

國立交通大學

土木工程學系
博士論文

教學建物整建之機能空間配置求解模式

A Process Model for Function-Space Assignment of Educational
Building Remodeling Project



研究生：蕭汎儀

指導教授：曾仁杰 博士

中華民國一百零二年七月

教學建物整建之機能空間配置求解模式

A Process Model for Function-Space Assignment of Educational
Building Remodeling Project

研究生：蕭汎儀

Student : Fan-Yi Hsiao

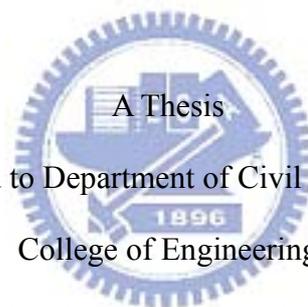
指導教授：曾仁杰

Advisor : Dr. Ren-Jye Dzeng

國立交通大學

土木工程學系

博士論文



Submitted to Department of Civil Engineering
College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Doctor Philosophy

In

Civil Engineering

June 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零二年七月

教學建物整建之機能空間配置求解模式

研究生：蕭汎儀

指導教授：曾仁杰 博士

國立交通大學土木工程學系（研究所）博士班

摘要

建物透過整建為使建物活化利用之一種有效方式，尤其空間重新配置適當機能後，為提升既有建物服務表現之其中之一重要方法，然過去建物之整建，多半為基於建築師及建物管理者代表主觀地理解使用者，而非有系統地量化評估建物機能空間配置表現。本研究針對既有教學建物，提出一套建物機能空間配置之求解輔助模式。首先建立無線射頻辨識系統(RFID)之使用者空間移動追蹤定位環境，以及使用者活動模擬等兩種型式，以實際收集/模擬產生使用者空間移動資料，再進而探勘使用者空間移動樣式，接著運用快速混元基因演算法(fmGA)，求解既有建物機能空間最佳之配置。最後再以使用者移動模擬模式，驗證建物新配置之服務表現，其中建物服務表現評估包括使用者移動距離、通道流量、以及其它空間使用率等相關類型指標。另外，此模式並提供建物管理者一個使用者空間移動模擬之 2D/3D 動畫展現。

關鍵詞： 機能空間最適配置、無線射頻辨識系統、快速混元基因演算法、使用者活動模擬、使用者移動模擬。

A Process Model for Function-Space Assignment of Educational Building Remodeling Project

Student : Fan-Yi Hsiao

Advisor : Dr. Ren-Jye Dzeng

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

Building renovation is an effective way to revive the use of a building. Especially, assigning appropriate functions to building spaces is one of the most important factors in determining the use performance of an existing building. However, in architectural practice, architects and building owners renovate buildings based on their personal subjective perceptions of how occupants use the building instead of systematically analyzing their use behaviors. This study proposes a process model for function-space assignment of educational building remodeling project. First, the model tracks/generates the occupants' movement data in a building by RFID equipment or activity simulation technique. The model then mines the movement data by constructing patterns and calculating the relation values between functions. Next, the fmGA is employed to identify the optimal result of function assignment. Finally, a movement simulation technique is adopted to verify the result and support the decision-making of function-space assignment. Besides, the model provides some indexes related to the measurement of service performance of a building and demonstrate the occupants' movement trajectory in 2D/ 3D animations to help administrators to find the best assignment.

Key Words : Optimal function-space assignment, Radio frequency identification (RFID), Fast messy genetic algorithms (fmGA), Activity simulation, Movement simulation.

誌謝

此論文順利付梓成冊，承蒙指導老師 曾仁杰教授不辭辛勞給予學生最寶貴的指引斧正，悉心教導，回憶起七年博士研究生涯，是人生旅程最滿載而歸的一程，謹向恩師致上最誠摯的感謝！此外感謝口試委員王維志教授、林進燈教授、林崇偉教授、余文德教授、李欣運教授，對論文內容惠予剴切指正與建議，使學生研究更臻完善。

過去博士研究生涯，最寶貴的是旅程中陪伴的師長、學長以及好友們，特別感謝王維志教授、余文德教授、楊智斌教授、黃世昌教授、世旭學長、燕青學長、繼熊學長、玉坤學長、文彬學長等諸位師長照顧與提攜，亦卓、小黑、佳琪、紹偉、紫漪等學弟妹，以及大毛、鈺婷、瓊華、阿國、燈炮、瑤謙、育菁、怡君、宜芳、秀琪、容君、慕蓉等好友陪伴，以及感謝五月天創作之歌曲，讓此趟旅程更堅持著夢想，並為生活增添許多幽默色彩，將永懷這段最美好的回憶。

最後，此論文獻給我最摯愛的父母親、兄長百毅、以及志民，由衷感謝您們無悔辛勞地付出，給予最大包容與支持得以讓我成長茁壯，在此獻上最崇高的感謝與敬意！

期望本文成果，與以上您們一同分享。

蕭汎儀 謹誌 一百零二年九月

目錄

摘要	I
Abstract	II
誌謝	III
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
第 1 章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	4
1.3 研究範圍與限制	4
1.4 研究方法與流程	5
1.5 論文架構	6
第 2 章 文獻回顧	8
2.1 空間配置問題模式與求解方法	8
2.2 定位追蹤技術	10
2.3 使用者活動模擬	12
2.4 使用者移動模擬	16
第 3 章 教學建物整建之機能空間配置求解模式	18
3.1 各類型建物配置特性	18
3.2 問題陳述及求解流程	21
3.3 RFID 空間移動資料追蹤	23
3.4 使用者活動模擬	25
3.4.1 使用者活動模擬資料	26
3.4.2 使用者活動模擬流程	28
3.5 空間移動資料探勘	31
3.6 機能空間最佳配置	33
3.6.1 機能空間最佳配置模式	34
3.6.2 機能空間最佳配置流程	36

3.6.3	染色體基因過度設定及不足設定	40
3.7	使用者移動模擬	42
3.7.1	使用者移動模擬模式	42
3.7.2	使用者移動模擬流程	47
3.8	建物服務表現評估	49
第 4 章	系統實作	55
4.1	系統架構	55
4.2	系統使用程序	59
第 5 章	案例驗證與評估	61
5.1	案例背景	61
5.2	資料收集	61
5.2.1	RFID 實際追蹤使用者空間移動資料	61
5.2.1.1.	RFID 設備先導型佈建評估	63
5.2.2	活動模擬模式產生使用者空間移動資料	67
5.3	機能空間配置變數	69
5.4	RFID 空間移動資料之建物機能空間配置結果	71
5.4.1	機能空間最佳配置求解	71
5.4.2	建物服務表現評估	73
5.5	使用者活動模擬資料之建物機能空間配置結果	74
5.5.1	機能空間最佳配置求解	75
5.5.2	建物服務表現評估	76
5.6	機能空間配置求解評估與改善	83
第 6 章	結論與建議	89
6.1	結論	89
6.2	未來研究發展建議	90
參考文獻		92
附錄 1	活動模擬群體對象	100
附錄 2	32 個空間相鄰距離	101
附錄 3	32 個機能移動關連	102

表目錄

表 1 各類型建物配置特性	18
表 2 群體活動清單	26
表 3 活動屬性	27
表 4 行為屬性	27
表 5 活動參與清單範例	28
表 6 機能空間配置範例	36
表 7 讀取器佈建影響因子評估結果	65
表 8 標籤攜帶類型及攜帶金屬多寡評估結果	66
表 9 標籤攜帶類型 J 與類型 I 之讀取率假設檢定	67
表 10 標籤攜帶類型 K 與類型 I 之讀取率假設檢定	67
表 11 機能偏好空間大小及空間大小	69
表 12 10 個空間相鄰距離	70
表 13 10 個機能移動關連	71
表 14 10 個機能空間配置及使用者移動模擬結果	72
表 15 32 個機能空間配置結果	75
表 16 平均每週某類別每位使用者移動距離	78
表 17 流量線平均每週總累積流量	79
表 18 週二空間使用人數超過 x 人之使用時間百分比	81
表 19 週二空間使用毛率及空間使用淨率	82
表 20 週二空間使用時間及空間閒置時間	83
表 21 情境 I—Non-BBs 及 BBs 效能比較	86
表 22 情境 II—Non-BBs 及 BBs 效能比較	87
表 23 情境 III—Non-BBs 及 BBs 效能比較	88

圖目錄

圖 1 研究流程圖	6
圖 2 RFID 追蹤使用者空間移動	12
圖 3 本研究問題情境	22
圖 4 本研究問題求解流程	23
圖 5 RFID 空間移動資料收集	24
圖 6 RFID 空間移動定位追蹤流程	25
圖 7 使用者活動模擬流程	31
圖 8 空間移動資料探勘	33
圖 9 機能空間配置流程	37
圖 10 混元染色體基因結構	41
圖 11 切割結合運作	42
圖 12 染色體基因過度及不足設定評估	42
圖 13 移動範圍 (a)移動範圍內之移動方向偏好函數 (b)目標參數評估	45
圖 14 影響類別參數評估之視野範圍 (a) 3×5 視野範圍 (b) 2×5 視野範圍	46
圖 15 使用者朝向右上目標網格移動之類別參數評估	46
圖 16 影響前進參數及環境參數評估之視野範圍 (a) 3×5 視野範圍 (b) 2×5 視野範圍	47
圖 17 使用者移動模擬流程	48
圖 18 系統架構	56
圖 19 RFID 空間移動資料	57
圖 20 使用者活動時間表	57
圖 21 通道網格累積流量-週二 AM10:00-11:00	58
圖 22 使用者移動軌跡 (a) 2D 動畫 (b) 3D 動畫	59
圖 23 A_0 與 R_2 機能空間配置比較	62
圖 24 RFID 空間移動追蹤實況照片	63
圖 25 RFID 通訊閘及讀取器佈建地點	64
圖 26 R_6 與 R_8 機能空間配置比較	68
圖 27 R_1 機能空間配置目標函數值	72

圖 28 10 個機能空間配置解之各表現值比較	74
圖 29 R_6 機能空間配置目標函數值	76
圖 30 各空間使用人次相對所有空間總使用人次之比例-週二 PM2:00-3:00	80
圖 31 Non-BBs 及 BBs 於 1000 世代數之求解總時間	85



第1章 緒論

1.1 研究動機

建物透過整建為使建物活化利用之一種有效方式，尤其空間重新配置適當機能後，為提升既有建物服務表現之其中之一重要方法，然實務上經常可見建物整建後，仍有後續再調整空間配置之經驗。Kalay(2004)提及建物機能空間之配置問題，一方面主要為缺乏有系統的方法，再者則是受限空間使用行為資料之取得。事實上過去已發展一些數學模式及求解方法，並應用在其它領域研究之配置問題(Ramkumar et al., 2009)，其中包括廠房機台配置、倉儲物料配置、建築工地機料配置、綜合醫院大樓診療部門配置、電路配置、以及磁軌資料排列等應用。唯實務上建物整建多半基於建築師及建物管理者代表主觀地理解使用者，缺乏一套有系統之機能空間配置求解模式，尤其鮮少實際依賴使用者空間移動追蹤資料或建立使用者活動模擬模型，以量化評估既有建物之機能空間配置表現。

以大學教學建物為例，說明建物機能空間配置問題。在一棟大學教學建物中，每天有多個類別群體使用者(例如大學部大一至大四學生、研究所碩一至碩二學生、系所各組別教授、行政人員)，其為了參與各項固定型活動(例如必修、選修課程、例行性會議)及其它因個人需求之非固定型活動(例如至系圖瀏覽書報、至系辦領取郵件、至研究室蒐尋資訊)，必須在建物不同機能空間中行走移動(例如圖書室、演講廳、系辦、教室、研究室、會議室等機能；EB114、EB117、EB308、EB402、EB409、EB302等空間)。此外基於各項活動安排，不同群體使用者在各機能空間行走移動時為具有特定之空間移動樣式及其機能移動關連(例如在碩一營管組學生經常使用某一教室後，接續移動至另一研究室進行使用)。因此管理者進行建物空間之機能重新配置調整時，除了必須考量使用者參與各項活動時之機能移動關連(例如機能移動關連性強之機能，應配置相鄰距離較小之空間)，另外則須符合各機能偏好之空間屬性需求(例如圖書室偏好大型空間；大

學部教室偏好低樓層空間；系辦偏好鄰近建物中心區域之空間)。由於一棟教學建物空間之機能配置好壞，除了直接影響空間資源如何利用，以及使用者每天進行活動時之移動路徑與所需花費時間外，另鑒於不同機能使用特性，不合適空間配置區域，更可能導致通道流量擁塞(例如多間大型教室皆被配置在同一區域空間)或彼此空間使用之干擾(例如研究室被配置在鄰近具安寧需求圖書室空間)。

既有建物之特定類別使用者為已知，且在建物空間內使用多年，彼此應具共同且固定之空間移動行為。為避免主觀地瞭解使用者空間移動關連，近來年已開發適用於室內為主之定位追蹤技術，以實際地追蹤使用者空間移動資料，其中較具代表性技術包括 Wi-Fi(Wi-Fi based Systems)(Paciga & Lutfiyya, 2005)、紅外線(Infrared Systems)(Want et al., 1992)、超音波(Ultrasound)(Ran et al., 2004)、場景分析(Scene Analysis)(Dowad et al., 2006)、無線射頻辨識系統(Radio Frequency Identification, RFID)(Li & Becerik-Gerber, 2011)等。除了以定位追蹤技術實際記錄使用者空間移動資料外，亦可透過使用者活動模擬模型之建立，以模擬預測使用者在建物各空間內所產生之可能活動，並進而評估建物服務表現(Shen, 2012)。例如 Tabak(2010)等人利用 S-curve 及機率方法，建立辦公室一天工作之使用者中界活動產生頻率預測模型。Shen(2012)等人整合使用者活動模擬及建築資訊模型，發展建物用前評估系統，以協助設計師與使用者兩者之溝通。Zimmermann(2007)等人利用 Multi-agent 方法，發展照明及冷熱系統之使用者活動模擬模型，以尋找能源節約及舒適性兩者最佳之平衡。Lertlakkhanakul (2008)等人利用虛擬實境技術，建立使用者活動導向之智慧家庭空間互動模擬平台，以管控家庭中相關服務設備。

儘管實際追蹤或模擬產生使用者空間移動資料，可進而探勘其中使用者空間移動樣式，及求得建物機能空間最佳配置，然對使用者而言，最佳機能空間配置或許是不適合的。由於人群移動實際上已被視為一種複雜之動態決策行為，其係與使用者個人目標、環境障礙物、以及其它使用者皆有密切之相關(Rahul, 2009)。

換言之，各群體使用者在建物內不同空間移動時，為具有特定之移動偏好行為(例如選擇最短路徑移動前進、選擇較不擁塞之通道移動前進、避免與其它使用者移動方向產生衝突、避免與障礙物碰撞等移動特性)。為進一步驗證建物機能空間配置表現，其中之一方法為取樣各類型使用者，並實地建置新的機能空間配置環境，進行使用者移動模擬實驗。然此方法不僅成本耗費高，並易受使用者時間限制而無法反覆進行模擬。在複雜的移動行為特性中，為避免以單一類型移動行為之不客觀角度作決策，過去學者嘗試使用不同的方法建立使用者移動模擬模型，例如社會力模型(Social forces)、網格自動機模型(Cellular automata)等，然而這些模型常見應用領域主要為防災疏散(Yang et al., 2005; Papinigis et al., 2010; Tserng et al., 2011)、人群群聚行為(Qiu et al., 2010)、交通車流模擬(Schadschneider, 2002)、街道交通事故(Kingham et al., 2011)等模擬，相對較少研究將使用者移動模擬，應用於協助建物機能空間配置之服務表現評估。為進一步驗證建物整建配置結果，以及評估其它難以量化至配置目標函數之指標(例如減少通道流量擁塞、減少對於具安靜需求機能之人潮干擾、各時段空間使用率等表現)，實務上有必要建構一個建物機能空間最佳配置與使用者移動模擬之整合模式。

綜上所述，過去既有建物整建缺乏一個有系統的方法，以量化評估建物機能空間配置之表現，故本研究以教學建物機能空間配置為例，提出一套求解輔助模式。此模式首先建立使用者空間移動追蹤定位環境、以及利用使用者活動模擬等兩種型式，以實際追蹤或模擬產生使用者空間移動資料，並進而探勘使用者空間移動樣式，最後再透過建物機能空間最佳配置與使用者移動模擬之整合模式，求得最適機能空間配置解。除此之外，本模式並提供建物管理者各類型建物服務表現評估指標(例如移動距離、通道流量、空間使用率等類型指標)，以及使用者空間移動模擬之動畫展現。

1.2 研究目的

本研究主要目的為建立一套教學建物整建之機能空間配置求解模式，以協助管理者進行建物整建之配置參考。換言之，建物管理者可分別透過本研究建構的空間移動追蹤定位環境或使用者活動模擬模式等兩種型式，實際追蹤或模擬產生使用者空間移動資料，再進而探勘其中之空間移動樣式，並經由最佳配置模組，搜尋建物機能空間最佳之配置，最後透過使用者移動模擬，驗證建物新的配置及評估建物其它服務表現。本研究目的條列如下：

1. 建構使用者空間移動追蹤定位環境；
2. 建立使用者活動模擬模式；
3. 建立使用者空間移動關連之資料探勘模式；
4. 建立建物機能空間最佳配置與使用者移動模擬之整合求解模式。

1.3 研究範圍與限制

1. 研究範圍

本研究範圍主要針對既有建物營運階段之機能空間配置整建進行探討，對於設計及施工階段之建築設計問題，不在研究範圍內。然而，在特定新建建物規劃階段(例如教學大樓、醫院大樓、車站、機場等服務設施建物)，若目標族群使用者及其進行之活動為可預期的，仍可應用本研究模式。

此外，本文建物服務表現為針對機能空間配置(例如移動距離、通道流量指標)、及使用者活動安排(例如空間使用率指標)等兩者相關評估指標進行評估，對於建物物理環境、能源使用、軟硬體設備其它服務表現指標，不在研究範圍內。

2. 研究限制

本文研究假設為在不擴展建物既有之機能類型及機能數量前提下，使用者至

各機能空間參與各項之活動需求為固定(例如研究生至某一教室參與選修課程活動後，經常接續至研究室進行研究資料查尋)。另外本文僅針對大學教學館舍之大學部及研究所各年級學生，進行空間移動資料收集及資料探勘。其中主要原因為使用者參與各項活動時之機能移動關連，為本文建物配置整建其一目標，而每天需要於各機能空間中移動使用，以學生族群最為常見，且在建物中為佔有最大使用人數比例，故本文不考量外部使用者及其它僅使用少數機能空間之族群。

1.4 研究方法與流程

圖 1 呈現本文研究流程圖，本研究旨在提出一套教學建物整建之機能空間配置求解模式。首先，針對空間配置問題模式與求解方法、定位追蹤技術、使用者活動模擬、使用者移動模擬等相關主題文獻進行探討，據此確立本論文研究方法及研究範圍。接著，藉由本研究建構的使用者空間移動 RFID 追蹤定位環境、及運用使用者活動模擬等兩種型式，以實際追蹤或模擬產生使用者空間移動資料，並進而探勘使用者空間移動樣式之機能移動關連。

其中，RFID 技術為用於追蹤真實使用者參與活動時之空間到達與離開時間，其較適宜應用在既有建物使用者之空間移動資料收集；相反地，活動模擬為依據群體設定之活動屬性及行為屬性機率分佈進行活動排程模擬，故若新建建物目標族群使用者及其進行活動是可預期的，此活動模擬可應用在既有或新建建物使用者之空間移動資料收集。

除此之外，並建立建物機能空間配置之數學模式、以及建物機能空間最佳配置(fmGA)與使用者移動模擬(CA)之整合求解模式。最後，透過實際案例評估本研究模式之適用性，提出驗證結果及未來研究發展建議。

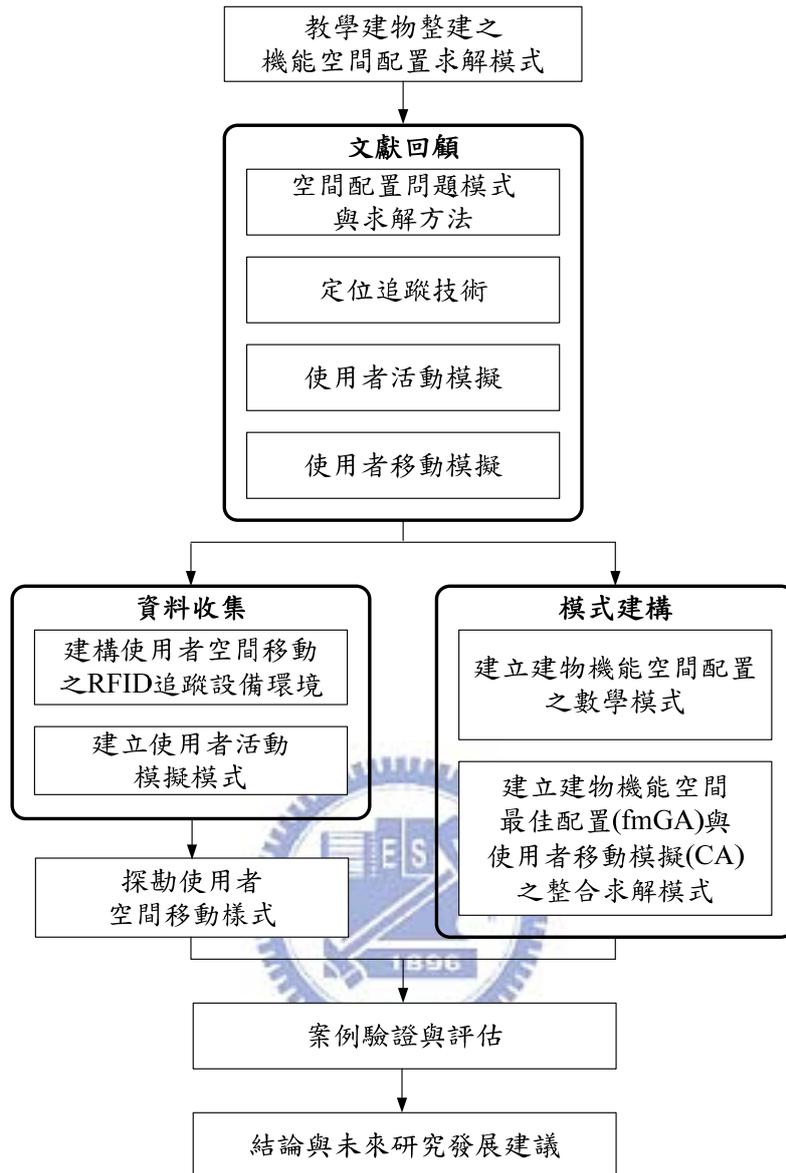


圖 1 研究流程圖

1.5 論文架構

本篇論文內容共分為六章，各章內容分述如下：

第 1 章 緒論：說明本論文之研究動機、研究目的、研究範圍與限制、研究方法與流程、以及論文架構。

第 2 章 文獻回顧：彙整與本論文相關之研究文獻，回顧內容包括空間配置問題模式與求解方法、定位追蹤技術、使用者活動模擬、使用者移動模擬等主題，

分析各主題模式/方法/技術之過去發展應用及優劣點，從中選擇合適類型並發展本論文模式。

第 3 章 教學建物整建之機能空間配置求解模式：說明各類型建物配置特性，進而陳述教學建物機能空間配置問題及求解流程，並介紹與本研究整合之使用者活動模擬及使用者移動模擬模型。

第 4 章 系統實作：介紹本模式系統各模組功能及程式開發語言，其中包括 RFID 空間移動資料收集、使用者活動模擬、空間移動資料探勘、機能空間最佳配置、以及使用者移動模擬及建物服務表現評估等五大模組。

第 5 章 案例驗證與評估：利用實際案例驗證本模式系統對於建物機能空間配置效益，並評估快速混元基因演算法之求解表現。

第 6 章 結論與建議：總結本論文模式建構之過程、驗證結果及提供之效益，並對未來研究發展提出建議。



第2章 文獻回顧

本章旨在彙整空間配置問題模式與求解方法之相關研究文獻，從中解析並選擇適用本研究之問題模式與求解方法。此外，並進而探討定位追蹤技術相關研究文獻，選擇適用本研究問題之空間移動資料追蹤技術。最後，回顧使用者活動模擬及移動模擬過去之研究發展，並分別陳述兩者模擬之區別。

2.1 空間配置問題模式與求解方法

空間配置問題，可定義為基於機能彼此間使用關連(Topology)，並尋找適合大小與位置之空間(Geometry)，以滿足所有設計需求及最大化設計偏好(Liggett & Mitchell, 1981)。其中機能可視為給予空間定義之功能，例如圖書室、會議室等。此外對於空間配置問題，過往研究較具代表之數學模式包含二次指派問題(Quadratic Assignment Problem, QAP)(Koopmans & Beckman, 1957)、二次配置覆蓋問題(Quadratic Set Covering Problem, QSP)(Bazaraa, 1975)、線性整數規劃問題(Linear Integer Programming Problem) (Lawler, 1963)、混整規劃問題(Mixed Integer Programming Problem, MIP)(Love & Wang, 1976)、圖型理論問題(Graph Theoretic Problem)(Leung, 1992)和非線性規劃模式(Nonlinear Programming Models)(Heragu, 1992)等。在空間配置問題離散型模式中，以二次指派問題(QAP)最常被學者應用(Drira, 2007)。

二次指派問題為由 Koopmans and Beckman 學者於 1957 年首先提出，早期研究多半應用於製造規劃，以追求最小搬運成本與整體系統之最佳生產效率。自那時候開始，二次指派問題模型即被廣泛應用在許多不同之實務案例(Ramkumar et al., 2009)，例如廠房機台配置、倉儲物料配置、建築工地機料配置、綜合醫院大樓診療部門配置、電路配置、以及磁軌資料排列等應用。

另外對於二次指派問題之求解方法，過去研究主要分為精確演算法(Exact Algorithms)、啟發式演算法(Heuristics Algorithms)及廣泛啟發式演算法(Meta-heuristics Algorithms)等 3 種類型。精確求解法係用於尋找二次指派問題之最佳解，較著名之方法包括界限分枝法(Branch and Bound)(Solimanpur & Jafari, 2008)、切割平面法(Cutting Planes)(Bazaraa & Sherali, 1980)、以及動態規劃

(Dynamic Programming)(Christofides & Benavent, 1989)，其中以界限分枝法之應用最為廣泛。然而，由於二次指派問題已被證明為複雜 NP 問題之其中一種類型，若搜尋空間達到 15 個以上時，無窮盡式地搜尋精確解將會嚴重降低求解效率 (Burkard, 1984)。因此研究學者認為除了問題模式的確需要精確求解，否則應盡可避免投入大量時間及成本(Hahn, 2000)，而是建議採用可在合理時間限制內，產生次佳解之啟發式演算法或廣泛啟發式演算法。

在啟發式演算法中，主要有建構式演算法(Construction methods)、及改良式演算法(Improvement methods)。建構式演算法係依據決策者設定之準則，以無初始解方式，依續將機能配置於適當之空間，直至所有機能獲得完整之空間配置解。以建構式演算法提出之模式，包括 CORELAP (Lee & Moore, 1967)、ALDEP (Seehof & Evans, 1967)、COFAD (Tompkins & Reed, 1976) 及 SHAPE (Hassan et al., 1986)。相反地，改良式演算法係由決策者給定一組起始解配置方案，再經由機能間有系統地交換與評估，直至所訂定目標值無法改善而停止。以改良演算法提出之模式，包括 CRAFT (Armour & Buffa, 1963)、FRAT (Khalil, 1973)及 DISCON (Drezner, 1987)。

然而，對於二次指派組合最佳化問題，上述學者所提出之啟發式方法，多半適用於具體且單一特定問題。在 1980 年代後期之後，此求解方法已經改變，而是發展更通用之求解方法，其稱為廣泛啟發式演算法(Loiola, 2007)。廣泛啟發式演算法係基於其他領域知識，模擬自然界某種形式之演化過程及最佳化搜尋。近年來，不少研究學者係透過廣泛啟發式演算法求解二次指派問題，例如 Solimanpur(2005)運用蟻群演算法求解廠房彈性製造系統中，單列型設施單元最佳配置；Yeh(2006)透過模擬退火法(Simulated Annealing Techniques)求解綜合醫院大樓之診療室最佳空間配置；Liang(2008)發展禁忌搜尋法(Tabu Search)之多步驟搜尋，改善先前幾個案例設施配置，包括預鑄堆放場預鑄物料、建物施工機具物料、綜合醫院大樓診療室等案例；Cheung(2002)發展簡單基因演算法(Simple Genetic Algorithms, sGA)之互換方法，求解預鑄堆放場之預鑄物料最佳空間配置；Jang(2007)亦運用簡單基因演算法求解高層建物施工之機具及物料最佳空間配置。

簡單基因演算法(sGA)為廣泛啟發式演算法之其中一種類型，於 1975 年 Holland 所提出，其求解效率與準確性已經多方面被證實是快速且正確之演算法 (Goldberg et al., 1991; Goldberg et al., 1993)。然為了解決組合數眾多之排列組合問題(Mass Permutation)，Goldberg(1989)等人以 sGA 為基礎發展出混元基因演算法(messy GA, mGA)，許多試驗顯示 mGA 在求解排列組合問題上，明顯優於 sGA (Goldberg et al., 1993)。唯因 mGA 所耗費記憶體資源過大，Goldberg(1993)等人再以 mGA 為基礎，發展出快速混元基因演算法(Fast Messy Genetic Algorithms, fmGA)，其成功地解決混元基因演算法中耗費記憶體問題。

fmGA 與 sGA 之主要差異，在於 fmGA 採用變動式字串長度，且基因位置及基因值亦可同時演化，適合應用在大規模排列組合問題(Goldberg et al., 1993)，例如過去學者以 mGA 及 fmGA 衍生應用在配水系統設計(Halhal et al., 1999)、預拌混凝土車調度(Feng et al., 2006)、以及其它之模糊控制系統(Hoffmann & Pfister, 1996)、分群(Mohan, 1993)及分類學習問題(Lanzi, 1999; Lanzi & Perrucci, 1999; Skurikhin & Surkan, 1996; Cheng et al., 2010)，均獲得不錯之預測結果。

基於上述之文獻回顧可知，在離散型空間配置問題模式中，以二次指派問題最常被學者應用之數學模型。因此，本研究以二次指派問題模式作為既有建物整建之空間配置模型。此外，二次指派問題為屬典型組合最佳化問題，基於過去研究 fmGA 求解優勢，故選擇以 fmGA 作為本研究二次指派問題模式之求解方法。

2.2 定位追蹤技術

隨著行動定位服務(Location-based Service)相關應用擴充，全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)似乎成為室外環境應用最佳之定位技術，唯 GPS 若應用於室內環境，則易因環境本身屏障或周遭干擾而無法進行精確定位。為解決此一室內定位問題，過去研究已開發一些適用於室內為主之定位技術，其較具代表性技術包括 Wi-Fi(Wi-Fi based Systems)(Paciga & Lutfiyya, 2005)、紅外線(Infrared Systems)(Want et al., 1992)、超音波(Ultrasound)(Ran et al., 2004)、場景分析(Scene Analysis)(Dowad et al., 2006)、無線射頻辨識系統(Radio Frequency Identification, RFID)(Li & Becerik-Gerber, 2011)等。

依據 Tesoriero 等人(2010)及 Li & Becerik-Gerber (2011)之研究比較，室內定

位技術之優缺點說明如下。Wi-Fi 係以既有 IEEE 802.11 為基礎，優勢為可降低佈建成本，缺點則是在多樓層及密集室內環境中，容易因訊號反射及動態網路條件而影響訊號讀取率，導致系統表現下降；紅外線優勢為體型小、低功率、且價格便宜，唯對於日光相當敏感，不適合應用於非密閉之空間；超音波優勢為設備簡單、價格便宜，且能在幾公分內精確定位，唯超音波覆蓋範圍有限，當應用規模較大時，需要密集佈置，建置及維護費用成本較高；而場景分析技術係基於多部攝影機，進行影像學檢測定位，唯缺點則是系統必須有足夠記憶體，處理大量影像，故建置成本較高；RFID 優勢是具備耐用性、存取豐富資料、可重複讀/寫、非接觸等特點，唯選擇 RFID 主動式標籤有壽命限制，必須定期更換電池，其內部電池壽命大約 5 至 10 年。

本研究定位技術需求為可適用在多樓層建物之使用者空間移動資料追蹤，並可以在有陽光的建物走廊下使用。根據以上室內定位技術分析，唯 RFID 技術較適宜本研究，此外 Lionel (2004) 等人亦建議 RFID 技術應用在室內定位感測為一項可行且經濟之選擇。

RFID 技術為一種基於電磁訊號偵測之無線感測技術(McCarthy et al., 2003)，一個典型的 RFID 系統係由標籤(Tag)及讀取器(Reader)等 2 大部分所組成，並在一個確定的頻率下運作，如圖 2 所示。其中標籤為由晶片及內置天線所構成，每一張標籤擁有一組特定 ID 並隸屬於一個物件，標籤功能為儲存與物件有關之資料，同時依據請求訊號，將資料傳送至讀取器；另外讀取器則由收發器及結合外部天線所組成，讀取器功能為讀取標籤資料及寫入資料至標籤，並將收集資料傳輸至主機，提供後續檢索與分析。

近年來在製造業、零售、運輸及物流產業，RFID 已經產生非常顯著應用效益，唯相對營建產業尚未被廣泛地推廣。然而，RFID 在營建產業並非完全是全新地技術，早在 1995 年 Jaselskis 等人已發表 RFID 技術在營建業之潛在應用，其中包括混凝土裝配及搬運、人力與設備之成本編碼、以及物料控制。至今營建產業 RFID 相關應用包括，Jang 和 Skibniewski (2009) 結合射頻和超音波訊號，開發一種嵌入式系統追蹤營建物料及設備。Goodrum(2006)利用 RFID 技術追蹤施工機具。Dziadak(2009)基於 RFID 技術，針對埋藏式資產，開發 3D 定位模型。Domdouzis 等人(2007)針對施工現場管線和其它有價值物品，開發 RFID 技術自

動追蹤輔助系統。Tzeng(2008)探討 RFID 技術對於室內裝修之影響，以及開發 RFID 系統，辨識室內裝修材料。Wang(2008)探討如何將 RFID 技術應用於提高施工品質檢查及管理。Chin(2008)結合 RFID 與 4D CAD，開發一套資訊系統輔助物流及進度管理。Yin(2009)利用 RFID 技術開發預鑄生產管理系統。

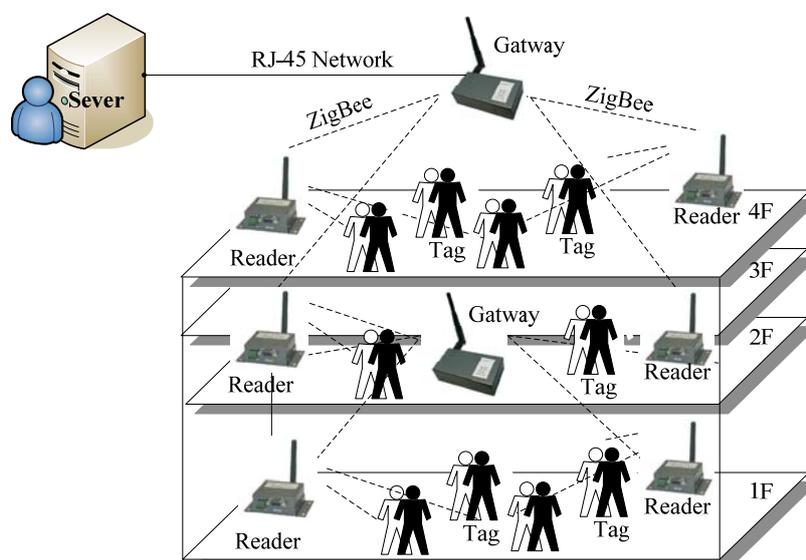


圖 2 RFID 追蹤使用者空間移動

由前述營建產業相關之 RFID 技術文獻回顧發現，RFID 技術多半應用在機具或物料追蹤維護管理，相對較少研究利用 RFID 技術實際收集使用者空間移動資料，並進而探討既有建物整建之機能空間配置及其服務表現。藉由本研究能使既有建物管理者瞭解如何應用 RFID 技術，實際收集使用者空間移動資料，並透過建物機能空間最佳配置與使用者移動模擬之整合模式，求得最適配置解。

2.3 使用者活動模擬

近年來研究學者傾向建立使用者活動模型，以模擬及預測使用者在建物內所產生之活動，並進而評估建物服務表現(Shen, 2012)。由於使用者活動具備動態及機率特性，為影響建物機能空間服務表現其中一項重要因子(Hoes, 2009)。本研究除了以 RFID 技術實際收集使用者空間移動資料，另一方面則是利用使用者活動模擬模式，模擬產生使用者活動時間表。換言之，即是輸入模式所需之群體活動清單(其中包括群體名稱、群體 ID、成員人數、以及活動參與清單中活動屬性及其行為屬性)，此模式透過一組 if-then 條件規則(Condition-Action)、以及模式

計算過程所得經驗為基礎進行活動排程模擬，最後輸出各群組使用者活動時間表。藉由此使用者活動時間表，再進而探勘其中使用者空間移動樣式，取得機能移動關連值以協助本研究進行既有建物整建之機能空間配置。

使用者活動模擬主要以時間及空間層面為架構，進行使用者活動安排。因在時間地理學理論中(Time Geography)，時間和空間被視為一種資源(Hägerstrand, 1970)，故使用者活動行程主要受限在活動時間及活動空間之限制。此外，基於時間地理學定義，可分為以下三方面限制：(1)能力限制(Capability)：使用者生理上之限制，例如使用者無法參與距離太遠之活動。(2)結合限制(Coupling)：使用者與他人必須在特定空間及特定時間共同參與某一活動之限制，例如系所研討會議必須由老師與學生共同參與。(3)權力限制(Authority)：制度或法規上之限制，例如系辦行政作業僅允許使用者在辦公時間內進行。

根據活動基礎旅行需求模型(Activity-based Travel Demand Models)，使用者活動行程需求來自於活動參與(McNally, 1996)。活動基礎旅行需求模型起源於時間地理學，過去活動基礎旅行需求模型大致可分為四種類型(Behrens, 2000; Malayath & Verma, 2012; 謝燕青, 2009)，其中包括限制基礎模型(Constraints-based)、效用基礎模型(Utility-based)、規則基礎模型(Rule-based)、以及混和模型(Hybrid approaches)，分別敘述如下：

(1)限制基礎模型(Constraints-based)：

限制基礎模型直接根植於時間地理學，該類模型在能力限制、結合限制及權力限制條件下，以組合演算法產生所有可能活動樣式(Activity pattern)，並檢視剔除不適當活動樣式，例如活動時間發生重疊之活動樣式、或於不同地點進行卻無足夠旅行時間之活動樣式。CARLA(Combinatorial Algorithm for Rescheduling Lists of Activities)為限制基礎模型其中之一代表模型(Clarke, 1980)。該模型假設使用者對環境改變之反應是重新安排活動順序或活動期間，唯不改變所參與之活動、活動地點及活動交通方式。此外，並假設使用者僅能在有限活動順序限制下調整活動安排，因此該模型所預測之活動樣式，為滿意解而非最佳解。唯當有限之活動順序調整方式無法滿足環境限制時，使用者才考量其它更複雜之活動調整方式。

該類模型優點為不需要決策準則或行為假設，然而缺點是其中以組合演算法產生活動樣式，可能導致大量可行活動樣式，需要額外篩選機制，以篩選適當之活動樣式。

(2)效用基礎模型(Utility-based)：

效用基礎模型根植於個體經濟學之效用最大化行為，該類模型延伸限制基礎模型概念，於活動排程過程中添加活動選擇機制，並根據一系列效用最大化為基礎的離散選擇模型(Discrete Choice Model)預測活動排程結果。例如以多項邏輯特模型(Multinomial Logit Model)，預測個人各種活動行程決策之機率，並根據個人可能獲得的最大效用來決定最佳活動樣式，因此當環境發生改變時，個人將重新尋找具最大效用之活動樣式。STARCHILD(Simulation of Travel/Activity Responses to Complex Household Interactive Logistic Decisions)為效用基礎模型其中之一代表模型(Recker et al., 1986)。該模型假設存在家庭活動計畫，並將家庭活動分為生存活動(如工作活動)、維持活動(如購物)及休閒活動(如娛樂活動)，其中某些活動必須由特定家庭成員完成(如工作活動)，某些活動可在限制條件下指派給不特定之家庭成員完成。

該類模型優點為不需要決策準則或行為假設，以效用理論計算各選項之選擇機率，其可精確地描述選擇行為。此外，因基於統計誤差理論，故可使用統計方法進行模型適合度、參數顯著性等效度檢定。然而，模型缺點為以組合演算法產生活動樣式必導致大量可行活動樣式，需要額外其它篩選機制，以及此模型不是以明確基本之決策過程及行為機制來觀察使用者活動排程決策。此外，由於並非每一個體皆是完全理性效用最大化者(Timmermans et al., 2002)，即實際上活動排程非採以最佳化準則產生。

(3)規則基礎模型(Rule-based)：

規則基礎模型根植於心理學，該類模型主要是透過一組 if-then 條件規則(Condition-Action)及模式計算過程所得經驗為基礎(Malayath & Verma, 2012)，其中並假設根據個體偏好及對環境之不完全資訊(認知)進行活動選擇，經由選擇過程之經驗不斷累積，以更新個體選擇決策與認知。換言之，該類模型根據個體經驗所得規則模擬個體活動排程過程，並以對特定條件反應來解釋個體決策過程。

ALBATROSS(A Learning-based Transportation Oriented Simulation System)為規則基礎模型其中之一代表模型(Arentze & Timmermans, 2004)。該模型假設個人選擇行為乃基於個人與環境或他人互動過程所習得之準則。該模型將活動分為固定活動和彈性活動，其中固定活動(如工作活動)之活動參與意願、活動位置、活動期間及活動開始時間為給定，因此排程決策過程為將彈性活動加入活動樣式，並決定彈性活動之各活動屬性(包括共同參與者、活動期間、活動開始時間、活動位置、交通方式及旅行時間)。此外該模型根據給定之活動優先性及活動屬性，優先性進行各項排程決策。

該類模型優點為可表達個體於活動排程過程之決策行為，且決策過程是符合個人經驗準則產生的滿意解(而非採最佳化準則產生最佳解)。此外，該類模型不考量所有可行之活動樣式，而是根據經驗進行可行活動樣式之選擇，故可產生適當可行規模之活動樣式。然而，模型缺點為需使用決策準則或行為假設，以描述決策過程，且無法使用統計方法進行模型適合度、參數顯著性等效度檢定。

(4)混合模型(Hybrid approaches)：

混合模型結合兩種以上活動基礎旅行需求類型之理論架構，SMASH(A Simulation Model of Activity Scheduling Heuristics)為混合模型其中之一代表模型(Ettema et al., 1996)，其結合了規則基礎模型與效用基礎模型之理論基礎。此模型假設活動排程為逐步決策過程，透過重複調整活動樣式，直到滿足個人需求為止，且每次調整為選擇具最大效用排程策略之過程。

該類模型優點為整合前述效用基礎模型及規則基礎模型之優點，然而缺點為需使用決策準則或行為假設，以描述決策過程，且僅能部分使用統計方法進行模型適合度、參數顯著性等效度檢定。

依據上述各類活動基礎旅行需求模型之介紹及優缺點分析，本研究為避免產生大量可行活動樣式及處理複雜之效用關係，故選擇以規則基礎模型(Rule-based Model)發展使用者活動模擬模式，即以適當規則表現使用者進行活動排程時之決策過程。

2.4 使用者移動模擬

人群移動已被視為一種複雜之動態決策行為，由於人群移動決策係與個人目標、環境障礙物、以及其它使用者皆有密切之相關(Rahul, 2009)。藉由使用者移動模擬可在假設的環境下重覆執行及預測可能之行為，從而藉以輔助建物設計及服務功能配置(Brambilla et al., 2009)。換言之，群體使用者在建物空間內進行移動時，為具有某些特定之移動偏好行為，例如選擇最短路徑移動前進、選擇較不擁塞之通道移動前進、避免與其它使用者移動方向產生衝突、避免與障礙物碰撞等移動行為。因此，本研究整合使用者移動模擬之目的係在假設的建物機能空間配置下，重覆執行及預測使用者可能的移動行為，以進一步驗證建物整建之配置結果，以及評估其它難以量化至配置目標函數之指標(例如減少通道流量擁塞、減少對於具安靜需求機能之人潮干擾、各時段空間使用率等表現)。

在複雜的使用行為特性中，為避免以單一類型使用者行為之不客觀角度作決策，近年來學者嘗試使用不同的方法建立使用者移動模型，大致可分為流體基礎模型(Fluids)、網格自動機模型(Cellular Automata)及粒子基礎模型(Particles)等三大類型(Leggett, 2004; 謝燕青, 2009)，分別敘述如下：

(1)流體基礎模型(Fluids)：

該類模型基於巨觀觀點觀察中、高密度人群，發現人群移動行為類似於流體流動，因而可根據流體力學之物理法則建立人群移動模型。該類模型以偏微分方程式(例如 Boltzmann 方程式)描述使用者密度、平均速度隨時間之變化關係，進而探討人群移動行為與流體方程式參數之關聯(Helbing et al., 2001)。其中代表模型為 Henderson 學者提出之使用者移動模型(Henderson, 1974)。

該類模型優點為透過觀察結果探討各可能因子之影響程度，故可用統計方法對模型參數進行檢定，唯流體動力學方程式缺乏彈性，且需要求解微分方程式，其中過程非常複雜。此外，以巨觀觀點描述人群移動現象，容易導致忽略個別使用者間之互動關係。

(2)網格自動機模型(Cellular Automata)：

該類模型基於微觀觀點觀察使用者移動行為，以具狀態值(被佔據狀態或未被佔據狀態)之均勻離散網格表達空間，以佔據網格之實體(自動機)表達使用者，

並以網格被實體佔據狀態之改變表達使用者移動行為。此模型在各模擬時間單位中，根據網格與相鄰網格之互動規則來更新各網格狀態，即各網格更新後狀態為該網格目前狀態與相鄰網格目前狀態之函數。在延伸之網格自動機基礎模型中，各網格更新後狀態可為該網格目前狀態與相鄰網格及遠處網格目前狀態之函數。其中代表模型為 CA-Ped 行人動力模型(Blue & Adler, 2001)、Yue 等人提出之使用者移動模型(Yue et al., 2007)。

該類模型優點為以離散時間及空間描述使用者移動過程，計算效率佳，以及可考量個別使用者間之互動關係。此外，由於根據行為準則表達個體間之互動，不需處理複雜之函數，唯因以行為準則表達個體間之互動，故無法使用統計方法對模型參數進行檢定，且因在離散時間及空間下無法精確表達使用者移動行為。

(3) 粒子基礎模型(Particles)：

該類模型基於微觀觀點觀察使用者移動過程，將使用者視為個別粒子，並根據物理力學或行為準則建立使用者間互動關聯。例如社會力模型(Social Forces)(Helbing et al., 1995)、氣體動力模型(Gas kinetics)(Keith Still, 2000)。

該類模型優點為以連續時間及空間描述使用者移動過程，故可精確表達使用者行為，以及可考量個別使用者間之互動行為。另外，以函數描述個體間之互動，故可彈性地表達使用者行為，唯需瞭解個體間互動之結果，故需處理大量函數，其中過程繁瑣且計算效率不佳。此外，因採物理準則表達個體間之互動，故無法使用統計方法對模型參數進行檢定。

依據上述各類使用者移動模擬模型介紹及優缺點說明，本研究為表達個別使用者間之互動關係，以及避免大量函數之計算，故選擇以網格自動機模型(Cellular Automata Model)建立使用者移動模擬模式，即以適當更新規則描述使用者移動之決策過程。

第3章 教學建物整建之機能空間配置求解模式

3.1 各類型建物配置特性

一棟建物機能空間配置好壞係直接影響空間資源如何利用，及使用者每天進行活動時之移動路徑與所需花費時間，此外鑒於不同機能使用之特性，不合適空間配置區域，更可能導致彼此空間使用干擾或通道流量擁塞。表 1 整理各類型建物空間配置特性，其中包括(a)主要服務對象；(b)機能空間數量；(c)機能使用關連重要性；(d)空間格局多樣性；(e)機能配置整建困難度等五大特性。基於以上特性，大致將建物分為五大類型，說明分析如下：

表 1 各類型建物配置特性

建物空間配置特性		(a) 主要 服務 對象	(b) 機能 空間 數量	(c) 機能 使用關連 重要性	(d) 空間 格局 多樣性	(e) 機能 配置整建 困難度
建物類型						
類型 I	<ul style="list-style-type: none"> · 高鐵/台鐵車站 · 客運轉運站 · 機場 	乘車旅客	多	高	多	高
類型 II	<ul style="list-style-type: none"> · 便利超商 · 生活用品商店 	購物顧客	中等	中等	少	低
	<ul style="list-style-type: none"> · 購物中心 · 大型賣場 		多		中等	中等
類型 III	· 大學教學館舍	學生族群	多	中等	中等	中等
	· 政府辦公大樓	職員				
	· 企業辦公大樓					
	· 綜合醫院	門診與 住院病人				
	· 博物館	參訪顧客				
· 美術館						
· 渡假飯店	住宿旅客					
類型 IV	<ul style="list-style-type: none"> · 大樓住宅 · 獨棟住宅 	家庭成員	少	低	中等	高
類型 V	<ul style="list-style-type: none"> · 高科技製程廠房 · 食品加工廠 	產品顧客	多	高	中等	高

1. **類型 I 建物**：此類型建物包含高鐵/台鐵車站、客運轉運站、以及機場等，其主要服務對象為乘車旅客，特性為機能空間數量多，機能使用關連重要性

高，空間格局多樣性多，且機能配置整建困難度高。

➤ 以高鐵車站為例，主要服務對象為一般旅遊、商務或返鄉之乘車旅客，其中建物機能設施包括車站大廳、售票台、旅客服務台、自動售票區、驗票閘門區、旅客休憩區、化妝室、候車月台、置物櫃、餐飲商店、購物商店、接送區、汽機車停車場、遊覽車臨停區等多個空間。相較其它類型建物，此類型建物之機能使用關連重要性為高，由於旅客於各機能設施空間行走是否便利順暢，對於高鐵車站服務品質及營運表現皆有甚大之影響。此外，此類型建物因機能設施之彼此用途差異性大，所需之空間格局多樣性相對較多，故建物機能重新配置整建之困難度高。

2. **類型 II 建物**：此類型建物包含便利商店、生活用品商店、購物中心、以及大型賣場等，其主要服務對象為購物顧客，特性為機能空間數量中等/多，機能使用關連重要性中等，空間格局多樣性少/中等，且機能配置整建困難度低/中等。

➤ 以便利商店為例，主要服務對象為不同消費目的或族群之購物顧客，其中建物機能設施包括收銀櫃台、季節性商品陳列貨架、一般生活用品陳列貨架、冷藏食品貨架、影印機、ATM 提款機、ibon 售票機、顧客休憩區等空間。相較其它類型建物，此類型機能使用關連重要性為中等，由於在商品陳列之各貨架配置中，如何刺激各類型消費者衝動或關連購買，對於便利商店營運表現有一定程度之影響。此外，此類型建物因佔地面積小，且各機能設施多半屬於可移動之設備或貨架，所需之空間格局多樣性相對較少，故建物機能配置整建困難度低。

3. **類型 III 建物**：此類型建物包含大學教學館舍、政府辦公大樓及企業辦公大樓、綜合醫院、博物館及美術館、以及渡假飯店等，其主要服務對象分別為學生族群/職員/門診與住院病人/參訪顧客/住宿旅客，特性為機能空間數量多，且機能使用關連重要性中等，空間格局多樣性中等，且機能配置整建困難度中等。

➤ 以大學教學館舍為例，主要服務對象為各年級或不同組別之大學部及研究所學生，其中建物機能包括圖書室、演講廳、系辦、教室、研究室、會議室、教授休息室、電汽/機械室、儲藏室、化妝室等空間。相較其

它類型建物，此類型機能使用關連重要性為中等，由於不同群體學生為了參與各項課程活動，必須於各機能間行走移動，而使用者移動距離遠近、通道擁塞與否、或不同機能空間使用是否產生干擾，對於教學館舍服務品質及教學表現皆有一定程度之影響。此外，此類型建物空間多半為幾種類別規模之空間大小，空間格局多樣性中等，故建物機能配置整建困難度中等。

4. **類型 IV 建物**：此類型建物包含大樓住宅、以及獨棟住宅等，其主要服務對象為家庭成員，特性為機能空間數量少，且機能關連重要性低，空間格局多樣性中等，且機能配置整建困難度高。

➤ 以大樓住宅為例，主要服務對象為各角色家庭成員，其中機能包括客廳、餐廳、廚房、主臥房、孩童臥房、書房、浴廁等空間。此類型建物之機能使用關連重要性為低，主要原因為住宅屬於非公共且非營利性質之建物，此外現今大多以小家庭為主，家庭成員人數少，相對其它類型建物而言，其機能使用關連重要性較低。此外，此類型建物雖然為幾種類別規模之空間大小，空間格局多樣性中等，然各類別規模多半為單一數量之空間，故建物機能重新配置整建之困難度高。

5. **類型 V 建物**：此類型建物包含高科技製程廠房、以及食品加工廠等，其主要服務對象為產品顧客(基於顧客需求，轉換成各類規格產品)，特性為機能空間數量多，機能使用關連重要性高，空間格局多樣性中等，且機能配置整建困難度高。

➤ 以半導體廠房製程機台配置為例，主要服務對象為各類製程規格產品，其中廠房主要製程機台包括化學研磨(CMP)、爐管(DIFF)、乾蝕刻(ETCH)、整合(INT)、黃光(LITHO)、離子植入(IMP)、薄膜(TF)及濕蝕刻(WET)等模組設備。相較其它類型建物，此類型機能使用關連重要性為高，因在半導體晶圓廠房製程中，適當之機台數量及機台空間配置規劃，對於裝機配管成本、機台設備使用率、產品生產時間、以及廠房生產績效皆有甚大之影響。此外，雖此類型建物之機台模組為可拆卸設備，所需之空間格局多樣性中等，然各機台模組之裝機配管多且複雜，故建物機能重新配置整建之困難度高。

3.2 問題陳述及求解流程

為提供建物管理者進行建物整建配置一個有系統的方法，本研究以教學建物機能空間配置為例，提出一套求解輔助模式，以量化評估建物機能空間配置之表現。此建物機能空間配置求解模式，可分為四大階段，其中包括(I)收集空間移動資料、(II)探勘空間移動資料、(III)求解機能空間最佳配置、以及(IV)模擬及評估機能空間配置表現。以下本研究問題及求解流程，將以此四大階段作為說明。

圖 3 呈現本研究問題情境圖。在一棟大學教學建物中，每天有不同群體使用者(例如大學部大一至大四學生、研究所碩一至碩二學生、系所各組別教授以及行政人員)，其為了參與各項固定型活動(例如必修、選修課程、例行性會議)及其它因個人需求之非固定型活動(例如至系圖瀏覽書報、至系辦領取郵件、至研究室蒐尋資訊)，必須在建物不同機能空間中行走移動(例如圖書室、演講廳、系辦、教室、研究室、會議室等機能；EB114、EB117、EB308、EB402、EB409、EB302等空間)。本研究運用 RFID 追蹤技術及使用者活動模擬中之規則基礎模型等兩種方式，分別實際追蹤及模擬產生使用者空間移動資料(例如 RFID 空間移動資料及使用者活動時間表)，如圖 3(I)收集空間移動資料。

兩者資料收集方式主要差異為，以 RFID 實際追蹤使用者空間移動資料，係透過 RFID 設備記錄真實使用者參與各項活動時之空間到達與離開時間，其中使用者活動安排為固定，不具機率不確定性，且以 RFID 追蹤僅適合應用在既有建物使用者之空間移動資料收集；相反地，以活動模擬模型模擬產生使用者活動時間表，為依據群體設定之活動屬性及其行為屬性機率分佈，其中使用者活動安排為具機率不確定性(如活動時間及活動地點)，且若新建建物目標族群及其進行活動是可預期，此活動模擬可應用在既有或新建建物使用者之空間移動資料收集。

此外，基於各項活動安排，不同群體使用者在各機能空間行走移動時為具有特定之空間移動樣式及其機能移動關連(例如在 RFID 空間移動資料中，碩一營管組學生經常被紀錄使用某一教室後(*From*)，接續移動至另一研究室進行使用(*To*)，此一空間移動樣式可能代表兩者機能移動關連性強)。本研究透過關聯規則支持度計算，分別探勘 RFID 空間移動資料及使用者活動時間表中之機能移動關連，如圖 3(II)探勘空間移動資料。

另外，管理者進行建物機能重新配置調整時，除了必須考量使用者參與各項活動時之機能移動關連(例如機能移動關連性強之機能，應配置相鄰距離較小之空間)，另外則須符合各機能偏好之空間屬性需求(例如圖書室偏好大型空間；大學部教室偏好低樓層空間；系辦偏好鄰近建物中心區域之空間)。本研究運用廣泛啟法式演算法中之快速混元基因演算法，基於建物機能空間配置目標函數，以搜尋最佳機能空間配置，如圖 3 (III)求解機能空間最佳配置。

除此之外，由於人群移動是一種複雜的動態決策行為，其移動決策可能與個人目標、環境障碍物、以及其它使用者皆有密切之相關。為評估其它難以量化至配置目標函數之指標(例如減少通道流量擁塞、減少對於具安寧需求機能之人潮干擾、各時段空間使用率等表現)，以及進一步驗證建物整建配置結果，本研究最後藉由使用者移動模擬中之網格自動機模型，以模擬驗證建物配置結果及評估其它服務表現指標，如圖 3(IV)模擬及評估機能空間配置表現。

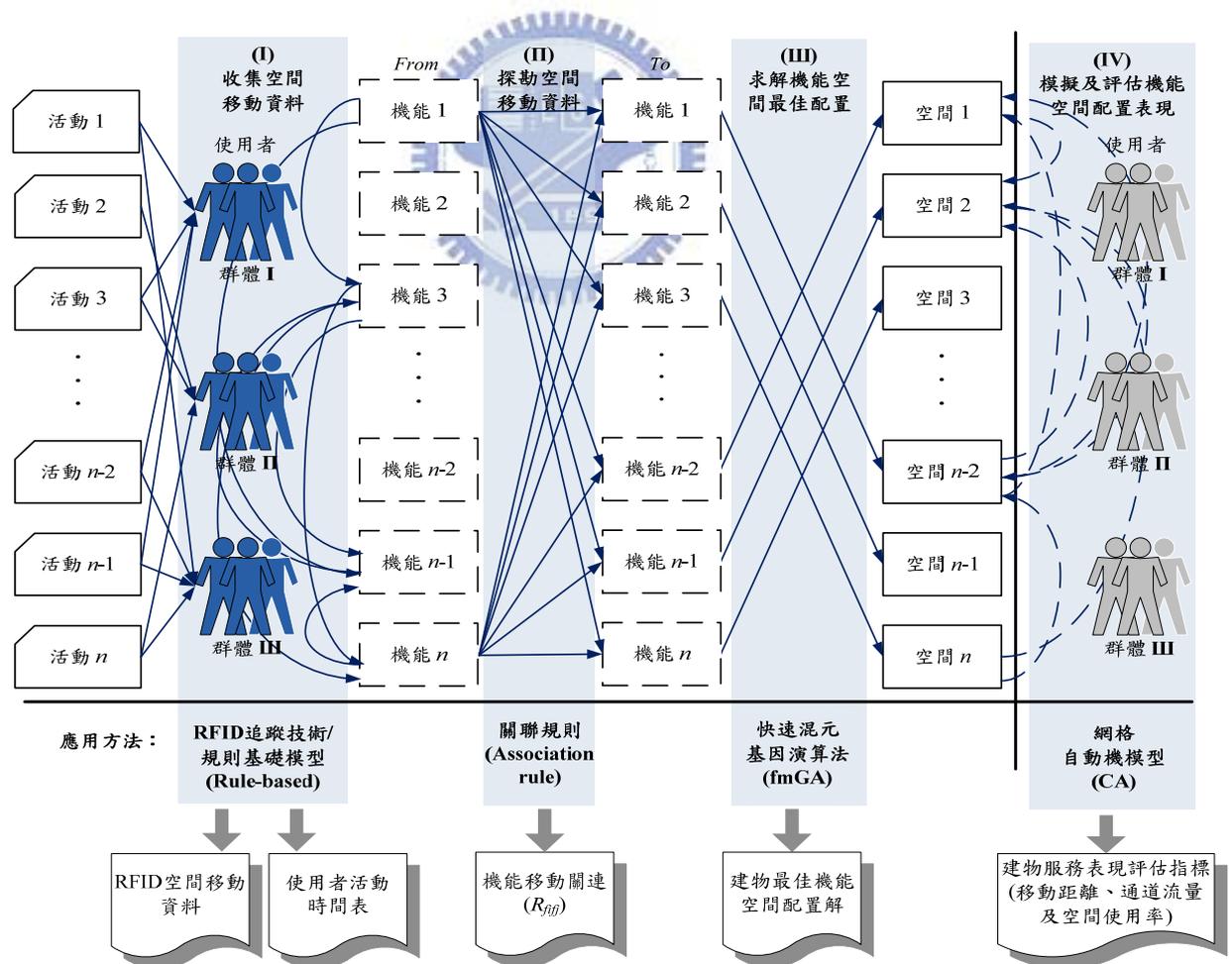


圖 3 本研究問題情境

圖 4 呈現本研究問題求解流程。首先，本研究選擇以 RFID 技術(如 3.3 小節)及使用者活動模擬之規則基礎模型(如 3.4 小節)等二種方式分別實際收集 RFID 空間移動資料、以及模擬產生使用者活動時間表，再進而透過關聯規則支持度計算，以探勘使用者空間移動樣式(如 3.5 小節)，此外並藉由廣泛啟法式演算法中之快速混元基因演算法搜尋最佳配置解(如 3.6 小節)，最後透過使用者移動模擬中之網格自動機模型(如 3.7 小節)，以驗證建物機能空間配置及評估建物其它服務表現(如 3.8 小節)，直至建物服務表現指標滿足設定之門檻而停止。

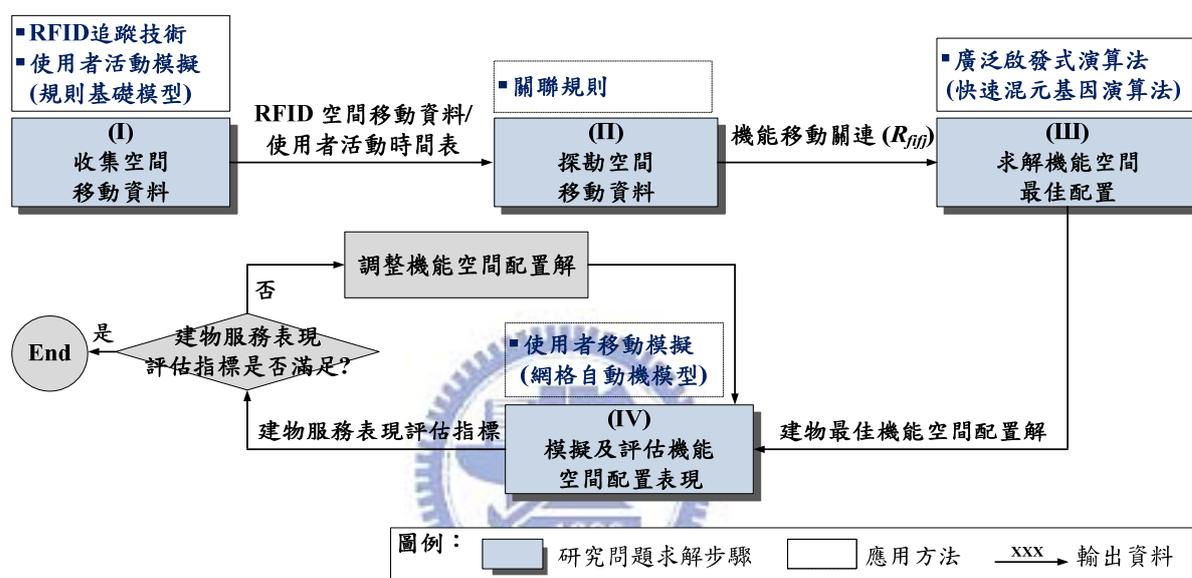


圖 4 本研究問題求解流程

3.3 RFID 空間移動資料追蹤

本研究 RFID 空間移動資料追蹤，主要目的為運用主動式 RFID 追蹤設備，收集使用者空間移動資料，再進而探勘其中使用者空間移動樣式之機能移動關連性(如 3.5 節)，以協助建物管理者進行機能空間配置調整。圖 5 呈現 RFID 空間移動資料收集示意圖，實驗設備包含標籤(Tags)、讀取器(Readers)、以及通訊閘(Gateway)。其中參與本實驗之每一位使用者皆持有一張標籤，另外讀取器佈建在建物各樓層空間，以記載使用者至各空間移動行為，通訊閘為佈建在建物內無障礙阻隔之處，以負責收集讀取器所記載之終端資料。例如使用者進出某一空間使用時，空間內讀取器則會偵測使用者標籤 ID，並紀錄使用者至空間使用之到達與離開時間，接著通訊閘透過 ZigBee 無線網路(2.4GHz 全球 ISM 頻段)，收集所有空間讀取器之終端資料，另一端再藉由 RJ-45 網路線，傳送至伺服器。

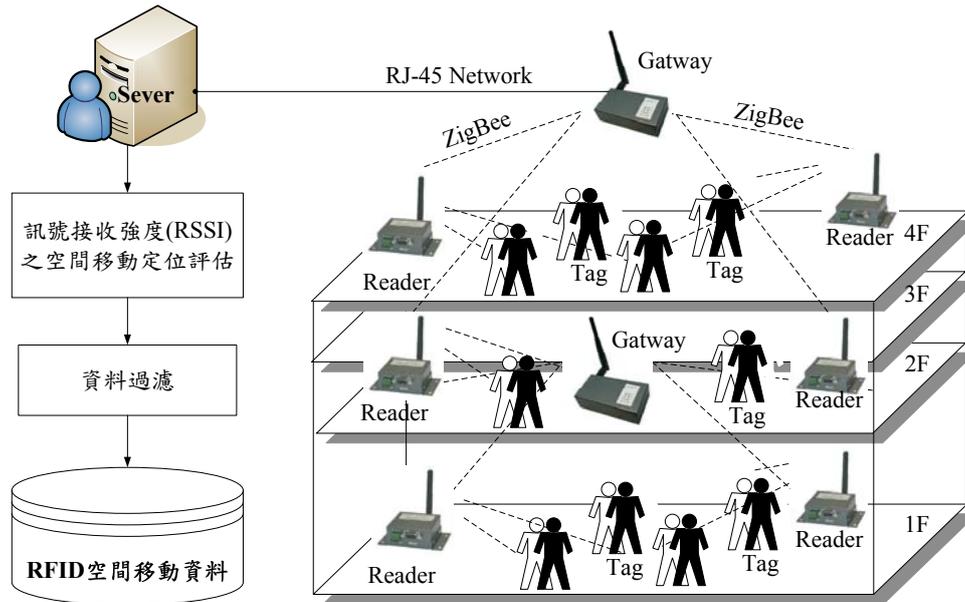


圖 5 RFID 空間移動資料收集

圖 6 簡要說明空間移動定位追蹤流程。為減少讀取器空間定位誤差，本模組整合廠商所提供之訊號接收強度(Received Signal Strength Indication, RSSI)，以定位使用者駐足之空間。標籤 ID 空間移動追蹤，首先由各空間讀取器偵測到標籤 ID 資訊，接著對每一張標籤，評估何台讀取器具最大 RSSI 值，假若某台讀取器是最大 RSSI 值，則記載此張標籤使用之機能空間及到達時間。接著持續偵測此標籤訊號，若無訊號時間超過 1 分鐘，則代表此張標籤已離開該機能空間，故記載此張標籤離開時間。最後檢查讀取器中是否仍有其它標籤資訊，若無其它資訊，則結束此空間移動追蹤運作，否則返回繼續評估標籤 ID 之 RSSI 值。

另外，由於 RFID 讀取器每 5 秒鐘偵測使用者持有之標籤是否存在於某一機能空間，為避免產生雜訊資料(例如使用者僅經過某一空間，而非進入該空間使用)，本模組必須依照不同機能空間之使用特性，設定**最小停留時間**(Minimum Stay Time)門檻值，進行資料過濾。其中對於圖書室及系辦等機能，設定**最小停留時間**門檻值為 1 分鐘；其餘機能設定為 5 分鐘。例如某位使用者(持有 RFID 標籤)進入系辦收取信件，並在 2 分鐘後離開，本模組認定此筆資料的確有使用系辦空間 1 次；同理，另一位使用者進入教室，拿取上一堂課程遺留在教室的講義，並在 2 分鐘後離開，本模組認定此筆資料為非真正使用教室空間。

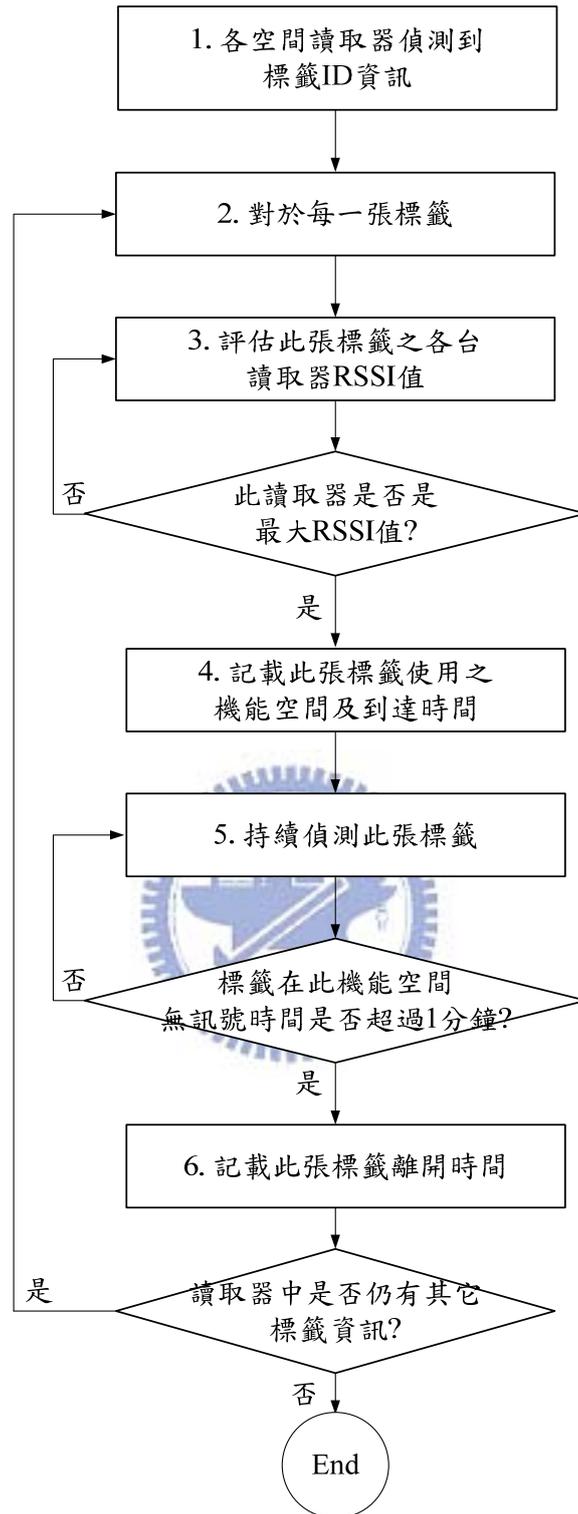


圖 6 RFID 空間移動定位追蹤流程

3.4 使用者活動模擬

本研究使用者活動模擬，主要目的為依據群體設定之活動屬性及其行為屬性機率分佈，模擬產生使用者活動時間表，並進而探勘其中使用者空間移動樣式之

機能移動關連性(如 3.5 節)，以協助建物管理者進行機能空間配置調整。以下將說明本研究使用者活動模擬模型及模擬流程。

3.4.1 使用者活動模擬資料

大學各系所課程規劃，除了必修課程外，通常根據不同學程或專業組別開設專屬選修課程(例如土木系結構組之鋼結構設計課程、土木系營管組之營建管理課程)，其中同一組別學生，多半共同參與該組別課程活動。本研究使用者活動模擬，視同一組別為一群體，並假設群體內使用者為具有相同活動選擇，以及在參與活動時具有相同機率分佈行為屬性。表 2 為群體活動清單，包括群體名稱、群體 ID、成員人數、以及活動參與清單。其中活動參與清單，為代表該群體使用者參與所有活動之活動 ID、活動屬性、及行為屬性。本模式詳細之活動屬性及行為屬性，定義說明如下。

表 2 群體活動清單

群體名稱	大三
群體 ID	G001
成員人數	95
活動參與清單	[(活動 ID, 活動屬性, 行為屬性)+]

Doherty(1998)認為使用者傾向根據活動重要性之優先順序，進行活動排程，而非根據活動時間先後順序進行排程，即重要性較高之活動，作為第一優先排程，唯有其它時間空檔，才考量重要性較低之活動。根據上述論點，本研究定義固定(Fixed)及非固定(Unfixed)等二類型活動。固定活動為屬重要性最高之活動，需要預先安排，且需要在規律的週次及固定的時間參與此活動，例如系所必修課程、選修課程、論文研討會議等活動。另外，非固定活動包括彈性(Flexible)及非彈性(Inflexible)等二類型，其中非固定彈性活動(Unfixed-flexible Activity)為屬重要性次高之活動，需要預先安排，然而不需要在規律的週次及固定的時間參與此活動，例如論文指導會議；非固定非彈性活動(Unfixed-inflexible Activity)為屬重要性最低之活動，不需要預先安排，且不需要在規律的週次及固定的時間參與此活動，例如系圖圖書閱覽、系辦郵件處理、研究資料查尋、個人休憩等活動。

表 3 為固定及非固定活動之活動屬性，包含活動時間、活動地點、活動起迄時間範圍。以固定活動為例，活動屬性多半由群體所屬教學行政單位所安排，使

用者參與固定活動時，無法依其個人偏好選擇活動屬性，因此資料特性為制式固定的。相反地，以非固定活動為例，活動屬性之資料特性則具有機率分佈之不確定性，可依個人偏好選擇活動屬性之範圍，例如其中活動時間包括活動開始星期清單、活動開始時間範圍、活動期間範圍、及活動頻率範圍。此外因部分使用者進行非固定活動安排為偏好最小時間空窗，故本模式提供使用者選擇偏好最小時間空窗或由所列活動時間範圍隨機決定活動時間等二種類型。偏好最小時間空窗定義為依據使用者目前活動安排，選擇可容納活動期間之使用者最短空檔時間，作為該非固定活動開始時間。表 4 為群體使用者參與活動時之行為屬性，其中活動出席率代表使用者出席活動可能的百分比率(%)，活動到達時間趨勢及活動離開時間趨勢代表模擬過程中，使用者參與活動實際之到達時間及離開時間。

表 3 活動屬性

活動屬性	固定活動		非固定活動	
	資料類型	資料特性	資料類型	資料特性
活動時間	[活動星期, 活動時間, 活動期間, 活動頻率] +	固定	[(活動星期清單), (活動時間範圍), (活動期間範圍), (活動頻率範圍)]	機率
活動地點	[空間 ID]	固定	[空間 ID 清單]	
活動起迄時間範圍	[活動開始日期, 活動結束日期]		[活動開始日期, 活動結束日期]	固定
偏好最小時間空窗	-		是/否	

表 4 行為屬性

行為屬性	資料類型
活動出席率	百分比率(%)
活動到達時間趨勢	機率分佈
活動離開時間趨勢	機率分佈

本模式以週為單位，建構使用者固定及非固定活動之排程模擬。表 5 為某一組群體之活動參與清單範例說明，其中固定活動為參加一門營建管理(F001)課程，活動時間為週二 10:00、週四 10:00 及 11:00 等 3 時段，活動期間為每時段 50 分鐘，活動頻率為每週 1 次，活動地點為 CL-117，活動起迄時間範圍為 2012/09/18 至 2013/01/24。此外，此群體平均活動出席率為 0.95，且依據常態分佈(Normal Distribution)設定之平均值及標準差，使用者參與週二及週四第 1 時段

課程之活動到達時間趨勢為平均提早 5 分鐘(=-10% * 50)，標準差為 2.5 分鐘(=-5% * 50)；參與週四第 2 時段課程之活動到達時間趨勢為平均提早 2.5 分鐘(=-5% * 50)，標準差為 1 分鐘(=-2% * 50)。由表 5 定義之活動屬性值可知，此群體參與連續型時段之固定活動時，使用者活動到達時間較為準時。

另外，非固定活動為參加系圖圖書閱覽(U001)，活動時間為週一或週二或週四之 12:30 至 13:20，活動期間為每次 30 至 60 分鐘，活動頻率為每週 1 至 3 次，活動地點為 RR-114，活動起迄時間範圍為 2012/09/18 至 2013/01/24。此外，此群體平均活動出席率為 0.70，且依據均勻分佈(Uniform Distribution)設定之最高值 10%及最低值-10%，隨機產生使用者活動到達時間及離開時間趨勢。

表 5 活動參與清單範例

活動範例	固定活動		非固定活動	
	活動 ID	活動名稱	活動 ID	活動名稱
	F001	營建管理	U001	系圖圖書閱覽
活動時間	[TUE, 10:00, 50, 1] [THU, 10:00, 50, 1] [THU, 11:00, 50, 1]		[(MON, TUE, THU) (12:30, 13:20) (30, 60), (1, 3)]	
活動屬性	活動地點	[CL-117]	[RR-114]	
	活動起迄時間範圍	[09/18/2012, 01/24/2013]	[09/18/2012, 01/24/2013]	
	偏好最小時間空窗	-	是	
	活動出席率	0.95	0.7	
行為屬性	活動到達時間趨勢	Normal (-10%, 5%) Normal (-10%, 5%) Normal (-5%, 2%)	Uniform (-10%, 10%)	
	活動離開時間趨勢	Normal (2%, 2%) Normal (2%, 5%) Normal (2%, 2%)	Uniform (-10%, 10%)	

3.4.2 使用者活動模擬流程

由於多半使用者，傾向選擇固定活動，進行優先排程，唯有剩餘之空檔時間，再進行非固定活動排程(Doherty, 1998)。因此相較非固定活動，本模式之活動模擬流程，為優先選擇固定活動進行排程。另外，其中固定活動之行為屬性、非固定活動之活動屬性、非固定活動之活動屬性、非固定活動之行為屬性等模擬，皆具備機率分佈之不確定特性，唯固定活動之活動屬性模擬，因屬教學行政單位安排之固定不變活動，故不具備不確定特

性。圖 7 為本模式之活動模擬流程，包含下列 13 個步驟，詳述如下。其中需取得群體活動清單作為輸入(如表 5)，最後輸出資料為使用者活動時間表。

步驟 1-對於每一組群體 & 步驟 2-對於此群體之每一位使用者

此模式每一群體所包括之使用者，為具有相同固定與非固定活動，以及相同機率分佈之活動屬性與行為屬性。其中群體活動清單，係定義建物中所有群體使用者及其相關活動。首先此模式之步驟 1，為由群體活動清單中，對於每一組群體，重覆地產生此群體所需之使用者，直至達到群體定義之使用者數量。步驟 2，則是對於此群體之每一位使用者，決定所需固定與非固定活動。

步驟 3-對於每一週模擬 & 步驟 4-對於每一項固定活動

步驟 3 與步驟 4，為在一週模擬中，對於此群體之每一位使用者，隨機選擇一項固定活動，並檢查此活動之活動起迄時間範圍。假若位於模式設定之模擬起迄時間範圍外，此模式則選擇下一項固定活動。相反地，假若位於模式設定之模擬起迄時間範圍內，則進入步驟 5。

步驟 5-產生固定活動之活動屬性

步驟 5，為根據群體定義固定活動之活動屬性(包括活動時間、活動地點)，產生每一位使用者暫時之活動時間表。此外，再依據此暫時活動時間表，檢查活動屬性是否與其它活動發生衝突(即各活動地點，是否與其它活動發生衝突；以及各活動時間之使用者，是否在同一時段進行其它活動)。假若活動屬性未發生衝突，此模式則進入步驟 6。相反地，假若活動屬性發生衝突，此模式暫停，同時顯示警訊，請求模式使用者，重新輸入活動屬性或刪除該活動。

步驟 6-隨機決定固定活動之行為屬性

步驟 6，為根據群體定義固定活動之行為屬性(包括活動出席率、活動到達時間趨勢及活動離開時間趨勢)，隨機決定此位使用者參與此活動之行為屬性。接著，此模式再分別重覆一週次(步驟 4 至步驟 6)及所有週次(步驟 3 至步驟 6)，直至此位使用者之所有固定活動皆完成模擬。

步驟 7-對於每一週模擬 & 步驟 8-對於每一項非固定活動 & 步驟 9-隨機決定非固定活動之活動頻率

步驟 7 與步驟 8，為在一週模擬中，對於此群體之一位使用者，隨機選擇一項非固定活動，並檢查此活動之起迄時間，其類似上述步驟 3 與步驟 4。接著步驟 9，為根據使用者預先定義活動時間之活動頻率範圍，隨機決定此活動一週發生頻率。

步驟 10-隨機決定非固定活動之活動屬性 & 步驟 11-尋找可容納此活動之最小時間空窗

相較固定活動，非固定活動具較低優先排程權利，此外多半使用者通常在可行的時間空窗內，選擇最小時間空窗，安排非固定活動。因此對於非固定活動之活動時間，本模式提供尋找偏好最小時間空窗或隨機決定活動時間等 2 種類型。

其中一類型選擇，尋找偏好最小時間空窗之活動時間(步驟 10-11)。首先根據某一群體預先定義非固定活動之活動地點，進行活動排程，接著再依據預先定義活動時間之活動期間範圍，尋找可容納此活動期間之最小時間空窗，作為該非固定活動開始時間。假若經多次尋找並已達設定之最大試驗次數，仍無法找到時間空窗，此模式則暫停，同時顯示警訊，請求模式使用者，輸入活動屬性或刪除該活動。

步驟 12-隨機決定非固定活動之活動屬性

另一類型選擇，隨機決定活動時間(步驟 12)。此步驟仍根據某一群體定義非固定活動之活動屬性(即活動時間及活動地點)，隨機決定每一使用者暫時之活動時間表。此外依據暫時活動時間表，檢查活動屬性是否與其它活動發生衝突(即各活動時間之使用者，是否在同一時段進行其它活動)。假若經多次活動時間及活動期間之取樣，並已達設定最大試驗次數，仍發生活動時間衝突，此模式則暫停，同時顯示警訊，請求模式使用者，重新輸入活動屬性或刪除該活動。相反地，假若未發生衝突，則逕進入步驟 13。

步驟 13-隨機決定非固定活動之行為屬性

步驟 13，為根據群體定義非固定活動之行為屬性(包括活動出席率、活動到達時間趨勢及活動離開時間趨勢)，隨機決定此位使用者參與該活動之行為，其類似上述步驟 6。接著，此模式再分別重覆一週次(步驟 8 至步驟 13)及所有週次(步驟 7 至步驟 13)，直至此位使用者之所有非固定活動模擬。此外，模式再分別重覆某一群體 (步驟 2 至步驟 13)及所有群體 (步驟 1 至步驟 13)所有使用者之固定與非固定活動模擬，直至達到模式設定之模擬起迄時間而停止，最後輸出每一位使用者各週次活動時間表。

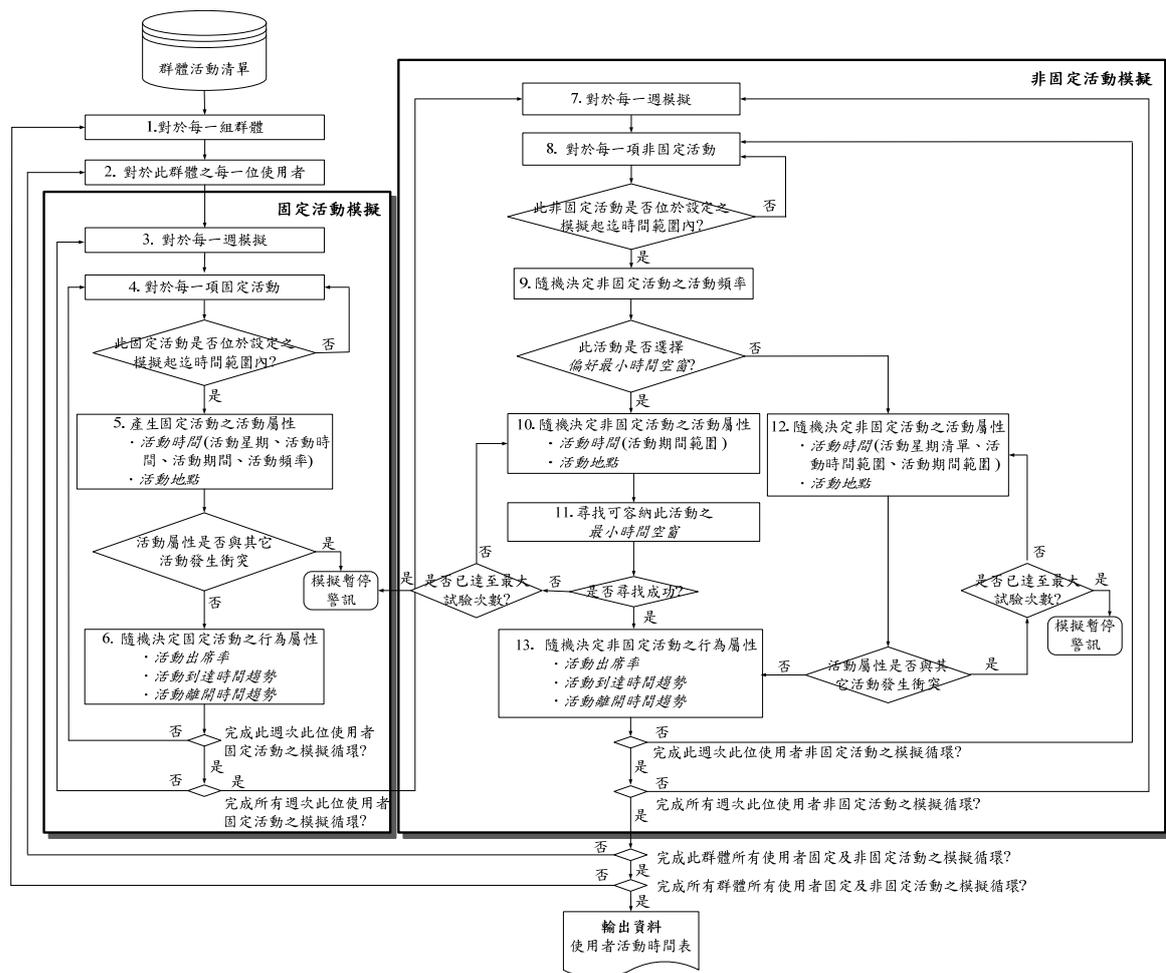


圖 7 使用者活動模擬流程

3.5 空間移動資料探勘

資料探勘(Data mining)主要目的為於大量資料庫中，發掘潛藏有用之資訊或知識，以提供決策人員參考，例如在商品交易資料中，發掘顧客購買商品之關連性，協助行銷管理者制定商品行銷策略。本研究資料探勘目的為在大量建物空間

移動資料中，探勘使用者空間移動樣式及其機能移動關連性(例如教室與研究室彼此間機能移動關連性強，應建議配置於相鄰距離較小之空間)，以協助建物管理者進行機能空間配置調整。圖 8 為空間移動資料探勘，其中包括決定空間移動記錄、拆解空間移動記錄、計數空間移動樣式、計算機能移動關連等 4 個步驟。此外，由於本研究利用 RFID 技術(如 3.3 節)及使用者活動模擬(如 3.4 節)等二種方式，來收集使用者空間移動資料，故在圖 8 中之輸入資料可為 RFID 空間移動資料或使用者活動時間表等二種型式。

步驟 1 為決定空間移動記錄，即利用設定之最大間斷時間門檻值(*Maximum Break Time*)，決定使用者一天中曾經使用之任 2 個機能空間，是否為有關連移動記錄。由於考量使用者由一個機能移動至另一機能時，需要行走及休息時間，故設定此門檻值，本模組設定最大間斷時間門檻值為 30 分鐘。例如某位在 RFID 系統記錄或使用者活動模擬時間表中，使用者一天內曾經使用某 2 個空間，假若其中最晚及最早空間使用時間 2 者之差值為小於(等於)此門檻時間，本模組則視為有關連之空間移動記錄(例如圖 8 空間移動關連記錄表，使用者標籤 ID 120 在 2011 年 3 月 1 日上午之空間移動記錄為 a 、 a 、 b 、 c 、 c 及 d)。相反地，假若為大於此門檻時間，則被視為無關連之空間移動記錄(例如圖 8 空間移動關連記錄表，使用者標籤 ID 123 在 2011 年 3 月 6 日之空間移動記錄僅為 a)。

步驟 2 為拆解空間移動記錄，即以成對方式拆解空間移動記錄表。例如圖 8 空間移動樣式拆解表，使用者標籤 ID 120 在 2011 年 3 月 1 日上午空間移動樣式為 a 、 a 、 b 、 c 、 c 及 d ，以成對方式拆解後為 aa 、 ab 、 bc 、 cc 及 cd 。

步驟 3 為計數空間移動樣式，即分別由空間移動關連記錄表中，計數各單一機能空間之使用次數，以及由空間移動樣式拆解表，計數各關連空間移動樣式之產生次數。例如圖 8 空間移動樣式計數表，斜對角空格數值代表單一機能空間使用次數，而其它空格數值則代表關連空間移動樣式之產生次數，其中橫列為使用者來自某一機能空間(From)，直欄為移動至另一機能空間(To)。在圖 8 例子中，所有機能空間使用次數為 20 次，而其中由 c 機能空間移動至 b 機能空間之 cb 空間移動樣式產生次數為 1 次；由 c 機能空間移動至 d 機能空間之 cd 空間移動樣式產生次數為 2 次。

步驟 4 為計算機能移動關連，利用 Agrawal (1993)等學者在資料庫探勘中提出之關聯規則(Association Rule)作為應用，即取其中支持度值(Support $(a \rightarrow b) = (a \cup b) / \text{Total times}$)作為本研究機能移動關連值($R_{fi, fj}$)。此值代表有關連機能空間移動樣式之產生次數，為佔所有機能空間總使用次數之比率。例如圖 8 機能移動關連表，使用者在 c 機能空間使用後接續移動至 b 及 d 機能空間進行使用，為佔所有機能空間總使用次數之比率，分別為 $0.05(=1/20)$ 及 $0.10(=2/20)$ 。

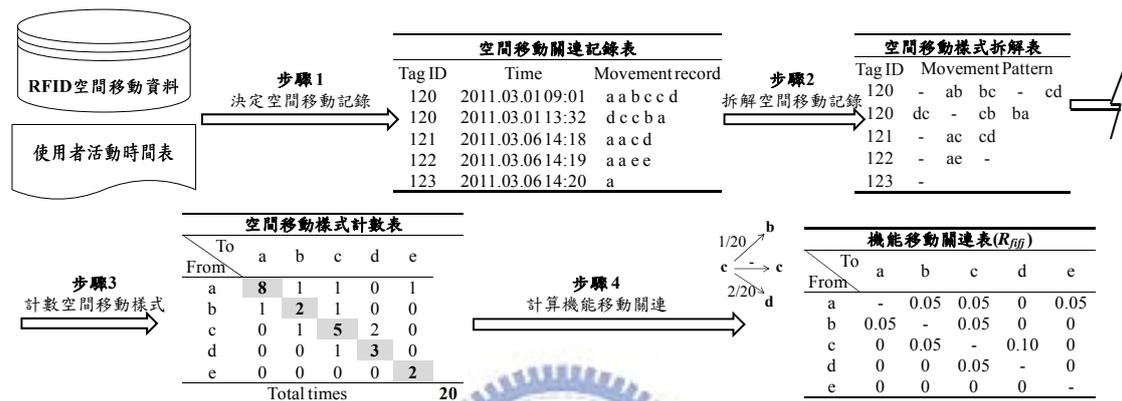


圖 8 空間移動資料探勘

此外，關聯規則另一評估值為信賴度($\text{Confidence } (a \rightarrow b) = (a \cup b) / a$)。此值代表使用者在 a 機能空間使用前提下，接續移動至 b 機能空間進行使用之機率。然而，步驟 4 機能移動關連值不考慮此信賴度原因為，本研究二次指派問題模式為由多對多機能關連值中尋找適合之配置空間，而非一對多機能，且各機能空間重要性皆為相同。其中支持度值係以所有機能空間總使用次數作為比較基準，而信賴度值則取單一群組機能空間之使用次數作為比較基準，其容易因為群組內少數較大信賴度值主導整體之配置。因此相較信賴度值而言，以支持度值作為機能移動關連值較為客觀。

3.6 機能空間最佳配置

機能空間最佳配置問題，可定義為一組特定之機能被配置於最適之空間，其中並尋求最大配置目標與滿足配置限制(Jagielski & Gero, 1997)。建物管理者進行機能重新配置調整時，除了必須考量使用者參與各項活動時之機能移動關連(例如機能移動關連性強之機能，應配置相鄰距離較小之空間)，另外則須符合各機能偏好之空間屬性需求(例如圖書室偏好大型空間；大學部教室偏好低樓層空

間；系辦偏好鄰近建物中心區域之空間)。以下將介紹本研究機能空間配置模型及配置流程。

3.6.1 機能空間最佳配置模式

本研究機能空間配置模型為採用離散型中，最常被學者應用的二次指派問題模式(QAP)。二次指派問題模式在 1957 年由 Koopmans 及 Beckman 學者首先提出，其是一個典型組合最佳化問題，模式定義為： n 個不同之機能，被配置於 m 個不同之空間，且 $m \geq n$ ，其中假設限制為每一個機能僅能被配置在一個空間內，每一個空間亦僅能容納一個機能(Koopmans & Beckman, 1957)。

公式(1)呈現本研究機能空間配置之目標函數，其中包含兩部分加權平均。第一部分($X_{f_i s_i} \times P_{f_i s_i}$)為基於機能偏好之空間屬性評估值($P_{f_i s_i}$)，尋找具最適切空間屬性之空間(例如考量空間大小、樓層、區域等)；第二部分($X_{f_i s_i} \times X_{f_j s_j} \times D_{s_i s_j} \times R_{f_i f_j}$)則基於機能移動關連($R_{f_i f_j}$)強弱，尋找具最小空間相鄰距離($D_{s_i s_j}$)之空間(例如機能移動關連性最強之 2 個機能，被配置相鄰距離最小之空間)。此兩部分在建物機能空間配置之可能應用，以下分別進一步說明：

$$\text{Max } O = W_1 \left(\frac{\sum_{f_i} \sum_{s_i} X_{f_i s_i} \times P_{f_i s_i}}{n} \right) + W_2 \left(\frac{\sum_{f_i} \sum_{s_i} \sum_{f_j} \sum_{s_j} X_{f_i s_i} \times X_{f_j s_j} \times D_{s_i s_j} \times R_{f_i f_j}}{n} \right) \quad (1)$$

Subjected to

$$X_{f_j s_i} = 0 \text{ if } X_{f_i s_i} = 1 \text{ and } f_j \neq f_i,$$

$$X_{f_i s_j} = 0 \text{ if } X_{f_i s_i} = 1 \text{ and } s_j \neq s_i.$$

其中

O ：目標函數；

$X_{f_i s_i}$ ：機能空間配置解(設定界於 0 或 1 之值，例如機能 f_i ，若被配置於空間 s_i ，其值為 1；若未被配置於空間 s_i ，其值為 0)；

$P_{f_i s_i}$ ：機能偏好空間屬性(即機能 f_i 被配置於空間 s_i 之適切程度，設定界於 0 至 1 之值。其值愈大，代表機能 f_i 被配置於空間 s_i 之適切程度愈高)；

$D_{s_i s_j}$ ：空間相鄰距離(即空間 s_i 與空間 s_j 兩者間之水平及垂直相鄰距離，設定界於 0 至 1 之值。其值愈大，代表空間彼此間之水平及垂直相鄰距離愈小)；

$R_{f_i f_j}$ ：機能移動關連(即機能 f_i 與機能 f_j 兩者間之使用者移動樣式關連，設定界於 0 至 1 之值。其值愈大，代表機能彼此間之使用者移動關連愈強)；

n ：機能空間配置數量；

W_1, W_2 ：目標函數權重值。

1. 第一部分($X_{f_i s_i} \times P_{f_i s_i}$)

- **空間大小偏好**：例如為圖書室機能能提供多人共同使用，管理者建議圖書室應配置於大型空間。透過式(1)第一部分，管理者可針對此圖書室機能其中之大型空間，評估給予較高之機能偏好空間屬性值($P_{f_i s_i}$)；
- **空間樓層偏好**：例如考量大學部具有較多課程活動安排，為避免學生搭乘電梯至各樓層教室參與活動，以致電梯負荷超載，管理者建議大學部教室機能應配置於低樓層空間。透過式(1)第一部分，管理者可針對此大學部教室機能其中之低樓層空間，評估給予較高之機能偏好空間屬性值($P_{f_i s_i}$)；
- **空間區域偏好**：例如為避免教授辦公室機能被配置於日落西曬或距離停車場或餐廳較遠之空間，管理者建議應限制在建物 A 區域空間，進行教授辦公室機能配置。透過式(1)第一部分，管理者可針對此教授辦公室機能其中之 A 區域空間，評估給予較高之機能偏好空間屬性值($P_{f_i s_i}$)。

2. 第二部分($X_{f_i s_i} \times X_{f_i s_i} \times D_{s_i s_j} \times R_{f_i f_j}$)

- **使用者機能移動關連**：例如為提供使用者於不同機能中參與各項活動時具有最小移動距離，在建物機能空間配置前，管理者必須取得使用者機能移動關連值($R_{f_i f_j}$)。藉由本研究 RFID 追蹤技術及使用者活動模擬，

可實際取得此關連值(如 3.5 節)，故基於式(1)第二部分機能彼此移動關連強弱($R_{f_i f_j}$)，以尋找具最小空間相鄰距離($D_{s_i s_j}$)之機能空間配置解；

- **管理者建議機能移動關連：**例如考量各組別教授個人需求，其中 A 教授辦公室建議在建物機能重新配置後，能盡可能靠近(或遠離)B 教授辦公室。基於式(1)第二部分，管理者可針對各別教授提出之需求，給予各機能彼此移動關連強弱值($R_{f_i f_j}$)，以尋找適當之機能空間配置解。

表 6 為機能空間配置範例($X_{f_i s_i}$)，每一組配置解係由 $n \times n$ 矩陣所組成，列代表機能，行代表空間。例如表 5 中此組配置解，共有 5 個機能(f_1 至 f_5)被配置在 5 個空間內(s_1 至 s_5)，其中 f_1 配置於 s_1 、 f_2 配置於 s_3 、 f_3 配置於 s_2 、 f_4 配置於 s_5 、以及 f_5 配置於 s_4 。

根據公式(1)機能空間配置目標函數，本研究選擇以快速混元基因演算法(fmGA)作為求解方法。由於過去研究學者證實，fmGA 對於大規模組合問題應用能有效率地求解，尤其因採取非固定長度編碼，染色體長度為允許在演化過程中產生變動，故可更容易地搜尋最佳解(Goldberg et al. 1993)。詳細 fmGA 機能空間之最佳配置流程，請參閱以下 3.6.2 小節。

表 6 機能空間配置範例

$X_{f_i s_i}$	空間				
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
f_1	1	0	0	0	0
f_2	0	0	1	0	0
機能 f_3	0	1	0	0	0
f_4	0	0	0	0	1
f_5	0	0	0	1	0

3.6.2 機能空間最佳配置流程

本研究機能空間最佳配置模式為以快速混元基因演算法(fmGA)作為求解，其中配置目標函數為式(1)第一部分機能偏好空間屬性值($P_{f_i s_i}$)，以尋找最適切空間屬性，以及式(1)第二部分機能移動關連強弱($R_{f_i f_j}$)，以尋找最小空間相鄰距離($D_{s_i s_j}$)。最後以此兩部分加權平均，得之最佳機能空間配置解($X_{f_i s_i}$)。

圖 9 為本模式之機能空間最佳配置流程，包含下列 4 個步驟，詳述如下。其中需取得 4 項資料作為輸入，包括(1)機能偏好之空間屬性($P_{f_i s_i}$) (2)空間相鄰距離 ($D_{s_i s_j}$) (3)機能移動關連($R_{f_i f_j}$)，以及(4)fmGA 運算參數，最後輸出資料為最佳機能空配置解。

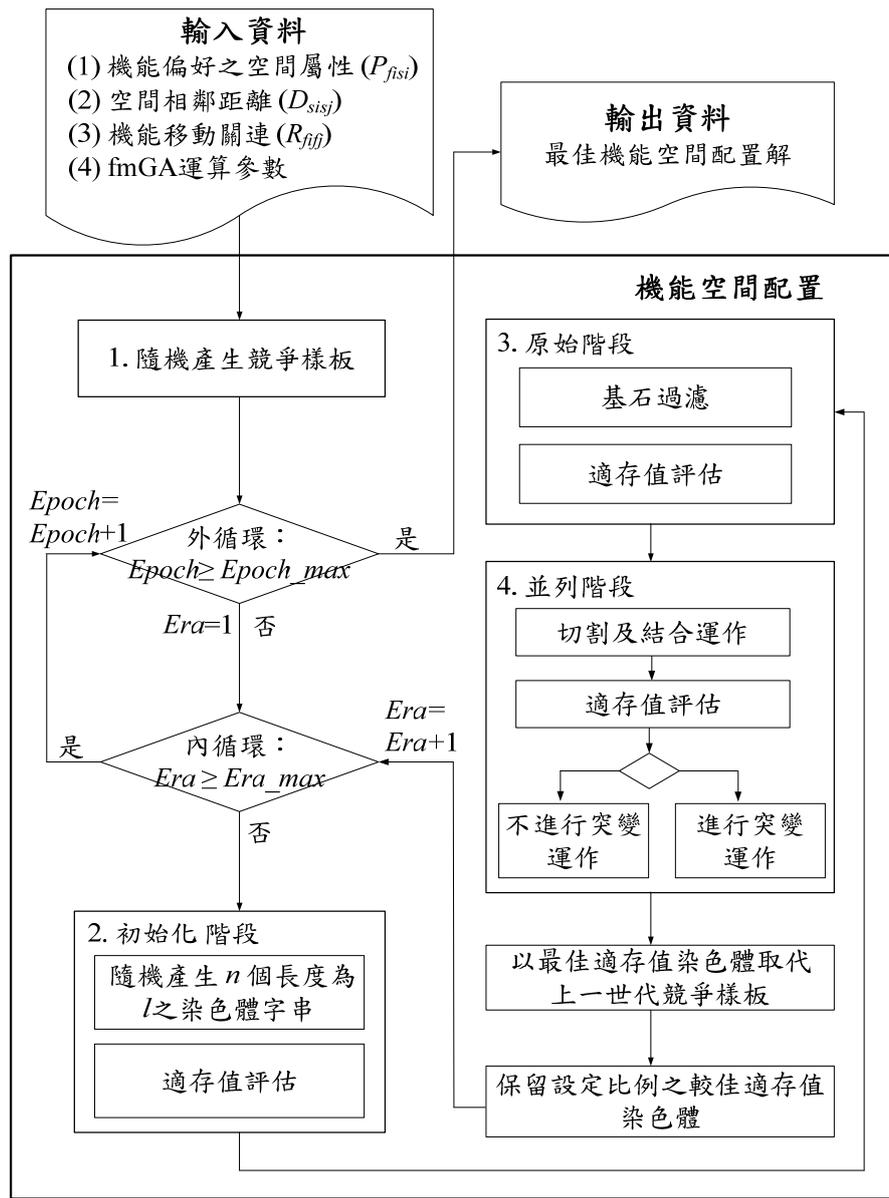


圖 9 機能空間配置流程

步驟 1-隨機產生競爭樣板

步驟 1，為隨機產生一競爭樣板(Competitive Template, CT)。競爭樣板係依

據求解問題所定義之固定字串，且是在演化過程中，隨機搜尋求得的 (Goldberg et al., 1993)。由於競爭樣板為藉由每一世代之最佳適存值染色體所取代，因此本模式 fmGA 求解運作，主要係透過世代間之競爭樣板傳遞，尋找最佳之解。此外在演化過程中，可能產生基因不足設定(Under-specified)之染色體(如下步驟 3 基石過濾運作、步驟 4 切割結合及突變運作)，競爭樣板並用於填補此類型染色體缺漏之基因。

fmGA 包含外循環及內循環等二大運作循環，其中外循環每一迴圈，稱為一紀元(Epoch)，內循環每一迴圈，稱為一世代(Era)。本模式 fmGA 運作流程定義為，起始於第一世代，直至設定之最大世代數(Era_max)，即完成一個紀元運作，並達至設定之最大紀元數($Epoch_max$)，此 fmGA 運作則終止。

此外，其中內循環運作，共包含初始化階段(Initialization Phase)、原始階段(Primordial Phase)及並列階段(Juxtapositional Phase)等三大階段(Goldberg et al., 1993)。各階段運作目的：(1) 初始化階段—產生足夠數量之 k 長度基石母代；(2) 原始階段—透過過濾運作，除去不屬於基石之壞的基因，以保留好的基石於母代中；(3) 並列階段—藉由切割結合及突變運作，將好的基石重組運算，以產生更多之可能最佳解。以下將呈現內循環三大階段之詳細運作說明。

步驟 2-初始化階段

為確保每一世代能具有足夠染色體之母體數量，本研究基於 Goldberg (1993) 建議公式，產生每一世代母體數量，如式(2)。此外根據式(1)機能空間配置目標函數，以評估每條染色體之適存值。

$$n = \frac{\binom{l}{\lambda}}{\binom{l-k}{\lambda-k}} 2c(\alpha)\beta^2(m-1)2^k \quad (2)$$

其中

l ：染色體問題長度；

k ：BBs 基石長度；

λ : 任意給定之值，一般設定為 $l-k$ ， $k < \lambda \leq l$ ；

$c(\alpha)$: 根據正常隨機對應之 α 尾端機率平方值；

β : BBs 基石中最佳適存值與次佳適存值之比值；

m : BBs 基石係數。

步驟 3-原始階段

原始階段包括基石過濾(Building-block Filtering)及門檻選擇(Threshold Selection)等二大運作 (Goldberg et al., 1993)。其中基石過濾運作，係執行基石選取(Building-block Selection)及基因隨機刪除(Random Gene Deletion)等二個步驟，主要目的在於複製足夠數量且品質較佳之染色體基因於母代中，儘管隨機刪除基因，仍然有保留好的基石，進行後續過程運作(Goldberg, 2002)。換言之，基石過濾可使品質較差之基因，進行過濾刪除。

此外基石被定義為短的、低階且高適存值之一組字串基因 (Goldberg et al., 1993)，故本模式基石過濾之運作設計，首先是在基石選取步驟中(鎖定關鍵基因)，選取具最大機能移動關連值(R_{f_i, f_j})之 y 個成對機能作為基石。然後針對每一世代 50% 之最差適存值染色體，檢視其 y 個成對機能之空間配置解(X_{f_i, s_i})。假若 y 個成對機能，皆在設定之空間位置相鄰距離內(D_{s_i, s_j})，則保留該條染色體，否則將予以刪除。接著進入基因隨機刪除步驟(改造母代整體品質)，仍針對每一世代最差適存值之 50% 染色體，進行基因刪除，唯設定刪除後，每一條染色體長度需與基石長度相同。最後，再利用每一世代競爭樣板，填補不足設定(Under-specified)之染色體基因。

另外，為避免基石競爭時，基因彼此間缺少共同特性，Goldberg 等人(1991)提出門檻選擇機制，即兩個字串進行適存值比較前，共同基因數量須大於設定之門檻值，其又稱作競賽式選取(Tournament Selection)。然而，本研究需完整之染色體問題長度，方可進行染色體適存值計算(上式(1))，即基石過濾後須透過競爭樣板填補不足表示之染色體基因。因此適存值計算前，染色體皆具有共同數量基因，已符合門檻選擇限制。此階段運作完成後，本模式保留世代中最佳適存值之 50% 染色體，進入下一步驟。

步驟 4-並列階段

為產生更多可能之最佳解，並列階段為執行染色體切割結合(Cut-splice)及突變(Mutation)等二大運作。首先依設定之交配率(P_c)，隨機選擇此世代染色體進行切割結合運作。完成切割結合運作後，接著進行染色體適存值評估。由於可能產生優於或小於(或等於)前一代競爭樣板等 2 種結果染色體，其中若染色體適存值小於(或等於)前一代，代表僅進行切割結合運作，可能無法產生具競爭力之染色體，因此需進行突變。本模式依據設定之突變率(P_m)，隨機選擇此世代染色體進入突變運作。相反地，假若染色體優於前一代，則不進行突變。

切割結合及突變運作後，對於基因不足設定(Under-specified)之染色體，仍透過每一世代競爭樣板，填補缺漏之基因；對於基因過度設定(Over-specified)之染色體，則採由左至右瀏覽之先到先服務(First-come-first-served)原則，刪除多餘之基因。

此外，每一世代新產生與前一代原有之染色體，皆被貯存至母體交配池中。本模式為取出每一世代最佳適存值染色體，作為下一代之競爭樣板，此外並保留一定比例較佳適存值之染色體，作為下一代母體。重複步驟 2 至步驟 4，直至達到設定之最大世代數(= $Epoch_max \times Era_max$)，本模式則停止運算。最後輸出資料為最佳機能空間配置解。

3.6.3 染色體基因過度設定及不足設定

相較傳統基因演算法(sGA)，fmGA 最大差異為染色體長度可產生變動(Feng et al., 2006; Cheng, 2010)，其中主要是 fmGA 採用非固定長度之混元染色體編碼方式(Messy Chromosome)，即藉由成對之基因組成，包括基因位置(Alelle Locus)及基因值(Alelle Value) 2 部分。以圖 10 C_0 染色體為例，在本研究機能空間配置中，基因位置代表空間，基因值代表該空間對應配置之機能。染色體問題長度則代表所需要配置機能之空間數量。此外，由於本研究機能空間配置求解為排列組合(Permutation)其中之一問題，染色體較適合採用整數編碼方式(Integer Encoding)。圖 10 呈現一個 5 個機能被配置於 5 個空間之例子，染色體問題長度為 5，例如其中 f_3 機能配置在 s_1 空間、 f_4 機能配置在 s_2 空間。

在 fmGA 運作過程中(例如基石過濾、切割結合運作)，由於染色體長度為非固定，染色體可以是過度設定(Over-specified)或不足設定(Under-specified)等表示型式。圖 11 為呈現切割結合運作後，染色體過度及不足設定。染色體切割運作前， C_1 及 C_2 染色體皆為精確設定，即各機能被配置在唯一之空間；染色體切割結合運作後， C_1' 及 C_2' 染色體皆產生過度及不足設定之表示型式。其中，過度設定為 C_1' 染色體在 s_2 空間重覆配置 f_3 及 f_4 等 2 個機能，以及 C_2' 染色體在 s_4 空間重覆配置 f_2 及 f_4 等 2 個機能；不足設定為 C_1' 染色體在 s_4 空間無配置機能，以及 C_2' 染色體在 s_1 空間無配置機能。

針對本研究求解問題，圖 12 呈現 C_1' 染色體過度設定及不足設定之 4 個評估步驟。首先對於過度設定染色體，為採取由左至右瀏覽之先到先服務(First-come-first-served)原則，以篩選重複基因，例如步驟 1 刪除重複空間，由於 C_1' 染色體 s_1 空間及 s_2 空間已分別給予 f_2 機能及 f_3 機能之配置，故須刪除 C_1' 染色體(2 4)與(1 5)基因。另外對於不足設定染色體，為以競爭樣板(Competitive Template, CT)填補缺漏基因，例如步驟 2 填補缺漏空間，藉由競爭樣板填補對應空間缺漏之基因，即(4 1)與(5 2)。即便此時對於各空間之染色體基因為精確設定，然各空間對應之機能可能再次產生過度設定及不足設定問題，例如步驟 3 刪除重複機能， f_3 機能及 f_2 機能已分別配置於 s_2 空間及 s_1 空間，故須刪除(3 3)與(5 2)基因。最後，再藉由競爭樣板比對未被配置之機能，且由左至右依續填補至不足設定之空間，例如步驟 4 填補缺漏機能，經由競爭樣板比對， C_1' 染色體缺漏 f_4 機能及 f_5 機能未被配置，因此依續填補至 s_3 空間及 s_5 空間，即(3 4)與(5 5)基因。

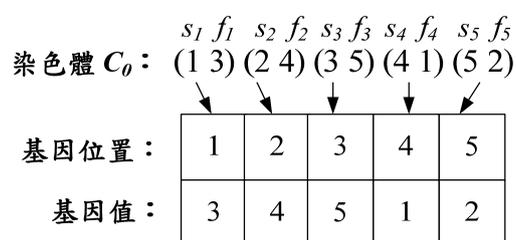


圖 10 混元染色體基因結構



圖 11 切割結合運作

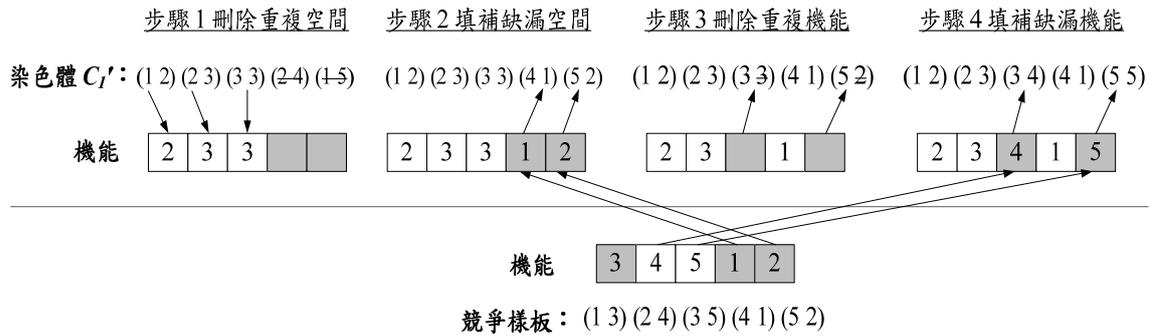


圖 12 染色體基因過度及不足設定評估

3.7 使用者移動模擬

Rahul 等人(2009)提及人群移動實際上是一種複雜的動態決策行為，由於人群移動決策係與個人目標、環境障礙物、以及其它使用者皆有密切之相關。本研究整合使用者移動模擬至機能空間配置模式，主要目的為評估其它難以量化至配置目標函數之指標(例如減少通道流量擁塞、減少對於具安靜需求機能之人潮干擾、各時段空間使用率等表現)，以及進一步驗證建物整建配置結果，此外並能提供管理者使用者移動之視覺展現。以下將說明本研究使用者移動模擬模型及模擬流程。

3.7.1 使用者移動模擬模式

本研究採用網格自動機(Cellular Automata, CA)，作為使用者移動模擬模型。網格自動機為屬離散型之動力系統(Discrete Dynamical Systems)，最初在 1940 年代後期，由 Von Neumann 及 Olman 數學家所提出。此模型運作概念主要是依據周遭相鄰網格狀態及設定之規則，來改變使用者(自動機)佔據網格之狀態(Blue & Adler, 2001)。換言之，即定義網格初始狀態，並利用簡單的邏輯規則，模擬

複雜的自然界行為(Frisch et al., 1987)。因此，本研究應用此模型運作概念，建構各使用者移動行為決策，並依此產生一個近似實際群體之移動行為模型。

本研究使用者移動模擬模式，係基於下列四項定義而建構：(1)二維 $W \times W$ 網格(即在每單位時間，使用者所佔有的空間面積)、(2)移動範圍(即在每單位時間，使用者可能移動的網格)、(3)視野範圍(即在每單位時間，可能影響使用者移動選擇的網格)、(4)移動方向偏好函數(即在每單位時間，使用者移動方向偏好選擇)。四項定義詳述如下。

第一，以二維 0.4 公尺 \times 0.4 公尺之固定尺寸網格，表達使用者每單位時間所佔有空間面積，其是根據 Burstedde 等人(2001)提出的典型擁擠人群中，每一位行人所佔之面積。在網格自動機模型中，每一個網格可能是未被佔用狀態、或被不超過一個以上使用者或物體佔用。第二，圖 13(a)為 3×3 使用者移動範圍，其代表在每單位時間，使用者僅可以在此 3×3 移動範圍內，選擇任一個網格移動 ($V_{max}=1$)。第三，圖 14(a)及圖 14(b)分別是 3×5 (目標網格與邊界不相鄰)及 2×5 (目標網格與邊界相鄰) 等 2 類型視野範圍，其代表在每單位時間，使用者移動選擇為受限 3×5 或 2×5 視野範圍之網格狀態影響。此外，本模式採離散單位時間進行模擬，使用者在每個離散單位時間，可能選擇在原地網格不移動，或者在可移動範圍內選擇移動至其它網格。因此，第四為移動方向偏好函數，其代表在每單位時間，使用者針對可移動範圍，選擇具最大移動方向偏好函數(P_{ij})之網格移動，如圖 13(a)。

公式(3)為移動方向偏好函數(P_{ij})，其中包含四個動態參數之加權平均，即目標參數(S_{ij})、類別參數(C_{ij})、前進參數(F_{ij})、以及環境參數(E_{ij})。簡要而言，考量各群體使用者在建物空間內進行移動時，為具有特定之移動偏好行為(例如選擇最短路徑移動前進、選擇較不擁塞之通道移動前進、避免與其它使用者移動方向產生衝突、避免與障礙物碰撞等移動特性)，其中目標參數(S_{ij})主要為計算移動範圍內，目標網格接近使用者目的地之程度；類別參數(C_{ij})為計算視野範圍內，目標網格周圍空網格數量，以及朝著與本身同質方向移動其它使用者之網格數量；前進參數(F_{ij})為計算視野範圍內，目標網格前方未被其它使用者佔用之網格數量；環境參數(E_{ij})為計算視野範圍內，目標網格前方未被其它障礙物體佔用之網格數量。

在 3×3 移動範圍內，本模式必須計算各目標網格($Cell_T$)之方向參數、類別參數、前進參數及環境參數等參數加權平均值，作為每單位時間使用者移動方向之網格評估選擇。各參數值範圍(S_{ij} 、 C_{ij} 、 F_{ij} 、 E_{ij})設定界於-1.0 至 1.0，各參數權重總合(w_S 、 w_C 、 w_F 、 w_E)設定為 1。以下進一步介紹此四項動態參數公式定義說明。

$$\text{Max } P_{ij} = w_S S_{ij} + w_C C_{ij} + w_F F_{ij} + w_E E_{ij} \quad (3)$$

其中

$$S_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{於最短路徑對稱軸之上 方中間網格} \\ 0.7 & \text{於最短路徑對稱軸之上 方左、右兩側網格} \\ 0 & \text{於使用者目前位置及其 左、右兩側網格} \\ -0.7 & \text{於最短路徑對稱軸之下 方左、右兩側網格} \\ -1 & \text{於最短路徑對稱軸之下 方中間網格} \end{cases} \quad (3-1)$$

$$C_{ij} = \begin{cases} \frac{S_1 - S_2}{15} & \text{當目標網格與邊界不相鄰} \\ \frac{S_1 - S_2}{10} & \text{當目標網格與邊界相鄰} \end{cases} \quad (3-2)$$

$$F_{ij}, E_{ij} = \begin{cases} \frac{S_1 - S_2}{15} & \text{當目標網格與邊界不相鄰} \\ \frac{S_1 - S_2}{10} & \text{當目標網格與邊界相鄰} \end{cases} \quad (3-3)$$

1. 目標參數(S_{ij})

儘管目標路線擁擠，使用者行走通常不願意繞路、或朝著與目的地相反方向移動(Helbing et al., 2001)。式(3-1)為目標參數(S_{ij})之評估公式，即是考量最短路徑前提下，計算移動範圍內(如圖 13(b))，各目標網格接近使用者目的地之程度。當目標網格與使用者目的地距離愈短，目標參數值(S_{ij})愈大。

以目的地為垂直向上之使用者為例(如圖 13(b))，假若目標網格，位於最短路徑對稱軸之上方中間網格，目標參數值定義為 1.0；假若位於最短路徑對稱軸之上方左、右兩側網格，目標參數值定義為 0.7；假若位於使用者目前位置及其左、

右兩側網格，目標參數值定義為 0；假若位於最短路徑對稱軸之下方中間網格，方向參數值定義為-1.0；假若位於最短路徑對稱軸之下方左、右兩側網格，目標參數值定義為-0.7。

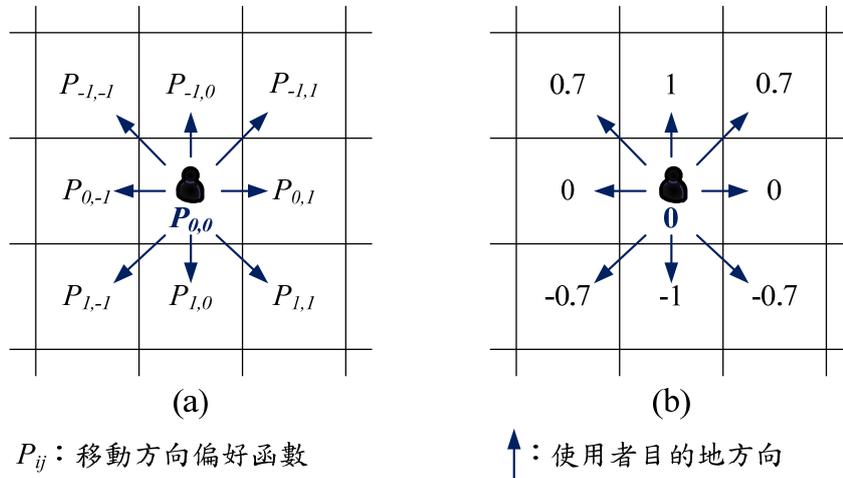


圖 13 移動範圍 (a)移動範圍內之移動方向偏好函數 (b)目標參數評估

2. 類別參數(C_{ij})

使用者行走同一組群體，一般傾向朝著相同之方向移動，盡可會避免使用者彼此間之移動干擾(Yue, 2007)。式(3-2)為類別參數(C_{ij})之評估公式，即是計算視野範圍內(如圖 14(a)及圖 14(b))，目標網格周圍空網格數量，以及朝著與本身同質方向移動之其它使用者網格數量。此兩者網格數量愈多，類別參數值愈大。在式(3-2)中， S_1 代表視野範圍內，空網格數量以及朝著與本身同質方向移動之其它使用者網格數量，兩者之合； S_2 代表視野範圍內，朝著與本身不同質方向移動之其它使用者網格數量。

圖 14 為影響類別參數評估之視野範圍，其中圖 14(a)及圖 14(b)分別是目標網格($Cell_T$)與邊界不相鄰及與邊界相鄰之 3×5 、 2×5 視野範圍。另外，圖 14 也呈現針對不同目標網格之視野範圍，陰影面積代表 No.1 目標網格($Cell_{T1}$)之視野範圍，虛線面積代表 No.2 目標網格($Cell_{T12}$)之視野範圍。

此外，此參數同質方向定義為使用者由目前網格($Cell_0$)移動至目標網格($Cell_T$)，不與其它使用者之移動方向產生干擾。下圖 15 為以一個朝向右上目標網格移動之使用者為例，說明同質方向及類別參數評估。其中，箭線代表使用者

移動方向，評估使用者目前位於 $Cell_0$ 網格，且考慮朝向 $Cell_T$ 網格移動，因此共有 3 種箭線方向類型(如圖 15 右下角)，與該評估使用者同質方向，其餘箭線方向皆不屬於同質方向。例如由圖 15 可知，與評估使用者目標網格同質方向之使用者為 No.2 及 No.4，不同質方向之使用者為 No.1、No.3 及 No.5。依據式(3-2)類別參數之評估公式，圖 15 目標網格($Cell_T$)之類別參數值為 $0.53 (= (11-3)/15)$ 。

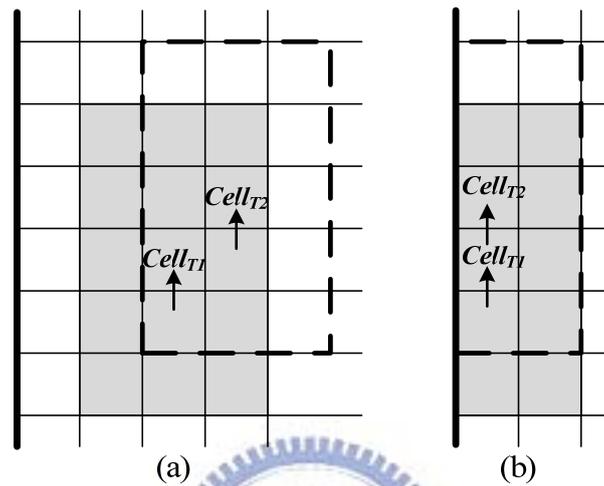


圖 14 影響類別參數評估之視野範圍 (a) 3×5 視野範圍 (b) 2×5 視野範圍

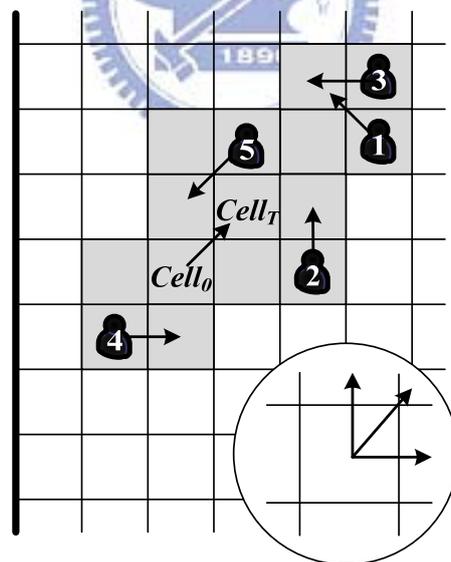


圖 15 使用者朝右上目標網格移動之類別參數評估

3. 前進參數(F_{ij})

使用者為避免大範圍通道阻塞，且在短時間內有機會移動至目的地，一般會選擇具有較多空網格之方向移動前進(Yue, 2007)。式(3-3)為前進參數(F_{ij})之評估公式，即是計算視野範圍內(如圖 16(a)及圖 16(b))，目標網格前方未被其它使用

者佔用之網格數量。此類型網格數量愈多，前進參數值愈大。

在式(3-3)中， S_1 代表視野範圍內，未被其它使用者佔用之網格數量； S_2 代表視野範圍內，已被其它使用者佔用之網格數量。依據式(3-3)前進參數之評估公式(其中)，圖 16(a)目標網格($Cell_T$)之前進參數值為 0.73 $(=(13-2)/15)$ 。

4. 環境參數(E_{ij})

使用者行走若太接近障礙物體(例如垃圾桶、牆柱、施工基地等)，通常感到不舒適，且需要多加留意避免與障礙物碰撞，因此使用者對於障礙物體，通常會保持一定安全距離(Helbing et al., 2001)。式(3-3)為環境參數(E_{ij})之評估公式，即是計算視野範圍內(如圖 16(a)及圖 16(b))，目標網格前方未被其它障礙物體佔用之網格數量。此類型網格數量愈多，環境參數值愈大。

在式(3-3)中， S_1 代表視野範圍內，未被障礙物體佔用之網格數量； S_2 代表視野範圍內，已被障礙物體佔用之網格數量。依據式(3-3)環境參數之評估公式，圖 16(a)目標網格($Cell_T$)之環境參數值為 0.60 $(=(12-3)/15)$ 。

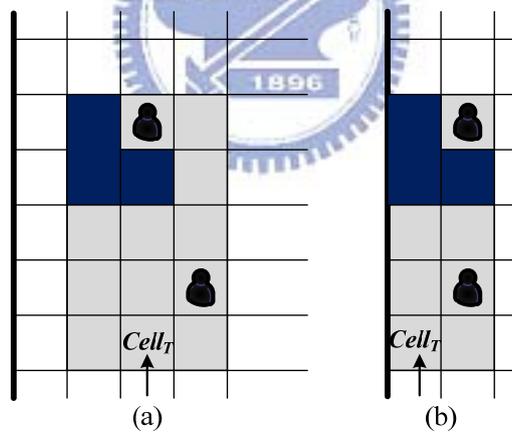


圖 16 影響前進參數及環境參數評估之視野範圍 (a) 3×5 視野範圍 (b) 2×5 視野範圍

3.7.2 使用者移動模擬流程

使用者移動模擬模式，係用於評估其它難以量化至配置目標函數之指標(例如減少通道流量擁塞、減少對於具安靜需求機能之人潮干擾、各時段空間使用率等表現)，以及進一步驗證建物整建配置結果。圖 17 為本模式之使用者移動模擬流程，包含下列 3 個步驟，詳述如下。其中需取得 5 項資料作為輸入，包括(1)RFID

空間移動資料/使用者活動時間表 (2)建物平面圖 (3)機能空間配置解 (4)通道累積流量監測點，以及(5)移動方向參數權重。最後輸出之統計資料包括(1)使用者移動距離相關指標 (2)通道累積流量相關指標 (3)空間使用率相關指標，以及展現 (4)使用者移動軌跡之 2D 及 3D 動畫。

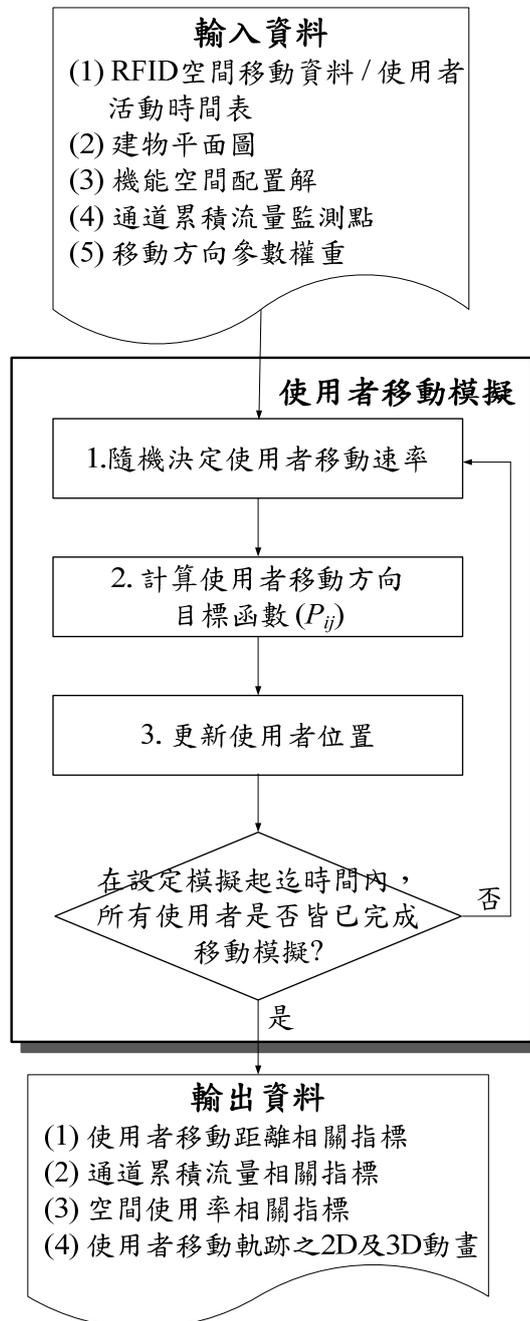


圖 17 使用者移動模擬流程

步驟 1-隨機決定使用者移動速率

步驟 1 為隨機決定每一位使用者之移動速率。根據美國聯邦公路管理局調查

資料(Federal Highway Administration, 2012)，行為人平均行走速率約 1.22 公尺/秒，故本模式之使用者移動速率，設定為 1 網格/秒至 4 網格/秒之隨機變數(約 0.4 公尺/秒至 1.6 公尺/秒)。

步驟 2-計算使用者移動方向偏好函數(P_{ij})

步驟 2 為計算每一位使用者移動方向。在 3×3 移動範圍內，此模式為基於上式(3)，選擇具有最大移動方向偏好函數值(P_{ij})其中之一網格，作為使用者各單位模擬時間之移動目標。此外使用者路徑選擇為利用 A*演算法(Bourg & Seemann, 2004)，計算使用者由原始所處位置，移動至最終目的地位置之最短路徑。

步驟 3-更新使用者位置

步驟 3 為在各單位模擬時間，隨機選擇一位使用者進行位置更新。為了避免兩位以上使用者之移動位置發生衝突(Keßel et al., 2002)，此模式採用隨機循序方式(Sequential Update Pattern)，更新使用者位置。使用者位置更新規則，說明如下：

- 假若使用者位於最大移動方向網格(P_{ij})，則維持所處位置不進行移動；
- 假若在 3×3 移動範圍內，具有未被佔用網格，使用者則移動至最大移動方向(P_{ij})且為正值之網格內；
- 假若在 3×3 移動範圍內，除了佔用網格外，均已被其他使用者佔用，則比較此使用者與佔用最大移動方向(P_{ij})網格之另一使用者，兩者移動方向。若此兩位使用者移動方向相反，則基於 50%交換機率(Blue et al., 2001)，進行位置互換，反之則維持該使用者目前所處之位置。

此模式對於每一位使用者，在每一單位模擬時間內，皆必須進行一次移動模擬，且重複步驟 1 至步驟 3，直至達至設定之模擬起迄時間而停止。

3.8 建物服務表現評估

建物服務水平(Level of Service, LOS)(Fruin, 1971)，被廣泛作為評估行為人於通道、樓梯及排隊等候區域之移動順暢程度，其中包括平均每分每米人次流量(frequency/min*m)、平均每人使用面積(M^2 /people)、以及行人間距(m)。然使用者

移動順暢程度，尚無法完整反映對於公共建物營運效率。為協助規劃者評估公共建物之配置表現，Lee 等人(2012)進一步建議以使用者行走時間或移動距離，作為評估公共建物之營運效率指標。本研究藉由使用者移動模擬，建立三大類型建物服務表現評估指標，以供建物機能空間進行 what-if 配置調整之決策輔助，其中包括移動距離、通道流量、以及空間使用率等相關指標。以下將定義說明此三大類型指標，以供後續建物機能空間進行 what-if 配置調整之決策輔助參考。

1. 移動距離相關指標

I_{M1} ：總模擬期間所有使用者總移動距離 (M)

I_{M2} ：平均每週所有使用者總移動距離 (M/week)

$$I_{M2} = I_{M1} / (\text{模擬週次})$$

I_{M3} ：平均每週每位使用者移動距離 (M/people*week)

$$I_{M3} = I_{M1} / [(\text{模擬週次}) * (\text{所有使用者人數})]$$

I_{M4} ：總模擬期間各類別使用者總移動距離 (M)

I_{M5} ：平均每週各類別所有使用者總移動距離 (M/week)

$$I_{M5} = I_{M4} / (\text{模擬週次})$$

I_{M6} ：平均每週各類別每位使用者移動距離 (M/people*week)

$$I_{M6} = I_{M4} / [(\text{模擬週次}) * (\text{各類別使用者人數})]$$

移動距離相關指標係在移動模擬中計算使用者行走距離。在相同之使用者數量及活動前提下，若此指標值愈小，代表建物服務表現效率愈佳。針對各類別使用者之移動距離指標(即 I_4, I_5, I_6)，管理者可以基於目前機能空間配置，檢視何種類別使用者具最大移動距離，並調整此類別使用者相關之機能空間配置，以達減少所有使用者總移動距離。

2. 通道流量相關指標

I_{C1} ：通道網格總累積流量 (frequency)

I_{C2} ：通道網格平均每週累積流量 (frequency/week)

$$I_{C2} = I_{C1} / (\text{模擬週次})$$

I_{C3} : 通道網格平均每天累積流量 (frequency/day)

$$I_{C3} = I_{C1} / (\text{模擬天數})$$

I_{C4} : 流量線總累積流量 (frequency)

I_{C5} : 流量線平均每週總累積流量 (frequency/week)

$$I_{C5} = I_{C4} / (\text{模擬週次})$$

I_{C6} : 流量線平均每天累積流量 (frequency/day)

$$I_{C6} = I_{C4} / (\text{模擬天數})$$

I_{C7} : 流量線平均每分每米流量 (frequency/min*m)

$$I_{C7} = I_{C4} / (\text{每天模擬分鐘} * \text{流量線長度})$$

通道相關指標為協助管理者辨別高流量通道之區域，以避免造成通道擁塞或干擾其它安靜之機能空間(例如圖書室、會議室)，並可進一步檢視通道設計寬度是否可容納該流量值，例如賣場、轉運站等應用。

3. 空間使用率相關指標

(a) 空間使用人數指標

I_{S1} : 所有空間總使用人數 (people)

I_{S2} : 平均每空間使用人數 (people/space)

$$I_{S2} = I_{S1} / \text{空間數量}$$

I_{S3} : 平均每空間每小時使用人數 (people/space*hrs)

$$I_{S3} = I_{S1} / [(\text{空間數量}) * (\text{每天模擬小時數})]$$

I_{S4} : 所有空間平均每人數使用面積 (M^2 / people)

$$I_{S4} = \sum_{i=1}^n S_i(\text{space area}) / I_{S1}$$

I_{S5} : 各空間總使用人數 (people)

I_{S6} : 各空間各小時使用人數 (people)

I_{S7} : 各空間平均每人數使用面積 (M^2 /people)

$$I_{S7} = S_i(\text{space area}) / I_{S5}$$

(b) 空間使用人數百分比與比例指標

I_{S5}/I_{S1} ：(各空間總使用人數)相對(所有空間總使用人數)百分比 (%)

I_{S5}/I_{S2} ：(各空間總使用人數)相對(平均每空間使用人數)比例 (%)

I_{S6}/I_{S1} ：(各空間各小時使用人數)相對(所有空間總使用人數)比例 (%)

空間使用人數指標及其百分比與比例指標，為提供管理者識別各機能空間之使用者人數規模(Publicity)，可藉由這些指標進行機能分群及調整機能空間配置。例如管理者多半偏好將相同機能配置於同一區域空間，然這些機能若具較高空間使用者人數指標，管理者應謹慎配置，以避免通道走廊人潮擁塞或干擾。

本研究模擬亦提供其它一系列之空間使用人次指標，其是對應上述 I_{S1} 至 I_{S7} 空間使用人數指標，唯公式中人數取代為人次。例如以人次為基礎指標為各空間各小時使用人次，其對應上述各空間各小時使用人數(I_{S6})。以人數為基礎及以人次為基礎，兩者主要之差異為假若使用者進出空間 2 次或 2 次以上時(假設大於最小停留時間之門檻值)，空間使用人數指標僅計算為 1 次，而空間使用人次指標計算為 2 次或 2 次以上。例如各空間各小時使用人次之值為高，代表空間使用非常頻繁，然亦可能是少數使用者多次使用該空間、多數使用者使用該空間若干有限次數、或是多數使用者多次使用該空間等情況導致，因此應參考各空間各小時使用人數(I_{S6})指標。

另外則是一系列之比例指標，即人次為基礎指標對應人數為基礎指標之兩者比例。例如以 I_{S5} 指標為例， I_{S5} 人次為基礎指標對應 I_{S5} 人數為基礎指標之兩者比例。上述 I_{S5} 、 I_{S6} 及 I_{S7} 人數為基礎指標，可作為監控某一特別之空間，而人次與人數對應之比例為區分以下 4 種類型，則作為協助管理者進行機能空間配置策略參考：

類型 I：高人次/高人數(例如系辦、教室等機能)；

類型 II：高人次/低人數(例如研究室、教授辦公室等機能)；

類型 III：低人次/高人數(例如演講廳等機能)；

類型 IV：低人次/低人數(例如儲藏室、電汽/機械室等機能)。

其中類型 I 或類型 III 之機能，較適合配置於靠近建物中心之空間位置，以減少多數使用者移動至其它空間之距離。相反地，類型 IV 之機能，應配置於遠

離建物中心之空間位置。類型 II 為屬部分群體使用之機能，因此應基於該群體之機能移動關連值(R_{fif_j})，選擇靠近具高機能移動關連之空間配置。

(c) 空間使用人數超過 x 人之使用時間百分比

I_{S8} ：各空間使用人數超過 x 人之使用時間百分比 (%) ($x = 0, 10, 20, 30, 40, 50$)

$$I_{S8} = \text{各空間使用人數超過 } x \text{ 人之使用時間} / \text{每天總模擬時間}$$

此指標可協助管理者基於空間機能及空間大小，調整各活動之空間安排。例如有一項 35 人演講活動被安排至中型空間，然而此中型空間之使用人數超過 20 人或 30 人具高比例。相反地，假若額外有一間 50 人大型空間尚有可使用之時段，且其超過 40 人具低比例，此演講活動則可轉換至該 50 人大型空間。

(d) 空間使用毛率及使用淨率指標

I_{S9} ：各空間每天使用毛率 (%)

$$I_{S9} = \text{各空間一天使用時間} / \text{每天模擬小時數}$$

I_{S10} ：各空間每天使用淨率 (%)

$$I_{S10} = \text{各空間一天使用時間} / (\text{各空間該天最晚使用時間} - \text{各空間該天最早使用時間})$$

此指標為提供模擬期間各空間之空間使用毛率及空間使用淨率之統計。某一空間每天使用毛率(I_{S9})或空間每天使用淨率(I_{S10})之值愈大，代表空間被充分使用；相反地，其值愈小，代表空間未被充分使用。假若某一空間具有高 I_{S9} 指標值，則跟隨具有高 I_{S10} 指標值。因此，當有一些活動需要安排至某些機能之空間時，應優先選擇具低 I_{S9} 指標或具低 I_{S10} 指標之空間。此外，假若空間具有低 I_{S9} 指標值，以及高 I_{S10} 指標值，亦可優先作為選擇。由於其代表該空間仍未被充分使用，且可能具有連續之空間時段，可作為其它活動之空間安排。

(e) 空間使用時間及閒置時間指標

I_{S11} ：各空間平均每週每人使用時間 (min/week*frequency)

$$I_{S11} = \text{各空間總使用時間} / [(\text{模擬週次}) * (\text{各空間總使用人次})]$$

I_{S12} ：各空間每人使用時間 (min/frequency)

$$I_{S12} = \text{各空間總使用時間} / [(\text{各空間總使用人次})]$$

以上為空間使用時間之相關統計指標。某空間若具有高 I_{S11} 指標值，代表使用者於該機能空間停留較長時間，例如演講廳；相反地，某空間具有低 I_{S11} 指標值，代表使用者於該機能空間停留較短時間，例如化妝室。藉由空間使用時間指標，管理者可以從機能服務角度，思考空間設備規劃，例如相對於化妝室空間，演講廳可能更需要舒適的座椅及空調設備。

I_{S13} ：各空間平均每天總閒置時間 (min/day)

$$I_{S13} = \text{各空間總閒置時間} / \text{模擬天數}$$

I_{S14} ：各空間每閒置次數閒置時間 (min/times)

以上為空間閒置時間之相關統計指標。例如某空間 I_{S13} 指標值愈小，表示該空間每天活動安排較緊密，唯 I_{S13} 指標值為 0，表示該空間未被充分利用；相反地， I_{S13} 指標值愈大，表示該空間每天活動安排較鬆散。此外該指標適合用於協助教學建物一週之活動安排，由於教學建物通常以週為單位，重覆地安排使用者活動。例如某空間在某一週模擬中具有高 I_{S13} 指標及標準差，其代表該空間之閒置可能不是整個星期，而僅是此週之其中一天。

第4章 系統實作

4.1 系統架構

基於第3章教學建物機能空間配置求解模式，本節為建構一套 FAMOS 系統 (Function-space Assignment and MOvement Simulation)，輔助建物整建配置。此系統係以 Matlab 程式語言建構建物機能空間最佳配置求解，以及整合以 Visual C++ 及 Direct 程式語言所開發之使用者活動及移動模擬(謝燕青，2009)。圖 18 為系統架構圖，系統界面主要分為五大模組：(I) RFID 空間移動資料追蹤；(II)使用者活動模擬；(III)空間移動資料探勘；(IV)機能空間最佳配置；(V)使用者移動模擬及建物服務表現評估。FAMOS 各模組功能及輸出入資料介紹如下。

I. RFID 空間移動資料追蹤模組：本模組功能為應用 RFID 追蹤定位技術，實際收集使用者空間移動資料，圖 19 呈現 RFID 空間移動資料。其中為減少讀取器空間定位誤差，本模組對於使用者空間移動資料收集，基於訊號接收強度值(RSSI)，加以精準定位使用者駐足空間，此外並以最小停留時間門檻值進行資料過濾，最後再輸出至 RFID 空間移動資料庫。

II. 使用者活動模擬模組：本模組功能為透過使用者活動模擬模式，模擬產生使用者活動時間表。首先，系統使用者必須輸入群體活動清單(如表 5 範例)，接著本模組將依據使用者活動模擬流程(如 3.4.2 小節)，進行固定活動及非固定活動模擬。其中固定活動模擬主要是產生固定活動之活動屬性及隨機決定固定活動之行為屬性；非固定活動模擬主要為隨機決定非固定活動之活動屬性及其行為屬性。完成使用者活動模擬後，本模組輸出資料為使用者活動時間表，例如圖 20 呈現 NO.11 群體其中之 ID 1 使用者第 1 週活動時間表。

III. 空間移動資料探勘模組：本模組功能為利用關聯規則中支持度計算，分析使用者空間移動資料，進而求得機能移動關連值($R_{f_i f_j}$)。其中之一空間移動資料為以 RFID 技術實際收集使用者空間移動資料，另外則是以活動模擬模式產生使用者活動時間表。此兩種來源輸入資料皆須經過 4 個步驟探勘，其中包括決定、拆解空間移動記錄、計數空間移動樣式、以及計算機能移動關連等。完成空間移動資料探勘後，本模組輸出資料為機能移動關連值。

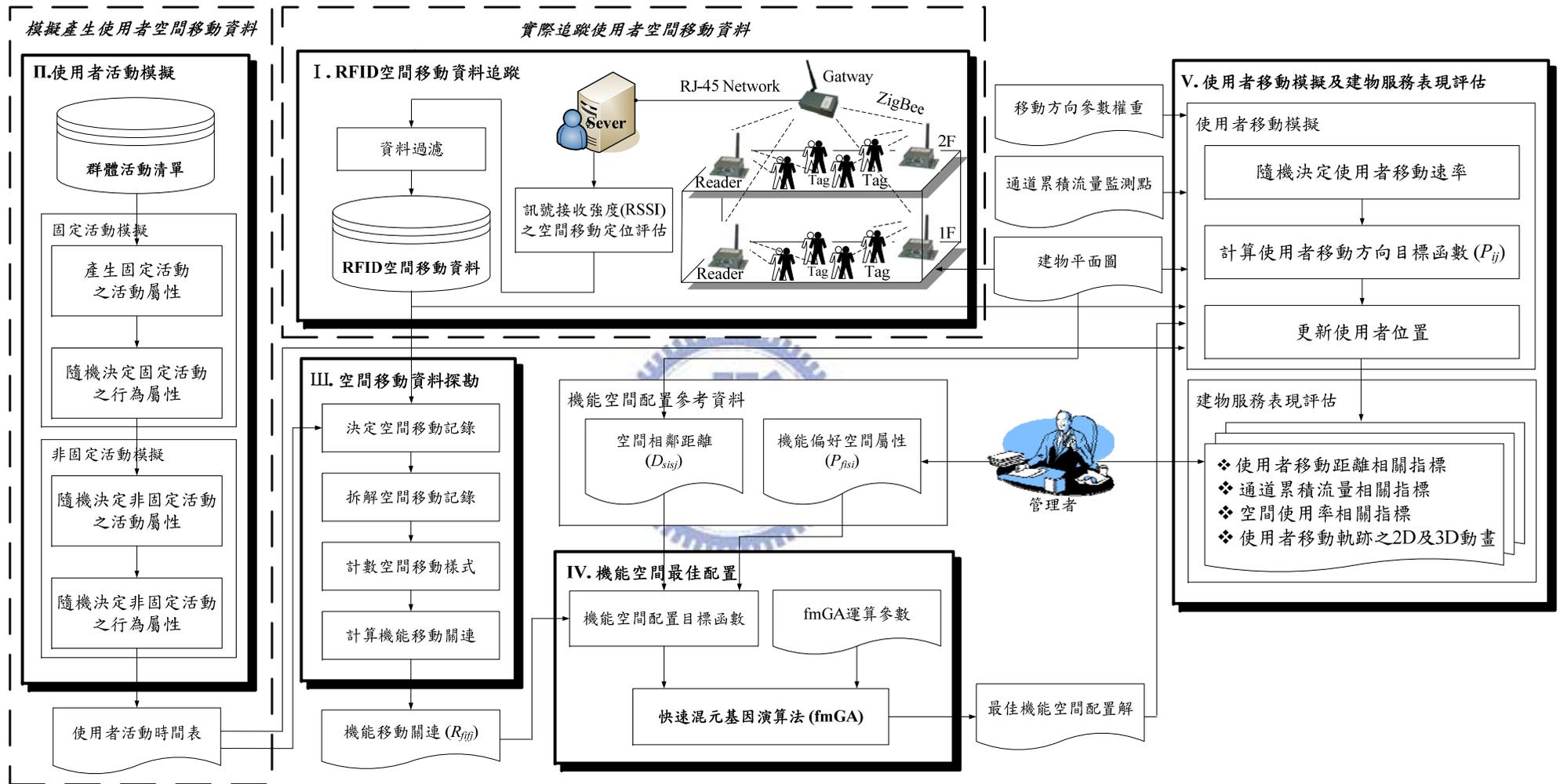


圖 18 系統架構

RFID-3-2.txt - 記事本

檔案	編輯	格式	檢視	說明
205,2009.01.09	17:22:59,1,STA09			
205,2009.01.09	17:24:18,0,STA09			
205,2009.01.09	17:25:57,1,STA09			
205,2009.01.09	17:28:26,0,STA09			
205,2009.01.09	17:29:40,1,STA09			
205,2009.01.09	17:31:31,0,STA09			
205,2009.01.09	17:32:57,1,STA09			
205,2009.01.09	17:34:19,0,STA09			
205,2009.01.09	17:35:41,1,STA09			
205,2009.01.09	17:37:00,0,STA09			
205,2009.01.09	17:44:52,1,STA09			
205,2009.01.09	17:46:31,0,STA09			
205,2009.01.09	17:52:19,1,STA09			
205,2009.01.09	17:52:58,0,STA09			
205,2009.01.09	17:53:59,1,STA09			
205,2009.01.09	17:54:28,0,STA09			
205,2009.01.09	17:56:33,1,STA09			
205,2009.01.13	13:22:29,0,CLA15			
205,2009.01.13	13:22:59,1,CLA15			
205,2009.01.13	13:33:22,0,CLA03			
205,2009.01.13	13:35:01,1,CLA03			
203,2008.11.11	14:56:04,0,CLA03			
203,2008.11.11	14:56:33,1,CLA03			
203,2008.11.11	14:58:23,0,CLA03			
203,2008.11.11	14:59:28,1,CLA03			
203,2008.11.11	15:00:37,0,CLA03			
203,2008.11.11	15:05:22,1,CLA03			
203,2008.11.11	15:08:15,0,CLA03			
203,2008.11.11	15:11:57,1,CLA03			
203,2008.11.11	15:12:42,0,CLA03			
203,2008.11.11	15:15:54,1,CLA03			
203,2008.11.11	15:16:45,0,CLA03			
203,2008.11.11	15:20:30,1,CLA03			
203,2008.11.11	15:23:29,0,CLA03			
203,2008.11.11	15:24:21,1,CLA03			
203,2008.11.11	15:26:06,0,CLA03			
203,2008.11.11	15:40:54,1,CLA03			
203,2008.11.11	15:41:30,0,CLA03			
203,2008.11.11	15:52:26,1,CLA03			
203,2008.11.11	15:53:27,0,CLA03			
203,2008.11.11	15:54:41,1,CLA03			
203,2008.11.11	15:56:10,0,CLA03			

圖 19 RFID 空間移動資料

Individual schedule

behavior category: 11-Hydraulics_Construction_junior | people ID: 1 | week: 1 | simulation: 1

	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
06:00					
07:00					
08:00			document_processing 8:00 ~ 8:34 DO308		
09:00					
10:00	document_processing	Reinforced_Concrete(B) 10:10 ~ 11:00 CL107	Hydrology(B) 10:10 ~ 10:58 CL118	Foundation_Engineering(B) 10:10 ~ 11:00 CL118	Public_Construction_Cost Estimating_System 10:09 ~ 10:59 CL108
11:00		Reinforced_Concrete(B) 11:10 ~ 12:00 CL107	Hydrology(B) 11:10 ~ 11:59 CL118	Foundation_Engineering(B) 11:09 ~ 11:58 CL118	Public_Construction_Cost Estimating_System 11:11 ~ 11:56 CL108
12:00					
13:00	Fundamentals_of_Design 13:20 ~ 14:08 CL403			Introduction_of_Urban_Planning_and_Development 13:24 ~ 14:10 CL117	Global_Positioning_System 13:20 ~ 14:08 CL117
14:00	Fundamentals_of_Design 14:20 ~ 15:11 CL403		take_a_break 14:23 ~ 14:57 RR114	Introduction_of_Urban_Planning_and_Development 14:24 ~ 15:09 CL117	Global_Positioning_System 14:20 ~ 15:09 CL117
15:00	Fundamentals_of_Design 15:32 ~ 16:20 CL403	Foundation_Engineering(B) 15:30 ~ 16:20 CL118		take_a_break	Global_Positioning_System 15:29 ~ 16:18 CL117
16:00	Fundamentals_of_Design 16:31 ~ 17:19 CL403			Reinforced_Concrete(B) 16:30 ~ 17:20 CL107	book_browsing 16:18 ~ 17:19 RR114
17:00	book_browsing 17:19 ~ 18:16 RR114				
18:00		Fluid_Mechanics_Lab(B) 18:30 ~ 19:18 CL108	book_browsing 18:00 ~ 19:09 RR114		
19:00		Fluid_Mechanics_Lab(B) 19:30 ~ 20:19 CL108			
20:00		Fluid_Mechanics_Lab(B) 20:31 ~ 21:19 CL108			
21:00					
21:30					

圖 20 使用者活動時間表

IV. 機能空間最佳配置模組：本模組功能為透過快速混元基因演算法(fmGA)，求解建物機能空間最佳配置。基於上式(1)機能空間配置目標函數，系統使用者必須輸入機能偏好空間屬性($P_{f_i s_i}$)、空間相鄰距離($D_{s_i s_j}$)、機能移動關連($R_{f_i f_j}$)、以及 fmGA 運算參數(包括交配率、突變率、最大紀元數、最大世代數)等資料，以進行機能空間最佳配置求解。本模組最後輸出資料為最佳機能空間配置解。

V. 使用者移動模擬及建物服務表現評估模組：本模組功能為以使用者移動模擬，進一步驗證建物機能空間配置結果，以及評估建物其它服務表現指標。系統使用者必須輸入 RFID 空間移動資料/使用者活動時間表、建物平面圖、機能空間配置解、累積流量密度監測點、移動方向參數權重等資料，接著本模組將依據使用者移動模擬流程執行模擬(如 3.7.2 小節)。最後輸出建物服務表現三大類型統計資料，包含使用者移動距離、通道累積流量(如圖 21)、空間使用率等相關指標、以及展現使用者移動軌跡之 2D 及 3D 動畫(如圖 22)。



圖 21 通道網格累積流量-週二 AM10:00-11:00

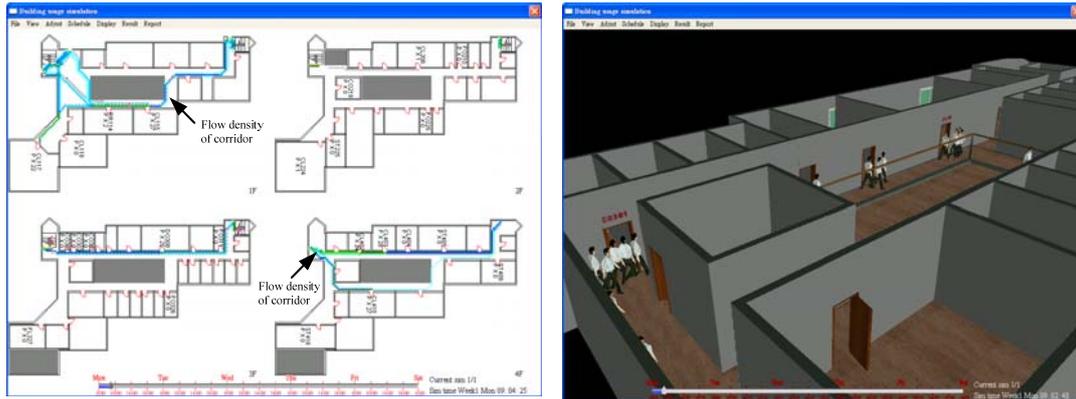


圖 22 使用者移動軌跡 (a) 2D 動畫 (b) 3D 動畫

4.2 系統使用程序

系統使用程序共分為四大階段，其中包括空間移動收集資料階段、空間移動資料探勘階段、機能空間最佳配置求解階段、以及機能空間配置表現模擬及評估階段，各階段使用步驟說明如下。

1. 空間移動資料收集階段

(A) RFID 空間移動資料追蹤

- **步驟 A-1：決定 RFID 空間移動追蹤對象**，系統使用者必須依據建物管理者所需整建配置空間，以決定 RFID 空間移動追蹤對象。
- **步驟 A-2：建置 RFID 空間移動追蹤定位環境**，建置設備包括標籤 (Reader)、讀取器 (Reader)、通訊閘 (Gateway)、以及伺服器 (Server)。系統使用者於 RFID 設備佈建前，應對建物整體配置及所需追蹤空間進行場勘，並透過現場測試實驗 (Field Tests) 評估資料傳遞之準確性，以決定 RFID 設備最適當之佈建位置。
- **步驟 A-3：執行 RFID 空間移動追蹤**，空間移動追蹤對象於追蹤期間內，進行 RFID 空間移動追蹤，最後取得 RFID 空間移動資料。

(B) 使用者活動模擬

- **步驟 B-1：決定活動模擬對象**，依據建物管理者所需整建配置空間，以決定活動模擬對象。
- **步驟 B-2：收集群體活動清單**，活動模擬因採群體為單位進行模擬(同一

群體被視為具有相同活動選擇及相同機率分佈行為屬性)，故收集群體活動清單前，必須將活動模擬對象分為若干個群體(例如依據學生年級、專業領域組別、所參與活動、指導教授或活動出席率等特性)。接著再藉由註冊紀錄、系所排課、訪談及觀察等方式收集群體活動清單，如表 5 活動參與清單範例。

- **步驟 B-3：執行使用者活動模擬**，輸入群體活動清單及設定模擬期間，進行使用者活動模擬，最後取得使用者活動時間表。

2. 空間移動資料探勘階段

- **步驟 4：執行空間移動資料探勘**，輸入 RFID 空間移動資料或使用者活動時間表，進行空間移動資料探勘(如 3.5 小節)，最後取得機能移動關連值。

3. 機能空間最佳配置求解階段

- **步驟 5：量化建物管理者整建配置需求**，系統使用者需取得建物管理者整建配置需求(例如空間大小、樓層、區域等偏好，或對機能彼此配置遠近有所要求)，並根據公式(1)予以量化(如 3.6.1 小節說明)。
- **步驟 6：執行機能空間最佳配置求解**，輸入機能偏好空間屬性($P_{f_i s_i}$)、機能移動關連($R_{f_i f_j}$)、空間相鄰距離($D_{s_i s_j}$)、以及 fmGA 運算參數，進行機能空間最佳配置求解，最後取得最佳機能空間配置解。

4. 機能空間配置表現模擬及評估階段

- **步驟 7：執行機能空間配置表現模擬及評估**，輸入 RFID 空間移動資料/使用者活動時間表、建物平面圖、機能空間配置解、累積流量密度監測點、移動方向參數權重等資料，進行機能空間配置表現模擬及評估，最後取得三大類型建物服務表現指標，其中部份建物服務表現指標，若未符合建物管理者門檻，則進一步調整機能空間配置，重新進行此階段之模擬評估。

第5章 案例驗證與評估

本節以一個實際教學館舍建物為例，展現本研究提出之機能空間配置求解模式。案例目的係為發掘及改善既有建物潛在之機能空間配置問題。各小節呈現結構說明如下：第一小節為介紹案例基本背景；第二小節為說明本案例資料收集方式；第三小節為機能空間配置變數說明；第四小節及第五小節則分別呈現以 RFID 實際追蹤及使用者活動模擬等二種資料收集方式之建物機能空間配置結果；最後，第六小節為機能空間配置求解評估與改善(即評估基石過濾運作效能)。

5.1 案例背景

本案例選擇位於台灣新竹之國立交通大學土木系工程二館建物為例，進行建物機能空間配置整建。此案例建物為一棟 4 層樓中庭式建築，新建於 1978 年，並在 2007 年曾委由建築師進行空間配置整建，建物總樓地板面積為 6,616 平方公尺，內部設有 2 座樓梯及 3 個主要出入口，建物 1F 至 4F 平面圖如圖 23 所示(建築師整建後配置版本)，其中建物內部包括圖書室、演講廳、系辦、教室、研究室、會議室、教授休息室、電汽/機械室、儲藏室、化妝室等多個機能空間。

5.2 資料收集

為對此教學建物整建進行機能空間重新配置，本研究採以 RFID 實際追蹤及活動模擬模式二種方式，收集建物使用者空間移動資料。以下為本案例資料收集方式說明：

5.2.1 RFID 實際追蹤使用者空間移動資料

以主動式 RFID 設備追蹤使用者空間駐足移動行為，為本研究其中之一資料收集方式，並進而對此 RFID 空間移動資料進行使用者空間移動樣式探勘，取得機能移動關連值(R_{f,f_j})，最後再藉此關連值進行建物機能空間配置整建。

RFID 空間移動追蹤實驗共取樣 98 名學生作為樣本(佔總學生人數 23%)，其中因考量大學部(大一至大四學生)及研究所(碩一及碩二學生)之各年級學生數量不一致，為增加實驗樣本可靠性，並能足以代表各群體學生之空間移動資料，故採以分層隨機抽樣方式(Stratified Random Sampling)，於大學部及研究所各年級學

生中，基於相同比率進行隨機取樣。實驗期間為 97 學年度第 1 學期(2008 年)之期中及期末 2 個梯次，共計 8 週，且為配合系所平日作息，追蹤時間限於週一至週五 8:00 AM 至 10:00 PM。在此實驗期間，每一名參與學生於建物內進行活動時，皆持有一張 Helicomm IP-Link 5110 主動式 RFID 標籤(Tag)，並在本案例實驗之空間中各佈有 1 台 Helicomm IP-Link 2220 讀取器(Reader)，以及在無障礙遮蔽處走廊架設 3 台 Helicomm IP-Link 2220E 通訊閘(Gateway)，以負責收集各讀取器所記載的使用者空間移動資料，其中資料傳輸媒介為 ZigBee 無線網路(2.4GHz 全球 ISM 頻段)。圖 24 呈現本案例 RFID 空間移動追蹤實驗實況照片。另外，讀取器、標籤及通訊閘之最大傳輸距離規格分別為 400 公尺、100 公尺、1200 公尺；讀取器、標籤及通訊閘之最大傳輸資料速度規格皆為 250 kbps。

考量有限的 RFID 追蹤設備資源下，研究選擇此建物最關鍵 10 個空間作為應用。此 10 個空間分別位於該建物 4 個樓層，如圖 23 紅框標示之空間(即 s_1 空間至 s_{10} 空間)，其中機能包括 1 間系辦(f_6)、1 間圖書室(f_1)、1 間演講廳(f_3)、2 間研究室(f_8 與 f_9)、2 間會議室(f_4 與 f_5)、以及 3 間教室(f_2 、 f_7 與 f_{10})。

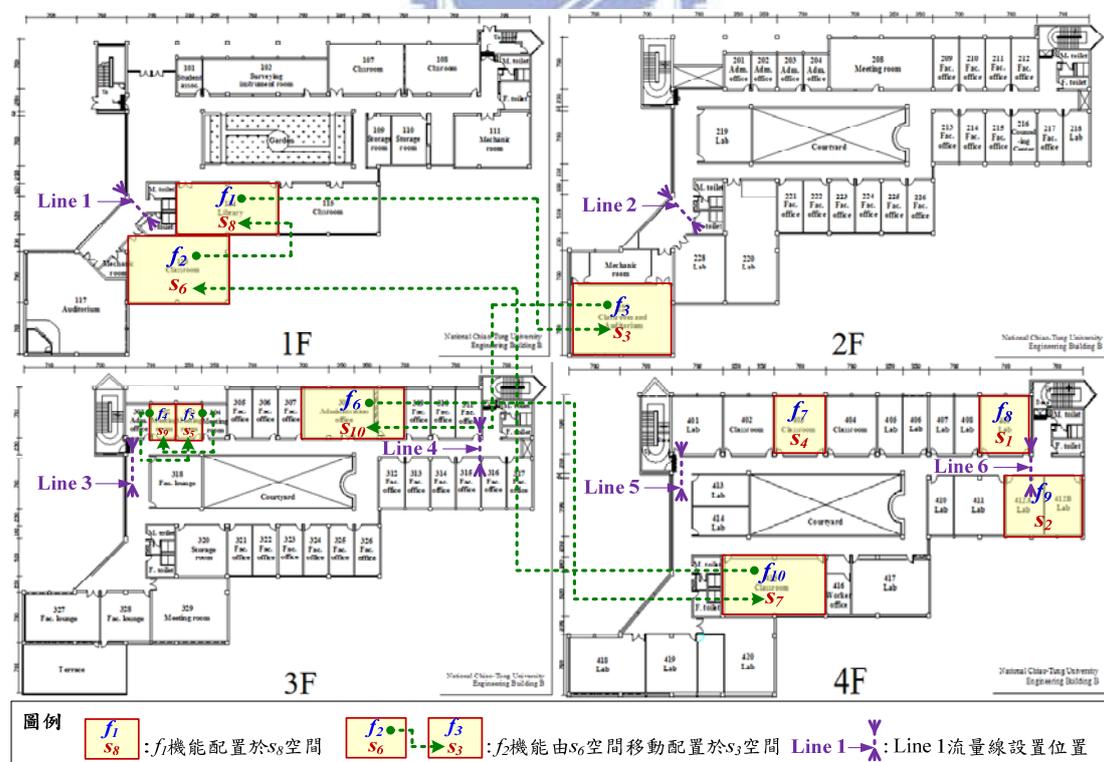


圖 23 A₀ 與 R₂ 機能空間配置比較



圖 24 RFID 空間移動追蹤實況照片

5.2.1.1. RFID 設備先導型佈建評估

本節呈現 RFID 設備佈建之現場測試實驗，以評估 RFID 空間移動資料收集之準確性。此現場測試分為兩大項目實驗，分別是「Field test I：讀取器佈建之週遭干擾條件評估」及「Field test II：標籤攜帶型式與攜帶金屬多寡程度評估」。測試設備包含 50 張標籤(Tag)、10 台讀取器(Reader)、3 台通訊閘(Gateway)、以及 1 台伺服器(Server)，如圖 25。以下將呈現 RFID 現場測試之兩大項目實驗及其評估結果：

1. Field test I：讀取器佈建之周遭影響因子評估

在主動式 RFID 設備中，讀取器佈建為訊號傳遞準確性之一大關鍵。因主動式 RFID 採用無線網路作為資料收集媒介，故容易受週遭干擾條件而影響訊號傳遞準確性。Field test I 目的為以教學建物空間中不同週遭干擾條件，作為讀取器佈建測試，其中干擾條件包括牆面、人潮、以及粉塵。表 7 呈現 10 個讀取器所置空間之週遭干擾條件，其中 Reader 4 位於受人潮干擾之 s_4 空間、Reader 6 位於受牆面、人潮及粉塵干擾之 s_6 空間、Reader 7 位於受粉塵干擾之 s_7 空間、Reader

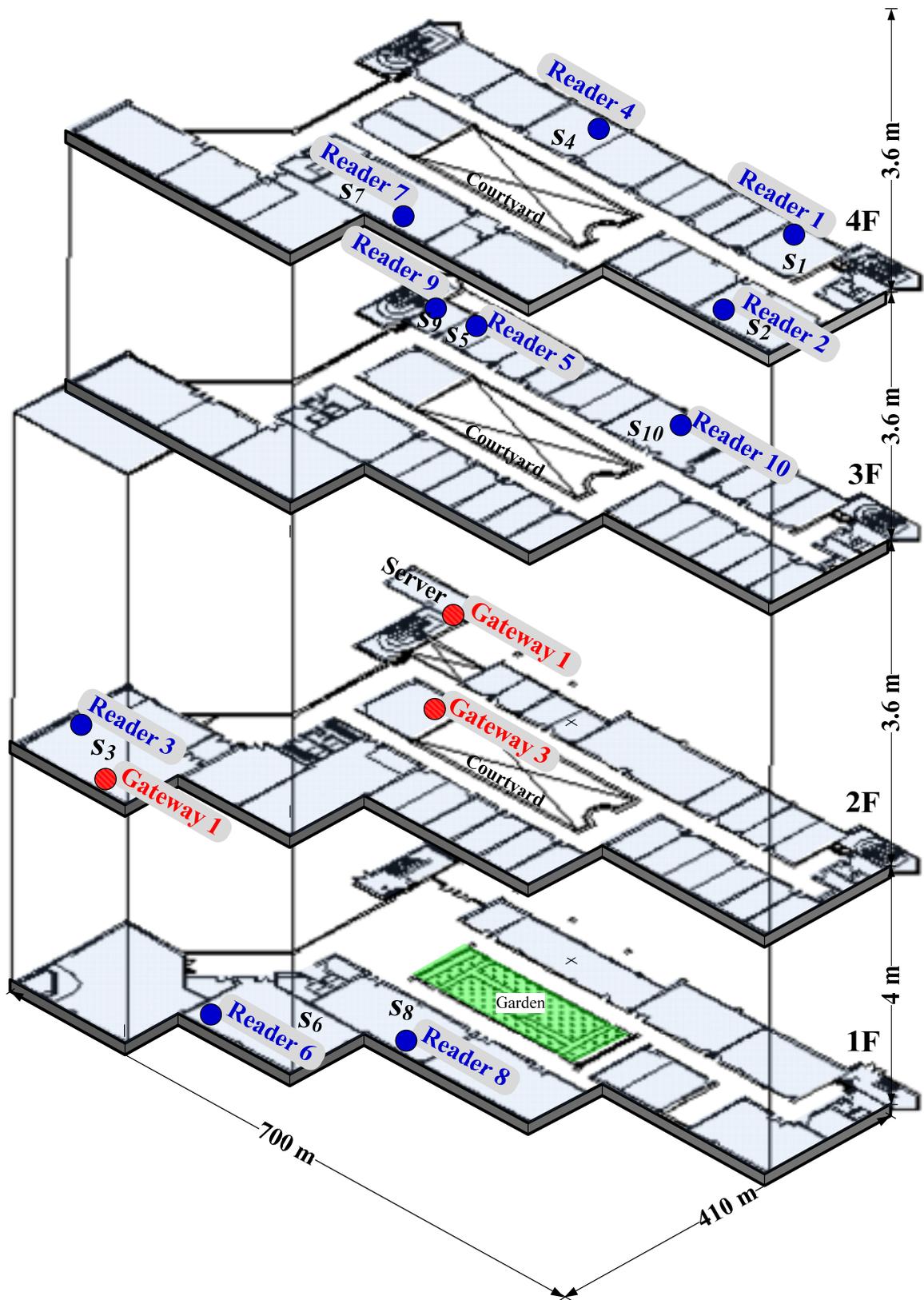


圖 25 RFID 通訊閘及讀取器佈建地點

9 位於受牆面干擾之 s_9 空間，其餘 Reader 1~3、5、8、10 分別位於無干擾條件之 s_1 ~ s_3 、 s_5 、 s_8 、 s_{10} 空間。實驗進行方式為 50 位測試使用者以手持型式攜帶標籤，分別進入佈有讀取器之 10 個空間內(如圖 25 之 s_1 至 s_{10})，並停留 5 分鐘後離開，共進行 30 回實驗。此外，各空間讀取器各附有 1 條天線，且其在測試實驗中被固定於適當方向。

表 7 讀取器佈建影響因子評估結果

讀取器 編號	佈建空間 編號	干擾因子			讀取率	
		牆面	人潮	粉塵	平均值(%)	標準差
Reader 1	s_1				99.9	0.18
Reader 2	s_2				100.0	0.00
Reader 3	s_3				99.9	0.18
Reader 4	s_4		•		99.6	0.41
Reader 5	s_5				100.0	0.00
Reader 6	s_6	•	•	•	97.1	0.63
Reader 7	s_7			•	100.0	0.00
Reader 8	s_8				100.0	0.00
Reader 9	s_9	•			97.5	0.91
Reader 10	s_{10}				100.0	0.00

讀取器週遭干擾條件實驗結果如表 7 所示，其中讀取器所處環境若無干擾條件(Reader 1~3、5、8 及 10)，其平均讀取率皆高達 99.9%以上，唯 Reader 6 及 Reader 9 所處空間為偏向中庭左側，由通訊開佈建位置可知，其略受到部分牆面阻隔，故相較其它無干擾條件讀取器，Reader 6 及 Reader 9 平均讀取率約折減 2~3%。此外，Reader 4 與 Reader 6 所佈建之空間屬人潮較多區域(Reader 4 本身為中型教室且附近空間皆為中型教室；Reader 6 本身為大型教室並位於單出入口走道，附近空間為大型演講廳)，故相較其它無干擾條件讀取器，Reader 4 平均讀取率約折減 0.3%。另外，Reader 7 為屬易產生粉塵之空間，然訊號傳遞品質似乎不太受到粉塵而干擾。

2. Field test II：標籤攜帶型式及攜帶金屬多寡程度評估

另一項測試實驗為評估使用者不同之標籤攜帶型式與攜帶金屬多寡程度，是否影響傳遞訊號準確性。表 8 呈現使用者標籤攜帶型式與攜帶金屬多寡程度及其評估結果，由於本研究採用主動式標籤，使用者標籤攜帶型式可能以標籤裸露及標籤包裹等兩大類型，其中標籤裸露型式包括手持式或頸掛式；標籤包裹型式包括置放在前口袋、後口袋或書包內。另外攜帶金屬多寡為使用者本身攜帶標籤，

並帶有金屬物品之多寡程度(如鑰匙圈)，此測試包括以上所有標籤攜帶型式之無金屬影響(無攜帶金屬物品)、低程度金屬影響(即兩串鑰匙)兩項實驗，以及僅針對標籤置放書包攜帶型式之高精度金屬影響(即 2.5KG 啞鈴)實驗。實驗進行方式同樣由 50 位測試使用者，基於表 8 所列之不同標籤攜帶型式與攜帶金屬多寡，分別進入佈有讀取器之 10 個空間內，停留 5 分鐘後離開，共進行 30 回實驗。此外，各空間讀取器各附有 1 條天線，且其在測試實驗中被固定於適當方向。

表 8 呈現標籤攜帶型式及攜帶金屬多寡程度評估結果，相較其它 4 種類型攜帶型式(即手持式、頸掛式、前口袋、後口袋)，以標籤置放書包此一攜帶型式，尤其帶有高精度金屬影響之讀取率最為偏低(70.2%)。以下針對標籤置放書包此一型式之三類型金屬讀取率結果進行假設檢定，分別是無金屬影響(I)、低程度金屬影響(J)、以及高精度金屬影響(K)。首先假設 P_i 為第 i 類型每一個標籤隨機實驗之讀取率， n_i 為第 i 類型之測試回數(共三種類型， $n_I=n_J=n_K=30$)，每一回測試時之事件發生機率(P_i)皆恆為定數且互為獨立。每一回實驗共有 50 張標籤進行測試，因此第 i 類型讀取率將符合白努力分佈(Binomial Distribution)，即 $Y_i \sim \text{Bin}[50, p_i]$ 。另外， Y_{ij} 則是第 i 類型第 j 次測試之標籤數量($Y_{i1}, Y_{i2} \dots Y_{i30}$)，所以 $\sum Y_{ij}$ 即代表第 i 類型之標籤總測試數量，其將近似常態隨機變數(Z_i)，如下公式(4)表示：

$$\sum Y_{ij} \sim \text{Bin}[50 n_i, p_i] \approx Z_i \sim N[50 n_i p_i, 50 n_i p_i (1 - p_i)] \quad (4)$$

表 8 標籤攜帶類型及攜帶金屬多寡評估結果

標籤攜帶類型		金屬多寡	標籤攜帶類型編號	讀取率	
				平均值(%)	標準差
標籤裸露	手持式	無	Tag A	100.0	0.00
		低	Tag B	100.0	0.00
	頸掛式	無	Tag C	100.0	0.00
		低	Tag D	99.8	0.32
標籤包裹	前口袋	無	Tag E	99.6	0.42
		低	Tag F	99.6	0.42
	後口袋	無	Tag G	99.6	0.42
		低	Tag H	99.4	0.67
	書包內	無	Tag I	99.2	0.52
		低	Tag J	98.6	0.67
	高	Tag L	70.2	1.20	

此假設檢定以兩兩比較方式，探討三種類型金屬影響之讀取率是否呈現顯著差異，其中虛無假設($H_0: P_J = P_I$)為第 J 類與第 I 類兩者金屬影響之讀取率無顯著差異，對立假設($H_1: P_J < P_I$)為第 J 類金屬影響讀取率低於第 I 類金屬影響讀取率。表 9 呈現第 J 類與第 I 類讀取率假設檢定結果，在顯著水準 $\alpha=0.01$ 下，接受虛無假設($Z_{IJ} > Z_{0.01}$)，即使用者攜帶低程度金屬(第 J 類)與無攜帶金屬(第 I 類)兩者讀取率無顯著之差異，另外表 10 呈現第 J 類與第 K 類讀取率假設檢定結果，在顯著水準 $\alpha=0.01$ 下，拒絕虛無假設($Z_{JK} < Z_{0.01}$)，即使用者攜帶低程度金屬(第 J 類)與攜帶高程度金屬(第 K 類)兩者讀取率有明顯之差異。

表 9 標籤攜帶類型 J 與類型 I 之讀取率假設檢定

標籤攜帶 類型編號	金屬多寡	讀取率 平均值(%)	Z_{IJ}	$Z_{0.01}$
Tag J	低	98.6	-0.905	>-2.326
Tag I	無	99.2	Accept H_0	

表 10 標籤攜帶類型 K 與類型 I 之讀取率假設檢定

標籤攜帶 類型編號	金屬多寡	讀取率 平均值(%)	Z_{KJ}	$Z_{0.01}$
Tag K	高	73.0	-12.375	<-2.326
Tag J	低	98.6	Reject H_0	

由上述評估結果得知，於讀取器佈建影響因子中，其中牆面阻隔約折減讀取率 2~3%，人潮干擾則約折減 0.3%，此結果準確性為於本案例管理者可接受範圍內(<5%)，故 10 台讀取器佈建將作為實際 RFID 空間移動追蹤最終之佈建位置。此外，不同標籤攜帶型式與攜帶少量金屬皆不太影響訊號讀取率，唯使用者若攜帶 2.5KG 大型金屬並與標籤置放同一書包內，則會嚴重影響訊號傳遞品質(讀取率約折減 30%)，故本研究實際進行 RFID 空間移動資料追蹤時，其中參與學生將被限制僅能攜帶少量金屬(約兩串鑰匙)。

5.2.2 活動模擬模式產生使用者空間移動資料

另一資料收集方式為活動模擬模式，即利用活動模擬模式模擬產生使用者活動時間表，同樣進而對此活動時間表進行使用者空間移動樣式探勘，取得機能移動關連值(R_{f,f_j})，最後再藉此關連值進行建物機能空間配置整建。

使用者活動模擬共規劃 514 名學生作為活動模擬對象(約佔總學生人數 99%)，其中群體分類係依據年級、專業領域組別、必/選修課程、指導教授及活動出席率等資料，將 514 名模擬對象分為 58 個群體(如附錄 1 之 No.1-No.58 群體)。表 5 為活動模擬所需輸入資料(即群體活動清單之活動範例)。本案例輸入資料取得為藉由註冊紀錄、系所排課、訪談及觀察等方式收集。模擬期間為 101 學年度第 1 學期(2012 年)，共計 18 週，且因配合系所平日作息，模擬時間限於週一至週五 8:00 AM 至 10:00 PM。

根據上述活動模擬群體分類，研究選擇群體參與活動使用之 32 個空間作為應用。此 32 個空間分別位於該建物 4 個樓層，如圖 26 紅框標示之空間(即 s_1 空間至 s_{32} 空間)，其中機能包括 1 間系辦(f_6)、1 間圖書室(f_1)、2 間演講廳(f_3 & f_{14})、17 間研究室($f_8, f_9, f_{15}, f_{16}, f_{18}, f_{21}, f_{22}, f_{23}, f_{24}, f_{25}, f_{26}, f_{27}, f_{28}, f_{29}, f_{30}, f_{31}$ & f_{32})、3 間會議室(f_4, f_5 & f_{17})、以及 8 間教室($f_2, f_7, f_{10}, f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{19}$ & f_{20})。

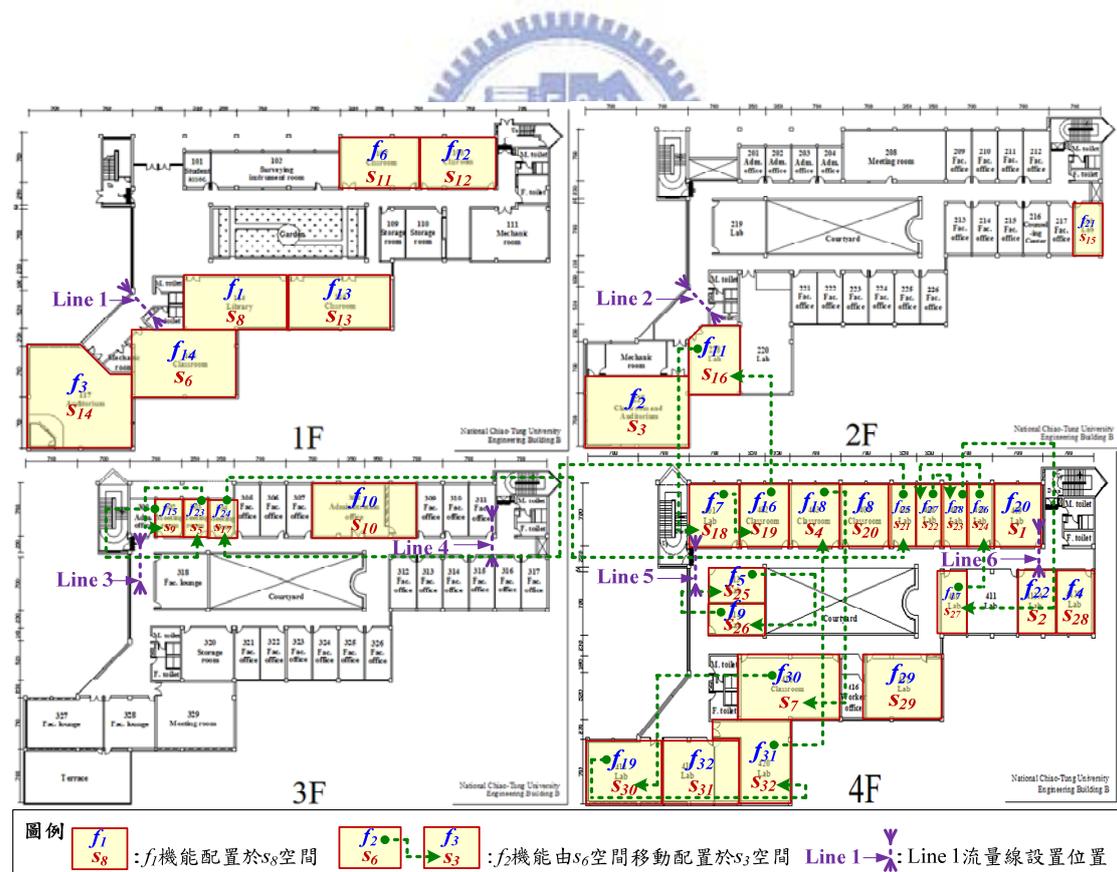


圖 26 R₆與 R₈ 機能空間配置比較

5.3 機能空間配置變數

基於上式(1)機能空間配置目標函數，本案例配置變數說明如下，其中包括機能偏好空間屬性(P_{f_i, s_i})、空間相鄰距離(D_{s_i, s_j})、機能移動關連(R_{f_i, f_j})等3項變數：

1. 機能偏好空間屬性(P_{f_i, s_i})

由於各機能皆有不同之空間大小需求，為取得合理配置解，本案例空間大小區分為大型(L：90~180 平方公尺)、中型(M：45~80 平方公尺)、及小型(S：15~35 平方公尺)等三種類型。表 11 呈現機能偏好空間大小及空間大小，例如 f_1 圖書室及 f_3 演講廳機能為偏好大型空間、 f_6 系辦及 f_7 教室機能為偏好中型空間； s_3 及 s_6 空間為屬大型空間、 s_1 及 s_4 空間為屬中型空間。

表 11 機能偏好空間大小及空間大小

機能代號	機能		空間	
	機能	偏好空間大小	空間代號	空間大小
f_1	圖書室	L	$s_3, s_6, s_8, s_{10}, s_{13}, s_{14}, s_{29}$	L
f_6	系辦	M		
f_3, f_{14}	演講廳	L		
f_4, f_5, f_{17}	會議室	S	$s_1, s_4, s_7, s_{11}, s_{12}, s_{16}, s_{18}, s_{19}, s_{20}, s_{30}, s_{31}, s_{32}$	M
f_2, f_{10}, f_{13}	教室	L		
$f_7, f_{11}, f_{12}, f_{19}, f_{20}$	教室	M		
f_{29}	研究室	L	$s_2, s_5, s_9, s_{15}, s_{17}, s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24}, s_{25}, s_{26}, s_{27}, s_{28}$	S
$f_8, f_{16}, f_{18}, f_{30}, f_{31}, f_{32}$	研究室	M		
$f_9, f_{15}, f_{21}, f_{22}, f_{23}, f_{24}, f_{25}, f_{26}, f_{27}, f_{28}$	研究室	S		

各機能必須基於以下機能偏好空間屬性評價原則，針對每一可能空間配置給予評價值(P_{f_i, s_i})。評價原則說明如下，例如機能偏好需求若為大型空間，由於僅有大型空間可容納配置，因此對於大型、中型、小型空間分別評價為 1、0、0；機能偏好需求若為中型空間，唯可由大型或中型空間容納配置，故對於大型、中型、小型空間分別評價為 0.5、1、0；機能偏好需求若為小型空間，唯可由任一大小空間容納配置，故對於大型、中型、小型空間分別評價為 0.1、0.5、1。另外對於機能評價為零空間($P_{f_i, s_i} = 0$)，本模式限制為不被允許配置之空間。

本案例變數評價標準為由系館主任給予之評價，未來其它案例應用可由決策者使用需求予以調整，原則上評價值愈大，代表機能 f_i 被配置於空間 s_i 適切程度愈高，僅須界定 0~1 間之值即可。

2. 空間相鄰距離($D_{s_i s_j}$)

空間相鄰距離定義為 2 個空間彼此水平相鄰距離，以及垂直樓層差權重兩者之合，另再透過公式(5)正規化為 0~1 間之值。假若 2 個空間彼此位於相同樓層(例如圖 23 中 s_5 空間與 s_{10} 空間)，樓層差權重定義為 0 公尺；假若 2 個空間彼此相差一層樓(例如圖 23 中 s_5 空間與 s_4 空間)，樓層差權重定義為 20 公尺，此值基於本案例使用者行走一層樓梯之所需時間平均為 15 秒(約水平行走 20 公尺時間)；同理，假若 2 個空間彼此相差二層樓(例如圖 23 中 s_5 空間與 s_6 空間)及三層樓(例如圖 23 中 s_6 空間與 s_1 空間)，樓層差權重分別定義為 40 公尺及 60 公尺。表 12 及附錄 2 分別呈現以公式(5)正規化後之 10 個空間及 32 個空間彼此相鄰距離。

$$D_{s_i s_j} = 1 - \frac{D_x - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \quad (5)$$

表 12 10 個空間相鄰距離

$D_{s_i s_j}$	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}
s_1	0.00	0.97	0.09	0.78	0.38	0.00	0.72	0.04	0.43	0.60
s_2	0.97	0.00	0.11	0.80	0.40	0.02	0.74	0.06	0.44	0.58
s_3	0.09	0.11	0.00	0.32	0.57	0.49	0.24	0.53	0.61	0.40
s_4	0.78	0.80	0.32	0.00	0.61	0.22	0.75	0.26	0.66	0.45
s_5	0.38	0.40	0.57	0.61	0.00	0.47	0.53	0.51	0.96	0.84
s_6	0.00	0.02	0.49	0.22	0.47	0.00	0.14	0.90	0.51	0.30
s_7	0.72	0.74	0.24	0.75	0.53	0.14	0.00	0.18	0.57	0.37
s_8	0.04	0.06	0.53	0.26	0.51	0.90	0.18	0.00	0.55	0.34
s_9	0.43	0.44	0.61	0.66	0.96	0.51	0.57	0.55	0.00	0.80
s_{10}	0.60	0.58	0.40	0.45	0.84	0.30	0.37	0.34	0.80	0.00

3. 機能移動關連($R_{f_i f_j}$)

在機能空間配置最佳化過程中，機能移動關連($R_{f_i f_j}$)扮演重要之角色。為減少使用者移動距離，兩機能間移動關連值愈大($R_{f_i f_j}$)應被配置於相鄰距離較小之空間。以 RFID 實際追蹤之 RFID 空間移動資料、及以活動模擬產生之使用者活

動時間表，皆必須透過空間移動資料探勘模組(請參考 3.5 小節)，求得機能移動關連值。表 13 及附錄 3 分別呈現資料探勘後之 10 個及 32 個機能移動關連值。

表 13 10 個機能移動關連

$R_{f_i f_j}$	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}
f_1		0.13	0.03				0.01		0.01	
f_2	0.16		0.02				0.11	0.01	0.02	0.06
f_3	0.01	0.04				0.02		0.04	0.06	
f_4										
f_5	0.01						0.02			0.02
f_6							0.08	0.07	0.01	
f_7		0.05			0.01	0.12	0.00		<u>0.38</u>	0.02
f_8	0.01		0.05	0.02		0.04	0.04		0.72	
f_9	0.01	0.01	0.01			0.03	0.09	<u>0.75</u>	0.00	
f_{10}			0.03		0.05	0.02	0.05		0.02	

5.4 RFID 空間移動資料之建物機能空間配置結果

本節為 RFID 空間移動資料之建物機能空間配置結果，以下分別呈現機能空間最佳配置求解、以及建物服務表現評估值：

5.4.1 機能空間最佳配置求解

本案例機能空間最佳配置之 fmGA 運算參數設定，其中交配率(P_c)設定為 10%、突變率(P_m)設定為 10%、最大紀元數($Epoch_max$)設定為 5、最大世代數(Era_max)設定為 4，且以 Pentium 4-3.40GHz PC、512 MB RAM 作為測試平台。表 14 呈現機能空間配置及使用者移動模擬結果，其中配置解 A_0 為建築師建議配置、 R_1 為本研究求得之最佳配置、 R_2 - R_5 為次佳解之配置。以下將說明藉由機能空間最佳配置模組求得的 R_1 最佳配置結果，另外有關表 14 中各配置解對應之其它建物服務表現值(例如使用者總移動距離 I_{MI} 值及流量線累積流量 I_{C4} 值)，請參閱 5.4.2 小節說明。

由表 14 機能空間配置目標函數值表現可知，相較建築師建議配置(A_0)，本研究求得最佳配置解(R_1)於目標函數值(O)之表現，顯著提升 14.80%，且所得最佳配置解(R_1)為符合系館主任建議之機能偏好空間屬性($P_{f_i s_i}$)，例如 f_1 機能配置於 s_6 大型空間、 f_5 機能配置於 s_9 小型空間。此外，具較大機能移動關連值之機能(如

表 8)，亦被配置在相同樓層相近之空間，例如配置於 4F 空間之 f_9 與 f_8 機能 ($R_{f_i f_j}=0.75$)、以及 f_7 與 f_9 機能 ($R_{f_i f_j}=0.38$)。

圖 27 呈現 R_1 機能空間配置目標函數值，本案例可能之配置解共有 3,628,800 個(=10!)，以 fmGA 演算法求解僅花費 16 秒即獲得 R_1 最佳配置解。此外，本案例每一世代母體為產生 448 條染色體，且在第 10 世代即獲得收斂(目標函數=1.26821)，約產生 4,480 條染色體配置解(=448×10)，故約僅佔總搜尋空間 0.123% (=4,480/ 3,628,800)。

表 14 10 個機能空間配置及使用者移動模擬結果

配置解	機能空間配置										機能空間配置目標函數值 (O)		平均每週所有使用者總移動距離 (I_{M2} : M)		流量線總累積流量 (I_{C4} : frequency)	
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	O值	改善	I_{M2} 值	改善	I_{C2} 值	改善
A ₀	f_8	f_9	f_3	f_7	f_5	f_2	f_{10}	f_1	f_4	f_6	1.10471	$(A_0-A_0)/A_0$ 0.0%	172,503	$(A_0-A_0)/A_0$ 0.0%	2,392	$(A_0-A_0)/A_0$ 0.00%
R ₁	f_8	f_9	f_{10}	f_7	f_4	f_1	f_6	f_2	f_5	f_3	1.26821	$(R_1-A_0)/A_0$ 14.80%	169,244	$(R_1-A_0)/A_0$ -1.89%	2,099	$(R_1-A_0)/A_0$ -12.25%
R ₂	f_8	f_9	f_1	f_7	f_4	f_{10}	f_6	f_2	f_5	f_3	1.25849	$(R_2-R_1)/R_1$ -0.77%	169,856	$(R_2-R_1)/R_1$ 0.36%	1,794	$(R_2-R_1)/R_1$ -14.53%
R ₃	f_8	f_9	f_{10}	f_7	f_5	f_1	f_6	f_2	f_4	f_3	1.26784	$(R_3-R_1)/R_1$ -0.03%	169,371	$(R_3-R_1)/R_1$ 0.08%	1,976	$(R_3-R_1)/R_1$ -5.86%
R ₄	f_9	f_8	f_{10}	f_7	f_4	f_1	f_6	f_2	f_5	f_3	1.26739	$(R_4-R_1)/R_1$ -0.06%	169,816	$(R_4-R_1)/R_1$ 0.34%	2,014	$(R_4-R_1)/R_1$ -4.05%
R ₅	f_8	f_9	f_{10}	f_7	f_4	f_2	f_6	f_1	f_5	f_3	1.26729	$(R_5-R_1)/R_1$ -0.07%	172,130	$(R_5-R_1)/R_1$ 1.71%	2,132	$(R_5-R_1)/R_1$ 1.57%

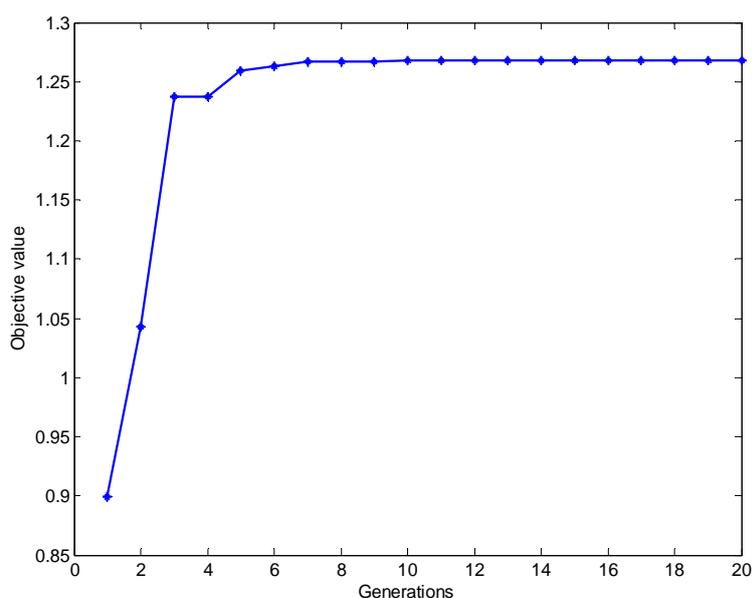


圖 27 R_1 機能空間配置目標函數值

5.4.2 建物服務表現評估

藉由機能空間最佳配置模組，雖然可求得目標函數最佳之 R_1 配置，然為進一步驗證本研究其中之一目標函數(即移動距離)，同時並協助考量未含在本研究配置目標函數之其它配置目標，例如減少通道流量擁塞、或減少對於具安靜需求機能(如圖書室、會議室)之人潮干擾，因此本研究整合使用者移動模擬模組進行機能空間配置評估。執行使用者移動模擬必須輸入 RFID 空間移動資料、建物平面圖、機能空間配置解、通道累積流量監測點、移動方向參數權重等 4 項資料，其中通道累積流量監測點，為設置在本案例建物易產生人潮擁塞之各樓層樓梯或出入口旁(如圖 23 Line 1 至 Line 6)，另外移動方向參數權重(w_S 、 w_C 、 w_F 、 w_E)皆設定為 0.25。

由上表 14 移動距離值表現可知，相較建築師建議配置(A_0)，本研究最佳配置(R_1) 減少 1.89%移動距離。由於移動距離本為機能空間配置其中之一目標，故此模擬表現為本研究預期之結果。另外在表 14 流量線累積流量表現上，雖然累積流量非本研究機能空間配置目標值，不過相較建築師建議配置(A_0)，本研究最佳配置(R_1)能減少 12.25%累積流量。其中可能原因因為 f_2 為屬大學部學生必修課程教室，相較 f_1 圖書室， f_2 教室具有非常高使用頻率，若採用本研究最佳配置(R_1)，其中 f_2 教室已改配置於接近出入口 s_8 空間，因此不僅能減少使用者移動距離，亦減輕對於附近 f_1 圖書室之人潮流動干擾。

為進一步減輕對 f_1 圖書室附近人潮流動干擾，本研究基於 R_1 最佳配置版本，嘗試選擇次佳機能空間配置解(即表 14 中 R_2 至 R_5 配置)，進行使用者移動模擬。經輸入幾組次佳配置解，以 R_2 配置為最佳，如表 10 移動距離及總累積流量模擬結果。相較 R_1 版本， R_2 配置為將 f_1 (圖書室)與 f_{10} (教室)兩者機能配置之空間互換，即 f_1 圖書室移動至人潮較少的 s_3 空間。因此在總累積流量表現上， R_2 配置顯著較 R_1 配置減少 14.53%累積流量，唯在目標函數值略減少 0.77%及移動距離略增加 0.36%。其中原因為在 R_2 配置中，原本具較強移動關連 f_1 (圖書室)與 f_2 (教室)兩個機能，被分別配置於不同樓層之 s_3 空間及 s_8 空間。

除了 R_2 配置，本案例為減少使用者移動距離，亦嘗試選擇互換部分機能之次佳解 R_3 、 R_4 及 R_5 空間配置，然仍無法找到更好空間配置解。圖 28 以 3D 方式

展現機能空間配置解之各表現值比較，其中 x 軸代表目標函數值、 y 軸代表移動距離值、 z 軸代表總累積流量。管理者最後建議選擇 R_2 配置，作為建物整建後之機能空間配置。由於 R_2 配置在總累積流量表現上，顯著優於 R_1 配置，尤其減輕對 f_1 圖書室附近人潮流動干擾，儘管在目標函數及移動距離表現上些微略差 R_1 配置，不過仍在管理者容許之範圍。

如圖 23 呈現， R_2 配置相較原始 A_0 建築師建議配置，共有 7 個機能需要移動原始配置之空間，其中包括(1) f_1 機能(圖書室)移動至 s_3 空間；(2) f_2 機能(教室)移動至 s_8 空間；(3) f_3 (演講廳)機能移動至 s_{10} 空間；(4) f_4 機能(會議室)移動至 s_5 空間；(5) f_5 機能(會議室)移動至 s_9 空間；(6) f_6 機能(系辦)移動至 s_7 空間；(7) f_{10} 機能(教室)移動至 s_6 空間。另外，相較 A_0 建築師建議配置， R_2 配置在目標函數表現為提升 13.92%、在移動距離表現為減少 1.53%、在總累積流量表現為減少 25.00%。

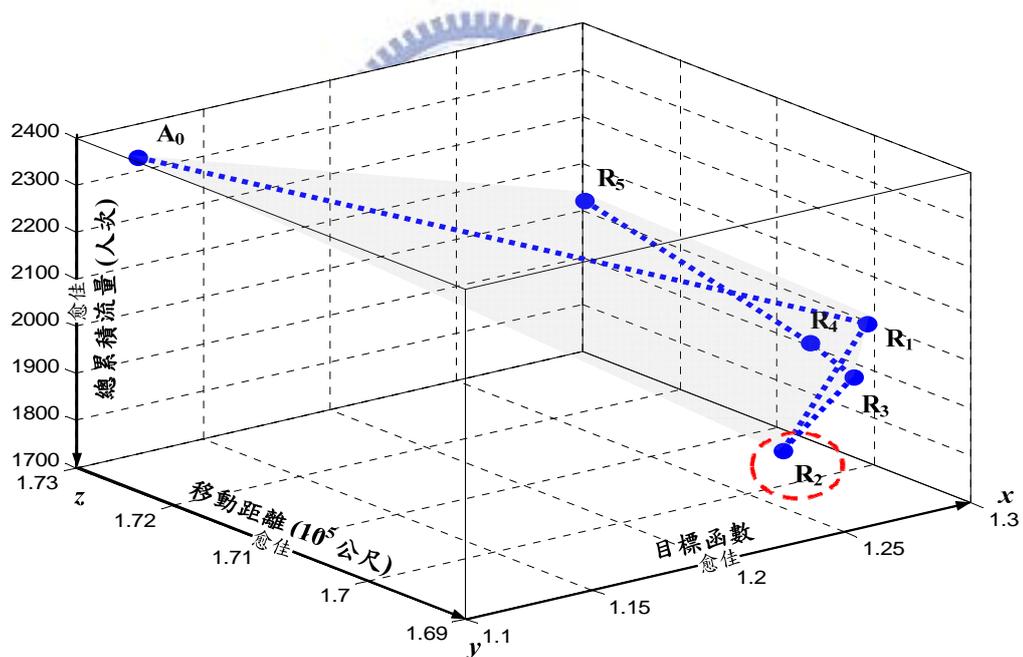


圖 28 10 個機能空間配置解之各表現值比較

5.5 使用者活動模擬資料之建物機能空間配置結果

本節為使用者活動模擬資料之建物機能空間配置結果，以下分別呈現機能空間最佳配置求解、以及建物服務表現評估值：

5.5.1 機能空間最佳配置求解

本案例機能空間最佳配置之 fmGA 運算參數設定，其中交配率(P_c)設定為 10%、突變率(P_m)設定為 10%、最大紀元數($Epoch_max$)設定為 50、最大世代數(Era_max)設定為 4，且同樣以 Pentium 4-3.40GHz PC、512 MB RAM 作為測試平台。表 15 呈現機能空間配置結果，其中配置解 A_0 為建築師建議配置、 R_6 為本研究求得之最佳配置、 R_7 - R_{10} 為次佳解之配置。以下將說明藉由機能空間最佳配置模組求得的 R_6 最佳配置結果。

表 15 32 個機能空間配置結果

配置解	機能空間配置																機能空間配置 目標函數值(O)	
																	O 值	改善
A_0	$S_{17}\sim S_{32}$																1.14959	$(A_0-A_0)/A_0$ 0.00%
	f_8	f_9	f_3	f_7	f_5	f_2	f_{10}	f_1	f_4	f_6	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}	f_{16}		
	f_{17}	f_{18}	f_{19}	f_{20}	f_{21}	f_{22}	f_{23}	f_{24}	f_{25}	f_{26}	f_{27}	f_{28}	f_{29}	f_{30}	f_{31}	f_{32}		
R_6	$S_{17}\sim S_{32}$																1.21613	$(R_6-A_0)/A_0$ 5.79%
	f_{20}	f_{22}	f_2	f_{18}	f_{23}	f_{14}	f_{30}	f_1	f_{15}	f_{10}	f_6	f_{12}	f_{13}	f_3	f_{21}	f_{11}		
	f_{24}	f_7	f_{16}	f_8	f_{25}	f_{27}	f_{28}	f_{26}	f_5	f_9	f_{17}	f_4	f_{29}	f_{19}	f_{32}	f_{31}		
R_7	$S_{17}\sim S_{32}$																1.21576	$(R_7-R_6)/R_6$ -0.03%
	f_{20}	f_{17}	f_2	f_{18}	f_{23}	f_{14}	f_{31}	f_1	f_{15}	f_{10}	f_6	f_{12}	f_{13}	f_3	f_{21}	f_{11}		
	f_{24}	f_{16}	f_7	f_8	f_{25}	f_{26}	f_{27}	f_{22}	f_5	f_9	f_{28}	f_4	f_{29}	f_{30}	f_{32}	f_{19}		
R_8	$S_{17}\sim S_{32}$																1.21059	$(R_8-R_6)/R_6$ -0.46%
	f_{20}	f_{22}	f_2	f_{31}	f_{15}	f_{14}	f_{18}	f_1	f_{23}	f_{10}	f_6	f_{12}	f_{13}	f_3	f_{21}	f_{16}		
	f_{25}	f_{11}	f_7	f_8	f_{24}	f_{26}	f_{27}	f_{17}	f_9	f_5	f_{28}	f_4	f_{29}	f_{30}	f_{32}	f_{19}		
R_9	$S_{17}\sim S_{32}$																1.20274	$(R_9-R_6)/R_6$ -1.10%
	f_{20}	f_{22}	f_3	f_{31}	f_{15}	f_1	f_{18}	f_{14}	f_9	f_{10}	f_6	f_{12}	f_{13}	f_2	f_{21}	f_{16}		
	f_{25}	f_{11}	f_7	f_8	f_{24}	f_{26}	f_{28}	f_{27}	f_{23}	f_5	f_{17}	f_4	f_{29}	f_{30}	f_{32}	f_{19}		
R_{10}	$S_{17}\sim S_{32}$																1.19818	$(R_{10}-R_6)/R_6$ -1.48%
	f_{20}	f_{22}	f_3	f_{31}	f_{15}	f_1	f_{30}	f_{14}	f_9	f_{10}	f_{12}	f_6	f_{13}	f_2	f_{21}	f_{16}		
	f_{25}	f_{18}	f_7	f_{11}	f_{24}	f_{26}	f_4	f_{17}	f_{23}	f_5	f_{27}	f_{28}	f_{29}	f_8	f_{32}	f_{19}		

由表 15 目標函數值表現可知，相較建築師建議配置(A_0)，本研究求得最佳配置解(R_6)於目標值之表現，顯著提升 5.79%，且所求得的最佳配置解(R_6)為符合系館主任建議之機能偏好空間屬性(P_{f_i})，例如 f_3 機能配置於 s_{14} 大型空間、 f_{15} 機能配置於 s_9 小型空間。此外，具較大機能移動關連值之機能(如附錄 3)，亦被配置在相同樓層相近之空間，例如配置於 1F 空間之 f_6 與 f_1 機能 ($R_{f_i f_j} = 1.00$)、 f_{14}

與 f_1 機能 ($R_{f_i f_j} = 0.54$)、 f_3 與 f_1 機能 ($R_{f_i f_j} = 0.53$)、 f_{13} 與 f_1 機能 ($R_{f_i f_j} = 0.53$)、 f_{12} 與 f_{13} 機能 ($R_{f_i f_j} = 0.43$)、以及 f_3 與 f_6 機能 ($R_{f_i f_j} = 0.32$)。

圖 29 呈現 R_6 機能空間配置目標函數值，本案例可能之配置解共有 2.631×10^{35} ($=32!$)，以 fmGA 演算法求解僅花費 250 秒即獲得 R_6 最佳配置解，且在第 142 世代獲得收斂(目標函數=1.21613)。此外，本案例每一世代母體約產生 448 條染色體，而在第 142 世代獲得收斂，約產生 63,616 條染色體配置解($=448 \times 142$)，故約僅佔總搜尋空間 2.417×10^{-31} ($=63,616 / 2.631 \times 10^{35}$)。

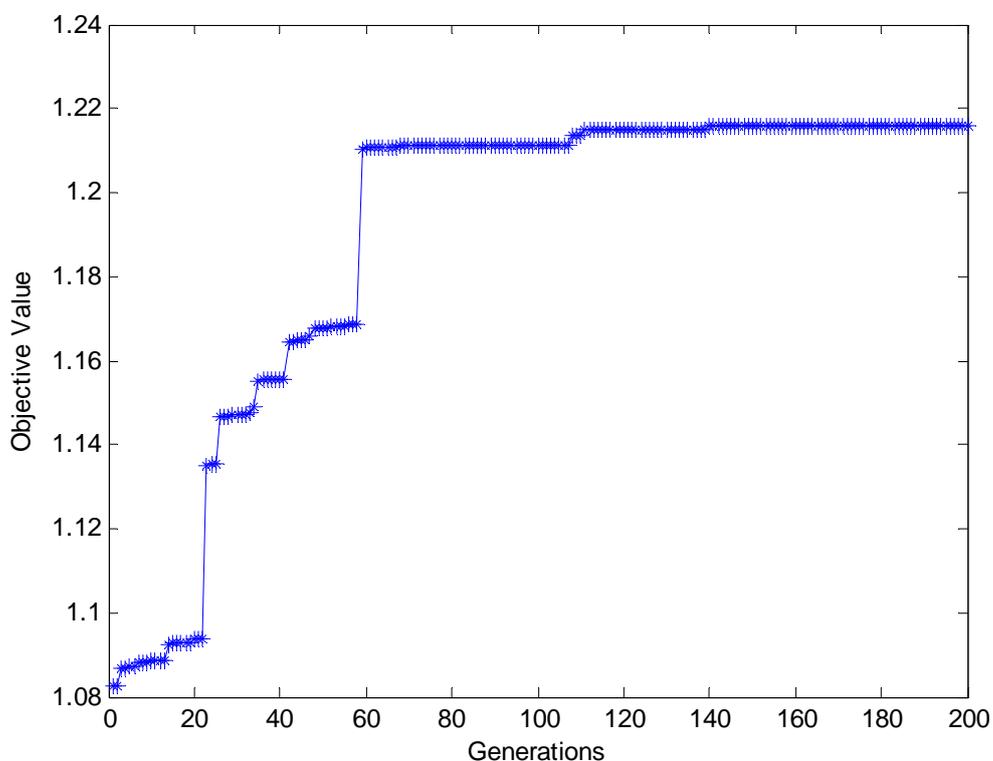


圖 29 R_6 機能空間配置目標函數值

5.5.2 建物服務表現評估

本節目的如同 5.4.2 小節說明，乃為了驗證本研究其中之一目標函數(即移動距離)，以及協助考量其它之建物服務表現(如通道流量、空間使用率)，故整合使用者移動模擬模組進行機能空間配置評估。唯一差異為本節以使用者活動模擬模組輸出之使用者活動時間表，作為使用者移動模擬之其中之一輸入資料。即執行使用者移動模擬必須輸入使用者活動時間表、建物平面圖、機能空間配置解、通道累積流量監測點、移動方向參數權重等 4 項資料，其中通道累積流量監測點同

樣設置在本案例建物各樓層樓梯或出入口旁(如圖 26 Line 1 至 Line 6)，另外移動方向參數權重(w_S 、 w_C 、 w_F 、 w_E)皆設定為 0.25。建物服務表現模擬結果呈現如下。

表 16 呈現移動距離相關指標中之 I_{M6} 指標模擬結果，其中除了呈現原始 A_0 及最佳 R_6 配置之模擬結果，另依表 15 目標函數排序，呈現其餘 4 組次佳配置之模擬結果(即 R_7 至 R_{10} 配置)。相較 A_0 配置， R_6 配置於 I_{M6} 值表現上總計減少 -23.92%，其中在 R_6 配置之大學部群體(No.1~14)及研究所群體(No.15~58)，相較 A_0 配置分別減少 -17.36% 及 -35.07%。以 I_{M6} 移動距離指標而言，此結果顯示 A_0 配置，建築師當時可能較少關注研究生使用之空間，故在 R_6 配置中，相較大學部群體，研究所群體有更多之改善空間。除此之外，其餘 R_7 、 R_8 、 R_9 及 R_{10} 等配置於 I_{M6} 值表現，分別相較 R_6 配置略增 2.31%、0.23%、12.84% 及 2.38%。因移動距離為目標函數式(1)中其中之一目標，故此指標模擬結果為可預期的。

此外， A_0 及 R_6 兩者配置，值得一提之配置差異為：(1) 3 間會議室機能(f_4 、 f_5 、 f_{17})原配置於 3F 空間(s_9 、 s_5 、 s_{17})，分別移動配置於 4F 空間(s_{29} 、 s_{26} 、 s_{28})。另外，(2) 系辦(f_6)及演講廳(f_3)等 2 者機能原配置於 3F 空間(s_{10})及 2F 空間(s_3)，分別移動配置於 1F 空間(s_{11} 、 s_{14})。由上述 A_0 及 R_6 兩者配置差異，提出以下二點說明：

- (1) 3 間會議室機能移動配置於 4F 空間：其主要原因為研究生經常使用這些會議室與同學或指導教授進行研究討論，且在 A_0 及 R_6 配置中，多半研究生使用之研究室(如 f_8 、 f_9 、 f_{18} 、 f_{22} 、 f_{25} ~ f_{32})及教室(如 f_7 、 f_{19} 、 f_{20})機能皆被配置於 4F 空間。換言之，即此 3 個會議室機能移動配置於 4F 空間，可使研究生之活動空間更集中在 4F 空間，故能減少研究生群體之移動距離。
- (2) 系辦與演講廳移動配置於 1F 空間：其主要原因為系辦(f_6)、演講廳(f_3)與圖書室(f_1)彼此間具有相當大之機能移動關連值($R_{f_6, f_1}=1.00$ 、 $R_{f_3, f_1}=0.53$ 、 $R_{f_3, f_6}=0.32$)，且圖書室機能在 A_0 及 R_6 配置中皆被配置在 1F 空間，因此若將系辦(f_6)與演講廳(f_3)等 2 者機能移動配置於 1F 空間，勢必有助於減少整體群體之移動距離。

此外，管理者可能考量其它難以含在配置目標函數式(1)之目標，例如減少通道流量擁塞。本案例在建物易產生人潮擁塞之各樓層樓梯或出入口旁設置通道

累積流量監測點(如圖 26 Line 1 至 Line 6)，藉由使用者移動模擬，取得監測點累積流量統計。表 17 呈現通道流量相關指標中之 I_{M5} 指標模擬結果。 I_{M5} 指標模擬結果顯示， R_6 及 R_8 配置為其中最佳 2 個配置，所有監測點總累積流量分別是 5,541 及 4,774 人次/週。相較 A_0 建築師配置， R_6 最佳配置能減少 42.92% 總累積流量。此外，相較 R_6 最佳配置， R_8 配置則又進一步減少 13.84% 總累積流量。基於此總累積流量結果，以下進一步分析表 17 累積流量減少最多之 Line2、Line3 及 Line5 等監測點：

表 16 平均每週某類別每位使用者移動距離

群體		人數	平均每週某類別每位使用者移動距離 (I_{M6} : M/people*week)										
			各配置解之 I_{M6} 值						改善				
			A_0	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	$(R_6-A_0)/A_0$ (1)	$(R_7-R_6)/R_6$ (2)	$(R_8-R_6)/R_6$ (3)	$(R_9-R_6)/R_6$ (4)	$(R_{10}-R_6)/R_6$ (5)
大學部	大一 (No.1~4)	90	1,104	1,110	1,173	1,187	899	878	0.54%	5.68%	6.94%	-19.01%	-20.90%
	大二 (No.5~8)	76	1,385	1,048	1,038	1,032	1,117	1,115	-24.33%	-0.95%	-1.53%	6.58%	6.39%
	大三 (No.9~11)	87	2,021	1,765	1,809	1,722	1,939	1,794	-12.67%	2.49%	-2.44%	9.86%	1.64%
	大四 (No.12~14)	72	1,190	724	719	675	807	874	-39.16%	-0.69%	-6.77%	11.46%	20.72%
大學部群體 (No.1~14)		325	1,434	1,185	1,211	1,180	1,208	1,178	-17.36%	2.19%	-0.42%	1.94%	-0.59%
研究所	結構組 (No.15~28)	63	246	264	264	262	239	207	7.32%	0.00%	-0.76%	-9.47%	-21.59%
	水利組 (No.29~38)	33	373	292	283	315	347	280	-21.86%	-2.79%	7.94%	19.00%	-4.11%
	大地組 (No.39~42)	36	880	447	476	440	851	591	-49.20%	6.49%	-1.57%	90.38%	32.21%
	測量組 (No.43~48)	18	2,617	1,680	1,681	1,762	2,207	1,878	-35.80%	0.06%	4.88%	31.37%	11.79%
	營管組 (No.49~56)	26	2,516	1,470	1,479	1,438	1,879	1,560	-41.57%	0.61%	-2.18%	27.82%	6.12%
	資訊組 (No.57~58)	13	2,348	1,598	1,753	1,793	2,258	1,928	-31.94%	9.70%	12.20%	41.30%	20.65%
研究所群體 (No.15~58)		189	1,072	696	712	715	926	756	-35.07%	2.30%	2.73%	33.05%	8.62%
總群體		514	1,710	1,301	1,331	1,304	1,468	1,332	-23.92%	2.31%	0.23%	12.84%	2.38%

- (1) Line3 監測點：在 R_6 及 R_8 配置之 3F 樓梯口附近 Line3 監測點累積流量，分別為 1,112 及 1,102 人次/週，其相較 A_0 配置 2,310 人次/週，減少許多。原因主要為系辦(f_6)與圖書室(f_1)、以及演講廳(f_3)與系辦(f_6)等 2 組機能具有

相當大之機能移動關連值(例如 $R_{f_6 f_1} = 1.00$ 、 $R_{f_3 f_6} = 0.32$)，然而在 A_0 配置中，圖書室(f_1)、演講廳(f_3)及系辦機能(f_6)分別配置在 1F、2F、3F 之不同樓層空間(s_8 、 s_3 、 s_{10})。相反地，這些機能在 R_6 及 R_8 配置中，皆被配置在 1F 空間，故相較 A_0 配置， R_6 及 R_8 配置之 Line3 監測點累積流量得以減少。

(2) Line2 監測點：在 R_8 配置之 Line2 監測點累積流量，相較 R_6 配置減少 -8.10%。由於 s_3 及 s_{16} 兩者空間附近之 Line2 監測點，為單一出入口走道，容易產生流量阻塞，而在 R_6 配置中， s_3 及 s_{16} 兩者空間分別被配置同一性質之教室機能(即 f_2 與 f_{11})，且是大學部學生必/選修課程之教室，經常多人進出此一走道；相反地，在 R_8 配置中， s_3 及 s_{16} 兩者空間則分別配置不同性質之教室(f_2)與研究室(f_{16})機能。因研究室(f_{16})相對少於教室(f_{11})機能之使用人數，故 R_8 配置之 Line2 出入口累積流量，相較 R_6 配置減少許多。

(3) Line5 監測點：在 $R_6 \sim R_{10}$ 配置配置中 4F 樓梯口附近之 Line5 監測點累積流量，分別是 414、453、426、1428 及 417 人次/週，相較 A_0 配置 4,881 人次/週，亦減少許多。由於在 A_0 配置中，Line5 監測點附近之 s_{18} 、 s_{25} 、 s_{26} 、 s_{30} 及 s_{31} 空間，皆配置同一性質教室機能(f_{18} 、 f_{25} 、 f_{26} 、 f_{30} 、 f_{31})，而在 $R_6 \sim R_{10}$ 配置中，則分別配置不同性質之教室、會議室與研究室機能。會議室與研究室相對少於教室機能之使用人數，故相較 A_0 配置， $R_6 \sim R_{10}$ 配置之 Line5 監測點累積流量得以減少。

表 17 流量線平均每週總累積流量

流量線	流量線平均每週總累積流量 (I_{C5} : frequency/week)										
	各配置解之 I_{C5} 值						改善				
	A_0	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	$(R_6-A_0)/$ Total A_0 (1)	$(R_7-R_6)/$ Total R_6 (2)	$(R_8-R_6)/$ Total R_6 (3)	$(R_9-R_6)/$ Total R_6 (4)	$(R_{10}-R_6)/$ Total R_6 (5)
Line 1	1,507	1,133	1143	990	5855	5729	-3.85%	0.18%	-2.58%	85.22%	82.95%
Line 2	623	1,322	1553	873	506	553	7.20%	4.17%	-8.10%	-14.73%	-13.88%
Line 3	2,310	1112	1135	1102	841	1143	-12.34%	0.42%	-0.18%	-4.89%	0.56%
Line 4	115	529	597	108	120	818	4.26%	1.23%	-7.60%	-7.38%	5.22%
Line 5	4,881	414	453	426	1428	417	-46.01%	0.70%	0.22%	18.30%	0.05%
Line 6	272	1,031	1954	1275	238	275	7.82%	16.66%	4.40%	-14.31%	-13.64%
Total	9,708	5,541	6,835	4,774	8,988	8,935	-42.92%	23.35%	-13.84%	62.21%	61.25%

圖 26 呈現 R_8 及 R_6 兩者配置差異比較。基於以上分析結果可知(表 15 至表 17)， R_8 配置在總累積流量表現上，顯著優於 R_6 配置 13.84%，儘管在目標函數及移動距離表現上分別些微略差 R_6 配置 0.46%及 0.23%，不過仍在管理者容許之範圍，故建議選擇 R_8 配置作為建物整建後之機能空間配置，以下為進一步呈現 R_8 配置之空間使用率相關指標表現。

圖 30 呈現各空間使用人次在週二 PM2:00-PM3:00 時段，相對當日所有空間總使用人次之比例(I_{S6}/I_{S1})。在此案例中，部分機能空間在 PM2:00-PM3:00 時段具有高之 I_{S6}/I_{S1} 值，包括圖書室(f_1)及教室(如 f_2 、 f_7 、 f_{12} 及 f_{13})機能，其比例範圍為 6%至 10% (如紅框虛線所標示之綠色色塊)。由於週二所有空間總使用人次為 4,075 人次，若每一空間各小時皆有相同使用人次，此比例範圍已超出 0.22%(=100%/(32 spaces×14 hours)平均人次。其中 f_{13} 教室配置因緊鄰 f_1 圖書室，在此時段為避免人群走動干擾 f_1 圖書室之安寧，建議 f_{13} 教室在此時段應盡可能減少使用者活動休息時間。



圖 30 各空間使用人次相對所有空間總使用人次之比例-週二 PM2:00-3:00

表 18 呈現週二空間使用人數超過 0 至 50 人之使用時間百分比(I_{S8})。其中僅 f_1 圖書室(可供 60 人使用)、 f_{14} 演講廳(可供 100 人使用)及 f_{10} 教室(可供 60 人使用)等機能存在空間使用人數超過 50 人， I_{S8} 值分別為 27.08%、14.58%及 10.42%，

其餘部份機能似乎有空間資源浪費問題，例如 f_{13} 教室(可供 70 人使用)超過 30 人之 I_{S8} 值為 0.00%，以及 f_{19} 及 f_{20} 教室(可供 30 人使用) 超過 20 人之 I_{S8} 值為 0.00%。透過 I_{S8} 指標模擬結果顯示，本案例週二部分機能之活動安排，應進一步檢視活動人數，重新選擇合適大小之空間，以避免浪費空間資源。

表 19 呈現週二空間使用毛率(I_{S9})及空間使用淨率(I_{S10})，其中以 f_4 、 f_5 、 f_{17} 會議室及 f_{22} 、 f_{27} 研究室等機能之 I_{S9} 及 I_{S10} 兩者指標皆為 0.00%，其代表這些機能空間在週二尚未被使用。此外， f_{14} 演講廳及 f_{19} 、 f_{20} 教室等機能之 I_{S9} 及 I_{S10} 指標分別皆為 19.79%及 100.00%，其代表這些機能空間在週二則有充分連續空間時段，可供其它活動進行安排。由此可知，在週二若有其它新的活動產生時，應優先使用以上機能空間。

表 18 週二空間使用人數超過 x 人之使用時間百分比

機能代號	可供使用人數	空間使用人數超過 x 人之使用時間百分比 (I_{S8} : %)						機能代號	可供使用人數	空間使用人數超過 x 人之使用時間百分比 (I_{S8} : %)							
		$x \geq 0$	$x \geq 10$	$x \geq 20$	$x \geq 30$	$x \geq 40$	$x \geq 50$			$x \geq 0$	$x \geq 10$	$x \geq 20$	$x \geq 30$	$x \geq 40$	$x \geq 50$		
圖書室	f_1	60	58.33	50.00	44.79	40.63	32.29	27.08	f_{29}	35	36.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
系辦	f_6	30	54.17	31.25	20.83	10.42	4.17	0.00	f_8	20	21.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
									f_{16}	20	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
演講廳	f_3	80	39.58	37.50	14.58	0.00	0.00	0.00	f_{18}	20	46.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	f_{14}	100	38.54	34.38	32.29	25.00	14.58	14.58	f_{30}	20	43.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
會議室	f_4	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	f_{31}	20	41.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	f_5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	f_{32}	20	31.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	f_{17}	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	研究室	f_9	10	27.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
教室	f_2	75	31.25	28.13	28.13	20.83	11.46	0.00		f_{15}	10	23.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	f_{13}	70	19.79	18.75	18.75	0.00	0.00	0.00		f_{21}	10	29.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	f_{10}	60	32.29	13.54	10.42	10.42	10.42	10.42		f_{22}	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	f_7	30	39.58	8.75	8.75	0.00	0.00	0.00		f_{23}	10	31.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	f_{11}	50	29.17	29.17	27.08	15.63	4.17	0.00		f_{24}	10	48.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	f_{12}	50	58.33	54.17	33.33	14.58	14.58	0.00		f_{25}	10	20.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	f_{19}	30	19.79	18.75	0.00	0.00	0.00	0.00		f_{26}	10	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	f_{20}	30	19.79	18.75	0.00	0.00	0.00	0.00		f_{27}	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
										f_{28}	10	20.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 20 呈現週二各空間每人次使用時間(I_{S12})，其中使用者在 f_2 、 f_7 、 f_{10} ~ f_{13} 、 f_{19} ~ f_{20} 教室及 f_3 、 f_{14} 演講廳等機能，進行必(選)修課程活動時，這些機能空間之 I_{S12} 值為 65 分鐘至 184 分鐘間(約 1 至 3 小時)，其近似於週二課程活動時間；以及使用者於 f_8 ~ f_9 、 f_{15} 、 f_{16} 、 f_{18} 、 f_{21} 、 f_{23} ~ f_{28} 及 f_{29} ~ f_{32} 等研究室機能，進行上網搜尋相關研究資料活動時，這些機能空間之 I_{S12} 值為 36 分鐘至 65 分鐘間(約 0.5 至

1 小時)。以上各機能空間使用時間模擬結果，為符合模擬前之預期，且藉由此指標統計值可得知，各空間使用時間係取決於不同性質之機能。

此外，表 20 另呈現週二各空間每閒置次數平均閒置時間(I_{S14})，其中除了 f_4 、 f_5 、 f_{17} 會議室及 f_{22} 、 f_{27} 研究室等機能在週二從未使用外($I_{S12}=0$, $I_{S14}=0$)，仍有多個機能空間之 I_{S14} 值為 0，例如 f_{14} 演講廳、 f_{19} 、 f_{20} 教室、 f_1 圖書室及 f_{18} 、 f_{23} 、 f_{26} 研究室等機能，其代表這些機能空間尚未被充分使用。此外，其餘空間之 I_{S14} 值為在 20 分鐘至 70 分鐘之間，此閒置時間值為合理，尚不致於導致人群進出同一空間干擾情況。為了避免人群干擾情況發生，若某一空間平均閒置時間小於 5 分鐘，管理者應進一步檢視其當日活動安排是否過於緊湊。

表 19 週二空間使用毛率及空間使用淨率

機能代號		空間使用毛率 (I_{S9} : %)	空間使用淨率 (I_{S10} : %)	機能代號		空間使用毛率 (I_{S9} : %)	空間使用淨率 (I_{S10} : %)
圖書室	f_1	58.33	100.00	研究室	f_8	21.88	80.77
系辦	f_6	54.17	68.42		f_{16}	12.50	75.00
演講廳	f_3	39.58	84.44		f_{18}	46.88	100.00
	f_{14}	19.79	100.00		f_{30}	43.75	91.30
會議室	f_4	0.00	0.00		f_{31}	41.67	83.33
	f_5	0.00	0.00		f_{32}	31.25	65.22
	f_{17}	0.00	0.00		f_9	27.08	89.66
教室	f_2	31.25	66.67		f_{15}	23.96	62.16
	f_{13}	38.54	82.22		f_{21}	29.17	66.67
	f_{10}	32.29	81.58		f_{22}	0.00	0.00
	f_7	39.58	84.44		f_{23}	31.25	100.00
	f_{11}	29.17	73.68		f_{24}	48.96	94.00
	f_{12}	58.33	74.67		f_{25}	20.83	90.91
	f_{19}	19.79	100.00		f_{26}	100.00	100.00
	f_{20}	19.79	100.00		f_{27}	0.00	0.00
研究室	f_{29}	36.46	79.55		f_{28}	20.83	68.97

表 20 週二空間使用時間及空間閒置時間

機能代號	空間使用時間 (I_{S12} :min/frequency)		空間閒置時間 (I_{S14} :min/times)	機能代號	空間使用時間 (I_{S12} :min/frequency)		空間閒置時間 (I_{S14} :min/times)	
	平均值	標準差			平均值	標準差		
圖書室	f_1	48	28	0	f_8	54	16	25
系辦	f_6	23	7	48	f_{16}	58	4	40
演講廳	f_3	149	51	70	f_{18}	65	40	0
	f_{14}	176	27	0	f_{30}	50	31	20
會議室	f_4	0	0	0	f_{31}	46	31	20
	f_5	0	0	0	f_{32}	36	23	53
	f_{17}	0	0	0	f_9	45	22	30
教室	f_2	65	26	50	f_{15}	46	22	46
	f_{13}	82	33	40	f_{21}	65	33	70
	f_{10}	120	22	70	f_{22}	0	0	0
	f_7	184	2	70	f_{23}	57	25	0
	f_{11}	86	28	50	f_{24}	54	39	20
	f_{12}	111	50	63	f_{25}	57	24	20
	f_{19}	183	2	0	f_{26}	39	21	0
	f_{20}	145	53	0	f_{27}	0	0	0
研究室	f_{29}	45	25	22	f_{28}	46	23	45

5.6 機能空間配置求解評估與改善

依據 Goldberg(1993)學者在 fmGA 演算法中，提出基石過濾運作概念 (Building-block Filtering)，本研究創新應用在建物機能空間之配置問題求解。在 fmGA 演算過程中，基石過濾為其中之一步驟(上述 3.6.2 小節)，其主要目的是為後續世代演化，母代染色體皆能保留足夠數量且品質較佳之基石，以增加搜尋最佳解之可能(Goldberg, 2002)。為了驗證基石過濾運作效能，本節特別建立無基石過濾模式(non-BBs Model)。換言之，即移除 3.6.2 小節之步驟 3 基石過濾運作(其中包含基石選取及基因隨機刪除)。

以下規劃三種規模之機能空間配置求解，以驗證 fmGA 演算法中，基石過濾 (BBs)及無基石過濾(non-BBs)等 2 項運作。情境 I 為 5.2.1 小節說明的 4 層樓 10 個機能空間配置；情境 II 及情境 III 分別為 20 層樓 50 個機能空間配置、以及 40 層樓 100 個機能空間配置。

首先，在基石選取步驟中，針對 4 層樓(情境 I)、20 層樓(情境 II)及 40 層樓(情境 III)之機能空間配置，分別選取具最大機能移動關連($R_{f_i f_j}$)之 2 組、10 組、20

組成對機能作為基石(BBs)。例如在情境 I 中 4 層樓建物，具最大機能移動關連之 2 組成對機能分別是 f_9 機能 & f_8 機能 ($R_{f_i f_j} = 0.75$)、以及 f_7 機能 & f_9 機能 ($R_{f_i f_j} = 0.38$)。此外再針對此 2 組成對機能，給予空間配置求解之限制。例如在每一世代中，僅保留此 2 組成對機能之空間配置相鄰距離值大於等於 0.8 之染色體 ($D_{s_i s_j} \geq 0.8$)。最後，在基因隨機刪除步驟中，則選取世代中 50% 之最差適存值染色體，進行基因隨機刪除(唯 BBs 不被隨機選擇刪除)，並以競爭樣板填補不足設定之基因。

表 21、表 22 及表 23 分別呈現情境 I、情境 II、及情境 III 基石過濾(BBs)及無基石過濾(non-BBs)運作之效能比較(如表 17、表 18 及表 19 之欄位(a)、(b)、(c))。以 4 層樓 10 個機能空間配置而言(情境 I)，且最大世代數設定為 20 及 40 情況下，其中在目標函數表現上，BBs 與 non-BBs 兩者無顯著差異；在收斂世代數表現上，BBs 優於 non-BBs 提早收斂 23.1% 及 13.3%，以找到最佳解配置；然而，在求解總時間表現上，BBs 相較 non-BBs 多費時 23.1% 及 15.4%。以 20 層樓 50 個機能空間配置而言(情境 II)，且最大世代數設定為 800 及 1,000 情況下，其中在目標函數表現上，BBs 優於 non-BBs 為 7.8% 及 5.8%；在收斂世代數表現上，BBs 優於 non-BBs 提早收斂 17.3% 及 2.9%，以找到最佳解配置；然而，在求解總時間表現上，BBs 相較 non-BBs 多費時 452.6% 及 412.1%。同樣地，以 40 層樓 100 個機能空間配置而言(情境 III)，且最大世代數設定為 1,600 及 1,800 情況下，其中在目標函數表現上，BBs 優於 non-BBs 為 19.2% 及 19.5%；在收斂世代數表現上，BBs 優於 non-BBs 提早收斂 1.5% 及 19.5%，以找到最佳解配置；然而，在求解總時間表現上，BBs 相較 non-BBs 多費時 435.3% 及 423.5%。

根據實驗結果，當問題規模增加時，在目標函數表現上 BBs 逐漸顯著優於 non-BBs(例如 4 層樓建物之目標函數差異為 0.0%，而 40 層樓建物之目標函數差異提升為 19.5%)；在收斂世代數表現上，BBs 總是優於 non-BBs 提早收斂，不過似乎與問題規模非直接相關，無固定成長之趨勢；在求解總時間表現上，BBs 總是相較 non-BBs 費時，其中雖然在不同最大世代數設定下，略有影響求解總時間，不過在相同問題規模下，兩者求解總時間之差異比率大致相同。例如情境 I，當最大世代數由 20 世代增加至 40 世代時，兩者求解總時間之差異約 20%；情境

II 及情境 III，兩者求解總時間之差異約 430%。

此外，當本研究應用問題規模增加時，為了進一步瞭解 fmGA 演算法所需之額外求解時間，故重覆上述情境將求解規模擴大至 250 個機能空間配置，唯其中最大世代數固定設定在 1,000 世代。圖 31 為呈現 50 個至 250 個機能空間配置之基石過濾(BBs)及無基石過濾(non-BBs)運作求解總時間。由圖 31 求解時間成長曲線可知，問題規模一旦擴充至 100 以上時，BBs 求解總時間明顯多於 non-BBs。因此，當問題規模為小於 100 個機能空間配置時，建議可以採用 BBs 運算，以尋求更佳之配置解；當問題規模為大於 100 個機能空間配置時，使用者得需考量執行效率與最佳解兩者間之權衡。

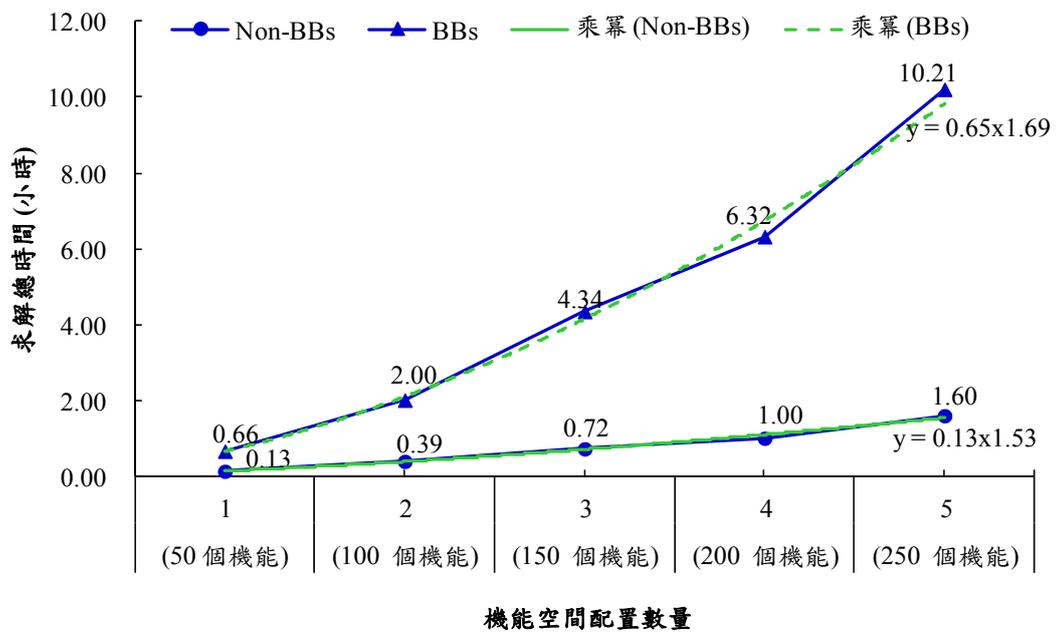


圖 31 Non-BBs 及 BBs 於 1000 世代數之求解總時間

表 21 情境 I—Non-BBs 及 BBs 效能比較

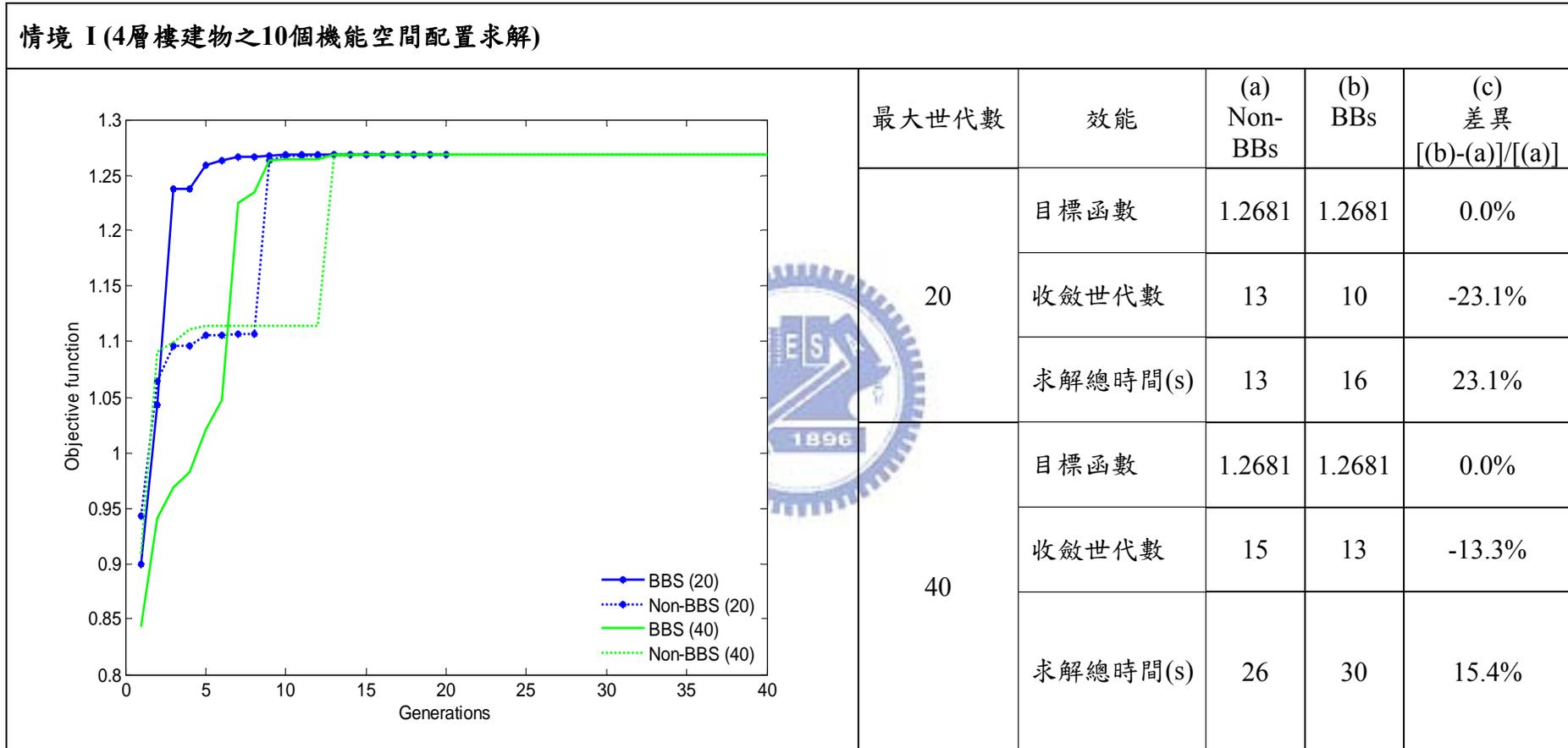


表 22 情境 II—Non-BBs 及 BBs 效能比較

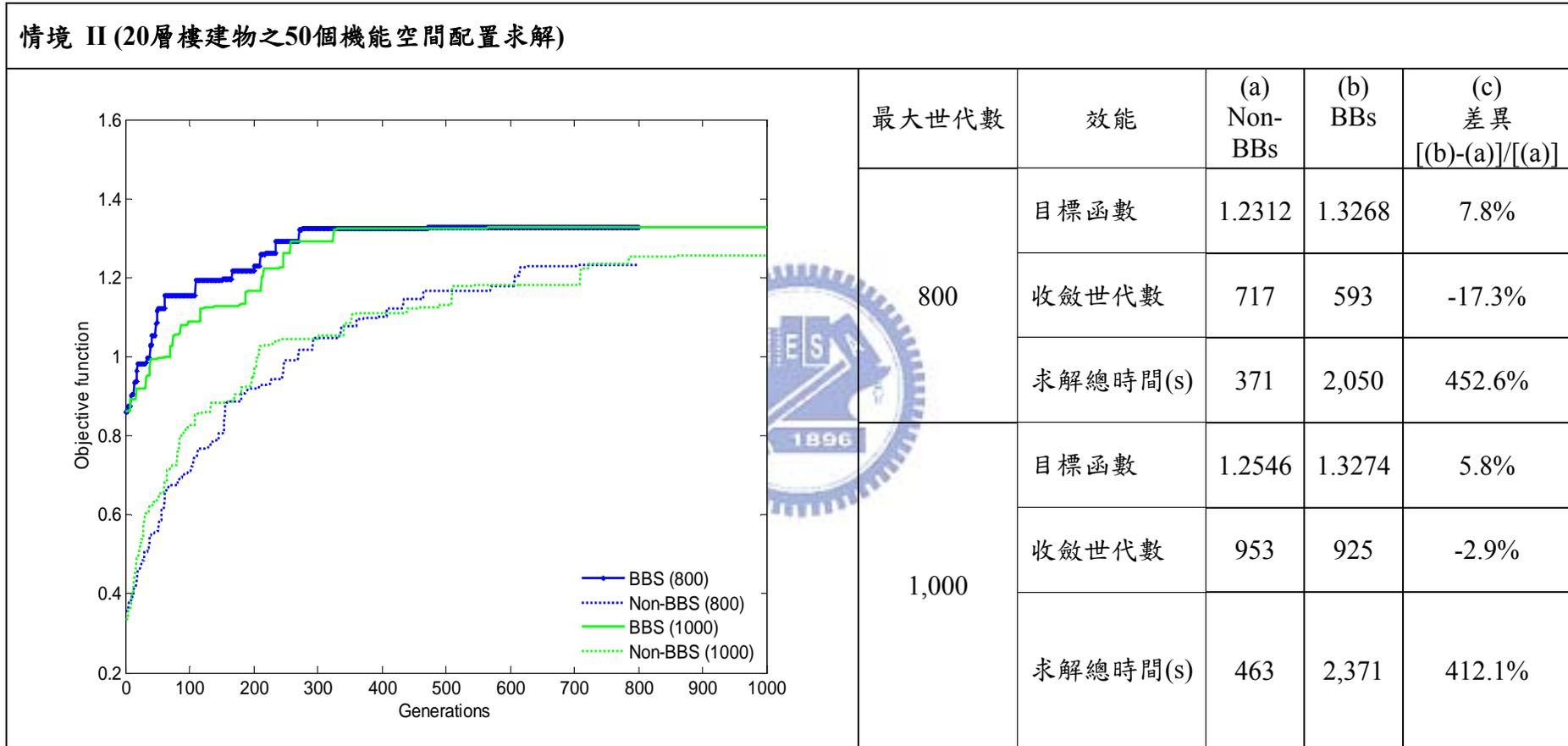
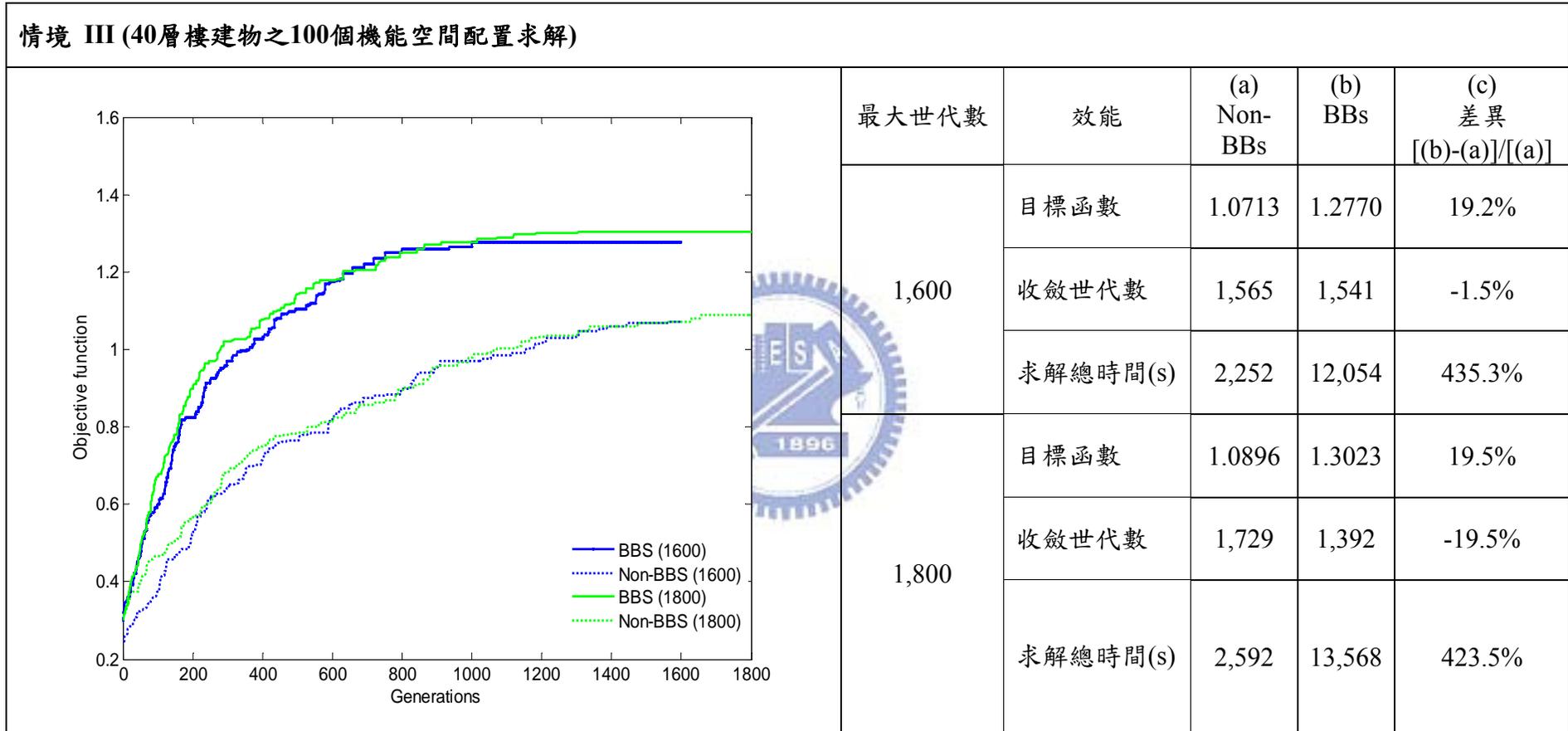


表 23 情境 III—Non-BBs 及 BBs 效能比較



第6章 結論與建議

本章為總結研究提出之模式、驗證結果及模式提供之效益，並對未來研究發展提出建議。

6.1 結論

實務上建物整建多半基於建築師及建物管理者代表主觀地理解使用者，缺乏一套有系統之機能空間配置求解模式，尤其鮮少實際依賴使用者空間移動追蹤資料或建立使用者活動模擬模型，以量化評估既有建物之機能空間配置表現。本研究以一棟既有大學教學建物為基礎，利用無線射頻辨識技術(RFID)及使用者活動模擬模式，實際追蹤/模擬產生使用者空間移動資料，並整合快速混元基因演算法(fmGA)及使用者移動模擬等方法，建立教學建物整建之機能空間配置求解模式(FAMOS Model)。以下為本研究提出模式之主要貢獻：

1. 建構使用者空間移動追蹤之 RFID 定位環境

過去實務上既有建物之空間配置整建，多半基以主觀方式瞭解使用者空間移動行為，本研究創新應用 RFID 技術，針對既有多樓層教學建物，建構使用者空間移動追蹤之 RFID 定位環境，實際收集使用者空間移動資料，並探勘其中空間移動樣式，取得其中機能移動關連，進行機能空間配置整建。其中 RFID 空間移動追蹤為基於訊號接收強度值(RSS)，予以定位使用者駐足之空間，另依據建物各機能空間之使用特性，客製進一步執行資料過濾，使得 RFID 技術應用於本研究空間移動追蹤更為精確可行。

2. 建立大學教學型建物之使用者活動模擬資料

除了以 RFID 技術實際收集使用者空間移動資料，另一方面則是透過規則基礎模型(Rule-based Model)，模擬產生使用者活動時間表，同樣取得其中建物機能移動關連進行空間配置整建。本研究使用者活動模擬資料包括固定及非固定活動之活動屬性、以及群體使用者參與活動時之行為屬性，其中主要特點為將活動本身屬性及使用使用者參與活動之不確定隨機特性(例如活動時間、活動出席率、活動到達時間及離開時間等)納入模擬機制中來產生使用者活動資料，以貼近使用者於現實生活中之活動安排。

3. 提出基石過濾運作求解建物機能空間配置問題

為後續世代演化，母代染色體皆能保留足夠數量且品質較佳之基石，以增加搜尋最佳解之可能，故 Goldberg(1993)學者在 fmGA 演算法中，提出基石過濾運作(Building-block Filtering)。依據基石過濾運作概念，本研究創新應用在建物機能空間之配置問題求解。以具最大機能移動關連值之 y 個成對機能作為基石，再針對每一世代一定比例之最差適存值染色體，檢視其 y 個成對機能之空間配置解，若未在設定之空間位置相鄰距離內，則予以刪除該條染色體。經由實驗驗證發現，基石過濾運作(BBs)隨著問題規模增加至 $100!$ ($=9.336 \times 10^{157}$) 以上時，相較無基石過濾(non-BBs)，雖然在搜尋上花費較長時間，然而在收斂世代數表現上，BBs 總是優於 non-BBs 的收斂速度，尤其在目標函數表現上，更可顯現出 BBs 運作的搜尋能力。

4. 以使用者移動模擬驗證建物機能空間配置及評估其它服務表現

人群移動為屬一種複雜的動態決策行為，本研究應用網格自動機模型(Cellular Automata)之使用者移動模擬模式，其可在假設的建物機能空間配置下，重覆模擬及預測使用者可能的移動行為，以進一步驗證建物整建之配置結果，以及評估其它難以量化至配置目標函數之指標(例如減少通道流量擁塞、減少對於具安靜需求機能之人潮干擾、各時段空間使用率等表現)。此外並能提供建物管理者一個使用者空間移動之視覺展現。

6.2 未來研究發展建議

針對本研究建立的教學建物整建之機能空間配置求解模式(FAMOS Model)，提出以下幾點未來研究發展建議。

1. 擴充其它建物服務表現評估指標

在本研究 FAMOS 模式中，建物服務表現評估僅針對機能空間配置及使用者活動安排相關之評估指標(例如移動距離、通道流量、空間使用率等類型指標)，然而，實務上進行建物機能空間配置整建，仍需考量建物各項物理環境、節能、安全性及工程成本等多面向因子。未來研究可進一步擴充更廣泛評估指標，以協助既有建物整建之配置結果更趨完善。

2. 應用於其它類似建物之配置問題

本研究主要以大學教學建物整建之機能空間配置作為案例，未來可應用於其它類似公共建物整建之配置問題，例如政府辦公大樓、企業辦公大樓、綜合醫院、博物館及美術館、便利商店、生活用品商店、購物中心、以及大型賣場等等。由於此類型公共建物整建之配置結果為關鍵影響未來營運服務水平，透過本研究所提 FAMOS 模式，可予以事先評估建物之服務表現。

3. 建立人性化之系統操作界面

本研究 FAMOS 系統界面分為五大模組，各模組所需輸入資料為.txt 格式，未來將進一步建立更人性化之系統操作界面，以利實務上運用。



參考文獻

- Armour, G. C.; Buffa, E.S. 1963. A heuristic algorithm and simulation approach to relative allocation of facilities, *Management Science* 9(2): 294–300.
- Agrawal, R.; Imielinski, T.; Swami, A., 1993. Mining association rules between sets of items in large databases. *Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Washington, DC, USA, 207–216.
- Arentze T.; Timmermans H. 2004. A Learning-Based Transportation Oriented Simulation System, *Transportation Research Part B* 38: 613–633.
- Bazaraa, M. S. 1975. Computerized layout design: A branch and bound approach, *AIIE Transactions* 7(4): 432–437.
- Bazaraa, M. S.; Sherali, H. D. 1980. Benders' partitioning scheme applied to a new formulation of the quadratic assignment problem, *Naval Research Logistics Quarterly* 27: 29–41.
- Burkard, R. E. 1984. Quadratic assignment problems, *European Journal of Operational Research* 15: 283–289.
- Behrens, R. 2000. Activity-travel analysis: A review of theoretical origins, recent developments and local application, *Proceedings of the South African Transportation Conference*, South Africa, 17 – 20.
- Blue, V.; Adler, J. 2001. Cellular automata microsimulation for modeling bi-direction pedestrian walkways, *Transportation research part B* 35: 293–312.
- Burstedde, C.; Klauck, K.; Schadschneider, A.; Zittartz, J. 2001. Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton, *Physica A* 295: 507–525.
- Bourg, D. M.; Seemann, G. 2004. *AI for game developers*, O'Reilly, Beijing.
- Brambilla, R.; Cattelani, L. 2009. Mobility analysis inside buildings using DISTRIMOB simulator: A case study, *Building and Environment* 44:595–604.
- Clarke, M. I. 1980. The formulation and initial development of an activity based model of an activity based model of household travel behavior, *Transport Studies Unit*, Oxford University.
- Christofides, N.; Benavent, E. 1989. An exact algorithm for the quadratic assignment problem, *Operations Research* 37(25): 760–768.

- Cheung, S. O.; Tong, T. K.; Tam, C. M. 2002. Site pre-cast yard layout arrangement through genetic algorithms, *Automation in construction* 11: 35–46.
- Chin, S.; Yoon, S.; Choi, C.; Cho, C. 2008. RFID+4D CAD for progress management of structural steel works in high-rise buildings, *Journal of Computing in Civil Engineering* 22(2): 74–89.
- Cheng, M. Y.; Wu, Y. W.; Wu, C. F. 2010. Project success prediction using an evolutionary support vector machine inference model, *Automation in Construction* 19(3): 619–629.
- Drezner, Z. 1987. A heuristic procedure for the layout of a large number of facilities, *International Journal of Management Science* 33(7): 907–915.
- Doherty S.; Axhausen, K. 1998. A conceptual model of the weekly household activity-travel scheduling process, *Network on European Communications and Transport Activities Research Euro-conference*, Israel.
- Dowad, T. 2006. PAWS: Personal action wireless sensor, *Personal and ubiquitous computing* 10(2-3): 173–176.
- Domdouzis, K.; Kumar, B.; Anumba, C. 2007. Radio-Frequency Identification (RFID) applications: a brief introduction, *Advanced Engineering Informatics* 21(4): 350–355.
- Drira, A.; Pierreval, H.; Hajri-Gabouj, S. 2007. Facility layout problems: A survey, *Annual Reviews in Control* 31: 255–267.
- Dziadak, K.; Kumar, B.; Sommerville, J. 2009. Model for the 3D location of buried assets based on RFID technology, *Journal of Computing in Civil Engineering* 23(3): 148–159.
- Ettema, D.; Borgers, A.; Timmermans, H. 1996. SMASH (Simulation model of activity scheduling Hueristics), some simulations, *Transportation Research Record* 1551, 88–94.
- Fruin, J. J. 1971. *Pedestrian planning and design*, Metropolitan Association of Urban Designers and EnvironmentalPlanners, New York.
- Frisch, U.; d’Humieres, D.; Hasslacher, B.; Lallemand, P.; Pomeau, Y.; Rivet, J.-P. 1987. Lattice gas hydrodynamics in two and three dimensions, *Complex Systems* 1, 649–707.
- Feng, C. W.; Wu, H. T. 2006. Integrating fmGA and CYCLONE to optimize the schedule of dispatching RMC trucks, *Automation in Construction* 15(2):

186–199.

Federal Highway Administration. Designing Sidewalks and Trails for Access Part II of II: Best Practices Design Guide. Retrieved June 21, 2012. From http://www.fhwa.dot.gov/environment/bicycle_pedestrian/publications/sidewalk2/sidewalks208.cfm.

Goldberg, D. E.; Korb, B.; Deb, K. 1989. Messy genetic algorithms: motivation, analysis, and first results, *Complex Systems* 3(5): 493–530.

Goldberg, D. E.; Deb, K.; Korb, B. 1991. Don't worry, be messy, *Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms*, La Jolla, CA, 24–30.

Goldberg, D. E.; Deb, K.; Kaegupta, H.; Harik, G. 1993. Rapid, accurate optimization of difficult problems using fast messy genetic algorithms, *Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms*, 56–64.

Goldberg, D. E. 2002. *The design of innovation: lessons from and for competent genetic algorithms*, Kluwer Academic, Boston.

Goodrum, P. M.; McLaren, M. A.; Durfee, A. 2006. The application of active radio frequency identification technology for tool tracking on construction job sites, *Automation in Construction* 15(3): 292–302.

Hägerstrand, T. 1970. What about people in regional science? Presidential address. *Papers of the Regional Science Association* 24: 7–21.

Henderson, L. 1974. On the fluid mechanics of human crowd motion, *Transportation Research* 8(6): 509-515.

Holland, J. H. 1975. *Adaptation in natural and artificial system*, University of Michigan, Ann Arbor.

Hassan, M. M. D; Hogg, G. L.; Smith, D. R. 1986. SHAPE: A construction algorithm for area placement evaluation, *International Journal of Production Research* 24(5): 1283–1295.

Heragu, S. S.; Alfa, A. S. 1992. Experimental analysis of simulated annealing based algorithms for the facility layout problem, *European Journal of Operational Research* 57(2): 190–202.

Helbing, D.; Molnar, P. 1995. Social force model for pedestrian dynamics, *Physical Review E* 51(5): 4282–4286.

Hoffmann, F.; Pfister, G. 1996. Learning of a fuzzy control rule base using messy genetic algorithms. In: Herrera, F. editors. *Genetic algorithms and soft*

- computing*, Physica-Verlag, Heidelberg, 279–305.
- Halhal, D.; Walters, G. A.; Savic, D. A.; Ouazar, D. 1999. Scheduling of water distribution system rehabilitation using structured messy genetic algorithms, *Evolutionary computation* 7(3): 311–329.
- Hahn, P. M.; Jrarup, J. 2000. A hospital facility layout problem finally solved, *Journal of Intelligent Manufacturing* 15(55/6): 1–11.
- Helbing, D.; Molnar, P.; Farkas, I. J.; Bolay, K. 2001. Self-organizing pedestrian movement, *Environment and Planning B* 28: 361–383.
- Hoes, P.; Hensen, J. L. M.; Loomans, M.G.L.C.; Vries, B. D.; Bourgeois, D. 2009. User behavior in whole building simulation, *Energy and Buildings* 41: 295–302.
- Jaselskis, E. J.; Anderson, M. R.; Jahren, C. T. 1995. Radio-frequency identification applications in construction industry, *Journal of Construction Engineering and Management* 121(2):189–196.
- Jagielski, R.; Gero, J. S. 1997. A genetic programming approach to the space layout planning problem. In: R. Junge editors. *CAAD Futures*, Kluwer, Dordrecht, 875–884.
- Jang, H.; Lee, S.; Choi, S. 2007. Optimization of floor-level construction material layout using Genetic Algorithms, *Automation in construction* 16: 531–545.
- Jang, W. K.; Skibniewski, M. J. 2009. Embedded system for construction asset tracking combining radio and ultrasound signals, *Journal of Computing in Civil Engineering* 23(4): 221–229.
- Khalil, T. M. 1973. Facilities relative allocation technique (FRAT), *International Journal of Productions Research* 11(2): 183–194.
- Koopmans, T. C.; Beckman, M. 1975. Assignment problems and the location of economic activities, *Econometrica* 25(1): 53–76.
- Keith Still, G. 2000. *Crowd dynamics*, PhD thesis, University of Warwick.
- Keßel, A.; Klüpfel, H.; Schreckenberg, M. 2002. Microscopic simulation of pedestrian crowd motion, *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Berlin, Germany, 193–202.
- Kalay, Y. E. 2004. *Architecture's new media: principles, theories, and methods of computer-aided design*, MIT Press, Cambridge.
- Kingham, S.; Sabel, C. E.; Bartie, H. 2011. The impact of the ‘school run’ on road traffic accidents: A spatio-temporal analysis, *Journal of Transport Geography*

- 19(4): 705–711.
- Lawler, E. L. 1963. The quadratic assignment problem, *Management Science* 9: 586–599.
- Lee, R.; Moore, J. M. 1967. CORELAP-computerized relationship layout planning, *The Journal of Industrial Engineering* 18: 195–200.
- Love, R. F.; Wong, J. Y. 1976. Solving quadratic assignment problems with rectangular distances and integer programming, *Naval Research Logistics Quarterly* 23: 623–627.
- Liggett, R. S.; Mitchell, W. J. 1981. Optimal space planning in practice, *Computer-Aided Design* 13(5): 277–288.
- Leung, J. 1992. A graph-theoretic heuristic for flexible manufacturing systems, *European Journal of Operational Research* 57(2): 243–252.
- Lanzi, P. L. 1999. Extending the representation of classifier conditions Part I: From binary to messy coding, *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation conference* 1, 337–344.
- Lanzi, P. L.; Perrucci, A. 1999. Extending the representation of classifier conditions Part II: From messy coding to S-expressions, *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation conference* 1, 345–352.
- Leggett, R. 2004, Real-Time Crowd Simulation: A Review, 1–12.
- Lee, H. Y.; Yang, I. T.; Lin Y.C. 2012. Laying out the user flows in public buildings for operating efficiency, *Building and Environment* 51: 231–242.
- Lionel, M. N.; Liu, Y. H.; Lau, Y. C. 2004. Patil AP. LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID. *Wireless Networks* 10(6): 701–710.
- Loiola, E. M.; Abreu, N. M. M. D.; Boaventura-Netto, P. O.; Hahn, P.; Querido, T. 2007. A survey for the quadratic assignment problem, *European Journal of Operational Research* 176: 657–690.
- Lertlakkhanakul, J.; Choi, J. W.; Kim, M.Y. 2008. Building data model and simulation platform for spatial interaction management in smart home, *Automation in Construction* 17(8): 948–957.
- Liang, L. Y.; Chao, W. C. 2008. The strategies of tabu search technique for facility layout optimization, *Automation in construction* 17: 657–669.
- Li, N.; Becerik-Gerber, B. 2011. Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment, *Advanced Engineering*

- Informatics* 25: 535–546.
- Mohan, C. K. 1993. A messy genetic algorithms for clustering. In: Dagli, C. H.; Burke, L. I.; Feranadez, B. R. and Ghosh, J. editors. *Intelligent engineering systems through artificial neural networks*, ASME Press, New York, 831–836.
- McCarthy, J. F.; Nguyen, D. H.; Rashid, A. M.; Soroczak, S. 2003. Proactive displays and the experience UbiComp Project, *Proceedings of the Fifth International Conference on Ubiquitous Computing*: 78–81.
- Malayath, M.; Verma, A. 2013. Activity based travel demand models as a tool for evaluating sustainable transportation policies, *Research in Transportation Economics* 38(1): 45–66.
- Paciga, M.; Lutfiyya, H. 2005. Herecast: An open infrastructure for locationbased services using WiFi, *In Wireless and mobile computing, networking and communications (WiMobapos)*, IEEE IC 4: 21–28.
- Papinigis, V.; Geda, E.; Lukošius, K. 2010. Design of people evacuation from rooms and buildings, *Journal of Civil Engineering and Management* 16(1): 131–139.
- Qiu, F.; Hu, X. 2010. Modeling group structures in pedestrian crowd simulation, *Simulation Modelling Practice and Theory* 18: 190–205.
- Recker, W. W.; McNally, M. G.; Root, G. S. 1986. A model of complex travel behavior: part I. Theoretical development, *Transportation Research Part A* 20(4): 307–318.
- Ran, L.; Helal, S.; Moore, S. 2004. Drishti: An integrated indoor/outdoor blind navigation system and service, *In Proceedings of the second IEEE annual conference on pervasive computing and communications*: 23–30.
- Rahul, N.; Abhinav, G.; Sean, C.; Ming, C. L. 2009. Aggregate dynamics for dense crowd simulation, *ACM Transactions on Graphics* 28(5): 122(1–8).
- Ramkumar, A. S.; Ponnambalam, S. G.; Jawahar, N. 2009. A new iterated fast local search heuristic for solving QAP formulation in facility layout design, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 25: 620–629.
- Seehof, J. M.; Evans, W. O. 1967. Automated layout design program, *The Journal of Industrial Engineering* 18: 690–695.
- Skurikhin, A. N.; Surkan, A. J. 1996. Messy genetic algorithm learns a classifier to design multiplexers, *Proceedings of 1996 IEEE international conference on evolutionary computation*, 100–103.

- Schadschneider, A. 2002. Traffic flow: a statistical physics point of view, *Physica A* 313(1–2): 153–187.
- Solimanpur, M.; Vrat, P.; Shankar, R. 2005. An ant algorithm for the single row layout problem in flexible manufacturing systems, *Computers and Operations Research* 32(3): 583–698.
- Solimanpur, M.; Jafari, A. 2008. Optimal solution for the two-dimensional facility layout problem using a branch-and-bound algorithm, *Computers and Industrial Engineering* 55: 606–619.
- Shen, W.; Shen, Q.; Sun, Q. 2012. Building Information Modeling-based user activity simulation and evaluation method for improving designer-user communications, *Automation in Construction* 21:148–160.
- Tompkins, J. A.; Reed, J. R. 1976. An applied model for the facilities design problem, *International Journal of Production Research* 14: 583–595.
- Timmermans, H. J. P.; Arenze, T.; Joh, C-H. 2002. Analyzing Space-Time Behavior: New Approaches to Old Problems, *Progress in Human Geography* 26(2): 175–190.
- Tzeng, C. T.; Chiang, T. C.; Chiang, C. M.; Lai, C. M. 2008. Combination of radio frequency identification (RFID) and field verification tests of interior decorating materials, *Automation in Construction* 18: 16–23.
- Tabak, V.; Vries, B.de. 2010. Methods for the prediction of intermediate activities by office occupants, *Building and Environment* 45: 1366–1372.
- Tesoriero, R.; Tebar, R.; Gallud, J. A.; Lozano, M. D.; Penichet, V. M. R. 2010. Improving location awareness in indoor spaces using RFID technology, *Expert Systems with Applications* 37: 894–898.
- Tserng, H. P.; You, J. Y.; Chang, C. Y.; Hsiung K. H. 2011. The hot area evacuation model application in large scale gymnasiums, *Journal of Civil Engineering and Management* 17(2): 217–226.
- Want, R.; Hopper, A.; Falcao, V.; Gibbons, J. 1992. The Active Badge Location System, *ACM Transactions on Information Systems* 40(1): 91–102.
- Wang, L.C. 2008. Enhancing construction quality inspection and management using RFID technology, *Automation in Construction* 17: 467–479.
- Yang, L. Z.; Zhao, D. L.; Li, J.; Fang, T. Y. 2005. Simulation of the kin behavior in building occupant evacuation based on Cellular Automaton, *Building and*

- Environment* 40: 411–415.
- Yeh, I. C. 2006. Architectural layout optimization using annealed neural network, *Automation in construction* 15: 531–539.
- Yue, H.; Hao, H.; Chen, X.; Shao, C. 2007. Simulation of pedestrian flow on square lattice based on cellular automata model, *Physica A* 384: 567–588.
- Yin, S. Y. L.; Tserng, H. P.; Wang, J. C.; Tsai, S. C. 2009. Developing a precast production management system using RFID technology, *Automation in Construction* 18: 677–691.
- Zimmermann, G. 2007. Modeling and simulation of individual user behavior for building performance predictions, *Proceedings of the 2007 Summer Computer Simulation Conference*, San Diego CA, US.
- 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碩士論文，2009。



附錄 1 活動模擬群體對象

群體級別		群體名稱	人數	
大學部	大一	1-diligent freshman(A)	22	
		2-lazy freshman(A)	23	
		3-diligent freshman(B)	22	
		4-lazy freshman(B)	23	
	大二	5-diligent sophomore(A)	19	
		6-lazy sophomore(A)	19	
		7-diligent sophomore(B)	19	
		8-lazy sophomore(B)	19	
	大三	9-structure junior	29	
		10-Geotechnic Surveying junior	29	
		11-Hydraulics Construction junior	29	
	大四	12-structure senior	24	
13-Geotechnic and Surveying senior		24		
14-Hydraulics and Construction senior		24		
研究所	結構組	15-Structure grade1 graduate student whose lab in the structure building	16	
		16-Structure grade2 graduate student whose lab in the structure building	7	
		17-Structure grade1 graduate student with advisor Gin-Show Liou	3	
		18-Structure grade2 graduate student with advisor Gin-Show Liou	3	
		19-Structure grade1 graduate student with advisor Judy-P Yang	3	
		20-Structure grade2 graduate student with advisor Judy-P Yang	3	
		21-Structure grade1 graduate student with advisor Yen-Po Wang	3	
		22-Structure grade2 graduate student with advisor Yen-Po Wang	3	
		23-Structure grade1 graduate student with advisor Shih-Lin Hung	3	
		24-Structure grade2 graduate student with advisor Shih-Lin Hung	3	
		25-Structure grade1 graduate student with advisor Chiung-Shiann Huang	3	
		26-Structure grade2 graduate student with advisor Chiung-Shiann Huang	3	
		27-Structure grade1 graduate student with advisor Chang-You Lin	5	
		28-Structure grade2 graduate student with advisor Chang-You Lin	5	
		水利組	29-Hydraulics grade1 graduate student with advisor Jinn-Chuang Yang	4
			30-Hydraulics grade2 graduate student with advisor Jinn-Chuang Yang	3
	31-Hydraulics grade1 graduate student with advisor Ko-Chia Yeh		4	
	32-Hydraulics grade2 graduate student with advisor Ko-Chia Yeh		3	
	33-Hydraulic grade1 graduate student with advisor Liang-Cheng Chang		4	
	34-Hydraulic grade2 graduate student with advisor Liang-Cheng Chang		3	
	35-Hydraulic grade1 graduate student with advisor Yung-Chao Wu		3	
	36-Hydraulic grade2 graduate student with advisor Yung-Chao Wu		3	
	37-Hydraulic grade1 graduate student with advisor Hsien-Kuo Chang		3	
	38-Hydraulic grade2 graduate student with advisor Hsien-Kuo Chang		3	
	大地組	39-Geotechnic grade1 graduate student with high attendance rate	15	
		40-Geotechnic grade1 graduate student with low attendance rate	3	
		41-Geotechnic grade2 graduate student with high attendance rate	15	
		42-Geotechnic grade2 graduate student with low attendance rate	3	
	測量組	43-Surveying grade1 graduate student with advisor Chein-way Hwang	3	
		44-Surveying grade2 graduate student with advisor Chein-way Hwang	3	
		45-Surveying grade1 graduate student with advisor Liang-Chien Chen	3	
		46-Surveying grade2 graduate student with advisor Liang-Chien Chen	3	
47-Surveying grade1 graduate student with advisor Tian-Yuan Shih		3		
48-Surveying grade2 graduate student with advisor Tian-Yuan Shih		3		
營管組	49-Construction management grade1 graduate student with advisor Wei-Chih Wang	4		
	50-Construction management grade2 graduate student with advisor Wei-Chih Wang	4		
	51-Construction management grade1 graduate student with advisor Shih-Chang Huang	3		
	52-Construction management grade2 graduate student with advisor Shih-Chang Huang	3		
	53-Construction management grade1 graduate student with advisor Ren-Jye Dzeng	3		
	54-Construction management grade2 graduate student with advisor Ren-Jye Dzeng	3		
	55-Construction management grade1 graduate student with advisor Yu-Lin Huang	3		
	56-Construction management grade2 graduate student with advisor Yu-Lin Huang	3		
資訊組	57-Information Technique grade1 graduate student	6		
	58-Information Technique grade2 graduate student	7		
活動模擬總群體人數			514	

附錄 2 32 個空間相鄰距離

$D_{S_i S_j}$	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}	S_{17}	S_{18}	S_{19}	S_{20}	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}	S_{25}	S_{26}	S_{27}	S_{28}	S_{29}	S_{30}	S_{31}	S_{32}
S_1	0.00	0.98	0.32	0.84	0.54	0.25	0.79	0.28	0.57	0.70	0.49	0.56	0.38	0.14	0.67	0.35	0.58	0.71	0.79	0.88	0.89	0.92	0.93	0.96	0.72	0.68	0.93	0.96	0.86	0.85	0.87	0.87
S_2	0.98	0.00	0.33	0.85	0.55	0.27	0.81	0.30	0.58	0.68	0.47	0.54	0.36	0.12	0.65	0.37	0.56	0.73	0.80	0.89	0.90	0.93	0.94	0.97	0.73	0.69	0.94	0.96	0.86	0.60	0.61	0.61
S_3	0.32	0.33	0.00	0.49	0.67	0.62	0.43	0.65	0.70	0.55	0.67	0.61	0.52	0.57	0.54	0.95	0.67	0.60	0.56	0.48	0.43	0.40	0.39	0.36	0.58	0.55	0.39	0.28	0.41	0.46	0.48	0.47
S_4	0.84	0.85	0.49	0.00	0.71	0.42	0.84	0.45	0.74	0.58	0.37	0.31	0.40	0.40	0.50	0.56	0.73	0.92	0.99	0.99	0.95	0.92	0.91	0.88	0.93	0.88	0.90	0.79	0.86	0.79	0.80	0.80
S_5	0.54	0.55	0.67	0.71	0.00	0.60	0.64	0.63	0.97	0.88	0.52	0.46	0.50	0.54	0.56	0.71	0.99	0.82	0.78	0.69	0.66	0.62	0.49	0.54	0.81	0.77	0.61	0.54	0.57	0.68	0.69	0.69
S_6	0.25	0.27	0.62	0.42	0.60	0.00	0.36	0.92	0.63	0.48	0.74	0.68	0.82	0.96	0.45	0.65	0.59	0.53	0.48	0.40	0.36	0.32	0.31	0.28	0.51	0.47	0.31	0.20	0.27	0.39	0.43	0.35
S_7	0.79	0.81	0.43	0.84	0.64	0.36	0.00	0.39	0.68	0.52	0.36	0.29	0.38	0.38	0.44	0.54	0.73	0.89	0.88	0.80	0.75	0.72	0.71	0.68	0.92	0.96	0.84	0.74	0.97	0.88	0.89	0.89
S_8	0.28	0.30	0.65	0.45	0.63	0.92	0.39	0.00	0.66	0.51	0.80	0.74	0.92	0.89	0.48	0.68	0.62	0.56	0.51	0.43	0.39	0.35	0.34	0.31	0.54	0.50	0.34	0.23	0.30	0.42	0.43	0.43
S_9	0.57	0.58	0.70	0.74	0.97	0.63	0.68	0.66	0.00	0.85	0.56	0.50	0.55	0.58	0.53	0.74	0.96	0.86	0.81	0.73	0.69	0.66	0.46	0.50	0.84	0.81	0.64	0.51	0.60	0.71	0.73	0.72
S_{10}	0.70	0.68	0.55	0.58	0.88	0.48	0.52	0.51	0.85	0.00	0.50	0.57	0.39	0.42	0.69	0.59	0.89	0.70	0.66	0.57	0.53	0.50	0.62	0.65	0.68	0.65	0.62	0.67	0.53	0.56	0.57	0.57
S_{11}	0.49	0.47	0.67	0.37	0.52	0.74	0.36	0.80	0.56	0.50	0.00	0.99	0.91	0.71	0.73	0.59	0.52	0.23	0.28	0.36	0.37	0.40	0.41	0.46	0.20	0.16	0.41	0.46	0.33	0.10	0.12	0.11
S_{12}	0.56	0.54	0.61	0.31	0.46	0.68	0.29	0.74	0.50	0.57	0.99	0.00	0.89	0.66	0.74	0.52	0.46	0.30	0.35	0.43	0.44	0.47	0.48	0.53	0.27	0.23	0.48	0.53	0.40	0.17	0.19	0.18
S_{13}	0.38	0.36	0.52	0.40	0.50	0.82	0.38	0.92	0.55	0.39	0.91	0.89	0.00	0.80	0.61	0.57	0.49	0.13	0.17	0.26	0.27	0.30	0.31	0.35	0.10	0.06	0.31	0.36	0.23	0.00	0.01	0.01
S_{14}	0.14	0.12	0.57	0.40	0.54	0.96	0.38	0.89	0.58	0.42	0.71	0.66	0.80	0.00	0.40	0.61	0.54	0.48	0.44	0.35	0.31	0.28	0.27	0.23	0.46	0.43	0.26	0.15	0.22	0.34	0.35	0.35
S_{15}	0.67	0.65	0.54	0.50	0.56	0.45	0.44	0.48	0.53	0.69	0.73	0.74	0.61	0.40	0.00	0.58	0.57	0.43	0.47	0.55	0.56	0.59	0.59	0.63	0.67	0.64	0.55	0.65	0.51	0.54	0.56	0.55
S_{16}	0.35	0.37	0.95	0.56	0.71	0.65	0.54	0.68	0.74	0.59	0.59	0.52	0.57	0.61	0.58	0.00	0.71	0.64	0.60	0.51	0.47	0.44	0.43	0.40	0.62	0.59	0.43	0.32	0.44	0.50	0.51	0.51
S_{17}	0.58	0.56	0.67	0.73	0.99	0.59	0.73	0.62	0.96	0.89	0.52	0.46	0.49	0.54	0.57	0.71	0.00	0.81	0.77	0.69	0.65	0.61	0.44	0.47	0.80	0.77	0.44	0.49	0.35	0.67	0.69	0.69
S_{18}	0.71	0.73	0.60	0.92	0.82	0.53	0.89	0.56	0.86	0.70	0.23	0.30	0.13	0.48	0.43	0.64	0.81	0.00	0.96	0.88	0.84	0.80	0.79	0.76	0.98	0.94	0.78	0.68	0.79	0.85	0.87	0.86
S_{19}	0.79	0.80	0.56	0.99	0.78	0.48	0.88	0.51	0.81	0.66	0.28	0.35	0.17	0.44	0.47	0.60	0.77	0.96	0.00	0.95	0.91	0.87	0.87	0.83	0.97	0.92	0.86	0.75	0.82	0.83	0.84	0.84
S_{20}	0.88	0.89	0.48	0.99	0.69	0.40	0.80	0.43	0.73	0.57	0.36	0.43	0.26	0.35	0.55	0.51	0.69	0.88	0.95	0.00	0.99	0.96	0.95	0.92	0.88	0.84	0.94	0.84	0.90	0.74	0.76	0.76
S_{21}	0.89	0.90	0.43	0.95	0.66	0.36	0.75	0.39	0.69	0.53	0.37	0.44	0.27	0.31	0.56	0.47	0.65	0.84	0.91	0.99	0.00	0.97	0.96	0.93	0.84	0.80	0.96	0.84	0.91	0.70	0.72	0.71
S_{22}	0.92	0.93	0.40	0.92	0.62	0.32	0.72	0.35	0.66	0.50	0.40	0.47	0.30	0.28	0.59	0.44	0.61	0.80	0.87	0.96	0.97	0.00	0.99	0.96	0.81	0.77	0.98	0.88	0.93	0.67	0.68	0.68
S_{23}	0.93	0.94	0.39	0.91	0.49	0.31	0.71	0.34	0.46	0.62	0.41	0.48	0.31	0.27	0.59	0.43	0.44	0.79	0.87	0.95	0.96	0.99	0.00	0.97	0.80	0.76	0.99	0.92	0.92	0.66	0.68	0.67
S_{24}	0.96	0.97	0.36	0.88	0.54	0.28	0.68	0.31	0.50	0.65	0.46	0.53	0.35	0.23	0.63	0.40	0.47	0.76	0.83	0.92	0.93	0.96	0.97	0.00	0.77	0.73	0.97	0.98	0.89	0.63	0.64	0.64
S_{25}	0.72	0.73	0.58	0.93	0.81	0.51	0.92	0.54	0.84	0.68	0.20	0.27	0.10	0.46	0.67	0.62	0.80	0.98	0.97	0.88	0.84	0.81	0.80	0.77	0.00	0.96	0.78	0.58	0.82	0.90	0.89	0.88
S_{26}	0.68	0.69	0.55	0.88	0.77	0.47	0.96	0.50	0.81	0.65	0.16	0.23	0.06	0.43	0.64	0.59	0.77	0.94	0.92	0.84	0.80	0.77	0.76	0.73	0.96	0.00	0.74	0.62	0.85	0.93	0.92	0.91
S_{27}	0.93	0.94	0.39	0.90	0.61	0.31	0.84	0.34	0.64	0.62	0.41	0.48	0.31	0.26	0.55	0.43	0.44	0.78	0.86	0.94	0.96	0.98	0.99	0.97	0.78	0.74	0.00	0.95	0.94	0.64	0.66	0.65
S_{28}	0.96	0.96	0.28	0.79	0.54	0.20	0.74	0.23	0.51	0.67	0.46	0.53	0.36	0.15	0.65	0.32	0.49	0.68	0.75	0.84	0.84	0.88	0.92	0.98	0.58	0.62	0.95	0.00	0.80	0.54	0.55	0.55
S_{29}	0.86	0.86	0.41	0.86	0.57	0.27	0.97	0.30	0.60	0.53	0.33	0.40	0.23	0.22	0.51	0.44	0.35	0.79	0.82	0.90	0.91	0.93	0.92	0.89	0.82	0.85	0.94	0.80	0.00	0.78	0.79	0.79
S_{30}	0.85	0.60	0.46	0.79	0.68	0.39	0.88	0.42	0.71	0.56	0.10	0.17	0.00	0.34	0.54	0.50	0.67	0.85	0.83	0.74	0.70	0.67	0.66	0.63	0.90	0.93	0.64	0.54	0.78	0.00	0.96	0.96
S_{31}	0.87	0.61	0.48	0.80	0.69	0.43	0.89	0.43	0.73	0.57	0.12	0.19	0.01	0.35	0.56	0.51	0.69	0.87	0.84	0.76	0.72	0.68	0.68	0.64	0.89	0.92	0.66	0.55	0.79	0.96	0.00	0.99
S_{32}	0.87	0.61	0.47	0.80	0.69	0.35	0.89	0.43	0.72	0.57	0.11	0.18	0.01	0.35	0.55	0.51	0.69	0.86	0.84	0.76	0.71	0.68	0.67	0.64	0.88	0.91	0.65	0.55	0.79	0.96	0.99	0.00

