

在 All-IP 行動網路環境下的 IPv6 重複位址檢測

莊瑞賢
靜宜大學資訊管理學系
Lance321@ms11.hinet.net

王讚彬
靜宜大學資訊管理學系
tpwang@pu.edu.tw

摘要

在 All-IP 的行動網路架構下，所有的電腦和通訊裝置，都需要至少一個 IP 位址，因此，下一代行動通訊將可能採用能夠提供充裕 IP 位址的 IPv6 通訊協定。在 All IPv6 環境下，重複位址檢測 (Duplicate Address Detection, DAD) 可用來確定 IP 位址的唯一性，但是每當產生一個新的位址，就需執行重複位址檢測，如此不僅影響資料傳輸的時間，也消耗行動裝置的電力，更浪費了網路的資源，增加網路的負擔，對於行動通訊造成很大的影響，因此，本篇論文研究如何加快重複位址檢測的速度。

我們在 3GPP 架構下的無線網路控制器 (RNC) 或是 GGSN 中，建立一個重複位址檢測表 (DAD table)，記錄 UTRAN 底下所有通訊裝置的 IP 位址，當一個新的節點要做重複位址檢測時，不再需要廣播芳鄰請求訊息，只要至重複位址檢測表中搜尋該位址是否已存在即可，以節省網路的資源。另外，我們依據重複位址檢測的特性，以雜湊法為基礎，提出一個快速重複位址檢測 (Fast Duplicate Address Detection, Fast DAD) 的方式，減少資料搜尋的次數，降低因重複位址檢測所造成時間延遲的影響。本論文將探討在 All-IP 網路下重複位址檢測的機制及改良方法，以及程式模擬驗證我們所提出的方法。

一、研究背景與動機

行動通訊科技的發展一日千里，在即將邁向第三代行動通訊的時刻，雖有許多不同的 3G 通訊協定標準被提出來，但是整合網路與

通訊的架構，朝 All-IP 網路發展的目標應是一致的。當 IP 成為所有通訊網路的共通協定標準時，透過網際網路，使用者能在任何時間、任何地點，以各種有線及無線的設備來傳送資料、語音、影像。

在 All-IP 的網路架構下，所有的電腦和通訊裝置，例如筆記型電腦、PDA、行動電話，甚至所有的智慧型家電產品等，都需要一個 IP 位址。因此，第三代行動通訊採用新的通訊協定 IPv6 是較為可行的方式，因為它有 128 bits 的定址空間能夠提供充裕的 IP 位址，而且 Mobile IPv6 也改善了漫遊的問題。但有些機制可能對網路資料的傳輸造成影響，例如重複位址檢測的問題。未來在 All-IP 網路上傳輸的資訊可能大多數是多媒體檔案，例如即時的影音、視訊等，訊號的延遲會造成接收者的困擾。因此我們將於本篇論文中提出一個改良的方式，降低因為重複位址檢測所造成的影響，以節省網路的傳輸時間與資源。

二、相關研究

我們將介紹 IPv6 芳鄰尋找、自動設定的機制、移動式 IP，以及 All-IP 網路架構等與本篇論文相關的背景知識與研究。

2.1 IPv6

當加入網際網路的設備數量逐漸增多，每一項通訊設備都需要一個 IP 位址時，IP 的需求量也隨之大增，目前使用的 IPv4 通訊協定所能提供的 IP 位址將不敷使用。有鑑於此，IETF 制定出新一代網際網路通訊協定 IPv6 [1]，它有 128bit 的定址空間，能夠提供足

夠的 IP 位址。

IPv6 的芳鄰尋找機制[2]能利用芳鄰尋找為在附屬連結中的芳鄰決定資料鏈結層位址或尋找鄰近的路由器，也會主動偵測附近的芳鄰是否仍可到達。IPv6 能利用無狀態自動設定 (Stateless Autoconfiguration) [3]，不需手動設定主機和路由器，主機會藉由連結子網路的位址字首(Prefix)和一個 64 bits 的介面識別符產生連結本地位址。當連結本地位址產生後，必須先執行芳鄰尋找中的重複位址檢測，以確定這個位址是不是唯一的，如果有其他節點正在使用這個位址，則自動設定便會停止，而改為手動設定。

2.2 重複位址檢測 (Duplicate Address Detection, DAD)

因為 IP 位址產生的方式不盡相同，也許因為某些意外，如設定錯誤或是人為蓄意破壞等，我們無法保證這個連結本地位址是唯一的，因此必須執行重複位址檢測。

當一個節點要確定新位址的唯一性時，會以多重播送的方式送出芳鄰請求(NS)訊息，如果此時有其他的節點正在使用這個位址，則這個節點會回覆一個芳鄰宣示(NA)訊息給發送訊息的節點，表示這個位址已經有人使用了。如果經過一段時間沒有收到別的節點回覆的芳鄰宣示(NA)訊息，再發送一次芳鄰請求(NS)訊息，如果第二次仍然沒有任何節點回覆的話，則確定這個位址沒有人使用，也就是此時這個位址是獨一無二的。重複位址檢測的過程如圖 2.1 所示。

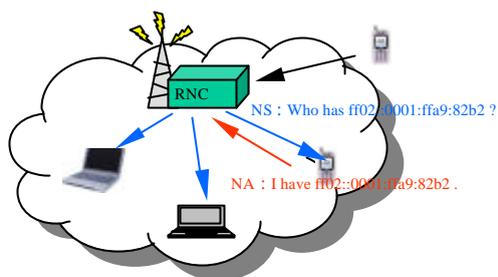


圖 2.1 重複位址檢測

2.3 Mobile IPv6

由於行動裝置大幅的增加，當所有的行動裝置都以 IP 為基礎時，移動性的支援就更重要了。在 Mobile IPv6[4]的封包繞送情形如圖 2.6 所示，當 Mobile Node 移動到 Link B 時，Mobile Node 會產生一個新的 IP 位址，也就是這個 Mobile Node 的 Care of Address。Home Agent 會截取所有想要傳給 Mobile Node 的封包，再 Tunnel 到 Care of Address 給 Mobile Node。但是當 Mobile Node 要傳封包給 Correspondent Node 時只要直接傳送即可，並將 Care of Address 告知 Correspondent Node，此後便能直接通訊而不需經過 Home Agent 了，如圖 2.2 所示。

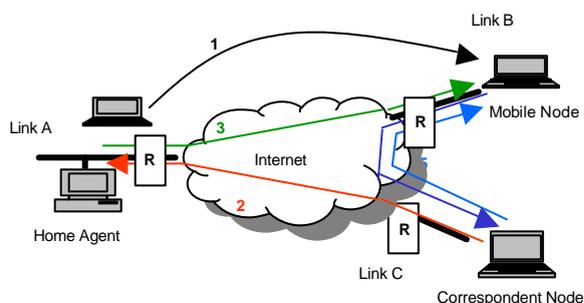


圖 2.2 Mobile IPv6 的封包繞送

2.4 All-IP Network

All-IP 的網路架構[5,6]，如圖 2.3 所示，主要是整合公眾電話網路 (PSTN) 和網際網路 (Internet) 兩大部份，除了有線的通訊、電腦設備之外，目前無線通訊所包含的層面更加的廣泛，包括無線區域網路 2G 或 2.5G 行動網路、衛星網路等。在第三代的 All-IP 網路架構中，利用一個核心網路 (Core Network) 來連結各無線基地台與後端的 PSTN 或 Internet。

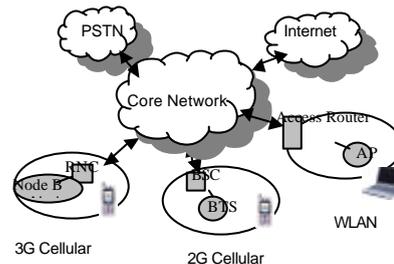


圖 2.3 All-IP Wireless Network

2.5 現行重複位址檢測方式

依據 Handoff Delay Analysis 的相關研究 [7]顯示，完成重複位址檢測約需花費 1500ms 的時間，其所耗費的時間對於行動裝置或是即時影音訊號的傳送造成很大的困擾。針對重複位址檢測的缺點，一些相關的研究已有提出解決的辦法，我們將介紹三篇文獻，並分述如下。

● Fast and Lossless Handoff [8]

此研究所提出改善重複位址檢測的方式是先由原來的路由器產生新的 CoA，並告知新的路由器，因此新的路由器在行動裝置來到之前可以先執行重複位址檢測，確定此 IP 位址是否可用，如此在交遞的過程中就不會因為重複位址檢測而造成延遲。另外利用暫存的方式，在行動裝置移動到新的網路之前，將交遞前的資料儲存在緩衝區(Buffer)中，等確定完成交遞後再將所有資料轉傳給新的路由器，以減少資料的遺失，其原理如圖 2.4 所示。

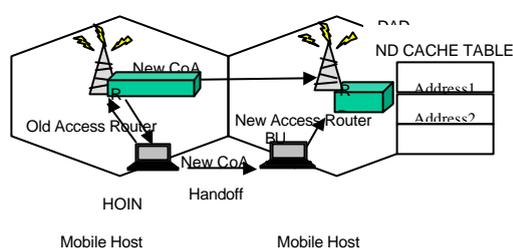


圖 2.4 Fast and Lossless Handoff

此方式對於少量的行動網路或許可行，但是當大量的行動裝置以此方式移動交遞時，需要儲存大量的資料，其 Router 的負擔勢必非常高，尤其是在 All-IP 的網路下，這問題將更形嚴重。

● Random Generation of Interface Identifiers [9]

此研究是以亂數產生 64bits 的方式來取代原來的介面識別符，經由作者的估計，其所產生的亂數位址重複的機率相當的低，因為位址不會重複，因此可以取消重複位址檢測的機制。估計位址重複的機率為 $P(n,k)=1-(n!)/[(n-k)!n^k]$ ，其中 k 代表所產生

的亂數 IP 數目，n 代表所有可能的 IP 總數，這個例子中 $n=2^{62}$ 。若以產生 5000 個位址來看，其機率為 $P(2^{62},5000) \approx 5.4e-12$ ，因此採用亂數產生的方式可以使得位址重複的機率微乎其微，不再需要重複位址檢測的機制。

● Recommendations for IPv6 in 3GPP [10]

在以 IPv6 為基礎的 3GPP 網路中，核心網路可以透過 PDP(Packet Data Protocol)傳遞封包資料，例如透過 IP 或是 X.25 的技術。當行動裝置 MS 提出請求時，GGSN 會給予一個唯一的位址，因此行動裝置 MS 並不需要執行重複位址檢測的檢測。

上述兩種方式 [9,10] 都是企圖取消重複位址檢測的機制，雖然設法將位址重複的機率降到最低，或者宣稱其位址不可能重複，而直接取消重複位址檢測的機制。但如果僅是降低發生機率便取消重複位址檢測機制，則位址重複的情形還是可能發生的。

三、快速的重複位址檢測(Fast DAD)

在一個 All-IP 的網路架構下，為兼顧其安全性和時間性，本篇論文針對上述重複位址檢測的缺點，在不取消重複位址檢測機制的前提下，提出一個新的重複位址檢測的改良方式 - 快速的重複位址檢測 (Fast Duplicate Address Detection, Fast DAD)，令 All-IP 網路架構底下的所有節點，能夠將重複位址檢測的時間縮短，加快 IP 連線設備啟動的速度，並降低網路的負載。

3.1 重複位址檢測表 (DAD table)

在 ALL-IP 網路中，我們假設在 RNC 或 GGSN 中建立一個重複位址檢測表 (DAD table)，存放著這個子網路底下目前正在使用的所有 IP 位址，當有新的行動裝置啟動或其他區域的行動裝置進入這個子網路時，皆會有一個新的 IP 位址產生，這時需要檢測這個新

的 IP 位址，只要到重複位址檢測表中檢查是否有存在相同的 IP 位址即可。如此一來，就不再需要廣播芳鄰請求訊息，也不需浪費時間等待別人的回應，立即能確定這新的 IP 位址的可用性，如此節省了網路資源，也縮短了 IP 啟動的時間。因此我們提出以建立重複位址檢測表的方式來取代傳統的多重播送尋找的方式，以降低網路的負載，也縮短 IP 啟動的時間。

DAD table 功能如下：

1. 在 RNC 中建立一個 DAD table，用來儲存目前正在使用的 IP 位址，如圖 3.1 所示。
2. 當新的 IP 位址產生時，先至 DAD table 中搜尋是否有相同的 IP 位址，如果沒有發現相同的 IP 位址，則告知發出訊息的行動裝置，確認這個 IP 位址是唯一的，可以使用，並將此 IP 位址記錄在 DAD table 中。
3. 如果在 DAD table 中發現相同的 IP 位址，表示這個位址目前有其他裝置正在使用中，需告知發出訊息的行動裝置，這個 IP 位址重複了，無法使用。
4. RNC 必須定時執行不可達(Unreachable)的檢測，如果有行動裝置已經移出或關機以致無法連線時，需將其 IP 位址自 DAD table 中刪除，以確定表格中的 IP 位址目前都是正常連線中。

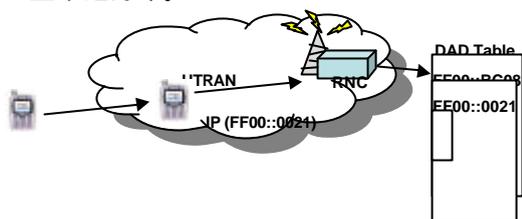


圖 3.1 重複位址檢測表

3.2 重複位址檢測表的雜湊搜尋

雖然建立重複位址檢測表的概念能夠確實的減低因多重播送尋找重複 IP 位址與等待回應所耗費的時間，但是隨著連線裝置愈來愈多，重複位址檢測表所需記錄的資料量勢必愈來愈大，如果沒有一個適當的搜尋方式，那麼

浪費在搜尋的時間將會抹煞了我們建立重複位址檢測表的用意。

現行的資料搜尋方式可分為基本搜尋法和雜湊搜尋法兩大類，基本的搜尋方法不外乎循序搜尋法和二分搜尋法。循序搜尋法對於資料量小的搜尋較為適合，當資料量大時會浪費很多的搜尋時間。二分搜尋法的平均搜尋效率遠優於循序搜尋法，但是二分搜尋法必須事先經過排序，在排序的同時就必須做多次的比較，也是相當耗時，並不適合做為重複位址檢測檢測的搜尋方式。

雜湊搜尋法不需經過比較，可以直接且快速的經由鍵值的計算而得到記錄所在的位置，其不需事先排序、搜尋速度快、節省記憶空間等幾項特點，非常適合應用於重複位址檢測表的 IP 位址搜尋。雜湊函數的設計如果妥善，可以避免不同的鍵值湊到同一個位置，也就是「碰撞(Collision)」的情形，以加快搜尋速度。

雖然建立一個重複位址檢測表來儲存所有子網路底下的 IP，可以省卻廣播與等待回應的時間，但是在 All-IP 的網路架構下，表格所需儲存的 IP 位址勢必不小，要在龐大的資料中尋找是否有重複的 IP 位址也同樣耗時，因此我們需要一個適當的雜湊搜尋方式，以減少搜尋的次數，達到快速檢測的目的。

實際上，除了極少數的意外或蓄意破壞之外，IP 位址重複的情形其發生機率是很低的。因此如果我們要在重複位址檢測表中搜尋到相同 IP 位址的機率是很小的，也就是說，大部份的搜尋結果是不成功，找不到資料的情況。於是我們選擇一個搜尋不成功時所耗費時間最少，平均搜尋次數最少的雜湊方式。我們採用的雜湊搜尋方式如下：

- 將 IPv6 的 64bit 長度的介面識別碼位址以折疊法(Folding Method)分組相加。
- 以除法(Divide Method)取得雜湊的鍵值(Hash Key)。

- 選擇搜尋不成功時的搜尋次數最低的解決碰撞方式。

我們以例子說明如下：

(1) 折疊法(Folding Method)

在同一個子網路底下，前 64bits 的字首是相同的，只有後面 64bits 的介面識別碼會有不同。我們可以利用介面識別碼的 64bits，用折疊法將 64bits 分成若干組，相加後可得數組不同的鍵值。

(2) 除法(Divide Method)

當資料量大於表格容量時，將這些鍵值依表格大小 MOD 一個質數 m ，即可取得記錄的存放位置，依 C.E.Radke's 1970 的研究建議 [11]，此質數 $m=4j+1$ 時，雜湊後的鍵值較能均勻分散。

以折疊法和除法取得雜湊的鍵值後，必須要解決碰撞的問題，以下介紹常見的三種解決碰撞的方法，並各別分析其時效，以決定我們所要採用的方式。

3.3 解決碰撞的方法

當經過雜湊函數運算後所取得的鍵值

重複時，稱之為碰撞 (collision)，此時該重複的鍵值應放在何處？在雜湊方式中常見的三種解決碰撞的方法有線性探測、重雜湊、分別鏈結三種，分別比較如下。

- 線性探測：在搜尋資料時，如果雜湊出來的位置已被佔用，且鍵值不等於搜尋鍵值時，代表碰撞發生，必須往下探測，如果一直探測到空格，代表搜尋失敗。
- 重雜湊：發生碰撞時，利用第二個雜湊函數，再雜湊一次，若再碰撞，就用第三個雜湊函數，以此類推。
- 分別鏈結法：發生碰撞時，將雜湊值相同的鍵串在同一個串列。在搜尋資料時，凡是發生碰撞，就沿著鏈結循序搜尋，通常這些串不會太長，直到找到或是鏈結搜尋失敗為止。

Knuth 提供我們以上三種雜湊法的時效分析 [12]，平均搜尋的次數依表內多少元素而定，三種解決碰撞方法搜尋不成功的平均搜尋次數如表 3.1 所示。其中「負載因素」 a = 已被佔用的陣列數目 / 表列的大小。

表 3.1 搜尋不成功的平均搜尋次數

搜尋次數 負載因素	雜湊方式	線性探測 $\frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{(1-a)^2} \right)$	重雜湊 $\frac{1}{1-a}$	鏈雜湊 $e^{-a} + a$
0.5		2.5	2	1.099
0.6		3.6	2.5	1.148
0.7		6	3.3	1.196
0.8		13	5	1.300
0.9		50	10	1.306
1.0		不適用		1.367
2.0	2.135			
4.0	4.018			

我們依上述 Knuth 的演算法的公式，在表格固定為 10000 的情況下，比較三種不同的碰撞解決方式的不成功搜尋次數的比較如圖 3.2 所示。

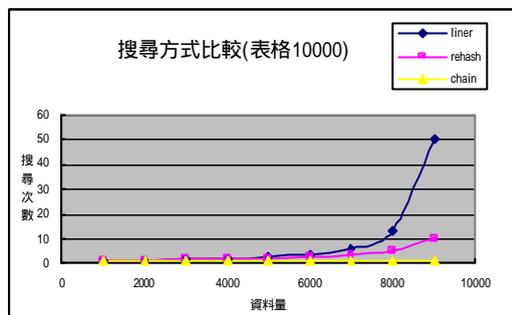


圖 3.2 不成功搜尋次數的比較

由以上比較得知，鏈雜湊在不成功的搜尋方面，其比較次數遠低於另外兩種方式，甚至當負載因素提高，亦即資料表內的紀錄增加時，其比較次數不會急遽的增加，我們能很快的確定所要找到的資料並不存在，這極為符合我們的需求。

3.4 基本的鏈雜湊搜尋法(Original-Chain)

基本的鏈雜湊搜尋法如圖 3.3 所示，當有碰撞時直接串接在該雜湊鍵值之後，例如 642、258、541 其雜湊鍵值同為 36，則依序串接在一起。

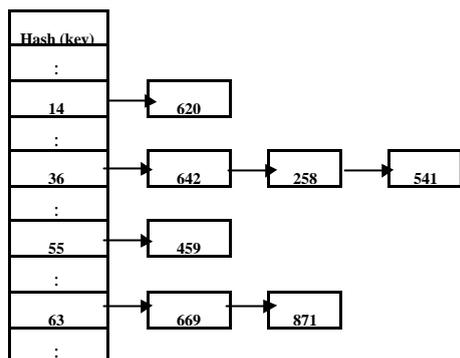


圖 3.3 基本的鏈雜湊搜尋法

3.5 快速的重複位址檢測(Fast DAD)

我們將基本的鏈雜湊搜尋法做部份的改良，如圖 3.4 所示的 Fast DAD，當 IP 即將插入鏈結串列時，先做一個簡單的遞增排序動作，例如當一個鍵值為 258，hash 值為 36，因為 258 小於 541，只需比較一次即可。因此只

要欲插入的鍵值比原來的鍵值小，便不需再往下比較了，如此更減少搜尋的次數，雖然排序比較時需浪費一些時間，但在串列的平均數量不多的情況下，這是值得的。

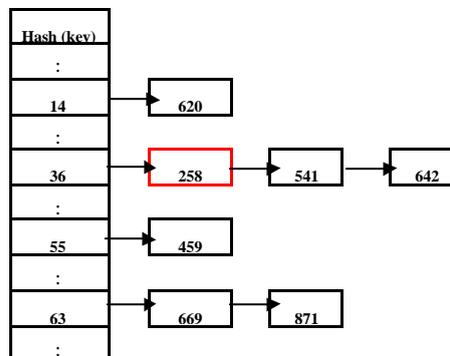


圖 3.4 Fast DAD

四、程式模擬

我們利用程式模擬，分別假設行動電腦的移動分佈為 Uniform Distribution 和 Exponential Distribution 的方式，計算每個新增 IP 在執行重複位址檢測時所需的平均搜尋次數，並比較以下三種搜尋方式的搜尋結果。

- 二分搜尋法(Binary)
- 基本的鏈雜湊搜尋法(Original-Chain)
- 快速的重複位址檢測(Fast DAD)

4.1 Uniform Distribution

Uniform Distribution 的方式是將新增的 IP 位址線性均勻的加入資料表中。我們將表格大小設定為 5000，IP 的數量會逐漸增加至最大值為止，假設 IP 數量的最大值從 100 到 20000，統計每個新增 IP 所需的平均搜尋次數，其搜尋結果如圖 4.1 所示。

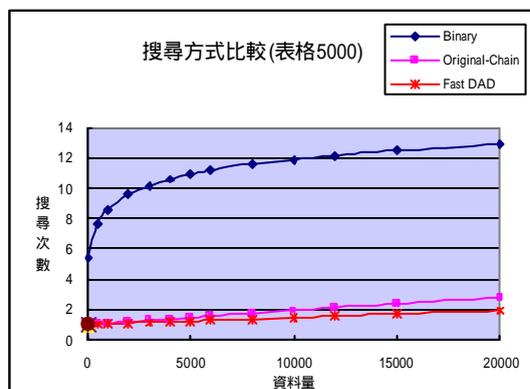
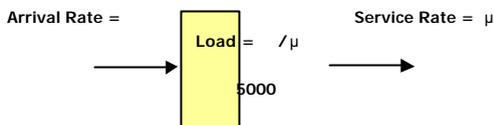


圖 4.1 Uniform Distribution

從圖 4.1 中的結果，我們可以很明顯看出來二分搜尋法的平均搜尋次數遠高於其他兩種搜尋方式，所以並不適用。而以雜湊方式為主的基本的鏈雜湊搜尋法(Original-Chain)和快速的重複位址檢測(Fast DAD)則能將搜尋次數減到最低，當資料量為表格大小的兩倍時，其搜尋次數皆能維持在兩次以下。甚至當資料量為表格大小的 4 倍時，Fast DAD 的搜尋比較次數也不超過兩次，即使偶爾行動裝置數目較多時，其搜尋次數並不會明顯的增加。

4.2 Exponential Distribution

最後我們模擬行動裝置在不同的子網路移動的情形，因為在實際生活中，隨時會有裝置啟動或移入，也隨時會有裝置關閉或移出，這時在 DAD table 中就必須有插入和刪除 IP 的動作。程式中，我們以 Exponential Distribution 的方式模擬行動裝置進出的情形，Arrive Rate(?)代表行動裝置進入子網路的速率，而 Service Rate(μ)代表每個行動裝置留在子網路底下的時間。假設 Arrive Rate=5000，Service Rate=1，也就是在一定時間內有 5000 個行動裝置進入子網路，而只有 1 個動裝置結束服務，離開子網路，因此當此系統平衡後，子網路底下的 Load= λ/μ ，也就是該子網路中的行動裝置應會維持在 5000 個左右，如下所示：



我們將 Load 值設定為 100~20000，產生的 IP 數量為 40000 筆，表格大小分別設為 5000 和 10000，當系統達到平衡時，統計每個新增 IP 的平均搜尋次數，結果如圖 4.2 所示。

從圖 4.2 可看出，雖然二分搜尋法的搜尋次數略有降低，但基本的鏈雜湊搜尋法(Original-Chain)和快速的重複位址檢測(Fast DAD)仍遠優於二分搜尋法。當表格大小設定

為 10000 時，Fast DAD 的搜尋次數都能控制在 2 次左右，亦即每一個新增的 IP 位址皆能很快的完成重複位址檢測，確定該 IP 位址是否已有人使用。

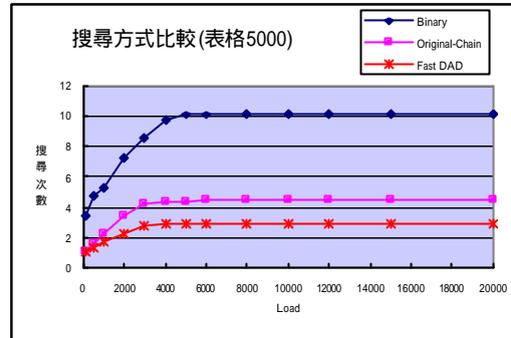


圖 4.2 Exponential Distribution

最後我們比較基本的鏈雜湊搜尋法(Original-Chain)和快速的重複位址檢測(Fast DAD)的差異。從圖 4.3 可以比較出來，當表格愈大時，因為碰撞的次數較少，因此兩者的差異也愈不明顯。但是當表格小時，Fast DAD 的方式卻明顯地比 Original-Chain 好很多，也就是說我們可以用 Fast DAD 的方式，以較少的記憶體，達到快速重複位址檢測的目的。

五、結論

在可預見的將來，3G 行動通訊與網際網路將整合在一起，朝向 All-IP 網路架構發展，而 IPv6 是達成此一目標的最佳選擇，也有很多的研究提出，希望能使 IPv6 這項通訊協定更臻完善。在 ALL-IP 網路架構中，我們利用重複位址檢測表的建立，來集中管理該網路下的 IP 位址，避免因為多重播送的芳鄰尋找機制，造成網路的負擔和資源的浪費。

此外，我們依據網路涵蓋的範圍，比較其同時使用的 IP 位址總數與變動率，採用一個適當的重複位址檢測表格大小和快速的雜湊搜尋方式，藉此加快重複位址檢測的速度，以避免因 IPv6 的重複位址檢測機制，造成網路

上傳時間的中斷或延遲。

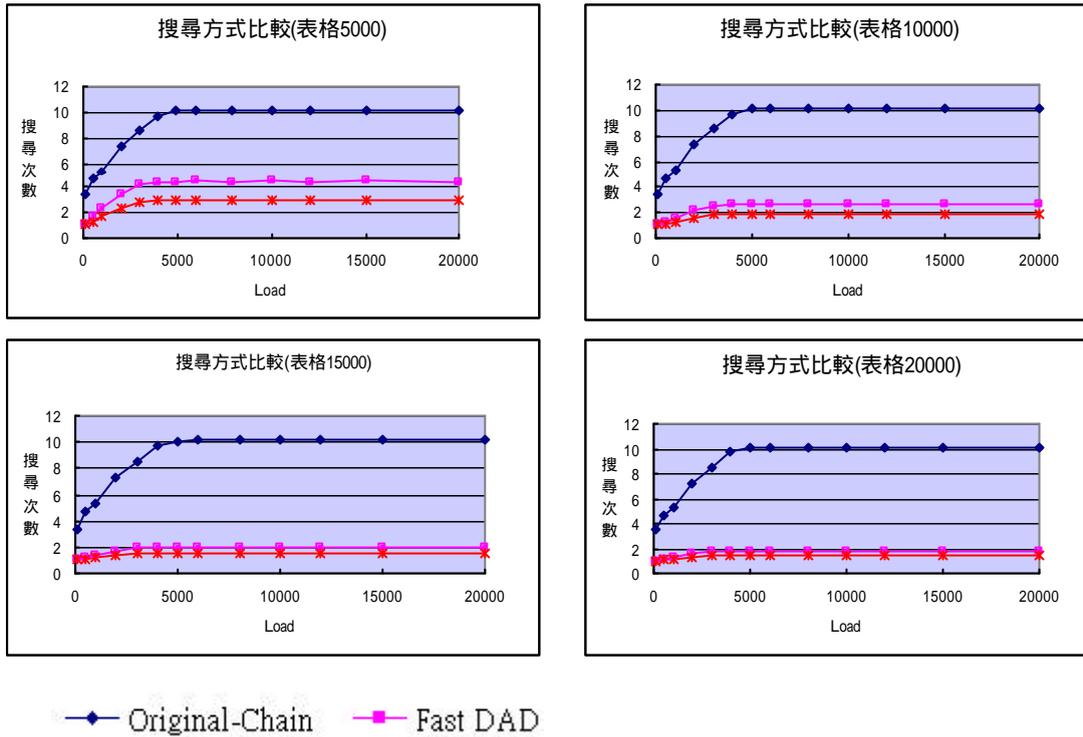


圖 4.3 Original-Chain 和 Fast DAD 的比較

隨著 All-IP 網路架構逐漸成形，各種行動裝置也日漸增多，藉由網路傳送即時影音視訊等多媒體資料也愈來愈普遍，移動交遞的問題也會更嚴重。希望本篇論文在 3G 行動通訊時代來臨之際，對於提升以 IPv6 通訊協定為基礎的 ALL-IP 網路架構連線品質能有所助益。

六、參考文獻

- [1] S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification," IETF RFC 2460, December 1998.
- [2] T. Narten and E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IPv6," IETF RFC 2461, Dec. 1998.
- [3] S. Thomaon and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autocofiguration," IETF RFC 2462, Dec. 1998.
- [4] Charles E. Perkins and David B. Johnson, "Mobility support in IPv6," Proceedings of the International Conference on Mobile Computing and Networking, November 1996.
- [5] Zahariadis, T.B.; Vaxevanakis, K.G.; Tsantilas, C.P.; Zervos, N.A.; Nikolaou, N.A.; "Global roaming in next-generation networks," IEEE Communications Magazine, Volume: 40 Issue: 2, Feb 2002, Page(s): 145 – 151.
- [6] Bos, L.; Leroy, S.; "Toward an all-IP-based UMTS system architecture," IEEE Network, Volume: 15 Issue: 1, Jan/Feb 2001, Page(s): 36 -45.
- [7] Nakajima, N.; Dutta, A.; Das, S.; Schulzrinne, H.; "Handoff Delay Analysis and Measurement for SIP based mobility in IPv6," IEEE International Conference on, Volume: 2, 11-15 May 2003.
- [8] Chang-Woo Lee and Ji-hoon Lee, "Fast and Lossless Handoff Method considering Duplicate Address Dection in IPv6-based Mobile Networks," Wireless and Mobile Communications, Proceedings of SPIE Vol.4586, APOC 2001, Beijing, China.
- [9] M. Bagnulo and I. Soto, "Random Generation of Interface Identifiers," Internet-Draft, July 2002.
- [10] M. Wasserman, "Recommendations for IPv6 in 3GPP Standard," IETF RFC 3314, Sep. 2002.
- [11] Charles E. Radke, "The use of quadratic residue research," Communications of the ACM, Volume:13, February 1970.

[12] Donald E. Knuth, "*The art of computer programming*," Volume 3 Page 506-540,

1973 Addison-Wesley Publishing.