

# 军事地质信息可视化与分析

殷宏, 孙小波, 许继恒, 吴海平, 杨永亮

(解放军理工大学 工程兵工程学院, 江苏 南京 210007)

**摘要:** 提出了军事地质信息数字化与三维可视化方法,采用三维可视化技术实现了军事地质信息的三维建模与可视化表达,设计了生成带约束条件 TIN 的三角剖分算法。工程应用结果表明,该方法可为直观描述军事地质构造的空间分布及其相互关系,以及进行工程地质交互设计提供有效的途径。地质科学用真三维反映地下地质信息,能够帮助作战指挥人员发现常规手段难以发现的地质现象和做出战争决策,具有十分重要的科学价值和明显的实用意义。

**关键词:** 军事; 地质; 可视化; 模型; 分析

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1000-7024(2011)09-3123-05

## Visualization and analysis of geological information of military affairs

YIN Hong, SUN Xiao-bo, XU Ji-heng, WU Hai-ping, YANG Yong-liang

(Engineering Institute of Engineering Crops, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** A method of geological digital 3D modeling and its visualization in battlefield are presented. Using 3D visualization technique, 3D models and visual representation of geological information in battlefield are realized. Triangle anatomy algorithm for constrained TIN is designed and implemented. With an example of engineering application, it is shown that an effective way is given to describe the spatial distribution of geological structures and their complex relationship so that the engineering design is executed interactively and conveniently. The really 3D is used to reflect underground geology information, which can help battle conductor personnel and discover the geology phenomenon of normal regulations means hard detection and do a war decision. The method has very important science value and obviously practical meaning.

**Key words:** military affairs; geology; visualization; model; analysis

## 0 引言

地质对部队战术动作和武器装备运用,对部队的保障、防护、工程构筑等方面的影响特性叫地质的战术技术性能,是在没有作战背景的条件下,从战斗角度反映的地质影响的特性。战场地质处于地下,往往难于直接观察<sup>[1]</sup>,而计算机仿真则可以把内部过程展现出来。战场地质三维可视化把复杂而丰富的地理、地质要素融入到简单而可视的三维空间中,指挥员可以较完整地看到某个战区地下地质构造,如断层、褶皱、裂隙,可以知道断层、裂隙和节理的走向密度,可对地质情况进行研究,如层数、厚度、结构、层间距、埋藏深度等。

分析战场地质的目的是:满足工程或设计的需要;满足军事作战的需要。了解地质的结构和性质是分析地质的主要内容,因为这是设计工事的基础,也是建筑施工的基础。地质的可通行性。即地质允许车辆运动的能力,不仅对战地指挥员而且对战术和战略的决策者都是极为重要的。为了拟定

活动计划,如挖掘散兵坑、准备炮兵掩体以及构筑战地防御工事等也都需要了解地质的状况。

## 1 系统结构设计

为更加科学、直观、系统地对战场地质信息进行分析处理,建立了三维地质可视化仿真系统,实现实时三维地质视景仿真、地质信息的分析查询等。

### 1.1 系统的总体设计

根据战场环境信息对地质信息的要求,战场地质可视化系统主要包括:战场环境地质信息存储与管理模块、战场环境地质信息处理与显示模块、战场环境地质信息分析模块。其体系结构表述见图1。

### 1.2 战场环境地质信息的存储与管理

战场环境地质信息准备阶段,是将常规的二维数据模型推广到三维空间,以数字高程模型 DEM 数据、矢量数据和探测数据作为处理的对象,并从有关信息资料中获得信息或从

收稿日期:2010-10-11;修订日期:2010-12-18。

作者简介:殷宏(1967-),男,安徽黄山人,博士,副教授,研究方向为军事仿真与虚拟现实技术;孙小波(1983-),男,江苏淮安人,硕士研究生,研究方向为虚拟现实与分布式仿真;许继恒(1976-),男,陕西咸阳人,博士,副教授,研究方向为军事运筹与分布式仿真;吴海平(1984-),男,山西大同人,硕士研究生,研究方向为指挥自动化与战场数字化;杨永亮(1984-),男,山东泰安人,硕士研究生,研究方向为虚拟现实与分布式仿真。E-mail:66943904@qq.com

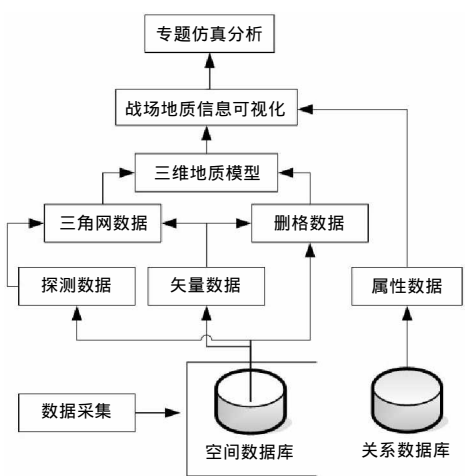


图1 系统体系结构

已有信息成果(如GIS系统)中转换得到信息存放在信息库中。

战场环境地质信息有两大特点:一是数据量大,二是空间关系型数据<sup>[2]</sup>。根据“分布式战场”的设计思想,战场环境地质信息存储和管理模块不仅是一个存储和管理战场环境地质信息的数据库系统,还具有在网上传递动态战场环境地质信息的功能。为了能够准确地刻画出战场环境地质信息的空间特点,采用空间数据库系统和关系数据库系统相结合的方法,空间数据库用以存储栅格数据、矢量数据和探测数据等具有空间信息的空间数据;关系数据库用以存储与空间数据新对应的战场环境地质属性数据。

1.3 战场环境地质信息处理与显示

战场环境地质信息处理是指在基础信息的基础上,根据战场地幅、军事想定和作战推演过程,对战场环境地质信息所进行的综合处理。地质信息的处理涉及战场地域的构成、地形环境数学基础的转换、地形数据表项的生成以及三维地质数据处理等。地质信息处理模块应包括以上数据处理功能。

战场环境地质信息的显示包含了对战场地质的二维平面、三维顶视和三维透视的显示。可以交互式地指定切割面位置,对三维地层实体进行实时切割展示,分析其内部地层分布状况。二维平面和三维顶视模式主要用于图上标绘、量算、分析和工事选址,三维透视模式主要用于战场勘察,工事设计等。

1.4 战场环境地质信息分析

战场环境地质信息分析模块主要分析战场地质对部队战斗动作、武器装备运用和工事建设的影响,用于辅助预案拟订和作战评估,其分析结果也需要以图形的形式表达出来。

作为战斗指挥员,不仅要知道在何种地质上作战,而且更需要定量地掌握地质对作战行动的影响程度。地质对作战行动的影响主要是指对部队的给水保障、防护、工程构筑等方面的影响。主要包括:工程侦查、可通行性、构筑急造军路、抢修原有道路、架设军用桥梁、构筑指挥所、构筑野战给水站、构筑直升机机场、构筑装卸码头等等。

2 战场三维地质模型的建立

空间数据模型是战场三维地质模型的基础,结合空间数

据模型的具体特点进行空间数据模型设计是战场三维地质模型的关键,它决定了系统数据管理的有效性和系统灵活性。

2.1 地质数据

地质数据主要有矢量数据、栅格数据、属性数据,矢量数据描述地形要素的空间特点是通过离散的位置坐标来精确地表示点、线、面等地质实体的。栅格数据模型是将区域划分为均匀的网格,每个网格作为一个像元,像元的位置由所在行、列号确定,像元所含有的代码表示其属性类型或仅是与属性记录相联系的指针。

地质的分类方法根据不同的邻域稍有差异,考虑对战场影响重要的因素对战场地质信息进行分类<sup>[3-5]</sup>,分为地质构造和地质类型两类信息,并记录到数据库中(如表1所示)。地质构造分为类:松土层、普通土层、硬土层、软土层、次坚石层、坚石层、特殊性岩石。考虑对战场影响重要的因素,战场不良地质现象分为:滑坡层、泥石流、岩溶、风沙、采空区、水库坍岸、强震区等,并将战场地质分类和场不良地质现象编为14类码(如表2所示)。根据对地质编码的分析,可以抽象出5种空间对象:点状、线状、面状、数字表面模型和体状,这5类可采用空间数据库技术进行数据存储;地质战术技术性能可用关系数据库进行数据存储。

表1 战场地质信息数据结构

内码	图元符号	图层名称	厚度	地质类型	地质构造
ID	BodyID	STuchengName	STuchengHd	DZGZID	DZGZID

表2 战场地质构造信息数据结构

内码	褶皱	断层	层理	劈理	片理及发育等级
ID	BodyID	STuchengName	STuchengHd	DZGZID	DZGZID

2.1.1 地层信息的数据获取

由于地质结构位于地表以下,需要通过钻探等手段获得离散信息来分析、解释和推断,对岩体结构进行三维可视化构造,要求能够在二维环境中对地质剖面进行交互式操作以达到表达、分析、推断和修改的目的,基于二维剖面获得地质结构的三维特征,这是构造地质体三维模型的基本要求和较好途径<sup>[6-7]</sup>。

不论从三维地层结构本身的特点,还是从目前地层信息的获取方式,对地层模型的结构提出了要求:必须适合于反映层面特性;易于同地下特征结构物集成;反映地层之间的联系;便于使用目前已经得到的钻孔数据资料。

目前地层信息的获取方式有钻探、声波测试、电磁波探测等,但最直接,也是使用最多的仍是钻探法,钻探法直接获取岩层状况,取得的岩心可以通过试验测试得到岩层的物理力学性质。战场地质信息以钻孔数据为主,测井数据、测量数据为辅,采用一定的三角形连网规则将地下空间的不规则离散点连接起来,建立地质层的空间三角网模型(TIN),再利用可视化技术和方法实现战场地质三维可视化分析操作。

地质数据探测主要采集的是特征点和点状、线状及面状地质实体特征点的三维坐标,这些值被赋予属性值和拓扑关系信息后,生成各种标准文件以静态的方式存储在计算机内,

可随时对其进行调用或分析。生成和组织各种标准数据的基本过程如图2所示。

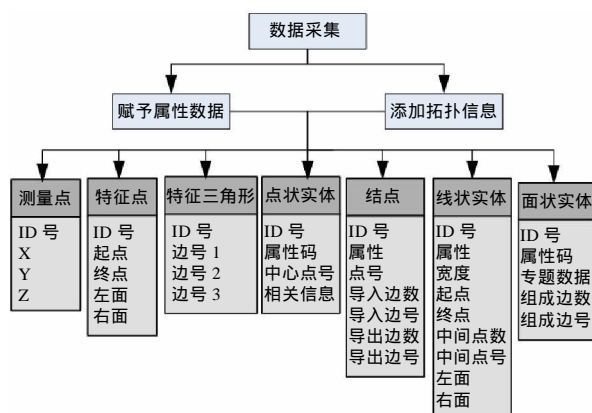


图2 矢量数据存储过程

上述7个静态存储文件之间,专门建立了索引数据文件,以便对文件及其数据的管理。

### 2.1.2 地质信息特征点的选取

探测中地点的正确选择,是保证数据质量和提高探测效率的关键。采用结构模型点采样法进行采样,即采样点主要有两类:一类是特征点,另一类是实体的边界点;这种方法既可使野外采样点达到最少,也不会丢失测量信息。

特征三角网是由操作人员根据其地形估计而实地构建的,为避免盲目性,特征三角网的构建应以约束Delaunay三角网为基础并应尽量满足其特性。

特征点坐标采集过程中,构建特征三角网主要有两方面的工作:一方面是构建特征线段集,另一方面根据现场实际情况并顾及约束Delaunay三角网的基本特性,由特征线段集来构建特征三角网。

### 2.2 三维拓扑格网模型

从数据库中提取勘探资料,以钻孔数据为主,测井数据、测量数据为辅,采用一定的三角形联网规则将地下空间的不规则离散点连接起来,建立地质层的空间模型<sup>[8-10]</sup>,再利用可视化技术和方法实现地质三维可视化分析操作,包括地质模型的动态三维显示、查询、分析、剖切等操作。建立三维地质模型,实际上就是三维地质体模型的自动生成。在平面图系统中完成构网建模。如三角网的断层处理,采用建立正负区域判别模型的方法,首先解决了逆断层或同一平面坐标有多个高程值联网问题,而且解决了任意边界形态的联网问题<sup>[11]</sup>,自动生成三维地质模型。

数据结构的设计是否合理,是否符合数学模型和算法的需要,直接关系到算法能否成功实现和算法的时间、空间复杂度。在已经构建完成的DT中,需要根据三角网的拓扑信息快速搜索和定位所有约束边及其影响域,影响三角形和影响边。而在对影响域的重构过程中,整个三角网的拓扑关系是动态变化的。因此,保证三角网的拓扑关系的正确性对于顺利建立CDT至关重要。数学模型如图3所示。

在简化Bishop法中,由稳定系数的基本计算公式可知

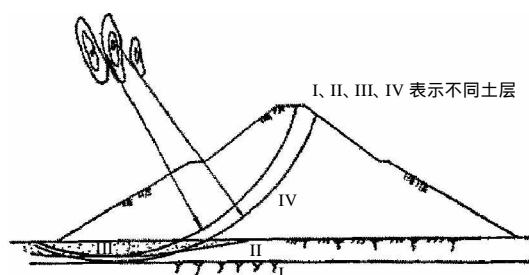


图3 多土层边坡的稳定系数

$$F = f(r_i, b_i, h_i, \phi_i, c_i, \mu_i, Q_i, k_b, C_z, l_i, \alpha_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中  $r_i$  ——第  $i$  块土条的重度;  $b_i, h_i$  ——第  $i$  块土条的宽度和高度;  $\mu_i$  ——第  $i$  个土条与滑动面相接处的孔隙水压力;  $c_i, \phi_i$  ——第  $i$  个滑动面上土层的有效粘聚力和内摩擦角;  $\alpha_i$  ——土条  $i$  滑动面的法线与竖直线的夹角;  $Q_i$  ——第  $i$  个土条所受的垂直作用力;  $C_z$  ——综合影响系数,取 0.25;  $k_b$  ——水平地震系数;  $l_i$  ——土条中心至滑动中心的垂直距离;  $n$  为土条总数目。

稳定系数  $F$  是关于  $(r_i, b_i, h_i, \phi_i, c_i, \mu_i, Q_i, k_b, C_z, l_i, \alpha_i)$  的函数,如果已经给定待评价边坡某滑动面的具体位置,对于该边坡,所要划分的土条数目,是根据实际情况确定的;每一土条的参数:  $r_i, b_i, h_i, \phi_i, c_i, \mu_i, Q_i, k_b, C_z, l_i, \alpha_i$  随着土条数目  $n$  的确定也是已知的(一定程度上受滑动面位置选取的影响)。因此只有变量  $l_i$  和  $\alpha_i$  是待定的。而它的取值又与滑动面的具体位置有关。即,由圆心、半径确定(对于圆弧形滑动面)。所以,关于稳定系数最小化的求解问题,实际上已经转化为由圆心(横坐标、纵坐标)、半径作为控制变量的优化问题。

该算法的主要数据结构如下:

(1)建立DT后的初始三角网数据结构

1)顶点

```

Class CVertex {
    int VertexID; //顶点标识号
    double Point; //顶点三维坐标
    DWORD adjacentEdgeList; //与该顶点邻接的边指针链表
};
  
```

2)边

```

Class CEdge{
    int EdgeID; //边标识号
    CVertex*Vertex; //该边两个顶点的指针
    CTriangle*Triangle; //与该边邻接的两个三角形的指针
    int Type; //边的属性 0-普通边,1-约束边
};
  
```

3)三角形

```

Class CTriangle{
    int TriangleID; //三角形标识号
    CVertex*Vertex; //三角形的3个顶点的指针
    CEdge*Edge; //三角形的3个边的指针
};
  
```

(2)建立CDT过程中需要使用的数据结构

1)约束边

```

Class CConstrainEdge{
  
```

```

int CEdgeID;//约束边计数标识号
CEdge*Edge;//约束边所指边的指针
DWORD InfluenceTriangleList;//约束边所有影响三角
形的链表
DWORD InfluenceEdgeList;//约束边所有影响边的链表
DWORD InfluenceLeftPointsList;//约束边的左影响域
的所有点链表
DWORD InfluenceRightPointsList;//约束边的右影响
域的所有点链表
};
2)左右影响域顶点
Class CQPoint{
    int QPointID;//影响点计数标识号
    CVertex*Vertex;//影响点所指顶点的指针
    int Convex;//顺点的凹凸属性
}

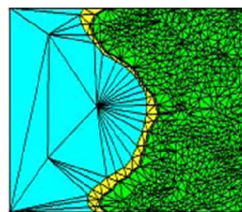
```

三角剖分算法是计算机图形学研究的一个重要理论基础。由于三角形是平面域中的单纯形,与其它类型的平面图形相比,其有描述方便、处理简单等特性,很适用于对复杂区域进行简化处理。因此无论在计算几何、计算机图形处理、模式识别、曲面逼近,还是有限元网络生成方面都有广泛的应用,而且就不同的研究区域、不同的点集、不同的剖分目的设计了各种三角剖分的算法和技术<sup>[12]</sup>。

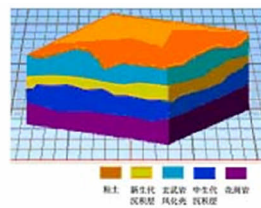
采用三角剖分算法后,赋予了约束条件设置时极大的灵活性,约束条件不仅可以有端点以外的交点,还允许约束条件设置时经过其它三角形的端点,这样将赋予更多的约束和调控最终数字成图的手段。因为交点是按照调整后的局部优化法加入到TIN里,这样可以有效控制奇异三角形的产生,尽量优化了最终生成的TIN的尽量规则化。就算法的复杂度而言,它与以往的方法比较是适中的,甚至是较好的。其缺点就是增加了新的点。

某工事建于脆性花岗岩类岩体之中,地质条件复杂。位于半岛,山体浑圆、肥大,属于山丘地貌(如图4(a)所示)。残坡积土及沟内塌积滚石较普遍。曾发生较大塌方,塌方场有

一条较大断裂通过。断裂在塌方顶部通过处表现为张性,破碎带较宽。区内岩单一,以早侏罗纪的角闪黑云母二长花岗岩为主,除基岩露头属中风化外,其余大部分被花岗岩强风化或残积土覆盖。其垂直方向地层为砾质粘土性和花岗岩(如图4(b)所示)。



(a) 构建的三维拓扑格网



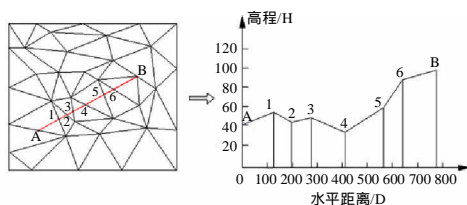
(b) 地质层可视化

图4 可视化结果

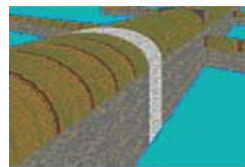
### 2.3 三维地质模型剖面

三维立体图只能将地层中的很少部分信息表现出来,因此需要切剖面图,它可以直接显示关心的底层内部信息<sup>[13]</sup>。图5(a)中,已知直线AB端点坐标分别为 $A(x_1, y_1)$ 、 $B(x_2, y_2)$ ,则可按线性插值方法求出AB在TIN三角网中的交点坐标和高程,将交点按与A的距离排序,按垂直和水平比例尺在二维图上绘制出来就得到纵横断面图(如图5(b)所示)。

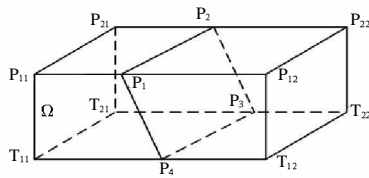
斜切面算法需要用到建立的拓扑关系。如图5(c)所示,斜切面是要求出剖面于底层之间的交线。首先得到剖面方程 $f_0(x, y, z) = 0$ ,在判定其在 $P_{11}$ 和 $P_{12}$ 的连线有交点后,求得线段 $P_{11}P_{12}$ 的方程,并算出 $P_{11}P_{12}$ 与 $\Omega$ 的交点 $P_1$ 的坐标,从点 $P_{11}$ 、 $P_{12}$ 所存储的拓扑关系可以得到两点的下一个层面对应点为 $T_{11}$ 、 $T_{12}$ ,判断 $P_{11}T_{11}$ 、 $P_{12}T_{12}$ 与 $\Omega$ 有无交点,如没有,则求得线段 $T_{11}T_{12}$ 的方程,即算出 $T_{11}T_{12}$ 与 $\Omega$ 的交点 $P_4$ 。同样,由 $T_{11}T_{12}$ 和 $T_{21}T_{22}$ 两点的横向拓扑关系也可以得到 $T_{21}$ 和 $T_{22}$ 求得 $T_{21}T_{22}$ 与 $\Omega$ 的交点 $P_3$ 。如此循环下去,斜切剖面与格网表示的地层界面的交线结点坐标就很容易求得并可以连接形成新的断面(见图5(d))。



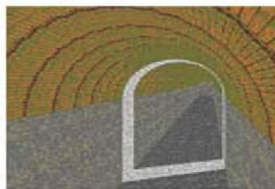
(a) 纵横断面



(b) 从坑道外看断层



(c) 斜切面剖分



(d) 从坑道内看断层

图5 三维地质模型剖面



### 3 应用分析

本文以上述工事为例,说明量化分析过程。

#### 3.1 块体稳定分析

系统采用矢量分析法,分析围岩块体的稳定性,并预测不稳定块体的部位及该块体的大小。根据块体的几何形态及结构面约束条件、临空条件分析,确定了失稳方式后,才能进行稳定系数的计算。对于不同的失稳方式(如:沿单面滑动、沿结构面交线滑动、复合方向滑动、旋转滑动、倾倒)须采用不同的计算公式。根据块体的几何形态及结构面约束条件,临空条件分析,可进行稳定系数的计算。

##### 3.1.1 块体运动的约束条件和运动方式

地下洞室围岩中可能失稳的块体一般通过3组或4组结构面和围岩接触,仅一面临空,所以一般说不能自由运动,而应作为受约束力系来解析。结构面对块体的约束性质根据刚性假定属于刚性平面约束。块体不可能在结构面上向围岩位移,它只能沿结构面运动,或是在结构面上与围岩脱开。沿结构面运动时块体受摩擦力约束,块体在结构面上与围岩脱开时在运动方向上无约束力。

(1)块体边界条件的确定:块体边界条件解析的任务是确定几组结构面和洞壁面组合是否能够形成剥离的块体,它的空间位置及在洞壁面上的出露情况如何。只有形成能够脱离围岩的剥离块体,才有进一步块体稳定分析的必要。

(2)块体几何参数的确定:考虑到块体在边墙、拱顶等不同部位的出露将形成各种不同形式的块体,建立不同的计算公式求解各种块体的边界面积、块体的体积和重量、块体的重心。

(3)块体失稳运动方式的解析:块体失稳运动方式主要任务是从几何观点来研究块体运动的可能性及失稳方式。根据块体的初始位移矢量方向同结构面及临空面的关系,可以确定块体的位移趋势及发展方向,以及最终的运动方向和方式。

##### 3.1.2 稳定系数的计算

根据块体的几何形态及结构面约束条件,临空条件分析,可进行稳定系数的计算<sup>[14-15]</sup>:

(1)沿单面滑动:沿单组结构面 $j$ 的倾向线滑动时,稳定系数为

$$\eta = \frac{Q \cos \alpha_j \phi_j + C_j S_j}{Q \sin \alpha_j}$$

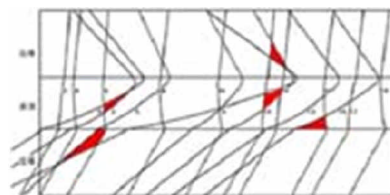
(2)沿结构面交线滑动:沿结构面 $i, j$ 的交线 $E_{ij}$ 下滑时,稳定系数为

$$\eta = \frac{P_i \tan \phi_i + P_j \tan \phi_j + S_i C_i + S_j C_j}{Q \cdot \sin \alpha_{ij}}$$

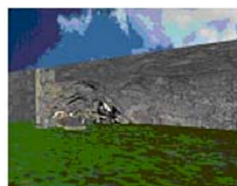
式中  $\alpha_j = \arccos P_j$ ;  $Q$  ——块体重量;  $S_j$  —— $j$  面面积,  $C_j$ 、 $\tan \phi_j$  ——滑动面上内聚力和摩擦系数。

#### 3.2 分析结果与可视化

根据本工程的相关数据,以主洞室的部分地质层结构进行失稳分析,根据边界失稳公式计算,确定了不稳定地质块体的部位(见图6(a)),并对其不稳定块体塌陷进行了三维可视化仿真(见图6(b),图6(c))。



(a) 块体稳定可视化分析结果(黑色为不稳定区域)



(b) 塌陷外部三维仿真



(c) 塌陷内部三维仿真

图6 量化分析及仿真结果

### 4 结束语

地质科学中用真三维反映地下地质信息,能够帮助作战指挥人员发现常规手段难以发现的地质现象和做出战争决策,具有十分重要的科学价值和明显的实用意义。系统采用运用自适应B样条技术,根据电子地图和地质勘探等资料,利用离散数据构造了地质结构面。设计了带约束条件TIN的Delaunay三角剖分算法,有效地控制奇异三角形的产生。为反映和表现地质层结构形态和其变化情况,采用沿任意方向直线剖切的地质剖面图实现地质信息的可视化。最后,结合实例,说明量化分析过程,表明该方法能将虚拟的工程面貌与三维场景形象直观的表现出来具有很好的应用性。

#### 参考文献:

- [1] 熊光楞.先进仿真技术与仿真环境[M].北京:国防工业出版社,1997.
- [2] Alan M L, Norman L J. Building solid models from bore-holes and user-defined cross-sections[J]. Computers and Geosciences, 2003, 29(5): 547-555.
- [3] Jeffery S J, Carter J O. Using spatial interpolation to construct a comprehensive archive of Australian climate data[J]. Environmental Modeling & Software, 2001, 16(4): 309-330.
- [4] 欧阳文, 何友, 方伟, 等. 数字地形在雷达图像仿真中的应用研究[J]. 计算机仿真, 2005, 22(2): 4-8.
- [5] 齐敏, 郝重阳, 佟明安. 三维地形生产及实时显示技术研究进展[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(4): 269-275.
- [6] David E Goldberg. Genetic algorithm in search, optimization and machine learning[M]. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
- [7] Davis L. Handbook of genetic algorithms [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [8] Jonathan Michel, Nandhakumar N. Unified 3D models for multi-sensory image synthesis[J]. Graphical Models and Image Progressing, 1995, 57(4): 283-302.

(下转第3147页)

我“半径” $r$ 来确定自我区域,在实验中显示了良好的泛化能力。

由表1可知,FN就是错误地将非我分类为自我。FNR越小,表示检测器对非我区域的覆盖率越高。对V-detector检测器生成算法进行改进,目的就是提高检测器对非我区域的覆盖水平。由表2可知,改进后对所有数据集,FNR都降低了超过0.4,这是一个非常显著的降低,表明改进之后EnV-detector能够更好地覆盖非我区域,性能显著提高。

#### 4 结束语

本文对V-detector检测器生成算法进行改进,目的是提高检测器覆盖率。改进前,检测器中心只能分布在问题域之内;改进后,检测器中心可以分布在问题域之内,也可以分布在问题域之外。因为无论是自我我还是非我我都不会分布在问题域之外,所以改变检测器中心点的分布后,问题域之外的检测器部分不会对检测过程造成影响。改进后,检测器中心点分量服从正态分布,这样,检测器中心点主要分布在问题域之内,不会对问题域内的非我区域覆盖造成太大影响。通过基准数据集KDD 99上的实验,比较了改进前后的性能。改进后,FPR变化很小,略有增大,表明EnV-detector保持了V-detector的泛化能力;改进后,FNR大大降低,表明检测器对非我区域的覆盖率大大提高。因为FNR大大降低,综合指标BL也大大降低。改进后,FNR和BL的标准差都显著降低。因此,对检测器生成算法进行改进之后,EnV-detector性能显著提高。

下一步工作包括:研究其它检测器中心点分布对算法性能的影响;开展比较研究;在故障诊断、入侵检测、异常检测等领域开发实际工程应用。

#### 参考文献:

- [1] 潘志松,陈斌,缪志敏,等. One-Class 分类器研究[J]. 电子学报, 2009,37(11):2496-2503.
- [2] Larry Manevitz, Malik Yousef. One-class document classification via neural networks [J]. Neurocomputing, 2007,70 (7-9): 1466-1481.
- [3] Li Jiangzhen, Pan Zhisong, Ni Guiqiang, et al. Application of one-class classifier with negatives in security audit data analysis[J]. Computer Engineering and Applications, 2008,44(21):154-156.
- [4] Zhang Yi, Wei Xueye, Jiang Haifeng. One-class classifier based on SBT for analog circuit fault diagnosis [J]. Measurement, 2008,41(4):371-380.
- [5] Giorgio Giacinto, Roberto Perdisci, Mauro Del Rio, et al. Intrusion detection in computer networks by a modular ensemble of one-class classifiers[J]. Information Fusion, 2008,9(1):69-82.
- [6] Hoffmann H. Kernel PCA for novelty detection[J]. Pattern Recognition, 2007,40(3):863-874.
- [7] 潘志松,倪桂强,谭琳,等. 异常检测中单类分类算法和免疫框架设计[J]. 南京理工大学学报(自然科学版), 2006,30(1):48-52.
- [8] Adriano L I Oliveira, Flavio R G Costa, Clovis O S Filho. Novelty detection with constructive probabilistic neural networks [J]. Neurocomputing, 2008,71(4-6):1046-1053.
- [9] Cecilia Surace, Keith Worden. Novelty detection in a changing environment: a negative selection approach[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2010,24(4):1114-1128.
- [10] Thomas J Kindt, Richard A Cloddsby, Barbara A Osborne. Kuby immunology[M]. 6th ed. WH: Freeman and Company, 2007.
- [11] Jungwon Kim, Peter J Bentley, Uwe Aickelin, et al. Immune system approaches to intrusion detection-a review[J]. Natural Computing, 2007,6(4):316-329.
- [12] Zhou Ji, Dipankar Dasgupta. Revisiting negative selection algorithms[J]. Evolutionary Computation, 2007,15(2):223-251.
- [13] Zhou Ji, Dipankar Dasgupta. Real-valued negative selection algorithm with variable-sized detectors[C]. Seattle, WA, USA: Proc of GECCO, 2004:287-298.
- [14] Zhou Ji, Dipankar Dasgupta. Estimating the detector coverage in a negative selection algorithm[C]. Washington, DC, USA: Proc of GECCO, 2005:281-288.
- [15] Kayacik H G, Zincir-Heywood A N, Heywood M I. Selecting features for intrusion detection: a feature relevance analysis on KDD 99 intrusion detection datasets [C]. Third Annual Conf on Privacy, Security and Trust, 2005.
- [16] James T K, Tsang I W, Zurada J M. A class of single-class min-max probability machines for novelty detection[J]. IEEE Trans on Neural Networks, 2007,18(3):778-785.

(上接第 3127 页)

- [9] 黄娇凤, 宁建国, 李平, 等. 二维爆炸与冲击的标量场可视化方法研究[J]. 计算机仿真, 2005,22(2):164-166.
- [10] Liu BaoHong, Huang KeDi. The design and implement of multi-resolution federation with an air-ground combat federation as example[C]. Proceedings of the Spring Simulation Interoperability Workshop, 2002.
- [11] Richard Darilek. Measures of effectiveness for the information age army[R]. RAND Report-MR1155, 2001.
- [12] 陈越, 郭晓轮, 周红建. 卫星影像在战场环境仿真中的应用[J]. 系统仿真学报, 2004,16(11):2497-2500.
- [13] 康凤举. 现代仿真技术与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [14] Anand. Natrajan consistency maintenance in concurrent representation[D]. USA: University of Virginia, 2000.
- [15] James G Taylor, Ugur Ziya Yildirim, William S Murphy, et al. Hierarchy-of-models approach for aggregated attrition[C]. Proceedings of Winter Simulation Conference, 2002.