

汽車客運行前旅次規劃邏輯之建構¹

A HEURISTIC SEARCH FOR TRANSIT ITINERARY PLANNING

蘇昭銘 Jau-Ming Su²

劉偉賢 Wei-Xian Liu³

黃立欽 Li-Chin Huang⁴

王穆衡 Mu-Han Wang⁵

張志鴻 Chih-Hung Chang⁶

(95 年 5 月 12 日收稿，95 年 8 月 10 日第一次修改，95 年 3 月 1 日定稿)

摘 要

汽車客運行前旅次規劃由於營運路線之限制，必須納入路線轉乘銜接特性，故與一般私人運具使用者偏重行駛路線選擇之規劃重點有所差異。本研究所構建之汽車客運行前旅次規劃邏輯，為快速提供使用者起迄點至站牌及轉乘站牌間步行地圖之導引，乃整合地理資訊系統強大之空間分析能力，將旅次規劃邏輯區分為地理資訊前處理及客運路線規劃兩部分，經利用簡例及新竹市區公車系統進行測試，確認本研究所構建之行前旅次規劃邏輯具正確性，未來將可作為發展先進旅行者資訊系統之基礎。

關鍵詞：汽車客運；行前旅次規劃；旅行者資訊系統

-
1. 本文係交通運輸研究所與中華大學運輸科技與物流管理學系合作辦理「臺灣地區汽車客運行前旅次規劃決策支援系統」計畫案部分研究成果。
 2. 中華大學運輸科技與物流管理學系副教授 (聯絡地址：300 新竹市五福路 2 段 707 號中華大學運輸科技與物流管理學系；電話：03-5186595；E-mail：jmingsu@chu.edu.tw)。
 3. 中華大學科技管理研究所運輸科技與物流管理組碩士。
 4. 交通部運輸研究所運輸經營管理組研究員。
 5. 交通部運輸研究所運輸經營管理組組長。
 6. 中華大學科技管理研究所運輸科技與物流管理組博士班研究生。

ABSTRACT

Unlike private vehicles whose travel route choice planning is particularly emphasized, bus itinerary planning requires a search algorithm considering the constraints imposed by line routes and stops. The purpose of this paper is to develop a heuristic search algorithm which is composed of pre-process for GIS data and itinerary planning for bus routes to generate alternatives and map guides of walking links for bus travelers. A case study using the bus system in Hsinchu City was conducted to demonstrate the algorithm and its potential applications. The results indicate that the algorithm can find all feasible alternatives in less than 2 minutes and can therefore provide a basis for future development of ATIS (Advanced Traveler Information Systems).

Key Words: Bus; Transit itinerary planning; ATIS

一、前言

先進大眾運輸旅行者資訊系統 (advanced traveler information system, ATIS) 的發展，近年來已成為各交通主管機關提升觀光客及一般通勤族使用大眾運輸比例之必要手段，國內各大都市亦隨著公車動態資訊系統之建置，相繼提供大眾運輸系統之行前旅次規劃功能，讓使用者可以方便的查詢到旅次起迄點間所能提供服務的公車路線。然由於大眾運輸系統受限於營運路線之限制，並無法如同一般私人運具之旅次規劃般，可直接利用最短路徑分析法，再配合地理資訊系統之導引，即可完成相關規劃作業。另一方面，由於大眾運輸使用者對於行前旅次之規劃，大多以網際網路作為查詢平台，故在規劃邏輯之構建上，尤須著重運算效率，以避免因查詢者的增加而降低系統之執行績效。本研究旨在整合地理資訊系統強大之空間分析功能，以汽車客運路線作為分析對象，發展行前旅次規劃邏輯，透過對路線特性的掌握，提供使用者必要之查詢資訊，以作為後續國內發展相關行前旅次規劃資訊系統之依據。

二、文獻回顧

大眾運輸行前旅次規劃功能乃屬行前旅次規劃之一功能，一般行前旅次規劃，包括私人運具之行駛路徑規劃及大眾運輸旅次規劃等兩大類，胡大瀛等人^[1]即曾構建一套整合私人運具與大眾運輸之交通資訊系統，其在大眾運輸之行前旅次規劃方面，主要係以停靠站作為旅次起迄點，利用 Dijkstra^[2]之最短路徑演算法進行規劃工作。然在 Huang 及 Peng^[3]、張存保等人^[4]之研究中，均指出大眾運輸路網與一般私人運具路網相較，具有下列三項特性：(1) 不同路線包含相同停靠站：同路段可能包含多條路線，而多條路線可能包含同停靠站；(2) 起迄點來回路線非對稱：尤其是大眾運輸工具往返程路線常常並不一致，部分停靠

站在整條路線中僅在往程路線或返程路線上設站；(3) 轉乘節點之特殊性：由於大眾運輸工具只能在行駛路線之站點停靠，因此不同的大眾運輸路線在空間上重疊時，停靠站卻不可能完全重疊。實際上當停靠站不重疊時，乘客進行轉乘常常必須步行一段距離到達另一條路線之停靠站，達到轉乘的目的，此與私人運具路網之連通性有極大差異，在私人運具路網中之道路交叉點連接多條路段時，車輛可在交叉點中之路段中任意轉換。上述之路網特性差異，導致以私人運具路網為基礎所發展之各項最佳化路徑演算法，並無法直接適用於大眾運輸路網分析作業 (Huang 及 Peng^[3])，因此在發展大眾運輸旅次規劃分析方法過程中，即必須有效解決大眾運輸路網特殊性問題，近幾年諸多學者逐漸投入大眾運輸路徑搜尋演算法之研究，Koncz 等人^[5]曾為市區公車發展一套單機版之大眾運輸系統路徑規劃演算法(transit route planning algorithm, TRPA)，進行公車使用者之旅次規劃方案，該研究之起迄點即考慮一般之重要地標，而非侷限於公車路線上之站牌，但該研究單機版之環境，並無法滿足現行以網際網路為主之資訊系統，且在 TRPA 演算法中，僅考量直達與一次轉乘方案，而無法提供目前歐美日等城市之系統中最多兩次轉乘之輸出方案；張存保等人^[4]發展之規劃邏輯雖考量二次轉乘方案，但該研究僅以公車站牌為旅次起迄點。目前國內雖有少數大眾運輸行前旅次規劃系統在網路上供使用者查詢，但其規劃邏輯在相關研究報告中並未完整呈現，從其不合理之查詢結果，可推測其邏輯可能僅為資料庫之查詢，而未將大眾運輸路網之營運特性予以考慮，如某系統查詢由臺北火車站至國家圖書館之公車路線時，系統卻產生先由臺北火車站搭乘公車到民權大橋，再由民權大橋搭乘公車到國家圖書館之不合理方案，因此如何發展一套考量營運路網特性之汽車客運行前旅次規劃邏輯，即為現階段國內發展先進旅行者資訊系統之重要工作。

三、規劃邏輯

汽車客運行前旅次規劃邏輯的建構，依據功能規劃之差異將有所不同，如若僅考量場站與站牌間之旅次規劃，由於旅次起迄點與汽車客運之站牌間並不一定存在關係，就使用者而言，未必知道起迄點與站牌之關係，故嚴格而言僅能視為一路線查詢系統，為明確規範本研究構建演算邏輯之適用範圍，本章將先說明邏輯之基本功能與假設後，再說明本研究構建之行前旅次規劃演算邏輯。

3.1 基本功能與假設

1. 考量任一重要地標間之旅次規劃，而非侷限於站牌間之規劃：考量使用者進行旅次規劃之起迄點並不一定在場站或站牌間，特別是站牌名稱通常只能以單一名稱表示，若一個站牌附近有多個重要地標時，使用者即需事先知道所欲到達重要地標附近之站牌，以圖 1 新竹市親仁里站牌為例，其 500 公尺內包括新竹市都市發展局、迎曦大飯店、新竹市北區戶政事務所及東門國小等重要地標。由於使用者之起迄點一般應為重要地標，而非站牌，故本研究發展之演算邏輯即需考量任一重要地標間之旅次規劃。



圖 1 新竹市親仁里站牌

2. 考量使用者之最長步行距離限制：由於本研究以任一重要地標作為旅次規劃之起迄點，故在重要地標與站牌或場站間，即必須考量使用者之步行距離限制，以避免產生不為使用者接受之方案。另在轉乘方案中，亦必須考量不同客運路線間站牌之步行距離限制，國內外文獻資料一般皆以 500 公尺為可接受之最長步行距離。
3. 提供旅次起迄點間任一步行段之地圖導引顯示：從一位大眾運輸使用者角度而言，進行行前旅次規劃時，只需確認起迄點間所需搭乘之汽車客運路線，並不需要如私人運具使用者般完全掌握確實行駛路徑，但其最大之困難點將會發生在旅次起點至搭乘站牌間、發生轉乘行為時兩條不同路線站牌間及下車站牌至旅次目的地間之步行路徑導引，為提供使用者充分之搭乘資訊，本研究所構建之演算邏輯必須能提供使用者所有可能發生步行行為之地圖導引顯示。
4. 旅次間之路線轉乘最多以兩次為原則：由於使用者發生轉乘行為時，必須產生額外之步行成本、候車成本及上下車成本，因此一般之大眾運輸旅次規劃系統常以兩次轉乘為其上限^[6]，故本研究之旅次規劃邏輯亦以最多兩次轉乘為原則，依此原則該邏輯可能產生之輸出方案總計包括下列五種：
 - (1) 直接步行方案：使用者旅次規劃之起點，若於最大步行距離限制內即可直接到達迄點時，即不需搭乘任何汽車客運路線，目前已正式上線之旅次規劃系統常會發生如圖 2 之規劃結果，該例中由「臺北護理學院」出發至「振興醫院」時，其直接步行距離僅為 80 公尺，但系統卻提供需搭乘公車至較遠之捷運劍潭站再轉乘另一路線公車之規劃方案，雖然步行距離為 75 公尺，但搭乘公車之距離卻增加 9,100 公尺，因此未來之規劃邏輯必須能夠避免此一不合理方案之輸出。
 - (2) 直達方案：該方案乃指起點與迄點最長步行距離限制內，有同一條汽車客運路線之站牌，以圖 3 之簡例而言，使用者起點 500 公尺步行距離限制範圍內有一路線 A 之站牌 A2，迄點 500 公尺步行距離限制範圍內亦有一路線 A 之站牌 A6，則規劃邏輯

之輸出方案即為自起點步行至 A2 站牌，直接搭乘路線 A 至 A6 站牌下車，再步行至迄點，行程中僅需使用單一汽車客運路線。該方案之輸出除需提供使用者所搭乘客運路線外，尚需輸出由起點步行至上車站牌及下車後步行到迄點之文字及地圖導引資訊。

起點：台北市[台北護理學院]
終點：台北市[振興醫院]

建議搭乘方案：

● 公車一次轉乘

搭乘方案：公車一次轉乘		
建議方案	搭乘方式	詳細資訊
1	從[榮總]搭乘[216]至[榮總一]下車，再從[榮總一]搭乘[216(區間車)]至[宏國新村]下車。	詳
2	從[榮總]搭乘[216]至[振興醫院]下車，再從[振興醫院]搭乘[216(區間車)]至[宏國新村]下車。	詳
3	從[榮總]搭乘[216]至[中正高中]下車，再從[中正高中]搭乘[216(區間車)]至[宏國新村]下車。	詳
4	從[榮總]搭乘[216]至[捷運劍潭站]下車，再從[捷運劍潭站]搭乘[216(區間車)]至[宏國新村]下車。	詳
5	從[榮總]搭乘[216]至[中正高中]下車，再從[中正高中]搭乘[223]至[榮總一]下車。	詳

圖 2 現行上線系統對直接步行方案之不合理輸出結果

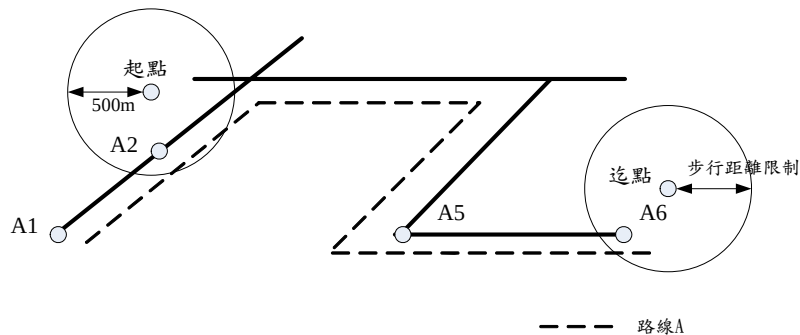


圖 3 直達方案示意圖

- (3) 一次轉乘方案：該方案乃指使用者除起點至上車站牌、下車站牌至迄點之步行過程外，需搭乘兩條汽車客運路線方能完成其旅次行為之方案，亦即在兩條汽車客運路線間需發生一次轉乘行為，而此一不同路線間之轉乘行為，亦需在步行距離限制範圍內方可產生，以圖 4 之簡例而言，使用者自起點需先步行至 A2 站牌，搭乘路線 A

至站牌 A5 處下車，再步行 250 公尺至 B1 站牌搭乘路線 B，在 B2 下車後步行至迄點。該方案之輸出除包括搭乘兩條客運路線名稱外，尚需提供由起點步行至上車站牌及下車後步行到迄點之文字及地圖導引資訊，及不同路線在轉乘點之站牌名稱與確切地理位置，及站牌間步行轉換過程之文字及地圖導引資訊。

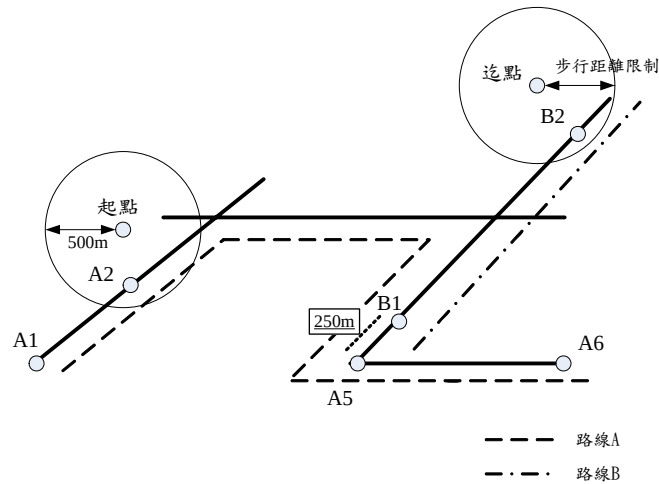


圖 4 一次轉乘方案示意圖

- (4) 兩次轉乘方案：該方案乃指使用者在行程中必須經過兩次轉乘行為，方能完成整個旅次，亦即必須搭乘不同之三條客運路線，以圖 5 之簡例而言，使用者自起點出發後，需先步行至 A2 搭乘路線 A 至 A5 站牌下車，步行 250 公尺至 B1 站牌搭乘路線 B 至 B3 站牌下車，再步行 50 公尺至 C3 站牌轉搭路線 C 至站牌 C1 下車，最後再步行抵達目的地，該方案之輸出除包括搭乘之所有客運路線名稱外，尚需提供由起點步行至上車站牌及下車後步行到迄點之文字及地圖導引資訊，及不同路線在兩處轉乘點之站牌名稱與確切地理位置，及站牌間步行轉換過程之文字及地圖導引資訊。
- (5) 無可行方案：當起迄點兩端步行範圍限制內均無法找到汽車客運站牌，或搜尋到之站牌所服務客運路線，並無法在兩次轉乘限制條件內，找到可以連接之汽車客運路線時，即表示在該限制條件下無法找到可行方案，則亦必須將無可行方案之規劃結果告知使用者。
5. 利用平均發車班距作為轉乘時之方案評估依據：旅客轉乘時轉乘路線間時刻表的銜接，為旅次規劃時之重要考量因素之一，但由於目前國內缺乏完整之客運路線時刻表資料，經考量邏輯之實用性，本研究以平均發車班距作為旅次規劃之評估依據，亦即在轉乘點中，若存在兩條以上轉乘路線時，將以平均發車班距較小者，作為較佳之輸出方案。

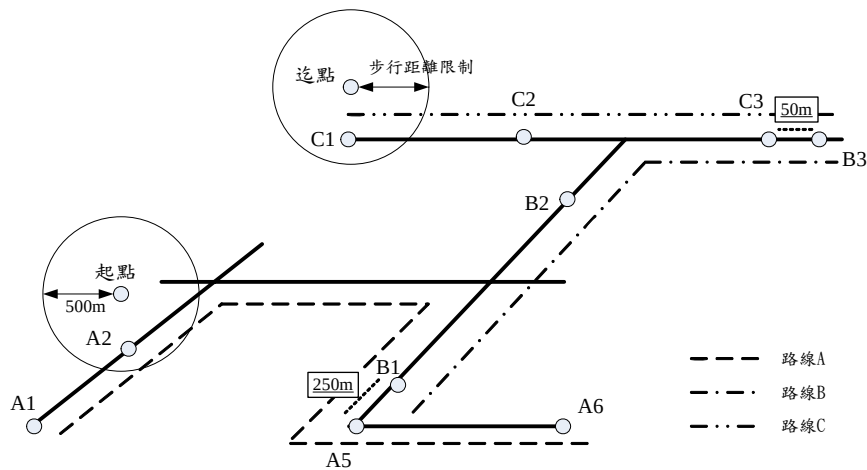


圖 5 兩次轉乘方案示意圖

3.2 規劃邏輯構建

考量本研究所規劃之行前旅次規劃演算邏輯中，需同時處理起迄點之空間地理資料分析及汽車客運資料搜尋之複雜性，特別是未來在網際網路上同時有多人使用之運算效率問題，故將演算邏輯區分為地理資訊之前處理作業及汽車客運路線規劃邏輯兩步驟，其中地理資訊之前處理作業，主要依據使用者所設定之最長步行距離限制下，計算各起迄點至站牌間、及發生轉乘行為時自原搭乘路線站牌步行至轉乘路線站牌之最短距離。由於本研究所規劃之功能中，必須產生旅次中所有步行過程之導引地圖，因此最短距離之計算基礎，必須建構在實際之道路路網上，而不能僅為兩點間之最短空間距離。本研究為加快未來演算邏輯之運算效率，將利用地理資訊系統最短路徑功能，產製各重要地標與各站牌間之最短成本計算，及其最短路徑路線導引所經過之節點記錄等工作，透過前處理方式事先計算並記錄。由於步行最短路徑之計算作業，並不會隨交通條件的變化而影響，只有當重要地標或站牌有異動時方會改變，故事先之處理，並不會影響第二階段汽車客運路線規劃邏輯之分析結果。而汽車客運路線規劃邏輯，則是考量汽車客運路線不同路線包含相同停靠站、起迄點來回路線非對稱之特性，依據前處理所得之最短路徑節點集合與成本資料，進行路線規劃作業。後續茲就各階段之詳細分析程序說明如下：

(一) 地理資訊之前處理作業

此階段程序乃於行前旅次規劃系統建置之初、或重要地標及站牌資料庫異動時才需執行，故不會直接影響使用者在網際網路上進行旅次規劃之執行速度，但前處理作業產製資料之完整性，將間接影響汽車客運路線規劃邏輯之執行效率。本研究考量提升第二階段線上處理效率所需之資料庫，同時兼顧前處理作業之執行速度，提出下列分析程序：

1. 基本資料篩選分析：本步驟主要針對重要地標及汽車客運站牌之資料，進行初步篩選作業，以縮短後續最短路徑作業時間。由於在前述邏輯之假設中，已設定最長步行距離限制，故若重要地標或站牌間之直線距離超過此一設定值時，即表示此兩點間在實際路網之最短路徑距離上，不可能滿足最長步行距離限制，即將其排除在後續最短路徑之分析集合中。目前本研究將該步行距離限制設定為 500 公尺，未來若系統規劃單位增加該設定值時，雖可提升使用者之規劃彈性，但亦可能會因為涵蓋範圍的擴大而增長其作業時間。
2. 實際路網步行最短路徑分析：依據前一步驟確定各起迄點間之最短路徑分析集合後，即需以實際之道路路網進行最短路徑分析作業。經利用本研究自行以 Visual C⁺⁺ 所撰寫之 Dijkstra 演算法進行演算後，將可完整記錄各起迄點間之最短路徑成本與最短步行路徑之節點座標，其中最短路徑成本，主要應用於告知使用者各步行過程之步行距離，及依據最短步行距離作為各方案優先順序之評選基礎；而最短步行路徑之節點座標，則可作為後續提供使用者圖形化路徑導引之基礎，並可改善直接利用電子地圖資料檔 (如 shp 檔) 儲存時，因檔案過多而不易管理之缺點。而最短路徑資料之分析結果，則依據起迄點之特性，區分為重要地標至重要地標、重要地標至站牌及站牌至站牌等三種資料表。
3. 產生路線視界表 (view)：路線視界表的產製，主要為提升後續在網際網路進行汽車客運路線規劃邏輯的運算效率，其主要融合地圖資訊之線性觀念，將原本資料表中單純的點對點關聯性，轉換為線對線之關聯性，使得在搜尋可行的轉乘路線時，由起始路線之起始站牌，依其站序向後個別尋找每一站所能轉乘之路線方式，轉換成搜尋起始路線可轉乘之後續路線，再利用所得之兩路線尋找適合之轉乘點，以減少搜尋個別站牌所對應之轉乘路線次數，加速運算效率。以圖 6 之公車路網為例，其中甲點與乙點分別為旅次之起迄點，路網中總計有 A 至 E 等 5 條公車路線，A1 至 E4 則分別代表不同路線上之站牌編號，且分別搜尋到甲點可在站牌 A1、B1 搭乘 A、B 路線，而乙點可在 C9、D1、D2 搭乘 C、D 路線。傳統無路線視界表 (R2R) 之搜尋方式，為利用站牌至站牌資料表，搜尋出路線 A、路線 B 沿線所有站牌及所對應其他路線之站牌集合，再由該集合中搜尋出可轉乘至路線 C、路線 D 之站牌，其搜尋方式示意如圖 7：首先由站牌 A1 開始依站序搜尋，其中 s1 至 s3 表搜尋步驟，虛線則表示可搜尋範圍，當確定路線 A 無可行方案時，即由路線 B 之站牌 B1 依站序進行 s4 到 s9 之搜尋，即可發現分別可在站牌 B5 經站牌 C7 轉乘路線 C 至乙點、及在站牌 B6 經站牌 C6 或 C7 轉乘路線 C 至乙點，最後即可經由兩路線之站序判斷路線方向性，產生可行方案。由圖 7 之示意圖可發現，採無路線視界表之搜尋方式，共需進行八次資料庫搜尋動作，其可行解集合將視甲、乙兩點可搭乘路線與站牌數目的多寡而影響求解時間。若採用路線視界表時，其搜尋方式將可如圖 8 所示，首先利用前處理所產製之 S2S 資料表，其中即包含所有可步行之路線編號 1、站牌 1 與路線編號 2、站牌 2。若 S2S 資料表中有多筆資料可使路線 A 步行至路線 B，則在直接搜尋下，將會因為 S2S 資料表中之筆數過多而使搜尋時間過長，亦會得到多筆相同之路線 A 可轉乘路線 B 之資料。因此本研究為簡化查詢資料數與節省搜尋時間，

乃利用資料庫查詢語法，對 S2S 進行關聯性查詢，主要目的在求得一簡化之轉乘路線視界表 (R2R)，其欄位包含路線編號 1 與路線編號 2，代表路線編號 1 可轉乘至路線編號 2；當欲查詢轉乘資訊時，可先利用起迄點個別之路線編號，查詢路線視界表中是否有符合資料，若有，則表示起迄點有公車路線可轉乘。當確定甲點可分別在站

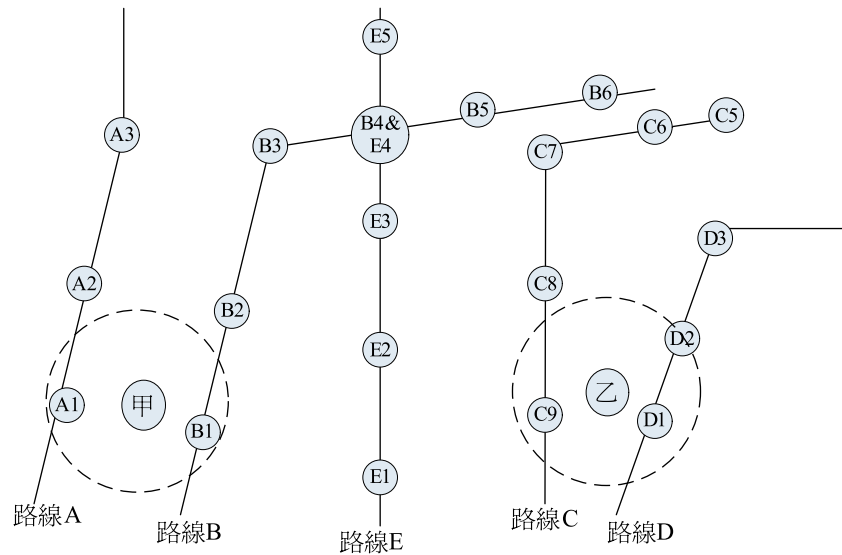


圖 6 公車路網簡例

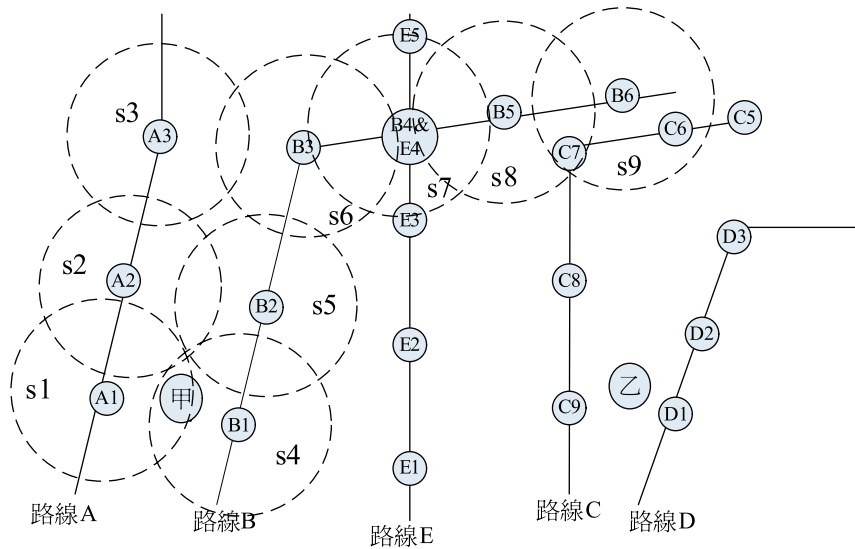


圖 7 無路線視界表搜尋方式示意圖

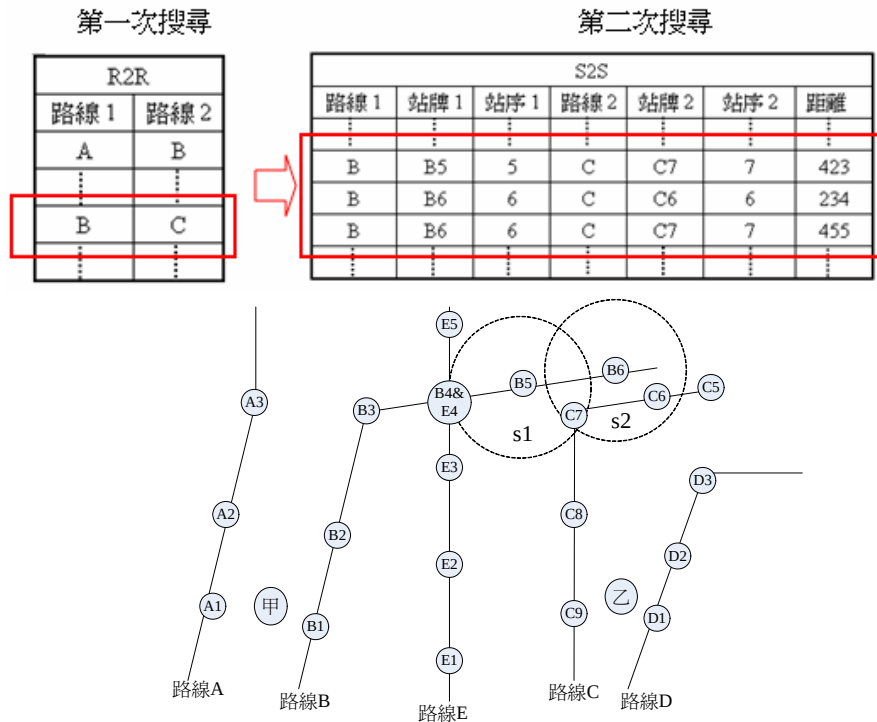


圖 8 含路線視界表搜尋方式示意圖

牌 A1、B1 搭乘 A、B 路線，而乙點可分別在站牌 C9、D1、D2 搭乘 C、D 路線後，即可由 R2R 路線視界表得 B 路線與 C 路線為可行轉乘方案，再以路線 B 與路線 C 為搜尋條件，搜尋站牌到站牌資料表 (S2S) 中符合路線條件的可行方案，最後僅需依站序判斷，確認路線 B 之轉乘站牌 B5 大於上車站牌 B1，同時路線 C 之轉乘站牌 C7 小於下車站牌 C9，即表示使用者在 B1 站牌上車後，可在站牌 B5 下車步行至站牌 C7，再轉搭路線 C 至站牌 C9 站下車，即可到達目的地。另一方面，當站牌或地標資料更新時，管理者只需更新資料表中之資料，無需修改路線視界表設定值，故不會造成管理者維護作業的困擾。

(二) 汽車客運路線規劃邏輯

本階段邏輯，主要作為使用者進行網際網路線上行前旅次規劃分析之用，故需著重在邏輯運算效率之提升。本研究所規劃之演算流程如圖 9 所示，茲就相關步驟分述如後：

1. 最長步行距離限制判斷：依據使用者設定之起迄點資料，判斷兩點間之步行距離是否小於設定之最長步行距離範圍，若符合該條件，表示起迄點間並不需搭乘任何汽車客運，亦即可判斷為直接步行方案，直接進行步驟 6 之輸出作業；若兩點間之步行距離大於設定之最長步行距離範圍，則表示該旅次需搭乘汽車客運方能完成，故需進行後續步驟。

2. 分析兩個起迄端點是否皆有汽車客運路線經過：將行經起點之路線集合設為 $SRN\{\}$ ，行經迄點之路線集合設為 $ERN\{\}$ ，若兩集合中有一個為空集合，即表示此一起迄對間並無法利用汽車客運路線予以連接，亦即無可行方案，則直接進行步驟 6 之輸出作業；若皆非空集合，則表示起迄端點間可能有汽車客運路線可提供服務，需透過後續分析方能判斷提供服務之路線銜接型態。
3. 進行直達方案之判斷分析：將 $SRN\{\}$ 與 $ERN\{\}$ 兩路線集合之交集設為 $tmp\{\}$ ，若 $tmp\{\}$ 不為空集合，則表示在兩個起迄點間有相同之汽車客運路線提供服務，即進一步選取 $tmp\{\}$ 集合中之路線 i 進行起迄點之站序判斷，判斷起點站序是否小於迄點站序。若符合條件，則表示公車行駛方向為由起點至迄點，即可視為可行方案；若不符合，則表示公車行駛方向為由迄點至起點，此方案即為不可行方案。經確認直達方案之路線編號及站牌位置後，將所有 $tmp\{\}$ 中符合起迄點站序之可行方案，依使用者所設定之搜尋條件進行排序，並進行步驟 6 之方案輸出作業；若 $tmp\{\}$ 為空集合，則表示該起迄點間無直達方案，需進行後續轉乘方案步驟之分析。
4. 進行一次轉乘方案之判斷分析：依據前處理作業所產生之路線視界表，進行 $SRN\{\}$ 與 $ERN\{\}$ 兩集合中所有路線之相交判斷，若存在 $SRN\{\}$ 之 R_i 與 $ERN\{\}$ 之 R_j 相交，則需進一步判斷路線 R_i 與 R_j 符合最大步行距離限制之站牌站序，是否滿足起迄點站序條件，此條件為起點站序須小於路線 R_i 之下車點站序，而迄點站序須大於路線 R_j 之上車點站序，若滿足上述條件，才得以確認公車行駛方向滿足起迄點需求；若未滿足，則表示起迄點並無法經由路線 R_i 與 R_j 轉乘到達。若產生可行方案，則記錄符合條件之可行方案，並依使用者所設定之查詢條件進行排序，進而輸出一轉乘方案；若未符合條件，即進行後續步驟之分析。
5. 進行二次轉乘方案之判斷分析：依序選取 $SRN\{\}$ 中路線 R_i ，並依據路線視界表產生與路線 R_i 相交之所有路線集合 $SR1\{\}$ ，再依序針對 $SR1\{\}$ 中所有路線 R_{ij} ，利用路線視界表產生與 R_{ij} 相交之路線集合 $SR2\{\}$ ，並分析 $SR2\{\}$ 與 $ERN\{\}$ 兩集合內之路線是否存在相同編號，若存在相同編號，則需判斷轉乘的三條汽車客運路線中符合最大步行距離限制之站牌站序，是否滿足起迄點站序條件，並記錄符合條件之站牌位置，以完整記錄二次轉乘方案所需搭乘之公車路線及轉乘位置；若無法得到相同路線編號，即表示在兩次轉乘限制條件下，無法找到可行之方案。最後將所得之可行方案，利用階梯方式，先取 $SRN\{\}$ 中一路線 R_i ($i = 1$)，並查詢滿足轉乘條件之路線集合 $SR1\{\}$ ，若 $SR1\{\}$ 為空集合，則退回前步驟取 $SRN\{\}$ 第二條路線 R_i ($i = 2$)，若 $SR1\{\}$ 非為空集合，則選取 $SR1\{\}$ 中之路線 R_{ij} ($i = 1, j = 1$)，查詢滿足轉乘條件之路線集合 $SR2\{\}$ ，若 $SR2\{\}$ 為空集合，表示無可行方案，即自 $SR1\{\}$ 中選取另一路線 R_{ij} ($i = 1, j = 2$)；若 $SR2\{\}$ 非空集合，則個別取 $SR2\{\}$ 中之路線 R_{ij} ($i = 2, j = 1$)，並與 $ERN\{\}$ 進行比對，若 R_{ij} ($i = 2, j = 1$) 符合屬於 $ERN\{\}$ 時，即表示 R_i ($i = 1$)、 R_{ij} ($i = 1, j = 1$) 與 R_{ij} ($i = 2, j = 1$) 三條路線可符合二次轉乘條件，則進一步判斷是否符合前述之站序條件，若是，則將此結果記錄為可行方案，並回前步驟取

SR2{}第二條路線 R_{ij} ($i = 2, j = 2$) 進行比對。若不符合前述之站序條件，則放棄此結果，回前步驟取 SR2{}第二個路線 R_{ij} ($i = 2, j = 2$) 進行比對。當所有集合內路線條件皆分析完成後，即可得所有可行方案集合，最後再依使用者所設定之條件進行排序並輸出相關資訊。

6. 結束演算法並輸出分析結果。

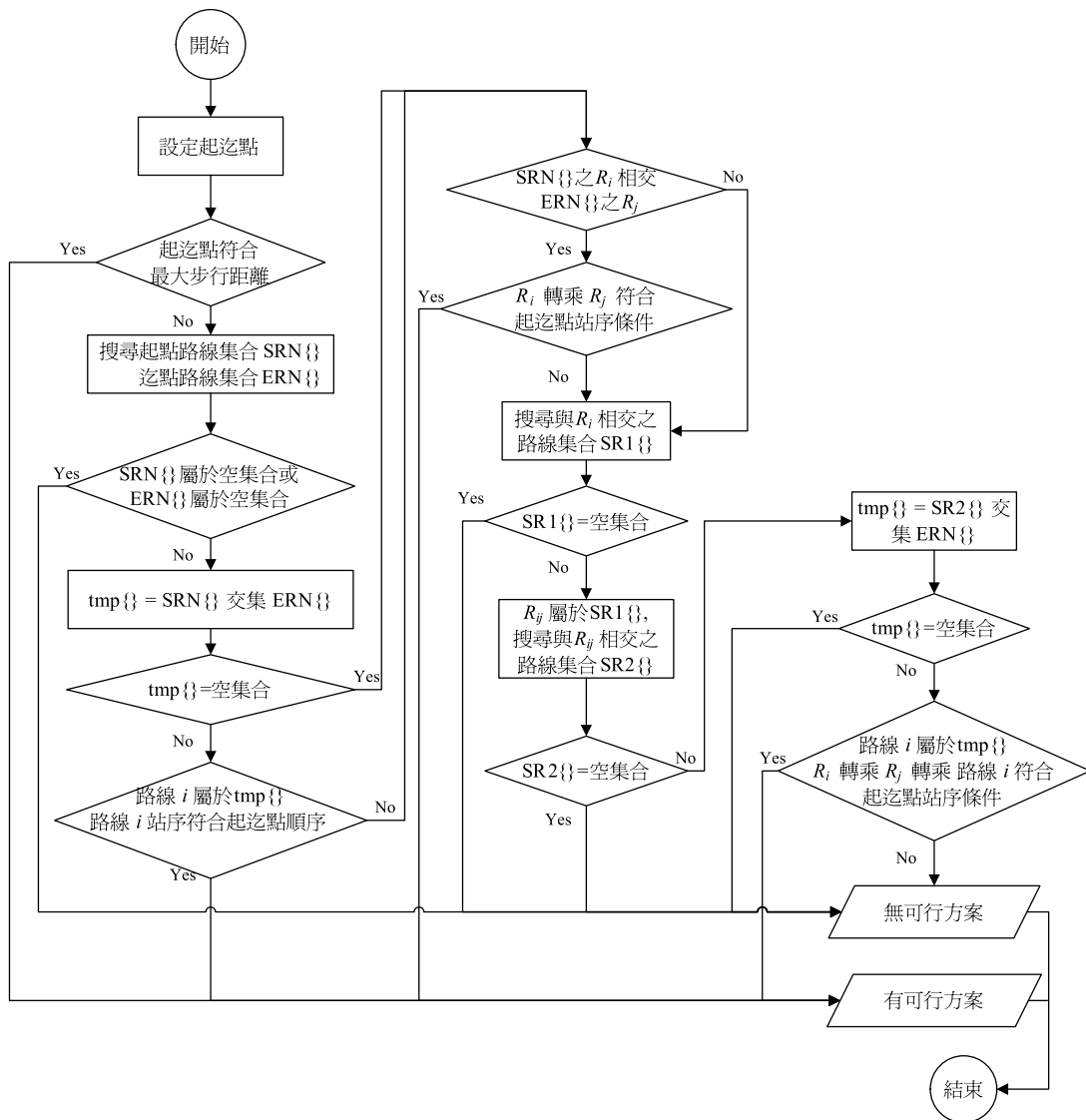


圖 9 汽車客運路線規劃邏輯分析流程圖

四、測試與應用

本研究所構建之汽車客運行前旅次規劃邏輯，未來將作為發展各先進旅行者資訊系統之依據，而不正確之資訊提供，將導致使用者對系統之不信任，故規劃邏輯之正確性，為十分重要之課題。本節主要可區分為利用簡例進行正確性測試，及利用新竹市市區公車進行實際之應用測試兩部分，同時針對各測試結果進行綜合檢討。

4.1 正確性測試

汽車客運行前旅次規劃邏輯所輸出建議方案之正確性，受到規劃邏輯及汽車客運路線資料庫影響，儘管構建出正確之規劃邏輯，但資料庫的錯誤，亦將導致輸出方案的不合理。由於汽車客運路線資料庫的正確性，並非本研究探討範圍，故在邏輯正確性測試方面，將以一小型虛擬路網進行測試，冀望藉由小型虛擬路網容易確認不同規劃方案之特性，確認演算邏輯是否可如預期產生正確且合理之輸出方案，依此所設計之路網如圖 10 所示，該虛擬路網中之路線 A 至路線 H 等 5 條實線為汽車客運路線，而 A1 等 37 個節點，則表示汽車客運路線之站牌，虛線則表示節點間之步行距離在最大步行距離限制範圍內（如 B2 至 A3 之步行距離為 90 公尺），整個虛擬路網各轉乘節點之相關基本資料如表 1 所示，由表中之轉乘節點，可建立不同路線之連結關係，達到多次轉乘之旅次規劃目的。

表 1 虛擬路網轉乘節點基本資料

起點路線名稱	起點站牌名稱	迄點路線名稱	迄點站牌名稱	步行距離
路線 A	A1	路線 H	H1	450 公尺
路線 A	A3	路線 B	B2	90 公尺
路線 A	A3	路線 B	B3	100 公尺
路線 C	C2	路線 B	B4	120 公尺
路線 C	C2	路線 B	B5	130 公尺
路線 C	C3	路線 B	B4	125 公尺
路線 C	C3	路線 B	B5	145 公尺
路線 D	D2	路線 C	C4	155 公尺
路線 D	D4	路線 E	E5	230 公尺
路線 E	E1	路線 F	F4	125 公尺
路線 F	F2	路線 H	H3	85 公尺
路線 F	F1	路線 H	H3	95 公尺

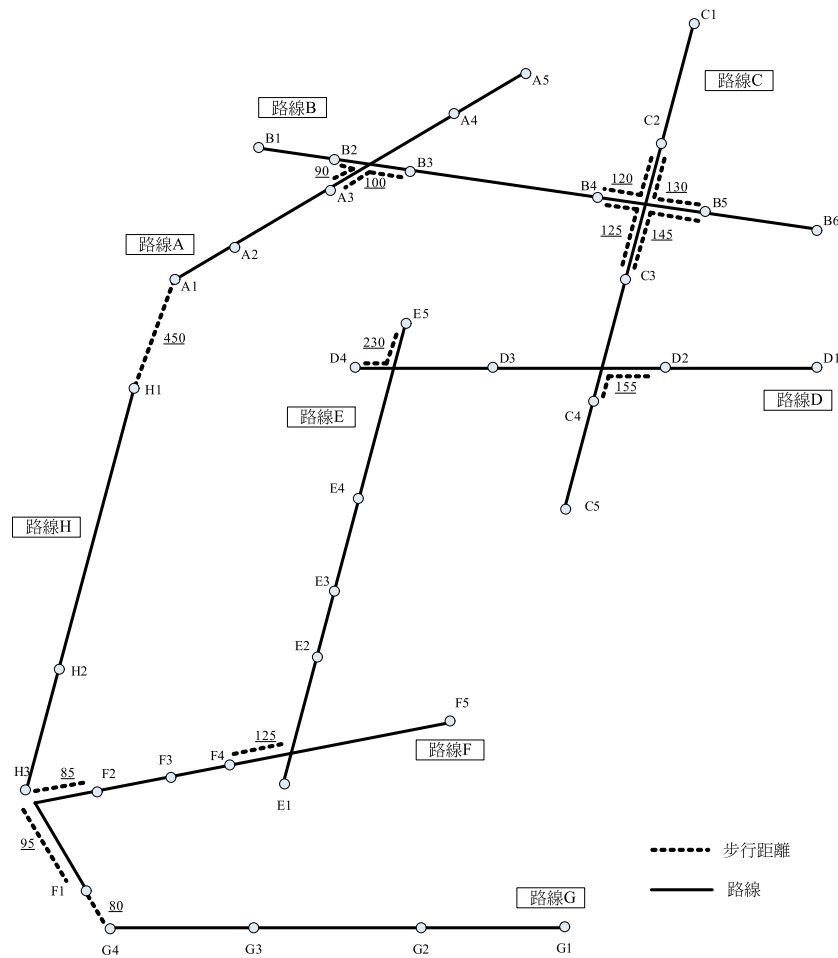


圖 10 虛擬路網示意圖

依據前一節中行前旅次規劃邏輯之假設，邏輯之輸出方案包括直接步行、直達、一次轉乘、二次轉乘及無可行方案等五種方案類型，經分別針對不同類型方案，各隨機選取 10 個方案進行測試，其測試結果如表 2 所示。由表 2 之測試結果可知，在總計 50 個方案之測試例中，本研究所構建之汽車客運行前旅次規劃邏輯，均能規劃出正確之方案，顯示該邏輯應具正確性。

4.2 實例應用

經前述小型虛擬網路測試驗證規劃邏輯之正確性後，本研究進一步以新竹市市區公車路網進行應用測試。新竹市總計有 19 條市區公車路線、511 處站牌，測試資料庫中之重要地標數目計有 432 個，測試方式係隨機選取 30 筆不同起迄點進行分析。本研究所構建之汽車客運路線行前旅次規劃系統簡易輸入介面如圖 11 所示，而輸出方案之文字顯示畫

表 2 虛擬路網正確性測試結果

方案類型	測 試 方 案	測試正確性
直接步行方案	A3→B3、B4→C3、B5→C3、D2→C4、A1→H1 A3→B2、E1→F4、C2→B4、E5→D4、F1→H3	100%
直達方案	B3→B6、D1→D4、B5→B1、C4→C5、G2→G4 A2→A5、F3→F5、E2→E1、F5→F1、H1→H3	100%
一次轉乘方案	H1→B4、E3→D1、G2→F2、B6→A2、A5→B1 B3→C5、C1→D3、D2→E4、A4→H2、H2→A2	100%
二次轉乘方案	B1→D1、F1→D3、E2→C5、F5→A4、D1→B3 E4→C3、C1→A5、F4→D2、C5→E4、E3→G1	100%
無可行方案*	A5→D4、B1→E4、A5→E2、B4→F1、C5→A1 G1→D2、A2→D4、B4→F5、A1→D3、C3→G4	100%

註：*表示該起迄點必須超過兩次轉乘才能完成。

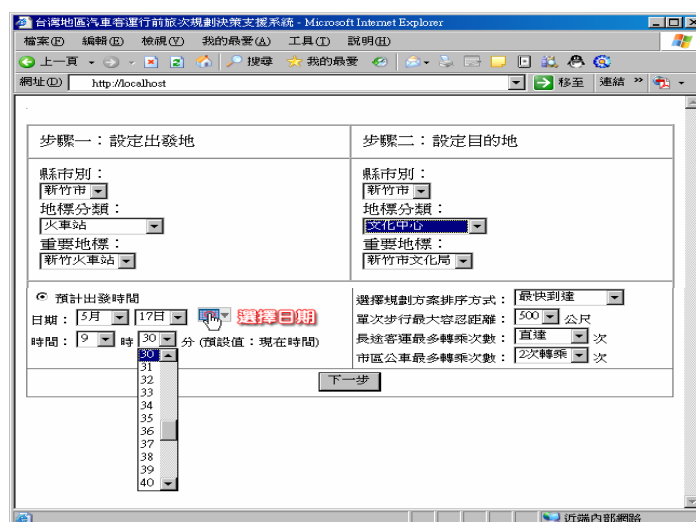


圖 11 輸入介面圖

面及旅次中有關步行旅程之地圖導引畫面分別如圖 12 與圖 13 所示。

30 筆測試資料之測試結果如表 3 所示，經檢核實際營運路線，發現其中有 2 筆資料之輸出與實際方案不符合，錯誤率為 6.67%，其中海天一線至國立清華大學應為兩次轉乘方案、國立清華大學至新竹市政府應為直達方案，經檢核此兩筆資料發生不同輸出結果之原因，均為在國立清華大學附近 500 公尺範圍內找不到公車站牌，但實際上距離國立清華



市區公車直達方案計算共(6)案註：以步行距離排序

地圖	步行(68)公尺	火車站(中正路)上車	市區公車：(12)	文化中心下車	步行(53)公尺	地圖
新竹火車站						新竹市文化局
方案1：共步行121公尺 預估總步行時間2分鐘，由12路上下車。 票價共(15)元						
地圖	步行(68)公尺	火車站(中正路)上車	市區公車：(12)	文化中心下車	步行(53)公尺	地圖
新竹火車站						新竹市文化局
方案2：共步行121公尺 預估總步行時間2分鐘，由12路上下車。 票價共(15)元						
地圖	步行(68)公尺	火車站(中正路)上車	市區公車：(16)	北大橋下車	步行(289)公尺	地圖
新竹火車站						新竹市文化局
方案3：共步行357公尺 預估總步行時間7分鐘，由16路上下車。 票價共(15)元						
地圖	步行(68)公尺	火車站(中正路)上車	市區公車：(16)	北大橋下車	步行(289)公尺	地圖
新竹火車站						新竹市文化局
方案4：共步行357公尺 預估總步行時間7分鐘，由16路上下車。 票價共(15)元						
地圖	步行(407)公尺	東門市場上車	市區公車：(30)	北大橋下車	步行(289)公尺	地圖
新竹火車站						新竹市文化局

圖 12 輸出方案文字顯示圖

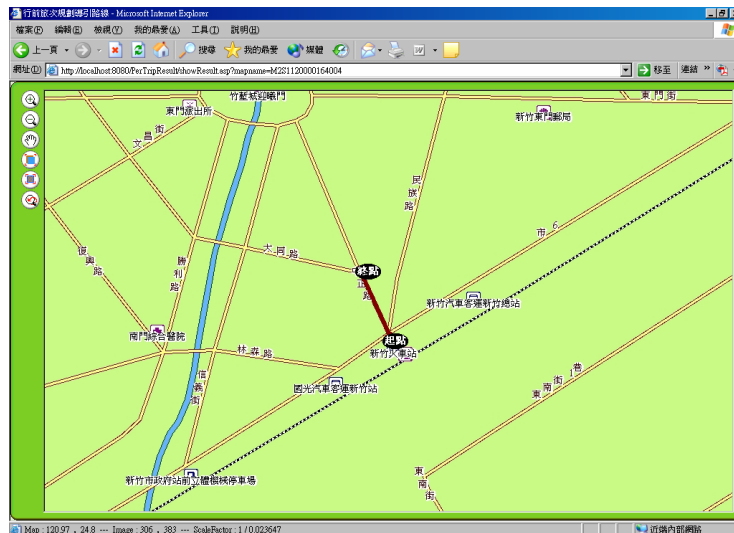


圖 13 輸出方案地圖導引圖

大學 100 公尺內即有清華大學站，且清華大學站均有公車可到達海天一線及新竹市政府兩個重要地標點，故本研究推論產生錯誤之原因，應為重要地標或公車站牌資料庫之問題，經重新檢核電子地圖資料庫內容後，發現清華大學站之站牌位置無誤，但國立清華大學距離清華大學站達 564.29 公尺，經以電子地圖顯示國立清華大學位置如圖 14 所示，發現該地標位置乃位於清華大學校園中央，並非於清華大學校門口，此與一般使用者之認知有所差異，經本研究將國立清華大學地標位置移動至位於光復路之校門後，即可搜尋到與實際相符之輸出方案，將方案輸出正確率提升至 100%。



圖 14 清華大學原始地標圖

五、結論與建議

5.1 結論

本研究考量大眾運輸路網特性及重要地標與站牌間之空間地理特性，發展一套汽車客運行前旅次規劃邏輯，並將該規劃邏輯依據資料庫之異動頻率多寡，區分為地理資訊前處理作業及汽車客運路線規劃分析兩步驟，以提升該邏輯未來在網際網路上多人使用之運算效率，其中地理資訊前處理作業，主要在針對資料變動頻率較低的站牌及重要地標，利用 Dijkstra 演算法，進行旅次規劃中有關步行過程之最短路徑成本及導引地圖之計算工作；而汽車客運路線規劃分析，則為依據使用者在網際網路上設定之旅次規劃條件，進行汽車客運路網之旅次規劃作業，因該規劃邏輯納入起迄點與站牌間之空間特性，故可改善傳統單純以資料庫搜尋方式所產生之不合理規劃結果。本研究之規劃可產生直接步行、直達、一次轉乘及兩次轉乘等四種不同類型之方案輸出，並提供使用者在旅次規劃中起點至上車站牌、轉乘點間站牌連接及下車站牌至迄點間之步行過程地圖導引資訊，讓使用者得知行程中除搭乘客運路線外之必要資訊。經以一小型虛擬路網及新竹市既有 511 座站牌、432 個重要地標之實際路網進行測試後，確認本研究之汽車客運行前旅次規劃邏輯，在各項空間資料庫正確無誤前提下，將可提供使用者正確之旅次規劃資訊。

5.2 建議

本研究所構建之汽車客運行前旅次規劃邏輯，乃未來發展公路汽車客運行前旅次規劃系統之核心技術，雖然已經過測試確認規劃邏輯之正確性，但在研究過程中發現國內雖曾

表 3 新竹市測試例題結果

測試例	起點重要地標	迄點重要地標	本研究規劃結果	執行時間	正確性檢核
1	新竹火車站	東門城	直接步行方案	0.09 秒	○
2	新竹市政府	地政局	直接步行方案	0.08 秒	○
3	南門綜合醫院	李澤藩美術館	直接步行方案	0.06 秒	○
4	東門派出所	新竹東門郵局	直接步行方案	0.05 秒	○
5	新竹火車站	清華大學站	直達方案	0.14 秒	○
6	新竹憲兵隊	新竹市政府	直達方案	0.16 秒	○
7	新竹火車站	東門國小	直達方案	0.18 秒	○
8	新竹高中	新竹女中	直達方案	0.17 秒	○
9	新竹都城隍廟	新竹火車站	直達方案	0.21 秒	○
10	國立交通大學	新竹關帝廟	直達方案	0.15 秒	○
11	新竹市政府	新竹市北區衛生所	直達方案	0.14 秒	○
12	地政局	新竹市政府文化局	直達方案	0.15 秒	○
13	新竹市消防局	新竹市東區區公所	直達方案	0.17 秒	○
14	市立圖書館	衛生署新竹醫院	直達方案	0.19 秒	○
15	清華大學郵局	馬偕紀念醫院	直達方案	0.18 秒	○
16	荷蘭村	光復中學	一次轉乘方案	0.78 秒	○
17	李澤藩美術館	龍山國小	一次轉乘方案	0.80 秒	○
18	新竹西門郵局	新竹監理站	一次轉乘方案	0.70 秒	○
19	古奇峰育樂園	新竹鄭氏家廟	一次轉乘方案	0.59 秒	○
20	西門國小	成德國中	一次轉乘方案	0.65 秒	○
21	玻璃工藝博物館	新竹市農會	一次轉乘方案	0.67 秒	○
22	文化局	國軍新竹醫院	一次轉乘方案	0.73 秒	○
23	香山區區公所	交通大學郵局	一次轉乘方案	0.64 秒	○
24	民政局	新竹漁港管理所	一次轉乘方案	0.89 秒	○
25	國立交通大學	新竹漁港管理所	二次轉乘方案	1.05 秒	○
26	古奇峰育樂園	海山漁港	二次轉乘方案	1.35 秒	○
27	荷蘭村	海天一線	二次轉乘方案	0.95 秒	○
28	海天一線	國立清華大學	無可行方案	0.09 秒	×
29	國立清華大學	新竹市政府	無可行方案	0.05 秒	×
30	新竹市政府	青草湖派出所	無可行方案	0.08 秒	○

多次建置公路汽車客運路線資料庫，但因近年來汽車客運路線變動頻繁，資料內容已多與現況營運路網不符，該結果將導致規劃方案之不正確，因此國內後續在發展先進大眾運輸使用者資訊系統過程中，如何確保路線基本資料庫之即時性與準確性，將為一重要之研究課題。此外，在測試過程中亦發現目前之電子地圖資料庫，常將如公園或大學等腹地面積較大之地標，以其區域中心作為標示位置，但此種標示方式在旅次規劃分析時，常會因使用者所設定之最長步行距離限制，而產生與現況不符之輸出方案，故未來在實際建置相關行前旅次規劃系統時，亦應特別留意此類型地標之標示方式，以避免產生不合理之輸出方案。目前本研究僅針對公路汽車客運路網進行實證分析工作，並未納入捷運系統、鐵路系統等其他大眾運輸路網，在提供大眾運輸使用者充分資訊、簡化查詢程序之系統發展趨勢下，未來可再考量不同大眾運輸路網特性，並加入實際之班次時刻表資料，將公路汽車客運行前旅次規劃邏輯發展成為考量時刻表之跨運具旅次規劃邏輯，透過不同運具與時刻表資料的整合，提供使用者更完整充分之旅次規劃資訊。

參考文獻

1. 胡大瀛、廖彩雲等，「交通 WWW 資訊系統之設計與實例」，1998 年臺灣地區網際網路研討會，民國八十七年。
2. Dijkstra, E. W., "A Note on Two Problems in Connection with Graphs", *Numeriche Mathematic*, Vol. 1, 1959, pp. 269-271.
3. Huang R. and Peng Z. R., "Design and Development of Interactive Trip Planning for Web-Based Transit Information Systems", *Transportation Research C*, Vol. 8, 2002, pp. 409-425.
4. 張存保、李華、嚴新平、趙新澤、高虹亮，「基於 WebGis 的程式公交問路系統」，2003 海峽兩岸智慧運輸系統學術研討會，民國九十三年，頁 A2-9 – A2-15。
5. Koncz, N., Greenfeld, J., and Mouskos, K., "A Strategy for Solving Static Multiple-Optimal-Path Transit Network Problems", *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 122, Issue 3, 1996, pp. 218-225.
6. 林煜晴，「整合動態旅行者行前資訊系統與 Internet GIS 之研究與建立」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十六年。

