

行政院國家科學委員會研究計畫成果報告 基於藍芽技術之 Ad Hoc 網路架構設計與模擬

On the Architecture Design and Simulation of a Bluetooth-based Ad Hoc Wireless Network

國科會計畫編號：NSC90-2213-E009-088

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：黃家齊 國立交通大學電信工程系

計畫參與人員：林香君, 余誌民, 魏杏如 國立交通大學電信工程系

摘要：藍芽是一種短距離、低功率、低價位的無線電傳輸技術。藍芽技術除了可以讓各種資訊設備間以無線的方式互相連結外，藍芽所定義的分散網路更能使這些設備形成一個短距離的無線隨意網路。

根據目前被提出的分散網路(Scatternet)形成機制—Bluetree，本報告提出了更有效率的分散網路形成機制—Blueweb。Blueweb 設計的主要目的乃在建立一個藍芽分散網路，此分散網路具有提昇微網路(Piconet)效率與提昇整體分散網路之效能。我們設計中繼節點(Relay)由 Slave 來扮演，以減輕 Master 傳輸的負擔以及減輕網路資料凍結及節點角色轉換頻繁之問題，另一方面，回傳連接機制的設計也使分散網路的架構更為強化。由模擬結果得知 Blueweb 比 Bluetree 有更好的微網路效率及較低的平均傳輸延遲。

關鍵詞：藍芽、隨意網路、分散網路

Abstract : Bluetooth is a short-distance, low-power, and low-priced radio transmission and interfacing technique. It allows wireless connections among computer peripheral devices and a wireless Ad Hoc network can be established with a Bluetooth scatternet.

Based on a recently published Bluetooth scatternet formation mechanism – Bluetree, we proposed in this report a more efficient scatternet formation method – Blueweb. The goal of Blueweb design is to build up a Bluetooth scatternet with better Piconet utilization and to improve the overall scatternet performance. In our design the relay function is performed by a slave in order to relieve a master from transmission blocking due to its frequent role exchanges. On the other hand, a feedback connection mechanism is added to make the scatternet more robust to node failures. From computer simulation we found that the Blueweb provides better piconet efficiency and achieves lower average transmission delay than the Bluetree.

Keyword : Bluetooth、Ad Hoc Network、Scatternet

一、計畫緣由與目的

1998 年藍芽(Bluetooth)特別利益團體(Special Interest Group, 簡稱 SIG)提出藍芽短距離無線通訊協定，其目標是使各種資訊設備間能以無線的方式互相連接，替代現有的纜線連接方式[5]，如圖 1 所示。此項技術定位在短距離、低功率、低成本的個人化無線通訊。這項協定使用的技術是無線電連接技術，無

線電具有不需直線對準的特性，相較於之前的紅外線傳輸，有明顯的優勢。

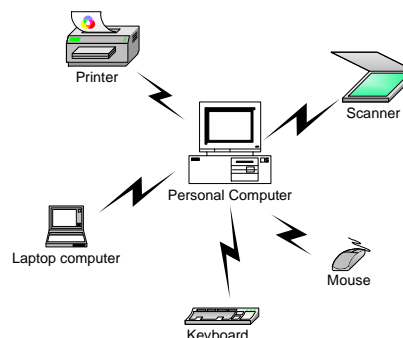


圖 1：各種資訊設備間以藍芽技術通訊，取代電纜連接

藍芽技術運作在全球通用的 2.4GHz ISM 上，為了抵抗其它干擾，藍芽特別採用了慢跳頻式的展頻方式。藍芽網路是一種主從式網路架構，藍芽定義最基本的網路單元稱為微網路(Piconet)，如圖 2(a)所示。微網路的構成是由一個 Master 和最多七個 Active Slaves 所組成。為了支援更多藍芽設備間的傳輸，藍芽特別定義了分散網路(Scatternet)，如圖 2(b)所示，它是一種可快速建置的隨意網路(Ad Hoc Network)，透過中繼節點(Relay，一個節點扮演多重角色)，可讓微網路互相溝通[3]。

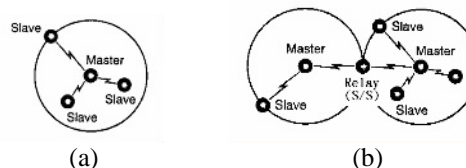


圖 2：(a)微網路;(b)由兩個微網路所組成的分散網路

藍芽設備在不同的場合下，會有不同的連結工作狀態，主要可分為待命狀態、中間狀態、連線狀態。從待命狀態要進入連線狀態必須經過中間狀態，中間狀態又可分成 Inquiry、Page 等子狀態。當 Master 不知道週遭是否有任何 Slave 設備時，必須用 Inquiry 來得知週遭所有 Slaves 的藍芽狀態位址。若 Master 已經知道要連接的 Slave 的位址時，可直接進入 page 狀態與 Slave 進行連接。各狀態間轉換如下圖 3：

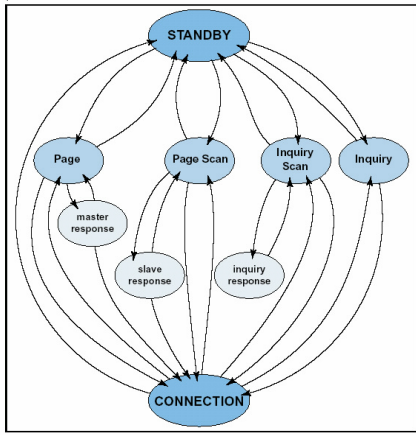


圖 3：藍芽各連結工作狀態間轉換關係圖

Ad Hoc 網路技術，在藍芽系統中定義為分散網路技術，乃為現在學術界熱門討論的研究主題。然而，在現有藍芽系統之規格中[4]，分散網路形成機制尚未被制定出來。因此，本報告主要針對藍芽系統架構之分散網路形成機制來進行設計、分析與模擬。

二、結果與討論：分散網路架構之設計

2-1 Bluetree

由美國德州 Dallas 大學的 Zaruba, Basagni 及 Chlamtac 三位學者所提出的分散網路的形成機制稱為 Bluetree[1]。作者假設所有藍芽節點隨機分布在一個所給定的區域內，且在這區域裡的節點移動性相當小。在開機的過程中，每個節點都有足夠的時間去做 Inquiry 和 Inquiry Response 的動作[2]，用以尋找並發現所有與它相鄰的節點。同時，網路中沒有孤立的節點，任何一個節點都至少有一條路徑與其它節點相通。若一個節點同時屬於多個微網路，扮演多重角色，在轉換角色時，必須轉換跳頻時序，因此會有一個角色轉換延遲 (switching delay) 問題產生。所以，一個有效率的分散網路拓撲，必須要減少每個節點的角色扮演。因此，Bluetree 設計每一個節點最多可扮演兩個角色，分別為 Master、Slave、或是 Master/Slave，{M, S, (MS)}。Bluetree 是從任一指定的節點(Node)——根(Blueroot)開始連接其相鄰節點，一直向外擴展到最外圍的節點為止，最後將整個分散網路架構建立成一棵衍生樹。由圖 4 可知，Bluetree 形成的衍生樹架構為 M—M/S—S 的架構。

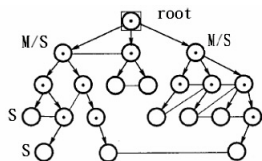


圖 4：Bluetree 連結示意圖

2-1-1 Bluetree 演算法

Bluetree 形成之連線程序，首先任意挑選一個節點 t 來當 Bluetree 的根(Blueroot)，利用這個 Blueroot 來建立一棵衍生樹。這個節點 t 會被指定為 Master，

接下來，t 會一一 Page 它一步可達的鄰居(one-hop neighbor)，使得這些鄰居成為這個 Master 的 Slaves，這個 Master 與所有屬於它的 Slaves 將組成一個微網路。這些節點 t 的 Slave 將會轉換成 Master 的角色，一一去 Page 還沒有被 Page 過的一步可達的鄰居，使這些一步可達的鄰居成為它的 Slaves。若有節點還沒有任何角色扮演，而它同屬於兩個以上的 Master 的一步可達的鄰居時，則那一個 Master 先 Page 到它，它將屬於那個 Master 的 Slave。這樣的動作將一直重複直到樹的葉子(leaf)為止，也就是說這些 leaf node 只需要扮演 Slave 的角色，如此一來整個衍生樹將可建立完成。

根據 Bluetree 的建立程序，我們將它的主要流程以圖 5、圖 6、圖 7 表示。圖 5 表是從初始狀態分成 Master 和 Slave 之流程。圖 6 是 Master 的動作流程，而圖 7 是 Slave 的從一開機到被連結完成的動作流程。在流程圖中圓圈的部分，上一行文字代表的是狀態，下一行文字所代表的是當時所扮演的角色。而在流程圖中菱形的部分，為表示程序中之判斷條件。

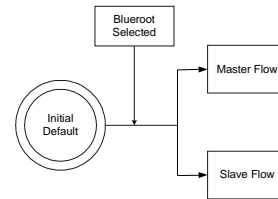


圖 5：Bluetree 的初始狀態

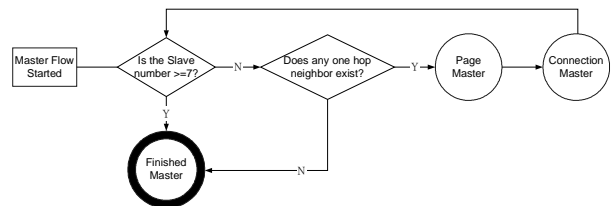


圖 6：Bluetree 中 Master 的連結流程圖

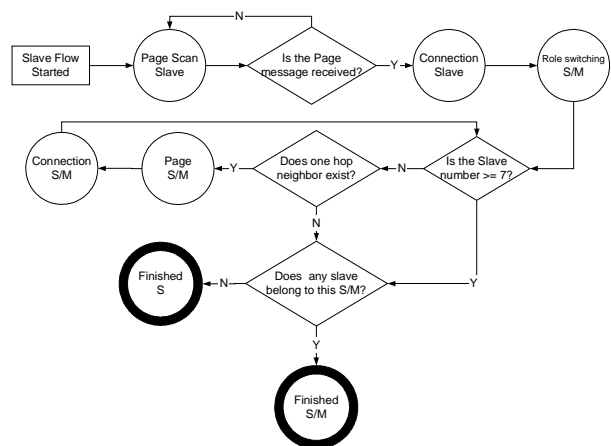


圖 7：Bluetree 中 Slave 的連結流程圖

2-1-2 Bluetree 的優缺點

Bluetree 的最大優點是網路拓樸容易建置，連接分散網路所花費的時間也相當短，而且幾乎每個節點都扮演 Master 的角色，使 Master 可以 Page 它一步可達的鄰居，因此網路的連接率相當高。

儘管 Bluetree 的優點不少，但它仍有一些缺點，討論如下：

1. Blueroot 節點是資料傳輸瓶頸所在：Bluetree 是一棵以 Blueroot 為根的樹狀架構，點與點之間的傳輸路徑唯一。可以預期 Blueroot 會是一個資料傳輸的瓶頸。
2. Bluetree 節點角色轉換次數頻繁：Bluetree 的中間節點都扮演了 Master 與 Slave 兩種角色，因此當資料要從一個節點傳輸到另一個節點，資料所經過的每個節點都得做角色轉換，角色轉換會產生一個轉換延遲，因此 Bluetree 的節點轉換延遲問題相當嚴重。
3. 傳輸凍結(Transmission Blocking)問題：雖然藍芽規格的制定上說明一個節點可以是一個微網路的 Master，同時是另一個微網路的 Slave，但這樣的角色扮演會造成頻寬使用上沒有效率。當兩個 Master 要相連接，則其中一個 Master 必須扮演另一個 Master 的 Slave 角色，雖然說 Master、Slave 角色切換是可行的，但當節點由 Master 切換成 Slave 角色時，原本 Master 所屬的微網路內的傳輸都得凍結(blocking)，直到這個節點切換回 Master 的角色。在頻寬使用上很沒有效率。

在整理及研究 Bluetree 的運作及優缺點後，我們針對 Bluetree 的缺點提出了解決之道，因此設計了另一個分散網路的形成機制—Blueweb。

2-2 Blueweb

我們希望所設計的分散網路形成機制能夠具有以下幾個特色：

1. 以網狀架構代替樹狀架構，以減少某一個特定點的資料流量過大，因而形成瓶頸問題。
2. 讓節點的角色轉換次數減少，以減少傳輸中角色轉換的延遲。
3. Relay 的角色是由 Slave 來扮演，這樣可以避免當 Master 扮演 Relay，當它角色轉換成 Slave 時，它所屬的 Piconet 的傳輸會被凍結。

2-2-1 Blueweb 演算法[6]

Blueweb 的基本假設跟 Bluetree 相同，在演算法上跟 Bluetree 不同的地方在於 Blueweb 的架構是 M—S/S—M 的架構，所以當 M/S Relay 往下 Page 到一個 Slave 時，會跟那個 Slave 做角色交換，使得 M/S Relay 變成 S/S Relay，而原本的 Slave 變成 Master 繼續往外 Page，這樣的目的是希望 Relay 由 Slave 來扮演，以減少 Master 節點傳輸凍結之問題。同時，這樣的架構設計在傳輸時不需要所有的中間節點都做角色轉換的動作，可減少資料延遲以提昇傳輸效能。此外，Blueweb 還用了一個回傳連接的機制，當 Master 做完所有的連結時，它會去檢查它是否位於該分支(branch)的最後一個微網路中，若是，它就會準備回

傳微網路的連結訊息給 Blueroot。在回傳連接的過程中，每個 Master 會再去檢查它周圍是否還有一般的 Slave，若有一個 Slave 及它所屬的微網路還未曾與正在回傳的微網路連接過，則正在動作的 Master 會與該 Slave 連接，此稱為回傳連接機制。如此一來，Blueweb 的分散網狀架構可以建立完成。圖 8 與圖 9 分別為 Blueweb 演算法的 Master 與 Slave 之連接流程圖。

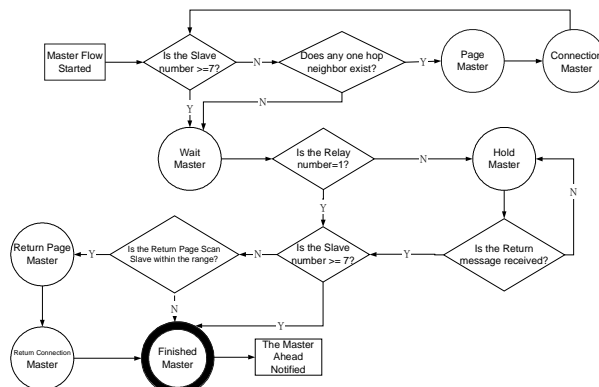


圖 8：Blueweb 中 Master 的連結流程圖

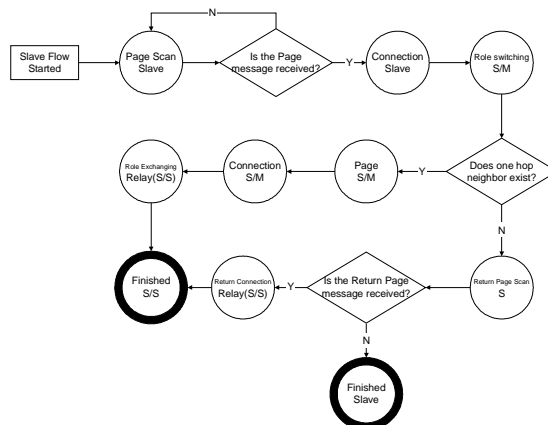


圖 9: Blueweb 中 Slave 的連結流程圖

2-2-2 Blueweb 的特點

Blueweb 連接的特點是中繼節點由 Slave 來扮演以及回傳連接之機制，這兩點解決了 Bluetree 產生的問題，並提昇了系統整體之效能。其特點詳細描述如下：

1. 以網狀架構代替樹狀架構，減少 Blueroot 因資料流量過大，而造成傳輸瓶頸問題。
2. 節點的角色轉換由 n-1 降成 n/2(其中 n 是傳送與接收的節點之間的路徑長度)。
3. Relay 的角色是由 Slave 來扮演，解決了因 Master 的角色切換而造成所屬的微網路內資料傳輸凍結的問題。
4. Blueweb 用了回傳連接的機制，形成網狀架構。因此，網狀架構中節點與節點之間的路徑不唯一，當網路中有節點壞掉、關機、或是離開，還有其他路徑可以選擇。所以，Blueweb 不僅增強網路本身的架構，也提供較好的路由(Routing)選擇。

然而，Blueweb 所要花出的代價就是在連接過程中，使用到角色交換的機制，這個機制讓兩個節點之間要交換的訊息比較多，所花的時間也比較長。此外，Blueweb 所用回傳連接的機制，讓 Blueweb 在分散網路連接完成的時間上，會比 Bluetree 長一些，第三章節有相關模擬分析結果。

三、結果與討論：模擬結果

考量真實環境中每個藍芽設備皆獨立運作，為了使模擬接近真實世界情況，我們採用的模擬方式是以時間為軸，將時間切割成離散的時槽(Time Slot)。在模擬上假設 Bluetree、Blueweb 各狀態間的轉換在時間軸上都是離散的(discrete)，因此我們用 discrete event 的方式來模擬這兩個演算法。區域大小設定是 40*40 平方公尺，節點個數分布由 30、40...150，傳輸距離長度是 10 公尺，以相同的節點分布，執行兩個不同的演算法，所得到各參數模擬結果如下：

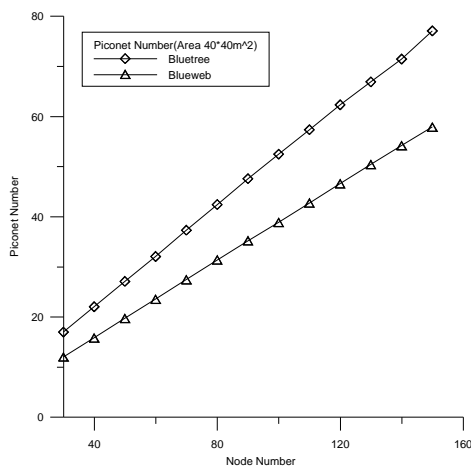


圖 10：微網路個數分布圖

Piconet Number 是計算在相同的節點分布下，兩個演算法所形成的微網路個數，由圖 10 可看出，Blueweb 的微網路個數較 Bluetree 少，也就是說平均每個微網路的節點個數(定義為微網路效率)，Blueweb 比較多。圖 11 中顯示微網路效率以 Blueweb 較高。

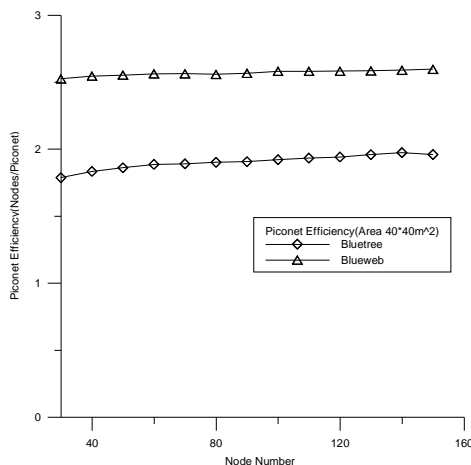


圖 11：微網路效率分布圖

接下來是看平均傳輸延遲分布圖，這裡所考慮的傳輸延遲時間包括傳輸時間，等待輪詢的時間，以及傳輸過程中，角色轉換的時間。

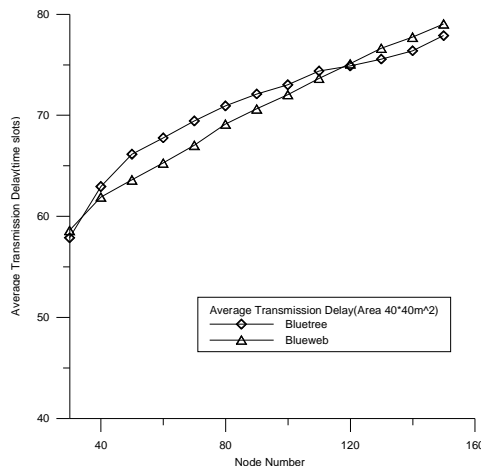


圖 12：平均傳輸延遲分布圖

由圖 12 中可以看出，在節點個數 30~120 的區間，Blueweb 的傳輸延遲比 Bluetree 小，在節點個數 120~150 之間 Blueweb 的傳輸延遲比 Bluetree 大，但在此還未考慮資料傳輸過程中 Bluetree 因 Master 要做角色轉換而造成的傳輸凍結時間，相信將這個傳輸凍結時間考慮進去，Blueweb 的傳輸延遲會比 Bluetree 更小。

最後，我們要看的是網路拓樸的平均建置時間，請參考下圖 13:

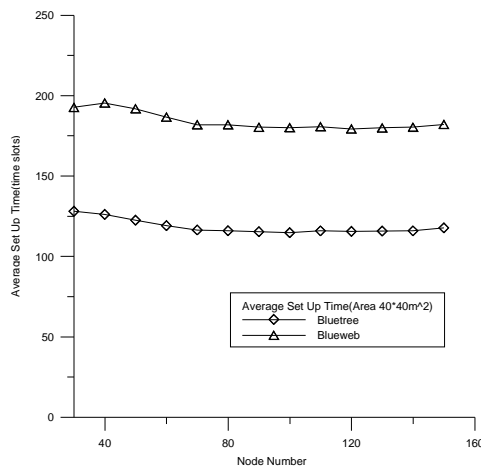


圖 13：平均建置時間

由圖 13 中我們可以看出 Blueweb 所花的分散網路平均建置時間大約是 Bluetree 的 1.5 倍，這是因為 Blueweb 用了角色交換的機制以及回傳連結的機制，但 Blueweb 解決了 Bluetree 的幾個嚴重的問題，因此我們認為在建置時多花一些時間，能夠提昇網路建立之後的傳輸效率，這樣的代價是相當值得的。另外，我們觀察出採用 discrete event 的方式來模擬各節點的運作，當節點分布範圍是 40*40 平方公尺，且節點個數是 30~150 之間時，連結所需的時間，與從

Blueroot 出發的最長微網路數目有關，與連接節點數的多寡，沒有特別明顯的相關性。

四、計畫成果自評: 結論

相對於目前被提出的 Bluetooth 分散網路 (Scatternet) 形成機制—Bluetree，我們提出了更有效率的分散網路形成機制—Blueweb。此 Blueweb 分散網路有效改善了現有 Bluetree 的整體系統性能。同時，Blueweb 的中繼節點由 Slave 來扮演，能有效減輕微網路內資料傳輸凍結的問題。另一方面，回傳連接之機制設計，使分散網路形成網狀架構，減少網路節點成為傳輸瓶頸。網狀架構的設計更提供多重路徑的選擇，使網路架構更加強化。我們由模擬結果得知 Blueweb 比 Bluetree 有更好的微網路效率及較低的平均傳輸延遲。

在未來的研究中，我們將延伸現有 Blueweb 分散網路架構作最佳化路由協定 (Routing Protocol) 之設計。期望這樣的機制，能提供更有效率的傳輸服務，對於人類之間以及人類和週邊資訊產品間的互動方式有所突破及貢獻。

五、參考文獻

- [1] G.V. Zaruba, S. Basagni, I. Chlamtac, "Bluetree—Scatternet Formation to Enable Bluetooth-Based Ad Hoc Network", Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on , Volume: 1 , 2001 Page(s): 273 -277 vol.1
- [2] T. Salonidis, P. Bhagwat, L. Tassiulas, & R. LaMaire, "Distributed Topology Construction of Bluetooth Personal Area Networks", INFOCOM 2001. Proceedings. IEEE, Volume: 3 , 2001 Page(s): 1577 -1586 vol.3
- [3] P. Johansson, M. Kazantzidis, R. Kapoor, & M. Gerla, "Bluetooth : An Enabler for Personal Area Networking", IEEE Network , Volume: 15 Issue: 5 , Sept.-Oct. 2001 Page(s): 28 -37
- [4] J. Haartsen, "Bluetooth Baseband Specification, version 1.1", <http://www.bluetooth.com>
- [5] Jennifer Bray, Charles F Sturman, "Bluetoothth—Connect Without Cables", Prentice Hall PTR, 2001
- [6] 林香君, "藍芽隨意網路中分散網路形成機制之設計與模擬", 國立交通大學電信工程學系碩士論文, 2002