

文章编号:1001-9081(2006)12-2817-03

传感器网超轻量 IPv6 协议栈一致性测试系统的设计

陈小红,王 能

(华东师范大学,计算机科学技术系,上海 200062)

(xiaohongch@hotmail.com)

摘要:介绍了网络实验室设计的传感器网络超轻量化的 IPv6 协议栈规范及实现。在结合 TTCN-3 一致性测试规范的基础上设计了一致性测试系统,给出了测试模型、测试方法和测试系统软件框架,并提出了测试用例描述方法和具体的实现策略。

关键词:802.15.4;TTN-3;一致性测试;Freescale

中图分类号:TP393.06 **文献标识码:**A

Design of conformance testing system for ultra-lightweight IPv6 protocol stack

CHEN Xiao-hong, WANG Neng

(Department of Computer Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Brief description of an ultra-lightweight IPv6 protocol stack which is designed by Net-lab was given at first. Then based on conformance test standard TTCN-3, a conformance test system was given. The test model and test system frame were also described. The detailed way to describe test case and implementation of the test system were introduced too.

Key words: 802.15.4; TTN-3; conformance test; Freescale

0 引言

传感器是信息采集最基本和最重要的方式,无线传感器网络则是信息传输、处理的系统。IP 协议是当前网络协议的主流,IPv6 作为新一代的网络通信协议,拥有非常大的地址空间,并且在安全性、移动性和地址自动配置等方面都提出了优秀的解决方法。将 IPv6 协议和传感器网络相结合将会使得传感器网络的应用更加广阔。

一致性测试是测试协议的实现和协议规范是否一致。目前用于描述一致性测试的标准是测试和测试控制表示法第三版 TTCN-3^[1]。它不仅用于一致性测试,还用于健壮性、互操作性等其他类型的测试,因此它的描述方法复杂。TTCN-3 标准虽然给出了测试系统模型,但是该测试系统是抽象地给出的,一个实际的测试系统需要有针对性。本文针对传感器网络的超轻量化的 IPv6^[2] 协议栈设计了一个一致性测试系统,并参考 TAHI Project^[3] 定义了一套测试用例描述方法,用该测试系统可测试超轻量化的 IPv6 协议栈中所有的协议层。

1 传感器网超轻量化 IPv6 协议栈简介

802.15.4^[4] 标准是当前无线传感器网络采用的技术标准之一,它针对的是低功耗、低速率的无线个人局域网(Personal Area Network, PAN),包括物理层(Physical, PHY)和媒体控制层(Medium Access Control, MAC)的协议规范。我们的传感器网超轻量化 IPv6 协议栈建立在 802.15.4 之上。IPv6 原是针对有线网络的,没有考虑到资源有限的嵌入式环境,另外 IPv6 的一些协议行为复杂不适合低功耗、低速率的无线网络,因此将 IPv6 运用到低功耗低速率的网络中需要解决很多问题。

传感器网超轻量化 IPv6 协议栈是网络实验室依据草案^[6,7] 开发的 IPv6 协议栈,协议栈针对 IPv6 在 802.15.4 网络

上的问题提出了具体的解决办法。该协议栈包括的协议有:适配层协议、IPv6、ICMPv6、TCP 和 HTTP。适配层协议是网络实验室设计的协议,其主要功能有:1) 报文分片和重组:将 IPv6 报文分片成适合在 802.15.4 网络中传输的大小,以及将收到的 802.15.4 报文重装成完整的 IPv6 报文;2) 地址转化:将 IPv6 128 位的地址转换成 802.15.4 的 16 位或者是 64 位地址;3) 头部压缩和解压缩:将 IPv6 开销过大的报头进行压缩,减少头部开销增加有效负荷;4) 组播支持:802.15.4 不支持组播,将 IPv6 组播转换成 802.15.4 广播。本协议栈的其他协议,如 IPv6、ICMPv6、TCP、HTTP 等都为适应低功耗低速率环境进行了精心的裁剪,这些协议都实现了协议的核心功能,对一些在低功耗低速率环境下作用不大的功能作了简化或没有实现。所有这些协议的实现都是模块化的,可根据节点的角色作出剪裁。例如对于 host 节点,只配置部分模块功能:IPv6 减少了可支持的扩展头类型,只实现报文重装不支持报文分片;TCP 不支持滑动窗口协议,不需要 TCP 的拥塞控制。而对于 router 节点,则配置全部模块,实现的是全功能 IPv6 协议,和 TCP 协议。

2 传感器网超轻量化 IPv6 协议栈测试系统

U6SCTS(Ultra-lightweight IPv6 Protocol Stack Conformance Test System)是网络实验室研发的,专门针对传感器网超轻量化 IPv6 协议栈的测试系统。根据 ISO/IEC 9646^[8] 提出的一致性测试的基本方法和框架,在一致性测试中,将被测实现视为黑盒,即一致性测试是一种黑盒测试。ISO/IEC 9646 定义了四种测试方法:本地测试法、分布式测试法、远程测试法和协调测试法。U6SCTS 根据被测协议的特点,采用分布式测试法。分布式测试法如图 1 所示。基于图 1 的分布式测试法,设计了如图 2 所示的实际测试器。

收稿日期:2006-06-26;修订日期:2006-08-21 基金项目:上海市科委重大科技攻关项目(05dz15004)

作者简介:陈小红(1984-),女,江西吉安人,硕士研究生,主要研究方向:计算机网络;王能(1942-),男,湖南醴陵人,教授,博士生导师,主要研究方向:计算机网络协议、计算机网络安全、数字移动通信系统的用户设备测试技术。

实际的测试器由主测试部件和辅助测试部件以及上测试器组成:主测试部件是 U6SCTS 测试软件运行环境;辅助测试部件负责主测试部件和被测实现之间的数据交互;上测试器在被测实现上面,对被测试实现某些控制,上测试器与主测试部件通过串口连接。辅助测试部件由 IP 协议栈和无线协议栈组成,IP 协议栈是网络实验室开发的运行在小设备上精简的协议栈,无线协议栈是 Freescale 提供的 802.15.4 协议加上超轻量化 IPv6 协议栈中已经通过测试的协议层。例如,在测试 IPv6 时,图 2 中的无线协议栈是 802.15.4 协议加上适配层协议(此时适配层协议是已经被测试通过了的协议层)。利用网络实验室开发的精简协议栈在主测试部件和辅助测试部件之间建立 TCP 连接,使得 U6SCTS 软件可以直接建立在 Socket 上,方便实现。

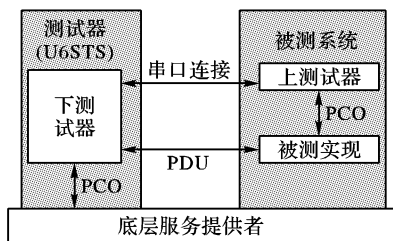


图1 U6SCTS的测试方法

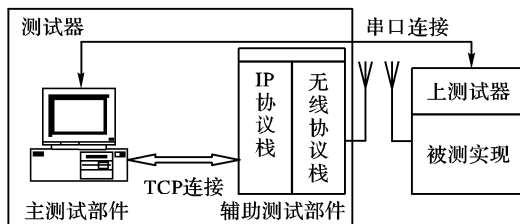


图2 实际测试器结构

2.1 U6SCTS 软件框架

图3为U6SCTS测试系统软件框架。

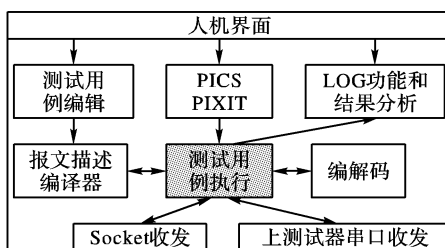


图3 U6SCTS测试系统软件框架

1) 人机界面:提供系统与测试人员交互的界面,用户可以利用界面直观的跟踪测试的每个环节,编写测试用例,配置信息,查看测试结果等。

2) 测试用例编辑器:提供给用户编辑测试用例,测试用例分成行为描述部分和报文描述部分。

3) 报文描述编译器:对用户给出的报文描述文件进行解析,转换成系统内部的格式。

4) PICS PIXIT:提供一些系统配置信息,例如配置U6SCTS当前测试的协议层。

5) 测试用例的执行:这是系统核心调配单元,控制整个测试的执行过程。

6) 编解码:报文转换成测试要求的二进制流,以及将收到的二进制流转换成测试系统内部存储格式。

7) Socket收发:底层的提供者,U6SCTS系统是建立在Socket之上的TCP连接,可以根据具体测试环境替换该模块。

8) 上测试器:用户通过调用上测试器功能实现对被测对

象的控制,U6SCTS实现中上测试器模块是通过串口与测试器通讯。

9) Log功能模块:记录测试过程的所有动作和收发的所有报文,给出一致性测试结构。

2.2 一致性测试系统应提供的基本功能

作为一个一致性测试系统,需要提供以下基本功能:

1) 报文定义:必须给出一种报文定义方式,提供给测试用例编写人员描述收发报文的内容。并且报文的描述必须建立在一定的抽象层次上,避免测试用例编写人员对二进制操作。

2) 匹配机制:对于接收到的报文,系统必须给出匹配方法来判定收到的报文是否就是期待的报文。

3) 行为描述:描述整个测试流程和测试行为,何时发报文,何时收报文,收到报文后进行怎样处理等。

4) 编码和解码:实现测试编写人员定义的报文和实际传输的二进制串之间的转换。

本文以下的部分将分别就这几个方面讨论U6SCTS的解决方案,报文模板定义部分参考TAHI Project的思想,但是TAHI Project针对IPv6,而且TAHI Project中行为描述采用的是Perl语言,本系统都是用C++语言。

2.3 报文定义

在U6SCTS中,报文定义分成报文类型定义和报文模板定义两部分。报文类型定义用于定义报文的格式,模板定义用于定义发送和接收报文的值。

2.3.1 报文类型定义

报文类型定义提供给测试人员定义测试中用到的报文类型,一个好的报文类型定义要达到两个目标:一是定义方便,用户可读性强;二是描述能力强,支持协议中的所有类型定义、支持协议中对某些字段特殊限制,例如某些字段只能取特定一组值,某些字段是可选的(例如IPv6的扩展头部)等。

U6SCTS利用C++的类来实现报文类型的定义。因为U6SCTS专门针对超轻量化IPv6协议栈而设计,系统设计时,被测协议的报文格式已完全明确,我们将报文类型预先定义在系统中,测试用例编写人员只需要对其引用即可。C++类的功能强大,它封装了数据以及对应的操作,能提供足够的描述能力。具体解决方法是:

1) 对于协议中要求的特定值情况,在类中定义几个变量以及函数用于限定该字段的值域。

2) 对于协议中出现的可选(optional)定义,在类中定义一个布尔变量指明该字段是否optional。

事实上,目前协议测试描述语言TTCN-2或TTCN-3定义的类型就是通过TTCN编译器将TTCN的定义编译成C++类后执行,可见直接使用C++类来实现对报文的定义实际可行,可简化系统实现。

例如,某测试用例需要定义这样一种报文类型:报文类型名叫HType,它由a, b, c3个字段组成。a、b、c都是整型,其中字段a只能取1到10之间的值,字段b是可选字段。U6SCTS中的定义形式为:类型HType和它的每个成员都有相应类型定义,类型HType对应的类为:

```
Class HType
{ ...
  Static Clist memberList;
  //Clist是系统中实现队列的类,memberList
  //存放a、b、c的默认对象,a、b、c
  //的默认对象是实例化了的a、b、c对应
```

```

//C++类对象,并且类的成员预设定为默认值
...
}
a,b,c 的C++类定义为:
Class MMInterger
{ ...
  Bool isOptional;
  //指明是否可选字段,对于b这个值为 true, a 和 c 为 false
  IsDataValid(); //函数,用来限定值域
  ...
}

```

2.3.2 模板定义

模板给测试例编写人员提供一种描述发送和接收报文内容的方法,U6SCTS 中引用系统定义的报文类型来定义模板。

在大部分情况下,特定测试用例只观察报文中少数几个字段,其他字段采用默认值或只要出现就可以,因此在 U6SCTS 中,为了简化编写报文模板的复杂性,测试人员只需要给出关心的字段,对于不关心的字段不必出现,系统将使用默认值,但是对于可选字段如果用户认为它必须出现也要显式给出。例如,有几个测试例都想发送 HType 类型的报文,这些测试例中成员 b 的值都不同,a 和 c 的值都一样,在 U6SCTS 中模板就可以简单定义如下:

```

HType packet_name
{ b = 11;
  //只出现 b, a 和 c 虽然不是可选字段
  //但是也可以不显式写出,系统将采用默认值
}

```

在具体实现中,测试例编写人员基于文本方式来定义模板,因此需要一种方法来规范和检查用户的模板定义。我们采用 yacc 来实现这种规范,下面是 IPv6 模板定义的部分规则:

```

IPv6_define: IPv6_prefix IPv6_body RC; { yylex_para = topDefineObj = 0; }
IPv6_prefix: IPv6 NAME LC; { yylex_para = topDefineObj = $1 -> SetValue( $2); $2 -> delaclaration( $1); }
IPv6_body: header_ref extent_ref next_header;

```

2.4 匹配机制

匹配机制是测试系统必须提供的功能,例如 TTCN 提供的模板匹配机制。对于接收报文,它用来判断收到的值是否符合协议所期待的某种值。通常协议测试中至少要包含的匹配机制有以下几类模式:特定值匹配、任意值匹配、值列表或值范围、是否出现。对于一个通用的测试系统,它支持的匹配机制较为完整,例如 TTCN-3 的模板匹配机制在上述每一类中进一步定义了更细的匹配模式。通过分析我们的被测协议,U6SCTS 中需要支持以下匹配机制:

- 1) 特定值匹配:收到的值必须和某个指定值相同,表示为:成员 = 值。
- 2) 任意值的匹配:收到的值可以是任何值,表示为:成员 = ?,其中“?”作为关键字代表任意值。
- 3) 值列表:收到的值是给定范围内的某个值,表示为:成员 = range(值 1, 值 2, ...),range 是关键字,表明是一个值列表。
- 4) 是否出现:检查可选字段是否出现。如果测试用例编写人员认为该可选字段必须出现则应显式表示为:成员 = 值,或成员 = ?,没有显式写出则认为该字段不能出现。

2.5 行为描述

行为描述用于描述测试流程和测试行为,测试系统必须提供恰当的方法来描述行为,一般协议测试中除了描述一些

基本流程如分支循环外,还需要定时器操作,收发报文操作,结果判定,测试执行日志等。特别是在测试中经常会遇到在某个时刻,有几个事件都可能发生并且发生的先后不确定(典型的如定时器超时事件和报文到达事件),对于这样一种情况测试系统必须给出描述方法。

U6SCTS 系统中,直接使用 C++ 语言来描述行为,其解决方法为:

- 1) 对于基本的流程描述,C++ 提供一整套流程语句,如顺序,if else, while 等可以描述测试中的基本流程。
- 2) 对于测试中要求的定时器操作,C++ 可以使用类来封装定时器操作。例如 VC++ 提供的时间类。
- 3) 对于描述通讯动作如发送接收报文等,可以通过 VC++ 提供的 CSocket 类提供支持。
- 4) 对结果的判定:每个测试用例设定一个变量用于记录当前的测试执行情况,然后根据测试用例的执行返回值来给出测试 pass 和 fail 的判定,这里我们只区分 pass 和 fail,其他出错情况可以根据 log 文件来判断。
- 5) 执行记录:U6SCTS 中提供单独的日志类,用于记录当前运行发生的所有事件。
- 6) 对于描述多个事件发生不确定行为,通过判别函数返回值来确定当前到达的事件,然后用 if else 语句选择不同的处理方式。

采用 C++ 语言来描述测试行为的一个好处就是实现简单,可直接利用 C++ 提供的编译器将测试用例编译成可执行代码。

2.6 编码和解码

在一个测试系统中,提供给用户的报文描述通常都是抽象出来的类型,而不是实际在线上传输的报文内容,这样做的目的是给用户可提供可读性强的描述方式。例如 IPv6 的版本是 4 位,用户只需要将这个字段设为 6,而不必关心实际在报文中它是“0110”。编码和解码模块就是用来实现抽象类型和二进制串之间的转换。

编码和解码模块不但和具体协议相关,还与具体的测试硬件环境紧密结合。U6SCTS 的实际测试环境如图 2 所示,主测试部件和辅助测试部件之间是以 TCP 进行连接的。如果当前测试的协议层为适配层,辅助测试部件的无线模块是以 Freescale 公司提供的 802.15.4 原语的形式给主测试部件提供服务,主辅测试部件之间交互的是 802.15.4 原语参数,此时 U6SCTS 的编解码提供一种易于在主辅助测试部件上转换 802.15.4 原语参数的方法。在研究了 Freescale 公司提供的 802.15.4 原语后发现,除了 bool 类型字段外所有的字段都是以 8 位对齐,并且因为处理器对于 8 位的处理要比对 2 位处理速度更快,因此此时编码系统要求所有的字段都 8 位对齐,对于不能 8 位对齐的字段通过补 0 的方式来处理。如果当前测试的协议层是 IPv6、ICMPv6 等适配层以上的协议层,主辅测试部件之间交互的报文是完整的协议报文,此时的编码和解码模块就要完全按照协议规范来组织报文。具体算法为:在系统内部构造报文树,报文的每个字段构成一棵子树,通过遍历编解码子树来实现对这个报文的编解码。

3 结语

本文针对传感器网超轻量化 IPv6 协议栈设计了一个测试系统,分析了一般测试系统中需要提供的描述方法和描述

(下转第 2850 页)

5 医学图像分割实验

本节应用递进的基于窄带的多分区的 C-V 方法针对 121 幅医学 MRI 脑部图像进行了分割实验,均取得了较好的分割效果。图 1(a)和图 2(a)为从实验图像中选取的两张有代表性的 MRI 图像原图,为简单起见,两个图像的初始轮廓均取为圆, $v_1 = v_2 = 1$ 。图 1(b)和图 2(b)分别为应用单分区 C-V

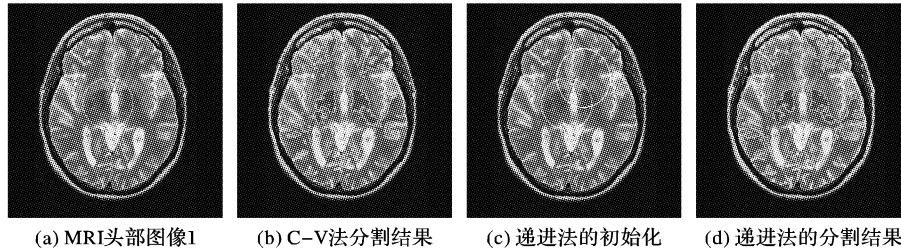


图 1 实验结果 1

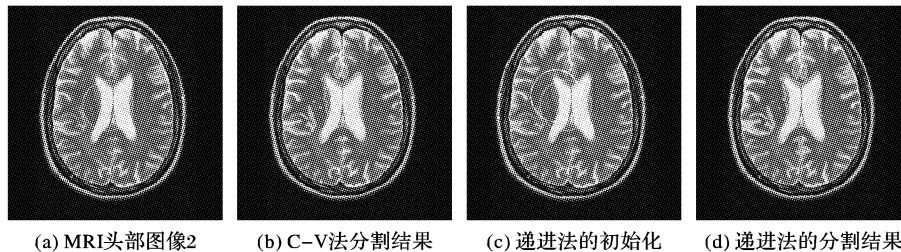


图 2 实验结果 2

6 结语

Mumford-Shah 模型可解决基于水平集的几何变形模型的“泄漏”问题。Chan 和 Vese 提出一种简化的基于水平集集的 Mumford-Shah 分割模型,进一步又提出了应用多个水平集函数的多分区方法,可分割复杂的几何结构,但它计算量大、初始化困难。本文针对上述问题引出递进的基于窄带的多分区 C-V 方法,此递进方法分为多个阶段,每一阶段只需一个水平集函数,下一级分割步骤是在上一级分割步骤完成之后进行的。由于在各级针对窄带区域,只处理窄带区域中的点,计算量大大减少。本算法在提高计算速度的同时,大大改进了对复杂几何结构的分割效果。

参考文献:

[1] MUMFORD D, SHAH J. Boundary detection by minimizing functions [A]. Proceedings of Conference Computer Vision and Pattern Recognition[C]. San Francisco, 1985. 41-44.

方法取得的分割结果,图 1(c)和图 2(c)分别为运用递进的基于窄带的多分区 C-V 方法时的初始轮廓,图 1(d)和图 2(d)分别为递进的基于窄带的多分区的 C-V 方法的分割结果。

从实验结果可以看出,递进的基于窄带的多分区 C-V 方法对复杂几何结构的分割结果要比单分区 C-V 方法好得多,同时由于采用基于窄带和快速初始化的图像分割算法,提高了计算速度。

[2] MUMFORD D, SHAH J. Optimal approximation by piecewise smooth functions and associated variational problems[J]. Communication on Pure and Applied Mathematics, 1989, 42(5): 577-685.

[3] CHAN TF, ESEDOGLU S. A multiscale algorithm for Mumford Shah image segmentation[EB/OL]. www.math.lsa.umich.edu/~esedoglu/Papers_Preprints/sc_chan_esedoglu.pdf, 2006.

[4] CHAN T, VESE L. Active contour without edges[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2001, 10(2): 266-277.

[5] CHOP D. Computing minimal surface via Level Set curvature flow [J]. Journal of Computational Physics, 1993, 106(1): 77-91.

[6] GAO S, BUI TD. Image segmentation and selective smoothing by using Mumford - Shah model[J]. IEEE Transaction On Image Processing, 2005, 14(10): 1537-1548.

[7] 王峰, 杨新, 李俊, 等. 提高水平集方法初始化计算速度的研究 [J]. 信号与处理, 2002, 18(2): 97-101.

[8] 李海云, 李光颖, 王笋. 一种基于水平集的脊柱 MRI 图像分割算法的研究 [J]. 北京生物医学工程, 2004, 23(9): 178-180, 204.

(上接第 2819 页)

机制,提出了一套简单测试用例描述的方法。采用这套描述方法可以使得测试用例编写人员编写用例简单快捷,更加专注于被测协议。此外该系统充分利用 C++ 语言来描述测试用例,用例描述和系统实现相结合,为系统实现提供方便。进一步的工作是实现这个系统,改善由于强针对性所带来的通用性较差的问题。

参考文献:

[1] ETSI 201 873-1 (v3.1.1). The Testing and Test Control Notation version 3; Part 1: TTCN-3 Core Language[S]. 2005.

[2] DEERING S, HINDEN R. Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification, RFC 2460[S]. 1998.

[3] The University of Tokyo, YDC Corp, Yokogawa Electric Corp. TAHI

Project[EB/OL]. www.tahi.com, 2006.

[4] IEEE 802.15.4-2003, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)[S]. 2003.

[5] IPv6 over Low power WPAN (6lowpan)[EB/OL]. https://onsite.ietf.org/html.charters/6lowpan-charter.html, 2006.

[6] KUSHALNAGAR N. 6LoWPAN: Overview, Assumptions, Problem Statement and Goals draft-ietf-6lowpan-problem-01[S]. 2006.

[7] MONTENEGRO G. Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks draft-ietf-6lowpan-format-02[S]. 2006.

[8] ISO/IEC 9646-1, OSI Conformance Testing Methodology and Framework for Protocol Recommendations for ITU-T Application-General Concepts[S]. 1994.