

基于 IEC61850 标准的线路保护功能建模

向珉江, 高厚磊, 史先好, 崔川

(山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 以典型的线路保护装置为例, 按照 IEC61850 标准面向对象建模的核心思想, 从保护功能的分解入手, 将每一项保护及相关功能建立一个独立的逻辑节点, 选择和完善相应数据对象, 建立起完整的信息模型及功能的模型服务。给出了建模的实例化步骤和结果, 并对建模特点、实例化逻辑节点名、数据对象的分类等重点问题进行了分析和讨论, 实现了设备模型与具体通信协议的分离。最后简要地介绍了模型的映射实现和装置 GOOSE 服务数据集的配置文件。

关键词: IEC61850; 信息模型; 模型服务; 逻辑节点; 数据; 线路保护

Modeling of transmission line protection functions based on IEC61850 standard

XIANG Min-jiang, GAO Hou-lei, SHI Xian-hao, CUI Chuan

(School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: Based on the object-oriented modeling thought of the IEC61850 standard and taking a typical transmission line protection device as an example, each of the protection functions and related functions is taken as a logical node according to the decomposition of device. The node is used to choose and complete data objects so as to establish the whole information models and function's model services. The paper presents the modeling processes and results, analyzes and discusses the modeling features, instantiation of logic node names and classification of data object, which has realized the separation of models from specific communication protocols. Finally, the realization of model mapping and the device's configuration file of GOOSE services' dataset are briefly introduced.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No.50777040).

Key words: IEC61850; information model; model service; logical node; data; transmission line protection

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)03-0127-05

0 引言

制定 IEC61850 标准的出发点是“同一世界, 同一技术, 同一标准”, 实现互操作是其最终目标之一。但当前变电站自动化和通信技术的发展日新月异, 各个国家和地区间的技术发展也不均衡, 为了使 IEC61850 标准有良好的扩展性和广泛的兼容性, 标准采用了面向对象的建模技术, 实现了功能和具体通信协议的解耦, 面向对象的建模技术是 IEC61850 标准的核心。本文在分析理解 IEC61850 面向对象建模思想和特点的基础上, 以一台典型的线路保护装置为建模对象, 详细阐述符合 IEC61850 标准的保护装置建模过程和结果。

1 IEC61850建模步骤和特点

面向对象的思想就是将每一个对象都封装成相

应的属性和服务, 属性描述了对对象的外部可视性, 服务则提供了访问对象属性的方法。具体来讲, 要实现对目标对象的 IEC61850 标准建模, 需要遵循以下几个步骤^[1-2]。

步骤 1: 按照“服务器—逻辑设备—逻辑节点—数据—数据属性”的思路建立起目标对象的信息模型, 该模型描述了对对象的成员和信息结构。

步骤 2: 根据已定义的 14 类抽象通信服务接口 (Abstract Communication Service Interface, ACSI) 确定目标对象的模型服务功能, 即外部的操作、访问、控制等信息交换方法。

步骤 3: 最后通过特定通信服务映射 (Specific Communication Service Mapping, SCSM) 映射到具体通信协议上, 实现具体的通信功能。

步骤 4: 工程应用中, 还需要根据 IEC61850-6 部分定义的变电站配置语言 (Substation Configuration Description Language, SCL) 描述装置的信息模型和模型服务功能, 以满足不同装置间

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50777040)

的配合。以上 4 个步骤介绍的四个基本部分：信息模型、模型服务、特定通信服务映射和 SCL 配置文件的关系如图 1 所示^[1]。

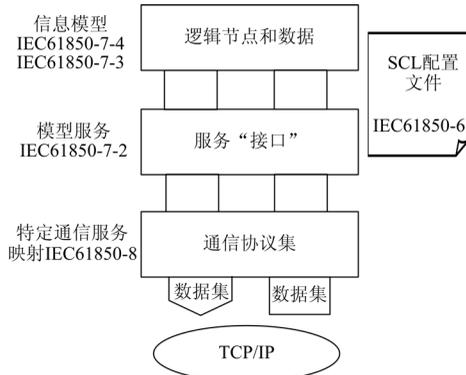


图 1 四个基本部分的关系

Fig.1 Relation of four main building blocks

这四个基本部分相互关联但又彼此独立，信息模型和模型服务相互分离，符合面向对象属性和服务分离的思想。模型服务和具体通信协议集也相互分离，这样 ACSI 就完全独立于具体通信协议，只需要修改相应的 SCSM 就可以适应不同的通信协议，具有良好的扩展性和可移植性。SCL 文件完成对信息模型和模型服务标准化定义的配置功能。可以总结出，信息模型和模型服务共同组成了建模的“内核”，这一内核至关重要，它完整地阐述了目标对象的内涵和功能，是实现互操作的两个基础。

逻辑节点是信息建模的重要概念，它被定义为将应用功能分解得到的最小实体，是具有数据交换功能的最小部分。建模采用逻辑节点作为主要的基本构件去合成变电站自动化系统的功能，IEC61850-7-4 部分定义了共 13 组约 90 个逻辑节点，其中关于保护和保护相关功能的有 2 组共 38 个逻辑节点。数量之多足能反映出保护对于变电站自动化和电力系统安全可靠运行的重要性。

2 线路保护的信息模型

2.1 逻辑节点名的实例化

IEC61850-7-2 对逻辑节点类进行了通用性定义。IEC61850-7-4 定义了兼容性逻辑节点，它是逻辑节点类的特例，继承了类的通用性定义，根据具体应用功能定义了相应的数据和逻辑节点名。如距离保护逻辑节点名为 PDIS，瞬时过流逻辑节点名为 PIOC，带时限过流逻辑节点名为 PTOC 等，直接使用这些逻辑节点名在许多场合下可能会造成误解，这些误解主要来自两个方面。

误解一：保护区段的误解，即 N 段式保护就会

对应 N 个相同的逻辑节点名。

误解二：保护原理的误解，即可能出现两种或多种不同保护原理共用同一逻辑节点的情况。如工频故障分量距离保护也可以使用距离保护逻辑节点 PDIS。因此有必要在基本逻辑节点名的基础上进行实例化，IEC61850-6 对其进行了定义，如图 2 所示。

前缀名	基本逻辑节点名	引用号
-----	---------	-----

图 2 逻辑节点名实例化

Fig.2 Instantiation of logical node name

图 2 中，前缀名是一串英文字母，表示逻辑节点所属于的逻辑设备信息，或逻辑节点自身的功能信息，建模时就能避免误解二的情况；引用号是数字，可以用来标示保护区段，如用数字 1、2、3 分别表示 I 段、II 段、III 段。对逻辑节点名的实例化应根据一些常规的表述习惯，且一定要在 SCL 配置文件中说明^[3]。

对逻辑节点名的实例化只是修改标识名，没有对逻辑节点本身进行修改。根据实际需要还可以创造新的逻辑节点，或者增加已有逻辑节点所包含的数据，但这都是基于现有逻辑节点，或逻辑节点的现有数据不能满足需求的前提下进行的。对逻辑节点或数据的扩展也一定要进行说明。

2.2 服务器和逻辑设备

信息模型的主要承载者是逻辑节点和数据。服务器和逻辑设备在建模过程中只是用于代表一定的结构信息，不代表应用信息^[4]。它们按照一定的要求对逻辑节点进行划分，使建立起来的信息模型更具层次感。文献[5]将保护装置看成一台服务器，按功能划分了 4 个逻辑设备：保护、数据采集、I/O、人机接口。为了方便说明建模思路，本文只对核心的保护功能逻辑设备进行阐述。

2.3 逻辑节点

所选线路保护装置的主保护为纵联距离方向保护和纵联零序方向保护；后备保护为工频故障分量距离保护、三段式距离保护和两段式零序电流延时保护；另外具备自动重合闸功能。

对照保护功能及相关功能逻辑节点组，选取需要的逻辑节点并实例化，建立如图 3 所示的逻辑节点描述的功能图。

图 3 中，距离方向元件逻辑节点 DirPDIS、工频故障分量距离保护逻辑节点 FFCPDIS、三段式距离保护逻辑节点 PDIS1 (2、3) 是从 PDIS 扩展定义而来；零序方向元件逻辑节点 DirZeroPIOS 是从 PIOS 扩展定义而来；两个延时段零序电流保护逻辑

节点 ZeroPTOS1 (2) 从 PTOS 扩展定义而来; 保护配置逻辑节点 PSCH 实现对两端量的综合判断, 确定故障点位置; 电网振荡检测/闭锁逻辑节点 RPSB 用于检测系统振荡并闭锁距离保护 I、II 段; 自动重合闸逻辑节点 RREC 对应于重合闸功能; 保护跳闸逻辑节点 PTRC 连接多个跳闸输入, 形成一个传递给断路器逻辑节点 XCBR 的公用跳闸信号; 物理装置信息逻辑节点 LPHD 和逻辑节点零 LLN0 是所有逻辑设备必备的两个逻辑节点, 前者表示物理设备的公共信息, 如铭牌、设备健康等, 后者表示逻辑设备的公共数据, 不仅包括逻辑设备的运行模式和行为等信息, 还包括逻辑设备数据集, 如定值、压板信息等, 此外还包括五类可选的控制块信息^[6]。

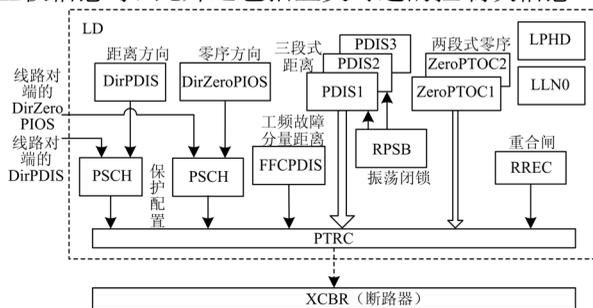


图3 逻辑节点描述的功能图

Fig.3 The chart of logical nodes function

2.4 数据对象

IEC61850-7-1 中将逻辑节点的数据按照其信息含义分为了五类: 公共逻辑节点信息类、状态信息类、定值类、测量值类、控制类。保护功能逻辑节点组中的逻辑节点都不包含“控制类”数据, 个别包含“测量值类”数据, 都包含余下三类数据, 这三类数据的逻辑关系可用图 4 来表示。

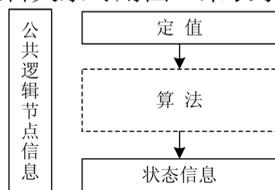


图4 三类数据的关系

Fig.4 Relation of three types of data

图中, 虚线框内的算法是不可视, 不属于建模的内容, 工频故障分量距离保护能使用距离保护逻辑节点 PDIS 正是源于算法的不同。算法直接关系保护性能的优劣, 是微机保护的核心。

实线框内的三类数据是可读的, “公共逻辑节点信息类”数据表示对逻辑节点的整体描述; “定值类”数据表示算法的输入变量; “状态类”数据表示算法的输出结果, 它就地产生不能远方改变。逻辑节点

的数据都有必选和可选之分, 以 PDIS 为例, 选取必要的数列入于图 5 中, 图中括弧内的字母表示数据所属的公共数据类 (Common Data Class, CDC)。每个数据都是所属 CDC 的特例, 查找 IEC61850-7-3 中的 CDC 列表就能找出对应的数据属性。



图5 PDIS 的数据

Fig.5 Data of PDIS

对保护用逻辑节点数据的选择主要集中在“定值类”, 它与保护算法实现的性能直接有关。如根据图 5 选择的数据就可以确定出距离保护用的特性圆, 如图 6 所示。

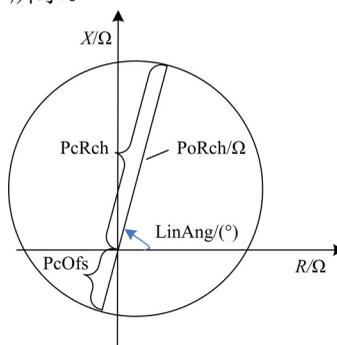


图6 距离保护特性圆

Fig.6 Circular characteristics in distance protection

PoRch 为特性圆的直径长度, 表示整定阻抗的幅值; LinAng 表示整定 (线路) 阻抗角; PctRch、PctOfs 分别为图中所示直径在第一、三象限的百分比, 即距离保护正、反向保护范围。需要说明的是从 PDIS 选取另外的定值类数据, 还可以确定出距离保护的多边形特性曲线, 由此也从细节上反映出 IEC61850 的广泛兼容性, 在定值设置时必须按照上述规定进行。其他逻辑节点的数据也可做类似地分析。

3 线路保护的模型服务

抽象通信服务接口 (ACSI) 用来规范信息模型对外信息交换的接口和过程, 每类 ACSI 又对应若干通信控制块。ACSI 有两种分类方法: 一是根

据服务的模式分为客户机/服务器模式、发布者/订阅者模式。前者主要针对控制、读写数据值等服务，后者针对快速和可靠的数据传输服务；二是根据 IEC61850-5 部分定义的传输时间要求，分成了 7 个等级：快速报文、中速报文、低速报文、原始数据报文、文件传输报文、时间同步报文、访问控制命令报文^[7]。参考上述分类方法，与线路保护功能相关的 ACSI 可以分为以下四类：

(1) 服务器、逻辑设备、逻辑节点、数据的操作

这类 ACSI 服务采用的是客户机/服务器模式，对传输时间的要求不高，属低速报文类型，传输延时要求 ≤ 500 ms。这类 ACSI 服务对线路保护装置的服务器、逻辑设备、逻辑节点、数据的操作如图 7 所示^[8-9]，图中左边第一列即为 ACSI 服务名，所有的操作需要客户机事先发出请求，服务器做出相应的响应，响应有正确响应和错误响应之分，IEC61850-7-2 部分对各种请求和响应的格式都做了具体的规定。由于保护装置的数据多为状态值或定值，对应数据属性的功能约束一般不可写，因此对数据的操作没有“SetDataValue”（设置数据值）项。

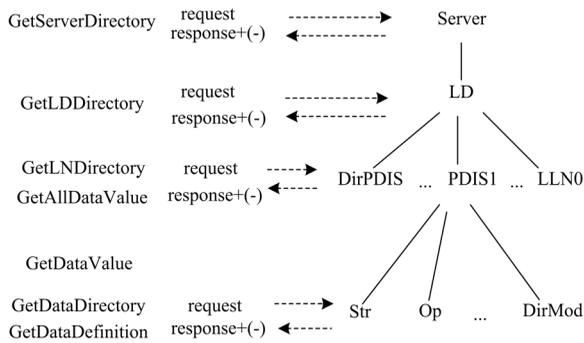


图 7 IEC61850 分层信息交换模型

Fig.7 The model of hierarchical information exchange in IEC61850

(2) GOOSE 服务

GOOSE 服务主要针对跳闸、断路器位置等信号的传递，采用的是发布者 / 订阅者模式，对传输时间的要求高，属高速报文类型，在配电间隔的传输延时要求 ≤ 10 ms，在输电间隔的传输延时要求 ≤ 3 ms。跳闸信号的 GOOSE 服务示意图如图 8 所示，在逻辑节点 LLN0 中需要定义跳闸信息的 GOOSE 控制块 (GOOSE Control-Block, GoCB)，以区别其他 GOOSE 服务。图中，“SendGOOSEMessage”（发送 GOOSE 报文）服务最为重要，它由事件触发发送，不需要订阅者事先请求，保证了跳闸等重要信息的实时传输，IEC61850 还规定了数据重传机制，

保证订阅者能可靠的接收到此类重要数据；“GetGoReference”（读 GOOSE 引用）、“GetGOOSEElementNumber”（读 GOOSE 元素数目）服务是对数据集 DATASET 的读操作；“GetGoCBValue”（读 GOOSE 控制块值）、“SetGoCBValue”（设置 GOOSE 控制块值）是对 GoCB 的读写操作。

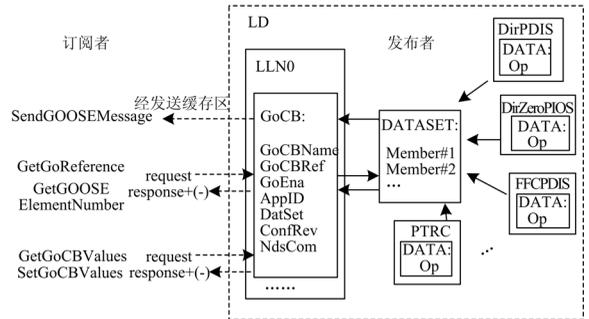


图 8 GOOSE 服务模型

Fig.8 The model of GOOSE service

(3) 报告和日志服务

这两类服务采用的是客户机/服务器模式，属于低速报文类型。报告服务定义了服务器立即或经若干缓存时间后将组合的数据集传输给客户的机能。报告有缓存报告和非缓存报告两种，其主要区别是缓存报告能够保证传输过程数据的完整性。日志服务定义了将事件顺序地存储在服务器日志中，以备查询的功能。日志记录又可以分为周期记录和时间触发记录两类。

(4) 其他服务

包括时间同步、文件传输、定值组控制等服务，它们均采用客户机/服务器模式。保护用的时间同步报文的时间精度至少要求达到 ± 1ms；文件传输报文的传输时间不重要，无具体限制；定值组控制实现对定值组的读取、修改、切换，属低速报文。

以上介绍的所有服务除了时间要求外，标准还规定了数据完整性的要求，此处不再详述。

4 线路保护模型的实现和 SCL 配置

在线路保护装置的信息模型已建立和模型服务已确定的基础上，通过特殊通信服务映射 SCISM 将抽象的服务映射到具体通信协议上，符合 IEC61850 标准的通信就得以实现。线路保护功能的 SCISM 可以将其分成两个部分^[2]：

(1) 上行数据的映射，实现报告、监测、控制等操作。该通信网络基于 OSI 七层模型，上三层使用 MMS 协议，下四层通常采用 TCP/IP 协议集。

(2) 下行数据的映射，实现跳闸命令、断路器

位置等信息的传递,如 GOOSE 网。为了减少协议解析的开销,GOOSE 网采用应用层数据经表示层 ASN.1 编码后就直接映射到数据链路层的模式,有效的提高了数据传递的实时性。

按照 IEC61850 的规定,信息模型和模型服务都是通过基于 XML 语法结构的 SCL 配置文件来实现的,以实现装置间的无缝连接。以图 8 中的跳闸信息数据集 DATASET 的 SCL 配置为例:

```
<DataSet name="">
<FCDA prefix="Dir" lnClass="PDIS" lnInst=""
doName="Op" fc="ST"/>
<FCDA prefix="DirZero" lnClass="PIOS" lnInst=""
doName="Op" fc="ST"/>
<FCDA prefix="" lnClass="PDIS" lnInst="1"
doName="Op" fc="ST"/>
.....
</DataSet>
```

可以看出配置文件描述了 DATASET 中所含的成员数据,以及这些数据所属的逻辑节点及其实例名、功能约束信息。

除信息模型和模型服务使用 SCL 配置以外,变电站的拓扑结构以及逻辑节点与变电站功能的关系也是通过 SCL 配置文件来实现的,以实现装置与系统的无缝连接。

5 结语

IEC61850 标准是一个严密复杂的体系,信息模型和建模方法是其核心。只有严格按照标准规定的概念、语法语义和步骤,建立起目标对象完善的信息模型和模型服务,才能保证互操作的实现。本文对一台典型的线路保护装置进行了建模实践,对逻辑节点和数据建模、分层信息交换模型、GOOSE 服务模型及映射实现等相关内容进行了详细的分析,以求对学习和实践 IEC61850 标准有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] IECIEC61850-7-1 communication networks and systems in substations-part 7-1: basic communication structure for substation and feeder equipment-principles and models[S].
- [2] 窦晓波,吴再军,胡敏强,等. IEC61850标准下合并单元的信息模型与映射实现[J]. 电网技术,2006,30(2): 80-86.

DOU Xiao-bo, WU Zai-jun, HU Min-qiang, et al. Information model and mapping implementation of merging unit based on IEC61850[J]. Power System Technology, 2006, 30 (2) : 80-86.

- [3] IECIEC61850-6 communication networks and systems in substations-part 6: substation automation system configuration language[S].
- [4] 张结. IEC61850的结构化模型分析[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (18) : 90-93.
ZHANG Jie. Analysis on structure model in IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (18) : 90-93.
- [5] 王晓芳,周有庆,袁旭龙,等. 符合IEC 61850标准的数字化线路保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (4) : 73-78.
WANG Xiao-fang, ZHOU You-qing, YUAN Xu-long, et al. Study on digital line protection complying with IEC61850 standard[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (4) : 73-78.
- [6] IEC.IEC61850-7-4 communication networks and systems in substations-part 7-4: basic communication structure for substation and feeder equipment-compatible logical node classes and data classes[S].
- [7] IEC.IEC61850-5 communication networks and systems in substations-part 5: communication requirements for functions and device models[S].
- [8] 廖泽友,孙莉,贺岑,等. IED遵循IEC61850标准的数据建模[J]. 继电器, 2006, 34 (20) : 40-43.
LIAO Ze-you, SUN Li, HE Ling, et al. IEDs data modeling based on IEC61850 standards[J]. Relay, 2006, 34 (20) : 40-43.
- [9] IEC.IEC61850-7-2 communication networks and systems in substations-part 7-2: basic communication structure for substation and feeder equipment-abstract communication service interface(ACSI)[S].

收稿日期: 2010-02-02

作者简介:

向珉江(1986-),男,博士研究生,主要研究方向为数字化变电站和电力系统继电保护;

高厚磊(1963-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统继电保护,分布式发电,数字化变电站等;
E-mail: houlei@sdu.edu.cn

史先好(1985-),男,硕士研究生,主要研究方向为数字化变电站。