

电力数据的注释式持久化技术及其重构

徐敏¹, 王海俊¹, 冯超², 凌艳², 杨辉²

(1. 南昌大学信息工程学院, 江西 南昌 330031; 2. 湖北咸宁供电公司, 湖北 咸宁 437000)

摘要: 根据 IEC61970 CIM 标准最新进展, 以建立完善的电力系统数据库、实现不同版本公共信息模型 CIM 的数据转换为目的, 提出了基于 CIM 3.0 的电力数据存储方案。该方案采用 JPA 注释持久化技术与对象-关系映射技术 ORM 相结合设计数据库模式, 用于解决国内现行 CIM 描述数据不精确, 数据库开发过程复杂等问题。通过在电力企业实体对象中嵌入注释, 简化数据库设计过程, 实现了电力系统资源对象的多层继承、关联关系、复杂属性的映射。采用 dom4j 解析标准 CIM RDF 格式的电力数据, 对数据重构后完成了数据导入, 最后验证数据库的完整性, 表明设计方案可行、有效。

关键词: 公共信息模型; JPA 注释; 能量管理系统; 数据库; 智能电网

Electric data persistence technology by annotation and reconstruction

XU Min¹, WANG Hai-jun¹, FENG Chao², LING Yan², YANG Hui²

(1. School of Information Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

2. Xianning Power Supply Company of Hubei, Xianning 437000, China)

Abstract: According to the latest advancements of IEC 61970 common information model (CIM), in order to establish perfect power system database and achieve data transformation between different versions of CIM, this paper proposes a solution of electric data storage based on CIM 3.0. The solution adopts Java persistence API (JPA) annotation combined with object-relation mapping (ORM) to design power system database, which is used to solve the current CIM describing data inaccurately in China, the complex process of database development and so on. Through annotations embedded in power system entities to simplify database design, it implements multiple inheritance, association and complex attribute mapping of the power enterprise entity object. Using dom4j to parse standard CIM RDF format electric data, it rebuilds the data and imports database, and finally verifies the integrity of database, which shows the design scheme is feasible and effective.

Key words: CIM; JPA annotation; EMS; database; smart grid

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)09-0091-05

0 引言

IEC61970 是智能电网核心标准之一, 它主要由公共信息模型 (Common Information Model, CIM) 和组件接口规范 (Component Interface Specification, CIS)^[1]组成。目前, 国内能量管理系统 (Energy Management System, EMS) 基于 IEC 61970 CIM 1.0 定义电气设备的抽象模型进行了多次互操作实验^[2]。随着中国智能电网建设的发展, 已有公共信息模型已经不能精确描述电力设备^[3]间的关联关系及其设备参数。根据美国电力研究协会 EPRI 关于 CIM 发展的报告^[4], 提高电力系统可靠性^[5-6], 改善 EMS 数据库性能是一种必然趋势。

传统的数据库设计采用数据定义语言 (Data-

Definition Language, DDL) 创建数据表, 通过主、外键的参照完整性建立数据表之间的关联关系^[7], 难以表达基于面向对象思想的 CIM 中存在大量继承、关联及聚集关系; 基于对象关系映射 (Object Relation Mapping, ORM) 的数据库设计方式, 一般采用主流的 hibernate 持久化框架, 虽然通过配置文件和映射文件能表达对象间复杂关系^[8], 但需要书写大量映射文件, 针对 CIM 中出现的多层复杂属性, 必须自定义数据类型, 开发工作量大。

本文针对 IEC61970 CIM 标准最新进展^[9]的探索, 在 CIM 3.0^[10]的基础上提出了一种数据库模式设计的新方案, 旨在简化数据库模式设计的复杂性。最后根据所设计的数据模式, 完成了 CIM RDF 格式的电力数据^[11-13]的完整导入, 验证了该模式的可行性。

1 EMS 数据库的模式设计

CIM 采用与实现无关的方式通过统一建模语言 (Unified Modeling Language, UML)描述电力企业的主要对象的属性及其关联关系。国外现行 IEC 61970 CIM 3.0 标准已经涉及发电、输电、配电、变电站等部分, 为电力模型一体化及电力数据无缝交换提供了蓝图。

设计以 JPA 架构^[14]为主体, 采用 hibernate 框架作为持久层, 对每个 CIM 中的每个对象类建立一一对应的正规 Java 对象 (Plain Ordinary Java Object, POJO), 并通过在实体对象中嵌入 (Java Persistence API, JPA)注释的方式映射对象关系及属性。

1.1 JPA 注释式开发

JPA 是轻量级、基于 POJO 的用于 Java 持久化的架构。提供了一种解决对象-关系模型之间的主抗失谐的方案, 采用注解把结构化的和类型化的元数据附加在源代码上使得元数据与进程同时存在, 所以不必编写映射文件指定数据, 简化了开发过程。

通过 hibernate 持久化框架搭建表述层、业务逻辑层、持久化层及数据库层四层软件结构如图 1 所示。被注释的电力设备元数据通过持久化层完成属性、关系在数据库层的映射。

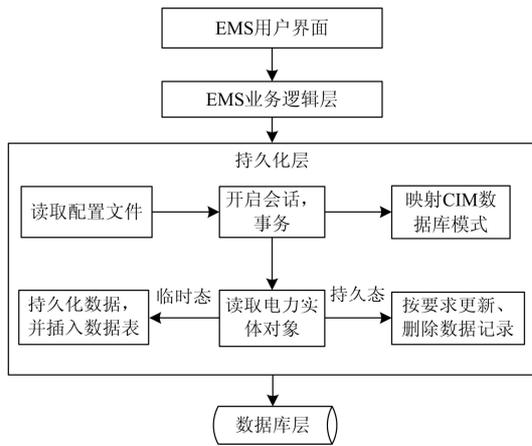


图 1 EMS 持久化框架

Fig. 1 EMS persistence framework

1.2 数据库映射策略

随着 CIM 的演化, 采用 UML 描述的电力企业对象的种类及参数不断细化, 弥补了智能电子设备 IED(Intelligent Electronic Device)采集到的数据无法表达的问题, 实现复杂的对象关系映射成为了设计的关键。如下给出了基于注释的对象类继承、关联、属性映射的解决方案。

1.2.1 继承策略

电力对象类的根类、子叶类、具有关联关系的子类定义为实体类, 采用继承关系映射方式为连接表: 子类表只存放自身的属性, 从父类继承成的属性存放在父类表中, 子类与父类共享主键。对于没有关联关系的子类映射为超类: 子类的表继承超类的一切, 超类本身不生成表。以根类 IdentifiedObject、连接器类 Connector 为例:

```

@Entity //定义实体类
@Table(name="IDObject")
//定义继承方式
@Inheritance(strategy=InheritanceType.JOINED)
public class IdentifiedObject implements Serializable{
...
}
@MappedSuperclass //定义超类
public class Connector extends
ConductingEquipment{
...
}
  
```

1.2.2 关联关系映射

虽然 CIM 提供了对设备定义的规范, 但不要求在数据库设计时映射所有的类和属性, 而是通过 UML 中的多重性定义了设备对象关联到其他对象的数量和拥有属性个数, 因此可以根据需求灵活的设计数据库模式, 关联关系主要分为多对多、多对一、一对一关联如下三种。

1) ManyToMany

多对多关联, 将两端设备表的主键作为复合主键建立关联表的主键。以 Analog-AnalogLimitSet 之间的多对多关联关系为例:

```

//模拟量测类
@ManyToMany(
targetEntity=cim15.meas.AnalogLimitSet.class,
cascade={CascadeType.PERSIST,CascadeType.MERGE}
)
//关联表映射
@JoinTable(
name="analog_analogLSet",
joinColumns=@JoinColumn(name="Analog_id"),
inverseJoinColumns=@JoinColumn(name="AnalogLSet_id")
)
Private Set<AnalogLimitSet> analoglimits=new
HashSet<AnalogLimitSet>();
//模拟量限制集类
  
```

```

    @ManyToOne(
        cascade={CascadeType.PERSIST,CascadeType.
MERGE},
        mappedBy="analoglimitsets",
        targetEntity=cim15.meas.Analog.class
    )
private      Set<Analog>          analogs=new
HashSet<Analog>();

```

2) ManyToOne

多对一关联, 一方一般设置级联属性 Cascade="all" 同步所有数据操作, 多方以主键作为多方外键关联, 仅级联保存与更新操作, 以 VoltageLevel-Substation 之间多对一关联为例:

//电压等级类

```

@ManyToOne(cascade={CascadeType.MERGE,
CascadeType.PERSIST})

```

```

    @JoinColumn(name="substation_id")

```

```

    private Substation substation;

```

//变电所类

```

@OneToMany(mappedBy="substation",cascade=
CascadeType.ALL)

```

```

Private      Set<VoltageLevel>    voltagelevels=new
HashSet<VoltageLevel>();

```

3) OneToOne

一对一关联, 一端作为主体端维护数据更新, 另一端作为从属端将主体的主键作为外键实现关联。以 Discrete-Command 之间一对一关联关系为例:

//离散量测类

```

@OneToOne(cascade=CascadeType.ALL)

```

```

    @JoinColumn(name="Command_id")

```

```

    private Command command;

```

//控制类

```

@OneToOne(mappedBy="command")

```

```

    private Discrete discrete;

```

1. 2. 3 属性映射

电力企业实体对象表的 mRID 属性注释为代理主键, 采用 UUID 主键自动生成方式产生符合 DAF 资源标示符模块的 32 位字符串; 基本类型的属性与数据库基本类型一一对应, 不用注释; 复杂类型属性单独定义为类, 以对象的形式嵌入在设备类中, 以视在功率属性 ApparentPower 为例。

//主键生成策略

```

    @Id

```

```

    @GeneratedValue(generator="power-uuid")

```

```

    @GenericGenerator(name="power-uuid",strategy

```

```

="uuid")

```

```

    @Column(name="mRID",length=50)

```

```

    private String mrid;

```

//嵌入复杂属性

```

@Embedded

```

```

    private ApparentPower basepower;

```

//定义复杂属性类

```

@Embeddable

```

```

public class ApparentPower {

```

```

    ...
}

```

2 EMS 的数据库模式的生成

如图 2 所示, 在配置文件中的属性字段定义映射数据库的类型、数据表的生成方式、POJO 对象路径等。通过持久层接口实现映射策略, 自动加载配置文件信息完成底层的数据库操作。

```

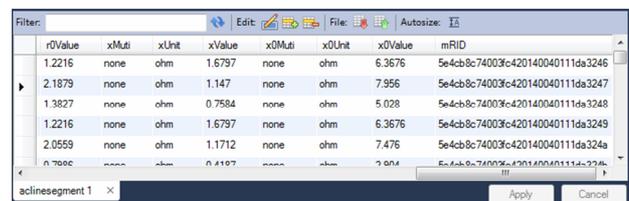
<session-factory>
...
<property name="hibernate.dialect">org.hibernate.dialect.MySQLDialect</property>
<property name="hibernate.hbm2ddl.auto">create</property>
<property name="hibernate.show_sql">true</property>
<property name="hibernate.current_session_context_class">thread</property>
<mapping class="cim15.core.BasePower"/>
<mapping class="cim15.core.BaseVoltage"/>
<mapping class="cim15.core.Bay"/>
...
</session-factory>

```

图 2 配置文件属性

Fig. 2 Attributes of configuration file

上述设计方案通过在配置文件中简单地修改数据库的驱动字段就能在不同的数据库平台上完成相同的映射功能, 代码复用和维护简单。以 MySQL 开源关系数据库为基础, 生成部分关系如图 3 所示。



rValue	xMulti	xUnit	xValue	xOMulti	xDUnit	xDValue	mRID
1.2216	none	ohm	1.6797	none	ohm	6.3676	5e4cb8c74003c420140040111da3246
2.1879	none	ohm	1.147	none	ohm	7.956	5e4cb8c74003c420140040111da3247
1.3827	none	ohm	0.7584	none	ohm	5.028	5e4cb8c74003c420140040111da3248
1.2216	none	ohm	1.6797	none	ohm	6.3676	5e4cb8c74003c420140040111da3249
2.0559	none	ohm	1.1712	none	ohm	7.476	5e4cb8c74003c420140040111da324a

图 3 交流线段数据库表

Fig. 3 Table of AC line segment in the database

3 CIM RDF 数据交换

3.1 数据解析与重构

采用 dom4j 解析器读取电力数据, 其本身是一套开源的 XML 解析工具, 与传统 DOM 解析机制类似, 也将 XML 文档转换为结构化的树形结构,

但 dom4j 对底层原始 XML 解析机制进行了高度封装, 简化了 XML 处理, 比采用传统 DOM, SAX 解析器更高效。

电力设备数据重构流程如图 4 所示。规则表根据电力企业对象之间的关联关系、聚集关系及主从关系制定了节点的读取顺序, 保证链式散列图 LinkedHashMap 开始不为空。

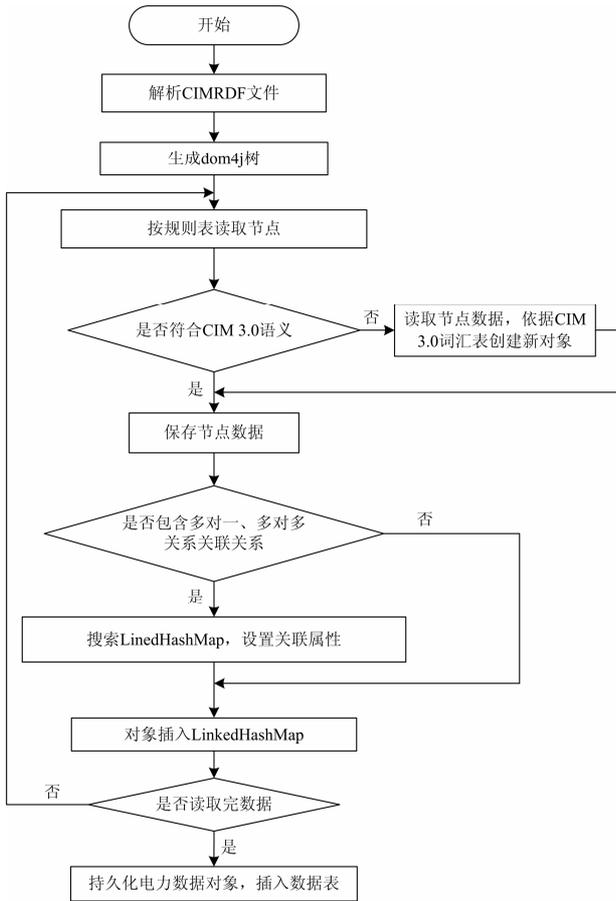


图 4 电力设备对象重构流程图

Fig. 4 Flow chart of rebuilding electrical equipment object

3.2 数据交换格式发展趋势

IEC61970 CIM 标准的基本目标可以归纳为基于 CIM 本体的元数据模型^[15], 规范电力企业生产的能量管理系统及其应用能以符合 CIM 语义的 CIM RDF 格式进行数据交换与数据访问。CIM RDF 本身是由底层本体语言 RDF 描述的, 其推理能力较低。实现计算机对电力系统数据可理解、分析、诊断坚强智能电网提供了支持, 电力系统数据的描述必然向高层本体语言发展。

4 结论

本文根据 IEC61970 CIM 发展的新趋势, 结合

JPA2.0 中的注解式映射和 ORM 持久化策略等软件技术在 MySQL 关系数据库上实现数据库模式映射。采用 dom4j 对当前国内 CIM RDF 格式数据进行解析, 通过对解析后获得的设备对象数据重构, 完成了不同版本 CIM 设备数据之间的完全转换, 并探讨了 CIM 数据格式在智能电网建设方面的发展趋势。

参考文献

[1] 王建华, 荣命哲, 耿英三, 等. 数字化电力设备的概念与内涵[J]. 电工技术学报, 2009, 24(6): 138-145.
WANG Jian-hua, RONG Ming-zhe, GENG Ying-san, et al. Concept and connotation of digital electrical equipment[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(6): 138-145.

[2] AW M. Common information model primer[R]. California Electric Power Research Institute, 2011.

[3] 汪兴强, 丁明, 韩平平. 互联电力系统可靠性评估的改进等效模型[J]. 电工技术学报, 2011, 26(9): 201-207.
WANG Xing-qiang, DING Ming, HAN Ping-ping. An improved equivalent model for reliability evaluation in interconnected power system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(9): 201-207.

[4] 陶顺, 肖湘宁. 电力系统电能质量评估体系架构[J]. 电工技术学报, 2010, 25(4): 171-175.
TAO Shun, XIAO Xiang-ning. Infrastructure of the power quality assessment system of power systems[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(4): 171-175.

[5] 乐江源, 万晓冬. 基于 IEC61970 的电力系统仿真数据库研究[J]. 计算机仿真, 2004, 21(6): 152-154.
LE Jiang-yuan, WAN Xiao-dong. Research on power system simulation database based on IEC61970[J]. Computer Simulation, 2004, 21(6): 152-154.

[6] 武爱萍, 陈剑云, 屈志坚. 基于 CIM 的 SCADA 系统实时数据库模型的设计实现[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(2): 105-109.
WU Ai-ping, CHEN Jian-yun, QU Zhi-jian. Design and implementation of SCADA system real-time database on CIM[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2008, 20(2): 105-109.

[7] 曹阳, 姚建国, 杨胜春, 等. 智能电网核心标准 IEC 61970 最新进展[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 1-4.
CAO Yang, YAO Jian-guo, YANG Sheng-chun, et al.

- Latest advancements of smart grid core standard IEC 61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(17): 1-4.
- [8] 丁银, 丁明, 毕锐, 等. 微电网系统 CIM/XML 模型研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(9): 37-42.
DING Yin, DING Ming, BI Rui, et al. Research on CIM/XML model for microgrid system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(9): 37-42.
- [9] 罗建, 朱伯通, 蔡明, 等. 基于 CIM XML 的 CIM 和 SCL 模型互操作研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(17): 134-138.
LUO Jian, ZHU Bo-tong, CAI Ming, et al. Interoperability of CIM and SCL model based on CIM XML[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(17): 134-148.
- [10] 刘崇茹, 孙宏斌, 张伯明, 等. 基于 CIM XML 电网模型的互操作研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(14): 45-48, 74.
LIU Chong-ru, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, et al. An investigation on a common information model for energy management system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(14): 45-48, 74.
- [11] 邢佳磊, 杨洪耕, 陈文波, 等. 智能电网框架下的开放式电网模型管理系统[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 227-232.
XING Jia-lei, YANG Hong-geng, CHEN Wen-bo, et al. Open power network model management system under smart grid infrastructure[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 227-232.
- [12] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61970 (ed3.0) energy management system application program interface (EMS-API) - part 301: common information model (CIM) base[S]. Switzerland: IEC, 2011.
- [13] International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61970 (ed1.0) energy management system application program interface (EMS-API) - part 402: common services[S]. Switzerland: IEC, 2008.
- [14] 杨永超. 领域本体管理及其在电力系统中的应用[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
YANG Yong-chao. The study of management for domain ontology and its application in power system[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2010.
- [15] MIKE K, MERRICK S. Pro JPA2: mastering the Java persistence API[M]. Berkeley, California, USA: Apress, 2009.

收稿日期: 2013-07-28; 修回日期: 2013-10-22

作者简介:

徐敏(1963-), 女, 博士, 副教授, 主要从事电力系统分析、电力系统运行与控制的研究;

王海俊(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统分析、电力系统运行与控制的研究。E-mail: willhaijun@foxmail.com