空間混合度之準碎形指標

A Semi-fractal Indicator for Spatial Complexity Measurement

doi:10.6154/JBP.1991.6.002

建築與城鄉研究學報, (6), 1991

Journal of Building and Planning, (6), 1991

作者/Author： 林峰田(Feng-Tyan Lin)

頁數/Page： 9-17

出版日期/Publication Date：1991/09

（國立臺灣大學建築與城鄉研究學報）
第六期　民國八十年九月　學術論著　第 9 頁～17 頁
JOURNAL OF BUILDING AND PLANNING NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY
NUMBER 6, SEP. 1991, RESEARCH, pp.9～17

空間混合度之準碎形指標

林峰田*

A Semi-fractal Indicator for Spatial Complexity Measurement

by

Feng-Tyan Lin*

摘　要

都市土地的混合使用，是一種準碎形現象。是故，本研究將碎形理論加以擴展，以適合準碎形結構，並應用做爲都市空間混合度的衡量指標，同時可以顯示不同尺度下的都市空間結構的變化。除了理論方法的推導外，本文並以高雄市內惟埤地區，進行實例研究。

ABSTRACT

Since the pattern of urban land use has the property of semi-fractal structure, this paper employs the semi-fractal dimension as an indicator to measure the spatial complexity.

Furthermore, this method is able to reveal the change of urban structures among different scales. In addition to the derivation of theoretical work, a case study in the Kaohsinug area also show the high potentiality of this method.

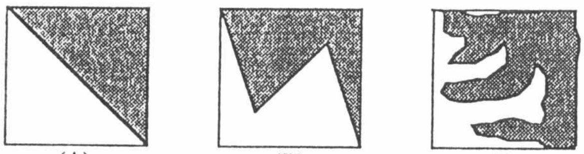
*國立台灣大學建築與城鄉研究所副教授

*Associate Professor, Graduate Institute of Building and Planning, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, Republic of China.

一、問題與定義

在都市空間裡存在著許許多多的活動，呈現著相當混雜的情形。於是乎，找尋一種可以衡量其混合度的指標，便成了研究者所關心的課題之一。

最簡單也是最常見的方法，是利用其面積比來做爲衡量混合度的指標。然而面積法無法反映出相同面積比但不同空間形狀交錯情形的混合狀況。例如圖一的(A)、(B)、(C)，它們的面積比相同，但是空間混合度卻是不相同的，因爲空間混合度不只包含了量體（面積）的觀念，也包括了形狀的觀念。另一種衡量空間混合度的方法，可稱之爲“相鄰活動衡量法”（陳亮全，1989）此一方法恰與面積比例法互補，亦即，它不考慮每一活動之面積大小，而是衡量各個活動之間的空間相位（topology）關係。當衡量之對象的各種活動的量體均十分接近時，此一方法十分簡潔有效，但當各種活動之量體差異很大時，便不適用。



圖一：三種等面積比，不同混合度之空間結構

本研究提出準碎形（semi-fractal）的觀念，並用之於衡量空間混合度。準碎形的觀念是由碎形（fractal）結構的觀念衍化而來的。碎形結構指的是山川雲霧等自然界的物體結構。在都市空間裡，除了這些自然構件外，也包含了道路、街廓等人爲的構件。這種相互混雜的結構，吾人稱之爲準碎形結構。碎形結構的理論，在 1975 年由 Mandelbrot 提出（Mandelbrot, 1983），在 1987 年，Batty 及 Longley 將之應用於度量都市周界的問題上（Batty, 1987），本研究則是進一步地將他們的觀念擴展應用到都市土地使用混合的準碎形結構上。

在進一步探討都市空間之準碎形結構之前，有二個假設條件必須加以界定清楚，以利後續之討論。第一個假設是，所有的土地使用都是平面的；第二個假設是，各活動所占有的次空間界線，是清楚的，而非模糊的。

第一個假設對於大部分的都市而言，是相當適合的，因爲大部份的都市計畫圖或者是土地利用現況圖所表現的，亦均是平面式的。至於某些高强度發展的市中心而言，各種活動呈現了立體式的混合現象。但是，對於混合度的指標而言，推廣至三度空間的衡量方法，通常並不是一件難事。所以，第一個假設條件，只是爲了方便討論，它對理論本身並不構成一種限制，仍然具有其一般性。

第二個假設也被實務界及絕大部分的研究工作所採用。以都市計畫圖爲例，各種土地使用分區之間的界線是十分明確的，並沒有混淆的地方。在此，吾人必須順便釐清「混合」此一詞彙在本文的用法。在某些都市計畫圖中，可能出現「住宅區」及「住商混合區」二種土地使用分區。此時，吾人係把「住商混合區」視爲“一”種有別於「住宅區」的土地使用型態。是故『「住宅區」與「住商混合區」的混合度』與『「住商混合區」內部的混合度』是二個不同的概念

在實際的觀察中，第二個假設難免武斷了些。各種土地使用之間的界線，經常是模糊、高度混雜的。然而，爲了方便討論碎形衡量方法的觀念，本文仍然做了此一（邊界明確）的假設。至於第二個假設的解決，必須再引進模糊集合理論（Fuzzy Set Theory），並且就邊界實具更高度混合的現象做另一層次的探討。此一工作，有待未來更進一步的研究。

本文的結構如下：第二節，吾人將先回顧 Mandelbrot、Batty 和 Longley 等人的研究成果。第三節，探討準碎形結構。第四節，吾人提出準碎形結構之等步演算法，以做爲其衡量指標。第五節，吾人以位於高雄市鼓山地區之一都市計畫地區爲範圍，做實例之探討。從這些過程當中，我們可以看出準碎形指標，不只可以用來衡量土地使用之混合度，也可用來顯示都市空間結構之變化，亦符合了亞歷山大在“建築的永恆之道”（Alexander, 1979）一書中，所强調的“演化”的觀念。

二、碎形理論

傳統的歐幾里得與李曼幾何，對於規則形狀的平面或曲面的描述或度量，有其獨到之處。但是，當我們放眼觀察自然界的時候，卻可以輕易的發現到，有太多事物的形狀，甚至其本質都是不規則的。例如，海岸線、山稜線、樹形、雲朵、等高線……等等，均呈現了不規則形狀的特性。雖然吾人仍然可以利用歐氏或李曼幾何，以趨近法，來描述它們的形體；但是，將會使整個工作變得十分複雜，而難以實際應用。

1975 年，Mandelbrot 提出了碎形（FRACTAL）的觀念（Mandelbrot, 1983）。他認爲不論是在空間尺度、方向、形狀、或本質上，如具有“自我相似”（self-similar）的性質者，均可稱之爲具有碎形的特性。以海岸線爲例，在小比例尺的圖上，海岸線是彎彎曲曲的；截取其中一段，在較大比例尺的圖上來看，海岸線亦仍是彎彎曲的。如是反復，在不同比例尺下，海岸線均具此自我相似的形

狀特性（只是其間對形狀的精粗描述程度不同），是故，海岸線具有碎形的特性。

都市空間結構亦復如是。在小比例尺圖上，都市可能只是一個點或者一個小平面。隨著比例尺的增大，都市邊緣的形狀，越來越突顯，各種土地使用的分類，也越來越細緻。在較小比例尺中被簡化的部分，在較大比例尺的圖裡，都會被進一步較清楚的描繪出來。是故，都市空間的結構，是具有碎形現象的。

碎形理論在數學上，與回饋方程組（feedback systems）有相當密切的關係。以人口預測所常使用的羅吉模式（Logistic Equation）爲例，$X_{n+1}=KX_n(1-X_n)$，當K值在3.5及4之間時，X_∞的值即產生碎形現象（Peterson, 1988）。在電腦繪圖方面，碎形的觀念也被引進，使得產生山、雲、海岸線、樹、等自然景物的方法，變得十分簡易（McGregor, 1984）。

除了對自然景物的描述，碎形理論有其獨到之處外；在理論方面，它也提出了「碎形維度」（Mandelbrot, 1983）的觀念。在傳統的幾何學裡，空間維度爲正整數的；但是，碎形理論認爲一條彎彎曲曲的折線的維度應介於直線（維度爲1）與平面（維度爲2）之間，同理，海綿體的維度應介於平面與立體空間（維度爲3）之間。亦即，碎形空間維度所談的並非物體所在之空間維度，而是碎形物體本身的維度。是故，碎形維度是含分數（fraction）的，而非正整數，這也是碎形理論（fractal）命名的緣由之一。衡量碎形維度的方法有許多種，其中最爲著名的是「豪斯多福法」（Hausdorff dimension）。

$$d=\log N/\log P \quad (1)$$

其中，d是豪斯多福維度，P是不同丈量尺之長度比，N是不同丈量尺所量得之丈量數之比。碎形維度的觀念已被應用於衡量材料表面的粗糙度（roughness）。本文則將應用該觀念於衡量土地利用的混合度（degree of mixture），有關的理論基礎及實例檢証將於後面各節詳論之。

碎形理論應用於都市形態學（urban morphology）的例子尚不多見。其中，與本研究較相關的有Batty及Longley在最近探討的數個小城鎮的碎形現象（Batty1987, 1988）。在1987年的文章裡，他們先將地圖數值化（digitized）然後檢視了「等步法」（structured walk）與「步進法」（equi-paced polygon method）在不同的弦長（chord length）、起量點（starting point）之下，所度量出來的碎形維度的統計關係。根據他們的計算，Cardiff鎮周界的碎形維度在1.23到1.29之間。這個值比1961年Richardson以類似方法丈量德國、西班牙、葡萄牙國境所得之值（1.14到1.15之間）還高。這意味著在這二案例中，城鎮周界的形狀比國界複雜。此外，Richardson, Shelby及Mandelbrot等人，分別地提出了對英國海岸線碎形維度的計算成果，其值大約在1.25到1.267之間。可見Cardiff鎮周界與英國海岸線的複雜度接近，但是Cardiff的變異數較大。

在1988年的研究裡，Batty和Longley進一步地分析了英國的一個小城鎮Swindon的五類土地使用分區碎形維度。他們探討了在不同度量方法、弦長下，各類土地使用面積與周長的關係。從這個實例當中，他們把住宅區、工商區、交通用地、學校用地、公園綠地分別抽取出來，發現住宅區及公園綠地的周界形狀較其他三種爲複雜，同時各類土地使用分區面積之對數與周長之對數，呈線性之正相關。此外，弦長之對數與周長之對數間，呈負相關。這意味著比例尺之大小會影響到碎形維度的變化，此一現象稱之爲比例尺效果（scale-effect）。比例尺效果事實上打破了碎形理論的原先假說——碎形維度在任何比例尺之下，均保持不變，更精確的說，此一假說對於自然界之物體，如雲、海岸、山等，仍有其適用性，但是對於人造物則似應加以修正。在本文的後半段裡，我們可以進一步地觀察到，當人爲空間與自然空間混雜時，比例尺效果的現象愈明顯。

由於Batty和Longley將不同的土地使用分區抽取出來，分別分析，以致發生了不同使用種類之土地的共同邊界輸入二次，以及相鄰土地之間的空間關係無法分析的困難。此一問題也將在本文之中，加以改進，俾能進行空間形態分析。

三、準碎形結構

地圖可以被視爲一羣構件（objects）的組合。依其形狀，這些構件可被區分爲“點”、“線”、“線狀面”與“塊狀面”。另一方面，依其本質，又可分爲“自然構件”與“人造構件”。表一列出了一些例子。

必須注意的是，上表所列舉的例子是一種籠統的說法。實際上，隨著比例尺的變化，同一道路在大比例尺的圖上，是一線狀面，而在小比例尺上，則會變成線構件。同理，一棟房子在不同比例尺的圖上，可能是塊狀面或一個點而已！然而，在一定的比例尺圖面中，所有的構件是可以歸類成上述八大類的。

由於本文所關心的主題是混合度的衡量問題，而“點”構件在平面的混合度之觀念，相當於“密度”（density）的觀念；所以，在下文之中，我們可以不必再討論“點”構件的情形。

一般碎形理論討論的對象以自然景物爲主；至於人造之地景地物，常具歐氏幾何之特性，反而不在碎形理論討論之列。但是，如果我們稍加觀察都市空間的形態結構，

表一

	點	線	線狀面	塊狀面
自然構件	山頂	海岸線、等高線	河川	湖泊
人造構件	三角點、燈塔	管線	道路	住宅區

我們便可以發現它是準碎形結構（semi-fractal），亦即它兼具有碎形與歐氏幾何之特性。具體而言，準碎形結構有二個特性：有限遞迴性（finite recurrence）和不均勻性（unevenness）。由於這二種特性，準碎形結構有別於碎形結構，而有其特有的課題。

自似（self-similarity）之遞迴次數可能是有限的，稱之爲有限遞迴性。碎形結構之自似遞迴次數是無窮的；不論是海岸線或者山川隨著比例尺的加大，原本簡單的線條，會被較複雜的線條所取代，而且這種取代遞迴的次數是無止盡的。準碎形結構則與此不同，其遞迴次數可能是有限的。以住宅區爲例，在小比例尺的地圖上，它是一個多邊形，每一個邊均是一直線。當比例尺漸大，構成每一邊之住宅羣逐漸明顯，原先的直線被一段折線（建物輪廓）所取代。這種多邊形的直線邊被折線所取代的碎形現象，一直持續下去，一直到住宅的牆面線浮現爲止。由於牆面線乃是最基本的人爲構件，即使再大的比例尺，也不會被折線所取代。自此，碎形現象停止，而代之以歐氏幾何的特性，亦即不論比例尺大小，直線永遠是直線。

不均勻現象出現在同一構件之不同部分，也出現在不同構件之間。所謂不均勻性，係指各個構件之有限遞迴次數，各不相同，在空間上呈現不均勻分佈。

例如，在相當小比例尺的圖中，道路的直線特性已經顯現；而住宅羣的幾何特性要在大比例尺之圖中才顯現；至於湖泊山川等自然地物則一直保持著碎形特性。

衡量碎形結構的方法有許多種（Batty 88），其中「等步法」（structured walk）仍然可應用於準碎形結構之分析上。所謂等步法即是以圓規，沿著構件之邊緣，以等距的方式步進。設每次步進之距離爲 d，而共步進了N次，則構件之周長 $P=d\times N$。一般而言，繞著構件步進一周，並不會剛好回到起始點，而一般的處理方式則是將最後不滿一步之部份捨去。這種方法最早先被 Richardson 在 1961 年使用，並就每步距離 d 與周長 P 分別取其對數值，繪製關係圖，這些關係圖特稱爲李查森圖（Richardson plots）。李查森圖蘊含著下列關係式：

$$\ln P=\ln\lambda+g(D)\ln d \qquad (2)$$

其中P，d 分別爲周長及單位步進距離外，λ 是一常數項，g（D）即是碎形維度（fractal dimension）。Richardson 當初係以手算的方式，推導此一關係式；後來，Batty 和 Longley 以電腦程式進行相同的演算，並以統計迴歸的方法，驗証 Cardiff 及 Swindon 二個城鎮的周界碎形結構（Batty 87,88）。

Batty 等人係先將地圖數位化（digitized），然後再以電腦程式模擬步進的過程。由於將一條連續的曲線加以數化之後，在電腦上該曲線便被由樣本點所取代，然後，依據這些樣本點，以直線或高次方程曲線來近似原曲線。是故，樣本點的密度，亦即解析度（degree of resolution），決定了近似度（degree of approximation）。理論上，解析度可以無限增加，以提高近似模擬效果；另一方面，Batty 等人所選取的二個案例，曲線的特性較爲明顯，所以雖然他們也提及解析度會響分析的結果，但是並未構成嚴重的問題。

在準碎形結構裡，不僅有複雜的碎形曲線，也有簡單的幾何直線。一旦要利用電腦分析，亦都要加以數化，所以前述的等步法，也可以適用於準碎形結構上。但是它的關係與闡釋，便有所不同。根據定義，碎形結構是無窮遞迴而且具均勻性的。這意味著其單位步進距離 d 及周長P之間有如式(2)的關係，可以用統計迴歸分析來求得。相反的，準碎形結構雖然仍可以利用等步法來進行度量的工作，但其單位步進距離 d 及周長P之間，已不再具有簡單的直線或曲線迴歸關係：它們所顯示的是一種在不同尺度之下的結構變化關係。對於一個構件或構件組（一羣構件的組合），其任二個（不必相鄰）樣本點之間的最大距離，稱之爲該構件（組）的直徑（diameter）。反之，相鄰樣本點之間的最小間距，稱之爲解析度（resolution）。Batty 和 Longley 進行他們的分析工作時，係將單位步進距離由最小樣本間距逐次倍增至構件之半徑，然後進行迴歸分析。如前所述，準碎形結構是不適合做迴歸分析的，我們强調的是將各相鄰步進分析的成果，加次比對，以做爲結構變化之判斷依據。設 d_i 是第 i 次等步分析的單位步進距離，且 $d_{i+1}=1/2d_i$，而 P_i 與 P_{i+1} 分別是它們所相應的周界長。則此二相鄰步進分析之準碎形維度爲

$$D_i=\log(d_i/d_{i+1})/\log(P_{i+1}/P_i) \qquad (3)$$

準碎形維度不只代表了構件（組）在不同尺度 d_i 之下的複雜度，在都市土地使用之空間結構分析上，也可以被用做混合度的指標。

四、準碎形等步度量演算法

Batty 和 Longley 的研究工作，主要係以周界爲對象。他們測量了 Cardiff 鎮周界的碎形維度；即使在分析 Swindon 的土地使用時，也是分別測量各土地使用區域的周長。歸納而言，Batty 和 Longley 對土地使用之碎形衡量，具有以下二個基本假設：

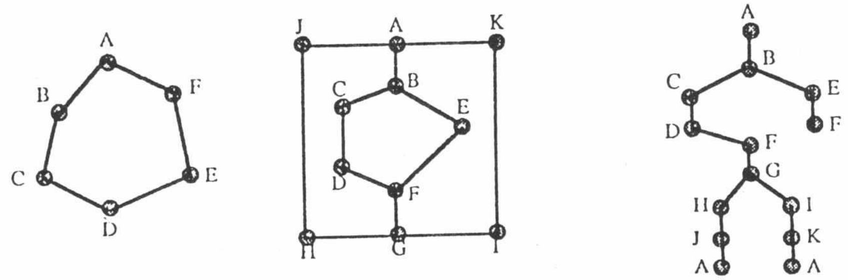
第一個假設是周界乃不規則的曲線，它們可以用極爲緊密的折線點來趨近之，並加以數化。然而，此一假設是不切合實際的。在都市地區，我們可以觀察到許多的街道、使用分區、或行政界線是直線形的。這些直線（或折線）形的人造構件，用稀疏的折線點，即可加以描述。職是之故，只有等步法仍可應用於準碎形結構上。至於步進法，即不適用。

第二個假設是複雜的土地使用，可以被分別抽離出來，加以衡量。此一假設所遭遇的問題，Batty 和 Longley 也指出來了。使用此一方法會將不同使用之用地的共邊重複輸入二次，以及相鄰土地之間的空間關係，無法衡量。爲了避免此一困難，我們必須採用整體衡量的策略。亦即，不將不同土地使用的地區抽離出來，而是同時度量所有的邊界。

整體衡量法與周界衡量法最大的區別是，在衡量的過程中，有無“岔線”的問題。圖二(A)是一個周界衡量的問題，從任一A點量起，一直回到A點的過程中，均是沿著一條邊界，中間沒有岔線。

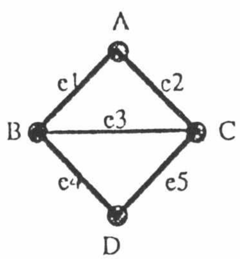
當吾人不只度量周界，而是連其內部之結構也必須考慮時，原本以圖（graph）來描述的整體構件，便必須被轉換成樹狀結構（tree structure）來進行丈量的工作，以避免重複計算某些邊界，並且可以有效地紀錄尚未度量之線段，以確保所有線段，均被度量到。例如圖二(B)的圖形結構，在轉換成圖二(C)的樹狀結構之後，便可利用縱向優先（depth first）的策略，依序度量 ABCDFGHJA, GIKA, BEF 等線段，而且不致讓 AB 及 FG 線段被重複度量。

此外，利用等步法衡量碎形結構與準碎形結構時，原理是相同的，但是技術上卻有所不同。首先，吾人必須利用點線矩陣（incidence matrix）的方法來描述圖形結構，同時必須再加上一指標 visited 來顯示該線段是否丈量過。例如，圖三（A）的圖形結構，其點線矩陣如圖三(B)所示，其中 visited 一列將用來標示線段 ℓi 是否已經丈量。準碎形結構之等步度量演算法主要內容概略如下：



(A)　(B)　(C)

圖二



(A)

edge / vertex	e1	e2	e3	e4	e5
visited					
A	1	1	0	0	0
B	1	0	1	1	0
C	0	1	1	0	1
D	0	0	0	1	1

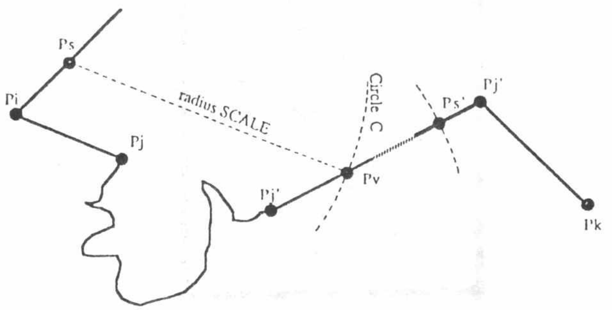
(B)

圖三

```
INPUT:   incidence matrix of being measured graph
OUTPUT:  number of measurements for each scale
PROCEDURE:
         float scale;  /* magnitude of scale */
         integer count; /* number of measurements */

         /* main program */
         WHILE (true)
               count = 0;
               clear visited-flag for all the edges;
               read scale;
               FOR i = 1 TO n DO
                       /*n is the number of points */
                 FOR each vertex Pj adjacent to Pi DO
                       measure(Pi, Pi, Pj);
                 END_FOR;
               END_FOR;
               print count;
         END_WHILE;

         /* subprogram measure */
         measure(Ps, Pi, Pj)
         {
           IF edge(Pi,Pj) not visted  THEN
               search(Ps, Pi, Pj, found);
               FOR each Pk adjacent to Pj DO
                       measure(Ps, Pj, Pk);
               END_FOR;
           END_IF;
         }


         /* subprogram search */
         search(Ps, Pi, Pj, found)
         {
           found = false;
           IF length(Ps,Pj) > scale THEN
               found = true;
               determine the intersection Pv of line segment PiPj,
               and circle C whose center is Ps and radius is scale.
               count = count + 1 + int(length(Pv,Pj)/scale);
               determine new Ps;
               mark edge(Pi,Pj) visited;
           ELSE
               mark edge(Pi,Pj) visited;
               FOR each vertex Pk adjancent to Pj DO
                       IF edge(Pj,Pk) not visited THEN
                               search(Ps,Pj,Pk,found);
                       END_IF;
                       IF found THEN GOTO 1;
               END_FOR;
               1:
           END_IF;
         }
```

等步度量演算法的輸入資料爲準碎形結構的點線矩陣。其輸出結果爲各度量單位長度（以變數 scale 示之）下的度量數（以變數 count 示之）。其演算法主要由一個主程式及兩個副程式所組成。在主程式中，首先重設（reset）度量數 count 爲 0，並清除 visited 指標。然後讀入度量單位長度 scale，接著依序呼叫副程式 measure 以度量準碎形結構，最後輸出度量數成果。此一整個程序可以一再重覆執行，以計算出不同單位長度下的度量數。

副程式 measure 的輸入變數爲 Ps, Pi, Pj，如圖四所示，分別代表上次度量暫停之點及欲丈量之緊臨線段。首先，副程式查核線段 PiPj 是否已經度量過。如已度量，則放棄，不再重複度量，否則呼叫副程式 search 找尋以 Ps 爲圓心，半徑爲 scale 之圓所交之線段 Pi′Pj′，其交點爲 Pv，接著，副程式 search 在 Pi′Pj′ 線段上，以 scale 之長度步進，當殘餘的 Pi′Pj′ 長度不滿 scale 時，步進即暫停，令其暫停點爲 Ps′。此時，副程式 search 除了累加度量數 count 外，並將 Pi′, Pj′, Ps′ 分別重設爲 Pi,Pj,Ps 然後傳回副程式 measure，接著副程式 measure 繼續對連接 Pj′ 點之所有 Pk 點做遞迴式（recursive）的丈量，直到全部度量完畢爲止。



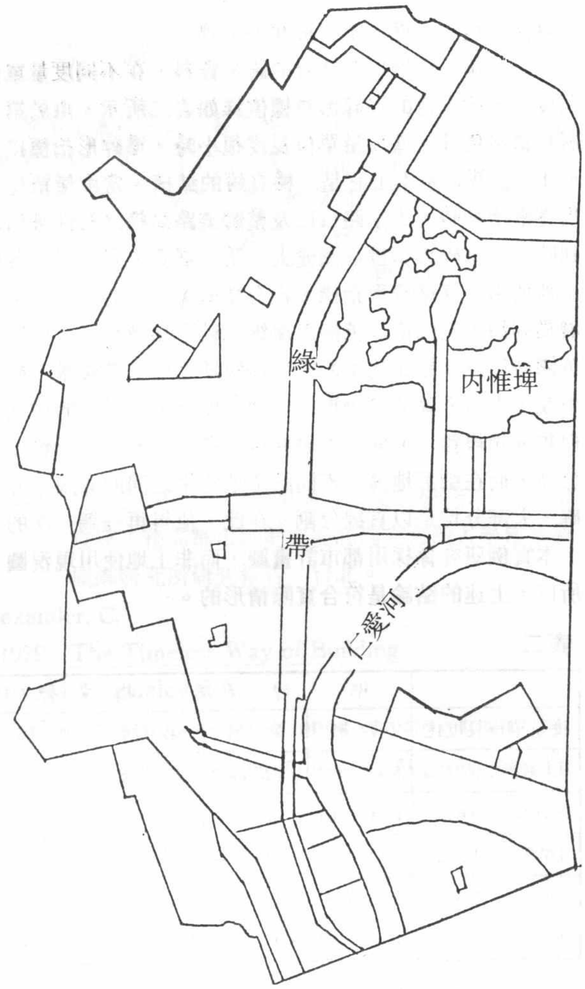
圖四

此一演算法計算度量數所需之時間爲 O（L・｜E｜/S），其中｜E｜爲線段之個數，L 爲線段之最大長度，S 爲度量單位長度，由於實務上，線段之長度可以假設均在某一固定之合理範圍內，故計算度量數之時間可視爲 O（｜E｜/S）。

五、實例研究

本節吾人以位於高雄市鼓山東側內惟埤附近之都市地區（如圖五）爲實例研究。本研究地區顯然是一準碎形結構。內惟埤是自然構件，爲典型的碎形結構。流過本區右下方，經人工整治的仁愛河，以及街廓、道路、公共設施用地等，則是人爲構件。這些自然與人爲的構件混雜地組成了準碎形結構。

本研究區之土地使用混合情形，係以高雄市政府工務局繪製之二萬分之一都市計畫參考圖爲基本底圖。是則，本地區之圖幅大小寬約爲 13 公分，高約爲 20 公分，經過點圖板加以數化後，再依上一節所敘之準碎形度量演算法加以度量。其度量單位長度分別爲 5 公分，2.5 公分，1.25 公分，0.625 公分，0.3125 公分，0.15625 公分。這六個單位長度之間具有減半的關係，這也是 Batty 和 Longley 採用的方法，主要是簡易，且十分細微的長度對電腦而言，也毫無困難。



圖五

在數化資料的過程中，吾人依構件特性之不同，將圖形分爲三層（layer）貯存，以便分別比較。由於道路是一種相當明顯而且特殊的人爲構件，所以數化成第一層，內惟湖係自然構件，單獨數化成第二層。其餘的，包括不同土地使用間之界線，爲第三層。在各層之間，存在著共邊的現象，亦即，同一境界線，會出現在不同層的資料上。但是，當這些不同層的資料被併合成在同一圖時，這些共邊的重複線段，必須加以消除，而且依據準碎形度量

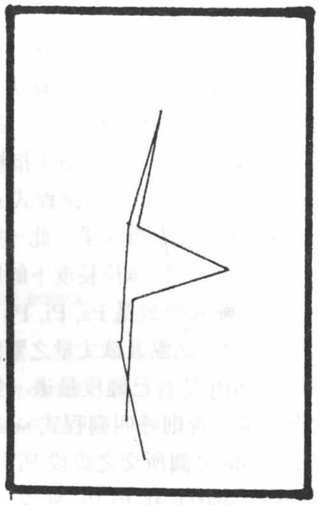
演算法，這些共邊，不會被重複計算。

這三個不同層以及總合的圖形資料，在不同度量單位長度下，所求得的準碎形指標值詳如表二所示。由於第一層爲道路構件。當度量單位長度很小時，準碎形指標接近於 1，也就是基本上它是一種直線的結構。當度量單位長度逐漸增加時，十字路口以及整體道路結構之特性被偵測到時，其準碎形指標逐漸變大。第三層爲人爲分割的各種土地使用，其準碎形指標，也有類似第一層的變化。第二層爲湖泊，它的值比英國海岸線之碎形指標小，故可以說英國海岸線之變化比本研究區内惟湖之地形還複雜。總的來說，本研究區的準碎形結構隨著度量單位長度的增加，而越來越複雜。亦即，本研究區整體的土地使用混雜度十分高，而在細部地區，不同的土地使用之間的界線十分明確，大部分均是以直線分割。在此，值得再强調一次的是，本實例研究係採用都市計畫圖，而非土地使用現況圖。所以，上述的結論是符合實際情形的。

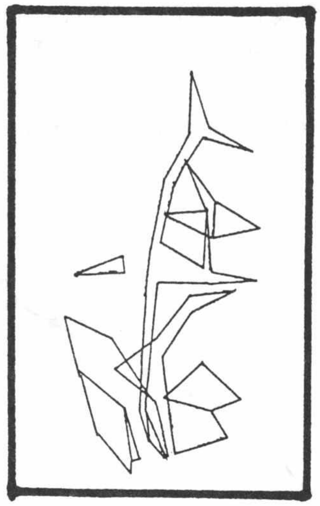
表二

	準碎形指標			
度量單位長度比	第一層	第二層	第三層	總圖
0.15625 ：0.3125	1.006484	1.12553O8	1.0145482	1.0573027
0.3125 ：0.625	1.0130561	1.1764976	1.243669	1.1658388
0.625 ：1.25	1.1375035	1.1454304	1.1584293	1.1844245
1.25 ：2.5	1.2515387	1.4594315	1.6374298	1.3339007
2.5 ：5.0	1.5849624	2.0	2.5849624	1.7776075

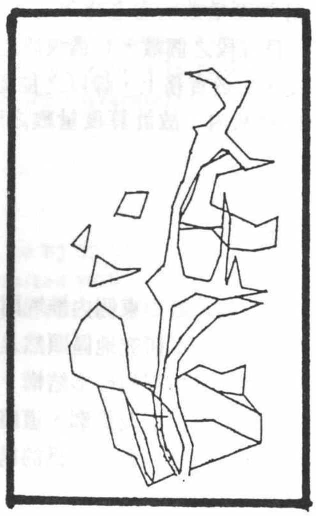
不同度量單位長度對應著不同尺度的都市結構。此一論點用圖來觀察時，可以更清楚。圖六所示的是 5.0 公分單位長度的度量軌跡。在此尺度下，中央綠帶及其右支，被明顯地勾勒了出來，雖然有些變形，但是吾人可以瞭解到中央綠帶是整體地區的骨架。圖七至圖十一，分別顯示了越來越細緻的結構。其間的變化，主要有兩點。第一，原有的構件，越來越細緻。例如，中央綠帶的寬度、分支越來越明顯，越來越與實際相符。第二，新增的構件，係隨著其大小而逐漸出現。在圖六，僅有中央綠帶。隨著度量單位長度的細緻化，内惟湖及幾個大土地使用分區，逐漸出現。最後，極細緻的社區活動中心、市場，也逐漸成形，此一現象，不只符合了主要計畫與細部計畫尺度上的差異，也符合了克里斯多夫・亞歷山大在“建築的永恆之道”（Alexander 1979）一書中，所一再强調的“演化”（evolution）的觀念。在這個實例當中，我們也看出了這些都市計畫及建築的觀念，是可以用準碎形的觀念來做更爲有系統、更爲細緻的探討。尤其是，利用電腦可以做任意尺度下的觀察，而排除其它尺度的干擾，這是人類直觀所難以達到的境地。



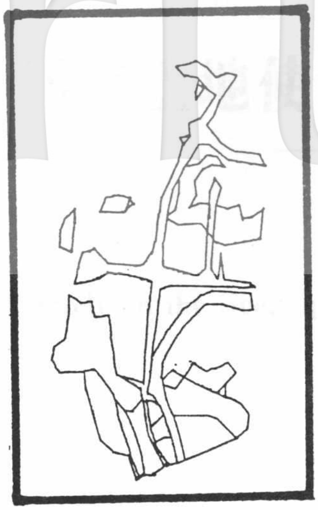
圖六 （度量單位長度 5cm）



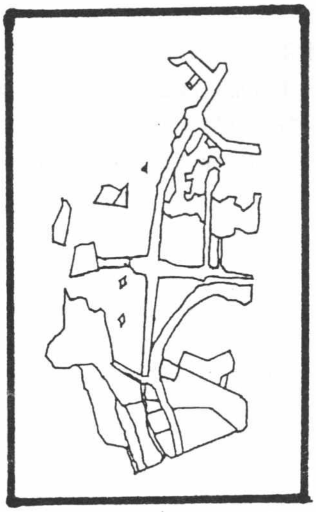
圖七 （度量單位長度 2.5cm）



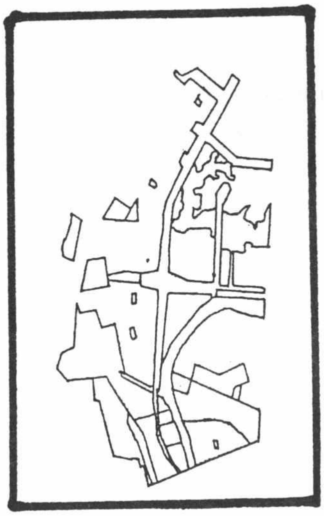
圖八 （度量單位長度 1.25cm）



圖九　（度量單位長度　0.625cm）



圖十　（度量單位長度　0.3125cm）



圖十一　（度量單位長度　0.15625cm）

六、結　論

都市土地使用是一種準碎形結構，利用等步法所度量出來的指標，可以用做混合度的衡量指標，同時也可以顯示出不同尺度下，整體空間結構及細部空間結構之間的變化。在高雄市鼓山地區的實例研究裡，更可以清楚地看出準碎形理論在空間混合度的研究裡，確可提供一新的方向。

參考文獻

陳亮全

1989　〈台北市土地混合使用適宜尺度之研究〉，台北市政府工務局都市計劃處委託國立台灣大學建築與城鄉研究所研究報告，台北。

Alexander, C.

1979　The Timeless Way of Building.

Batty, M.& Longley P.A.

1987　"Fractal-based description of urban form". Environment and planning B： planning and design, 14：123–134.

1988　"The morphology of urban land use", Environment and planning B： planning and design. 15：461–488.

Mandelbrot B.B.

1983　The Fractal Geometry of Nature. W. H. Freeman and Company, New York, ISBN 0-7167-1186-9.

McGregor J. & Watt A.

1984　The Art of Microcomputer Graphics. Addison-Wesley Publishers Limited, Taipei, Taiwan.

Peterson I.

1988　The Mathematical Tourist. U.S.A. ISBN 0-7167-1953-3.