

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 15 日現在

機関番号：33917

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420377

研究課題名(和文) 光アクセスにおけるコンスタレーション共有方式に関する研究

研究課題名(英文) Constellation sharing in optical access system

研究代表者

奥村 康行 (OKUMURA, Yasuyuki)

南山大学・理工学部・教授

研究者番号：90434604

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：デジタルソフトウェアPONを用いて既存の光ブロードバンドサービスに新しいシステムを追加する研究が行われている。このとき、1つの波長だけでOOK信号とPSK信号やQAM信号を共存させる。しかし、OOK信号がOFF状態(消光比が大きい時)ではPSK信号やQAM信号の誤りが増大してしまうという課題がある。そのため、この解決策としてsignal shapingという技術を用いてOOK信号を作成し、OOK信号がOFF状態の確率を低減することにより、共存させた信号のビット誤り率特性を改善する方法を検討した。この動作原理を示し、誤り率の向上を示した。

研究成果の概要(英文)：This work proposes a novel symbol mapping that uses signal shaping to alleviate the BER problem in constellation sharing with the use of phase information. This mapping solves one of the most critical problems; the small Euclid distance of the PSK symbols in the constellation sharing of OOK and PSK in passive optical networks (PONs). The modulation format of ASK, PSK, and QAM can co-exist with the existing PONs, which utilize on-off keying (OOK). The proposed mapping is designed to maximize the symbol distance assuming the co-existence of OOK and PSK. Constellation sharing enables next generation PONs to overlay existing PONs with the use of an advanced modulation format based on the Digital Signal Processing (DSP) technology that well supports migration of the access network. The modulation format of ASK, PSK, and QAM can co-exist with the existing PONs, which utilize OOK. This work shows the operating principles of symbol mapping, and also describes the improvement of BER.

研究分野：通信工学

キーワード：光アクセス PON コンスタレーション共有

1. 研究開始当初の背景

(1)近年の爆発的なインターネットの普及は、通信全体のトラフィック量を増大させ、通信キャリアに高速化、大容量化だけでなく多様性をも要求している。こうした背景の下、これからのアクセスシステムにおいては、従来技術に勝る信頼性や柔軟性を特徴とするものが求められる。このような新たな光アクセスとして、光 CDMA や光 OFDMA など柔軟な帯域制御が可能な通信方式の研究が盛んである。

(2)このような新システムが研究される中、既存システムに重畳して、高速な新サービスを安価に追加したいという要求は今後大いに考えられる。このためには、既存システムと光ファイバを共有することが近道である。

(3)このような技術の実現にあたって、課題の一つは既存システムの光信号と共存できる新たな通信方式、多重化技術をあらかじめ開発しておくことである。この技術の一つとして、コンスタレーション(信号点配置)共有がある。これは、通信方式ごとに信号点を区別する情報(振幅、位相、信号点間のユークリッド距離など)を割り当てて、同一のコンスタレーションを複数の通信方式で共有し、信号を多重化するものである。この技術の課題として、既存システムの仕様から光信号の消光比を大きくとる必要があり、その結果、振幅の小さい信号点はコンスタレーションの原点に集中する傾向にあるので、他のシステムではこの信号点の位相情報の識別誤りが生じやすい。このようにコンスタレーション共有においては、既存の光アクセスで用いられる光強度変調による制約が、他の光アクセスシステムにおけるビット誤り率、ピーク電力などに対する劣化要因となる。

2. 研究の目的

(1)既存の光アクセスシステムに対して新方式をスムーズに導入する技術としてコンスタレーション共有が有効であるが、そこにはビット誤り率の低下、消費電力の増大といった課題がある。本研究では、これを解決する通信方式を開発することを目的とする。

(2)ビット誤り率の低下については、従来は誤り訂正符号の応用がなされてきたが、本研究ではシェーピングを利用する方式を取り上げ、両者の特性比較を行う。シェーピングとは通信路の特性に対し、変調後の信号点の分布が好ましくなるように送信ビット系列を符号化することである。シェーピングアルゴリズムの中でも、Forney によるトレリスシェーピングはビタビアルゴリズムにおいて符号語探索メトリックを適切に定義することで任意のシェーピングを行うことができる。本研究では、ひとつの方向性としてトレ

リスシェーピングを応用してコンスタレーションの中から誤り率が劣化しやすい信号点を使用する確率を低減する技術を開発する。他のシェーピングアルゴリズムとしてシェルマッピングを取り上げ、その応用についても研究する。

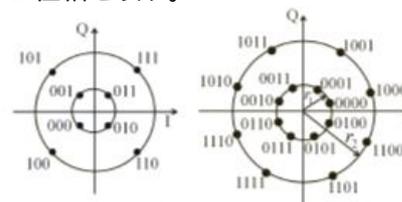
3. 研究の方法

コンスタレーション共有には既存の光アクセスシステムが強度変調を用いるという制約により、信号点の位相情報を使用せざるを得ず、信号点の位置によってはビット誤り率が劣化するという課題がある。本研究では、シェーピングの導入により解決する方法を提案し、その具体的な構成法、動作アルゴリズム、理論的な妥当性を示すとともに、特性の向上についてシミュレーションによって明らかにする。具体的には、シェーピングアルゴリズムを考案して、これにより誤り率の高い信号点の分布を低減する。この信号点分布を用い、新たな光アクセスシステムでは光信号を強度変調以外の位相情報を用いて変調する。これらを総合的に再現するシミュレーションシステムをコンピュータならびに光通信ソフトウェアを用いて構築し、様々な変調方式、ユーザ多重数、受信回路の熱雑音に応じたビット誤り率を測定し、提案方式の有効性を明らかにする。

4. 研究成果

(1)OOK 信号と PSK 信号の共存方法

OOK 信号と QPSK 信号を共存させる場合、OOK 信号1 ビットと PSK 信号2 ビットを合わせて3 ビットの信号とする方式が開発されている。この時のコンスタレーションを図1(a) に示す。また、OOK 信号と 8PSK 信号を共存させる場合、OOK 信号1 ビットと PSK 信号3 ビットを合わせて4 ビットの信号とする。この時のコンスタレーションを図1(b) とする。図1の各シンボルを表すビットの内、最上位ビットは OOK 信号とする。例えば、最上位ビットが0 なら内側の円とし、1 なら外側の円とする。残りのビットは PSK 信号であり、図1(a) ならそれぞれ4 つの位相を表し、図1(b) ならそれぞれ8 つの位相を表す。



(a)OOK と QPSK の共存 (b)OOK と 8PSK の共存

図1 OOK信号とPSK信号の共存

(2)誤り訂正符号を用いた signal shaping
signal shaping は BER を増大させることな

く少ない平均信号電力の信号を生成する技術であるとして開発されている。誤り訂正符号を用いた汎用的な構成法を用いて signal shaping を行う構成を図2に示す。図2のG は生成行列であり、H はパリティ検査行列である。

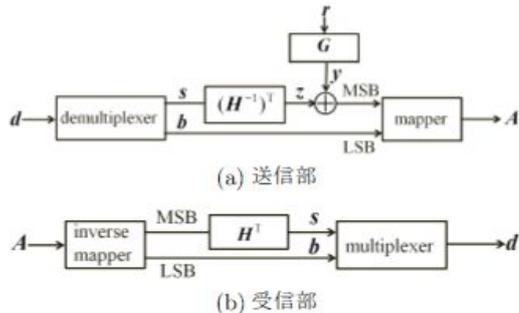


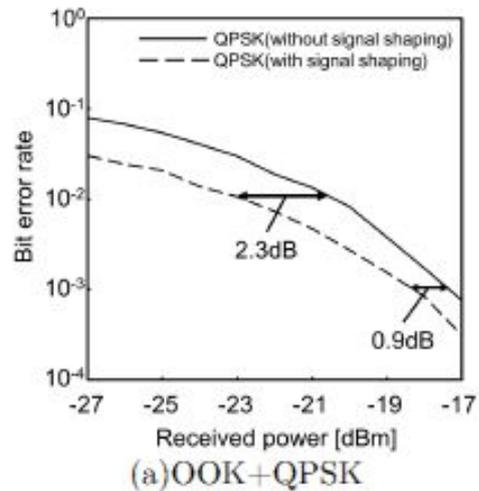
図2 signal shapingの構成

例として、7-4 ハミング符号を用いて signal shaping を行い、OOK信号を作成するための構成を図5を用いて説明する。s として元のOOK信号のデータを3ビットずつに区切り、 $(H^{-1})^T$ を用いて符号化する。この時z は7ビットとなる。次にr として4ビット用意し、G を用いてy を生成する。y は16通りあり、その中から $z \oplus y$ のハミング重みが最大になるように選ぶ。この時、 \oplus は排他的論理和である。その後、作成された $z \oplus y$ を1ビットずつ切り出してOOK信号とし、OOK信号1ビットとPSK信号またはQAM信号を合わせて送信する。このように7-4 ハミング符号を用いてOOK信号を作成することで、1の出る確率が0.5から0.875となる。また、外側のシンボルを内側のシンボルより約7倍多く使うことができるようになる。

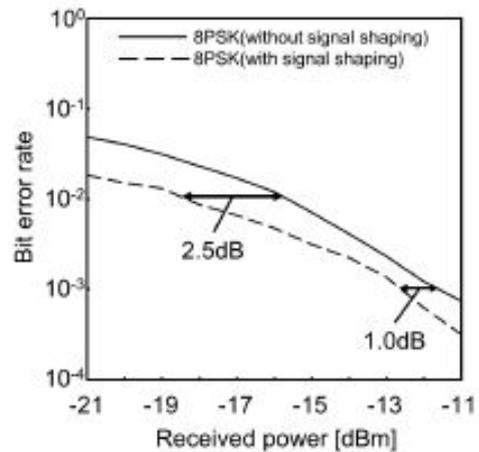
(3) OptSim と MATLAB ソフトウェアを用いてシミュレーションを行った。それぞれ、OptSim は光部品、ファイバ、ミキサ、変調器等のアナログ部品の処理を行い、MATLABは signal shaping の適応、重畳等のデジタル処理を行う。これらの連携シミュレーションにより、BER 特性の改善方法を検討する。一例として、AM PM 信号(OOK信号+QPSK 信号)を用いたときのシミュレーション構成について説明を行う。10 Gsymbol/s でOOK信号を生成し、MATLAB ライブラリでOOK信号に signal shaping を行い PSK 信号と共存させた AM PM 信号を出力させる。送信側と受信側に2組のレイズドコサインフィルタを用いて帯域制限を行うことで符号間干渉を防ぐ。AM PM信号の位相と振幅情報を送るため、直交ミキサを用いて中心周波数10GHz の搬送波で乗算する。振幅変調器で電気信号を光信号に変換し、光ファイバによって1km 伝送させる。伝送後に光減衰器を設置し、減衰レベルを調整するこ

とで受信機に入る信号レベルの調節を行う。PINフォトダイオードで光信号から電気信号に変換され受信部へ送られる。送信側で用いた搬送波を受信信号に乗算し、高周波をカットすることで AM PM 信号を取り出す。受信した AM PM 信号は、MATLAB ライブラリによって OOK 信号と PSK 信号に復調される。光減衰器で受信電力を減衰させ、BER 対受信電力で特性の評価を行う。

(4) シミュレーション結果と考察について述べる。畳込み符号を用いたときの結果を図3に示す。図3(a)より、QPSK 信号の BER が10.2の時、受信電力が約2.3dB 改善され、10.3の時、受信電力が約0.9dB 改善されている。図3(b)より、8PSK 信号の BER が10.2の時、受信電力が約2.5dB 改善され、10.3の時、受信電力が約1.0dB 改善されている。



(a)OOK+QPSK



(b)OOK+8PSK

図3 畳込み符号を用いた時のBER

7-4 ハミング符号を用いたときの結果を図4に示す。図4(a)より、QPSK 信号の BER が10.2の時、受信電力が約3.3dB 改善され、10.3の時、受信電力が約1.7dB 改善されている。

図7(b) より、8PSK 信号のBER が10.2の時、受信電力が約3.8dB 改善され、10.3の時、受信電力が約1.7dB 改善されている。

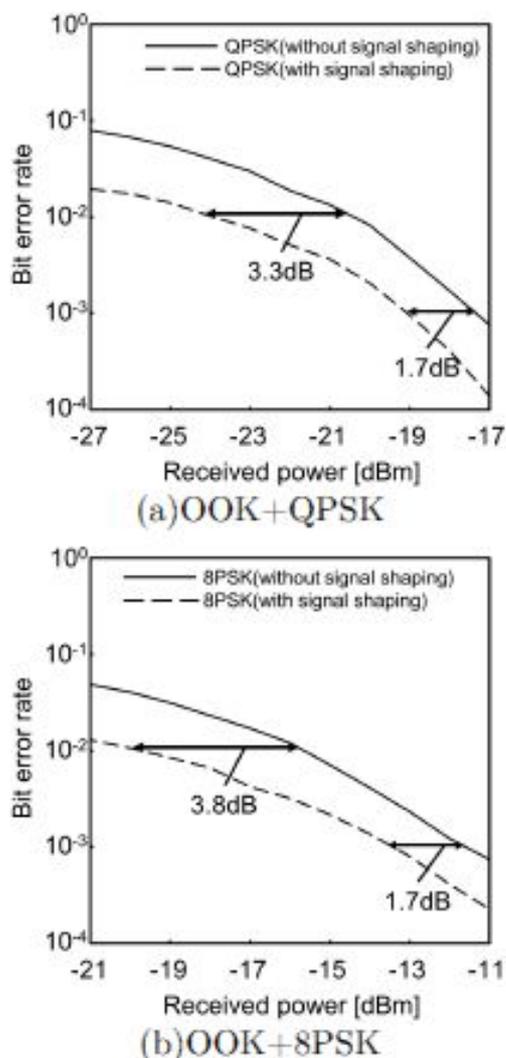


図4 7-4ハミング符号を用いた時のBER

本研究では、消光比が大きい場合にOOK 信号と共存させたPSK 信号のBER が劣化してしまう課題をsignalshaping という技術を用いて改善する方法を検討した。OptSim・MATLAB 連携シミュレーションにより、signal shaping を用いた光通信システムの設計、解析を行った。光通信システムの設計により、誤り率に対する受信機に必要な入力電力が分かった。シミュレーション結果より、signal shaping を用いることで、共存するPSK 信号、またはQAM 信号のBER が改善される結果を得た。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

Yasuyuki Okumura, Katsuyuki Fujii, Kohei

Oowaki, Comparing Shell Mapping to Trellis Shaping as Symbol Mapping for Co-existence of next Generation PON and Current System, International Journal of Networks and Communications, 査読有, Vol.6, No.2, 2016, pp.24-31
DOI: 10.5923/j.ijnc.20160602.02

Yasuyuki Okumura, Maki Kato, Katsuyuki Fujii, Signal shaping to achieve OOK and PSK co-existence for improved optical access network performance, American Journal of Networks and Communications, 査読有, Vol.3, No.4, 2014, pp.56-62
DOI: 10.11648/j.ajnc.20140304.12

[学会発表](計 1 件)

Kohei Oowaki, Yasuyuki Okumura, Katsuyuki Fujii, A new approach to co-existence of next generation PON and existing system, 2015 International Conference on Simulation, Modelling and Mathematical Statistics, 査読有, November 22, 2015, Chiang Mai, Thailand

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

奥村康行 (OKUMURA, Yasuyuki)

南山大学・理工学部・教授

研究者番号: 90434604

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

加藤万貴 (KATO, Maki)

大脇康平 (OOWAKI, Kohei)