

利用蟻群演算法改善基地台間負載平衡機制-以 WCDMA 為例

許燕斌¹、張伯浩²、吳峰蒼³、蔡坤城⁴

^{1,2} 國立東華大學電機工程系

³ 空軍航空技術學院航空電子工程科

⁴ 空軍航空技術學院軍事學科部戰航管氣象組

摘要

隨著通信技術發展，行動通信技術自第一代迄今已進入第四代行動通信世代，第二代行動通信雖已具備數據服務功能，但仍以語音服務為主，在第三代行動通信的帶領下，行動電話上網正式進入寬頻時代，在第四代行動通信尚未普及前，現階段行動通信用戶仍以第三代行動通信為主，根據國家通訊傳播委員會（NCC）統計數據顯示，2014 年第三代行動通信用戶數約 2518 萬，基地台量數量約 3 萬座，結果常使毗鄰基地台居民激烈抗爭事件層出不窮，於是 NCC 對基地台數量進行總量管制，基地台的架設數量增加有限，便使得某些負載較重基地台將瀕臨超載（Over Loading），與相鄰的基地台間的話務量便產生了不平衡，透過演算法的運算及遠端遙控機制，調整基地台天線傾角及 CPICH Power，可依用戶現況改變細胞涵蓋範圍，而不需要增加或調整任何基礎建設。

蟻群演算法 ACO(Ant Colony Optimization)，係模擬螞蟻循同伴費洛蒙氣味引導尋找食物的程序，隨著時間及費洛蒙濃度變化，找出較短路徑，一般用於處理最短路徑及優化問題。因此，我們將利用蟻群演算法調整基地台天線傾角及 CPICH Power，在不犧牲其他行動通信用戶服務權益下，使鄰近細胞負載量趨近於平衡。在電腦模擬結果，採用蟻群演算法進行調整，不但降低高負載細胞傳輸量，亦減少未服務用戶數數量，提升用戶品質。

1. 前言

無線通信產業的發展，民眾也可以享受到優質的無線行動通信服務，生活或工作著實增加許多便利，行動電話因具有移動性，所以基地台的話務量也隨著用戶的位置而有所不同，因此，在某些人潮聚集的地點如車站、百貨公司等，話務量也會將較一般地點來的多（即所謂的 Hotspot），但由於一般民眾對基地台的電磁波仍有疑慮，所以當無法在上述地點架設基地台時，這些高話務量便集中於某一特定基地台，使得該基地台的負載量過高，但是也因用戶分布的不均勻性，在高負載基地台週圍的其它基地台，話務容

量卻仍有餘裕，這就造成了負載不平衡現象。因此，系統業者如何在既有基地台上做品質優化，務求以最少的基地台設置，達到最佳的涵蓋及最大的容量，是目前各業者所積極研究的一個重要課題。

2. 蟻群演算法

蟻群演算法設計之初是用來解決旅行業務員的問題 (traveling salesman problem, TSP)，螞蟻行進過程中，將依照路徑上費洛蒙的濃度高低，而決定行進的路線，如果在螞蟻原先的行進路線上加入一障礙物，則螞蟻會繞開障礙物而產生 2 條不同度路徑，剛

開始所有螞蟻 2 條路徑都會行進，隨著時間變化，2 條路徑的費洛蒙值將會有所變化，路徑較短的費洛蒙值因螞蟻來回次數較多，所以濃度較高，將吸引其他螞蟻往這條路徑前進，隨著時間越久，後面的螞蟻也會朝著較短的路徑前進，直到所有螞蟻都由此路線行進。

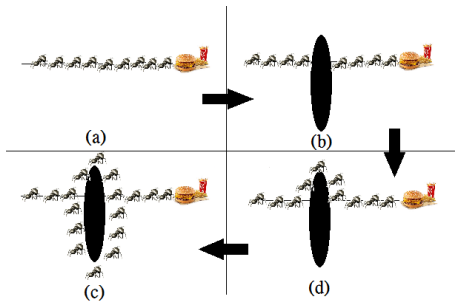


圖 2-1 真實螞蟻覓食行為

螞蟻演算法即模擬自然界中螞蟻尋找食物的過程，假設 m 隻螞蟻在行進過程中，在疊代時，由 i 到 j 點的機率如下式：

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij}(t))^\alpha \times (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} (\tau_{iu}(t))^\alpha \times (\eta_{iu})^\beta} & , \text{if } j \in J_k(i) \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-1)$$

$\tau_{ij}(t)$ 是在 t 疊代時，節點 i 到節點 j 的費洛蒙濃度， η_{ij} 是節點 i 到節點 j 距離的倒數， $J_k(i)$ 是第 k 隻螞蟻在節點 i 時尚未走過節點的集合， α 是費洛蒙資訊之參數， β 是距離倒數之參數，當螞蟻從節點 i 選擇下一個節點 j 時， $(\tau_{ij}(t))^\alpha \times (\eta_{ij})^\beta$ 的值愈大，則路徑 ij 被選到的機率就會愈大。當每隻螞蟻選擇完所有的節點時，即建構出一個解，就要對路徑上的費洛蒙進行更新，費洛蒙更新公式如下：

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \delta) \times \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (2-2)$$

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & , \text{if } k\text{th ants in edge } ij \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-3)$$

δ 是費洛蒙蒸發係數， Q 是影響費洛蒙的參數， L_k 為第 k 隻螞蟻所得到的解。每完成一次費洛蒙的更新則為完成一次疊代，當產生的最佳解不再變動或是疊代到固定的次數後，就結束螞蟻最佳化演算法，執行步驟如後：

- 將問題轉換成路徑的方式表示。
- 決定費洛蒙資訊參數 α 、距離倒數之參數 β 、費洛蒙蒸發係數 δ 、影響費洛蒙的參數 Q 、螞蟻數量 m ，設定起始迭代次數 $t=0$ 。
- 螞蟻開始爬行，每隻螞蟻選擇路徑的機率依照公式(2-1)決定，一隻螞蟻爬行完所有的節點時，即建構出一個解。所有的螞蟻爬完所有的節點。
- 所有路徑的費洛蒙濃度依照公式(2-2)及(2-3)進行更新。
- 在下一時刻判斷是否達到終止條件，當產生最佳解，不在變動時，或達到所設定之疊代次數，則完成演算過程，否則回到步驟 3 重新 搜尋路徑。
- 獲得最佳化解。

3. 研究方法

在 WCDMA 系統裡，細胞利用 CPICH Power 來宣示服務涵蓋範圍及調整天線傾斜角來減少基地台間互相干擾、控制涵蓋範圍與加強信號強度，所以調整其功率值及天線傾角對於細胞服務涵蓋範圍有著絕對的影響，將高負載細胞的部份負載量分攤至鄰近低負載細胞，進而達到負載平衡，其原因如下：

- 可有效且快速改變細胞涵蓋範圍，進而改變其細胞負載率。
- 不需進行任何硬體施工，亦不需增加任何額外成本。

故本論文將利用螞蟻演算法調整 CPICH Power 及(或)天線傾角作為改善負載不平衡

問題的主要方法。當細胞負載率過高時，調整 CPICH Power 及(或)天線傾角降低細胞負載率；但是不能只是一昧地調整，調整同時需考慮到涵蓋範圍是否有過度收縮的情況，若涵蓋範圍過度收縮，則細胞間會有涵蓋空洞，將會導致該區的用戶被中斷服務。

所以，調整並非只是著重於細胞的負載率，若因過度調整而造成高斷話率，則影響服務品質，增加使用者對系統業者之不滿；因此，負載平衡機制應在用戶不中斷服務的前提下，成功地 SHO 至鄰近細胞，而並非強迫用戶中斷服務。

3.1 模擬環境及參數設定

3.1.1 基地台及用戶分佈

為探討文獻[11]所提出的演算法能有效的平衡細胞間的負載率，在模擬的過程裡參考文獻[1]，基地台的分布分為均勻分布及非均勻分布二種，採用 7 個基地台進行模擬測試，每一個細胞之覆蓋範圍與第二代行動通訊系統之「蜂巢式」相同。圖 3-1 為基地台均勻分布之分布圖、圖 3-2 為基地台非均勻分布之分布圖。

用戶數的分布是先以隨機方式產生 300 個用戶，均勻的分布在 5km x 5km 範圍之間。由於我們是探討 Hotspot 細胞間負載不平衡的議題(計為一個 Hotspot、二個 Hotspot 及三個 Hotspot 區域)，故假設在其範圍(200m*200m)上，一個 Hotspot 用戶數為 30 個，而總用戶數量為 330、360 及 390 個。其中，用戶所使用的傳輸速率則包含所有 WCDMA 系統所能提供的數據及語音傳輸速率，亦即 12.2kbps、64kbps、144kbps 及 384kbps，我們將此情境以軟體進行模擬。

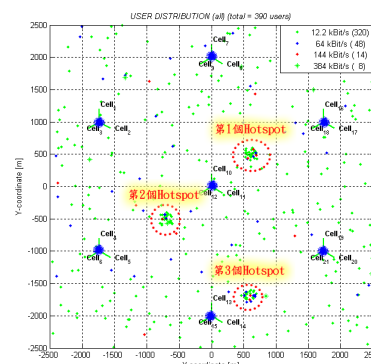


圖 3-1 基地台均勻分布之分布圖

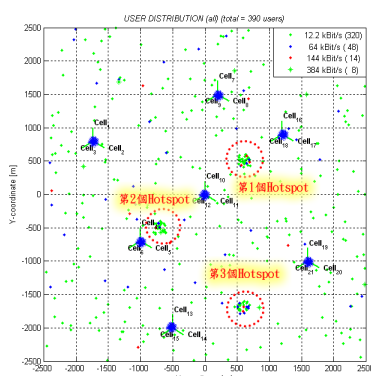


圖 3-2 基地台非均勻分布之分布圖

3.1.2 環境參數

除了以上所定義的參數外，其它參數我們則以文獻[11]所定義的參數值為主，而其它未定義的參數，則是以 3GPP 所訂定之標準或以目前國內電信業所設定的值為，表 3-1 為模擬環境及參數值設定表。

Range of eligible CPICH powers		[27,33] dBm
Power step		0.5 dB
Range of eligible Downtilt angles		[0,9] deg
Angle step		1 deg
Macrodiversity window size		3 dB
Minimum required CPICH Ec/Io		-12 dB
BS	Maximum TX power	43 dBm
	Maximum TX power Per Link	40 dBm
	Noise power	-103 dBm
UE	Maximum TX power	21 dBm

Minimum TX power	-44 dBm
Noise power	-100 dBm
Noise Power Density	-174 dBm/Hz

表 3-1 模擬參數設定值

3.2 演算法說明

3.2.1 演算法之預設值

(1) 基地台下行鏈結負載量

$$\eta_{DL}(n) = \frac{P_{CPICH} + P_{OtherCCH} + P_{DCH(used)}}{P_{Total}} \quad (3-1)$$

(2) 成本值(所有基地台下行鏈結負載量之平均)

$$cost = \frac{1}{MS} \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^M \eta_{DL}(n, s, p, l) \quad (3-2)$$

S : 模擬次數; M : 細胞數量; n : 細胞編號;
 p : CPICH Power; l : 天線傾角。

(3) 期望值(每座細胞改善 η_{DL} 目標)

$$goal = 1 / \left| cost - \min \{ \eta_{DL}(m, s, p, l) \} \right| \quad (3-3)$$

(4) 費洛蒙更新

$$\tau_{ij}(S) = (1 - \delta) \times \tau_{ij}(S) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (3-4)$$

S : 模擬次數; δ : 費洛蒙蒸發係數; m : 第 m 隻螞蟻; $\tau_{ij}(S)$: 第 S 次模擬之費洛蒙值

(5) 路徑選擇機率更新

$$p_{ij}^k(S) = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij}(S))^\alpha \times (goal)^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} (\tau_{iu}(S))^\alpha \times (\eta_{iu})^\beta} & , \text{if } j \in J_k(i) \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases}$$

(6) 參數設定

設定費洛蒙資訊之參數 α 為 0.8, 距離倒數之參數 β 為 2, 費洛蒙蒸發係數 δ 為 0.3, 各細胞負載率與平均值之差費洛蒙濃度初始值設定為 1, 並設定螞蟻數量為 150。

3.2.2 演算法流程圖

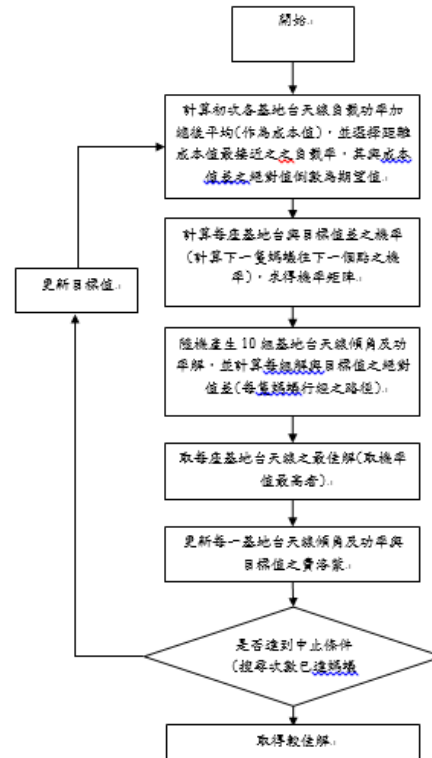


圖 3-3 蟻群演算法運作流程流程圖

4. 模擬結果分析

由下列模擬結果得知(圖 4-1 至圖 4-6), 我們使用蟻群演算法, 不論是在基地台均勻分布或是非均勻分布及負載量輕或重之情況下, 均能有效地將高負載量之基地台實施負載轉移, 採由負載量較低之基地台接手運作, 惟整體負載量之平均仍高於模擬退火法, 但本篇所採用的蟻群演算法是著重於快速收斂方面的優點。

4.1 基地台均勻分布

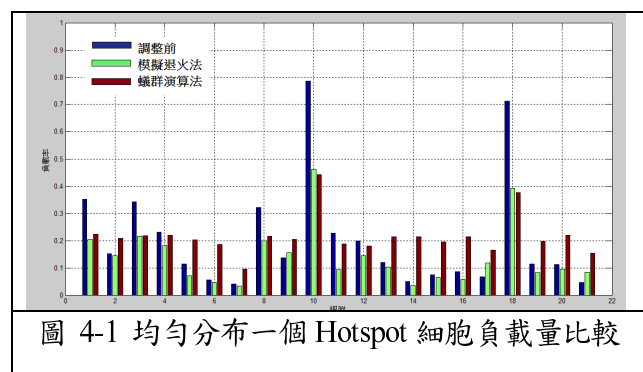


圖 4-1 均勻分布一個 Hotspot 細胞負載量比較

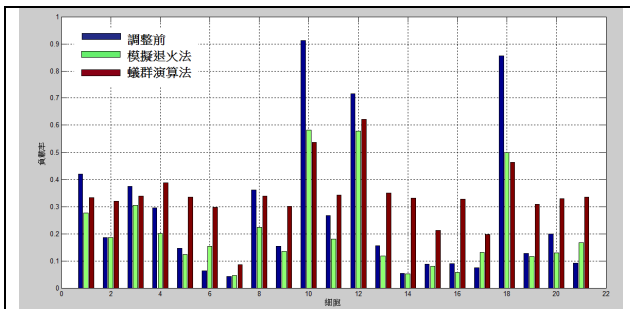


圖 4-2 均勻分布二個 Hotspot 細胞負載量比較

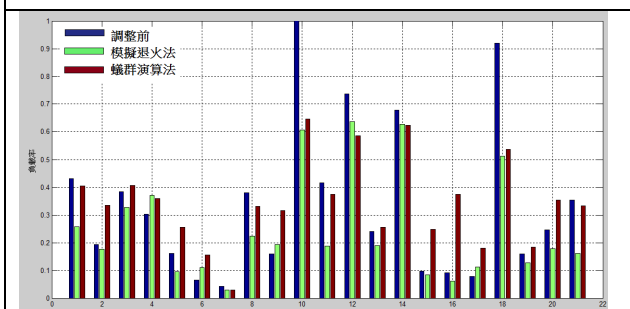


圖 4-3 均勻分布三個 Hotspot 細胞負載量比較

4.2 基地台非均勻分布

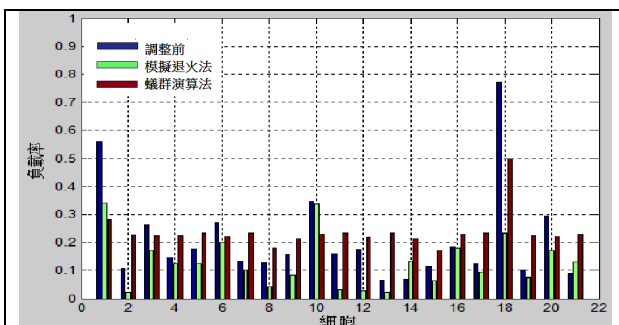


圖 4-4 非均勻分布一個 Hotspot 細胞負載量比較

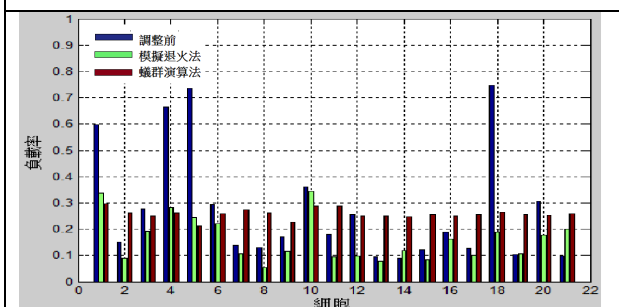


圖 4-5 非均勻分布二個 Hotspot 細胞負載量比較

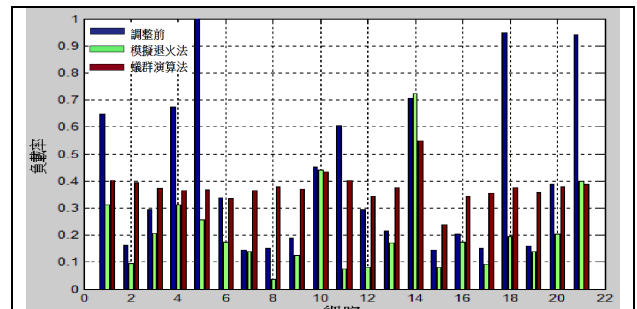


圖 4-6 非均勻分布三個 Hotspot 細胞負載量比較

5. 結論

在本次研究中，我們使用了蟻群演算法針對 330、360 及 390 個用戶，分布在 7 個基地台均勻與非均勻分布的服務環境中，並模擬其所衍生 1 至 3 個熱點情況，進行 WCDMA 網路中各個細胞的 CPICH Power 及天線傾斜角最佳化，在與由模擬退火法所進行最佳化的模擬進行比較，上述 2 種演算法均有效降低高負載量細胞負載率，有效改善全區域細胞負載平衡情況，且不因細胞涵蓋範圍改變而犧牲部分用戶服務，在細胞均勻分布的情況下，模擬退火法及蟻群演算法在細胞平衡及提升用戶品質上，均達一定水準，但在較實際環境相近的基地台非均勻分布模擬環境中，蟻群演算法無論在於平衡機制及降低未服務用戶數，均優於模擬退火法，且在電腦模擬過程中，蟻群演算法以較佳的收斂速度，可在較短時間內提供細胞 CPICH Power 及天線傾斜角的最佳化組合，在手機用戶隨時可能移動的情況下，即時提供各細胞較佳的調整方案，整體而言，蟻群演算法在本次研究的運用上，較模擬退火法可提供較佳調整組合及較短運算時間。

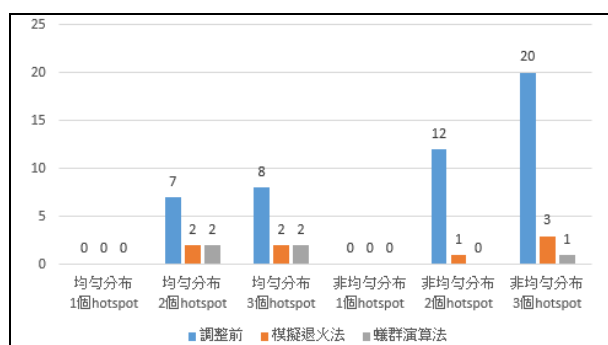


圖 5-4 細胞無法服務用戶數比較

參考文獻

- [1] 王啟成, "優化 WCDMA 網路中 CPICH 功率以實現具有涵蓋限制之負載平衡", 碩士論文, 國立高雄第一科技大學, 2010
- [2] H. Zhu, T. Buot, R. Nagaike, and S. Harmen, "Load Balancing in WCDMA Systems by Adjusting Pilot Power," in The 5th International Symp. on Wireless Personal Multimedia Communications, Honolulu, Hawaii, 2002, pp. 936-940.
- [3] J. Sánchez-González, O. Sallent, J. Perez-Romero, and R. Agusti, "On managing Dynamic Traffic Hotspots in WCDMA Networks," in IEEE 16th International Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Berlin, Germany, 2005, pp. 336-340.
- [4] H. Holma and A. Toskala, WCDMA for UMTS : HSPA Evolution and LTE, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [5] 陳國弘, "第三代行動通訊系統負載平衡機制研究", 碩士論文, 國立高雄第一科技大學, 2008.
- [6] 陳清永, "WCDMA 網路中熱點細胞話務負載平衡之研究", 碩士論文, 國立高雄第一科技大學, 2009.
- [7] 吳峰蒼, "利用模擬退火法實現 WCDMA 網路中具有涵蓋限制之負載平衡", 碩士論文, 國立高雄第一科技大學, 2010.
- [8] Jiayi Wu, John Bigham, Peng Jiang, "Tilting and Beam-shaping for Traffic Load Balancing in WCDMA Network." Neophytou, J.P, 2006.
- [9] J. Sánchez-González, O. Sallent, J. Perez-Romero, and R. Agusti, "On managing Dynamic Traffic Hotspots in WCDMA Networks," in IEEE 16th International Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Berlin, Germany, 2005, pp. 336-340.
- [10] I. Siomina, "P-CPICH power and antenna tilt optimization in UMTS networks", in Proc. Of AICT/SAPIR/ELETE 2005 -Advanced Industrial Conf. on Telecomms./Service Assurance with Partial and Intermittent Resources Conf./E-Learning on Telecomms. Workshop, Lisbon, Portugal, July., 2005.
- [11] M. García-Lozano, S. Ruiz, and J. J. Olmos, "UMTS Optimum Cell Load Balancing for Inhomogeneous Traffic Patterns," in IEEE 60th Vehicular Technology Conf., Los Angeles, CA, USA, 2004, pp. 909-913.
- [12] E. Jugl, M. Schacht, and F. Derakhshan, "Dynamic Pilot Power Allocation in CDMA Systems," in 5th IEE International Conf. on 3G Mobile Communication Technologies, London, UK, 2004, pp. 245-249.
- [13] A. Coloni, M. Dorigo, V. Maniezzo, "Distributed optimization by ant colonies," Proceedings of the 1st European

Conference on Artificial Life ,1991,
pp.134-142.

- [14] M. Dorigo and C. Blum, “ Ant colony
optimization theory: A survey,” theoretical
Computer Science, vol.344,no. 2-3,
pp.243-278, 2005.

