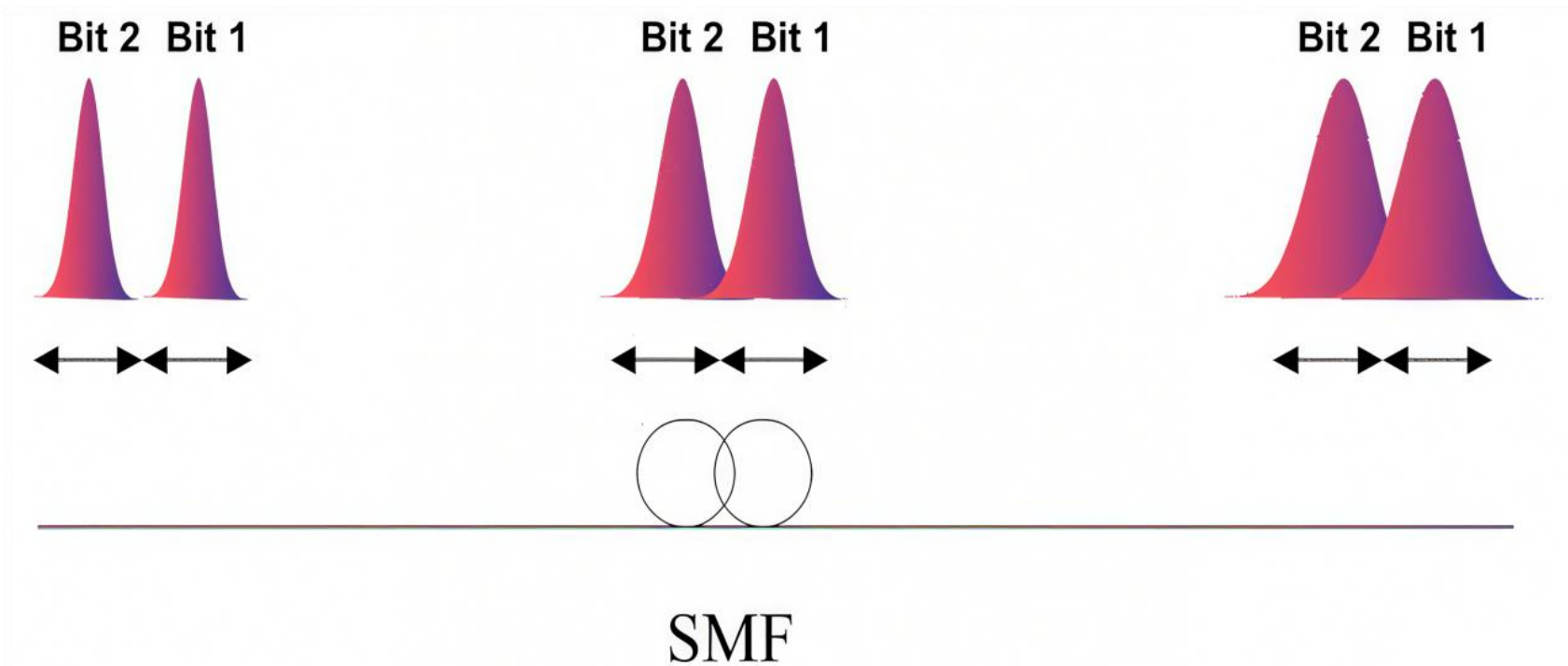
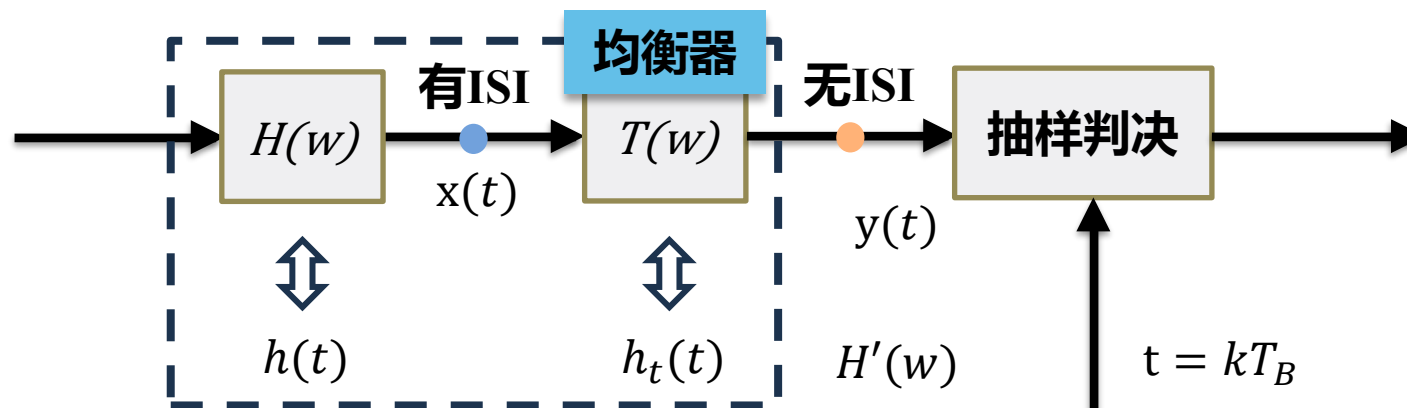


光纤通信信号传输处理流程：电信号源的信号经发射机入光纤，受色散、衰减等影响后被接收机接收；发射端可通过波束整形、预均衡等优化，接收端借助时钟恢复、均衡和恒模算法等提高通信质量。



色散是指光信号（携带信息的光脉冲）在光纤等传输介质中传播时，由于光的不同成分（如不同频率、不同模式的光）传播速度存在差异，导致光脉冲发生展宽，进而使相邻光脉冲之间出现重叠、干扰的现象。



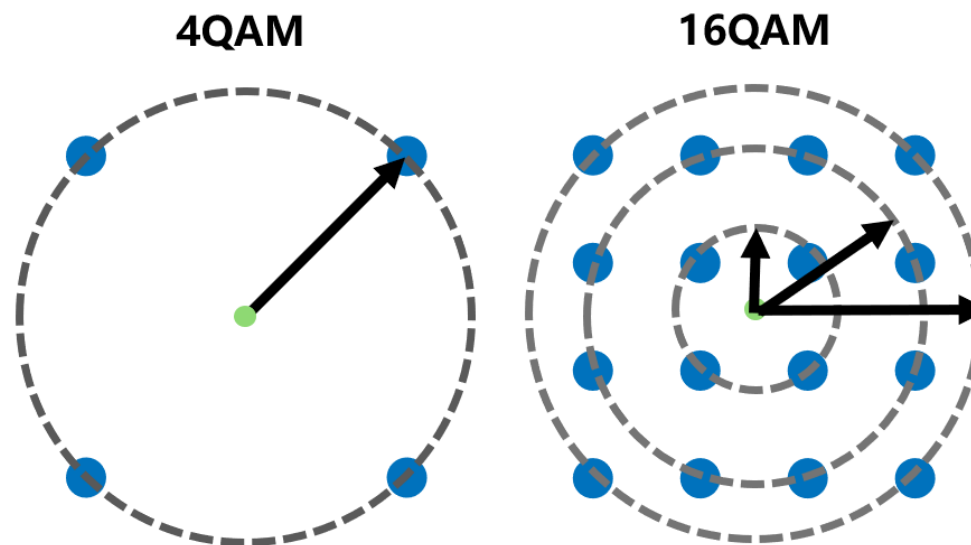
信道均衡是指接收端的均衡器产生与信道相反的特性，用来抵消由信道的传输特性引起的码间干扰，提升通信系统的性能。

频域均衡 通过频率校正使均衡后信道特性满足奈奎斯特第一准则。

$$H(w) \cdot T(w) = H'(w) \quad \Rightarrow \quad \sum_i H'(w + \frac{2\pi i}{T_B}) = T_B \quad |w| \leq \frac{\pi}{T_B}$$

时域均衡 使有码间干扰的冲激响应波形 $h(t)$ 变换后无码间干扰。

$$\begin{aligned} h(t) * h_T(t) &= h'(t) \\ x(t) * h_T(t) &= y(t) \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad y(kT_B) = h'(kT_B) = \begin{cases} 1 & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}$$



对于相移键控 m - PSK 等调制，已调信号 $x(n)$ 的平均发射功率是恒定的，接收机输出 $\tilde{x}(n)$ 也应恒模。

引入 CMA 代价函数，并利用均方误差度量误差：

$$J(w(n)) = E \left[(|\tilde{x}(n)|^2 - R_2)^2 \right]$$

其中 R_2 是希望的收敛半径，我们的目标是寻找最优的抽头系数 $W(n)$ ：

$$W(n)_{opt} = \arg_{w_n} (J(W_n)) = \arg_{w_n} \min (E \left[(|\tilde{x}(n)|^2 - R_2)^2 \right])$$

对 $J(w(n)) = E \left[(|\tilde{x}(n)|^2 - R_2)^2 \right]$ 关于 $w(n)$ 求导:

$$\frac{\partial J(w(n))}{\partial w(n)} = 2E \left[(|\tilde{x}(n)|^2 - R_2) \frac{\partial |\tilde{x}(n)|^2}{\partial w(n)} \right]$$

又因为 $\tilde{x}(n) = w(n)y(n)$, $|\tilde{x}(n)|^2 = \tilde{x}(n)\tilde{x}^*(n)$, 有:

$$|\tilde{x}(n)|^2 = w(n)y(n) \cdot y^*(n)w(n)$$

对 $|\tilde{x}(n)|^2$ 关于 $w(n)$ 求导可得:

$$\frac{\partial |\tilde{x}(n)|^2}{\partial w(n)} = 2w(n) \cdot y(n) \cdot y^*(n) = 2\tilde{x}(n) \cdot y^*(n)$$

带入到 $\frac{\partial J(w(n))}{\partial w(n)}$, 可以得到:

$$\frac{\partial J(w(n))}{\partial w(n)} = 4E \left[(|\tilde{x}(n)|^2 - R_2) y^*(n) \tilde{x}(n) \right]$$

由此可以得到cma中系数 $w(n)$ 的迭代式为:

$$w(n+1) = w(n) + \mu \left[(|\tilde{x}(n)|^2 - R_2) y^*(n) \tilde{x}(n) \right]$$

基础任务：基于 Matlab 的光纤通信信号处理与 CMA 算法实现(80%)

➤ 功能要求

- 1.编写 MATLAB 函数实现任意点数的并行FFT算法
- 2.基于自主实现的 FFT 函数，完成：短数据流的快速卷积（FFT→频域相乘→IFFT），实现 "重叠相加法" 与 "重叠保留法"，处理长输入序列与短卷积核的卷积场景
- 3.基于上述模块实现恒模算法（CMA）均衡器：利用快速卷积实现 CMA 中的滤波操作,完成 4QAM 信号的均衡与解调(部分代码会给出)

➤ 设计约束

1. 严禁调用 MATLAB 内置的 fft、ifft等相关函数
2. 必须手动实现旋转因子的计算与优化（利用对称性和周期性）
3. CMA 算法的步长、滤波器长度等参数需可调整，以便观察不同参数对均衡效果的影响

➤ 验证要求

1. 不同点数 FFT 的正确性验证
2. 快速卷积与直接卷积的结果对比
3. 重叠相加 / 保留法的正确性验证
4. CMA 均衡前后的信号质量对比（星座图、误码率）

进阶任务：基于Verilog的FFT实现(20%)

➤ 功能要求

1. 基于Verilog设计并行FFT算法(32点 128点)
2. 输入输出为定点数（需明确位宽定义：符号位、整数位、小数位）

➤ 设计约束

1. 严禁使用 FPGA/ASIC 厂商提供的 FFT IP 核
2. 采用模块化设计
3. 需考虑流水线优化和并行处理设计，提升运算效率

➤ 验证要求

1. 使用 ModelSim 或 Vivado 等工具进行功能仿真, 与 MATLAB 参考结果对比
2. 分析硬件实现的资源占用情况（LUT、FF、BRAM 等）

➤ 大作业以**组队**的形式完成，最多**3人/组**

基础任务 80%	具体任务	分数比例
	并行 FFT	30%
	快速卷积	10%
	CMA	30%
	汇报 && 报告	30%

进阶任务 20%	具体任务	分数比例
	32 点 并行 FFT	40%
	128 点 并行 FFT	30%
	汇报 && 报告	30%