

WCDMA 系統下鏈傳輸

之統計特性的研究—考量在都市街道環境下

竇奇

國立雲林科技大學電機工程系

行動通訊網路實驗室

douc@yuntech.edu.tw

吳志明、陳育閔

國立雲林科技大學電機工程系

行動通訊網路實驗室

jimmy-wu@lightuning.com.tw

摘要

本論文針對不同的都市街道環境下，WCDMA 下鏈傳輸功率與交互干擾，進行統計特性的研究與模擬分析。首先簡介所使用的模型：COST 231 Walfisch-Ikegami (WI) model，隨後進行在 19 個基地臺環境下的模擬分析。本論文探討在不同的都市街道環境下，包括曼哈頓(Manhattan)街道型態和圓環街道型態，行動用戶的干擾度和傳輸功率的分佈情況及對基地臺系統容量所造成的影響，進行深入的探討。

一、簡介

第三代行動通訊乃是近幾年來蓬勃發展的新興無線通訊技術，可以即時高速地擷取網際網路服務，並強化行動網路的功能，提供我們隨時隨地高速上網，以擷取內容豐富的休閒娛樂、查詢資訊及從事行動電子商務等多種網路的行為，使手機通訊不再僅是只有語音及數據的功能。

在個人對個人的通訊中，也進一步提供了具有高品質需求的圖片、影片、存取資料、大眾服務和私人網路服務；在傳輸方面，進行影像電話以及傳統的語音通話時，手機都是處於「電路交換模式」(Circuit Switch Mode, CS)；行動上網時，手機處於「封包交換模式」(Packet Switch Mode, PS)。結合上述不同的傳輸方式，有效地提

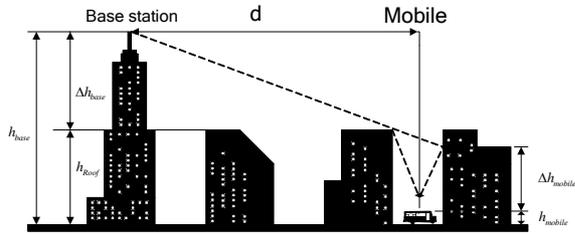
升了資料傳輸速率及更有彈性的通訊頻道。

本論文針對不同的都市街道環境下，對使用者干擾度與功率大小的影響。首先我們模擬曼哈頓的街道型態，此街道型態就是棋盤格式道路，由垂直與水平方向的道路所構成，是很常見的一種道路型態。另一個則是模擬圓環街道型態，此街道型態由數個圓環以及連接各圓環的直線道路所組成。我們探討在兩種不同的街道型態下，統計所有在街道上使用者的干擾度以及下鏈傳輸功率的大小，並以圖示的方式顯示不同使用者的干擾度，在基地臺涵蓋的街道範圍下所分佈的情況。最後，模擬在未超過基地臺的總傳輸功率為前提下，基地臺可維持服務的使用者數量，我們取樣一百萬次藉此觀察在不同的街道型態下，對於基地臺功率和系統容量的影響。

本論文架構，在第二章介紹我們所使用的傳輸模型 COST 231 Walfisch-Ikegami (WI) model，第三章我們針對在 WCDMA 下行鏈路的傳輸模式進行簡介，探討滿足行動用戶要求 E_b/N_0 所需要的功率大小，第四章模擬使用兩種不同的街道型態，針對行動用戶的路徑損失、干擾度及功率大小的變化趨勢進行分析，以及模擬基地臺的系統容量，並於最後對整個系統作分析與結論。

二、傳輸模式

這是一個被廣泛應用的傳播模式，實際上是利用了 Walfisch model 和 Ikegami model 的理論所組合而成的。根據來自不同發表的成果貢獻，藉由考量到更多可用的參數來大幅改進所估計的路徑損失數值。此一模式適合用來估算都市行動通訊的傳輸損失，它考慮到由屋頂到行動者間的路徑損失（包括：直線傳輸路徑損失、折射損失、漫射損失），因此影響模組的參數包含平均樓高、道路寬度、傳輸頻率、基地台天線高度和街道的寬度[1]。



圖一：都市模型參考簡圖

圖一為都市模型參考圖，其中 h_{mobile} 為行動用戶的天線高度、 h_{Base} 為基地臺天線高度、 h_{roof} 為都市環境中的平均樓高、 d 為基地臺天線與行動用戶間的距離，因此此模式定義：

基地臺與樓房高度差：

$$\Delta h_{Base} = h_{Base} - h_{roof} \quad (1)$$

基地臺與行動用戶高度差：

$$\Delta h_{Mobile} = h_{roof} - h_{Mobile} \quad (2)$$

由 COST-231 模式所組成傳輸損失的三部分：

$$\begin{cases} L_b = L_o & \text{for } L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \\ L_b = L_o + L_{rts} + L_{msd} \end{cases} \quad (3)$$

L_o 代表空曠地損失， L_{msd} 代表隔板間的折射損失， L_{rts} 代表屋頂到街道間的反射損失和漫射損失。

而空曠地損失是由以下公式所計出來：

$$L_o = 32.4 + 20 \log \frac{d}{km} + 20 \log \frac{f}{MHz} \quad (4)$$

在這裡 d 是指訊號傳輸距離， f 為載波頻率。

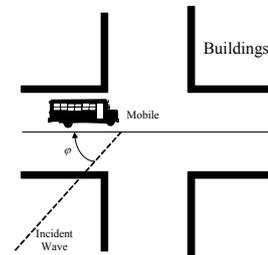
屋頂到街道間的反射損失和漫射損失，是根據 Ikegami model 而決定：

$$L_{rts} = -16.9 + 10 \log \frac{w}{m} + 10 \log \frac{f}{MHz} + 20 \log \frac{\Delta h_{Mobile}}{m} + L_{ori} \quad (5)$$

其中 w 為街道間的寬度。

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354 \frac{\varphi}{deg} & \text{for } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 - 0.075 \left(\frac{\varphi}{deg} - 35 \right) & \text{for } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114 \left(\frac{\varphi}{deg} - 55 \right) & \text{for } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (6)$$

圖二為街道方向角度 φ 的定義，由圖中我們可得知 φ 為行動裝置使用者的行進方向與基地臺入射波的夾角



圖二：街道方向角 φ 定義圖

傳輸訊號在經過遮蔽物時造成多重折射損失：

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log \frac{d}{km} + k_f \log \frac{f}{MHz} - 9 \log \frac{b}{m} \quad (7)$$

其中 b 為相鄰兩棟建築物間的寬度
 L_{bsh} 與 k_a 表示降低基地台高度所增加的路徑損失。

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log(1 + \frac{\Delta h_{Base}}{m}) & \text{for } h_{Base} > h_{Roof} \\ 0 & \text{for } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (8)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & \text{for } h_{Base} > h_{Roof} \\ 54 - 0.8 \frac{\Delta h_{Base}}{m} & \text{for } d \geq 0.5km, h_{Base} \leq h_{Roof} \\ 54 - 0.8 \frac{\Delta h_{Base}}{m} \frac{d/km}{0.5} & \text{for } d < 0.5km, h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (9)$$

在(7)式中的 k_d 和 k_f 則控制著多重遮蔽物折射損失對應距離與頻率的變化。

$$k_d = -4 + \begin{cases} 18 & \text{for } h_{base} > h_{Roof} \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_{base}}{h_{roof}} & \text{for } h_{base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (10)$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0.7 \left(\frac{f(MHz)}{925} - 1 \right) & \text{for medium-sized cities and suburban centers with moderate tree density} \\ 1.5 \left(\frac{f(MHz)}{925} - 1 \right) & \text{for metropolitan centers} \end{cases} \quad (11)$$

此傳輸模式的應用範圍則如以下的參數值所示，必須在限定的範圍之內：

表一、參數設定值

f	=	800 ... 2000MHz
h_{Base}	=	4 ... 50m
h_{Mobile}	=	1 ... 3m
d	=	0.02 ... 5km

三、WCDMA 下鏈傳輸功率

在基地台 m ($m=1, \dots, M$) 中，每個類別 j ($j=1, \dots, K$) 中的每個行動用戶 i ($i=1, \dots, N_j^{(m)}$) 所需的 $(E_b/N_o)_{ij}^m$ 是以 WCDMA 下鏈連結線路品質方程式為基礎[2]-[7]：

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{ij}^{(m)} = \frac{W}{v_{ij}^{(m)} R_{ij}^{(m)}} \cdot \frac{P_{ij}^{(m)} / L_{ij}^{(m)}}{(1 - \alpha_{ij}^{(m)}) \cdot \frac{P_{total}^{(m)}}{L_{ij}^{(m)}} + N_{rf} \cdot W + \sum_{n=1, n \neq m}^M \frac{P_{total}^{(n)}}{L_{ijm}^{(n)}}} \quad (12)$$

詳細參數於表二有詳細解釋。

表二、參數對照表

Parameters	Definitions
W	The chip rate.
$N_j^{(m)}$	The number of users of class j in cell m .
$v_{ij}^{(m)}$	The activity factor of user i of class j in cell m .
$R_{ij}^{(m)}$	The bit rate of user i of class j in cell m .
$P_{ij}^{(m)}$	The required transmit power for user i of class j from cell m .
N_{rf}	The noise spectral density of the mobile receiver front-end.
$P_{total}^{(m)}$	The total downlink transmission power of cell m .
$L_{ij}^{(m)}$	The path loss from the serving cell m to user i of class j .
$L_{ijm}^{(n)}$	The path loss from another cell n to user i of class j in cell m .
$\alpha_{ij}^{(m)}$	The orthogonality factor of user i of class j in cell m .
M	The number of cells in the system.

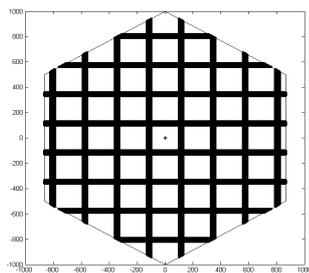
其中 $I_{ij}^{(m)} = \sum_{n=1, n \neq m}^M [L_{ij}^{(m)} / L_{ijm}^{(n)}]$ ，為其它基地臺

對使用者的干擾度 (Other-to-Own-Cell Interference Ratio)，對應到基地臺 m 中的服務類別 j 中的使用者 i ，在下行鏈路中，此係數是依使用者所在位置不同而有所增減。

四、模擬分析

本論文模擬環境共由 19 個蜂巢式細胞構成，在最中央的基地臺涵蓋範圍內，探討兩種不同的街道型態：曼哈頓及圓環街道型態，對於行動用戶的干擾度、維持服務品質(Quality of Service, QoS)所需的功率大小及系統容量而造成的影響，因此我們設定基地臺的傳輸半徑為 1000 公尺。在我們的模擬中，假設 19 個基地臺皆提供最大傳輸功率 20W，因此各基地臺之間所造成的干擾度為最大，考慮在最差情況 (worst cases) 下計算行動用戶干擾度及不同的服務要求時所需要的功率大小。

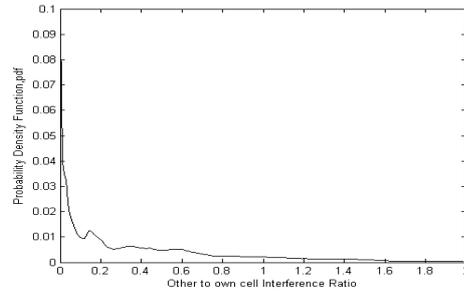
首先，我們模擬棋盤格式的曼哈頓街道型態，如圖三所示就是由垂直與水平兩種道路所組成的。我們在基地臺半徑 1000 公尺的涵蓋範圍內建構一個路寬 30 公尺、兩條路間隔 200 公尺的曼哈頓街道，僅模擬在街道上行進的使用者，並計算每一點的路徑損失、干擾度以及維持服務品質所需要的功率大小。圖三即為曼哈頓街道型態的示意圖，圖內中心點“*”為基地臺所在位置。



圖三：曼哈頓街道型態示意圖

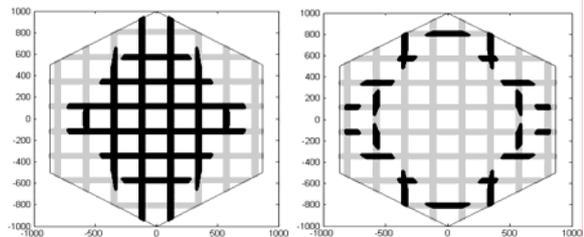
在此我們採用 COST 231 WI model 計算各點的路徑損失，使用者行進方向則隨其所在的街道不同而異：在垂直方向的街道時，行進方向為 90 度；在水平方向的街道時，行進方向為 0 度。模擬環境為 19

個基地臺，因此計算各基地臺所造成的路徑損失後，即可計算求得干擾度。圖四為在曼哈頓街道型態時，使用者的干擾度分佈的機率模型，由圖可觀察到其分佈的範圍相當地大，不過大部分仍集中在小於 1.0 以下。

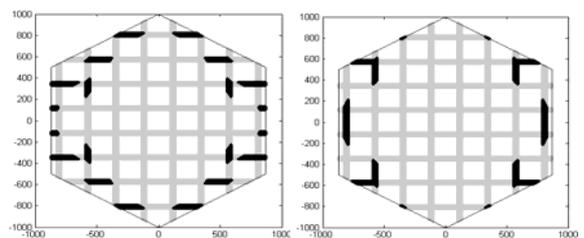


圖四：曼哈頓街道型態之干擾度分佈圖

為了更有效且明顯地看出使用者干擾度的分佈情形，我們將其分成四組數據：0~0.4、0.4~0.8、0.8~1.6 以及 1.6 以上，如圖五 (a) (b) (c) (d) 所示，可以了解這四個間距的使用者干擾度在街道環境的分佈位置情形。



(a) 干擾度 0~0.4 (b) 干擾度 0.4~0.8

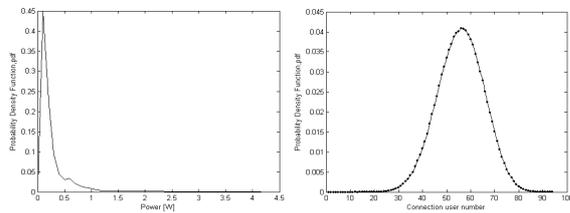


(c) 干擾度 0.8~1.6 (d) 干擾度 1.6 以上

圖五：干擾度分佈圖於曼哈頓街道型態

接下來，我們計算分佈在街道上的使

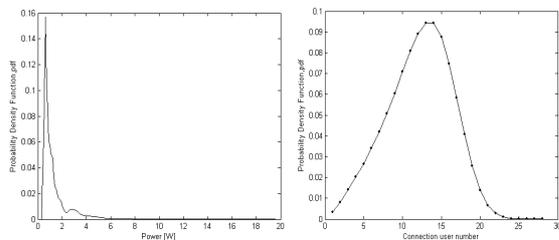
用者要求基地臺提供 VoIP 服務時，維持服務品質所需的功率。計算出使用者所需要的功率後，我們對基地臺涵蓋範圍內的所有使用者進行總量分析。首先隨機在所有使用者中取樣，被取樣的所有使用者中其功率總合不超過基地臺最大總功率為原則下，紀錄基地臺可以提供維持服務品質的使用者個數，共取樣一百萬次得到的結果。圖六 (b) 為在要求 VoIP 服務下基地臺的容量分佈圖，基地臺能維持使用者 VoIP 服務的數量分佈最多落在 58。



(a) 功率分佈圖 (b) 容量分佈圖

圖六：曼哈頓街道型態，VoIP 使用者傳輸功率與基地臺容量分佈圖

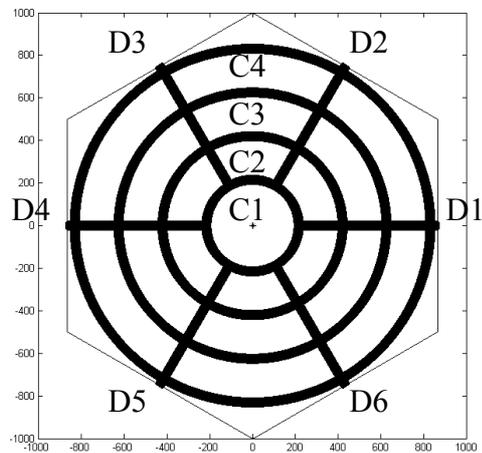
圖七為使用者要求 Video 服務所需的傳輸功率及基地臺的容量分佈圖。由於要求的服務為 Video，因此整體所需要的功率上升至 2W 左右，基地臺在同一時間能維持使用者服務品質的數量也因而下降。在使用者要求 Video 服務下，基地臺能在同一時間維持服務品質的連接數量平均值為 14.5。



(a) 功率分佈圖 (b) 容量分佈圖

圖七：曼哈頓街道型態，Video 使用者傳輸功率與基地臺之容量分佈圖

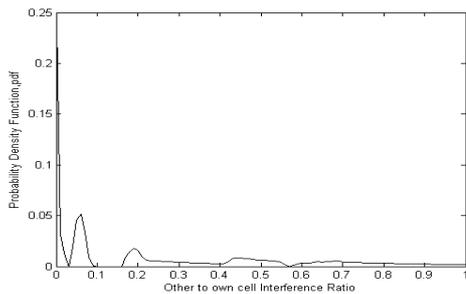
在本節中，我們將針對另一常見的街道型態「圓環」進行探討。我們在基地臺半徑為 1000 公尺的涵蓋範圍內建構四層圓型道路及六條連接各層圓環的直線道路，其路寬皆為 30 公尺。我們從半徑 200 公尺處建構第一條圓型道路，直到完成其 30 公尺寬的道路後，間隔 175 公尺再建構下一次圓型道路，直到完成四條為止。連接各圓環的直線道路，則由最內圈的圓形道路開始，直到基地臺邊緣為止，而且每六十度建構一條，因此共有六條連接道路。圖八即為圓環街道型態示意圖，圖中“*”的部分為基地臺所在位置。



圖八：圓環街道型態示意圖

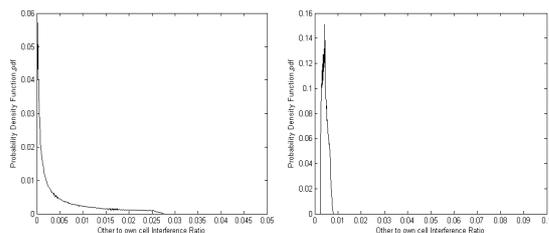
在傳輸模型的部分，我們仍採用 COST 231 WI model。在圓形道路上的使用者行進方向與其涵蓋範圍的基地臺（編號 1）的入射波皆以 90 度計算，而連接各圓環的直線道路因其與中心的基地臺可視為直線傳輸路徑（LOS），因此僅套用 COST 231 WI model 中直線傳輸路徑損失的部分，並假定道路上的使用者沿者道路方向由內而外前進，即從 D1 至 D6 的行進方向分別為： 0° 、 60° 、 120° 、 180° 、 240° 及 300° 。

圖九為在圓環街道型態時，在街道上的使用者干擾度分佈圖，由於大於 1.0 以上的干擾度行動用戶個數極少，因此省略干擾度大於 1.0 以上的分佈。我們可以觀察到其圖型有幾處較為曲折的地方，為圓環街道型態所造成的結果，因為街道型態與上述曼哈頓型態相比，街道於基地臺涵蓋範圍內佔的面積較少，分佈也較不平均。



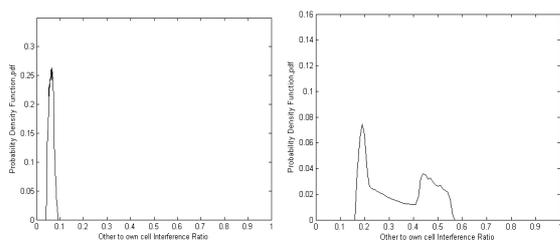
圖九：圓環街道型態之干擾度分佈圖

在圖十我們列出各街道上行動用戶的干擾度分佈，其中 D1~D6 分佈趨近相同，因此僅只列出 D1 的分佈圖。與上述的基地臺涵蓋範圍內的干擾度分佈圖比較，我們可以明顯地觀察出由圓環中各條街道的干擾分佈區域。



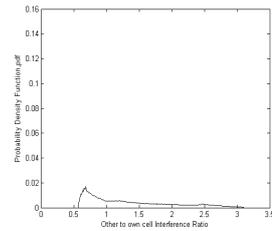
(a) D1 干擾分佈圖

(b) C1 干擾分佈圖



(c) C2 干擾分佈圖

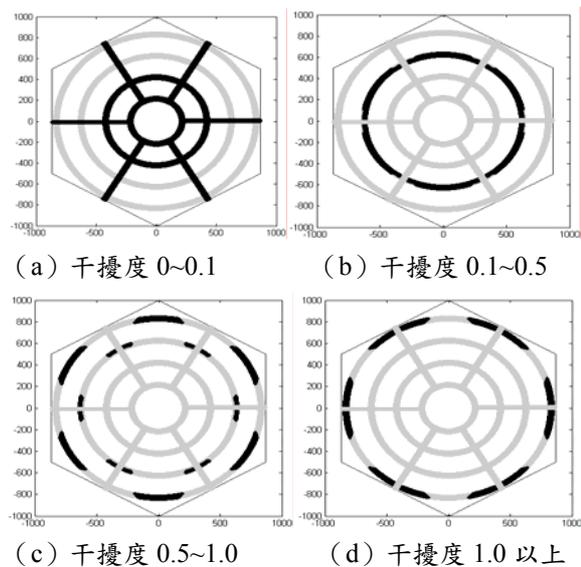
(d) C3 干擾分佈圖



(e) C4 干擾分佈圖

圖十：圓環街道型態各街道干擾度分佈圖

圖十一為使用者在圓環街道環境中干擾度的分佈圖。我們將其分為四組，可以觀察出因為使用者行進方向不同和直線道路為直線傳輸路徑，因此造成干擾度分佈的情況和曼哈頓街道型態不同。六條直線道路的干擾度皆小於 0.1，再加上圓環與圓環的間隔為 175 公尺，造成在圓環街道型態裡行動用戶的干擾度分佈為不連續的。



(a) 干擾度 0~0.1

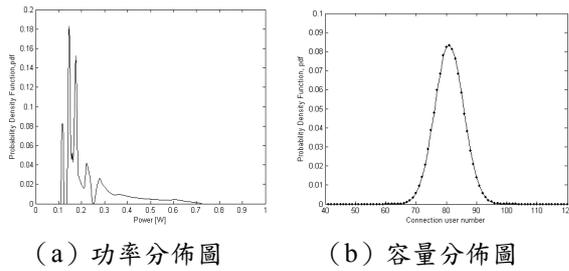
(b) 干擾度 0.1~0.5

(c) 干擾度 0.5~1.0

(d) 干擾度 1.0 以上

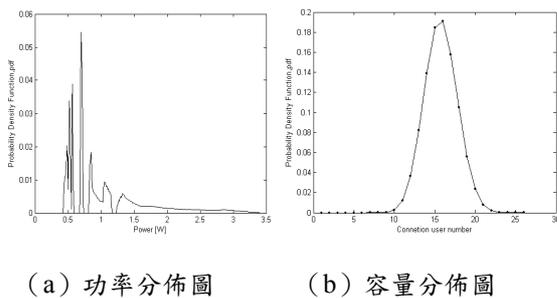
圖十一：干擾度分佈圖於圓環街道型態

接下來，計算分佈在街道上的行動用戶要求提供 VoIP 服務時，維持服務品質所需的功率，如圖十二，在行動用戶要求 VoIP 服務時基地臺能維持行動用戶 VoIP 服務的數量分佈最多落在 81。並由圖可見，由於干擾度分佈的不連續，因此在行動用戶要用 VoIP 服務時，基地臺所需提供功率的分佈也為不連續。



圖十二：圓環街道型態，VoIP 使用者傳輸功率與
基地臺容量分佈圖

圖十三為使用者要求 Video 服務所需的傳輸功率及基地臺的容量分佈圖，基地臺能在同一時間維持服務品質的连接數量分佈最多落在 18。行動用戶要求 Video 服務時所需要的功率，也是受到干擾度分佈不連續的影響，造成功率分佈不連續的現象。



圖十三：圓環街道型態，Video 使用者傳輸功率
與基地臺容量分佈圖

結論

現有的 COST 231 WI model 已被廣泛地利用於估算基地臺與使用者之間的傳輸路徑損失。藉由計算出使用者所在及周遭基地臺的路徑損失後，可以得知一重要的參數：基地臺間交互干擾。並由基地臺間的交互干擾可以計算出使用者在基地臺涵蓋範圍內維持要求的服務品質所需要的功率大小。

在本篇論文中，我們探討在不同的都市環境街道型態下，對行動用戶的基地臺

間交互干擾和功率需求的影響，並對基地臺所涵蓋範圍內街道上的行動用戶進行總量分析，計算基地臺在同一時間能維持要求的 E_b/N_0 使用者個數，並且取樣一百萬次得到平均的系統容量值。我們可以藉由兩種不同的街道型態，觀察其對行動用戶干擾度的分佈位置有很大的影響，並且與街道分佈的情況息息相關。在曼哈頓街道型態分佈上是較廣且平均，因此行動用戶的干擾度分佈呈現一連續的曲線；而圓環街道型態分佈範圍較小且分散，因此行動用戶的干擾度分佈呈現不連續的現象，進而影響功率大小的分佈。

藉由完整的模擬分析中我們可以發現，在基地臺範圍內為達到所要求的服務品質，除了地形環境上的影響之外，街道環境的分佈情況也會影響基地臺內整體的行動用戶所需要的功率大小。尤其是像圓環街道型態中的直線道路，恰好與基地臺呈線直線路徑，因此在傳輸上所造成的路徑損失情況將明確的減少，整體的功率大小也比其他非直線路徑的街道較小。

參考文獻

- [1] E. Damosso and L.M. Correia, (Editors), "COST 231 – Digital mobile radio towards future generation systems", Final Report, European Communication - COST telecom Secretariat, Brussels, Belgium, 1999.
- [2] C. Dou, "The Maximum Available Radio Resource of a WCDMA Downlink", IEICE Trans. Commun., Vol.E88-B, NO.11 November 2005.
- [3] K. Sipilä, Z.C. Honkasalo, J.L. Steffens, and A. Wacker, "Estimation of capacity and required transmission power of WCDMA downlink based on a downlink

- pole equation”, in *Proc IEEE VTC Spring 2000*, pp. 1002-1005.
- [4] K.I. Pedersen and P.E. Mogensen, “The downlink orthogonality factors influence on WCDMA system performance”, in *Proc. IEEE VTC Fall 2002*, pp. 2061-2065.
- [5] [5] L. Correia (Edition), “Wireless Flexible Personalised Communication – COST 259 Final Report”, *John Wiley & Sons*, May 2001.
- [6] L. J. Greenstein, V. Erceg, Y. S. Yeh and M. V. Clack, “ A New Path-Gain/Delay-Spread Propagation Model for Digital hannels”, *IEEE Trans. on Veh. Technol.* , vol. 46 no. 2, pp477-485, May 1997.
- [7] T. K. Sarkar, Z. Ji, K. Kim, A. Medouri, and M. Salazar-Palma, ”A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 45, No. 3, June 2003.