

國立交通大學

電信工程學系

碩士論文

已知位置及移動性的媒介收發控制層通訊
協定

Location and Mobility Aware Medium
Access Control Layer Protocol

研究生：呂智迪

指導教授：方凱田

中華民國 2006 年六月

已知位置及移動性的媒介收發控制層通訊協定

研究生：呂智迪

指導教授：方凱田 博士

國立交通大學

電信工程學系碩士班

摘要



近年來，在各種領域中開始研究關於結合方向性天線的行動通訊設備，方向性天線的使用可以大大的減少無線電的干擾影響，因此無線媒介的使用率可以獲得明顯地改善，其中，方向性天線的技術在「媒介收發控制」(Medium Access Control, MAC)層上的通訊協定已經足夠成熟，在這篇論文中，我們將提出應用在隨意行動無線網路(Mobile Ad Hoc Network, MANET)上的「已知位置及移動性的媒介收發控制層通訊協定」(Location and Mobility Aware Medium Access Control layer protocol, LMA MAC layer protocol)，藉由預測行動通訊裝置的位置可以增強在使用方向性天線時，行動節點(Mobile Node, MN)與行動節點之間的通訊聯結強度，另外，在我們提出的通訊協定中將使用方向性探測來減緩方向性天線常出現的遮蔽問題，當所有的節點是

根據隨意移動的特性來移動時，空間的使用率以及尋找路由的效率將由我們所提出的「已知位置及移動性的媒介收發控制層通訊協定」提供改善，除此之外，我們加入了方向性信標的控制封包，來確保某個節點改變移動方向或是移動速度後，其他節點們可以擁有正確的位置以及移動性資訊，最後，我們所提出的通訊協定將使用模擬的結果來評估與其他通訊協定的整體表現。



Location and Mobility Aware Medium Access Control Layer Protocol

Student: Chih-Ti Lu Advisor: Dr. Kai-Ten Feng

Department of Communication Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

In recent years, the incorporation of the directional antennas within mobile devices has been studied in many areas. The usage of directional antennas can greatly reduce the radio interference, which results in improved utilization of the wireless medium. It becomes practical to exploit the directional antennas in the Medium Access Control (MAC) protocol design. In this paper, a Location and Mobility Aware (LMA) MAC protocol is developed for the mobile ad hoc networks. The predictive location of the mobile devices are adopted to enhance the robustness of the communication linkages while using the directional beams. The deafness problem is also alleviated using the directional listen (D-Listen) mechanism in the proposed algorithm. Under dynamic moving scenarios, both the spatial reuse and the routing efficiency are preserved using the proposed LMA MAC scheme. Moreover, the usage of the control packet named directional

beacon can ensure other mobile nodes to have the correct position and mobility information after one node has changed its moving direction or moving velocity. Finally, the performance of the proposed algorithm is evaluated and compared with other existing protocols in simulations.



誌謝

光陰似箭，短短兩年碩士班的研究生涯，以此論文之告成，即將劃上句號。在這兩年裡，首當感謝指導教授 方凱田老師於研究以及論文上給予充分且詳實的指導與教誨鼓勵，老師嚴謹認真的研究態度以及鼓勵學生的用心，令學生受益匪淺。

其次感謝交通大學電信系教授 李程輝老師以及交通大學資工系助理教授 趙禧綠老師擔任口試委員的指導與建議，在此也表現由衷的感謝。

衷心的感謝實驗室的澤恩學長，給予研究上的指導，給予學弟們許多的幫助，也感謝實驗室的夥伴們這兩年來的陪伴相隨，一起走過這艱苦的研究生涯，互相幫助扶持才能成就順利的碩士生涯，也共同度過許多快樂的時光，更有了難忘的回憶，謝謝你們。

最後，要特別感謝我的父母以及家人，感謝父母的辛苦栽培以及默默付出，使得我得以全心投入學業。再次衷心的謝謝以上諸位，由於你們的幫忙，此論文得以完成，衷心感謝。

僅以此篇論文獻給對我付出關心的你們。

民國九十五年六月

研究生呂智迪謹識於交通大學

目錄

中文摘要	1
英文摘要	3
誌謝	5
目錄.....	6
圖目錄.....	8
第一章 介紹.....	10
第二章 隨意行動無線網路的相關論文介紹	16
第一節 IEEE 802.11 通訊協定	16
第二節 方向性媒介收發控制通訊協定	17
第三節 多重跳躍媒介收發控制通訊協定	19
第四節 環型方向性媒介收發控制通訊協定	21
第五節 根據智慧型天線而擁有較廣泛的收發範圍的 媒介收發控制層通訊協定	24
第三章 新提出的「已知位置以及移動性」MAC 層通訊協定 ...	27
第一節 方向性網路配置向量	28
第二節 位置表	28
第三節 全方向性聆聽/全方向性要求傳送封包模式	31
第四節 方向性聆聽/方向性要求傳送封包模式	33

第四章 方向性信標介紹及其效能改善評估	38
第一節 方向性信標	39
第二節 分析方向性信標的一些條件以及假設	41
第三節 分析有使用方向性信標的已知位置以及移動性的 「媒介收發控制層通訊協定」	43
第四節 分析沒有使用方向性信標的已知位置以及移動性的 「媒介收發控制層通訊協定」	45
第五節 推導結果的比較與分析	49
第五章 效能表現評估與分析	52
第一節 參數設定	52
第二節 固定行動節點的效能分析	53
第三節 隨意路徑移動的行動節點的效能分析	57
第四節 不同的方向性天線的天線形狀分析	62
第六章 結論	66
參考文獻	67

圖目錄

第二章

圖一：IEEE 802.11 封包交換時序圖以及網路配置向量示意圖

圖二：方向性媒介收發控制通訊協定

圖三：多重跳躍媒介收發控制通訊協定

圖四：方向性天線的耳聾問題以及環型方向性媒介收發控制通訊協定

圖五：SWAMP 的全方性區域通訊收發模式的封包交換以及下個跳躍點位置

資訊建立。

圖六：SWAMP 的延伸區域通訊收發模式使用下個跳躍點位置資訊來做

封包交換。



第三章

圖七：方向性網路配置向量以及所提出的通訊協定示意圖

圖八：已知位置以及移動性媒介收發控制層通訊協定實際通訊過程

第四章

圖九：方向性信標(DB)的傳送

圖十：使用方向性信標的分析示意圖

圖十一：沒有使用方向性信標的示意圖

圖十二：在第二種情況下，接收端離開 A 的方向性天線的距離 m

圖十三：每對傳輸節點間的平均傳送封包數目(包含模擬結果以及

數學分析結果)

第五章

圖十四：固定節點位置配置圖

圖十五：固定節點下的整體傳輸效率

圖十六：固定節點下的資料封包傳輸延遲

圖十七：固定節點下的控制封包負載

圖十八：隨意路徑移動模型下根據不同節點數的整體傳輸效率

(平均速度=10m/s)

圖十九：隨意路徑移動模型下根據不同平均速度的整體傳輸效率(節點數=10)

圖二十：隨意路徑移動模型下不同節點數的資料封包傳輸延遲

(平均速度=10m/s)

圖二十一：隨意路徑移動模型下不同平均速度的資料封包傳輸延遲

(節點數=10)

圖二十二：隨機路徑移動模型下不同節點數的控制封包負載

(平均速度=10m/s)

圖二十三：隨機路徑移動模型下不同平均速度的控制封包負載(節點數=10)

圖二十四：當 ϕ 為任意角度時為連續型的扇型天線形狀

當 ϕ 為 $360^\circ/N$ 時為 N 個方向的離散型扇形天線形狀

圖二十五：連續型以及離散型的不同方向性天線形狀之下的整體傳輸效能

第一章

介紹

隨意行動無線網路(Mobile Ad Hoc NETWORK, MANET)是指一個不需要固定的基地台的無線網路架構，然而所有配備無線網路卡的行動節點(Mobile Node, MN)還是可以互相的通訊。基本的隨意行動無線網路中的封包交換，所有的行動節點都是同等的，並且不需要基地台來達成通訊。根據不同的幾何地理位置分佈，所有的行動節點是動態的分布並且持續的改變它們的位置。隨意行動無線網路擁有一個快速改變位置的特性導致行動節點之間的路由很難長久維持。這特性使得我們需要設計一個新的通訊協定，能有效率且可靠地來加強路由的生命週期。



隨意行動無線網路的觀念早在 1970 年就被提出，一開始的動機是爲了建立一個具有高度移動性以及可靠性的軍事通訊系統。在當時，戰爭是非常頻繁的，所有的通訊是不可能依靠事先安裝好的通訊設備，就算事先安裝好的設備也可能被敵軍摧毀。換句話說，軍事無線通訊網路系統是有別於一般商業用途的無線通訊網路，尤其是對於靈活性、移動性、可靠性的要求。傳遞戰術的資訊以及佈局的訊息最重要的不可預測性，就是爲什麼隨意行動無線網路在軍事上如此的被看中。除了軍事上的使用，隨意行動無線網路也廣泛地應用在其他方面，車輛之間的通訊(Inter Vehicle Communication, IVC)、

信息發送、災後重建、感應網路、個人通訊設備(Personal Communication Systems, PCSs)、以及教育目的。以下是兩個有關於使用隨意行動無線網路的範例：

智慧型傳輸系統(Intelligent Transportation System, ITS):藉由自我規劃的功能，隨意行動無線網路提供車輛間無線通訊的路由，此功能在農村發生緊急事件時也相當有用，可以方便聯繫警察。同樣地，隨意行動無線網路可以在無法提供事先存在的網路基本架構的山中或是海上幫助遇難的人們。在空間上以及時間上受限制地情況下，因為隨意行動無線網路所擁有的無線技術以及移動性等特性，特別受大眾所喜愛。

個人通訊設備(PCSs)：在現今個人通訊設備的功能變得更強大的時代，相關的技術被要求擁有處理更大量資料傳輸的能力，並且需要包含電腦檔案的交換以及顯示應用程式的功能。隨意行動無線網路可以藉由暫時的網路架構來提供有效率地資料傳輸，而非使用一個龐大基本網路架構或是架設點對點的傳輸線。

近年來許多關於媒介收發控制(Medium Access Control, MAC)層的學術研究都致力於全方向性天線的使用，例如 IEEE 802.11 [1]。在[2][3]的論文所提出的根據全方向性天線的媒介保留機制，將會導致空間使用率以及連結可靠性大幅地下降。隨著智慧型天線的技術演進，方向性天線開始實現在隨

意行動無線網路的媒介收發控制層通訊協定。方向性天線與全方向性天線比較起來，有著以下的改善，空間的重新利用、傳輸範圍的涵蓋、網路傳輸效能的增強。

接下來我們將介紹許多使用方向性天線，所提出不同的媒介收發控制層通訊協定[4]-[31]。其中，[4][5]是比較早期提出的媒介收發控制層通訊協定，將控制封包使用全方向性天線來傳輸；而資料封包則是使用方向性天線來傳輸，這主要的缺點就是傳輸範圍的大小以及空間重新利用的優點都會受限於使用全方向性天線來傳輸的控制封包。另一種通訊協定[6]強調傳送資料封包之前的前置作業，事先發佈包含發送端行動節點的通訊交通狀況的封包給所有週遭的鄰居節點，然而，這會造成大量的控制封包產生，因此導致傳輸效率的下降。DMAC/MMAC 的通訊協定在[7] 中被提出，此通訊協定之所以不同於之前的通訊協定，就是除了使用方向性天線來傳送資料封包也使用方向性天線來傳送控制封包，可是這通訊協定有著兩個主要的缺點或是限制：第一，所有在行動隨意無線網路中的行動節點都必須事先知道彼此的位置資訊；第二，在此通訊協定之下並沒有解決方向性天線中特有的遮蔽問題。論文[8]提出一個在某些情況下，能夠減緩遮蔽問題的通訊協定，這個通訊協定使用方向性天線對著各方向輪流著傳送「要求傳送封包」(Request To Send, RTS)，來確保所有週遭的行動節點都可以收到「要求傳送封包」，用以減緩遮蔽問題，而傳輸控制封包所涵蓋的圓形範圍半徑相當於傳統全方

向天線利用廣播控制封包所涵蓋的圓形範圍半徑的兩倍，然而這個通訊協定也因此產生的相當大量的控制封包，會導致傳輸的效率大幅地下降。還有一些藉由使用額外的控制頻道來解決遮蔽問題的媒介收發控制層的通訊協定在[9][10]中被提出，他們所使用的控制頻道取名為「忙碌音調頻道」(Busy Tone Channel)，並以設定此頻道的忙碌音調來取代「要求傳送封包」以及「確認可傳送封包」(Clear To Send, CTS)等控制封包。另外兩個近年來所提出能解決遮蔽問題的媒介收發控制層的通訊協定，分別是使用額外的控制頻道的 ToneDMAC [11]；以及使用「開始傳輸資料的控制封包」(Start-Of-Frame, SOF) 的「根據智慧型天線而擁有較廣泛的收發範圍的媒介收發控制層通訊協定」(Smart antenna based Wider-range Access Medium Access Control Protocol, SWAMP)[12]。



隨著時代的趨勢，配備有定位系統(例如：全球定位系統，Global Positioning System, GPS)的行動通訊設備日益增多，現在的行動節點可以輕易的從上層的網路層來獲得自己的位置以及移動性等資訊，這些都是符合媒介收發控制層的規格。然而上述所提到關於使用方向性天線的所有通訊協定都沒有將行動節點各自所擁有可能移動的路徑列入考慮。隨著行動節點們的動態移動，彼此間通訊連結可能會因此變得脆弱且不可靠。在此篇論文中，將提出一個新的通訊協定，取名為「已知位置以及移動性」(Location and Mobility Aware, LMA)的媒介收發控制層通訊協定。這個通訊協定是以使用

方向性天線的媒介收發控制層通訊協定為依據，將行動節點們之間的相對運動列入考慮。藉由預測接收端的位置，發送端在傳送資料封包時，將會動態地改變自己的方向性天線的方向，使其指向接收端。除此之外，遮蔽問題也會因為方向性天線可以隨著儲存在位置表中的接收端位置資訊來改變方向而獲得改善。

在使用方向性天線為基礎的隨意行動無線網路之下，藉由使用「全方向性聆聽/全方向性要求傳送封包」(Omni-Listen/Omni-RTS, O-Listen/O-RTS)或是「方向性聆聽/方向性要求傳送封包」(Directional-Listen/Directional-RTS, D-Listen/D-RTS)的機制，將可以減緩下列兩個現象：第一，遮蔽問題；第二，在動態移動之下所產生的不可靠的通訊連結。對於所提出的通訊協定與其他關於媒介收發控制層的通訊協定之間的效能表現差異，將會藉由模擬來評估。

接下來的章節如下：第二章是簡介現今存在的通訊協定：「IEEE 802.11、方向性媒介收發控制通訊協定(Directional Medium Access Control, DMAC)、多重跳躍媒介收發控制通訊協定(Multi-hop Medium Access Control, MMAC)、環型方向性媒介收發控制通訊協定(Circular Directional Medium Access Control, Circular DMAC)、根據智慧型天線而擁有較廣泛的收發範圍的媒介收發控制層通訊協定(Smart antenna based Wider-range Access Medium

Access Control Protocol, SWAMP)」；第三章是介紹所提出的已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定；第四章是在 LMA 的媒介收發控制層通訊協定之中，再加入方向性信標(Directional Beacon, DB)的改進；第五章是藉由一些參數的設定來比較 LMA 的媒介收發控制層通訊協定與其它不同媒介收發控制層通訊協定在效能表現上的評估比較；第六章則是結論；最後會附上一些參考文獻。

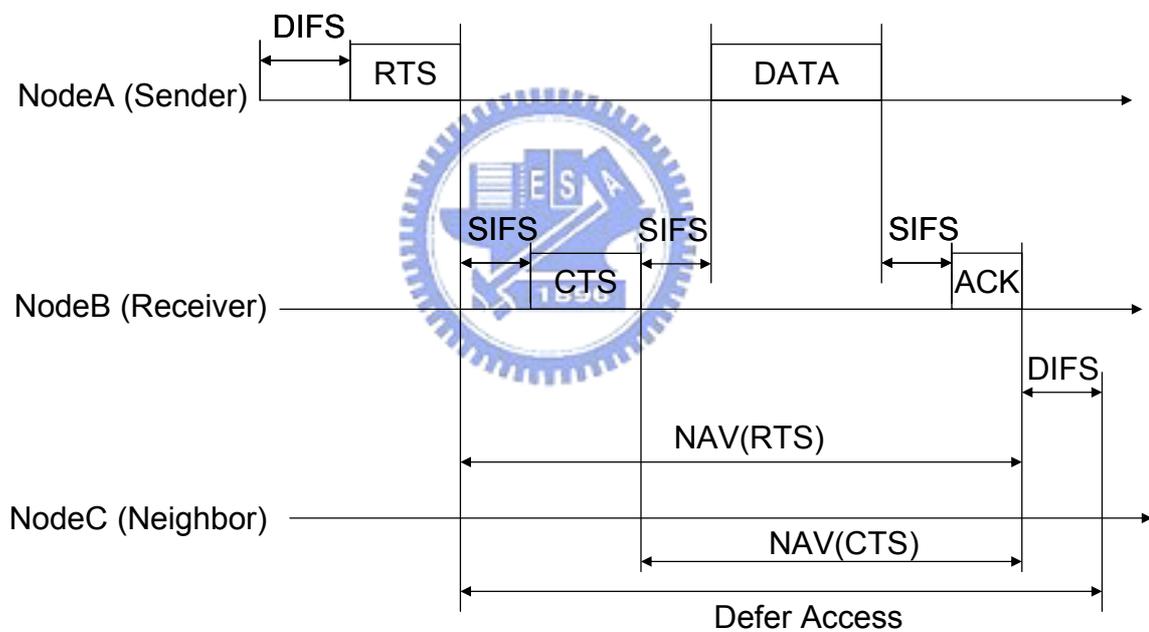


第二章

隨意行動無線網路的相關論文介紹

第一節

IEEE 802.11 通訊協定



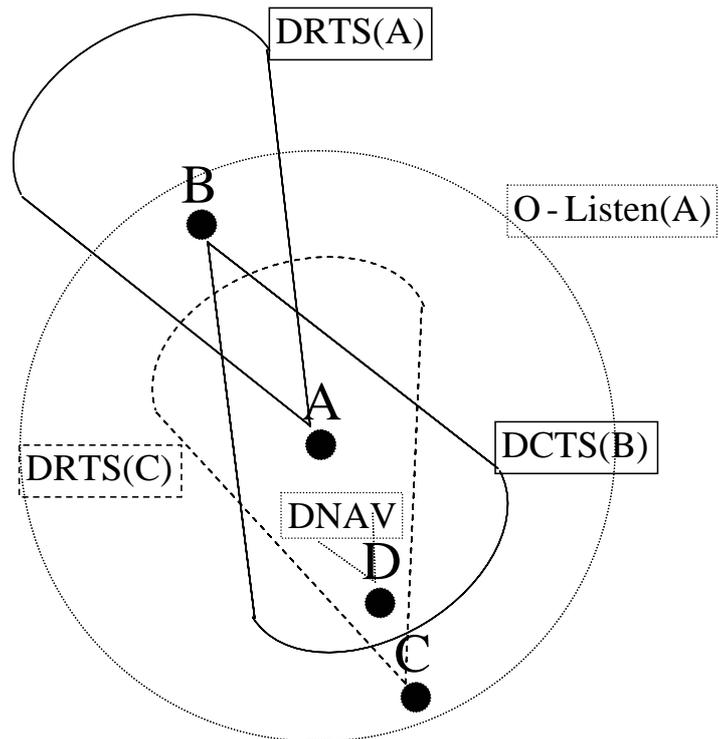
圖一：IEEE 802.11 封包交換時序圖以及網路配置向量示意圖

IEEE 802.11 通訊協定[1]是大家公認，使用全方向性天線的標準媒介收發控制(Medium Access Control, MAC)層通訊協定。「對等分配函式」(Distributed Coordination Function, DCF)是在 IEEE 802.11 的媒介收發控制層

通訊協定中被使用的基本的收發機制。「對等分配函式」是建立在「載波感測多重存取碰撞避免協定」(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA)系統之下，用來確保每個行動節點(Mobile Node, MN)可以獲得平等的機會經由共用的無線網路媒介去收發封包。為了避免資料封包在無線媒介中產生碰撞，IEEE 802.11 將進行實際的載波感測機制，也就是使用網路配置向量(Network Allocation Vector, NAV)來記錄正在傳送的資料封包所需要的時間區段。除此之外，為了降低資料封包碰撞的機率，每個行動節點也必須採用隨機等待時間(Random Backoff)的機制。然而，在資料封包交換之前，將會事先交換「要求傳送封包」(Request To Send, RTS)以及「確認可傳送封包」(Clear To Send, CTS)來解決潛在的隱藏節點問題(Hidden Terminal Problem)。當上述兩個控制封包的交換完成後，才會開始真正的交換資料封包。除了以上的機制之外，IEEE802.11 也會藉由控制封包上所紀錄的發送端或是接收端需要使用無線網路媒介的時間區段，來設置網路配置向量。圖一中，將會顯示標準的封包交換時序圖，以及週遭的行動節點如何設定網路配置向量。

第二節

方向性媒介收發控制(Directional Medium Access Control, DMAC)通訊協定



圖二：方向性媒介收發控制通訊協定

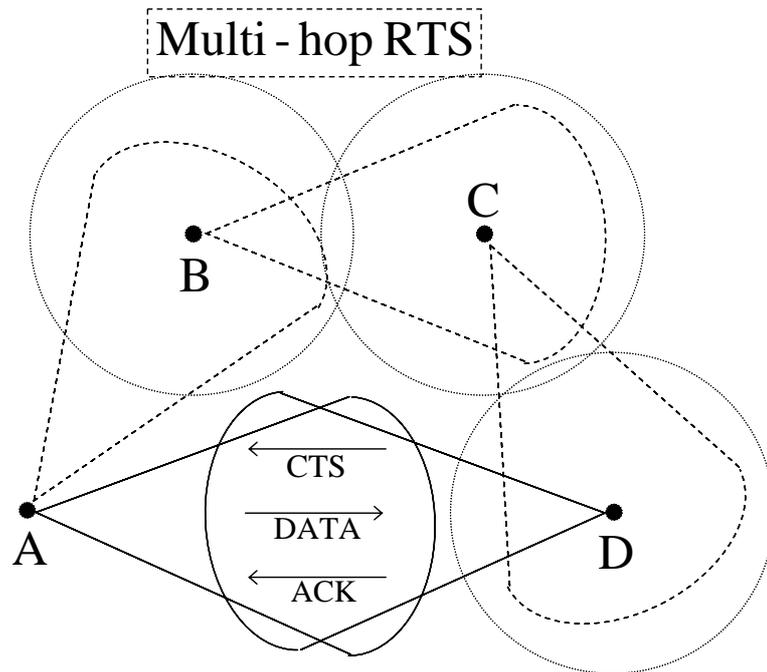


方向性媒介收發控制通訊協定是一個眾所皆知的機制，它是根據以方向性天線為基礎的媒介收發控制層通訊協定。每個行動節點都被假設擁有它自己所有鄰居節點的位置資訊。在沒有傳送封包的等待狀態下，行動節點是以全方向性模式(Omni-directional mode)來聆聽整個無線網路媒介，我們將其取名為全方向性聆聽(Omni-Listen, O-Listen)。如圖二所示，節點 A 正在使用全方向性聆聽。當行動節點要傳送控制封包或是資料封包時，將會把天線轉換成方向性天線。在「方向性要求傳送封包」(Directional Request To Send, D-RTS)以及「方向性確認可傳送封包」(Directional Clear To Send, D-CTS)成功的交換之後(例如：圖二中的 D-RTS(A)以及 D-CTS(B)。)，「方向性資料

封包」(Directional Data, D-Data)以及「方向性確認接收封包」(Directional ACKnowledge, D-ACK)才得以完成交換。在圖二中，除了節點 A 以及節點 B 以外的行動節點在收到了「方向性要求傳送封包」或是「方向性確認可傳送封包」之後，都會去更新自己的「方向性網路配置向量」(Directional Network Allocation Vector, DNAV)，來確保節點 A 以及節點 B 之間的無線網路媒介不會受到其它節點們的影響，例如：「圖二中，節點 D 的 DNAV(D)可以確保自己不會干擾節點 A 與節點 B 之間的資料交換」。跟使用傳統的全方向性天線的媒介收發控制層的通訊協定比較起來，方向性媒介收發控制通訊協定增加了隨意行動無線網路(Mobile Ad Hoc NETWORK, MANET)的空間重新使用性。然而，方向性媒介收發控制通訊協定卻被新產生的遮蔽問題所困擾，如圖二所示，行動節點 C 並沒有收到來自節點 A 的「方向性要求傳送封包」以及來自節點 B 的「方向性確認可傳送封包」，所以將不會知道節點 A 與節點 B 之間正在傳輸資料。假若這個時候，碰巧節點 C 想要傳送資料封包給節點 A，節點 C 將會傳送「方向性要求傳送封包」給節點 A，例如：「圖二中所示，D-RTS(C)」，這時候節點 A 將會由於來至節點 C 持續發送的「要求傳送封包」而發生一連串的碰撞。

第三節

多重跳躍媒介收發控制(Multi-hop Medium Access Control, MMAC)通訊協定



圖三：多重跳躍媒介收發控制通訊協定



多重跳躍媒介收發控制通訊協定[7]也是一種針對使用方向性天線 (Directional Antenna) 的隨意行動無線網路來設計的通訊協定。並且假設所有在隨意行動無線網路中的行動節點 (Mobile Node, MN) 們，都彼此知道所有的行動節點們的位置。通常方向性天線的發射增益是全方向性天線 (Omni-Directional Antenna) 的發射增益的兩倍，也就是兩倍大的傳輸半徑。多重跳躍媒介收發控制通訊協定的方向性天線的發射增益也是全方向性天線發射增益的兩倍。但是藉由已知所有行動節點們的位置這個假設，發送端可以知道接收端的位置。首先，發送端是採用「多重跳躍要求傳送封包」 (Multi-hop Request To Send)，也就是會透過其他週遭行動節點們發送一個多

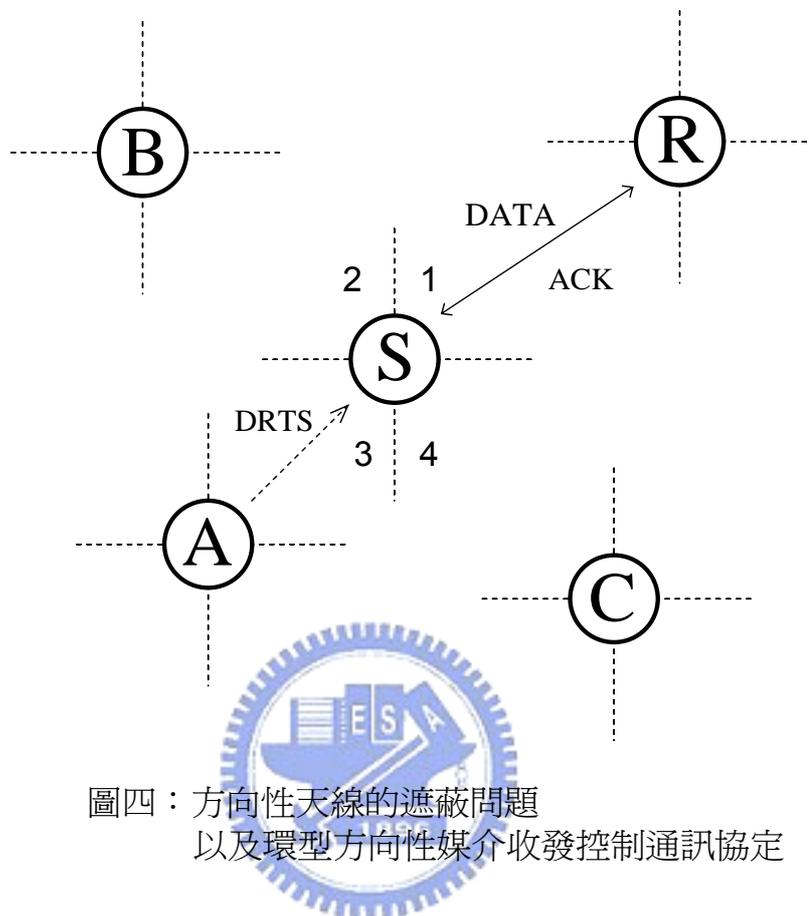
重跳躍要求傳送封包給接收端。有別於一般的媒介收發控制層的通訊協定只能做單一跳躍要求傳送封包，多重跳躍媒介收發控制通訊協定可以將「要求傳送封包」送到更遠的接收端去，如圖三所示。而當接收端要回送「確認可傳送封包」給接收端時，發送端的方向性天線會指向接收端，接收端的方向性天線也會指向發送端，這時候方向性天線的發射增益是兩端對等的，都是全方向性天線的傳輸距離半徑的兩倍。而傳輸的距離也相當的遠，其傳輸距離，相當於全方向性天線的傳輸距離半徑的四倍，如圖三所示。接下來的資料封包以及「確認資料封包」(Data ACKnowledge, ACK)也是以此方式傳送，由於傳輸距離大大的提升，使得多重跳躍媒介收發控制通訊協定在效能表現上有著大大的突破。同時，也因為較大的傳輸距離導致更多的碰撞，並且有著更嚴重的遮蔽問題(Deafness Problem)。



第四節

環形方向性媒介收發控制(Circular Directional Medium Access Control, Circular DMAC)通訊協定

環形方向性媒介收發控制通訊協定[8]，也是針對使用方向性天線的隨意行動無線網路所設計出來的通訊協定。主要的目的是要減緩方向性天線特有的遮蔽問題(Deafness Problem)，來提出一個機制。然而，這個機制也是假設所有在隨意行動無線網路內的行動節點們，全部都互相知道彼此的位置。



圖四：方向性天線的遮蔽問題
以及環型方向性媒介收發控制通訊協定

除此之外，通常是假設每個行動節點的方向性天線有四個方向(或是八個方向)，每個方向的傳輸增益是相等的，傳輸的距離半徑設定為全方向性天線的傳輸距離半徑的兩倍。

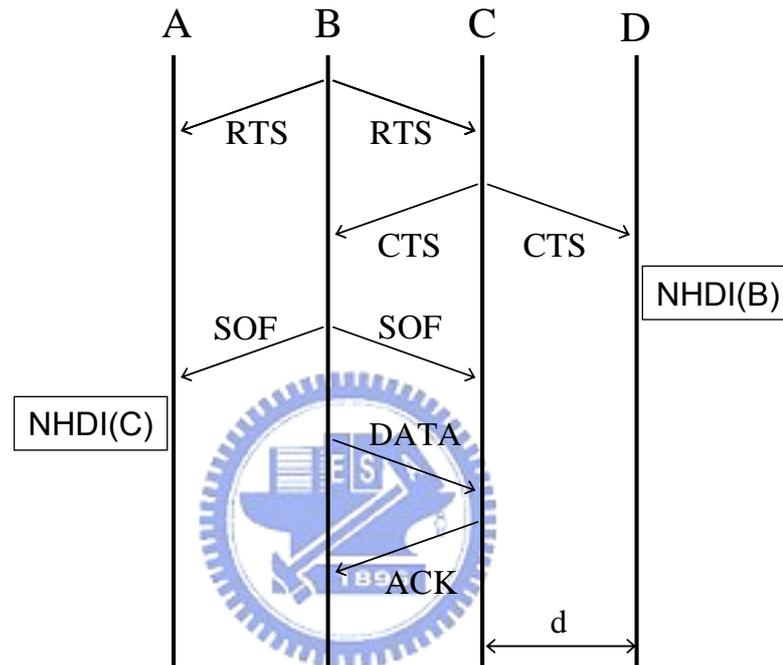
如圖四所示：當發送端行動節點 S 想要傳送資料封包給接收端行動節點 R 的時候，行動節點 S 將會針對行動節點 R 的所在位置來選擇使用第一個方向性天線，傳送「方向性要求傳送封包」(Directional Request To Send, RTS) 給行動節點 R。這時候，第二個、第三個、第四個方向性天線的方向的其他

鄰居節點都將不會知道行動節點 S 要跟行動節點 R 開始做資料的傳送。如果這時候鄰居節點 A 想要傳送資料封包給行動節點 S，而使用第一個方向性天線傳送了「方向性要求傳送封包」給行動節點 S，這時候行動節點 S 與行動節點 R 之間的傳送就會因為行動節點 A 的持續重送「方向性要求傳送封包」，而發生一連串地碰撞，這就是所謂的遮蔽問題。

環形方向性媒介收發控制通訊協定爲了減緩這遮蔽問題，提出了下面的機制，當行動節點 S 想要傳送「方向性要求傳送封包」給行動節點 R 時，不能只往行動節點 R 的方向傳送，必須所有的方向性天線都必須要傳送「方向性要求傳送封包」。這時候，行動節點 A、行動節點 B、行動節點 C 也會收到「方向性要求傳送封包」，而根據封包上所紀錄行動節點 S 將使用無線網路媒介多久的時間，來設定相對應的方向性網路配置向量(Directional Network Allocation Vector, DNAV)，來避免自己往行動節點 S 的方向傳送封包。當然行動節點 A 就不會傳送方向性要求傳送封包給行動節點 S，也就不會發生上述的碰撞。這就是主要的環形方向性媒介收發控制通訊協定，當然這會導致原本只有一個「方向性要求傳送封包」的控制封包變成了四個控制封包(如果是分成八個方向性天線，則會變成八個控制封包。)，這會使得整體的「控制封包負載」(Control Packet Overhead)大幅地上升。

第五節

根據智慧型天線而擁有較廣泛的收發範圍的媒介收發控制層通訊協定(Smart antenna based Wider-range Access Medium Access Control Protocol, SWAMP)



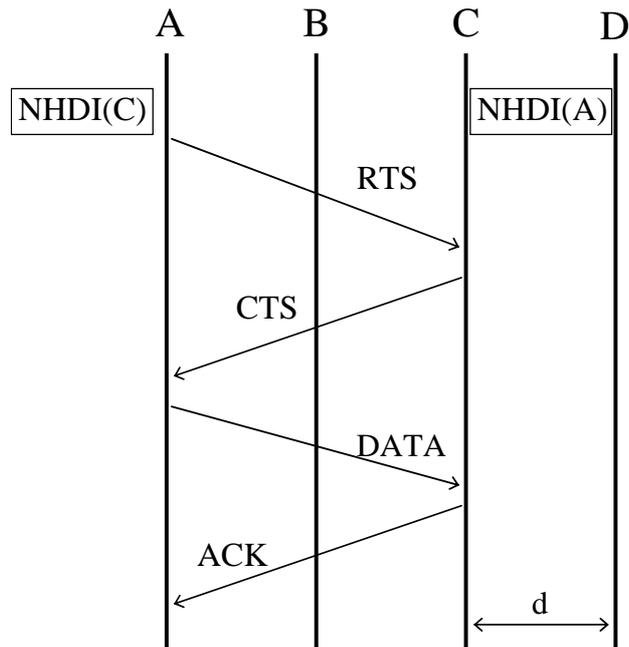
圖五：SWAMP的全方性區域通訊收發模式的封包交換以及下個跳躍點位置資訊建立。

「根據智慧型天線而擁有較廣泛的收發範圍的媒介收發控制層通訊協定」[12]是 2004 年所提出的通訊協定，並且在 2005 年提出了一些更新後發表另一篇論文[13]，這個通訊協定基本上是相當完善的，不像上述幾個通訊協定有著明顯的缺點。這個通訊協定主要有兩個模式：全方向性區域通訊收發模式(Omni-directional area Communication access mode, OC-mode)、延伸區域通訊收發模式(Extend area Communication access mode, EC-mode)。首先介

紹全方向性區域通訊收發模式，這個模式與標準的 IEEE 802.11 很類似，首先使用全方向性天線來做「要求傳送封包」以及「確認可傳送封包」。可是在傳送資料封包之前，還會另外使用全方向性天線來傳送一個「開始傳送封包」(Start Of Frame, SOF)的控制封包，來告知其它行動節點將要開始傳遞資料封包了，因而減緩遮蔽問題，如圖五所示。

除此之外，如果發送端沒有收到「確認可傳送封包」，就不會發送「開始傳送封包」，也就是發送端與接收端的資料傳輸不會開始，因此發送端可以恢復等待狀態(Idle State)，而其它行動節點也不會因為收到了發送端的「要求傳送封包」之後，就誤以為發送端是忙碌的。在此模式之下還會藉由節點間的傳送封包，來建立一個「下個跳躍點位置資訊」(Next Hop Direction Information)的表格，包含媒介收發控制層位置(Medium Access Control address, MAC address)、方向資訊、生存時間(Time To Live, TTL)。這個表格是被建立用在延伸區域通訊收發模式中，增加傳輸距離所要使用的表格。

接下來，我們介紹延伸區域通訊收發模式，當發送端行動節點發現下個跳躍點位置資訊表中有接收端行動節點，此模式將會使用方向性天線來傳送資料。然而方向性天線的傳輸增益較大，可以傳送的距離半徑是全方向性天線的傳送距離半徑的兩倍。



圖六：SWAMP的延伸區域通訊收發模式使用
下個跳躍點位置資訊來做封包交換。

如此一來，可以跳過一個行動節點來進行傳輸，提升整體的效能表現，如圖六所示。這個想法原本是很好的，但是正如全方向性區域通訊收發模式中所考量的，爲了減緩遮蔽問題而提出的「開始傳送封包」，就是用來提醒週遭的鄰居節點，發送端將要開始傳送資料，然而如果跳過一個行動節點來進行傳輸，將會完全不知道接收端的目前狀態，如果碰巧接收端是在傳輸資料的話，將會產生碰撞，並且會因爲發送端持續重送「要求傳送封包」，因而產生一連串的碰撞。

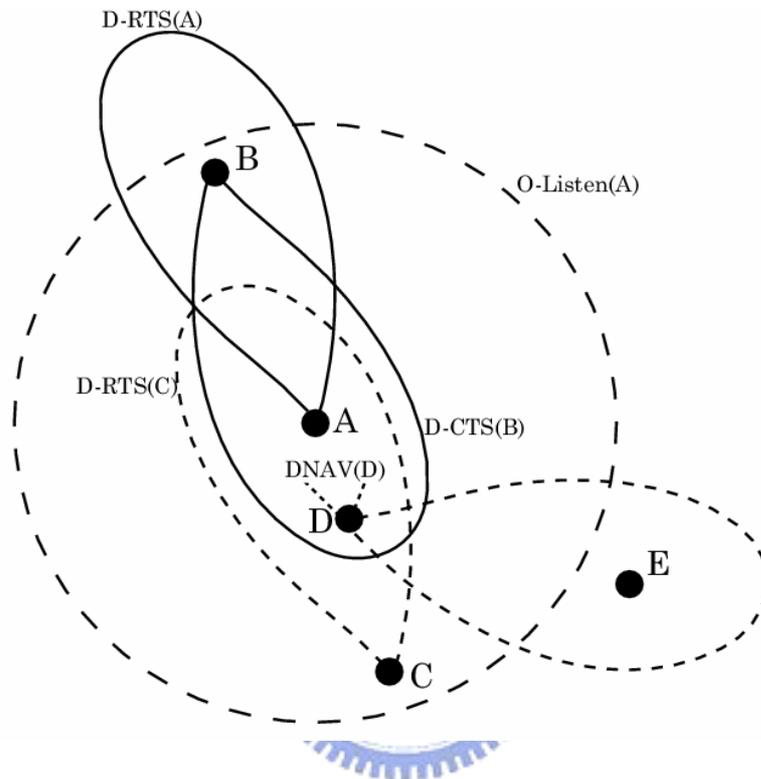
第三章

新提出的「已知位置以及移動性」的 MAC 層通訊協定

正如第一章的介紹中所提到，每個行動節點(Mobile Node, MN)的位置資訊都可以從上層的網路層(Network Layer)來獲得。在不失一般性的情況下，我們假設每個行動節點在每一段短時間內會以等速運動來移動位置。此外，我們考慮到實際的方向性天線形狀應該不會是很理想的扇形形狀，所以我們使用的是比較實際的方向性天線形狀，如圖七所示，並且是可以旋轉任意角度，而不是只有四根天線或是八根天線。接下來，我們將利用兩個小節來解釋我們所提出的通訊協定會使用到的兩個機制，分別是：第一節，「方向性網路配置向量」(Directional Network Allocation Vector, DNAV)；以及第二節，每個行動節點所擁有的「位置表」(Location Table, LT)，然後接下來兩個小節將會詳細介紹所提出的通訊協定，分別是兩種傳送封包的模式：第三節，「全方向性聆聽/全方向性要求傳送封包模式」，(Omni-Listen/Omni-RTS mode, OLR mode)；第四節，「方向性聆聽/方向性要求傳送封包模式」(Directional-Listen/Directional-RTS mode, DLR mode)，在此模式下，我們亦會介紹一個機制名叫「方向性聆聽」，將如何來減緩遮蔽問題(Deafness Problem)。

第一節

方向性網路配置向量



圖七：方向性網路配置向量以及所提出的通訊協定示意圖

在圖七中，我們所畫的方向性天線的形狀，有別於之前介紹的通訊協定的示意圖所畫的扇形形狀，我們考慮的是實際的方向性天線的形狀，考慮到發送能量的強度會衰減，所以是類似橢圓的形狀。

正如使用全方向性天線(Omni-directional Antenna)的標準 IEEE 802.11 的媒介收發控制(Medium Access Control, MAC)層通訊協定中，用來管理媒介

所使用的網路配置向量(Network Allocation Vector, NAV), 方向性天線也有相對應的方向性網路配置向量(Directional Network Allocation Vector, D-NAV)。這兩者的基本功能是一樣的, 根據「要求傳送封包」(Request To Send, RTS)以及「確認可傳送封包」(Clear To Send, CTS)中所紀錄某個行動節點(Mobile Node, MN)所需要使用無線網路媒介的時間, 來設置相對應的網路配置向量, 如圖七所示。然而兩者的應用卻是不同的, 由於全方向性天線一旦設置了網路配置向量後, 將無法傳送任何封包, 只能等待對應的時間過去後, 才能再度藉由隨機等待時間(Random Backoff)來爭取無線網路媒介的使用權; 相較之下, 方向性天線設定的方向性網路配置向量只針對特定的方向來設定網路配置向量, 只要接下來想要傳送封包的方向沒有設定網路配置向量, 就可以直接藉由隨機等待時間來爭取此方向的無線網路媒介的使用權, 如圖七所示。

第二節

位置表

在我們所提出的「已知位置以及移動性的 MAC 層通訊協定」(Location and Mobility Aware Medium Access Control layer protocol, LMA MAC layer protocol)中, 每個行動節點會將自己目前的移動速度以及移動角度(相對於平面座標的橫軸)紀錄在要傳送出去的控制封包上, 換句話說, 就是「要求傳

送封包」以及「確認可傳送封包」。當鄰居的行動節點收到來自別人的控制封包，不論封包的目的節點是不是自己，都會將上面所紀錄的資訊都紀錄到自己的位置表(Location Table, LT)中，並以發送端節點為索引來紀錄相對應的移動速度以及移動角度，例如：「行動節點 A 發送方向性要求傳送封包(Directional Request To Send, DRTS(A))給行動節點 B，不論是行動節點 B 收到或是行動節點 C 收到此控制封包，行動節點 B 以及行動節點 C 都會在自己的位置表中，新增行動節點 A 的資料」。位置表裡的每一筆資料都是以下的形式(假設是第 i 筆資料)：

$$LT(i) = \{NodeID(i), TimeStamp(i), Position(x_i, y_i), MovingAngle(\alpha_i), Velocity(V_i)\}$$

其中的參數定義如下表：

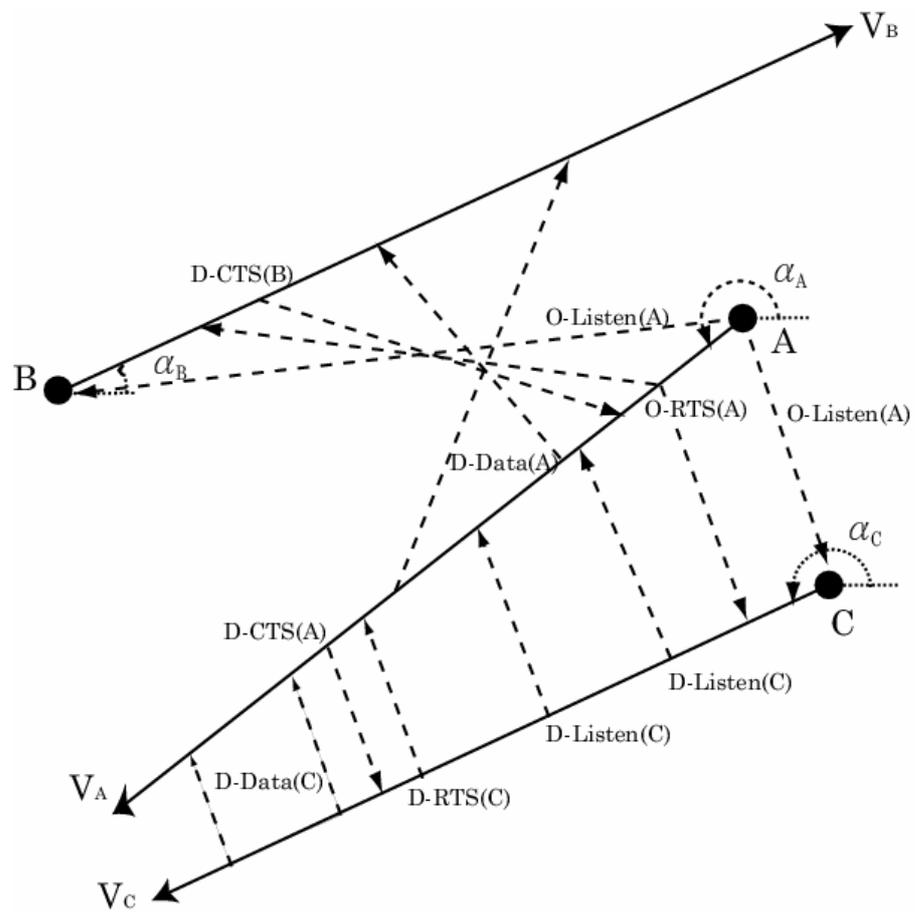
名稱	定義
行動節點身分 Node ID	發送控制封包的行動節點身分。
暫存時間 TimeStamp	紀錄行動節點發送控制封包瞬間的時間。
位置 Position	行動節點當下的位置，包含橫軸座標以及縱軸座標。
移動角度 Moving Angle	行動節點的移動方向，以相對於橫軸的角度來表示。
移動速度 Moving Velocity	行動節點的移動速度，假設是等速運動，單位：公尺/秒。

接下來的第三節以及第四節中，會介紹位置表是如何被建立以及更新，

還有如何被使用來達成所提出的通訊協定。

第三節

全方向性聆聽/全方向性要求傳送封包模式(Omni-Listen/Omni-RTS mode, OLR mode)



圖八：已知位置以及移動性媒介收發控制層通訊協定實際通訊過程

圖七以及圖八顯示了所提出的「已知位置以及移動性的MAC層通訊協定」(Location and Mobility Aware Medium Access Control layer protocol, LMA MAC layer protocol)的機制以及整個過程的時間順序。圖九中顯示了三個行動節點如何隨著時間來移動，分別是行動節點A、行動節點B、行動節點C、行動節點D。假設一開始行動節點A想要傳遞資料給行動節點B，然而行動節點A的位置表中，並沒有行動節點B的位置資訊，所以行動節點A就以傳統的全方向性天線來做聆聽週遭有無其他使用者正在使用無線網路媒介(Omni-Listen, O-Listen(A))，也就是使用「全方向性聆聽/全方向性要求傳送封包模式」。接下來，假設行動節點A順利的搶到了無線網路媒介，行動節點A將會以全方向性天線來發送全方向性要求傳送封包(Omni-directional Request To Send, O-RTS(A(t_r))),其中， t_r 代表行動節點A發送封包的時間)，並且會將自己的一些資訊附加在這個封包上：「目前的時間(t_r)、自己的位置座標($P_A(t_r)$)、移動方向(α_A)、移動速度(V_A)」。行動節點A的周遭鄰居包括行動節點B、行動節點C、行動節點D都將會收到這個封包，儘管這個封包是要給行動節點B的，行動節點C、行動節點D都將會把行動節點A的資訊儲存到各自的位置表中。這時候行動節點B的位置表將會多了一筆資料：

$$LT_B(A) = \{ID_A, t_r, P_A(t_r), \alpha_A, V_A\}$$

如此一來，位置表就這樣成功的被建立了。接下來，行動節點 B 為了回應

行動節點 A 的「全方向要求傳送封包」，將要回傳「確認可傳送封包」給行動節點 A。而行動節點 B 發現自己的位置表中擁有行動節點 A 的位置資訊，所以行動節點 B 將不會採用「全方向性聆聽/全方向性要求傳送封包模式」，而是使用「方向性聆聽 / 方向性要求傳送封包模式」(Directional-Listen/Directional-RTS mode, DLR mode)，也就是下一個小節中我們所要介紹的。

第四節

方向性聆聽 / 方向性要求傳送封包模式 (Directional-Listen/Directional-RTS mode, DLR mode)



當行動節點B要傳送「方向性確認可傳送封包」(Directional Clear To Send, D-CTS($B(t_c)$)),其中， t_c 代表目前的時間)時，會去位置表把行動節點A的位置資訊給取出來。首先節點B要計算出方向性天線應該指向的方向，當然節點B也要去上層的網路層去擷取自己的位置資訊，以下是計算公式：

$$\theta_{cts}^{AB}(t_c) = \tan^{-1} \left[\frac{y_B(t_c) - y_A(t_c)}{x_B(t_c) - x_A(t_c)} \right]$$

其中， $P_B(t_c) = (x_B(t_c), y_B(t_c))$ 是行動節點 B 由網路層所獲得到的自己目前的位置資訊。然而 $P_A(t_c) = (x_A(t_c), y_A(t_c))$ 是行動節點 A 目前的位置，則是要

藉由行動節點 B 位置表中的位置資訊以及下列兩個式子來計算：

$$x_A(t_c) = x_A(t_r) + V_A \cdot \cos[\alpha_A(t_c - t_r)]$$

$$y_A(t_c) = y_A(t_r) + V_A \cdot \sin[\alpha_A(t_c - t_r)]$$

此時，行動節點 A 的位置已經成功的被預測，行動節點 B 的方向性天線將使用此時相對應的角度來傳送方向性確認可傳送封包給行動節點 A。當週遭的行動節點們收到了這個控制封包，也會將行動節點 B 的位置資訊增加到各自的位置表中，當然行動節點 A 也不例外，此時行動節點 A 的位置表將會增加如下所列出一筆資料：

$$LT_A(B) = \{ID_B, t_c, P_B(t_c), \alpha_B, V_B\}$$

此時的 t_c 是行動節點B傳送方向性確認可傳送封包時的時間。

接下來行動節點 A 將會開始傳送資料封包，這時候行動節點 A 已經擁有了行動節點 B 的位置資訊，所以行動節點 A 也將使用「方向性聆聽/方向性要求傳送封包模式」。行動節點 A 的方向性天線此時所需要的角度也將藉由下面所列出的式子來計算：

$$\theta_{data}^{BA}(t_k) = \tan^{-1} \left[\frac{y_A(t_k) - y_B(t_k)}{x_A(t_k) - x_B(t_k)} \right]$$

其中， $P_A(t_k) = (x_A(t_k), y_A(t_k))$ 是行動節點A由網路層所獲得到目前(時間點 t_k)的位置資訊。然而 $P_B(t_k) = (x_B(t_k), y_B(t_k))$ 是藉由行動節點A的位置表中行動節點B的位置資訊來求得，也就是下列兩個式子：

$$x_B(t_k) = x_B(t_c) + V_B \cdot \cos[\alpha_B(t_k - t_c)]$$

$$y_B(t_k) = y_B(t_c) + V_B \cdot \sin[\alpha_B(t_k - t_c)]$$

如此一來，行動節點 A 以及行動節點 B 可以成功的作資料的傳輸，而且不論這兩個行動節點是否持續在等速移動，它們都將繼續使用「方向性聆聽/方向性要求傳送封包模式」，因此可以持續的改變方向性天線的角度，而達到避免資料封包遺失的目的。



正如第一小節中所提到，當行動節點 D 收到了來自行動節點 B 的方向性確認可傳送封包，行動節點 D 將會根據上面所紀錄的行動節點 B 所需使用無線網路媒介的時間，來設定自己的方向性網路配置向量(Directional Network Allocation Vector, D-NAV(D))。這時候行動節點 D 將不會往行動節點 A 跟行動節點 B 之間的方向傳送資料封包或是發送「要求傳送封包」給它們。如圖九所示，在右邊還有一個行動節點 E，如果是在行動節點 D 的資料封包是要給行動節點 E 的例子之下，並且在行動節點 C 的位置表中有著行動節點 E 的位置資訊，行動節點 D 可以不受此時的「方向性網路配置向

量」所限制，而開始跟行動節點 E 做封包的交換，換句話說行動節點 C 將選擇「方向性聆聽/方向性要求傳送封包模式」。然而，這也就是使用方向性天線的優點：空間的重新使用性(Spatial Reuse)，這優點是建立在不影響其他行動節點們的資料交換的前提之下，所以「方向性網路配置向量」是不可或缺的重要機制。

使用「方向性聆聽/方向性要求傳送封包模式」還有另一個重點，假設行動節點 C 此時想要發送資料封包給行動節點 A，位置表中已經擁有行動節點 A 的位置資訊，如此一來行動節點 C 將不會選擇「全方向性聆聽/全方向性要求傳送封包模式」，而是直接選擇「方向性聆聽/方向性要求傳送封包模式」。但是這個時候，行動節點 C 並不能確定行動節點 A 是否是等待的狀態(Idle State)，這時候行動節點 C 將會藉由位置表中行動節點 A 的位置資訊，來計算方向性天線所需使用的角度。在傳送「方向性要求傳送封包」給行動節點 A 之前，會使用方向性聆聽(Directional Listen, D-Listen(C))，當行動節點 A 以及行動節點 B 正在傳送資料封包的同時，行動節點 C 將會偵測到無線網路媒介忙碌的訊息，因此可以減緩方向性天線中特有的遮蔽問題。行動節點 C 將會持續的往行動節點 A 的方向做聆聽的動作，經過一段時間後，行動節點 A 週遭的無線網路媒介會因為行動節點 A 與行動節點 B 的資料傳輸結束而恢復空閒。這時候，行動節點 C 才得以傳送「方向性要求傳送封包」給行動節點 A，此時，行動節點 C 將再度利用位置表中行動節點 A

的位置資訊來求得相對應的方向性天線的角度，也就是：

$$\theta_{RTS}^{AC}(t_l) = \tan^{-1} \left[\frac{y_C(t_l) - y_A(t_l)}{x_C(t_l) - x_A(t_l)} \right]$$

其中， t_l 代表目前行動節點C想要傳送封包的時間，而行動節點A的位置則是由下列式子來求得：

$$x_A(t_l) = x_A(t_r) + V_A \cdot \cos[\alpha_A(t_l - t_r)]$$

$$y_A(t_l) = y_A(t_r) + V_A \cdot \sin[\alpha_A(t_l - t_r)]$$

在這裡需要注意的是，行動節點C收到行動節點A的「全方向要求傳送封包」是在時間點 t_l 的時候，所以式子中的初始時間是 t_r 。接下來的封包傳輸跟之前所述一樣，行動節點A傳送「方向性確認可傳送封包」回行動節點C，行動節點C開始傳送方向性資料封包給行動節點A，行動節點A傳送「方向性資料確認封包」(Directional Data ACKnowledge, D-ACK)給行動節點C。

以上，我們看到了所提出的已知位置及移動性的媒介收發控制層通訊協定是如何減緩遮蔽問題，並且有效率地預測接收端的即時位置，加強了行動節點間連結的強度，還有利用方向性網路配置向量來增加空間重新使用性。在下一個章節我們將提出新的改善機制，來使得整個通訊協定更加完整。

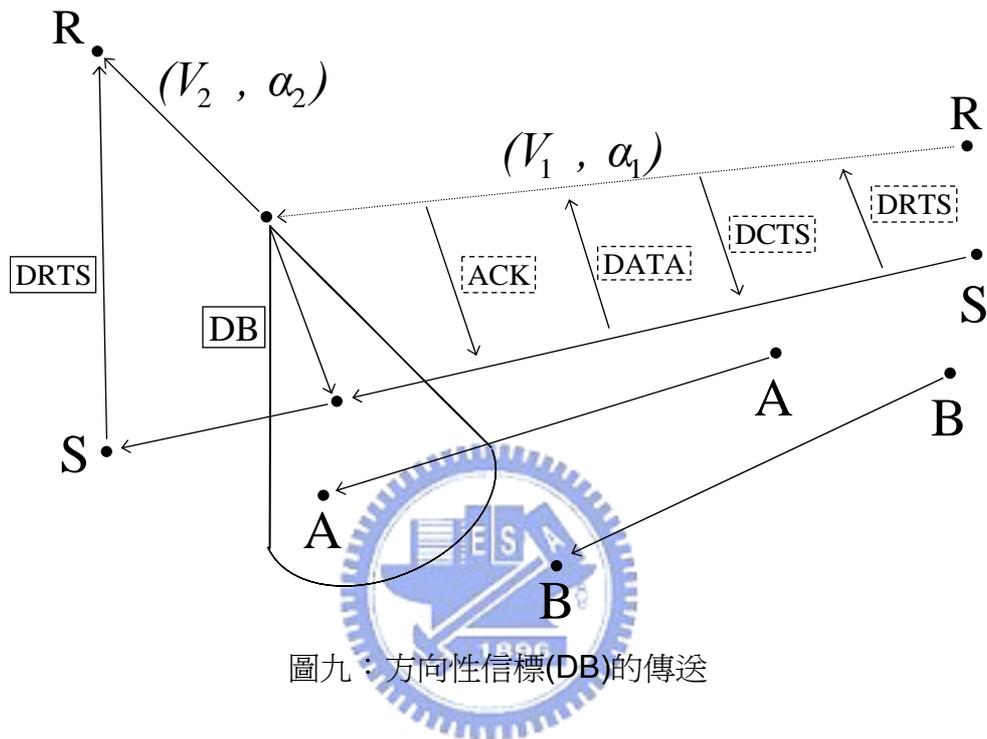
第四章

方向性信標(Directional Beacon)介紹及其效能改善評估

在第三章中，我們所提到的已知位置及移動性媒介收發控制層(Location and Mobility Aware Medium Access Control Layer, LMA MAC Layer)通訊協定下的一個假設，所有的行動節點(Mobile Node, MN)在一段時間內的移動是等速運動，這假設將繼續的被使用。但是，只要行動節點一但改變移動速度或是移動方向，整個所提出的通訊協定將會發生錯誤，並且需要重新做建立路由(Routing)的動作。這章我們將分下列幾個小節來討論：第一節，方向性信標(Directional Beacon, DB)，介紹方向性信標的使用時機以及相關的機制；第二節，討論我們所提出的「已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定」在加上了方向性信標之前以及之後，會有著什麼樣的改變，整體的效能會如何地改善，並加入一些式子的推導來佐證；第三節，針對有使用方向性信標的「已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定」來進行分析；第四節針對沒有使用方向性信標的「已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定」來進行分析；第五節，比較討論分析結果。

第一節

方向性信標



圖九：方向性信標(DB)的傳送

我們考慮到了行動節點會改變移動速度或是移動方向這個問題，而這問題會使我們所提出的「已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定」的預測接收端位置的機制發生嚴重的錯誤。當然，我們假設改變移動速度或是移動方向後，還是會以新的移動速度以及移動方向維持等速運動一段時間。因此，我們提出了以下的改善，那就是使用一個名為「方向性信標」(Directional Beacon, DB)的控制封包，當兩個行動節點正在做資料的傳輸，其中一個行動節點從上層的網路層得到自己的位置資訊時，發現自己的移動

方向(又稱做移動角度)或是移動速度改變的時候，會重新將自己的下列資訊：「目前的時間、自己的位置座標、移動方向(角度)、移動速度」都附加到方向性信標的封包上，再傳送給對方。這個方向性信標可以確保傳送資料時，發送端與接收端之間的連結更穩固。除了接收端會收到方向性信標以外，跟之前所提過的控制封包一樣，所有其它周遭鄰居行動節點們收到這個方向性信標時，也會將這個行動節點的資訊紀錄或是更新到各自的位置表裡。如此一來，這個方向的所有鄰居節點，在這行動節點改變移動方向或是移動速度之後，都會擁有最新最正確的位置資訊。如圖九所示，當行動節點 S 與行動節點 R 正在傳送資料，週遭還有行動節點 A 以及行動節點 B。當行動節點 R 要以新的移動方向以及新的移動速度來做等速運動時，將會發送方向性信標給行動節點 S。同時，行動節點 A 也會收到這個控制封包，如此一來，行動節點 S、行動節點 A 都會知道行動節點 R 的最新位置資訊，包含新的移動方向以及移動速度。然而，行動節點 B 會因為沒有收到方向性信標而因此不知道行動節點 R 的最新資訊，這就跟原本未改良的通訊協定一樣，可能跟行動節點 R 之間的連結會斷掉，而需要重新做發現路由的動作來重新建立連結。然而使用了方向性信標會導致整體控制封包數目變多，為了增加整體的效能表現，這是不可避免的，我們必許選擇浪費一些控制封包。接下來我們將分析有無方向性信標對於整個所提出的通訊協定會有什麼影響，將以數學式子來分析。



第二節

分析方向性信標(Directional Beacon, DB)的一些條件以及假設

這個小節我們將探討方向性信標對於所提出的「已知位置以及移動性媒介收發控制層通訊協定」在效能上，會有什麼影響。爲了分析討論我們所提出的新機制，在開始討論之前，我們先做以下的條件解釋以及假設：

- 傳送封包的時間通常都很短，都是幾毫秒，因此我們假設行動節點連續兩次的改變動方向或是移動速度之間的時間遠大於傳送封包的時間。
- 假設節點傳送封包的資料頻率(Data Rate)是 R (封包數/秒)。
- 只要接收端處在發送端的傳送範圍內，從發送端傳送給接收端的封包就一定不會發生碰撞。
- 我們的分析僅考慮一個發送端以及一個接收端所形成的一對傳送連結。
- 方向性天線的形狀是理想的扇形形狀，並且可以隨意角度旋轉，而不是只有八個方向可以選擇。方向性天線的涵蓋寬度夾角是 θ 。
- 發送端的方向性天線將會正對著接收端，也就是接收端會在發送端的方向性天線的涵蓋寬度正中央。並且兩者之間的距離是 d 。
- 我們假設發送端位於座標原點，並且是靜止不動的，然而接收端將會以相對於發送端的相對速度、相對方向(相對角度)來做等速運

動。

- 我們不考慮下列兩種情形：
 - 發送端與接收端以相同的移動方向以及移動速度前進，這將會導致完全地平行移動，這是沒有意義的。
 - 發送端與接收端朝著彼此的方向移動，這會使得發送端與接收端相互重疊在一起，這種情況也沒有分析的意義。
- 我們假設以下的分析是在接收端剛改變移動方向或是移動速度，並且分成下列兩種情況來討論：
 - 有加入方向性信標，這時候接收端會發送方向性信標給發送端，通知發送端自己新的移動方向或是新的移動速度。
 - 沒有加入方向性信標，這時候發送端的方向性天線將會維持原本的方向，當接收端以相對移動速度或是相對移動方向離開了方向性天線的涵蓋範圍後，彼此之間的連結將會斷掉。
- 假設發送端行動節點持續對接收端行動節點發送資料封包，直到接收端行動節點離開發送端行動節點的傳輸範圍之外。

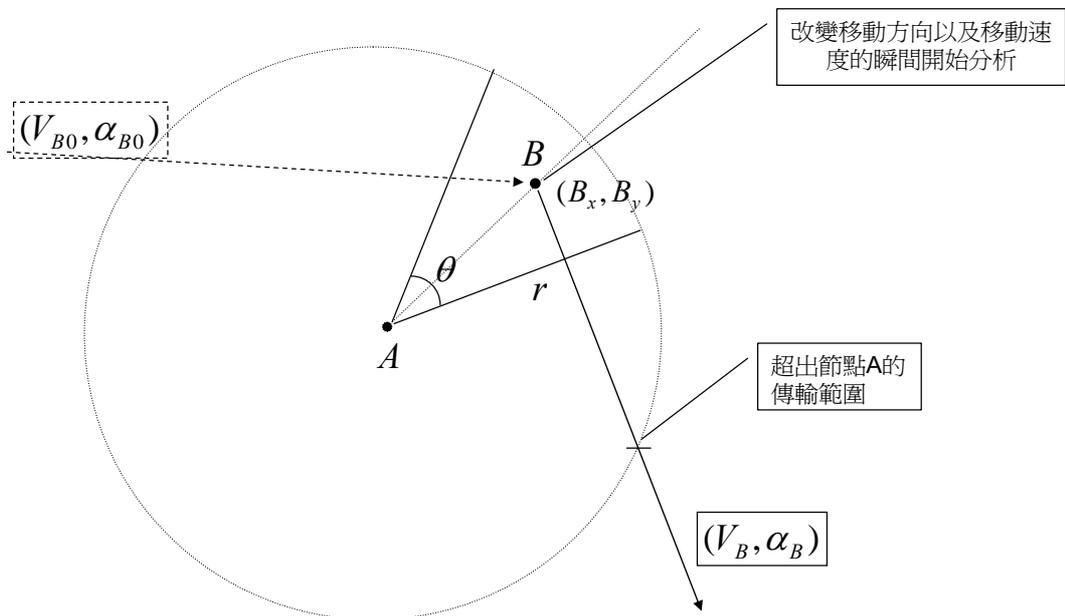
以下我們將列出一些分析會使用到的參數的表格：

參數	定義
A	發送端行動節點
B	接收端行動節點
d	發送端與接收端之間的距離
R	發送資料封包的資料頻率(封包數/秒)
r	方向性天線的傳輸範圍半徑
θ	方向性天線傳輸範圍的涵蓋寬度夾角
(B_x, B_y)	接收端行動節點 B 的初始位置
V_B	發送端對接收端的相對移動速度
α_B	發送端對接收端的相對移動方向(角度)

我們將針對所提出的通訊協定，在有無使用方向性信標的條件下，而導致最後可以傳送的資料封包數來做分析，分別是第三小節以及第四小節。並在最後的第五小節來做比較以及評估。

第三節

分析有使用方向性信標的「已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定」



圖十：使用方向性信標的分析示意圖

如果有使用方向性信標，在接收端改變位置的時候，接收端就會知道發送端最新的移動方向以及移動速度。再加上我們假設接收端會保持這個新的移動方向以及移動速度的時間，遠大於傳送資料封包的時間。換句話說，只要接收端不要超出發送端方向性天線的傳輸距離半徑 r ，兩者之間的資料封包交換就可以一直持續進行。如圖十所示，接收端行動節點 B 以相對移動速度以及相對移動方向，來遠離發送端行動節點 A 。而接收端行動節點 B 的相對移動向量為：

$$\vec{V}_{BA} = (V_B \cdot \cos \alpha_B, V_B \cdot \sin \alpha_B)$$

接收端行動節點的新位置為：

$$B(t) = (V_B \cdot t \cdot \cos \alpha_B + B_x, V_B \cdot t \cdot \sin \alpha_B + B_y)$$

又接收端行動節點與發送端行動節點之間的初始距離為：

$$d = \sqrt{B_x^2 + B_y^2}$$

令接收端行動節點與發送端行動節點的距離為方向性天線的傳輸距離半徑：

$$r^2 = B^2(t) = [V_B \cdot t \cdot \cos \alpha_B + B_x]^2 + [V_B \cdot t \cdot \sin \alpha_B + B_y]^2$$

接下來我們要解得t，也就是當接收端恰巧要離開發送端行動節點的方向性

天線傳輸距離半徑，也就是說連結可以維持的時間(t_{DB})就等於：

$$t_{DB} = \frac{1}{V_B} \left[-V_B \cdot (B_x \cdot \cos \alpha_B + B_y \cdot \sin \alpha_B) \pm \sqrt{V_B^2 \cdot (B_x \cdot \cos \alpha_B + B_y \cdot \sin \alpha_B)^2 - V_B^2 \cdot d^2} \right]$$

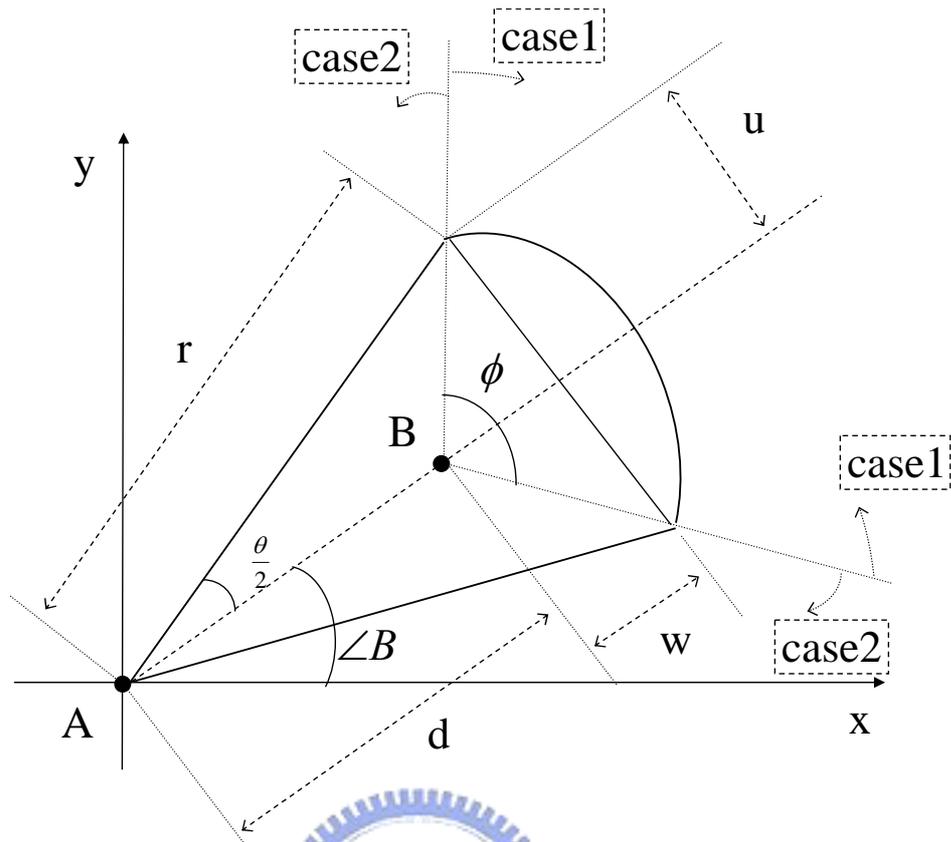
使用方向性信標的「已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定」總共

可以傳送的資料封包數就等於 $R \cdot t_{DB}$ ，這個結果將在第五小節的時候來跟沒

有使用方向性信標的通訊協定可以傳送的資料封包數做比較。

第四節

分析沒有使用方向性信標的「已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定」



圖十一：沒有使用方向性信標的示意圖。

在沒有使用方向性信標的情況之下，發送端行動節點並不知道接收端行動節點將要改用新的移動方向或是移動速度移動，這時候發送端行動節點的方向性天線並不會隨著接收端行動節點來移動。但是，這個時候的接收端行動節點可能還在發送端行動節點的方向性天線範圍內，所以勉強還可以維持一段時間的連結，我們將根據接收端行動節點不同的移動方向分兩種情況來討論分析，如圖十一所示：第一種情況，接收端行動節點新的移動方向角度 α 滿足下式：

$$\angle B - \frac{\phi}{2} \leq \alpha \leq \angle B + \frac{\phi}{2}$$

第二種情況，則是接收端行動節點新的移動方向角度 α 是在下式條件之下：

$$\angle B + \frac{\phi}{2} \leq \alpha \leq \angle B - \frac{\phi}{2} + 2\pi$$

首先，我們先計算 ϕ 的大小，我們將利用圖十一來求得我們所想要的

ϕ ，由下列兩式：

$$u = r \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

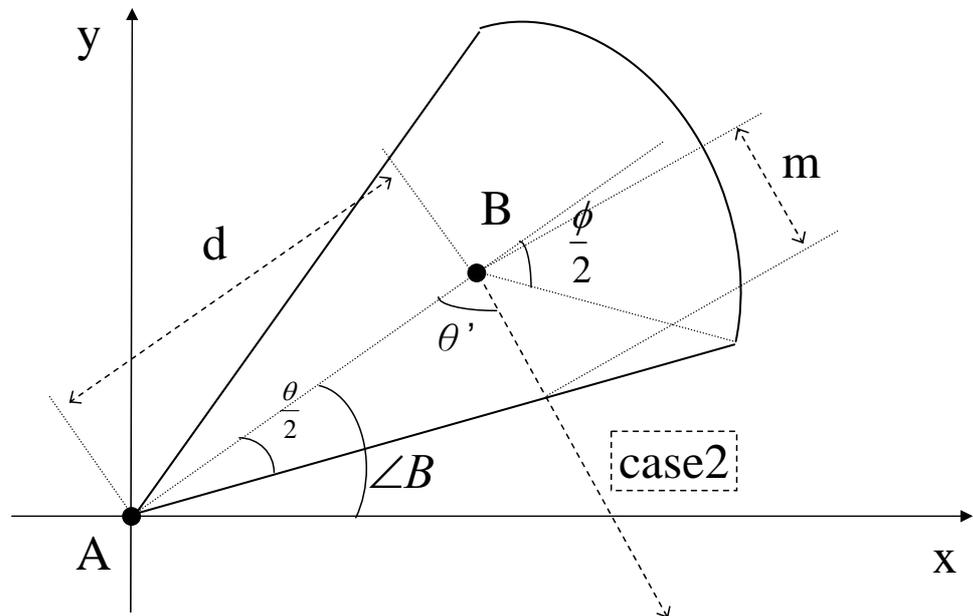
$$w = r \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) - d$$

我們可以求得：

$$\phi = 2 \cdot \tan^{-1}\left(\frac{u}{w}\right) = 2 \cdot \tan^{-1}\left[\frac{r \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{r \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) - d}\right]$$

接下來我們討論第一種情況，這個情況可視為接收端行動節點以等速運動離開發送端行動節點，我們只需要考慮兩者之間的距離有沒有超出方向性天線傳輸距離半徑 r 就可以了，換句話說，結果將會跟第三小節的推導一樣，移動直到離開範圍的時間 (t_{noDB1}) 為：

$$t_{noDB1} = \frac{-V \cdot (B_x \cdot \cos \alpha + B_y \cdot \sin \alpha) \pm \sqrt{V^2 \cdot (B_x \cdot \cos \alpha + B_y \cdot \sin \alpha)^2 - V^2 \cdot d^2}}{V^2}$$



圖十二：在第二種情況下，接收端離開A的方向性天線
的距離m。

接下來是第二種情況之下，如圖十二所示，我們首先需要算的是 m 的大小，也就是接收端行動節點要離開傳送範圍的距離，再除以接收端行動節點相對於發送傳行動節點的移動速度，我們就可以求出在這個情況之下，沒有使用方向性信標的連結能維持多久。首先我們根據接收端行動節點在針對以發送端行動節點為原點的名面上處於不同的象限，或是以不同移動方向來離開討論出下列式子：

$$\theta' = |\text{Mod}(\angle B + \pi) - \alpha|$$

然後根據三角函數中的正弦定理，我們可以求得 m ：

$$m = \frac{d \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\sin\left(2\pi - \frac{\theta}{2} - \theta'\right)}$$

然而這個情況之下，連結所能維持的時間(t_{noDB2})為：

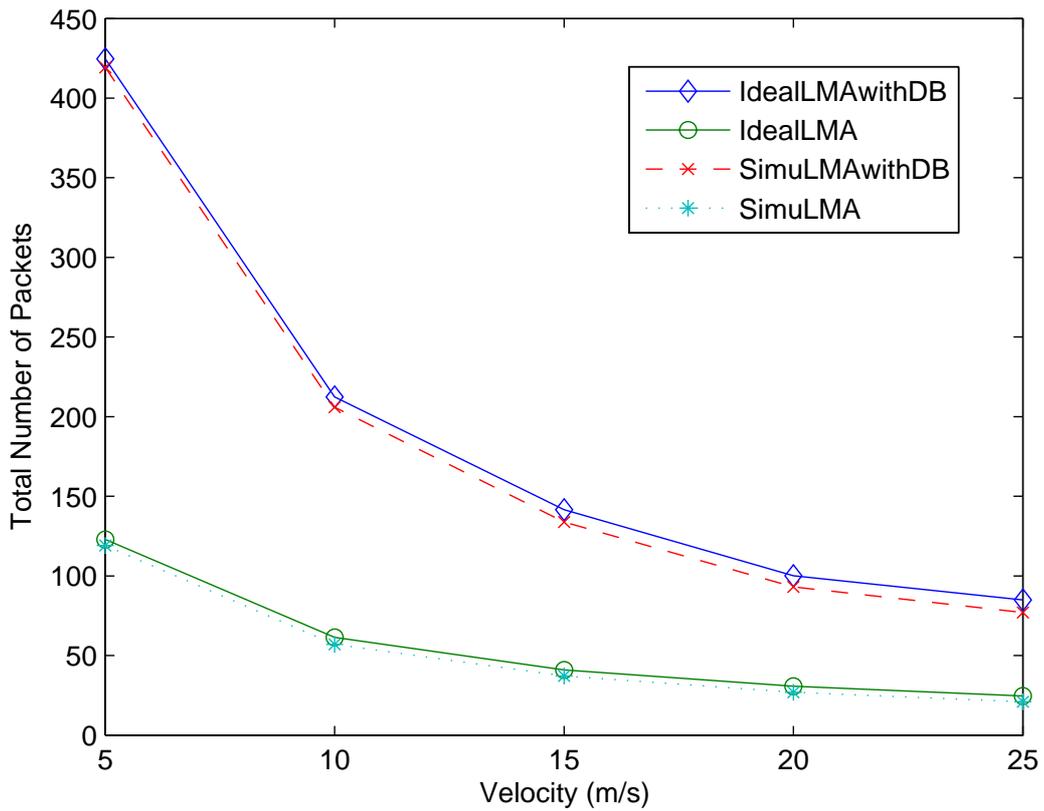
$$t_{noDB2} = \frac{m}{V} = \frac{d \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{V \cdot \sin\left(2\pi - \frac{\theta}{2} - \theta'\right)}$$

沒有使用方向性信標的「已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定」，所能維持連結的時間，已經分成兩種情況計算出來了，分別是 t_{noDB1} 以及 t_{noDB2} ，所能傳送的封包數分別是 $R^* t_{noDB1}$ 以及 $R^* t_{noDB2}$ ，我們將在下列的第五節中做討論。



第五節

推導結果的比較與分析



圖十三：每對傳輸節點間的平均傳送封包數目(包含模擬結果以及數學分析結果)

上面兩節已經計算出在有使用方向性信標以及沒有使用方向性信標的情況之下，可以傳送的封包數，並且由數學式子來表示。根據觀察，我們將會發現可以傳送的封包數是一個有著三個主要變數的函式，那就是相對移動速度(V)還有相對移動方向(α)以及發送端與接收端的距離(d)，為了比較可傳送封包數目，我們將固定相對移動速度，藉由使用數學分析軟體(MATLAB)來計算，針對在所有不同的相對移動方向以及所有不同的發送端與接收端的距離之下，計算出來的時間累加後做平均，並求得這段時間內可以傳送的封包數目，以及透過實際模擬來計算這段時間內可以傳送的封包數目，來比較

有無使用方向性信標的可傳送封包數目有著什麼樣的差異。藉由這個差異，我們可以證明出使用方向性信標可以提升我們所提出的「已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定」的效能表現以及強化行動節點之間連結的穩定性，也使得我們所提出的通訊協定更加的完善，結果如圖十三所示，兩條實線是藉由 MATLAB 所計算出來的結果 (IdealLMAwithDB 以及 IdealLMA)，虛線則是實際模擬的結果 (SimuLMAwithDB 以及 SimuLMA)，而由於模擬使用了十個節點，所以我們必須取得平均每對傳輸對的可傳送封包數目來跟 MATLAB 所計算出來的結果做比較，而結果顯示我們所提出的方向性信標可以有效地改善整體的效能表現。



第五章

效能表現評估與分析

第一節

參數設定

我們所提出的「已知位置以及移動性媒介收發控制層通訊協定」將藉由模擬來評估效能，我們使用的是網路模擬器(Network Simulator, ns2, [32])，將拿模擬的結果來跟 IEEE 802.11 以及方向性媒介收發控制層通訊協定 (Directional Medium Access Control, DMAC)的模擬結果來做比較，為了公平起見，我們將方向性媒介收發控制層通訊協定中，每個節點都知道所有節點位置的假設排除，也就是不能直接發送「方向性要求傳送封包」，必須使用最原始的方向性媒介收發控制層通訊協定，只能用全方向性的「要求傳送封包」。IEEE 802.11 則是使用全方向性天線來傳送控制封包以及資料封包。我們所提出的「已知位置以及移動性媒介收發控制層通訊協定」則是全方向性天線以及方向性天線都有使用。模擬使用的發現路由機制是使用動態地發現源點路由機制[33] (Dynamic Source Routing, DSR)，所有的行動節點將以隨意路徑移動模型(Random Waypoint Mobility Model)來改變位置。下列是一些模擬參數：

參數名稱	參數數值
模擬範圍	600m * 600m
模擬時間	800sec
全方向性天線傳輸範圍	100m
方向性天線傳輸範圍	200m
行動節點交通形式	固定位元速率(Constant Bit Rate, CBR)
資料封包大小	1024Bytes

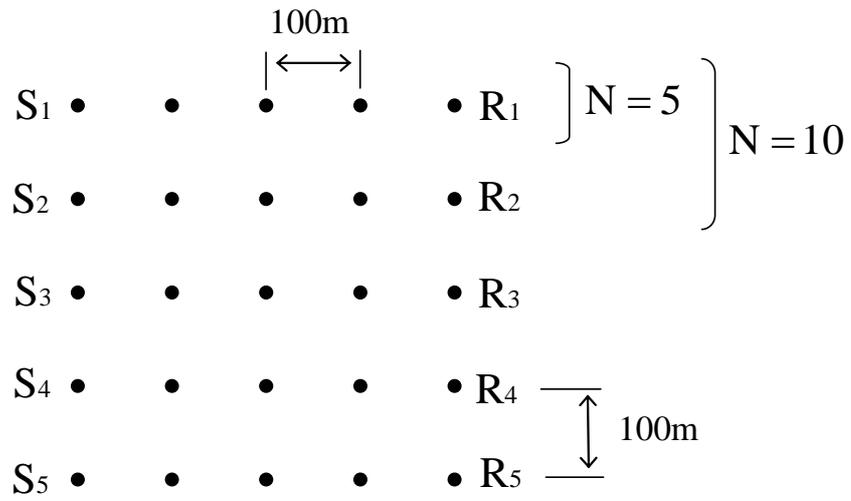
我們的模擬將針對不同的通訊協定來做比較，我們選擇 IEEE 802.11 以及方向性媒介收發控制通訊協定來當作比較用的通訊協定。主要討論三個數值：第一個是，整體傳輸效率(Throughput)；第二個是資料封包傳輸延遲(End-to-End Delay)；第三個是，控制封包負載(Control Packets Overhead)。

這部分我們將分成兩個小節來討論：首先是接下來的第二節，我們把節點固定來比較不同節點數之下，會有怎樣不同的效能表現；再來是第三節，我們將所有的節點都使用隨意路徑移動模型來隨機移動，再來比較其效能表現。

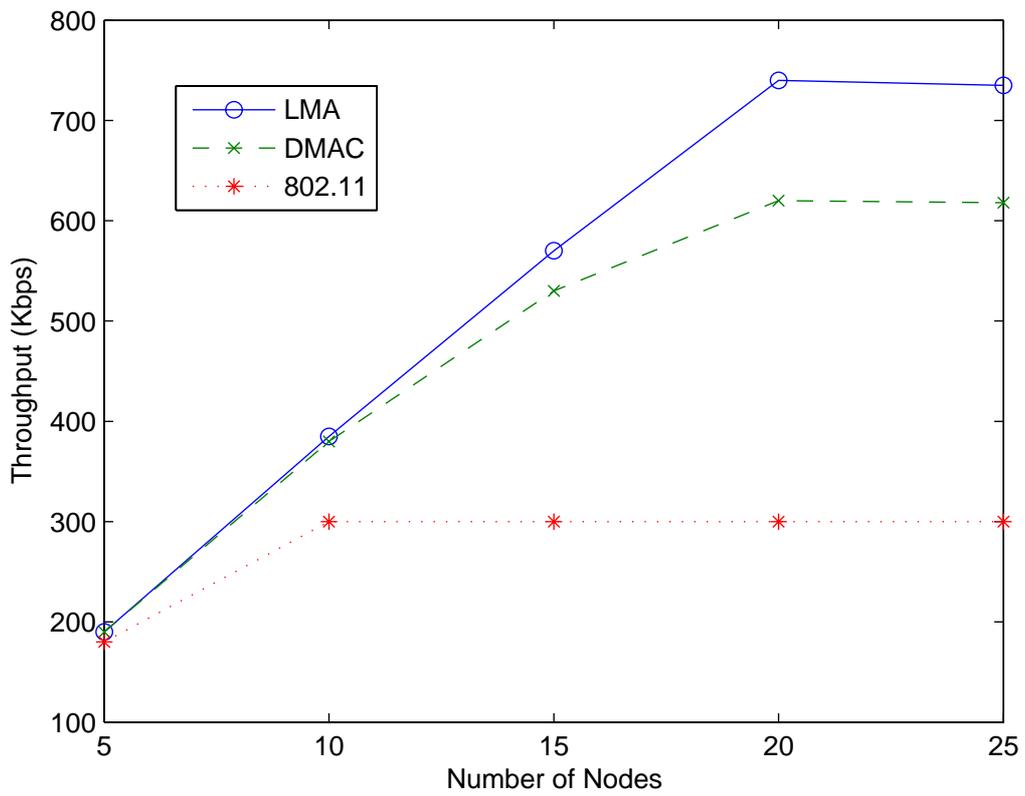
再來我們的第四小節，則是針對使用不同形狀的方向性天線以及不同的天線型態(連續型天線或是離散型天線)來討論天線將會對整體的表現有什麼影響。

第二節

固定行動節點的效能分析

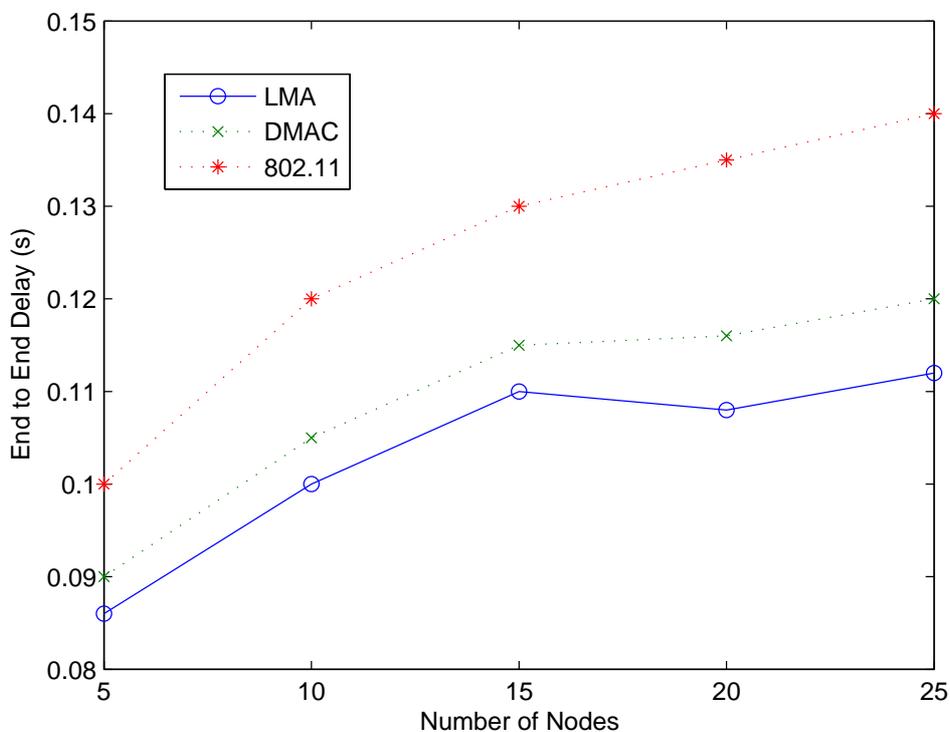


圖十四：固定節點位置配置圖



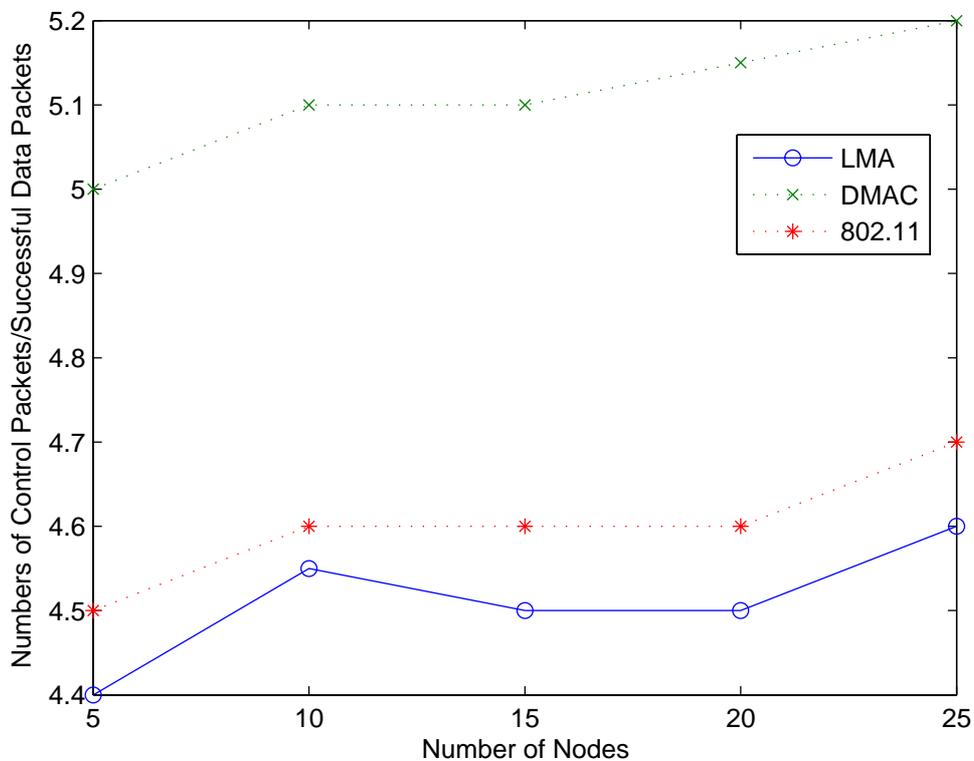
圖十五：固定節點下的整體傳輸效率

我們把所有的節點設定為固定不動直線排開，五個節點為一排，節點之間的橫向距離為一百公尺，最左邊的是發送端，最右邊的是接收端。十個節點則為兩排，上下兩排的距離也是一百公尺，因此全方向性天線可以知道上下左右節點的存在，不會有遮蔽問題，並且每排各有一個傳送端以及一個接收端，以此類推，如圖十四所示。圖十五顯示固定節點下的整體傳輸效率模擬結果，我們可以看到使用方向性天線的 LMA(所提出的已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定)以及 DMAC，相較於 IEEE 802.11 的全方向性天線，可以提供比較高的傳輸效率。然而所提出的 LMA 有加入方向性聆聽的機制，所以可以減少不必要的碰撞，因此可以提供比 DMAC 高的傳輸效率。



圖十六：固定節點下的資料封包傳輸延遲

接下來的圖十六是資料封包傳輸延遲時間的比較，全方向性天線的 IEEE 802.11 必須使用四次的跳躍傳送才可以完成資料傳輸，然而使用方向性天線的 DMAC 以及 LMA 只需要兩次的傳送就可以完成，所以延遲時間比 IEEE 802.11 還要來得短，然而 LMA 因為較少的碰撞所以不需要那麼多次的重送，因此可以減少一些延遲時間，另外，IEEE 802.11 以及 DMAC 使用全方向性天線傳送控制封包，由於藉由使用「隨意等待時間」(Random Backoff)來決定可否使用無線通訊媒介，會因為上下左右節點的互相爭搶無線通訊媒介來傳送控制封包，而造成傳送控制封包的延遲，而影響之後的資料封包傳輸延遲時間。



圖十七：固定節點下的控制封包負載

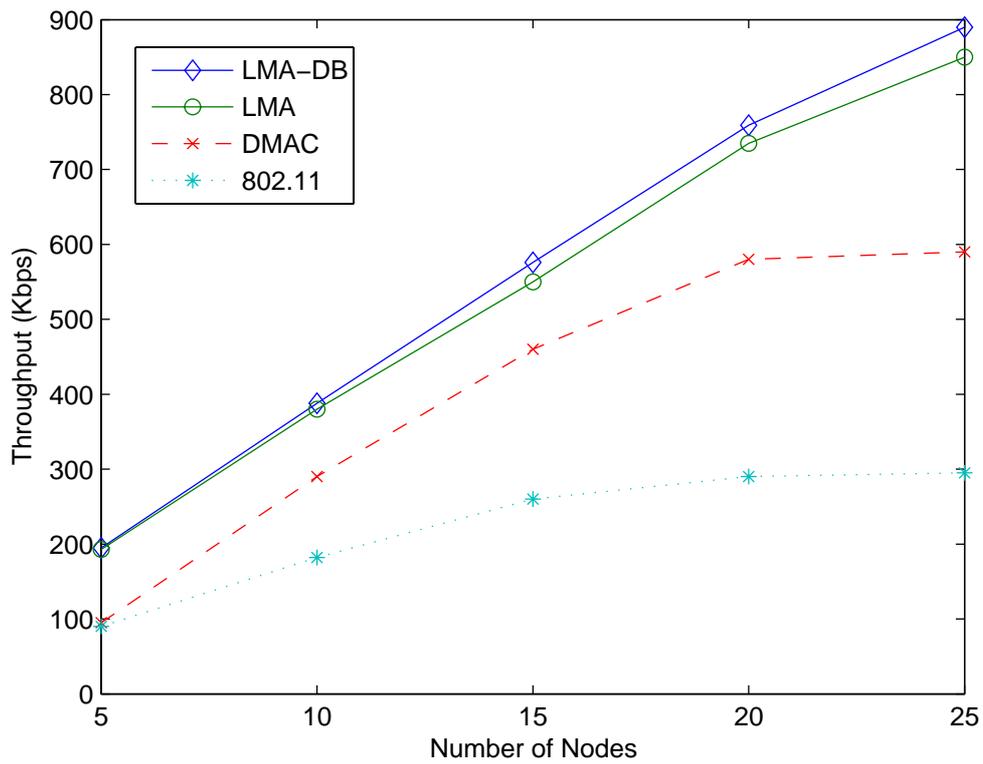
圖十七，我們將比較每傳送一次資料封包需要花費的控制封包負載，其中 IEEE 802.11 以及 DMAC 都是使用「全方向性要求傳送封包」以及「全方向性確認可傳送封包」，所以不會有遮蔽問題，也不會產生控制封包的碰撞，然而 DMAC 在傳送資料封包的時候是使用方向性天線會因為遮蔽問題而產生碰撞，因此必須重新傳送控制封包，所以需要使用的控制封包負載比較多，然而 LMA 傳送「方向性要求傳送封包」以及「方向性確認可傳送封包」時，會使用方向性聆聽，傳送資料封包也會使用方向性聆聽，因此沒有遮蔽問題所以不會產生碰撞，也就不需要重新傳送控制封包。

第三節

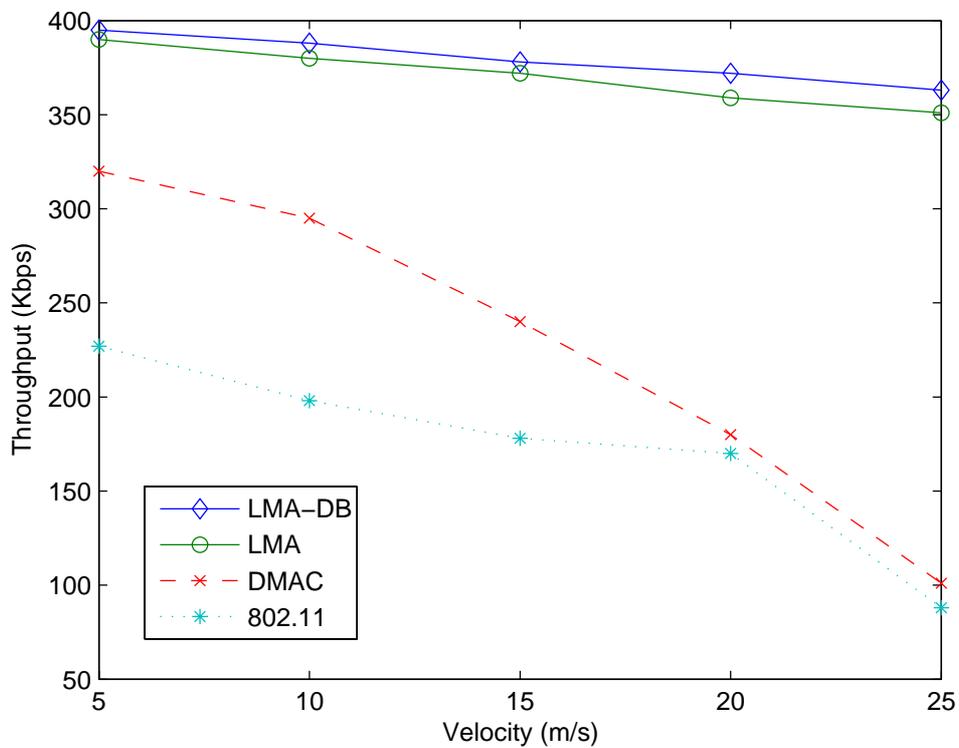


隨意路徑移動的行動節點的效能分析

在這一小節中，我們藉由隨意路徑移動模型(Random Waypoint model)，來選擇任意的速度任意的方向去移動，在這模型下，我們將針對不同節點數以及不同的平均速度為橫軸，探討 LMA、DMAC 以及 IEEE 802.11 的整體傳輸效率、資料封包傳輸延遲以及控制封包負載。

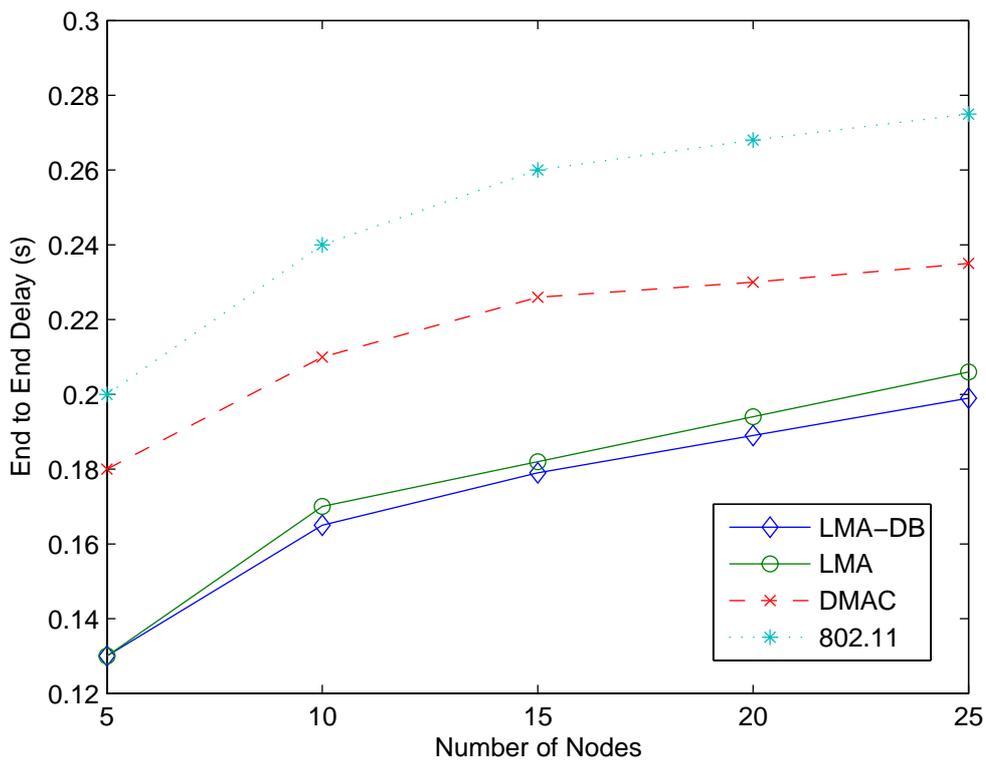


圖十八：隨意路徑移動模型下根據不同節點數的整體傳輸效率(平均速度=10m/s)

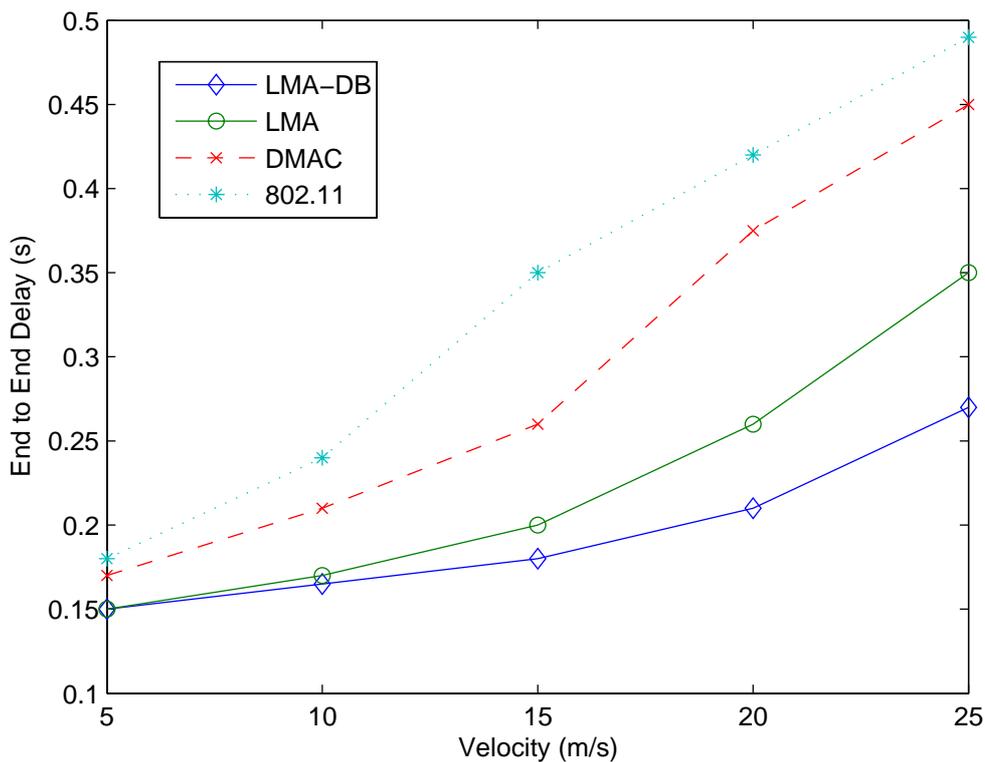


圖十九：隨意路徑移動模型下根據不同平均速度的整體傳輸效率(節點數=10)

首先是圖十八以及圖十九，整體傳輸效率的比較，我們所提出的已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定將會分成有使用方向性信標的 LMADB(Location and Mobility Aware with Directional Beacon, LMA-DB)以及沒有使用方向性信標的 LMA，使用方向性天線的 LMA 以及 DMAC 通訊協定可以提升整體的傳輸效率，然而加上位置預測的 LMA 可以獲得更好的傳輸效率，如果又使用方向性信標可以減少位置判斷錯誤，可以更加地提升整體傳輸效率。儘管節點數變多或是平均速度增加，使得網路負載更大或是移動性更高，LMA-DB 還是可以獲得很穩定且優於其他通訊協定的傳輸效率。

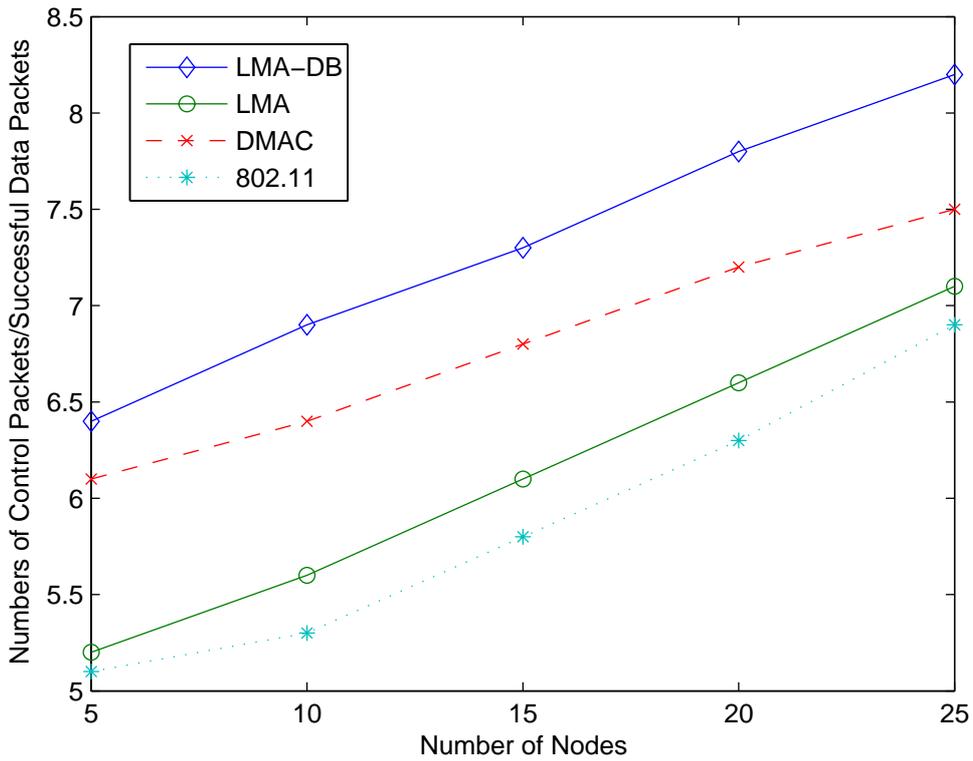


圖二十：隨意路徑移動模型下不同節點數的資料封包傳輸延遲(平均速度=10m/s)

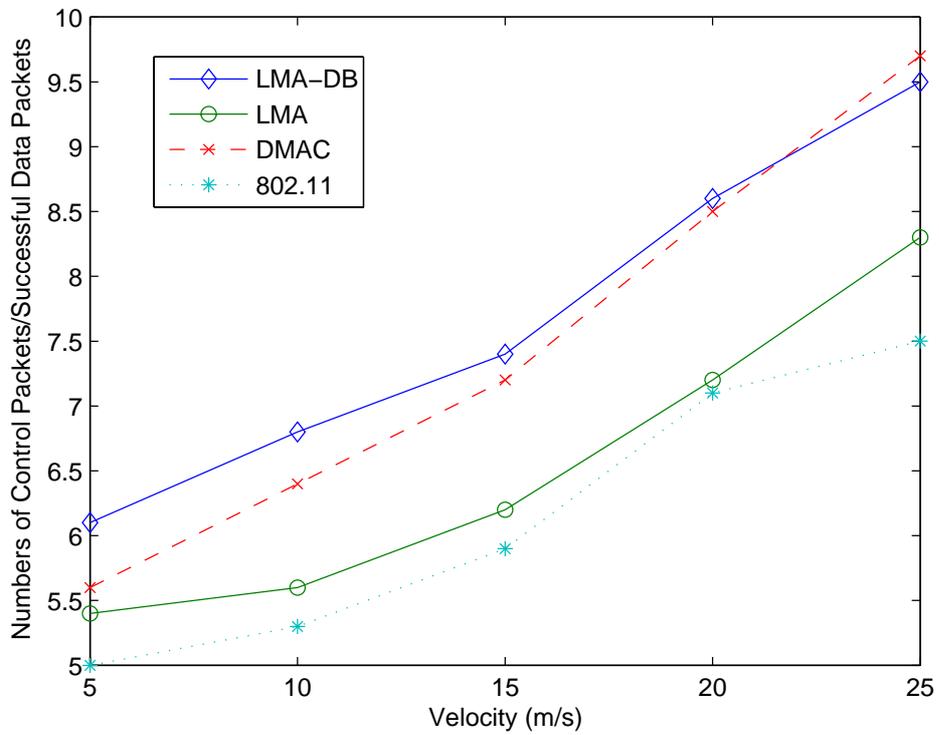


圖二十一：隨意路徑移動模型下不同平均速度的資料封包傳輸延遲(節點數=10)

接著是圖二十以及圖二十一，將探討資料封包傳輸延遲，節點數目增加很容易會使得傳輸產生碰撞，碰撞就必須要重送封包，將會導致傳輸延遲增加，所以方向性網路配置向量(Directional Network Allocation Vector, DNAV)就顯得很重要，可以減少不必要的碰撞。從圖二十一來看，很明顯的高速之下會使得傳輸延遲大幅地增加，尤其是使用方向性天線，更容易受到速度的影響，可是藉由預測位置的機制，我們可以減緩資料封包傳輸延遲受速度的影響，可以更有效率地傳送封包，當然有效率地避免碰撞也是可以抗拒快速移動的環境所帶來的影響。



圖二十二：隨機路徑移動模型下不同節點數的控制封包負載(平均速度=10m/s)



圖二十三：隨機路徑移動模型下不同平均速度的控制封包負載(節點數=10)

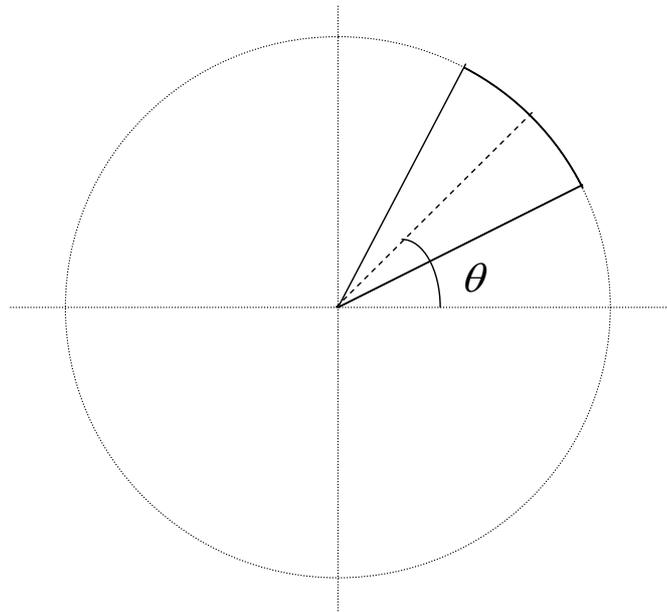
圖二十二考慮的是每傳送一個資料封包需要使用多少個控制封包，也就是控制封包負載(Control Packet Overhead)，如圖二十二所示，當 LMA 不使用方向性信標的時候，只是把位置資訊附加到控制封包，並沒有多傳送控制封包，所以控制封包的數目不會增加，再加上 LMA 藉由方向性聆聽的機制比較不會產生碰撞，所以也不需要重送多餘的控制封包。如果是使用方向性信標的 LMA-DB，雖然會有著比較好的整體效能表現，但是卻會在改變位置或是改變移動速度的時候發送額外的控制封包，因此會增加整體的控制封包數目，然而這是不可避免的，為了較好的傳輸效能我們就必須犧牲一些控制封包。



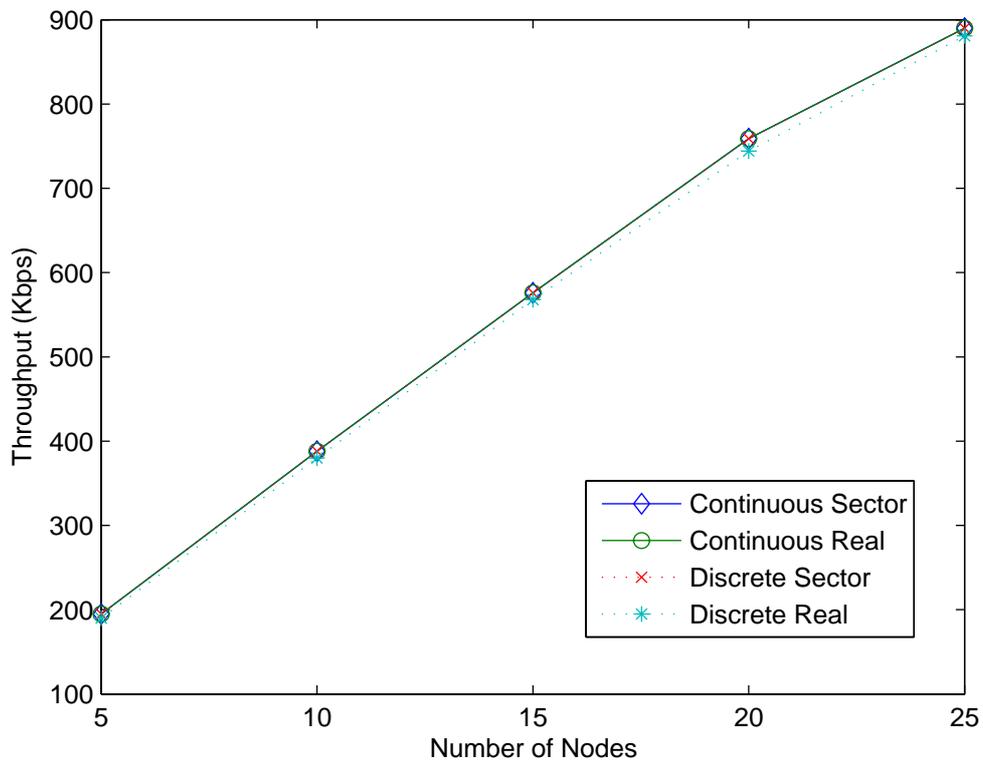
圖二十三中顯示，控制封包負載在速度提升的時候會大幅地上升，因為整個隨意行動無線網路的可靠性會因為節點們快速地移動而下降，所以 DMAC 會因為遮蔽問題而必須一直重送控制封包，使得控制封包負載隨著平均速度而直線上升，然而我們所提出的 LMA-DB 能提供比較穩定的通訊連結，比較不會因為平均速度增加而受影響，然而必須使用額外的方向性信標的控制封包，整體的控制封包如圖二十三所示，另外，IEEE 802.11 是使用全方向性天線，因此沒有遮蔽問題，所以控制封包數目不會受到太大影響。

第四節

不同的方向性天線的天線形狀分析



圖二十四：當 θ 為任意角度時為連續型的扇形天線形狀
當 θ 為 $360^\circ/N$ 時為 N 個方向的離散型扇形天線形狀



圖二十五：連續型以及離散型的不同方向性天線形狀之下的整體傳輸效能

這個部份我們將探討我們所使用的方向性天線可以選擇的傳送角度以及天線的形狀來做討論，我們在所使用的網路模擬軟體(Network Simulator 2, ns2)加入可以選擇方向性天線中心所對準的角度，以及可以設定方向性天線在特定的中心角度下，各個角度的傳輸功率，當然如果是實際的情況下，最外圍的角度傳輸功率應該會衰減，而形成類似橢圓的形狀，如圖七所示。

離散型是指使用只有四個方向或是八個方向可以選擇的方向性天線(例如：四個方向分別是中心為 45 度、135 度、225 度、315 度等四個方向。)，在離散型的情況下，天線的形狀必須是理想的扇形形狀(Discrete Sector)，如圖二十四中的離散形扇形天線形狀，才能確保每個方向可以包含整個傳輸範圍，然而根據實際的情況來看，天線的傳輸功率在最外圍的部份應該會衰減，也就是實際的天線形狀應該是類似橢圓的形狀(Discrete Real)，如果在實際的狀況下，將圖七中所示的實際方向性天線形狀代入圖二十四中的扇形形狀，將會有部分範圍無法傳送到，因此會造成整體傳輸效率的些微下降。

然而我們所使用的是連續型的方向性天線，也就是天線可以旋轉任意角度，並且是天線中心對準接收端，不論是理想的扇形天線形狀(Continuous Sector)，如圖二十四中的連續型扇形天線形狀，或是實際的天線形狀(Continuous Real)，如圖七中所示的天線形狀，我們是使用天線的中心部份對準接收端，所以我們的方向性天線都可以確保涵蓋整個半徑兩百公尺的傳

輸範圍，就算是實際的天線形狀，也不會受到天線最外圍的衰減所影響，如圖二十五所示，只有離散型實際形狀的方向性天線會造成整體傳輸效率的下降，其他三條線是重疊的。



第六章

結論

在這篇論文中，我們針對使用方向性天線의 隨意行動無線網路(Mobile Ad Hoc Network, MANET)來提出我們的「已知位置以及移動性的媒介收發控制層通訊協定」(Location and Mobility Aware Medium Access Control layer protocol, LMA MAC layer protocol)，根據每個節點所發送包含位置以及移動資訊的控制封包，發送端可以正確的知道接收端的實際位置，可以提升方向性天線的效能，並且藉由方向性聆聽的機制，我們可以減少許多方向性天線特有的遮蔽問題(Deafness Problem)，最後加入了方向性信標的控制封包，可以確保當某一節點在轉換移動方向或是移動速度後，其他節點們還是可以知道其正確的位置以及移動資訊，儘管會增加控制封包的數目，但是對於整體的傳輸效能有著更好的表現，根據模擬的結果，我們比較了使用全方向性天線의 IEEE 802.11 以及使用方向性天線의「方向性媒介收發控制通訊協定」(Directional Medium Access Control, DMAC)，並且發現我們的整體傳輸效率以及資料封包傳輸延遲有著比較好的表現，而我們只需要花費多一些的控制封包，就可以換得較優良的效能表現。

參考文獻

- [1] IEEE Computer Society, "IEEE Standard 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, New York, N.Y., 1997.
- [2] J. Zander, "Slotted ALOHA Multihop Packet Radio Networks with Directional Antennas," *Electronics Letters*, vol. 26, 1990.
- [3] T. S. Yum and K. W. Hung, "Design Algorithms for Multihop Packet Radio Networks with Multiple Directional Antennas Stations," *IEEE Transactions on Communications*, volume 40, 11 November 1992, pp. 1716-1724.
- [4] Y. B. Ko, V. Shankarkumar, and N. H. Vaidya, "Medium Access Control Protocols using Directional Antennas in Ad Hoc Networks," *Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, volume Israel, March 2000, pp. 13-21.
- [5] A. Nasipuri, S. Ye, J. You, and R. E. Hiromoto, "A MAC Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks using Directional Antennas", *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Chicago, IL, September 2000, pp. 23-28.

[6] S. Bandyopadhyay, K. Hausike, S. Horisawa, and S. Tawara, "An Adaptive MAC and Directional Routing Protocol for Ad Hoc Wireless Networks Using ESPAR Antenna," *Proceedings of the ACM/SIGMOBILE MobiHoc*, October 2001.

[7] R. R. Choudhury, X. Yang, R. Ramanathan, and N. H. Vaidya, "Using Directional Antennas for Medium Access Control in Ad Hoc Networks," *ACM MobiCom 2002*, September 2002.

[8] T. Korakis, G. Jakllari, and L. Tassiulas, "A MAC Protocol for Full Exploitation of Directional Antennas in Ad-Hoc Wireless Networks," *Proceedings of ACM Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC '03)*, June 2003.



[9] Z. Haas and J. Deng, "Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA): a New Medium Access Control for Packet Radio Networks," *Proceedings of IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, Florence, Italy, October 1998.

[10] Z. Huang, C. Shen, C. Srisathapornphat, and C. Jaikaeo, "A Busy-Tone Based Directional MAC Protocol for Ad Hoc Networks," *Proceedings of IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, Anaheim, CA, October 2002.

[11] R. R. Choudhury, N. H. Vaidya, "Deafness: a MAC Problem in Ad Hoc

Networks when using Directional Antennas,” *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP '04)*, pp. 283-292.

[12] K. Nagashima, M. Takata, and T. Watanabe, ”Evaluations of a Directional MAC Protocol for Ad Hoc Networks,” *Proceedings of the 24th International Conference on Distributed Computing System Workshops (ICDCSW '04)*, 2004.

[13] M. Sekido; M. Takata; M. Bandai, and T. Watanabe, ”Directional NAV indicators and orthogonal routing for smart antenna based ad hoc networks,” *Proceeding of 25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, 6-10 June 2005, pp.871-877.



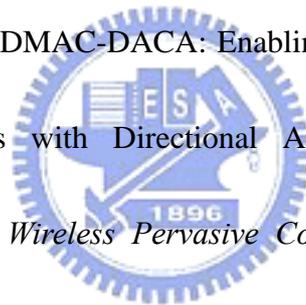
[14] H. Gossain, C. Cordeiro, D. Cavalcanti, and D. P. Agrawal, ”The Deafness Problems and Solutions in Wireless Ad Hoc Networks using Directional Antennas”,*Proceeding of IEEE GlobeCom 2004 on Telecommunications Conference Workshops*, 29 November-3 December 2004, pp.108-113.

[15] Yu Wang, J. J. Garcia-Luna-Aceves, “Collision avoidance in single-channel ad hoc networks using directional antennas”,. *Proceedings of 23rd International Conference on Distributed Computing Systems*, 19-22 May 2003, pp. 640–649.

[16] R. R. Choudhury, Xue Yang; R. Ramanathan, and N. H. Vaidya, "On Designing MAC Protocols for Wireless Networks Using Directional Antennas", *Mobile Computing, IEEE Transactions on Volume 5, Issue 5*, September-October 2006, pp.477-491.

[17] Zhensheng Zhang, "DTRA: directional transmission and reception algorithms in WLANs with directional antennas for QoS support", *Network IEEE Volume 19, Issue 3*, May-June 2005, pp. 27-32.

[18] Yihu Li, A. M. Safwat, "DMAC-DACA: Enabling Efficient Medium Access for Wireless Ad hoc Networks with Directional Antennas", *Proceedings of 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, 16-18 January 2006, pp.1-5.



[19] Guangyu Pei, M. M. Albuquerque, J. H. Kim, D. P. Nast, and P. R. Norris, "A Neighbor Discovery Protocol for Directional Antenna Networks", *Proceedings of IEEE Military Communications Conference*, 17-20 October 2005, pp. 1-6.

[20] Zhensheng Zhang, "Pure directional transmission and reception algorithms in wireless ad hoc networks with directional antennas", *Proceedings of International IEEE Communications Conference on Volume 5*, 16-20 May 2005, pp. 3386-3390.

[21] G. Jakllari, Wenjie Luo; and S. V. Krishnamurthy, "An integrated neighbor discovery and MAC protocol for ad hoc networks using directional antennas", *Proceedings of Sixth IEEE International Symposium on World of Wireless Mobile and Multimedia Networks*, 13-16 June 2005, pp. 11–21.

[22] A. Arora, M. Krunz, " Interference-limited MAC protocol for MANETs with directional antennas", *Proceedings of Sixth IEEE International Symposium on World of Wireless Mobile and Multimedia Networks*, 13-16 June 2005, pp. 2-10.

[23] A. Swaminathan, D.L. Noneaker, and H.B. Russell, "The receiver blocking problem in a DS mobile ad hoc network with directional antennas", *Proceedings of 2004 IEEE Military Communications Conference Volume 2*, 31 October-3 November 2004, pp. 920–926.

[24] H. Gossain, C. Cordeiro, D. Cavalcanti, and D. P. Agrawal, "The deafness problems and solutions in wireless ad hoc networks using directional antennas", *Proceedings of Global Telecommunications Conference Workshops*, 29 November-3 December 2004, pp. 108-113.

[25] V. Kolar, S. Tilak, and Abu-Ghazaleh, "Avoiding head of line blocking in directional antenna [MAC protocol]", *Proceedings of 29th IEEE Local Computer*

Networks, 16-18 November 2004, pp. 385–392.

[26] M. Takata, K. Nagashima, and T. Watanabe, "A directional antennas-based dual mode MAC protocol for ad hoc networks", *Performance, Computing, and Communications, IEEE International Conference*, 2004, pp. 579–584.

[27] T. Ueda, S. Tanaka, D. Saha, S. Roy, and S. Bandyopadhyay, "An efficient MAC protocol with direction finding scheme in wireless ad hoc network using directional antenna", *Proceedings of Radio and Wireless Conference*, 10-13 August 2003, pp. 233–236.



[28] Yu Wang; J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Broadcast traffic in ad hoc networks with directional antennas", *Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference Volume 1*, 1-5 December 2003, pp. 210-215.

[29] C. Jaikaeo, C. C. Shen, "Multicast communication in ad hoc networks with directional antennas", *Proceedings of 12th International Computer Communications and Networks Conference*, 20-22 October 2003, pp. 385–390.

[30] Yu Wang, J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Collision avoidance in single-channel ad hoc networks using directional antennas", *Proceedings of 23rd International Distributed Computing Systems Conference*, 19-22 May 2003, pp. 640–649.

[31] Yu Wang, J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Spatial reuse and collision avoidance in ad hoc networks with directional antennas", *Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference, Volume 1*, 17-21 November 2002, pp. 112–116.

[32] J. Heidemann, N. Bulusu, J. Elson, C. Intanagonwiwak, K. Lan, Y. Xu, W. Ye, D. Estrin, and R. Govindan, "Effects of Detail in Wireless Network Simulation," *Proceedings of the SCS Multiconference on Distributed Simulation*, January 2001, pp.3-11.

[33] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch, "DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks," *Ad Hoc Networking*, edited by C. E. Perkins, Addison-Wesley, 2001.

