

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6272042号
(P6272042)

(45) 発行日 平成30年1月31日 (2018. 1. 31)

(24) 登録日 平成30年1月12日 (2018. 1. 12)

(51) Int. Cl.	F 1
G O 2 B 23/00 (2006. 01)	G O 2 B 23/00
G O 1 B 9/02 (2006. 01)	G O 1 B 9/02
G O 2 B 26/06 (2006. 01)	G O 2 B 26/06

請求項の数 13 外国語出願 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-5234 (P2014-5234)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成26年1月15日 (2014. 1. 15)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2014-194526 (P2014-194526A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成26年10月9日 (2014. 10. 9)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	平成29年1月10日 (2017. 1. 10)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(31) 優先権主張番号	13/745, 608	(74) 代理人	100109726
(32) 優先日	平成25年1月18日 (2013. 1. 18)		弁理士 園田 吉隆
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100101199
			弁理士 小林 義敦
		(72) 発明者	ノールトン, ポール ヴィー,
			アメリカ合衆国 ニューメキシコ 871
			22, アルバカーキ, トラムウェイ
			レーン ノースイースト 901

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広帯域幅の周波数範囲にわたる長期間における光路差 (OPD) でのファイバ安定化

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光路差でのファイバ安定化のための方法であって、
レーザ (105) によって光ビームを放射することと、
ビームスプリッタ (120) によって、前記光ビームを第1の光ビームと第2の光ビームに分割することと、
調整可能な光学望遠鏡 (145) の変換ステージ (140) での第1のミラー (150) によって、前記第1の光ビームを反射することと、
第1のダイクロイックビームスプリッタ (155) によって、第1の循環するビームを、前記第1の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームとに分割することと、
基準光学望遠鏡 (175) に関連する第2のミラー (180) によって、前記第2の光ビームを反射することと、
第2のダイクロイックビームスプリッタ (185) によって、第2の循環するビームを、前記第2の光ビームと基準光学望遠鏡のビームとに分割することと、
前記第1の光ビームおよび前記第2の光ビームを干渉計 (190) に入力することと、
一体となって正弦波信号を形成する同相信号および直交信号を前記干渉計 (190) から出力することと、
高周波信号および低周波信号を生成するために、少なくとも1つのプロセッサ (142) によって前記正弦波信号をフィルタリングすることと、
ステージ制御装置 (172) を用いて、前記低周波信号を使用することによって前記変

10

20

換ステージを制御することと、

ファイバストレッチャ制御装置を用いて、前記高周波信号を使用することによってファイバストレッチャ(135)を制御することとを含む、方法。

【請求項2】

両眼画像を生成するために、前記調整可能な光学望遠鏡のビームおよび前記基準光学望遠鏡のビームを、望遠鏡受光干渉計に入力することをさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

第1の増幅器(117)を用いて前記同相信号を増幅することと、第2の増幅器(122)を用いて前記直交信号を増幅することとをさらに含む、請求項1または2に記載の方法。

10

【請求項4】

フィルタバッファカード(127)を用いて、少なくとも1つの所定の周波数帯に収まるよう、前記同相信号および前記直交信号を事前フィルタリングすることをさらに含む、請求項1から3のいずれか一項に記載の方法。

【請求項5】

前記ファイバストレッチャ制御装置がファイバストレッチャ電源(197)である、請求項1から4のいずれか一項に記載の方法。

【請求項6】

20

高周波信号および低周波信号を形成するための前記正弦波信号の前記フィルタリングが、前記正弦波信号を積分することによって実行される、請求項1から5のいずれか一項に記載の方法。

【請求項7】

光路差でのファイバ安定化のためのシステムであって、
光ビームを放射するためのレーザ(105)と、
前記光ビームを第1の光ビームと第2の光ビームに分割するためのビームスプリッタ(120)と、

前記第1の光ビームを反射するための、調整可能な光学望遠鏡(145)の変換ステージ(140)での第1のミラー(150)と、

30

第1の循環するビームを、前記第1の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームとに分割するための第1のダイクロイックビームスプリッタ(155)と、

前記第2の光ビームを反射するための、基準光学望遠鏡(175)に関連する第2のミラー(180)と、

第2の循環するビームを、前記第2の光ビームと基準光学望遠鏡のビームとに分割するための第2のダイクロイックビームスプリッタ(185)と、

前記第1の光ビームおよび前記第2の光ビームを受光し、一体となって正弦波信号を形成する同相信号および直交信号を出力するための干渉計(190)と、

高周波信号および低周波信号を生成するために前記正弦波信号をフィルタリングするための、少なくとも1つのプロセッサと、

40

前記低周波信号を使用することによって前記変換ステージを制御するためのステージ制御装置と、

前記高周波信号を使用することによってファイバストレッチャを制御するためのファイバストレッチャ制御装置とを備える、システム。

【請求項8】

前記調整可能な光学望遠鏡のビームおよび前記基準光学望遠鏡のビームを受光し、両眼画像を生成するための、望遠鏡受光干渉計をさらに備える、請求項7に記載のシステム。

【請求項9】

前記同相信号を増幅するための第1の増幅器と、

50

前記直交信号を増幅するための第2の増幅器と
をさらに備える、請求項7または8に記載のシステム。

【請求項10】

少なくとも1つの所定の周波数帯に収まるよう、前記同相信号および前記直交信号を事前フィルタリングするためのフィルタバッファカードをさらに備える、請求項7から9のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項11】

前記ファイバストレッチャ制御装置がファイバストレッチャ電源である、請求項7から10のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項12】

前記正弦波信号をフィルタリングして高周波信号と低周波信号を形成するために、前記少なくとも1つのプロセッサが前記正弦波信号を積分する、請求項7から11のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項13】

前記ステージ制御装置が圧電制御装置である、請求項7から12のいずれか一項に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、光路差(OPD)でのファイバ安定化に関する。詳細には、本開示は、広帯域幅の周波数範囲にわたる長期間におけるOPDでのファイバ安定化に関する。

【発明の概要】

【0002】

本開示は、広帯域幅の周波数範囲にわたる長期間におけるOPDでのファイバ安定化のための方法、システム、および装置に関する。1つまたは複数の実施形態では、本開示は、OPDでのファイバ安定化のための方法を教示する。開示されたこの方法に、レーザ、光ビームによって放射することを含む。この方法はさらに、ビームスプリッタによって、この光ビームを第1の光ビームと第2の光ビームに分割することを含む。また、この方法は、第1のサーキュレータによって、第1の光ビームを、ファイバストレッチャを介して、調整可能な光学望遠鏡の変換ステージにまで循環させることを含む。さらに、この方法は、変換ステージの第1のミラーによって、第1の光ビームを反射させることを含む。さらに、この方法は、第1のサーキュレータによって、第1の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームを含む第1の循環するビームを、第1のダイクロイックビームスプリッタにまで循環させることを含む。また、この方法は、第1のダイクロイックビームスプリッタによって、第1の循環するビームを、第1の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームとに分割することを含む。さらに、この方法は、第2のサーキュレータによって、第2の光ビームを基準光学望遠鏡にまで循環させることを含む。さらに、この方法は、第2のミラーによって、第2の光ビームを反射させることを含む。さらに、この方法は、第2のサーキュレータによって、第2の光ビームおよび基準光学望遠鏡のビームを含む第2の循環するビームを、第2のダイクロイックビームスプリッタにまで循環させることを含む。また、この方法は、第2のダイクロイックビームスプリッタによって、第2の循環するビームを、第2の光ビームおよび基準光学望遠鏡のビームに分割することを含む。

【0003】

さらに、この方法は、第1の光ビームおよび第2の光ビームを干渉計に入力することを含む。さらに、この方法は、一体となって正弦波信号を形成する同相信号および直交信号を干渉計から出力することを含む。さらに、この方法は、少なくとも1つのプロセッサによって、高周波信号と低周波信号を含む広帯域幅の信号を形成するために正弦波信号をフィルタリングすることを含む。この方法はさらに、ステージ制御装置を用いて、低周波信号を使用することによって変換ステージを制御することを含む。さらに、この方法は、ファイバストレッチャ制御装置を用いて、高周波信号を使用することによってファイバスト

10

20

30

40

50

レッチャを制御することを含む。

【0004】

1つまたは複数の実施形態では、この方法はさらに、両眼画像を生成するために、調整可能な光学望遠鏡のビームおよび基準光学望遠鏡のビームを、望遠鏡受光干渉計に入力することを含む。少なくとも1つの実施形態では、干渉計はマイケルソン干渉計である。実施形態によっては、この方法はさらに、第1の増幅器を用いて同相信号を増幅すること、および第2の増幅器を用いて直交信号を増幅することを含む。

【0005】

少なくとも1つの実施形態では、この方法はさらに、フィルタバッファカードを用いて、少なくとも1つの所定の周波数帯に収まるよう、同相信号および直交信号を事前フィルタリングすることを含む。実施形態によっては、ファイバストレッチャ制御装置は、ファイバストレッチャ電源である。1つまたは複数の実施形態では、高周波信号および低周波信号を形成するための正弦波信号のフィルタリングは、この正弦波信号を積分することによって実行される。実施形態によっては、ステージ制御装置は、圧電制御装置である。

【0006】

1つまたは複数の実施形態では、OPDでのファイバ安定化用のシステムは、光ビームを放射するためのレーザを備える。このシステムはさらに、この光ビームを第1の光ビームと第2の光ビームに分割するためのビームスプリッタを備える。また、システムは、第1の光ビームを、ファイバストレッチャを介して、調整可能な光学望遠鏡の変換ステージにまで循環させ、第1の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームを含む第1の循環するビームを、第1のダイクロイックビームスプリッタにまで循環させるための第1のサーキュレータを備える。さらに、このシステムは、第1の光ビームを反射させるための第1のミラーを変換ステージに備える。また、このシステムは、第1の循環するビームを、第1の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームとに分割するための第1のダイクロイックビームスプリッタを備える。さらに、このシステムは、第2の光ビームを、基準光学望遠鏡にまで循環させ、第2の光ビームおよび基準光学望遠鏡のビームを含む第2の循環するビームを、第2のダイクロイックビームスプリッタにまで循環させるための第2のサーキュレータを備える。また、このシステムは、第2の光ビームを反射するための第2のミラーを備える。さらに、このシステムは、第2の循環するビームを、第2の光ビームと基準光学望遠鏡のビームとに分割するための第2のダイクロイックビームスプリッタを備える。

【0007】

さらに、このシステムは、第1の光ビームおよび第2の光ビームを受光し、一体となって正弦波信号を形成する同相信号および直交信号を出力するための干渉計を備える。また、このシステムは、正弦波信号をフィルタリングして高周波信号と低周波信号を形成する、少なくとも1つのプロセッサを備える。さらに、このシステムは、低周波信号を使用することによって変換ステージを制御するためのステージ制御装置を備える。さらに、このシステムは、高周波信号を使用することによってファイバストレッチャを制御するためのファイバストレッチャ制御装置を備える。

【0008】

少なくとも1つの実施形態では、このシステムはさらに、調整可能な光学望遠鏡のビームおよび基準光学望遠鏡のビームを受光し、両眼画像を生成するための、望遠鏡受光干渉計を備える。実施形態によっては、このシステムはさらに、同相信号を増幅するための第1の増幅器、および直交信号を増幅するための第2の増幅器を備える。少なくとも1つの実施形態では、このシステムはさらに、少なくとも1つの所定の周波数帯に収まるよう、同相信号および直交信号を事前フィルタリングするためのフィルタバッファカードを備える。実施形態によっては、正弦波信号をフィルタリングして高周波信号と低周波信号を形成するために、少なくとも1つのプロセッサが正弦波信号を積分する。

【0009】

1つまたは複数の実施形態では、OPDでのファイバ安定化用の装置は、光ビームを放射するためのレーザを備える。この装置はさらに、この光ビームを第1の光ビームと第2

10

20

30

40

50

の光ビームに分割するためのビームスプリッタを備える。さらに、この装置は、第1の光ビームを、ファイバストレッチャを介して、調整可能な光学望遠鏡の変換ステージにまで循環させ、第1の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームを含む第1の循環するビームを、第1のダイクロイックビームスプリッタにまで循環させるための第1のサーキュレータを備える。また、この装置は、第1の光ビームを反射させるための第1のミラーを変換ステージに備える。さらに、この装置は、第1の循環するビームを、第1の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームとに分割するための第1のダイクロイックビームスプリッタを備える。また、この装置は、第2の光ビームを、基準光学望遠鏡にまで循環させ、第2の光ビームおよび基準光学望遠鏡のビームを含む第2の循環するビームを、第2のダイクロイックビームスプリッタにまで循環させるための第2のサーキュレータを備える。さらに、この装置は、第2の光ビームを反射するための第2のミラーを備える。また、この装置は、第2の循環するビームを、第2の光ビームと基準光学望遠鏡のビームとに分割するための第2のダイクロイックビームスプリッタを備える。

10

【0010】

さらに、この装置は、第1の光ビームおよび第2の光ビームを受光し、一体となって正弦波信号を形成する同相信号および直交信号を出力するための干渉計を備える。また、この装置は、正弦波信号をフィルタリングして高周波信号と低周波信号を形成する、少なくとも1つのプロセッサを備える。さらに、この装置は、低周波信号を使用することによって変換ステージを制御するためのステージ制御装置を備える。さらに、この装置は、高周波信号を使用することによってファイバストレッチャを制御するためのファイバストレッチャ制御装置を備える。

20

【0011】

少なくとも1つの実施形態では、この装置はさらに、調整可能な光学望遠鏡のビームおよび基準光学望遠鏡のビームを受光し、両眼画像を生成するための、望遠鏡受光干渉計を備える。1つまたは複数の実施形態では、この装置はさらに、同相信号を増幅するための第1の増幅器、および直交信号を増幅するための第2の増幅器を備える。実施形態によっては、この装置はさらに、少なくとも1つの所定の周波数帯に収まるよう、同相信号および直交信号を事前フィルタリングするためのフィルタバッファカードを備える。

【0012】

第1項。光路差でのファイバ安定化のための方法であって、
レーザによって光ビームを放射することと、
ビームスプリッタによって、この光ビームを第1の光ビームと第2の光ビームに分割することと、

30

調整可能な光学望遠鏡の変換ステージでの第1のミラーによって、第1の光ビームを反射することと、

第1のダイクロイックビームスプリッタによって、第1の循環するビームを、第1の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームとに分割することと、

基準光学望遠鏡に関連する第2のミラーによって、第2の光ビームを反射することと、

第2のダイクロイックビームスプリッタによって、第2の循環するビームを、第2の光ビームと基準光学望遠鏡のビームとに分割することと、

40

第1の光ビームおよび第2の光ビームを干渉計に入力することと、

一体となって正弦波信号を形成する同相信号および直交信号を干渉計から出力することと、

高周波信号および低周波信号を生成するために、少なくとも1つのプロセッサによって正弦波信号をフィルタリングすることと、

ステージ制御装置を用いて、低周波信号を使用することによって変換ステージを制御することと、

ファイバストレッチャ制御装置を用いて、高周波信号を使用することによってファイバストレッチャを制御することと

を含む、方法。

50

【 0 0 1 3 】

第 2 項。両眼画像を生成するために、調整可能な光学望遠鏡のビームおよび基準光学望遠鏡のビームを、望遠鏡受光干渉計に入力することをさらに含む、第 1 項に記載の方法。

【 0 0 1 4 】

第 3 項。この干渉計がマイケルソン干渉計である、第 1 項に記載の方法。

【 0 0 1 5 】

第 4 項。第 1 の増幅器を用いて同相信号を増幅することと、第 2 の増幅器を用いて直交信号を増幅することとをさらに含む、第 1 項に記載の方法。

【 0 0 1 6 】

第 5 項。フィルタバッファカードを用いて、少なくとも 1 つの所定の周波数帯に収まるよう、同相信号および直交信号を事前フィルタリングすることをさらに含む、第 1 項に記載の方法。

10

【 0 0 1 7 】

第 6 項。ファイバストレッチャ制御装置がファイバストレッチャ電源である、第 1 項に記載の方法。

【 0 0 1 8 】

第 7 項。高周波信号および低周波信号を形成するための正弦波信号のフィルタリングが、この正弦波信号を積分することによって実行される、第 1 項に記載の方法。

【 0 0 1 9 】

第 8 項。ステージ制御装置が圧電制御装置である、第 1 項に記載の方法。

20

【 0 0 2 0 】

第 9 項。光路差でのファイバ安定化のためのシステムであって、

光ビームを放射するためのレーザと、

この光ビームを第 1 の光ビームと第 2 の光ビームに分割するためのビームスプリッタと

、

第 1 の光ビームを反射するための、調整可能な光学望遠鏡の変換ステージでの第 1 のミラーと、

第 1 の循環するビームを、第 1 の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームとに分割するための第 1 のダイクロイックビームスプリッタと、

第 2 の光ビームを反射するための、基準光学望遠鏡に関連する第 2 のミラーと、

30

第 2 の循環するビームを、第 2 の光ビームと基準光学望遠鏡のビームとに分割するための第 2 のダイクロイックビームスプリッタと、

第 1 の光ビームおよび第 2 の光ビームを受光し、一体となって正弦波信号を形成する同相信号および直交信号を出力するための干渉計と、

高周波信号および低周波信号を生成するために正弦波信号をフィルタリングするための、少なくとも 1 つのプロセッサと、

低周波信号を使用することによって変換ステージを制御するためのステージ制御装置と

、

高周波信号を使用することによってファイバストレッチャを制御するためのファイバストレッチャ制御装置と

40

を備える、システム。

【 0 0 2 1 】

第 1 0 項。調整可能な光学望遠鏡のビームおよび基準光学望遠鏡のビームを受光し、両眼画像を生成するための、望遠鏡受光干渉計をさらに備える、第 9 項に記載のシステム。

【 0 0 2 2 】

第 1 1 項。この干渉計がマイケルソン干渉計である、第 9 項に記載のシステム。

【 0 0 2 3 】

第 1 2 項。同相信号を増幅するための第 1 の増幅器と、

直交信号を増幅するための第 2 の増幅器と

をさらに備える、第 9 項に記載のシステム。

50

【 0 0 2 4 】

第 1 3 項。少なくとも 1 つの所定の周波数帯に収まるよう、同相信号および直交信号を事前フィルタリングするためのフィルタバッファカードをさらに備える、第 9 項に記載のシステム。

【 0 0 2 5 】

第 1 4 項。ファイバストレッチャ制御装置がファイバストレッチャ電源である、第 9 項に記載のシステム。

【 0 0 2 6 】

第 1 5 項。正弦波信号をフィルタリングして高周波信号と低周波信号を形成するために、少なくとも 1 つのプロセッサが正弦波信号を積分する、第 9 項に記載のシステム。

10

【 0 0 2 7 】

第 1 6 項。ステージ制御装置が圧電制御装置である、第 9 項に記載のシステム。

【 0 0 2 8 】

第 1 7 項。光路差でのファイバ安定化のための装置であって、

光ビームを放射するためのレーザと、

この光ビームを第 1 の光ビームと第 2 の光ビームに分割するためのビームスプリッタと

、
第 1 の光ビームを反射するための、調整可能な光学望遠鏡の変換ステージでの第 1 のミラーと、

第 1 の循環するビームを、第 1 の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームとに分割するための第 1 のダイクロイックビームスプリッタと、

20

第 2 の光ビームを反射するための、基準光学望遠鏡に関連する第 2 のミラーと、

第 2 の循環するビームを、第 2 の光ビームと基準光学望遠鏡のビームとに分割するための第 2 のダイクロイックビームスプリッタと、

第 1 の光ビームおよび第 2 の光ビームを受光し、一体となって正弦波信号を形成する同相信号および直交信号を出力するための干渉計と、

高周波信号および低周波信号を生成するために正弦波信号をフィルタリングするための、少なくとも 1 つのプロセッサと、

低周波信号を使用することによって変換ステージを制御するためのステージ制御装置と

30

、
高周波信号を使用することによってファイバストレッチャを制御するためのファイバストレッチャ制御装置と
を備える、装置。

【 0 0 2 9 】

第 1 8 項。調整可能な光学望遠鏡のビームおよび基準光学望遠鏡のビームを受光し、両眼画像を生成するための、望遠鏡受光干渉計をさらに備える、第 1 7 項に記載の装置。

【 0 0 3 0 】

第 1 9 項。この干渉計がマイケルソン干渉計である、第 1 7 項に記載の装置。

【 0 0 3 1 】

第 2 0 項。同相信号を増幅するための第 1 の増幅器と、

40

直交信号を増幅するための第 2 の増幅器と

をさらに備える、第 1 7 項に記載の装置。

【 0 0 3 2 】

各特徴、機能、および利点は、本発明の様々な実施形態において独立して実現することができ、または、さらに他の実施形態において組み合わせてもよい。

【 0 0 3 3 】

本開示の上記その他の特徴、態様および利点は、以下の説明および添付特許請求の範囲、および添付図面に関して、よりよく理解されよう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 4 】

50

【図 1】本開示の少なくとも 1 つの実施形態による、広帯域幅の周波数範囲にわたる長期間における光路差 (OPD) でのファイバ安定化のための、開示されたシステムを示す概略図である。

【図 2】本開示の少なくとも 1 つの実施形態による、図 1 の開示されたシステムの詳細を示す概略図である。

【図 3】本開示の少なくとも 1 つの実施形態による、広帯域幅の周波数範囲にわたる長期間における OPD でのファイバ安定化のための、開示された方法を示す流れ図である。

【図 4】本開示の少なくとも 1 つの実施形態による、図 1 の開示されたシステム用の望遠鏡構成を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0035】

本明細書において開示される方法および装置により、広帯域幅の周波数範囲にわたる長期間における光路差 (OPD) でのファイバ安定化のための動作可能なシステムが実現する。本開示の目的は、2 つの光ファイバに結合された基準レーザを使用しながら、光路差 (OPD) および光学分散を最小にして、光ファイバを介して 2 つの望遠鏡から光を集めることである。基準レーザビームは、各光ファイバに沿って放射され、また逆反射され、次いで計測干渉計に送られる。干渉計出力が集められ、中央処理装置によって処理され、ここで集められた位相誤り信号が 2 つの別々の周波数帯域に分離される。制御装置アーキテクチャが周波数帯を分割し、その結果、広帯域 (たとえば、直流 (DC) ~ 5 キロヘルツ (kHz)) の OPD 制御ループにより、光ファイバの経路長が、数桁の波長に合致し、波の 1 / 25 未満に固定されるように維持される。

20

【0036】

イメージング感度を向上させるために、互いに数メートル離して配置されたいくつかの望遠鏡を利用する天文学界において干渉計技法が開発されてきた。最小の光路差 (OPD) で光を集めるために、1 組の移動可能なミラーが (乱気流を低減させるために) 真空トンネル内に設けられて、2 つの望遠鏡間での OPD の変動に合わせて調整する。集められた光は干渉計に送られる。次いで、干渉計出力を使用して、制御プロセスを用いて OPD の変動を調整する。この標準の方法は、真空トンネル内に機器を配置することで、極めて高価になる可能性がある。さらに、真空トンネルを使用すると、結果としてシステムを持ち運びまたは移動することができなくなる。

30

【0037】

本開示は、受動合成 / 干渉計イメージングに必要な、この従来の方法で使用される主要技術を利用する。一例として、100 メートル離れて配置された、1 メートル径の 2 つの望遠鏡が利用される。これら 2 つの望遠鏡により、1 メートル径の単一の望遠鏡の 100 倍の空間解像度を実現することができる。他の実装形態では、望遠鏡の直径は 1 メートルでなくてもよく、離して配置する距離は 100 メートルでなくてもよいことに留意されたい。本開示は、この従来技術を利用するが、従来おこなわれてきたように各区間に真空トンネルを使用する代わりに、各区間 (すなわち、望遠鏡から検出器まで光を導く経路) には光ファイバを利用する。各区間で光ファイバを使用することにより、インフラストラクチャコストを著しく低減できるようになり、望遠鏡を移動すること、または可搬型のイメージングシステムを構築することが可能になる。本開示により、各区間に光ファイバを利用するとき、コンパクトなイメージングシステムが作製され、これを軍用プラットフォーム (たとえば、航空機、衛星、船舶、および地上車両) に一体化することができる。このイメージング技法で光ファイバ区間を利用することの利益を享受するために、2 つの光ファイバ区間の OPD をロックするための信頼性の高い頑強な方法が必要とされる。残念ながら、OPD 制御に関して言えば、光ファイバは、環境条件に対して従来の真空トンネルよりも困難が多く影響を受けやすい。

40

【0038】

本開示は、光ファイバ区間の OPD を制御およびロックし、それにより、光ファイバを利用することの著しい利益を実現するためのシステムおよび方法を教示する。具体的には

50

、本開示では、2つの光ファイバに結合された基準レーザを利用する。レーザによって生成される光ビームは、各ファイバに沿って放射され、また逆反射され、次いで計測干渉計に送られる。干渉計出力が集められ、中央処理装置によって処理され、ここで集められた位相誤り信号が2つの別々の周波数帯域に分離される。この制御設計では、OPDを制御するのに別々の周波数帯を利用する。低周波成分（直流（DC）から1～5ヘルツ（Hz）まで）を制御するために、一方の周波数帯が使用される。高周波成分（1～5ヘルツ（Hz）から10kHzまで）を制御するために、もう一方の周波数帯が使用される。光ファイバのOPDは、外乱の影響を非常に受けやすくなることがある。開示されたシステム設計で対処する具体的な外乱は、熱外乱（DCから1～5Hzまで）、機械振動（1～5Hzから1kHzまで）、および音響振動（2Hz～20kHz）である。使用される光ファイバのタイプを慎重に選択することにより、これらの外乱のいくらかは、完全ではないが最小限に抑えることができる。本開示は、リストに記載された周波数帯での影響を取り除くシステムを提供することにより、これらの外乱の影響を最小限に抑えることができる方法を教示する。各周波数帯に特有の影響を取り除くことを意図されたOPDアクチュエータを慎重に制御することによって、これが実行する。フィードバック信号として干渉計出力を使用することによって、これらのアクチュエータが個別にサーボ制御される。次いで、個々の制御ループが、非常に長い期間にわたって影響を最小限に分散させて、OPD変動を波長のごく一部にまで安定化することができる。

10

【0039】

これまでのところ、計測用レーザビームをファイバに注入し、振動する逆反射器からビームを反射させ、それにより一時的に変調された制御信号を生成することによって、光ファイバでのOPD安定化が、従来実現されている。この変調によってファイバ上に雑音が付加されることがあるが、この変調は、変調プロセスによって制限された周波数制御とすることができる。さらに、従来ファイバストレッチャ（DC～5kHz）を利用して、OPDを制御する。ファイバが50マイクロメートルを超えて伸びると、分散効果によって、ファイバを通過する光の質に悪影響を及ぼし始める。ファイバストレッチャ制御装置を使用して、ファイバ伸長の影響を補償する。

20

【0040】

本開示により、光源または逆反射器を変復調する必要性がなくなり、それにより既存の信号に雑音が付加されないことに留意されたい。またこの方式により、ファイバの伸長を基準レーザの1波未満に制限することによって、分散効果が最小限に抑えられる。低周波段によって長期間のドリフトが制御される。

30

【0041】

以下の説明では、このシステムをより完全に説明するため、数多くの詳細について述べる。しかし、これら具体的な詳細を用いることなく開示されたシステムを実施してもよいことが、当業者には明白になろう。その他の例では、システムを必要以上に曖昧にしないよう、よく知られた特徴については詳細に説明してこなかった。

【0042】

図1は、本開示の少なくとも1つの実施形態による、広帯域幅の周波数範囲にわたる長期間における光路差（OPD）でのファイバ安定化のための、開示されたシステム100を示す概略図である。この図では、レーザ105が、第1の光ファイバ110に光ビームを放射する。第1の光ファイバ110は、第2の光ファイバ115とともに、3デシベル（3dB）ビームスプリッタ120に接続される。3dBビームスプリッタ120は、放射された光ビームを半分に分割し、この光ビームの半分（第1の光ビームと呼ぶ）を第1の光ファイバ110に出力し、光ビームのもう半分（第2の光ビームと呼ぶ）を第2の光ファイバ115に出力する。

40

【0043】

第1のサーキュレータ125は、任意選択として1束のファイバ130（たとえば、 $\times\times$ メートルのファイバ）およびファイバストレッチャ135を介して、調整可能な光学望遠鏡145の変換ステージ140まで第1の光ビームを循環させる。第1の光ビームは

50

、変換ステージ１４０上の第１のミラー１５０から反射して戻る。第１のサーキュレータ１２５は、反射した第１の光ビームおよび調整可能な光学望遠鏡のビームを含む第１の循環するビームを、第１のダイクロイックビームスプリッタ１５５まで循環させる。第１のダイクロイックビームスプリッタ１５５は、第１の循環するビームを、第１の光ビームと調整可能な望遠鏡のビームに分割する。

【００４４】

第２のサーキュレータ１６０は、任意選択として１束のファイバ１６５（たとえば、 $\times\times$ メートルのファイバ）および任意選択としてファイバストレッチャ１７０を介して、基準光学望遠鏡１７５まで第２の光ビームを循環させる。第２の光ビームは、基準光学望遠鏡１７５の第２のミラー１８０から反射して戻る。第２のサーキュレータ１６０は、反

10

【００４５】

調整可能な望遠鏡のビームおよび基準望遠鏡のビームは、両眼画像を生成するのに使用される望遠鏡受光干渉計１９０に入力される。第１の光ビームは、ミラー１９０で反射し、ＯＰＤ干渉計光学台（たとえば、マイケルソン干渉計）１９５に入力される。干渉計光学台１９５の内部では、第１の光ビームが偏光度２２．５度の半波長（ $\lambda/2$ ）板を通過し、これにより、第１の光ビームは、その円偏波成分（ S_1 および P_1 ）が互いに同相に

20

【００４６】

次いで、第１の光ビームおよび第２の光ビームは、偏光ビームスプリッタ１０７を通過する。 S_1 および S_2 の成分を有し、各成分が同相（すなわち、 $S_1 + S_2 = I$ （同相））であるビームが、干渉計光学台１９５から出力される。 P_1 および P_2 の成分を有し、各成分が直交（すなわち、 $P_1(90^\circ) + P_2 = Q$ （直交））であるビームが、干渉計光学台１９５から出力される。

【００４７】

高帯域（ $DC \sim 1.5$ メガヘルツ（ MHz ））検出器１１７が、同相ビーム（すなわち、 S_1 および S_2 の成分を有するビーム）を検出し、増幅された同相信号を生成する。別の高帯域（ $DC \sim 1.5 MHz$ ）検出器１２２が、直交ビーム（すなわち、 P_1 および P_2 の成分を有するビーム）を検出し、増幅された直交信号を生成する。同相信号と直交信号を合わせて正弦波信号を形成することに留意されたい。増幅された同相信号は、フィルタバッファカード１２７上の（利得が１（ $G=1$ ）の）フィルタ１３２でフィルタリングされ、増幅された直交信号は、フィルタバッファカード１２７上の（利得が１（ $G=1$ ）の）フィルタ１３７でフィルタリングされる。フィルタリングされた同相信号およびフィルタリングされた直交信号は、処理用のフィールドプログラマブルゲートアレイ（ $FPGA$ ）デジタル信号プロセッサ（ DSP ）シャーシ１４２に入力される。

30

40

【００４８】

$FPGA$ DSP シャーシ１４２の内部では、アナログフィルタリングされた同相信号が、アナログデジタル変換器（ ADC ）１５２に入力されて、デジタル同相信号を生成する。また、アナログフィルタリングされた直交信号は、 ADC １４７に入力されて、デジタル直交信号を生成する。デジタル同相信号およびデジタル直交信号は、処理するために、 DSP １５７に（または代替的に、サンプリングレートが $20 kHz$ を超える $1.0 kHz$ 超のアナログ制御ループに）入力される。処理の後に、 DSP １５７は、デジタルウィファコマンド信号およびデジタルツィータコマンド信号を出力する。デジタルウィファコマンド信号は、デジタルアナログ変換器（ DAC ）１６２に入力されて、アナログウィファコマンド信号（ $DC \sim 5 Hz$ ）を生成する。また、ツィータコマンド信号は、 DAC

50

167に入力されて、アナログツィータコマンド信号(5Hz~10kHz)を生成する。

【0049】

アナログウーファコマンド信号は、ステージ制御装置172に入力される。ステージ制御装置172は、OPDを訂正するためにアナログウーファ信号によって変換ステージ140を制御する(すなわち、前後にスライドさせる)ための信号(たとえば電圧)を送出する。アナログツィータ信号は、フィルタバッファカード192上の(利得が1($G=1$))の)フィルタ182に入力される。フィルタリングされたアナログツィータ信号は、ファイバストレッチャ電源197に入力される。ファイバストレッチャ電源197は、OPDを訂正するためにファイバストレッチャ135を制御するための信号(たとえば電圧)を送出する。

10

【0050】

図2は、本開示の少なくとも1つの実施形態による、図1の開示されたシステム100の詳細をさらに示す概略図200である。システム100の詳細をより簡略化するために、この図では、検出器117、122およびフィルタ137、132を通過する各ビーム/信号(すなわち、同相ビーム/信号または直交ビーム/信号)のうちの1つのみを示すことに留意されたい。したがって、この図では、ビーム(すなわち、同相ビームまたは直交ビームのいずれか)が検出器117、122に入力される。検出器117、122は、このビームを検出し、増幅された信号を生成する。増幅された信号は、フィルタバッファカード127に入力される。フィルタバッファカード127は、増幅された信号をフィルタリングして、フィルタリングされた増幅信号を生成する。次いで、アナログフィルタリングされた増幅信号が、ADC147、152に入力されて、デジタル信号を生成する。

20

【0051】

デジタル正弦波信号が計数回路205によってスケーリングされ、半波長分シフトされ(210)、ノッチフィルタ215を介して送られる。結果として得られる信号は、複数のスイッチ220の位置に応じて、ウーファ経路またはツィータ経路のいずれかを介して送られる。ウーファ/ツィータ制御装置225が、スイッチ220の位置を制御する。図2では、信号がウーファ経路に進むようになる位置にスイッチ220が示してあることに留意されたい。信号がツィータ経路とウーファ経路の両方に進むためには、スイッチ220は、図2に示してあるのとは反対の位置に設定されることになる。ノッチフィルタ215の出力およびスイッチ220への入力において、ウーファ制御装置とツィータ制御装置の両方に送られる広帯域誤り信号が存在する。現在スイッチ220で示すように、まずウーファ制御装置が閉じられて動作停止する。ウーファループの設計は、DC~5Hzに対応することになる。ウーファ誤りがほぼゼロになると、スイッチが反転して、次にウーファとツィータの両方が結合される。

30

【0052】

信号がツィータ経路を通過するとき、高帯域誤り信号が積分器によって積分される($w_{t b w} / s$ 、ここで $w_{t b w} = 2 * f_{t b w}$ であり、 $f_{t b w} = 5 \text{ Hz} \sim 20 \text{ kHz}$ である)(225)。次いで、積分された信号は、制御ループ230を介して供給される。制御ループ230は、デジタルツィータコマンド信号を生成する。デジタルツィータコマンド信号は、DAC167に入力されて、アナログツィータコマンド信号を生成する。アナログツィータコマンド信号は、圧電増幅器に入力され、ここで増幅およびフィルタリング処理される。次いで、増幅されたアナログツィータコマンド信号は、制御フィードバックループを含むファイバストレッチャ電源197に入力される。ファイバストレッチャ電源197は、OPDを訂正するためにファイバストレッチャ135を制御するための信号(たとえば電圧)を送出する。

40

【0053】

信号がウーファ経路を通過するとき、デジタル信号がDAC162に入力されて、アナログ信号を生成する。次いで、このアナログ信号は、ステージ制御装置172に入力される。ステージ制御装置172の内部では、アナログ信号がADC240に入力されて、デ

50

デジタル信号を生成する。次いで、このデジタル信号は、積分器によって積分される (w_0 / s 、ここで $w_0 = 2 * * f_0$ であり、 f_0 は約 $1 \sim 5 \text{ Hz}$ である) (245)。結果として得られる信号は、制御フィードバックループ 250 を介して送られて、制御信号を生成する。ステージ制御装置 172 は、OPD を訂正するためにアナログウーファ信号によって変換ステージ 140 を制御する (すなわち、前後にスライドさせる) ための制御信号 (たとえば電圧) を送出する。

【0054】

図3は、本開示の少なくとも1つの実施形態による、広帯域幅の周波数範囲にわたる長期間におけるOPDでのファイバ安定化のための、開示された方法300を示す流れ図である。方法300の開始305において、レーザが光ビームを放射する(310)。次いで、ビームスプリッタが、この光ビームを第1の光ビームと第2の光ビームに分割する(315)。

【0055】

第1のサーキュレータが、ファイバストレッチャを介して、調整可能な光学望遠鏡の変換ステージまで第1の光ビームを循環させる(320)。次いで、変換ステージ上の第1のミラーが、第1の光ビームを反射する(325)。次いで、第1のサーキュレータは、第1の光ビームおよび調整可能な光学望遠鏡のビームを含む第1の循環するビームを、第1のダイクロイックビームスプリッタまで循環させる(330)。第1のダイクロイックビームスプリッタは、第1の循環するビームを、第1の光ビームと調整可能な光学望遠鏡のビームに分割する(335)。

【0056】

第2のサーキュレータは、第2の光ビームを基準光学望遠鏡まで循環させる(340)。次いで、第2のミラーが、第2の光ビームを反射する(345)。次いで、第2のサーキュレータは、第2の光ビームおよび基準光学望遠鏡のビームを含む第2の循環するビームを、第2のダイクロイックビームスプリッタまで循環させる(350)。第2のダイクロイックビームスプリッタは、第2の循環するビームを、第2の光ビームと基準光学望遠鏡のビームに分割する(355)。

【0057】

第1の光ビームおよび第2の光ビームが干渉計に入力される(360)。干渉計は、同相信号および直交信号を出力し、これらの信号が一体となって正弦波信号を形成する(365)。次いで、少なくとも1つのプロセッサが、この正弦波信号をフィルタリングして高周波信号および低周波信号を形成する(370)。ステージ制御装置は、低周波信号を使用することによって変換ステージを制御する(375)。ファイバストレッチャ制御装置は、高周波信号を使用することによってファイバストレッチャを制御する(380)。次いで、方法300が終了する(385)。

【0058】

図4は、本開示の少なくとも1つの実施形態による、図1の開示されたシステム100用の望遠鏡構成400を示す概略図である。具体的には、この図には、基本的な望遠鏡の幾何学的配列が示してあり、ここで、別々の望遠鏡410、420間のOPDが、これら2つの望遠鏡410、420間の光学的位相コヒーレンスを維持するように制御される。望遠鏡410は基準光学望遠鏡であり、望遠鏡420は調整可能な光学望遠鏡である。動作中、OPD台430上の干渉計を用いてOPDが検出され、制御装置は必要な訂正を決定する。低周波OPDは、移動可能な光学台440を用いて訂正される。高周波OPDは、光ファイバケーブル460を伸長させるファイバストレッチャ450を使用することによって訂正される。

【0059】

ある種の例示的な実施形態および方法を本明細書において開示してきたが、開示された技術の真の精神および範囲から逸脱することなく、このような実施形態および方法の変形ならびに修正を加えることができることが、前述の開示から当業者には明らかにできる。開示された技術には他の多くの例が存在するが、それぞれ詳細についてのみ互いに異なる

10

20

30

40

50

だけである。したがって、開示された技術は、添付の特許請求の範囲ならびに準拠法の規則および原理が必要とする範囲にのみ限定すべきものである。

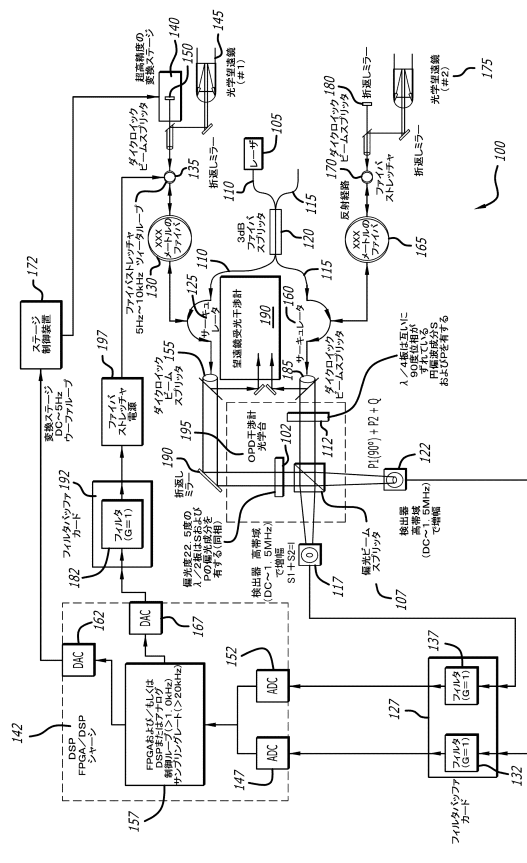
【符号の説明】

【 0 0 6 0 】

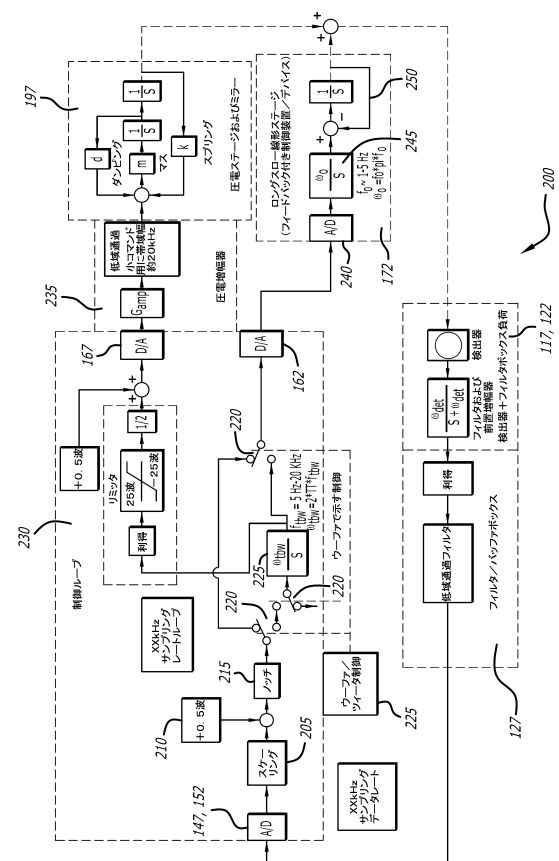
1 0 0	システム	
1 0 5	レーザ	
1 0 7	偏光ビームスプリッタ	
1 1 0	第 1 の光ファイバ	
1 1 5	第 2 の光ファイバ	
1 1 7	検出器	10
1 2 0	3 d B ビームスプリッタ	
1 2 2	検出器	
1 2 5	第 1 のサーキュレータ	
1 2 7	フィルタバッファカード	
1 3 0	ファイバ	
1 3 2	フィルタ	
1 3 5	ファイバストレッチャ	
1 3 7	フィルタ	
1 4 0	変換ステージ	
1 4 2	フィールドプログラマブルゲートアレイ (F P G A) デジタル信号プロセッサ	20
(D S P)	シャーシ	
1 4 5	調整可能な光学望遠鏡	
1 5 0	第 1 のミラー	
1 5 2	アナログデジタル変換器	
1 5 5	第 1 のダイクロイックビームスプリッタ	
1 5 7	D S P	
1 6 0	第 2 のサーキュレータ	
1 6 2	デジタルアナログ変換器	
1 6 5	ファイバ	
1 7 0	ファイバストレッチャ	30
1 7 2	ステージ制御装置	
1 7 5	基準光学望遠鏡	
1 8 0	第 2 のミラー	
1 8 2	フィルタ	
1 8 5	第 2 のダイクロイックビームスプリッタ	
1 9 0	望遠鏡受光干渉計 ミラー	
1 9 2	フィルタバッファカード	
1 9 5	O P D 干渉計光学台	
1 9 7	ファイバストレッチャ電源	
2 0 0	概略図	40
2 0 5	計数回路	
2 1 0	波	
2 1 5	ノッチフィルタ	
2 2 0	スイッチ	
2 2 5	ウーファ/ツイータ制御装置	
2 3 0	制御ループ	
2 4 5	積分器	
2 5 0	制御フィードバックループ	
3 0 0	方法	
4 0 0	望遠鏡構成	50

- 4 1 0 望遠鏡
 4 2 0 望遠鏡
 4 3 0 O P D 台
 4 4 0 光学台
 4 5 0 ファイバストレッチャ
 4 6 0 光ファイバケーブル

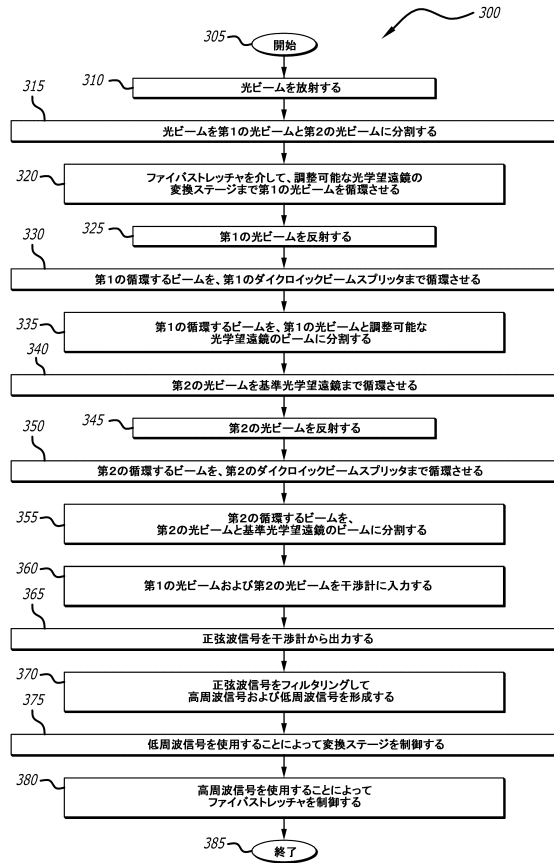
【図 1】



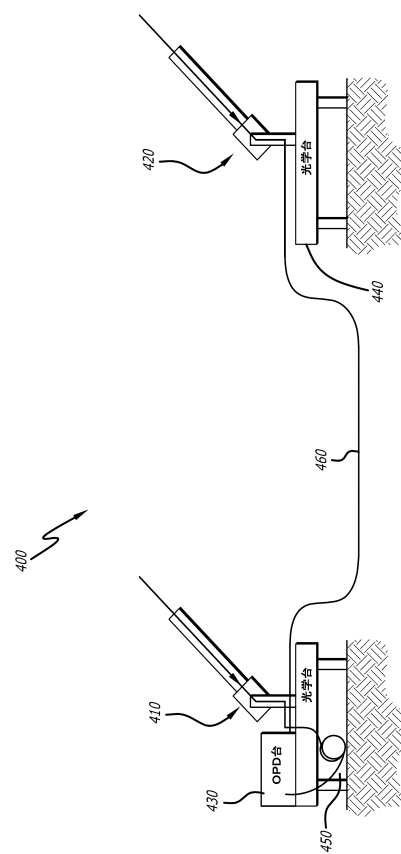
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 ボルティージョ, アンヘル アー.
アメリカ合衆国 ニューメキシコ 87111, アルバカーキ, バルサ コート ノースイースト 5726
- (72)発明者 ケイツ, マイケル シー.
アメリカ合衆国 ニューメキシコ 87122, アルバカーキ, オークランド アヴェニュー ノースイースト 10933

審査官 瀬戸 息吹

- (56)参考文献 米国特許第04505588(US, A)
米国特許第07154608(US, B1)
米国特許第06141099(US, A)
特開平04-343033(JP, A)
米国特許第05276500(US, A)
特開2012-060408(JP, A)
特開平05-060781(JP, A)
特開平05-172694(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 23/00 - 23/22
G02B 6/35
G02B 26/00 - 26/08
G01B 9/00 - 9/10