

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18068

研究課題名(和文)光相関受信器を用いた非線形歪みを含む伝送歪み補償に関する研究

研究課題名(英文) Compensation of signal distortion including nonlinear effects using optical correlation receiver

研究代表者

三好 悠司 (Miyoshi, Yuji)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00582389

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では光相関受信器を用いて伝送歪みを受けた高速光信号を高い受信信号品質で受信すること目的に研究を行い、下記の研究成果が得られた。

(1)光相関受信器のカットオフ周波数やA/Dコンバータの分解能が受信信号品質に与える影響を検討し、高い受信信号品質を得るために必要な条件を明らかにした。(2)残留分散による信号品質劣化を抑制するため、受信信号と同等の参照光に与えることで信号品質を改善する方法を提案し、その改善効果を明らかにした。(3)非線形光学効果による信号品質劣化を抑制するため、広帯域光信号と整合フィルタ条件を満たす参照光を用いた光相関受信方法を提案し、その改善効果を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We proposed and investigated the following contents to achieve high signal quality for the distorted high-speed signal detection.

(1)We investigated and clarified the effect of the cut-off frequency and number of quantization bits of analog-to-digital converters on the signal quality using the impulse response of a correlation receiver. (2)We proposed a wavelength-dispersion equalizing scheme that counteracts the signal degradation caused by residual dispersion. To counteract the signal degradation, this scheme uses optical correlation receivers and a distorted reference signal. (3)We proposed a transmission scheme for suppressing signal degradation due to optical nonlinear effects. To suppress inter-symbol interference, this scheme uses optical signals with short waveforms and excess bandwidths.

研究分野：光通信工学

キーワード：光通信工学 光信号処理 光時分割多重 相関受信器

1. 研究開始当初の背景

光通信において、電気回路による信号処理の速度を超える通信速度を実現し、高い周波数利用効率を実現する方法として光ナイキストパルスを用いた光時割多重技術(OTDM)が提案されている。光ナイキストパルスは短パルスと光波形整形フィルタによって生成され、DA コンバータと変調器を用いる信号発生方法に比べ、広帯域の信号を発生可能である。しかしながら、高速伝送を行うためには伝送路における信号のひずみを補償する必要がある。従来の技術で光信号の補償を行うためには、逆特性をもつ光学デバイスとして、分散補償ファイバ等の分散補償デバイスが用いられている。また、デジタル信号処理により補償を行う場合には高速に動作する受光回路や A/D 変換器(ADC)、高速な演算回路が必要であった。

2. 研究の目的

本研究では光相関受信器を用いてルートナイキストフィルタや伝送ひずみの補償に用いるフィルタの機能を持たせ、受信信号品質の改善を行うことを目的としている。

光相関受信器による時分割多重信号の分離を行うことで受光器や電気回路に要求される応答速度は低減され、低速な回路や A/D コンバータを用いて高速伝送が可能となる。合わせて、高速なデジタル信号処理が必要であった相関演算による受信フィルタが不要となり消費電力の低減が期待される。

3. 研究の方法

光相関受信器を用いて高い受信信号品質を得るための条件を明らかにするため、次の項目についての検討をそれぞれ行った。

積分回路を用いた光相関受信器と必要特性

帯域幅が制限された相関受信器においても高い受信信号品質を得るための方法を提案し、相関受信器に求められる帯域幅と受信信号品質の関係についての検討を行った。

残留分散により生じる信号ひずみと信号品質劣化の抑制方法

残留分散により発生する信号歪みが受信信号品質に与える影響と受信信号品質を改善するための参照光の条件についての検討を行った。

非線形光学効果による伝送ひずみによる信号品質劣化抑制法

光ファイバ中を伝送中に非線形光学効果によって生じる信号品質劣化を抑制するため、短パルスを用いて信号伝送を行い、光相関受信器と伝送路中で生じる信号歪みを反映した参照光を用いて、非線形光学効果による信号品質の劣化を抑制する方法を提案し、改善効果を検討した。

4. 研究成果

積分回路を用いた光相関受信器と必要特

性

帯域幅が制限された受光器や ADC を用いた相関受信器の実現方法を提案し、高い受信信号品質を実現するための必要特性を明らかにした。提案法の構成図を図 1 に示す。本方法では受光器や ADC の低域通過特性を積分回路とみなして用いる。カットオフ周波数や ADC の分解能が受信特性に与える影響について、検討を行い、高い受信信号品質を得るために必要な帯域幅や ADC の分解能の条件を検討した。検討結果を図 2 に示す。多重化前ボーレート  $10 \text{ Gbaud}$ 、OTDM 多重数を  $16$  とした時信号生成に用いるルートナイキストフィルタのロールオフ率  $\alpha$  の値によらず、光相関受信機のカットオフ周波数を  $1.7 \text{ GHz}$  から  $3.2 \text{ GHz}$  の範囲を用いると高い受信信号品質が得られることを明らかにした。

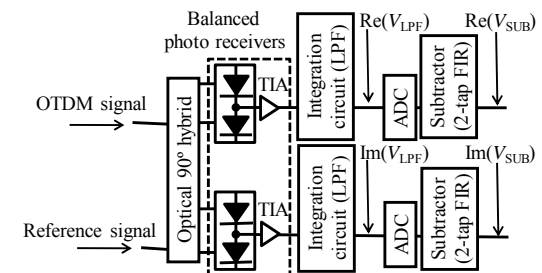


図 1 積分回路による光相関受信器

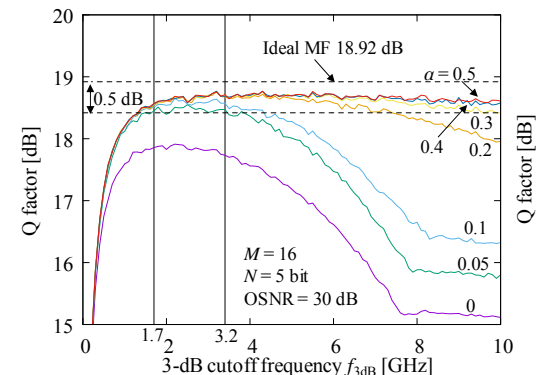


図 2 カットオフ周波数と信号品質の関係

残留分散により生じる信号ひずみと信号品質劣化の抑制方法

残留分散による信号ひずみが生じた時の信号品質劣化抑制方法については、相関受信器に用いる参照光に伝送ひずみを反映させる方法の提案と効果を確認した。図 3 に構成図を示す。参照光に受信信号と同じ残留分散歪みを与えることにより、光相関受信器は等化フィルタとしての機能を持つことができ、受信信号品質が改善されることを確認した。図 4 に受信信号に含まれる残留分散値と提案法を用いた場合と、参照光に伝送ひずみを反映させない場合の残留分散値と受信信号品質の関係を示す。受信信号品質の劣化を  $6.4 \text{ dB}$  以上の信号品質となる残留分散の範囲は提案法を用いることにより、 $14.5 \text{ ps/nm}$  から  $99.5 \text{ ps/nm}$  に改善されることを明らかにした。

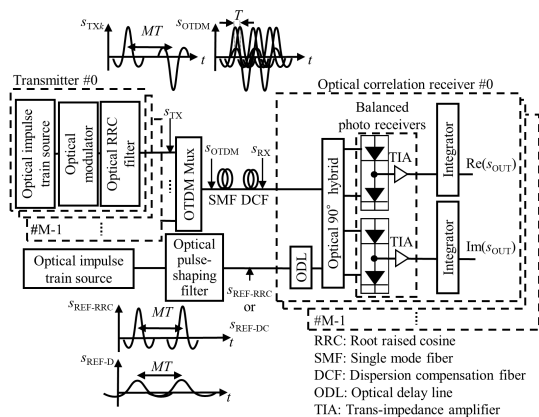


図3 残留分散による信号品質劣化の抑制方法

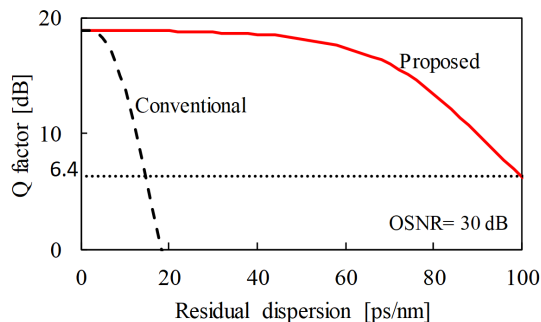


図4 残留分散値と信号品質の関係

非線形光学効果による伝送ひずみによる信号品質劣化抑制法

本研究では光時分割多重を用いずに、送信光信号の帯域幅をナイキスト基準に比べて広くし、光相関受信機を用いて信号を受信することにより信号品質を改善する方法について検討した。光相関受信器を用いることで広帯域の光信号を整合フィルタ条件で受信することが可能となる。光信号のボーレート 10 GBd、ナイキスト基準の帯域幅が 10 GHz の時に図 5 に送信信号の帯域幅を広くし、整合フィルタ条件に合わせた参照光を用いた時の送信光電力と受信信号品質の関係を図 5 に示す。伝送ファイバは分散シフトファイバを仮定した。送信信号の帯域幅を増やすことにより、送信信号光電力の増加させたときの信号品質劣化の発生を抑えることができることを確認した。

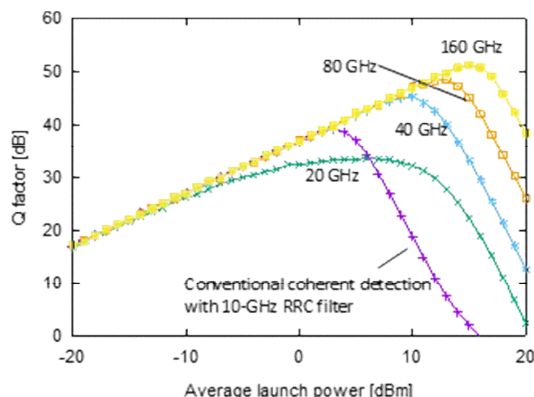


図5 送信光電力と信号品質の関係

## 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 5 件)

(査読有) M. Morimoto, Y. Miyoshi, H. Kubota, and M. Ohashi, "Residual dispersion equalization using correlation detection in Nyquist OTDM scheme," IEICE Communication Express, Vol. 7, No. 3, 2018, pp. 60-64.  
DOI:10.1587/comex.2017XBL0166

(査読有) Y. Miyoshi, H. Okamoto, S. Nakata, H. Kubota, and M. Ohashi, "Cut-off frequency and number of quantization bits required for correlation receiver in Nyquist OTDM scheme," IEICE Communication Express, Vol. 6, No. 5, 2017, pp. 194-199.  
DOI:10.1587/comex.2017XBL0008

(査読有) Y. Miyoshi, H. Kubota, and M. Ohashi, "Signal degradation due to finite integration time for correlation detection in Nyquist OTDM scheme," IEICE Communication Express, Vol. 6, No. 4, 2017, pp. 142-147.  
DOI: 10.1587/comex.2015XBL0169

(査読有) 吉田 健祐, 三好 悠司, 大黒 貴弘, 久保田 寛和, 大橋 正治, 光相関検波を用いたナイキスト OTDM 方式における受信信号品質にロールオフ率と波長分散が与える影響, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J99-B, No. 11, 2016, pp. 1041-1044.

(査読有) Y. Miyoshi, H. Kubota, and M. Ohashi, "Experimental demonstration of correlation detection with limited receiver bandwidth in Nyquist OTDM scheme," IEICE Communication Express, Vol. 5, No. 2, 2016, pp. 33-38.  
DOI:10.1587/comex.2015XBL0169

〔学会発表〕(計 8 件)

M. Nakaoka, Y. Miyoshi, H. Kubota, M. Ohashi, "Transmission scheme for suppressing nonlinear signal degradation using correlation detection," The 22nd Opto-Electronics and Communications Conference (OECC2017), Singapore, Singapore, P2-025, 2017.

K. Morimoto, Y. Miyoshi, H. Kubota, M. Ohashi, "Correlation detection scheme for suppression of residual dispersion in Nyquist OTDM," The 22nd Opto-Electronics and Communications Conference (OECC2017), Singapore, Singapore, P2-020, 2017.

K. Nakamoto, Y. Miyoshi, H. Kubota, M. Ohashi, "Relationship between nonlinear dispersion and baud rate in Nyquist OTDM using optical correlation detection," International Symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT2017), Nara, Japan, P-22, 2017.

S. Nakata, H. Okamoto, Y. Miyoshi, H. Kubota, M. Ohashi, "Performance evaluation of optical correlation receiver using analog integration circuit," International Symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT2017), Nara, Japan, P-6, 2017.

Y. Miyoshi, H. Okamoto, H. Kubota, M. Ohashi, "Correlation detection utilizing receiver bandwidth limitations for Nyquist OTDM scheme," Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP2016), Wuhan, China, AF2A.111, 2016.

T. Oguro, Y. Miyoshi, H. Kubota, M. Ohashi, "Relationship between roll-off factor and transmission distance in Nyquist OTDM scheme based on correlation detection with EDFA repeaters," Opto Electronics and Communications Conference (OECC2016), Niigata, Japan, WA2-39, 2016.

K. Yoshida, Y. Miyoshi, T. Oguro, H. Kubota, M. Ohashi, "Nonlinear distortion in Nyquist OTDM scheme using optical correlation detection," Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP2015), Shanghai, China, ASu2A. 77, 2015

Y. Miyoshi, H. Kubota, M. Ohashi, "Nyquist OTDM based on optical correlation detection using impulse response of photo receiver," The 21st Asia-Pacific Conference on Communications (APCC2015), Kyoto, Japan, 14-PM2-B-1, 2015.

〔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〕

6 . 研究組織

(1)研究代表者

三好 悠司(MIYOSHI, Yuji)

大阪府立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：00582389