

光领域难题第一期

日期：2022.1

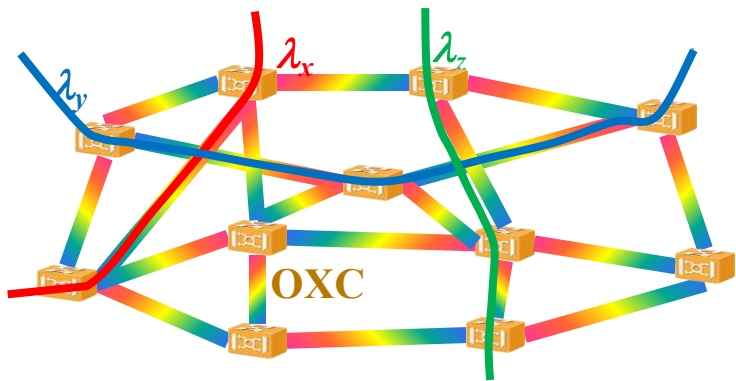


华为信息，请勿扩散。

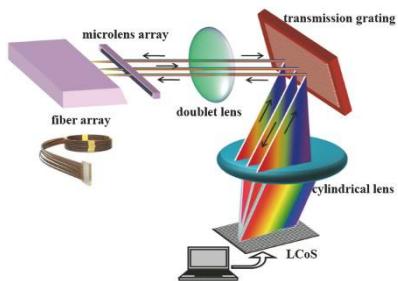


难题1[传送]: OXC的超快速切波技术

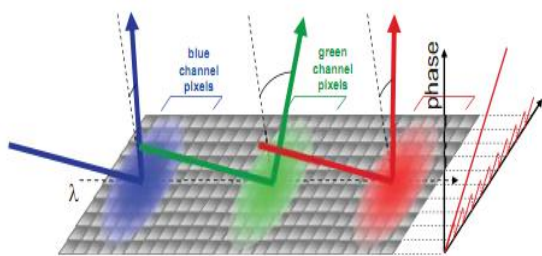
出题组织: 光产品线研究部 接口专家: 邓宁 ning.deng@huawei.com



- 全光交叉 (OXC) 当前主要是通过波长选择开关 (WSS) 对光网络进行波长级全光调度。
- 要做到波长级全光路由和全光调度, 从系统角度希望OXC的切换时间尽量短 (<50ms), 对应到OXC里面的每个WSS, 挑战10ms的波长切换时间。
- LCoS是当前WSS的主要交换引擎, 其原理是通过对每个像素点加载不同的电压, 驱动液晶偏转从而改变输入光的相位, 进而改变输入光的偏转角, 使任一波长去到目的输出端口 (方向), 实现信号波长到不同路径的调度。



WSS示意图



LCoS切换示意图

技术挑战

挑战超快速切波的WSS技术: 实现全端口切换时间从大于500ms优化到小于10ms, 包括优化交换引擎、切换算法等技术。

当前结果

- 当前方案
 - 交换引擎: WSS采用的是LCoS;
 - 切换算法: 当光信号在WSS不同端口间切换时存在瞬态串扰, 通过在LCoS的初态-终态相位图(电压图)中间加入多张过度图的方式, 可以平滑切换光信号, 降低串扰。
- 当前问题
 - 液晶材料的响应速度以及稳定时间较慢, 普遍在百ms量级;
 - 加入过度图导致增加LCoS相位图的切换状态数, 同时增加切换时间。
 - 当前商用WSS的切波速度通常在秒级, 最短500ms量级。

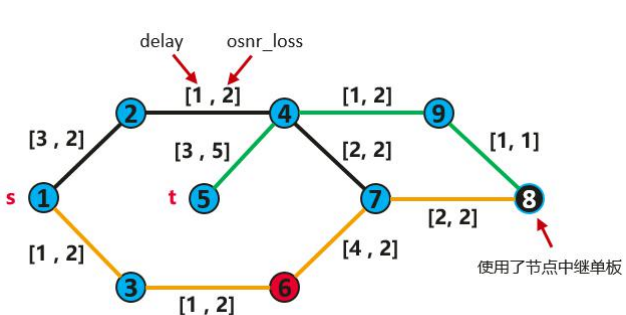
技术诉求

- 当前技术优化
 - 基于LCoS交换引擎的快速响应技术: 探索新型液晶材料和驱动技术, 实现LCoS相位调制器件的切换时间<5ms (@1550nm), 并满足长期可靠性需求 (Life time>10年, 工作温度= 60度);
 - 探索LCoS相位切换算法: 实现LCoS相位图之间的切换瞬态串扰<-20dB, 同时初态-终态的切换效率提升5倍以上;
- 全新交换引擎探索: 考虑 (结合) 超表面、新型MEMS 等其他新技术, 使得波长交换引擎的交换速度大幅提升 (<5ms, 挑战<1ms), 并具有类似LCoS的灵活带宽处理能力和长期可靠性需求。

难题2[传送]: [最优高效] 大规模光网络多约束寻路算法

出题组织: 光产品线研究部 接口算法专家: 严可荣 yankerong@huawei.com
光产品线软件部 接口ASON专家: 李俊 lijun86@huawei.com

□ 大规模光网络规划的关键技术是求解单条业务在复杂约束下的最优路由。当网络规模大, 波长一致性和光参非线性等约束多, 问题求解难度将指数级上升。



| 链路 | 可用资源 (波长) 索引集合 |
|-----|----------------|
| 1-2 | {1, 2, 3} |
| 1-3 | {1, 2} |
| 2-4 | {2, 3} |
| 3-6 | {1, 2, 3} |
| 4-5 | {1, 2, 3} |
| 4-7 | {2, 3} |
| 4-9 | {2, 3} |
| 6-7 | {2} |
| 7-8 | {2, 3} |
| 8-9 | {1, 2, 3} |

□ **问题目标:** 找从源点s【节点1】至宿点t【节点5】之间delay最小的一条端到端无环路径

□ **问题约束:**

1. 路径可由多个子分段路径组成【橙色和绿色分别为两个子分段路径】; 子分段路径上的多个链路可用资源的交集不能为空【橙色路径1-3-6-7-8的共同可用资源2; 绿色8-9-4-5的共同可用资源2、3】;
2. 每段链路和每个节点上有两个参数: delay 和 osnr_loss;
3. 每段链路, 例如链路1-2 参数[3,2]: delay = 3, osnr_loss = 2;
4. 每个节点有可能含中继单板, 可选择开启或者不开启。若不开启或者不含中继单板【红色节点】: delay = 0, osnr_loss不变。若开启中继单板, 2种类型: (1) 高delay中继单板【蓝色】: delay = 100, osnr_loss清零; (2) 低delay中继单板节点【黑色】: delay = 10, osnr_loss清零
5. 每个子分段路径总的osnr_loss需要小于等于给定阈值【设为8】*, 子分段两端只能是开启中继单板的节点, 在子分段终点osnr_loss清零。

*实际网络中子分段路径的osnr_loss与路径经过的各链路osnr_loss之间呈现非线性关系。为简化问题, 例中假设为线性相关, 即子分段路径osnr_loss= 经过的链路osnr_loss之和, 但算法设计时需要考虑有该约束情况下的扩展性

技术挑战

- **大规模网络多约束快速寻路算法:** 千级节点下从秒级优化到10ms以内找到一条满足所有光学约束的delay最小端到端无环路径。

当前算法及问题

- **扩展Dijkstra算法[1]:** 搜索过程中在节点处记录多个前向路径, 以考虑所有约束与路由可能性。
 - 算法问题: 该算法若不做任何剪枝, 内存空间消耗巨大且耗时高, 几乎无法使用。若按一定规则剪枝, 则不能保证解的最优性。
- **虚拟可达图算法[2]:** 预先计算所有节点对之间的最小delay路径, 若路径可达(osnr_loss小于等于阈值), 则在节点对之间建立虚拟链路(对应子分段路径)并赋值路径的delay。在建立的虚拟可达图上计算源宿节点之间的最短路, 再将虚拟链路还原, 拼接为端到端实际路径。
 - 算法问题: 该算法可能造成虚拟路径还原时路径成环的情况。

技术诉求

- **当前技术优化:**
 - **快速有路就通:** 考虑一致波长、分段路径osnr_loss阈值约束前提下, 存在可行路径, 则要求10ms内能够算到该路径。
- **其他优化思路 (包括但不限于如下技术):**
 - **AI技术:** 基于AI技术得到优先搜索顺序, 在寻路过程中进行指向性搜索, 加快算法运行速度, 提高搜索准确率。
 - **探索高阶寻路算法:** 如地图工具中的CH算法等, 探索类似高阶寻路算法在大规模多约束问题下的可行性。

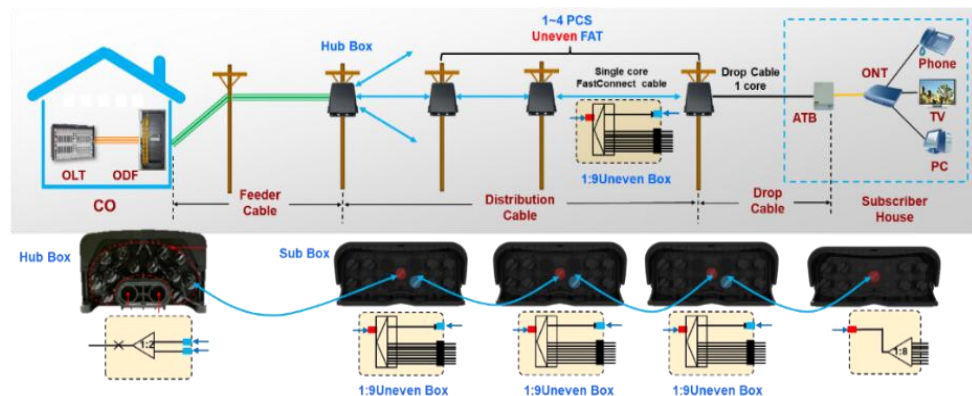
参考文献:

[1] Generic Dijkstra for optical networks. [Journal of Optical Communications and Networking]. 2019 Nov 1;11(11):568-77.

[2] Routing, modulation level, spectrum and transceiver assignment in elastic optical networks. [IEICE Transactions on Communications]. 2018 May 1;101(5):1197-209.

难题3[接入]: [高性能]初始化后分光比保持的波导型可调分光器

出题组织: 光产品线研究部 接口专家: 李彦波 Li.Yanbo@huawei.com



- 不等比方案（分光器分光比不均等）是当前主推的ODN快速预链接方案，在运营商移动建固网，铜转光已规模部署，在行业市场（园区、矿井、交通）有巨大应用前景。
- 现有不等比分光器分光比固定，导致部署模式受限，支持的级联级数较少。需探索可调分光比的分光器，相比于现有分光器，可多支持6级分光，部署场景更加灵活。
- 可调分光比的分光器需具备如下特征：
 - 继承现有分光器无源的优点，所设定的分光比在无源状态下仍保持；
 - 波导型结构，现有分光器为波导型结构，希望可调分光部件也为波导型结构，利于与现有分光器集成；
 - 工作波长1260~1620nm，与现有分光器工作波长匹配。

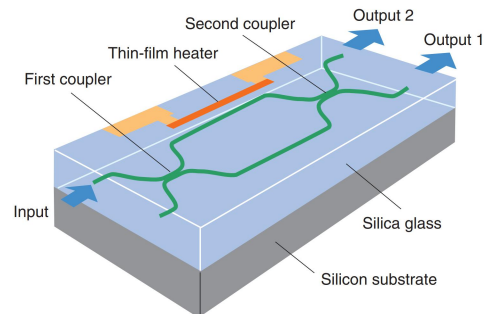
技术挑战

- 初始化后分光比保持的波导型可调分光器**：部署时临时上电，调节分光比，部署后在无源状态下保持所设定分光比，且工作波长1260~1620nm（额外插损<0.5dB）。

当前结果

当前方案

- 波导型马赫增德干涉仪结构：通过给马赫增德干涉仪其中一臂波导上的heater加电产生热量，改变该臂波导温度，从而改变该臂波导折射率，使得两臂折射率有差异，两臂光信号产生相位差，在耦合输出（Second coupler）由于干涉原理，产生相干相消，从而使输出光功率（Output 1/2）发生变化，进而改变分光比。



当前问题

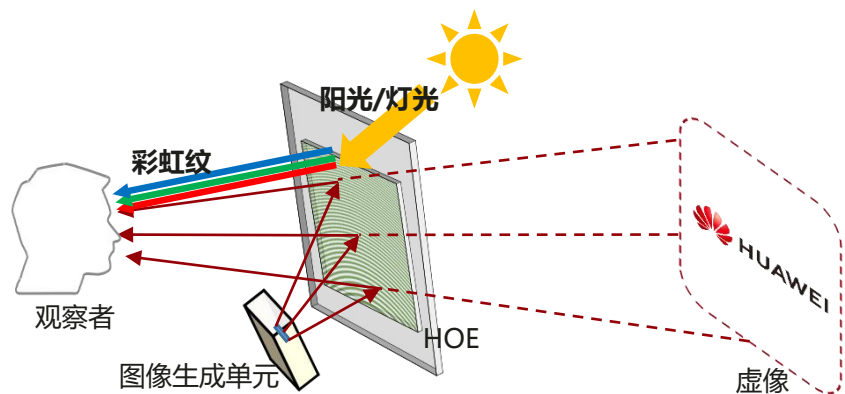
- 无源状态下无法保持设定分光比；
- 单级仅能支持80~100nm，通过并联可覆盖1260~1620nm，但并联导致插损大，器件尺寸大。

技术诉求

- 理论架构创新**：新型可调分光架构，支持1260~1620nm波长范围内工作，除分光插损外，额外插损<0.5dB。
- 材料创新**：新架构下引入相变材料等，使得部署后在无源状态下折射率不变，相比初始设定的分光比其变化+/-5%以内。

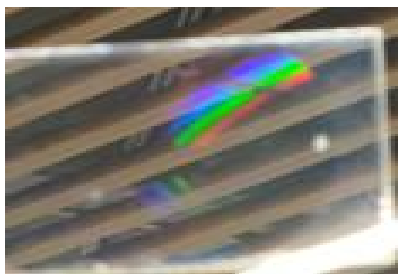
难题4[光应用]: 全息光学元件 (HOE) 消除 ‘彩虹纹效应’ 的方案

出题组织: 光产品线架设与规划部; 接口专家: 张亮 zhangliang12@huawei.com



HOE应用实例及彩虹纹效应成因

- 全息光学元件 (holographic optical element, HOE) 通过两束RGB激光对全息光敏材料进行干涉曝光, 从而在极薄(几十um)的材料上对特定波长特定角度的光形成衍射, 等效于光学Lens, 这样图像生成单元可以直接将光线投射到HOE上, 通过反射入眼, 形成大视场虚像; 得益于HOE良好的角度与波长选择性, 环境光线大部分能直接透过HOE与虚像叠加, 形成AR显示效果。
- 但是, HOE受到阳光或灯光照射时, 部分透射光线会被HOE衍射, 形成彩虹纹效应; 该效应在某些角度明显, 且随着光强增加而增强, 严重影响观看体验。



彩虹纹现象

技术挑战:

- **消除HOE产生的“彩虹纹效应”**: 在保证透明度(透光>75%)的情况下, 设计一套消除或者降低彩虹纹效应(三色RGB-HOE系统)的方案, 使得彩虹纹不影响观看体验。

当前结果:

- 方案一: 超窄频响应HOE+超窄线宽激光器
 - 存在问题: 1) HOE结构复杂, 可实现性较差; 2)对激光器的线宽和波长稳定度要求极高(<0.1nm)
- 方案二: 增加一层偏振镀膜
 - 存在问题: 影响透明度, 无法满足75%的目标需求
- 方案三: 增加一层AR膜(增透膜)
 - 存在问题: 只能消除多次反射造成的彩虹纹, 无法解决直接衍射产生的彩虹纹

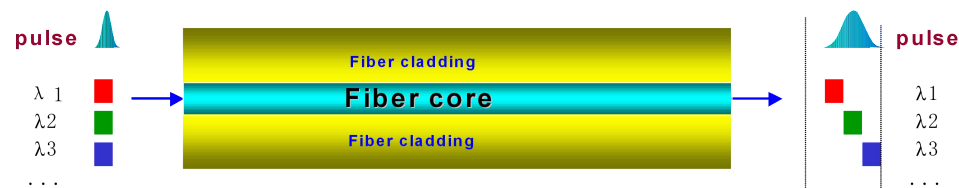
技术诉求:

- 从数学或者物理原理的角度, 分析彩虹纹产生的机理以及相关变量(入射角度/光强/偏振/波长)。
- **当前技术优化**: 基于HOE光栅结构优化, 实现透明度75%前提下, 提出降低彩虹纹方案, 使得彩虹纹效应不影响观察者体验。
- **其他新技术探索**: 例如通过超表面等技术实现精准光束控制, 实现眼盒范围内无彩虹纹。

难题5[传送]: [高性能低复杂度] 信道色散补偿方案

出题组织: 光算法开发部 接口专家: 徐伟 xw.xuwei@huawei.com

- 色散效应: 光脉冲中的不同频率或模式在光纤中的群速度(信号包络传播速率)不同, 因而到达光纤终端有先有后, 使得光脉冲发生展宽。

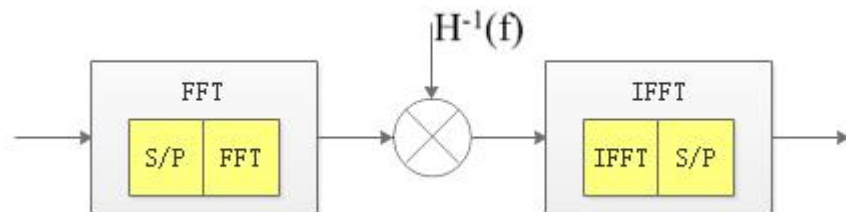


- 色散频域表达式:

$$H(f) = \exp\left(j \frac{1}{4\pi} \frac{\lambda^2}{c} D \cdot (2\pi f)^2\right) = \exp\left(j \frac{1}{4\pi} \frac{\lambda^2}{c} \frac{D[ps/nm]}{1000} \cdot \omega^2\right)$$

其中: D 为色散系数 (ps/nm), λ 为载波波长 (典型值1550nm), c 为光速度, ω 为角频率。

- 色散效应在oDSP中的补偿算法: 时域信号经过FFT转换为频域信号, 乘以传递函数 H 的逆, 再IFFT转换为时域信号。



技术挑战

- 满足多场景的色散补偿归一化解决方案:** 从单一场景到满足多场景的统一解决方案, 实现高精度小于150ps/nm, 低复杂度计算量小于1e7的色散精确估计与补偿。

当前结果

当前解决方案主要通过估计色散系数 D , 典型算法如下:

- 最小PAPR[1]:** 通过对接收端信号进行色散估计值扫描, 找到PAPR最小值对应的色散系数作为估计值;
 - 算法缺点: 当发射信号经概率整形后熵值较低时, 无法准确估计。
- Nyquist Frequency Conjugation[2]:** 利用同一频段处的信号与其共轭点乘求和, 做FFT后找最大值(相关峰);
 - 算法缺点: 对色散估计值进行直接计算, 计算量较上面方法小, 但受限于SNR、WSS的窄带滤波影响, 适用的CD范围较小;
- 频域估计方法:** 通过扫描方法对信号进行色散估计, 在频域寻找特征值最强的色散补偿值即为估计的色散。
 - 算法缺点: 在强窄带滤波场景无法工作。

技术诉求

- 算法解决方案:** 提供高性能(精度好)和高效(计算量少)的色散补偿可实现解决方案证明。
 - 高精度: 包括但不限于如下场景: 窄带滤波 (WSS)、低熵、低OSNR等; 估计精度小于150ps/nm;
 - 高效: 可实现的估计与补偿算法计算量小于e7。
- 物理解决方案:** 解决实际应用场景中色散问题, 例如利用波导等其他物理方案进行光补偿。

参考文献:

- [1] Chongjin Xie, Chromatic Dispersion Estimation for Single-Carrier Coherent Optical Communications, 2013.
[2] Jingchuan Wang et al., Fast and blind chromatic dispersion estimation with one sample per symbol, 2021.

踊跃揭标 粘接全球智慧 砥砺前行 解决挑战难题

把数字世界带入每个人、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界。
Bring digital to every person, home, and
organization for a fully connected,
intelligent world.

Copyright©2018 Huawei Technologies Co., Ltd.
All Rights Reserved.

The information in this document may contain predictive statements including, without limitation, statements regarding the future financial and operating results, future product portfolio, new technology, etc. There are a number of factors that could cause actual results and developments to differ materially from those expressed or implied in the predictive statements. Therefore, such information is provided for reference purpose only and constitutes neither an offer nor an acceptance. Huawei may change the information at any time without notice.

