**空分复用——近年来的光纤技术进步**

Kotoricyann

近 10 年来， 互联网流量增速已大大超越光传输的容量增速， 提高光纤的信道速率、系统容量和传输距离的需求日益迫切。

早期的光纤通信技术主要依靠相干光接收。在相干光通信中主要利用了相干调制和外差检测技术。所谓相干调制，就是利用要传输的信号来改变光载波的频率、相位和振幅（而不象强度检测那样只是改变光的强度），这就需要光信号有确定的频率和相位（而不象自然光那样没有确定的频率和相位），即应是相干光。激光就是一种相干光。所谓外差检测，就是利用一束本机振荡产生的激光与输入的信号光在光混频器中进行混频，得到与信号光的频率、位相和振幅按相同规律变化的中频信号。但是对光源性能要求较高、光锁相环难以实现等问题制约了它的应用。早在1993年，业界提出了基于 DSP 的相干光接收技术， 但当时的 CMOS 水平并不能体现出相干光接收相对于直接探测的优势。经过多年的发展， CMOS 技术水平得到了极大提高， 可以支撑高速光纤通信的演进需求。

在 2.5 Gb/s， 10 Gb/s， 40 Gb/s 的光纤系统中， 色散等光纤信道的损失是优化中主要考虑的因素。而40 Gb/s 向 100 Gb/s 演进的过程中，除了光纤信道的损失还要考虑谱效率。100 Gb/s 开启了光纤通信的数字相干系统时代，相干光接收的PDM-QPSK成为其解决方案。 相干光接收不仅是实现高阶调制和偏振复用的基本要求，而且还需要能够对光纤传输中的信道损伤进行补偿。 在 100 Gb/s 向 400 Gb/s， 1 Tb/s 演进的过程中， 超 100 Gb/s 技术还是以相干光接收为基础，但信道损伤不再是焦点，主要的注意力集中到如何提升系统谱效率。

当前，光传输系统的研究正在经历一个新概念、新技术层出不穷的极度活跃的发展时期。 光的幅度、时间/频率、正交相位和偏振 4 个物理维度已通过高阶调制格式、数字相干接收、偏振复用、频分复用等光传输技术被利用到接近极限。同时，多模多芯等空间维度也被相继开发，促进了系统容量的不断提升。 光纤通信向单信道速率 1 Tb/s 演进， 单纤容量向 100 Tb/s 发展，已接近普通商用单模光纤传输系统的香农极限。未来，光纤通信将Tbit 级向 Pbit级， 甚至Ebps，Zbps级演进，将主要依赖于空分复用技术。

我国在提升光纤系统传输速率的研究上颇有进展。在超高速率光纤方面， 2010 年就利用低密度奇偶校验编码 (low density parity check code， LDPC) 和高阶调制技术相结合的方式，在保证高谱效率的同时实现了单信道 1 Tb/s 1040 km 标准单模光纤无误码传输。在超大容量光纤方面，相继在2012及2013年利用 PDM-OFDM-16QAM 调制技术分别实现了C波段30.7 Tb/s 80km和C+L波段67.44Tb/s 160 km标准单模光纤传输系统。2014 年采用离散傅里叶 (Fourier) 变换扩展正交频分复用 (DFT-S OFDM) 128QAM调制方式完成了C+L波段100.3 Tb/s 80 km标准单模光纤传输系统。2015 年实现3模式 200 Tb/s超大容量模分复用及波分复用光传输系统。2016年完成7芯单模光纤560 Tb/s超大容量空分复用及波分复用光传输系统。2018 年基于我国自主研制的具有自主知识产权的核心光电器件和单模19芯光纤，实现了1.06 Pb/s超大容量空分复用及波分复用光传输系统。

可以预见，未来全球网络流量还将以较高的速度增长，对于光纤的速率和容量的要求也越来越高。在未来空分复用技术可能会称为光纤的发展方向。在学界提高光纤速率和容量要求的同时，也应该考虑如何降低光纤普及的成本。虽然我国已经实现光纤在大型城市普及，但是用户端使用速率较低、路由器设备老旧、高速度光纤网络较贵等问题还有待解决。这些问题切切实实抑制了光纤在普通用户中的使用体验，也值得我们关注。

**课堂出勤情况说明**

本人Kotoricyann，学号0912，本学期于《网络与通讯》课堂上从未缺席，按时上课，认真完成了每次小测、期末作业以及期末展示。

**课堂建议**

总体上来说我认为本堂课开展的非常合理，讲授内容及作业在难度和体量也较为适度。建议根据课堂人数适当更换更大的教室。