

OOK と PSK の共存環境下での TCM とクリップ送信方式の同時適用と評価

2016SC007 舟津信吾 2016SC031 亀山拓弥 2016SC048 宮地俊次

指導教員：奥村康行

1 はじめに

技術の発展に伴い、ネットワークの通信量は年々増加しており、通信の高速化や大容量化に向けた技術が研究されている。無線通信では「5G」がその代表で、2020年にはサービスが開始される予定となっている。IoT 機器などネットワークに接続される端末の増加や高画質の音楽や動画画像を提供するストリーミングサービスが急速に普及している。そのため、こうした無線通信を支える基幹ネットワークである光アクセスネットワークにおいても高速化や大容量化を実現させる方法が研究されている。高速化・大容量化の手段として、デジタルソフトウェアを用いて、従来の技術であるオンオフ変調 (OOK:On-Off-Keying) と次世代の変調方式である位相偏移変調 (PSK:Phased Shift Keying) や直交振幅変調 (QAM:Quadrature Amplitude Modulation) とを共存させるための研究が行われている。本研究ではより経済的な光アクセスネットワークを実現するために光送信電力の効率・高度化を図る方法としてクリップ送信方式とトレリス符号化変調 (TCM:Trellis Coded Modulation) 方式に着目した [1]。クリップ送信方式とは被変調信号のマイナス成分を削除して光信号に変換する方法である [2]。TCM 変調方式とは多値変調と、set partitioning, 畳み込み符号化, ビタビ復号を組み合わせた変調方式で、高い誤り訂正を実現する。これまで個別での TCM とクリップ送信方式の研究が行われていたが、これらを組み合わせた評価に関する研究がなかったため、本研究で組み合わせ省電力と誤り率の低減を検討する。

2 技術課題

OOK 信号と PSK 信号の共存環境下では、誤りの少ない通信を行うために検討するべき課題が存在する。

まず光ネットワークの構成を図 1 に示す。各通信基地局には OLT(Optical Line Terminal) が配置され、各家庭には ONU(Optical Network Unit) が配置される。また、これらの装置間は光スプリッタと光ファイバによって接続されている。

現在の変調方式である OOK は搬送波の有無によりビット値を割り当てる方式である。OOK の概要を図 2 に示す。実際の信号では常に電圧をかけており、光が負となる状態が存在しないため光の強弱によって変調を行う。つまり強と弱の 2 値を 1bit として送ることが可能である。

しかし OOK では大容量化に対応できないため次世代の通信方式として研究されたのが PSK である [3]。PSK は本来波である光の特徴を利用し、通信の高速・大容量化を

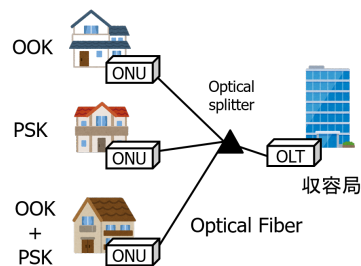


図 1 光ネットワークの構成

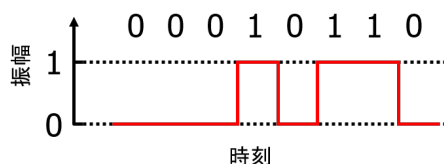


図 2 OOK の概要

可能にする方式である。具体的には図 3 のような信号点に各位相情報にビット値を割り当てることで、一度に伝送する情報量を増大させることが可能である。

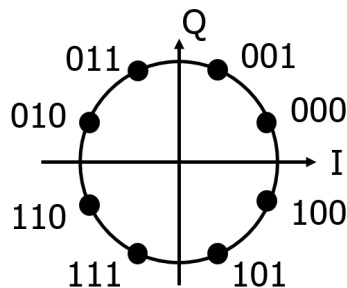


図 3 PSK のコンスタレーション

OOK から PSK へと変調方式が移行する際、通信網上ではこの新旧の変調方式が混在する事になる。本研究ではこの共存環境下を仮定している。

2.1 消光比

図 4 に OOK・PSK 共存時のコンスタレーションを示す。図 5 は消光比コンスタレーションであり、この内側の円と外側の円の半径の比を消光比と呼び、信号の判定に大きく影響する。一般的には消光比が大きい状態で通信が行われているため、本研究では消光比が大きいことを前提とし外側の円の誤り率を 0 と仮定して研究を行った。

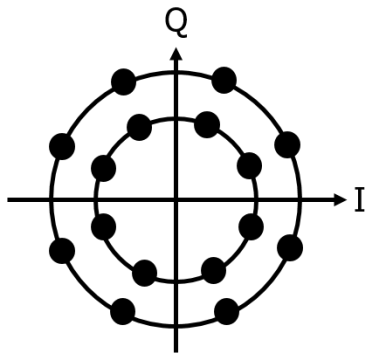


図4 OOK・PSKのコンスタレーション

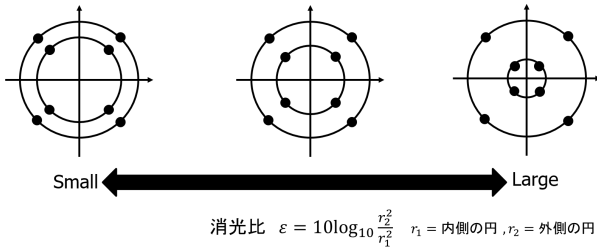


図5 消光比コンスタレーションの例

2.2 共存時の技術課題

前述した消光比の影響から、比を大きく取ると内側の信号点の距離が小さくなり雑音などによって誤りの可能性が高くなる、反対に比を小さく取ると外側の信号点との距離が近くなり誤りが生じる可能性がある。この点からOOK信号とPSK信号の共存にはトレード・オフの関係がある[4]。この問題に対し先行研究ではTCMやSignal Shapingを用いて誤り率の低減を検討していた。本研究ではより大きく誤り率を低減していたTCMを参考に、同じく先行研究で用いられたクリップ送信方式を同時適用するプログラムを構築し、誤り率と消費電力の低減を検討する。

3 TCM

多値変調を用いて情報を変調して伝送する際、信号点の位置によって誤りやすいパターンと誤りにくいパターンがある。これを考慮して変調方式と誤り訂正方式を一体化したものが符号化変調方式である。そして今回使用するPSK, QAMのような多値変調と畳み込み符号, ビタビ復号, Set Partitioningを組み合わせた方式がトレリス符号化変調方式すなわちTCMである[5]。

3.1 畳み込み符号

畳み込み符号とは符号器から出力される時点の情報だけでなく記憶素子を含んだ複数のデータの合算の情報が出力されるものである。出力は2進数のシフトレジスタの配列により生じ、その出力された情報は前後の符号の記憶を持つ[3]。図6は畳み込み符号器の例である。

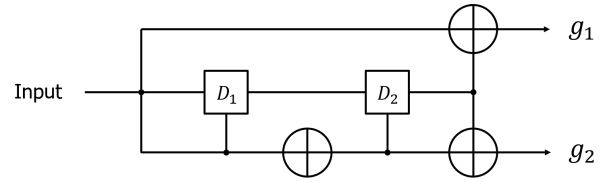


図6 畳み込み符号器

3.2 ビタビ復号

ビタビ復号とは最尤符号化の一種でメトリックを使用し最尤符号の判定をする[5]。このメトリックの判定方法にはハミング距離を利用した硬判定とユークリッド距離を利用した軟判定が存在する。その概要を図8と図7に示す。硬判定は比較的計算が容易なハミング距離で判定を行うが、受信ビット差の計算でしかないため判定がずれる可能性が高い。そこでより正確に復号を行うため、角度の差を用いるユークリッド距離をメトリックとした軟判定を使用する。ここで軟判定のメトリック計算方法を示す。ただし、時刻 t でのメトリックを e_t 、受信信号の角度を θ_t 、トレリス線図上での時刻 t に推測される信号の角度(推測角)を θ'_t とする。

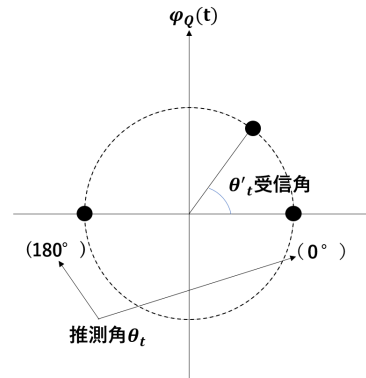


図7 軟判定

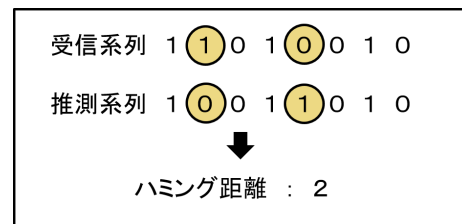


図8 硬判定

$$e = \begin{cases} (\theta - \theta')^2 & \text{if } -180^\circ \leq (\theta - \theta') \leq 180^\circ \\ (\theta - \theta' + 360)^\circ & \text{if } (\theta - \theta') < -180^\circ \\ (\theta - \theta' - 360)^\circ & \text{if } (\theta - \theta') > 180^\circ \end{cases} \quad (1)$$

軟判定は演算量の増加や残存経路を備蓄するために必要なメモリーが大きくなり処理の時間が長くなるが、今回は

誤り率の低減を重要課題としているため一般的なこの手法を利用してビタビ復号を行う。

3.3 Set Partitioning

今回、分割した2つの部分集合内の信号のユークリッド距離ができる限り大きくなるようにするために、信号のコンスタレーションを部分集合に分割する手法である set partitioning を用いた [1]。図9の set partitioning は 8-PSK の例である。この時、すべての信号を等しく使用し、ある状態からの遷移はコンスタレーション及び部分集合間の距離が可能な限り大きくなるように設定する。これにより、後に割り当てる畳み込み符号器の出力結果と部分集合によりコンスタレーションを得ることができる。

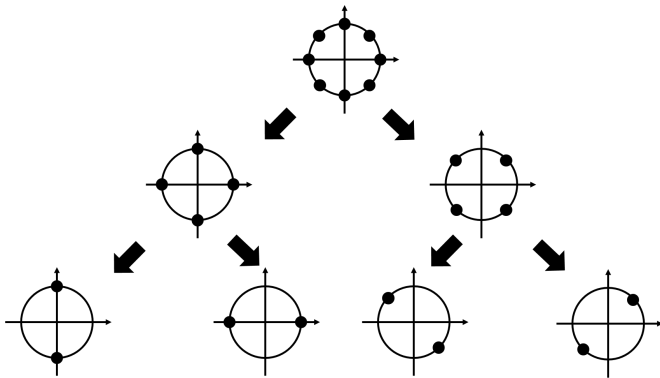


図9 set partitioning

4 クリップ通信方式

光通信の一般的な送信方式として、デジタル変調方式をプラス成分のみにするため、直流成分を加えて光信号に変換するバイアス信号方式が存在する。しかしバイアス送信方式を用いると光送信を使用した時、送信電力が大きくなる可能性がある。そこで送信電力を抑えるために、クリップ送信方式が研究されている。クリップ送信方式とは変調された電気信号のマイナス成分を削除した後に光信号に変換する方式である。図10にあるように TCM を適用する前に電気信号のクリップを行う [2]。

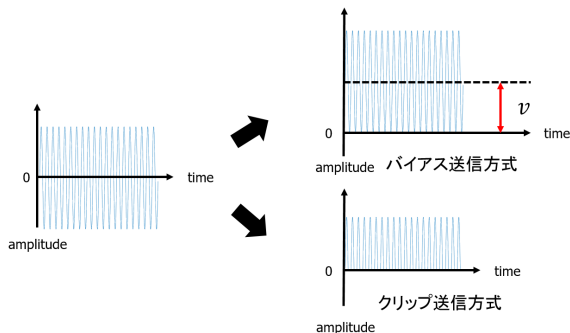


図10 クリップ送信方式

5 シミュレーションの構成

先行研究の TCM プログラム及び先行研究のクリップ通信方式のプログラムを参考に MATLAB でプログラムを記述する。今回のシミュレーション環境を表1にまとめる。

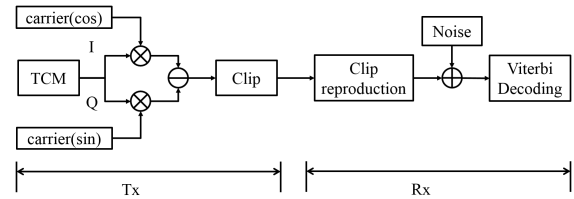


図11 シミュレーションのフロー図

表1 シミュレーション条件

通信システム	帯域系
データ変調方式	AM,PM(OOK と PSK)
シンボル数	約 4.05×10^4
伝送路環境	AWGN
伝送路長	10km
シンボルレート	1Gbps
変調周波数	10GHz

また本研究のシミュレーション結果において評価基準の一つとするパワースペクトルの測定点を以下の図12で示す。

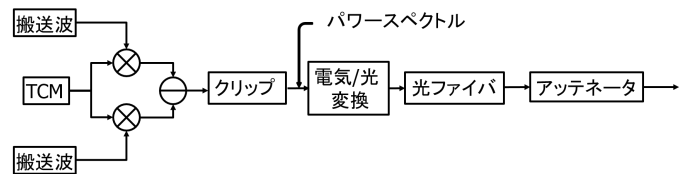


図12 OptSim の送信側のフロー図

6 シミュレーション結果

まず、8-PSK において TCM とクリップ送信方式を同時適用したものと TCM のみを適用した場合の SER(Symbol Error Rate) の比較を図13に示す。図13より、TCM のみの場合と比較して 10^{-3} の時、受信電力が約 4.5dB 改善している。

図14に今回シミュレーションした2つの波形のエネルギーにおける周波数特性を表したパワースペクトルを示す。図14より概ねどの周波数帯においてもパワーを抑えられていることがわかる。

次に、16-PSK における同時適用時と TCM のみの場合の SER を比較した図15に示す。

TCM のみと比較して 10^{-3} の時、受信電力が約 12dB 改善している。

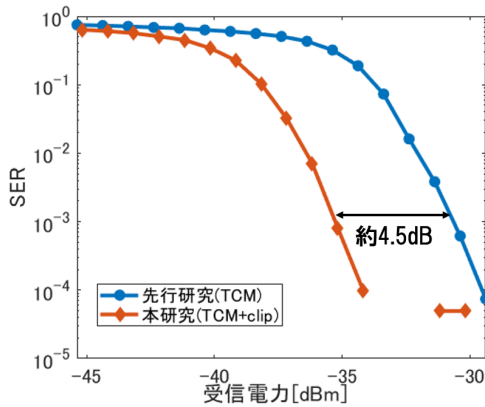


図 13 8-PSK 時の受信電力

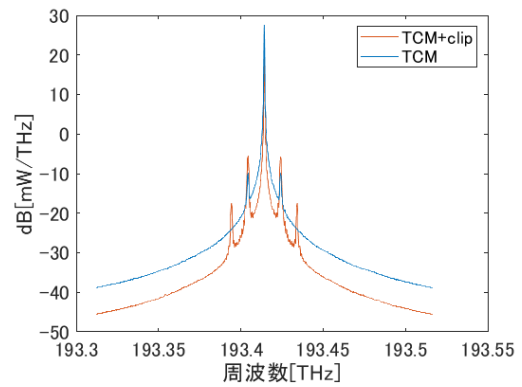


図 16 16PSK 時のパワースペクトル

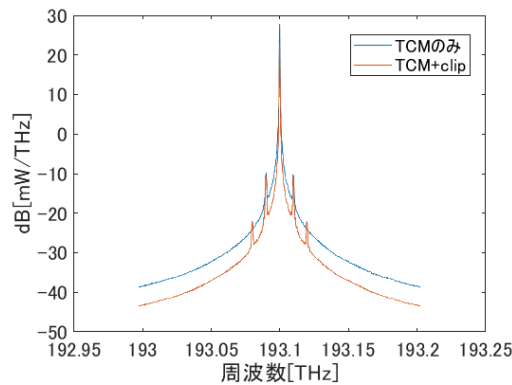


図 14 8-PSK 時のパワースペクトル

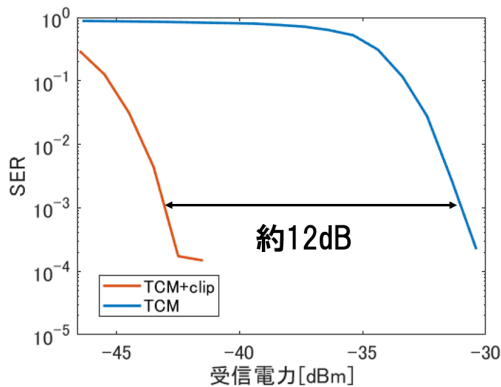


図 15 16PSK 時の受信電力

同様に、16-PSK におけるパワースペクトルを示す。図 16 より、概ねどの周波数帯においてもパワーが抑えられていることがわかる。

7 考察

図 13 と図 15、図 14 と図 16 の比較から誤り率と電力どちらも同時適用時の方が低減されていることがわかる。今回 16-PSK のほうが改善率が良い理由は信号点の距離が近くなったとしても TCM により信号点の距離の確保が可能であるからと考える。以上より同時適用を

行うと両技術が性能が十分に発揮され、消光比が十分に大きいと仮定する場合には OOK と PSK の共存環境下では TCM とクリップ送信方式を同時適用することで誤り率の低減と消費電力の削減ができると考えられる。

8 おわりに

本研究では、OOK と PSK 共存環境下に生じる誤りの改善と電力の低減を検討する課題について、TCM とクリップ送信方式を同時適用するという手段を用いた。シミュレーション結果より、同時適用することで誤り率の改善、消費電力の削減という結果を得ることができた。しかし、今回行ったシミュレーションの条件が理想的なものであるため、今後はより現実的なシミュレーション環境で行う必要がある。

参考文献

- [1] 久野 佑貴, 奥村康行, 藤井勝之, “光アクセスにおける OOK と PSK 共存環境下への TCM の適用と評価,” 映情学技報, vol. 43, no. 6, BCT2019-27, pp. 17-20, 2019 年 2 月.
- [2] 小川 翔輝, 奥村康行, 藤井勝之, “クリップ送信方式による QAM と OOK 信号の共存するネットワークの誤り率特性に関する研究,” 映情学技報, vol. 42, no. 5, BCT2018-28, pp. 17-20, 2018 年 2 月.
- [3] 神谷 幸宏, “MATLAB によるデジタル無線通信技術,” コロナ社, 東京, 2008, pp33-44, pp147-157.
- [4] N. Iiyama, S. Y. Kim, T. Shimada, S. Kimura, and N. Yoshimoto, “Co-existent Downstream Scheme between OOK and QAM Signals in an Optical Access Network using Software defined Technology,” IEEE/OSA Opt. Fiber Commun. Conf (OFC/NFOEC) 2012, OSA Technical Digest, paper JTh2A.53, 2012.
- [5] Ha H. Nguyen, Ed shwedyk, “A First Course in Digital Communications,” Cambridge University Press, England, 2009, pp422-439.