

工程及應用科學類科

張正尚 講座教授

Cheng-Shang Chang

現職單位 / 國立清華大學通訊工程研究所

學術專長 / 通訊網路理論、高速交換機、光佇列、網路科學

個人教學研究網址 / <http://www.ee.nthu.edu.tw/cschang/>



學歷

- 1989 美國哥倫比亞大學電機工程 博士
- 1986 美國哥倫比亞大學電機工程 碩士
- 1983 國立臺灣大學電機工程 學士

經歷

- 2008~2011 國立清華大學通訊工程研究所兼任所長
- 2006~ 迄今 國立清華大學通訊工程研究所專任講座教授
- 1999~2006 國立清華大學通訊工程研究所專任教授
- 1997~1999 國立清華大學電機工程研究所專任教授
- 1993~1997 國立清華大學電機工程研究所專任副教授
- 1989~1993 BM T. J. Watson Research Center, Research Staff Member

曾獲得之學術獎勵情形

- 2011 教育部第 55 屆學術獎
- 2011 國科會 100 年度傑出特約研究員獎
- 2008 以高速網路交換技術之傑出成果獲選為【「科學 50」—國科會 50 科學成就】之一
- 2005 財團法人潘文淵文教基金會研究傑出獎
- 2004 獲選為 IEEE Fellow
- 2002 第一屆有庠科技講座（通訊光電講座）
- 2001 獲得 IBM 公司頒發之 IBM Faculty Partnership Award

從事研究過程

(一) 大學時期

張正尚教授對於通訊網路研究的興趣始於大學時期。1980年代時，Apple II電腦剛問世，張教授與幾位同學組成電腦研習社。大三時在臺大公開演講Apple II的作業系統（BIOS）及硬體線路，並利用Apple II的Game I/O做成類比/數位轉換器（A/D converter），讓Apple II開口講話及建立兩臺Apple II電腦之間的通訊連線。

(二) 博士論文

在臺大李琳山教授、張進福教授及李學智教授（張教授之大學導師）的極力推薦下，於1985年順利取得哥倫比亞大學的獎學金，也在兩位共同指導教授Prof. Mischa Schwartz（美國國家工程院院士）及Prof. Michael Pinedo的共同指導下，博士論文解了一個十幾年懸而未決的conjecture。此conjecture為Prof. Sheldon Ross（加州大學柏克萊分校）所提出，Prof. Ross是著名的機率和隨機程序學者，著有多本在此方面的經典教科書。此conjecture的直覺是交通流量變化越大，則網路系統的效能越差。張教授的博士論文首次提出正式的數學理論證明，進而發展出在Integrated Service Digital Networks（ISDN）的應用。

(三) IBM 時期

在哥大幾位師長的極力推薦下，張教授於1989年進入當時大家夢寐以求的IBM Watson Research Center。在IBM的四年，張教授主要的研究成果為隨機平衡（stochastic majorization）和等效頻寬理論（effective bandwidth）。隨機平衡的理論統一了近20年於隨機排序理論的大部份重要論文，也為張教授贏得了IBM傑出創新獎（Outstanding Innovation Award）。而等效寬頻理論的提出，解決了當時網路上公開的最困難問題：隨機服務品質保證。此一理論因其重要性，已被廣泛引用。

(四) 清華時期

張教授於1993年8月回國到清華大學服務迄今，除了繼續等效寬頻理論的研究之



外，這二十幾年的主要研究成果為(i)網路系統理論、(ii)布可夫-范紐曼交換機，和(iii)光佇列、(iv)網路科學，茲分述如下：

(I) 網路系統理論

張教授於1997年在清華大學提出網路系統理論，有別於等效頻寬理論，網路系統理論專注於最壞情形分析。此一理論被譽稱為“網路計算工具（Network Calculus）”。張教授將此一理論和等效頻寬理論寫成研究專書“Performance Guarantees in Communication Networks”。此書由Springer-Verlag於2000年發行，並廣泛地被許多所大學採用於研究所課程。

(II) 布可夫-范紐曼交換機

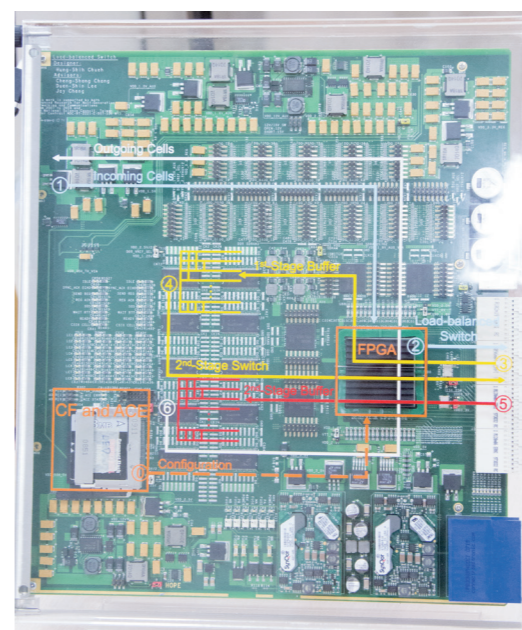
除了通訊網路理論的研究外，張教授並於1999年從事高速交換機的研究。提出一系列布可夫-范紐曼（Birkhoff-von Neumann）交換機的架構，為高速交換機的領域開闢了新的研究方向。隨著研導計畫及卓越計畫的發展，張教授在清華大學組成高速交換機的研究團隊。從理論架構，晶片設計至系統合成，完成了世界上第一個布可夫-范紐曼交換機的原型機。成員包括李端興教授、許雅三教授、邱德教授、吳仁銘教授、馮開明教授、徐碩鴻教授、鄭傑教授，以及研究生30餘人。此研究團隊將在清華的研究成果，推至世界舞臺。團隊的研究成果於2006年獲得旺宏金矽獎一等獎及最佳創意獎（邱德教授代表領獎）。並於2008年以高速網路交換技術之傑出成果獲選為【「科學50」—國科會50科學成就】之一。

(III) 光佇列

全光信號通訊具有高速、寬頻及保密性等優點，是未來通訊網路的發展重點，但其目前之瓶頸在光電轉換產生之延遲及耗能，其根本解決之道在創造一個實用的光佇列元件。雖然有許多團隊參與研發，但進展有限。張教授及其清華大學的研究團隊，十年前亦開始從事光佇列的研究，希望能將光封包（optical packet）直接儲存，而不需轉換成電的訊號。其研究已有突破性的理論成果。他們在此領域的第一篇長篇論文被收錄於2004年IEEE Transactions on Information Theory，並於2006年獲得第四屆有岸科技論文獎。後續的另一篇論文亦於2007年獲得第五屆有岸科技論文獎。

(IV) 網路科學

2005年美國國家學院科學研究委員會依據科學方法將「網路科學」定義為「有組織的網路知識」。這個需要整合各種不同領域的知識：包含網際網路、電力網路、社群網路、實體網路以及生物網路。對於網路科學，主要的數學工具是動態圖形研究，用來處理巨量資料（Big Data）。張教授及其清華大學的研究團隊，五年前亦開始從事網路科學和大數據分析的研究，目前之研究重點及方向是嘗試將對社群偵測及網路分析建立一個廣義之架構，一系列論文已陸續在Network Science期刊和IEEE Transactions on Network Science and Engineering發表。應用方面，張教授及其研究團隊將透過執行中之



103年度科技部前瞻通訊網路技術開發與應用專案計畫「知識發掘技術及其在巨行動視訊和醫資訊之應用」，運用工研院巨資中心之運算平臺開發新技術，包含影視訊處理、社群網路分析、巨資安技術及高效能機器學習技術，並進而開發應用於4G/5G寬頻網路之生活記事影片的濃縮、分析與分享軟體系統。此系統將可用來處理由穿戴式裝置及行動視訊設備所收集之巨視訊資料，並尋求和合作廠商將本計畫所開發技術技轉及商品化之機會。

具體學術成果

(一) 通訊網路效能保證

過去近二十年，張教授致力於通訊網路的研究，發展出兩套理論：(i) 等效頻寬理論（Effective bandwidth）和 (ii) 網路系統理論（Deterministic filtering theory for traffic regulation and service guarantees）。網路系統理論已成為通訊網路分析的基石，被譽稱為「網路計算工具（Network Calculus）」。

(二) 高速交換機（High speed switching）：

張教授近十幾年來亦從事高速交換機的研究。交換機是網際網路的核心元件，亦是各種網路流量匯集及交換之處，因此能隨網際網路頻寬需求而提升速率的交換機是下一代網路之核心技術。根據布可夫-范紐曼兩位數學家的理論，張教授及其研究團隊發展出一系列高速交換機的理論及架構。目前市面上的高速交換機，如思科（Cisco）12000，都是根據解決衝突的輸入緩衝型交換機。張教授所提出的交換機架構證明不需解決衝突，亦可達成百分之百的交換率。而且當網路交通越繁忙，此交換機愈能有效降低平均封包延遲等待的時間。由於此架構具高度的可擴充性，可以用來建造更高速的交換機以配合光纖的頻寬。

(三) 光佇列（Optical queues）：

張教授及其清華大學的研究團隊，十年前亦開始從事光佇列的研究。大家都知道光通訊的時代已經到來，然而全光網路的時代卻尚未來臨。主要的原因是目前網際網路傳送資料的方式是先儲存後傳送（store-

and-forward)，而目前網際網路仍大多使用電子式記憶體來儲存而後進行排隊處理。如能儲存光資訊，就可以避免將光資訊轉換成為電子訊號，因而達到全光網路之理想。然如眾所知，光是不斷以光速在前進，如何儲存呢？簡單的想法就是把光「導」到一段「光纖」裡，讓光在裡面兜圈子，直到適當的時機才將光放出來。如果只有單一光封包（optical packet），這樣的想法還算容易，但網際網路代表的是幾乎無限不斷湧進的光封包，而讓這些光封包以有秩序的方法傳出，便需要讓這些光封包排隊（正如同我們搭乘公車和捷運一樣）。光佇列就是能讓光封包排隊的機制。如前所述，要引導幾乎無限多的光封包好好排隊，所需的複雜度讓世界上即使一流的研究機構也為之卻步，直到張正尚教授及其同事李端興教授在清華大學的研究團隊取得重大的理論突破。張教授和李教授找出一種可以以遞回的方式，由小的光佇列組成大的光佇列，而所需的光交換（引導）元件和光纖的長度是最小的。此外，引導的過程是讓光封包自行引導（self-routing），此一發現，大大的簡化了系統的設計。

（四）隨機平衡（Stochastic majorization）：

張教授在IBM研究中心工作時，發展出一套隨機平衡的理論。當比較兩個向量(1,4)和(2,3)時，人們大多會說(2,3)比(1,4)平衡些。但是在隨機環境下，如何比較兩個隨機向量（random vectors）？張教授提出一個新的比較方法並對此方法做深入的理論建立與探討。給予在平行處理（parallel processing）中的工作分配平衡（load balancing）數學上的定義，證明與詮釋。並建立隨機置換不等式的理論架構，應用於隨機排序理論（stochastic scheduling）。此新的置換不等式不僅統一而且推廣近20年於隨機排序理論裡的大部份重要論文。由於在隨機平衡上的重大科學貢獻，張教授也因而獲頒IBM傑出創新獎（Outstanding Innovation Award）。

（五）網路科學（Network Science）：

網路科學因包含相當廣闊之領域，也因為由不同領域的研究人員參與，所用的研究方法亦因之不同，而缺乏共同的基礎架

構（foundation）。在理論架構方面，當務之急是發展共同及廣義之基礎架構。以社群偵測（community detection）和資料分類（data clustering）為例，其主要功能是找出緊密連結的（網路）節點，進而將巨量資料化繁為簡，使得在有限資源（包括運算能力及記憶體空間）限制情況下，能夠快速對巨量資料進行分析並擷取其意涵。是此，社群偵測是分析網路巨量資料最根本的問題之一。然而社群偵測這個問題在定義上是不明確的，關於如何才能算是一個「好」的社群（community），目前文獻上存在著多種的見解與看法。張教授及其研究團隊過去五年之重要研究成果是對於社群定義和社群強度（community strength）評估發展了一套完整的機率架構，不僅提供深入的物理現象觀察，對各種網路分析方法也有統一的解釋。

（六）感知無線網路（Cognitive Radio Networks）：

多通道會合問題是在感知無線網路中的一個基本問題。該問題是兩個次級用戶（Secondary Users）在一個未被主要用戶（Primary Users）所阻斷一個公共通道會合。在大多數工程文獻中解決這樣的問題的基本想法是讓兩個用戶選擇他們自己的通道跳頻序列，然後當兩個用戶在同一時間跳至一個未被主要用戶所阻斷之公共通道會合。張教授及其研究團隊針對多種不同之感知無線網路環境和假設，推導出於多通道會合問題的根本極限和提出最佳通道跳頻序列。

未來研究重點及方向

（一）網路科學（Network Science）和大數據分析（Big Data Analytics）

對於網路科學，主要的數學工具是動態圖形研究，用來處理巨量資料（Big Data）。這些年來已可常見在Nature和Science的文章討論此類問題，諸如生物心臟的同步跳動、基因調控網路、合作與競爭的演化、動態社群網路的社群偵測、及兩黨政治形成的數學模型等。然將網路科學和大數據分析的應用發揮得淋漓盡致的莫非是Google、facebook和Apple這些大公司，他們如白雪公主童話故事中的魔鏡般的不時監

控我們的一舉一動，回答我們的問題，並進一步預測我們的下一個動作。顯而易見的是誰掌握這些魔鏡，誰將在未來的發展佔盡優勢。

張教授及其研究團隊目前之研究重點及方向是嘗試將對社群偵測及網路分析建立一個廣義之機率架構，對於如何才能算是一個良好的社群、以及一個社群的強度（community strength）為何，寫下一個正式的定義。透過此機率架構，不僅可以對中心性（centralities）、社群結構進行分析、並提供更多的物理觀點以及統一的解釋外；還可以在確保社群強度的條件下，為社群偵測開發高效演算法。此研究成果，已在Network Science期刊發表（參考著作15），此外我們也在度量空間中發展出一套分群理論（參考著作18）。在這個理論中，我們提出一個名為K-sets的新分群法，可以在度量空間中將資料分群。我們的實驗結果顯示K-sets演算法比K-means和K-medoids（這兩種方法很常被用在分群的文獻上）來得有效。

在國際學術活動參與方面，張教授於2014年獲聘為IEEE Transactions on Network Science and Engineering期刊之Associate Editor，是該期刊在亞洲地區唯一的編輯委員。

（二）高速交換（High Speed Switching）和資料中心網路（Data Center Networking）

交換機是網際網路的核心元件，亦是各種網路流量匯集及交換之處，因此能隨網際網路頻寬需求而提升速率的交換機是下一代網路之核心技術。長期以來，我們一直引領著高速交換的研究，而且高速交換一直是我們鍾愛的研究主題之一。我們在高速交換的第一篇論文引用來自兩名偉大數學家布可夫和范紐曼的分解演算法解決100%流量的問題。即使布可夫馮紐曼交換機是個很優美的理論，在現實中依然存在一個關鍵的缺點。它必須知道流量的需求才能進行布可夫馮紐曼分解。如同網際網路的流量是非常動態的，流量需求的變動無法被輕易的補償或是量測。是否可以在不知流量需求的情況下建造一個高效能的交換機成了一個自然的問題。再一次，張教授很幸運地提出了一個在布可夫馮紐曼交換機前增加一個負載平衡交換機的想法。這個想法進而形成

了負載平衡布可夫馮紐曼交換機。根據趙鴻翔教授（Prof. Jonathan Chao）的評論，負載平衡布可夫馮紐曼交換機開啟了一個新的研究大道。交換機依然存在許多未解的問題，而張教授已經發表了一系列的論文在IEEE INFOCOMs、IEEE/ACM Transactions on Networking以及IEEE Transactions on Communications。近五年(2011年至2015年)在高速交換機領域所發表之期刊論文，主要研究重點在於高速匯流排中避免串擾之方法與效能分析，研究成果並獲美國專利（專利號碼：8514895 B2）。

高速交換新興的問題之一就是資料中心網路。因為雲端計算將運算工作和資料儲存由桌上型和可攜型電腦移到大型資料中心。在大型資料中心的電腦該如何彼此連結成了一個重要的研究課題。此一新興而又重要的研究領域，十分需要臺灣學者及業界對其投入大量的關注。基於我們長期在交換機領域的研究，有非常傑出的研究成果，希望能進一步將這些研究成果推展至資料中心網路上。規劃及進行中的研究課題包括：資料儲存、資料中心的架構及效能、資料中心之節能與傳輸、資料交換及容錯，和資料安全。希望藉由此研究，能為國家在資料中心網路的研究領域扎根，培養未來的傑出人才，進而提昇國內業界在資料中心的研發能力。

教學課程綱要

（一）、網路科學（Network Science）

課程說明（Course Description）

在2005年，美國國家學院科學研究委員會（National Research Council of the National Academies in the U.S.）認知到網路在多個研究領域，包括網際網路、電力網路、社會網路、生物網路、物理科學系統、生命科學系統的重要性。在不同領域的學者專家對其所認知的“網路”所用的工具及字彙不盡相同。此課程是希望藉由網路的架構及動態分析的理論來統一詮釋人們在不同領域所累積的知識，並介紹目前在網路科學方面最新的發展及其在社群網路（Social Networks）和巨量資料（Big Data）之應用。

本課程綱要如下：

- What is Network Science?

- Mathematics of Networks
 - Network representations
 - Classes of networks
 - Independent paths and cut sets
 - Network coding
 - Diffusion and random walks
 - Distributed averaging and random gossiping in social networks
 - Majorization theory
- Measures and Metrics
 - Centralities and ranking in social networks
 - Similarities
 - Clustering coefficients
 - Homophily
 - The general probabilistic framework for structural analysis
- Network Algorithms
 - Data structures for graphs
 - Graph partitioning
 - Community detection and clustering in large social networks
 - Link prediction and recommendation systems
- Network Models
 - Random graphs
 - The configuration model
 - Preferential attachment
 - The duplication model
 - The small-world model
 - Exponential random graphs
- Network Dynamics
 - Percolation and emergence
 - Random removal of vertices
 - Epidemic models and influence propagation in social networks
 - Synchronization

(二) 交換機結構 (Packet Switch Architectures)

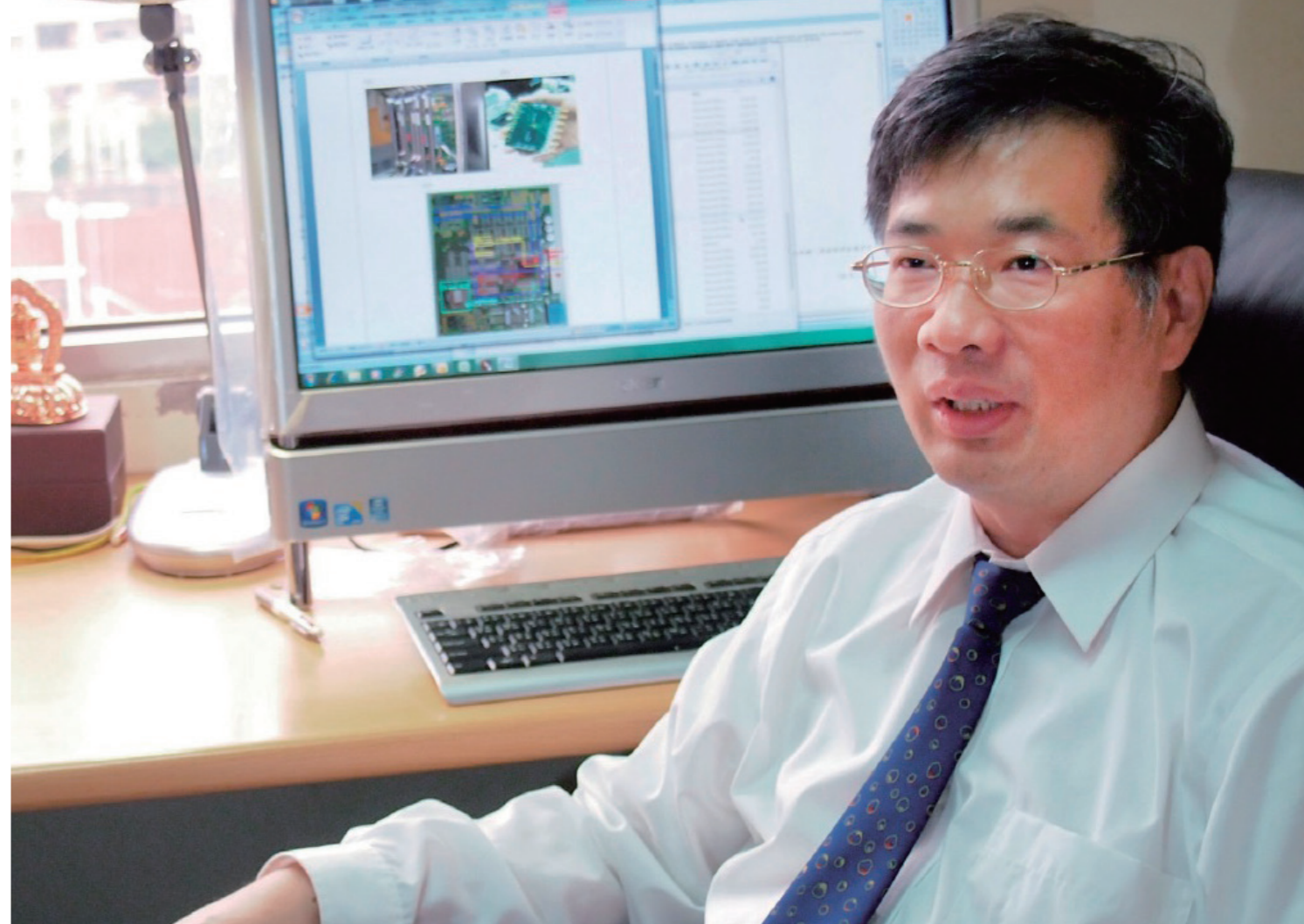
課程說明 (Course Description)

交換機是網際網路的核心元件，亦是各種網路流量匯集及交換之處，因此能隨網際網路頻寬需求而提升速率的交換機是下一代網路之核心技術。在此課程將採用張教授和其同事李端興教授所著“Principles,

Architectures, and Mathematical Theory of High Performance Packet Switches”的研究專書，佐以目前交換機發展之論文。從介紹交換機的基本架構和原理開始，進而探討張教授和李教授所發展出的布可夫-范紐曼交換機和光佇列的理論及架構，最後導入目前交換機架構在雲端計算和資料中心網路的發展及設計趨勢。預期學生修過此一課程後將對交換機的各式架構和原理與未來之發展有完整的了解，此一課程可為國家在雲端計算和資料中心網路的發展培育優秀之研發人才。

本課程綱要如下：

- Basic Architectures and Principles of Packet Switches
 - Output-buffered switches
 - Input-buffered switches
 - Birkhoff-von Neumann switches
 - Three-stage constructions of switch fabrics
 - Two-stage constructions of switch fabrics
 - Exact emulation
 - Knockout switches
- Load Balanced Birkhoff-von Neumann switches
 - Load balanced Birkhoff-von Neumann switches: one-stage buffering
 - Switch fabrics in the load-balanced Birkhoff-von Neumann switches
 - Load balanced Birkhoff-von Neumann switches: multi-stage buffering
 - Mailbox switches and CR switches
- Optical Queues
 - Direct implementation of optical RAM
 - Time slot interchange
 - 2-to-1 buffered multiplexers
 - FIFO multiplexers with variable length bursts
 - FIFO queues
 - Building optical queues from classical switching theory
 - Priority queues
- Current Development of Packet Switches
 - Cloud data center networks
 - Network virtualization
 - OpenFlow
 - Software defined networks



高速網路之推手

自強不息

採訪、撰稿：吳黎朔

「因為年齡關係，雖然榮幸，但心情是平靜的。」張正尚教授緩緩道出得獎後的心情，話語中有著返璞歸真的淡然。雖然不同於之前獲得學術獎時的欣喜若狂，髮鬢微白的他此時心中卻是充滿感激，感謝服務多年的學校、合作夥伴的支持，還有國家對他終生努力研究的肯定。

留學之初，就決定回臺

大學畢業後，張教授決定前往美國留學，只因在那個時代，臺灣工商業尚未興盛，人民的生活較為困苦，相對於國外，臺灣的機會並不多，所以張教授在臺大的同學，出國留學者就超過一半以上。到了國外，家境並非富裕的他，知道到了這就沒有退路，只有認真讀書這條路可走，所以全心全意專注於此。「到美國時，我不知道秋天楓葉會變紅，冬天會下雪，唯一知道的是——我來這是要求學。」在這種心態下，分分秒秒都得精確利用，辛苦與努力是必然的，但也因有明確且堅定的目標，張教授才能在短短四年內依序取得了美國哥倫比亞大學電機工程的碩士與博士學位。

能以不富裕的家境在美國完成學業，張教授最感謝大學時的恩師李琳山教授、張進福教授與李學智教授的推薦，讓他順利申請到哥倫比亞大學並獲得全額獎學金之補助。研究所畢業之後，張教授進入了IBM的湯瑪士·J·華生研究中心（Thomas J. Watson Research Center），期間提出了隨機平衡（Stochastic Majorization）和等效頻寬理論（Effective Bandwidth），其中的隨機平衡理論更為張教授贏得了IBM傑出創新獎。即使在異國有如此優異的表現，但張教授出國留學之始，就打定主意要回臺灣，加上母親也從小學退休了，張教授希望回臺灣陪伴她，也能為故鄉貢獻所學，所以進入IBM四年後，即回國擔任清華大學工程研究所副教授。

IBM雖屬業界，但身處研究中心內，與真正進入業界仍有差別。進研究中心之初，上司就曾對他說研究中心是IBM最特別的部門，不需做任何計畫，可以自由發揮創意，做想做的研究。因為這個特性，全世界最聰明的研究者，都願意進入這個資源豐富卻不受拘束的機構，張教授也因此開始了他的研究路。在IBM愉快的經驗，導致張教授回國後，不考慮薪資較高的業界，而是選擇到研究單位工作，享受著研究所帶來的喜悅。直至今日他在清華大學已二十多年，不但提出許多重要的學術理論，也為臺灣資通訊業培養出許多人才。

相較於臺灣，美國各式各樣的資源多，研究環境也較好，單以學術而論，或許留在美國成就會較大，但是他後悔回臺灣。「回國二十幾年來，我的生命相當豐富，經歷了很多事，我想那是在美國所碰不到的。臺灣是我的家，從小就在這長大，身旁都是朋友與親戚，這種家的感覺是美國無法取代。」

洞見趨勢，享譽國際間

大學時期，網際網路正開始發展，張教授知道網路的興盛是必然的趨勢，然而卻沒有一個完整的理論和架構來支撐，所以在IBM的四年及回臺灣後，他都是從事網路方面的研究，先後提出了被譽稱為「網路計算工具（Network Calculus）」的網路系統理論、隨機平衡、布可夫—范紐曼交換機和光佇列等研究成果，後兩者更被張教授譽為生涯中令人興奮的兩個研究。

交換機是網路的核心，然而隨著網路頻寬的需求量大增，記憶體存取速度將無法滿足高速交換機的需求，只能增加高速交換機的速度來滿足所需。在一次交換國際會議上，與會學者們對於速度需以倍數增加的論點，讓他發現其實可以用布可夫與范紐曼兩位數學家的理論解答。他便以此為基礎，完成論文的撰寫，之後便由清大高速交換機的研究團隊，從晶片設計開始至系統合成，一步步完成了世界上第一個布可夫—范紐曼交換機的原型。此成果發表後，不但被史丹佛大學Prof. Nick McKeown譽為「高速率的交換機跨出重要的一步」，也獲得旺宏金矽獎一等獎及最佳創意獎與國科會50科學成就，此理論如今更被史丹佛大學、德州大學奧斯汀分校及香港科技大學採用於正規教學課程。張教授自豪道：「此理論之所以受到重視，是因為它能達到百分之百的流量。」

光佇列的研究則是始於十二年前。因為光通訊的時代已來臨，但網際網路傳送資料的方式是先儲存後傳送，目前網際網路大多使用電子式記憶體來儲存而後進行排隊處理，導致遲遲無法到達全光網路的時代。光佇列就是能讓光封包排隊的機制，張教授找出一種以遞回的方式，由小的光佇列組成大的光佇列，過程則由光封包自行引導，建造光佇列的複雜度大幅降低。

談到未來，張教授笑稱自己已經過了最黃金年代，無法像年輕時那麼有衝勁，研究或許也無法有重大突破，所以現在想把過去的研究成果好好的整理一下，有系統、有條理的將它們傳承給下一代。此外，大數據與機器學習是目前最流行的知識，也是未來發展的趨勢，從五、六年前張教授就已涉及這兩個課題，並希望能夠推廣，讓更多年輕研究者能了解進而研究。

自主學習，培養國際觀

年輕時，個性比較急，對學生求好心切，即使學生很努力但仍達不到要求時，張教授的口氣就會較為急躁、嚴厲，張教授對此有些後悔：「以前的我怎麼會是這樣呢！」現在，張教授充分了解每個學生都有自己的特質，不能用同一種教學方式，也不能抱有相同的期待，身為老師要做的是自我調適，因材施教。不過有一點是張教授要求學生一定要做的——「自我學習」，因為他認為主動學習很重要，學習要靠自己而非老師，老師能做的只是將專業知識與人生經驗傳授給學生，如果事事都仰賴老師，那只會被社會淘汰。

如今時代的發展，與資訊脫離不了關係，因此仍是有很多人想從事相關工作。張教授勉勵這些人，要好好的培養基本能力，特別是寫程式的能力。若想要進入這些領域，做研究或工作的話，務必在年輕時就培養好設計程式的能力。此外，在這個資源、資訊充足的年代，缺少的反而是機會，所以必須培養國際競爭力，對於數字、語言、國際觀更要特別加強，才能跟上大數據的時代，也才能獲得有限的機會。

觀看電視，激發新想法

張教授年輕時的休閒活動是打桌球，現在體力較差，只能散散步，有時坐在馬路旁，看著人來人往，不經意的就會產生一些新的想法，解決研究中遇到的問題。不過讓人意外的是，看電視也是他激發想法的方式之一，「雖然看著電視，但我腦中仍是思考著研究中的問題。」張教授如此表示。人的大腦是神經網路，需要被激發，雖然不知激發出的方法，但看電視卻能帶給他一些莫名其妙的想法，進而激發一些新的點子或方法，來解決腦中的疑問。

能獲得國家講座的榮耀，張教授感謝清華大學及科技部長官們的支持與鼓勵，團隊的幫忙與激發，讓他能有足夠的資源與助力，做出一些小成就。再來是母親，從小父親意外過世，她辛苦負起家中重擔，培養兩兄弟，使他們各有所成，但他們卻無法給母親最好的生活，張教授對此有著無盡的感謝與愧疚。

