

以改良式基因演算法解決行動通訊中基地台規劃的問題

蔡正發* 楊澤 廖宏仁 曾慶昌

國立屏東科技大學資訊管理系

cftsai@mail.npust.edu.tw

摘要

近年來行動通信的蓬勃發展，其中最熱門也最常被探討的研究議題是基地台細包規劃的問題，而位置管理除了是影響細包規劃的成本因素外，更是無線通信網路中，最重要的行動計算 (Mobile Computing) 探討議題。本研究重點將著重在如何作細包最佳化的配置以使位置管理更有效率，成本最小化。如何找到細包網路的最佳配置，已被證明是屬於 NP-Complete 的問題，許多學者並嚐試以智慧型演算法應用在該類問題上。本研究主要是採用 John Holland 所提出的基因演算法 (Genetic Algorithm; GA) [10, 12, 13] 應用在基地台細包規劃的問題中，並提出新的一些方法以提升基因演算法在該問題的求解能力，其中包含初始解 (Initialization)、區域搜尋 (Local Search)、區域交配 (Area Crossover) 和細包交配 (Cell Crossover) 等方法，經由實驗結果顯示這些方法都有令人滿意的效果，最後並實作出呈報細包位置管理系統 (Reporting Cell Location Management System)，以期能應用在真實行動通信網路中。

關鍵字：基地台配置、位置管理、基因演算法、呈報細包

一、前言

(一)、問題定義

近年來行動通信挾著在任何時間、任何地點都可以方便使用的通信方式，其所衍生的相關研究問題，吸引學術界爭相投入，其中最熱門也最常被探討的研究議題是基地台細包規劃 (Cell Planning, CP) 的問題 [5, 7, 8, 9, 16, 17]，影響細包規劃的因素很多，如成本、服務品質 (Quality of Service, QoS)、頻率規劃 (frequency assignment)、人口分布 (population distribution)，無線傳播衰落效應 (radio propagation and fading effect)、環境干擾

(interference environment)、涵蓋區域大小 (coverage area) ... 等的考量 [8, 16, 17]。其中成本是最主要的因素之一，而位置管理 (Location Management, LM) 除了是影響成本最大的因素外 [1, 4, 8, 11, 14, 15, 18]，更是無線通信網路 (wireless communication network) 中，最重要的行動計算 (Mobile Computing) 探討議題，圖 1 為 GSM 行動通信信號網路架構圖。

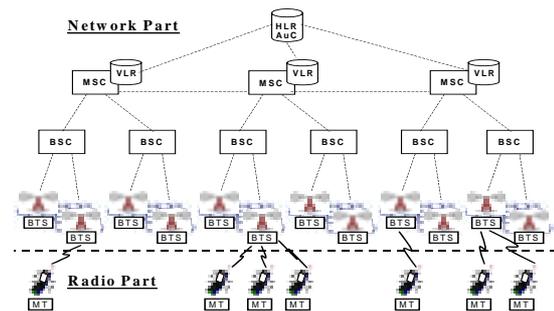


圖 1 PCS signaling network architecture (a GSM example)

所謂位置管理 [1, 2, 3, 4, 8, 14, 16, 17, 18] 主要關心的問題乃是當行動終端設備 (Mobile Terminal, MT) (如手機) 移動到不同的基地台細包涵蓋區或接受來電時所必須執行的註冊或搜尋動作，因此位置管理 (LM) 包含兩部分，一為位置更新/註冊 (Location Update, LU, 或稱 Register)，當 MT 移動到新的基地台細包涵蓋區時，必須向網路回報目前位置已經變更，並記錄在網路的資料庫 (HLR/VLR) 中 [1, 4, 8, 14]，另一為位置搜尋 (Location Tracking, LT, 或稱 Paging/Searching)，是指若有來電 (call arrival) 欲轉接至行動手機 (called MT) 時，網路必須能夠透過基地台 (Base Station, BS)

正確的搜尋到 MT 目前所在的位置，並將來話轉接至該 MT，所以 LM 的目的在記錄及尋找行動手機的位置。本研究重點將著重在已知基地台網路中如何作細包最佳化的配置以使 LM 更有效率、平衡 LU 及 LT 動作，使成本最小化下的細包規劃議題上，提出更有效率並以最少的額外信號 (overhead traffic) 而能正確的找到 MT 的位置，是屬於組合最佳化的問題 (Combinational Optimization Problem) [18]，而如何找到細包網路的最佳配置，已被證明是屬於 NP-Complete 的問題[1, 2, 3]。

有關 LM 所採用的技術，學術界討論的很多[1, 2, 3, 4, 8, 14, 16, 17, 18]，其最終目的在降低 LM 成本。其中最簡單的兩種方式為：永遠註冊 (Always-Update, AU) 與永遠搜尋 (Always-Search, AS) [2, 3, 8, 16, 17]；在 AU 方法中，只要 MT 進入新基地台的涵蓋區，就必須執行 LU，在 AS 方法中，不需執行 LU，當有來電需轉接此 MT 時，行動通訊網路必需全面搜尋所有基地台，這兩種策略屬於極端的例子，目前蜂巢式系統(Cellular system)大多混用這兩種方式 [16,17]，表 1 為三種簡單策略的比較表。

表 1 永遠註冊、永遠搜尋及混合策略比較表

	註冊成本	搜尋成本
永遠註冊	高	忽略
永遠搜尋	忽略	高
混合策略	中	中

分區 (Location Area, LA)方法[8, 16, 17, 18] (如圖 2)，將基地台網路分割成數個地理區域(regions)，每個區域由一個以上的細包(cell)所組成。在同一分區內採用 AS 方法；而不同分區間採用 AU 方法，因此只有當使用者在不同分區間移動時，才須執行 LU。本法的缺點是每個細包的話務特性(traffic pattern)不同，因此無法切割出最佳的細包組態 (cell configuration)，使 LU 成本降到最低得到最佳

解，此外如 LA 切割太大會有信號傳送延遲的問題[18]，另一個缺點是如果 MT 在相鄰 LAs 間來回移動會產生額外的 LU 成本[15]。

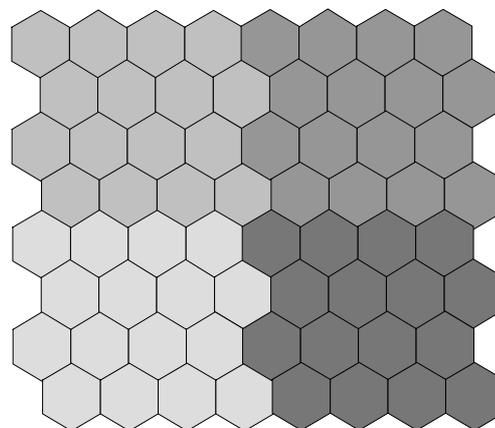


圖 2 Region representing location area(LAs)

資料來源：Subrata et al., 2003

Chen 等人[4]針對 LM 問題提出複製法 (replication) 以及傳遞法 (forwarding) 交互運用，並定義來電次數 (call arrival rate) 及移動次數 (mobility rate) 的比值 (Call to Mobility Ratio, CMR)，當 CMR 值高時，複製法較有效率，而當 CMR 值低時，傳遞法較有效率，此方法之缺點為 CMR 值的判定會造成網路額外的負荷 (overhead) 並增加 LM 的複雜度。此外，作者並提出混合兩法的 CMR threshold-based 方式，但缺點的部分仍然存在。

在動態的 LM 方法上[14, 18]，強調 LA 的大小可根據行動電話用戶的移動特性以及通話型態 (mobility and calling pattern) 的改變來決定，動態方法最主要的問題在於 MT 用戶的移動特性以及通話型態會經常改變，因而產生額外之 overhead，造成原動態 LA 並不能使 LM 之成本最低，若要配合用戶不斷的調整 LA，不但上不實際也不經濟。

Ali[1] 針對 LM 的問題主要探討考慮 LU 的因素下如何將蜂巢式網路作 LA 最佳的分割，其中並忽略搜尋 (paging) 因素僅將其當作一控制參數，Ali 將 LM 問題轉換成節點容

量圖形分割問題 (Graph Partitioning Problem, GPP), 並進一步用整數規劃問題 (Integer Programming Problem, IPP) 加上 B&B 演算法 (Branch and Bound Algorithm) 求解, 由實驗數據中我們觀察到其主要缺點是求解的效率不佳。

Ratnam 等人[15]及 Tabbane [18]針對 LM 提出分散式位置管理方法 (Distributed Location Management, DLM), 此法主要在解決集中位置管理以及三角繞徑 (Centralized LM and Triangular Routing) 問題, DLM 的缺點是, 資料庫的建置成本過高, 同時增加網路的複雜度以及 LM 的成本, 不符經濟效益。

另外一種 LM 的方法類似 LA, 將網路中的部分細包集合指定為呈報細包 (Reporting Cell, RC) / 呈報中心 (Reporting Center, RC) [2, 3, 8, 16, 17], 只有當 MT 移動至 RC 的涵蓋區時才需執行 LU 的動作, 當有 MT 受話 (Mobile Terminated call, MT call) 的來電時, 以 RC 為中心針對周圍歸類為其鄰居 (vicinity) 的非 RC (Non Reporting Cell, NRC) 所屬基地台執行搜尋動作, 此法的優點可根據基地台細包的話務特性 (traffic pattern), 動態的規劃基地台細包的配置, 對網路的衝擊也最小, 本文試圖以此方式為基礎, 提出比先前學者所提出更有效率的方式。

(二)、位置管理的成本

有關 LM 成本的計算, 雖然各學者提出的公式不同[1, 4, 5, 6, 8, 14, 16, 17, 18], 仔細探究其背後的基本精神卻如出一轍, 即包括 LU 的成本以及搜尋 MT 位置的成本兩部分, LU 又可細分為 BS 向 VLR 執行 LU 以及 VLR 向 HLR 執行 LU 的成本, 分別以 C_{vlr} 及 C_{hlr} , 兩者之和為 C_{lu} , 本研究將合併考慮 C_{lu} , 搜尋成本則單純由行動網路透過 BS 搜尋 MT 位置的成本, 以 C_p 表示。在實務上經過精確估算, LU 的成本約為 LT 的 10 倍 [16, 17, 18],

得到如下 LM 總成本公式:

$$C_{total} = \alpha \times C_{lu} + C_p \dots\dots\dots(1)$$

C_{lu} 表示在 T 時間下 LU 的次數, C_p 表示 T 時間下 LT 的次數, 而 α 為一固定常數, 表示 LU 與 LT 間相對的成本比例, 假設每個 Cell i 的移動 (movement) 權值以 w_{mi} 表示, w_{mi} 為 MT 移動進入 Cell i 的頻率或總數, 來電 (call arrival) 權值以 w_{ci} 表示, w_{ci} 為 Cell i 中來電的頻率或總數, C_{lu} 表示在 T 時間下 LU 動作的總數, C_p 表示 T 時間下 LT 的總數, $v(j)$ 表示 Cell j 的鄰近細包值, N 表示在網路中細包的總數, 而 S 表示在網路中 RC 的集合, 可得到下面的方程式 (2) [16, 17, 18]:

$$C_{lu} = \sum_{i \in S} w_{mi}$$

$$C_p = \sum_{j=0}^{N-1} w_{cj} \cdot v(j) \dots\dots\dots(2)$$

結合方程式 (1)、(2), 可以得到特定 RC 組態下 LM 成本的計算方程式 (3) [16, 17, 18],

$$C_{total} = \alpha \times \sum_{i \in S} w_{mi} + \sum_{j=0}^{N-1} w_{cj} \cdot v(j) \dots\dots(3)$$

本文也探討在不同成本比例的結構下的執行效率。另外為了便於評估, 成本的計算均經過正規化 (normalization) 的處理以取得一致的比較基礎。

(三)、基地台網路架構

在實際行動通信網路裡, 每個細包的涵蓋區大小及形狀並不一致, 為了便於探討, 我們假設每個細包的涵蓋區均為六邊形且大小一致 (homogeneous cell), 最多有六個細包相鄰。根據 Bar-Noy [2, 3] 所提在採用呈報細包 (Reporting Cell, RC) / 呈報中心 (Reporting Center, RC) 的方法中, 每個 RC 擁有屬於自己的最大鄰近細包 (neighbor cells) 搜尋範圍, 稱為鄰近細包值 (Vicinity value), 例如圖 3 中灰色區域被指定為 RCs, 以細包 11 為例的鄰近

細包(Vicinity cell)包含 0、1、10、16、21、22 加上 Cell 11 本身，得到 Cell 11 的鄰近細包值為 8。本研究中所採用的細包網路 Benchmark 分別為 4x4、6x6、12x12、20x20 的細包組態 (cell configuration)，其中 4x4 及 6x6 參考 Subrata [16, 17] 等人之文章，12x12 為隨機產生數據、20x20 為電信業者實際之數據。

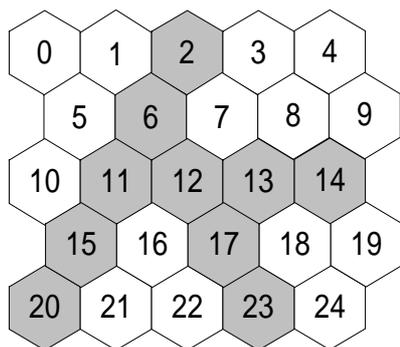


圖 3 Network with Reporting Cells

(四)、基因演算法運用在 RC 問題

在解決 RC 問題上[5, 9, 16, 17]，其編碼方式相當類似 GA(基因演算法)解決 MAX 1 問題，如圖 4 所示，編碼方式是以 Binary 的方式來表示，1 代表 RC(Reporting Cell)，0 代表 NRC(非 Reporting Cell)，n 代表細包總數，圖 4 為包含 16 個細包欲指配 RC 位置的基地台網路，在 GA 中，複製的部份是採用競爭式(tournament)三選一的方法，交配方式是使用雙點交配法，突變方式則單純的由 0 變 1 或由 1 變 0。

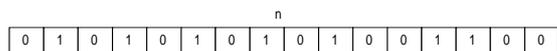


圖 4 基因編碼

二、修改基因演算法應用於 RC 問題

應用 GA 在解決 RC 問題的領域中，本研究提出幾種方法來改進 GA 的效能，其中包含初始解(Initialization)、區域搜尋(Local Search, LS)、區域交配(Area Crossover)和細包交配

(Cell Crossover)等方法。

(一)、初始解(Initialization)和區域搜尋(Local Search)

首先我們先介紹初始解和區域搜尋兩種演算法，一般學者們改進 GA 的方法，主要針對這兩個策略來改善。

1. 初始解(Initialization)

傳統 GA 是以隨機的方式產生初始解，因此所需耗費的收斂時間較長，可以其它較佳的方式產生初始解來克服這項缺點，除了可縮短求解的代數(計算時間)外，在 RC 問題上也可以使所求的解更接近最佳解。

本研究所提初始解策略是當 GA 在隨機產生 RC 初始解之後，隨機挑選兩條染色體，緊接著強迫將兩條染色體所有代表細包的基因改變為 1，1 表示細包被指定為 RC，隨後從第一條染色體的前面開始，依序將基因的狀態由 RC 變成 NRC，並評估成本是否降低，如果降低就保持為 NRC 狀態，第二條染色體的做法相同，唯差異在改變的順序相反。

2. 區域搜尋 (Local Search)

近年來修正 GA 的研究中，在求解過程中加入區域搜尋(Local Search, LS)是不可或缺的方法，主要是彌補 GA 對於微調(fine tuning)能力的不足。

但 LS 最大的缺點，是增加許多的時間成本，為了改善此項缺點，本研究以每隔兩代即隨機選取兩條染色體的方式執行一次區域搜尋，第一條染色體主要目的是為減少 RC 數量，其方法是將基因的狀態由 RC 變成 NRC，並判定成本是否減少，如果減少就保持為 NRC 狀態，第二條染色體與第一條相反是為了增加 RC 數量，並嘗試把 NRC 變成 RC，評估其效能好壞，如果較好時就保持為 RC 狀態。

(二)、區域交配 (Area Crossover)

這個方法的構想源於 RC 問題的定義，其目的是希望演化的結果能把細包切割成不同的區域，從 Subrata 等人[16,17]所提雙點交配(two point crossover)的方式是隨機選取兩個交配點，同時給定一個亂數機率 Pr ，並與事先設定的交配機率 Pc 比較，假如 $Pr > Pc$ 時在兩個交配點間的所有細包皆執行交配程序(如圖 5)，從圖中可發現這種交配方式可能會破壞原有較佳 RC 組態的基因區域，因此本研究提出一新的稱為區域交配(Area Crossover)的方法(如圖 6)，其目的是希望減少交配過程中破壞了原有較佳的基因區域，其步驟如下：

Step 1.預設交配機率 Pc ，如果 Pr 達到交配率 ($>Pc$)，則繼續下面步驟，反之不交配。

Step 2.隨機選取一個細包。

Step 3.以第一點為起點，展開一個區域，展開的區域會隨著問題變大，交配區域也變大。

Step 4.交換兩條染色體的資訊。

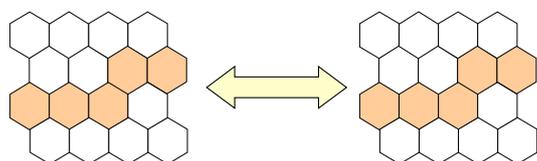


圖 5 雙點交配示意圖

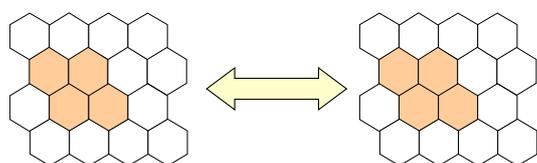


圖 6 區域交配示意圖

(三)、細包交配 (Cell Crossover)

細包交配或稱鄰近交配 (Vicinity Crossover) 的概念類似區域交配，但交配區域較小，特點是不會隨著問題變大而擴大交配區域，反而是隨著問題變大而擴增交配點，換個角度從細包網路拓樸觀點來看，任何一細包狀

態的改變(即 RC 和 NRC 間狀態的轉換)，其所牽動的影響僅與其鄰近細包(Neighbor cell or vicinity cell)有密切的關係，其主要概念如圖 7，步驟如下：

Step 1.預設交配機率 Pc ，如果 Pr 達到交配率 ($>Pc$)，則繼續下面步驟，反之不交配。

Step 2.隨機選取一個細包。

Step 3.以第一點為中心，相鄰的(Neighboring Cell)六個細包做交配(如圖 7 淺灰色的區域)。

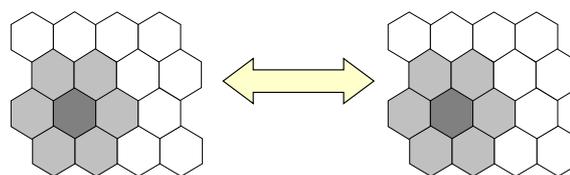


圖 7 細包交配示意圖

三、模擬測試

在模擬部份，本研究利用 GA 實作，完成簡易 Reporting Cell Location Management 系統(如圖 8、9 和 10)，透過本系統可以很容易的觀察到傳統 GA 在 RC 問題上的演化過程，圖左上角為 So_Far_Best ，代表 GA 演化過程中截至目前這代(Generation)為止的最佳解，圖右上角為 $Best$ ，記錄 GA 在當代演化中最好的解，而左下角 $Result$ 則記錄 GA 演化過程中的成本變化趨勢，橫軸代表 GA 的執行代數，縱軸代表 RC 的成本，最後右下角是控制區(Control area)，主要提供輸入各項控制參數，包括 Benchmark 的檔名、Cell High_width (基地台網路的規模)、Speed(執行速度的限制)、Run(執行次數)、Generation(演化代數)和 Reporting Cell Cost Ratio (LU 和 LT 的成本比例)，實驗是以 Riky Subrata [16, 17]上的測試資料當作 Benchmark，基地台網路的規模主要有 4X4、6X6 和 8X8，另外提出隨機產生模擬數據的 12X12 測試網路，相當於 144 個細包所形成的網路，是屬於較大型的網路問題，透過針對較大型網路問題的驗證，較能評估本研究提演算法的優越性。

(一)、RC Placement 最佳解的展示

本研究根據 Subrata 等人[16, 17]在 RC 問題的定義，實作傳統 GA，所得到的 RC 成本與他們相同，但文中並未展示出最佳 RC 配置圖，因此我們把最佳解以視覺化方式呈現出來，圖 8、9 及 10 分別為 4X4 網路、6X6 網路以及 8X8 網路的最佳解。

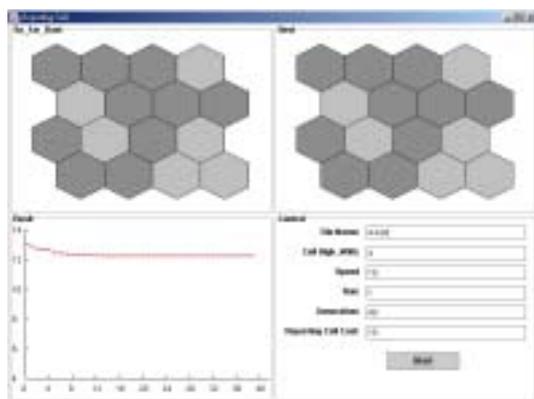


圖 8 4X4 最佳解配置圖

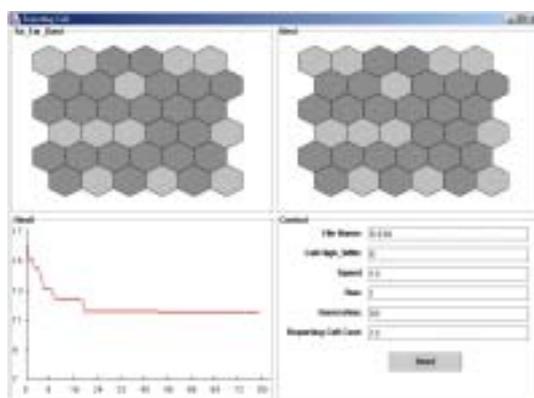


圖 9 6X6 最佳解配置圖

(二)、初始解加區域搜尋之效能測試

本研究把初始解和區域搜尋的方法分別應用在 4X4、6X6 和 8X8 基地台網路的問題上，所得到的結果分別為圖 11、圖 12 和圖 13，圖中 TGA 代表傳統基因演算法 Init 表示 TGA 加上初始解、LS 代表 TGA 加上區域搜尋、Init+LS 表示 TGA 加上初始解以及區域搜尋，從圖中不難發現加入初始解加上區域搜尋的

方法其演化的成本最低，甚至比 TGA 的方法還低。整體而言，求解效能在小問題(4X4、6X6 基地台網路)上來比較其差異不大，但在大問題(8X8 基地台網路)上，其效能就明顯的呈現出來，可見本研究所提策略是相當的有效。

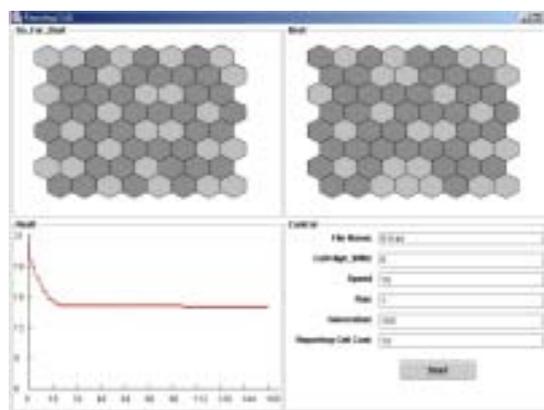


圖 10 8X8 最佳解配置圖

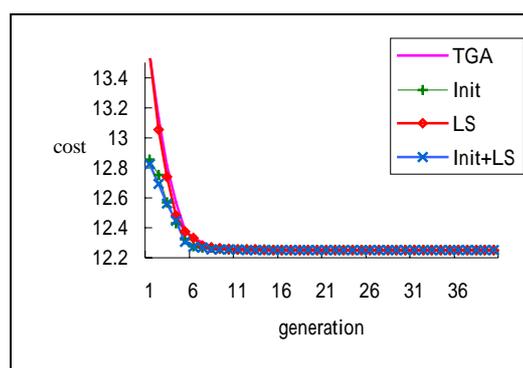


圖 11 初始解、區域搜尋和初始解加區域搜尋分別應用在 4X4 網路的成本關係比較圖

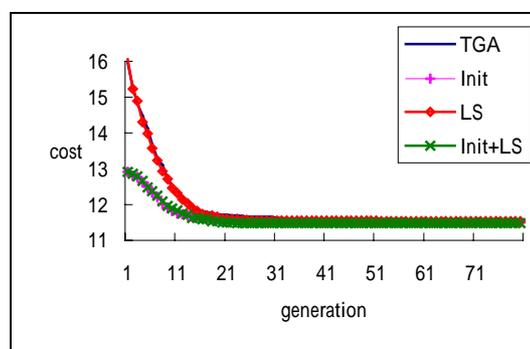


圖 12 初始解、區域搜尋和初始解加區域搜尋分別應用在 6X6 網路的成本關係比較圖

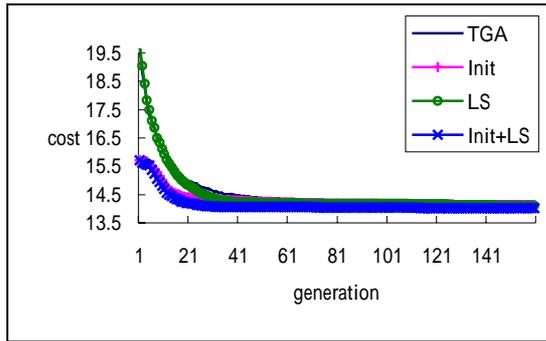


圖 13 初始解、區域搜尋和初始解加區域搜尋分別應用在 8X8 網路的成本關係比較圖
(三)、區域交配之效能測試

圖 14 是 TGA 分別採用雙點交配和區域交配方式應用在 8X8 基地台網路問題上的效能比較圖，圖中 AGA 代表把 TGA 的雙點交配換成區域交配的演算法。

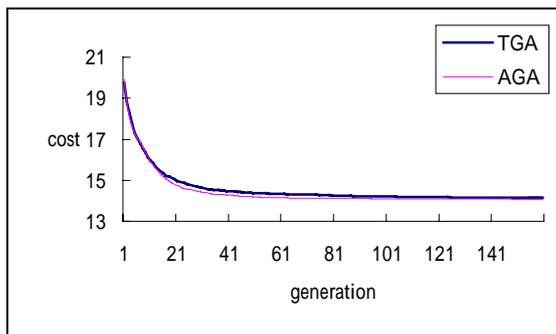


圖 14 TGA 和 AGA 應用在 8X8 基地台網路效能比較圖

從圖中呈現的結果不難看出區域交配比雙點交配方式來的更有效率，而且成本降低的速度遠大於雙點交配，可見區域交配比雙點交配的策略有最佳的求解能力。

(四)、細包交配之效能測試

本研究更進一步比較傳統基因演算法分別採用的雙點交配、區域交配和細包交配方式應用在 20X20 網路並比較其效能優劣，而 20X20 網路為中華電信基地台網路所提供的實際數據，相當於 400 座基地台所形成的大型網路，是屬於大型的網路問題，透過針對實際大型網路問題的驗證，更進一步驗證本研究提各種策略之優越性。圖 15 中 TGA 代表傳統

基因演算法，AGA 代表將 TGA 的雙點交配換成區域交配方式的演算法，而 CGA 代表把 TGA 的雙點交配改成細包交配方式的演算法

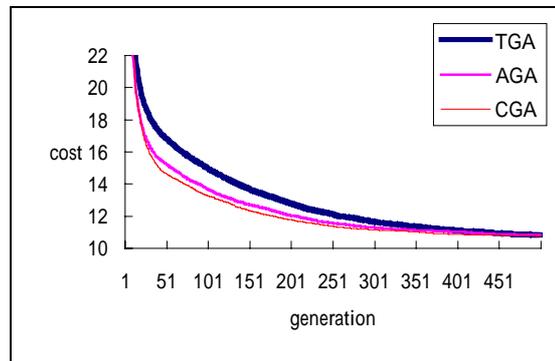


圖 15 各種交配方法比較

從圖中執行結果顯示可以清楚觀察到細包交配求解的效能明顯優於區域交配以及雙點交配的方式，實驗證明細包交配的方法更適合解決 RC Placement 的問題。

(五)、TGA、AGA 和 CGA 搭配初始解及區域搜尋策略的效能比較

這個章節我們將輔以數據來驗證，評估本研究提各種演算法的優劣，首先測試 4X4 和 6X6 網路的問題(如表 2、3)，其中 CGA+Init+LS 方法的平均(AVG)、最小(MIN)和最大(MAX)成本都比 TGA 方法來的低。緊接著測試較大的 8X8 網路問題(如表 4)，其中 SGA 代表採用 Subrata [16, 17]等人所提出基因演算法的效能數值，TGA 代表傳統基因演算法之效能數值，由表中所呈現的數據可看出 AGA+Init+LS、CGA+LS 和 CGA+Init+LS 等三種方法所須成本都比 SGA 和 TGA 還低，因此效能表現超越預期。

表 2 4X4 GA 和 CGA+Init+LS 的效能評估表

4X4 網路			
	AVG	MIN	MAX
TGA	12.253	12.252	12.373
CGA+Init+LS	12.252	12.252	12.252

表 3 6X6 GA 和 CGA+Init+LS 的效能評估表

6X6 網路			
	AVG	MIN	MAX
TGA	11.511	11.471	12.030
CGA+Init+LS	11.480	11.471	11.739

表 4 8X8 各方法效能評估表

8X8 網路			
	AVG	MIN	MAX
Riky GA	14.005	13.782	14.671
TGA	14.149	13.782	14.682
TGA + Init	14.124	13.900	14.535
TGA + LS	14.109	13.893	14.594
TGA + Init + LS	14.023	13.782	14.296
AGA	14.066	13.782	14.591
AGA + Init	14.087	13.782	14.399
AGA + LS	14.038	13.782	14.296
AGA + Init + LS	13.973	13.782	14.305
CGA	14.061	13.901	14.476
CGA + Init	14.053	13.782	14.414
CGA + LS	13.972	13.782	14.414
CGA + Init + LS	13.949	13.782	14.275

四、討論

在這部份本研究欲討論 RC 數量多寡所衍生的問題，由以上的最佳解配置，以及如下圖 16 我們測試 12X12 網路的資料中，可以發現 RC 的數量過多，然而在 RC 的問題中，希望減少 Reporting Cell 的數量，因此本研究嘗試把 RC 和 NRC 的 LU 和 LT 成本比例從 10 倍加大到 50 倍，得到圖 17 之結果。

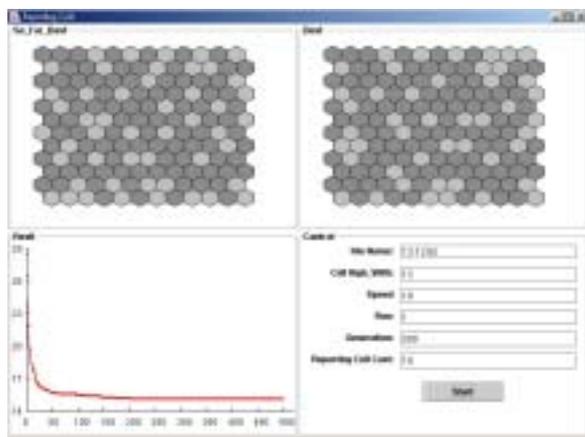


圖 16 10 倍成本比

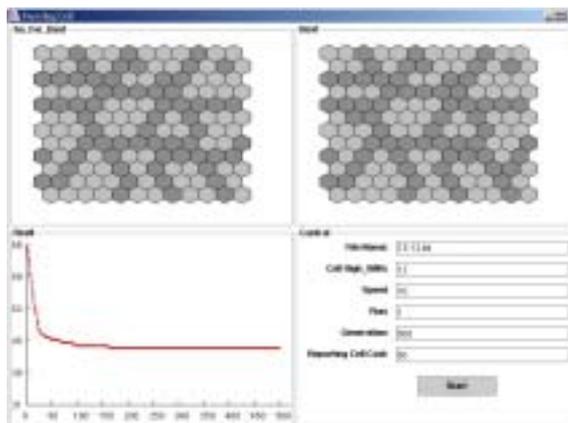


圖 17 50 倍成本比

由圖中可以看出 RC 的數量明顯減少，並可以看到 RC 和 NRC 的區隔相當明顯，因此本研究發現 10 倍的成本比，無法呈現 RC 方式的優點，所以我們實驗並比較不同成本比例條件下，所展現的網路結構，可以看出成本比例越大所分割出的區域越明顯，越能發揮 RC 方式的長處。

五、結論

基地台細包規劃的問題是無線通信網路中，最熱門及最具挑戰的行動計算 (Mobile Computing) 探討議題，同時也已被證明是屬於 NP-Complete 的問題。在 RC 問題中 SGA [16, 17] 已有很好的成效，但本研究提出許多改進方法，同時加入更大的網路測試數據以及不同的成本比例結構，由實驗結果證明此法優於傳統基因演算法，更勝過 SGA，其中包括有：初始解(Initialization)方法、區域搜尋法 (Local Search)、區域交配法 (Area Crossover)和細包交配 (Cell Crossover)來解決呈報細包規劃問題 (Reporting Cell Planning)，使 MT 的 LM 成本最小化，我們並實作出呈報細包位置管理系統 (Reporting Cell Location Management System)，期能應用在真實行動通信網路中。

六、參考文獻

- [1] S.Z. Ali, "Location Management in Cellular Mobile Radio Networks," The 13th IEEE International Symposium on PIMRC, Vol. 2, pp.745-749, Sept. 2002.
- [2] A. Bar-Noy, I. Kessler, "Tracking mobile

- users in wireless communications networks,” *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 39, No. 6, pp.1877-1886, Nov. 1993.
- [3] A. Bar-Noy, I. Kessler, “Tracking mobile users in wireless communications networks,” *Proc. IEEE of the Computer and Communications Societies, INFOCOM '93, Networking: Foundation for the Future*, Vol. 3, pp.1232-1239, March 1993.
- [4] I. R. Chen and B. Gu, ”Quantitative analysis of a hybrid replication with forwarding strategy for efficient and uniform location management in mobile wireless networks,” *IEEE Trans. on Mobile Computing*, Vol. 2, No. 1, pp.3-15, Jan. 2003.
- [5] P. R. L. Gondim, “Genetic algorithms and the location area partitioning problem in cellular networks,” *Proc. IEEE 46th Vehicular Technology Conf.*, 1996, 'Mobile Technology for the Human Race', Vol. 3, pp.1835-1838, 1996.
- [6] D.J. Goodman, and H. Xie, “Intelligent mobility management for personal communications,” *IEE Colloquium on Mobility in support of Personal Communications*, pp.1-4, Jun. 1993.
- [7] M. Gudmundson, “Cell planning in Manhattan environments,” *Proc. IEEE 42nd Vehicular Technology Conf.*, 1992, Vol. 1, pp.435-438, May 1992.
- [8] A. Hac and X. Zhou, “Locating strategies for personal communication networks, a novel tracking strategy,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15 No. 8, pp.1425-1436, Oct. 1997.
- [9] J. K. Han, B. S. Park, Y. S. Choi and H. K. Park, ”Genetic Approach with a New Representation for Base Station Placement in Mobile Communications,” *Proc. IEEE 54th Vehicular Technology Conf.*, 2001, Vol. 4, pp.2703-2707, Oct. 2001.
- [10] J. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial System*, Boston, MA: MIT Press, 1992.
- [11] Y. B. Lin and I. Chlamtac, *Wireless and Mobile Network Architectures*, New York: John Wiley, 2001.
- [12] Z. Michalewicz, *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1994.
- [13] M. Mitchell, *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.
- [14] J. Li, Y. Pan and X. Jia, “Analysis of Dynamic Location Management for PCS Networks,” *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 51, No. 5, pp.1109-1119, Sept. 2002.
- [15] K. Ratnam, S. Rangarajan and A.T. Dahbura, “An efficient fault-tolerant location management protocol for personal communication networks,” *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 49, No. 6, pp.2359-2369, Nov. 2000.
- [16] R. Subrata and A. Y. Zomaya, “Artificial life techniques for reporting cell planning in mobile computing,” *Proc. IEEE Int'l Parallel and Distributed Processing Symposium, IPDPS 2002*, pp.203-210, April 2002.
- [17] R. Subrata and A. Y. Zomaya, “A Comparison of Three Artificial Life Techniques for Reporting Cell Planning in Mobile Computing,” *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 14 No. 2, pp.142-153, Feb. 2003.
- [18] S. Tabbane, “Location management methods for third generation mobile systems,” *IEEE Communication Magazine* 35, No. 8, pp. 72-78, 83-4, Aug. 1997.