

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5686342号
(P5686342)

(45) 発行日 平成27年3月18日 (2015. 3. 18)

(24) 登録日 平成27年1月30日 (2015.1.30)

(51) Int. Cl.		F I
GO 1 S 17/32	(2006. 01)	GO 1 S 17/32
GO 1 S 17/42	(2006. 01)	GO 1 S 17/42
GO 1 S 17/89	(2006. 01)	GO 1 S 17/89

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2011-15915 (P2011-15915)	(73) 特許権者	504157024 国立大学法人東北大学 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
(22) 出願日	平成23年1月28日 (2011. 1. 28)	(73) 特許権者	504145342 国立大学法人九州大学 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号
(65) 公開番号	特開2012-154863 (P2012-154863A)	(74) 代理人	110001210 特許業務法人Y K I 国際特許事務所
(43) 公開日	平成24年8月16日 (2012. 8. 16)	(72) 発明者	犬竹 正明 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
審査請求日	平成26年1月27日 (2014. 1. 27)	(72) 発明者	池地 弘行 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 国立大学法人九州大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザレーダ装置およびレーザ合成開口レーダ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ光の送信および受信によって目標物の情報を取得するレーザレーダ装置において、

時間変化に対し周波数が変化する検出用信号を生成する検出用信号生成部と、
前記検出用信号によってレーザ光を変調する変調部と、
前記変調部によって変調されたレーザ光を送信する送信部と、
レーザ反射光を受信する受信部と、
前記受信部によって受信されたレーザ反射光に対し復調を行う復調部と、
参照用信号と、前記復調部によって復調された復調信号とのタイミングを、前記レーダ
装置の位置に応じて設定する遅延時間設定部と、

前記遅延時間設定部によってタイミングが調整された前記参照用信号を生成する参照用
信号生成部と、

前記参照用信号と前記復調信号との差異を示す差異信号を生成する差異信号生成部と、
前記差異信号に基づいて、目標物の情報を取得する情報記録・処理部と、

自らの位置を測定する測位部と、を備え、

前記遅延時間設定部は、

前記測位部によって測定された位置と、予め定められた基準位置との間の距離に応じて、
前記参照用信号を遅延させる遅延手段を備えることを特徴とするレーザレーダ装置。

【請求項2】

請求項 1 に記載のレーザレーダ装置において、
 前記検出用信号は、
 時間変化に対し周波数が線形に変化するチャープ変調信号であり、
 前記差異信号生成部は、
 前記遅延時間設定部によってタイミングが調整された前記参照用信号と、前記復調信号との周波数差を信号周波数とする信号を、前記差異信号として生成することを特徴とするレーザレーダ装置。

【請求項 3】

飛翔体に搭載される請求項 1 または請求項 2 に記載のレーザレーダ装置において、
 前記送信部は、
 前記目標物が存在する方向にレーザ光が送信されるよう、前記飛翔体の位置に応じてレーザ光の送信方向を調整する送信方向調整手段と、
 前記目標物が占有する領域がレーザ光のビームスポット範囲に含まれるよう、レーザ光のビーム発散角を調整するビーム発散角調整手段と、
 を備え、
 前記情報記録・処理部は、
 前記差異信号に対してフーリエ変換処理を施すフーリエ変換手段と、
 フーリエ変換処理が施された前記差異信号に基づいて前記目標物の位置情報または 2 次元画像情報を生成する情報生成手段と、
 を備えることを特徴とする合成開口式のレーザレーダ装置。

10

20

【請求項 4】

飛翔体に搭載される請求項 1 または請求項 2 に記載のレーザレーダ装置において、
 前記目標物が占有する領域よりもレーザ光のビームスポット範囲が狭くなるようレーザ光のビーム発散角を調整するビーム発散角調整手段と、
 レーザ光のビームスポットが前記目標物が占有する領域内を走査するよう、レーザ光の送信方向を変化させるレーザビーム走査手段と、
 を備え、
 前記情報記録・処理部は、
 前記差異信号に対してフーリエ変換処理を施すフーリエ変換手段と、
 フーリエ変換処理が施された前記差異信号に基づいて前記目標物の位置および距離情報
 、または 3 次元画像を生成する情報生成手段と、
 を備えることを特徴とするレーザレーダ装置。

30

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載のレーザレーダ装置において、
 前記情報記録・処理部は、
 前記差異信号の位相に基づいて前記目標物の速度を求める速度算出手段を備えることを特徴とするレーザレーダ装置。

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載のレーザレーダ装置において、
 前記変調部は、
 前記検出用信号によってレーザ光を振幅変調する振幅変調回路を備え、
 前記復調部は、
 前記受信したレーザ光に対し包絡線検波を行う包絡線検波回路を備えることを特徴とするレーザレーダ装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ光の送信および受信によって目標物の情報を取得するレーザレーダ装置およびレーザ合成開口レーダ装置に関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

人工衛星、飛行機等の飛翔体に搭載され、地形観測等を行うレーダ装置が広く用いられている。レーダ装置は、電磁波を送信し目標物からの反射電磁波を受信する。そして、送信電磁波および受信された反射電磁波との物理的関係に基づいて目標物までの距離、目標物の画像データ等を求める。

【 0 0 0 3 】

レーダ装置には、パルス信号によって振幅変調が施された一定周波数の電磁波を送受信するパルスレーダ装置がある。パルスレーダ装置では、送信電磁波および受信された反射電磁波との時間関係に基づいて目標物までの距離等を求める。パルスレーダ装置の距離測定分解能は、パルス信号のパルス幅時間に依存し、パルス幅時間を短くすることで距離測定分解能を向上させることができる。しかし、パルス幅時間を短くすると受信電力が低下するため、目標物の観測が困難となることがある。

10

【 0 0 0 4 】

そこで、送信する電磁波の周波数を予め定められた規則性を以て変化させる周波数変調波レーダ装置が考え出されている。周波数変調波レーダ装置は、送信している電磁波と、受信される反射電磁波との周波数差を信号周波数とする信号を求める。そして、そのような周波数差信号が目標物までの往復伝搬時間を示すことに基づき、目標物までの距離等を求める。

【 0 0 0 5 】

周波数変調波レーダ装置では、同一地点で反射した電磁波の全周波数成分が重ね合わされる。これにより、パルスレーダ装置においてパルス幅時間を短縮した場合と同様の効果（パルス圧縮法）を得ることができる。そのため、周波数変調波レーダ装置によれば、距離測定分解能を向上させることができる。

20

【 0 0 0 6 】

なお、図1(a)には、パルスレーダ装置について、送信パルス100（送信電磁波）と、反射パルス102（反射電磁波）との時間関係が示されている。パルスレーダ装置は、送信パルス100を送信してから時間 T_r 後に反射パルス102を受信する。そして、時間 T_r と電磁波の伝搬速度とに基づいて目標物までの距離を求める。図1(b)には、周波数変調波レーダ装置の一つであるマイクロ波周波数変調（チャープ）レーダ装置において扱われる信号の時間関係が示されている。マイクロ波周波数変調レーダ装置は、パルス幅時間が T_p であり、時間変化に対して周波数が線形に変化する送信チャープ信号104を送信すると共に、送信開始から時間 T_r 後に反射チャープ信号106を受信する。マイクロ波周波数変調レーダ装置は、送信チャープ信号104と反射チャープ信号106とが重なる時間帯 T_f において、これらの周波数差信号である差異（デチャープ）信号を求める。マイクロ波周波数変調レーダ装置は、差異信号に基づいて目標物までの距離等を求める。

30

【 0 0 0 7 】

レーダ装置では、送受信の電磁波として、赤外線（波長が $0.7\mu\text{m} \sim 1\text{mm}$ の電磁波）の波長よりも長い波長を有する電磁波（以下、電波とする。）や、赤外線波長以下の波長を有する電磁波（以下、光とする。）が用いられる。以下の特許文献1～3には、電波を用いたレーダ装置について記載されている。また、特許文献4には、光を用いたレーダ装置について記載されている。なお、光を用いたレーダ装置は、レーザーレーダ装置あるいはライダー装置とも称される。

40

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開平 09 - 184880 号 公報

【 特許文献 2 】 特開平 11 - 125673 号 公報

【 特許文献 3 】 特開平 10 - 068774 号 公報

【 特許文献 4 】 特開平 07 - 035857 号 公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

周波数変調レーダ装置は、電磁波の送信を開始してから反射電磁波を受信するまでの間、送信電磁波の周波数を変化させ続ける。そのため、送信電磁波の周波数を時間経過と共に単調増加または単調減少させる場合には、周波数変調レーダ装置から目標物までの距離が長い程、送信電磁波と反射電磁波との周波数差が大きくなり、周波数差信号の周波数が高くなる。これによって、例えば、周波数差信号に対する演算処理回路の処理可能周波数の上限が、周波数差信号の周波数よりも低い場合には、距離測定が困難となるという問題が生じる。すなわち、周波数変調レーダ装置には、測定可能な距離が演算処理回路の周波数特性によって制限されるという問題がある。

10

【0010】

また、周波数変調レーダ装置は、送信電磁波の一定時間内での周波数変化幅を大きくする程、距離測定分解能が向上する。しかし、周波数変化幅を大きくする程、送信電磁波の占有周波数帯域幅が広がる。従来の周波数変調レーダ装置では、その原理に基づく制約から、送信電磁波として電波を用いている。したがって、周波数変調レーダ装置には、送信電磁波の占有周波数帯域が他システムの使用周波数帯域に重ならないようにするため、送信電磁波の周波数変化幅が制限され、距離測定分解能が制限されるという問題がある。

【0011】

本発明は、レーザレーダ装置において、測定可能距離を長くすると共に、距離測定分解能を向上させることを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、レーザ光の送信および受信によって目標物の情報を取得するレーザレーダ装置において、時間変化に対し周波数が変化する検出用信号を生成する検出用信号生成部と、前記検出用信号によってレーザ光を変調する変調部と、前記変調部によって変調されたレーザ光を送信する送信部と、レーザ反射光を受信する受信部と、前記受信部によって受信されたレーザ反射光に対し復調を行う復調部と、参照用信号と、前記復調部によって復調された復調信号とのタイミングを、前記レーダ装置の位置に応じて調整する遅延時間設定部と、前記遅延時間設定部によってタイミングが調整された前記参照用信号と前記復調信号との差異を示す差異信号を生成する差異信号生成部と、前記差異信号に基づいて、目標物の情報を記録、処理する情報記録・処理部と、自らの位置を測定する測位部と、を備え、前記タイミング調整部は、前記測位部によって測定された位置と、予め定められた基準位置との間の距離に応じて、前記検出用信号を遅延させた参照用信号を生成する手段を備えることを特徴とする。

30

【0014】

また、本発明に係るレーザレーダ装置においては、前記検出用信号は、時間変化に対し周波数が線形に変化するチャープ変調信号であり、前記差異信号生成部は、前記タイミング調整部によってタイミングが調整された前記参照用信号と、前記復調信号との周波数差を信号周波数とする信号を、前記差異(デチャープ)信号として生成することが好適である。

40

【0015】

また、本発明に係る、飛翔体に搭載されるレーザ合成開口レーダ装置においては、前記ビーム制御部は、前記目標物が存在する方向にレーザ光が送信されるよう、前記飛翔体の位置に応じてレーザ光の送信方向を調整する送信方向調整手段(ビーム制御部)と、前記目標物が占有する領域がレーザ光のビームスポット範囲に含まれるよう、レーザ光のビーム発散角を調整するビーム発散角調整手段(送信光学系)と、を備え、前記情報記録・処理部は、前記差異信号に対してフーリエ変換処理を施すフーリエ変換手段と、フーリエ変換処理が施された前記差異信号に基づいて前記目標物の位置情報または画像情報を記録し、生成する情報記録・生成手段、を備えることが好適である。

50

【 0 0 1 6 】

また、本発明に係る、飛翔体に搭載されるビームスキャン型レーザレーダ装置においては、前記ビーム制御部は、前記目標物が占有する領域よりもレーザ光のビームスポット範囲が狭くなるようレーザ光のビーム発散角を調整するビーム発散角調整手段（送信光学系）と、レーザ光のビームスポットが前記目標物が占有する領域内を走査するよう、レーザ光の送信方向を変化させるレーザビーム走査手段（ビーム制御部）と、を備え、前記情報記録・処理部は、前記差異信号に対してフーリエ変換処理を施すフーリエ変換手段と、フーリエ変換処理が施された前記差異信号に基づいて前記目標物の位置情報または画像を記録、生成する情報記録・生成手段と、を備えることが好適である。

【 0 0 1 7 】

また、本発明に係るレーザレーダ装置においては、前記変調部は、前記検出用信号によってレーザ光を振幅変調する振幅変調回路を備え、前記復調部は、前記受信したレーザ光に対し包絡線検波を行う包絡線検波回路を備えることが好適である。

【 0 0 1 8 】

また、本発明に係るレーザレーダ装置においては、前記情報記録・処理部は、前記差異信号の位相変化率に基づいて前記目標物の速度を求める速度算出手段を備えることが好適である。

【 0 0 1 9 】

本発明に係るレーザレーダ装置においては、一実施形態として、受信されたレーザ光から位相情報あるいは周波数スペクトラム情報を得ることで、動体の速度測定や合成開口測定が可能である。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 0 】

本発明によれば、レーザレーダ装置において、測定可能距離を長くすると共に、距離測定分解能を向上させることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 1 】

【 図 1 】 従来のパルスレーダ装置、周波数変調マイクロ波レーダ装置、および本発明の実施形態に係るレーザレーダ装置におけるタイムシーケンスの比較を示す図である。

【 図 2 】 本発明の実施形態に係るレーダ装置の構成を示す図である。

【 図 3 】 検出用信号生成部から出力されるチャープ変調信号、復調部から出力される復調信号、およびタイミング調整部から出力されるチャープ変調信号の時間関係の例を示す図である。

【 図 4 】 レーザレーダ装置、観測領域、目標物、および基準位置の位置関係の例を示す図である。

【 図 5 】 レーザ合成開口レーダ装置の動作を説明する図である。

【 図 6 】 ビームスキャン型レーザレーダ装置の動作を説明する図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 2 】

図 2 に本発明の実施形態に係るレーザレーダ装置 10 の構成を示す。このレーザレーダ装置 10 は、目標物を検出するための検出用信号によってレーザ光に変調処理を施し、変調処理が施されたレーザ光の送受信に基づいて目標物の情報を取得する。目標物の情報の取得は、検出用信号に応じた参照用信号と受信されたレーザ反射光から得られる復調信号との差異に基づいて行われる。レーザレーダ装置 10 は、後述のレーザ合成開口レーダ装置 46、またはビームスキャン型レーザレーダ装置 58 としても用いられる。以下、具体的な構成および処理について説明する。

【 0 0 2 3 】

信号生成部 11 における検出用信号生成部 12 は、検出用信号としてチャープ変調信号をレーザ発振・変調部 14 へ出力する。ここで、チャープ変調信号は、パルス幅時間内において時間変化に対して線形に周波数が変化する周波数変調信号である。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 4 】

レーザ発振・変調部 1 4 はレーザ発振の原理に基づきレーザ光を生成すると共に、生成したレーザ光にチャープ変調信号によって振幅変調を施し、増幅部 1 6 に出力する。レーザ発振・変調部 1 4 は、波長が $0.7 \mu\text{m} \sim 1 \text{mm}$ の赤外線、波長が $0.38 \mu\text{m} \sim 0.7 \mu\text{m}$ の可視光線、または可視光線の波長より短い波長を有するレーザ光を出力してもよい。増幅部 1 6 は、レーザ発振・変調部 1 4 から出力されたレーザ光を増幅し、送信光学系 1 7 は増幅後のレーザ光のビーム発散角を制御し、観測対象の目標物に向けて送信する。

【 0 0 2 5 】

受信光学系 1 8 は、送信光学系 1 7 から送信され目標物で反射したレーザ光を受信する。そして、受信したレーザ光の強度が後段の処理に必要な強度となるよう受信レーザ光を増幅し、復調部 2 0 に出力する。復調部 2 0 は、受信光学系 1 8 から出力されたレーザ光に対する復調処理を行う。復調部 2 0 は、包絡線検波回路を備えていてもよい。包絡線検波回路は、受信光学系 1 8 から出力されたレーザ光に対し包絡線検波を施し、それによって得られた復調信号を差異信号生成部 2 2 に出力する。

10

【 0 0 2 6 】

信号生成部 1 1 における参照用信号生成部 1 3 は、レーザレーダ装置 1 0 の位置に基づいて求められた遅延時間 T_d だけ遅れた参照用信号を発生させ、差異信号生成部 2 2 に出力する。なお、遅延時間 T_d を求める処理については後述する。遅延時間 T_d を考慮した処理を情報記録・処理部 3 0 が実行するため、遅延時間設定部 2 4 から情報記録・処理部 3 0 には、遅延時間 T_d を示す情報が出力される。

20

【 0 0 2 7 】

差異（デチャープ）信号生成部 2 2 は、復調信号と参照用信号生成部 1 3 から出力された参照用信号との周波数差を信号周波数とする周波数差信号を生成する。差異信号生成部 2 2 は、2つの入力信号を掛け合わせるミキサ回路、および、ミキサ回路によって生じる差周波数成分を抽出するフィルタ回路を備えていてもよい。差異信号生成部 2 2 は、周波数差信号を情報記録・処理部 3 0 に出力する。

【 0 0 2 8 】

周波数差信号の周波数スペクトラムは、レーザ光の送受信方向に対し垂直の方向から見た目標物の像を示す。ただし、この周波数スペクトラムに基づく像は、遅延時間設定部 2 4 における遅延時間 T_d に対応する周波数 f_d だけレーザレーダ装置 1 0 側に移動した像に相当する。この周波数 f_d は、チャープ変調信号の周波数変化率に遅延時間 T_d を乗じたものである。そこで、情報記録・処理部 3 0 は、周波数差信号に対しフーリエ変換処理を施し、周波数差信号の周波数スペクトラムデータを生成する。そして、遅延時間設定部 2 4 から出力された遅延時間 T_d およびチャープ変調信号の周波数変化率に基づいて、周波数スペクトラムデータから周波数 f_d に基づく移動分を補正した目標物イメージデータを求める。情報記録・処理部 3 0 は、目標物イメージデータに基づいて、目標物までの距離、または目標物の像を表示部 3 2 に表示させる。また、周波数差信号の位相は目標物までの距離に比例して変化する。情報記録・処理部 3 0 は、所定の時間間隔で周波数差信号の位相の変化率から、動体である目標物の速度を算出する。

30

40

【 0 0 2 9 】

図 3 は、(a) 検出用信号生成部 1 2 から出力されるチャープ変調信号、(b) 観測領域内の近い目標物からの反射波の復調信号、(c) 遠い目標物からの反射波の復調信号、および (d) 参照用信号生成部 1 3 から出力されるチャープ変調信号の時間関係の例を示す。横軸は時間を示し縦軸は信号レベルを示す。ただし、説明の便宜上、時間波形は時間軸方向に引き延ばしたものである。

【 0 0 3 0 】

図 3 (a) に示すように、検出用信号生成部 1 2 からは、時刻 t_1 から時刻 $t_1 + T_{p1}$ の間チャープ変調信号が出力される（検出用信号 $D_{e t}$ ）。このチャープ変調信号は、パルス幅時間 T_{p1} の間、時間変化に対し線形に周波数が増加する。また、図 3 (b) お

50

よび(c)に示すように、それぞれ、時刻 t_1 から往復伝搬時間 T_{r2} 、 T_{r3} が経過した時刻 t_2 、 t_3 に、復調部20から復調信号が出力される(反射復調信号NおよびF)。ここで、往復伝搬時間 T_{r2} および T_{r3} は、レーザレーダ装置10と、近い目標物および遠い目標物との間をレーザ光が往復する時間である。ただし、この往復伝搬時間 T_{r2} および T_{r3} には、検出用信号生成部12から送信光学系17に信号が到達するまでの時間、および受信光学系18から差異信号生成部22に信号が到達するまでの時間が含まれる。この復調信号は、目標物の位置および形状に応じてチャープ変調信号の波形が変形した信号となる。さらに、図3(d)に示すように、時刻 t_1 から遅延時間 T_d が経過した時刻 $t_4 = t_1 + T_d$ に、参照用信号生成部13からは遅延処理後のチャープ変調信号が出力される(参照用信号Ref)。このチャープ変調信号のパルス幅時間 T_{p2} は、検出用信号生成部12から出力されるチャープ変調信号と同じ T_{p1} か、それ以上である(図1(c)参照)。

10

【0031】

復調信号および遅延処理後のチャープ変調信号が共に差異信号生成部22に入力される同時入力時間帯 T_f (図3(b)、(c)、および(d)において、これらの信号が重なる時間帯)、すなわち、時刻 t_3 から時刻 $t_2 + T_{p1}$ までの間、差異信号生成部22から情報記録・処理部30に周波数差信号が出力される。

【0032】

図3(b)、(c)、および(d)から明らかのように、遅延処理後の参照用信号Refが、復調信号と重なる部分がない場合には、同時入力時間帯 T_f が生じない。この場合、情報記録・処理部30は目標物の観測を行うことが困難となる。そこで、同時入力時間帯 T_f を生じさせるための設定項目について以下に説明する。

20

【0033】

同時入力時間帯 T_f が生じるか否かは、復調部20から復調信号が出力される時刻 t_2 、 t_3 、参照用信号Refが出力される時刻 t_4 、および参照用信号Refのパルス幅時間 T_{p2} の時間関係に基づいて定まる。このうち、時刻 t_2 および t_3 は、レーザレーダ装置10と目標物との間の距離に応じて定まる時刻であり、観測状況に応じて変化する時刻である。そのため、本実施形態では、時刻 t_2 および t_3 は同時入力時間帯 T_f を生じさせるための設定項目としないものとする。したがって、時刻 t_4 またはパルス幅時間 T_{p2} が同時入力時間帯 T_f を生じさせるための設定項目となり得る。

30

【0034】

そこで、本実施形態においては、遅延時間設定部24でレーザレーダ装置10の位置に応じて遅延時間 T_d を求め、参照用信号生成部13で遅延時間 T_d だけ遅延した参照用信号Refを生成する。

【0035】

図4に、レーザレーダ装置10、目標物38、および基準位置40の位置関係の例を示す。観測条件の一つの例として、目標物38は地上に存在し、レーザレーダ装置10は、一定の高度で直進飛行する飛翔体に搭載されるものとする。遅延時間 T_d の決定は、これらの位置関係に基づいて行うものとする。ここで、基準位置40は、ユーザの操作等によって予め設定される仮想上の位置である。基準位置40は、目標物38の位置またはその付近に指定する。ここで、目標物38の付近とは、以下の処理に基づいて同時入力時間帯 T_f を生じさせることが可能な範囲を指す。基準位置40は、レーザレーダ装置10と目標物38との間の距離が長くなる程、レーザレーダ装置10からの距離が長くなるよう決定することが好ましい。

40

【0036】

遅延時間設定部24は、レーザレーダ装置10の位置と予め定められた基準位置40との間の距離 D_0 を求め、求められた距離 D_0 の2倍の距離 $2 \cdot D_0$ をレーザ光が伝搬する時間だけ、チャープ変調信号を遅延させる。なお、参照用信号Refの時間幅 T_{p2} は、図3のように、観測領域内の遠近すべての目標物からの反射信号パルスと重なるように、検出用信号パルス幅 T_{p1} に比べて少し長くする。これは、図1(c)に示すように、参

50

照用信号 R e f の周波数チャープ幅を少し広くすることに対応する。

【 0 0 3 7 】

遅延時間 T d を設定するための具体的な構成および処理について説明する。レーザレーダ装置 1 0 は測位部 2 6 および情報入力部 2 8 を備える。測位部 2 6 は、全地球測位システム (G P S) と加速度と角度を検知する慣性センサ (I M U) を備え、レーザレーダ装置 1 0 の位置情報を取得する。測位部 2 6 は、位置情報を遅延時間設定部 2 4 に出力する。情報入力部 2 8 は、基準位置を示す基準位置情報 (デジタル空間位置情報) をユーザの操作に基づいて取得し、基準位置情報を遅延時間設定部 2 4 に出力する。なお、情報入力部 2 8 は、ユーザの操作に基づいて情報を取得する他、パーソナルコンピュータ等、他の情報処理装置から情報を取得してもよい。

10

【 0 0 3 8 】

遅延時間設定部 2 4 は、レーザレーダ装置 1 0 の位置情報および基準位置情報に基づいて、レーザレーダ装置 1 0 の位置と基準位置との間の距離 D 0 を求め、遅延時間 T d を求め、参照用信号生成部 1 3 の遅延時間 T d を設定する。参照用信号生成部 1 3 は、検出用信号より遅延時間 T d だけ遅延した参照用信号 R e f を生成し、差異信号生成部 2 2 に出力する。なお、遅延時間設定部 2 4 は、遅延時間 T d を示す情報を情報記録・処理部 3 0 に出力する。

【 0 0 3 9 】

図 1 (c) には、レーザレーダ装置 1 0 において扱われる信号の時間関係が示されている。レーザレーダ装置 1 0 は、検出用信号 D e t を光として送信すると共に、送信開始から時間 T r 後に反射復調信号 (N または F) を受信する。また、レーザレーダ装置 1 0 は、検出用信号 D e t の送信開始から時間 T d 後に、参照用信号生成部 1 3 から参照用信号 R e f を出力する。レーザレーダ装置 1 0 は、反射復調信号と参照用信号 R e f とが重なる時間帯 T f において、これらの周波数差信号 1 1 0 を求める。レーザレーダ装置 1 0 は、周波数差信号 1 1 0 に基づいて目標物に関する情報を取得する。

20

【 0 0 4 0 】

本実施形態によれば、移動するレーザレーダ装置と基準点との距離を時々刻々測定し、遅延時間 T d を高精度に決定できる。このため、比較的短い時間幅 T p 2 を有する参照用信号 R e f でも、図 1 (d) に示すように、遠距離の目標物からの反射信号との同時入力時間帯 T f を正確に設定することができる。

30

【 0 0 4 1 】

したがって、検出用チャープ変調信号の周波数は高くても差異周波数を低く抑えることができ、デジタルサンプリング周波数が低くても高分解能の距離測定・画像生成が可能となる。

【 0 0 4 2 】

また、距離測定・画像生成に無効なデータを余分に記録する必要がなくなり、情報記録・処理部 3 0 への負担を大幅に軽減できる。

【 0 0 4 3 】

さらに、本実施形態では、送信ビームは電波ではなくレーザ光である。したがって、電波を用いる他システムとの干渉を回避することができ、チャープ変調信号の周波数変化幅を広げることで、距離測定分解能を向上させることができる。

40

【 0 0 4 4 】

次に、本発明の応用例について説明する。レーザ合成開口レーダ装置 4 6 は、図 2 に示すレーザレーダ装置 1 0 と同様の構成を有する。レーザ合成開口レーダ装置 4 6 は、ヘリコプター、飛行機等の飛翔体に搭載され、飛翔体と共に空中を移動しつつ、地上における一つの観測領域にレーザ光を照射し反射光を受信する。図 5 は、移動する飛翔体 5 2 から送信されたレーザ光のビームスポット 5 4 が、同一の観測領域 5 6 (観測中心位置 C 、ビームスポット径 D) に照射される様子を示す。レーザ合成開口レーダ装置 4 6 は、同一の観測領域 5 6 について、複数の異なる方向からレーザ光を照射して得られた情報を用い、その観測領域 5 6 の 2 次元画像データを生成する。このような構成では、飛翔体 5 2 の飛

50

行軌跡 4 2 上に複数の送信光学系 1 7 を配列し、これによって受信される反射光を合成した場合と同様の結果が得られる。そのため、このようなレーザレーダ装置は、「合成開口」式のレーザレーダ、あるいはレーザ「合成開口」レーダ装置と称される。

【 0 0 4 5 】

レーザ合成開口レーダ装置 4 6 の具体的な構成および処理について図 2 を参照して説明する。レーザ合成開口レーダ装置 4 6 は、レーザ発振・変調部 1 4 から出力されたレーザ光を増幅する増幅器 1 6 とビーム発散角を制御する送信光学系 1 7、および、レーザ光の送信方向を制御するビーム制御部 3 4 を備える。

【 0 0 4 6 】

情報入力部 2 8 は、観測領域 5 6 の中心位置を示す観測中心情報、および観測領域 5 6 の直径を示す観測径情報をユーザの操作等に基づいて取得する。情報入力部 2 8 は、観測中心情報および観測径情報をビーム制御部 3 4 に出力する。測位部 2 6 は、レーザ合成開口レーダ装置 4 6 の位置情報をビーム制御部 3 4 に出力する。

【 0 0 4 7 】

ビーム制御部 3 4 は、レーザ光の送信方向を調整するジンバル機構を備える。ビーム制御部 3 4 は、レーザ合成開口レーダ装置 4 6 の位置情報および観測中心情報に基づいて、観測中心情報が示す位置にビームスポット 5 4 の中心が近づくよう、レーザ光の方向を調整する。また、送信光学系 1 7 は、レーザ合成開口レーダ装置 4 6 の位置情報、観測中心情報および観測領域の広さ情報に基づいて、観測領域 5 6 がビームスポット範囲に含まれるようレーザ光のビーム発散角を調整する。

【 0 0 4 8 】

情報入力部 2 8 は、ビーム制御部 3 4 の他、遅延時間設定部 2 4 にも観測中心情報を出力する。遅延時間設定部 2 4 は、観測中心情報で示される位置を上述の基準位置として遅延時間 T_d を求める。

【 0 0 4 9 】

レーザ合成開口レーダ装置 4 6 を搭載する飛翔体 5 2 が空中を移動し、ビーム制御部 3 4 がこのような処理を実行している間、情報記録・処理部 3 0 は、同一の観測領域 5 6 について複数の目標物イメージデータを取得する。そして、その複数の目標物イメージデータを合成し、観測領域 5 6 の 2 次元画像データを生成する。これによって、一つの観測領域 5 6 について、複数の異なる方向からレーザ光を照射して得られた情報に基づく 2 次元画像データが生成される。情報記録・処理部 3 0 は、2 次元画像データに基づく画像を表示部 3 2 に表示させる。また、情報記録・処理部 3 0 は、2 次元画像データを所定の時間間隔で生成し、観測領域 5 6 の動画データを生成してもよい。さらに、情報記録・処理部 3 0 は、所定の時間間隔で周波数差信号の位相情報を取得し、観測領域 5 6 内にある動体の速度を算出してもよい。

【 0 0 5 0 】

本応用例に係るレーザ合成開口レーダ装置 4 6 によれば、飛翔体 5 2 の進行方向に平行な方向（アジマス方向）については、飛翔体 5 2 の飛行軌跡 4 2 上に複数の送信光学系 1 7 を配列した場合と同様の効果が得られる。これによって、アジマス方向についての距離測定分解能を向上させることができる。さらに、飛翔体 5 2 の進行方向に垂直な方向（レンジ方向）については、図 2 に示したレーザレーダ装置と同様のパルス圧縮の原理により、レンジ方向の距離測定分解能を向上させることができる。

【 0 0 5 1 】

レーザ合成開口レーダ装置 4 6 の具体例を以下に示す。チャープ変調信号としては、パルス幅時間が 1 0 マイクロ秒で、周波数が 3 1 GHz から 3 9 GHz まで変化するマイクロ波信号を用いる。距離（レンジ）1 km にある目標物を、飛翔体 5 2 が 2 0 0 m 飛行して観測すると、アジマス方向およびレンジ方向の空間分解能が、それぞれ、0 . 0 2 m および 0 . 0 2 m となる。

【 0 0 5 2 】

次に、第 2 の応用例に係るビームスキャン型レーザレーダ装置について説明する。図 2

10

20

30

40

50

のビーム制御部 34 の構成を変更することで、図 5 に示すレーザ合成開口レーダ装置 46 に基づき、図 6 に示すビームスキャン型レーザレーダ装置 58 を構成することができる。

【 0 0 5 3 】

本応用例では、図 6 に示すように、観測領域 60 に照射されるレーザ光のビームスポット径 (D) を、観測領域 60 よりも狭く絞る。そして、送信するレーザ光のビームが飛翔体 52 の進行方向 (トラック方向) に対して垂直な面内で走査されるよう、レーザ光の送信方向を変化させる。図 6 の矢印 62 は、トラック方向を示し、矢印 64 は、ビームスポット 54 の走査方向を示す。遅延時間設定部 24 が遅延時間 Td を設定するために定められる基準位置は、例えば、ビームスキャン型レーザレーダ装置 58 直下の地上の位置に設定する。

10

【 0 0 5 4 】

情報入力部 28 は、レーザビームの走査角を示す走査角情報、ビームスポット 54 の直径を示すスポット径情報をユーザの操作等に基づいて取得する。情報入力部 28 は、走査角情報およびスポット径情報をビーム制御部 34 に出力する。また、測位部 26 は、ビームスキャン型レーザレーダ装置 58 の位置情報をビーム制御部 34 に出力する。

【 0 0 5 5 】

ビーム制御部 34 は、走査角情報が示す角度範囲内で、飛翔体 52 の進行方向に対して垂直な面内でビームが走査されるよう、送信するレーザビームの方向を変化させる。また、ビーム制御部 34 は、ビームスキャン型レーザレーダ装置 58 の位置情報およびスポット径情報に基づいて、地上におけるビームスポット 54 の直径がスポット径情報で示される直径に近づくよう、送信光学系 17 から送信されるレーザ光のビーム発散角を調整する。

20

【 0 0 5 6 】

ビームスキャン型レーザレーダ装置 58 を搭載する飛翔体 52 が空中を移動し、ビーム制御部 34 が予め定められた回数だけビームスポット 54 の走査を行う毎に、遅延時間設定部 24 は、測位部 26 から出力された位置情報と基準位置に基づいて遅延時間 Td を求め、その遅延時間 Td に基づいて参照用信号 R e f を発生する。

【 0 0 5 7 】

また、情報記録・処理部 30 は、レーザ光が送受信される毎に目標物の 3 次元空間位置データを取得する。そして、その複数の目標物の 3 次元空間データを再構成し、観測領域 60 の 3 次元画像データを生成する。情報記録・処理部 30 は、3 次元画像データに基づく画像を表示部 32 に表示させる。

30

【 0 0 5 8 】

本応用例に係るビームスキャン型レーザレーダ装置 58 によれば、距離測定分解能を向上させることができる。

【 0 0 5 9 】

本応用例に係るビームスキャン型レーザレーダ装置 58 の具体例を以下に示す。チャープ変調に 31 GHz から 39 GHz まで変化するマイクロ波信号を用いると、高さ (レンジ) 方向に 0.02 m の分解能が得られる。また、レーザ発振・変調部 14 において発振させるレーザ光の波長は 1.5 μm とする。直径 d = 0.09 m の集光系を用いた場合、距離 (レンジ) R = 500 m におけるレーザビームスポット 54 径 D は回折限界から次のように決まる。

40

$$D = 2.44 \cdot R \cdot \lambda / d$$

$$= 2.44 \times 5 \times 10^2 \times 1.5 \times 10^{-6} / (9 \times 10^{-2}) = 0.02 \text{ m}$$

したがって、飛翔体 52 の進行方向に平行な方向 (トラック方向) および垂直な方向 (クロストラック方向) の空間分解能、および高さ (レンジ) 方向の距離測定分解能が 0.02 m となる 3 次元空間データを得ることができる。

【 0 0 6 0 】

本装置は移動体の位置および速度検出装置としても使用できる。なお、上記の実施形態および応用例では、送信電磁波としてレーザ光を用いている。送信電磁波としては、光の

50

代わりに電波を用いてもよい。この場合、レーザ発振・変調部 14 を不使用にし、レーザ増幅器と送信光学系・受信光学系の代わりに、検出用信号を増幅する電波増幅器と送受信アンテナ系を用いればよい。ただし、電波のチャープ周波数幅は電波法の制限条件があるため、空間分解能はその制限条件に応じたものとなる。

【符号の説明】

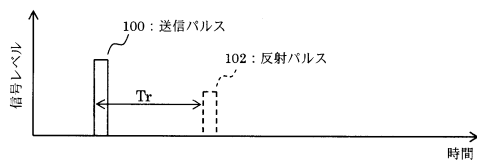
【0061】

10 レーザレーダ装置、11 信号生成部、12 検出用信号生成部、13 参照信号生成部、14 レーザ発振・変調部、16 レーザ増幅器、17 送信光学系、18 受信光学系、20 復調部、22 差異信号生成部、24 遅延時間設定部、26 測位部、28 情報入力部、30 情報記録・処理部、32 表示部、34 ビーム制御部、38 目標物、40 基準位置、42 飛行軌跡、44 仮想平面、46 レーザ合成開口レーダ装置、52 飛翔体、54 ビームスポット、56、60 観測領域、58 ビームスキャン型レーザレーダ装置。

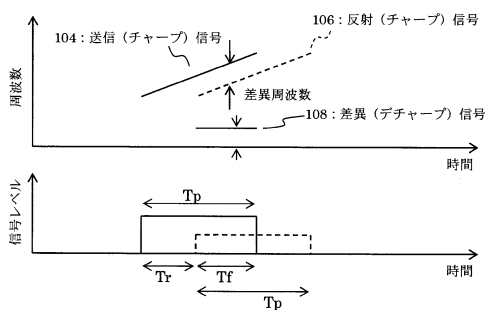
10

【図1】

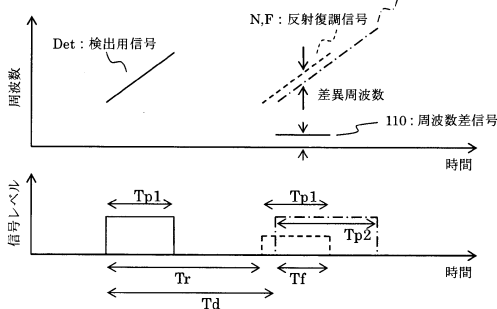
(a) パルスレーダ装置



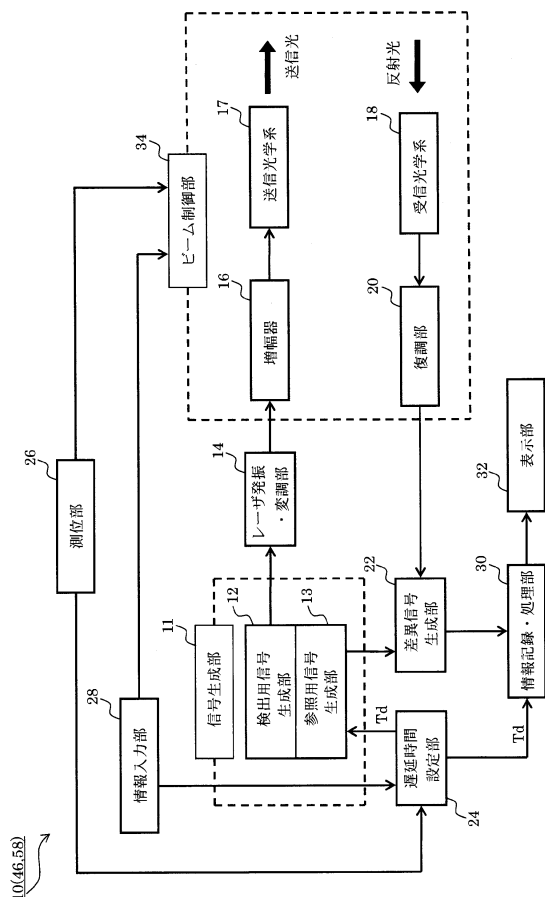
(b) マイクロ波周波数変調(チャープ)レーダ装置



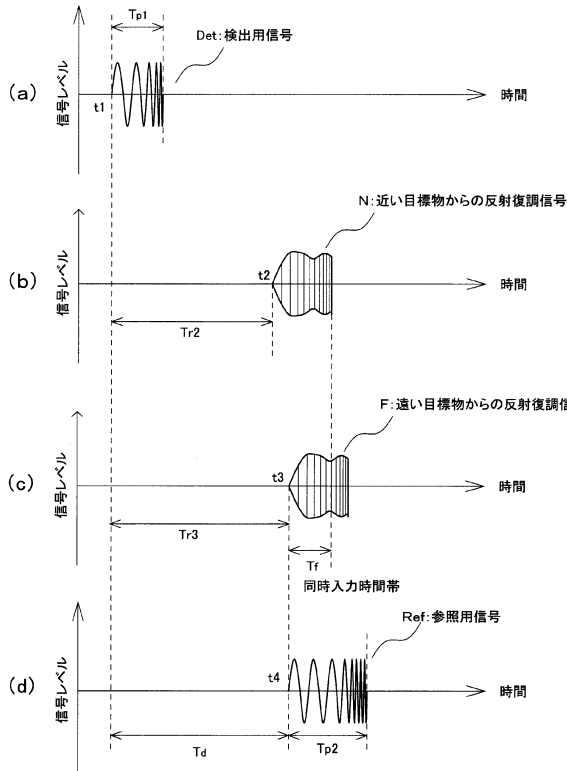
(c) レーザレーダ装置



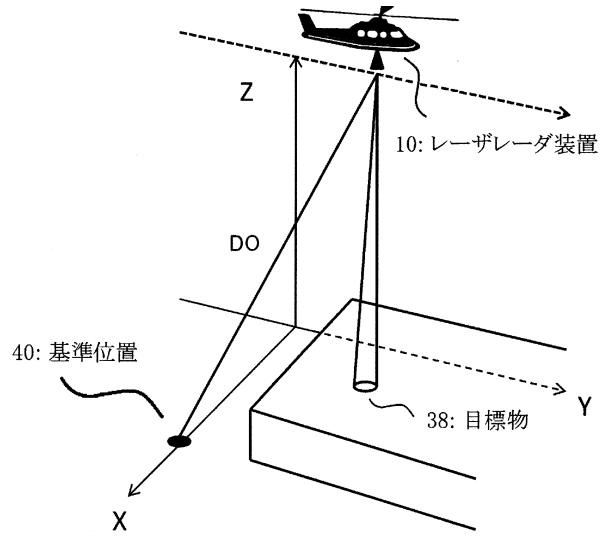
【図2】



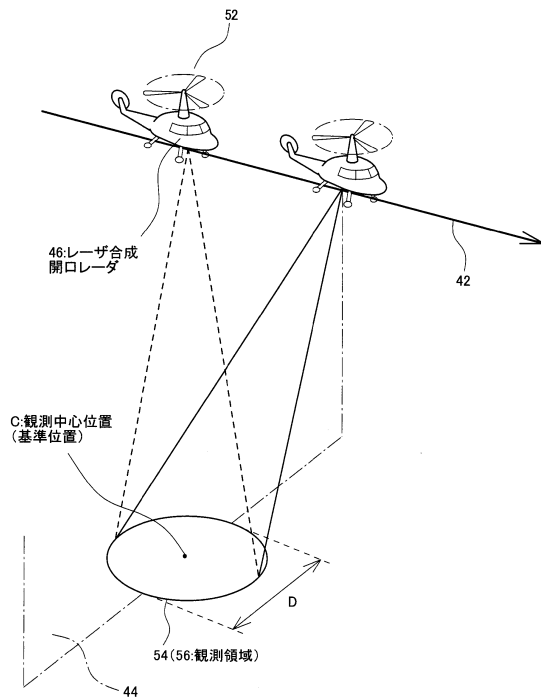
【図3】



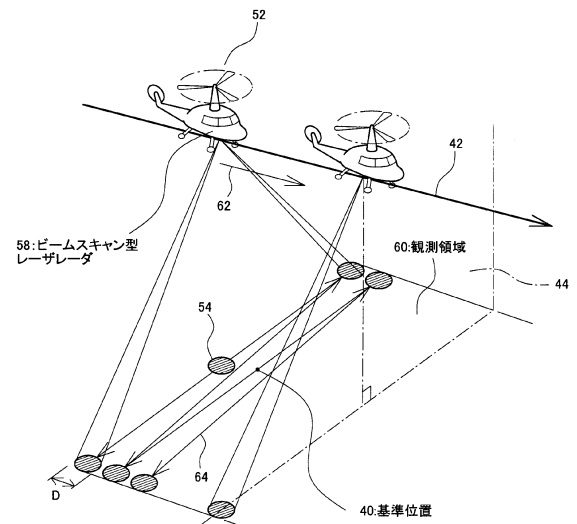
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

- (72)発明者 間瀬 淳
福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 国立大学法人九州大学内
- (72)発明者 近木 祐一郎
福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 国立大学法人九州大学内
- (72)発明者 佐藤 源之
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内

審査官 須中 栄治

- (56)参考文献 特開2000-338246(JP,A)
特開2011-017645(JP,A)
特開2006-177979(JP,A)
特表2005-515449(JP,A)
特開平03-075581(JP,A)
特表2008-513145(JP,A)
特開平09-281238(JP,A)
特開2006-090800(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01S7/00-7/51
G01S13/00-13/95
G01S17/00-17/95