

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7628126号

(P7628126)

(45)発行日 令和7年2月7日(2025.2.7)

(24)登録日 令和7年1月30日(2025.1.30)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 S 17/34 (2020.01)

G 0 1 S 17/34

G 0 1 S 7/481(2006.01)

G 0 1 S 7/481

A

請求項の数 20 (全15頁)

(21)出願番号 特願2022-541239(P2022-541239)

(86)(22)出願日 令和2年12月29日(2020.12.29)

(65)公表番号 特表2023-509710(P2023-509710
A)

(43)公表日 令和5年3月9日(2023.3.9)

(86)国際出願番号 PCT/US2020/067361

(87)国際公開番号 WO2021/138358

(87)国際公開日 令和3年7月8日(2021.7.8)

審査請求日 令和5年10月4日(2023.10.4)

(31)優先権主張番号 62/957,050

(32)優先日 令和2年1月3日(2020.1.3)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31)優先権主張番号 62/960,686

(32)優先日 令和2年1月13日(2020.1.13)

最終頁に続く

(73)特許権者 520390450

オーロラ・オペレーションズ・インコー
ポレイティッドAURORA OPERATIONS,
INC.アメリカ合衆国 15222 ペンシルベ
ニア州 ピッツバーグ スモールマン ス
トリート 16541654 Smallman Stree
t, Pittsburgh, PA 1
5222, UNITED STATES
OF AMERICA

(74)代理人 100107456

弁理士 池田 成人

(74)代理人 100162352

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ソリッドステートビームステアリングを含む高解像度周波数変調連続波 L i D A R

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ソリッドステート周波数変調連続波 (FMCW) 光検出および距離測定 (L i D A R) システムの焦点平面アレイ (FPA) システムとして、

L i D A Rチップ上のスイッチ可能なコヒーレントピクセルアレイ (SCPA、S w i t c h a b l e C o h e r e n t P i x e l A r r a y) —前記 SCPAは、コヒーレントピクセル (CP) を含み、それぞれの前記コヒーレントピクセルは、コヒーレント光を放出するように構成される—と、

前記 SCPA から放出されるコヒーレント光を1つ以上の光ビームとして環境内に指向させるように位置するレンズシステム—前記1つ以上の光ビームは、それぞれ特定の角度で放出され、前記1つ以上の光ビームの波長は、一定の波長範囲にわたって調整され、前記特定の角度は、前記一定の波長範囲にわたって調整された前記波長と、前記1つ以上の光ビームを形成する前記コヒーレント光を生成した前記 L i D A Rチップ上の前記 CP の位置とに部分的に基づく—と、を含む焦点平面アレイシステム。

【請求項2】

前記焦点平面アレイシステムは、

前記 SCPA の互いに異なる CP の選択的活性化に部分的に基づき、前記環境内で2次元で前記1つ以上の光ビームを第1スキャンング解像度でスキャンするように構成される請求項1に記載の焦点平面アレイシステム。

【請求項3】

前記焦点平面アレイシステムは、

前記レンズシステムから放出される前記1つ以上の光ビームを前記環境内に回折させるように位置するが、回折量は、前記1つ以上の光ビームの前記波長に部分的に基づく回折格子をさらに含み、

前記回折格子の回折量が前記第1スキャニング解像度よりも細かい第2スキャニング解像度を提供するように変更される請求項2に記載の焦点平面アレイシステム。

【請求項4】

前記回折格子は、第1回折次数の光を主に放出するブレード格子 (Blazed Grating) である請求項3に記載の焦点平面アレイシステム。

【請求項5】

前記回折格子は、反射型回折格子である請求項3に記載の焦点平面アレイシステム。

【請求項6】

前記回折格子は、透過型回折格子である請求項3に記載の焦点平面アレイシステム。

【請求項7】

前記SCPAの第1セットのCPは、前記第1セットの各CPから放出されたコヒーレント光が前記環境内の第1連続線のそれぞれのセクションにマッピングされ、

前記SCPAの第2セットのCPは、前記第2セットの各CPから放出されたコヒーレント光が前記環境内の前記第1連続線とは異なる第2連続線のそれぞれのセクションにマッピングされる請求項3に記載の焦点平面アレイシステム。

【請求項8】

前記1つ以上の光ビームの一部は、環境内のオブジェクトに反射され、SCPAの少なくとも2つのCPのグループによって検出され、

それぞれのCPのグループは、前記環境の異なる領域に対応し、

スライディング離散フーリエ変換 (SDFT、Sliding Discrete Fourier Transform) が前記1つ以上の光ビームの検出された部分から前記オブジェクトの角度位置 (Angular Position) を補間するために使用される請求項1に記載の焦点平面アレイシステム。

【請求項9】

コヒーレント光を前記焦点平面アレイシステムに提供するFMCWソースによって放出される前記コヒーレント光の周波数応答は、三角波形であり、SDFTに対するピクセル時間と同じ周期を有する請求項8に記載の焦点平面アレイシステム。

【請求項10】

第1FMCWソースおよび第2FMCWソースは、コヒーレント光を前記焦点平面アレイシステムに提供するように構成され、

第1FMCWソースは、第1位相で三角波形である第1周波数応答を有するコヒーレント光を放出するように構成され、

第2FMCWソースは、第2位相で三角波形である第2周波数応答を有するコヒーレント光を放出するように構成され、

前記第2位相は、前記第1位相とは180度異なる請求項8に記載の焦点平面アレイシステム。

【請求項11】

ソリッドステート周波数変調連続波 (FMCW) 光検出および距離測定 (LIDAR) システムとして、

コヒーレント光を放出するレーザーソースと、

LIDARチップ上のスイッチ可能なコヒーレントピクセルアレイ (SCPA、Switchable Coherent Pixel Array) - 前記SCPAは、少なくとも前記レーザーソースからの前記コヒーレント光を用いて1つ以上のコヒーレントピクセル (CP) を介して前記コヒーレント光を選択的に放出するように構成される - と、

前記SCPAから放出されるコヒーレント光を1つ以上の光ビームとして環境内に指向させるように位置するレンズシステム - 前記1つ以上の光ビームは、それぞれ特定の角度

10

20

30

40

50

で放出され、前記1つ以上の光ビームの波長は、一定の波長範囲にわたって調整され、前記特定の角度は、前記一定の波長範囲にわたって調整された前記波長と、前記1つ以上の光ビームを形成する前記コヒーレント光を生成した前記LiDARチップ上の前記CPの位置とに部分的に基づく一と、を含むLiDARシステム。

【請求項12】

前記LiDARシステムは、

前記SCPAの互いに異なるCPの選択的活性化に部分的に基づき、前記環境内で2次元で前記1つ以上の光ビームを第1スキニング解像度でスキャンするように前記LiDARチップに指示するように構成されるコントローラをさらに含む請求項11に記載のLiDARシステム。

【請求項13】

前記ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、

前記レンズシステムから放出される前記1つ以上の光ビームを前記環境内に回折させるように位置するが、回折量は、前記1つ以上の光ビームの前記波長に部分的に基づく回折格子をさらに含み、

前記回折格子の回折量が前記第1スキニング解像度よりも細かい第2スキニング解像度を提供するように変更される請求項12に記載のLiDARシステム。

【請求項14】

前記回折格子は、第1回折次数の光を主に放出するブレード格子(Blazed Grating)である請求項13に記載のLiDARシステム。

【請求項15】

前記回折格子は、反射型回折格子である請求項13に記載のLiDARシステム。

【請求項16】

前記回折格子は、透過型回折格子である請求項13に記載のLiDARシステム。

【請求項17】

前記SCPAの第1セットのCPは、前記第1セットの各CPから放出されたコヒーレント光が前記環境内の第1連続線のそれぞれのセクションにマッピングされ、

前記SCPAの第2セットのCPは、前記第2セットの各CPから放出されたコヒーレント光が前記環境内の前記第1連続線とは異なる第2連続線のそれぞれのセクションにマッピングされる請求項13に記載のLiDARシステム。

【請求項18】

前記1つ以上の光ビームの一部は、環境内のオブジェクトに反射され、前記SCPAの少なくとも2つのCPのグループによって検出され、

それぞれのCPのグループは、前記環境の異なる領域に対応し、

スライディング離散フーリエ変換(SDFT、Sliding Discrete Fourier Transform)が前記1つ以上の光ビームの検出された部分から前記オブジェクトの角度位置(Angular Position)を補間するために使用される請求項11に記載のLiDARシステム。

【請求項19】

前記コヒーレント光の周波数応答は、三角波形であり、SDFTに対するピクセル時間と同じ周期を有する請求項18に記載のLiDARシステム。

【請求項20】

前記レーザーソースから放出される前記コヒーレント光は、第1位相で三角波形である周波数応答を有し、前記FMCW LiDARシステムは、

第2位相で三角波形である第2周波数応答を有するコヒーレント光を放出するように構成され、前記第2位相は、前記第1位相とは180度異なる第2レーザーソースをさらに含み、

前記SCPAから放出される前記コヒーレント光は、前記レーザーソースおよび前記第2レーザーソースから放出されるコヒーレント光をすべて含む請求項18に記載のLiDARシステム。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願についての相互参照

本出願は、全体の開示内容が本明細書に参照として含まれる2020年1月3日付に出願された米国仮出願番号第62/957、050号および2020年1月13日付に出願された米国仮出願番号第62/960、686号についての35 U. S. C § 119 (e) 下の優先権を主張する。

【0002】

本開示の内容は、一般的に、FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) LiDAR (Light Detecting and Range) に関するものであって、より具体的には、ソリッドステート (Solid State) FMCW LiDAR システムに関する。

【背景技術】

【0003】

従来のLiDARシステムは、レーザービームをステアリングするために機械的移動部品およびバルク (Bulk) 光学レンズ素子 (すなわち、屈折レンズシステム) を使用する。そして、多数の応用 (例えば、自動車) の場合、かさばりすぎ、高価で信頼できない。

【発明の概要】

【0004】

ソリッドステート周波数変調連続波 (FMCW、Frequency Modulated Continuous Wave) 光検出および距離測定 (LiDAR) システムは、環境内の1つ以上のオブジェクトの深さ情報を決定するように構成される。ソリッドステートFMCW LiDAR システムは、焦点平面アレイ (FPA、Focal Plane Array) システムおよび1つ以上のレーザーソースを含む。1つ以上のレーザーソース (例えば、波長可変レーザーアレイ) は、FPA システムが1つ以上のビームを生成し、環境内にわたって前記1つ以上のビームをスキャン (例えば、2次元で) するように、FPA システムに光を提供する。FPA システムは、スイッチ可能なコヒーレントピクセルアレイ (SCPA、Switchable Coherent Pixel Array) およびレンズシステムを含む。SCPA は、LiDAR チップ上に位置し、コヒーレントピクセル (CP) を含む。それぞれのCPは、コヒーレント光を放出するように構成される。レンズシステムは、SCPA から放出されるコヒーレント光を1つ以上の光ビームとして環境内に指向させるように位置設定される。そして、1つ以上の光ビームは、それぞれ特定の角度で放出され、前記特定の角度は、部分的に前記1つ以上の光ビームを形成するコヒーレント光を生成したLiDAR チップ上のCPの位置に部分的に基づく。

【図面の簡単な説明】

【0005】

本開示の実施形態の他の利点および特徴は、添付の図面の例に関連する以下の詳細な説明および添付の特許請求の範囲からより確実に明らかになるであろう。

【0006】

【図1】 1つ以上の実施形態による光集積LiDARチップ (Integrated Photonic LiDAR Chip) 上のスイッチ可能なコヒーレントピクセルアレイの実装を示す。

【0007】

【図2a】 1つ以上の実施形態による4つのバージョンのコヒーレントピクセル (CP) を示す。

【図2b】 1つ以上の実施形態による4つのバージョンのコヒーレントピクセル (CP) を示す。

【図2c】 1つ以上の実施形態による4つのバージョンのコヒーレントピクセル (CP) を示す。

【図 2 d】 1つ以上の実施形態による 4つのバージョンのコヒーレントピクセル (CP) を示す。

【0008】

【図 3】 1つ以上の実施形態によるソリッドステート FMCW LiDAR システムにおける光ビームステアリング構造を示す。

【0009】

【図 4 a】 1つ以上の実施形態による透過型回折格子を含むソリッドステート FMCW LiDAR システムのための光ビームステアリング構造を示す。

【0010】

【図 4 b】 1つ以上の実施形態による反射型回折格子を含むソリッドステート FMCW LiDAR システムのための光ビームステアリング構造を示す。

10

【0011】

【図 5】 図 4 a および 図 4 b のソリッドステート LiDAR システムによって生成されたスキャンングおよび取得パターンの例を示す。

【0012】

【図 6】 1つ以上の実施形態によるソリッドステート FMCW LiDAR システムの CP とレーザーソースとの間の 2つの同期方法を示す。

【0013】

【図 7】 1つ以上の実施形態による FPA システムを含むソリッドステート LiDAR システムを示す。

20

【発明を実施するための形態】

【0014】

LiDAR システムは、システムの視野についての深さ情報 (例えば、1つ以上のオブジェクトについての距離、速度、加速度) を決定する。LiDAR システムは、周波数変調連続波 (FMCW) LiDAR である。FMCW LiDAR は、周波数変調されたコリメート光ビームをターゲットに指向することによって、オブジェクトの距離と速度を直接測定する。オブジェクトから反射した光である信号 (Signal) は、局部発振器 (LO) と呼ばれる前記ビームのタップバージョン (Tapped Version) とミキシングされる。その結果で生成される無線周波数 (RF) ビート信号の周波数は、追加測定が要求されるドップラーシフトによって補正されると、LiDAR システムからオブジェクトまでの距離に比例する。同時に行われるか、またはそうでない 2つの測定は、ターゲットの距離と速度情報を提供する。

30

【0015】

ソリッドステート (Solid State) FMCW LiDAR システムが本明細書で説明される。ソリッドステート LiDAR システムは、焦点平面アレイ (FPA、Focal Plane Array) システムおよびレーザーソースを含む。レーザーソースは、FPA システムにコヒーレント (Coherent) 光を提供する。FPA システムは、相互型システムであり得る。FPA システムは、レンズシステム、LiDAR チップ、およびさらに回折格子を含み得る。LiDAR チップは、光学レンズから焦点距離に配置されたソリッドステート 2次元 SCPA (Switchable Coherent Pixels Array) を含む。SCPA は、複数の CP (Coherent Pixel) を含む。FPA システムは、CP を選択的に活性化して (レーザーソースから受信した) 光を放出することができる。

40

各 CP は、光アンテナとコヒーレント光受信機を含む。光学レンズは、入射するビームの方向を焦点平面 (Focal Plane) の焦点 (Focused Spot) 位置にマッピングし、CP から放出される光をチップ上で CP の位置に応じて環境 (例えば、ソリッドステート FMCW LiDAR システムの周辺領域) で異なる角度にマッピングする。オンチップスイッチは、光を選択された CP にルーティングし、光学レンズを介してビームを個別角度位置にステアリングする。出射光の垂直および水平角度は、光学レンズの主軸 (Principal Axis) についてのチップの光アンテナの位置によって

50

決定される。マルチチャンネル個別ビームステアリングは、多数のスイッチネットワークで多数の光アンテナを同時にスイッチングすることによって達成される。

【0016】

一部の実施形態において、回折格子（透過型または反射型）が精密スキャン性能を提供するために使用される。回折格子は、レンズシステムから環境に放出される1つ以上のビームを回折するように配置される。回折格子は、光を複数の方向または回折次数に分割、屈折または反射する周期構造である。出射光の角度は、格子の周期、光ビームの波長、および入射角によって変わる。本技術分野の通常の技術者は、回折格子および入射角を設計して光が主に一方向（例えば、ブレード格子）、すなわち、一般的に一次（First Order）にのみ指向されるようにすることができる。一部の実施形態において、ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、FPAシステムが波長範囲にわたって光ビームを出力できるように調整可能な光源であるレーザーソースを含む。したがって、光源の波長を変化させることによって、ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、SCPAによって設定された2つの個別ステアリング位置の間で出射される光をステアリングすることができる。これにより、異なるCPを選択的に活性化することに関連するスキャンング解像度よりも微細なスキャンング解像度を提供し得る。

【0017】

光ファイバーおよび個別光学部品、例えば、光干渉計、光ディレイライン、光循環器などを用いた従来のFMCW LiDARシステムは、自動車およびロボット工学などの多くのアプリケーション分野で使用されるには、体積が大きく、高価で信頼性が低い。対照的に、前述のソリッドステートLiDARシステムは、1つの半導体チップに光ダイオードおよび光位相シフタなどの光電子部品だけでなく、前述した光学部品を統合することによって、これらの問題を克服する。さらに、ソリッドステートLiDARシステムは、チップ上でビームステアリング（Beam Steering）機能を実現し、システムで機械的に動く部品を除去することによって、コストとフォームファクタをさらに削減し、信頼性を向上させることができます。

【0018】

図1は、1つ以上の実施形態による光集積LiDARチップ111上のスイッチ可能なコヒーレントピクセルアレイ（SCPA、Switchable Coherent Pixel Array）の実装を示す。LiDARチップは、光集積回路（Photonic Integrated Circuit）である。チップは、複数の基本機能サブアレイ100を含み得る。それぞれのサブアレイ100は、光入出力（I/O）ポート102、選択的な1-K光スプリッタ103、および1つ以上のSCPA101を含み、ここでKは、整数である。1-K光スプリッタ103は、受動型でも能動型でもよい。それぞれの光I/Oは、オフチップ（Off-Chip）またはオンチップ（On-Chip）レーザー（例えば、レーザーソース）によって提供される周波数変調光源によって供給される。光I/Oの数を減らすために、選択的な1-K光スプリッタを介して光パワーがオンチップに分配され得る。図示の実施形態において、1-K光スプリッタ103のそれぞれの出力は、対応するSCPA101に供給される。図示の実施形態において、それぞれのSCPA101は、M個のコヒーレントピクセル105および光スイッチネットワーク104を含み、ここでMは、整数である。一部の状況によっては、1つ以上の光スイッチネットワーク104、選択的な1-K光スプリッタ103、またはこれらの一部の組み合わせは、単に光スイッチと呼ばれる可能性があることに留意されたい。光スイッチは、入力ポート102をコヒーレントピクセル内の光アンテナにスイッチ可能に結合するように構成され、これにより入力ポートと光アンテナとの間に光路を形成する。光スイッチは、複数の能動光スプリッタを含み得る。一部の実施形態において、光スイッチは、FMCWトランシーバのスキャン期間中に周波数変調されたレーザー信号を一度に1つずつ光アンテナのそれぞれに光学的に結合する。

【0019】

光スイッチネットワーク104は、距離測定および検出のために周波数変調された光（

10

20

30

40

50

F M L i g h t) を送受信するようにM個のコヒーレントピクセルのうち、1つ以上を選択する。コヒーレントピクセルは、チップ上に物理的に1次元アレイ（例えば、線形アレイ）または2次元アレイ（例えば、長方形または規則性アレイ（例えば、グリッドのような非ランダム型配列））に配列され得る。一部の実施形態において、選択されたコヒーレントピクセルは、光を自由空間に送信し、リターンされる光信号を受信し、コヒーレント検出を行い、光信号をデジタル信号処理のために電気信号に直接変換できる。受信された光信号は、検出できるようにスイッチネットワークを介して再び伝播されず、代わりに（例示された実施形態には示されていないが）出力が個別にルーティングされ、これは損失を低減し、それに応じて信号品質を改善することに留意されたい。

【0020】

図2a～図2dは、1つ以上の実施形態による4つのバージョンのコヒーレントピクセル(CP)を示す。図2aおよび図2bにおいて、光スイッチネットワークからの光がCPの光入力ポート203に提供される。光スプリッタ212は、光をTX信号205および局部発振器214(L O、L o c a l O s c i l l a t o r)と呼ばれる2つの出力ポートに分割する。TX信号215は、1つの偏光（例えば、TM）を有する偏光分割光アンテナ210を使用してチップから環境に直接送信される。偏光分割光アンテナ210は、測定対象オブジェクトから反射したビームを収集し、直交偏光（例えば、TE）を導波管213に結合し、これを光ミキサー201に直接送信する。この場合、偏光分割光アンテナ210によって受信された光信号は、追加のスプリッタまたは「疑似サーキュレータ」によってさらに分割されていない。ポート213とLO214から受信した信号は、光ミキサー201によるコヒーレント検出のためにミックスされ、このとき、光ミキサー201は、図2aのような平衡2×2光結合器201(B a l a n c e d 2×2 O p t i c a l C o m b i n e r)または図2bのような光学ハイブリッド209であり得る。最後に、図2aにおける一対のフォトダイオード207(PD)と図2bにおける4つのPDがビートトーン検出のために光信号を電気信号に変換する。この設計は、すべての単一のコヒーレントピクセルについて非常に効率的な統合サーキュレータを実装し、超高感度のオンチップモノスタティックFMCW L i D A Rを可能にする。

図2cおよび図2dに示されるように、TX信号215およびLO214は、追加の柔軟性を提供するために個別にCPに供給され得る。例えば、TX信号または局部発振器は、2つの個々のスイッチネットワークを介してCPにルーティングできる。

【0021】

図3は、1つ以上の実施形態によるソリッドステートFMCW L i D A Rシステムにおける光ビームステアリング構造を示す。ソリッドステートFMCW L i D A Rシステムは、L i D A Rチップ111およびレンズシステム300を含む。図示の実施形態において、L i D A Rチップ111上のSCPAのCP105は、レンズシステム300の焦点距離に位置する。レンズシステム300は、それぞれのCP105の物理的位置を固有の方向にマッピングする1つ以上の光学素子（例えば、正レンズ、フリーフォームレンズ、フレネルレンズなど）を含む。レンズシステム300は、複数のアンテナのそれぞれのアンテナから放出された送信信号を視野の対応する部分（例えば、環境の領域）に投影し、前記送信信号の反射をアンテナに提供するように構成される。それぞれの光アンテナは、互いに異なる角度で光を送受信する。したがって、異なるアンテナへの転換を通じて、離散光ビームスキヤニング(D i s c r e t e O p t i c a l B e a m S c a n n i n g)が達成される。レーザービーム301の水平角 θ_h および垂直角 θ_v は、レンズシステム300の主軸(P r i n c i p a l A x i s)に対する光アンテナを含むCPの位置によって設定される。SCPAは、異なる方向にスキャンするときに同じまたは異なるステップのサイズを有し得る。例えば、L i D A Rチップ111の総CP数によって制限されるSCPA支援離散ビームスキヤニング(S C P A - E n a b l e d D i s c r e t e B e a m S c a n n i n g)は、1つの次元で細かい角度のステップサイズを有し、他の次元で粗い角度のステップサイズを有し得る。

【0022】

図4aは、1つ以上の実施形態による透過型回折格子400を含むソリッドステートFMCW LiDARシステムのための光ビームステアリング構造を示す。ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、LiDARチップ111、レンズシステム300、および透過型回折格子400を含む。LiDARチップ111およびレンズシステム300は、環境に出射されるビーム400、401を生成するために図3を参照して説明したように動作する。透過型回折格子400は、レンズシステム300から出射されるビーム400、401の方向を変更する。回折角度は、LiDARチップ111に対する入力光源の光学波長を調整して変更されることによって、レンズシステム300からの出力の（例えば、CP放出光の位置に基づく）粗い離散ステアリング位置の間で連続的なステアリングを許容する。例えば、 λ_1 、 λ_2 および λ_3 は、3つの異なる光学波長を示し、示されるように、透過型回折格子は、互いに異なる波長の光を互いに異なる位置に回折させる。したがって、ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、環境の特定の領域にビームを配置するために異なるCPから光を放出し（すなわち、粗い光学ステアリング）、ビームのより微細な光学ステアリングのために放出されたビームの波長を調整（例えば、 λ_{min} から λ_{max} に）できる。格子は、1D格子または2D格子であり得る。一部の実施形態において、格子は、大部分の電力を単一の順序で集中させるように設計されたブレード格子（Blazed Grating）である。一部の実施形態において、格子は、例えば、望ましくない高次（Higher Order）に漏れたエネルギーを抑制するように設計されたカスタム型2D格子であり、1D格子またはこれらの一部の組み合わせについて発生し得るクロマチック線形スキャン（Chromatic Linear Scanning）の角度歪曲を補償する。

【0023】

図4bは、1つ以上の実施形態による反射型回折格子410を含むソリッドステートFMCW LiDARシステムのための光ビームステアリング構造を示す。図4bのソリッドFMCW LiDARシステムは、図4aのソリッドステートFMCW LiDARシステムと実質的に同じ方法で動作する。

【0024】

したがって、図4aおよび図4bの格子は、レンズシステム300から放出された1つ以上のビームを環境に回折させるように位置し、回折の量は、1つ以上のビームの波長に部分的に基づく。ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、波長の範囲にわたって1つ以上のビームの波長を調整することによって（すなわち、SCPAの互いに異なるCPの選択的活性化に基づいて）、回折量が第1スキャンング解像度よりも細かい第2スキャンング解像度（すなわち、格子の解像度）を提供するように変更できる。

【0025】

図5は、図4aおよび図4bのソリッドステートLiDARシステムによって生成されたスキャンングおよび取得パターンの例を示す。 λ_{min} から λ_{max} までのクロマチックスキャンにより、各コヒーレントピクセルは、自由空間内で連続的なラインのセクション（以下、スキャンラインと呼ぶ）を生成でき、環境に投影された互いに異なるスキャンラインにマッピングされる互いに異なるコヒーレントピクセル（例えば、CP1、CP2）を生成することができる。

【0026】

FMCW LiDARは、各スキャンラインについての連続信号を受信し、これは、通常、完全な距離および速度の測定を行い、個々のLiDARポイントを生成するために必要なタイムウィンドウ（例えば、数ミリ秒）よりもはるかに（例えば、10-100倍）長い。FMCW LiDARの距離および速度の測定は、主に高速フーリエ変換（FFT）形式のフーリエ変換から抽出された情報に基づく。各スキャンラインについて、連続的なタイムドメイン信号の連続的かつ非重畳的な分割についてFFTが行われ得る。例えば、必要なタイムウィンドウが10 μ sであり、スキャンラインが1msである場合、一般的に100回のFFTが行われ、~100個のLiDARポイントを生成する。スライディング離散フーリエ変換（SFFT、Sliding Discrete Fourie

10

20

30

40

50

r Transform) は、各ピクセルグループ内で連続スキャンの角度位置を補間することによって、一般的な高速フーリエ変換 (FFT) と比較してはるかに高い解像度を達成することができる。SDF Tを使用すると、測定間隔 (角度ステップサイズ) を必要なタイムウィンドウの一部に設定することができる。例えば、タイムウィンドウが $10\ \mu\text{s}$ であり、スキャンラインが 1ms である場合、もし測定間隔が $5\ \mu\text{s}$ に設定されれば、200回のSDF T遂行を通じて~200個のLiDARポイントを生じることができる。LiDARポイントの数は、非重畳FFTの場合に比べて2倍になる。測定間隔が小さいほど、固定スキャンラインについてのポイントの個数は増加できる。隣接する2つのサブフレームのスキャンラインの間の選択的空間重畳は、SDF Tウィンドウがスライドするのに十分なヘッドルームを保証する。このように、ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、1つ以上のビームを環境に投影することができる。ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、複数のCPグループを含むSCPAを含む。各CPグループは、環境の他の領域に対応する。1つ以上のビームの一部は、環境内のオブジェクトに反射され、少なくとも2つのグループのCPによって感知される。ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、SDF Tを使用して1つ以上のビームの検出された部分からオブジェクトの角度位置を補間することができる。

【0027】

FMCWレーザーソースは、時間ドメインでLiDARピクセルに同期する周波数チャープを生成する。各ピクセルについて、FMCW LiDARの周波数応答の1つの上向きランプと1つの下向きランプを使用してドップラー効果に基づいて速度と距離を同時に計算できる。

【0028】

図6は、1つ以上の実施形態によるソリッドステートFMCW LiDARシステムのCPとレーザーソースとの間の2つの同期方法を示す。ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、本明細書に記載の実施形態のいずれかであり得る。図6は、ソリッドステートFMCW LiDARシステムのレーザーソースをチャープする2つの方法 (AおよびB) を示す。横軸は時間、縦軸は周波数である。方法Aにおいて、光は、周波数応答がSDF Tのピクセル時間と同じ周期を有する三角波形になるようにチャープされる。ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、ビームを環境にスキャンし、スキャン中に環境内のオブジェクトから反射した光の周波数を測定する。各測定には、有限の時間がかかる。2つの測定 - 1つはレーザー周波数が線形的に増加する間 (上向きランプ)、ほかの1つはレーザー周波数が線形的に減少する間 (下向きランプ) - が単一ポイント測定に使用される。ピクセル時間は、上向きランプおよび下向きランプの連続したペアを示す。

【0029】

方法Bにおいて、レーザーソース (または多数のソース) は、2つの相補的な (Complementary) 三角形チャープ信号 (チャープ1およびチャープ2と表記される) が存在するようにチャープされる。このような相補的なチャープ信号は、同じ光ビームに適用されるか、または2つの個別ビームに適用されることもできる。例えば、2つのビームの場合、第1レーザー光源は、チャープ1周波数応答を有するようにチャープされ、第2レーザー光源は、同時にチャープ2周波数応答を有するようにチャープされる。したがって、レーザー光源は、相補的な方法で同時にチャープされ (すなわち、同じパターンを有するが、位相が 180 度異なる)、単一のピクセル時間にわたって上向きランプおよび下向きランプ測定を同時に提供する。単一のレーザーソースを使用する実施形態において、ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、レーザーソースをチャープ (例えば、チャープ1) し、スキャンする間、オブジェクトについての上向きランプ測定を行う。次に、ソリッドステートFMCW LiDARシステムは、相補的な方法でビームをチャープ (例えば、チャープ2) し、(オブジェクトの同じ位置について) 下向きランプ測定を行う。この場合、両方のチャープ信号の周期が単一のフーリエ変換を行うのに必要なタイムウィンドウと同じである必要はない。これはFMCWソースについてのチャーピ

ング帯域幅の要求事項を軽減する。両方の方法も、各SDFTウィンドウで周波数上向きランプおよび下向きランプについて常に同じ持続時間を確認するように保証する。複雑な信号（例えば、光ハイブリッドのI/Qなど）を生成するCPを使用することによって、FMCW測定（速度および距離計算）を曖昧さなしに行い得る。ローカル周波数変調は、クロマチックスキャンに使用できる遅く変化する波長スイープ（Wavelength Sweep）の上に追加されることがあることに留意されたい。

【0030】

図7は、1つ以上の実施形態によるFPAシステムを含むソリッドステートLiDARシステムを示す。FPAシステムは、相互型システムであり得る。FPAシステムは、光学回折格子705、レンズシステム300、およびLiDARチップ111を含む。回折格子は、図4aおよび図4bで説明したように、透過型（Transmissive）回折格子または反射型（Reflective）回折格子であり得る。LiDARチップ111内のCPは、FPAドライバ710によって制御される1つ以上のSPCA101の一部である。LiDARチップ111の1つ以上の個別CPは、光を放出および受信するように活性化できる。LiDARチップ111によって放出された光は、Q-チャンネルレーザアレイ715によって生成される。Q-チャンネルレーザアレイ715は、Q個の並列チャンネルを有するレーザアレイであり、ここでQは、整数である。Q-チャンネルレーザアレイ715は、LiDARチップ111と直接統合できるか、またはLiDARチップ111と一緒にパッケージ化された別のモジュールであり得る。Q-チャンネルレーザアレイ715は、レーザコントローラ720によって制御される。一部の実施形態において、Q-チャンネルレーザアレイ715は、一定の波長範囲にわたって調整（Tunable）されることができる。

【0031】

レーザコントローラ720は、デジタル-アナログコンバータ730を介してLiDAR処理エンジン725から制御信号を受信する。また、処理は、FPAドライバ710を制御し、LiDARチップ111からデータを送受信する。

【0032】

LiDAR処理エンジン725は、マイクロコンピュータ735を含む。マイクロコンピュータ735は、FPAシステムから来るデータを処理し、FPAドライバ710およびレーザコントローラ720を介してFPAシステムに制御信号を送信する。LiDAR処理エンジン725は、また、Nチャンネル受信機740を含む。信号は、Nチャンネル受信機740によって受信され、前記信号は、Mチャンネルアナログ-デジタルコンバータ（ADC）745のセットを用いてデジタル化される。

【0033】

追加構成情報

図面および前述の説明は、単に例示として好ましい実施形態に関する。前述のように、本明細書に開示された構造および方法の代替的な実施形態は、請求項の原理から逸脱することなく採用できる実行可能な代替案として容易に認識されることが留意すべきである。

【0034】

詳細な説明は、多数の詳細を含むが、これらは本発明の範囲を限定するものと解釈されるべきではなく、単に異なる例を例示するものと解釈されるべきである。本開示内容の範囲は、前記で詳細に説明していない他の実施形態を含むことを理解するべきである。本明細書に開示された方法および装置の配列、動作および詳細について、添付の特許請求の範囲で定義された思想および範囲から逸脱することなく、通常の技術を有する者に自明である様々な他の変形、変化および変更が行われ得る。したがって、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲およびその法的均等物によって決定されるべきである。

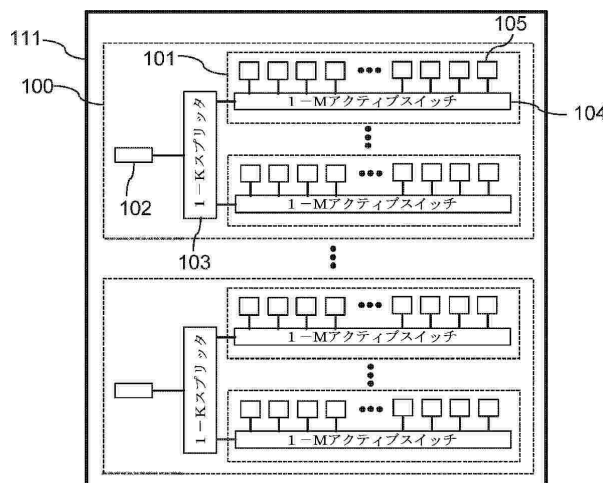
【0035】

代替実施形態は、コンピュータハードウェア、ファームウェア、ソフトウェアおよび／またはこれらの組み合わせで実装される。実装例は、プログラマブルプロセッサによる実行のために機械読み取り可能な格納装置に実質的に具体化されたコンピュータプログラム

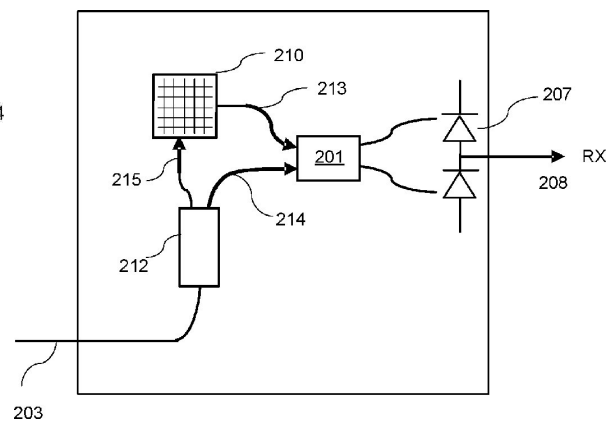
製品として実装でき、方法ステップは、入力データについて動作して出力を生成することにより機能を行うために命令語プログラムを実行するプログラマブルプロセッサによって行われ得る。実施形態は、有利には、データ格納システム、少なくとも1つの入力装置および少なくとも1つの出力装置からデータおよび命令語を受信し、これからデータおよび命令語を送信するように結合された少なくとも1つのプログラマブルプロセッサを含むプログラマブルシステムで実行可能な1つ以上のコンピュータプログラムで実装できる。それぞれのコンピュータプログラムは、高度な手続き的またはオブジェクト指向のプログラミング言語または必要に応じてアセンブリまたは機械語で実装でき、任意の場合、言語は、コンパイルまたはインタープリトされた言語であり得る。適切なプロセッサは、例として、汎用および特殊目的のマイクロプロセッサを含む。一般的に、プロセッサは、リードオンリーメモリ（ROM）および／またはランダムアクセスメモリ（RAM）から命令語およびデータを受信する。一般的に、コンピュータは、データファイルを格納するための1つ以上の大容量の格納装置を含み、このような装置は、内部ハードディスクおよびリムーバブルディスクなどの磁気ディスク、光磁気ディスク、および光ディスクを含む。コンピュータプログラム命令語およびデータを実質的に実装するのに適切な格納装置は、例として、EPROM、EEPROMおよびフラッシュメモリ装置などの半導体メモリ装置、内部ハードディスクおよびリムーバブルディスクなどの磁気ディスク、光磁気ディスク、およびCD-ROMディスクを含むあらゆる形態の不揮発性メモリを含む。前述のすべては、特定用途向け集積回路（ASIC、Application-Specific Integrated Circuit）および他の形態のハードウェアによって補完されるか、またはこれに統合され得る。

【図面】

【図 1】



【図 2 a】



10

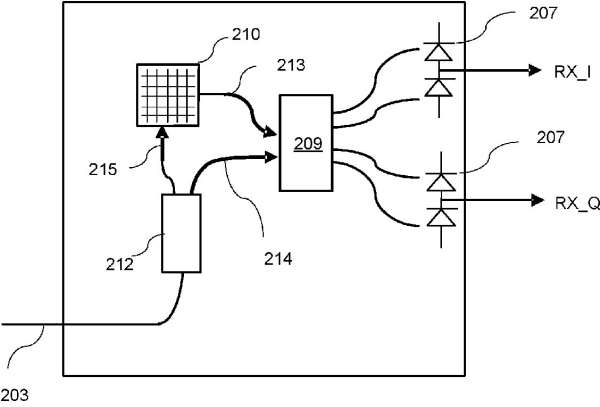
20

30

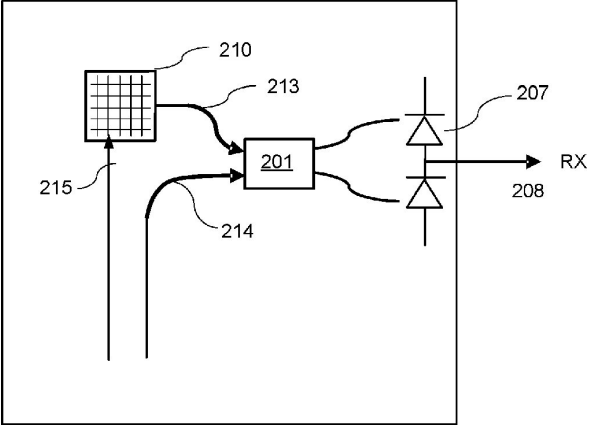
40

50

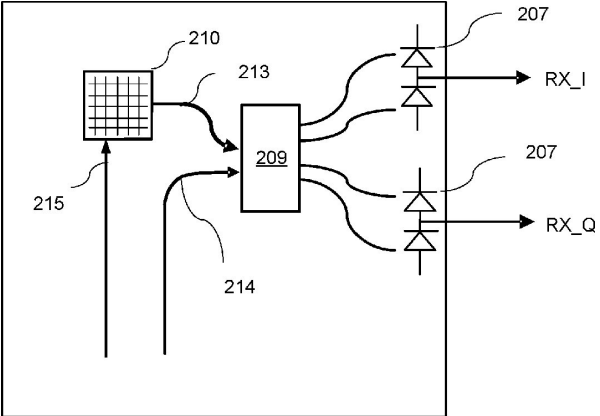
【図 2 b】



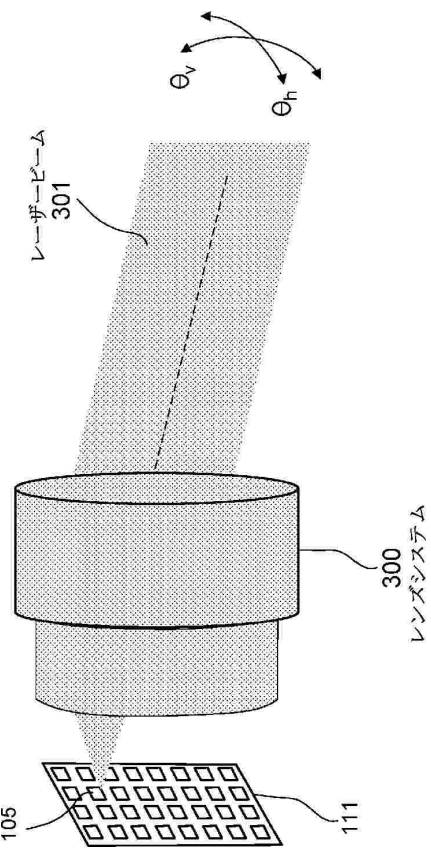
【図 2 c】



【図 2 d】



【図 3】



10

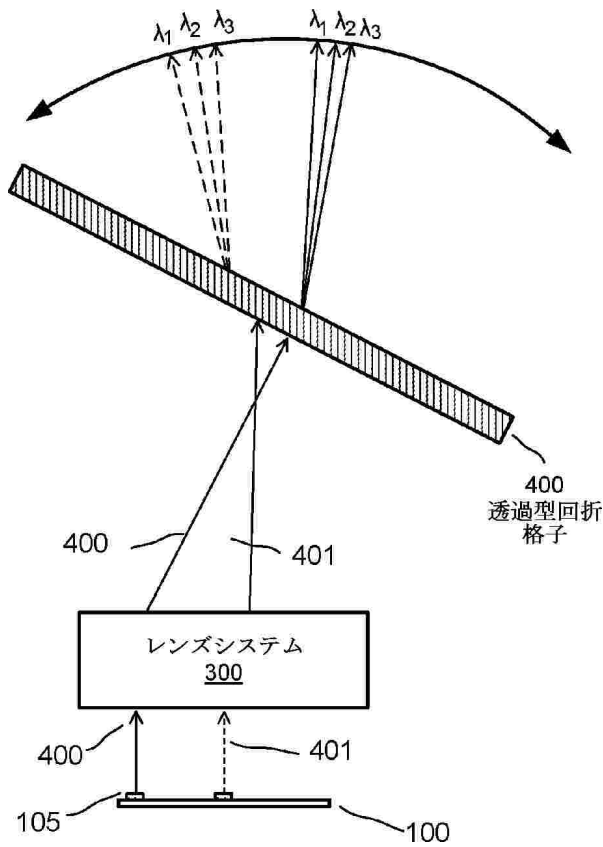
20

30

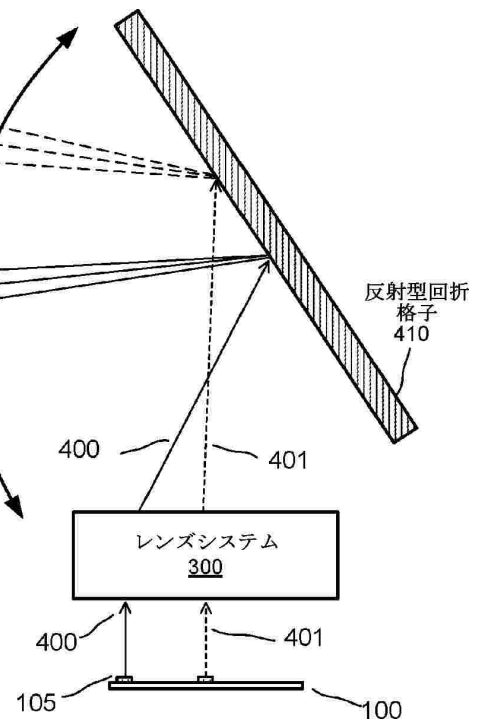
40

50

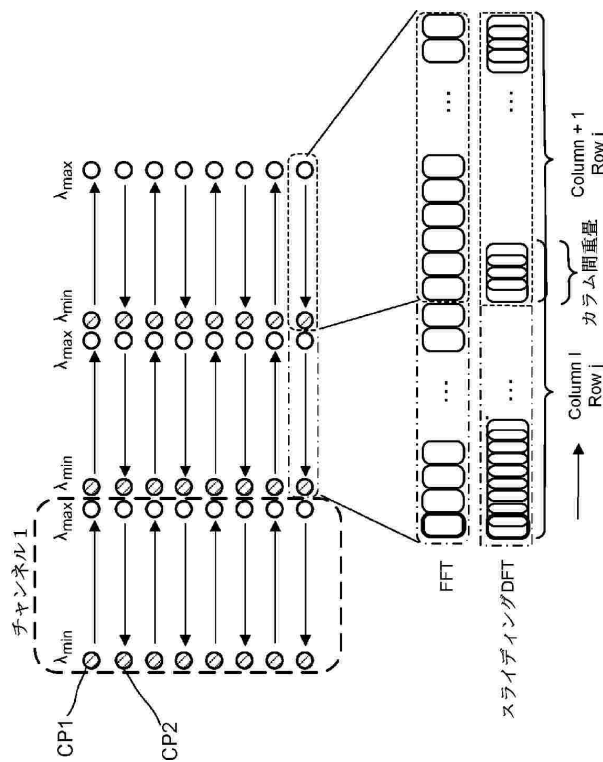
【図 4 a】



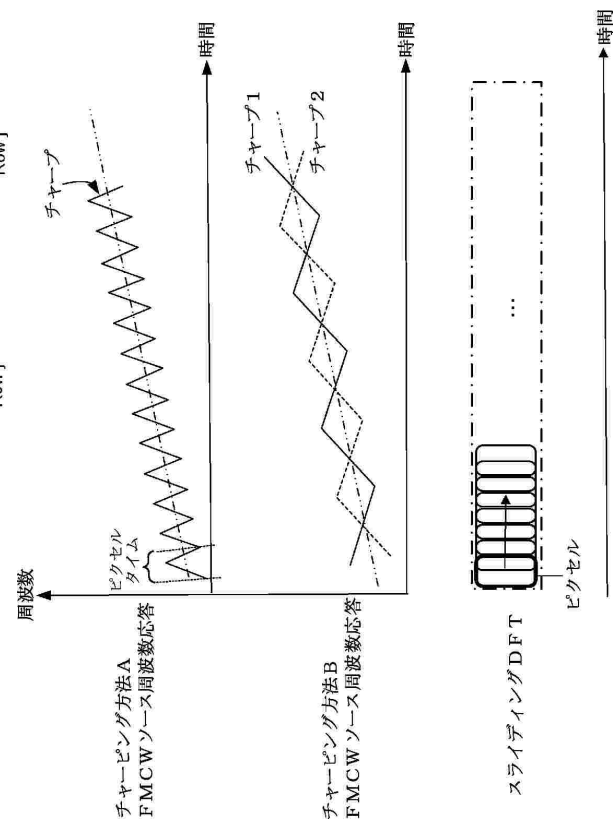
【図 4 b】

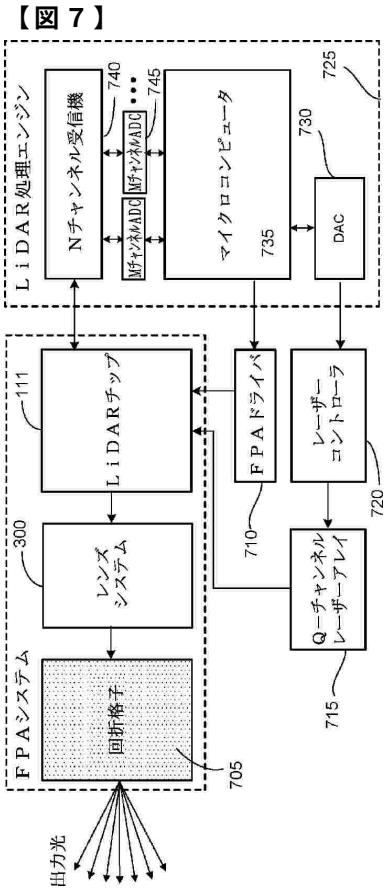


【圖 5】



【図 6】





10

20

30

40

50

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

弁理士 酒巻 順一郎

(74)代理人 100123995

弁理士 野田 雅一

(72)発明者 リン・セン

アメリカ合衆国 94054 カリフォルニア サンタ クララ パトリック ヘンリー ドライヴ 4
701 ナンバー 18 アワーズ テクノロジー インコーポレイテッド

(72)発明者 ホセイニ・アミール

アメリカ合衆国 94054 カリフォルニア サンタ クララ パトリック ヘンリー ドライヴ 4
701 ナンバー 18 アワーズ テクノロジー インコーポレイテッド

審査官 佐藤 宙子

(56)参考文献

特開2018-200273 (JP, A)

特開2018-049223 (JP, A)

特表2012-502301 (JP, A)

特開2018-179658 (JP, A)

国際公開第2019/031327 (WO, A1)

米国特許出願公開第2020/0209361 (US, A1)

米国特許出願公開第2020/0379185 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01S 7/48- 7/51

G01S 17/00-17/95

G01C 3/00- 3/32