

天下文化  
Science Culture

# 連結

## NEXUS

SMALL WORLDS  
AND THE GROUNDBREAKING  
SCIENCE OF NETWORKS

混沌、複雜之後，  
最具開創性的「小世界」理論

by Mark Buchanan

淡江大學數學系教授 胡守仁 譯

## 連 結

混沌、複雜之後，最具開創性的「小世界」理論

原 著 / 布侃南  
譯 者 / 胡守仁  
策 畫 群 / 林和 (總策畫)、牟中原、李國偉、周成功  
系列主編 / 林榮崧  
責任編輯 / 畢馨云  
美術設計 / 劉世凱  
封面設計 / 劉世凱

---

出版者 / 天下遠見出版股份有限公司  
創辦人 / 高希均、王力行  
天下遠見文化事業群 總裁 / 高希均  
發行人 / 事業群總編輯 / 王力行  
天下文化編輯部總監 / 林榮崧  
版權部經理 / 張茂芸  
法律顧問 / 理律法律事務所陳長文律師、太穎國際法律事務所謝穎青律師  
社 址 / 台北市 104 松江路 93 巷 1 號 2 樓  
電 話 / (02) 2662-0012 傳真 / (02) 2662-0007 ; 2662-0009  
電子信箱 / cwpc@cwgv.com.tw  
直接撥帳號 / 1326703-6 號 天下遠見出版股份有限公司

---

電腦排版 / 極翔企業有限公司  
製 版 廠 / 凱立國際資訊股份有限公司  
印 刷 廠 / 崇寶彩藝印刷股份有限公司  
裝 訂 廠 / 台興裝訂廠  
登 記 證 / 局版台業字第 2517 號  
總 經 銷 / 大和圖書書報股份有限公司 電話 / (02) 2981-8089  
出版日期 / 2003 年 09 月 15 日第一版  
2004 年 2 月 10 日第一版第 3 次印行

定 價 / 320 元

原著書名 / Nexus: Small Worlds and the Groundbreaking Science of Networks  
Copyright © 2002 Mark Buchanan  
Complex Chinese Edition Copyright © 2003 by Commonwealth Publishing Co., Ltd., a member of Commonwealth Publishing Group  
Published by arrangement with The Garamond Agency through Arts & Licensing International, Inc., USA.  
ALL RIGHTS RESERVED

ISBN: 986-417-185-2 (英文版 ISBN: 0-393-04153-0)

書 號 : CS084



天下文化書坊 <http://www.bookzone.com.tw>

## 國家圖書館出版品預行編目資料

連結—混沌、複雜之後，最具開創性的「小世界」理論  
／布侃南（Mark Buchanan）著；胡守仁譯.--第一版.--  
台北市：天下遠見出版；〔台北縣三重市〕：大和圖  
書書報股份有限公司總經銷，2003〔民92〕  
面；公分.--（科學人文；84）  
譯自：Nexus: Small Worlds and the Groundbreaking  
Science of Networks

ISBN 986-417-185-2（平裝）

1.物理學—哲學，原理

330.1

92015206

# 典藏天下文化叢書的5種方法

## 1. 網路訂購

歡迎全球讀者上網訂購，最快速、方便、安全的選擇  
天下文化書坊 [www.bookzone.com.tw](http://www.bookzone.com.tw)

## 2. 請至鄰近各大書局選購

## 3. 團體訂購，另享優惠

請洽讀者服務專線 (02) 2662-0012 或 (02) 2517-3688 分機904  
單次訂購超過新台幣一萬元，台北市享有專人送書服務。

## 4. 加入天下遠見讀書俱樂部

- 到專屬網站 [rs.bookzone.com.tw](http://rs.bookzone.com.tw) 登錄「會員邀請書」
- 到郵局劃撥 帳號：19581543 戶名：天下遠見出版股份有限公司  
(請在劃撥單通訊處註明會員身分證字號、姓名、電話和地址)

## 5. 親至天下遠見文化事業群專屬書店「93巷·人文空間」選購

地址：台北市松江路93巷2號1樓 電話：(02) 2509-5085

科學人文 ⑧4

Science Culture

# 連結

混沌、複雜之後，  
最具開創性的「小世界」理論

## Nexus

Small Worlds and the Groundbreaking  
Science of Networks

by Mark Buchanan

布侃南／著 胡守仁／譯

## 作者簡介

### 布侃南 (Mark Buchanan)

物理學博士，曾任《自然》(*Nature*) 期刊及《新科學人》(*New Scientist*) 雜誌編輯，現在為科學作家，目前住在法國。

## 譯者簡介

### 胡守仁

台灣大學數學系畢業、美國芝加哥大學（University of Chicago）數學博士，現任淡江大學數學系教授，譯有《毛起來說三角》、《希爾伯特的23個數學問題》（均為天下文化出版）。

序

## 天涯若比鄰

李國偉

一九九九年，美國國家工程科學院向六十個專業學會發出問卷，請他們推薦二十世紀最偉大的工程成就。初步名單竟然長達一〇五個項目，最後工程學院從中選出了二十項最傑出的貢獻。你也許會以為電腦或者人類登月是首屈一指的功績，但是排名榜上高居第一的卻是廣泛的電氣化，特別是北美的電流網路。今年八月十四日的傍晚，在極短的時間裡，二十世紀最偉大的工程傑作就眼睜睜地大出紕漏。東起紐約西至克里夫蘭，更橫跨到加拿大境內，當夜幕漸漸低垂之際，卻不見萬家燈火冉冉升起。反而是歸家民衆有如難民潮般，在迷茫與憂慮的心情中，游動在黑暗的紐約大道上。

北美電流網路到底發生了什麼差錯，因而引發了大規模的停電，一時根本沒有人搞得清楚。最偉大工程傑作的電流網路，也許只能用想像的方式來讚嘆它的宏偉規模，然而網路的脆弱性卻不需要任何學究式的證明，兩千萬紐約大都會居民無不有切膚之痛的感受。電流網路這種雖然有實體承載，卻在日常生活中感覺抽象的廣袤體系，以一種近

乎悲劇的方式，讓現代人無法輕忽它的存在。對於網絡性質的理解自然成爲維繫文明生活的關鍵學問，而聰明的工程師還敢不儘速找出阿奇里斯（Achilles）的單門嗎？

我們比較容易體會電流網絡這類實體網絡，卻往往沒有覺察到現代人根本是生活在千絲萬縷的虛擬網絡裡。譬如，我們是親屬與人際關係網絡裡的一個結點，往歷史回溯可以跟北京猿人還是非洲露西拉上線。我們也是經濟與社會生活網絡裡的一小段環節，八竿子之內說不定就打到江澤民或是比爾蓋茲。不過察覺到網絡可以成爲科學研究的對象，卻是相當晚近的事。一七三六年偉大的數學家歐拉（Euler）解決科尼希堡（Königsberg）的七橋問題，可說是專門研究網絡的數學學科「圖論」的濫觴。但是在十八、九世紀裡，圖論根本沒有茁壯成獨立領域的環境，僅僅出現一些零星的個別結果，並且還常以數學遊戲的面貌與世人相見。我們幾乎可以說經歷了兩百年的孕育，第一本圖論專著才於一九三六年問世，而其作者名字也恰巧是科尼希（König）。

自十七世紀牛頓與萊布尼茲發明微積分以來，處理連續現象的理論一直主導了數學的發展。與連續現象對比的離散現象因而長期遭受冷落，離散數學也好似衰敗成了數學裡的貧民窟。二次大戰後電腦的發展不僅促發了另一次的工業大革命，而且因爲數位電腦本質上的離散性，深深地改變了我們對大自然的看法。認識離散現象的需求因而大幅度增長，有關網絡的研究也就在五〇年代之後開始起飛。台灣在八〇年代之後，也逐漸



出現專門研究圖論的學者。目前已經成長為國內十分活躍的學術領域，並且在國際上也有相當的知名度。

其實最近半個世紀裡，社會科學家對於人際關係的網絡已經有很多實證探索，只是這些成果並沒有跟數學的研究產生緊密的結合。一項主要的理由可能是因為數學家喜歡證明乾淨漂亮的定理，而社會的網絡都太複雜奧妙，雖然能觀察出一些籠統的規律性，但是不容易用精確敘述的定理來總結經驗。數學家喜歡用的一些基本隨機網絡模式，往往無法令人滿意地捕捉到社會網絡的特徵。

### 網絡研究帶來新的視野

一九九八年，美國康乃爾大學華茲（Watts）與史楚蓋茲（Strogatz）的「小世界」理論一出，為網絡研究帶來一股清新的風氣，猛然間只要能利用網絡來建立模式的自然或人為系統，似乎都可見「小世界」的翩翩身影。幾乎同時期，法魯托斯（Faloutsos）兄弟從觀察網際網路（Internet）、巴拉巴西（Barabási）的研究群從觀察全球資訊網（World Wide Web）所發現的冪次律，也不斷在各種的網絡模式裡出現。

這一波的網絡新研究有幾個特色，第一是高度的跨學科性，網絡資料的來源包羅萬象，從學術合作、電影製作、食物鏈演化、傳染病擴散，到文件的連結，遠遠跨越出任

何單一學科的專業興趣範圍。而參與研究的人員，除了數學家、電腦科學家、社會學家，甚至跑進來一大堆物理學家。

第二個特色是實證資料、數學理論推演，以及電腦模擬的高度整合性。這其中尤其是模擬所帶來的一些經驗與教訓，因為網絡的規模過於龐大，很難轉化成嚴格證明的數學定理。這類研究方式已經成爲電腦耀眼發展後必然興起的現象，然而如何從中吸取正確而有智慧的資訊，才不至於產生過度以偏蓋全的流弊，仍然是有關模擬的方法論中亟待深耕的課題。

第三個特色是複雜網絡的研究帶來一種新視野，使得以往感覺科學無力企及的領域，也有可能讓人發掘出潛伏的規律。譬如歷史事件的發生充滿了偶然性，似乎無法產生任何有意義的科學性預測。但是在歷史事件的相互關連中，就必然隱藏了網絡的客觀規律。如何辨識出這些規律，如何理解這些規律在歷史上發生的潛在作用，有可能成爲科學方法浸潤入歷史學的新途徑。

近年來許多引人入勝的新興學科，例如混沌、碎形、複雜系統、認知科學、生物資訊、等等，多半因爲能跨越既有的學科界線，而得以運用新鮮的手法，發現有趣的現象。雖然進一步理解現象與解決問題的工具，不乏原來已經就在手邊的素材，但是成功的關鍵卻正在於能掌握推陳出新的眼光。本書所報導的許多進展，都印證了這種值得注

意的趨勢。反觀國內近年因為政府一方面壓縮大學科研經費，另一方面又急速擴充大學數量，更加稀釋了原應厚植高等教育的資源。即使是選擇性地補助所謂的「卓越」計畫，只是愈發刺激學者鞏固自身學科堡壘的動機。因此在高度跨學科的新興領域研究上，我國遠遠落後於世界先進潮流，許多部門如非完全交白卷，也是極度乏善可陳。其實像本書所宣揚的科學突破，多半不需龐大經費以及雄厚人力，只要敏銳的眼光與巧妙的實驗設計，再配備相當的電腦設備，就有小兵立大功的機會。反過來檢討會障礙跨學科進步的力量，十之八九肇因於維護既得利益的偏見。我國科技研發的領導階層，是不是可以從閱讀本書中獲得一些啓示，從而調整改善獎勵與補助的制度，讓珍貴的資源產生出更多有意義的創新？

本書第七章裡提到美國的電流網路應屬於平等式，並不存在巨大的聯絡叢結。但是紐約大停電的教訓，讓我們知道分散也不能保證安全。龐大的網絡系統裡，除了連結的拓樸構形之外，還有許許多多值得納入的參數有待深入研究。本書通過胡守仁教授流暢專業的翻譯，使我們在天涯若比鄰的網絡世界裡，那麼真切地感覺到休戚與共的利害關係。也希望e世代的新血輪經由閱讀本書，而興起開拓科學新天地的豪情壯志。

（本文作者為中央研究院數學研究所研究員）



# 連結

## 目錄

混沌、複雜之後，最具開創性的「小世界」理論

序  
天涯若比鄰

李國偉

4

前奏曲

你能否想像，

人類的世界有可能依循著一些數學法則？

15

第一章

奇異的連結

這個世界在人際關係的意義下，

要比我們所想的小得多。

33

第二章

點頭之交的力量

如果謠言是經由弱連接傳播，

就會傳得更遠得多。

49

## 小世界

使世界變小的長途人際捷徑，

在我們的社交生活中多半是隱形的。

71

## 大腦的運作

小世界的模式，

確保了大腦的各種功能區只相距幾步路。

91

## 「小世界」資訊網

網際網路居然有小世界的性質，

這十分令人驚訝。

109

## 意外的科學

由混沌及隨機之中，

會不會也冒出秩序？

133

## 富者愈富

弄了半天，

它竟是小世界的天然引擎。

159

## 代價與後果

網路的小世界架構是有助於、

還是有害於復原能力呢？

183

## 糾纏不清的網

透過小世界的觀點檢視生態系，

只是個開始。

211

## 引爆點

粗略的說，

臨界態有點像是引爆點。

239

第十一章

小世界式的爆發

最重要的問題或許是，

病毒能否利用「六度分隔」？

259

第十二章

生存法則

布修和梅札赫發現到，

最後總是由少數人占有大多數的財富。

281

第十三章

這可不是巧合

即使在排山倒海的紊亂無序之中，

其實充滿了秩序。

301

原書注釋

320

本書重要人物簡介

340



## 感謝語

我要感謝許多科學家，慷慨提供他們的圖片、數據等有用的資料，這些資料對這本書非常重要。特別要感謝的包括了：Duncan Watts、Steve Strogatz、Thomas Blass、Mark Granovetter、Albert-László Barabási、Hawoong Jeong、Jack Scannell、Harry Swinney、Nebojša Nakićenović、Luis Amaral、Gene Stanley、Peter Yodzis、Gennady Gorelik、John Potterat、Alden Klov Dahl、William Darrow、Alessandro Vespignani、Paul Meakin、Jean-Philippe Bouchaud、Marc Mezard、Hal Cheswick、Daniel Goldman、David Lavigne、Valeri Makarov、Manuel Velarde、Bill Krantz、Nigel Gilbert、Klaus Troitzsch、Brad Werner，以及 Mark Kessler。我必須聲明，上述這些學者並不一定同意我在書中所寫的內容，甚至大部分的內容，因此書裡若有任何謬誤或錯誤觀念，純屬我個人的錯誤。

我也要感謝我的經紀人 Kerry Nugent Wells 和 W.W. Norton 出版社的編輯 Angela von der Lippe，感謝他們對這個出版企畫有信心，以及在改進這本書時的鼎力協助。最重要的，我更要感謝妻子 Kate，在我這麼多個月的寫作期間，不斷給予的支持與鼓勵。

布侃南

寫於法國 Notre Dame de Courson

2001年11月