

# 一個以覆蓋率與定位準確率為目標函數的無線存取點配置演算法

謝盈存<sup>1</sup> 廖宜恩<sup>1</sup> 高國峰<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>國立中興大學資訊科學系 <sup>2</sup>私立修平技術學院資訊網路技術系

E-mail : s9356061@cs.nchu.edu.tw , ieliao@nchu.edu.tw , kfkao@mail.hit.edu.tw

## 摘要

隨著無線網路的發展,由無線網路提供即時性的服務已經愈來愈普遍,大部份的定位系統都是根據訊號強度來做無線定位,所以存取點(Access Points, AP)的配置位置的好壞也將直接影響到定位系統的效果,如何有效率的配置存取點,使得無線區域網路的整體效益能夠達到最佳的程度,已成為一個很重要的研究課題。

本論文研究針對存取點配置與無線區域網路定位系統準確度最佳化的問題。找出 AP 的最佳數目後,提出混合式最佳解搜尋演算法,藉由這些啟發式方法幫助我們在合理的時間內找出接近最佳解的解。

我們以無線訊號傳遞衰減的標準函數,產生 AP 訊號強度,計算出合理的存取點配置的數目,然後利用混合式最佳解搜尋演算法,同時考量存取點訊號覆蓋率以及定位準確率最佳化,以提昇定位系統效能達到最佳的定位準確度。

關鍵詞：無線網路定位系統、存取點配置方法

## 1. 前言

隨著行動通訊技術的發展,各種行動裝置,使得傳統網際網路上的服務也逐漸延伸到這些行動裝置上。當行動上網的使用者大幅增加,其要求服務的內涵勢必將更具多樣性,如何提供良善的無線定位服務便成為一個重要的研究課題。

針對定位系統最佳準確度研究,我們提出與定位系統息息相關的存取點配置問題,如何找出存取點配置最佳位置,以提高定位系統的定位準確度與訊號覆蓋範圍。由於無線區域網路定位系統主要依據無線網路訊號特徵判斷使用者位置。當改變存取點配置位置時,亦會影響無線網路訊號,使得無線區域網路訊號特徵產生變化,進而影響到定位判斷的結果。由此看來,定位系統與存取點配置位置的關係是緊密不可分,牽一髮而動全身的,如果一開始能有好的存取點配置位置,定位準確度也相對能提升許多。

本論文研究便是針對存取點配置最佳化系統,提出以最佳的存取點配置數目,使訊號能覆蓋範圍達到最大,並且同時考量無線區域網路定位系統的定位準確度,提出啟發式搜尋演算法,利用混合式最佳解搜

尋演算法在可接受的時間內,找出接近整體最佳解的存取點最佳配置位置,有效的提升定位系統的定位準確度。

本論文架構如下:第2節為相關研究,介紹存取點配置最佳化研究基本觀念,第3節為系統設計與架構,介紹本論文所提出的存取點配置方法,第4節為最佳解搜尋演算法,第5節為實驗與結果分析,第6節為結論。

## 2. 相關研究

存取點配置最佳化系統之研究大致上可分成三類,分別為針對存取點配置與訊號覆蓋率最佳化,存取點配置與頻寬分配最佳化,及存取點配置與定位準確率最佳化之研究。

以往無線網路裡存取點配置位置最佳化研究,多半以整體的覆蓋率做為最佳化的目標函數,如何配置存取點的位置,使得訊號的覆蓋範圍能夠達到最大,提供良好的無線網路服務,一直都是重要研究議題,Edoardo et al. [3]及 Max and Matthias [4]的論文,藉由定義出目標函數及最低的訊號門檻值,利用最佳搜尋演算法找出存取點配置最佳位置,讓訊號覆蓋範圍能夠最大。

另外一個在無線網路 AP 配置位置最佳化研究類型,除了要求整體的訊號覆蓋率之外,還加上了每一個節點的最低頻寬需求的限制條件。換句話說,所求得的最佳解,必須能提供無線服務區域上每一個點,個別設定的最低需求以上的頻寬。

Robert and Sangtae[5]的論文,作者提出存取點配置位置最佳選擇在 IEEE 802.11 網路環境下做流量的控制,使用流量控制的最佳限制函數,考量流量分配問題,每一個存取點必須提供覆蓋範圍內的使用者足夠的頻寬,平衡所有存取點的流量負載,將存取點擁塞情形最小化,有效的增加網路效能。

最後為存取點配置與定位準確率最佳化之研究,在存取點配置時即考慮到定位的效果,幫助定位系統提升定位準確率。Roberto Battiti[1]教授 2003 年提出存取點定位準確度最佳配置演算法,研究中定義出整體平均錯誤距離的計算方法,同時考量了存取點覆蓋率與準確率最佳化配置,提出啟發式演算法找出存取點的最佳配置位置。

### 3. 系統設計與架構

我們的目標則是經由計算出存取點最佳配置數目，提出最佳化搜尋演算法，考慮存取點的配置位置以達到涵蓋所需求覆蓋範圍，並且尋求無線區域網路定位系統最佳的準確度。如此，非但可以滿足覆蓋範圍需求，亦可提升無線區域網路定位系統準確度達到最佳的準確度。

系統設計主要目的為找出存取點配置最佳的數目與配置位置，存取點配置最佳化之雙目標準則為錯誤距離及訊號涵蓋範圍，首先找出存取點配置最佳數目，能夠保證訊號強度能有效覆蓋無線服務區域，接著利用混合式最佳搜尋演算法找出存取點配置最佳解，運用位置分割演算法配合區域搜尋法和禁忌搜尋法找出接近廣域最佳解的解，最後搜尋演算法所搜尋出來的結果即為我們的存取點配置最佳位置。整體系統設計與架構的流程如圖 1 所示。

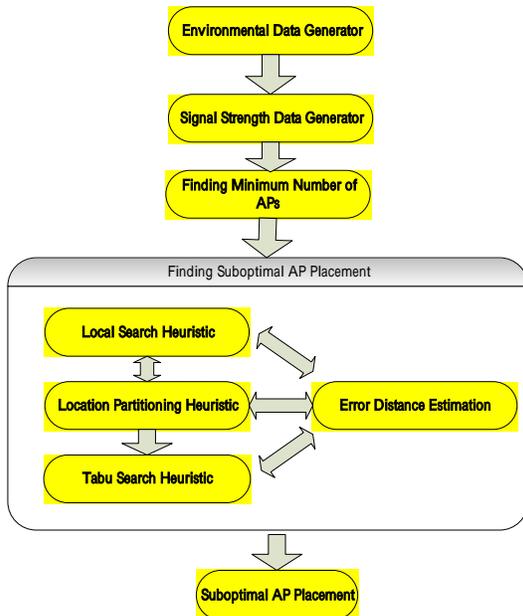


圖 1 系統架構與流程圖

#### 3.1 環境資料產生器

首先輸入環境資訊之後，如實驗環境大小，教室，牆壁數目與障礙物等，然後產生候選 AP 位置，我們將實驗環境切割成座標的方式，橫軸為 x 軸座標，縱軸為 y 軸座標，候選 AP 位置以 1.5m x 1.5m grid 方式，扣除因遮蔽物而無法配置的位置，實驗環境共有 305 個候選 AP 位置，存取點配置最佳化實驗即根據這些候選 AP 位置進行配置。

實驗環境與候選 AP 位置如圖 2 所示：

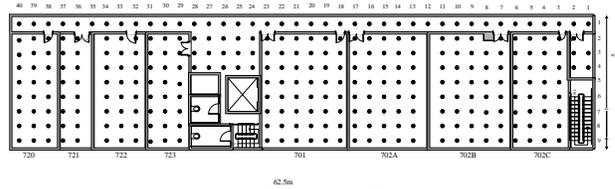


圖 2 實驗環境與候選 AP 位置

#### 3.2 訊號資料產生器

當決定好候選 AP 位置之後，我們利用訊號產生器產生所有測量點的訊號強度資料，產生的訊號強度的方式是利用 Modified Propagation Model 來產生。

本論文使用 Radar 系統 [2] 中所使用的 Propagation Model，定義如下：

$$S_i(x) = S_i(d_0) - 10n \log\left(\frac{d_x}{d_0}\right) - nW * WAF \quad (1)$$

#### 3.3 覆蓋範圍檢查方法

在計算存取點覆蓋範圍時，我們利用訊號產生器計算實驗環境每一個點的訊號強度，每一個測量點代表一個小範圍面積，測量所有測量點的訊號強度，用這些測量點當成判斷此範圍的訊號強度是否在良好可接收的訊號強度依據。

檢查覆蓋範圍方法為檢查是否所有測量點訊號大於訊號門檻值 (threshold)，當測量點的訊號強度大於訊號門檻值，此一個 grid 的面積即算是被包涵在合理的訊號範圍中。

$$R = \{x | \forall x \in A, S_i(x) \geq \tau\} \quad (2)$$

#### 3.4 存取點配置最佳數目評估法

我們利用候選 AP 位置計算訊號覆蓋範圍，求出訊號覆蓋範圍平均值  $\mu$ ， $\mu$  即為實驗環境中配置存取點的平均覆蓋範圍。

假設  $|A|$  為實驗環境整體的服務區域面積，假設 AP 的數目為  $n$ ，這  $n$  個 AP 所提供有效訊號的範圍至少要能夠必須大於實驗環境面積  $|A|$ ，即為  $n * \mu > |A|$ 。

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} && n \\ & \text{subject to} && \\ & && n * \mu > |A| \end{aligned} \quad (3)$$

如果能讓 AP 數目  $n$  值最小，即為預測的最小存取點數目，利用最少的 AP 提供最佳的服務。

### 3.5 錯誤距離評估方法

我們引用[1]所提出的錯誤距離計算方法，當成我們定位準確度的最佳化目標函數。

在計算錯誤距離時，一開始必須先定義預期的機率密度  $D(s_i(x)|s_i(\bar{x}))$ ，假設使用者位於  $\bar{x}$  的位置， $x$  為假設系統將使用者預測到  $x$  點的位置， $s_i(\bar{x})$  為  $\bar{x}$  點上的訊號強度， $s_i(x)$  為  $x$  點上的訊號強度，利用高斯分配來建立機率密度模組，見公式 4，建立機率密度的目的為預測每一個點可能被預期的密度。

$$D(s_i(x)|s_i(\bar{x})) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{s_i(x)-s_i(\bar{x})}{\sigma}\right)^2} \quad (4)$$

建立完機率密度模組後，使用公式5 計算預測機率  $P(x|\bar{x})$ ，由於不同的存取點的訊號資料可以看成獨立事件，產生每一個點的會被預測的機率。

$$P(x|\bar{x}) \approx \frac{\prod_{i=1}^n D[s_i(x)|s_i(\bar{x})]}{\int \prod_{i=1}^n D[s_i(y)|s_i(\bar{x})] dy} \quad (5)$$

求出  $\bar{x}$  被預測到平面上所有點的預測機率後，我們將座標平面上每一個點的預測機率乘上誤差距離當成是預測的錯誤距離， $E(\bar{x})$  即為位置  $\bar{x}$  在實驗環境 A 的錯誤距離，見公式6。

$$E(\bar{x}) = \int_A d(x, \bar{x}) P(x|\bar{x}) dx \quad (6)$$

我們利用計算錯誤距離的目標函數  $\bar{E}$ ，將整體實驗環境 A 的所有位置錯誤距離積分求其平均值，即為實驗環境存取點配置組態的整體平均錯誤距離  $\bar{E}$ ，見公式7。

$$\bar{E} = \frac{1}{|A|} \int_A E(\bar{x}) d\bar{x} \quad (7)$$

實驗目的為同時考量訊號覆蓋與定位率準確率最佳化之存取點配置位置，所以我們的目標函數即同時考量定位準確率的錯誤距離  $\bar{E}$  及訊號覆蓋範圍 R，為了同時滿足雙目標準則，定義實驗參數 r，讓錯誤距離與覆蓋範圍影響的權重調成一樣，此為具有雙目標準則之目標函數如公式 8。

$$C_{err,cov} = \bar{E} + r \frac{1}{R} \quad (8)$$

### 3.6 存取點配置最佳化目標函數

我們的目標函數是分別根據錯誤距離及覆蓋範圍而訂定，假設  $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n$  分別代表  $AP_1, AP_2, \dots, AP_n$  的 x 軸座標值，則  $\chi_1 > \chi_2 > \dots > \chi_n$ ，其中 n 為 AP 的個數，定位準確率與訊號覆蓋率最佳化之存取點配置數學模式如下。

Objective Function :

$$\text{Minimize : } C_{err,cov} = \bar{E} + r \frac{1}{R} \quad (9)$$

Subject To :

$$\chi_{i+1} < \chi_i, \quad 1 \leq i \leq n-1 \quad (10)$$

$\chi_i$  :  $AP_i$  的 x 軸座標值

### 4. 混合式最佳解搜尋演算法

存取點最佳化配置屬於 NP-Hard 的問題，針對於 NP-hard 的問題，如果使用暴力法需要相當長的時間，趨近不可能，本論文之貢獻即在於設計一個結合區域搜尋，位置分割與禁忌搜尋演算法(我們稱之為混合式搜尋演算法)去解具有雙目標準則的目標函數，詳細混合式最佳解搜尋演算法流程如圖 3 所示：

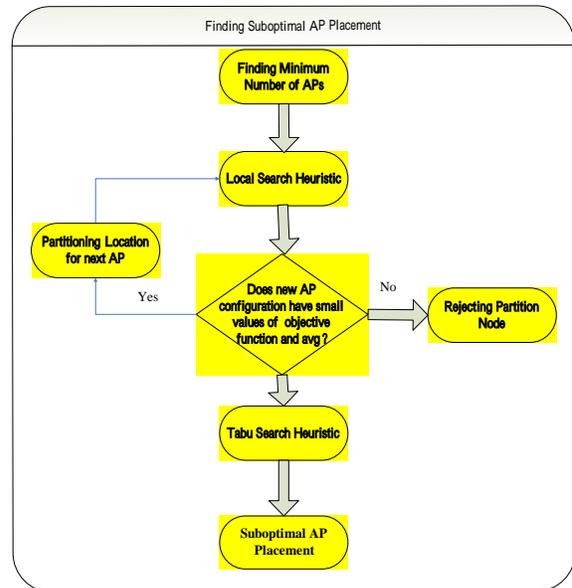


圖 3 混合式最佳解搜尋演算法流程

#### 4.1 區域搜尋演算法

區域搜尋演算法搜尋最佳解的方式開始在所有候選AP位置中隨機選到一組新的存取點配置位置組合，接著利用錯誤距離和覆蓋範圍計算公式產生出我們的目標函數。然後改變存取點配置位置組態，往鄰近的存取點配置位置搜尋，從所有鄰近點當中選出最好的目標函數值當成新的配置解後，此存取點配置即為存取點配置的一個區域最佳解。

找出區域最佳解之後，如果區域最佳解比原本最佳解好時，則此區域最佳解取代成為新的最佳配置解，最後搜尋最佳解即為存取點配置最佳化的位置，區域搜尋演算法過程與流程如圖 4 所示

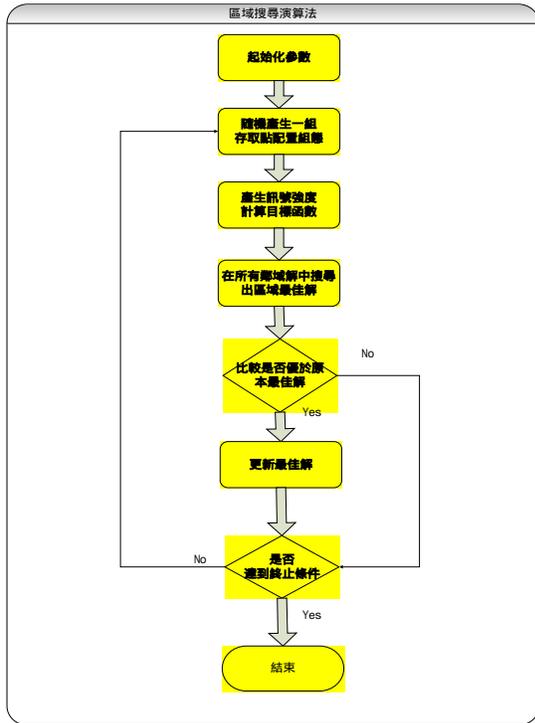


圖 4 區域搜尋演算法流程圖

#### 4.2 位置分割演算法

位置分割演算法利用樹狀結構將所有可能的區域位置組合產生出來，位置分割演算法配合區域搜尋演算法找尋最佳解，藉由分割存取點的配置位置，在分割的區域當中利用區域搜尋法來搜尋分割區域內的最佳解，找出好的分割區域範圍繼續深入搜尋，刪除掉搜尋結果不好的分割區域範圍，慢慢讓搜尋範圍能愈來愈小，並且搜尋的效果也能愈來愈好，最後即可找出最佳解可能出現的區域及位置。

位置分割演算法分割位置的條件以  $x$  軸座標為基準，依據目前最佳解存取點配置位置組態，分割下一個存取點位置，假設  $avg$  為區域搜尋過程中所

有AP配置組態的目標函數  $C_{err, cov}$  的平均值，比較目標函數  $C_{err, cov}$  及  $avg$  是否優於最佳解，如果比目前最佳解好時，針對此分割區域繼續深入搜尋，更新最佳解，並且往下一個存取點位置分割。如果搜尋出來的結果比最佳解不好時，因為此區域的搜尋效果比較不好，將此分割區域節點給刪除掉，不再繼續做深入的搜尋，位置分割演算法方法流程如圖 5 所示。

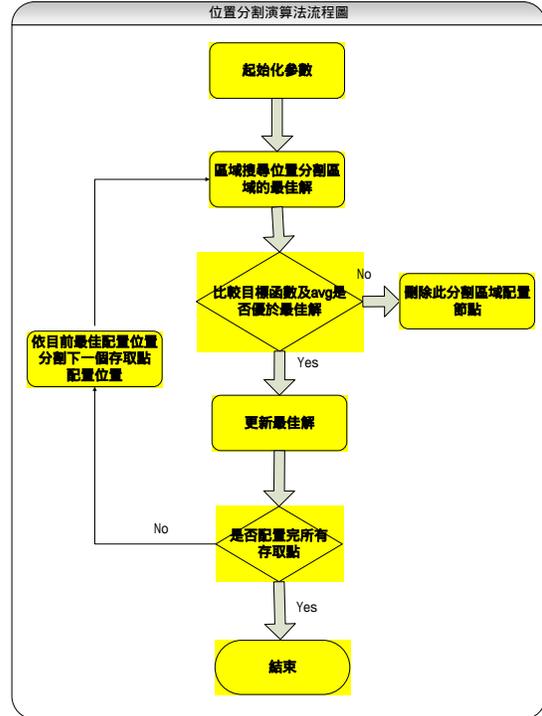


圖 5 位置分割演算法流程圖

#### 4.3 禁忌搜尋演算法

禁忌搜尋演算法是用來跳脫局部最佳解的搜尋方法。禁忌搜尋演算法就是利用一些"memory"來迫使程式去搜尋新的空間。利用週期函數  $T$  儲存過去經過的位置，在history memory都有一個位置，紀錄上次往這個方向移動是什麼時候，表示下次要再能往這個方向移動，至少要 $T$ 次循環之後才行。

禁忌搜尋演算法首先輸入初始存取點配置位置組態，考量禁忌位置下搜尋鄰近位置當中最好的解，不能走回過去曾走過的方向，也就是週期函數  $T$  所記錄之方向(禁忌位置)，從鄰近位置當中找出區域最佳解後，即更新存取點配置位置組態，更新週期函數  $T$  (更新禁忌位置)，然後比較區域最佳解是否優於原本的最佳解，如果優於原本的最佳解時，則此區域最佳解取代成為新的最佳配置解。

緊接著再從鄰近位置當中搜尋最好的解，重覆搜尋直到最後執行結束時搜尋的結果即為存取點最佳

配置位置，禁忌搜尋演算法流程如圖 6 所示。

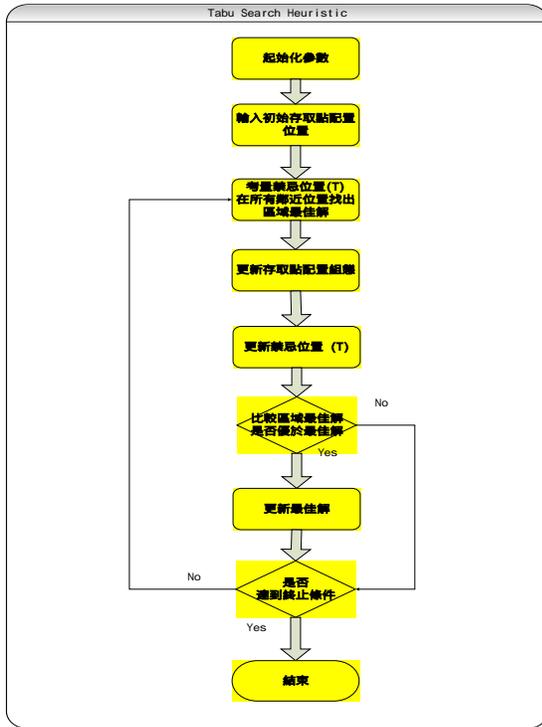


圖 6 禁忌搜尋演算法流程圖

## 5. 實驗與結果分析

### 5.1 存取點最佳配置數目

我們利用公式 3，找出最佳存取點配置數目。實驗環境整體面積：

$$|A| = 62.5\text{m} \times 15.5\text{m} = 968.75 \text{ m}^2$$

計算305個候選AP位置每個點覆蓋範圍，計算出平均每一個存取點的覆蓋範圍  $\mu$  為 292.891平方公尺，代入公式 3 後可以找到存取點最佳配置數目  $n=4$ ，所以要讓我們的實驗區域皆在有效訊號含蓋範圍中至少需要配置四個存取點。

進一步進行存取點覆蓋率最佳化實驗，分別針對 3 個 AP 及 4 個 AP 做實驗。

(1) 針對於 3 個 AP 覆蓋率最佳化實驗結果最佳配置位置：(36, 1) (18, 3) (7, 4) 見圖 7 最佳覆蓋範圍：912 平方公尺(覆蓋率 94%)

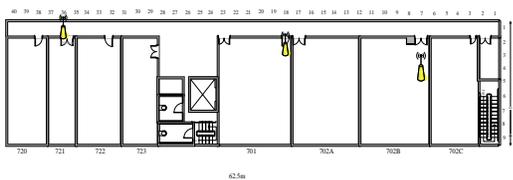


圖 7 三個存取點配置覆蓋率最佳化

(2) 針對於 4 個 AP 覆蓋率最佳化實驗結果最佳配置位置：(37, 3) (27, 3) (16, 5) (6, 4) 見圖 8 最佳覆蓋範圍：968.75 平方公尺(覆蓋率 100%)

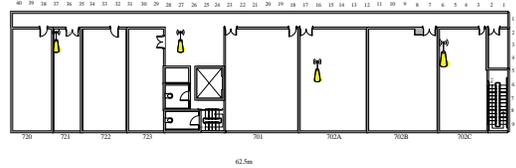


圖 8 四個存取點配置覆蓋率最佳化

透過覆蓋率最佳化實驗驗證，如果使用四個存取點配置，將可達到 100%的整體覆蓋率，所以我們的存取點配置最佳化實驗是以 4 個存取點來進行此具有雙目標準則之無線存取點配置實驗。

### 5.2 存取點配置覆蓋率與準確率最佳化實驗

我們利用4個存取點，針對於點配置覆蓋率及準確率最佳化實驗，找出中興大學理學大樓7樓的存取點配置最佳化位置。

為了找出同時考量存取點配置準確率與覆蓋率最佳化方法，我們同時考量覆蓋率與定位準確率最佳化，利用目標函數公式  $C_{err.cov} = \bar{E} + r \frac{1}{R}$ ，為了讓覆蓋

率及準確率影響權重相同，我們將  $r$  值設為 9500。

然後透過混合式最佳解搜尋演算法最後求得最佳解，此存取點配置組態的最佳解為(33, 3) (23, 1) (13, 3) (6, 3)，如圖 9 所示，最佳目標函數為 26.2658 m，最佳訊號覆蓋範圍為 968  $\text{m}^2$

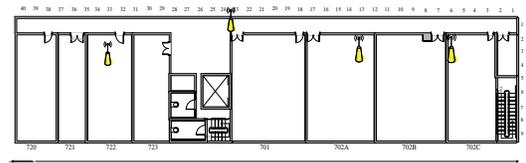


圖 9 存取點配置覆蓋率及準確率最佳化

### 5.3 演算法搜尋最佳解比較

我們比較混合式最佳解搜尋演算法和之前論文 [1] 提出的最佳化演算法做搜尋效果的比較，混合式最佳解搜尋演算法和單純只使用區域搜尋演算法及禁忌搜尋演算法進行實驗比較。

首先我們比較不同演算法之搜尋最佳解，比較結果見表 1，我們將三種演算法搜尋的目標函數  $C_{err.cov}$  比較如圖 10 所示。

表 1 演算法覆蓋率定位準確率最佳化比較表

	區域搜尋	禁忌搜尋	混合式
目標函數最佳解	27.335	27.8051	26.2658
最佳覆蓋範圍	905	903	968
整體面積覆蓋率	94%	94%	100 %

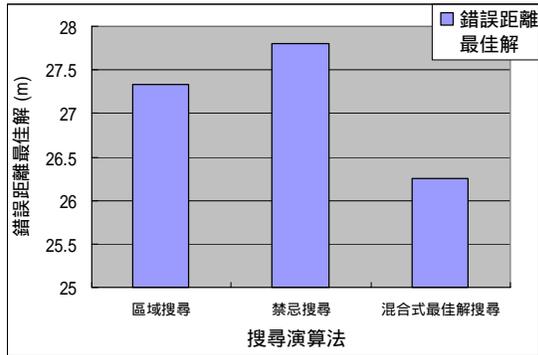


圖 10 演算法目標函數  $C_{err,cov}$  最佳解比較

#### 5.4 演算法搜尋過程比較

觀察不同演算法針對於存取點配置定位準確率與覆蓋率最佳化，觀察演算法執行搜尋最佳解效率。圖 11 為三種搜尋演算法搜尋的目標函數，圖 12 為三種搜尋演算法在累積時間內搜尋的最佳目標函數。

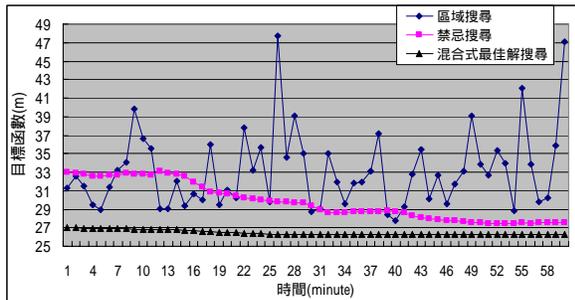


圖 11 三種搜尋演算法搜尋的目標函數  $C_{err,cov}$

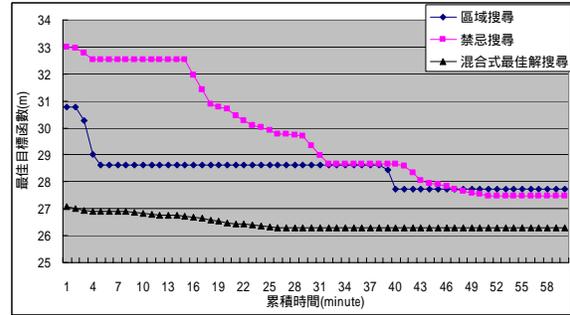


圖 12 三種搜尋演算法在累積時間內搜尋最佳解

## 6. 結論

本論文研究是針對於存取點配置最佳化系統，考量利用最少的存取點數目，提供一個有效率的啟發式最佳化搜尋演算法，混合式最佳解搜尋演算法，同時針對於存取點的覆蓋率以及定位準確率做最佳化配置，相信研究結果對於往後的相關研究是具有不錯的參考價值。

我們提出混合式最佳解搜尋演算法，結合區域搜尋演算法、位置分割演算法以及禁忌搜尋演算法，在可以接受的時間內，最後可以找出一個接近廣域最佳解的存取點配置最佳化的位置，一併考量涵蓋所需求覆蓋範圍及定位系統準確度最佳化，提升定位系統整體準確性與服務區域，將更能達到更精確的定位效果及無線網路服務目的。

## 參考文獻

- [1] Battiti, R., Brunato, M., and Delai A., "Optimal Wireless Access Point Placement for Location Dependent Services," Technical report DIT-03-052, University of Trento, October 2003.
- [2] Bahl, P., and Padmanabhan, V.N., "RADAR - An In-Building RF-based User Location and Tracking System," IEEE Infocom, pp. 775-784, March 2000.
- [3] Edoardo, A., Antonio, C., Matteo, C., Luigi, F., and Federico, M., "WLAN Coverage Planning: Optimization Models and Algorithms," EuroNGI Workshop, pp.52-65, 2004.
- [4] Max, K., and Matthias, U., "Coverage planning for outdoor wireless LAN systems," International Zurich Seminar on Broadband Communications Access, Transmission, pp. 491-496, Networking, 2002.
- [5] Robert, A., and Sangtae, P., "Optimal Access Point Selection and Traffic Allocation in IEEE 802.11 Networks," Communication and Network Systems, Technologies and Applications, pp. 75-79, July 2005.