

100Base-TX 以太网物理层一致性测试技术研究

杨洋, 韩璐, 沈小青, 顾卫红

(中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431)

摘要: 随着通信技术的不断发展以及网络使用需求的不断增长, 网络设备的稳定性及安全性直接关系着互联网技术的使用质量; 依据《IEEE 802.3-2000 和 ANSI X3.263-1995 标准》对以太网物理层的相关要求, 对 100Base-TX 型网络接口物理层一致性测试项目进行研究, 设计了一套 100Base-TX 网络接口物理层一致性测试方法, 通过测试验证表明该方法简单有效, 能满足物理层一致性测试相关需求。

关键词: 网络接口; 物理层; 一致性; 测试

Research on Consistency Testing Technology of 100Base-TX Ethernet physical layer

Yang Yang, Han Lu, Shen Xiaoqing, Gu Weihong

(China Satellite Maritime Telemetry and Telecontrol Department, Jiangyin 214431, China)

Abstract: With the continuous development of communication technology and the increasing demand of network usage, the stability and security of network equipment directly related to the quality of Internet technology. According to the "《IEEE 802.3-2000 and ANSI X3.263-1995 standard》" requirements on Ethernet physical layer, to 100Base-TX Network Interface Physical Layer Conformance Test project research, design a network interface Physical Layer Conformance Test method, through test results show that the method is simple and effective, which can meet the requirements related to the physical layer conformance test.

Keywords: network interface; physical layer; consistency; test

0 引言

以太网物理层定义了数据传送与接收所需要的电信号、线路状态、时钟基准、数据编码和电路特性等, 为网络数据传输提供物理媒介、并且向数据链路层提供物理链接功能和标准接口^[1]。由于网络底层设计有差错控制机制, 普通情况下数据通信出现的错误和冲突能够被及时修正、不容易被察觉, 但当网络通信要求接近于理论设计上限时, 物理层出现的轻微故障会对网络通信产生较为明显的影响。以太网接口的物理特性对网络性能的影响在越是在关键的时刻越起着重要的作用, 十分值得广泛的关注和重视^[2-3]。

本文通过研究网络设备测试模式控制方法、示波器测试模板编辑方法以及示波器触发设计方法, 设计了一套 100Base-TX 网络接口物理层一致性测试方法, 通过测试验证表明该方法简单有效, 能满足物理层一致性测试相关需求。

1 以太网物理层特征信号分析

对以太网物理层信号特征进行深入研究, 是开展以太网物理层一致性测试技术的前提条件, 也是测试技术研究的重要理论基础。依据 IEEE802.3 协议规范^[4], 100BASE-TX 以太网在强制 100 M 全双工通信模式下, 输出差分信号技术指标特征要求如下:

差分输出电压: 950~1 050 mV;

过冲: 正过冲或负过冲 $\leq 5\%$ 并且在 8 ns 内衰减到 $\leq 1\%$;

信号对称测试: $0.98 < \text{正过冲/负过冲} < 1.02$;

上升与下降时间测试: $3 \text{ ns} < \text{上升}, \text{下降时间} < 5 \text{ ns}$ (10%~90%);

上升与下降时间对称测试: 正脉冲上升与下降时间之差 $< 0.5 \text{ ns}$, 负脉冲上升与下降时间之差 $< 0.5 \text{ ns}$ 。

信号眼图模板满足 ANSI X3.263-1995 标准中对眼图模型的要求, 要求见图 1。

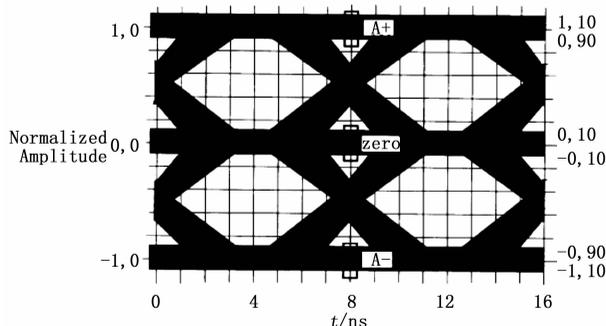


图 1 100Base-TX 眼图测试模板要求

2 物理层测试模式设置方法研究

根据《IEEE Std 802.3-2000》协议要求, 开展对 100Base-TX 网络物理层一致性测试要求捕获 0x55 码型信号进行时域测试, 112 ns 宽度脉冲信号进行幅度域测试。其中 0x55 码型可在网络空闲状态下, 通过设置数字示波器触发方式, 捕获“01010101”连续 4 个 MLT-3 跳变所对应的脉冲波形 (即 0x55 码型), 测试码型如图 2 所示。

在网卡实际电路中, 112 ns 宽度脉冲信号通常不可能产生。对于无法捕获 112 ns 宽度脉冲问题, 业界有着不同的测试意见, 其中泰克公司建议捕获 80 ns 宽度脉冲信号进行指标

收稿日期: 2016-03-12; 修回日期: 2016-05-18。

作者简介: 杨洋 (1983-), 男, 福建邵武人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事无线电计量方向的研究。

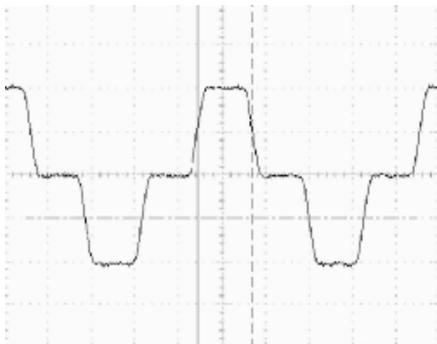


图 2 0X55 码型特征信号

测试, Cisco 公司要求捕获 16 ns 宽度脉冲信号进行指标测试。本文通过研究发现: 在网络空闲状态下, 96 ns 宽度的脉冲信号非常容易获得, 采用 96 ns 替代 112 ns 脉冲信号作为测试信号也最为接近《IEEE Std 802.3-2000》协议对测试的要求。捕获 96 ns 脉冲信号首先需要将待测网口的 Scramble 功能关闭, 强制待测网口发出 Idal 空闲信号进行测试, 也就是设置网卡进入千兆全双工 (100M Full duplex) 模式。

2.1 测试模式操作系统直接设置方法

多数以太网卡支持通信速率自适应或固定模式, 可以通过操作系统对网卡状态寄存器设置网卡通信模式, 将待测网卡强制设置为千兆全双工 (100M Full duplex) 模式。

设置方法以 Windows xp 操作系统下网络工作模式设置为例:

打开系统设备管理器—>点击展开“网络适配器”选项—>点击“待测网卡”选择属性选项—>点击“高级”状态栏选择“速度和双工”选项—>在“值”选项中选择网络工作模式为“100Mbps 全双工”。方法如图 3 所示。



图 3 网卡千兆全双工模式寄存器设置方法

2.2 测试模式“诱骗式”设置方法

对无法强制设置通信速率的以太网卡, 本文通过使用“诱骗式”设置方法将网卡通信速率强制为千兆全双工模式。

其工作原理为: 以太网组网设备之间通信基本都采用自协商模式, 其原理是通过某个网络设备将自己所支持的工作模式的信息发送到网络上的接收端, 并接收对端可能发送过来的相应信息, 从而解决双工模式和 10 M/100 M/1 000 M 速率的自协商问题。它允许设备双方用一种方式“商讨”可行的传输速率, 然后选择其中可接受的最高速率。

“诱骗式”设置方法为: 使用一块能够强制设置通信速率的以太网卡, 向被测网卡 (DUT) 的 RX 端输入强制 100 M 全双工速率的 Idle 信号, 被测网卡 (DUT) 依据通信速率自

协商模式以及速率并行检测机制, 会认为网络完整并同步 100 M 全双工速率, 此时被测网卡的 TX 端就会发出同步 100 M 全双工 Idle 码流, 从而方便测试中可捕获 96ns 宽度的脉冲。

电路连接示意图如图 4 所示。

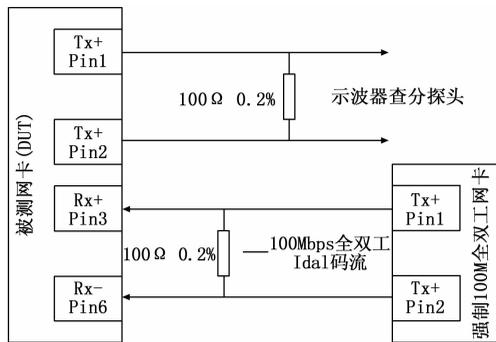


图 4 “诱骗式”方法示意图

3 物理层一致性特征信号测试方法研究

网络接口物理层特征信号测试系统, 由测试仪器及测试夹具组成。其中测试仪器完成对被测信号电参数的捕获分析, 测试夹具引入被测信号并向测试仪器完整输入, 触发设计方法稳定触发捕获被测信号, 实现准确测试技术指标。

3.1 测试夹具选择

《IEEE Std 802.3-2000》标准中对测试夹具负载要求为: 满足 $100 \Omega \pm 0.2\%$ 的电阻器且在频率 ≤ 100 MHz 时, 串联感抗 ≤ 20 nH、并联容抗 ≤ 2 pF。为保证使用测试夹具满足标准要求, 且夹具的“阻抗-频率”特性曲线平坦, 标准建议使用下图所示电路结构及采用的元器件符合相应技术指标。

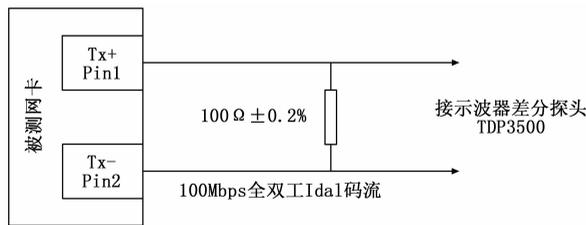


图 5 测试夹具电路结构

3.2 测试仪器选择

在《IEEE Std 802.3-2000》标准中, 要求被测试端口输出信号的最小上升时间为 3.0 ns。因此, 所选用的测试仪器必须有足够的带宽及采样率。

本文设计使用带宽 2.5 GHz 的实时示波器和带宽 3.5 GHz 差分探头组合作为测试仪器, 2.5 GHz 的实时示波器脉冲快沿建立时间为 160 ps、3.5 GHz 差分探头脉冲快沿建立时间为 110 ps, 测试仪器+被测信号脉冲快沿建立时间为:

$$T_{r-total} = \sqrt{\text{系统上升时间}^2 + \text{信号上升时间}^2} = \sqrt{160 \text{ ps}^2 + 110 \text{ ps}^2 + 3.0 \text{ ns}^2} = 3.01 \text{ ns}$$

对上升/下降时间的测试误差在 0.01 ns 左右 (约为 0.3%), 完全满足测试精度的要求, 且根据计量测试经验值, 选用 10 倍于信号频率的采样率进行测试, 测试误差为 0.5% 左右。本文选择的测试系统采样率符合要求。

3.3 示波器触发方式设计

对于以太网卡通用参数测试, 待测信号唯一特征为 96 ns

脉宽，本文使用示波器“脉宽”触发方式对 96 ns 脉宽信号进行稳定触发，并通过垂直偏置和局部放大观察待测参数细节，确保测试数据准确。触发模式设置方法如下：

将触发模式选择为“脉宽触发方式”，使用指定时间范围以内触发模式，对正电压 96 ns 脉宽信号的捕获，设置触发电平为 500 mV、脉宽范围选择 94.0~98.0 ns、触发延迟为 0 ns、正极性电压。

对于占空比失真项目测试，待测信号唯一特征为‘01010101’连续 4 个 MLT-3 跳变脉冲波形，本文使用可视化触发设计完成对特定波形的匹配触发捕获，触发方式设计界面如下图所示，分别通过 6 个信号关键特征点的匹配窗触发特定波形。

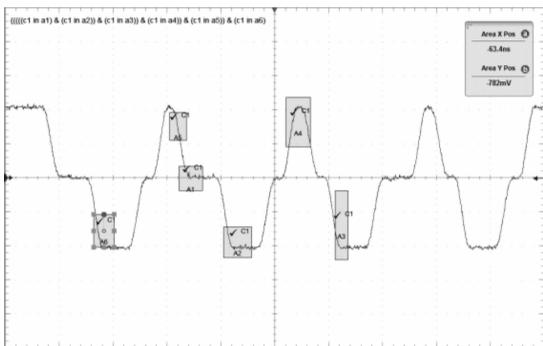


图 6 可视化触发方式设计示意图

4 测试试验

搭建测试环境，设置示波器触发模式，使用“脉冲宽带触发”模式用于稳定捕获 96 ns 脉冲波形^[5]。

4.1 信号幅度及过冲测试

其中“差模输出电压”、及“信号幅度对称度”项目测试使用示波器自动测量 (Measure) 功能中峰值电压 high/low 测量功能及通过 $|+V_{out}/-V_{out}|$ 数据计算完成，“波形过冲”测量在示波器稳定捕获 96 ns 脉冲波形后，设置垂直偏置用于观察波形顶 (底) 部波形细节 (其中正电压选择 700~1 050 mV 偏置范围、负电压选择 -700~-1 050 mV 偏置范围)，使用示波器自动测量 (Measure) 功能中 +Overshoot/-Overshoot 参数测量完成。测试界面如图 7 所示。

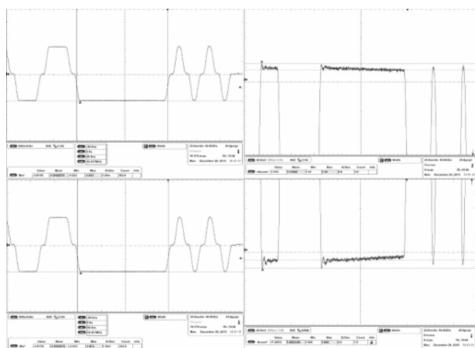


图 7 信号幅度及过冲测试示意图

4.2 信号快沿测试

由于 100Base-TX 接口基于 4B/5B 信号编码方式，当出现下图所示信号波形时，示波器自动测量功能会误将“101”码型信号作为一个脉冲波形上升沿，出现测试错误。为避免以

上错误并满足脉冲波形上升沿测试水平时基分辨率需求，在示波器稳定捕获 96 ns 脉宽待测信号后，需使用“垂直偏置+局部放大”方法准确测试波形上升沿及下降沿数据。

信号上升时间为 0.0~5.0 ns，根据测试要求示波器水平时基分辨率应达到 1~2 ns/div。示波器稳定捕获 96 ns 信号后，由于触发点位置在 96 ns 脉宽下降沿处，受示波器存储深度能力限制，在示波器水平时基分辨率 1~2 ns/div 条件下，无法直接通过延迟功能观察延迟或超前 96 ns 位置信号波形。调用示波器局部放大辅助功能，根据示波器主时基参数选择局部放大倍数，放大后的水平时基分辨率应控制在 1~2 ns/div 条件范围，将局部放大窗口调整至预观察波形细节处实现该参数的准确测试。测试界面如图 8 所示。

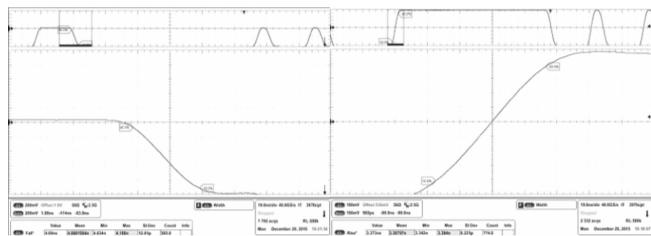


图 8 信号快沿测试示意图

4.3 占空比失真测试

该项目测试需捕获‘01010101’连续 4 个 MLT-3 跳变所对应的脉冲波形，分别测试出图 8 中的 W1、W2、W3 的宽度值，并记录。使用可视化触发方式稳定捕获待测波形，由于占空比失真是指信号在传输过程中由于变形、时延等原因脉冲宽度所发生的变化，该变化使有脉冲和无脉冲持续时间的比例改变了。测试过程中应控制脉宽测量位置在脉冲的 $V_{out}/2$ 上进行。测试界面如图 9 所示。

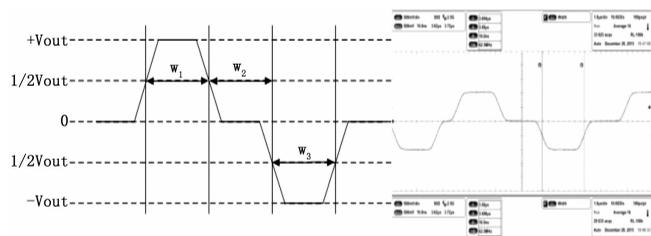


图 9 占空比失真测试示意图

5 总结

物理层基于网络结构底层，负责网络电信号的发送、接收，当物理层性能状态出现问题时，通常容易导致网络出现设备通/断不连续、数据传输速率不满足指标要求、高速传输模式下丢包严重等故障现象。积极开展网络物理层一致性测试工作，可以通过检查网络设备的硬件参数状态，分析网络信号特征的完整性，判断被测设备状态是否满足通信指标要求，网络物理层诱发故障的可能。当系统网络互连性出现问题时，可以通过一致性测试结果来排除本段信号质量导致问题的可能性。此外在网络设备的日常维护过程中，通过定期进行物理层一致性测试，通过测试结果的比对来判断网络端口芯片是否存在参数飘移、性能老化现象，判断设备传输速率及质量是否满足通信要求。

(下转第 82 页)



图 3 检测结果示意图

4.2 样本检测精度分析

对于正样本的识别结果,采用 F1-measure 进行结果分析,其中 F1 值^[12]的计算如公式 (1) 所示。

$$F1 - measure = \frac{Precision \times Recall \times 2}{Precision + Recall} \quad (2)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

其中: TP 值是指被模型预测为正的样本的数量; FP 是指被模型预测为为正的负样本; TN 是指被模型预测为负的负样本数量, FN 是指被模型预测为负的正样本^[13]。在本文选用的 3 208 帧图像作为预测结果分析,具体数量如表 2 所示。

表 2 样本检测结果

分类	TP	FP	TN	FN
数量	1 958	64	1 144	42

由公式 (1) (2) (3) 可得,各个指标的值如表 3 所示。

表 3 正样本准确度

指标	Precision	Recall	F1-measure
值	96.83%	97.9%	97.36%

同时,对于误检结果,采用 FPPW 与 FPPI 两个指标进行分析。FPPW (False Positive per Window) 是指给定一定数目 N 的负样本图像,分类器将负样本判定为“正”的次数 FP,其比率 FP/N 即为 FPPW。由表 (3) 可得 FPPW 的值为 5.3%。

$$FPPW = \frac{FP}{FP + TN} \quad (5)$$

FPPI (False Positive per Image) 的计算方法为在每张图像上运行分类器,检测目标并得到位置 p。然后,检查每张图像内的检测结果是否“击中”标定的目标:

- 1) 若图像内无目标,而分类器给出了 n 个“目标”检测结果,那么 False Positive 次数 +n;
- 2) 若图像内有目标,则判断 p 是否击中 L,若判断未击中,

(上接第 76 页)

参考文献:

[1] 罗 昶,黎连业. 计算机网络故障诊断与排除 [M]. 北京:清华大学出版社,2011,01-02.
 [2] 泰克公司. 眼图和抖动 [J]. 现代电视技术,2006 (1): 99-100.
 [3] 孙灯亮. 数字示波器原理和应用. 上海交通大学出版社 [M].

则 False Positive 次数 +1。

最后:

$$FPPI = \frac{FP \text{ 的次数}}{N} \quad (6)$$

表 4 正样本准确度

	样本数量	FP 次数	FPPI
图像内无目标	2 000	52	2.6%
图像内有目标	1 208	68	5.6%

5 结论

本文采用两种特征,针对两种特征分别选用两种不同的训练手段训练分类器。处理的每帧图像大小为 480×240 大小,计算机硬件为内存 3 G,主频为 2.83 GHz,每帧图像处理时间为 75 ms 左右。实验结果显示,本文提出的方法对光照有较强的鲁棒性,同时检测结果的精确度和召回率均达到 95%。但由于硬件条件的限制,当前方车辆相距较远时,车尾特征不清晰,因此无法正确检测出远距离的车辆,有待进一步研究。

参考文献:

[1] 卢章平,孔德飞,李小蕾,等. 背景差分与三帧差分结合的运动目标检测算法 [J]. 计算机测量与控制,2013 (12): 3315-3318.
 [2] 刘 鑫,刘 辉,强振平,等. 混合高斯模型和帧间差分相融合的自适应背景模型 [J]. 中国图象图形学报,2008 (4): 729-734.
 [3] 刘 洁. 基于光流法的运动目标检测和跟踪算法研究 [D]. 徐州:中国矿业大学,2015.
 [4] 杨先凤,杨 燕. 一种基于 HOG-LBP 的高效车辆检测方法 [J]. 计算机工程,2014 (9): 210-214.
 [5] 李文勇,陶汉卿. 基于最小二乘支持向量机的车型识别算法研究 [J]. 公路交通科技,2010 (1): 101-105.
 [6] 魏 武,龚树锋,龚树超. 一种改进的基于视频的车辆检测与识别方法 [J]. 计算机测量与控制,2010,01: 20-22.
 [7] 沈 晖,李舜酩,柏方超,等. 融合多种特征的路面车辆检测方法 [J]. 光电子. 激光,2010 (1): 74-77.
 [8] 曹 莹,苗启广,刘家辰,等. AdaBoost 算法研究进展与展望 [J]. 自动化学报,2013 (6): 745-758.
 [9] 叶剑华,刘正光. 基于局部二值模式和级联 AdaBoost 的多模态人脸识别 [J]. 计算机应用,2008 (11): 2853-2855.
 [10] 马蓓蓓. 基于 HOG 特征的车辆检测技术研究 [D]. 广州:华南理工大学,2015.
 [11] 徐 渊,许晓亮,李才年,等. 结合 SVM 分类器与 HOG 特征提取的行人检测 [J]. 计算机工程,2016 (1): 56-60.
 [12] 黄 浩,徐海华,王羨慧,等. 自动发音错误检测中基于最大化 F1 值准则的区分性特征补偿训练算法 [J]. 电子学报,2015 (7): 1294-1299.
 [13] 袁 文. 基于稀疏表示的行人检测方法研究 [D]. 南京:南京理工大学,2015.

2012.
 [4] IEEE Std 802.3, 2000 Edition Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications [S].
 [5] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society. IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements [S], 2008.