

# 军事仿真实体可视化模型系统关键技术

殷宏<sup>1,2</sup>, 叶伟<sup>2</sup>, 许继恒<sup>2</sup>

(1. 南京理工大学计算机系, 南京 210094; 2. 解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007)

**摘要:** 介绍军事仿真实体可视化模型系统的关键技术, 提出军事仿真实体可视化模型分类, 确定各类模型的建模方法, 并依此设计系统的总体架构。制定模型的层次细节、损伤分级、纹理和分组规则, 并采用模糊综合评判方法确定离散 LOD 等级。提出可视化模型的层次体系结构, 采用空间数据库和关系数据库相结合的方法进行模型数据存储, 并给出基于数据库的三维模型重构算法。测试结果表明了该系统的有效性。

**关键词:** 军事仿真实体; 可视化模型; 模型规则; 层次体系; 数据结构

## Key Techniques of Visualization Model System for Military Simulation Entities

YIN Hong<sup>1,2</sup>, YE Wei<sup>2</sup>, XU Ji-heng<sup>2</sup>

(1. Dept. of Computer, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094;

2. Engineering Institute of Engineering Crops, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007)

**【Abstract】** Key techniques of visualization model system based on military simulation entities are discussed. According to the categories of this visualization model, the modeling methods and general frame of visualization model system are established. Model rules on LOD, grades of damage, texture and grouping are constituted, and the fuzzy synthetically evaluation method is used to choose the level of discrete LOD. The hierarchical architecture of the visualization model is also proposed. The techniques involving spacial database and relational database are synthesized to build the data storage framework, and the algorithm of reconstructing model is introduced. Test results show this system is effective.

**【Key words】** military simulation entities; visualization model; model rule; level architecture; data structure

军事仿真实体可视化模型是作战仿真系统的组成部分。国外对军事仿真领域的实体可视化数据模型进行了多方面研究, Thoennessen 等人探讨了城市作战中建筑物的建模与可视化问题; Mert 等人通过概括地面战中作战实体和作战行动的共同特征, 建立了常规地面作战模型<sup>[1]</sup>。国内有些单位也构建了各自需要的单个军事仿真实体模型, 但这些模型存在重用性低、互操作性不强等问题。本文通过对军事仿真实体进行分类, 确定模型的构建与存储方法, 为作战仿真系统提供可视化模型。

### 1 可视化模型分类

军事仿真实体可视化模型是三维战场显示系统的组成部分, 可以为武器系统评估、计算机兵力生成等方面提供数据支持。

#### 1.1 实体可视化模型分类

该模型描述的对象可以是武器装备、部队、指挥员及指挥机构, 也可以是战场环境中的某个因素。实体可视化模型包括<sup>[2]</sup>:

(1) 行动实体可视化模型。担负各类基本作战任务的实体称为行动实体。行动实体可视化模型是指对具备基本作战行动能力的实体进行可视化描述的模式。

(2) 指挥实体可视化模型。指挥实体是按指挥控制体制承担某一级任务的指挥机构或指挥员。指挥实体可以被消灭、损伤或干扰破坏, 可以移动, 但不具备像行动实体那样执行所有作战行动和直接攻击对方的能力。指挥实体可视化模型

是指对指挥实体进行可视化描述的模式。

(3) 综合自然环境实体可视化模型。综合自然环境 (Synthetic Natural Environment, SNE) 建模是指对包括陆、海、空在内的整个自然环境空间领域具有权威性、完整性、多态性和一致性的数据进行描述的方法<sup>[3]</sup>。

(4) 兵要地志实体可视化模型。是指对影响军事行动的某一地区地理环境资料进行可视化描述的模式。

#### 1.2 建模方法

可视化建模是整个实体模型可视化的基础。

(1) 行动实体可视化模型。在我军现有的典型行动实体数据库基础上, 结合具体参数, 建立仿真实体可视化模型数据库。建模方式主要有:

1) 测量建模。用三维数字化设备对实体的表面进行数字化, 得到离散的三维数据, 然后对这些数据进行反向建模<sup>[4]</sup>, 从而描述实体的结构。

2) 工具建模。借助现有的 CAD 造型工具建模。

3) 模型转换。对已有的建模方法进行相应的数据匹配与转换。

(2) 指挥实体可视化模型。采用 CAD 造型软件建模, 并赋予相应的属性信息。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(70371039)

**作者简介:** 殷宏(1967-), 男, 副教授、博士研究生, 主研方向: 军事仿真, 虚拟现实; 叶伟, 硕士研究生; 许继恒, 博士研究生

**收稿日期:** 2008-01-15 **E-mail:** Nanjingyh@126.com

(3)综合自然环境实体可视化模型。建模过程采用数学建模方法,把离散数据从准三维推广到三维中,使之在整个三维空间形成网格,并叠加特殊对象,形成综合可视化模型,也可以采用基于图像的建模技术进行建模。

(4)兵要地志实体可视化模型。建模方法视对象而定,如野战工事、重要目标等既可采用测量建模,也可采用工具建模;对于水文、地质等通常采用数学建模和测量建模。

## 2 系统总体结构

在作战仿真系统的开发过程中,为便于对模型管理及增强模型的可重用性,模型由统一的模型库管理系统进行组织,利用现有管理系统对模型进行存储、修改、查询及运行控制等诸多方面的管理。

各模型间既相互独立,又可在需要进行组合,使模型和数据库间建立连接。系统工作流程分为数据输入(建模与处理)、模型存储与管理、模型重建、模型显示分析及数据交互4个部分,如图1所示。

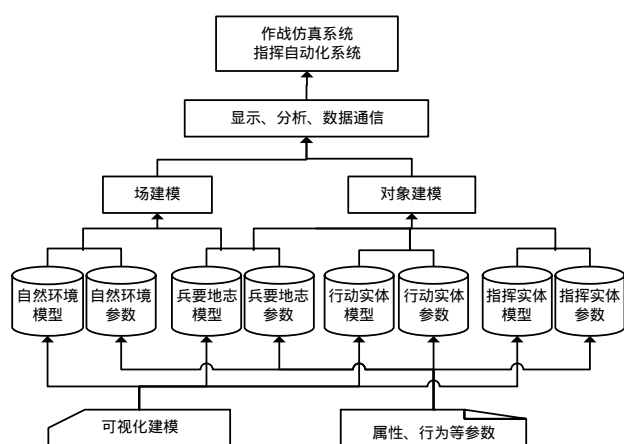


图1 主要模块及体系结构

## 3 实体可视化模型数据管理

实体可视化模型库的建立过程由8部分组成:资料准备,数据预处理及优化,实体模型构建,真实感模型处理,数据结构优化,多分辨率处理,可信性认证,可视化模型管理。

### 3.1 实体可视化模型的层次体系

军事仿真实体可视化模型的几何层次<sup>[5]</sup>与数据层次体系包括7个部分,如图2所示。

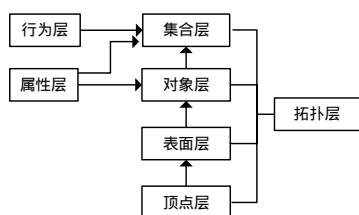


图2 模型的层次间关系

(1)集合层。完整的实体三维模型是能独立执行作战任务的作战单元。用逻辑组的形式来组织和定义模型的各个组件及其几何模型。扩展内容包括:1)引用:利用关系数据库将所有模型数据进行快速匹配,把其他数据库中的模型引用到当前数据库进行重新定位;2)属性:用于描述作战实体的属性;3)行为:用于描述实体的行为;4)敌我区分:赋予面层不同的纹理,以区分交战各方。

集合层是三维模型的最顶层,可能包含其他三维模型的集合层(此时该层为对象层),如枪支和弹药,它们本身可以

是集合层,但对于携带弹药的枪支而言,它们便是对象层。

(2)对象层。是由更细粒度的对象或面组成,且具备一定功能的基本单元。它所描述的对象作为实体模型的基本单元,具有各自的属性,并提供结构细节和模型面的实时渲染。其扩展功能包括:1)声音:定义和附加声音文件到动态三维物体;2)层次细节:按要求定义层次细节;3)战损等级:用以描述部件的战损程度,以确定其战技指标;4)属性。

对象层能包含更细粒度的对象层,如枪支是携带弹药的枪支的对象层,同时又由其他部件组成,这些部件也属于对象层。

(3)表面层。定义组成实体三维模型的所有表面及其属性,并定义表面渲染、纹理等。

(4)顶点层。定义实体三维模型顶点空间位置等各项数据。它是组织和定义数据库中几何造型最细的一级,对顶点位置、色彩、纹理映像进行绝对控制。

(5)拓扑层。描述前4层的拓扑关系:集合层模型可分解为对象层模型,对象层模型可分解为表面层模型,表面层则可分解为顶点层,顶点层拓扑还包括顶点与顶点之间的拓扑关系。

(6)属性层。用于描述军事仿真实体(或其部件)的属性,包括实体的性能与参数、战技指标、所属的实体模型类别及相应的关联数据。

(7)行为层。用于描述军事仿真实体动力学、运动学等行为方程以及可执行的任务。

### 3.2 模型规则

为便于应用各类军事仿真实体,减少重复实体建模工作,加快显示和渲染速度,需要对模型建立相应规则。

模型分组规则:可视化建模时将各实体可视化模型的部件按功能进行分组,以统一的方式调用实体部件,既避免重复建设,又提高模型的可重用性,还能利用部件(对象)生成新模型。

(2)层次细节规则:实体可视化模型根据不同的应用层次提供不同的层次细节方式,并采用不同的LOD技术。

1)离散LOD模型。一般可分为4级:清晰分辨率:用于对模型细节的展示、观察和分析;高分辨率:用于小场景中;一般分辨率:用于大场景中;较低分辨率:用于大场景中。

2)连续LOD模型。在单兵战术层次及其以下层次使用,特别是近距离观察实体可视化模型或是综合自然环境等实体可视化模型。为避免模型的突弹效应,需要运用连续LOD模型。它是在清晰分辨率可视化模型的基础上,采用网格递进算法来实现的。

(3)损伤分级:在作战仿真过程中,仿真实体会出现不同程度的损伤,将可视化模型的损伤分为4个等级:未损伤,轻度损伤,中度损伤以及摧毁,并与纹理及性能、战技指标相对应。

(4)纹理规则:所有纹理都与模型的LOD分级以及损伤等级相对应。同时,实体可视化模型具有多重纹理或材质,便于区分敌我。

### 3.3 实体可视化模型数据结构

军事仿真实体可视化模型的信息可分为两类:几何信息和事实信息。几何信息可用相应的几何表、拓扑表以及纹理表进行数据存储,提供实体几何图形信息,并采用空间数据库以栅格数据和矢量数据的方式进行存储。拓扑表用逻辑组

的形式来组织和定义模型各层次，用以存储构成实体可视化模型的点、面、对象、集合间的空间组成关系。几何表与拓扑表结合能重构和显示实体可视化模型的几何外观。事实信息利用属性表和行为表进行关系数据库存储。图3是对象层数据表的组成结构。

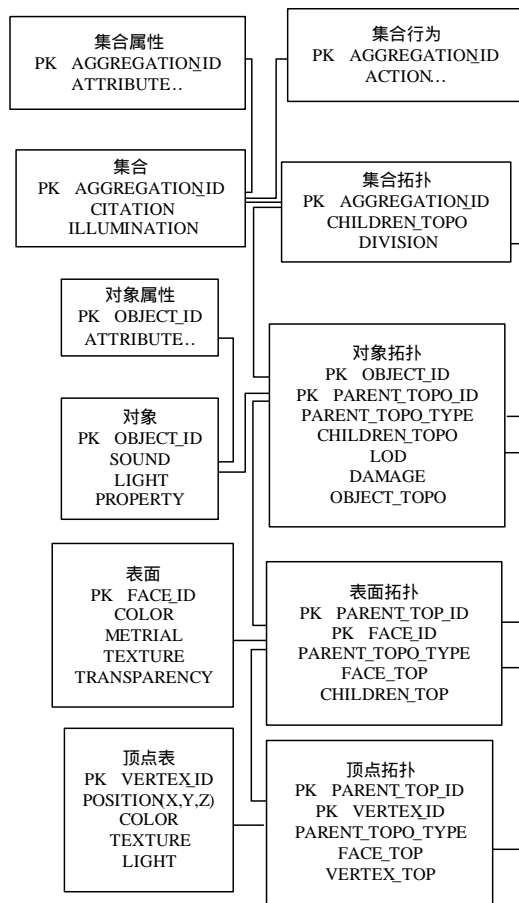


图3 对象层数据表的组成及其结构

### 3.4 实体三维模型重构

从数据库中调用可视化模型的几何数据和事实数据，根据拓扑关系进行三维模型重构，并聚合实体属性、行为数据，以合适的比例配置在预定位置，算法如下：

- Step1 建立集合  $A$ ，用于存放实体可视化模型的构成、显示比例、模型中心空间坐标、倾斜角、敌我区分等信息；
- Step2 确定 LOD 方法和等级  $L$ ；
- Step3 根据  $A$  和  $L$ ，从数据库中读取拓扑关系，并建立树  $T$ ，用于表示模型组成的层次结构；
- Step4 从数据库中获取叶节点(顶点)的空间位置信息；
- Step5 生成表面节点，从数据库中读取数据，并进行相应的纹理映射；
- Step6 生成对象节点，从数据库中读取属性数据；
- Step7 生成集合根节点，从数据库中读取相应数据进行聚合；
- Step8 根据集合  $A$  作相应几何变换。

## 4 其他关键技术

### 4.1 离散 LOD 等级确定

对实体建立高分辨率模型，分辨率低的模型可通过简化高分辨率模型来得到。模型重构时，对简化模型进行网格加密以得到更精细的模型。在相邻复杂度模型中，低一级复杂

度模型的多边形数目是高一级复杂度模型多边形数目的 75%。为有效地组织和显示拥有多细节层次模型的数据库，LOD 节点根据设定值，按照优先级顺序进行嵌套，根据需求筛选并绘制不同的模型。LOD 等级的选用由模糊综合评判方法来确定。层次结构样式的 LOD 详图如图 4 所示。

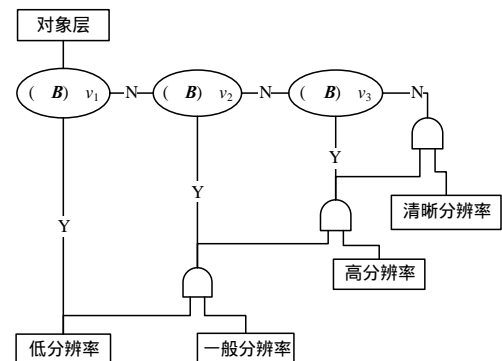


图4 LOD 层次结构样式

综合评价模型的 3 个要素分别为

- (1)因素集： $U=(u_1, u_2, \dots, u_8)$ =(仿真层次，视点距离，视点角度，能见度，雨量，雾，雪，沙尘)，其权重向量为  $W=(w_1, w_2, \dots, w_8)$ ；
- (2)细节层次集： $V=(v_1, v_2, \dots, v_5)$ =(低分辨率，较低分辨率，一般分辨率，高分辨率，清晰分辨率)；
- (3)单因素评价矩阵  $R$ ：单独从一个因素出发进行评判，以确定对细节层次元素的隶属程度。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1j} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{i1} & \dots & r_{ij} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, 8 \\ j = 1, 2, \dots, 5 \end{matrix}$$

其中， $r_{ij}$  ( $0 \leq r_{ij} \leq 1$ ) 表示因素  $u_i$  对评语  $v_j$  的符合程度(隶属度)。综合细节层次为  $B=(b_1, b_2, \dots, b_5) = W \circ R$ ， $\circ$  代表相乘相加运算，即：

$$b_j = \sum_{i=1}^8 \omega_i \cdot r_{ij}$$

$B$  是综合细节层次向量，按最大隶属度原则取  $B$  中最大分量 ( $\vee B$ ) 所对应的细节层等级作为 LOD 等级。

### 4.2 实体可视化模型管理

作战仿真演习涉及大量军事仿真实体模型，这些模型必须被重用、动态选取、定制、组合以及实时控制以满足不同演习的要求。模型管理贯穿 3 个阶段：建模阶段，模型后处理阶段，模型应用阶段。

- (1)建模阶段。该阶段可分为 3 个步骤：1)规范化建模规格，描述该模型的通用信息；2)模型建立，新建或拼装一个新模型，并对模型的其他属性(包括纹理)进行管理；3)确认模型，确定模型的正确性以及模型层次细节信息。
- (2)模型后处理阶段。模型建立后，将模型的子部件提取出来加以描述，以避免建模过程的重复工作。
- (3)应用阶段。采用实例管理技术来管理仿真战场中位置不同的多个相同实体。

## 5 结束语

本文围绕军事仿真实体可视化模型、数据存储以及三维模型重构等关键技术进行研究，实现了实体可视化模型的建立、维护、显示、调用、动态控制和可视化显示。模型具有

(下转第 274 页)