

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.11.014

一种地形可视性分析算法的高效实现

韩政, 吴秋云, 陈萃, 景宁
(国防科学技术大学电子科学与工程学院, 长沙 410073)

摘要: 针对可视性分析在较大规模数据和高分辨率条件下存在计算冗余和计算效率不高的问题, 提出一种基于最邻近可视点的新算法, 将其用于通视线分析和视域分析, 并以实例对笔者提出的改进算法、OA 算法及 ArcGIS 可视性分析模块进行对比分析。实验结果表明: 提出的新算法在时间性能上优于可视性分析的基本算法和 ArcGIS 的可视性分析模块, 并已成功应用于工程实际中。

关键词: 地形可视性分析; 数字高程模型; 最邻近可视点; 边界搜索; 通视线; 视域
中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

A High Efficient Algorithm Implementation in Terrain Visibility Analysis

Han Zheng, Wu Qiuyun, Chen Luo, Jing Ning
(College of Electronic Science & Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Regarding the problems of computation redundancy and low efficiency in visibility analysis when applied in large scale and high resolution data condition, this paper innovates a novel nearest visible point-based Algorithm which is applied in line of sight analysis and view analysis. Comparison among the improved algorithm, OA algorithm and ArcGIS visibility analysis module has been made in instance. And the case experiments demonstrate that the new algorithms' efficiency and performances excel the basic algorithm in visibility analysis and the visibility analysis module in ArcGIS, and the innovated algorithm has been successfully applied in practice now.

Keywords: terrain visibility analysis; digital elevation model; the nearest visible point; marginal traversing; line of sight; view

0 引言

地形可视性分析是地形分析的重要组成部分。可视性分析尤其是视域分析又是一项非常耗时的工 作^[1-2]。现行的可视性分析算法在面对地形起伏较大、分析范围较大的地形区域, 在高分辨率条件下进行可视性分析时, 大都存在计算冗余、效率不高的缺点。

Floriani, Cohen 和刘旭红^[3]等分别在其各自的文献中已对可视性问题进行了较深入的研究, 文献 [4]~[5]共同描述了一种基于数字高程模型 (digital elevation model, DEM) 进行点对点通视问题分析的基本算法 (original algorithm, OA)。上述算法基本能够满足实际问题的需要, 但当面对高分辨率条件下的大规模数据或计算多重可视性问题时, 存在着计算效率不高、耗时较长的缺点, 因而无法进行快速计算。而 NVPA (the nearest visible point-based algorithm) 算法和 MTA (marginal traversing algorithm) 算法高于可视性分析的时间性能, 满足了一般条件特别是较大规模情形下地形可视性分析的基本要求。因此, 笔者提出了一种基于最邻近可视点的通视线生成算法和一种基于边界搜索的视域生

成算法, 使其能够适用于大规模、高分辨率数据条件下的可视性分析。

1 基于最邻近可视点的地形可视性分析算法

1.1 可视性分析建模

如图 1, XY 为地理经纬水平面, Z 为各点对应高程值, $z = f(x, y)$ 。设 $S(x_0, y_0, f(x_0, y_0))$ 为站立点, $T(x_n, y_n, f(x_n, y_n))$ 为目标点, 建立垂直于 XY 平面并过 S 点、 T 点的平面 E 。 E 内阴影部分为地形分析剖面 ϕ 。 E 与连续地形表面的相交部分为曲线 $l = L(U, H)$, l 在 U 方向 XY 平面上投影点集可表示为集合 $\{(x_k, y_k) | k = 0, 1, \dots, n\}$ 。各离散点的高程采用 Bresenham 直线栅格化方法, 取用基于直线段的栅格化格点的高程值建立剖面, 视线 l_{ST} 的可视性由 l_{ST} 上各投影点的可视性决定。

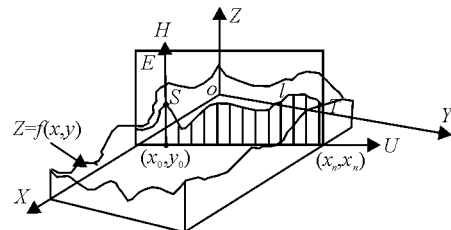


图 1 可视性分析的三维地形建模

收稿日期: 2011-07-06; 修回日期: 2011-08-19

作者简介: 韩政 (1986—), 男, 山东人, 硕士, 从事地理信息系统与数据库技术研究。

1.2 基于最邻近可视点的通视线生成算法

定义 1 最邻近可视点。假设在可视线 ST 投影方向 X 上的离散点区间 $[x_0, x_n]$ 上, 区间上某点 x_i , $0 < i < n$, 其最邻近可视点为在区间 $[x_1, x_{i-1}]$ ST 方向上欧氏距离最小的可视点 x_r , 即:

$$x_r = \min \|x_i - x_t\|_{ST}, t \in [1, i-1].$$

如图 2, 假设站立点为 S , 目标点为 T , 当前待判点为 x_i , 由定义 1 可知: x_i 的最邻近可视点为 x_r 。设视线延长线在 x_i 点的视线高为 $H[x_i]$, x_i 高程为 z_i , 而 $H[x_i] > z_i$, 因此 x_i 不可见, 同理可知 x_{i+1} 、 x_{i+2} 、 x_{i+3} 不可见。当遍历至 x_j 时, 因视线在 x_j 的视线高度与 x_j 点高程值相等, 因此 x_j 点可见。这时, 设置新的最邻近可视点为 x_j , 然后对点 x_{j+1} 进行可视性判断, 以此类推。最后即可得到直线 ST 上所有离散点 $\{x_k | k=0, 1, \dots, n\}$ 的可视性信息。笔者将此算法称之为基于最邻近可视点的通视分析算法, 其伪代码如下:

算法名称: 基于最邻近可视点的通视线生成算法 (NVPA)

输入: 区域 R 内 DEM 数据, 站立点 S , 目标点 T

输出: 通视线 (LOS)

Begin:

获取站立点 S 和目标点 T 的坐标和高程值, $S(x_0, y_0, f(x_0, y_0))$ 和 $T(x_n, y_n, f(x_n, y_n))$;

将初始视线 ST 离散化, 并进行 *Bresenham* 高程插值;

Foreach x_i in line L_{ST} , $i=0, 1, \dots, n$;

通过线性插值获取 x_i 点高程, 得到 $Z_i=f(x_i, y_i)$, $i=1, 2, \dots, n$;

if ($i > 1$)

if ($flag[i-1]=1$)

设置最邻近可视点 $P_{NVPA}=x_{i-1}$;

End if

设置 $temp$ =视线 SP_{NVPA} (站立点 S 到最邻近可视点 P_{NVPA} 的直线) 的延长线在 x_i 点的线性插值;

If ($temp > Z_i$)

flag [i]=0;

Else

flag [i]=1;

End if

End if

End for
生成初始视线 ST 的可视线 LOS;
End

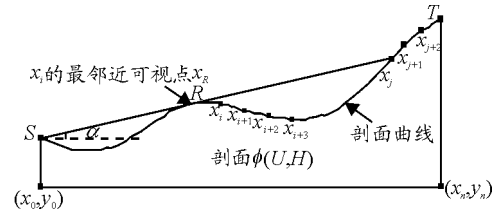


图 2 基于最邻近可视点的通视分析算法原理图

与视线高度判别法、OA 算法相比, NVPA 较好地改进了计算逻辑, 在计算某点可视性信息时, 通过记录某点前驱节点中的最邻近可视点 P_{NVPA} , 使之避免了进行不必要的遍历计算; 与增量式算法、利用最大仰角进行插值处理的通视性分析算法相比, NVPA 算法通过复用策略, 有效地减少了仰角或向量的计算代价, 提升了算法的时间性能, NVPA 算法的时间复杂度为 $O(n)$, n 为通视线上插值点个数。

1.3 基于边界搜索的视域生成算法

如图 3, 设栅格视域的中心点为 $Center$, 以 $Origin$ 为坐标原点, 纵横依次标记各行各列的索引号, 栅格总行数为 $Height$, 总列数为 $Width$ 。采用二维标记数组 $ReadMark[Height, Width]$ 记录栅格单元的赋值操作, 以减少计算冗余, 数组初始化值为 0。

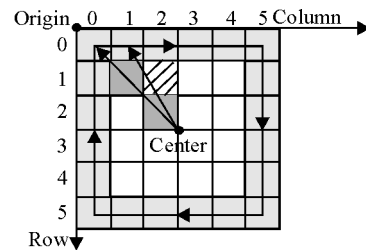


图 3 基于边界搜索的视域生成算法原理图

算法入口为 $Cell[0,0]$, 其中心坐标为 $P_{0,0}[X_0, Y_0]$, 以 $Center$ 为站立点, $P_{0,0}$ 点为目标点。根据 NVPA 算法, 生成直线 CP 上各离散点的可视性结果数组 $Flag[Segments]$ 。根据 $Flag[Segments]$ 依次对与直线 CP 相交的栅格单元进行赋值操作, 若此栅格单元的 $ReadMark[i, j]$ 值为 0, 则对其进行相应的可视性赋值, 否则跳至下一个插值点, 进行判断赋值。当遍历至栅格边界时, 算法进入下一个边界栅格单元 $Cell[0,1]$ 的计算循环。直至扫描完毕所有的边界单元, 算法结束。笔者将上述算法称之为基于边界搜索的视域分析算法。

假设栅格单元数为 $N \times N$, 根据 NVPA 算法时间复杂度分析, 可知直线 on_i 上可视线算法的时间

复杂度为 $O(n_i)$ ，则 $4N-4$ 个边界单元格，共 $4N-4$ 次遍历搜索，总的可视性计算规模为 $T = n_1 + n_2 + \dots + n_{4N-4} = (4N-4) \cdot (1 + n_{4N-4}) / 2$ ，因 n_{4N-4} 是一个与 N 相关的一次变量，所以总的规模数 T 为 N^2 量级。因此，基于边界搜索的视域生成算法的时间复杂度为 $O(n^2)$ ， n 为视域栅格边界(宽或高)的单元格数。

2 实验及结果分析

笔者在 DotNet3.5 环境下，基于 ArcGIS Engine9.3 的实验平台对笔者提出的改进算法、OA 算法及 ArcGIS 可视性分析模块进行了对比分析。实验的硬件环境为：Core2 Duo E6500 2.93G CPU，Kingston DDR3 2G 内存，实验原始数据为某景区等高线矢量数据。

表 1 为 OA 算法、NVPA 算法以及 ArcGIS 通视线分析模块的通视线生成时间性能对比统计分析。

表 1 OA、NVPA、ArcGIS 通视线分析模块
计算时间性能比较

通视线长度/m	消耗时间/ms		
	OA	NVPA	ArcGIS
2 776.76	62.51	46.87	5 968.70
5 314.34	15.62	15.62	5 671.87
11 126.61	78.13	31.25	5 765.62
14 414.61	125.02	46.87	5 671.87

图 4、图 5 分别为在通视线分析和视域分析中，在高分辨率条件下，随着问题规模的增大，OA 与 NVPA、OA 与 MTA 的时间性能折线对比图。

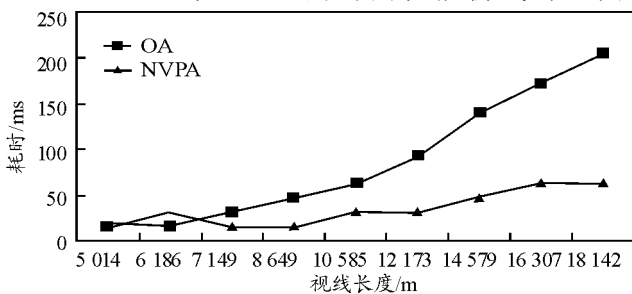


图 4 OA 与 NVPA 在通视线分析中的时间性能对比折线图

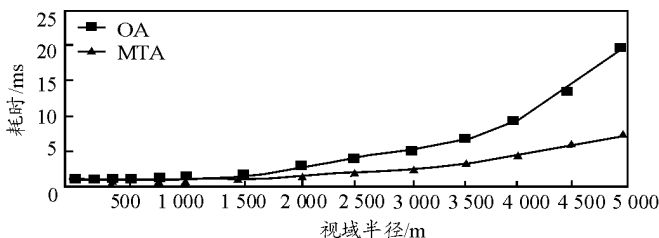


图 5 OA 与 MTA 在视域分析中的时间性能对比折线图

由图 4 可以看出，当视线长度值位于 [5 014, 7 149) 区间时，OA 算法的时间性能要优于 NVPA 算法。而当视线长度大于 7 149 m 以后，NVPA 的时间性能优势就开始显现，并且随着视线长度的

增加，NVPA 的时间性能优势就愈发明显。

在视域分析中，随着视域半径的增大，OA 与 MTA 的时间性能对比如图 5，实验中设定生成栅格图像 Cell 的宽高为：20 像素×20 像素(属高分辨率)。由图 5 可以看出，当视域半径大于 1 000 m 时，MTA 的耗时开始明显小于 OA，并且随着视域半径的增大，直至视域半径最大值 5 000 m 时，MTA 算法的时间性能一直都优于 OA 算法。

综上所述，笔者提出的 NVPA 和 MTA 算法，在一般应用条件下，特别是在大规模和高分辨率数据下的视域分析中，表现出了较佳的时间性能，能够满足大规模和高分辨率数据下进行快速计算的实际应用需求，并已成功应用在某工程项目中的 GIS 地形可视性分析模块中，如图 6。

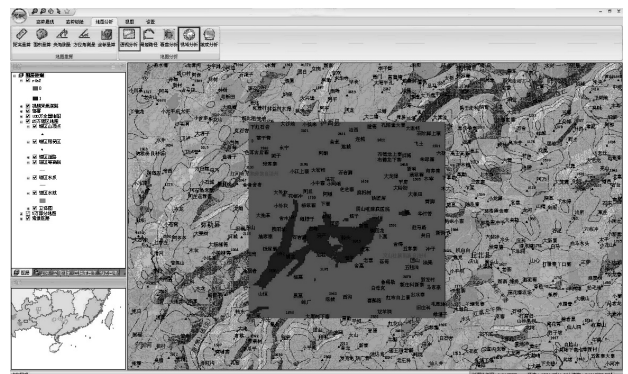


图 6 最邻近可视点算法在某工程地形可视性分析模块中的实际应用

3 结论

2 个地形可视性分析模块的工程应用结果验证了其性能与效率，但随着可视性分析问题规模的增大，因其计算结构的对称性，如何对可视性分析算法进行有效的并行化处理以及实现可视性分析在三维地形上的深层应用^[6]，则将做进一步研究。

参考文献：

- [1] 周启鸣, 刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 249-266.
- [2] 张金芳, 李磊, 王宇心. 地形可视性分析[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(8): 1916-1921.
- [3] 刘旭红, 刘玉树, 张国英. 利用最大仰角插值技术的可视性分析算法研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(5): 971-975.
- [4] 刘湘南, 等. GIS 空间分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 249-251.
- [5] 张成才, 秦昆, 等. GIS 空间分析理论与方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006: 100-104.
- [6] 陈军, 刘云生, 王必金, 等. 三维可视化盆地数字模型系统的设计[J]. 计算机工程, 2007, 33(23): 218-219.