

IEEE 802.11 無線區域網路存取節點佈放位置之研究¹

On The Placement of IEEE 802.11 Access Point

王志團

國立中央大學資訊管理研究所

andy512@ms23.hinet.net

陳奕明

國立中央大學資訊管理研究所

cym@cc.ncu.edu.tw

摘要

由於 IEEE 802.11 無線區域網路存取節點 (Access Point, AP) 之間會有訊號耗損(path loss) 及互相干擾(interference)的問題, 其互相間的位置安排會影響到網路內使用者之通訊品質, 當佈放大範圍的無線區域網路時, 如何適當的安排存取節點位置, 以避免網路通訊縫隙(coverage gap)的存在, 同時又減少存取節點互相間的干擾, 為本文探討的課題。

傳統的無線區域網路設計方法採用類似蜂巢式行動電話網路的基地台設計, 在尋找適當的存取節點位置過程中必須經過多次反覆測量無線信號強度值, 然後進行繁複的計算才決定 AP 位置。此種方法成本太高, 也非一般網管人員所能勝任。為解決此問題, 在本論文中我們採取較簡單的方式, 我們首先將 AP 之通訊距離、障礙物阻隔及互相間干擾問題定量化, 然後以最大覆蓋率及最小干擾面積來當檢驗指標, 最後我們以外圍節點切割內圍節點之相距角度的不同, 來分析 AP 組合後的最少損失率, 並由此提出三種不同的存取節點佈放方法, 包括: (1) 外圍節點與內圍節點相距 60° , (2) 外圍節點與內圍節點相距 90° 及 (3) 大小兩種不同 AP 半徑組合; 我們也發展對應此三種方法的啟發式演算法。我們的研究結果發現, 第一種方法適合於大範圍室外佈放時使用, 第二種方法適合於矩形區域佈放時使用, 第三種方法適合於為節省 AP 允許少許通訊縫隙之區域佈放。

關鍵詞: IEEE 802.11 無線區域網路、干擾、通訊縫隙、覆蓋規劃

Abstract

Since Access Point (AP) of 802.11 wireless LAN(WLAN) have problems of path loss and interference. The locations of APs affect the service quality of WLAN. How to determine the

AP location becomes an important issue in WLAN deployment. Traditional approaches which find the appropriate location by iterative measurements have shortcomings of troublesomeness and lacking quantitative method to guarantee the overall communication quality. In this paper we propose a new approaches which measure the communication distance of AP area affected by obstacle and interference quantification to improve this problem. We use outside AP to split inside AP by different angle to analyze the lose rate. According to this quantitative analysis results, we develop three AP placement algorithms: (1) outside and inside AP split angle 60° , (2) outside and inside AP split angle 90° , and (3) combining two different communication distance AP. Our simulations showed that the first method is suitable to outdoor WLAN, whereas, the second method is suitable for indoor WLAN and the third method is suitable to allowable slim coverage gap.

Keywords: IEEE 802.11 WLAN, Interference, Coverage gap, Coverage plan

一、前言

近年來無線通訊如雨後春筍般發展, 而 IEEE 802.11 [7] 的方便使用及可與目前有線環境結合的特性, 使 802.11 無線區域網路成為校園、企業、公共空間區域網路建置的主流, 許多企業及校園已經利用 802.11 來建置其無線區域網路[8]。由於建置無線區域網路的機會相當多, 怎樣有效快速佈放存取節點也相形重要, 如何準備一個最佳化及品質穩定的無線區域網路環境, 將隨著無線區域網路的普及而日益受到重視[9]。

無線區域網路在架設時有許多問題必須考慮, 例如覆蓋率(Coverage)、細胞規劃(Cell Planning)、干擾(Interference)、電力管理(Power management)、及安全(Security)的考

¹本研究由經濟部委託財團法人資訊工業策進會通訊軟體關鍵技術開發五年計劃補助完成, 計劃編號: (92)資通約字第 0493 號

量 [10]。由於無線設備有互相干擾 (Interference) 及訊號耗損 (path loss) 的問題, 因此如何規劃 AP 佈放位置, 對建置 802.11 無線區域網路的成本、使用人數、及覆蓋率會有很大的影響 [2][4]。

WLAN 的佈放包含兩部份, 一為選擇 AP 的位置, 另一為對每一 AP 指定其頻道 [3]。在選擇 AP 的位置主要考量在通訊時 AP 與 AP 間無通訊縫隙, 同時要避免互相干擾或將無線電波洩漏到公司或學校範圍之外。傳統的 AP 位置選擇方法是先依觀察法找出適合佈放之地點, 再經由多次量測信號強度後, 用演算法找出較佳的佈放位置 [5], 其過程繁複、耗時費力。Hills Alex 在 2001 提出另一種方法 [3], 可以快速佈放, 適用於室內, 但該方法遇到 AP 之間有障礙物存在 (例如一面牆或一棵樹) 時, 缺少處理的方法。為解決此問題, 我們將通訊距離與干擾面積利用數學方式具體量化, 並將障礙物之影響分量化, 以分量後之數據具體量化障礙物之影響, 依此找出一些佈放方法, 使單位 AP 之通訊面積最大, 讓 AP 佈放時有一定的規則可循而不必經過繁複的測量, 快速有效的找出佈放最佳位置, 以節省架設的成本及提高通訊品質 [1]。

本文共分為六節。第二節首先定義無線區域網路 AP 佈放設計時所需要的參數, 然後介紹三種 AP 排列方式, 第三節說明我們克服障礙物影響的方法, 第四節則根據第二節的三種 AP 排列方式, 分別介紹其佈放方式及演算法, 我們在第五節對這些佈放法做一比較並說明這些不同的佈放法各自適用的時機, 最後我們在第六節做一簡短結論並提出未來研究方向。

二、AP 排列方式

本研究之研究方法係將 AP 之通訊問題量化, 量化的指標為通訊距離、覆蓋面積及損失率。我們假設 AP 的通訊距離為其通訊半徑, 依通訊半徑來計算通訊面積、干擾面積、覆蓋面積及損失率。假設兩台 AP 如圖 1 相交, 其覆蓋面積為 AP 之覆蓋總面積 $(A+B)-(A \cap B)$, 干擾面積為兩 AP 之相交面積 $(A \cap B)$, AP 總面積為 AP 可覆蓋之總面積, 如圖 1 假設兩 AP 之通訊半徑均為 R 則其 AP 總面積為 $2R^2\pi$, 損失率為 AP 覆蓋後損失之面積除以 AP 總面積之百分率, 亦即 $((A \cap B)/(A+B))*100\%$ 。若是多個 AP, 則以此方式實際計算 AP 組合後之實際通訊面積, 依此來求得較好之佈放方法。

接下來我們定義中間圓與外接圓, 所謂中間圓即當我們將一圓與其他圓等份分割, 被等份分割之圓為中間圓, 等份分割中間圓之圓為外接圓, 如圖 2 所示。

我們依 360 度至 45 度等份分割中間圓, 圖 3 為 90 度等份分割圖示。60 度及 45 度分割的圖形也類似。其損失率比較如表 1。表 1 之結果顯示, 當外接圓數目為 6 即相交弧度 60° 時其損失率最少, 因此 60 度佈放方式是最節省 AP 通訊面積之佈放方法。另由於在矩形區域佈放時以 90 度分割佈放會比 60 度分割佈放少使用一台 AP, 如圖 4 所示。所以在許多佈放區域為矩形 (如大樓) 時, 使用 90 度分割佈放會較適合 [3]。

除此以外, 我們也可以考慮當兩種 AP 之通訊半徑不同時, 可以將 90 度之中間圓由較小半徑 AP 取代, 外接圓互不相交, 而得另一佈放方式為不同半徑比率佈放法, 各佈放方法將於第四節做進一步介紹。

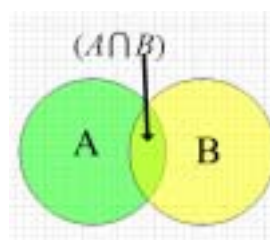


圖 1: AP 量化定義圖

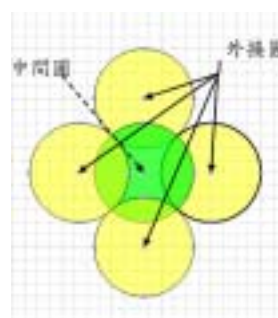


圖 2: 中間圓與外接圓位置圖

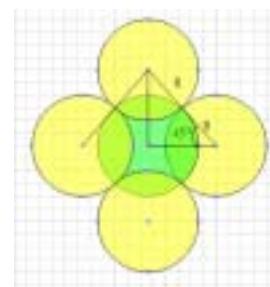


圖 3: 90 度等份分割圖

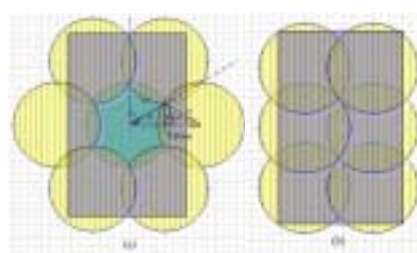


圖 4: 矩形覆蓋方式比較

表1:外接圓數量對覆蓋面積之影響

中樑 圓數	分割 角度	外接圓 數量	無障礙覆蓋面積	損失比 率
1	360°	12 ² πr	2 ² πr	58%
2	180°	12 ² πr	2 ² πr	66.7%
3	120°	48 ² πr	22 ² πr + (3/2)(8πm 30°)(Rcos30°)	45%
4	90°	36 ² πr	22 ² πr + 8(Rcos 45°)(Rcos 45°)	15%
5	72°	62 ² πr	48 ² πr + 10(8πm 30°)(Rcos30°) + 10(8πm 18°)(Rcos18°)	10%
6	60°	72 ² πr	58 ² πr + 24(8πm 30°)(Rcos30°)	10%
7	51.42°	82 ² πr	(3 - 2√3) 18 / 80(8π ² r + 14(8πm 25.71°)(Rcos 25.71°) + 14(8πm 38.58°)(Rcos 38.58°)	38%
8	45°	96 ² πr	38 ² πr + 16(8πm 22.5°)(Rcos 22.5°) + 16(8πm 40°)(Rcos 40°)	10%

三、障礙物影響克服及頻道分配

3.1 障礙物影響克服說明

當 AP 發射的信號中間若是有障礙物，就會影響信號傳送到其預期傳送之位置，如圖 5 障礙物影響覆蓋面積圖所示。在障礙物後方其接收信號強度不穩定，我們稱此障礙物後方面積為受影響區域。通常佈放 AP 時遇到障礙物的解決方法可以透過縮短兩台 AP 間的距離來減少受影響區域。但問題是要如何縮短 AP 間距離才能使 AP 的數量最少又同時使受影響區域最小？我們的作法分析如下：

首先我們發現障礙物會依其與 AP 之相對位置不同而造成三種干擾情形：垂直、水平及傾斜，如圖 6 所示。若考慮訊號發射與障礙物之關係可以將所有的傾斜位置依向量分量關係，區分成垂直與水平二種分量（參見圖 7）。要彌補受傾斜障礙物影響之信號必須同時覆蓋障礙物之垂直及水平之分量影響。

當障礙物在預備佈放位置內之已重複覆蓋面積內且與兩台 AP 中心點間之連線垂直是不需縮短建置距離的。但是若障礙物不在規劃佈放中之重複覆蓋範圍內時(如圖 8(a))，必須縮短其原先之規劃距離，由另一台 AP 所發射之信號來覆蓋受影響區域。當障礙物與建置 AP 方向垂直時，由水平方向之 AP 來提供覆蓋之功能，如如圖 8(b)水平縮短建置距離後之覆蓋範圍圖所示。當障礙物與建置 AP 方向平行時，由上方即 Y 軸之 AP 來提供覆蓋之功能，如如圖 8(c)垂直縮短建置距離後之覆蓋範圍圖所示。

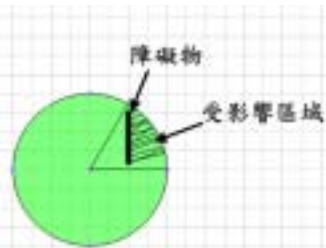


圖 5:障礙物影響覆蓋面積圖

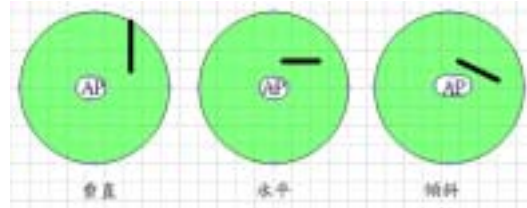


圖 6:障礙物對 AP 之干擾圖

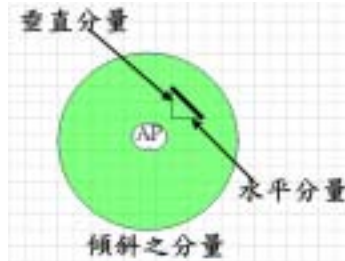


圖 7:傾斜障礙物之分量關係圖

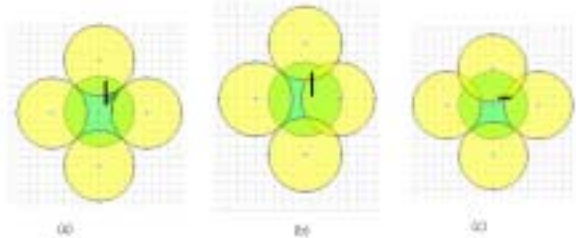


圖 8:障礙物與 AP 覆蓋區域關係圖

3.2 克服障礙物引起之信號不足面積計算

在此小節我們舉例說明如何移動某個 AP 以涵蓋受障礙物對另一 AP 造成的影響區域。我們假設 AP 半徑為 100 單位，障礙物之垂直分量為 50 單位，每次以 10 單位縮短障礙物與 AP 之距離來實際計算障礙引起通訊不足之面積，以及需使用另一台 AP 多少通訊面積來克服此障礙物所引起之通訊不足。

我們的處理方式如圖 9 所示，由圖可知克服障礙物必須移動 AP 位置且必須浪費沒有障礙物阻隔的下半部面積，我們將其實際損失面積計算如表 2 所示。由表 2 可知障礙物距離受阻擾 AP 圓心愈遠，形成之阻擾角度愈小，受影響面積就愈小。為克服障礙物阻擾，需使用 2 倍之 AP 面積方能克服障礙物所損失之信號不足面積。

3.3 頻道分配說明

IEEE 802.11 主要在 2.4GHz 及 5GHz 頻率上使用，其通訊方式可分 DSSS、FHSS 及 Infrared 三種，本文只考慮針對 802.11b 及 802.11a 通訊協定上 DSSS 通訊方式之 AP 來討論。在 2.4GHz 上之 DSSS 之頻道分配通常分成三個 Channel[6]，我們在此採用頻道 1,6,11。

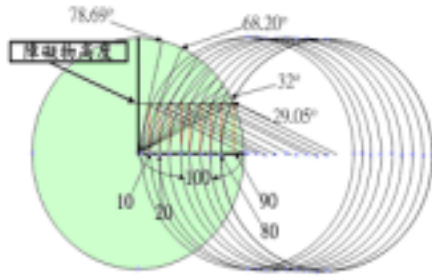


圖 9:克服障礙物所使用之 AP 面積圖
表 2: 障礙物信號不足面積及克服障礙使用之 AP 面積表

障礙物半徑距離	障礙物高度距離	造成信號不足之面積	克服障礙物所使用之 AP 面積
AP 圓心距離	AP 圓心高度	面積	用之 AP 面積
10	78.69°	6618	13236
20	68.20°	5450	10900
30	59.07°	4462	8924
40	51.34°	3786	7572
50	45.00°	3277	6554
60	39.80°	2875	5750
70	35.50°	2551	5102
80	32.00°	2293	4586
90	29.05°	2085	4170

四、佈放法及演算法

根據前二節的結果及考量障礙物影響與頻道分配，配合當 AP 之覆蓋半徑不同時，我們設計三種佈放方法：90 度分割佈放法、60 度分割佈放法及不同大小半徑比率法。其佈放法說明如下：

1. 60 度分割佈放法

所謂 60 度分割佈放法就是每一內接圓與外接圓之相交弧度為 60 度，在佈放時，以一基準點開始，先依 X 軸佈放，當 X 軸完成後再依 Y 軸沿 X 軸之次序佈放，圖 10(a)為 60 度分割佈放法之佈放順序。

每一台 AP 與其下一台 AP 之相交弧度為 60 度，但可能再與其他 AP 相交，如圖 10(a) 順序 1 之 AP 與其下一台 AP (順序 2) 之相交弧度為 60 度，且再與順序 5 及 6 之 AP 相交，其相交弧度亦為 60 度，當佈放到超越預計佈放之位置後即可結束。

2. 90 度分割佈放法

所謂 90 度分割佈放法就是每一內接圓與外接圓之相交弧度為 90 度，我們先以大 AP (通訊距離較大之 AP) 沿 X 軸佈放，當 X 軸結束前若是小 AP (通訊距離較小之 AP，依 4.3 節之研究本論文以小 AP 與大 AP 之比率為 $1/\sqrt{2}$ ，即 $r=1/\sqrt{2}R$ ，後續比較亦以此值進行。) 可以覆蓋剩餘面積則先保留此區域，再增加 Y 軸之大

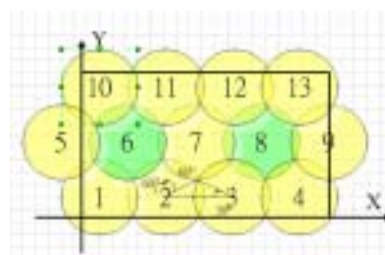
AP 距離，並再沿 X 軸佈放，若 Y 軸之剩餘距離用小半徑之 AP 就可覆蓋，則保留此區域留待用小 AP 覆蓋，本方法只要 X 軸或 Y 軸有未覆蓋面積即用小 AP 覆蓋在 X 軸及 Y 軸覆蓋，當大 AP 佈放完成後，先判斷 X 軸是否需佈放小 AP，若 X 軸需佈置小 AP 則由 X 軸往 Y 軸之方向佈置，再判斷 Y 軸是否需佈放小 AP，若 Y 軸需佈放小 AP 再由 Y 軸沿 X 軸佈放，其佈放順序如圖 10(b) 之數字順序顯示，此佈放方式由 1 至 14 順序佈放。

3. 不同大小半徑比率法

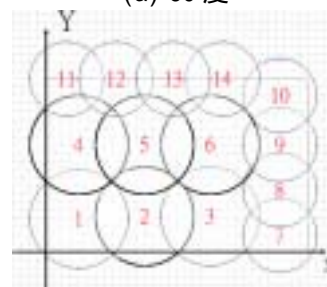
A. 佈放方式說明

當兩種 AP 其發射功率不同，覆蓋較長的半徑為 R，覆蓋較短的半徑為 r，可以將此兩種 AP 組合成此種覆蓋方式，如圖 10(c) 所示為不同大小半徑比率法。此種方法大 AP 間並不會重複覆蓋。但會有通訊縫隙存在。我們利用小 AP 來覆蓋通訊縫隙，以增加通訊之服務區域。

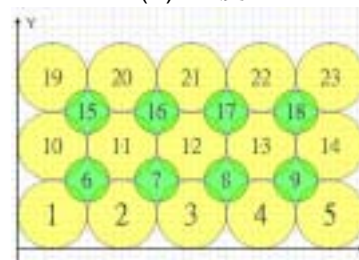
此覆蓋方式先覆蓋 X 軸再依 Y 軸方向增加一個圓之單位，再依 X 軸方向覆蓋而得，其覆蓋順序如圖 10(c)，AP 圓心至下一台 AP 之圓心若中間無障礙物其距離為 2R，其垂直方向之圓心距離若無障礙物亦為 2R。在大 AP 之間則佈放半徑長度適當之小 AP。



(a) 60 度



(b) 90 度



(c) 大小不同半徑比率法

圖 10: 各種佈放法之 AP 佈放次序

B. 大小 AP 半徑比率之計算

由圖 11(a)可以知道當 r 與 R 之比率為 $r=(\sqrt{2}-1)R$ 時, 干擾面積=0。在此情形下, 大 AP 和小 AP 之間並無交集(即無干擾面積), 當佈放條件為不希望有干擾存在時可以將小 AP 與大 AP 之比率設成此值。

當 $r=R$ 時, 未覆蓋面積=0, 當佈放環境希望減少通訊縫隙時可以將小 AP 之位置由大 AP 取代, 而小 AP 之半徑 r 長度應介於 $(\sqrt{2}-1)R$ 至 R 之間(如圖 11(b))。

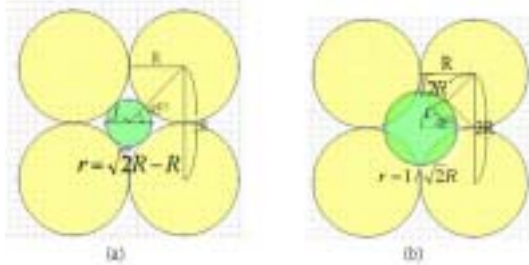


圖 11: 大小 AP 與干擾影響示意圖

為求小 AP 與大 AP 之較佳比率值以為佈放之參考, 本文利用面積方式求其適當比率, 大圓與小圓之相交圖形如圖 12 所示, 其內角度分別為 α 及 θ , 假設半徑 R 已知, 則利用餘弦定理及面積計算方法, 我們可以求得 r 半徑之較佳值。

由圖 12 中所示之情形, 可推論出當 R 及 r 之比率關係, 以及 θ 及 α 之關係而得出以下方程式。餘弦定理可知

$$\cos \alpha = (3R^2 - r^2)/(2\sqrt{2})R^2 \quad (1)$$

$$\cos \theta = (R^2 + r^2)/(2\sqrt{2})Rr \quad (2)$$

由此可得

大 AP 與小 AP 之交叉面積(即大 AP 與小 AP 之干擾面積) =

$$2[(\alpha/360)R^2\pi - (1/2)(R\cos\alpha)(R\sin\alpha) + (\theta/360)r^2\pi - (1/2)(r\cos\theta)(r\sin\theta)] \quad (3)$$

大 AP 與小 AP 之間未覆蓋面積(如圖 12 中之空白部份) =

$$R^2 - (1/4)R^2\pi - (1/4)r^2\pi + \quad (4)$$

利用上面方程式(1)至(4), 我們可以求出大 AP 與小 AP 之關係。經計算求四比率值, $r = \sqrt{2}-1$ 、 $r=1/2R$ 、 $r=1/\sqrt{2}R$ 、 $r=R$ 時, 求圖 13 之關係。在圖 13 中可知當 $r=1/\sqrt{2}R$ 時其未覆蓋面積已經相當少, 而其干擾面積應為一可接受值, 因此 $r=1/\sqrt{2}R$ 是比較好的比率值

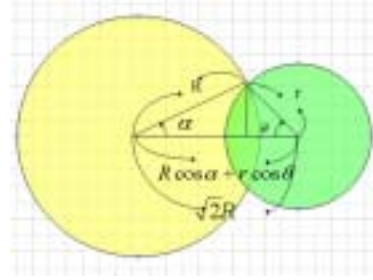


圖 12: 不同大小半徑比率法之角度面積圖

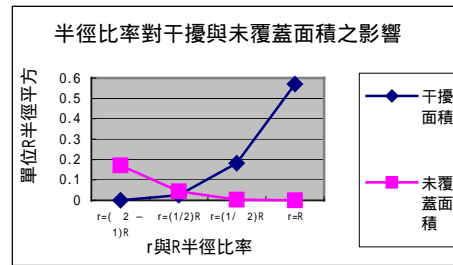


圖 13: 覆蓋固定面積所使用之 AP 面積比較圖

五、佈放方法比較

5.1 覆蓋面積, 未覆蓋面積與 AP 數量比較

針對上述三種佈放方法, 本節以矩形面積為佈放基礎, 由四倍半徑長度開始, 逐次以一次增加一個 AP 之覆蓋半徑方式累加, 其中大 AP 之半徑為 R , 小圓之半徑以上一節所得之半徑比率 $1/\sqrt{2}R$ 為計算之方法, 計算其使用之 AP 總面積, 覆蓋之總面積, 無法覆蓋之面積, 如圖 14, 15 所示。

由圖 14 我們可以發現, 當覆蓋固定範圍之面積時, 以不同半徑比率法可以用最少的 AP 覆蓋面積覆蓋最大的範圍, 而 90 度分割佈放法需要最多的 AP 覆蓋面積。而 60 度分割佈放法所需之 AP 覆蓋面積比 90 度分割佈放法更節省 AP 數量, 但比不同半徑比率法需要更多的 AP 覆蓋面積。

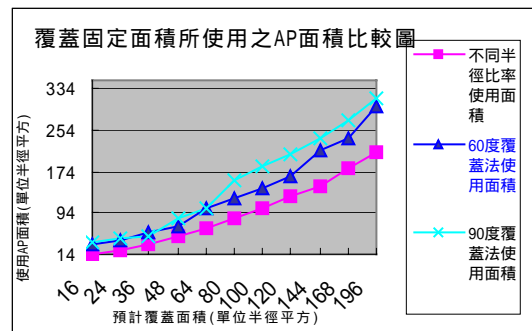


圖 14: 覆蓋固定面積所使用之 AP 面積比較圖

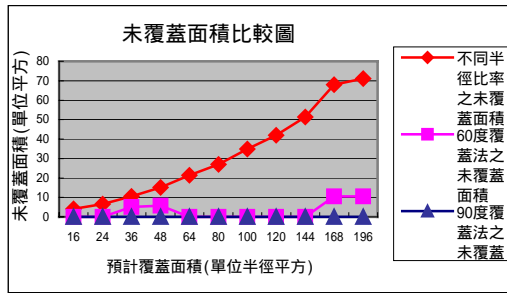


圖 15: 各方法之未覆蓋面積比較圖

由圖 15 可以發現，未覆蓋面積以不同半徑比率法之未覆蓋面積最大，60 度分割佈放法只有少部份狀況會有未覆蓋之情形且其面積很小。而 90 度分割佈放法則無未覆蓋面積。

表 3 為各方法使用之 AP 數量，可以發現使用之 AP 數量以不同半徑比率法使用之量最少，而 90 度分割佈放法使用之數量最多。因此可以推得不同半徑比率法所佈放區域，使用之 AP 數量將最少。

表 3: 各方法使用 AP 總面積與覆蓋總面積比較表

長 (R)	寬 (R)	總 覆 蓋 面 積 (R ²)	不同半徑佈 放法			60 度分割佈 放法			90 度分割佈 放法		
			大 AP 數 量	小 AP 數 量	AP 總 面 積 (R ²)	大 AP 數 量	小 AP 數 量	AP 總 面 積 (R ²)	大 AP 數 量	小 AP 數 量	AP 總 面 積 (R ²)
			4	4	16	4	1	14	10	0	31
4	6	24	6	2	22	13	0	41	12	4	44
6	6	36	9	4	35	18	0	57	12	7	49
6	8	48	12	6	47	22	0	69	20	13	83
8	8	64	16	9	64	33	0	104	25	15	102
8	10	80	20	12	82	39	0	123	30	30	141
10	10	100	25	16	104	45	0	141	36	55	184
10	12	120	30	20	126	59	0	185	48	37	209
12	12	144	36	25	145	68	0	214	49	53	237
12	14	168	42	30	179	76	0	239	63	48	273
14	14	196	49	36	210	95	0	298	100	0	314

5.2 各種佈放方式之適用時機

由於 90 度分割佈放法其 AP 所在位置在 X 軸與 Y 軸上之圓心位置均在同一線上，因此非常適合在大樓或是矩形區域上佈放。但是其損失面積達 15% 以上，比 60 度分割佈放法的 10% 更多，因此當大面積佈放時並不適合以此方式佈放。在大範圍佈放時若不希望未覆蓋面

積太大可以考慮以 60 度分割佈放法來佈放，若是允許通訊縫隙的存在則可以用不同半徑比率法來佈放。

60 度分割佈放法是最節省損失面積的佈放方式，依第三章第二節之計算其佈放面積只損失 10%，因此非常適合在大面積時佈放，但是由於其圓心位置無法對齊，因此當佈放範圍比較小或是方形區域時並不是很適合。此時可以用 90 度分割佈放法來佈放。

不同半徑比率法在佈放於通訊品質要求不是很高的時候，由於此種方式較節省 AP 之覆蓋面積，當佈放成本太高及對通訊品質要求不是很高時，可以用此種方式佈放。

六、結論

隨著無線網路技術進展快速與無線網路應用日益普遍，如何快速佈放一個經濟有效的 802.11 無線區域網路已成為一件很重要的研究課題。雖然在佈放時有許多考慮因素；如(美觀、供電、防盜、施工容易..)，會影響 AP 之佈放位置，但為研究 AP 間之最佳佈放位置，我們將 AP 之特性量化。本研究經由分析 AP 特性、分析障礙物與信號之關係，得到三種比較好的佈放 AP 方法：90 度分割佈放法、60 度分割佈放法、及不同半徑比率法。本論文主要貢獻如下：

1. 將 AP 通訊範圍定量化，以圓面積 ($R^2\pi$) 來計算實際通訊範圍、受干擾通訊範圍及浪費與無法覆蓋之通訊範圍，此計算方式可以將 AP 實際通訊範圍量化，以更有效的安排 AP 之佈放。
2. 找出方法來回答下列問題：何種 AP 佈放之方式會有較少的干擾？AP 與 AP 應以何種方式排放會有較大的覆蓋面積，以增加單位 AP 所能通訊之範圍？論文中也提出三種佈放方式、其佈放方法與各自適用之時機。經由我們的初步研究結果顯示，最節省 AP 的佈放方式為不同半徑比率法，矩形之無縫隙佈放方式以 90 度分割佈放法最好，60 度分割佈放法則比較適合於大面積的佈放(例如校區)及考慮無通訊縫隙時使用。
3. 找出方法來回答下列問題：如何移動 AP 位置以避免障礙物阻隔信號傳送？當有障礙物在通訊範圍內時應該如何調整 AP 位置以有效減少障礙物阻礙？

本研究之三種佈放方式及演算法，雖可成功佈放 AP，並計算各方法之覆蓋及浪費面積，但當佈放環境之內有障礙物時，必須移動 AP 佈放位置時，會影響到原有之覆蓋結構，而浪費覆蓋面積或是增加通訊縫隙。未來可考慮使用指向型天線來彌補，或是增加 AP 來彌補縫隙。如何修正演算法是本論文目前沒有考

慮的部份，尚待後續研究。

目前佈放之方式只考慮二種不同通訊距離之 AP，並找出比較恰當之兩 AP 通訊比率，由於 AP 之生產廠牌眾多，應可以有更多之 AP 通訊組合。當有許多組合時，如何調整不同 AP 之組合以適應各種通訊區域，亦值得研究。此外由於本研究係以平面之佈放為考慮因素，當佈放大型立體環境時，可以考慮如何將此三種覆蓋方式用於佈放大型立體環境。由於 AP 與 AP 之相對位置已知，故信號傳輸路徑是可以控制的，可以用此研究為基礎，設計信號傳輸最佳路徑。

參考文獻

- [1] 王志團, "IEEE 802.11 無線區域網路存取節點佈放位置之研究", 中央大學資訊管理研究所九十二年碩士論文, JUN, 2003
- [2] fortune S.J., Gay D.M., Kernigban B.W., Landron O., Valenzuela R.A., Wright M.H., "WISE Design of indoor wireless system : Practical computation and Optimization", *Proceeding of IEEE Computational Science and Engineering*, Vol.2, issue. 1, Spring 1995, pp.58-68
- [3] Hills, "A Large-scale wireless LAN Design", *IEEE Communications Magazine*, Vol.39, issue.11, Nov 2001, pp. 98-107
- [4] Hurley S., "Planning effective cellular Mobil Radio Networks", *Proceeding of IEEE Vehicular Technology Transactions on*, Vol.51, issue.2, Mar 2002, pp.243-253
- [5] Kamenetsky M., Unbehau M., "Coverage planning for outdoor wireless LAN systems", *Proceeding of 2002 IEEE International Zurich Seminar on Broadband Communications*, 2002, pp. 49-1 - 49-6
- [6] Stallings W., "IEEE 802.11 : Moving closer to Practical Wireless LANS", *IT professional*, Vol.3, issue 3, May/June 2001, pp17-23
- [7] IEEE STD 802.11 WIRELESS LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification, Jun 1997
- [8] Rodrigues R.C., Mateus G.R., Loureiro, A.A.F., "On the design and capacity Planning of a Wireless local area Network", *Proceeding of the 2000 IEEE Symposium on Network Operations and managements*, 2000, pp.335-348
- [9] Seidel S.Y., "Radio Propagation and planning at 28 GHz for local multipoint distribution service(LMDS)", *Proceeding of the 1998 IEEE Symposium on Antennas and Propagation Society International*, Vol. 2, 21-26, Jun 1998, pp 622-625
- [10] Prasad N.R., "IEEE 802.11 System Design", *Proceeding of 2000 IEEE International conference on personal Communications*, 2000, pp.490-494