

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6253664号
(P6253664)

(45) 発行日 平成29年12月27日 (2017.12.27)

(24) 登録日 平成29年12月8日 (2017.12.8)

(51) Int. Cl.	F I		
B 6 4 G 1/10 (2006.01)	B 6 4 G	1/10	
B 6 4 G 1/66 (2006.01)	B 6 4 G	1/66	Z
F 0 3 H 1/00 (2006.01)	F 0 3 H	1/00	A
H 0 4 N 5/225 (2006.01)	H 0 4 N	5/225	F
G 0 1 S 13/90 (2006.01)	G 0 1 S	13/90	1 0 5

請求項の数 16 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-548875 (P2015-548875)	(73) 特許権者	515168684
(86) (22) 出願日	平成25年12月20日 (2013.12.20)		タレス アレーニア スペース イタリア
(65) 公表番号	特表2016-508911 (P2016-508911A)		ソチエタ ペル アツィオーニ コン
(43) 公表日	平成28年3月24日 (2016.3.24)		ユニコ ソシオ
(86) 国際出願番号	PCT/IB2013/061226		イタリア国 ローマ, ピア サッコムロ
(87) 国際公開番号	W02014/097263		24
(87) 国際公開日	平成26年6月26日 (2014.6.26)	(74) 代理人	110001427
審査請求日	平成28年11月18日 (2016.11.18)		特許業務法人前田特許事務所
(31) 優先権主張番号	T02012A001117	(72) 発明者	ファビオ ディ ジョージオ
(32) 優先日	平成24年12月20日 (2012.12.20)		イタリア国 ローマ, ピア サッコムロ
(33) 優先権主張国	イタリア (IT)		24, タレス アレーニア スペース イ
			タリア ソチエタ ペル アツィオーニ
			コン ユニコ ソシオ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地球観測宇宙ミッション用の革新的な軌道設計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

衛星リモートセンシングシステム(1)の提供を含む、衛星リモートセンシングサービスのコストを削減する方法であって、

上記衛星リモートセンシングシステム(1)は、

地球表面のエリアの画像を取得するように構成されたセンサ(111)を備える衛星(11)を1基のみ有し、

上記衛星(11)に搭載された上記センサ(111)により取得された画像に基づき衛星リモートセンシングサービスを提供するように設計されており、

上記衛星(11)は、3日より短い軌道回帰周期で、地球周囲の既定の軌道を飛行することにより、

上記衛星リモートセンシングシステム(1)は、地球表面を全球的にはカバーをせず、地球表面のうち、赤道を中心として、既定の2つの緯度の中に含まれる帯内に位置する既定のエリアに対してのみ衛星リモートセンシングサービスを提供し、

地球周囲の上記既定の軌道は、既定の公称高度に関連付けられており、

上記衛星(11)は、地球周囲の上記既定の軌道を飛行する際、

上記既定の公称高度よりも高く、かつ各軌道回帰周期において上記衛星(11)の地上軌跡に第1の経線平行移動をさせる第1の既定高度を飛行し、これにより、連続する軌道回帰周期において上記センサ(111)が取得する、地球表面の同じエリアの画像に対して既定の干渉基線を保証し、

10

20

上記既定の公称高度よりも低く、かつ各軌道回帰周期において上記衛星(11)の地上軌跡に上記第1の経線平行移動とは反対の第2の経線平行移動をさせる第2の既定高度を飛行し、これによっても、連続する軌道回帰周期において上記センサ(111)が取得する地球表面の同じエリアの画像に対して上記既定の干渉基線を保証し、

上記衛星(11)は、

その地上軌跡が上記第1の経線平行移動をした第1の既定期間の後、上記第1の既定高度から上記第2の既定高度に移動することで、その地上軌跡の経線平行移動を反転させ

る
その地上軌跡が上記第2の経線平行移動をした第2の既定期間の後、上記第2の既定高度から上記第1の既定高度に移動することで、その地上軌跡の経線平行移動を反転させ

る

【請求項2】

請求項1において、

上記第1および第2の既定期間が等しい

ことを特徴とする方法。

【請求項3】

請求項1または2において、

上記第1および第2の既定高度が、上記既定の公称高度に関して対称である

ことを特徴とする方法。

【請求項4】

請求項1から3のいずれか1項において、

上記軌道回帰周期は約1日または約2日である

ことを特徴とする方法。

【請求項5】

請求項1から4のいずれか1項において、

上記センサ(111)は合成開口レーダであり、

上記既定の軌道は、太陽同期極軌道または傾斜軌道である

ことを特徴とする方法。

【請求項6】

請求項1から4のいずれか1項において、

上記センサ(111)は光学センサであり、

上記既定の軌道は太陽同期極軌道である

ことを特徴とする方法。

【請求項7】

地球表面のエリアの画像を取得するように構成されたセンサ(111)を備える衛星(11)を1基のみ備え、上記衛星(11)に搭載された上記センサ(111)により取得された画像に基づき衛星リモートセンシングサービスを提供するように設計された、衛星リモートセンシングシステム(1)であって、

上記衛星(11)は、3日より短い軌道回帰周期で、地球周囲の既定の軌道を飛行し

、
上記衛星リモートセンシングシステム(1)は、地球表面を全球的にはカバーせず、地球表面のうち、赤道を中心として、既定の2つの緯度の間に含まれる帯内に位置する既定のエリアに対してのみ衛星リモートセンシングサービスを提供し、

地球周囲の上記既定の軌道は、既定の公称高度に関連付けられており、

上記衛星(11)は、地球周囲の上記既定の軌道を飛行する際、

上記既定の公称高度よりも高く、かつ各軌道回帰周期において上記衛星(11)の地上軌跡に第1の経線平行移動をさせる第1の既定高度を飛行し、これにより、連続する軌道回帰周期において上記センサ(111)が取得する、地球表面の同じエリアの画像に対して既定の干渉基線を保証し、

10

20

30

40

50

上記既定の公称高度よりも低く、かつ各軌道回帰周期において上記衛星(11)の地上軌跡に上記第1の経線平行移動とは反対の第2の経線平行移動をさせる第2の既定高度を飛行し、これによっても、連続する軌道回帰周期において上記センサ(111)が取得する地球表面の同じエリアの画像に対して上記既定の干渉基線を保証し、

上記衛星(11)は、

その地上軌跡が上記第1の経線平行移動をした第1の既定期間の後、上記第1の既定高度から上記第2の既定高度に移動することで、その地上軌跡の経線平行移動を反転させ

その地上軌跡が第2の経線平行移動をした第2の既定期間の後、上記第2の既定高度から上記第1の既定高度に移動することで、その地上軌跡の経線平行移動を反転させる
ことを特徴とする衛星リモートセンシングシステム。

10

【請求項8】

請求項7において、
 上記第1および第2の既定期間が等しい
 ことを特徴とする衛星リモートセンシングシステム。

【請求項9】

請求項7または8において、
 上記第1および第2の既定高度が、上記既定の公称高度に関して対称である
 ことを特徴とする衛星リモートセンシングシステム。

【請求項10】

請求項7から9のいずれか1項において、
 上記衛星(11)は、
 軌道制御モジュール(112)と、
 上記軌道制御モジュール(112)により操作可能な推進システム(113)と、を
 備え、

20

上記軌道制御モジュール(112)は、

上記推進システム(113)を操作することにより軌道維持操作を実行して、衛星(11)の高度を維持し、それにより、上記衛星(11)の地上軌跡の上記経線平行移動を安定した状態に維持するように設計され、および

上記推進システム(113)を操作することにより、上記衛星(11)を上記第1の既定高度から第2の既定高度に、またその逆に移動させて、上記衛星(11)の地上軌跡の上記経線平行移動の反転操作を実行するように設計される
 ことを特徴とする衛星リモートセンシングシステム。

30

【請求項11】

請求項10において、
 上記推進システム(113)は、
 イオン推進システムと
 化学推進システムと、を備え、
 上記軌道制御モジュール(112)は、
 上記イオン推進システムを操作することにより、上記軌道維持操作を実行するように
 設計され、および

40

上記化学推進システムを操作することにより、上記衛星(11)の地上軌跡の上記経線平行移動の反転操作を実行するように設計される
 ことを特徴とする衛星リモートセンシングシステム。

【請求項12】

請求項10において、
 上記推進システム(113)が化学推進システムである
 ことを特徴とする衛星リモートセンシングシステム。

【請求項13】

請求項10から12のいずれか1項において、

50

地球表面に配置され、上記センサ(111)が取得した画像を上記衛星(11)から受信するように構成され、かつミッション制御システムを備える地上基地(12)をさらに備える衛星リモートセンシングシステムであって、

上記ミッション制御システムは、

上記軌道制御モジュール(112)を遠隔制御し、

ユーザが上記第1および第2の既定高度の値を変更して、新たな既定の干渉基線を設定できるようにし、および

上記第1および第2の既定高度の変更後の値を上記軌道制御モジュール(112)に伝達するように設計されており、これにより、上記軌道制御モジュール(112)が上記変更後の値に従った衛星(11)の制御を開始して、ユーザによって要求された新たな既定の干渉基線を保証する

10

ことを特徴とする衛星リモートセンシングシステム。

【請求項14】

請求項7から13のいずれか1項において、

上記軌道回帰周期は、約1日または約2日である

ことを特徴とする衛星リモートセンシングシステム。

【請求項15】

請求項7から14のいずれか1項において、

上記センサ(111)は合成開口レーダであり、

上記既定の軌道は太陽同期極軌道または傾斜軌道である

ことを特徴とする衛星リモートセンシングシステム。

20

【請求項16】

請求項7から14のいずれか1項において、

上記センサ(111)は光学センサであり、

上記既定の軌道は太陽同期極軌道である

ことを特徴とする衛星リモートセンシングシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、

衛星コンステレーションの使用に基づくシステムに匹敵する時間性能(time performance)と干渉性能とを保証可能な、単一の衛星の使用に基づく衛星リモートセンシングシステムの提供と、

30

そのようなシステムの設計、開発、試験、試運転、運用等にかかるコストの削減、ひいては、関連するリモートセンシングサービスのコストの削減とを可能とする、革新的な軌道設計に関する。

【背景技術】

【0002】

地球観測の分野において、衛星リモートセンシングシステムは、地球表面上のあらゆる地点における広大な領域にわたるデータを頻繁に取得する能力を有するので、地球表面に関して、根本的、政治的、経済的、環境的に重要な情報を大量に収集可能である。

40

【0003】

周知のように、衛星リモートセンシングは、主に2種類のセンサの利用に基づく。すなわち

一般に、地球表面により出射され、および反射される電磁放射(特に、反射された太陽電磁放射)を計測する、光学センサや赤外線センサのような受動型センサと

一般に、所定の電磁放射を出射することにより地球表面に照射し、その後、後方散乱された電磁放射を計測する、合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radars; SARs)やライダー(lidar)のような能動型センサとに基づく。

【0004】

50

この点に関し、簡単に説明するために、本明細書中では、「SARセンサ」という用語は、アンテナによって規定の方向にレーダ信号を送受信するよう構成された合成開口レーダを指すものとして使用される。

【0005】

さらに、同様に簡単に説明するために、本明細書中では、「SAR画像を取得する（または、「SAR画像を取り込む」）という用語、また同様の意味合いで、「SAR画像取得」または「SAR取得」という用語は、SAR衛星画像を作成するプロセス全体を指すものとして使用される。このプロセスは、周知のように、以下の工程を含む。

【0006】

すなわち、

衛星に搭載されたSARセンサを使用して、レーダ信号を送信し、対象のエリアに当該のレーダ信号を当てる工程と、

後方散乱されたレーダ信号を、上記SARセンサにより上記エリアから受信する工程と、

受信したレーダ信号を、上記SARセンサに組み込まれた、または、接続された（リモート接続の場合もある）処理ユニットで処理して、この処理済みの受信レーダ信号に基づいて、上記エリアのSAR画像を形成または生成する工程とを含む。

【0007】

同様に簡単に説明するために、本明細書中では、「画像を取得する（または、「画像を取り込む」）という一般的用語、また同様な意味合いで、「画像取得」または単に「取得」という用語は、衛星に搭載されたSARセンサまたは光学センサを使用して、SAR衛星画像または光学衛星画像を形成するプロセス全体を指すものとして使用される。

【0008】

残念なことには、周知のように、衛星リモートセンシングシステムは、設計、開発、製造、試験、試運転等のコストが極端に高額である。さらに、これらのシステムのコストは、所望の性能にも左右される。詳細には、衛星リモートセンシングミッションの主なパラメータの1つとしては、同一領域の連続画像を取得可能な頻度を表す尺度である再訪時間がある。観測能力の向上のために再訪時間を短縮する目的で、近年、多くの衛星リモートセンシングシステムは、衛星コンステレーションを使用している。しかし、容易に推測できるように、衛星コンステレーションを使用する衛星リモートセンシングシステムのコストは、単一衛星システムのコストよりもはるかに高い。

【0009】

とはいえ、単一衛星システムは、

衛星コンステレーションに基づくシステムの時間性能に匹敵する時間性能を保証できないか、或いは

たとえ衛星コンステレーションに基づくシステムに匹敵する時間性能を提供可能な場合においても、地球表面を全球的にカバーすることは保証できない。

【0010】

単一衛星の使用に基づく地球観測システムの一例としては、欧州宇宙機関（European Space Agency；ESA）のヨーロッパリモートセンシング衛星（European Remote Sensing Satellite）ERS-1が挙げられる。ERS-1は、1991年に、高度782～785kmの太陽同期極軌道（Polar SSO）に打ち上げられた衛星で、3つの異なる軌道回帰周期（orbit repeat cycle）、（具体的には、3日周期、35日周期、176日周期）を有する可能性があった。ERS-1は、2000年にそのミッションを終了した。ERS-1の軌道設計についてのさらなる情報は以下の記事に記載されている：M. Rosengren、“ERS-1 AN EARTH OBSERVER THAT EXACTLY FOLLOWS ITS CHOSEN PATH”、ESA Bulletin、ESA Scientific and Publications Branch、Noordwijk、NL、No. 72、1992年11月1日、p. 76～82。この記事には、ERS-1の軌道の特徴の概略が紹介されており、詳細には以下の事項の特徴が記載されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

3日軌道回帰周期：この周期では、地球表面の全球的カバーは不可能であった。

35日軌道回帰周期：この周期では、地球表面の全球的カバーが可能であった。

軌道維持操作：大気抵抗や太陽風による軌道摂動を補償するために行われた操作。

【 0 0 1 2 】

単一の衛星の使用に基づく地球観測システムの他の例としては、同様に欧州宇宙機関 (ESA) による衛星 *Envisat* が挙げられる。*Envisat* は、2002年に、高度約800kmの太陽同期極軌道 (Polar SSO) に打ち上げられ、ほぼ全球的カバー (搭載された各種機器へのアクセス可能エリアに依存するが) を保証するために選択された35日の軌道回帰周期を有していた。*Envisat* は、2012年にそのミッションを終了した。衛星 *Envisat* についてのさらなる情報は、以下の記事に記載されている：C. J. ReadingsおよびP. A. Dubock, "ENVISAT - I; EUROPE'S MAJOR CONTRIBUTION TO EARTH OBSERVATION FOR THE LATE NINETIES", ESA Bulletin, ESA Scientific and Publications Branch, Noordwijk, NL, No. 76, 1993年11月1日, p. 15 ~ 28.

10

【 0 0 1 3 】

一方、衛星コンステレーションの使用に基づく地球観測システムであって、それらを使用して、より短い再訪時間での高いアクセス能力を実現した地球観測システムの例としては、4つの衛星を備えるイタリアの *COSMO-SkyMed* (コスモ・スカイメッド) システムや、5つの衛星を備えるドイツの *SARLUPE* システムが挙げられる。特に、*COSMO-SkyMed* システムについてのさらなる情報は、次の記事に記載されている：F. Covelloら, "COSMO-SkyMed an existing opportunity for observing the Earth", Journal of Geodynamics, Pergamon, Amsterdam, NL, Vol. 49, No. 34, 2010年4月1日, p. 171 ~ 180.

20

【 0 0 1 4 】

さらに、ここ2, 3年、数値標高モデル (digital elevation models; DEMs) の生成、地盤沈下の分析、地形変化の推定を目的とした、地球表面の *SAR* 画像に基づく干渉法解析の重要性が増大している。干渉法応用のための衛星リモートセンシングシステムの場合、連続する2回の *SAR* 画像取得の間の時間がとりわけ重要である。なぜなら、連続する *SAR* 画像の時間差が増加すればするほど、これら連続する *SAR* 画像の間のコヒーレンスが低下するからである。したがって、干渉法応用においては、同一の場所への再訪時間が短いということには、収集されたデータの量と質との両面で二重の重要性がある。

30

【 0 0 1 5 】

周知のように、干渉法応用のための衛星リモートセンシングシステムは、一般に、地球表面の同一エリアの *SAR* 画像を複数同時に取り込むために、(例えば、衛星 *TerraSAR-X* (テラサーエックス) と衛星 *Tandem-X* (タンデムエックス) のように) タンデム型コンフィギュレーションで運転する (少なくとも) 1対の衛星、または、

常に2基以上の衛星を使用して、地球表面の同一のエリアの複数の *SAR* 画像を既定の日数の間隔を置いて取り込むことが可能な (例えば、*COSMO-SkyMed* システムおよび衛星 *RADARSAT-1* および2 (レーダーサット1・2) の場合のような) コンフィギュレーションを使用している。

40

【 0 0 1 6 】

例えば、2基の衛星を利用することにより、*COSMO-SkyMed* のタンデム型コンフィギュレーションによれば、干渉法応用のために、同一の地理的エリアの *SAR* 画像を毎日取得可能である。

【 0 0 1 7 】

上記2つの解決方法のいずれによっても、言い換えれば、2基以上の衛星を使用するこ

50

とにより同一の領域のSAR画像を複数同時に取り込んでも、或いは、規定の日数の間隔で取り込んでも、採用される衛星リモートセンシングシステムの複雑化およびコスト増大はともに避けられない。

【0018】

周知のレーダ干渉法技術は、以下の記事に記載されている。

・H. A. ZebkerおよびJ. Villasenor、“Decorrelation in Interferometric Radar Echoes”、IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing、Vol. 30、No. 5、1992年9月5日、p. 950～959（単一の衛星の連続通過により取得された複数のSAR画像に基づく干渉法技術が記載されている）

・A. K. Gabrielら、“Mapping Small Elevation Changes Over Large Areas: Differential Radar Interferometry”、Journal of Geophysical Research、Vol. 94、No. B7、1989年7月10日、p. 9183～9191（複数のSAR画像に基づき、非常に小さな地盤変動を検知するための差分干渉技術が記載されている）

・欧州特許出願公開第2535735号明細書（干渉法プロセスのためのSAR画像の取得方法、特に、1台のSARセンサを備える単一の衛星の1回の通過において取得された複数のSAR画像に基づいて数値標高モデル（DEMs）を生成するための方法に関する）

・欧州特許出願公開第1273518号明細書（干渉法応用のための衛星コンフィギュレーションに関する）

【0019】

衛星リモートセンシングシステムの（設計、開発、試験、試運転、（1または複数基の）衛星の打上げにかかる）非常に高額なコストは、現在でも、多くの国々にとって、自国の地球観測衛星システム、または2つ以上の衛星リモートセンシングシステム（例えば、光学センサを使用するシステムとSARセンサを使用するシステム）を所有可能となるための大きな障壁となっている。

【0020】

まさにこの理由により、衛星リモートセンシングシステムには、現在、複数の国々の間で共有されているものがある。例えば、イタリアとフランスは、SARセンサに基づくイタリアのCOSMO-SkyMedシステム、および、光学センサに基づくフランスのHélios 2（ヘリオス2）システムを共同使用している。しかしながら、起こり得るコンフリクトを回避するために使用される計画・調停理論がより複雑さを増すせいで、これらの共有システムの管理の複雑さも増大する。画像取得リクエストの寄託と、有効なデータ提供との間の（応答時間として知られる）時間の増加もまた、この複雑さに関与する。これは、様々なユーザ間におけるリソースの配分調整にかかる時間が、厳密に計画作業のみに関わる時間に加算されるからである。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0021】

本発明の目的は、非常に良好な時間性能と優れた干渉性能とを備える地球観測衛星システムの実現を可能とし、かつ同時に、このシステムの設計、開発、試験、試運転、運用等のコストを削減し、ひいては、このシステムに関連する衛星リモートセンシングサービスのコストを削減することを可能にする、地球観測宇宙ミッション用の革新的な軌道設計であって、限られた経済力のせいで衛星リモートセンシング市場から現在は除外されている国々の市場参入を促進する、地球観測宇宙ミッション用の革新的な軌道設計を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0022】

本発明が、添付の特許請求の範囲に記載の衛星リモートセンシングサービスのコスト削減方法と、衛星リモートセンシングシステムとに関する限りにおいて、上記目的は本発明により達成される。

【 0 0 2 3 】

本発明をより良く理解可能とするために、以下に、好ましい実施形態を添付の図面（縮尺は正確ではない）を参照して、非限定的な例として説明する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 4 】

【図 1】図 1 は、衛星 Terra SAR - X の地球表面に対する再訪時間を示す。

【図 2】図 2 は、本発明の第 1 の実施形態の地球観測システムによる、地球表面に対する再訪時間を示す。

【図 3】図 3 は、本発明の第 2 の実施形態の地球観測システムによる、地球表面に対する再訪時間を示す。

【図 4】図 4 は、本発明の第 3 の実施形態の地球観測システムによる、地球表面に対する再訪時間を示す。

【図 5】図 5 は、本発明のある特定の局面による、運転可能な衛星の地上軌跡の平行移動を反転させる連続する 2 回の操作の間の経過時間を表す例示的なグラフであり、この経過時間は日毎に使用されるクロストラック基線の関数として示されている。

【図 6】図 6 は、本発明のある特定の局面による、運転可能な衛星の地上軌跡の平行移動を反転させる連続する 2 回の操作の間の経過時間を表す例示的なグラフであり、この経過時間は衛星軌道の長半径の関数として示されている。

【図 7】図 7 は、本発明の上記特定の局面による、衛星の地上軌跡の平行移動を反転させる操作だけに消費される燃料消費を表す例示的なグラフであり、この燃料消費は日毎のクロストラック基線の関数として示されている。

【図 8】図 8 は、本発明の上記特定の局面による、衛星の地上軌跡の位置変化を示し、この変化は、異なる 3 つの日毎のクロストラック基線の時間関数として示されている。

【図 9 a】図 9 a は、本発明の上記特定の局面による、地上軌跡の位置変化と、これに対応する（各公称高度に対する）衛星高度の変化を示し、これらは、与えられた日毎のクロストラック基線の時間関数として示されている。

【図 9 b】図 9 b は、本発明の上記特定の局面による、地上軌跡の位置変化と、これに対応する（各公称高度に対する）衛星高度の変化を示し、これらは、与えられた日毎のクロストラック基線の時間関数として示されている。

【図 10】図 10 には、本発明の好ましい実施形態に係る衛星リモートセンシングシステムを概略的に示す。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 5 】

以下の説明は、この技術分野の当業者が本発明を実施し、使用することを可能にする目的で記載される。以下に記載される実施の形態への種々の改変は、当業者にとって直ちに明らかとなるであろう。また、本明細書に記載される包括的な原理は、本発明の保護範囲から逸脱しない限りにおいて、他の実施形態や用途に適用され得る。

【 0 0 2 6 】

したがって、本発明は本明細書に記載され、示される実施の形態に限定されるものではなく、本明細書に開示され、かつ、添付の特許請求の範囲に規定される原理および特徴に整合する、可能な限り広い保護範囲を与えられるべきものである。

【 0 0 2 7 】

本発明は、衛星リモートセンシングシステムの実現を可能とする地球観測宇宙ミッション用の革新的な軌道設計に関する。この衛星リモートセンシングシステムは、

単一の衛星を備えることにより、衛星コンステレーションの使用に基づくシステムよりも安価であるとともに、

衛星コンステレーションの使用に基づくシステムに匹敵する時間性能と干渉性能とを保証し、さらに、

その着想法により、観測可能な複数の国のそれぞれにこのシステムを独占的に利用可能とさせるといった概念を実現し、また、連合してプロジェクト策定に参加することによって

10

20

30

40

50

、関連するシステムのコストの低減も可能とする。

【0028】

周知のように、今日まで、衛星リモートセンシングシステム用の軌道設計は、アクセス可能となる可能性のある地球上のすべての緯度を全球的にカバーすることを保証するために、軌道回帰周期を1つ選択することを常に基本としてきた。例えば、COSMO-SkyMedシステムでは16日、TerraSAR-Xシステムでは11日、RADARSATシステムでは24日の周期が選択される。

【0029】

一方、本発明の第1の局面は、非常に短い最大再訪時間を保証すべく、3日より短い（好ましくは1日または2日の）回帰周期の軌道を選択することにより、上記の軌道設計の基本的原理を放棄するという革新的な着想に基づく。したがって、本発明の第1の局面によれば、アクセス可能となる可能性のある地球上のすべての緯度を全球的にはカバーしない。以下に詳細に説明するように、このような全球的アクセス能力を失くすことにより、選択された軌道から有効に観測可能な地球表面の領域を対象として、衛星コンステレーションの使用に基づく地球観測システムに匹敵する時間性能および干渉性能の達成が可能となる。

【0030】

さらに、以下に詳述するように、地球表面の全球的カバーを保証しない軌道回帰周期を選択することで、衛星リモートセンシングシステムの有効カバーエリア内に位置する異なる複数の国々の間でこのシステムを共同利用することが可能になる。この共同利用では、利害衝突を回避した運用と優れた時間性能により、これらの国々がそれぞれの自国領土に独占的にアクセスすることが保証される。また同時に、このシステムの設計、開発、試験、試運転、運用などのコストを各国間で分担することも可能になるので、各国は、大幅に削減されたコストで、自国領域の衛星観測事業から便益を得られるようになる。

【0031】

なお簡単に説明するために、以下の説明では、「軌道回帰周期」は、より簡潔な用語「軌道周期」および「回帰周期」と呼ぶこともある。

【0032】

本発明によれば、好ましくは、低地球軌道（Low Earth Orbits ; LEOs）が使用される。低地球軌道は、周知のように、地球大気圏とバンアレン帯との間の高度、より正確には、高度160~2000kmの軌道である。好ましくは、例えば、公称高度が400km、600kmまたは800kmの低地球軌道が使用される。

【0033】

具体的には、本発明によれば、地球表面の対象のエリアの緯度に依存して、太陽同期極軌道（Polar SSO）または傾斜軌道を使用して、低緯度エリアにおける性能を最適化することができる。

【0034】

衛星リモートセンシングの分野では、通常、軌道は、ある与えられた日数で地球の周囲を公転する回数を示す整数で定義される。この日数が軌道回帰周期を表す。回帰周期が長いほど、軌道の地上粒状度（ground granularity）が大きくなる。例えば、COSMO-SkyMedシステムの衛星は、16日間で237回公転し、この期間の終わりには、衛星はその初期位置に正確に位置する。

【0035】

地球の赤道の周長（ $C_e = 40075 \text{ km}$ ）を軌道周期における衛星の公転回数で除して求められる、この衛星の地球赤道における間隔が、この衛星が使用するセンサの地上アクセスエリアの大きさよりも小さい場合、全球的アクセスが保証される。より正確には、この衛星は地球上のいかなる地点においても画像取得ができる。さらに、この間隔とセンサの地上アクセスエリアとの比が小さいほど、個々の画像の取得の際の異なる入射角の個数が増加する。

【0036】

しかしながら、長い軌道回帰周期を選択すると、2回の干渉画像取得の間の時間差が大きくなり、その結果、取得したデータのコヒーレンシーと精度とが低下する。上述の通り、この問題の解決方法として、干渉法を応用する現在の衛星リモートセンシングシステムは、2基以上の衛星を利用している。これら2基以上の衛星は、

地球表面上の同じエリアのSAR画像を複数同時に取り込むタンデム型コンフィギュレーション、または、

既定の日数の間隔をあけて、地球表面上の同じエリアのSAR画像を複数取り込むことを可能にするコンフィギュレーションで用いられる。

【0037】

一方、本発明の上記第1の局面によれば、非常に短い軌道周期（詳細には、12時間または24時間の最大再訪時間を保証する1日間の軌道周期）を使用することにより、10 全球的カバーを放棄可能とするか、または、48時間の最大再訪時間を保証する2日間の軌道周期を使用することにより、いずれにせよ全球的アクセスが放棄可能とされる（これについては、以下により詳細に説明する）。

【0038】

1日間の軌道周期の場合、1日あたり14～16回の公転となるよう軌道設計し、この公転回数は軌道周期における公転回数と一致する。したがって、干渉撮影を1日間隔で行う可能性がこれにより生じる。よって、干渉撮影を数日間隔でのみ実行可能な単一の衛星に基づくシステムに比べて、明らかに時間的相互関係の面で有利になる。

【0039】

1日軌道周期の場合、カバーされるエリアにおける最大再訪時間がちょうど24時間であることは明白である。一方、北行軌道と南行軌道とが交差する地帯では、再訪時間は12時間である。

【0040】

太陽同期軌道の場合にのみ、軌道周期が整数の日数に一致することは強調すべきである。太陽同期軌道は、その軌道面の回転が黄道上での地球の回転と一致することを特徴とする。この理由で、衛星は常に同じ現地時間に画像の取得を行う。一方、傾斜軌道は通常この制約を守らないので、本明細書中の以下の説明において、1日または2日または3日の軌道周期と言うとき、「実質的に」または「～のオーダーで」、つまり、「約」1日または「約」2日または「約」3日を意図するものであり、2、3時間のオーダーでの変動をも含む。この現象は、画像を取得する現地時間の変動を生み、その結果、撮影対象エリアの照明条件の変動を生む。

【0041】

低緯度エリア上におけるパフォーマンスを向上させるべく傾斜軌道を使用するのは、SARセンサを備える衛星の場合専用である。これにより、非常に規則的なグリッドの生成から便益が得られる。一方、対象エリアへの日光照射条件に依存することが原因で、光学衛星は、典型的には太陽同期軌道(SSOs)の場合にのみ適用され、さらには、軌道の日光が照射された(北行または南行)部分だけを使用する。

【0042】

本発明による軌道設計と、従来の地球観測システムとの間の時間性能の違いをより良く理解可能とするために、図1は衛星TerraSAR-X(周知のようにSARセンサを備えている)の地球表面に対する再訪時間を示し、図2は、本発明の第1の実施形態による地球観測システム(具体的には、太陽同期極軌道および1日軌道周期を有する単一の衛星に基づくシステム)の地球表面に対する再訪時間を示す。

【0043】

図1に示すように、衛星TerraSAR-Xの再訪時間は、赤道周囲の領域では60～84時間であり、中緯度領域では40～50時間である。

【0044】

これに対して、本発明の第1の実施形態による上記地球観測システムの最大再訪時間は、計画的に24時間に短縮されていることが明らかである。詳細には、アクセス不可能工

10

20

30

40

50

リア（白い部分）と、再訪時間が12時間のアクセス可能エリアと、再訪時間が24時間のアクセス可能エリアとが図2では見られる。カバー状態は、中高緯度で非常に良好である一方、低緯度では対象エリアをアクセス帯域内に正しく配置する必要がある。図2に示す地上アクセスパターンは、以下の事項を考慮すれば、特に光学センサの使用に適している。すなわち、周知のように、光学センサは一般に、中高緯度エリア（より正確には、図2中、カバー状態のよい部分）の高品質画像の取得が可能であり、その一方、赤道帯（より正確には、図2中、アクセス不可能エリアが広範囲により集中している部分）の光学画像の品質は、これらエリアの天候（例えば、雨、雲の過剰形成、過剰な湿度）原因で、通常大幅に劣化する。

【0045】

傾斜軌道を使用することで、最大再訪時間を確実に12～24時間とすることも可能になるとともに、得られる地上グリッドを最適化して、規定の大きさ（例えば、 $2400 \times 2400 \text{ km}^2$ のオーダー）のエリアを得、様々な国々を確実に完全にカバーすることも可能になる。この点に関し、図3には、本発明の第2の実施形態にかかる地球観測システムの地球表面に対する再訪時間を示す。詳細には、このシステムは、SARセンサを備え、傾斜軌道と1日間の軌道周期とを有する単一の衛星に基づく。図3のカバー状態が、図2のカバー状態に比してより規則的であることりわけ、図3のカバー状態が中緯度帯において連続していることは明らかである。

【0046】

軌道の傾斜を変更して対象エリアにわたるカバー状態を向上させることにより、異なる地理的エリアのカバー状態の最適化が可能であることは明らかである。

【0047】

これにより、利害衝突を避けた運用により優れたパフォーマンスを保証しつつ、カバーされるエリア内の様々な国々により使用されるシステムの提供が可能になってくる。

【0048】

特に、図3に示す種類の地上パターンにより異なる複数の国々をカバーすることが現実に可能になるので、本発明のシステムには、競合面および商業面において大きな利点を与えられることになる。

【0049】

実際に、衛星リモートセンシングに通常使用される軌道とは異なり、同じ軌道が毎日繰り返されることにより、複雑な画像取得計画段階の回避が可能になる。これは、衛星からアクセス可能なエリアが毎日同じだからである。

【0050】

このことは、単独のユーザによる使用の場合には、連続通過によりアクセスエリアのカバーを保証する繰返しの画像取得計画を作成することにより利点をもたらす。また、このことは、地理的に異なる地帯にいる複数のユーザによる使用の場合に、より大きな利点をもたらす。なぜなら、詳細には、時分割策を用いることにより、画像取得を他のすべてのユーザと調停することを必要とせず、衛星が単独で各ユーザに割り当てられるからである。換言すれば、設計段階において運用上の負担が一旦確定されれば、自国の領土の監視だけに關心がある各国にとっては、常時利用可能な衛星を所有することと、既定の時間間隔で使用可能な本発明のシステムを所有することとの間に違いはない。さらに、自国の領土の監視だけに關心がある各国にとっては、全球的アクセスができないことは問題にならないことも強調すべきである。

【0051】

このように、この概念は、運用面での非常に大きな利点を生む。実際に、複数の国で連合して、単一衛星リモートセンシングシステムの「分け前」を獲得することにより、それぞれの国が負担する設計、開発、試験、試運転、運用などのコストが大幅に削減可能となる。時分割を利用して自国へと独占的にアクセスさせることによって、他国との利害衝突が確実に回避され得、その結果、従来の複数ユーザのための衛星リモートセンシングシステムに典型的であった（設計・開発コストとそれに伴う時間についての）計画立案と調停

10

20

30

40

50

作業の複雑さが無用のものとなる。換言すれば、本発明の革新的軌道設計は、ミッション計画立案とリソース共有の両方を簡潔化する。詳細には、複数国で連合して使用する場合、連合した各国間での搭載センサの使用時間の動的な割当てに加え、複数の軌道における静的な割当てを提供して、複数のユーザが自国領土用の独占的な立案を可能とすることにより、全球のカバーの亡失から利点が得られる。提案された解決方法の結果である、軌道の精密な繰返しにより、この解決が可能になる。

【 0 0 5 2 】

このように連合することにより、従来の単独ユーザのためのシステムのコストのほんの何分の1かのコストで、一国が自国の領土に独占的にアクセスできる。この特徴は、限られた経済力のせいでこれまで衛星リモートセンシング市場から締め出されてきた国々に対する市場参入への障壁を大幅に下げることが可能にする。

10

【 0 0 5 3 】

この点に関し、図3に示すように、本発明のパフォーマンスは、限られた経済力のせいで衛星リモートセンシング市場から現在締め出されている国々（特に、アフリカ、ラテンアメリカ、東南アジアの国々）にまたがって、好適に最適化され得ることを強調すべきである。したがって、本発明によって、これらの国々が本格的な衛星リモートセンシングサービスの便益を得ることも可能になる。

【 0 0 5 4 】

いずれの場合も、傾斜軌道は、その照射条件が可変なので、光学機器を搭載する衛星には不向きであり、そのような衛星は太陽同期軌道（SSOs）を用いるしかないことは忘れてはならない。

20

【 0 0 5 5 】

本発明の軌道は、好ましくは、以下の各種パラメータについて可能な限り良好なバランスを取ることによって最適化される。

- ・ 軌道高度
- ・ 軌道傾斜
- ・ 使用するセンサの地上アクセスエリア

【 0 0 5 6 】

したがって、連続するアクセスエリアを拡大し、地上でのカバーを最大化するためには、ミッションを事前に精密に研究することが必要である。

30

【 0 0 5 7 】

先述のように、本発明の軌道設計では、全球のカバーは不可であり、地上アクセスの多様性も限定されている。実際は、各目標は、1つか2つの観測角度でしか取り込むことができない。しかし、複数の利用可能な角度から選択してアクセスできることが通常は好ましい。

【 0 0 5 8 】

これらの欠点の解消手段として、1日ではなく2日の軌道周期の軌道を選択することができる。この場合、最大再訪時間は当然約48時間に増えることになるが、この軌道周期は全球的アクセス（傾斜軌道の場合は、選択された緯度帯域内での全球的アクセス）を保証し、利用可能な入射角の個数を増やすことを可能にする（当該軌道周期においても1回のみアクセスを特徴とする特定のエリアは除く）。この点に関し、図4には、本発明の第3の実施形態にかかる地球観測システムの地球表面に対する再訪時間を示す。詳細には、このシステムは、SARセンサを備え、傾斜軌道と2日間の軌道周期とを有する単一の衛星に基づく。

40

【 0 0 5 9 】

当然ながら、軌道周期を長くすればするほど、最大再訪時間はますます増大し、最終的には従来の衛星リモートセンシングシステムの最大再訪時間と大差ない程度にまでになって、本発明により達成可能な上記利点が失われることになる。

【 0 0 6 0 】

この点に関し、上記論文“ERS-1 - AN EARTH OBSERVER THAT EXACTLY FOLLOWS ITS CHO

50

SEN PATH”と“Decorrelation in Interferometric Radar Echoes”の両方に、3日間の軌道回帰周期を典型的には科学的性格のミッションに使用することが記載されている。実際、科学的ミッションの領域においては、情報検索 (i n f o r m a t i o n r e t r i e v a l) を実行する性能に影響し得るほど重大な変化の発生を避けるために、同一の幾何学的景観を有する同じ景色を2, 3日後に再度観測可能であることが重要になってきている。一方、本発明は、短い軌道周期、詳細には、3日より短い軌道周期の軌道を選択して、衛星からアクセス可能なエリアにわたって非常に良好な時間性能、より正確には、非常に短い再訪時間を保証するというシステム概念に基づいている。これは、衛星から「見える」複数の国が、自国領土の衛星画像を取得する目的で、衛星リモートセンシングシステムの共同開発への参加を決断した場合には、コストが削減されるという概念につながる。

10

【0061】

さらに、本発明の第2の局面は、上記衛星リモートセンシングシステムの干渉性能に関する。この点に関し、本発明の説明をさらに続ける前に、以下に干渉SARの分野で広く知られている特殊用語（これらのうちの一部は、下記の本発明の第2の局面の詳細な説明に使用される）の意味を説明する。

【0062】

- ・基線：同一の目標、詳細には地球表面の同一のエリアを捉えた2つのSAR画像の取得位置の間の距離
- ・視線：目標と、2つの画像取得位置のうちのいわゆるマスター画像取得がなされると想定される方の1つとを結ぶ線分
- ・行路差：目標と2つの画像取得位置とを結ぶ2つの行路間の差
- ・垂直基線：視線に垂直な基線の成分
- ・実効基線 (e f f e c t i v e b a s e l i n e) : 目標の高度が計測される方向に平行な垂直基線の成分。実効基線が存在することで、行路差と目標の高度との間の相関関係を決定し、それにより、干渉法を可能にする。
- ・干渉法アンビギュイティ距離 (i n t e r f e r o m e t r i c a m b i g u i t y d i s t a n c e) : 同じ高度で、同じ行路差を有する2つの目標同士の距離
- ・臨界基線 (c r i t i c a l b a s e l i n e) : 干渉法アンビギュイティ距離が、取得されたSAR画像の解像度と一致するときの実効基線の値
- ・アンビギュイティ高さ (a m b i g u i t y h e i g h t) : 使用されるレーダ信号の波長と等しい行路差となる目標の高さの差分
- ・幾何学的脱相関 (性) : 同一の目標が異なる2つの角度から見られて、そのため異なる相挙動を有することに起因する非相関

20

30

【0063】

ここで、本発明の説明に戻る。本発明の上記第2の局面によると、非常に短い軌道周期（好ましくは1日または2日）に加えて、この軌道設計は、低速での地上軌跡の経度ドリフトを可能にする。この経度ドリフトは、軌道枠 (o r b i t a l f r a m e) (より正確には、赤道を通る経線) をほぼ固定状態に維持するが、わずかな変化を引き起こす。この効果により、連続する複数の干渉SAR画像取得の間で基線を非常に精度よく調節可能となる。

40

【0064】

干渉基線は、いわゆるクロストラック干渉SARにおいて、非常に重要なパラメータである。特に、垂直基線と高度測定の精度との間には、アンビギュイティ高さと同様に、ある関係がある。

【0065】

干渉基線（いずれの場合も、緯度の関数）は、軌道の経度ドリフトに比例する。実際、まったく同じ軌道を1日後に通過すれば、同一の場所が撮影されることになり、これでは干渉測定ができないことは明白である。

【0066】

50

単一かつ同一の衛星をある軌道周期（より正確には16～25日毎）で連続的に通過させて干渉撮影を実行する現在のリモートセンシングシステムにおいては、理想的な軌道からの逸脱の原因となる軌道摂動（大気抵抗、太陽風など）は、通常、干渉SARに利用可能な基線の生成に利用される。しかしながら、正常な軌道への「外乱」がもたらすこの効果は、明らかに制御困難であり、その結果生成される基線は非常に正確というわけではない。

【0067】

これとは反対に、本発明の第2の局面によれば、（衛星高度を適宜選択することにより）自発的にかつ非常に高い精度で経度ドリフトを発生可能とする。実際、1日後の軌道摂動の大きさは非常に限られているので、本発明の第2の局面にかかる軌道設計は、軌道の経度変位、詳細には、昇交点の経度変位をもたらし、対象とする緯度における所望のクロストラック基線を生成する。好適には、特定の軌道補正操作を行うことで、リモートセンシングミッション中に基線の値を変更するようにしてもよい。

10

【0068】

非常にゆっくりとではあるが、発生したドリフトは、衛星を既定の公称地上運用地帯から遠ざけるように移動させる傾向がある。この効果は、補償されない場合には、SAR画像取得目的で使用可能な地上アクセスエリアの大きさを減少させる一方で、SARセンサの公称地上アクセスエリア外の地帯のSAR画像の取得を可能にする。しかし、いずれにせよ、既定の時間間隔の後、平行移動の方向を逆にして、衛星を既定の運用地帯内に維持することが好ましい。これにより、基線を安定させるために実行される軌道維持操作よりもわずかに大きい規模の操作の実行が必要になる。

20

【0069】

ケプラーの法則から知られるように、軌道周期と軌道の長半径との間には、直接の比例関係がある。したがって、（太陽同期軌道の）軌道周期における整数の日数に対して2，3秒の差分があるように軌道高度を選択することで、前回の軌道周期に対して、赤道との交差点を平行移動させることが可能となる。

【0070】

このように計算された赤道における経線平行移動は、以下の法則に従う軌道に沿った位置の可変な差分となる（以下の法則は、軌道の湾曲部の下方の緯度範囲に適用されるものである）

30

【数1】

$$b_cross(lat) = b_cross(0) * \cos(lat) * \sin(i)$$

（・latは緯度を示し、

・b_cross(lat)は、緯度の関数としてのクロストラック基線を示し、

・b_cross(0)は、赤道における基線を示し、

・cosは、コサイン関数を示し、

・sinはサイン関数を示し

・iは、地球の赤道面に対する軌道の傾斜角度（周知のように、極軌道においては*i* = 90°）を示す。）

40

【0071】

対象エリアの緯度が与えられると、赤道において必要な基線を計算し、それにより、軌道周期に付与する24時間に対する遅れ（または進み）を計算するためには、このエリア内の所望の基線を決定すれば十分である。

【0072】

地球が24時間（すなわち86400秒）かけて1回自転するとき、地球はその軸の周りに接線速度*C_e* / 86400（km/s）、つまり、（地球の赤道周長*C_e*が40075kmとした場合）約500m/sで回転している。したがって、前回の軌道周期に対して赤道と交差する際の差1秒を含めれば、地上基線の値は500mとなる。一方、より偏

50

心が少ない軌道の軌道基線の値は、因数 sma / Re に比例する。ここで、 Re は地球の半径（約 6378 km）であり、 sma は軌道の長半径である（例えば、衛星高度が 600 km であれば、 sma は 6978 km となり得る）。

【0073】

より詳細には、軌道基線は次式で表される。

【数2】

$$b_cross(h) = b_cross(0) * \frac{Re+h}{Re}$$

（ h は、対象とする緯度における軌道高度である。したがって、 $b_cross(h)$ は軌道基線を表し、 $b_cross(0)$ は地上基線を表す。） 10

【0074】

地球が球体であると仮定すれば、この関係は厳密に適用される。この点に関し、地球の赤道半径と極半径との間の差（約 11 km）に起因する変動は概ね無視できる程度であることが強調されるべきである。いずれにせよ、地球に楕円体モデルを使用することで、より精度よく軌道基線を決定することが常に可能となる。

【0075】

一例として、公称高度約 600 km（1日あたり約 15 回の公転なら、 $sma = 6978$ km）では、50 m の高度差は、軌道周期に約 0.06 秒の変動を起こす。これにより、赤道において、34 m の日毎のクロストラック基線（「基準高度」として既に述べた値）を得ることができる。高度が変化するとき、この値の安定性は非常に良好である。上記 sma における 100 km の差分は、日毎のクロストラック基線の変動を引き起こすが、その変動は 1 m よりも小さい。 20

【0076】

上述のように、既定の時間間隔ののち、平行移動の反転操作が行われ、同じ絶対値をもつが反対方向のドリフトが起きる。ここで、再度、公称高度を約 600 km とすると、質量約 2000 kg の衛星プラットフォームでは、この平行移動の反転操作は、好ましくは 0.05 m/s のオーダーのデルタ V (Δv) を必要とする。これは、約 45 g の化学燃料の消費に相当する。

【0077】

この解析を完結するにあたり、地上の基準位置に対する平行移動の最大許容値を評価しなければならない。SAR センサの地上アクセスエリアの変位を考慮することは望ましくないものと仮定すると、（20 km が SAR センサの地上アクセスエリアの 10% よりも小さいと仮定して）20 km のオーダーの最大総地上ドリフトが確かに許容される。日毎のクロストラック基線を 34 m とし、この値のうちに実質的にとどまるためには、平行移動の反転操作を約 600 日毎に実行可能である。図 5 に示すように、20 km の最大総地上ドリフトを維持するとき、連続する 2 回の平行移動反転操作の間の時間間隔は、日毎のクロストラック基線が長くなるにつれて、急速に短縮される。例えば、図 5 では、100 m の日毎のクロストラック基線を使用すると、連続する 2 回の平行移動反転操作の間の時間間隔は、約 200 日である。（図 5 中、クロストラック基線は「X トラック基線」と示されている。） 40

【0078】

図 6 は、連続する 2 回の平行移動の反転操作の間の経過時間を示すグラフである。ここでも、最大総地上ドリフトは 20 km であるが、 sma 変動の関数として扱われる。

【0079】

より長い基線を得るためには、連続する平行移動反転操作の間の時間間隔を短縮することに加えて、 sma のより大きな変動に伴うデルタ V の増大が必要である。これにより、燃料を同じ量だけ搭載したとしても、衛星の運転寿命は必然的に短くなる。この点に関し、図 7 は、5 年のミッションの間に 20 km の最大総地上ドリフトを維持するための日毎のクロストラック基線の関数として、（衛星の平行移動反転操作のみによる）燃料消費を 50

示すグラフである。(図7中、クロストラック基線は「X-トラック基線」と示されている。)

【0080】

一方、図8は、上記同様最大総地上ドリフトを20kmと考えた場合における、3つの異なる日毎の基線(1日あたり30, 50および100m)に対する時間の関数として、地上軌跡の位置変化を示すグラフである。図8から、日毎の基線が長くなると、同じ最大総地上ドリフト(20km)について、平行移動反転操作の回数が増加することが明らかである。当然のことながら、反転操作の回数は、最大総地上ドリフトの値を増やすことにより減らせる。

【0081】

さらに、図9aおよび図9bは、それぞれ、1日あたり50mの日毎の基線に対する時間関数として、地上軌跡の位置変化と、これに対応する衛星高度の公称高度(図9bのグラフの横軸に相当)に対する変動を示す。

【0082】

所望の基線の値には、典型的には1秒よりも短い異なる時間差が必要であると考え、基線の安定性が絶対的に必要というような場合、基線の安定性を保証するためには(特別な軌道維持操作を経ての)十分な軌道制御が要求されると推論できる。いずれにせよ、通常の用途においては、一定の公差が許容されることは強調すべきである。しかしながら、特別な軌道維持操作を経て得られる長期の基線の安定性は、軌道周期間隔での単一衛星の連続通過により干渉撮影を実行する従来の衛星リモートセンシングシステムにおいて軌道摂動により得られる基線の安定性に比べて、明らかに優れている。

【0083】

リモートセンシングミッションのために軌道設計が規定されるときは、以下に挙げる量の間でのトレードオフが避けられないことは明らかである。

- ・基線の維持の精度、したがって、基線を維持するための軌道維持操作を実行する頻度
- ・平行移動反転操作を実行する前の最大総地上ドリフト。上述のように、この量は日毎の基線に依存し、リモートセンシングミッション全体のために計画される平行移動反転操作の回数を決定する。

【0084】

ミッションのためのデルタVの総量見積り、ひいては、搭載する燃料に基づく衛星の運転寿命の長さは、このトレードオフに依存する。

【0085】

搭載される燃料の体積もまた、衛星の構成の定義におけるトレードオフのもたらす結果である。

【0086】

基線を維持するための軌道維持操作の規模が小さい場合、好ましくは、基線維持のためにイオン推進が利用できる。このようにすれば、化学燃料の使用が低減されるので、上記トレードオフについてよりいっそうの自由度が保証される。どのような場合においても、イオン推進の実装は、開発コストと使用コストが際立って低いシステムにおいて複雑さとコストが増大することを考慮して、評価されねばならない。

【0087】

イオンエンジンはその低比推力を特徴とするので、軌道維持操作に必要なデルタVを達成する際の精度は、イオン推進を用いた場合の方が、化学推進を用いた場合よりも高いことを指摘しておく必要がある。

【0088】

イオン推進によって達成可能な2つめの利点は、実行可能な軌道制御方策にある。実際に、イオンエンジンは低比推力のおかげで消費が限定されかつ正確なので、対象とするエリアの上空に到着する2, 3公転前において、前日との差に基づき最小限の軌道調整を毎日行うことが考えられる。このようにして達成できる利点は、必要であれば、ミリメートルのオーダーでの基線の精度が保証され得ることである。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 9 】

一方、ドリフト反転操作のためには、操作の規模がより大きいので、化学推進の使用が好ましい。

【 0 0 9 0 】

本明細書中で提案される軌道設計のもう1つの興味深い効果は、同一の目標について1日間隔でSAR画像取得を繰り返す(すべてを同じ入射角度で取得する)ことにより、例えば、3回のSAR画像取得を行う場合、そのうちの2対が1日の時間差かつ公称基線で得られ、残る1対が2日の時間差かつ公称基線の2倍の基線で得られることである。

【 0 0 9 1 】

この論法が、以下のようにN回のSAR画像取得に一般化できることは明らかである。すなわち、1日間隔かつ公称基線Bでの(N-1)対のSAR画像取得、2日間隔かつ基線2Bでの(N-2)対のSAR画像取得、...のように(N-1)日間隔かつ基線(N-1)×Bでの1対のSAR画像取得になるまで同様に続けられる。

10

【 0 0 9 2 】

一貫性のあるデータ(より正確には同等の基線での連続測定値)が利用可能であることにより、高度の再構築エラーの平均化が可能となり、それにより地上の変化の検知と(目標の変位を検知するための)短期の差分干渉の実施の可能性を生むとともに、干渉解析の結果がさらに向上する。

【 0 0 9 3 】

要約すると、本発明は、SARセンサまたは光学センサを有する単一の衛星を備える衛星リモートセンシングシステムによって実現され、この単一の衛星は、使用時には、本発明の主題を構成する上述の革新的な軌道設計に従って地球の周囲を軌道旋回する。詳細には、上記衛星は、非常に短い軌道周期を有する傾斜軌道または太陽同期極軌道を飛行し、好ましくは高度を適切に選択することにより、その地上軌跡を各軌道周期において平行移動させて、連続する軌道周期において上記センサが取得する地球表面の同じエリアの画像に対して既定の干渉基線を保証する。

20

【 0 0 9 4 】

この点に関し、図10は、本発明の好適な実施形態による衛星リモートセンシングシステム(なお縮尺率は正確ではなく、システム全体を符号1で示す)を模式的に示している。

30

【 0 0 9 5 】

詳細には、図10に示すように、上記衛星リモートセンシングシステム1は、地球表面のエリアの画像を取得するように設計されたセンサ111と、軌道制御モジュール112と、上記軌道制御モジュール112によって操作可能な推進システム113と、を含む衛星11、および地球表面に配置され、上記衛星11と遠隔通信する(例えば、上記センサ111により取得された画像を受信する)ように構成され、上記軌道制御モジュール112を遠隔制御するように設計されたミッション制御システム121を備える地上基地12を備える。

【 0 0 9 6 】

上述の通り、使用時には、上記衛星は地球周囲の既定の軌道を飛行する。衛星は、各軌道周期において、地球の周囲を既定の回数公転する。

40

【 0 0 9 7 】

上述の通り、上記軌道周期は3日よりも短い。好ましくは、軌道周期は、約1日または約2日である。

【 0 0 9 8 】

また、上述の通り、上記衛星11は、好ましくは、地球周囲の既定の軌道を飛行するよう構成されている。上記衛星11は、各軌道周期において衛星11の地上軌跡を経線平行移動させる少なくとも1つの既定高度で軌道を飛行し、これにより、連続する軌道周期において上記センサ111が取得する地球表面の同じエリアの画像のための既定の干渉基線

50

を保証する。

【 0 0 9 9 】

詳細には、上記衛星 1 1 は、

地球周囲の既定の軌道を飛行するように構成され、各軌道周期において衛星 1 1 の地上軌跡に第 1 の経線平行移動をさせる第 1 の既定高度で軌道を飛行し、これにより、連続する軌道周期において上記センサ 1 1 1 が取得する、地球表面の同じエリアの画像のための既定の干渉基線を保証し、

各軌道周期において衛星 1 1 の地上軌跡に、上記第 1 の経線平行移動とは反対の第 2 の経線平行移動をさせる第 2 の既定高度で軌道を飛行し、これによっても、連続する軌道周期において上記センサ 1 1 1 が取得する、地球表面の同じエリアの画像のための上記既定の干渉基線を保証し、

10

第 1 の既定高度から第 2 の既定高度への移動、またその逆の移動をすることにより、上記地上軌跡の経線平行移動を反転させる。

【 0 1 0 0 】

好ましくは、衛星 1 1 は、

その地上軌跡が第 1 の経線平行移動をした第 1 の既定期間の後、第 1 の既定高度から第 2 の既定高度に移動することにより、また、

その地上軌跡が第 2 の経線平行移動をした第 2 の既定期間の後、第 2 の既定速度から第 1 の既定高度に移動することにより、

その地上軌跡の経線平行移動を反転するよう設計されている。

20

【 0 1 0 1 】

好ましくは、第 1 および第 2 の既定期間は等しい。

【 0 1 0 2 】

また、好ましくは、地球周囲の上記既定軌道は、既定の公称高度と関連しており、上記第 1 の既定高度は上記既定の公称高度よりも高く、上記第 2 の既定高度は上記既定の公称高度よりも低い。より好ましくは、上記第 1 および第 2 の既定高度は、上記既定の公称高度に関して対称である。

【 0 1 0 3 】

好ましくは、軌道周期あたりの地球を周回する公転の既定回数および軌道周期とは、上記センサ 1 1 1 に既定の緯度における地球表面のエリアの画像の取得のみを可能にするように設定される。

30

【 0 1 0 4 】

さらに、搭載された上記軌道制御モジュール 1 1 2 は、

上記推進システム 1 1 3 を操作することにより軌道維持操作を実行して、上記衛星 1 1 の地上軌跡の経線平行移動を安定した状態に維持するように設計され、および

上記推進システム 1 1 3 を操作することにより、上記衛星 1 1 を第 1 の既定高度から第 2 の既定高度に、またその逆に移動させて、上記衛星 1 1 の地上軌跡の経線平行移動の反転操作を実行するように設計される。

【 0 1 0 5 】

好ましくは、上述の通り、上記推進システム 1 1 3 は、イオン推進システム（簡略化のために、図 1 0 では省略）と、化学推進システム（簡略化のために、図 1 0 では省略）とを備え、上記軌道制御モジュール 1 1 2 は、

40

イオン推進システムを操作することによって軌道維持操作を実行するように設計され、および

化学推進システムを操作することによって、上記衛星 1 1 の地上軌跡の経線平行移動の反転操作を実行するように設計される。

【 0 1 0 6 】

或いは、上記推進システム 1 1 3 は、軌道維持操作と上記衛星 1 1 の地上軌跡の経線平行移動の反転操作との両方に使用される化学推進システムであり得る。

【 0 1 0 7 】

50

好ましくは、上記センサ 1 1 1 は S A R センサであり、上記既定の軌道は太陽同期極軌道であるか、または、地上でのカバーを最適化するには傾斜軌道である。

【 0 1 0 8 】

或いは、上記センサ 1 1 1 は光学センサであり、上記既定の軌道は太陽同期極軌道である。

【 0 1 0 9 】

好ましくは、上記ミッション制御システム 1 2 1 は、
ミッションの間、ユーザが上記第 1 および第 2 の既定高度の値を変更して、上記既定の干渉基線を調整可能とするように設計され、および

上記第 1 および第 2 の既定高度の変更後の値を上記軌道制御モジュール 1 1 2 に伝達するように構成されており、これにより、この軌道制御モジュール 1 1 2 がこれら変更後の値に従った衛星 1 1 の制御を開始して、ユーザに要求された新たな既定の干渉基線を保証する。

10

【 0 1 1 0 】

上記の説明から、本発明の利点が直ちにわかるであろう。

【 0 1 1 1 】

特に、本発明の地球観測システムは、単一の衛星の使用に基づいているので、衛星コンステレーションの使用に基づく地球観測システムよりも安価であること、そして、いずれの場合においても、本発明の地球観測システムは、衛星コンステレーションの使用に基づくものと同等の時間性能と干渉性能を保証し得ることは、再度強調されるべきである。

20

【 0 1 1 2 】

詳細には、本発明は以下のことを可能にする。

複数の国を連合とすることで、システムのコスト削減を可能とする。実際、この概念は現在運用可能な他のシステム（例えば、イタリアの C O S M O - S k y M e d システムや、フランスの H e l i o s 2 システム）において既に採用されているが、本発明は、軌道（したがって、関連するアクセス可能エリア）の構築方法により、衛星リモートセンシングのリソースの時分割利用に基づく別の論理の使用につながる。このようにして、各国は、衛星が自国の画像を取得できる軌道の部分に関してのみシステムのリソースから便益を受けることができる。この方策によれば、運用面での他国との利害衝突が回避されるので、計画と交渉の論理が大幅に単純化されるという利点を有する。

30

従来の単一衛星システムに比して、より良好なパフォーマンスが達成できる。実際、アクセス可能な緯度のエリア全部のカバー（より正確には、太陽同期極軌道では地球表面の全球のカバー、傾斜軌道ではアクセス可能な緯度帯域のいずれかの経度のカバー）を担保する回帰周期を有する軌道の選択を意図する一般的な軌道設計原理とは相反する概念に基づく本発明は、衛星コンステレーションを使用して得られる時間性能に匹敵する時間性能を達成可能にする。

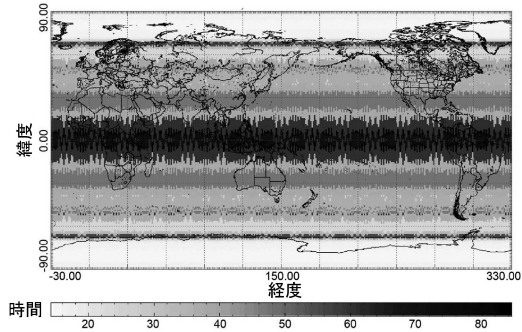
1 日間隔での干渉解析の実行を可能とする。今日までは衛星コンステレーションの使用に基づくシステムによってのみ獲得可能であったこの能力は、軌道周期を 1 日に短縮した軌道を選択することで保証される。

【 0 1 1 3 】

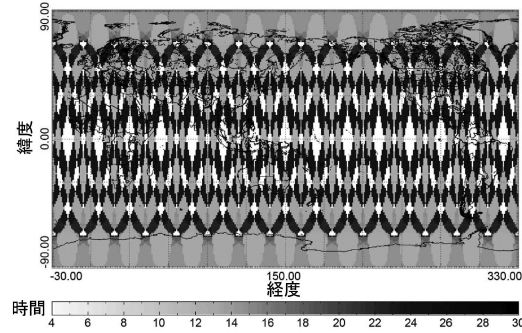
40

最後に、添付の請求項に規定される本発明の範囲から逸脱しない限りにおいて、種々の改変を本発明に適用可能であることは明らかである。

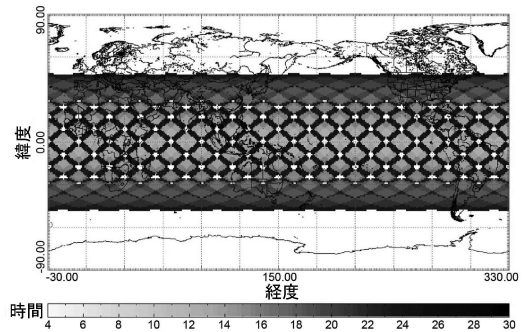
【図1】



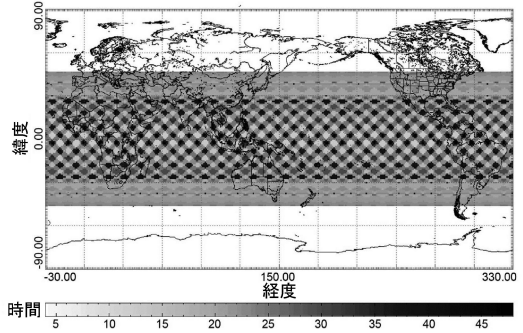
【図2】



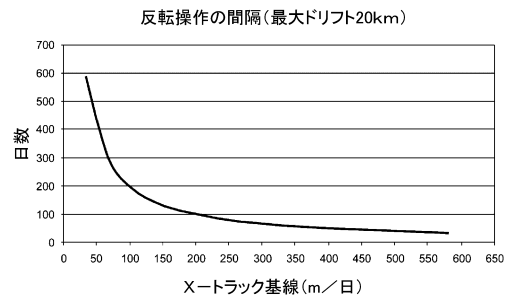
【図3】



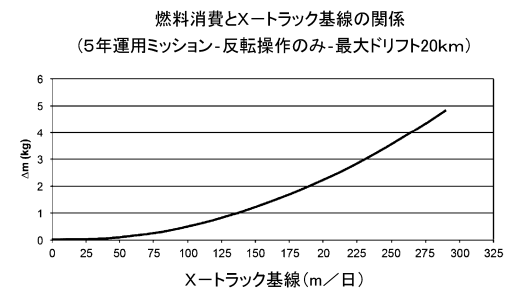
【図4】



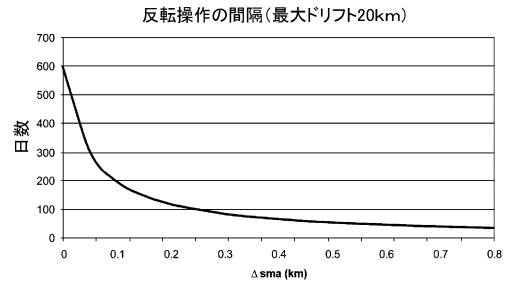
【図5】



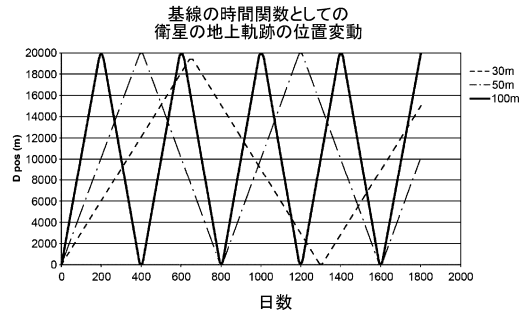
【図7】



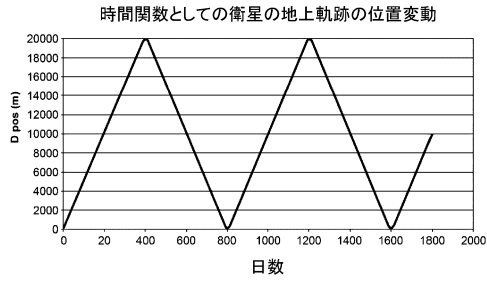
【図6】



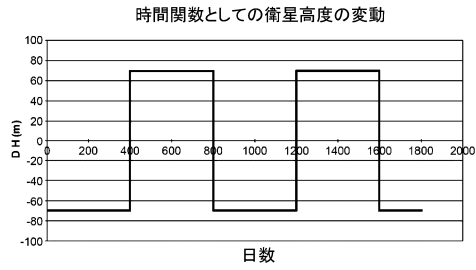
【図8】



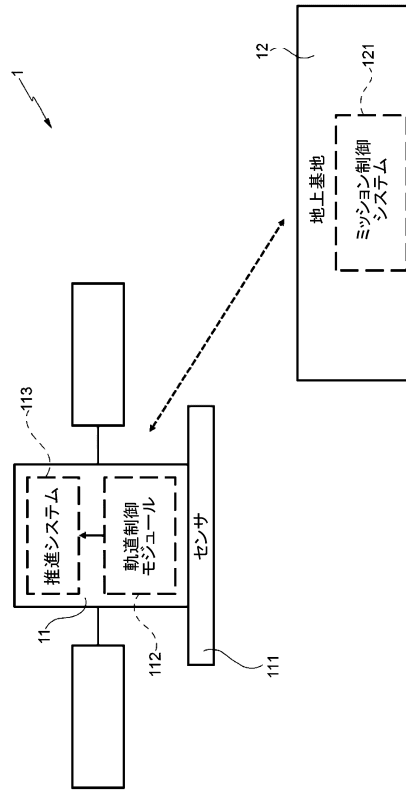
【図9a】



【図9b】



【図10】



フロントページの続き

- (72)発明者 アンドレア フランチオニ
イタリア国 ローマ, ピア サッコムロ 24, タレス アレーニア スペース イタリア ソチ
エタ ペル アツィオーニ コン ユニコ ソシオ内
- (72)発明者 アレッサンドロ クリチェンティ
イタリア国 ローマ, ピア サッコムロ 24, タレス アレーニア スペース イタリア ソチ
エタ ペル アツィオーニ コン ユニコ ソシオ内

審査官 前原 義明

- (56)参考文献 特開2003-327200(JP, A)
米国特許第05923278(US, A)
特開2000-111359(JP, A)
特開2008-126876(JP, A)
特開平10-258799(JP, A)
特開2004-144524(JP, A)
特開昭64-022699(JP, A)
特開2001-018899(JP, A)
米国特許第05883584(US, A)
米国特許第05051749(US, A)
特開平11-103271(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 6 4 G	1 / 1 0
B 6 4 G	1 / 6 6
B 6 4 G	1 / 2 4
B 6 4 G	1 / 2 6
B 6 4 G	1 / 4 0
G 0 1 S	1 3 / 9 0
G 0 5 D	1 / 0 8