

有关外部串扰和 10GBase-T 的故事

2004 年 5 月 1.3 版

美国福禄克网络公司

Henricus Koeman

注释：

因为 IEEE 802.3an 10GBase-T 标准以及支持它的 ISO/IEC 和 TIA 标准度还在研究的初始阶段(预计在 2006 年内完成),所以本文会随着标准的深入研究经常地更新。副标题的日期和版本表示的是本文中信息的“新鲜”程度。本文作者定期参与有关标准的研讨会。虽然作者已尽最大的努力来描述标准的要求,但要做待完全精确是不可能的。因此,建议您参考相关的原始文件。感谢您提出宝贵意见! Email : kenny@faxytech.com

在 IEEE 的网站上可以查到大量的相关文件：

<http://grouper.ieee.org/groups/802/3/an/index.html>

<http://www.ieee802.org/3/an/public/material/index.html>

以及有关 10GBase-T 的指南：

http://www.ieee802.org/3/10GBT/public/nov03/10GBASE-T_tutorial.pdf

1. 概述

本文专注于 IEEE802.3an 工作组研究的 10GBase-T 应用以及传输物理层 (=布线系统) 的要求。

IEEE802.3an 工作组的目标是在以下介质上传输 10Gbps 速率：

- 55 米-100 米的 ISO/IEC 11801-2002 Class E 或 TIA/EIA 6 类 UTP 布线系统
- 100 米的 Class F 链路 (每组线对都有独立屏蔽层的屏蔽系统)
- 100 米 “增强” 的 ISO/IEC 11801-2002 Class E 或 TIA/EIA 6 类 UTP 布线系统

实际上,期望同样的 10Gbps 速率可在以下介质上实现：

- 40 米的 ISO/IEC 11801-2002 Class D 或 TIA/EIA 超 5 类 UTP 布线系统
- 80 米的 ISO/IEC 11801-2002 Class D 或 E ScTP (外层屏蔽) 布线系统

对于铜介质双绞线布线系统特性的要求需要经受很大的变化。传统的对插入损耗 (“插入损耗” 是比 “衰减” 更准确用语) 依然保留：信号越强,就越容易提取出信号。

传统的缺陷包括：

- 近端串扰 (NEXT)
- 远端串扰 (FEXT)
- 回波损耗 (RL)

这些缺陷是由常见的 LAN 传输线缆——4 对 8 芯双绞线造成的。这些缺陷所产生的影响的总和构成了信号噪声比 (SNR) 的 “噪声” 部分。在早期的 LAN 中,关键的参数是 “衰减串扰比” (ACR)。这只包括了近端串扰,其在所有噪声中所占的比重最大。由于编码方式越来越复杂,远端串扰和回波损耗也越来越重要了,并在 TIA/EIA-568-A 的附录 5 和 TIA/EIA TSB-95 中首次引入了这两个参数。

在 1000Base-T 标准的研究中对布线系统的要求有了一个根本性的变化,虽然不是显而易见的。在

该标准中，线缆内部的缺陷的影响是通过电气补偿加以弥补的（回音消除）。这些消除功能允许信号在 100 米长 ISO/IEC 11801-2002 Class D 或 TIA/EIA 超 5 类链路上以 1Gbps 的速率传输。

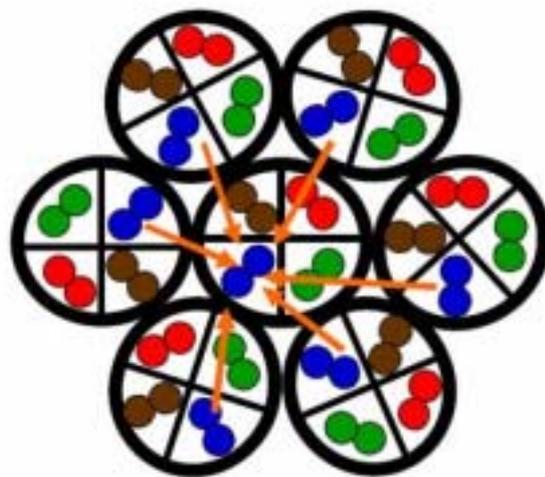
基于电气补偿的经验，进一步的改善以满足 10Gbps 的传输是切实可行的。可是在线缆外的缺陷已成为整个噪声中不可忽视的一部分。这也是第一次感到在不同线缆间的线对的串扰已变成了严重的问题。这种串扰被称作“外部串扰”。

2. 外部串扰

在设备间和办公区，数量不等的线缆通常会被捆扎在一起。捆扎起来的线缆可能会放在管道或是线槽中。同一捆线中一根线缆里的线对会给其他线缆里的线对带来串扰影响。这种串扰通常称为“外部串扰”，在 UTP 中尤为明显。现在在现场中并不进行外部串扰测试；无论是永久链路还是通道，都只是测试一根线缆 4 组线对间的传输参数。图 1 表示一根线缆被另外 6 根线缆包围时相互的串扰影响。箭头指向的市中心线缆的蓝色线对受到的其他线缆的蓝色线对对其的串扰影响。

相邻线缆中绞结率相同的线对间的耦合是最大。相邻线缆中绞结率不同的线对间的耦合要小得多。当然这一规律并不总是对的。

图 1. 图示一根线缆的一组线对受到的其他线缆的串扰影响



耦合是最大
耦合要小得

环绕其的其

围某根线缆
的。当一根线

当然，在一捆线缆中，其他线缆包的位置在其全长度范围内不是固定不变的。当一根线缆不是被相同的几根线缆包围时，线缆间的串扰会小很多。

图 2 表示的是一捆线中的两根线缆的线对间的串扰。

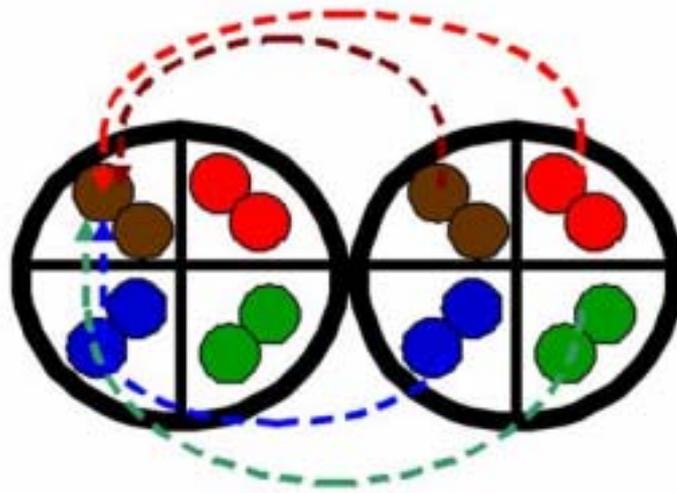


图 2. 一捆线中的两根线缆间的外部串扰
受到外部串扰影响的线缆中棕色线对受到的干扰

许多线缆中，任何线对的绞结率任意长度内都是在恒定的。但是在同根线缆中，不同线对之间的绞结率是不一样的，这是为了减少线对相互间的串扰。因此，可以想象的是在同一捆线缆中，1 号线缆中橙色线对会对邻近其的 2 号线缆中橙色线对带来更强的耦合影响。同样的最差情况会出现在绞结率最低的线对上（大多数时候会是棕色相对，通常会端接在 8 针的 RJ45 连接器的 7-8 针的位置上）。线缆生产厂家的意见是这些规律并不总是具有广泛性的，而且并不是所有的产品都遵循这样的规律。简单的讲就是可能会有例外。但这并不妨碍我们的研究工作。

串扰会随着绞结率哪怕是较小的不同而迅速降低。有两种方法可以有效地减小外部串扰：

- 使用不同厂家的线缆或是同一厂家不同型号线缆已获得不同的绞结率
- 使用经过重新设计的线缆，这种线缆的特性沿其长度是随机变化的（随机的绞结率，随机插座厚度，或随机的间距等）

估计会开发新型的线缆，它能有效地降低潜在的外部串扰的影响（设计成绞结率沿线缆长度是随机变化的）。目前已大量安装的线缆对于 10Gbase-T 系统的广泛应用有着巨大影响力。

显而易见的是带有外屏蔽层的线缆可以有效降低外部串扰的影响，基本可以满足最长 100 米的 10Gbase-T 对通道要求，包括 ISO/IEC11801-2002 Cat 5e D 或 TIA/EIA 超五类布线系统（只是说屏蔽系统！）

然而屏蔽层也有其自身的不足：

- 安装比较复杂，主要是端接时对屏蔽层的处理。UTP 对于在 10Base2 和 10Base5 上用的同轴线的简便性在屏蔽系统中不复存在了。
- 另一个要注意的就是与电源线有关的环地电流问题。如果在电源系统中有环地电流，电缆屏蔽层可能会形成与电源相关的环地问题，因而将引入环地电流的影响。早先 IBM Type 1 型布线系统，虽然从电器传输角度看是非常出色的布线系统，但确实容易受到环地电流的影响。

在选择布线系统时确实要根据实际情况考虑是否需要屏蔽。

3. 10GBase-T 中的信号噪声比的问题

由于 10GBase-T 的研究还在初始阶段，目前还没有就信号的编码方式达成共识，而且且所需的带宽也没有确定。不过对于 10GBase-T 的带宽要求会处于 500MHz 至 625MHz 之间。

实际应用中的编码效率是不可能达到理论上的计算值的。如果要达到 10Gbps 的传输速率，根据香农（Shannon）理论得出的传输速率大约是 18Gbps。当然在编码方式确定后，基于使用的光谱功率密度就可得出实际的信噪比的比值。

对于信号强度，接收到的信号会由于通道存在重的插入损耗而减少。4 对线的通道中的噪声包含以下几个方面：

- 近端串扰（还有综合近端串扰）
- 远端串扰（还有综合的远端串扰）
- 回波损耗（回音）

通道中无关联的信号还有：

- 外部串扰（假设主要是来自 NEXT），参见图 3
- 背景噪声

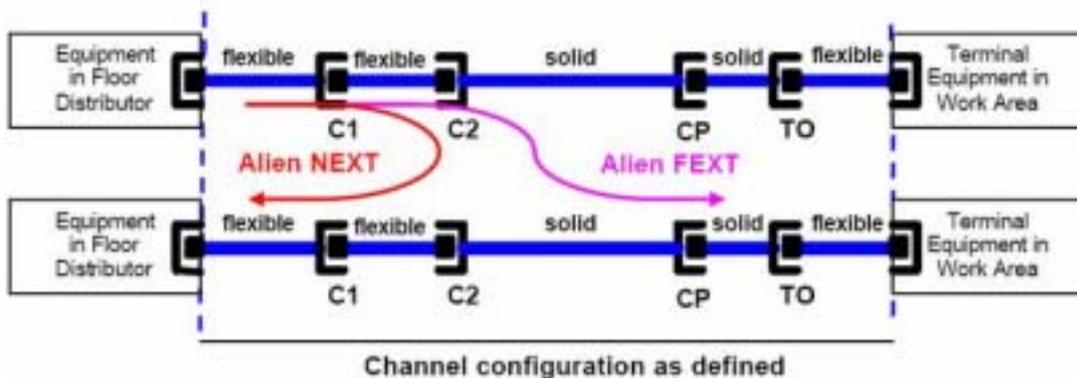


图 3。通道中的外部串扰示意图

有关计算电缆特性中的香农容量的详细分析可以在 IEEE 的网站中获得相关文件。有一些预期容量的例子。这些只是说明实际上可以达到的一些情况。更复杂的模拟情况行要考虑每对线或每个通道的长度会是不一样的。

4. 结论

10GBase-T 的应用比 1000Base-T 更突出了双绞线系统的性能标准上需要的变化。在 10Base-T 的年代，对于信噪比要考虑的最重要的参数是：插入损耗和近端串扰。通常“衰减串扰比（ACR）”的就是它们的量化结果。而在 1000Base-T 中引入的另外两个参数：（等效）远端串扰和回波损耗。这些导致了 ISO/IEC 11801-1999，TIA TSB-95 和 TIA/EIA-568-A 增补 5 等标准的颁布。

在 6 类/E 级布线标准的起始阶段，IEEE 802.3 委员会建议响应频率应该超过 PS ACR（综合衰减串扰比）等于 0dB 时的频率值的 25%。在 6 类/E 级布线系统中 PS ACR=0dB 是的频率大约是 200MHz，因此标准要求的最高频率被定义在 250MHz。制定 6 类/E 级标准（ISO/IEC 11801-2002 和 TIA/EIA-568B-2.1）花了相当长的时间。时至今日，还没有主要的应用需要 6 类/E 级布线系统的传输性能。当有对 10GBase-T 系统应用“感兴趣的声音”时，布线厂家希望能够有一种应用需要 6 类/E 级布线系统的性能。到目前为止很明显的是，限制 UTP 布线系统性能的是一捆线缆中线缆间的串扰影响。

要解决 10GBase-T 中外部串扰的影响，很显然的方案是使用屏蔽布线系统。确实有些道理，然而：

- a) 新设计的“增强”6类 UTP 系统可以满足在 100 米通道长度上的 10GBase-T 的要求——UTP 布线系统的设计人员会提供适当的方案
- b) 屏蔽系统有其难于端接的问题(目前也没有检查屏蔽层端接时的 RF 性能的方法),而且造价较高。还有潜在的环地电流问题。

无论如何，10GBase-T 的研究以及对支持其的双绞线布线系统的要求的研究仅仅是刚刚开始。即使是对目前的 F 级布线系统的要求也不能完全满足 10GBase-T，当然将上限频率由 600MHz 延展到 625MHz 更多的是管理问题而不是技术问题。FLUKE 网络公司最新推出的 DTX-1800 数字电缆分析仪的测试能力是 900MHz，已远远超出 1-625MHz 的要求。而且还有一些与 10GBase-T 有关的测试选件。在相关文件中明确指出了，测试结果只能用于性能的“基准标志 (Benchmark)”，绝不是用于验证是否满足现阶段 10GBase-T 的要求的。这些要求还修改中，其实这些要求本身还都没有明确的说明呢。