電纜輸入功率。

$Pt(bts)$ ：基地台輸出功率。

$L_{POI}$ ：信號匯接器之差入損失。

$L_{CC}$ ：同纜損失(181m長度下)。

求得：

$$\begin{aligned} Po_{(ROU)} &= 33\text{dBm} - 9\text{dB} - 8\text{dB} = 16\text{dBm} \\ L_{TOT} &= Po_{(ROU)} - SS_{req}(\text{dB}) \end{aligned} \quad (15)$$

其中：

$L_{TOT}$ ：最大容許損失。

$SS_{req}$ ：信號服務需求值。(-85dB)

求得：

$$\begin{aligned} L_{TOT(-85\text{dB})} &= 16 - (-85\text{dB}) = 101\text{dB} \\ L_{LL} &= L_{TOT} - L_F - L_S - L_C - L_W(\text{dB}) \end{aligned} \quad (16)$$

其中：

$L_{LL}$ ：散射損失。

$L_F$ ：饋纜損失。(5dB)

$L_S$ ：分歧損失。3.5dB

$L_C$ ：耦合損失。62dB(2m)

$L_W$ ：窗戶界面損失。12dB

求得：

$$L_{LL} = 101 - 5 - 3.5 - 62 - 12 = 22(\text{dB})$$

- (2)【連通口至R4隧道內】、【連通口至R4A隧道內】隧道內ROU連接1-5/8" 洩波電纜信號涵蓋分析：

$$Po_{(ROU)} = 27\text{dBm}, 1:4 \text{ 分歧損失} \times 2。$$

$$L_{TOT(-85\text{dB})} = 27 - (-85\text{dB}) = 112\text{dB}$$

$$L_{LL} = L_{TOT} - L_F - L_S - L_C - L_W(\text{dB})$$

【連通口至R4隧道內】

$$L_{LL} = 112 - 4 - 7 - 62 - 12 = 27(\text{dB}), 480\text{m之} 1/5/8" \text{ 洩波電纜。}$$

【連通口至R4A隧道內】

$$L_{LL} = 112 - 4 - 1 - 62 - 12 = 33(\text{dB}), 600\text{m之} 1/5/8" \text{ 洩波電纜。}$$

## 三、實務量測分析

### (一)、涵蓋區域網路架構

根據某甲地下化環境包括多層次車站及雙向並行隧道，其中站體及隧道信號涵



蓋使用散射式洩波電纜如圖七站體暨隧道內信號共構涵蓋架構圖所示。

## (二)、量測方式

在R3站為例量測方式使用徒步行走，搭乘紅線往北線隧道移動，從R3站經過四個車站(R4 – R7)到R8站，列車附掛高乘載六節車廂，車廂長21.9公尺，寬3.1公尺，高3.6公尺，每側配有四組門，全列車編制為三節一組、六節二組。一個車廂每一邊有6個窗戶，一組個門有二個玻璃窗，隧道規模為寬4.8公尺和高4.6公尺的矩形橫斷面，使用安德魯散射式洩波電纜安裝於隧道左側端牆距樓板3公尺處的地方，每20公分固定方式。

量測方式使用易利信行動通信導引測試系統，HP可攜式筆記型電腦，易利信K800i型行動電話和TEMS軟體所組成內含TEMS™ Investigation 7.1 Data Collection，可測量任何DCS1800及WCDMA行動通信網路效能。標準可量測到信號接收信號強度準位(Received Signal Level, RxLev)，手機接收信號品質(Received Signal Quality, RxQual)，傳輸品質誤碼率(Bit Error Rate, BER)有關。通話品質因數(Speech Quality Index, SQI)是測量通話品質的重要參數。服務等級(Quality of Service, QoS)取決於涵蓋區域阻塞機率和斷話率。

## (三)、量測分析

整體系統的量測分析透過RxLev，RxQual和SQI等相關實務量測數據證實均符合系統服務品質的指標。測量數據如RxLev，RxQual和SQI等圖表資訊數據之間彼此的關連性做分析。

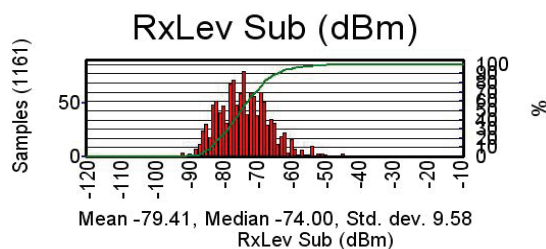
### 1.站體/月台部分

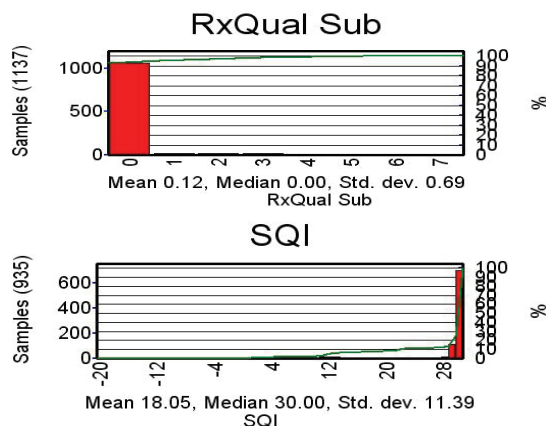
RxLev是用來判斷DCS系統中信號的強度。不過，記錄顯示高RxLev可能有同頻干擾的存在。如果干擾組成部分與載波同相位，信號強度可能特別高。假設干擾成分效應最小時，RxLev 可接受的接收準位在-85dBm ~ -98dBm。RxQual用來判斷DCS系統的傳輸品質誤碼率。如表七信號接收品質和誤碼率轉換表，在說明RxQual和BER之間的對應關係。

表七 信號接收品質/誤碼率轉表。

RxQual	BER
0	Below 0.002
1	0.002 - 0.004
2	0.004 - 0.008
3	0.008 - 0.016
4	0.016 - 0.032
5	0.032 - 0.064
6	0.064 - 0.128
7	Above 0.128

圖十為R3站的地下二樓月台層的RxLev和RxQual的量測結果。月台層信號涵蓋透過天線完成，並安裝於站體天花板的中間向下涵蓋。如圖十為量測所示RxLev和RxQual在R3站地下二樓月台層的環狀取樣分析圖。





圖十 RxLev與RxQual在R3站地下二樓月台層的環狀取樣分析。

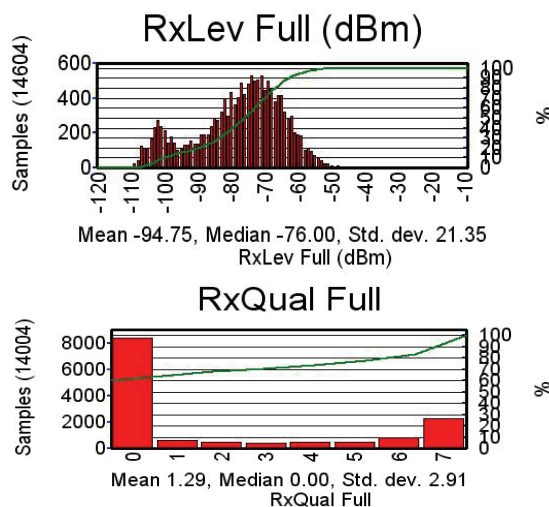
RxLev有四個峰值這是因為越台周圍步行時量測器正接近天線四次所產生的現象。全部RxLev標準值中95%都高於-79.41dBm範圍以上， RxQual保持0.12和SQI值在18.05上如圖十所示。表八為SQI和通話品質對照表，SQI最少應滿足16~20通話品質才是良好。

表八 SQI和通話品質對照表。

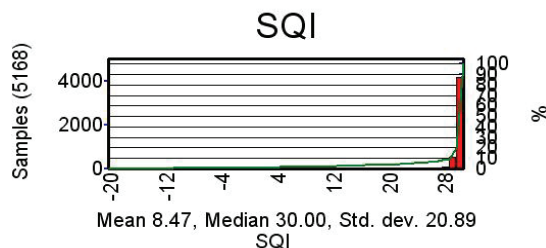
SQI range	Speech impression
21-30	Very good
16-20	Good
11-15	Acceptable
5-10	Bad
Below 4	Not acceptable

## 2.車行隧道部分

RxLev與RxQual和SQI在隧道的綜觀量測分析如圖十一所示。綜觀整個量測過程，列車中的乘客從45~65乘客移動變化是非常容易。坐在列車靠窗邊於洩波電纜附近的位置上進行隧道量測。經觀察發現RxLev有6個波峰和5個波谷。6個峰值出現相對於洩纜位置在六個(Metro Rapid Transit System, MRTS)MRTS車站，5個波谷相對於洩波電纜位置在所有的隧道中。綜觀整個量測過程全部RxLev標準值中95%位於-94.75dBm，全部RxQual均值都在1.29以下，SQI從11變化到15。







圖十一 RxLev與RxQual和SQI在隧道的綜觀量測分析。

從某甲的DCS1800系統服務品質的量測發現覆蓋率，阻塞率和斷話率就是QoS的指標。上述結果清楚的顯示在地下化大眾捷運環境維持良好RxLev與RxQual和SQI等數據品質相互關連的重要性。

## 伍、結論

本論文經實際量測分析結果得知RxLev，RxQual和SQI等相關數據均符合涵蓋需求，並證實光纖中繼器能解決室內訊號接收問題，在理論及工程實務面以提高系統傳輸品質等方面來考量；推導出光纖中繼器增益的鏈路計算方式，充分讓設計者掌握光纖中繼器和基地台與手機之間上下行增益平衡的計算步驟。

本論文研究詳細描述光纖中繼器的重要設計原理，包含(1)光纖中繼器增益的計算。(2)上下行鏈路功率的平衡計算。(3)室內涵蓋區域需求設定及驗收量測實務分析。有助於設計工程師在系統設計規劃及維護工程師在系統維護操作時，只要對以上重要因素做好規劃分析及正確維護操作，光纖中繼器能解決行動通信在室內涵蓋的通信品質問題。

因此本論文針對系統設計及工程維護領域方面，提出最重要的研究結果與貢獻，可讓網路規劃設計顧問公司及電信系統營運公司的設計工程師和維護工程師在系統設計及工程維護上，做為參考依據。

## 陸、參考文獻

- [1] Andrew Company, "ION-M85/18/21 System Overview," Worldwide Headquarters 3 Westbrook Corporate Center Suite 900 Westchester, Illinois, USA, 2006.
- [2] 3GPP TS 25.143, V6.4.0 "Radio Access Network UTRA Repeater Conformance Testing" (Release 6), pp. 27-28, Mar, 2006.
- [3] Andrew Company, "ION-M85/18/21 Design Principle," Worldwide Headquarters 3 Westbrook Corporate Center Suite 900 Westchester, Illinois, USA, 2006.
- [4] H. A. Raweshidy and S. Komaki, *Radio over Fiber Technologies for Mobile Communications Networks*, Artech House, Norwood, MA, USA, pp. 183-214, 2002.
- [5] K. A. Persson, A. Alping, and D. Wake "WCDMA radio-over-fiber transmission experiment using electro-absorption transceiver," *IEEE Electronics Letters*, vol. 41, no. 13, pp. 512-514, Jun. 2005.
- [6] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communication Principles & Practice*, Prentice-Hall, NJ, pp. 300-320, 1996.
- [7] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, 3<sup>rd</sup> Ed., Roberts & Company Publishers, Greenwood Village, Colorado, pp. 37, 2004.

- [8] S. F. Su, *The UMTS Air-interface in RF Engineering Design and Operation of UMTS Networks*, McGraw-Hill, New York, pp. 317-319, 2007.
- [9] S. T. Hwang, B. G. Kim, S. K. Lee, J. H. Lee, H. L. Kim, Y. G. Lee, and G. W. Kim, "ROF technologies for in-building wireless systems," *IEICE Transactions on Electronics*, vol. E90-C, no. 2, pp. 345-350 Feb. 2007.
- [10] K. A. Persson, A. Alping, and D. Wake, "WCDMA radio-over-fiber transmission experiment using electro-absorption transceiver," *Electronics Letters*, vol. 41, no. 13, pp. 764-766 Jun, 2005.
- [11] C. H. Cox, *Analog Optical Links Theory and Practice*, Cambridge University Press, pp. 159-200, Dec, 2000.