

基于 FSM 的电力远动规约设计

傅钦翠

(华东交通大学 电气与电子工程学院,江西 南昌 330013)

摘要: 电力系统于 1998 年开始推行新的电力系统远动规约标准 IEC 60870-5-101,为了便于该规约的推广应用,编写较好的应用软件,引入有限状态机 FSM(Finite State Machine)进行设计,并且基于面向对象技术提出一种高度结构化的有限状态机的实现框架。同时,应用有限状态机理论,抽象出链路层对象的有限状态机模型,并用状态图进行描述。有限状态机实现框架的引入,实现了灵活的复用机制,提高了系统的健壮性和可维护性。通信软件的开发,提供了一种比较便捷通用的开发模式,且现场实际运行良好。

关键词: 有限状态机; 面向对象; 远动规约

中图分类号: TM 734; TM 76

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)02-0062-03

1995 年 IEC 57 技术委员会 03 工作组制定了“基本远动任务配套标准”即 IEC 60870-5-101,该标准被称为远动通信规约的官方国际标准,简称 101 规约^[1]。我国自 1998 年将此标准定为电力系统远动规约标准,和国际标准接轨。由于 101 规约链路传输规则复杂,事件轨迹繁多,在程序设计方面,没有比较统一规范的开发模式,一个系统往往要经过反复修改,浪费大量人力。本文引入有限状态机 FSM(Finite State Machine)进行设计^[2],并提出一种有限状态机的实现框架,通过通信软件的开发,提供一种比较便捷通用的开发模式。

1 用有限状态机进行分析的思路

有限状态机用于对系统的动态行为建模,一般用状态图(statechart diagram)来可视化表示,是对反应式系统建模的强大工具。近 20 年来,FSM 和状态图的形式化机制得到了很多扩展研究,有效地支持了各种复杂行为的建模,并应用于 UML 等面向对象建模方法中。

FSM 经扩展提供了很多高级特征,如组合状态、状态的进入动作和退出动作、转换动作、转换监护条件等,文中定义的有限状态机由状态、事件、转换和活动组成。每个状态有 1 个状态进入动作(entryaction)和 1 个状态退出动作(exitaction),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,则顺序执行下列动作:源状态的退出动作;转换动作;目标状态的进入动作。

FSM 可以形式化表示为 1 个五元组:

$$M=(Q,\Sigma,T,\delta,q_0)$$

式中 Q 为有限状态集; Σ 为有穷的事件输入集; T 为非空的转换集合; δ 为映射函数, $\delta=Q\times\Sigma\rightarrow Q$;

q_0 为初始状态, $q_0\in Q$ 。

T 中的每个元素又可以表示为 1 个五元组, $T=(\text{Source-State},\text{Target-State},\text{Input-Event},\text{Constraint},\text{Action})$,其中 Source-State 和 Target-State 分别表示 T 的初始状态和目标状态,Input-Event 表示来自于 Σ 的输入事件或为空,Constraint 表示监护条件及输入事件参数等约束,Action 表示转换执行的动作。

在进行有限状态机设计时,有 4 个步骤。

a. 正确理解问题。将状态机的行为规范用语言文字描述,用词准确,不能产生二义性。

b. 有限状态机的抽象描述,即合适地抽象出系统的状态和事件,一旦理解清楚问题,就要对该问题进行抽象,表示方法有多种,如状态图、算法状态机,以及用状态转移表描述等。通常采用的是状态图。

c. 状态最小化。在 **b** 中,可能会产生很多状态,因为有些其他功能等价的路径已覆盖它们的输入/输出,状态机上的有些路径和状态实际上可以不要。

d. 状态机的实现。其任务就是将已经得出的最简状态图在计算机中实现。

2 IEC 60870-5-101 远动规约简介

IEC 60870-5-101 基本远动配套标准规定了电网数据采集和监视控制(SCADA)系统中主站和子站(远动终端)之间以问答方式进行数据传输的帧格式、链路层的传输规则、服务原语、应用数据结构、应用数据编码、应用功能和报文格式。它适用于传统远动的串行通信工作方式,一般应用于变电站与调度所的信息交换,网络结构多为点对点的简单模式或星形模式。

2.1 传输方式

IEC 60870-5-101 规约有 2 种传输方式:平衡式和非平衡式传输。所谓的平衡式传输方式是在全

双工通道的点对点的配置方式下,通信链路的 2 个方向(调度中心与变电站)均可以发起询问。而实际应用中,多采用非平衡式的传输方式,即主站(调度中心)采用顺序的查询(召唤)子站控制数据传输。在这种情况下主站是请求站,它触发所有报文的传输,子站(变电站)是从动站,只有当它们被查询(召唤)时才可能传输。

2.2 链路传输规则

IEC 60870-5-101 中定义了 3 种级别的服务,下面分别介绍 3 种服务的传输规则。

a. 发送/无回答(send/no reply)服务。没有差错检测功能,不保证对方一定能收到数据。用于由主站向子站发送广播报文。

b. 发送/确认(send/confirm)服务。对于启动站,启动新一轮发送/确认服务时,帧计数位(FCB)改变状态,如果收到对方无差错的确认帧,则这一轮服务结束。若确认帧受到干扰或超时未收到确认帧时,则不改变帧计数位的状态重发原发送帧。对于主站最大重发次数为 3 次。

对于非启动站,收到启动站的发送帧后,向对方发送确认帧,并将此确认帧拷贝保存。在前后 2 次接收到的发送帧中帧计数位的值不同时,则将保存的确认帧清除,并形成新的确认帧。否则不管收到的帧内容如何,将保存的确认帧重发。

c. 请求/响应(request/respond)服务。如有所请求的数据,则发送响应帧;如无所请求的数据,则发送否定的响应帧。至于防止报文丢失和重复传送的传输规则与 b 中叙述的规则一样。

2.3 参考模型

101 规约遵照开放式系统互联的 ISO - OSI 参考模型,并结合电力系统实时性的要求,采用增强的性能结构 EPA,如图 1 所示。

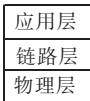


图 1 增强性能结构
Fig.1 Enhanced performance architecture

3 系统设计与实现

本文采用面向对象设计方法,引入有限状态机,设计开发了调度端的通信软件模块实现 101 规约。

3.1 分层设计

如图 1 所示,101 规约采用增强性能结构 EPA。根据面向对象分析方法,在系统设计中采取抽象层体系结构样式构建所开发的通信软件。将系统划分为几层,每层的模块都为上层的模块提供服务。一个模块可调用底层的模块,但不能调用高层模块。每层提供一类独特服务,并为上层提供一个接口集作为操作^[3]。将通信软件系统划分为 3 层,每个层次可认为是一个对象,有物理层、链路层、应用层对象。

3.2 有限状态机的描述

使用状态机可以描述一个对象在生命期内响应事件所经历的状态序列,帮助分析对象的行为。如图 2 采用 UML 语言中的状态图对链路层对象的行为进行了图形描述^[4]。它负责建立链路、查询链路状态、传输应用层数据、接收帧。

为进行了图形描述^[4]。它负责建立链路、查询链路状态、传输应用层数据、接收帧。

在链路层对象的生命期中有 6 个主要状态:未连接、请求远方链路状态、复位链路、链路层空闲、请求/响应、发送/确认。

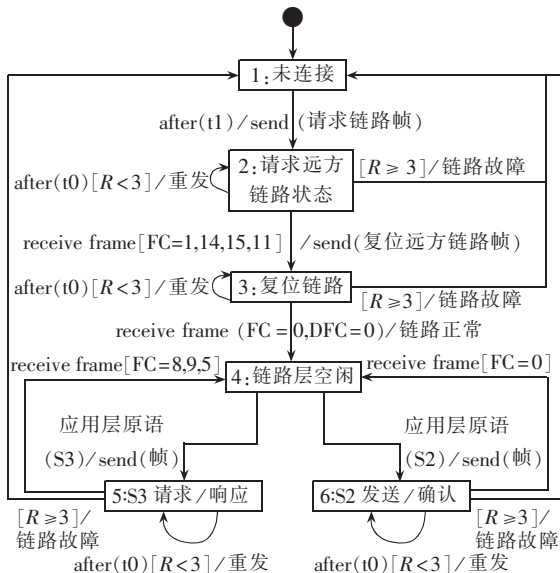


图 2 链路层对象状态图

Fig.2 State diagram for link layer object

事件是一次激励的产生,激励能够触发一个状态转换,它可以包括:

a. 调用,表示对一个操作的调用,在此是由应用层对象调用链路层服务原语引起的;

b. 时间事件,表示一段时间推移的事件,用 after() 表达式表示;

c. 信号,表示由一个对象异步地发送、并由另一个对象接收的一个已命名的对象,在此为链路层对象接收的帧对象 frame。

监护条件由一个方括号括起来的布尔表达式表示,如果表达式取值为真,则激活转换,如果为假,则不激活转换。在此有重发次数 R 和控制域中的功能码 FC (判断是否接收正确帧)。

动作是一个可以执行的原子计算,可以包括操作调用、另一对象的创建或撤消或者向一个对象的信号发送。在此为发送帧。

链路层对象的行为由状态图非常清楚地表达出来,根据状态图很容易编程实现。

3.3 FSM 的实现方法

FSM 经扩展提供了很多高级特征,如组合状态、状态的进入动作和退出动作、转换动作、转换监护条件等,这些高级特征虽然便于复杂行为的建模,但是它们的实现往往存在复用性差、维护困难等问题。

近年来,随着 FSM 的扩展研究及其在复杂反应式系统中的广泛应用,FSM 传统实现方法存在的问题日益突出,因此必须基于面向对象技术的研究提

出一种更清晰的 FSM 结构框架,建立与状态图更直接的映射机制。通过 FSM 的形式化描述和对传统 FSM 实现方法的缺陷分析,提出了一种面向对象的高度结构化的 FSM 实现框架,不仅实现了灵活的复用机制,而且提高了系统的健壮性与可维护性。文中给出了 FSM 的实现框架。

图 3 所示是 FSM 的实现框架的类图。

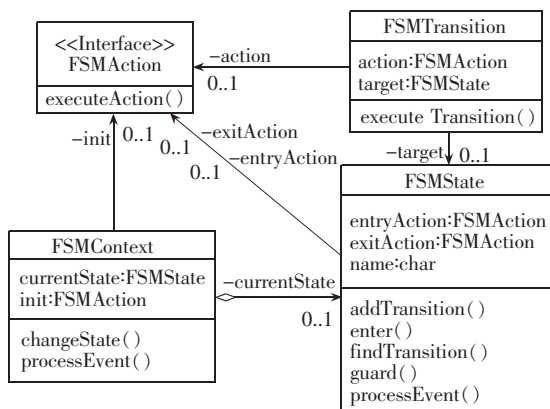


图 3 FSM 实现框架类图

Fig.3 Class diagram for FSM implementation framework

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。其他 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作。FSMState 类执行进入和退出动作。该实现方法应用命令模式(Command Pattern)^[5],对应于命令模式术语,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 语言实现的各类功能。

a. 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。

b. 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。

c. 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。

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

相对于传统的 FSM 实现方法,文中提出的 FSM 实现框架具有 3 个特点。

a. 利用面向对象方法清晰地表达了状态、转换、事件、动作等 FSM 中主要元素及它们之间的关系,

在 FSM 的设计与实现之间建立了直接的映射机制。

b. 将结构与行为分离,并通过对象组合技术代替类继承而提高了软件的复用性和维护性。

c. 实现状态机功能的动作类从抽象类(FSMAction)派生,不用包含别的动作类的信息,因此可以在一个甚至多个状态机中复用。

4 结语

本文围绕调度端通信软件的设计分析,应用有限状态机理论,抽象出链路层对象的有限状态机模型并用状态图进行描述,并且基于面向对象技术提出一种高度结构化的 FSM 实现框架。FSM 模型的建立非常清楚地表达了链路层对象的行为,同样也可用于应用层对象的行为建模,同时 FSM 实现框架的引入,不仅实现了灵活的复用机制,而且提高了系统的健壮性与可维护性。

参考文献:

- [1] 谭文恕,张秀莲,叶世勋,等. DL/T634-1997 远动设备及系统 基本远动任务配套标准[S]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [2] BOOCH G, RUMBAUGH J, JACOBSON I. UML 用户指南[M]. 邵维忠,麻志毅,张文娟,等,译. 北京:机械工业出版社,2001.
- [3] GOMAA H. 用 UML 设计并发、分布式、实时应用[M]. 吕庆中,李烨,罗方斌,译. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.
- [4] 任惠,赵洪山,刁锦锋. 电力系统 IEC 870-5-101 远动规约面向对象分析与建模[J]. 华北电力技术,2002(10):7-9,13.
- REN Hui, ZHAO Hong-shan, DIAO Jin-feng. Object-oriented analysis and modeling of IEC 870-5-101 protocol [J]. North China Electric Power, 2002(10):7-9, 13.
- [5] GAMMA E, HELM R, JOHNSON R, et al. Design patterns - elements of reusable object oriented software[M]. Boston: Addison Wesley, 1995.
- [6] ADAMCZYK P. Selected patterns for implementing finite state machines[EB/OL]. [2005-03-01]. <http://pinkys.cs.uiuc.edu/~padamczyk/xml/tableofcontents.html>.
- [7] 徐小良,汪乐宇,周泓. 有限状态机的一种实现框架[J]. 工程设计学报,2003,10(3):251-255.
- XU Xiao-liang, WANG Le-yu, ZHOU Hong. Implementation framework of finite state machines[J]. Journal of Engineering Design, 2003, 10(3):251-255.
- [8] 陈明德,李思敏. 自动链路建立协议面向对象方法的实现[J]. 桂林电子工业学院学报,2004,24(2):9-12.
- CHEN Ming-de, LI Si-min. The object-oriented implementation of the automation link establishment protocol [J]. Journal of Guilin University of Electronic Technology, 2004, 24(2):9-12.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:

傅钦翠(1975-),女,江西南昌人,讲师,硕士,从事电力系统及其自动化方面教学与研究工作(E-mail:fuqew@ecjtu.jx.cn)。

Design of communication protocol based on FSM

FU Qin - cui

(East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The international standard protocol—IEC 60870-5-101 has been applied as the communication protocol in power system since 1998. High-quality application software is required for its popularization. FSM (Finite State Machine) introduced in the design and an object - oriented and modularized FSM implementation framework is presented. Based on FSM theory, the FSM model of link layer object is abstracted and described by a state digram. It realizes the flexible reuse and improves the system robustness and maintainability. The communication software provides a convenient and universal design pattern and runs well.

Key words: finite state machine; object-oriented; communication protocol