

A wide-angle photograph of a city skyline at sunset. The sky is a mix of orange, yellow, and blue. In the foreground, there are several multi-story buildings, some with fire escapes. The city extends into the distance with many more buildings. A large white number '06' is overlaid in the center of the image.

06

空间格局

本章结构

空间格局 (spatial pattern)

表征空间实体在区域中的分布和配置，反映不同空间实体间相互作用关系的发生与发展，对于把握区域发展的规律具有重要作用。

点格局

Ripley's K 函数

O-ring 函数

标准差椭圆

空间句法

凸空间

空间的连接关系

空间关系的拓扑表达

空间句法形态变量

景观格局

景观生态学理论

景观格局分析

景观格局指数

点格局

函数分析法	Ripley's K函数	O-ring(t)函数
原理	考量样方（点图）内以某点为圆心，以一定长度r为半径的圆内的个体数目	在Ripley's K函数的基础上演变而来，由圆环代替圆来进行计算，分离了特定距离的等级，消除了尺度上的累积效应
计算方法	$K(r) = \frac{A}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{w_{ij}} I_r(u_{ij})(i \neq j)$	$O_{12}^w(t) = \frac{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_i} Poi_2(R_{1,i}^w(t))}{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_i} Area(R_{1,i}^w(t))}$
其他指标	$L(r) = \sqrt{\frac{K(r)}{\pi}} - r \quad \Delta(r) = K(r) - \pi r^2$	

01

如果特定距离的 K 观测值大于 K 预期值，则与该距离（分析尺度）的随机分布相比，该分布的聚类程度更高。

02

如果 K 观测值小于 K 预期值，则与该距离的随机分布相比，该分布的离散程度更高。

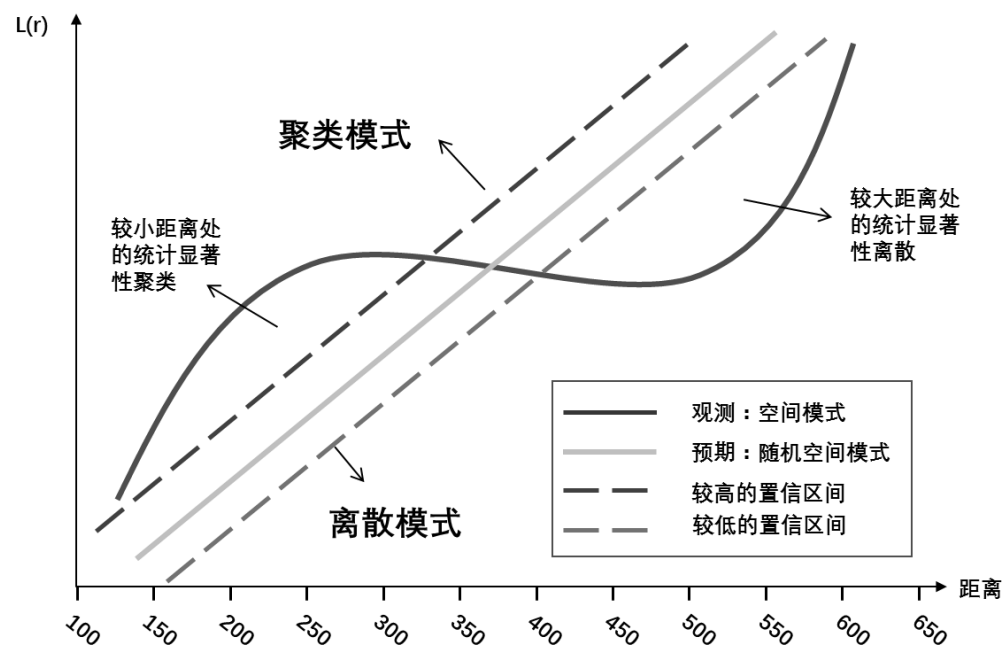
03

如果 K 观测值大于较高的置信区间值，则该距离的空间聚类具有显著性。

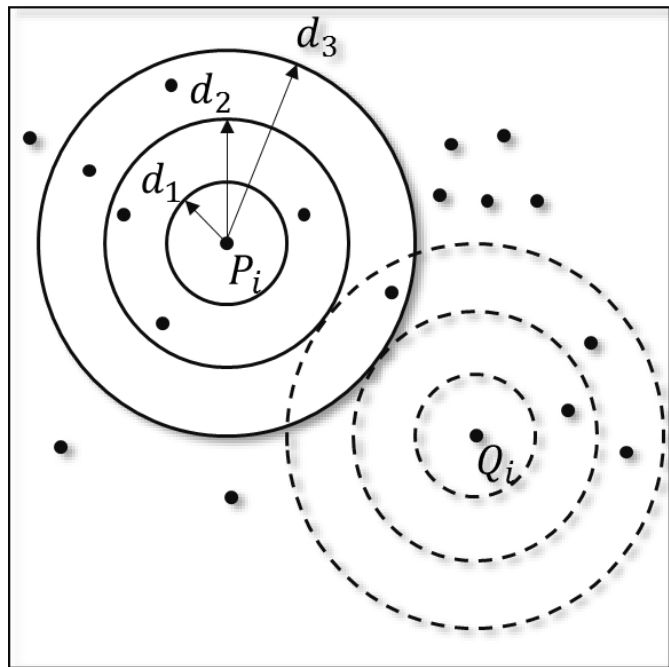
04

如果 K 观测值小于较低的置信区间值，则该距离的空间离散具有显著性。

未加权K函数结果



K函数计算



Ripley' s K函数包括了以某一距离（尺度）为半径的圆中的所有信息，随着距离（尺度）的增大，大距离（尺度）上的分析结果就包括了小距离（尺度）的信息，这种累积性的计算混淆了大尺度与小尺度的效应。

Step 1

在给定的初始半径 r 的情况下，分别以数据集中的每一个点实体 P_i 为中心画圆，计算数据集中落入该圆的点的个数，记为 $N(P_i)$ ；对 $N(P_i)$ 求和后除以点的总个数 n ，然后除以数据在研究区域内的平均分布密度（ n 除以研究区域的面积），即为 $K(r)$ 。

Step 2

分别实施 X 对 t_j 的回归以及 Y 对 u_j 的回归。重复进行成分提取，直到能达到一个较满意的精度为止。

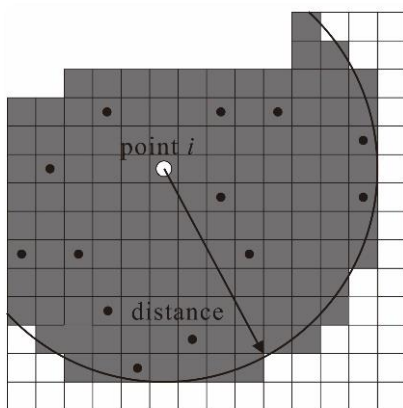
O-ring(t)函数

$$O_{12}^w(t) = \frac{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_i} Poi_2(R_{1,i}^w(t))}{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_i} Area(R_{1,i}^w(t))}$$

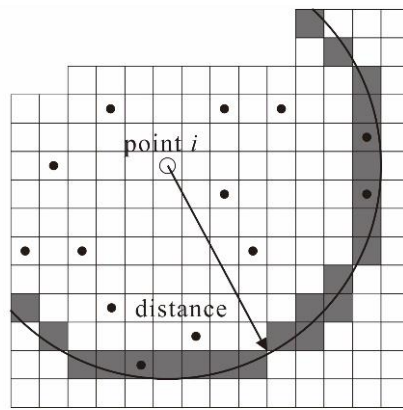
$$Poi_2(R_{1,i}^w(t)) = \sum_x \sum_y S(x, y) P_2(x, y) I_t^w(x_i, y_i, x, y)$$

$$Area(R_{1,i}^w(t)) = z^2 \sum_{all \cdot x} \sum_{all \cdot y} S(x, y) I_t^w(x_i, y_i, x, y)$$

$$I_t^w(x_i, y_i, x, y) = \begin{cases} 1, & \text{当 } t-w/2 \leq \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$



Ripley's K函数原理示意图



O-ring函数原理示意图

O-ring函数因采用圆环来代替Ripley's K函数中的圆，从而可以有效消除尺度的累积效应。同时，该方法具有更高的灵敏性。

测量一组点或区域的趋势的一种常用方法便是分别计算x和y方向上的标准距离。这两个测量值可用于定义一个包含所有要素分布的椭圆的轴线。根据实体的位置点或受与要素关联的某个属性值影响的位置点来计算标准差椭圆。

圆心

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}$$

$$SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n}}$$

旋转角度

$$\tan \theta = \frac{A + B}{C}$$

$$A = \left(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2 \right)$$

$$B = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2 \right)^2 + 4 \left(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i \right)^2}$$

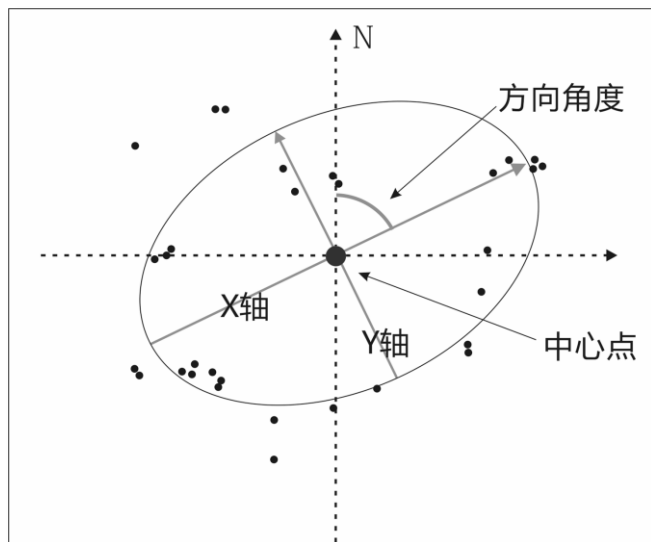
$$C = 2 \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i$$

x轴与y轴的标准差

$$\sigma^x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{x}_i \cos \theta - \tilde{y}_i \sin \theta)^2}{n}}$$

$$\sigma^y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{x}_i \sin \theta - \tilde{y}_i \cos \theta)^2}{n}}$$

点格局



标准差椭圆模型

长半轴



数据分布的方向

短半轴



数据分布的范围

长短半轴的值差距（扁率） \uparrow



数据方向性 \uparrow

短半轴 \downarrow



数据向心力 \uparrow

- 在地图上标示一组犯罪行为的分布趋势可以确定该行为与特定要素（一系列酒吧或餐馆、某条特定街道等）的关系。

- 在地图上标示地下水井样本的特定污染可以指示毒素的扩散方式，这在部署减灾策略时非常有用。

- 对各个种族或民族所在区域的椭圆的大小、形状和重叠部分进行比较可以提供与种族隔离或民族隔离相关的深入信息。

- 绘制一段时间内疾病爆发情况的椭圆可建立疾病传播的模型

点格局

点格局优缺点

优缺点

优点1 空间点格局方法最大限度地利用了点与点之间的距离信息，能够提供较为全面的**空间尺度信息**。

优点2 空间点格局分析法不仅可以对空间格局进行**定量描述**，也可以分析任意尺度上空间格局的**相互关系**，同时还能够分析空间实体的分布格局的**最大聚集强度**及其对应的**尺度**，为区域内空间格局的比较提供了方便。

由于点格局分析基于所有空间实体，对**数据量**要求较高。

缺点1

点格局分析对**空间内部**或各空间**实体间的差异**缺乏关注，在揭示区域内部空间实体的相互关系方面不够准确。

缺点2

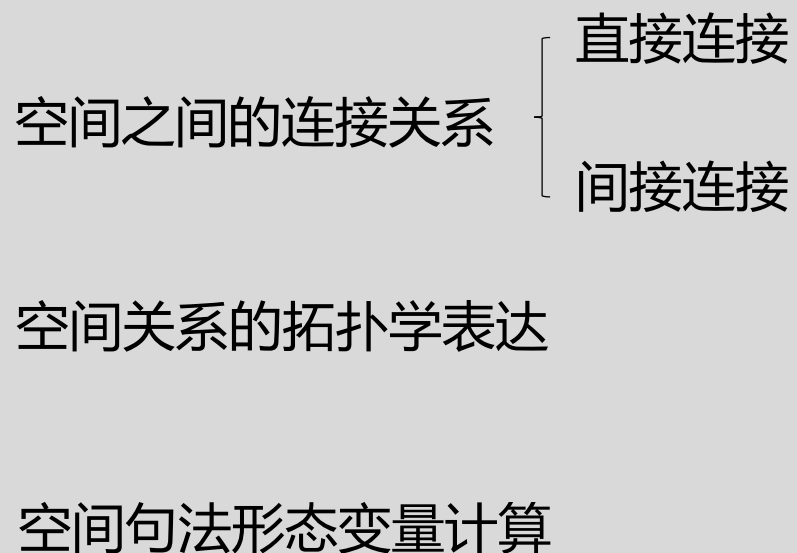
点格局方法对**空间异质性**的探测不敏感。

缺点3

空间句法

基本概念

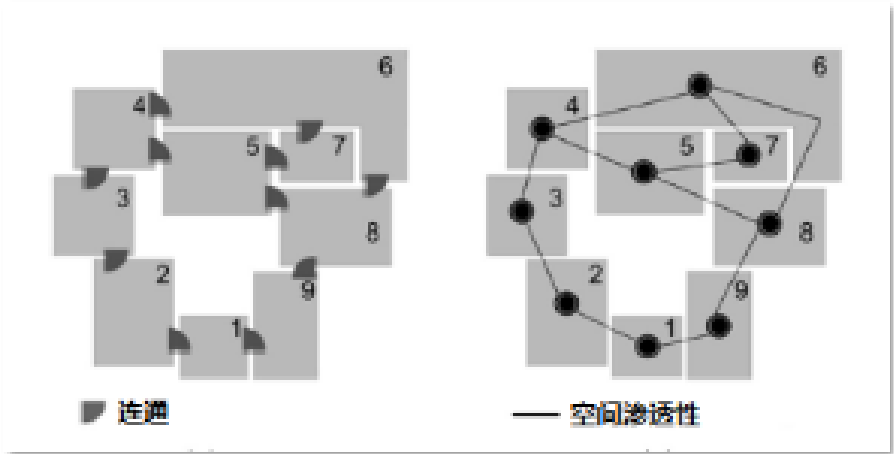
凸空间



空间句法(Space Syntax)是拓扑研究方法的深化。主要用中心度和连接度两各拓扑学的概念来量化分析网络的优化程度，并在拓扑研究基础上增加了人在空间中的实际活动和空间结构感受，以及对空间社会性的认识。

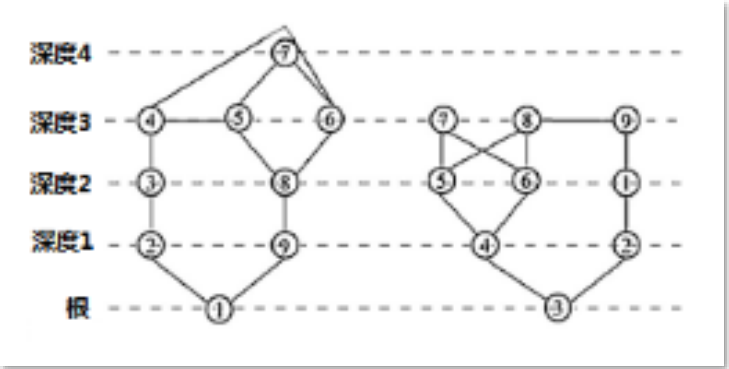
空间句法

空间关系的 拓扑学表达



结构图示例

空间渗透性图解



关系图解 (Justified graph)

形态指标

- 深度值(Depth)是基于J图的最基本的一个形态分析变量，它代表的是两空间/结点之间连接的最短距离/步数。
- 连接度(Connectivity)是和研究空间直接相连接的空间数目。
- 控制值(Control value)是连接度的优化，表征一个空间对与之相交空间的控制程度，反映一个空间对周围空间影响程度。
- 整合度 (Integration) 反映了一个空间单元到系统中其他空间的便捷程度，是空间句法可达性的一种测度。
- 空间智能度 (Spatial intelligence) 表述了空间局部与整体连接特征的相互关系。

连接度 (Connect)

连接度指标表示系统中与第*i*个空间相交的其他单元空间的数目

$$C_i = k$$

空间句法形态 变量计算

控制值 (Control)

控制值指标表征一个空间对与之相交空间的控制程度，反映一个空间对周围空间的影响程度

$$Ctrl_i = \sum_{j=1}^k \frac{1}{C_j}$$

深度值 (Depth)

深度值指标表征某一结点距其他所有结点的最短距离

总深度: $D_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$

平均深度: $MD_i = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij}}{n-1}$

全局集成度 (GInteg) 与局部集成度 (LInteg)

集成度指标反映了一个单元空间与系统中其他空间的集聚或离散程度

$$I_i = RA_i = \frac{2(MD_i - 1)}{n - 2}$$

$$I_i = RRA_i = \frac{RA_i}{D_m} \frac{2m \left(\log_2 \left(\frac{m+2}{3} - 1 \right) + 1 \right)}{(m-1)(m-2)} = \frac{m \left(\log_2 \left(\frac{m+2}{3} - 1 \right) + 1 \right)}{(m-1) |MD_i - 1|}$$

智能度 (R^2)

空间智能度 (Spatial intelligence) 表述了空间局部与整体连接特征的相互关系

$$R^2 = \frac{\left| \sum (C_i - \bar{C})(I_i - \bar{I}) \right|^2}{\sum (C_i - \bar{C})^2 \sum (I_i - \bar{I})^2}$$

空间句法形态
变量计算

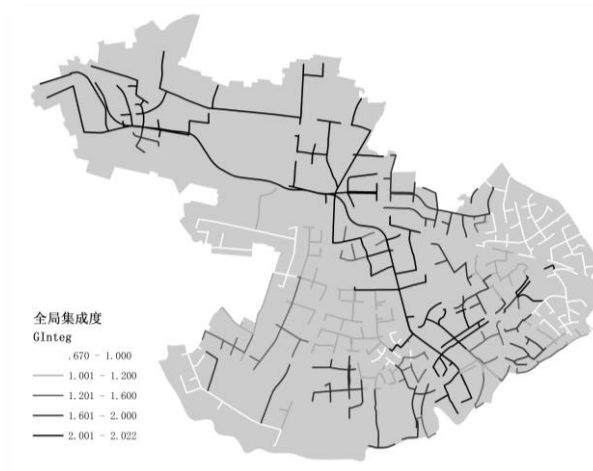
参 数 名称	计算公式	公式说明	参数含义
连 接 度	$C_i = k$	k 是与第 i 个结点直接相连的结点数	与一个空间单元直接连接的空间数目。空间连接度值越高,则表示空间渗透性越好
控 制 值	$Ctrl_i = \sum_{j=1}^k \frac{1}{C_j}$	k 是与第 i 个节点直接相连的节点数, j (j=1,2,3...k)是与结点 i 直接相连的结点, C _j 是第 j 个结点的连接值。	一个空间对与之相交的空间的控制程度
深 度 值	$D_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$	d _{ij} 是连接图上任何两点 i 和 j 之间的最短距离	表示某一结点距其他所有结点的最短距离

全 局 集 成 度	$I_i = RA_i = \frac{2(MD_i - 1)}{n - 2}$	MD _i 为平均深度值, n 为一个连接图的总结点数	表示该单元空间在整体系统中的可达便捷程度
局 部 集 成 度	$I_i = RRA_i = \frac{RA_i}{D_m} \cdot \frac{2m(\log_2(\frac{m+2}{3}) - 1) + 1}{(m-1)(m-2)} \cdot \frac{2[MD_i - 1]}{(m-2)}$ $= \frac{m(\log_2(\frac{m+2}{3}) - 1) + 1}{(m-1) MD_i - 1 }$		一个空间与其他几步之内的空间关系,修正不同数目轴线导致的集成度值的数值差异
空 间 智 能 度	$R^2 = \frac{ \sum (C_i - \bar{C})(I_i - \bar{I}) ^2}{\sum (C_i - \bar{C})^2 \sum (I_i - \bar{I})^2}$	\bar{C} 为所有单元空间连接值的均值, \bar{I} 为所有单元空间全局集成度的均值	是全局集成度和局部集成度的线性相关值。若局部中心和全局中心重合度高,说明这个空间是智能的,反之亦然

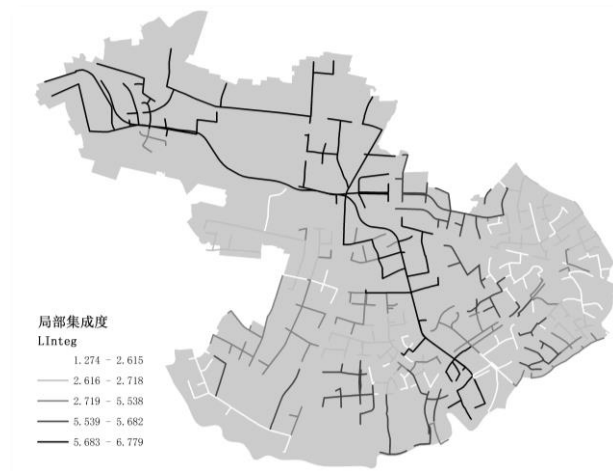
空间句法

轴线地图分析示例

- 线条颜色越深代表数值越高；
- 全局集成度：主要通达要道反映城市的中心；
- 局部集成度：局部中心及发展趋势；
- 空间智能度：全局集成度和局部集成度的线性相关值/系数；
- 2010年上海市某区域城市空间智能度为(0.7)，全局集成度和局部集成度的相关性较高。说明该区域局部中心和全局中心重合度较高，能较好的带动城市经济社会发展，并伴随着复杂的经济、社会活动，使得空间单元内部的局部中心性特征更好地体现出来。



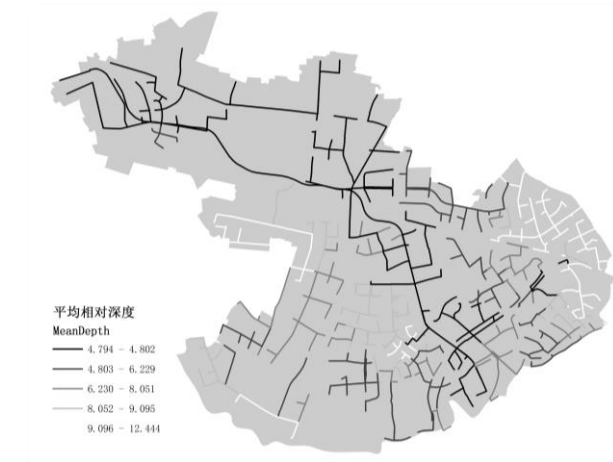
a 全局集成度



b 局部集成度



c 连接度



d 平均相对深度

景观格局

景观格局分析

- 景观格局分析方法
- 景观格局分析的层次与水平
- 可塑性面积单元问题

理论基础

- 景观
- 格局、过程与尺度
- 景观格局的特征
- 景观格局在地理学的应用

景观格局指数

- 景观单元特征指数
- 景观异质性指数
- 景观要素空间关系指数
- 三维景观格局指数
- 景观指数的应用
- 景观指数分析软件

景观

景观是由各个在生态上和发生上共轭的、有规律结合在一起的最简单的地域单元所组成的复杂地域系统，并且是各要素相互作用的自然地理过程总体，这种相互作用决定了景观动态

01

景观由不同空间单元镶嵌组成，具有异质性

02

景观是具有明显形态特征与功能联系的空间实体，其结构与功能具有相关性和地域性

03

景观既是生物的栖息地，更是人类的生存环境

04

景观是处于生态系统之上，区域之下的中间尺度，具有尺度性

05

景观具有经济、生态和文化的多重价值，表现为综合性

景观格局

格局、过程 与尺度

理论基础

01.格局

格局是一种空间格局，广义地讲，它包括景观组成单元的类型、数目以及空间分布与配置

02.过程

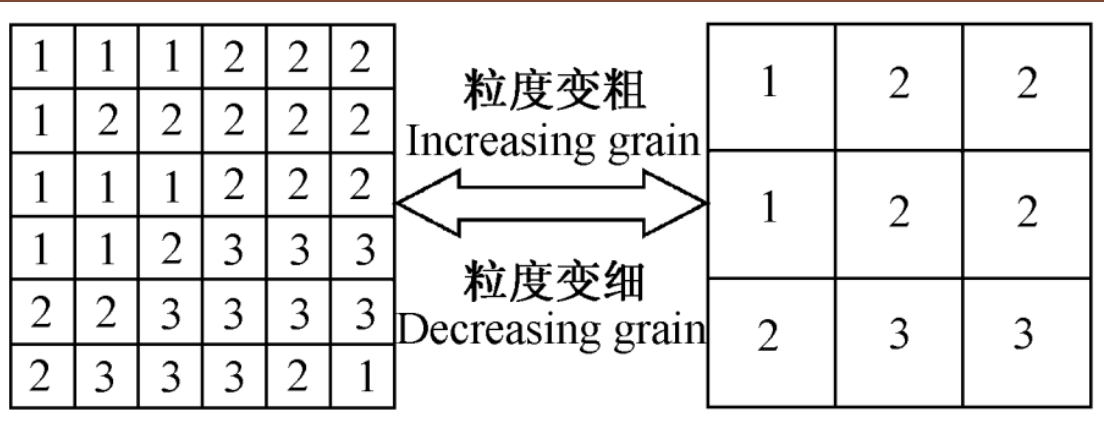
过程强调事件或现象发生、发展的动态特征

03.尺度

尺度 (scale) 是指在研究某一物体或现象时所采用的空间或时间单位，同时又可指某一现象或过程在空间和时间上所涉及的范围和发生的频率

空间粒度指景观中最小可辨识单元所代表的特征长度、面积或体积（如样方、像元）；时间粒度是指某一现象或事件发生的（或取样的）频率或时间间隔。

幅度是指研究对象在空间或时间上的持续范围或长度。



粒度的变化



5×5m



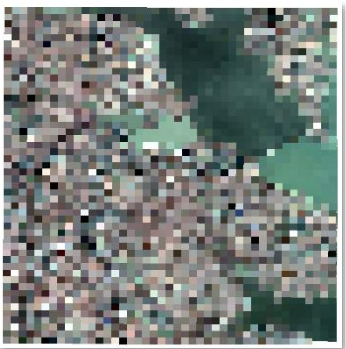
10×10m



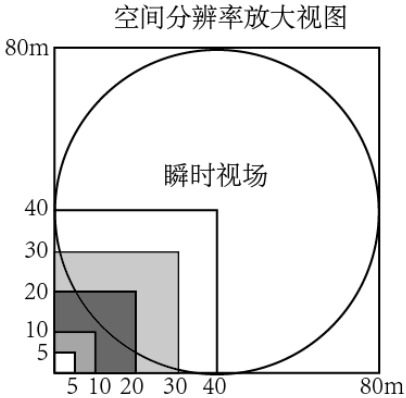
20×20m



40×40m



80×80m



空间分辨率与空间尺度

景观格局

斑块-廊道-基质模式

斑块

斑块是外观上不同于周围环境的相对均质的非线性地表区域，具有相对同质性，是构成景观的基本结构和功能单元。

斑块在景观中不是独立存在的。

斑块性（Patchiness），也叫镶嵌度，普遍存在于各种地理要素的每一个时空尺度上。

廊道

廊道是线性的景观单元，具有通道和阻隔的双重作用。

廊道的结构特征：

- 1.曲度
- 2.宽度
- 3.连通性
- 4.内环境

基质

基质是面积最大、连通性最好的景观要素类型，影响能流、物流和物种流。

基质确定标准：

- 1.相对面积
- 2.连通度
- 3.控制程度

景观格局类型

类型	内容
规则或均匀分布格局	指某一特定类型景观要素间的距离相对一致的一种景观。比如平原农田林网控制下的景观。
聚集（团聚）型分布格局	指同一类型的景观要素斑块相对聚集在一起，同类景观要素相对集中，在景观中形成若干较大面积的分布区，再散布在整个景观中。如：在丘陵农业景观中，农田多聚集在村庄附近或道路的一端。
线状格局	指同一类景观要素的斑块呈线性分布。如：沿公路零散分布的房屋，干旱地区（或山地）沿河分布的耕地。
平行格局	指同一类型的景观要素斑块呈平行分布。如：侵蚀活跃地区的平行河流廊道，以及山地景观中沿山脊分布的林地。
特定的组合或空间联结的格局	指不同的景观要素类型由于某种原因经常相联结分布。空间联结可以是正相关，如城市和道路相连，稻田与水域相连；也可以是负相关，如平原稻田很少有大片森林出现。

景观多样性

景观多样性 (Landscape diversity) 是指由不同类型生态系统构成的景观在格局、功能和动态方面的多样性或变异性，它反映了景观的复杂性程度。

景观多样性包括3个方面的含义：

1. 斑块多样性：景观中斑块数量、大小和形状的多样性和复杂性
2. 类型多样性：景观类型的丰富度，即景观类型（如农田、森林、草地等）的数目多少及其比例关系
3. 格局多样性：是指景观类型空间镶嵌的多样性

景观异质性

景观异质性 (Heterogeneity) 是指景观要素在空间上分布的不均匀性及复杂程度。景观异质性是空间梯度 (Gradient) 和空间斑块性 (Patchiness) 的综合反映：

1. 空间梯度：沿某一方向景观特征有规律地逐渐变化的空间特征
2. 空间斑块性：代表镶嵌结构，强调斑块的种类组成特征及其空间分布与配置的关系它主要表现在两个方面：一是组成要素的异质性；二是空间分布的异质性

01.定义

景观异质性一般分为空间异质性和时间异质性。

- 空间异质性是指景观系统在空间分布上的不均匀性和复杂性，既包括二维平面的空间异质性，又包括垂直空间异质性及由二者组成的三维立体空间异质性。
- 时间异质性指景观系统特征在时间变化过程中分布的不均匀性和复杂性。

02.研究焦点

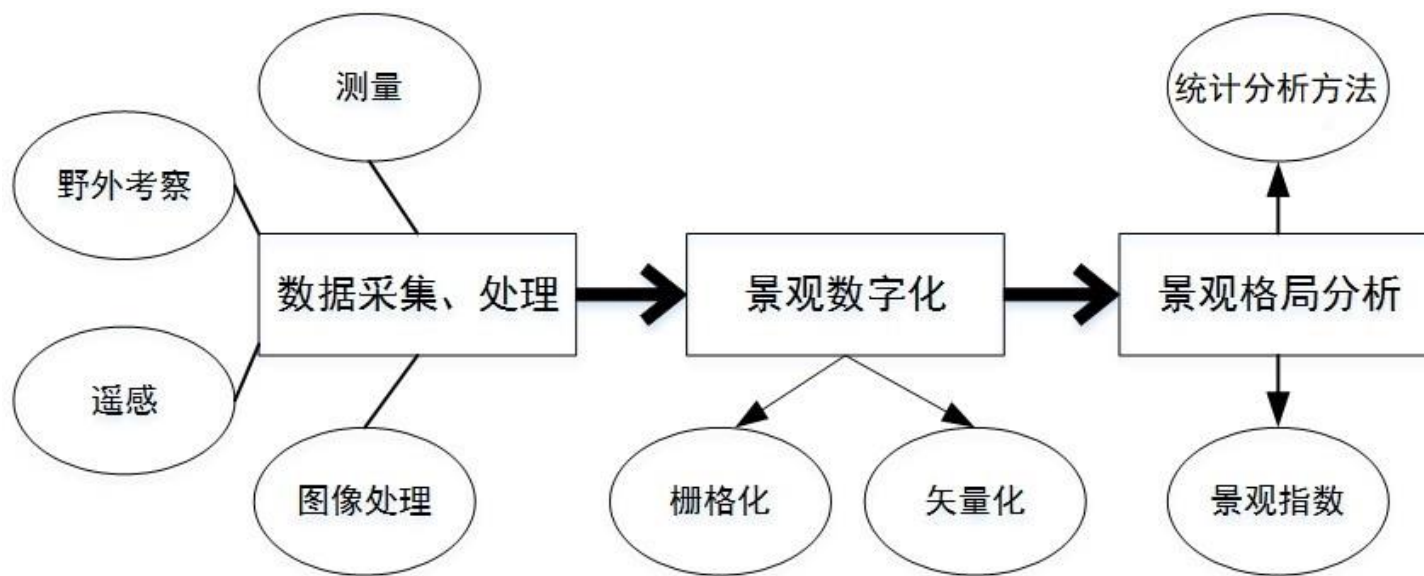
- (1)景观空间异质性的发展和动态；
- (2)异质性景观的相互作用和变化；
- (3)空间异质性对地理和非地理过程的影响；
- (4)空间异质性的管理。

景观格局分析

01.目的

- (1)确定产生和控制空间格局的因子及其作用机制;
- (2)比较不同景观镶嵌体的特征和它们的变化;
- (3)探讨空间格局的尺度性质;
- (4)确定景观格局和功能过程的相互关系;
- (5)为自然资源的合理管理提供有价值的参考。

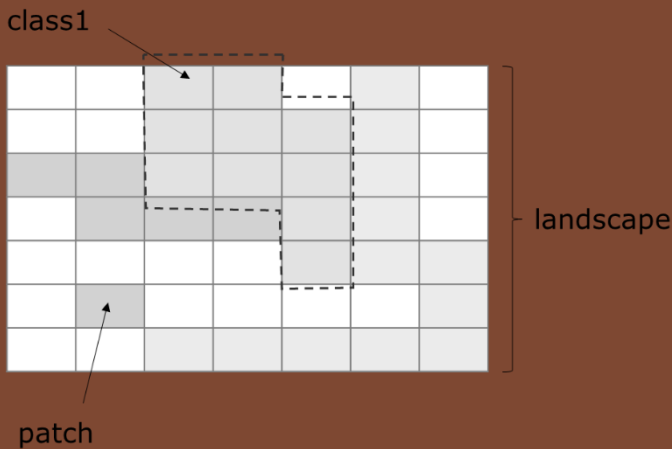
02.步骤



01.景观格局分析方法

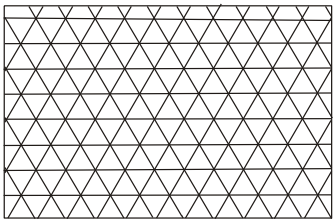
数据类型	特征	方法举例
非空间数据	无取样点信息	方差分析、回归分析、信息论指数（多样性、均匀度指数）
点格局数据	取样空间位置是数据的一部分，变量取值在空间上非连续，程离散点分布	负二项分布参数k、最近邻体指数、聚块样方方差分析
定量网格数据	数值地图	自相关指数、相关图、方差图、分维数、聚块样方方差分析
定性网格数据	类型地图	多样性指数、分维数、斑块性指数、聚集度指数、共邻边统计量

02.景观格局分析的层次与水平

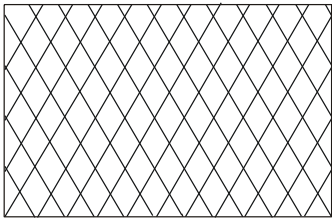


景观格局可以从三个层次来描述：斑块层次(patch level)、类型层次(class level)、整体景观层次(landscape level)。如图6-10所示，最小的单元为一个斑块，所有相同类型的斑块组成一个斑块类型，所有的斑块构成一个景观，景观中可以含有多种斑块类型。具体来说，斑块层次反映个体的结果特征，如每个斑块的周长；斑块类型层次反映属于相同类型的所有斑块的特征，如斑块密度（某类型斑块数量除以该类型所有斑块面积之和）；整体景观反映整体的空间结构、相互关系等特征。三种级别逐步扩大尺度，高度相关。

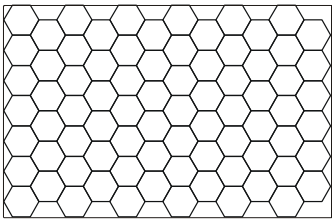
景观格局应用于地理学研究主要基于四个分析单元：格网、行政区、移动窗口、梯度。



(a) 三角形



(b) 菱形



(c) 六边形

像元类型	优点	缺点
矩形	结构直观、简单，适合于计算机的表达和显示，易于理解	模拟各向同性现象很困难
三角形	邻域内像元数目较少，计算量小，计算速度快	计算机表达和显示不方便，算法复杂，很多时候需要转换成正方形网格
菱形	结构直观、简单，适合于计算机的表达和显示，模拟特殊形状的景观更有优势	模拟各向同性现象很困难
六边形	能较好的解决各向同性难题，模型能够更加自然真实的展示地理过程	邻域内元胞较多，计算量大，算法复杂，而且在计算机上表达和显示也比较困难



15km



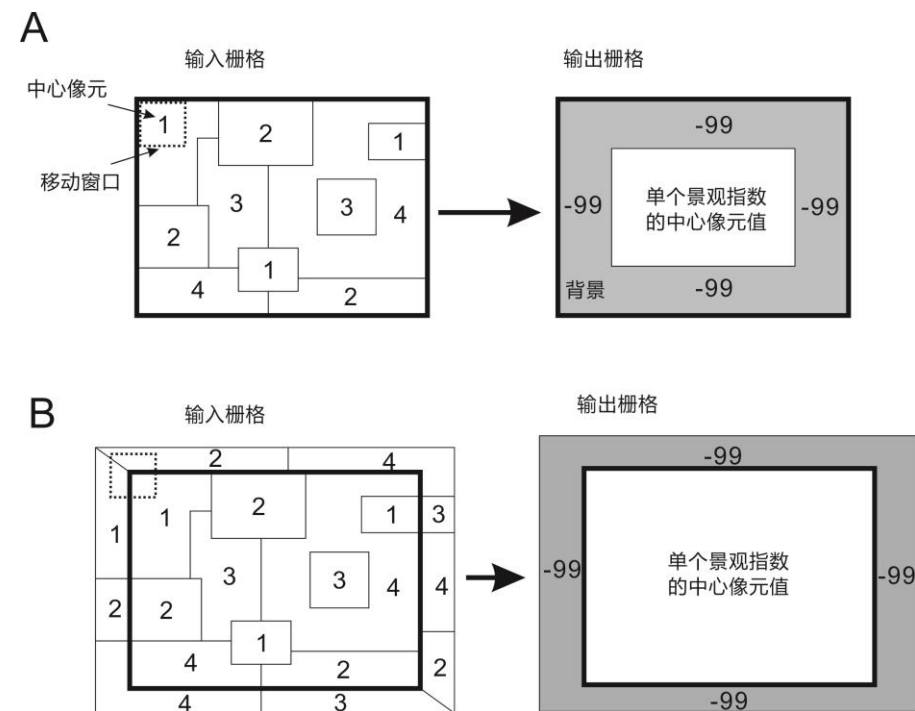
50km

许多地理研究与行政区划有关，因此可以从省、市、县、区、街道等行政区划尺度来计算景观格局指数，对比不同区域的景观格局特征。

在景观格局分析中，移动窗口法是观察景观格局指数空间变异状况的有效手段，通过将景观指数与有关**环境因素**相联系，能更好地将景观格局与**自然、社会经济过程**连接起来。

该方法可以较好地分析景观指数与空间变量的变异关系，以及判定研究区域的特征尺度。

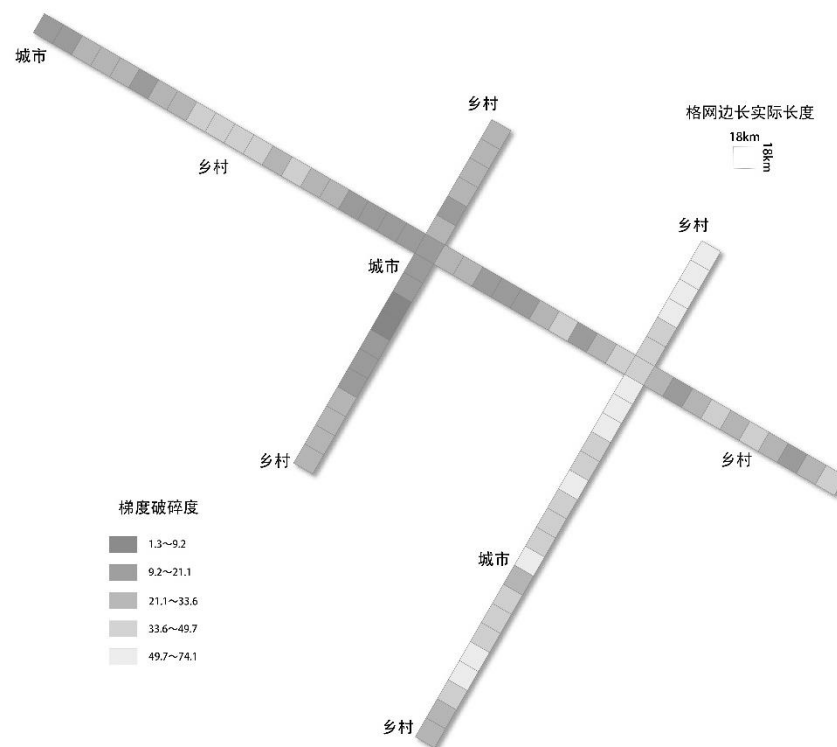
其原理是在研究区内选取一定大小的窗口进行移动，形成新的可在GIS中运算的数据图形，实现在区域或地区尺度上对景观指标的量化。



1. 输入一个没有边界的栅格，利用移动窗口可以为每一种类型指数输出一个栅格，其中条带在网格周边的窗口的宽度被赋予输出网格中的背景值；
2. 景观边界至少与窗口一样宽，允许景观边界内（黑线）（即正值）的所有像元被赋予计算的中心像元值。

梯度是指沿某一方向景观特征有规律地逐渐变化的空间特征。在景观分析中有时需要描述现象沿某一地理空间梯度的特征，这时就需要从梯度水平来研究。

通常以地理意义上的东、西、南、北、东北、东南、西北、西南八方向来设置梯度，或者根据地理景观自身的梯度特征的方向来设置，一般根据需要设置两条或以上的样带。



可塑性面积单元问题

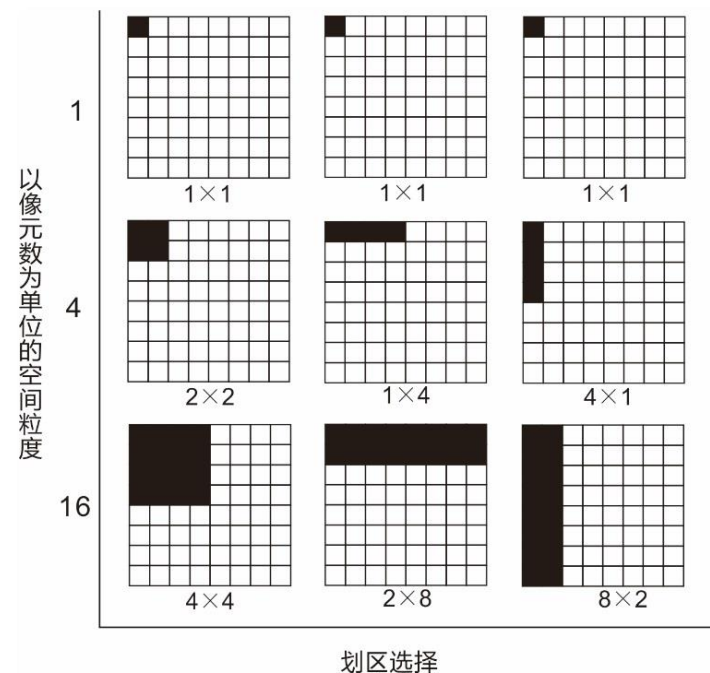
在景观研究中，我们用到的诸如遥感数据、土地利用数据等都是涉及面积的，这些数据也被称为面数据（Areal data）。在分析这些数据时有一个关键问题，即结果常常随面积单元（栅格像元或粒度）定义的不同而变化，这被称为**可塑性面积单元问题**。



因此，在不同层级上进行分析时，所得到的结果可能会不一致，这种不一致称为**尺度效应**（Scale effect）。它是指当空间数据经聚合而改变其粒度或栅格像元大小时，分析结果也随之变化的现象。



另外，在对从区域单元数相近的不同区划系统中获得的数据进行分析时，我们可以预期的分析结果也可能不一致，这被称为**区划效应**（Zoning effect）。



目前解决该问题主要有4种方法：

- 基本实体方法（Basic entity approach）
- 最优区划方法（Optimal zoning approach）
- 敏感性分析方法（Sensitivity analysis approach）
- 强调所研究变量的变化速率。

景观格局指数

景观格局指数可以用于景观组分特征分析，是一组能够高度浓缩景观格局信息，反映其结构组成和空间分布特征的简单定量指标。

景观格局指数包括景观单元特征指数
(Landscape characteristic index)

用于描述斑块面积、周长和斑块数等特征的指标

景观异质性指数
(Landscape heterogeneity index)

包括：
多样性指数 (Diversity index)、
镶嵌度指数 (Patchiness index)、
距离指数 (Distance index)
破碎化指数 (Fragmentation index) 等

景观要素空间关系指数
(Landscape spatial relation index)

包括同类景观要素的空间关系和异质景观要素之间的空间关系指数，如最近邻体距离面积加权指数、空间关联分析系数等。

景观格局

景观单元特征指数

指数类型	具体指数	公式	内容
斑块面积	斑块平均面积 (Average patch area)	$AREA_arg = \frac{A}{N}$ A-斑块总面积；N-斑块总数	斑块总面积/斑块总数，这个指标在一定程度上揭示景观破碎化的程度
	斑块面积的方差 (Variance of patch area)	$AREA_CV = \frac{SD(A)}{MN(A)}$ SD(A)为面积的标准差， MN(A)为面积的平均数	通过方差分析，揭示斑块面积分布的均匀性程度
	景观相似性指数 (Landscape similarity index)	$SIMI = \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij} \cdot d_{ik}}{h_{ij}^2}$ a_{ij} 为斑块 ij 邻域内的斑块 ij s 的面积， d_{ik} 为斑块 i 与 k 的相似程度， h_{ij} 为斑块 ij 与 ij s 的距离	类型面积/景观总面积，度量单一类型与景观整体的相似性程度
	最大斑块指数 (Largest patch index)	$LPI = \frac{\max(a_j)}{A}(100)$ a_j 为斑块 j 的面积，A 为景观总面积。	最大斑块面积/景观总面积（类型最大斑块指数=类型的最大斑块面积/类型总面积），反映最大斑块对整个景观或者类型的影响程度
斑块数	斑块密度 (Patch density)	$PD = \frac{n_i}{A}(10000)(100)$ n_i 为第 i 类景观要素的总面	斑块密度是景观格局分析的基本的指数，其单位为斑块数/100 公顷，它表达的是单位面积上的斑块数，有利于不同

		积；A 为所有景观的总面积。	大小景观间的比较。这个指标虽与斑块平均面积互为倒数，但是生态意义明显不同。
	单位周长的斑块数 (Number of patches on unit perimeter)	$PN = \frac{N}{S}$ N 为斑块的数量，S 为斑块的周长。	整个景观的单位周长的斑块数=景观斑块总数/景观总周长；类型的单位周长的斑块数=类型斑块数/类型周长。揭示景观破碎化程度
斑块周长	边界密度	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A}$ ， e_{ik} 为 i 类型斑块的总边长，A 为景观总面积	景观边界密度=景观总周长/景观总面积；类型边界密度=类型周长/类型面积。揭示了景观或类型被边界分割的程度，是景观破碎化程度的直接反映
	形状指标	$LSI = \frac{0.25E^*}{\sqrt{A}}$ ， E^* 为景观边界长度，A 为景观总面积	周长与等面积的圆周长比
	内缘比例	$SI = \frac{E}{A}$ ，E 为斑块周长，A 为斑块面积	斑块周长与斑块面积之比，显示斑块边缘效应强度

指数	公式	意义
景观多样性指数	<p>Shannon-Wiener 指数</p> $SHDI = -\sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i)$ <p>Simpson 多样性指数</p>	反映一个区域内不同景观类型分布的均匀化和复杂化程度。如在一个景观系统中，土地利用越丰富，破碎化程度越高，其步定性的信息含量也越大，计算出的多样性指数值也就越高。
	$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m p_i^2$ <p>p_i -景观斑块类型 i 所占据的比率 (通常以该类型占有的栅格细胞数或像元数占景观栅格细胞总数的比例来估计), m-景观中斑块类型的总数</p>	
景观优势度	$D = H_{\max} + \sum_{i=1}^m p_i \cdot \ln p_i$	它与多样性指数成反比，是多样性指数最大值与实际值之差。对于景观类型数目相同的不同景观，多样性指数越大，其优势度越小。通常较大的 D 值对应于一个或少数几个斑块类型占主导地位的景观。
均匀度	$E = \frac{H}{H_{\max}} \times 100\%$	H 是 Shannon 多样性指数，当 E 趋于 1 时，景观斑块分布的均匀程度亦趋于最大。均匀度和优势度一样，也是描述景观由少数几个主要景观类型控制的程度。这两个指数可以彼此验证。

相对丰富度	$R = \frac{M}{M_{\max}} \times 100\%$ <p>M-景观中现有的景观类型数； M_{\max}-最大可能的景观类型数。</p>	景观中所有景观类型的总数。相对丰富度指数以景观中景观类型数与景观中最大可能的类型数比值百分比表示，其值越大，相对丰富度越大。
景观破碎度	$C_i = \frac{N_i}{A}$ <p>N_i 为景观 i 的斑块数， A 为景观 i 的总面积。</p>	破碎度表征景观被分割的破碎程度，反映景观空间结构的复杂性，在一定程度上反映了人类对景观的干扰程度。当景观内斑块数目增多，单个或某些斑块的面积相对减少，则斑块形状更趋于复杂化、不规则化。
景观分离度	$F_i = D_i S_i, D_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{N_i}{A}}; S_i = A_i A$ <p>D_i-景观类型 i 的距离指数；S_i-景观类型 i 的面积指数</p>	指某一景观类型中不同斑块数个体分布的分离程度。景观分离度加剧，导致作为流通渠道的廊道被切断，景观中的斑块彼此隔离，景观整体性削弱。
邻近度指数	$MPI_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{h_{ij}^2}$ <p>n_i-景观组分的斑块数量； a_{ij}-景观类型的斑块面积； h_{ij}-从某斑块到同类型斑块的最近距离</p>	用以度量同种景观类型各斑块间的邻近程度，反映景观格局的破碎度。其值越大，表明连接度越高，破碎化程度低。
聚集度	$P_{ij} = \frac{E_{ij}}{Nb}$ <p>E_{ij} -相邻景观类型 i 与 j 之间的共同边界长度；Nb-景观类型边界的总长度</p>	表示景观中不同景观类型的聚集程度，是描述景观格局的最重要指数之一。景观聚集度越小表示景观破碎化程度越高。

01.最近邻体距离 (Euclidean nearest distance, ENN)

$$ENN = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}$$

ENN的值越大，说明同类型斑块间相隔距离越远，分布较离散；反之，则说明同类型斑块间距离较近，呈团聚分布。

02.斑块聚合度 (Aggregation Index, AI)

$$AI = \left[\sum_{i=1}^m \left(\frac{g_{ii}}{\max \rightarrow g_{ii}} \right) P_i \right] (100)$$

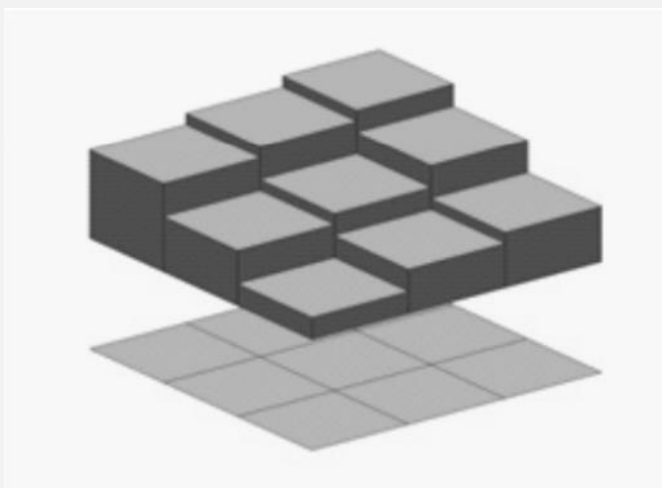
AI基于同类型斑块像元间公共边界长度来计算。
当某类型中所有像元间不存在公共边界时，该类型的聚合程度最低；
而当类型中所有像元间存在的公共边界达到最大值时，具有最大的聚合指数。

03.蔓延度 (CONTAG)

$$CONTAG = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[P_i \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \left[\ln(P_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] (100)$$

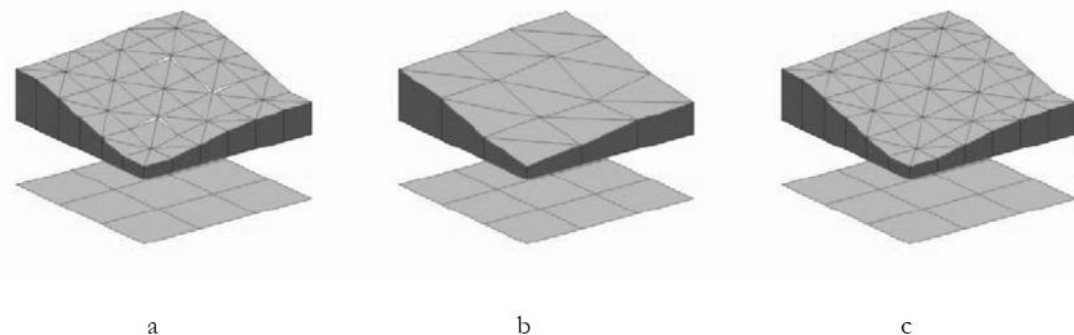
CONTAG 可描述景观里斑块类型的团聚程度或延展趋势，包含了空间信息。
CONTAG 较大，表明景观中的优势斑块类型形成了良好的连接；
反之，则表明景观是具有多种要素的散布格局，景观的破碎化程度较高。

计算三维景观指数主要是利用数字高程模型（DEM），一般方法是首先将影像解译生成的栅格数据图像转成矢量数据格式，然后将此矢量数据格式的图与对应的DEM结合，计算对应像元的表面面积，最后求和得出各斑块的表面面积。



简单的数字高程模型

每个像元c由八个三角形取代，这三个三角形的共同顶点是正方形的中心。其他顶点在二维模型中对应于正方形c的顶点，以及其边缘的中点。它们的高度由相邻像元的高度决定。实际上，每个相邻单元c'的顶点v'的高程为 $e_{v'} = (e_c + e_{c'}) / 2$ 。对于这些三角形，可以使用标准公式计算面积和直径。这些值可用于调整标准景观指数。

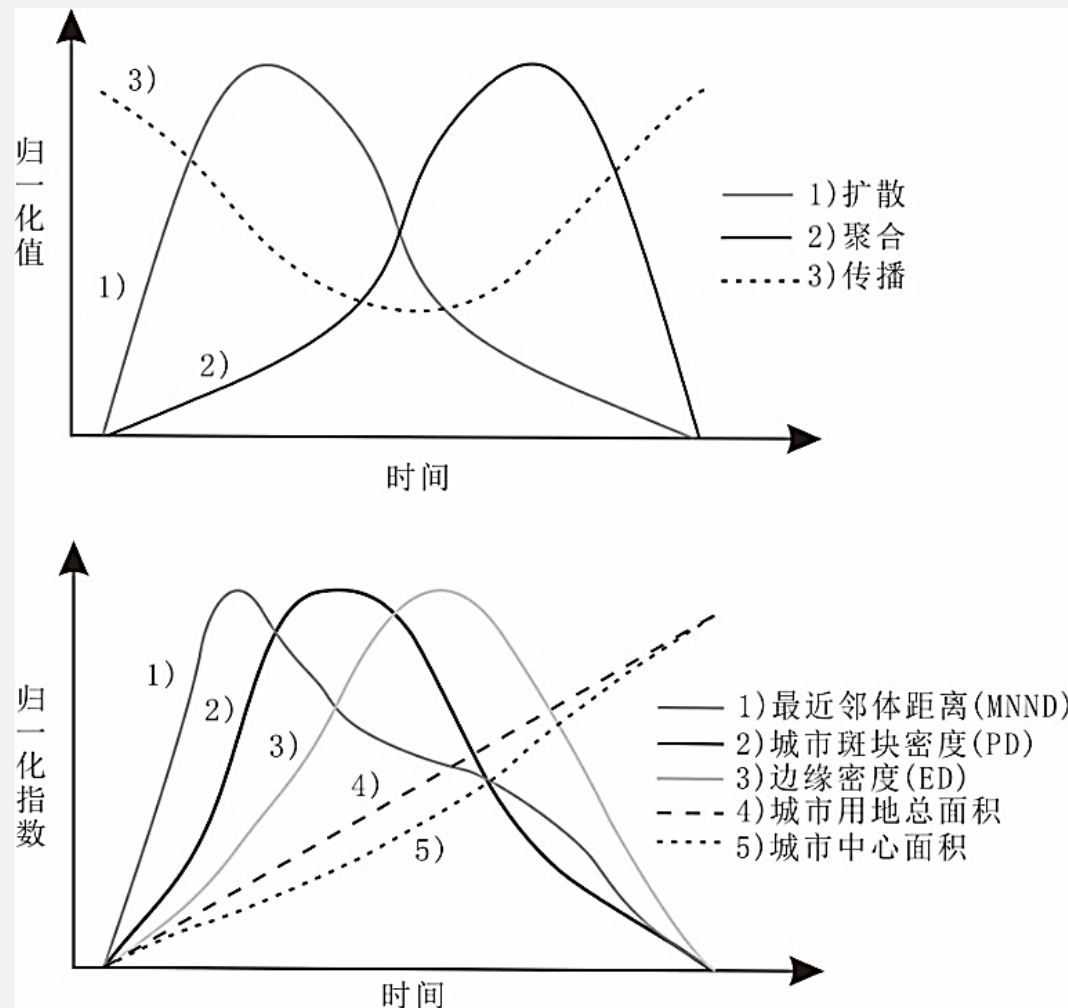


原始地形的多面体模拟

景观指数的重要作用在于：它能够用来描述景观格局，进而建立景观结构与过程或现象的联系，更好地解释与理解景观功能。

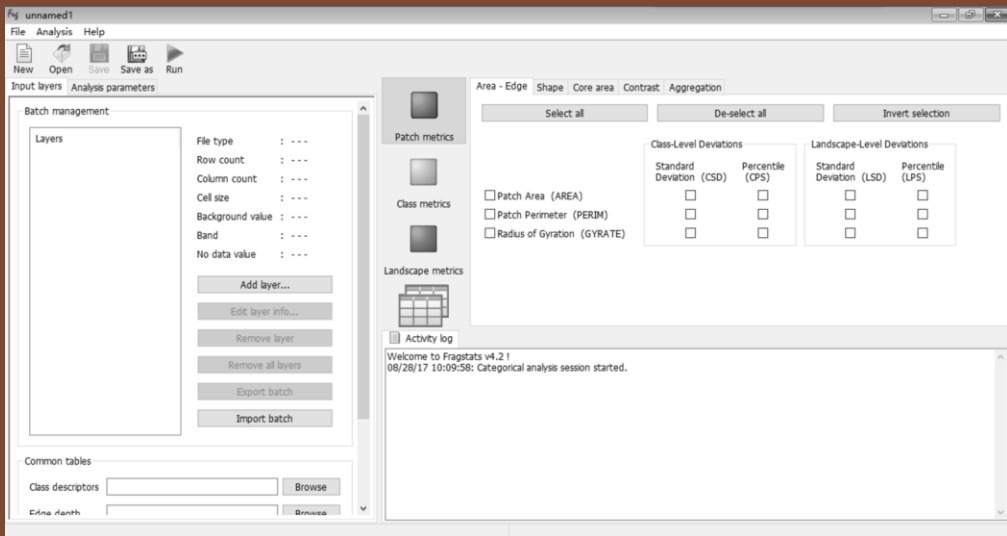
城市化在时间和空间上呈现出由两个交替过程驱动的循环模式：扩散（Diffusion）——城市从现有中心的扩展到新的发展领域，传播（Contagion）——以现有城市地区的向外扩张和缺口填补为特征。

研究者进一步将他们的假设转化为可度量的景观指数的时间变化，上图反映了城市化初期扩散的主导性，在扩散过程开始和聚合过程结束时，传播率最高，在这之间达到最低值。下图为更具体的城市化空间模式，在城市化的一个完整扩散-聚合周期中，城市土地面积单调增加；城市斑块密度，边缘密度，最近邻体距离均先增加，然后在不同时间出现峰值，最后减小，呈现单峰形态；且高城市斑块密度反映了扩散过程的主导地位，一旦聚合过程开始其值就减少。在这段时间内，城市总面积与中心城区用地面积的差异最大。



01.Fragstats软件

- Fragstats是一款为揭示分类图的分布格局而设计的、计算多种景观指数的桌面软件程序。
- 它所有的指数计算都是基于景观斑块的面积、周长、数量和距离等几个基本指标进行。接受输入的数据主要是各种类型的栅格。
- 它所计算的指数包括3个等级，即斑块级别（patch-level），类型级别（class-level），景观级别（landscape-level）。



02.APACK软件

- 该软件针对大的数据集进行快速的景观指数计算。
- APACK设计的目的是为了开发一种有效的程序来计算景观指数。
- APACK能计算25个景观指数，这些指数主要包括基本指数（如：面积）、信息论指数（如：多样性）、结构指数（如：孔隙度、连通性）。

03.Patch Analyst

- Patch Analyst是ArcGIS的扩展，主要用来辅助景观斑块的空间分析，模拟斑块的关联属性。
- 用来进行空间格局分析，支持栖息地建模、生物多样性保护和森林管理。
- 其最大特点在于能够借助于ArcGIS平台对矢量图层（shapefile）和栅格图层（GRID）进行分析。

Thank you