

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

應用細胞自動機於建築火災逃生避難路徑動態模擬之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-034-002-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中國文化大學建築及都市設計學系暨研究所

計畫主持人：溫國忠

計畫參與人員：許志帆

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

應用細胞自動機於建築火災逃生避難路徑動態模擬之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2211-E-034-002-

執行期間：94年8月1日至95年7月31日

計畫主持人：溫國忠

共同主持人：

計畫參與人員：許志帆

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中國文化大學建築及都市設計學系暨研究所

中華民國九十五年十月二十七日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

應用細胞自動機於建築火災逃生避難路徑動態模擬之研究

A Dynamic Simulation of Building Fire Evacuation Path Choice Model: Cellular Automata Approach

計畫編號：NSC 94-2211-E-034-002-

執行期限：94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 31 日

主持人：溫國忠 中國文化大學建築及都市設計學系暨研究所副教授

計畫參與人員：許志帆 中國文化大學建築及都市計畫研究所 研究生

一、中文摘要

當建築物內部發生危險時，必須在第一時間內設法摒除危險並引導室內人員進行安全避難逃生動作，例如金華城與 101 裙樓都有進行安全避難逃生之演練。加上近年來消費者到大型量販店購物人口也逐漸增加，因此在建築物平面必須提供適當的安全的避難路徑資訊，以減少民眾生命財產之損失。然而在探討避難路徑常是以路徑來規劃，但這卻不一定是最佳的路徑，亦缺乏動態的考量。

本研究以細胞自動機 (CA)、地理資訊系統 (GIS)、網路分析 (Network Analysis, NA)、防救災理論等為基礎進行探討。Wolfram (202) 認為細胞自動機 (CA) 是一種數學系統，會依照連續性的變動法則改變它在格子上的模式。CA 是由一些特定規則的格子所組成，隨著時間的變化或稱作「疊代」，格子上的每一個細胞根據周圍細胞的情形，按照相同的法則而改變狀態。因此本研究應用此動態選擇過程，進行多重疊代的避難逃生路徑模式選擇，考慮火載量、人員密度、群流速度、行為反應等，得到一整個族群的模式，結合 GIS 空間分析的 CA 功能，在符合防救災理論之下，並加入時空動態因素，來模擬較為安全與符合真實避難的行為模式，以作為防救災規劃進一步的參考。

本研究接續前三年度國科會專題研究計畫進行，本研究第一步建立建築平面之動線與路網並分析其節點；第二步蒐集建築平面的相關資料，應用 GIS 分析建築平面中之空間物品屬性、通道性質、設施與設備等內容，作為 CA 演算時優劣因子判別的基礎，其圖檔包括建築平面與裝修

圖、消防設備圖等。第三步建立 CA 運算中路網節點的權重，權重的高低是以貨物類型與通道形式的優劣為準則，這個部分主要分為四個步驟，一是設定 CA 運算的空間維度，二是定義族群可能具有的狀況，三是定義細胞改變狀況的規則，四是設定細胞自動機中了初始狀況；第四步是以時間序列的方式，結合 CA 運算出不同狀態下的避難路徑，第五步比較路網分析與 CA 運算的差異，建立真實避難路徑動態選擇之模式。

研究的目的是在於結合 CA 與 GIS，輔助決策者在建築平面逃生避難路徑的規劃上考慮時間的變化，並提供民眾能因應不同狀態下安全避難的需求。以應用到其它類似問題的地區。研究成果包含：1. 相關建築平面火災逃生基本圖形資料及屬性資料建檔；2. 建立結合 CA 與 GIS 於建築平面避難逃生路徑規劃的方法；3. 模擬出以動態 CA 方式，建立避難路徑規劃的模式。

關鍵詞：細胞自動機、地理資訊系統、建築火災、避難路徑、動態模擬

Abstract

Along with the economy grows up and urban Many people have died in the fire accident in the past few years in Taiwan. When the fire accident happening, the occupants, who were in the building, must to get ride of dangerous and evacuate. So the building must has some information about the safe evacuation path. And this information can reduce the dangerous in the fire evacuation path.

This research included Cellular Automata (CA), Geographic Information System (GIS), Network Analysis (NA) and

disaster prevention theories. We use CA model to simulate the fire factors, and connect the factors in a complex factors simulation by the fire different probabilities, pedestrian density, moving speed, human behaviors and so on. We combine the function of the GIS Spatial Analysis (SA), under the disaster prevention theories, it can simulate and present a more safe model of PCM that near to the behavior of the really evacuation in mankind.

The procedure of applying CA and GIS to choice evacuation path in a fire building is summarized as follows. First, we establish the network of path and analysis path node. Second, we gather building information. Applying the analysis of GIS and present the time series changes of the region; we can establish the Disaster Database for CA. The Disaster Database output's data is the foundation to decide the factor better or not in population. Disaster Database uses building plan, a fire hydrant to evaluate the building fire evacuation route. Third, we established the node relationship of CA calculation and the level of the weighting is the standard of the date that is exported by Disaster Database. The part of this research could be divided into four parts. (i) Is to set the population of CA operation. (ii) Is to define the situation in the cell. (iii) Is to establish the law of the cell change. Fourth, we apply GA to calculate different evacuation path in different time series. Fifth, we compare the NA with CA calculation, and Establish real model to choosing building fire evacuation path.

The goals of this research were going to be combined CA and GIS. Those are going to assist the decision maker to plan the variety in the timing, and to provide people to change according to the requirement of safety in the circumstances. The effects of this research were going to be expected to apply to solve the problem in the similar building.

Keywords: Cellular Automata, Geographic Information Systems, Building Fire, Evacuation Path, Dynamic Simulation

二、計畫源由與目的

火災災害對於民眾的安全具有相當程

度之威脅。因此在建築設計中，逃生避難與消防設施、設備的安全檢覈亦成為一項很嚴謹的標準。一旦建築物內部發生危險時，必須在第一時間內設法摒除危險並引導室內人員進行安全避難逃生動作。

(一) 建築火災避難模擬

建築火災產生時，其火災的位置與延燒情況會隨著時間狀態而發生變化，因此在逃生與防災據點的規劃上，首先需檢覈當火災發生時，該建築延燒的狀態為何，其次必須考慮其可供避難或防救災的時效性，除了該據點本身的條件外，也需配合其周圍環境條件進行評估，才能達到該據點真正防救災的功能(林正平等, 2003)。

(二) 傳統避難模擬模式限制

在考量防救災據點的設置與人員避難路線的規劃，除了考慮既有的環境條件與時間狀態外，在時間壓力下避難人員的決策行為也會影響其避難行為，有關避難路徑規劃之相關研究中，部分研究進行避難時間之演算(何明錦等, 2000)。在相關研究中亦有以空間演算方式進行空間避難研究(陳勝鴻, 2002; Lo, 2004)，前者屬於整體空間避難效能演算，後者偏向空間中個體之演算模式，而本計畫主要著重於時間與空間中避難效能之評估，因此研究成果將可以對動態的時間與空間資料處理模式提出較合乎的解釋能力。

(三) 空間分析與細胞自動機之應用

影響到整體空間平面因子眾多，在評估方面必須進行空間避難效能之演算，以供整體避難行能與演算使用。空間分析可以將建築平面配置與其空間因子進行分析，並結合空間與人員避難特性，如視域分析與路網分析等(Turner, 2001; Stamps III, 2005)。

細胞自動機(CA)是一種數學系統，會依照連續性的變動法則改變它在格子上的模式。CA是由一些特定規則的格子所組成，隨著時間的變化或稱作「疊代」，格子上的每一個細胞根據周圍細胞的情形，按照相同或不同的法則而改變狀態，雖然細胞互動是局部性的，但經由長時間之演化，其影響範圍卻是整體的，且影響範圍是會隨著時間演化而逐漸擴散的(Wolfram, 2002)。

CA 可以簡單的演算法則進行整體複雜空間之問題演算，相關研究中多以其作為土地變遷等空間演化問題之模式（于如陵、2005），亦有研究將其演算法運用於空間模擬（Yang,2005; Yang,2004; Yang,2003），因此本研究應用此動態選擇過程，進行建築火災避難逃生路徑模式選擇。

本計畫應用 CA 在演化問題上，能有效地尋找龐大且複雜的搜尋空間的能力，結合 GIS 空間分析的功能，輔助 GIS 於統計和預測方面的功能，在符合本土防救災理論與規劃原則之下，模擬出較為安全與符合真實避難時的行為模式。

（四）台灣本土經驗之研究

加上近年來消費者到大型量販店購物人口也逐漸增加，在建築物平面必須提供適當的安全的避難路徑資訊，以減少民眾生命財產之損失。所以如何在建築火災發生時針對火勢延燒狀況與人員避難路徑進行規劃已降低傷亡人數亦是需要多加考量的一個課題。

本研究希望藉由建立動態的避難與防救災路徑的選擇模式適用於台灣，做為本土建築火災逃生避難資訊系統的基礎，並希望能結合 GIS 在空間資料處理與分析的功能，在動態的選擇模式之下，因此本研究的主要目的如下：

- 1.細胞自動機(CA)在網路分析之應用探討。
- 2.人工智慧(AI)與地理資訊系統(GIS)之關連模式。
- 3.動態抉擇於時間與空間資料處理的模式。
- 4.火災評估與避難路徑的視覺化動態模擬。

三、結果與討論

本研究計畫應用所蒐集的本土資料並建構相關基礎資料，進行本土相關案例研究提出初步分析成果，將具體考慮如何在逃生避難的規劃上，結合人工智慧去處理動態的時空資料。

本章節針對研究的結論及可能的後續研究作進一步之討論，而本研究之具體成果包括：

- 1.相關火災基本圖形資料及屬性資料建檔。
- 2.建立結合CA 與GIS 於建築火災避難逃生路徑規劃的方法。
- 3.模擬出以動態CA 方式，建立避難路徑規

劃的模式。

藉由本研究可證明結合細胞自動機(CA)與地理資訊系統(GIS)作為演算之工具，可以確實的幫助避難路徑模擬之依據，本研究之結論如下：

（一）研究方法架構

由於本計畫主要目的即在於結合細胞自動機(CA)與 GIS，分析並模擬群眾在火場中於時間上可能選擇的逃生避難路徑變化，並提供決策者因應不同狀態下考慮安全避難規劃上的需求，期望可以應用其找出建築面臨類似火災所存在的問題。整個火災逃生避難分析與模擬系統包含四個部分（如圖 1）：

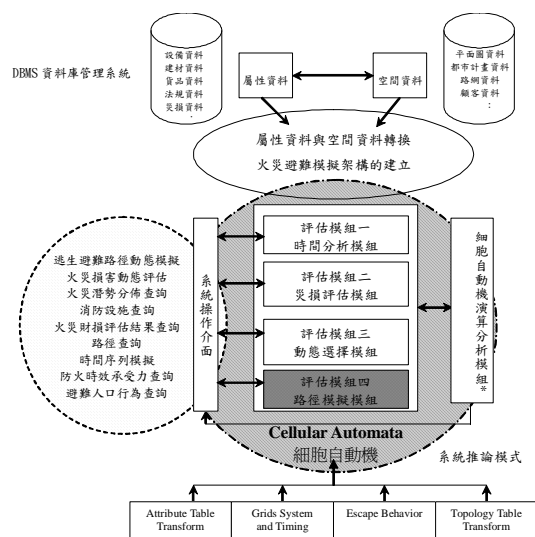


圖 1、研究方法架構圖

- 1.是為透過 GIS 的平台來發展系統平台，主要包括資料庫管理系統(Database Management System)以及基礎資料庫的調查分析與建置。
- 2.屬性資料與空間資料的轉換以及火災模擬架構，此部分最主要是將基礎資料轉換為可用的知識（如環境狀況、行為基準、火災情勢等），作為火災危險評估與避難模擬運算之用。
- 3.行為決策選擇模式的理論應用，應用空間分析與演算法探討避難人員在高時間壓力下的路徑選擇。
- 4.整個模擬系統則包括二部份，一是細胞自動機，則以知識編碼與時間演算規則為核心；另一是模擬展示，則以環境時空資料轉換為重點。

（二）計算單元設定與資料庫建置

關於建築平面設定方面，由於評估項

目與演算因子設定中必須與建築平面空間資訊進行連結，因此在演算前必須先進行基本單元之擬定，而單元空間之精細度會影響至空間之分析結果，亦影響演算時間，在此則考量基本空間類型與人體尺度，並與相關模擬軟體結合，在評估過程中以 0.5M*0.5M 作為基本單元空間，進行整體空間評估，較不易失其精準性亦便於與另外之平台結合。

(三)建築平面避難安全評估項目選取

建築平面避難安全評估主要針對建築平面空間實質性與非實質性之項目進行評估，實質性之部分則參以文獻，主要以居室空間與其既有設施進行評估，如空間配置型態、空間貨物類型、通道性質、避難點之距離、空間出口流量、消防設施與設備分佈等。非實質項目則以避難人員之分配密度、移動速度、行人流、避難視線等。

1.空間網格計算

建築物空間配置狀態則以空間格網計算進行演算，在演算方式針對居室空間、通道性質與貨物類型等進行評估。

$$S_{ij} = F(\Omega_{ij}) \quad (3)$$

S 為網格 (i,j) 的狀態

Ω 為網格 (i,j) 附近網格之解集合

F 為狀態轉換函數

2.路網分析

路網分析主要進行空間路徑抗阻值之演算，藉由演算數值進行最小抗阻路徑、服務面積計算等，在此主要進行空間等時圈之演算。

$$z(X) = \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

A 代表路網中弧 (線段) 之集合

X_{ij} 代表弧在 (i,j) 之流量

C_{ij} 代表弧在 (i,j) 上通過之成本

3.可視範圍(Isovist Area)：

可視範圍為觀察點之視線範圍面積。在演算中以可見與不可見兩種模式進行空間網格之區別。

4.可視範圍完整性(Jaggedness)：

可視範圍完整性可以說明可視範圍之特性，其以周長與可視範圍比例進行分析演算作為可視域之評估，其公式如下：

$$J = P^2 / A \quad (1)$$

J:可視範圍完整性(Jaggedness)

P:周長(Perimeter)

A:可視範圍(Isovist Area)

5.建築室內空間疏散效能

本研究中除了上述評估項目個別評估之外，在此亦針對整體避難數值進行評估，整合公式如下：

$$S_{ave} = (a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_k X_k) \quad (4)$$

S_{ave} :空間疏散效能

X_k :空間分析數值

a:空間評估係數

6.細胞自動機(Cellular Automata)

CA 是由一些特定規則的格子所組成，隨著時間的變化或稱作「疊代」，格子上的每一個細胞根據周圍細胞的情形，按照相同或不同的法則而改變狀態，如公式 3。

$$S_{ij}^{t+1} = F(S_{ij}^t, \Omega_{ij}^t) \quad (3)$$

S:網格 (i,j) 在 t 時的狀態

Ω :網格 (i,j) 附近網格之解集合

F:狀態轉換函數

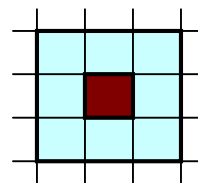


圖 8 細胞範圍示意圖

(四)建築平面避難安全評估

建築平面避難安全評估主要分作空間平面基本避難安全評估、空間平面基本避難安全模擬與建築平面收容人口避難模擬評估三類，前兩項主要為實質之空間特性與非實質之空間特性，後者則增加人員特性等。

1.空間平面基本避難安全評估

藉由基本空間平面基本評估項目，可得知各評估項目於空間中避難效能的分配狀態，如空間與通道之特性並提供部分不良範圍進行避難效能之補足。

2.空間平面基本避難安全模擬

經由不同評估項目進行套疊後，可進行整體空間平面避難項能之推估，以求其總體之避難特性。且經由時間軸與空間軸之多重疊代，將實質空間與非實質空間之變化進行整體避難效能模擬，顯現空間變化中整體空間避難效能之變化。

3. 建築平面收容人口避難模擬評估

透過空間平面評估項目設定與收容人員分配進行整體避難效能之演算，可清楚得知整體環境之避難時間，藉由避難時間與避難點的分配項目可進一步得知整體空間疏散效能評估內容，並可藉由人員避難之動態模擬中得知空間中之高危險區域，進而加以改善與補助，以提供更安全之活動空間。

四、計畫成果自評

本研究接續前年度國科會專題研究計畫進行，以量販店類型之建築平面為實證案例，已將建築使用樓層之基礎空間資料與環境避難特性進行建構，並結合了 GIS 分析該樓層空間環境狀態，作為 CA 演算時整體空間演算模式建構之依據。並建構動態時空資料與逃生避難路徑分析的模式，分析空間資料與時間資訊交互處理的程序，並且以動態視覺模擬的方式顯現，以利緊急避難時避難路徑之規劃與管理，減少收容人口之傷亡。

就整體計畫而言，本研究內容與原計畫內容相符，亦達成了預期之結果目標，如：1. 空間屬性資料建檔與基本圖形資料建檔與基本地理資訊系統資料庫建構。2. 建立結合 CA 與 GIS 於建築火災避難逃生路徑規劃的方法。3. 模擬出以動態 CA 方式，建立避難路徑規劃的模式。

本研究成果已有一定之學術與應用價值，並且已在第四屆數位地球國際研討會 (TIDES)、亞洲地理資訊學術研討會 (AGIS2006)、2005 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會等學術研討會 (TGIS)、第二十五屆測量及空間資訊研討會等研討會進行發表，亦適合於學術期刊發表，亦是下一步努力之方向。

五、參考文獻

于如陵，2005，聚落空間分佈機制與規律之理論與實證探討，國立成功大學都市計畫學系，博士論文。

何明錦、江崇誠，2000，建築物利用實態與人員避難行動特性之調查研究（一）——以「百貨公司」為例，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告。

林正平、吳孟訓，2003，動態規劃應用於

火災逃生避難決策支援系統之研究，九十二年電子計算機於土木水利工程應用研討會與論壇，台北。

陳鴻勝，2002，空間疏散效率之個體式模擬方法，國立臺灣大學建築與城鄉研究所，博士論文。

蔡宜鴻，1998，以 GIS 及 CA 為基礎的土地使用發展預測模擬方法，國立成功大學都市計畫學系，碩士論文。

Lo, S.M., Fang, Z., Lin, P., Zhi, G.S., 2004, *An evacuation model: the SGEM package*, Fire Safety Journal; Apr2004, Vol. 39 Issue 3, p169, 22p.

Stamps III A. E., 2005, "Isovist, enclosure, and permeability theory", Environment and Planning B, 32:735-762.

Turner A., Doxa M., O'Sullivan D., and Penn A., 2001, "From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space", Environment and Planning B, 28:103-121.

Wolfram, S. 2002, *A New Kind of Science*, Champaign, Illinois :Wolfram Media, Inc.

Yang, L. Z., Fang W., Fan W., 2003, "Modeling Occupant Evacuation using Cellular Automata — Effect of Human Behavior and Building Characteristics on Evacuation", Journal of Fire Sciences; May2003, Vol. 21 Issue 3, p227, 14p.

Yang, L.Z, Zhao D.L., Li J., Fang W. Fan W., 2004, "Simulation of evacuation behaviors in fire using spatial grid" Progress in Natural Science; Jul2004, Vol. 14 Issue 7, p614, 5p.

Yang, L.Z, Zhao D.L., Li J., Fang T.Y., 2005, "Simulation of the Kin Behavior in Building Occupant Evacuation Based on Cellular Automata", Building and Environment; Vol:40, p409, 5p.