

基于 FSM 的 IEC60870-5-104 规约的实现

傅钦翠, 陈剑云

(华东交通大学电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: IEC-60870-5-104 规约作为采用标准传输协议子集的 IEC60870-5-101 的网络访问, 由于涉及到网络编程以及颁布时间较晚, 在电力系统中还处于推广阶段。目前对 104 规约的探讨不论是应用还是研究都比较深入, 并且取得了一定的成绩, 但在软件设计方面, 还没有形成较统一的开发模式, 迫切需要一个好的设计方法和工具帮助开发者设计开发通信软件。基于有限状态机理论提出一种设计方法用于 104 规约的实现。在这种设计方法中, 结合通信协议的分层思想进行软件的总体设计, 同时应用有限状态机 (Finite State Machine, FSM) 理论对 104 规约建模, 抽象出有限状态机模型, 并提出一种面向对象的 FSM 实现框架及其配置工具, 利用配置工具自动实现 FSM。

关键词: 有限状态机; 面向对象; IEC60870-5-104

Implementation of IEC60870-5-104 protocol based on FSM

FU Qin-cui, CHEN Jian-yun

(East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: IEC60870-5-104, which uses standard transport profiles for IEC60870-101 based on network access, is seldom used because it involves network programming and has just been released recently. Presently, people make a deep study of the application of the 104 protocol and have obtained a certain success. But on the software design, there is not a relatively universal design pattern. This paper puts forward a kind of design method used for the realization of the 104 protocol based on finite state machine (FSM). In this method, the overall architecture is designed referring to layered thought. And this paper models the 104 protocol via the FSM theory. In addition to that an object-oriented FSM implementation framework is produced. In addition to that a tool is presented that automates the configuration of the framework. The tool effectively enables developers to create FSMs from a specification.

Key words: finite state machine; object-oriented; IEC60870-5-104

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)10-0045-04

0 引言

IEC60870-5-104 规约是国际电工委员会 (IEC) 为满足 IEC60870-5-101 远动通信规约用于以太网实现而制定的, 具有实时性好、可靠性高、数据流量大、便于信息量扩充、支持网络传输等优点^[1]。104 规约改变了电网调度系统中传统的利用串口通信机制进行实时数据传输, 取而代之的是利用 Internet 技术进行调度, 相比于以前的远动技术, 更加可靠, 简单, 经济。可以说是电网调度系统远动部分近些年来最大的一次技术变革, 具有深远意义。

IEC60870-5-101 远动规约已经在我国电力系统中得到了较为广泛的应用, 而 IEC-60870-5-104 作

为采用标准传输协议子集的 IEC60870-5-101 的网络访问, 由于涉及到网络编程以及颁布时间较晚, 在电力系统中还处于推广阶段。目前对 104 规约的探讨不论是应用还是研究都比较深入, 并且取得了一定的成绩, 但在软件设计方面, 还没有形成较统一的开发模式, 迫切需要一个好的设计方法和工具帮助开发者设计开发通信软件。本文基于有限状态机理论提出一种设计方法用于 104 规约的实现^[2]。在这种设计方法中, 结合通信协议的分层思想进行软件的总体设计, 同时应用有限状态机 FSM (Finite State Machine) 理论对 104 规约建模, 抽象出有限状态机模型, 并提出一种面向对象的 FSM 实现框架及其配置工具, 该工具支持 FSM 的自动实现。

1 IEC60870-5-104 规约简介

基金项目: 华东交通大学校立科研基金资助 (07DQ05)

IEC60870-5-104 协议的名称为“采用标准传输协议子集的 IEC60870-5-101 的网络访问”(Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles)。其规约结构如图 1 所示。为了保证应用层 ASDU 的通信可靠性,包装了 APCI 传输接口,规定了防止报文丢失和重发机制。APCI 中定义了三种报文格式: I 格式, S 格式, U 格式。I 格式报文用于传递信息,包含了应用服务数据单元(ASDU); S 格式报文用于当没有 I 格式报文回应的情况下,回应确认报文的接收,它不包含 ASDU; U 格式报文用于数据传输的过程控制,主要实现子站进行数据传输(STARTDT)、停止子站的数据传输(STOPDT)和 TCP 链路测试(TESTFR),它也不包含 ASDU。

| | | |
|---|-----|--|
| 根据 IEC60870-5-101 从 IEC60870-5-5 中选取的应用功能 | 初始化 | 用户进程 |
| 从 IEC60870-5-101 和 IEC60870-5-104 中选取的 ASDU | | 应用层 (第 7 层) |
| APCI (应用规约控制信息) 传输接口 (用户到 TCP 的接口) | | 传输层 (第 4 层) 网络层 (第 3 层) 链路层 (第 2 层) 物理层 (第 1 层) |
| TCP/IP 协议子集 (RFC2200) | | |
| 注: 第 5, 第 6 层未用 | | |

图 1 IEC60870-5-104 的网络参考模型

Fig.1 Network reference model for IEC60870-5-104

应用 IEC60870-5-104 的一个非常重要的方面是实现规约定义的重传机制。IEC60870-5-104 规约定义的重传机制实质是“超时断开重传”。因为 TCP 连接是面向连接的传输数据,对于任何一次成功的连接,只要通信双方没有执行过断开操作,就认为一直是接通的。利用超时机制检测网络状态,是实现应用 IEC60870-5-104 稳定传输数据的一个基本方法。

IEC60870-5-104 默认定义是:当发送 12 个 APDU 未收到确认报文,应中止传输;收到 8 个 APDU 应回应发送方,确认报文。因此要分别对发送、接收报文建立计数器进行计数,当 12 条报文发送后没有收到确认的 S 格式报文或者包含对方接收数目信息的 I 格式报文,断开该连接,进行重连。在无需回应对方的情况下,收到 8 条报文后也立即发送 S 格式的报文回应对方,以防对方断开连接。

同时,对报文的序号的解析确认也至关重要。根据附加在报文上的接收序号,确认传输到对方正确报文条数,根据和已发送报文计数器比较,确认有无报文丢失。如果序号不正确,确认为报文丢失,

要断开这条连接,进行重连传输。

2 系统设计与实现

2.1 分层设计

104 规约的模型结构是参照 ISO 模型分层的。如图 1 所示,应用层分为 2 个子层,其上层负责远动应用功能,远动应用功能除了数据采集、远程控制等功能外还有一些管理功能,如接收用户命令、周期命令下发的顺序以及 RTU 主动上送事件的处理等。完成这些操作有两个必要的过程:命令的封装和响应数据的解封;下层负责报文传输,实现到 TCP 的传输接口。这个子层包装了 APCI 传输接口,用于实现报文传输的启/停控制、传输连接的监视、保护报文不至丢失以及重复传送,确保 ASDU 的可靠传输。这 2 个子层既相互独立,又相互联系。上层依靠下层完成传输的传输任务,下层根据上层的要求完成传输服务。下层的模块为上层模块提供服务,为上层提供接口作为操作。根据分层思想,将通信软件按功能划分为以下几层:应用层(对应模型中应用层的上层)、传输控制层(对应模型中应用层的下层)、TCP/IP 网络层(对应模型中的 TCP/IP 协议子集)。这样做的优点是:①程序的分工明确;②程序的维护简单,正因为有效地分工,不至于牵一发而动全身;③程序的可扩展性高,如果某一层需要增加一些功能,仅需修改这一层而无需修改其它层。

2.2 有限状态机的描述和实现

2.2.1 有限状态机的描述

通信系统作为一种反应式系统是高度状态依赖的。因此,使用有限状态机为通信系统的动态行为进行建模。一个状态机说明一个对象在生命期内响应事件所经历的状态序列以及它们对那些事件的响应。有限状态机由状态、事件、转换和活动组成。每个状态有 1 个状态进入动作和 1 个状态退出动作,每个转换有 1 个源状态和目标状态并且与 1 个事件相关联。当在源状态时,该事件发生且触发转换的监护条件为真,则顺序执行下列一些动作:①源状态的退出动作;②转换动作;③目标状态的进入动作。在 UML 表示法中,利用状态图来显示一个状态机。这里,建立了传输控制层对象的状态图。建立过程主要参考了 104 规约的 APCI 定义、控制功能。最终提炼出该对象在其生命周期中所有的可能状态。如图 2 所示。

2.2.2 有限状态机的实现

本文基于面向对象技术的研究提出一种高度结

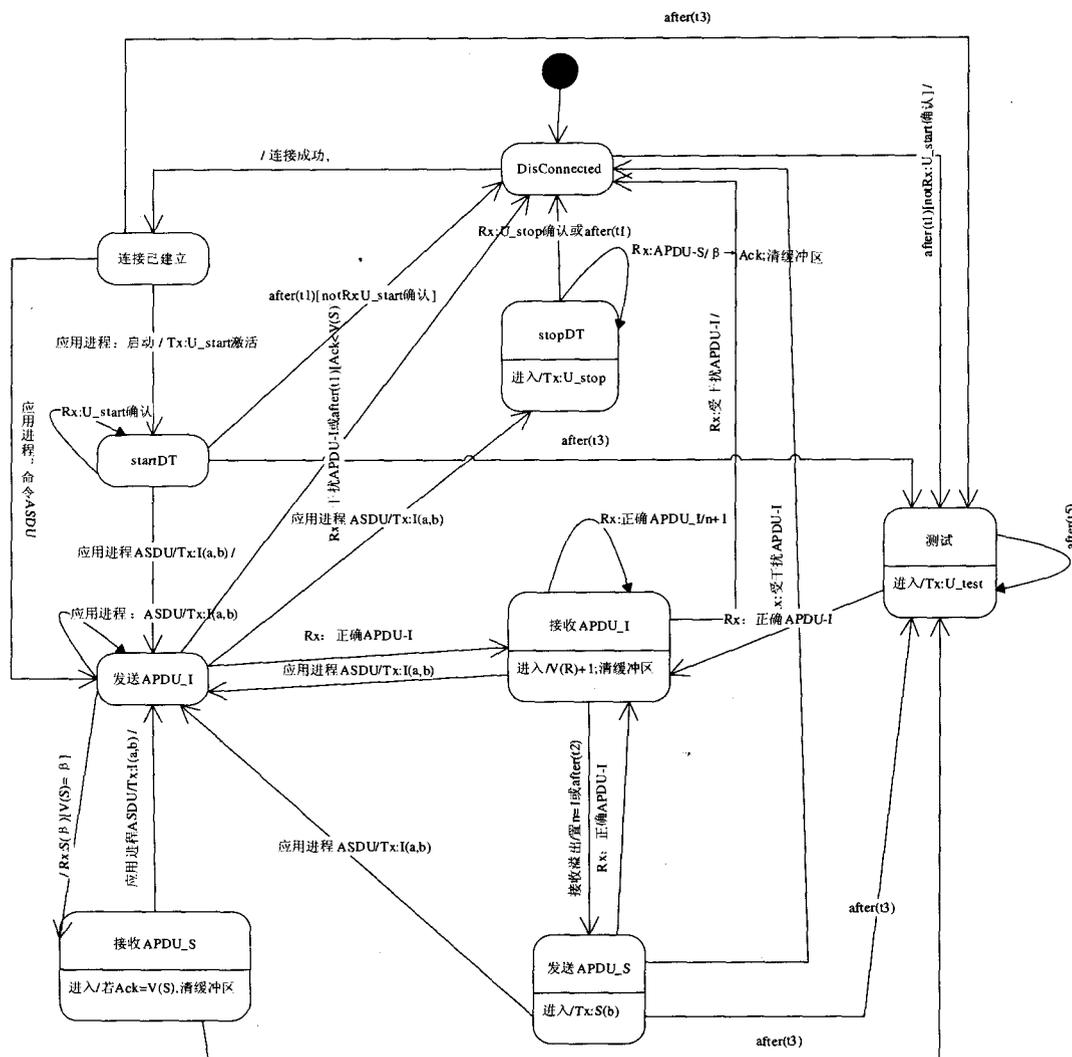


图 2 传输控制层对象的状态图

Fig.2 State diagram for transfer control object

构化的 FSM 实现框架, 该框架清晰地表达了 FSM 中状态、转换、事件及动作等元素, 使 FSM 的设计与实现建立了直接的映射机制^[3,4]; 图 3 所示是 FSM 的实现框架的类图。如图所示, 该方法将各个动作(包括进入动作、退出动作和与状态转换相关的动作等)封装在各独立的类中, 动作类都实现同一个 FSMAction 接口, 该接口只有一个方法 executeAction(), 执行与动作有关的操作。其它 FSM 元素(状态、转换、事件等元素)起协调作用, 确保以正确的顺序激发动作。转换(FSMTransition)类执行与状态转换联系在一起的动。FSMState 类执行进入和退出动作。该实现方法应用了命令模式(Command Pattern)^[5], 对应于命令模式的术语, 所有 Action 类皆为命令(Command), 上下文

(FSMContext) 类、状态(FSMState)类、FSMTransition 类执行 Action, 为触发者(Invoker)。FSMContext 触发初始化动作, FSMState 触发进入和退出动作, FSMTransition 触发与转换有关的动作。同时, FSMContext 还是接收者, 因为它存储那些由 Action 在执行时更新的数据。

以下分别描述采用 Java 语言实现的各类的功能:

FSMContext: 这个类的对象维护当前状态, 它将处理委派给 FSMState 的当前实例;

FSMState: 对 FSM 中的状态建模, 每个状态对象都有一个名字, 并且提供将事件和转移联系的方法以及分派事件到转移的机制;

FSMTransition: 这个类的对象只有一个 executeTransition() 方法,在与该转移相联系的事件发生时调用;

FSMAction: 它是一个抽象接口类, FSM 中的所有行为类都是它的子类。

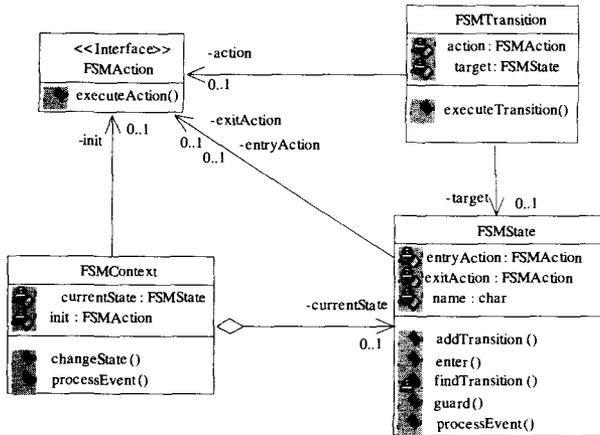


图 3 FSM 实现框架类图

Fig.3 Class diagram for the FSM framework

2.2.3 有限状态机的配置

FSM 实现框架对所有的状态机要素进行了类表示,在 FSM 的设计与实现两者之间建立了直接的映射机制,这就使得使用配置工具自动生成 FSM 成为可能。当在状态机需要扩展或者改变时,仅仅需要修改配置文件而不需处理复杂的源代码。本文的配置文件使用 XML 格式,这是因为使用 XML 作为配置文件已成为一种趋势,同时 XML 具有多个实现良好的解析器。如图 4 所示为一 XML 文件,用于生成如图 2 所示的传输控制层对象的状态机。在该文件中,含有 <states>、<transitions>、<events> 等标记。另外,FSMAction 对象经序列化后保存为文件,如 connect.ser,保存的文件通过 XML 文件读取。在配置和实例化状态机时,再通过反序列化读回 FSMAction 对象,插入到实现框架中。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<fsm firststate="ReqConnect" initaction="initAction.ser">
  <states>
    <state name="ReqConnect" />
    <state name="Connected" />
    <state name="StartDT" />
    ...
  </states>
  <events>
    <event name="afterT0" />
    <event name="startUp" />
    <event name="ASDU" />
    ...
  </events>
  <transitions>
    <transition sourcestate=" ReqConnect "
      targetstate=" Connected "
```

```
      event="hasConnected"
      action="stopTimer.ser"/>
    <transition sourcestate=" ReqConnect "
      targetstate=" ReqConnect "
      event=" afterT0 "
      action="connect.ser"/>
    <transition sourcestate=" Connected "
      targetstate=" StartDT "
      event=" ASDU "
      action="TxUstart.ser"/>
    ...
  </transitions>
</fsm>
```

图 4 XML 文件描述的状态机

Fig.4 FSM specified in XML

3 结语

本文基于 FSM 理论提出的设计方法,主要有两个优点:

1) 该方法和研究成果不仅适用于 104 规约的实现,同时适用于其他规约,如 IEC60870-5-101、IEC60870-5-103、DNP3.0 等规约的实现;

2) 便于规约的自动化开发。用户只要编辑好状态机,通过配置工具即可自动实现 FSM。

该设计方法为规约的应用、实现、测试和维护奠定了良好的基础,同时可提高软件系统的稳定性、可维护性及复用性。

参考文献

- [1] DL/T634.5104-2002. 远动设备及系统第 5-104 部分: 传输规约采用标准传输协议子集的 IEC60870-5-101 网络访问[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002. DL/T634.5104-2002. Telecontrol Equipment and Systems 5-104: Network Access for IEC 60870-5-101 Using Standard Transport Profiles[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [2] 傅钦翠. 基于 FSM 的电力远动规约设计[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(2): 62-65. FU Qin-cui. Design and Implementation of Communication Protocol Based on FSM[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(2): 62-65.
- [3] JILLES van Gorp, JAN Bosch. On the implementation of finite state machines[A]. In: Proceedings of the IASTED International Conference, 3rd Annual IASTED International Conference Software Engineering and Applications[C]. Scottsdale(Arizona): 1999.
- [4] Adamczyk P. Selected Patterns for Implementing Finite State Machines[EB/OL]. http://pinkie.cs.uiuc.edu/~padamczy/xml/tableofcontents.html
- [5] Gammae, Helmr, Johnsonr, et al. Design Patterns-Elements of Reusable Object Oriented Software[M]. Boston: Addison Wesley, 1995.

(下转第 52 页 continued on page 52)

压等级,在技术上是可行的。由于目前国内 20 kV 电气设备生产能力没有完全形成,且存在与其他区域电网配合困难等问题,因此 20 kV 的大范围使用还难以在短期内推行。电压等级的调整是一个长期的过程,而且要结合城市发展和电网建设实际。目前,滨海新区可以在有条件的区域进行 20 kV 供电方案的试点,逐步积累运行管理经验,为 20 kV 的推广使用做好准备工作。

参考文献

- [1] 范明天,张祖平,刘思革.城市电网电压等级的合理配[J].电网技术,2006,30(10):76-80.
FAN Ming-tian, ZHANG Zu-ping, LIU Si-ge. Rational Scheming of Voltage Levels in Urban Electric Networks[J]. Power System Technology, 2006, 30(10):76-80.
- [2] 姜祥生,汪洪业,姚国平.苏州工业园区 20 kV 电压等级的实践[J].供用电,2002,19(6):8-10.
JIANG Xiang-sheng, WANG Hong-ye, YAO Guo-ping. The Practice of 20 kV Voltage Level in Suzhou Industrial Park[J]. Distribution and Utilization, 2002,19(6):8-10.
- [3] 唐德光,姜祥生.苏州工业园区 20 千伏配电电压等级论证[J].供用电,1995,(1):19-22.
TANG De-guang, JIANG Xiang-sheng. The Demonstration of 20 kV Voltage Level in Suzhou Industrial Park[J]. Distribution and Utilization, 1995, (1):19-22.
- [4] 孙西骅,樊祥荣.城市中压配电网改造首选 20kV 电压等级[J].浙江电力,1996,(6):6-10.
SUN Xi-hua, FAN Xiang-rong. The First Using 20 kV Voltage Levels in City Voltage Distribution Power Network[J]. Zhejiang Power, 1996,(6):6-10.
- [5] 谭学知.大城市使用 20 kV 级配电的探讨—变电所扩容方案[J].规划与设计,2006,(4):59-61.
TAN Xue-zhi. Discussion on Using 20 kV Distribution System in Large City—a Capacity-expansion Scheme of Substations[J]. Planning and Designing, 2006, (4):59-61.
- [6] 陈瑾,李宏伟,王建兴.中压配电网采用 20kV 电压等级的可行性分析[J].云南水力发电,2006,22(5):94-97.
CHEN Jin, LI Hong-wei, WANG Jian-xing. Feasibility Analysis of Adopting 20 kV Voltage Level in Medium Voltage Power Distribution Network[J]. Yunnan Water Power, 2006, 22(5):94-97.
- [7] LeeWillis H. Power Distribution Lanning Reference Book[M]. North Carolina:ABB Power T&D Company Inc Cary, 1997.
- [8] 秦媛媛.论我国电压等级和提高中压的必要性[J].武汉交通大学学报,1999,23(11):66-69.
QIN Yuan-yuan. Verification on the Voltage Grades in China and Necessity of Rising Middle-voltage[J]. Journal of Wuhan Transportation University, 1999, 23(11):66-69.

收稿日期:2007-08-13; 修回日期:2008-03-12

作者简介:

殷军(1967-),男,高级工程师,从事电力系统继电保护、电网规划等研究工作; E-mail: jun.yin@tepco.com.cn

张金禄(1967-),男,高级工程师,从事电网规划研究工作;

费巍(1981-),男,硕士,从事配电网网络规划、配网自动化及配电网相关领域的科研工作。

(上接第 48 页 continued from page 48)

- [6] 赵渊,沈智健.基于 TCP/IP 的 IEC60870-5-104 远动规约[J].电网技术,2003,27(10):56-60.
ZHAO Yuan, SHEN Zhi-jian. Application of TCP/IP based IEC60870-5-104 Telecontrol Protocol in Power System[J]. Power System Technology, 2003, 27(10):56-60.
- [7] 张建设,马维青,郭晋洋. IEC60870-5-104 协议在远动通信中的应用[J].电力系统自动化,2003,27(11):91-93.
ZHANG Jian-she, MA Wei-qing, GUO Jin-yang. Application of IEC60870-5-104 Telecontrol Protocol to SCADA system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(11):91-93.
- [8] 鞠阳,张惠刚. IEC60870-5-104 远动规约的设计及其

应用[J].继电器,2006,34(17):55-57.

JU Yang, ZHANG Hui-gang. Design and Application of IEC60870-5-104 Telecontrol protocol[J]. Relay, 2006, 34(17):55-57.

- [9] 朱彦杰,邓昌延,李国杰,等. IEC104 协议在变电站系统的应用与测试[J].继电器,2004,32(1):43-45.

ZHU Yan-jie, DENG Chang-yan, LI Guo-jie, et al. Application and Test of IEC104 Protocol to Transformer Substation System[J]. Relay, 2004, 32(1):43-45.

收稿日期:2007-08-28

作者简介:

傅钦翠(1975-),女,硕士,讲师,电力系统及其自动化。 E-mail: fuqcw@ecjtu.jx.cn