

# 國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

工地施工人員動線評估系統

Route Evaluating System for Construction Sites



研究生：李宗勳

指導教授：曾仁杰 博士

中華民國一〇〇年八月

# 工地施工人員動線評估系統

研究生：李宗勳

指導教授：曾仁杰 博士

國立交通大學土木工程學系（研究所）碩士班

## 中文摘要

增進營建工地之施工效率與安全，一直是研究人員所追求的目標。其中施工動線配置之優劣，悠關建築工地之施工效率及施工安全，找出施工工地當前動線潛在之問題，為本研究最主要之目的。本研究利用主動式無線射頻辨識（Active Radio Frequency Identification，簡稱 Active RFID）技術所提供施工人員之所在位置及移動記錄，透過視覺化技術（Visualization）與 A\*最佳路徑演算法（A-Star path-finding），建置工地施工人員動線評估系統，用以找出施工工地中可能存在物料配置或動線規劃之問題所在，以供管理人員瞭解與改善施工環境。

本研究以模擬交通大學基礎大樓興建工程為範例，假設現場工作人員各配帶搭載主動式 RFID 之識別證，內存其基本資料及負責工作，工地並已架設適當之訊號讀取器，藉由讀取器所接受 RFID 之識別證之訊號強弱，定位該佩帶人員之所在位置，透過本系統找出施工中是否存在不良動線，並評估是否有員工施工效率不彰之現象。

**關鍵詞：**無線射頻辨識、視覺化、最佳路徑規劃、動線規劃

# **A Route Evaluation System for Construction Sites**

Student : Tsung-Hsun Lee

Advisor : Dr. Ren-Jye Dzung

Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

## **Abstract**

Efficiency and safety on construction sites is always the primary goal of researchers. The appropriateness of route arrangement concerns the efficiency and safety within a construction site. The objective of this paper is to explore the underlying route problems in construction sites. This paper uses the Active Radio Frequency Identification (Active RFID) technology to track the current location and movement of each construction worker and then applies visualization and A-Star path-finding algorithms to build a route evaluation system for construction sites. This paper attempts to find the potential problems in material allocation and route planning and provide a reference for construction managers in understanding and improving the construction environment.

A simulated example that involves construction of the Basic Science Teaching Building in National Chiao Tung University is employed. It is assumed that each construction worker carries an Active RFID tag that contains personal information and information of assigned tasks, and various active RFID readers have been set up at necessary locations of the construction site. Based on the strength of signal detected from active RFID tags, the system can locate and track the position of each worker. With the proposed system, construction managers can identify inefficient routes in the construction site and evaluate efficiency of construction workers.

**Keywords:** RFID 、 Visualization 、 Path finding 、 Route Planning

## 致 謝

能順利完成此篇論文心中真是充滿許多的感動，希望透過此致謝向我的指導教授 曾仁杰老師獻上最誠摯的謝意，承蒙曾老師一路上指導與照顧，除了論文的研究方向與架構給予啟發與匡正外，更提供學生許多學習與見識的機會，在曾老師的教導下，學生真的學到不少寶貴的知識與技術，對老師您學生有著說不完的感謝，老師對學生的恩惠，學生畢生難忘。除此之外，感謝口試委員 王維志老師及 王世旭老師，在百忙中抽空替學生口試，並於口試提供許多可貴的建議，使本論文更完備與充實。

特別感謝我的程式寫作啟蒙老師，中華大學土木系 楊國湘老師與中華大學資系 許文龍老師與交通大學土木系 洪士林老師，是您不厭其煩教導學生如何撰寫程式，並提供許多程式寫作之觀念與技巧，學生才有今日之程式寫作技術完成此論文，在此，向您敬上深深之謝意。

感謝汎儀學姊的教導與資訊提供，感謝燕青學長提供寶貴經驗，感謝慕蓉學姊不斷協助，因為有您的幫助，本論文才得以順利完成，真的很謝謝你們。另外感謝資管組同學：亦卓、俊翰、春秀、奕禎、泯錡、奕樺、家良、中芳、亞琄；資訊組同學：柔宇、江祥、麗松、書綺、雲直，一同在課業上相互扶持與幫助，與你們一同學習的過程，是求學過程中最值得回憶的時光。另外也感謝我的好友：婉婷、秉宏、冠廷、佳賓、舜友、宏仁、旻翰，總是不斷給予我鼓勵及幫助，並提供許多工地實務上之相關經驗與建議，深受你們幫助，謝謝。

最後向我親愛的父母致上最高的感謝，一直以來對我無怨無悔的付出、支持與信賴，讓我在學習路上擁有動力與勇氣，堅定自己夢想前進。

謹將本論文，獻給我的雙親與所有曾經幫助過我的人，謝謝你們。

李宗勳      謹致      中華民國一〇〇年八月



# 目 次

第一章 緒論 .....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	1
1.3 研究方法 .....	2
1.4 研究假設與限制 .....	2
1.5 研究流程 .....	3
1.6 論文架構 .....	5
第二章 文獻探討 .....	6
2.1 動線規劃 .....	6
2.1.1 空間定位技術比較 .....	9
2.1.2 空間模型 .....	14
2.1.3 路徑規劃演算法 .....	17
2.2 視覺化技術 .....	23
2.3 RFID 技術 .....	26
2.3.1 RFID 技術原理 .....	26
2.3.2 RFID 於營建之應用 .....	29
第三章 系統模組 .....	31
3.1 系統架構 .....	31
3.1.1 系統前置準備 .....	33
3.1.2 系統設定流程 .....	34
3.1.2 系統資料結構 .....	35
3.2 人員定位系統介紹 .....	37
3.2.1 登入作業 .....	37
3.2.2 員工資訊設定作業 .....	38
3.2.3 地圖對應座標設定作業 .....	41
3.2.4 定位資料輸出作業 .....	46
3.3 系統圖資結構 .....	48
3.4 A-Star 最佳路徑演算法 .....	50
3.5 資料視覺化演算法 .....	54
3.5.1 人員歷史移動資料動畫 .....	54
3.5.2 空間流量累積圖 .....	57
3.6 系統使用原則 .....	58
第四章 系統實作 .....	60
4.1 系統規格 .....	62
4.2 使用者權限規劃 .....	64
4.3 圖資設定工具 .....	68

4.3.1 圖資檔 .....	69
4.3.2 圖資設定 .....	71
4.3.3 區域限制 .....	77
4.3.4 員工管理 .....	78
4.3.5 系統設定 .....	80
4.4 最佳路徑工具 .....	82
4.5 歷史軌跡圖 .....	84
4.6 人員移動資料動畫 .....	87
4.7 空間流量累積圖 .....	90
4.8 員工出\退工統計圖 .....	93
4.9 區域限制管理機制 .....	94
第五章 實例應用 .....	96
5.1 空間圖資建立 .....	97
5.1.1 區域定義 .....	98
5.1.2 員工資料輸入 .....	101
5.1.3 區域限制名單 .....	102
5.2 案例分析 .....	103
5.2.1 擁擠通道分析 .....	104
5.2.2 施工區衝突分析 .....	105
5.2.3 不良動線分析 .....	107
5.2.4 施工效率分析 .....	111
5.2.5 人員調度實例分析 .....	112
5.2.6 員工出\退工狀況分析 .....	113
5.2.7 員工進出管制區域分析 .....	114
5.2.8 人員區位圖分析 .....	115
5.3 系統使用小結 .....	116
5.3.1 系統使用限制 .....	116
5.3.2 系統於工程實務之探討 .....	117
第六章 結論與建議 .....	118
6.1 結論 .....	118
6.2 未來研究建議 .....	119
附錄一 A*最佳路徑函數 .....	125
附錄二 論文修改表 .....	129
附錄三 語言包格式 .....	130
附錄四 系統各表單程式重點註釋 .....	131
附錄五 系統使用手冊 .....	134

## 表 目 次

表 2-1 空間定位技術之比較 .....	10
表 2-2 網格式資料結構與向量式資料結構之比較 .....	15
表 2-3 網格距離表示圖 .....	19
表 2-4 視覺化技術分類表 .....	25
表 2-5 頻帶與特性 .....	26
表 2-6 各空間定位演算法之比較 .....	28
表 2-7 RFID 應用於營造業研究之匯整 .....	30
表 3-1 員工資料資料表 .....	36
表 3-2 管理人員帳密資料表 .....	36
表 3-3 範例空間網格資料(1) .....	50
表 3-4 範例空間網格資料(2) .....	51
表 3-5 範例空間網格資料(3) .....	51
表 3-6 範例空間網格資料(4) .....	52
表 3-7 範例空間網格資料(5) .....	52
表 3-8 範例空間網格資料(6) .....	53
表 4-1 主畫面選單功能說明 .....	61
表 4-2 RFID Reader 規格表 .....	62
表 4-3 RFID Tag 規格表 .....	63
表 4-4 ZigBee Gateway 規格表 .....	63
表 4-5 軟體規格表 .....	64
表 4-6 使用者權限與功能對照表 .....	64
表 4-7 管理者介面圖資工具 .....	68
表 4-8 圖資設定資料輸出格式範例 .....	70
表 4-9 關路徑判定虛擬碼 .....	86
表 4-10 工類別物件程式碼 .....	88
表 4-11 空間流量累計圖虛擬碼 .....	92
表 5-1 交通大學基礎大樓興建工程假設案例各項基本資訊 .....	96
表 5-2 擁擠通道分析重點整理 .....	104
表 5-3 施工區衝突分析重點整理 .....	105
表 5-4 不良動線分析重點整理 .....	110
表 5-5 施工效率分析重點整理 .....	111
表 5-6 人員調度實例分析重點整理 .....	112
表 5-7 員工出\退工狀況分析重點整理 .....	113
表 5-8 員工進出管制區域分析重點整理 .....	114
表 5-9 工施工統計圖分析重點整理 .....	115

## 圖目次

圖 1-1	施工範圍 .....	2
圖 1-2	研究流程圖.....	4
圖 2-1	各文獻與本研究關係圖 .....	6
圖 2-2	網格的組成方式 .....	14
圖 2-3	網格式和向量式空間資料結構模型 .....	16
圖 2-4	Dijkstra 與 A*演算法之比較 .....	17
圖 2-5	A*演算法流程 01 .....	18
圖 2-6	A*演算法示意圖 .....	18
圖 2-7	A*演算法流程 02 .....	20
圖 2-8	A*演算法流程 03 .....	20
圖 2-9	A*演算法流程 04 .....	21
圖 2-10	A*演算法流程 05 .....	21
圖 2-11	A*演算法流程 06 .....	22
圖 2-12	A*演算法示意流程圖 .....	22
圖 2-13	主動式 RFID 傳輸訊號流程圖 .....	27
圖 2-14	各定位演算法之示意圖 .....	27
圖 3-1	系統架構圖.....	32
圖 3-2	系統前置準備.....	33
圖 3-3	系統設定流程.....	34
圖 3-4	系統輸入資料關聯模式 .....	35
圖 3-5	人員定位與路線追蹤系統登入介面 .....	37
圖 3-6	員工資訊列表.....	38
圖 3-7	員工資訊新增.....	39
圖 3-8	員工資訊顯示.....	39
圖 3-9	員工資料修改.....	40
圖 3-10	員工資訊刪除.....	40
圖 3-11	地圖對應座標設定 .....	41
圖 3-12	新增樓層畫面(一) .....	42
圖 3-13	新增樓層畫面(二) .....	43
圖 3-14	新增樓層畫面(三) .....	43
圖 3-15	影像座標系統示意圖 .....	44
圖 3-16	新增隔間座標畫面(一).....	44
圖 3-17	新增隔間座標畫面(二).....	45
圖 3-18	新增隔間座標畫面(三).....	45
圖 3-19	啟動程式畫面.....	46

圖 3-20 人員定位資料輸出 .....	46
圖 3-21 人員定位資料輸出格式 .....	47
圖 3-22 系統圖資結構.....	48
圖 3-23 圖資矩陣示意圖 .....	49
圖 3-24 員工類別關係示意圖 .....	54
圖 3-25 物件產生流程圖 .....	55
圖 3-26 人員物件配合時間軸顯示演算法流程 .....	56
圖 3-27 空間流量累積圖演算法流程.....	57
圖 3-28 系統使用流程.....	59
圖 4-1 系統主畫面.....	60
圖 4-2 管理員登入介面（一） .....	65
圖 4-3 管理員登入介面（二） .....	66
圖 4-4 系統管理者與一般管理者之比較圖 .....	66
圖 4-5 系統管理者設定一般管理者之系統畫面 .....	67
圖 4-6 使用者權限判定流程 .....	67
圖 4-7 圖資設定介面.....	68
圖 4-8 圖資設定結果匯出檔案 .....	69
圖 4-9 圖資載入與儲存介面 .....	69
圖 4-10 載入平面圖介面（一） .....	71
圖 4-11 載入平面圖介面（二） .....	71
圖 4-12 圖資矩陣設定操作流程 .....	72
圖 4-14 區域定義畫面（二） .....	73
圖 4-15 區域定義畫面（三） .....	74
圖 4-16 管制空間設定畫面（一） .....	74
圖 4-17 管制空間設定畫面（二） .....	75
圖 4-18 管制空間設定畫面（三） .....	75
圖 4-19 管制空間設定畫面（四） .....	76
圖 4-20 管制名單系統執行流程圖.....	77
圖 4-21 管制名單設定畫面 .....	78
圖 4-22 .NetFrameworkk Data Provider 物件架構.....	79
圖 4-23 員工資料設定介面 .....	79
圖 4-24 更改密碼介面 .....	80
圖 4-25 座標設定介面（一） .....	81
圖 4-26 座標設定介面（二） .....	81
圖 4-27 座標寬高定義 .....	81
圖 4-28 座標間隔劃定範例 .....	82
圖 4-29 路徑設定介面 .....	82
圖 4-30 最佳路徑運作流程圖 .....	83

圖 4-31 路徑規劃結果畫面 .....	83
圖 4-32 路徑資訊選單介面 .....	84
圖 4-33 路徑資料示意圖 .....	84
圖 4-34 人員動線歷史軌跡圖 .....	85
圖 4-35 人員位置原始資料視覺化示意圖 .....	87
圖 4-36 人員移動資料動畫分類顯示介面 .....	88
圖 4-37 座標轉換前後比較圖 .....	89
圖 4-38 空間流量圖介面 .....	90
圖 4-39 色塊變更介面 .....	91
圖 4-40 色塊變更之累積圖 .....	91
圖 4-41 員工出\退工統計圖表示方法 .....	93
圖 4-42 員工出\退工統計圖節點詳細資料 .....	93
圖 4-43 區域限制管理機制流程 .....	94
圖 4-44 管制空間進入名單 .....	94
圖 5-1 交通大學基礎大樓興建工程北側大樓一樓平面圖載入 .....	97
圖 5-2 不可通過障礙之設定 .....	98
圖 5-3 可通過障礙之設定 .....	99
圖 5-4 管制區域之設定 .....	99
圖 5-5 區域設定完成圖 .....	100
圖 5-6 員工資料輸入畫面 .....	101
圖 5-7 區域設定之畫面（一） .....	102
圖 5-8 區域設定之畫面（二） .....	102
圖 5-9 案例分析方式 .....	103
圖 5-10 空間流量累積圖-擁擠通道分析 .....	104
圖 5-12 施工區衝突分析-水電工施工區 .....	106
圖 5-13 不良動線分析-空間流量圖 .....	107
圖 5-14 不良動線分析-系統建議最佳路徑（1） .....	108
圖 5-15 不良動線分析-系統建議最佳路徑（2） .....	108
圖 5-16 不良動線分析-最佳動線相關人資訊 .....	109
圖 5-17 不良動線分析-歷史軌跡圖 .....	109
圖 5-18 空間流量累積圖-施工效率 .....	111
圖 5-19 歷史移動資料動畫-人員搜尋功能 .....	112
圖 5-20 員工出\退工 X-Y 走向圖 .....	113
圖 5-21 員工進入管制區域之名單 .....	114
圖 5-22 人員區位圖—顯示人員 1 .....	115
圖 5-23 人員區位圖—顯示人員 2 .....	115



# 第一章 緒論

---

## 1.1 研究動機

無線射頻辨識系統 (Radio Frequency Identification, 簡稱 RFID) 之應用與發展層面不論是學術界或各行各業已相當廣泛, 但目前卻少見有完善的 RFID 系統應用於營建管理中, 本研究利用已成功運作於交通大學工程二館之人員定位與路線追蹤系統 (LocationTracer System), 此系統採用主動式 (Active) 無線射頻辨識系統擁有遠距離自動感應、長時間記錄資訊等特性, 搭配資通技術

(Information and Communication Technology) 將可提供各類工種現場人員之所在位置、記錄其動線軌跡之功能。

增進營建工地之施工效率與安全, 一直是研究人員所追求的目標。其中施工動線規劃好壞, 更對施工時間、效率與安全影響甚鉅。目前一般營建工程, 大多以個人經驗來做規劃依據, 實際施作時, 會因物料、機具... 等因素影響到先前規劃之成效。藉由人員定位與路線追蹤系統記錄工地人員動線, 並設計一套能透過最佳路徑與累積流量之系統, 供管理人員分析工地潛在問題, 掌握工地資訊並有效改善工地現況, 擴展營造業資訊化, 即為本研究主要動機。

## 1.2 研究目的

本研究主要目的在於應用人員定位與路線追蹤系統 (LocationTracer System) 之輸出資料, 達成以下目的:

1. 應用該系統在配有主動式 RFID 硬體設施及正常運作且能自動記錄人員定位資料的前提下, 將其定位資料透過視覺化技術顯示其特徵。
2. 藉由本研究建置之系統, 所得之輸出資訊, 探討施工人員於施工環境中實際動線與配置, 進行評估, 找出是否存在空間衝突之問題並加以改善, 及將本系統應用於工地人員管理用, 提供適當調度人員之功能。

### 1.3 研究方法

本研究之研究方法，係使用人員定位與路線追蹤系統所輸出之人員定位資料，做為施工人員移動之依據，利用 Microsoft Visual C#建置動線評估系統，藉由 A\*最佳路徑演算法（A-Star path-finding）規劃之最佳動線，與各類等各類型視覺化技術，如人員歷史移動軌跡、出\退工時間走向圖與空間流量圖（HotSpot）等，輸出各種資訊、圖像及動畫，最後將各項輸出資訊進行比對，試以找出系統建議最佳路徑及實際路境之差異，及空間中衝突位置。

### 1.4 研究假設與限制

本研究擬以新竹市交通大學基礎科學教學大樓新建工程為研究範圍，記錄工程工期為 7 天，施工人數為 60 人，工種分別為鋼筋工、模板工與水電工與小工，施工階段為一樓模板工程與鋼筋工程，施工範圍為第一大樓結構體，如圖 1-2 紅色框線所示，探討在紀錄期間員工動線軌跡與流量，並進行問題分析與改善建議。

此外為讓系統有效且正確搜集施工人員歷史行為紀錄，本研究分析數據需在 RFID 人員定位與路線追蹤系統之硬體設施正常運作且訊號傳回無大量損失的情況下，任何突發性行為（如火災、地震或不正常施工）均不在本研究範圍之內。

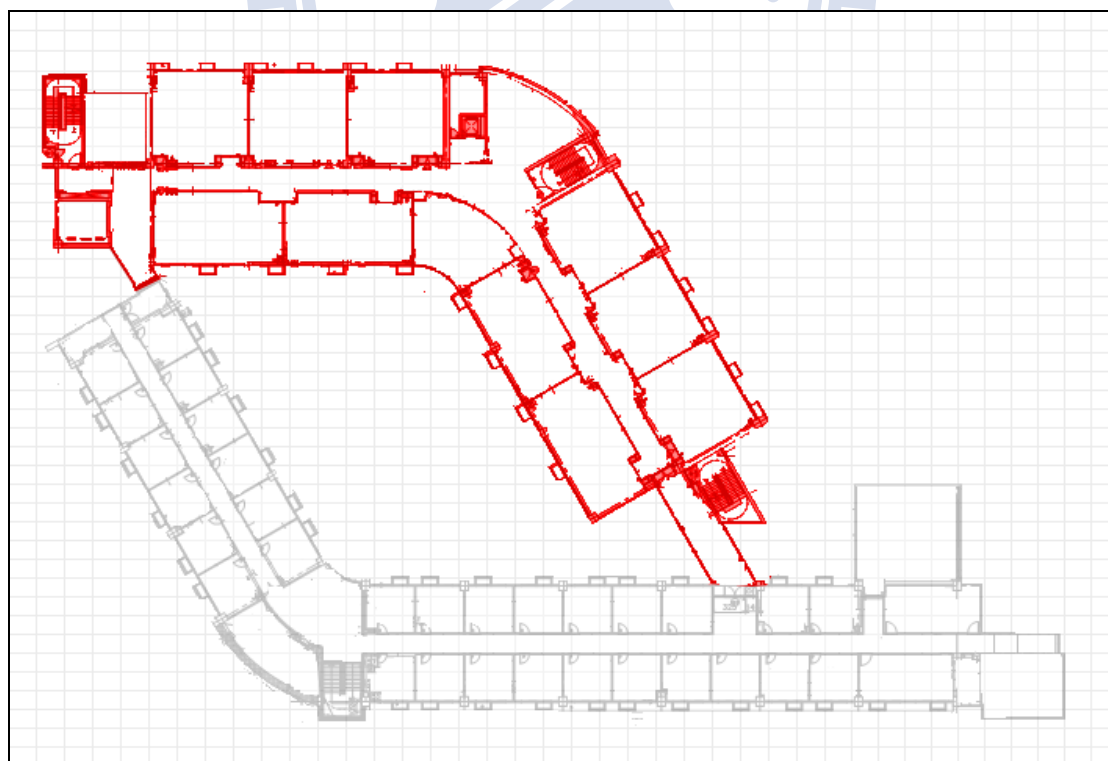


圖 1-1 施工範圍



## 1.5 研究流程

本研究之研究流程，如圖 1-2 所示，透過文獻探討階段確立本研究之目的，確認研究目的後，在文獻探討階段進行研究方法之選擇，並確立研究範圍後，再進行相關文獻回顧，尋找與本研究相關之文獻。

文獻資料收集至一段落後，開始系統建置之階段，首先透過建立空間資料與人員行為資料，為介面與演算法之輸入資料，並進行功能測試，並不斷修正其輸入資料，直到測試系統功能達到理想狀態。

當系統建置完成，測試運作成功時，及進入系統運作階段，將模擬實例進行實作測試，完成實作測試後，並依整體結果，開始撰寫本論文。



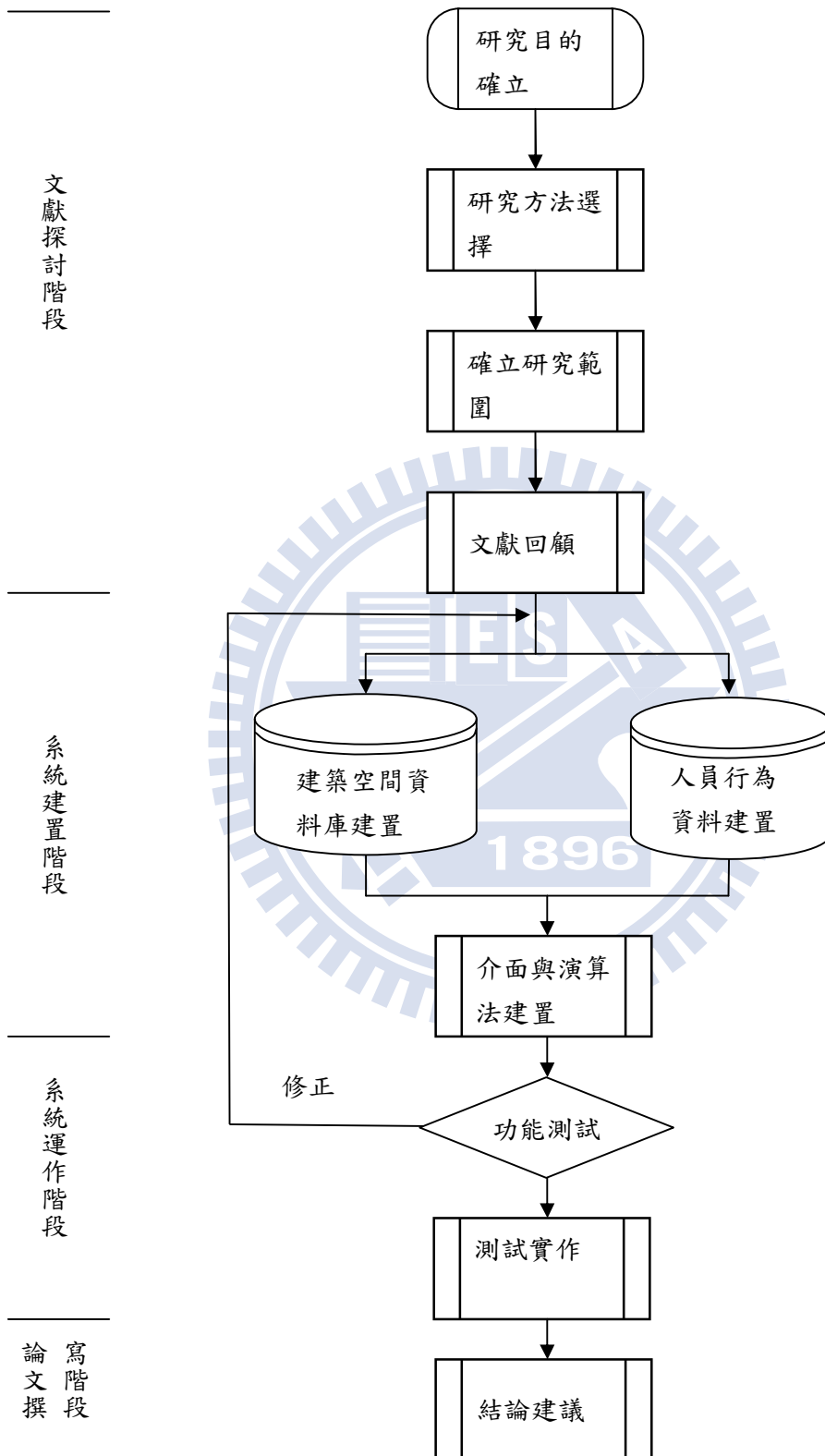


圖 1-2 研究流程圖

## 1.6 論文架構

本論文分為六章，各章內容摘要說明如下：

### 第一章：緒論

本章節敘述本研究之動機、目的、方法、範圍與限制、流程及架構。

### 第二章：文獻探討

本章節首先整理歷年國、內外動線規劃相關文獻，瞭解各空間定位技術之優缺點，探討空間模型建置技術、視覺化技術、與路徑規劃演算法理論，比較相關研究系統開發經驗，以完善設計本研究之系統。

### 第三章：系統模組

本章節描述本系統軟、硬體之架構，系統圖資結構，並描述軟體設計中所使用之演算法與系統使用原則。

### 第四章：系統建置

本章節將描述本系統運作環境與規格，各模組建置之方法與規則，並說明本系統之設定原則。

### 第五章：實例應用

本章節將模擬實際案例，進行空間模型建立，歷史人員行為活動輸入後，針對人員活動之移動資料進行分析與比較，找出該案例之缺失並提供改善意見。

### 第六章：結論與建議

為本研究之結論，與日後研究方向之建議。

## 第二章 文獻探討

本研究目的為設計動線評估系統，本章節依研究目的尋找參考文獻，包含與本研究相關之文獻，如動線規劃、空間模型、路徑規劃演算法、視覺化技術等，此外本章節亦尋找與本研究所應用之人員定位與路線追蹤系統技術相關之文獻，與本研究相關但不屬本研究範圍之文獻，如空間定位技術、RFID 技術等，其各文獻與本研究關係如圖 2-1 所示。

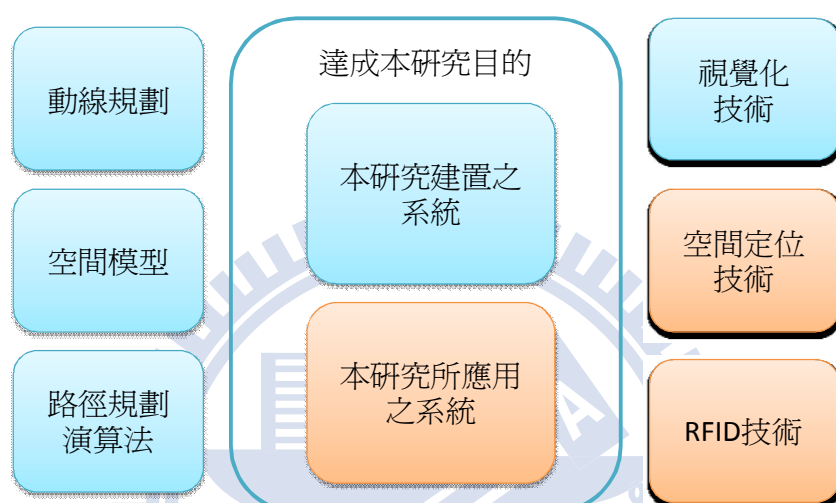


圖 2-1 各文獻與本研究關係圖

### 2.1 動線規劃

“動線”為建築與室內設計之用語，以連接各機能空間之路線。然而施工動線的優劣，將影響施工期間的安全與效率。目前評估動線優劣方式有兩種，一是在規劃期間透過相關調查資料與規劃藍圖，進行系統模擬；另一則是依實際使用情形進行評估。在動線規劃（Route planning）領域，Parsons 與 Pachuta（1980）為核能電廠發展一套將物料運至作業地點的系統；Mahoney 與 Tatum（1994）強調 CAD 於工地應用的幾個效益與實例。

工地配置是指利用某些法則與程序，在工地內可用空間中將工地內各項臨時設施（Temporary Facilities），如工務所物料儲存區、物料加工區、員工宿舍的類型、大小、數量與位置作最佳之安排的方法。人員、機具或是工程物料在工地內部各臨時設施之間的總旅行距離或總旅行成本最小化作為規劃的準則（黃心寧 2007）。Tomas（1979）、Halpin 與 Woodhead（1977）、Tommelein I.、Dzeng R. 與 Zouein P.（1993）、Zouein 與 Tommelein I.（1994）以及 Lin（1996）等相繼提出各種不同的規劃技術，如地理資訊系統（GIS）、人工智慧、遺傳演算法（GA）等。

Tommelein 等人 (1987) 透過電腦輔助，開發 SIGHTPLAN 系統，透過專家系統與人工智慧技術，配合 2-D CAD 模型，更是工地配置的典型工具。SIGHTPLAN 主要著重於工地配置的設計，非考量人員實際動線。

Jim H.K 與 Chang Z. Y. (1998) 使用 SLAM (Simulation Language For Alternative Modeling) 模擬機場站內乘客與行李動線，以圖形詳細說明機場站內乘客與行李的流程，發展機場場站的計畫與設計，改良目前機場場站的建置。在模擬時藉由各項歷史資料決定分配函數，最後由模擬結果得到各項設施之等候線等候長度的統計，供機場設計者為設計依據。此研究對國內外航線乘客和行李的流程說明詳細，作為本研究設計系統之參考。

許添本 (2000) 研究使用錄影調查法，使用攝影機將調查路段拍攝成影片，配合 1/100 秒計時器做精確的時間分析，於上下午尖峰時間觀測行人經過捷運站通道之參考線前 0.5、1、2 公尺範圍內的人數作為密度之直接量測，對觀測之樣本通過參考點時，記錄其相對前一人之距離，分析對行駛速率之影響，利用密度與速率關係式求出流量，並以車流相關理論作為行人流之依據，分別提出「速率-流量」、「流量-空間」、「速率-空間」等關係式。由於這些數學模式是經由實際拍攝捷運站通道內，行人的流動行為所導出，與本研究研究人員實際動線行為相似，然而本研究透過 RFID 系統所記錄之人員行走之數據為人員實際行為模式，與此篇研究有所不同。

黃俊榮 (2000)、林建志 (2001)，利用全球定位系統 (Global Positioning System，簡稱 GPS) 具有即時性、全天性定位之特性，分別建立營建機具路徑規劃與即時監控、管理系統。該研究成功整合軟硬體，將複雜工地現場予以即時圖形化，但卻受限於 GPS 功能，該系統僅能在未遮蔽、平坦地區運作。

載瑞德 (2002)，將各種動線規劃的演算法特性加以歸納，整理結果如下所示：

1. 傳統圖解技巧
2. 系統化圖解技巧
3. 最佳解數學模式與啟發式演算法
4. 多談式/整合方式方法
5. 多目標方式
6. 專家系統方法
7. 模糊理論方法
8. 模糊退火法
9. 遺傳基因方法

## 10. 層級分析法

Akinci 等人 (2000) 的研究一共將空間衝突類型分成五類：

1. 設計衝突 (Design Conflict)
2. 安全上的危險 (Safety Hazard)
3. 損壞衝突 (Damage Conflict)
4. 擁擠 (Congestion)
5. 無影響 (No Impact)

小結以上文獻，國、內外學者歷年來利用各種定位技術、系統軟體與演算法用以改善營建工地之空間衝突之問題，本研究希望利用 Active RFID 技術，配合「系統化圖解技巧」與「最佳解數學模式與啟發式演算法」等動線規劃技巧，設計開發新的系統軟體，用以找出空間中擁有「設計衝突」、「安全上的危險」、「擁擠」等空間衝突問題。



### 2.1.1 空間定位技術比較

隨著定位科技發展，開始有不同定位科技運用在動線規劃或管理之領域上，其定位技術包含紅外線（R. Want, A. Hopper 等 1992）、多攝影機（林昇甫、吳晉嘉等 2005）、超音波（A. Harter, A. Hopper 等 1999）、無線網路（P. Bahl and V. N. Padmanabhan 2000）、GPS（黃俊榮 2000、林建志 2001）、RFID、壓力感測器（R.J. Orr and G.D. Abowd 2000）、AGPS 手機定位技術（吳景恭 2010）。

表 2-1 重新整理李重儀（2006）所彙整各種定位技術，說明特性、優缺點及適合環境。



定位技術	優點	缺點
紅外線 (Infraed, IR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 架設成本低</li> <li>• 精準度高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 無法辨識個別人員</li> <li>• 易受環境干擾</li> <li>• 只能定點定位</li> </ul>
多攝影機 (Multi-Camera)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 精準度高</li> <li>• 架設成本低</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 個別人員辨視難度高</li> <li>• 易受環境干擾</li> <li>• 只能定點定位</li> </ul>
超音波 (Ultrasonic)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 架設成本低</li> <li>• 近距離測距準</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 易受環境干擾</li> <li>• 無法辨識個別人員</li> </ul>
無線網路定位 (ZigBee、WiFi、Bluetooth...等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 涵蓋範圍廣</li> <li>• 可辨識個別人員</li> <li>• 定位即時性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 人員需佩帶定位設備</li> <li>• 易受環境干擾</li> </ul>
GPS 定位	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 定位即時性</li> <li>• 可個別人員辨識</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 無法於室內定位</li> <li>• 人員需佩帶定位設備</li> <li>• 成本較高</li> </ul>
Passive RFID	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 精準度高</li> <li>• 可個別人員辨識</li> <li>• 不受環境影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 只能定點定位</li> <li>• 感應範圍近</li> <li>• 人員需佩帶定位設備</li> </ul>
Active RFID	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 定位即時性</li> <li>• 涵蓋範圍廣</li> <li>• 可個別人員辨識</li> <li>• 可傳輸額外資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 人員需佩帶定位設備</li> <li>• 易受環境干擾</li> <li>• 成本較高</li> </ul>
壓力感測器	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 精準度高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 範圍極小</li> <li>• 無法辨視各別人員</li> </ul>
AGPS 手機定位技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 定位即時性</li> <li>• 耗電低</li> <li>• 涵蓋範圍廣</li> <li>• 可個別人員辨識</li> <li>• 架設成本低</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 室內定位精準度降低</li> <li>• 小範圍定位精準度低</li> <li>• 人員需佩帶定位設備</li> </ul>

表 2-1 空間定位技術之比較  
(資料出處：本研究彙整)



由於營建工地佔地廣，需即時人員定位與辨識功能，綜合表 2-1 各技術之優缺點，本研究採用 Active RFID 搭配無線網路技術做為空間定位技術，而主動式 RFID 與無線網路技術目前市場分歧，分類方式也有差別。

主動式 RFID 以頻段來分類，主要有 433MHz 以及 2.45GHz 這兩個頻段。然而，433MHz 並非屬於 ISM (Industry、Science、Medical) 之頻段，且容易受到業餘無線電人員所使用之無線電設備干擾，因此實際使用時有較多的干擾變因。至於 2.45GHz 則較容易受到人體之影響。

主動式 RFID 以使用方式而言，則分為 infrastructure 及 ad-hoc 兩種。若為 infrastructure 模式，必須遵從 Reader 搭配 Tag 的使用情境，而且每一台 Reader 均需要使用網路線來將收取的標籤資訊後傳到中央系統。而 ad-hoc 則打破使用限制，Readers 本身可以自行建立無線網路，將讀取到的標籤資訊透過無線傳輸傳遞到末端的路由點，再透過有線網路後傳到資訊系統。在這樣的無線網路架構下，有幾項優點：(詹雅惠 2007)

#### 1. 佈建容易

大部分的 reader 僅需電力線，不需要實體網路線。而且端點自行會建立無線網路，無須人為管理與設定。

#### 2. 可靠性高

多重路徑之保障，當有 reader 運作失敗時，可透過其他路線回傳至路由點。

#### 3. 低成本

此類無線端點成本較低廉，有助於大量人員監控之應用。

目前市面上有許多彼此不相容的無線網路技術，一般常見近距離無線通訊技術有 (林嘉榮 2009、樂尚文 2008、翟雷等人 2008)：

#### 1. WiFi (IEEE 802.11)

WiFi 最初規範於 1997 年提出，是目前無線區域網路的主要技術。WiFi 目前最常見有(1) IEEE802.11a，在 5.8GHz 頻段工作時，最高傳輸率為 54Mbps；(2) IEEE802.b，在 2.4GHz 頻段工作時，傳輸頻率為 1Mbps~11Mbps；(3) IEEE802.g，在 2.4GHz 頻段工作時與 IEEE802.b 相容，最高傳輸率可達 54Mbps。由於優異的頻寬是以較高的功耗為代價，所以在耗電量上也比較高。

## 2. 超寬頻 (Ultra Wide Band, UWB)

超寬頻技術是一種無線載波通訊技術。並不採用正弦載波，而是利用奈秒級的非正弦波窄脈衝傳輸資料，所以所佔的頻譜範圍相當的廣。超寬頻在傳輸速率快、但通訊距離短、平均發射功率低，適合用於攜帶應用。

## 3. 藍芽 (Blue Tooth)

藍芽是以 IEEE802.15.1 為基礎，工作頻率在 2.4GHz，最大傳輸速率為 723.3Kbps；在藍芽 2.0 版本，傳輸速率可達到 10Mbps，傳輸距離在 100m 以內。

## 4. 近場通訊 (Near Field Communications, NFC)

NFC 是一種短距離的高頻無線通訊技術，允許電子設備之間進行非接觸式點對點資料傳輸。這個技術由 RFID 演變而來，是一種短距高頻的無線電技術，在 13.56MHz 頻率運作，傳輸距離於 20 公分以內。

## 5. 紅外線資料通訊 (Infra-red Data Association, IrDA)

利用紅外線彼此進行點對點的通訊技術。目前資料傳輸率以達 16Mbps，彼此間不需實體連線，已被廣泛運用於小型移動設備。

## 6. ZigBee

ZigBee 是最近幾年內發展出來的近距離無線通訊技術，擁有低耗功、低成本、易應用、使用 2.4GHz 為主的頻段與容易擴充等特性。

以上無線傳輸等技術雖然都有類似的用途，但實際的使用情境又不盡相同。例如，Wi-Fi 有不錯的有效範圍及傳輸率，可以使用在大部份的無線網路場合，但是在可攜式裝置上，它的耗電量可能相當大。藍芽的耗電量相當小，一般認為適合作為手機等一類裝置的網路裝置。ZigBee 由於傳輸速率和距離的表現都沒有上述兩者好，被定位在收發少量的資料量的應用。

Feature(s)	IEEE 802.11b	Bluetooth	ZigBee
電源持續力	hours	days	years
複雜度	Very complex	complex	Simple
節點數	32	7	65536
建立連線速度	Up to 3 seconds	Up to 10 seconds	30 ms
傳輸距離	100m	10m	70m ~ 300m
擴充性	Roaming possible	no	Yes
資料傳輸率	11 Mbps	1 Mbps	250 Kbps
安全性	SSID	64bit, 128bit	128bit AES

表 2-2 WiFi \ Bluetooth \ ZigBee 無線技術比較  
(資料來源：禾伸堂企業股份有限公司，ZigBee 介紹 2007)

綜合 ZigBee RFID 擁有較長距離定位、較高穩定性、較省電、最大網路節點數及最低成本等優點，故 ZigBee RFID 為本研究採用硬體設備，其硬體規格與運作流程將在本論文第四章說明。

### 2.1.2 空間模型

在電腦系統中，表示地圖資料的空間結構資料可歸類為網格式資料結構（Raster Data Structure）和向量式資料結構（Vector Data Structure）兩大類。由於使用資料結構不同，相對用來找尋最短路徑的演算法，也會完全不同。

（Heywood I. 等人 1998、Charles M. E. 1990）

網格式資料結構是用每個大小不同的像素（pixel），相鄰相組而成，在網格的切割方法，有三角、四角與六角網格（圖 2-2），其中四角網格因較好切割，最為廣泛使用；向量圖則是利用一連串記錄著圖形的坐標資訊，經程式解讀後輸出圖形。

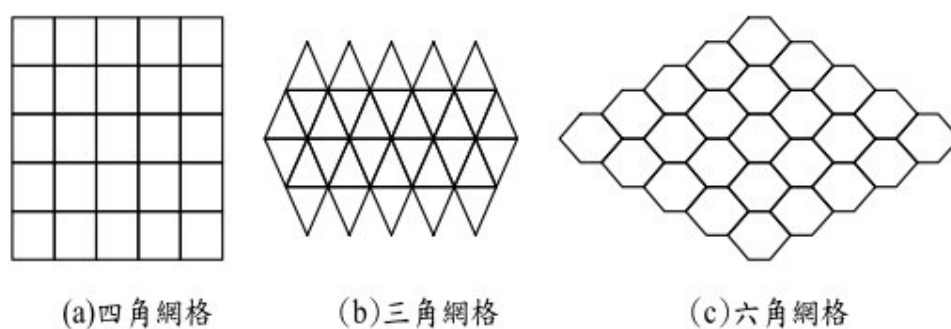
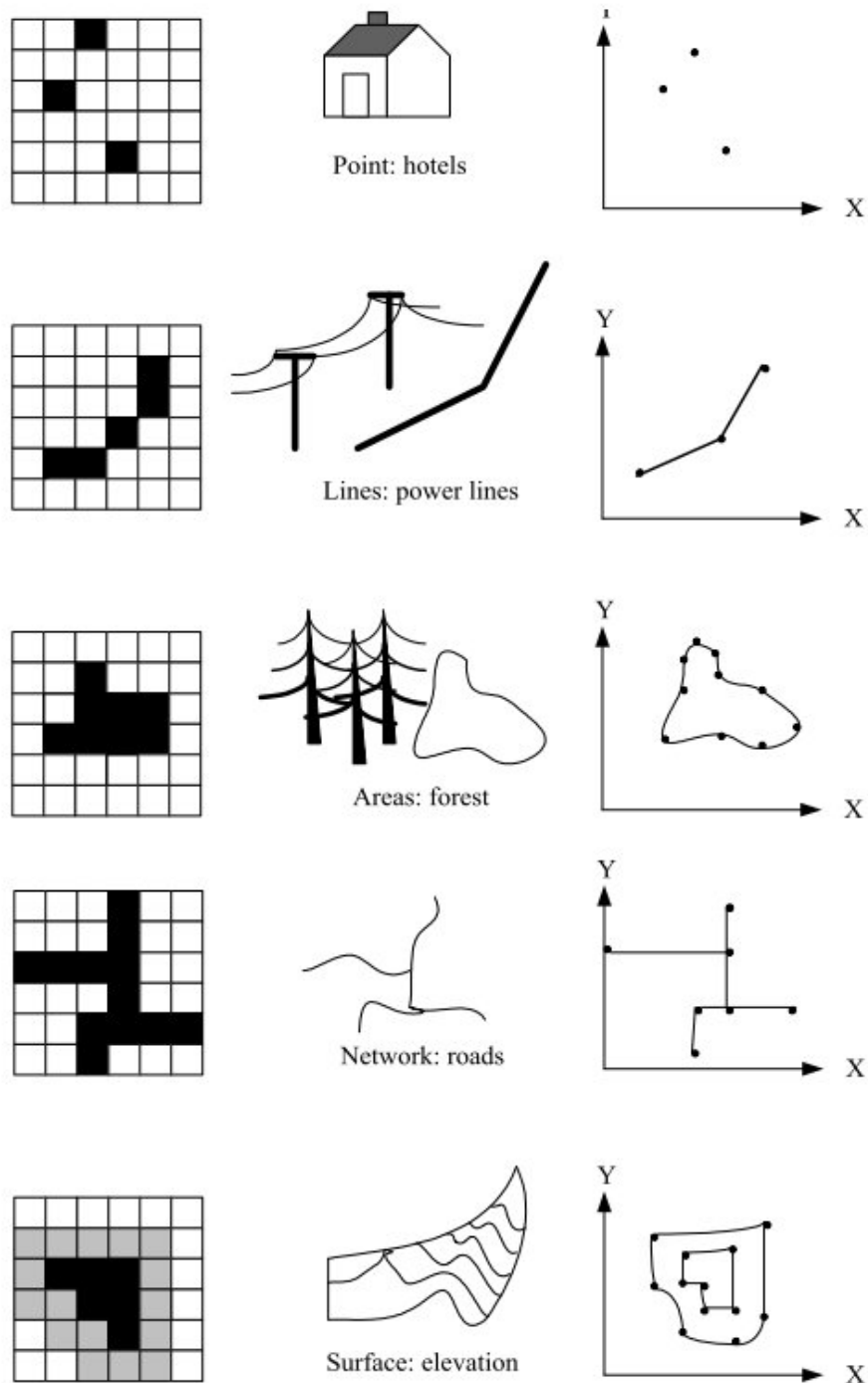


圖 2-2 網格的組成方式  
（資料來源：吳建興 2000）

將空間資訊網格化是最快速且直接，但向量式結構較節省記憶體空間，表 2-2 與圖 2-3 是網格式資料結構與向量式資料結構之比較。

項目	優點	缺點
網格圖	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 資料結構簡單</li> <li>• 儲存空間固定</li> <li>• 可有效表示空間變動</li> <li>• 適合統計分析與模型製作</li> <li>• 適合參數性繪圖</li> <li>• 使用者自義圖形及區域容易</li> <li>• 自動化區域分析精準度高</li> <li>• 容易編輯使用者介面</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 空間解析度低</li> <li>• 儲存空間大</li> <li>• 難表示相位資料</li> </ul>
向量圖	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 解析度高</li> <li>• 初始儲存空間小</li> <li>• 適合資料庫管理</li> <li>• 適合參數性定義圖形符號</li> <li>• 可建立繪圖規則</li> <li>• 旋轉和縮放快速正確</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 資料結構複雜</li> <li>• 計算量大</li> <li>• 儲存空間差異大</li> <li>• 無法有效表示空間變動</li> </ul>

表 2-2 網格式資料結構與向量式資料結構之比較  
(資料來源：吳建興 2000、施建龍 2005)



(a) The raster view of the world

(b) The vector view of the world

圖 2-3 網格式和向量式空間資料結構模型

(資料來源：Charles M. E 1990)

在建立空間模型的過程，不管是使用網格式或向量式資料結構，都各有優劣，雖然整合兩種優點，依使用者所需提供正確且易於觀察的資訊，是未來的趨勢，但目前網格式資料結構的空間模型建構成本較低，圖型資訊處理也較為容易，因此本研究採用網格式空間資料結構來建構空間模型。



### 2.1.3 路徑規劃演算法

最短及最佳路徑問題為一般路網問題求解之基礎，其應用層面相當廣泛，求解目標是兩點間最少成本之路徑，然而路段上成本可表示為距離、時間、費用…等。

有關空間管理與路徑規劃的領域中，許多演算法已多被提出研究，諸如：規則格子點法 (Regular Grids Method)、方樹法 (Quadtree Method)、中線圖法 GVD (Generalized Voronoi Diagrams)、位能場法 (Potential Filed Method)、自由空間分解法 (Free Space Decomposition) …等。(黃俊榮 2000、黃心寧 2007)

因在空間資料結構有網格式以及向量式兩種方式，故找尋最佳路徑之方法皆不相同，在 2.1.2 節中決定使用網格式空間模型，其好處在於網格式的路徑規劃演算法較為快速直接，因為在向量式結構中，圖形間的關係不如網格式來的容易處理。而本研究以 A\* 尋路演算法 (The A-Star Pathfinding algorithm) 做為系統最佳路徑之依據。

A\* 尋路演算法為 Peter Hart, Nils Nilsson 與 Bertram Raphael 等人於 1968 年發表的演算法，改良自 1959 年 Edsger Wybe Dijkstra 所發表的 Dijkstra 演算法，Dijkstra 演算法雖然可以保證找到一條最短的路徑，但不如 A\* 演算法這樣簡捷快速。同時，Dijkstra 的搜尋深度在某些情形下也容易顯得不適用。

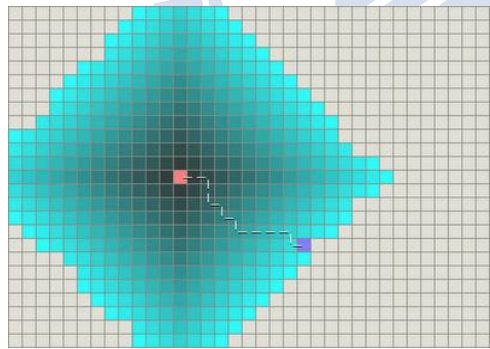
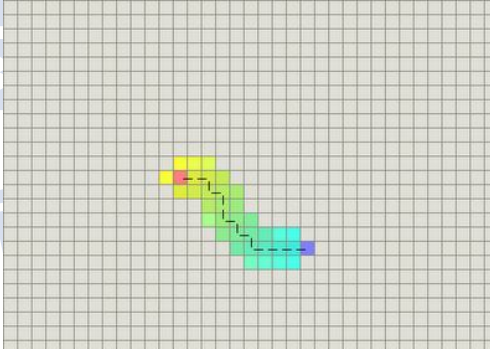
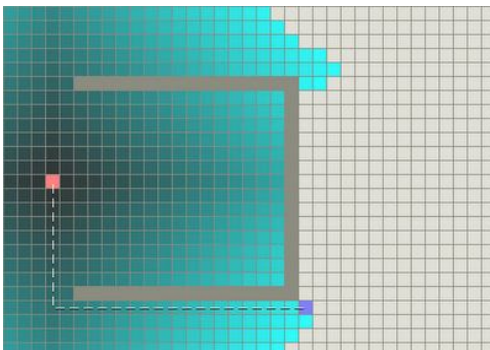
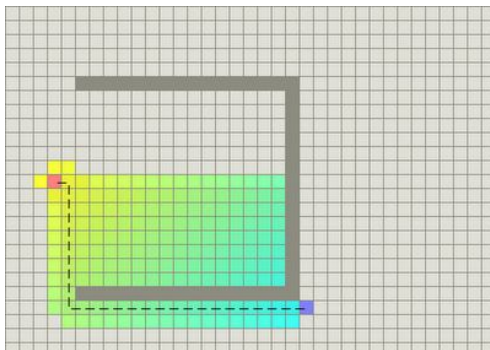
	Dijkstra 演算法	A*演算法
無障礙		
有障礙		

圖 2-4 Dijkstra 與 A\*演算法之比較  
(資料來源：Amit's A\* Pages 2010)

由圖 2-4 比較後可看出，A\*演算法搜尋深度雖不如 Dijkstra 演算法，但路徑規劃結果是一致的，且因搜尋深度不同 A\*能更快速計算找出最佳路徑。假設一網格式空間，A 為起點 B 為終點，而「///」為不可穿越之障礙物，欲使用 A\*演算法在兩點間尋找最佳路徑（如圖 2-5），則 A\*演算法之流程如下：

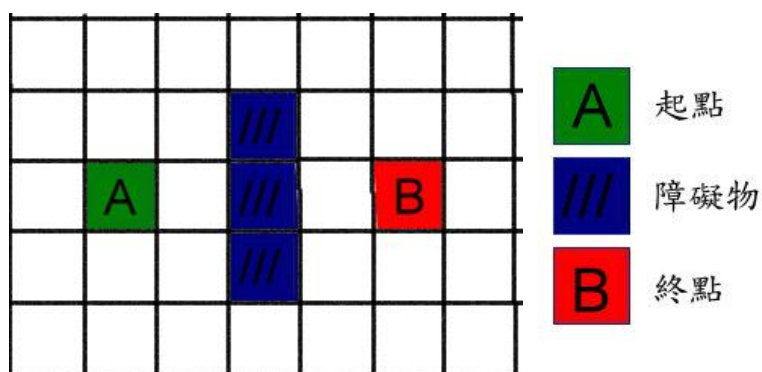


圖 2-5 A\*演算法流程 01  
（資料來源：修改自 Lester, P 2005）

1. 從點 A 開始，將點 A 存入「Open List」中，Open List 為規劃後之路徑可能會通過之方格，為待檢查之列表。
2. 尋找點 A 周圍所有可通過之方格，將其方格存入 Open List 中，並將點 A 做為父方格（parent square），除了起始方格外，每一個方格皆有父方格，如圖 2-6 中的反指針，可用於表示每一方格其它始位置。
3. 從 Open List 中刪除點 A，並將點 A 存入「Close List」，Close List 為儲存所有不需要再檢查之方格。

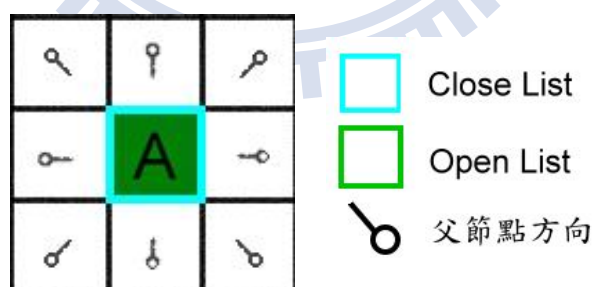


圖 2-6 A\*演算法示意圖  
（資料來源：修改自 Lester, P 2005）

接著透過啟發式評價公式(Heuristic Estimate)的方式，尋找 Open List 中臨近方格，大致重覆上述 1~3 步驟，直到達到目標點。而 Path Scoring 公式如下：



$$f(n) = g(n) + h(n)$$

$f(n)$ : 目前節點  $n$  的評價分數

$g(n)$ : 從起點到任意頂點  $n$  的實際距離

$h(n)$ : 任意頂點  $n$  到目標點的估算距離

$g(n)$  表示路徑從起點至  $N$  點的移動距離，其距離表示如表 2-3，令水平或垂直網格間格距離為 10，對角線方向為 14，此數值是將對角線水平與垂直距離利用畢式定理 (Pythagorean theorem)  $c = \sqrt{a+b}$  計算得  $\sqrt{2} = 1.414$ ，為節省計算根號與小數，取整數 10 與 14 可提高完成尋路演算法之速度，本研究系統因設有可穿越之障礙物，依障礙物穿越難易度調整  $g(n)$  值，及可達到穿越障礙物是否為最佳路徑之效果。


$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	 為方便計算 取整數	14	10	14
1	0	1		10	0	10
$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$		14	10	14

表 2-3 網格距離表示圖

(資料來源：本研究)

而  $h(n)$  為 A\* 演算法中最重要的一項指標，目前已有許多計算  $h(n)$  方法，本研究採用最為直接快速的曼哈頓法 Manhattan Method 來計算  $h(n)$ ，它計算當前格 (current) 到目的格 (target) 之間水平和垂直的方格數總合，不另計算對角方格，最後將總合乘上最短距離  $D$ 。

$$h(n) = D * [\text{abs}(\text{current.x} - \text{target.x}) + \text{abs}(\text{current.y} - \text{target.y})]$$

圖 2-7 是 A\* 初步運算結果，F、G、H 值分別列在在每個方格中的左上、左下與右下角。以圖 2-7 起始點 A 相臨右邊之方 (唯一一方格中含有字母的) 格為例，計算方法如下：

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

$$g(n) = 10$$

$$h(n) = D * [abs(current.x - target.x) + abs(current.y - target.y)]$$

$$h(n) = 10 * [abs(3 - 6) + abs(3 - 3)] = 30$$

$$f(n) = 10 + 30 = 40$$

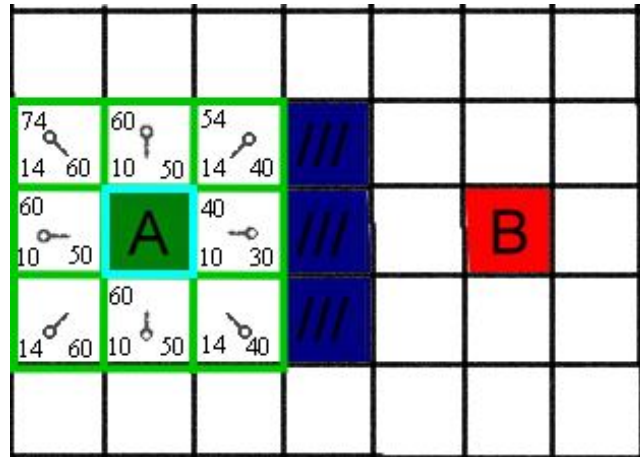


圖 2-7 A\*演算法流程 02

(資料來源：修改自 Lester, P 2005)

其餘每一格  $f(n)$  值皆為  $g(n)$  與  $h(n)$  相加而得，為了繼續搜尋，將由 Open List 中選擇  $F$  值最低之方格，做以下步驟處理：(如圖 2-8)

1. 將選中  $F$  值最低之方格從 Open List 中刪除，並儲存至 Close List

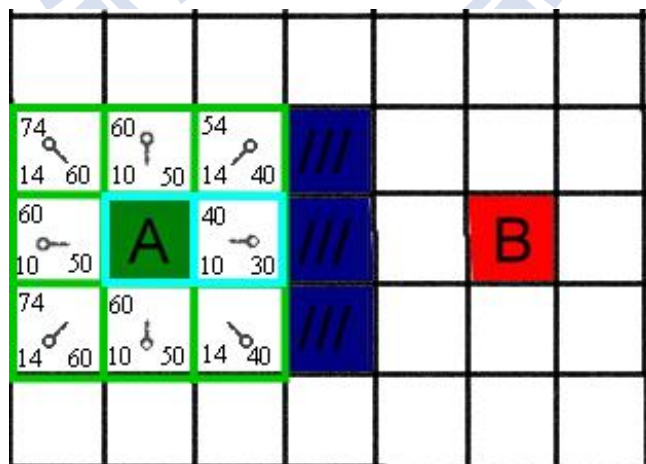


圖 2-8 A\*演算法流程 03

(資料來源：修改自 Lester, P 2005)

2. 檢查與選中之方格所有相臨方格，跳過已在 Close List 與無法通過之方格，並將其相臨方格存入 Open List 中。

3. 如某相臨方格先前不在 Open List 中，將其方格的父方格設定為選中之方格。
4. 如某相鄰之方格已在 Open List 中，比較新路徑  $g(n)$  值是否更低，若
  - a. 否，不做任何事。
  - b. 是，將相鄰方格之父方格設定為選中之方格，並重新計算 F 與 G 值。

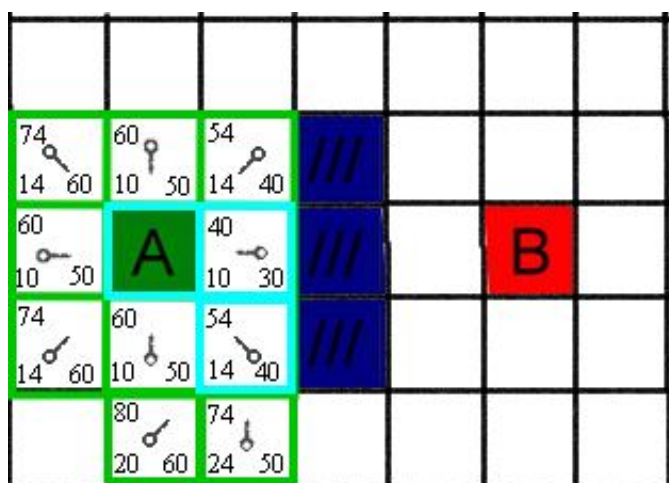


圖 2-9 A\*演算法流程 04

(資料來源：修改自 Lester, P 2005)

在圖 2-9 中，當路徑上、下  $f(n)$  值相同時，及依資料結構後進先出 (LIFO, last-in first-out) 之規則，優先選擇新找到之方格，可加快程式運作。最後重覆此規則，直到 B 點目標格被加入 Close List 中 (如圖 2-10)，最後從目標格 B 點開始依父方格方向移動，及可引導出一條最佳路徑 (如圖 2-11)。

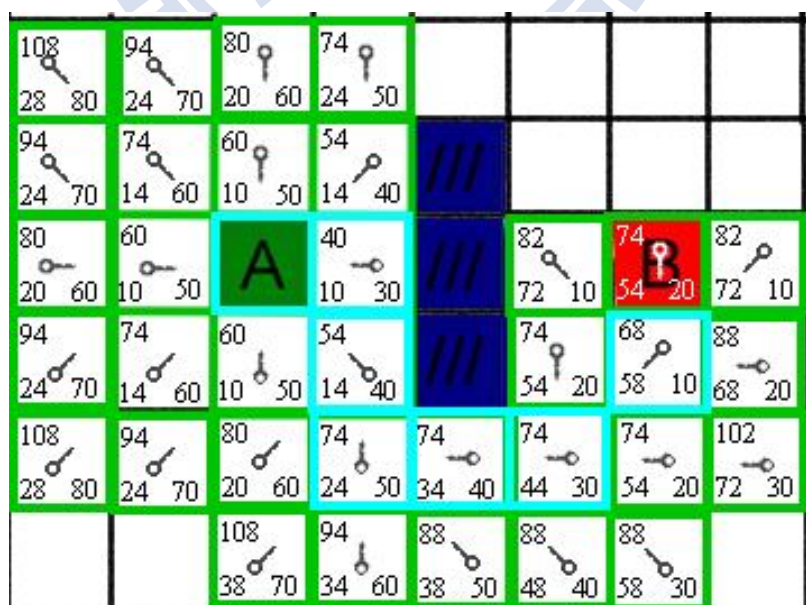


圖 2-10 A\*演算法流程 05

(資料來源：修改自 Lester, P 2005)

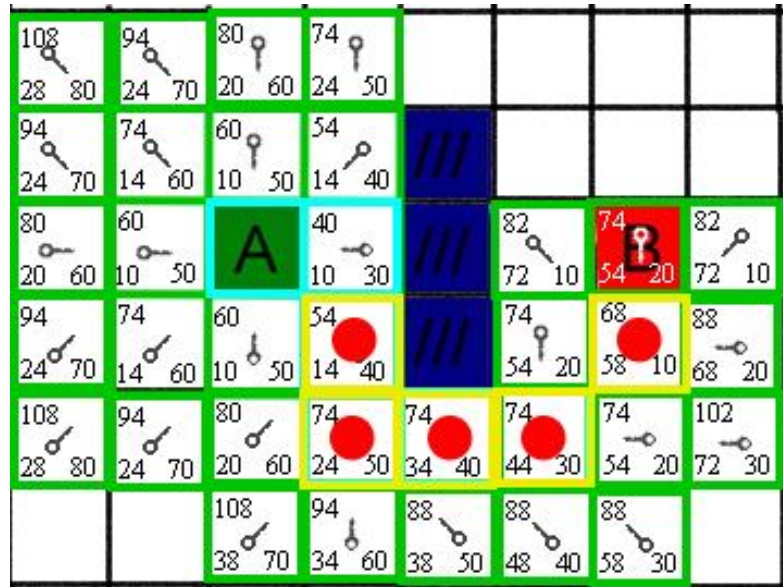


圖 2-11 A\*演算法流程 06  
(資料來源：修改自 Lester, P 2005)

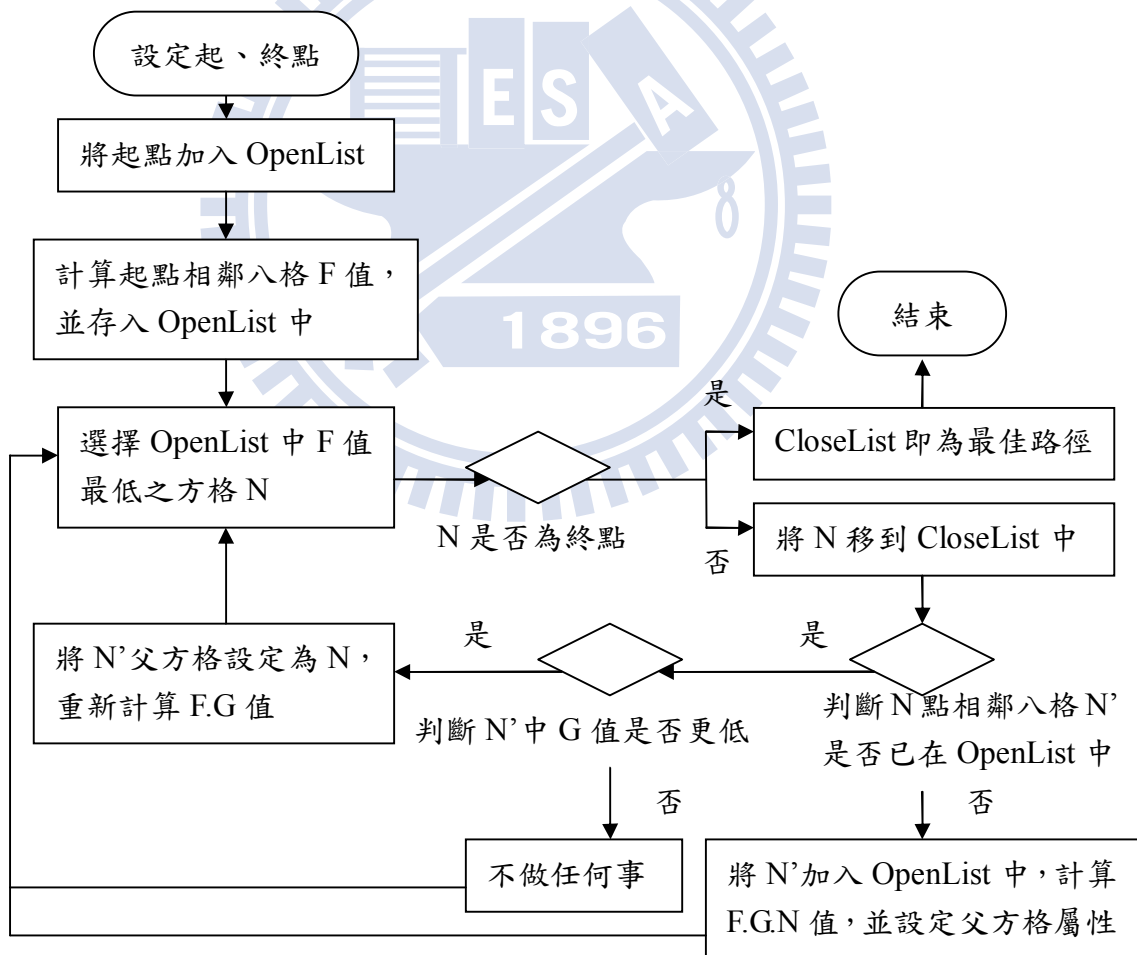


圖 2-12 A\*演算法示意流程圖  
(資料來源：本研究)

## 2.2 視覺化技術

為協助管理人員理解施工人員於施工工地移動之過程，進而分析改善動線或配置之情形，本研究透過探討視覺化之定義、類型與技術，於資料龐大人員歷史移動軌跡之資料過程中，協助管理人員認知與掌握施工人員之移動行徑與工地通道之流量。

Card 等學者（1999）將視覺化定義為使用電腦輔助且具互動性之資料視覺表達，目的為增強人類認知，即透過增進使用者記憶、處理有關資料及減少資訊搜尋，已達成強化人類認知目的之方法。Bederson 等學者（2003）認為視覺化可改善使用者使用電腦之經驗，且視覺化表達為解決大多數問題之最佳方法。視覺化為透過電腦輔助以視覺形式表達物理資料或抽象資料，以強化人類認知進而輔助決策進行或問題解決之方法；即視覺化不止是透過不同視覺屬性(如形狀、顏色等)將原始資料轉換為視覺形式，亦包含透過視覺感受將該視覺形式轉換為人類認知之過程。(謝燕青 1999)

Luras（2005）認為視覺化可根據原始資料類型分為科學視覺化與資訊視覺化，科學視覺化表達具直接空間對應之物理資料，如地形圖、氣象圖；資訊視覺化表達不具明顯空間對應之抽象資料，如財經走勢圖。因資訊視覺化缺乏直接空間對應，需考量如何將不具直接空間對應之抽象資料對應至有效率之視覺形式，故較科學視覺化複雜。

Wenzel 等人（2003）認為視覺化技術可根據圖形觀點以下列八屬性進行分類，並將各屬性之屬性值列於表 2-4：

- (1)圖形維度：指視覺化技術所呈現空間維度，包括 1D、2D、2.5D 及 3D。
- (2)圖形表示：指視覺化技術所使用表達方式，包括符號（如文字符號、抽象符號）、視覺化設計者必須根據任務需求選擇適當之視覺化準則，以協助使用者有效進行決策或解決問題，如有些情況需詳細表達各項資訊，有些情況需簡化表達資訊以提供使用者掌握整體概觀，本研究將根據上述準則擬定適當之視覺化方式，以協助工地管理人員有效掌握施工人員於工地移動軌跡、流量與出退工之情形。圖示（如表達各種運動之象形圖形）及接近真實圖形（如以接近照片之圖形表達建築物）。



- (3)顯示格式：指視覺化技術呈現資料之格式，包括文字（由有限字元組成）、表格（經結構化安排之文字）、簡圖（經結構化安排之文字、符號或圖示，如長條圖）、圖片、虛擬 3D 世界（可供使用者觀察之 3D 環境）及虛擬實境（具虛擬物件及場景可供使用者操作之 3D 環境）。
- (4)圖形幾何尺度：包括無幾何尺度（未牽涉幾何系統）、線性尺度（使用一般座標軸）、對數尺度（使用對數座標軸）、指數尺度（使用指數座標軸）及分類尺度（不根據數值而根據類別分割之座標軸）。
- (5)幾何投影方式：指視覺化技術所使用將物件由  $n$  維空間變換至較低維度空間之方式，包括無幾何投影（不需進行幾何投影）、垂直投影（投影中心位於無窮遠處之投影）、斜投影（投影中心位於無窮遠處，且投影線與投影平面不垂直之投影）及透視投影（投影中心距投影平面有限距離之投影）。
- (6)圖形時間維度：指視覺化技術所呈現圖形如何隨時間改變而發生變化，包括無時間維度（靜態圖形）、離散時間維度（所呈現圖形僅於離散時間點發生變化）及連續時間維度（所呈現圖形隨時間持續發生變化）。
- (7)圖形時間順序：指視覺化技術所呈現單一圖形或一系列圖形之時間順序，包括固定圖形（僅呈現單一圖形）、非循序圖形（非循序地呈現一系列圖形）及循序圖形（循序地呈現一系列圖形）。
- (8)圖形互動性：指視覺化技術所呈現圖形提供使用者操作之程度，包括無互動（僅能觀察所呈現圖形）、可操作圖形呈現流程（如開始-停止按鈕）、可操作觀察視野（如可縮放觀察視野）、可於特定範圍內進行特定操作（如於廠商所建置模擬系統內進行所允許各項操作）及完全互動（可與整個虛擬世界進行各項操作）。

分類屬性	內容				
圖形維度	1D	2D	2.5D	3D	
圖形表示	文字符號	抽象符號	象形符號	接近真實圖示	接近真實圖示
顯示格式	文字	表格	簡圖	圖片	虛擬實境
圖形幾何尺度	無幾何尺度	線性尺度	對數尺度	指數尺度	分類尺度
幾何投影方式	無幾何投影	垂直投影	斜投影	透視投影	
圖形時間維度	無時間維度	離散時間維度	連續實間維度		
圖形時間順序	固定圖形	非循序圖形	循序圖形-慢動作	循序圖形-正常	循序圖形-快動作
圖形互動性	無互動	可操作圖形呈現流程	可操作觀察視野	可於特定範圍內進行特定操作	完全互動

表 2-4 視覺化技術分類表

(資料來源：Wenzel, Bernhard, and Jessen, 2003)

各視覺化技術皆有其表達能力與限制，如 3D 動畫可表達大量動態資訊，卻無法表達統計特徵值，反之，統計圖表可表達重要特徵值，卻無法表達動態行為過程，因此透過上述視覺化技術屬性，根據需求選擇適當視覺化表達方式為提高視覺化效果之重要步驟。視覺化設計者必須根據任務需求選擇適當之視覺化準則，以協助使用者有效進行決策或解決問題，如有些情況需詳細表達各項資訊，有些情況需簡化表達資訊以提供使用者掌握整體概觀，本研究將根據上述視覺化技術擬定適當之視覺化方式，以協助工地管理人員有效掌握工地施工人員之移動情形與空間流量。

## 2.3 RFID 技術

無線射頻辨識系統（Radio Frequency Identification, RFID）技術係由英國於 1948 年發展出來，當時用於戰爭中，機場辨別敵我戰機時使用，縮短接戰時間，RFID 技術被列為 21 世紀十大重要技術項目之一。（李瑞俊 2010）

### 2.3.1 RFID 技術原理

根據 EAN.UCC（White Paper on Radio Frequency Identification, 1999）對 RFID 的解釋，RFID 是自動資料搜集（Automatic Data Capture, ADC）的技術集合。最基本的 RFID 由 Reader 與 Tag 組合而成。Tag（又名 Trasponder、電子標籤、詢答機等），指使用銅或鋁等金屬製天線（antenna），和可儲存資訊的微型 IC 晶片（integrated circuit chip）所構成之裝置，RFID tag 可以不同型式存在、貼附或者攜帶在物件中。

陳宏宇（2004）整理，依照 RFID tag 上電源之有無與能量傳遞方式，可分為主動式（Active）與被動式（Passive）兩種，主動式內含電池，可透過 UHF 或微波（microwave frequencies）進行長距離通訊，記憶體較大，但成本也較高；被動式不含電池，其電源是 tag 天線感應自 Reader 所發出 RF 電波能量，將晶片的資料透過無線電波回傳 Reader，成本低，但通訊距離較短。表 2-5 為各式 RFID 頻帶與特性之比較。

頻帶 項目	低頻 (LF)	高頻 (HF)		極高頻 (UHF)		微波 (Microwave)	
通訊頻率	125~135 KHz	13.56 MHz		100~960 MHz		2.45 GHz、5.8 GHz	
系統型態	被動式	ISO14443	ISO15693	被動式	主動式	被動式	主動式
通訊距離	0~50 cm	<50 cm	<1.5 m	3~10m	>10 m	3~10 m	>10 m
記憶容量	64B~1K	8K~128K	256~512	64~512	未定	16~64	未定
磁場強度/ 傳輸功率	72 dB $\mu$ A/m	42 dB $\mu$ A/m		10 mW – 4 W		4 W USA、 500 mW Europe	
耦合方式	感應 (Inductive)	感應 (Inductive)		反散射 (Backscatter)		反散射 (Backscatter)	
資料傳輸率	低	高		中等		中等	
成熟度	很成熟	成熟		新技術		開發中	
Reader 價格	低	中等		很高		很高	

表 2-5 頻帶與特性  
(資料來源：陳宏宇 2004)



本研究配合營業工地環境，需要室內外即時與大範圍定位，採用主動式 RFID 做為數據搜集之技術，Yamada I.與 Shiotsu S.等人（2005）整理主動式 RFID 收集正確數據之流程，與透過資通技術(Information and Communication Technology)之資訊傳輸架構，將數據從 RFID Tag 傳送至資訊系統進行處理，如圖 2-13 說明。透過 RFID Reader 不斷發送驗證訊號，此訊號由 RFID Tag 感應並驗證，如訊號匹配成功則回傳 Tag 內部資料給 RFID Reader，

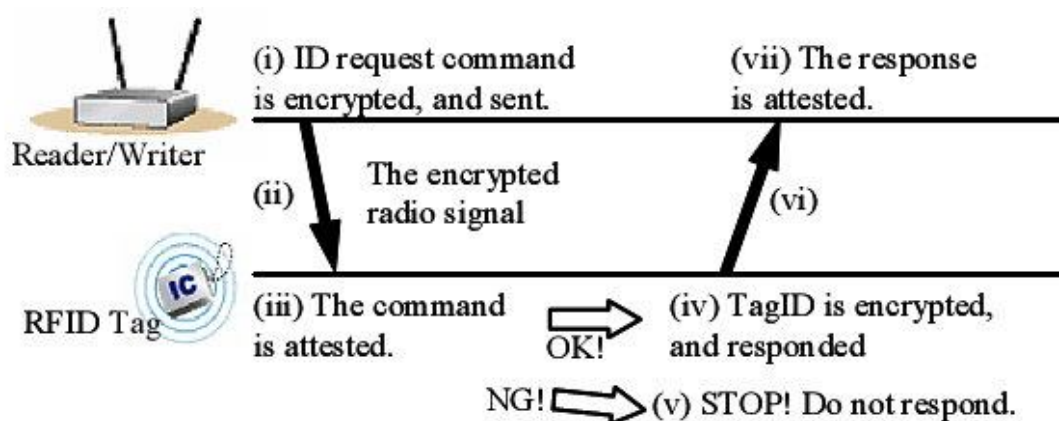


圖 2-13 主動式 RFID 傳輸訊號流程圖

（資料來源：Yamada I.與 Shiotsu S.等人 2005）

簡宗瑋(2006)整理，主動式 RFID 定位演算法主要有訊號強度(Receive Signal Strength, RSS)、訊號抵達角度(Angle of Arrival, AOA)、訊號抵達時間(Time of Arrival, TOA)與訊號抵達時間差(Time Difference of Arrival, TDOA)等，做為訊號量測的定位方法。

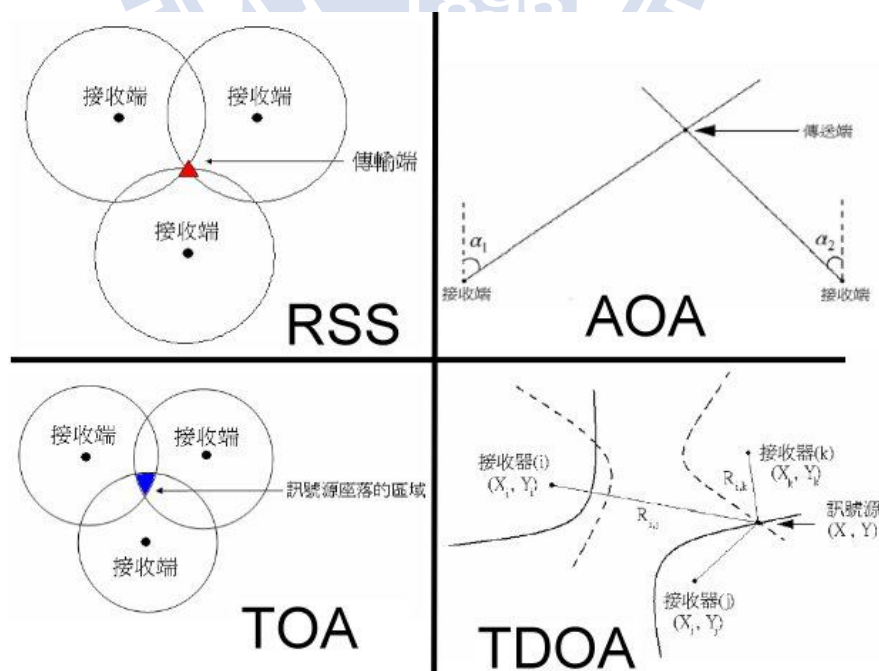


圖 2-14 各定位演算法之示意圖

（資料來源：修改自簡宗瑋 2006）

定位方法	特性描述
RSS	理論上在自由空間是可行的，但實際環境中會受到遮蔽效應影響，會使接收功率變小，會使得計算出之距離誤差過大。
AOA	在室內傳播接收端可能接近或包含估測端的散射範圍，故訊號可能從各角度散射到接收端，若有此狀況 AOA 的誤差會過大。
TOA	透過多筆訊號抵達接收端的時間，來計算估測端之距離，此方法是目前最適合於室內定位之技術
TDOA	此方法利用相對抵達時間替代 TOA 的絕對時間，可消除某種程度的誤差，但因接收器彼此需要同步，在室內定位一樣與 TOA 會受環境影響，故對室內定位而言較不合適。

表 2-6 各空間定位演算法之比較  
(資料來源：簡宗瑋 2006)

本研究之硬體設備同時使用 RSS 與 TOA 定位演算法來計算 Tag 與 Reader 之距離位置，將計算結果透過 Gateways 傳回運算主機，增強訊號與減少訊號遺失，本研究第三章介紹將有詳細系統運作流程說明。

### 3.2.2 RFID 於營建之應用

1998 年，美國營建產業學會(Construction Industry Institute, CII)所召開 RFID 研討會，將 RFID 於營造業各領域應用區分為工程/ 設計(Engineering/ Design)、物料管理(Material Mangement)、使用維護(Maintenance)及現地操作(Filed Operation)等四大類。(鄭明淵、蔡明修 2005)

近幾年由於 RFID 技術日趨成熟，RFID 在營業方便之研究也相對增加，表 2-7 將略舉例幾篇與本研究較相關之論文。

年份	作者	標題	摘要
2004	Song J. Caldas C. Ergen E. Haas C. Akinci B.	Field Trials of RFID Technology for Tracking Prefabricated Pipe Spools	等人利用主動式 RFID 技術，應用於施工現場，快速且大量自動辨識進場鑄鋼管理資訊。
2004	Kwon S. W. Lee M. W. Han J. G. Cho M. Y. Park J. W.	Model Development of the Material Tracking System for High-Risk Building Construction Project Using RFID Technology	應用 RFID 及資料庫系統，針對高層樓建築工地做物料管理，追蹤、存放及派送等資訊。
2005	葉世文	無線射頻辨識(RFID)於營建產業發展策略之研究	針對 RFID 技術於營建產業領域中之建築工程進行可行性分析，提出 RFID 晶片於建築工程材料上之施工方法及施工位置之建議。
2008	林仙珠	無線射頻識別技術(RFID)應用於營造現場安全監控系統之研究	以 RFID 技術製作承攬商安全管理系統，具有勞工定位及主動警訊發佈之能力，利用 RFID 自動辨識之特性，自動檢查勞工安全身份與安全衛生設備，建立虛擬檢查哨，降低人力成本。

2009	郭益良	承攬商 RFID 安全監控及身分查核技術開發-以營造業為例	成功的將被動式 RFID 與主動式 RFID 結合並且將系統無線化，開發承攬商之安全設備自動檢查及定位系統，擁有顯示虛擬檢查員、區域定位、暈倒警報及求救警報等功能。
2009	吳東毅	無線感測網路應用於侷限空間勞工安全管理系統之研究	利用主動式 RFID 技術、無線感測網路技術、通訊定位技術及無線傳輸等技術，開發具有：勞工進入工作區域時之身分檢查、勞工工作時所在之活動區域及其權限之監控、勞工個人活動狀態之檢查、勞工緊急狀況行動報知等功能之系統。以建立相關警示以提高局限空間作業之安全性。

表 2-7 RFID 應用於營造業研究之匯整

綜合參考以上 RFID 相關研究與開發之系統，本研究欲開發之系統，除主要能讓管理人員輕易建置空間圖資，並透過分析結果，提供管理人員找出營造環境中之不良路徑，供以參考改善，在相關技術下並提供人員定位顯示、空間進出檢驗、與出\退工資料統計等功能。

## 第三章 系統模組

本章首先描述本系統之架構，及如何利用「人員定位與路線追蹤系統」之輸出資料做為本系統之輸入資料，隨後介紹「人員定位與路線追蹤系統」之使用與設定流程，並探討各本系統中各項模組之設計結構與使用之演算法。

### 3.1 系統架構

此系統架構是由三層設計而組成，包括介面層，功能層及資料層，如圖 3-1 所示。第一層介面層，提供使用者權限辨別及執行各項模組功能與資料輸入。第二層功能層，包含圖資設定工具、空間流量累積圖、系統建議最佳路徑、歷史軌跡圖、員工歷史移動資料動畫、員工出\退工統計圖、區域限制管理機制與施工行為統計圖等八項模組，各模組之功能說明如下：

- (1) 圖資設定工具：提供管理人員可依據不同工地現場載入空間平面圖後，進行各類障礙位置與性質、限制管理區域等方式進行空間描述，以供最佳路徑之搜尋依據。
- (2) 空間流量累積圖：根據人員定位與路線追蹤系統所獲得之人員定位資料，利用 Hotsopt 視覺化概念與時間軸之配合，顯示各空間累積或時段性流量累積圖，以供管理人員找出空間擁擠、動線衝突之問題。
- (3) 系統建議最佳路徑：根據圖資設定之結果，透過障礙係數與 A\*最佳路徑演算法，找尋工地中任意兩點之最少障礙路徑，以供管理人員做為動線改善之參考依據。
- (4) 歷史軌跡圖：根據人員定位與路線追蹤系統所獲得之人員定位資料，將其人員或工種之歷史移動軌跡依時間先後顯示其軌跡，供管理人員與系統建議之最佳路徑比對，以找出工地中可能存在之動線問題。
- (5) 員工歷史移動資料動畫：根據人員定位與路線追蹤系統所獲得之人員定位資料以時間軸撥放之方式，將員工移動之過程顯示於系統上，並提供互動選項，供管理人員瞭解員工或工種於施工期間之位置與身份資料。
- (6) 員工出\退工統計圖：透過將人員定位資料之紀錄時間，將當日首筆與末筆紀錄資料與出工日期顯示成出\退工走勢圖，提供管理人員觀察員工施工效率與出工狀況。
- (7) 區域限制管理機制：透過圖資設定工具設定限制區域與員工進出限制名單比對，將提供管理人員透過員工進入限制區域之名單，進步管理工地員工與工地安全。
- (8) 人員區位圖：利用時間軸正規化，將人員行為以移動、施工、進入限制區等分類方式，進行圖像化顯示，以觀察人員之施工行為。



第三層資料層，包括人員定位與路線追蹤系統所得到之人員定位資料、系統圖資設定檔、工地平面圖與系統資料庫等，其中系統資料庫紀錄了使用者帳號資訊與員工資訊等。

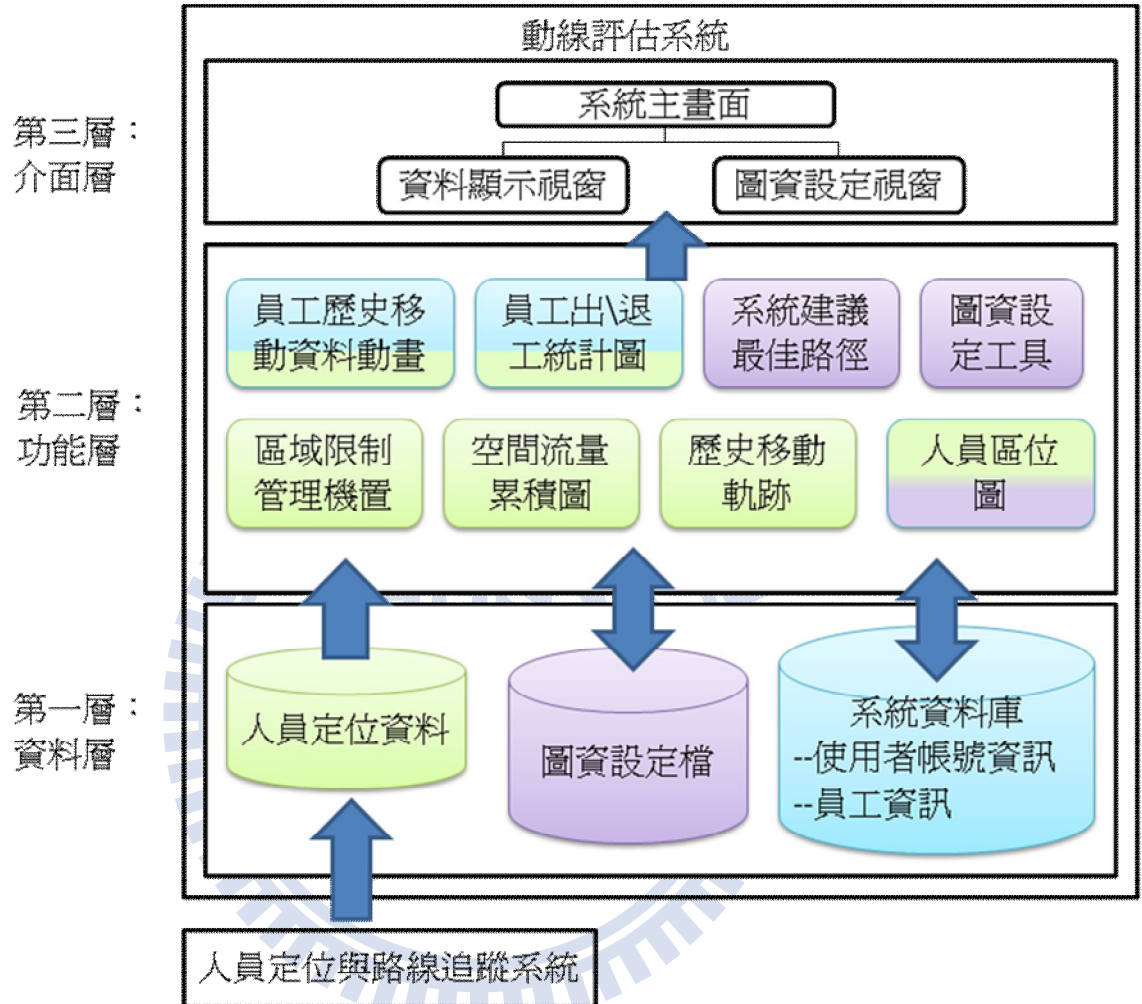


圖 3-1 系統架構圖

### 3.1.1 系統前置準備

本系統前置準備作業，需由施工人員攜帶 RFID Tag，透過人員定位與路線追蹤系統放置於各空間單元之 RFID Reader 進行 Tag 位置定位，各空間之 Reader 將定位資訊透過 ZigBee 無線傳輸技術，傳送至 ZigBee Gateway，最後管理端 Server 藉由 RJ-45 網路接收各空間 ZigBee Gateway 數據，獲得人員定位資料，本研究之工地動線評估系統利用人員定位資料進行運算與處理，使得工地管理人員可依軟體分析顯示之結果，進行決策處理改善與調整施工狀況，本系統前置準備如圖 3-2 所示，各施工人員配帶存有個人資料之 ZigBee RFID Tag，此 Tag 主動發射 2.4Ghz 之電波，放置於各空間之 Reader 接收電波透過 RSS 與 TOA 定位演算法，計算出員工位置，並將定位結果與人員個別資料利用 ZigBee 傳輸頻率送到各空間之 ZigBee Gateway，再傳輸到與 Server 連接之 Gateway，而獲得人員定位資料，本研究之動線評估系統，即利用此人員定位資料，進行動線分析與評估。

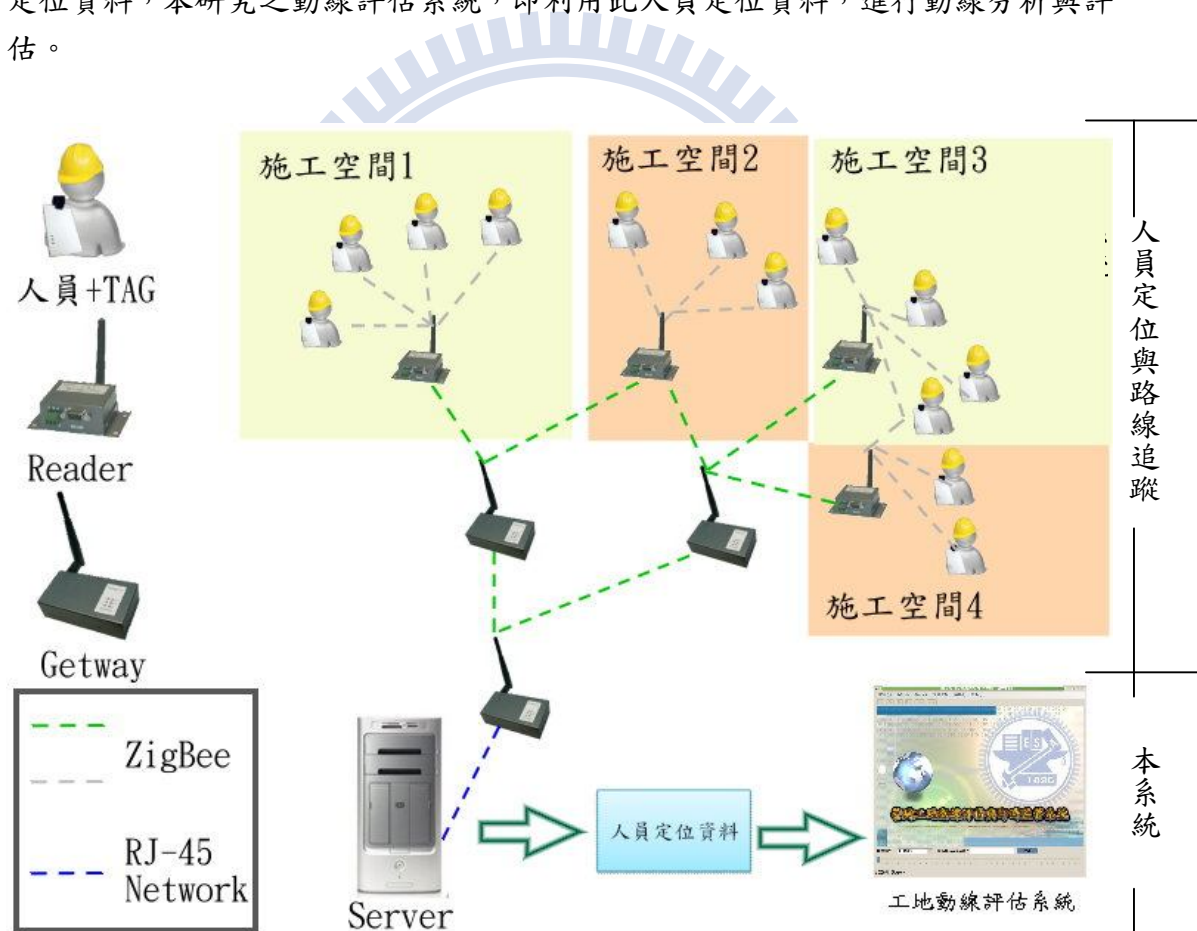


圖 3-2 系統前置準備



### 3.1.2 系統設定流程

本研究首先透過人員定位與路線追蹤系統，載入施工工地之平面圖，並建立空間座標與人員 Tag 資料之設定，設定完成後運作系統紀錄人員之定位資料，透過圖 3-2 之系統前置準備，將人員定位資料利用 ZigBee 傳輸技術傳回管理區伺服器，得到施工人員定位資料之輸出檔。

利用本研究建置之系統，進行圖資設定動作，包括相同之空間座標設定與工地障礙與區域設定後，輸入先前傳回伺服器中之人員定位資料，進行動線評估之功能，其分析結果可供管理人員改進工地材料擺置或人員動線規劃，圖 3-3 為設定流程之示意圖。其系統設定之細節將於 3.2 節中說明。

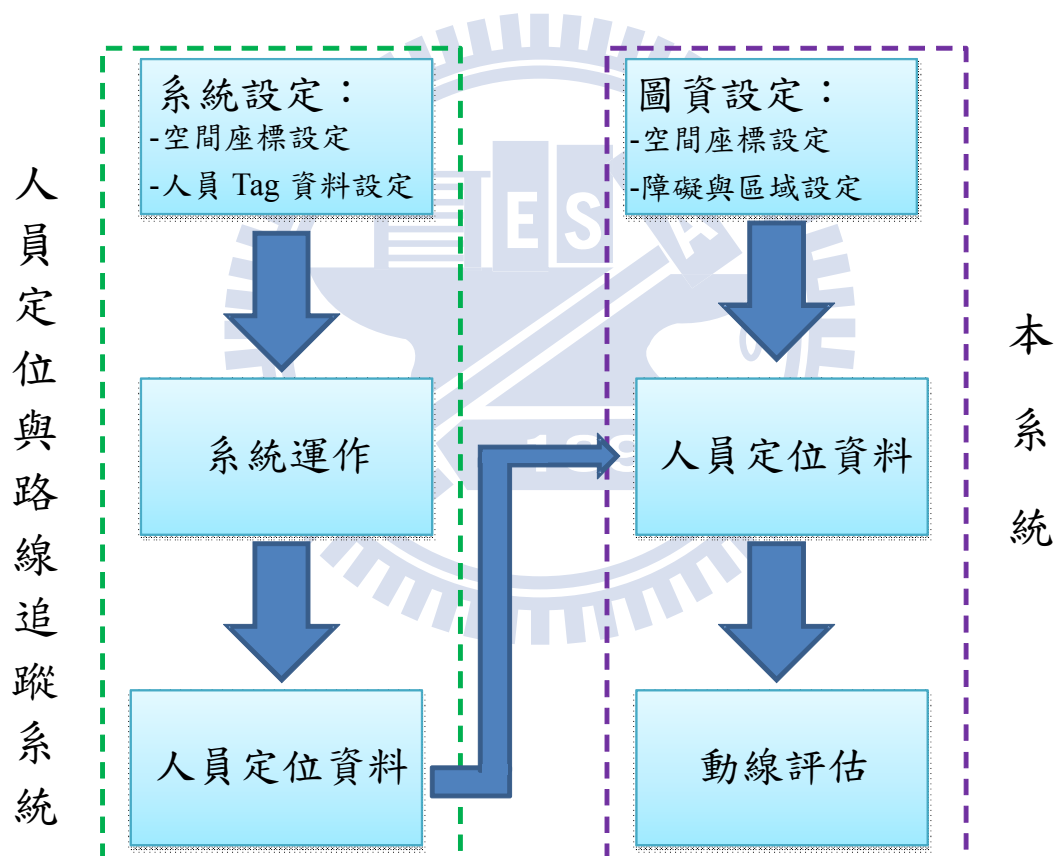


圖 3-3 系統設定流程

### 3.1.2 系統資料結構

本研究中共有四組輸入資料，圖 3-4 為各輸入資料之實體關聯模式 (Entity-Relationship Model)，分別由人員定位與路線追蹤系統輸出至管理伺服器之人員定位資料，其定位資料是由各員工所佩帶之 RFID Tag 所傳回，包含各員工所佩帶之 Tag ID 編號、用以辨識施工人員之身份證字號與姓名、該員工所負責之工種、所在空間位置座標、該空間位置座標進出狀況與該空間位置座標之進出時間；而本研究所設計之動線評估系統之輸出資料分別為由管理人員設定施工圖資之設定檔資料、員工詳細資料與系統管理者設定管理人員帳號密碼，其中員工詳細資料與管理人員帳號密碼存放於系統資料庫中。

圖資設定檔則是另外儲存之文件檔，為紀錄管理人員圖資設定之結果，方便管理人員更換不同施工場所，管理人員透過本系統圖資設定工具所建置之圖資設定，將可被儲存副檔名為\*.mms 與\*.mms.pic 之圖資設定檔，以供日後載入設定之用，其設定檔包含施工工地之平面圖檔、障礙空間矩陣、管制區域之資訊、座標定義尺寸、區域限制名單。



圖 3-4 系統輸入資料關聯模式

由於人員定位與路線追蹤系統之輸出資料，僅單純員工姓名與工種，為使管理人員能進一步瞭解員工資訊，另以 Microsoft Access 資料庫建立員工詳細資料之資料表，其資料表內儲存之詳細資料與格式如表 3-1 所示，其人員定位資料與員工詳細資料表則透過獨立不重覆之 Tag ID 做為關聯依據。

資料表名稱		Members_info
Primary Key		TagID
用途		供管理者調閱之員工詳細資料
欄位編號	欄位名稱	欄位說明
1	TagID	員工佩帶之 TAG ID，每組 ID 皆不重覆
2	Name	員工姓名
3	Class	員工工種
4	Phone	員工聯絡方式
5	Other	員工其它註備
6	photo	員工照片

表 3-1 員工資料資料表

另為了設定多使用者介面，提供一位以上之管理人員同時使用本系統，將所有管理人員之帳號密碼儲存於系統資料庫之管理人員帳密資料表中，其資料表格式如表 3-2，透過系統管理員可新增\修改其內容，其系統權限之設定將在本論文第 4.3 節做說明。

資料表名稱		Managers
Primary Key		AutoID
用途		紀錄系統中所有管理人員帳號密碼
欄位編號	欄位名稱	欄位說明
1	AutoID	自動編號，做為主鍵每組不重覆
2	account	管理人員帳號
3	password	管理人員密碼

表 3-2 管理人員帳密資料表

## 3.2 人員定位系統介紹

本系統運作的需要實際人員定位資訊，故本研究使用人員定位系統為瑞賦科技廠商所提供之人員定位與路線追蹤系統 (LocationTracer System)，為人員定位之前置準備作業。人員定位與路線追蹤系統，主要是利用 RFID 無線射頻辨識技術，將使用者配戴上 RFID 標籤 (RFID Tag)，透過工地定點架設之 RFID 讀取器 (RFID Reader) 對 Tag 讀取，達到人員定位與追蹤之管理目的，並設計管理平台供管理者應用與統籌此系統。

登入此系統之管理平台後，可進行員工 Tag 可進行資訊設定之作業、地圖對應座標設定之作業、定位資料輸出之作業等與本研究動線評估相關之主要功能，在本小節中將針對人員定位與路線追蹤系統之各功能項目進行說明與設定需求。

### 3.2.1 登入作業

輸入管理者識別碼，及使用密碼，按進入登入鈕。登入成功，登入成功之後，管理人員便可以使用左方主選單中的各項服務，點選選單內之功能項目，即可進入使用該項功能，如圖 3-5。在任何欄位輸入不正確的資料，或者未輸入資料，便按下進入登入鈕，都將出現錯誤訊息。確認後再次輸入管理者識別碼及使用密碼後按下登入以進入系統。



圖 3-5 人員定位與路線追蹤系統登入介面

### 3.2.2 員工資訊設定作業

員工資訊設定作業功能是提供管理人員設定施工人員基本資料之相關作業，以提供最新施工人員資訊給管理人員作為參考資料，如圖 3-6。員工資訊設定作業共包含三個子功能，提供系統管理者來「新增」、「修改」與「刪除」學生資訊的相關資訊，以供系統管理者進行維護學生資訊之資料，以下將針對每個功能項目進行操作說明。



圖 3-6 員工資訊列表

### 新增作業

新人員加入時，管理人員將進行新人員建檔登錄資料，登錄完成後，系統資料庫即儲存了新人員之資訊，如圖 3-7。新人員資訊查詢中即可於新人員基本資料查詢中看到本新人員基本資料。新人員基本資訊，分別有姓名、身份證字號、負責工種、標籤 ID 等資訊，如圖 3-8，提供管理人員了解新人員基本資訊。

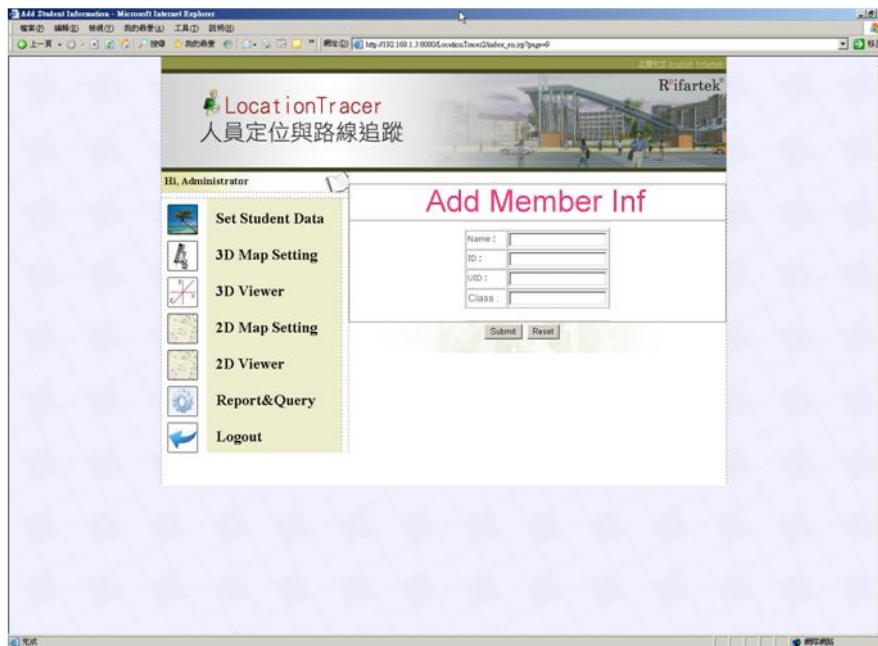


圖 3-7 員工資訊新增



圖 3-8 員工資訊顯示



### 修改作業

提供管理人員進行修改員工相關資料。新增員工後，若是員工資料需要異動修改，管理人員透過修改功能進行修改員工相關資料，修改完成後，系統資料庫即儲存了員工之最新異動完成之資訊。資訊查詢中即可於員工列表資料查詢中看到本員工已修改完成資料。員工修改資訊，分別有姓名、身份證字號、負責工種、標籤 ID 等資訊顯示，如圖 3-9，提供管理人員進行維護員工最新異動資訊。

### 刪除作業

提供管理人員進行刪除員工相關資料，如圖 3-10。



圖 3-9 員工資料修改



圖 3-10 員工資訊刪除



### 3.2.3 地圖對應座標設定作業

地圖對應座標設定作業的功能是管理人員者設定建築物之平面圖座標基本資料之相對應位置，以提供最新該建築物各樓層之平面圖基本資訊給系統定位作為參考資料，如圖 3-11。地圖對應座標設定作業共包含三個子功能，提供系統管理者來「新增」、「修改」與「刪除」建築物各樓層之平面圖資訊的相關資訊，以供系統管理者進行維護建築物各樓層之平面圖座標資訊，以下將針對每個功能項目進行操作說明。

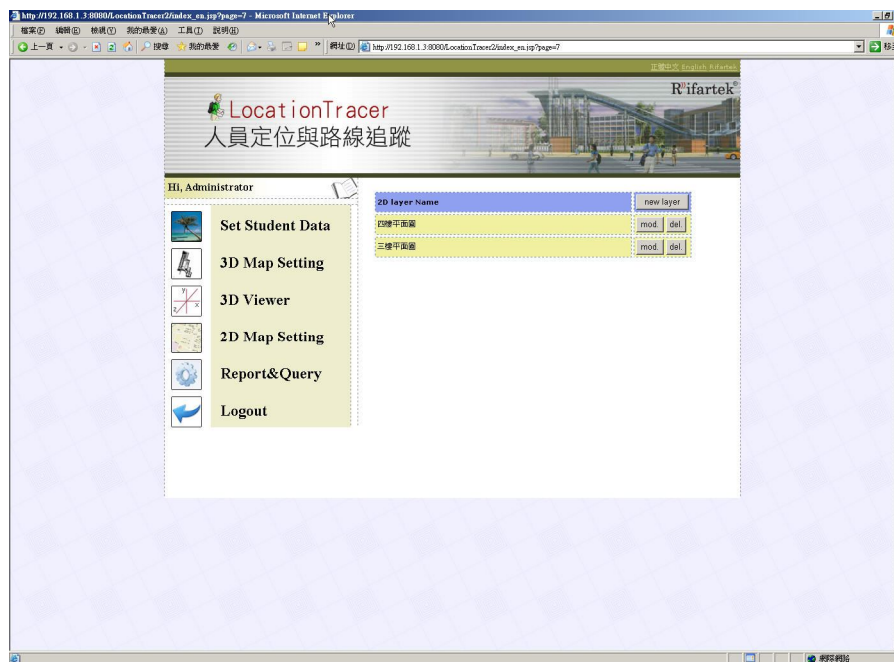


圖 3-11 地圖對應座標設定

## 新增作業

新增作業提供系統管理者進行每個樓層平面基本資料登錄，系統資料庫即儲存了該建築物各樓層之平面圖基本資料。點選「新增樓層」按鈕，如圖 3-12，新樓層基本資訊分別有樓層名稱、背景圖、長度、寬度等四個資訊顯示，填寫完後，點選「儲存設定」按鈕，如圖 3-13，即樓層平面圖設定完成，畫面將出現該樓層平面示意圖，如圖 3-14。

接著，登錄該樓層之隔間座標基本資訊，點選「新增隔間」按鈕，新增隔間座標基本資訊分別有隔間代號、讀取器代號、隔間描述等三個資訊顯示，填寫完後，點選「儲存」按鈕，如圖 3-15，畫面將出現該樓層之隔間示意圖，如圖 3-16。若要刪除該隔間，請直接點選該隔間圖塊，按下 delete，則刪除該隔間資料與圖塊，如圖 3-17。而隔間座標之代號命名方式參考影像座標系統 (image coordinate)，如圖 3-18，即圖面左上角 X 與 Y 軸為原點，其座標值各向右下方增長，隔間座標命名格式以「，」區分 X 與 Y 座標，如某座標 X 值為 2，Y 值為 3，則命名為「2,3」。

經由這三步驟設定完成後，爾後，系統管理者點選地圖對應設定中即查詢本新增樓層平面基本資料，提供管理者了解各樓層平面基本資訊，亦可啟動系統開始定位運作。

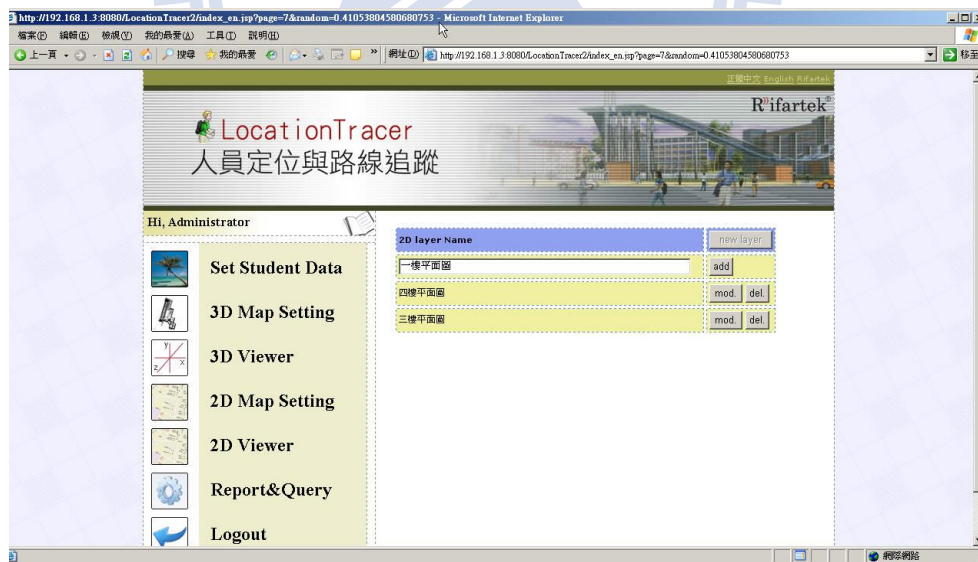


圖 3-12 新增樓層畫面(一)

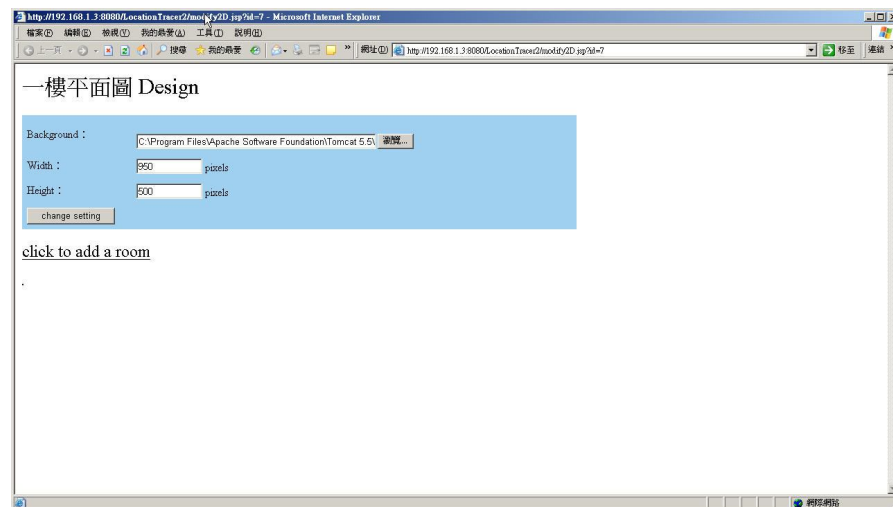


圖 3-13 新增樓層畫面(二)

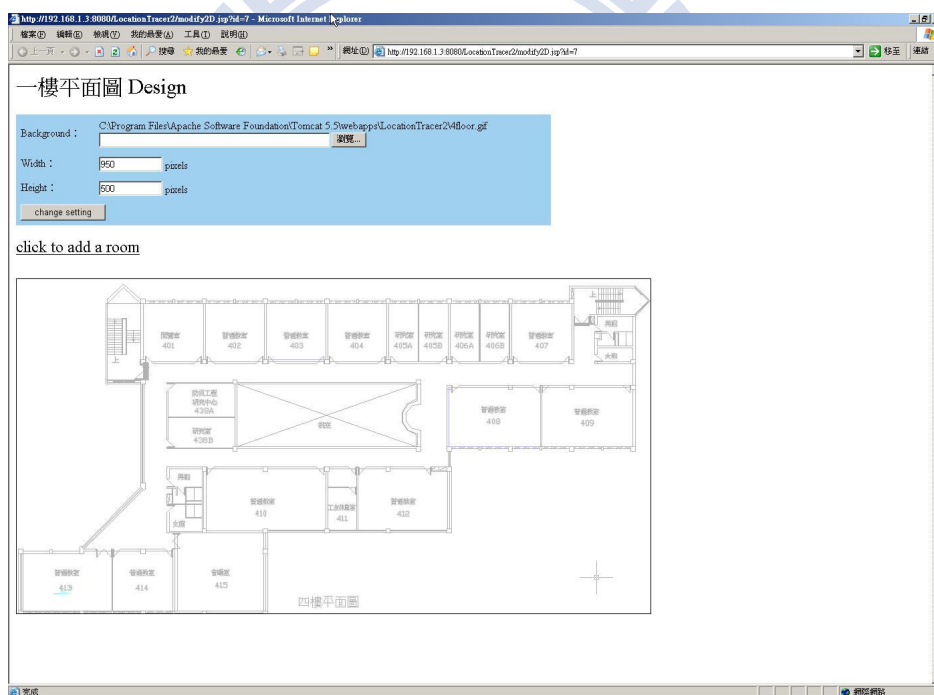


圖 3-14 新增樓層畫面(三)

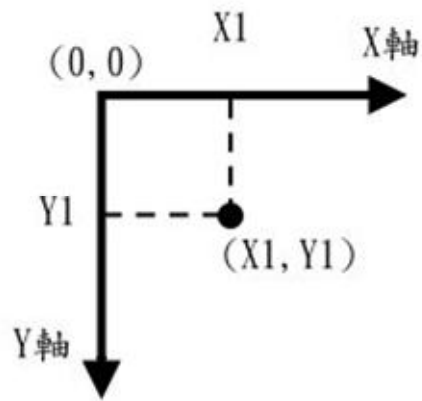


圖 3-15 影像座標系統示意圖

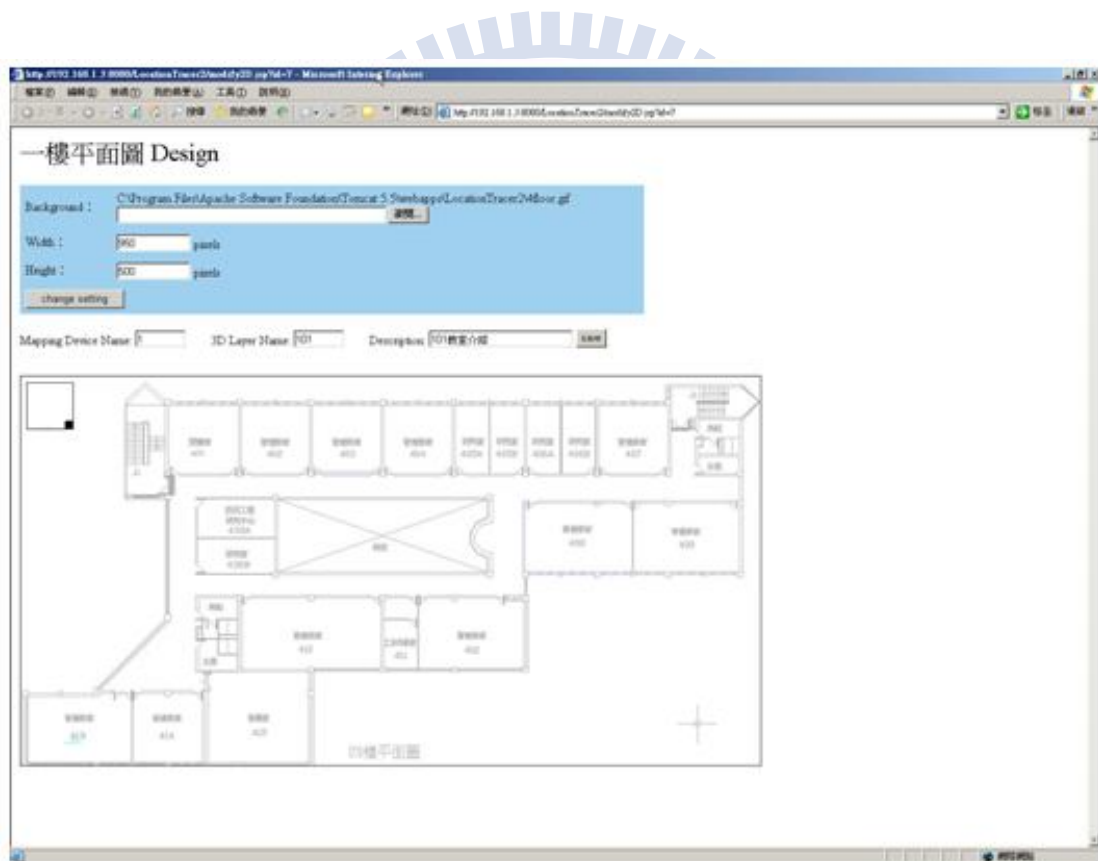


圖 3-16 新增隔間座標畫面(一)

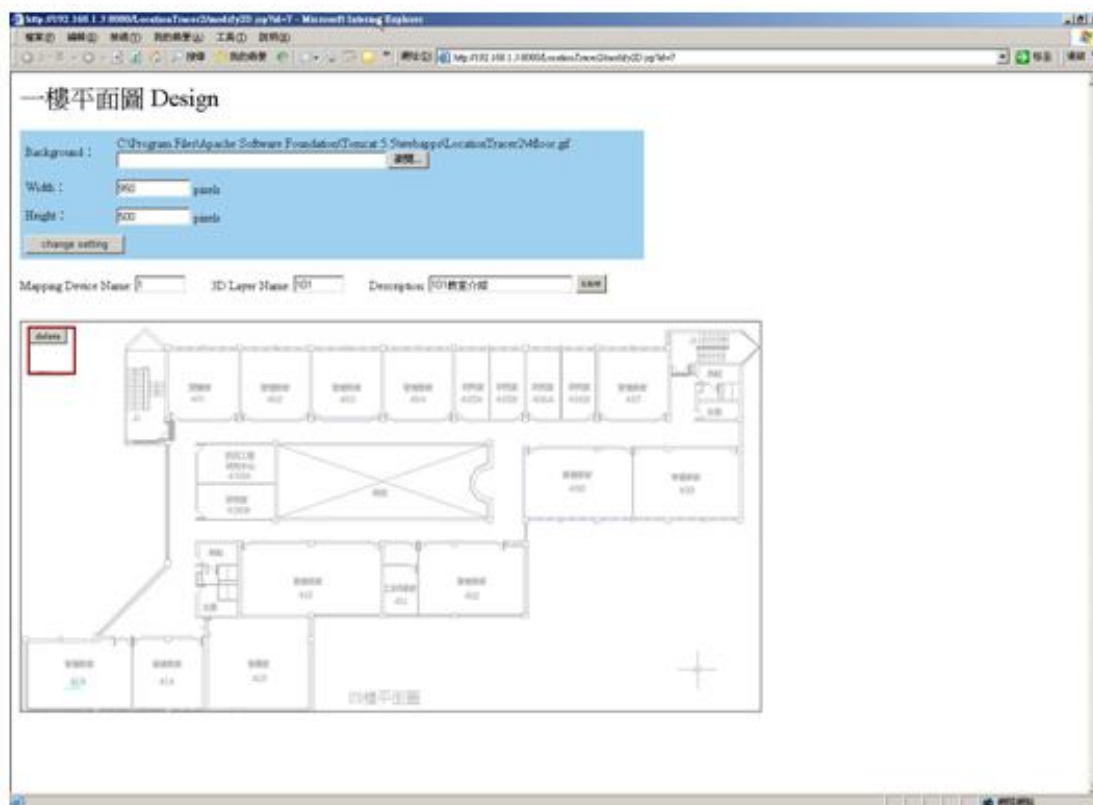


圖 3-17 新增隔間座標畫面(二)

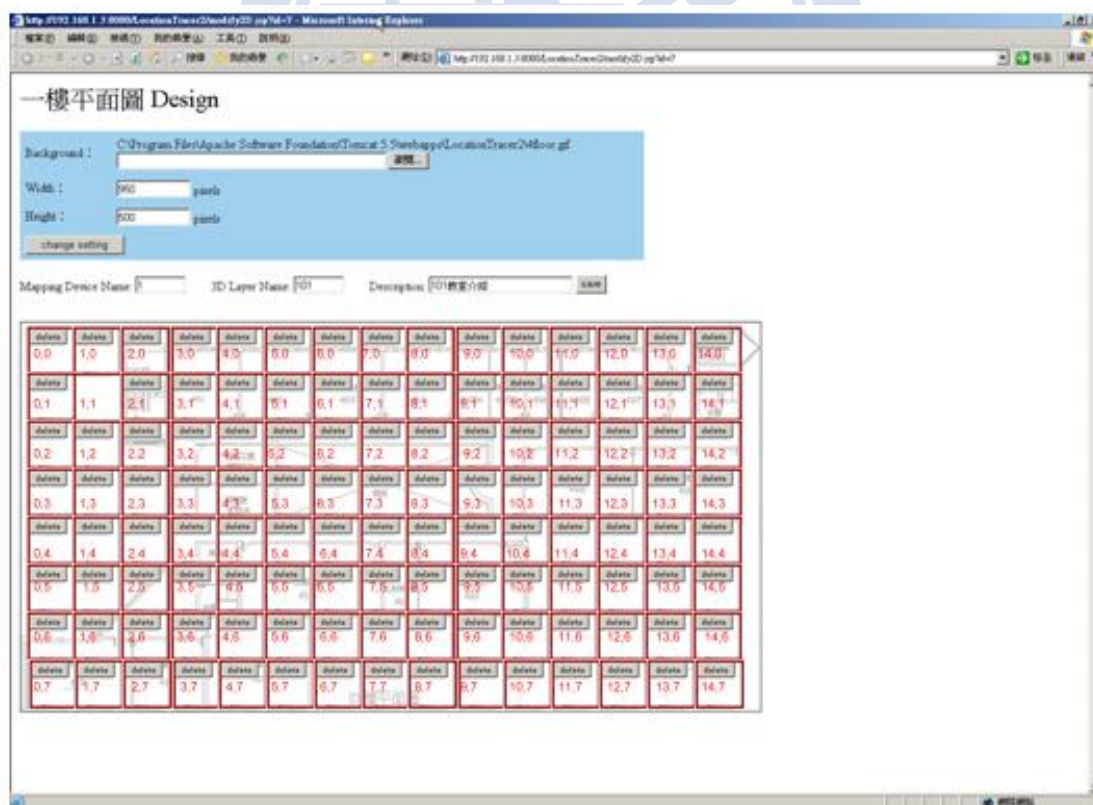


圖 3-18 新增隔間座標畫面(三)



### 3.2.4 定位資料輸出作業

人員定位與路線追蹤系統設定完成後，即可啟動系統開始運作，如圖 3-19，系統將會開始紀錄佩帶 Tag 人員之移動軌跡，系統運行一段時間後，管理人員可透過報表與查詢作業功能，設定日期區間將人員定位資料之結果以純文字格式下載傳送至本機儲存，如圖 3-20。



圖 3-19 啟動程式畫面

001\_day1.txt - 記事本

TagID	Name	Class	ID	Crd	status	Time
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	49,201	1	2011.3.25 9:12:0
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	49,201	0	2011.3.25 9:12:5
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	50,201	1	2011.3.25 9:12:5
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	50,201	0	2011.3.25 9:12:10
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	51,201	1	2011.3.25 9:12:10
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	51,201	0	2011.3.25 9:12:15
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	51,202	1	2011.3.25 9:12:15
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	51,202	0	2011.3.25 9:12:20
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	52,202	1	2011.3.25 9:12:20
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	52,202	0	2011.3.25 9:12:25
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	55,202	1	2011.3.25 9:12:25
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	55,202	0	2011.3.25 9:12:30
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	57,202	1	2011.3.25 9:12:30
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	57,202	0	2011.3.25 9:12:35
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	59,202	1	2011.3.25 9:12:35
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	59,202	0	2011.3.25 9:12:40
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	60,202	1	2011.3.25 9:12:40
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	60,202	0	2011.3.25 9:12:45
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	61,202	1	2011.3.25 9:12:45
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	61,202	0	2011.3.25 9:12:50
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	62,202	1	2011.3.25 9:12:50
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	62,202	0	2011.3.25 9:12:55
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	62,202	1	2011.3.25 9:12:55
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	62,202	0	2011.3.25 9:13:0
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	64,202	1	2011.3.25 9:13:0
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	64,202	0	2011.3.25 9:13:5
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	65,202	1	2011.3.25 9:13:5
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	65,202	0	2011.3.25 9:13:10
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	66,202	1	2011.3.25 9:13:10
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	66,202	0	2011.3.25 9:13:15
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	69,202	1	2011.3.25 9:13:15
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	69,202	0	2011.3.25 9:13:20
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	71,202	1	2011.3.25 9:13:20
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	71,202	0	2011.3.25 9:13:25
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	72,202	1	2011.3.25 9:13:25
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	72,202	0	2011.3.25 9:13:30
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	73,202	1	2011.3.25 9:13:30
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	73,202	0	2011.3.25 9:13:35
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	74,202	1	2011.3.25 9:13:35
P001	白建宏	鋼筋工	0151090409	74,202	0	2011.3.25 9:13:40

第 1 頁，第 1 行

圖 3-20 人員定位資料輸出

### 3.2.5 定位資料格式說明

人員定位與路線追蹤系統之輸出資料格式如圖 3-20，為紀錄施工空間中各員工所佩帶之 RFID Tag 所傳回之資料，包含各員工所佩帶之 Tag ID 編號、用以辨識施工人員之身份證字號與姓名、該員工所負責之工種、所在空間位置座標、該空間位置座標進出狀況與該空間位置座標之進出時間。其資料判讀方式以相同空間座標兩兩成對做為判斷標準，紀錄狀態 1 為進入此空間座標之時間；狀態 0 為離開此空間座標之時間。以圖 3-21 紅框線之資料判讀為例，名為蘇雨聿 Tag ID 編號 P001 之鋼筋工人，於 2010 年 3 月 25 日 14 點 6 分 20 秒進入座標為 180, 105 之空間，並於當日 14 點 6 分 25 秒後離開此空間。而座標空間之定義與設定將在本論文第 4.4.6 小節做詳細說明。

TagID	Name	Class	ID	Crd	status	Time
P001	蘇雨聿	鋼筋工	A123456789	180,108	1	2010.3.25 14:6:15
P001	蘇雨聿	鋼筋工	A123456789	180,108	0	2010.3.25 14:6:20
P001	蘇雨聿	鋼筋工	A123456789	180,105	1	2010.3.25 14:6:20
P001	蘇雨聿	鋼筋工	A123456789	180,105	0	2010.3.25 14:6:25
P001	蘇雨聿	鋼筋工	A123456789	180,104	1	2010.3.25 14:6:25
P001	蘇雨聿	鋼筋工	A123456789	180,104	0	2010.3.25 14:6:30
P001	蘇雨聿	鋼筋工	A123456789	180,103	1	2010.3.25 14:6:30
P001	蘇雨聿	鋼筋工	A123456789	180,103	0	2010.3.25 14:6:35

圖 3-21 人員定位資料輸出格式



### 3.3 系統圖資結構

本系統透過物件顯示層、圖資矩陣層與影像圖層所建構而成之三層圖資結構來表達施工工地之障礙與區域位置及施工人員移動狀況，如圖 3-22。第一層為物件顯示層，用以顯示各種物件資訊，包括人員移動動畫之顯示、使用者劃分圖面資訊之互動畫面以及各項圖面資訊提示等；第二層為圖資矩陣層，透過網格式資料結構用以儲存施工工地各地點之障礙係數，以供系統判定障礙位置與穿越難度，以提供最佳路徑之決擇；第三層為影像圖層，透過使用者載入之工地平面圖之影像檔，其影像檔格式可包括\*.gif、\*.jpg、\*.bmp、\*.wmf、\*.png 等常見影像格式，於系統中顯示工地之圖片特徵，方便管理人員進行障礙、空間等圖資設定。

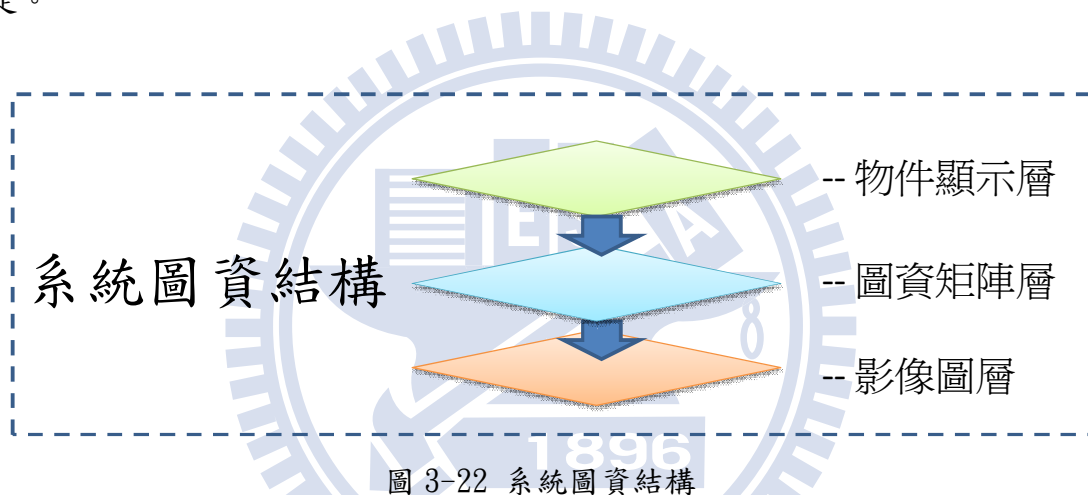


圖 3-22 系統圖資結構

本系統圖資設定工具，即為此系統圖資結構中之影像圖層與圖資矩陣層進行各種參數設定，並利用物件顯示層來輔助使用者完成各種圖資設定，本論文將在 4.4 章節中介紹各種圖資設定工具之功能與目的。

使用者透過載入工地平面影像檔(\*.gif, \*.jpg, \*.bmp, \*.wmf, \*.png...), 本系統即將網格式資料結構之圖資矩陣層, 其網格數值全預設為「1」, 即當前空間中並無任何障礙(如圖 3-23), 而網格數值即代表該空間中之障礙係數, 障礙係數為提供最佳路徑規劃之參考係數。由於營建工地空間包含許多不同種類之障礙物, 一般二維最短路徑演算法並不完全適用, 例如原始 A\*演算法在尋路過程只可判斷「可通過」與「不可通過」, 為配合實際工地環境, 本研究針對障礙物另再分為「不可通過障礙」(Hard obstacles)與「可通過障礙」(Soft obstacles), 「不可通過障礙」如牆壁、高危險度材料堆置區等人員不能或不可行經之地區; 而「可通過障礙」如施工機具堆放區、材料堆放區等雖有障礙物卻可通行之區域。而障礙係數即為設定「可通過障礙」之通過難易度, 障礙係數高低取決於通過障礙道路所花費之時間、安全性、寬窄度或雜亂程度, 目前尚無數學公式計算障礙道路之實際障礙係數, 其高低取自於管理人員經驗判斷。其網格圖中障礙係數設定如下:

- 完全無法通過者為「0」
- 完全無障礙物者為「1」
- 雖有障礙但依然可通過的值 $>1$ , 越大表示通過難度或花費時間越高

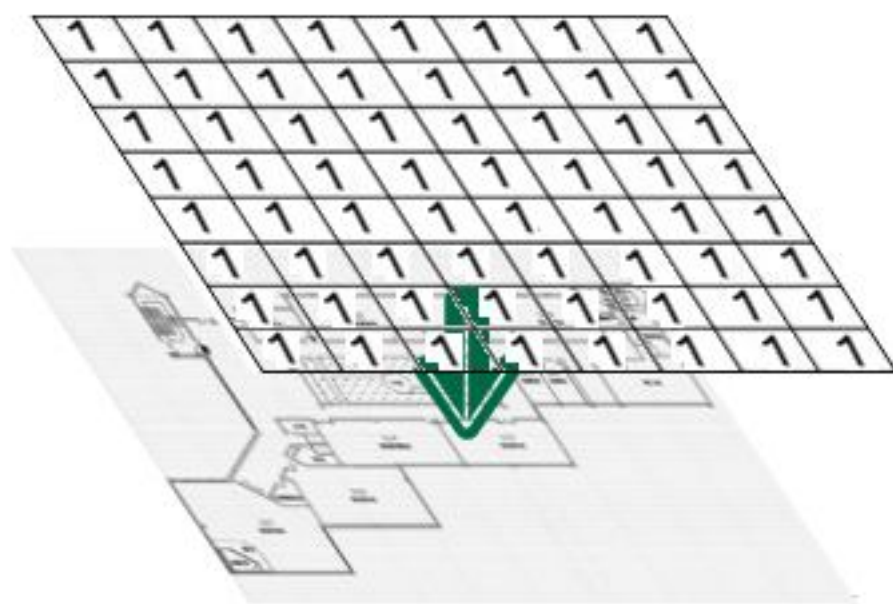


圖 3-23 圖資矩陣示意圖

### 3.4 A-Star 最佳路徑演算法

人員施工動線的順暢與否，對於營建工地的作業效率與施工安全具有相當程度的影響。透過最佳路徑之規劃，可找出當前營建工地中空間分配之衝突點。本研究路徑規劃之定義，為使用 A\* 最佳路徑演算法找出工地兩點間之障礙係數總合最小之路徑。障礙係數最小，可表示人員行走時間最少或者碰撞機率最小亦或是安全度最高之路線。配合人員定位與路線追蹤系統所記錄施工人員之路徑流量與歷史軌跡相互比較，分析出差異之原因，做為檢討與改善之依據。

本系統所使用路徑規劃之 A\* 演算法，已在文獻 2.1.3 中已詳細介紹，本研究配合工地實況，將原本僅分為可通過與不可通過之尋路原則，加上權重觀念，即所謂障礙係數，將尋路原則稍做改變，將  $g(n)$  與障礙係數相乘計算出新的  $g(n)$  值，藉以找出兩點間之障礙係數最小之路徑，其計算公式如下：

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

$$g(n) = \text{distance} * \text{O.F.}$$

$$h(n) = D * [\text{abs}(\text{current.x} - \text{target.x}) + \text{abs}(\text{current.y} - \text{target.y})]$$

本節直接以含有可通過之障礙空間實例做為路徑規劃演算法之流程介紹，如表 3-3，以 (1, 3)、(4, 6) 各為起、終點，網格中值「0」表示不可通過，「1」為可通過且無障礙，大於 1 為可通過之障礙，越大表示通過難度或花費時間越高。以下實例以計算週鄰 8 格 F、G、H 值，做為 A\* 最佳路徑規劃概念說明，過程步驟有稍做簡化，雖與實際程式計算步驟稍有出入，但計算公式與尋路概念是一致的。在附件一有本研究所使用之 A-Star 之程式原始碼。

0	0	0	0	0
0	0	0	3	1
0	0	0	1	1
0	1	2	1	0
1	0	0	1	1
0	1	0	1	1
0	0	1	1	1
0	0	0	0	0

表 3-3 範例空間網格資料(1)

Step 1:

0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	0	1	1
0	1	2	1	0
1	0	0	1	1
0	1	0	1	3
0	0	1	1	1
0	0	0	0	0

→

0	0	0
0	起點	$70=20+50$ →
$74=14+60$ ↙	0	0

表 3-4 範例空間網格資料(2)

如表 3-4，由起點開始計算相鄰 8 格之 F 值，選擇最小值做為下一步起點，並將此起點存入 CloseList。由此步可看到，雖然有兩條路徑，一條雖較難通過但路徑較短，故跨越障礙行為最佳選擇。

Step 2:

0	0	0	0	0
0	0	0	3	1
0	0	0	1	1
0	1	2	1	0
1	0	0	1	1
0	1	X	1	3
0	0	1	1	1
0	0	0	0	0

→

0	0	$154=34+70$ ↗
1	$70=20+50$ →	$90=30+60$ →
0	0	0

表 3-5 範例空間網格資料(3)

如表 3-5，不計算 CloseList 與不可通過網格之資料，而 A\*演算法規則中在障礙轉折處不可直接通過，亦(3, 4)網格在此步驟計算並不會存入 Open List，故最後選擇(4, 3)網格加入 Close List。

Step 3:

0	0	0	0	0
0	0	0	3	1
0	0	0	1	1
0	1	2	1	0
1	0	0	1	1
0	1	0	1	3
0	0	1	1	1
0	0	0	0	0

→

0	90=40+50 ↗	0
2 →	90=30+60 →	0
0	80=40+40 ↓	0

表 3-6 範例空間網格資料(4)

Step 4:

0	0	0	0	0
0	0	0	3	1
0	0	0	1	1
0	1	2	1	0
1	0	0	1	1
0	1	0	1	3
0	0	1	1	1
0	0	0	0	0

→

2 →	1 →	0
0	80=40+40 ↓	70=50+20 →
0	70=50+20 ↓	94=84+10 ↘

表 3-7 範例空間網格資料(5)

如表 3-6，重覆相同計算原則，尋找 F 值最低網格，將其加入 CloseList。如表 3-7，(4, 4) 與 (3, 5) 有兩相同 F 值，但依資料結構後進先出之規則，選擇後者，亦(3, 5)之網格。若選擇(4, 4)，因(4, 5)障礙係數為 3，下一步驟會重新計算 Open List 中之 F、G、H 值並更改父節點，重新選擇(3, 5)做為最佳路徑。

Step 5:

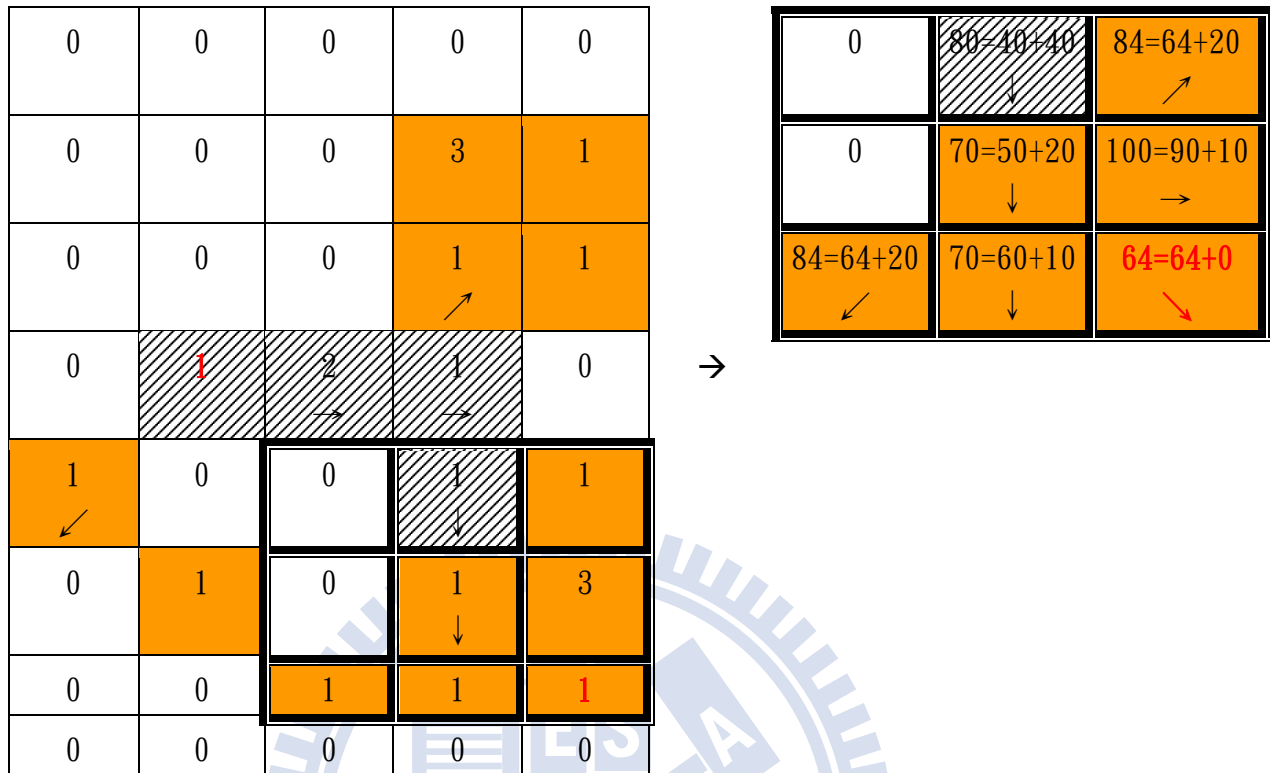


表 3-8 範例空間網格資料(6)

如表 3-8，障礙係數 3 (4,5) 之網格，之前已被計算過 F 值與父節點，是存於 OpenList 中之網格，本步驟計算 (4,5) 後，需判斷先前是否 G 值更低，此案例並不需做任何變動。

當 OpenList 圈選到目標終點，則依父節點與 CloseList 紀錄找回起點連成最佳路徑，圖 3-16 為實際運作尋找最佳路徑之畫面，使用者透過設定起點 (Start) 與終點 (Goal)，系統自動即會規劃出兩點間之最佳路徑 (黃線表示)。

在本研究最佳路徑定義為障礙係數總合最低，在此條件下，最佳並不一定最短路徑，或行經時間最短，而是安全性最高或衝突性最低之路線。最佳路徑規劃結果配合空間流量統計圖與歷史軌跡圖之功能，可供管理者分析動線。



### 3.5 資料視覺化演算法

#### 3.5.1 人員歷史移動資料動畫

由於人員定位與路線追蹤系統所傳回之資料為一連串座標與時間之文字紀錄，為方便讓使用者理解，利用物件導向技術，宣告成員類別（Class），該類別中擁有 TagID、員工姓名、員工負則工種與移動軌跡陣列表（Array List）等屬性，如圖 3-23，以將一連串座標與時間之文字以動畫方式顯示。本模組視覺化設計規則為：

- 使用圖形位置變動配合時間軸表示人員行為
- 使用不同顏色圖示分類不同工種於空間中之移動
- 使用者點擊圖示可觀看該人員之資訊

透過時間軸之撥放，可顯示人員之活動行為，人員之圖示顏色可區分工種，利用視覺化技術讓管理人員更容易理解與判斷人員行為模式。

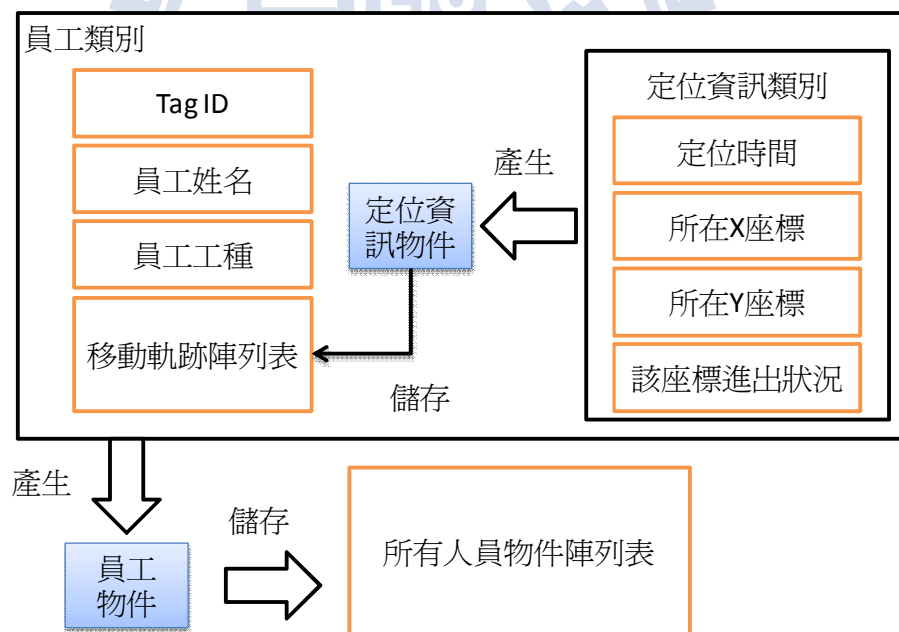


圖 3-24 員工類別關係示意圖

當載入人員定位資料，系統首先判斷該定位資料中最早與最晚紀錄時間，規劃時間軸之長度，當讀取人員資料時，搜尋所有人員物件陣列表，查看此 Tag ID 是否曾經出現過，若人員物件陣列表中沒有該員工之 Tag ID 紀錄，則透過員工類別，產生新的員工物件；若此 Tag ID 曾經讀取過，便將移動資料寫入該員工物件之移動軌跡陣列表中，其物件產生流程如圖 3-25。

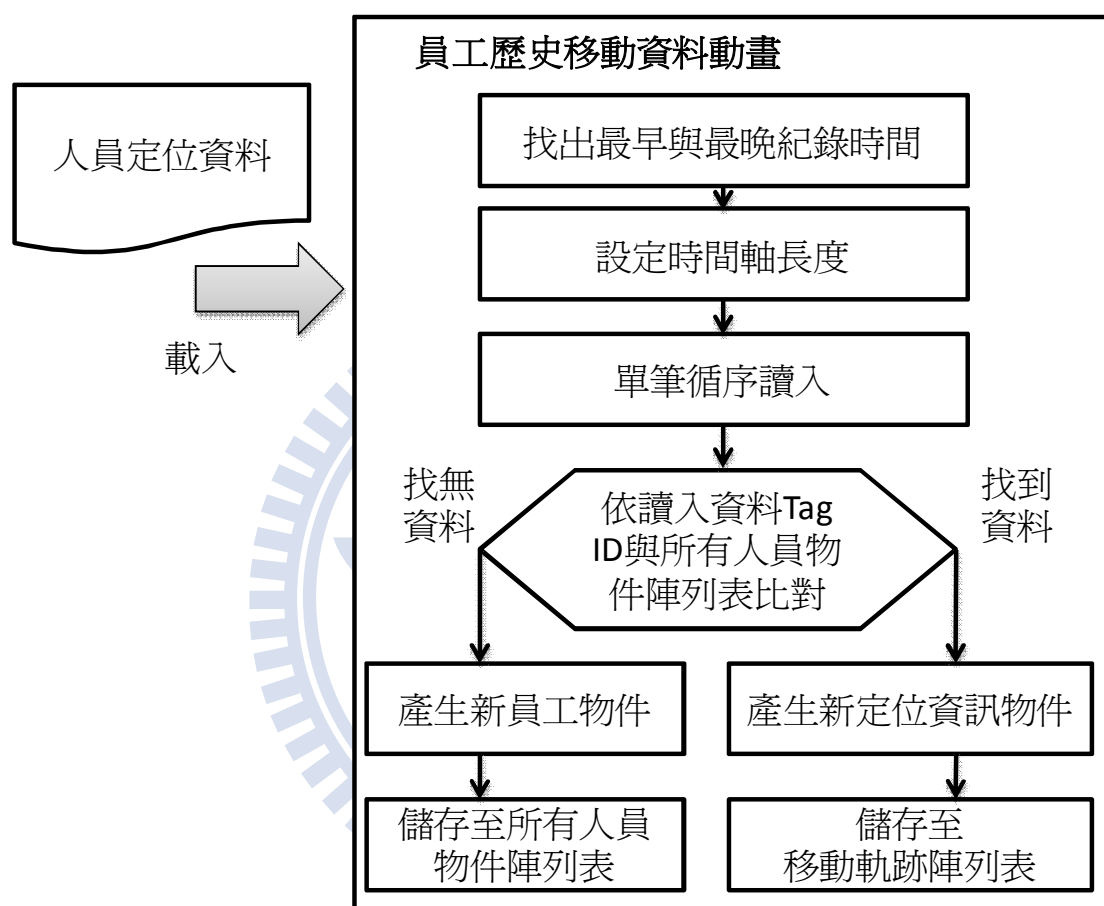


圖 3-25 物件產生流程圖

在員工歷史移動資料視覺化模組中，設計利用時間軸概念以表達各人員於不同時間點之所在位置，且可讓使用者透過點擊時間軸，搜尋與觀看各時間點人員所在位置。當使用者點擊或拖拉時間軸時，本模組利用參考時間點來計算並在所有人員物件陣列表中與移動軌跡陣列表內找出最相關之定位資料中屬性之定位時間之時間差距，並從中找出最小時間差距，如圖 3-26 並將定位結果透過座標轉換公式顯示於畫面上。其中時間軸當前數值乘上 0.01 是因為此時間軸設計區塊共有 100 格。

時間差距計算公式：

時間軸長度 = 最晚時間 - 最早時間

參考時間點 = 最早時間 + [時間軸長度 \* 時間軸當前數值 \* 0.01]

時間差距 = 定位物件資訊.定位時間 - 參考時間點

座標轉換計算公式：

人員X位置 = 紀錄位置X \* 設定座標寬度 + 設定座標寬度 \* 0.5

人員Y位置 = 紀錄位置Y \* 設定座標高度 + 設定座標高度 \* 0.5

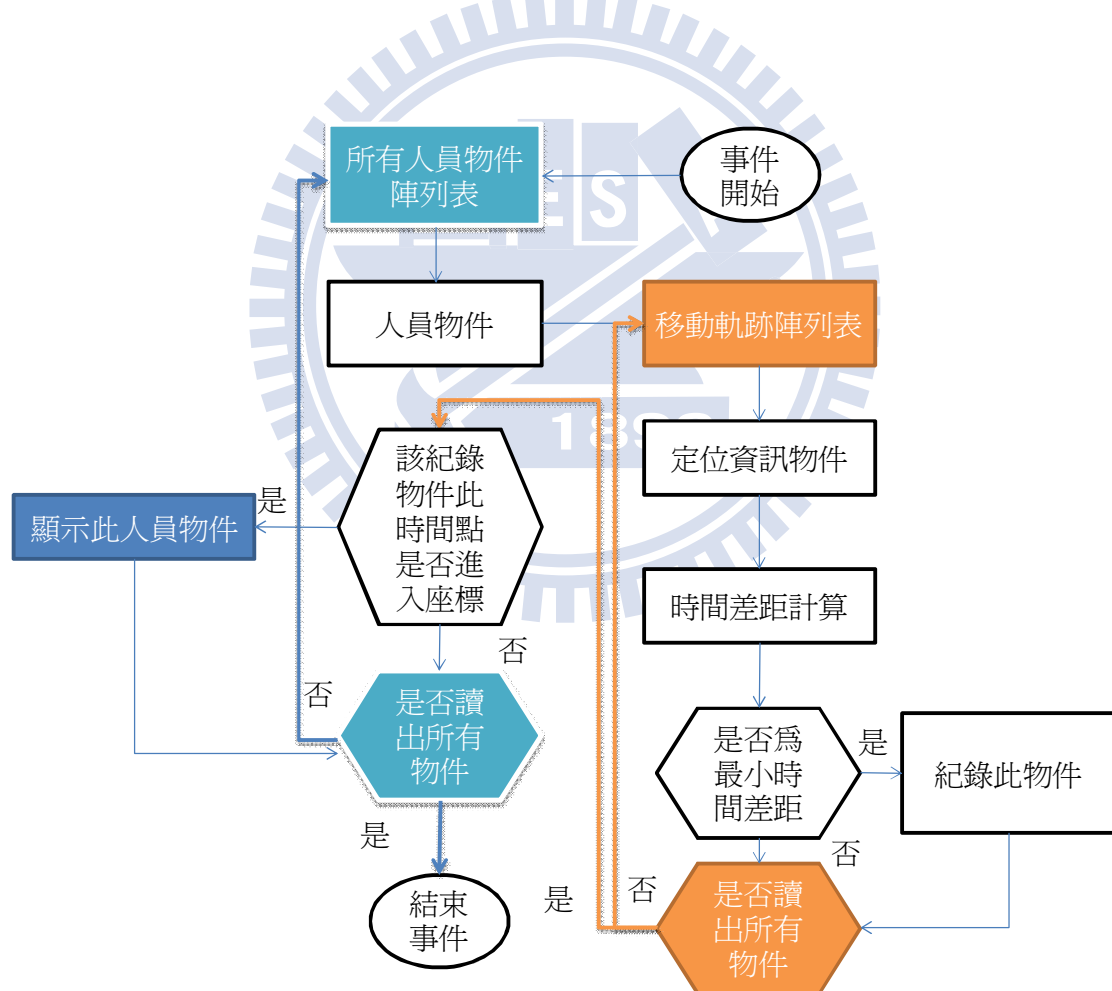


圖 3-26 人員物件配合時間軸顯示演算法流程

### 3.5.2 空間流量累積圖

為提供使用者瀏覽空間中人員流動量，本研究使用 HotSopt 概念，將空間等量劃分區域，依據人員定位資料之定位結果，劃分之每區域當有人員經過，便增加該區域之流量值，最後依每區段之流量值，顯示不同顏色深淺表示之，如圖 3-27 所示。

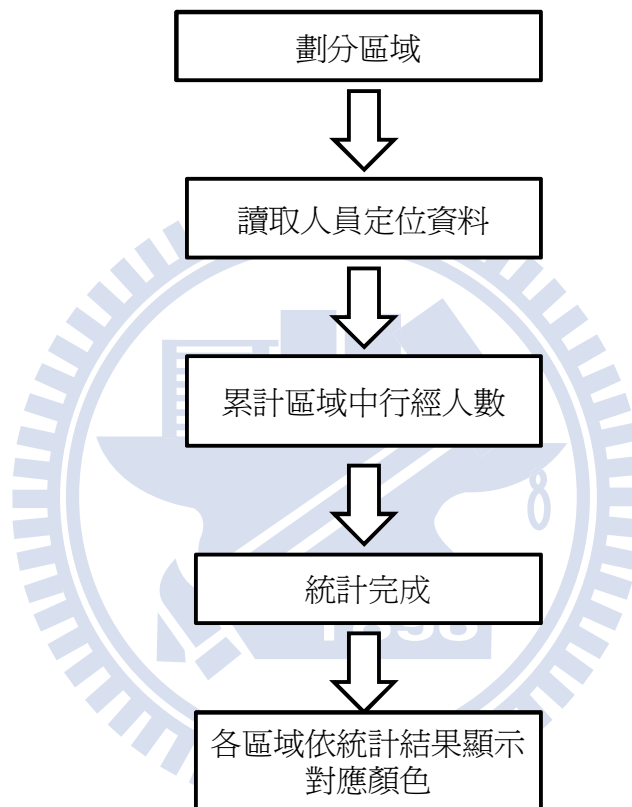


圖 3-27 空間流量累積圖演算流程

由於此系統希望能套用於各種不同施工案例上，而每個施工案例之施工規模大小不依，無法以施工人數做為區塊深淺之依據，故採用行經人數百分比之方式做為顏色深淺之參考，其計算公式如下：

$$SpotFlow = \frac{SpotValue}{TotalValue} * 100$$

SpotFlow：區塊之流量

SoptValue：區塊人數統計值

TotalValue：總人數

### 3.6 系統使用原則

本系統之使用流程如圖 3-28 所示，系統啟動後，進行使用者權限確定，若為管理階層則可透過圖資設定工具進行圖資描述，包含設定空間中之障礙位置與係數、管制區域位置與管制區域之員工限制名單，並進行員工詳細資料之設定。完成圖資設定後載入人員定位與路線追蹤系統之人員定位資料，即可透過系統中之分析工具，包括空間流量累積圖、系統建議最佳路徑、人員移動歷史軌跡圖、員工歷史移動資料動畫、員工出\退工統計圖與區域限制管理機制，供管理人員分析與評估工地動線。

透過本系統分析工具可得到各種圖面資訊，將其相互比對即可找出空間中可能潛藏材料配置或動線規劃之問題點，本研究將此系統做以下三大項使用原則整理：

1. 依據空間流量累積圖，找出工地擁擠通道，判斷不同工種施工區位置是否衝突，材料配置區位置是否造成施工人員移動距離過長，並找出人員流量最大之流動區，將該區做為最佳路徑之分析點。
2. 依據系統建議最佳路徑與人員移動歷史軌跡圖相互比較，尋找不符之處，依實況調整或改善可能存在之動線問題。
3. 依員工歷史移動資料動畫、員工出\退工統計圖與區域限制管理機制，探討員工個人行為，視情況給與適當之調度與派遣。

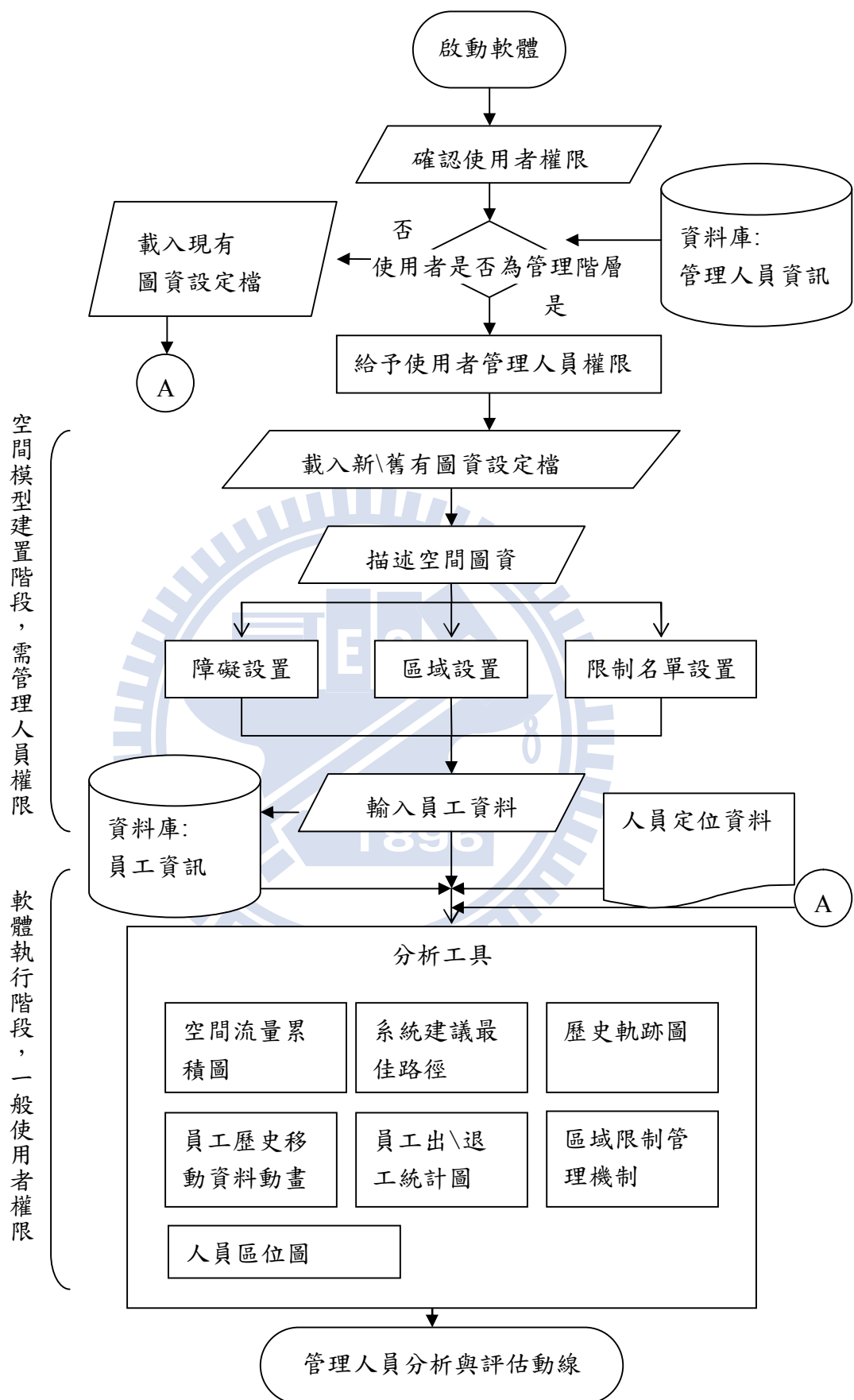


圖 3-28 系統使用流程



## 第四章 系統實作

本章節將描述程式介面（Application Programming Interface, API）之開發，程式撰寫使用 Microsoft Visual Studio.net 2008 開發工具並以 C Sharp (C#)做為編譯語言，包括圖資設定工具、空間流量累積圖、系統建議最佳路徑、歷史軌跡圖、員工歷史移動資料動畫、員工出\退工統計圖、區域限制管理機制與施工行為統計圖等各項模組之實作，其系統主畫面如圖 4-1，包含各項模組功能之連結供使用者選取，其主畫面所提供之選單功能將在表 4-1 進行說明。



圖 4-1 系統主畫面

主選單	次選單	說明
檔案	-載入設定檔 -離開	•載入設定完成之圖資設定檔案 (*.mms) •關閉程式並釋出記憶體
資訊	-載入歷史資料	•載入人員定位資料
顯示	-分類顯示 -HotSpot -語言	•可選擇依 Tag ID 或是工種區分人員顯示 •觀看空間流量圖 •提供使用者載入語言包，達到多國語言功能
管理	-管理員登入 -空間進出名單	•為不讓一般使用者修改圖資，需輸入正確密碼才可取得圖資修改權限 •顯示管制空間人員進入之歷史紀錄
規劃	-設定路徑 -路徑資訊 -取消規劃	•設定圖面中兩點並尋找最佳路徑 •顯示最佳路徑中詳細資訊 •取消規劃好之最佳路徑
說明	-關於 MMS	•顯示程式說明與系統資訊

表 4-1 主畫面選單功能說明



## 4.1 系統規格

本研究利用 Active RFID 定位技術，透過 ZigBee 傳輸技術當中介結合 RFID 技術原理之人員定位與路線追蹤系統為基礎，透過 Mircrosoft Visual C#語言工具製作視窗程式，開發一套能處理人員定位與路線追蹤系統輸出資料之動線評估系統，並以較為大眾的 Mircrosoft Access 為後端資料庫，表 4-2、表 4-3 與表 4-4 為人員定位與路線追蹤系統之硬體規格，表 4-5 為本系統之軟體規格表。

項目	規格
廠牌	Helicomm—瑞賦科技代理
設備型號	IP-Link2220
貨品名稱	ZigBee Terminal 2.4GHz
工作頻率	2.4GHz
Modulation	QPSK
Max.datarate	250kbps
Receive Sensitivity	-94dBm
Transmitrange	350m(LOS)
RF channels	16(5MHz)
Transmit power	-15dBm to 10dBm
DC-Input	9VDC~30VDC /58mA
Power consumption	0.2W
Size WxHxD (Cm)	6.2x5.4x3.6
Operating temp.	-20°Cto+70°C
Humidity	10%to90%

表 4-2 RFID Reader 規格表  
(資料來源：瑞賦科技)

項目	規格
廠牌	Helicomm－瑞賦科技代理
設備型號	IP-Link2220
貨品名稱	ZigBee Tag 2.4GHz
工作頻率	2.4GHz
Modulation	QPSK
Max data rate	250kbps
Power consumption	Sleep 77uA \ Transmit 8.5mA
Transmit power	25dBm to 0dBm
Transmit range	100m(LOS)
Battery type	re-chargeble Li-ion 480mAh
DC input	5V DC / 1000mA
Operating temp.	-25°C to 55°C
Size WxHxD (Cm)	8.6*5.4*0.7
Humidity	10% to 90%

表 4-3 RFID Tag 規格表  
(資料來源：瑞賦科技)

項目	規格
廠牌	Helicomm－瑞賦科技代理
設備型號	IP-Link2220
貨品名稱	ZigBee Wireless Extension Gateway 2.4GHZ
工作頻率	2.4GHZ
Modulation	QPSK
Max data rate	250kbps
Power consumption	1W
RF channels	16(5MHz)
DC input	POE or 9V to 30V DC / 600mA
Operating temp.	-20°C to 70°C
Size WxHxD (Cm)	10.7*5.7*3.0
Humidity	10% to 90%

表 4-4 ZigBee Gateway 規格表  
(資料來源：瑞賦科技)

項目	廠牌與規格
系統平台	Microsoft Windows XP SP2
開發工具	Microsoft Visual Studio.net 2008
開發語言	C Sharp (C#) 使用 .NET Framework Class Library
資料庫	Microsoft Office Access

表 4-5 軟體規格表

## 4.2 使用者權限規劃

本系統為區別使用者身份，共分為三種使用權限，分別為一般使用者、管理人員與系統管理員等系統使用權限。透過使用者不同身份權限，給予使用者功能上之限制，為防止一般使用者擁有修改圖資設定與員工資料，將限制使用其功能，而系統管理員則擁有可以設定管理人員名單之權限，如表 4-6。

	監控 功能	流量 分析	路徑 規劃	設定 圖資	設定員 工資料	設定管 理人員
一般 使用者	V	V	V	X	X	X
管理 人員	V	V	V	V	V	X
系統 管理員	V	V	V	V	V	V

表 4-6 使用者權限與功能對照表

使用者點選管理員登入之系統介面，如圖 4-2，若為管理人員即可輸入其帳號與密碼，如圖 4-3，若使用者帳號輸入為「admin」且密碼正確，即判斷該使用者為系統管理人員，可擁有設定管理人員之權限，如圖 4-4。擁有系統管理者之權限使用者，可透過「設定管理人員」之功能選單，針對一般管理人員之名單進行新增、修改、刪除等功能，如圖 4-5。

其使用者權限規劃之流程圖如圖 4-6 所示，透過判斷使用者是否為 admin，進行一般管理人員或系統管理人員之判別，若非 admin，則由系統資料庫讀取所有管理人員之帳號與密碼進行配對驗證，若配對成功，則以管理人員權限登入，若配對失敗則返回一般使用者之權限。



圖 4-2 管理員登入介面（一）





圖 4-3 管理員登入介面 (二)

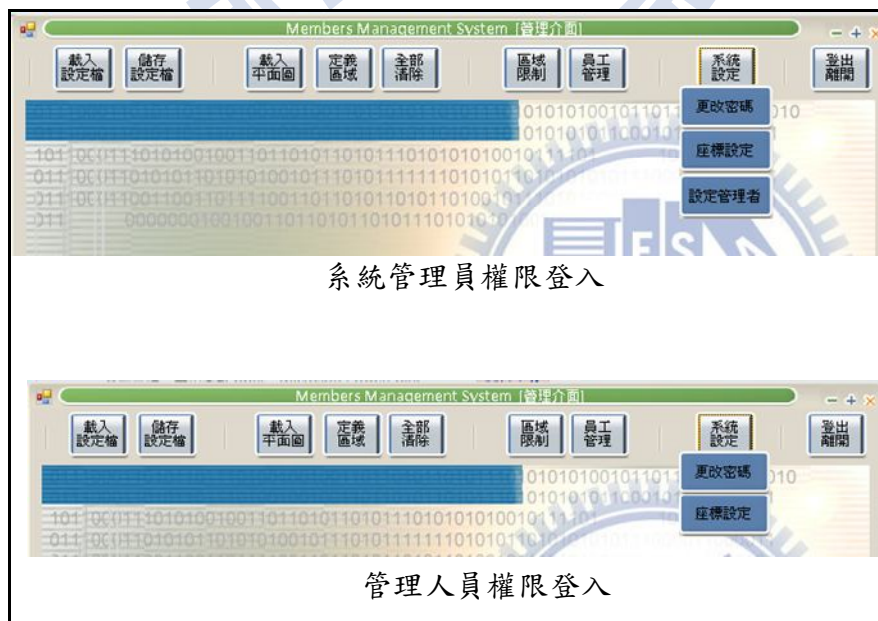


圖 4-4 系統管理者與一般管理者之比較圖



圖 4-5 系統管理者設定一般管理者之系統畫面

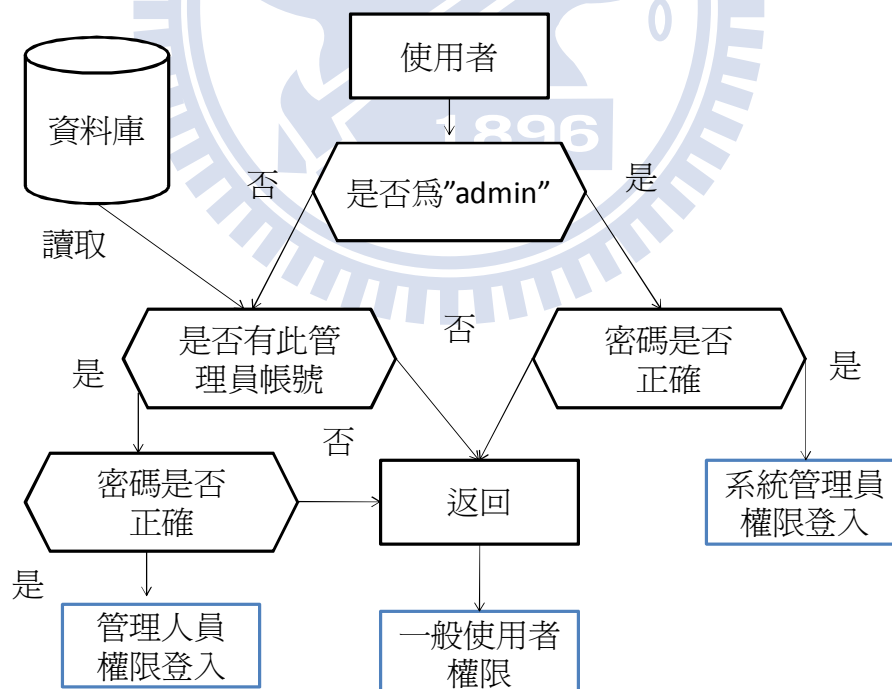


圖 4-6 使用者權限判定流程

### 4.3 圖資設定工具

為提供使用者能依不同工地與工地特性自行建置工地圖面資訊，本系統設定圖資建置工具，提供使用者可透過視窗介面描述工地之區域特性與人員資訊，如圖 4-7。各工具之功能如表 4-7 所述，在本節中將會詳細介紹各工具之使用與設定方式。



圖 4-7 圖資設定介面

分類	項目	說明
圖資檔	載入設定檔	可載入先前設計好之圖資 (*.mms) 檔
	儲存設定檔	可將目前建置之空間模型存成圖資 (*.mms) 檔
圖資設定	載入平面圖	載入工地平面圖
	定義區域	提供使用者定義工地中區域之障礙或管制空間
	全部清除	將目前定義之區域全部清除
其它設定	區域限制	提供使用者設定區域限制之員工名單
	員工管理	提供使用者設定員工詳細資料
系統	系統設定	可進行密碼變更、座標設定與管理人員設定等功能
	登出離開	離開圖資設定工具介面返回系統主畫面

表 4-7 管理者介面圖資工具



### 4.3.1 圖資檔

當使用者透過各項圖資工具完成圖資設定後，最後將其設定資訊包括工地平面圖、空間矩陣層數值、空間內管制區域資訊、設定座標之尺寸、各管制區域人員限制名單，如表 4-8，封裝匯出成 ascii 純文字格式之\*.mms 與 binary 圖片格式之\*.mms.pic 檔案，如圖 4-8，如此可提供使用者日後再度匯入進系統內，並保存此次圖資之設定。

本系統使用 .Net Framework 類別庫中 System.Windows.Forms 命名空間之 OpenFileDialog 類別與 SaveFileDialog 類別，以提示使用者開啟檔案或選取檔案儲存之位置，透過此類別用以開啟、覆寫現有檔案或建立新的檔案，如圖 4-9。

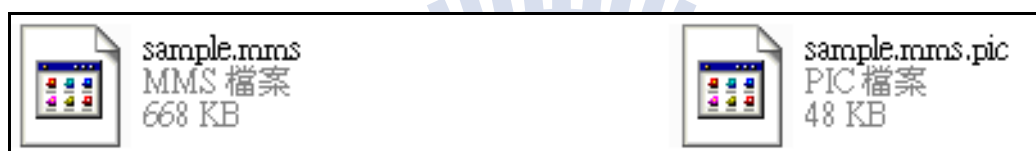


圖 4-8 圖資設定結果匯出檔案

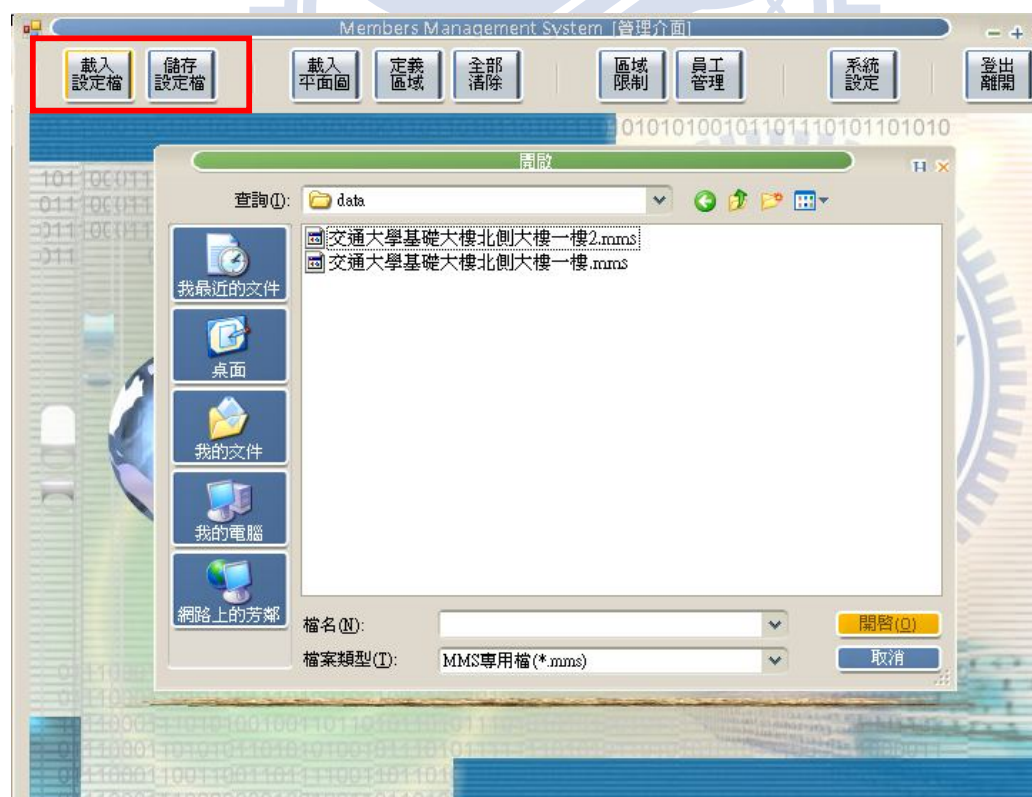


圖 4-9 圖資載入與儲存介面

```

sample.mms 文件內容

*Image          //本圖資設定檔所使用之平面圖
sample.mms.pic

*ROAD_ARRAY     //空間矩陣層數值
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 1 1 1
1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
*Place_ARRAY    //管制區域資訊：區域位置 X、Y；寬、高；名稱；ID 編號
273 56 418 129 測量實驗室 0
428 132 315 271 工地出入口 (2) 1
*Crd            //座標設定與否；座標尺寸寬、高
1
428
301
*LimitList      //員工限制名單：管制區域 ID 編號、受限制員工 Tag 編號
0 P001
0 P004
1 P007
*End Of File

```

表 4-8 圖資設定資料輸出格式範例

### 4.3.2 圖資設定

本系統使用 .Net Framework 類別庫中 System.Windows.Forms 命名空間之 OpenFileDialog 類別，以提示使用者開啟圖片檔案，使用者透過載入平面圖之介面，如圖 4-10，可從本機系統中選擇工地平面圖之影像檔，其影像檔格式可包括 \*.gif、\*.jpg、\*.bmp、\*.wmf、\*.png 等常見影像格式，完成影像檔之載入後，影像圖層即會顯示所選之工地平面圖，如圖 4-11。

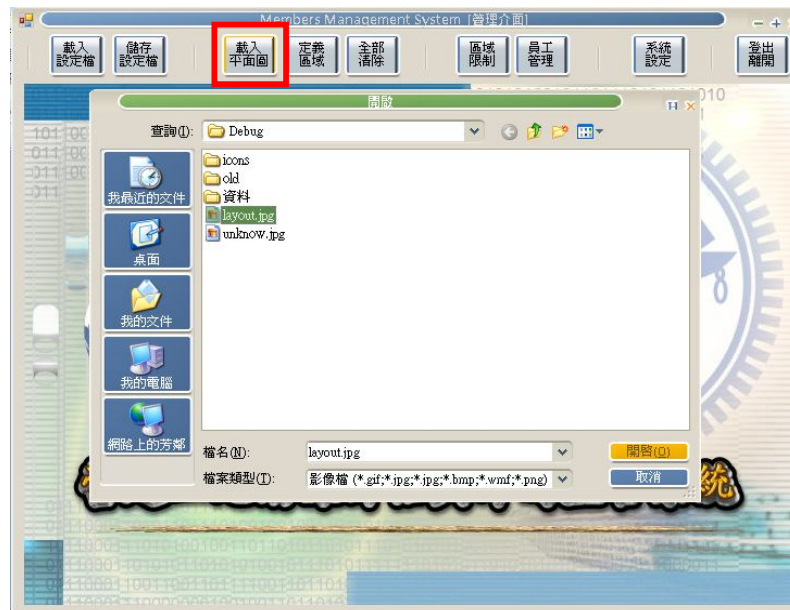


圖 4-10 載入平面圖介面（一）

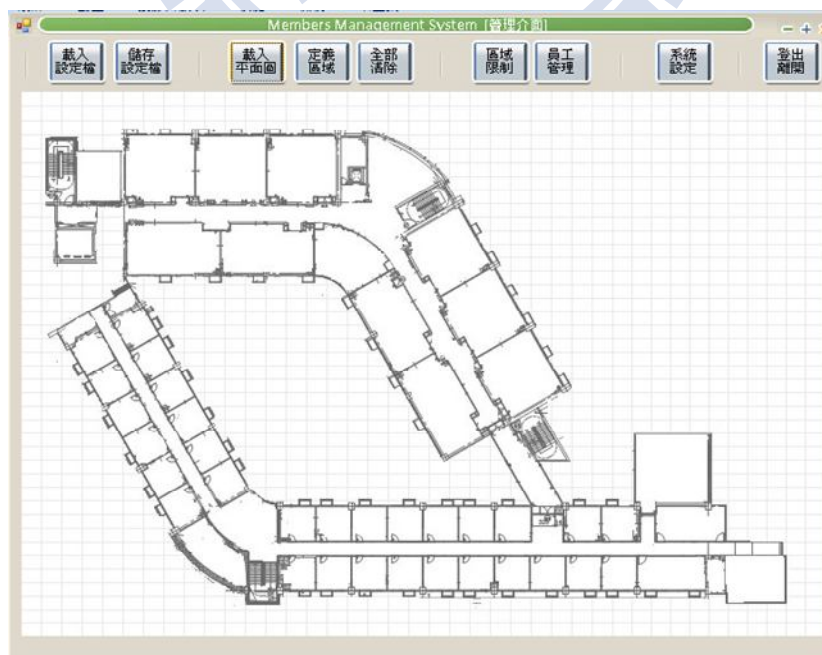


圖 4-11 載入平面圖介面（二）



完成平面圖載入後圖資矩陣一開始所有障礙係數初始值皆為 1，即空間中不存在任何障礙物，需透過使用者於空間中設定障礙位置與障礙性質，方可提供系統辨別並規劃最佳路徑。本系統設計「定義區域」之工具，即方便使用者透過直覺式的操作，達到設定圖資矩陣之障礙係數之參數，其操作流程如圖 4-12 所示，使用者點選「定義區域」之工具後，於平面圖上透過滑鼠拖曳範圍，並選則該範圍內之障礙性質，分別為非障礙、可通過障礙、不可通過障礙，如圖 4-13，其障礙性質為相互獨立，不可共存，當使用者點擊可通過障礙時，即出現可供使用者輸入障礙係數之文字框，點擊非障礙或不可通過障礙時，供使用者輸入障礙係數之文字框即會隱藏，如圖 4-14。

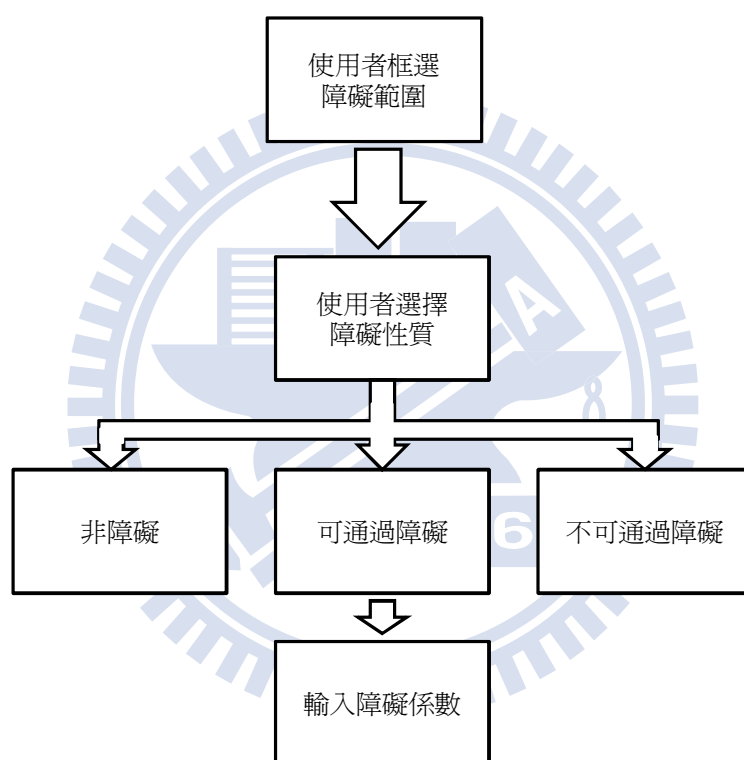


圖 4-12 圖資矩陣設定操作流程



圖 4-13 區域定義畫面（一）



圖 4-14 區域定義畫面（二）

當使用者按下確定後，其相對圖資矩陣位置之數值即改變為使用者設定之數值：非障礙設定為1；可通過障礙為使用者輸入之參數；不可通過障礙為0，並利用區塊顏色變化表達該障礙之通行難度，以咖啡色表示不可通過障礙；淺紅色表示較容易通過之障礙；深紅色表示不易通過之障礙，如圖 4-13。

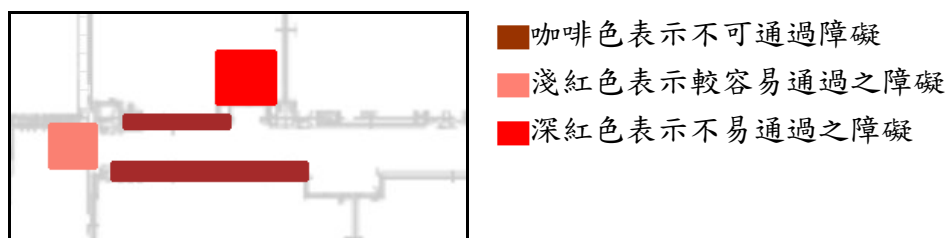


圖 4-15 區域定義畫面（三）

在施工工地中有許多人員進出需受管制之空間，如出入口監控點、材料擺放區、高危險施工區、放置貴重儀器區…等，在本系統中管理者可設定受管制之空間區域，配合員工資料設定與管制名單設定，將可運行人員進出空間管制。其管制空間運作規則將在下一小節中做說明，此節僅說明管制空間之操作流程與設定方式。

本系統將管制空間設定之功能，與設定障礙係數一同建置於「定義區域」之工具中，方便使用者透過直覺式的操作，在空間圖資中設定空間區域之特性，如圖 4-16，在設定完定義區域後，在圖資上將顯示驚嘆號之圖示表示該地區為管制空間，如圖 4-17，使用者透過滑鼠點擊可觀看該管制空間之管制範圍，如圖 4-18，而對圖示點擊右鍵可將該空間刪除，如圖 4-19。

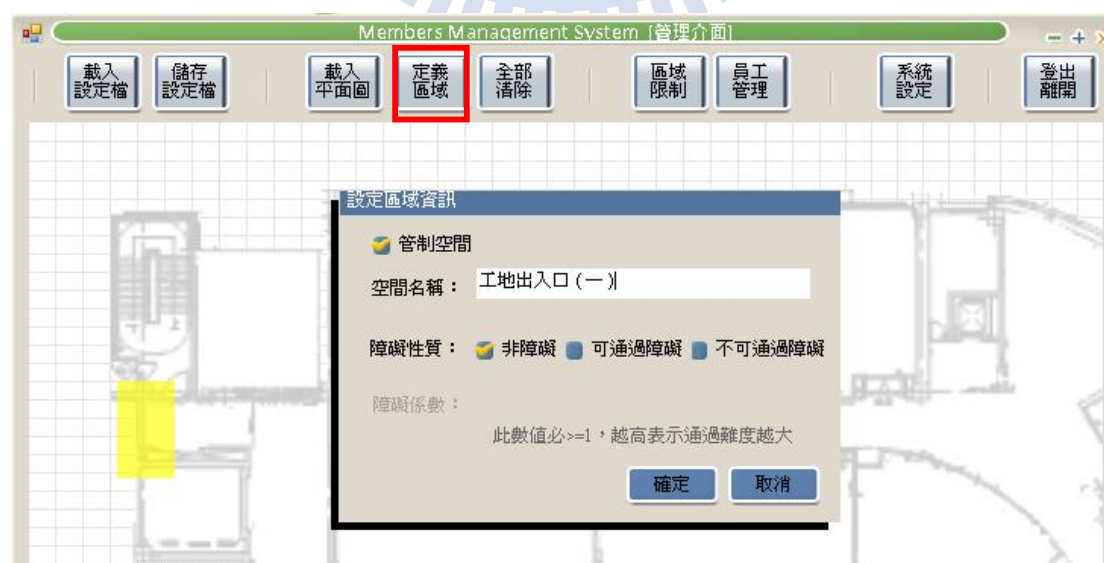


圖 4-16 管制空間設定畫面（一）

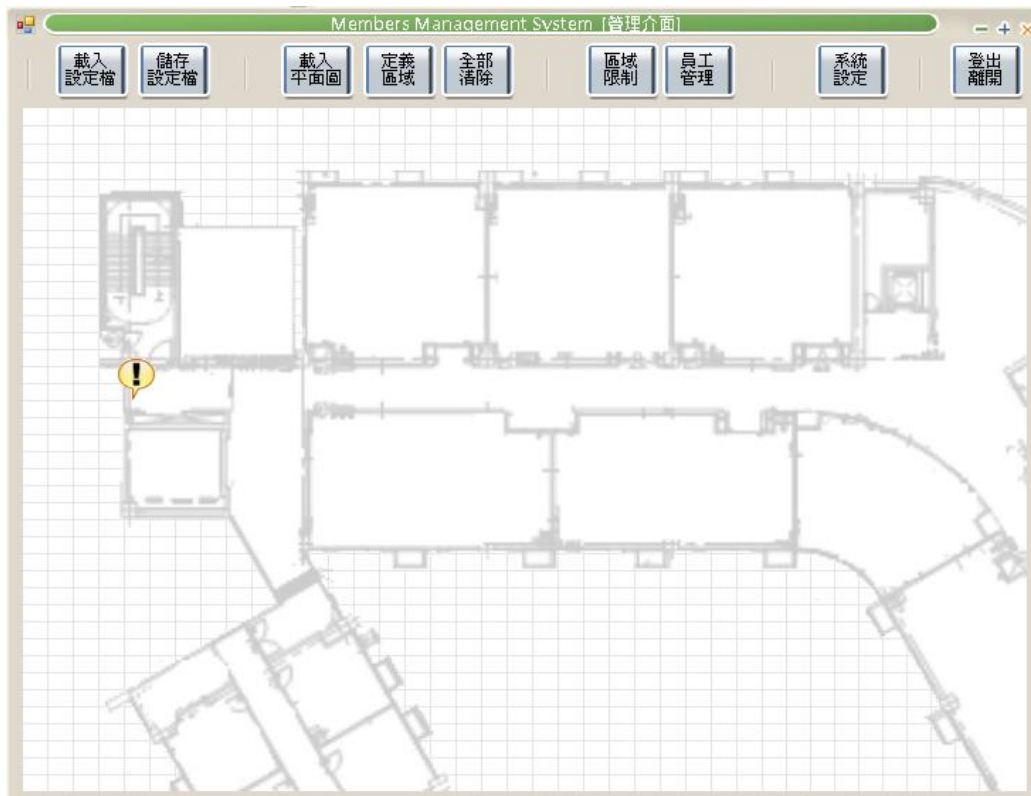


圖 4-17 管制空間設定畫面 (二)

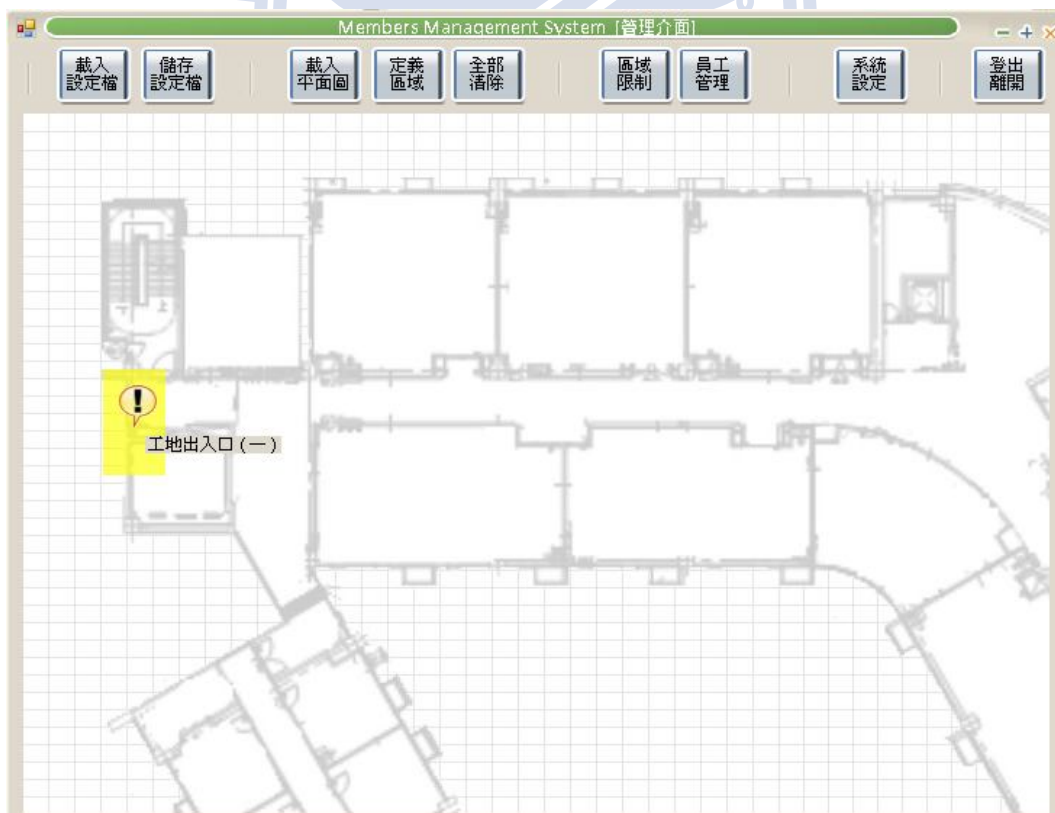


圖 4-18 管制空間設定畫面 (三)

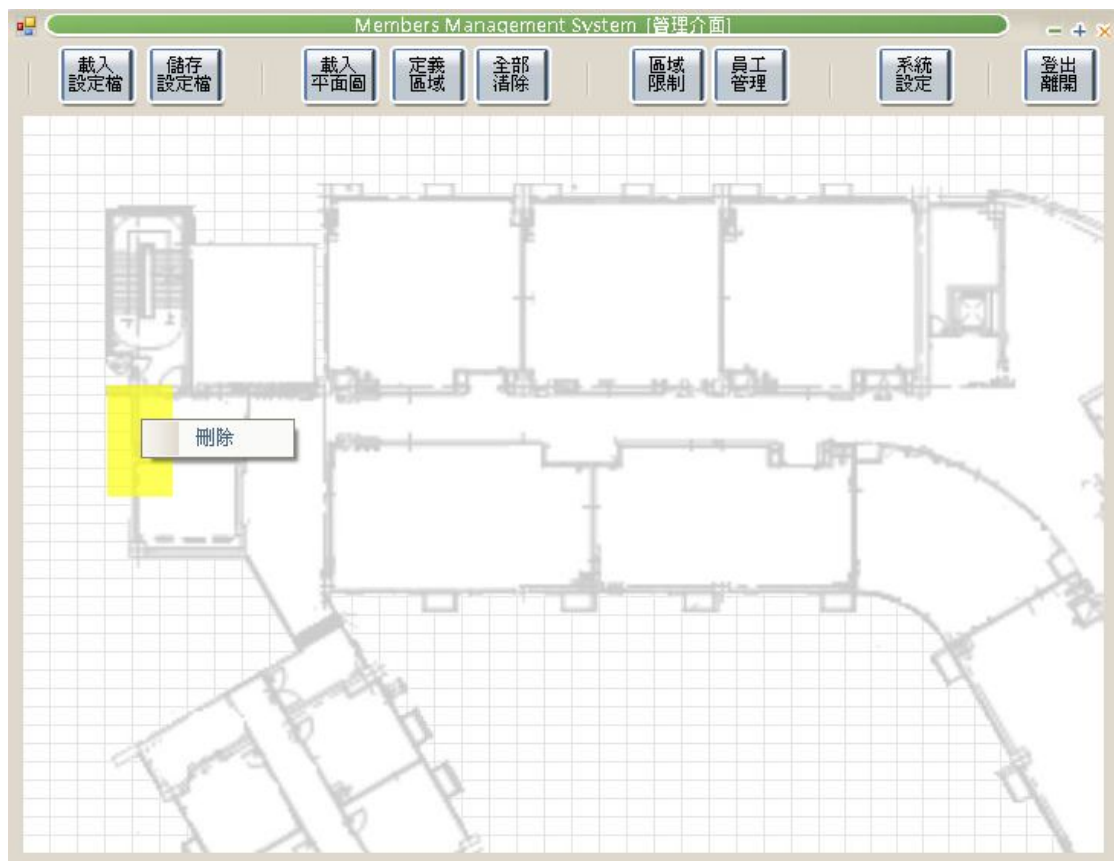


圖 4-19 管制空間設定畫面（四）

### 4.3.3 區域限制

為提供系統分辨員工是否擁有進入管制區域之權限，使用者可透過「區域限制」之工具，設定各管制空間中之允許與限制名單，如圖 4-20，系統載入圖資中所有已設定之管制空間，並載入資料庫中所有員工至允許名單中，透過選取允許名單中之人員，移動到限制名單內，並按下儲存設定之按鈕，即會將此名單儲存至圖資設定資訊檔內，其系統執行流程如圖 4-21。

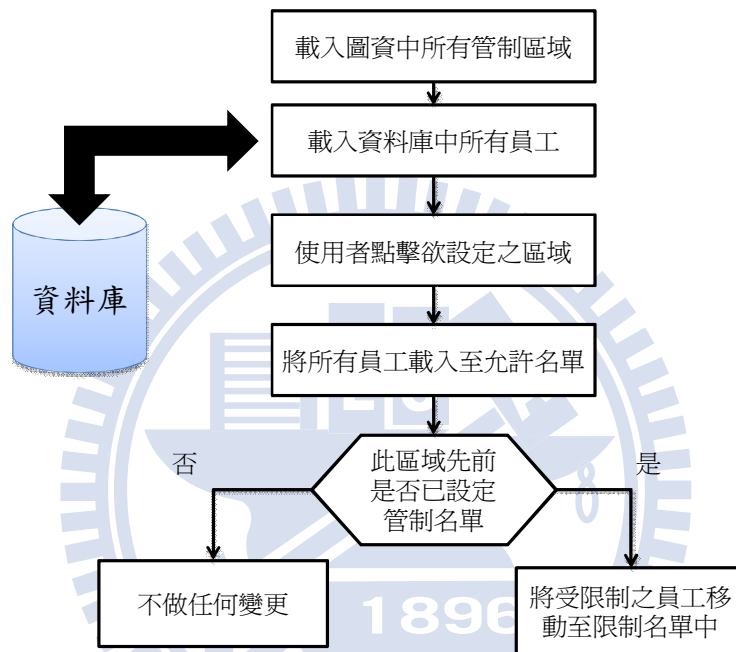


圖 4-20 管制名單系統執行流程圖



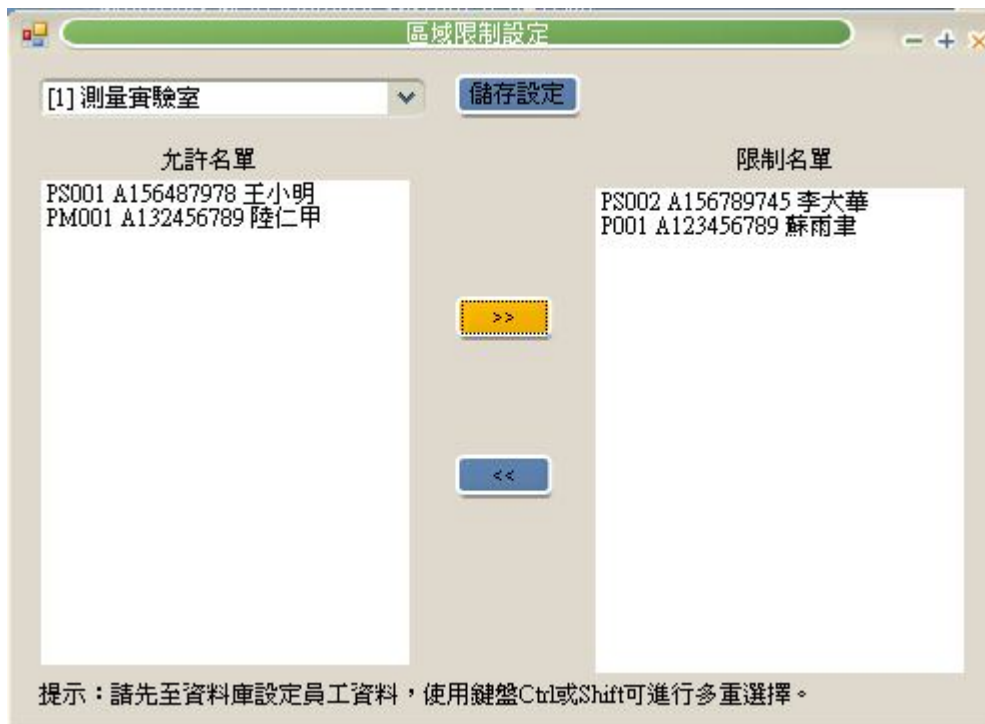


圖 4-21 管制名單設定畫面

#### 4.3.4 員工管理

由 RFID Tag 所傳回人員定位資料之員工資訊僅有員工姓名、身份證字號、負責工種等基本員工資料，故設計資料庫儲存更多員工詳細資料，已供管理人員查閱該員工更多詳細基本資料，如專長、相片…等，並透過 Tag ID 將人員定位資料之員工資訊做關聯，顯示完整資訊，本研究僅列舉幾項員工詳細資料，其資料庫欄位可依管理人員需求再進行變更，如新增血型等欄位資訊。

本系統利用 .Net Framework 架構中之 .Net Framework Data Provider for OLE DB 之命名空間 (Namespace) 來定義連接 Access 資料庫之資料來源，如圖 4-22，使用 DataSet 物件，用以讀取資料庫中之資料表資料，由於 DataSet 物件會將資料庫中之資料全部擷取傳送到執行程式所在電腦的記憶體中，當 DataSet 物件更新完畢後，將資料全部一次更新回資料庫中，如此執行效率佳，並可讓使用者直接透過本系統進行資料庫之修改作業，如圖 4-23。

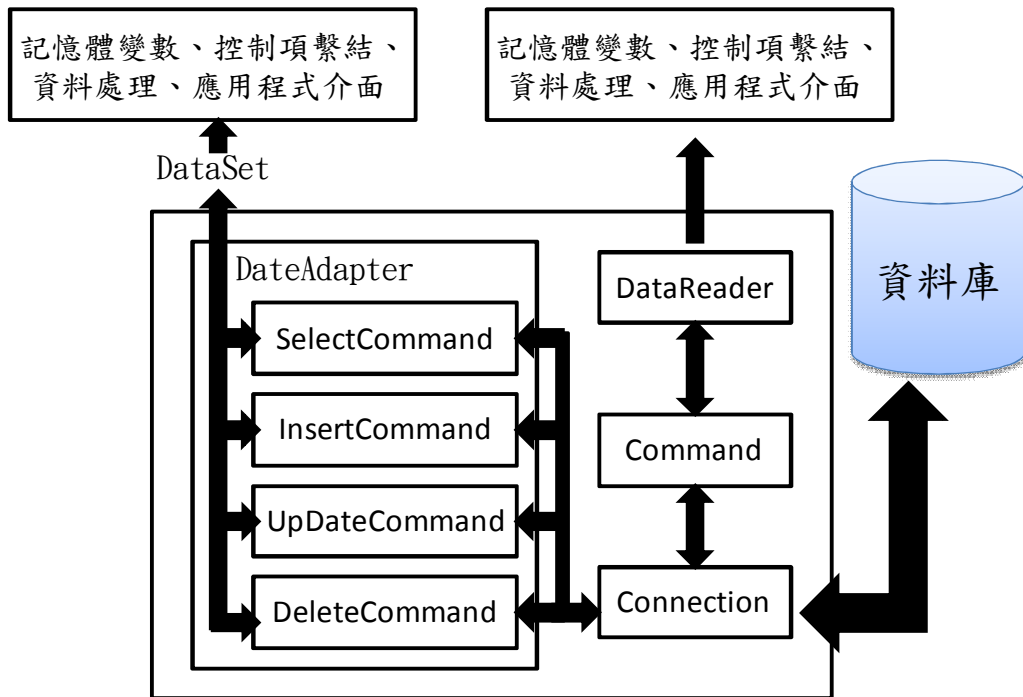


圖 4-22 .NetFrameworkk Data Provider 物件架構  
(資料來源：曹祖聖等人，Visual C#2008 程式設計經典，2009)



圖 4-23 員工資料設定介面

### 4.3.5 系統設定

在系統設定功能選單中，可讓使用者更改登入密碼，如圖 4-24，與座標設定之選項，為配合人員定位與路線追蹤系統所劃定之座標間隔，在本系統運作前，需先進行座標設定，如圖 4-25，將座標設定為與人員定位與路線追蹤系統座標間隔相同尺寸。使用者可透過滑鼠拖曳劃定一塊座標尺寸，該尺寸即為座標設定尺寸之定義寬與高，如圖 2-26，系統即依該尺寸劃定所有座標間隔，如圖 4-27，並以影像座標系統（image coordinate），為各座標間隔劃定座標區塊，如圖 4-28。



圖 4-24 更改密碼介面



圖 4-25 座標設定介面（一）

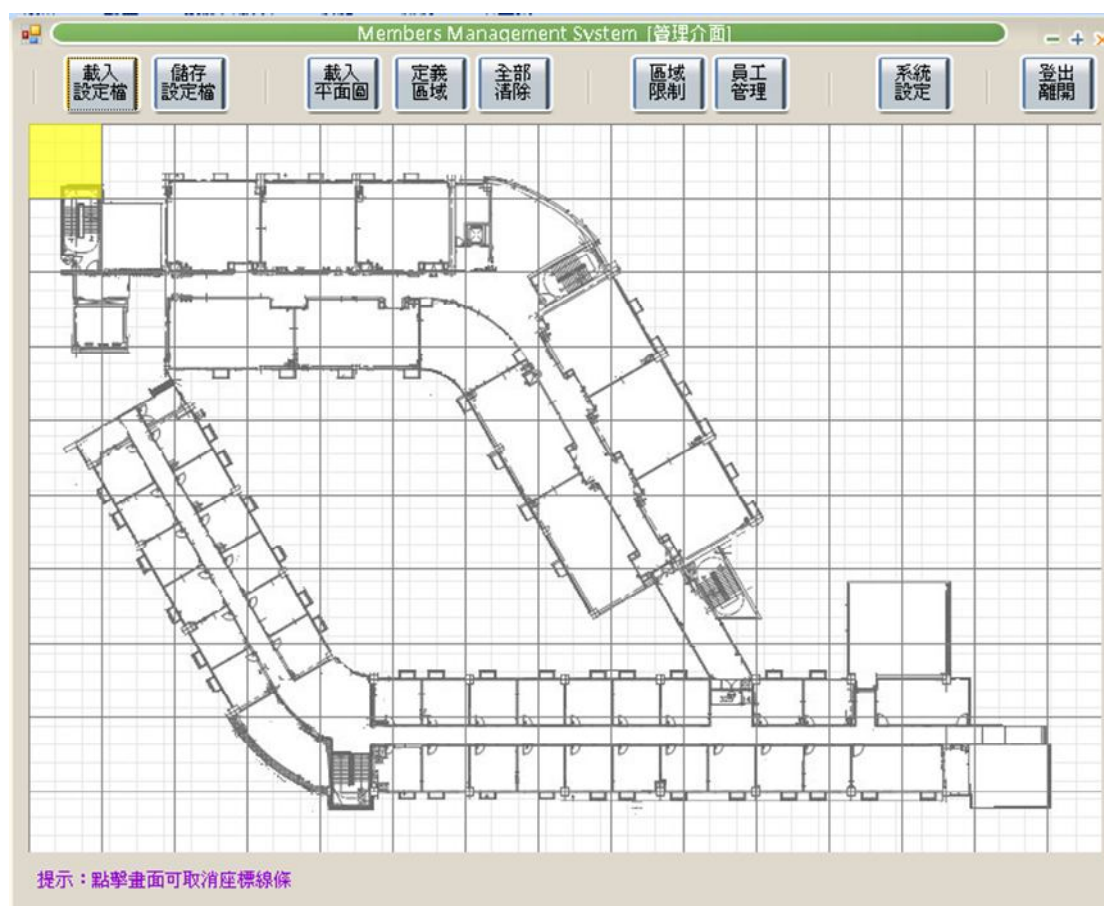


圖 4-26 座標設定介面（二）

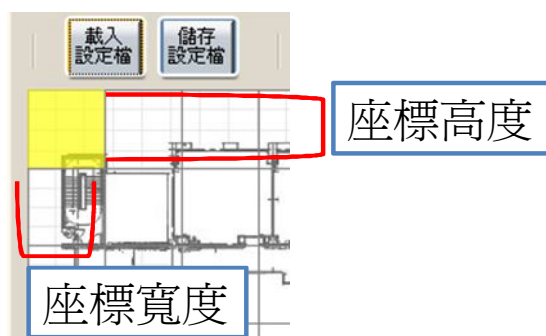


圖 4-27 座標寬高定義



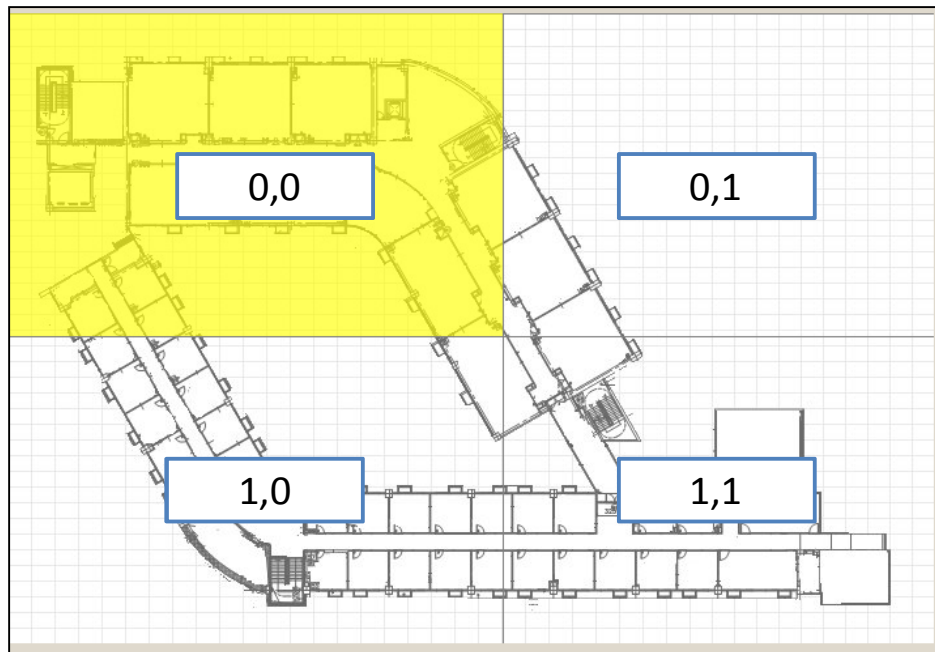


圖 4-28 座標間隔劃定範例

#### 4.4 最佳路徑工具

當使用者載入圖資後，設計於系統主畫面之功能規劃選單中，可進行路徑之設定，如圖 4-29，使用者將可於圖面上任何非障礙之地點設定起點與終點，設定完成後將此兩目標點透過 A\*最佳路徑演算法，配合網格數值中之障礙係數做為尋路權重，藉以規劃出一條最少障礙係數之路徑，其最佳路徑運作流程如圖 4-30 所示，規劃結果畫面如圖 4-31 所示。



圖 4-29 路徑設定介面

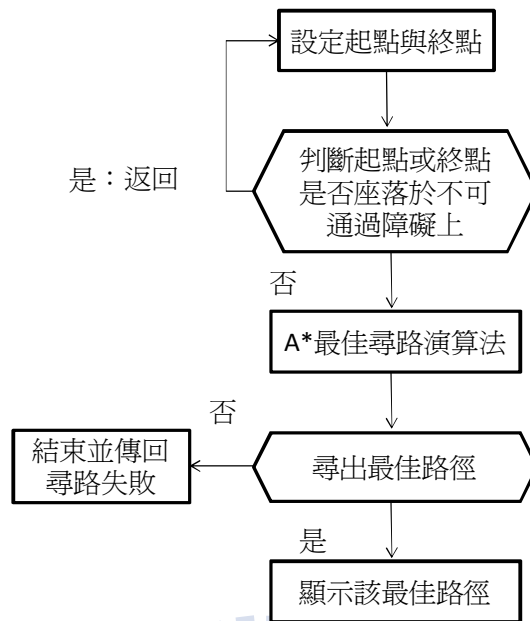


圖 4-30 最佳路徑運作流程圖



圖 4-31 路徑規劃結果畫面



## 4.5 歷史軌跡圖

使用者完成最佳路徑之設定後，可通過本系統於主畫面之功能規劃選單，點選路徑資訊，如圖 4-32，將會彈跳出該最佳路徑之詳細資訊，包括此最佳路徑之長度，在此長度用螢幕像素 (pixel) 為單位長，與該空間中總移動數量，與行經此路線相關之人數，並將其員工資料與日期列表，如圖 4-33，使用者可點選欲觀看之人員，並點擊觀看路線之按鈕，呼叫人員歷史動線軌跡圖，如圖 4-34，利用視覺化技巧中不定量隨機色彩表示法，將人員移動紀錄點彼此相連，繪出該人員之移動軌跡圖，提供管理人員對於空間動線或設施規劃之參考。不定量隨機色彩表示法，為數據視覺化常用之技巧，利用顯示圖形色彩隨機產生，其表示數量可當做無限多之特性，以用於解決欲視覺化數據依條件不同而數量不定之方法。

路徑資訊之相關路徑之法則設定如下，以天與 Tag ID 為單位，計算人員定位資料中各別人員之移動軌跡，為總移動數量，以該移動數量為判定次數，分別進行路線比對，當比對路線有行經規劃路徑之起點與終點時，判定該條路線為相關路線，並將該路線資訊列在此視窗下方 checkedListBox 元件中，其相關路徑判斷之虛擬碼如表 4-9 示。



圖 4-32 路徑資訊選單介面

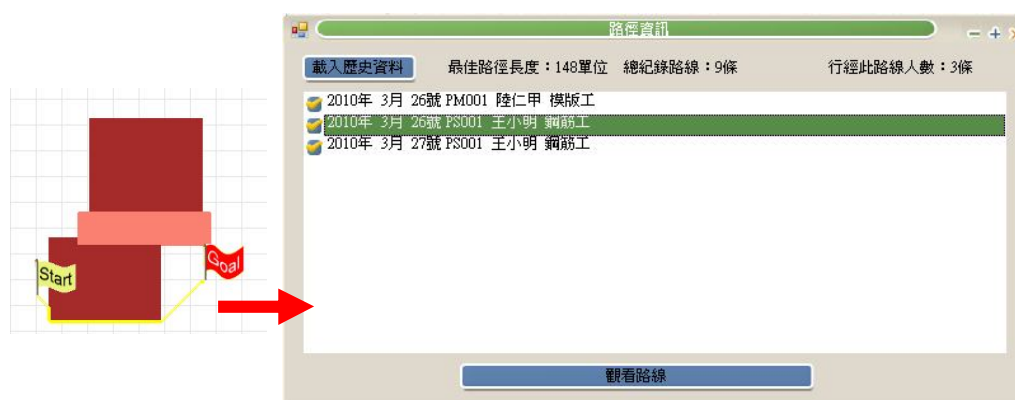


圖 4-33 路徑資料示意圖

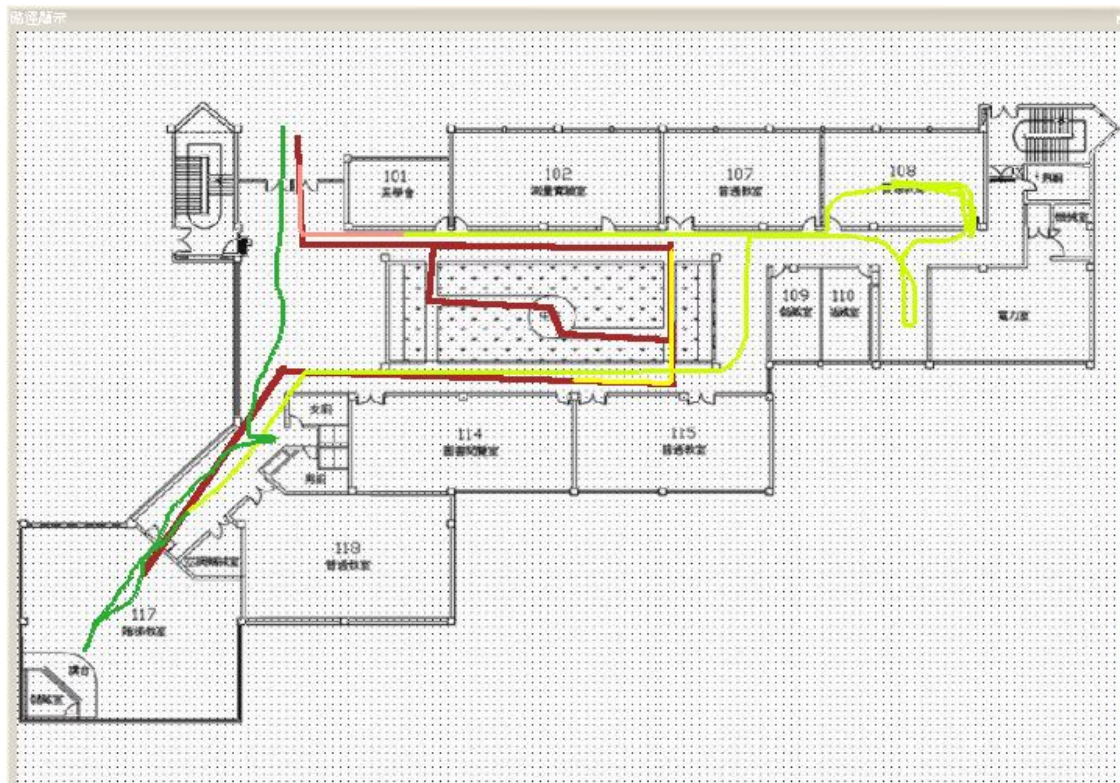


圖 4-34 人員動線歷史軌跡圖

```
private void RelatedRoute()//路徑相關判斷函式
{
    int lines = 1;           //宣告總行經人數變數

    int rL = 0;             //宣告相關路徑數量變數

    bool mS = false;        //宣告布林變數，以判斷路徑是否與起點相關
    bool mE = false;        //宣告布林變數，以判斷路徑是否與終點相關

    for (int i = 1; i < 人員定位資料筆數; i++)
    {
        if(以Tag編號、紀錄資料年.月.日做辨別條件)
        {
            //若上述條件不符合，判定為不同條路線
            lines++;          //總路徑紀錄數量，增加1條

            mS = false;      //將路徑起終點設為不相關
            mE = false;

        }

        if (mS && mE) continue; //若已判定此路徑為相關路徑，
                                //則略過以下判定，繼續判定下一筆資料
    }
}
```

```

//線條經過路徑規劃之起點25*25範圍
if (Math.Abs(當時所在X座標- 起點X座標) < 25像素 &&
    Math.Abs(當時所在Y座標- 起點Y座標) < 25像素)
    mS = true; //判定起點相關

//線條經過路徑規劃之終點25*25範圍
if (Math.Abs(當時所在X座標- 終點X座標) < 25像素 &&
    Math.Abs(當時所在Y座標- 終點Y座標) < 25像素)
    mE = true; //判定終點相關

//當線條與起、終點都相關時
if (mS && mE)
{
    rL++; //相關路徑紀錄數量，增加1條
    //列出路線資訊於checkedListBox元件中
    checkedListBox1.Items.Add(此線條紀錄人員之資料與時間);
}
}
}

```

表 4-9 相關路徑判定虛擬碼



## 4.6 人員移動資料動畫

由於人員定位與路線追蹤系統所傳回之資料為一連串座標與時間之文字紀錄，為方便讓管理人員理解，系統設計使用物件導向技術，宣告成員類別（Class），該類別中擁有 TagID、員工姓名、員工負則工種與移動軌跡陣列表（Array List）等屬性，如表 4-10 以將一連串座標與時間之文字做為圖型達成視覺化效果（如圖 4-35）。本模組視覺化設計規則為：

- 使用圖形位置變動配合時間軸表示人員行為
- 使用不同顏色圖示分類不同工種於空間中之移動，如圖 4-36
- 使用者點擊圖示可觀看該人員之資訊

透過時間軸之撥放，可顯示人員之活動行為，人員之圖示顏色可區分工種，利用視覺化技術讓管理人員更容易理解與判斷人員行為模式。

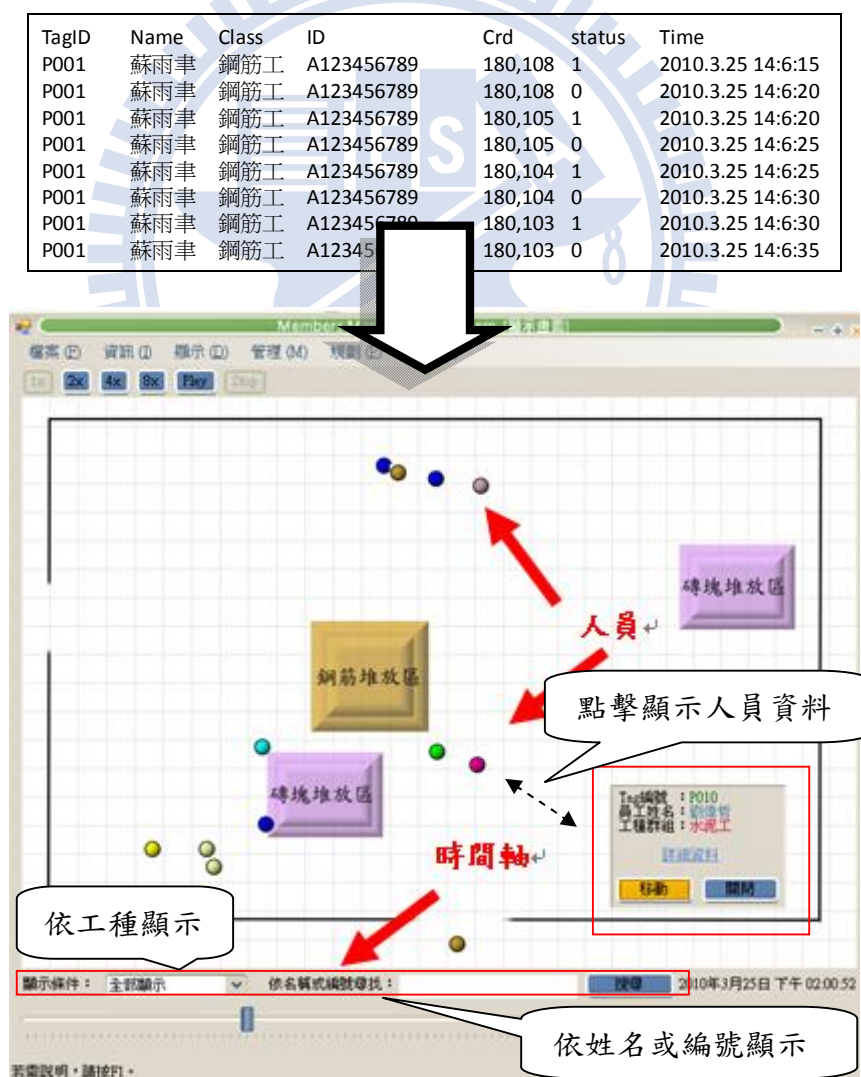


圖 4-35 人員位置原始資料視覺化示意圖



```
//成員CLASS
public class members
{
    public string tid;        //員工Tag ID
    public string m_name;     //員工姓名
    public string m_class;    //員工工種

    public class locations    //定位資訊類別
    {
        public DateTime times; //定位時間
        public int loX;        //所在X座標
        public int loY;        //所在Y座標
        public bool m_status;  //該座標進出狀況
    }

    public locations locInfo; //產生定位資訊物件
    public ArrayList loc_List = new ArrayList(); //移動軌跡陣列表
}

public ArrayList allmembers = new ArrayList(); //所有人員物件陣列表
```

表 4-10 工類別物件程式碼

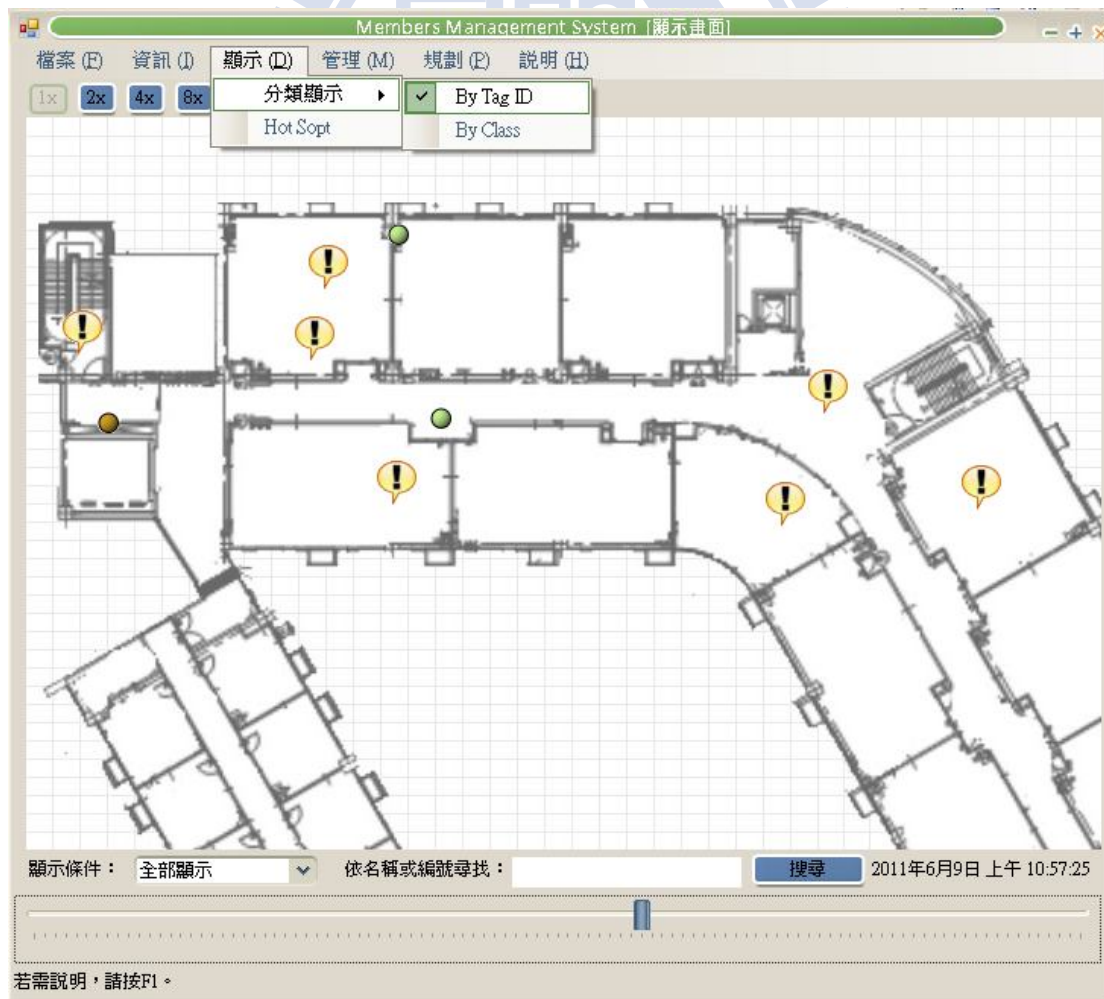


圖 4-36 人員移動資料動畫分類顯示介面

完成人員物件產生於畫面後，透過座標轉換公式，將影像座標系統之定位為物件之產生點，即該座標隔間最左上角，但透過螢幕顯示，一般視覺表示希望物件在座標隔間水平與垂直置中處，故透過座標轉換公式將人員物件顯示至座標隔間中心，如圖 4-37。

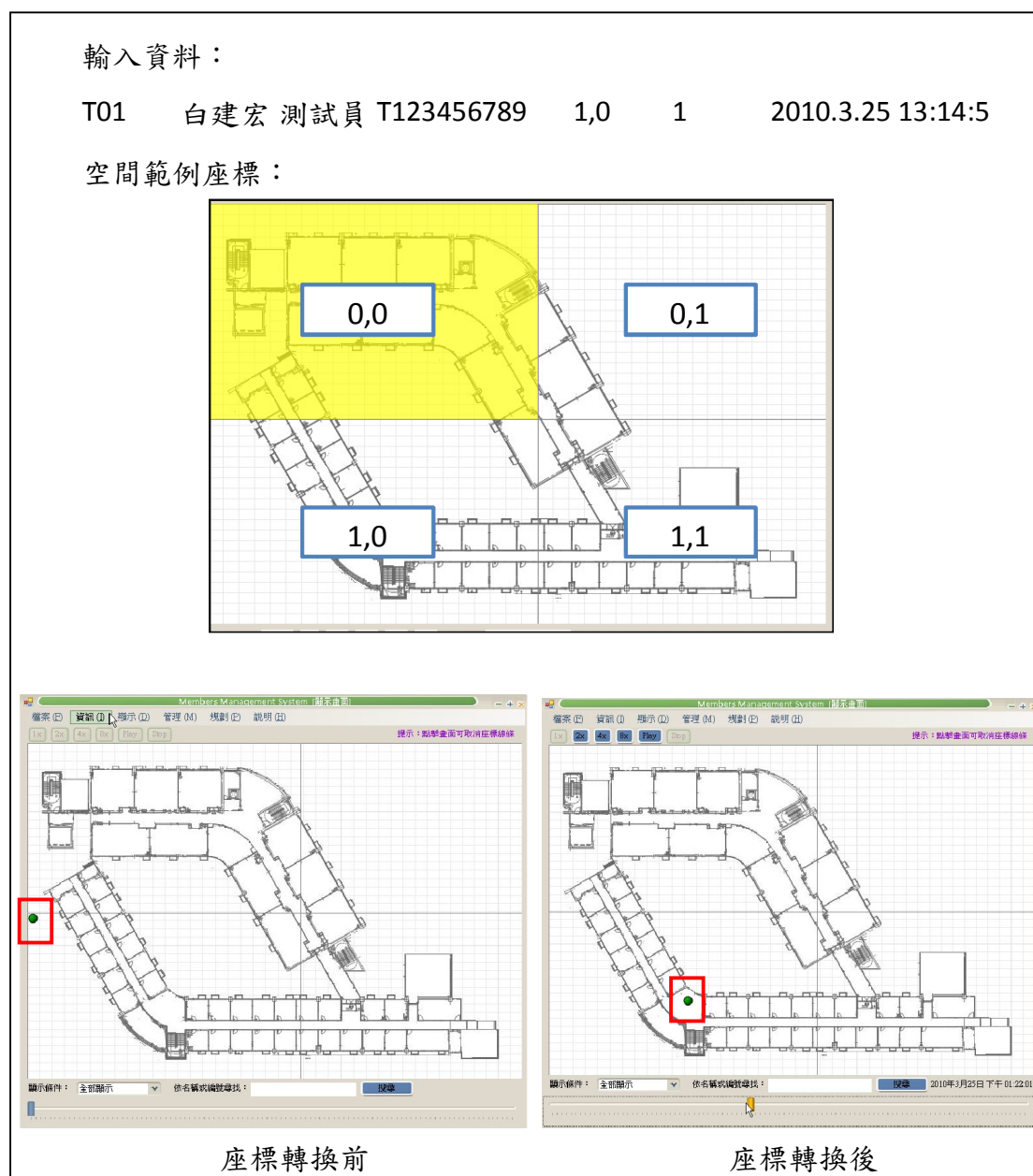


圖 4-37 座標轉換前後比較圖



## 4.7 空間流量累積圖

為使管理者能瀏覽空間中人員流動量，本研究使用 HotSopt 概念，將空間等量劃分區域，依據人員定位資料之定位結果，劃分之每區域當有人員經過，便增加該區域之流量值，最後依每區段之流量值，顯示不同顏色深淺表示之，該顏色深淺預設值設計規則是參考並修改自中央氣象局之累積雨量圖之顏色設計規則，以淺色為低流量，深色為高流量做區別，其空間流量累積圖設計完成之畫面如圖 4-38 所示，由於此系統希望能套用於各種不同施工案例上，而每個施工案例之施工規模大小不依，無法以施工人數做為區塊深淺之依據，故採用行經人數百分比之方式做為顏色深淺之參考，使用者可自行定義人數流量百分比之數值，與點擊色塊進行顏色定義，如圖 4-39 與圖 4-40，依不同工地需求，適當顯示人員中高低流量表示色彩，以提高流量圖之鑑別度。

透過使用者自行定義色彩提高圖形鑑別度外，使用者可自行定義顯示條件，如施工工種、個別員工之流量或某時間區段之流量，並可設定網格大小，當網格越小顯示越精緻，但相對系統讀取時間會較長，網格越大則反之。系統開啟時自有網格大小與百分比設定之預設值，此預設值是經由不斷反覆測試，建議畫面顯示鑑別度最高之設定。

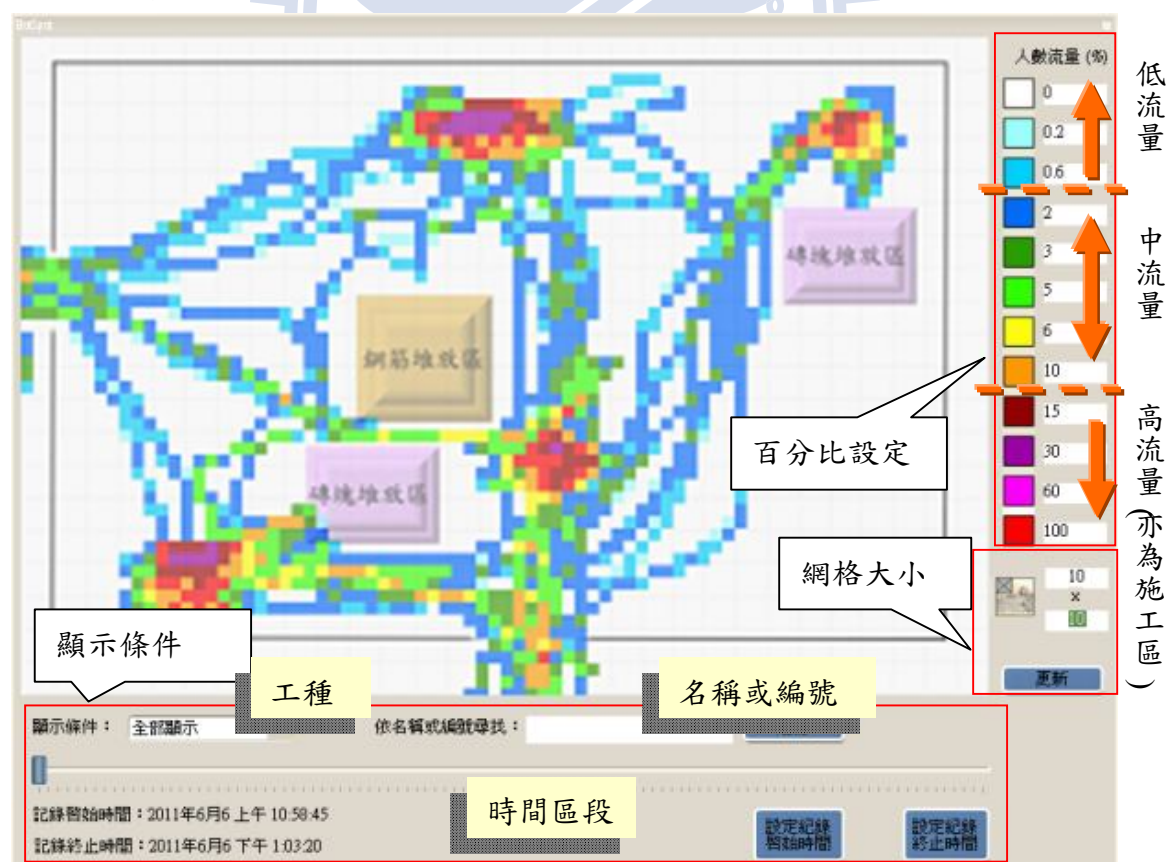


圖 4-38 空間流量圖介面

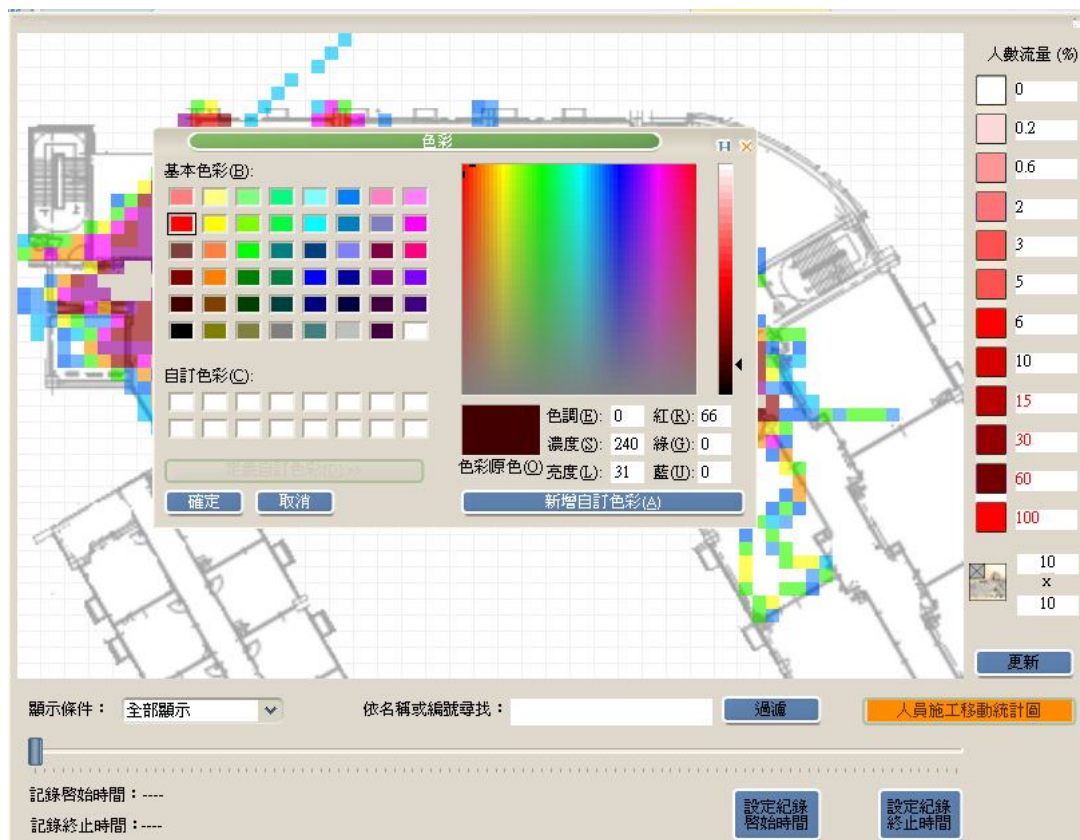


圖 4-39 色塊變更介面

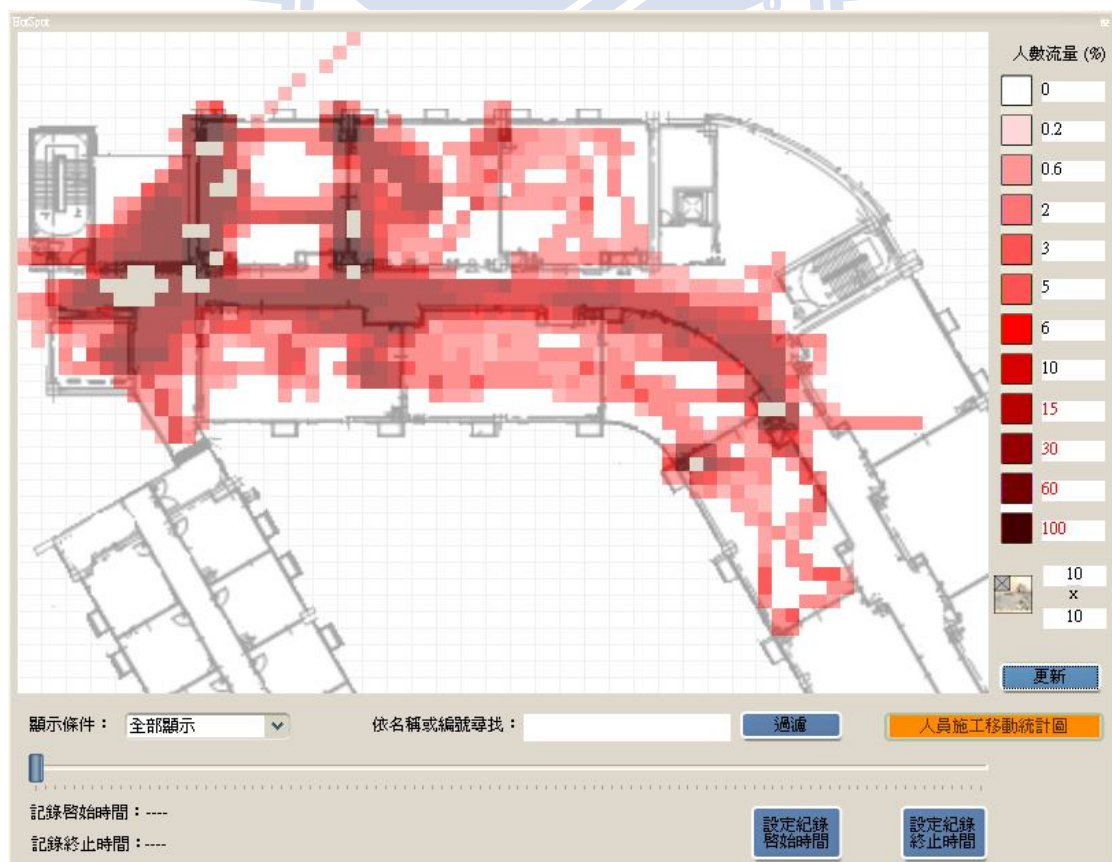


圖 4-40 色塊變更之累積圖

本空間流量圖建置方法是利用.Net Framework 中 Class Library 中 Windows.Form 命名空間之 Label 類別，依各網格大小所累計之流量，顯示該網格流量所對應之顏色，C#設計之虛擬程式碼如表 4-11

```

int HotSpot寬 = Convert.ToInt32(網格大小欄位1.Text);
int HotSpot高= Convert.ToInt32(網格大小欄位2.Text);

for (int j = 0; j < 施工平面圖高; j += hsh)
{
    for (int i = 0; i < 施工平面圖寬; i += hsw)
    {
        Label hs = new Label();           //產生新Label物件
        hs.Name = "hs" + i + j;           //將此Label取名
        hs.Width = HotSpot寬;              //此Label寬相當於HotSpot寬
        hs.Height = HotSpot高;             //此Label高相當於HotSpot高
        hs.Left = i;                       //此Label顯示之X座標
        hs.Top = j;                        //此Label顯示之Y座標

        int total = 0;                    //宣告total變數，計算總人數

        //計算該HotSpot網格中之總流量
        for (int k = i; k < i + HotSpot寬; k++)
            for (int h = j; h < j + HotSpot高- 1; h++)
            {
                if (k >= 施工平面圖寬) break;
                if (h >= 施工平面圖高) break;
                total += FlowArray[k, h];
            }

        //依流量百分比公式求出此HotSpot網格中之流量百分比
        double flow = (total / Convert.ToDouble(FlowArray.GetUpperBound(0))) * 100;
        //依此HotSpot網格數值，對應相符色塊之RGB顏色，其中165為透明度
        if (flow <= 顏色欄位1之值)
            hs.BackColor = Color.FromArgb(165, 色塊1R值, 色塊1G值, 色塊1B值);

        else if (flow <= 顏色欄位2之值)
            hs.BackColor = Color.FromArgb(165, 色塊2R值, 色塊2G值, 色塊2B值);

        else if (flow <= 顏色欄位3之值)
            hs.BackColor = Color.FromArgb(165, 色塊3R值, 色塊3G值, 色塊3B值);

        else if ...
        :
        :
        else if (flow >= 顏色欄位12之值)
            hs.BackColor = Color.FromArgb(165, 色塊12R值, 色塊12G值, 色塊12B值);

        this.pictureBox.Controls.Add(hs);
    }
}

```

表 4-11 空間流量累計圖虛擬碼

## 4.8 員工出\退工統計圖

為讓管理人員了解員工於工地出\退工狀況，本系統在員工詳細資料中使用 X-Y 座標圖描述人員定位資料中之最早出現於施工工地時間與最末筆紀錄到之時間，表示人員出\退工記錄，設計 X 軸表示日期，Y 軸表示時間（如圖 4-41），設計出勤統計、退勤統計與出勤時數等資訊圖表，其各統計方式如下所述：

出勤統計：載入 N 日歷史資料檔→尋找每日最早時間→顯示於 X-Y 圖

退勤統計：載入 N 日歷史資料檔→尋找每日最晚時間→顯示於 X-Y 圖

出勤時數：載入 N 日歷史資料檔→計算每日最晚 - 最早時間→顯示

為讓管理人員更瞭解 X-Y 座標圖中節點之日期與時間，使用者透過滑鼠點擊節點即會跳出訊息視窗顯示該節點之詳細資料，如圖 4-42。



圖 4-41 員工出\退工統計圖表示方法



圖 4-42 員工出\退工統計圖節點詳細資料



## 4.9 區域限制管理機制

在施工工地中有許多人員進出需受管制之空間，如出入口監控點、材料擺放區、高危險施工區、放置貴重儀器區…等，管理者透過本系統之圖資設定工具設定管制空間區域與設定管制名單，並輸出成圖資設定檔，並利用圖資設定工具中設定員工資料，儲存於資料庫內，本系統之區域限制管理機制透過讀取圖資設定檔、人員定位資料與資料庫之員工資料，如圖 4-43，進行運行人員進出空間管制規則判定，當人員進入區域管制空間時，比對圖資設定檔中之限制名單，若相符則列出所有進出管制空間之員工名單，如圖 4-44。

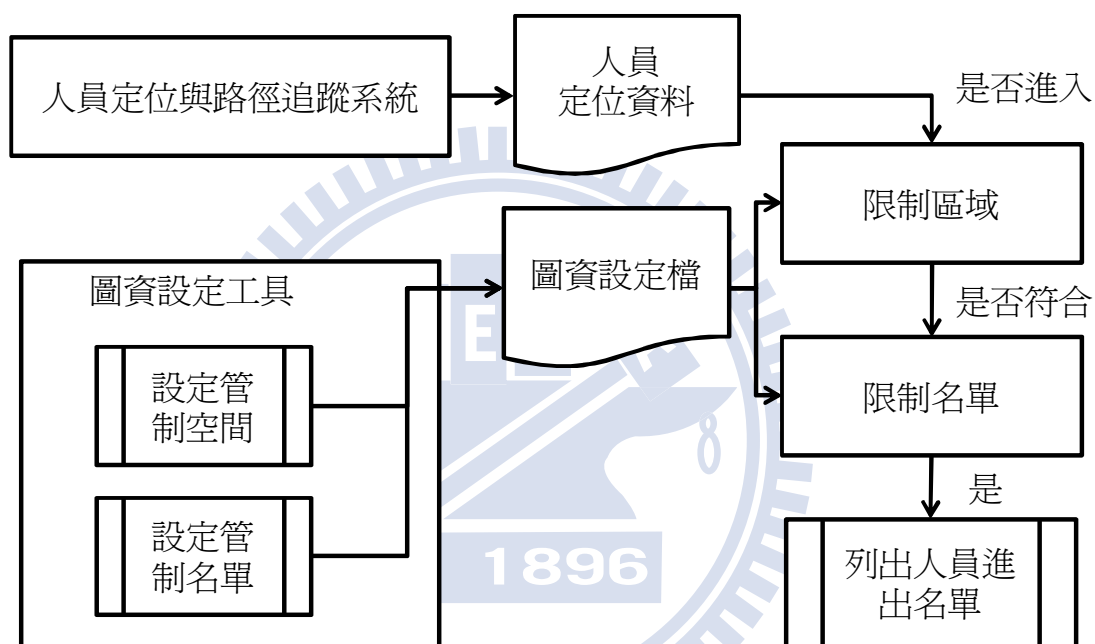


圖 4-43 區域限制管理機制流程



圖 4-44 管制空間進入名單

## 4.10 人員區位圖

由於先前已有流量累計圖、障礙區域，並可透過工種與時間篩選出想觀察之時段，綜合以上資訊，將其畫製為人員區位圖，如圖 4-45，透過流量累積圖之高流量區塊，計算該工種之施工區，配合人員定位資料與圖資設定檔，正規化顯示時間以橫向做為時間軸，顯示其人員於限制區之時間、移動之時間與處於施工區之時間，分成三區塊，在各時間點座落於何區塊間，並將其記錄連成折線圖，並讓使用者能透過滑鼠移經紅色線條顯示該圖線段之詳細時間點，圖 4-46 為其區位折線圖。



圖 4-45 人員區位圖

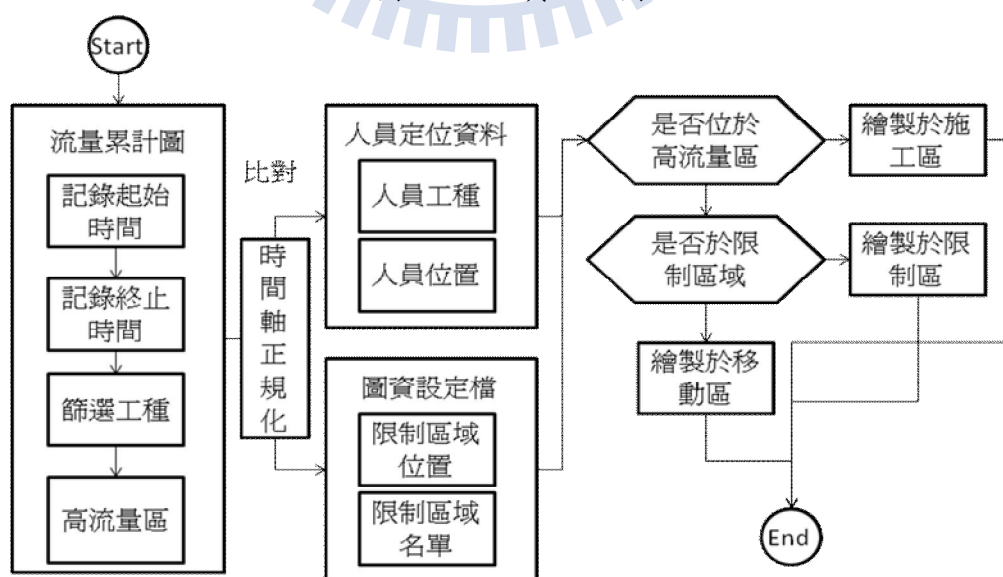


圖 4-45 人員區位圖設計流程



## 第五章 實例應用

本章節依照第四章之系統建置，建置工地施工人員動線評估系統之視窗程式，以模擬交通大學基礎大樓興建工程之人員定位紀錄數據，做為系統實作展現，包含管理人員各項圖資輸入、管制名單輸入，及使用此系統做人員動線改善之分析，並分別說明操作介面。本假設案例交通大學基礎大樓興建工程各項基本資訊之所紀錄施工天數為 2011 年 6 月 6 日至 2011 年 6 月 12 日共 6 天工作天，施工階段為大樓一樓模版工程、鋼筋工程與水電工程，共有 60 位施工人員，其中包括 25 位鋼筋工、20 位模版工、10 位水電工、5 位小工，如表 5-1：

項目	詳細資訊
施工天數	6 天工作天：2011 年 6 月 6 日至 2011 年 6 月 12 日
施工階段	北側大樓一樓模版工程、鋼筋工程與水電工程
施工人員	鋼筋工：25 人 模版工：20 人 水電工：10 人 小工：5 人 共計：60 人

表 5-1 交通大學基礎大樓興建工程假設案例各項基本資訊

## 5.1 空間圖資建立

使用者如具有管理人員之權限，可透過主畫面之管理選單，透過正確的帳號與密碼，進行管理員登入之功能，即可進入圖資設定工具之畫面，本章節以實做交通大學基礎大樓興建工程北側大樓一樓興建工程為例，載入工地平面圖後，如圖 5-1，透過區域定義、員工資料輸入、區域限制名單等工具建立該施工空間之圖資。

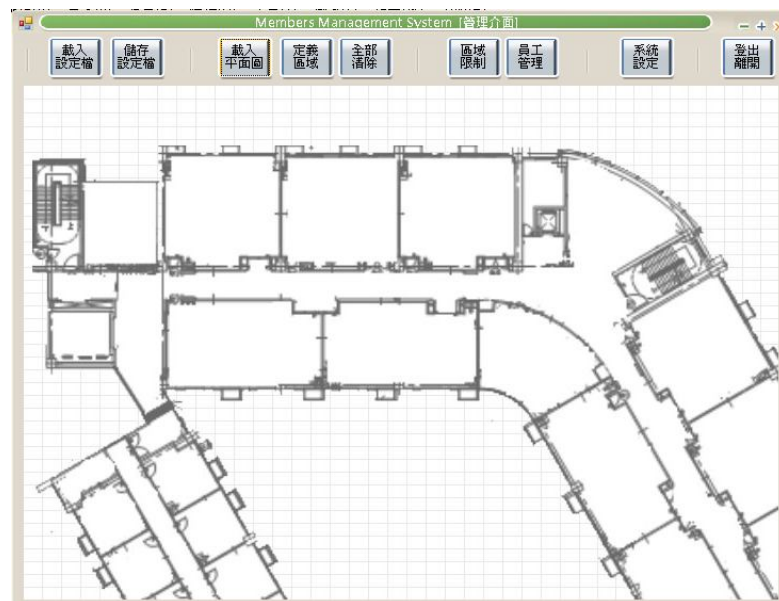


圖 5-1 交通大學基礎大樓興建工程北側大樓一樓平面圖載入

### 5.1.1 區域定義

區域定義之圖資設定工具提供使用者定義施工平面圖中各類型障礙與受管制之空間，本案例以組立完成之模版與鋼筋位置設定為不可通行之障礙，如圖 5-2；鋼筋材料堆放區、模板材料堆放區，設定為可通過之障礙，因通行危險與困難度較高，將障礙係數設定為 7，如圖 5-3；水電工具堆放區，設定為可通過之障礙，因水電工具較容易跨越，將障礙係數設定為 2。管制區域之部份，設定為工地各出入口處，如圖 5-4，以提供方便紀錄人員進出之資訊，並將各工種材料堆放區設定為管制區域，至於人員限制規則將於 4.1.3 區域限制名單中說明，其設定完成之圖面如圖 5-5。

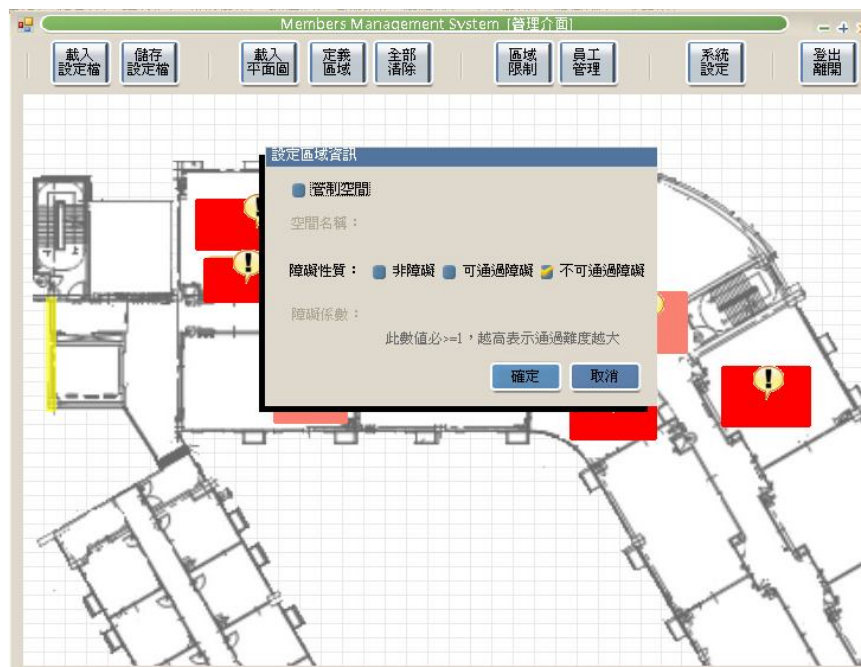


圖 5-2 不可通過障礙之設定



圖 5-3 可通過障礙之設定



圖 5-4 管制區域之設定

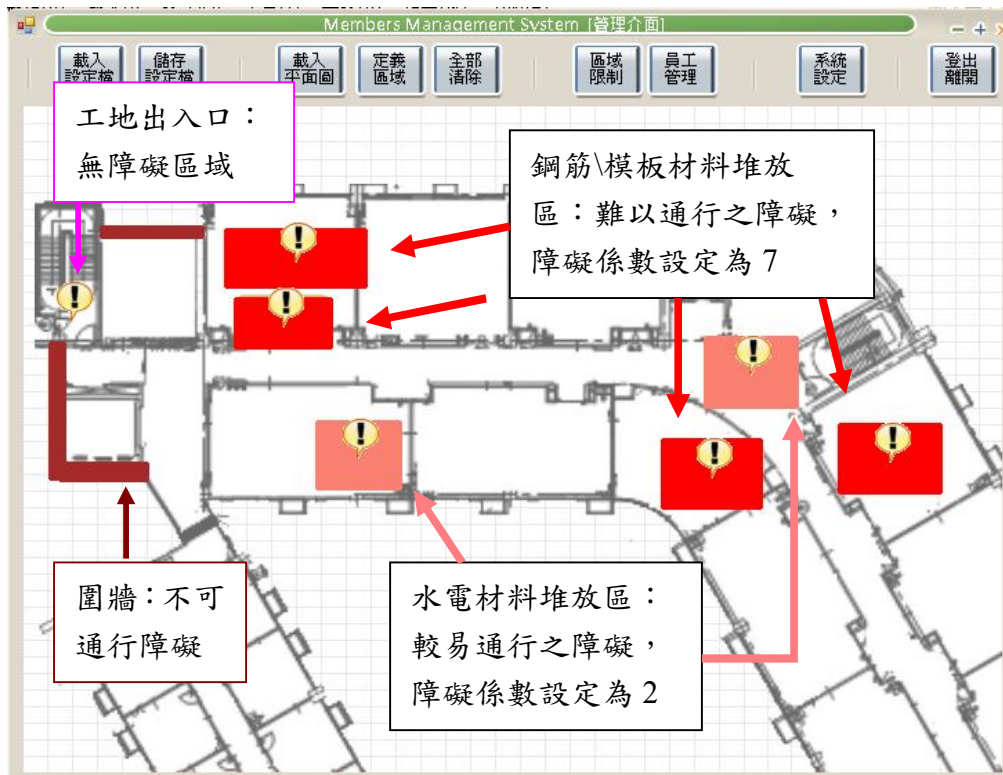


圖 5-5 區域設定完成圖



## 5.1.2 員工資料輸入

本案例以鋼筋工程與水電工程為施工模擬階段，共有 60 位施工人員，其中包括 25 位鋼筋工、20 位模版工、10 位水電工、5 位小工，使用者透過系統圖資工具之員工管理，透過與資料庫連結後輸入員工資料，在此案例中所有人員姓名、身份證字號與電話皆為程式亂數隨機排列而成，其完成之資料輸入如圖 5-6。



The screenshot displays the '員工管理' (Employee Management) window. It contains two data tables. The top table has columns for Tag 編號, 員工姓名, 工種資料, 電話, 其它記錄資料, and 新資料庫. The bottom table has columns for tid, m\_name, m\_class, m\_phone, m\_other, and m\_photo. Red boxes are drawn around the data columns of both tables.

Tag 編號	員工姓名	工種資料	電話	其它記錄資料	新資料庫
P003	王小明	鋼筋工	0912543210	擁有工安乙級證...	2.jpg
P004	李大華	鋼筋工	0933123456	擁有急救證照	unknow.jpg
P002	陸仁甲	鋼筋工	0922123321	曾製作過財務報...	1.jpg
P001	蘇雨聿	鋼筋工	0912111111	擁有工安乙級證...	2.jpg
P005	黃兆士	鋼筋工	0945121487		unknow.jpg
P006	蔡裕仁	鋼筋工	0954687155		unknow.jpg
P007	趙岳文	鋼筋工	0961548723	會電腦文書處理	unknow.jpg
P008	陳威正	鋼筋工	0955678412		unknow.jpg

tid	m_name	m_class	m_phone	m_other	m_photo
P054	劉文傑	水電工	0916487463		unknow.jpg
P055	謝孟安	水電工	0912148744		unknow.jpg
P056	黃志嘉	小工	0946412344		unknow.jpg
P057	馮威德	小工	0916548784		unknow.jpg
P058	陳志成	小工	0946512313		unknow.jpg
P059	黃彥旭	小工	0946546644		unknow.jpg
P060	林尚奇	小工	0945646544		unknow.jpg

圖 5-6 員工資料輸入畫面



### 5.1.3 區域限制名單

區域限制名單之功能，為紀錄空間中已設定之區域，被限制人員進出之紀錄，於本案例中共有七塊區域，分別為兩塊鋼筋材料堆放區、兩塊模板材料多放區、兩塊水電材料堆放區、一塊出入口區，如圖 5-7。在本案例之限制規則為非材料區之施工工種皆為限制之對象，如鋼筋材料堆放區限制對象為鋼筋工以外之所有工種，如圖 5-8。



圖 5-7 區域設定之畫面（一）

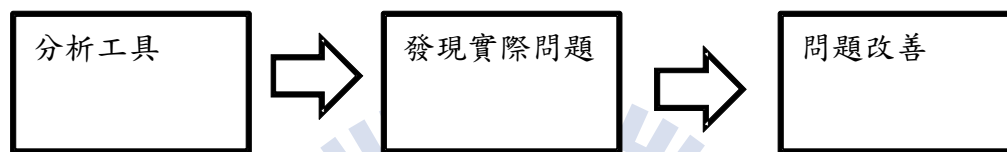


圖 5-8 區域設定之畫面（二）

## 5.2 案例分析

本章節以本系統之分析工具，包括空間流量累積圖、系統建議最佳路徑、歷史軌跡圖、員工歷史移動資料動畫、員工出\退工統計圖與區域限制管理機制，針對交通大學基礎大樓興建工程北側大樓一樓興建工程進行案例，本研究目前分析方式共有兩類，第一類為管理人員透過系統顯示之圖面，找出實際工地潛在之問題，並藉以改善；第二類為管理人員實際施工時遇到狀況，透過系統顯示之圖面，以解決狀況，如圖 5-9。

### 第一類分析方式



### 第二類分析方式

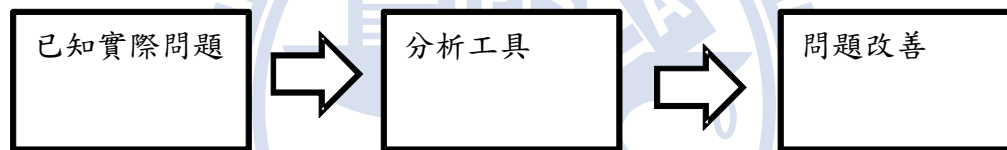


圖 5-9 案例分析方式

## 5.2.1 擁擠通道分析

透過空間流量累積圖之分析工具，依所有員工、施工時間之條件檢視工地累積流量圖，透過圖面顏色深淺之顯示，所得圖面中顏色過深之通道為整體流量過大，可能造成該通道空間過於擁擠，易引起施工人員移動上之困擾，如圖 5-10，管理人員透過圖面之問題，推斷實際問題後，進行工地改善之動作，如在規劃材料放置區時，需盡可能避開擁擠之通道，以維持擁擠通道之通暢度，整體分析重點整理如表 5-2。

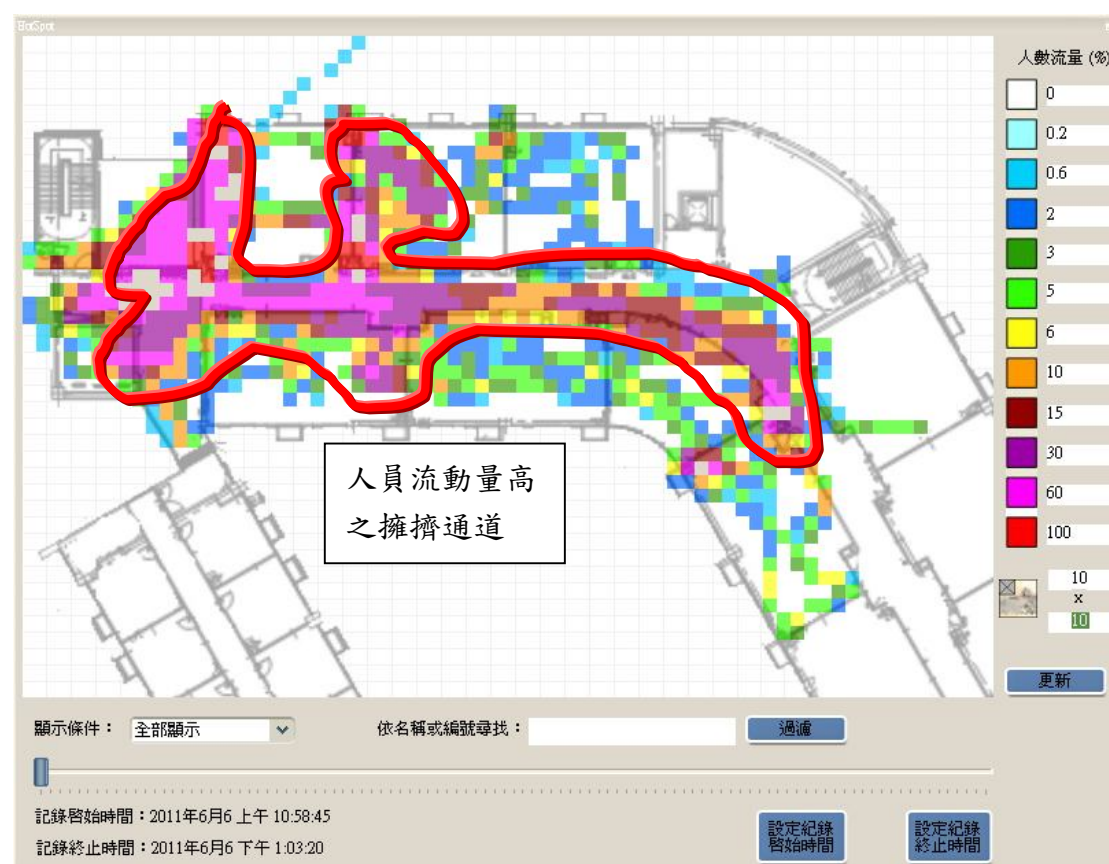


圖 5-10 空間流量累積圖-擁擠通道分析

擁擠通道分析	
分析方式	第一類分析方式
分析工具	空間流量累積圖
分析條件	所有員工、施工時間
問題所在	圖面中部份通道流量過大，易造成施工人員移動上之困擾
改善方法	重新規劃材料堆放區，盡可能維持過於擁擠通道之通暢

表 5-2 擁擠通道分析重點整理

### 5.2.2 施工區衝突分析

透過空間流量累積圖之分析工具，依不同工種、各時段施工時間之條件分別檢視各時段與各別工種之工地累積流量圖，管理人員透過定義時間軸兩端，設定觀察時間區段與下拉式選單選擇各別工種，透過比較各圖面顏色深淺之顯示，可發現在圖 5-11 與圖 5-12，水電工與鋼筋工在施作路徑上有衝突之現象，鋼筋工在材料堆放區與柱鋼筋綁紮之移動過程會行經水電工配線之工區，可能造成水電工施工上之困擾，管理人員透過圖面之問題，推斷實際問題後，進行工地改善之動作，如指示鋼筋工行經路線繞過水電工之工作區或立告示牌要求鋼筋工避開水電工之工作區域，以解決施工區衝突之問題，整體分析重點整理如表 5-3。

施工區衝突分析	
分析方式	第一類分析方式
分析工具	空間流量累積圖
分析條件	不同工種、各時段施工時間
問題所在	在特定時間點，兩工種施工動線相互衝突干擾
改善方法	指示相互衝突之工種避開衝突區

表 5-3 施工區衝突分析重點整理

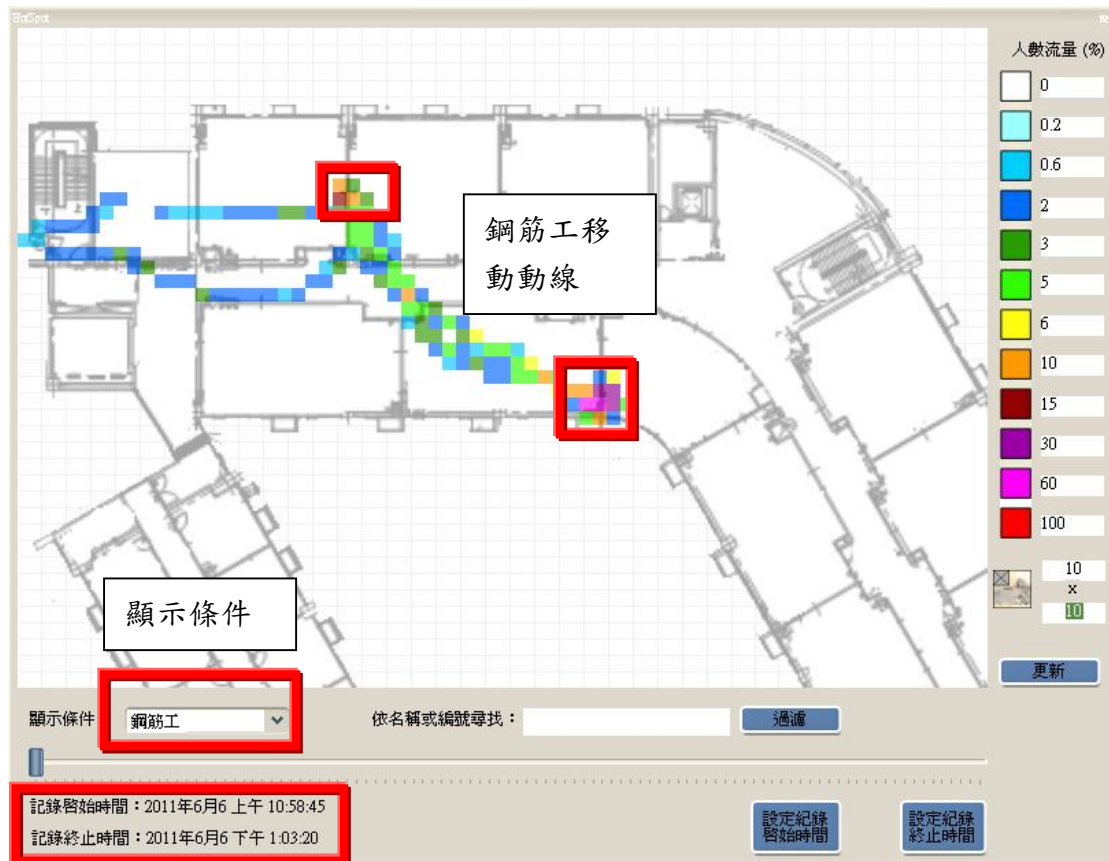


圖 5-11 施工區衝突分析-鋼筋工施工區



圖 5-12 施工區衝突分析-水電工施工區



### 5.2.3 不良動線分析

透過空間流量累積圖、系統建議之最佳路徑、歷史軌跡圖等分析工具，依空間流量累積圖流量較大之兩點，如圖 5-13，設定為最佳路徑尋路之起、終點，所搜尋出之最佳路徑，如圖 5-14 與圖 5-15，透過路徑資訊資料，可得知行經此路徑之人員，如圖 5-16，比對人員歷史軌跡圖，如圖 5-17，觀察是否有不符之處，可看出系統建議最佳路徑與歷史軌跡圖有所不符，可發現為了區別模板材料與鋼材材料放置區之間隙，不少施工人員為了求快，而有了直接穿躍之行為，若員工穿越材料區造成材料崩落，造成員工受傷等隱藏著潛在安全問題，管理人員透過圖面之問題，推斷實際問題後，進行工地改善之動作，在材料區別之間隙可用立禁行通過之告示牌，或指示施工人員勿穿越此區域，整體分析重點整理如表 5-4。

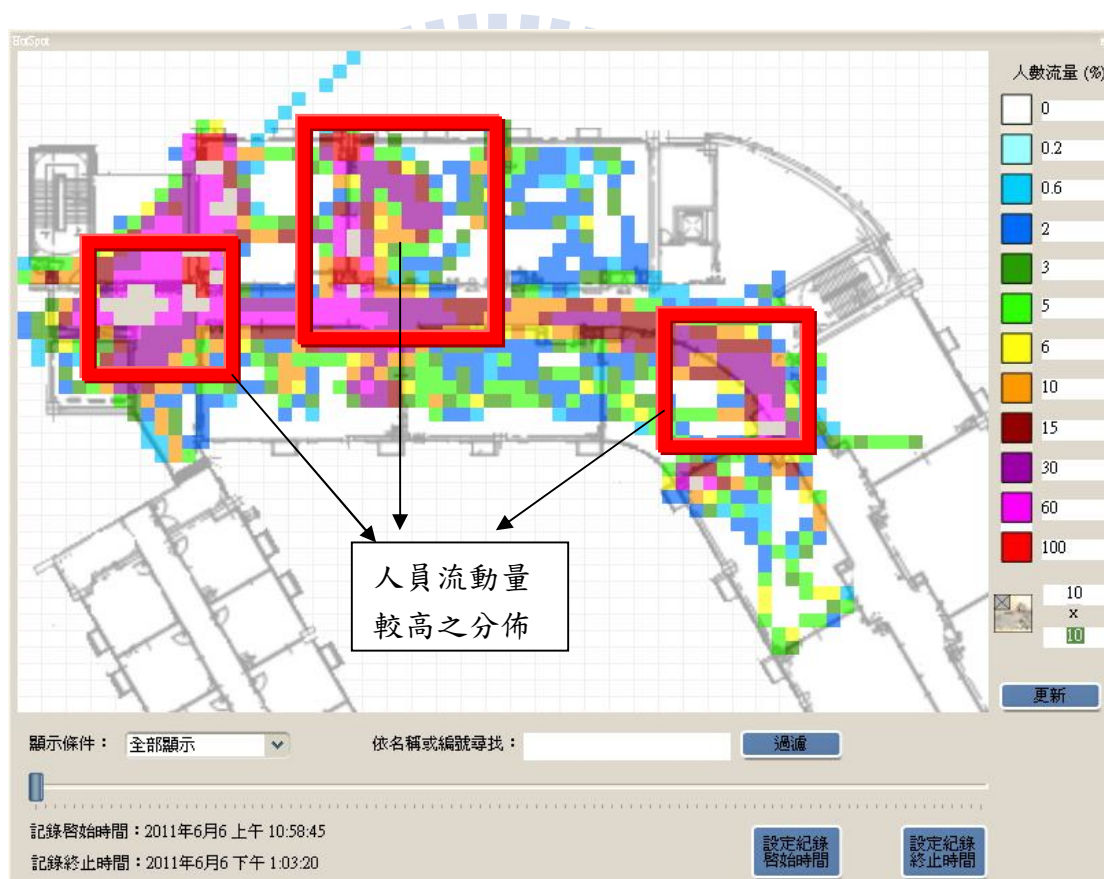


圖 5-13 不良動線分析-空間流量圖





圖 5-14 不良動線分析-系統建議最佳路徑 (1)

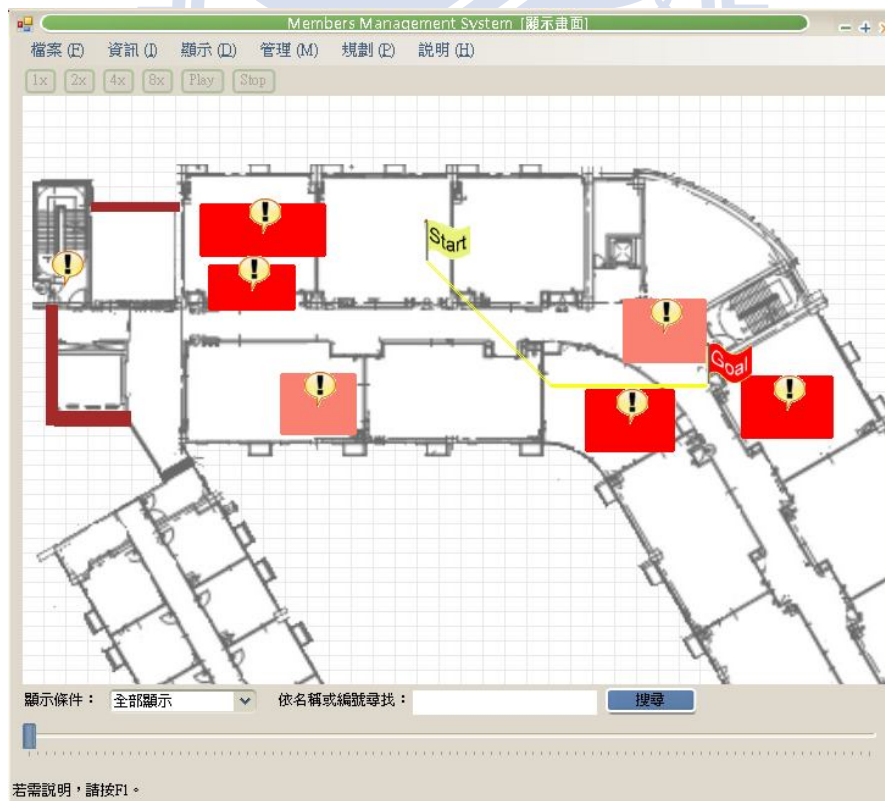


圖 5-15 不良動線分析-系統建議最佳路徑 (2)

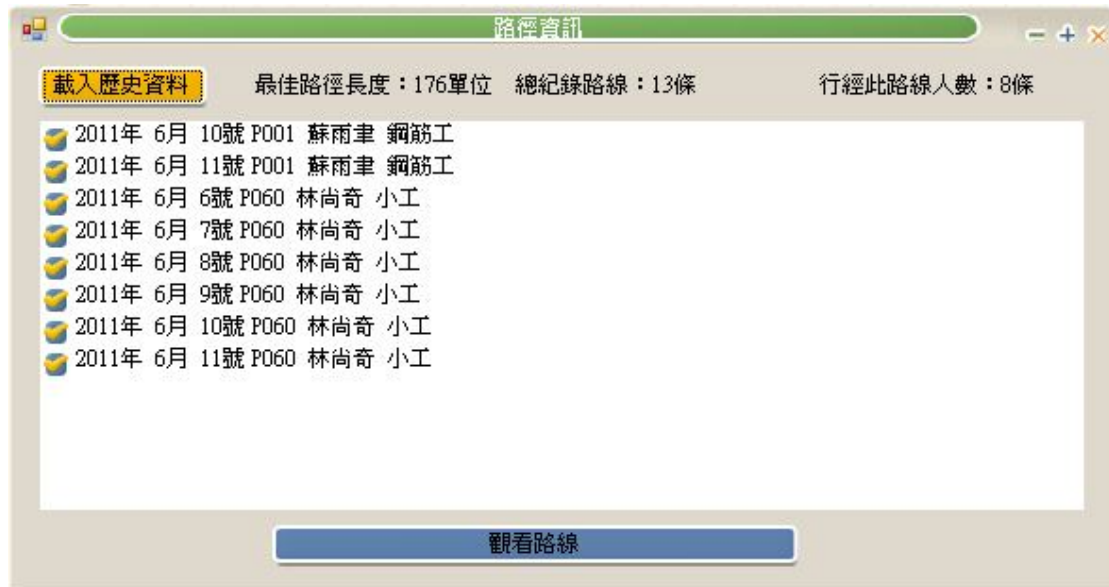


圖 5-16 不良動線分析-最佳動線相關人資訊

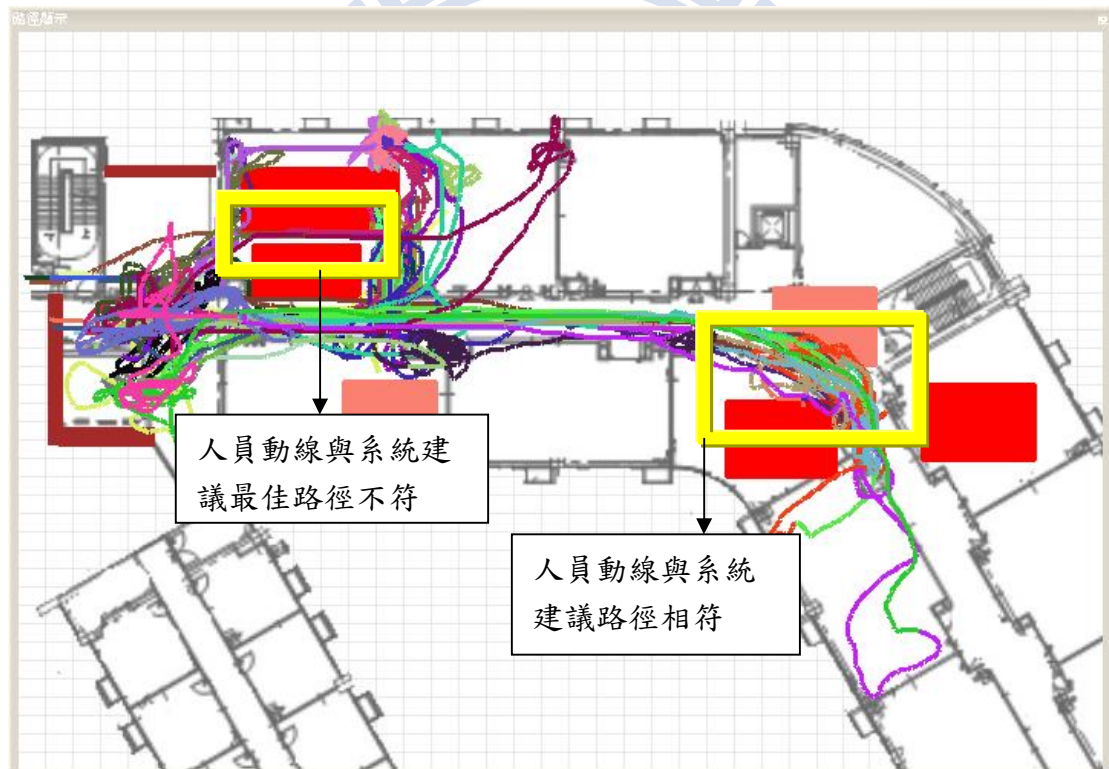


圖 5-17 不良動線分析-歷史軌跡圖

不良動線分析	
分析方式	第一類分析方式
分析工具	空間流量累積圖、系統建議最佳路徑、歷史軌跡圖
分析條件	利用系統建議最佳路徑，搜尋空間累積圖流量高之動線，並將結果與歷史軌跡圖進行比對
問題所在	若系統建議最佳路徑之結果與歷史軌跡圖不符，則表示人員動線或材料擺置可能出現問題
改善方法	依實際狀況指示員工移動路徑，或重新規劃材料擺置區

表 5-4 不良動線分析重點整理



## 5.2.4 施工效率分析

透過空間流量累積圖之分析工具，依工種或人員配合時間軸設定時間區段為觀察條件，觀察圖面上是否有同工種或同人員於短時間內於長距離移動，可看出水電工因材料放置區離水電管線配置施工區有段距離，造成該工種常在兩處來回移動，如圖 5-18，造成施工效率降低之問題，管理人員透過圖面之問題，推斷實際問題後，進行工地改善之動作，如變更材料區之位置，以減少施工人員花費時間於不必要之移動，整體分析重點整理如表 5-5。

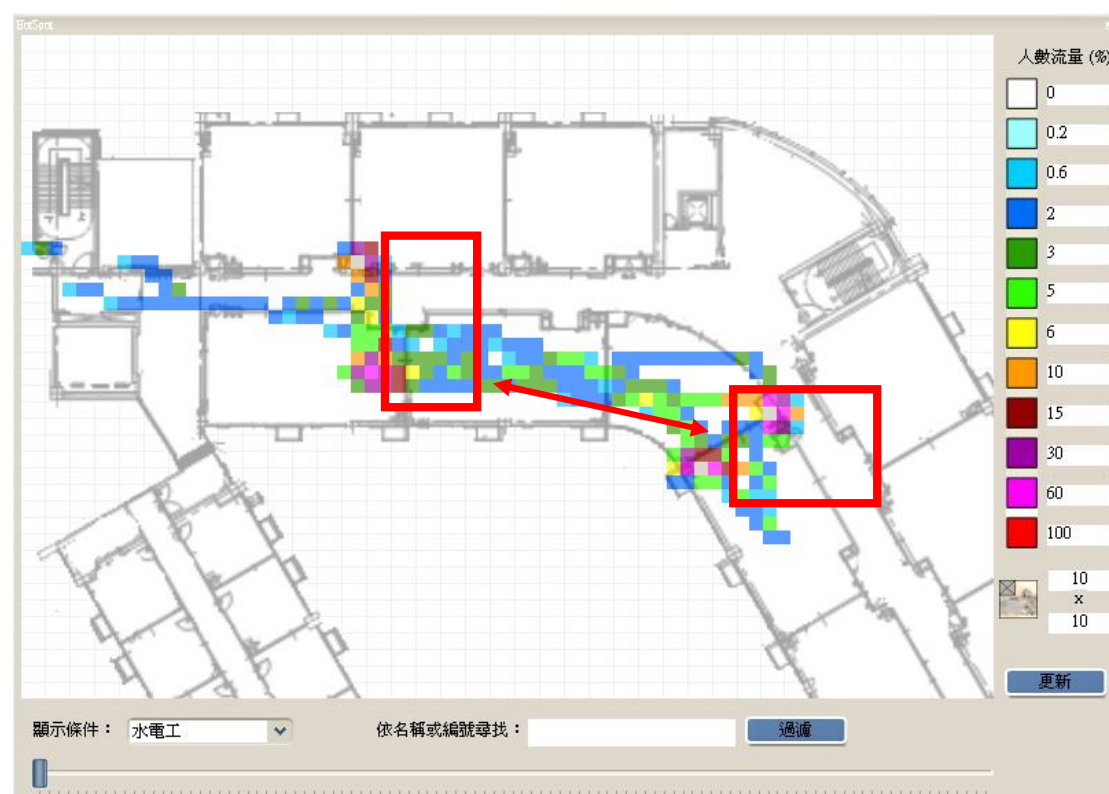


圖 5-18 空間流量累積圖-施工效率

施工效率分析	
分析方式	第一類分析方式
分析工具	空間流量累積圖
分析條件	依工種或人員配合時間軸設定時間區段為觀察條件
問題所在	觀察圖面上是否有同工種或同人員於短時間內於長距離移動
改善方法	變更材料區之位置，減少施工人員花費時間於不必要之移動

表 5-5 施工效率分析重點整理

## 5.2.5 人員調度實例分析

模擬假設水電工向管理人員反應管路配線之問題，但管理人員無法從廣大施工工地即時尋得水電師傅之情境，可透過員工歷史移動資料視覺化模組，依工種或人員姓名做為搜尋之條件，可觀查該人員或該工種於工地之移動記錄，如圖 5-19，即可顯示先前水電師傅之所在位置，方便管理人員進行調度作業，整體分析重點整理如表 5-6。

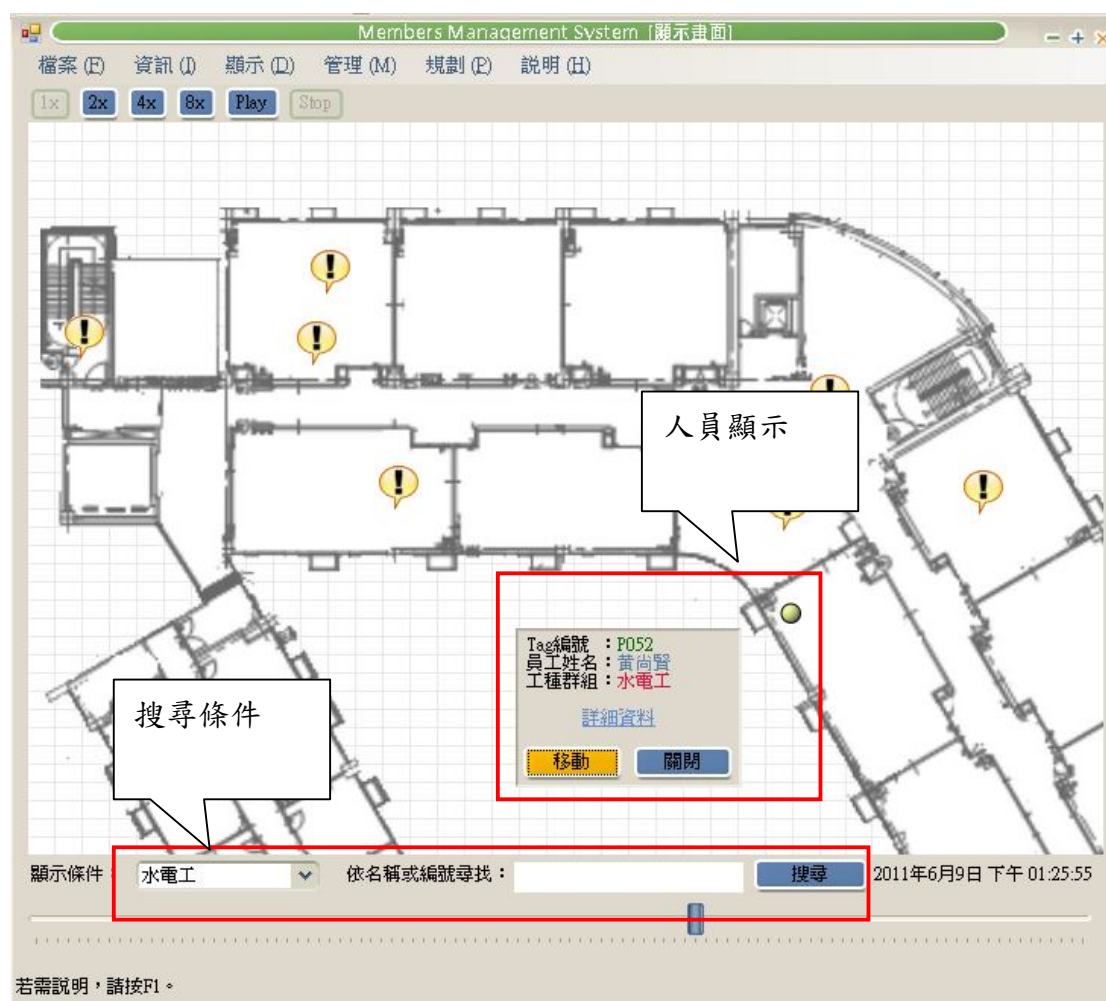


圖 5-19 歷史移動資料動畫-人員搜尋功能

人員調度實例分析	
分析方式	第二類分析方式
分析工具	歷史移動資料動畫
分析條件	欲搜尋之工種或人員姓名
問題所在	管理人員需要調度人員，卻不知該人員之位置
改善方法	利用歷史移動資料視覺化模組顯示該人員先前所在之區域

表 5-6 人員調度實例分析重點整理



## 5.2.6 員工出\退工狀況分析

透過員工出\退工統計圖之分析工具，觀察圖各施工人員之出\退工 X-Y 走向圖，查看是否有異常之走向，如從圖 5-20 之 X-Y 走向圖可看出該員工之出工時數，日漸下滑之趨勢，管理人員透過圖面之問題，因主動詢問該員工之工作狀況，可能為該員工之負責工作已盡完成，使得工作量下降，即可調派至其它工種，增加整體施工效率，整體分析重點整理如表 5-7。



圖 5-20 員工出\退工 X-Y 走向圖

員工出\退工狀況分析	
分析方式	第一類分析方式
分析工具	員工之出\退工 X-Y 走向圖
分析條件	各員工之出\退工記錄
問題所在	員工出\退工 X-Y 走向圖是否有異常點所在，如施工時數驟降或下滑之趨勢
改善方法	詢問該員工工作狀況或適當調度員工

表 5-7 員工出\退工狀況分析重點整理



## 5.2.7 員工進出管制區域分析

透過區域限制管理機制之分析工具，觀察員工進入管制區域之名單，如圖 5-21，水電人員進入鋼筋材料放置區，管理人員可透過該名單，詢問該名員工進入該管制空間之理由，並指正該員工之行為，整體分析重點整理如表 5-8。

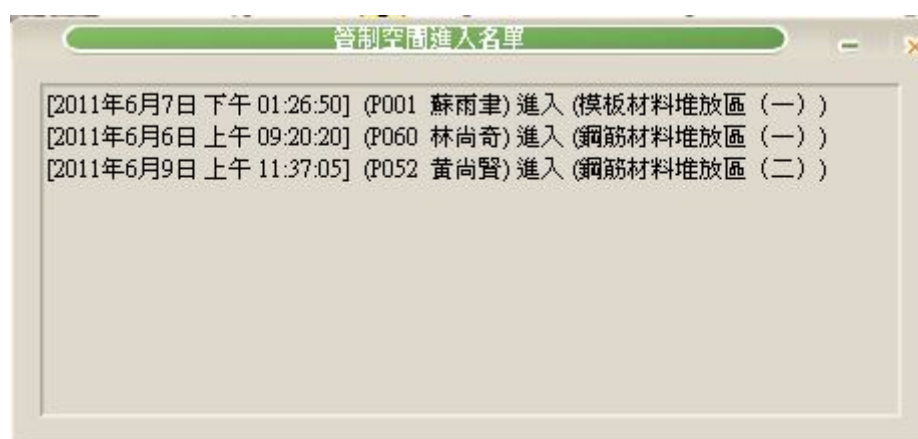


圖 5-21 員工進入管制區域之名單

員工進出管制區域分析	
分析方式	第一類分析方式
分析工具	區域限制管理機制
分析條件	管制區域之名單
問題所在	員工進入不屬於自己施工權限之區域
改善方法	詢問該員工理由，並指正該員工之行為

表 5-8 員工進出管制區域分析重點整理

## 5.2.8 人員區位圖分析

透過人員區位圖分析之功能，觀察各員工施工行為，如圖 5-22，在流量累積圖設定工種，與觀查時間後，透過員工施工統計圖觀查各員工之行為，可發現編號 P44 之模板工人，在 6 月 9 號當天移動時間過長，於施工區時間過短，管理人員便可依據此圖之分析結果，觀察其它模板人員是否有相同現象，如圖 5-23，可看到其它模板人員並無移動過長之現象，可簡單推得並無材料配置上之顧慮，可能為該員工之個人行為，管理人員可適時給予糾正，整體分析重點整理如表 5-8。

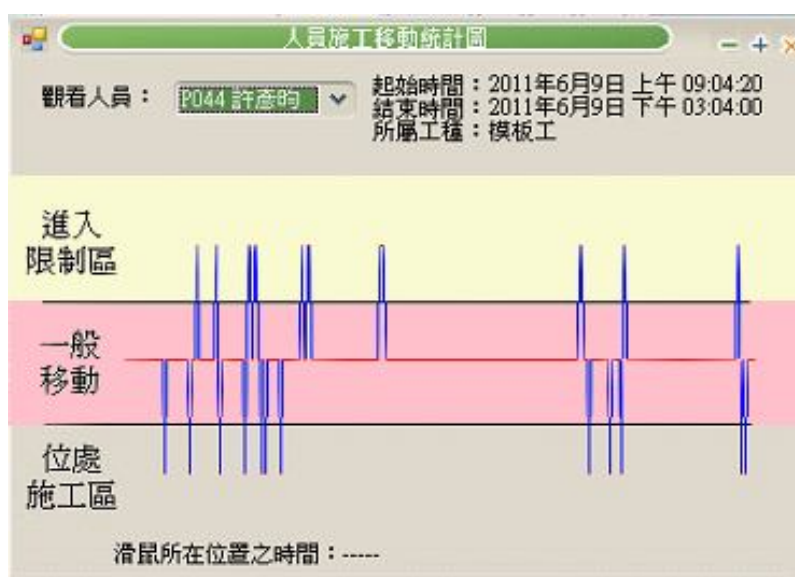


圖 5-22 人員區位圖—顯示人員 1



圖 5-23 人員區位圖—顯示人員 2

員工施工統計圖分析	
分析方式	第一類分析方式
分析工具	人員區位圖
分析條件	流量累積圖，設定工種與觀查時間
問題所在	員工於施工區時間過少，或進入限制區比率頻繁
改善方法	更改排班、材料配置或施工順序

表 5-9 人員區位圖分析重點整理

## 5.3 系統使用小結

將此系統應用於模擬案例之結果，可有助改善許工地多問題，包括工地配置問題與人員行為之監管，但在研究過程仍有許多存在之問題尚待改進，本章節將探討此系統於實務上應用之使用限制之問題。

### 5.3.1 系統使用限制

由於此系統是透過 ZeeBig RFID 技術進行人員定位，而取得員工定位資料，在實際工地環境將會遭遇到以下使用限制：

1. 員工需於施工時，正確配帶 RFID Tag，且該 RFID Tag 需保持正常運作。
2. Reader 與 Gateway 之配置需配合工地施作進度不斷更改最佳配置位置，方能確保訊正確傳輸。
3. 施工工地中會有許多干擾無線訊號之問題，傳回訊號必然會有誤差，當誤差過大時，必要時需將人員定位資料進行雜訊過濾動作，才可匯入本動線評估系統。
4. 由於人員定位系統只會取得該人員之所在位置，並不會記錄該人員於此位置之行為，故在判定施工、移動等狀態，可能會因特定因素而有誤差，如工地的突發性狀況（火災或地震等等），造成人員突然聚集或散去等情況，避免此類工地突發狀況，也是本系統使用限制條件之一。

### 5.3.2 系統於工程實務之探討

在設計完成此系統後，透過訪談工地實務人員後，得知此系統若要運作於實際工地上，可能會擁有下列狀況：

1. 由於此系統會自動記錄員工位置，在實際運作上可能會讓員工認為遭受長時間監控，在執行 Tag 發送上可能會有員工拒絕佩帶。
2. 由於系統定位是以 Tag 位置做為定位依據，若員工在施工過程將其拿下，即會導致定位失準之狀況發生。
3. 為了定位人員位置，需在工地中擺放多臺 Reader 與 Gateway 進行訊號傳輸，在繁瑣的施工過程中，可能造成該儀器遭移動或破壞，導致無法記錄或失準之現象，且設備昂貴，也有遭竊之風險。

若要將此系統運作於實務上，目前尚有上述問題等待克服，但相信在實務工程中能與施工人員事先溝通好，即可暫時解決此問題，並進行工地人員定位並透過本研究系統進行評估分析。

## 第六章 結論與建議

---

### 6.1 結論

本研究利用運用人員定位與路線追蹤系統，定位與紀錄工地施工人員之移動過程所產生之紀錄檔，透過視覺化技術呈現其移動過程、移動軌跡、空間累積流量與出\退工之統計，並加上建議最佳路徑、區域管制、人員區位圖等功能，協助工地管理者瞭解及掌握工地人員動線與移動之資訊，擬定空間使用調整之策略，改善員工不良動線。

經上述章節之探討，本研究之具體成果如下：

1. 將人員定位與路線追蹤系統所輸出施工人員移動過程之紀錄檔，進行視覺化，有助於管理人員理解員工於工地之移動情形，並透過視窗程式易於互動之特性，讓管理人員能透過與圖面互動，觀看各別工種或各別人員之移動資訊與各別員工之詳細資料，易於管理人員有效調度施工人員。
2. 透過管理人員能自行制定系統工地圖資之設計，將工地各種性質之障礙，透過障礙係數資訊化，再利用 A\*最佳路徑演算法以最小障礙係數條件進行尋路動作，以找出工地圖資兩點建議員工移動時最不易產生空間衝突之路徑，提供管理人員透過員工歷史移動軌跡進行兩條路徑比對，藉以改善工地施工時潛藏之空間衝突可能性。
3. 利用本系統之區域限制管理機制與出\退工資料統計圖之功能，可提供管理人員透過管制空間進出名單與員工出\退工 X-Y 走向圖，進一步瞭解員工施工情況，以利工地管理人員盡早掌握施工人員之施工問題。

## 6.2 未來研究建議

本研究在未來研究方向有下列幾點：

1. 本系統利用各種分析工具產生數據與圖面，進行工地動線評估與問題分析，但本研究目前尚未整理圖面與工地動線問題之比對原則，未來可整理各種圖面所代表之問題或特徵點，進行圖面特徵與空間衝突之原則整理研究。
2. 定位精準度與 RFID Reader 數量有關，即花費成本越高，定位會越精準，如何在最低成本與最高定位精準度以及不影響人員施工的前提下，在工地 RFID 儀器配置最佳化，可當未來研究方向之一。
3. 此研究最佳路徑規劃是以最少障礙係數，但障礙係數是由管理人員以經驗判定，並無任何推導或經驗公式提供參考，如何完善定義障礙係數，進行障礙係數制訂之原則，亦為將來可研究的一個方向。
4. 本研究目前僅以 Microsoft Visual C#開發於 Windows 作業環境下運作之視窗程式，未來研究可朝向將本系統改以網頁程式，如此本系統只需透過無線網路環境，便可於可攜式電子產品上運作，方便管理人員於施工現場即時掌握各員工之所在位置，更易於人員之即時調度。
5. 本研究僅以基礎大樓施工過程做為假設案例，然而不同營建工地與不同施作工人之個人行為會產生非常大的變數，尚需將此系統應用於更多實際工地，長時間觀察使用此系統前之施工效率與使用此系統所做之施工改善，分析改善前後之差別，並找出更多工地需求，與潛藏問題所在，以進一步驗證本系統之實用性。
6. 改進本系統分析方式，由人員動線實際資料，推導出適合此人員動線之工地最佳化配置，藉以分析比較與提供工地配置之參考方案。



## 參考文獻

[國外文獻]

1. “White Paper on Radio Frequency Identification, ”, EAN.UCC , P.6, NOVEMBER 1999 .
2. Akinci, B., Fischer, M., Kunz, J. Levitt, R. “Formalization and Automation of Time-Space Conflict Analysis,” CIFE working paper 58, Stanford University, 2000.
3. Amit’s A\* Pages, “Amit's Thoughts on Path-Finding and A-Star,” <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming>, Amit’s A\* Pages, 2010.
4. Bahl, P. and Padmanabhan, V. N., “RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system,” in INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications, vol. 2, pp. 755-784, 2000.
5. Bederson, B., and Shneiderman, B., “The craft of information visualization: Reading and reflections”, Morgan Kaufmann, 2003.
6. Bjornsson, Y., Enzenberger, M., Holte, R. C. and Schaeffer, J. , “Fringesearch: Beating a\* at pathfinding on game maps,” IEEE Computational Intelligence in Games 05, p. 125-132, 2005.
7. Bryan Stout, “Smart Move: Intelligent Path-Finding,” <http://www.gamasutra.com/>, GAMASUTRA, p15-25, 1999.
8. Card, S., Mackinlay, J., and Shneiderman, B., “Information visualization using vision to think”, Morgan Kaufmann, NY, 1999.
9. Chandler, I.E., “The Planning and Storage of Materials on Site,” Building Tech. And Mgmt., Oct.14-16, 1987.
10. Charles M. E., “Vector versus Raster: A Functional Comparison of Drawing Technologies,” IEEE Computer Graphics & Applications, pp. 68-80, 1990.
11. Halpin, D.W., and Woodhead, R. W., “Design of construction and process operations,” Wiley, Inc., New York, NY, 1977.
12. Harter, A. , Hopper, A., Steggles, P., Ward, A. And Webster, P., “The Anatomy of a Context-Aware Application,” Proc. 5th Ann. Int’l Conf. Moblie Computing and Networking (Mobicom 99) , ACM Press, New York, pp.59-68, 1999.
13. Heywood, I., Cornelius, S. and Carver, S., “An Introduction to Geographical Information System,” Addison Wesley Longman Limited, 1998.

14. Jim, H. K. and Chang, Z. Y., "An airport passenger terminal simulator: A planning and design tool", *Simulation Practice and Theory*, Vol.6, pp.387-396, 1998.
15. Kwon S. W., Lee M. W., Han J. G., Cho M. Y., and Park J. W., "Model Development of the Material Tracking System for High-Risk Building Construction Project Using RFID Technology," *Proceedings of 21st ISARC*, Korea, September, 2004
16. Lester, P. , "A\* Pathfinding for Beginners, "  
<http://www.policyalmanac.org/games/aStarTutorial.htm>, *Almanac of Policy Lssues*, 2005.
17. Lin, K.L, Hass, C.T., "An Interactive Planning Environment for Critical Operation," *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 122, No. 3, pp. 212-222, 1996.
18. Luras, S., "Information visualization: The art of presenting information",  
<http://www.ivt.ntnu.no/ipd/fag/PD9/2004/>, *Norges teknisk-naturvitenskapelige university Deliveries in the PD-9*, 2005.
19. Mahoney J., Tatum C., "Construction site applications of CAD," *Journal of Construction Engineering and Management*, 1994.
20. Neil, J.M., "Stream-electric Generating Station Construction," M-K power Group, Morrison Knudson, Inc., Boise, Idaho, 7-1 — 1-29, 1982.
21. Orr, R.J.and Abowd, G.D., "The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking,"*Proc. 2000 Conf. Human Factors in Computer System ( CHI 2000 )* , ACM Press, New York, 2000.
22. Parsons, R. M., and Pachuta, J. D., "System for Movement to Work Areas," *Journal of the Construction Division, ASCE*, Vol.106, No. 1, pp. 55-71, 1980.
23. Patrick Lester, "Heuristics and A\* Pathfinding, "  
<http://www.policyalmanac.org/games/heuristics.htm>, *Almanac of Policy Lssues*, 2004
24. Tomas, L. P., Wesley, M. A., "An Algorithm for Planning Collision-Free Paths Among Polyhedral Obstacles," *Communications of the ACM*, Oct. pp. 560-570, 1979.
25. Song J., Caldas C., Ergen E., Haas C., and Akinci B., "Field Trials of RFID Technology for Tracking Prefabricated Pipe Spools," *Proceedings of 21st ISARC*, Korea, September, 2004
26. Tatum, C. B., and Harris, J. A., "Construction Plant Requirements for Nuclear Sites," *Journal of the Construction Division., ASCE*, Vol. 107, No.4,pp. 543-550,

- 1981.
27. Tommelein, I., Dzeng, R., and Zouein, P. "Exchanging layout and schedule data in a real-time distributed environment," 5th Int. Conf. on Computing in Civil and Building Engineering, ASCE, New York, 947-954, 1993.
  28. Tommelein, I.D., Vaughan M. J. Jr., Levitt, R. E., "Sight-Plan: A Blackboard Expert System for Construction Site Layout, " Expert Systems in Computer-Aided Design, No. 1, pp. 153-167, 1987
  29. Want, R. ,Hopper, A., Falcao, V. and Gibbons, J., "The Active Badge Location System,"ACM Trans. Information System, pp.91-102, 1992.
  30. Wenzel, S., Bernhard, J. and Jessen, U., "A taxonomy of visualization techniques for simulation in production and logistics", In Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, pp. 729-736, 2003.
  31. Wikipedia, "A\* search algorithm,"  
[http://en.wikipedia.org/wiki/A\\*\\_search\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithm), WIKIPED, 2011.
  32. Yamada, I., Shiotsu, S., Itasaki, A., Inano, S., Yasaki, K. and Takenaka, M., "Secure Active RFID Tag System", Proc. UbiComp 2005 Workshop on UbiComp Privacy "PRIVACY IN CONTEXT", 2005.
  33. Zouein, P., and Tommelein I., "Space Schedule Construction," Proceedings of the 1st Congress on Computing in Civil Engineering, Jan 20-22, Washington, DC, pp.1180-1187, 1994.
  34. Zouein, P., and Tommelein, I. "Space schedule construction," Proc. 5th Int. Conf. on Computing in Civil and Building Engineering, 1770-1777, ASCE, New York, 1993.

[國內文獻]

1. 禾伸堂企業股份有限公司,「ZigBee 介紹」 (2007)
2. 吳東毅,「無線感測網路應用於侷限空間勞工安全管理系統之研究」,國立中央大學環境工程研究所碩士論文 (2009)
3. 吳建興,「3D 網格圖最短路徑規劃」,國立海洋大學電機工程學系碩士論文 (2000)
4. 李重儀,「室內定位之研製與實作」,國立中央大學資訊工程研究所碩士論文 (2006)
5. 吳景恭,「無追蹤迴路之 GPS 導航設計」,國立臺灣海洋大學通訊與導航工程系碩士論文 (2010)
6. 李瑞俊,「主動式 RFID 系統之特性分析與應用」,中華科技大學電子工程研究所碩士論文 (2010)
7. 林仙珠,「無線射頻識別技術(RFID)應用於營造現場安全監控系統之研究」,國立中央大學環境工程研究所碩士論文 (2008)
8. 林昇甫、吳晉嘉、簡士哲、邱國育,「RFID 系統與影像處理技術整合之研發」,行政院國家科學委員會專題研究計劃 (2005)
9. 林建志,「應用全球衛星定位系統於多機具施工作業路徑即時管控之研究—以 2D 空間之多點管控為例」,國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文 (2001)
10. 林嘉榮,「Zigbee 無線網路應用於變壓器負載監測及其溫度敏感度分析」,高苑科技大學電機工程研究所碩士論文 (2009)
11. 施建龍,「動態環境網格圖上最佳路徑之規劃」,國立海洋大學資訊工程系碩士論文 (2005)
12. 張進益,「建築動線最短路徑模擬之研究」,逢甲大學土地管理所 (2007)
13. 曹聖祖、蔡文龍、吳昱欣,「Visual C# 2008 程式設計經典」,碁峰資訊股份有限公司 (2009)
14. 許添本、田欣雷、賴以軒,「捷運車站行人流特性分析」,都市交通季刊,第十五卷,第一期,第 1-11 頁 (2000)
15. 郭益良,「承攬商 RFID 安全監控及身分查核技術開發-以營造業為例」,國立中央大學環境工程研究所碩士論文 (2009)
16. 陳宏宇,「RFID 系統入門-無線射頻辨識系統」,文魁出版社 (2004)
17. 陳宜君,「多樓層建築物內人員與貨物動線模擬分析:以大型生鮮賣場為例」,中華大學工業工程與管理研究所碩士論文 (2001)
18. 黃心寧,「以空間語法改善高科技廠房實驗配置與動線」,國立交通大學工學院專班工程技術與管理組碩士論文 (2007)
19. 黃俊榮,「應用衛星定位(GPS)於施工作業路徑即時管控之研究」,國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文 (2000)
20. 葉世文,「無線射頻辨識(RFID)於營建產業發展策略之研究」,臺灣大學高階公共管理組碩士論文 (2005)

21. 詹雅惠，「人員定位與路線追蹤系統使用說明書」，瑞賦科技技術說明書（2007）
22. 翟雷、劉盛德、胡咸斌，「無線網路結構與原理基礎 IEEE 802.15.4 - ZigBee 入門篇」，橋高科技有限公司（2008）
23. 樂尚文，「整合 RFID 及 ZigBee 網路於小型電錶與事故記錄器之研發」，義守大學電機工程研究所碩士論文（2008）
24. 蔡宗易，「建築使用習慣追蹤計畫－技術先期研究」，瑞賦科技技術說明書（2007）
25. 鄭明淵、蔡明修，「應用 RFID 技術 營建業新活水」，營建知訊 274 期 p27-p39（2005）。
26. 戴瑞德，「晶圓製造廠系統化設施規劃」，中原大學工業工程學系碩士學位論文（2002）
27. 謝燕青，「以活動為基礎之教學館舍行為人移動模擬系統之建置」，國立交通大學土木工程系所碩士論文（1999）
28. 簡宗瑋，「適用於無線射頻辨識系統之室內定位演算法」，國立臺灣海洋大學電機工程學系碩士論文（2006）



## 附錄一 A\*最佳路徑函數

```
ArrayList astar(Point start, Point end, double[,] _arr, int width, int height)
{
    //傳入起始與目標座標；空間結構陣列；空間結構大小
    node[,] arr = new node[pwidth, pheight];

    ArrayList OpenList = new ArrayList();
    ArrayList CloseList = new ArrayList();

    //參數初始化設定
    for (int i = 0; i < pwidth; i++)
        for (int j = 0; j < pheight; j++)
        {
            node tmpnode = new node();

            tmpnode.x = i;
            tmpnode.y = j;
            tmpnode.parent = null;
            tmpnode.f = 0;
            tmpnode.g = 0;
            tmpnode.h = 0;
            arr[i, j] = tmpnode;
        }

    //將起點加入 OpenList
    arr[start.X, start.Y].inOpen = true;
    OpenList.Add(arr[start.X, start.Y]);

    //重覆 A*規則直至找到目標點
    while (OpenList.Count > 0)
    {
        objCompare obcom = new objCompare();
```



```

obcom.ComparisonMethod = objCompare.ComparisonType.f;
OpenList.Sort(obcom);

//將當前座標移出Open List 加入Close List
node curr = (node)OpenList[0];
OpenList.Remove(OpenList[0]);
curr.inOpen = false;
curr.inClose = true;
CloseList.Add(curr);

//比較相臨 8 塊方格
for (int i = 0; i < 8; i++)
{
    Point nextP = new Point(curr.x, curr.y);
    nextP.X += ((Point)direction[i]).X;
    nextP.Y += ((Point)direction[i]).Y;

    //邊界判斷
    if (nextP.X < 0 || nextP.Y < 0 || nextP.X > pwidth || nextP.Y > pheight)
        continue;

    if (_arr[nextP.X, nextP.Y] == 0 || arr[nextP.X, nextP.Y].inClose)
        continue;

    //斜對角值判斷
    double tmpG = ((i % 2) == 0) ? Convert.ToDouble(14) + _arr[nextP.X, nextP.Y] :
Convert.ToDouble(10) + _arr[nextP.X, nextP.Y];

    //A*演算規則，詳細請參照 2.1.3 節
    //該相鄰格是否於 OpenList 中
    if (arr[nextP.X, nextP.Y].inOpen)
    {
        //若是，判斷新路徑 g 值是否更低
        if ((curr.g + tmpG) < arr[nextP.X, nextP.Y].g)
        {
            //是，將相鄰方格之父方格設定為當前之方格，並重新計算 F 與 G 值

            arr[nextP.X, nextP.Y].g = curr.g + tmpG;

```

```

arr[nextP.X, nextP.Y].f = arr[nextP.X, nextP.Y].g + arr[nextP.X,
nextP.Y].h;

arr[nextP.X, nextP.Y].parent = curr;
}

//否，不做事。
}
//若否，將此相鄰格加入 OpenList 中並計算 f.g.h 值，且設定父方格屬性
else
{
arr[nextP.X, nextP.Y].parent = curr;
arr[nextP.X, nextP.Y].g = curr.g + tmpG;
arr[nextP.X, nextP.Y].h = (Math.Abs(end.X - nextP.X) + Math.Abs(end.Y
- nextP.Y)) * 10;

arr[nextP.X, nextP.Y].f = arr[nextP.X, nextP.Y].g + arr[nextP.X,
nextP.Y].h;

arr[nextP.X, nextP.Y].inOpen = true;
OpenList.Add(arr[nextP.X, nextP.Y]);
}

//若找到目標點，回傳 CloseList
if (nextP == end) return CloseList;
}
}
return null;
}

//node 類別結構
class node
{

public int x = 0;
public int y = 0;
public node parent = null;
public double f = 0;
public double g = 0;
public double h = 0;
public bool inClose = false;

```

```

public bool inOpen = false;

public int CompareTo(node b, objCompare.ComparisonType comparisonType, node a)
{
    int returnvalue;
    if (comparisonType == objCompare.ComparisonType.f)
    {
        if (a.f == b.f)
            returnvalue = f.CompareTo(b.f);
        else
            returnvalue = f.CompareTo(b.f);
    }
    else
        returnvalue = f.CompareTo(b.f);
    return returnvalue;
}
};
//物件比較類別結構
class objCompare : IComparer
{
    public enum ComparisonType
    {
        f, g, h, inclose, inopen, parent, x, y
    }

    private ComparisonType compMethod;
    public ComparisonType ComparisonMethod
    {
        get { return compMethod; }
        set { compMethod = value; }
    }
    public int Compare(object x, object y)
    {
        node a = (node)x;
        node b = (node)y;
        return a.CompareTo(b, compMethod, a);
    }
}

```

## 附錄二 論文修改表

本附錄乃口試委員於論文口試時提出的建議與應修正處，以及口試後針對各委員所提出之意見所作之修訂。並依口試委員提出意見的順序，並標明後續修正處與說明。

口試委員名單：

交通大學 王維志教授

交通大學 曾仁杰教授

陸軍官校 王世旭教授

委員意見	修改頁碼
<b>王維志教授</b> 1. 調整論文第三章方法論呈現方式。 2. 目前研究目的過於籠統，建議將研究目的改為點列示。 3. 第五章加入第三節，撰寫系統使用心得，包括限制、優缺點，與討論實務上的意義。 4. 參考文獻格式有誤 5. 後續研究可新增系統逆向操作之功能，由人員動線推出工地配置最佳化。	1. 50 頁 2. 1 頁 3. 116 頁-117 頁 4. 120 頁-124 頁 5. 118 頁
<b>曾仁杰教授</b> 1. 補充人員定位可能產生雜訊處理。 2. 補充文獻探討中手機定位之可行性比較。 3. 將系統流量表色彩改為漸層顯示。 4. 增加人員區位圖：以施工中、移動中與移動至限制區以時間軸視覺化呈現。	1. 116 頁-117 頁 2. 10 頁 3. 90-92 頁 4. 31 頁、32 頁、95 頁、115 頁
<b>王世旭教授</b> 1. 在人員定位技術增加比較RFID與手機定位之不同處。 2. 第五章實例單化人員監控效果，強調排班、配置、施工順序、施工通道之設計位置與人員安全性。 3. 論文本文中盡量避免多次提及廠商名。	1. 10 頁 2. 104、115 頁 3. 1 頁、37 頁、62 頁

### 附錄三 語言包格式

中文 (cn.txt)	英文 (en.txt)
*--What is this language patch	*--What is this language patch
繁體中文	English
*--Form1	*--Form1
Members management System [顯示畫面]	Members management system [display Monitor]
檔案 (&F)	Files (&F)
載入設定檔	Load model data
離開	Exit
資訊 (&I)	Information (&I)
載入歷史資訊	Load RFID data
顯示 (&D)	Display (&D)
分類顯示	Classified display
By Tag ID	By Tag ID
By Class	By Class
Hot Spot	Hot Spot
語言	Language
管理 (&M)	Management (&M)
管理員登入	Sysadmin Login
空間進出名單	Attendance list in the restricted space
規劃 (&P)	Planning (&P)
設定路徑	A* Setup
路徑資訊	Route information
取消規劃：	Cancel planning：
:	:
*--Form12	*--Form12
員工詳細資料	Members detail
員工編號：	Tag ID：
:	:
:	:
*--Form13	*--Form13
人員區位圖	Member position graph
:	:
:	:

表單 1 所有文字

語言包所使用語言

表單 12 所有文字

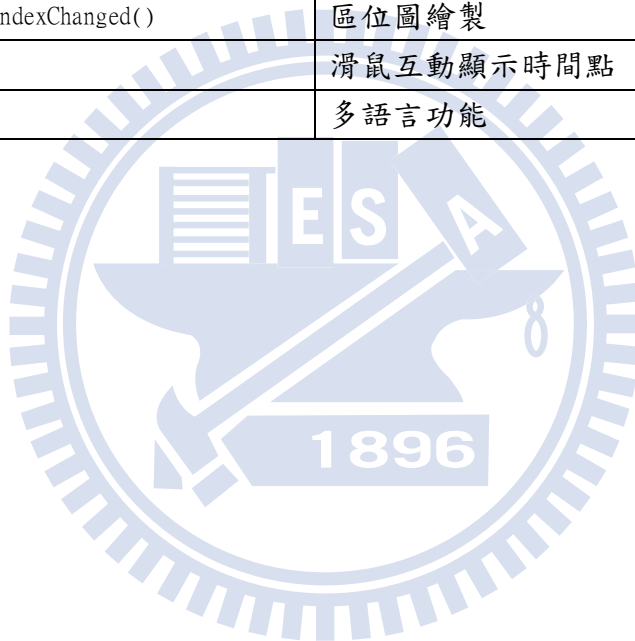
## 附錄四 系統各表單程式重點註釋

Form1—系統主畫面	
重要函式	說明
button2_Click()	使用者登入權限判斷
openFileDialog1_FileOk()	載入人員定位資料時之處理流程
timer1_Tick()	人員移動動畫
searchPath()	最佳路徑尋路設定函式
astar()	A*演算法
openFileDialog2_FileOk()	圖資設定檔載入處理流程
trackBar1_Scroll()	動畫時間軸功能
ShowMembers()	人員動畫顯示函式
colorBy()	動畫人員色彩分類顯示功能
set_language()	多語言功能
openFileDialog3_FileOk()	語言包載入處理流程
Form2—圖資設定畫面	
Form2_Load()	畫布與資料處理
openFileDialog1_FileOk()	平面圖載入並繪製於畫板上
saveFileDialog1_FileOk()	資料儲存處理流程
pictureBox2_MouseMove() pictureBox2_MouseDown() pictureBox2_MouseUp()	使用者繪製圖資資料之互動功能
Redraw()	繪製圖資
button17_Click()	障礙物與限制空間之設定流程
place_Label_MouseMove() place_Label_MouseDown() place_Label_MouseLeave()	滑鼠與限制空間互動方式
toolStripMenuItem1_Click()	限制空間刪除之方式
openFileDialog2_FileOk()	圖資資料載入之處理方法
button13_Click()	使用者密碼修改之函式
set_language()	多語言功能
Form3—員工管理畫面	
Form3_Load()	資料庫繫結
button3_Click()	資料庫更新
set_language()	多語言功能



Form4—員工詳細資料畫面	
drawPIC()	折線圖繪製方法
Label12_Click()	呼叫歷史行徑視窗
label13_Click()	出勤統計計算流程
label14_Click()	出勤時數計算流程
label15_Click()	退勤統計計算流程
set_language()	多語言功能
Form5—歷史行徑畫面	
Form5_Load()	處理 Form4 之資料並繪製成行徑圖
set_language()	多語言功能
Form6—路徑資訊視窗	
openFileDialog1_FileOk()	路線資料載入與關聯性處理
set_language()	多語言功能
Form7—路徑顯示視窗	
Form7_Load()	處理 Form6 之資料並繪製成行徑圖
set_language()	多語言功能
Form8—區域限制設定表單	
Form8_Load()	限制區域載入
button1_Click() button3_Click()	允許與限制名單變更
savedate()	資料儲存流程
comboBox1_SelectedIndexChanged()	載入舊有限制名單
set_language()	多語言功能
Form9—累積流量圖視窗	
colorup()	色塊顏色預設值
Form9_Load()	人員資料處理、計算累積流量、繪製色塊
button4_Click()	人員資料過濾方法
comboBox1_SelectedIndexChanged()	工種過濾方法
showAgain()	色塊繪製與計算累積流量
trackBar1_Scroll()	時間軸取得時間點
button1_Click()	畫面更新之方法
button2_Click() button3_Click()	起始與結束時間之設定
button5_Click()	呼叫人員區位圖與前處理過程
Label11_Click() ~ Label22_Click()	使用者自定義色塊顏色
set_language()	多語言功能

Form10—管制空間進入名單	
Form10_Load()	判定方式
set_language()	多語言功能
Form11—管理者名單	
Form11_Load()	資料繫結
button3_Click()	資料庫更新
set_language()	多語言功能
Form12—員工詳細資料視窗	
Form12_Load()	讀取資料庫資料截取員工資料
set_language()	多語言功能
Form13—人員區位圖視窗	
Form13_Load()	資料處理與篩選工種
comboBox1_SelectedIndexChanged()	區位圖繪製
hs_MouseMove()	滑鼠互動顯示時間點
set_language()	多語言功能



## 附錄五 系統使用手冊

### • 系統要求

項目	系統要求
作業系統	Windows XP(32 位元) SP2 或更高
記憶體	512MB 以上
硬碟空間	100MB 以上
最低解析度	800*600 或更高解析度
最低顏色品質	256
軟體需求	Microsoft .Net Framework2.0 或更高版本 Microsoft Access 2007 或更高版本

### • 系統安裝與執行

本系統無需安裝程序，請直接複製光碟內系統資料夾「MMS」至電腦內，並點擊資料夾底下「動線評估系統.bat」之檔案，即可執行此系統。



### • 系統管理人員設定

在系統運作前，需透過登入系統管理人員之身份，進行管理人員名單設定。

畫面中點取「管理」→「管理員登入」



於使用者欄位輸入「admin」，預設密碼為「nctucv」，即可以系統管理員身份進入設定畫面，於設定畫面點選「系統設定」，即可進行密碼變更與管理人員名單設定。





• 圖資設定

擁有管理員權限之使用者，可透過「管理」→「管理員登入」，輸入由系統管理員所設定之帳號與密碼，即可登入進入圖資設定介面，於圖資設定介面上方有許多工具，可進行圖資之設定，包括工地平面圖、障礙物位置與性質之定義、限制區域與名單設定、員工資料管理與系統座標設定。



分類	項目	說明
圖資檔	載入設定檔	可載入先前設計好之圖資 (*.mms) 檔
	儲存設定檔	可將目前建置之空間模型存成圖資 (*.mms) 檔
圖資設定	載入平面圖	載入工地平面圖
	定義區域	提供使用者定義工地中區域之障礙或管制空間
	全部清除	將目前定義之區域全部清除
其它設定	區域限制	提供使用者設定區域限制之員工名單
	員工管理	提供使用者設定員工詳細資料
系統	系統設定	可進行密碼變更、座標設定與管理人員設定等功能
	登出離開	離開圖資設定工具介面返回系統主畫面

• 系統使用步驟

步驟一. 載入已設定之圖資檔

點選「檔案」→「載入設定檔」，載入先前已設定好之圖資檔。



步驟二. 載入人員定位資料檔

點選「資訊」→「載入歷史資訊」，載入由人員定位系統所輸出之資料。



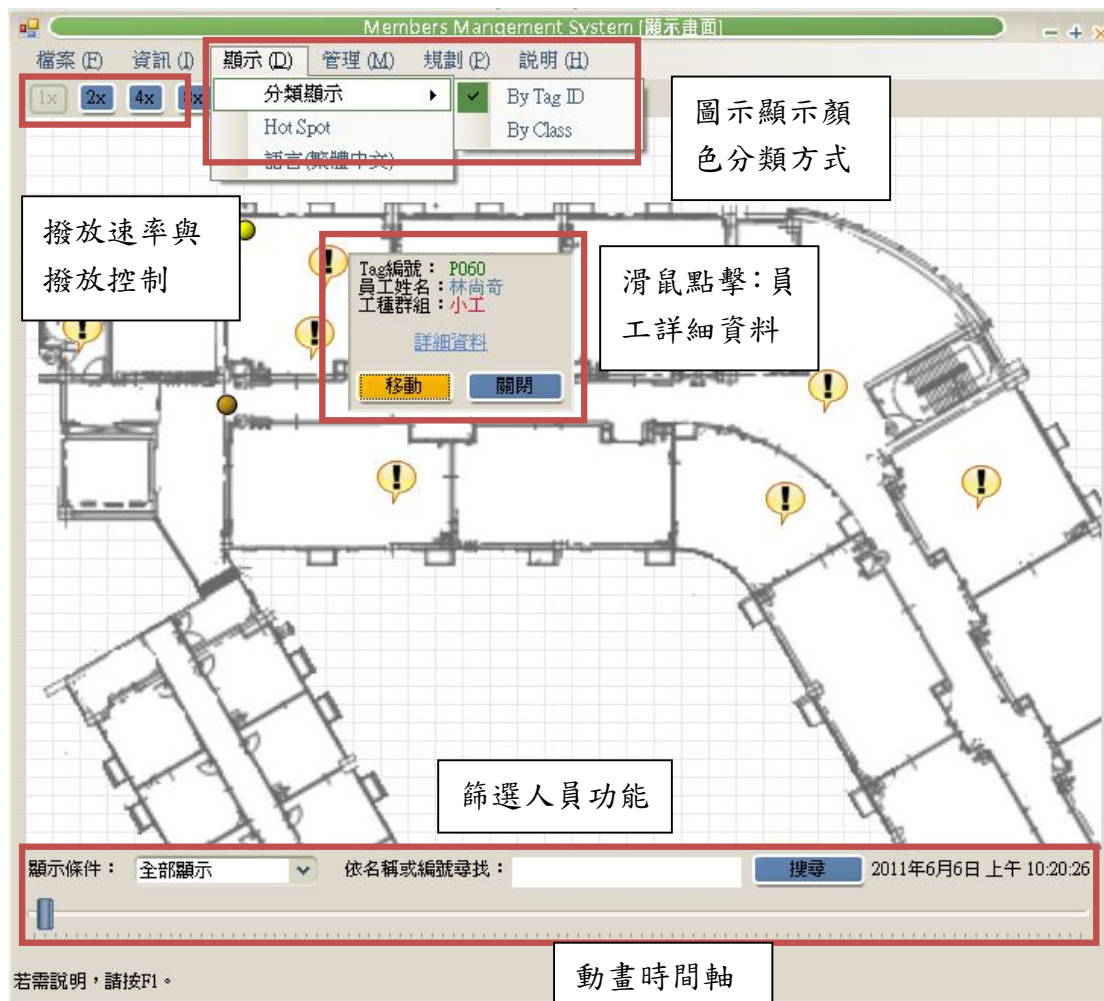
步驟三. 依照使用者需求選取所需工具之功能

完成上述步驟後，即可啟用各種工具之功能，其工具啟用位置如下表：

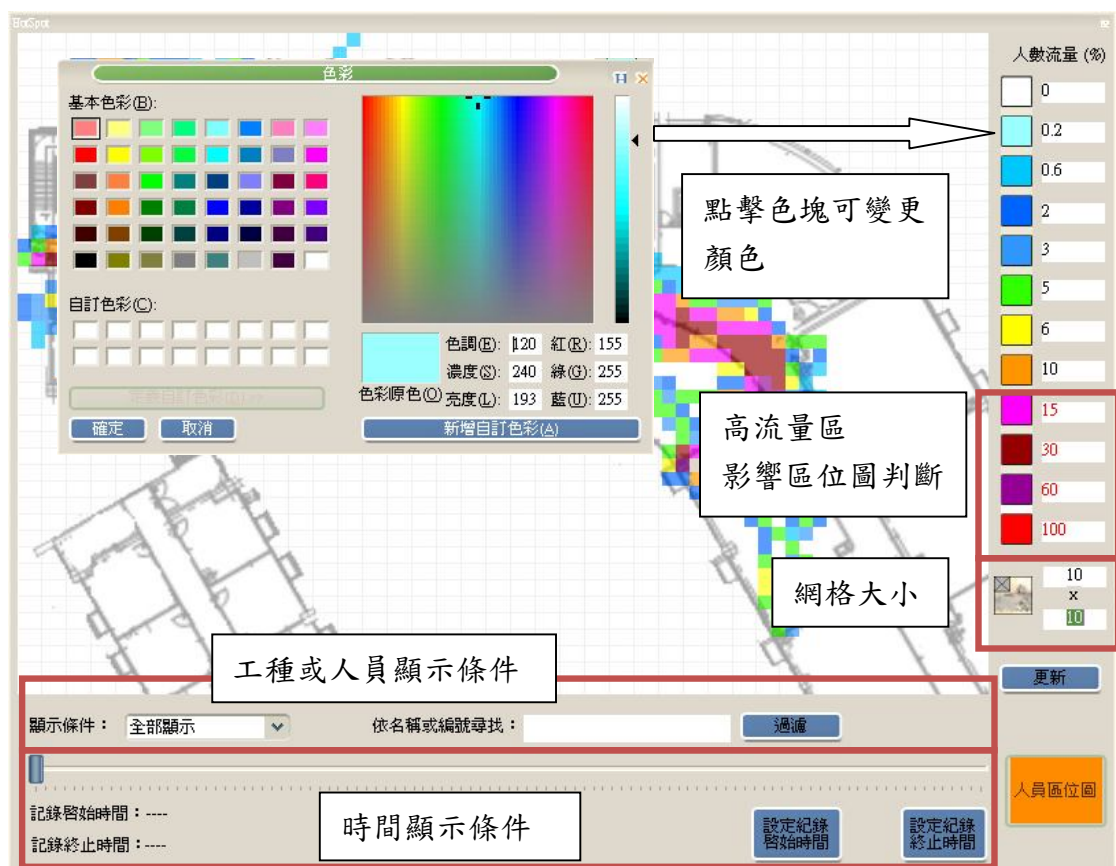
項目	啟用位置與方法
*員工歷史移動資料動畫	載入「人員定位資料」後，自動於主視窗撥放。
系統建議最佳路徑	載入「圖資設定檔」後，於主視窗「規劃」→「設定路徑」→設定圖面上起點與終點後，即會顯示於主視窗上。
區域限制管理	載入「圖資設定檔」與「人員定位資料」後，於主視窗「管理」→「空間進出名單」，即會彈跳出進出限制區域人員之名單。
員工出\退工統計圖	載入「人員定位資料」後，點擊動畫中之人員圖示，即會跳出人員資料視窗，點擊「詳細資料」即會跳出員工出\退工統計圖
歷史軌跡圖	方法一：於員工出\退工統計圖視窗中，點擊「歷史軌跡」文字，即會跳出軌跡圖 方法二：設定完成最佳路徑，點擊「規劃」→「路徑資訊」，於路徑視窗勾選人員定點擊「觀看路線」，即會跳出軌跡圖
*空間流量累積圖	載入「人員定位資料」後，於主視窗「顯示」→「HotSpot」即可開啟流量累積圖視窗。
人員區位圖	於「空間流量累積表」選定工種後，點擊人員區位圖按鈕，即可呼叫人員區位圖視窗。
*語言變更	於「顯示」→「語言」，即可選擇語言包。



\* 員工歷史移動資料動畫說明



\* 空間流量累積圖說明



\* 語言變更步驟

