

文章编号:1001-9081(2006)10-2270-02

## EPA 协议抽象测试集的设计

王 平,汪春华,易明华,张艳芳

(重庆邮电大学 重庆市网络控制技术与智能仪器仪表重点实验室,重庆 400065)

(wangping@cqupt.edu.cn)

**摘 要:**根据 IEC9646 对协议测试的原理和说明,基于工业以太网(EPA)协议的通信特点及其要求,设计了 EPA 一致性测试中抽象测试集的层次结构模型,参照树表结合表示法(TTCN)的结构框架和思路定义了一种类形式化语言来描述 EPA 的抽象测试集,介绍了 EPA 抽象测试集的生成过程和实现步骤。通过 EPA 一致性测试系统的实际应用,证明 EPA 抽象测试集能够完整的包括 EPA 协议一致性测试的所有内容,根据此测试集设计的测试系统能够准确测试出被测协议实现是否与 EPA 标准一致。

**关键词:**工业以太网;一致性测试;抽象测试集

**中图分类号:**TP393.04;TP393.06 **文献标识码:**A

## Designing of EPA protocol abstract test suite

WANG Ping, WANG Chun-hua, YI Ming-hua, ZHANG Yan-fang

(Key Laboratory of Network Control Technology & Intelligent Instrument, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** According to the principle and explanation for protocol test in IEC 9646 and based on the characteristics and requirements of Ethernet for Plant Automation(EPA), a layer structure model of abstract test suite was designed. With reference to the structure and clue of Table and Tabular Combined Notation (TTCN), a kind of formalization language was defined to describe the abstract test suite. Meanwhile, the generative process and realizing steps of the EPA abstract test suite were introduced. The practical application of EPA conformance test system indicates the validity of the abstract test suite, and also verifies that EPA abstract test suite takes in all the contents of the EPA conformance test.

**Key words:** Ethernet for Plant Automation(EPA); conformance test; Abstract Test Suite(ATS)

## 0 引言

EPA(Ethernet for Plant Automation)是一种基于以太网、无线局域网、蓝牙等信息网络通信技术的,适用于工业自动化控制系统装置与仪器仪表间,相互通信的工业控制网络通信标准。在国家 863 计划的支持下,重庆邮电学院作为核心单位参与制定了国家标准——《用于工业测量与控制系统的 EPA 系统结构和通信标准》(简称“EPA 标准”),在此基础上形成的 65C/357/NP 被国际电工委员会 IEC 发布为 IEC/PAS 62409,并作为第十四类型列入实时以太网国际标准 IEC 61748-2 和现场总线国际标准 IEC 61158(修订版)。由于对协议理解不同,同一协议标准会存在许多不同的实现版本。为保证协议的不同实现版本之间能够完全地相互访问并进行可靠的通信,需要对协议进行一致性测试。所谓一致性测试就是验证协议实现在多大程度上与相应的协议标准一致。在多个厂家进行设备互联时,通过一致性测试会提高人们对设备(协议实现)符合相应协议标准的置信程度,提高相同标准不同实现之间互联的概率。

根据 IEC9646 中定义的一致性测试方法,测试标准包括抽象测试集(ATS)、协议实现一致性说明(PICS)和协议实施附加信息(PIXIT)3 部分,在此基础上生成可执行测试集

(ETS)。其中,抽象测试集是测试的核心和主线,一个好的抽象测试集可以极大的减轻测试系统的负担,同时,只有生成一个完全符合协议且完善的抽象测试集才能确保协议一致性测试的准确性。因此,抽象测试集的设计至关重要。

## 1 抽象测试集

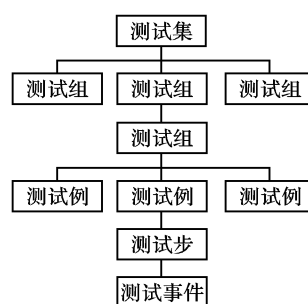


图 1 抽象测试集层次结构模型

它们由大到小分成测试组、测试例、测试步及测试事件,抽象测试集形成如图 1 所示的层次结构。

在测试集中,测试组提供了对协议实现某一大类功能的测试,它提供了测试例的逻辑顺序,可以用于辅助进行测试集的规划、开发、理解和执行。与每个测试组相关的是测试组的

测试集是进行协议一致性测试的基础。所谓的测试集,是指不依赖于具体的实现且不一定是可执行的,但在具体实现时,可结合协议实现一致性说明(PICS)和协议实施附加信息(PIXIT)而成为可执行测试集。一般来说,测试集可以按结构化、层次化的方法来组织,把它们

收稿日期:2006-04-06;修订日期:2006-06-22 基金项目:国家 863 计划项目(2004AA412020)

**作者简介:**王平(1963-),男,重庆綦江人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:工业以太网及网络控制技术、无线控制网络及其应用、智能仪器仪表;汪春华(1975-),女,河南平顶山人,硕士研究生,主要研究方向:工业以太网及网络控制技术、EPA 协议一致性测试等;易明华(1979-),男,湖南娄底人,硕士研究生,主要研究方向:工业以太网及网络控制技术、EPA 协议一致性测试;张艳芳(1978-),女,山西运城人,硕士研究生,主要研究方向:EPA 协议一致性测试的研究等。

目标。测试组的完整测试目标由给定测试组的目标与包含给定测试组的高层测试组结合形成。

测试例是独立的测试单元,完成对协议某一项功能的测试。测试实例的模块化结果是测试步。

测试例和测试步的基本单位是测试事件(例如,到达或来自 IUT 的单个 PDU 或 ASP 的传送),它实际上是测试序列的每一步,是测试时所采取的动作。所有的测试步以测试事件或其他测试步的顺序排列规定,因此所有的测试步等于一个测试事件的顺序排列。

测试例是测试集中较关键的组成部分。每个测试例有它的确定目标来验证 IUT 的某个确定性能,它的实质是通过一些测试序列来实现对每一测试意图的判定。一般来说,测试例由测试前序、测试后序和测试体组成。测试前序使 IUT 达到测试所希望的稳定状态,由测试体进行测试;测试后序则使 IUT 恢复到测试前的稳定状态。

## 2 EPA 协议抽象测试集的设计流程

ISO/IEC 9646-2 提供了生成 ATS 的一般步骤。参照此步骤,EPA 协议抽象测试集设计过程如图 2 所示,其具体步骤如下:

1) 详细分析 EPA 标准。由于 EPA 标准未给出协议的静态一致性要求,也未给出 PICS(协议实现一致性说明)及协议实施附加信息,故需要在深入理解协议的基础上确定一致性测试要求,并决定必须测试的一致性测试要求及可选测试。

2) 确定测试组。通过分析协议,确定六个测试组:系统管理测试组、应用访问实体测试组和时间同步测试组、确定性调度测试组、协议状态机测试组以及对象属性测试组。

3) 确定测试组中每个元素的测试目标。在上一步的基础上,通过对文本的分析,确定测试目标。

4) 对测试组中的每个测试意图确定测试目的。对每个测试意图都确定了一组测试目的,每个测试目的对应某个一致性要求或某一组相关的一致性要求。并确保对被测试一致性要求有完整的覆盖。

5) 研究抽象测试方法,得出抽象测试测试例 ATC。根据 EPA 协议的通信特点,在 EPA 协议一致性测试中,采用的是远程测试法,EPA 测试器(LT)与被测实现 IUT 以及 UTA 之

间通过底层网络进行激励/响应的交互。协议测试使用在观察点(Point of Control and Observation, PCO)对被测实现的层间服务原语和协议数据单元进行控制和观察的原理,派生出抽象测试例。

6) 选择类形式化语言,描述抽象测试例和测试步骤。

7) 编写索引和参考,以描述测试例之间、测试例和 PICS(协议实现一致性说明)之间、测试例和协议实施附加信息之间的相互关系。

8) 维护抽象测试集。在进行多次测试的基础上,对抽象测试集进行验证并对不完善的地方进行修改。



图2 EPA 协议抽象测试集设计过程

## 3 EPA 协议抽象测试集的形式化描述

标准的抽象测试集应使用一种严格定义的、独立于任何实现的形式化描述方法来描述,以避免抽象测试集的二义性和难以用机器处理的问题。树表结合表示法(Tree Tabular Combine Notation, TTCN)用以描述独立于任何实现的通用测试集。TTCN 具有两种格式:便于人理解的 GR 格式以及便于机器存储和处理的 MP 格式。MP 格式是需要机器识别的格式,因此它必须有形式化的语法定义。ISO9646-3 中给出了 700 多条 BNF(Backus-Naur-Form)语法定义,完整地定义了 TTCN-MP 的语法。

考虑到完全用 TTCN 实现起来比较繁琐,用 TTCN 来描述 EPA 协议的测试集并不很理想。因此参考 TTCN 的结构框架和思路,定义了一种类形式化语言来描述 EPA 的抽象测试集。为了符合人们的思维习惯,且用最少的测试集对被测试系统的功能进行最大程度的覆盖,在对 EPA 测试集的设计过程中采用了基于目的测试集设计方法。即根据 EPA 协议标准,提供覆盖协议标准全部行为的测试目的,按照测试目的设计测试集设计出适合人理解的图表格式的测试集。所有的测试例采用同一种形式语言描述。抽象测试集(ATS)的结构是树状的,分为以下 4 个层次:EPA 抽象测试集、测试组、测试例和测试步骤,其结构如图 3 所示。

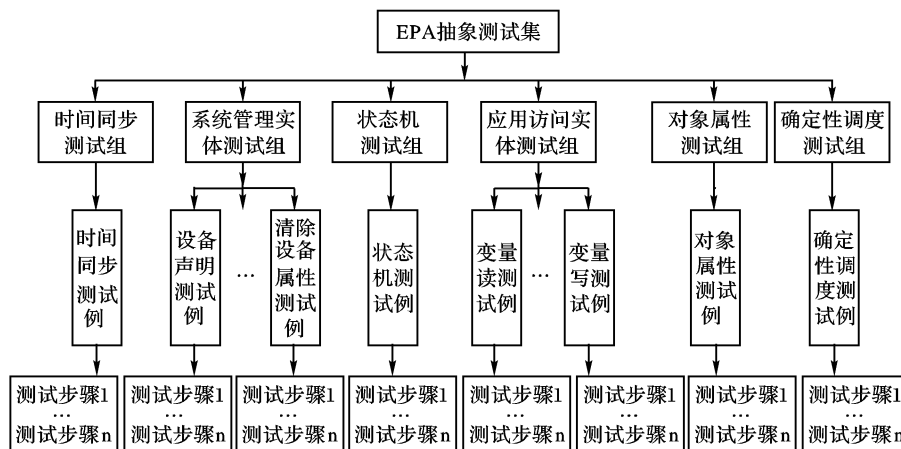


图3 EPA 抽象测试集结构

EPA 协议抽象测试集包括 6 个测试组:系统管理测试组、应用访问实体测试组、时间同步测试组、确定性调度测试组、协议状态机测试组以及对象属性测试组。系统管理测试组和应用访问实体测试组都属于服务测试。系统管理测试组测试设备声明服务,设置设备属性服务,读取设备属性服务,设备查询请求服务,设备查询请求应答服务,清除设备属性服务等

6 条服务;应用访问实体测试组测试域管理的服务(包括域上下载服务,域下载服务),变量管理的服务(包括变量读服务,变量写服务,信息分发服务)和事件管理的服务(包括事件通知,事件确认和改变事件条件监视服务);时间同步测试组测试时间同步服务,确定性调度测试组测试确定性调度偏差和确定性调度规程。

(下转第 2288 页)

立的 AAA,因此,这类异质网络间的移动性管理要跨域进行。例如,某区域 AP1 支持 802.11,由 ISP1 运营管理,而同区域 AP2 支持 GPRS,由 ISP2 运营管理,当某一 MN 要从 AP1 切换到 AP2 时,其不仅要将在 AP1 所设置的 CoA1 更新为 AP2 所设置的 CoA2,还要接受 ISP2 对其重新进行鉴权。很显然,若 MN 在 AP1 和 AP2 间频繁切换时,其需要频繁进行位置更新和鉴权,这不仅使网络信令负荷过高,还造成其不能实现快速、无缝切换。对此问题可采用如下方案来解决:

多模 MN 可在同一时刻激活多个网络连接(多穴方式),其利用 SIP 消息(REGISTER)向 SIP 注册服务器进行多 IP 地址注册,SIP 服务器的数据库支持一个逻辑地址(SIP URI)同时对多个联系地址(CoA)。为了能够更精确地记录 MN 的网络接入状态信息,可对数据库记录增加接入网络属性(Attribution)字段。Attribution 字段包括接入网络所支持的 QoS、计费、安全等信息。对于多模 MN 发起的通信,其可以自主判断并选择相应的接入网络。而对于 CN 发起的通信,则通过定时查询获知 MN 当前的网络接入状态信息,从而决定是否发起和如何发起一次新的业务通信,并根据业务类型选择最适合的接入网络 IP 地址。

对于前面所述问题,MN 同时与 AP1 和 AP2 建立连接,即同时设置 CoA1 和 CoA2 两个地址。若 MN 在 AP1 中与 CN1 建立了会话,则 MN 采用 CoA1 作为与 CN1 通信的会话地址 SA,当 MN 移出到 AP1(还处在 AP2 中)时,其利用 MIPv6 绑定更新消息向 CN1 通知新的 CoA 为 CoA2。即 MN 发出的 IP 报文中源地址是 CoA2,“目标选项扩展报头”设置为 CoA1。而 CN1 所回送的 IP 报文中目的地址是 CoA2,“路由扩展报头”设置为 CoA1,这就使正在进行的通信不会发生中断。也就是说,处于多穴方式的 MN 可以通过多地址的交叉绑定更

新使正进行的会话在异质网络间无缝切换。

### 3 结语

关于下一代网络所提出的通用移动性管理是一个全新的课题,是实现网络有效融合的关键技术,也是实现普适计算的核心技术之一,具有广泛的应用前景。本文从多协议层联合优化的角度所提出的通用移动性管理方案具有灵活性、可扩展性和普适性,可以应用于现有的各类异质网络。

#### 参考文献:

- [1] PERKINS C. IP Mobility Support for IPv4, revised(IETF Internet-Draft: draft-ietf-mip4-rfc3344bis-02. txt) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/ID.html>, 2005-10.
- [2] ELMALKI K. Low Latency Handoffs in Mobile IPv4(IETF Internet-Draft: draft-ietf-mobileip-lowlatency-handoffs-v4-11. txt) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/ID.html>, 2005-10.
- [3] JOHNSON D, PERKINS C, ARKKO J. Mobility Support in IPv6 (IETF RFC 3775) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc.html>, June 2004.
- [4] SOLIMAN H, CASTELLUCCIA C, ELMALKI K, *et al.* Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6) (IETF RFC 4140) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc.html>, August 2005.
- [5] ROSENBERG J, SCHULZRINNE H, CAMARILLO G, *et al.* SIP: Session Initiation Protocol (IETF RFC 3261) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc.html>, May 2002.
- [6] ROSENBERG J. A Framework for Application Interaction in the Session Initiation Protocol (SIP) (IETF Internet-Draft: draft-ietf-sipping-app-interaction-framework-05. txt) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/ID.html>, July 2005.
- [7] GUPTA V. Media Independent Handover Service Draft Technical Requirements (IEEE P802. 21 Draft) [EB/OL]. <http://www.ieee802.org/21/>, September 2004.

(上接第 2271 页)

### 4 EPA 协议抽象测试集的实现

EPA 一致性测试抽象测试集包括 6 个测试组,其中系统管理测试组和应用访问实体测试组属于服务测试。对非证实服务来说,测试时是由 EPA 测试器发送控制命令给 UTA,由 UTA 调用相应的接口发送服务给 EPA 测试器,EPA 测试器收到报文后对照标准比较判断是否符合标准定义的要求;对于证实服务来说,则需要从 3 个方面进行测试,即测试 IUT 发送请求报文的能力、测试 IUT 返回正响应的能力和测试 IUT 返回负响应的能力,从这 3 个方面考虑分别设计各自的测试例,测试 IUT 返回负响应的能力时必须考虑到所有能够触发负响应的错误陷阱,设计出所有的测试例。本文以服务测试为例说明 EPA 协议抽象测试集的实现过程。进行服务测试时,从请求服务、正响应服务、负响应服务 3 个方面进行测试。服务测试例的实现过程如图 4 所示。

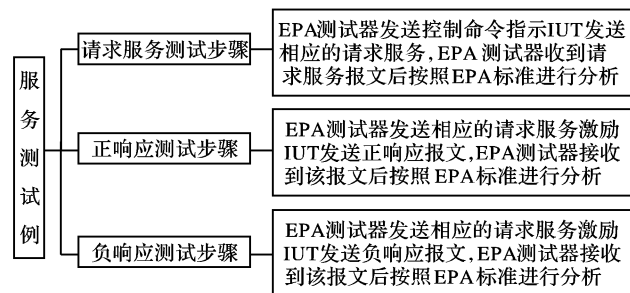


图4 服务测试例

### 5 EPA 协议抽象测试集的应用过程

在 EPA 协议抽象测试集中根据 EPA 协议的特点和要求设计非常全面的测试例,测试时,根据被测协议实现方提供的 EPA 协议实现一致性说明/协议实施附加信息说明(EPICS/EPITX)文件结合 EPA 协议抽象测试集生成可执行测试集,执行可执行测试集便可以进行 EPA 协议一致性测试。抽象测试集的应用过程如图 5 所示。

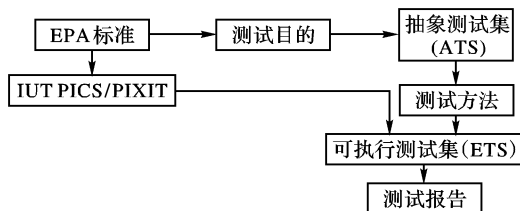


图5 抽象测试集的应用过程

#### 参考文献:

- [1] ISO/IEC 9646-1 to 7, Information technology-Open systems interconnection-Conformance testing methodology and framework-Part 1. to Part 7 [S].
- [2] GB/T 20171-2006. 用于工业测量与控制系统的 EPA 系统结构与通信规范[S]. 2006.
- [3] IEC/PAS 62409: Real time Ethernet EPA (Ethernet for Plant Automation) [S]. 2005.
- [4] 赵会群,等. 通信软件测试技术基础[M]. 北京:人民邮电出版社,2004.