

建築平面設計泡泡圖配置方法之探討

衛萬明* 包 匡* 吳梵煒**

*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：93 年 2 月 17 日；接受日期：93 年 6 月 1 日)

摘要

本研究嘗試以「基因演算法 (Genetic Algorithms, 簡稱 GA)」做為建構一套電腦輔助建築平面泡泡圖配置之方法，並藉由大眾化的電腦平台 (platform) 操作以協助專業或非專業建築設計者在從事建築平面空間設計時之輔助參考工具。在本研究中，我們希望能從找出一住宅設計時所須考量的因子，例如：空間量的大小安排、空間配置的規則等，同時應用基因演算法為運算基礎以使電腦能夠自動尋求出理想住宅平面方案設計前的適當泡泡圖配置，並進一步使電腦能夠輸出符合此一住宅配置考量因素之平面空間配置方案。如此，本研究應可針對建築設計過程中所可能遭遇的平面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：基因演算法，建築設計方法，泡泡圖，電腦輔助建築設計

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 (Kalay, 1991)。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)」，大都以二度或三度空間的建築圖繪製，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「產生」設計？抑或，電腦可否能真正做到「輔助人腦」來完成建築設計？此些課題為本研究所欲探討的主要方向及內容。

在過去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 (Liggett, 1991)。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 (林峰田, 1993a, 1993b)。本研究亦將採

用屬於人工智慧領域中的基因演算法，配合電腦快速運算之能力，以企圖將建築平面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平面設計之目的。同時，當電腦的功能愈來愈強大時，藉由電腦輔助設計建築平面並非是一個夢想，而其運算速度亦可協助設計者快速進行一個沒有太大問題的建築平面圖設計方案。此外，在探討建築的設計流程中可發現，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）。一般設計者在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「基因演算法（Genetic Algorithms，簡稱 GA）」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（即基因演算法所稱之「原體」），再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（亦即，嘗試將建築空間視作一組基因集合，並作有效率之排列組合結果）。本文希望能從找出住宅設計中的考量因子，例如：空間量的大小、空間配置的規則、空間與空間的關係等，並運用 GA 以電腦設計出理想的住宅平面方案為基礎，並將此法應用至非專業者都能使用的一般電腦平台，如：辦公室軟體（Microsoft Office）中的 Excel，以提供非專業者亦可使用此電腦程式協助其進行自己住宅的設計構想。

本文之主要研究內容包含下列幾個部份：（1）蒐集住宅設計中有關空間配置的設計方法，以了解設計的相關知識，並篩選適用於本研究的設計方法。（2）研究基因演算法的操作程序，並探討應用此演算法於電腦輔助建築平面設計的可行性。（3）配合篩選後的住宅空間設計項目，建立一套適用於本研究的演算法操作模式。（4）運用以基因演算法發展出之電腦套裝軟體程式 Evolver，並嵌入（plug-in）Microsoft Excel 中，發展一電腦輔助設計住宅平面泡泡圖的設計平台。

綜上所述，本研究之目的可分別以下列三點簡要說明之：

1. 探討基因演算法於一般住宅設計中平面泡泡圖配置之應用。
2. 應用 Evolver for Excel 之基因演算軟體發展以提供使用者一個設計住宅平面泡泡圖的簡易平台，同時讓非專業者亦可輕易地設計自己的住宅平面雛型。
3. 探討基因演算法運用於電腦輔助建築設計的可行性與發展潛力，讓設計者可利用此平台快速生產多個合乎機能之設計平面泡泡圖。

二、基因演算法之探討及其特性

基因演算法屬於人工智慧（AI）的一支。基因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，並發現即使在一個相當大的搜尋空間（search space），基因演算法仍有能力可以找到一個很好的解答。

基因演算法是 Holland 於 1975 年所發表，其基本理論是仿效達爾文的「進化論」，依據進化論，在多變的生存環境下，適應性強的物種往往比適應性差的物種更容易生存下來。而在適者生存、不適者淘汰的選擇過程中，各種生物爲了存活的目的，會因而調整其基因以適應生存環境。因此，生物經歷演化過程的結果往往是適應能力強的物種較能生存下來，依循相同的原理，在求解目標導向的最佳化問題時亦可應用此「最適者生存」的原理，來尋求最佳的解。

應用基因演算法求解最佳化問題，必須針對問題所設定目標環境轉換成對應的適存函數（Fitness Function），並以隨機的方式產生初始物種族群，經由模擬自然界演化的過程，包括：交配（crossover）、突變（mutation）與複製（reproduction），反覆進行世代進化的過程產生新的物種，如圖 1 所示，詳細之演算過程可參閱 Cheng and Gen（1997）之著作。

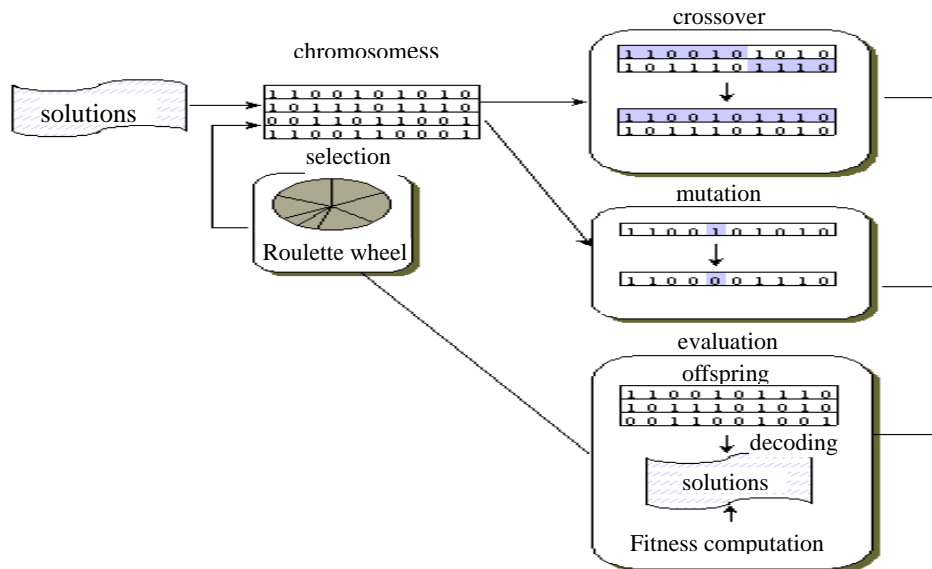


圖 1. 基因演算法流程圖

基因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，經過不斷演化後在搜尋空間找到一個最佳或近似的解答。在基因演算法中，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。編碼的作用是爲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。基因演算法在此點上則較具優勢

(林信成、彭啓峰，1994)。

一般而言，基因演算法的運算步驟及內容可略述如下：

(1)複製 (reproduction)

此過程類似生物的無性繁殖過程。其乃依據每個個體的適存 (fitness) 函數值高低，以決定該個體被複製的機率。因此，適存指標高的個體，就會有較高的機率被選擇到並「自我複製」出下一代新個體。上述過程乃為一人工版的天擇 (natural selection) 過程。因為適存指標差的個體，被選中自我複製的機率比適存指標高者小，以至於在新的族群中，適存性差的個體會比舊族群中少，取而代之的則是適存性較好的個體。因此，如果在舊族群中有 S 個個體，那麼在複製階段，天擇機制也必須複製出相同數目的新個體。這 S 個自我複製的個體將悉數被放入一個稱為交配槽 (mating pool) 的緩衝區中，以等待進一步的繁衍。有許多方法可以用來表現複製過程中的自然選擇機制，其中最簡易也最廣為採用的是「輪盤法」(Cheng and Gen, 1997)。此一輪盤不同於一般的等分格輪盤，其主要特色是輪盤中每個槽 (slot) 的大小都是根據每個個體適存指標的百分比來設定的，也就是適存指標愈高者所佔據的盤面比例愈大。理論上，擁有較高適存能力的個體，將擁有較高的機率被複製，以至於提供較多複本到交配槽中。此步驟完成後，由於交配槽中的個體僅是原個體的複本，所以尚未有異於原個體的新個體產生。

(2)交配 (crossover)

交配運算子提供了一個訊息 (information) 交換的機制，其可使得族群中不同個體可經由隨機交配之過程以互換基因，並產生新的下一代 (offspring)。首先，從上述複製過程之交配槽中任挑兩個體，稱之為雙親 (parents)，然後隨機地在雙親字串的 N 個基因 (位元) 中任挑一點，稱之為交配點 (crossover point)，再將位於交配點右側的雙親基因互換以生成兩個新的個體，如此即完成交配的過程。因此所謂交配，事實上僅是將雙親的基因 (位元變數) 互換。

而交換點的產生則是以亂數產生器來完成，每次產生的亂數都是介於 1 至 N 之間的整數。例如，假設一個 8 位元的雙親字串為：

P1=10101010 P2=01111100

若隨機產生之交換點為 5，亦即將雙親由左算起第 5 位元右側的所有位元 (畫有底線者) 互換，則產生的新個體為：

P1'=10101100 P2'=01111010

其中，P1'之交換點左側位元的基因來自 P1 (父親)，而右側 3 位元的基因來自 P2 (母親)；同理，P2'有 5 個基因來自母親，3 個基因來自父親。由以上的簡單例子可知，下一代的兩個新個體分別含有雙親的部份基因樣式 (pattern)。因此，交配步驟完成後，基本上已有異於舊個體 (母代) 的新個體 (子代) 產生，然其基因樣式仍沿襲自雙親而並無新的基因樣式產生，此有賴下一步驟突變以產生新的基因樣式。

另外，並非所有被挑中的雙親皆能進行交配，而是根據預設的交配機率 (probability of crossover) 來決定交配發生的頻率。一般設定的交配機率介於為 0.8 至 1 之間。例如，若交配機率為 0.8，則每次從交配槽中挑出兩個雙親個體時，

必須先以擲骰子的方式決定是否進行交配，亦即先產生一個介於 0~1 之間的實數亂數，若該數小於 0.8 則進行交配產生新字串，否則就只將雙親基因完全複製給下一代即可，而不進行交配。

(3)突變 (mutation)

突變過程乃是將交配後產生的子代，根據預設的突變機率進行突變之。其做法為將隨機選定的位元反轉 (0 變 1, 1 變 0)。一般而言，突變的機率值都設定得不高 (約 0.001 左右)。突變在基因演算法中雖只居於次要地位 (主要為再生與交配)，但是卻可以引進新的基因樣式，避免過早收斂 (premature convergence) 的情況產生。同時，突變本身是一個在參數空間中「亂走 (random walk)」的隨機過程，其可開發新的搜尋領域，並防止收斂於局部最佳點 (local optima) 的情形，從而探尋整體最佳點 (global optima) 的最後結果。由於突變機率通常不高，也因此不致使基因演算法流於完全的「亂走」演算。

整體而言，使用基因演算法的基本因子如複製、交配、突變，其運算步驟可表如下：

1. 定義適存函數 (fitness function)
適存函數是基因演算法的性能指標 (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)
在基因演算法的過程中，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。基因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)
在啟動基因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基因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。

三、建築平面設計及空間泡泡圖

自包浩斯學院以來，其設計觀念對建築設計產生的影響非常大，而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限制的條件明確地文字化和圖面化，以便作為後續自我檢測 (self-checking) 並與他人持續溝通之用。

在建築計劃的步驟中，除了確立一些準則和「基地分析圖」所表達的特性外，最重要的就是分析建築物的機能，以後再以不同的圖面表現以表達建築物內部空間所必須滿足的機能關係。例如「空間矩陣表」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（bubble diagram）」將所需的空間做出一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）。

本研究最主要乃是利用基因演算法以協助設計者發展出一個合乎內部空間機能的泡泡圖，在此將會依照設計方法之步驟及程序依序介紹一所謂合乎空間機能的泡泡圖是如何生產的。本節將先對空間矩陣表的重要性及一般繪製泡泡圖方法作一介紹如下。

空間矩陣表最主要的功能是做為製作泡泡圖與使用分區圖的資訊來源，因此空間矩陣表是必須先被完成的第一個分析圖。矩陣圖本身是兩個象限的格狀系統，其可以表達我們所需要設計的建築物內與討論後所決定的空間彼此間的關係。由矩陣圖中兩個不同的建築物內空間彼此交互的關係，我們可以觀察出這兩個活動間的關係強弱，矩陣內每個活動空間之間的強弱是針對建築物內所有的活動所考慮的，所以當矩陣完成時，我們就可以了解建築物空間應如何配置，使業主所需求之空間機能得以有效的被達成（White, 1986）。

在我們實際開始進行矩陣之中的空間彼此關聯性的決定之前，我們必須建立一組符號來表達我們所決定的這些空間彼此之間的關聯性。空間彼此間關聯性之符號的組成因子有兩個：第一個因子為可以描述建築物空間中的彼此連接性需求之文字，這一組文字為一種可以讓我們用來表達不同建築物空間接鄰性強弱。譬如：空間 A 與空間 B 之間必須相互連接、空間 A 與空間 B 之間可相互連接、空間 A 與空間 B 之間有無相互連接並不重要。第二個因子則為一組符號，它們可讓我們用來表達不同的建築物空間接鄰性之強弱的文字，以及矩陣中空間接鄰性關係以圖面方式表示。

泡泡圖是發展設計中較為重要的一部份，也是整個設計最為基礎的圖示。設計者可以透過泡泡圖發展無數個設計方案，但泡泡圖並不需要改變太多，因為它提供了最基本的空間機能關係。泡泡圖轉換了空間矩陣表中空間接鄰性的分析，使其成為一個更有效解讀的圖形，而使矩陣圖中的資訊更容易激起設計時所引發的意念。

以下幾點是我們繪製泡泡圖時需要注意的事項，此些要點亦可做為我們後續以基因演算法發展泡泡圖之重要依據。

1. 一個空間一個泡泡

在泡泡圖中，矩陣圖內的每一個空間都使用一個泡泡來表示。只要在矩陣圖中所列的空間，都應在泡泡圖中出現。

2. 以圓圈來表示泡泡

代表建築空間的泡泡應使用圓圈。其他的幾何圖形都太過於「動態」，其容易分散我們對空間關係的注意力。當泡泡圖包括有許多複雜的空間及連結線時，圓的這種穩定的特性更顯得重要。

3. 泡泡圖的比例

泡泡與泡泡之間亦即空間與空間之間需要有比例關係的存在，如此可幫助設計者在視覺上的設計表現。

此外，在此須一提的是，「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已逐步實現，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且複雜的資料外，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（衛萬明、關伯勳，2000）。

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）以及基因演算法來解決之。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平面泡泡圖發展過程中，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設計平面泡泡圖發展程序的探討。此設計程序不僅結合基因演算法，建築設計之概念，並結合電腦輔助設計等相關領域知識及技巧於此方法中。

四、應用基因演算法於住宅平面泡泡圖配置之系統平台建構

4-1 Evolver 應用程式

Evolver[®]為美國 Palisade Corporation 公司所發展，其乃運用基因演算法技術以快速地解決如財務問題、分配問題、排程問題、資源分配問題、製造業問題、預算問題、及工程學等複雜的問題。Evolver 被設計來解決一般模組化式地構建

於 Microsoft Excel 上任何類型之實際應用問題，其最佳之貢獻為利用基因演算法之技術可於短時間內解答出以往無法被迅速解答出之問題（Palisade Corporation, 1998）。

Evolver 程式提供使用者一個簡單的方式尋找在實際問題中的最佳解答。它會自我尋找一個最佳的參數以進行程式運作，並可求得一最理想的答案以提供使用者參考。由於 Evolver 是架構於 Microsoft Excel 之上，使用者可利用 Excel 的基本功能及參數調整運作之功能，應用 Evolver 求算出最佳的答案；而使用者亦可將問題模組化式地建立在 Excel 上以呼叫（call）Evolver 來加以運算之。

Evolver 使用基因演算法來解決問題。而在演算過程中，任何可能的解決方式皆會賦予問題成為一個獨立的「有機體」，並使它們成為一個可以「繁殖」的有機體。Evolver 會決定誰是「適當的」可以繼續生存下去的，而誰是不行被繁殖下去的。以下將簡單說明其運作的過程：

1. 以亂數（random number）選擇數個可被解答之有機體，然後再計算它們的解答。當這些解答結果是夠好的，則它們會成為可以繼續繁殖下去的一個族群，若不好的則會被淘汰。
2. 繼續選擇一個夠好的有機體以交換它們的變數（基因），並使用交叉性和突變性以生產它們的「子孫」。若它們的子孫無法繁殖出較好的結果，則此兩母體將被特別標示出來。
3. 然若此「子孫」有機體是被認為夠好的，則它們將被置入較佳的族群內安放。在上述過程中，Evolver 程式會自我不斷重複第二和第三個步驟，直到尋找出相對之滿意解答或可行解後即停止運算。

4-2 應用基因演算法及 Evolver 程式於建築平面泡泡圖配置

本節將以一個一般性之公寓式住宅設計案例為對象，對基因演算法及 Evolver 程式應用於建築平面泡泡圖配置做一說明及介紹。一般我們對於公寓式住宅要求的條件為：「三房兩廳一衛，中等坪數，方正格局，採光充足，通風良好，...等」，其中大致包含了對建築空間機能上的要求、面積大小的需求、配置方位的格局、以及設備上的特別需求等，這些多為設計規範上對空間機能的描述，同時也往往是設計構思發展的起點。簡言之，此些不僅是一般建築平面設計的目標，同時也是設計過程所被要求的評估準則。因此，在進行及從事一建築平面設計方案之初，往往一開始必須給予設計者（需求者）一些要求的條件，如：需要幾房幾廳、面積大約多大、開口及門廳的位置及方位等要求條件。而一旦設定好此些最初的要求條件後便可開始著手進行平面配置的設計。本研究據此使用基因演算方法，可將平面泡泡圖的配置交由電腦應用基因演算法進行合理之安排及設計。以下各小節將分別以 Evolver 之基因演算程式配合圖示詳細說明演算之步驟。

（1）Evolver 基因演算之空間矩陣表設計介面

圖 2 所示為依據基因演算法建構而得之 Evolver 建築平面泡泡圖設計介面，此程式的空間位置決定係以所提供之資訊透過空間相互間連通程度高低以判斷其彼此間之空間關係強弱。在此程式中會讓使用者先選定一主要空間之位置後（本研究案例為玄關），程式則會依照各空間關係強弱互相連結以進行空間（泡泡圖）之配置；若其中一空間與所選之主要空間關係弱的將會因連通程度較低而

落至較遠的地方以等待與其他和其連通程度較高的空間進行相連，據此，透過程式之運算將可讓空間的落點更近似於一完成的平面圖。若所排列之關係符合空間矩陣表之要求則可得高分，反之則得低分。而基因演算法之運算即透過此程式，不斷重覆其交配複製等演算步驟以求取較高之得分數，並逐漸滿足我們平面設計上之要求。

上述之 Evolver in Excel 平台提供了幾個變數予使用者加以控制，此程式可透過不同之變數操控（variable manipulations）以改變需求，包括對空間的大小及出入口位置的改變等。而在圖 2 之左上方處有一空間面積及空間配比之資料說明，此空間面積意指先前所提到的如「中等坪數」大小的公寓面積描述。而在確定對空間面積的需求後，此程式會要求使用者輸入空間配比之值；一般建築專業人士瞭解，建築物實際所使用的空間大小須扣掉走道空間及其他一些管道空間（約佔總面積之 15%~20%），亦即，走道及管道空間約佔總面積的比例為 15%~20%。而在一般公寓式的住宅中，由於多處都市中地狹人多之處，因之空間配比都相當高。這種情形有其優點亦有其缺點：當空間配比值高時，平面中多個空間同時肩負著多種需求，最常看到的情形就是公寓式建築中的餐廳空間往往變成一個過渡性的空間，其肩負著通道及用餐空間的機能。相反地，空間配比值較低時，則因為通道空間亦佔有其各別之空間配比，也較不易與其他各具機能的空間相抵觸矣。因之，在本例中，為讓此 40 坪之四房兩廳兩衛的公寓式平面可獲最大的空間配比利用，在此將其空間配比假設性地提高到 100%，以讓此 40 坪空間面積可達最充分的利用。

住宅平面泡泡圖

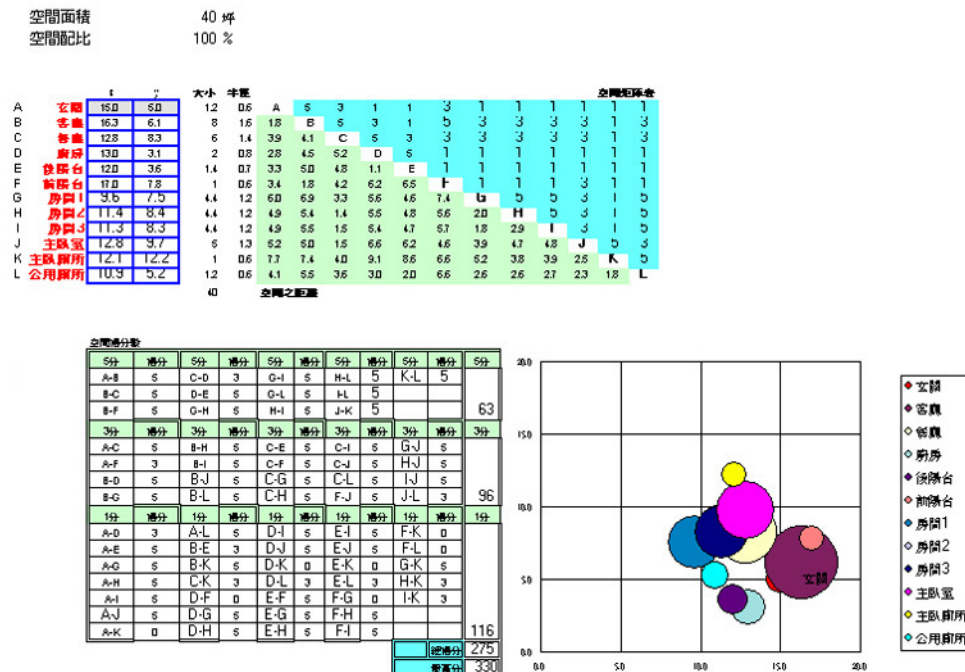


圖 2. Evolver 泡泡圖設計介面

(2) 公寓式住宅空間配比

本例計有標號 A-L 共 12 個公寓式之空間，包括玄關、客廳、餐廳、廚房、陽台、三個房間、主臥室、及廁所等。其中，玄關的座標位置值（XY）亦可由使用者自我設定；上述之說明即是，使用者可在設定空間面積及空間配比值後，再進一步設定此公寓平面之玄關的位置以決定入口之方位。本研究針對住宅空間配比值，參酌如「亞歷山大建築模式語彙」及其他相關的書籍和各種案例的分析後設定出公寓式各空間大小之適當配比值，並整理如表 1 所示。

表 1. 住宅空間配比

公共性空間	52%	私密性空間	48%
玄關	3%	房間 1	11%
客廳	20%	房間 2	11%
餐廳	15%	房間 3	11%
廚房	5%	主臥室	12.5%
前陽台	3.5%	主臥室廁所	2.5%
後陽台	2.5%		
共用廁所	3%		

由上表可知公共性空間佔 52%，私密性空間佔 48%，由此推計各空間配比值之計算程式如下（以玄關為例）：

$$Fx = \$E\$3*((\$E\$4)/100)*0.03^*$$

\$E\$3 位置值表空間之面積，\$E\$4 表空間配比值，由表 1 所知玄關所佔比例為 3%，因此以算式「空間面積（\$E\$3）×空間配比值（\$E\$4）×百分比」即可求得所在格位空間之大小，此式中玄關的大小經此運算後得出為 1.2 坪，其運算過程在 Evolver 的程式中可表如圖 3 所示。

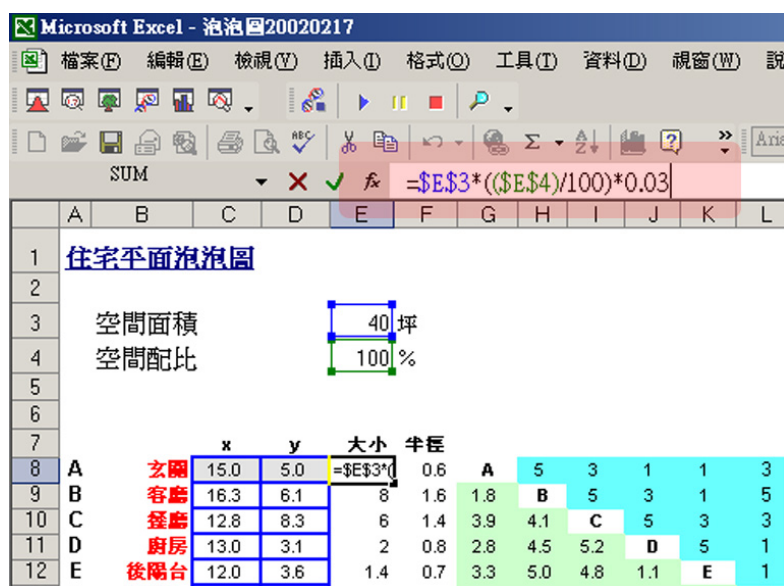


圖 3. Evolver 各空間面積計算法

* 運算式中之\$E\$3 代表表格 E3，其中\$代表絕對位置請勿更改，其餘函數則請參考 Microsoft Excel®相關書籍。

由於一般平面之配置乃以空間關係的機能為首要考量原則，而空間機能關係強者其彼此間的連通關係會較為靠近，因此各空間之間的連通關係也是我們在進行平面泡泡圖配置時必須要知道的。而有關此部份空間彼此連通關係的運算，在 Evolver 程式中可藉由 SQRT 求算出以各空間泡泡重心（幾何中心）間之直線距離為一運算及衡量標準，其並可自動算出空間的半徑及與其他空間的相對位置，如下圖 4 所示。

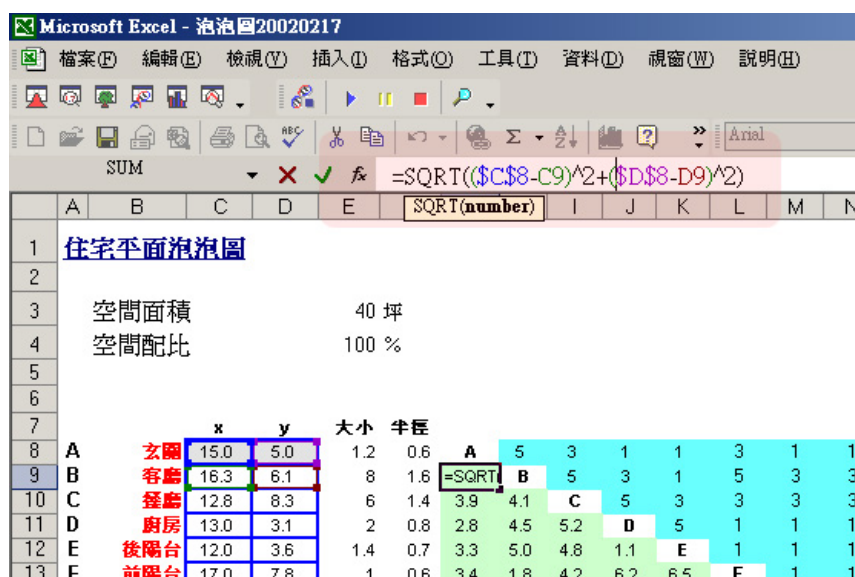


圖 4. Evolver 空間泡泡重心間直線距離運算

(3) 空間關係及得分數說明

在第三節中曾說明如何將空間矩陣表轉變成泡泡圖，本小節則將說明其如何透過程式的運算而達成。首先我們先列出此住宅的 Evolver 空間矩陣表如圖 5 所示，且各空間之代號意義說明如下：

A=玄關 B=客廳 C=餐廳 D=廚房 E=後陽台 F=前陽台
G=房間 1 H=房間 2 I=房間 3 J=主臥室 K=主臥廁所 L= 共用 廁所

半徑		空間矩陣表										
2	0.6	A	5	3	1	1	3	1	1	1	1	1
3	1.6	1.8	B	5	3	1	5	3	3	3	3	1
3	1.4	3.9	4.1	C	5	3	3	3	3	3	3	1
2	0.8	2.8	4.5	5.2	D	5	1	1	1	1	1	1
4	0.7	3.3	5.0	4.8	1.1	E	1	1	1	1	1	1
1	0.6	3.4	1.8	4.2	6.2	6.5	F	1	1	1	3	1
4	1.2	6.0	6.9	3.3	5.6	4.6	7.4	G	5	5	3	1
4	1.2	4.9	5.4	1.4	5.5	4.8	5.6	2.0	H	5	3	1
4	1.2	4.9	5.5	1.5	5.4	4.7	5.7	1.8	2.9	I	3	1
5	1.3	5.2	5.0	1.5	6.6	6.2	4.6	3.9	4.7	4.8	J	5
1	0.6	7.7	7.4	4.0	9.1	8.6	6.6	5.2	3.8	3.9	2.5	K
2	0.6	4.1	5.5	3.6	3.0	2.0	6.6	2.6	2.6	2.7	2.3	1.8
0												L

圖 5. Evolver 住宅空間矩陣表

上述之空間矩陣表可對空間的關係強弱表示如以下三種情況：

1. 若空間之間的關係強烈，或之間的活動需要互相連通，則得 5 分。
2. 若空間之間的關係普通，或之間的活動可能需要互相連通也可能不需要，則得 3 分。
3. 若空間之間的關係微弱，或之間的活動不需要互相連通，則得 1 分。

在此須一提的是，雖然在一般建築平面設計過程中，對於關係微弱之空間不需連通，然亦不排除其可能性；但對於互斥的空間（如玄關及臥室、廚房及廁所等），則往往彼此間不可以互相連通。本研究目前所建立之系統，囿於某些限制條件因素，先暫將上述空間一併歸納至所謂之「弱空間關係」中；亦即彼此互斥之空間將視為空間關係微弱者。

透過上述之空間矩陣表可使我們清楚瞭解空間之間的關係強弱，譬如：玄關與客廳（A 與 B）在機能上或活動上彼此間的關係是強烈的，因此得分為 5 分。而透過空間矩陣表的分析後可再將所有相關資訊轉化成如下圖 6 之空間得分數結果。亦即關係強烈之空間（得分為五分者）放置在一起一同計分，關係普通之空間（得分為三分者）放置在一起一同計分，而相互關係微弱者（得分為一分者）放置在一起一同計分。

在此，我們依得分數的不同將空間關係分為下列三類詳細說明之：

一、第一類 → 5 分部份

得到 5 分的共有 AB、BC、BF、CD、DE、GH、GI、GL、HI、HL、IL、JK、KL 等 13 個，這些空間彼此間的關係強烈，表示在空間配置上它們應該互相在一起，如此才可支持其互相活動之進行順利。在 Evolver 基因演算法中其可以下列程式表示之：

空間得分數										
5分	得分	5分	得分	5分	得分	5分	得分	5分	得分	5分
A-B	5	C-D	5	G-I	5	H-L	5	K-L	5	60
B-C	5	D-E	0	G-L	5	I-L	5			
B-F	5	G-H	5	H-I	5	J-K	5			
3分	得分	3分	得分	3分	得分	3分	得分	3分	得分	3分
A-C	5	B-H	5	C-E	5	C-I	5	G-J	3	81
A-F	3	B-I	5	C-F	3	C-J	5	H-J	3	
B-D	3	B-J	5	C-G	5	C-L	3	I-J	0	
B-G	5	B-L	5	C-H	5	F-J	5	J-L	3	
1分	得分	1分	得分	1分	得分	1分	得分	1分	得分	1分
A-D	5	A-L	5	D-I	5	E-I	5	F-K	5	141
A-E	5	B-E	5	D-J	5	E-J	5	F-L	5	
A-G	5	B-K	3	D-K	5	E-K	5	G-K	3	
A-H	5	C-K	1	D-L	5	E-L	5	H-K	3	
A-I	5	D-F	1	E-F	5	F-G	3	I-K	1	
A-J	5	D-G	3	E-G	5	F-H	5			
A-K	5	D-H	5	E-H	5	F-I	3			
總得分										282
最高分										330

圖 6. Evolver 空間得分數表

$$F_x = \text{IF}(\text{AND}(1.5 * (\$F\$8 + \$F\$9) \geq \$G\$9, \text{MAX}(\$F\$8, \$F\$9) \leq \$G\$9), 5, \text{IF}(\text{AND}(\$F\$8 + \$F\$9 \leq \$G\$9, (\$F\$8 + \$F\$9) * 2.5 \geq \$G\$9), 3, \text{IF}(\text{AND}((\$F\$8 + \$F\$9) * 2 \leq \$G\$9, 3.5 * (\$F\$8 + \$F\$9) \geq \$G\$9), 1, 0)))$$

上述一連串的程式另可分三個部份（即方框所選取的三個部分；另第二及第三類亦以相同方式表達如后）加以說明之：若情形符合第一個部份之情況，則程式將給予 5 分，據此可以看到第一個方框後面有一個 5 分之參數（其餘以此類推，不再贅述）；若符合第二個部份之情況的話，程式給予 3 分；而若符合第三個部份的話，程式給予 1 分。若無任何情況符合上述三者，則程式將完全不給分（即 0 分）。在這個部份程式會依照運算所得之結果來檢驗給分：若結果符合第一部份的情況，則表示其關係是強烈的而給予 5 分，此時空間的連通關係必須十分接近且在一定的範圍之內；而第二部份的式子則表示空間與空間有一些連通關係但並不是緊連在一起的，同時也因為此種情況不符合空間矩陣可得 5 分的要求標準因此只能獲得 3 分；第三部份則是表示空間的連通關係已經十分之低，其亦顯示出不符合空間矩陣表的要求，所以只給予 1 分。

經過此一連串計算公式程式的檢驗我們可知，藉由分數的高低以表達空間彼此間的關係，其中所得 5 分的空間必定是互相連接或相鄰，如此在檢驗時才會給予較高的分數。也因此，整個程式將會在基因演算的不斷重覆過程中盡力求取最高分（亦即朝『最適存函數值』之目標達成），如此方可符合在一般建築平面空間矩陣表中顯示出之空間關係合理資訊。

二、第二類 → 3 分部份

得到 3 分的共有 AC、AF、BD、BG、BH、BI、BJ、BL、CE、CF、CG、CH、CI、CJ、CL、FJ、CJ、HJ、IJ、JL 等 20 個，這些空間彼此間的關係普通，同時在活動上或需相互支持或不需要。它們之間的相對位置多存有一些連通關係甚或相隔著一個其他空間。此類的空間關係配置可以利用下列計算程式來表達之：

$$F_x = \text{IF}(\text{AND}(1.5 * (\$F\$8 + \$F\$10) \geq G10, \text{MAX}(\$F\$8, \$F\$10) \leq G10), 3, \text{IF}(\text{AND}(\$F\$8 + \$F\$10 \leq G10, (\$F\$8 + \$F\$10) * 2.5 \geq G10), 5, \text{IF}(\text{AND}((\$F\$8 + \$F\$10) * 2 \leq G10, 3.5 * (\$F\$8 + \$F\$10) \geq G10), 3, 0)))$$

在上述程式中我們可以看到其與 3 分部份程式最大的不同即在於此程式檢驗所得之得分數有所改變。由於在空間矩陣表中得到 3 分的空間必須是互相保持較為中立的關係。

三、第三類 → 1 分部份

在空間矩陣表中得到 1 分的有 AD、AE、AG、AH、AI、AJ、AK、AL、BE、BK、CK、DF、DG、DH、DI、DJ、DK、DL、EF、EG、EH、EI、EJ、EK、EL、FG、FH、FI、FK、FL、GK、HK、IK 等共 33 個。在這些空間中它們彼此可謂並無甚大之關係，也因此，它們之間的連通關係可相距較遠甚或毫無關係。此種空間關係條件可以下列計算程式表示之：

$$F_x = \text{IF}(\text{AND}(1.5 * (\$F\$8 + \$F\$11) \geq \$G\$11, \text{MAX}(\$F\$8, \$F\$11) \leq \$G\$11), 1, \text{IF}(\text{AND}(\$F\$8 + \$F\$11 \leq \$G\$11, (\$F\$8 + \$F\$11) * 2.5 \geq \$G\$11), 3, \text{IF}(\text{AND}((\$F\$8 + \$F\$11) * 2 \leq \$G\$11, 3.5 * (\$F\$8 + \$F\$11) \geq \$G\$11), 5, 0)))$$

上述程式與第一類（5 分部份）程式最大的不同就是其檢驗的得分數剛好相反。因為此類空間彼此間的關係是較弱的，因此若符合第三部份的式子就可得 5 分，而相對地若符合其他的式子則各得 3 分及 1 分。

由上述對圖 6 的檢驗過程中得知，藉此方式可讓每一大類的空間經由程式以求得其最適函數值，亦即總分愈接近滿分者為愈佳。（在此須注意的是，圖 6 中每一類得分與圖 5 之空間矩陣表的得分是不同的。圖 5 的得分乃為空間相互之關係強弱的表現，其可因各方案的不同而調整其參數，而此得分決定了圖 6 的分類情形。至於圖 6 之得分則為程式可自行檢驗該泡泡圖配置表現是否符合該類之標準，因此在程式運算時，該得分會不斷地變動。）

（4）Evolver 程式參數及限制條件說明

本節將對 Evolver 程式參數及限制條件及其操作方式做一說明如下。

在 Evolver 程式中，部份基因演算參數可表如圖 7 所示。Evolver 程式首先須設定所欲尋求的目標函數值（及最大值 Maximum 或最小值 Minimum）。在前面已經提到我們所欲檢驗的結果值是分數愈高愈好，因此在此之設定即為尋找最大值（"For the **Maximum**"）。而"For the Cell"則是告知程式此值位於何處。接下來"By Adjusting the Cells"乃為所欲設定建築平面範圍的形狀，在此我們希望它是呈現出方整形狀的，因此將其設定為一 20*20 之範圍。而在上述的基本設定都完成後，此程式曾進行初步之試算，結果發現不論如何運算，有大部份空間之組合分數都相當低。因此，以基因演算步驟言，其表此演算程式須加入一些必要的限制條件，詳述如下。

由圖 7 及圖 8 中可得，必要的限制條件的引入乃設定在"Subject to the Constraints"選項中，其顯示方式共有三種：Hard、Soft、Range，分別是硬規則、軟規則和範圍規則。其中在我們設定公寓形狀時規定此泡泡必須在 20*20 的範圍內活動，此即為所謂之範圍規則的選項。至於硬規則（死規則）之意乃指程式一定要遵守的規則，同時也只有硬規則達成後此基因演算法才能繼續繁衍下一代；而軟規則（活規則）則是指會給予程式一個可不非得遵守的空間，其若未完成全部之基因演算時仍可繼續繁衍下去。

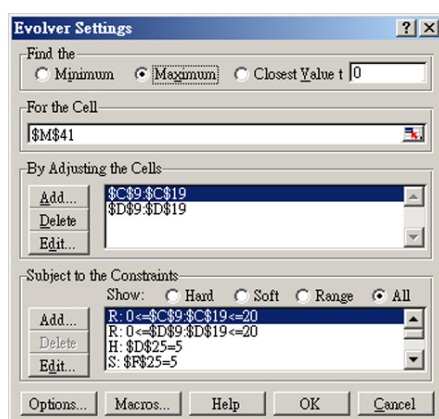


圖 7. Evolver 程式參數及設計條件之設定

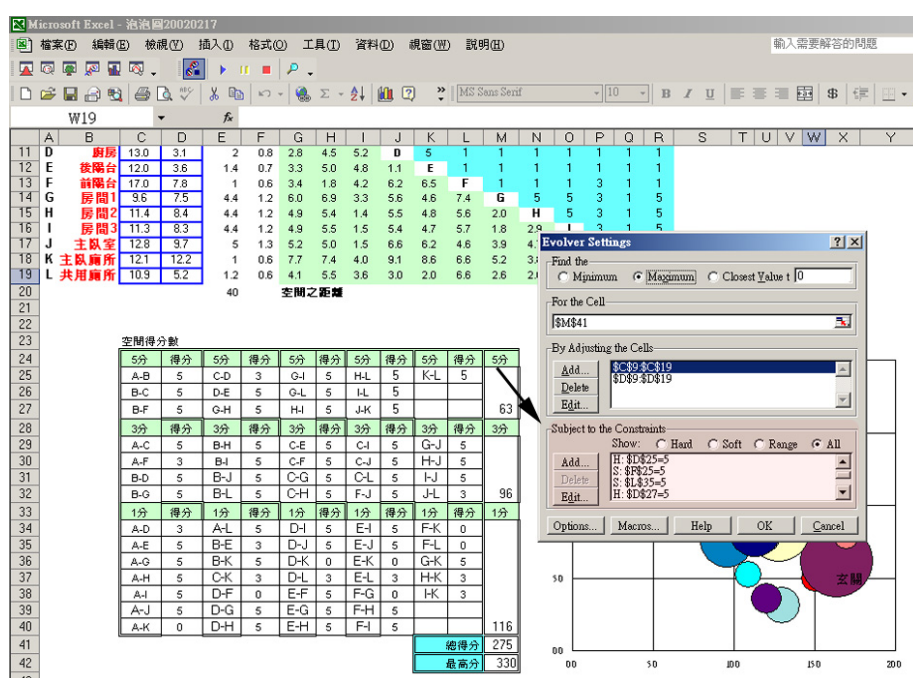


圖 8. Evolver 程式設計條件之加入

本研究所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。下列即為部份可利用之規則條件：

- 條件一：客廳必須和玄關相連通。
- 條件二：客廳必須和餐廳相連通。
- 條件三：餐廳必須廚房相連通。

此三個條件我們將其定為硬規則，至於其餘的一些軟規則則為在空間矩陣表中得到 5 分者都希望其能盡量達到我們所設定的範圍之內。

五、系統之案例測試與驗證

在本節中我們將以一真實的公寓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一步進行詳細之分析與討論。下圖 9 為一位於台北縣中和市「富貴麗景大廈」的平面空間配置圖，此案例為一四房兩廳兩衛的公寓式住宅，其所有權狀為一 40 坪之電梯大廈。本研究將採此例之設計條件為參數輸入值並以下列之基因演算參數進行測試之。

而如本文前述所言，應用基因演算法求解最佳化問題，必須針對問題所設定目標環境轉換成對應的適存函數（在本案例中，其適存函數乃為空間總得分數愈高愈佳），並以隨機的方式產生初始物種族群。之後則依據每個個體的適存（fitness）函數值高低，以決定該個體被複製的機率。因此，適存指標高的個體，就會有較高的機率被選擇到並「自我複製」出下一代新個體。而此一人工版的天擇過程會因適存指標差的個體，被選中自我複製的機率比適存指標高者小，以至於在新的族群中，適存性差的個體會比舊族群中少，取而代之的則是適存性較好

的個體。另在啓動基因演算法之前必須先隨機產生 S 個第零代的個體（位元字串），其稱之爲原始族群。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）。

因此，針對本文所採用之基因演算法所進行空間泡泡圖的不同排列組合之原始空間族群而言，在此需一提的是，本研究在啓動基因演算法之前乃以此「富貴麗景大廈」之內部各個空間需求單元以做爲所謂之『原始空間族群』，其將透過基因演算法對其各空間需求的泡泡圖不斷進行複製/交配/突變之過程以模擬在建築平面設計之泡泡圖排列過程不斷進行修正及回饋的行爲。因此，本文在案例測試中以「富貴麗景大廈」一例做爲「原始族群」之意，其乃指在進行之後的 Evolver 基因演算之複製、交配、突變等運算步驟中，將以此實際之建築案例所訂定及要求之空間需求（包含各空間之定性及定量）及其他客觀之條件，如案例要求之坪數大小、建蔽率等，以此做爲各種可能之不同平面空間排列組合之依據。

【基因演算法的參數設定值】

1. 突變率爲 0.06（6%），
2. 複製機率爲 48%，
3. 交配機率爲 50%，
4. 族群組數爲 50 個。

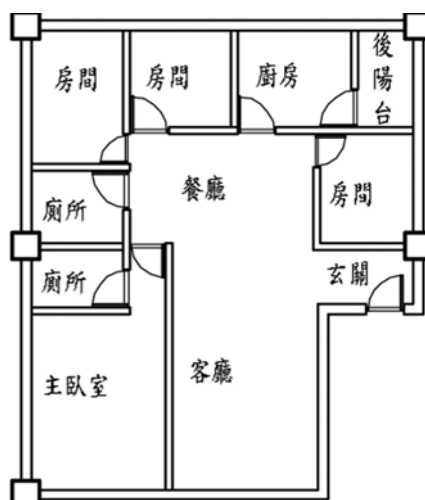


圖 9. 公寓大廈之實際案例



圖 10. 平面轉換之泡泡圖

本案例需要特別注意的是，大部份的空間乃是圍繞餐廳及客廳的周圍而配置的。圖 10 則是由圖 9 之公寓大廈平面圖轉換而成的空間泡泡圖。

測試結果分析與驗證

本案例經由 Evolver 基因演算程式輸出的結果共 50 個（因本案例族群組數定爲 50 個）。本文僅列出其中輸出結果較佳的前 7 個方案，如圖 11 至圖 17 所示。各案例中的玄關位置設定於從右下角的（15, 5）座標開始執行此程式。

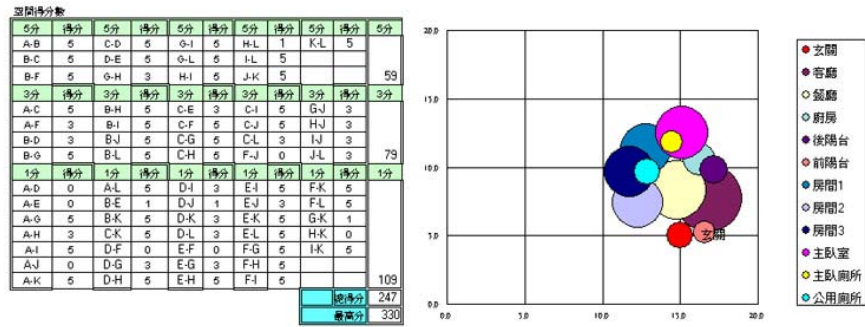


圖 11. 輸出之泡泡圖 (Recalcs=551305, Trials=223578)

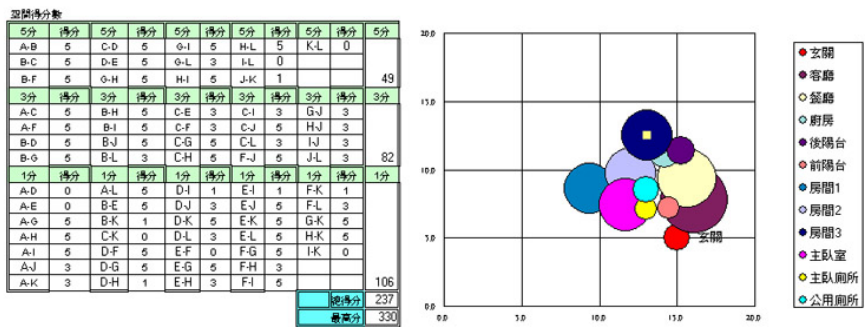


圖 12. 輸出之泡泡圖 (Recalcs=782369, Trials=285214)

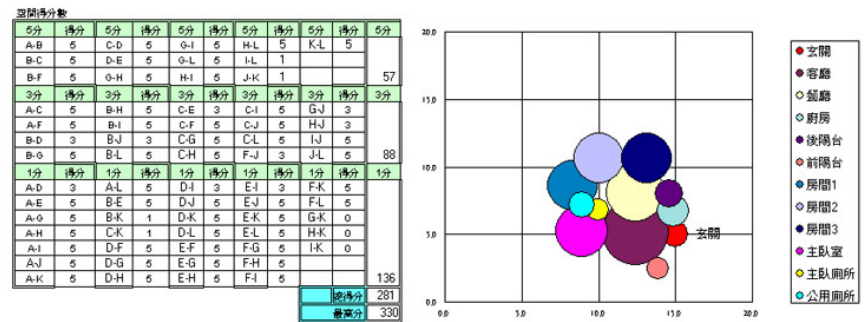


圖 13. 輸出之泡泡圖 (Recalcs=1856230, Trials=1478526)



圖 14. 輸出之泡泡圖 (Recalcs=2014588, Trials=1756358)

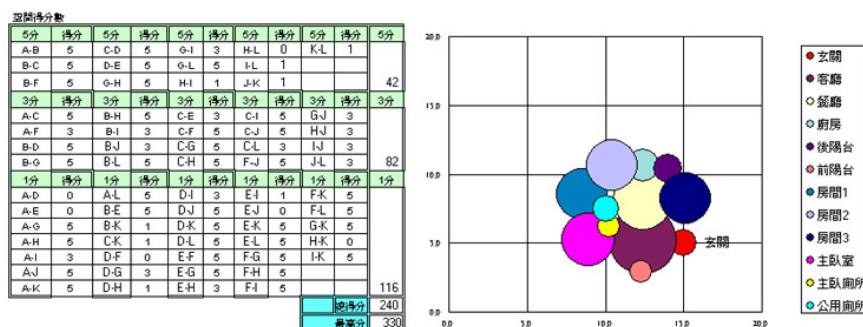


圖 15. 輸出之泡泡圖 (Recalcs=2098652, Trials=1982300)

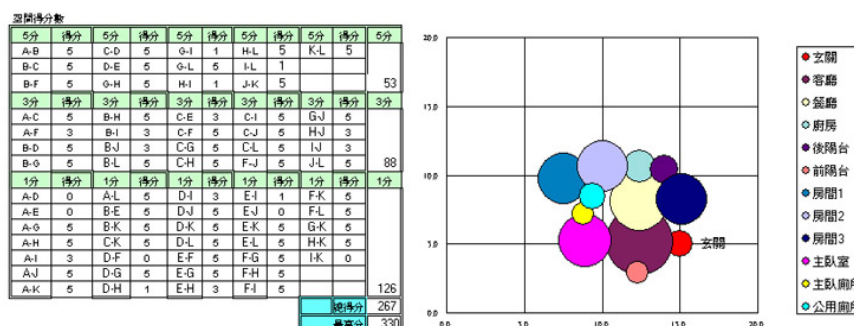


圖 16. 輸出之泡泡圖 (Recalcs=2541368, Trials=2035247)

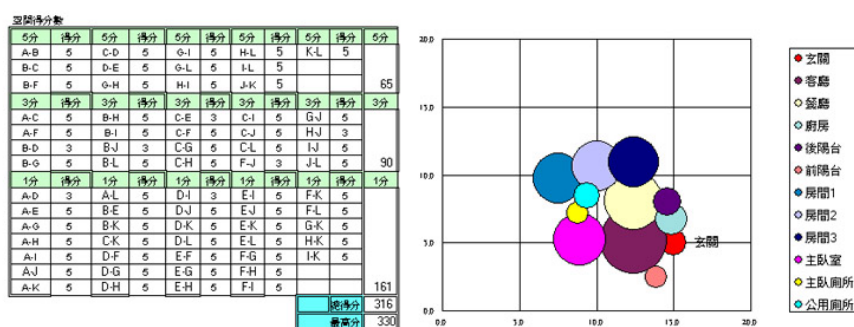


圖 17. 輸出之泡泡圖 (Recalcs=3001254, Trials=2205186)

經過一段時間的電腦運算後，對於執行的結果可分析如下：

一、運算時間

此案例本研究乃使用 AMD Thunderbird 1.2 GHz 中央處理器及 Windows XP Professional 視窗平台操作進行測試，共計花費了約 6 小時又 40 分才完成此基因演算程式之運算。在測試的過程中，我們發現當條件的限制越多時，對於產生合乎限制的方案，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。

二、基因演算結果分析

對於 50 個演算結果，我們做了以下的分析：

1. 重疊在一起的泡泡

如圖 18 所示，泡泡圖的空間在部份情況下會重疊在一起甚至看不到，如此將

讓使用者無法順利地了解泡泡圖的確實分佈情形。有關此問題，我們將就得分數的程式予以更正之，如此可使泡泡圖不致完全重疊在一塊。

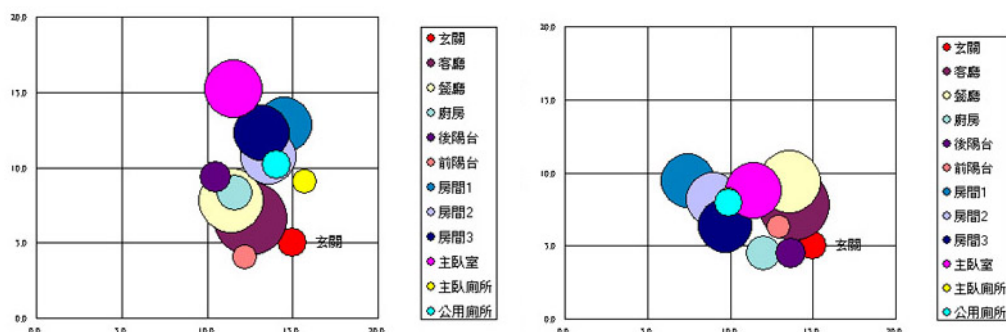


圖 18. 重疊在一起的泡泡

更改下列程式之第一部份（灰色部份）。首先先修改第一個參數值成為 1.5 倍，另外利用一個「最大值」讓程式選擇兩個泡泡的半徑最大值，以使泡泡不會重疊在一起。每一個空間的參數值都會有一些不同，需要利用不斷之試誤法（trial and error）來逐步調整之。

$$Fx=IF(AND(1.5*(\$F\$8+\$F\$9)\geq\$G\$9,MAX(\$F\$8,\$F\$9)\leq\$G\$9),5,IF(AND(\$F\$8+\$F\$9\leq\$G\$9,(\$F\$8+\$F\$9)*2.5\geq\$G\$9),3,IF(AND((\$F\$8+\$F\$9)*2\leq\$G\$9,3.5*(\$F\$8+\$F\$9)\geq\$G\$9),1,0)))$$

2. 分開的泡泡群

由產生的泡泡圖配置方案結果觀察後發現，某些方案的空間與空間會一區一區的分別在一起，彼此間無法相結合，如圖 19 所示。

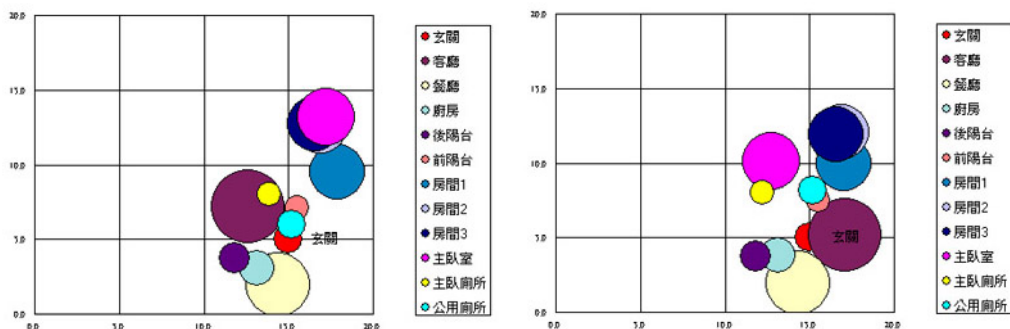


圖 19. 空間區無法互相結合

有關此問題，本研究亦更改並調整以下程式的第二部份及第三部份的程式碼，同時亦如前所述，此須逐步調整空間的參數以獲合理之結果。

$$Fx=IF(AND(1.5*(\$F\$8+\$F\$9)\geq\$G\$9,MAX(\$F\$8,\$F\$9)\leq\$G\$9),5,IF(AND(\$F\$8+\$F\$9\leq\$G\$9,(\$F\$8+\$F\$9)*2.5\geq\$G\$9),3,IF(AND((\$F\$8+\$F\$9)*2\leq\$G\$9,3.5*(\$F\$8+\$F\$9)\geq\$G\$9),1,0)))$$

3. 所選之測試案例的泡泡圖配置並非是最佳值

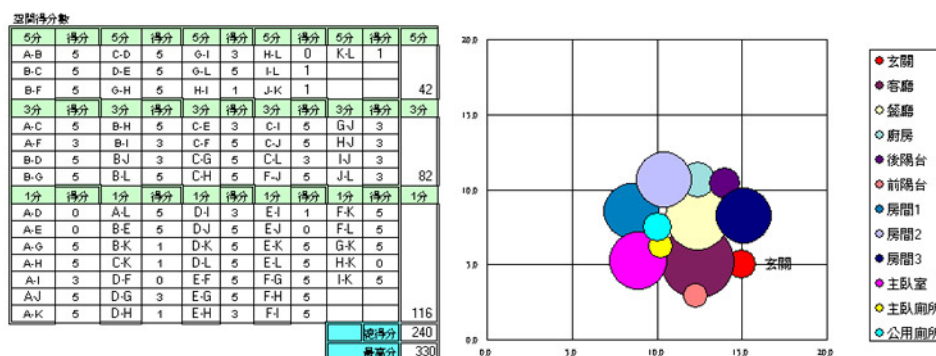


圖 20. 案例中的泡泡圖

圖 20（類似圖 10 所示由案例平面轉換而得之泡泡圖）中的泡泡圖是 Evolver 在應用基因演算法運算過程中得到較佳之配置方案，同時其幾與由案例平面轉換而得之圖 10 泡泡圖配置相同。然此泡泡圖並非是 Evolver 基因演算法所得之最後最佳之配置方案，事實上其僅為全部配置方案中分數排行倒數第四者（240 分）。經過本研究之分析後發現，其乃因原本所選擇之案例（富貴麗景大廈）本身亦並非是一絕佳設計之公寓式平面設計。事實上建築平面設計也應是經過不斷地妥協與溝通而產生的，因此目前實際完成之建築平面設計案例也不一定是符合空間矩陣表的確切要求。

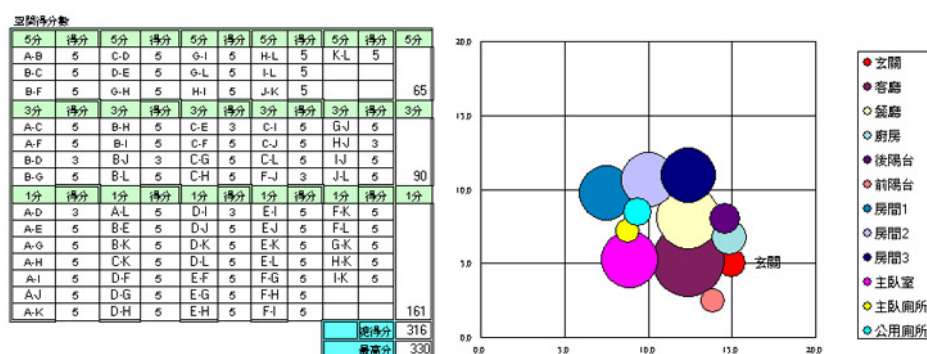


圖 21. 最佳演算方案

圖 21 的泡泡圖配置是 Evolver 最後所演算出來的最佳方案，其分數高達 316 分。然在此需一提的是，此處所謂之「最佳方案」，其乃是依照本文第四節中所提出的方案績效之優劣評分方法而言，其並非一般意義下之建築設計案的好壞之分。而此最佳方案，其在空間矩陣表 5 分的部份全部皆獲得，而空間矩陣表 3 分的部份則只有兩個得分較低。圖 21 與圖 20 最大的不同則在於圖 20 中的房間 3 是較靠近於玄關，其並與房間 1 和房間 2 分開，此種配置情形在空間矩陣表的分析上是有問題的，因此我們可以看到圖 20 中的 GI、HI、及 IL 的分數都不高，此表示房間 3 因為與其他相關的空間分得太開以致獲得低分。然而在圖 21 中，房間 1、房間 2、及房間 3 的泡泡圖配置是緊靠在一起的，因此它們亦較符合空間矩陣表中對空間機能的要求。職是之故，本研究欲在此強調原始案例的平面並非是最佳的配置方案，而經由本研究所提出以基因演算法之運算所獲得的建築平面泡泡圖 21 之配置結果更優於原始案例圖 20。此結果顯示本研究應用基因演

算法於建築平面泡泡圖配置之問題應確為一可行之研究方向，同時案例驗證之結果亦頗為合理且具探討性。

六、結論與建議

本研究經由整理可得到以下的結果：

1. 電腦輔助建築設計可行性之驗證。本研究主要乃採「基因演算法」並配合在研究中所訂定的設計規則以進行搜尋建築平面泡泡圖配置之較佳方案結果。在應用基因演算法於本研究的過程中，我們發現，此基因演算法的標準操作模式為：「資料輸入→依據使用者設定之規則進行操作→產生符合目標函數之結果」。其中所設定之規則和目標是十分明確的，而所得結果則是被有所期待且為一未知之解答方案。也因此，由本研究中瞭解，透過本研究所得之成果雖非一最終之設計方案，然其卻提供了一合理且客觀之可能平面方案，若再由設計者加入其藝術層面之考量，相信終能成為一頗佳之建築平面設計圖矣。
2. 使用大眾化電腦平台的方便性。本研究應用 Evolver 基因演算軟體於 Microsoft Excel 上，藉由一般大眾容易取得的商業應用軟體，讓一般使用者也可以輕易地使用此具專業性之特殊軟體。同時本研究認為，應用大眾化電腦平台上之程式，亦讓使用者可以較低之成本進行初步平面空間配置方案的獲取。
3. 設計結果的參考價值。本研究的最終目的之一乃為產生具有視覺化的建築平面泡泡圖配置替選方案以供使用者參考，並且在初步的研究上已有不錯的成果表現。然因過多的設計參考方案，往往反會造成設計者在最終選擇上的無以適從，並反而增加設計者判斷及選擇方案的時間，降低設計執行之效率。因此，加入適當的設計規則限制及收斂條件，將可使設計結果更具參考價值。
4. 本文之研究主要著重於設計構思（concept）層面的階段，應用一般設計者慣用之設計方式及手法，讓設計人員可以利用電腦及特定之基因演算方法（algorithm）模擬人腦代為輸出一基本之建築平面關係設計草圖，而後再由設計人員發展至完整平面圖設計的階段。同時此次之研究程式碼皆為開放性設計，亦即可提供使用者因應個案之不同以修改函數設定，並符合使用者對個案需求之條件以進行設計之。

對於與本文有關的未來後續研究，我們提出了以下幾項建議：

1. 更為先進圖像化的介面及輸出之設計功能。針對未來電腦運算速度的快速提升，相信在視覺上能更清楚的顯現電腦輔助建築設計之介面表現，同時讓使用者也可以更快速地了解電腦輸出之訊息。
2. 更為廣泛性之應用。未來可透過本研究所提出之軟體程式進一步協助整棟公寓大廈的細部建築設計，同時亦可與如結構設計等自動化軟體互相配合，以協助建築設計者進行自動化之設計及管理。
3. 垂直方向面的思考。本研究目前主要乃為探討平面式的建築配置方案設計，然建築設計實為三度空間之考量，因此未來可以再加入包括容積率考量因素在內的垂直方向面思考，並加入量體之 3D 視覺化的輸出效果，此亦較有助於建築整體規劃上之週延性。

4. 因應不同之案例需求條件之操作，若對於基因演算法之程式操作而言，參數的設定目前並未有一絕對妥適之定值；然建議未來可對不同之變數及各參數進行其敏感度分析（sensitivity analysis）之後續研究。
5. 本文中所提出的針對方案績效之優劣評分方法（第四節）而言，其並非一般意義下之建築設計案的好壞之分；建議日後可透過如原案分析（protocol analysis）等方法，透過專家對於實例設計流程、考慮因素等以做為設計案優劣績效之評分依據。

參考文獻

1. Cheng, R., and Gen, M. *Genetic Algorithms and Engineering Design*, John Wiley & Sons, New York, 1997.
2. Jo, Jun H. and Gero, John S., "Genetic Search Approach to Space Layout Planning", *Architecture Science Review*, Vol. 38, March 1995, pp. 37-46.
3. Kalay, Y. E., "Principles of Computer Aided Design: Evaluating and Predicting Design Performance", John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-85385-2, 1991.
4. 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.
5. Palisade Corporation, "Guide to Evolver: The Genetic Algorithm Solver for Microsoft Excel", Newfield, New York, 1998.
6. White, Edward T., *Space adjacency analysis: diagramming information for architectural design*, Tucson, Ariz.: Architectural Media, 1986.
7. 林信成、彭啓峰，"Oh! Fuzzy 模糊理論剖析"，第三波，1994。
8. 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集》，pp. 813-820，1993a。
9. 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。
10. 劉育東譯，William J. Mitchell，"建築的設計思考"，建築情報雜誌社出版，1995。
11. 衛萬明、闕伯勳，「應用遺傳演算法於建築設計平面空間配置之研究」，《設計學報》，第五卷，第一期，1-18 頁，2000。

A Study of the Architectural Bubble Diagrams Allocation

Wann-Ming Wey* Kuang Pao* Fan-Wei Wu**

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

**Department of Architecture, Chaoyang University of Technology

(Date Received : February 17, 2004 ; Date Accepted : June 1, 2004)

Abstract

This paper focuses on developing a genetic algorithm (GA) to build a computer aided architecture design tool. 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 computer aided architecture design 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 housing case studies in the real world of their spatial allocation existing in architecture design plan. The second one is to study the feasibility of applying GA technique to computer aided architecture design. The third one is to build an appropriate system for the allocation of an architectural bubble diagrams. And finally, the fourth aspect of this research is to adopt Evolver[®] program plugged in Microsoft Excel[®] built in the computer aided architecture design 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, Architecture Design Method, Bubble Diagram, Computer Aided Architecture Design