

移动 IPv6 协议一致性测试研究与实践

施新刚¹, 尹 霞²

(1. 清华大学信息网络工程研究中心, 北京 100084; 2. 清华大学计算机系, 北京 100084)

摘要: 分析了移动 IPv6 协议的一致性测试需求, 提出了基于形式化模型的测试集设计方法, 设计了基于通用一致性测试系统的参考实现扩展方案, 既增强了测试能力, 又提高了测试过程可配置和自动化程度, 在此基础上对多种实现进行了测试, 对结果进行了分析。

关键词: 移动 IPv6; 一致性测试; 参考实现

Research and Practice on Conformity Test of Mobile IPv6 Protocol

SHI Xingang¹, YIN Xia²

(1. Network Research Center, Tsinghua University, Beijing 100084; 2. Computer Science Department, Tsinghua University, Beijing 100084)

【Abstract】 This paper analyzes the conformity test requirement of mobile IPv6 protocol, uses a formal model to generate test suite, and designs the extended reference implementation based on a general conformance test system. Test capability, configurability and automation are improved. Test practice is carried out on various implementations and the results are analyzed.

【Key words】 Mobile IPv6; Conformity test; Reference implementation

移动IPv6协议^[1]是为了支持IPv6结点的移动性提出的一个新协议, 今后的应用也将十分广泛。目前很多厂家和研究机构已经研制出支持移动IPv6协议的实验产品, 对其测试的需求越来越强烈。进行移动IPv6测试的研究对于支持国内移动IPv6产品的研制开发和进口移动IPv6产品的检测评价都具有十分重要的意义。

日本的TAHI项目对移动IPv6协议进行了相对比较完整的测试, 但它采用perl语言描述测试系统和测试过程, 形式化程度不够, 测试例不易理解和修改。法国IRISA研究中心对移动IPv6协议中通信节点和家乡代理的一致性测试进行了一些研究, 美国New Hampshire大学IOL实验室发布了互操作性测试集, 但它们针对的都是协议初期版本, 与最新的移动IPv6协议规范相比, 缺少了返回可路由过程等重要通信过程, 在协议报文格式、错误处理等方面也有很大差别, 不能用于对实现了移动IPv6标准的产品进行测试。中科院计算所也进行了一致性测试研究^[2,3], 但是采用了自定义的TSS语言, 而且由于采用的形式化模型的限制, 测试内容也不全面。Agilent、Spirent以及Ixia等商用测试仪也没有提供相应的测试方案。

根据移动IPv6协议的特点, 研究了适用于移动IPv6协议的测试方法和技术, 以形式化模型为指导, 进行了测试集的设计。并在自主开发的通用协议一致性测试系统基础上, 提出了一种参考实现扩展方案, 应用于实际测试。

1 移动IPv6协议一致性测试需求

为了对上层协议屏蔽自身的移动, 移动IPv6协议引入了家乡地址(Home Address, HOA)和转交地址(Care-of Address, COA)的概念, 前者是移动结点(Mobile Node, MN)固有的地址, 后者是MN移动到外地网络后自动生成的地址, MN移动后需要向家乡代理(Home Agent, HA)注册HOA和COA的绑定。通信结点(Correspondent Node, CN)和MN可以以HA为中介通过隧道进行通信, 也可通过路由优化方式直接通信。

移动IPv6协议规定了MN、CN和HA 3种不同节点的功能和操作规范, 包括完成注册、返回可路由过程、绑定、移动报头处理、动态家乡地址发现过程以及报文处理过程, 对协议的一致性测试过程就是验证被测方是否正确实现了这些功能。由于节点的行为相当复杂, 为了尽量提高测试的覆盖率, 测试集的设计应当以适当的形式化模型为基础。另外, 由于协议包含复杂的计算过程, 测试数据无法在测试之前预先计算, 测试过程中需要多次修改网络拓扑和配置, 协议交互过程中需要完成邻居发现、重复地址检测、路由器发现、ICMP处理等相关动作, 必须处理很多其它类型的报文, 这些都要求测试系统提供强大的支持。

2 移动IPv6协议测试方法及测试系统

由于移动IPv6协议比较复杂, 涉及较多的定时器和变量, 很难应用现有的测试生成工具生成实际可用的测试例, 因此, 选择了用FSM(Finite State Machine)描述基本行为, 使用ADS(Adaptive Distinguish Sequence)算法进行测试序列自动测试生成, 最后手工完善得到最终测试例的方法。图1是ADS算法的流程。最终得到的一致性测试集共26个测试组, 510个测试例。表1中列出了按照功能划分时与TAHI测试例的比较结果, 虽然与TAHI相比测试例数目稍少一些, 但由于进行了优化和组合, 因此具有更高的测试覆盖度。

IPv6协议一致性测试系统是基于协议集成测试系统(Protocol Integrated Testing System, PITS)^[4]开发的一个通用的分布式协议一致性测试平台, 采用标准的并发TTCN^[5]作为测试集描述语言。已经应用这个测试系统对Cisco、Juniper、

基金项目: 国家“973”计划基金资助项目(2003CB314801); 国家自然科学基金资助重点项目(90104002)

作者简介: 施新刚(1980-), 男, 助工, 主研方向: 计算机网络体系结构, 协议测试; 尹霞, 副教授

收稿日期: 2006-06-15 **E-mail:** shixg@cernet.edu.cn

Bitway、Huawei以及Linux等多种系统上的IPv6基本协议、邻居发现协议、隧道协议、路由协议等进行了一致性测试。在该系统上对HA使用穿越法进行测试的测试结构如图2所示，对MN和CN则采用远程测试法。

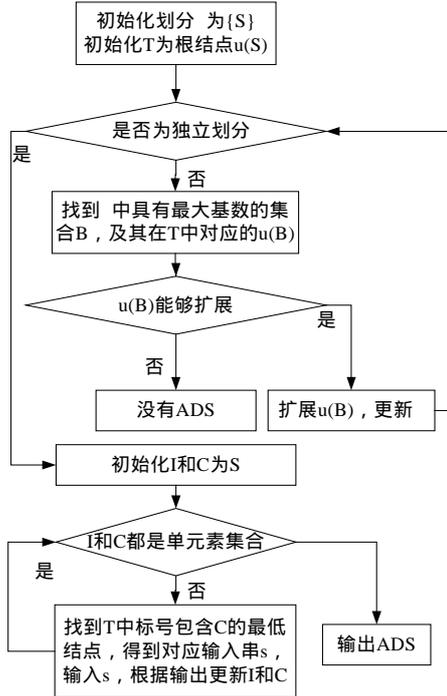


图1 ADS 算法流程

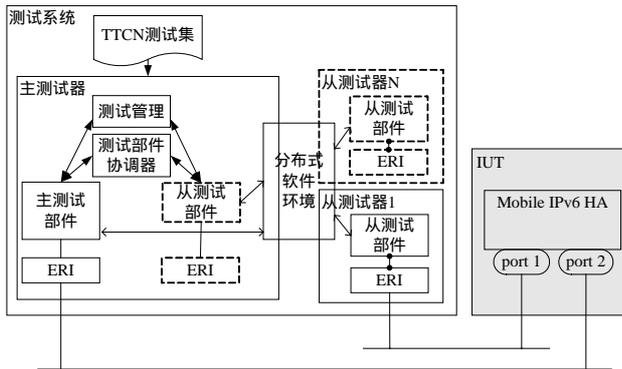


图2 IPv6 协议一致性测试系统

对移动 IPv6 协议特点进行的分析,使用如图3所示的扩展参考实现(Extended Reference Implementation, ERI)方案,有效地支持了对协议的实际测试。

ERI 中的数据计算包括: ICMP 校验, 移动报头校验, BAD(Binding Authentication Data)的计算、验证和填充以及链路层报文 MAC 地址的自动填充, 用 C 语言实现。在正常情况下, 测试例对于需要计算或验证的域填 0, 由 ERI 做出相应处理; 而在对这些域进行错误处理的测试时则填 1, ERI 不做任何处理。该模块还必须记录和处理协议交互过程中的变量信息, 例如绑定更新报文序号、返回可路由过程中的 keygen token 等, 用于上述的计算过程。

移动 IPv6 协议涉及了邻居发现和路由器发现过程, 如果在 TTCN 测试例中处理, 一方面容易引入错误, 另一方面测试例冗长且不易理解。网络模拟模块的作用就是模拟邻居结点和路由器对被测结点的 NS、RS 请求作出响应。例如 ERI 模拟家乡网络时, 需要代替 HA、家乡路由器以及同处于家乡网络的 CN 结点处理 MN 的 NS 和 RS 请求, 发出相应的

NA 和 RA。

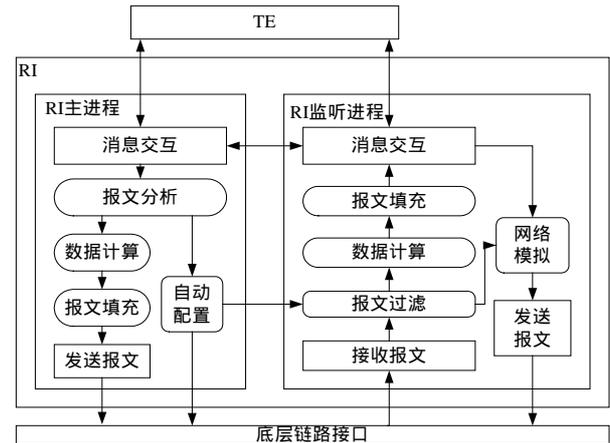


图3 扩展参考实现

在测试 MN 功能时, 如果采用手工改变 MN 接入位置的方法, 会大大影响测试自动化程度, 而且难免产生错误。增加了自动配置测试系统的功能, 用 Tcl 脚本实现。例如 ERI 收到自动配置命令, 可以由模拟家乡网络切换到模拟外地网络, 这样就自动完成了 MN 接入网络的变化过程。网络模拟模块是一个动态可配置的模块, 修改和扩展都很方便。

测试过程中 ERI 会收到大量的不相关报文, 报文过滤模块的作用就是将这些报文分类, 将对测试过程有意义的报文提交给 TE, 将邻居发现和路由器发现转交给网络模拟模块自动处理, 将无关报文直接丢弃。在过滤过程中, 也必须对某些数据域进行填充和验证。

由于移动 IPv6 协议比较复杂, 简单的报文过滤还不能满足测试的需求。例如测试 HA 的 Proxy DAD 过程中, 必须验证 HA 能否处理 DAD 失败的情况, 因此需要在测试例中显式处理 HA 发出的 NS 报文。如果简单地通过报文过滤将 NS 转发给网络模拟模块自动处理, 则无法达到该测试目的。所以这里也要使用自动配置测试系统的功能, 通过测试例来控制报文过滤模块的行为, 其方法与控制网络模拟类似。

ERI 方案结合了 TTCN、Tcl 脚本语言和 C 语言的长处, 具有强大而灵活的功能。它不影响 TTCN 的语法规义的完整性, 却提高了测试集的抽象程度和清晰性, 增加了对测试系统和被测对象的控制能力, 具有较好的通用性。该结构中各个模块均易于根据实际测试对象进行配置, 也可以针对其它协议的测试进行修改和扩展, 从而应用于路由协议等更复杂的协议测试中。尤其是网络模拟模块的自动配置功能, 对于在复杂环境和多种场景下进行的测试十分有效。例如在测试 MN、HA 和 CN 之间的互操作性时, 通过对网络模拟的动态配置, 可以有效地验证协议在网络拓扑变化的情况下能否正常运作。

3 测试实践

对 MIPL、KAME MIPv6 和另外一个原型系统进行了测试, 发现了移动报头处理、ICMP 处理等多处错误, 例如, 当收到 home test initial、care-of test initial 报文中带有错误的 header len 时, MIPL 和 KAME 都能够识别出错误, 没有发送 home test 或者 care-of test 报文, 但都没有按照协议规定发送 ICMP 错误报文, 而原型系统则没有识别出错误, 仍然发送了 home test 或者 care-of test 报文。表 1 中列出了最终测试结果(“—”为未实现)。(下转第 125 页)