

第6回

光変復調技術 (デジタル・コヒーレント関連技術)

講義スケジュール(1)

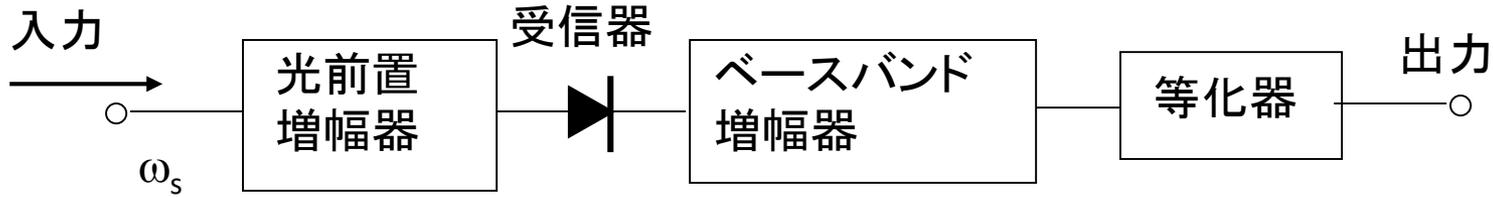
植之原	日付	教科書	内容
第1回	11/29	OCW-i掲載資料(第1回)の精読と理解	光通信システム(基礎的なこと)
第2回	12/ 3	OCW-i掲載資料(第2回)の精読と理解	光通信システム (長距離海底系, コア・メトロ系)
第3回	12/ 6	OCW-i掲載資料(第3回)の精読と理解	光通信システム (アクセス系・データセンタネットワーク系)
第4回	12/10	OCW-i掲載資料(第4回)の精読・PN符号の説明	光変調符号
第5回	12/13	OCW-i掲載資料(第5回)の精読・信号の数式・スペクトル表現	光変復調技術(強度変調・位相変調)
第6回	12/17	OCW-i掲載資料(第6回)の精読・機能ブロックの理解	光変復調技術 (デジタル・コヒーレント関連技術)
第7回	12/20	OCW-i掲載資料(第7回)の精読・波動方程式の解法・モードの理解	光ファイバのモード特性(波動方程式)
第8回	12/24	OCW-i掲載資料(第8回)の精読・分散と帯域の関係式	ファイバの伝送特性(分散・分散伝送限界)

講義スケジュール(2)

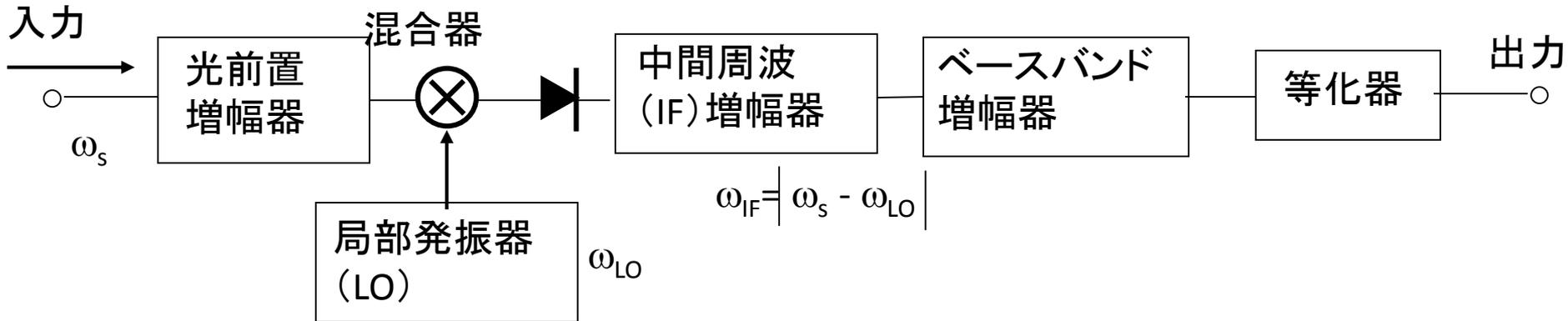
小山	日付	教科書	内容
第9回	1/7	OCW-i掲載資料(第9回)の精読・分散補償の概念の理解	ファイバの伝送特性(分散補償技術)
第10回	1/10	OCW-i掲載資料(第10回)の精読・動作原理の説明	光増幅器
第11回	1/17	OCW-i掲載資料(第11回)の精読・ビット誤り率の計算	ビット誤り率(強度変調・直接検波)
第12回	1/21	OCW-i掲載資料(第12回)の精読・ビット誤り率の相対比較	ビット誤り率 (コヒーレント、多値変調、光増幅)
第13回	1/24	OCW-i掲載資料(第13回)の精読・WDMの性能的課題	波長多重(WDM)伝送 (分散マネジメント技術)
第14回	1/28	OCW-i掲載資料(第14回)の精読・WDMの変調方式による性能差の理解	波長多重(WDM)伝送(変調技術)
第15回	1/31	OCW-i掲載資料(第15回)の精読・理解	光スイッチング技術・ 最新の光通信関連技術

受信系の基本構成(1)

① 直接検波(IM-DD方式)

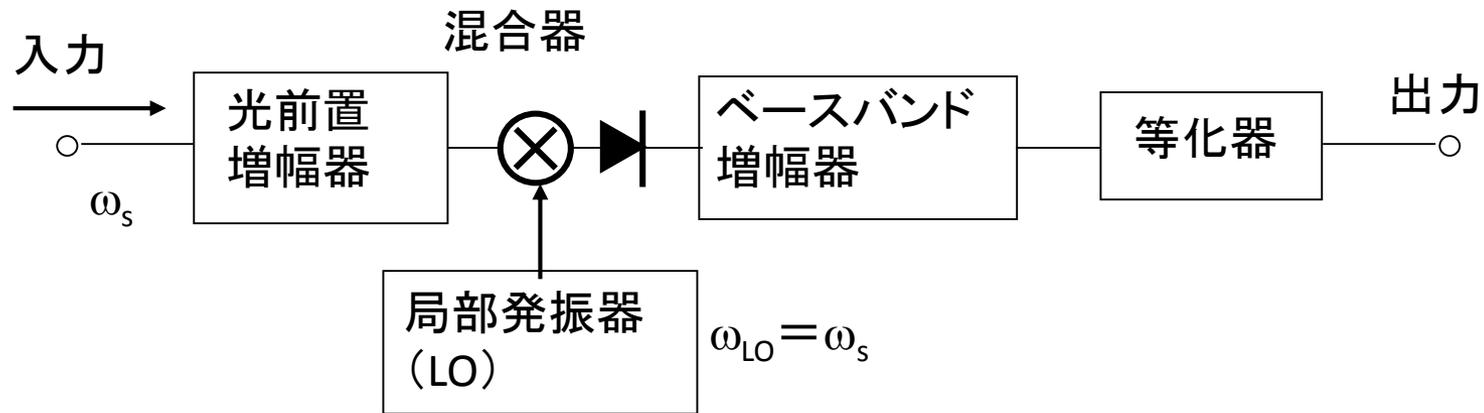


② ヘテロダイン検波



受信系の基本構成(2)

③ ホモダイン検波



- 1980年代後半に全盛期を迎えたコヒーレント光通信の研究
 - 受信感度の改善効果 → EDFAにその座を奪われた
 - 周波数(波長)選択性 → 需要がなかった(WDMも1990年代中頃)
 - 技術的な難易度の高さ
 - 狭スペクトル光源
 - 偏波トラッキング
 - 高速IF回路、光PLL

- リバイバルしたコヒーレント光通信

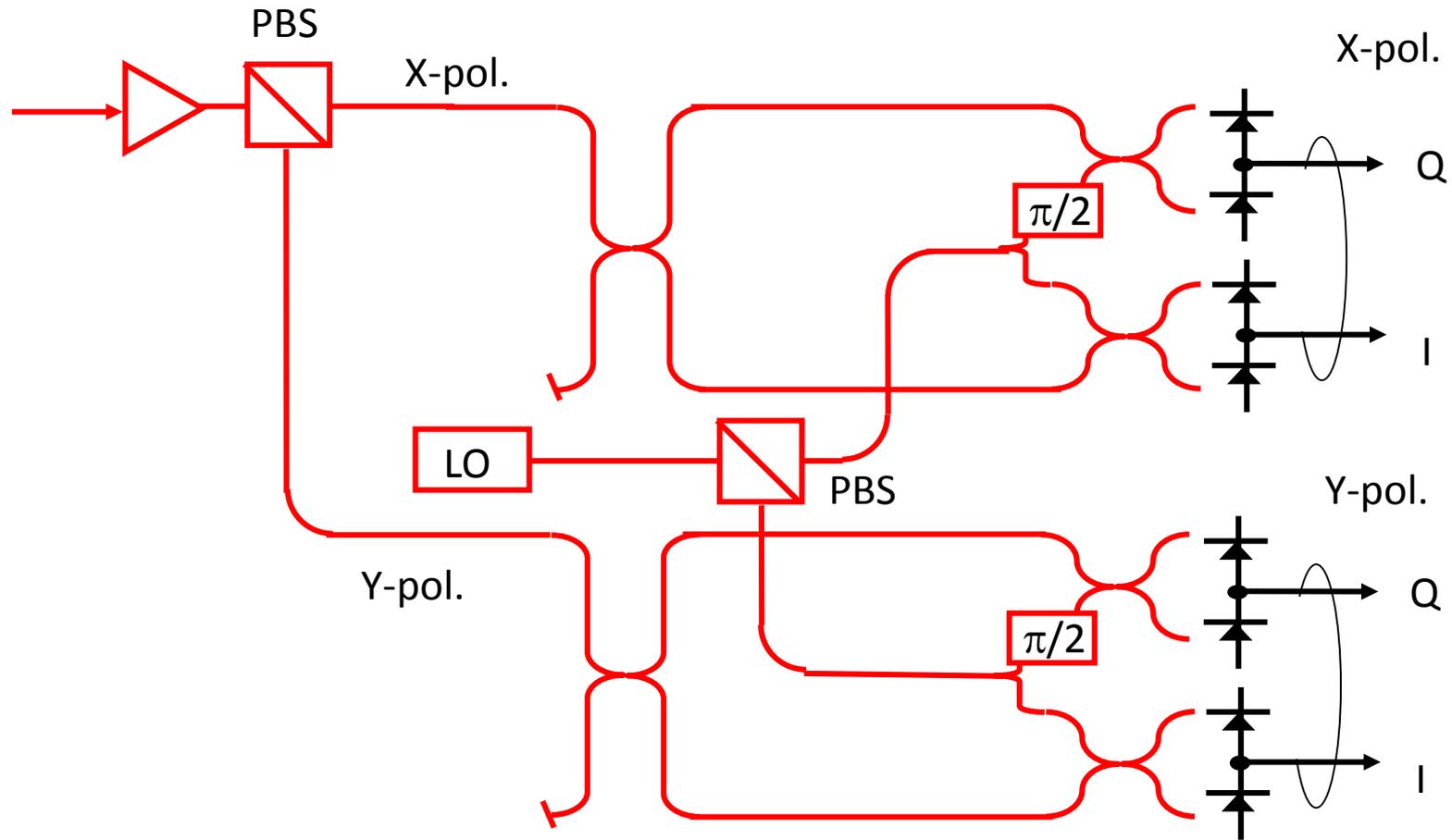
- 感度改善が目的ではない
- 高い周波数選択性が必要になってきた
- かつての技術的難易度が下がった

狭スペクトル光源 → 高ビットレートでスペック低下

光PLL → デジタル・コヒーレント技術により不要に

- 高ビットレート化(100Gbps)の要求が後押し
- 多値(16値以上)復調できるのは実質的にコヒーレント検波のみ

デジタルコヒーレントレシーバ回路図



PBS: 偏波ビームスプリッタ

X-pol.: X偏波

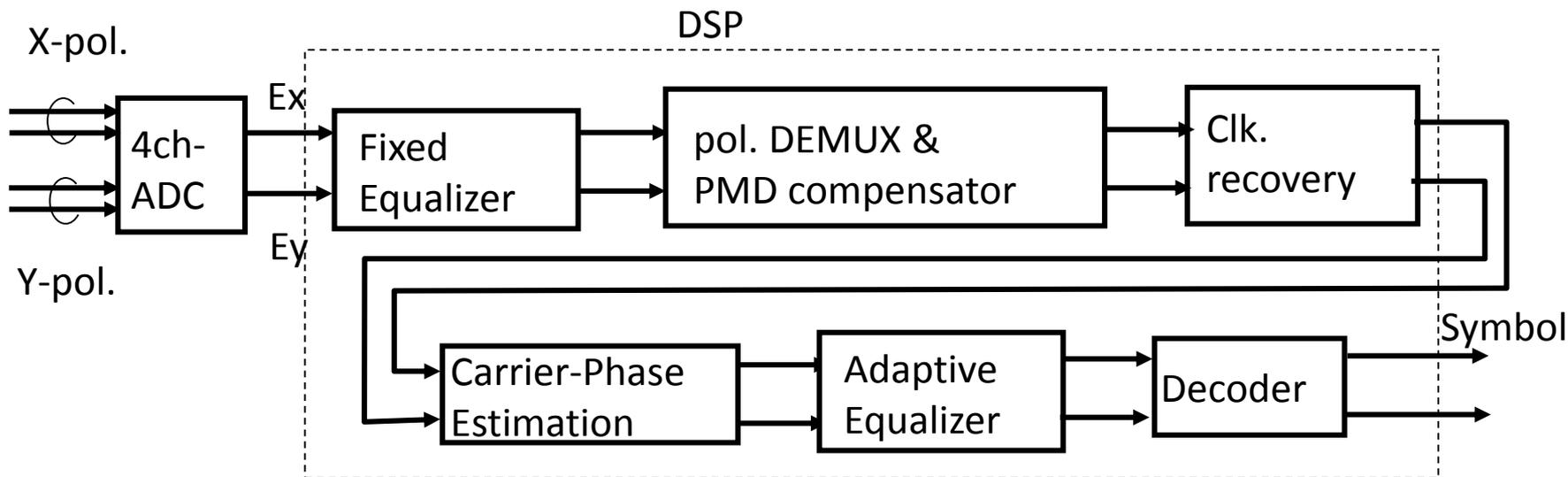
Y-pol.: Y偏波

LO: 局部発振光源

I: 同相成分

Q: 直交位相成分

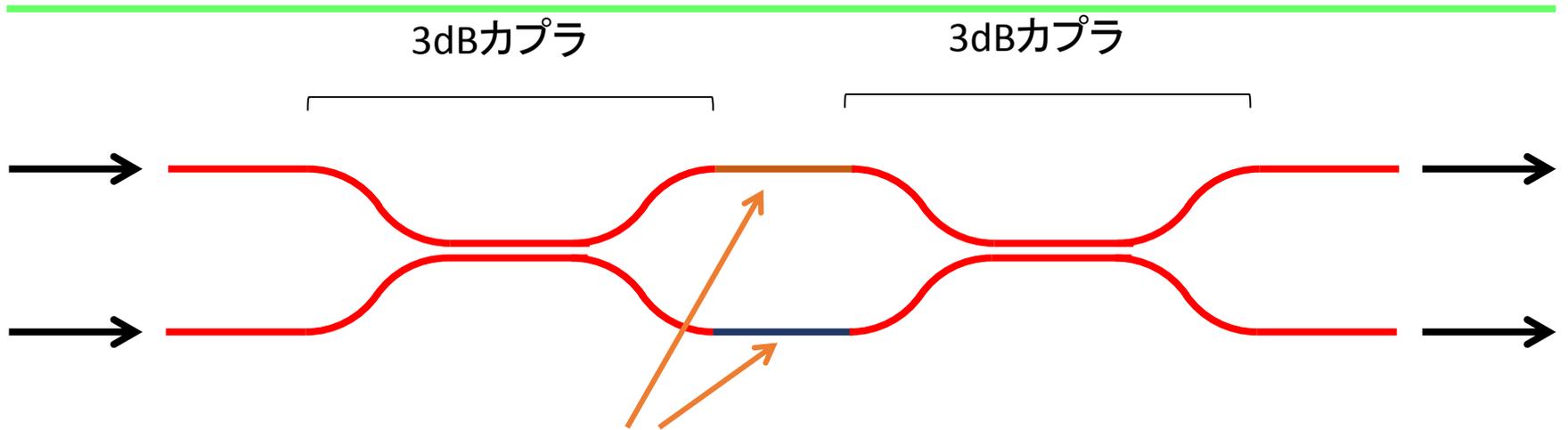
デジタル・コヒーレントレシーバの機能ブロック図



特徴

- LO(局発振光)の位相を受信光に厳密に合わせなくても位相の推定が可能
 ➡ 高速DSPの発展が寄与・コヒーレント再興の大きな原動力
- LOの発振線幅は受信IFのトラッキングのために狭線幅が必須

導波路MZI型偏波ビームスプリッタ(PBS)



異なる複屈折率

複屈折率大

TEの場合

逆相

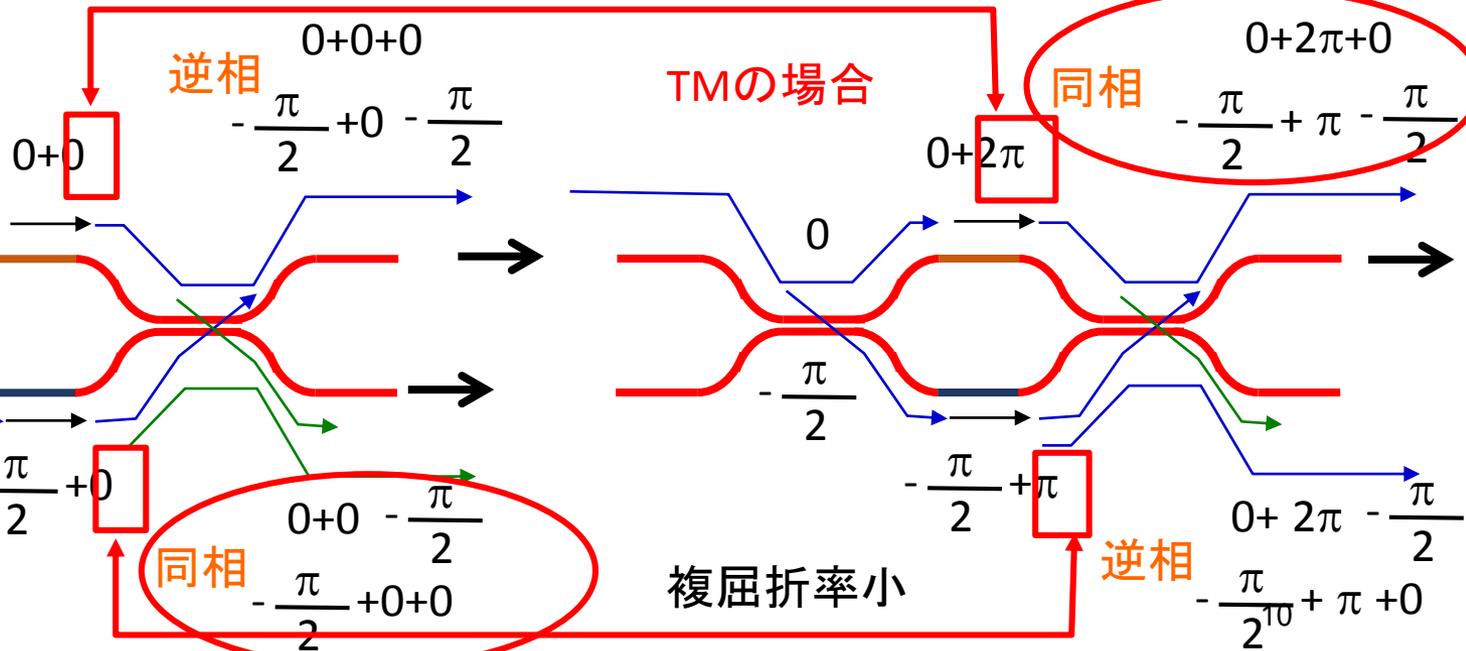
TMの場合

同相

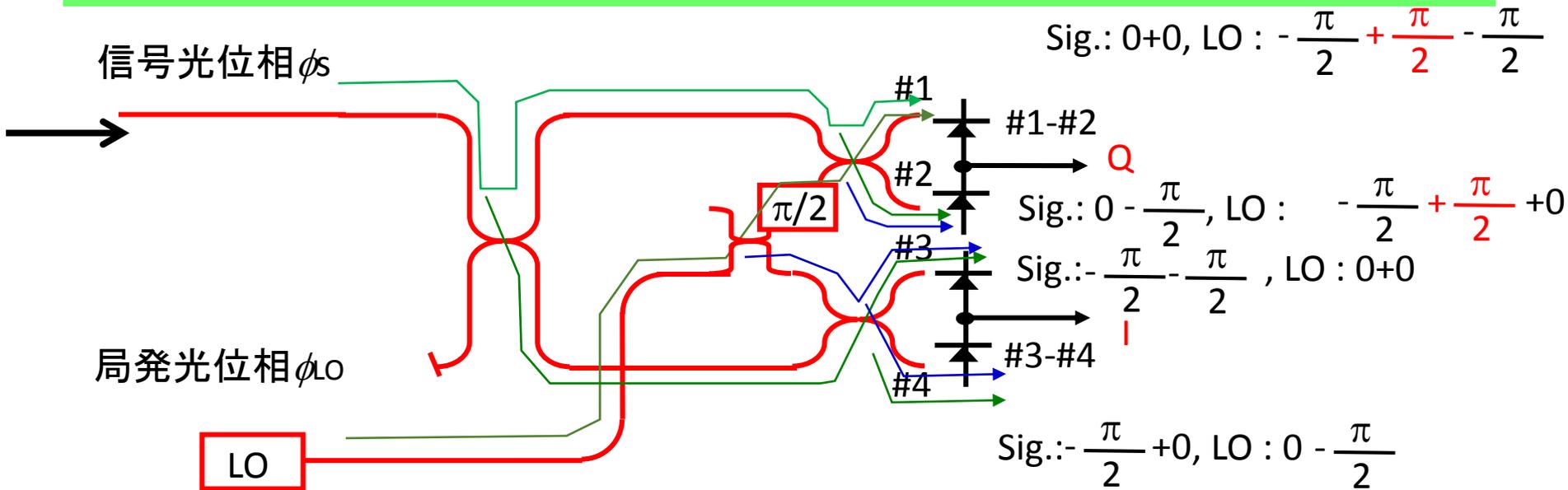
同相

複屈折率小

逆相



90度ハイブリッドによる位相・振幅の取得



信号光一局発光位相差 ($\phi_s - \phi_{LO}$) と
4出力

	0	$\frac{\pi}{2}$	π	$-\frac{\pi}{2}$
#1	0.5	0	0.5	1
#2	0.5	1	0.5	0
#3	0	0.5	1	0.5
#4	1	0.5	0	0.5

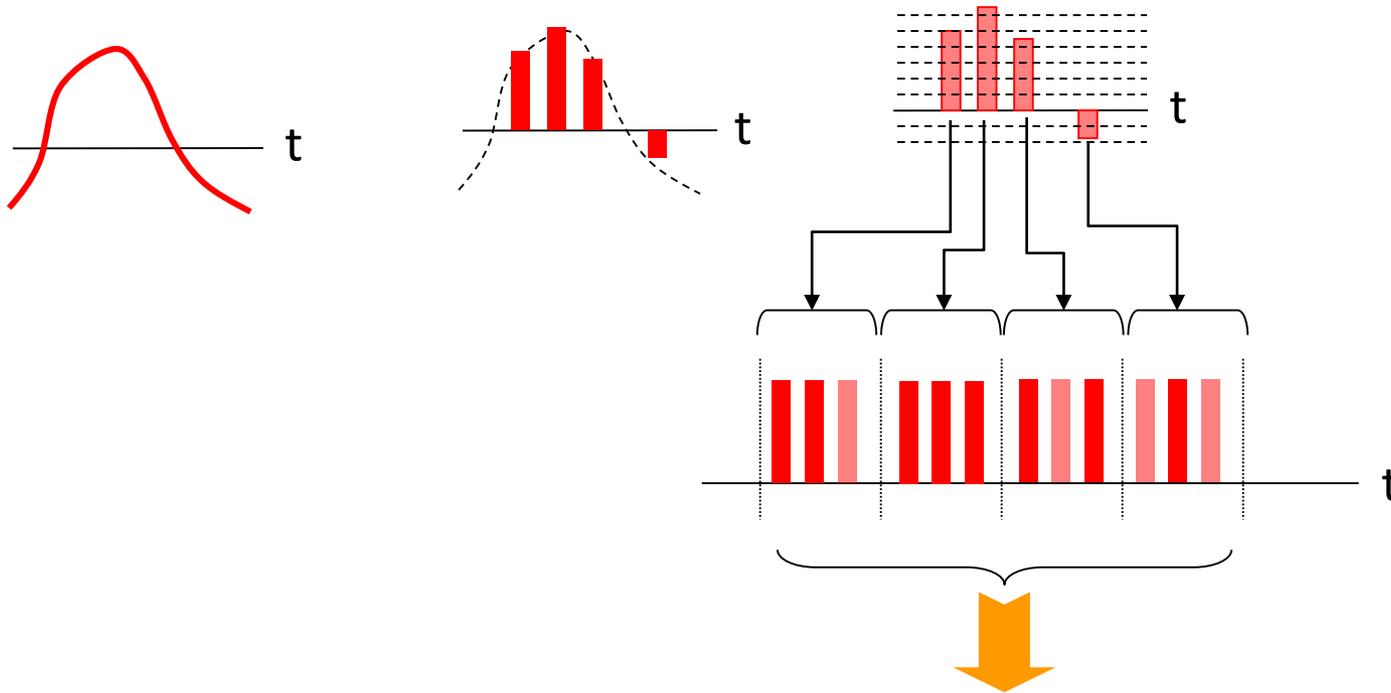
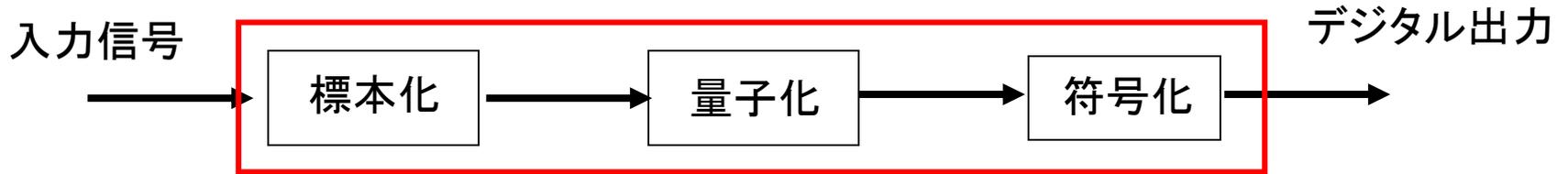
	0	$\frac{\pi}{2}$	π	$-\frac{\pi}{2}$
#1-#2	0	-1	0	1
#3-#4	-1	0	1	0

← Q

← I

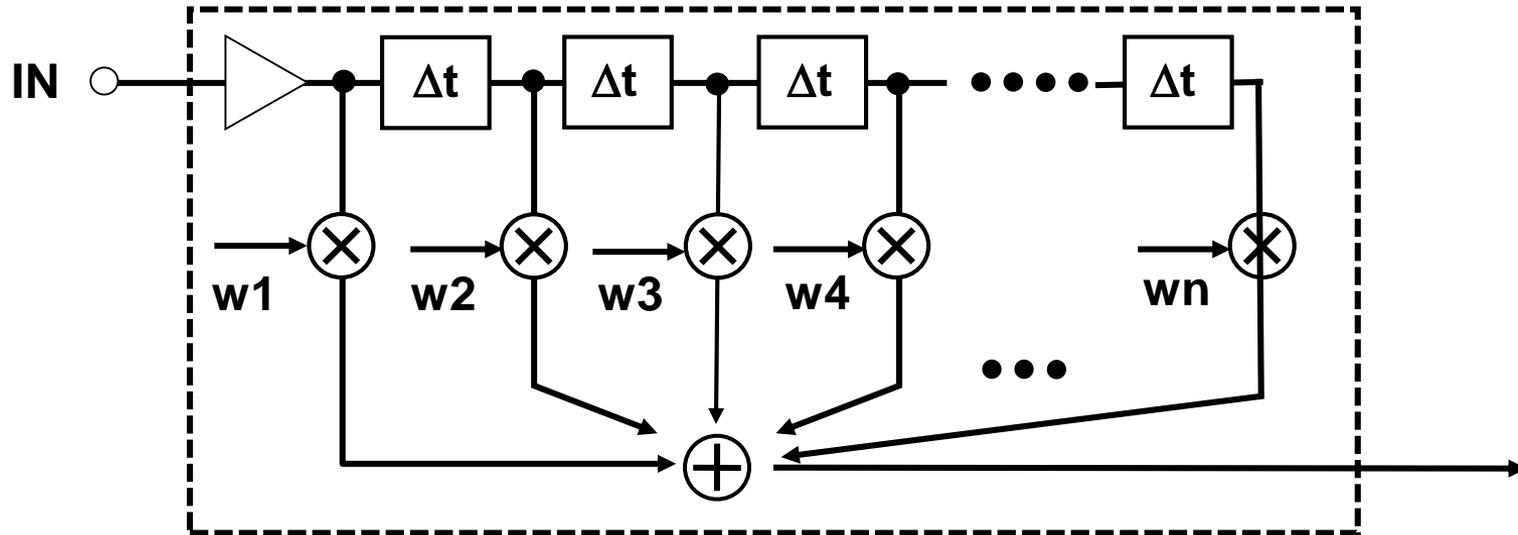
アナログ／デジタル(AD)変換

高速ADC (Analog-to-Digital Converter)



メモリに格納・論理回路で処理

FIR (Finite Impulse Response) フィルタが代表的



- 簡易な構成
- 分散補償量に比例してタップ数が増大

$$\Delta t = \left(\frac{1}{B} \right) \cdot \frac{1}{m}$$

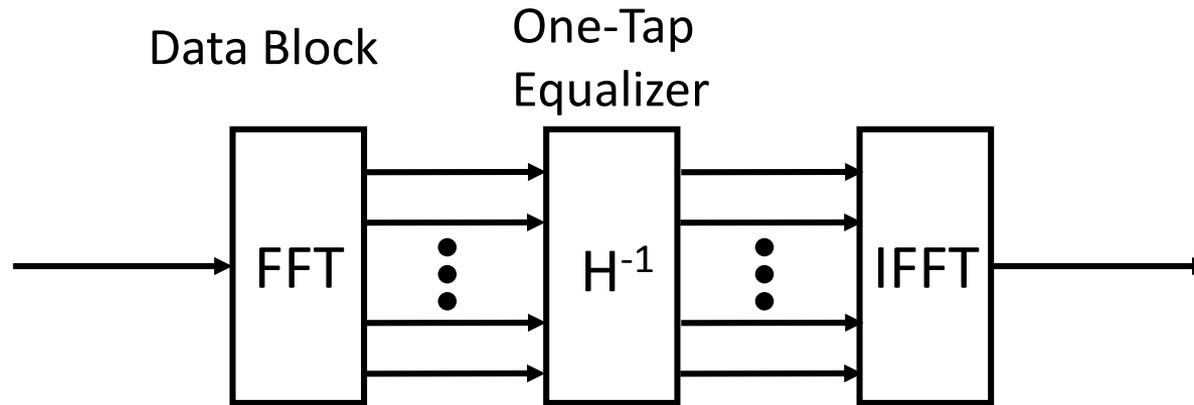
B: Baud Rate

m: 標本化数/シンボル (例. m=2ならばナイキスト周波数)

波形歪量 (波形広がり) $\propto L \times B$

L: 伝送距離

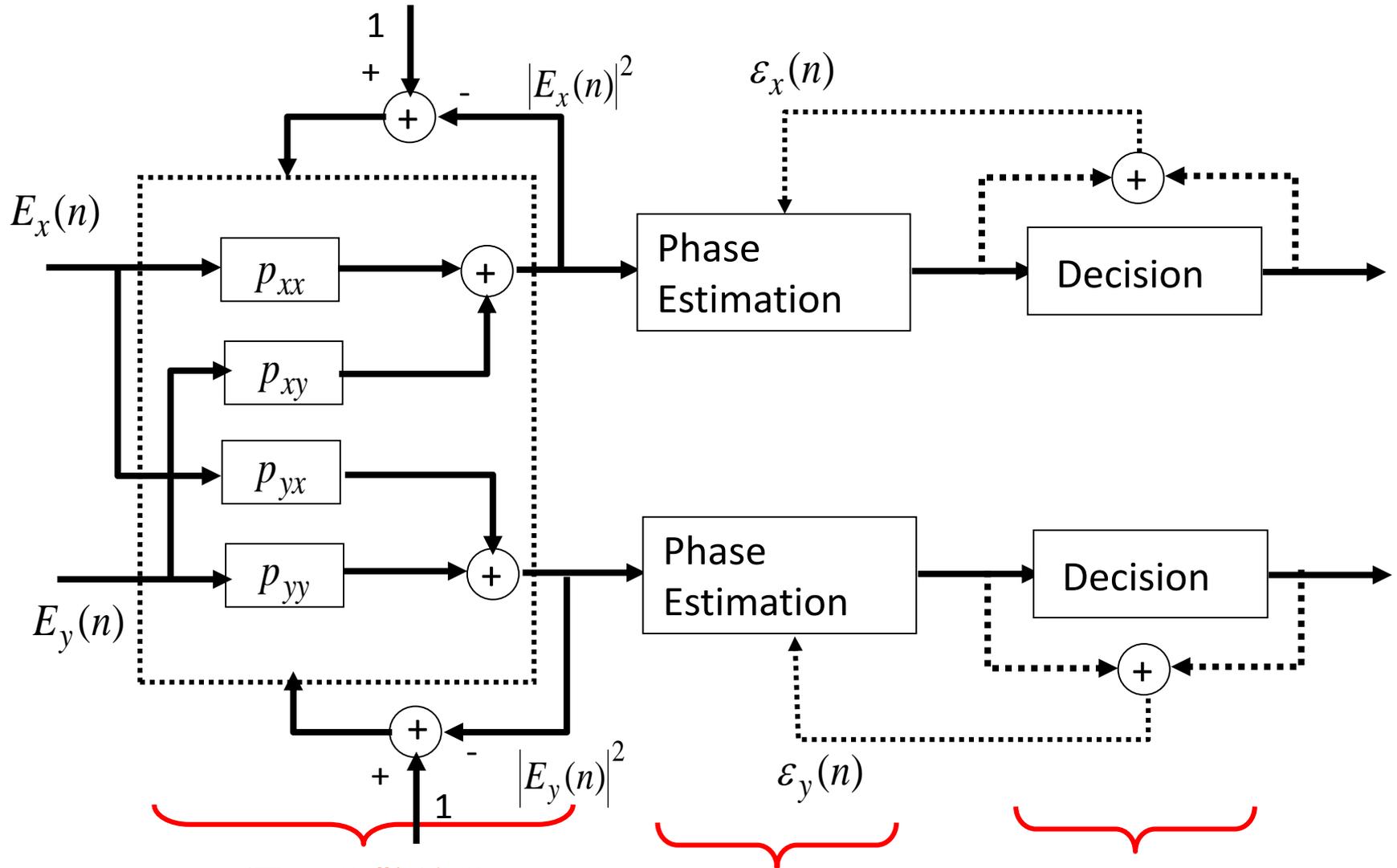
線形分散補償(周波数領域等化)



$$Y(f) = H^{-1}(f)X(f)$$

- 補償量が大きいとき(時間領域でタップ数が多くなるとき)、周波数領域等化のほうが計算量が削減可能

偏波多重分離・偏波分散等化・キャリア位相追尾 を行う適応等化回路



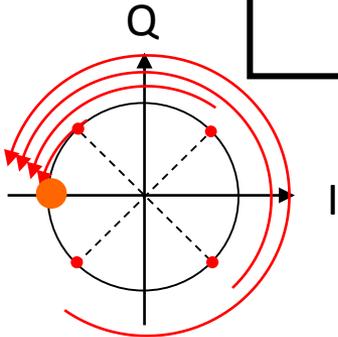
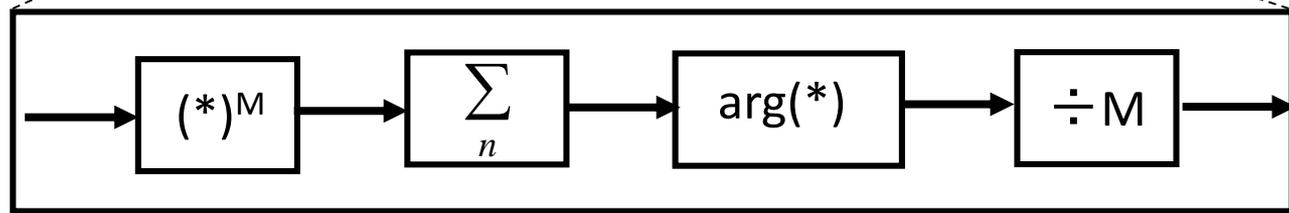
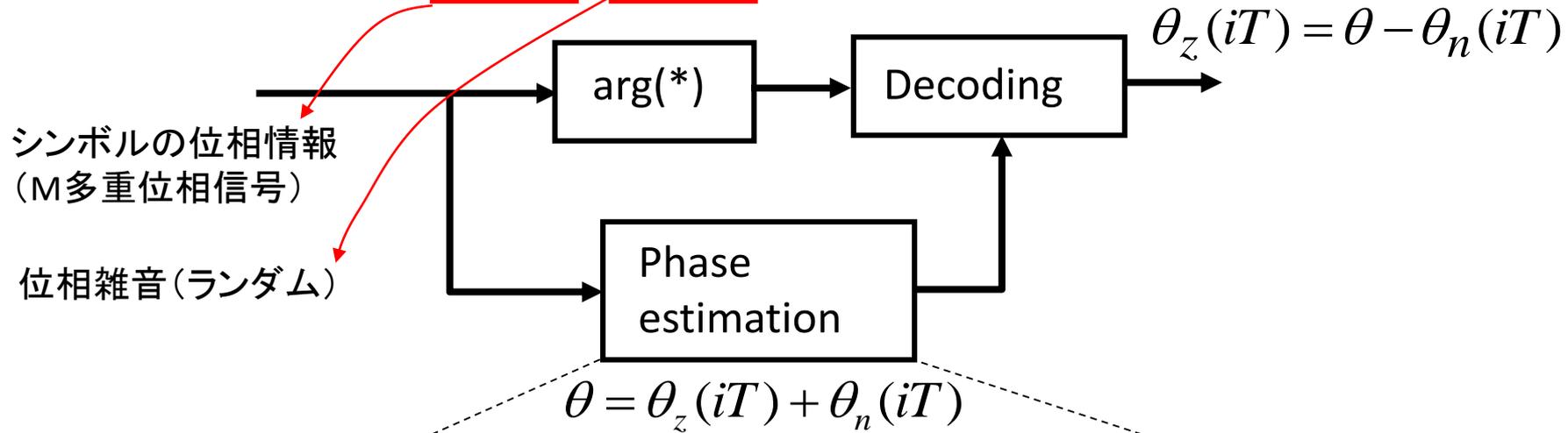
偏波分散等化・
偏波多重分離

キャリア位相推定

適応等化・位相追尾

位相推定

$$E_r(iT) = E_z \exp j\{\theta_z(iT) + \theta_n(iT)\}$$

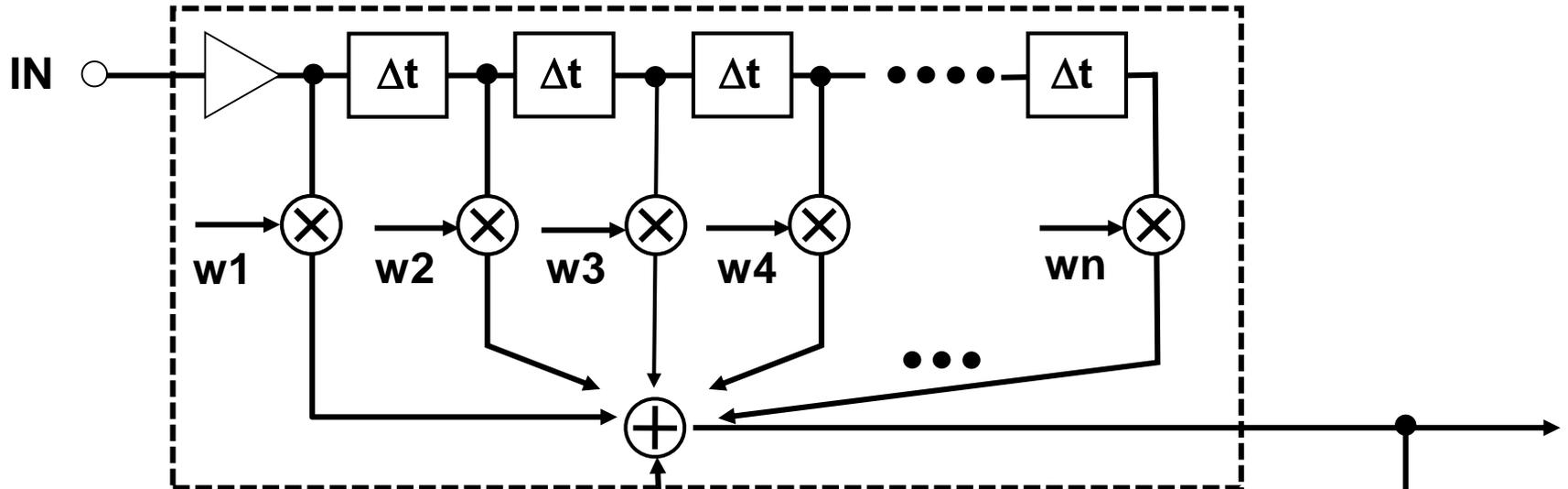


$$E_r^M = E_z^M \exp jM\theta_n(iT)$$

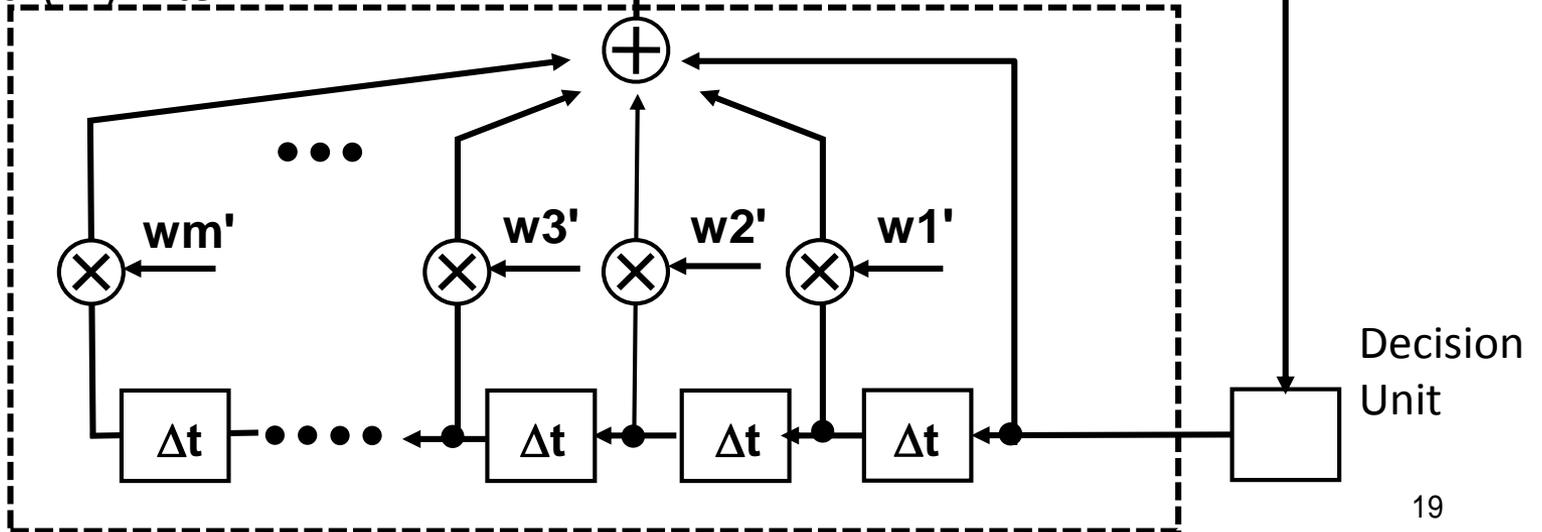
$$\theta_n(iT) = \arg \left(\sum_{j=-k}^k I_c \{(i+j)T\}^M \right) / M$$

判定帰還型等化器: Decision Feedback Equalizer (DFE)

Feed Forward(FF) Filter



Feedback(FB) Filter

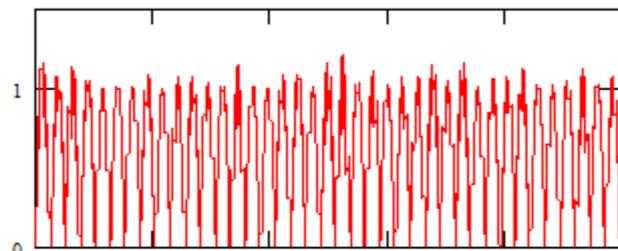


Decision Unit

時間波形とコンスタレーション(1)

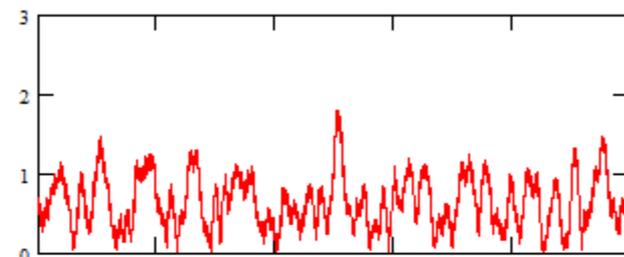
40Gbaud, RZ-QPSK, -6dBm, SMF 1000km

送信波形



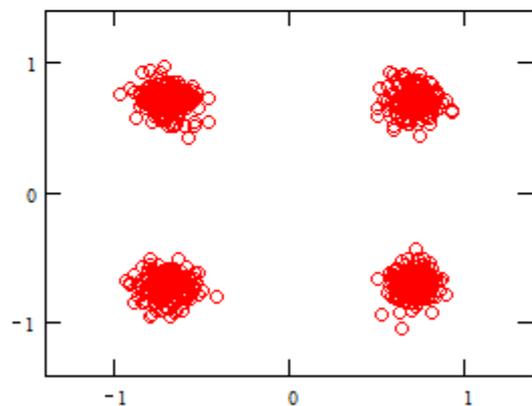
時間

伝送後波形

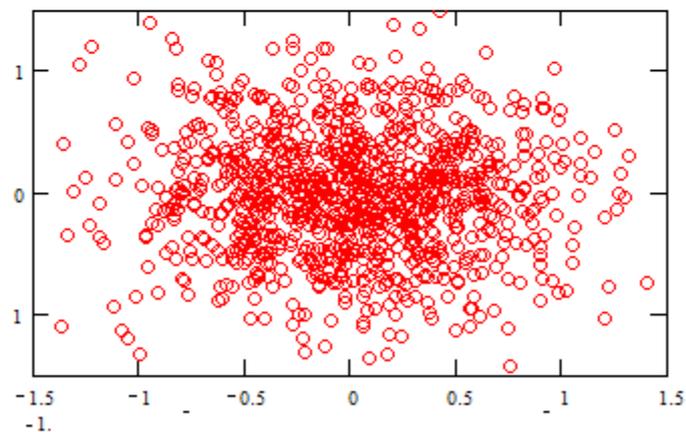


時間

送信コンスタレーション

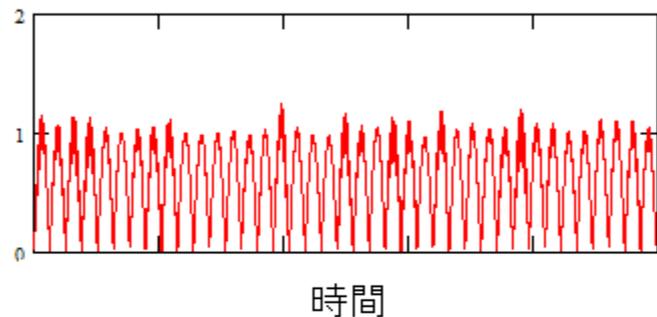


伝送後コンスタレーション

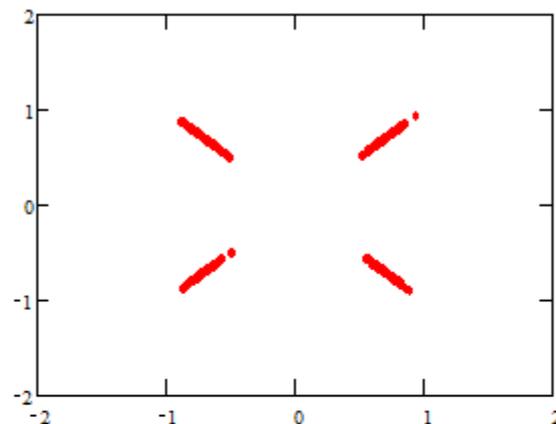


時間波形とコンスタレーション(2)

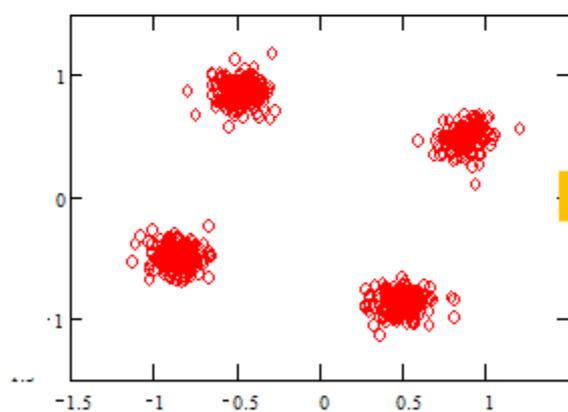
線形分散補償100%波形



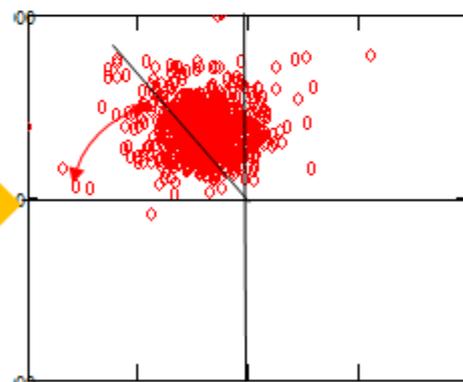
位相推定後



線形分散補償100%コンスタレーション



4乗計算



硬判定後

