

於全球資訊網進行空間地理網路計算與瀏覽之研究

Research on Spatial Network Computations and Browsing over the World Wide Web

計劃編號：NSC 87-2213-E-009 -099

執行期間：86 年 8 月 1 日至 87 年 7 月 31 日

主持人：劉敦仁 交通大學 資訊管理研究所

共同主持人：

一、摘要

本研究設計與實作出一架構在全球資訊網上有效率之空間地理網路計算與瀏覽查詢系統。空間地理網路之查詢計算包括路徑評估、路徑計算等是空間地理網路資料庫主要的查詢功能，而空間地理網路資料庫是許多重要應用系統之核心，例如交通運輸、水力、電力設施及電話網路管理系統等。

網際網路的普及與盛行，使得地理資訊系統架構在 WWW 上，讓更多使用者能經由 WWW 來查詢與生活周遭相關之地理資訊，是未來影響深遠的必然趨勢。例如在美國正進行之少數幾個數位圖書館大型計畫裏，其中之一便是 Alexandria Digital Library (ADL)。ADL 主要是建立一地理資訊相關之數位圖書館，然而 ADL 系統著重於範圍查詢，尚無針對 WWW 上空空間地理網路資料之管理及路徑查詢計算之研究探討。

本研究主要包括下列成果：(1) 建立一雛形系統，提供使用者透過 WWW 來查詢瀏覽空間地理網路相關資訊。我們以高等旅遊資訊系統為實際應用系統來實作出路網相關資訊包括路徑計算等查詢功能；(2) 根據路網查詢特性，設計適切的 WWW 向量化地圖處理及瀏覽以達到較高之執行效能。我們實做出 WWW 向量化地圖瀏覽並評估比較其執行效能；(3) 分析路徑計算方法及路網連結特性，設計與實作在 WWW 計算環境下，有效率的路徑計算查詢功能，並且評估比較其執行效率。

關鍵詞：空間網路計算，空間網路資料庫，地理數位圖書館，全球資訊網

Abstract

This work includes the design and implementation of an efficient spatial network computation and browsing system on the World Wide Web (WWW). Spatial network computations include route evaluations and path computations, etc., are the main query functions of spatial network databases that are the kernel of many important applications.

The great impact of prevalent internet access makes the development of Geographic Information Systems on the WWW be the important trend. Alexandria Digital Library (ADL) is one of the on-going digital library project sponsored in USA. The ADL is building a digital library for geographically referenced materials. However, the ADL mainly focuses on processing WWW maps based on range queries. There are very few study on the management of spatial networks as well as spatial network computations over the WWW.

The main research achievements of this work are the following. First, we develop a prototype system to provide users to use WWW browser to browse information related to spatial networks. Second, we study and evaluate various approaches to browse WWW vector maps efficiently. Third, we analyze the connectivity characteristics of spatial networks to design efficient path computations on the WWW computing environment. Different approaches are evaluated and compared.

Keywords: Spatial Network Computations, Spatial Network Databases, Geographic Digital Library, World Wide Web

二、緣由與目的

空間地理網路資料庫是許多重要應用包括交通運輸規劃；水、電、瓦斯管線管理；電話網路、電視有線網路、地下水道維護等管理系統之核心系統[2, 5, 7, 9, 11, 12]。這些應用系統基本上皆需管理空間地理網路(Spatial Networks)[7, 9, 12]包括節點(Nodes)、連結節點的線段(Edges)、節點的位置及節點和線段的屬性等。例如在交通運輸應用上會儲存道路交叉點及連接道路點的線段。空間地理網路之查詢計算(Spatial network computations)主要是根據點線相連結之關係來進行路徑評估(route evaluation)、最佳路徑計算(path computation)、旅遊路徑及設置地點區域選擇等[10, 28]。路徑評估是對某一路徑上的所有節點及線段之屬性做一匯總[11, 12]，例如路徑評估功能提供每日通勤者對其較熟悉之幾條路徑，比較其車程，擁塞狀況等[11, 12]。Path computations 主要是最短路徑或是最小行程路徑之計算[10, 11, 12]。

網際網路的普及與盛行，促使很多應用系統之設計與開發架構在全球資訊網 WWW (World Wide Web)，提供使用者透過 WWW 瀏覽器來瀏覽查詢資訊。地理資訊系統架構在 WWW 上，讓更多使用者能經由 WWW 來查詢與生活周遭相關之地理資訊，例如路況、餐飲、旅館等旅遊資訊，更是未來影響深遠的必然趨勢。在美國由 NSF、ARPA 及 NASA 所贊助的少數幾個數位圖書館大型計畫裏，其中之一便是由 University of California, Santa Barbara 所主導之 Alexandria Digital Library (ADL) 計畫[13]。ADL 主要是建立一分散式的地理資訊相關之數位圖書館，提供使用者經由 WWW 來查詢地圖衛星影像、數位化的空照圖及地名辭典查詢等[13]。

雖然 ADL 之離形系統已在測試中，我們經由 WWW 可查詢加州相關地理資訊(網址 <http://alexandria.sdc.ucsb.edu>)，其系統對於地圖之處理仍是(1)以 raster 格式為主，對於向量化地圖之處理，是在 Sever 端處理產生 raster image，再傳送至 Client 端以 raster image 呈現；(2)著重範圍查詢(range query)，尚無針對 WWW 上空空間地理資料之管理及路徑查詢計算之研究探討。

本計畫之研究目的便是希望能研究、設計與實作出一架構在 WWW 上有效率之空間地理網路計算與瀏覽查詢系統。(1)建立一離形系統，提供使用者透過 WWW 來查詢瀏覽空間地理網路相關資訊。我們以高等旅遊資訊系統 ATIS (Advanced Traveler Information Systems) [2, 11]為實際應用系統來實作出路網相關資訊包括路徑計算(path computation)、路徑評估(route evaluation)等查詢功能。(2)由於路徑之查詢計算[9, 10, 11, 12]，例如最短路徑計算及評估某條路徑之行程、距離等，皆需做向量化處理，即需根據節點與線段之屬性包括座標、距離等來做運算。此外路徑之呈現在 Client 端亦須做向量化圖形之處理與呈現，使用者可能查詢連結於某一節點或是線段之路網資訊，如何在 WWW 上做有效率的向量化地圖瀏覽功能乃是一重要的研究課題，而這也是 ADL 尚未研究探討的。

三、研究方法及成果

本計畫的研究成果主要包含下列各項：

(一) 設計與發展 WWW 空間地理網路計算與瀏覽之離形系統

建立一離形系統，提供使用者透過 WWW 來查詢瀏覽空間地理網路相關資訊。我們以高等旅遊資訊系統為實際應用系統來實作出路網相關資訊包括路徑計算等查詢功能。我們的設計是以 Server 端來進行路徑計算，Client 端透過 WWW 來選擇查詢功能，並依據查詢功能輸入相關資料，例如路徑之起始點和終點位置或地名等。地圖及向量化路徑則由 Java[1, 8, 15]來完成圖形的展現。

Client 端主要是顯示地圖及接受使用者輸入資料，並將資料傳送回 Server 端以便計算路徑，最後將計算出之最短路徑或是最小旅行時間路徑顯示在 Client 端。(1)到指定的 URL(Server)讀進街道資料；(2)進行地圖繪製的工作，將畫面分為數個 Panel，分別顯示地圖內容、起點和終點位置等訊息；(3)由使用者選擇 source point (起點)或 destination point (終點)；(4)將使用者輸入之資料送往 Server 端，以便 Server 可計算各種路徑。當 Server 端計算完畢之後，會將計算的結果傳送回 Client 端，而 Client 端即把各種路徑以不同

的顏色顯示於畫面上。

Server 端則是負責在路徑計算時，由使用者所輸入的 source(起點)及 destination(終點)擷取一包含 source 及 destination 的部份地圖來做路徑計算。Server 端設計成可接受多個 Client 的連線要求，使用的方法是利用 Java 提供的 multi-thread 功能。每有一個新的 Client 端發出連線要求，並建立連線之後，Server 端便產生一個新的 thread 來服務此相對應之 Client 程式。路徑計算是利用 heap 資料結構記錄路網資料(包含城市與路徑)，根據 A* 演算法自 heap 中取出線段的成本(cost)，計算從起始點(source)到終點(destination)的各種路徑的成本(cost)，以求得成本最低的幾條路徑。

圖 1 即是系統的畫面。左半部是新竹市部分的地圖，可捲動地圖來顯示地圖其他部分，也可以直接用滑鼠在地圖上點選欲計算最短路徑的 Node。畫面上右上角的訊息顯示欄會顯示系統的執行情況，像是跟 Server 連結的情況。畫面上的 Source 和 Destination 會顯示使用者點選 Nodes 的編號，系統同時會把此一訊息告訴 Server，Server 計算路徑之後，再把結果告訴 Client 端，其執行畫面如圖所示。

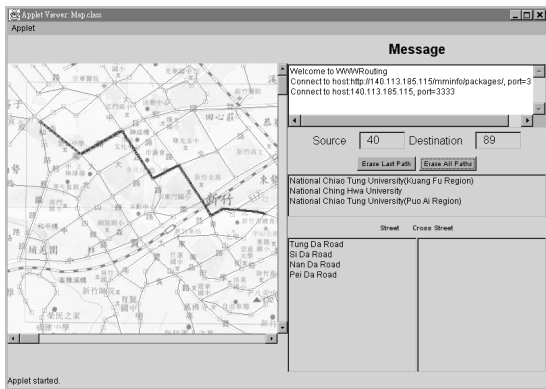


圖 1. 系統 WWW 瀏覽介面

(二) 設計與實作在 WWW 計算環境下，有效率的路徑計算與地圖之處理及瀏覽，並且評估比較執行效率

分析路徑計算方法及路網連結特性，設計與實作在 WWW 計算環境下，有效率的路徑計算查詢功能，並且評估比較其執行效率。此外，根據路網查詢特性，設計適切的

WWW 向量化地圖處理及瀏覽以達到較高之執行效能。我們實做出 WWW 向量化地圖瀏覽並評估比較其執行效能。

(1) Client-Server 計算分配對執行效率之影響

計算路徑的工作原本純粹交由 Server 來計算，但是，由於網路傳輸的延遲和多人要求計算路徑時計算量的增加，導致使用者等待時間過長，所以在這裡我們研究探討儲存部份地圖資料於 client 端並且藉由 client 端之計算能力來做路徑計算之方法。由於 Java Virtual Machine 上的時脈沒有辦法非常準確地計時，加上程式執行時每個執行緒(Thread)所分配到的系統資源每次不盡相同，所以儘管是同一條路徑，每次執行的快慢都有可能不同，甚至差別懸殊。把計算交給 Server 更有可能網路上多變的因素而導致使用者等待時間每次差別很大。因此，我們把 1000 次的執行結果做一平均以求得較為客觀的數據。總體來說，把計算交給 Client 端效能上快非常多。從這裡也可以看出來，大部分延遲的時間都是在網路上發生的。所以，在講求效能的系統上，必須盡量避免把關鍵性的資料透過網路傳輸。

由於 Client 端必須把地圖上所有點顯示給使用者，並畫出點和點之間相鄰的情形，所以 Client 端基本上具備了所有必須用來計算路徑的向量資料(如果 Client 端從 Server 端只得到是 raster image 而不是向量資料的話就不具備計算路徑的能力)。因此，把計算放在 Client 端跟放在 Server 端比較，Server 傳給 Client 的初始資料只多了一些演算法和資料結構的 class 而已，而且 class 通常都很小。所以，Client 在起始的過程中，並不會因為把路徑計算放在 Server 端而省去很多起始時間。因此，為了加快起始速度而犧牲了接下來等待計算結果的時間並不值得。所以比較好的方式是 Server 提供必要的地圖資訊給 Client 端以後，所有的計算工作便由 Client 端接手，這樣在總體效能上可以提升不少。另外，還有一種可行的作法便是把部分的計算工作分配給 Client，部分再分配給 Server，要這樣做必須牽扯到分散式的 Astar 演算法，這是將來我們要研究的方向。

(2) 路徑計算範圍對執行效率之影響

在路徑計算時，由使用者所輸入的 **source** 及 **destination** 擷取一包含 **source** 及 **destination** 的部份地圖來做路徑計算，如此可節省計算時間，得到近似的路徑結果。我們使用限定計算範圍在一矩形內的方式來試著加快其計算速度，並且評估其效能。

通常兩點間的最短路徑並不會超過兩點所構成的矩形太多，因此我們把計算範圍限定在一矩形內，並試著調整矩形大小以比較其效能。圖 2 即是不同路徑在採用不同範圍內計算時，所必須走訪點的個數。我們採用走訪點的個數當作效能的評估而不用實際上的執行時間，主要是考量到 **Java VM** 執行上速度每次的快慢不一。

把計算矩形放大時，走訪點的個數也跟著增加，也就是說，計算時間也會被拉長，有些路徑的走訪點個數甚至會差到兩倍之多。然而，圖中部分路徑在矩形加大時走訪點個數反而有些微下降的趨勢，主要是因為部分情況下增大矩形反而讓演算法可以找到更好的點去計算路徑，使得需要走訪的點個數反而減少了。

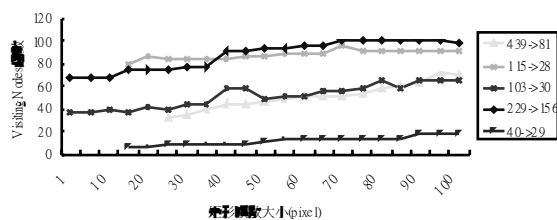


圖 2. 路徑計算範圍對執行效率之比較

正常的地圖下，矩形大小的不同所選擇出來的路徑並不會差太多，所以在計算路徑時把矩形盡量地縮小是個改善效能很不錯的方式。另外，在使用限定範圍計算路徑時，必須多花費判斷點是否在限定範圍內的時間，所以地圖上點的數量非常多時，必須花費非常多的時間來判斷，所以在儲存地圖資料上必須做進一步的改善，例如可以用 **Hash table** 來記錄向量資訊使得搜尋速度加快。

(3) 地圖資料傳輸方式對執行效率之影響

目前 **Java** 有支援的 **Image** 格式就只有 **jpg** 和 **gif** 格式。其中，**jpg** 較適合用來儲存顏色

多而複雜的影像，**gif** 則適合儲存顏色單一的圖形。要傳輸顏色變化複雜的影像，像是掃描進來的地圖時，可以用 **jpg** 檔來傳輸。要傳輸幾何的圖形，像是城市的街道分佈，或是路徑時，可以用 **gif** 檔來傳輸。在起始的資料上，必須讓使用者可以看到當作底圖的地圖（為一影像），還有街道分佈和可選取之點（為向量資料或幾何圖形），分別就起始資料在實作上的不同進行比較：(a) 底圖和街道分佈合而為一圖形，用 **jpg** 傳輸；(b) 底圖用 **jpg** 傳輸，街道分佈用 **gif** 傳輸；(c) 底圖用 **jpg** 傳輸，街道分佈用向量資料傳輸。從實驗比較可以看出，(b) 方法似乎是傳輸量最少的方法。然而，同樣的方式用在其他地方數據可能相差極為懸殊。原因在於 **jpg** 圖檔的大小取決於該圖的複雜度，不同圖形用同樣的壓縮率結果亦不同。另外，三種方法的數據儘管有差別，但是並不懸殊，所以端看這裡數據上的大小並不能當作選擇何種方法的主要考量。其中要特別注意的是，如果選擇了方法(a)和(b)則 **Client** 端就沒有向量的資料，這樣的話，計算路徑的工作一定要交由 **Server** 來做。從實驗數據可以看出，**jpg** 的表現最差，是 **gif** 圖檔的十倍以上。**Gif** 的表現算是很不錯的，但是還是沒有辦法勝過用向量資料傳輸的方式。其中要特別注意的是，向量資料如果描述得越細緻，資料量也會越多。

另外，雖然向量資料傳輸量很小，但是在圖形的顯示上卻會因為即時的向量繪製而降低效能，所以在向量資料非常多的情況並不適用。這時候最好的方式還是使用 **gif** 圖檔的方式，一方面 **gif** 圖檔的顯示效能較好，另外，如果向量資料量龐大時，**gif** 圖檔跟向量資料的傳輸量差距將會縮小，所以用 **gif** 圖檔反而是比較好的方式。

四、結果與討論

空間地理網路之研究不管是在資料庫、存取方法、路徑計算演算法或是應用層面上，尚未探討在 **WWW** 計算環境下可能遭遇的問題及解決方法。因此本計畫針對 **WWW** 計算環境設計與製作一適切有效能的 **WWW** 空間地理網路計算與瀏覽查詢系統。我們的研究是從雛形系統發展著手，進而針對向量化瀏覽與效能研究評估，以期發掘離

形系統的問題，並藉此探討 WWW 計算環境下，進行向量化地圖瀏覽及空間網路計算之可行、有效率的方法，改進離形系統以建立一適切有效能的 WWW 空間地理網路查詢計算系統。

空間地理網路為許多應用系統之核心，本計畫發展透過 WWW 進行空間地理網路查詢、計算之離形系統，可進而做為許多 WWW 應用系統之核心。本研究亦對 WWW 上向量化瀏覽功能作一探討，我們的研究可做為地理資訊系統及數位圖書館對於 WWW 向量化圖形處理之基礎。

五、計畫成果自評

本研究內容與原計畫約有 90% 符合，並且達成預期目標包括(1)創新之發現：本研究設計與實作在 WWW 計算環境下，有效率的路徑計算查詢功能，並且評估比較其執行效率；(2)新技術之應用：本研究應用 Java 技術於 WWW 空間地理網路計算與瀏覽查詢系統；(3)離形系統之建立。本研究不僅對於學術上 WWW 空間地理網路計算與 Internet 分散式計算之研究有參考之價值，其應用價值亦極高，可提供給國內外建構地理數位資訊圖書館相關機構參考。本研究成果不僅獲得創新的構想，探討新的技術研發，並且實做出離形系統，對本計畫之完成相當滿意。

六、參考文獻

- [1] "Java Platform Documentation". <http://java.sun.com/docs/index.html>.
- [2] W. C. Collier and R. J. Weiland. "Smart Cars, Smart Highways". *IEEE Spectrum*, pages 27--33, April 1994.
- [3] D. Galperin. "On the optimality of A*?". *Artificial Intelligence*, 8(1):69--76, 1977.
- [4] B. Jiang. "I/O Efficiency of Shortest Path Algorithms: An Analysis". In *Proc. of the Intl Conference on Data Engineering*. IEEE, 1992.
- [5] Menno-Jan Kraak. "Integrating Multimedia in Geographic Information Systems". *IEEE Multimedia*, pages 59--65, 1996.
- [6] R. Kung, E. Hanson, and et. al "Heuristic Search in Data Base Systems". In *Proc. Expert Database Systems*. Benjamin Cummings Publications, 1986.
- [7] R. Laurini and D. Thompson. *Fundamentals of Spatial Information Systems*, chapter 5 and 2.5.4. Number 37 in The A.P.I.C. Series. Academic Press, 1992.
- [8] John Rodley. *Writing Java Applets*. US Coriolis Group Books, 1996.
- [9] S. Shekhar, M. Coyle, B. Goyal, D. R. Liu, and S. Sarkar. "Data Models in Geographic Information Systems", *Communications of the ACM*, Vol. 40, No. 4, pp. 103-111, April 1997.
- [10] S. Shekhar, A. Kohli, and M. Coyle. "Path Computation Algorithms for Advanced Traveler Information System". In *Proc. of the Ninth Intl Conference on Data Engineering*, pages 31--39. IEEE, April 1993.
- [11] S. Shekhar and D. R. Liu. "Genesis and Advanced Traveler Information Systems, Chapter 26". In *T. Imielinski and H. F. Korth (Eds.) Mobile Computing*, The Netherlands, 1996. Kluwer Academic Publishers.
- [12] S. Shekhar and D. R. Liu. "CCAM: A Connectivity-Clustered Access Method for Network Computations", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 9, No. 1, pp. 102-119, Jan.-Feb. 1997.
- [13] T. R. Smith. "A Digital Library for Geographically Referenced Materials". *IEEE Computer*, pages 54--60, May 1996.
- [14] R. Wilensky. "Toward Work-Centered Digital Information Services". *IEEE Computer*, pages 37--44, May 1996.
- [15] E. Yourdon. "Java, the Web, and Software Development". *IEEE Computer*, pages 25--30, August 1996.