

光纤网络中的光开关技术与应用

随着光纤通信技术的发展和密集波分复用系统的应用,光联网已经成为网络发展的趋势。光联网技术的实现主要依赖于光开关、光滤波器、光放大器、密集波分复用(DWDM)技术等器件和技术的进展。密集波分复用技术的发展是推动全光通信发展的重要因素,而光联网的提出将使设备制造商、电信运营商都面临巨大的机遇与挑战。

光开关是全光交换中的关键器件,可实现在全光层的路由选择、波长选择、光交叉连接以及自愈保护等功能。目前光开关主要应用包括:

光交叉连接(OXC)。OXC由光开关阵列组成,主要实现动态的光路径管理、光网络的故障保护、灵活增加新业务等。光交叉连接对开关的要求主要有低插损、低串扰、低开关时间以及无阻塞运作。目前微机电系统技术已经在光交换应用中进入实验阶段,由于其对波长、数据速率和信号格式都透明,在不远的将来有望实现光层上的交换。

用光开关实现网络的自动保护倒换。当光纤断裂或传输发生故障时,就可以通过光开关改变业务的传输路径,实现对业务的保护。通常这种保护倒换只需 1×2 端口的光开关就可以实现。

用 $1\times N$ 光开关实现网络监控。在远端光纤测试点通过 $1\times N$ 光开关把多根光纤接到一个光时域反射仪(OTDR)上,通过光开关倒换实现对所有光纤的监测。或者插入网络分析仪实现网络在线分析。

光纤通信器件测试。光器件、光缆以及子系统产品在测试过程中,可以使用光开关同时测试多个器件,从而简化测试,提高效率。

光分插复用器(OADM)。主要应用于环形的城域网中,实现单个波长和多个波长从光路自由上下。用光开关实现的OADM可以通过软件控制动态上下任意波长,这样将增加网络配置的灵活性。

传统的光开关技术主要采用固态波导和光机械两种技术:固态波导开关由于有较高的串音、损耗和功耗,只能在有限的开关阵列中应用,不适合向大规模的开关阵列中扩展;机械开关虽然有比较低的插入损耗和串音,但其设备庞大、可扩展性一般,也不适用于大规模的开关阵列。目前已经涌现了很多新技术,主要包括微机电光开关、喷墨气泡光开关、液晶光开关、热光效应开关、声光效应开关、全息开关、液晶光栅开关等。

一般主要用以下参数考察光开关:开关速度、阵列大小、损耗、可靠性以及可扩展性等。基于不同的应用,各种技术的发展也不尽相同。下面对几种主要技术及其应用进行分析:

基于微机电系统 (MEMS) 的光开关, 由于其与光信号的格式、波长、协议、调制方式、偏振、传输方向等均无关, 而且在损耗、扩展性上都要优于其它类型, 与未来光网络发展所要求的透明性和可扩展等趋势相符合, 有可能成为核心光交换器件中的主流。其原理就是通过静电或其他控制力使可以活动的微镜发生转动, 从而改变输入光的传播方向。由于 MEMS 技术可以利用类似 IC 的工艺成批加工生产, 尽管制造过程比较复杂, 但是可以批量生产, 因此降低了单个的成本。

目前二维子系统最大容量是 32×32 端口, 多个子系统可以连接起来形成大的交叉阵列, 最大可以达到 512×512 端口。由于是机械运动, MEMS 光开关的开关时间都在 ms 量级。MEMS 光开关的插损比较大, 主要包括透镜的耦合损耗、高斯光传播损耗以及镜子角度偏差引起的损耗。OMM 公司 4×4 光开关的插损达到 3dB, 16×16 开关阵列的插损增加到 5 至 7dB。另外, 任何机械摩擦、磨损以及外部振动都可能使它的可靠性降低。

OMM 公司预计于 2001 年中期推出三维产品; 在原理上类似二维方案, 但在 N 个输入光纤和 N 个输出光纤之间仅使用了 $2 \times N$ 个微镜, 每个微镜都有 N 个可能的位置, 因此驱动结构非常复杂, 成本也随之增加。

尽管 MEMS 技术还有很多不足, 但仍得到了众多公司的推崇, 技术也在蓬勃发展。Nortel 在 2000 年初以 32.5 亿美元购得制造 MEMS 光器件的 Xros 公司。Lucent 推出了 Wave Star Lamda Router 的全光路由系统, 其光交叉连接系统可实现 224×224 的交换容量。

目前主要供应商包括 OMM、Lucent、Nortel、IMM、Cronos、Memscap、Calient 等。

Agilent (安捷伦) 公司结合喷墨打印和硅平面光波导两种技术, 开发出一种二维光交叉连接系统。安捷伦公司的全光交换芯片曾在 OFC2000 年会上引起轰动。该设备由许多交叉的硅波导和位于每个交叉点的微型管道组成, 微型管道里填充一种与折射率匹配的液体用以允许缺省条件下的无交换传输。当有入射光照入并需要交换时, 一个热敏硅片会在液体中产生一个小泡 (Bubble), 小泡将光从入射波导中的光信号全反射至输出波导。

Agilent 公司目前已经制造出 32×32 和 32×16 端口光开关子系统, 并且可以把这些子系统连接起来组成更大的交换阵列。其开关响应时间小于 10ms, 可以用于光纤保护倒换。并且, 这种开关对偏振相关损耗和偏振模色散都不敏感; 由于器件本身没有可活动部件, 因此可靠性很好, 可以满足电信应用中时间可靠性要求; 同时这种光开关可以大批量生产。目前供应商有 Agilent 公司。

液晶 (Liquid crystal) 光开关是根据其偏振特性来完成交换的。典型的液晶器件包括无源和有源部分, 它实现光交换主要由以下步骤来进行: 首先把输入光分为两路偏振光, 然后把光输入液晶内, 液晶根据是否加电压来改变光的偏振状态: 由于电光效应, 在液晶上加电压将改变非常光的折射率, 从而改变光的偏振状态; 最后光射到无源光器件上, 根据光的偏振方向把光输出到预定的输出端口。

液晶光开关理论上的网络重构性可能比较好，但是目前最大端口数为 80，因此液晶被认为更适合用于较小的交换系统中。由于在液晶中光被分成偏振方向不同的两束光，最后把它们合起来，如果两束光的传播路径稍有不同，便会产生插损(对 1×2 开关 1dB， 1×8 开关 2.5dB)，目前消光比为 40~50dB。开关速度方面，可以通过加热液晶来提高速度，但不可避免地使设备功耗增加。另外，更多的商家开始研究基于液晶的可调光衰减器；由于与偏振相关，也可用于制作偏振模色散(PMD)补偿器。

目前供应商包括 Corning、Chorum、Kent Optronics 等公司。

热光技术(Thermal-Optics)主要用来制造小的光开关：如 1×2 、 2×2 等，但通过在一块芯片上集成 1×2 光开关也可以组成较大的交换系统，如 64×64 端口。现在主要有两种类型的热光开关，数字光开关(DOS)和干涉式光开关。干涉式光开关结构紧凑，但由于对光波长敏感，需要进行温度控制。数字光开关性能更稳定，只要加热到一定温度，光开关就保持同样的状态。最简单的器件是 1×2 开关，叫做 Y 型分路器。对 Y 型的一个分支加热时，材料的折射率就会发生改变，将阻止光沿着这个分支传输。数字光开关可以用硅和高分子聚合物制作；后者功耗小，但插损大。

干涉式光开关主要利用 Mach Zehnder 干涉原理，也就是利用光的相位特性，光的相位变化与传输距离相关。首先输入光被分成两路，在两根光波导里分别传输，最后合在一起。其中一根波导被加热来改变波导的折射率，从而改变光传输距离，使得一束光到达时与另一束光不同相，利用干涉原理使合成光束减弱甚至关断。

热光开关阵列还可以和阵列波导光栅(AWG)集成在一起组成光分插复用器。AKZO NOBEL 公司早在 1991 年就已经推出了聚合物数字光开关，目前聚合物热光开关已经进入规模生产。

目前供应商包括 NTT Electronics、JDSU、Corning、Alcatel、AKZO NOBEL 等公司。

通过全息(Holograms)反射在晶体内部生成布拉格光栅，当加电时，布拉格光栅把光反射到输出端口，反之，光就直接通过晶体。利用这种技术可以很容易地组成上千端口的光交换系统。并且它的开关速度非常快，只需几个 ns 就可以把一个波长交换到另一个波长。由于没有可移动器件，可靠性比较好。根据 Trellis Photonics 公司， 240×240 端口的交换系统的插损低于 4dB，端到端的重复性也比较好，但是它的功耗比较大，并且需要高电压供电。

这种技术可以跟三维 MEMS 技术竞争，但它更适合单个波长的交换。纳秒量级的交换速度可以用于未来的基于报文交换的光路由器中。

目前供应商有 Trellis Photonics 等公司。

液体光栅(Liquid Gratings)技术是液晶技术和全息技术的综合。液晶微滴置于高分子层面上,然后沉积在硅波导上面。当没有施加电压时,光栅就把一个特定波长的光反射到输出端口,而加上电压时,光栅消失即晶体是全透明的,光信号将直接通过光波导。

根据 Digilens 公司,这种光开关的响应时间为 100ms,插损小于 1dB。由于没有移动部分,可靠性比较好。另外功率消耗比较低,典型值为 50mW。

目前供应商主要有 Digilens. 公司。

利用声光效应(Acousto-Optics)制作的光开关,目前最大端口为 256×256 ,由于没有机械的运动部分,所以可靠性好;对 1×2 开关,插损为 2.5dB,开关速度为 525ns;但缺点是成本太高,不利于实际应用。

目前供应商有 Gooch and Housego、Light Management、Brimcom. 等。

随着光联网概念的提出,光开关技术已经成为未来光联网的关键技术。本文综述了目前光开关及其阵列的各种技术研究进展情况,并分析比较了各种技术在制作光开关方面的特点。