(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
2022年9月15日(15.09.2022)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2022/190196 A1

(51) 国際特許分類:
G01S 13/90 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2021/009209

(22) 国際出願日： 2021年3月9日(09.03.2021)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 日本電気株式会社 (**NEC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 山口 裕貴 (**YAMAGUCHI Yuki**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 田中 大地(**TANAKA Taichi**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

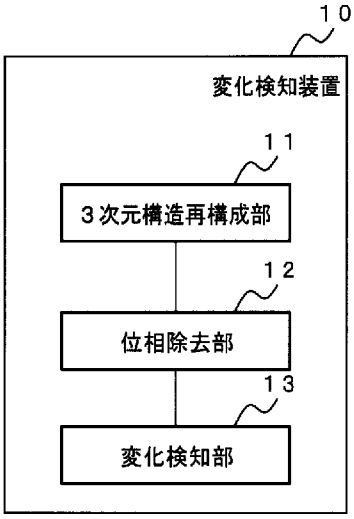
(74) 代理人:岩壁 冬樹, 外(**IWAKABE Fuyuki** et al.); 〒1040031 東京都中央区京橋二丁目８番７号 読売八重洲ビル６階 サンライズ国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, IT, JO, JP, 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,

WO 2022/190196 A1

(54) **Title:** CHANGE DETECTION DEVICE AND CHANGE DETECTION METHOD

(54) 発明の名称： 変化検知装置および変化検知方法



10 Change detection device
11 Three-dimensional structure reconstruction unit
12 Phase removal unit
13 Change detection unit

(57) **Abstract:** A change detection device 10 comprises: a three-dimensional structure reconstruction unit 11 that reconstructs a three-dimensional structure of a predetermined region in an observation region; a phase removal unit 12 that uses the three-dimensional structure to remove a phase signal of the predetermined region in a plurality of SAR images in which an image of the observation region is captured; and a change detection unit 13 that generates a coherence image from a pair of SAR images from which a phase is removed and that detects a change of the observation region on the basis of the coherence value of pixels constituting the coherence image.

(57) 要約：変化検知装置１０は、観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する３次元構造再構成部１１と、３次元構造を利用して、観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における所定領域の位相信号を除去する位相除去部１２と、位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて観測領域の変化を検知する変化検知部１３とを含む。

[続葉有]

QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明　細　書

発明の名称 ： 変化検知装置および変化検知方法

技術分野

[0001] 本発明は、ＳＡＲ画像に基づいて変化検知を行う変化検知装置および変化検知方法に関する。

背景技術

[0002] 人工衛星で撮影された画像などの高所から撮影された画像を基に地表の状態が変化した領域を検出する変化検出技術がある。

[0003] 合成開口レーダ（ＳＡＲ：Synthetic Aperture Radar）技術は、人工衛星や航空機などの飛翔体が移動しながら、飛翔体に搭載されているレーダが電磁波を送受信し、大きな開口を持つアンテナによる画像と等価な画像（以下、ＳＡＲ画像という。）を得るための技術である。合成開口レーダは、例えば、地表からの反射波を信号処理して、地表変位を解析する等のために利用される。

[0004] 人工衛星などの飛翔体で撮影された画像を観測画像という。本明細書では、観測画像は、ＳＡＲ画像に相当する。以下、電磁波を送受信する飛翔体は人工衛星であるとするが、飛翔体は、人工衛星に限定されない。

[0005] 例えば、特許文献１に、コヒーレンスを利用する変化検知技術（コヒーレント変化検知：Coherent Change Detection）が記載されている。コヒーレンスは、Ｋ（Ｋ≧２）枚のＳＡＲ画像における複数のＳＡＲ画像の同じ位置にあたる画素の複素相関で計算される。ＳＡＲ画像のペアを（ｐ，ｑ）とし、コヒーレンス行列の成分を$c_{p,q}$とする。ｐ，ｑは、それぞれ、Ｋ以下の値であり、Ｋ枚のＳＡＲ画像のいずれかを示す。ＳＡＲ画像のペアについて、位相$\theta_{p,q}$（具体的には、位相差）が算出される。そして、コヒーレンス算出対象の画素を含む所定領域内の複数の画素について$\exp(-j\theta_{p,q})$が平均化された値の絶対値が、コヒーレンス行列の成分$c_{p,q}$となる。また、ＳＡＲ画像ｐにおける強度をA_p、ＳＡＲ画像ｑにおける強度をA_qとして、$A_p . A_q$

．ｅｘｐ（－ｊ$\theta_{p,q}$）を平均化してもよい。

[0006] コヒーレンス行列の成分で表される値をコヒーレンス値とする。また、コヒーレンス値を画素値とするコヒーレンス画像を想定する。

[0007] コヒーレンスを利用する変化検知技術を用いる変化検知装置は、コヒーレンス画像に基づいて変化検知を行う。変化検知装置は、コヒーレンス画像においてコヒーレンス値が低い領域を検出すると変化が生じたと判定する。例えば、変化検知装置は、既に取得されているＳＡＲ画像と、そのＳＡＲ画像が取得されたときの観測領域と同じ領域を対象とした新たなＳＡＲ画像とから、コヒーレンス画像を生成する。なお、一例として、新規建造物が現れたり、既存の建造物が消滅したりすることによって、領域において変化が生ずる。

[0008] 以下、既に取得されているＳＡＲ画像を、蓄積されたＳＡＲ画像ということがある。新たに取得されたＳＡＲ画像を、比較対象のＳＡＲ画像ということがある。また、複数のＳＡＲ画像をＳＡＲ画像群ということがある。例えば、既に取得されているＳＡＲ画像群は、既に取得されている複数のＳＡＲ画像から成る。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：欧州特許出願公開第３５４０４６２号明細書

特許文献2：特開２００８－１８５３７５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] ＳＡＲ画像は、レイオーバの影響を受けることがある。例えば、観測領域に建造物が存在する都市部等では、人工衛星に搭載されたレーダにおいて、高い建造物からの反射波と低い建造物からの反射波と地表からの反射波とが混ざってしまう。その結果、人工衛星に搭載されたレーダの受信波の波形が不安定になる。具体的には、ＳＡＲ画像において、高い建造物の情報が低い

建造物の情報に被さってしまうといったレイオーバが生ずることがある。レイオーバが生ずる状況では、実際には観測領域において変化が生じていなくても、複数のＳＡＲ画像間で変化が生ずる可能性がある。

[0011] 複数のＳＡＲ画像間で変化が生ずると、ＳＡＲ画像間の類似度が低下するので、コヒーレンス画像においてコヒーレンス値が低下する。そのような場合には、コヒーレンスを利用する変化検知の感度が低下する。例えば、実際には観測領域に変化が生じていなくても、変化が生じたと誤認されるおそれがある。

[0012] ＳＡＲ画像へのレイオーバの影響を低減することを目的として、ＳＡＲ画像から推定される観測領域の３次元構造を利用する技術がある（例えば、特許文献２参照）。特許文献２に記載された装置は、複数のＳＡＲ画像を入力する。当該装置は、複数のＳＡＲ画像間の歪みの差を高さに変換する。さらに、当該装置は、高さの情報を用いて観測領域の３次元形状データ（３次元情報）を生成する。

[0013] 変化検知技術を用いる変化検知装置に対して、複数のＳＡＲ画像から推定される３次元構造を利用する技術を適用することを想定する。当該技術が適用された変化検知装置を適用装置ということにする。

[0014] 適用装置は、変化前（観測領域において変化が生ずる前）の複数のＳＡＲ画像から、レイオーバの影響を低減するための３次元情報を生成する。また、適用装置は、新たに取得された複数のＳＡＲ画像から、レイオーバの影響を低減するための３次元情報を生成する。そして、適用装置は、双方の３次元情報を参照して変化検知を行う。

[0015] 上述した変化検知を実行するために、変化前の複数のＳＡＲ画像が必要である上に、変化後に新たに取得された複数のＳＡＲ画像が必要である。すなわち、レイオーバの影響を低減するために、多数のＳＡＲ画像が必要である。また、適用装置は、変化前の複数のＳＡＲ画像を使用して３次元情報を生成するための処理を行い、かつ、変化後に新たに取得された複数のＳＡＲ画像を使用して３次元情報を生成するための処理を行う。したがって、変化前

後で３次元構造を再構成するために多くの画像取得を必要とする。そのため、画像取得に非常に手間と時間がかかる。

[0016] 本発明は、変化後の３次元構造を再現することなく、レイオーバの影響が低減された状態での変化検知を行うことができる変化検知装置および変化検知方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0017] 本発明による変化検知装置は、観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する３次元構造再構成手段と、３次元構造を利用して、観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における所定領域の位相信号を除去する位相除去手段と、位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて観測領域の変化を検知する変化検知手段とを含む。

[0018] 本発明による変化検知方法は、観測領域における所定領域の３次元構造を再構成し、３次元構造を利用して、観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における所定領域の位相信号を除去し、位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて観測領域の変化を検知する。

[0019] 本発明による変化検知プログラムは、コンピュータに、観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する処理と、３次元構造を利用して、観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における所定領域の位相信号を除去する処理と、位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて観測領域の変化を検知する処理とを実行させる。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、変化後の３次元構造を再現することなく、レイオーバの影響が低減された状態での変化検知を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]第１の実施形態の変化検知装置の構成例を示すブロック図である。

[図2]第１の実施形態の変化検知装置の動作を示すフローチャートである。

[図3]ＳＡＲトモグラフィを説明するための説明図である。

[図4]第１の実施形態における３次元構造再構成処理を示すフローチャートである。

[図5]位相信号除去処理を示すフローチャートである。

[図6]コヒーレント変化検知処理を示すフローチャートである。

[図7]第２の実施形態の変化検知装置の構成例を示すブロック図である。

[図8]第２の実施形態の変化検知装置の動作を示すフローチャートである。

[図9]第２の実施形態における３次元構造再構成処理を示すフローチャートである。

[図10]第３の実施形態の変化検知装置の構成例を示すブロック図である。

[図11]第３の実施形態の変化検知装置の動作を示すフローチャートである。

[図12]第３の実施形態の変化検知装置の変形例を示すブロック図である。

[図13]第３の実施形態の変化検知装置の変形例の動作を示すフローチャートである。

[図14]第４の実施形態の変化検知装置の構成例を示すブロック図である。

[図15]ＣＰＵを有するコンピュータの一例を示すブロック図である。

[図16]変化検知装置の主要部を示すブロック図である。

[図17]他の態様の変化検知装置の主要部を示すブロック図である。

[図18]さらに他の態様の変化検知装置の主要部を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。

[0023] 実施形態１．

図１は、第１の実施形態の変化検知装置の構成例を示すブロック図である。図１に示す変化検知装置１００は、３次元構造再構成部１１０、位相除去部１２０およびコヒーレント変化検知部１３０を備える。

[0024] ３次元構造再構成部１１０は、ＳＡＲ画像記憶部７００に蓄積されている複数のＳＡＲ画像から、観測領域の３次元構造を再構成する。

[0025] 位相除去部１２０は、位相信号推定部１２１と位相信号除去部１２２とを含む。位相信号推定部１２１は、ＳＡＲ画像ペアから、観測領域における所定領域の位相信号を推定する。所定領域は、レイオーバが生ずる可能性がある領域（レイオーバ領域）である。位相除去部１２０は、レイオーバ領域の位相信号を除去する。

[0026] 上述したように、例えば、観測領域に高い建造物が存在するような場合にレイオーバが生ずる可能性がある。レイオーバ領域からの受信信号は様々な反射体由来の信号が混ざり合っている。そのため、地表で変化が生じていなくてもＳＡＲ画像間での受信信号の類似性が低下し，コヒーレンスが低下する。本実施形態では、位相除去部１２０は、観測領域の３次元構造を参照して、レイオーバを生じさせる高さ（建造物の高さ）に起因する位相信号を除去する。例えば、位相除去部１２０は、ＳＡＲトモグラフィによって再現された反射強度と位相の情報を持つ３次元点群データを利用して、レイオーバ領域における信号の混ざり具合を模擬する。すなわち、位相除去部１２０は、地表の変化とは関係がない位相（すなわち、建造物の高さに起因する位相）を再現する。そして、位相除去部１２０は、そのような位相の信号を、観測信号から除去する。

[0027] 付言すると、高さに起因する位相信号は、複数のＳＡＲ画像間において変化が大きいと考えられる。したがって、高さに起因する位相信号が除去されることによって、実際には変化が生じていない場合の複数のＳＡＲ画像間の変化が小さくなる。その結果、レイオーバ領域についても、より正確なコヒーレント変化検知が実行可能になる。

[0028] コヒーレント変化検知部１３０は、ＳＡＲ画像記憶部７００に蓄積されているＳＡＲ画像のうちの１枚のＳＡＲ画像と比較対象のＳＡＲ画像とからコヒーレンス画像を生成する。コヒーレント変化検知部１３０は、コヒーレンス画像を用いて、観測領域において変化が生じたか否か判定する。なお、比較対象のＳＡＲ画像は、新たに取得されたＳＡＲ画像でもよいし、ＳＡＲ画像記憶部７００に蓄積されている複数のＳＡＲ画像から選択されたＳＡＲ画

像でもよい。

[0029] 次に、図２のフローチャートを参照して第１の実施形態の変化検知装置１００の全体的な動作を説明する。

[0030] ３次元構造再構成部１１０は、ＳＡＲ画像記憶部７００から既存のＳＡＲ画像群を読み出す。そして、３次元構造再構成部１１０は、ＳＡＲトモグラフィの手法を用いて、観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する（ステップＳ１０１）。

[0031] 位相除去部１２０において、位相信号推定部１２１は、ＳＡＲ画像記憶部７００から１枚のＳＡＲ画像を読み出す。また、位相信号推定部１２１は、比較対象のＳＡＲ画像を入力する。位相信号推定部１２１は、３次元構造を利用して、ＳＡＲ画像記憶部７００から読み出されたＳＡＲ画像と比較対象のＳＡＲ画像とのＳＡＲ画像ペアのレイオーバ領域の位相信号を推定する（ステップＳ１０２）。

[0032] 位相信号除去部１２２は、ＳＡＲ画像ペアの位相信号推定部１２１が推定した位相信号を除去する（ステップＳ１０３）。

[0033] コヒーレント変化検知部１３０は、ＳＡＲ画像ペアのＳＡＲ画像間のコヒーレンス値を算出する。コヒーレント変化検知部１３０は、コヒーレンス値を画素値とするコヒーレンス画像を生成する。コヒーレント変化検知部１３０は、コヒーレント変化検知処理を実行する（ステップＳ１０４）。すなわち、コヒーレント変化検知部１３０は、観測領域において変化が生じた部分があるか否か判定する。

[0034] 上述したように、３次元構造再構成部１１０は、ＳＡＲトモグラフィの手法を用いる３次元構造再構成処理で、所定領域の３次元構造を再構成する。図３は、ＳＡＲトモグラフィを説明するための説明図である。図３に示す例では、人工衛星が紙面垂直の方向に進行する。すなわち、アジマス方向は、紙面垂直の方向である。そして、ｎ（ｎ＝１～Ｎ）の軌道において、人工衛星が所定の観測領域のＳＡＲ画像を取得する。なお、図３において、ｒはレンジ方向を示す。ｓは、エレベーション方向を示す。また、Ｎは、ＳＡＲ画

像記憶部７００に蓄積されているＳＡＲ画像の数に対応する。

[0035] あるアジマス－レンジ位置における観測値（受信信号）を、$g=(g_1,\cdots,g_N)^T$とする。Ｔは転置を示す。

複素反射分布（複素反射率の３次元分布）を、$\gamma=[\gamma(s_1),\cdots,\gamma(s_L)]^T$とする。$s_l$（$l=1\sim L$）は、エレベーション方向の位置（点）を示す。

ステアリング行列の要素を、$R_{nl}=\exp(-4j\pi k_n s_l)$とする。$k_n$は、位相－高度変換係数である。

[0036] アジマス－レンジ位置における観測値ｇと複素反射分布γとステアリング行列Ｒとは、以下の（１）式で示される関係にある。

[0037] $$g=R\gamma \quad \cdots(1)$$

[0038] ３次元構造再構成部１１０は、観測値ｇとステアリング行列Ｒとから、エレベーション方向の各位置における複素反射分布γを推定（算出）することができる。複素反射分布γは、強度情報と位相情報とを含む。したがって、３次元構造再構成部１１０は、複素反射分布γを各画素で推定することによって、３次元構造を表す３次元点群データを得ることができる。３次元点群データは、３次元座標における各点のデータである。

[0039] 図３における下段には、反射強度分布の一例が示されている。図３に示される例では、地表（地面）からの反射波の強度に比べて、低層家屋からの反射波の強度は高い。地面からの反射波の強度に比べて、高層建造物からの反射波の強度はより高い。

[0040] 図４は、３次元構造再構成部１１０が実行する３次元構造再構成処理を示すフローチャートである。

[0041] ３次元構造再構成部１１０は、ＳＡＲ画像記憶部７００から既存のＳＡＲ画像群（複数のＳＡＲ画像：この場合には、ＳＡＲトモグラフィのための１０枚程度またはそれ以上）を読み出す。そして、３次元構造再構成部１１０は、ＳＡＲ画像の観測値g_1からステアリング行列R_1を推定（算出）する（ステップＳ１１１）。また、３次元構造再構成部１１０は、（１）式（この

場合には、$g_1 = R_1 \gamma$）を用いて、複素反射分布γを算出する（ステップＳ１１２）。

[0042] 図５は、位相除去部１２０が実行する位相信号除去処理を示すフローチャートである。

[0043] 位相除去部１２０における位相信号推定部１２１は、ＳＡＲ画像記憶部７００から既存のＳＡＲ画像を読み出す。また、位相信号推定部１２１は、比較対象のＳＡＲ画像を入力する。位相信号推定部１２１は、ＳＡＲ画像の画素ごとに、既存のＳＡＲ画像と比較対象のＳＡＲ画像とを干渉させ、干渉後の各々の画素に含まれる位相を高さに変換するための位相ー高度変換係数を推定（算出）する（ステップＳ１２１）。

[0044] 位相信号推定部１２１は、画素ごとの位相ー高度変換係数を基に、ステアリング行列R_{all}を推定（算出）する（ステップＳ１２２）。R_{all}は、全ての既存のＳＡＲ画像および比較対象のＳＡＲ画像データに基づく各点のステアリング行列であることを示す。さらに、位相信号推定部１２１は、複素反射分布γとステアリング行列R_{all}とから、ＳＡＲ画像の画素ごとに、受信信号モデルg_{model}を推定（算出）する（ステップＳ１２３）。受信信号モデルg_{model}は、３次元構造から推察されるモデル、すなわちレイオーバ領域の予測される観測値である。

[0045] 位相除去部１２０における位相信号除去部１２２は、観測信号（観測値、すなわちＳＡＲ画像の画素値）g_{obs}を生成する（ステップＳ１２４）。観測値g_{obs}は、既存のＳＡＲ画像の観測信号と比較対象のＳＡＲ画像の観測信号との各々である。

[0046] 位相信号除去部１２２は、（２）式で表されるように、ＳＡＲ画像の画素ごとに、受信信号モデルg_{model}から予測される位相信号を、観測値g_{obs}から除去する（ステップＳ１２５）。

[0047] $g_{obs} \exp(-j \angle g_{model})$ ・・・（２）

[0048] 位相除去部１２０は、所定領域の位相が除去されたＳＡＲ画像のペアをコヒーレント変化検知部１３０に渡す。

[0049] 図６は、コヒーレント変化検知部１３０が実行するコヒーレント変化検知処理を示すフローチャートである。

[0050] コヒーレント変化検知部１３０は、位相除去部１２０からのＳＡＲ画像ペアのＳＡＲ画像間のコヒーレンス値を算出する（ステップＳ１３１）。換言すれば、コヒーレント変化検知部１３０は、コヒーレンス値を画素値とするコヒーレンス画像を生成する。コヒーレント変化検知部１３０は、観測領域において、コヒーレンス値が例えば所定のしきい値よりも小さい部分があるか否か判定する（ステップＳ１３２）。そのような部分が存在する場合には、コヒーレント変化検知部１３０は、観測領域において、変化が生じたと判定する（ステップＳ１３３）。そのような部分が存在しない場合には、コヒーレント変化検知部１３０は、観測領域中に変化は生じていないと判定する（ステップＳ１３４）。

[0051] なお、コヒーレント変化検知部１３０は、例えば、コヒーレンス画像において、あらかじめ決められている所定サイズの領域（部分）中の全ての画素の値（コヒーレンス値）が所定のしきい値よりも小さい場合に、観測領域において、変化が生じたと判定する。コヒーレント変化検知部１３０は、所定サイズの領域においてコヒーレンス値が所定のしきい値よりも小さい画素が所定の割合以上ある場合に、観測領域において、変化が生じたと判定してもよい。

[0052] 以上に説明したように、本実施形態では、３次元構造再構成部１１０は、ＳＡＲトモグラフィの手法を用いて、レイオーバ領域の３次元構造を再構成する。位相除去部１２０は、３次元構造から受信信号モデルg_{model}を推定する。そして、位相除去部１２０は、観測信号から、受信信号モデルg_{model}から予測される位相を除去する。除去される位相は、例えば、建造物の高さに起因する位相である。建造物の高さはレイオーバの原因になるので、位相が除去された観測信号は、レイオーバの影響が排除された信号である。

[0053] したがって、コヒーレント変化検知部１３０は、建造物の高さに起因する位相が除去された観測信号に基づいてコヒーレント変化検知処理を実行でき

る。すなわち、コヒーレント変化検知部１３０は、レイオーバの影響が排除されたコヒーレント変化検知処理を実行できる。また、コヒーレント変化検知部１３０は、レイオーバ領域についても、精度のよいコヒーレント変化検知処理を実行できる。

[0054] また、変化検知装置１００は、変化前の複数のＳＡＲ画像を使用して３次元情報を生成する処理を行い、かつ、変化後に新たに取得された複数のＳＡＲ画像を使用して３次元情報を生成する処理を行う場合に比べて、変化後に３次元構造を再構成するのに十分な枚数のＳＡＲ画像を取得する手間がなくなる。本実施形態の変化検知装置１００では、比較対象の複数のＳＡＲ画像を使用して３次元情報を生成する処理は不要だからである。

[0055] なお、ＤＥＭ（Digital Elevation Model）を用いて３次元構造を再構成し、その３次元構造を参照してレイオーバ領域の位相信号を除去することも考えられる。しかし、ＳＡＲトモグラフィを利用する場合には、ＤＥＭを用いる場合に比べて、より精密な位相信号除去を行える。ＤＥＭを用いて３次元構造が再構成される場合には、大きな構造物に関する位相情報のみが３次元構造に反映されるのに対して、ＳＡＲトモグラフィを利用して３次元構造が再構成される場合には、建造物などの構造物のそれぞれについて位相信号が推定可能であるからである。また、ＳＡＲトモグラフィを利用して３次元構造が再構成される場合には、観測領域において構造物が複雑に分布していても、正確な位相信号の推定が実行可能である。

[0056] また、ＳＡＲトモグラフィを利用して３次元構造が再構成される場合には、ＤＥＭを用いて３次元構造が再構成される場合に比べて、実際の３次元構造により近い受信信号モデルが作成される。ＳＡＲトモグラフィを利用する場合には、反射強度と位相の情報を有する３次元点群データが生成されるからである。また、ＳＡＲトモグラフィを利用して３次元構造が再構成される場合には、後述するようにＬｉＤＡＲ（Light Detection and Ranging）によって取得されたデータを用いて３次元構造が再構成される場合に比べて、実際の３次元構造により近い受信信号モデルが作成されるという利点がある。

[0057] 実施形態２．

図７は、第２の実施形態の変化検知装置の構成例を示すブロック図である。図７に示す変化検知装置２００は、３次元構造再構成部１１０、位相除去部２２０およびコヒーレント変化検知部２３０を備える。３次元構造再構成部１１０の構成および動作は、第１の実施形態におけるそれらと同じである。

[0058] 本実施形態では、ＳＡＲ画像記憶部７００には、例えば、人工衛星の互いにずれた複数の軌道（マルチパス）のうちのそれぞれの軌道（パス）で得られた、１つの観測領域を対象としたそれぞれのＳＡＲ画像が蓄積されている。位相除去部２２０は、複数の軌道で得られた複数のＳＡＲ画像を入力する。

[0059] なお、飛翔体として航空機が使用される場合には、人工衛星を使用する場合に比べて、パスの選択の自由度が上がる。

[0060] 位相除去部２２０は、位相信号推定部２２１と位相信号除去部２２２とを含む。本実施形態では、位相信号推定部２２１は、ＳＡＲ画像記憶部７００に蓄積されている複数のＳＡＲ画像と１枚以上の比較対象のＳＡＲ画像とを含むＳＡＲ画像群を入力する。なお、１枚以上の比較対象のＳＡＲ画像は、全て新たに取得されたＳＡＲ画像でもよいし、ＳＡＲ画像記憶部７００に蓄積されている複数のＳＡＲ画像から選択されたＳＡＲ画像と新たに取得されたＳＡＲ画像との双方を含んでもよい。位相信号推定部２２１は、ＳＡＲ画像群を構成する全てのＳＡＲ画像の所定領域（レイオーバ領域）の位相信号を推定する。位相除去部２２０は、全てのＳＡＲ画像のレイオーバ領域の位相信号を除去する。

[0061] コヒーレント変化検知部２３０は、全てのＳＡＲ画像ペアを対象としてコヒーレンス画像を生成する。コヒーレント変化検知部２３０は、生成される複数のコヒーレンス画像を用いて、観測領域において変化が生じたか否か判定する。全てのＳＡＲ画像ペアは、ＳＡＲ画像群を構成する全てのＳＡＲ画像の各々の組合せである。一例として、ＳＡＲ画像群に４枚のＳＡＲ画像が

含まれている場合には、６つ（$={}_4C_2$）のＳＡＲ画像ペアがある。

[0062] 次に、図８のフローチャートを参照して第２の実施形態の変化検知装置の全体的な動作を説明する。

[0063] ３次元構造再構成部１１０は、第１の実施形態と同様に動作して、観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する（ステップＳ１０１）。

[0064] 位相除去部２２０において、位相信号推定部２２１は、３次元構造を参照して、全てのＳＡＲ画像の所定領域（レイオーバ領域）の位相信号を推定する（ステップＳ２０２）。

[0065] 位相信号除去部２２２は、全てのＳＡＲ画像について位相信号推定部２２１が推定した位相信号を除去する（ステップＳ２０３）。なお、位相信号の推定および除去の具体的方法は、第１の実施形態における方法と同じである（図５等参照）。

[0066] 位相除去部２２０は、所定領域の位相が除去された全てのＳＡＲ画像をコヒーレント変化検知部２３０に渡す。コヒーレント変化検知部２３０は、コヒーレント変化検知処理を実行する（ステップＳ２０４）。すなわち、コヒーレント変化検知部１３０は、観測領域において変化が生じたか否か判定する。

[0067] 図９は、コヒーレント変化検知部２３０が実行するコヒーレント変化検知処理を示すフローチャートである。

[0068] コヒーレント変化検知部２３０は、ＳＡＲ画像群（ＳＡＲ画像記憶部７００に蓄積されている複数のＳＡＲ画像と１枚または複数の比較対象のＳＡＲ画像とを含む。）におけるＳＡＲ画像の全ての組合せ（ペア）のコヒーレンス値を算出する（ステップＳ２３０）。

[0069] また、コヒーレント変化検知部２３０は、観測領域に変化が生じたか否か判定するための典型的なコヒーレンス値を算出する（ステップＳ２３１）。典型的なコヒーレンス値は、変化がない、または変化が所定の許容値よりも小さいＳＡＲ画像ペアのＳＡＲ画像間のコヒーレンス値に相当する。

[0070] コヒーレント変化検知部２３０は、典型的なコヒーレンス値を得るために

、例えば、全てのＳＡＲ画像ペアについて算出されたコヒーレンス値を２次元的に配列する。すなわち、コヒーレント変化検知部２３０は、算出されたコヒーレンス値を要素とするコヒーレンス行列を生成する。なお、ＳＡＲ画像に画像番号を付した場合、２次元的な配列の横軸は、全てのＳＡＲ画像ペアにおける一方のＳＡＲ画像の画像番号に対応する。２次元的な配列の縦軸は、全てのＳＡＲ画像ペアにおける他方のＳＡＲ画像の画像番号に対応する。

[0071] コヒーレント変化検知部２３０は、例えば、２次元的な配列における最も大きいコヒーレンス値を典型的なコヒーレンス値とする。

[0072] コヒーレント変化検知部２３０は、全てのＳＡＲ画像ペアのＳＡＲ画像間のコヒーレンス値を典型的なコヒーレンス値と比較する。コヒーレント変化検知部２３０は、典型的なコヒーレンス値との差が大きいコヒーレンス値を呈したＳＡＲ画像ペアが複数ある場合に、観測領域において、変化が生じたと判定する（ステップＳ２３３）。そのようなＳＡＲ画像ペアが存在しない場合には、コヒーレント変化検知部２３０は、観測領域中に変化は生じていないと判定する（ステップＳ２３４）。

[0073] なお、典型的なコヒーレンス値との差が大きいコヒーレンス値における「差」は、あらかじめ設定されている値である。また、差が大きいコヒーレンス値を呈したＳＡＲ画像が複数ある場合における「複数」は、あらかじめ設定されている値である。

[0074] 本実施形態では、コヒーレント変化検知においてマルチパスで得られた複数のＳＡＲ画像が使用されることによって、第１の実施形態の効果に加えて、コヒーレント変化検知の頑健性が向上するという効果が得られる。

[0075] 一般に、マルチパスにおける各々のパスで取得されたＳＡＲ画像の取得時刻は異なる。したがって、ＳＡＲ画像群に複数の比較対象のＳＡＲ画像が含まれる場合には、典型的なコヒーレンス値との差が大きいコヒーレンス値を呈したＳＡＲ画像ペアにおける比較対象のＳＡＲ画像の所得時刻から、観測領域において変化が生じた時期を認識することができる。

[0076] 実施形態３．

図１０は、第３の実施形態の変化検知装置の構成例を示すブロック図である。図１０に示す変化検知装置３００は、３次元構造再構成部１１０、位相除去部３２０およびコヒーレント変化検知部２３０を備える。３次元構造再構成部１１０の構成および動作は、第１の実施形態および第２の実施形態におけるそれらと同じである。コヒーレント変化検知部２３０の構成および動作は、第２の実施形態におけるそれらと同じである。

[0077] 位相除去部３２０は、位相信号推定部２２１と画素指定部３２１と位相信号除去部２２３とを含む。位相信号推定部２２１の構成および動作は、第２の実施形態におけるそれらと同じである。すなわち、位相信号推定部２２１は、ＳＡＲ画像記憶部７００に蓄積されている複数のＳＡＲ画像と１枚以上の比較対象のＳＡＲ画像とを含むＳＡＲ画像群を入力する。位相信号推定部２２１は、ＳＡＲ画像群を構成する全てのＳＡＲ画像について所定領域（レイオーバ領域）の位相信号を推定する。

[0078] 位相信号除去部２２３は、全てのＳＡＲ画像について、画素指定部３２１が特定した画素の位相信号を除去する。

[0079] 画素指定部３２１は、各々のＳＡＲ画像の画素から、位相信号が除去されるべき画素を特定する。

[0080] 次に、図１１のフローチャートを参照して第３の実施形態の変化検知装置の動作を説明する。

[0081] ３次元構造再構成部１１０は、第１の実施形態および第２の実施形態の場合と同様に動作して、観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する（ステップＳ１０１）。位相除去部２２０において、位相信号推定部２２１は、第１の実施形態および第２の実施形態の場合と同様に動作して、全てのＳＡＲ画像について所定領域の位相信号を推定する（ステップＳ２０２）。

[0082] 画素指定部３２１は、ＳＡＲ画像の各画素の全てのＳＡＲ画像に亘る平均強度（複数のＳＡＲ画像における同一位置の画素の平均強度の各々）を算出する（ステップＳ３０１）。

[0083] 画素の平均強度があらかじめ決められている所定値（画素選択のフィルタリングのためのしきい値）よりも大きい場合には、画素指定部３２１は、当該画素を、位相信号が除去されるべき画素と特定する（ステップＳ３０２）。その場合には、ステップＳ２０３Ａに移行する。画素の平均強度が所定値以下である場合には、ステップＳ２０４に移行する。なお、ステップＳ３０２では、画素指定部３２１は、全てのＳＡＲ画像を対象とし、それぞれのＳＡＲ画像における各々の画素の強度を当該画素の平均強度と比較する。そして、画素指定部３２１は、画素の強度が当該画素の平均強度よりも大きい場合に、当該ＳＡＲ画像（全てのＳＡＲ画像のうち、画素が平均強度との比較処理の対象になっているＳＡＲ画像）における当該画素を、位相信号が除去されるべき画素と特定する。

[0084] ステップＳ２０３Ａでは、位相信号除去部２２２は、全てのＳＡＲ画像について、画素指定部３２１が特定した画素の位相信号を除去する。なお、位相信号の推定および除去の具体的方法は、第１の実施形態における方法と同じである（図５等参照）。ただし、本実施形態では、位相信号除去部２２２は、観測信号における画素指定部３２１が特定した画素から、受信信号モデルg_{model}から予測される位相を除去する。そして、ステップＳ２０４に移行する。

[0085] ステップＳ２０４では、コヒーレント変化検知部２３０は、第２の実施形態の場合と同様に、コヒーレント変化検知処理を実行する。

[0086] 本実施形態では、画素の平均強度があらかじめ決められている所定値よりも大きい場合に、ＳＡＲ画像における当該画素の位相信号が除去される。すなわち、強度が低い画素については、位相信号の除外対象にならない。強度が低い画素の位相情報の信頼度は低い可能性がある。そのような画素に対して位相信号除去処理が施された後、コヒーレント変化検知処理が実行されると、却って、コヒーレント変化の誤検出が生ずるおそれがある。本実施形態のように、強度が低い画素については位相信号除去処理を施さないようにする場合には、コヒーレント変化の誤検出の可能性が低減することが期待され

る。

[0087] ［変形例］

図１２は、第３の実施形態の変化検知装置の変形例を示すブロック図である。図１２に示す変化検知装置３１０は、３次元構造再構成部１１０、位相除去部３３０およびコヒーレント変化検知部２３０を備える。位相除去部３３０は、画素指定部３２１と位相信号推定部２２１と位相信号除去部２２２とを含む。第３の実施形態とは異なり、本変形例では、画素指定部３２１は、位相信号が推定される前に動作する。

[0088] ３次元構造再構成部１１０の構成および動作は、第１の実施形態～第３の実施形態におけるそれらと同じである。コヒーレント変化検知部２３０の構成および動作は、第２の実施形態および第３の実施形態におけるそれらと同じである。

[0089] 次に、図１３のフローチャートを参照して第３の実施形態の変形例の変化検知装置３１０の動作を説明する。

[0090] 画素指定部３２１は、ＳＡＲ画像の各画素の全てのＳＡＲ画像に亘る平均強度（複数のＳＡＲ画像における同一位置の画素の平均強度の各々）を算出する（ステップＳ３０１）。

[0091] 画素の平均強度があらかじめ決められている所定値（画素選択のフィルタリングのためのしきい値）よりも大きい場合には、ステップＳ１０１に移行する（ステップＳ３０２）。画素の平均強度が所定値以下である場合には、ステップＳ２０４に移行する。ステップＳ３０２では、画素指定部３２１は、全てのＳＡＲ画像を対象とし、それぞれのＳＡＲ画像における各々の画素の強度を当該画素の平均強度と比較する。そして、画素指定部３２１が、画素の強度が当該画素の平均強度よりも大きいと判断した場合に、ステップＳ１０１に移行する。そうでない場合には、ステップＳ１０１，Ｓ２０２，Ｓ２０３の処理はスキップされる。

[0092] ステップＳ１０１，Ｓ２０２，Ｓ２０３の処理は、第２の実施形態における処理と同じである。すなわち、３次元構造再構成部１１０は、第２の実施

形態の場合と同様に動作して、観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する（ステップＳ１０１）。位相除去部２２０において、位相信号推定部２２１は、第２の実施形態と同様に、３次元構造を参照して、全てのＳＡＲ画像の所定領域の位相信号を推定する（ステップＳ２０２）。位相除去部３３０において、位相信号除去部２２２は、第２の実施形態と同様に、全てのＳＡＲ画像について位相信号推定部２２１が推定した位相信号を除去する（ステップＳ２０３）。

[0093] そして、コヒーレント変化検知部２３０は、第２の実施形態の場合と同様に、コヒーレント変化検知処理を実行する（ステップＳ２０４）。

[0094] 本実施形態では、画素の平均強度があらかじめ決められている所定値よりも大きい場合に、３次元構造を利用して位相信号を推定する処理（ステップＳ２０２）および位相信号を除去する処理（ステップＳ２０３）が実行される。すなわち、強度が低い画素については、位相信号を推定する処理および位相信号除去処理は実行されない。上述したように、強度が低い画素の位相情報の信頼度は低い可能性がある。そのような画素に対して位相信号除去処理が施された後、コヒーレント変化検知処理が実行されると、却って、コヒーレント変化の誤検出が生ずるおそれがある。本実施形態のように、強度が低い画素については位相信号を推定する処理および位相信号除去処理を施さないようにする場合には、コヒーレント変化の誤検出の可能性が低減することが期待される。

[0095] なお、上記の第３の実施形態およびその変形例の変化検知装置３００，３１０は、第２の実施形態の変化検知装置２００に対して画素指定部３２１が適用されて構成されている。しかし、第１の実施形態の変化検知装置１００に対して画素指定部３２１が適用されてもよい。

[0096] 実施形態４．

第１～第３の実施形態では、３次元構造再構成部１１０は、観測領域における所定領域の３次元構造を再構成するために、ＳＡＲ画像記憶部７００に蓄積されている複数のＳＡＲ画像を用いるＳＡＲトモグラフィの手法を用い

て３次元構造を表す３次元点群データを取得する。しかし、ＳＡＲトモグラフィの手法を用いずに３次元点群データを取得してもよい。

[0097] 第４の実施形態では、変化検知装置は、所定領域の３次元構造を再構成するために、ＳＡＲ画像による３次元点群データではなく、他の類いの３次元データを使用する。そのような３次元データとして、例えば、ＬｉＤＡＲによって取得される３次元点群データ、数値表層モデル（ＤＳＭ：Digital Surface Mode）、光学衛星等で取得された画像から生成される３次元情報を含むデータ（建造物等のポリゴンデータなど）がある。以下、変化検知装置がＬｉＤＡＲによって取得されたデータを用いる場合を例にするが、ＬｉＤＡＲ以外の３Ｄ撮像装置も使用可能である。

[0098] 図１４は、第４の実施形態の変化検知装置の構成例を示すブロック図である。図１４に示す変化検知装置４００は、３次元構造再構成部１１１、位相除去部１２０およびコヒーレント変化検知部１３０を備える。

[0099] ＬｉＤＡＲデータ記憶部８００には、あらかじめ、観測領域における各点の反射強度を含む３次元点群情報（３次元点群データ）が格納される。反射強度を含む情報（データ）は、一般的な３Ｄ（dimension）ＬｉＤＡＲによって受信された観測領域からの反射光の解析結果に基づく３次元点群データである。

[0100] ３次元構造再構成部１１１は、ＬｉＤＡＲデータ記憶部８００に格納されている３次元点群データからＳＡＲ画像における３次元点群データを推定する。３次元構造再構成部１１１は、例えば、ＳＡＲ画像を取得する人工衛星のシミュレーションに基づいて、ＳＡＲ画像における３次元点群データを推定する。ＳＡＲ画像を取得する人工衛星のシミュレーション手順として、例えば、ＬｉＤＡＲデータ記憶部８００に格納されている３次元点群データから作成したＤＳＭを入力として、ＳＡＲ座標系（アジマス－レンジ座標）へ座標変換し、ＤＳＭの形状とＳＡＲ衛星の位置情報とから１回散乱、２回散乱、３回散乱およびレーダーシャドウとなる位置を推定し、反射係数や反射表面の粗さを考慮して反射強度・位相を推定するという手法が挙げられる。

３次元構造再構成部１１１によって、実質的に、ＬｉＤＡＲデータ記憶部８００に格納されている３次元点群データは、ＳＡＲ画像における３次元点群データに変換される。

[0101] 位相除去部１２０およびコヒーレント変化検知部１３０は、第１の実施形態におけるそれらと同様に動作する。

[0102] 本実施形態では、変化検知装置４００は、ＳＡＲトモグラフィによって３次元構造を再構成する処理を実行しない。したがって、変化検知装置４００は、第１の実施形態の変化検知装置１００に比べて、処理時間を短縮することができる。

[0103] なお、本実施形態の変化検知装置４００は、第１の実施形態の変化検知装置１００に対して、ＬｉＤＡＲによる３次元点群データを用いる３次元構造再構成部１１１が適用されて構成されている。しかし、第２の実施形態の変化検知装置２００、第３の実施形態の変化検知装置３００、および変形例の変化検知装置３１０に対して３次元構造再構成部１１１が適用されてもよい。

[0104] 以上に説明したように、上記の各実施形態の変化検知装置は、ＳＡＲトモグラフィなどによって３次元点群データを生成し、３次元点群データを利用して、観測信号から所定領域（レイオーバ領域）の位相成分を除去する。そのような変化検知装置による変化検知の感度は、観測領域においてレイオーバが生ずるような場合でも、低下しない。また、変化検知装置は、レイオーバ領域についても、精度よくコヒーレント変化検知を行うことができる。

[0105] また、変化検知装置は、比較対象のＳＡＲ画像に関する３次元点群データを生成する処理を実行する必要がない。すなわち、変化検知装置は、比較対象のＳＡＲ画像が１枚であっても、感度がよい変化検知を実行できる。そのため、比較対象のＳＡＲ画像を収集する手間がかからず、かつ、変化検知装置の処理負担はさほど増えない。その結果、コヒーレント変化検知処理が短時間で遂行される。

[0106] また、変化検知装置は、コヒーレント変化検知を短時間で実行できるので

、例えば、定期的に観測領域を監視するような用途に用いられるときに、素早く変化を検知することができる。

[0107] また、上記の各実施形態を、ハードウェアで構成することも可能であるが、コンピュータプログラムにより実現することも可能である。また、上記の各実施形態における各構成要素のうちの一部をハードウェアで構成し、他部をソフトウェアで構成することもできる。

[0108] 図１５は、ＣＰＵを有するコンピュータの一例を示すブロック図である。コンピュータは、上記の各実施形態の変化検知装置に実装される。ＣＰＵ１０００は、記憶装置１００１に格納された変化検知プログラム（ソフトウェア要素：コード）に従って処理を実行することによって、上記の実施形態における各機能を実現する。すなわち、図１，図７，図１０，図１２，図１４に示された変化検知装置１００，２００，３００，３１０，４００における、３次元構造再構成部１１０，１１１、位相除去部１２０，２２０，３２０，３３０およびコヒーレント変化検知部１３０，２３０の機能を実現する。

[0109] 記憶装置１００１は、例えば、非一時的なコンピュータ可読媒体（non-transitory computer readable medium）である。非一時的なコンピュータ可読媒体は、様々なタイプの実体のある記録媒体（tangible storage medium）を含む。非一時的なコンピュータ可読媒体の具体例として、磁気記録媒体（例えば、ハードディスク）、光磁気記録媒体（例えば、光磁気ディスク）、ＣＤ－ＲＯＭ（Compact Disc-Read Only Memory）、ＣＤ－Ｒ（Compact Disc-Recordable）、ＣＤ－Ｒ／Ｗ（Compact Disc-ReWritable）、半導体メモリ（例えば、マスクＲＯＭ、ＰＲＯＭ（Programmable ROM）、ＥＰＲＯＭ（Erasable PROM）、フラッシュＲＯＭ）がある。

[0110] また、プログラムは、様々なタイプの一時的なコンピュータ可読媒体（transitory computer readable medium ）に格納されてもよい。一時的なコンピュータ可読媒体には、例えば、有線通信路または無線通信路を介して、すなわち、電気信号、光信号または電磁波を介して、プログラムが供給される。

[0111] メモリ１００２は、例えばＲＡＭ（Random Access Memory）で実現され、

ＣＰＵ１０００が処理を実行するときに一時的にデータを格納する記憶手段である。メモリ１００２に、記憶装置１００１または一時的なコンピュータ可読媒体が保持するプログラムが転送され、ＣＰＵ１０００がメモリ１００２内のプログラムに基づいて処理を実行するような形態も想定しうる。

[0112] 図１６は、変化検知装置の主要部を示すブロック図である。図１６に示す変化検知装置１０は、観測領域における所定領域（例えば、レイオーバ領域）の３次元構造を再構成する３次元構造再構成部（３次元構造再構成手段）１１（実施形態では、３次元構造再構成部１１０，１１１で実現される。）と、３次元構造を利用して、観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における所定領域の位相信号を除去する位相除去部（位相除去手段）１２（実施形態では、位相除去部１２０，２２０，３２０，３３０で実現される。）と、位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて観測領域の変化を検知する変化検知部（変化検知手段）１３（実施形態では、コヒーレント変化検知部１３０，２３０で実現される。）とを備えている。

[0113] 図１７は、他の態様の変化検知装置の主要部を示すブロック図である。図１７に示す変化検知装置１０において、３次元構造再構成部１１は、３次元構造として、ＳＡＲトモグラフィを用いて反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する３次元点群データ推定部１１Ａ（実施形態では、３次元構造再構成部１１０で実現される。）を含む。

[0114] 図１８は、さらに他の態様の変化検知装置の主要部を示すブロック図である。図１８に示す変化検知装置１０において、３次元構造再構成部１１は、３次元情報を含むデータ（一例として、ＬｉＤＡＲによる３次元点群データ）を用いて、ＳＡＲ画像における反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する３次元点群データ変換部１１Ｂ（実施形態では、ＳＡＲに関するシミュレーションを行う３次元構造再構成部１１１で実現される。）を含む。

[0115] 上記の実施形態の一部または全部は、以下の付記のようにも記載され得る

が、以下に限定されるわけではない。

[0116] （付記１）観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する３次元構造再構成手段と、

前記３次元構造を利用して、前記観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去する位相除去手段と、

位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて前記観測領域の変化を検知する変化検知手段と

を備える変化検知装置。

[0117] （付記２）前記３次元構造再構成手段は、３次元構造として、ＳＡＲトモグラフィを用いて反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する３次元点群データ推定手段を含む

付記１の変化検知装置。

[0118] （付記３）前記位相除去手段は、飛翔体に搭載されているレーダによって取得されたＳＡＲ画像群における各々のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去し、

前記変化検知手段は、前記ＳＡＲ画像群から選択された複数のＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、コヒーレンス画像のうちに典型的なコヒーレンス値との差が所定値よりも大きいコヒーレンス値が含まれるコヒーレンス画像が存在するか否かに基づいて、前記観測領域の変化を検知する

付記１または付記２の変化検知装置。

[0119] （付記４）前記位相除去手段は、ＳＡＲ画像における画素の強度が所定強度値よりも大きい画素の位相信号を除去する

付記１から付記３のうちのいずれかの変化検知装置。

[0120] （付記５）前記３次元構造再構成手段は、３次元情報を含むデータを用いて、ＳＡＲ画像における反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する３次元点群データ変換手段を含む

付記１の変化検知装置。

[0121] （付記６）観測領域における所定領域の３次元構造を再構成し、

前記３次元構造を利用して、前記観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去し、

位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて前記観測領域の変化を検知する

変化検知方法。

[0122] （付記７）３次元構造として、ＳＡＲトモグラフィを用いて反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する

付記６の変化検知方法。

[0123] （付記８）飛翔体に搭載されているレーダによって取得されたＳＡＲ画像群における各々のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去し、

前記ＳＡＲ画像群から選択された複数のＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、コヒーレンス画像のうちに典型的なコヒーレンス値との差が所定値よりも大きいコヒーレンス値が含まれるコヒーレンス画像が存在するか否かに基づいて、前記観測領域の変化を検知する

付記６または付記７の変化検知方法。

[0124] （付記９）ＳＡＲ画像における画素の強度が所定強度値よりも大きい画素の位相信号を除去する

付記６から付記８のうちのいずれかの変化検知方法。

[0125] （付記１０）３次元情報を含むデータを用いて、ＳＡＲ画像における反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する

付記６の変化検知方法。

[0126] （付記１１）コンピュータに、

観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する処理と、

前記３次元構造を利用して、前記観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去する処理と、

位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒ

ーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて前記観測領域の変化を検知する処理と

を実行させるための変化検知プログラムが格納されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0127] （付記１２）コンピュータに、３次元構造として、ＳＡＲトモグラフィを用いて反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する処理

を実行させる変化検知プログラムが格納された付記１１のコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0128] （付記１３）コンピュータに、

観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する処理と、

前記３次元構造を利用して、前記観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去する処理と、

位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて前記観測領域の変化を検知する処理と

を実行させるための変化検知プログラム。

[0129] （付記１４）コンピュータに、３次元構造として、ＳＡＲトモグラフィを用いて反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する処理

を実行させる付記１３の変化検知プログラム。

[0130] 以上、実施形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記の実施形態に限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、本願発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

符号の説明

[0131]

１０	変化検知装置
１１	３次元構造再構成部
１１Ａ	３次元点群データ推定部
１１Ｂ	３次元点群データ変換部
１２	位相除去部

１３　　変化検知部

１００，２００，３００，３１０，４００　変化検知装置

１１０，１１１　３次元構造再構成部

１２０，２２０，３２０，３３０　位相除去部

１２１，２２１　位相信号推定部

１２２，２２２，２２３　位相信号除去部

１３０，２３０　コヒーレント変化検知部

３２１　　画素指定部

７００　　ＳＡＲ画像記憶部

８００　　ＬｉＤＡＲデータ記憶部

１０００　ＣＰＵ

１００１　記憶装置

１００２　メモリ

請求の範囲

[請求項1] 観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する３次元構造再構成手段と、

前記３次元構造を利用して、前記観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去する位相除去手段と、

位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて前記観測領域の変化を検知する変化検知手段と

を備える変化検知装置。

[請求項2] 前記３次元構造再構成手段は、３次元構造として、ＳＡＲトモグラフィを用いて反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する３次元点群データ推定手段を含む

請求項１に記載の変化検知装置。

[請求項3] 前記位相除去手段は、飛翔体に搭載されているレーダによって取得されたＳＡＲ画像群における各々のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去し、

前記変化検知手段は、前記ＳＡＲ画像群から選択された複数のＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、コヒーレンス画像のうちに典型的なコヒーレンス値との差が所定値よりも大きいコヒーレンス値が含まれるコヒーレンス画像が存在するか否かに基づいて、前記観測領域の変化を検知する

請求項１または請求項２に記載の変化検知装置。

[請求項4] 前記位相除去手段は、ＳＡＲ画像における画素の強度が所定強度値よりも大きい画素の位相信号を除去する

請求項１から請求項３のうちのいずれか１項に記載の変化検知装置。

[請求項5] 前記３次元構造再構成手段は、３次元情報を含むデータを用いて、

ＳＡＲ画像における反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する３次元点群データ変換手段を含む

請求項１に記載の変化検知装置。

[請求項6] 観測領域における所定領域の３次元構造を再構成し、

前記３次元構造を利用して、前記観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去し、

位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて前記観測領域の変化を検知する

変化検知方法。

[請求項7] ３次元構造として、ＳＡＲトモグラフィを用いて反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する

請求項６に記載の変化検知方法。

[請求項8] 飛翔体に搭載されているレーダによって取得されたＳＡＲ画像群における各々のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去し、

前記ＳＡＲ画像群から選択された複数のＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、コヒーレンス画像のうちに典型的なコヒーレンス値との差が所定値よりも大きいコヒーレンス値が含まれるコヒーレンス画像が存在するか否かに基づいて、前記観測領域の変化を検知する

請求項６または請求項７に記載の変化検知方法。

[請求項9] ＳＡＲ画像における画素の強度が所定強度値よりも大きい画素の位相信号を除去する

請求項６から請求項８のうちのいずれか１項に記載の変化検知方法。

[請求項10] ３次元情報を含むデータを用いて、ＳＡＲ画像における反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する

請求項６に記載の変化検知方法。

[請求項11] コンピュータに、

観測領域における所定領域の３次元構造を再構成する処理と、

前記３次元構造を利用して、前記観測領域が撮影されている複数のＳＡＲ画像における前記所定領域の位相信号を除去する処理と、

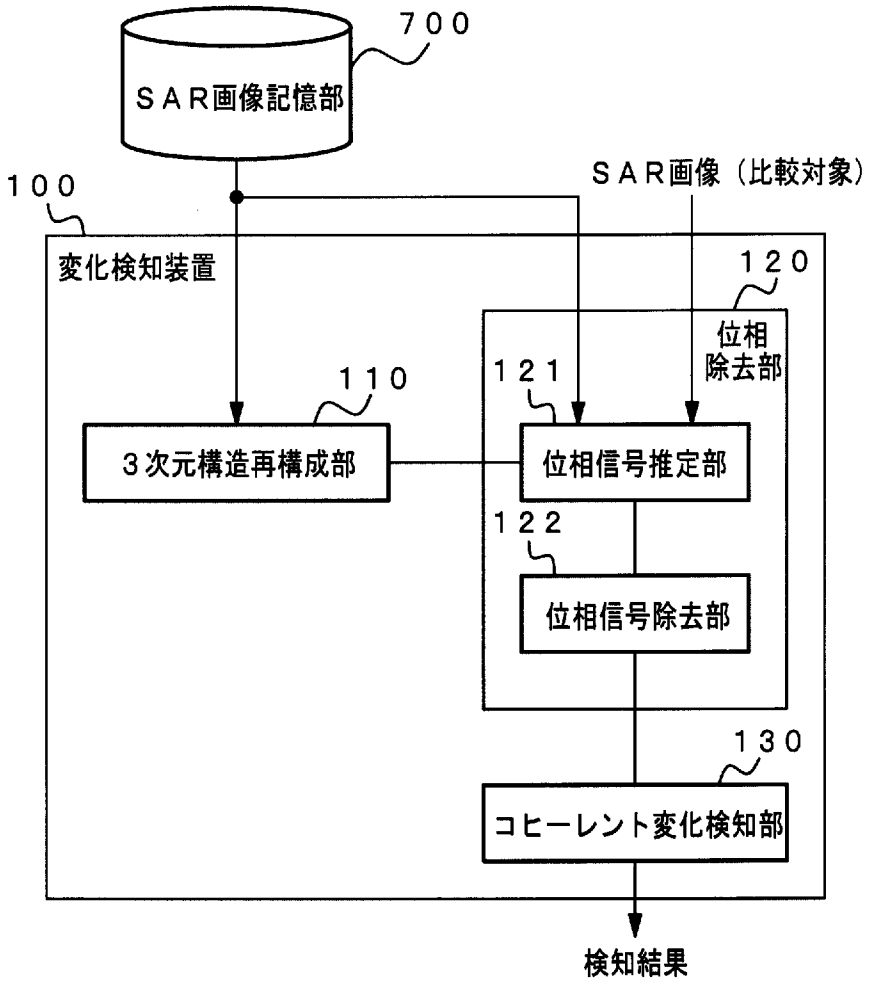
位相が除去されたＳＡＲ画像ペアからコヒーレンス画像を生成し、該コヒーレンス画像を構成する画素のコヒーレンス値に基づいて前記観測領域の変化を検知する処理と

を実行させるための変化検知プログラムが格納されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

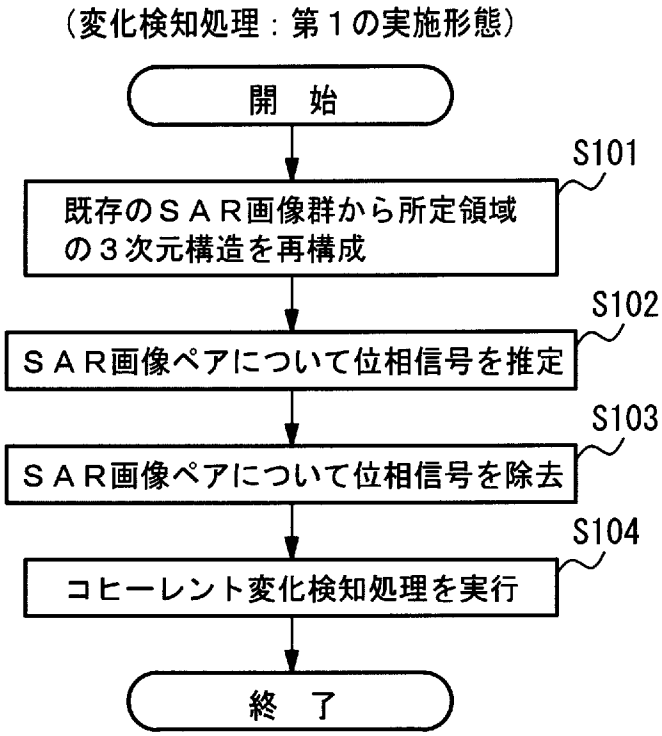
[請求項12] コンピュータに、３次元構造として、ＳＡＲトモグラフィを用いて反射強度および位相の情報を有する３次元点群データを推定する処理

を実行させる変化検知プログラムが格納された請求項１１に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

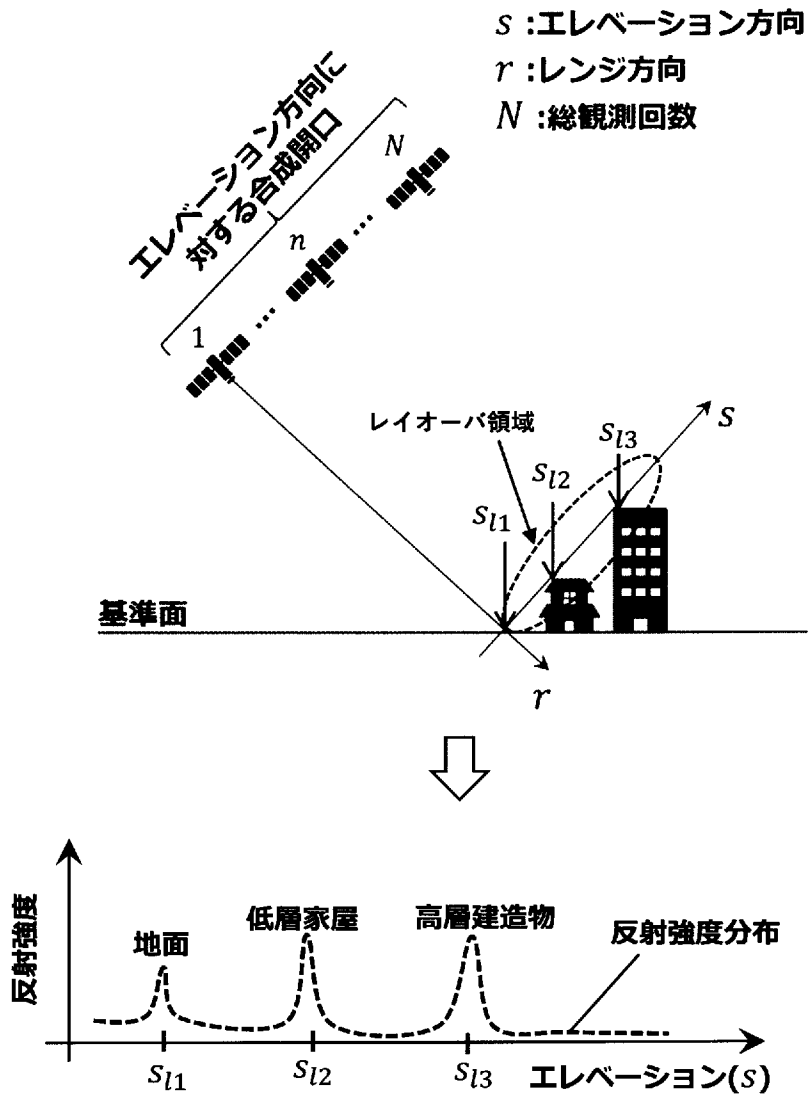
[図1]


７００
ＳＡＲ画像記憶部
１００
変化検知装置
ＳＡＲ画像（比較対象）
１２０
位相
除去部
１２１
１１０
３次元構造再構成部
位相信号推定部
１２２
位相信号除去部
１３０
コヒーレント変化検知部
検知結果

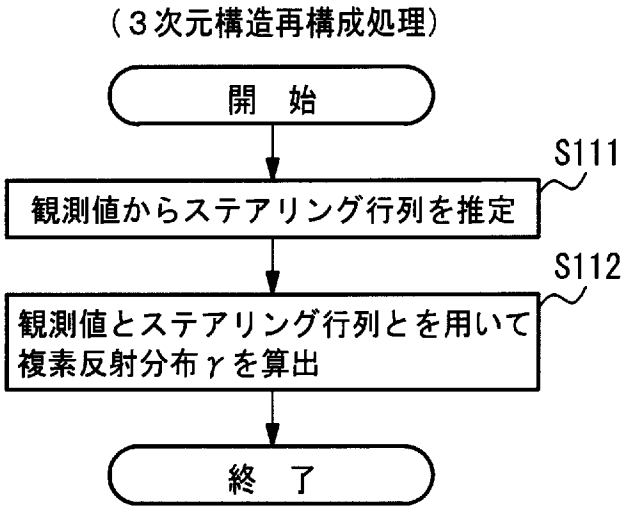
[図2]


（変化検知処理：第１の実施形態）
開　始
S101
既存のＳＡＲ画像群から所定領域の３次元構造を再構成
S102
ＳＡＲ画像ペアについて位相信号を推定
S103
ＳＡＲ画像ペアについて位相信号を除去
S104
コヒーレント変化検知処理を実行
終　了

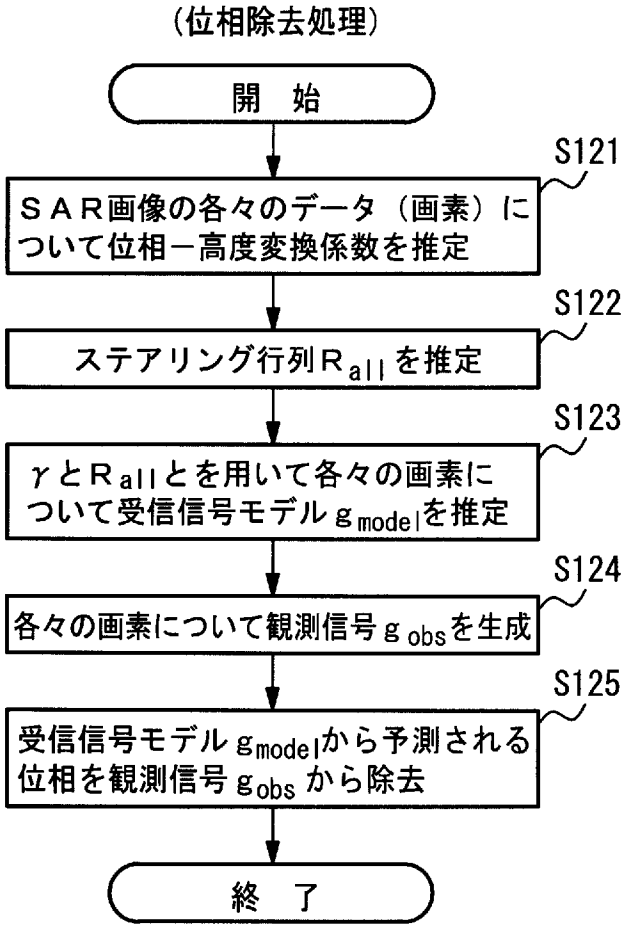
[図3]


s :エレベーション方向
r :レンジ方向
N :総観測回数
エレベーション方向に対する合成開口
N
n
1
レイオーバ領域
s_{l3}
s_{l2}
s_{l1}
s
基準面
r
反射強度
地面
低層家屋
高層建造物
反射強度分布
s_{l1}
s_{l2}
s_{l3}
エレベーション(s)

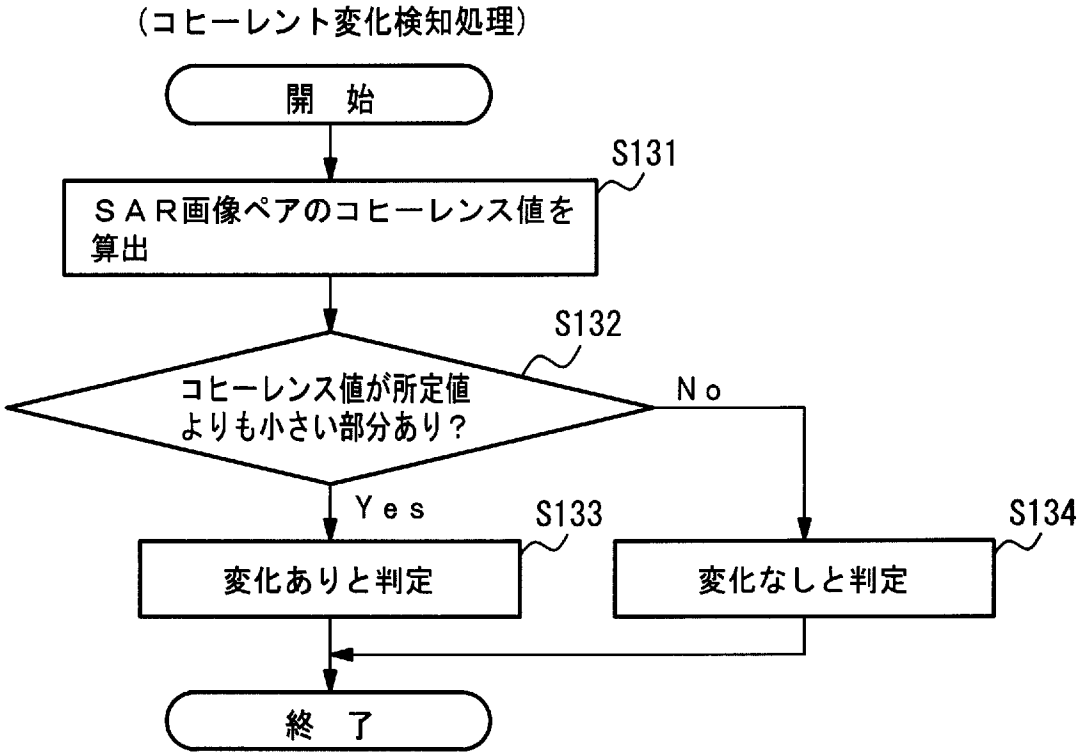
[図4]


（３次元構造再構成処理）
開　始
S111
観測値からステアリング行列を推定
S112
観測値とステアリング行列とを用いて
複素反射分布γを算出
終　了

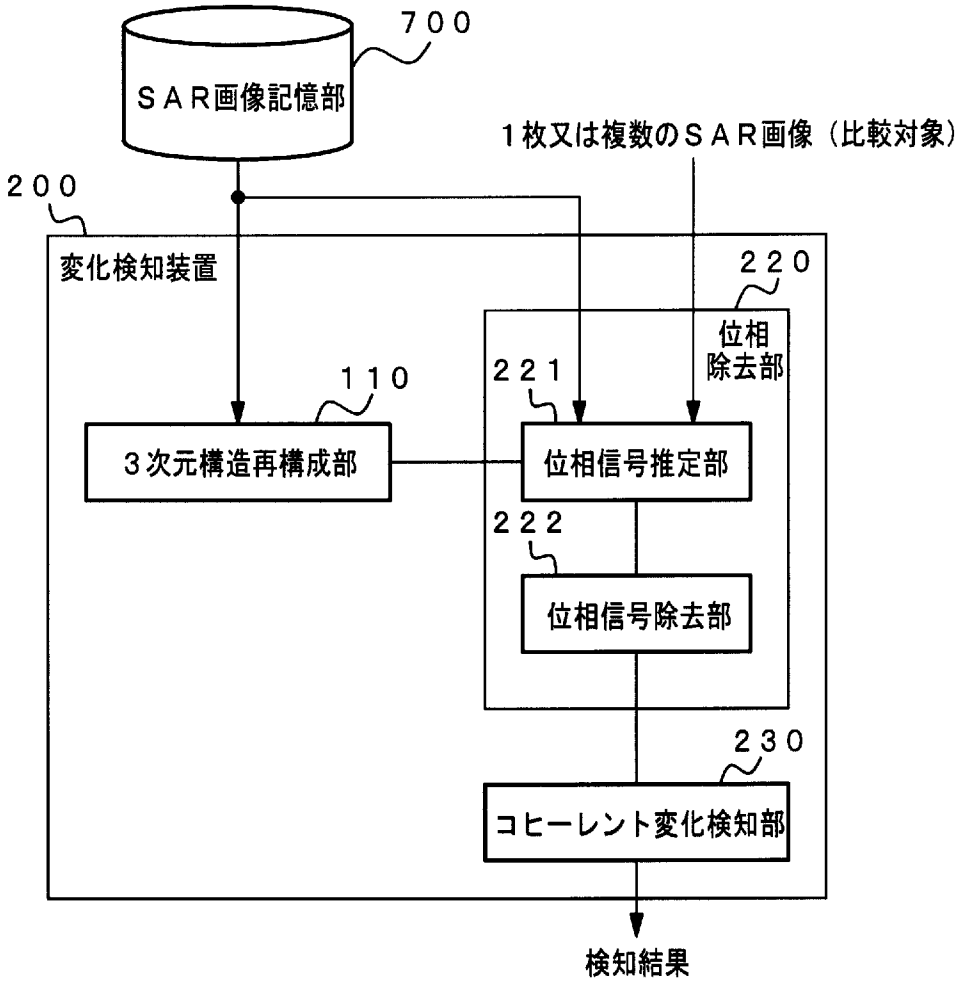
[図5]


（位相除去処理）
開　始
S121
ＳＡＲ画像の各々のデータ（画素）に
ついて位相－高度変換係数を推定
S122
ステアリング行列R_{all}を推定
S123
γとR_{all}とを用いて各々の画素に
ついて受信信号モデルg_{model}を推定
S124
各々の画素について観測信号g_{obs}を生成
S125
受信信号モデルg_{model}から予測される
位相を観測信号g_{obs}から除去
終　了

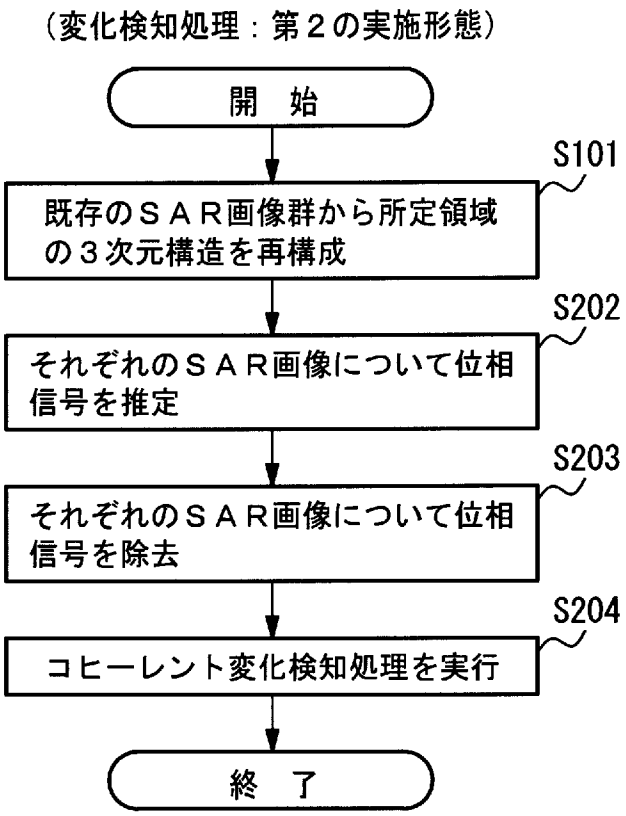
[図6]


（コヒーレント変化検知処理）
開　始
S131
ＳＡＲ画像ペアのコヒーレンス値を算出
S132
コヒーレンス値が所定値よりも小さい部分あり？
Ｎｏ
Ｙｅｓ
S133
変化ありと判定
S134
変化なしと判定
終　了

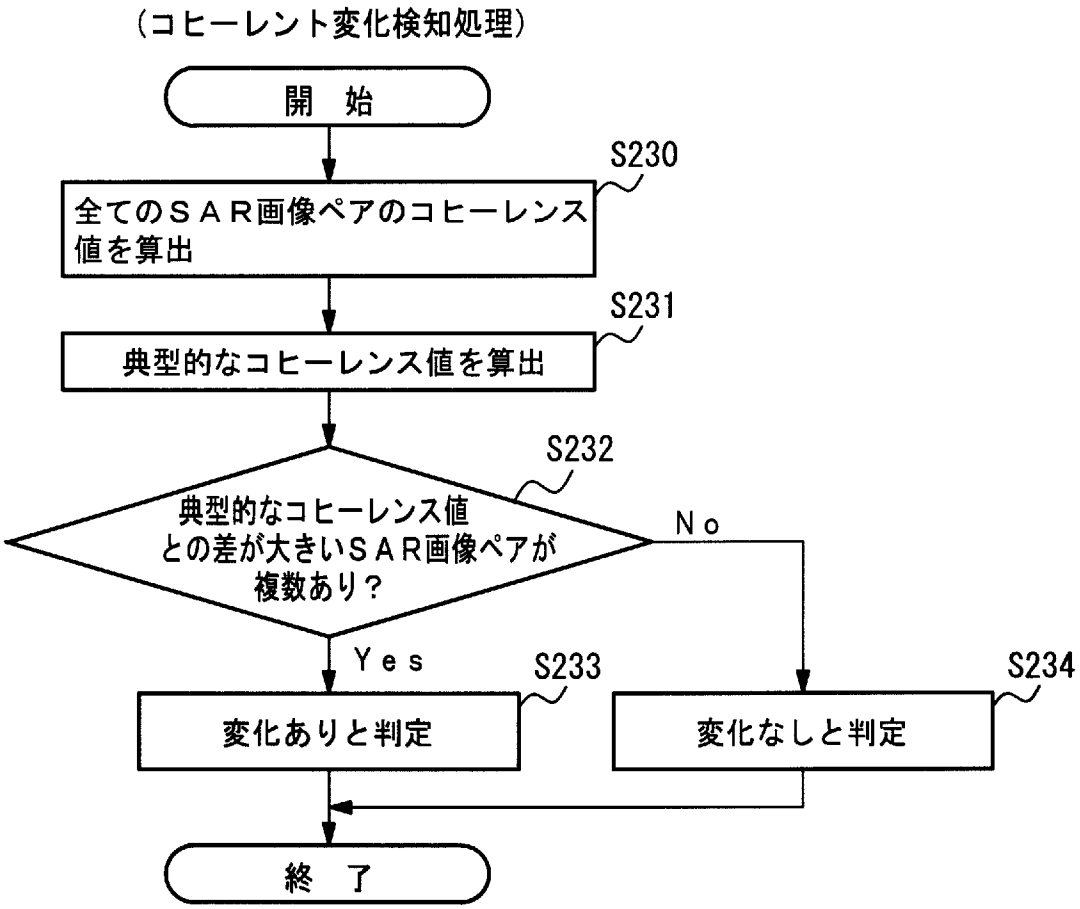
[図7]


700
ＳＡＲ画像記憶部
１枚又は複数のＳＡＲ画像（比較対象）
200
変化検知装置
220
位相
除去部
221
110
３次元構造再構成部
位相信号推定部
222
位相信号除去部
230
コヒーレント変化検知部
検知結果

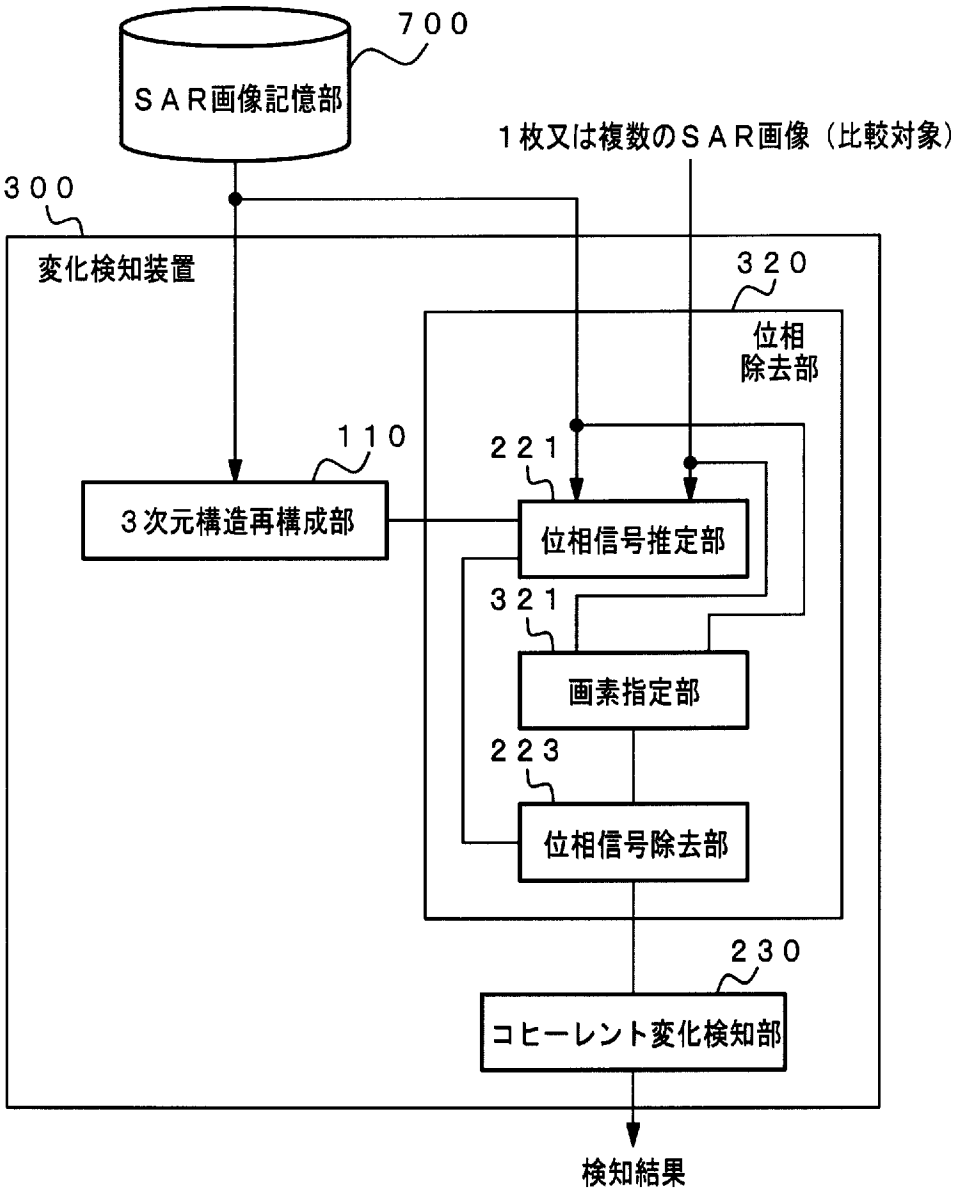
[図8]


（変化検知処理：第２の実施形態）
開　始
S101
既存のＳＡＲ画像群から所定領域の３次元構造を再構成
S202
それぞれのＳＡＲ画像について位相信号を推定
S203
それぞれのＳＡＲ画像について位相信号を除去
S204
コヒーレント変化検知処理を実行
終　了

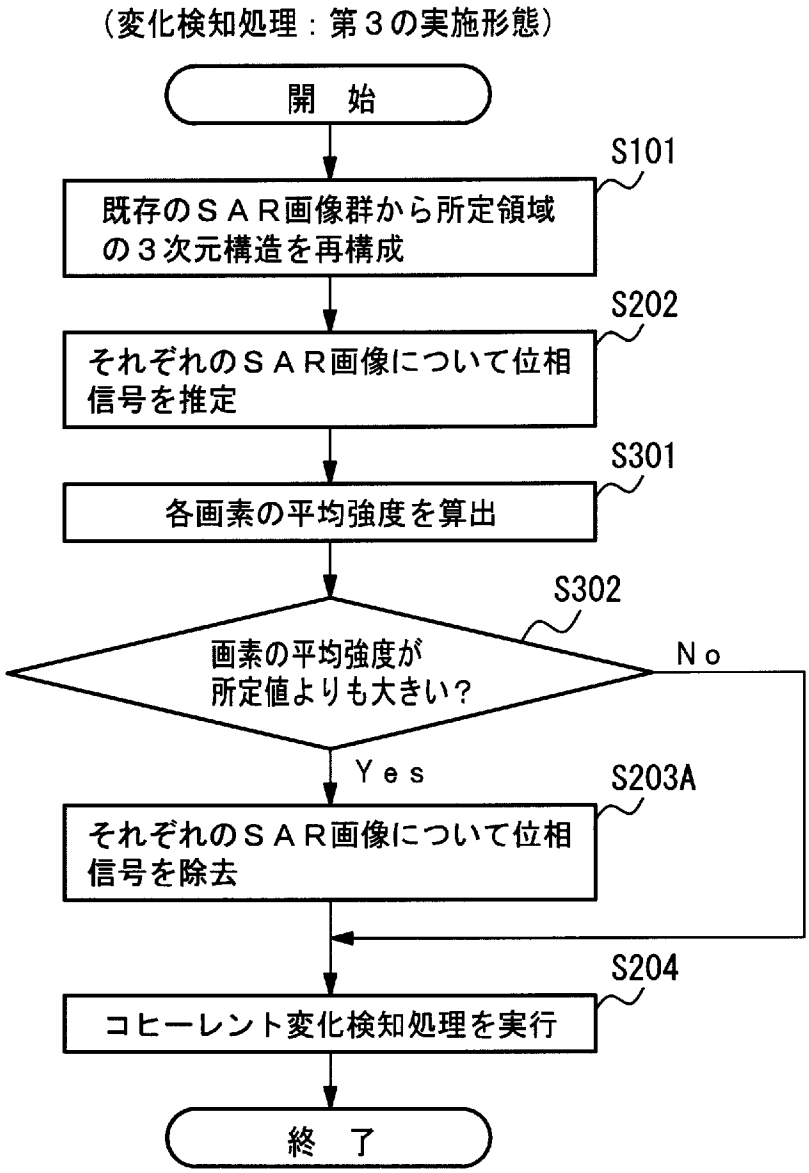
[図9]


（コヒーレント変化検知処理）
開　始
S230
全てのＳＡＲ画像ペアのコヒーレンス値を算出
S231
典型的なコヒーレンス値を算出
S232
典型的なコヒーレンス値との差が大きいＳＡＲ画像ペアが複数あり？
Ｎｏ
Ｙｅｓ
S233
変化ありと判定
S234
変化なしと判定
終　了

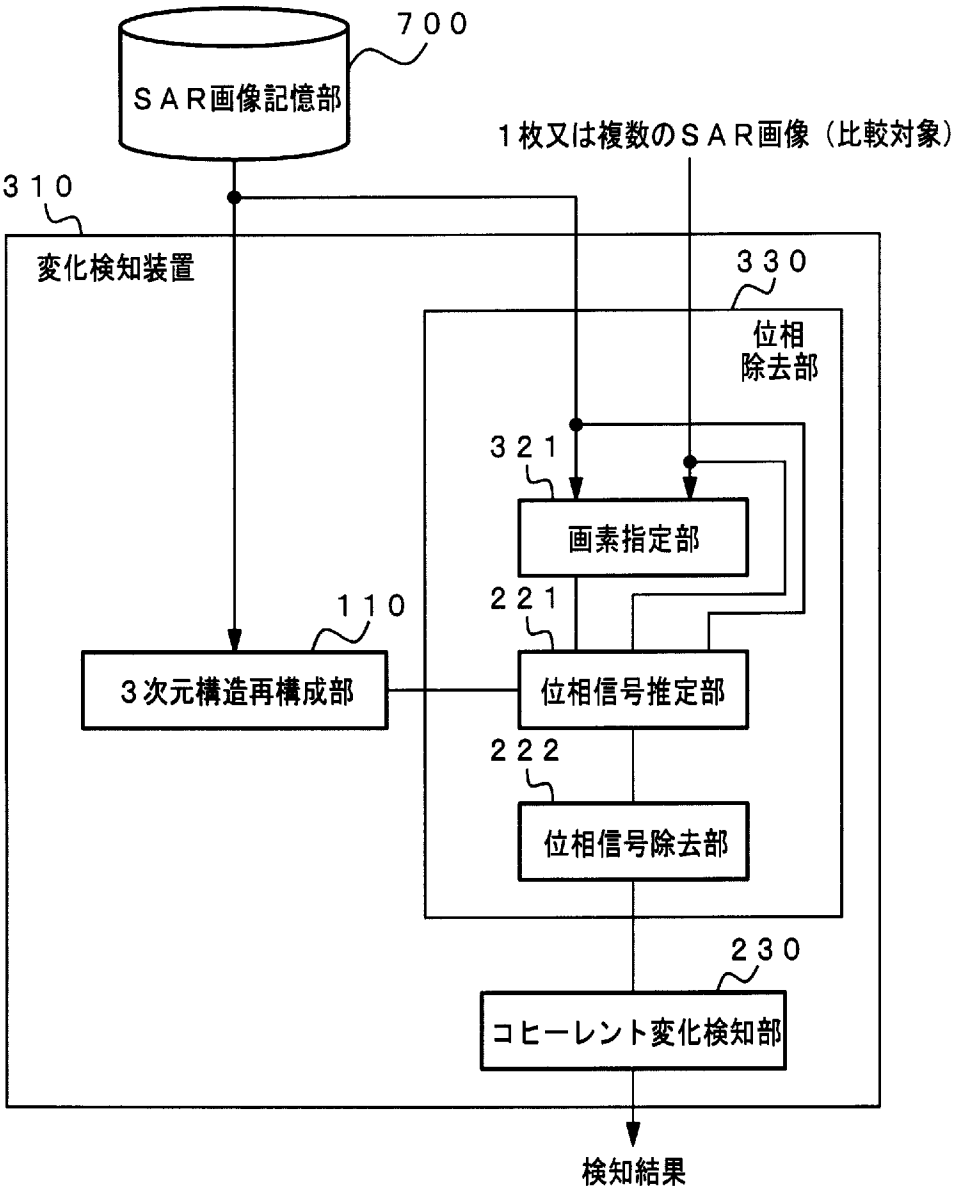
[図10]


７００
ＳＡＲ画像記憶部
１枚又は複数のＳＡＲ画像（比較対象）
３００
変化検知装置
３２０
位相
除去部
１１０
２２１
３次元構造再構成部
位相信号推定部
３２１
画素指定部
２２３
位相信号除去部
２３０
コヒーレント変化検知部
検知結果

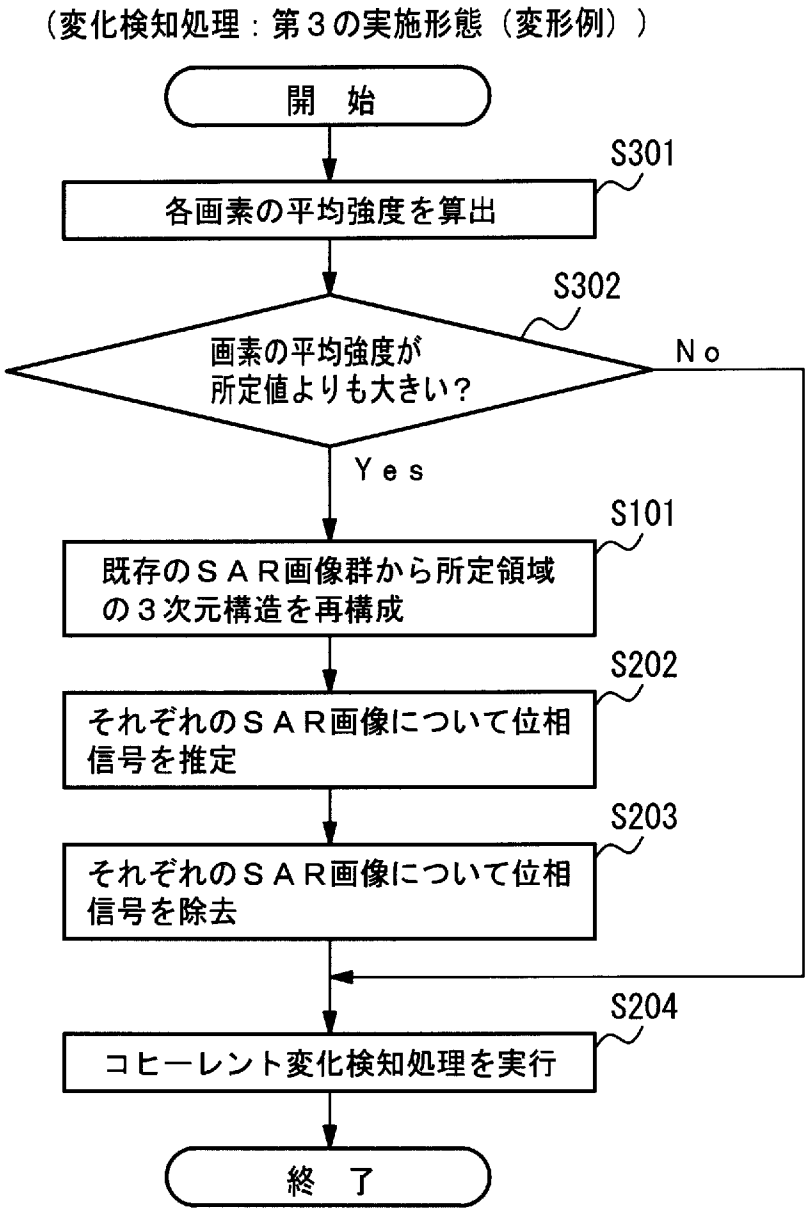
[図11]


（変化検知処理：第３の実施形態）
開　始
S101
既存のＳＡＲ画像群から所定領域の３次元構造を再構成
S202
それぞれのＳＡＲ画像について位相信号を推定
S301
各画素の平均強度を算出
S302
画素の平均強度が所定値よりも大きい？
Ｎｏ
Ｙｅｓ
S203A
それぞれのＳＡＲ画像について位相信号を除去
S204
コヒーレント変化検知処理を実行
終　了

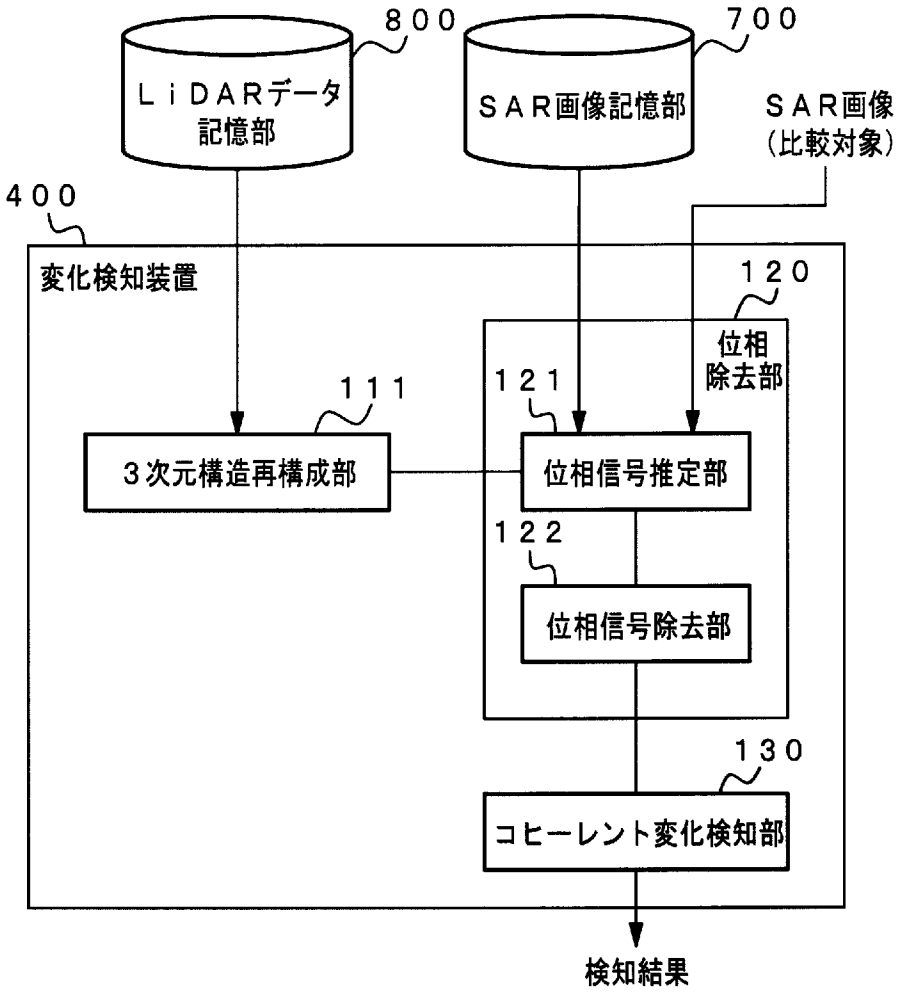
[図12]


700
ＳＡＲ画像記憶部
１枚又は複数のＳＡＲ画像（比較対象）
310
変化検知装置
330
位相
除去部
321
画素指定部
221
110
３次元構造再構成部
位相信号推定部
222
位相信号除去部
230
コヒーレント変化検知部
検知結果

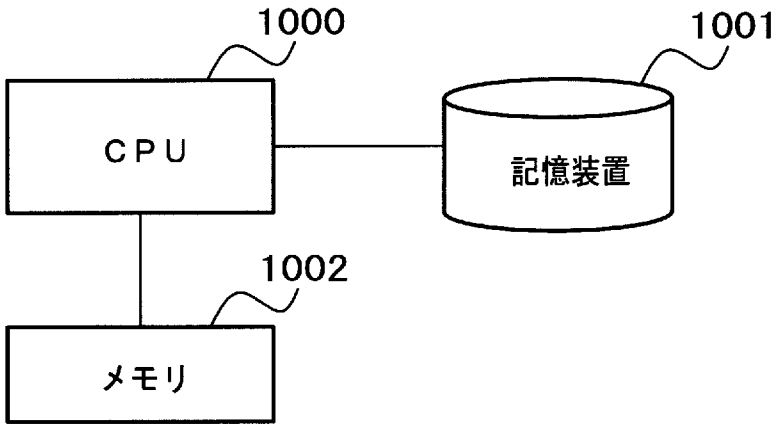
[図13]


（変化検知処理：第３の実施形態（変形例））
開　始
S301
各画素の平均強度を算出
S302
画素の平均強度が
所定値よりも大きい？
Ｎｏ
Ｙｅｓ
S101
既存のＳＡＲ画像群から所定領域
の３次元構造を再構成
S202
それぞれのＳＡＲ画像について位相
信号を推定
S203
それぞれのＳＡＲ画像について位相
信号を除去
S204
コヒーレント変化検知処理を実行
終　了

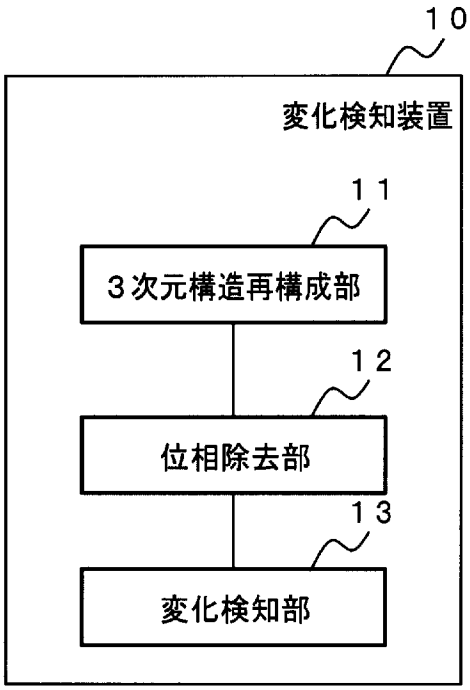
[図14]


800
700
LiDARデータ
記憶部
SAR画像記憶部
SAR画像
(比較対象)
400
変化検知装置
120
位相
除去部
111
121
3次元構造再構成部
位相信号推定部
122
位相信号除去部
130
コヒーレント変化検知部
検知結果

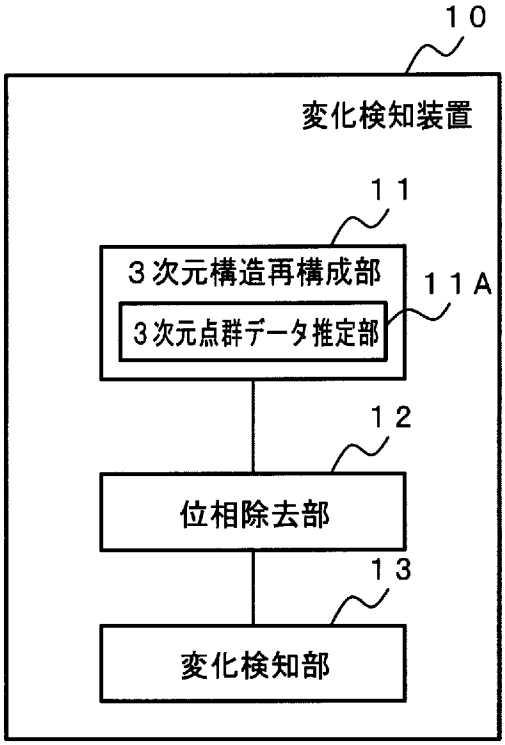
[図15]


1000
1001
CPU
記憶装置
1002
メモリ

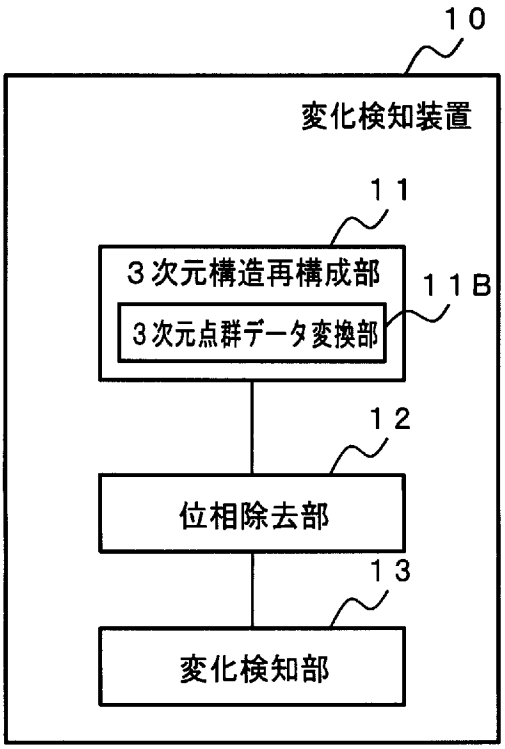
[図16]


10
変化検知装置
11
3次元構造再構成部
12
位相除去部
13
変化検知部

[図17]


10
変化検知装置
11
3次元構造再構成部
11A
3次元点群データ推定部
12
位相除去部
13
変化検知部

[図18]


10
変化検知装置
11
3次元構造再構成部
11B
3次元点群データ変換部
12
位相除去部
13
変化検知部

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/009209

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. G01S13/90(2006.01)i
FI: G01S13/90

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)
Int. Cl. G01S7/00-7/42, G01S13/00-13/95, G06T1/00-19/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021
Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2019/087673 A1 (NEC CORP.) 09 May 2019 (2019-05-09), paragraphs [0013]-[0087], fig. 1-6	1, 3-6, 8-11
Y	US 2019/0285741 A1 (ELTA SYSTEMS LTD.) 19 September 2019 (2019-09-19), paragraphs [0045]-[0082], fig. 1-5	1, 3-6, 8-11
A	JP 2021-21703 A (PASCO CORP.) 18 February 2021 (2021-02-18), entire text, all drawings	1-12
A	WO 2015/151134 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 08 October 2015 (2015-10-08), entire text, all drawings	1-12

☒ 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	Date of mailing of the international search report
18.05.2021	01.06.2021
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/JP2021/009209

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/125929 A2 (UNIVERSITY OF PISA) 23 October 2008 (2008-10-23), entire text, all drawings	1-12
A	WO 2015/008310 A1 (CONSIGLIO NAZIONALE RICERCHE) 22 January 2015 (2015-01-22), entire text, all drawings	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/009209

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2019/087673 A1	09.05.2019	(Family: none)	
US 2019/0285741 A1	19.09.2019	EP 3540462 A1 SG 10201902035P A SG 10201912481V A	
JP 2021-21703 A	18.02.2021	(Family: none)	
WO 2015/151134 A1	08.10.2015	(Family: none)	
WO 2008/125929 A2	23.10.2008	EP 2160628 A2 IT PI20070012 A1	
WO 2015/008310 A1	22.01.2015	EP 3022582 A1 IT RM20130426 A1	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/009209

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01S 13/90(2006.01)i
FI: G01S13/90

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））

G01S7/00-7/42;G01S13/00-13/95;G06T1/00-19/20

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	１９７１－２０２１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２１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）

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
Y	WO 2019/087673 A1 (日本電気株式会社) 09.05.2019 (2019-05-09) 段落0013-0087,図1-6	1,3-6,8-11
Y	US 2019/0285741 A1 (ELTA SYSTEMS LTD.) 19.09.2019 (2019-09-19) 段落0045-0082,図1-5	1,3-6,8-11
A	JP 2021-21703 A (株式会社パスコ) 18.02.2021 (2021-02-18) 全文,全図	1-12
A	WO 2015/151134 A1 (三菱電機株式会社) 08.10.2015 (2015-10-08) 全文,全図	1-12
A	WO 2008/125929 A2 (UNIV. PISA) 23.10.2008 (2008-10-23) 全文,全図	1-12
A	WO 2015/008310 A1 (CONSIGLIO NAZIONALE RICERCHE) 22.01.2015 (2015-01-22) 全文,全図	1-12

☐ 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
18.05.2021	01.06.2021

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
佐藤　宙子 2S 9316
電話番号 03-3581-1101 内線 3216

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2021/009209

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2019/087673 A1	09.05.2019	（ファミリーなし）	
US 2019/0285741 A1	19.09.2019	EP 3540462 A1	
		SG 10201902035P A	
		SG 10201912481V A	
JP 2021-21703 A	18.02.2021	（ファミリーなし）	
WO 2015/151134 A1	08.10.2015	（ファミリーなし）	
WO 2008/125929 A2	23.10.2008	EP 2160628 A2	
		IT PI20070012 A1	
WO 2015/008310 A1	22.01.2015	EP 3022582 A1	
		IT RM20130426 A1	