

100G技术与光传送网新技术

张成良

中国电信集团公司

2010.5

网络容量有多大

- 宽带接入用户增长 20-30%/年，
平均流量增长： 20-30%/用户/年
- 移动流量增长率约为**25%**，驱动：**CDMA EV-DO**、**HSPA**及**LTE**
- 2014年 平均宽带接入带宽将从目前的**2M** 增长到**20M** 以上
- 业务量流量的增长速度是 **10倍/5年**
- 2014年各省出口总带宽是2008年： **10-18倍**

100G传输业务需求分析

- 基于2008年的ChinaNet网络带宽情况，对2009年至2014年的100G的需求进行进行预测，假设条件如下：
 - 未来几年保持现有带宽增长率（年均增长50%~80%，目前ECMP最大8条的数量限制不变。
- 需求预测结果对100G传输的需求情况
 - 2013年长三角等地区就有零星的长途传输段落出现迫切的100G应用需求，2014年就会迅速扩展到全国主要的核心节点和部分省份的出口节点。
 - 例外因素：ECMP数量的提升、LAG技术的引用、网络结构扁平化等均会延缓对100G传输的需求
- 超高清HDTV的发展会带来更大的网络带宽需求（编码带宽在500Mbit/s左右）
- 中国电信IP网络100G高速接口的规模商用时间点应该在2013年~2015年

100G WDM的困难

- 1、40G 速率提高到100G 光信噪比OSNR需要增加4 dB左右，而对色散和 PMD的容限将更加苛刻到原来的 $1/3$ 左右。
- 2、一个是非线性效应的影响远远超过了目前的10G和40G WDM传输系统，对入纤功率的限制较严格，影响了对大跨段的支持能力；

主流PM-DQPSK 从40G WDM测试看，受非线性影响很大，无法实现长跨距传输

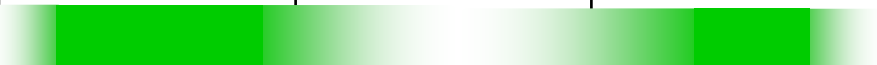
主流观点认为由于100G 信号的脉冲变化快，SPM 效应将急剧下降，XPM 为主体，因此可以大幅提高输入功率，这种情况还没有验证

- 3、相干接收的模数转换（ADC）和数字处理能力（DSP）要求较高，成为100G WDM传输系统的主要技术瓶颈。

100G WDM传输关键技术

- 1、调制技术
 - PDM/DP: 偏振复用, 降低50% Baud-rate, 缺点是偏振导致的BER Fluctuation较明显
 - (D) QPSK: 正交相位调制, 降低50% Baud-rate, 非线性效应严重
- 2、接收技术
 - 平衡接收: DPSK、DQPSK
 - 相干接收: QPSK、QAM、OFDM
- 3、高速电信号处理芯片
 - 几乎所有芯片都没有商用方案, 现有论文和演示基于离线处理
- 4、前向纠错FEC
 - 编码冗余: 7% vs. 20% vs. others
 - 采用软判决方式, 有纠错功能低密度奇偶校验码(LDPC)适合并行处理; FEC可以提供11dB左右的编码增益。

100G Transport Interface Technology

	Reach (Noise)	Spectral Efficiency	Robustness	Implementation Complexity	Examples
Phase Modulation				<i>Medium</i>	(D)QPSK 16-QAM
Polarization Multiplex				<i>Medium to High</i>	PM- DQPSK DP-QPSK
Coherent Reception				<i>High</i>	CO-OFDM DP-QPSK
Digital Equalization				<i>High</i>	EDC DP-QPSK
Multiple Carriers				<i>Low to High</i>	SCM O-OFDM

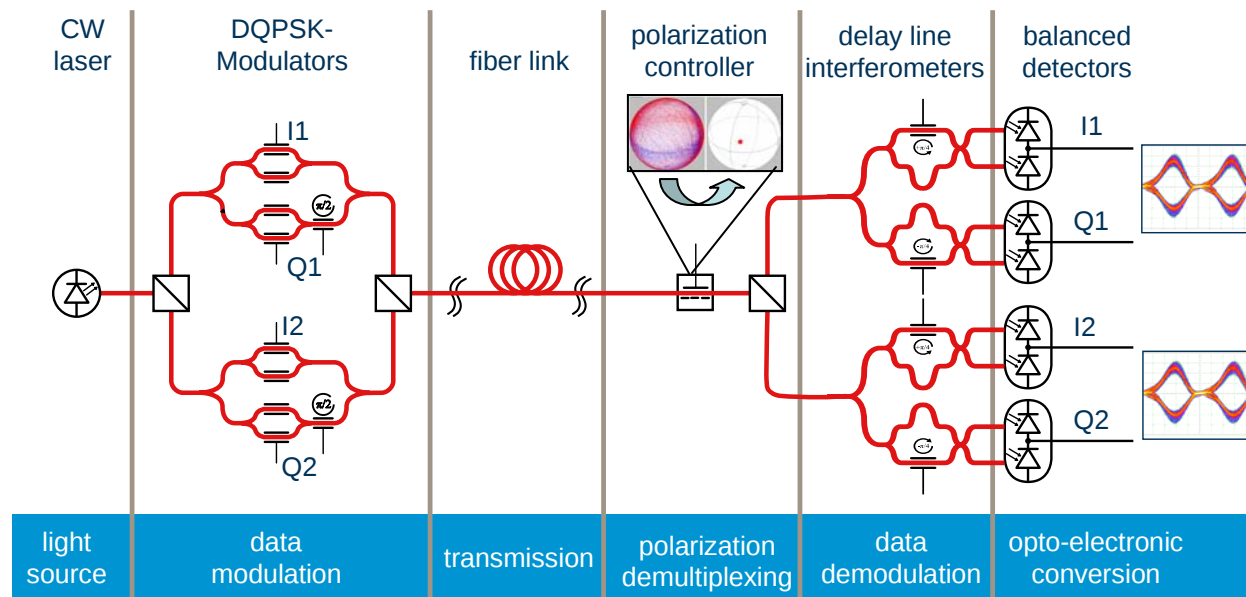
Optimized solution depends on application scenario

PM-DQPSK

- 由于100G WDM系统目标是支持50GHz间隔，必须通过调制码型降低信号波特率
- 在(D)QPSK调制中，信号先串并转换成两路，经过差分预编码后，分别对两个MZ调制器进行调制，调制时偏置在MZ输出的最低点，两个MZ调制器有 $\pi/2$ 相位差，合波后输出DQPSK信号
- DQPSK调制型号的接收方式有两种，一种是差分接收，另一种是相干接收。差分接收的原理和实现相对简单，但是性能逊于相干接收。
- 差分接收PM-DQPSK需要在接收端首先将两路偏振正交信号进行分离，由于偏振态在传输过程中会发生变化，因此需要反馈机制随时调整PBS前偏振控制器，保证光域偏振解复用的性能
- 对于40G WDM传输来说，差分接收的性能已经能满足要求，因此在40G WDM系统中被广泛使用
- 但是对于100G WDM传输，必须采用相干接收才能得到预期的传输性能

Polarization Multiplexed DQPSK

- Polarization multiplexing / de-multiplexing and Delay Interferometers
- Low baud-rate ($\sim 28\text{GBaud}$) at cost of critical polarization de-multiplexing
 - High speed, precise and endless polarization tracking
- Compatible to 50GHz spacing
- Doesn't require fast ADC's and complex signal processing
- Improved tolerance to fiber chromatic dispersion and PMD (w/o compensation)



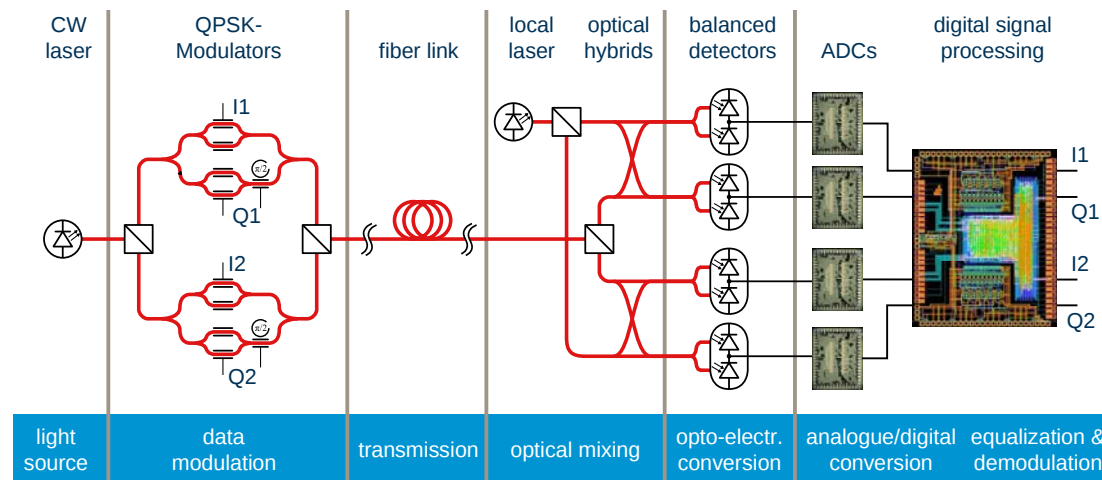
High BW efficiency without complex processing

相干接收

- 相干接收的PM-QPSK传输系统的发展趋势是通过电域完成偏振分离、相位补偿和均衡等工作，实现一体化处理
- PBS将信号分成两个相互正交的偏振光，然后分别与本地光源进行混频操作，得到四路拍频信号。四路拍频信号经光电转换和模数转换（ADC）进入DSP进行处理
- DSP处理时能够实现偏振信号的分离相干接收在理论上可以比差分接收提高3dB的OSNR灵敏度（改善幅度大约1.5 ~ 2dB）
- 核心功能是一个高速ADC 和一个高速数字信号处理电路（DSP）。数字电信号通过DSP芯片数字均衡的方式完成相干接收并可消除相位畸变，从而实现对色散、PMD和部分非线性效应的补偿。
- ADC主要技术难点是采样速率，如果要完整保留相位信息，ADC的采样速率至少达到信号波特率的两倍。100G DWDM系统的波特率大约为33G，则双倍采样的ADC采样速率需达到66G左右

Pol. Multiplexed Coherent QPSK

- Polarization multiplexing, coherent reception & DSP
- Low baud-rate ($\sim 28\text{GBaud}$) at cost of complex high speed electronics
- signal processing in a 112Gb/s CP-QPSK receiver
 - High speed ADC: $\sim 5\text{ bit @ } 56\text{ GS/s}$ (2-fold oversampling)
 - Demodulation/ equalization requires to process $4 \times 5 \times 56\text{ Gb/s} = 1.12\text{Tb/s}$
- High noise performance for 50GHz spaced DWDM systems
- Electronic compensation of fiber chromatic dispersion and PMD
- Impact of fiber nonlinearities (mitigation requires further research) !



DSP 处理

- Opnext 在2010 OFC上演示了在线处理的100G DP-QPSK相干接收DSP（用FPGA搭的），算是业界一个很大的进展。
- Hurricane计划，利用FPGA实现了在线的相干接收，20%的FEC编码冗余1500km传输（ $15 \times 100\text{km}$ ）
- 速率126.56G，对于G.652光纤，最佳入纤功率 $-1 \sim 0\text{dBm}$ ，OSNR介于 $12 \sim 12.5\text{dB}$ 之间。
- 本质上还没有两倍采样，但是指标上色散容限 40000ps/nm ，PMD容限 30ps 平均值。
- 预计2011年中期推出100G 线路侧模块
- 目前制造商演示的都是离线系统，也就是采用计算机后台处理的模拟系统

100G传输技术对现网的影响

- 现网光纤光缆依旧可适用于100G传输
 - 反向复用解决方案对光纤光缆性能要求与10G/40G WDM系统相同；
 - 单波100G WDM传输基本要求是适用于G.652、G.655等各种类型光纤
- 现有光纤 PMD 与色散容限
 - 采用PM-QPSK调制码型的100G信号实际传输速率大约30G，其Native的色散和PMD容限略优于NRZ 40G信号
 - 采用相干接收技术，通过DSP芯片的电域均衡，100G信号的PMD容限可以达到目前10G WDM系统的水平，光纤光缆PMD不再是传输距离的主要限制因素；
 - 采用相干接收技术，通过DSP芯片的电域均衡，100G信号的色散容限可以达到与目前40G信号（含TDCM）相当的水平，甚至有潜力实现2000km以内无需色散补偿，超越目前10G/40G WDM系统的水平。
 - 基本实现与 40G WDM 系统的同站
- 康宁提出一种损耗更低的光纤 对应于超长100G WDM 系统ULL ,其光学性能与 G.652D 完全一样
 - 关键是成本
 - 100公里的损耗可以降低 3 dB

PM-QPSK 在40G WDM 系统应用可能性

- 目前RZ-DQPSK 是主要的40G WDM 系统
 - 如果成本在100G 系统得到广泛应用, PM-QPSK其成本将急剧下降
 - 可能采用PM-QPSK 用在40G WDM 系统构造一个电中继3000公里左右的光网络
 - 综合与 ROADM 混合应用,组成全光网络 ??
- 40G/100G混合传输WDM系统的技术可行性
 - 100G信号的入纤功率、色散容限、PMD容限等参数可能与40G信号存在较大差异,对WDM系统的参数设置需求存在潜在的不一致;
 - 40G、100G信号的相互影响严重性还需进一步研究

主流厂商100G WDM设备研发进展

1、传输系统厂商:

- 阿朗、华为、爱立信: Coherent PM-QPSK系统和板卡设计已完成, DSP和FEC处于研发阶段, 演示系统采用离线处理
- 华为OPDM-DQPSK完成样机, 预计2010年底可推出产品, 本质是两个50G速率 eDQPSK信号采用光域偏振复用方式
- Telefonica 2009年100G测试: 阿朗、华为、爱立信参与, 阿朗和华为表现较好, 实现1000km以上传输 (离线处理Verizon)

2、路由器厂商:

100GE 接口将在 2010/2011年商用化

- Cisco CRS-3
- Juniper T1600
- Alcatel-lucent 7750SR

3、运营商

- AT&T等领先运营商已经开始现网测试
- 预计2012年前后会有较多厂商推出成熟的100G WDM传输设备, 2013年前后具备商用部署条件

100G WDM 应用前景

- 100G WDM 将有比较长的生命周期
- 单波400G 与1 Tb/s 系统短期内看不到应用前景
- 北美厂商估计100G WDM 生命延续到2020年以后
- 中国电信乐观估计2012年实验室测试，2013年开展现场试验
- 2014年开展大规模应用

总结

- 1、100GHz WDM 将有很长时间生命周期，估计2013-14年将有现场应用
- 2、PM-QPSK 技术的突破将会对100G WDM 和全光网的发展有重要影响
- 3、融合WDM 功能OTN 在骨干网上已经出现，OTN 作为网络交换节点技术将会出现，OTN 接口将愈加普遍
- 4、下一步光网络将转向全光网发展



中国2010年上海世博会全球合作伙伴
Global Partner of Expo 2010 Shanghai China

Q&A