

## 使用改进的 Xdraw 算法计算威胁源通视性

雷晓义, 杨任农, 黄震宇, 柴毅哲  
(空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038)

**摘要:** 低空探测雷达探测范围较小, 军用领域对其进行威胁范围分析时, 常将雷达辐射传播特性近似为视线特性以提高分析效率, 并运用通视性计算的方法进行分析处理。通视性计算问题是指计算已知观察点的可见区域集合的问题, 常用算法有 R3, PRVA, PREAI, R2, Xdraw 等, 这些算法计算量大, 计算过程复杂, 不能很好地满足军用领域对威胁分析的快速高效的要求。综合分析各种算法优缺点, 选取并改进 Xdraw 算法, 进一步提高运算效率。最后, 在数字高程模型 (DEM) 的基础上, 使用 VC 环境做验证仿真。仿真结果表明, 改进的 Xdraw 算法在保证精度降低不大的同时, 运算速率更快, 说明改进的 Xdraw 算法计算威胁源通视性的可行性和高效性。

**关键词:** 雷达; 通视性; 数字高程模型; 威胁源

**中图分类号:** V271.4; TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)01-0105-04

## Calculation of Threat Inter-Visibility by Using an Improved Xdraw Algorithm

LEI Xiao-yi, YANG Ren-nong, HUANG Zhen-yu, CHAI Yi-zhe

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

**Abstract:** Inter-visibility calculation is to calculate the visible area sets of known observing points. The common methods, including R3, PRVA, PREAI, R2 and Xdraw, are complex and not adaptable for military application. In this paper, the advantages and disadvantages of each algorithm are analyzed comprehensively. The Xdraw method is selected and improved for increasing the calculation efficiency. On the basis of Digital Elevation Model (DEM), simulation is made under VC environment. The result shows that the improved Xdraw algorithm can not only calculate the inter-visibility situation of surface terrain, but also compute the inter-visibility of space of any height layer precisely and quickly. Therefore, its feasibility and effectiveness for threat inter-visibility calculation are proved.

**Key words:** radar; inter-visibility analysis; Digital Elevation Model (DEM); threat

### 0 引言

通视分析也称为可视性分析, 常用于地形分析, 在军事上也有广泛的应用, 如观察哨设置, 电视台的发射站选址, 机场建设, 通信线路的铺设等<sup>[1-2]</sup>。威胁源通视性分析即威胁源的可视性分析: 将威胁源探测波束以光学方法进行可视性分析, 可快速构建威胁源探测盲区。

### 1 通视分析一般算法

通视分析一般分为两点之间的可视性分析和可视域分析两种<sup>[3-4]</sup>。点对点的通视分析可以看作空间中

任意一条视线(即直线)与两点之间的地形剖面图的交点问题, 常见的通视算法有 Dynatacs 算法、Bresenham 算法、Mordsaf 算法、Janus 算法、基于最大仰角的点对点通视算法以及基于最邻近点的通视性生成算法, 这 6 种算法的采样点选取规则, 插值算法以及可视性判断原则均有差异<sup>[5-6]</sup>。可视域分析通常是基于规则网格地图, 以离散的形式表示, 计算可视矩阵。常见的算法有 Bresenham 算法、R3 算法、R2 算法以及 Xdraw 算法<sup>[7-9]</sup>。其中: Bresenham 算法不利于工程实践; R3 算法在高度每次发生改变时, 都需要对该高度内的所有点重新进行通视分析, 计算量较大; R2 算法要多次逼近与比较, 计算较复杂; Xdraw 算法相对较利于工程实现且较准确, 故选取 Xdraw 算法做威胁源通视性分析, 其计算步骤如下所述。

收稿日期: 2014-03-04

修回日期: 2014-10-03

作者简介: 雷晓义(1991—), 男, 甘肃兰州人, 硕士生, 研究方向为计算机应用。

1) 对每一点记录该点上空的最低可视视线高度(即最小通视高度  $h_{min}$ )。

2) 当要计算  $i$  环上的网格点的可视性时,可以利用  $i-1$  环的相邻网格点(至少两个)上记录的最低可视视线来判断该点的可视性。

3) 对于  $\theta$  角度的视线与数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM) 网格交汇点不是角点的情况<sup>[5,10]</sup>, 需用差值算法计算出该点的高程数据后再进行比较。其中有两个问题。

**问题 1** Xdraw 算法若要计算探测  $\theta_1 < \theta < \theta_2$  之间的区域, 则需遍历该区域内所有的点, 如果在点的选取上加以限制势必会增加效率。

**问题 2** Xdraw 算法在外环网格点的通视性比较中需要至少两个内环点, 并且需要比较得出最低可视视线, 是否可以融合上述 Xdraw 算法计算步骤中的步骤 2) 和步骤 3), 以减少用于比较和差值计算的时间开销。

针对这两个思考, 对 Xdraw 算法做如下改进。

### 2 改进的 Xdraw 算法

算法思路如下所述。

1) 在 DEM 基础上建立地形模型<sup>[5]</sup>, DEM 效果如图 1 所示。

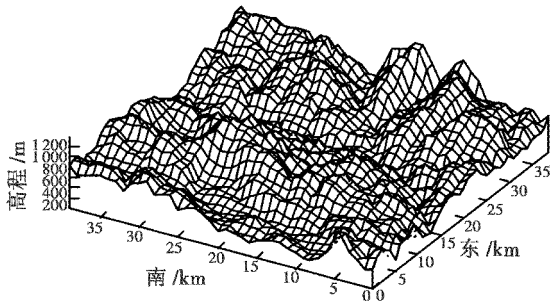


图 1 DEM 地图  
Fig. 1 DEM map

以威胁源为坐标原点  $O$ , 以全向探测的四分之一扇形两边为  $x$  轴、 $y$  轴, 以高度为  $z$  轴建立地面坐标系, 将防空地形按精度要求划分为矩形网格, 边长为  $\Delta L$ , 将空间划分为  $N \times N$  个矩形。以原点为中心做  $N$  个同心圆, 半径分别为  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_N$ 。如图 2 所示。

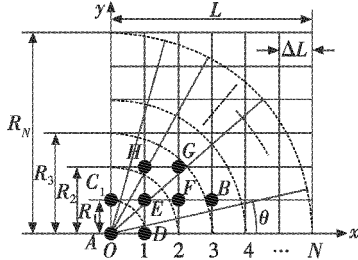


图 2 四分之一网格化探测区域  
Fig. 2 A quarter of gridding detection area

2) 针对问题 1: 将原算法改进为存储每个网格点的最小斜率  $k_{min}$  和最小通视高度  $h_{min}$ , 计算威胁源点与观测点的斜率为第一个观测点的最小斜率  $k_{min} = (H_3 - H_0) / R_3$ 。为减少循环比较次数限定:

① 所有  $H_i > H_0$  的点为观测点;

② 观测点从首个  $H_i \geq H_0$  的点后开始选取 ( $i = 0, 1, 2, \dots, N$ )。观测点选取示意图如图 3 所示。

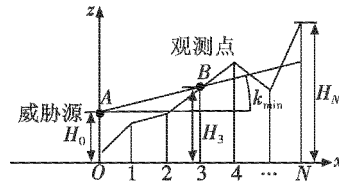


图 3 观测点选取示意图

Fig. 3 Sketch map of observe point selecting

3) 对网格外圈依次求  $i$  点的  $k_i$ , 与  $i-1$  点的最小斜率  $k_{min(i-1)}$  进行比较后存储, 规则为:

① 若  $k_i < k_{min}$ , 令  $k_{min} = k_{min(i-1)}$ ;

② 若  $k_i > k_{min}$ , 令  $k_{min} = k_{mini}$ 。

4) 计算  $i$  点高层值, 即为该点最小通视高度。设定威胁源某一高度  $H$  下的探测距离  $R_H = R_{max}$ , 根据雷达在任意方向  $(\theta, \varphi)$  的探测距离公式为

$$R(\theta, \varphi) = R_{max} \times \sqrt{F_r(\theta, \varphi) \times F_t(\theta, \varphi)} \quad (1)$$

式中,  $F_r$  和  $F_t$  为方向图传播因子, 由此可以得到威胁源探测范围侧视图, 如图 4 所示。

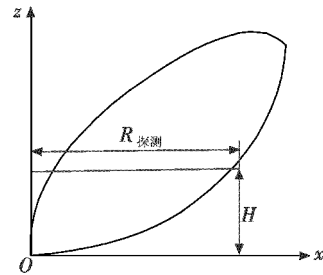


图 4 威胁源探测范围侧视图

Fig. 4 Lateral view of threat detect range

针对问题 2:  $i$  点在 DEM 地图中的选取, 传统做法是选取某一  $\theta$  角的探测射线与网格交点, 利用插值算法计算出该点高程值, 计算量较大, 速度较慢, 其中, 角度控制了计算精度。这里取消此步骤, 利用同心圆半径将空间划分为  $N$  个环, 由内向外依次做比较与计算, 规则为(此为改进):

① 同环内半径大的为  $i$  点, 半径小的为  $i-1$  点, 如图 2 中  $E$  点为  $i$  点,  $C, D$  两点为  $i-1$  点;

② 若同环内  $i$  点对应有两个  $i-1$  点, 则取两点的插值进行比较, 插值公式为

$$k(\Delta u, \Delta v) = k_{x,y}(1 - \Delta u)(1 - \Delta v) + k_{x+1,y+1} \Delta u \Delta v \quad (2)$$

原理如图 5 所示。

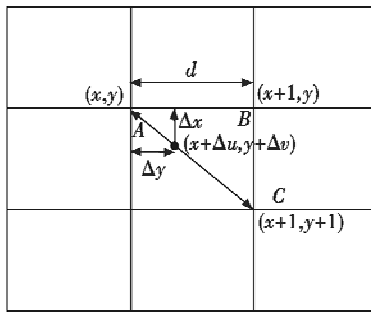


图 5 插值方法原理图

Fig. 5 Bilinear interpolation

图中： $\Delta u$  与  $\Delta v$  为两个插值变量； $k_{x,y}, k_{x+1,y+1}$  分别为 A, C 两点的斜率； $(x + \Delta u, y + \Delta v)$  为给定点的坐标。 $\Delta u$  与  $\Delta v$  可根据精度要求进行取值，精度要求不高时取  $\Delta u = \Delta v = 0.5$ ，插值公式为

$$f(\Delta u, \Delta v) = h_{x,y}(1 - \Delta u)(1 - \Delta v) + h_{x+1,y}\Delta u \times (1 - \Delta v) + h_{x,y+1}\Delta v(1 - \Delta u) + h_{x+1,y+1}\Delta u\Delta v \quad (3)$$

式中： $h_{x,y}, h_{x+1,y}, h_{x,y+1}, h_{x+1,y+1}$  分别为方格四顶点对应的高程值； $(x + \Delta u, y + \Delta v)$  为所求点坐标。

### 3 威胁源通视性仿真

为了快速计算威胁源盲区，可将雷达探测波束等效为光束，并使用威胁源自身探测包络作为通视性计算结果的边界限制条件。利用 VC 语言实现改进 Xdraw 算法编程，DEM 精度为 90 m，以部署在某区域，最大探测半径为 60 km 的某 L 波段低空探测雷达为威胁源，编程计算并绘制出该区域内 15 m, 50 m, 100 m, 200 m, 500 m, 1 000 m(真高高度)的通视范围，如图 6 ~ 图 11 所示。

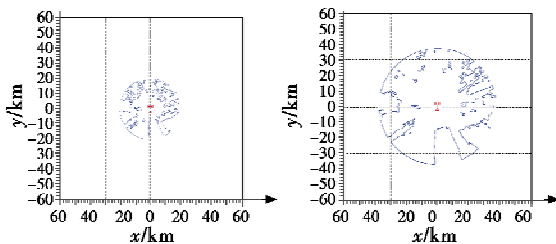


图 6 真高 15 m 通视范围

图 7 真高 50 m 通视范围

Fig. 6 The result of 15 m MSL

Fig. 7 The result of 50 m MSL

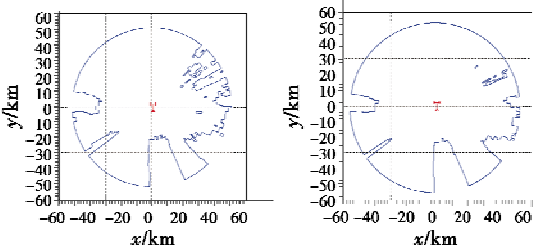


图 8 真高 100 m 通视范围

图 9 真高 200 m 通视范围

Fig. 8 The result of 100 m MSL

Fig. 9 The result of 200 m MSL

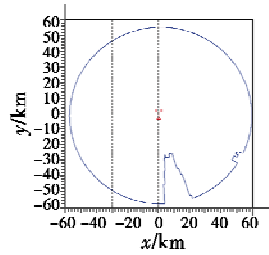


图 10 真高 500 m 通视范围

Fig. 10 The result of 500 m MSL

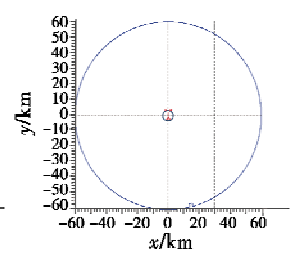


图 11 真高 1 000 m 通视范围

Fig. 11 The result of 1 000 m MSL

分析如下：

1) 在真高高度增加的同时，可视区域范围会有规律地增大，通过图 6 ~ 图 8 可以比较得出此结论，这是符合实际情况的；

2) 随着真高高度进一步增大，中心探测盲区会出现，并根据雷达特性不同，有规律地变大，可以根据图 9 ~ 图 11 得出此规律，这也是符合实际情况的。

由于此算法在很多地形情况下减少了差值计算次数，并且存储最小斜率  $k_{min}$  和最小通视高度  $h_{min}$  作为可重复使用的数据，加强了数据重用性，利于提高大规模数据仿真速度，仿真过程中设置了 4 组实验，结果如表 1 所示。

表 1 实验表格

Table 1 Experiment of the comparison

	实验 1	实验 2	实验 3	实验 4
DEM 地图尺寸/km	400 × 400	400 × 400	400 × 400	400 × 400
高程网格精度/m	90	90	30	30
威胁源个数	8	8	8	8
威胁源探测范围/km	60	80	60	80
使用算法	Xdraw	改进后 Xdraw	改进后 Xdraw	改进后 Xdraw
仿真耗时/s	6.5	5.7	10.2	7.6
			16.3	13.2
				19.8
				16.1

1) 由实验 1 与实验 2，实验 3 与实验 4 分别对比可得，同一 DEM 地图条件下，高程数据精度一致、威胁源个数一致时，威胁源探测范围越大，改进算法运算效率提高越明显。

2) 由实验 1 与实验 3，实验 2 与实验 4 分别对比可得，同一 DEM 地形条件下，威胁源个数一致、探测范围一致时，高程网格精度越高，改进算法运算效率提高越明显。

由此可得，无论是扩大威胁源探测范围还是在同范围条件下提高高程网格数据精度，共同点是需要分析的网格点总数在增加，Xdraw 算法对所有探测范围内的 DEM 网格点做至少一次插值计算，而改进的 Xdraw 算法只对满足 2 节规定条件的点进行插值计算。可以预见，对与地形起伏较大的 DEM 数据做仿真，改进的 Xdraw

算法在保证仿真效果的同时更具速度优势。

#### 4 总结

本文改进 Xdraw 算法,并利用雷达波束与光波的相似性,将通视性计算应用于威胁源探测范围分析,通过仿真验证了改进的 Xdraw 算法在大量 DEM 数据仿真计算时具有更高的运算速度。可以预见:若对特定高程间隔  $\Delta h$  做仿真,或按精度需求不等间隔做仿真,将不同高度的通视性计算结果同中心垂直叠加,再经过适当渲染即可形成威胁源完整的探测模型。

#### 参考文献

- [1] 秦昆. GIS 空间分析理论与方法[M]. 2 版. 武汉:武汉大学出版社,2010:152-155. (QIN K. Theories and methods of spatial analysis in GIS[M]. 2nd ed. Wuhan: Wuhan University Press, 2010:152-155.)
- [2] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 2 版. 武汉:武汉大学出版社,2000. (LI Z L, ZHU Q. Mathematical elevation model[M]. 2nd ed. Wuhan: Wuhan University Press, 2000.)
- [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] MOET E, VAN KREVELD M, VAN OOSTROM R. Region intervisibility in terrains[R]. UU-CS-2005-028, 2005.
- [5] FRANKLIN W R, RAY C K, MEHTA S. Geometric algorithms for siting of air defense missile batteries[R]. DAAL03-86-D-0001, 1994.
- [6] TENG Y A, DE MENTHON D, DAVIS L S. Region-to-region visibility analysis using data parallel machines[J]. Concurrency: Concurrency Practice & Experience, 1993, 5(5):379-406.
- [7] KIDNER D B, SPARKES A J, DOREY M I, et al. Visibility analysis with in the multiscale implicit TIN[J]. Transaction in GIS, 2001, 5(1):19-37.
- [8] 缪贵术,屈军亮. 基于 Xdraw 算法的 SAR 航线规划[J]. 舰船电子工程,2011,31(10):52-55. (MIAO B S, QU J L. Airborne SAR flight planning based on Xdraw algorithm[J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(10):52-55.)
- [9] 晁玉忠,张春明,张磊. 基于 DEM 数据库的可视域算法[J]. 计算机系统应用,2012,21(9):68-73. (CHAO Y Z, ZHANG C M, ZHANG L. Viewshed algorithm based on DEM database[J]. Computer Systems & Applications, 2012, 21(9):68-73.)
- [10] 赵鹏程. 多尺度 DEM 数据一致性检查方法探讨[J]. 测绘通报,2013(8):49-51. (ZHAO P C. Study on consistency check method of multiscale DEM[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2013(8):49-51.)
- (上接第 100 页)
- arch on model of fault diagnosis and propagation in complex system[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 11(6):794-798.)
- [7] 李天梅. 装备测试性验证试验优化设计与综合评估方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2010. (LI T M. Research on optimization design and integrated evaluation of testability verification test for equipments[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2010.)
- [8] 孙体忠,孙金标. 基于多层模糊 Petri 网的编队空战战术决策[J]. 电光与控制,2011,18(11):22-26. (SUN T Z, SUN J B. Tactical decision-making for formation air combat based on hierarchical fuzzy Petri net [J]. Electronics Optics & Control, 2011, 18(11):22-26.)
- [9] GJB/Z 1391-2006. 故障模式、影响及危害性分析指南[S]. 北京:中国标准出版社,2006:15-16. (GJB/Z 1391-2006. Guide to failure mode, effects and criticality analysis [S]. Beijing: The Standard Press of China, 2006:15-16.)
- [10] GJB 2547-1995. 装备测试性大纲[S]. 北京:中国标准出版社,1995. (GJB 2547-1995. Testability program for material [S]. Beijing: The Standard Press of China, 1995.)

欢迎投稿 网址: <http://www.dgykz.com>