

# LXI数据采集器软件测试方法

王 琪 叶卫东

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院 北京 100191)

**摘要:** LXI数据采集器目前正处于蓬勃发展的阶段,符合测试系统发展的趋势,为了保障LXI数据采集器的正常使用、判断LXI数据采集器与LXI协议是否一致并测试系统的其他性能指标是否满足技术要求,本文提出了一种黑盒测试方法,开发一套软件系统,通过截取并分析局域网中与LXI采集器有关的数据包,对LXI采集器进行网络发现的测试、数据通信及其可靠性的测试、同步测试及触发功能测试等。实践证明,该测试系统能够对LXI数据采集器进行有效测试,可靠性高、可维护性高、便于升级、通用性强。

**关键词:** LXI;数据采集器;软件测试;同步测试

中图分类号: TP311.52 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 520.4070

## Software testing methods of data collector based on LXI

Wang Jun Ye Weidong

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

**Abstract:** LXI data collector is now in the stage of booming and conforms to the trend of the development of the test system, in order to ensure the normal use of LXI data collector, judge if LXI data collector is in accordance with LXI protocol and the other performance index meets the technical requirements, this paper puts forward a method of black box testing, developed a set of software system, by capturing and analyzing data packets associated with LXI collector in the LAN, to test the network discovery of LXI collector, data communication and the reliability, synchronization and trigger function, etc. The practice has proved that the test system can effectively test the LXI data collector, has high reliability, high maintainability, strong commonality and easy to upgrade.

**Keywords:** LXI; data collector; software testing; synchronization testing

## 1 引言

LXI(LAN extension for instrumentation)是新一代基于以太网LAN的自动测试系统模块化构架平台规范,它代表了未来测试系统的发展趋势<sup>[1]</sup>。LXI技术将计算机和仪器连接起来,实现了网络化测试,减少了测试系统成本,其可靠性高、通用性强、生命周期长、开放性好,在故障诊断和校准计量领域发挥着越来越重要的作用<sup>[2]</sup>。

虽然LXI仪器正在蓬勃发展,但是目前对LXI的研究主要还是为了实现LXI的功能,并没有完整理论用于测试LXI仪器是否真正的与LXI协议相符合,也没有测试仪器的其他性能指标是否达到技术要求,由于人们对软件质量的要求越来越高,软件测试也日益得到了社会的重视,对LXI仪器的软件测试就应当提上日程。

本文配合实验室自主开发的基于LXI的数据采集器,采用黑盒测试方法,开发一套软件系统来测试仪器与LXI

协议是否一致,并测试仪器的其他性能指标是否满足技术要求,包括LXI仪器网络发现的测试、数据通信及其可靠性的测试、同步测试、触发功能测试以及其他非软件性的测试,要求该系统具有可靠性高、可维护性好、通用性强、便于升级更新等特点。

## 2 软件总体方案设计

将PC机与LXI采集器连接到一个局域网中,设计抓包软件,捕获局域网中源地址或目的地址是LXI采集器的数据包,设计界面,通过点击某特定按钮进行特定操作,通过分析数据对被测对象的状况做出正确的评估,以此对LXI采集器进行测试。软件整体结构框图如图1所示。

该系统大致工作过程如下:将LXI采集器以及上位机还有测试PC机都连接在同一个局域网内,在上位机用户界面中对LXI采集器进行各种参数设置,设置好后LXI采集器将会执行相应操作并输出数据,测试PC机捕获数据

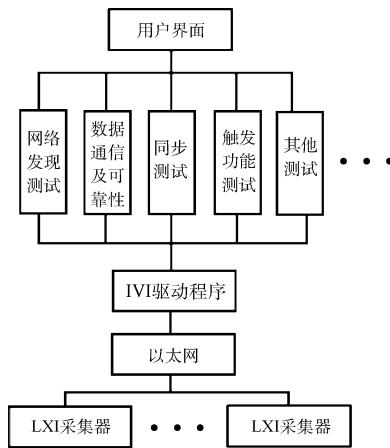


图 1 LXI 测试系统软件结构图

包并根据这些数据进行分析,实现对被测对象的状况的监测。

### 3 软件界面设计

根据需求开发出一个 Windows 平台上的抓包工具,能显示所捕获的数据包并能做相应的分析和统计。主要内容如下:

1)列出监测主机的所有网卡,选择一个网卡,可以设置为混杂模式进行监听,也可以设为普通模式进行监听。

2)捕获所有流经网卡的数据包,并利用 SharpPcap 函数库设置过滤规则。

3)分析捕获到的数据包的包头和数据,按照各种协议的格式进行格式化显示。

4)提取所捕获到的数据包的数据,分析数据得到测试结果。

所使用的软件开发工具是 Visual Studio 2012,开发语言选择的是 C#。

软件界面图如图 2 所示。各按钮作用分别是:

1)选择网卡按钮:列出设备的所有网卡信息,供用户从中选择一个进行捕包。

2)开始捕包按钮:开始在所选的网卡上捕包。

3)停止捕包按钮:停止捕包。

4)保存捕包结果按钮:将捕到的包以 pcap 文件形式保存到用户指定的文件下。

5)导入文件按钮:用户从本地导入 pcap 文件进行分析。

6)网卡配置按钮:用户配置网卡,可选择捕包模式:混杂模式或普通模式。同时可以设置过滤器。

7)捕包后过滤按钮:用户可以根据需要对捕捉到的包进行过滤,通过手动输入过滤条件实现过滤。

8)同步测试按钮:提取数据包中采集到的同一台仪器不同通道或不同仪器同一条通道的数据,分别进行拟合,得到采集数据的波形,并显示时间差。

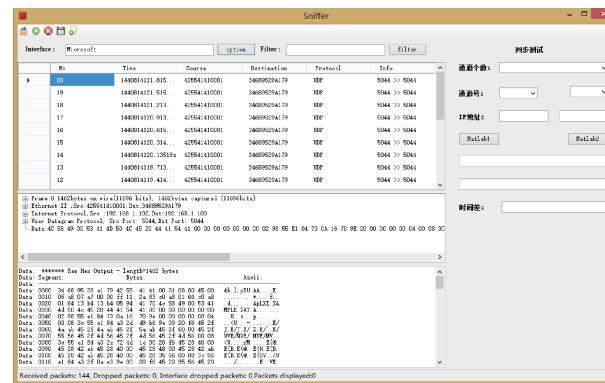


图 2 测试系统软件界面图

在该界面中同时能够显示所捕获数据包的相关信息,如时间、源地址、目的地址等。也将以十六进制形式和相应的 ascii 码形式显示数据包内容。

### 4 仪器网络发现测试

随着计算机网络技术的日趋成熟,组建基于 LXI 的分布式测试系统变得越来越方便,但是上位机怎样简单快速地发现网络中的 LXI 仪器就变得重要起来<sup>[3]</sup>。LXI 1.1 标准要求 LXI 仪器支持 VXI-11 协议,该协议是以 ONC/RPC 为基础的网络发现协议,能够解决分布式测试系统的仪器网络发现问题<sup>[4]</sup>。但是 VXI-11 协议属于被动查询方式,只有通过重新查询才可以发现新加入的 LXI 仪器<sup>[5]</sup>。因此, LXI 联盟在 LXI 1.1 版本之后新提出了一种网络发现协议,即 mDNS 网络发现协议,本实验室开发的 LXI 数据采集器采用的就是 mDNS 协议来实现仪器的发现功能。

mDNS 协议规定了多播地址是 224.0.0.251,端口号为 5353,当新的仪器加入网络时,该仪器主动向 224.0.0.251 的 5353 端口发送自己的主机名<sup>[6]</sup>,使得上位机能够感应到新仪器的加入,同时解决了网络中主机名冲突的问题。mDNS 协议实现的流程图如图 3 所示。

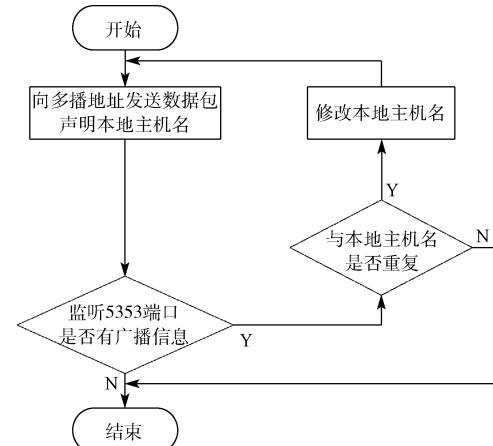


图 3 mDNS 协议实现流程图

在测试过程中,首先将一台 LXI 仪器连入局域网中,捕获它发送的 mDNS 数据包,分析 mDNS 数据包是否满足 mDNS 协议地格式要求,并测试上位机能否实时准确地监听到该 LXI 仪器的加入。然后再接入其他 LXI 仪器,捕获 mDNS 数据包,测试域名冲突的情况下,能否将本设备域名的后面加上一个数字构成一个新的域名并重新发送 mDNS 数据包进行注册,直至没有域名冲突发生。如: 域名为“WD-8016”的设备当发生域名冲突时,在后面加上一个数字变为“WD-8016(2)”,若再冲突则将数字加 1 再试,直至无冲突。接着断开 LXI 仪器,测试上位机能否实时监听到 LXI 仪器的退出。最后测试网络连接发生变换后(如网络电缆插头重新插入),LXI 仪器能否继续使用之前已经注册过的域名。所捕获的 mDNS 数据包及详细信息如图 4 所示,由 ascii 码值可知新加入仪器的主机名。

```

Data: ***** Raw Hex Output - length=95 bytes
Data: Segment: Bytes: Ascii:
Data:
Data: 0000 34 68 95 29 a1 79 42 55 41 41 00 01 08 00 45 00 4h.) yBU AA...E.
Data: 0010 00 51 00 78 00 00 ff 11 18 17 c0 a8 01 69 e0 .Q.x....i...
Data: 0020 00 fb 14 e9 14 e9 00 3d 59 5e 00 01 84 00 00 00 ...=Y...
Data: 0030 00 01 00 00 00 00 08 4c 58 49 2d 38 30 31 36 05 ...L XI-8016.
Data: 0040 5f 68 74 74 70 04 5f 74 63 70 06 5f 6c 6f 63 61 http_t cp_loca
Data: 0050 6c 00 01 00 01 00 00 78 00 00 04 c0 a8 01 69 I....x....i

```

图 4 mDNS 数据包

## 5 数据通信及其可靠性测试

LXI 仪器通过传输数据包的方式进行通信,LXI 仪器开始工作后,在接收数据包时,首先应对数据包进行必需的处理与测试,保障 LXI 仪器通信的正确性。LXI 协议数据包的解析过程如图 5 所示。

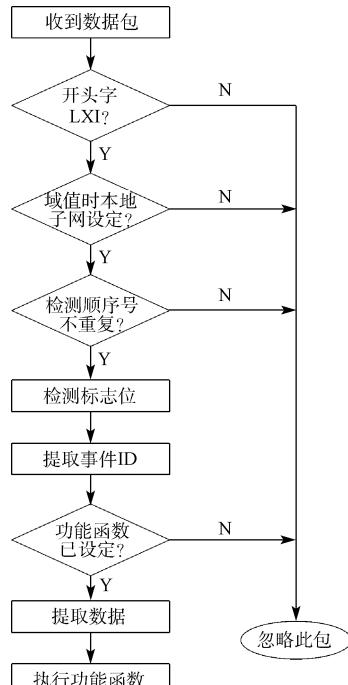


图 5 LXI 协议数据包解析过程

在收到数据包后,首先应检测开头字是否为 LXI、域值是否是本地子网设定、检测序列号是否重复,在否的情况下测试数据包是否被忽略,在是的情况下检测标志位、提取事件 ID,然后判断是否设功能函数,没有设功能函数时测试数据包是否被忽略,设功能函数时测试是否可以提取时间戳信息和数据。

测试数据通信的实时性与可靠性可以从以下几方面展开:

1) 每个 LXI 数据包都包含有时间戳信息,先设定一个接收数据包的最大时间延迟,收到数据包后提取时间戳信息,如果不在接收时间范围之内,测试是否忽略该数据包,同时测试是否对忽略数据包做出相应的回应。

2) 每个 LXI 数据包中都包含很多标志位,其中有一个是重发标志位,该位被置位时,表明该数据包是重发数据包。可以使 LXI 数据包中重发标志位置 1,测试仪器是否丢弃该数据包。

3) LXI 仪器可以设定一个时间范围,使得仪器只能在该范围内接收数据包,测试当在该范围内没有收到数据包时,是否能够发出错误提示,或者重新发送数据包。

## 6 同步测试

对不同的 LXI 采集器的同一通道或者同一台 LXI 采集器的不同输入通道的时间差进行测量,即将一单频正弦信号同相加载到 LXI 采集器的不同通道上,通过 LXI 采集器对该单频正弦信号的采集数据,运用曲线拟合的方法<sup>[7]</sup>,分别获得每个采集通道的幅度、偏置<sup>[8]</sup>及第一个采集数据在拟合正弦波中所对应的初始相位,由此计算出 LXI 采集器不同通道间的相位差,再由相位差计算出时间差。

拟合正弦信号参数最传统的算法是最小二乘法,一般将非线性问题转化为线性问题来进行处理,它存在如下缺点:不能完全线性化;待估计参数较多时计算量大;精度低。

拟合正弦信号参数时也可以采用例如牛顿法等非线性优化算法,但该类算法也存在缺点:收敛到局部极小值<sup>[9]</sup>。

遗传算法是全局寻优算法,借鉴了生物界的自然选择以及群体进化机制,遗传算法实际上是基于概率的随机搜索算法<sup>[10]</sup>。它能够克服传统算法的上述缺点,循环进行选择、重组和变异,全局搜索最优个体,并寻求最佳参数估计。

本文所采用的方法是:根据数据包的事件 ID 过滤数据采集的 UDP 数据包,提取不同通道的采集数据以及每个采样点的时间,将采样数据和采样时间转化为 double 型数据,并形成采样数据序列和时间间隔序列。在 MATLAB 中编写遗传算法进行正弦拟合的 \*.m 文件,然后对 \*.m 文件进行编译形成 \*.dll 文件,接着在 C# 中引用这个 dll 文件,把 \*.m 看做一个类,在 C# 中直接调用这个类中正弦拟合函数,将采样数据拟合为正弦波得到拟合参数求出时间差。

上位机界面所采集的正弦波如图 6 所示,共使用了 8

个通道进行数据采集,幅值约在 3000 mV,频率 1 Hz。

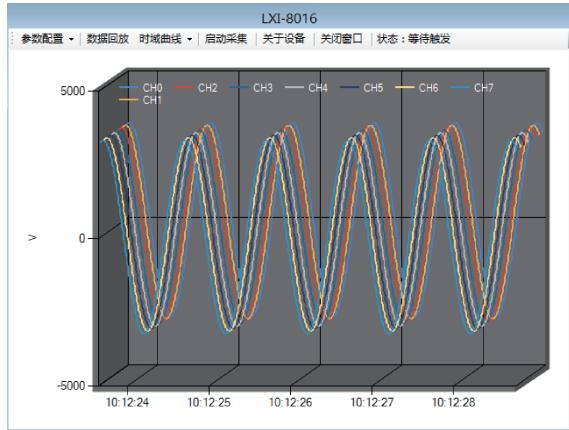


图 6 上位机采集数据显示

同步测试可以通过手动输入 IP 地址确定两台 LXI 仪器,然后选择相同的通道号,测量不同仪器同一通道的时间差,也可以测试一台仪器不同通道的时间差。这里选择同一台仪器的 CH0 和 CH6 进行测试,得到测试结果如图 7 所示。



图 7 正弦拟合结果及时间差

由所得到的时间差可以看出,该 LXI 采集器不同通道间时间差在所允许的范围之内,基本满足同步测试的需求。

测试系统进行正弦拟合得到的采样点以及拟合波形如图 8 所示。将拟合波形进行放大,可观察到不同通道间存在相位差,如图 9 所示。

## 7 触发功能测试及其他测试

针对本实验室的 LXI 采集器,触发功能主要测试电平触发以及定时触发。在上位机采集设置中设置好触发条件,观测采集数据的波形,是否按照规定的方式进行触发,注意采集设置要以最大可能包含尽可能多的设置方法,以

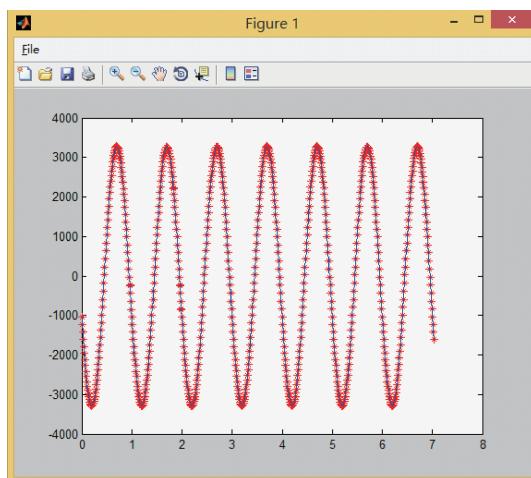


图 8 测试系统正弦拟合波形

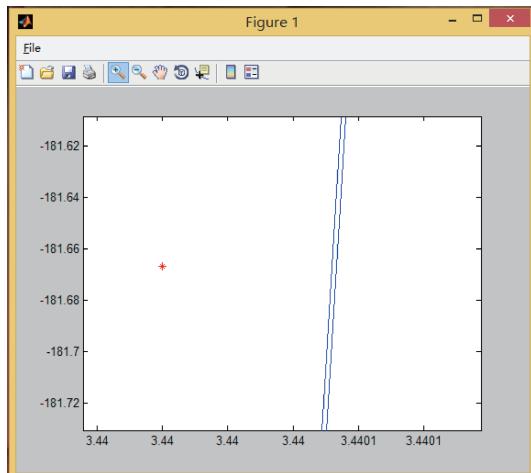


图 9 不同通道间相位差

此判断在各种情形下的触发是否满足要求。同时通过抓包截取数据包,提取每次触发时的触发时间以及触发数据点,更精确的测试触发时的电平以及触发时间。上位机电平触发如图 10 所示,因为设置每次触发后采样 5 s,所以采样 5 个周期后就会等待下一次触发。

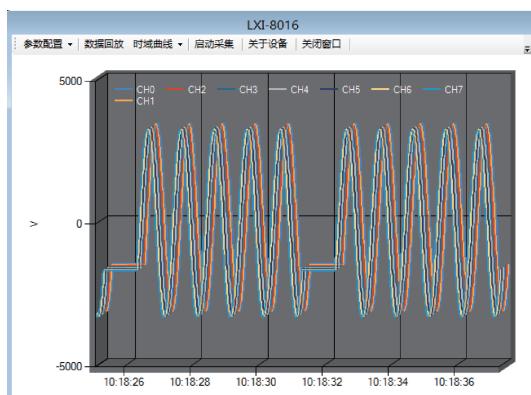


图 10 电平触发波形显示

对一台LXI采集器的测试不仅仅包括以上几个方面,还要考虑各种环境因素以及错误操作处理等。例如极短时间的切断网络能否继续采样;网络拥堵时采样情况;最大通道数采样或采样速率高时采样情况;采集数据超过通道幅值时有何反应等。

## 8 结 论

本文在深入研究了LXI相关协议以及用户需求后,针对目前蓬勃发展的LXI仪器提出了软件测试方法,使用黑盒测试开发一套软件测试系统,实现了LXI仪器网络发现的测试、数据通信及其可靠性的测试以及LXI采集器不同通道间的同步测试、触发测试等,具有可维护性好,可靠性高,通用性强,便于升级等特点。

## 参考文献

- [1] 陶芳胜, 黄珍元, 邱畅. LXI硬件总线触发接口设计[J]. 国外电子测量技术, 2013(5): 21-25.
- [2] 张文, 赵建, 方海燕. LXI同步接口触发子系统的分析与研究[J]. 电子测量技术, 2007, 30(5): 45-48.
- [3] 徐泽君, 黄建国, 郭艳辉, 等. 基于mDNS协议的LXI网络发现功能设计[J]. 电子测试, 2012(2): 1-4.
- [4] LXI Standard Rev. 1.3 [S]. LXI Consortium, Inc., October 30, 2008.
- [5] 钟世春, 马敏, 王厚军. LXI仪器中VXI-11协议的研究与实现[J]. 电子科技大学学报, 2010, 39(4): 65-66.
- [6] Ashley Butterworth, Matthew Xavier Mora. Device

(上接第135页)

- [6] 丁明亮. 检错纠错技术在导弹伺服机构中的实现[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(12): 84-91.
- [7] 邹学玉, 冯振, 张少华, 等. 基于LZW算法的声波测井数据压缩研究[J]. 测井技术, 2013, 37(3): 294-296.
- [8] 许霞, 马光思, 鱼涛. LZW无损压缩算法的研究与改进[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(4): 125-127.
- [9] 黄庆卿, 汤宝平, 邓蕾, 等. 无线传感器网络子带能量自适应数据压缩方法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(9): 1999-2003.
- [10] 杨凤霞, 王亚男. RS编码原理及其在移动多媒体广播中的应用[J]. 电视技术, 2010, 34(1): 15-17.

Discovery with mDNS and DNS-SD [P]. Apple Inc, 2009.

- [7] 毛林燕, 沈晓峰. 改进的正弦波拟合法评价数据采集系统通道间延时[J]. 现代电子技术, 2007, 30(15): 125-127.
- [8] 杨扩军, 田书林, 蒋俊, 等. 基于TIADC的20GS/S高速数据采集系统[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(4): 123-131.
- [9] 李振辉, 李凯, 姜美雷, 等. Matlab环境下基于遗传算法的正弦波信号参数提取[J]. Modern Electronics Technique, 2013, 36(2): 119-125.
- [10] 梁科, 夏定纯. Matlab环境下的遗传算法程序设计及优化问题求解[J]. 电脑知识与技术: 学术交流, 2007(2): 1049-1051.

## 作者简介

王珺, 1990年出生, 工学硕士, 北京航空航天大学在读研究生, 主要研究方向是数据采集系统、测试系统软件设计等。

E-mail: 997438681@qq.com

叶卫东, 1957年出生, 北京航空航天大学自动化学院检测系博士, 副教授。研究方向为嵌入式计算机系统、自动测试设备、网络时间同步技术、无线传感器网络技术、分布式数据采集系统、大屏幕LED显示技术、计算机总线与接口技术、大型结构的综合健康管理技术、故障检测与诊断技术等。

E-mail: ywd57@buaa.edu.cn

- [11] 陶荣能, 蒋婷婷. RS码译码算法对比研究[J]. 电子测试, 2009(9): 32-35.

- [12] 裴东兴, 荆鸿, 刘杰. LZW算法在存储测试系统中的硬件实现[J]. 计量与测试技术, 2010, 37(4): 12-14.

## 作者简介

李婷, 1992年出生, 研究生, 主要研究方向为信息与通信。

E-mail: letitia324@163.com

史晓锋, 1974年出生, 副教授, 主要研究方向为测控系统、航空导航、信息技术。

E-mail: 18813166273@163.com