

CADD方式を用いた大容量通信の検討

田原 暉 (光制御・ネットワーク研究室)

(指導教員 小林 弘和 教授)

1. 研究背景・目的

近年コロナ禍の影響により通信の需要が増加し、高速大容量な光通信の更なる高速化、大容量化が期待されている。光通信の通信方式は近距離光通信用のIM-DD(強度変調・直接検波)と長距離大容量光通信用のコヒーレント検波が主流であり、IM-DDは強度変調のみで大容量化に限界がある。そこで近年、強度変調だけではなく位相変調も併用したQAM変調波を搬送波と合波して送信する搬送波付加直接検波(Carrier Addition Direct Detection; CADD)が注目されている。この手法は送信側で搬送波を合波しておくことで、受信側は直接検波した信号にデジタル信号処理(DSP)を施すことで、強度情報のみから位相も含めて受信側で直接受信できる[1]。本研究では多機能計測器(Analog Discovery; AD3)を用いた電気信号によるCADD方式の模擬実験を目標とした。

2. 信号品質評価手法

シンボル(信号の最小データ)に対応して信号を異なる位相成分を持たせる位相変調(PSK)を例として信号品質評価手法について述べる。図1に2ビットを1シンボルとして送信する4値PSKの時間波形と振幅・位相を点で表現したコンスタレーションを示す。コンスタレーションが点になっているかどうかで信号の振幅、位相成分の品質を見ることができる。I軸が搬送波と同相成分、Q軸が搬送波と直交成分となっており、時間波形の位相に対応した信号がコンスタレーションにプロットされている。復調信号に対しては前後1.5ビットを重ねてプロットしたアイパターンが信号品質評価に使用される。アイの開口が大きいほど信号が雑音に強いことを示している。

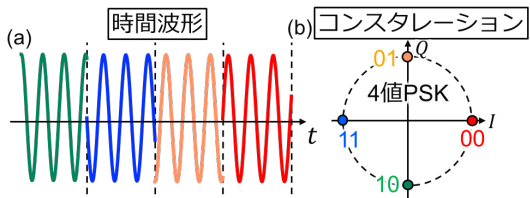


図1 4値PSKの(a)時間波形と(b)コンスタレーション

3. AD3を用いた強度・位相変調波の生成と復調

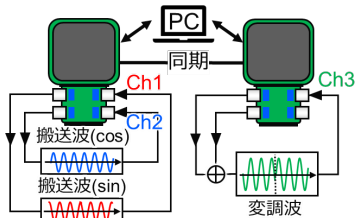


図2 AD3を用いた実験系

図2のように2台のAD3を同期しPCに接続して実験を行った。cosとsinの搬送波をオシロのCh1とCh2で測定し、振幅・位相変調波をCh3で測定した。2値ASK、4値ASK、2値PSK、4値PSK、16QAMの実験を行った。変調波と同じ角周波数 ω を持つ搬送波($\cos(\omega t)$ と $\sin(\omega t)$)を掛けて低周波通過フィルタ(LPF)を通す同期検波によりcos成分とsin成分を抽出して縦軸(Q軸)にsin成分を横軸(I軸)にcos成分をコンスタレーションとしてプロットする。さらに受信信号を二乗してLPFを通す二乗検波も行なった。二乗検波は光波を検出するフォトダイオードを模擬するために使用した。

4. AD3を用いた基本的な強度・位相変調の実験結果

実験結果を図3、4に示す。図3(a)より16点の信号が正格子状に出力されたQAM変調波が確認できた。図3(b)よりcos成分、sin成分とも4値が出力されている。図3(c)(d)よりcos成分、sin成分両方とも開口があるアイパターンを見ることができた。図4(a)は4値PSKの入力信号で、図4(b)はその二乗検波の結果であり、信号が復調されなかった。図4(c)は4値PSKに搬送波を足した信号であり第一象限にコンスタレーションが表われている。図4(d)のように搬送波を足して二乗検波すると4値の信号が出力された。したがって搬送波を足すことで位相成分を強度に復調することが確認できた。

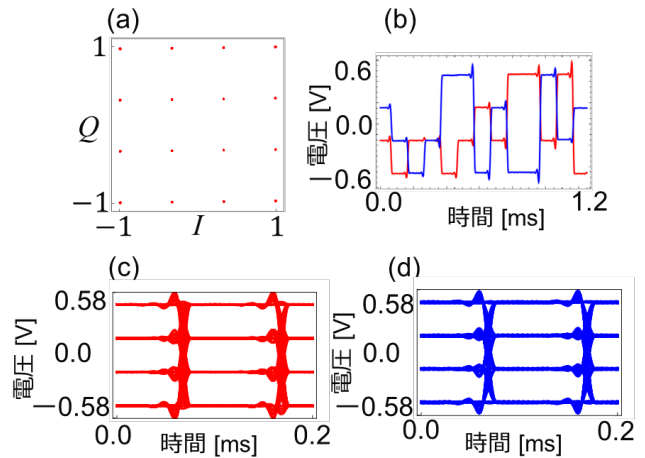


図3 16QAM同期検波の(a)コンスタレーションと(b)時間波形と(c)cos成分、(d)sin成分のアイパターン

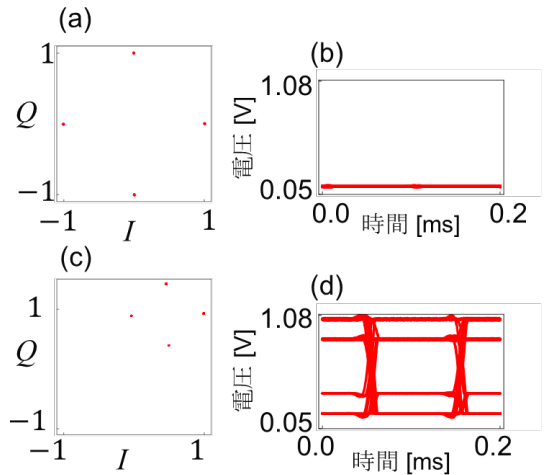


図4 4値PSKの(a)コンスタレーションと(b)変調波のみの二乗検波のアイパターン、(c)変調波に搬送波を足したコンスタレーション、(d)変調波に搬送波を足して二乗検波のコンスタレーションのアイパターン

5. まとめ

基本的な変復調の実験をAD3で行った。今後としてはCADD方式をAD3で模擬実験を行い、実際に光学系を組んで光を用いてCADD方式の実験をする。

参考文献

[1] A. Mecozzi, et al., "Kramers-Kronig coherent receiver," Optica 3(11), pp. 1220-1227 (2016)