



# 三、轴线分析与线段分析

此处跳转至盛强老师的课件（此处表示巨大的感谢！）

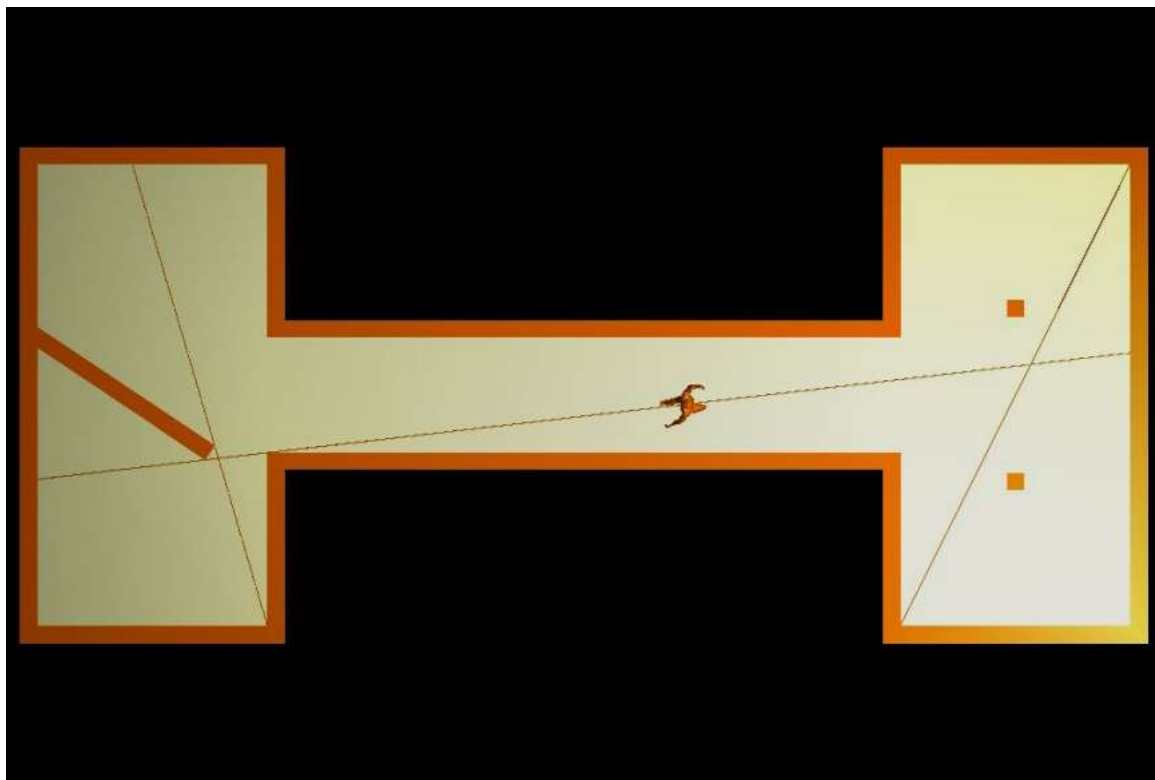




# 轴线分析

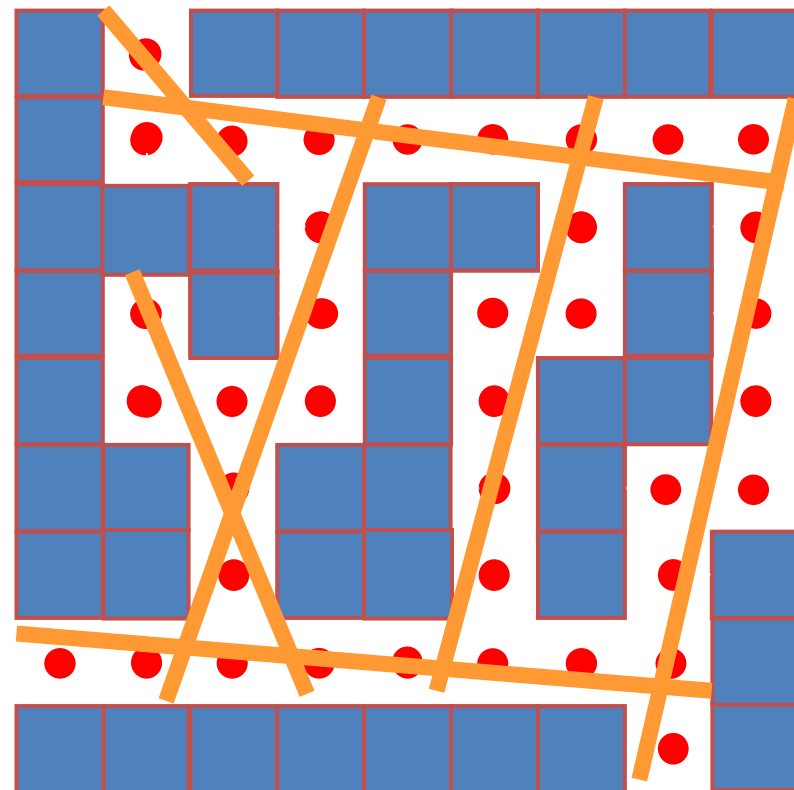
轴线地图画法  
整合度算法及其意义  
轴线分析实例



什么是轴线图？



建筑  公共空间界面 



轴线图 (axial map) 的数学定义：串联一个空间系统全部空间单元的**最长**且**最少**数量的轴线相互连接图。

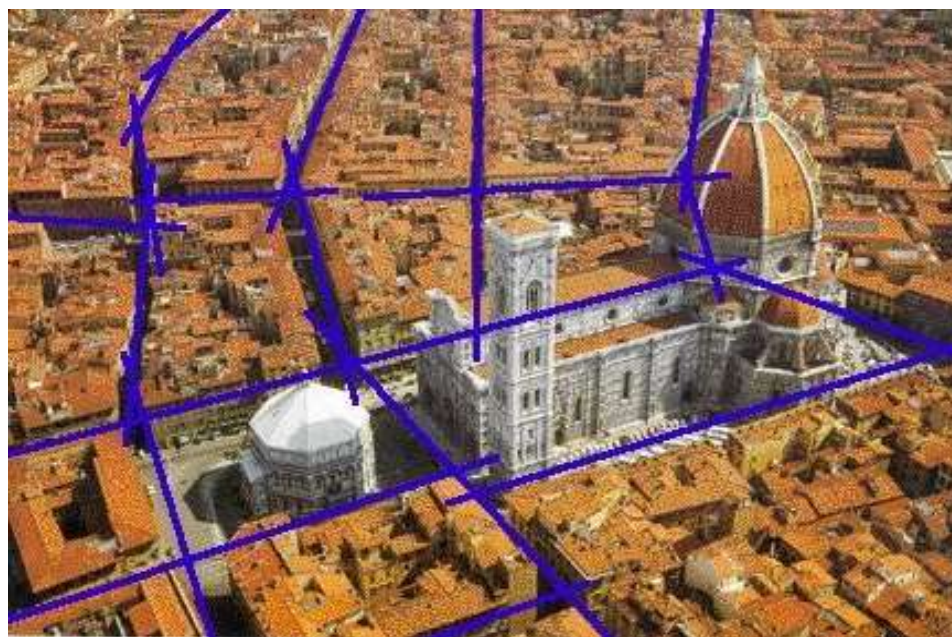
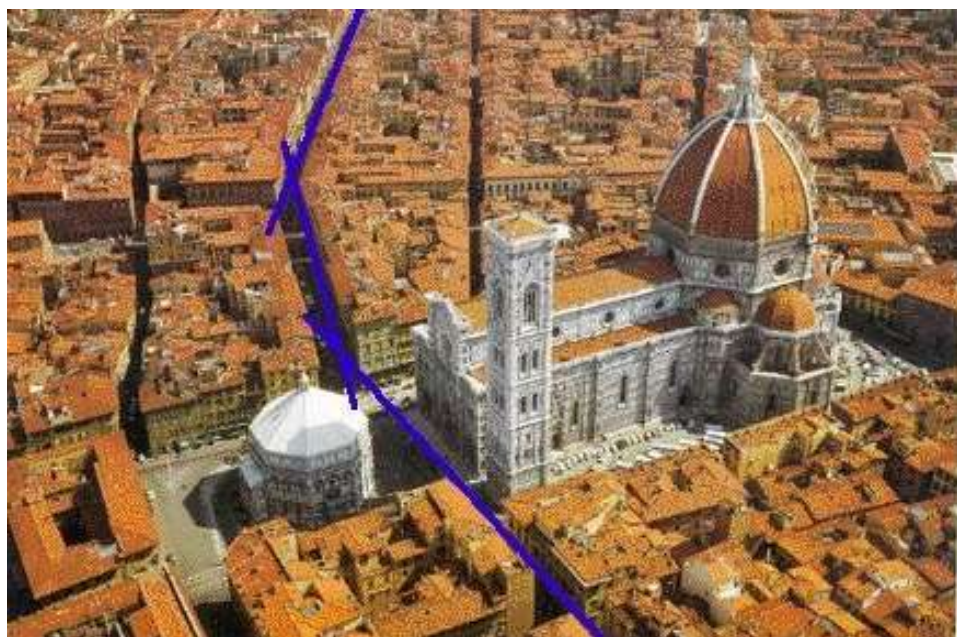
行为含义：以运动和视知觉认知一个空间拓扑结构的路径集合。

评价：轴线图及轴线分析是空间句法在城市空间分析中最重要最基本的工具，尽管目前更多的使用线段分析模式来分析轴线地图，但作为一种最接近反应抽象拓扑关系的算法，它仍有重要的理论意义和继续开发潜力。





## 如何绘制轴线地图 (Axial map)

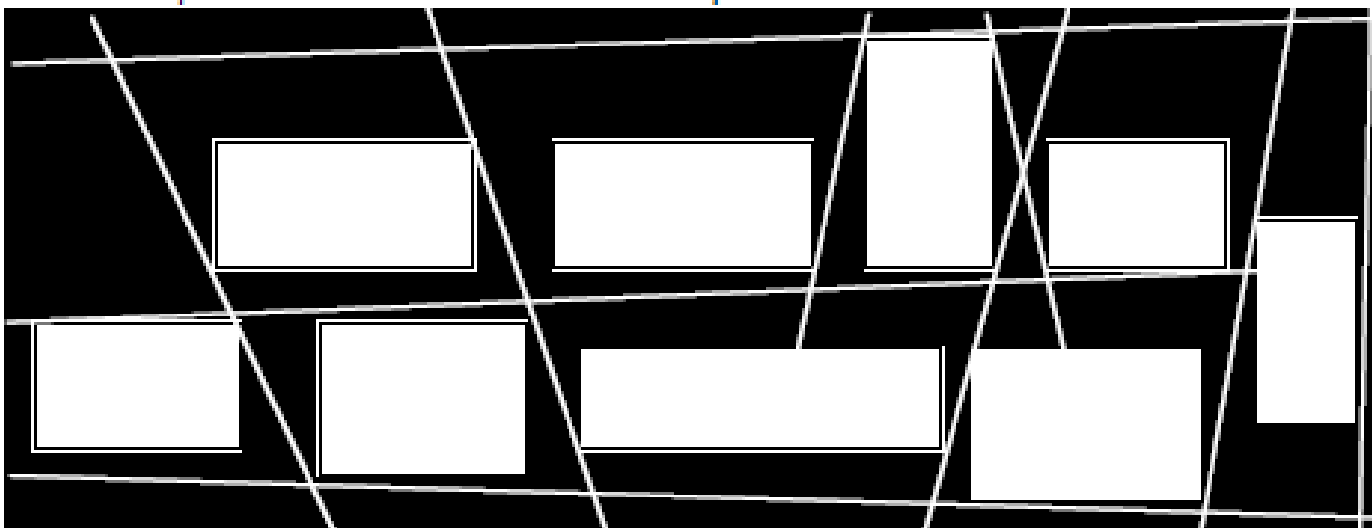
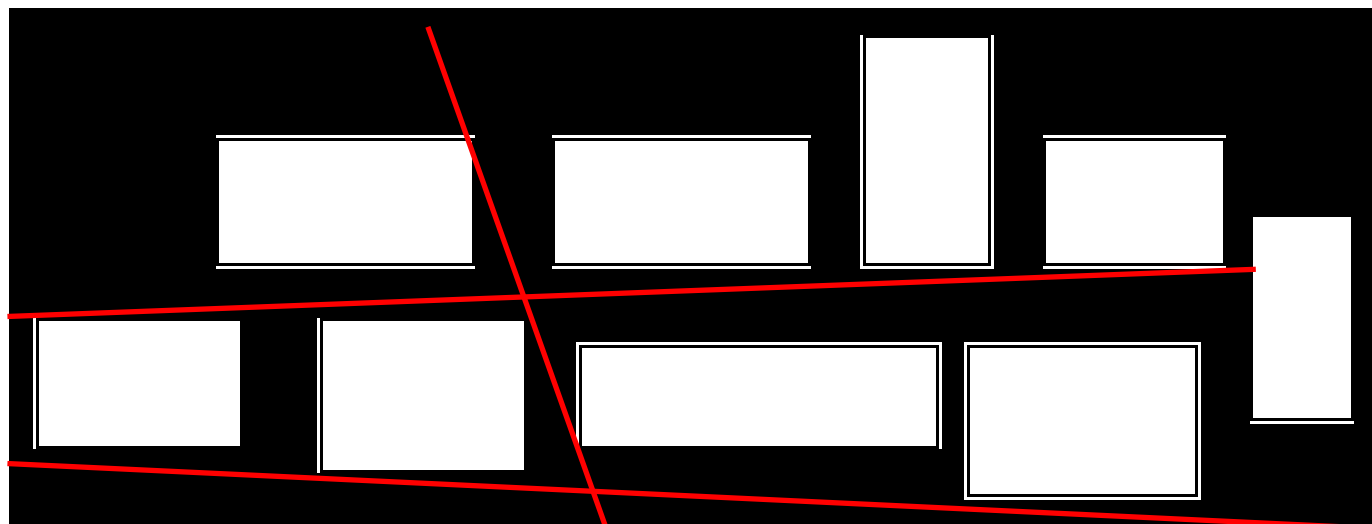






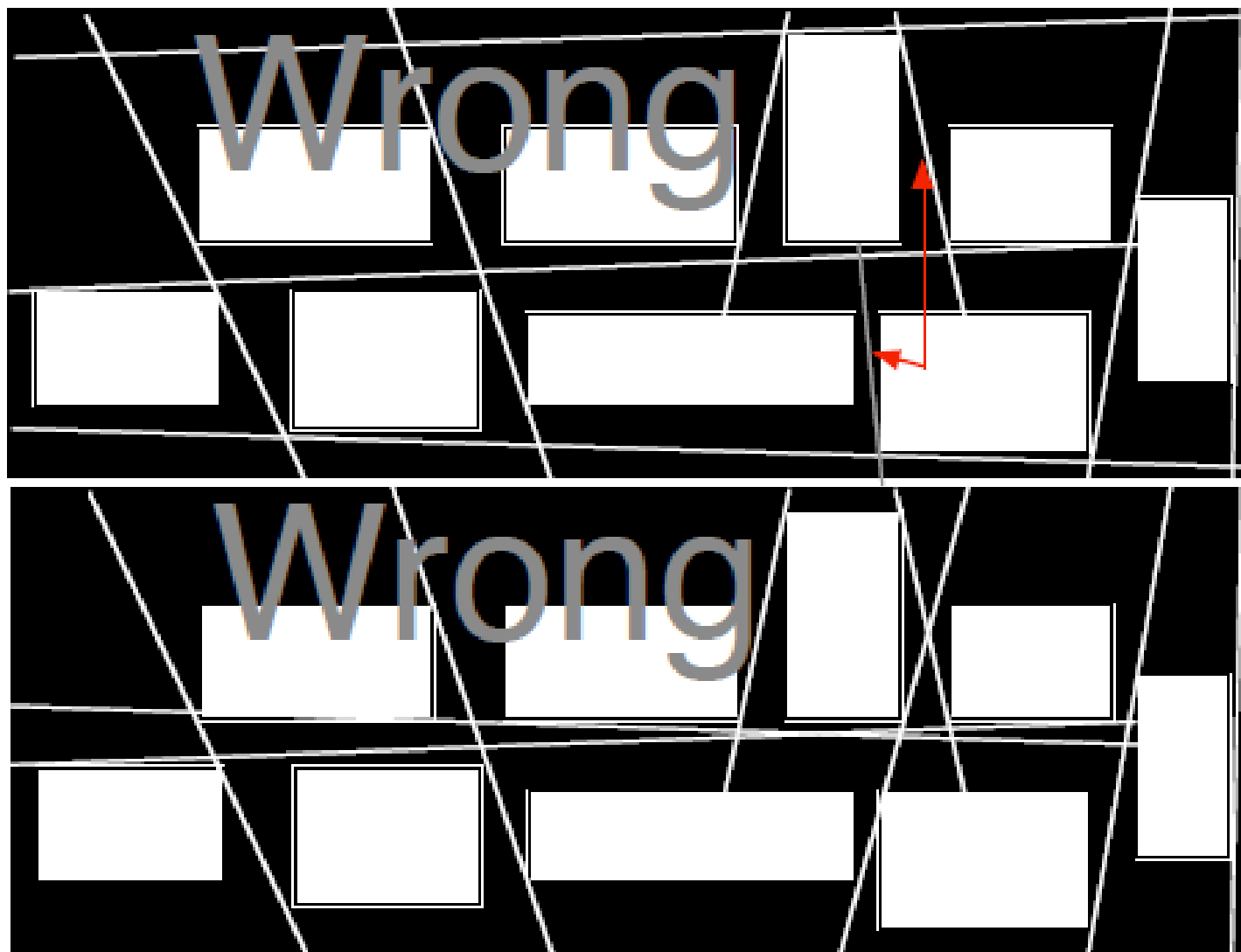
## 如何绘制轴线地图 (Axial map)

- 1, 第一步先画所需分析空间中最长的线。
- 2, 添加其他线时, 确定每次均是在该空间中最长的线。如有对手中的地图有疑惑, 可以采用现场核实的方式。



## 如何绘制轴线地图 (Axial map)

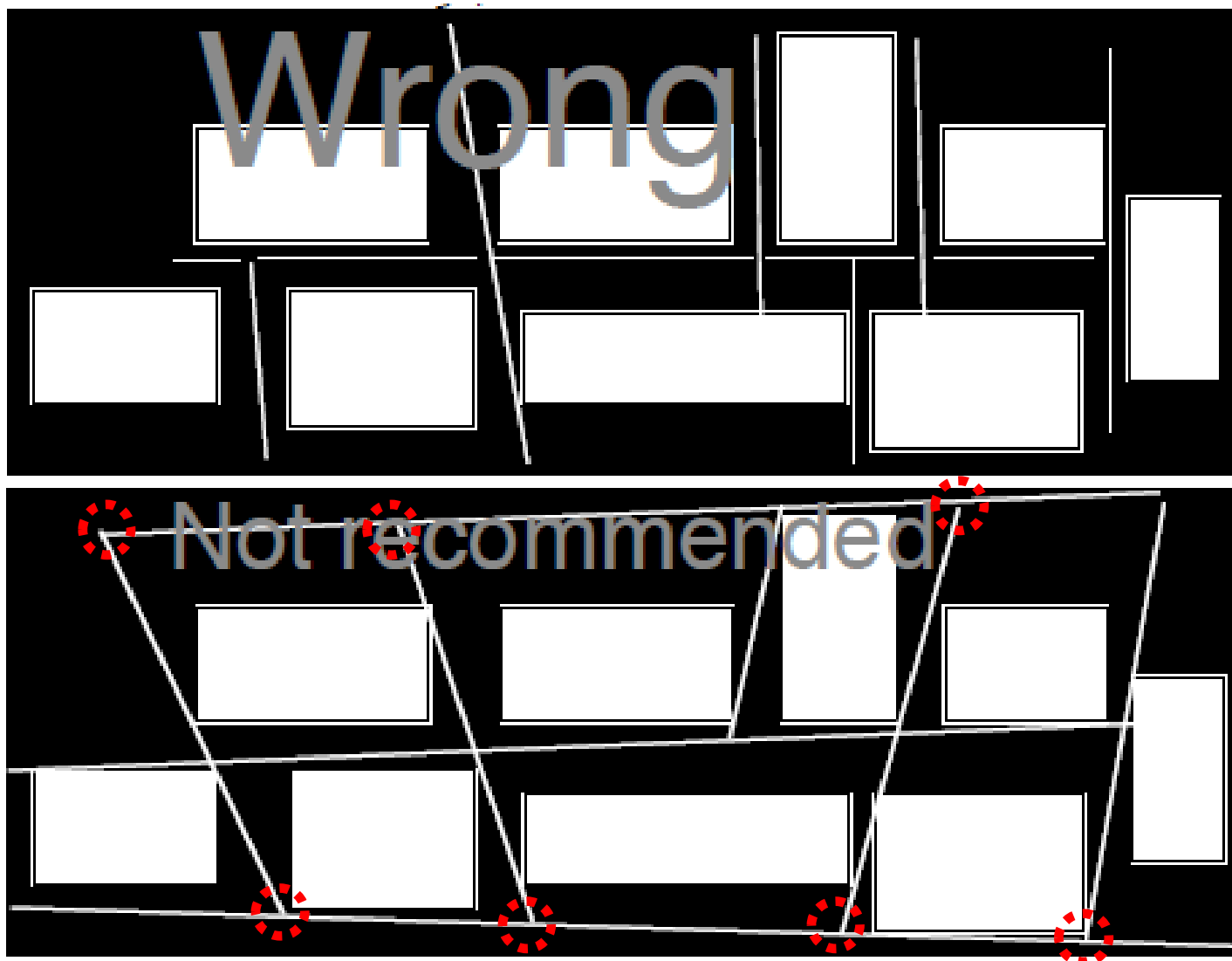
违背最少线数量原则的例子…… 力求平均深度最小化





## 如何绘制轴线地图 (Axial map)

为确保线段之间的相交，建议在交点处画一点出头……



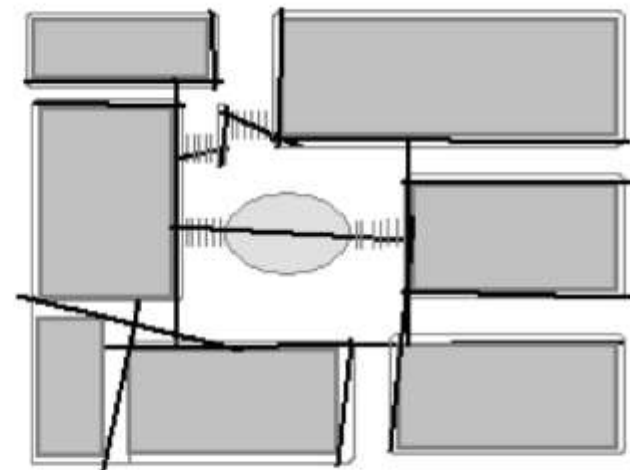
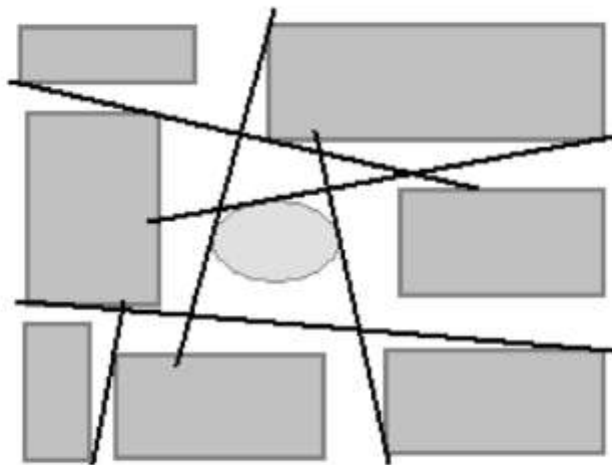
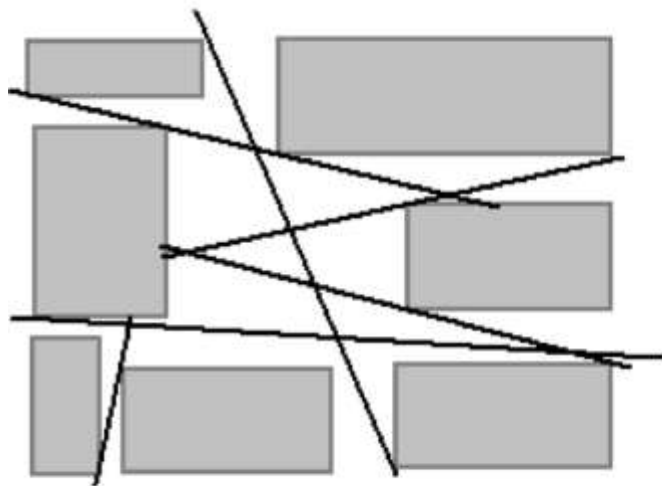


## 如何绘制轴线地图 (Axial map)

### 如何画轴线地图取决于分析的目的！

轴线图并不总是基于视线来绘制，而是基于在地图上能够绘制的最长的直线。

如果针对你分析的对象表面上连续的空间并不可达， 则不需要连接。





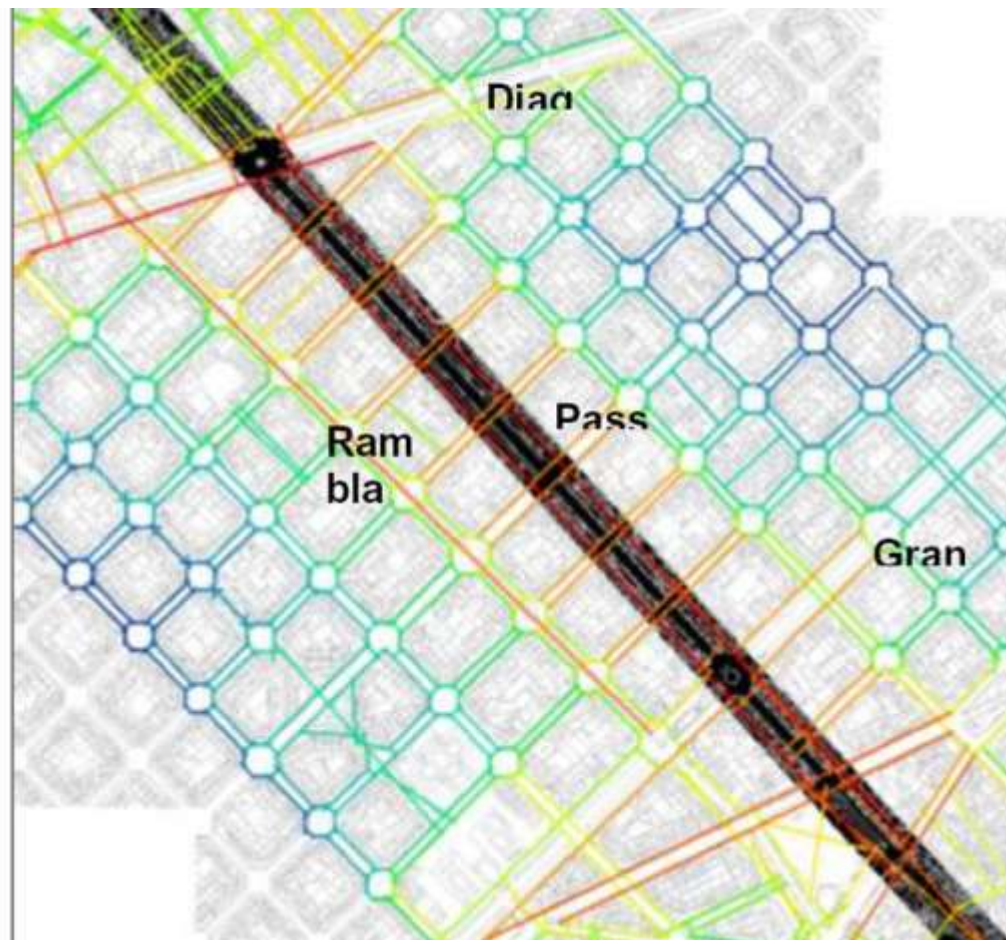
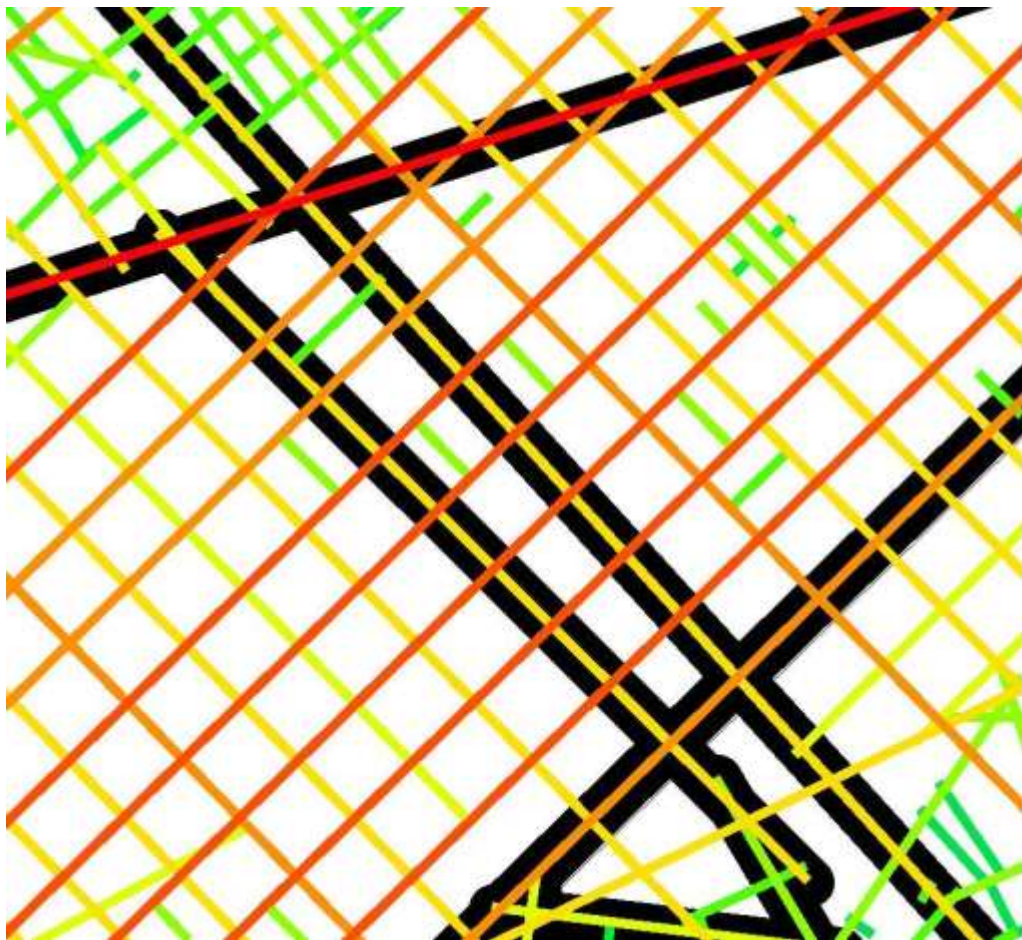


如何绘制轴线地图 (Axial map)

如何画轴线地图取决于分析的目的!

通常我们也经常把分析车行空间和人行空间分别绘制成不同的轴线图。

巴塞罗纳市的两种轴线图分析

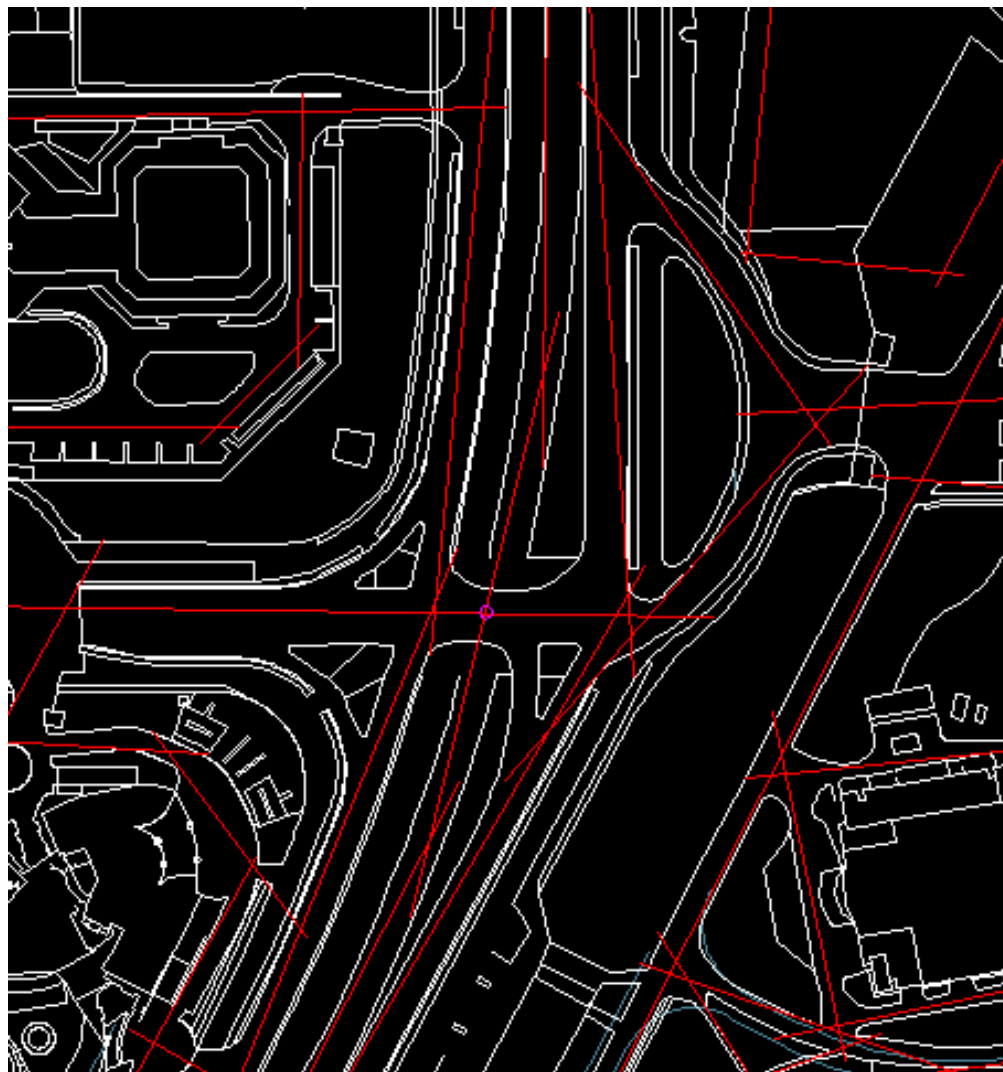




## 如何绘制轴线地图 (Axial map)

当处理复杂的交通系统时：

可以适当进行简化，但这种简化处理的方式在一张轴线地图中要统一。



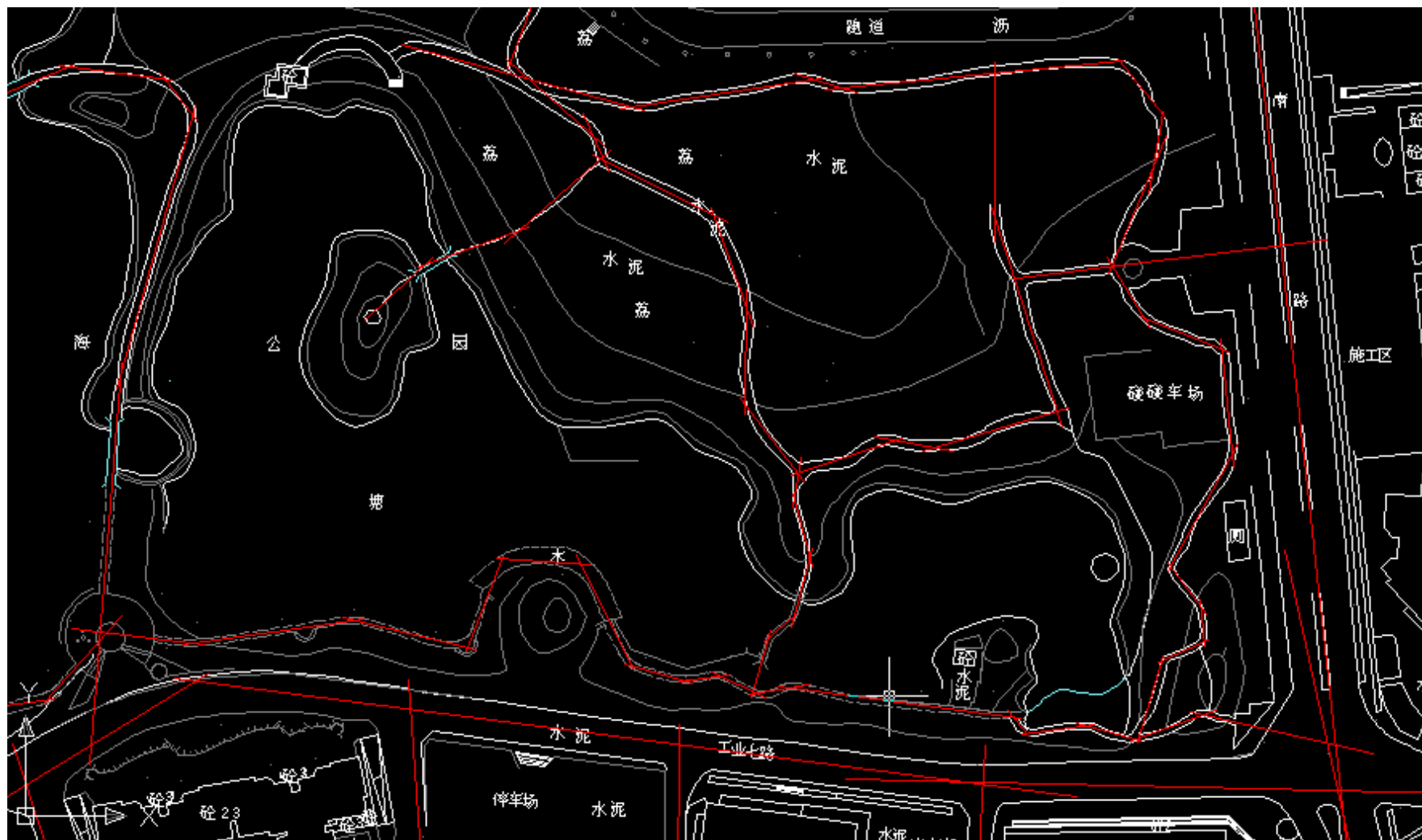




## 如何绘制轴线地图 (Axial map)

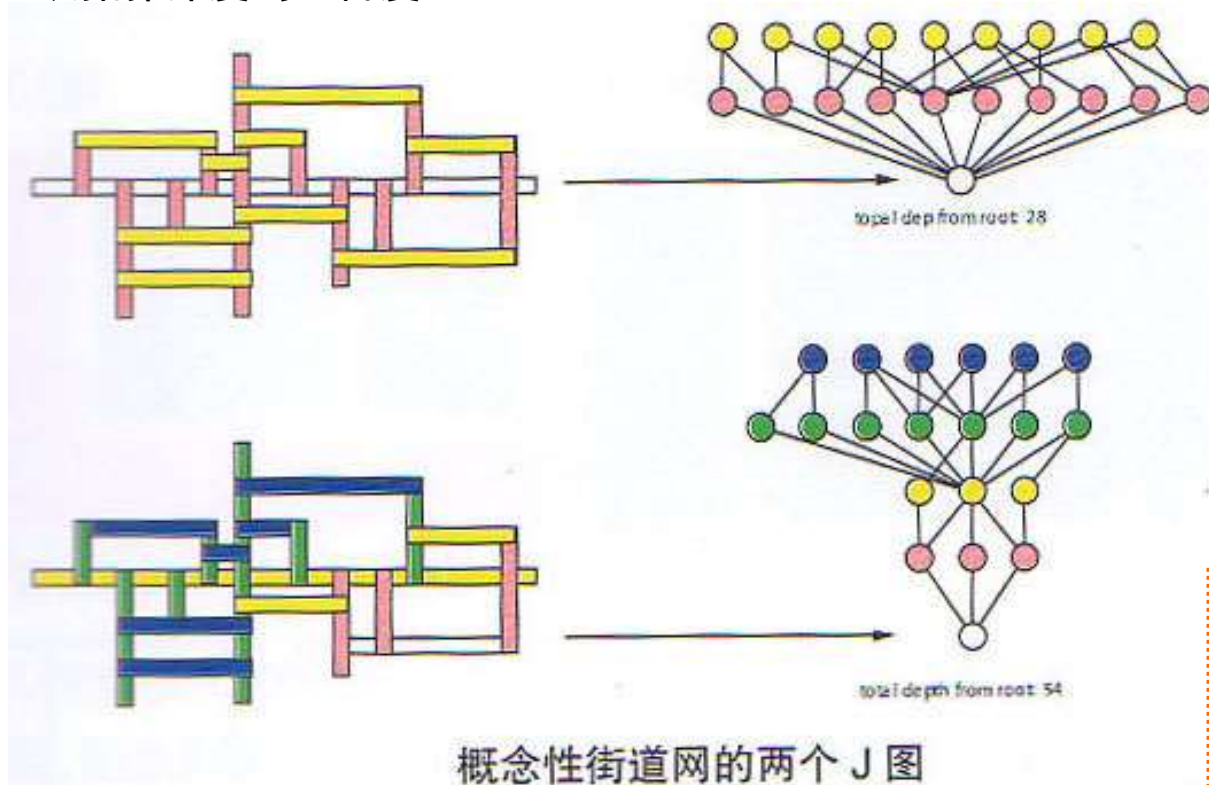
当处理公园等开放系统时：

描绘铺装的道路或人群经常使用的小径，然后将入口与外部街道直接连接





## 从拓扑深度到整合度



$$\text{平均深度 MD} = (1 \times 10 + 2 \times 9) / (20 - 1) = 1.47$$

$$\text{整合度 Integration value} = 4.28$$

$$\text{平均深度 MD} = (1 \times 3 + 2 \times 3 + 3 \times 7 + 4 \times 6) / (20 - 1) = 2.84$$

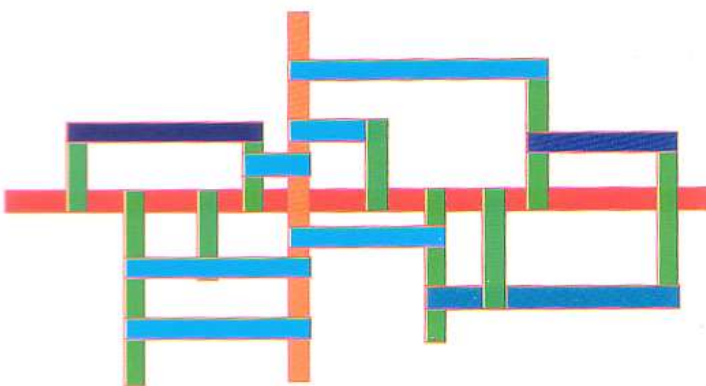
$$\text{整合度 Integration value} = 1.10$$

! 为了消除街道数量的影响，真实的把握形态

$$\text{不对称值 RA} = 2 (\text{MD} - 1) / (n - 2)$$

$$\text{相对不对称值 RRA} = \text{RA} / \text{Dn}$$

$$\text{整合度} = 1 / \text{RRA}$$

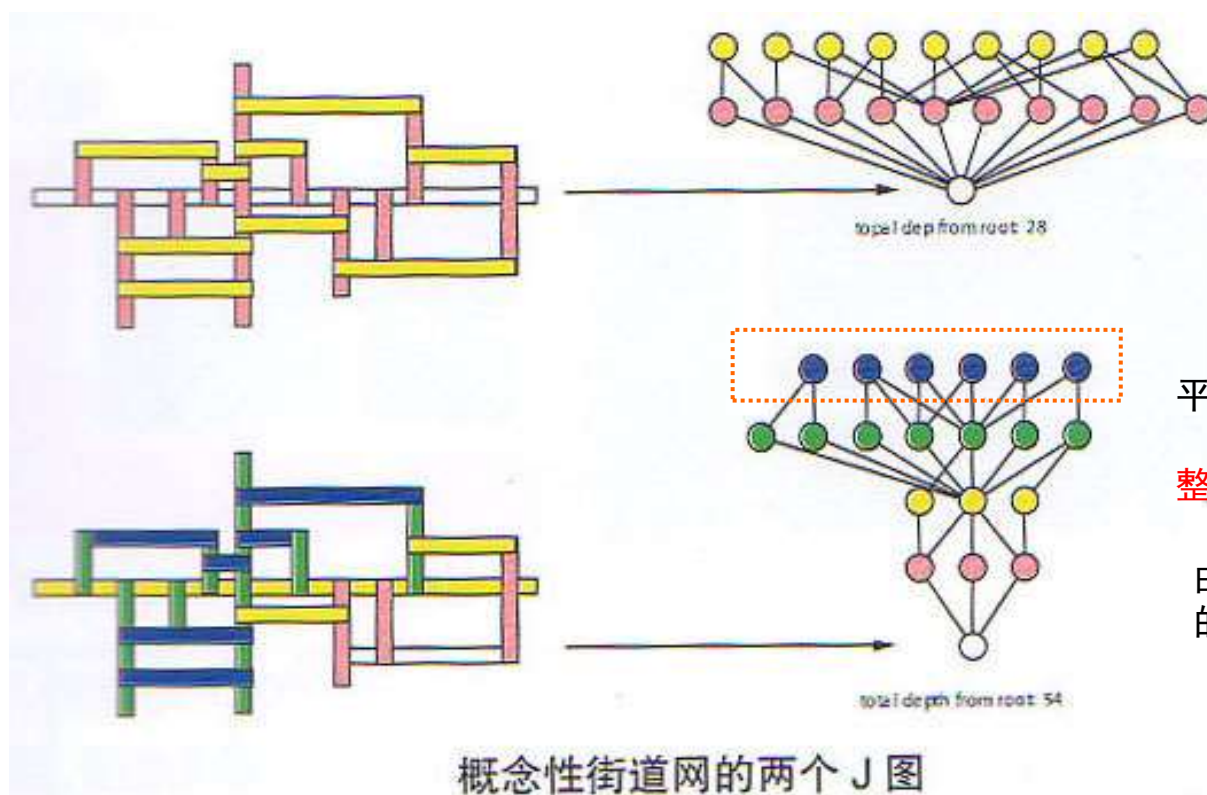


概念性街道网整合度上色图

上图中列举了分别从两条线为起点计算的整合度值，事实上，Depthmap会对**每条线**进行该计算，根据整合度数值的大小附以不同的颜色（红到蓝，见右侧图）。红色线整合度较高，平均深度较浅，在整个系统中的拓扑连接性较好。

## 全局整合度（半径为n）与局域整合度（以R=3为例）的区别

全局整合度与局域整合度的差别为：前者计算每条线到其他所有线的拓扑深度，而后者仅仅计算与每条线距离3个拓扑距离的线的平均深度。传统的空间句法研究认为，全局整合度可以反应出全城的商业中心；局域整合度可以避免边界作用的影响，可以反应出商业次中心。



$$\text{平均深度 MD} = (1 \times 10 + 2 \times 9) / (20 - 1) \\ = 1.47$$

整合度 Integration value = 4.28

由于这条街与其他街连接均在3步以内，故其深度与全局整合度的计算方式无差别。

$$\text{平均深度 MD} = (1 \times 3 + 2 \times 3 + 3 \times 7) / (14 - 1) \\ = 2.31$$

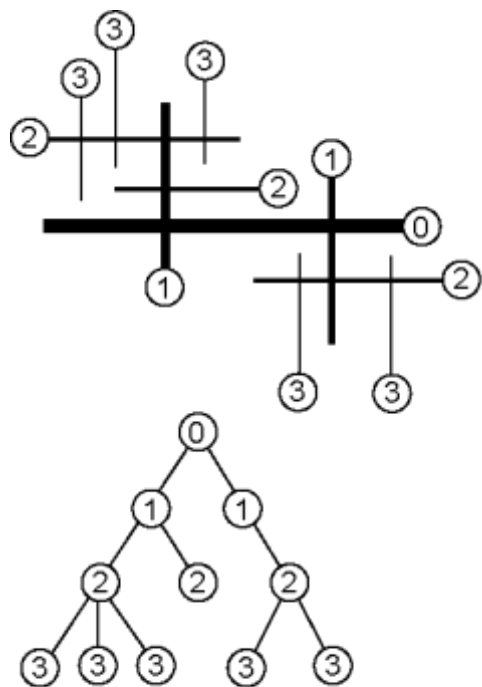
整合度 Integration R3 = 1.22

由于这条街比较偏僻，如图所示，在3步以外的点被舍弃不算。





## 全局整合度与局域整合度



$$\text{Average depth} = (0+1+1+2+2+2+3+3+3+3+3) / (11-1) \\ = 2.3$$





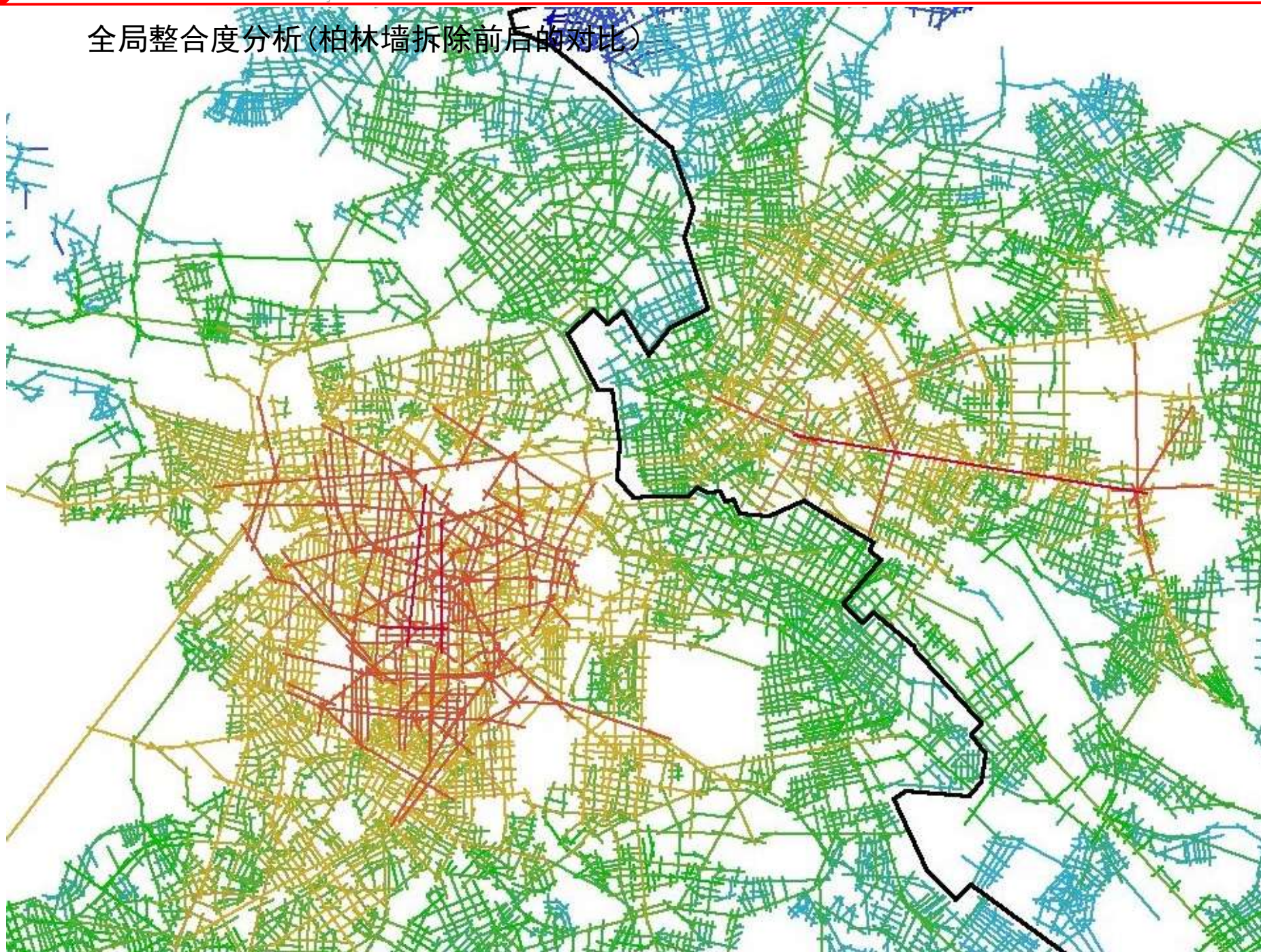
## 全局整合度分析(柏林墙拆除前后的对比)







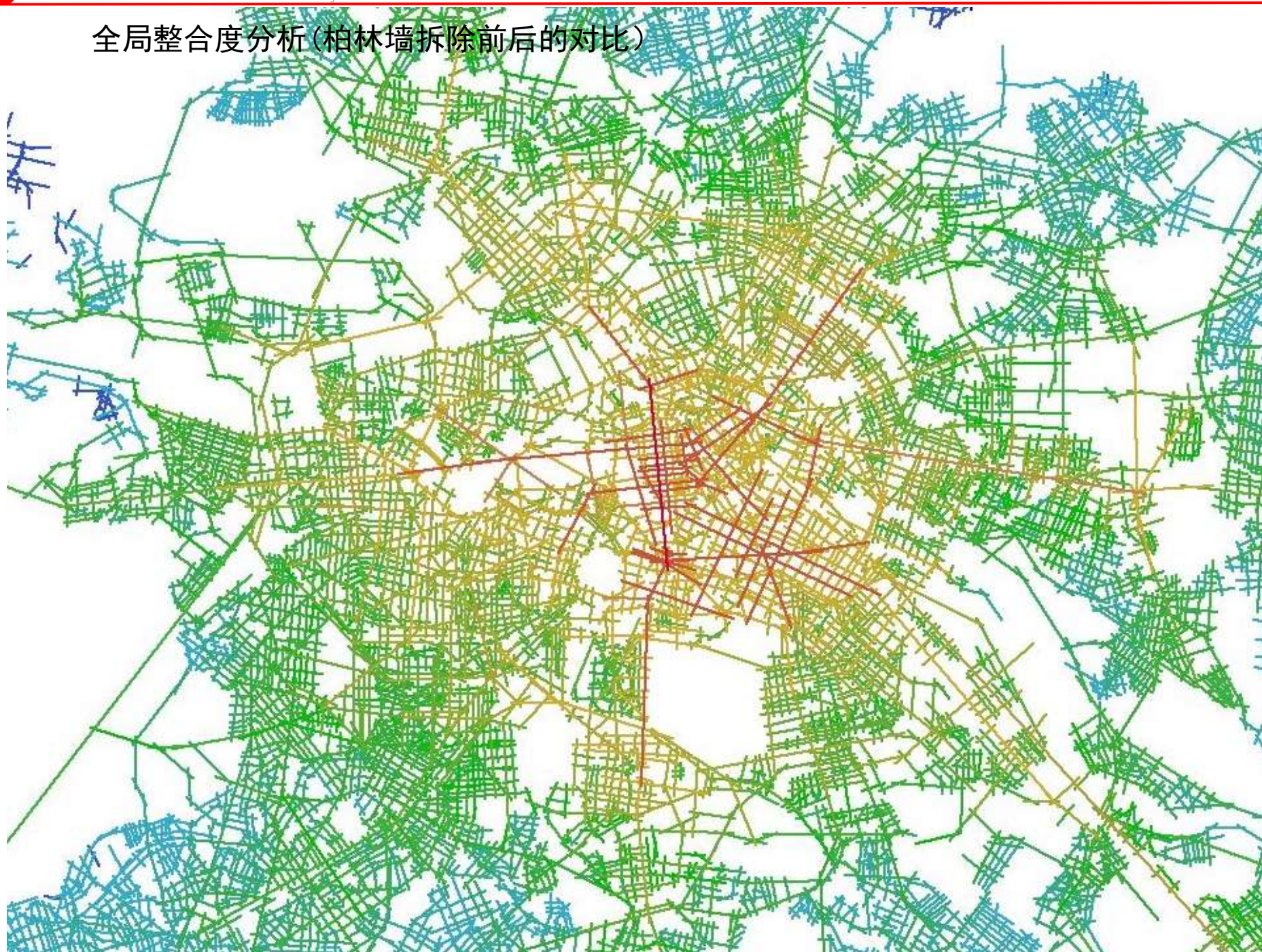
全局整合度分析(柏林墙拆除前后的对比)



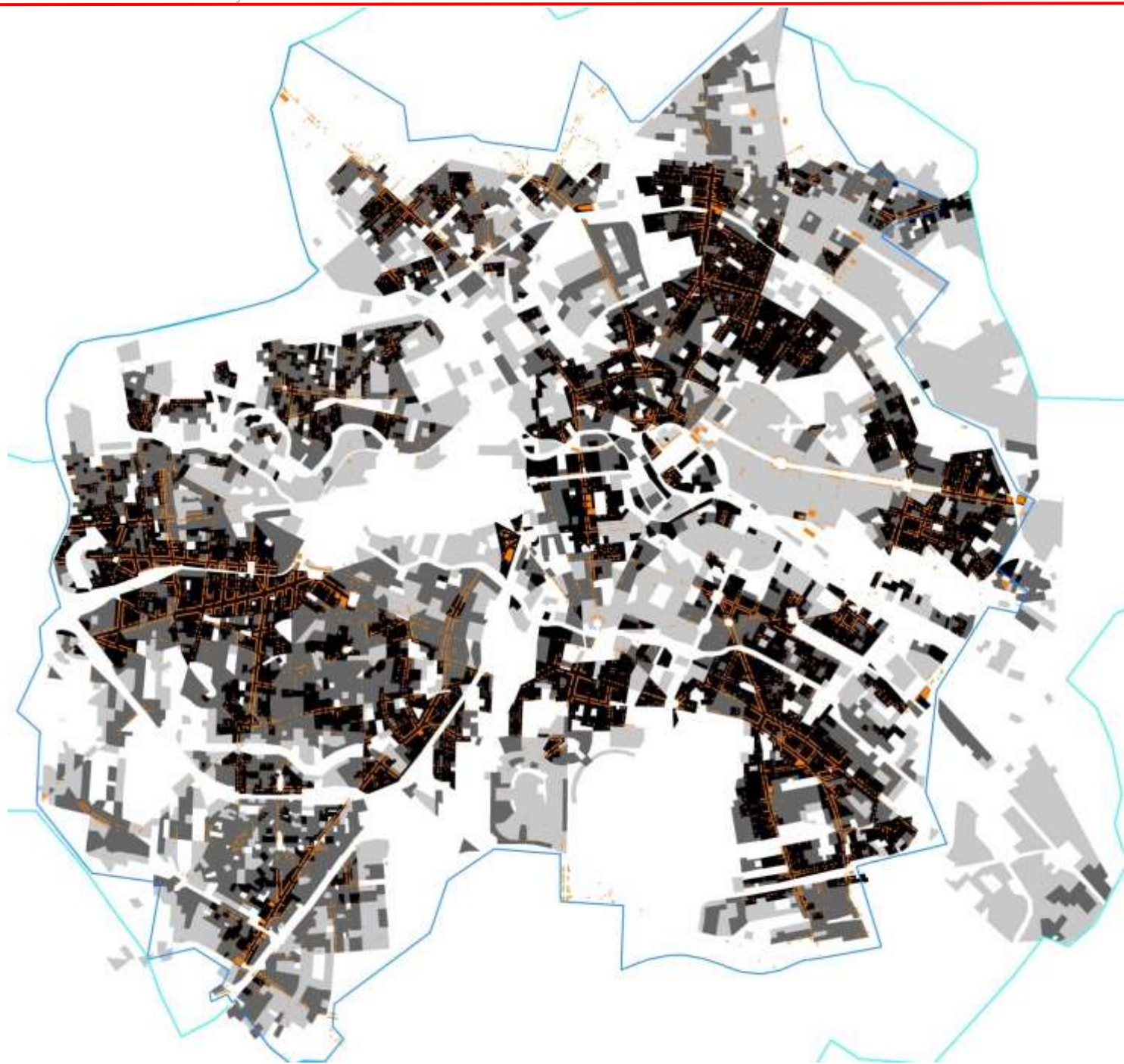




## 全局整合度分析(柏林墙拆除前后的对比)







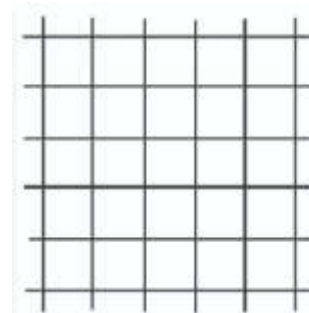
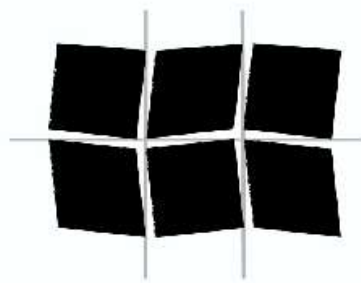
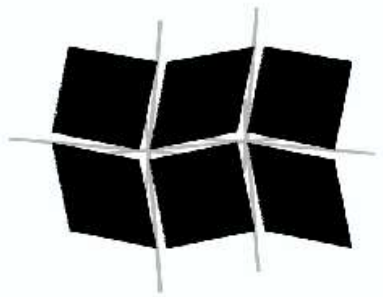
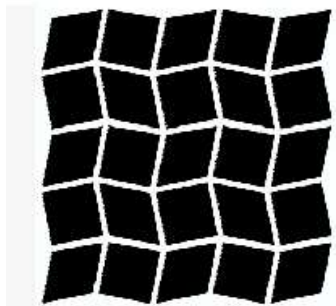




# 线段分析

对轴线分析的质疑  
线段分析的算法及操作  
标准化角度选择度算法

## 对轴线分析中拓扑算法的质疑



Integration value = 3.134



Integration value = 1.930 (central)  
0.919 (corner)

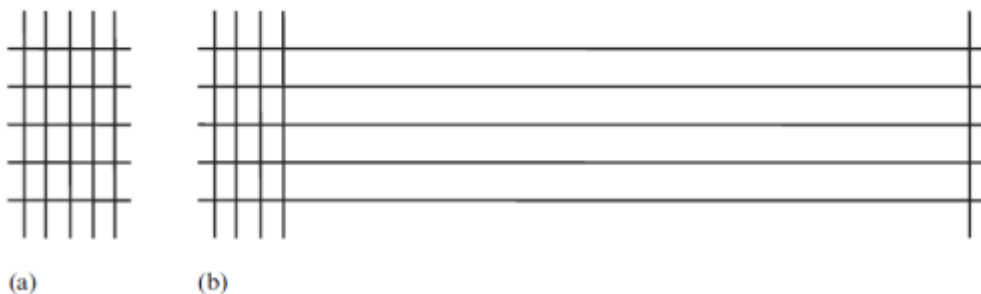
Calo Ratti (2005), Suggestions for developments in space syntax

绘制轴线地图中不可避免的主观性因素，直接导致了Angular analysis, Segment analysis，及日后Depthmap的产生。



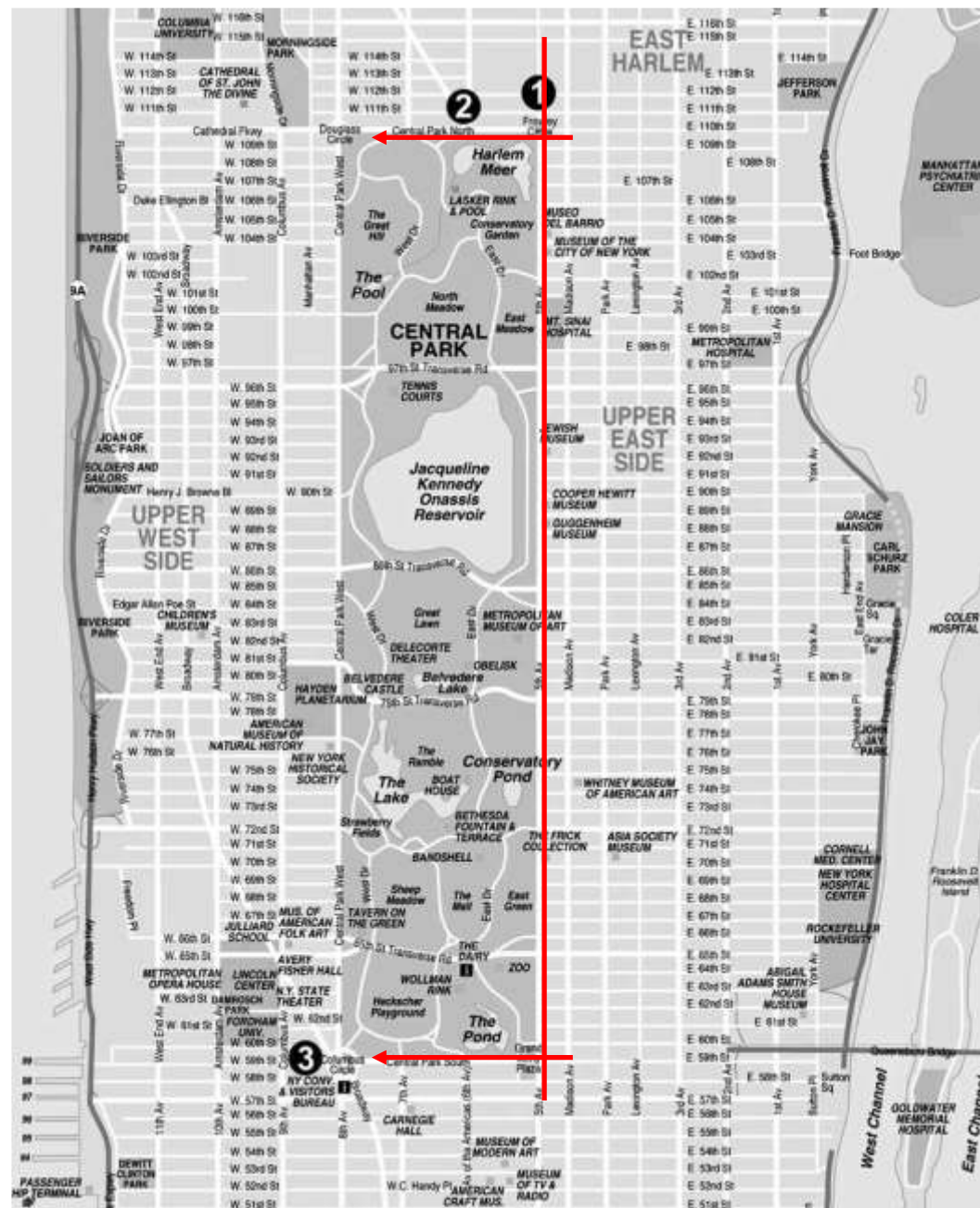
## 对轴线分析中拓扑算法的质疑

### 1, 轴线分析算法忽略了距离因素



同样是五条街道的街区，b中引入的大街区没有改变该轴线地图的拓扑形态，却大幅度改变了该地区的真实地理空间。

An axial map representation five-by-five street portion of New York City (a) has been deformed by inserting a large unbuilt area between two streets (b). Topology is unchanged, but geometry is radically different.



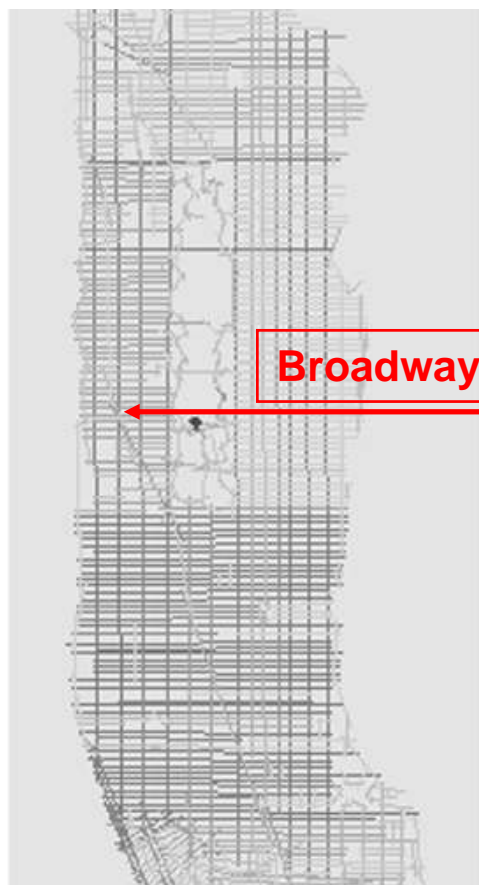
## 对轴线分析中拓扑算法的质疑

## 2, 轴线分析算法过于强调了长直线的作用



Figure 2: Three representations of the same curved path

甚至画图习惯不同也会导致分析结果的较大差异.....



Broadway Av.





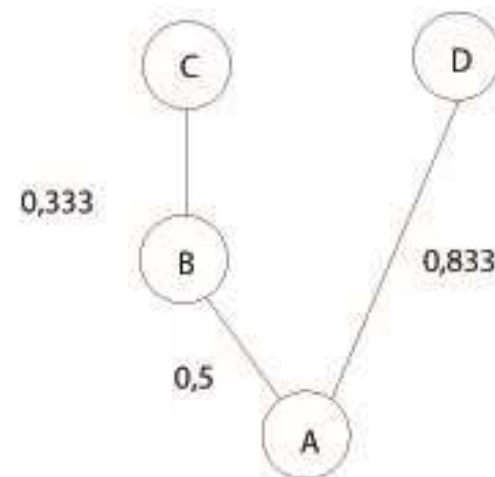
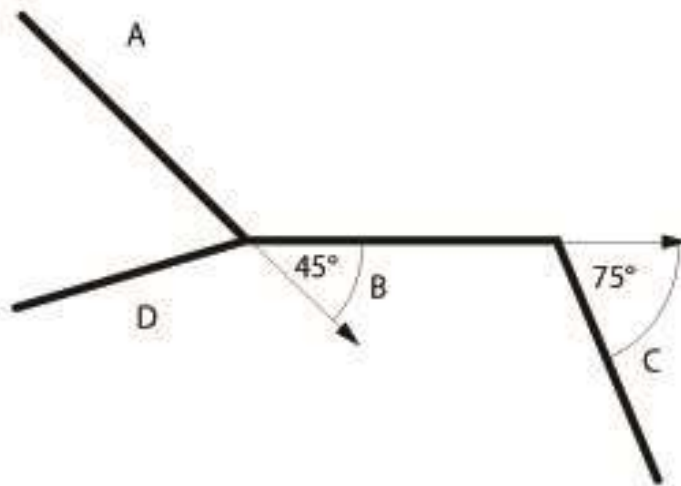
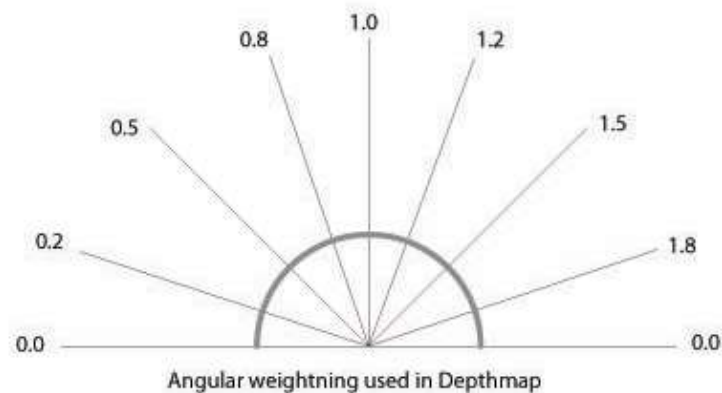
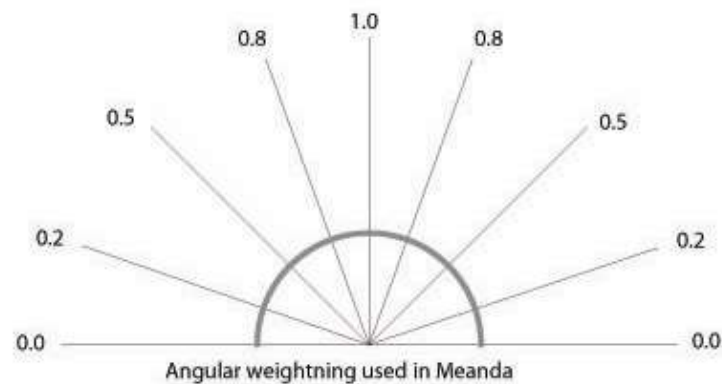
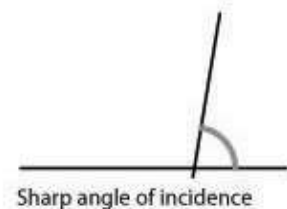
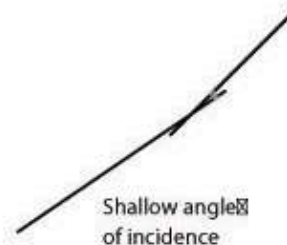


## 线段分析解决方案

### 1, 分析方式的多元化

原有的基于Axial map的拓扑步数均为整数，而角度的引入使拓扑步数可以为小数。增加了与实际街道空间体验的吻合程度，特别是对于微曲的街道空间。

注意：在线段分析中一个线段的角度平均深度（Angular mean depth）是该线段在最小综合转角的选路规则下到其他所有线段路径的转角之和除以该地图中所有交角之和的商（而非除以总的线段数量）。





## 线段分析的方案

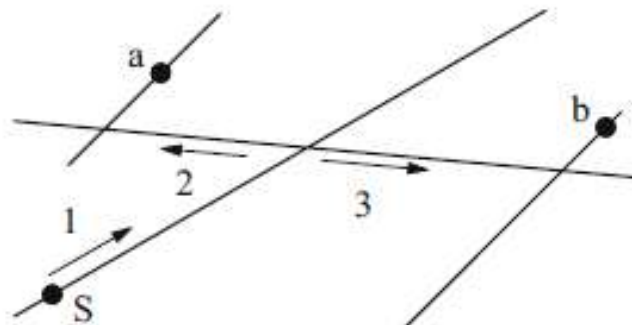
### 1, 分析方式的多元化

线段分析提供了下述三种分析模式，可以综合分析街道网络的拓扑、角度和距离的几何结构，这些分析模式的差异在于对“最短路径”的数学定义不同。分别列出如下：

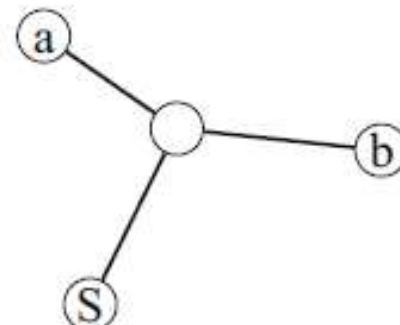
**拓扑模式 (Topological)** 最短路径为两线段间折转次数最少的路径，或者说是经过其他线段数最少的路径。这意味着在线段分析中的拓扑分析模式等效于轴线分析，只不过有更多的计算半径选择（关于半径见后文）。

**角度模式 (Angular)** 最短路径为两线段间综合折转角度最小的路径。**这是在线段分析中最常用的分析模式！**

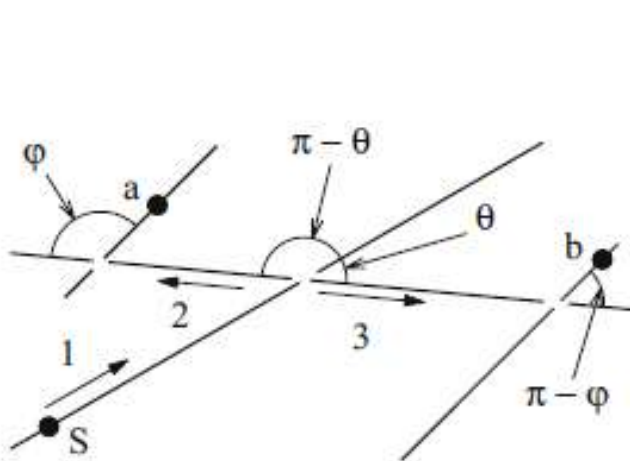
**距离模式 (Metric)** 最短路径为两线段间距离最短的路径。这是在线段分析中比较有争议的分析模式。



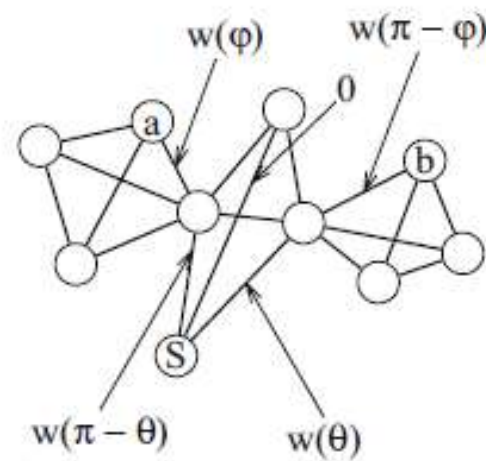
(a) line model



(b) graph of (a)



(c) segment model



(d) graph of (c)





# Land use/‘Through’ movement Strong correlation











## 线段分析的解决方案

### 2, 分析半径的多元化

除分析模式外，线段分析还提供了三种分析半径，仅有在选定半径范围内的线段才参与计算。这三种半径分别为：线段步数 (Segment step)、角度 (Angular) 和距离 (Metric)。下文将通过图来分别展示三种半径的差别。

#### 拓扑半径 (Segment step R=3)





## 线段分析的解决方案

### 2, 分析半径的多元化

不难理解，在相同半径数值下，角度半径所涵盖的范围总是大于等于拓扑半径。

角度半径 (Angular Radius  $R=3$ )







## 线段分析的解决方案

### 2, 分析半径的多元化

注意：1, AutoCAD中线段的尺度和Depthmap中的尺度是对应的，所以在将DXF格式文件导入Depthmap前需要确认比例正确。  
2, 特定线段是否落入所选距离半径内的计算点在该线段的中点。

距离半径 (Metric Radius  $R=300m$ )



距离半径是在线段分析中最常用的半径设定！










## 线段分析的意义

线段分析与轴线分析作用相似，但却可以实现对运动和空间层级更精确的分析方式。

目前的分析方式集中在以下两种：在特定**距离半径下的角度分析**与特定**距离半径下的距离分析**。

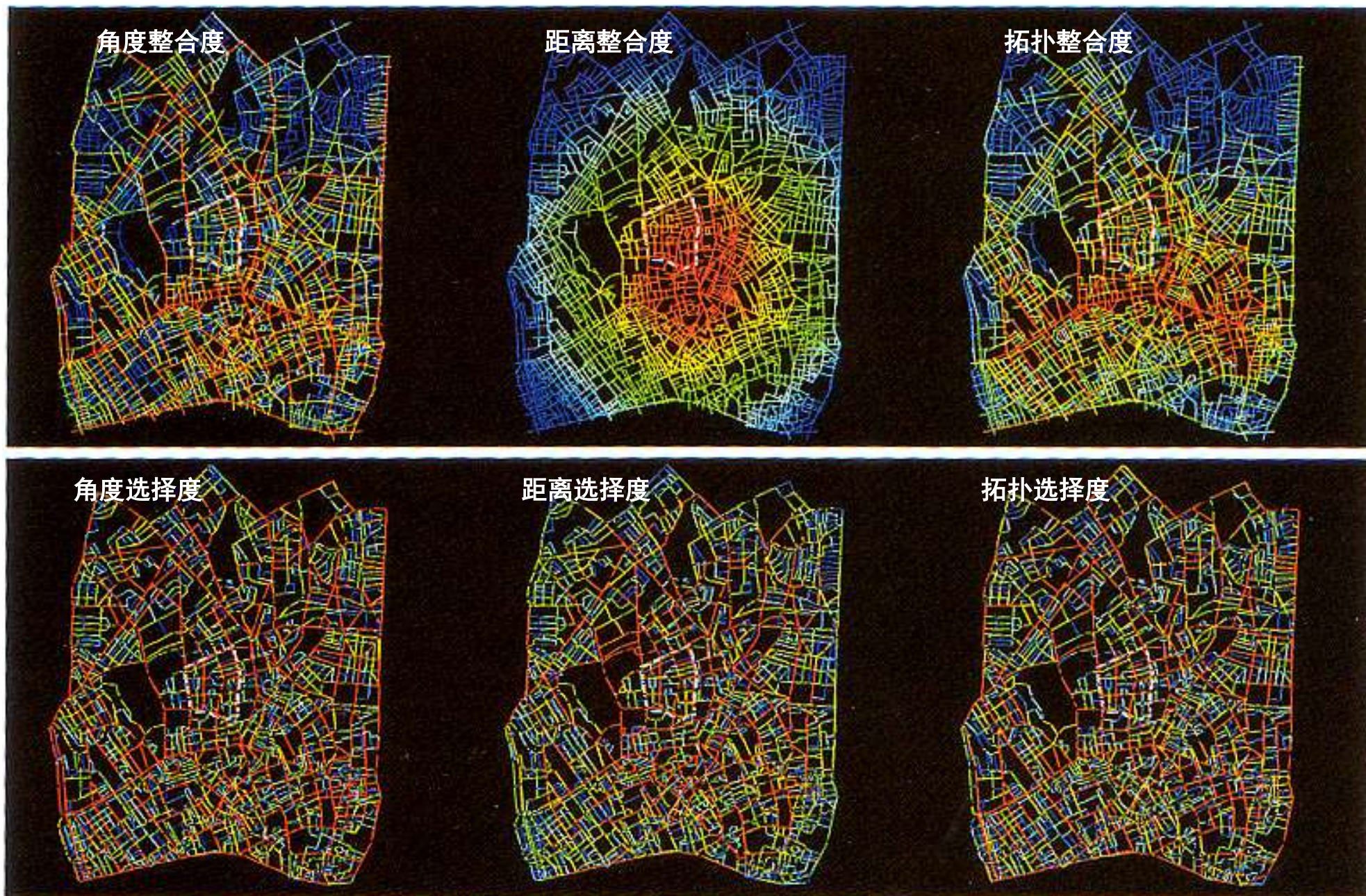
		Analysis type			
		Angular	Segment	Topological	Metric
Radius type	Angular				
	Segment				
	Topological				
	Metric				





不同分析模式下整合度和选择度分析的对比

1, 角度选择度与距离选择度的区别; 2, 整合度与选择度的区别。



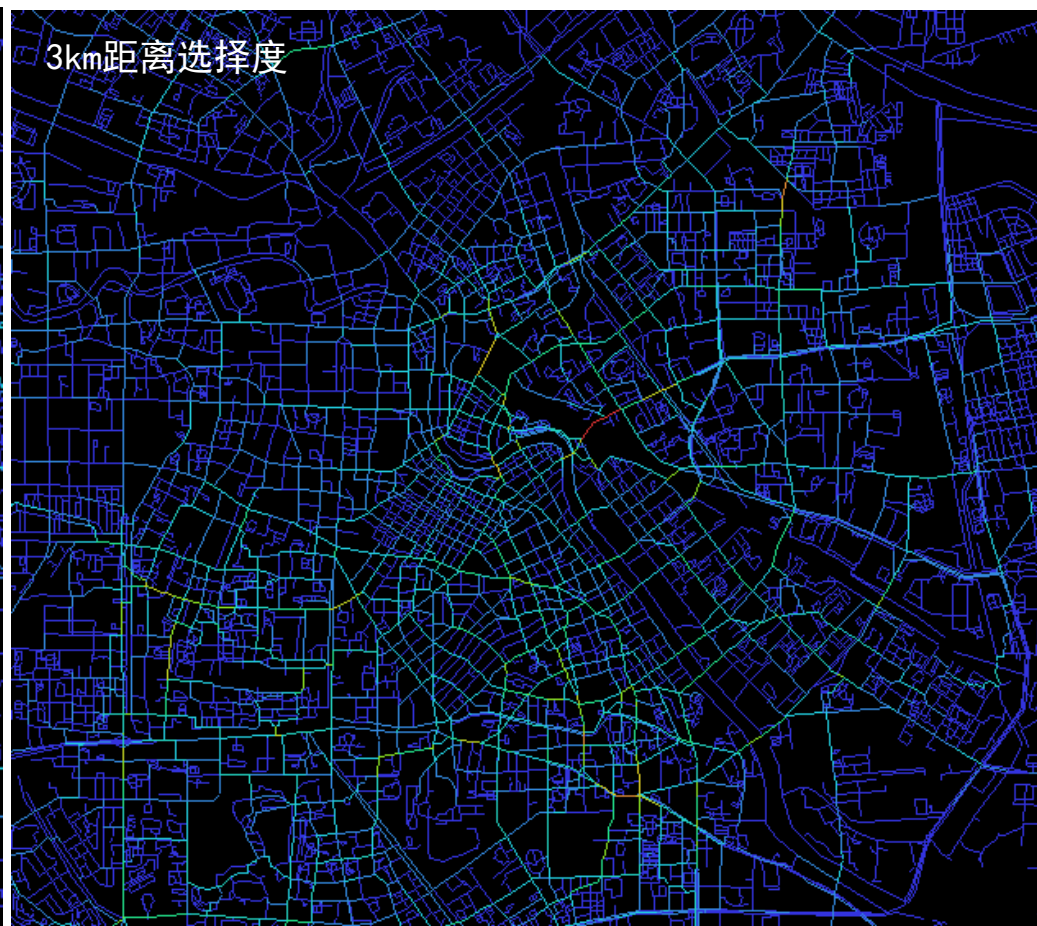
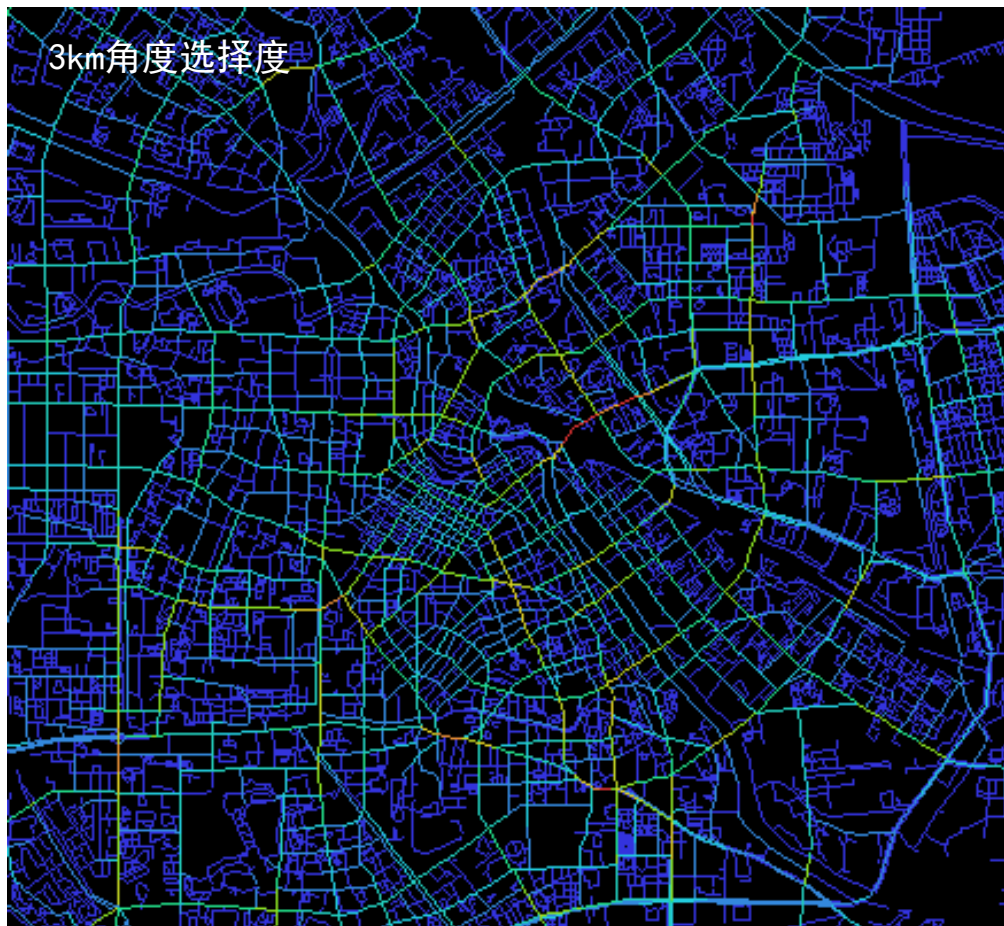




## 1, 角度选择度与距离选择度的差异?

从简单的问题开始: 为什么我们很少能真正选择近路?

与半径3公里的角度选择度相比, 距离选择度突出了更多的“近路”, 而前者似乎更接近真实的道路等级结构。事实上, 很少有人具备“上帝”的视角来认知我们的城市空间, 刻意的选择在距离上更近的路线。相反, 长而直的街道往往有更强的方向感, 往往被尺度也更宽, 习惯上更容易被人选择。







## 不同距离半径的角度选择度

不同距离半径的角度选择度计算结果体现了路网的等级结构，大半径的分析往往体现出区域高速路等高等级交通路网。



1公里半径角度选择度



3公里半径角度选择度



10公里半径角度选择度







## 2, 整合度与选择度的区别?

首先, 从算法的直接差别来看:

■在线段分析模式下, 整合度是指每个街道段在特定半径内到其他街道区段的“距离”(常用的, 转角之和最小), 即描述了该街道段的**中心性**。

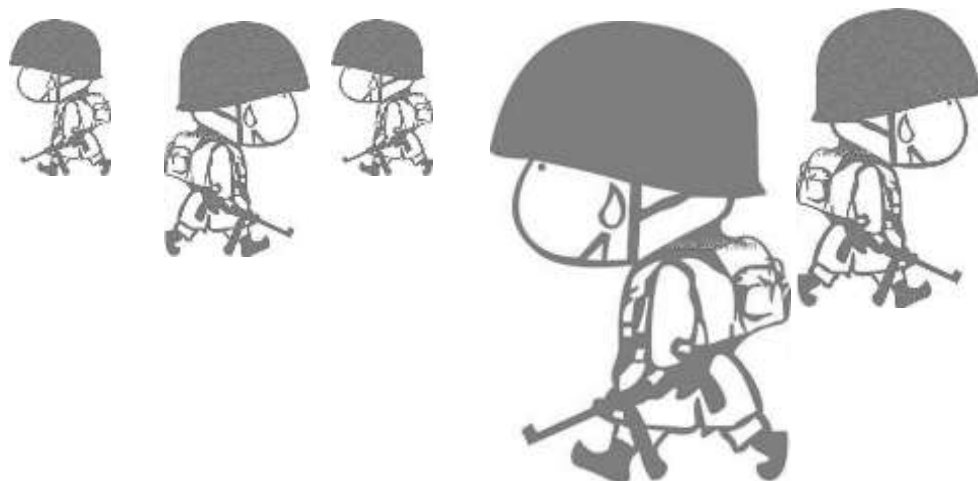
■在线段分析模式下, 选择度描述的是每个街道段在特定分析半径内被其他任意两个街道段之间最“短”路径穿过的次数, 即它描述了该街道段的**被穿过性**。

其次, 从算法隐含的空间行为来看:

■每个街道段都是中心, 只不过它们辐射和控制的范围不同, 因此整合度反映了该街道段作为**运动目的地**的潜力。

■每个街道段都是路径, 只不过它们被选择性穿过的机会不同, 因此选择度反映了该街道段作为**运动通道**的潜力。

## To-Movement 和 Through-Movement







从分析分析结果来看：不同距离半径的角度选择度与整合度计算结果比较

1公里半径角度选择度



3公里半径角度选择度

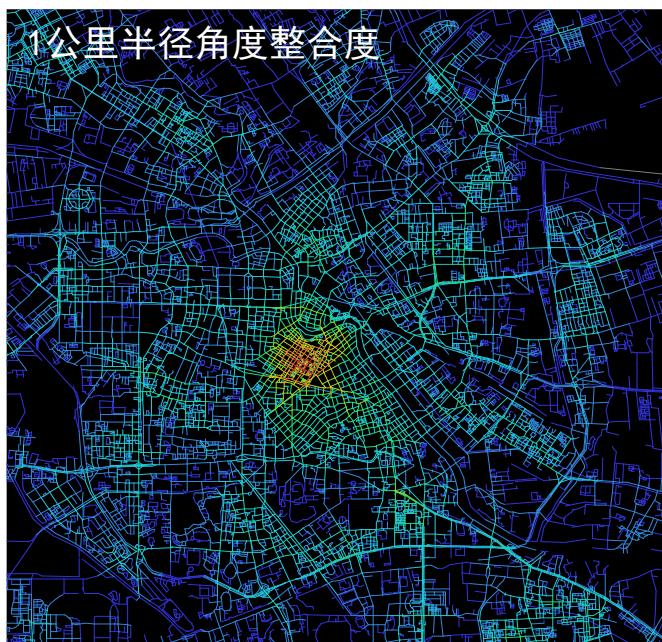


10公里半径角度选择度

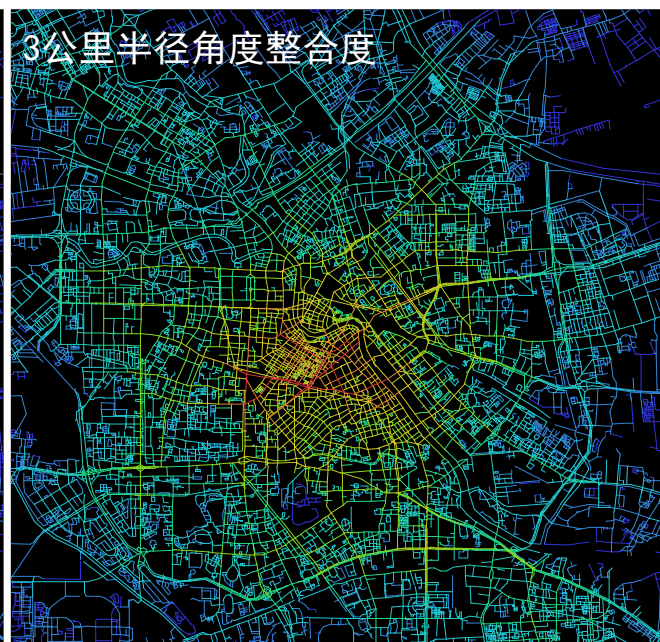


选择度体现为不同层级的路网。

1公里半径角度整合度



3公里半径角度整合度



10公里半径角度整合度



整合度体现为不同层级的中心区。



## 从空间行为差异引申到功能

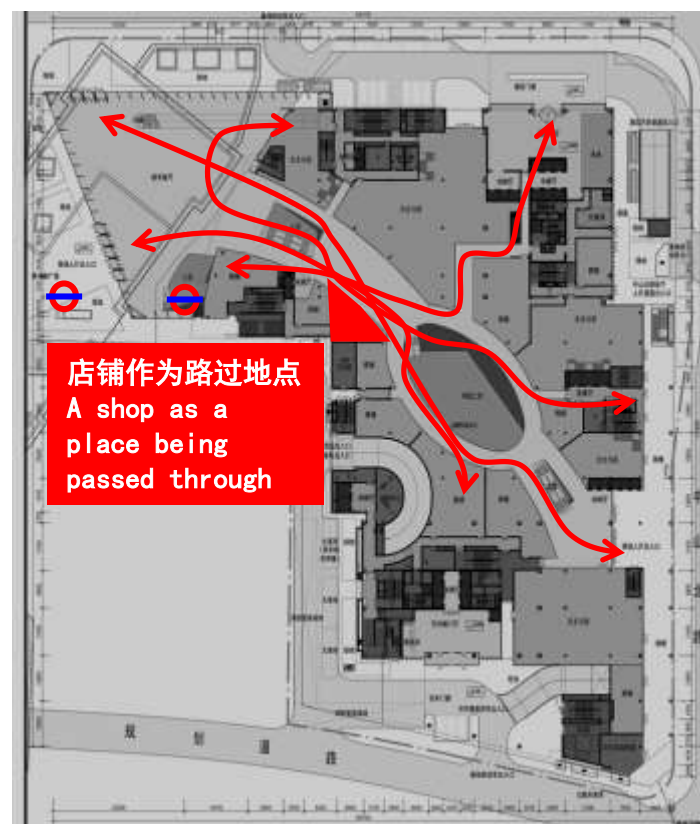
为什么要解释的如此复杂？为什么不直接说选择度用来分析路网，整合度用来分析中心区？

小尺度范围选择度的体现的局域路网本身也体现出区域特性，而大尺度范围的整合度本身隐含了路网层级。空间句法不是“性能型工具软件”，空间分析结果不单一导向特定的功能解释，不存在按键输出日照分析等明确的结果，空间句法是“研究型工具软件”。



### 到达性交通带来的空间潜力

高整合度的空间单元可能对应着如高吸引力餐饮娱乐购物等中心功能的聚集区域。



### 穿行性交通带来的空间潜力

高选择度的空间单元可能对应着一般餐饮零售娱乐业等利用穿过性交通流量等商业聚集。

真实的商业街或建筑内空间使用状态总是体现为两种空间潜力的综合。





## 操作步骤:

“Map+Convert Active Map”，在 “new Map Type” 中选: Segment map, 然后选 “remove axial stubs less 25% of the total length”, 即生成线段地图 (segment map)。与轴线分析相比，线段分析的计算单元数量大的多，剪掉绘制轴线时的出头可以减少计算量，提高速度，同时对选择度分析来说也大幅减少了无意义的路径可能。

“Tools + segment + run Angular Segment Analyses”，勾选: Include choice, 设定分析半径类型为metric（米为单位）” n, 400,800,1200,1600,2400,3200....”。最后，勾选 include weighted measures. 选择用 segment length 权重，然后 “ok”，要等很久！！选择用线段长度修正的目的是考虑到长的线段可能有更多的建筑从而能贡献更多的出发和目的地。

Radius	400m	800m	1.2km	1.6km	2.4km	3.2km	n
walk	5	10	15	20			
cycle		5		10	15	20	
car			5		10		infinity

Analysis Type

☒ Tulip Analysis (Faster)

Tulip Bins (4 to 1024)

(1024 approximates full angular analysis)

Include choice (betweenness) ☒

☐ Full Angular (Slower)

Radius Type

☐ Segment Steps

☒ Metric ☐ Angular

Radius / List of radii



## 通过图层间的计算来获得角度整合度

■需要线段分析结果中的 **Total Depth** 和 **Node Count**

角度整合度 (Angular Integration) 的算法由Hillier和Iida在2005年开发

$$\text{Angular Integration} = (\text{NC} * \text{NC}) / \text{TD} \text{ 或者 } = \text{NC} / \text{MD}$$

NC = Total Node Count; TD = Total Depth; MD = Mean Depth

如同在轴线分析部分讲到的，mean depth 这个分析结果本身没有太大实际意义，而当与节点数 (Node Count) 结合时，才具备实际的意义。具体的做法为：‘Attributes’ > ‘Add column’ > ‘Edit’，然后在跳出的盒子中填入特定距离半径下的  $\text{Node Count}^2 / \text{Total Depth}$ ，或者 **NC/MD**。

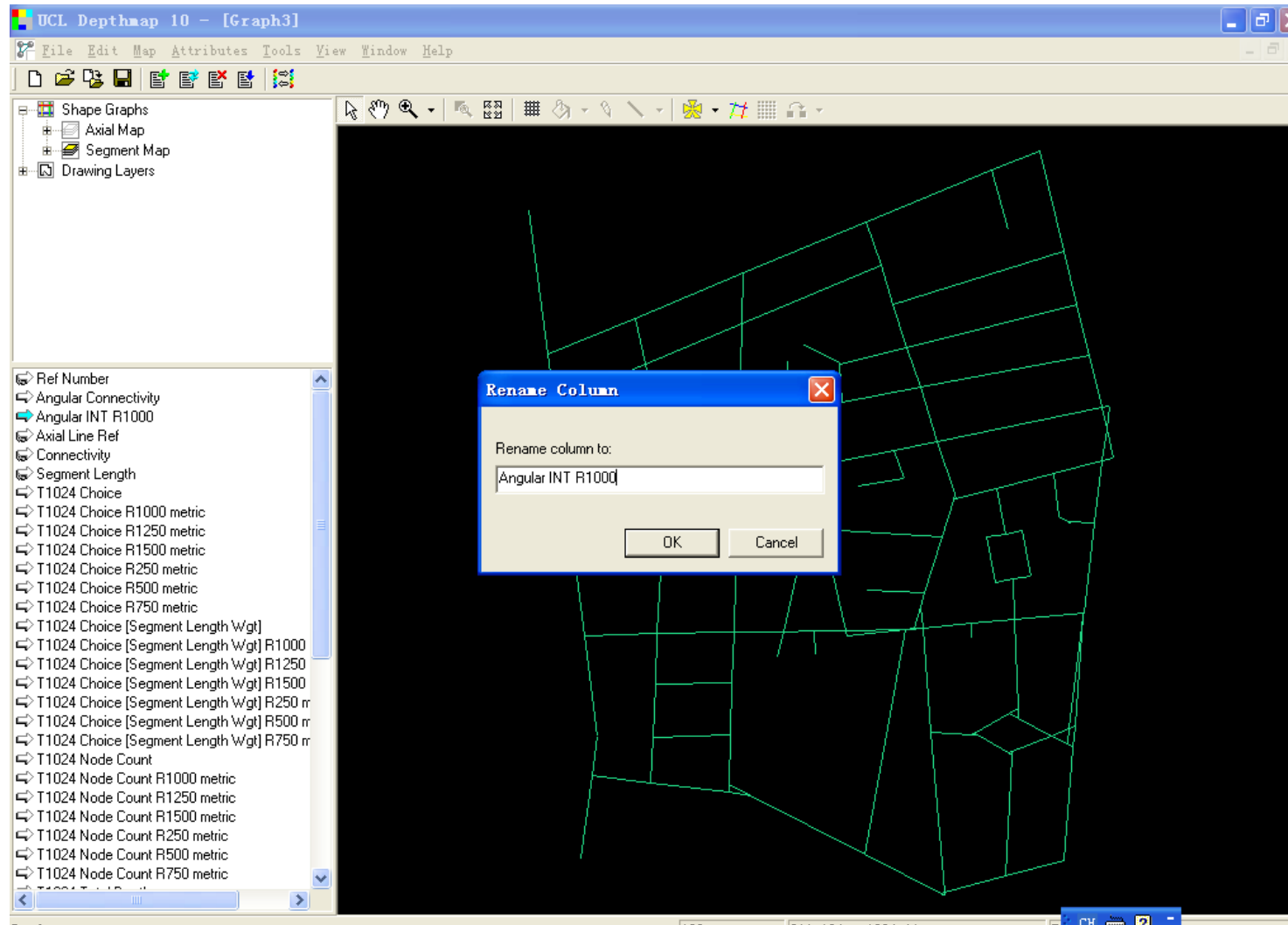
注：本质上这种算法等效于《空间的社会学逻辑》中 RA的算法，只不过被移植到了线段分析模式下。



### 操作步骤:

An example of creating Angular Integ at Radius 1000m using Scripting

- Add a new column for Angular Integ by going to 'Attributes' > 'Add column'.
- A new column named <New attribute> will appear.
- Select it, then Right-click the mouse and 'Edit'.
- Typing "Angular INT R1000"

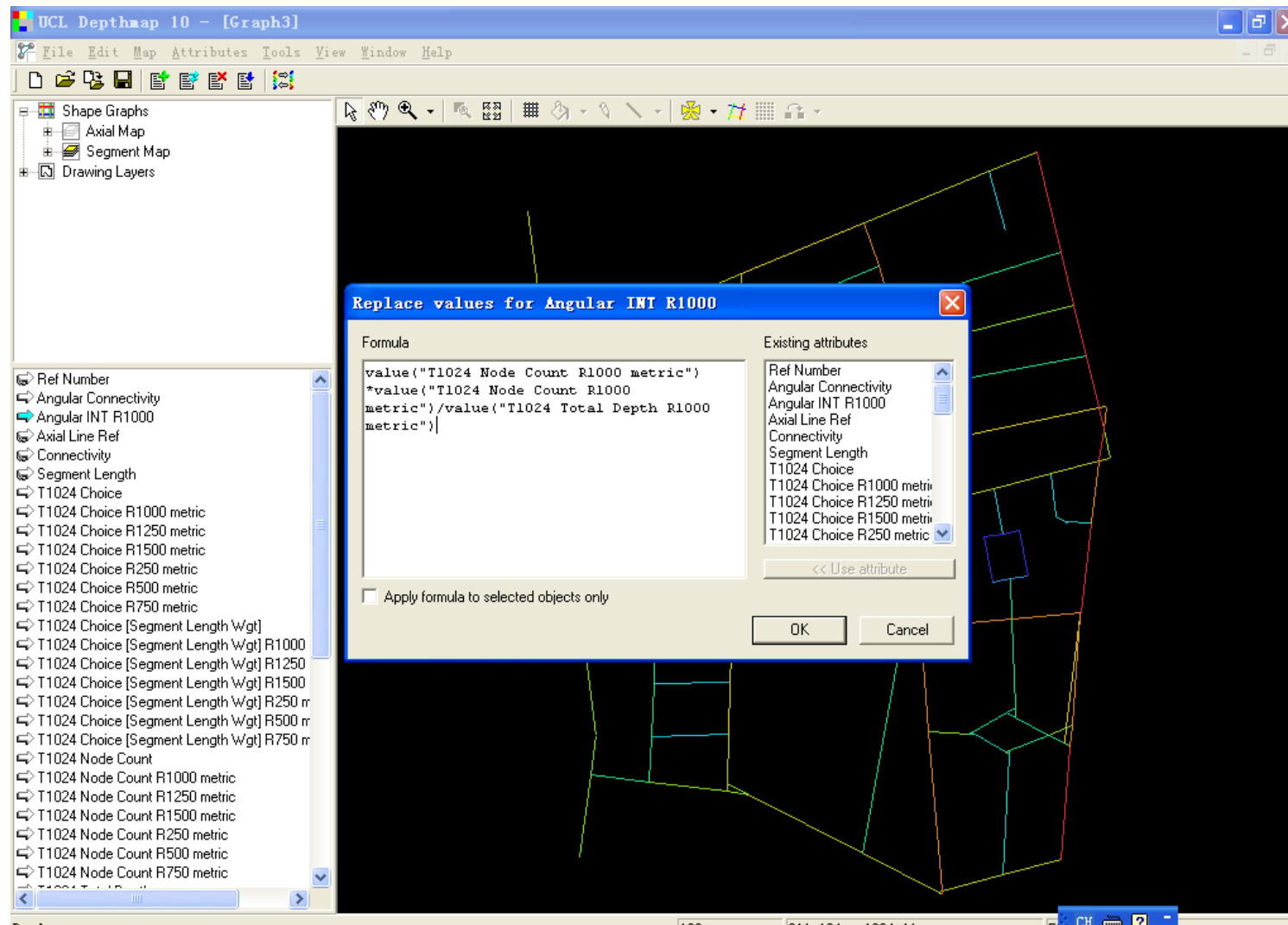




## 操作步骤:

- Right-click on “Angular INT R1000”, a formula box appears
- Scrolling down from “Existing Attributes” and Double-click attributes to create the Angular Integration formula for Radius 1000m as:  

$$\text{value}(\text{"T1024 Node Count R1000 metric"})^2 / \text{value}(\text{"T1024 Total Depth R1000 metric"})$$

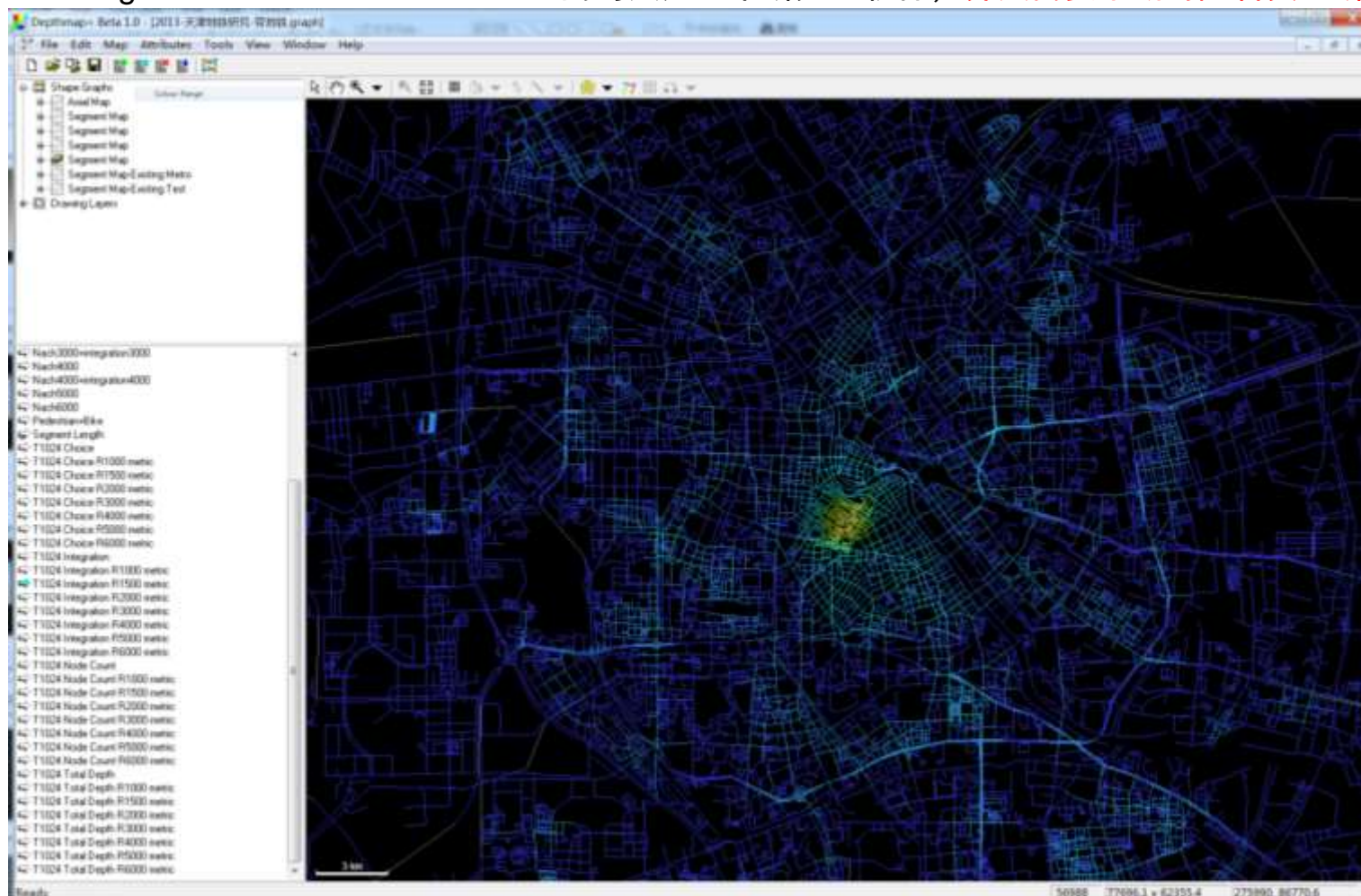


感谢空间句法的软件开发人员，现在角度整合度可以直接出结果了。

■直接选择 “T1024 Integration R1500 metric” 即可获得1500米半径角度整合度分析结果，无需借助图层计算。

那为什么还要这么折腾？

有研究表明角度整合度的算法  $\text{Angular Integration} = (\text{NC}^2) / \text{TD}$  过于强化了NC数据，因此考虑更改为：  
 $\text{Angular Integration} = (\text{NC}^{1.2}) / \text{TD}$ 。空间句法是一个研究型软件，算法需要不断的随着实证研究发展和修正。

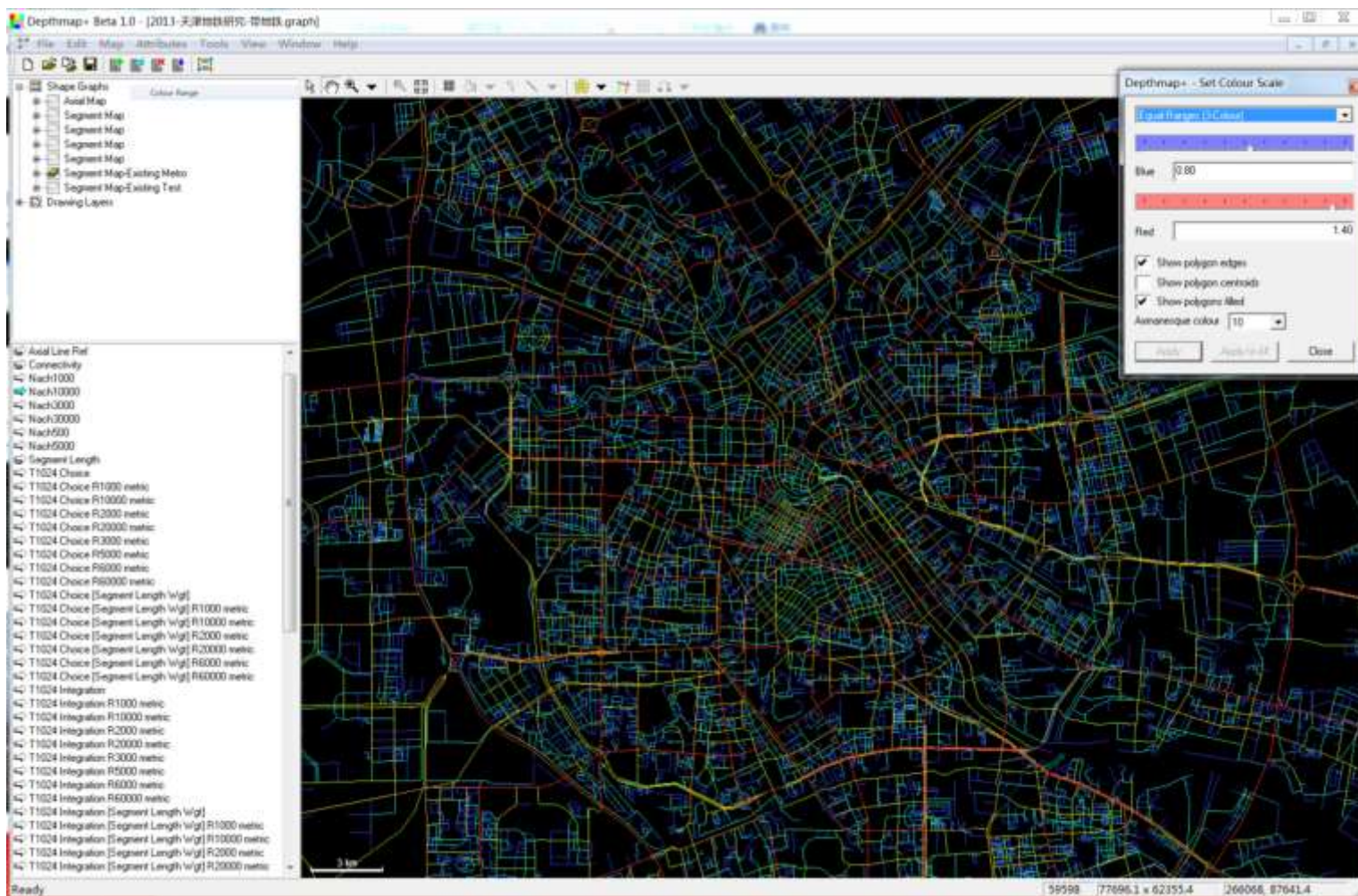




## 标准化角度选择度（或称穿行度）算法介绍

■目前空间句法比较流行的算法是所谓的“**标准化角度选择度**”分析（**Normalized Angular Choice**），其算法为  $\log(\text{Choice} + 1) / \log(\text{Total depth} + 3)$ 。其基本做法为：新建一个图层并命名为如“Nach 10000”，即10公里半径的标准化角度选择度，算式为： $\log(\text{value}(\text{"T1024 Choice R10000 metric"}) + 1) / \log(\text{value}(\text{"T1024 Total Depth R10000 metric"}) + 3)$

而后，需要在colour range 中将显示范围调整至0.8到1.4之间！便于横向比较和取得比较好的色差视觉效果。





## 标准化角度选择度（或称穿行度）算法评价

- 1, 新的穿行度算法改进了传统选择度的问题（线段数量多则路径数量多），可以实现不同空间系统，或同一空间系统内部不同形态组织间的比较。
- 2, 新的穿行度算法使得路网层级结构体现的更为清晰，从目前的实证看来对分析预测车流量有很好的效果，而在分析人流量时可与整合度配合使用提升分析效果。

### 线段分析与轴线分析对比评价

技术总是在进步的吗？

泛用性的理论坍缩为具体的技术手段

轴线分析是纯拓扑形态的分析，而线段分析则混合了米制化几何特征和拓扑特征。或者说，是一种以更为米制化的方式分析拓扑结构的分析方法。该方法对分析城市街道网络形态和运动、土地使用的关系从目前的实证研究看来更为有效，但其代价是丧失了纯拓扑网络（关联性网络）作为一种理论模型的泛用性。

“线段分析中每个街道段在绝大多数下仅有不超过6个连接，这在很大程度上限制了它的理论意义，使之沦为一种分析轴线地图的特定方法。”—— Bill Hillier