

# OOK と PSK が共存する光アクセスにおけるフレーム構成，受信機のフィルタ構成の研究

2017SC021 加藤彩香 2017SC071 鈴木彩加

指導教員：奥村康行

## 1 はじめに

近年では、PC やスマートフォン等を通じた検索、動画視聴、電子決済、IoT など日常生活になくてはならない通信サービスが世界中に普及し、それを支える大容量通信ネットワークは私たちの生活において欠くことのできない基盤になっている。IoT(Internet of Things) 技術の普及により、さまざまな端末からの膨大なデータを蓄積し、機械学習や AI(人工知能) といった新技術により、従来では不可能であったきめ細かい気象予測や予防医療等の新しいアプリケーションも期待されている。[1] これからの通信ネットワークは、なくてはならないインフラとなるため大容量通信はますます重要性が高くなると考える。しかし大容量通信をするにあたって誤りを多く含む信号を受信してしまうという課題が挙げられるため、フィルタの特性とシンボルの連結数を変化させ誤り率の改善を図る研究に取り組むことにした。[2]

## 2 光アクセスの大容量化技術

現在、通信ネットワークは光通信ネットワークが広く普及している。光通信ネットワークは PON(Passive Optical Network) により広く普及し、現在 PON は日本の FTTH で広く用いられており、GE(Gigabit Ethernet)-PON や G(Gigabit)-PON などを用いたネットワークサービスが提供されている。多くの通信事業者は OOK 信号によって GE-PON を用いたサービスを提供しているが、QPSK や QAM によって変調された信号を用いて伝送することで大容量通信を可能にする。

### 2.1 共存によるメリット

将来的に、インターネット通信量の増加が予測されるため、大容量通信を可能とする研究が多く行われているが、将来 RF 信号を用いたデジタル信号を利用した光信号を普及させるために、同一光ネットワーク内で新たな変調方式で大容量通信を行いたい、旧 ONU では多値変調を用いて通信を行うことができないため、新たな終端装置の設置が必要になり高いコストが掛かってしまう。しかし、OOK 信号と QPSK 信号を共存させる方法を用いると終端装置を交換することなく運用が可能となる。[6]

### 2.2 共存によるデメリット

既に提案されている OLT であらかじめ OOK と QPSK を共存させて送信する下り方式と、変調方式の異なる信号を送信する上り方式がある。下り方向を図 1(a) に、上り方向を図 1(b) に示す。上り方式では OLT で誤りを多く

含む信号を受信してしまう。[2] そのため、本研究ではフィルタの特性とシンボルの連結数を変化させ、この課題を解決する。

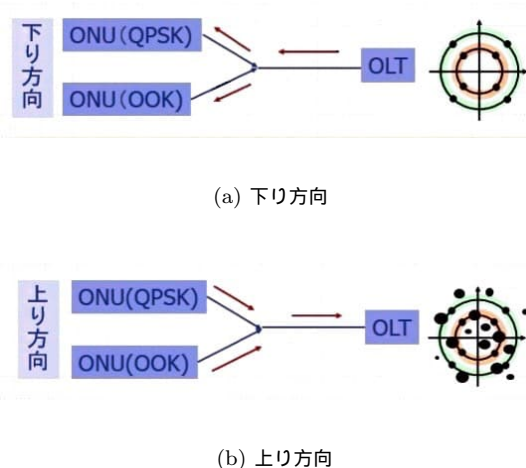


図 1 OOK と PSK が共存する光アクセスにおける信号の送受信

## 3 OOK 信号と QPSK 信号の多重化

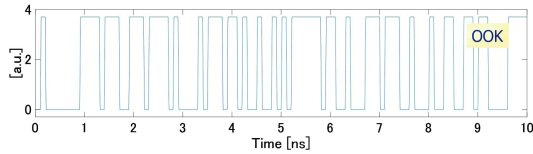
OOK 信号と位相変調信号の重畳信号は OOK 信号が ON 状態の場合は OOK 信号と位相変調信号が重畳されるが OOK 信号が OFF 状態の場合は OOK 信号側の光信号が出力されていないため位相変調信号のみとなり重畳されないという特徴がある。これらの特徴を用いて本研究では OOK 信号と QPSK 信号の重畳手法及び再現手法を提案する。

### 3.1 OOK 信号と QPSK 信号の重畳手法

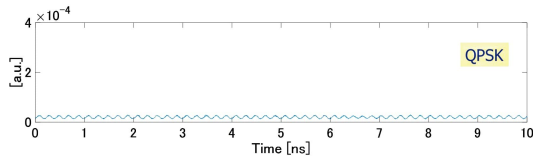
先行研究より OOK 信号と PSK 信号の光信号強度比を OOK 信号が PSK 信号に対して 20[dB] 大きくなるようにして送信する。[5] これにより重畳信号は OOK 信号と OOK 信号が Off 状態のときの位相変調信号の両信号を保持することができる。OOK データは受信した重畳信号から光信号の On と Off を判定することで復調することができる。

OOK 信号と QPSK 信号を図 2(a)、図 2(b) に示す。OOK 信号は図の通り山と谷がしっかり現れているため復調できるが QPSK 信号は復調ができない。OOK 信号と QPSK 信号を重畳したものを図 2(c) に示す。図 2(c) の波の部分は OOK 信号の信号が off(ビットが 0) のときであり信号が出力されない。つまり QPSK 信号が綺麗な残っ

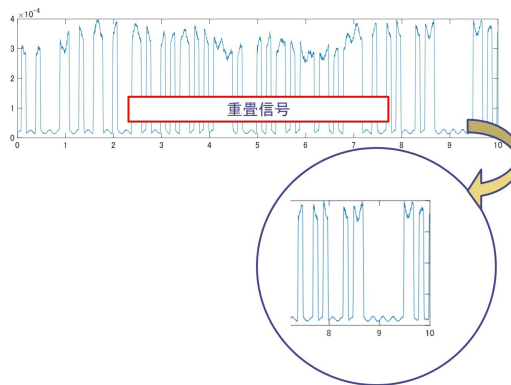
ていることを示すため OOK 信号を取り除き綺麗な QPSK 信号を取り出す．そのために，フィルタの特性を変更を検討する．



(a) OOK 信号



(b) QPSK 信号



(c) OOK 信号と QPSK 信号の重畳信号

図 2 OOK 信号と QPSK 信号の重畳信号

### 3.2 重畳信号から QPSK 信号の再現手法

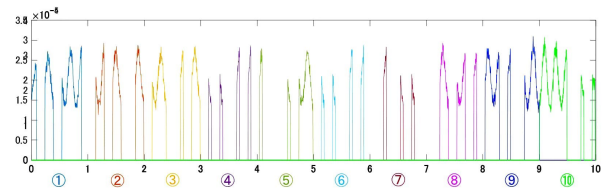
2 つ目の再現手法について説明する．1 回の変調で送られるひとまとまりのデジタルデータを 10ns かけて送信しているグラフを図 3(a) に示す．図 3(b) のように 1ns ずつ 10 分割し重複しないように最適化すると図 のような 1ns 分の信号ができる．10ns 時間分の信号を足し合わせると元の信号の 1ns 分の信号を再現できる．元の信号は 10ns のため図 3(c) のように 10ns になるように複製する．本研究ではシンボルの分割数を 11 にし再現する．

## 4 技術課題と先行研究との差異

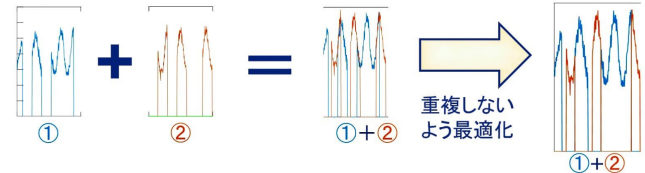
技術課題と先行研究との差異について述べる．

### 4.1 技術課題

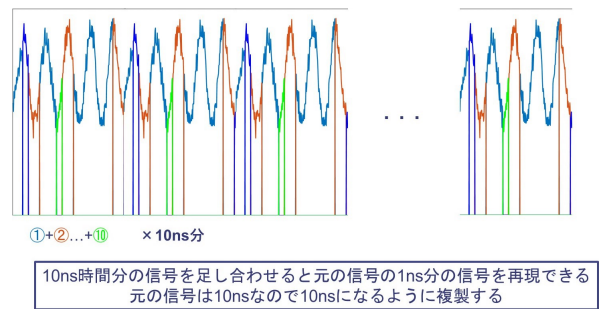
同一光ネットワーク内で新たな変調方式で大容量通信を行いたいが高コストがかかってしまうため OOK 信号と



(a) 1ns ごとに番号振り分け



(b) 断片的な位相変調信号からもとの位相変調信号を再現



(c) 再現した位相変調信号をもとの PSK の信号長だけ復調

図 3 再現手法

QPSK 信号を共存する．しかし共存するにあたって変調方式の異なる信号を送信すると OLT では誤りを多く含む信号を受信する問題が発生する．そのため本研究で受信部にあるフィルタの特性とシンボルの連結数の変更を行い問題の解決に取り組む．

### 4.2 先行研究との差異

先行研究では，OOK 信号と QPSK 信号を共存させ大容量通信を可能にする研究をしていた．この研究から本研究では誤り率を改善させていく．フィルタの特性である帯域幅を 0.5GHz だったのに対し 0.2GHz から 1.0GHz に変更し，シンボルの連結数は先行研究が 10ns のところ本研究では 11ns とした．

## 5 シミュレーション

シミュレーション条件は表 1 に従う．[3] MATLAB と OptSim を用いてシミュレーションを行う．それぞれ

OptSim は光部品、ファイバ、変調器等のアナログ部品の処理を行い、OptSim を用いることで光通信システムを現実想定でシミュレーションを行うことが可能、シミュレーションの環境構築が簡単であり豊富なライブラリにより様々な環境を想定可能、メインメモリを大量に使用せず MATLAB と連携したシミュレーションが可能、サポートが充実している。MATLAB は重畳等のデジタル処理を行う。これらの連携シミュレーションにより、BER 特性の改善方法を検討する。

### 5.1 フィルタの特性

図 4 の赤丸で囲ってあるフィルタを変更する。OptSim で使用できるフィルタの種類は 8 種類である。この 8 種類はローパスフィルタ、ハイパスフィルタ、バンドパスフィルタの 3 つに分かれており、そのうちのバンドパスフィルタに分類される信号の処理に適しているベッセルフィルタを使用する。図 5 の青色の部分である帯域幅 (Bandwidth) の値を変更する。先行研究では帯域幅の値を 0.5GHz に設定していた。本研究では 0.2GHz から 1.0GHz にして幅 0.2GHz から 0.05GHz 刻みで幅 1.0GHz まで増やすように設定しシミュレーションを行った。

### 5.2 シンボルの連結数

まずシンボルとは、1 回の変調で送られるひとまとまりのデジタルデータのことであり。またシンボルの連結数とは、1 シンボルあたりの送信時間のことであり。1 シンボルあたりの送信時間を短くすると送信できるビット数が多くなるためよりたくさんのデータのやり取りができるのが嬉しい反面、ビット誤り特性が悪くなる可能性がある。また 1 シンボルあたりの送信時間を増やすことでやり取りできるデータは減るがビット誤り特性の改善を図ることができる。そのため先行研究がシンボルの連結数 10ns(1 シンボル送信するのに 10ns 掛かる) に対して、本研究ではシンボル連結数 11ns に変更し検討する。

表 1 シミュレーション条件

シンボル数	$4.2 * 10^5$
データ変調方式	AM_PM(OOK+QPSK)
変調周波数	2GHz
伝送路条件	AWGN
signal shaping	shell mapping 畳み込み符号 7-4 ハミング符号

## 6 シミュレーション結果

シミュレーションの結果について述べる。

### 6.1 フィルタの特性の変更結果

帯域幅 0.2GHz から 0.05GHz 刻みで幅 1.0GHz まで増やすように設定し 17 個のシミュレーションを行った

結果、帯域幅が大きくなるにつれ 4 つの点が広がっていき、コンスタレーションの結果が悪くなった。0.2GHz のコンスタレーションを図 6 に示す。

### 6.2 シンボル連結数の変更結果

先行研究と同様なシンボルの連結数 10ns を図 7 に示す。本研究ではシンボル連結数 11ns に変更し検討した結果を図 8 に示す。また先行研究の結果との差異を図 9 に示す。

## 7 結果と考察

6.1 節で得られた 17 個のコンスタレーションより、最良な帯域幅はより綺麗に 4 つの点に集まっている 0.2GHz である。帯域幅の値が小さくなるほどコンスタレーションの結果が 4 つの点により綺麗に収束していることから、帯域幅が狭いほどビット誤り率が改善されると考える。また 1 シンボルあたりの送信時間を検討した結果、10ns のときより図 8 の 11ns である方が効率が良い (送信時間とビット誤り特性とのトレードオフ) ことがわかった。また図 9 の赤線が重畳信号、青線が連結数が 10ns のときの重畳信号から再現した QPSK 信号、緑線が重畳していない QPSK 信号、紫線が本研究で再現した連結数が 11ns のときの QPSK 信号である。このグラフから SER が  $10^{-3}$  の値ときの紫線と青線の値がそれぞれ -10dB と -16dB であった。この結果から連結数を 11ns すると誤り率が 5dB 改善されることがわかった。

## 8 おわりに

本研究では OOK 信号と位相変調信号 (QPSK 信号) の光アクセスネットワークの上り伝送において新たな多重分離方式を改善し評価を行った。その結果、ベッセルフィルタを使用した際の最もビット誤り率を改善する帯域幅は 0.2GHz であり、ビット誤り率はシンボル連結数 10ns より 11ns のとき改善されることが検証できた。重畳信号から位相変調信号を再現する手法は、多くのビット誤りを含む状態からビット誤りを大幅に改善することが可能であることが確認された。今後の課題として挙げられるのは、本研究で最後まで研究できなかった位相変調信号を QPSK 信号だけでなく QAM 信号等を適用したときの特性の評価を行うことが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 宮本 裕, 吉野 修一, 岡田 顕, " 将来の大容量通信インフラを支える超高速通信技術 ", NTT 技術ジャーナル, 2019 年 3 月.
- [2] 小川翔輝, " 光アクセスネットワークにおける OOK と位相変調の重畳手法に関する研究 ", 南山大学大学院理工学研究科 2019 年度修士論文, 2020.
- [3] 小川翔輝, " 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 ", 2018 年 2 月.

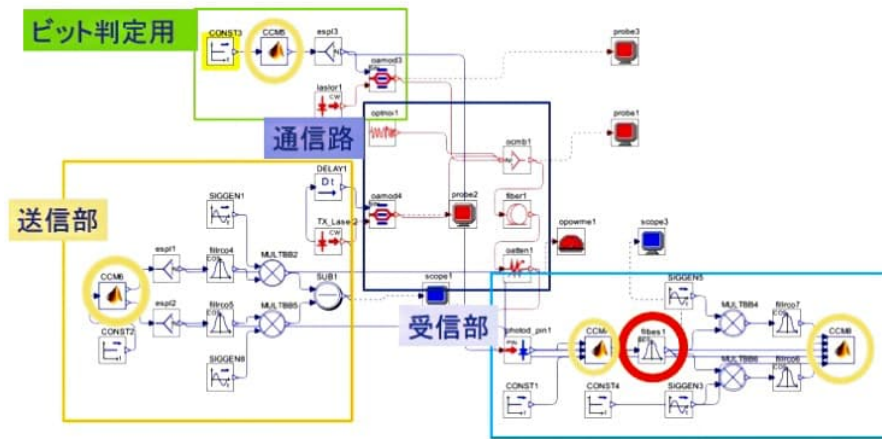


図4 ブロック図

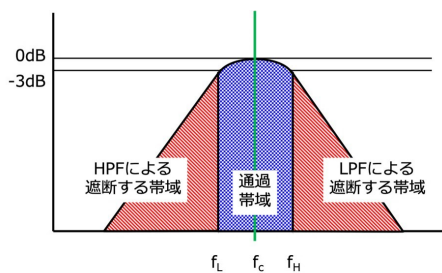


図5 フィルタの特性

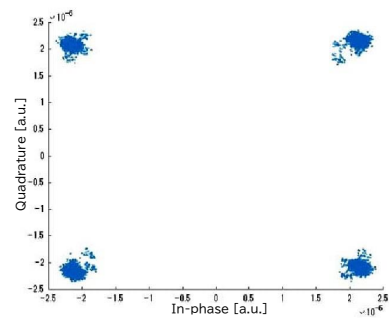


図7 コンスタレーション

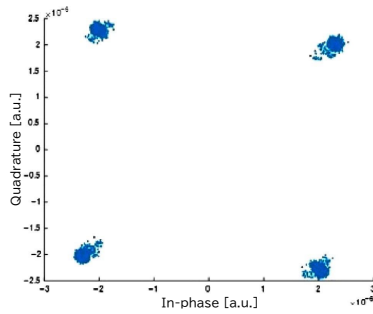


図6 コンスタレーション

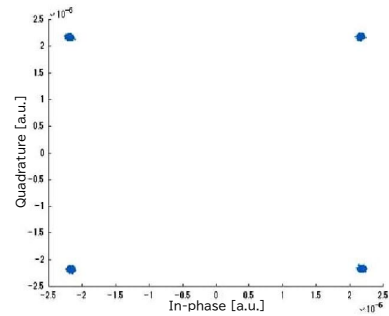


図8 コンスタレーション

- [4] 神谷 幸宏, "MATLAB によるデジタル無線通信技術", コロナ社 (1998), 東京, 2008.
- [5] 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.
- [6] 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.

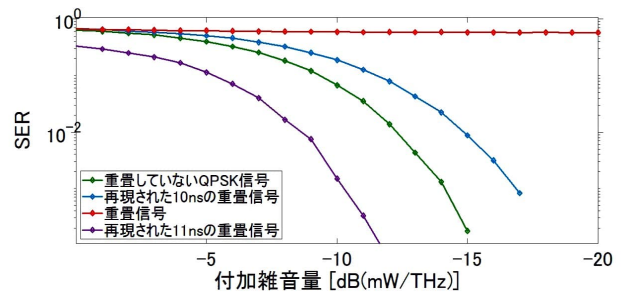


図9 雑音負荷量とSER