

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年8月3日(03.08.2017)



(10) 国際公開番号

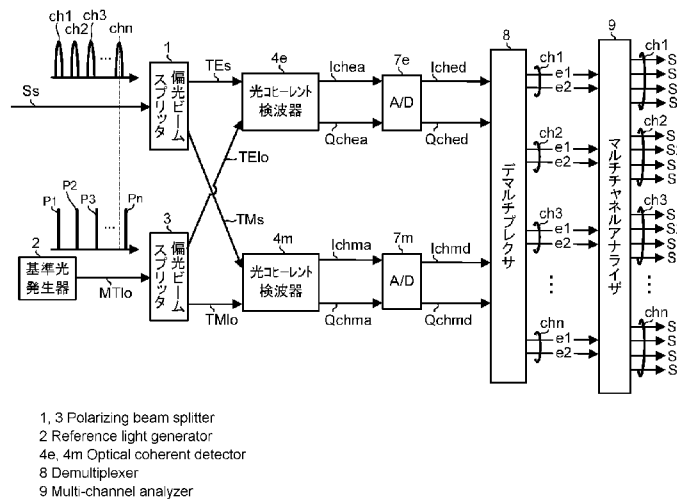
WO 2017/130941 A1

- (51) 国際特許分類:
G01J 4/04 (2006.01) H04B 14/02 (2006.01)
H04B 10/61 (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/002291
- (22) 国際出願日: 2017年1月24日(24.01.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-014631 2016年1月28日(28.01.2016) JP
- (71) 出願人: 国立研究開発法人情報通信研究機構
(NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 久利 敏明(KURI Toshiaki); 〒1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP). 坂本 高秀(SAKAMOTO Takahide); 〒1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人サクラ国際特許事務所 (SAKURA PATENT OFFICE, P.C.); 〒1010047 東京都千代田区内神田一丁目18番14号 ヨシザワビル6階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL SIGNAL PROCESSING DEVICE AND OPTICAL SIGNAL PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: 光信号処理装置および光信号処理方法



(57) Abstract: An optical signal processing device according to a mode of embodiment of the present invention is provided with: a first polarizing separator which splits received light that has been transmitted thereto and that comprises multiple modulated signals multiplexed at different wavelengths, into an electrical transverse wave component and a magnetic transverse wave component; a reference light generator which generates reference light at multiple wavelengths, corresponding to each of the multiple modulated signals in the received light; a second polarizing separator which splits the reference light into an electrical transverse wave component and a magnetic transverse wave component; a first optical coherent detector which generates in-phase components and quadrature components on the polarization axis at each wavelength, from interference components obtained by combining the electrical transverse wave components of the separated received light and reference light, and causing the same to interfere with one another; and a second optical coherent detector which generates in-phase components and quadrature components on the polarization axis at each wavelength, from interference components obtained by combining the magnetic transverse wave components of the separated received light and reference light, and causing the same to interfere with one another.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/130941 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

実施形態の光信号処理装置は、多数の変調信号を異なる波長に多重して伝送されてきた受信光を電氣的横波成分と磁氣的横波成分に分岐させる第 1 偏光分離器と、前記受信光の前記多数の変調信号それぞれに対応する多波長の参照光を発生する参照光発生器と、前記参照光を電氣的横波成分と磁氣的横波成分に分岐させる第 2 偏光分離器と、分岐された受信光と参照光の電氣的横波成分どうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分と直交成分を生成する第 1 光コヒーレント検波器と、分岐された受信光と参照光の磁氣的横波成分どうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分と直交成分を生成する第 2 光コヒーレント検波器とを具備する。

明 細 書

発明の名称：光信号処理装置および光信号処理方法

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、例えば光通信に用いられる光信号処理装置および光信号処理方法に関する。

背景技術

[0002] 光の干渉性を応用した技術は、通信、計測、観測など、さまざまな分野での活用が期待されている。特に、光通信の分野におけるコヒーレント技術は、西暦2000年代に入り、デジタル信号処理技術を適用することで光コヒーレント検波の技術の有用性が再認識され、西暦2012年には世界初の100Gb/s伝送用のデジタルシグナルプロセッサ（以下「DSP」と称す）が商品化されるなど、その技術は目覚ましい発展を遂げている。その後も、コヒーレント技術を例えば光ファイバ通信へ応用するなどの研究開発が発展・拡張の一途をたどっている。

[0003] 光ファイバを介した通信においては、一つの伝送路（例えば1本の光ファイバケーブル）に、異なる波長の信号を伝送することで、情報の伝送容量を格段に高めることができるため、同技術は今後の活用がますます期待される。

[0004] 光ファイバを介した通信において光コヒーレント検波を行う上では、光ファイバを通じて受信される光の偏光状態（SOP：state of polarization）がそのシステム性能を左右するため、SOPを解析する必要がある。

[0005] 光の偏光状態を解析する従来の技術としては、例えば直交する2つの軸および45度傾いた軸において観測される直線偏光の強度と、直交する2つの軸間に光ハイブリッドカップラなどで90度の位相差をつけて45度傾いた軸において観測される直線偏光の強度とを用いて受信光の偏光状態を解析する光学的手法による技術がある（例えば非特許文献1参照）。

[0006] 従来、光ファイバ通信において、一つの波長の光信号に対してSOPを解

析する技術はあるが、多波長の光信号に対してSOPを解析する技術は今のところ知られていない。

先行技術文献

非特許文献

- [0007] 非特許文献1：サイバネット「第6回：偏光を計算するために、3－1ストークスパラメータ」、インターネット<URL:<http://www.cybernet.co.jp/codev/lecture/optics/opt06/opt06.html#0>>

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] 従来の技術は、光学的手法により偏光状態を解析していたため、以下に示すような問題がある。すなわち、受信光の偏光状態を測定するために受信光の一部または全部を必要とする、干渉波生成のための光検波器までの経路上で偏光状態が変化するなど、光信号の受信条件が少し変わるだけで偏光状態が変わってしまい、正しい解析結果が得られない、通信装置などの受信機で受信される微弱な受信光では偏光状態の測定が困難である、などといった問題があった。

- [0009] 本発明が解決しようとする課題は、光ファイバなどの光伝送路を介して受信される多波長の信号それぞれの偏光状態を解析することのできる光信号処理装置および光信号処理方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0010] 実施形態の光信号処理装置は、多数の変調信号を異なる波長に多重して伝送されてきた受信光を電氣的横波成分と磁氣的横波成分に分岐させる第1偏光分離器と、前記受信光の前記多数の変調信号それぞれに対応する多波長の参照光を発生する参照光発生器と、前記参照光を電氣的横波成分と磁氣的横波成分に分岐させる第2偏光分離器と、分岐された受信光と参照光の電氣的横波成分どうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分と直交成分を生成する第1光コヒーレント検波器と、分岐された受

信光と参照光の磁氣的横波成分どうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分と直交成分を生成する第2光コヒーレント検波器と、前記第1光コヒーレント検波器により生成された各波長の偏光軸における同相成分と直交成分をデジタルデータに変換する第1変換部と、前記第2光コヒーレント検波器により生成された各波長の偏光軸における同相成分と直交成分をデジタルデータに変換する第2変換部と、変換されたそれぞれの偏光軸の成分毎のデジタルデータを、多数のチャネルそれぞれの第1および第2複素信号に分離する分離部と、前記分離部により分離された多数のチャネルそれぞれの第1および第2複素信号から個々のチャネルの変調信号の偏光状態を示す情報を生成する多チャネル解析部とを具備することを特徴とする。

[0011] 実施形態の光信号処理方法は、多数の変調信号を異なる波長に多重して伝送されてきた受信光を電氣的横波成分と磁氣的横波成分に分岐させ、前記受信光の前記複数の変調信号それぞれに対応する多波長の参照光を発生し、前記参照光を電氣的横波成分と磁氣的横波成分に分岐させ、分岐された受信光と参照光の電氣的横波成分どうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分と直交成分を生成し、分岐された受信光と参照光の磁氣的横波成分どうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分と直交成分を生成し、生成した電氣的横波成分および磁氣的横波成分それぞれの成分の各波長の偏光軸の同相成分と直交成分をデジタルデータに変換し、変換した各波長の偏光軸の同相成分と直交成分のデジタルデータを、多数のチャネルそれぞれの第1および第2複素信号に分離し、分離した多数のチャネルそれぞれの第1および第2複素信号から個々のチャネルの変調信号の偏光状態を示す情報を生成することを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]一つの実施の形態のマルチコヒーレント偏光アナライザの構成を示す図である。

[図2]マルチコヒーレント偏光アナライザに入力される受信光（観測波）の各

チャネルの変調信号を示す図である。

[図3]マルチトーン参照光発生器により発生されるマルチトーン参照光（基準波）を示す図である。

[図4]マルチチャネルアナライザの構成の一例を示す図である。

[図5]光コヒーレント検波器から出力される同相成分 I_{ch} の一例を示す図である。

[図6]光コヒーレント検波器から出力される直交成分 Q_{ch} の一例を示す図である。

[図7]マルチチャネルアナライザの構成の他の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、図面を参照して、実施形態を詳細に説明する。

（実施形態）

図1は一つの実施の形態のマルチコヒーレント偏光アナライザを示す図である。

図1に示すように、第1実施形態のマルチコヒーレント偏光アナライザは、偏光ビームスプリッタ1、3、基準光発生器2、光コヒーレント検波器4e、4m、アナログ／デジタル変換部7e、7m（以下「A／D変換器7e、7m」と称す）、デマルチプレクサ8、マルチチャネルアナライザ9などを有する。

[0014] このマルチコヒーレント偏光アナライザには、光ファイバケーブルが透過可能な波長域（例えば波長が1200nm～1700nmなど）において異なる波長に変調信号を多重（波長分割多重）して伝送してきた光が受信される。この光を受信光 S_s という。本実施形態では、通信方式として波長分割多重通信（WDM：Wavelength Division Multiplex）を用い、変調方式として例えばQPSK方式やBPSK方式等を用いるものとする。

[0015] 受信光 S_s は、偏光状態（SOP）が未知の多波長信号ある。波長は、一対一の関係にある周波数に言い換えてもよい。また、光ファイバ通信以外に適用する場合には、上記の波長域を超えて適用が可能である。

- [0016] 図2に示すように、受信光 S_s には多数の変調信号 c_{h1} 、 c_{h2} 、 $c_{h3} \dots c_{hn}$ が含まれている。変調信号 c_{h1} の中心周波数は f_{cs1} 、変調信号 c_{h2} の中心周波数は f_{cs2} 、変調信号 c_{h3} の中心周波数は f_{cs3} 、変調信号 c_{hn} の中心周波数は f_{csn} である。
- [0017] 偏光ビームスプリッタ1は、受信光 S_s を電氣的横波成分（TE成分） T_Es と磁氣的横波成分（TM成分） T_Ms に分岐させる第1偏光分離器である。
- [0018] 基準光発生器2は、受信光 S_s の各変調信号に対応する多波長の参照光（マルチトーン参照光 MTI_o ）を発生するマルチトーン参照光発生器である。マルチトーン参照光 MTI_o はローカル光または局部発振光などともいう。基準光発生器2は、受信光 S_s の多数の変調信号の波長に対応した多数の参照光を発生する。
- [0019] マルチトーン参照光 MTI_o は、各変調信号毎に所定波長分オフセットした波長成分を有し、各波長成分どうしが高い干涉性（コヒーレンス）を有する。
- [0020] 図3に示すように、マルチトーン参照光 MTI_o は、全ての波長で偏光状態（SOP）がそろった多波長搬送波、つまり線スペクトル $P_1 \dots P_n$ である。
- [0021] 線スペクトル $P_1 \dots P_n$ は強度が一定であり、線スペクトル毎に中心周波数 $f_{cs1} \dots f_{csn}$ （中心波長に相当）から所定波周波数分 $\Delta f_1 \dots \Delta f_n$ オフセットした位置に周波数 $f_{c11} \dots f_{c1n}$ を持つ信号である。
- [0022] つまりマルチトーン参照光 MT それぞれの周波数 $f_{c11} \sim f_{c1n}$ は、検波出力後の中間周波数 $f_{if1} \sim f_{ifn}$ 毎の成分が互いに干渉し合わないようオフセットして設定されている。
- [0023] このように強度が一定の多数の線スペクトル（光周波数コム）を生成する技術は、例えば特開2007-248660号公報などに、単一の変調器を用いて平坦なスペクトル特性を有する光周波数コムを発生する光周波数コム発生装置の技術が開示されており、この技術を利用するものとする。

- [0024] マルチトーン参照光MTIは、基本的に、その偏光状態(SOP)が直線偏光であり、次段の偏光ビームスプリッタ3によって電氣的横波成分(TE成分)TEIと磁氣的横波成分(TM成分)TMIに電力等分される。
- [0025] マルチトーン参照光MTIのSOPと、次段の偏光ビームスプリッタ3によって分離されるTE成分とTM成分への電力比率が既知である場合には、前述したような光学的処理を次段の偏光ビームスプリッタ3の前段で行うか、後述のマルチチャネルアナライザ9において既知の情報を用いた処理を行ってもよい。
- [0026] 偏光ビームスプリッタ3は、基準光発生器2から入力されるマルチトーン参照光MTを電氣的横波成分TEIと磁氣的横波成分TMIに分岐させる第2偏光分離器である。
- [0027] 偏光ビームスプリッタ3は、光学素子により偏光分離するものの他、同一偏光において電力分離し、分離したマルチトーン参照光MTのそれぞれを偏光制御器により、電氣的横波成分TEIと磁氣的横波成分TMIに偏光を調整するものであってもよい。
- [0028] 光コヒーレント検波器4eは、第1光コヒーレント検波器であり、90°光ハイブリッドカップラと2つのフォトディテクタを有している。90°光ハイブリッドカップラは、分岐された各波長毎の受信光Ssと参照光のTE成分TES、TEIどうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分であるIch成分とこれと直交する直交成分であるQch成分とを生成する。フォトディテクタは、通常の単一のフォトディテクタのほか、バランスドフォトディテクタ(差動型の2つのフォトディテクタの組み合わせ)も含む。
- [0029] 2つのフォトディテクタのうち一つのフォトディテクタはIch成分を電氣信号Icheaに変換し変換部7eへ出力する。他の一つのフォトディテクタはQch成分をアナログの電氣信号(以下「アナログ信号」と称す)Qcheaに変換し変換部7eへ出力する。

[0030] 図5に光コヒーレント検波器4eの90°光ハイブリッドカップラにより生成されるIc h成分の一例を示す。

[0031] 検波出力の中間周波数 $f_{if1} \sim f_{ifn}$ は、 $f_{ifn} = f_{cln} - f_{csn}$ [$n = 1, 2, 3 \dots N$] で表される。検波出力の中間周波数 $f_{if1} \sim f_{ifn}$ 毎の成分は、互いに干渉し合わないようマルチーン参照光MTそれぞれの周波数 $f_{cl1} \sim f_{cln}$ が設定されている。これにより、周波数チャネル($f_{if1} \sim f_{ifn}$)毎の分離、偏光解析が可能になる。

[0032] 光コヒーレント検波器4mは、第2光コヒーレント検波器であり、90°光ハイブリッドカップラと2つのフォトディテクタを有している。

[0033] 90°光ハイブリッドカップラは、分岐された各波長毎の受信光Ssと参照光のTM成分TMs、TMloどうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分であるIc h成分とこれと直交する直交成分であるQc h成分とを生成する。

[0034] フォトディテクタは、通常の単一のフォトディテクタのほか、バランスドフォトディテクタ（差動型の2つのフォトディテクタの組み合わせ）も含む。

[0035] 2つのフォトディテクタのうち一つのフォトディテクタはIc h成分を電気信号Ic hmaに変換し変換部7mへ出力する。他の一つのフォトディテクタはQc h成分をアナログの電気信号（以下「アナログ信号」と称す）Qc hmaに変換し変換部7mへ出力する。

[0036] 図6に光コヒーレント検波器4mの90°光ハイブリッドカップラにより生成されるIc h成分の一例を示す。

[0037] A/D変換器7eは、光コヒーレント検波器4eにより生成された各波長の偏光軸成分のアナログ信号（同相成分Icheaと直交成分Qchea）をそれぞれデジタル信号に変換しデジタルデータIched、Qchedとしてデマルチプレクサ8に出力する。

[0038] 換言すると、A/D変換器7eは、入力されるアナログ信号Ichea、QcheaをデジタルデータIched、Qchedに変換しデマルチプ

レクサ 8 に出力する。

[0039] デジタルデータ I_{ched} 、 Q_{ched} は TE 成分どうしの干渉成分の偏光軸成分のデジタルデータである。

[0040] すなわち A/D 変換器 7 e は、光コヒーレント検波器 4 e により生成された各波長の偏光軸における同相成分と直交成分をデジタルデータに変換する第 1 変換部である。

[0041] A/D 変換器 7 m は、光コヒーレント検波器 4 m により生成された各波長の偏光軸成分のアナログの電気信号（同相成分 I_{chma} と直交成分 Q_{chma} ）をそれぞれデジタル信号に変換しデジタルデータ I_{chmd} 、 Q_{chmd} としてデマルチプレクサ 8 に出力する。

[0042] 換言すると、A/D 変換器 7 m は、入力されるアナログ信号 I_{chma} 、 Q_{chma} をデジタルデータ I_{chmd} 、 Q_{chmd} に変換しデマルチプレクサ 8 に出力する。

[0043] デジタルデータ I_{chmd} 、 Q_{chmd} は TM 成分どうしの干渉成分の偏光軸成分のデジタルデータである。

[0044] すなわち A/D 変換器 7 m は、光コヒーレント検波器 4 m により生成された各波長の偏光軸における同相成分と直交成分をデジタルデータに変換する第 2 変換部である。

[0045] デマルチプレクサ 8 は、各 A/D 変換器 7 e、7 m によりそれぞれ変換されるデジタルデータ I_{ched} 、 Q_{ched} 、 I_{chmd} 、 Q_{chmd} を、複数のチャネル ch_1 、 ch_2 、 $ch_3 \dots ch_n$ それぞれの複素信号 e_1 、 e_2 に分離する。

[0046] それぞれの複素信号は、上記中間周波数を有する複素信号であるほか、上記中間周波数と同じ周波数だけ低域に周波数変換された複素等価低域信号であってもよい。

[0047] 複素信号 e_1 は偏光軸と同相の成分に対するチャネルの複素信号であり、 $e_{1i} + j e_{1q}$ で表せる。複素信号 e_2 は偏光軸に直交する成分に対するチャネルの複素信号であり、 $e_{2i} + j e_{2q}$ で表せる。

- [0048] マルチチャネルアナライザ9は、デマルチプレクサ8により分離された多数のチャネル ch_1 、 ch_2 、 $ch_3 \dots ch_n$ それぞれの複素信号 e_1 、 e_2 から個々のチャネルの変調信号の偏光状態を示す情報を生成する解析部である。
- [0049] 個々のチャネルの変調信号の偏光状態を示す情報は、例えばストークスパラメータ S_0 、 S_1 、 S_2 、 S_3 などで表現される。各ストークスパラメータ S_0 、 S_1 、 S_2 、 S_3 の生成の仕方については、後述する図4および図7の説明で詳述する。
- [0050] 図4に示すように、マルチチャネルアナライザ9は、二乗器91、92、複素共役算出部93、乗算器94、実数成分演算器95、虚数成分演算器96、減算器97、加算器98を有する。
- [0051] 二乗器91は、入力された複素信号 e_1 の複素数の絶対値を2乗して電力を求める。二乗器92は、入力された複素信号 e_2 の複素数の絶対値を2乗して電力を求める。
- [0052] 複素共役算出部93は、複素信号 e_1 の複素共役 e_1^* を算出する。乗算器94は、複素信号 e_1 の複素共役 e_1^* と複素信号 e_2 とを乗算する。
- [0053] 実数成分演算器95は、乗算器94による算出結果（乗積）の実部を2倍、つまり $2 \cdot \text{Re}[e_1^* \cdot e_2]$ を求め、ストークスパラメータ S_2 として出力する。
- [0054] 虚数成分演算器96は、乗算器94による算出結果（乗積）の虚数部を2倍、つまり $2 \cdot \text{Im}[e_1^* \cdot e_2]$ を求め、ストークスパラメータ S_3 として出力する。
- [0055] 減算器97は、複素信号 e_1 の電力 $|e_1|^2$ と複素信号 e_2 の電力 $|e_2|^2$ とを減算して互いの差 $|e_1|^2 - |e_2|^2$ であるストークスパラメータ S_1 を出力する。
- [0056] 加算器98は、複素信号 e_1 の電力 $|e_1|^2$ と複素信号 e_2 の電力 $|e_2|^2$ とを加算して互いの和 $|e_1|^2 + |e_2|^2$ であるストークスパラメータ S_0 を出力する。

[0057] 続いて、このマルチコヒーレント偏光アナライザの動作を説明する。

多数の変調信号を異なる波長に多重した光信号が送信機から光ファイバを通じて伝送され、このマルチコヒーレント偏光アナライザに受信される。

[0058] マルチコヒーレント偏光アナライザでは、受信光 S_s が偏光ビームスプリッタ 1 に入力される。

[0059] 第 1 偏光ビームスプリッタ 1 では、受信光 S_s は電氣的横波成分 TE_s と磁氣的横波成分 TM_s に分岐され、電氣的横波成分 TE_s が光コヒーレント検波器 4 e に出力され、磁氣的横波成分 TM_s が光コヒーレント検波器 4 m に出力される。

[0060] 一方、基準光発生器 2 では、複数の変調信号それぞれに対応する波長の異なる多数のマルチトーン参照光 MT_I が発生されて偏光ビームスプリッタ 3 に入力される。

[0061] 偏光ビームスプリッタ 3 では、マルチトーン参照光 MT_I が電氣的横波成分 TE_I と磁氣的横波成分 TM_I に分岐されて、電氣的横波成分 TE_I が光コヒーレント検波器 4 e に出力され、磁氣的横波成分 TM_I が光コヒーレント検波器 4 m に出力される。

[0062] 光コヒーレント検波器 4 e では、分岐して入力された受信光 S_s とマルチトーン参照光 MT_I の電氣的横波成分どうし TE_s 、 TE_I が合波されて干渉成分が生成され、生成された干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分のアナログ信号 I_{chea} と直交成分のアナログ信号 Q_{chea} が生成され、A/D変換器 7 e に出力される。

[0063] 光コヒーレント検波器 4 m では、分岐して入力された受信光 S_s とマルチトーン参照光 MT_I の磁氣的横波成分どうし TM_s 、 TM_I が合波されて干渉成分が生成され、生成された干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分のアナログ信号 I_{chma} と直交成分のアナログ信号 Q_{chma} が生成され、A/D変換器 7 m に出力される。

[0064] A/D変換器 7 e では、光コヒーレント検波器 4 e から入力された電氣的横波成分 TE_s 、 TE_I の干渉成分の各波長の偏光軸における同相成分の

アナログ信号 I_{chea} と直交成分のアナログ信号 Q_{chea} がデジタルデータ I_{ched} 、 Q_{ched} に変換されて、デマルチプレクサ 8 に出力される。

[0065] A/D変換器 7 mでは、光コヒーレント検波器 4 mから入力された電氣的横波成分 TM_s 、 TM_o の干渉成分の各波長の偏光軸における同相成分のアナログ信号 I_{chma} と直交成分のアナログ信号 Q_{chma} がデジタルデータ I_{chmd} 、 Q_{chmd} に変換されて、デマルチプレクサ 8 に出力される。

[0066] デマルチプレクサ 8 では、変換して入力されたそれぞれの偏光軸成分毎のデジタルデータ I_{ched} 、 Q_{ched} 、 I_{chmd} 、 Q_{chmd} が、多数のチャネル ch_1 、 ch_2 、 $ch_3 \dots ch_n$ それぞれの複素信号 e_1 、 e_2 に分離されて、マルチチャネルアナライザ 9 に出力される。

[0067] マルチチャネルアナライザ 9 では、デマルチプレクサ 8 により分離して入力された多数のチャネル ch_1 、 ch_2 、 $ch_3 \dots ch_n$ それぞれの複素信号 e_1 、 e_2 から個々のチャネルの変調信号の偏光状態を示す情報（ストークスパラメータ S_0 、 S_1 、 S_2 、 S_3 ）が生成されて出力される。

[0068] このようにこの実施形態のマルチコヒーレント偏光アナライザによれば、以下のような効果が得られる。

[0069] すなわち、ある偏光軸に対して波長分割多重された受信光 S_s の偏光軸成分と、波長分割多重されたマルチトーン参照光 MT_o の偏光軸成分とを用いて光コヒーレント検波を行い、光コヒーレント検波後に現れる偏光軸成分のアナログ信号 I_{chea} 、 Q_{chea} 、 I_{chma} 、 Q_{chma} をデジタルデータ I_{ched} 、 Q_{ched} 、 I_{chmd} 、 Q_{chmd} に変換し、デマルチプレクサ 8 によるデジタル処理でそれぞれのチャネル ch_1 、 ch_2 、 $ch_3 \dots ch_n$ の複素信号 e_1 、 e_2 に分離し、分離した複素信号 e_1 、 e_2 をチャネル毎に演算処理して、チャネル毎のストークスパラメータ S_0 、 S_1 、 S_2 、 S_3 を出力するので、光ファイバケーブルを介して受信される多波長の受信光 S_s の偏光状態（SOP）をチャネル毎に解析すること

ができる。

[0070] これにより、高価な測定器でなくても通信装置などの受信機にこの機能を組み込むことが可能になる。また受信光 S_s そのものの偏光状態を解析するので、解析結果を用いた受信光 S_s のさまざまに処理（偏光分離や偏光ダイバーシティなど）が可能になる。

[0071] この他、複数の波長チャネル間の相対的な偏光状態（SOP）を知ることができるので、伝送路上におけるSOP変動の波長依存性を観測できるなど、学術的な面での波及効果が大きい。また、原理的にはSOPを随時観測できるため偏光変調方式（特に復調技術）への応用など、技術的な派生にも期待できる。

[0072] さらに本技術はデジタルコヒーレント検波との高い親和性を有することから、信号の復調と同時にSOPを観測できるため、予等化や偏光補償、偏光多重の効率化などへの応用も期待できる。

[0073] また、この実施形態の構成要素をデジタルコヒーレント通信用のLSIに組み込むことで、システム性能の改善に貢献でき、これにより質の高い通信インフラを提供することができる。

[0074] 本発明の実施形態を説明したが、この実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。この新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

[0075] 上記の図4に示したマルチチャネルアナライザ9の構成例は複素信号 e_1 、 e_2 にノイズ（雑音）が載っていない場合、つまりノイズ（雑音）を考慮しない場合の例であり、実際には、マルチチャネルアナライザ9に入力される複素信号にはノイズ（雑音）が載ってくる可能性が高く、ノイズ（雑音）が載った複素信号 r_1 、 r_2 の場合の構成例を以下に示す。なお図4に示した構成と同じ構成には同一の符号を付しその説明は省略するものとする。

- [0076] すなわち、図 7 に示すように、この例のマルチチャネルアナライザ 9 は、集合平均計算器 99 a、99 b、99 c を有する。なおこの例では、複素信号 r_1 、 r_2 に載るノイズ（雑音）をガウス雑音と想定する。
- [0077] 集合平均計算器 99 a は、二乗器 91 の前段に設けられる。集合平均計算器 99 a は、入力される複素信号 r_1 に対してある一定時間における平均 $E[r_1]$ を算出し二乗器 91 に出力する。
- [0078] 集合平均計算器 99 b は、二乗器 92 の前段に設けられている。集合平均計算器 99 b は、入力される複素信号 r_2 に対してある一定時間の平均 $E[r_2]$ を算出し二乗器 92 に出力する。
- [0079] 集合平均計算器 99 c は、乗算器 94 と実数成分演算器 95 および虚数成分演算器 96 との間に設けられている。集合平均計算器 99 c は、乗算器 94 による算出結果（複素信号 e_1 の複素共役 e_1^* と複素信号 e_2 との乗積）に対してある一定時間の平均 $E[r_1^* \cdot r_2]$ を算出し実数成分演算器 95 および虚数成分演算器 96 にそれぞれ出力する。
- [0080] この例のマルチチャネルアナライザ 9 では、集合平均計算器 99 a を二乗器 91 の前段に設け、集合平均計算器 99 b を二乗器 92 の前段に設け、集合平均計算器 99 c を乗算器 94 と実数成分演算器 95 および虚数成分演算器 96 との間に設けることで、それぞれの入力信号を平均化した上で電力または各成分を求める。これにより、雑音の影響を少なくした偏光解析結果を得ることができる。
- [0081] 上記実施形態に示したデマルチプレクサ 8 およびマルチチャネルアナライザ 9 を少なくとも含む各構成要素を、通信端末のメモリ、またはコンピュータのハードディスク装置などのストレージにインストールしたプログラムで実現してもよく、また上記プログラムを、通信端末またはコンピュータが読取可能な電子媒体：electronic media に記憶しておき、プログラムを電子媒体から通信端末またはコンピュータに読み取らせることで本発明の機能を通信端末またはコンピュータが実現するようにしてもよい。
- [0082] 電子媒体としては、例えば CD-ROM 等の記録媒体やフラッシュメモリ

、リムーバブルメディア：Removable media等が含まれる。さらに、ネットワークを介して接続した異なるコンピュータに構成要素を分散して記憶し、各構成要素を機能させたコンピュータ間で通信することで実現してもよい。

符号の説明

[0083] 1、3…偏光ビームスプリッタ、2…基準光発生器、4 e、4 m…光コヒーレント検波器、7 e、7 m…アナログ／デジタル変換器（A／D変換器）、8…デマルチプレクサ、9…マルチチャネルアナライザ、9 1、9 2…二乗器、9 3…複素共役算出部、9 4…乗算器、9 5…実数成分演算器、9 6…虚数成分演算器、9 7…減算器、9 8…加算器、9 9 a、9 9 b、9 9 c…集合平均計算器。

請求の範囲

[請求項1]

多数の変調信号を異なる波長に多重して伝送されてきた受信光を電氣的横波成分と磁氣的横波成分に分岐させる第1偏光分離器と、

前記受信光の前記多数の変調信号それぞれに対応する多波長の参照光を発生する参照光発生器と、

前記参照光を電氣的横波成分と磁氣的横波成分に分岐させる第2偏光分離器と、

分岐された受信光と参照光の電氣的横波成分どうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分と直交成分を生成する第1光コヒーレント検波器と、

分岐された受信光と参照光の磁氣的横波成分どうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分と直交成分を生成する第2光コヒーレント検波器と、

前記第1光コヒーレント検波器により生成された各波長の偏光軸における同相成分と直交成分をデジタルデータに変換する第1変換部と、

前記第2光コヒーレント検波器により生成された各波長の偏光軸における同相成分と直交成分をデジタルデータに変換する第2変換部と、

変換されたそれぞれの偏光軸の成分毎のデジタルデータを、多数のチャンネルそれぞれの第1および第2複素信号に分離する分離部と、

前記分離部により分離された多数のチャンネルそれぞれの第1および第2複素信号から個々のチャンネルの変調信号の偏光状態を示す情報を生成する多チャンネル解析部と

を具備することを特徴とする光信号処理装置。

[請求項2]

前記参照光発生器は、

前記多数の変調信号に対応し、強度が一定であり、各変調信号毎に所定波長分オフセットした波長成分を有し、前記波長成分どうしが互

いに干渉性を有する参照光を発生することを特徴とする請求項 1 記載の光信号処理装置。

[請求項3]

前記多チャネル解析部は、

前記第 1 複素信号をあるチャネルにおける前記偏光軸の同相成分のものとし、前記第 2 複素信号を前記偏光軸に直交する成分のものとし、前記第 1 複素信号の電力と前記第 2 複素信号の電力との和をストークスパラメータ S_0 、前記第 1 複素信号の電力と前記第 2 複素信号の電力との差をストークスパラメータ S_1 、前記第 1 複素信号の複素共益と前記第 2 複素信号の乗積の実部の 2 倍をストークスパラメータ S_2 、前記第 1 複素信号の複素共益と前記第 2 複素信号の乗積の虚部の 2 倍をストークスパラメータ S_3 として偏光状態を示す情報を求めることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 いずれか記載の光信号処理装置。

[請求項4]

前記多チャネル解析部は、

前記第 1 複素信号をあるチャネルにおける前記偏光軸の同相成分のものとし、前記第 2 複素信号を前記偏光軸に直交する成分のものとし、前記第 1 複素信号に対するある一定時間の平均の電力と前記第 2 複素信号に対するある一定時間の平均の電力の和をストークスパラメータ S_0 、それらの差をストークスパラメータ S_1 、前記第 1 複素信号の複素共益と前記第 2 複素信号の乗積に対するある一定時間の平均の実部の 2 倍をストークスパラメータ S_2 、前記乗積に対するある一定時間の平均の虚部の 2 倍をストークスパラメータ S_3 として偏光状態を示す情報を求めることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 いずれか記載の光信号処理装置。

[請求項5]

多数の変調信号を異なる波長に多重して伝送されてきた受信光を電氣的横波成分と磁氣的横波成分に分岐させ、

前記受信光の前記複数の変調信号それぞれに対応する多波長の参照光を発生し、

前記参照光を電氣的横波成分と磁氣的横波成分に分岐させ、

分岐された受信光と参照光の電氣的横波成分どうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分と直交成分を生成し、

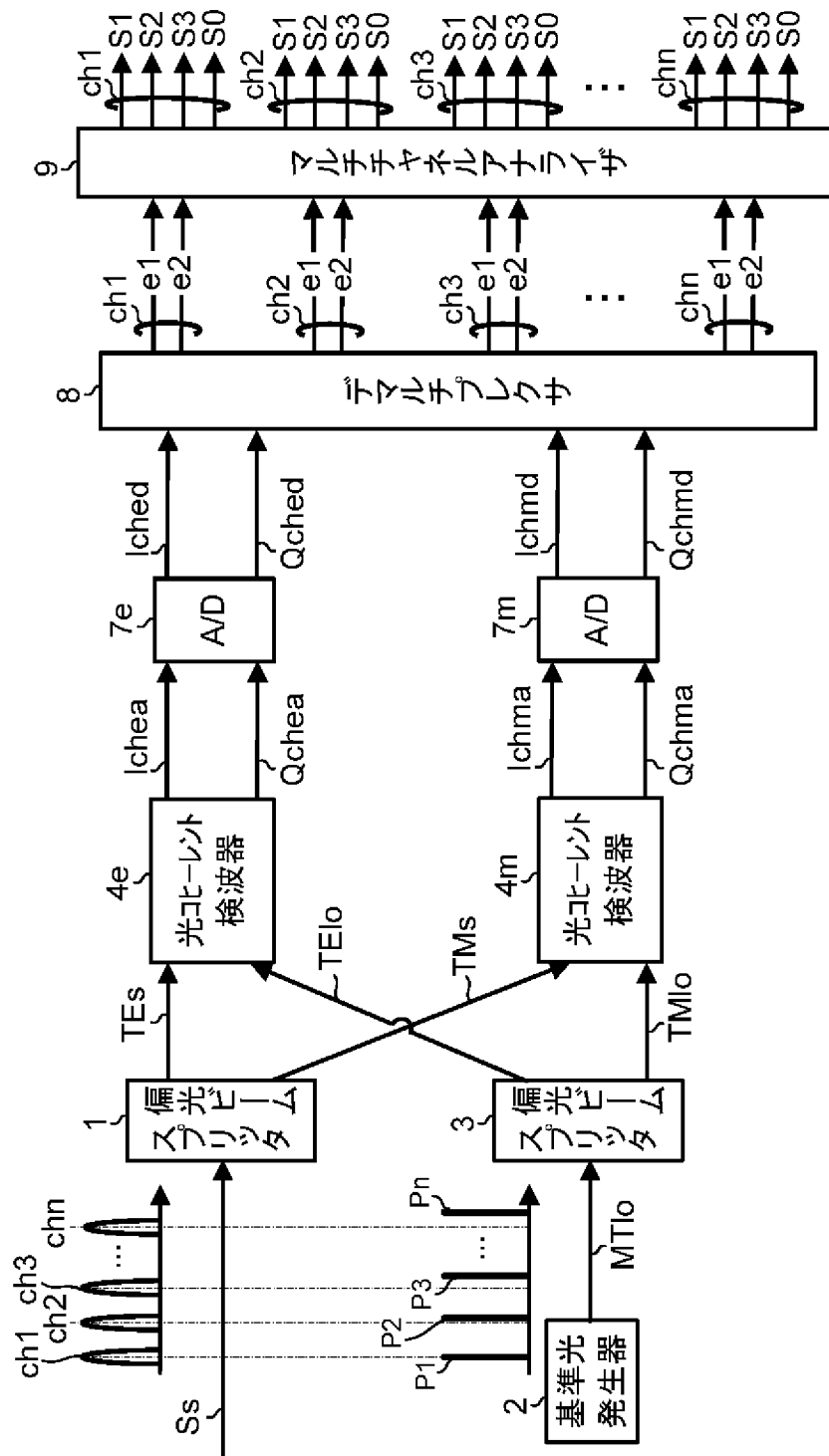
分岐された受信光と参照光の磁氣的横波成分どうしを合波して干渉させた干渉成分から各波長の偏光軸における同相成分と直交成分を生成し、

生成した電氣的横波成分および磁氣的横波成分それぞれの成分の各波長の偏光軸の同相成分と直交成分をデジタルデータに変換し、

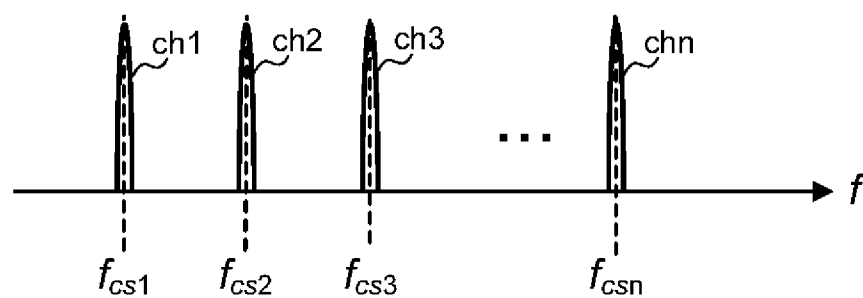
変換した各波長の偏光軸の同相成分と直交成分のデジタルデータを、多数のチャネルそれぞれの第1および第2複素信号に分離し、

分離した多数のチャネルそれぞれの第1および第2複素信号から個々のチャネルの変調信号の偏光状態を示す情報を生成することを特徴とする光信号処理方法。

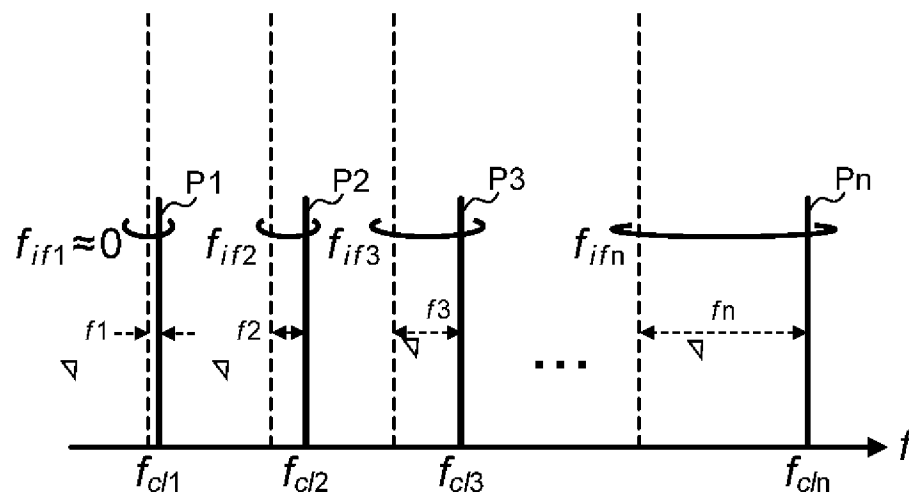
[図1]



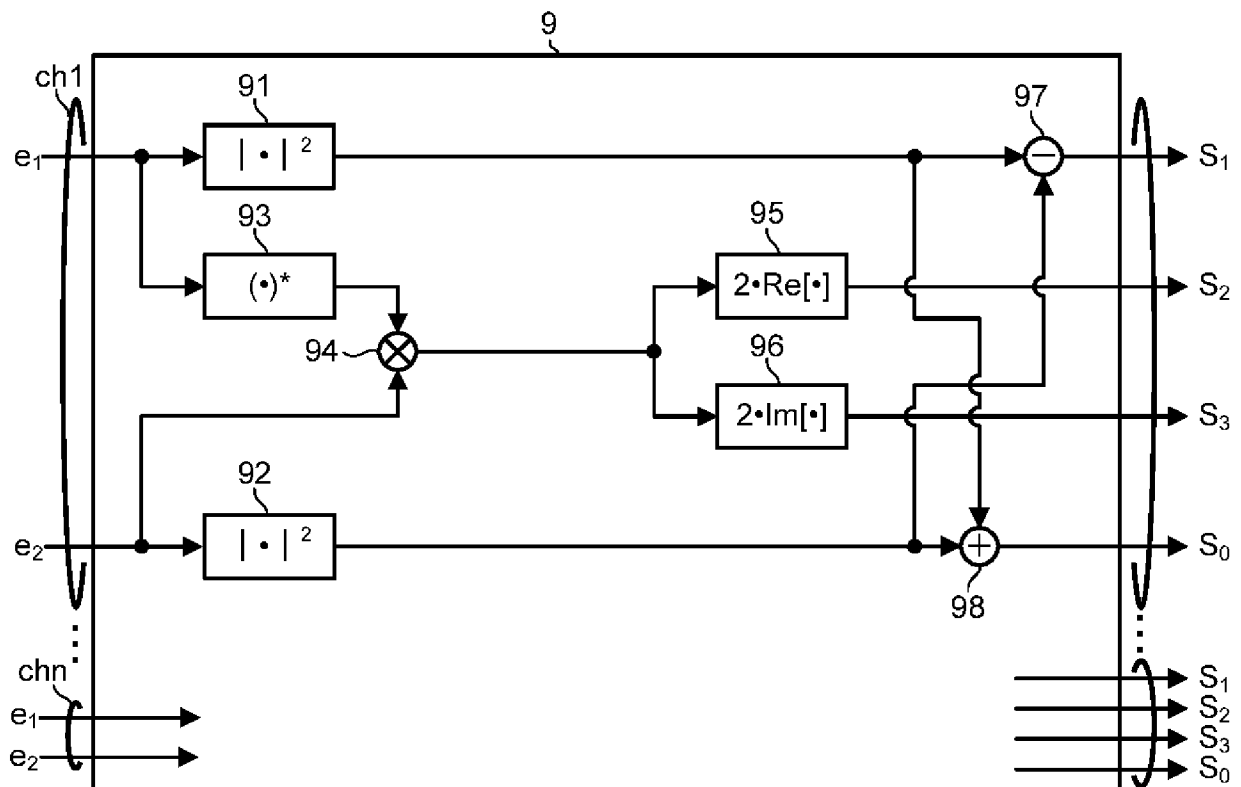
[図2]



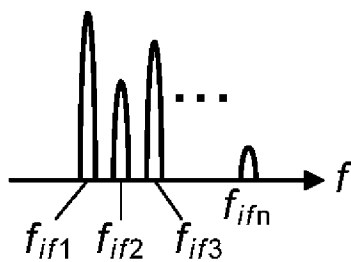
[図3]



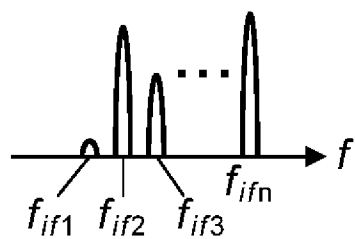
[図4]



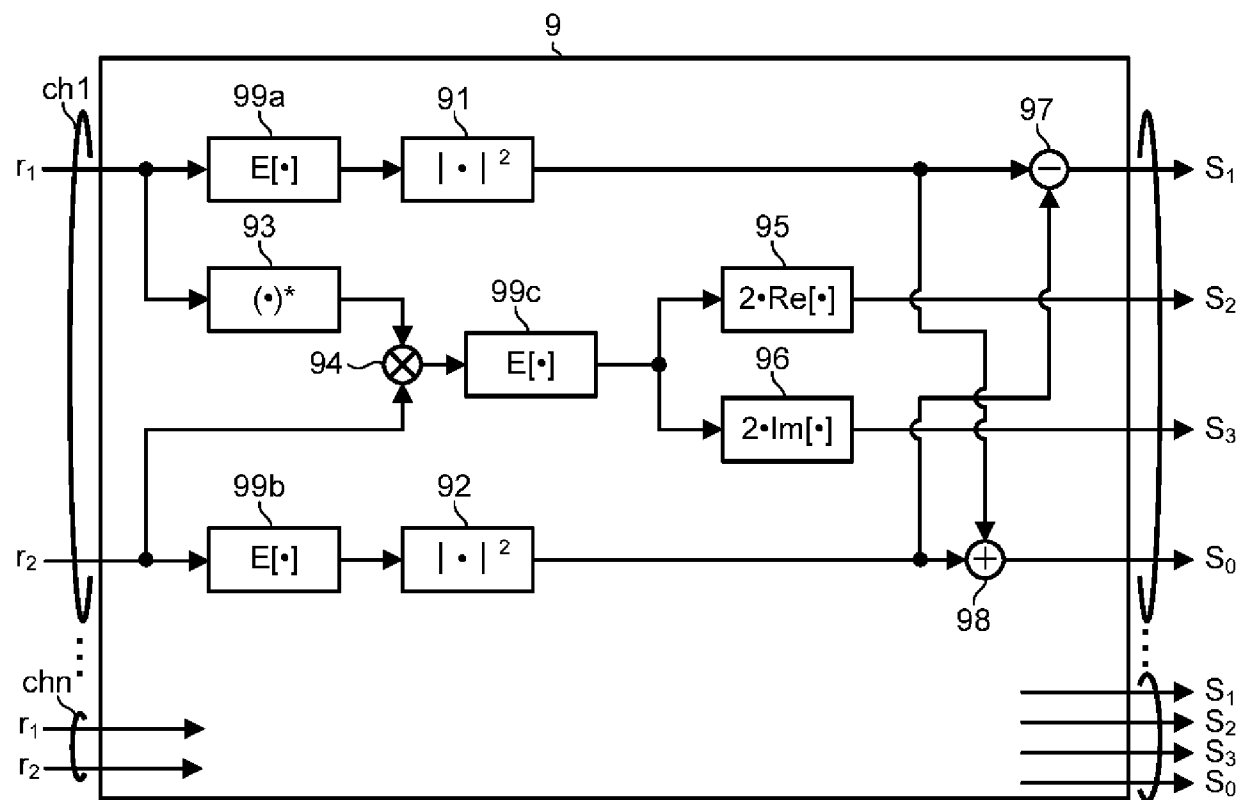
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/002291

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01J4/04(2006.01)i, H04B10/61(2013.01)i, H04B14/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01J4/04, H04B10/61, H04B14/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2011/027895 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 10 March 2011 (10.03.2011), entire text & JP 5684131 B2 & US 2012/0207474 A1 entire text	1-5
A	JP 2012-515468 A (Alcatel-Lucent USA Inc.), 05 July 2012 (05.07.2012), entire text & US 2010/0178056 A1 & WO 2010/080721 A1 & CN 102273105 A & KR 10-2011-0104950 A	1-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
21 March 2017 (21.03.17)

Date of mailing of the international search report
04 April 2017 (04.04.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/002291

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-28470 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 04 February 2010 (04.02.2010), entire text (Family: none)	1-5
A	US 2015/0086204 A1 (KANEDA), 26 March 2015 (26.03.2015), entire text & JP 2016-536819 A & WO 2015/042011 A1 & CN 105556877 A	1-5
A	JP 5-14280 A (Hitachi, Ltd.), 22 January 1993 (22.01.1993), entire text & US 5408349 A entire text & EP 0814578 A2	1-5
A	JP 2014-16197 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 30 January 2014 (30.01.2014), entire text (Family: none)	1-5
A	JP 2010-171788 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 05 August 2010 (05.08.2010), entire text (Family: none)	1-5
A	EP 2348651 A1 (ALCATEL LUCENT), 27 July 2011 (27.07.2011), entire text & FR 2955435 A1	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01J4/04(2006.01)i, H04B10/61(2013.01)i, H04B14/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01J4/04, H04B10/61, H04B14/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), IEEE Xplore

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2011/027895 A1 (古河電気工業株式会社) 2011.03.10, 全文 & JP 5684131 B2 & US 2012/0207474 A1, 全文	1-5
A	JP 2012-515468 A (アルカテルルーセント ユーエスエー イン コーポレーテッド) 2012.07.05, 全文 & US 2010/0178056 A1 & WO 2010/080721 A1 & CN 102273105 A & KR 10-2011-0104950 A	1-5

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

21.03.2017

国際調査報告の発送日

04.04.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

塚本 丈二

2W

3304

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-28470 A (日本電信電話株式会社) 2010.02.04, 全文 (ファミリーなし)	1-5
A	US 2015/0086204 A1 (KANEDA) 2015.03.26, 全文 & JP 2016-536819 A & WO 2015/042011 A1 & CN 105556877 A	1-5
A	JP 5-14280 A (株式会社日立製作所) 1993.01.22, 全文 & US 5408349 A, 全文 & EP 0814578 A2	1-5
A	JP 2014-16197 A (日本電信電話株式会社) 2014.01.30, 全文 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 2010-171788 A (日本電信電話株式会社) 2010.08.05, 全文 (ファミリーなし)	1-5
A	EP 2348651 A1 (ALCATEL LUCENT) 2011.07.27, 全文 & FR 2955435 A1	1-5