

# 跨層設計的調查與研究

陳肇宏<sup>1</sup> 陳偉業<sup>2</sup>

南台科技大學 資訊管理系

<sup>1</sup>[M9590219@webmail.stut.edu.tw](mailto:M9590219@webmail.stut.edu.tw)

<sup>2</sup>[cwycwy@mail.stut.edu.tw](mailto:cwycwy@mail.stut.edu.tw)

## 摘要

對於提升無線網路的產出與效能，跨層設計已成為一個熱門的研究議題。這是因為將現存的有線標準協定結構用於無線網路並未能獲得較佳的效能。針對此議題，在隨意網路、感測網路、蜂巢式網路等各異質無線網路，分別已有許多研究依據現存標準協定結構為基礎而進行修改的跨層設計方案被提出來。本篇先對跨層設計做個簡要的定義並說明目前跨層設計的發展現況。然後，對跨層設計提出一個重要的告誡和幾個跨層設計時所應當遵守的重要原則，藉此說明跨層設計之重要性，以及跨層設計可能產生的負面效果。接著對目前跨層設計的研究方案進行整理與分析，並分為違反現存分層結構的跨層設計與跨層協同合作的創新結構兩大類，之後再透過相關的範例對這兩大類做簡要的說明。最後，依據多重躍點的網路歸納出三大類的跨層研究議題，並且在無線網狀網路環境下，提出一個結合 MAC 層之多重通道配置和網路層之多重路徑路由的跨層設計以支援服務品質。

**關鍵字：**跨層設計、分層結構、無線網狀網路、多重通道、多重路徑

## 壹、簡介

隨著無線通訊與無線網路在通訊領域的急速發展下，許多研究社群反覆的討論現存的 TCP/IP 分層結構(layered structure)或 OSI 分層結構是否適用於無線網路的議題。Shakkottai *et al.*[1]提出，雖然現存 TCP/IP 分層結構在有線網路已發展相當成熟且有相當良好的服務機制，但將此結構用於無線網路的環境，卻未能得到有效的產出與效能。此外，也有研究指出無線網路的環境極為不穩定，且在傳輸過程中可能因為電量的消耗、無線設備的移動或損壞、實體層的位元錯誤率(bit-error rate)過高，以及傳送封包時由於功率放大對鄰近節點傳輸所造成的干擾等因素，進而導致錯誤的急速暴增以致封包在鏈路(link)上不能成功的傳送到目的端[2-4]。為了解決此問題，許多研究[5-7]紛紛提出修改現存分層結構的跨層設計方案來改善在隨意網路(ad hoc network)、感測網路(sensor network)及蜂巢式網路(cellular network)等各異質無線網路的整體系統產出與效能的增進。

在[8]的研究中，將分層協定的設計分為兩大類，分別為靜態分層協定設計(static layered protocol design)與動態分層協定設計(dynamic layered protocol design)。靜態分層協定設計在各協定層之間是相互獨立的，且各協定層有其各自執行的功能並不相互合作。此外，較高協定層只能使用來自較低協定層的服務，這就類似現存 TCP/IP 或 OSI 的分層結構。而動態分層協定設計就是違反現存分層結構的分層協定，也就是所謂跨層設計的概念。跨層設計是關於開發各協定層之間相互獨立的關係且讓各協定層達到協同合作，來增進整體系統效能的分層設計。針對目前跨層設計的發展，[9]提出三個所面臨的現況如下：首先，目前跨層設計的研究方案都是相互獨立的。這是因為目前仍無制定跨層設計標準的組織，因此不同背景的研究者紛紛提出自己的看法與想法，以致讓現存跨層設計的方案形成彼此獨立的窘境。再者，目前所提出的跨層設計概念，對於各個協定層應該扮演何種角色與功能，並無明確的說明和定義。最後，目前在各異質的無線網路中雖已有許多協同合作的跨層設計方案，但這些方案在效能的增進與實際實行的關係之間依然是非常薄弱且未能獲得最佳的效能。

另一方面，最近已有研究對跨層設計提出一個重要的告誡[10]。由於目前跨層設計的研究方案大都以改善整體效能為主要目的，然而一個良好的跨層結構是相當費成本的。再者，不嚴謹或沒有約束的跨層設計，將反而導致整體產出與效能的降低，且亦可能抑制未來結構的創新設計以及造成結構上維護的困難。憑此議題，在[10]的研究中強調跨層結構的設計是非常重要的，因此對於整體跨層設計的結構是需要仔細的考量。

本篇接續於第二節將根據當前的研究現況以及相關文獻，對跨層設計做個簡單的定義。第三節說明設計跨層結構時，應當遵守的幾個重要原則。第四節對於違反現存分層結構的跨層設計以及跨層協同合作的創新結構做個簡單分類與歸納，並且利用相關範例來說明其跨層設計的概念。最後，將依據多重躍點(multi-hop)的網路如網狀網路(mesh network)、隨意網路以及感測網路，歸納出多重速率(multi-rate)、多重通道(multi-channel)、多重路徑(multi-path)三大類的跨層研究議題，並且在無線網狀網路環境下，提出一個結合 MAC 層之多重通道配置和網路層之多重路徑路由的跨層設計以支援服務品質。將根據來源端至目的端的估算傳送延遲(estimated transmission delay)及傳送功率損失(power loss)來選擇最佳路徑，並在多重路徑上使用不同通道來傳送資料以降低相同通道干擾。

## 貳、跨層設計的定義

現存有線網路的分層結構是以 TCP/IP 或 OSI 作為分層的基礎，並將網路架構分成不同的協定層，在各個協定層之間彼此有各自獨立的功能與服務的要項。然而，現存的

分層結構限制在不相鄰協定層之間不能有直接通信的能力，且相鄰層之間的通信也受限於程序的呼叫與回應。因此，跨層設計是考量現存的 TCP/IP 或 OSI 分層結構的規則進行修改與設計。

所謂跨層設計就是違反/修改現存分層結構的協定設計。在文獻[11]中對跨層設計的定義如下：

- 一、在不相鄰的協定層之間，可以允許直接的通信。
- 二、某協定層所使用的變數資訊或執行的功能可以分享至各協定層，讓各協定層針對此變數進行修改以增進整體系統的產出效能。
- 三、在協定層之間創造新的界面，即重新定義協定層之間的邊介，讓某協定層邊介的設計是可結合另一協定層的參數與功能來作為創新界面的依據。

## 參、跨層設計的原則

在無線網路的環境中，雖然跨層設計可以減少協定層之間的通信時間、適應無線網路的快速變化以及有效利用有限的資源減少不必要的耗費等優勢。然而，一些研究[10,12]也指出跨層設計雖能比現存分層結構為整體系統帶來較佳的效能，但需謹慎的考量結構的設計，不可以無拘束地設計跨層的結構。此外，在[13]中也提到跨層設計可能會對其它的協定層造成不可預期的影響。因此，針對此問題，本篇給予跨層設計一些適當的原則如下：

- 一、跨層設計不能捨棄現存的分層結構，而是要以現存的分層結構為基礎，並善用來自其他協定層的資訊以改善整體系統的效能與產出。這是因為當協定層之間的通信極為複雜時，有一個簡單且明確的分層結構，才可發現協定層之間的關係並對資訊界面做出標準化，再藉由這些界面轉換不同的資訊與參數來實行跨層的協同合作。
- 二、較上層的協定層應避免重複執行較低協定層所執行過的功能與程序，藉此減少成本的浪費。這是因為多重協定層(multiple protocol layers)有時可能執行相同的功能，導致這些功能在整個分層協定堆疊(protocol stack)中是多餘的。因此，跨層設計應避免重複執行多餘的功能，直接採用來自其他協定層的現存資訊和變數來達到協定層之間的協同合作。
- 三、跨層協同合作的資訊對於其他協定層的影響必須詳加考量，以便可使整體系統的效能達到最佳化以及使協定堆疊適用於各種應用的需求，並且以整體的方式來因應無線網路的變化。這是因為跨層協同合作可能只對兩個獨立的協定層新增一些新的關係或功能，而這兩層協同合作的資訊可能影響整體系統的效能與產出。因此，跨層協同合作的資訊對於其他協定層或整體系統的影響都必須謹慎的考量。

## 肆、跨層設計的分類

為了提升無線網路的產出，在各異質無線網路中已有許多跨層設計的方案相繼被提出。本節將以類似五層協定層的概念，分別對違反現存分層結構的跨層設計以及跨層協同合作的創新結構做個簡單的分類，如圖 1 所示，並且藉由一些範例分別對前述兩種跨層設計結構做個簡要的說明。

### 一、違反現存分層結構的跨層設計

在[11]的研究中，將跨層設計針對違反現存分層結構設計的研究方法分成四大類，

分別為創新的界面(creation of new interfaces)、相鄰協定層的合併(merging of adjacent layers)、無需創新界面的耦合設計(design coupling without new interfaces)，以及跨層垂直校準(vertical calibration across layers)。創新的界面設計是較低的協定層與較高的協定層可以透過創新的界面來達到資訊流互換的作用。相鄰協定層的合併是將兩個或多個協定層整合成一個協定層的概念。無需創新界面的耦合設計則是在協定層與協定層的連結設計時，不需設計任何額外的界面，這通常是在設計上層協定層時就已知道下層協定層的能力。例如在設計MAC協定時必須考慮實體處理無線射頻信號(RF signal)及傳送與接收狀態間切換的速率。最後，跨層垂直校準是參數可以從最底層到最高層做一致性的調整來追求較佳的效能。此外，在[8]的研究中，也提到將跨層設計視為一個多重輸入多重輸出(multi-input multi-output)的最佳化平台，並且依據不同的資料流模式以及來源端到目的端的概念，將現存跨層設計的研究方法分成單一來源端對單一目的端(single source single destination, SSSD)、單一來源端對多重目的端(single source multiple destination, SSMD)、多重來源端對單一目的端(multiple source single destination, MSSD)，以及多重來源端對多重目的端(multiple source multiple destination, MSMD)四大類。

本篇根據相關的文獻探討，以一個簡單的方式將違反現存分層結構的跨層設計分成四大類，分別為：

- 較低協定層協助較高協定層
- 較高協定層協助較低協定層
- 中間協定層協助較低、較高協定層
- 多重協定層間的相互協助合作

### (一) 較低協定層協助較高協定層

較低協定層協助較高協定層就是藉由修改較低協定層的參數設定或量度等資訊來達到較高協定層所需的最佳條件，以提升系統整體的產出，如圖2a。例如，有線網路所使用的TCP協定認為封包的遺失主要是因為網路上的節點發生壅塞所導致。然而，在無線網路的環境中，封包的遺失未必都是網路壅塞所造成，也有可能是因節點的移動或無線通道(wireless channel)品質的變動等因素所導致。在[14]的研究中，提出較早封包遺失通知(early packet loss notification, EPLN)和儘力式的ACK傳送(best-effort ACK delivery, BEAD)兩個機制來感知資料封包與ACK遺失的方法。EPLN方法是當節點偵測到某一鏈路中斷時，如果資料封包無法再利用(salvage)，則藉由使用一個快取的路徑(cached routes)通知TCP傳送者關於資料封包的遺失。BEAD方法則是當節點偵測到某一鏈路中斷時，如果無法再利用ACK訊息，則試圖傳送一個ACK遺失的通知(notification)給無法再利用ACK訊息的TCP接收者或是能利用ACK訊息的中間節點，來確認ACK訊息的遺失或是透過中間節點將ACK訊息傳回TCP傳送者。因此當節點偵測到某一鏈路中斷時，便可透過上述兩個機制來使用快取的路徑傳送遺失的資料封包或ACK訊息，進而減少因節點移動而引起TCP逾時的次數。此外，在[15]的研究中，藉由調整干擾、封包成功率(packet success rate)及資料速率(data rate)三個實體層參數來提供較低的干擾度，進而獲取最高的傳輸率，並依據封包成功率所得到的可靠度分析讓網路層可以正確的發現路徑。

### (二) 較高協定層協助較低協定層

較高協定層協助較低協定層就是透過較高協定層協助較低協定層的過程，讓較低協定層能依據較高協定層所得到的資訊以及參數的變化做出適當的調整，以提升整體系統的效能，如圖 2b。例如，在[16]的研究中，為移動式隨意網路(mobile ad hoc network, MANET)提出一個新的跨層方法，稱為封包快速轉傳的 MAC 協定(packet fast forward MAC protocol, PFFMAC)。在 PFFMAC 的協定中，MAC 層封包快速轉傳的程序可以依

據路由表所獲得的路由資訊做動態的調整，藉此增進封包在傳輸過程中的速度以及減少延遲和不必要的耗費。此外，在[17,18]的研究中，也依據應用層的資訊來節省電量(power saving based on application information)，此研究是假若應用層可以容忍一些延遲，則可以透過間歇性的關閉網路界面卡，使得使用編碼類型的影像應用資訊能夠捨棄一些網路界面卡的訊框來節省電量的消耗。

### (三) 中間協定層協助較低、高協定層

中間協定層協助較低、較高協定層是指在三個相鄰的協定層的情況下，上層協定層與下層協定層分別可以透過中間協定層的協助來達到協同合作，以提昇整體系統的產出，如圖 2c。例如，在[19]的研究中，為了提升隨意網路的產出，MAC 層除了預留通道給實體層的控制封包，也收集適合的通道資訊經由不同的路徑度協助網路層選擇最佳的路徑來傳送資料。因此，透過中間的 MAC 層可以達到協助實體層與網路層的功能。

### (四) 多重協定層間的相互協同合作

多重協定層間的相互合作意謂著無線網路整體的產出可以透過多個相鄰或不相鄰協定層間的協同合作來達到效能的提升，如圖 2d。例如，在[20]的研究中，為了使隨意網路的效能最佳化，提出一個跨層資訊程序(cross-layer information processing)讓實體層、MAC 層與網路層間相互的協同合作。此程序首先依據實體層通道訊號強度的資訊讓 MAC 層估算通道的品質來選擇一個適當的資料傳輸率，接著將此資料傳輸率傳送到動態來源路由協定(dynamic source routing, DSR)中當作一個壅塞感知的路由(congestion-aware routing)量度後依據感知路由的壅塞程度來發現最佳路徑。另外，[21]的研究針對隨意網路環境下的應用，提出一個新的跨層結構，包含應用層、傳輸層、網路層、MAC 層以及鏈結層(link layer)五層協定堆疊，並結合了錯誤恢復來源編碼(error-resilient source coding)、封包排程(packet scheduling)、以串流為基礎的路由協定(stream-based routing)、鏈結能力的分配(link capacity assignment)以及適應鏈結層技術(adaptive link layer techniques)來讓資訊可以在多個不同的協定層間達到交換的功能，使隨意網路上端點對端點即時的影音串流效能達到最佳化。

## 二、跨層協同合作的創新結構

前一小節我們介紹了違反現存分層結構的跨層設計。目前亦有許多研究紛紛提出創新結構的想法。此外，從通信與網路的觀點來看，創新結構不只是研究整體系統的產出效能，亦需對各個協定層之間的關係與相關的功能做詳盡的考量與理解。因此，本篇將目前跨層協同合作的創新結構分為三類，如下：

- 協定層間的直接協同合作
- 間接協同合作的媒介
- 整合性的協定堆疊

### (一) 協定層間的直接協同合作

協定層間的直接協同合作是讓所有的資訊與參數可以在不相鄰的協定層之間進行分享與互換，以致使一個來源協定層可以與所欲傳遞的目的端協定層達到直接的相互通訊。再者，此概念也意謂著某一協定層的變數在其他協定層之間是顯而易見的，如圖3a。例如，信息的傳送在靜態分層協定堆疊中須遵循一層接著一層的傳輸模式而導致較差的效率。在[22,23]的研究中，提出一個有效率且有彈性的跨層信號捷徑(cross-layer signalling shortcuts, CLASS)結構，允許任何兩個協定層可以與另一個協定層直接相互的通訊。此外，在[24]的研究中也提出一個以應用為導向的跨層設計方案，讓應用層、資料鏈結層和實體層的資訊透過由上而下(top-down)及下而上(bottom-up)的傳送方式來達

到協同合作，並使應用層能動態的適應來源速率與媒體傳輸的變化；另一方面，資料鏈結層和實體層則是估算無線媒體的傳輸能力且快速的適應無線媒體的改變，藉此讓影音串流的傳輸可以即時性地滿足更多的使用者。

## (二) 間接協同合作的媒介

間接協同合作的媒介是提出一個讓所有協定層可以共同存取的媒介。而此媒介就像一個新的協定層或是資料庫，可以讓所有的協定層做資訊的互換、儲存與復原的功能。這也意謂著藉由共享的媒介能同時連繫不同的協定層，以實現各協定層之間的協同合作，如圖 3b。例如，無線電認知網路(cognitive radio network)需要透過管理的媒介讓應用層、傳輸層、網路層、MAC 層及實體層彼此協同合作來達成頻譜管理與頻譜行動性(spectrum mobility)的功能[7,25]。此外，[26]的研究在下一代無線網路提供一個協調的架構，藉由客戶端/伺服端(client/server)的概念讓不相鄰的協定層透過跨層的伺服器來達到協定層間的協同合作。而在[6]的研究中也提出一個間接協同合作的結構，透過最佳代理人(optimization agent)讓不同的協定層間達到資訊的互換與控制，來使無線感測網路的系統效能達到最佳化。

## (三) 整合性的協定堆疊

整合性的協定堆疊是將多個協定層整合成新的一個協定層或是將多個協定層的屬性與功能整合在一個原有的協定層之內，來形成一個全新的協定架構，如圖3c。例如，[5]的研究提出一個沙漏(hourglass)模型的協定架構，將MANET視為一個子網路的技術整合至IP協定堆疊。此協定結構包括網間與MANET子網路間的界面、異質的路由協定(heterogeneous routing protocol)、跨層資訊流(cross-layer information flow)、空間階層的定址(spatially hierarchical addressing)四個部分。接著，透過此四部份來識別協定結構的標準問題，並將一些違反現存協定架構的MANET革新計劃整合入沙漏模型的協定架構，進一步將IP協定堆疊整合成一個較大的異質IP網路。

# 五、跨層設計之研究

在前一節中，我們針對目前跨層設計的研究方案加以分類和說明。在本節中，根據現行多重躍點網路的研究議題，將跨層設計歸納成三大主要的研究方向，分別為多重速率、多重通道以及多重路徑的跨層研究[27]，並且在無線網狀網路環境下，提出一個結合 MAC 層之多重通道配置和網路層之多重路徑路由的跨層設計以支援服務品質。

## 一、多重速率

傳統 IEEE802.11a/g 將實體層的資料速率分為 6、9、12、18、24、36、48 和 54 Mbps；IEEE802.11b 則是分為 1、2、5.5 和 11Mbps。然而，有別於單一資料速率的傳輸，多重速率則是選擇更適合的實體層資料速率進行傳輸，藉此依據網路拓樸的變動讓鏈路速度可以更動態地做變化。因此，跨層設計引入多重速率的特性，不僅可以協助上層協定層的運作，亦可提昇整體網路效能。例如，以躍點數量為量度的路由協定傾向於以較長距離鏈路來選擇最佳路徑。然而，此種方式使用在多重速率的網路時，由於較長距離的鏈路只能運作在較低的速率，所以將導致較低效率的產出。有鑑於此，[28]在多重速率的隨意網路下，提出一個選擇路徑的量度，稱為媒體時間量度(medium time metric, MTM)來探究 MAC 層與實體層影響路徑的決定。MTM 量度是在路徑上對每條鏈路配置一個權重，權重的大小與封包傳送時間成正比，每一路徑的 MTM 值則為該路徑上所有鏈路權重值的總和。因此，藉由評估 MTM 的量度可以選擇一個有較高產出及可靠的路徑來傳送封包。另外，也可以避免因使用最短路徑而傾向採用較長鏈路距離的路徑。此外，

[29]也在隨意網路中提出一個附有多重速率機制的跨層路由技術。首先，根據實體層測量的訊號雜訊比(signal noise ratio, SNR)來決定鏈路的速率。接者使用所選的鏈路速率廣播一個單向的封包，藉此評估此鏈路封包傳送延遲的時間。最後，路由協定依據評估的鏈路速率選擇一個有較低延遲的路徑進行封包的傳輸。結果顯示如此的選擇將可以使傳輸時間達到最小進而改善產出並且避免封包的傳輸通過較壅塞的區域。

## 二、多重通道

傳統 MAC 層的單一通道(single channel)當網路傳輸負載達到飽和時，整體系統效能將無法再提昇。近來使用 IEEE802.11a 中 12 條可供同時傳輸的通道或者是 IEEE802.11b 中 3 條可供同時傳輸的多重通道設計，可以避免單一通道上因競爭而產生的壅塞以及傳輸訊框的碰撞和傳輸的延遲；相對低也增加同一時間內多重通信的傳輸對。因此，藉由 MAC 層多重通道的特性，跨層設計便能藉此來協助其他協定層的運作以增進整體網路的效能。[30]提出一個結合分散式多重通道配置及主動式路由協定 OLSR[31]的跨層方法，稱為通道配置優化鏈路狀態的路由協定(channel assignment optimized link state routing, CA-OLSR)。CA-OLSR 是為了使一個鄰近區域盡可能使用多個通道來傳輸並且保持通道的競爭達到最小。首先，CA-OLSR 使用一個多通道 MAC 協定(MC-MAC)來管理多重通道的媒體存取。接者，透過主動式路由協定週期性交換控制訊息，讓每個節點可以完整的更新網路拓樸的資訊，藉此讓主動式路由協定與多重通道的 MAC 協定更緊密的結合，進而改善無線隨意網路的傳輸能力。另外，研究結果也顯示 CA-OLSR 比傳統多重通道的配置更能增加產出以及減少延遲發生的狀況。

## 三、多重路徑

當網路流量負載過大時，使用傳統單一路徑傳送封包到目的端將會導致網路傳輸效能降低。多重路徑是在來源端與目的端之間使用多條路徑來傳送封包，藉此讓傳送的封包在某一路徑中斷之後可以快速的選擇其他路徑進行傳輸；再者，亦可使總體流量平均分散在多重路徑上，藉此達到更平穩的傳輸以及提升路徑的容錯能力。因此，跨層設計結合多重路徑的概念更能提升傳輸的品質與整體的產出。例如，[32]為了改善移動式隨意網路的產出以及網路資源的空間再利用，提出一個多重路徑路由的方法，稱為同時分離的無基礎式需求多重路徑距離向量(concurrent separated ad hoc on-demand multipath distance vector, CS-AOMDV)的路由協定。AOMDV[33]是以 AODV 為基礎而改良的多路徑路由協定，然而 AOMDV 在來源端與目的端之間雖可以獲得多條路徑進行傳輸，但卻只有單一主動的路徑能被使用。再者，只有當此單一路徑發生中斷之後，其他路徑才可替代使用。因此 CS-AOMDV 以 AOMDV 為基礎並使用負載平衡(load-balancing)機制來將流量分散在多重不相交(disjoint)的路徑上。另外，為了更有效率的支援所提出的方法，在 MAC 層使用一個稱為快速傳送(fast forward, FF)的機制[34]。快速傳送是更改原有 RTS/CTS 機制中的 RTS 與 ACK 訊框，藉由一個結合 RTS 與 ACK 功能的 ACK-RTS 訊框，一方面可以回應上一個節點資料已被接收，另一方面也可以對下一個所要傳輸的節點發出 RTS 訊框來競爭所欲用的通道，藉此減少資料傳輸的延遲。因此，藉由 MAC 層快速位址管理來決定下一個節點的 FF 機制和 AOMDV 的多重路徑方法便可以減輕封包傳輸的延遲以及路由耗費的問題。

## 四、結合多重通道與多重路徑之跨層路由設計

無線網狀網路路由(routing)問題是目前一個挑戰性的議題。這是因為在無線網路環境中，無線傳播媒介(medium)是個不可預料的狀態以及由於干擾的影響導致效能降低。有研究顯示，在有線網路最佳路徑的選擇通常是以最短路徑(shortest path)法則來決定，

但此最短路徑法則並不適用於無線網路環境[35]，這是由於無線通道的特性會隨時間而改變，且節點的移動會造成節點間的傳輸距離的改變。另外，無線通道的通信品質也會受到背景雜訊、干擾、障礙物及通道衰減等的影響。再者，在無線網路中使用 minimum-hop routing 方法[36,37]來選擇路徑的缺點將傾向使用距離較長的鏈路(link)傳輸。由於傳送資料時選擇長距離的鏈路不但要使用較大的功率，這將增加行動節點的電量消耗，且會因通道衰減的關係容易發生傳輸錯誤，導致資料的重傳而造成系統產出的降低。

目前已有同時考量路由與通道配置問題的跨層設計方法被提出，如 multi-Radio Link-Quality Source Routing(MR-LQSR)協定[38]，使用一個新的量度稱為 Weighted Cumulative Expected Transmission Time(WCETT)來說明路徑長度與通道差異對系統效能的影響。在無線網路採用平均傳送次數(expected transmission count, ETX)為選擇路徑的衡量標準可以大幅增進系統的產出[39]。但 ETX 法在通道條件快速變動或叢聚式遺失(burst loss)情況下效能可能會退化[40]。已有研究顯示在無線環境中封包的遺失具有叢聚的特性性[41]。

在有線網路為了減少網路壅塞的影響，已採用多重路徑路由(multi-path routing)的技術[42,43]。然而在無線網狀網路的環境中，若使用單一通道在多重路徑上的同時傳送資料，將會產生相同通道干擾(co-channel interference)的問題。Yan *et. al* [44]提出一 MMR(Multi-path Multi-channel Routing)協定，在每一個路徑上配置不同的通道來降低來源端到目的端多重路徑的相同通道干擾。然而，MMR協定的缺點為其主要是以最少hop 數(minimum-hop)的量度(metric)來選擇最佳路徑。另外，MMR協定並未考量服務品質(Quality of Service, QoS)的支援。

此研究將以DSR機制為基礎來選擇多重路徑。DSR程序如下：當一個來源端節點要送封包給某一目的端節點時，會先檢查來源端節點的route cache中是否已有存在路徑可用。如果存在一條路徑且時效未到期，則使用此路徑來傳送。如果route cache中沒有路徑可用，則啟動route discovery的程序：廣播RREQ(Route REQuest)封包訊息，如圖4。當節點收到RREQ時，如果之前已收過同一個RREQ則將放棄此訊息，以避免廣播訊息的氾濫(flooding)。如果節點在route record中發現已有目的端節點位址，也會將此訊息放棄。如果自己是目的端節點，這時route record欄位中紀錄的就是來源端節點到目的端節點的路徑資訊，再把此路徑加入RREP(Route REPly)封包中，然後回傳給來源端節點，如圖5。若是中間節點，則將自己的位址附加在route record欄位後面，然後再將RREQ廣播出去。當來源端節點收到所有的RREPs之後，將可在route cache獲得到達目的端節點的所有路徑。因此，來源端節點可以從route cache中選擇多條最佳的路徑，來傳送兩端點之間的資料。

若發現有一條路徑斷掉，來源端節點將檢查route cache裡是否還有其他的可用路徑。如果有二條以上的可用路徑，來源端節點將選取剩餘的路徑來傳送資料。若沒有可用的路徑，來源端節點就發出一新的RREQ訊息重新找尋路徑。

本研究將使用端點到端點(end-to-end)之間的估算傳輸延遲(estimated transmission delay)、電量預算(power budget)、及不同路徑經過相同節點數等三個量度來選擇多重路徑。路由的最佳路徑法則如下：首先，選擇具有最少傳送延遲的路徑作為第一條最佳路徑。若有兩條以上的路徑有相同傳送延遲時，則選擇具有最少電量損耗(power loss)的路徑當作第一條最佳的路徑。之後再從在剩餘路徑中選擇次佳路徑。在剩餘的路徑中，先選擇具有最少傳送延遲的路徑作為次佳路徑。但若有兩條以上的路徑有相同傳送延遲時，則選擇與最佳路徑經過相同節點數最少的路徑為次佳路徑。選擇與最佳路徑經過相同節點數最少的路徑之原因為當有一條路徑斷掉，對其他正在使用路

徑的影響將降至最低。選擇好適當的多重路徑後，在MAC層對每一路徑配置不同的通道來做資料傳送。本研究所考慮的MAC協定為IEEE 802.11e以支援QoS，並假設其能支援多通道的配置。

## 二、結論

無線網路將是以後通訊領域熱門的議題，針對無線網路不穩定的傳輸環境所造成傳輸鏈路品質的下降，已有許多研究提出跨層設計的概念來加以改善。但是，跨層設計的研究依然有著許多的議題，且跨層設計目前並無一定的標準可言，因此跨層設計是否是個可行的概念仍然是一個未知的結論。因此，本篇先對跨層設計做了初步的定義且說明目前跨層設計的現況。再者，透過相關研究的告誡與歸納的原則來說明在實現跨層結構設計時，警惕研究人員須謹慎的考量結構的設計與各協定層的功能性問題。接著，經由本篇所提的兩大跨層分類，簡要說明先前研究方案的種類與議題。最後，本研究依據多重躍點的網路歸納出多重速率、多重通道以及多重路徑三大主要的跨層研究議題，並且所提的方法有許多優點：第一，路徑的選擇主要是根據來源節點至目的節點的估算傳送延遲來選擇最佳路徑，對即時性訊務能提供較佳的QoS；第二，最佳路徑的選擇亦考慮整個路徑的累積傳送功率損失(metric)，能降低節點的平均功率消耗；第三，在選取的不同路徑上配置不同的通道傳送即時訊務，避免相同通道干擾的問題，增加系統的產出。

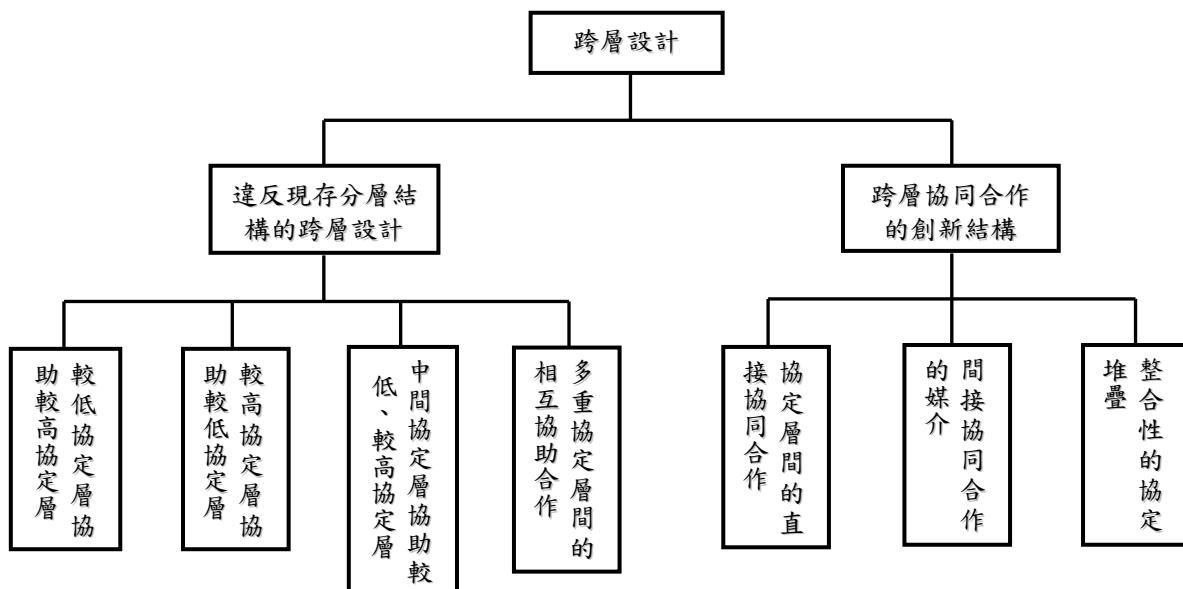


圖 1、跨層設計的分類

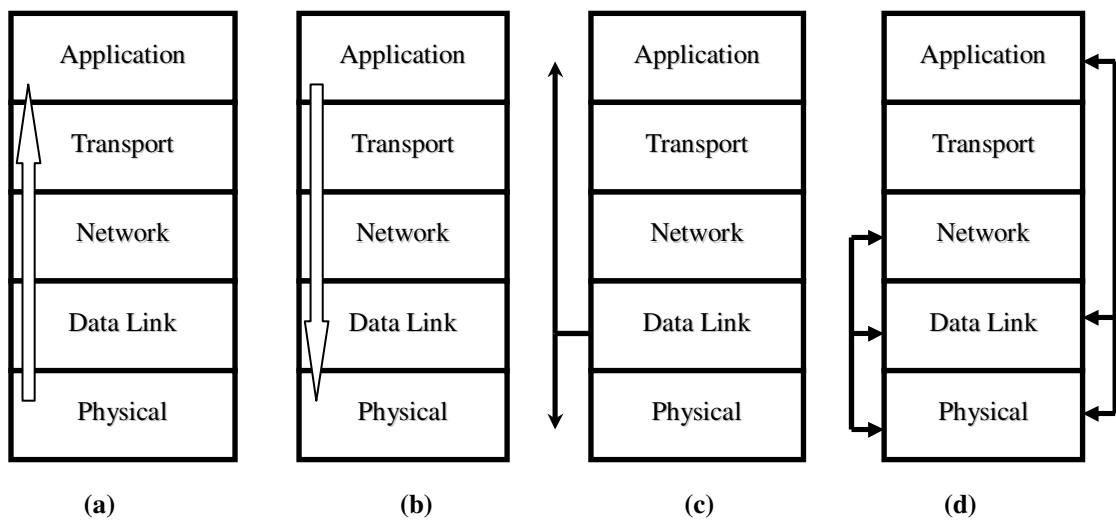


圖 2、違反現存分層結構的跨層設計

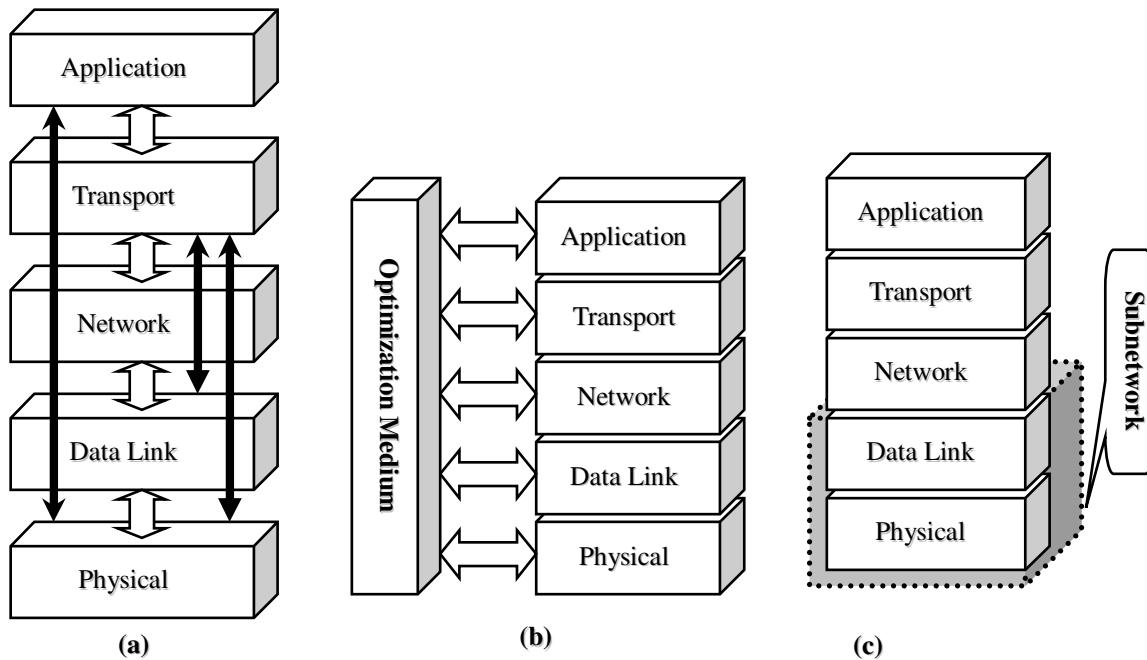


圖 3、跨層協同合作的創新結構

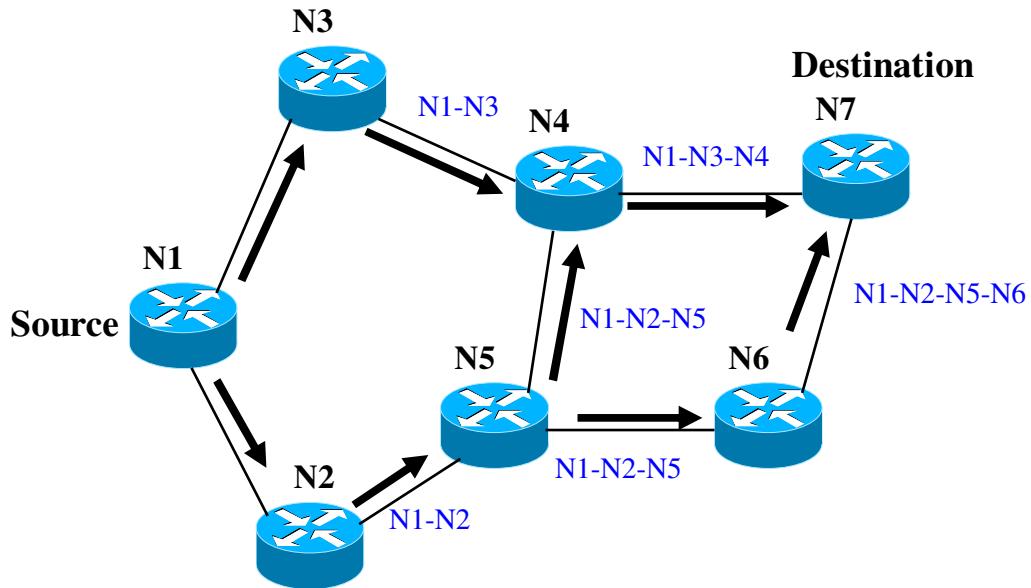


圖4、路徑建立之程序圖

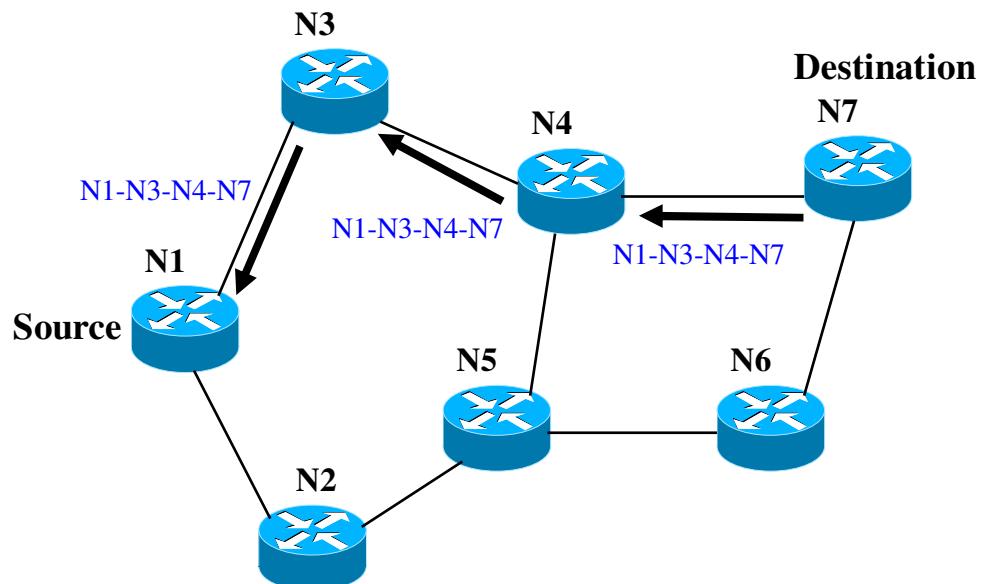


圖5、路徑回覆之程序圖

## 誌謝

首先感謝匿名審稿者對本論文的建議，使得本論文的研究更加完善。本論文的研究接受國科會計畫的補助，計畫編號 NSC 96-2221-E-218-003。

## 参考文献

- [1] S. Shakkottai, T. S. Rappaport, and P. C. Karlsson (2003), Cross-Layer Design for Wireless Networks, IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 10, pp. 74-80
- [2] V. Kawadia and P. R. Kumar (2005), Principles and Protocols for Power Control in Wireless Ad Hoc Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 23, no. 1, pp.76-88
- [3] K. Pentikousis (2000), TCP in Wired-Cum-Wireless Environments, IEEE Communications Surveys, vol. 3, pp. 2-14
- [4] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E.Cayirci (2002), A Survey on Sensor Networks, IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 102-114
- [5] J.A. Stine (2006), Cross-Layer Design of MANETs : The Only Option, in Proc. IEEE MILCOM 2006, Washington, pp. 1-7
- [6] W. Su and T. L. Lim (2006), Cross-Layer Design and Optimization for Wireless Sensor Networks, Proceedings of the 7th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing (SNPD), pp. 278-284
- [7] F. Akyildiz, et. al. (2006), NeXt Generation / Dynamic Spectrum Access / Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey, Computer Networks Journal (Elsevier), vol. 50, pp. 2127-2159
- [8] N. Sedaghati-Mokhtari, M. Nazm Bojnordi, and N. Yazdani (2006), Cross-Layer Design: A New Paradigm, in Proc. IEEE ISCIT 2006, Bangkok, Thailand, pp. 183-188
- [9] V. Srivastava and M. Motani (2005), The Road Ahead for Cross-Layer Design, International Conference on Broadband Networks, vol. 1, pp. 551-560
- [10] V. Kawadia and P. R. Kumar (2005), A Cautionary Perspective on Cross Layer Design, IEEE Wireless Communications Magazine, vol. 12, no. 1, pp. 3-11
- [11] V. Srivastava and M. Motani (2005), Cross-Layer Design : A Survey and the Road Ahead, IEEE Communications Magazine, vol. 43, no. 12, pp. 112-119
- [12] C. Rosenberg (2005), Cross-Layer Interactions and Optimizations in Wireless Networks, in Proc. ACM 8th MSWiM 2005, Quebec, Canada, pp.1-1
- [13] Y. Min, T. Yao, and Y. Quan (2005), Cross-Layer Ideas in Wireless Network Designs, in Proc. IEEE MAPE 2005, vol. 2, pp. 891-894
- [14] X. Yu (2004), Improving TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks by Exploiting Cross-Layer Information Awareness, in Proc. ACM MobiCom 2004, Philadelphia, pp. 231–244
- [15] L. Iannone, et. al. (2004), Cross-Layer Routing in Wireless Mesh Networks, Proceedings of the 1st International Symposium on Wireless Communication Systems, pp. 319-323
- [16] T. Wei, et. al. (2006), Cross-Layer Design for Packet Fast Forward in Mobile Ad Hoc Network, in Proc. IEEE WiCOM 2006, Wuhan, China, pp. 1-4
- [17] P. Agrawal, et. al. (1998), Battery Power Sensitive Video Processing in Wireless Networks, in Proc. IEEE PIMRC 1998, Boston, vol. 1, pp. 116-120
- [18] R. Kravets, P. Krishnan (2000), Application-driven power management for mobile communication, Wireless Networks, pp. 263-277
- [19] W. H. Yuen, H. Lee, and T. D. Andersen (2002), A Simple and Effective Cross Layer Networking System for Mobile Ad Hoc Networks, in Proc. IEEE PIMRC 2002, Lisbon, Portugal, pp. 1952-1056
- [20] N. Yang, R. Sankar and J. Lee (2005), Improving Ad Hoc Network Performance Using Cross-Layer Information Processing, in Proc. IEEE ICC 2005, Spain, vol. 4, pp. 2764-2768
- [21] E. Setton, et. al. (2005), Cross-Layer Design of Ad Hoc Networks for Real-Time Video Streaming, IEEE Wireless Communication, vol. 12, no. 4, pp. 59-65

- [22] Q. Wang and M. A. Abu-Rgheff (2003), Cross-Layer Signalling for Next-Generation Wireless Systems, in Proc. WCNC 2003, New Orleans, Louisiana, vol. 2, pp. 1084-1089
- [23] Q. Wang and M. A. Abu-Rgheff (2003), A Multi-Layer Mobility Management Architecture Using Cross-Layer Signalling Interactions, in Proc. IEEE 5th European EPMCC 2003, Glasgow, England, pp. 237-241
- [24] S. Khan, Y. Peng, and E. Steinbach (2006), Application-Driven Cross-Layer Optimization for Video Streaming over Wireless Networks, IEEE Communications Magazine, vol. 44, no. 1, pp. 122-130
- [25] J. Mitola III (1999), Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communication, in Proc. IEEE MoMuC 1999, pp. 3-10
- [26] Karim M. El Defrawy, et. al. (2006), Proposal for A Cross-Layer Coordination Framework for Next Generation Wireless Systems, in ACM IWCNC 2006, Vancouver, Canada, pp. 141-146
- [27] C. Rosenberg (2006), Challenges in multi-hop networks, Proceedings of the 2nd IEEE Conference on Next Generation Internet Design and Engineering, pp. 1-1
- [28] B. Awerbuch, et. al. (2004), High Throughput Route Selection in Multi-Rate Ad Hoc Wireless Networks, appear in the First Working Conference on Wireless Ondemand Network Systems (WONS), Madonna di Campiglio, Italy
- [29] G. Yang, et. al. (2005), A novel cross-layer routing scheme of ad hoc networks with multi-rate mechanism, in Proc. IEEE WiCOM 2005, Wuhan, China, vol. 2, pp. 701-704
- [30] M. X. Gong, et. al. (2007), A Cross-layer Approach to Channel Assignment in Wireless Ad Hoc Networks, Mobile Networks and Applications, vol. 12, pp. 43-56
- [31] T. Clausen and P. Jacquet (2003), Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), IETF Network Working Group
- [32] L. Bononi and M. D. Felice (2006), Performance analysis of cross-layered multipath routing and MAC layer solutions for multi-hop ad hoc networks, in Proc. ACM MobiWAC 2006, Terromolinos, Spain, pp.190-197
- [33] M.K. Marina and S.R. Das (2001), On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks, in Proc. 9th ICNP 2001, Riverside, California, pp. 14-23
- [34] H. Wu, Y. Peng et al. (2004), Performance of Reliable Transport Protocol over IEEE 802.11 Wireless LAN: Analysis and Enhancement, in Proc. IEEE INFOCOM 2002, New York, vol. 2, pp. 599-607
- [35] D. De Couto, et. al. (2003), Performance of multihop wireless networks: shortest path is not enough, Computer Communication Review, Vol. 33, No. 1, pp. 83-88
- [36] C. E. Perkins and P. Bhagwat (1994), Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers, in Proc. SIGCOMM 1994, pp. 234-244
- [37] V. D. Park and M. S. Corson (1997), A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks, in Proc. IEEE INFOCOM 1997, pp. 1405–1413
- [38] J. Tang, G. Xue, and W. Zhang (2005), Interference-aware topology control and QoS routing in multi-channel wireless mesh networks, in Proc. MobiHoc 2005, Urbana-Champaign, IL, pp. 68-77
- [39] D. De Couto, et. al. (2003), A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing, in Proc. MobiCom'03, San Diego, California
- [40] C. E. Koksal and H. Balakrishnan (2006), Quality-aware routing metrics for time-varying wireless mesh networks, IEEE J. Selected Areas in Communications, Vol. 24, No. 11, pp. 1894~1994
- [41] A. Willig, et. al. (2002), Measurements of a wireless link in an industrial environment using an 802.11-compliant physical layer, IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 49, No. 6, pp. 1265-1282

- [42] Cidon, R. Rom, and Y. Shavitt (1999), Analysis of multi-path routing, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 7, No. 6, pp. 885-896
- [43] Gojmerac, T. Ziegler, F. Ricciato, and P. Reichl (2003), Adaptive multipath routing for dynamic traffic engineering, in Proc. Globecom 2003, San Francisco, pp. 3058-3062
- [44] A. Yan and H. Gharavi (2006), Multi-Path Multi-Channel Routing Protocol, Fifth IEEE International Symposium on Network Computing and Applications 2006, Cambridge, Massachusetts, pp. 27-31