

文章编号:1671-251X(2009)05-0022-04

基于 ArcGIS Engine 的矿井巷道三维自动建模方法的研究与实现^{*}

王学伟^{1,2}, 邵亚琴^{1,2}, 汪云甲^{1,2}

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 2. 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏 徐州 221008)

摘要:文章比较和分析了几种矿井巷道三维建模技术,提出了一种基于 ArcGIS MultiPatch 3D 数据结构的矿井巷道三维建模方法,即在 C# 开发环境下,结合巷道自身的特点,在 ArcGIS Engine 平台上进行二次开发,实现了矿井巷道的三维自动建模。该方法为矿井巷道三维信息系统的建立提供了新的解决方案。

关键词:矿井巷道; 三维自动建模; MultiPatch; ArcGIS Engine

中图分类号:TD177 **文献标识码:**A

Research of 3D Automatic Modeling Method of Mine Laneway Based on
ArcGIS Engine and Its Implementation

WANG Xue-wei^{1,2}, SHAO Ya-qin^{1,2}, WANG Yun-jia^{1,2}

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics of CUMT., Xuzhou 221008, China. 2. Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering, Xuzhou 221008, China)

Abstract: The paper compared and analyzed 3D modeling technologies of mine laneway, put forward a 3D modeling method of mine laneway based on MultiPatch 3D data structure in ArcGIS. Considering characteristics of mine laneway, the method realized 3D automatic modeling of mine laneway based on secondary development on ArcGIS Engine platform under the C# developing environment. The method provides a new solution for establishment of 3D mine laneway information system.

Key words: mine laneway, 3D automatic modeling, MultiPatch, ArcGIS Engine

0 引言

煤矿开采对象类型众多、形态各异、条件多变,且是采前具有很大不确定性的天然资源。井下巷道纵横交错、错综复杂,工作地点及资源条件不断变化。如何立体、直观、准确地表现并反映井下巷道及其空间关系,是矿山测绘科技工作者的重要研究课题,也是煤矿安全、高效、合理开发的重要保障^[1]。巷道系统是矿山三维虚拟场景的重要组成部分,是构建数字矿山的基础。

目前,应用于巷道三维可视化的建模技术很

多,包括应用通用三维建模软件建模、自主开发三维建模系统和基于组件技术进行二次开发^[1]。其中,通用三维建模软件建模包括 3DMAX 和 AutoCAD 等,在这些软件之上建立的三维模型虽有很好的逼真度,但是缺少灵活性,不便于模型更新,编辑能力不强,可移植性差,更难以进行空间拓扑分析;自主开发三维建模系统软件主要有 OpenGL、Direct3D、Java3D 等,该类技术要求开发者具备扎实的数学基础及计算机图形学知识^[2],并且是一项底层开发技术,开发周期相对较长,容易产生解决困难的知识类错误,最关键的是该类技术开发的系统只是虚拟现实系统,并不提供支持管理与决策的信息;而组件类技术是在已有的开发组件基础上进行的二次开发,该类技术将绝大部分复杂的数学知识都封装在函数库中,开发者只需要应用组件中的函数即可实现复杂的三维可视化及分析功能,函数内部的原理对开发者是透明的,使得开发变得非常迅捷和高效,这也

收稿日期:2008-12-10

^{*} 基金项目:全国百篇优秀博士论文专项资金项目资助(200348),国家自然科学基金重点项目资助(50534050)

作者简介:王学伟(1969-),男,辽宁北镇人,中国矿业大学环境与测绘学院 2006 级博士研究生,主要研究方向为 3D GIS、CAD 软件研发、面向对象软件工程。E-mail: wangxw1969@sina.com

正是二次开发在近几年迅速发展的原因所在,其中,ESRI 公司的 ArcGIS Engine^[3]最为典型。ArcGIS Engine 具备丰富的 GIS 空间分析功能,可以很好地与管理信息系统(MIS)和决策支持系统(DSS)相结合,形成功能完备的三维矿山地理信息系统(3DM GIS)。

本文基于 ArcGIS Engine 探讨了一种矿井巷道三维自动建模的方法,实现了矿井巷道的自动建模和纹理映射,为“数字矿山”建设中三维巷道系统的建立提供了新的思路。

1 开发平台简介

1.1 ArcGIS Engine 开发平台简介

ArcGIS Engine 是用于构建定制应用的一套完整的嵌入式 GIS 组件库。利用 ArcGIS Engine,开发者能将 ArcGIS 的各种功能集成到一些应用软件中,还可以为用户提供针对 GIS 解决方案的定制应用。

ArcGIS Engine 可在 Windows、UNIX 和 Linux 桌面上运行并支持一系列的应用软件开发环境,在进行二次开发之前,首先要根据需求和实际情况选择一种适合 ArcGIS Engine 的 API 和开发环境,不同的 API 使用的是相同底层的对象和接口,本文是在 C# 环境下进行二次开发。

ArcGIS Engine 提供了嵌入式的 GIS 组件, ArcGIS Engine 将一组核心组件 ArcObjects 封装为 21 个类库,其中 System、SystemUI、Geometry 为 3 个基础类库。System 类库是 ArcGIS 框架中最底层的一个库,它包含了一些被其它库使用的一些组件;SystemUI 定义了一些在 ArcGIS 中被用户界面组件使用的类型;Geometry 包含了核心的几何对象,比如点、线、面等,在几何库中还定义和实现了空间参考的对象,包括投影坐标系和几何坐标系,为后面实现 3D 数据模型分析和建模奠定了基础。图 1 为 Geometry 类库功能图。

1.2 ArcGIS 中的 3D 数据模型分析

矿井巷道三维建模难度较大,需要设计专门的数据模型和数据结构, ArcGIS 中的 MultiPatch 数据结构为构建复杂的 3D 巷道对象开辟了新的途径。MultiPatch 同 Point(点)、Polyline(线)等数据类型一样,属于矢量数据,由一系列的有序三维点构成三维平面,然后由这些平面构成三维体。利用

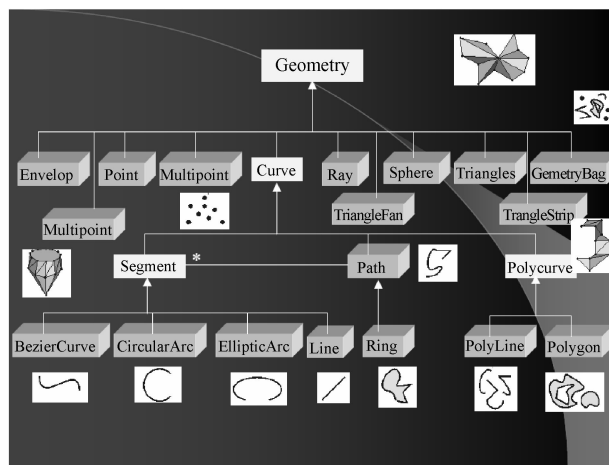


图 1 Geometry 类库功能图

MultiPatch 构建三维体的优点是可以把这个三维体作为一个矢量要素存储到 MultiPatch 类型的空间数据库表中。

3D 模型包括矢量模型和表面模型。表面模型包括 TIN 和 Raster。3D 矢量模型包括所有含有 Z 值的几何对象:点(Point)、线(Line)、面(Polygon)以及 MultiPatch(多片)。ArcGIS 中的 MultiPatch 是从抽象类 Geometry 中继承,产生方式有 3 种^[3]:一是通过沿 Z 轴或者任意一条直线平移一个平面图形的的方法得到;二是通过定义每个节点的坐标及组成面的类型得到;三是导入已有的三维模型到 GeoDatabase 中得到,这个已有的三维模型可以由 3DS MAX、VRML 或 OpenFlight 等软件产生。通常,MultiPatch 是一系列 3D 表面的集合,它用于描述三维物体表面,包括 3 种最常用的三维表面类型:三角条带(Triangle Strip)、三角扇(Triangle Fan)和组环(Rings),如图 2 所示。

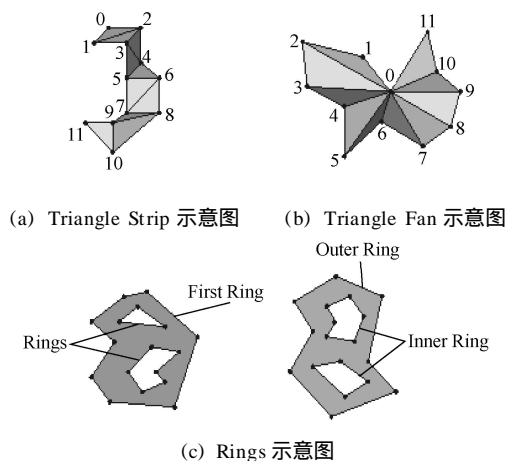


图 2 MultiPatch 细节图

Triangle Strip 是按照集合中的三维点顺序生成的三角条带; Triangle Fan 是按照集合中的

第一个点作为所有三角形的起点,然后按照点位顺序依次构成三角形的三角扇面;Rings 也是由三维点组成的集合,环相对来说比较复杂,又分为 4 种类型:未定义环(Ring Unknown)、第一个环(First Ring)、内环(Inner Ring)与外环(Outer Ring)。环可以描述多边形的表面外边界,用外环代表多边形的外边界,用多个内环表示洞。Ring 也是由三维点组成的集合,只是它在三维表面模型的构建中可以发挥特殊的角色,如建筑物的窗户都可以通过环来实现。矿井巷道交错复杂,形状不一,特别是在自动生成巷道时,交叉接口和转弯圆滑处理成为一个重要的问题,鉴于 ArcGIS 中 MultiPatch 环的特殊功能,本文采用环进行三维巷道的建模。

2 巷道三维建模的实现

基于 ArcGIS 提供的 MultiPatch 3D 数据结构,本文在 C# 开发环境下,结合巷道自身的特点,在 ArcGIS Engine 平台上进行二次开发,实现了矿井巷道的三维自动建模。图 3 为矿井巷道三维自动建模实现流程图。

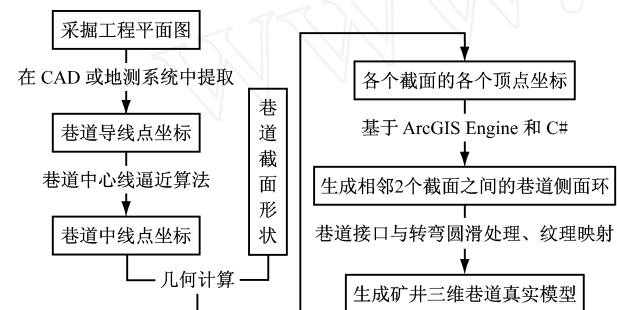


图 3 矿井巷道三维自动建模实现流程图

2.1 巷道中线点的获取

井下巷道最直接的数据源是采集工程平面图,而采集工程平面图的数据源是井下的大量导线点数据。导线点数据是巷道三维建模的基本数据源,其数据处理可以用经典的测量平差方法进行处理,处理方法已经很成熟。目前有很多的井下巷道导线数据处理软件,如北京的龙软和西安的龙德地测管理系统。这类软件一般都提供最终的导线点三维坐标提取功能^[4]。本文利用龙软的地测管理系统所提取的导线点三维坐标作为巷道三维建模的数据源,通过自己编写的巷道数据处理系统读取坐标数据,以及导线点所在的水平、采区、工作面、巷道、左帮、右帮等数据。通过巷道中线逼近算法,提取巷道中心导线点的三维坐标,并以一定的数据格式输出,最后

导入巷道数据库。

2.2 巷道三维建模算法分析

(1) 获取环节点:通过巷道中线逼近算法得到巷道中心导线点的三维坐标后,根据巷道具体位置的截面形状(如图 4 所示)计算截面各个顶点的三维坐标,为 MultiPatch 中的 Rings 的生成做好节点准备。

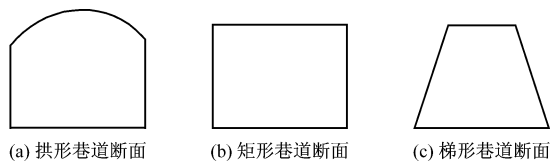


图 4 巷道断面图

(2) 生成环组模拟三维巷道:获取各截面顶点三维坐标后,将相邻 2 个截面组成的柱体的每一个侧面看作是一个环,并且通过 IPoint 接口的 sectionVertex 方法设置各个环的节点参数,利用 IGeneral MultiPatchCreator 接口中 CreatMultiPatch 方法依次生成 Rings,这里要求不能有单独的环生成,每一个环面都要与其它环面相连,形成巷道三维模型,如图 5 所示,组成巷道的每一个侧面都是一个环。在巷道拐弯圆滑处理时,可以加密截面个数,增加生成环的节点,从而生成更多的环面来增加巷道模型的逼真程度。

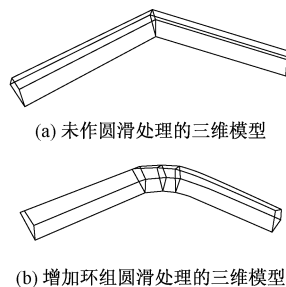


图 5 巷道生成原理及圆滑处理示意图

(3) 纹理映射:三维巷道自动生成后,要经过渲染才能更接近真实的三维模型,ArcGIS 类库 IGeometryMaterial 接口提供了 TextureImage,可以通过设置图象文件名称及路径来加载纹理图片,渲染三维巷道。

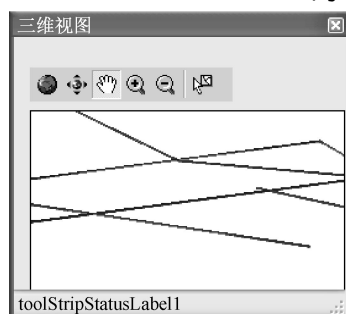
巷道三维模型的纹理映射首先要设定纹理坐标,然后通过 IGeneralMultiPatchCreator 接口的 Init 方法进行初始化,设定坐标点数量、环面数量和纹理点坐标数量等参数,最后设置单面参数以及每一个单面对应点的参数。设置单面参数是通过 IGeneralMultiPatchCreator 接口的 SetPatchType

(设置单面类型)、SetMaterialIndex (设置图片索引)、SetPatchPoint Index (设置起始点坐标索引) 和 SetPatch TexturePoint Index (设置起始纹理坐标索引) 方法实现。设置单面对应点参数通过接口 IGeneralMultiPatchCreator 的 SetPoint (设置点索

引、地理点坐标)、Set TexturePoint (设置点索引、纹理坐标点) 实现。

2.3 C# 环境下巷道三维建模实现

根据 ArcGIS 类库提供的方法,本文在 C# 环境下实现了巷道的三维自动建模,效果如图 6 所示。



(a) 部分巷道三维模型效果图



(b) 梯形截面部分巷道三维模型效果图



(c) 巷道转弯三维模型效果图

图 6 C# 环境下巷道三维建模效果图

2.4 矿井附属设施和矿工模型的导入

矿井巷道建模的目的是模拟现实中的巷道,但是巷道生成后,如果巷道内部没有相应的实体,则“现实”的感觉就会大打折扣。利用纹理替代还是做模型库是需要研究的一个重要内容。如果利用纹理替代井下实体设备建模,可以减少模型数据库的大小,从而提高系统运行的速度。但是,仅用纹理代替实际模型,降低了井下虚拟环境的真实程度。

ArcGIS 中的 MultiPatch 有一种生成方式是导入已有的三维模型到 GeoDatabase 数据库中, ArcGIS 桌面产品中支持其它格式的三维模型作为三维标注符号显示在地图数据上,这些格式包括由 3DS MAX 创建的 3DS (* . 3ds) 格式、Multigen Creator 创建的 OpenFlight (* . flt) 格式和 VRML (* . vrl) 格式^[5]。由于井下附属设施和矿工模型建模复杂,种类繁多,将不同的模型类型进行分类、建模,然后建立模型数据库,在已建好的巷道三维模型中确定模型具体空间位置后将模型导入,增强了虚拟环境的真实程度。

3 结语

随着信息科学技术的不断发展,“数字矿山”的建设也在煤炭行业得到重视,矿井巷道作为“数字矿山”的主体,其三维建模技术成为研究的热点。本文基于 ArcGIS 提供的 MultiPatch 3D 数据结构,在 C# 开发环境下,结合巷道自身的特点,在 ArcGIS Engine 平台上进行二次开发,实现了矿井巷道的三维自动建模,并进行了纹理映射,取得了良好到的

效果,为矿井巷道三维信息系统的建立提供了新的解决方案。

采用 ArcGIS Engine 底层接口技术,具有很大的灵活性与弹性,能够更大程度地满足专业需求,具有很好的扩展性。该矿井巷道的三维自动建模,是基于巷道中线点数据及截面形状进行的,在生成三维巷道之前,实际上已经生成了二维巷道网络拓扑模型,并且二维网络模型和三维巷道模型的空间关系是相互对应的,这样,可以充分利用 ArcGIS Engine 的空间分析功能,根据矿井生产和安全的需要,进行通风模拟、矿井突水、火灾等分析。目前,充分发挥三维 GIS 数据的空间分析优势,结合矿井巷道的三维显示功能,改善煤矿安全生产状况,加快煤矿信息化管理进程,是需要进一步研究的内容。

参考文献:

- [1] 汪云甲,伏永明. 矿井巷道三维自动建模方法研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2006,31(12): 1097~1100.
- [2] 杨冠军,陈洪,朱德海. 基于 ArcGIS Engine 的三维管网设计与实现[J]. 微计算机信息,2007,23(11-1):170~172.
- [3] 朱政. ArcGIS Engine 的开发与部署[M]. 北京:ESRI 中国(北京)有限公司,2006.
- [4] 谢义林. 巷道三维构模及虚拟交互研究与应用[D]. 徐州:中国矿业大学,2007.
- [5] 范力铭. 基于 ArcGIS Engine 的三维 GIS 系统开发与应用——以华东师范大学校园三维 GIS 为例[D]. 上海:华东师范大学,2007.