

基于最小通视高度的改进通视性算法

贾开吉, 杨任农, 徐涛

(空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038)

摘要: 区域的通视问题是指已知视点、计算视点可视的地形表面区域集合的问题。目前常用的 R2, R3, PRVA, PREAI, Xdraw 等算法也都是针对该问题提出的,但是在实际应用中,特别是当观察目标为飞行器时,不仅需要知道区域地形表面的通视情况,还必须知道区域在任意高度层上的通视情况。针对此问题,在前人研究的基础上,改进出一种基于最小通视高度的通视性算法,在数字高程模型(DEM)的基础上,不仅能精确计算区域地形表面通视情况,对该区域上空任意高度的通视情况也能精确、快速地计算。最后,编程实现该算法,检验了该算法的可行性和精确性。

关键词: 通视分析; DEM; 地形; 区域通视

中图分类号: V271.4; TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1671-637X(2015)01-0088-04

An Improved Inter-Visibility Algorithm Based on Minimum Inter-Visibility Height

JIA Kai-ji, YANG Ren-nong, XU Tao

(School of Aeronautics and Astronautics, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: The issue of inter-visibility indicates to the problem of the set of terrain surface area observable to known viewpoints and computed viewpoints. The common methods are R2, R3, PRVA, PREAI and Xdraw. But in the real application, especially when the observed target is an aircraft, what should be known includes the inter-visibility situation of surface terrain and of space of any flight levels. This paper proposes an improved inter-visibility algorithm based on minimum inter-visibility height. Based on the Digital Elevation Model (DEM), this method could not only calculate precisely the inter-visibility situation of surface terrain, but also compute the inter-visibility of space of any flight levels precisely and quickly. Then the algorithm was implemented by programming, which identifies the feasibility and accuracy of the algorithm.

Key words: inter-visibility analysis; DEM; terrain; area of inter-visibility

0 引言

通视分析在民用和军事上都有广泛的应用,如观察哨设置、电视台的发射站选址、通信线路的铺设等^[1]。对于这些问题,知道区域地形表面的通视性就可以解决,而有些问题,仅仅知道区域地形表面的通视性是不够的,比如,观察目标为飞机时,仅仅知道区域地形表面的通视性是不行的,还需要知道观察点在任意绝对高度(以海平面为基准的高度)和真实高度(以正下方地面为基准的高度)时的通视性,目前,对区域任意高度下通视分析的研究较少,因此,本文主要针

对任意绝对高度和真实高度下的通视分析问题进行研究。

1 研究现状

目前,常用的点到区域的算法有 R2, R3, PRVA, PREAI, Xdraw^[2-4]。R3 算法的原理是对观测区域内所有的网格点利用点到点的通视分析算法进行分析,从而得到区域的通视分析结果,因为要对区域所有的网格点进行分析,所以耗时相对较长,但精确度高;其他的通视分析算法考虑到已知通视点的复用,运行速度较快,但精确度不如 R3 算法。

但是,这 5 种算法都主要针对地形表面区域的通视性研究,未考虑区域在任意高度层上的通视性;当考虑区域在任意高度层上的通视性时,对于 R3 算法,因为

收稿日期:2013-09-08

修回日期:2014-10-20

作者简介:贾开吉(1987—),男,河南安阳人,硕士生,研究方向为机载计算机技术。

该算法未考虑点的复用,对区域内所有网格点都进行通视分析,因此只要将区域内网格点的地表高度换为需求目标高度,再对区域内所有网格点进行通视分析即可得到任意高度层上区域的通视性,但是,只要需求高度改变,必须重新计算区域所有网格点的通视性,所以该算法的效率较低;而对于其他4种算法,都利用了点的复用,而点复用的前提是分析的是区域内地形表面的通视性;当考虑任意高度下的通视情况时,该前提不存在,因此,这几种算法都不适用于任意高度下的通视分析。

综上所述,当考虑区域任意高度层上的通视性时,目前常用的算法不可行或效率较低。针对上述问题,提出了一种基于最小通视高度的区域通视算法,计算过程中不仅计算该点地表高度的通视性,还计算出该点的最低通视高度,当考虑区域任意高度的通视性时,只要将目标高度与区域内所有网格点的最低通视高度相比较,就可得到区域在任意高度层上的通视性。

2 算法流程

基于最小通视高度的通视性算法流程如下所述。

1) 做区域在平面上的投影,找到投影区域的外边界,从观察点的投影点向外边界上的所有网格点做连线。

2) 在所有连线上利用均匀采样法采样,采样点不是网格点的利用插值法求得该点的高程数据,最终对每一条连线生成一个剖面图。此处利用均匀采样法选取采样点而不是像 JAUNS, DYN TACS 和 ModSAF^[5-6]等选取和网格相交的点为采样点,这样可以适当避免 DEM 精度给算法带来的波动和误差,使剖面图更加精确地反映地形的起伏情况,算法也更加稳定。

3) 对每一个剖面上的采样点采用最大斜率方法,判断该采样点是否可视,并且求得该点对于当前观察点的最小通视高度。

4) 完成上述分析的同时,当求得某一点的最小通视高度时,判断该点是否是距离邻近网格点最近的采样点,若是,将该采样点的最小通视高度赋值给邻近网格点,最终区域内任意网格点都将有一个最小通视高度。

5) 根据输入的目标高度(绝对高度或真实高度),求得区域内所有网格点的目标高度,与之前求得的该点的最小通视高度相比较,目标高度大于最小通视高度的网格点可视;反之,不可视。求得区域所有网格点目标高度的通视性后即可得到目标高度上该区域的通视性,算法流程如图1所示。

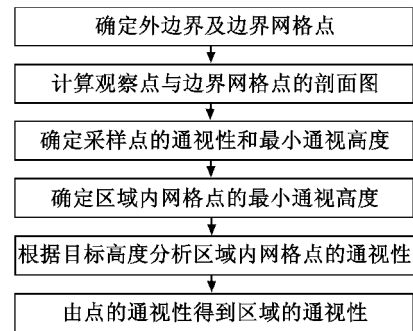


图1 基于最小通视高度的通视性算法流程

Fig. 1 The process of algorithm based on the minimum inter-visibility height

3 算法实现

3.1 数据高程模型及剖面图生成

数字高程模型(DEM)是对地面特性进行空间描述的一种数字方法^[7],常用的图形表示方法有线模式和点模式两种,线模式最常见的如等高线,本文算法主要针对 Grid 模型进行。

Grid 模型只存储了网格点上的高程数据,对于非网格点的高程数据需要利用高程内插算法求得。Grid 模式下,常用的内插算法有线性内插、双线性内插、双三次多项式内插算法^[8-10]。双线性内插不是将网格单元划分成线性平面,而是通过网格单元的4个顶点直接拟合曲面,比线性内插更能精确地反映真实的地形起伏,比双三次多项式计算量小很多,因此,算法中采用双线性内插算法计算采样点的高程数据,进而得到剖面图,如图2所示。



图2 双线性内插法得到的剖面图

Fig. 2 Profile of bilinear interpolation

3.2 计算采样点和网格点的最小通视高度

网格点的最小通视高度是在计算出采样点的通视性和最小通视高度的基础上取得的,对采样点的通视性和最小通视高度的计算采用最大斜率算法求得,而对于网格点的最小通视高度采用最邻近点近似算法取得。

设 K_j 为该剖面上第 j 个采样点的斜率, $H(a_i, b_j)_{\min}$ 为第 i 条采样直线上第 j 点的最小通视高度。

最大斜率算法的思想是:从观察点依次向剖面图上的均匀采样点做连线,并计算采样点的斜率 K_j ,同时使用 K_{\max} 记录该剖面图上的最大斜率,使用 N 记录当前 K_{\max} 的值为第 N 个采样点的斜率, K_{\max} 初始为 K_1 , N 初始为 1。依次比较 K_{\max} 和 K_j 的大小, K_j 大于 K_{\max} 时,

第 j 点可视, 并且将 K_{\max} 设置为 K_1 , N 设置为 j ; 反之, 不可视, K_{\max} 和 N 不变。第 j 点可视时, 将该点的最小可视高度 $H(a_i, b_j)_{\min}$ 设置为该点内插得到的高程值; 当第 j 点不可视时, 因为使用均匀采样法采样, 相邻采样点间距相等, 利用 j 和 N 的比例求得该点的最小可视高度 $H(a_i, b_j)_{\min}$, 即 $H(a_i, b_j)_{\min} = \frac{j}{N} \times H(a_i, b_N)_{\min}$ 。

最大斜率算法流程如图 3 所示。

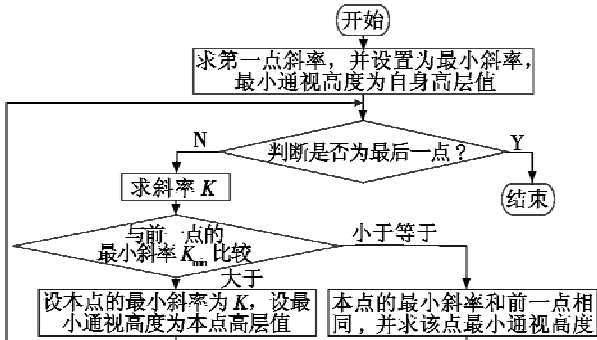


图 3 最大斜率算法流程图

Fig. 3 The process of the maximum slope algorithm

设网格点的坐标表示为 (X_i, Y_j) (i, j 表示该点所在网格行列号, X_i, Y_j 分别为该点到原点的距离)。

最邻近点近似算法的思想是: 对每一个网格点 (X_i, Y_j) , 增加变量 Δd 和 $H(x_i, y_j)_{\min}$ 。 Δd 为距离网格点 (X_i, Y_j) 最近的采样点与该网格点的距离, 初始化为 DEM 分辨率。 $H(x_i, y_j)_{\min}$ 为网格点 (X_i, Y_j) 当前最小的可视高度, 初始化为该点高程值。当求得任意采样点的最小可视高度 $H(x_i, y_j)_{\min}$ 后, 计算采样点与所在网络的网格顶点之间的距离 Temp, 比较 Temp 与对应网格点的 Δd , 若 Temp 小于 Δd , 则将 Temp 的值赋给 Δd , 并且将该采样点的 $H(x_i, y_j)_{\min}$ 赋给对应网格点的 $H(x_i, y_j)_{\min}$; 反之, 不操作, 进行下一网格点的比较或下一个采样点的计算。

最邻近点近似算法流程如图 4 所示。

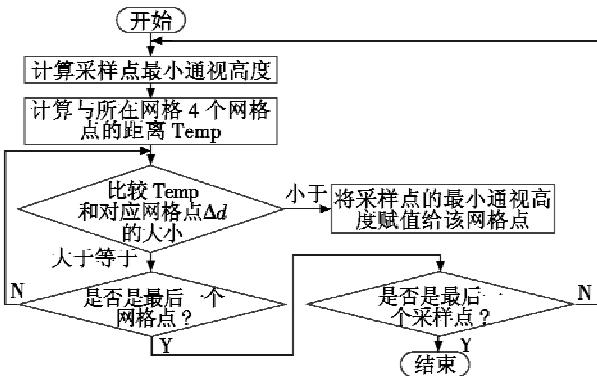


图 4 最邻近点近似算法流程图

Fig. 4 The process of approximation algorithm based on the nearest point

经过上述分析后, 区域内所有网格点都将找到最小可视高度, 为后续计算区域在任意高度上的通视性提供依据。

3.3 区域任意高度层上通视性计算

当选中一个观察点时, 利用上述算法计算出目标区域内所有网格点的最小可视高度, 当设定目标高度时, 只要比较目标高度同区域内所有网格点的最小可视高度, 就可得到区域内所有网格点在该目标高度的通视性, 进而得到该区域的通视情况。

当设定目标高度为海高时, 只要比较该高度同区域内所有网格点的最小可视高度即可; 当设定的高度为真高时, 必须在网格点的地表高度基础上加上真高高度得到该点的目标高度, 然后将此高度同该网格点的最小可视高度比较。特殊的, 目标区域真高 0 m 时的通视性即为通常关注的区域地形表面的通视性。设定任意高度时的计算流程如图 5 所示。

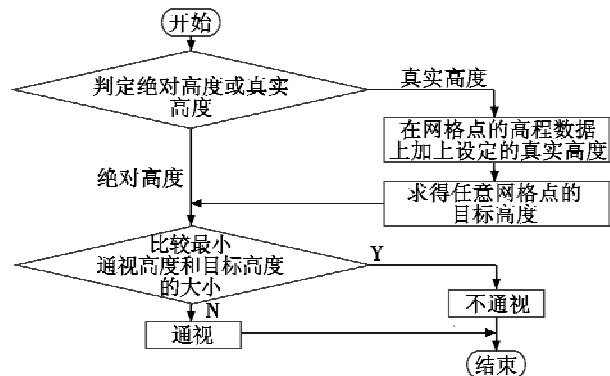


图 5 任意高度下通视分析流程图

Fig. 5 The process of inter-visibility analysis at any heights

4 实验结果与分析

在实验室中, 利用 VC++ 6.0 实现该算法。DEM 精度为 90 m, 均匀采样间距为 40 m, 目标区域为以观察点为中心, 10 km 为半径的圆形区域, 编程计算并绘制出该区域内 800 m 和 1 500 m (真实高度和海拔高度) 时的通视范围。具体结果如图 6 ~ 图 9 所示。

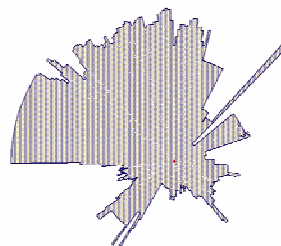


图 6 海拔高度 800 m 时的通视情况

Fig. 6 The result of inter-visibility at 800 m MSL



图 7 真实高度 800 m 时的通视情况

Fig. 7 The result of inter-visibility at 800 m AGL

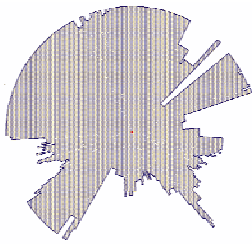


图8 海拔高度1 500 m 时的通视情况

Fig. 8 The result of inter-visibility at 1 500 m MSL

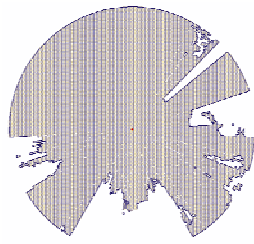


图9 真实高度1 500 m 时的通视情况

Fig. 9 The result of inter-visibility at 1 500 m AGL

4幅图中的观察点为同一点,其海拔高度为150 m,图6~图9分别显示了真实高度、海拔高度为800 m和1 500 m时以观察点为中心,10 km为半径区域内的通视分析情况。分析如下所述。

1) 实际中,在真实高度或海拔高度情况下,随高度的上升,可视区域会越来越大,通过图中真实高度分别为800 m和1 500 m,海拔高度分别为800 m和1 500 m的比较可以看出,实验结果和实际情况相符合。

2) 同样高度,真实高度情况下比海拔高度情况下的可视区域大,通过图中真实高度和海拔高度均为800 m,真实高度和海拔高度均为1 500 m相比较可以看出,实验结果和实际情况也是相符合的。

计算效率方面,总体运行效率较高,特别是当观察点已经选定,只改变目标区域观察高度时,因为区域内网格点相对于该观察点的最小通视高度已经求出,只是一个比较和区域的绘制过程,运行速度更快,效率更高。

5 总结

通视性分析的应用范围越来越广,对通视性算法的要求也越来越高,本文在详细分析目前常用点到区域的算法的基础上,提出了一种基于最小通视高度的通视性算法,不仅可满足以往算法的要求,求得区域地形表面的通视性,还能快速地求出区域任意高度上的通视性。特别是,当观察点不变,只有观察高度改变时,效率更高。但是,观察点改变时,初次计算区域内网格点相对于该观察点的最小通视高度时,由于要计算区域内所有网格点的最小通视高度,效率有所降低,下一步可对算法做进一步的优化,如引入并行算法等,使算法效率更高,更好地为决策提供依据。

参考文献

[1] 秦昆. GIS空间分析原理与方法[M]. 2版. 武汉: 武汉大学出版社, 2010. (QIN K. GIS spatial analysis principle and method[M]. 2nd ed. Wuhan: Wuhan University Press, 2010.)

- [2] 刘旭红,刘玉树,张国英. 利用最大仰角插值技术的通视性分析算法研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(5): 971-975. (LIU X H, LIU Y S, ZHANG G Y. Visibility analysis using running maximum elevation angle interpolation[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(5): 971-975.)
- [3] 鲁敏,张金芳,范植华,等. 基于DEM的视域分析与计算[J]. 计算机仿真, 2006, 23(5): 171-176. (LU M, ZHANG J F, FAN Z H, et al. Viewshed analyzing and computing based on digital elevation model[J]. Computer Simulation, 2006, 23(5): 171-176.)
- [4] 晁玉忠. 基于DEM的数字地形分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008. (CHAO Y Z. Digital terrain analysis based on DEM[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008.)
- [5] 王智杰,邱晓刚,李革. RSG地形通视性快速算法设计[J]. 计算机仿真, 2004, 21(12): 92-95. (WANG Z J, QIU X G, LI G. Design of fast inter-visibility algorithms over terrain given in RSG model[J]. Computer Simulation, 2004, 21(12): 92-95.)
- [6] 王智杰,印欣,朱良家. 地形通视性算法改进[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004, 26(2): 54-57. (WANG Z J, YIN X, ZHU L J. Improvement of inter-visibility algorithm over terrain[J]. Information of Command Control System & Simulation Technology, 2004, 26(2): 54-57.)
- [7] 刘湘南,黄方,王平. GIS空间分析原理与方法[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2008. (LIU X N, HUANG F, WANG P. GIS spatial analysis principle and method[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2008.)
- [8] 周启鸣,刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006. (ZHOU Q M, LIU X J. Digital terrain analysis[M]. Beijing: Science Press, 2006.)
- [9] 刘凌宇,彭靖. 低空突防仿真用数字地形模型的建立[J]. 中国体视学与图像分析, 2010, 15(3): 245-250. (LIU L Y, PENG J. Establishment of a digital terrain model for low altitude penetration simulation[J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2010, 15(3): 245-250.)
- [10] 沈燕. 复杂战场环境下低可观测飞行器航迹规划算法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008. (SHEN Y. Research of route planning algorithm for low observable aircraft in complicated battlefield environment[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2008.)