

分散式 AP 佈建法於無線網路之覆蓋率改善研究

黃永發
朝陽科技大學資訊與通訊系教授
e-mail: yfahuang@cyut.edu.tw

許益祥、劉仲堯、羅偉傑、黃文、鍾文翰
朝陽科技大學資訊與通訊系學生
e-mail: se30522@gmail.com

摘要

由於 Wi-Fi 無線網路的無線基地台 (Access Point, AP) 之廣泛使用與設置，當 AP 設置太近時，無線訊號之重疊將導致資源浪費，且造成許多干擾 (Interference) 而無法達到高覆蓋率地效益，因此，本文中，我們應用無線網路訊號量測軟體 inSSIDer 或 Acrylic Wi-Fi 測量，求得各個 AP 在不同地點的訊號強度 (Received Signal Strength Indication, RSSI)，並根據量測值作無線通道模型 (Channel Model) 估計，再以 MATLAB 模擬 Wi-Fi 無線網路系統之覆蓋範圍 (Coverage Area)，此外，我們提出分散式 AP 佈建法，可快速求得次佳覆蓋率之 AP 佈建位置。

關鍵詞：Wi-Fi 無線網路、無線通道模型、訊號強度、覆蓋率、AP 佈建。

Abstract

With the widespread using of Wi-Fi wireless network, when the access point (AP) is setup with high density, it will waste resources, and cause co-channel interference. Then it cannot achieve high coverage rate for the wireless networks. Therefore in this paper, we use the wireless network signal measurement software inSSIDer to measure the received signal strength indication (RSSI) of mobile device at different locations. After we estimate wireless channel model based on measured values, we can simulate the signal coverage of the AP using MATLAB software. Then the simulation coverage rate of Wi-Fi wireless network system can be estimated. Furthermore, in this paper, we propose a distributed AP deployment method to quickly find the suitable positions to improve the coverage rate for Wi-Fi networks.

Keywords: Wi-Fi wireless network, Received signal strength indication, Wireless channel model, Coverage rate, Access point deployment.

1. 前言

無線區域網路 (Wi-Fi) 經由連接乙太網路 (Ethernet) 伺服器之無線基地台 (Access Point, AP)，用射頻 (Radio Frequency, RF) 技術使無線訊號在覆蓋範圍內，將資料訊號傳遞到行動裝置。因此，無線區域網路大大改善了行動性，藉由有線區域網路加上無線區域網路的搭配，讓用戶端在涵蓋範圍內能隨時隨地自由活動 [1,2]。

目前筆記型電腦與智慧型手機 (Smartphone) 等行動裝置安裝無線網卡已成必須配備，可以從範圍內的無線網路連接到網路。一個或多個無線基地台—稱為熱點 (Hot spot)，可以組成一個面積由幾間房間到數平方英里範圍的上網空間，覆蓋的面積大小可能取決於無線基地台的重疊範圍 [8]。機場、飯店、餐廳等商業場所經常提供來訪者免費熱點，以吸引或協助客戶。商家會依愛好者希望提供服務，或提供免費的 Wi-Fi 站點。目前在中國和台灣，許多大型飯店和商場的內部都會提供免費 Wi-Fi 熱點供來訪者使用網際網路。

21世紀初期，世界各地的許多城市都宣布計劃構建全市 Wi-Fi 網路。但這比最初發起人設想的更為困難，結果這些項目大多被取消或無限期擱置。但是有幾個是成功的，例如在 2005 年，美國加州森尼維爾 (加利福尼亞州)，成為在美國的第一個提供全市免費 Wi-Fi 的城市。全球已建和建造中的 Wi-Fi 城市已經超過 500 個，其中覆蓋率最高者為台北市，其已達到全市已有 4000 個無線存取點 (Access Point, AP)，未來將至 10000 個，覆蓋率達到 90%，全球主要的城市多已有 Wi-Fi 技術 [9]。

卡內基美隆大學於 1994 年在其匹茲堡校區建立了世界上第一個無線網路，比起源於 1999 年的 Wi-Fi 品牌還要早 [9]。2000 年，費城德雷克塞爾大學創造了歷史，成為美國第一個提供全校園無線網路覆蓋的主要大學。現在大多數校園已設置無線上網。在臺灣的許多大學圖書館內，也設有免費 Wi-Fi 熱點，提供學生使用。雖然在都市或校園中，Wi-Fi 覆蓋率已普遍足夠，

但都有重複配置AP的缺點，並造成訊號間之干擾，進而降低了傳輸率，因此如何配置AP，使該區域有足夠之覆蓋率且不降低傳輸率是一重要之議題。

2. 無線網路通道模型估測

2.1 無線通道模型

在天線發送無線訊號到筆記型電腦接收訊號時，會與原本所送出的訊號產生差異，因為訊號在傳遞的過程會衰退(Degenerated)，主要的衰退因素如下[5]：

(1) 衰減(Attenuation)：當無線訊號從發射端發送至接收端時，無線訊號的傳輸路徑有可能會經過各種不同的材質，且不同的材質對於無線訊號的衰減程度，會依照材質的特性而產生差異。

(2) 自由空間衰減(Free Space Loss)：自由空間衰減的主要原因是發射端至接收端的距離，當這個距離越大時，無線訊號的衰減程度也就越大。

(3) 雜訊干擾(Noise)：雜訊是無線通訊時所接收到的無線訊號，但並不是我們所需要的無線訊號，通常是因為不同的通訊設備使用相同或是鄰近的頻帶造成的干擾現象。

(4) 折射(Refraction)：當無線通訊系統的訊號發射端送出無線訊號時，無線電波會因所穿過的介質而產生訊號折射，改變原來的傳播路徑到達接收端。

(5) 多徑(Multi-path)效應：多徑效應是指在無線訊號傳播時，接收端接收到從二個以上不同路徑傳送過來的無線訊號，而不同路徑收到的無線訊號強度，又會因為路徑之不同而產生不同程度的訊號衰減或增強，尤其是在室內的環境中，因為無線訊號傳播的路徑，會經過各種不同的障礙物，所以變化更為明顯。

(6) 衰變效應(Fading)：衰變效應的主要原因是無線訊號，隨著時間與空間的變化而產生變動，當無線訊號因為在傳播路徑中發生干擾，使得接收端的訊號強度圍繞在一個平均值上下波動；當無線訊號發射端與接收端位置都不變時，接收端所接收到的無線訊號會隨著時間變異，主要的原因是因為自然環境的動態變化以及人的運動路徑，這些都會影響無線訊號的傳播路徑，也自然會改變無線訊號的傳播損耗。因此，無線傳播通道之接收訊號模型可寫為[3,4,7]

$$P(d) = P(d_0) - 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) - \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

其中 P ：接收功率(單位:dBm)。 d_0 ：參考距離，通常採用 1 公尺(單位:公尺)。 d ：訊號發射端與接收端之間的距離(單位:公尺)。 n ：路徑衰減率(無單位)。 X_i ：描述訊號傳播受到環境效應，如牆壁的遮蔽(單位:dBm)。由公式(1)之計算，從發射端(Access Point)到接收端(Notebook)之間的訊號強度變化，填入各項可知的數值並將結果與實際利用無線網卡與無線訊號測量軟體所得到的結果，觀察兩邊的數據在相同的距離下是否相似。

2.2 模擬與實測環境

本文中，我們以朝陽科技大學的第一教學大樓 5 樓為無線網路覆蓋率之研究環境，如圖 1 所示為其平面圖，在這環境中，計算機中心已配置 4 台 AP，而 4 樓與 6 樓則是有 4 台 AP 與 2 台 AP，因此在每間教室內與走廊之間設定若干個測量點，將測量到的訊號強度(RSSI ≥ 80 dBm)的數據，來評估這環境中之系統通道模型。



圖 1 朝陽科技大學 T1-5 樓平面圖

無線網路的訊號量測軟體 inSSIDer 或 Acrylic Wi-Fi 主要提供訊號強度(Received Signal Strength Indication, RSSI)與各通道的分布圖[6,7]，在筆記型電腦之量測軟體 inSSIDer 可從 AP 接收之訊號強度、干擾與各通道使用情況，並透過 iperf3 來測試無線網路之上傳與下載傳輸率。

無線網路系統量測與模擬使用之軟體主

要有 inSSIDer 或 Acrylic Wi-Fi、無線網路卡 (Wireless LAN, module by 802.11)、無線網路存取點 (Access Point)、網路傳輸率測試 (iperf3)，與利用 MATLAB 程式模擬訊號衰減。

3. 實測與模擬結果

教學大樓五樓 AP 高度都設置在 3 公尺高，而我們使用 inSSIDer 或 Acrylic Wi-Fi 來測量 T1 教學大樓 5 樓教室內和教室外的訊號強度，每間教室選擇 6~7 個測量點，在不同的距離下透過實體位置判斷是否為相同無線網路存取點再測量訊號強度為多少，訊號在傳遞的過程會因距離及建築物的材質而有所影響，當測試端在距離 AP 的位置增加時，會有訊號強度的衰減，記錄測量到的訊號強度數據與通道分布情況。

另外，測量不同阻隔物的材質對於無線訊號的衰減，不同的材質對於無線訊號的衰減程度都不相同，本文中經由實測後，估計之阻隔物係數 (X_i) 設定如表 1，這些參數於 MATLAB 之覆蓋範圍模擬時，作為無線訊號衰減模型之係數 [2]。經由我們量測發現，因為 T1-501 及 T1-507 訊號發送時都被隔壁的電梯影響衰減，導致電梯前的走廊訊號嚴重衰減。

表 1 阻隔物係數 (X_i)

阻隔物	水泥牆	木門	鐵門	塑膠桌	講桌
頻率 (GHz)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
距離 (m)	0.4	4	0.5	2.6	2.6
衰減 (dBm)	12	6	7	2	3

3.1 覆蓋範圍模擬

將實際測量到訊號強度的數值代入公式 (1) 模擬並選擇軟體計算出最接近量測各點的訊號強度然後繪出誤差最小的曲線，即各點間誤差值相加後最小的曲線。

利用學校所提供的平面圖畫出在教學大樓五樓二維平面圖，等比例呈現在 MATLAB 上，將 AP 的涵蓋範圍利用 MATLAB 呈現之後，再由電腦計算出訊號覆蓋範圍，並觀察 AP 在改變位置之後，是否能用一樣的方式改善覆蓋率，而測量時可能受環境中的因素而會有誤差。

利用 MATLAB Graph User Interface 設計訊號覆蓋範圍模擬系統，本系統操作時首先放置平面圖，再擺放 AP 位置在平面圖上後繪出訊號覆蓋範圍，計算訊號覆蓋率，最後，繪出傳輸率覆蓋範圍及計算傳輸率覆蓋率。

利用 MATLAB Graph User Interface 設計無線區域網路模擬訊號衰減的使用介面，如圖 2 所示，

左上角的參數設定為理論值計算，需輸入距離、頻率、輸出功率、發射端天線增益、接收端天線增益、干擾物次數、干擾物衰減值計算出訊號強度，左下角的按鈕為上傳平面圖，手動設定 AP 位置，計算 AP 訊號涵蓋範圍和覆蓋率。

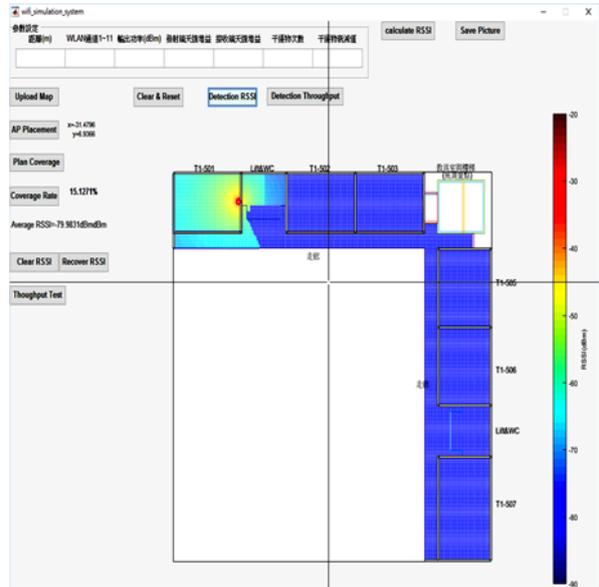


圖 2 訊號覆蓋範圍模擬系統操作介面

將教學大樓 5 樓的 4 台 AP 放置在平面圖的相對位置上，並透過訊號覆蓋範圍模擬系統將 AP 的覆蓋範圍畫在平面圖上，如圖 3 所示。

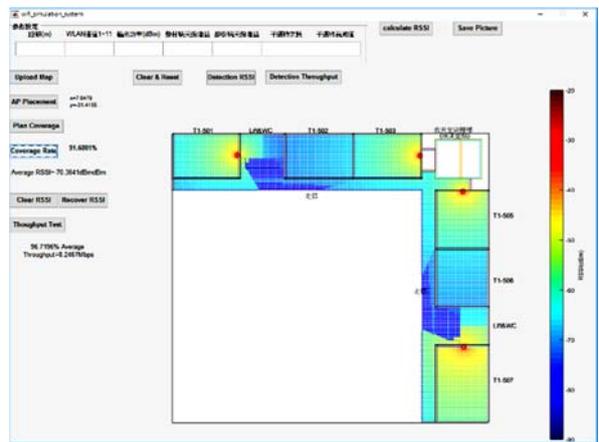


圖 3 模擬系統之現有 4 個 AP 覆蓋範圍

3.2 網路傳輸率測試

為確保在訊號覆蓋率要求下，傳輸率也能滿足需求，我們使用 iperf3 來測量 Wi-Fi 下載的網路傳輸率，每次下載的測量都是設定時間為 3 分鐘做為一次測量的結果，觀察每次測試時數據是否會有大幅的變化，分別量測教室內及走廊之下載傳輸率。

在測量的過程當中，發現到在相同教室及不同的時間所測得的傳輸量與速度會有所變化，如在白天上課時測量網路傳輸率會因為教室內的人數而

導致傳輸量會有所降低，在教室內與走廊上所測得的傳輸量與速度會有所變化，且是在相同的距離之下測量同一台 AP，因為在走廊上比教室內多了一道牆阻隔，所以導致傳輸量會有所降低。

圖 4 中，我們將教室內及走廊中所量測到傳輸率與 RSSI 之間對應的數值畫出其相關性，橫軸為 RSSI，縱軸為傳輸率。我們再將其多個測量點以最小平方擬合出近似之直線函數，教室內傳輸率函數可以寫成

$$y_1=0.66x+57.64, \quad (2)$$

其中 y_1 為教室內傳輸率， x 為訊號強度(RSSI)。而走廊傳輸率函數可以寫成

$$y_2=0.75x+64.95 \quad (3)$$

其中 y_2 為走廊傳輸率， x 為訊號強度(RSSI)。

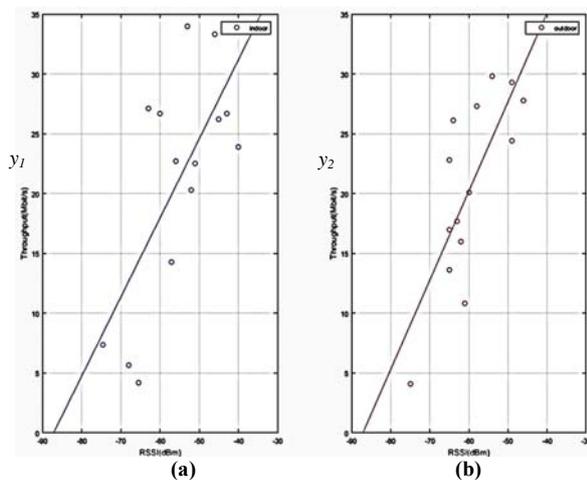


圖 4 傳輸率與 RSSI 之間的相關性

應用我們設計之模擬系統與軟體介面，將 4 個 AP 改置於靠近教室門邊的角落，如圖 5 模擬結果顯示，再依最低訊號強度之範圍計算其訊號覆蓋率，當最低訊號強度需求設為 $RSSI_{min} = -80dBm$ 時，可由圖八計算出訊號覆蓋率為 91.68%，但由圖 5 之 AP 更新放置位置後，其訊號覆蓋率改善為 98.24%。其中由圖 5 與圖 3 的訊號強度分布比較，可看出圖 5 中兩個 AP 分別布置於 T2-502、T1-503 中間及 T1-505、T1-506 中間，可改善教室內外的訊號強度，因此有較高之覆蓋率。



圖 5 模擬系統之 4 個 AP 更新放置位置後之覆蓋範圍

此外，為考慮資源不足或是要降低成本時，可將佈置之 AP 數降為 2 個或 3 個，因此，我們進一步比較當佈置 2 個 AP 與 3 個 AP 時的覆蓋率改善，如圖 6 所示，來探討如何用較少的成本，並能提升覆蓋率，模擬後的結果如圖 6 與圖 7 所示為系統覆蓋率與傳輸率比較，圖中最低傳輸率需求定為 10Mbps。

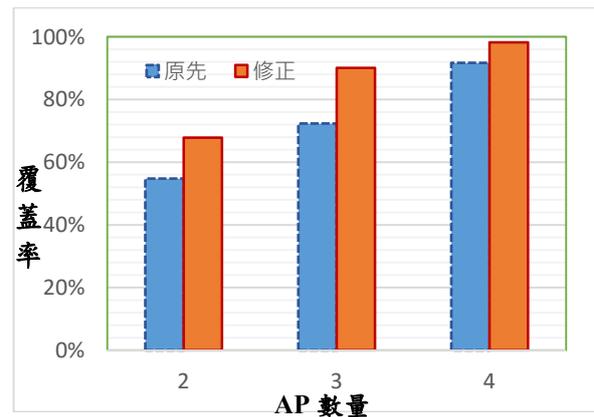


圖 6 AP 位置修正後之覆蓋率改善

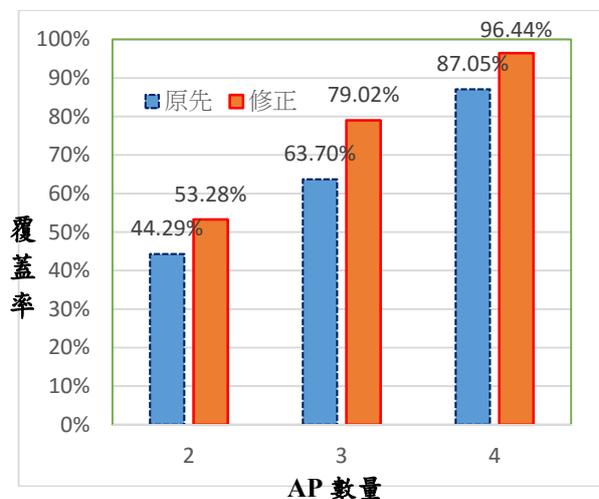


圖 7 AP 位置修正後之傳輸率改善

4. 分散式 AP 佈建法

上一節中提出之 AP 位置修正法，乃以嘗試錯誤法(Try and Error)找出較佳之 AP 位置，雖然對覆蓋率有所改善，但並不是最有效的方法，在本節當中，我們提出分散式配置法(Distributed Deploy)，先針對 6 間教室分別找出達到最大覆蓋率之 AP 位置，即在各間教室中，取樣 40x40 的矩陣點，計算出覆蓋範圍最大者，但對於相連之教室，因為可設置 AP 的位置較多，因此兩間教室合併成一搜尋空間，當找出最佳位置後，再找次佳位置，最後畫出共六個 AP 之位置，如圖 8 所示，每個空間的最高覆蓋範圍的 AP 位置標示 1st，第二高的 AP 位置則標示 2nd。當 $RSSI_{min}=-80\text{dBm}$ 時，只需布置 4 個 AP 即可達到 95% 以上之覆蓋率，如圖 9 所示之以分散式配置法之覆蓋分布圖。

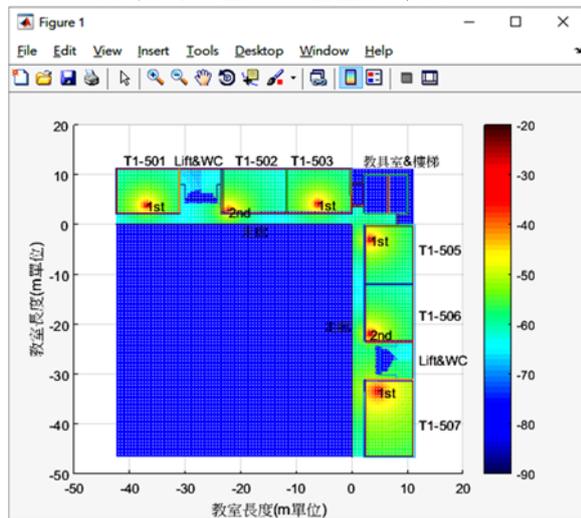


圖 8 以分散式配置法之覆蓋分布圖(6 個 AP)
($RSSI_{min}=-60\text{dBm}$)

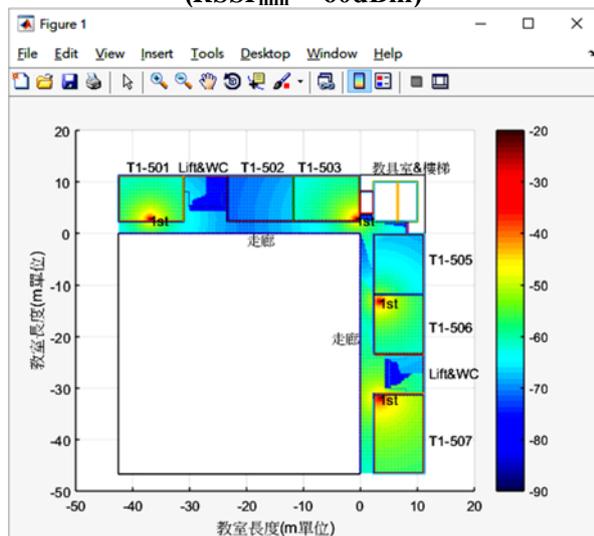


圖 9 以分散式配置法之覆蓋分布圖(4 個 AP)
($RSSI_{min}=-80\text{dBm}$)

5. 結論

本文主要設計一 Wi-Fi 無線網路系統覆蓋率模擬系統，以探討不同 AP 位置布置下之系統訊號覆蓋率及傳輸率覆蓋率。我們以教室為探討之環境，使用 Acrylic Wi-Fi 或 inSSIDer 這兩套軟體做為量測訊號強度(RSSI)與觀看 MAC Address 和 WLAN Channel 的工具，還有用一套 iperf3 做網路傳輸率的測試，測得教室內與走廊上的 Wi-Fi 下載的傳輸量。由模擬結果得知，4 個 AP 覆蓋率改善前數值與 3 個 AP 覆蓋率改善後數值相近，故可以省下一台 AP 的成本。此外我們進一步提出之分散式 AP 配置法可快速找出適當之佈置點，並獲得較佳之覆蓋率。

致謝

本研究非常感謝科技部之經費支持，研究計畫編號為 MOST 104-2815-C-324-009-E 與 MOST 104-2221-E-324-018。

參考文獻

- [1] 邱茂清，無線區域網路傳輸技術簡介，國立暨南國際大學電機工程學系。
- [2] 姜永亮，IEEE 802.11 室內無線區域網路之傳播模型，中原大學資訊管理學系，2006。
- [3] 郭清智，應用 Wi-Fi 與 GPS 技術室外定位之研究，國立政治大學地政學系，2011。
- [4] 楊人豪，無線區域網路介紹，合肥月刊，第四十四卷第五期，2003。
- [5] W. Stallings, Wireless Communications and Networks, Prentice Hall, 2002.
- [6] A. Delai, M. Brunato, and R. Battiti, Optimal wireless access point placement for location-dependent services, 2003. (Unpublished).
- [7] C. R. Anderson, and T. S. Rappaport, In-Building Wideband Partition Loss Measurements at 2.5 and 60 GHz, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 3, No. 3, pp. 922-928, May 2004.
- [8] IEEE Standard 802.11, pp. 673, 2007.
- [9] https://zh.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi#cite_note-7