



# 如何延展你的数据中心多模光纤网络

康宁光通信 Doug Coleman 著，房毅 译







## 1. 前言

多模光纤依然是数据中心中首选的较为经济的布线介质，这是由于数据中心中那些相对较短链路都在利用低成本收发器所带来的优势。当多模光纤成为经济性的首选时，对于那些可能存在的较长的链路（如大于 300 米）和需要多个连接（增加插入损耗）的情形，它可能被认为有局限性，在本文中，我们将主要对那些超出通道长度和损耗的标准规定的可能性进行一些讨论。



### 衰减与带宽相互依存的类比论证

B 在文章中的字词可以被大脑解读，黑色的曲线和直线的形状（文字）一定是可辨识的。为了使其发生，需要具备两个基本要求：文字必须足够亮，这样他们可以到达眼睛中的传感部位，和图像必须聚焦，大脑可以识别形状。将其类比为这三个过程：1) 将这些字符认为是类似于光纤中的光脉冲（信息）；2) 眼睛对光亮度的依赖关系，像接收机的灵敏度和信号衰减的影响（信号强度）和 3) 焦距或由于带宽限制带来相关畸变而在接收机形成的合成信号的模糊图像（信号纯度）。

描述内容	光纤收发器的世界中	在视觉世界中的近似等同
初始信息元素	光脉冲 	文字 
信号强度的影响（衰减）	衰减后的光脉冲 	昏暗 / 模糊文字 
信号纯度的影响（焦距 / 带宽）	光纤系统带宽的限制带来的脉冲变形，失真 	模糊文字，由于视力焦距限制的失真 

在我大部分时间都有很好的视力之后，45 岁时，我开始面临远视的困扰（不能近距离地聚焦在某一事物上，也就是，我需要老花镜）。第一次注意到这个情形是由于我在设法通过 CD 上的版权日期以确认歌曲专辑的登记日期，我需要将 CD 移至远离我正常的阅读距离，才能实现文字的聚焦。近期则更多的是与我工作有关的，当我在与各种的光纤连接器或微小导管等产品工作时，我感受到了“无法将光纤与细小的孔径配合”的综合征。

有些聚焦问题是可以使用更明亮些的补偿光源（照明灯），不过，这种增加光源的补偿方式对于聚焦问题的帮助也是有限的。增强亮度是选择方法之一，我可能还需要做的是将目标移动到适当的焦距位置（如同我看 CD 盒一样）。对于任何一个有远视的人都知道，确保能够看得清楚的解决方案，需要采取以下的一种措施：

- 1) 调整光源亮级以及眼睛和目标物体间的距离直到找到看得清楚的最佳位置。
- 2) 买付眼镜！

就像是光强度和眼睛焦距的关系一样，在逐渐衰减的信号强度（多数是因为光纤和连接器的衰减）和光纤的距离限制（多数是由于光纤的带宽）之间也存在类似的关系，特别是对于不断提高了传输速度，为数不多的解决方案是：

- 1) 提高光脉冲的强度和 / 或缩短光源和光接收机之间的距离以确保正常工作状态。
- 2) 升级你的系统！

在阅读时的光亮与焦距之间的关系不是线性的，在光亮度非常低的地方，即使文字在我的视觉的焦距窗口之中，也仍然无法看清形状。同样地，如果光强度是理想的，但是文字不在我的焦距窗口之内，也是无法阅读这些打印的文字的。

在 10G 光纤链路中，为了让光接收机收到并读懂光脉冲，我们需要确保光强度和“聚焦”之间的关系维持在一个理想的工作点。就如同随年龄变化的视力一样，老化的收发器也不得不受限于随时间衰落的性能，相对于产品的初期使用而言，这时受到带宽和损耗的影响会更加明显。

IEEE 的模型模拟了几个参数和由此构成的光接收机的性能，并阐述光脉冲通过光纤传输。康宁公司则使用改进了部分参数和康宁公司系统组件的相同模型，这个模型可以实现一个超越 IEEE 保守参数模型的更有信心的设计，允许扩展距离（更长的链路）和更高的通道损耗（更多连接）的解决方案。本文提供了一个对模型的深度解析和康宁的降阶评估表输出从而使系统设计工程师可以找到理想的临界点和对于他们的网络真正的极限。

## 2. 背景/初表

我们看到如表 1 所示，大约每 5-7 年 LAN 和 SAN 协议的传输速度有一个阶跃变化的增长，但是系统设计师通常会因为要提升速率而被迫降低信道的长度和损耗。采用多模光纤标准，比如以太网和光纤通道通常定义了基于最长距离下的最大信道衰减，但是如果信道的损耗高于或距离长于给定的光纤类型上的规定值，那么这些标准是没有提供相应的选项。表 2 总结了在数据中心中多模光纤上运行的较为常用的一些协议的最大信道距离和衰减极限值，如果使用合理的设计工具或者高性能的系统部件，即使在超过链路长度和衰减限值的情况下，也仍然是可以实现一个全速率传输的网络。

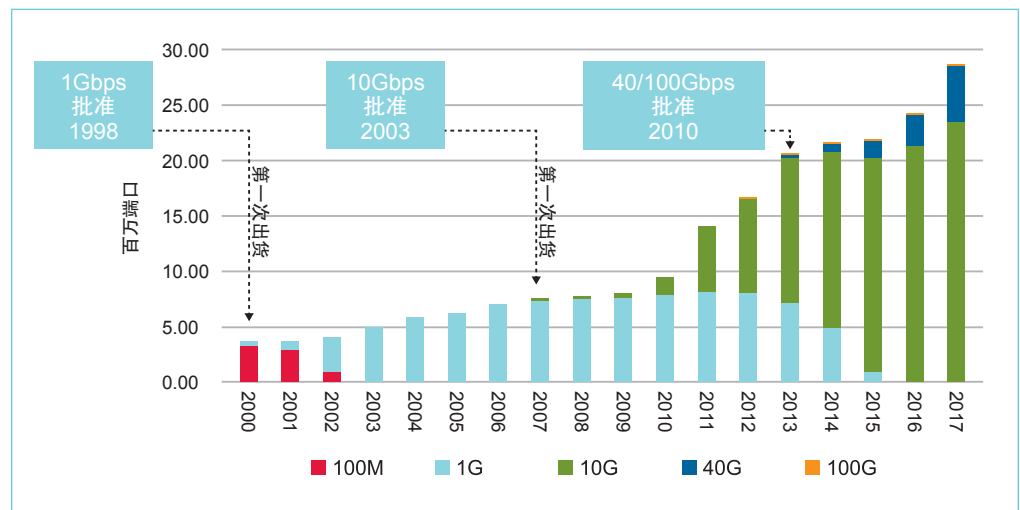


表 1: 市场支持以太网速率的服务器端口数与标准批准时间的对比

应用 (850nm VCSEL)	OM3 (最大距离 m/ 衰减 dB)	OM4 (最大距离 m/ 衰减 dB)
1GbE	1100*/4.1	1100*/4.5
10GbE	300/2.6	400/2.71
40/100GbE	100/1.9	150/1.5
4GB Fibre Channel	380/2.88	400/2.95
8GB Fibre Channel	150/2.04	190/2.19
16GB Fibre Channel	100/1.86	125/1.95

表 2: 常用协议的最大信道长度 / 插入损耗

\*IEEE 中 1G 没有定义 OM3/4

### 3. 模型

这个讨论聚焦点是 IEEE 对于 10G bps 以太网传输的要求，关于 10GBase-SR (基于多模光纤上使用 850nm VCSEL 的 10G bps) 中定义的。尽管是专注于 10G 的标准，所讨论的逻辑性也是适用于 40G 和 100G 以太网和光纤通道标准的限定。

基于 OM3 光纤上 10G 标准定义的工作临界点 (300 米 / 2.6dB) 是来自于 IEEE 的 10G Base-SR (10G 以太网) 物理介质传输模型，这个模型是基于多个参数，包括但不限于光纤损耗，连接器插入损耗，光纤带宽，色散，光源谱宽，光源中心波长，模式噪声补偿和接收灵敏度等。IEEE 模型用于模拟以太网和光纤通道物理接口 (FC-PI-5) 所批准的 8GFC 和 16GFC 光纤通道对大量的参数进行分析 (上面列出的) 预测出一些输出参数和产生了这样一个系统眼图。

基本上，模型确认了每种协议接收的信号是优质信号，考虑到传输信号条件和到达接收器前可能发生的最大畸变。如果我们降低系统长度，那么可以获得更多的余量用以增加连接数量并且依旧收到可接受的信号。问题是：信道插入损耗与长度的关系式怎样的呢？非常不幸的是，他们不是线性的关系。因此，我们需要一个模型来帮助我们确认这些关系，IEEE 10GBase-SR 的模型截图如下所示。

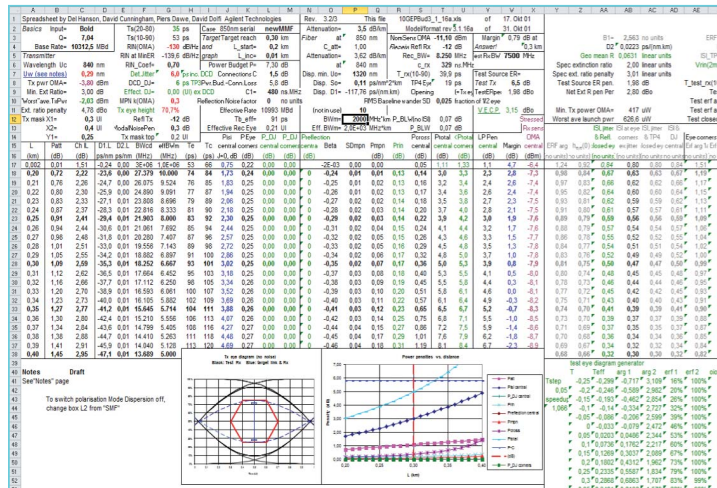


图 1: 用于 IEEE802.3, 10GBase-SR 的建模工具

#### 4. 康宁损耗/距离降阶评估表的理念

在 IEEE 10G-Base-SR 模型中的数据假设了链路中部件的性能是最差的参数，包括了两端收发器，物理布线介质等。通常而言，已发布的标准是依据这些保守的参数值情形而考虑的，仅仅是提供了一个插入损耗和距离关系的临界点参考，如表 2 所示。

康宁公司提供的高性能无源产品是超越标准模型中的这些假设的，降阶评估表提供了表 2 中运行距离和系统损耗的关系矩阵，这其中考虑了康宁公司产品所提供的始终如一的更高性能（特别是光纤损耗，光纤带宽，连接器损耗），这些性能是超越标准模型中采用的部件的性能。另外，不同于标准表格中显示的单一临界点的数值，康宁公司的降阶评估表提供了设计人员一套完整的损耗和距离相互关系的详细说明，确保高质量的信号到达接收端和提供 IEEE 模型验证。

信道损耗与长度之间的权衡是一个非线性的关系，康宁降阶评估表中的值是使用相同的 IEEE 模型推算得出而作为标准的衍生数据，该模型考虑了系统中所有参数的非线性关系。此外，康宁降阶评估表提供一系列明确的光纤类型链路的“理想临界点”，这对于系统规划人员在确保链路性能适用在 IEEE 系统默认的最大长度 / 最大损失限制之内是有帮助的，就如同基于 OM3 光纤上传输 10GbE 的 2.6dB/300 米一样，设计师需要的是确保链路可以在各种条件的信道上正常工作的信心，康宁公司降阶评估表提供了这样的保证。

#### 5. 支持使用这种理念的方法论

这样一来，那些初次看到这个评估表的读者，就会有问题要问，这种理念并非康宁独有的，在标准内容中也已经包含了类似的表格。是的，在 CENELEC 信息技术 - 通用布线系统：第 5 部分：数据中心（EN50173-5）4 和光纤通道物理接口（FC-PI-5）中，我们也已经不再寻求长度和通道损耗的单一数据点，这对于无源布线而言是缺乏灵活性的设计指导，如表 2 所示。进而，我们发现使用降阶评估表更加合适，它是基于通道长度上附加连接器的影响，这个结果在标准中是一个矩阵，提供了一系列的长度和信道损耗组合。这些长度和损耗的组合，数据中心设计师可以更加自如和自信地进行物理设计，不会感受到来自标准限定带来的“约束”。

#### 6. 如何使用康宁的降阶评估表

A 以太网		以太网传输距离和链路损耗/12芯MTP®连接						
康宁光通信		MTP 连接的数量						
B LANscape 解决方案 光纤纤芯 / 包层尺寸 (微米)	传输速率	距离 (米) / 信道损耗 (dB)					D	
	C	2	3	4	5	6		
	抗弯曲 7.5mm OM3 光纤 (50/125)	1	1100 / 4.14	1000 / 4.68	1000 / 4.68	1000 / 4.68	950 / 4.89	E
		10	320 / 3.45	320 / 3.45	320 / 3.01	320 / 3.01	320 / 3.01	
40 / 100		150 / 1.18	140 / 1.44	120 / 1.65	105 / 1.88	90 / 2.09		

Table 3: Corning De-Rating Table for Ethernet and Corning OM3 Fiber

让我们熟悉一下表格的主要区域：

- A: 表格的页眉表明表格适用的协议，协议选项有以太网和光纤通道。
- B: 指明表中数值所适用的光纤类别，目前光纤类别有基于康宁标准的抗弯曲多模光纤的 OM3 和 OM4 光纤。
- C: 表示传输速率，速率是与 A 栏中分别显示的现行的协议所定义有关。
- D: 这行表示在通道中 MTP 连接的数量，表 3 提供了 MTP 连接的举例，这种连接可能是 MTP/

CORNING

LANscape®  
Pretium® Solutions

MTP 连接或者 MTP/MTP 转接模块的连接，在康宁降阶评估表和业界损耗的定义中，这两类连接都是被认为是等同意义的连接，我们没有假定最坏的 MTP 连接器损耗而是采用基于康宁产品的统计分布的数据作为一对连接器的损耗。

E: 表格中的两个值表示最大通道的长度和链路可以允许的损耗分贝，这不是传统上使用最差光纤和连接器损耗的情况下的链路损耗预算。

上表中框图部分的举例中，我们想要确认链路中使用康宁 OM3 光纤，包含 4 对 MTP 连接的 DEGE 产品时，10G 以太网的信道限制。表格显示了我们可以在最大允许损耗 3.01dB 的情况下成功地运行 10G-Base SR 达到 320 米。注意这个 3.01dB 是最大可允许的信道损耗，而不是通常由连接器和光纤最差值计算而得出的链路损耗预算。康宁降阶评估表最大可允许损耗包括了那些与任何无源部件或功率损失无关的未分配的余量。

在表 3 中，对于所有的 2 到 6 对 MTP 连接器组合，10GbE 的距离长度的数值都是保持不变的。这看起来似乎不符合逻辑，增加链路连接器数量就会增加信道损耗，从而影响或缩短信道长度，然而，当使用康宁的高带宽和低损耗产品时，IEEE 模型显示可支持信道长度是保持不变的。记住，康宁降阶评估表显示的是最大的距离 / 损耗关系，对于 320 米这个距离，是因为总计为 6 对连接器而附加损耗较低导致的有限度的补偿。

这种情形下的限值主要是和码间串扰有关的功率损失有关并导致的，它是带宽的一个函数。在 1G 和 40/100G 的限值都是由插入损耗和带宽导致的，就如同我们看到连接器增加（与信道损耗有关）而距离长度减少的情形一样。

当我年轻时，可以在明亮或者昏暗的情况下，近距离或近距离阅读较小的文字，有能力在不同光亮和距离的情形下看清文字。相反地，我年龄增大后我的视力的敏感性下降，视力范围受限，明显地受到距离和光亮度的细微变化影响。同样地，一个带宽和信道插损有限的系统会因为长度的不同而显著变化，由高性能部件组成的系统将会更加稳定，不会因为无源设备的局限而受到影响。

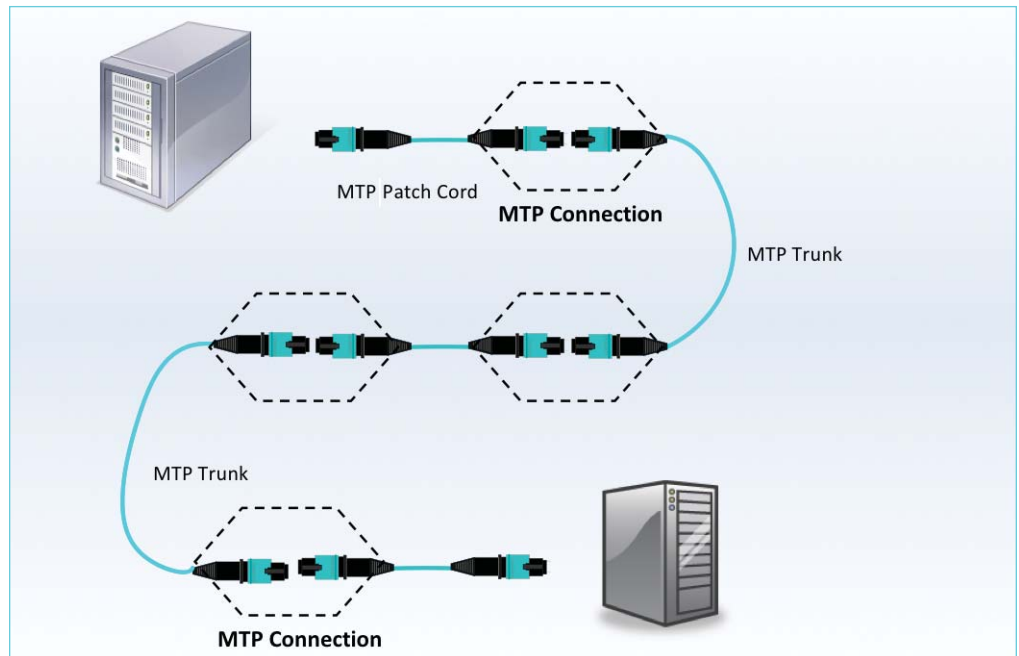
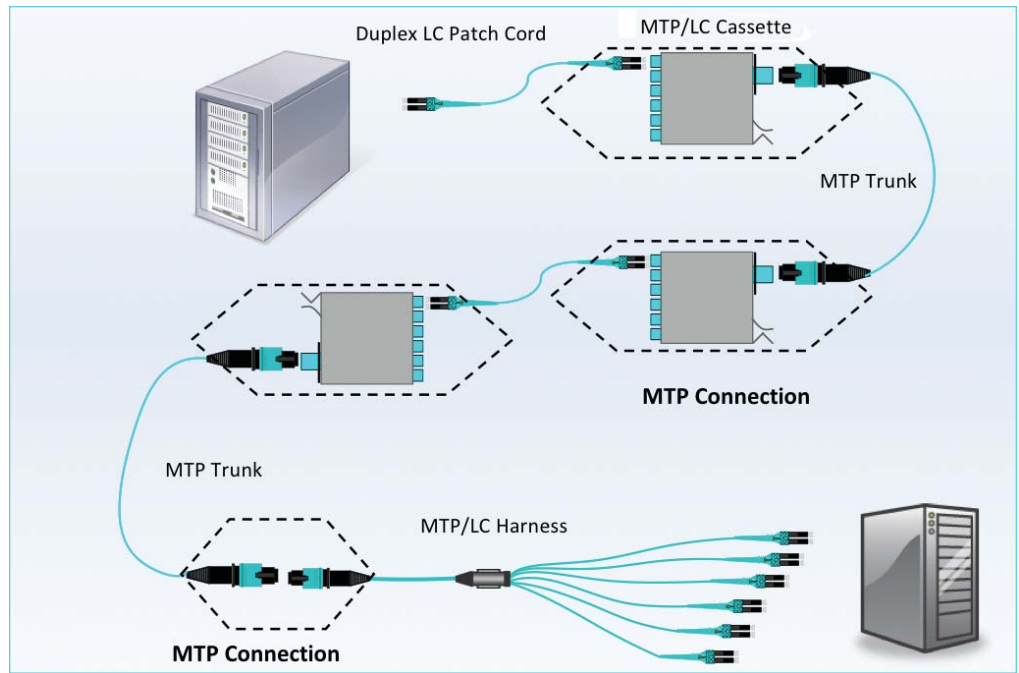


图 3: 并行光学应用中的 MTP 连接

无论是什么系统，在使用康宁降阶评估表时，MTP 连接是被认为等同的，以上两类系统中都是定义为 4 个 MTP 连接。

## 7. 结论

康宁降阶评估表提供了设计人员在使用 IEEE 和 Fiber Channel 标准（表 2）规划系统运行临界点时的一种选择方法，表格提供了对于不同光纤类型、传输速率和连接数量上，一系列的系支持的信道（距离 / 损耗）运行临界点。

这个表格提供了对于如何获得系统的深刻理解，表 2 列出了标准中最大距离定义和有源设备部件制造商保证的限值。然而，无法预料的挑战是，设计人员必须考虑那些超过标准规定的限值的信道情形，康宁降阶评估表可以允许设计人员确认那些超越标准限定之外的布线系统设计。表格中的数值是基于 IEEE 模型推断得出的，考虑了系统所有相关联的参数，这些参数都是基于康宁产品（色散，带宽，插损等）的典型值。在评估了众多参数的相关依赖性，应用表格提供了使用康宁定义的光纤系列产品的信道临界点。

这有助于系统设计人员规划那些不在 IEEE 标准规定以外的参考临界点（最大距离 / 最大损耗）。标准仅仅提供了单一数值，一个设计人员需要对那些运行在这一数值之外的情形更加有信心，表格的其他应用也包括光分路系统设计，介绍的有效衰减，可能超越 IEEE 定义的限值等。尽管这些讨论和实例是聚焦在 10G 以太网，内容也同样适用于光纤通道和表中列出的传输速率，包括了并行光学。如果有更多的问题，可以联系康宁光通信的代表或邮件 EMEA.AE@corning.com。



光纤通信		光纤通道传输距离和链路损耗/12芯MTP®连接				
康宁光通信		MTP 连接的数量				
LANscape® 解决方案 光纤纤芯 / 包层尺寸 (微米)	传输速率 Gb/s	距离 (米) / 信道损耗 (dB)				
		2	3	4	5	6
抗弯曲 7.5mm OM3 光纤 (50/125)	4	500 / 2.27	480 / 2.43	440 / 2.62	420 / 2.78	380 / 3.04
	8	215 / 1.40	205 / 1.62	190 / 1.91	180 / 2.08	165 / 2.32
	10	320 / 3.45	320 / 3.45	320 / 3.01	320 / 3.01	320 / 3.01
	16	140 / 1.17	130 / 1.45	115 / 1.65	100 / 1.95	90 / 2.11
抗弯曲 7.5mm OM4 光纤 (50、125)		2	3	4	5	6
	4	600 / 2.64	580 / 2.78	540 / 2.86	500 / 3.08	480 / 3.18
	8	270 / 1.59	260 / 1.77	235 / 2.00	220 / 2.20	205 / 2.38
	10	485 / 2.45	485 / 2.45	470 / 2.89	470 / 2.89	465 / 3.25
	16	185 / 1.38	175 / 1.59	155 / 1.78	140 / 2.00	125 / 2.18

以太网		以太网传输距离 和链路损耗				
康宁光通信	MTP 连接的数量					
LANscape® 解决方案 光纤纤芯 / 包层尺寸 (微米)	传输速率 Gb/s	距离 (米) / 信道损耗 (dB)				
		2	3	4	5	6
抗弯曲 7.5mm OM3 光纤 (50/125)	1	1100 / 4.14	1000 / 4.68	1000 / 4.68	1000 / 4.68	950 / 4.89
	10	320 / 3.45	320 / 3.45	320 / 3.01	320 / 3.01	320 / 3.01
	40 / 100	150 / 1.18	140 / 1.44	120 / 1.65	105 / 1.88	90 / 2.09
抗弯曲 7.5mm OM4 光纤 (50、125)	1	1100 / 4.51	1100 / 4.51	1050 / 4.76	1050 / 4.76	1000 / 4.97
	10	485 / 2.45	485 / 2.45	470 / 2.89	470 / 2.89	460 / 3.25
	40 / 100	185 / 1.25	170 / 1.50	135 / 1.71	125 / 2.10	115 / 2.18

表 4: 基于康宁抗弯曲 OM3/4 光纤和 MTP 连接器的光纤通道和以太网降阶评估表

\* 最大可支持的信道损耗

#### 参考文献:

1. Doug Coleman, Corning Cable Systems, representative to Fibre Channel Industry Association
2. Review of the 10 Gigabit Ethernet Link Model, White Paper, Authors: D. Cunningham, P. Dawe, Agilent Technologies, ONIDS 2002
3. Part 3: Carrier Sense and Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications – Amendment: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10Gb/s Operation, IEEE Standard 802.3ae, IEEE Computer Society, August 30, 2002.
4. EN50173, Chapter 5: Information technology - Generic cabling systems Part 5: Data centres, CENELEC, 2002
5. Fibre Channel Industry Association