

基于 DEM 的地形可视域分析关键技术

张 斌¹ 张泽建² 郭 黎¹ 王 豪¹

(信息工程大学地理空间信息学院 郑州 450052)¹ (71834 部队 荣阳 450100)²

摘 要 地形可视域分析是空间分析中很重要的内容,基于 DEM 地形数据,目前的算法存在计算复杂、通用性不强等问题,尤其是针对多分辨率的海量 DEM 数据,算法还不成熟。从底层的地形数据组织入手,以可视域遮蔽角分析的必要性为出发点,考虑数据结构对算法的影响,详细讨论了遮蔽角计算的原理以及可视域分析过程中的关键技术,提出了基于金字塔模型的四叉树索引结构,在可视域计算中引入了“优化矩阵”,提高了可视域分析的效率,并在此基础上实现了基于 DEM 的地形可视域分析系统。

关键词 可视域,遮蔽角,DEM,四叉树,优化矩阵

中图法分类号 P208 **文献标识码** A

Key Technologies of Terrain Viewshed Analysis Based on DEM

ZHANG Bin¹ ZHANG Ze-jian² GUO Li¹ WANG Hao¹

(Institute of Geographic Space Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China)¹

(71834 Troops, Xingyang 450100, China)²

Abstract Terrain viewshed analysis is an important content of spatial analysis. Based on DEM, the current algorithms have complexity in computation and bad applicability. Especially according to the multiresolution DEM data, they are immature this paper, from organization of terrain data and the necessity of defilade angles analysis, considering the influence of the data structure on the algorithm, discussed the main contents of the calculation principles of defilade angles and key technologies of terrain viewshed analysis in detail. DEM data was organized and managed with Quad-tree structure based on the Pyramid model in this paper. The matrix called “Advanced Matrix” was introduced so that the calculation efficiency was highly improved. Based on those above, the advanced algorithm based on DEM was used to do the analysis of terrain viewshed angles automatically.

Keywords Viewshed, Defilade angle, DEM, Quad-tree model, Advanced matrix

1 引言

地形可视域分析是 GIS 空间分析中的关键技术,分析结果可得,在一定区域内地表被观测者所能看到的部分主要包括了通视分析、可视域计算和可视域表达 3 方面的内容。其中基础的就是通视分析,即得到两点之间的通视判断。目前有关通视分析的算法已较为成熟。对于规则格网的 DEM 数据,简单的方法就是沿着分析方向,从视点开始依次计算与视线相交的 DEM 格网点的遮蔽角,判断其通视性,从而得到整个分析区域的地形可视域,这种方法显然存在很大的数据冗余。为了提高效率,很多学者提出了改进方法,如 Franklin 和 Ray 提出的辅助格网算法^[1],Krevelde 提出的基于线扫描的算法^[2],应申等人提出的增量地形可视性算法^[3],周杨等人提出的基于斜率的可视算法^[4]等,这些算法在一定程度上提高了分析速度,但是在处理多分辨率的、海量 DEM 数据时,由于需要不断地插值计算与视线相交的 DEM 格网点,计算量依然比较大。

本文主要就基于 DEM 地形数据实现可视域分析的关键

技术展开讨论,参考斜率比较的可视算法,针对多分辨率的、海量 DEM 数据,从底层的地形数据组织入手,考虑数据结构对算法的影响,建立金字塔数据模型,设计四叉树索引结构,改进可视域算法,引入“优化矩阵”,提高了分析效率,并结合应用实现了基于 DEM 的地形可视域分析系统。内容包括遮蔽角计算、大规模地形数据组织和索引、遮蔽角分析算法改进、应用实例等。

2 可视域的计算

通视分析需要计算遮蔽角,遮蔽角是指视线与障碍物顶端的连线和地平线之间的夹角。如图 1 所示,两条虚线所形成的夹角即为目标点对视点形成的遮蔽角^[5]。除主要应用于地形可视域分析外,将遮蔽角概念进一步扩展就可以得到在不同领域的应用,如通讯基站的架设、监控探头的布置、雷达阵地的配置等等。位于视点四周的山和其他地物所形成的遮蔽角会阻挡视线、电磁信号的传播而形成探测盲区,通过遮蔽角计算可以得到这些探测的盲区,从而为不同应用提供决策依据。

到稿日期:2012-11-20 返修日期:2013-04-16 本文受国家自然科学基金(41001313,40871183,41140012)资助。

张 斌(1979-),男,博士生,讲师,主要研究方向为地理信息网络服务与汽车监控导航等,E-mail:zhangbin7943@gmail.com。

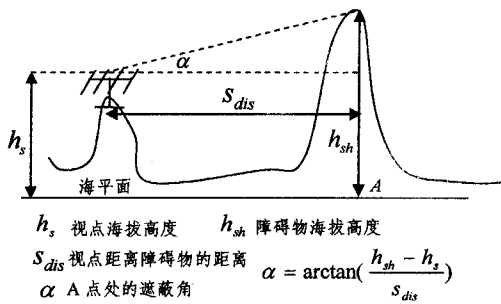


图 1 遮蔽角示意图

这里的夹角计算,实际就是一种坡度计算,盲区的生成就是各点坡度值的比较。这样,利用地形的数据对探测盲区或者可视域范围的计算就转化为地理信息系统空间分析中的坡度计算和通视分析问题,最终得到的结果包括每个方向上的最大遮蔽角以及整个区域的可视域范围。计算过程如图 2 所示。

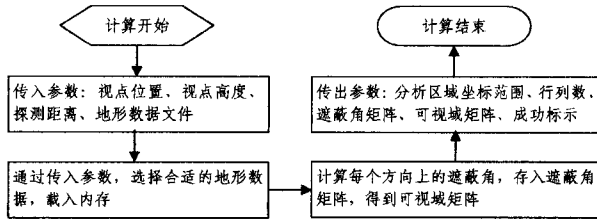


图 2 地形可视域计算流程

从图中可以看出,基于地形数据进行可视域分析时,遮蔽角很重要,而其中选择计算所需的地形数据和计算各方向的遮蔽角是关键步骤。因此,快速有效地实现地形可视域分析就涉及到大规模地形数据组织和索引、通视分析算法两个方面的关键技术。

3 关键技术分析

3.1 大规模地形数据组织和索引

空间数据类型多样,在对地形的表达上,等高线、不规则 3 角网 TIN 和规则格网 DEM 是最常见的 3 种类型,其中规则格网 DEM 数据由于结构简单、获取和分析方便,应用最为广泛,也是本文所采用的数据类型。

DEM 数据的组织,如果沿用传统的地图分幅模式,就会产生内存和时间开销过大以及相邻比例尺之间的缩放比例关系不固定(如从 1:25 万到 1:10 万的图幅划分与其它比例尺不一致)等问题,因此应当重新思考并设计新的组织方法。

针对用户实际需求,我们考虑到进行可视域分析时探测半径和应用目的的不同,结合计算机存储数据的特点,采用相对成熟的金字塔数学模型和二叉树索引结构。通过构建金字塔模型,利用二叉树结构的递归分解特性,每块 DEM 数据对应一个二叉树叶节点,其命名编码表示数据块的层次和空间关系,这样就实现了在寻找 DEM 数据时的快速检索,再加上叶节点结构相同,计算分析就很方便,从而为可视域分析提供多分辨率的地理高程数据。这样虽然在一定程度上产生了数据冗余,并对数据精度造成了影响,但是总体来看利大于弊,目前很多商用的地理空间数据库系统都采用金字塔模型来存储、管理地理数据,例如 TerraServer、WorldWind 等^[6]。此外,由于由等高线生成的各比例尺 DEM 数据的分辨率不

超过 2000 * 3000,为方便 DEM 数据的读取和计算,我们规定单幅 DEM 数据的格网点数目为 2048 * 3072,即(8 * 256) * (12 * 256),这样也便于二叉树的分解与合并。

金字塔结构等级的设定:由于试验数据所获取的最大比例尺地图数据为 1:5 万数据,单幅 1:5 万地图经度跨度为 15',纬度跨度为 10'。则设 1:5 万数据按照 8 * 12 进行裁切,每幅二叉树 DEM 数据的经纬度跨度为:

$$\text{经度: } 15' / 12 = 1.25'$$

$$\text{纬度: } 10' / 8 = 1.25'$$

假设 1:5 万生成的最高级别 DEM 数据在第 x 级上,则第 0 级的覆盖范围应为经度和纬度跨度,各为 $2^x \times 1.25'$, x 就为金字塔结构的等级数。结合中国陆地国境实际情况,经度从 E72°到 E138°,纬度从 N16°到 N56°,可以解出 $x=12$ 。于是全部区域可以划分为 0 至 12 共 13 个级别。当然在传统 DEM 分幅方式向二叉树分幅方式转换时,应充分考虑原始的 DEM 数据的比例尺范围,以最大比例尺 DEM 数据作为二叉树结构的最大等级,根据 DEM 数据,我们给出了对应关系,如表 1 所列。

表 1 金字塔结构等级与比例尺对应关系

新级别	经度跨度(分)	纬度跨度(分)	应参考比例尺
12	1.25	1.25	1:5 万
11	2.5	2.5	1:10 万
10	5	5	1:25 万
9	10	10	1:50 万
8	20	20	1:100 万

考虑到原始数据 1:10 万和 1:50 万数据的缺失,我们在生成 11 级数据时使用 1:5 万数据,第 9 级使用 1:25 万数据,对于数据级别小于 8 的数据,采用压缩方式从已有 1:100 万数据生成,压缩方法使用简单的最临近值法,没有数据的图幅不生成对应的数据,以减少数据冗余。生成的数据金字塔每一层对应一个文件夹,命名就是所在层次,每一块数据对应一个文件,其名称就是所在的级别下的行列数,这样就得到覆盖全国的 13 个级别、总大小约为 40G 的 DEM 二叉树数据。

在进行可视域分析计算时,针对探测距离的远近,动态地判断最合适的分辨率和精度范围,动态地加载数据,从而降低内存的消耗,使得当前系统能够实现大规模地形数据的计算与可视化。

3.2 通视分析算法

LOS(Light of Sight)算法是通视分析最为常见也最为基本的算法^[7]。其核心思想是从观察点 O 开始,通过目标点 T 引一条射线,判断射线是否在中途被遮挡,如果未被遮挡,则两点通视。具体算法就是简单地计算待观察点与被观察点之间的高度关系,从而给出是否通视的结论。将这一算法在分析的数据范围内应用,就可以形成一定区域内的通视状态。GIS 通视分析无论是在概念上还是在原理上都简单明了,其主要问题产生在工程实践中^[8],由于需要进行大量的运算,直接运用是不现实的,因此必须要对这个算法进行改进,以提高其效率。我们考虑从应用目的和计算矩阵设计入手,对算法进行改进^[9]。

在同一分析区域内,空间数据在不同尺度条件下具有不同的粒度和精度,对应着金字塔结构中不同的等级。进行可视域分析时,就必须考虑数据等级和数据范围的选取。此外在实际应用中,不同应用环境下对精度和时间效率的要求是

不同的,在某些紧急情况下,在保证一定数据精度的条件下,需要在尽可能短的时间内完成;而一般环境下,对于计算精度的要求则要超过时间效率。鉴于此,我们设计3种计算模式:结果优先模式、精度优先模式和平衡计算模式。采用结果优先模式,系统只调用所在区域的一块 DEM 数据,得出的结果只在该数据块有效,由于调用数据少,计算量小,运行效率是最快的,只具有示意性。精度优先模式,系统首先根据视点位置确定所在的数据块,以此数据块为中心,向外拓展两周组成一个 5×5 的大数据块,对此大数据块进行遮蔽角分析,这种模式保证了高精度,但是牺牲了时间。平衡计算模式是一个折中的方案,即以视点所在位置的数据块为中心,向外拓展一周组成一个 3×3 的大数据块,对此大数据块进行遮蔽角分析,兼顾了时间与精度的平衡。

在3种不同的计算模式下,金字塔结构数据等级的选择,以分析半径为基础,从金字塔结构最高等级开始判断,设 $scale$ 为数据等级, $R(scale)$ 为此等级下每块 DEM 数据的图幅范围, r 为分析半径, K 为计算模式,计算流程如图3所示。

通过3种不同的计算模式,在一定程度上可以提高遮蔽

角分析的运行效率。在进行遮蔽角计算时,各个方向上目标点的选取,我们并没有进行插值计算高程点,而是直接利用最邻近的格网点高程计算,这样避免了插值计算带来的效率损失,但是却造成了数据精度上的损失,因此在构建金字塔模型时,需要足够密的格网以及足够等级的 DEM 数据,以保证数据精度。在实际计算中,我们发现这种方法的计算结果还存在数据冗余,并且探测方向越密,数据冗余越严重,这种现象类似于图形学中的光栅化。图4给出了在6000个密位下每个方向的格网与上一方向格网重叠的格网数。

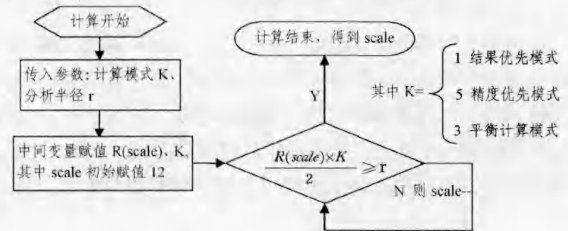


图3 金字塔结构数据等级计算流程图

密位	1	2	3	4	5	...	1499	1500	1501	1502	1503	...
重叠个数	477	238	159	119	95	...	238	477	477	238	159	...
密位	3000	3001	3002	3003	3004	...	4499	4500	4501	4502	4503	...
重叠个数	477	477	238	159	119	...	238	477	477	238	159	...

图4 规则格网下每个方向的格网重叠数目

我们还发现这种重叠的格网(也可以认为是进行遮蔽角计算的高程离散点)在以视点为中心的坐标系上呈现出中心对称的特性,与图形学中根据对称性画圆类似,从圆的特征也容易理解。不仅如此,由于设计 DEM 数据时分辨率的一致性,它们的重复对于每个级别的每块 DEM 数据来说都是一致的,这样利用对称性和一致性,可以减少遮蔽角的计算量。

实际计算时将分析区域划分为8块,每块引入“优化矩阵”,利用对称性,实际只需一个矩阵即可。其中优化矩阵是一个一维矩阵,该矩阵元素个数与需要计算的探测方向数相等,每个方向记录一个数值 K ,表示该方向离散化直线与上一方向在第 K 点处分离。在第 K 点之前两条直线经过的格网点完全相同,则在该点之前的遮蔽角分析结果也完全相同。通过一致性可知,当遮蔽角分析的方向总数确定时,优化矩阵是不变的,因此可以预先生成,在计算时直接调用,当分析方向数目发生改变时,再重新生成优化矩阵。由于优化矩阵记录了每一个方向与上一方向重复的格网点数,当进行一个方向上的遮蔽角分析时,不需要从观察点开始循环,只需要从分离格网点开始即可。通过优化矩阵,就可以在 DEM 中快速提取计算所需的位置和高程,从而获取各个密位方向的遮蔽角情况。当探测半径内格网点分辨率很大时,或者探测方向很密时(当前是6000个密位),使用优化矩阵可以大大减少冗余计算量,从而提高运行效率而不影响计算结果。

此外,在可视域分析实际应用中,往往需要多个视点同时进行可视域的分析,因此有必要得到多视点遮蔽角综合分析的结果,这更具有现实意义。实质也就是多视点叠加分析,利用单视点通视分析的原理,当视点个数多于两个时,可以用图5所示的技术流程实现。

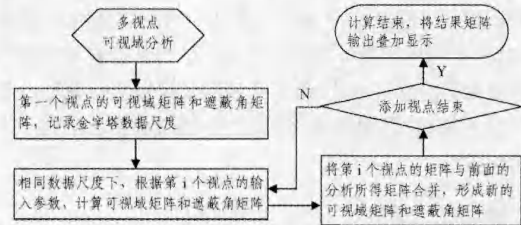


图5 多个视点可视域分析流程图

算法实际就是单个视点遮蔽角分析的重复调用,再配合矩阵合并,只不过随着视点个数的增多,所需要开辟的内存空间逐渐增大。其计算效力由视点情况、分析个数、探测半径、分析计算模式、计算机硬件能力等多方面因素决定。

4 分析效果

通过可视域矩阵可以得到地形的可视域范围,并在计算机上直观显示出效果。利用已有的二维数据和具有蕴涵效果的图像数据,我们将分析的结果叠加显示,用户可以控制不同的图层,以进行直观的对比,并提供6000个密位方向上的最大遮蔽角示意图以及单方向上的遮蔽角效果图,实现了基于DEM的地形可视域分析系统,如图6—图9所示。

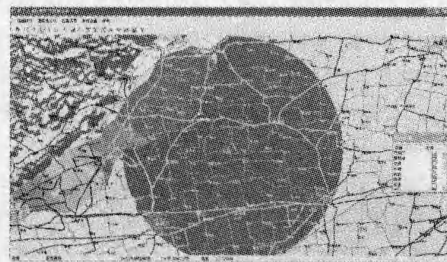


图6 单个视点可视域分析效果

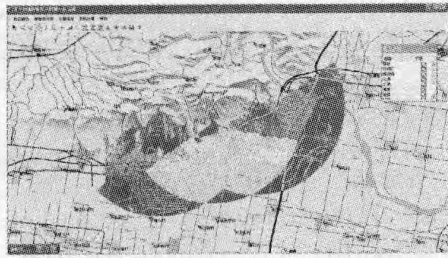


图7 多个视点可视域分析效果(黄色部分为同时被两个视点探测,浅绿色部分为被3个或3个以上视点探测)

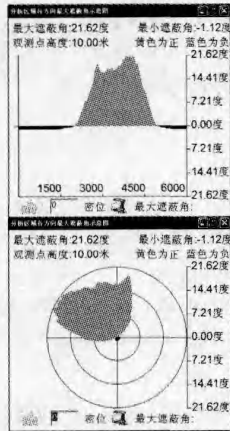


图8 6000个密位方向上最大遮蔽角示意图(直角坐标与极坐标形式)

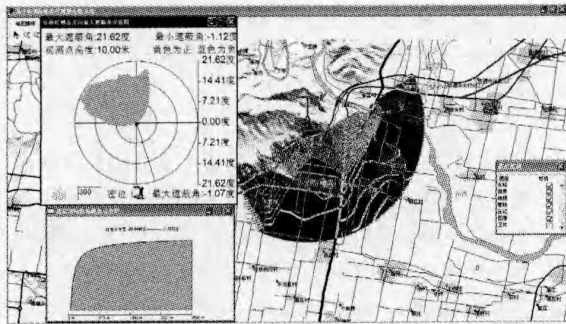


图9 单方向上遮蔽角效果图(红色为方向线,示意图表示单方向上遮蔽角变化)

结束语 本文所述方法虽然实现了基于DEM数据的单

个和多个视点的地形可视域分析,但是还存在一些局限性:由于原始的DEM数据在构建金字塔数据模型时会产生不同等级的DEM数据之间的跳跃性,这样就造成了探测半径不同时,分析所动态加载的DEM数据计算出来的可视域效果图可能会不一致,考虑解决方法是利用相同或相近时期的系列比例尺地形数据生成金字塔结构的DEM数据。此外对于可视化表达的效果还有待改进,目前还是采用传统的二维形式,随着计算机硬件的升级和图形图像开发的进一步发展,三维的表现方式逐渐在GIS中占据一定的地位,将地形分析的结果进行三维形式的表达,也是下一步所需要做的工作。

地形可视域分析基础算法虽然简单,但是目前还只能单一地依靠地形数据进行可视域分析,在实际应用中,针对某些具体应用,受天气、自然灾害、电磁环境等的影响,如何将这一些动态因子引入可视域分析的算法中,也促使着对本算法做进一步的研究和完善。

参考文献

- [1] Franklin W R, Ray C K. Higher Isn't Necessarily Better: Visibility Algorithms and Experiments[C]//Proceedings of the 6th International Symposium on Spatial Data Handling, Advances in GIS Research. [S. l.]; Taylor & Francis, 1994(1/2):751-770
- [2] Van K M. Variations on Sweep Algorithms; Efficient Computation of Extended Viewsheds and Class Intervals [C]//Proceedings of Symposium on Spatial Data Handling, Delft; Taylor & Francis, 1996, 13A: 15-27
- [3] 应申,李霖,梅洋,等.增量法地形可视计算与分析[J].测绘学报,2007,36(2):192-197
- [4] 周杨,谭兵,徐青.基于3维地形图的空间分析算法[J].测绘学院学报,2001,18(1):39-43
- [5] 华一新,吴升,赵军喜.地理信息系统原理与技术[M].北京:解放军出版社,2001:119-265
- [6] Turner A. Analysing the Visual Dynamics of Spatial Moreology[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2003,30(5):6572576
- [7] 张宏,温永宁,刘爱利,等.地理信息系统算法基础[M].北京:科学出版社,2006:219-249
- [8] 应申,李霖.空间可视分析方法和应用[M].北京:测绘出版社,2007:61-81
- [9] Lindstorm P. Visualization of large terrains Made Easy[C]//Proceedings of IEEE Visualization 2001, San Diego, California; IEEE Press, 2001:363-370

(上接第283页)

参考文献

- [1] 陈德运,王燕清.基于自适应边缘配准的非结构化道路检测[J].高技术通讯,2012(03):13-18
- [2] 滕今朝,邱杰.利用Hough变换实现直线的快速精确检测[J].中国图象图形学报,2008(02):234-237
- [3] Mingworth J, Kittler J. A survey of the Hough transform Computer Vision, Graphics[J]. Image Process, 1998, 44: 87-116
- [4] Hare A R, Sandler M B. Improved performance randomized Hough transform [J]. Electronics letters, 1992(28): 1678-1680
- [5] Xu Lei, Erkki O J A, Kultanen P. A new curve detection method; Randomized Hough Transform [J]. Pattern Recognition Letters, 1990, 11: 331-338
- [6] Kalviainen H, Hirvonen P. Probabilistic and non-probabilistic

Hough transforms; overview and comparisons [J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(4): 239-252

- [7] Kiryati N, Eldar Y, Bruckstein A M. A probabilistic Hough transform [J]. Pattern Recognition, 1991, 19(4): 303-316
- [8] Shaked D, Yaron O, Kiryati N. Deriving Stopping Rules for the Probabilistic Hough Transform by Sequential Analysis [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1996, 63(3): 512-526
- [9] 金术玲,梁彦,等.两极Hough变换航迹起始算法[J].电子学报,2008(03):45-50
- [10] 时银水,姬红兵,王学青.基于随机Hough变换的航迹起始方法[J].模式识别与人工智能,2011(05):34-39
- [11] Wang Yan-qing, Chen De-yun, Tao Li-yuan, et al. Vision-based road detection by hidden markov model [C]//PIAGENT 2009; Image Processing and Photonics for Agricultural Engineering, 2009:130-139