

基于面向对象与链式存储结构的配电网拓扑分析方法

陈世君¹,周步祥¹,胡美蓉²

(1. 四川大学电气信息学院,四川 成都 610065; 2. 四川省南充电业局,四川 南充 637000)

摘要: 根据配电网的结构特点,基于面向对象思想提出了一种配电网设备模型,并由此在支持指针的编程语言环境中提出了一种链式存储结构对整个配电网进行拓扑描述。同时,利用链式存储结构中少量链节的修改实现快速地对配电网结构进行动态修正,适应了配电网当前的快速建设和运行特征;基于该配电网拓扑模型设计了一个设备搜索模块,编程简练、具有较强的通用性。实际应用表明,这种基于面向对象与链式存储结构的配电网拓扑分析方法具有较大的实用价值。

关键词: 配电网; 拓扑分析; 面向对象(OO); 链式存储结构

中图分类号: TM771 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)21-0029-04

0 引言

当前,加强对配电网的智能管理成为许多供电企业的主要任务之一。配电网有其自身的结构与运行特点,如结构随意性比较大、开关状态变化频繁等,这给配电网管理带来诸多不便。因此,许多供电企业为了对配电网进行有效、科学的管理,引入了各种配电网智能管理系统。配电网智能管理系统的开发关键技术问题之一就是能准确、可靠地分析配电网的拓扑结构。

在已有的配电网拓扑模型研究成果中,已经提出过配电网设备模型和拓扑模型^[1],并取得了较好的应用效果。但是,当前飞速发展的配电网建设导致配电网结构改变周期缩短,加上配电网开关状态改变频繁的特点使得在配电网拓扑结构分析中需要有较好的结构动态修正方法,同时,在各种搜索功能的设计中,有一个通用性好、设计简单的搜索模块能极大地提高软件的开发效率。因此,设计一个满足以上要求的配电网拓扑模型具有十分重要的意义。

本文基于网络图形数据库平台^[2],利用面向对象(OO)思想^[3]提出配电网设备模型,在网络图形上直观地表示出所有具体的配电网电力设备,并在此基础上在支持指针的编程环境中提出了一种链式存储结构^[4]对整个配电网进行拓扑描述。同时,基于该配电网拓扑模型实现了对配电网结构的快速动态修正和设备搜索模块的设计。

1 基于面向对象思想的配电网设备模型

配电网一般包括变电站或开关站的母线、配电线路、各种开关、电动机及电阻负荷等电力设备。本

文基于网络图形和面向对象(OO)思想将配电网中所有设备都定义为N端口设备,在图形平台中就是N端口电力图元。如开关是双端口设备,电动机为单端口设备,母线等相关联设备不固定的电力设备也定义为N端口设备,端口数根据实际相关联的电力设备数确定。按照此思想设计以下配电网设备模型:

电力设备

```
{  
    身份标志;  
    设备种类标志;  
    端口数;  
    端口关联属性;  
    设备运行状态属性;  
    设备其他属性;  
    设备图元端口坐标属性;  
    访问标志;  
}
```

其中,身份标志唯一标识该电力设备,程序设计时可以设计为该设备对应结构体变量名;设备种类标志标明电力设备种类(如开关、电动机等);端口数为该电力设备属于几端口设备;端口关联属性为该端口关联了哪些相连电力设备,根据端口的个数设计为相应的指针数组;设备运行状态属性为该设备是否连通;设备其他属性记录电力设备的其他参数属性;设备图元坐标属性为该电力设备在网络图形平台中相应的设备图元的端口坐标,根据端口的个数设计为相应的数组;访问标志用来记录在搜索电力设备过程中的访问标记。在程序设计中,可以根据实际需要增加其他的程序辅助参数,也可以增加其他设备描述属性。根据该设备模型定义以下结

构体 (成员变量的类型省略):

```

struct Element
{
    D (身份标志)
    Class (设备种类标志)
    NoOfPort (端口数)
    Rela[] (端口关联属性, 定义为指针数组, 后加 [] 变量表示为数组, 后同)
    State (设备运行状态属性)
    Info[] (设备其他属性)
    Coord[] (电力图元端口坐标)
    FlagOfVisit (访问标志)
}

```

该结构体的逻辑结构如图 1。

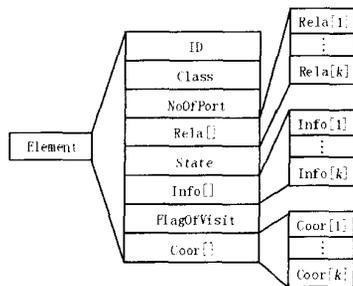


图 1 结构体 Element 的逻辑结构

Fig 1 Logic structure of element

通过以上设计的数据结构,配电网中所有的电力设备就通过统一的数据结构组织起来。这样组织的配电网具有较好的设备种类扩充性。当系统中出现新的电力设备种类时,只需增加一个设备种类标志,然后将该种设备的各种参数赋给结构体相应的成员属性即可。

2 基于链式存储结构的配电网拓扑结构描述

采用常规的表格式数据结构对配电网的拓扑结构进行描述,一旦排在表格前面的数据记录需要增删,必然要影响到排在它后面的数据记录,而应用链式数据结构可以任意修改、增删其中任意链节而不影响其他链节,这个特点非常适合配电网结构改变周期缩短与运行方式改变频繁的特点。因此本文将链式存储结构引入配电网的拓扑结构描述中。

本文采用图形数据库一体化平台^[2],针对配电网中的各类具体电力设备设计为各种电力图元,在网络图形上直观地绘制出整个配电网。然后利用文献[2]中的图上自动生成原始拓扑方法生成配电网中各电力设备之间的原始连接关系,根据这些电力

设备间原始连接关系给相应结构体中的属性 Rela[] 赋予相应的指针,这样就形成了配电网结构的链式存储结构,见图 2。图 2 为了绘制简洁,只表示了结构体中端口关联属性。

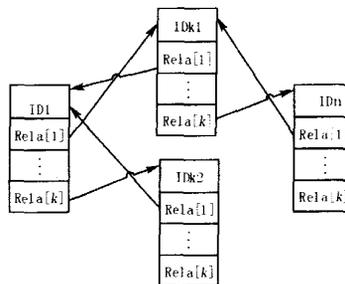


图 2 配电网的链式存储结构

Fig 2 Linked storage structure of distribution network

由图 2 可以看出:与设备 D1 相连的有设备 Dk1、Dk2;与设备 Dk1 相连的有设备 D1、Dn;与设备 Dk2 相连的有设备 D1;与设备 Dn 相连的有设备 Dk1。这样,配电网中的电力设备及相互间的连接关系就通过一个链式存储结构记录下来。

3 应用

3.1 典型配电网拓扑模型建立

图 3 给出了一个典型的配电网结构,包括母线 B、配电线 L、开关 S、电动机 M 和电阻负荷 LD。

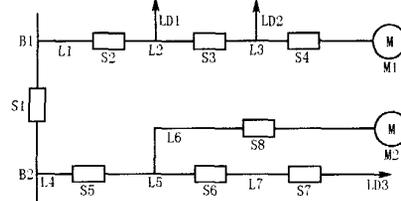


图 3 典型的配电网结构

Fig 3 Typical structure of distribution network

该配电网的拓扑模型建立如下:首先在网络图形数据库平台上建立该配电网结构,然后基于以上配电网设备模型和结构描述方法建立该配电网的拓扑模型,得到各设备相应结构体中端口关联属性(其他属性省略)的存储情况,见表 1。

3.2 配电网结构动态修正

在实际的配电网智能管理系统中,配电网的快速建设将导致对配电网的网络结构进行如下修正:修改其中某电力设备关联关系、增加新的电力设备、删除已有的电力设备;配电网运行方式的改变将导致某些母线、配线的合并、分裂。本文由于采用了链式的数据结构,只需要修改某些结构体的链节就能

表 1 图 3 配电网的拓扑结构存储情况

Tab 1 The topology storage of distribution network in Fig 3

D	Rela[]	D	Rela[]
S1	B1, B2	M1	S4
B1	S1, L1	L4	B2, S5
B2	S1, L4	S5	L4, L5
L1	B1, S2	L5	S5, L6, S6
S2	L1, L2	S6	L5, L7
L2	S2, S3, LD1	L7	S6, S7
S3	L2, L3	S7	L7, LD3
L3	S3, S4, LD2	L6	L5, S8
S4	L3, M1	S8	L6, M2
LD1	L2	M2	S8
LD2	L3	LD3	S7

快速地实现以上功能。其中增加、删除电力设备和修改某些电力设备关联关系只需要增加、删除相应结构体和修改相应结构体中的属性 $Rela[]$ 即可;在合并、分裂母线和配线操作中除修改相应结构体中的属性 $Rela[]$ 外,还需要对相应的母线和配线进行等值或独立。如根据实际需要,将图 3 中的配线 L6 改接在配线 L7 上,首先将 L6 的端口关联属性设置为 L7、S8,然后改变 L6 的原来关联和现在关联的设备改变的端口关联属性:L5 的端口关联属性设置为 S5 和 S6,端口数设置为 2,L7 的端口关联属性设置为 S5、S7 和 L6,端口数设置为 3。又如母线 B1 与 B2 由分裂转合并运行时,首先设置一个新的结构体 (D 为 B12) 将 B1 与 B2 等值,然后将 L1 与 L4 的端口关联属性中的 B1 与 B2 改为 B12。同理,配电网结构的其他改变也可以方便快速地完成。

3.3 配电网设备搜索

在配电网的网络拓扑分析中,不可避免地需要对网络中的电力设备进行搜索。本文采用以上设计的配电网设备模型和结构描述方法,采用递归函数对配电网中电力设备进行搜索。搜索模块的算法流程见图 4。

其中 A 处为递归函数的入口,搜索完与该设备相关联的设备后,将返回 A 处。因为采用了链式存储结构,每个电力设备的关联属性直接指向关联设备的地址,故避免了常规搜索编程中的堆栈操作,给程序开发者提供了极大的方便,同时可以利用局部搜索^[5]减少搜索范围,提高搜索速度。

现利用该搜索算法来实现配电网管理中的用户 LD3 的电源确定:按照图 4,起始设备地址为用户 LD3 的地址; i 端口关联设备编号是否为新搜索起点主要判断该关联设备的类型是否开关或配线及其运

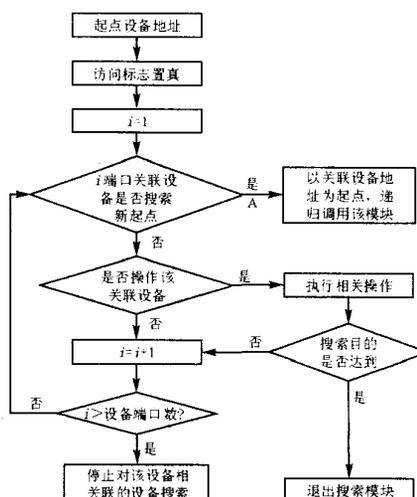


图 4 设备搜索流程图

Fig 4 Flow chart of equipment searching

行状态,是且处于运行状态满足条件;是否操作该关联电力设备的条件是判断该关联电力设备类型,如该电力设备为电源电力设备(厂站母线),就将该电源电力设备记录为用户的电源;搜索目的是否已经寻找到电源电力设备。程序模块编制如下:

```
void Search(Address) / 函数名为 Search
{
    For (int i=1; i <= Address.NoOfPort; i++)
    {
        If (Address.rela[i].CLASS == "电源") / 判断关联的电力设备类型是否电源电力设备
        {
            ... / 搜索目的已经达到,记录电源电力设备,退出对此设备关联设备的搜索
        }
        if (Address.rela[i].CLASS == "开关或配线" && (与) Address.rela[i].State == "运行") / 判断该关联设备是否为搜索新起点
        {
            Search(Address.rela[i]); / 赋予新搜索起点,递归调用 Search
            ... / 如果搜索目的达到,逐层退出递归调用的函数
        }
    }
}
```

程序执行时,首先将 LD3 的地址赋予 Address,然后该函数就可以根据 LD3 相关联的设备搜索到 LD3 的电源为厂站母线 B2。在函数 Search 中,适当改变某些条件就可以实现其他功能的搜索,使得配电网搜索模块的设计相当方便。

4 结论

本文基于面向对象(OO)思想将所有的电力设备设计为统一的设备模型,并将配电网中的所有电力设备信息存储在统一的数据结构中。基于这种简明而又完善的数据结构,采用链式存储结构对配电网进行结构描述。同时,利用配电网结构的动态修正与设备搜索模块的实现算法证明该配电网拓扑分析方法在配电网智能管理软件开发中的应用。按照以上的设计思路与方法,这种配电网拓扑分析方法还能在电力系统智能软件的许多方面得到广泛应用,例如配网停、供电模拟、配网故障恢复等。实际应用表明,这种配电网拓扑分析方法通用性好、可扩充性强、软件的复用性高,具有较高的实用性、接受性和推广性。

参考文献:

- [1] 周步祥,刘欣宇.基于网络图形的配电网拓扑分析方法及应用[J].电力系统自动化,2003,27(8):67-70
ZHOU Bu-xiang, LIU Xin-yu Network Graphbased Power Distribution Network Topology Analysis and Its Application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(8): 67-70
- [2] 吴文传,张伯明.基于图形数据库的网络拓扑分析及其应用[J].电网技术,2002,26(2):14-18
WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming A Graphic Database Based Network Topology and Its Application[J]. Power

- System Technology, 2002, 26(2): 14-18
- [3] 董张卓,孙启宏,杜宇,等.基于面向对象技术的实时电网拓扑表示[J].西安交通大学学报,1995,29(3):88-95.
DONG Zhang-zhuo, SUN Qi-hong, DU Yu, et al Object-oriented to Topological Expression of Electric Power Systems[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1995, 29(3): 88-95.
- [4] 周海岩.图的关联链式存储结构[J].计算机研究与发展,1997,34(S1):193-195.
ZHOU Hai-yan An Incidence Linked Storage Structure of Graph[J]. Computer Research & Development, 1997, 34(S1): 193-195.
- [5] 朱文东,刘广一,于尔铿,等.电力网络局部拓扑的快速算法[J].电网技术,1996,20(3):30-33.
ZHU Wen-dong, LIU Guang-yi, YU Er-keng, et al The Fast Calculation Method of Power Network Topology[J]. Power System Technology, 1996, 20(3): 30-33.

收稿日期: 2006-05-18; 修回日期: 2006-08-25

作者简介:

陈世君(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统调度自动化及计算机信息管理;E-mail: cd_chensjun@163.com

周步祥(1965-),男,博士,教授,主要从事电力系统自动化、计算机应用等方面的教学与科研工作;

胡美蓉(1973-),女,助工,主要从事继电保护工作。

D istribution network topology analysis and application based on object oriented and linked storage structure

CHEN Shi-jun¹, ZHOU Bu-xiang¹, HU Mei-rong²

(1. College of Electrical Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Nanchong Electric Power Bureau, Nanchong 637000, China)

Abstract: According to the structural characteristics of a distribution network, this paper puts forward a device model for the distribution system based on object oriented, and a linked storage structure to record the topology structure of a distribution network in the language programming circumstance of supporting pointer. Meanwhile, only a few links in the linked storage structure need to be changed when the structure of distribution network is changed because of the construction or the operation, the module of searching the equipments can be easily designed based on this topology method and is of a general use. Real applications show that this algorithm is of fairly highly practical value.

Key words: distribution network; topology analysis; object oriented(OO); linked storage structure