

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760268

研究課題名(和文) 高密度集積遅延干渉計による偏波多重光多値位相変調信号の一括復調の実証

研究課題名(英文) Simultaneous demodulation of polarization-division multiplexing multilevel phase-shift keying optical signal using highly-integrated delay-line interferometer

研究代表者

千葉 明人 (Chiba, Akito)

群馬大学・理工学研究院・助教

研究者番号：30435789

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、複数の遅延干渉計を準備せずに偏波多重光信号の復調を可能とする手法の検討を進めた。偏光変換を利用して単一の遅延干渉計のなかに2つの光路を実装し、従来必要とされていた遅延干渉計2系統を1つに集約するものである。まず光干渉計の出力そのものを直接検出せずに導波路型光干渉計の光路長差を制御する手法を示した。またテストベッドを構築して遅延時間や偏光クロストークの定量的評価を進め、提案する系の光出力の偏光直交性およびその律速要因を実測に基づいて示した。更に導波路型光干渉計の光路長差を高速で制御した場合のクロストークを従来手法に対して高いダイナミックレンジで推定する事に成功した。

研究成果の概要(英文)：In this study we proposed simultaneous demodulation of polarization-division multiplexing (PDM) optical signal without use of optical delay line interferometers (DLIs). Utilizing polarization conversion of lightwave, two optical paths are prepared in one DLI so that two optical DLIs required for conventional demodulation of a PDM optical signal can be integrated into one configuration. First, an adjustment procedure for optical path-length difference in a waveguide-type optical interferometer is developed without detecting output of the target interferometer. And it is shown that sufficient polarization orthogonality between output lightwaves is achieved together with the origin limiting its orthogonality, based on analysis of polarization crosstalk and delay time in the test bed we constructed. Furthermore we also succeeded in wide dynamic-range crosstalk estimation for a waveguide-type optical interferometer whose optical path-length difference is rapidly adjusted.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：光干渉計 偏波多重 位相変調 復調

1. 研究開始当初の背景

近年バックボーン光ネットワークにおける情報伝送量は莫大な増加を続けており、光の特長を総活用した光通信方式の提案が余儀なくされている。試みの一つとして、一度の変調で重畳するビットの数を増加した光信号の変復調(多値光変調)がある。従来のデジタル光変調(オンオフキーイング)に比べ変調信号の電気帯域の増加を抑えつつ、占有周波数帯域の狭窄化(周波数利用効率の増大)や分散耐性の向上が期待できる特長を有し、現在では光の同相成分・直交成分に計4ビット(16値)を重畳した光直交振幅変調信号の生成・伝送も示されている。光に重畳するビット数が4-5ビットを超えると所要OSNR(光信号雑音比)の増加の影響が顕著となるため、光の偏光(偏波)も情報重畳の基底として用い(偏波多重の併用)それを回避する事も検討されている。

一方、特に直交振幅変調信号の場合、変調光に対して位相が同期した局部発振光が復調時に必要となり、光変調の場合は特に、局部発振光の位相同期の安定化が実用上の大きな壁となる。これを避けるための光信号検波後のデジタル信号処理法も示されているが、デジタル信号処理装置の高速化が実用上の前提となっており、技術的なハードルは依然として高い。また偏波多重分離が加わると難易度は飛躍的に上昇する。これらの事から、光の位相同期や高速電気信号処理を要しない簡便な受信器構成で、伝送容量・周波数利用効率が高い光変復調技術の検討の余地が十分に残っている事を示唆できる。

遅延干渉計により復調を行う遅延検波は、局部発振光を要しないシンプルな手法としてよく知られており、差動四値位相変調等は長距離光伝送系に実用されつつある。しかし一般的な遅延干渉計の場合、偏波多重信号分離の機能を追加すると復調光学系が各偏光(水平・垂直偏光)に対して必要となる。即ち光回路の規模が少なくとも2倍になり集積化の際の壁として懸念され、簡便な復調系を実現する検討の余地が残されている。

2. 研究の目的

本研究では、複数の遅延干渉計を要しない偏波多重位相変調信号の復調の実現を目指した。光の周回ループ系に於いて適切に偏光を変換させる事により、閉ループにおける光波の周回方向が入射偏光によって一意に決まるという研究代表者独自の着想に基づくものである。本手法により2系統の光干渉計

を1つに集約する事が可能となるため、干渉計の光路長差が偏波多重信号の各々に与える影響は同様となる。即ち、偏波多重信号分離と遅延検波との有機的な融合による偏光依存パワーペナルティの回避が強く期待できる。

3. 研究の方法

実現にあたって、光干渉計における光路長差の安定化は技術的基盤として重要なものとなる。光の遅延干渉は勿論のこと、入れ子の構造をとることにより光強度の微調整も可能となり、実験的検討を進める際のテストベッドを構築する上で有用となり得る。そこで光干渉計におけるアームを伝搬する光波の振幅等を制御する入れ子の光干渉計の光路長差を制御する手法を模索した。また提案する遅延干渉計のテストベッドの構築を進めた。本研究は偏光の自由度を利用する光干渉計の実現を目指すものであるが、その系の構成要素等に起因する偏光クロストークが光出力に与える影響を解析するにあたって、従来の光干渉計におけるクロストークと光出力との関係を明らかにする事は有用であるととも重要となる。そこで実験を通じて偏光クロストーク等の定量的評価を進めその起源をおさえるとともに、導波路型光干渉計の光路長差を高速で制御した場合のクロストークを評価する手法の開拓を進めた。

4. 研究成果

まず光干渉計の光路長差制御の検討として、光干渉計の入れ子構造における光波の複素振幅の変遷に着目した解析を進めた。導波路型光干渉計を構成する各アームへの入れ子構造としたマッハ・ツェンダー型光干渉計(各々をMZA、MZBとする)のうちMZBの光路長差を制御することを考える。MZBの光出力そのものを直接測定する事は困難であるが、導波路型光干渉計が有する2ポートの光出力を利用する事により可能となる。光干渉計が有する光出力ポートの数は、方向性光結合器やX分岐は勿論のこと、Y分岐についても放射モードへの結合も考慮に入れると同様であることが知られているため、一般性は失われない。入れ子のマッハ・ツェンダー型光干渉計の出力光の電場をそれぞれ E_A および E_B とする。MZAやMZBと接続されている 2×2 光カプラを介してこれらが合波されたものが光出力となるが、光カプラによりこれらは異なる位相シフトを受けるため、各ポートにおける光出力は異なる。図

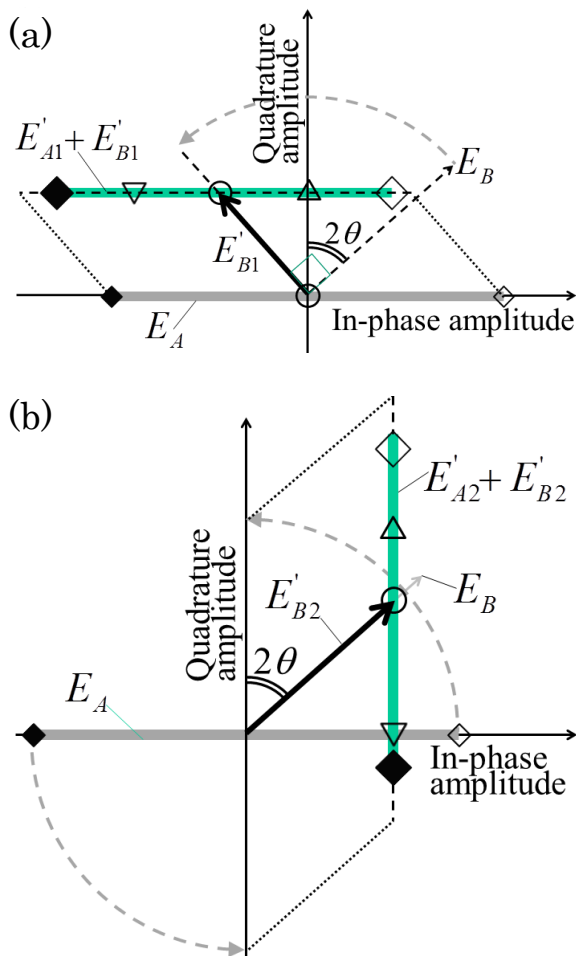


図1 MZAの光路長差を掃引したときの(a)出力ポート1'および(b)出力ポート2'における光波の複素振幅の軌跡。

1として、MZAの光路長差を掃引した場合の各ポートにおける光振幅を複素平面上に示す。説明のため、光路長差制御の対象となるMZBはヌル状態(MZBの光出力が生じない状態)であるものとする。ここで θ は、 E_A と E_B との位相差のうち、入れ子構造のマッハ・ツェンダー型光干渉計の出力側ポートが接続されている光導波路の光路長差に起因するものである。 E_{A1}' や E_{A2}' は、出力側の 2×2 光カプラを介してMZAから出力ポート1'やポート2'に伝搬した E_A の成分を表す。 E_{B1}' や E_{B2}' はMZBから伝搬する光波に対するものである。図1における点線の矢印は、光カプラに起因する光波の位相シフトを示し、記号はMZAの光路長差が互いに同じであることを示す。白抜きひし形・黒いひし形はそれぞれ、MZAの光透過率が最大・最小(透過率の絶対値は同じで入射光に対して位相が反転する状態)であることに対応する。また三角形・逆三角形はそれぞれ、

出力ポート1'、ポート2'に於いて光強度が最小となるMZAの状態に対応する。この図から、MZBを透過する光が存在する場合、各光出力ポートに於ける光強度を最小とするMZAの光路長差が異なることが分かる。逆に、MZBがヌル状態(MZBの光出力が生じない状態)の時には、MZAがヌル状態の時に両出力ポートにおける光強度が同時に最小となる。この原理に基づいて、光干渉計の光路長差に応じた出力光強度の挙動を実験的に示すとともに、光路長制御への応用が可能である事を明らかにした。

またテストベッドの構築を進め、研究機関が保有するピコ秒パルス光源を用いてその評価を実験的に検討した。遅延時間(光路長差)に加えて、遅延の有無が偏光状態に与える影響を測定し、測定装置の検出限界に律速されたものの各光波の偏光の直交性を確認できた。またその評価を通じて、遅延を受ける光信号の偏光クロストークを律速する主因となる構成要素を同定し、素子の厳選による改善の目的を実験的に示した。加えて偏光操作を利用する遅延干渉をより簡略に実現する構成を見出した。更に光干渉計の光路長差を高速で変化させた場合の光強度クロストークを、従来手法として知られている時間領域測定に比べて高いダイナミックレンジで推定する手法を解析的に導出した。単色正弦波により光干渉計の光路長差が変化した時の光出力を光周波数領域において評価することに基づくもので、本来は光干渉計により抑圧される光周波数成分がクロストークに起因して現れる事を利用する。また得られた解析解を利用して、アーム長の差が高速で調和振動した光干渉計の光出力におけるクロストークを推定するとともに、アームを伝搬する光波の強度調整によりクロストークが抑制される事を実測データに基づいて示すことに成功した。評価用信号源の周波数を掃引して逐次周波数解析を行うことにより、二値信号等に対する特性を予測する等の解析も可能となると考えられる。

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4件)

1. A. Chiba, et al. (他5名), Low-Crosstalk Balanced Bridge Interferometric-Type Optical Switch for Optical signal Routing, IEEE Journal of selected topics in quantum electronics **19**, No.6,

- 3400307 (2013). 査読有.
2. A. Chiba, et al. (他 5 名), Amorphous Silicon Nitride thin films implanted with Cerium ions for cathodoluminescent lightsource, *Optical Materials* **35**, 1887 (2013). 査読有.
 3. K. Takada, et al. (他 3 名, 3 番目), Detailed calculation of spectral noise caused by measurement errors of Mach-Zehnder interferometer optical path phases in a spatial heterodyne spectrometer with a phase shift scheme, *Applied Optics* **52**, 12, 2555 (2013). 査読有.
 4. K. Takada, et al. (他 3 名, 3 番目), Spectral noise due to measurement errors of Mach-Zehnder interferometer optical path phases in a complex Fourier-transform integrated-optic spatial heterodyne spectrometer, *Optics communications* **296**, 61 (2013). 査読有.

〔学会発表〕(計 3 件)

1. A. Chiba, et al.(他 5 名), Adjustment of optical path-length difference of nested Mach-Zehnder structure utilizing optical phase shift in waveguide junction, CLEO/IQEC 2014, 2014 年 6 月 10 日, San Jose, California, U.S.A., June (2014).
2. 吉田他(他 4 名, 3 番目) MZI アレイ評価用炭酸ガスレーザ照射法の位相測定精度, 第 61 回応用物理学関係連合講演会, 2014 年 3 月 18 日, 青山学院大学相模原キャンパス.
3. 千葉他(他 5 名) 干渉型光スイッチの高周波領域クロストークの評価および光強度トリマ構造による抑圧, 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会, 2014 年 1 月 24 日, 同志社大学烏山キャンパス.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

千葉 明人 (Chiba Akito)
群馬大学・理工学研究院・助教
研究者番号: 30435789

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし