(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7622857号
(P7622857)

(45)発行日　令和7年1月28日(2025.1.28)

(24)登録日　令和7年1月20日(2025.1.20)

(51)国際特許分類
Ｇ０１Ｄ　5/353(2006.01)

ＦＩ
Ｇ０１Ｄ　5/353　Ａ

請求項の数　6　（全13頁）

(21)出願番号　特願2023-546703(P2023-546703)
(86)(22)出願日　令和3年9月13日(2021.9.13)
(86)国際出願番号　PCT/JP2021/033491
(87)国際公開番号　WO2023/037535
(87)国際公開日　令和5年3月16日(2023.3.16)
審査請求日　令和6年2月8日(2024.2.8)

(73)特許権者　000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
(74)代理人　100119677
弁理士　岡田 賢治
(74)代理人　100160495
弁理士　畑 雅明
(74)代理人　100115794
弁理士　今下 勝博
(72)発明者　大野 槙悟
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
日本電信電話株式会社内
審査官　吉田 久

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　光ファイバセンシング装置及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

伝搬遅延時間の異なる複数のセンサ部を備える光ファイバセンサ系と、

前記光ファイバセンサ系への入射光を出力する第一の光源と、

前記光ファイバセンサ系の透過光と合波する、前記入射光よりコヒーレンス時間が長いローカル光を出力する第二の光源と、

前記透過光と前記ローカル光との合波で得られる受光信号Ｉ（ｔ）を用いて光ファイバの変化を検出する信号処理部と、

を備え、

前記信号処理部は、ｉ番目の前記センサ部の光路間伝搬遅延時間差がτ$_i$である場合、前記センサ部の光強度Ｉ（ｔ）、及び光強度Ｉ（ｔ）を時間τ$_i$だけずらした信号Ｉ（ｔ＋τ$_i$）との自己相関関数Ｒ（τ$_i$）を計算し、前記自己相関関数Ｒ（τ$_i$）の変化をｉ番目の前記センサ部の変化とする、

光ファイバセンシング装置。

【請求項２】

ｉ番目の前記センサ部を通る前記入射光の前記光路間伝搬遅延時間差τ$_i$が前記ローカル光のコヒーレンス時間よりも短く、

ｊ番目（ｊはｉ以外の自然数）の前記センサ部を通る前記入射光の前記光路間伝搬遅延時間差τ$_j$と比較した前記光路間伝搬遅延時間差の差分｜τ$_i$－τ$_j$｜が前記入射光のコヒーレンス時間よりも長いことを特徴とする、

請求項１に記載の光ファイバセンシング装置。
【請求項３】
前記光ファイバセンサ系は、直列に接続されている複数のマッハツェンダ干渉計を備え、
前記センサ部は、前記マッハツェンダ干渉計内の光路の一方であり、
前記複数のマッハツェンダ干渉計に備わる各センサ部の光路間伝搬遅延時間差τが互いに異なる、
請求項１又は２に記載の光ファイバセンシング装置。
【請求項４】
前記光ファイバセンサ系は、並列に接続されている複数のセンサ部を備え、
前記光ファイバセンサ系を透過する前記入射光の伝搬遅延時間τが前記センサ部ごとに異なる、
請求項１から３のいずれかに記載の光ファイバセンシング装置。
【請求項５】
前記センサ部の変化は、ｉ番目の前記センサ部の温度又は歪みの変化である、
請求項１から４のいずれかに記載の光ファイバセンシング装置。
【請求項６】
第一の光源からの入射光を、伝搬遅延時間の異なる複数のセンサ部を備える光ファイバセンサ系に入射し、
前記入射光よりコヒーレンス時間が長い第二の光源からのローカル光を、前記光ファイバセンサ系の透過光と合波し、
信号処理部が、前記透過光と前記ローカル光との合波で得られる受光信号Ｉ（ｔ）を用いて光ファイバの変化を検出する光ファイバセンシング方法であって、
前記信号処理部は、ｉ番目の前記センサ部の光路間伝搬遅延時間差がτ$_i$である場合、前記センサ部の光強度Ｉ（ｔ）、及び光強度Ｉ（ｔ）を時間τ$_i$だけずらした信号Ｉ（ｔ＋τ$_i$）との自己相関関数Ｒ（τ$_i$）を計算し、前記自己相関関数Ｒ（τ$_i$）の変化をｉ番目の前記センサ部の変化とする、
光ファイバセンシング方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、光ファイバセンシング技術分野に関する。
【背景技術】
【０００２】
光ファイバセンサは、光ファイバをセンサ媒体として温度や歪み等の物理量変化を光強度・周波数・位相の変化に対応付けてセンシングするシステム及び測定技術の総称である。光ファイバセンサの一つに、干渉計型光ファイバセンサがある。干渉計型光ファイバセンサは、マッハツェンダ干渉計の一方の光路をセンサ部とし、温度や歪みによるセンサ部の光路長変化により干渉信号強度が変化する現象を利用してセンシングを行う。
【０００３】
また、複数の干渉計型光ファイバセンサをつないで個々のセンサの信号を分離検出する多点干渉計型光ファイバセンサも開発されている。多点干渉計型光ファイバセンサは、複数のセンサ信号の分割多重方式の違いにより、時間領域分割多重方式、波長領域分割多重方式、コヒーレンス領域分割多重方式がある。中でもコヒーレンス領域分割多重方式は、各センサ信号の常時モニタリングが可能であり、波長分割光カプラのような特殊な光デバイスを用いることなくセンサ多点化が可能という特徴がある。
【０００４】
コヒーレンス領域分割多重方式による多点干渉計型光ファイバセンサの概要は非特許文献１で述べられているとおりである。具体的には、複数のマッハツェンダ干渉計が連結されたセンサ部に連続光を入射し、透過光を光分岐して個々のセンサ部に対応する受光用マッハツェンダ干渉計で信号を分離検出する。このとき、センサ部に用いられる複数の干渉

計の光路間伝搬遅延時間差は互いに異なるように設計し、受光用の干渉計の光路間伝搬遅延時間差は対応するセンサ部の干渉計の光路間伝搬遅延時間差と等しくなるように設計する。

【０００５】

センサ部の数をＮ（Ｎは自然数）、低コヒーレンス光源から出力される連続光の複素電界振幅をＥ$_0$（ｔ）、ｉ番目（ｉ＝１～Ｎ）のセンサ部の透過光の複素電界振幅をＥ$_i$（ｔ）とすると、ｊ番目（ｊ＝１～Ｎ）の受光器で検出される光強度の時間平均＜Ｉ$_j$（ｔ）＞は次式で表される。

【数１】

$$\langle I_j(t)\rangle \propto \int \left| E_0(t) + E_0(t-\tau_j) + \sum_{i=1}^{N} \left[E_i(t) + E_i(t-\tau_j) \right] \right|^2 dt \qquad (1)$$

ここでτ$_j$はｊ番目の受光器の干渉計における光路間の伝搬遅延時間差である。

【０００６】

ｉ番目のセンサ部における伝搬遅延時間と温度又は歪みの変化による光位相変化をそれぞれτ$_i$、Δθ$_i$とすると、Ｅ$_i$（ｔ）及び＜Ｉ$_j$（ｔ）＞は次式のように記述できる。

【数２】

$$E_i(t) = e^{j\Delta\theta_i} a_i E_0(t-\tau_i) \qquad (2)$$

【数３】

$$\langle I_j(t)\rangle \propto \int \left| E_0(t) + E_0(t-\tau_j) + \sum_{i=1}^{N} e^{j\Delta\theta_i} a_i \left[E_0(t-\tau_i) + E_0(t-\tau_i-\tau_j) \right] \right|^2 dt$$

$$\propto 2\left(\sum_{i=1}^{N} a_i + 1 \right) \Gamma(0) + \Gamma(\tau_j)$$

$$+ \sum_{i=1}^{N} a_i \left[2\Gamma(\tau_i) + \Gamma(\tau_i - \tau_j) + \Gamma(\tau_i + \tau_j) \right] \cos\Delta\theta_i \qquad (3)$$

ここでａ$_i$はｉ番目のセンサ部を通る光振幅に係る定数である。

【０００７】

Γ（τ）はＥ$_0$（ｔ）の自己相関関数であり、次式で定義される。

【数４】

$$\Gamma(\tau) \equiv \frac{1}{\sqrt{\int |E_0(t)|^2\, dt}\sqrt{\int |E_0(t+\tau)|^2\, dt}} \int E_0(t) E^*{}_0(t+\tau)\, dt \qquad (4)$$

ここで添字＊は複素共役である。

【０００８】
とり得るτの値に対して$E_0(t)$のコヒーレンス時間が十分短い場合、Γ（τ）は次式のようにみなせる。
【数５】

$$\Gamma(\tau)=\begin{cases}1\ (\tau=0)\\ 0\ (\tau\neq 0)\end{cases} \qquad (5)$$

【０００９】
式（３）に式（５）を代入すると、τ＞０の領域では$\langle I_j(t)\rangle$は次式のようになる。
【数６】

$$\langle I_j(t)\rangle \propto \begin{cases} 2\left(\sum_{i=1}^{N} a_i+1\right)\Gamma(0)+a_i\cos\Delta\theta_j \ \ (\tau_j=\tau_i) \\ 2\left(\sum_{i=1}^{N} a_i+1\right)\Gamma(0) \qquad (\tau_j\neq\tau_i) \end{cases} \qquad (6)$$

【００１０】
したがって、ｊ番目の受光器で検出される光強度の時間平均$\langle I_j(t)\rangle$は、干渉計の伝搬遅延時間差が一致するセンサ部における光位相変化$\Delta\theta_j$のみに依存して変化する。つまり、個々のセンサ部の信号を受光器毎に分離検出することが可能となる。$\Delta\theta_j$は、ｊ番目のセンサ部における温度変化ΔT_jと歪み変化$\Delta\varepsilon_j$に対して次式の関係にある。
【数７】

$$\Delta\theta_j = C_T\Delta T_j + C_\varepsilon\Delta\varepsilon_j \qquad (7)$$

【００１１】
ここでC_TとC_εはそれぞれ温度変化と歪み変化に対する比例定数である。事前に比例定数C_TもしくはC_εを求めておき、式（７）を式（６）に代入することで、対応するセンサ部における温度又は歪みの変化を測定できる。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【００１２】
【文献】Ｊ．Ｌ．Ｂｒｏｏｋｓ，Ｒ．Ｈ．Ｗｅｎｔｗｏｒｔｈ，Ｒ．Ｃ．Ｙｏｕｎｇｑｕｉｓｔ，Ｍ．Ｔｕｒ，Ｂ．Ｙ．Ｋｉｍ，ａｎｄ Ｈ．Ｊ．Ｓｈａｗ，“Ｃｏｈｅｒｅｎｃｅ Ｍｕｌｔｉｐｌｅｘｉｎｇ ｏｆ Ｆｉｂｅｒ－Ｏｐｔｉｃ Ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｍｅｔｒ

ｉｃ Ｓｅｎｓｏｒｓ，”Ｊ．Ｌｉｇｈｔｗ．Ｔｅｃｈｎｏｌ．，Ｖｏｌ．ＬＴ－３，Ｎｏ．５，ｐｐ．１０６２－１０７２，１９８５．

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１３】

従来のコヒーレンス領域分割多重方式に基づく多点干渉計型光ファイバセンサでは、センサ部の数だけ受光部にマッハツェンダ干渉計と受光器を用意する必要があるため、センサ部の多点化に伴い装置構成が複雑化・高コスト化してしまうという課題がある。また、受光部に用意される干渉計の光路間伝搬遅延時間差は対応するセンサ部の干渉計の光路間伝搬遅延時間差と一致するように設計する必要があり、これは必ずしも容易なことではない。

【００１４】

本開示は上記事情を鑑みてなされたものであり、その目的はコヒーレンス領域分割多重方式に基づく多点干渉計型光ファイバセンサにおいて、装置構成及び設計を複雑化させることなくセンサ多点化を可能とする技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【００１５】

本開示の光ファイバセンシング装置は、

伝搬遅延時間の異なる複数のセンサ部を備える光ファイバセンサ系と、

前記光ファイバセンサ系への入射光を出力する第一の光源と、

前記光ファイバセンサ系の透過光と合波するローカル光を出力する第二の光源と、

前記透過光と前記第ローカル光との合波で得られる受光信号Ｉ（ｔ）を用いて光ファイバの変化を検出する信号処理部と、

を備え、

ｉ番目の前記センサ部の光路間伝搬遅延時間差がτ_iである場合、前記センサ部の光強度Ｉ（ｔ）、及び光強度Ｉ（ｔ）を時間τ_iだけずらした信号Ｉ（ｔ＋τ_i）との自己相関を用いて、ｉ番目の前記センサ部の変化を求める。

【００１６】

本開示の光ファイバセンシング方法は、

第一の光源からの入射光を、伝搬遅延時間の異なる複数のセンサ部を備える光ファイバセンサ系に入射し、

第二の光源からのローカル光を、前記光ファイバセンサ系の透過光と合波し、

信号処理部が、前記透過光と前記第ローカル光との合波で得られる受光信号Ｉ（ｔ）を用いて光ファイバの変化を検出する光ファイバセンシング方法であって、

ｉ番目の前記センサ部の光路間伝搬遅延時間差がτ_iである場合、前記センサ部の光強度Ｉ（ｔ）、及び光強度Ｉ（ｔ）を時間τ_iだけずらした信号Ｉ（ｔ＋τ_i）との自己相関を用いて、ｉ番目の前記センサ部の変化を求める。

【発明の効果】

【００１７】

本開示によれば、受光側に干渉計を用いることなくセンサ部を多点化することができ、センサ部の数に関わらず単一の装置構成で多点センシングが可能となる。このため、本開示は、コヒーレンス領域分割多重方式に基づく多点干渉計型光ファイバセンサにおいて、装置構成及び設計を複雑化させることなくセンサ多点化を可能とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１８】

【図１】本開示における自己相関関数の計算方法の概念図である。

【図２】本開示における自己相関関数の計算結果の概念図である。

【図３】本開示における第１の実施形態における装置構成を示すブロック図である。

【図４】本開示における第２の実施形態における装置構成を示すブロック図である。

【図５】コヒーレンス時間とセンサ部の伝搬遅延時間との関係の一例を示す。

【発明を実施するための形態】
【００１９】
以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、本開示は、以下に示す実施形態に限定されるものではない。これらの実施の例は例示に過ぎず、本開示は当業者の知識に基づいて種々の変更、改良を施した形態で実施することができる。なお、本明細書及び図面において符号が同じ構成要素は、相互に同一のものを示すものとする。
【００２０】
本開示の光ファイバセンシング装置は、二種類の光源を用い、第一の光源から出力される連続光を光ファイバに入射し、光ファイバの透過光を第二の光源から出力されるローカル光と合波することで、光ファイバの変化を検出する光ファイバセンシング装置である。前記光ファイバは、伝搬遅延時間の異なる複数のセンサ部を備える光ファイバセンサ系である。
【００２１】
本開示の光ファイバセンシング装置は、前記光ファイバセンサ系への入射光を出力する第一の光源と、前記光ファイバセンサ系の透過光と合波するローカル光を出力する第二の光源と、透過光とローカル光との合波光を受光する受光器と、を備える。入射光及びローカル光は、いずれも連続光である。本開示の光ファイバセンシング装置は、第一の光源から出力される入射光を前記光ファイバセンサ系に透過させ、前記光ファイバセンサ系の透過光とローカル光を合波させた合波光の光強度を測定する。
【００２２】
本開示は、複数のセンサ部を透過後の透過光をローカル光と合波して単一の受光器で一括してコヒーレント検波し、コヒーレント検波で得られる信号に対してデジタル自己相関処理を施すことにより個々のセンサ部の信号を分離検出する。
【００２３】
ローカル光の複素電界振幅を$E_{lo}(t)$とすると、コヒーレント検波で得られる信号$I(t)$は次式のように表される。
【数８】

$$I(t)=\left|E_0(t)+\sum_{i=1}^{N}e^{j\Delta\theta_i}a_iE_0(t-\tau_i)+E_{lo}(t)\right|^2\propto I_0(t)+\sum_{i=1}^{N}I_i(t)\qquad(8)$$

ここで、E_0は入射光の複素電界振幅、$\Delta\theta_i$はi番目のセンサ部における光位相変化、a_iはi番目のセンサ部を通る光振幅に係る定数、τ_iはi番目のセンサ部における伝搬遅延時間、$I_0(t)$は入射光の光強度、$I_i(t)$はi番目のセンサ部の透過光とローカル光との合波光の光強度である。
【００２４】
なお、ここでは各センサ部の透過光強度に比べてローカル光強度が十分強くセンサ部の透過光同士の干渉成分は無視できることとし、$I_0(t)$及び$I_i(t)$は以下のように定義した。
【数９】

$$I_0(t)\equiv E_0(t)E^*{}_{lo}(t)+E^*{}_0(t)E_{lo}(t)\qquad(9)$$

【数１０】

$$I_i(t)\equiv e^{j\Delta\theta_i}a_iE_0(t-\tau_i)E^*{}_{lo}(t)+\left[e^{j\Delta\theta_i}a_iE_0(t-\tau_i)\right]^*E_{lo}(t)\qquad(10)$$

【００２５】
次に、Ｉ（ｔ）の自己相関関数Ｒ（τ）を計算する。図１にＲ（τ）の計算イメージを示す。Ｒ（τ）はＩ（ｔ）とＩ（ｔ）を任意の時間τだけずらした波形Ｉ（ｔ＋τ）の積の時間積分をτの関数として算出する。Ｒ（τ）は次式に基づきデジタル信号処理により計算することができる。
【数１１】

$$R(\tau)=\int I(t)I(t+\tau)dt$$

$$=\int I_0(t)\,I_0(t+\tau)dt+\sum_{i=1}^{N}\int\left[I_0(t)I_i(t+\tau)+I_0(t+\tau)I_i(t)\right]dt \qquad (11)$$

【００２６】
なお、ここではＩ０（ｔ）と比較してＩｉ（ｔ）が十分弱く（ａｉ＜＜１）、Ｉｉ（ｔ）Ｉｊ（ｔ）（ｉとｊは、ｉ≠ｊの１～Ｎの任意の自然数）は無視できることとした。式（１１）の第一項は次式のように計算される。
【数１２】

$$\int I_0(t)\,I_0(t+\tau)dt$$

$$=\int\left[E_0(t)E^*{}_{lo}(t)+E^*{}_0(t)E_{lo}(t)\right]\left[E_0(t+\tau)E^*{}_{lo}(t+\tau)+E^*{}_0(t+\tau)E_{lo}(t+\tau)\right]dt$$

$$=\int E_0(t)E^*{}_0(t+\tau)E^*{}_{lo}(t)E_{lo}(t+\tau)dt+\text{c.c.} \qquad (12)$$

ここでｃ．ｃ．は複素共役を表す。
【００２７】
とり得るτの値に対してローカル光のコヒーレンス時間が十分長い場合、Ｅ＊ｌｏ（ｔ）Ｅｌｏ（ｔ＋τ）及びその複素共役はｔに依存しない定数とみなせる。さらに式（４）及び式（５）を適用すると、式（１２）は次式で表される。
【数１３】

$$\int I_0(t)\,I_0(t+\tau)dt\propto\Gamma(\tau)=\begin{cases}1\ (\tau=0)\\ 0\ (\tau\neq 0)\end{cases} \qquad (13)$$

【００２８】
同様に、式（１１）の第二項は次式のように計算される。
【数１４】

$$\int [I_0(t)I_i(t+\tau) + I_0(t+\tau)I_i(t)]\,dt$$

$$= \int [E_0(t)E^*{}_{lo}(t) + E^*{}_0(t)E_{lo}(t)]\left\{e^{j\Delta\theta_i}a_iE_0(t+\tau-\tau_i)E^*{}_{lo}(t+\tau)\right.$$

$$\left. + \left[e^{j\Delta\theta_i}a_iE_0(t+\tau-\tau_i)\right]^*E_{lo}(t+\tau)\right\}dt$$

$$+ \int [E_0(t+\tau)E^*{}_{lo}(t+\tau) + E^*{}_0(t+\tau)E_{lo}(t+\tau)]\left\{e^{j\Delta\theta_i}a_iE_0(t-\tau_i)E^*{}_{lo}(t)\right.$$

$$\left. + \left[e^{j\Delta\theta_i}a_iE_0(t-\tau_i)\right]^*E_{lo}(t)\right\}dt$$

$$\propto e^{-j\Delta\theta_i}a_i\Gamma(\tau-\tau_i) + e^{-j\Delta\theta_i}a_i\Gamma(\tau+\tau_i) + \text{c.c.}$$

$$\propto a_i[\Gamma(\tau-\tau_i) + \Gamma(\tau+\tau_i)]\cos\Delta\theta_i = \begin{cases} a_i\cos\Delta\theta_i & (\tau = \pm\tau_i) \\ 0 & (\tau \neq \pm\tau_i) \end{cases} \qquad (14)$$

【００２９】
以上より計算されるＲ（τ）の波形イメージを図２に示す。Ｒ（τ）はτ＝０，τ_1，．．．τ_Nの位置にピークを持ち、τ＝τ_iのピーク強度は$\cos\Delta\theta_i$に比例する。つまり、Ｒ（τ）の各ピーク強度が個々のセンサ部の温度又は歪みの変化に応じて変化する。$\Delta\theta_i$はｉ番目のセンサ部の温度又は歪みの変化に対して式（７）の関係にあり、事前に温度又は歪みの変化に対する比例定数C_T、C_εを求めておくことで、Ｒ（τ）の各ピーク強度変化を個々のセンサ部の温度又は歪みの変化に対応付けて測定することができる。
【００３０】
そこで、本開示の光ファイバセンシング装置は、ｉ番目の前記センサ部の光路間伝搬遅延時間差がτ_iである場合、前記センサ部の光強度Ｉ（ｔ）、及び光強度Ｉ（ｔ）を時間τ_iだけずらした信号Ｉ（ｔ＋τ_i）との自己相関関数Ｒ（τ）を用いて、ｉ番目の前記センサ部の変化を求める。
【００３１】
本開示を用いることにより、多点干渉計型光ファイバセンサに関して受光部の干渉計や受光器を追加することなくセンサ部を多点化することができる。また、従来はセンサ部の干渉計と受光部の干渉計で光路間伝搬遅延時間差が等しくなるように設計する必要があったのに対し、本開示を用いることで受光部の干渉計が不要となるため、受光部の設計を簡素化することができる。これにより、センサ部の数に関わらず単一の装置構成で多点センシングが可能となるため、従来よりも低コストかつ拡張性の高い光ファイバセンシングが実現できる。以下、添付の図面を参照して本開示の実施形態を説明する。ここではセンサ部の構成の異なる２種類の実施形態について述べる。
【００３２】
（実施形態１）
図３は本実施形態における装置構成を示すブロック図である。第一の光源には低コヒーレンス光源１１を用い、第二の光源には高コヒーレンス光源１２を用いる。高コヒーレンス光源１２はローカル光を出力するローカル光源として機能する。本開示のローカル光は、低コヒーレンス光源１１からの低コヒーレンス光よりもコヒーレンス時間が長く、かつ任意のセンサ部２１の光伝搬遅延時間よりもコヒーレンス時間が長い高コヒーレンス光を用いる。光ファイバセンサ系２０は、光カプラ２２を用いて複数のマッハツェンダ干渉計

２１を直列に接続した鎖型の構成とし、各マッハツェンダ干渉計における一方の光路をセンサ部２１とする。

【００３３】

低コヒーレンス光源１１からの連続光を光ファイバセンサ系２０に入射し、鎖型の光ファイバセンサ系２０を透過後の低コヒーレンス光を高コヒーレンス光源１２からの高コヒーレンス光と光カプラ１６で合波し、受光器１３でアナログの電気信号に変換する。電気信号に変換した受光信号をＡ／Ｄ変換器１４でデジタル信号に変換し、信号処理部１５に転送する。信号処理部１５では、デジタル信号に変換された受光信号Ｉ（ｔ）を用いて、式（１１）により自己相関関数Ｒ（τ）を計算する。

【００３４】

Ｒ（τ）はτ＝０，τ_1，．．．τ_Nの位置にピークを持ち、図３におけるセンサ部２１＃ｉ（ｉは１～Ｎの任意の整数）の温度又は歪みの変化を観測する場合はτ＝τ_iのピーク強度変化をモニタリングする。ピーク強度変化ｃｏｓΔθ$_i$について式（７）の関係を適用し、センサ部２１＃ｉにおける温度又は歪みの変化を測定する。

【００３５】

なお、本実施形態における各センサ部２１＃ｉには互いにファイバ長の異なる光ファイバを用い、センサ部間の伝搬遅延時間差｜$\tau_j-\tau_i$｜（ｊ≠ｉ）の最小値が低コヒーレンス光源１１のコヒーレンス時間よりも長くなるように設計し、センサ部２１＃ｉの伝搬遅延時間τ_jの最大値ｍａｘ｛τ_1，τ_2，・・・τ_N｝は高コヒーレンス光源１２のコヒーレンス時間よりも短くなるように設計する。

【００３６】

（実施形態２）

図４は本実施形態における装置構成を示すブロック図である。第一の光源には低コヒーレンス光源１１を用い、第二の光源には高コヒーレンス光源１２を用いる。高コヒーレンス光源１２はローカル光を出力するローカル光源として機能する。光ファイバセンサ系２０は、並列に接続されている複数のセンサ部２１を備え、光ファイバセンサ系２０を透過するコヒーレンス光の伝搬遅延時間τがセンサ部２１ごとに異なる。本実施形態では、光ファイバセンサ系２０は光カプラ２２を用いて梯子型に光ファイバを接続した構成とし、梯子型の各段の光路をセンサ部２１＃ｉとする。

【００３７】

低コヒーレンス光源１１からの連続光を光ファイバセンサ系２０に入射し、梯子型の光ファイバセンサ系２０を透過後の連続光を高コヒーレンス光源１２からのローカル光と光カプラ１６で合波し、受光器１３で電気信号に変換する。電気信号に変換した受光信号をＡ／Ｄ変換器１４でデジタル信号に変換し、信号処理部１５に転送する。信号処理部１５では、デジタル信号に変換された受光信号Ｉ（ｔ）を用いて式（１１）により自己相関関数Ｒ（τ）を計算する。

【００３８】

Ｒ（τ）はτ＝０，τ_1，．．．τ_Nの位置にピークを持ち、図４におけるセンサ部２１＃ｉ（ｉは１～Ｎの任意の整数）の温度又は歪みの変化を観測する場合はτ＝τ_iのピーク強度変化をモニタリングする。ピーク強度変化ｃｏｓΔθ$_i$について式（７）の関係を適用し、センサ部２１＃ｉにおける温度又は歪みの変化を測定する。

【００３９】

図５に、コヒーレンス時間とセンサ部の伝搬遅延時間との関係の一例を示す。入射光のコヒーレンス時間をτ_{C1}、ローカル光のコヒーレンス時間をτ_{C2}とすると、本実施形態における光ファイバセンサ系２０は各センサ部２１＃ｉを通る光路間の伝搬遅延時間差｜$\tau_j-\tau_i$｜（ｊ≠ｉ）の最小値が低コヒーレンス光源１１のコヒーレンス時間τ_{C1}よりも長くなるように設計し、各センサ部２１＃ｉを通る光路の伝搬遅延時間の最大値ｍａｘ｛τ_1，τ_2，・・・τ_N｝は高コヒーレンス光源１２のコヒーレンス時間τ_{C2}よりも短くなるように設計する。

【００４０】

また、本開示の信号処理部１５は、コンピュータとプログラムによっても実現でき、プログラムを記録媒体に記録することも、ネットワークを通して提供することも可能である。

【産業上の利用可能性】

【００４１】

本開示は情報通信産業に適用することができる。

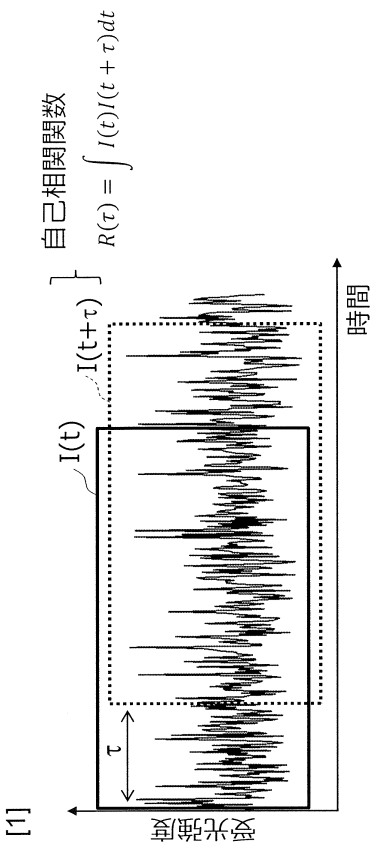
【符号の説明】

【００４２】

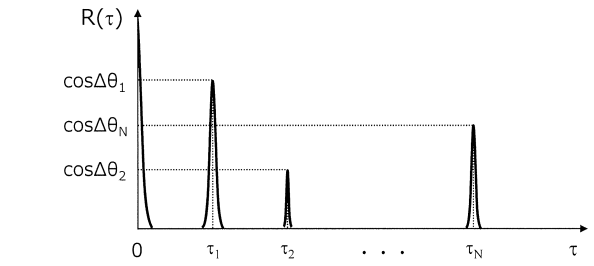
１１：低コヒーレンス光源
１２：高コヒーレンス光源
１３：受光器
１４：Ａ／Ｄ変換器
１５：信号処理部
１６、２２：光カプラ
２０：光ファイバセンサ系
２１：マッハツェンダ干渉計

【図面】

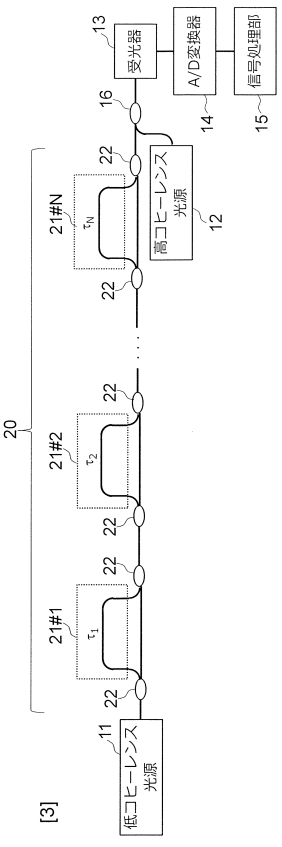
【図１】


[1]
受光強度
時間
I(t)
I(t+τ)
τ
自己相関関数
$R(\tau) = \int I(t)I(t+\tau)dt$

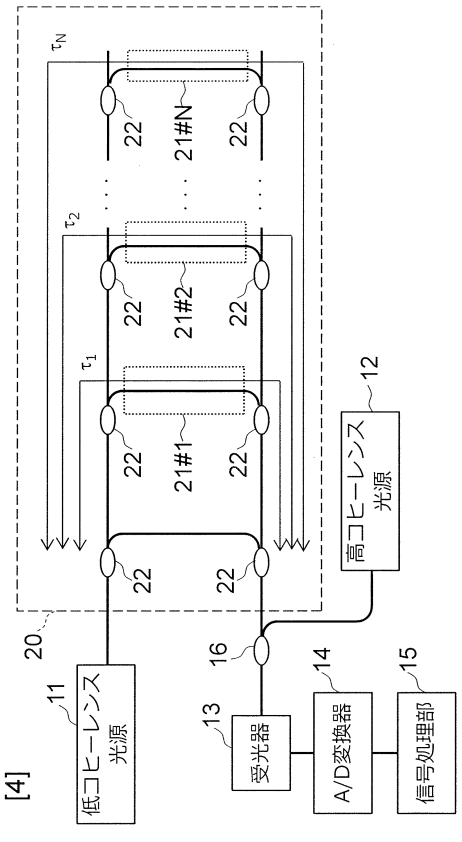
【図２】


[2]
R(τ)
cosΔθ1
cosΔθN
cosΔθ2
0
τ1
τ2
τN
τ

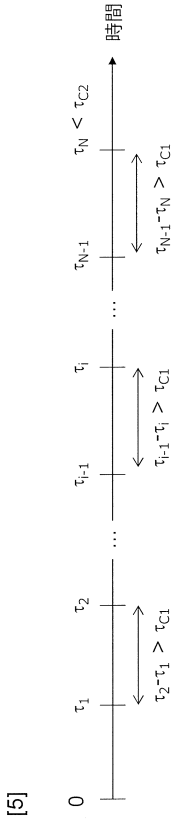
【図３】


[3]
低コヒーレンス光源
11
高コヒーレンス光源
12
受光器
13
A/D変換器
14
信号処理部
15
20
21#1
21#2
21#N
22

【図４】


[4]
低コヒーレンス光源
11
高コヒーレンス光源
12
受光器
13
A/D変換器
14
信号処理部
15
16
20
21#1
21#2
21#N
22

【図５】



[5]

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭６１－２１０９１０（ＪＰ，Ａ）
特開平２－６７２５（ＪＰ，Ａ）
特開平９－１１９８１４（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－２２８１８２（ＪＰ，Ａ）
米国特許第６２８５８０６（ＵＳ，Ｂ１）
特開２０１３－２１０１９０（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２４３５８５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｄ ５／２６－５／３８
Ｇ０１Ｂ １１／１６
Ｇ０１Ｋ １１／３２－１１／３２４
Ｇ０２Ｂ ６／００
Ｇ０１Ｍ １１／００－１１／０８