

國立高雄科技大學
電腦與通訊工程系

個人與行動通訊系統 課程專案



NKUST
國立高雄科技大學

實驗名稱：WCDMA 下鏈負載平衡模擬

班 級：電通四甲

學 號：C111110123

姓 名：趙柏堯

指導老師：吳介騫 教授

實驗日期：114/10/30

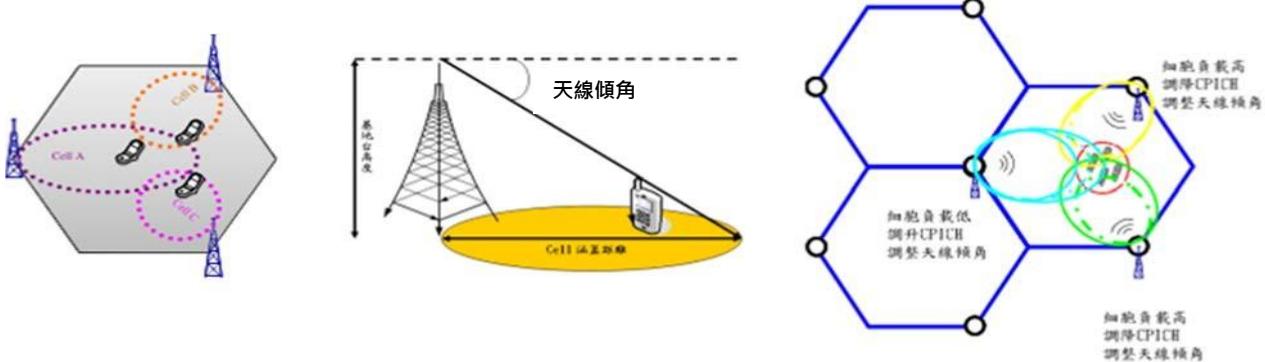
WCDMA 下鏈負載平衡模擬專案報告

根據文獻[1]對下行鏈路(簡稱下鏈)負載率 η_{DL} 定義為：

$$\eta_{DL}(m) = \frac{P_{CPICH} + P_{otherCCH} + P_{DCH(used)}}{P_{Total}} \quad (1)$$

其中，
 $P_{Total} = P_{CPICH} + P_{otherCCH} + P_{DCH} \quad (2)$

P_{CPICH} 為細胞的 CPICH Power (共同導引通道功率)， $P_{otherCCH}$ 為其他共同通道之功率， $P_{DCH(used)}$ 為已使用的 DCH 功率，而 P_{DCH} 為 DCH 可用總功率。假設一個細胞的總發射功率 P_{Total} 為 20 瓦， P_{CPICH} 為 0.5 ~ 2 瓦、 $P_{otherCCH}$ 為 1.6 瓦，根據(2)式，其 P_{DCH} 即為 16.4 ~ 17.9 瓦。觀察(1)式，調整 CPICH Power (共同導引通道功率)的同時，細胞的覆蓋區域會改變(如下方左圖所示)，因此要注意：若是覆蓋區域縮小時，是否有用戶因此而被斷話(call dropping)。另外，調整天線的傾角(如下方中圖所示)，也可改變細胞的覆蓋區域，同時也改變了服務的用戶數目及負載。因此，同時調整 CPICH Power (共同導引通道功率)及天線的傾角，可以達到：調整下鏈負載率的效果(如下方右圖所示)。本專題的模擬平台是 Matlab(版本 R2022a)，而使用模組則是源自文獻[2]中的軟體工具：NPSW – Matlab Implementation of a Static Radio Network Planning Tool for Wideband CDMA。



References:

- [1] E. Jugl, M. Schacht, and F. Derakhshan, “Dynamic Pilot Power Allocation in CDMA Systems,” in *5th IEE International Conf. on 3G Mobile Communication Technologies*, pp. 245-249, London, UK, 2004.

- [2] J. Laiho *et al.*, *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, 2nd Edition, Wiley 2005. (with Static Radio Network Simulator)

一、專案簡介

第三代行動通訊 WCDMA 系統中，下行功率與負載分布不均，會造成熱點基地台過載、掉話率上升、頻寬利用率不佳。透過模擬和實作負載平衡演算法，同時調整 CPICH Power 和天線傾角兩個參數，在滿足不減少用戶服務數和不超過負載上限等基本要求下，優化所有基地台的下鏈負載率分佈（目標是讓平均值和標準差越小越好），以提高整個 WCDMA 系統的網路效能和服務品質。

二、專案目的

利用 Matlab / NPSW 靜態無線網路規劃工具，針對 21 個基地台之 CPICH Power 與天線傾角進行調整。目標是在不降低已服務用戶數 (330 users) 的前提下，降低系統整體 CPICH 發射功率，並改善各基地台間的下鏈負載不均問題，使負載分布更加均勻，達到下鏈負載平衡之效果。

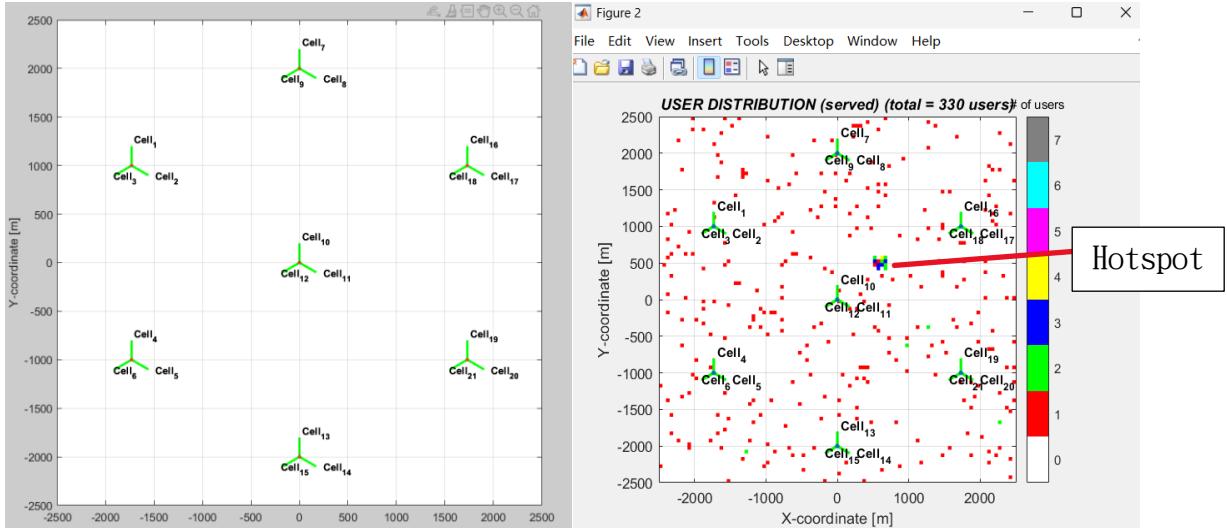
三、建立專案環境

使用 Excel 建立 BSpParam_2tier 檔案內容(如下圖一)，將檔案設定了 21 個基地台 (Cell ID:1~21)的參數。其中，column I 代表 CPICH Power (共同導引通道功率)，其預設值為 30 dBm；而 column N 代表 antTilt (天線傾角)，其預設值為 4 度。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	xPos	yPos	groundHeight	txMaxPower	txMinPower	txLab	CPICH_Po	commonCPICHTo	antType	antDir	antTilt	cableLoss	rmaGain	rfHeadGain	channel	windowA	numCarr	usedCarr	excessLoad	excessLoad			
2	-1732	1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	0	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
3	-1732	1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	120	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
4	-1732	1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	240	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
5	-1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	0	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
6	-1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	120	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
7	-1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	240	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
8	0	2000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	0	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
9	0	2000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	120	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
10	0	2000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	240	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
11	0	0	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	0	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
12	0	0	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	120	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
13	0	0	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	240	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
14	0	-2000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	0	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
15	0	-2000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	120	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
16	0	-2000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	240	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
17	1732	1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	0	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
18	1732	1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	120	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
19	1732	1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	240	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
20	1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	0	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
21	1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	120	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
22	1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	30	30	3.65deg	240	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	

圖一：建立系統最初參數

系統最初參數模擬：

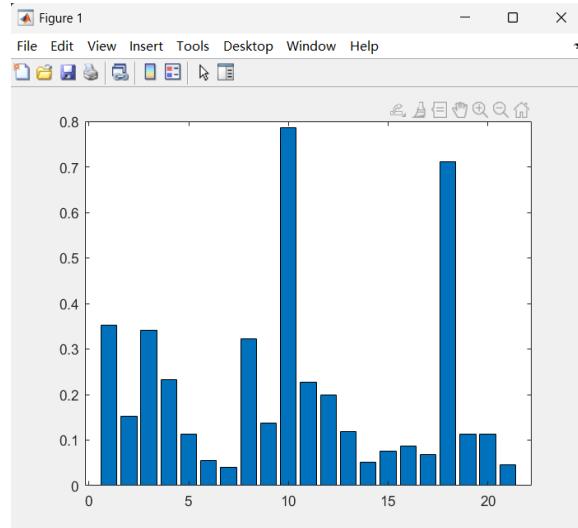


圖二：21 個 cell 小區佈局圖

圖三：(served)(total = 330 users)
代表：服務中的用戶數目有 330 人。
另外，圖中靠近 Cell 10 的附近有 Hotspot (熱點服務區)。

1. 服務用 戶 數 (Served Users) : 330
2. CPICH Power 總和 : 630 dBm
3. 基地台下鏈負載率的平均值為 : 0.2067
4. 基地台下鏈負載率的標準差為 : 0.2047
5. 最大負載 : 0.390924 (Cell 18)

基地台下鏈負載率分佈：

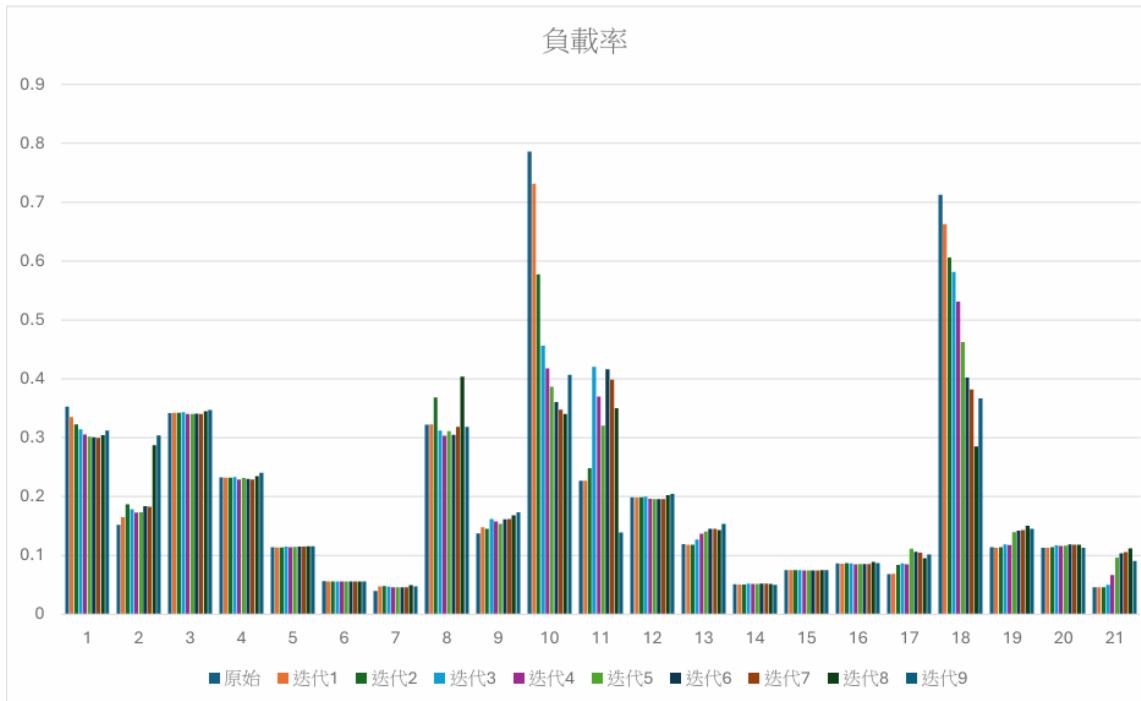


圖四：21 個基地台下行負載分布

Cell 1: 0.3526	Cell 2: 0.1518	Cell 3: 0.3419	Cell 4: 0.2320	Cell 5: 0.1136	Cell 6: 0.0560	Cell 7: 0.0397
Cell 8: 0.3219	Cell 9: 0.1372	Cell 10: 0.7854	Cell 11: 0.2266	Cell 12: 0.1987	Cell 13: 0.1191	Cell 14: 0.0506
Cell 15: 0.0751	Cell 16: 0.0860	Cell 17: 0.0679	Cell 18: 0.7119	Cell 19: 0.1135	Cell 20: 0.1129	Cell 21: 0.0458

四、負載平衡調校策略

1. 先以原始參數進行模擬，找出下鏈負載率較高之基地台，作為優先調整對象。
2. 對於高負載基地台，適度降低其 CPICH Power 或增加天線傾角，使覆蓋範圍略為縮小，以減少下鏈負載。
3. 同時觀察周邊低負載基地台之覆蓋情形，視情況略為提高其 CPICH Power 或減少傾角，讓部分原本由高負載基地台服務的用戶，改由鄰近低負載基地台接手。
4. 每次調整後重新執行模擬確認三項基本要求皆成立：(1) 服務中用戶數維持 330；(2) 每一基地台下鏈負載率不得超過 0.7；(3) CPICH Power 總和不得超過 630dBm。
5. 重複以上步驟，直到在不影響服務品質的情況下，CPICH Power 總和與負載標準差均難以再顯著下降為止。

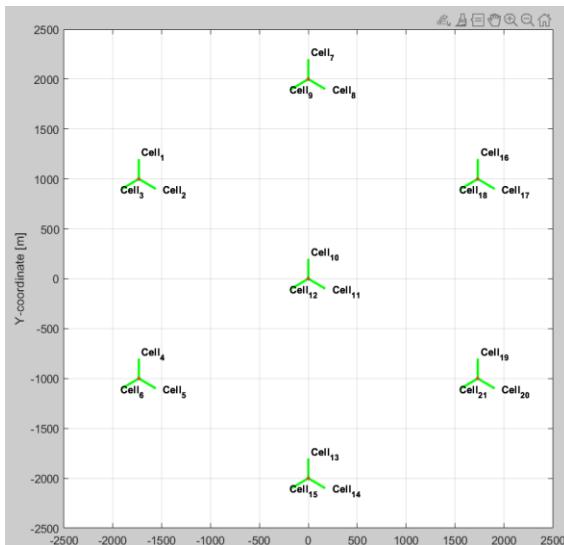


圖五:使用迭代方法過程

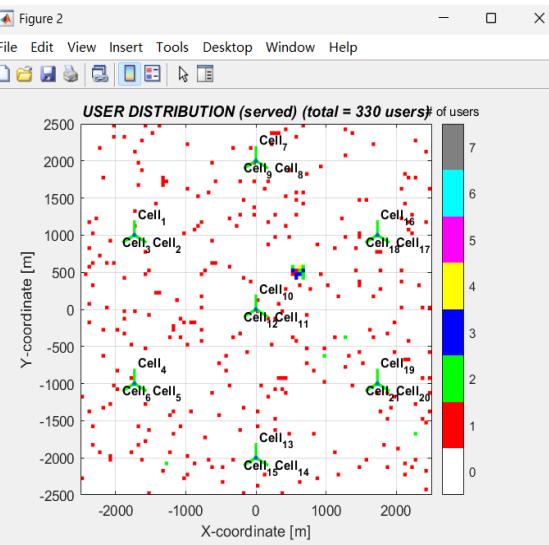
五、專案優化成果

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	xPos	yPos	groundHeight	txMaxPower	txMinPower	TxDLabs	CPICH_Po	commonCPICHToAntType	antDir	antTilt	cableLoss	rmaGain	rfHeadGain	channel	windowA	numCarriers	usedCarriers	excessLoa	excessLoad				
2	-1732	1000	0	35	43	40	.999	50	25	30	3.65deg	0	2	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
3	-1732	1000	0	35	43	40	.999	50	28	30	3.65deg	120	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
4	-1732	1000	0	35	43	40	.999	50	23	30	3.65deg	240	1	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
5	-1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	28	30	3.65deg	0	5	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
6	-1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	28	30	3.65deg	120	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
7	-1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	22	30	3.65deg	240	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
8	0	2000	0	35	43	40	.999	50	13	30	3.65deg	0	10	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
9	0	2000	0	35	43	40	.999	50	28	30	3.65deg	120	8	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
10	0	2000	0	35	43	40	.999	50	28	30	3.65deg	240	2	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
11	0	0	0	35	43	40	.999	50	25	30	3.65deg	0	6	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
12	0	0	0	35	43	40	.999	50	27	30	3.65deg	120	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
13	0	0	0	35	43	40	.999	50	28	30	3.65deg	240	2	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
14	0	-2000	0	35	43	40	.999	50	28	30	3.65deg	0	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
15	0	-2000	0	35	43	40	.999	50	22	30	3.65deg	120	1	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
16	0	-2000	0	35	43	40	.999	50	25	30	3.65deg	240	1	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
17	1732	1000	0	35	43	40	.999	50	28	30	3.65deg	0	4	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
18	1732	1000	0	35	43	40	.999	50	28	30	3.65deg	120	5	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
19	1732	1000	0	35	43	40	.999	50	25	30	3.65deg	240	6	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
20	1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	27	30	3.65deg	0	3	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
21	1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	25	30	3.65deg	120	3	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	
22	1732	-1000	0	35	43	40	.999	50	27	30	3.65deg	240	6	3	0	0	1	-3	1	1	0.85	0.85	

圖六：優化過後的 CPICH Power 與天線傾角參數



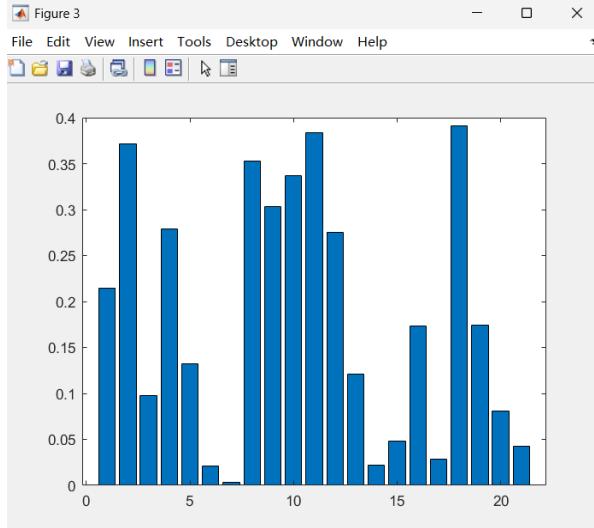
圖七：21 個 cell 小區佈局圖



圖八：(served)(total = 330 users)
服務中的用戶數目一樣維持在 330 人。
未犧牲用戶涵蓋率。

系統優化後參數模擬：

1. 服務用戶數 (Served Users) : 330
2. CPICH Power 總和 : 534 dBm
3. 基地台下鏈負載率平均負載率 : 0.1835
4. 基地台下鏈負載率標準差為 : 0.1337
5. 最大負載 : 0.390924 (Cell 18)



基地台下鏈負載率分佈：

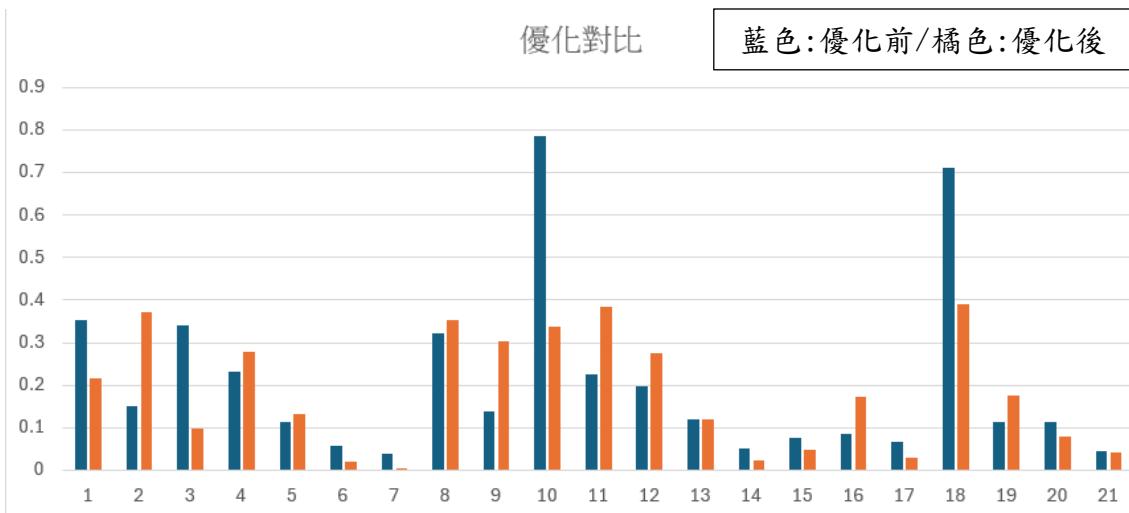
圖九：21 個基地台下行負載分布

Cell 1: 0.2149	Cell 2: 0.3718	Cell 3: 0.0980	Cell 4: 0.2787	Cell 5: 0.1323	Cell 6: 0.0211	Cell 7: 0.0029
Cell 8: 0.3532	Cell 9: 0.3033	Cell 10: 0.3367	Cell 11: 0.3836	Cell 12: 0.2757	Cell 13: 0.1211	Cell 14: 0.0219
Cell 15: 0.0480	Cell 16: 0.1733	Cell 17: 0.0286	Cell 18: 0.3909	Cell 19: 0.1746	Cell 20: 0.0807	Cell 21: 0.0425

六、 調校後效能指標比較

經多次調整 CPICH Power 及天線傾角後，最終同時滿足 330 名使用者皆獲服務，且各基地台下鏈負載率均明顯低於 0.7 的參數組合作為最佳解。根據最終模擬結果計算三項效能指標如下表所示。

指標	未調整前	調整後	差異
CPICH Power 總和 (dBm)	630 dBm	534dBm	減少 96dBm / 15.24%
基地台下鏈負載率 平均值	0.2067	0.18352	降低 0.02318/11.21%
基地台下鏈負載率 標準差	0.2047	0.13374	降低 0.07096/ 34.67%



圖十：調校前後 21 個基地台下行負載分布對比

本次調校後之 CPICH Power 總和為 534 dBm，相較於未調整前的 630 dBm，降低了約 96 dB。在不降低服務用戶數的前提下，整體發射功率明顯下降，有助於減少小區間干擾並提升能源使用效率。

基地台下鏈負載率的平均值由原始的 0.2067 降為 0.18352，差異為 -0.02318。此結果代表整體基地台的平均負載較為輕盈，系統在面對用戶數變動時具有較大的餘裕空間。

基地台下鏈負載率的標準差由 0.2047 降為 0.13374，減少了 0.07096。負載標準差的降低意味著各基地台負載之間的差異縮小，高負載基地台的壓力已成功部分轉移至原本負載較低之基地台，達到負載平衡的設計目標。

七、結論與心得

本次 WCDMA 下鏈負載平衡模擬顯示，透過適當調整 CPICH Power 與天線傾角，可以在不減少服務用戶數的條件下，同時達成以下幾項目標：

- 系統 CPICH Power 總和 630 dBm 降至約 534 dBm，整體發射功率明顯降低。
- 基地台平均負載由 0.2067 降至約 0.1835，各基地台運作較為輕載。
- 負載標準差由 0.2047 降至約 0.13374，負載分布更集中，負載平衡效果良好。
- 服務中用戶數維持在 330 人，顯示調校過程並未犧牲用戶涵蓋率。

透過本次專案，可以體會到無線網路規劃中「功率、覆蓋與負載」三者之間的關聯性：提高 CPICH Power 雖然可以擴大覆蓋範圍、吸引更多用戶，但也容易造成個別基地台負載過高；適度降低功率並配合天線傾角調整，能在一定程度上轉移用戶至鄰近基地台，在整體干擾與容量之間取得平衡。