

光アクセスにおける OOK と PSK 共存環境への TCM の適用と評価

2015SC051 久野佑貴

指導教員：奥村康行

1 研究背景

現在，私たちが利用しているインターネットは光アクセスである PON(Passive Optical Network) によって提供されている．PON によって提供されるインターネットの通信量は，スマートフォンや IoT 機器の普及拡大により年々増加しており，増え続ける通信に対応するための研究が行われている．さらに，技術の発展に伴い信号の送受信に伴う変調方法が変わりつつある．従来の方式は OOK(On Off Keying)，新しい方式は PSK(Phase Shift Keying) となっており，2 つの変調方式の転換期には異なる 2 つの変調方式の信号が光ファイバ上に共存することになる．このような環境下でも正しい通信を行う必要がある．

2 先行研究と技術課題

OOK 信号と PSK 信号を共存させた状態で正しく通信するためには，解決すべき課題が存在する．

2.1 PON の構成

PON システムの構成を図 1 に示す．OLT(Optical Line Terminal) は通信局内に設置され，ONU(Optical Network Unit) は各家庭などに設置される．また，これらの装置間は受動素子である光スプリッタと，光ファイバによって接続されている．

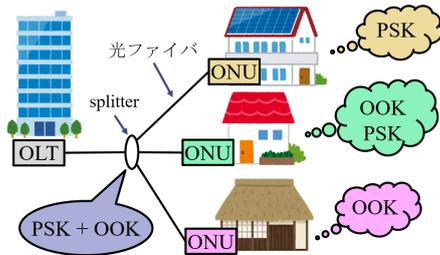


図 1 PON の構成

2.2 技術課題

まず，図 1 の OLT から送られた OOK 信号と PSK 信号の共存コンスタレーションを図 2 に示す．

先行研究 [2] では，図 2 のように内側の円と外側の円の半径の比（消光比）を変化させ，それぞれの信号の誤り率を比較している．ここで，OOK で正しく通信するには ON もしくは OFF をはっきりさせるため消光比を十分大きく取る必要がある．しかしこのような場合図 3 のように内側の信号点間の距離は外側に比べて非常に小さくなり，雑音などによって誤りが生じる可能性が高くなる．

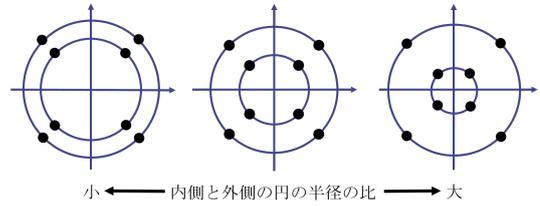


図 2 OOK+QPSK のコンスタレーション

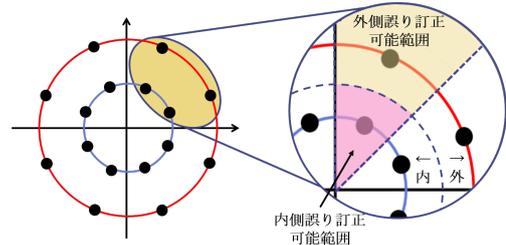


図 3 技術課題

反対に PSK を基準に考えると消光比は小さいほうがよく，この場合内側と外側の信号点の距離が近い場合 OOK の判定に誤りが生じてしまう可能性が高くなる．結果として PSK と OOK はトレードオフの関係にある．

こうした問題に対し先行研究 [3] では，Signal Shaping と呼ばれる手法を用いて誤り率を改善する方法を検討している．対して，本研究では TCM(Trellis Coded Modulation) と呼ばれる手法を用いて誤り率が低減するか検討する．

3 トレリス符号化変調 [1]

多値変調と畳込み符号によって実現されるのがトレリス符号化変調である．トレリス符号化変調の特徴は，符号器の構成によって変化するトレリスに対し set partitioning と呼ばれる手法を用いて，分割した集合点を割り当てることでコンスタレーションを決定する点である．

set partitioning とはユークリッド距離が同一な信号点を 1 つの集合とし，集合内の信号点間の距離が長くなるよう順次集合を分割していく手法である．分割した信号点を符号器に対応するトレリスへ割り当てる際には，次の 3 つの方針に従う．

- 並列遷移には信号点距離が最大の信号点を割り当てる
- 分岐・結合遷移には可能な限り大きな距離を有する部分集合から割り当てる
- すべての信号は等しい頻度で使用される

4 シミュレーション

OptSim と MATLAB を用いて 8-PSK 及び 16-PSK へ TCM を適用し、TCM の効果を確認した。

4.1 シミュレーション条件

システム構成とシミュレーション条件を以下図 4、表 1 にそれぞれ示す。

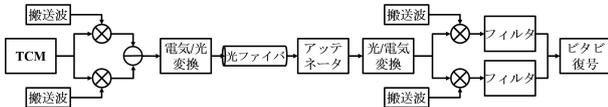


図 4 システム構成

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

加えて、消光比は十分大きく、外側の信号の誤りはほとんどないものとする。このことから PSK 信号への TCM 適用結果について考察することで OOK と PSK 共存環境下でも同様の結果を期待することができるものとする。

4.2 シミュレーション結果

今回 TCM と比較するのはグレイ符号で符号化した信号である。図 5 に 8-PSK における TCM 適用時の SER 特性を示す。

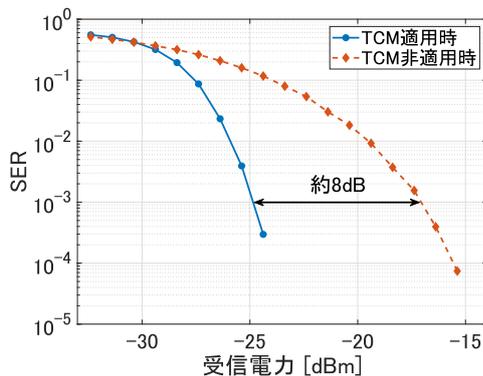


図 5 8-PSK/TCM SER 特性 (符号化率 2/3)

TCM を適用することで、SER が 10^{-3} のとき、SNR が約 8dB 改善している。続いて、図 6 に 16-PSK における TCM 適用時の SER 特性を示す。

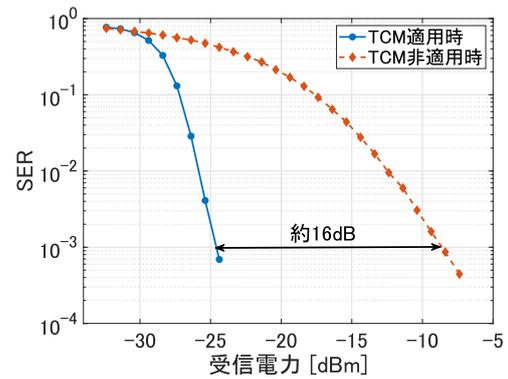


図 6 16-PSK/TCM SER 特性 (符号化率 1/2)

こちらも同様に TCM を適用することで SER が 10^{-3} のとき、SNR が約 16dB 改善している。

いずれの場合においても TCM を適用することで符号化率を犠牲に誤り率の改善が見られる。加えて、コンスタレーション数が増えることで誤り率の改善度合いが高くなるのがわかる。この理由は、誤り率が信号点間の距離に依存しており、グレイ符号では信号間の距離が小さくなる場合でも TCM では十分な信号点間の距離を維持することができるからであると考えられる。

以上の点から OOK と PSK 共存環境へ TCM を適用した場合にも誤り率の改善を見込めると考えられる。

5 おわりに

本研究では、OOK 信号と PSK 信号を共存させた場合に生じる誤り率を低減させるという課題について TCM を用いて改善する方法について検討した。シミュレーション結果より、PSK に関して TCM を用いることで誤り率が改善するという結果が得られた。

今後の課題としては、消光比が小さい場合の誤り率の確認や先行研究で挙げられている Signal Shaping と組み合わせるさらなる誤り率低減を実現できるか検討を行う。

参考文献

- [1] Ha H. Nguyen, Ed Shwedyk, "A First Course in Digital Communications," Cambridge University Press, 2010.
- [2] 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.
- [3] 大脇康平, "OptSim・MATLAB 連携を用いた次世代 PON の誤り率特性に関する研究," 南山大学大学院理工学研究科 2015 年度修士論文, 2016.