

# コヒーレント光 OFDM における位相雑音の補償

1200157 森 匠平 (光制御ネットワーク研究室)

(指導教員 岩下 克 教授)

## 1. 背景・目的

光周波数帯域を有効に活用することのできる光 OFDM(直交周波数分割多重)方式が研究されている[1]。光 OFDM 技術を多元接続に用いた光 OFDMA(直交周波数分割多元接続)において光ファイバ伝送中の波長分散などによるチャンネル間の遅延ゆらぎによる信号が劣化するという問題をガードインターバルを挿入し変調速度を落とすことで信号の劣化を防ぐことを示した[2]。上記の方法ではガードインターバルが短い遅延揺らぎの吸収には不十分であるが、光 OFDM 伝送には変調速度が低下するとレーザーの線幅による位相雑音の影響を受けてしまう問題がある。これを解決するため、パイロットシンボルを挿入することを検討したのでその結果を報告する。

## 2. パイロットシンボルによる位相雑音補償

全サブキャリアのうち 1 つに無変調の信号(全シンボル 1)をパイロットシンボル(PS)として挿入した光 OFDM 信号を送信し、受信後パイロットシンボルを用いて位相雑音の補償を行う。位相雑音補償の流れを図 1 に示す。まず、受信信号に FFT を施し、バンドパスフィルタ(BPF)を用いてパイロットシンボル部分を取り出す。そしてベースバンドに移動させた後、IFFT を施し時間信号に変換した後、複素共役の値に変換し元の受信信号に掛け合わせることで、光ファイバ伝送中の位相雑音と逆の位相回転を受信信号に与える。

## 3. 実験構成・結果

実験系を図 2 に示す。まず MATLAB 上で OFDM 信号を作成する。サンプルレート 1.47456[GSample/s]として、OFDM 信号は変調速度 92.16[MSymbol/s]の擬似ランダム信号( $2^{13}$ )を 4 つに分割したもので QPSK 変調したシンボル列を各サブキャリアに分配する。この際、パイロットシンボルを挿入する。その後 IFFT を施し、時間信号に変換し、P/S 変換により連続信号とする。OFDM 信号の実部 $S_I(t)$ 、虚部 $S_Q(t)$ を光 IQ 変調器(IQ)に出力する。こうすることによって IQ 変調器でレーザー光の周波数 $f_0$ の片側に OFDM 信号を配置することができる。作成した光 OFDM 信号と局部発振光を光カップラ(OC)で合波し、一つ目のサブキャリアが中間周波数 3[GHz]の位置でヘテロダイン検波する。サンプルレート 40[GSample/s]で A/D 変換し、受信した光 OFDM 信号を MATLAB で作成した復調プログラムで復調する(図 3)。測定内容はサブキャリア数が 1 個の場合で位相雑音補償を行わない場合と行う場合のエラーベクトル振幅(EVM:Error Vector Magnitude)、ビット誤り率(BER:Bit Error Rate)を測定した後、サブキャリア数依存性を測定した。サブキャリアはパイロットシンボルから離れた周波数位置から順に配置した。サブキャリアは位相雑音補償を行わない場合の EVM は-10.58[dB]、BER は 0.438 となり、行う場合の EVM は-20.3[dB]、BER は 0 となった。コンスタレーションは図 4(a)、(b)のようになり、位相雑音補償を行わない場合の信号点が広がった。図 5 のように EVM はサブキャリア数が増加するにつれ EVM が劣化した。サブキャリア数 5、6 個の時大きくなっており、配置したパイロットシンボル付近のサブキャリアの EVM が大きく劣化した。OFDM 信号のサブキャリアが増えていくにつれパイロットシンボルと OFDM 信号の周波数間隔が狭まるため、位相雑音補償においてパイロットシンボルをバンドパスフィルタで取り出す際のフィルタの帯域が狭まり、急激な位相雑音変化に対応できなかつたと考えられる。

## 4. まとめ

光 OFDM 信号のサブキャリアにパイロットシンボルを挿入することで位相雑音補償を行い、その影響を低減することができた。今後さらなる補償を検討したい。

## 参考文献

- [1] A.Sano, et al., *J.Lightw.Technol.*, Vol. 27, No. 16, pp. 3705-3713, 2009
- [2] 森匠平,他, "コヒーレント光 OFDMA におけるシンボル間許容誤差の検討", 令和元年度電気関係学会四国支部連合大会, 12-9, 2019

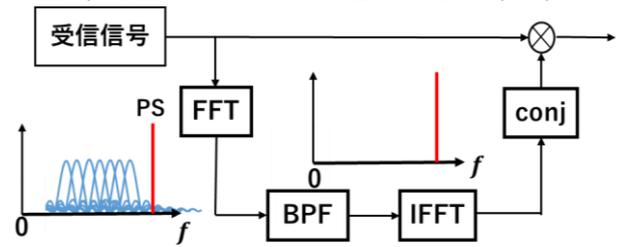


図 1 位相雑音補償の流れ

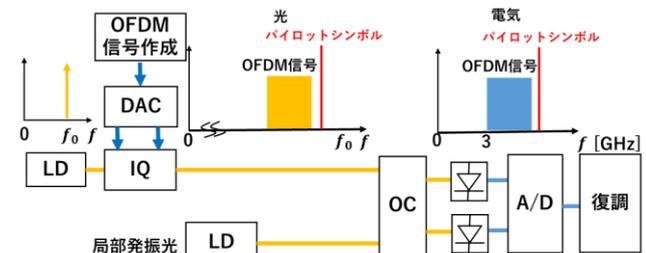


図 2 実験系

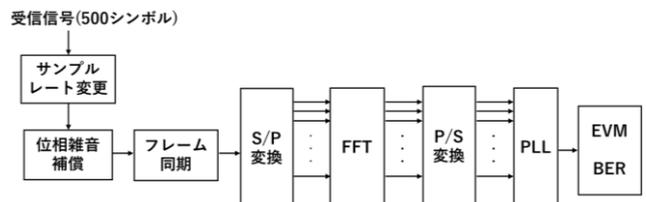


図 3 復調プログラムの流れ

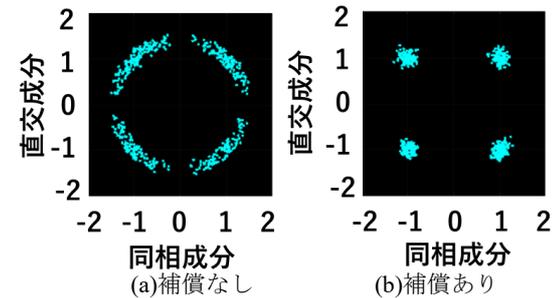


図 4 コンスタレーション

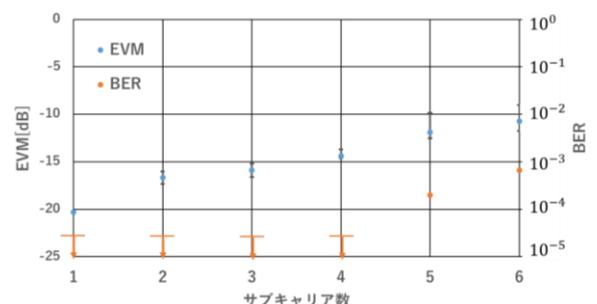


図 5 サブキャリア数と BER、EVM