

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 18 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13989

研究課題名(和文) ナイキストパルスと線形な手法による時間レンズを用いた光シリアル-パラレル変換

研究課題名(英文) Power Efficient Optical Serial-to-Parallel Conversion using Linear Nyquist pulse generation and Time-Lens Technique

研究代表者

小西 毅 (KONISHI, Tsuyoshi)

大阪大学・工学研究科 准教授

研究者番号：90283720

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超広帯域システムのフロントエンドで帯域整合を行う光シリアル-パラレル変換のための新しい手法の創出を目的とし、“線形な”時間レンズを用いた独創的な方法の実現に挑戦した。一連の基本動作の実現を目指し、25 ps間隔の時間的に高密度なナイキストトリプルパルス列に10GHzの正弦波状の広帯域シリアル信号を重畳し、光シリアル-パラレル変換を介して、各パルスに重畳された振幅情報をRMS誤差5%以下の精度で並列に出力することに成功した。ナイキストパルス由来の高いスペクトル利用効率を担保した状態で、従来の非線形な手法の報告と比較して、低消費電力化を大きく低減できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：Power efficient optical serial-to-parallel conversion is investigated as an indispensable frontend subsystem of ultra-wide band systems for bandwidth matching. Here, we pursue a linear technique based on fractional Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) scheme. A fractional OFDM can mediate between Nyquist Optical Time Division Multiplexing (N-OTDM) and OFDM without any nonlinear signal processing and it is expected to incorporate both benefits of the densest serial and parallel features of N-OTDM and OFDM as well as power efficiency of a linear technique. The preliminary operation of serial-to-parallel conversion is successfully verified so that a 10 GHz sine wave serial signal could be optically sampled by triple Nyquist pulses and be converted to three parallel intensity modulated signals at three Fr-OFDM channels under the condition of root mean squared error below 5%.

研究分野：光信号処理

キーワード：光信号処理 シリアルパラレル変換

### 1. 研究開始当初の背景

光通信をはじめ衛星通信、リモートセンシング等の超高速・超広帯域な信号を扱う分野においては、例えば、光ルータ、光バッファ等の処理のレイテンシが不可避なサブシステムにおける帯域整合のためのシリアル-パラレル変換機能の光化が急務である。特に、原信号と計測・処理間のフロントエンドで必要不可欠な A/D 変換においては、現在、電氣的な性能限界を解決するために、その光化が精力的に検討されている。現在、A/D 変換におけるサンプリング部分の光化が既に光計測機器の中に進められており、光シリアル-パラレル変換を介した帯域整合を用いて狭帯域な電氣的 A/D 変換器の並列利用を可能とするというアシスト的な形での導入が目指されている。将来的に A/D 変換の光化が実現された際には、光シリアル-パラレル変換は、ますます重要となる。スペクトル利用効率および低消費電力化の飛躍的な向上という本研究の目標が実現されれば、光シリアル-パラレル変換の性能と適用範囲をより実用的なものに近づける礎となり、その実現に大きく寄与する研究と位置付けられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、帯域の異なる超広帯域システム間の境界において、帯域整合を行う光シリアル-パラレル変換のための新しい高密度な手法の創出を目的とし、新しい“多重化方式”と“時間レンズ”を利用した独創的な方法の実現に挑戦を目指した。特に、本研究では、時間的に高密度なナイキストパルスの導入に挑戦することにより、低消費電力化とスペクトル利用効率に関して構成デバイスの物理的制限を受けていた従来の光シリアル-パラレル変換における性能限界の打破を試みた。

### 3. 研究の方法

光シリアル-パラレル変換の実現方法として、それぞれシリアル、パラレル信号を扱うナイキストパルスベースの時分割多重化と一般化された周波数分割多重方式間の変換を“線形な”時間レンズを介して実現することを試みた。以下に具体的な方法について述べる。

(1) 波形整形器を用いて一般化された周波数分割多重化パラレル信号の生成を試み、“線形な”時間レンズを介したパラレル-シリアル変換によりナイキストパルスの発生方法の実験的な確立を目指した。

(2) 変換対象となるシリアル信号を重畳するサブシステムの構成を行い、確立したナイ

キストパルスの発生方法との協調動作を試みた。さらに、ナイキストパルス列をマルチキャリアに変換する逆の“線形な”時間レンズを介した多重化方式変換を用いた新しい光シリアル-パラレル変換の実現を試みた。

### 4. 研究成果

本研究では、線形な時間レンズに基づく高稠密かつ低消費電力な光シリアル-パラレル変換を中心に、A/D 変換の前段における効果的な前処理の検討を行った。図 1 に提案する線形な時間レンズに基づく光シリアル-パラレル変換の概略を示す。パラレル信号としての Fractional Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Fr-OFDM) 信号からシリアル信号としての Nyquist Optical Time Division Multiplexing (N-OTDM) への変換を線形な時間レンズを介して行い、逆の工程を用いることで再び Fr-OFDM 信号(パラレル信号)へ変換できる。これらの一連の基本動作の検討を行い、検討結果に基づき実際の 10GHz 正弦波

実信号を用いた光シリアル-パラレル変換の実証実験に成功した。以下に、その詳細を示す。

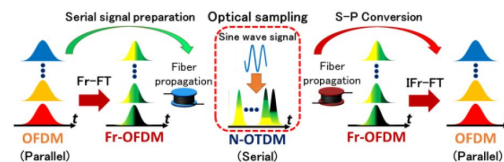


図 1 提案方法の概念図。

#### (1) シリアル信号の生成確認

波形整形器を用いて一般化された周波数分割多重化パラレル信号の生成を試み、“線形な”時間レンズを介したパラレル-シリアル変換によりナイキストパルスの発生方法の実験的な確立を目指した。パルス光源として、繰り返し周波数 10 GHz、中心波長 1540 nm の半導体モードロックレーザ (MLLD: Mode-locked laser diode) を用いた。サンプリング定理を満たす条件として、10GHz 正弦波信号の 4 倍の帯域を持つ 25 ps 間隔の N-OTDM 信号を生成するために、フラクショナルパラメータ  $p$  およびその  $p$  に対応するファイバ総分散  $D$  を調整した。信号のチャンネル数は、WSS (Wavelength Selective Switch) のポート数および性能による制限から 3 に設定した。シード入力光パルスを光カプラにより 3 つに分岐し、分岐された各光パルスの時間位置を調整した。各光パルスは、WSS による線形な変調を介して Fr-OFDM サブキャリアに変換される。また、今回は WSS に Fr-OFDM サブキャリア生成機能に加えて時間レンズ用の分散に対応する変調も含まれており、WSS 通過後の光パルスはナイキストパルス列を形成する。図 2 に入力光パルスおよび生成した

N-OTDM 信号の時間波形を示す．図 2 (b)中の信号下部における暗線は入力信号が無いときの強度レベルを示したものである．時間波形の測定はデジタルオシロスコープ (OSC: Oscilloscope) を用いた．図 2 (b)より3つのパルス列となった N-OTDM 信号が生成されていることがわかる．また，時間波形の歪みが確認できるが，これは光検出器 (PD: Photo-Detector) の応答性に起因するものである．

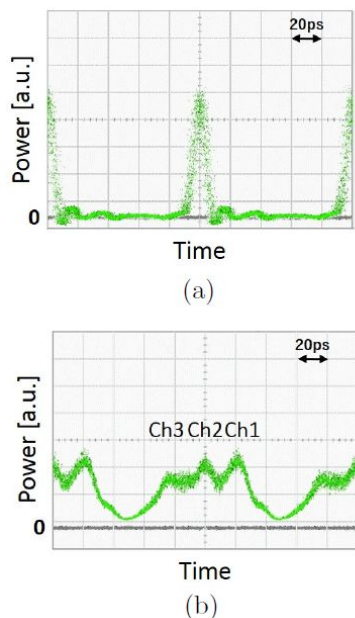


図 2 N-OTDM パルス列生成実験結果：  
(a)シード光パルス，(b)生成パルス列.

(2)シリアル信号変調確認 (光サンプリング)  
光サンプリングのために変換対象となるシリアル信号を重畳するサブシステムの構成を行い，生成したナイキストパルスの変調を試みた．図 3 に実験結果を示す．ニオブ酸リチウム強度変調器 (LN-IM: Lithium Niobate Intensity Modulator) を 10 GHz の正弦波実信号を用いて駆動することで，N-OTDM 信号の光サンプリングパルス列にデータを重畳した．このとき，N-OTDM 信号の 2 番目の光パルスが正弦波信号の谷に一致するように正弦波信号の時間位置を調整した．図 3 より正弦波信号による変調に対応して，N-OTDM 信

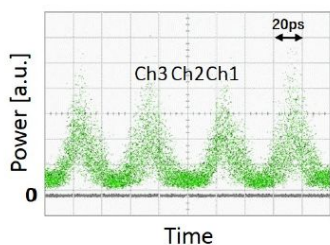


図 3 N-OTDM パルス列変調実験結果.

号の 2 番目の光パルスが大きく減衰している様子が分かる．

(3)実信号を用いた一連動作の実証実験

実信号を用いた提案手法の一連動作の原理確認として，10 GHz 正弦波信号をシリアル信号に重畳させて光サンプリングを行い，パラレル信号に変換された各信号から正弦波信号を再構成する実証実験を行なった．光シリアル-パラレル変換後に得られる Fr-OFDM 信号の各チャンネル強度と対応する光サンプリングパルスの時間位置から正弦波信号を再構成した結果を図 4 に示す．図 4 より，再構成した信号の点は元の正弦波信号波形とよく一致した結果となった．このときの二乗平均平方根誤差(RMSE)は 12.1 %となり，クロストークによる誤差は生じているが，提案する光シリアル-パラレル変換が達成され

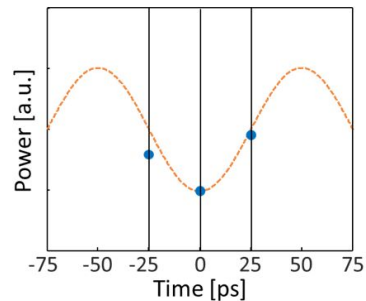


図 4 正弦波信号の再構成結果

ていることが分かる．

(4)変換後のパラレル信号の稠密度比較

非線形光学効果を用いた従来手法と提案手法において再構成した信号の RMSE が

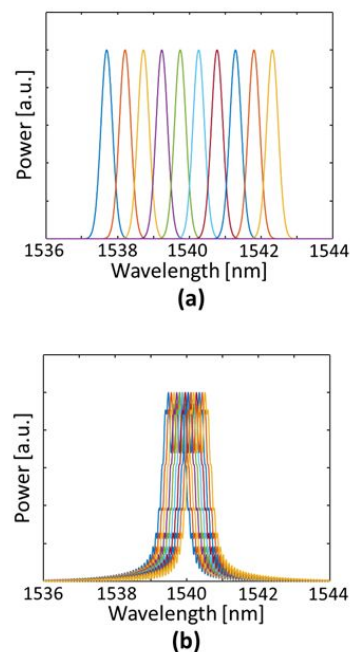


図 5 パラレル信号の稠密度の比較：  
(a)従来手法，(b)提案手法

約 8 % となるときのパラレル信号におけるスペクトルの配列の様子を図 5 に示す。従来手法と提案手法における各チャンネルの間隔はそれぞれ 0.52 nm, 0.080 nm であった。よって, この比較条件下において提案手法が少なくとも 6.5 倍高稠密な光シリアル-パラレル変換を実現可能であることを確認した。

#### 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 1 件)

M. Hiraoka, T. Nagashima, G. Cincotti, S. Shimizu, Y. Yamasaki, K. Hattori, M. Okuno, S. Mino, A. Himeno, N. Wada, H. Uenohara, and T. Konishi, "Power Efficient Optical Serial-to-Parallel Conversion using Fractional OFDM-based Linear Technique," IEICE Electronics Express, Vol. 14, No. 6, pp. 20170099, 2017 (March 25 2017).

〔学会発表〕(計 1 件)

M. Hiraoka, T. Nagashima, B. Karanov, G. Cincotti, S. Shimizu, T. Murakawa, M. Hasegawa, K. Hattori, M. Okuno, S. Mino, A. Himeno, N. Wada, H. Uenohara, and T. Konishi, "Optical Serial-to-Parallel Conversion based on Fractional OFDM scheme," Optoelectronics and Communications Conference/ International Conference on Photonics in Switching 2016(OECC/PS 2016), MF1-3, Niigata, Japan (2016.7.3-2016.7.7).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：

取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

小西 毅 (KONISHI, Tsuyoshi)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90283720

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )