

無線區域網路之位置導向服務品質監測

陳彥錚，國立暨南國際大學資訊管理研究所

陳秋彰，國立暨南國際大學資訊管理研究所

摘要

近年來 IEEE 802.11 無線區域網路蓬勃發展，漸成為不可或缺的一種網路存取方式，因此無線區域網路管理日益重要。無線區域網路在網路建置、無線通訊環境、使用者移動性有別於傳統的有線網路，也因此無線區域網路實際的服務品質可能會因基地台架設位置、周遭訊號干擾、使用者位置、使用者人數而有所不同。如何有效監測無線區域網路的服務品質是無線區域網路效能管理重要的研究課題，本論文提出一個位置導向的無線區域網路服務品質監測機制，此機制利用無線區域網路基地台本身的 SNMP 網管功能，提供網管人員以 WWW 連線的方式在無線區域網路訊號涵蓋範圍依各區域位置進行訊號品質監測；此機制並利用對 IEEE 802.11 連線服務的即時監測，自動搜集及分析一般使用者無線上網時的傳輸速率、訊號品質、訊號強度等連線資料。這些與位置及使用者相依的服務品質監測，是無線區域網路效能管理一大特色，網管人員可依據這些監測資料，進一步調整基地台位置、增減基地台數目、更動通訊頻道，以改善無線區域網路效能。

關鍵字：無線區域網路、服務品質、效能管理、SNMP

1. 緒論

近年來無線區域網路(Wireless Local Area Network, WLAN)快速發展, IEEE 802.11 [7]的 WLAN 標準趨於成熟, IEEE 802.11b 相關 WLAN 產品成為市場主流, 在可預見的未來, 各大校園、公共環境中將隨處可見 WLAN 基地台(Access Point, AP)的建置, 提供無線上網的服務。在這樣遍佈 WLAN 的環境下, 如何監測 WLAN 上的連線狀況、維持客戶端的良好連線品質便成了一個重要的研究課題。有別於傳統的有線網路, WLAN 仰賴無線傳播技術的特性使其兼具行動

性的優點，而相對地，WLAN 上的訊號傳輸不如有線網路穩定，傳輸的訊號強度容易隨著距離、障礙物或其他會產生電磁波的產品之影響而衰減[9]，訊號的干擾亦不易掌控，這些因素導致 WLAN 上因位置不同所呈現的服務品質差異性，此差異性對於 WLAN 網路提供者在維持網路服務品質的工作上是一個很大的挑戰。此外，傳統的有線網路受實體限制，使用者上線地點固定，上線人數也受到網路設備連接埠數目的限制，通常使用者所感受到的服務品質差異性很小，因此網路的效能管理較為單純。而 WLAN 的使用者具有行動性，進出網路的情形相當常見，因此同一網路區域的使用者人數變動率也相對提高，對於 WLAN 環境而言，上線人數多寡亦是影響效能的重要因素，因此了解使用者如何利用各 AP 上網的人口分佈情形也是 WLAN 效能管理重要的一環[2]。由以上論述，我們可以發現傳統有線網路的管理技術無法適用於 WLAN [1, 8]，尋求一個新的、專為 WLAN 所設計的效能管理方式是本論文之研究目的

目前網際網路管理技術多植基於 SNMP (Simple Network Management Protocol) [3]網路管理協定，大部份的網路設備(包括 WLAN AP) 支援 SNMP，俾使網管人員經由此協定對網路設備進行監控。本論文提出一個位置導向的 WLAN 服務品質監測機制，此機制利用 WLAN AP 所支援的 SNMP 網管協定，並結合無線的個人數位器(Personal Digital Assistant, 簡稱 PDA) 的 WWW 瀏覽功能，以及簡便的定位技術，有效地針對 AP 所涵蓋區域的各位置進行服務品質的監測分析。此外，我們發現 WLAN 的行動設備進出網路時，在 AP 有明顯的連線(Association)網管記錄，為即時搜集使用者連線服務品質資料，此 WLAN 服務品質監測機制利用連線監視代理人，透過陷阱式(Trap-Based)的網管模式，即時以 SNMP 至 AP 擷取連線服務品質資料，得到最貼近使用者之正確完整的服務品質監測資料。ASA 的運作有別於傳統輪詢式(Polling)網管，非常適合監控 WLAN 上使用者動態連線情況。植基於此 WLAN 服務品質監測機制，我們研發一套網頁式(Web-Based)的 WLAN 效能管理系統，此管理系統具有(1).即時性監控管理，(2).簡易的訊號收集方式，(3).精確的地點訊號量測，(4).清楚的地圖介面顯示，以及(5).連線服務品質統計等優點，使得網管人員能夠充分掌握所管轄的 WLAN 區域的服務品質，此外當網管人員欲增進 WLAN 的服務品質，也可依據此網管系統的監測資料，調整 AP 位置使 AP 更貼近多數使用者存取網路的地點，或是於同一鄰近區域增設 AP 來降低熱點的程度，而對於服務品質異常的 AP 並可考慮變動通訊頻道以避免可能的訊號干擾源[11]。由於本論文強調 WLAN 因位置不同的服務品質差異性，我們進一步利用所研發的網管系統搜集的資料，分析距離與訊號強度、連線速度、訊號品質間的關係，除了幫助我們了解 WLAN 的傳輸

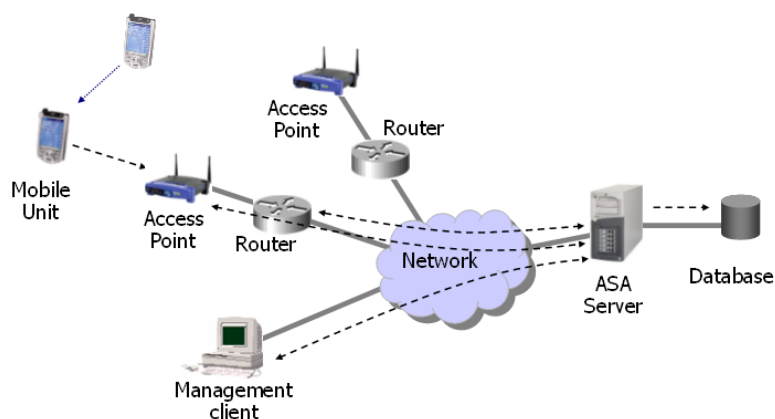
特性，也印證本論文的觀點，為本論文所提的服務品質監測機制提供一個重要實證。

2. 位置導向的服務品質監測

我們可以了解若欲知道 WLAN AP 訊號涵蓋範圍不同位置的服務品質，無可避免地必須至各地點做實地的量測，如同許多 WLAN 網卡所附軟體，我們不難從中得到連線強度、品質、及連線速度資料，不過要對所有的量測地點，記錄位置、計算距離、儲存相關服務品質資料、以及進一步統計分析，這些工作若由網管人員使用量測工具至每一地點逐一操作，勢必非常費時費工[12]。針對如此繁瑣又無法避免的工作，我們提出一個非常簡易的位置導向服務品質監測機制。此服務品質監測機制之特色有四：(1).利用 AP 之 SNMP 功能的服務品質監測，(2).網頁式的服務品質監測介面，(3).利用網頁影像地圖(Image Map)功能記錄監測位置，(4).輔以定位技術的服務品質監測。我們發現 AP 本身對於與之連線的行動設備也會記錄即時的連線強度、品質、及連線速度資料，因此服務品質的監測與記錄便不一定需在行動設備端進行。我們可以在網路上放置負責從 AP 搜集服務品質資料的伺服器，網管人員每到一地點只要進行 WLAN 連線，並利用行動設備通知該伺服器，服務品質的監測與記錄的工作便由該伺服器自動完成。其次，為了同時記錄網管人員所在位置，我們希望網管人員使用行動設備通知伺服器進行服務品質監測時，也能同時將網管人員位置資料告知伺服器。針對此需求，我們設計一個利用影像地圖功能的網頁式服務品質監測工具，我們發現常運用於網頁瀏覽的影像地圖功能，可以將使用者在影像上所點選位置的座標資料傳送給 Web 伺服器，因此我們將服務品質監測伺服器也設計成一個 Web 伺服器，網管人員可以使用行動設備上的瀏覽器連至服務品質監測伺服器，此伺服器會在瀏覽器上顯示依照實際比例所繪製地圖，然後網管人員依據所在位置點選地圖上對應位置，網管人員的監測位置資料以及與 AP 的距離便很容易地在伺服器端計算得知。為更進一步方便網管人員操作，我們輔以簡易的 WLAN 定位技術了解網管人員目前位於哪一個 AP 的管轄範圍，行動設備上的瀏覽器會自動顯示該 AP 附近地圖，此外，當網管人員點選地圖後，服務品質監測伺服器也可以知道要到哪一個 AP 讀取資料。因此，藉由此位置導向服務品質監測機制，網管人員只需拿著 PDA 四處走動並依據所在位置在網頁中的地圖點選位置即可完成服務品質監測的工作。至於服務品質監測所有結果，網管人員可以使用 PC 連到伺服器觀看。

圖一顯示位置導向服務品質監測機制的實體架構。其中，負責服務品質監測

的伺服器我們稱連線監視代理人(Association Surveillance Agent, 簡稱 ASA), ASA 包括一個資料庫, 用來儲存服務品質監測資料, ASA 接收從各 AP 所發送來與連線服務(Association Service)相關的 SNMP Trap 得以了解各使用者與 AP 連線的情形。由於在 WLAN 上行動設備欲存取某一 AP 時, 必須先與 AP 建立連線, 此連線動作即 IEEE 802.11 標準[7]所定義的連線服務。IEEE 802.11 標準另規範離線服務(Disassociation Service)及重新連線服務(Reassociation Service)。顧名思義, 離線服務用來終止連線, 而重新連線服務通常發生在行動設備因移動導致與 WLAN 的連線從某一 AP 移至另一 AP。當以上任一種服務發生時, AP 均會發送 SNMP Trap, 我們將所有管轄的 AP 所產出的 Trap 設定送至 ASA, ASA 便能從這些 Trap 中的參數得知哪些行動設備目前與哪些 AP 有連線關係。由於 AP 在室內環境訊號傳輸範圍約在 30 公尺的區域內, 因此當我們知道某一使用者目前與哪一 AP 連線, 表示此使用者目前在此 AP 附近。這是一個對位置導向的服務品質監測很重要的定位資訊[4]。我們運用此定位資訊選擇對應的位置地圖顯示在行動設備的瀏覽器, 無論網管人員如何移動, 瀏覽器會隨之顯示正確的地圖, 因此網管人員在品質監測過程, 無需自行選定地圖。此外, 在伺服器端, 無需網管人員的告知, ASA 利用此定位資訊便知道該至哪一個 AP 搜集服務品質資料。

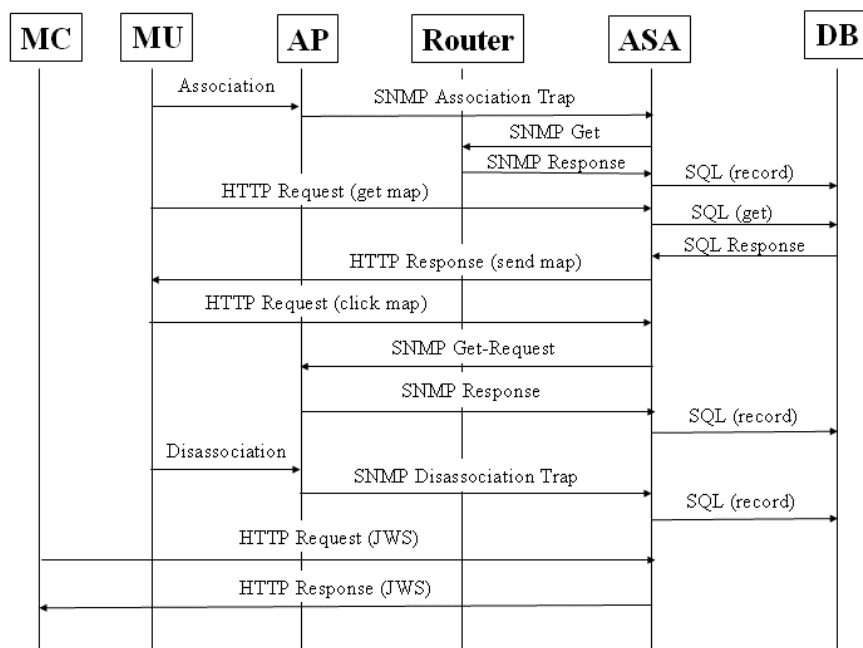


圖一 位置導向服務品質監測機制之實體架構

圖二為利用位置導向服務品質監測機制量測各位置服務品質的循序圖, 相關監測步驟, 說明如下:

- (1). 網管人員使用行動設備(MU)與某一 AP 進行連線。
- (2). AP 發出 Association Trap 至 ASA, ASA 從 Trap 中得到 MU 的網卡位址(即 MAC 位址)。
- (3). ASA 以 SNMP 至 AP 的預設路由器(Router)的位址對應表讀取 MU 之 IP 位址。

- (4).ASA 將 AP 與 MU 的連線資料記錄至資料庫。
- (5).MU 開啟瀏覽器連接至 ASA 之服務品質監測地圖網頁。
- (6).ASA 從 HTTP 要求中得到 MU 的 IP 位址，並使用此 IP 位址至資料庫讀取 MU 所在 AP 區域資訊。
- (7).ASA 依據 MU 所在 AP 區域資訊傳回對應的地圖資訊至 MU 的瀏覽器。
- (8).網管人員點選依其所在地點點選瀏覽器中地圖上對應位置。
- (9).ASA 以 SNMP 至 MU 所連線之 AP 取得連線服務品質資料。
- (10).ASA 將所得連線服務品質資料，隨同網管人員點選地圖之座標資料一起記錄於資料庫。
- (11).MU 斷線或離開 AP 範圍。
- (12).AP 發出 Disassociation Trap 至 ASA。
- (13).ASA 至資料庫刪除此 MU 目前連線記錄。
- (14).網管人員使用 PC 以瀏覽器連至 ASA 觀看監測結果。



圖二 位置導向服務品質監測循序圖

在以上步驟中，若網管人員在同一 AP 涵蓋區域之各地進行監測，則步驟(8)~(10)會一直重覆直執行。若網管人員移至另一 AP，則重新回到步驟(1)繼續執行。

除了由網管人員親自至各地點量測 WLAN 品質之外，一般的使用者在各個 AP 使用 WLAN 時事實上所感受的服務品質，更是網管人員真正興趣所在。AP

對與之連線的行動設備，會記錄連線品質，不過這些品質資料通常在行動設備離線後也會自動消失。傳統的網管模式通常採用輪詢式的監測，亦即每隔一段時間由網管系統至各 AP 擷取網管資訊。我們發現使用輪詢的監測方式除了會消耗固定的網路頻寬，更無法完整取得所有行動設備連線的服務品質資料，因為有些行動設備在兩次輪詢監測間連線並斷線，網管系統並無法從 AP 獲得這類的連線資料。對於一般使用者連線服務品質之監測，我們提出陷阱式的監測方式，如前所述，ASA 可以收到與連線相關的 Trap，因此我們可以在使用者與某一 AP 連線時，隨即至 AP 擷取對應的服務品質資料。由 Trap 所觸發的使用者連線服務品質監測，除了可以完整而正確的獲得服務品質資料，也不會浪費任何網路頻寬。除了使用者連線的訊號強度、訊號品質、及連線速度監測外，我們並利用收到連線與斷線 Trap 的時間計算使用者連線時間，也同時統計各個 AP 的使用者人數，以便從實際連線情形了解 WLAN 使用分佈情形，並配合所得到的服務品質資料，推測使用者存取 WLAN 的環境的優劣。由 Trap 所觸發的使用者連線服務品質監測之監測步驟，類似前述監測步驟之(1)、(2)、及(9)~(13)。不同的是沒有使用者精確的位置資料，但在 ASA 收到使用者離線 Trap 通知時會額外記錄連線時間長短以及更新連線人數統計。

3. 系統實作

我們依據所提位置導向服務品質監測的觀念，使用 Java 語言研發一套網頁式 WLAN 效能管理系統。我們使用 AdvantNet 公司的 SNMP API 開發 SNMP 網管程式，主要網管程式在 ASA 上執行，ASA 為使用 Linux 平台的伺服器，並安裝 MySQL 資料庫儲存網管資訊。WLAN 效能管理系統所納管的 WLAN AP 為 Cisco Aironet 350 [6]，AP 所支援的 IEEE802dot11-MIB [7] 及 AWCX-MIB [5] 管理資訊庫模組提供了連線服務品質資料以及用來觸發 ASA 進行品質監測的 Trap。網管人員用來定點監測品質的行動設備為支援 WLAN 功能的 PDA，PDA 無需安裝任何監測程式，只要有標準的 Web 瀏覽器即可，在我們的系統實作，我們使用 Acer n20w Pocket PC。茲將此效能管理系統提供的主要功能分述於后。

3.1. 定點品質量測

WLAN 效能管理系統之定點品質量測功能提供網頁式的地圖瀏覽介面(如圖三所示)，讓網管人員更容易完成資料收集的工作。當網管人員欲收集各地點連線狀態資料時只需攜帶 PDA 移動到一定點後開啟此地圖網頁連線，由於行動裝

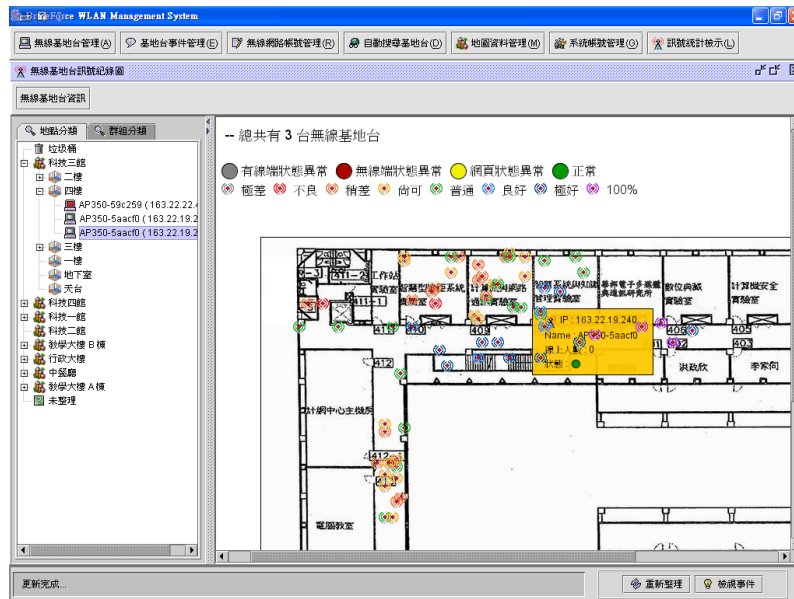
置在進入 AP 的通訊範圍中經由 AP 連線時，ASA 系統會自動記錄裝置所在地區，因此系統將自動依照記錄的地區資訊顯示此地區之地圖，管理者只需點選所在座標即可由系統自動取得 AP 中之資料並完成紀錄工作。



圖三 網頁式定點品質量測介面

3.2. 位置導向的管理介面

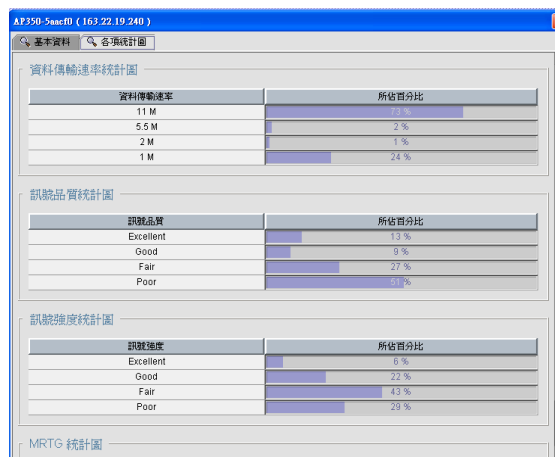
本功能提供使用定點測量模式所收集之資料直接的檢視介面(如圖四所示)。在網管人員收集各地點的訊號品質資料後，可使用 PC 的瀏覽器開啟網管系統得知量測結果。有別於傳統有線網路以網路連結導向的管理介面，此管理系統提供位置導向的管理介面，瀏覽的圖形化介面是依照位置區域關係呈現，網管人員藉由樹狀階層的選單選定某一區域，網管系統會顯示該區域的地圖，並於地圖中標示該區域中的 AP。當網管人員想了解地圖中某一 AP 訊號涵蓋範圍的服務品質監測情形，只要點選該 AP，地圖上便會顯示各位置相對於該 AP 的訊號強度，訊號強度值依強弱不同分為八個等級，由弱而強分別以灰、紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等八種顏色代表。藉由觀察此位置導向的訊號強度分佈圖，網管人員對各個 AP 所涵蓋之範圍內的訊號強弱分佈情形一目瞭然，可獲得最直接的參考資訊。例如，從圖四所顯示某一 AP 的訊號強度分佈圖，我們可以看到較近 AP 的位置有較好的訊號強度表現，但有牆阻隔的房間內，訊號強度確實受到影響。藉由這種以地圖方式所呈現的訊號強度分佈，也可以讓網管人員推測各 AP 之佈設位置是否合適，了解 AP 是否能發揮其最大效能，並進一步對 AP 之佈設作最佳化。因此，我們認為這種位置導向的管理介面，是呈現 WLAN 效能管理最佳的方式。以地圖方式顯示服務品質分佈，無法提供詳盡的原始量測數值資料，此 WLAN 效能管理系統也提供數值列表的介面，提供網管人員參考。



圖四 位置導向的 WLAN 效能管理介面

3.3. 連線服務品質統計

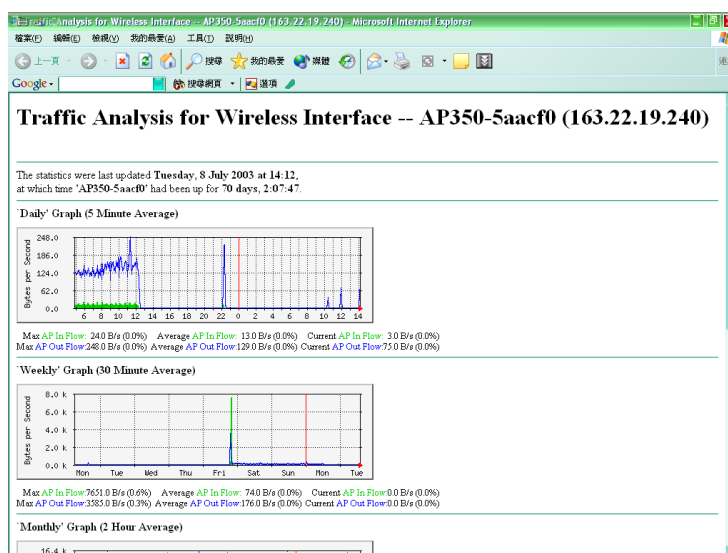
WLAN 效能管理系統對於各 AP 上每一個連線均有搜集服務品質資料並加以統計，網管人員可選擇特定 AP，查詢該 AP 的資料傳輸速率、訊號品質、訊號強度等各項百分比統計圖(如圖五所示)。此功能針對個別 AP 的所有使用者上線時的連線狀況作百分比統計。經由此統計圖可得知所有使用者經由此 AP 連線之整體情形，亦可大概了解此 AP 提供之服務是否達到一定成效，並判斷 AP 擺設位置是否需要改進，以便更貼近使用者日常上網的地方，或遠離訊號干擾源。



圖五 AP 服務品質百分比統計介面

3.4. 結合 MRTG 的服務品質統計

除了各 AP 的使用者連線服務品質之百分比統計外，此效能管理系統並結合知名的 MRTG (Multi Router Traffic Grapher) 網管工具[10]，將各 AP 在不同時間的流量、使用者人數、以及資料傳輸錯誤比率依日、週、月、年統計區間繪製統計圖 (如圖六所示)。AP 的流量統計，乃針對 AP 的無線網卡介面的流入與流出位元組數目進行統計，可以了解有無壅塞的情況發生。AP 的使用者人數統計，則是由 ASA 在不同的時間區段所收到的連線 Trap 與斷線 Trap 數目推算得到的，可以讓網管人員了解使用者人數變化情況，得知真正的熱點發生在哪些 AP 及哪些時段。而 AP 錯誤比率統計則可讓網管人員了解 AP 整體服務品質是否受周遭環境干擾。



圖六 結合 MRTG 的 AP 服務品質統計

4. WLAN 無線傳輸距離實驗

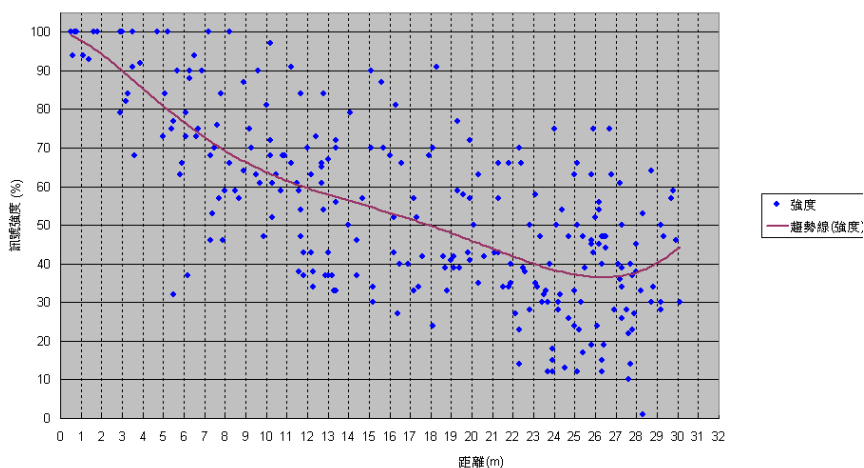
無線傳輸對效能的影響在 WLAN 的領域中仍是重要的研究議題之一，而本論文所提的位置導向服務品質監測機制，除了作為效能管理之用以外，亦可作為我們探討此類問題研究之用。本節將展示使用本系統收集得到之服務品質資料所做的分析，我們針對定點量測中系統所錄之行動設備在各地點連線時之訊號強度、與 AP 相距距離、連線速率進行分析。由於在定點測量模式中我們使用地圖座標的呈現方式記錄地點資料，因此可以很容易計算出記錄點與 AP 間之距離關係，且此距離(pix)可再進一步換算為實際距離值(m)。以下為距離換算方式：

$$\sqrt{\left(\frac{(X_1 - X_2) \div M_X \times T_X}{M_X \times T_X}\right)^2 + \left(\frac{(Y_1 - Y_2) \div M_Y \times T_Y}{M_Y \times T_Y}\right)^2} \quad (1)$$

其中 (X_1, Y_1) 為 AP 座標， (X_2, Y_2) 為記錄點座標， M_X, M_Y 為地圖之長、寬， T_X, T_Y 則為地圖長、寬所對應之實際環境的距離長度，由此簡單的距離公式與比例尺關係便可將所有紀錄之 AP 與測量點之座標值換算為以公尺為單位之距離值。我們從網管系統的資料庫取得各地點所量得的訊號強度、傳輸速率、訊號品質資料分別探討與傳輸距離之間的關係，我們將資料繪成圖表並顯示數值變化的趨勢線，針對所顯示的實驗結果提出我們的看法。

4.1. 訊號強度與傳輸距離

圖七以訊號強度為縱軸座標、距離為橫軸座標描繪出距離與訊號強度之關係圖，量測點距離 AP 越近則連線訊號強度值多數偏高，距離越遠則訊號強度值多數集中在 50% 以下。此圖最大之距離值為 30 公尺是由於實際量測時受限於建築物之範圍，並不表示此為 AP 有效通訊距離，而同一距離座標上不同之強度值間的差異則顯示出無線環境中受到干擾、障礙物等因素影響所產生的變化程度，而即使有此差異性存在，由圖中的趨勢線仍可觀察出訊號強度隨距離增加所產生之變化，距離增加則訊號強度隨之遞減，圖中距離座標末端之趨勢線微揚應是受到資料收集地點的影響，由於距離 AP 較遠的測量點多分佈在不受障礙物阻隔的走廊上，因此產生此一結果。

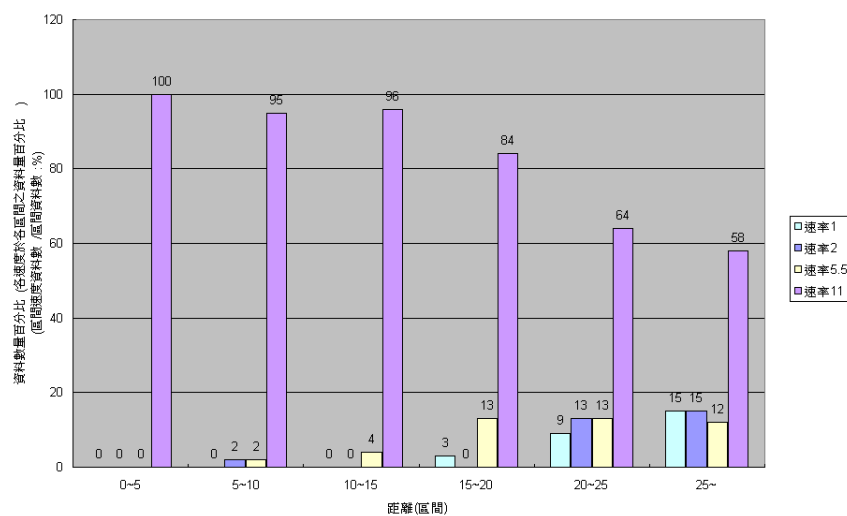


圖七 訊號強度與傳輸距離關係圖

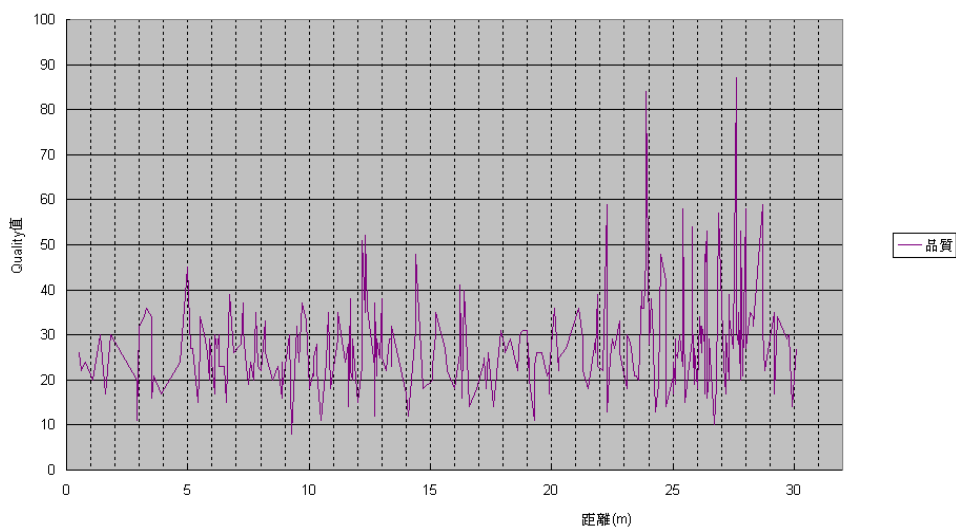
4.2. 連線速率與傳輸距離

802.11b WLAN 之連線速率分為 1 Mbps、2 Mbps、5.5 Mbps、11 Mbps 四種，

隨著訊號強度的改變，連線速率會自動調整以維持良好的連線狀態，圖八顯示此一速率值與距離間的關係。橫軸為距離區間，以每五公尺為一區間，每個區間分別繪出四種速率值之資料數於該區間總資料數之百分比。如區間 15~20 中第三個資料數為 13，即表示在 15~20 公尺間，連線速率為 5.5Mb 者佔此區間全部連線數量的 13%。由圖中可見，距離 AP 5 公尺以內時，連線速率均維持在 11Mb 最佳狀態，而當距離漸遠至 5~10 公尺時則連線速率有 2% 的情形調降至較低的 5.5Mb 及 2% 降至 2Mb，直至 20 公尺之距離後可以看出連線速率降至 2Mb 甚至 1Mb 的情況增加許多。



圖八 連線速率與傳輸距離關係圖



圖九 連線品質與傳輸距離關係圖

4.3. 連線品質與傳輸距離

圖九比較訊號品質與傳輸距離之關係。訊號品質之值在距離 AP 較近時多維持在 50 (訊號品質量化值為一介於 0 至 100 之間的相對值, 100 表示最佳, 0 則最差) 以下, 距離與品質間並沒有明顯關係, 實驗數據中超過 23 公尺距離後有部分數值超過 60 的情況, 可能是實驗環境影響。由於影響訊號品質的因素主要自於周遭環境的干擾源或障礙物, 在我們的實驗中, 距離較近的量測點多在有電腦設備及家具的實驗室, 距離較遠的量測點則在空無一物的走廊上。因此此實驗也反應出環境會影響連線的品質。

5. 結論

無線網路的發展雖然仍植基於傳統有線網路的觀念, 但因兩者的傳輸介質完全不同, 使得無線網路和有線網路具有截然不同的特性, 沿用自傳統網路的管理方式也無法完全滿足無線環境的管理需求。由於無線環境不受限於實體線路的鋪設方式, 只要仍在無線 AP 的範圍中就能連上網路, 大幅提高了使用者的移動性和便利性, 但也降低了傳輸的穩定性和安全性, 也因為高移動性影響了使用者的使用方式, 因此管理上也需考慮到使用者的行為習慣, 如群集區域、上線人數、時間, 許多有線網路環境中不存在的問題都在無線環境中浮現出來, 也更顯現出無線網路管理的困難。

針對 WLAN 我們提出一個新的位置導向服務品質監測方式, 利用普遍實作於網路設備上的 SNMP 管理協定功能, 並利用 WLAN 特有的連線相關 Trap 及 MIB 資訊, 使與位置相依的服務品質資料能夠很方便的搜集。我們也以位置導向的觀念設計 WLAN 效能管理系統, 其中許多監測項目都是傳統的網路管理系統所沒有的。此外, 我們所做的傳輸距離實驗, 除了展示本論文所提監測機制的便利與效益, 同時也印證位置導向的網路管理模式對 WLAN 的管理是必要的。

參考文獻

1. AirDefense, Inc., Understanding the Layers of Wireless LAN Security & Management, [AirDefense White Paper](#), 2003.
2. A. Balachandran, G.M. Voelker, P. Bahl, and Rangan P.V. Characterizing User Behavior and Network Performance in a Public Wireless LAN. [Proceedings of](#)

- SIGMETRICS, June 2002. pp.195-205.
3. Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M., J. Davin. Simple Network Management Protocol. RFC 1157, May 1990.
 4. Yen-Cheng Chen, Yao-Jung Chan, Cheung-Wo She, Enabling Location-Based Services on Wireless LANs, Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Networks, Sydney, NSW, Australia, Sep. 2003, pp.567-572.
 5. Cisco Systems, Inc., Cisco AWCX MIB- "awcVx Management Information Base", <http://berlin.ccc.de/~gunjin/awcVx.mib>, 2003.
 6. Cisco Systems, Inc. Cisco Aironet 350 Series Access Points, http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/witc/ao350ap/prodlit/carto_in.pdf, 2003.
 7. IEEE Std. 802.11-1999, IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Network:-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, IEEE, 1999.
 8. InfoTech, Wireless LAN Network Management White Paper, http://www.sniffer.com/common/media/sniffer/us/products/pdf/wp_us_wireless_lan.pdf, 2003.
 9. A. Kamerman and N. Erkocevic, "Microwave Oven Interference on Wireless LANs Operating in the 2.4 GHz ISM Band", in Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, The 8th IEEE International Symposium, Chattanooga, USA, 1997, pp. 1221-122.
 10. Tobias Oetiker and Dave Rand, Multi Router Traffic Grapher, <http://www.mrtg.org/>, 2003.
 11. Ambuj Tewari and Utkarsh Srivastava, A Distributed Monitoring System for Troubleshooting Wireless Networks, BTech Project Reports, <http://www.cse.iitk.ac.in/research/btp2002/98391.html>, 2002.
 12. 黃世杰、林志杰、周明忠，輔以個人數位助理於無線區域網路中最佳存取點之佈設，2002 年全國電信研討會，2002。