

# 图深度优先搜索技术在流域系统集成中的应用\*

李书琴<sup>1</sup>, 马耀光<sup>2</sup>, 许永功<sup>2</sup>

(1 西北农林科技大学 信息工程学院; 2 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

**[摘要]** 介绍了数据结构中图的基本概念, 并以渭河流域西部重点水源工程联合调度为例, 说明了流域系统集成的基本思想和方法; 应用图深度优先搜索技术, 并采用数据库及可视化编程技术, 进行了来水量关系分析与计算, 为多水源工程联合调度和防洪决策支持系统自动化提供依据。

**[关键词]** 流域系统集成; 图搜索技术; 图深度优先; 来水量关系分析

**[中图分类号]** TV 214; TP 274

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2003)05-0191-04

图是一种较线性表和树更为复杂的数据结构, 在图结构中, 节点之间的关系可以是任意的, 图中任意2个元素之间都可能相关。图技术在物理、化学、电讯工程、计算机科学等领域中应用广泛<sup>[1]</sup>。多水源工程由于流域结构复杂, 无论在联合调度还是在防洪决策支持系统应用中, 目前还是多采用人工和计算机相结合的方法, 这不仅工作量大, 而且容易出错。实现上述过程的自动化, 国内外的研究者目前还没有提出一个方便、有效的办法<sup>[2]</sup>。笔者认为, 实现自动化的关键在于如何将水力联系的各个水源集成为一个系统, 以作为整体计算, 解决好水源工程间数据的传递。本文以渭河流域西部重点水源工程联合调度中的来水过程计算为例, 分析了多水源工程之间的相互关系, 提出流域系统集成的基本思想和方法; 以数据库技术为基础, 采用可视化编程技术, 应用数据结构中图遍历技术的深度优先方法, 分析了各水源工程之间的水力联系, 以期为实现多水源工程联合调度和防洪决策支持系统的自动化提供依据。

## 1 图的基本概念

图(Graph)  $G$  由2个集合  $V$  和  $E$  组成, 记为  $G = (V, E)$ ,  $V$  是图中节点(Vertex)的集合;  $E$  是边的集合。节点与节点之间的连线称为边, 若边是有向的, 则图称为有向图, 否则称为无向图; 若  $v, w$  是2个节点, 则将从  $v$  到  $w$  的有向边记为  $v, w$ , 从  $v$  到  $w$  的无向边记为  $(v, w)$ 。深度优先搜索实现的算法

流程可用图1表示。

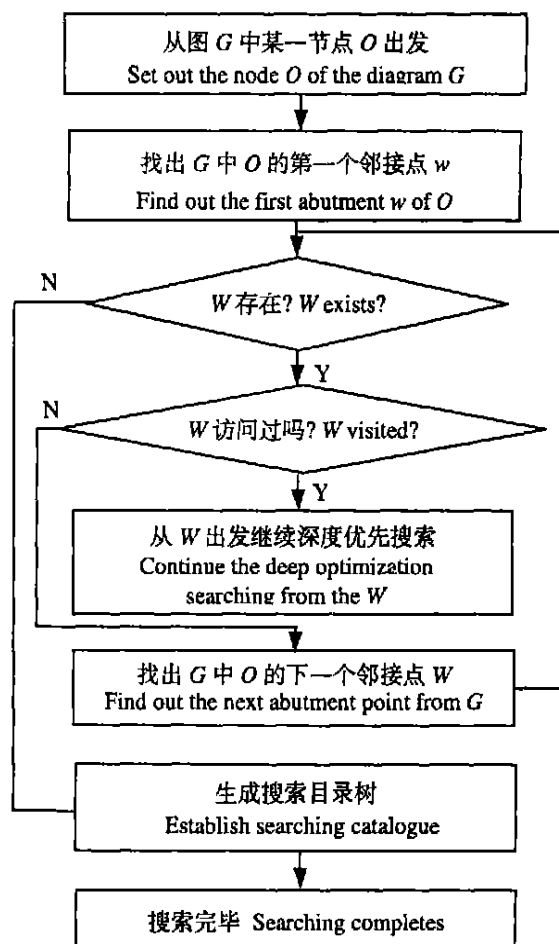


图1 深度优先遍历算法流程  
Fig 1 The flow chart of graph  
deep optimization traversal

\* [收稿日期] 2003-02-08

[基金项目] 西北农林科技大学科研重点专项资助项目

[作者简介] 李书琴(1965-), 女, 陕西澄城人, 副教授, 硕士, 主要从事计算机农业应用研究。

图的存储可使用邻接表表示, 邻接表可以表示为邻接矩阵的形式。对于一个有向图来说, 邻接矩阵元素具有如下性质:

$$a(i, j) = \begin{cases} 1 & v_i, v_j \in E \\ 0 & v_i, v_j \notin E \end{cases}$$

在图应用中, 若从图中某一节点出发访问遍图中其余节点, 且使某一个节点仅被访问过 1 次, 这一过程就叫图的遍历。通常有 2 条遍历图的路径分别是深度优先搜索和广度优先搜索。

## 2 渭河流域西部重点水源工程概况

陕西省渭河流域西起宝鸡, 东至潼关, 东西长约 360 km, 南依秦岭, 北达延安吴旗, 总面积为 50 673 km<sup>2</sup>, 渭河流域西部重点水源工程按其分布可以分为宝鸡峡林家村枢纽工程(包括王家崖、大北沟、信义沟和汭河 4 个灌区水库)、魏家堡自流引水工程、石头河水库、黑河金盆枢纽工程、冯家山水库、羊毛湾水库及段家峡水库等 7 个大型水利工程<sup>[3]</sup>, 如图 2 所示。

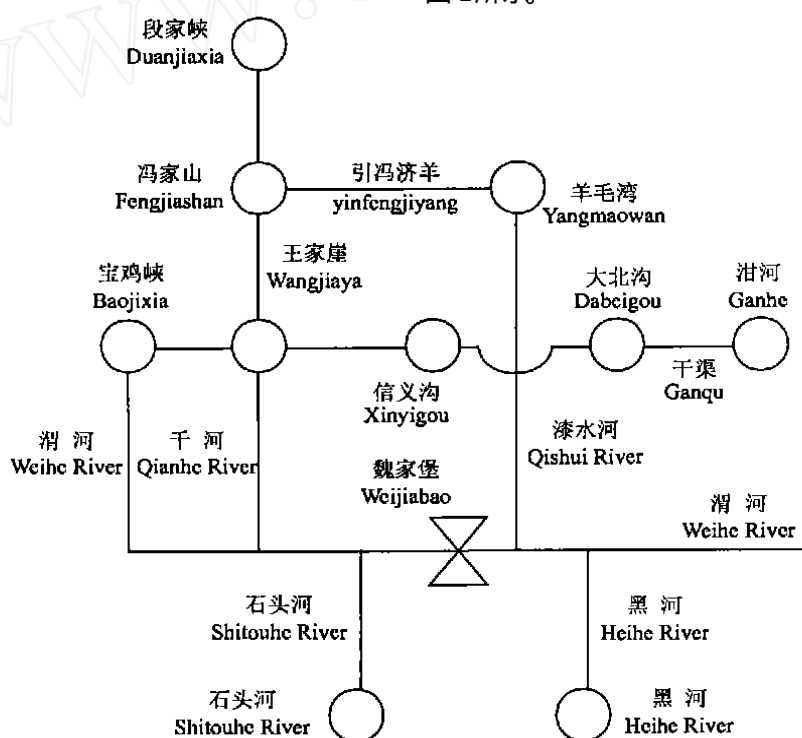


图 2 渭河流域西部重点水源工程分布

Fig. 2 The distribution of the key hydraulic source project in the west part of Weihe valley

## 3 联合调度流域概化模型的建立

在进行多水源联合调度时, 为了便于计算机实现先进行流域概化, 将整个流域按照水利工程分布划分为若干个集水区, 再将这些集水区和水利工程概化为图的节点, 并按各水利工程之间的水力联系将研究区域概化为一张节点连线图, 即流域概化图。渭河流域西部重点水源工程区域节点类型主要有集水区、水库、无坝引水和流域出口 4 种类型, 其流域概化图如图 3 所示。

分析图 3 可以看出, 节点之间的邻接关系是任意的, 而并不全具有层次关系, 因此渭河流域概化图是图而不是树。为了存储图中节点属性及其邻接关系, 将图分成最小的子图, 子图包括 1 个起始节点、1 个终止节点以及这 2 个节点的联接特征, 在数据库中建立 1 张节点邻接表(表 1)反映这些特征。表 1 中, 节点邻接名称 P1-W 1 表示 P1 和 W 1 是连通的, 而且方向是从 P1 指向 W 1, 用邻接表矩阵元素表示时,  $a(i, j) = 1$ 。

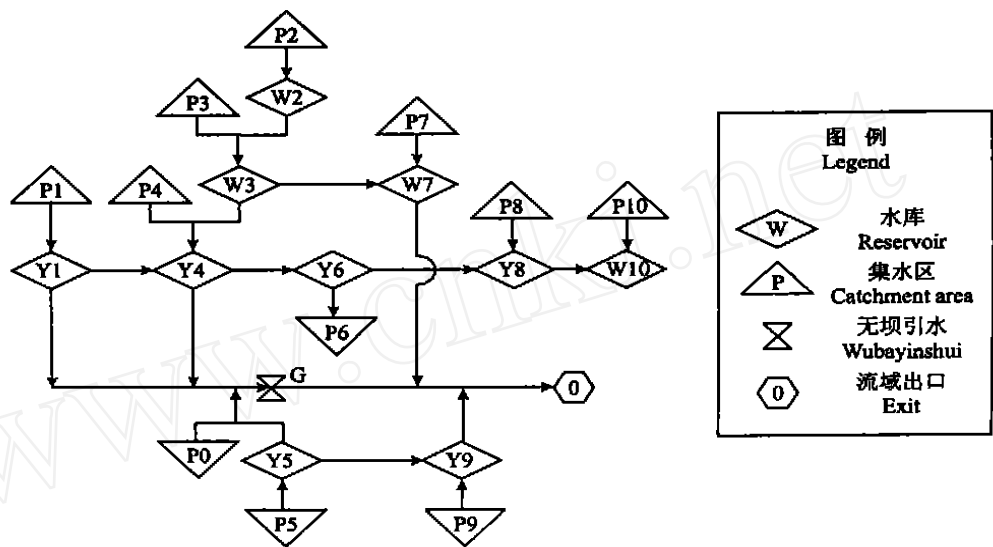


图 3 渭河流域西部重点水源工程概化

Fig 3 The concept of the key hydraulic source project in the west part of Weihe valley

表 1 渭河流域西部重点水源工程联合调度流域概化模型节点及其参数

Table 1 The concept mode and parameters of the key hydraulic source project in the west part of Weihe valley

节点邻接名称 Adjining side	起始节点名 Origination node	终止节点名 Ending node	起始节点类型 Origination type	终止节点类型 Ending type
P0-G	无名河 non-name	魏家堡 Weijiabao	集水区 Catchment	无坝引水 Wubayinshui
P1-W 1	宝鸡峡 Baojixia	宝鸡峡 Baojixia	集水区 Catchment	水库 Reservoir
P2-W 2	段家峡 Duanjiaxia	段家峡 Duanjiaxia	集水区 Catchment	水库 Reservoir
.....	.....	.....	.....	.....
G-O	魏家堡 Weijiabao	流域出口 Exit	无坝引水 Wubayinshui	流域出口 Exit

4 流域来水关系分析的计算机实现

借助流域概化图和节点邻接表,可以较方便地描述流域各水源之间的水力联系。采用深度优先遍历法对其上游节点进行搜索,其思想是从图中o节点出发,从邻接表中任意选择一个未被访问的o的邻接节点v,由v继续深度优先搜索,直到图中所有和o有路径相通的上游节点都已经被搜索完毕,产生与该节点有水力联系的上游节点关系表,此表称为搜索目录树。为实现计算过程的自动化,使用SQL Server 2000<sup>[4]</sup>建立数据库和数据表存放节点邻接及节点属性,采用VB 6.0<sup>[5]</sup>编程,引入树型列表控件Tree View来形象化地表述水力联系。

图 4 是与大北沟水库有水力联系的其他水源节点搜索结果示意图。



图 4 图搜索结果举例

Fig 4 The instance for the search result

从图 4 可以看出,与大北沟有直接水力联系的是大北沟集水区和信义沟水库,与信义沟水库有直接水力联系的是信义沟集水区和王家崖水库等。在

实际应用中,若需要实现联合调度,只需按搜索目录树生成过程相反的方向计算,直到目录树的根节点为止。即从有水力联系的最上游水源工程开始,逐个水库进行优化,以确定满足目标函数的弃水量;根据上游弃水量,计算下游来水,直到计算节点为止。图 5 为大北沟水库调节计算来水关系的分析结果。

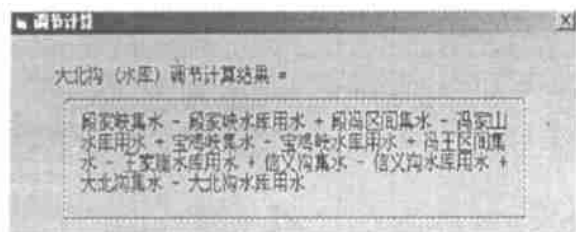


图 5 水量关系分析结果举例

Fig 5 The instance for water supply amount relation

## 5 结 语

本文通过对复杂流域进行概化,得到一张流域节点图,然后建立流域内各个节点之间的连接关系(用邻接表或邻接矩阵来表示),并将这种关系反映在数据库中,用深度优先遍历的方法得到有水力联系节点的关系图,这种方法具有以下优点:

- (1) 灵活性强。用节点联接的方式来集成模型,大大提高了系统的灵活性。
- (2) 独立性强。有利于模型库的相对独立,充分体现结构化程序设计的思想。
- (3) 通用性强。本文的设计思想同样适合其他流域,也适合于流域洪水决策支持系统的实现。

## [参考文献]

- [1] 严蔚敏 数据结构[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993
- [2] 唐 勇, 胡和平, 田富强 流域洪水计算模型系统的拓扑关系分析[J]. 水利学报, 2002, (5): 81- 85
- [3] 任三成 陕西灌区管理[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1993
- [4] 袁鹏飞 SQL Sever 2000 数据库系统管理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001
- [5] 李书琴 Visual Basic 程序设计教程[M]. 西安: 西北大学出版社, 2002

## The application of graph deep optimization searching technology in system integration of drainage areas

L I Shu-qin<sup>1</sup>, MA Yao-guang<sup>2</sup>, XU Yong-gong<sup>2</sup>

(1 College of Information Engineering; 2 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The basic conception of diagram in data structure was introduced in this paper. Taking the integrated water distribution of the key hydraulic source project in the west part of Weihe valley as example, basic conceptions and approaches about system integration of drainage areas were illustrated. By using graph deep optimization searching technology and database and visualized programming technology, the analysis and calculation of the water supply amount relation was realized. This laid a foundation for the computerization of integrated distribution of multi-source water project and the flood prevention policy-making system.

**Key words:** system integration of drainage areas; graph searching technology; graph deep optimization; relation analysis of water supply amount