(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12月29日(29.12.2022)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2022/269754 A1

(51) 国際特許分類:
G01S 13/89 (2006.01)　*G01S 13/90* (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2021/023597

(22) 国際出願日：　2021年6月22日(22.06.2021)

(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：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).

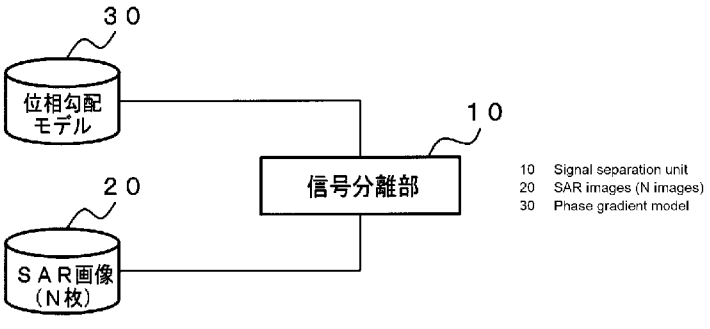
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, 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：
— 国際調査報告（条約第21条(3)）

(54) **Title:** IMAGE ANALYSIS DEVICE AND IMAGE ANALYSIS METHOD

(54) 発明の名称： 画像解析装置および画像解析方法



(57) **Abstract:** An image analysis device comprises a signal separation unit 10 that: receives, as input, a plurality of radar images in which the same geographical region is recorded and a phase gradient model that represents the phase differences between a plurality of nearby pixels at the surface of an analysis target that could be present in the radar images; and extracts a component that conforms to the phase differences represented by the phase gradient model from the radar images.

(57) 要約：画像解析装置は、同一地域が記録された複数のレーダ画像と、レーダ画像に存在しうる解析対象の表面における近接する複数の画素の位相差を表わす位相勾配モデルとを入力し、位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分をレーダ画像から抽出する信号分離部１０を備える。

WO 2022/269754 A1

明　細　書

発明の名称 ： 画像解析装置および画像解析方法

技術分野

[0001] 本発明は、レーダ画像に基づいて変位等を解析する画像解析装置および画像解析方法に関する。

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、地表変位等を解析する等のために利用される。なお、地表は、地面だけでなく、低層の建物などの低い構造物が存在する表面（上面）も含むとする。

[0004] 人工衛星などの飛翔体で撮影された画像をレーダ画像という。ＳＡＲ画像は、レーダ画像の一例である。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] 地表変位等を解析するための有効な手法として、干渉ＳＡＲ解析がある。干渉ＳＡＲ解析では、違う時期に撮影された複数（例えば、２枚）のＳＡＲ画像を構成する電波信号の位相差が計算される。そして、位相差に基づいて撮影時期の間で生じた飛翔体と反射体と間の距離の変化が検出される。

[0006] ＳＡＲ画像は、レイオーバの影響を受けることがある（例えば、特許文献１参照）。例えば、観測領域に送電鉄塔や高層建築物が存在する場合に、人工衛星に搭載されたレーダにおいて、送電鉄塔や高層建築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、送

電鉄塔の情報が地表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。

[0007] 送電鉄塔を例にすると、送電鉄塔の電波の反射強度は、地表の電波の反射強度に比べて弱いことが多い。すなわち、送電鉄塔は、弱い反射を呈する反射体である。したがって、送電鉄塔からの反射波が地表からの反射波に紛れる。その結果、ＳＡＲ画像を用いて送電鉄塔を解析するときに、レイオーバによって、送電鉄塔の位相（レーダからの距離の情報を含む。）に基づく解析が困難になる。

[0008] また、一般に、ＳＡＲ画像を用いる変位解析は、線形の変位を対象とする。例えば洪水による洗堀や地震などに起因する建造物の非線形な変位（短時間での大幅な傾斜や短時間での転倒など）を推定することは難しい。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：国際公開第２０１５／１５１１３４号

非特許文献

[0010] 非特許文献1：Ricardo Lanari, et al., "A Small-Baseline Approach for Investigating Deformations on Full-Resolution Differential SAR Interferograms", IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 42, NO. 7, pp. 1377-1386, JULY 2004

非特許文献2：Fabrizio Lombardini, et al., "New developments of 4D+ differential SAR tomography to probe complex dynamic scenes", IEEE IGARSS, pp. 3362-3365, 2014

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] ＳＡＲ画像を用いた時系列解析として、ＳＢＡＳ（Small BAseline Subset）がある（例えば、非特許文献１参照）。ＳＢＡＳは、多数の短い垂直基線

長および短い撮像時間間隔のＳＡＲ干渉画像を用いて変位量を推定する方法である。ＳＢＡＳを用い、相対位相（－π～πの間の値をとる位相）を絶対位相に変換（アンラップ）した後、絶対位相に回帰モデル等を適用してフィルタリングを行うことによって変位が抽出される。そのような手法は、非線形な変位も対応可能である。しかし、そのような手法を用いた場合、特定の１つの反射体のみの変位しか推定できない。すなわち、弱い反射を呈する反射体と強い反射を呈する反射体とがともに存在する場合に、例えば、弱い反射を呈する反射体のみの位相を評価することは難しい。

[0012] また、撮影が実行される毎に個々の反射体が時間的にどのような位相変化を持つのかを、変位速度や高さをパラメータとしてあらかじめモデル化する手法がある。例えば、非特許文献２に記載されている４Ｄトモグラフィを利用する場合には、時間的に変化する位相変化モデルを使用する。位相変化モデルは、４Ｄトモグラフィを利用して作成され、高さに関する情報を含む。実際の観測信号（観測画像）と、あらかじめモデル化された複数の位相変化モデルとが比較される。そして、観測信号に合致する各々の反射体の位相変化モデルが選択される。すなわち、複素画像である観測信号と位相変化モデルから導出される複素数との差が所定値以下であるモデルが選択される。選択された各々の位相変化モデルから、所望のパラメータが得られる。

[0013] そのような手法を用いた場合、複数の反射体の各々の変位を得ることができる。すなわち、レイオーバが生じても、複数の反射体（例えば、送電鉄塔と地表）を分離して、各々の変位を得ることができる。しかし、観測信号に合致する位相変化モデルが存在しない場合には、複数の反射体の分離やパラメータの推定を行うことはできない。また、一般に、反射体の位相変化モデルとして線形のモデルが用意されるので、４Ｄトモグラフィを利用する手法は、特定の反射体の非線形な変位を推定するための使用には適さない。

[0014] なお、モデル化することによってあらかじめ得られている複数のモデルを利用する方法として、さらに、ＭＵＳＩＣ（Multiple Signal Classification）法やＣａｐｏｎ法を用いて作成された３次元画像を利用する方法がある。

また、観測信号（観測画像）のスパース化を併用する方法がある。

[0015] いずれの既知の手法を使用する場合でも、送電鉄塔などの高い反射体からの反射波と地表からの反射波とを分離して各々の変位（特に、送電鉄塔などの反射体の変位）を推定でき、かつ、反射体の非線形な変位にも対応できるようにすることは難しい。例えば、４Ｄトモグラフィを利用する場合でも、適切な非線形モデルを作成することは難しいからである。

[0016] 本発明は、弱い反射を呈する反射体と強い反射を呈する反射体とがレイオーバによって重畳して観測されている場合でも、弱い反射を呈する反射体の位相を解析でき、さらに、反射体の非線形な変位にも対応可能な画像解析装置および画像解析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] 本発明による画像解析装置は、同一地域が記録された複数のレーダ画像と、レーダ画像に存在しうる解析対象の表面における近接する複数の画素の位相差を表わす位相勾配モデルとを入力し、位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分をレーダ画像から抽出する信号分離手段を備える。

[0018] 本発明による画像解析方法は、同一地域が記録された複数のレーダ画像と、レーダ画像に存在しうる解析対象の表面における近接する複数の画素の位相差を表わす位相勾配モデルとを入力し、位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分をレーダ画像から抽出する。

[0019] 本発明による画像解析プログラムは、コンピュータに、同一地域が記録された複数のレーダ画像と、レーダ画像に存在しうる解析対象の表面における近接する複数の画素の位相差を表わす位相勾配モデルとを入力し、位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分をレーダ画像から抽出する処理を実行させる。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、弱い反射を呈する反射体と強い反射を呈する反射体とがレイオーバによって重畳して観測されている場合でも、弱い反射を呈する反射体の位相を解析でき、さらに、反射体の非線形な変位にも対応可能になる

。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]画像解析装置の実施形態の概要を示すブロック図である。

[図2]第１の実施形態の画像解析装置の構成例を示すブロック図である。

[図3]第１の実施形態の画像解析装置の動作を示すフローチャートである。

[図4]第２の実施形態の画像解析装置の構成例を示すブロック図である。

[図5]解析対象の反射および周辺領域の反射を説明するための説明図である。

[図6]第２の実施形態の画像解析装置の動作を示すフローチャートである。

[図7]第３の実施形態の画像解析装置の構成例を示すブロック図である。

[図8]レイオーバ領域連続性モデルを説明するための説明図である。

[図9]第３の実施形態の画像解析装置の動作を示すフローチャートである。

[図10]第４の実施形態の画像解析装置の構成例を示すブロック図である。

[図11]第４の実施形態の画像解析装置の動作を示すフローチャートである。

[図12]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13]画像解析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。以下に説明する各実施形態では、電磁波を用いて得られるレーダ画像としてＳＡＲ画像を例にするが、レーダ画像は、ＳＡＲ画像に限定されない。また、以下に説明する各実施形態では、弱い反射を呈する反射体として送電鉄塔を例にするが、弱い反射を呈する反射体は、送電鉄塔に限定されない。

[0023] 以下に説明する各実施形態は、送電鉄塔に関する空間的な位相勾配モデルを使用する。空間的な位相勾配モデルは、ＳＡＲ画像における近接する複数の画素間の位相勾配を制約するモデルである。なお、位相勾配の制約は、例えば、位相差がどの程度になっているのかを規定することを意味する。後述する信号分離部は、ＳＡＲ画像における制約（条件）に整合する位相勾配を持つ部分を、弱い反射を呈する反射体（送電鉄塔）に属する表面であると判定する。すなわち、信号分離部は、ＳＡＲ画像から、空間的な位相勾配モデ

ルに整合する位相勾配を有する成分を抽出する機能を有する。

[0024] 図１は、画像解析装置の実施形態の概要を示すブロック図である。画像解析装置は、信号分離部１０、ＳＡＲ画像格納部２０および位相勾配モデル格納部３０を備える。

[0025] ＳＡＲ画像格納部２０は、同じ地域が撮影されたＮ枚（例えば、Ｎ＝１０～３０程度）のＳＡＲ画像を格納する。以下、ＳＡＲ画像格納部２０に格納されているＳＡＲ画像を、入力ＳＡＲ画像または入力ＳＡＲ画像群ともいう。Ｎ枚のＳＡＲ画像は、それぞれ同一地域が記録されたレーダ画像であり、異なる時刻または軌道で取得されたレーダ画像である。すなわち、ＳＡＲ画像格納部２０に格納されるＳＡＲ画像は、取得された時刻は異なっているが同じ軌道で取得されたレーダ画像であってもよい。また、複数のＳＡＲ画像は、取得された軌道は異なっているが同じ時刻に取得されたレーダ画像であってもよい。さらに、複数のＳＡＲ画像は、取得時刻および取得軌道がともに異なっているレーダ画像であってもよい。

[0026] また、入力ＳＡＲ画像は、Flatteningによって既知の標高モデルに依存した位相が除去された後の画像であってもよい。また、Flatteningで使用される標高モデルは、平面や球面のモデルであってもよい。

[0027] 位相勾配モデル格納部３０は、あらかじめ作成された反射体（送電鉄塔）に関する位相勾配モデルを格納する。信号分離部１０は、各々のＳＡＲ画像から位相勾配モデルに整合する信号を抽出する。

[0028] 位相勾配モデルは、例えば、解析対象の立体形状、生じうる熱膨張の程度、しなり等の程度が反映され、解析対象の表面において近接する複数の点がＳＡＲ画像上でどの程度の位相差を持ちうるのかを定義したモデルである。位相勾配モデルは、例えば、確率モデル、評価関数、またはテンプレート配列で表現可能である。テンプレート配列を、テンプレート画像ということがある。

[0029] 位相勾配モデルの作成方法は任意であるが、例えば、以下の手法で位相勾配モデルを作成することができる。

[0030] ［手法１：隣接画素間の位相差に制約を加える確率密度関数（位相差分関数）を作成］

例えば、画素ｐの位相（画素ｐで観測されるべき位相）をθ_p、隣接画素（ｐ＋１）の位相（画素ｐ＋１で観測されるべき位相）をθ_{p+1}とする。それらの位相に対応する絶対値１の複素数を、$s_p=\exp(j\theta_p)$、$s_{p+1}=\exp(j\theta_{p+1})$とする。位相勾配モデルにおいて、位相$\theta_p$と位相$\theta_{p+1}$との差が、どの程度であるべきか制約されている。例えば、解析対象（反射体）において画素ｐ，画素（ｐ＋１）が存在する場合に、下記の（１）式で示される関数に比例した確率で生じるような位相差を持つというモデルが、位相勾配モデルとして作成される。

[0031] [数1]

$$J(\theta_p,\ \theta_{p+1}) = g\left(Real\left(k_p s_p \overline{s_{p+1}}\right)\right) \qquad (1)$$

[0032] （１）式において、k_pは、位相勾配（位相差に相当）と２画素間の位相差が制約される強さを制御するパラメータを示す。ｇは、増加傾向を示す関数であり、例えば、指数関数である。

[0033] （１）式は、$k_p=|k_p|\exp(j\angle k_p)$としたとき、位相差（$\theta_p-\theta_{p+1}$）が位相角$\angle k_p$に近い値であるというモデルに相当する。$|k_p|$が大きいということは、位相差（$\theta_p-\theta_{p+1}$）と位相角$\angle k_p$との差が小さい可能性が高く、$|k_p|$が小さいということは、位相差（$\theta_p-\theta_{p+1}$）と位相角$\angle k_p$との差が大きい可能性が高いことも示す。例えば、$|k_p|=0$は、位相差が制約されないことを示す。$|k_p|=\infty$は、位相差は位相角と等しくなるように制約されることを示す。

[0034] なお、k_pは、ＳＡＲ画像毎に異なっていてもよい。また、例えば、立体的な高さを持つ解析対象を異なる軌道から撮影した場合、k_pは、ＳＡＲ画像が撮影された軌道によっても変化する。

[0035] 解析対象の高さが有意である（所定値以上の高さを有する。）場合には、

例えば立体的な高さの勾配に応じて生ずる位相勾配を、モデルの位相勾配として用いることができる。

[0036] 飛翔体から撮影されたＳＡＲ画像に含まれる位相は、軌道と撮影対象の高さに応じた位相を持つことが知られている。例えば、入力ＳＡＲ画像の各々が撮影されたときの軌道の中から、全ての軌道の中心に最も近い場所を通る軌道を基準の軌道とする。基準の軌道と注目しているＳＡＲ画像（ｎ番目のＳＡＲ画像）が撮影されたときの軌道との差を、衛星から地上に向かう視線方向の垂直方向に射影したもの（垂直基線長）をB_nとする。入射角等に応じて決定される定数係数をαとする。その場合、ＳＡＲ画像ｎの画素ｐにおける位相は、画素ｐにおける高さｈをもとに$\alpha B_n h_p$と計算される。

[0037] 画素ｐの近接画素（ｐ＋１）との高さの差を$\Delta h_p = h_p - h_{p+1}$とする。隣接する２画素間の位相勾配を制約するパラメータk_pは、適当な制約の強さ$|k_p|$と、高さの勾配に応じた位相差$\angle k_p = \alpha B_n \Delta h_p$と計算される。制約の強さ$|k_p|$を、例えば、熱膨張の程度が大きくなりやすい、または、しなりやすい解析対象に対して小さく設定し、ほとんど膨張やしなりを起こさない解析対象に対して大きく設定してもよい。

[0038] ［手法２：隣接する多画素（３画素以上）の間の位相差に制約を加える確率密度関数を作成］

上記の位相勾配モデルは、隣接する２画素間の位相差に着目して作成されたモデルである。しかし、より多くの隣接する画素に対して制約を行うようにしてもよい。例えば、画素ｐと、それに隣接するｍ個（ｍ≧３）の画素ｐ＋１，ｐ＋２，・・・，ｐ＋ｍについて、位相θ_p，θ_{p+1}，θ_{p+2}，・・・，θ_{p+m}を持つ複素ベクトル$\vec{s}_p = (e^{j\theta p}, e^{j\theta p+1}, e^{j\theta p+2}, \cdots e^{j\theta p+m})^T$を用いて、（２）式に示す評価関数（多画素位相勾配評価関数という。）で位相勾配を制約する。（２）式において、矢印→は、ベクトルを示す。Ｔは、転置を示す。Ｈは、複素共役転置を示す。

[0039]

[数2]

$$J(\vec{s_p}) = g(\vec{s_p}^H K_p \vec{s_p}) \qquad (2)$$

[0040] （２）式において、K_pは、複素行列である。複素行列K_pの要素は、上記の２画素の場合のk_pと同様に、画素間の位相差と画素間の位相差が制約される強さを制御するパラメータとを含む複素数である。すなわち、（２）式の評価関数は、２画素の場合の確率密度分布を多画素の確率密度分布に拡張した関数に相当する。

[0041] ２画素の位相差を制約する位相勾配モデルと比較すると、（２）式の評価関数は、高階の差分を制約することができる。したがって、より滑らかな位相勾配を持つように制約したり、位相の２階微分として曲率のような量を容易に制約できる。

[0042] なお、２画素の位相差を制約する場合と同様、多画素の間の位相差を制約する場合も、K_pを、軌道と画素ｐにおける高さ等とによって定義することができる。多画素の間の位相差を制約する場合には、曲率等も制約できるため、送電鉄塔のような構造物以外に、例えば、球を割った形状を持つドーム等において、ドームの天井の曲率に応じてモデルの一致度合を評価し、ドーム天井の位相を抽出する処理が可能になる。

[0043] 関数は、（２）式に示された形状の関数に限定されない。例えば、$\Sigma_i a_{p,i} \theta_{p+i}$、または、それをアンラップしたW（$\Sigma_i a_{p,i} \theta_{p+i}$）を制約してもよい。$a_{p,i}$は、位相勾配計算を行うための係数である。$a_{p,-1}$＝－１、$a_p$＝２、$a_{p,+1}$＝－１になるように指定された場合、$\Sigma_i a_{p,i} \theta_{p+i}$は、$\theta$のｐにおける２階微分に相当する値になる。よって、$\Sigma_i a_{p,i} \theta_{p+i}$を制約することによって、一定勾配の位相勾配に制約できる。また、位相は、２πが加算されると同じ値に戻るので、位相を２πで除した場合の余剰計算等で－π～πの間を循環する値に位相を変換する関数Wを適用することによって、位相が何回循環したかに関わらず、W（$\Sigma_i a_{p,i} \theta_{p+i}$）を、位相差を制約

するために使用できる。

[0044] ［手法３：テンプレート画像を作成］

上記の２つの手法は、行列に基づく位相勾配モデルを作成した。しかし、テンプレートマッチングの考え方に基づいて位相勾配モデルを作成してもよい。手法３による位相勾配モデルとしてのテンプレート画像は、解析対象が呈するべき位相勾配に関する画像である。

[0045] 例えば、入力ＳＡＲ画像をI_{in}とする。テンプレート画像を$I_{template}$とする。そして、後述する信号分離部は、下記の（３）式で、解析対象を評価してもよい。

[0046] [数3]

$$g(|\Sigma_{image} I_{in} \circ \overline{I_{template}}|) \qquad (3)$$

[0047] （３）式において、「○」は要素積を示す。Σ_{image}は、画像全体での総和を表す。ｇは、単調増加する関数を示す。ｇは、入力ＳＡＲ画像とテンプレート画像との間で位相勾配が合致しているときには大きな値を出力し、位相勾配が異なっているときには小さな値を出力する。すなわち、上記の手法１，２と同様に、手法３も、実質的に位相勾配を制約する。

[0048] I_{in}および$I_{template}$を、１つの画像中の小領域として、局所的な位相勾配を評価するようにしてもよい。また、特定の画素の近傍画素の和に重みを付けて、局所的な位相勾配を評価するようにしてもよい。

[0049] なお、テンプレート画像として、レイオーバ等が生じていない過去に撮影された画像や、レイオーバ等が生じている過去に撮影された画像からレイオーバ等の影響が除去された画像が使用される。よって、解析対象を評価するときに、飛翔体の軌道情報や解析対象以外の構造物などの立体形状は必要とされない。

[0050] 実施形態１．

図２は、第１の実施形態の画像解析装置の構成例を示すブロック図である

。図２に示す画像解析装置は、ＳＡＲ画像格納部２０からＳＡＲ画像を入力する分割部１１０、位相勾配モデル格納部３０から解析対象の反射体に関する位相勾配モデルを入力する位相勾配除去部１２０、および信号抽出部１３０を含む。位相勾配モデル格納部３０には、上述した手法のいずれかを用いて作成された位相勾配があらかじめ格納される。信号抽出部１３０は、行列算出部１３１と信号復元部１３２とを含む。

[0051] 分割部１１０は、各々のＳＡＲ画像を複数の小領域に分割する。なお、小領域は、他の小領域と一部重複していてもよい。位相勾配除去部１２０は、各々のＳＡＲ画像について、位相勾配モデルに従って各小領域の位相勾配を除去する。

[0052] 位相勾配除去部１２０は、位相勾配モデルに従って、各々の小領域における局所的な位相勾配を推定し、推定された位相勾配を除去する。

[0053] 信号抽出部１３０における行列算出部１３１は、各々のＳＡＲ画像について、小領域毎の所定の行列Ｃを計算する。具体的には、行列算出部１３１は、位相勾配が除去された複数の画素（複素数）を加算して行列を作成する。信号復元部１３２は、作成された行列から支配的な成分（例えば、主成分）を抽出する。支配的な成分は、解析対象の位相を示す信号に相当する。したがって、信号復元部１３２は、解析対象の位相に関する信号を得ることができる。

[0054] 次に、図３のフローチャートを参照して本実施形態の画像解析装置の動作を説明する。

[0055] 分割部１１０は、ＳＡＲ画像格納部２０に格納されているＳＡＲ画像を入力する。分割部１１０は、各々のＳＡＲ画像を小領域に分割する（ステップＳ１０１）。

[0056] 位相勾配除去部１２０は、各ＳＡＲ画像について、位相勾配モデルに従って各小領域の位相勾配を除去する（ステップＳ１０２）。具体的には、位相勾配除去部１２０は、位相勾配モデルに基づいて算出される評価値が最も高くなる位相勾配を除去する。位相勾配除去部１２０は、評価値で重みづけさ

れた値の期待値をとった位相勾配を除去してもよい。ステップＳ１０２の処理によって、例えば、解析対象（送電鉄塔）の高さに依存する位相が除去される。

[0057] 位相勾配モデルが、上記の手法３で作成されている場合、すなわち、テンプレート画像（テンプレート配列）で表現されている場合、位相勾配除去部１２０は、ステップＳ１０２の処理で、テンプレート配列において、小領域の中心と一致する場所の位相が０になるように、テンプレート配列全体の位相をシフトする。位相シフト後のテンプレート配列は、小領域の中心に対して期待される周辺画素との位相差分の最適値に相当する。位相シフト後のテンプレート配列の複素共役を画素毎に乗算することによって、位相勾配が除去される。

[0058] 位相勾配モデルが、上記の手法１で作成されている場合、すなわち、隣接画素間の位相差分関数で表現されている場合、位相勾配除去部１２０は、ステップＳ１０２の処理で、k_pが持つ位相差を積算することによって、小領域の中心に対して期待される周辺画素との位相差分の最適値を求めることができる。よって、位相勾配モデルがテンプレート画像で表現されている場合と同様、位相勾配が除去される。

[0059] 小領域の中心の位相を０に固定し、その周辺の画素の位相の確率密度を下記の（４）で計算しうる。

[0060] [数4]

$$f(\theta_{p-d}, \cdots \theta_{p+d}) = Z\left[\prod_{m=1}^{d-1} g(\theta_{p+m+1}, \theta_{p+m})\right] g(\theta_{p+1}, 0)\, g(0, \theta_{p-1}) \left[\prod_{l=1}^{d+1} g(\theta_{p-l}, \theta_{p-l-1})\right] \quad (4)$$

[0061] 位相勾配除去部１２０は、（３）式の計算を行うことによって、$e^{j\theta p-d}$～$e^{j\theta p+d}$の期待値を計算し、期待値の複素共役を画素毎に乗算することによって、位相勾配を除去してもよい。

[0062] 位相勾配モデルが、上記の手法２で作成されている場合、すなわち、多画素位相勾配評価関数で表現されている場合、位相勾配除去部１２０は、ステ

ップＳ１０２の処理で、位相勾配モデルが上記の手法１で作成されている場合と同様に、例えば、最適値で位相勾配除去を行う。位相勾配除去部１２０は、多画素位相勾配評価関数に対して、注目画素ｐの位相を０としたときの他の画素の期待値等を用いて位相勾配を除去してもよい。

[0063] 行列算出部１３１は、小領域毎の所定の行列Ｃを計算する（ステップＳ１０３）。所定の行列Ｃは、下記の（５）式のように表現されうる。（５）式において、ｆは、小領域における平均、小領域における総和、x_m，x_nの絶対値を１に正規化した後の小領域における平均、または、x_m，x_nの絶対値を１に正規化した後の小領域における総和などを表す。

[0064] [数5]

$$C_{mn} = f[x_m\overline{x_n}] \qquad (5)$$

[0065] 信号復元部１３２は、行列Ｃの中の支配的な成分（支配的な位相の変化）を計算する（ステップＳ１０４）。例えば、ステップＳ１０４の処理で、信号復元部１３２は、$y^H C y$を最大にするｙであって、ノルムが一定または全要素の絶対値が１であるベクトルｙを、支配的な成分として計算する。信号復元部１３２は、支配的な成分として、適当な実数の重み行列Ｗと行列Ｃとの要素積を用いて、下記の（６）式によって、$y^H C y$の値を大きくするようなベクトルｙを計算してもよい。

[0066] [数6]

$$y^H(W \circ C)y \qquad (6)$$

[0067] 信号復元部１３２は、ベクトルｙを、解析対象の位相を持つ複素ベクトルとして出力する（ステップＳ１０５）。ベクトルｙは、解析対象の位相を示す信号に相当する。

[0068] 画像解析装置は、Ｎ枚のＳＡＲ画像のそれぞれを対象として、ステップＳ１０１～Ｓ１０５の処理を実行する。よって、画像解析装置は、Ｎ個の複素

ベクトル（ベクトルｙ）を出力する。Ｎ個の複素ベクトルを用いて、任意の変位解析方法（例えば、ＳＢＡＳ）で、変位解析を行うことが可能である。Ｎ個の複素ベクトルは、位相勾配モデルに従って、ＳＡＲ画像から解析対象の位相勾配が除去された画像信号で構成される画像を表す。すなわち、Ｎ個の複素ベクトルは、解析対象の成分が強調された画像を表す。よって、変位解析方法によって、レイオーバの影響を受けている弱い反射を呈する反射体の変位を解析することができる。

[0069] なお、ＳＡＲ画像注に複数の解析対象が存在する場合には、画像解析装置が、Ｎ枚のＳＡＲ画像についてのステップＳ１０１～Ｓ１０５の処理を、それぞれの解析対象について実行することによって、レイオーバの影響を受けている複数の反射体の変位を解析することが可能になる。また、背景技術の時系列解析では、線形の位相変化モデル（位相の変化の時系列のモデル）があらかじめ用意されたが、本実施形態では、空間的な位相勾配モデルが使用される。したがって、本実施形態では、線形のモデルを仮定する必要はなく、解析対象の非線形な変位を解析可能にすることができる。

[0070] 実施形態２．

図４は、第２の実施形態の画像解析装置の構成例を示すブロック図である。図４に示す画像解析装置は、位相推定部２１０と強度推定部２２０とを含む。また、第２の実施形態の画像解析装置は、ＳＡＲ画像格納部２０に格納されているＳＡＲ画像および位相勾配モデル格納部３０に格納されている位相勾配モデルに加えて、周辺反射モデル格納部４０に格納されている周辺反射モデルおよび反射強度事前モデル格納部５０に格納されている反射強度事前モデルを使用する。

[0071] 図５は、ＳＡＲ画像の撮影領域における解析対象（送電鉄塔など）の反射および解析対象以外の領域（周辺領域という。）の反射を説明するための説明図である。σは解析対象の反射強度を示し、$\vec{y}_p$は画素ｐにおける解析対象の位相を持つ複素ベクトルである。p_{ground}は、周辺反射モデルに対応する。

[0072] 周辺反射モデルは、周辺領域からの反射の程度（強度やノイズの様子など）を表すモデルである。解析対象以外の領域は、送電鉄塔などの解析対象が倒れこまれるほぼ平面と見なせる領域である。反射強度事前モデルは、解析対象からの反射の程度（強度やノイズの様子など）を表すモデルである。本実施形態では、画像解析装置は、周辺反射モデルおよび反射強度事前モデルを利用して、解析対象の位相と周辺領域の位相とを分離する。

[0073] 画素ｐにおける解析対象の位相を持つ複素ベクトルを、$\vec{y}_p$とする。画素ｐにおける解析対象の複素反射強度を、σ_pとする。σ_pは、現実の観測対象（送電鉄塔）が呈するべき複素反射強度を表す。

[0074] 画素ｐの観測信号（観測値）を（７）式で表現する。（７）式におけるＮは、ＳＡＲ画像の枚数に相当する。解析対象の複素反射強度σ_pの事前分布を表す反射強度事前分布モデル（反射強度事前モデル）$p_{power}(\sigma_p)$を（８）式で表現する。（８）式において、添え字を有さないσは、一般に観測対象が呈すると想定される複素反射強度を意味する。解析対象の位相を持つ複素ベクトルを、$\vec{y}_p$を（９）式で表現する。画像番号ｎの画像での解析対象における位相勾配の事前情報$p_{grad,n}(y_{n,1}, y_{n,2}, \cdots)$を（１０）式で表現する。なお、位相勾配の事前情報は、位相勾配モデルに相当する。周辺反射モデル$p_{ground}(\vec{x}_g)$を（１１）式で表現する。

[0075] 画素ｐにおいて観測された画素値をＮ枚の画像に対してベクトルとしたものを$\vec{x}_p$とすると、画素ｐにおける複素反射強度と観測対象の位相を持つ複素ベクトルとが重畳して観測されたときの$\vec{x}_p$を、レイオーバ領域の分布$p_{layover}(\vec{x}_p \mid \sigma_p, \vec{y}_p)$として（１２）式で表現する。本実施形態では、レイオーバ領域は、ＳＡＲ画像において解析対象と解析対象周辺の地表面が重畳して存在する領域である。なお、$\vec{x}_g$は、解析対象からの反射が混ざる地表からの反射に対応する複素ベクトルである。

[0076]

[数7]

$$\overrightarrow{x_p} = \left(x_{1,p},\ x_{2,p},\ \cdots,\ x_{N,p}\right)^T \in \mathbb{C}^N \quad (7)$$

$$p_{tower}(\sigma_p) = \frac{1}{\sigma^2}\exp\left(-\frac{|\sigma_p|^2}{\sigma^2}\right) \quad (8)$$

$$\overrightarrow{y_p} \in \left(y_{1,p},\ y_{2,p},\ \cdots,\ y_{N,p}\right)^T \in \mathbb{C}^N \quad (9)$$

$$p_{grad,n}(y_{n,1},\ y_{n,2},\ \cdots) = Z\exp\left((y_{n,1},\ y_{n,2},\ \cdots)K_n(y_{n,1},\ y_{n,2},\ \cdots)^H\right) \quad (10)$$

$$p_{ground}(\overrightarrow{x_g}) = \frac{1}{\pi^N|\Sigma_{ground}|}\exp\left(-\overrightarrow{x_g}^H\Sigma_{ground}^{-1}\overrightarrow{x_g}\right) \quad (11)$$

$$p_{layover}(\overrightarrow{x_p}|\sigma_p,\overrightarrow{y_p}) = p_{ground}(\overrightarrow{x_p} - \sigma_p\overrightarrow{y_p}) \quad (12)$$

[0077] 最適化手段（位相推定部２１０および強度推定部２２０を含む。）は、下記の（１３）式を最大化する複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$と複素反射強度σ_pとを推定する。

[0078] [数8]

$$\prod_p p_{layover}(\overrightarrow{x_p}|\sigma_p,\overrightarrow{y_p})\,p_{tower}(\sigma_p)\prod_n p_{grad,n}(y_{n,1},\ y_{n,2},\ \cdots) \quad (13)$$

[0079] 次に、図６のフローチャートを参照して本実施形態の画像解析装置の動作を説明する。

[0080] 位相推定部２１０は、周辺反射モデル$p_{ground}(x^{\rightarrow}_p)$に基づくレイオーバ領域の分布$p_{layover}(x^{\rightarrow}_p \mid \sigma_p,\ y^{\rightarrow}_p)$と、位相勾配モデル$p_{grad,n}(y_{n,1},\ y_{n,2},\ \cdots)$とに基づいて、観測された画像の画素値$x^{\rightarrow}_p$から最適な位相を持つ複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$を計算する（ステップＳ２０１）。レイオーバは、ＳＡＲ画像における画素に送電鉄塔からの反射の影響と地表からの反射の影響とが重畳することによって生ずるが、強度推定部２２０は、周辺反射モデル$p_{ground}(x^{\rightarrow}_p)$に基づくレイオーバ領域の分布$p_{layover}(x^{\rightarrow}_p \mid \sigma_p,\ y^{\rightarrow}_p)$と、反射強度事前モデル$p_{power}(\sigma_p)$に基づいて最適な$\sigma_p$を計算する（ステップＳ２０２）。

[0081] ステップＳ２０１の処理とステップＳ２０２の処理とが、複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$と複素反射強度σ_pとが最適値（この例では最大値）に収束したと判定され

るまで繰り返される。例えば、強度推定部２２０は、複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$と複素反射強度σ_pとが最適値に収束したか否か判定する。

[0082] 強度推定部２２０は、最適値になった複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$すなわち最適化された複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$を、解析対象の位相を持つ複素ベクトルとして出力する（ステップＳ２０３）。また、強度推定部２２０は、最適値になった複素反射強度σ_pすなわち最適化された複素反射強度σ_pを、解析対象の画素ｐにおける複素反射強度として出力する（ステップＳ２０３）。

[0083] なお、位相推定部２１０が、複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$と複素反射強度σ_pとが最適値に収束したか否か判定してもよい。また、ステップＳ２０１の処理とステップＳ２０２の処理とが同時に実行されるように最適化手段が構成されていてもよい。

[0084] 本実施形態では、最適化手段は、（１３）式の値を最大化する複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$の最適値と複素反射強度σ_pとを求めて、それらを、複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$の最適値と複素反射強度σ_pの最適値とした。しかし、最適化手段は、複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$と複素反射強度σ_pの事後分布を推定し、事後分布の平均や分散等を、最適化された複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$と複素反射強度σ_pとして出力してもよい。ただし、事後分布を推定する場合には解析的な解が得られないので、最適化手段は、ＭＣＭＣ（Markov chain Monte Carlo methods）等によってサンプルの集合として近似してもよい。また、最適化手段は、変分ベイズ法などによって解析的に扱える関数として近似してもよい。

[0085] 最適化手段は、周辺反射モデル（（１１）式参照）におけるΣ_{ground}に関する計算を実行するときに、観測された画像の画素値$x^{\rightarrow}_p$に対してそれ自身の複素共役との直積である$x^{\rightarrow}_p x^{\rightarrow}_p{}^H$の平均として計算してもよい。また、最適化手段は、ロバスト共分散行列推定法等を用いてΣ_{ground}を計算してもよい。最適化手段は、季節に依存した植生変化等の既知情報に基づいてΣ_{ground}を推定してもよい。

[0086] 本実施形態では、画像解析装置は、空間的な位相勾配モデルを使用するので、第１の実施形態と同様に、解析対象の非線形な変位を解析可能にするこ

とができる。また、画像解析装置は、周辺反射モデルと反射強度事前モデルとを用いて、解析対象の反射に基づく位相を持つ信号と、周辺領域の反射に基づく位相を持つ信号とを分離する。周辺反射モデルを使用することによって、双方の信号に分離する性能が向上する。また、得られる複素反射強度σ_pを、解析対象の模様の認識等に活用可能である。

[0087] 実施形態３．

図７は、第３の実施形態の画像解析装置の構成例を示すブロック図である。図７に示す画像解析装置には、図４に示された第２の実施形態の画像解析装置に、レイオーバ領域推定部３１０が追加されている。レイオーバ領域推定部３１０は、レイオーバ領域連続性格納部６０に格納されているレイオーバ領域連続性モデルを用いてレイオーバ領域を推定する。

[0088] ある画素がレイオーバ領域における画素である場合、隣接する画素もレイオーバ領域における画素である可能性が高い。レイオーバ領域連続性モデルは、レイオーバ領域における画素に隣接する画素もレイオーバ領域に存在することを表すモデルである。高層ビルや送電鉄塔などのＳＡＲ画像中の一方向（衛星視線方向に相当する方向）にレイオーバ領域が伸びる場合に、衛星視線方向に対するレイオーバ領域の連続性のモデルをマルコフモデルとして構築し、forward backwardアルゴリズム等を用いてレイオーバ領域の検出を行うことができる。

[0089] 図８は、レイオーバ領域連続性モデルを説明するための説明図である。図８（Ａ）には、図５と同じ内容が示されている。例えば、図８（Ｂ）に示すように、画素ｐにおけるクラス（レイオーバ領域か否かに関する。）を表すone hotベクトルを、$\vec{Z}_p = (Z_{p,ground}, Z_{p,layover})^H$とする。$\vec{Z}_p$は、該当するクラスの側だけが１になり、他は０になるような変数である。最終的に得られるone hotベクトル$\vec{Z}_p$は、推定されたレイオーバ領域に相当する。

[0090] レイオーバ領域連続性モデルは、例えば、$p(\vec{Z}_p \mid \vec{Z}_{p-1}) = \vec{Z}_p^T A \vec{Z}_{p-1}$のように定義される。Ａは、連続性の強さを表す行列であり、ｉ行ｊ

列に、画素（ｐ－１）がクラスｊであったときに画素ｐがクラスｉである確率を保存する。すなわち、Ａの対角成分が大きくなるに従い画素（ｐ－１）のクラスと画素ｐのクラスが同一になる確率が高くなり、隣接する画素間が連続して同じクラスになるはずであるという連続性に関する仮定が強く反映される。レイオーバ領域連続性モデルにおいて、隣接する画素ｐ，（ｐ－１）が同じone hotベクトルになる確率が高く設定されることによって、連続するレイオーバ領域を検出する性能が向上する。

[0091] また、連続した位相を持つべき領域が、レイオーバ領域推定結果として得られる。その結果、図７に示された本実施形態の画像解析装置の出力を使用する変位解析方法は、レイオーバ領域推定結果も使用することによって、連続した位相を積算していく処理であるアンラップ処理をより正確に実行できる。

[0092] 画素ｐの観測値や種々の分布を第２の実施形態におけるそれらと同様に定義したときには（上記（７）～（１２）式参照）、最適化手段（本実施形態では、（位相推定部２１０、強度推定部２２０およびレイオーバ領域推定部３１０を含む。）は、下記の（１４）式を最大化する、画素ｐにおける解析対象の位相を持つ複素ベクトル$\vec{y}_p$と複素反射強度σ_pとレイオーバ領域$\vec{Z}_p$を推定する。

[0093] [数9]

$$\prod_p p_{layover}(\overrightarrow{x_p}|\sigma_p,\overrightarrow{y_p})^{z_{p,layover}}\, p_{ground}(\overrightarrow{x_p})^{z_{pground}}\, p_{tower}(\sigma_p)p(z_p|z_{p-1})\prod_n p_{grad,n}(y_{n,1},\, y_{n,2},\, \cdots) \quad (14)$$

[0094] 次に、図９のフローチャートを参照して本実施形態の画像解析装置の動作を説明する。

[0095] ステップＳ２０１およびステップＳ２０２の処理は、図６に示された第２の実施形態における処理と同じである。

[0096] レイオーバ領域推定部３１０は、レイオーバ領域連続性モデルを用いて、最適なレイオーバ領域$\vec{Z}_p$を算出する（ステップＳ３０１）。

[0097] ステップＳ２０１の処理とステップＳ２０２の処理とステップＳ３０１の処理とが、複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$と複素反射強度σ_pとレイオーバ領域$Z^{\rightarrow}_p$とが最適値（この例では最大値）に収束したと判定されるまで繰り返される。例えば、レイオーバ領域推定部３１０は、複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$と複素反射強度σ_pとレイオーバ領域$Z^{\rightarrow}_p$とが最適値に収束したか否か判定する。

[0098] レイオーバ領域推定部３１０は、最適値になった複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$すなわち最適化された複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$を、解析対象の位相を持つ複素ベクトルとして出力する（ステップＳ３０２）。また、レイオーバ領域推定部３１０は、最適値になった複素反射強度σ_pすなわち最適化された複素反射強度σ_pを、解析対象の画素ｐにおける複素反射強度として出力する（ステップＳ３０２）。また、レイオーバ領域推定部３１０は、最適値になったレイオーバ領域$Z^{\rightarrow}_p$すなわち最適化されたレイオーバ領域$Z^{\rightarrow}_p$を出力する（ステップＳ３０２）。

[0099] なお、位相推定部２１０または強度推定部２２０が、複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$と複素反射強度σ_pとレイオーバ領域$Z^{\rightarrow}_p$とが最適値に収束したか否か判定してもよい。また、ステップＳ２０１の処理とステップＳ２０２の処理とステップＳ３０１の処理とが同時に実行されるように最適化手段が構成されていてもよい。

[0100] 本実施形態では、最適化手段は、（１４）式に基づいてレイオーバ領域$Z^{\rightarrow}_p$を推定した。しかし、最適化手段は、第２の実施形態における複素ベクトル$y^{\rightarrow}_p$の最適値と複素反射強度σ_pの最適値との推定の場合と同様に、レイオーバ領域$Z^{\rightarrow}_p$の事後分布（期待値）を推定し、事後分布の平均や分散等を、最適化されたレイオーバ領域$Z^{\rightarrow}_p$として出力してもよい。

[0101] また、事後分布が使用される場合、レイオーバ領域$Z^{\rightarrow}_p$を、１と０の２値で表現するのではなく、図８（Ｃ）に例示するように、例えば、和が１になるような０よりも大きい実数値で表現する。この場合、$Z^{\rightarrow}_p$の各々の成分は、それぞれのクラスに属する事後確率を表す。

[0102] 実施形態４．

図１０は、第４の実施形態の画像解析装置の構成例を示すブロック図である。図１０に示す画像解析装置には、図２に示された第１の実施形態の画像解析装置に、レイオーバ領域推定部４１０が追加されている。

[0103] 次に、図１１のフローチャートを参照して本実施形態の画像解析装置の動作を説明する。

[0104] ステップＳ１０１～ステップＳ１０４の処理は、図３に示された第１の実施形態における処理と同じである。

[0105] 本実施形態では、信号抽出部１３０またはレイオーバ領域推定部４１０は、ステップＳ１０４の処理で得られた解析対象の位相を持つ複素ベクトルｙに基づいてレイオーバ領域らしさを計算する。そして、レイオーバ領域推定部４１０は、レイオーバ領域連続性格納部６０に格納されているレイオーバ領域連続性モデルを用いてレイオーバ領域を推定する。

[0106] 具体的には、レイオーバ領域推定部４１０は、各小領域内の$y^{H}Cy$をレイオーバ領域らしさとみなし、レイオーバ領域連続性モデルに基づいて、最適なレイオーバ領域Z_{p}を計算する（ステップＳ４０１）。

[0107] そして、信号復元部１３２は、ベクトルｙを、解析対象の位相を持つ複素ベクトルとして出力する（ステップＳ４０２）。また、レイオーバ領域推定部４１０は、最適化されたレイオーバ領域$\vec{Z}_{p}$を出力する（ステップＳ４０２）。

[0108] 第３の実施形態と同様、本実施形態でも、連続した位相を持つべき領域が、レイオーバ領域推定結果として得られる。その結果、図１０に示された本実施形態の画像解析装置の出力を使用する変位解析方法は、レイオーバ領域推定結果も使用することによって、連続した位相を積算していく処理であるアンラップ処理をより正確に実行できる。

[0109] 一例として、上記の各実施形態の画像解析装置を以下のように活用することができる。例えば、下記の手順で、洪水などが生じた際に送電鉄塔の状態の確認を迅速に終わらせることができる。

[0110] まず、ユーザが、地図上で全国の送電鉄塔の大まかな位置を指定する。そ

して、ユーザが、送電鉄塔周辺のＳＡＲ画像の画素を抽出し、画像解析装置に入力する。画像解析装置は、上述した手法によって送電鉄塔の位相（すなわち、変位）を抽出する。画像解析装置を含むシステム、または、画像解析装置から解析結果を受けたシステムが、洪水等によって例えば送電鉄塔の下の地面が削れたことを検知したときに警報（警告）を出す。ユーザは、警報を契機にして、別のセンサデータ等を用いて詳細な検査を行うことができる。

[0111] 上記の各実施形態における各構成要素は、１つのハードウェアで構成可能であるが、１つのソフトウェアでも構成可能である。また、各構成要素は、複数のハードウェアでも構成可能であり、複数のソフトウェアでも構成可能である。また、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。

[0112] 上記の実施形態における各機能（各処理）を、ＣＰＵ（Central Processing Unit ）等のプロセッサやメモリ等を有するコンピュータで実現可能である。例えば、記憶装置（記憶媒体）に上記の実施形態における方法（処理）を実施するためのプログラムを格納し、各機能を、記憶装置に格納されたプログラムをＣＰＵで実行することによって実現してもよい。

[0113] 図１２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、画像処理装置に実装される。ＣＰＵ１０００は、記憶装置１００１に格納されたプログラム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２，図４，図７，図１０に示された画像処理装置における、分割部１１０、位相勾配除去部１２０、信号抽出部１３０、行列算出部１３１、信号復元部１３２、位相推定部２１０、強度推定部２２０、およびレイオーバ領域推定部３１０，４１０の機能を実現する。なお、ＣＰＵ１０００に代えて、ＧＰＵ（Graphics Processing Unit）、または、ＣＰＵとＧＰＵとの組み合わせを使用することもできる。

[0114] 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-tra

nsitory 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。また、記憶装置１００１として、データを書き換え可能な記憶媒体が用いられる場合には、記憶装置１００１は、ＳＡＲ画像格納部２０、位相勾配モデル格納部３０、周辺反射モデル格納部４０、反射強度事前モデル格納部５０、およびレイオーバ領域連続性格納部６０としても使用可能である。

[0115] 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。

[0116] 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。

[0117] 図１３は、画像解析装置の主要部を示すブロック図である。図１３に示す画像解析装置１は、同一地域が記録された複数のレーダ画像と、レーダ画像に存在しうる解析対象の表面における近接する複数の画素の位相差を表わす位相勾配モデルとを入力し、位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分をレーダ画像から抽出する信号分離手段２（実施形態では、分割部１１０、位相勾配除去部１２０および信号抽出部１３０、または、位相推定部２１０および強度推定部２２０で実現される。）を備える。

[0118] 信号分離手段２は、レーダ画像を小領域に分割する分割手段（実施形態では、分割部１１０で実現される。）と、各々の小領域から、位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分を除去する位相勾配除去手段（実施形態では、位相勾配除去部１２０で実現される。）と、位相差が除去されたレーダ画像における支配的な成分を抽出する信号抽出手段（実施形態では、信号抽出部１３０で実現される。）とを含んでいてもよい。

[0119] 信号分離手段２は、解析対象以外の領域である周辺領域からの反射の分布を表す周辺反射モデルと位相勾配モデルとを用いて、レーダ画像における位相勾配モデルが表す位相差を推定する位相推定手段（実施形態では、位相推定部２１０で実現される。）と、解析対象からの反射の分布を表す反射強度事前モデルと位相勾配モデルとを用いて、解析対象からの反射強度を推定する強度推定手段（実施形態では、強度推定部２２０で実現される。）とを含んでいてもよい。

[0120] 画像解析装置１は、解析対象の画素に隣接する画素も解析対象の画素である可能性が高いことを表すレイオーバ領域連続性モデルを用いて解析対象の領域を推定するレイオーバ領域推定手段（実施形態では、レイオーバ領域推定部３１０，４１０で実現される。）を備えていてもよい。

[0121] 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

[0122]

１	画像解析装置
２	信号分離手段
１０	信号分離部
２０	ＳＡＲ画像格納部
３０	位相勾配モデル格納部
４０	周辺反射モデル格納部
５０	反射強度事前モデル格納部

６０　　レイオーバ領域連続性格納部

１１０　　分割部

１２０　　位相勾配除去部

１３０　　信号抽出部

１３１　　行列算出部

１３２　　信号復元部

２１０　　位相推定部

２２０　　強度推定部

３１０，４１０　レイオーバ領域推定部

１０００　ＣＰＵ

１００１　記憶装置

１００２　メモリ

請求の範囲

[請求項1] 同一地域が記録された複数のレーダ画像と、レーダ画像に存在しうる解析対象の表面における近接する複数の画素の位相差を表わす位相勾配モデルとを入力し、前記位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分をレーダ画像から抽出する信号分離手段

を備える画像解析装置。

[請求項2] 信号分離手段は、

レーダ画像を小領域に分割する分割手段と、

各々の小領域から、前記位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分を除去する位相勾配除去手段と、

位相差が除去されたレーダ画像における支配的な成分を抽出する信号抽出手段と

を含む請求項１記載の画像解析装置。

[請求項3] 信号分離手段は、

解析対象以外の領域である周辺領域からの反射の分布を表す周辺反射モデルと前記位相勾配モデルとを用いて、レーダ画像における前記位相勾配モデルが表す位相差を推定する位相推定手段と、

解析対象からの反射の分布を表す反射強度事前モデルと前記位相勾配モデルとを用いて、解析対象からの反射強度を推定する強度推定手段と

を含む請求項１記載の画像解析装置。

[請求項4] 解析対象の画素に隣接する画素も解析対象の画素である可能性が高いことを表すレイオーバ領域連続性モデルを用いて解析対象の領域を推定するレイオーバ領域推定手段を備える

請求項１から請求項３のうちのいずれか１項に記載の画像解析装置。

[請求項5] 同一地域が記録された複数のレーダ画像と、レーダ画像に存在しうる解析対象の表面における近接する複数の画素の位相差を表わす位相

勾配モデルとを入力し、前記位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分をレーダ画像から抽出する

画像解析方法。

[請求項6] レーダ画像を小領域に分割し、

各々の小領域から、前記位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分を除去し、

位相差が除去されたレーダ画像における支配的な成分を抽出する

請求項５記載の画像解析方法。

[請求項7] 解析対象以外の領域である周辺領域からの反射の分布を表す周辺反射モデルと前記位相勾配モデルとを用いて、レーダ画像における前記位相勾配モデルが表す位相差を推定し、

解析対象からの反射の分布を表す反射強度事前モデルと前記位相勾配モデルとを用いて、解析対象からの反射強度を推定する

請求項５記載の画像解析方法。

[請求項8] 解析対象の画素に隣接する画素も解析対象の画素である可能性が高いことを表すレイオーバ領域連続性モデルを用いて解析対象の領域を推定する

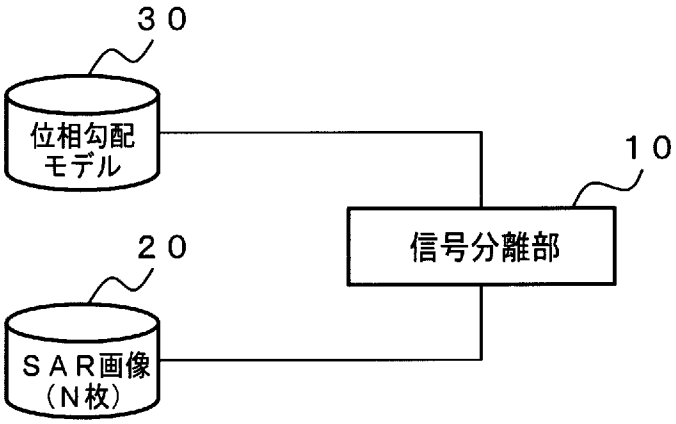
請求項５から請求項７のうちのいずれか１項に記載の画像解析方法。

[請求項9] コンピュータに、

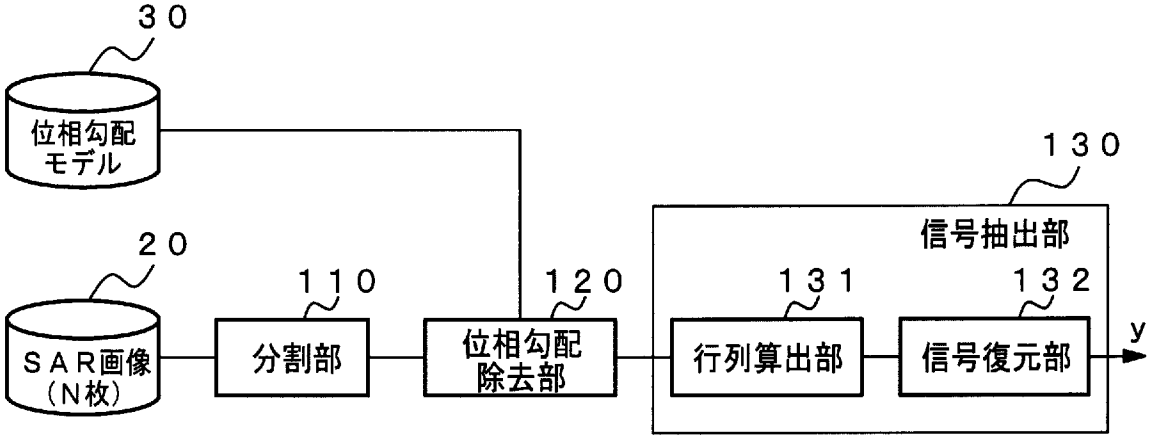
同一地域が記録された複数のレーダ画像と、レーダ画像に存在しうる解析対象の表面における近接する複数の画素の位相差を表わす位相勾配モデルとを入力し、前記位相勾配モデルが表す位相差に整合する成分をレーダ画像から抽出する処理を実行させる

画像解析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。

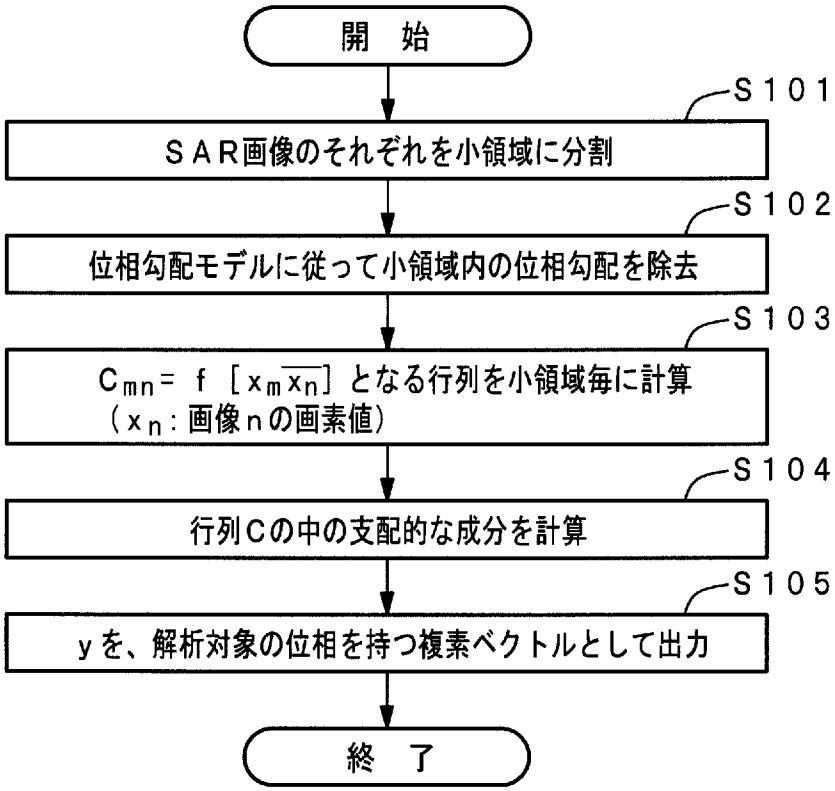
[図1]


３０
位相勾配
モデル
１０
信号分離部
２０
ＳＡＲ画像
（N枚）

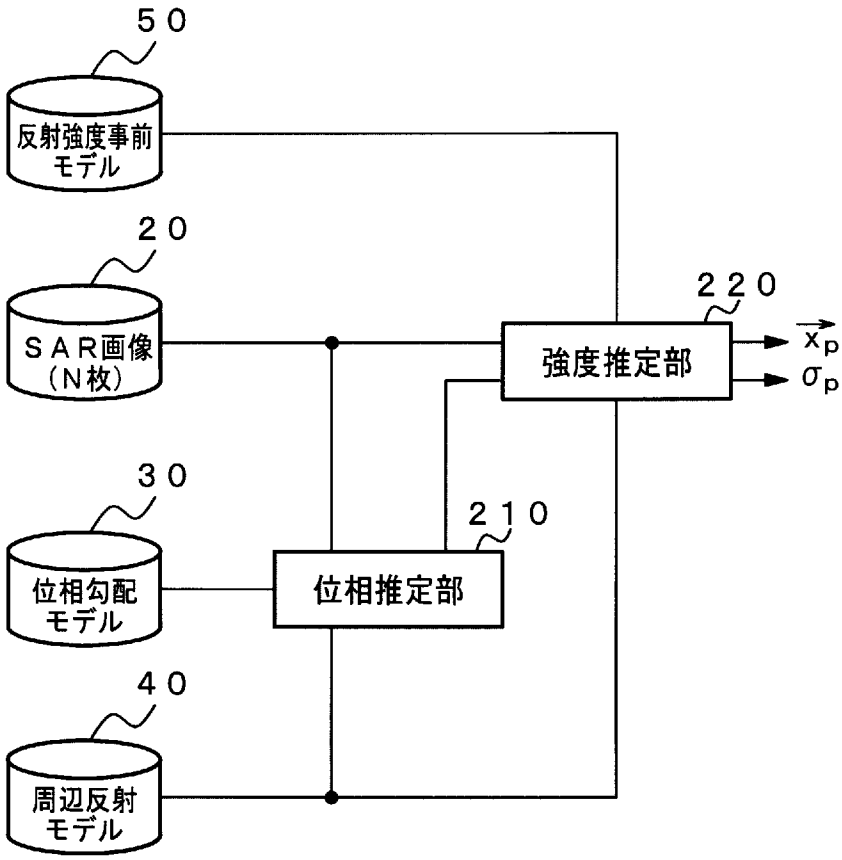
[図2]


３０
位相勾配
モデル
１３０
信号抽出部
２０
１１０
１２０
１３１
１３２
ＳＡＲ画像
（N枚）
分割部
位相勾配
除去部
行列算出部
信号復元部
y

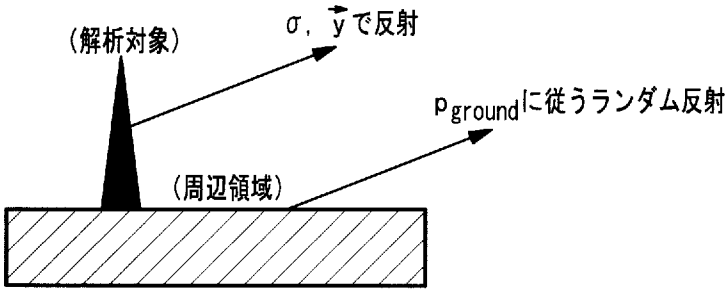
[図3]


開　始
S101
ＳＡＲ画像のそれぞれを小領域に分割
S102
位相勾配モデルに従って小領域内の位相勾配を除去
S103
C_{mn}= f［$x_m\overline{x_n}$］となる行列を小領域毎に計算
（x_n：画像ｎの画素値）
S104
行列Ｃの中の支配的な成分を計算
S105
ｙを、解析対象の位相を持つ複素ベクトルとして出力
終　了

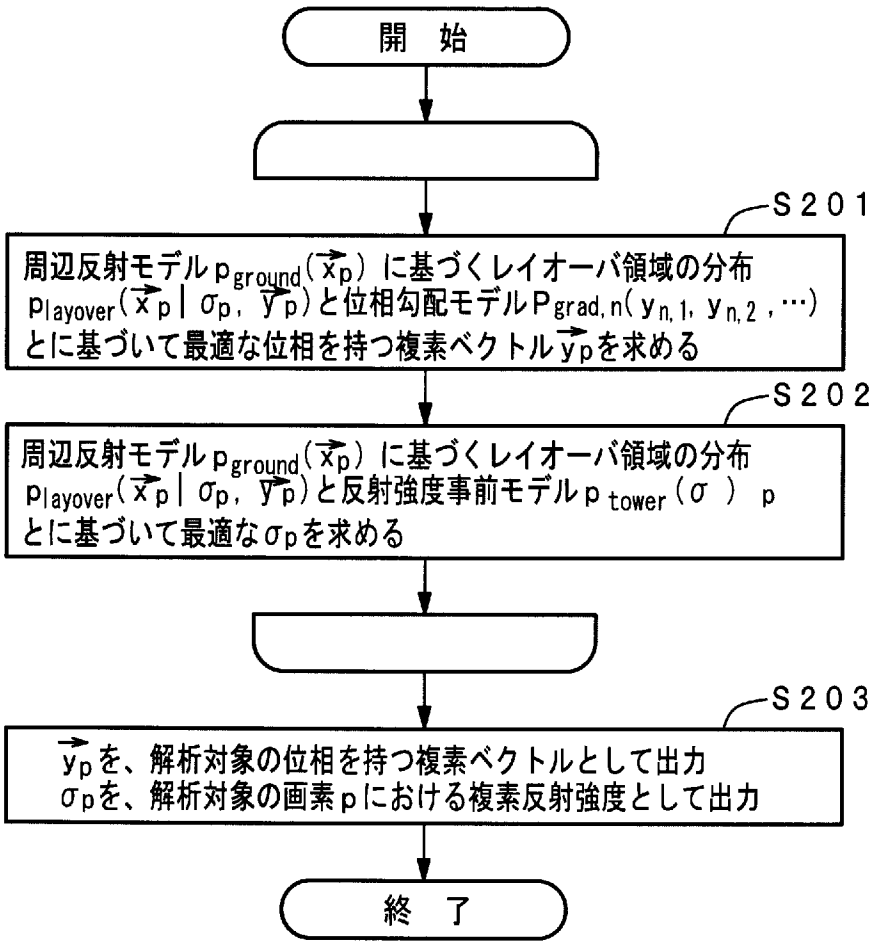
[図4]


50
反射強度事前モデル
20
SAR画像（N枚）
30
位相勾配モデル
40
周辺反射モデル
210
位相推定部
220
強度推定部
$\vec{x}_p$
σ_p

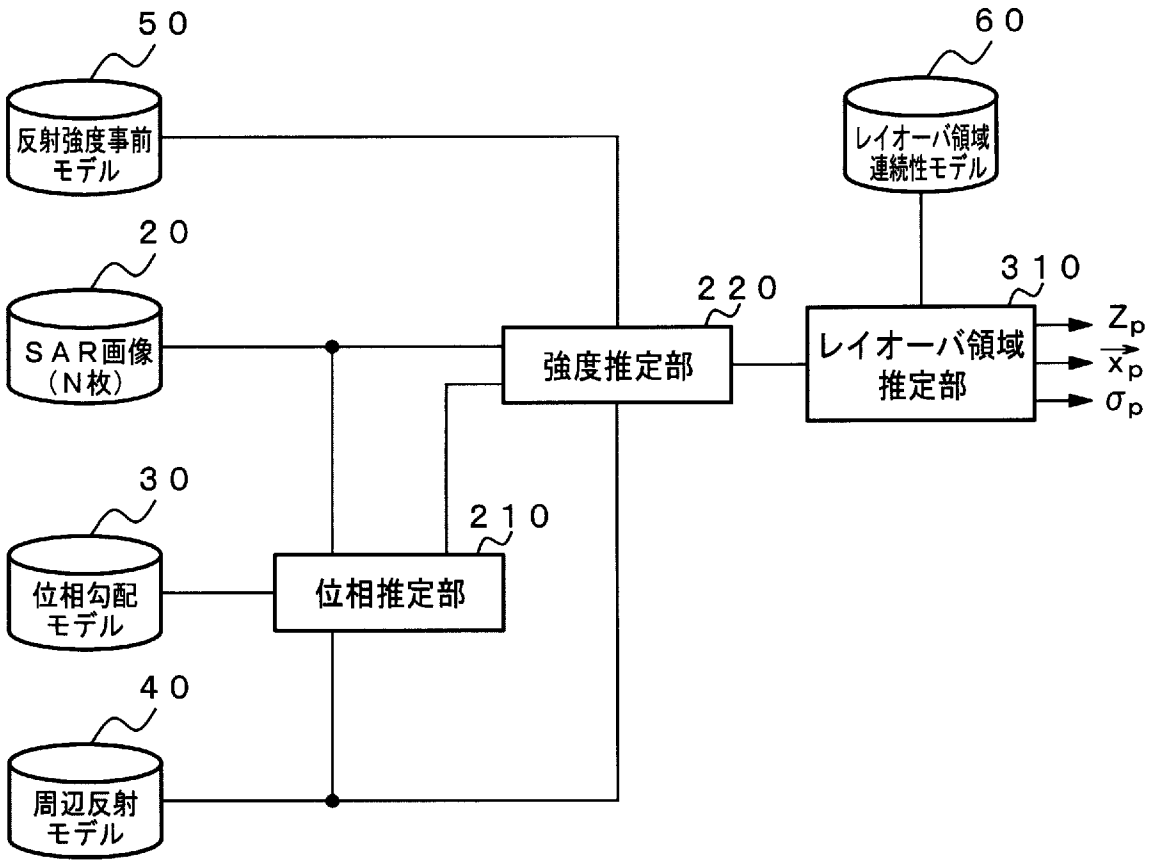
[図5]


（解析対象）
σ, $\vec{y}$で反射
p_{ground}に従うランダム反射
（周辺領域）

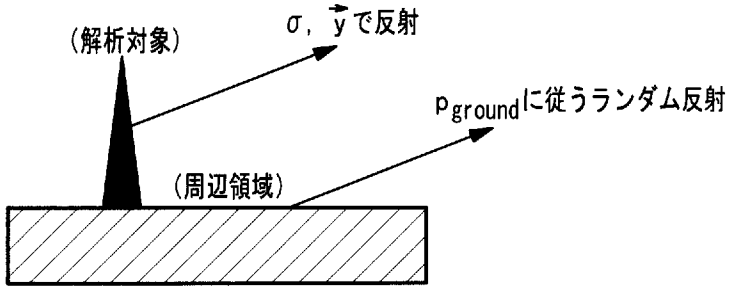
[図6]


開　始
S201
周辺反射モデル $p_{ground}(\vec{x}_p)$ に基づくレイオーバ領域の分布 $p_{layover}(\vec{x}_p \mid \sigma_p, \vec{y}_p)$ と位相勾配モデル $P_{grad,n}(y_{n,1}, y_{n,2}, \cdots)$ とに基づいて最適な位相を持つ複素ベクトル $\vec{y}_p$ を求める
S202
周辺反射モデル $p_{ground}(\vec{x}_p)$ に基づくレイオーバ領域の分布 $p_{layover}(\vec{x}_p \mid \sigma_p, \vec{y}_p)$ と反射強度事前モデル $p_{tower}(\sigma)$ p とに基づいて最適な σ_p を求める
S203
$\vec{y}_p$ を、解析対象の位相を持つ複素ベクトルとして出力
σ_p を、解析対象の画素 p における複素反射強度として出力
終　了

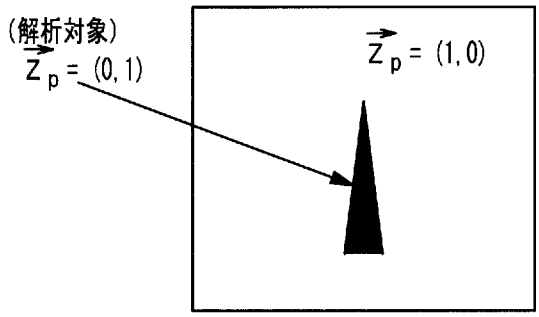
[図7]


50
反射強度事前モデル
20
SAR画像（N枚）
30
位相勾配モデル
40
周辺反射モデル
210
位相推定部
220
強度推定部
60
レイオーバ領域連続性モデル
310
レイオーバ領域推定部
Z_p
$\vec{x}_p$
σ_p

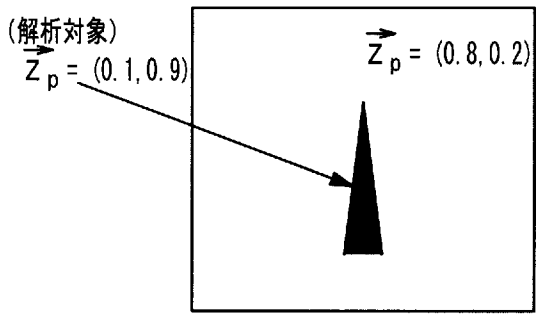
[図8]


(解析対象)
σ, $\vec{y}$で反射
p_{ground}に従うランダム反射
(周辺領域)

(A)

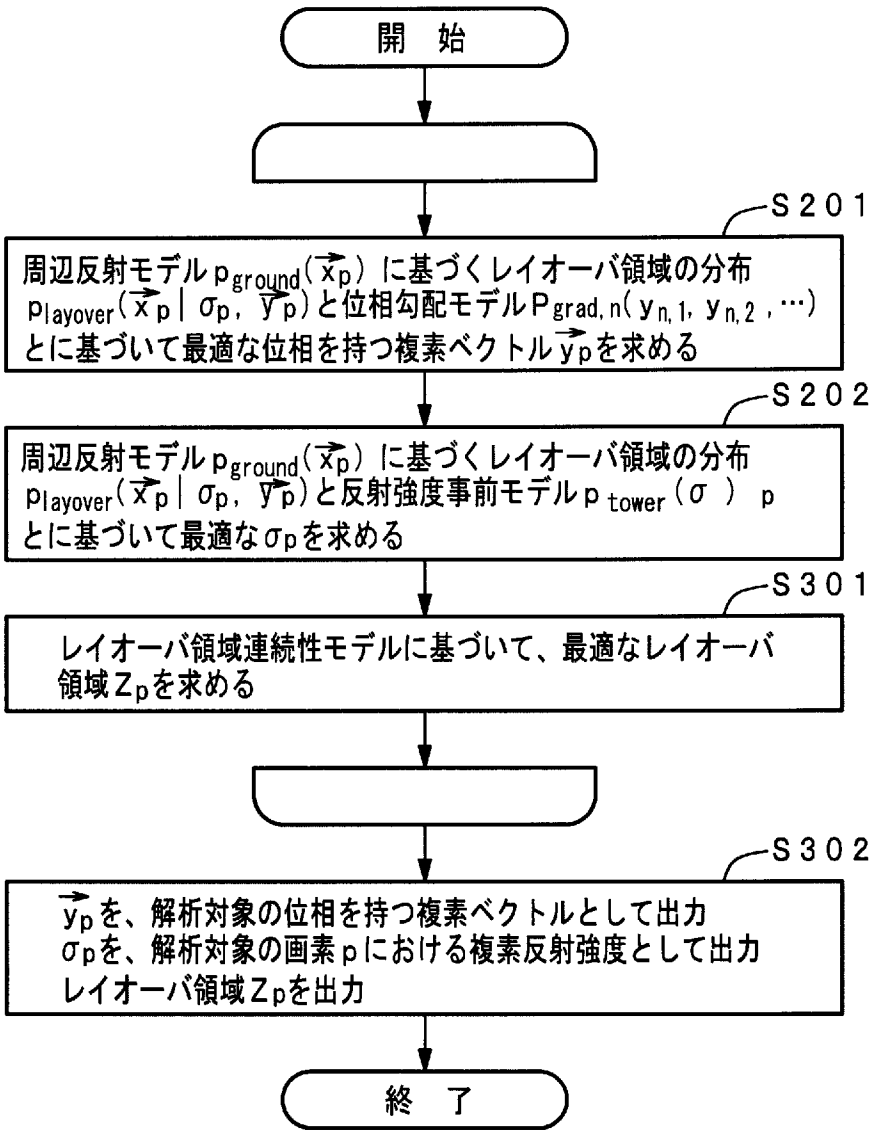

(解析対象)
$\vec{Z}_p$ = (0, 1)
$\vec{Z}_p$ = (1, 0)

(B)

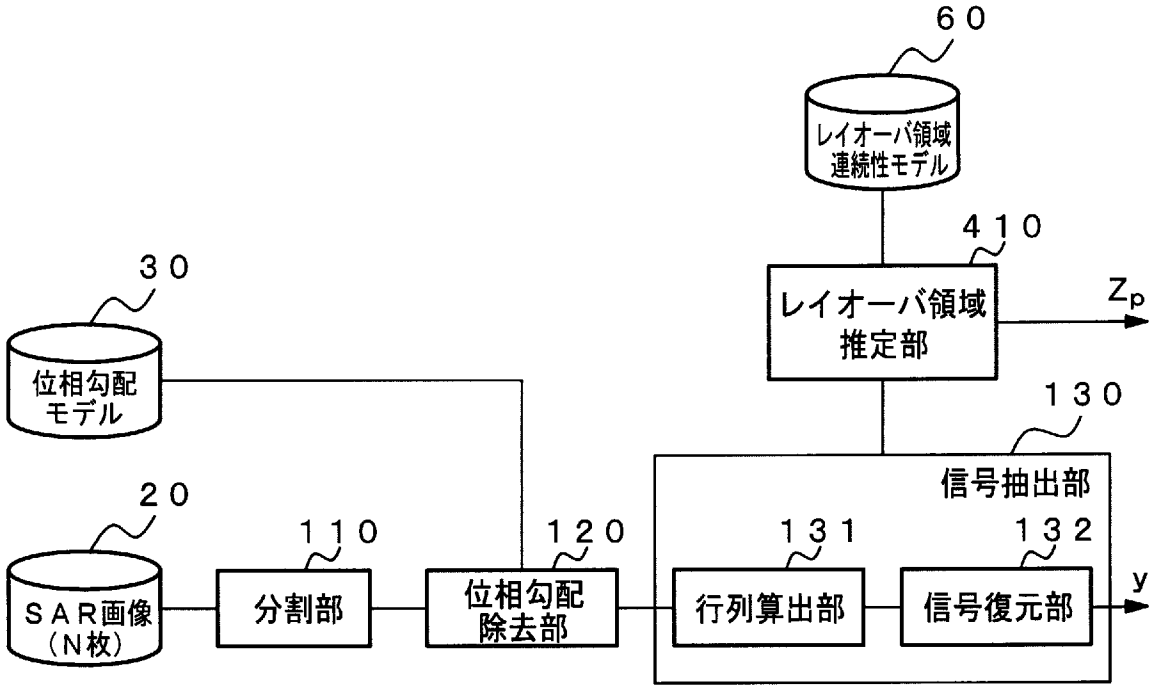

(解析対象)
$\vec{Z}_p$ = (0.1, 0.9)
$\vec{Z}_p$ = (0.8, 0.2)

(C)

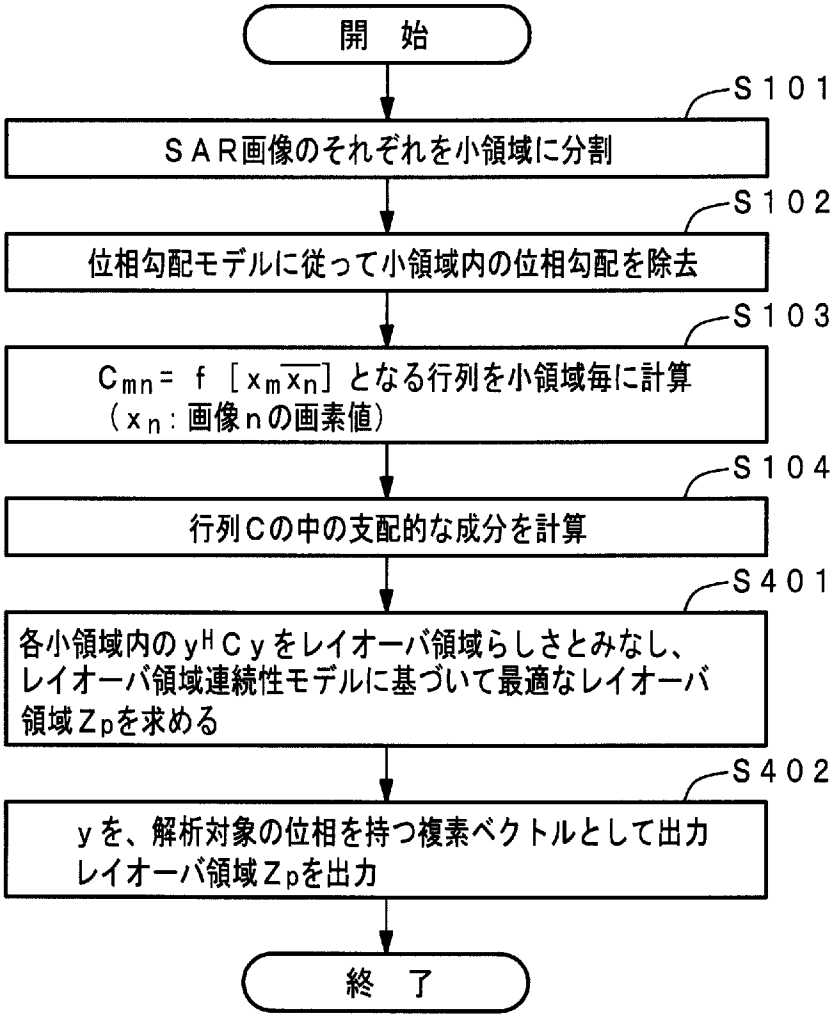
[図9]


開　始
S201
周辺反射モデル $p_{ground}(\vec{x}_p)$ に基づくレイオーバ領域の分布 $p_{layover}(\vec{x}_p \mid \sigma_p, \vec{y}_p)$ と位相勾配モデル $P_{grad,n}(y_{n,1}, y_{n,2}, \cdots)$ とに基づいて最適な位相を持つ複素ベクトル $\vec{y}_p$ を求める
S202
周辺反射モデル $p_{ground}(\vec{x}_p)$ に基づくレイオーバ領域の分布 $p_{layover}(\vec{x}_p \mid \sigma_p, \vec{y}_p)$ と反射強度事前モデル $p_{tower}(\sigma)$ p とに基づいて最適な σ_p を求める
S301
レイオーバ領域連続性モデルに基づいて、最適なレイオーバ領域 Z_p を求める
S302
$\vec{y}_p$ を、解析対象の位相を持つ複素ベクトルとして出力
σ_p を、解析対象の画素 p における複素反射強度として出力
レイオーバ領域 Z_p を出力
終　了

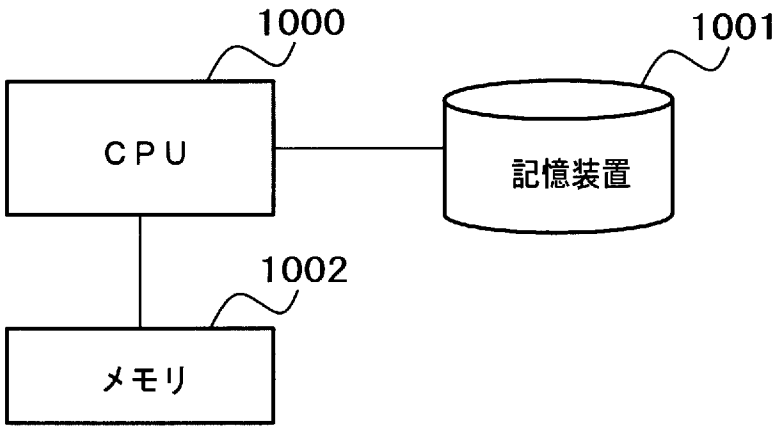
[図10]


60
レイオーバ領域
連続性モデル
410
レイオーバ領域
推定部
Z_p
30
位相勾配
モデル
130
信号抽出部
20
110
120
131
132
SAR画像
(N枚)
分割部
位相勾配
除去部
行列算出部
信号復元部
y

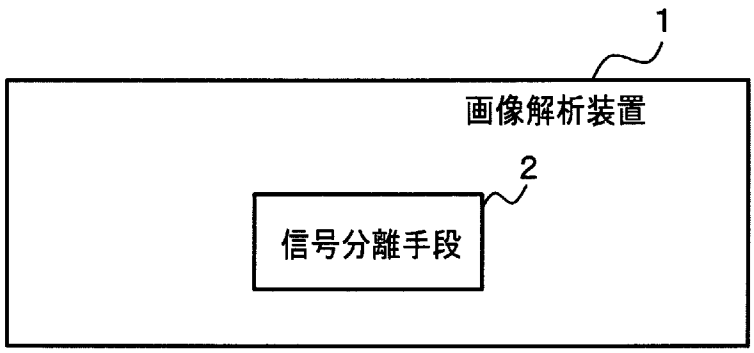
[図11]


開　始
S101
ＳＡＲ画像のそれぞれを小領域に分割
S102
位相勾配モデルに従って小領域内の位相勾配を除去
S103
C_{mn}= f［$x_m\overline{x_n}$］となる行列を小領域毎に計算
（x_n：画像ｎの画素値）
S104
行列Ｃの中の支配的な成分を計算
S401
各小領域内の$y^H C y$をレイオーバ領域らしさとみなし、
レイオーバ領域連続性モデルに基づいて最適なレイオーバ
領域Z_pを求める
S402
ｙを、解析対象の位相を持つ複素ベクトルとして出力
レイオーバ領域Z_pを出力
終　了

[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/023597

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01S 13/89(2006.01)i; G01S 13/90(2006.01)i
FI: G01S13/89; 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)
G01S7/00-G01S7/42; G01S13/00-G01S13/95

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.
X	WO 2017/126547 A1 (NEC CORP) 27 July 2017 (2017-07-27) paragraphs [0036]-[0043], fig. 2, etc.	1, 5-9
A	entire text, all drawings	2-4, 6-8
A	WO 2021/024336 A1 (NEC CORP) 11 February 2021 (2021-02-11) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2003-500658 A (POLITECNICO DI MILANO) 07 January 2003 (2003-01-07) entire text, all drawings	1-9
A	WO 2017/032977 A1 (THALES HOLDINGS UK PLC) 02 March 2017 (2017-03-02) entire text, all drawings	1-9

☐ 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
02 September 2021 (02.09.2021)	21 September 2021 (21.09.2021)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application no.
PCT/JP2021/023597

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2017/126547 A1	27 Jul. 2017	(Family: none)	
WO 2021/024336 A1	11 Feb. 2021	(Family: none)	
JP 2003-500658 A	07 Jan. 2003	US 6583751 B1	
		WO 2000/072045 A1	
		EP 1183551 A1	
		DE 60007307 T2	
WO 2017/032977 A1	02 Mar. 2017	GB 2541658 A	
		EP 3341752 A1	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/023597

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01S 13/89(2006.01)i; G01S 13/90(2006.01)i
FI: G01S13/89; 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-G01S7/42; G01S13/00-G01S13/95

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
X	WO 2017/126547 A1 (日本電気株式会社) 27.07.2017 (2017-07-27) 段落0036-0043,図2等	1,5,9
A	全文,全図	2-4,6-8
A	WO 2021/024336 A1 (日本電気株式会社) 11.02.2021 (2021-02-11) 全文,全図	1-9
A	JP 2003-500658 A (ポリテクニコ　ディ　ミラノ) 07.01.2003 (2003-01-07) 全文,全図	1-9
A	WO 2017/032977 A1 (THALES HOLDINGS UK PLC) 02.03.2017 (2017-03-02) 全文,全図	1-9

☐ 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
02.09.2021	21.09.2021

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/JP2021/023597

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2017/126547 A1	27.07.2017	（ファミリーなし）	
WO 2021/024336 A1	11.02.2021	（ファミリーなし）	
JP 2003-500658 A	07.01.2003	US 6583751 B1	
		WO 2000/072045 A1	
		EP 1183551 A1	
		DE 60007307 T2	
WO 2017/032977 A1	02.03.2017	GB 2541658 A	
		EP 3341752 A1	