

全球城市網絡連結形態之探討-以飛機航線為例

呂正中¹ 賴世剛²

摘要

全球化現象自二十一世紀以來已逐漸明顯，幾乎也已成爲現今的趨勢潮流，其影響的層面相當廣泛，包含城市內的各项元素如經濟、政治、社會、產業、貿易、文化、觀光等。在此全球網絡中，可將各城市視爲網絡節點，此種做法可繪製出全球城市間的連結網絡圖，使全球城市間的連結關係概念化，如此將會有利於探討城市間的網絡連結形態，找出網絡間較爲重要的影響關係爲何。

本文以新加坡航空公司之飛機航線網絡爲例，套用網絡科學中小世界網絡的三項指標計算公式來判斷全球城市網絡連結型態是否具備小世界特性。結果顯示新加坡航空公司之飛機航線網絡似乎不具備小世界網絡之特性，但再度檢視推算過程發現驗證結果的不符應是樣本選擇偏誤所造成的，因此本文認爲實證結果並無法完全推翻全球城市網絡連結型態是具備小世界特性之研究假說。此外，在小世界網絡的應用上，本文初步認爲可探討將小世界網絡之三項指標作爲評估城市競爭力之指標，藉以判斷各機場據點城市之競爭力。

本文之實證結果雖不如預期，但仍能間接證明小世界網絡分析方法是可行的，對於探討城市網絡的連結型態以及小世界網絡的應用也應有啓示。

關鍵詞：小世界網絡、飛機航線連結網絡。

¹ 國立成功大學都市計劃學系碩士研究生；台南市大學路 1 號，TEL：0952907629，e-mail：velnecine@yahoo.com.tw

² 國立台北大學不動產與城鄉環境學系教授；台北市中山區民生東路三段 67 號，TEL：02-2500 轉 9147，e-mail：lai@mail.ntpu.edu.tw
投稿日期：2008 年 09 月 04 日；第一次修正：2008 年 11 月 14 日；接受日期：2008 年 12 月 03 日。



Exploration of the Network Connectivity Pattern of the Global Cities: A Case of the Airline Routes

Cheng-Chung Lu

Graduate Student, Department of Urban Planning, National Cheng Kung University

Shih-Kung Lai

Professor, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University

Abstract

Globalization has become an apparent phenomenon in the twenty first century. Its impacts are widely observed, including economical, political, societal, industrial, trading, cultural, and touring aspects. We can consider the cities as nodes in the global networks by mapping the chart of the connectivity relationship and generalizing the connectivity concept of the global cities. It is useful to explore the network connectivity pattern of the cities and to find the important relationship in the network.

The present paper shows the case of the Singapore airline route, judging the network connectivity pattern of the global cities to see whether it has the characteristic of the small-world network identified by the small-world theory of the network science. The result shows that the Singapore airline route does not have characteristic of the small-world network. However, the present paper chooses the inappropriate sample resulting in biased result through careful inspection of the calculation process, so the hypothesis that the network connectivity pattern has the characteristic of small-world network cannot be rejected by the experiment result. In addition, for the small-world network to be useful, the present paper preliminarily finds that the characteristic of the three indices of the small-world network can be used to identify the city competitiveness index to judge the competitiveness of the airport associated cities.

Although the experimental result is beyond our expectation, it demonstrates that the analytic method of the small-world network is useful, inspiring the discussion of the network connectivity pattern of the global cities and the application of the small-world network.

Keywords: small-world network, airline route connectivity network



一、導論

「全球化」(globalization)一詞及概念，從1980年代出現以來已引起相當廣泛的討論。此一概念廣泛的應用於探討國際政治、經濟、文化及城鄉發展、人民日常生活、組織結構等諸多領域之中。在這個趨勢之下，人力資源、企業、資訊、資金、文化，甚至各種觀念與創意，都可以超越傳統的國界，在國際間快速的交流與流動，並建構出一種新的市場秩序與供需關係、溝通方式、及跨國界的全球性網絡關係。

在全球性的經濟、社會與資訊等流動網絡之中，我們將各城市視為網絡節點，此種做法可繪製出各城市間的連結網絡圖，使全球城市間的連結關係概念化，如此將會有利於探討城市間的網絡連結形態，找出網絡間較為重要的影響關係為何 (Sassen, 2002)。有鑑於此，本文所探討之全球網絡亦將以城市做為節點來探討，而網絡連結的型態更是直接反映到點與點之間相互的影響關係，更具體的說，欲探討各節點之間的關聯性，便應當從其連結網絡的特性切入探討。

在過去的網絡科學研究中，我們所知的網絡連結形態僅有隨機網絡與正規網絡兩種。但西元一九九八年華茲 (Watts) 與使楚蓋茲 (Strogatz) 所發現的小世界網絡卻徹底的顛覆了此一看法，也替網絡科學的研究帶來一股清新的風氣，似乎只要能利用網絡來建立模式的自然或人為系統，都可看見「小世界」的身影，從此「小世界」理論也成為了網絡科學的研究主流 (胡守仁, 2007)。概觀小世界之特性，可大略歸納出路徑長度最短與群聚度最高等兩點，在傳統的網絡概念中，隨機網絡的路徑長度是較短的，正規網絡的群聚度則是較高的，而小世界網絡是兩者之優點兼備，意即路徑長度偏向於隨機網絡、而群聚度則偏向於正規網絡 (Batty, 2001)；在小世界網絡節點連結數分布型態方面則可分為貴族式網絡與平等式網絡兩種 (胡守仁, 2007)，貴族式網絡之分布型態即是為無尺度分布，與冪次定律相符，平等式網絡的分布型態則是為平均分佈型的網絡型態，所有結點的連結數量皆相似，並無特別突出者。

關於小世界網絡的研究近年來已有不少的探討，部分研究已有提出具體數據證明網絡中小世界特性的存在，但部份研究卻仍未有證實，飛機航線的連結網絡便是尚未提出數據證實的一個例子。飛機航線連結網絡是具備小世界特性的，各節點由機場據點城市所構成 (胡守仁, 2007)，但針對此種說法，迄今仍未有研究提出實證數據證明。此外，亦有文獻說明飛機航線連結網絡具備無尺度分布的特性 (Albert、Eric, 2003)，但也未提出數據證實。在無尺度網絡之中將會有連結大多數航線的核心節點城市出現，具備此種特性之網絡，當一般節點城市遭受衝擊時，對於整體網絡的損害程度是較小的，網絡仍不致於崩壞，但若是核心節點城市遭受到衝擊，則損害的程度將大幅提升，甚至會讓整個網絡瀕臨瓦解，由此推之，了解連結網絡是為何種分布形態，對於整體網絡的維持是相當重要的。再回到全球城市連結網絡的種類來說，除軟體層面的人力資源、企業、資訊、資金、文化外，更包含了硬體層面的道路系統、海運航線以飛機航線等部分，但軟體層面的連結網絡相對於硬體層面的連結網絡來說是較難以量化的。

鑒於上述原因，本文將從小世界理論的角度去探討全球城市飛機航線網絡的連結形態。



二、網絡科學的「小世界」

關於這一波小世界理論之研究共有幾個特色，第一個特色是高度的跨科學性。網絡資料得來源包羅萬象，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；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。尤其是電腦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，因此這類的研究方式轉變為電腦模擬已是必然的趨勢；第三個特色是小世界中複雜網絡的研究替網絡科學帶來一種全新的視野。譬如歷史事件的發生充滿了偶然性，似乎無法產生任何規律，但是在歷史事件的相互關聯中，必然會隱藏了網絡的客觀規律，而藉由研究如何辨別出這些規律，如何理解這些規律在歷史上發生的潛在作用，便有可能成為科學方法浸潤入歷史的新途徑(胡守仁，2007)。除此之外，小世界理論亦包含了可量化計算的公式模型，依其性質分述如下。

(一) 小世界網絡的連結特性

在介紹小世界網絡的連結特性之前，本文將先針對網絡圖形的兩項重要參數：路徑長度與群聚度做一說明。依據Watts(1998)所建立之公式分述如下：

- 1.路徑長度(path length):路徑長度是指點與點之間的距離，而其距離的計算便是以點與點之間的轉接次數來衡量，最短路徑便是指轉接次數最少的路徑。同樣再計算時，我們必須先算出每個點和其他任意點的最短路徑，然後再將之平均，其平均值便是網絡的路徑長度，路徑長度公式如下：

$$L = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d(i, j) \quad (1)$$

其中，n代表節點總個數，d(i,j) 代表 i 與 j 之間的最短路徑長度。當網路圖形的路徑長度愈短時，即表示此網絡的連結效率愈高。

- 2.群聚度(clustering coefficient):群聚度是用來描述拓樸圖形中點與點之間關係的緊密程度，群聚度越高，表示此網絡圖形中點與點之間的關係越密切，單點群聚公式如下：

$$c_i = \frac{2 \times e_i}{k_i \times (k_i - 1)}, 0 < c_i < 1 \quad (2)$$

其中，e_i 代表節點的所有相鄰節點所形成的子網路 (Sub-network) 中的連結邊數 (詳下圖1)，k_i 代表與節點 i 相連的節點個數。



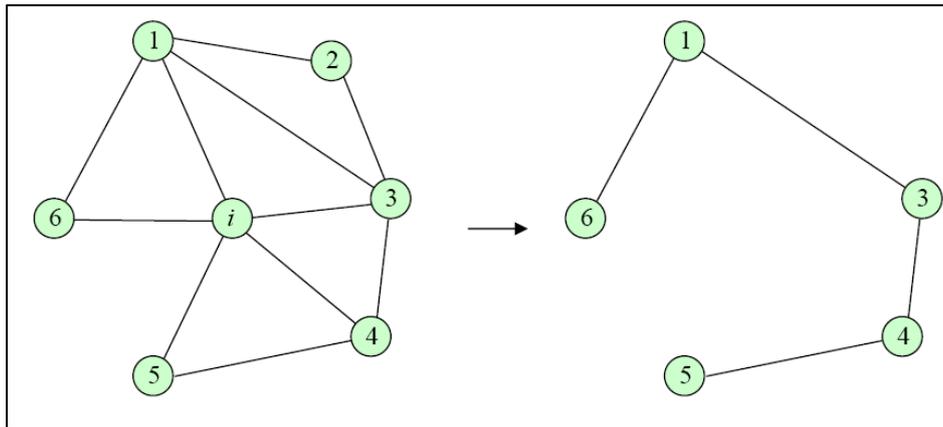


圖 1 子網絡計算示意圖

資料來源:蕭炳南, 2003

以上圖為例，則節點 i 的子網絡邊數是為節點 6、1、3、4、5 所連結的四條連結， e_i 值便為 4。
 本文將利用此公式來計算各點的群聚度，並求取平均值來做為網絡的群聚度，平均群聚度公式如下：

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{n} \quad (3)$$

其中 n 為節點數。

小世界的網絡圖形是落於正規與隨機兩極端網絡圖形之間的。正規圖形是用高度規則連接相鄰的兩點，此種網絡圖形具有高群聚度的特性，但路徑長度長；隨機圖形是由任選的兩點相連而成，沒有固定的規則圖形，此種網絡圖形具有最短路徑長度的特性，但群聚度低；而小世界網絡圖形則是介於此兩圖形之間，同時具備了高群聚度與最短路徑此兩項特點。

表 1 是為計算正規網絡與隨機網絡之群聚度以及路徑長度的公式。小世界網絡圖形是介於正規與隨機圖形之間的，路徑長度值介於正規網絡與隨機網絡間偏向隨機網絡，而群聚度值則介於正規網絡與隨機網絡間偏向正規網絡，意即在後續實證部份，利用公式(1)所計算出之 L 值應介於 L_{re} 值與 L_{ra} 值之間偏向 L_{ra} 值，公式(3)所計算出之 C 值應介於 C_{re} 值與 C_{ra} 值之間偏向 C_{re} 值。

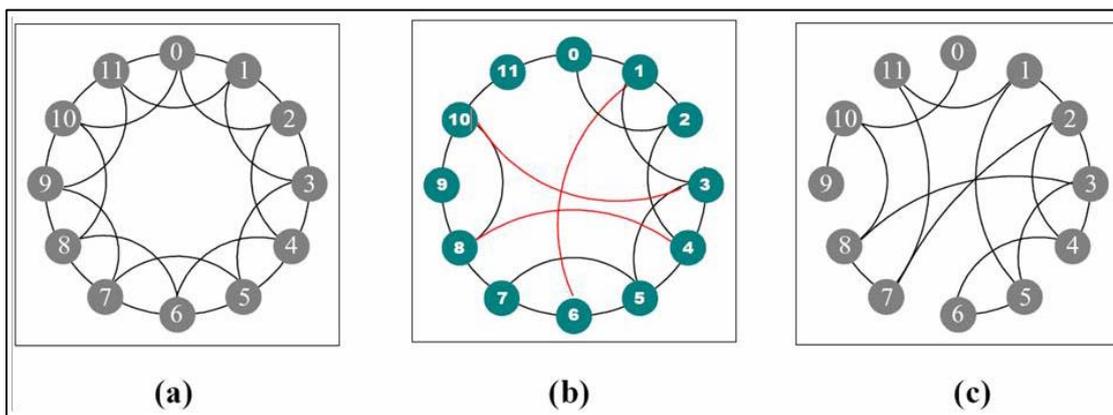


圖 2 正規網絡(a)、小世界網絡(b)與隨機網絡圖(c)

資料來源:盧能彬、蘇文慧，2007

表 1 正規網絡與隨機網絡之平均路徑長度與平均群聚度綜理表

	正規圖	隨機圖
平均路徑長度	$L_{re} = \frac{n}{2K}$	$L_{ra} = \frac{\log_2 n}{\log_2 K}$
平均群聚度	$C_{re} = \frac{3K - 3}{4K - 2}$	$C_{ra} = \frac{K}{n}$

n為節點數，K為平均連結數

資料來源:盧能彬、蘇文慧，2007

再更進一步解釋小世界網絡圖形之變化。Watts和Strogatz於1998年進行了建構各種不同的隨機網絡來做模擬實驗，並計算出這些網絡的群聚度及最短路徑，實驗結果如圖3所示，給定隨機重連(random rewiring)的機率為p，則正規網絡的p=0、隨機網絡的p=1，而當網絡拓撲慢慢的由正規網絡(p=0)變化成隨機網絡(p=1)時，呈現了「路徑長度：L(p)」下降較快，而「群聚度：C(p)」下降較慢的現象。由於這兩項參數的變化快慢不同，因而呈現出網絡在變化的過程中有一些網絡拓撲呈現出具有正規網絡的高群聚度，卻同時也有隨機網絡的最短路徑。若一網絡的群聚度明顯的比隨機網絡來的高，而最短路徑又相當的接近隨機網絡時，則此網絡具有小世界網絡之特性。在這樣的網絡變化中他們發現有些網絡同時具有正規圖的高群聚度及隨機圖的最短路徑，因此將這樣的結果定義為小世界網絡之特性。(盧能彬、蘇文慧，2007)



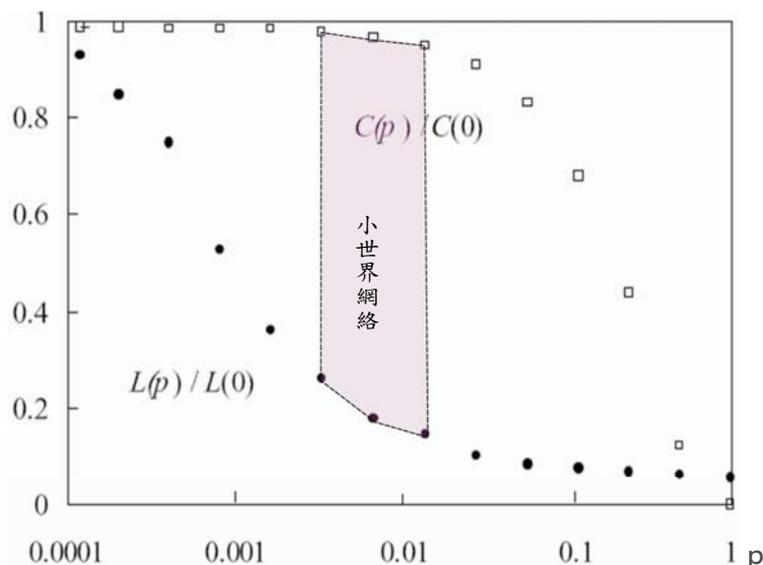


圖 3 小世界網絡之參數變化圖

資料來源:盧能彬、蘇文慧, 2007 本研究修改

(二) 小世界網絡的節點分布形態—貴族式網絡與平等式網絡

貴族式網絡與平等式網絡最大的差異便是在連結的數目比例。貴族式的網絡則會有部分節點數擁有比例差異極大的連結數，亦即節點間會出現重要程度的差異分別；而平等式的網絡各節點間連結數較為平均，不會差異太大。

1. 貴族式網絡(無尺度分布)

貴族式網絡之內涵定義與無尺度分布相類似，亦具備冪次定律的特性。Barabási和Albert在分析網路節點的連結個數後發現了另一種網路結構，網路連結的架構中，大多數的節點僅擁有少數的連結數，而極少數的集散節點卻擁有多數的連結數，這樣的連結分佈即稱為「無尺度網路」(scale-free network)。(盧能彬、蘇文慧, 2007)

無尺度網路的連結分佈是遵循冪次定律的 (power-law)。冪次定律是指現象之事件發生機率與事件大小取對數後具線性關係之特徵 (陳雅雲, 2004)。主要有兩項特性，第一，極大值發生於接近原點的地方，然後持續下降至無窮遠處；第二，它衰減的速率比常態分配緩和的多，因此發生偏差值的可能性就高出許多。(盧能彬、蘇文慧, 2007)

冪次定律的現象最著名的便是Zipf's law。1932年George Zipf提出一個經驗法則，就是在自然語言裡，一個單詞出現的頻率與它在頻率表裡的排名成反比。所以，頻率最高的單詞出現的頻率大約是出現頻率第二位的單詞的2倍，而出現頻率第二位的單詞則是出現頻率第四位的單詞的2倍。而在1949年Zipf更提出等級大小法則 (Rank-Size rule) 以說明都市規模與其等級的相關性(薛明生、賴世剛, 2002)。P(r) 表示第 r 級都市之人口數，q 表示為常數，以數學式表現則為：



$$P(r) = K * r^{-q} \quad (4)$$

其公式符號定義為：K為最大都市人口數，P(r)表第r級幕次定律序列之人口，q為稱為Zipf force (通常均假設等於1)

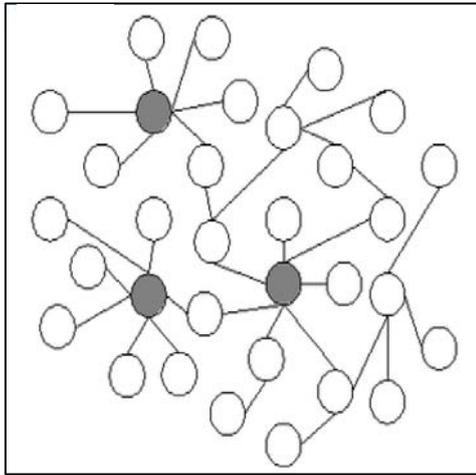


圖4 『貴族式』小世界網絡

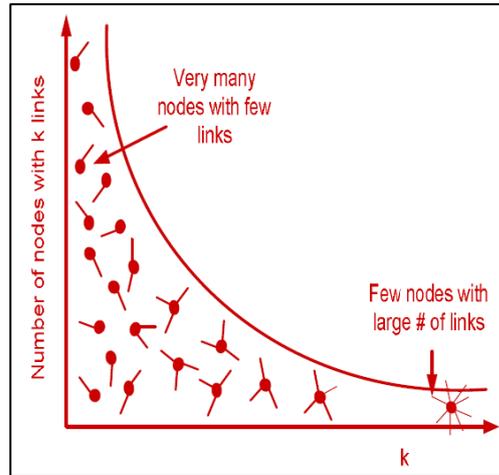


圖5 節點連結數呈幕次定律分佈的貴族式網絡

資料來源:蔡文翊, 2007

在無尺度網絡中，少數的節點享有大部分的連結，大部分的節點僅有少數的連結，其連結分佈是極不平均的，而此種富者越富的特性便會造成網絡中核心節點的出現。當無尺度網絡遭受到攻擊時，只要不要攻擊到核心節點，其損害程度是較隨機網絡小的，反之，一旦樞紐點遭受到攻擊，則網絡便很容易完全癱瘓 (Albert、Eric, 2003)。由此觀之，了解網絡是否呈現無尺度分佈以及找出網絡中的核心節點對於穩定網絡結構是相當重要的。

2. 平等式網絡

平等式網絡之分佈型態是建立於隨機網絡之上的，而在隨機網絡之中有一項重要的預測：儘管連結是隨機的，但由此方式所形成的網絡是高度自由的，亦即大部份的連結數會大致相同，網絡中各節點的分佈是為鐘型分配。而平等式網絡之節點連結亦呈現鐘型分配。

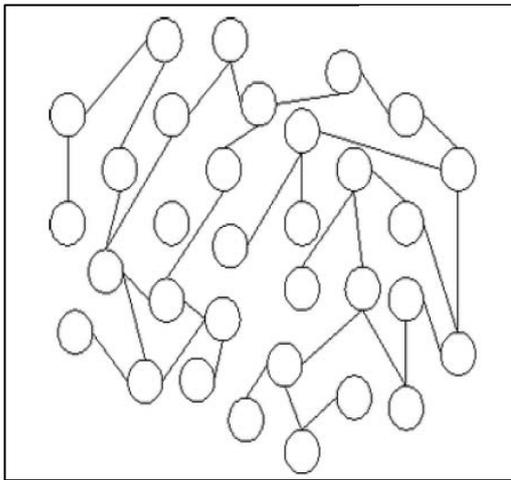


圖 6 『平等式』小世界網絡

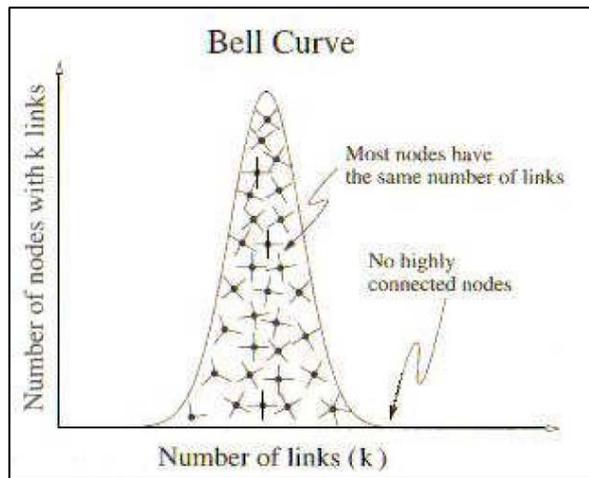


圖 7 節點連結數呈鐘型曲線分佈的平等式網絡

資料來源:蔡文翊, 2007

貴族式網絡之所以稱為貴族式，主要是因為網絡擁有核心節點的特性，少數的節點卻擁有大部分的連結，就有如國家中的貴族一般，由少數人掌握大部分的資源；而平等式網絡之所以稱為平等式，則是因為各節點的連結數較為平均，節點連結數雖然還是會有數量上的差異，但差距並不大，整體來說仍是平等的。

三、實證分析

由第二部份全球化現象的論說可知，全球化的問題並不單純，更不是僅侷限於一個面向而已；”空間”觀念的改變是全球化現象中的重要一環，而改變大家所認知”空間”的主要工具，不外乎是網際網路以及飛機、船...等跨區域的資訊傳播與交通運輸工具，在此實證部份便以跨區域的交通運輸工具-飛機為例；由世界經理人數據網站得知，全球前十大航空公司依排名分別為新加坡航空公司、阿聯酋國際航空公司、國泰航空公司、澳洲航空公司、泰國航空公司、英國航空公司、卡塔爾航空公司、馬來西亞航空公司、大陸航空公司與全日空航空公司等十家。

本文受限於時間、人力以及資料取得之限制，僅以全球最大之航空公司-新加坡航空公司為實證對象，以新加坡航空所停靠的機場為點，各航線為連結的線進行實證，將分別比較正規網絡、隨機網絡與小世界網絡等三種網絡的連結特性（路徑長度與群聚度）以及分布形態之差異。

新加坡航空公司總計停靠全球三十五個國家，包含新加坡本國在內共六十五個城市（各停靠城市詳見附錄一），而各航線之網絡圖形本文整理如下圖8。



圖 8 新加坡航空航線網絡圖

(一) 連結特性之驗證-路徑長度與群聚度

由第三部份網絡科學的「小世界」介紹中可知，小世界網絡的連結特性便是路徑短以及群聚度高，在更進一步說明，路徑長度應介於正規網絡與隨機網絡之間，偏向隨機網絡的短路徑，群聚度也是介於正規網絡與隨機網絡之間，但偏向正規網絡的高群聚，以下便以此特性為依據，分別驗證實際的路徑長度與群聚度是否與理論相符合。(以下驗證數據皆四捨五入至小數第二位)

1. 路徑長度

套用第三部份之公式，總個數 n 即為機場據點個數65，而 $d(i,j)$ 是為各機場相距之最短路徑，在此以航線數為依據，一條航線假設為1，兩條航線則假設為2，其餘則依此類推，以此方式所計算出 $d(i,j)$ 之加總為8778，套入公式便可計算出新加坡航空公司航線之平均路徑長度 L 為2.11。

利用相同數據套用第三部份所介紹之正規網絡與隨機網絡路徑長度的計算公式，正規網絡所得出之平均路徑長度 L 為10.83，隨機網絡所得出之平均路徑長度 L 為3.8。其中 k 值之計算則是以各機場據點所連結到的航線數量為依據，將之加總並且除以機場據點個數所得出。

2. 群聚度

在群聚度公式部份， e_i 代表節點的所有相鄰節點所形成的子網路中的連結邊數，本文在此是以新加坡航空公司所劃分之地區來做為區分，在同一地區者即視為是其據點的子網絡，而在分別計算出各機場據點的群聚度 c_i 之後，將之加總除以機場據點個數所得出之平均群聚度為3.54。(推算數據詳見附錄二)

同樣利用第三部份所介紹之公式，可推算出正規網絡之平均群聚度C為0.6，隨機網絡之平均群聚度C為0.05。

(二) 分布形態之驗證

在此將探討各機場據點與其航線連結數量之分布關係是否與小世界的無尺度網絡有關，由於無尺度網絡之分布形態是符合冪次定律，本文在此便依循第三部份所介紹之冪次定律進行計算，將航線連結數量依多至少排序，數量最多的排序為1、其次為2...以此類推，所計算出之圖形如下。而其判定係數為0.64，其結果尚能接受。

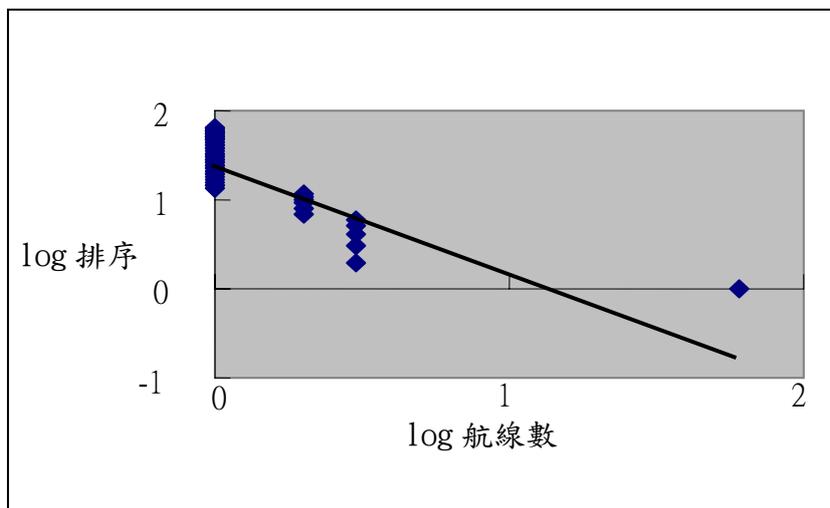


圖 9 新加坡航空機場據點與航線數量連結分布圖

四、討論

延續實證結果，首先討論分布型態之驗證：由圖9 機場據點與航線數量之分布形態以及其判定係數為0.64看來，新加坡航線網絡似乎是符合冪次定律的(即無尺度網絡)。接著討論連結特性之驗證部份：由實證結果可知新加坡航線網絡之路徑長度為2.11、群聚度為3.54，雖與原先預期有所出入，但本文認為此實證結果並無法推翻小世界網絡存在之假設，而針對此種實證結果產生之原因，本文參酌驗證過程做此以下幾點推論。

(一) 樣本選取之數量不足

本文選用機場航線為實證對象，但受限於時間、人力以及資料取得之限制，僅選取新加坡航空公司一間，但世界各大機場的往來是相當頻繁的，往來各機場間飛行的航空公司也相當的多，僅選用一間航空公司無法完整表示出網絡的連結度，且航空公司亦有權屬問題，由圖8便可看出新加坡航空所有航線皆集中在新加坡的樟宜機場，造成極度的不平衡，也造成實證結果失真。

(二) 全球化現象「無尺度分布」的存在

本文在導論部份即假設全球化現象是與網絡科學的小世界現象相符，而由圖8可看出新加坡航空航線主要集中的據點便是新加坡的樟宜機場，原因顯而易見，新加坡航空是由新加坡自己本身創立的，想

當然即便會以自己國家為出發點，串連其他地區；同理，其他航空公司之航線網絡也都必然如此。而目前全球十大航空公司大部份都是已開發國家所有，試想：若將全球十大航空公司的資料皆收集完整所繪製出的網絡圖形會是何模樣？大部份的網絡集中點必然皆會集中在各航空公司所屬國家的大城市，亦即集中在已開發國家，而開發中國家與未開發國家的競爭力便會更加薄弱。從理論上來判斷，此種現象便是無尺度分布的現象，而本文實證結果不甚彰顯亦可能是樣本點連結度差異太大。

(三)小世界特性的蛛絲馬跡

延續上述之討論，若將全球十大航空公司的資料皆收集完整所分析出的路徑長度與群聚度會是多少？由本文之實證分析亦可窺知一二。首先以路徑長度來說，樣本的路徑長度反而比隨機網絡還來得低，本文探討其原因可能是因平均連結度過低所造成，因新加坡航空除樟宜機場外，其餘的連結航線皆僅有一至三條，進而拉低平均連結度，若加入其他航空公司，將會增加各機場據點的連結航線，則平均連結度也會提高，且其提高的數量必會高於個數 n ，如此路徑長度也會跟著提高，甚或逼近隨機網絡。在群聚度方面，樣本之群聚度之所以會大於正規網絡，本文也認為原因是在於連結的分布，樟宜機場的連結性遠遠高於其他的機場，自然會拉高平均群聚度，且平均連結度過低亦對平均群聚度造成影響，若加入其他航空公司之樣本，則各機場據點的群聚度會稍趨平均，而平均連結度亦會提升，使得平均群聚度趨近於正規網絡。

綜合上述原因，本文認為實證結果並無法完全推翻全球城市網絡連結型態是具備小世界特性之研究假說。針對實證數據之應用衍生探討，考量飛機航線以及小世界網絡之性質，本文認為利用小世界理論來驗證飛機航線網絡除可判斷出全球城市連結型態之外，其實證結果數據亦可利用作為探討城市競爭力之指標。而在Sassen（2002）的研究之中已有將飛機載客航線的節點連結數應用做為探討城市競爭力的指標，在文章所探討的飛機航線連結數指標概念中，其直接連結數之意義與小世界理論中計算路徑長度與節點連結分配形態的概念是相雷同的，但若由小世界理論的角度切入，便可增加整體網絡特性的概念去做探討，預期將能探討到比過去研究更多的面向，且在小世界理論中，亦有計算群聚度的公式，是與直接連結數指標不同的。

五、結論

本文嘗試利用網絡科學中的小世界理論來探討全球城市網絡連結之型態，實證結果雖不如預期，但仍可概略推論出小世界網絡似乎還是存在於全球城市連結網絡中的，本文亦間接證明只要樣本選取數量足夠，小世界網絡之分析方法應是可行的。此外，本文之研究成果對於小世界網絡在城市競爭力評估指標上的應用也應有些許啟示。



參考文獻

- Buchanan M.著, 胡守仁譯, 2007,「連結」, 台北市: 天下文化。
- Buchanan M.著, 陳雅雲譯, 2004,「改變世界的簡單法則」, 台北市: 究竟出版社。
- Nassim N. T.著, 林茂昌譯, 2008,「黑天鵝效應」, 台北市: 大塊文化。
- Watts D.J.著, 傅士哲、謝良瑜譯, 2004,「6個人的小世界」, 台北市: 大塊文化。
- 王昱智、呂正中、賴世剛, 2008, 幕次定律的普遍性與恆常性—以台灣之天然災害規模為例,「2008 全國災害危機處理學術研討會」, 長榮大學。
- 卞宗琪, 1997,「以小世界社會網絡為基礎的病媒性疾病模型: 登革熱傳播之模擬」, 國立交通大學資訊科學與工程研究所。
- 李怡君, 2003,「上海地區競爭力分析-兼論與台灣競爭力之比較」, 世新大學經濟學系碩士班。
- 林啓清, 2005,「複雜耦合系統與小世界訊息傳輸之應用研究」, 國立高雄師範大學物理系碩士班。
- 周志龍, 2002,「全球化、知識與區域」, 台北市: 詹氏書局。
- 高銓鴻, 2005,「應用結構洞與小世界理論分析供應鏈資訊流通性之研究」, 國立中正大學資訊管理學系碩士班。
- 陳冠位, 2002,「城市競爭優勢評量系統之研究」, 國立成功大學都市計劃研究所博士班。
- 陳韋妏, 2003,「地區行銷與城市競爭力營造之研究」, 立德管理學院地區發展研究所。
- 黃文櫻, 2000,「都市競爭力與製造業生產力關係之研究」, 國立政治大學地政學系碩士班。
- 黃朝盟, 2007,「臺北市城市競爭力評比之表現與分析」, 憲政(研) 096-043 號, 國政研究報告。
- 張喬峰, 2004,「都市競爭力指標之建構-以台北市及上海市為例」, 逢甲大學建築及都市計畫研究所。
- 廖紫藍, 2004,「資訊城市力評量體系建構之研究」, 立德管理學院地區發展研究所。
- 蔡文翊, 2007,「小世界社會網絡演化模型: 階段性需求於社交網絡拓機動態的影響」, 國立交通大學資訊與工程研究所。
- 盧能彬、蘇文慧, 2007, 部落格群落之網絡分析-以 BLOG 鄉村台灣站為例,『資訊、科技與社會』, 2: 63-80。
- 薛明生、賴世剛, 2002, 人口時空幕次定律的普遍性與恆常性—台灣本島實證研究,「台灣土地研究」, 10: 67-86。(TSSCI)
- 蕭炳南, 2003,「具有 Small World 與 Scale Free 特性的網路通訊模型」, 淡江大學資訊工程研究所。
- Albert, L.B. and Eric, B., 2003, "Scale-Free Networks", *Scientific American*, 50-59.
- Batty, M., 2001, "Cities as small worlds", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28:637-638.
- Batty, M., 2006, "Rank clocks", *Nature*, 444(30):592-596.
- Batty, M., 2008, "Whiter network science", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35:569-571.
- Barabási, A.-L., Albert R., Jeong H. and Bianconi, G., 2000, "Power-law Distribution of the World Wide Web," *Science*, 287(5461):2115a.
- Kresl, P. K., 1995, *The Determinates of Urban Competitiveness: A Survey*, P.K.
- Kotler, P., et al., 2002, *Marketing Asian places: attracting investment, industry, and tourism to cities, states, and nations*, Asia: John Wiley & Sons Pte Ltd.
- Lever, W. F., 1999, "Competitive Cities in Europe", *Urban Studies*, 36(5-6):1029-1044.
- Lever, W. F. and Turok, I., 1999, "Competitive Cities Introduction to the Review", *Urban Studies*,



36(5-6):791-793.

North, D. C., 1996, *Institutions, Institutional Change and Economic Performance.*, Cambridge: Cambridge University Press.

Porter, M. E, 1996, “Competitive advantage agglomeration economies and regional policy” , *International Regional Science Review*, 85-90.

Sassen, S., 2002, *Global Networks · Linked Cities*, New York .

Shapiro, C. and H. R. Varian, 1999 , *Information Rules: A Strategic guide to the Network Economy.*, Boston, MA: Harvard Business School Press.

Watts, D.J. and Strogatz, S.H., 1998, “Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks,” , *Nature*, 393(6684):440-442.

Watts, D.J., 2007, “A twenty-first century science”, *Nature* , 445:489.



附錄一 新加坡航空公司停靠城市

地區	國家	城市	地區	國家	城市
北美	美國	溫哥華	西亞與非洲	印度	孟買
北美	美國	舊金山	西亞與非洲	印度	邦加羅爾
北美	美國	拉斯維加斯	西亞與非洲	印度	德里
北美	美國	紐約	西亞與非洲	印度	加爾各答
北美	美國	休斯頓	西亞與非洲	印度	海德拉巴
東南北亞	韓國	漢城	西亞與非洲	印度	清奈
東南北亞	日本	大阪	西亞與非洲	斯里蘭卡	可倫坡
東南北亞	日本	名古屋	西亞與非洲	孟加拉	達卡
東南北亞	日本	東京	西亞與非洲	馬爾地夫	瑪律
東南北亞	日本	福岡	西亞與非洲	巴基斯坦	拉合爾
東南北亞	中國	北京	西亞與非洲	巴基斯坦	喀拉蚩港市
東南北亞	中國	上海	歐洲	俄羅斯	莫斯科
東南北亞	中國	南京	歐洲	土耳其	伊斯坦堡
東南北亞	中國	廣州	歐洲	丹麥	哥本哈根
東南北亞	中國	香港	歐洲	荷蘭	阿姆斯特丹
東南北亞	台灣	台北	歐洲	德國	法蘭克福
東南北亞	菲律賓	馬尼拉	歐洲	瑞士	蘇黎世
東南北亞	汶萊	斯理巴加萬 港	歐洲	義大利	米蘭
東南北亞	越南	河內	歐洲	義大利	羅馬
東南北亞	越南	胡志明市	歐洲	希臘	雅典
東南北亞	印尼	巴里島	歐洲	英國	曼徹斯特
東南北亞	印尼	雅加達	歐洲	英國	倫敦
東南北亞	泰國	曼谷	歐洲	法國	巴黎
東南北亞	馬來西亞	檳榔島	歐洲	西班牙	巴塞隆那
東南北亞	馬來西亞	吉隆坡	澳洲與紐西蘭	澳大利亞	柏斯
東南北亞	新加坡	新加坡	澳洲與紐西蘭	澳大利亞	阿德萊德
西亞與非洲	南非	開普敦	澳洲與紐西蘭	澳大利亞	墨爾本
西亞與非洲	南非	約翰尼斯堡	澳洲與紐西蘭	澳大利亞	雪梨



地區	國家	城市	地區	國家	城市
西亞與非洲	埃及	開羅	澳洲與紐西蘭	澳大利亞	布里斯班
西亞與非洲	沙烏地阿拉伯	吉達	澳洲與紐西蘭	紐西蘭	基督城
西亞與非洲	阿拉伯聯合大公國	阿布達比	澳洲與紐西蘭	紐西蘭	奧克蘭
西亞與非洲	阿拉伯聯合大公國	杜拜			
西亞與非洲	印度	安米里沙			
西亞與非洲	印度	雅美達巴德			

附錄二 群聚度推算數據

	ki	(ki-1)	ki*(ki-1)	ei	ei*2	ci
溫哥華	1	0	0	8	16	0
舊金山	2	1	2	7	14	7
拉斯維加斯	3	2	6	6	12	2
紐約	2	1	2	7	14	7
休斯頓	1	0	0	8	16	0
漢城	3	2	6	64	128	21.33333
大阪	1	0	0	65	130	0
名古屋	1	0	0	66	132	0
東京	1	0	0	66	132	0
福岡	1	0	0	66	132	0
北京	1	0	0	66	132	0
上海	1	0	0	66	132	0
南京	1	0	0	66	132	0
廣州	1	0	0	66	132	0
香港	2	1	2	65	130	65
台北	2	1	2	65	130	65
馬尼拉	1	0	0	66	132	0
斯理巴加	1	0	0	66	132	0



	ki	(ki-1)	ki*(ki-1)	ei	ei*2	ci
萬港						
河內	1	0	0	66	132	0
胡志明市	1	0	0	66	132	0
巴厘島	1	0	0	66	132	0
雅加達	1	0	0	66	132	0
曼谷	3	2	6	64	128	21.33333
檳榔島	1	0	0	66	132	0
吉隆坡	1	0	0	66	132	0
新加坡	60	59	3540	7	14	0.003955
開普敦	1	0	0	20	40	0
約翰尼斯堡	2	1	2	19	38	19
開羅	1	0	0	20	40	0
吉達	1	0	0	20	40	0
阿布達比	1	0	0	20	40	0
杜拜	3	2	6	18	36	6
安米里沙	1	0	0	20	40	0
雅美達巴德	1	0	0	20	40	0
孟買	1	0	0	20	40	0
邦加羅爾	1	0	0	20	40	0
德里	1	0	0	20	40	0
加爾各答	1	0	0	20	40	0
海德拉巴	1	0	0	20	40	0
清奈	1	0	0	20	40	0
可倫坡	1	0	0	20	40	0
達卡	1	0	0	20	40	0
瑪律	1	0	0	20	40	0
拉合爾	1	0	0	20	40	0
喀拉蚩港	1	0	0	20	40	0



	ki	(ki-1)	ki*(ki-1)	ei	ei*2	ci
市						
莫斯科	3	2	6	13	26	4.333333
伊斯坦堡	1	0	0	13	26	0
哥本哈根	1	0	0	13	26	0
阿姆斯特丹	1	0	0	13	26	0
法蘭克福	2	1	2	12	24	12
蘇黎世	1	0	0	13	26	0
米蘭	1	0	0	13	26	0
羅馬	1	0	0	13	26	0
雅典	1	0	0	13	26	0
曼徹斯特	1	0	0	13	26	0
倫敦	1	0	0	13	26	0
巴黎	1	0	0	13	26	0
巴塞隆那	1	0	0	13	26	0
柏斯	1	0	0	6	12	0
阿德萊德	1	0	0	6	12	0
墨爾本	1	0	0	6	12	0
雪梨	1	0	0	6	12	0
布里斯班	1	0	0	6	12	0
基督城	1	0	0	6	12	0
					總合 ci	230.004
					平均群聚	3.54

