

臺中市政府
95 年度自行研究發展報告

高層建築消防救災路線模擬之研究
—以臺中市中興地政事務所為例

臺中市中興地政事務所

第三課

張進益

中 華 民 國 九 十 五 年 八 月

第一章 緒論.....	1
第一節 問題陳述	1
第二節 研究目的及範圍	1
第三節 研究假設	2
第四節 研究方法及流程	3
第二章 文獻回顧.....	5
第一節 高層建築的定義	5
第二節 高層建築消防之問題	6
第三節 智慧建築的推行	8
第四節 決策支援系統架構	10
第五節 最短及最佳路徑分析	12
第三章 消防救災路線模擬功能分析與設計.....	14
第一節 消防救災路線模擬主要架構	14
第二節 功能分析	14
第三節 對談介面設計	15
第四節 資料庫內容	15
第五節 三度空間直線距離計算模組設計	17
第六節 Floyd 多端最短路徑演算法計算分析模組設計	18
第七節 功能操作流程設計	21
第四章 消防救災路線模擬功能實證.....	22
第一節 系統實作	22
第二節 狀況假設	34
第三節 結果討論	35
第五章 結論與建議.....	40
第一節 結論	40

第二節 建議	40
參考文獻	41

第一章 緒論

第一節 問題陳述

隨著建築材料、工法及設備等等的進步，高層建築超過 16 樓高度以上者比比皆是，而國內大部份雲梯車僅能搶救到 16 樓，因此對於高層建築消防救災似乎只能依賴其本身的建築設計、使用建材及消防設備功能等等。

民國 94 年 2 月 26 日下午 4 點 20 分台中市第二大樓金沙百貨突然傳出火警便是一例。

許多建築在發生火災之時，現場逃生以及救災狀況往往非常混亂，時常是圍觀的群眾阻擋了救災路線；受災民眾的逃生救災知識不全；消防工具無法適時正常發揮作用；陷於火場災民確切受困人數以及地點無法得知等等。因此，時常造成無辜的人員傷亡以及財產的損失，災民痛失家人、痛失家園，情何以堪！

然而，造就上述現場逃生及救災狀況混亂的原因，其實不論任何人都能明瞭，並且也可以避免其發生，因為傳播媒體早已大力宣導逃生救災應有的認識，而消防單位也時常到各社區大樓辦理相關的演習或訓練，甚至訂定消防設施須由專業公司定期檢驗之規定等等。這次發生火災的金沙百貨，警方亦指出，該大樓曾配合舉行過多次大樓消防演練，大樓內的消防設施已非常完備。

當然火災的預防相當重要，但如果能在火災發生時，能借重空間資訊系統以及消防專業科技等助力，即時發揮救生救災之功能，是值得且必須重視的消防救災之研究。

第二節 研究目的及範圍

如今「地理資訊系統」或「空間資訊系統」發展的層面已相當廣泛，尤其對於都市防災等相關議題也有相當多的研究，但對於高層建築防災方面似乎較少，如果能在智慧大樓建築系統中，以空間資訊系統建立高層建築圖形資料結合屬性資料，並配合消防設備的偵溫、偵煙感應器等等之自動警報設備，建立一消防救災決策支援系統。於火災發生時，將智慧大樓建築消防自

動警報設備傳來的起火點位置、火災蔓延方向、受困災民人數及位置等等的重要且緊急的資訊，立即判斷分析救災路線的重點，如救災出入口及最佳、最短路徑等等，將最精確即時的救災資訊傳送至趕往救災的消防隊員的 PDA 中，供消防隊員參考使用，因此將可降低災民傷亡，財物損失，加快消防隊救生救災的速度，達到快速有效的救生救災神聖任務。

故本研究之目的係為建立消防救災決策支援系統，先行對其目的及其中消防救災路線模擬功能等進行分析規劃，研擬系統架構，作為將來建立決策支援系統時之明確的參考依據，以期達到未來利用系統協助消防救災的目的。

第三節 研究假設

若要建立完整的消防救災決策支援系統，有下列待解決的數種問題：

- 一、火災發生的原因、時間及地點不確定？
- 二、火災蔓延的方向不確定？
- 三、災民的人數及逃生狀況不確定？
- 四、資訊如何即時取得及傳送？

在本研究中為深入研究探討高層建築消防救災路線分析判斷功能，故就上述待解決的問題作一系統分析之研究假設，如有關火災蔓延方向、災民的人數及逃生狀況等等之各項資訊即時取得、傳送以及分析判斷，可藉由智慧建築所建立之建築物管理系統（Building Management System，BMS）搭配火災自動警報系統加以解決。

所謂建築物管理系統，是以電腦應用及網路技術為基礎，結合數位化設備自動控制單元與資料收集介面以及數位化影像監視機制，於大樓管控中心，由電腦人機介面隨時掌握大樓內各種機電設備運作，人員與車輛的進出及區域環境與安全等狀況，於設備異常或緊急安全狀況發生時即早發現及立即處理。陳明德（2004.1）

綜合上述的研究假設，另因高層建築相對於低層建築，其消防救災的困難度及複雜度較高，故消防救災決策支援系統建立有其緊迫性及必要性。綜合上述的研究假設，本研究僅對高層建築消防救災路線分析判斷功能進行研

究探討。

第四節 研究方法及流程

一、研究方法：

消防救災決策支援系統主要目的在於快速的接收緊急資訊，快速的搜尋資料，快速的分析判斷，並且快速的提供決策者決策所需的資訊，最後派遣一條或數條最短及最佳的消防人員救災路線。在一連串的作業進行當中，除了資料庫內容建立的完備，電腦軟體人機介面的人性化，電腦硬體處理速度的供應，資訊傳送管道的暢通，其最根本的在電腦軟體裡運算方法的設計。

為達到上述決策支援系統的主要目的，本研究除對系統整體之架構、功能、資料庫以及對談介面設計進行文獻資料蒐集回顧並整體分析規劃外。消防救災路線模擬採最短及最佳路徑判斷之演算法，包含所有節點到特定迄點的情況（All-to-One）及所有節點到所有節點的求解（All-to-All），進而分析判斷消防救災最短及最佳路線。

二、研究流程：

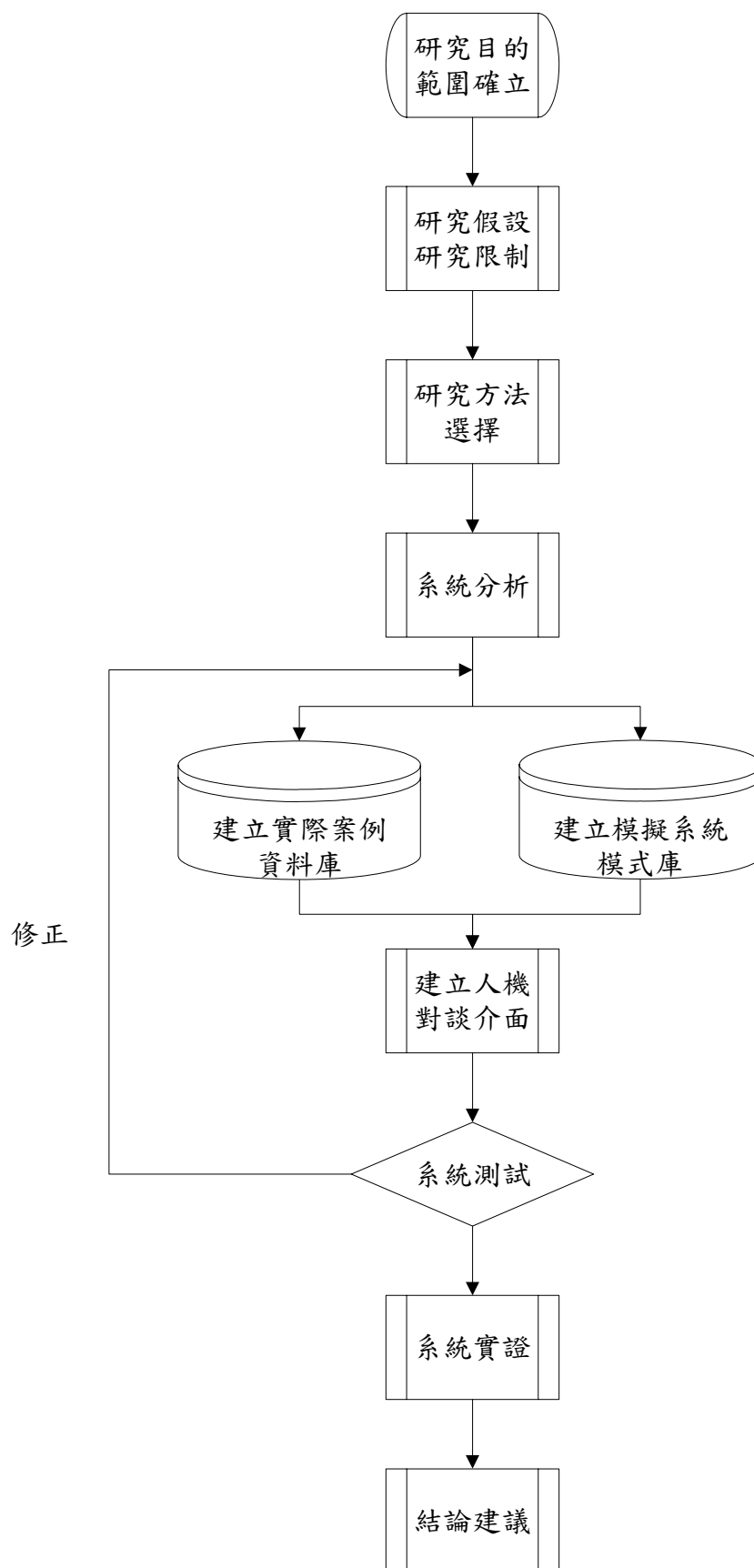


圖 1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

第一節 高層建築的定義

所謂高層建築物是高度為何？層數多少？無一個定論。鄧子正（1996）目前消防用語上所稱之「高層建築」，並未能被世界各國所認定在一個共同標準界限與範圍。綜觀世界各國的界定，通常以一般建築物高度或以總樓地板面積來區分。而消防學上所指的高層建築，除了主觀上以高度及面積為區分標準外，在客觀上也以雲梯車所不能達到的範圍為區分標準。謝呂泉（1982）雖然眾說紛云，但為使本研究有所依據，以下仍就高層建築作一定義。

一、歐美有關高層建築之界定

- （一）美國防火協會（NFPA）（1980）：所謂高層建築（High rise building），係指任何建築物，其上層樓地板高度已超過雲梯車所能達到之最大高度，而其火災必須經由建築物內部進行搶救者。
- （二）羅勃特孟德斯（Robert f. Mendes）（1975）：所指「高層建築」之定義，全視消防單位從屋外進入火場，及依其射水與救人的能力而定，如超出其能力範圍者，即為高層建築。
- （三）佛萊德（Emanuel Fried）（1978）：指出任何火災發生在消防單位可攜帶的機械（Portable Equipment）所能達到範圍之外的建築物，我們可以考慮它是高層建築物。如果你擁有一部一〇〇呎雲梯車，其所能達到的高度是八樓或九樓，則任何高過此一高度之建築物，顯然已經超越該救生器材所能發揮功效的範圍。此時，如果利用梯上固定水管，從梯頂算起約可再射高二層樓高度，那麼，只要高過十一層樓就算超出了裝備可及範圍，我們可以考慮其為高層建築物。
- （四）歐洲防火協會同盟（EFPA）對於高層建築的定義是：從建築物外部消防器材無法達到的樓層，均謂之高層建築。黃彼得（1981）

二、日本對於高層建築的定義：認為四樓以上之建築物，即可稱高層建築。

三、國內有關高層建築之界定：

- (一) 謝呂泉 (1982)：以五層樓以上建築物視為高層建築。
- (二) 許太洋 (1983)：認為十層為消防力由建築物外部進入室內所能達到之最高限度，因此十一層以上之建築物屬於超高層建築物。
- (三) 蘇志勝 (1983)：認為高層建築應由其高度、面積、安全時限及搶救方式等各方面加以定義，始為周延。故參照建築技術規則之規定，凡符合下列之一者，即為高層建築。
1. 高度：三層以上，十層以下（未超過 30 公尺）者為高層建築，再高者為超高層建築。而目前建築技術規則規定，係指高度在五十公尺或樓層在十六層以上之建築物。
 2. 面積：三層以上，總樓地板面積在 1500 m² 以下者為高層建築，超過者為超高層建築。
 3. 時間：在安全時限內，無法將全樓人口完全疏散者。
 4. 搶救：上層起火，消防隊無法從樓外灌救，必須由內部進行搶救者。
- (四) 陳弘毅 (1991)：認為只要其地上高度在 12 公尺以上，或地上樓層在 3 層以上者，均屬之。
- (五) 趙鋼 (1982)：所謂高層建築，世界各國大都市，並無明確的標準界限。在美國紐約、芝加哥等大都市中，十層高層建築也許不算高，五、六十層的高層建築比比皆是，但在一個小市鎮中，十層高層建築卻是鶴立雞群。一般來說，多數的國家所認定的高層建築，係指高度在五層樓以上，高度約在二十至二十五公尺的建築物而言。

根據以上中外學者的見解，對於「高層建築」的界定，不外乎依高度、搶救的能力、疏散的時間作為考量。本研究考慮以下二種因素，乃採高層建築係指樓高五層樓以上之建築物。

- 一、使決策支援系統能配合消防單位雲梯車等高空機械始能有效進行搶救者。
- 二、使決策支援系統顯示於較高層的大樓有其利用之價值。

第二節 高層建築消防之問題

位於台中火車站前的金沙大樓發生重大火災，有關高層建築消防搶救問

題不得不予以重視。

台灣都市超高層建築林立，高層建築火警除依靠自動救火設施外，雲梯車與空中警察隊被視為是另一項救援主力，但警方消防單位的救火雲梯車輛與高度不足、如目前台灣最高的雲梯車只有七十二公尺，約只二十四層樓高，且為數不多，大台北地區及高雄市現有二十層以上的超高層建築至少超過百棟，雲梯車救援確實有其存在的盲點。

超高層大樓消防安全的維護，應該從內部安全措施的設計做起。大樓內部的防火區劃、消防栓、自動灑水設施的嚴密設計，才能發揮滅火的主要功能。高空救災不是只依賴直昇機、雲梯車，必須「多管齊下」，才能有效降低高層建物火災機率。

為了解決現在城市居住問題及隨著時代的發展和建築技術的進步，都市建築物大樓化已成為一個都市現代化的特徵。國內各地目前高層建築據估計已超過三千兩百棟，近十年來在台北、高雄、台中等主要城市更紛紛出現聳入雲霄的超高層大樓，尤其是最近剛完成的台北一〇一大樓，挑戰全球最高的超高層大樓的世界紀錄。這些宏偉巍立的建築固然展現了社會經濟的實力，也帶給都市壯麗景觀，然而不可諱言也面臨諸多潛在威脅，隨時可能蒙受到嚴重的人員傷亡與財物損失。

高層建築與一般樓房相比，自身功能較複雜，人員高度集中，用途具有多元綜合性，另外受用地條件限制，配套的空調、機電設備室及停車空間大都集中於一樓建築物內，此外，尚有縱橫交錯的各類建築物生命管路系統（如電力、水力、通風等管線管路）、大型垂直通道（如電、排煙管道間）等存在於建築物內。這些設備的複雜化容易造成管理不當，外加樓多、面積廣大、人員集中，無形中可燃物積聚量也增大，因此若不慎發生火災、則人員安全疏散不易，外部搶救也困難，極易對人命及財物造成不良後果。雷明遠、蕭江碧（2001）

所以，在目前資訊化的時代，應利用空間資訊系統結合智慧建築及消防救災科技成為一消防救災之決策支援系統，提供消防隊在救災時，最精確且即時的救災資訊，加快消防隊救生救災的速度，將可降低災民傷亡，財物損失，達到快速有效之救生救災的神聖任務。

第三節 智慧建築的推行

一、智慧建築簡介：

我國自民國七十四年起引進國外智慧化技術，民國七十八年引進智慧型建築觀念，至今近二十年，已逐漸發展出我國特有的智慧建築系統。

二十一世紀是高科技資訊化的時代，對於事事講求快速、準確、便利及智慧的今天，生活及工作的周遭，無論食衣住行育樂那一方面，皆已經離不開電腦，小至微電腦，例如計算機、手機，大至中央處理系統，如工作站、超級電腦等等。

上街購物必須使用計算機、收銀機；出門開車裝設全球衛星定位導航系統；學校教育必須教授電腦技藝課程；休閒玩樂使用電腦或手機上網及玩電動玩具；而住的方面，人們不論家居或工作，已經對高品質及智慧的建築要求越來越嚴苛，拜科技之賜，智慧型建築不再是遙不可及。配合數位化、網路化時代潮流，智慧型建築為國家推動資訊化之基礎建設，且各國亦將智慧型建築數量作為都市資訊化的指標。

長久以來，全球環保意識抬頭及推動，「綠建築」成為國家建築法規中之一部分，且為重要的規定及依據，其主要就建築產業對自然環境破壞的問題發展而來，強調對建築的節約能源與資源利用及對室內環境控制等多項指標，最終目的希望以省能及有效使用資源的方式，來建造低環境負荷並提供安全、健康、環保與舒適的建築，也就是與環境共生的高科技建築的創造，達到人、建築與環境共生共榮的基本目的。

為了達到上述的目的，則藉由具擴充性與整合性之智慧型建築使用管理功能，使綠建築之各項系統技術能發揮其最大效益。因此可以了解建築智慧化是為達成綠建築永續發展之重要關鍵。

二、智慧建築標章設置目的

設置智慧建築標章的目的在：

- (一) 智慧建築之建設是二十一世紀都市資訊化的標竿，透過智慧建築標章的推廣，促使我國建築自動化技術更快速的成長與應用。建築物之管理更具人性化與智慧化。進而延長建築物壽命，節省能源、節約人力，並降低建築物日後之營用費用。

- (二) 透過智慧建築標章之宣導與推廣，直接可提高我國建築之品質，間接更可提升國家競爭力。

三、智慧建築標章評估指標

- (一) 資訊通信指標：智慧建築之資訊及通信應能提供建築物所有者及使用者最快速及最有效率的通信服務，以期能確實提高建築物及使用者的競爭力。
- (二) 安全防災指標：在建築物的生命週期中，必然會遭受各種天然災害或人為的蓄意入侵或破壞，故以各種自動化系統事先防範或防止各種災害的擴大，以確保使用者的生命財產安全。
- (三) 健康舒適指標：創造美質適意的環境，將可幫助室內空間使用者主觀感受，提昇舒適健康程度，有助於滿足室內空間活動的效益。
- (四) 設備節能指標：以空調、照明、動力設備等各項設備系統構成節能手法，並考慮利用再生能源之效益。
- (五) 綜合佈線指標：具有開放性、靈活性和擴展性，且對其服務的設備有一定的獨立性的良好傳輸網路佈線系統。
- (六) 系統整合指標：實現訊息共享與綜合應用，提高物業管理的效率與綜合服務的能力，降低建築物的營運成本，並且發揮突發事件的控制與處理能力，將災害損失減少到最低。
- (七) 設施管理指標：確保各系統的正常運轉並發揮智慧化的成效，為使設施管理成效不因人而異，避免因人為之判斷及操控，導致管理作業標準成效不一。

四、智慧建築標章實施成效

內政部建築研究所自民國八十年起針對全國智慧建築作全面性的調查研究，並陸續制定智慧建築相關準則、規範，其以務實的方式逐步推動本土智慧化建築的發展。此外，於九十一年完成「智慧建築標章評估體系」，並公開徵選「智慧建築標章」，作為推動智慧建築之獎勵標誌，更於九十二年完成本「智慧建築解說與評估手冊」，其中評估指標分為

(一) 建築自動化系統裝置 (二) 建築使用空間 (三) 建築運轉管理制度等三大部分，以性能評估作為指標訂定之依據，作為反應智慧化系統之性能、建築使用空間之舒適性與使用管理之效益性考量，及設計階段前的事前評估，預測控制之需。

由此可見，建築防災已是目前在建築設計規劃上，必須特別重視的一個環節，將其融入智慧建築評估指標，對於所有權人及使用者的生命財產的安全是一大保障。

第四節 決策支援系統架構

一、決策支援系統定義：

Keen & Scott Morton：

決策支援系統主要特點是以電腦支援的交談式系統，協助決策者使用資料 (Data) 及模式 (Model)，來解決非結構性的問題。(梁定澎，1985)

所謂”結構”係因其與認知 (Cognition)、解決問題方法等均高度的關聯，結構性愈高則處理決策時，解決方法較易有脈絡可循；認知度愈深可直接處理且比較無須其他資訊輔助。

Sprague & Carlson (1982)：

利用電腦化系統來協助決策者解決準結構性的問題，在過程中利用直接交談的人機介面取得資料，並利用分析模式進行分析。(宋鎧等人，1997)

由此，可歸納綜合出決策支援系統電腦軟體系統的特性—

- (一) 支援而非取代決策者。
- (二) 解決準結構性問題。
- (三) 注重效能而非僅效率。

二、決策支援系統架構

依據上述決策支援系統的定義，可將其以下列之系統架構圖呈現出對談子系統、模式子系統、資料子系統及資料庫相互間的關係。

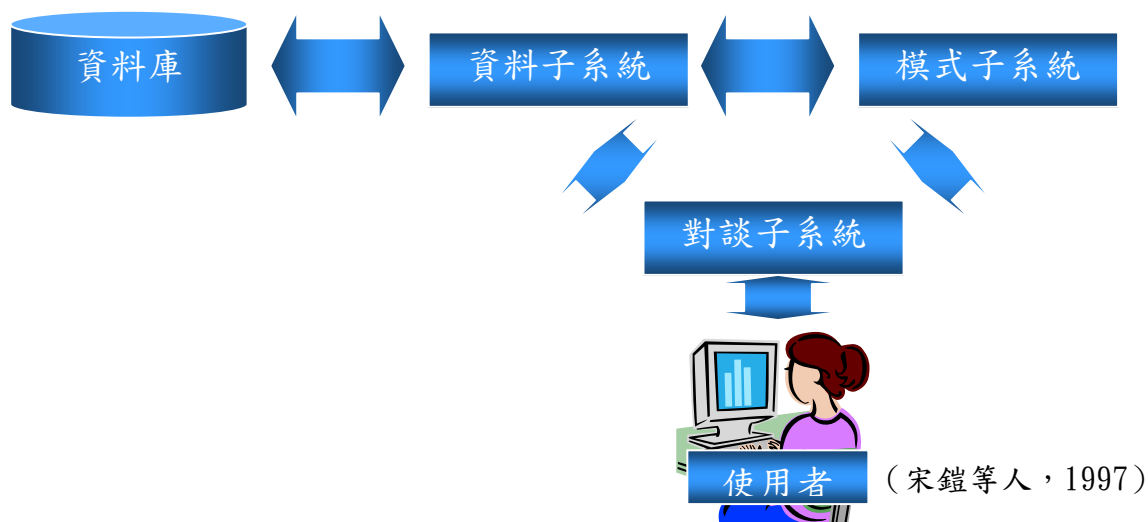


圖 2 決策支援系統架構圖

三、決策支援系統於支援管理架構

一個完整足以提供決策者或高階主管進行決策評估及判斷的支援管理架構，包含最上位的主管資訊系統 (Executive Information System, EIS)、居中的決策支援系統 (Decision Support System, DSS) 以及最基層的資料庫處理系統 (Data Processing System, DPS)。

因此可知，在金字塔型的支援管理架構當中，決策支援系統處於主管資訊系統及資料處理系統之中。下列支援管理架構圖可了解其由下而上的支援管理關係，當資料庫將資料提供給資料處理系統作為資料的作業管制，主要作用在將資料整合處理，以便決策支援系統隨時快速存取正確有效的資料，經模式子系統運算分析之後，對於成果作一管理，最後提供主管資訊系統，由高階主管對策略進行規劃之。

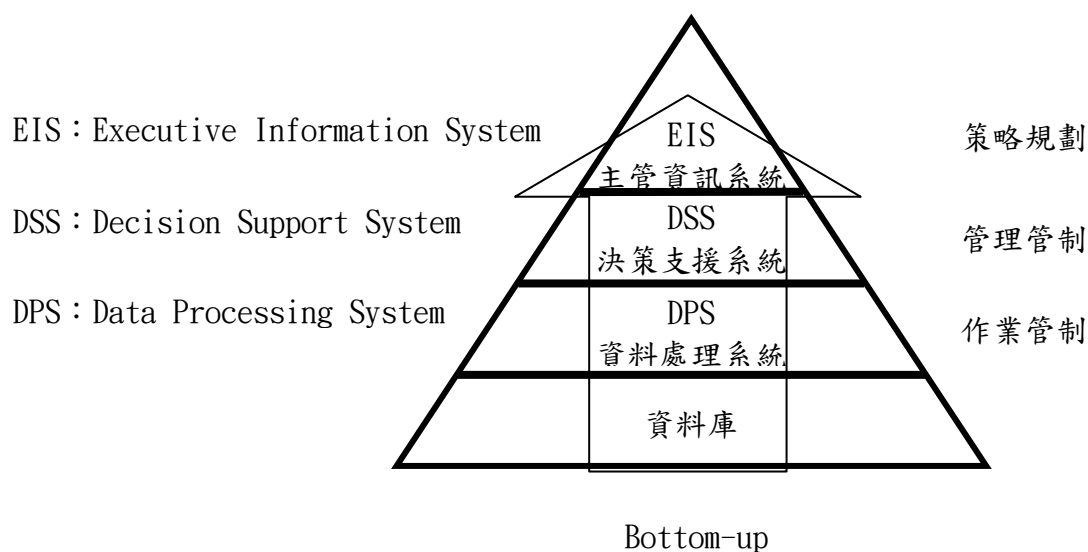


圖 3 決策支援系統於支援管理架構

四、防救災決策支援系統之概念架構

整合了資料庫、模式庫及地理資訊相關技術（如地理資訊系統、遙感探測、全球定位系統），以及利用資訊網路傳輸進行整合。也就是利用資料庫將所需的各項相關資料，藉由模式庫內的模式來進行災害潛勢分析與境況模擬，再透過地理資訊系統相關技術整合、分析及展示，以期結合防救災體系中各相關權責單位，共同運作整體性的防救災工作。使用災害生命週期來規劃災害管理決策支援系統，包括了減災、防災預備、災害應變、災後復原四個階段，其四個階段之間的關係除了能獨立運作外，也有緊密的關聯性，可以資料共享、流通互用等。（孫志鴻，1998）

第五節 最短及最佳路徑分析

最短路徑問題為一般路網問題求解的基礎，其應用層面相當廣泛，求解目標是兩點之間最少成本的路徑，然而路段上的成本可表示為距離、時間或費用等。最短路徑的演算法已有許多的演算法發表，以下針對求解 SP 的演算法作簡單的介紹。

SP 的演算法在考慮無循環條件出現下，有單一來源至單一迄點的型態

(One-to-One)；還有非負成本的路段下單一來源至其他所有節點的情形 (One-to-All)；也有所有節點到特定迄點的情況 (All-to-One)；另外有所有節點到所有節點的求解 (All-to-All)，而通常演算法以解決 One-to-All 與 All-to-All 的型態最多。

在路網流量中求解 SP 的演算法可分成標記 (Label Setting) 與標籤修正 (Label Correcting) 法。Label Setting 演算法以 Dijkstra 演算法最為代表，其為考慮非負成本與已知來源至其他節點 (One-to-All) 的情形。一次考慮一個節點，計算從起點到此節點的累積距離，利用永久 (Permanently) 與暫存 (Temporary) 標籤，反覆地將累積距離最小的節點由暫存標籤移至永久標籤，直至暫存標籤不存有節點為止。

而 Label Correcting 演算法舉 Folyd-Warshall 演算法說明之。Folyd 演算法在已知路網中各路段成本並允許成本為負值的情況下，討論所有節點至節點 (All-to-All) 的距離成本。距離陣列 (Distance Array) 係存放節點到節點距離成本的二維陣列，在每次遞迴時節點到節點之間皆額外通過一個節點，以檢示是否因經過此節點而縮短成本，繼而更新距離陣列的成本，並且利用路徑陣列 (Path Array) 紀錄路徑節點的資訊。

此外，在實際應用上，單一最短路徑並無法滿足系統與旅行者的需求，因此有了計算多條最短路徑的想法，而延伸出 K 條最短路徑問題 (KSP)。KSP 問題之基本定義為「求解路網中所給定的兩節點之間所有的路徑，並將所有的路徑依照成本由小到大排序，從 1 排到 k，其中 $k > 1$ ，k 值可依需要改變大小 (Shier, 1979)」。有 KSP 相關問題都是由此基本定義衍生，而大多數與 KSP 相關的演算法及其應用都是以 YEN 的演算法為基礎 (洪百賢, 2001)。但是運算上 KSP 問題的複雜度也相對較高，所以求取 SP 問題時可依照需求而選擇適合的方法。(蕭惠如, 2003.7)

第三章 消防救災路線模擬功能分析與設計

第一節 消防救災路線模擬主要架構

消防救災路線模擬其主要架構（圖 3），即當使用者透過人機介面將接收來自智慧高層建築火災現場感應器的觸發及警報的通知之後，隨即啟動路線模擬系統進行圖形資料及屬性資料的查詢，並以最短及最佳路徑法處理分析消防救災路線，最後將分析的結果顯示於使用者操作的人機介面上，提供使用者進行決策。

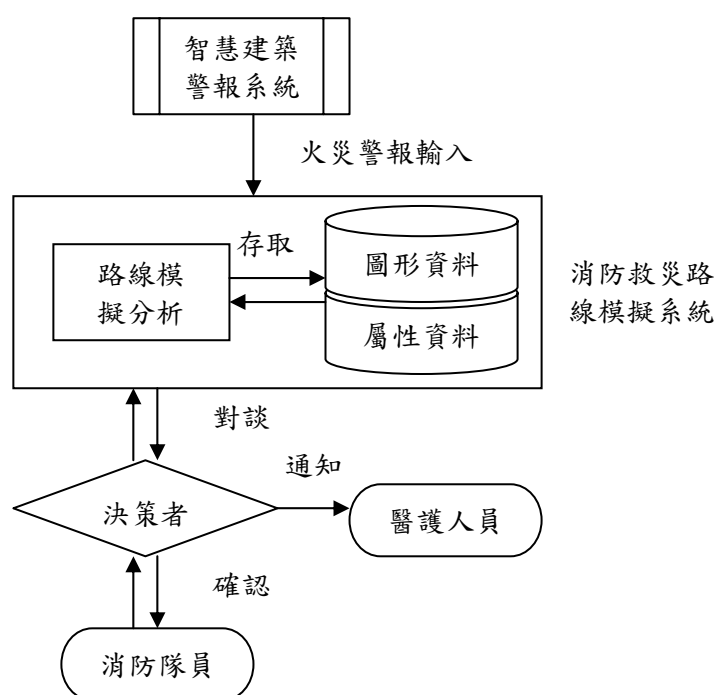


圖 4 高層建築消防救災路線模擬系統架構圖

第二節 功能分析

消防救災路線模擬系統因整合了資料庫、模式庫及地理資訊相關技術，並利用資訊網路傳輸，故其主要功能必須包括下列八種：

一、輸入接收：可由使用者輸入或由系統自動接收自動警報系統的緊急資訊，以提供系統進行處理分析。

二、分析處理：以最短及最佳路徑法處理分析消防救災路線，並提供數種替

選的最短及最佳路徑。

三、回復取消：可將先前輸入的資料及分析的結果取消或回復，提供使用者重新輸入及分析。

四、資料更新：使用者可隨時更新資料庫內容，以求系統作最正確及最精確的結果分析。

五、結果顯示：將系統分析的結果完整顯示於人機介面上，提供使用者進行決策。

六、圖形查詢：對於圖形的資料或分析的結果，可進行放大、縮小、平移或全部範圍等等的細部查詢。

七、輸出傳送：使用者參考系統的分析結果之後進行決策，而對於決策後採用的系統分析結果，可由系統輸出傳送給消防人員。

八、報表輸出：對於系統分析的各项結果，可列印成報表。

第三節 對談介面設計

路線模擬系統中的各項子系統，與使用者最直接接觸的就是對談子系統，因此對談子系統扮演了一個溝通橋樑的角色。一套系統假設在操作介面上，不能依隨使用者習慣上的操作思路及流程，或是介面呈現不能達到使用者一目瞭然及隨時上手的效果，那麼此套系統將逐漸遭使用者的疏離及排斥。

所以，路線模擬系統須採圖像功能表及下拉式功能表設計，使用者可以滑鼠點取圖像鈕或功能表單，單擊欲執行之作業項目，即可執行該功能，不須背誦指令後再以鍵盤輸入指令。而在輸入資料方面，操作介面則以對話方塊、列示盒提供使用者輸入資料，甚而僅需以滑鼠點選對話方塊之按鈕或列示盒之資料項，以達到靈活操作，運用方便及人性化高效率的目標。

第四節 資料庫內容

路線模擬系統主要的資料來源在資料庫系統，少了資料庫，便無法及時且周延的進行分析判斷。在路線模擬系統中資料庫系統可分為圖形及屬性兩大部分：

一、圖形資料—對於高層建築應建立其平面、立面及剖面等圖形資料（圖 4），其中須包含主要出入口、服務出入口、車輛出入口、逃生梯、電梯、各種門窗開口、管道間、緊急發電設備、緊急照明設備、消防設備等等的相關位置，並且將其平面、立面、剖面位置互相關聯，建立位向（topology）關係，以利使用者查詢以及系統分析模擬消防救災之最短及最佳路徑。

●圖形資料（3D Gis、三度空間）



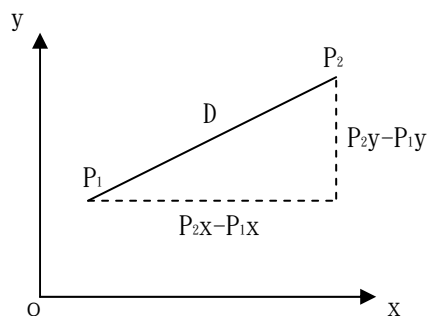
二、屬性資料—包含各空間的用途、材質、使用時間、使用者人數、性別、年齡等等，以資料表格形式進行資料的建立。

●屬性資料

空間資料表格			關聯	空間連結資料表格		
主鍵	欄位名稱	資料型態		主鍵	欄位名稱	資料型態
○	編號	N (long)	←→	○	編號	N (long)
	名稱	C (char)			連結狀態	C (char)
	X 座標	N (double)				
	Y 座標	N (double)				
	Z 座標	N (double)				

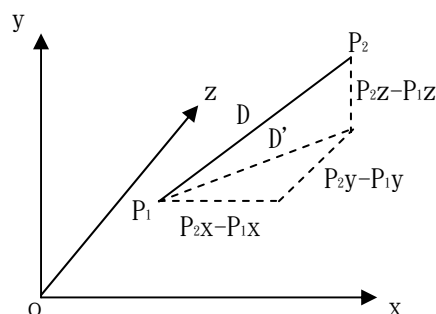
第五節 三度空間直線距離計算模組設計

由於本研究在討論三度空間最短及最佳路徑的模擬，故須先對於三度空間直線距離進行計算，在幾何學當中，求一平面任意二點直線距離（D），以畢氏定理可得



$$D = \sqrt{(P_2X - P_1X)^2 + (P_2Y - P_1Y)^2}$$

若進而為求一空間任意二點直線距離（D）時，以畢氏定理推導得公式



$$D = \sqrt{(P_2X - P_1X)^2 + (P_2Y - P_1Y)^2 + (P_2Z - P_1Z)^2}$$

轉以程式語言表示則為

```
Distance = sqrt((pow(x2-x1, 2)+pow(y2-y1, 2)+pow(z2-z1, 2)));
```

此作為三度空間路線模擬的基礎。

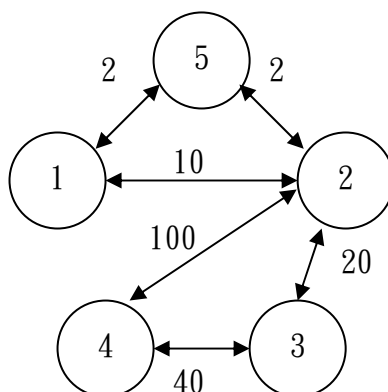
第六節 Floyd 多端最短路徑演算法計算分析模組設計

如文獻回顧所述，Floyd 演算法在已知路網中各路段成本並允許成本為負值的情況下，討論所有節點至節點 (All-to-All) 的距離成本。距離陣列 (Distance Array) 係存放節點到節點距離成本的二維陣列，在每次遞迴時節點到節點之間皆額外通過一個節點，以檢示是否因經過此節點而縮短成本，繼而更新距離陣列的成本，並且利用路徑陣列 (Path Array) 紀錄路徑節點的資訊。

以程式語言表示則為

```
for(k=1;k<=n;k++){  
  for(i=1;i<=n;i++){  
    for(j=1;j<=n;j++){  
      // 三重操作(triple operation)  
      if(A[i][j]>A[i][k]+A[k][j]) {  
        // 由 i 到 j 之最短路徑長為由 i 到 k 到 j 之路徑和  
        A[i][j]=A[i][k]+A[k][j];  
        // 由 i 到 j 之最短路徑經過中間節點 k  
        P[i][j]=P[i][k];  
      }  
    }  
  }  
}
```

假設某一圖形如下圖，節點與節點之間為雙向皆可通行，並以數字表示距離，以 Floyd 演算法分析所有節點至節點之最短路徑。



Adjacency Matrix

0	10	10000	10000	2
10	0	20	100	2
10000	20	0	40	10000
10000	100	40	0	10000
2	2	10000	10000	0

The Shortest Distance Matrix

0	4	24	64	2
4	0	20	60	2
24	20	0	40	22
64	60	40	0	62
2	2	22	62	0

Intermediate Matrix

1	5	5	5	5
5	2	3	3	5
2	2	3	4	2
3	3	3	4	3
1	2	2	2	5

1 To 1	distance =	0	path = 1-->1
1 To 2	distance =	4	path = 1-->5-->2
1 To 3	distance =	24	path = 1-->5-->2-->3
1 To 4	distance =	64	path = 1-->5-->2-->3-->4
1 To 5	distance =	2	path = 1-->5
2 To 1	distance =	4	path = 2-->5-->1
2 To 2	distance =	0	path = 2-->2
2 To 3	distance =	20	path = 2-->3
2 To 4	distance =	60	path = 2-->3-->4
2 To 5	distance =	2	path = 2-->5
3 To 1	distance =	24	path = 3-->2-->5-->1
3 To 2	distance =	20	path = 3-->2
3 To 3	distance =	0	path = 3-->3
3 To 4	distance =	40	path = 3-->4
3 To 5	distance =	22	path = 3-->2-->5
4 To 1	distance =	64	path = 4-->3-->2-->5-->1
4 To 2	distance =	60	path = 4-->3-->2
4 To 3	distance =	40	path = 4-->3
4 To 4	distance =	0	path = 4-->4
4 To 5	distance =	62	path = 4-->3-->2-->5
5 To 1	distance =	2	path = 5-->1
5 To 2	distance =	2	path = 5-->2
5 To 3	distance =	22	path = 5-->2-->3
5 To 4	distance =	62	path = 5-->2-->3-->4
5 To 5	distance =	0	path = 5-->5

在 Adjacency Matrix 中表示節點與節點之間的距離，以 10000 表示節點之間無法通行。在 The Shortest Distance Matrix 中表示節點與節點之間的最短距離。在 Intermediate Matrix 中表示節點與節點之間最短路徑需經過的第三節點編號，若欲查詢 1 節點至 4 節點的最短路徑，則依序查出第一行第四列，意即 1 節點至 4 節點之中間節點為 5 節點，再由第五行第四列，意即 5 節點至 4 節點之第一個中間節點為 2 節點，依此，第二行第四列為 3，第三行第四列為 4，故求出最短路徑為

1 To 4	distance =	64	path = 1-->5-->2-->3-->4
--------	------------	----	--------------------------

第七節 功能操作流程設計

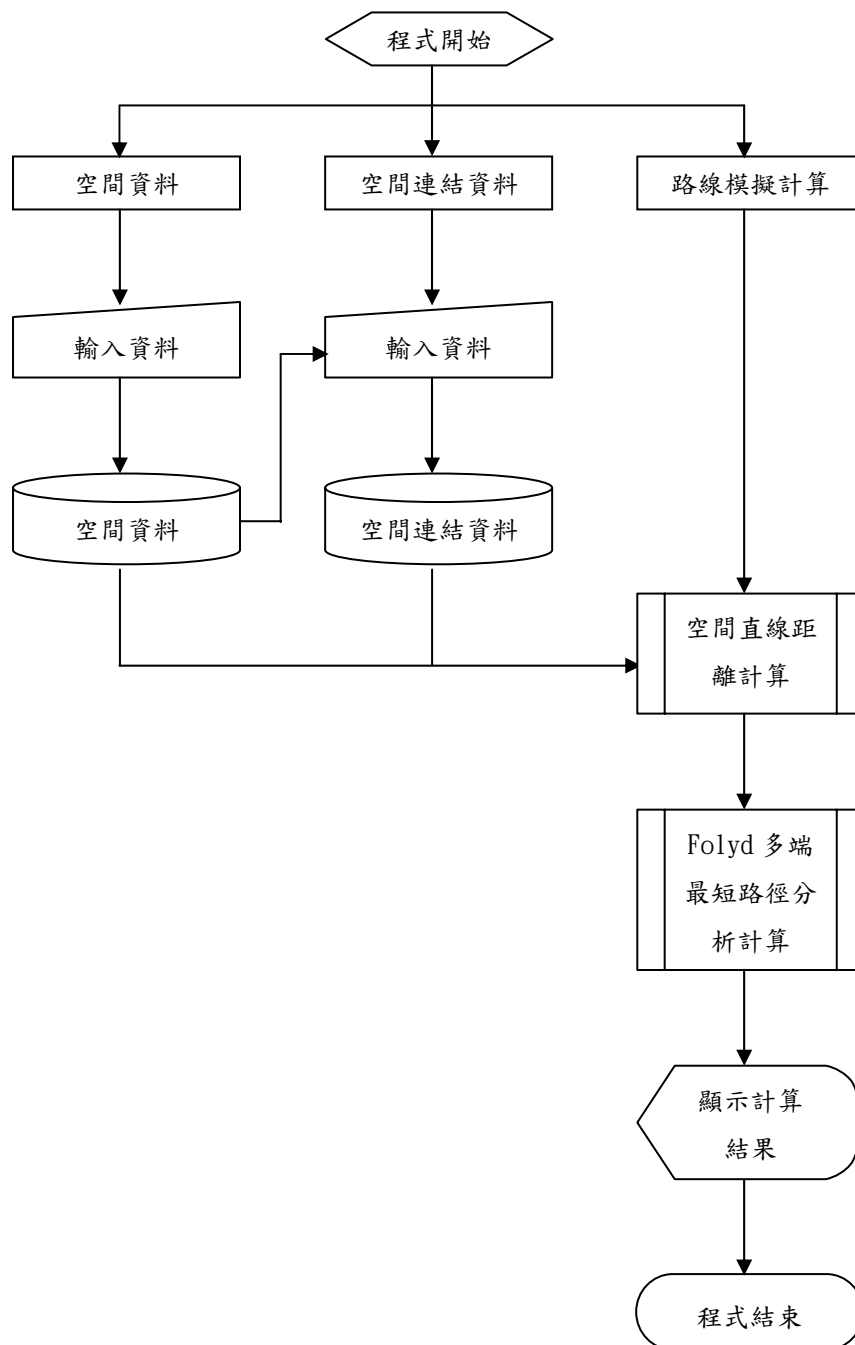


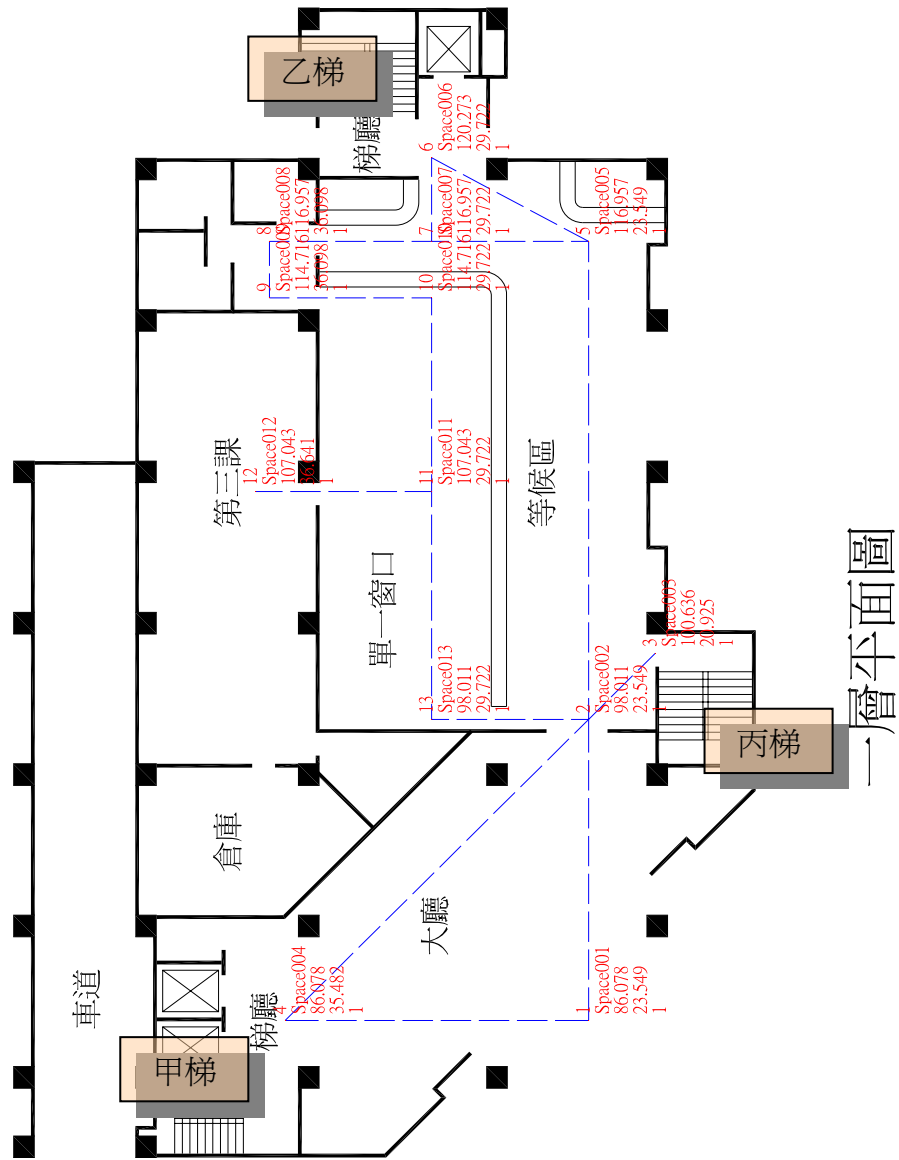
圖 5 功能操作流程圖

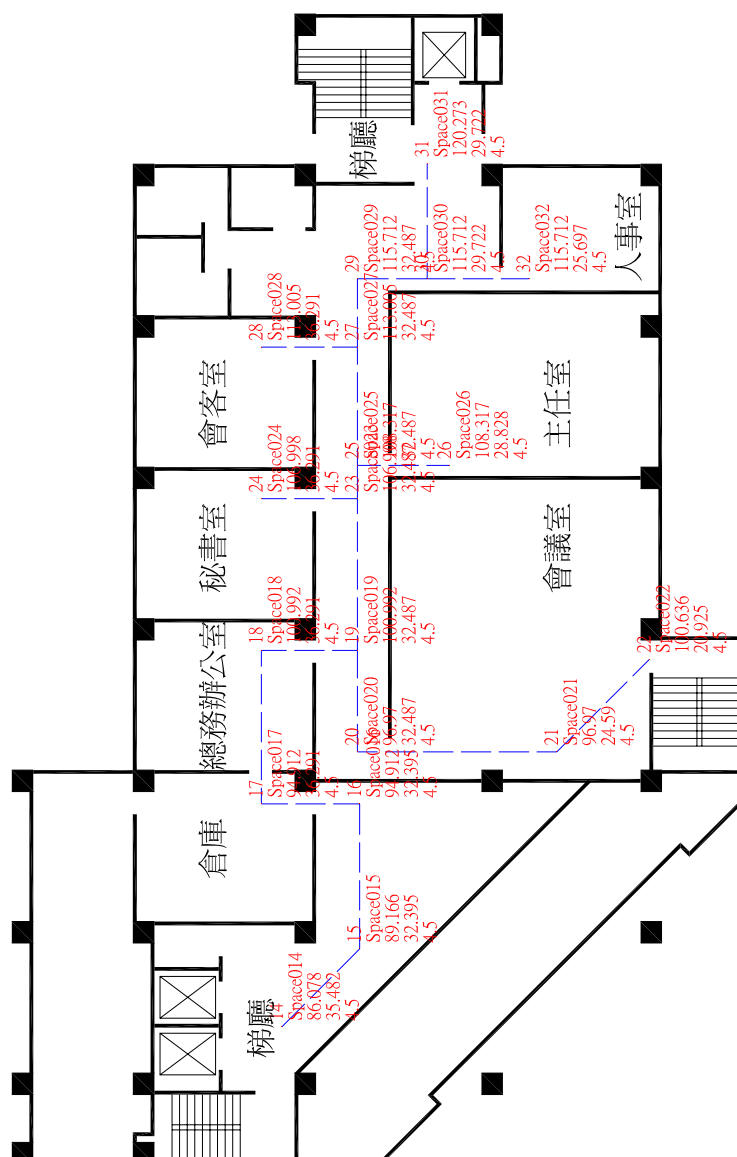
第四章 消防救災路線模擬功能實證

第一節 系統實作

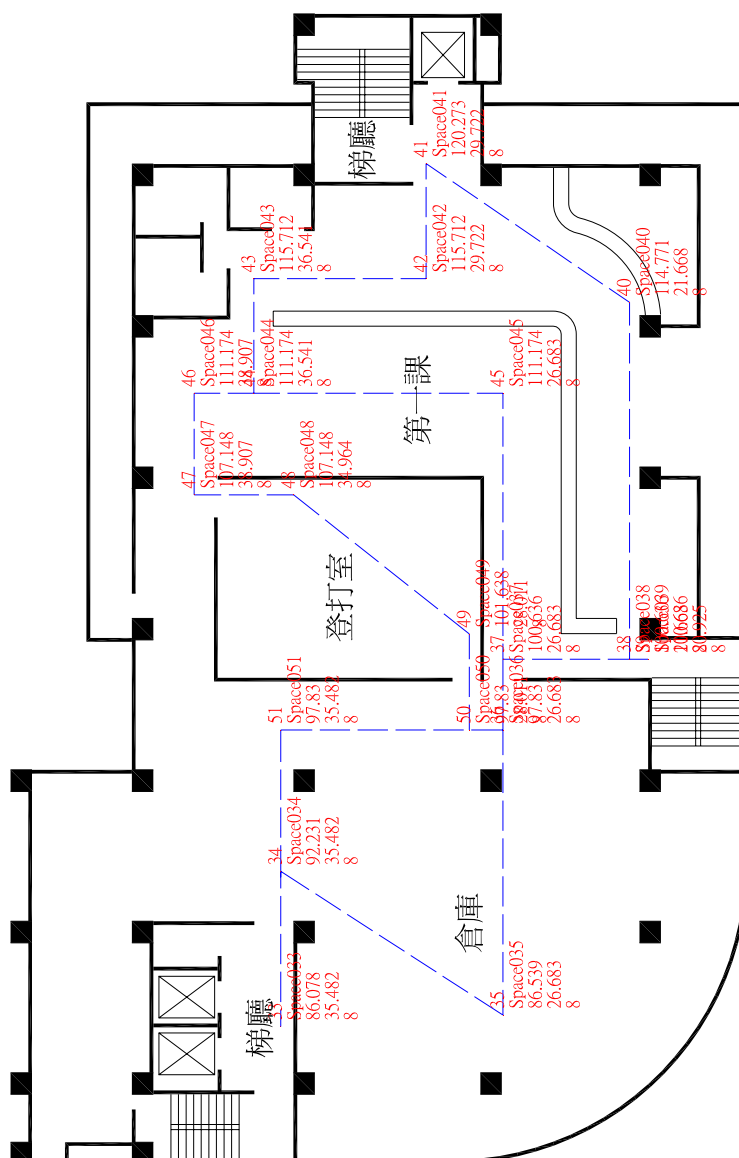
臺中市中興地政事務所係為臺中市行政轄區內三所地政事務所其中之一，與公務人員訓練中心分駐同一幢大樓，該大樓為地下二層地上十層建築，地下二層至地上六層為臺中市中興地政事務所所駐，地上七至九層為公務人員訓練中心，地上十層為會議廳，基於地政事務所功能，建築物空間設計複雜，除各層空間需求、功能及動線，均不相同之外，如一層平面圖所示，甲梯主要服務公務人員訓練中心，乙梯主要服務臺中市中興地政事務所，丙梯服務一至五層，對於本研究第二章第一節所述之高層建築極為相符，故本研究擬以為例，進行消防救災路線模擬實作。

一、首先，對於各層空間機能動線及垂直動線進行分析，並將位置及高程定位標註，隨之以連結線連結各空間，作為路線模擬之空間資料及空間連結資料。如各層平面圖，空間資料包括空間編號、空間名稱、X 座標、Y 座標及 Z 座標等，並以藍色虛線連結線將各空間連結，表示各空間之間，亦即各節點之間是否連結。

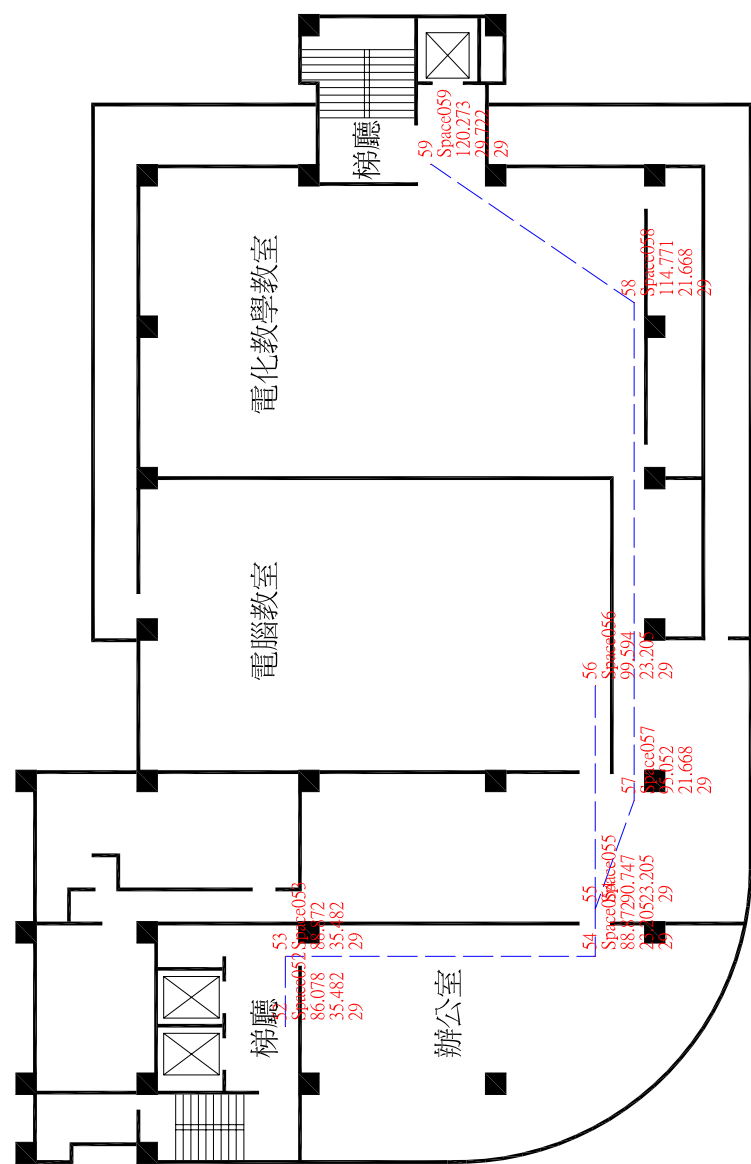




二層平面圖



三層平面圖



九層平面圖

二、輸入空間資料

命令提示字元 - short

```

*****
*                                     *
*      高樓建築消防救災路線模擬      *
*                                     *
*****

1. 編輯空間資料  2. 編輯空間連結資料  3. 開始計算  0. 結束  請選擇 <0-3>: 1

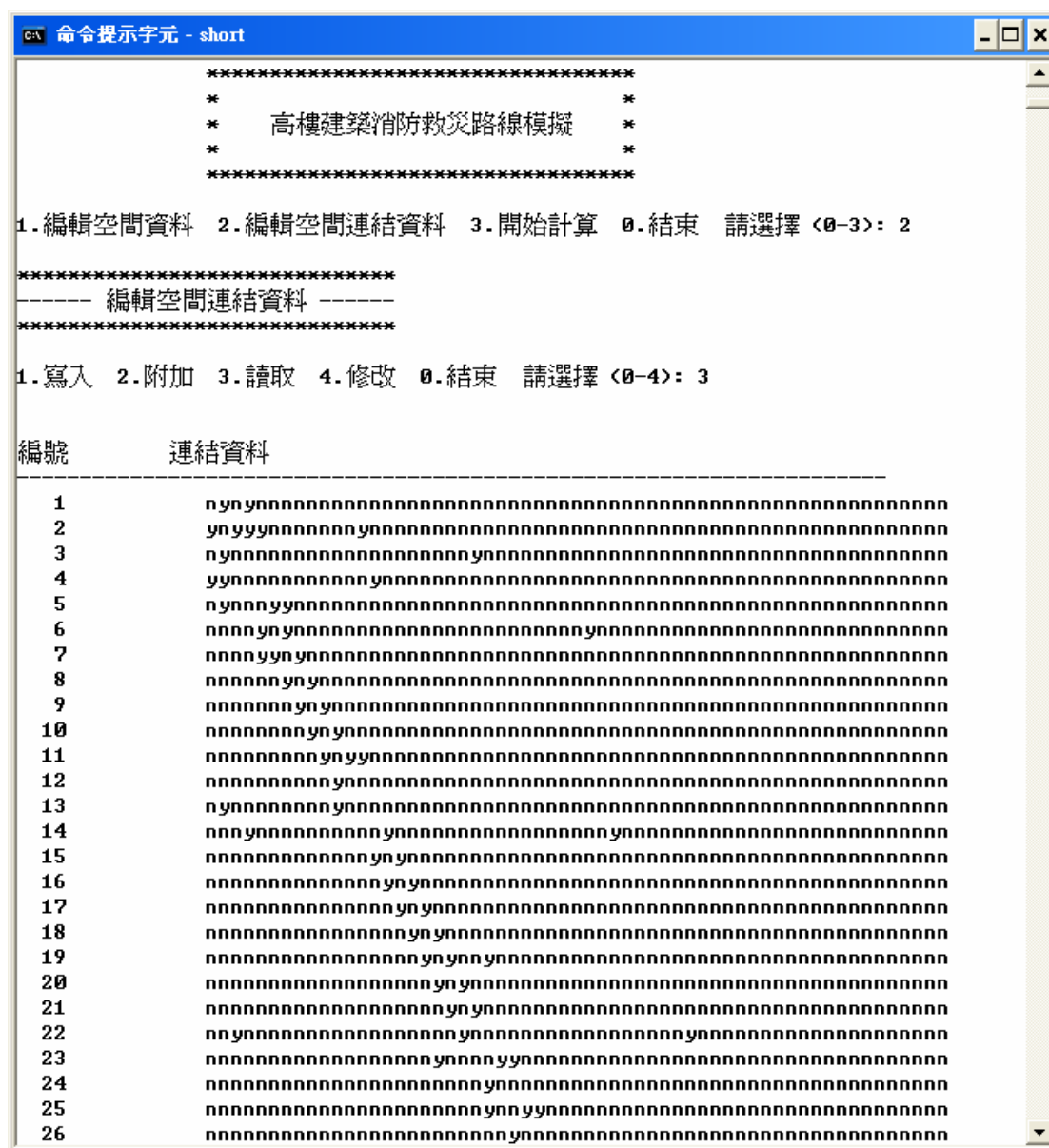
*****
----- 編輯空間資料 -----
*****

1. 寫入  2. 附加  3. 讀取  4. 修改  0. 結束  請選擇 <0-4>: 3

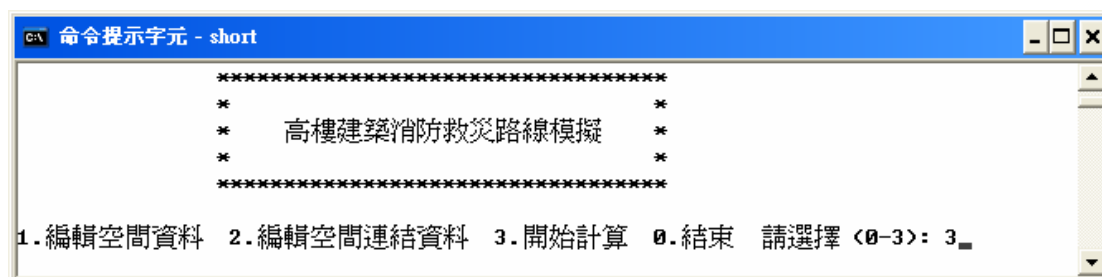
```

編號	名稱	X	Y	Z
1	space001	86.078	23.549	1.000
2	space002	98.011	29.722	1.000
3	space003	100.636	20.925	1.000
4	space004	86.078	35.482	1.000
5	space005	116.957	23.549	1.000
6	space006	120.273	29.722	1.000
7	space007	116.957	29.722	1.000
8	space008	116.957	36.098	1.000
9	space009	114.716	36.098	1.000
10	space010	114.716	29.722	1.000
11	space011	107.043	29.722	1.000
12	space012	107.043	36.641	1.000
13	space013	98.011	29.722	1.000
14	space014	86.078	35.482	4.500
15	space015	89.166	32.395	4.500
16	space016	94.912	32.395	4.500
17	space017	94.912	36.291	4.500
18	space018	100.992	36.291	4.500
19	space019	100.992	32.487	4.500
20	space020	96.970	32.487	4.500
21	space021	96.970	24.590	4.500
22	space022	100.636	20.925	4.500
23	space023	106.998	32.487	4.500
24	space024	106.998	36.291	4.500
25	space025	108.317	32.487	4.500
26	space026	108.317	28.828	4.500

三、輸入空間連結資料



四、開始進行分析



五、計算各節點至各節點之直線距離

命令提示字元				
編號	名稱	X	Y	Z
1	space001	86.078	23.549	1.000
1	space001	86.078	23.549	1.000
length = 0.000				
編號	名稱	X	Y	Z
1	space001	86.078	23.549	1.000
2	space002	98.011	29.722	1.000
length = 13.435				
編號	名稱	X	Y	Z
1	space001	86.078	23.549	1.000
3	space003	100.636	20.925	1.000
length = 14.793				
編號	名稱	X	Y	Z
1	space001	86.078	23.549	1.000
4	space004	86.078	35.482	1.000
length = 11.933				
編號	名稱	X	Y	Z
1	space001	86.078	23.549	1.000
5	space005	116.957	23.549	1.000
length = 30.879				
編號	名稱	X	Y	Z
1	space001	86.078	23.549	1.000

七、輸出各節點至各節點之最短路徑距離矩陣

命令提示字元 - short							
The Shortest Distance Matrix							
23.866	13.435	22.615	11.933	33.361	40.369	39.534	38.757
36.516	30.140	22.467	29.386	13.435	15.433	19.799	25.545
29.441	35.521	39.325	39.196	31.299	26.115	45.331	49.135
46.650	50.309	51.338	55.142	51.195	48.430	43.869	52.455
18.933	25.086	35.566	38.179	35.373	30.358	29.615	44.493
47.369	51.930	58.749	55.769	45.911	58.135	54.779	50.836
41.964	38.156	30.685	39.933	42.727	55.004	56.879	65.726
61.450	78.123	68.369					
13.435	0.000	9.180	13.250	19.926	26.934	26.099	25.322
23.081	16.705	9.032	15.951	0.000	16.750	21.117	26.863
30.759	33.587	29.783	25.761	17.864	12.680	35.789	39.593
37.108	40.767	40.467	44.271	37.760	34.995	30.434	39.020
20.250	26.403	36.035	24.744	21.938	16.923	16.180	31.058
33.934	38.495	45.314	42.334	32.476	44.700	42.695	38.752
29.880	26.072	32.002	41.250	44.044	56.321	58.196	67.043
62.768	64.687	54.934					
22.615	9.180	7.000	22.431	29.107	36.114	35.280	34.502
32.261	25.885	18.212	25.131	9.180	25.931	30.297	34.383
30.487	24.407	20.603	16.581	8.684	3.500	26.609	30.413
27.928	31.587	32.616	36.420	35.323	38.088	35.132	42.113
29.431	29.962	26.855	15.564	12.758	7.743	7.000	21.878
31.632	36.193	37.692	33.154	23.296	35.520	33.515	29.572
20.700	16.892	24.363	50.431	53.225	65.502	67.377	76.224
71.948	62.386	52.632					
11.933	13.250	22.431	7.000	33.177	40.184	39.350	38.572
36.331	29.955	22.282	29.201	13.250	3.500	7.866	13.612
17.508	23.588	27.392	31.414	31.115	25.931	33.398	37.202
34.717	38.376	39.405	43.209	42.112	44.877	43.684	48.902
7.000	13.153	23.633	27.551	30.357	30.174	29.431	44.309
47.184	51.745	53.776	49.238	40.895	46.872	42.846	38.903
30.031	26.223	18.752	28.000	30.794	43.071	44.946	53.793
49.517	69.236	68.184					
33.361	19.926	29.107	33.177	12.346	7.007	6.173	12.549
14.790	21.166	28.839	35.758	19.926	36.677	41.043	46.333
42.437	36.357	32.553	36.575	37.790	32.607	26.547	30.351
25.228	28.887	20.540	24.344	17.833	15.068	10.507	19.093
40.177	46.330	55.962	44.671	41.865	36.850	36.107	23.761
14.007	18.568	25.387	29.925	39.783	32.291	36.317	40.260
49.132	45.999	51.929	61.177	63.971	70.926	69.051	77.898
64.480	44.761	35.007					
40.369	26.934	36.114	40.184	7.007	6.632	3.316	9.692

八、輸出節點與節點之間最短路徑需經過的第三節點編號

Intermediate Matrix																			
4	2	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	2
2	2	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2
1	13	3	4	5	5	5	13	13	13	13	13	13	13	4	4	4	3	3	3
3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	3	3
5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5
2	2	22	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	22	22	22	22	22
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	2	22	22	22	22	22	22	22
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	2	2	2	2	22	22	22	22
1	2	2	14	2	2	2	2	2	2	2	2	2	14	14	14	14	14	14	14
2	2	14	14	14	14	14	14	14	14	2	14	14	14	14	14	14	14	2	2
2	2	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	2	2
2	2	2	2	7	6	7	7	7	7	7	7	2	2	2	6	6	6	6	6
2	2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	2	2	2	2	2	2	2	6
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	2	2	2	6	6	6	6	6	6	6
5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	5	5	31	31	31	31	31	31
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	5	31	31	31	31	31	31	31
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	5	5	31	31	31	31	31	31
5	5	5	5	5	6	6	8	8	8	8	8	5	5	5	6	6	6	6	6
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6	6	6
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6
9	9	9	9	7	7	7	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7	7	7	7
9	9	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	9	9	7	7	7	7	7	7
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	9	9	7	7	7	7	7	7
10	10	10	10	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10	10	10	8	8	8	8
10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10	10	10	8
8	8	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10	8	8	8	8	8	8
11	11	11	11	9	9	9	9	9	9	11	11	11	11	11	11	11	9	9	11
11	11	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	11	11	11	11	11	11	11	9
9	9	9	9	11	9	9	9	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	9	9
13	13	13	13	10	10	10	10	10	10	10	12	12	13	13	13	13	13	13	13
13	13	13	13	10	10	10	10	10	10	10	10	13	13	13	13	13	13	13	13
10	10	10	10	10	13	10	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
2	2	2	2	2	2	2	11	11	11	11	11	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	15	15	15	15	15
4	4	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	33	33	33	33	33	33	33

九、輸出各節點與各節點之間最短路徑

命令提示字元 - short		
1-1	23.866	1->Stay ...
1-2	13.435	1->2
1-3	22.615	1->2->3
1-4	11.933	1->4
1-5	33.361	1->2->5
1-6	40.369	1->2->5->6
1-7	39.534	1->2->5->7
1-8	38.757	1->2->13->11->10->9->8
1-9	36.516	1->2->13->11->10->9
1-10	30.140	1->2->13->11->10
1-11	22.467	1->2->13->11
1-12	29.386	1->2->13->11->12
1-13	13.435	1->2->13
1-14	15.433	1->4->14
1-15	19.799	1->4->14->15
1-16	25.545	1->4->14->15->16
1-17	29.441	1->4->14->15->16->17
1-18	35.521	1->4->14->15->16->17->18
1-19	39.325	1->4->14->15->16->17->18->19
1-20	39.196	1->2->3->22->21->20
1-21	31.299	1->2->3->22->21
1-22	26.115	1->2->3->22
1-23	45.331	1->4->14->15->16->17->18->19->23
1-24	49.135	1->4->14->15->16->17->18->19->23->24
1-25	46.650	1->4->14->15->16->17->18->19->23->25
1-26	50.309	1->4->14->15->16->17->18->19->23->25->26
1-27	51.338	1->4->14->15->16->17->18->19->23->25->27
1-28	55.142	1->4->14->15->16->17->18->19->23->25->27->28
1-29	51.195	1->2->5->6->31->30->29
1-30	48.430	1->2->5->6->31->30
1-31	43.869	1->2->5->6->31
1-32	52.455	1->2->5->6->31->30->32
1-33	18.933	1->4->14->33
1-34	25.086	1->4->14->33->34
1-35	35.566	1->4->14->33->34->35
1-36	38.179	1->2->3->22->39->38->37->36
1-37	35.373	1->2->3->22->39->38->37
1-38	30.358	1->2->3->22->39->38
1-39	29.615	1->2->3->22->39
1-40	44.493	1->2->3->22->39->38->40
1-41	47.369	1->2->5->6->31->41
1-42	51.930	1->2->5->6->31->41->42
1-43	58.749	1->2->5->6->31->41->42->43

十、由報表可知，由一樓甲梯（空間編號 4）、乙梯（空間編號 6）及丙梯（空間編號 3）至九樓電腦教室（空間編號 56）之最短路徑分別如下表：

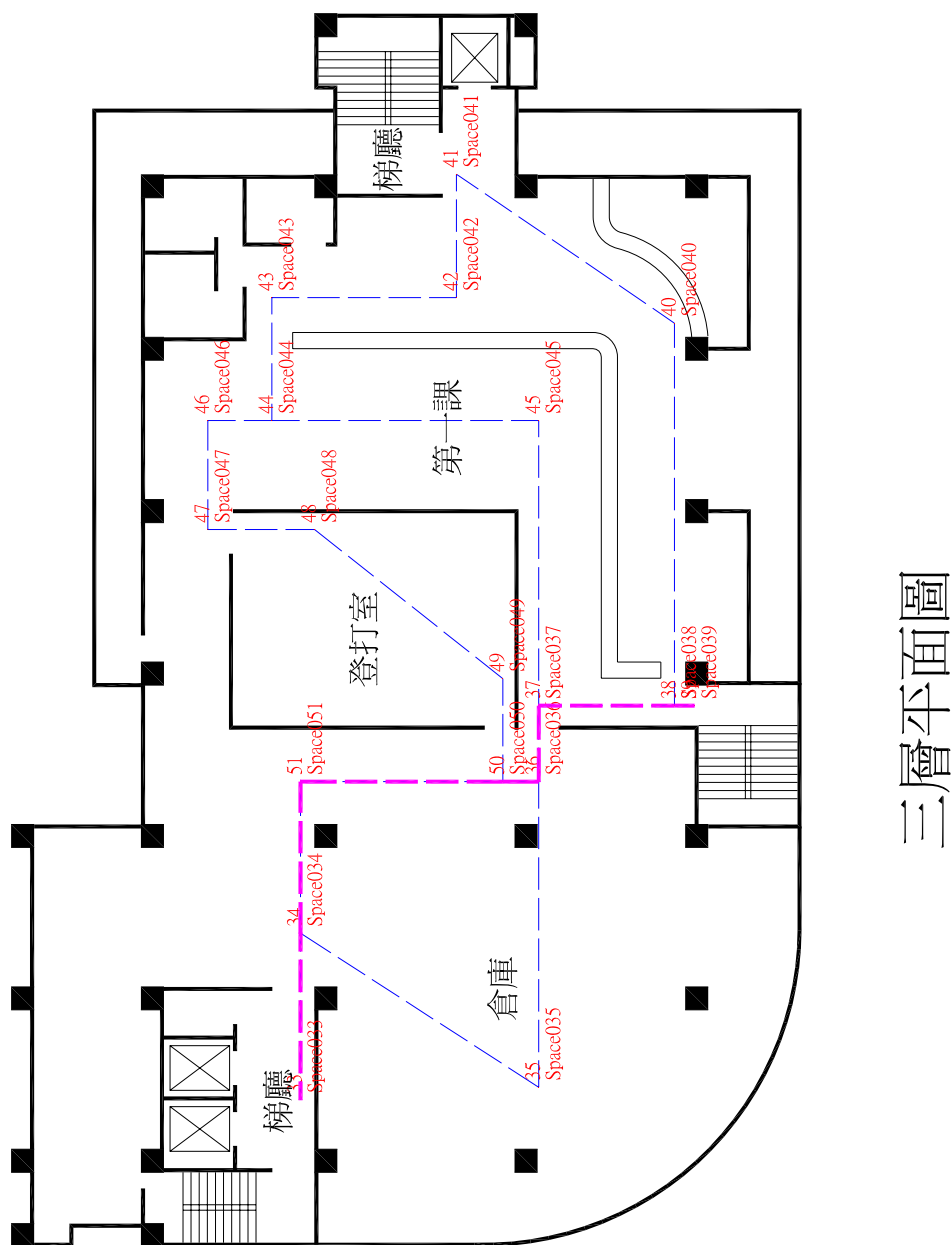
梯別	起訖空間編號	最短路徑距離	中間節點空間編號
甲	4-56	54.793	4->14->33->52->53->54->55->56
乙	6-56	71.891	6->31->41->59->58->57->55->56
丙	3-56	83.908	3->22->39->38->37->36->50->51->34->33->52->53->54->55->56

註：反灰文字部分表示路徑重覆。

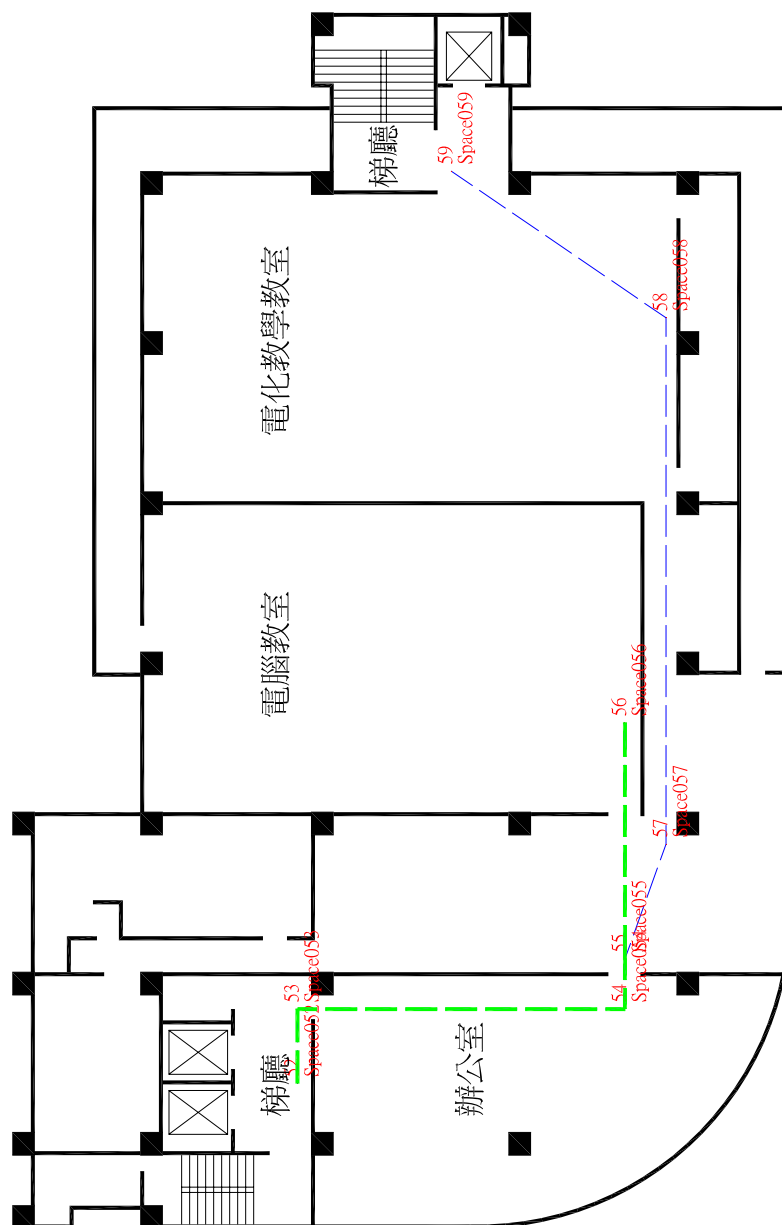
第三節 結果討論

因僅有甲梯與丙梯之最短路徑發生變化，故僅討論此二者之路徑圖。

- 一、正常狀況下路徑模擬圖：一樓甲梯與丙梯二者，皆選擇以甲梯為最短路徑之垂直動線，至九樓之後路徑重疊。

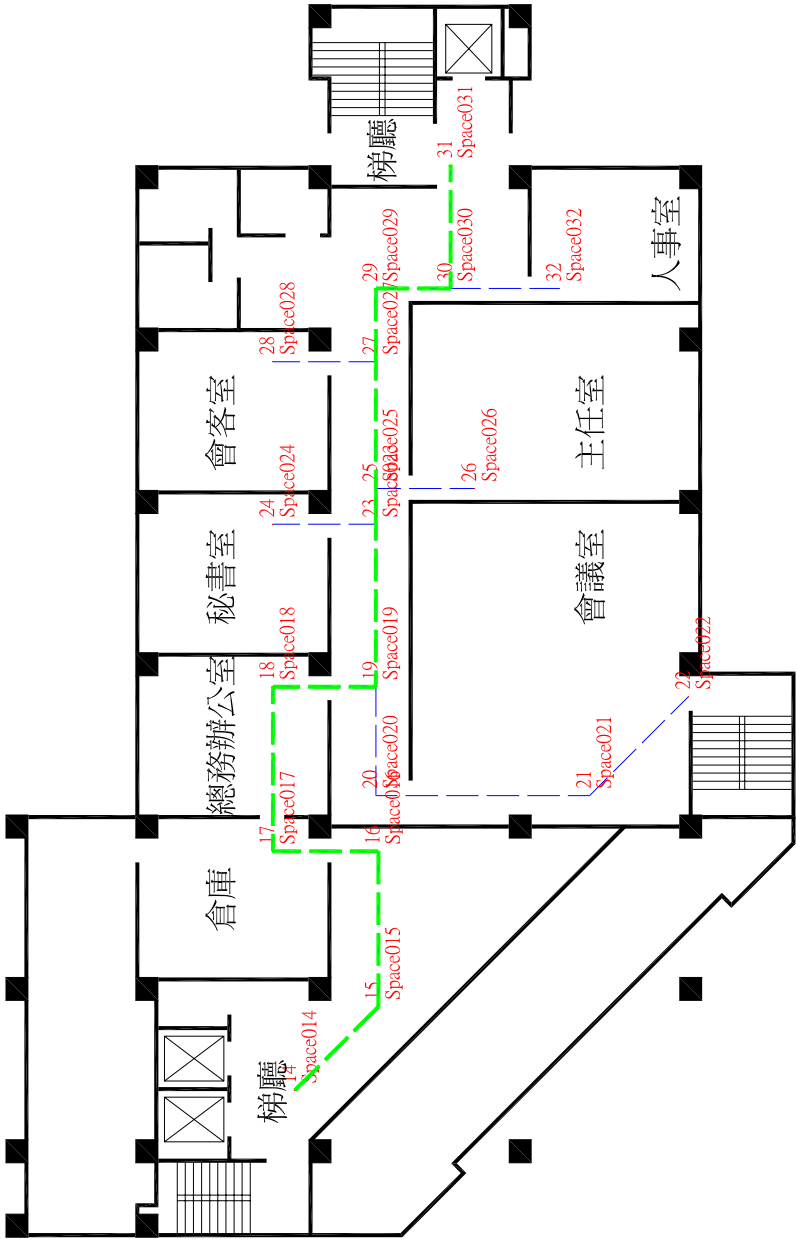


三層平面圖

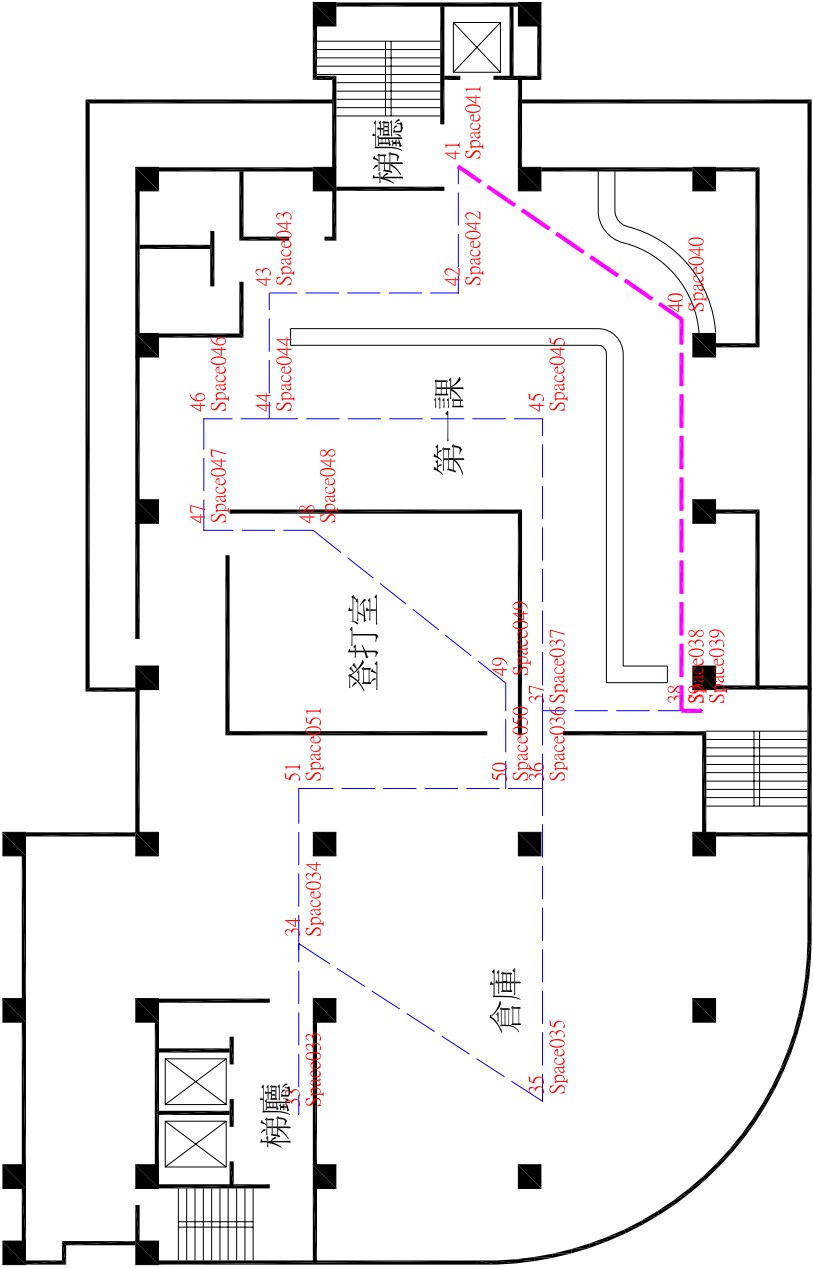


九層平面圖

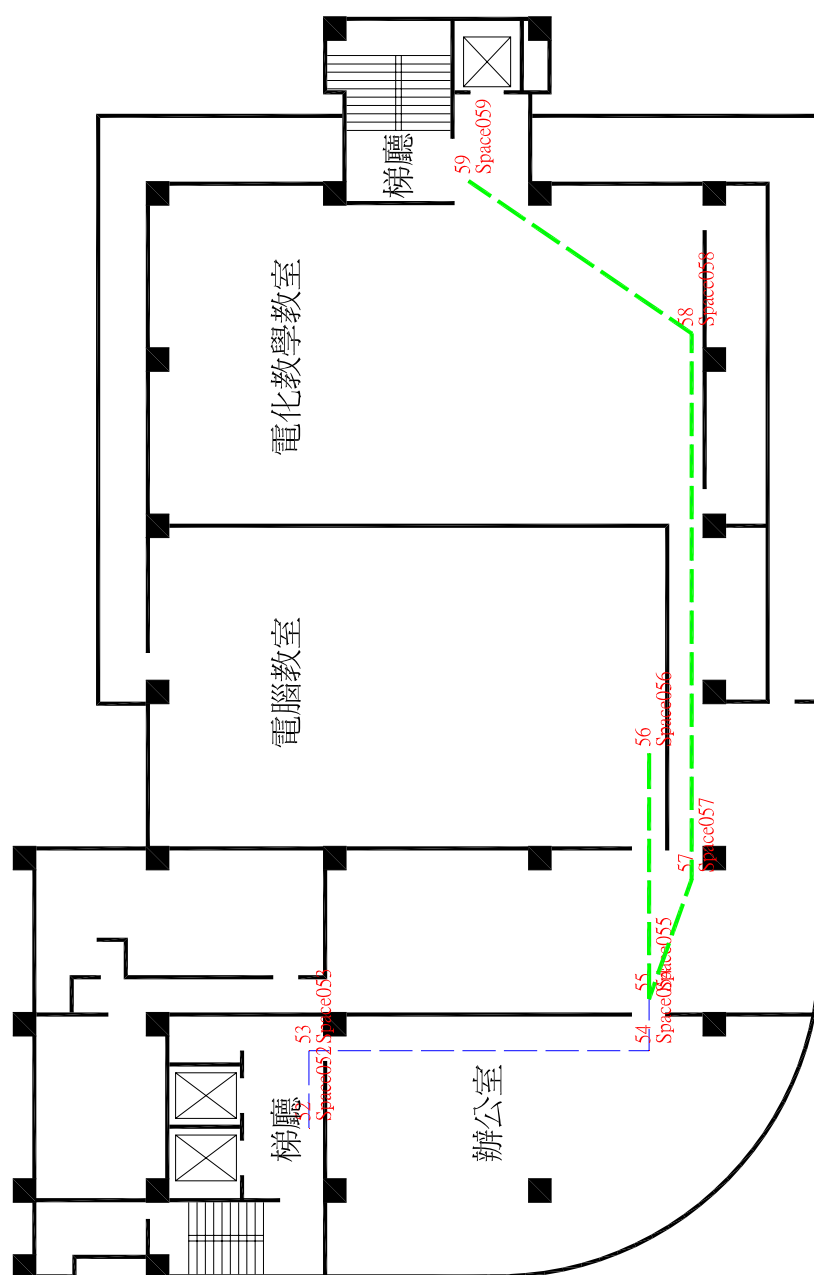
- 二、發生火災路徑模擬圖：此處一樓甲梯選擇穿過二樓通乙梯直上九樓，而一樓丙梯選擇穿過三樓通乙梯上九樓，至九樓之後路徑重疊。



二層平面圖



三層平面圖



九層平面圖

三、由此可以證明，路徑模擬功能將因路徑連結與否，即時自動分析最短及最佳路徑。

第五章 結論與建議

第一節 結論

路線模擬系統依據資料庫內各種出入口等資訊分析之後，計算出數條最短或最佳消防救災路徑，諸如可進入之各種出入口、雲梯車可及之位置及高度或消防直昇機可接近之處等等，以提供消防救災之決策者或消防隊員參考，如圖 6。

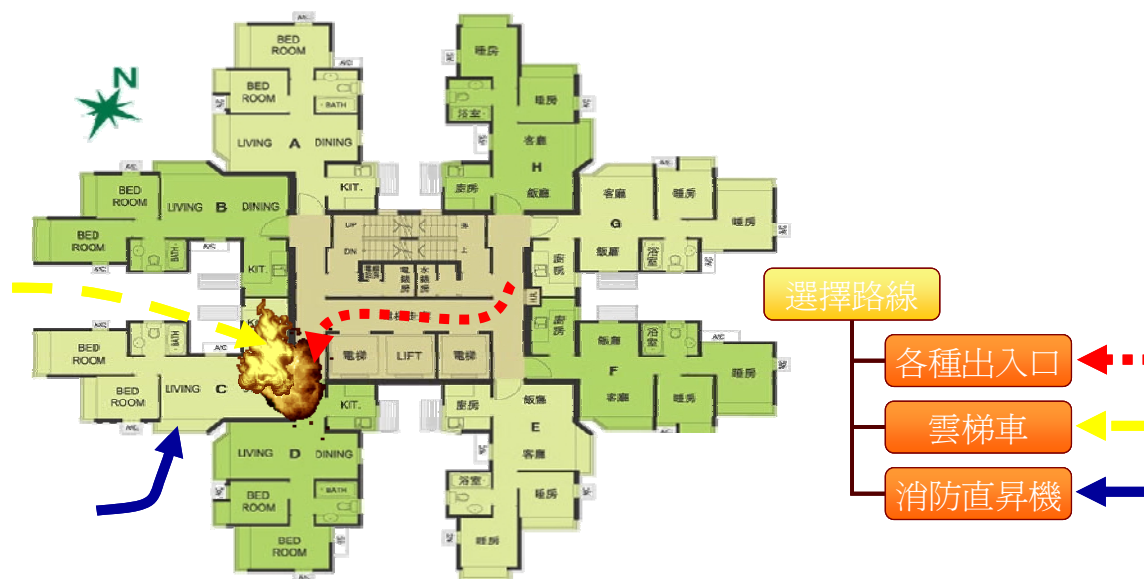


圖 6 路線模擬結果

因時間短促，本研究僅以臺中市中興地政事務所一至三樓及九樓作為模擬實證，對於功能分析中期望達到之功能亦未達成，是後續研究努力的目標。

第二節 建議

本研究係為研究三度空間地理資訊系統而進行初階探討，在後續研究時，將加強

- 一、各種即時分析功能。
- 二、程式介面予以美化及人性化，增加互動功能。
- 三、以 3D 虛擬實境展現模擬結果。

參考文獻

- 一、都市高層大樓火災危機處理系統建立之研究(王國泰 義守大學管理研究所碩士論文 2002.6)
- 二、緊急事故下物件導向決策支援系統之建立(蕭惠如 逢甲大學交通工程與管理學系碩士班碩士論文 2003.7)
- 三、中央監控－建築物管理系統(陳明德編著 全華科技圖書股份有限公司 2004.1)
- 四、智慧建築解說與評估手冊(內政部建築研究所 2003.12)
- 五、智慧型大樓中央監控系統(楊新乾編 科技圖書股份有限公司 1990.9)
- 六、智慧型大樓入門(蔡守智編著 詹氏書局 1993.6)
- 七、資料結構－使用 C 語言(蔡明志 基峯資訊股份有限公司 2002.5)
- 八、資料結構與演算法 C++(張紹勳著 旗標出版股份有限公司 2004.10)