

# 應用遺傳演算法於建築設計平面空間配置之研究

衛萬明\* 關伯勳\*\*

\* 朝陽科技大學建築及都市設計研究所

\*\* 朝陽科技大學建築系

(收件日期:88年10月19日;接受日期:89年03月17日)

## 摘要

本文嘗試以「遺傳演算法 (Genetic Algorithms, 簡稱 GA)」做為建構一套電腦輔助建築設計平面空間配置系統之方法,並藉以協助建築設計者自從事建築平面空間配置設計時之輔助參考工具。在本研究中,我們希望能從找出住宅設計時所須考慮的因素,例如:空間量的人小分排、空間配置的規則等,同時應用遺傳演算法為運算基礎以使電腦能夠設計出理想的住宅平面方案,並進一步使電腦能夠輸出符合基地配置考量因素的平面設計方案。如此,本研究應可對建築設計過程中所可能遭遇的設計問題提出較佳之解答方案,並進而達到真正之「電腦輔助設計」的目的。

關鍵詞:遺傳演算法,建築平面空間配置,電腦輔助建築設計,啟發式解決,建築設計適應化

## 一、前言

近年來,電腦不論在硬體及軟體的發展及功能上均有快速的提升,同時還被廣泛地應用在各行各業裏。就其在建築方面而言,大都被應用於施工程序的排定、建築結構的計算、施工估價以及建築繪圖等。然而,對於真正透過電腦輔助建築設計的探討,卻較少有人提及。

一般所認知的「電腦輔助建築設計 (Computer Aided Architecture Design, 即 CAAD)」,大都以二維或三維空間的建築圖繪製,並應用各種發展完善的電腦軟體以提供更週詳或更逼真的模擬,並進而達到所謂「輔助設計」之功能。然而,在這種情形下,很容易因此讓人誤認為電腦輔助設計就是利用電腦來做為輔助「繪圖」的工具。事實上,若以設計方法的層面而言,則電腦可不可以被拿來「真正」設計?抑或,電腦可否能真正做到「輔助人腦」來完成建築設計? 此些有趣的課題將為本研究所欲探討的主要方向及內容。

過去已有部份文獻曾探討過有關電腦應用於建築平面設計之研究,然而僅有少數的研究結果被認為可行。回顧近年來的研究,應用電腦輔助及人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 的方法於建築平面設計及空間配置之研究已漸漸成為一極具潛力的發展方向。本研究亦將採用

屬於人工智慧領域中的遺傳演算法，配合電腦快速運算之能力，以在圖將建築設計的發展過程系統化。同時，本研究亦希望能透過建立一合理之推論系統（inference system），以達到真正輔助建築設計之目的。

「建築設計平面空間配置」指的是建築設計平面的配置圖，設計者通常先構想及創作出數個可做為替選方案的平面空間配置草案（圖），繼而依據最感滿意的其中之一方案以進一步發展出更為詳盡明確的建築平面設計圖。由於替選草案的產生過程常無一定之理由且受時間限制之影響，以致容易產生兩個問題：一是方案數目稀少，很難涵蓋到最佳的平面空間配置；二是平面空間配置內容實為設計者的主觀或直覺想法，較容易忽略可能的系統化分析過程。為解決這些問題，本研究認為有必要建構一個能有系統地產生多量且完整替選方案的分析工具，並藉以減輕設計規劃人員在時間及成本壓力下的負擔並提高規劃設計之品質。

在探討建築設計的流程中可發現，整個設計構思與評估的行為是設計程序裡相當複雜且頗為艱難的部份。從設計需求及設計條件開始進行分析，以至確立準則、制定計畫、構思意念，以及資料的蒐集等階段直到訂定方案為止，每一個步驟之前後都有其他相關的步驟，且一旦缺少其中一個步驟也都會影響到整個設計案，因此實在應該要有一詳盡的計畫及安排方能完成一個合理的設計案（Jo and Gero, 1995）。一般設計者皆從事空間配置設計時所考慮的設計項目相當多，然而設計項目的多寡與其重要程度亦常因設計本身所需而有所增減。每位設計者本人對各項目的定義、觀點及重視程度亦有差異，且常會顧此失彼。同時再加上各設計項目間可能有多種不同之組合產生，因而要設計者一嘗試各種方案的設計是不可能也無法達到的。本研究針對此點，認為透過遺傳演算法的運作，可將前述試誤（trial and error）的繁瑣過程交由電腦來輔助執行，並從中挑選較為理想的配置方案（即遺傳演算法所稱之「原體」），藉由有經驗之設計者仔細並專業地從中選取最佳之方案，以求符合使用者之所需。

對於電腦輔助建築設計的發展工作可從多方面的角度來觀察，相關之研究工作可概分為以下幾個方向：（1）資訊系統的建立；（2）空間知識的研究；（3）輔助設計與評估；（4）法令分析；（5）書圖製作及表現方法；（6）事務所自動化；以及（7）多工並行系統（林峰田，1993a，1993b）。其中就電腦輔助設計與評估這個研究方向而言，國外亦有學習研究指出，其係針對輔助建築設計過程中屬於較結構化的問題，將其予以編寫電腦應用程式後加以解決之（Kalay, 1991）。這類（準）結構化的問題則包含了有：基地分析、開發方案分析評估（林峰田，1993b；林峰田、施弘晉、溫國忠，1994；林峰田、溫國忠、陳盈如，1994）、空間配置分析（Liggett, 1991；林峰田、溫國忠，1993）、建物結構分析、管線衝突分析（鍾基強，1994）、能源分析（周家鵬，1993），以及建築相關法令分析（賴光邦、陳志強，1993）等。

綜上所述，本研究之目的可分別以下列三點簡要說明之：

1. 探討遺傳演算法於住宅設計中空間配置設計之應用。
2. 建立一套電腦輔助建築設計 CAAD 系統，以輔助建築平面設計。
3. 以目前國內外有關建築平面設計之進行，多憑主觀之判斷為依據；而遺傳演算法除可透過啓發式運算過程幫助設計者尋求較佳之設計方案外，並可做其他完整之分析，并可改進上述之缺失。

## 二、遺傳演算法之探討及其特性

遺傳演算法屬於人工智慧 (AI) 的一支。遺傳學的方式運用在資訊科學上的運算可解決某些適應化 (adaptation) 的問題，同時其可將複雜的問題轉換成位元型式加以運算之，並發現即使有一個相當大的搜尋空間 (search space)，遺傳演算法仍有能力可以找到一個很好的解答。

遺傳演算法基本上是採用一種隨機的、平行式的搜尋方式，利用遺傳學的特性，如再生 (reproduction)、基因交換 (crossover) 及突變 (mutation) 等方式，經過不斷演化後在搜尋空間找到一個最佳或近似的解答。在遺傳演算法中，所有的參數都須預先以有限字符 (alphabet) 加以編碼成固定長度的字串。雖然有許多各式各樣的編碼技巧，然而最常用的仍是二進位編碼。編碼的作用是為了便於模擬生物交配、突變等演化過程，此種演化過程的優點是對目標函數的限制需求較少；缺點則是搜尋精度將隨著字串長度而有所改變，太短的字串長度將使量化解析度降低，太長的字串長度又太浪費記憶空間及拖慢運算速度，因此必須在兩者之間取得折衷。傳統上許多找最佳解的方法都是在搜尋空間的某一點，利用某些轉移規則 (transition rule)，決定出下一點應該往哪個方向移動，這種點對點 (point to point) 的搜尋法較容易陷入局部最佳解 (local optima)，尤其對於多峰谷 (multi-modal) 函數極易找到錯誤的峰值。遺傳演算法在此點上則較具優勢 (林信成、彭啓峰，1994)。

以往的人工智慧以確切的語意規則 (semantic rules)，及良好的指示、分類以及組合為其發展中心。然其在整體系統之運作上，較缺乏獨立發展的能力和適應性。而今在生物學的有機演化過程中，提供了一個能改進此一缺點的方法——即遺傳演算法。本研究在此所採用之遺傳演算法無須大量的專門知識為基礎 (此有別於人工智慧領域之另一分支——專家系統 (Expert System, ES))，僅需建立出欲求得解答的目標函數 (objective function)，並以試誤的方式持續保持較佳的猜測值 (guess values)，此較漫無目的的隨機 (random) 尋求解答之方式更易獲得答案，而此亦為遺傳演算法較為吸引之處。

整體而言，使用遺傳演算法的基本因子如再生、交配、突變其運算步驟可列如下 (林信成、彭啓峰，1994)：

#### 1. 定義適合函數 (fitness function)

適合函數是遺傳演算法的性能指標 (performance index)，其目的就是找出使函數值最大的參數向量。

#### 2. 決定編碼 (coding) 和解碼 (decoding)

此為確認編碼的方式，亦即先確認每個編碼的搜尋範圍，再將每個參數以固定字串常數編碼。一般而言，參數的搜尋精準度取決於編碼的長度，雖然愈長的編碼可得到愈高的解析度，但相對的必須付出耗費較多電腦記憶體容量及犧牲程式運算速度的成本代價。

#### 3. 產生位元字串 (bit string)

在遺傳演算法的過程中，將位元字串稱之為一個個體，位元字串中的一個位元則相當於該個體中的一個遺傳基因，不同的基因 (參數值) 會產生不同的個體 (參數組合)，因此每個個體將相對應於參數空間的一個解。遺傳演算法便是要利用各種模擬生物演化的過程，並進一步保留優良的基因，淘汰不良的基因，以使整體性能指標隨著不斷演化一代接著一代向上提高。

#### 4. 產生原始族群 (initial population)

在啟動遺傳演算法之前必須先隨機產生 S 個第零代的個體 (位元字串)，其稱之為原始族

群。族群大小乃視問題的複雜度而定，原始族群之性能指標有可能都很低，然可望經由幾代不斷演化後得到適應函數之最大值（最佳解）。

本文亦將採用上述之遺傳演算法運算步驟以進行對建築平面空間配置設計之研究及發展如下。

### 三、建築平面設計程序的探討

建築設計的首要過程就是確定設計的條件，建築設計者必須將一些條件和限制明確地文字化和圖面化，以便作為後續自我檢測（self-checking）並與他人溝通之用。在建築計劃這個步驟當中，除了確立一些準則和「基地分析圖」所反映的特性外，最重要的就是分析建築物的機能，再以不同的圖面表現以反映建築物內部空間所必須滿足的機能關係。例如「空間矩陣圖」可將所有空間和其他空間的相互關係（鄰近的程度和活動密切的程度）以不同的圓點大小顯示其密切性。再以看起來像泡泡的「泡泡圖」將所需的空間做出一些基本但沒有方向性的佈局。這個時候由於沒有任何環境、氣候、美感和哲理上的考慮，因此設計者能專心的把最基本的而重要的內部機能關係分析清楚，並提出合理的方案（劉育東，1995）。

一般住宅設計的空間組合及變化頗為繁雜，若不是有經驗的設計師，很難在充滿各種限制條件中取得平衡。設計方案完成後必須進行評估方可得知其是否為一合理的設計。傳統的設計構想常為某一設計者在其腦海中所興起的設計意念，其思考方法多為傳統的思考過程。而最典型的思考程序乃按空間機能本身的不同，由平面開始進行，以至立面、剖面或其他各種不同的圖面表現來說明其整套構想。這種思考程序的進行，大都是一種繼續不斷的試誤方式下作業，直到設計者自認為達到最佳狀態或較佳狀態下才完成。然而，若使用這種傳統觀念的試誤方式，其對於完成後的答案如不再加以進一步之評估及修正，則很可能由於設計者本身的經驗與能力的限制而導致失敗。甚而，若日後的設計進行上造成極大的困擾，則也不知如何才可把設計做得更好，或更深入達到設計所需求的目標。所以，上述傳統式的不具「回饋（feedback）」觀念之設計過程將使人們無從利做有組織化的系統檢討，當然也就無法充分的滿足社會上不斷變化的需求要素矣（陳政雄，1984）。

此外，「時間的限制（time constraints）」亦為建築設計者的另一項重大挑戰。在複雜的建築設計問題中，有太多的可能設計解決方案可在一定的期間中被發展出來。而在各種不同的可能設計創作方案中，設計者必須對何者可加以進行嘗試以及何者該予以放棄的風險評估下做設計方案之抉擇。目前，電腦應用於建築設計正逐步實現，而一般建築設計從業者也因為有了電腦，在很短的時間裏，就能得到他所期待的可能設計方案（當然此前提條件必須是要給予電腦程式相當足夠之資料及資訊方可）。而使用電腦的目的，不僅是為提高設計作業的能力，更可以提高設計的水準。電腦除可發揮極快的速度和無窮的精力以協助設計者整理大量複雜的資料外，其還可輔助發展設計意念，整理設計者面對大尺度或複雜的問題，以使設計者的思考更行深遠透徹。而設計者也因為有了電腦，在很短的時間裏，就能得到他所急於想知道的設計答案。此外，透過電腦程式設計的輔助，可以輕易完成重複的施行步驟（routines），節省演繹的時間和人力。電腦對研究的步驟和複雜資料的結果陳述，亦以表格化的方式忠誠且完整地呈現出來。所以，電腦操作系統對建築設計頗具深遠的影響力，將使建築設計者對問題的看法有所改變，而以更理性的邏輯程序代替傳統直覺式的設計思考方式，並且在錯綜複雜的方案中選擇最合理滿意的答案，以使設計工作更快速，也更合理。

純就傳統之建築設計過程而言，上述之問題可利用電腦輔助設計（computer-aided design）以及遺傳演算法來解決之。首先，對於設計者的個人特殊習性（idiosyncrasies）是有必要加以處理的。其次，與設計想法有關的由視覺影像等相關資訊而產生的印象或回憶必須使其透過電腦的輔助予以簡便化（facilitated）。第三則是電腦可將建築設計問題以規則（rules）形態表達之；規則的表達可呈現出合乎邏輯的一致性。第四，另外還須要對於不同設計方案可快速且便捷地對上述之規則進行評估（evaluation）之功能。

總言，建築設計的過程本屬十分主觀，並且實有必要明確訂出某些規則或條例以合理地表達出設計者之主觀性。同時這些規則亦可幫助解決存在於創造性思考以及合理性分析間的相互衝突點；且其亦可減低存在於建築設計過程中，主、客觀領域間之差距。本研究將針對上述問題以發展出一套合理之建築平面設計程序的探討。此設計程序不僅結合遺傳演算法，建築設計之概念，並結合電腦輔助設計之 AutoLISP 程式語言等相關領域知識及技巧於此方法中。

#### 四、應用遺傳演算法於住宅空間配置之系統架構建立

在本節中，將以前述的遺傳演算法理論為基礎，並以住宅空間配置為對象，建構一個可於電腦上操作之系統。

建築設計中環境的限制往往是除了設計（design）本身之外所須考慮的重要因子之一。環境的限制大致上可分為自然與社會因素兩類。自然環境限制包括基地的大小、日照的路徑、風向...等；而社會環境限制則包括了建築區位、建築法規、當地文化...等，這些都是設計發展時的限制條件（constraints）。本研究初步將以基地大小規模及建築法規兩個主要之客觀限制條件作為系統發展之考量。且基地的形狀將以矩形做為主要之考慮，而法規部份則以「台北市土地使用分區管制規則」為主要法源，同時並先暫時排除有關高度限制的部份，並且只討論有關平面限制方面的法規為主。當然一般在從事建築空間配置設計時，除了上述之客觀條件外，亦有其本身主觀之設計考量的限制條件，本文亦將對此有所說明如下。

基地的表示以一維陣列（基地長，基地寬）來表示之，並以 AutoLISP 之語法表如圖 1 所示。

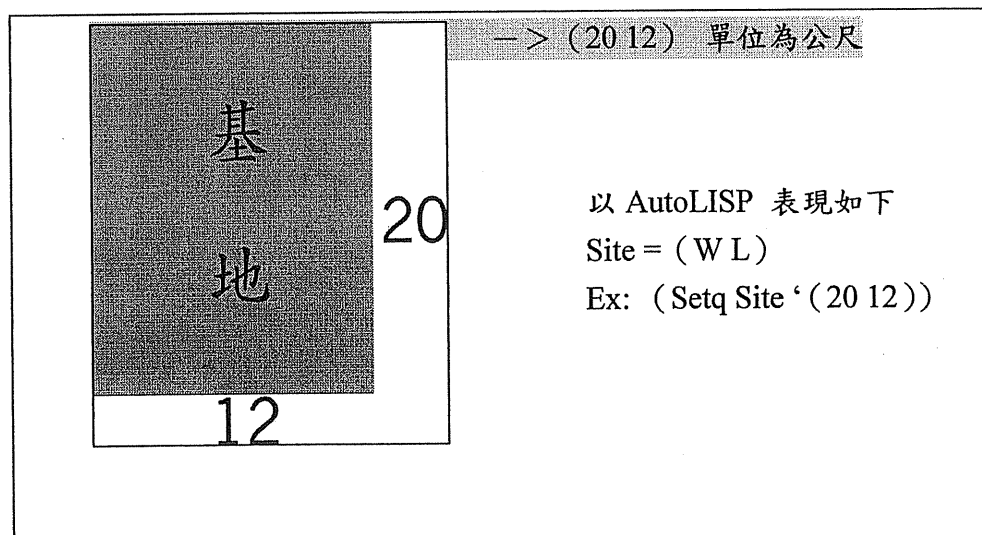


圖 1 基地規模的知識表達以 AutoLISP 程式語言表現

## 1. 基地規模限制條件

建築空間配置上之機能 (function) 指的是該空間在使用活動上的意義，大體而言，不同使用活動的空間有著不同的空間機能意義，不同的空間機能活動亦有著不同空間型態的連結關係。由文獻中得知，絕大部份的住宅設計均有的空間概可整理如下：

玄關、客廳、餐廳、廚房、浴廁 (大)、浴廁 (小)、主臥房、臥房

在本研究中將空間名稱給予代號並將代號轉換成 AutoLISP 中的自變數式相對應如下：  
(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9)。而其對應的結果如表 1 所示。

表 1 空間代碼和空間名稱對應表

| 空間代碼    | 空間名稱   |
|---------|--------|
| 0       | 玄關     |
| 1       | 客廳     |
| 2       | 餐廳     |
| 3       | 廚房     |
| 4       | 浴廁 (大) |
| 5       | 浴廁 (小) |
| 6       | 主臥室    |
| 7, 8, 9 | 臥室     |

空間機能 and 空間代碼對應關係建立之後，即可建立基本的方案配置串列。若有 N 個空間將可以排列出 N! 個配置方案，而此 N! 個配置方案可利用電腦代為快速尋找出來。當選取了空間名稱及完成了對應代碼的轉換後，接著就是依據空間代碼填入空間尺寸 (空間量)，一般而論定義空間尺寸的方式有三種。第一種為矩形空間寬度尺寸的模矩化。第二種為邊長尺寸上下限的設定。第三種為引進邊長的限制條件 (吳碩廣，1993)。本研究乃採第一種矩形空間寬度尺寸的模矩化的方式，其原因為台灣地區之建材尺寸是以 30 公分為基本模矩 (吳明修，1994)，而這種以 30 公分做單元的方式最適合使用模矩化。故本研究採第一種空間尺寸模矩化的方式進行之。

本研究所訂定之空間代碼和對應的空間量關係可舉例如下：

| 空間代碼        | 7         | 空間名稱      | 臥房        |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 空間量 (單位：公尺) |           |           |           |
| 2.1 × 2.4   | 2.1 × 2.7 | 2.4 × 3.0 | 2.4 × 3.3 |
| 2.4 × 3.6   | 2.7 × 2.7 | 2.7 × 3.0 | 2.7 × 3.3 |

選取模矩的程序為 (1) 取得空間名稱，(2) 尋找對應空間代碼並選取對應空間量資料庫內的空間量。假設臥房共有 8 個合理的空間量值，程式將會隨機選取一個空間量做為本次配置方案中臥房的空間量。選取完畢後程式將會把選取的空間量置入串列中，若以本例的臥房為例，其 AutoLISP 的表示式為 (7 2.1 2.7)。表示式的對應名稱為 (空間代碼 空間長 空間寬)。

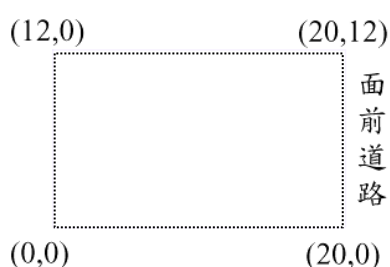


間代碼 空間長 空間寬))

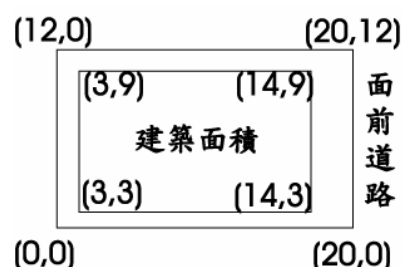
#### (IV)空間圖像和配置幾何的轉換—將方案資訊轉換為座標系統

本節將對空間圖像和配置幾何如何轉換為座標系統進行說明，其程序如下所述：

- (1)轉換基地條件成座標系統。舉例而言，當我們定義矩形基地面積時，輸入條件為基地長度 20 公尺，基地寬度為 12 公尺。程式將由內定的起始點(0,0)進行基地座標之計算，經計算後可以獲得基地座標。以本例來說，基地座標分別為(0,0) (20,0) (20,12) (0,12)，如下圖所示。
- (2)自法規資料庫中擷取出「台北市土地使用分區管制規則」中有關前院深度、後院深度及側院深度距離最小之限制，將距離量度值轉換為建築面積所限制的邊界座標值。以住宅區第一種為例：建蔽率限制為 30%，前院深度為 6 公尺，後院最小深度限制為 3 公尺，及兩側側院最小深度限制為 3 公尺。經由法規可界定出建築面積及建築限制範圍，此時接續上述程序的例子可求得限制範圍的座標分別為(3,3) (14,3) (14,9) (3,9)，如下圖所示。

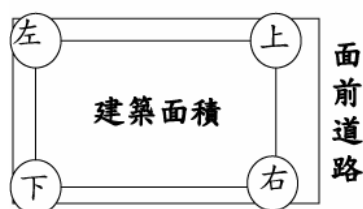


基地座標表示圖



建築面積座標表示圖

- (3)依據使用者對面前道路的選擇，來決定空間填入的起始點。也就是說若指定不同方向的面前道路時，我們填入空間量的起始位置也不相同。在本研究中，我們定義面前道路在基地右方時（如下圖所示），程式的起始點自基地的右下角開始。面前道路在基地下方時，程式的起始點自基地的右下角開始。面前道路在基地上方時，程式的起始點自基地的左上角開始。而面前道路在基地左方時，程式的起始點則自基地的左上角開始。



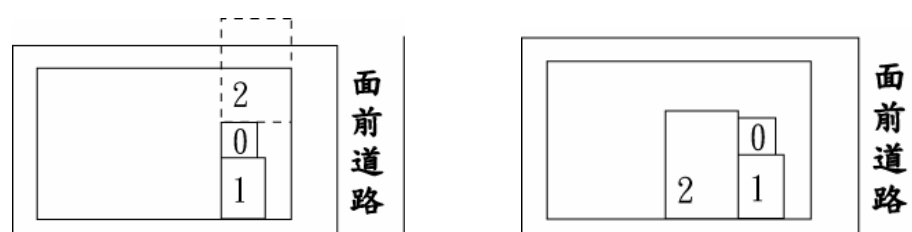
各向起始點位置表示圖

- (4)基地條件轉換至座標系統的步驟完成後，接著就是將方案中的各空間量度值轉換為座標系統值。在流程(三)中我們曾得到一組由程式產生合乎法規的配置方案序列，其



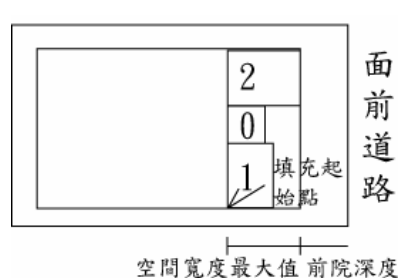
配置方式說明如下：

- 1) 首先，我們引入文書處理軟體中的表格概念，對於住宅配置中的空間組合模型，我們將它視為一份表格，而各個空間相當於表格內的儲存格。有了這樣的概念，可以利用表格中首「欄」橫「列」的觀念來說明空間圖像和配置幾何的轉換。
- 2) 利用方案配置序列中各空間的长度值來進行初步空間配置。所謂的初步空間配置，乃是將建築面積的上、右邊界做為配置的限制因子之一，概略地將空間位置配置予以決定。我們將空間长度值取出並以座標起始點開始，以空間量长度對平行面前道路進行初步空間配置填充之(此時開始稱為第一「欄」)。當累積填充长度超過上、右邊界值時，則將該空間移入第二「欄」，繼續不斷填充(如下圖所示)，當第二「欄」填入的累積空間长度超過建築面積的上、右邊界時，則將該空間移入第三「欄」中繼續填充，直到空間量长度值填充完畢為止。

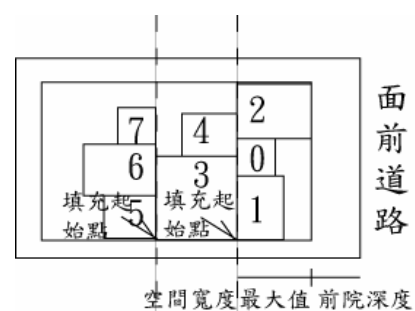


空間长度填充方式表示圖

- 3) 當空間量长度填充結束後，接著我們將空間量寬度填充加入以配合上一步的空間量长度，並進行完整的空間圖像與幾何配置的轉換。在空間量填充處理上可分為兩個部份，第一部份為平行面前道路的第一「欄」之處理。這部份是為了考慮前院深度距離的限制，在處理上自第一「欄」中取出空間量寬度最大值，並自填入空間的起始點加上該空間量寬度，同時並以垂直面前道路之方向移動其填充位置，依序進行第一「欄」位之填充(見下圖空間寬度填充一表示圖)。第二部份則為自第二「欄」起至最後一「欄」的填充，填充欄位的起始點自前一「欄」的空間填充起始點加上前一「欄」各空間寬度的最大值，做為新起始點並以該值平行面前道路做一條輔助線，將該「欄」空間以新起始點配合輔助線，進行填充，直至所有空間量填充完成(見下圖空間寬度填充二表示圖)。



空間寬度填充一表示圖



空間寬度填充二表示圖

當各空間填充完成後，即可記錄下該空間的座標值。有了空間的座標值，我們可以進一步的比較空間和空間的相鄰關係，並引入設計規則限制以使方案產生結果更符合我們的需求。

### 3. 設計限制條件

本研究發展之程式的規則設計係參考「亞歷山大建築模式語彙」及其他相關的書籍所訂定而出，其部份之住宅配置準則詳列如表 2 所示。

表 2 住宅配置準則（本研究整理）

| 住宅配置準則（摘自「亞歷山大建築模式語彙」）                                                                                                                                                                                               |                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 105                                                                                                                                                                                                                  | 朝南的戶外空間 人們可以得到舒適及溫暖，儘量把建築物構築在基地北側，戶外向陽的地方和建築物之間，留著深陷陰暗的角落。 |
| 106                                                                                                                                                                                                                  | 戶外的空間 應在正確的位置配置房屋，留下完美的戶外空間。                               |
| 109                                                                                                                                                                                                                  | 細長屋 建議儘量對要將房間群集起來，可能拉長或加高，以利陽光的獲得和空氣的流通。                   |
| 110                                                                                                                                                                                                                  | 主要入口 主要入口的地位控制著房子的配置，且影響著進出房子人們的行，對其它房間的配置也有決定的影響。         |
| 112                                                                                                                                                                                                                  | 進口的轉換 在道路與門前之間設置一轉換的空間，使道路連接街道及入口產生不同的變化。                  |
| 127                                                                                                                                                                                                                  | 建築物在配置時應使建築物空間有一層次的結果—由公共部份開始，然後慢慢導入更私密的空間。                |
| 128                                                                                                                                                                                                                  | 室內陽光 如果房間朝南，則室內會開朗。                                        |
| 130                                                                                                                                                                                                                  | 進口門廳 進入或離開一建築物，必須從室內或室外穿過門廳，門廳是一個室內和室外交接的地方，許多行為都會在此發生。    |
| 138                                                                                                                                                                                                                  | 倚靠窗而睡 讓早上的人陽照進來                                            |
| 以下項目摘自其它書籍（住宅佈局設計）                                                                                                                                                                                                   |                                                            |
| 動線計畫—一般動線 家族以及客人日常移動之門廳、走廊、樓梯等高頻度的動線。因為這是指連接各室的通路，因此長度的縮短就關係到居室面積的增加，不合理的刪減，進而將該部分的動線帶進了居室之內，使室內動線變得繁雜，破壞私密性及破壞穩靜性，結果相互抵銷等於零。走廊決非無用的空間，其具有生活之活動上所必須之潤滑空間的作用。一般來說，動線越短就越能夠便利且不浪費地使用住宅空間，而若極端地填滿住宅則會使其變成小器的隔間，喪失生活的餘裕。 |                                                            |
| 動線計畫—作業動線 指連接餐廳、廚房、多用途室等之主婦作業的動線。基本上是以長度縮短的效率化為目標。此一動線對於主婦來說是最貼身的日常重複動線，應該採取最適合自己使用的排列。尤其是廚房作業的狀態，具有相當程度的個人差異。對於愛好烹飪的主婦來說，有效率的調理過程之情趣是最重要的。然而，從整體家事作業的流程來看，此一動線的一線化，事實上也同時能夠對主婦賦予其作業上時間的餘裕。                          |                                                            |
| 動線計畫—私密動線 如連接臥室與衛生設備之動線，這是想要確保私密性的動線。於私密區之內，在該區內滿足需要才合理。                                                                                                                                                             |                                                            |

根據上述資料所探討的住宅配置相關準則，本研究據以發展出的限制規則條件如下：

- 規則一：各個空間單元不得和其他空間單元重疊。  
 規則二：此類空間不得為其他空間所包圍。  
 規則三：客廳必須和臥室相鄰。  
 規則四：客廳必須和餐廳相鄰。  
 規則五：餐廳必須和廚房相鄰。  
 規則六：使用者輸入之建築物面積其建蔽率不得大於台北市土地使用分區管制規則扣除庭院面積。  
 規則七：方案產生結果，其方案長度及方案寬度不得大於台北市土地使用分區管制規則中扣除側院長度及扣除前後院深度。  
 規則八：方案產生結果，其面積不得大於依建蔽率計算出之面積限制。

而對於程式之設計限制條件則為，一旦相關規則被建立出來，此程式將一一檢核其所對應之限制條件。本研究發展之程式中含有數條與住宅配置準則相關之規則（rules），例如：

若（IF）餐廳空間位置 是（IS）確認

則（THEN）廚房空間位置必須與之相鄰

此即為其一。

至於本研究遺傳演算法當中的目標函數值，乃以建蔽率所定之面積達成率做為評估標準（建議日後之研究可加入其他相關之評估標準）。

圖 2 為針對本節所述之應用遺傳演算法於住宅空間配置之系統架構建立的流程圖。

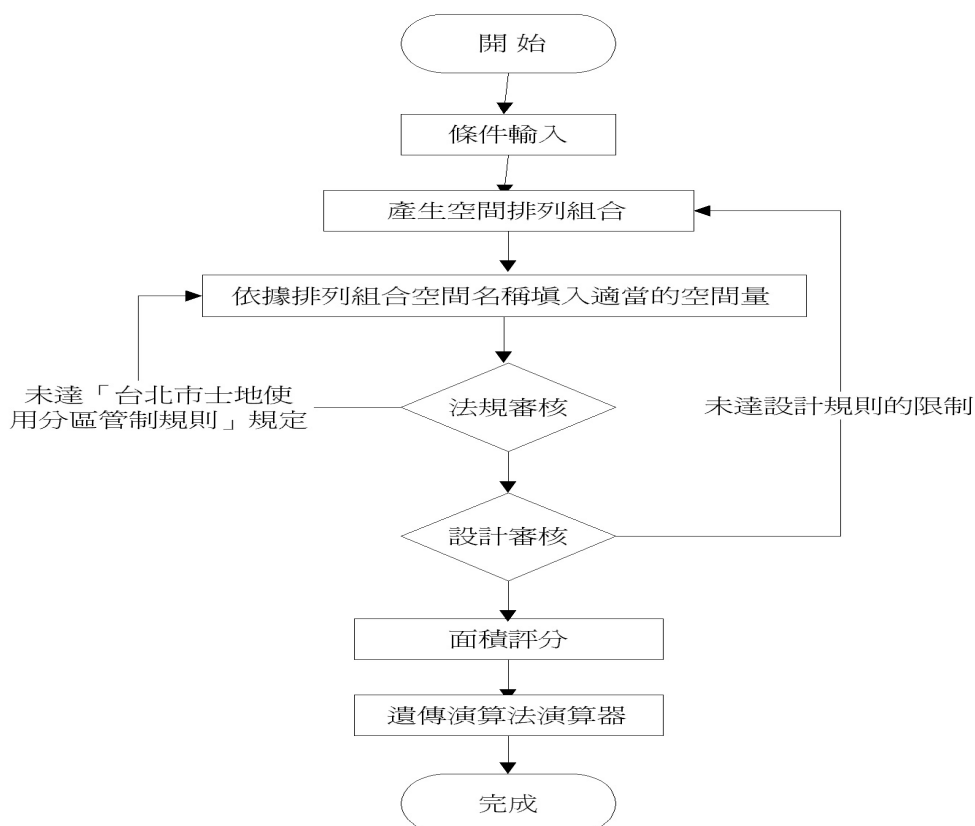


圖 2 系統架構流程圖

### 三、系統之案例測試與驗證

在介紹完遺傳演算法應用於住宅空間配置設計方案之系統架構後，本節將以一實際的案例操作來說明與驗證整個系統的功能。本設計程式乃以 AutoLISP 寫成並在 AutoCAD 系統上操作執行。

#### 案例測試參數設定

在本節我們將以一真實的住宅設計案例之空間設計條件做為程式之輸入資料，同時並將對程式演算的結果進行分析與討論。圖 3 為一個住宅內部空間的設計實例，圖 4 則為其簡化示意圖。本研究將採此例之設計條件為參數輸入值並以下列之遺傳演算參數進行測試之（注意：此處之遺傳演算參數值乃為經過多次不同之參數組合值反覆模擬測試後所得出之較佳參數值）。

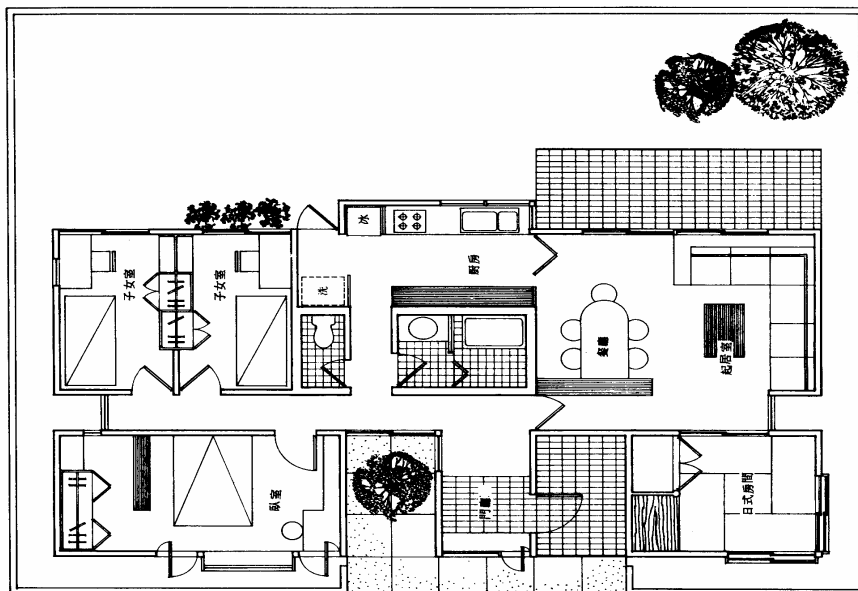


圖 3 住宅內部空間設計實例

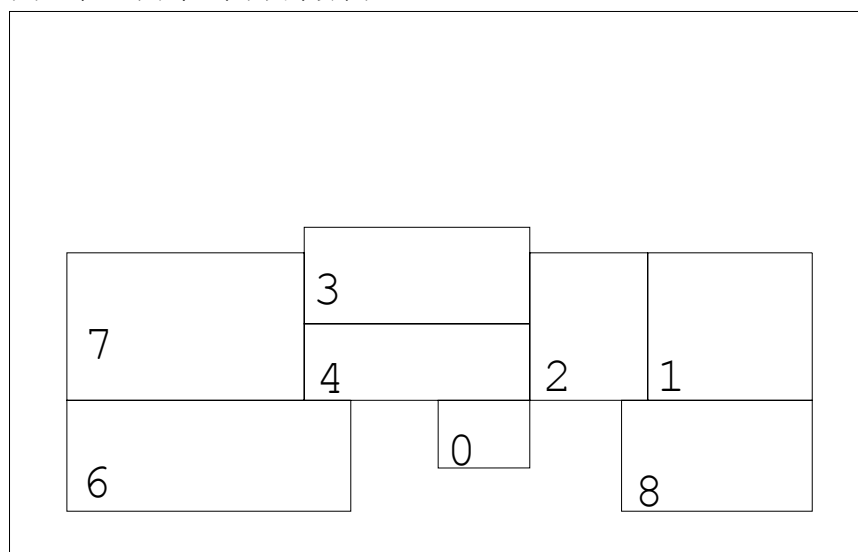


圖 4 住宅內部設計的空間示意圖

**【遺傳演算法的參數部份】**

- 1.遺傳世代數為 50 代，
- 2.突變率為 0.01（1%），
- 3.複製機率為 48%，
- 4.交配機率為 61%，
- 5.群組數為 140 個。

**【設計條件的參數部份】**

- 1.基地面積大小：長向為 25 公尺，短向為 11.5 公尺，基地面積為 287.5 平方公尺（由於圖 3 的設計實例取自書上，並未詳細說明基地條件，所以基地條件為自行假設），
- 2.面前道路的方向為圖面右向，
- 3.道路寬度為 10 公尺，
- 4.使用「台北市使用分區管制規則」分區代碼為「住 1」，建築面積為 87 平方公尺。由於本案例中前院深度並未達 6 公尺，故在測試中將此限制移除之，
- 5.空間需求及對應代碼為：-0-玄關 -1-客廳 -2-餐廳 -3-廚房 -4-浴廁（大） -6-主臥房 -7，-8 臥房。

另外第四節的程式規則限制裏，有關設計項目的設定，第三條為玄關空間必須和客廳空間相鄰，在本次的測試中，並不符合測試範例的特性而必須進行設計規則重新修正。所修正的項目為：“玄關空間必須和廁所相鄰”。

由此值得一提的是，本研究發展的系統，其亦可方便地依據使用者所需或限制條件有所改變而隨時加以修正其中之規則。而此點亦為程式發展及日後程式之維護所不可欠缺的重要特性之一。

**測試結果分析與驗證**

程式輸出的結果共 140 個（因本案例群組數定為 140 個）。圖 5 僅列出其中目標函數值較高的前 18 個較優之案例。

對於執行的結果可分析如下：

- 1.此次的測試本研究使用 IBM PC 586 相容電腦（硬體）及 AutoLISP（軟體）大約花費了兩天才完成程式之運算。在測試的過程中，我們發現當條件的限制越多時，對於符合限制的方案，所花費時間越長。有關運算時間的問題，我們認為未來的電腦處理速度將會越來越快，執行時間將可大幅縮短。
- 2.演算出的部分配置方案和原始案例有差距。其可能原因為取值時無法涵蓋所有之值，因此只達成了目標函數的最佳解（即建築率之面積達成率最高者）以及配置局部較佳解。
- 3.在檢視程式所輸出的串列時，本研究發現目標函數的達成值大約在 99%即達停止狀態，其原因和第四節使用空間量的尺寸模組化有關。使用模組式的空間量模組，在設計的概念上較為接近現實社會的需求，然其缺點是可能無法達到目標函數的適應值。而使用限制長寬比的概念雖然較容易達到目標函數的適應值，但套用至現實的生活中時其在空間的使用上將不會

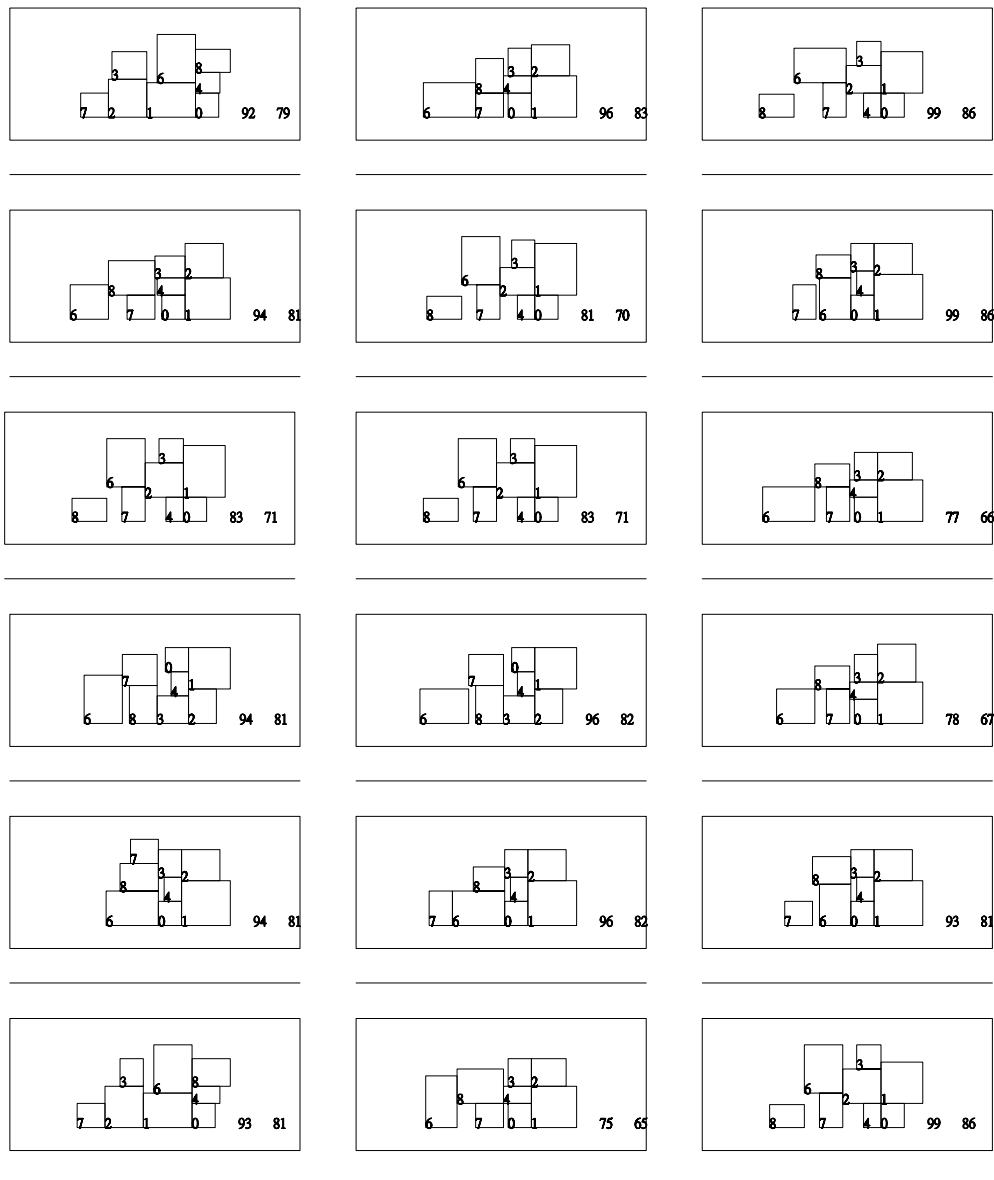


圖 5 程式演算結果圖

很方便，這顯示了只使用面積做為目標函數的缺點。對於此問題的解決方式則有兩種可行的方式如下：一是維持使用面積為目標函數的前提下，適度地加入使用長寬比的限制，以增加目標函數達成度；二是加入客觀的評估條件，例如：動線長度的評估等，藉此以分散唯一的目標函數缺少的問題，也可使程式更符合實際設計上之要求。

4. 由圖 5 的圖形結果觀察，在某些方案的空間量與空間量之間出現了空隙，此原因與在第四節空間機能的定義上及與本研究僅以矩形相交模式做為考慮因素的结果有關。日後若將空間可以重疊的條件考慮進去，相信應可更趨近於真實的情況。
5. 由圖 5 的圖形結果觀察，另外還有其他情形的間隙產生（如圖 6 圈選範圍所示），其原因也是和第四節空間機能的定義中只考慮相交的因素有關。
6. 對於必須要留空隙的部份，可以加入在基地條件的設定時必須要留設空地為其限制條件，如此程式在進行時將可避開空地部份以進行演算之。

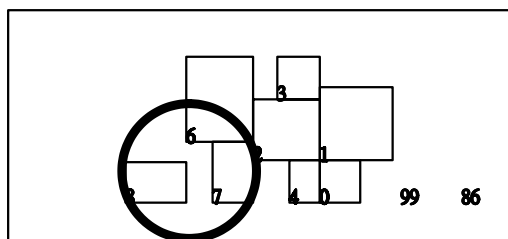


圖 6 輸出案例

## 六、討論與建議

本研究經由整理可得到以下的結果，並提供做為未來改進的參考：

1. 電腦輔助建築設計的可行性驗證。本研究主要是採用「遺傳演算法」並配合研究中所訂定的設計規則以進行建築設計方案搜尋較佳解。在進行整個遺傳演算法的過程裏，我們發現，遺傳演算法的操作模式為「輸入資料→根據使用舊設定規則操作→產生符合目標函數的結果」，其規則和目標是相當明確的，而解答則是被期待且未知的。這樣的流程和我們在做設計時以「明箱式」的設計方法來進行設計是相同的，只是人類可以涵蓋的解答可能最終只會是一個局部較佳解。而利用電腦快速運算和不會疲勞的特性，其將較不會使設計僅達到局部的最佳解。
2. 另一種電腦輔助設計方向以供參考研究。本研究在演算時，主要是藉由不斷產生組合空間並使用規則加以審核篩選合乎規定的方案，其是屬於由下而上的方法。在一般的搜尋方式大都採用由上而下的設計模式裏，本研究所建立由下而上的模式將可提供予後續研究舊做為參考。
3. 設計結果的參考性。本研究結果的最終目的為產生視覺化的替選方案，以供使用舊作為參考，且初步已有不錯的結果。但過多的設計參考選擇方案，反易造成設計舊參考上的困擾與負荷，而使設計舊花費過多的時間於方案的最終選取上，如此反而降低了設計執行的效率。所以適當的收斂設計結果和加入限制的規則，將可使設計結果更具參考性。
4. 增加空間設計排列組合的方法。在第五節中所面臨的問題為矩形空間接合方式的考慮，將空間單元組合自由度變大，並且在必須留設空地的地方設定為空地，如此將可更趨近於真實的解答。

對於將來的後續發展，我們提出了以下幾項建議：

1. 發展空間代號轉換資料庫。本研究使用 AutoLISP 程式語言執行後，以代號顯示操作結果的 AutoCAD 簡圖仍不夠清楚呈現出真實的設計情景，所以利用資料庫的方式，將空間代號以可能的空間圖式轉換代替。在這樣的一個過程中，可以再利用資料庫顯示進行修正及檢討，讓使用舊可以選擇更趨近真實的設計。
2. 加入 3D Support 的操作系統。本研究因時間因素目前只考慮建築率的達成度。事實上舊法規要求裡建築率只是一個下限值，而真正讓人關心的則是容積率的實施。容積率的考慮會對建築設計量體產生影響，進而影響都市的景觀問題，因此加入量體之 3D 的考慮將有助於建築整體規劃上之週延性。

## 參考資料

1. Jo, Jun H. and Gero, John S., "Genetic Search Approach to Space Layout Planning", *Architecture Science Review*, Vol. 38, March 1995, pp. 37-46.
2. Kalay, Y. E., "Principles of Computer Aided Design: Evaluating and Predicting Design Performance", John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-85385-2, 1991.
3. Liggett, R. S., "Designer-Automated Algorithm Partnership: An Interactive Graphic Approach To Facility Layout", In 'Principles of Computer Aided Design: Evaluating and Predicting Design Performance' Ed. Kalay, Y. E., pp. 101-124, ISBN 0-471-85385-2, 1991.
4. Mitchell, W. J., "Computer-Aided Architectural Design", Petrocelli/Charter, New York, 1977.
5. 吳明修, "台灣住宅行為之調查分析", 1994。
6. 吳碩廣, "空間組合設計之自動化-啟發式搜尋法的應用", 台大土木所碩士論文, 1993。
7. 周家鵬, "電腦輔助遮陽板組絕太陽直射輻射能量之研究", 建築師, pp. 54-57, 1993。
8. 林信成、彭啓峰, "Oh! Fuzzy 模糊理論剖析", 第三波, 1994
9. 林峰田, "都市量體預測方法", 中華民國建築學會第六屆建築研究成果發表會論文集, pp. 813-820, 1993a。
10. 林峰田, "電腦輔助城鄉規劃設計的意義與教學", 營建自動化課程教學成果研討會, pp. 285-298, 1993b。
11. 林峰田、施弘智、溫國忠, "國宅社區開發可行性評估專家系", 住宅學會年會, 1994。
12. 林峰田、溫國忠, "建築空間開闔性之模糊隸屬函數", 中華民國第一屆 FUZZY 理論與應用研討會, pp. 502-509, 1993。
13. 林峰田、溫國忠、陳盈如, "住宅社區配置自動化輔助系統", 住宅學會年會, 1994。
14. 陳政雄, "建築的設計方法", 東華書局, 1984。
15. 溫國忠, "類神經網路的建築設計案例學習", 台大土木所博士論文, 1996
16. 劉育琳譯, William J. Mitchell, "建築的設計思考", 建築情報雜誌社出版, 1995
17. 賴光邦、陳志弘(1993)「建築法規專家系統建構之初步研究」, 中華民國建築學會第六屆建築研究成果發表會論文集, pp.841-846.
18. 鍾基強(1994)「空調系統的科技化」, 建築師雜誌, 第 230 期, 民國 83 年 2 月, pp.85-89.



# Applications of Genetic Algorithms to Architectural Plan Design

Wann-Ming Wey\* Bo-Syun Chywe\*\*

\* Graduate School of Architecture and Urban Design, Chaoyang University of Technology

\*\* Department of Architecture, Chaoyang University of Technology

(Date Received :October 19,1999 ; Date Accepted : March 17,2000)

## Abstract

The proposed research focuses on developing a computer aided architecture design (CAAD) system via genetic algorithm (GA). Some important housing design factors such as the spatial massing, the individual space allocation etc. are utilized by the genetic algorithm for designing the better even “optimal” architecture design plan. Thus, the CAAD system can really reach the objective of aiding designer while designing a specific architecture design plan.

The main contents of this research include four aspects. The first one is to recollect the fine case studies in the world of their spatial allocation existing in architecture design plan. The second one is to study the feasibility of applying GA technique to CAAD. The third one is to build an appropriate system for housing design plan aid. And finally, the fourth aspect of this research is to adopt AutoLISP built in AutoCAD for program coding of the proposed CAAD system.

Concluded from the four aspects mentioned above, the main contribution of this research is the development of a methodology (i.e., GA technique) for aiding architecture designer to design an architecture design plan more efficiently and effectively.

Keywords : Genetic Algorithms, Spatial Allocation of Architecture Design Plan, Computer Aided Architecture Design, Heuristic Algorithm, Architectural Design Adaptation

