

空间句法中定量视域分析算法研究

李智杰^{1,2}, 李昌华¹, 李晨³, 介军¹

(1. 西安建筑科技大学信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055; 3. 洛阳理工学院计算机与信息工程系, 河南 洛阳 471023)

摘 要: 定量视域分析是应用空间句法理论研究城市规划和建筑物布局合理性的基础. 提出了一种定量视域分析算法, 从视点每隔一定角度发出一条射线与建筑物实体或区域边界相交, 选取每条射线上距离视点最近的交点构造视域多边形, 通过消除共线冗余点优化视域多边形, 并据此计算出面积、周长、形心和闭塞度等视域属性变量. 实验结果表明, 该方法获得的视域属性变量能较好的反映出空间的视觉特性, 具有较强的应用价值.

关键词: 视域分析; 空间句法; 视域多边形; 视域属性变量

中图分类号: TU-024

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)05-0716-04

空间句法是一种通过对包括建筑、聚落、城市甚至景观在内的人居空间结构的量化描述来研究空间组织与人类社会之间关系的理论和方法. 它由伦敦大学巴利特学院的 Bill Hillier、Julienne Hanson 等人提出^[1]. 空间句法理论目前已经成为在世界范围内有重要影响的建筑研究学派. 该理论已经深入到对建筑和城市的空间本质与功能的细致研究之中, 并得到不断完善. 目前文献中针对空间句法理论的研究大都是应用现有的空间句法软件^[2-3], 如 Ax Women, Confeego, Depthmap 等, 这些软件的计算过程对用户来说基本上是透明的. 因此, 在深入研究空间句法并扩充其智能信息处理的过程中, 构建空间句法及其相关理论的算法是十分必要的.

定量视域分析是应用空间句法理论的基础. 站在空间中某点向四周望去, 视线可达的范围就是视域. 通常采用的是二维视域, 即在观察点所处的平面上(一般与地面平行)所能看到的区域. 视域分析可帮助寻找空间的视觉联系, 分析建筑物在视觉上的控制力和影响力, 也可探寻空间的基本视觉属性^[4]. 本文从可见性出发提出了一种构造视域多边形的算法, 据此可方便快速的计算出各视域属性变量.

1 构造视域多边形

视域多边形是在视点所能看到的视域范围, 本文采用射线法来模拟视线, 如图 1 所示, 四边形 $B_0B_1B_2B_3$ 为区域边界, $W_0W_1W_2W_3$ 为建筑物实体边界(假定视线不可穿过建筑物实体), P_0 为视点坐标, 从 P_0 发出的两条射线 L_1, L_2 分别与建筑物实体和区域边界交于 P_1, P_2, P_3 和 P_4, P_5, P_6 , 显然 P_1 和 P_4 是在 L_1, L_2 上可看到的点, 也即射线跟建筑物实体和区域边界的交点集合中距离视点最近的点, 简记为 T_i . 如果射线是从 $0 \sim 2\pi$ 范围内发射, 则得到的 T_i 即可构成视域多边形. 很明显, 在有些情况下, 这些 T_i 有共线的情形出现, 如图 1 中的 P_1 和 P_4 , 因此要消除共线冗余点来简化视域多边形, 以方便后续视域属性变量的计算. 基于此思想, 算法简要描述如下:

{ 获得视点坐标 P_0 ;

if (P_0 位于区域边界内 & P_0 位于所有建筑物实体外)

{ 计算每个建筑物实体边界 E_j 与视点 P_0 连线的斜率范围, 记为 $[KLE_j, KHE_j]$;

以 P_0 为源点, 按逆时针方向画圆扫描, 每隔角度 θ 发射一条射线, 在 $0 \sim 2\pi$ 范围内共发射 $2\pi/\theta$ 条射线. 对于每条射线 L_i (斜率为 K_i)做如下处理:

收稿日期: 2011-03-10 修改稿日期: 2011-09-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50878176)

作者简介: 李智杰(1980-), 男, 河南荥阳人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为图形图像处理、数字建筑.

{ 计算 L_i 与区域边界的交集 B_i ;
记 R_i 为 B_i 中距离 P_0 最近的点;
对于每个建筑物实体边界 E_j
{ if ($KL_{E_j} \leq K_i \leq KH_{E_j}$)
 { 计算 L_i 与建筑物实体边界的交集 A_i ;
 选取 A_i 和 R_i 中距离 P_0 最近的点更新 R_i ;
 }}
去除 $R_1 \sim R_{2\pi/\theta}$ 中共线的冗余点构造出视域多边形 D ;
}}

为后续描述方便, 这里假设得到视域多边形 D 为 n 边形, 顶点为 $P_k(x_k, y_k)$, 其中 $k = 1, 2, \dots, n$; $P_{n+1} = P_1$; 顶点 P_1, P_2, \dots, P_n 沿多边形边界逆时针排列.

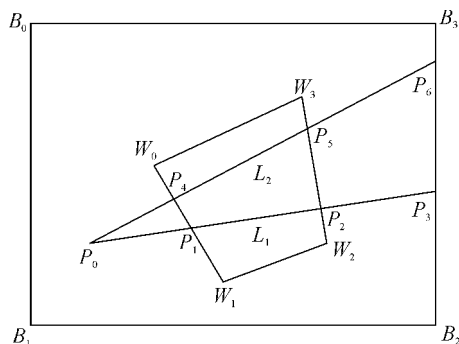


图 1 射线法
Fig. 1 Ray method

2 计算视域属性

Benedikt 于 1979 年首先使用视域对空间进行研究, 并提出了一些相关变量对视域进行定量描述. 后来, Batty 和 Conroy 等人又对视域的量化体系进行了改进和扩充, 使得变量的名目众多, 这里就算法中所实现的一些变量进行说明.

面积 (area) 即视域多边形的面积, 面积越大表示该点的视野越开阔, 地理位置也相对较重要; 周长 (circumference) 即视域多边形的周长; 半径就是视点到视域边界的距离, 其中, 最短半径是指从视点到边界的最近距离, 最长半径是指从视点到边界的最远距离, 平均半径是指从视点在各个方向上到边界的平均距离, 同样可得到最短直径、最长直径和平均直径. 尤其须指出, 最长直径表达了在某点所能看到的最远距离, 是判断某点空间感知能力的重要变量^[5]; 形心 (centroid) 指视域多边形的几何中心, 它是描述地理对象空间分布的一个重要指标; 游离度 (drift) 是指视域的形心与视点之间的距离, 它是图形对称性的较为直接的度量^[6]; 闭塞度 (occlusivity) 是视域边界中由视线射线所形成的虚边界的总长度在整个视域周长中所占的比重, 也可用于表达视野的开阔性; 密度度 (compactness) 即该视点所形成视域的平均直径与最长直径比值; 圆度 (circularity) 定义为利用视域的平均半径计算出的圆面积与视域实际面积的比值; 密度度和圆度不但可以描述视域形状的圆度, 还反映了视点在其视域中的中心性. 在其他条件相同的情况下, 密度度和圆度越大, 则表明视点越靠近空间的中心. 上述变量中周长、半径、游离度、密度度和圆度可以容易的由其他变量获得, 因此仅对面积、形心和闭塞度三个变量给出计算方法.

2.1 面积

由于视点可随意选取, 对应的视域形状也是任意的、较为复杂的多边形, 无法参照规则多边形进行计算, 这里给出多边形 D 的面积 S_D 的计算公式为:

$$S_D = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (x_k y_{k+1} - x_{k+1} y_k) \quad (1)$$

2.2 形心

计算形心的一种简易方法是取多边形各顶点坐标的加权平均值 (假定权值均为 1), 以此作为多边形的形心. 但由实践得知, 此方法所获得的形心坐标有时存在误差. 当多边形存在凹的部分时, 所计算出的形心有可能位于多边形之外^[7]. 如图 2 中阴影部分为点 V_1 的视域多边形, 而 C_1 为计算出的形心位置, 明显位于视域多边形的外部. 为避免这种情况, 本文采用格林公式, 推导出多边形 D 的形心坐标 (\bar{x}, \bar{y}) 计算公式为:

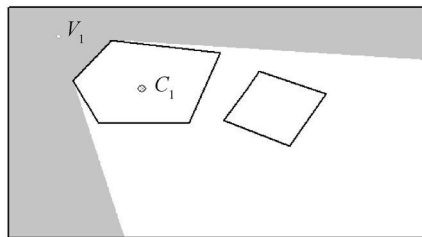


图 2 形心位于视域多边形外
Fig. 2 Centroid of the polygon is located outside the visibility polygons

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i^2 + x_i x_{i+1} + x_{i+1}^2)(y_{i+1} - y_i)]}{3 \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n [(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2)(x_{i+1} - x_i)]}{3 \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)} \quad (2)$$

2.3 闭塞度

闭塞度的计算即是要找出视域多边形中的虚边界, 因此可依次计算视域多边形的每条边的两端点是否和视点共线, 若不共线, 为实边界, 否则为可能的虚边界. 然后将可能的虚边界两端点坐标读出, 并计算该线段的中点. 遍历所有实体边, 判断该中点是否在某建筑实体边界上, 若在, 认为此可能虚边界为实边界, 也就是说该实边恰巧与视点共线; 否则, 最终确定该可能虚边界为真正的虚边界. 最后计算所有虚边界长度总和在视域周长中所占的比重, 即闭塞度.

3 原型系统开发与应用实验

以此算法为基础, 以 Visual C++ 6.0 为平台实现了定量视域分析软件平台, 对读取的规划图手动选取四个点作为视点进行视域分析, 各视域范围如图 3 中阴影部分所示, 所得视域属性变量如表 1 所示. 结合各个属性变量的值和其具体意义可分析出各个视点的特性, 例如从表 1 中面积值得出 V_4 的视野范围较 V_1, V_2, V_3 更为开阔, 这与图 3 中的显示是一致的.

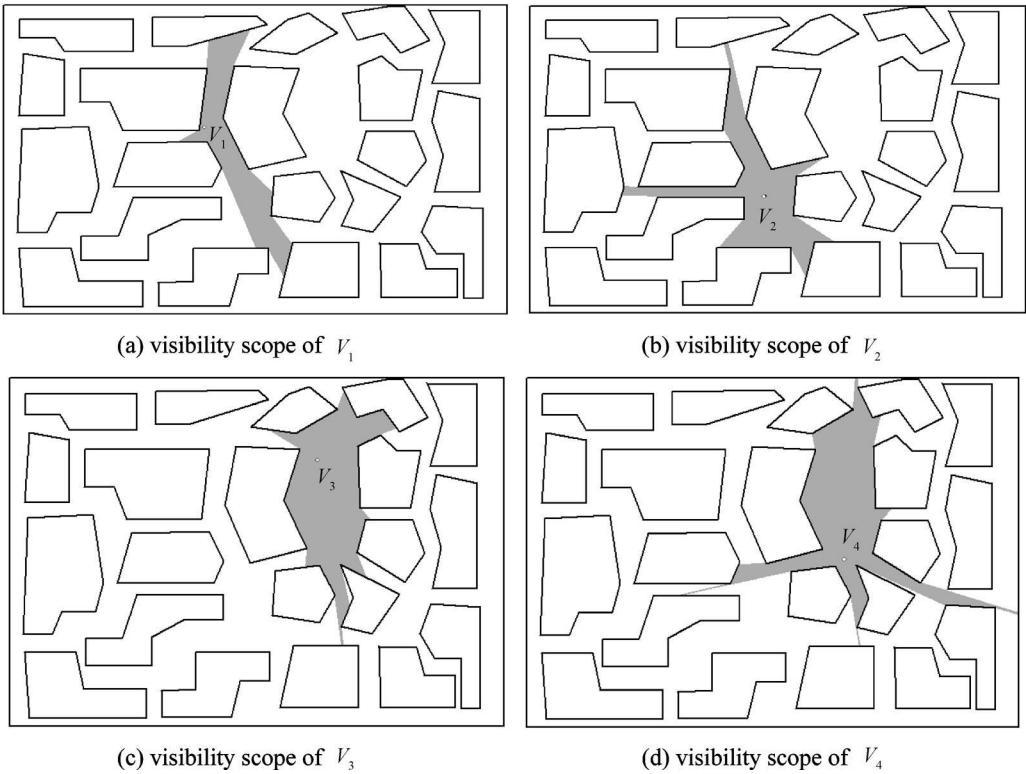


图 3 实验结果图
Fig. 3 Image of the experimental results

表 1 视域属性变量
Tab. 1 Variables of visibility attribute

	V_1	V_2	V_3	V_4
View point coordinate	(690. 33, 539. 23)	(787. 01, 333. 71)	(986. 09, 683. 89)	(1 015. 45, 426. 09)
Area	53 200. 65	71 455. 21	81 861. 80	97 308. 44
Circumference	1 786. 99	2 633. 14	1 945. 19	3 301. 02
Centroid	(776. 52, 468. 78)	(761. 63, 354. 19)	(1 024. 85, 599. 89)	(1 023. 77, 541. 93)
Drift	111. 32	32. 61	92. 51	116. 14
Oclusivity	0. 54	0. 62	0. 65	0. 51
Compactness	29. 77	27. 14	42. 08	29. 48
Circularity	60. 02	97. 03	46. 22	111. 98

4 结 论

定量视域分析是应用空间句法中研究城市规划和建筑物布局合理性的基础. 本文提出了一种定量视域分析方法, 通过射线法构造视域多边形, 并据此计算出各个视域属性变量. 该方法充分利用了射线法简单易用的特点, 所计算出的各视域属性变量能准确的反映出空间的基本视觉特性, 是进行空间分析的有效方法之一, 具有较强的应用价值. 在后续的研究中会继续探讨基于本方法的空间构形的定量描述及其相应空间句法变量的计算与分析.

参考文献 References

- [1] 张 愚. 基于可见性的空间及其构形分析[D]. 长沙: 东南大学, 2004.
ZHANG Yu. The Analysis of Space and Its Configurations Based on Visibility[D]. Changsha: Southeast University, 2004.
- [2] 陈仲光, 徐建刚, 蒋海冰. 基于空间句法的历史街区多尺度空间分析研究-以福州三坊七巷历史街区为例[J]. 城市规划, 2009, 33(8): 92-96.
CHEN Zhong-guang, XU Jian-gang, JIANG Hai-bing. Multi-scale Spatial Analysis of Historic District based on Syntax: Taking Three Lanes and Seven Alleys in Fuzhou as an Example[J]. City Planning Review, 2009, 33(8): 92-96.
- [3] 朱冬冬, 陈 更, 沈慧雯. 灾后街区重构中的空间句法的应用-以四川富新镇街区设计为例[J]. 现代城市研究, 2009(11): 53-59.
ZHU Dong-dong, CHEN Geng, SHEN Hui-wen. Reconstruction of Disaster District based on Space Syntax Analysis: Take the case of the Blocks in Fuxin Village in Sichuan[J]. Modern Urban Research, 2009(11): 53-59.
- [4] TURNER A. UCL Depthmap 7: From Isovist Analysis to Generic Spatial Network Analysis[C] //6th International Space Syntax Symposium, 2007.
- [5] MICHAEL Batty. Exploring isovist fields: space and shape in architectural and urban morphology[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2001, 28: 123-150.
- [6] TURNER A, PENN A. Making isovists syntactic: isovist integration analysis[C] //2nd International Symposium on Space Syntax, Brazil: Universidad de Brasilia, 1999.
- [7] 陈 涛, 艾廷华. 多边形骨架与形心自动搜索算法研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004, 29(5): 444-455.
CHEN Tao, AI Ting-hua. Automatic Extraction of Skeleton and Center of Area Feature[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2004, 29(5): 444-455.

An algorithm for analysis of quantitative visibility in space syntax

LI Zhi-jie^{1,2}, LI Chang-hua¹, LI Chen³, JIE Jun¹

(1. School of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

3. Department of Computer and Information Engineering, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang 471023, China)

Abstract: The analysis of quantitative visibility is the basis for studying urban planning and reasonable layout of the building in the application of space syntax. An algorithm for analysis of quantitative visibility is proposed in the paper. Firstly, the rays are given off from every angle of the viewpoint to intersect with the building physical border or the region border, and then the visibility polygons are constructed by using the points of intersection which are nearest to the viewpoint on each ray and optimized by eliminating redundant collinear points. Finally, such attribute variables of the visibility polygons are calculated, as the area, circumference, centroid and occlusivity. Experimental results show that the algorithm can be used to obtain attribute variables which have a better reflect of the spatial visibility characteristics and it has a better practical value.

Key words: visibility analysis; space syntax; visibility polygons; visibility attribute variables