

(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  
2024年12月12日(12.12.2024)

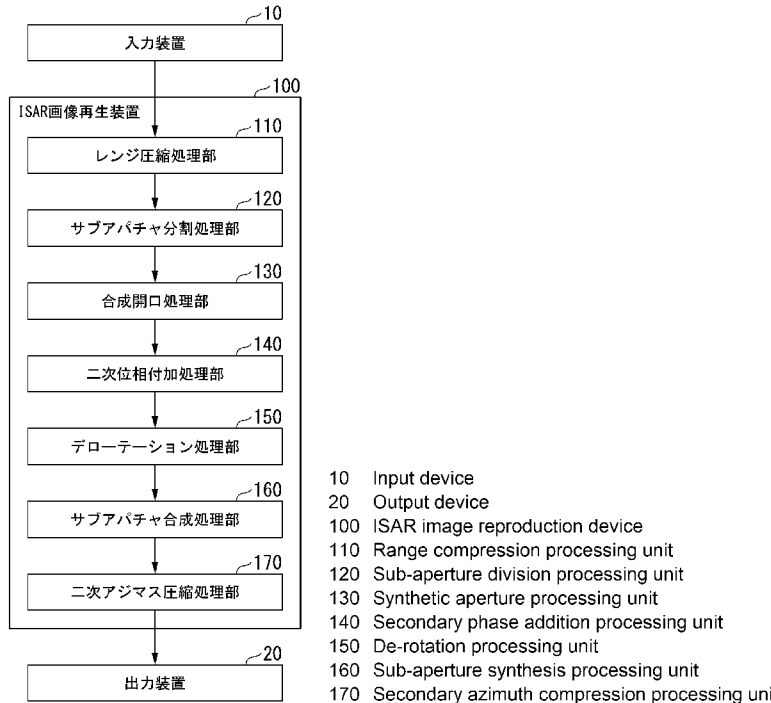


(10) 国際公開番号  
**WO 2024/252920 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*G01S 13/90* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/018657
- (22) 国際出願日: 2024年5月21日(21.05.2024)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2023-095429 2023年6月9日(09.06.2023) JP
- (71) 出願人: 日本電気航空宇宙システム株式会社 (NEC AEROSPACE SYSTEMS, LTD.) [JP/JP]; 〒1838502 東京都府中市住吉町五丁目2番5 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 薙野 綾(NAGINO Ryo); 〒1838502 東京都府中市住吉町五丁目2番5 日本電気航空宇宙システム株式会社内 Tokyo (JP). 大浦 知子(OURA Tomoko); 〒1838502 東京都府中市住吉町五丁目2番5 日本電気航空宇宙システム株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 松沼 泰史, 外(MATSUNUMA Yasushi et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) Title: IMAGE REPRODUCTION DEVICE FOR INVERSE SYNTHETIC APERTURE RADAR, IMAGE REPRODUCTION METHOD, AND RECORDING MEDIUM

(54) 発明の名称: 逆合成開口レーダの画像再生装置、画像再生方法および記録媒体



(57) Abstract: This image reproduction device performs range compression on a reception signal obtained as a result of object observation using an inverse synthetic aperture radar, decomposes the range-compressed signal into a plurality of sub-apertures in a time direction such that adjacent sub-apertures partially overlap, performs azimuth compression on each of the sub-apertures, adds a secondary phase thereto, and performs de-rotation, and thereafter reproduces an image

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

---

by synthesizing the plurality of sub-apertures and performing secondary azimuth compression using the secondary phase.

(57) 要約 : 画像再生装置は、逆合成開口レーダによる対象物の観測によって得られた受信信号についてレンジ圧縮を行い、レンジ圧縮後の信号を隣接するサブアパチャが部分的に重複するように時間方向に複数のサブアパチャに分解し、サブアパチャ毎にアジマス圧縮、二次位相の付加、デローテーションを行った後、複数のサブアパチャを合成して二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って画像を再生する。

## 明 細 書

発明の名称：

逆合成開口レーダの画像再生装置、画像再生方法および記録媒体

### 技術分野

[0001] 本開示は、逆合成開口レーダの画像再生装置、画像再生方法および記録媒体に関する。

### 背景技術

[0002] 人工衛星や航空機に搭載されて移動しながら地球表面を観察するマイクロ波センサとして合成開口レーダ（SAR）（Synthetic Aperture Radar）が知られており、小さな開口面であるアンテナを合成して仮想的に大きな開口面（レーダの直径）を形成し、送受信を繰り返して受信した電波についてドップラ効果を考慮して合成して分解能を向上させている。レーダアンテナの移動ではなく、目標（対象物）の移動や姿勢変化を利用して分解能を向上させる逆合成開口レーダ（ISAR）（Inverse SAR）が知られており、物体のレンジ圧縮及びアジマス圧縮を行い、レンジ・アジマス軸で目標を画像化している。一方、使用済み衛星やロケットの破片などのスペースデブリが高速で地球を周回しており、人工衛星や宇宙飛行士をスペースデブリの脅威から守るために宇宙状況把握（SSA）（Space Situation Awareness）によりスペースデブリの軌道を正確に把握する試みが行われている。SSAでは、類識別度の向上のために宇宙物体の位置情報だけでなく、画像情報を取得することが求められている。

[0003] ISARの画像生成について種々の技術が開発されている。特許文献1は、ISARにおける高解像度画像のレンジ配列や回転補正について開示しており、全開口データサンプルを受信して複数のサブアパチャに分解し、各サブアパチャについて祖画像を生成するとともに顕著なポイント群を選択して、祖画像毎にレンジ配列補正と回転補正を行い、フェーズ傾斜オートフォーカスアルゴリズムを用いてフェーズエラーを補正して祖画像群を組み合わ

せて単一の高分解能画像を生成しています。特許文献2は、ISAR方式のレーダ装置において受信信号から取得される目標をレンジ及びドップラ周波数の両軸で追跡して目標の画像中心を得てレンジ圧縮及びアジマス圧縮によりレンジ・ドップラ周波数軸で目標を画像化しており、合成開口長を時系列に分解して複数のISAR画像を生成し、複数の目標画像の主軸を抽出して主軸の回転の時間変化を回転速度として観測し、回転速度によりクロスレンジの画像寸法を補正して目標画像の絶対位置情報を取得している。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許第6255981号明細書

特許文献2：特開2017-3494号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] ISARの画像再生処理では、受信信号に対してレンジ圧縮、アジマス圧縮、及び各種補正処理を行うことにより高分解能な画像を得ることができる。ISAR技術によりレーダ信号を画像化できるが、SSAレーダのようにISAR処理を目的としないレーダの場合、目標（ターゲット）との距離やハードウェアの制約によりパルス繰り返し周波数（PRF）（Pulse Repetition Frequency）が低いときに単純な合成開口処理では高分解能の画像を得ることができない。そこで、低PRFのレーダでもハードウェアの改修をすることなく、ソフトウェアの工夫のみで高分解能のISAR画像を得ることが求められる。

[0006] ISAR画像においてアジマス方向の分解能を向上させるには、合成開口時間を増加する必要がある、その際、目標からの信号が有するドップラ帯域幅も増加するため、目標からの信号を表現するにはナイキスト条件により増加したドップラ帯域幅以上のPRFでの観測が必要となる。しかし、レーダのPRFはハードウェアおよび観測目標との距離に依存するため、任意に増

加させることは難しい。

[0007] 低PRFで観測された受信信号を画像再生処理時にアップサンプル及び周波数シフトすることにより高PRFで観測された受信信号を模擬する方法が考えられる。しかし、高PRFな目標信号を正確に模擬するためには、目標の高精度な観測情報が必要となる。また、必要なPRFまでアップサンプルすると受信信号のデータ量も増加するため、画像処理の負荷も増加してしまう。

[0008] 特許文献1は、データサンプルを複数のサブアパチャに分解して得た粗画像に対して種々の補正を行った後に合成して単一の高分解能画像を得ているが、画像処理負荷の増加を改善するものではない。特許文献2は、受信信号から得た目標の画像中心について圧縮後に画像化して合成開口長の時系列に分解した複数のISAR画像の主軸の回転速度により画像寸法を補正して目標画像の絶対位置を算出しており、目標位置を高精度に観測することはできるが、低PRFで観測された受信信号から画像処理負荷を増加させることなく高分解能な画像を得るものではない。このため、低PRFで観測された受信信号から画像再生処理の計算コストを増加させることなく高分解能のISAR画像を再生する技術の開発が求められていた。

[0009] 本開示は、上述の課題を解決する逆合成開口レーダの画像再生装置、画像再生方法および記録媒体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

[0010] 本開示の第一の態様は、逆合成開口レーダによる対象物の観測によって得られた受信信号についてレンジ圧縮を行うレンジ圧縮処理部と、レンジ圧縮後の信号を隣接するサブアパチャが部分的に重複するように時間方向に複数のサブアパチャに分解し、サブアパチャ毎にアジマス圧縮、二次位相の付加、デローテーションを行った後、複数のサブアパチャを合成して二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って画像を再生する画像補正処理部と、を具備する画像再生装置である。

[0011] 本開示の第二の態様は、逆合成開口レーダによる対象物の観測によって得

られた受信信号についてレンジ圧縮を行い、レンジ圧縮後の信号を隣接するサブアパチャが部分的に重複するように時間方向に複数のサブアパチャに分解し、サブアパチャ毎にアジマス圧縮、二次位相の付加、デローテーションを行い、複数のサブアパチャを合成して二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って画像を再生する、画像再生方法である。

[0012] 本開示の第三の態様は、画像再生装置のコンピュータに、逆合成開口レーダによる対象物の観測によって得られた受信信号についてレンジ圧縮を行い、レンジ圧縮後の信号を隣接するサブアパチャが部分的に重複するように時間方向に複数のサブアパチャに分解し、サブアパチャ毎にアジマス圧縮、二次位相の付加、デローテーションを行い、複数のサブアパチャを合成して二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って画像を再生する、ことを実行させるためのプログラムを記憶した記録媒体である。

### 発明の効果

[0013] 本開示によれば、ISARレーダによる低PRFで観測された受信信号から画像処理負荷を増大させることなく高分解能のISRA画像を再生できるという効果を奏する。

### 図面の簡単な説明

[0014] [図1]本開示に係る逆合成開口画像再生システムのブロック図である。  
[図2]本開示に係る逆合成開口画像に係る受信データを複数のサブアパチャに分割する方法を説明するグラフである。  
[図3]本開示の構成に係るISAR画像再生装置の構成例のブロック図である。  
[図4]図3に示したISAR画像再生装置の画像補正処理の詳細を示したブロック図である。  
[図5]本開示に係るISAR画像再生処理の概要を説明するためのフローチャートである。  
[図6]図5に示したISAR画像再生処理の画像補正処理の詳細を説明するためのフローチャートである。

## 発明を実施するための形態

- [0015] 目標（ターゲット）にマイクロ波を送信して目標から反射された電波を受信して画像を生成する逆合成開口レーダ（ISAR）の画像再生装置、画像再生方法およびプログラムについて実施の形態とともに添付図面を参照して詳細に説明する。
- [0016] 図1は、本開示に係る逆合成開口画像再生システムの構成を示しており、入力装置10、出力装置20、ISAR画像再生装置100より構成される。入力装置10は、ISAR観測により得られたデータを読み込むものであり、例えば、ISAR衛星などが目標に対してマイクロ波を送信して目標から反射された電波（反射波）を受信信号として読み込む。ISAR画像再生装置100は入力装置10からの受信信号に対してISAR画像処理（レンジ圧縮処理、合成開口処理など）を施してISAR画像を再生する。出力装置20は、ISAR画像再生装置により再生されたISAR画像を外部へ出力する。
- [0017] ISAR画像再生装置100は、パーソナルコンピュータ（PC）などの情報処理装置により構成されており、プロセッサがメモリに格納されたソフトウェア（ISAR画像再生処理に係るプログラム）を実行することにより所望の機能を実装する。プロセッサとしては、装置全体を制御するCPU(Central Processing Unit)の他に画像解析を行うGPU(Graphics Processing Unit)、GPGPU(General-Purpose GPU)、データ処理を行うTPU(Tensor Processing Unit)などが適用される。ISAR画像再生装置100は、プロセッサがメモリに格納されたプログラムを実行することにより複数の機能部110乃至170を実装するものであり、具体的には、レンジ圧縮処理部110、サブアパチャ分割処理部120、合成開口処理部130、二次位相付加処理部140、デローテーション（減捻）(de-rotation)処理部150、サブアパチャ合成処理部160、二次アジマス圧縮処理部170を実装する。
- [0018] ISAR画像処理では、レンジ方向とアジマス方向に2次元的に広がった目標からの反射波をパルス圧縮技術（レンジ方向の圧縮）および合成開口技

術（アジマス方向の圧縮）を用いて1点に圧縮して目標が動揺しても鮮明な画像化を可能としている。レンジ圧縮処理部110は受信信号のレンジ圧縮を行うものであり、ISARアンテナに対する目標の進行方向（アジマス）およびアンテナ正面方向（レンジ）の直交する2方向に2次元的に広がった目標からの反射波である受信信号についてレンジ方向に圧縮する。レンジ圧縮処理部110はレンジ圧縮信号を生成する。

[0019] サブアパチャ分割処理部120はサブアパチャ分割処理によりレンジ圧縮信号を時間分割する。具体的には、サブアパチャ分割処理部120は隣接するサブアパチャが部分的に重複（オーバーラップ）するようにレンジ圧縮信号を分割し、重複部分（オーバーラップ部分）にはサブアパチャ合成処理時に隣接するサブアパチャが滑らかに繋がるように窓関数（ハニング窓）の前半部または後半部を乗算する。合成開口処理部130は、レンジ圧縮信号のサブアパチャ毎に合成開口処理によりアジマス圧縮を行う。アジマス圧縮は、ISARと目標との相対的移動に応じて設定される圧縮パラメータを用いて行われるが、ISAR観測により予め圧縮パラメータを設定してもよい。合成開口処理部130は、レンジ圧縮信号をサブアパチャ毎にアジマス圧縮して、レンジ・アジマス圧縮信号を生成する。

[0020] 二次位相付加処理部140は、二次アジマス圧縮処理に向けた二次位相付加処理をレンジ・アジマス圧縮信号に対して実行するものであり、複数のサブアパチャ間で連続な線形チャープとなる位相を付加する。線形チャープは、瞬間周波数を時間とともに線形に変化させるものであり、開始周波数に対して時間の経過に応じて整数倍の周波数の増加率（チャープ率）を付加して、複数のサブアパチャ間では時間の経過に応じて線形に周波数を増加させている。デローテーション処理部150は、二次位相付加処理が施されたレンジ・アジマス圧縮信号に対してデローテーション（減捻）処理を施すものであり、目標からの信号（ターゲット信号）のドップラ周波数の変化（ドップラーレート）をキャンセルするような周波数シフト処理を行って、デローテーション後のデータ周波数をターゲット信号の受信時のパルス繰り返し周波

数（PRF）以内に収める。

[0021] サブアパチャ合成処理部160は、サブアパチャ合成処理によりデローテーション後のレンジ・アジマス圧縮信号の全てのサブアパチャを纏めて一つに合成する。サブアパチャ合成処理では、サブアパチャ分割処理において隣接するサブアパチャの重複部分に乗算した窓関数の効果により、複数のサブアパチャの加算処理を行うことにより滑らかにサブアパチャ合成を行うことができる。二次アジマス圧縮処理部170は、合成開口処理部130が受信データのサブアパチャ毎に行ったアジマス圧縮とは異なり、複数のサブアパチャを合成したレンジ・アジマス圧縮信号に対して二次位相付加処理部140により付加された二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って、高分解能なISAR画像を取得する。これにより、ISAR画像再生装置100は、ISAR観測により得られた受信信号からISAR再生画像を生成する。出力装置20は、ISAR再生画像を外部へ出力する。例えば、ISAR再生画像を後続の情報処理装置へ出力する、或いは、外部の表示装置へ出力する。

[0022] 次に、図1に示した逆合成開口画像再生システムの動作について詳細に説明する。入力装置10は、ISAR観測で取得した受信信号を入力して、ISAR画像再生装置100へ供給する。ISAR画像再生装置100において、レンジ圧縮処理部110はISAR観測に係る受信信号をレンジ圧縮してレンジ圧縮信号を生成する。サブアパチャ分割処理部120は、サブアパチャに含まれる目標（ターゲット）信号の周波数帯域がパルス繰り返し周波数（PRF）以下となるようレンジ圧縮信号にサブアパチャ分割処理を行って時間領域にて複数のサブアパチャを生成する。図2は、複数のサブアパチャの分割方法を示しており、隣接するアパチャが相互に重複（オーバーラップ）するように分割するとともに、サブアパチャ合成処理において隣接するサブアパチャが滑らかに繋がるように窓関数（ハニング窓）を重複（オーバーラップ）部分に乗算する。図2は、観測時間に相当するアジマス方向（Az方向）に隣接する3つのサブアパチャ（Sub1～Sub3）を示しており、

例えば、サブアパチャSub 2の後部分とサブアパチャSub 3の前部分とのオーバーラップ部分において、サブアパチャSub 2の後部分にはハニング窓（後半）を乗算するとともに、サブアパチャSub 3の前部分にはハニング窓（前半）を乗算する。

[0023] 例えば、スペースデブリなどの宇宙物体をISAR観測する場合、各時間における対象物の各点からの反射波のドップラ周波数の差異が小さく、受信信号の各時刻のドップラ帯域の広がりが狭いと仮定できる。よって、対象物の軌道情報からの受信信号の各時刻におけるドップラ周波数を推定し、サブアパチャに含まれる受信信号の帯域幅がパルス繰り返し周波数（PRF）以下となるようなサブアパチャのサイズを決定する。図2に示すサブアパチャSub 1～Sub 3は、このように決定されたサイズを有しており、時間領域で部分的に重複（オーバーラップ）している。

[0024] 合成開口処理部130は、サブアパチャ単位でレンジ圧縮信号に合成開口処理によるアジマス圧縮を行ってレンジ・アジマス圧縮信号を生成する。なお、種々の合成開口処理が開発されており、本実施例にて適用する合成開口処理について特に制限はない。二次位相付加処理部140は、サブアパチャ単位でレンジ・アジマス圧縮信号（以下、信号Sと称する）に対して線形チャープ $K_{scl}$ を付加する。二次位相付加処理は周波数領域で実施し、二次位相付加後の信号 $S'$ は下記の数式1で表わされる。数式1において、符号 $S'$ は二次位相付加後の信号を示し、符号Sはアジマス圧縮した信号（レンジ・アジマス圧縮信号）を示し、符号 $K_{scl}$ は線形チャープを示し、符号 $f_{\eta}$ はドップラ周波数を示す。

[0025] [数1]

$$S' = S \cdot \exp\left(-j \frac{\pi}{K_{scl}} f_{\eta}^2\right)$$

[0026] デローテーション処理部150では、受信信号のドップラ周波数の変化量をISAR観測時のパルス繰り返し周波数（PRF）内に収めるため、チャ

ープ $K_{rot}$ の位相回転を行う。デローテーション処理は時間領域で実施し、デローテーション後の信号 $S_{rot}$ を生成する。下記の数式2は、チャープ $K_{rot}$ とデローテーション後の信号 $S_{rot}$ を示している。数式2において、符号 $S'$ は二次位相付加後の信号を示し、符号 $S_{rot}$ はデローテーション後の信号を示し、符号 $v_{tar}$ はターゲットの速度を示し、符号 $\lambda$ は搬送波の波長を示し、符号 $R_{ZD}$ はゼロドップラ時のターゲットの距離を示し、符号 $f_{DC}$ は観測中心時刻のドップラ周波数を示し、符号 $\eta$ はゼロドップラを基準とした時刻を示し、符号 $\alpha$ はデローテーションパラメータを示す。デローテーションパラメータ $\alpha$ は、「 $\alpha = 1 - PRF / BW$ （ $BW$ は観測全体のターゲット信号の帯域幅を示す）」のように設定される。本開示のいくつかの実施形態において、デローテーションパラメータ $\alpha$ はターゲットが点であることを想定しているが、実際はターゲット信号の帯域幅に数パーセント乃至数十パーセントのマージンを加味することが望ましい。

[0027] [数2]

$$K_{rot} = \frac{2v_{tar}^2}{\lambda R_{ZD}} \alpha$$

$$S_{rot} = S' \cdot \exp\{-(2\pi f_{DC}\eta + \pi K_{rot}\eta^2)\}$$

[0028] サブアパチャ合成処理部160は、全てのサブアパチャを時間領域にて加算処理することによりサブアパチャ合成処理を実行する。二次アジマス圧縮処理部170では、サブアパチャ合成後の信号に対して高速フーリエ変換（FFT）（Fast Fourier Transform）を実行して、チャープ $K_{eff}$ の参照信号 $S_{ref}$ を用いたアジマス圧縮を行い、最後に、逆FFTを行うことでISAR画像を生成する。下記の数式3は、チャープ $K_{eff}$ と参照信号 $S_{ref}$ を示しており、符号 $f_{\eta}$ はドップラ周波数を示し、符号 $K_{sc}$ は線形チャープを示し、符号 $K_{rot}$ はデローテーションで用いたチャープを示す。出力装置20は、ISAR画像再生装置100で再生されたISAR画像を出力する。

[0029]

[数3]

$$K_{eff} = K_{scl} - K_{rot}$$
$$S_{ref} = \exp\left(j \frac{\pi}{K_{eff}} f_{\eta}^2\right)$$

[0030] 本開示の構成例について図3乃至図4を参照して説明する。図3は、本開示に係るISAR画像再生装置200の構成例の機能を示すブロック図であり、レンジ圧縮処理210と画像補正処理220を実行する。レンジ圧縮処理210では、ISAR観測による受信信号に対してレンジ圧縮を行う。画像補正処理220は、本開示のいくつかの実施形態の中核を成すものであり、レンジ圧縮後の受信信号に対して画像補正を行う。画像補正は、サブアパチャ毎のアジマス圧縮、二次位相付加、デローテーションを含んでおり、全てのサブアパチャを合成した後、二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行う。これにより、低PRFのレーダ観測であっても、高分解能のISAR画像を再生することができる。

[0031] 図4は、画像補正処理220の詳細な機能を示すブロック図である。レンジ圧縮後の受信信号は、サブアパチャ分割230により時間方向に複数のサブアパチャに分割される。その後、サブアパチャ毎に合成開口処理（アジマス圧縮）240、二次位相付加250、デローテーション260が行われ、サブアパチャ合成270により全てのサブアパチャを1つに合成する。サブアパチャ合成後の受信信号には二次位相を用いた二次アジマス圧縮280が行われ、ISAR画像が生成される。

[0032] 図5は、本開示に係る機能の一例を説明するためのフローチャートであり、図3の構成例に対応している。ISAR画像再生装置200では、レンジ圧縮処理（S10）と画像補正処理（S20）を実行している。図6は、本開示のいくつかの実施形態の中核の機能である画像補正処理（S20）の詳細を説明するためのフローチャートである。レンジ圧縮後の受信信号は時間方向に複数のサブアパチャに分解された後（S21）、画像補正が行われる

(S 2 2)。画像補正では、サブアパチャ毎のアジマス圧縮、二次位相付加、デローテーションが行われる。その後、複数のサブアパチャが1つに合成され(S 2 3)、二次位相を用いた二次アジマス圧縮が行われる(S 2 4)。本開示は、レンジ圧縮後の受信信号に対してサブアパチャ毎のアジマス圧縮、二次位相付加、デローテーションを行うことを特徴としている。二次位相付加では、数式1に表されるように、サブアパチャ毎にアジマス圧縮した信号 $S$ に対して線形チャープ $K_{scl}$ を付加して信号 $S'$ に変換している。デローテーションでは、数式2に表されるように、チャープ $K_{rot}$ の位相回転を行って、信号 $S'$ をデローテーション後の信号 $S_{rot}$ に変換する。デローテーションでは、デローテーションパラメータ $\alpha$ を設定してデローテーション後のターゲット信号をPRF内に収めている。二次アジマス圧縮では、数式3に表されるように、サブアパチャ合成後の信号に対してチャープ $K_{eff}=K_{scl}-K_{rot}$ を含む参照信号 $S_{ref}$ を用いた二次アジマス圧縮を行っている。

[0033] 本開示において、ISAR画像再生装置200は、プロセッサ(CPU、GPUなど)がレンジ圧縮プログラムや画像補正プログラムなどを実行して上述の機能を実装しているが、コンピュータプログラムを記憶媒体(ROM、RAMなどの半導体メモリ)に格納してもよく、或いは、他の装置からコンピュータプログラムを配信してもよい。また、コンピュータプログラムは、上述した機能の一部を実現するためのものであっても良く、或いは、上述した機能をコンピュータシステムに既に記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル(又は、差分プログラム)であっても良い。

[0034] 本開示は、逆合成開口レーダ(ISAR)の画像処理において、ナイキスト周波数に満たないパルス繰り返し周波数(PRF)で取得された受信信号を時間方向に分割して複数のサブアパチャを生成し、サブアパチャ毎に合成開口処理(アジマス圧縮)、二次位相付加(線形チャープ付加)、デローテーションを行って、最後に全てのサブアパチャを合成することを特徴としている。これにより、宇宙状況監視用レーダのような低PRFの観測データで

あっても、高精度なターゲットの軌道情報を用いることなく高分解能な I S A R 画像を再生することができる。なお、ナイキスト周波数は標本化定理においてサンプリング周波数の半分の周波数を意味するが、これに限定されるものではなく、特定の信号群を標本化して再生したときに元の信号を再現するためのナイキスト条件を満たす周波数である。

[0035] 本開示は上述の実施の形態に限定されるものでなく、I S A R 画像再生装置の構成や機能は図 1 乃至図 6 に限定されるものではない。本開示は、合成開口処理を限定するものではなく、合成開口処理の手法に依らず適用可能である。サブアパチャ分割処理において複数のサブアパチャに乗算する窓関数はハニング窓に限定されるものではなく、サブアパチャ合成時に隣接するサブアパチャの重複部分（オーバーラップ部分）を滑らかに繋げることができるような窓関数を適用することができる。また、アジマスアンビギュイティ（画像の位置合わせ時に位相差を発生させるアジマスアンビギュイティ成分）の増加に繋がる可能性があるが、複数のサブアパチャに対して窓関数の乗算を行わずに、各サブアパチャの重複部分（オーバーラップ部分）の半分を採用して複数のサブアパチャを合成してもよい。

[0036] 本開示の課題解決手段を考慮した I S A R 画像再生装置（方法）の奏する効果について説明する。

（1）本開示では、I S A R 観測において低 P R F で取得された受信信号（宇宙物体や地表上の物体などのターゲットにマイクロ波を照射して受信した反射波など）を時間方向（アジマス方向）に複数のサブアパチャに分割し、サブアパチャ毎に合成開口処理を行った後に複数のサブアパチャを合成することにより、高分解能な I S A R 画像を再生することができる。

（2）時間方向の複数のサブアパチャへの分割では、ターゲット信号（ターゲットからの反射波など）の有するドップラ周波数が観測時の P R F を超えないように分割する。ターゲットの軌道情報の精度が低い場合、ターゲットの不定性に応じてサブアパチャに含めるデータ量を減らす（或いは、サブアパチャのサイズを小さくする）ことにより、画像再生処理を継続することが

できる。

(3) 低PRFのレーダによる観測時において、観測対象のターゲットの高精度な軌道情報が得られない場合でも、サブアパチャ単位での合成開口処理およびターゲットの軌道精度に依存しない二次位相（線形チャープ）によるアジマス圧縮処理を行うことによって、ハードウェアの改修をすることなく高分解能なISAR再生画像を得ることができる。

(4) 本開示では受信信号のアップサンプル（サンプリング周波数の増加）を含んでおらず、低PRFの受信信号のままで画像再生処理を行うことができ、アップサンプルによる計算負荷の増大を回避するとともに、画像再生処理の計算コストの増大も防ぐことができる。

[0037] 本開示に係る画像再生装置の技術的特徴は、付記1～付記5として纏めることができる。

(付記1) 画像再生装置は、逆合成開口レーダによる対象物の観測によって得られた受信信号についてレンジ圧縮を行うレンジ圧縮処理部と、レンジ圧縮後の信号を隣接するサブアパチャが部分的に重複するように時間方向に複数のサブアパチャに分解し、サブアパチャ毎にアジマス圧縮、二次位相の付加、デローテーションを行った後、複数のサブアパチャを合成して二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って画像を再生する画像補正処理部と、を具備する。

(付記2) 画像補正処理部は、複数のサブアパチャにおいて隣接するサブアパチャの重複部には窓関数を適用してもよい。

(付記3) 画像補正処理部は、二次位相の付加にてアジマス圧縮後の信号に対して第1のチャープを付加してもよい。

(付記4) 画像補正処理部は、デローテーションにて二次位相の付加後の信号に対して第2のチャープの位相回転を行ってもよい。

(付記5) 画像補正処理部は、複数のサブアパチャの合成後の信号に対して第1のチャープと第2のチャープの差に相当する第3のチャープを含む参照信号を用いて二次アジマス圧縮を行ってもよい。

[0038] 本開示は、付記6乃至付記7に記載するように、画像再生方法やプログラムを記憶した記録媒体をも包含する。

(付記6) 画像再生方法は、逆合成開口レーダによる対象物の観測によって得られた受信信号についてレンジ圧縮を行い、レンジ圧縮後の信号を隣接するサブアパチャが部分的に重複するように時間方向に複数のサブアパチャに分解し、サブアパチャ毎にアジマス圧縮、二次位相の付加、デローテーションを行い、複数のサブアパチャを合成して二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って画像を再生する。

(付記7) 記録媒体は、画像再生装置のコンピュータに、逆合成開口レーダによる対象物の観測によって得られた受信信号についてレンジ圧縮を行い、レンジ圧縮後の信号を隣接するサブアパチャが部分的に重複するように時間方向に複数のサブアパチャに分解し、サブアパチャ毎にアジマス圧縮、二次位相の付加、デローテーションを行い、複数のサブアパチャを合成して二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って画像を再生する、ことを実行させるためのプログラムを記憶する。

[0039] 以上、実施の形態を参照して本開示を説明したが、本開示は上述の実施の形態に限定されるものではない。本開示の構成や詳細には、本開示のScope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。そして、各実施の形態は、適宜他の実施の形態と組み合わせることができる。

[0040] この出願は、2023年6月9日に出願された日本国特願2023-095429号を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

### 産業上の利用可能性

[0041] 本開示は、逆合成開口レーダ (ISAR) が対象物に照射したマイクロ波の反射波を受信してレンジ圧縮やアジマス圧縮などの画像補正処理を行ってISAR画像を再生するものであるが、その適用範囲は宇宙物体 (スペースデブリなど) の宇宙状況観測に限られるものではなく、地表の構造物 (石油タンクなど) の観測、船舶の観測、地上の特定領域の地盤沈下の観測、水源

汚染や森林伐採などの環境破壊の観測などに適用可能である。

## 符号の説明

- [0042] 10 入力装置
- 20 出力装置
- 100、200 ISAR画像再生装置
- 110 レンジ圧縮処理部
- 120 サブアパチャ分割処理部
- 130 合成開口処理部
- 140 二次位相付加処理部
- 150 デローテーション処理部
- 160 サブアパチャ合成処理部
- 170 二次アジマス圧縮処理部
- 210 レンジ圧縮処理
- 220 画像補正処理
- 230 サブアパチャ分割
- 240 合成開口処理（アジマス圧縮）
- 250 二次位相付加
- 260 デローテーション
- 270 サブアパチャ合成
- 280 二次アジマス圧縮

## 請求の範囲

- [請求項1] 逆合成開口レーダによる対象物の観測によって得られた受信信号についてレンジ圧縮を行うレンジ圧縮処理部と、  
前記レンジ圧縮後の信号を隣接するサブアパチャが部分的に重複するように時間方向に複数のサブアパチャに分解し、サブアパチャ毎にアジマス圧縮、二次位相の付加、デローテーションを行った後、前記複数のサブアパチャを合成して前記二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って画像を再生する画像補正処理部と、  
を具備する画像再生装置。
- [請求項2] 前記画像補正処理部において、前記複数のサブアパチャにおいて隣接するサブアパチャの重複部分には窓関数を適用するようにした、請求項1に記載の画像再生装置。
- [請求項3] 前記画像補正処理部において、前記二次位相の付加では前記アジマス圧縮後の信号に対して第1のチャープを付加する、請求項1に記載の画像再生装置。
- [請求項4] 前記画像補正処理部において、前記デローテーションでは前記二次位相の付加後の信号に対して第2のチャープの位相回転を行う、請求項3に記載の画像再生装置。
- [請求項5] 前記画像補正処理部において、前記複数のサブアパチャの合成後の信号に対して前記第1のチャープと前記第2のチャープの差に相当する第3のチャープを含む参照信号を用いて前記二次アジマス圧縮を行う、請求項4に記載の画像再生装置。
- [請求項6] 逆合成開口レーダによる対象物の観測によって得られた受信信号についてレンジ圧縮を行い、  
前記レンジ圧縮後の信号を隣接するサブアパチャが部分的に重複するように時間方向に複数のサブアパチャに分解し、  
サブアパチャ毎にアジマス圧縮、二次位相の付加、デローテーションを行い、

前記複数のサブパチャを合成して前記二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って画像を再生する、

画像再生方法。

[請求項7]

画像再生装置のコンピュータに、

逆合成開口レーダによる対象物の観測によって得られた受信信号についてレンジ圧縮を行い、

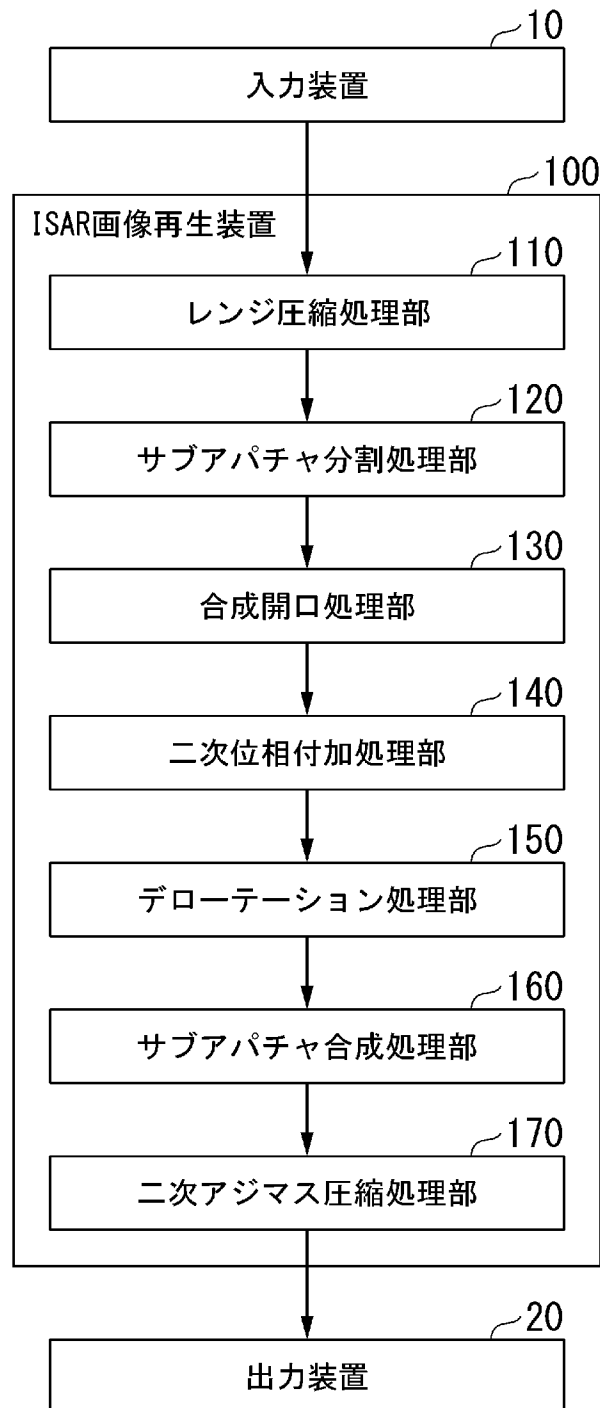
前記レンジ圧縮後の信号を隣接するサブパチャが部分的に重複するように時間方向に複数のサブパチャに分解し、

サブパチャ毎にアジマス圧縮、二次位相の付加、デローテーションを行い、

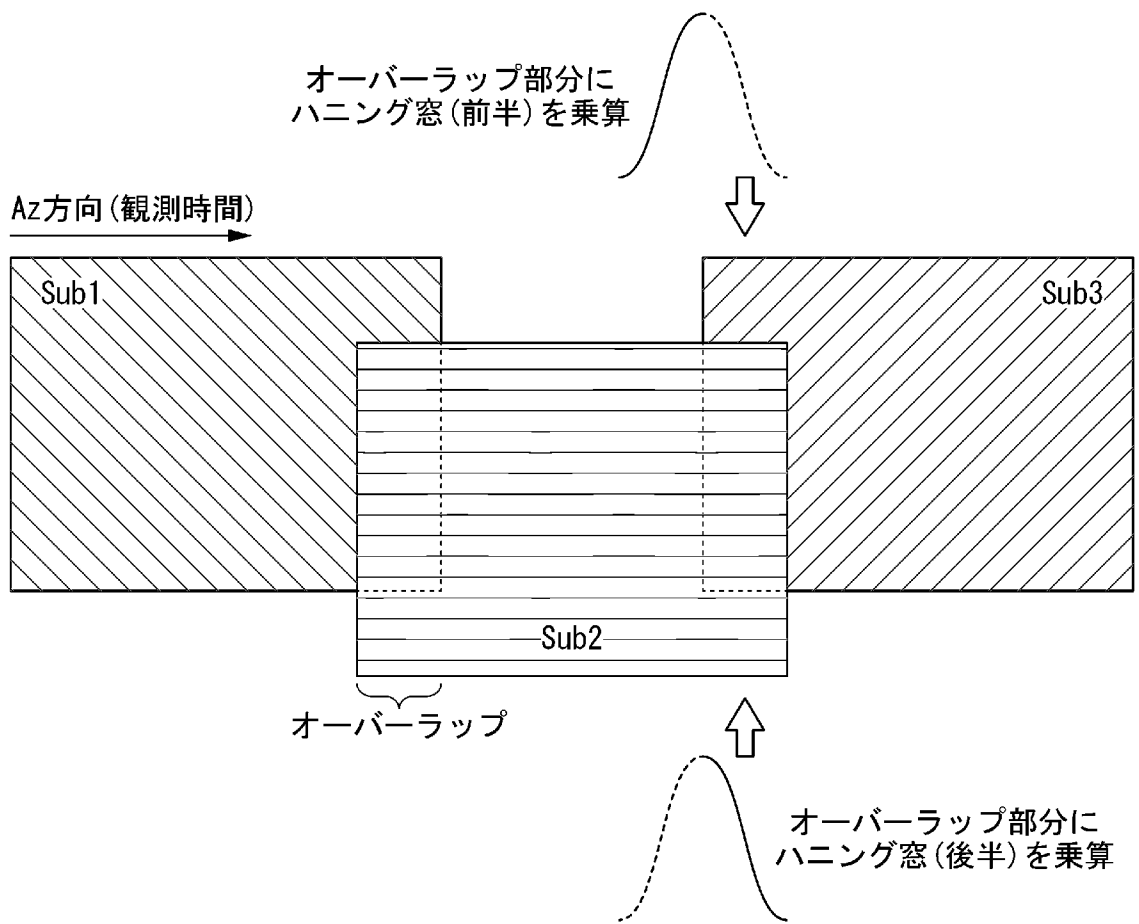
前記複数のサブパチャを合成して前記二次位相を用いた二次アジマス圧縮を行って画像を再生する、

ことを実行させるためのプログラムを記憶した記録媒体。

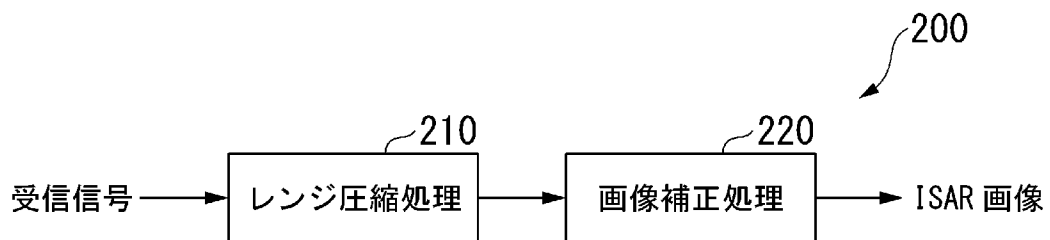
[図1]



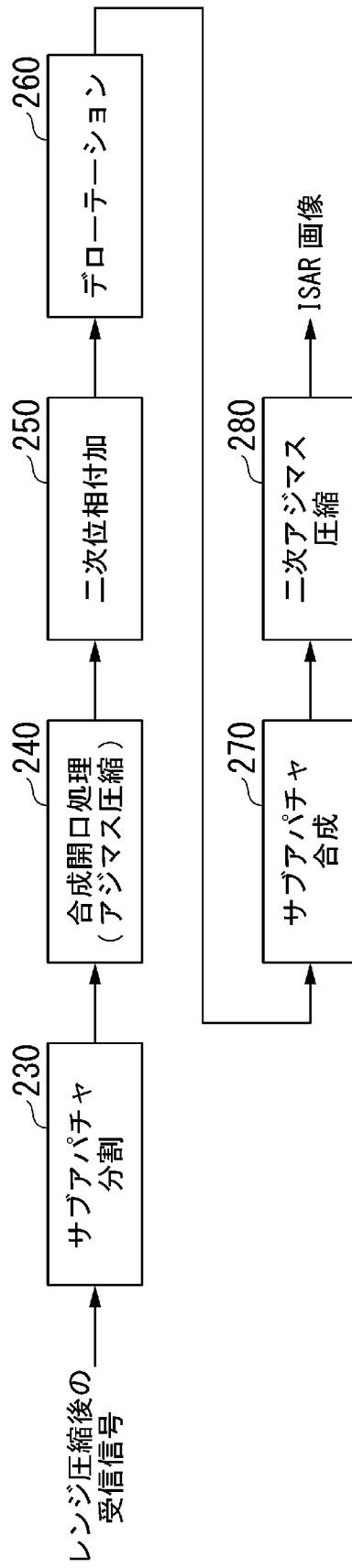
[図2]



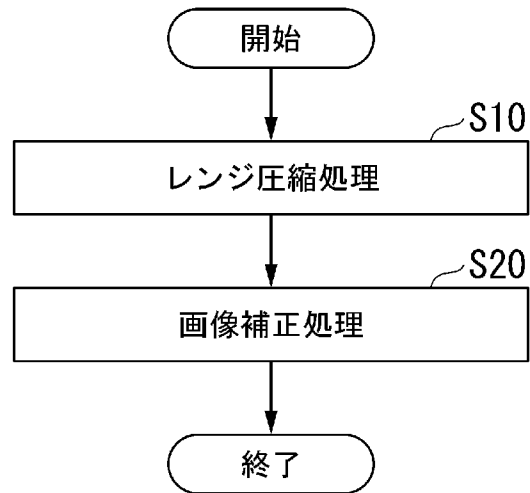
[図3]



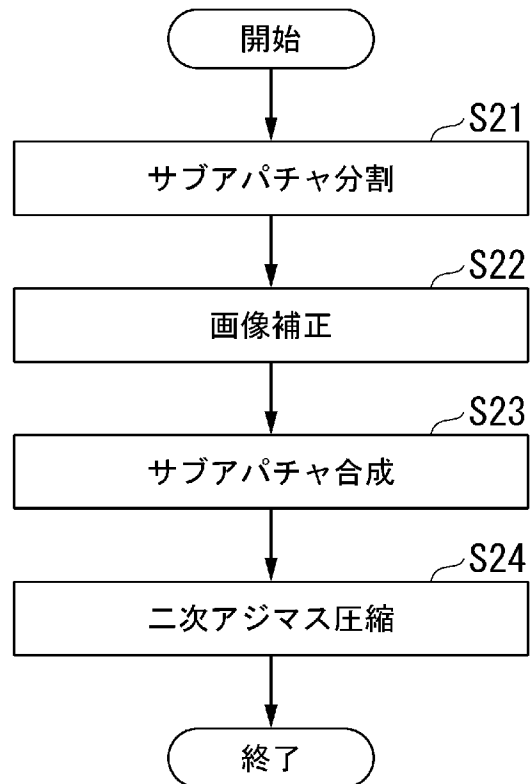
[図4]



[図5]



[図6]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/018657

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>G01S 13/90</i> (2006.01)i FI: G01S13/90 164; G01S13/90 191		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01S7/00-7/42; G01S13/00-13/95		
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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) IEEE Xplore		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP 2023-180643 A (NEC CORPORATION) 21 December 2023 (2023-12-21) entire text, all drawings	1-7
A	WO 2017/195297 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 16 November 2017 (2017-11-16) entire text, all drawings	1-7
A	US 5343204 A (UNISYS CORPORATION) 30 August 1994 (1994-08-30) entire text, all drawings	1-7
A	US 6255981 B1 (RAYTHEON COMPANY) 03 July 2001 (2001-07-03) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2017-003494 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 05 January 2017 (2017-01-05) entire text, all drawings	1-7
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 <b>05 July 2024</b>		Date of mailing of the international search report <b>16 July 2024</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2024/018657**

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	NOVIELLO, Carlo et al. Fast and Accurate ISAR Focusing Based on a Doppler Parameter Estimation Algorithm. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. March 2017, vol. 14, no. 3, pp. 349-353, DOI: 10.1109/LGRS.2016.2641498 entire text, all drawings	1-7
A	MARCHETTI, Emidio et al. Space-Based Sub-THz ISAR for Space Situational Awareness Concept and Design. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. June 2021, vol. 58, no. 3, pp. 1558-1573, DOI: 10.1109/TAES.2021.3126375 entire text, all drawings	1-7

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2024/018657**

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2023-180643 A	21 December 2023	(Family: none)	
WO 2017/195297 A1	16 November 2017	(Family: none)	
US 5343204 A	30 August 1994	(Family: none)	
US 6255981 B1	03 July 2001	(Family: none)	
JP 2017-003494 A	05 January 2017	(Family: none)	

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: G01S13/90 164; G01S13/90 191		
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 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 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024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） IEEE Xplore		
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
P, A	JP 2023-180643 A (日本電気株式会社) 21.12.2023 (2023-12-21) 全文全図	1-7
A	WO 2017/195297 A1 (三菱電機株式会社) 16.11.2017 (2017-11-16) 全文全図	1-7
A	US 5343204 A (UNISYS CORPORATION) 30.08.1994 (1994-08-30) 全文全図	1-7
A	US 6255981 B1 (RAYTHEON COMPANY) 03.07.2001 (2001-07-03) 全文全図	1-7
A	JP 2017-003494 A (株式会社東芝) 05.01.2017 (2017-01-05) 全文全図	1-7
A	NOVIELLO, Carlo et al., "Fast and Accurate ISAR Focusing Based on a Doppler Parameter Estimation Algorithm", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2017.03, Vol.14, No.3, pp.349-353, DOI: 10.1109/LGRS.2016.2641498 全文全図	1-7
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 "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 05.07.2024	国際調査報告の発送日 16.07.2024	
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） 東 治 企 2M 9708 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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
A	MARCHETTI, Emidio et al., "Space-Based Sub-THz ISAR for Space Situational Awareness Concept and Design", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2021.06, Vol.58, No.3, pp.1558-1573, DOI: 10.1109/TAES.2021.3126375 全文全図	1-7

国際調査報告  
特許ファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/018657

引用文献	公表日	特許ファミリー文献	公表日
JP 2023-180643 A	21.12.2023	(ファミリーなし)	
WO 2017/195297 A1	16.11.2017	(ファミリーなし)	
US 5343204 A	30.08.1994	(ファミリーなし)	
US 6255981 B1	03.07.2001	(ファミリーなし)	
JP 2017-003494 A	05.01.2017	(ファミリーなし)	