



# 通往400/800G的旅程已经开启

您将选择哪条路线？

作者：西蒙全球数据中心专家 Gary Bernstein



阅读时间：15分钟

## 通往400G及更高速率之路

虽然企业数据中心才刚开始在交换机的上行链路采用100G速率，但400G应用的行业标准已制定，相关的网络设备也已上市。对于许多企业数据中心来说，实现这样的高速率还需要几年的时间，但在大型的超大规模云服务提供商那里已经取得了迅速的进展，他们定义了市场，推动了技术进步，并最终将在未来几年内将高速率应用渗透到企业中。事实上，这些潮流引领者正在将网速提升到800G，并致力于开发光通信器件技术，以实现未来1.6和3.2T速率的可行性。相关的行业标准也不甘落后，IEEE Beyond 400Gb/s以太网研究组已经定义了800G和1.6T光纤应用的物理层目标。

随着新科技不断推动着对更高带宽的需求，再加上通往400G的道路已经就绪，各种类型和规模的数据中心的所有者和经营者需要了解当前基于标准的选项以及如何实施部署，同时密切关注800G及更高速率的发展。此举有利于帮助他们确认哪条通往400G的路线能最好地满足组织机构的需求，以及如何优化基础设施，充分利用现有技术的潜力，实现数字化转型并维持业务增长。

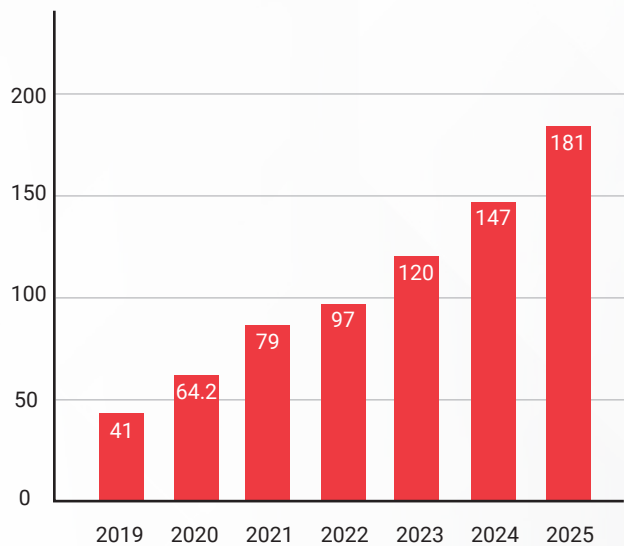


随着对更快传输速度和更高带宽的需求不断增加，你是否已经踏上了迈向400G的道路？

## 主要驱动因素、趋势和技术

数据中心已经巩固了其作为组织机构核心运营支点的地位。全球数字化进程的持续发展使得对更高带宽的需求不断增加，以支持由此产生的额外数据流量。根据这一趋势预测，到2025年，数据中心流量预计将增长超过180 ZB (注：1 ZB的数据相当于10亿TB或1万亿GB)。为了支持这样的流量，Frost & Sullivan咨询公司预测，到2025年，将有4320亿美元投资到数据中心市场。推动这种增长和技术进步的几个关键驱动因素和趋势正在增加对400G的需求。

以ZB为单位的数据量



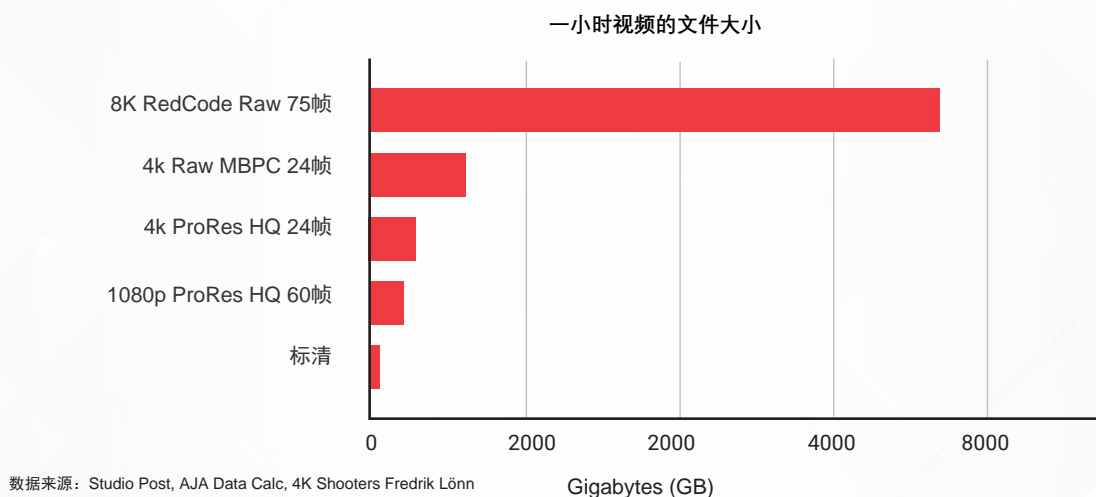
数据来源: Statista 2021



企业业务的数字化转型及新兴应用的采用，正在推动云数据中心对400G应用的需求。

## 新兴应用

总体数据量不断增加的同时，下列的新兴应用也正在将文件的大小推向历史新高，并对计算能力、带宽和低延迟传输提出了更高的要求。在电影和传媒行业中，像RedCode Raw这样的无压缩高分辨率视频的使用正在兴起，用以制作高质量的视频内容。下图展示了这种格式与其他标准视频格式在数据流量需求方面的对比，且随着技术的发展，数据流量的需求还会继续增长。



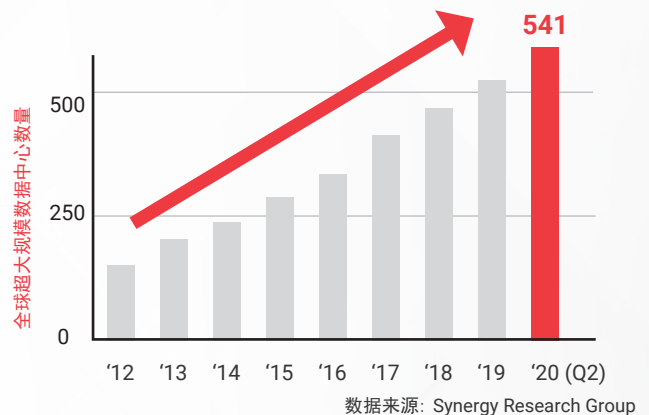
- 大型企业智能建筑和工业4.0计划正在生成越来越多的IoT (物联网) / IIoT (工业物联网) 数据，预计到2025年，联网设备的数量将超过300亿。
- VR (虚拟现实)、AI (人工智能)、ML (机器学习)、汽车自动驾驶和高级数据分析等应用对极低延迟和高速服务器连接的需求正在不断增长。
- 高清核磁共振成像、虚拟远程医疗、高频交易和网上银行等医疗保健及金融领域的应用推动了对带宽的需求。
- 专业传媒和游戏领域中无压缩高分辨率视频、电脑动画制作和视觉效果处理等应用使得文件大小呈指数级增长。
- 居家办公、远程学习、在线零售和视频流媒体的广泛应用正在改变人们的工作模式、购买行为和业务流程，也提出了更高的技术要求。
- 5G移动技术和边缘计算的兴起，以及日益增加的虚拟化和软件定义网络(SDN)，对数据中心环境提出了新的要求，以便在复杂的环境中提供高性能的连接。

## 日益增长的云应用

企业业务的数字化转型及新兴应用的采用，正在推动云数据中心对400G应用的需求。日益增长的居家办公需求、在线交易以及视频流量，显著地推动了云应用，根据Synergy Research Group的调查显示，2020年第一季度云支出就增长了25%。结果表明，数据中心硬件支出在公共云上增加了25%，而在企业和非云服务提供商市场上则减少了3%。

即使面对新冠疫情导致的经济衰退，云支出仍有望持续增长，据思科预测，到2021年底，94%的工作将在某种形式的云环境中进行，而Gartner预测，到2025年，公共云服务的支出将达到近7000亿美元。随着云应用的增

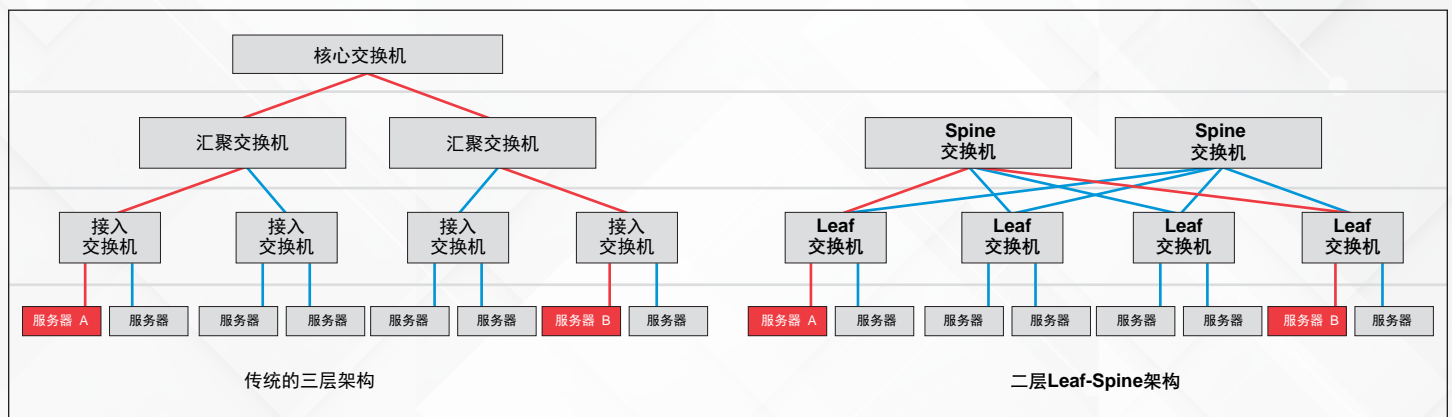
加，超大规模数据中心的数量也在增加，在2020年第二季度就已达到了541个。



## 高度虚拟化的低延迟架构

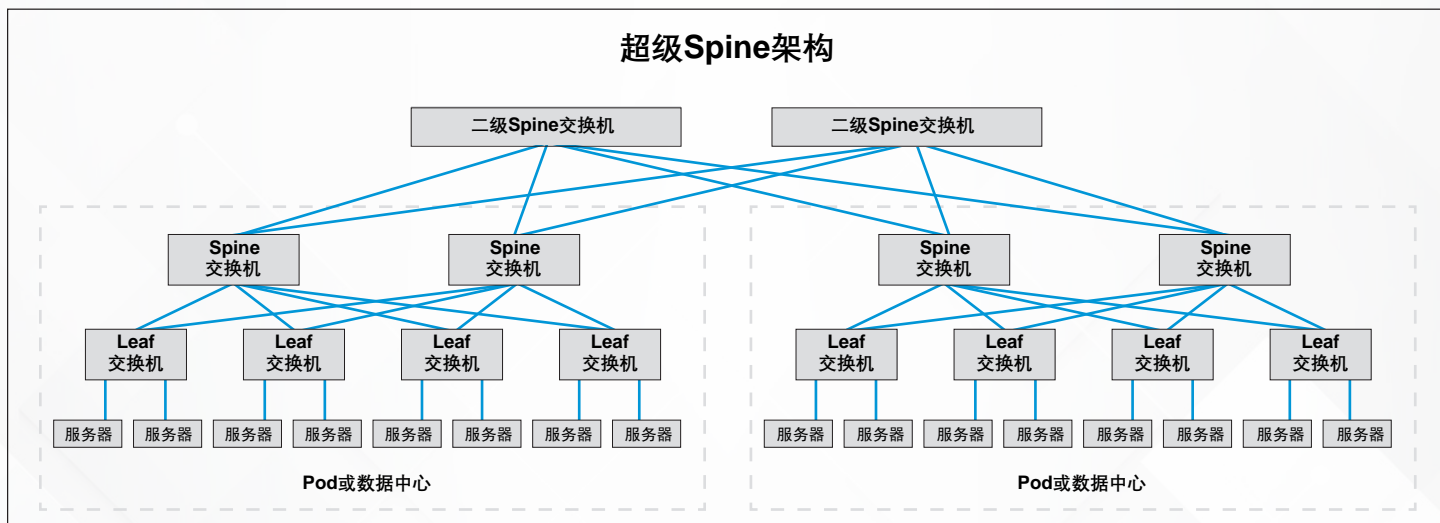
为了支持这些变化，数据中心将日益虚拟化，计算资源可以分布在任何地方，并部署软件定义网络架构(SDN)以管理虚拟机和增加的网络流量。这推动了从传统南北向数据流模式的三层交换机架构向新型leaf-spine交换机架构的转变，以适应东西向数据流模式和更低的延迟。

在leaf-spine架构中，每一台leaf交换机都连接到每一台spine交换机，减少了数据传输过程中虚拟服务器间的交换机跳数，并显著降低了延迟，同时当服务器A需要与服务器B“通讯”时，还可提供下图所示更好的冗余性。



大型高性能云计算数据中心越来越多地通过二级spine交换机将多个spine-leaf网络互连。这种方法被称为超级spine架构，它将独立的功能区(有时被称为pod或hall)连接起来，并实现可连接多个分散的数据中心的数据中心互连(DCI)。

超级spine架构导致大量数据在互连网络之间进行传输，从而推动了该环境对更高带宽的需求。由于每个互连网络都可以轻松地以模块化的方式进行复制，因此超级spine架构也具有高度的可扩展性，能够更快地实现交付，以满足急剧增长的云服务需求。



为了支持需要极低延迟传输的最新的实时和云原生应用以及5G移动技术，在设备和用户附近进行数据处理和分析的边缘数据中心，正被迅速部署到客户所在地、5G接入点、区局电信枢纽和区域托管数据中心。

边缘数据中心也需要更高带宽的计算来进行本地数据的处理，这推动了对下一代400G网速的需求，用以将聚合数据发送回核心和云数据中心，并与其他边缘数据中心互连。

## 科技进步

编码方案、收发器和光通信技术的进步也是400G应用的主要驱动因素，为高速率应用的实现提供了技术和经济的可行性。其中一项重大进步就是PAM4 (四级脉冲幅度调制) 编码方案的制定，其比特率是之前的NRZ (不归零) 编码方案的两倍，可支持每通道25、50和100Gb/s的速率，能更高效地实现25G-50G-100G-200G-400G-800G的迁移路线，并减少了支持应用所需的基础设施的数量。例如，采用每通道10Gb/s的NRZ编码的40GBASE-SR4 40G应用需要8芯光纤，其中4芯发射，4芯接收，速率均为10Gb/s。而采用每通道50Gb/s和100Gb/s的PAM4编码，在8芯光纤上即可支持200G和400G应用。

收发器技术也在不断地进步，可插拔收发器模块正从NRZ编码的每通道10Gb/s发展到PAM4编码的每通道50Gb/s。最新的QSFP-DD和OSFP接口的可插拔收发器即为可支持400G应用的8通道50Gb/s收发器。如今市场上已有几种QSFP-DD和OSFP接口的收发器，可用于多种多模和单模应用。这些可插拔收发器配上光纤布线和连接器，即可灵活地支持不同的传输速度并充分利用现有硬件。



光通信技术的进步也有助于实现400G应用，如SWDM (短波分复用)，可在单芯多模光纤上以多个波长传输数据。相较于在16芯光纤上以50 Gb/s的单芯速率8芯收/8芯发来实现400G的技术，SWDM在单芯光纤上用两个不同的波长来实现双50Gb/s速率的数据传输，从而可将所需的光纤数量减半。

在单模应用中，另一个技术驱动因素就是全新的低功耗且经济高效的短距离收发器技术，可支持500米的400G传输。由于数据中心的链路长度通常不超过500米，因此对于数据中心来说，部署昂贵的用于长距离户外单模应用的大功率激光器是不合算的。

随着这些技术的进步，提供服务器和网络间接口的网卡速率已从10G发展到25G，再到50G，以及现在的100G。由于数据中心需要为最新技术提供高度虚拟化、低延迟的环境，企业和超大规模云数据中心都在向更快的服务器速度迁移。如今，企业数据中心正在向25G和50G服务器网卡迁移，而云数据中心正在向50G和100G服务器网卡迁移。



随着主要驱动因素、发展趋势和技术的到位，400G应用的相关行业标准已经制定。



## 400G应用的前景展望

随着主要驱动因素、发展趋势和科技的到位，400G应用的相关行业标准已经制定。目前已有多种方法可在交换机至交换机和交换机至服务器链路中部署此类应用。虽然首批部署只在云数据中心中，但对于企业来说，也需要密切关注一下未来的可选方案。

### 应用标准

目前针对400G的IEEE以太网标准包括多模和单模应用，通过现有的光纤布线系统和连接器来实现各种距离和形式的传输，如下表所示。

收发器	标准	是否已上市	接口类型	有无扇出选项	光纤类型	距离(米)	光纤芯数	连接器
400G-FR4	IEEE802.3cu/MSA	是	QSFP-DD,OSFP	无	OS2	2000	2	LC
400G-DR4	IEEE802.3bs	是	QSFP-DD,OSFP	有	OS2	500	8	12F MTP
400G-SR8	IEEE802.3cm	是	QSFP-DD,OSFP	有	OM3/OM4	70/100	16	16F/24F MTP
400G-SR4.2(BD)	IEEE802.3cm/MSA	Q1-2022	QSFP-DD	有	OM3/OM4/OM5	70/100/150	8	12F MTP
Coming Soon: 400G-VR4	802.3cu	Q2-2022	TBD	有	OM3/OM4	30/50	8	12F MTP
Coming Soon: 400G-SR4	802.3db	Q2-2022	TBD	有	OM3/OM4	70/100	8	12F MTP

短距离DR4单模和SR4多模应用采用了4芯发射和4芯接收的并行光纤传输模式，可由常用的8芯或12芯MTP连接（即Base-8或Base-12）提供支持，该连接已在40G和100G并行光纤应用中使用了多年。值得注意的是，400GBASE-SR4.2在采用并行光纤传输的同时，也采用了昂贵的SWDM技术，通过每芯光纤上两个波长的50Gb/s传输来实现100Gb/s的速率，采用OM3、OM4和OM5多模光纤均可支持，也是目前唯一针对OM5多模光纤优化的应用。

而400GBASE-SR8需要采用16芯多模MTP连接，缺乏安装基础，市场接受度有限。行业标准化组织正在密切关注16芯MTP连接的可行性，同时，IEC也在制定连接器规格，以将400G扇出连接8个50G链路（即8X50），并有可能在未来的800G应用中支持8X100G扇出链路。需要注意的是，由于400G系统的信噪比较低，因此需要更好的回波损耗性能，建议在该类部署中采用APC（斜角研磨端面）连接器，该连接器具有8度斜角端面，可减少到发射器的信号反射。

除了上述的现有标准之外，IEEE正在制定新的低成本多模选择802.3db，包括基于单通道100Gb/s PAM4编码的400GBASE-SR4 (短距离) 和400GBASE-VR4 (极短距离) 应用。与现有的400GBASE-SR8和400GBASE-SR4.2相比，新应用更简单、更经济，将会更容易被市场接受。使用现有的Base-8或Base-12 MTP

OM4多模光纤即可轻松且经济高效地支持400GBASE-SR4和400GBASE-VR4，无需使用16芯多模MTP连接和昂贵的SWDM技术及OM5多模光纤。

### 迁移路径

在过去的几年中，企业数据中心和云数据中心已变得截然不同。两种环境中的服务器和上行链路速率处于不同的阶段，需要不同的解决方案来支持应用。企业数据中心主要部署多模光纤，带宽

要求较低，而云数据中心则以单模光纤为基础，带宽要求较高。如下图所示，两种不同环境中400G应用的迁移路径也不同。

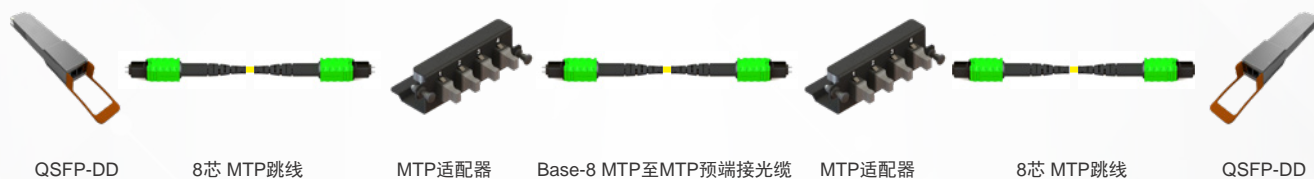
	企业数据中心		云数据中心	
	服务器	上行链路	服务器	上行链路
现有	↓ 1/10G	↑ 10/40G	↓ 10/25G	↑ 40/100G
未来	↓ 25G	↑ 100G	↓ 50G	↑ 200G
	或		或	
	↓ 50G	↑ 200G	↓ 100G	↑ 400G
	或		或	
	↓ 100G	↑ 400G	↓ 200G	↑ 800G

## 交换机至交换机链路

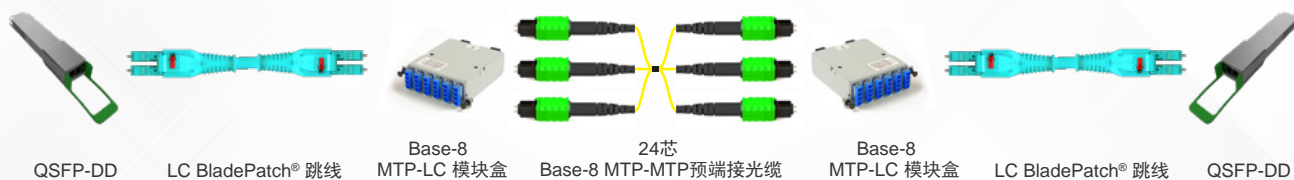
如前所述，400G应用最初被部署在云数据中心中，用于交换机至交换机的上行链路，可以是leaf至spine，也可以是spine至超级spine。如下图所示，该类链路可使用单模Base-8 400GBASE-

DR4、单模双工400GBASE-FR4/FR8或多模Base-8 400GBASE-SR4.2进行部署。

### 8芯单模400G交换机至交换机信道 400GBASE-DR4



### 双工WDM单模400G交换机至交换机信道 400GBASE-FR4/FR8



### 8芯400G多模交换机至交换机信道 400GBASE-SR4.2



## 扇出设计

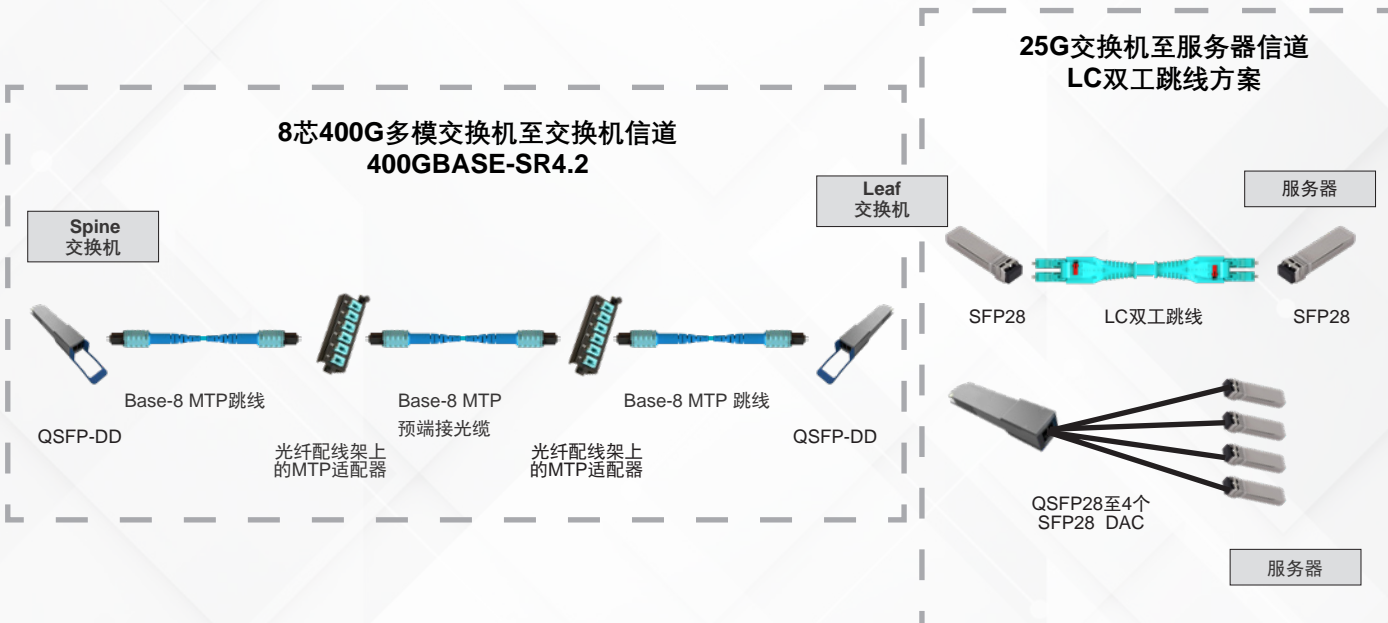
大型企业正开始评估向400G迁移的路线。主要的部署方式是采用扇出设计，将单个400G交换机端口扇出连接至8个50Gb/s连接或4个100G连接，以优化端口利用率和交换机密度，从而降低成本。

4X100G或8X50G等扇出应用可采用即插即用Base-8 MTP连接系统。相对于传统的使用MTP至LC模块盒和双工跳线的设计，可以通过MTP适配器和MTP至LC混合扇出组件来实现扇出应用，如下图所示的400GBASE-DR4 4X100G扇出应用。



在服务器连接才刚开始向25G迁移的企业数据中心中，交换机至服务器的链路可以通过使用QSFP-DD到QSFP28接口的DAC（直连铜缆）或

AOC（有源光缆）来实现直连，或通过使用收发器和双工光纤跳线的结构化布线实现，如下图所示。



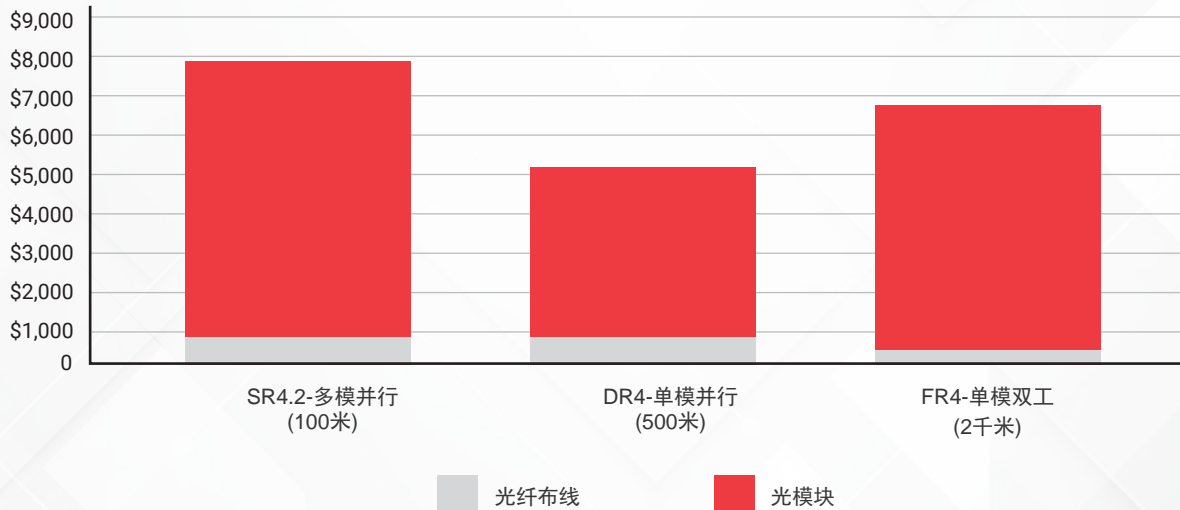
## 400G的成本考量

尽管400G的部署有多种方式可选，但没有哪种基础设施设计方案能适用于所有的数据中心。数据中心管理人员需要根据企业未来的规划仔细权衡各种选项，同时要考虑充分利用基于现有基础设施及信道长度的光缆和连接硬件。

尽管与使用低成本VCSEL (垂直腔面发射激光器) 技术的多模部署相比，单模部署需要使用昂贵的大功率激光器，成本通常会更高，但在某些情况下，短距离单模却又比采用SWDM (短波分复用)

的多模技术更划算。由于单模光器件在超大规模数据中心中被大量使用，其成本已经大幅下降到多模解决方案的水平，甚至更低。如下图所示，这使得单模对许多数据中心来说更具吸引力。如前所述，由于即将面世的8芯400GBASE-SR4并行光纤应用无需使用昂贵的SWDM技术和OM5多模光纤，OM4多模光纤即可支持，因此，预计该应用最终将为企业提供更比400GBASE-SR4.2更加经济高效的可选方案。

400G信道价格对比  
光纤布线和光纤收发器



注意：

- 使用市场上光纤布线和收发器的平均价格估算。
- 包括30米光纤布线信道，含OM4多模和OS2单模预端接光缆、模块盒/适配器和跳线。
- 每个信道含2个收发器。

## 400G 以上的应用

尽管400G现在已经成为现实，但它只是漫长旅程中的一个站点。IEEE Beyond 400Gb/s以太网研究组已经基于400G的逻辑架构开始着手定义800G的目标，并预计在2025年实现以下针对数据中心的目标：

- 在8对多模光纤上支持至少50米的短距离传输
- 在8对多模光纤上支持至少100米的传输
- 在8对单模光纤上支持至少500米的短距离传输
- 在8对单模光纤上支持至少2千米的传输
- 在4对单模光纤上支持至少500米的短距离传输
- 在4对单模光纤上支持至少2千米的传输
- 在单模光纤上以每个方向4个波长实现至少2千米的传输

此外，IEEE还在积极定义1.6T应用，目标包括在8对单模光纤上支持到500米和2千米的传输。8对多模和单模应用目标最终可推动对Base-16 MTP连接的需求。

谷歌、微软和Facebook等超大规模云服务提供商也正在通过MSA (多源协议) 积极开发800G和1.6T应用技术，包括新的16通道可插拔收发器模块和其他光纤解决方案，目前面临的主要挑战在于功耗。

虽然没有人能确切知道400G以上的应用将如何发展，但有一点是可以确定的，800G及以上应用将会推动MTP和双工连接器件的进一步发展，比如小型可插拔接口等。在200Gb/s PAM4实现之前 (也在IEEE Beyond 400Gb/s以太网研究组的研究范围内)，这些应用将需要使用更多光纤，因此布线基础设施的性能和有效的线缆管理将变得更加重要。



随着对更快传输速度和更高带宽的需求不断增加，你是否已经踏上了迈向400G的道路？

## 路在前方

每一项新技术的发展，总伴随着需要克服的挑战和需要探索的路线。然而，通往400G的旅程已经开启，等待着做好准备的企业和组织机构迈出这一步。即使这样的高速率应用目前还不在于您的中长期发展规划中，正如我们多年来从其他类似的发展规律中看到的那样，当您沿着这条路线升级到更高速率时，所获得的改进将大大拓宽您的选择范围。这将为提供多种途径，使用经过验证的解决方案来实现既定的目标。

无论您选择哪条路线，也无论您的数据中心是哪一种类型和规模，您都可以完全信赖西蒙，西蒙公司已传承五代，并持续稳步发展，可提供世界一流的高性能解决方案和专业的数据中心设计服务，公司拥有全面的数据中心合作伙伴体系和全球性的销售、物流和安装商网络，是支持您的企业从10G到400G及更高级别应用迁移的首选行业领导者。

## 关于作者

Gary Bernstein是西蒙全球数据中心解决方案专家，在数据中心基础设施、通信、铜缆和光纤结构化布线系统领域拥有超过25年的行业经验和丰富的专业知识。他是TIA TR42.7铜缆布线委员会和TIA TR42.11光纤委员会和多个IEEE802.3工作组和研究组的成员，包括40/100G“ba”、50/100/200G“cd”、200/400G“bs”及Beyond 400G等工作组。



由于我们在不断地改进产品，西蒙保留更改产品规格和供货的权利，恕不另行通知。

### 上海代表处

地址：上海市遵义路100号  
虹桥南丰城A座1910室  
电话：86-21-5385 0303

### 北京办事处

地址：北京市建国门外大街22号赛特大厦1108室  
电话：86-10-6559 8860

### 广州办事处

地址：广州市天河北路28号时代广场中1104室  
电话：86-20-3882 0055

### 成都办事处

地址：四川省成都市高新区交子大道333号中海国际中心E座2111室  
电话：86-28-6275 0018

### 香港办事处

地址：Unit 907, 9/F  
Silvercord Tower 2, 30  
Canton Road, Tsim Sha Tsui  
电话：+852 2959 2808