

# 基于 ArcEngine 网络模型的水资源优化配置系统开发

董贵明<sup>1</sup>, 束龙仓<sup>1</sup>, 陈南祥<sup>2</sup>, 田娟<sup>1</sup>

DONG Gui-ming<sup>1</sup>, SHU Long-cang<sup>1</sup>, CHEN Nan-xiang<sup>2</sup>, TIAN Juan<sup>1</sup>

1.河海大学 水资源环境学院, 南京 210098

2.华北水利水电学院 岩土工程系, 郑州 450008

1.College of Water Resources and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China

2.North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450008, China

E-mail: guiming14432@126.com

**DONG Gui-ming, SHU Long-cang, CHEN Nan-xiang, et al. System development of optimal allocation of water resources based on network model ArcEngine. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(35): 198-201.**

**Abstract:** The network model ArcEngine, which is included in ArcGIS Engine module library of company ESRI, is applied to the system development of optimal allocation of water resources. This paper introduced its architecture, key technique and development process. Moreover, the paper analyzed the realization of its specific function by its application in the system development of water resources of the water-received areas in Zhengzhou, Henan Province, which is one part of the middle route of South to North Water Transferring Project in China. The development case shows that this model exploited GIS space analytical function, and made a couple of system model GIS and professional model.

**Key words:** ArcGIS Engine; GIS; network model; optimal allocation of water resources; system development; south to north water transferring projection

**摘要:** 把 ESRI 公司的 ArcEngine (ArcGIS Engine) 组件库中的网络模型应用到水资源优化配置系统开发过程中。重点介绍了 ArcEngine 网络模型的体系结构、关键技术、开发步骤。以 ArcEngine 网络模型在南水北调中线河南受水区水资源优化配置系统开发中的应用为例, 对具体功能的实现做出了分析。开发实例表明, ArcEngine 网络模型在水资源优化配置系统开发中充分发挥了 GIS 的空间分析功能, 实现了系统中 GIS 模型和专业模型的耦合。

**关键词:** ArcGIS Engine; GIS; 网络模型; 水资源优化配置; 系统开发; 南水北调

**文章编号:** 1002-8331(2007)35-0198-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

## 1 引言

把 GIS 应用到某个具体专业中去, 帮助解决专业问题, 关键是要寻找合适的地理模型, 找不到合适的地理模型将很难较好地应用 GIS 的空间分析功能, 也将只能利用 GIS 的数据管理功能。ArcEngine 组件库是 GIS 技术和 COM 技术有效结合 (COMGIS) 的代表, 是 ArcObjects 组件库的重新封装, 它提供了几个最常用的 Activex 控件的同时, 有大量的完全 COM 的组件库, 功能强大、开发灵活、开放性高、地理模型丰富<sup>[1]</sup>。基于 GIS 的水资源优化配置系统研究是水资源优化配置的一个重要的研究方向<sup>[2-6]</sup>。目前 GIS 和优化配置模型集成的研究进展缓慢, 在优化配置过程中没有充分发挥 GIS 的空间分析功能。ArcEngine 的网络模型应用研究很少, 在水资源优化配置中未见应用。使用 ArcEngine 组件库开发基于 GIS 的水资源优化配置系统是一个较好的选择, 选择这个组件库的主要原因就是它提供了一种网络模型, 网络模型是具有拓扑结构的地理数据

集。在系统中用网络模型来模拟水资源系统概念模型—节点图, 可有效解决人工统计效率低、易错、不易修改, 在程序中使用这些关系时麻烦且效率低、空间数据和属性数据结合效果差等问题, 将充分发挥 GIS 的空间分析功能。供水关系的管理与维护变得方便、高效, 系统的开发效率提高, 最终将使基于 GIS 的水资源优化配置系统的开发上一个新的台阶。

## 2 ArcEngine 网络模型

### 2.1 ArcEngine 网络模型的特点

ArcEngine 网络模型是多年对交通和其他的网络模拟实践后提出的, 是 ArcEngine 的地理模型中较复杂的一种。ArcEngine 基于 ArcObjects 构建, 由 ArcObjects 组件库和一些 GIS 可视化 Activex 控件 (MapControl、PageLayout、ToolBarControl、ReaderControl、Table of Contents 等) 组成<sup>[7]</sup>。ArcEngine 是由

**基金项目:** 2004 年河南省杰出人才创新基金项目资助项目 (No.0421000300)。

**作者简介:** 董贵明 (1979-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为地下水资源评价与管理; 束龙仓 (1964-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为地下水资源评价与管理; 陈南祥 (1958-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为水资源和水文地质; 田娟 (1980-), 博士研究生, 主要研究方向为生态水利、非点源污染等。

近千个组件、几百个具有良好文档说明的接口、几千个方法所组成<sup>[8,9]</sup>,是完全基于 COM 的,能够在各种编程接口中调用。网络模型中的地理要素具有空间拓扑关系,可定义网络源、汇、权重和连通性规则。使用网络组件库的对象、接口、方法、属性几乎可以进行所有关于网络的操作。使用网络模型提供的丰富的组件开发 GIS 系统方便、灵活、重用性高。

## 2.2 ArcEngine 网络模型的体系结构

网络的体系机构简图见图 1。网络由几何网络(Geometric Network)和逻辑网络(Network)组成<sup>[8]</sup>。ArcGIS 逻辑网络有两种:传输网络(Street Network)和效用网络(Utility Network)。效用网络的网络流向是可以指定的,可以按照节点图中水流的方向指定和修改,适合用来描述水资源系统节点图。几何网络是组成网络要素(Network Feature)的集合,由边线(Edge)和交汇点(Junction)两类网络要素(Network Feature)组成,网络要素存储于拥有拓扑关系的多个要素类(FeatureClass)中。逻辑网络的基本单位称作元素(Element),元素存储在相应的表中,这些表由点元素表、边元素表、连接关系表这三个表组成,点元素表和边元素表是用来和几何网络要素建立对应关系的,关系表采用图论中邻接表的表示方法存储网络拓扑关系。一个几何网络总是与一个逻辑网络相联系,在编辑几何网络要素时,逻辑网络元素会自动更新。

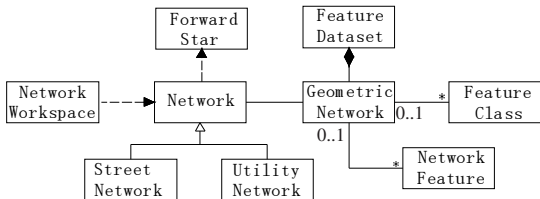


图1 网络对象模型简图

## 2.3 ArcEngine 网络模型的关键组件、接口

网络组件库主要分布在 ArcEngine 的两张 OMD(Object Model Diagrams)中,网络模型中主要的组件类和抽象类共 20 多个,主要的方法和属性近百个。组件库中经常用到的对象、接口主要有 TraceFlowSolver、NetSolver、GeometricNetwork、NetworkFeature、Network、INetwork、IGeometricNetwork、INetTopology、ITraceFlowSolver2 等<sup>[8]</sup>。ESRI 推荐的 ArcEngine 开发方式是在 ArcEngine 组件库的基础上重新封装 COM 组件,即把功能分别以 DLL 的型式储存在多个文件中<sup>[1]</sup>。ArcEngine 组件库本身就是完全 COM 的,这使得这种开发方式变得比较容易,封装 COM 时要用到的关键接口是 IHookHelper、ICommand、I-Tool 等。

在使用网络之前,往往首先要求网络是确定流,这一操作使用的主要是 IUtilityNetworkGEN:SetFlowDirection 方法。网络的查寻、编辑等基本操作类似于对普通要素类的操作。网络分析主要是追踪分析,在网络对象模型中的组件类 TraceFlow-Solver 提供了 10 余种方法来完成网络分析,网络分析功能将在供水网络关系识别中发挥重要作用。网络的权重及其相关操作主要通过接口 INetAttributesEdit 和组件类 NetWeight 实现。标志和障碍的设置可通过 IedgeFlag、JunctionFlag、INetElementBarriersGEN 等实现;网络和属性数据之间建立的关联通过组件类的 IrelationshipClass 接口实现。

在对网络进行操作和分析的过程中,网络要素和逻辑元素之间的互操作是经常遇到的,这个问题可以通过 InetElement、IPointToEID、InetTopology、ITraceFlowSolverGEN、IGeometricNetwork 等接口实现。

## 3 基于 ArcEngine 网络模型开发水资源优化配置系统的过程

### (1) 创建数据库

系统需要 2 类数据:网络包含的空间数据和以供需水为主的属性数据。网络中的空间数据主要是各种水源和用水户、供水线路,这些数据可以以 CAD、Shape、SDE、Coverage、Tab 等形式存在,最后存放在 Geodatabase 的数据集(FeatureDataset)的不同的要素类中,使用 ArcMap 或者 ArcToolbox 可建立网络。属性数据可以存放在 Access、DB、Informix、Oracle Microsoft SQL Server、Sybase 等数据库中,最后导入到 Geodatabase 的表中(Table)。这样空间数据和属性数据同存储于一个数据库文件中,实现了两种数据的统一存储,根据需要,可以在数据库中的要素类和表之间创建关联,使空间数据和属性数据的联系更加紧密。

### (2) gis 功能模块

gis 功能模块包括一般的地理要素管理功能和网络分析功能。地理要素管理功能包括 Geodatabase、Enterprise Geodatabase(网络数据库)、dBase File、Shapefile、Info File、ArcInfo Coverage、MapInfoTAB、DWG、DXF 等矢量数据之间的转换,栅格数据 TIF 向 Shapefile 矢量数据的转换,地图的浏览控制,地图的元数据管理,要素的编辑、查询等。网络分析主要包括以下功能:网络的统计信息,判断网络的连通性,查找网络边(节点)相邻的边或节点,查找几个网络元素的公共源头,各种意义下的最短路径查找,添加、删除、移动网络的障碍、标志、节点和边等等。对网络的编辑可以方便的改变供水单元和用水户的拓扑关系。gis 功能模块中的部分功能可以通过 ArcEngine 中的 Activex 控件实现,大部分功能要编码实现,ArcEngine 是完全基于 COM 的,在编码时,可将功能封装在 DLL 文件中,这对于提高系统的模块化和重用性是有利的。ArcEngine 中,DLL 加入到当前的系统中是非常方便的。

### (3) 水资源配置模型优化模块

水资源配置模型是一个优化模型,模型的建立要用到网络分析所提取出的空间拓扑关系以及存储在 Geodatabase 中的 Table,模型需使用相应的优化方法求解,如线形规划、遗传算法、粒子群算法等,各种求解方法可以封装在 DLL 中。配置所需的数据管理模块可以采用 ADO 对象模型实现。

### (4) 结果分析模块

配置的结果以 Table 的形式存储在 Geodatabase 中,结果分析是使用结果 Table,在网络的基础上生成各种专题图、专题曲线、栅格、等值线、TIN、三维漫游等。

## 4 应用实例

南水北调中线工程河南受水区内有 11 座省辖市和 32 座县城,供水单元的水源有南水北调中线水、水库水、黄河水、当地地表水、地下水、中水,用水户为供水单元的生活、一般工业、电力工业、环境。优化模型使用经济目标、环境目标、缺水目标

3个目标,约束有供水约束、需水约束、水库蓄水约束、非负约束4个约束。系统采用VB6+ArcGIS Engine9设计,用遗传算法求解优化模型,将系统功能分解在多个dll文件中,用网络模型模拟节点图。

### 4.1 系统总体设计

交互层是系统的主要功能;应用层主要是系统以什么形式与用户交互,在设计中,采用多个工具条的形式,每一个工具条就是一个dll文件,网络分析功能包含在优化、模拟工具条中;数据层为系统提供数据支持,包括一般数据和模型数据,空间数据和属性数据将采用Geodatabase存储。系统逻辑结构图见图2。

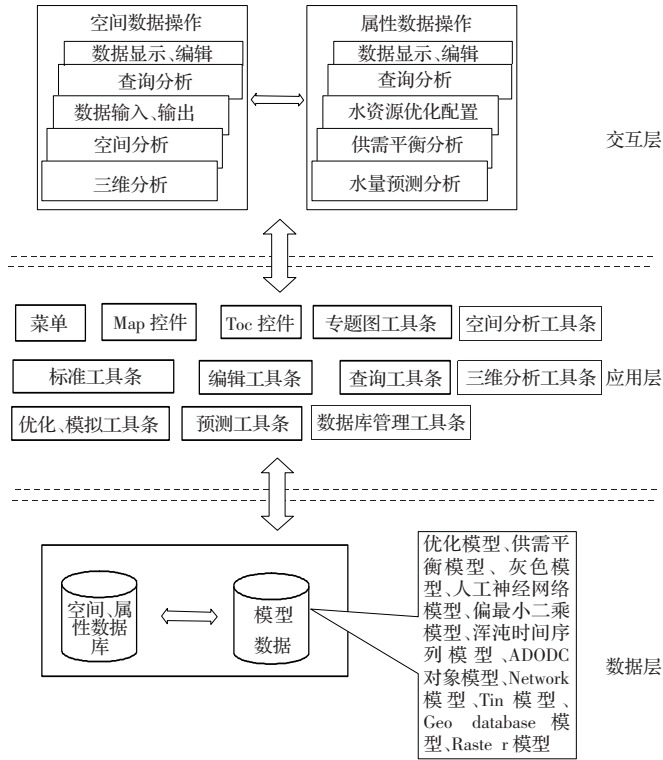


图2 系统逻辑结构图

### 4.2 系统数据库设计

在Geodatabase中有2个数据集和5个独立的表,2个数据集分别存储网络图和其它地理数据,网络图是核心数据,存放所有的供用水节点及其拓扑关系。属性表存储模型优化所需数据。系统数据库实际结构如图3所示。

### 4.3 系统主要功能实现

#### 4.3.1 地图要素的获取

系统的开发方式是在已有的ArcEngine的COM组件库的基础上重新封装用户的COM组件。在每一个DLL中,经常要得到当前系统中地图控件内的地图要素,主要使用下边的两个函数:

```
Private Sub Class_Initialize()
Set m_pHookHelper=New HookHelper
End Sub
```

```
Private Sub ICommand_OnCreate(ByVal hook As Object)
Set m_pHookHelper.hook=hook
End Sub
```

实例化类型为IHookHelper的接口m\_pHookHelper之后,



图3 系统数据库实际结构

就可以得到当前地图控件内的地图了。如下面的函数将得到当前DLL中的地图点g\_pInputPt。

```
Private Sub ITool_OnMouseDown(ByVal button As Long,ByVal Shift As Long,ByVal x As Long,ByVal y As Long)
Dim pPoint As IPoint
Dim pDisplayTransformation As IDisplayTransformation
Set pDisplayTransformation=m_pHookHelper.ActiveView.ScreenDisplay.DisplayTransformation
Set pPoint=DisplayTransformation.ToMapPoint(x,y)
Set g_pInputPt=pPoint
End Sub
```

#### 4.3.2 地理数据管理操作

地理数据管理主要是地图的编辑、查询、符号化以及地图元数据的管理等。以下代码是根据受水城市的生态需水量选择要素(图4):

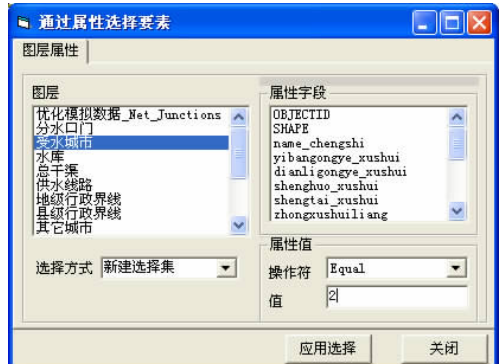


图4 使用属性查询窗体

```
Set pFeatureLayer=pMap.Layer(0)
Set pFeatureSelection=pFeatureLayer
Set pQueryFilter=New QueryFilter
pQueryFilter.WhereClause="shengtai_xushui=2"
```



```
pFeatureSelection.SelectFeatures pQueryFilter, esriSelectionResult-
New, FalsepActiveView.PartialRefreshesriViewGeoSelection, Nothing,
Nothing
```

### 4.3.3 网络的相关操作

系统的网络是由 Geodatabase 中的要素类生成的, 要素类使用 ArcMap 生成。系统开发过程中, 与网络模型有关的关键技术有网络流向设置(图 5)、获得某个用水户的所有水源、根据水源得到用水户、最短路径等网络追踪操作、添加障碍等。网络流向设置的关键代码是:

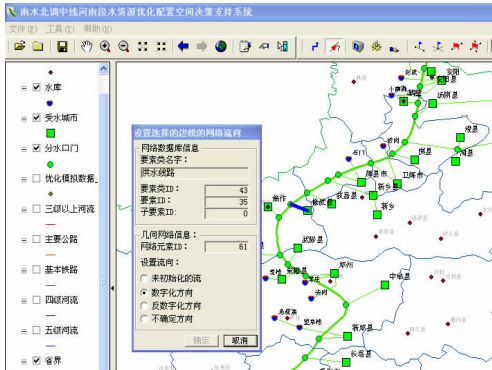


图 5 单独设置网络流向

```
pUtilityNetwork.SetFlowDirection lngEID, esriFDWithFlow
```

SetFlowDirection 方法提供了 2 个参数: edgeEID, flowDirection, 前一个参数 edgeEID 为逻辑网络的边元素的 ID, 这个编号是唯一的; 第 2 个参数 flowDirection 是表示要设置什么样的网络流向, Network 提供了 4 种流向, esriFDIndeterminate、esriFDWithFlow、esriFDAgainstFlow、esriFDUninitialized, 这 4 种流向分别是不确定流、数字化方向、反数字化方向。需要注意的是, 在单独设置某一条边的流向时要重新初始化数据库许可。

获得某个用水户的所有水源的关键代码是:

```
pTraceFlowSolver.FindFlowElements
esriFMUpstream, esriFEJunctions, pjunctionIDS, Nothing
```

这 4 个参数给出了沿着什么样的网路方向查找网络元素(上行或者下行), 同时给出了查找结果, 结果以网路元素的 ID 的形式存储在 pjunctionIDS 中, 然后使用元素和要素之间的转换方法就可以得到所有水源。

添加障碍的关键代码是:

```
Set pNetSolver.ElementBarriers(esriETEdge)=g_pNetEdgeBarriers
```

### 4.3.4 模型求解及结果分析

通过对网络的操作, 提取供水单元和用水户的空间拓扑关系, 在这个关系的基础上, 结合供水约束建立水资源优化配置模型, 并使用改进的遗传算法对模型进行求解。使用曲线、表格、图形对结果数据进行显示、分析。图形包括等值线图、栅格图、三维图以及各种专题图。下面是根据各个用水户的缺水信息生成栅格图(图 6)的主要代码, 栅格图可以帮助用户清楚的看出缺水量在受水区的空间分布情况。

```
Dim pfcdesc As IFeatureClassDescriptor
Set pfcdesc=New FeatureClassDescriptor
```

```
pfcdesc.Create pinputgds, pfilt, Com2.List(Combo2.ListIndex)
Set poutgds=pinterpop.IDW(pfcdesc, 2, pradius)
Dim prasterlayer As IRasterLayer
Set prasterlayer=New RasterLayer
prasterlayer.CreateFromRaster poutgds
```

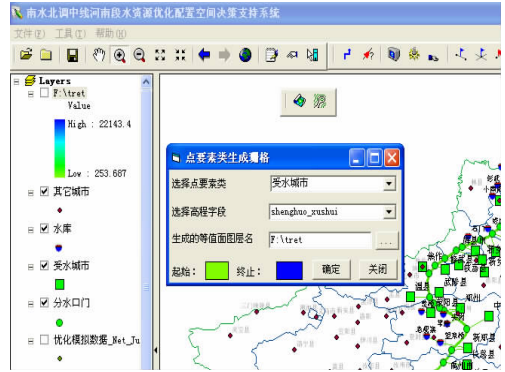


图 6 点到栅格工具

## 5 结束语

开发过程表明使用网络模型模拟节点图减少了工作量, 使开发过程思路更清晰, 空间关系使用、管理更方便, 在基于 GIS 的水资源优化配置系统开发中采用以网络模型模拟节点图为核心、结合 ArcEngine 的其它组件的 GIS 使用方式是合适的, 网络模型与节点图的相似性以及它本身使用的方便、高效将成为基于 GIS 的水资源优化配置系统开发的首选地理模型。

GIS 系统在各个领域中的应用效果, 关键取决于 GIS 与该领域专业模型的结合情况。现有的 GIS 通用软件内部具有的专业模型相当少, 在现有 GIS 基础上的二次开发是必要的; 同时, 空间分析功能与专业模型的结合问题, 是以后长时间值得研究的问题, 把网络模型应用到水资源优化配置系统的开发中, 是上述研究问题的一个初步研究结果。(收稿日期: 2007 年 4 月)

## 参考文献:

- [1] 朱政. ArcGIS Engine 的开发与部署[M]. 北京: ESRI 中国(北京)有限公司, 2004.
- [2] 吴泽宁, 索丽生. 水资源优化配置研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(2): 1-5.
- [3] 尤瑜瑜, 谢新民, 孙仕军, 等. 我国水资源配置模型研究现状与展望[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2004, 2(2): 131-140.
- [4] 王顺久, 侯玉, 张欣莉, 等. 中国水资源优化配置研究的进展与展望[J]. 水利发展研究, 2002, 2(9): 9-11.
- [5] 崔宝侠, 刘羽箬. 基于 GIS 平台的辽河水资源综合评价中 DSS 的研究[J]. 沈阳工业大学学报, 2003, 25(1): 58-60.
- [6] 刘青勇, 张保祥, 程善福, 等. 基于 GIS 的青岛市水资源信息管理与辅助决策支持系统[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2003, 34(4): 537-542.
- [7] 赵万锋, 刘南, 刘仁义, 等. 基于 ArcObjects 的系统开发技术剖析[J]. 计算机应用研究, 2004, (3): 130-132.
- [8] ArcGIS Engine Object Model Diagrams[M]. 美国: ESRI 公司, 2002.
- [9] ArcGIS Desktop Developer Guide[M]. 美国: ESRI 公司, 2004.