

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6456312号
(P6456312)

(45) 発行日 平成31年1月23日 (2019. 1. 23)

(24) 登録日 平成30年12月28日 (2018. 12. 28)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 S 13/90 (2006.01)

G O 1 S 13/90 1 9 1

請求項の数 15 外国語出願 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2016-2406 (P2016-2406)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成28年1月8日 (2016. 1. 8)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2016-136142 (P2016-136142A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成28年7月28日 (2016. 7. 28)	(74) 代理人	100110423
審査請求日	平成30年9月20日 (2018. 9. 20)		弁理士 曾我 道治
(31) 優先権主張番号	14/603, 460	(74) 代理人	100111648
(32) 優先日	平成27年1月23日 (2015. 1. 23)		弁理士 梶並 順
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100122437
早期審査対象出願			弁理士 大宅 一宏
		(74) 代理人	100147566
			弁理士 上田 俊一
		(74) 代理人	100161171
			弁理士 吉田 潤一郎
		(74) 代理人	100161115
			弁理士 飯野 智史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元画像を生成する方法及びシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

3次元(3D)画像を生成する方法であって、前記画像は仮想アレイ画像であり、前記方法は、

複数の平行なベースラインを用いてシーン内の反射体からデータを取得するステップであって、前記複数の平行なベースラインは、前記シーンをパスする複数のアンテナアレイプラットフォーム及び複数の異なるパルス繰り返し周波数(PRF)により定まり、前記複数のベースラインの二次元座標は超平面に配置されるものと、

前記データに3D圧縮センシング再構成手順を適用して、前記シーンに対応する前記3Dの仮想アレイ画像を生成するステップと、
を含む、3次元画像を生成する方法。

【請求項 2】

前記データは、各ベースラインにおいて一様にサンプリングされる、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記ベースラインは互いに平行になるように予め定められる、請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

各ベースラインは複数のアンテナ素子を含み、アンテナ素子の空間ロケーションはジッターを受ける、請求項1に記載の方法。

【請求項 5】

各ベースラインの前記 P R F は互いに無関係である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記データは複数のアンテナ仮想アレイシステムから収集される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記複数のベースラインの空間分布はランダムである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

仰角開口が単一の仮想アレイ軌道チューブよりも大きい、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記圧縮センシングの方法は、反復再構成方法である、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 10】

高度分解能が予め定められた 3 D 仮想アレイシステムよりも高い、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

ベースラインの総数が予め定められた 3 D 仮想アレイシステムよりも少ない、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

前記ベースラインのロケーションが、シーン中心を中心とした円の弧上にランダムに分散する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

20

各ベースラインは、異なる距離及び高度座標を有して前記超平面内でランダムに分散する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 14】

前記ベースラインの座標は、距離 - 方位 - 高度空間内で (u, w) であり、前記シーン内の反射体の前記座標は (x, y, z) であり、前記ベースラインは全て方位軸に平行である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 15】

3 次元 (3 D) 画像を生成するシステムであって、前記画像は仮想アレイ画像であり、前記システムは、

超平面内において、シーンをパスする複数のアンテナアレイプラットフォームにより定まる複数の平行なベースラインであって、データが、前記ベースラインに従って、シーン内の反射体から複数の異なるパルス繰り返し周波数 (P R F) を用いて取得されるものと、

30

3 D 圧縮センシング再構成手順を前記データに適用して、前記シーンに対応する前記 3 D の仮想アレイ画像を生成するように構成された、前記ベースラインのデータを記憶するメモリに接続されたプロセッサと、

を備える、3 次元画像を生成するシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、包括的には合成開口レーダーシステムに関し、より詳細には、断層 3 D イメージングシステムに関する。

40

【背景技術】

【0002】

仮想アレイシステムは、移動アンテナを用いて大きな仮想開口を合成し、これにより高分解能画像を達成する。単一パス仮想アレイシステムは、シーンの 2 次元 (2 D) 距離方位反射率を高分解能なしでイメージングすることが可能である。しかしながら、3 次元 (3 D) 地形における特徴等のシーンの 3 D 構造は保持されない。2 D 画像は、本質的には 3 D 反射率空間の 2 D 距離方位イメージング平面への投影である。この投影によって、いくつかのアーチファクトが生じる場合がある。例えば、レイオーバーアーチファクトでは、異なる仰角を有するいくつかの地形パッチが同じ距離方位分解能セルにマッピングされ

50

る。シャドーイングアーチファクトでは、シーンのいくつかの部分が、照射経路に別の構造物があることに起因して仮想アレイシステムにとって不可視である。これらのアーチファクトは、たとえ干渉アレイイメージング技法を用いたとしても、単一パスで解像することができない。

【0003】

3Dイメージングを実行するためには、高度次元におけるマルチベースラインデータが必要である。マルチベースラインの観測値は、単一チャネル仮想アレイプラットフォームの複数のパスによって取得することができる。この着想は、TerraSAR-X及びCOSMO-SkyMed衛星の打ち上げにより実現された。追加の高度次元により、3D画像は、散乱体が同じ距離方位ロケーションに存在する場合でも、高度に沿ってシーン内の複数の散乱体を分けることができる。しかしながら、3D画像は、いくつかのトレードオフを要する。第1に、複数のベースラインを用いて取得するためには、単一チャネルプラットフォームは、シーンにわたっていくつかのパスを行う必要がある。これにより、データ収集は時間及びコストがかかるものとなる。第2に、高度分解能は、仰角開口の小ささに起因して、距離及び方位の分解能に比べて大幅に劣る。この仰角開口は、仮想アレイセンサーにおいて、「緊密な軌道チューブ(tight orbital tube)」としても知られる。

【0004】

3D高度、距離及び方位空間内を移動する単一レーダープラットフォームに搭載されたアンテナ101の複数のベースラインアレイを用いて3D画像を生成する従来の3D SARシステムが図1に示される。方位高度平面におけるベースライン開口角は、によって表すことができる。図は、シーン内の異なる高度について点散乱体(反射体)102を示す。

【0005】

図2は、図1のシステムの従来の3Dイメージングプロセスを示す。データ201は、各ベースライン(1, . . . , N)101で取得される。2D SARイメージング210は、各データ201に独立して適用され、2D画像(I_1, I_2, \dots, I_N)215を構成する。画像は、登録及び整列され(220)、その後3D画像再構成(230)によってシーンの3D画像240が取得される。

【0006】

3D画像は、散乱体が同じ距離方位ロケーションに存在する場合でも、追加の高度次元を用いて、高度次元に沿って複数の散乱体を分けることができる。しかしながら、3D画像は、いくつかのトレードオフを要する。

【0007】

第1に、プラットフォームは、複数のベースラインにおいて画像を取得するために、対象エリアにわたっていくつかのパスを行う必要がある。これにより、データ収集は時間及び非常に高い費用を要するものとなる。第2に、高度分解能は、仰角開口の小ささに起因して、距離及び方位の分解能に比べて大幅に劣る。この仰角開口は、現代のSARセンサーにおいて、例えば直径約500メートルの緊密な軌道チューブとして知られる。

【0008】

高度分解能は、圧縮センシング(CS)に基づく手法を用いて改善することができる。Zhu他「Tomographic SAR inversion by L_1 -norm regularization - the compressive sensing approach」IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. 48(10), pp. 3839-3846, Oct 2010を参照されたい。このCS手法は、複数のベースラインと、単一SARプラットフォームの単一PRFとを用いる。この方法では、2D距離方位画像はベースラインごとに再構成される。そして、圧縮センシングに基づく方法が高度分解能を改善するために用いられる。この方法は、2D距離方位ピクセルごとのスパース性しか考慮していない。

【0009】

2014年3月10日にLiu他によって出願された米国特許出願第14/202,449号「System and Method for 3D SAR Imaging using Compressive Sensing with Multi-

10

20

30

40

50

Platform, Multi-Baseline and Multi-PRF Data」において、3D画像を再構成するための圧縮センシングに基づく方法が検討されている。しかしながら、ベースラインは、方位高度平面に制約される。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

この発明の実施の形態は、方位高度平面ではなく超平面内を移動する複数の平行なベースラインによって収集されたデータにより圧縮センシング(CS)技法を用いた3D仮想アレイイメージングを実行する。目標は、イメージングのために取得される必要がある取得データの総量を削減し、高度分解能を増大させることである。

10

【課題を解決するための手段】

【0011】

特に、アレイデータは、方位高度平面ではなく超平面内を移動する複数の平行なベースラインによって収集される。各ベースラインは複数のアンテナ素子を含む。

【0012】

各ベースラインは、異なる距離及び高度座標を有して超平面内でランダムに分散する。各ベースラインは一定のパルス繰り返し周波数(PRF)を用い、これは、他のベースラインによって用いられるPRFと異なることができる。したがって、ベースラインはデータ収集の柔軟性を提供する。例えば、ベースラインは、単一の仮想アンテナアレイプラットフォームの複数のパス、又は複数の移動アレイプラットフォームからの単一パスによるものであり得る。全てのベースラインが十分に空間領域内に位置しており、互いに対して整列されていると仮定すると、マルチベースラインデータ全体を検討して、CSに基づく反復イメージングプロセスを用いて高分解能の3D反射率マップを生成することができる。

20

【0013】

この発明は、2014年3月10日にLiu他によって出願された関連米国特許出願第14/202,449号「System and Method for 3D SAR Imaging using Compressive Sensing with Multi-Platform, Multi-Baseline and Multi-PRF Data」に記載されている方法を上回るいくつかの利点を提供する。

【0014】

第1に、ベースラインの空間ロケーションは、2D方位高度平面から超平面に拡張される。この拡張は、データ収集の更なる柔軟性を提供する。第2に、イメージングのために必要とされる超平面内のベースラインの総数は、2D方位高度平面内よりもはるかに低い。第3に、データ収集中の移動プラットフォームの動き誤差により、圧縮センシング技法を用いたシーン再構成のためのランダム測定及び情報収集が確保される。

30

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】従来の断層合成開口レーダーシステムの概略図である。

【図2】従来のマルチベースライン合成開口レーダーシステムのブロック図である。

【図3】この発明の実施の形態に係る、圧縮センシングに基づく3D合成開口レーダーシステムの概略図である。

40

【図4】この発明の実施の形態に係る、複数の合成開口レーダーシステムを用いて3D画像を生成するシステム及び方法のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

図3及び図4に示すように、この発明の実施の形態は、合成開口レーダー(SAR)3D画像を生成する方法を提供する。本方法は、複数のベースライン301においてデータセットを取得する。複数のベースラインは、シーンにわたっていくつかのパスを行う単一プラットフォーム又は同じエリアにわたってパスする複数の異なるプラットフォームを用いて確立することができる。各ベースラインは一定のパルス繰り返し周波数(PRF)を用いる。これは他のベースラインにおけるPRFと異なることができる。

50

【0017】

この発明による方法では、僅かなジッターを伴って超平面内に配置された複数のPRF及び複数のベースライン301のデータを検討する。これは、図3に示すように、データを複数のプラットフォームから収集することができることを意味する。従来技術によるシステムは通常、距離、方位及び高度次元でしか動かない。

【0018】

距離 - 方位 - 高度空間における移動アンテナ301の座標を(u, v, w)とし、反射体302の座標を(x, y, z)とする。ベースラインが方位高度平面に位置するとき、 $u = 0$ であり、全てのベースラインは方位軸に平行であるため、ベースラインロケーションは1D座標 w によって求められる。

10

【0019】

しかしながら、ベースラインが超平面内に位置するとき、ベースラインロケーションは2D座標(u, w)によって求められる。ベースラインロケーション(u, w)が、シーン中心を中心とした円の弧303上にランダムに分散していると仮定する。弧形状の超平面内のベースライン数は、同じ開口角の場合の方位高度平面内よりもはるかに少ないことに留意する。また、仰角開口が、単一の仮想アレイ軌道チューブよりも大きいことにも留意する。超平面のベースラインにおける摂動及び動き誤差により、圧縮センシングに基づく再構成においてランダム測定及び情報収集が用いられることが確保される。

【0020】

比較の目的で、従来のイメージング方法及びこの発明によるCSに基づく方法の双方を用いて、再構成に続くデータ取得を実行する。データはシミュレーションを用いて取得することができる。シミュレーションのために、3Dシーン内の点散乱体(反射体)302を検討する。超平面(u, w)内にランダムに分散した方位方向における21個の平行なベースラインを検討する。距離高度平面内の201×10個の可能な座標(u, w)から対応する高度及び距離座標がランダムに選択される。

20

【0021】

各ベースラインにおいて、一定のパルス繰り返し周波数(PRF)を用いてデータが収集される。異なるベースラインについて、対応するPRFがランダムに選択される。特に、ベースPRFから開始して、全てのベースラインがランダム整数量だけダウンサンプリングされる。換言すれば、各PRFはベースPRFの一部であり、ダウンサンプリングレートは集合{2, 3, 4, 5}からランダムに選択される。移動プラットフォームの速度が変化することを考慮すると、データを収集する移動プラットフォーム上のアンテナ素子の空間ロケーションに関してデータに僅かなジッターが存在し得る。全てのデータが完全に整列されていると仮定する。シーンのスパース性を用いることにより、CSに基づく3D画像を再構成する。

30

【0022】

図4に処理ブロック図が示される。図4に示されるように、データセット401は、Nプラットフォームから取得される。上述したように、データセットは、単一システムの複数のパスにおいて取得することができる(405)。ここで、この説明において、各パスは独立したデータセット、又は異なるSARシステムによる複数のパス、又は単一システム及び独立システムの複数のパスの何らかの組合せを生成する。

40

【0023】

データセット401は、登録及び整列され(410)、整列したデータセット415が生成される。整列の後、整列した複数のベースライン、複数のPRFデータセット415に、CSに基づく3D画像再構成が直接適用され(420)、3D画像430が取得される。本方法は、当該技術分野において既知のように、パスによってメモリ、入出力インターフェース及びアンテナに接続されたプロセッサにおいて実行することができる。

【0024】

2つの異なる結果、すなわち、それぞれ異なるPRFを有する21個のベースライン及び従来のイメージング方法を用いた削減されたデータ収集と、この発明によるCSに基づ

50

くイメージング手法におけるような削減されたデータ収集とを比較する。従来の3Dイメージングの場合、データをアップサンプリングし、欠落データをゼロで補うことによって、近距離レンジマイグレーションイメージング手順(near-field range migration imaging procedure)を用いる。これによって、取得したデータから高速ビームフォーミングの結果が得られ、次に取得演算子の逆が実施される。CSに基づくイメージングにおいては、シーンのスパース性を利用する反復手順を用いて欠落データを補い、その後、高速レンジマイグレーションイメージングを行う。

【0025】

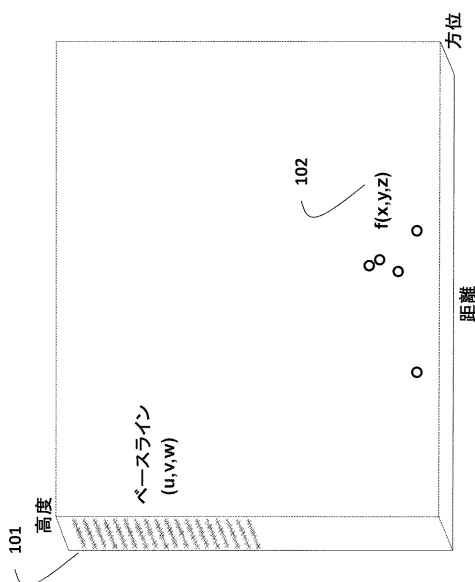
この発明による手法は、関連出願における以前の研究と比較していくつかの利点を提供する。第1に、この発明では、ベースラインの空間ロケーションを2D方位高度平面から2D超平面に拡張する。

【0026】

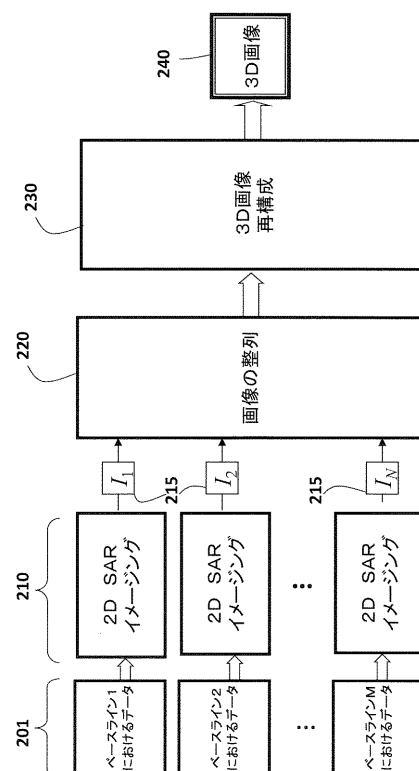
第2に、この発明では、データ収集における移動プラットフォームの動き誤差を考慮する。これらの動き誤差により、圧縮センシングに基づく再構成においてランダム測定及び情報収集が用いられることが確保される。

10

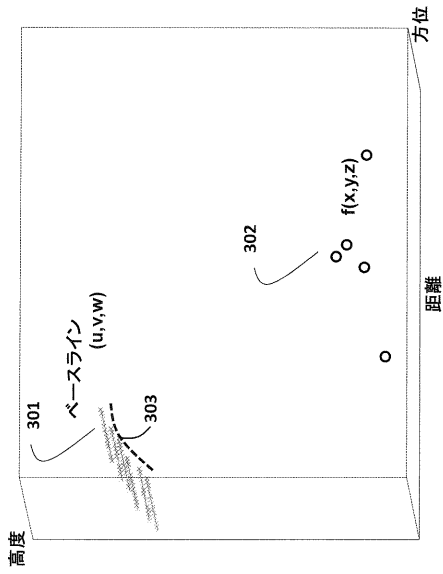
【図1】



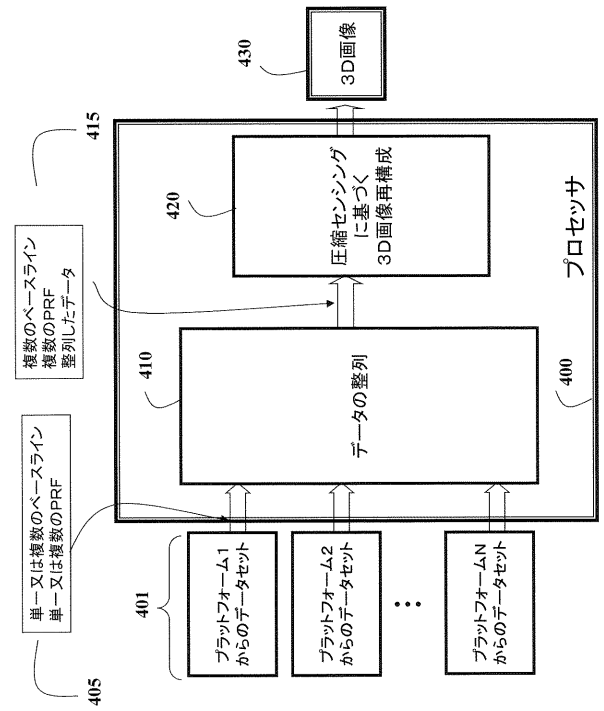
【図2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 デホン・リウ

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201、ケアオブ・ミッ
ピシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド

(72)発明者 ペトロス・ボウフォウノス

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201、ケアオブ・ミッ
ピシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド

審査官 藤田 都志行

(56)参考文献 特開2014-182124(JP,A)

特開2012-215568(JP,A)

米国特許出願公開第2014/0232591(US,A1)

米国特許出願公開第2012/0250748(US,A1)

米国特許出願公開第2014/0077989(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/00 - 7/42

G01S 13/00 - 13/95