

基于XML的6LoWPAN协议一致性测试系统的实现

戎舟¹, 王倩¹, 唐超²

(1. 南京邮电大学自动化学院, 江苏南京 210003;

2. 南京邮电大学材料学院, 江苏南京 210003)

摘要:文中介绍了协议一致性测试基本理论, 针对6LoWPAN现有草案及实验性协议的实现, 设计了一种具有可扩展性的6LoWPAN协议一致性测试平台。文中从该平台的测试系统和被测系统两个部分出发, 对基于Windows操作系统实现的测试系统, 描述了该平台的功能、各个模块的框架结构和实现方法; 应用XML可扩展标识语言设计了测试用例, 并应用libxml2对XML标记的测试用例进行解析。设计和实现了报文接收收发模块。被测系统部分, 对Linux系统端实现的6LoWPAN协议栈进行了测试, 达到了一致性测试的目的, 对测试结果进行了分析。

关键词:6LoWPAN; 可扩展性; 测试用例; 可扩展标识语言; 一致性测试

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)09-0082-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.09.021

Realization of 6LoWPAN Protocol Conformance Test System Based on XML

RONG Zhou¹, WANG Qian¹, TANG Chao²

(1. College of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. College of Material, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: According to the 6LoWPAN protocol and the conformance test theory, propose a way to set up a extensible scaffold to do the 6LoWPAN protocol conformance test. Analyze the test system and the system under test (SUT) two parts, for test system is realized in the Windows system, describe the function of the platform, the frame construction and the implement method of each model in detail. The test cases are designed by the eXtensible Markup Language (XML), use libxml2 to analyze the testcase labelled by XML. Set the sending and receiving packet modules. And the self-directed 6LoWPAN protocols are tested with this platform to achieve the protocol conformance test and the test results are analyzed.

Key words: 6LoWPAN; expandability; testcase; XML; conformance test

0 引言

IETF组织于2004年11月正式成立了IPv6 over LR_WPAN工作组, 它基于IEEE 802.15.4实现IPv6通信。该小组基于IPv6在无线传感器网络应用中遇到的问题, 提出IPv6报头过大而无法与802.15.4连接的问题。解决方法为在802.15.4的数据链路层和IPv6层之间加入一个适配层, 压缩IPv6的报文^[1-2]。随着6LoWPAN在无线网络中的应用日益增加, 其实现与协议标准不一致性的问题也日益严峻, 对协议的

实现进行一致性测试的需求日益强烈。

传统的网络协议一致性测试方法大多是基于有限状态机^[3]或者TTCN-3语言^[4], 这要求测试人员对上述测试方法或语言有深刻的了解, 并且6LoWPAN协议还处于草案阶段, 其一致性测试要具有可扩展性。基于以上问题, 文中设计了基于6LoWPAN的协议一致性测试平台, 为IPv6物联网提供了公共的测试验证平台, 简化测试用例脚本生成和测试执行过程。在现有的6LoWPAN协议草案基础上, 实现了6LoWPAN

收稿日期: 2012-12-11

修回日期: 2013-03-13

网络出版时间: 2013-05-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61203213, 20904023)

作者简介: 戎舟(1970-), 女, 江苏丹阳人, 副教授, 博士, 研究方向为无线传感器网络、网络化测控技术; 王倩(1987-), 女, 硕士研究生, 研究方向为无线传感器网络、协议软件测试。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130509.1100.053.html>

协议栈。为了验证协议栈各层实现的正确性,对其执行协议的一致性测试。文中详细介绍了协议可扩展性的测试用例的设计和测试平台的实现。

1 协议一致性测试概述

协议的一致性测试是协议测试的一个方面。协议测试是检查一个网络部件某一方面的特性是否满足某种特定需求时常用的一种方法。而一致性测试旨在检测所实现的协议实体(或系统)与协议规范的符合程度。其实质是通过定义一组测试序列,对被测协议实现(Implementation Under Test, IUT)进行测试,比较IUT的实际输出与预期输出相同与否,来判定待测协议在多大程度上与标准描述相一致^[5]。

1.1 一致性测试流程

ISO国际工作组制定的协议一致性测试方法标准(ISO 9496)中定义了一致性测试的流程。

通过协议标准与服务规范等确定测试目的设计测试用例,转换文本形式的协议为系统可执行的测试用例,执行测试用例,对IUT进行准确性的判定、参照协议一致性说明和协议实现对IUT进行评估,生成测试报告,给出测试结论。

一致性测试的测试流程^[6]如图1所示。

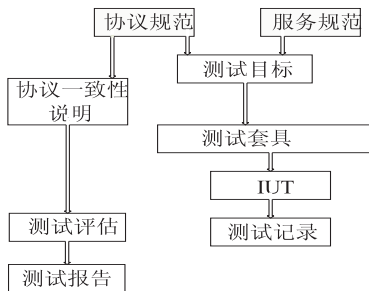


图1 一致性测试的测试流程

1.2 协议测试方法

协议一致性测试有几种互异的测试结构。通过对测试结构的分类,归纳出协议的抽象测试方法,根据对控制和观察点的设置,抽象测试方法可分为本地测试和外部测试,每种抽象测试方法都有两个抽象测试功能描述,即上层测试(Upper Tester, UT)和底层测试(Lower Tester, LT)^[7]。

本地测试即测试执行系统的UT、LT和IUT同处在一台机器中,不需要底层通信系统的支持。外部测试还可进一步成分布式、协同式和远程测试:分布式测试的模型为IUT和UT在同一台机器中,LT分布在其他的机器中;协同方法则是UT和LT之间增加一个协同协议,用来同步UT和LT;远程测试方法没有UT,而IUT嵌入到其他系统,因此远程测试的方法适用于测试被动式的协议实体或是服务型协议实体。

文中设计的测试系统模型中,由于IUT和UT处于不同的操作系统中,LT分布在其他的机器中,因此,该系统采用了远程式的测试方法。

2 6LoWPAN协议一致性测试系统平台结构

由于6LoWPAN协议还处于草案阶段,其协议还在不断扩展,因此文中设计了一种具有通用性协议一致性测试系统,即测试用例具有可扩展性和可移植性。对其协议草案后期的扩展,以及其他的协议规范,均可通过小范围改变个别模块实现。

平台框架如图2所示。

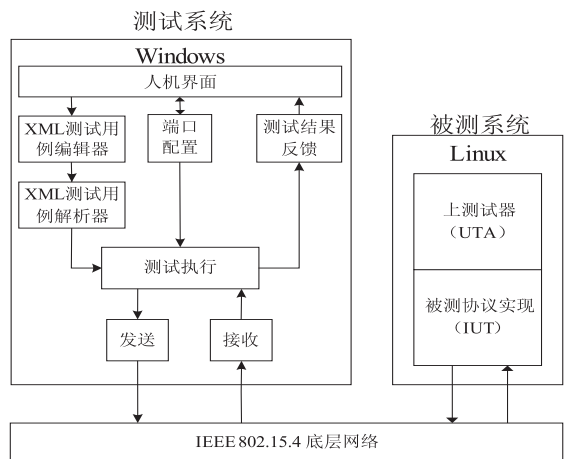


图2 6LoWPAN协议一致性测试平台

该平台由人机界面,测试用例编辑和编译模块,测试执行模块,底层收发模块,端口配置模块和结果反馈模块组成。测试用例在界面上编辑并生成,通过测试执行模块,选择测试用例并发送一致性测试的内容给底层,与底层通信后接收相应结果,判断是否一致后反馈给界面并保存。各模块的具体实现如下:

2.1 测试集编辑模块

测试用例的编辑器模块是协议一致性测试系统中最重要的部分之一。根据6LoWPAN协议的文本内容,测试人员编译生成图形界面显示的测试套件。除了满足协议测试集的格式外,该系统的测试用例编辑器模块还支持文档的保存、复制和粘贴等操作。

该系统的测试集生成选用了可扩展标记语言(XML),它是一种标记语言^[8]。选用XML描述测试用例是因为它是一种允许用户对自己的标记语言进行定义的源语言,不需要其他语法基础,掌握和操作容易;而且它本身就是一种可扩展的标记语言,扩展性强这一特性满足6LoWPAN协议草案的扩展性;此外,支持开源的解析器,通用性强。

2.2 测试集编译模块

前面的测试集编辑器模块生成了6LoWPAN的协

议测试套之后,只能人机界面显示,但系统不能识别,因此还需要测试集的编译模块,该模块按照系统可识别的语言,解析测试套文件,并且转换成系统内部的格式。

该系统底层开发使用的是 C++ 语言,因此编译器模块用到了一个开源的库 libxml2^[9] 的 C++ 语言解析 XML 树状结构,因为它除了支持 C 语言外,还支持 C++、PHP、Tcl 等语言的绑定,能在 Windows、Linux 等平台上运行。

2.3 人机交互模块

人机交互模块是系统与测试人员交互的界面,用户通过界面显示生成的测试套,并可以直接在界面上对测试套进行编辑、设置端口等配置,查看并保存测试结果。

该系统的界面采用 MFC 的多文档形式构成,这样的设计方便多个测试例同时进行测试和查看。整个界面模块分为 4 个部分,分别为:主控模块,位于界面上方;测试套窗口,在界面左侧;测试执行控制窗口,在界面中间部分和测试结果显示窗口。

其中,菜单栏执行文件的打开、新建、保存功能;工具栏包括测试编辑、执行(run),端口配置,包括本地端口和对等端口,收发 IP 地址和端口号;还有 log 的保存和查看功能。

2.4 测试执行和选择模块

测试人员生成测试集后,通过树状结果进行测试用例选择,然后再进行测试用例的执行。测试用例的执行模块的操作包括选择相应的测试用例,执行其动作,如发送报文到底层、接收回复报文并与预测结果比较等。虽然界面上只有一个 run 按钮,却是整个系统的核心调配单元。

2.5 测试结果反馈和端口配置模块

测试结果显示窗口主要显示测试用例的执行结果,显示以下属性:文件名、开始时间、结束时间和测试结果反馈。当测试执行模块执行过一次协议测试后,测试结果记录测试用例的名称,起止时间,判定给出一致性测试的执行结果。

端口配置模块提供的是系统的配置信息,以及配置本地和远程地址信息,通过调用相应的端口号控制测试通道等信息。

2.6 收发模块和底层模块

报文的发送模块是将协议数据发送给底层的协议服务提供者,待报文经过一段时间的响应后,由接收模块接收回复的报文数据,并与标准预测的结果对比。由于该系统从 Windows 系统向 Linux 系统发送数据,因此被测系统通过 Server 时接收报文,而测试系统端通过 Socket 发送数据。

底层模块:通过收发器发送经过 6LoWPAN 封装的 IPv6 数据包,并从网络中接收完整的 IEEE802.15.4 数据包。该模块主要包括协议栈和无线节点两个部分,硬件节点为 Crossbiw 的 IRIS 系列,基站节点通过串口与 PC 进行通信;协议栈的适配层在 IRIS 节点上实现。

基于 XML 的可扩展性与其解析的灵活性,该系统使协议测试用例的开发具有可扩展性,满足了 6LoWPAN 草案可扩展的需求。同时,此平台通过修改测试用例编辑和编译模块,还可以对 6LoWPAN 以外的其他协议进行一致性测试。

3 6LoWPAN 协议测试及结果分析

3.1 测试用例分析与设计

协议一致性测试的最主要的部分为测试用例的分析与生成。6LoWPAN 协议栈主要由 802.15.4 的 MAC 层以及以上的适配层,IPv6 层,传输层和应用层组成^[10]。因此,文中主要测试的内容是 6LoWPAN 适配层的协议一致性实现。针对适配层的内容,测试用例的设计包括以下几个部分:最大传输单元(MTU)验证、链路分片与重组验证、地址自动配置的验证、单播映射、报头压缩算法验证以及 IPv6/UDP 头字段编码验证等^[11]。针对 IP 层、传输层和应用层,则验证了报文的正确处理能力和,包括正常报文收发和异常报文的处理。

参考 TTCN^[12] 的测试框架和测试方法,文中自定义了一种基于 XML 描述的测试用例,根据树形的层次结构,生成 6LoWPAN 协议一致性测试的抽象测试例。应用 libxml2 将测试用例解析成底层可执行的数据流。测试用例由报文内容描述和测试行为描述两部分组成。

报文内容描述,指的是提供给测试人员定义测试中用到的报文类型以及报文内容,即将协议中的文本数据转换成类似协议一致性测试标准中规定的 TTCN 语言的 XML 树状结构的报文,如协议 version,报头数据格式等:

```
<Header>
<IPv6Header= IPv6Hdr>
  <note>ExtensionHeaderList extHdrList optional</note>
  <icmpType>8</icmpType>
  <icmpCode>8</icmpCode>
  <checksum>16</checksum>
  <sequenceNumber>16<sequenceNumber>
</IPv6Header>
</Header>
```

测试行为描述将 XML 定义的测试用例按照树状结构解析。功能包括提供给上层一套基本接口,发送

接收报文,定义结果的存储位置,设置报文收发等待延时等功能。该系统使用的是XML语言,使用了match、checkpoint、key、port、send和receive等关键字描述。

3.2 测试执行过程

节点间通信的报文数据通过硬件节点自带的TinyOS^[13]下的Listen工具监听到,并通过操作系统自带的MIG工具解析成可读的文本数据格式。由于该系统搭建在Windows平台下,而节点间的通信后的报文通过串口返回到Linux平台,因此,系统需要通过测试行为描述定义Linux平台在本地的映射地址,通过端口号遍历到待测试文件。

软件平台部分则选择树状结构中的相应测试例操作,点击平台的run,运行测试例,待测试执行结束后保存测试结果。通过分析协议,生成相应的测试报告。

```
<script>
  <match file="D/parse_lowpan_packet.xx" node="100">
    <checkpoint key="short_address0" op="100" key_value="0xfe" op="00" skip="0" value="" />
  </match>
  <match file="/xxxx/Check_FRAGN.log" node="100">
    <checkpoint key="pass" op="100" skip="0" value="" />
  </match>
</script>
```

3.3 测试结果

文中基于分布式的测试法,采用XML编辑和编译测试用例,对该实验室开发的6LoWPAN协议栈进行了测试。测试过程中,通过执行基于实验室开发的协议栈的测试用例,如HC1编码方式^[14]的报头压缩,验证了该平台的准确性及适用性。测试达到了预期效果,通过执行协议的一致性测试,验证协议栈各层实现的正确性。

经测试结果分析,发现了协议栈的实现过程中仍然有一些问题,如在发送的数据包很大时,分片重组仍然有问题,部分数据没有正常接收到等。与此同时,该平台在测试过程中也存在一些问题,如多文档的测试执行窗口,在同时执行测试用例的情况下,会造成死锁的现象,测试用例执行多次,平台运行效率降低等问题。下一步的目标为改善测试平台运行过程中效率低的问题,从而完善6LoWPAN协议栈的一致性测试过程。进一步的工作是实现一个全自动的6LoWPAN测试系统。

4 结束语

文中围绕6LoWPAN协议一致性测试研究及测试

系统实现这个主题,对6LoWPAN协议现有标准进行了一致性测试。利用XML设计了一套6LoWPAN测试套,并设计了界面友好的测试系统,实现了跨平台的报文传输,基本实现了6LoWPAN协议的一致性测试,同时也发现了许多问题。对于实现性的6LoWPAN协议,当IPv6的报头较大时,分片不是每次都会实现。此外,对于文中的一致性测试系统,有些功能仍有待提高,如测试案例自动生成、测试案例覆盖性分析;当测试用例执行次数过多时,系统也有出现卡机的现象。另外,该系统虽然实现了6LoWPAN协议可扩展性的一致性测试,但是测试人员生成测试脚本还是过于复杂,协议的自动化测试有待开发。

参考文献:

- [1] Draft-ietf-6lowpan-format(6LoWPAN)[EB/OL]. 2007-09. <http://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan>.
- [2] Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications for Low-rate Wireless Personal Area Networks[S]. IEEE 802.15.4-2003,2003.
- [3] 田军. IPv6协议一致性测试研究及系统实现[D]. 北京:中国科学院,2001.
- [4] 王利国,张宏科. 基于6LoWPAN的传感器网络动态路由协议研究[J]. 重庆邮电学院学报(自然科学版),2006,18(6):740-743.
- [5] 陈建荣,王乐春,龚正虎. 协议一致性测试执行系统的体系结构研究[J]. 计算机工程,2003,29(8):78-80.
- [6] 杨德兴,刘钦明,魏磊,等. 基于TCL的6LoWPAN协议一致性测试[J]. 计算机工程,2012,38(4):263-265.
- [7] 陈小红. 6LoWPAN协议栈一致性测试系统的实现与研究[D]. 上海:华东师范大学,2006.
- [8] 李华,叶新铭,曾敏,等. 基于XML的协议一致性测试系统的设计和实现[J]. 计算机科学,2006,33(10):275-278.
- [9] 黄昱,王千祥,梅宏,等. 基于软件体系结构的反射式中间件研究[J]. 软件学报,2003,14(11):1819-1826.
- [10] 郝中波,景博. 无线传感器网络接入IPv6网络方式的研究[J]. 计算机工程,2009,35(14):108-110.
- [11] 毛妙. 6LoWPAN适配层与ND协议的研究和实现[D]. 北京:北京交通大学,2007.
- [12] ETSI201873-1(v3.1.1). The Testing and Test Control Notation version3;Part 1:TTCN-3CoreLanguage[S]. 2005.
- [13] 李丽娜,石高涛,廖明宏. 传感器网络操作系统TinyOS关键技术分析[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2005,21(6):724-727.
- [14] Kushalnagar N. 6LoWPAN: Overview, Assumptions, Problem Statement and Goals draft-ietf-6LoWPAN-Problem-01[S]. 2006.

基于XML的6 LoWPAN协议一致性测试系统的实现

作者: 戎舟, 王倩, 唐超, RONG Zhou, WANG Qian, TANG Chao
作者单位: 戎舟, 王倩, RONG Zhou, WANG Qian(南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京, 210003), 唐超, TANG Chao(南京邮电大学 材料学院, 江苏 南京, 210003)
刊名: 计算机技术与发展

英文刊名: Computer Technology and Development

年, 卷(期): 2013(9)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201309021.aspx