

第5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)

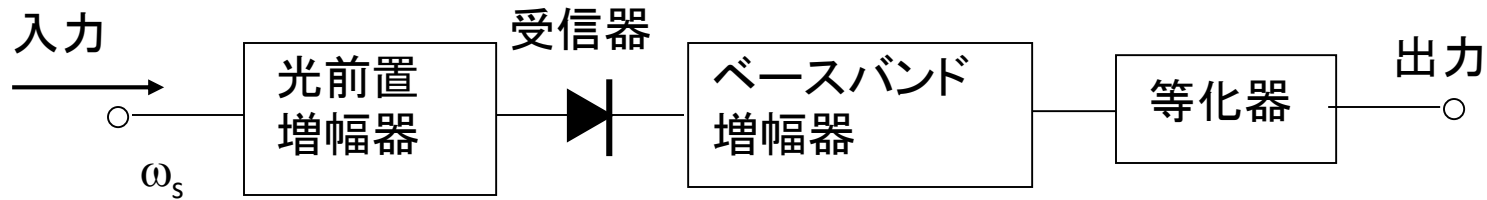
植之原	日付	教科書	内容
第1回	11/30	OCW-i掲載資料(第1回)の精読と理解	光通信システム(基礎・長距離基幹系)
第2回	12/ 4	OCW-i掲載資料(第2回)の精読と理解	光通信システム (メトロ・アクセス・LAN・インターコネクション)
第3回	12/ 7	OCW-i掲載資料(第3回)の精読・PN符号の説明	光変調符号
第4回	12/11	OCW-i掲載資料(第4回)の精読・信号の数式・スペクトル表現	光変復調技術(強度変調・位相変調)
第5回	12/14	OCW-i掲載資料(第5回)の精読・機能ブロックの理解	光変復調技術 (デジタル・コヒーレント関連技術)
第6回	12/18	OCW-i掲載資料(第6回)の精読・波動方程式の解法	光ファイバのモード特性(波動方程式)
第7回	12/21	OCW-i掲載資料(第7回)の精読・モードおよび偏波状態の理解	光ファイバのモード特性(偏波)
第8回	12/ 25	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(分散による伝送限界)

講義スケジュール(2)

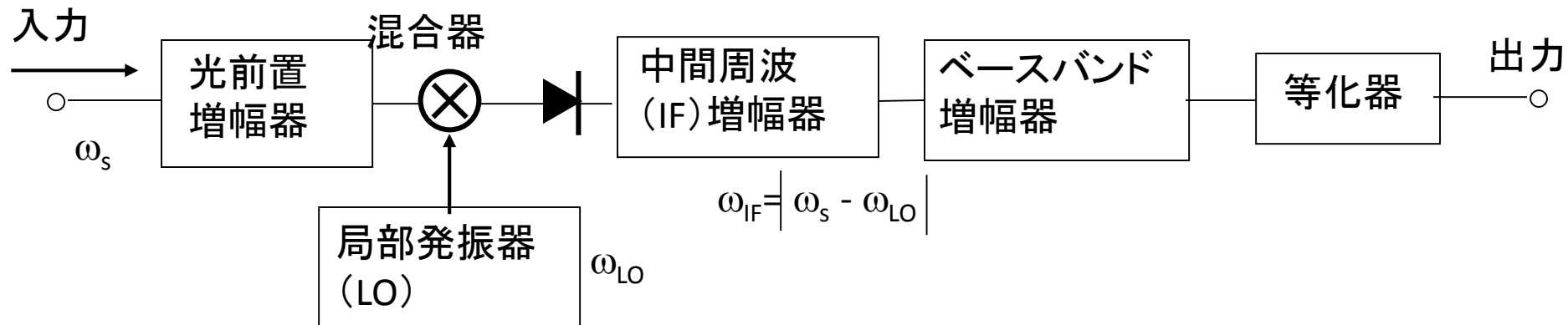
小山	日付	教科書	内容
第9回	1/11	OCW-i掲載資料(第9回)の精読・分散補償の概念の理解	ファイバの伝送特性(分散補償技術)
第10回	1/15	OCW-i掲載資料(第10回)の精読・動作原理の説明	光増幅器
第11回	1/18	OCW-i掲載資料(第11回)の精読・ビット誤り率の計算	ビット誤り率(強度変調・直接検波)
第12回	1/22	OCW-i掲載資料(第12回)の精読・ビット誤り率の相対比較	ビット誤り率 (コヒーレント、多値変調、光増幅)
第13回	1/25	OCW-i掲載資料(第13回)の精読・WDMの性能的課題	波長多重(WDM)伝送 (分散マネジメント技術)
第14回	1/29	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	2/1	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)

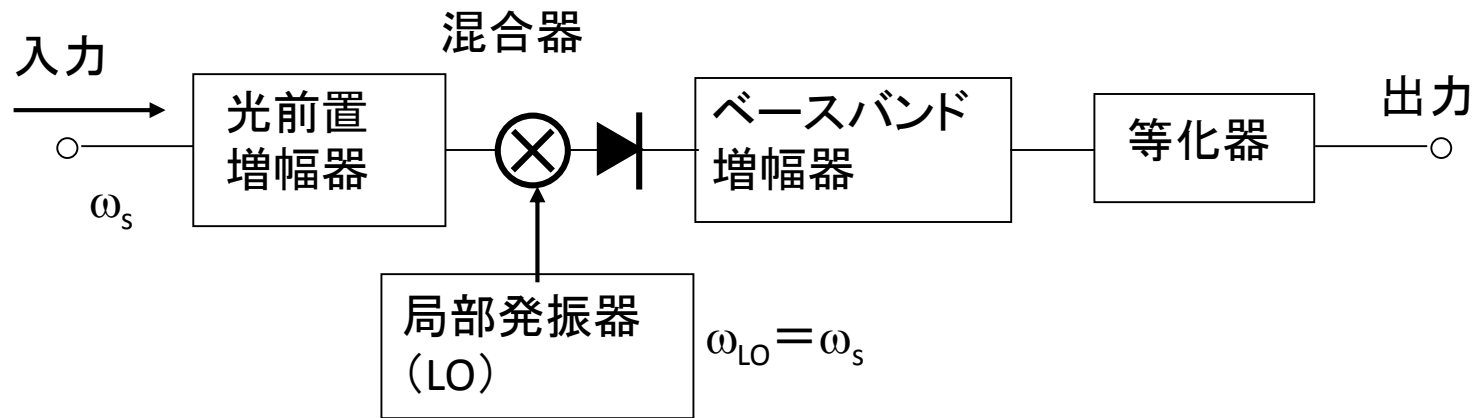


② ヘテロダイン検波



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

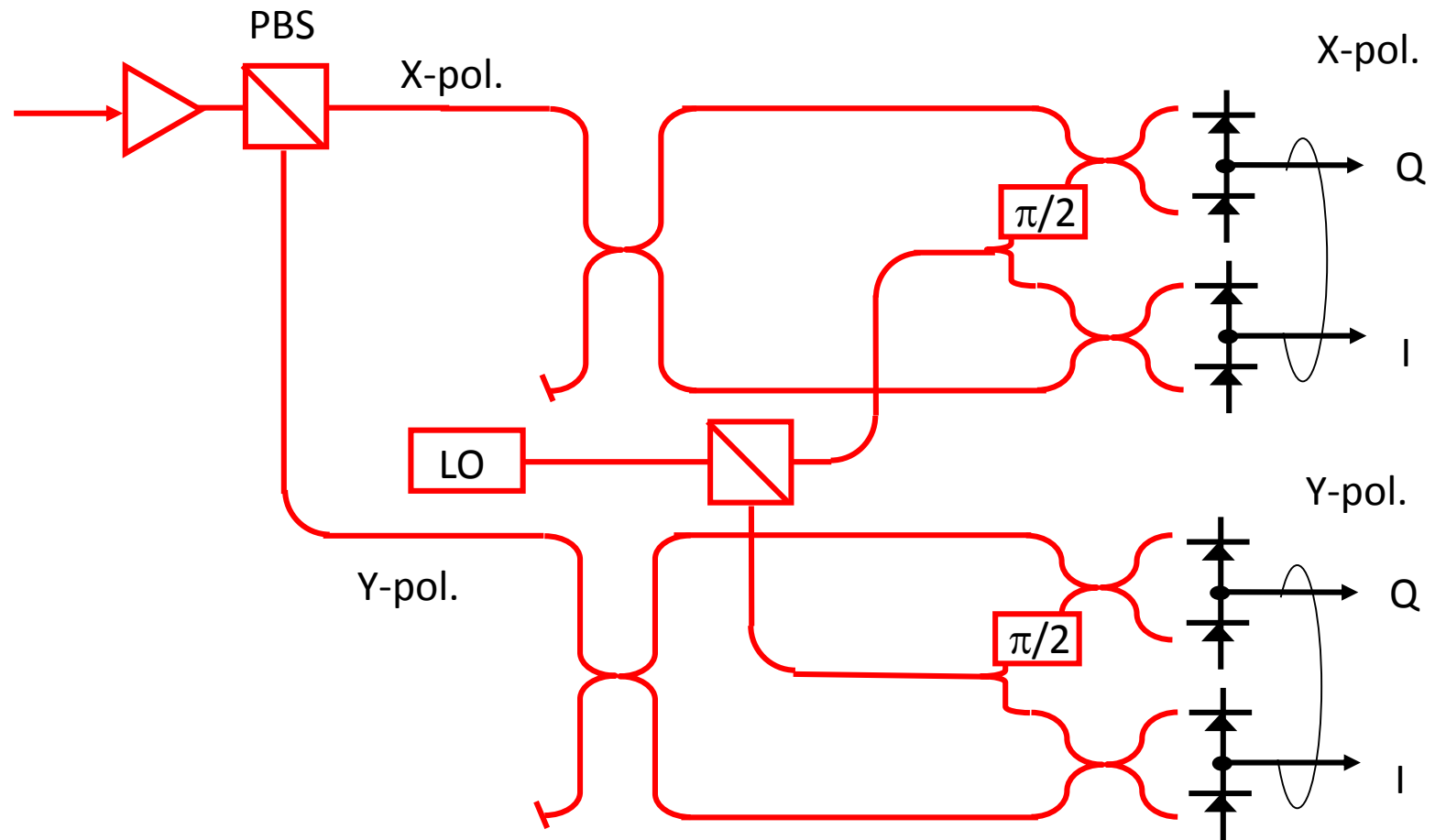
- 感度改善が目的ではない
- 高い周波数選択性が必要になってきた
- かつての技術的難易度が下がった

狭スペクトル光源 → 高ビットレートでスペック低下

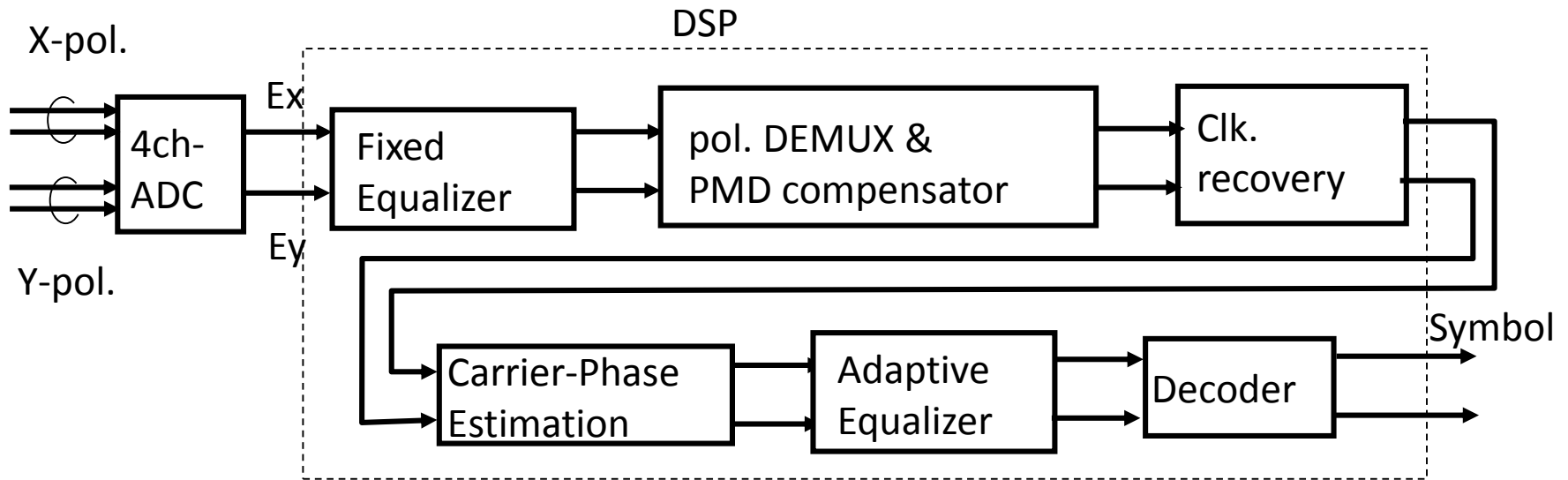
光PLL → デジタル・コヒーレント技術により不要に

- 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



デジタル・コヒーレントレシーバの機能ブロック図



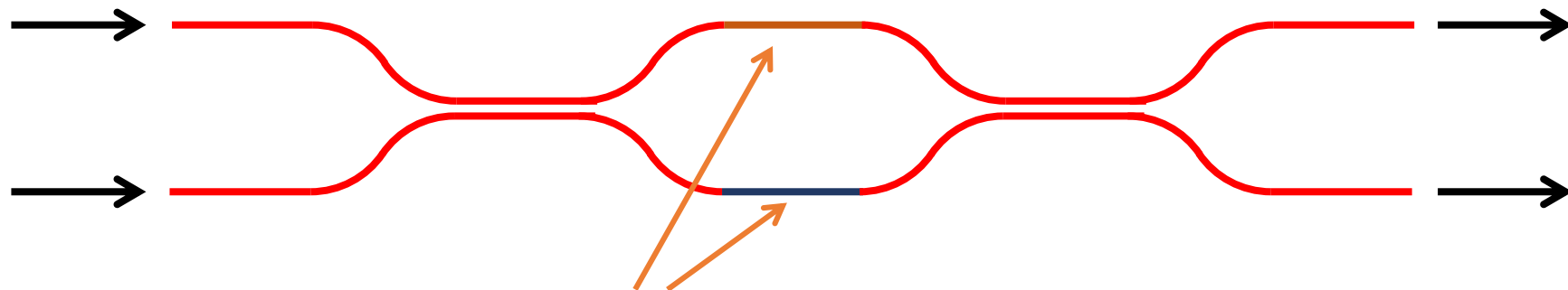
特徴

- 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)

3dBカプラ

3dBカプラ



異なる複屈折率

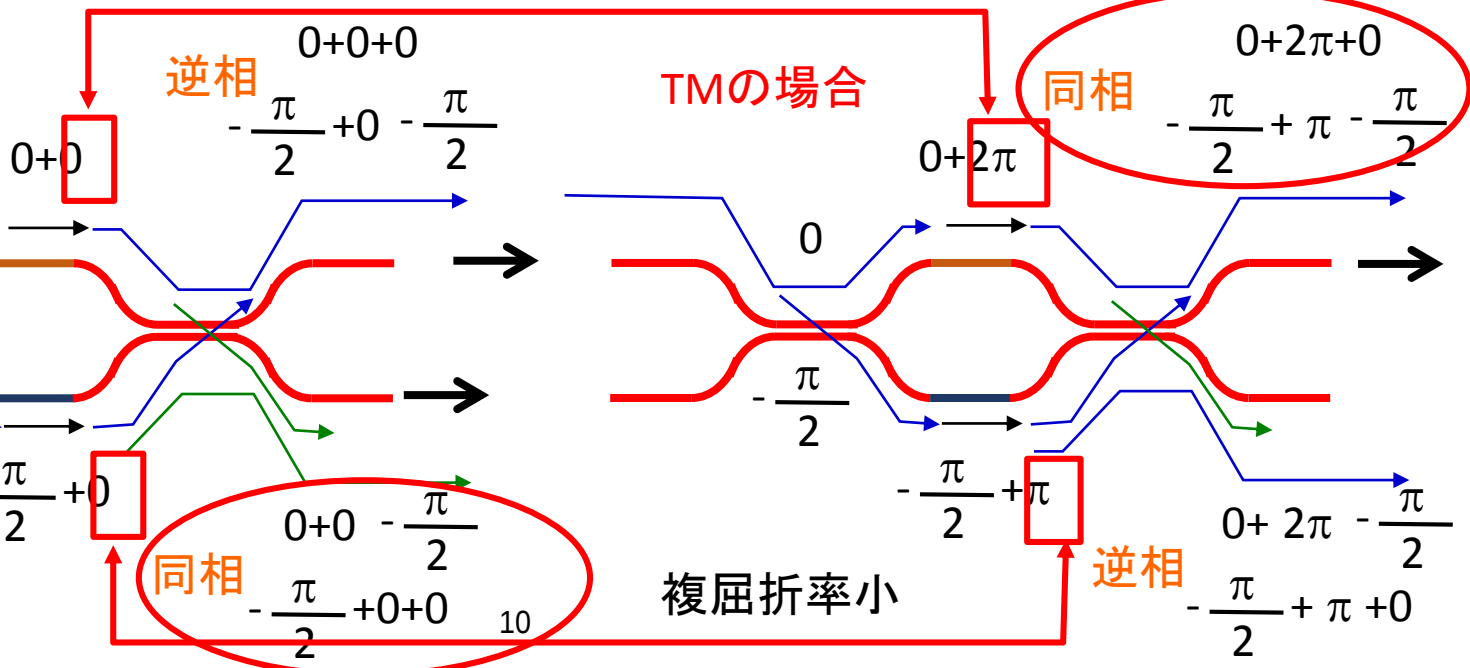
複屈折率大

TEの場合

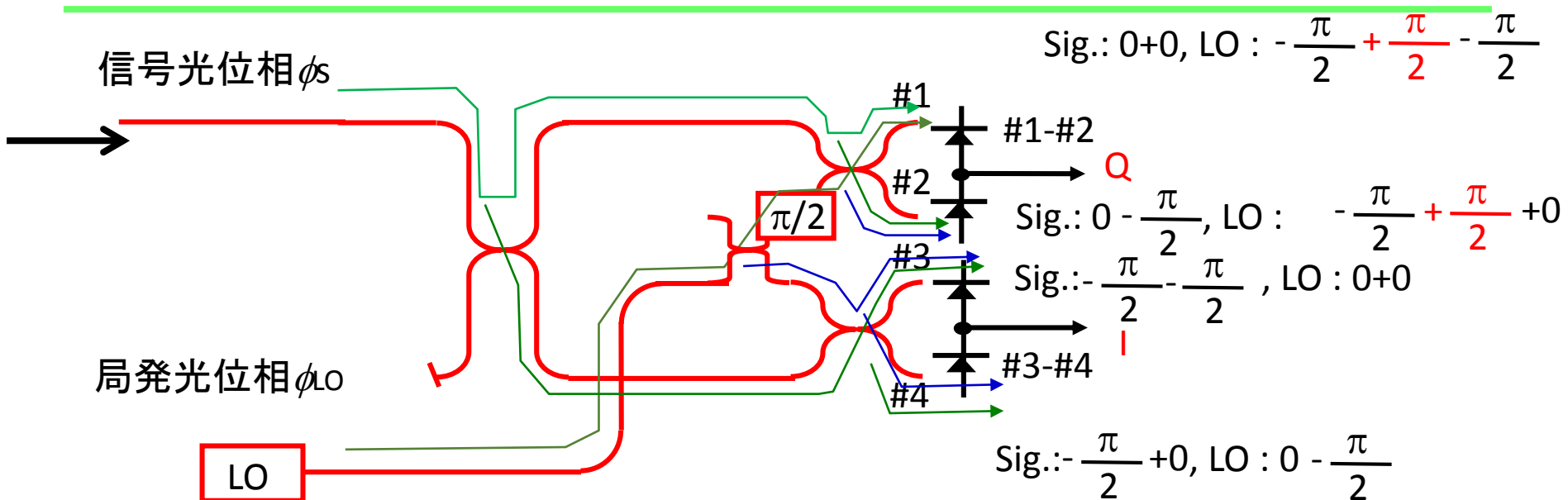
逆相

TMの場合

同相



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

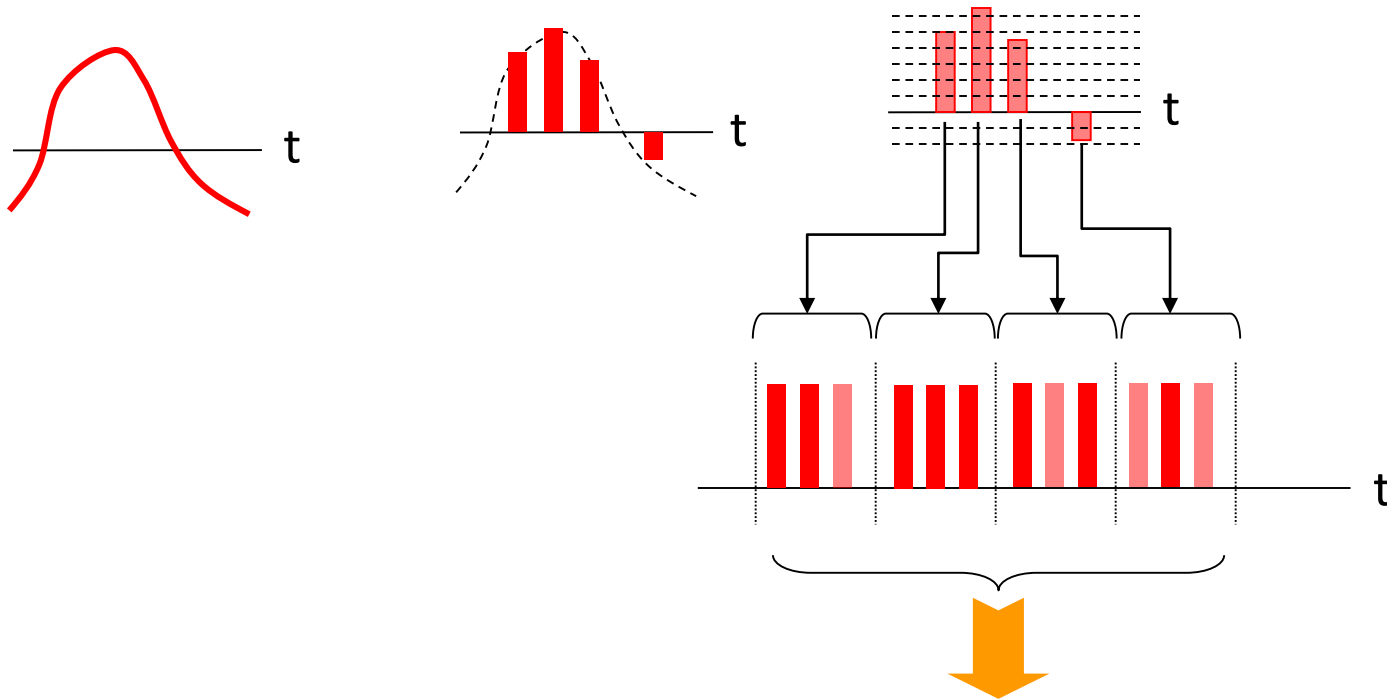
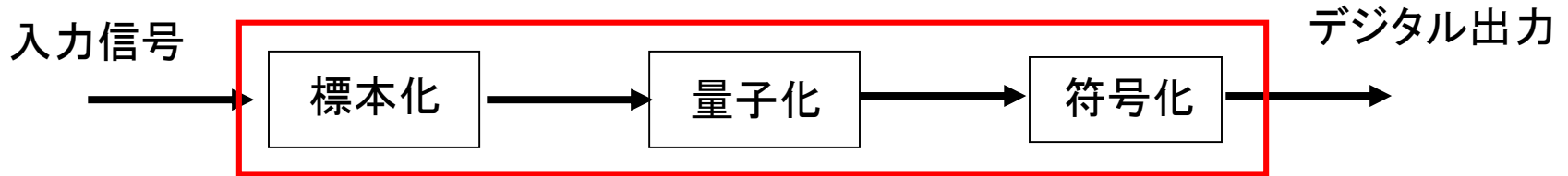
	0	$\frac{\pi}{2}$	π	$-\frac{\pi}{2}$
#1-#2	0	-1	0	1
#3-#4	-1	0	1	0

Q

I

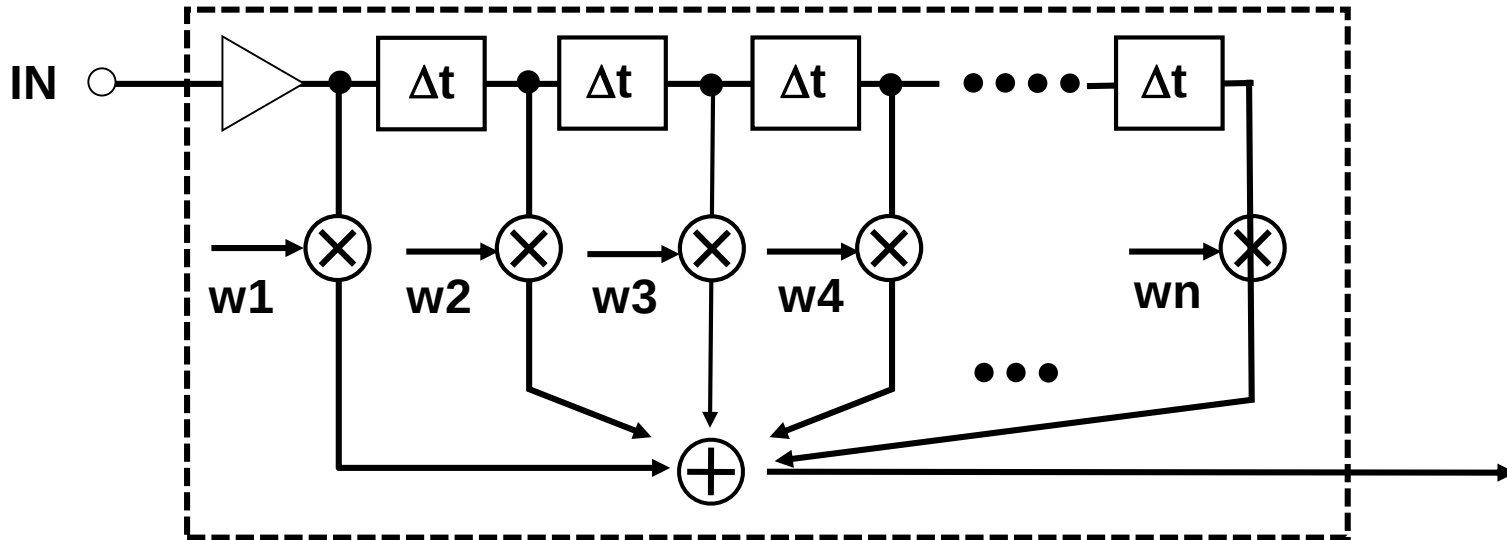
アナログ／デジタル(AD)変換

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

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

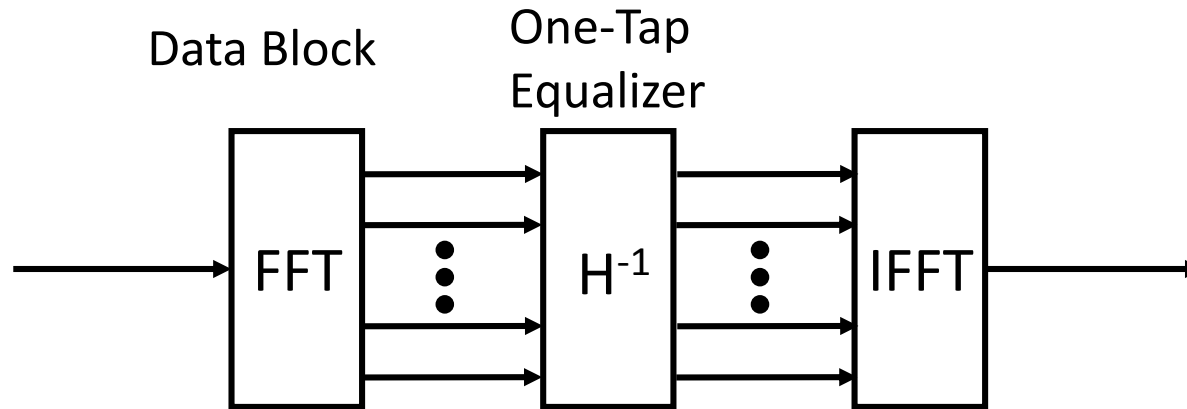
B: Baud Rate

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

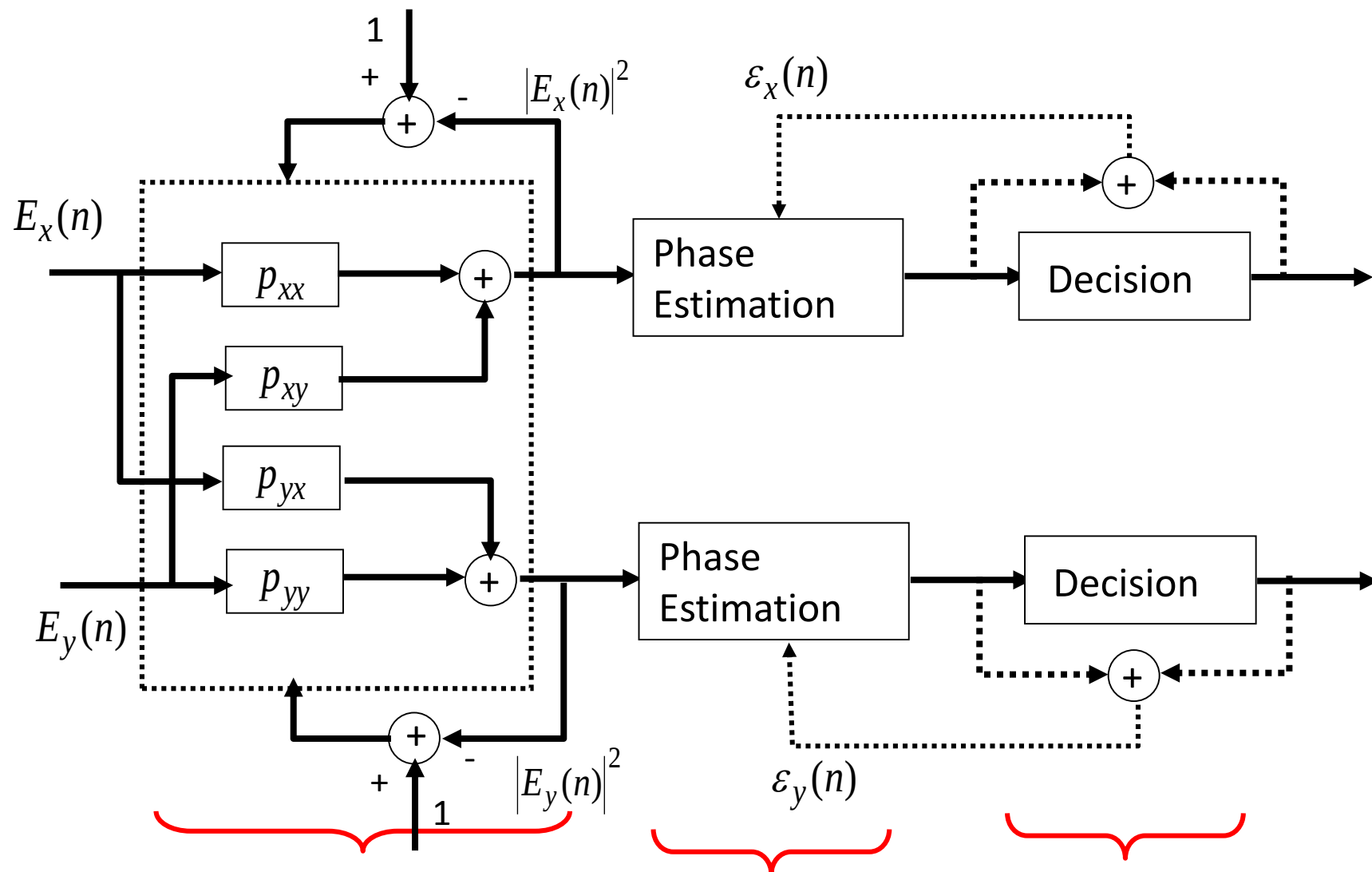
線形分散補償(周波数領域等化)



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

- 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

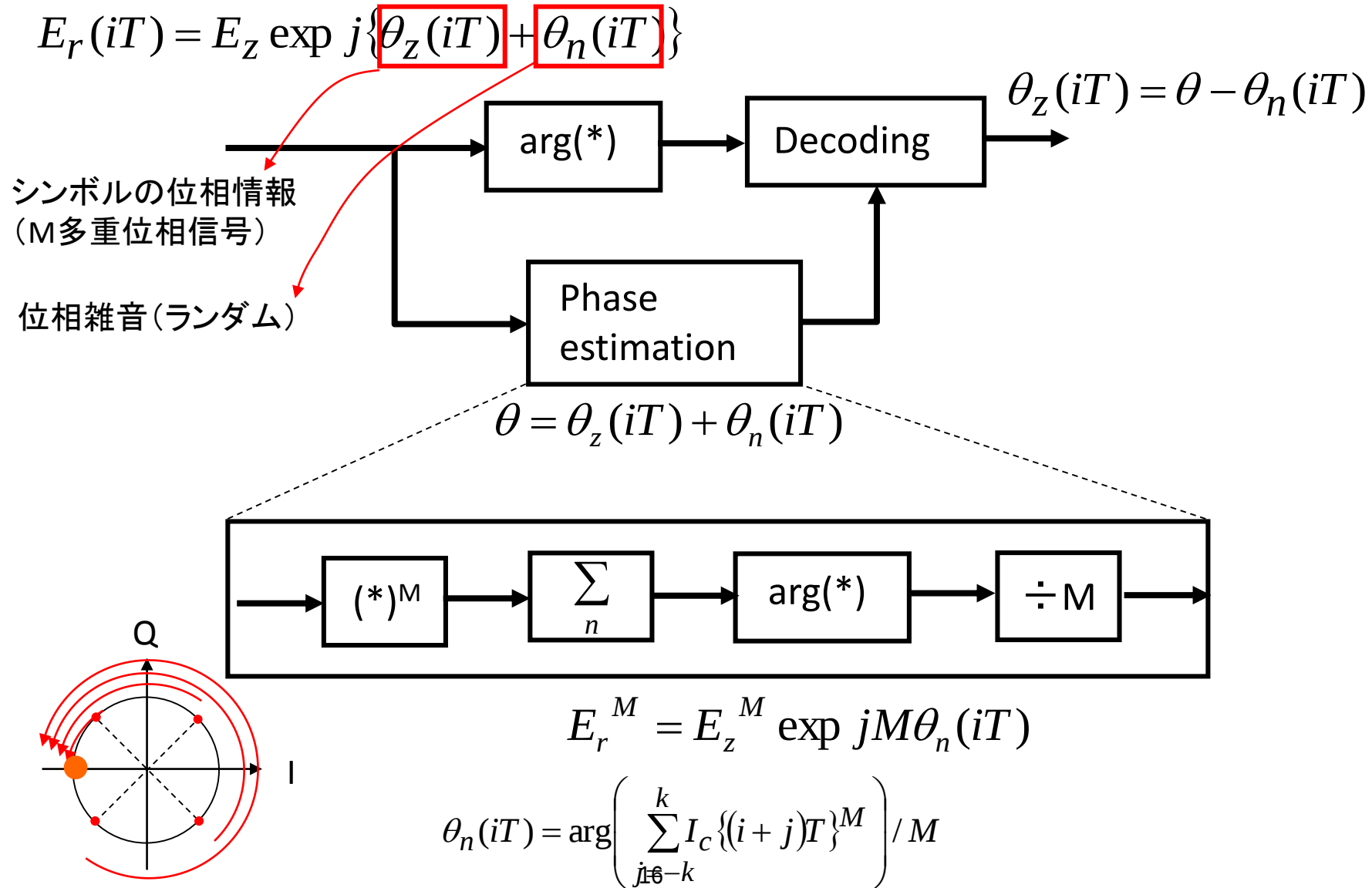


偏波分散等化・
偏波多重分離

キャリア位相推定

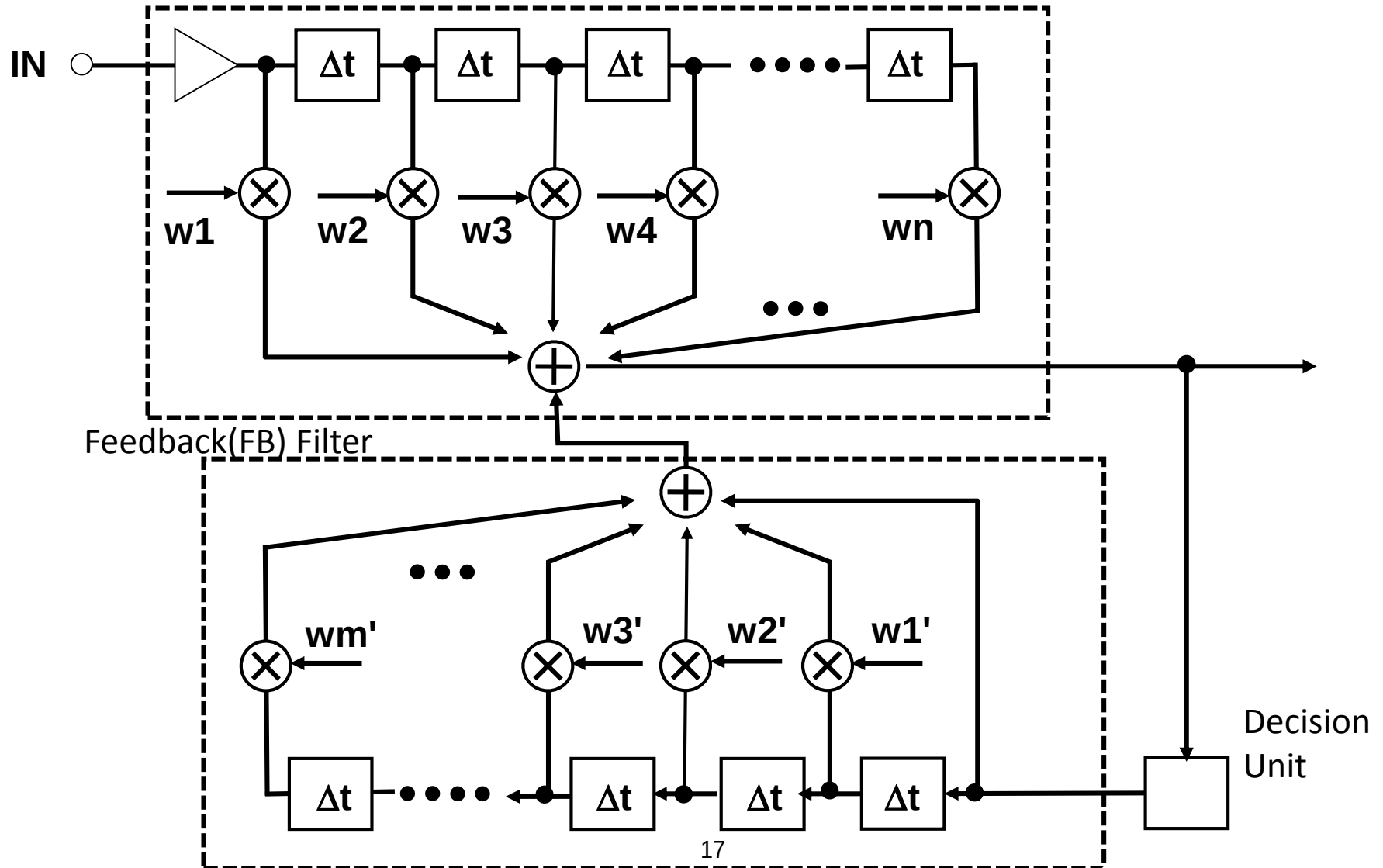
適応等化・位相追尾

位相推定



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

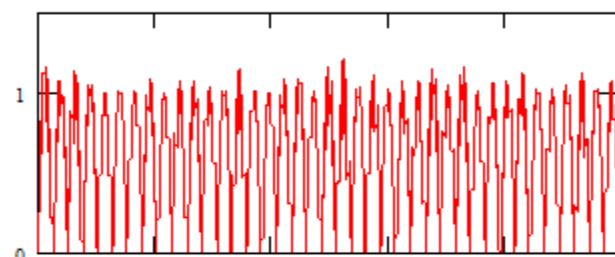
Feed Forward (FF) Filter



時間波形とコンスタレーション(1)

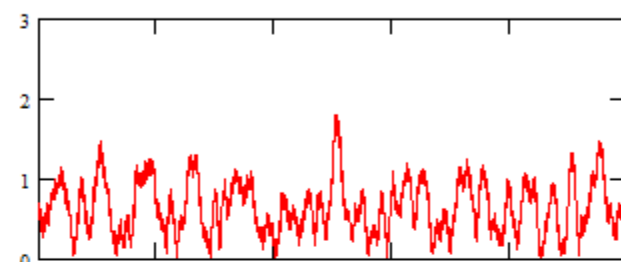
40Gbaud, RZ-QPSK, -6dBm, SMF 1000km

送信波形



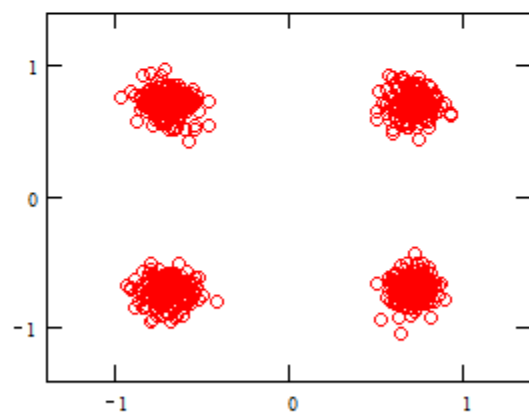
時間

伝送後波形

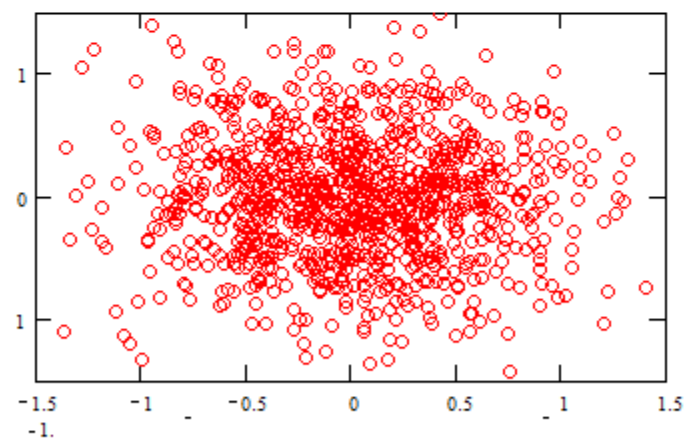


時間

送信コンスタレーション

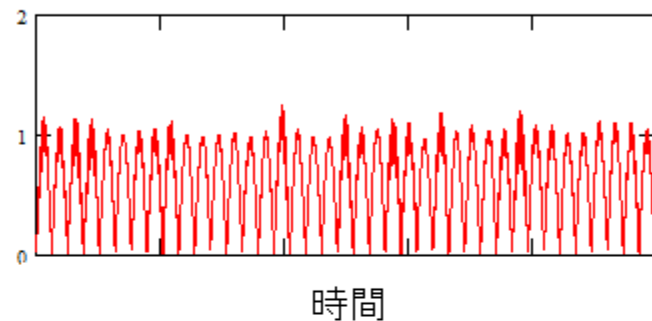


伝送後コンスタレーション

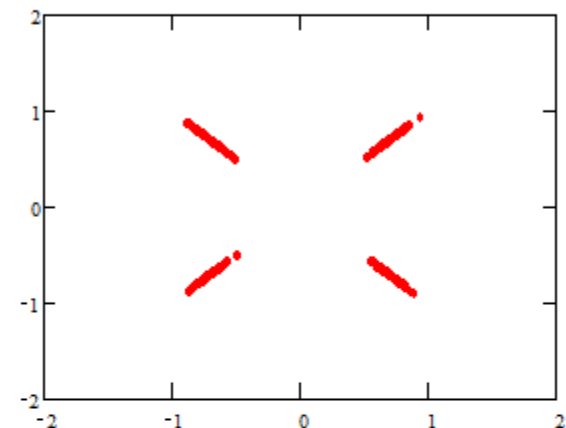


時間波形とコンスタレーション(2)

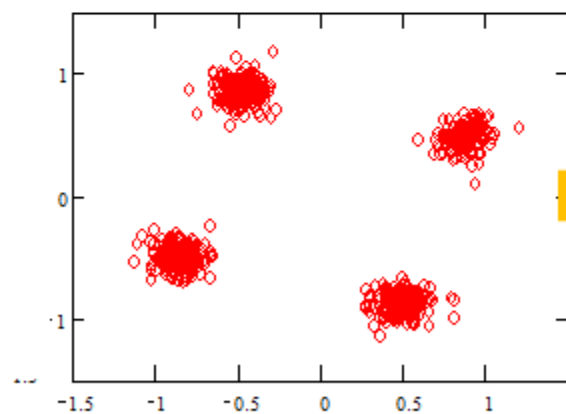
線形分散補償100%波形



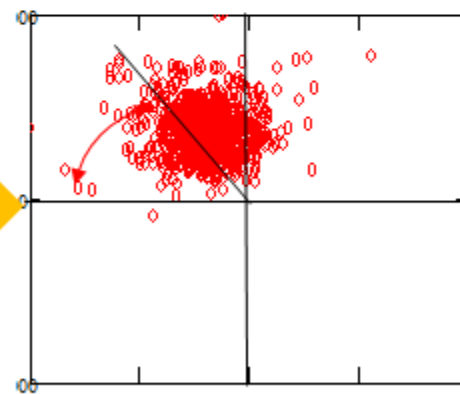
位相推定後



線形分散補償100%コンスタレーション



4乗計算



硬判定後

