

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7527492号
(P7527492)

(45)発行日 令和6年8月2日(2024.8.2)

(24)登録日 令和6年7月25日(2024.7.25)

(51)国際特許分類	F I
B 6 4 G 1/10 (2006.01)	B 6 4 G 1/10 6 0 0
B 6 4 G 1/24 (2006.01)	B 6 4 G 1/10 5 0 0
B 6 4 G 1/66 (2006.01)	B 6 4 G 1/24 2 0 0
	B 6 4 G 1/66 B

請求項の数 11 (全15頁)

(21)出願番号	特願2023-538447(P2023-538447)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和4年7月19日(2022.7.19)	(74)代理人	110002491 弁理士法人クロスボーダー特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/027982	(72)発明者	迎 久幸 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開番号	WO2023/008245	審査官	志水 裕司
(87)国際公開日	令和5年2月2日(2023.2.2)		
審査請求日	令和5年6月16日(2023.6.16)		
(31)優先権主張番号	特願2021-122595(P2021-122595)		
(32)優先日	令和3年7月27日(2021.7.27)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 衛星コンステレーション維持方法、軌道降下方法および人工衛星

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1衛星コンステレーションが、第1軌道高度帯で運用され、
 第2衛星コンステレーションが、前記第1軌道高度帯よりも低い第2軌道高度帯で運用され、複数の軌道面を形成し、
 前記第1衛星コンステレーションに属する人工衛星の一つである軌道離脱衛星が前記第1軌道高度帯の軌道から離脱して降下するときに、前記第2衛星コンステレーションが、前記複数の軌道面において隣接するいずれか2つの軌道面の相対角度を広げることによって、前記第2軌道高度帯に空き軌道領域を確保し、
 前記軌道離脱衛星が、前記第2軌道高度帯の前記空き軌道領域を通過し、
 前記軌道離脱衛星の代わりとなる人工衛星である後続衛星が、前記第1軌道高度帯の前記軌道に投入される
 衛星コンステレーション維持方法。

【請求項2】

前記軌道離脱衛星は、推進装置と衛星制御装置を備え、
 前記衛星制御装置が、前記軌道離脱衛星に前記空き軌道領域を通過させるために、前記推進装置を使って前記軌道離脱衛星の降下速度を制御する
 請求項1に記載の衛星コンステレーション維持方法。

【請求項3】

除去衛星は、捕捉装置と推進装置と衛星制御装置を備え、

10

20

前記捕捉装置が、前記軌道離脱衛星を捕捉し、

前記衛星制御装置が、前記軌道離脱衛星と共に前記除去衛星に前記空き軌道領域を通過させるために、前記推進装置を使って前記除去衛星の降下速度を制御する
請求項 1 に記載の衛星コンステレーション維持方法。

【請求項 4】

第 1 衛星コンステレーションが、第 1 軌道高度帯で運用され、

第 2 衛星コンステレーションが、前記第 1 軌道高度帯よりも低い第 2 軌道高度帯で運用され、複数の軌道面を形成し、

前記第 1 衛星コンステレーションに属する人工衛星の一つである軌道離脱衛星が前記第 1 軌道高度帯の軌道から離脱して降下するときに、前記第 2 衛星コンステレーションが、
前記複数の軌道面において隣接するいずれか 2 つの軌道面の相対角度を広げることによって、前記第 2 軌道高度帯に空き軌道領域を確保し、

前記軌道離脱衛星が、前記第 2 軌道高度帯の前記空き軌道領域を通過する
軌道降下方法。

【請求項 5】

前記軌道離脱衛星は、推進装置と衛星制御装置を備え、

前記衛星制御装置が、前記軌道離脱衛星に前記空き軌道領域を通過させるために、前記推進装置を使って前記軌道離脱衛星の降下速度を制御する
請求項 4 に記載の軌道降下方法。

【請求項 6】

除去衛星は、捕捉装置と推進装置と衛星制御装置を備え、

前記捕捉装置が、前記軌道離脱衛星を捕捉し、

前記衛星制御装置が、前記軌道離脱衛星と共に前記除去衛星に前記空き軌道領域を通過させるために、前記推進装置を使って前記除去衛星の降下速度を制御する
請求項 4 に記載の軌道降下方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の衛星コンステレーション維持方法のために使用される人工衛星であり、
前記第 1 衛星コンステレーションに属する人工衛星と前記第 2 衛星コンステレーションに属する人工衛星のそれぞれの軌道情報が記録されたデータベースを有するエッジサーバと、

前記エッジサーバの前記データベースを参照して、前記第 2 軌道高度帯に前記空き軌道領域を確保するために、前記第 2 衛星コンステレーションの各人工衛星を制御するためのコマンドを、人工知能を使って生成する計算機と、

生成されたコマンドを前記第 2 衛星コンステレーションの各人工衛星に対して送信する通信装置と、
を備える人工衛星。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の衛星コンステレーション維持方法のために使用される人工衛星であり、
前記第 1 衛星コンステレーションに属する人工衛星と前記第 2 衛星コンステレーションに属する人工衛星のそれぞれの軌道情報が記録されたデータベースを有するエッジサーバと、

前記エッジサーバの前記データベースを参照して、前記軌道離脱衛星を前記第 1 軌道高度帯の前記軌道から離脱させ前記第 2 軌道高度帯の前記空き軌道領域を通過させるために、前記軌道離脱衛星を制御するためのコマンドを、人工知能を使って生成する計算機と、

生成されたコマンドを前記軌道離脱衛星に対して送信する通信装置と、
を備える人工衛星。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の衛星コンステレーション維持方法で前記第 2 衛星コンステレーションに属する人工衛星であり、

前記第 2 衛星コンステレーションに属する人工衛星のそれぞれの軌道情報が記録された

10

20

30

40

50

データベースを有するエッジサーバと、

前記エッジサーバの前記データベースを参照して、前記第2軌道高度帯に前記空き軌道領域を確保するために、前記第2衛星コンステレーションの各人工衛星を制御するためのコマンドを、人工知能を使って生成する計算機と、

生成されたコマンドを前記第2衛星コンステレーションの各人工衛星に対して送信する通信装置と、
を備える人工衛星。

【請求項10】

請求項1に記載の衛星コンステレーション維持方法で前記軌道離脱衛星となる人工衛星であり、

前記第2衛星コンステレーションに属する人工衛星のそれぞれの軌道情報が記録されたデータベースを有するエッジサーバと、

前記エッジサーバの前記データベースを参照して、前記第2軌道高度帯に前記空き軌道領域を確保するために、前記第2衛星コンステレーションの各人工衛星を制御するためのコマンドを、人工知能を使って生成する計算機と、

生成されたコマンドを前記第2衛星コンステレーションの各人工衛星に対して送信する通信装置と、
を備える人工衛星。

【請求項11】

請求項1に記載の衛星コンステレーション維持方法で前記第2衛星コンステレーションに属して前記後続衛星となる人工衛星であり、

前記第2衛星コンステレーションに属する人工衛星のそれぞれの軌道情報が記録されたデータベースを有するエッジサーバと、

前記エッジサーバの前記データベースを参照して、前記第2軌道高度帯に前記空き軌道領域を確保するために、前記第2衛星コンステレーションの各人工衛星を制御するためのコマンドを、人工知能を使って生成する計算機と、

生成されたコマンドを前記第2衛星コンステレーションの各人工衛星に対して送信する通信装置と、
を備える人工衛星。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、衛星コンステレーションに関するものである。

【背景技術】

【0002】

衛星群が同じ公称軌道高度で連携してサービス運用を行う衛星メガコンステレーションの計画が増えており、衛星総数が5万機に迫る勢いである。

これら衛星メガコンステレーションが事業を継続するためには、寿命完遂した衛星および故障した衛星を軌道から離脱させ、空き領域を確保し、後継衛星を軌道へ投入する、という方法を確立する必要がある。

寿命完遂した衛星が行う健全な軌道離脱は、Post Mission Disposal (PMD) と呼ばれる。

故障した衛星が自力で行えない軌道離脱は、Active Debris Disposal (ADR) と呼ばれ、デブリ除去衛星を使って能動的に行われる。

【0003】

高高度を飛翔する衛星が軌道を離脱して大気圏に突入して焼失するまでの過程を軌道降下過程と称する。軌道降下過程では、低高度を飛翔するメガコンステレーション衛星群の軌道高度帯を衛星が通過するため、衛星同士が衝突する危険がある。

通常、メガコンステレーションにおいて、複数の軌道面が網羅的にまた均等に天空に形成され、軌道面ごとに複数の衛星が均等に飛翔する。

10

20

30

40

50

そのため、無統制で軌道離脱が行われる場合、衛星が軌道離脱する軌道面および軌道離脱時の衛星の飛翔位置がランダムになるため、軌道離脱した衛星が下層のどの軌道面のどの衛星と衝突する危険があるかを予測することが困難な状況となる。

危険の予測が可能であったとしても、世代交代に伴って数万機の衛星がランダムに軌道離脱する環境下では、膨大な頻度で危険警報が発令されることとなり、各衛星がそれぞれの危険警報に対して回避行動をとることが困難になる。

【0004】

特許文献1は、軌道高度が互いに異なる複数の軌道面を形成することによって衝突リスクを回避する衛星コンステレーション形成システムを開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】国際公開2020/158505号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本開示は、人工衛星が軌道離脱するときの衛星同士の衝突を回避できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示の衛星コンステレーション維持方法では、
第1衛星コンステレーションが、第1軌道高度帯で運用され、
第2衛星コンステレーションが、前記第1軌道高度帯よりも低い第2軌道高度帯で運用され、複数の軌道面を形成し、

前記第1衛星コンステレーションに属する人工衛星の一つである軌道離脱衛星が前記第1軌道高度帯の軌道から離脱して降下するときに、前記第2衛星コンステレーションが、前記複数の軌道面において隣接するいずれか2つの軌道面の相対角度を広げることによって、前記第2軌道高度帯に空き軌道領域を確保し、

前記軌道離脱衛星が、前記第2軌道高度帯の前記空き軌道領域を通過し、

前記軌道離脱衛星の代わりとなる人工衛星である後続衛星が、前記第1軌道高度帯の前記軌道に投入される。

【発明の効果】

【0008】

本開示によれば、人工衛星が軌道離脱するときの衛星同士の衝突を回避することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施の形態1における衛星コンステレーションシステム100の構成図。

【図2】実施の形態1における人工衛星110の構成図。

【図3】実施の形態1における軌道離脱前の第2衛星コンステレーション102の様子を示す図。

【図4】実施の形態1における軌道離脱時の第2衛星コンステレーション102の様子を示す図。

【図5】実施の形態1における軌道離脱した軌道離脱衛星103の様子を示す図。

【図6】実施の形態2における衛星コンステレーションシステム100の構成図。

【図7】実施の形態2における人工衛星210の構成図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

実施の形態および図面において、同じ要素または対応する要素には同じ符号を付している。説明した要素と同じ符号が付された要素の説明は適宜に省略または簡略化する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

実施の形態 1 .

衛星コンステレーションシステム 1 0 0 について、図 1 から図 5 に基づいて説明する。

【 0 0 1 2 】

*** 構成の説明 ***

図 1 に基づいて、衛星コンステレーションシステム 1 0 0 の構成を説明する。

衛星コンステレーションシステム 1 0 0 は、複数の衛星コンステレーションを備える。

それぞれの衛星コンステレーションは、複数の人工衛星群で構成され、複数の軌道面を形成する。

複数の人工衛星群は、同じ軌道高度帯において互いに異なる軌道面の軌道を飛翔する。 10

それぞれの人工衛星群は、複数の人工衛星 1 1 0 で構成される。

【 0 0 1 3 】

複数の衛星コンステレーションのうちの 1 つを、第 1 衛星コンステレーション 1 0 1 と称する。

第 1 衛星コンステレーション 1 0 1 が運用される軌道高度帯を、第 1 軌道高度帯と称する。第 1 衛星コンステレーション 1 0 1 の各人工衛星 1 1 0 は、第 1 軌道高度帯を飛翔する。

【 0 0 1 4 】

複数の衛星コンステレーションのうち第 1 軌道高度帯よりも低い軌道高度帯で運用される衛星コンステレーションの 1 つを、第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 と称する。 20

第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 が運用される軌道高度帯を、第 2 軌道高度帯と称する。第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 の各人工衛星 1 1 0 は、第 2 軌道高度帯を飛翔する。

【 0 0 1 5 】

衛星コンステレーションシステム 1 0 0 は、地上設備 1 2 0 を備える。

地上設備 1 2 0 は、衛星管制装置 1 2 1 と通信装置 1 2 2 とを備える。

衛星管制装置 1 2 1 は、処理回路および入出力インタフェースなどのハードウェアを備えるコンピュータである。衛星管制装置 1 2 1 は、入出力インタフェースを介して、通信装置 1 2 2 に接続される。衛星管制装置 1 2 1 は、各衛星コンステレーションを制御するために、各人工衛星 1 1 0 に対する各種コマンドを生成する。 30

通信装置 1 2 2 は、各人工衛星 1 1 0 と通信する。具体的には、各種コマンドを各人工衛星 1 1 0 へ送信する。

【 0 0 1 6 】

図 2 に基づいて、人工衛星 1 1 0 の構成を説明する。

人工衛星 1 1 0 は、推進装置 1 1 1 と姿勢制御装置 1 1 2 と衛星制御装置 1 1 3 と通信システム 1 1 4 とを備える。

推進装置 1 1 1 は、人工衛星 1 1 0 に推進力を与える装置であり、人工衛星 1 1 0 の速度を調整する。具体的には、推進装置 1 1 1 は電気推進機である。例えば、推進装置 1 1 1 はイオンエンジンまたはホールスラスタである。

姿勢制御装置 1 1 2 は、人工衛星 1 1 0 の姿勢と人工衛星 1 1 0 の角速度といった姿勢要素を制御するための装置である。姿勢制御装置 1 1 2 は、各姿勢要素を所望の方向に変化させる。もしくは、姿勢制御装置 1 1 2 は、各姿勢要素を所望の方向に維持する。姿勢制御装置 1 1 2 は、姿勢センサとアクチュエータとコントローラとを備える。姿勢センサは、ジャイロスコープ、地球センサ、太陽センサ、スター・トラッカ、スラスタおよび磁気センサなどである。アクチュエータは、姿勢制御スラスタ、モーメントムホイール、リアクションホイールおよびコントロール・モーメント・ジャイロ等である。コントローラは、姿勢センサの計測データまたは地上設備 1 2 0 からの各種コマンドにしたがって、アクチュエータを制御する。 40

衛星制御装置 1 1 3 は、処理回路および入出力インタフェースなどのハードウェアを備えるコンピュータであり、人工衛星 1 1 0 を制御する。 50

通信システム 114 は、対衛星通信装置と対地上通信装置とを備える。対衛星通信装置は、他の人工衛星 110 と通信するための通信装置である。対地上通信装置は、地上設備 120 と通信するための通信装置である。

【0017】

衛星制御装置 113 と衛星管制装置 121 のそれぞれに備わる処理回路について説明する。

処理回路は、専用のハードウェアであってもよいし、メモリに格納されるプログラムを実行するプロセッサであってもよい。

処理回路において、一部の機能が専用のハードウェアで実現されて、残りの機能がソフトウェアまたはファームウェアで実現されてもよい。つまり、処理回路は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェアまたはこれらの組み合わせで実現することができる。

専用のハードウェアは、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC、FPGA またはこれらの組み合わせである。

ASIC は、Application Specific Integrated Circuit の略称である。

FPGA は、Field Programmable Gate Array の略称である。

【0018】

動作の説明

衛星コンステレーションシステム 100 において、各衛星コンステレーションを維持する方法を衛星コンステレーション維持方法と称する。

第 1 衛星コンステレーション 101 の人工衛星 110 が第 1 軌道高度帯の軌道から離脱して降下する方法を軌道降下方法と称する。

軌道離脱する人工衛星 110 を軌道離脱衛星 103 と称する。軌道離脱衛星 103 が離脱する軌道を離脱軌道と称する。

衛星コンステレーション維持方法では、軌道降下方法の実施の後に、軌道離脱衛星 103 の代わりとなる人工衛星 110 が離脱軌道に投入される。

離脱軌道に投入される人工衛星 110 を後続衛星と称する。

【0019】

図 3、図 4 および図 5 に基づいて軌道降下方法を説明する。

軌道離脱衛星 103 は、第 1 衛星コンステレーション 101 に属する人工衛星 110 の一つであり、第 1 軌道高度帯の軌道から離脱して降下する。

地球を囲うように記された 12 個の円は、第 2 衛星コンステレーション 102 が形成する 12 個の軌道面を表している。但し、第 2 衛星コンステレーション 102 における軌道面の数は、11 個以下であってもよいし、13 個以上であってもよい。

【0020】

図 3 は、軌道離脱衛星 103 が軌道離脱する前の第 2 衛星コンステレーション 102 の様子を示している。

第 2 衛星コンステレーション 102 は、互いに法線ベクトルの方向が異なる 12 個の軌道面を形成している。

12 個の軌道面において、隣接する軌道面同士が成す角度（相対角度）はおおよそ均等である。

第 1 軌道面 104 と第 2 軌道面 105 は、隣接する 2 つの軌道面である。

【0021】

図 4 は、軌道離脱衛星 103 が軌道離脱するときの第 2 衛星コンステレーション 102 の様子を示している。

第 2 衛星コンステレーション 102 は、第 1 軌道面 104 と第 2 軌道面 105 の相対角度を除いて隣接する 2 つの軌道面の相対角度を狭め、第 1 軌道面 104 と第 2 軌道面 105 の相対角度を広げる。

これにより、第 2 軌道高度帯に軌道離脱衛星 103 が通過するための領域が確保される

10

20

30

40

50

。第2軌道高度帯に確保される領域を空き軌道領域と称する。

【0022】

図5は、軌道離脱衛星103が第2軌道高度帯の空き軌道領域を通過する様子を示している。破線は軌道離脱衛星103が通過する経路を示している。

軌道離脱衛星103は、第2軌道高度帯の空き軌道領域を通過する。これにより、軌道離脱衛星103は、第2軌道高度帯を安全に降下することができる。

【0023】

軌道離脱衛星103が軌道離脱した後、後続衛星が地上または他の軌道から離脱軌道に投入される。

これにより、軌道離脱衛星103が軌道離脱しても第1衛星コンステレーション101が維持される。

10

【0024】

軌道離脱衛星103の軌道離脱について説明する。

軌道離脱には、PMDとADRとの2種類がある。

PMDは、Post Mission Disposalの略称である。

ADRは、Active Debris Disposalの略称である。

【0025】

PMDにおいて、軌道離脱衛星103は、自力で軌道離脱を行う。具体的には、衛星制御装置113が、軌道離脱衛星103に空き軌道領域を通過させるために、推進装置111を使って軌道離脱衛星103の降下速度を制御する。

20

衛星制御装置113は、軌道離脱のための制御を、自律的に行ってもよいし、地上設備120からのコマンドに従って行ってもよい。

【0026】

ADRにおいて、軌道離脱衛星103は、除去衛星によって軌道離脱を行う。この場合、衛星コンステレーションシステム100は、さらに除去衛星を備える。

除去衛星は、デブリ除去衛星とも呼ばれる人工衛星である。除去衛星は、人工衛星110と同じく、推進装置と姿勢制御装置と衛星制御装置と通信システムを備える。さらに、除去衛星は捕捉装置を備える。そして、除去衛星は以下のように動作する。

まず、衛星制御装置は、推進装置と姿勢制御装置を制御して、除去衛星を軌道離脱衛星103に近づける。

30

次に、捕捉装置は、軌道離脱衛星103を捕捉する。

そして、衛星制御装置は、軌道離脱衛星103と共に除去衛星に空き軌道領域を通過させるために、推進装置を使って除去衛星の降下速度を制御する。

衛星制御装置は、軌道離脱のための制御を、自律的に行ってもよいし、地上設備120からのコマンドに従って行ってもよい。

【0027】

第2衛星コンステレーション102における空き軌道領域の形成について説明する。

まず、第2衛星コンステレーション102は、隣接する軌道面の軌道高度を順番に変更する。すると、軌道高度の相違に伴う軌道面の公転周期の相違により、軌道面法線ベクトルの経度方向相対角度が徐々に変化する。この原理により、軌道面の空き(空き軌道領域)が形成される。

40

そして、第2衛星コンステレーション102は、各軌道面の軌道高度を元に戻す。すると、軌道面の公転周期が同一になるので、軌道面法線ベクトルの経度方向相対角度が維持される。つまり、空き軌道領域が形成された状態で、複数の軌道面が維持される。

なお、人工衛星110の軌道高度は、人工衛星110の速度を変更することによって変更される。具体的には、人工衛星110が増速すると軌道高度が上昇し、人工衛星110が減速すると軌道高度が下降する。このとき、衛星制御装置113が推進装置111を制御して人工衛星110の速度を変更する。

第2衛星コンステレーション102の各人工衛星110において、衛星制御装置113は、空き軌道領域を形成するための制御を、自律的に行ってもよいし、地上設備120か

50

らのコマンドに従って行ってもよい。

【 0 0 2 8 】

*** 実施例の説明 ***

衛星コンステレーションシステム 1 0 0 は、1 0 0 機以上の人工衛星 1 1 0 により構成される。

衛星コンステレーションシステム 1 0 0 は、複数の公称軌道高度のそれぞれに、同一公称軌道高度を飛翔する衛星群を連携させてサービス運用を行うコンステレーション衛星群を具備する。公称軌道高度は、第 1 軌道高度帯と第 2 軌道高度帯のそれぞれに相当する。コンステレーション衛星群は、第 1 衛星コンステレーション 1 0 1 と第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 のそれぞれに相当する。

10

衛星コンステレーション維持方法は、寿命完遂または故障に伴い人工衛星 1 1 0 を軌道離脱させ空き領域を確保し、後継衛星を軌道投入する。

高高度に構成された第 1 衛星コンステレーション 1 0 1 から軌道離脱して降下する軌道離脱衛星が、低高度に構成された第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 の軌道高度帯を安全に通過するために、軌道面間相対角度が大きく設定され、空き軌道領域が確保される。このとき、第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 はサービス運用を継続する。

【 0 0 2 9 】

軌道離脱衛星 1 0 3 またはデブリ除去衛星は、推進装置と離脱降下制御装置を具備する。離脱降下制御装置は、軌道離脱衛星 1 0 3 の衛星制御装置 1 1 3 に相当する。

そして、軌道離脱衛星 1 0 3 (およびデブリ除去衛星) は、第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 が設定する空き軌道領域を通過する。

20

【 0 0 3 0 】

離脱降下制御装置は、軌道離脱衛星 1 0 3 が空き軌道領域を通過するタイミング (通過タイミング) を予測する。

具体的には、離脱降下制御装置は、軌道離脱衛星 1 0 3 が飛翔する軌道面の軌道高度に基づいて、軌道離脱衛星 1 0 3 が第 2 軌道高度帯に到達するまでの時間 (到達時間) と、第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 が到達時間の中に経度方向に公転する角度 (公転角度) と、を予測する。さらに、離脱降下制御装置は、到達時間と公転角度とに基づいて、通過タイミングを予測する。

そして、離脱降下制御装置は、通過タイミングに合わせて推進装置 1 1 1 を動作させることによって、軌道離脱衛星 1 0 3 に空き軌道領域を通過させる。

30

予測誤差に伴い通過タイミングが予測から相違する場合、離脱降下制御装置は、推進装置 1 1 1 を動作させることによって軌道降下速度を制御する。

離脱降下制御装置は、軌道上で自律的に制御を実施してもよいし、地上設備 1 2 0 からのコマンドに従って制御を実施してもよい。

【 0 0 3 1 】

第 1 衛星コンステレーション 1 0 1 と第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 が互いに異なる事業者によって運用される場合、第 1 衛星コンステレーション 1 0 1 の事業者と第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 の事業者が情報を共有すればよい。

例えば、第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 の事業者が、空き軌道領域の情報を第 1 衛星コンステレーション 1 0 1 の事業者に提供する。

40

共有される情報は、衛星間通信または地上設備 1 2 0 からの送信によって各人工衛星 1 1 0 に伝達することができる。

【 0 0 3 2 】

*** 実施の形態 1 の効果 ***

実施の形態 1 は、高高度の軌道離脱衛星が安全に軌道降下して低高度のメガコンステレーション衛星群の軌道高度を通過する衛星コンステレーション維持方法を提供する。

【 0 0 3 3 】

通常、公称軌道高度で連携してサービスを運用する衛星群を複数保有する衛星メガコンステレーションでは、軌道傾斜角が類似の傾斜軌道を採用する。そして、類似傾斜軌道角

50

の衛星が衛星群の高度帯を通過する際に軌道面の空き領域を通過すれば、衝突が回避される。

法線ベクトルが異なる軌道面同士の交線上では、他の軌道面の衛星との衝突のリスクが残る。しかし、第二のメガコンステレーションの仮定の軌道面に仮定の衛星群が飛翔する前提で、他の軌道面の衛星との衝突が回避される。つまり、第二のメガコンステレーションの衛星群が第二のメガコンステレーション内での衝突を回避する運用を継続するよう軌道面の空きが設定され、仮定の衛星が通過するタイミングで軌道降下衛星が通過することにより、他の軌道面の衛星との衝突が回避される。

軌道高度が異なる複数の衛星メガコンステレーションが同一事業者によって管理されるのであれば、高高度の軌道離脱衛星の軌道情報と低高度メガコンステレーション衛星群軌道高度の空き軌道領域が予め把握される。そのため、安全な軌道離脱を計画的に実施することが可能である。

10

軌道高度が異なる複数の生成メガコンステレーションが複数の事業者によって管理される場合、第二の衛星メガコンステレーションの管理事業者が第一の衛星メガコンステレーションの管理事業者と情報共有した上で、軌道降下衛星が空き軌道領域を通過することにより、他の軌道面の衛星との衝突が回避される。また、ランダムな軌道面のランダムな位置で軌道降下衛星が衝突するリスクが減り、危険警報が発令される頻度も減る。そのため、第二の衛星メガコンステレーションは、サービス運用を中断して危険回避行動をとる必要がなくなる、という効果が得られる。

【 0 0 3 4 】

20

ある企業は、340キロメートル近傍の3つの軌道高度のそれぞれに約2500機のメガコンステレーション衛星群を整備し、更に550キロメートルの軌道高度と1050キロメートルの軌道高度のそれぞれに数千機のメガコンステレーション衛星群を整備する、という計画を持っている。

この計画では、550キロメートルまたは1050キロメートルの軌道高度の衛星が軌道降下して340キロメートル近傍の3つの軌道高度を通過する際の衝突を回避する必要がある。また、340キロメートル近傍の高度帯においても、高い高度の衛星が低い高度の衛星群と衝突せずに軌道降下する必要がある。

これらのメガコンステレーション衛星群は、軌道傾斜角が類似する傾斜軌道を採用している。

30

このような衛星コンステレーションシステムに対して実施の形態1の衛星コンステレーション維持方法は、類似傾斜軌道角で衛星が衛星群の高度帯を通過する際に軌道面の空き領域を通過して衝突が回避される、という効果を奏する。

【 0 0 3 5 】

実施の形態1は、好ましい形態の例示であり、本開示の技術的範囲を制限することを意図するものではない。実施の形態1は、部分的に実施してもよいし、他の形態と組み合わせて実施してもよい。

【 0 0 3 6 】

実施の形態2 .

人工衛星210が各人工衛星110に対するコマンドを生成して送信する形態について、主に実施の形態1と異なる点を図6および図7に基づいて説明する。

40

【 0 0 3 7 】

*** 構成の説明 ***

図6に基づいて、衛星コンステレーションシステム100の構成を説明する。

衛星コンステレーションシステム100は、人工衛星210を備える。

人工衛星210は、第1衛星コンステレーション101に属する人工衛星110、第2衛星コンステレーション102に属する人工衛星110、または、その他の人工衛星である。例えば、人工衛星210は、軌道離脱衛星103または後続衛星である。

第1衛星コンステレーション101に属する人工衛星110と第2衛星コンステレーション102に属する人工衛星110のそれぞれが、人工衛星210であってもよい。

50

【 0 0 3 8 】

図 7 に基づいて、人工衛星 2 1 0 の構成を説明する。

人工衛星 2 1 0 は、推進装置 2 1 1 と、姿勢制御装置 2 1 2 と、衛星制御装置 2 1 3 と、通信システム 2 1 4 と、エッジサーバ 2 1 5 と、計算機 2 1 6 と、を備える。

【 0 0 3 9 】

推進装置 2 1 1 は、推進装置 1 1 1 に相当する。

姿勢制御装置 2 1 2 は、姿勢制御装置 1 1 2 に相当する。

衛星制御装置 2 1 3 は、衛星制御装置 1 1 3 に相当する。

通信システム 2 1 4 は、通信システム 1 1 4 に相当する。つまり、通信システム 2 1 4 は、対衛星通信装置と対地上通信装置といった通信装置を備える。

10

【 0 0 4 0 】

エッジサーバ 2 1 5 は、処理回路、入出力インタフェースおよびデータベースを備えるコンピュータである。

データベースには、第 1 衛星コンステレーション 1 0 1 に属する人工衛星 1 1 0 と第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 に属する人工衛星 1 1 0 のそれぞれの軌道情報が記録されている。

【 0 0 4 1 】

計算機 2 1 6 は、処理回路およびデータベースを備えるコンピュータである。

【 0 0 4 2 】

*** 動作の説明 ***

20

計算機 2 1 6 は、エッジサーバ 2 1 5 のデータベースを参照して、任意の人工衛星 1 1 0 を制御するためのコマンドを、人工知能 (A I) を使って生成する。任意の人工衛星 1 1 0 が、自己の人工衛星 1 1 0 であってもよい。

通信システム 2 1 4 は、生成されたコマンドを各人工衛星 1 1 0 に対して送信する。コマンドは、送信先の人工衛星 1 1 0 へ直接に送信されてもよいし、他の人工衛星 1 1 0 または地上設備 1 2 0 を経由して送信先の人工衛星 1 1 0 へ送信されてもよい。

【 0 0 4 3 】

以下のようなコマンドが生成され送信される。

計算機 2 1 6 は、第 2 軌道高度帯に空き軌道領域を確保するために、第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 の各人工衛星 1 1 0 を制御するためのコマンドを生成する。

30

通信システム 2 1 4 は、生成されたコマンドを第 2 衛星コンステレーション 1 0 2 の各人工衛星 1 1 0 に対して送信する。

【 0 0 4 4 】

計算機 2 1 6 は、軌道離脱衛星 1 0 3 を第 1 軌道高度帯の軌道から離脱させ第 2 軌道高度帯の空き領域を通過させるために、軌道離脱衛星 1 0 3 を制御するためのコマンドを生成する。

通信システム 2 1 4 は、生成されたコマンドを軌道離脱衛星 1 0 3 に対して送信する。

【 0 0 4 5 】

計算機 2 1 6 は、後続衛星を第 1 軌道高度帯の軌道に投入するために、後続衛星を制御するためのコマンドを生成する。

40

通信システム 2 1 4 は、生成されたコマンドを後続衛星に対して送信する。

【 0 0 4 6 】

*** 実施の形態 2 の効果 ***

人工衛星 2 1 0 は、衛星コンステレーション維持方法を実現するために、エッジサーバ 2 1 5 と A I を具備する。

衛星コンステレーションを構成する人工衛星 1 1 0 の軌道情報がエッジサーバ 2 1 5 に格納されることで、オンボードで軌道情報の更新が可能となる。

【 0 0 4 7 】

欠落軌道位置に予備衛星を軌道投入する場合、軌道投入途中の過程で不慮の衝突事故が発生しないようにするために、過去の投入経験に基づき、安全な制御コマンドを生成する

50

必要がある。このため、A Iにより、過去に成功した軌道投入のためのコマンドを機械学習する。これにより、安全な軌道投入が実現される。また、コマンド生成の自律化により、地上運用作業が省力化される。

【 0 0 4 8 】

実施の形態2の補足

分散型アーキテクチャを実現する手法として、I o T側にエッジサーバを配置するエッジコンピューティングが着目されている。I o TはI n t e r n e t o f T h i n g sの略称である。

従来のI o Tでは、センサで収集したデータがインターネット経由でクラウドへ送信されデータ分析が行われる中央集中型の仕組みが一般的であった。

これに対し、エッジコンピューティングでは、デバイス本体で、もしくはデバイスとクラウドの間に設置されたエッジサーバで、分散してデータ処理を行う仕組みがとられる。これにより、リアルタイムかつ低負荷なデータ処理が実現される。

また、情報社会の高度化および情報量の増大に伴い、消費電力対策と排熱対策が課題となっている。特に、中央集中型の仕組みではスーパーコンピュータ及び大規模データセンタのための対策が深刻な課題になっている。

一方、宇宙空間では、放射冷却により、深宇宙への排熱が可能である。そのため、次のような仕組みが合理的である。衛星をI o Tにおけるデバイスと見立てて、衛星コンステレーション側にエッジサーバを配置する。そして、軌道上で分散コンピューティング処理をした後に、必要データのみを地上に伝送する。

【 0 0 4 9 】

人工知能(A I)は、自己軌道面と各相手軌道面の過去の交点に基づいて、交点の偏差(例えば最大偏差)を機械学習する。そして、計算機216は、機械学習後の人工知能によって、衝突リスクを検出する。具体的には、計算機216は、自己衛星が交点を通過する将来時刻に交点を中心にして偏差の範囲内を通過する相手衛星が存在することを検出する。

【 0 0 5 0 】

エッジサーバ215とA Iを具備する人工衛星210は、1機でもよいし、2機以上でもよい。全衛星が人工衛星210であってもよい。通信回線を使って全衛星の情報が共有され共通のアルゴリズムで解析が行われることで、複数の衛星が個別に自律的な判断をしながら相互連携することが可能である。

エッジサーバ215とA Iを具備する人工衛星210は、自律的に自衛星に対するコマンドを生成して実行してもよい。

衛星機能を発揮しない衛星は地上設備120で識別され地上設備120から識別情報が送信されてもよい。テレメトリ情報により、軌道上で異常が検知されてもよい。

【 0 0 5 1 】

実施の形態2のまとめ

メガコンステレーションの規模は総機数5万機に及ぶ勢いで増大している。そのため、世代交代に伴ってデオービットする衛星がメガコンステレーションの軌道高度を他の衛星と衝突せずに通過する方法の確立が急務である。

実施の形態2では、次のような軌道離脱降下制御が実施される。軌道離脱降下制御によって、低高度メガコンステレーションが空き軌道領域を確保し、高高度メガコンステレーションの軌道離脱衛星が空き軌道領域を通過する。そのために、人工衛星が、宇宙でのA I利用により、軌道離脱衛星と定常運用衛星にコマンドを自律的に送信する。

【 0 0 5 2 】

人工衛星は、エッジサーバとA I計算機を具備する。

エッジサーバには、衛星コンステレーション(特に第2衛星コンステレーション)を構成する衛星(自衛星を含む)の軌道情報を記録したデータベースが格納される。

A I計算機は、エッジサーバのデータベースを参照して、衛星コンステレーションを構成する任意の衛星を制御するコマンドを生成する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

人工衛星は、エッジサーバと A I 計算機を使って以下のように動作する。

人工衛星は、第 2 軌道高度帯に空き軌道領域を確保するためのコマンドを生成し、生成したコマンドを第 2 衛星コンステレーションの人工衛星に対して送信する。

【 0 0 5 4 】

人工衛星は、軌道離脱のためのコマンドを生成し、生成したコマンドを軌道離脱衛星に対して送信する。

【 0 0 5 5 】

人工衛星は、後続衛星を第 1 軌道高度帯の軌道に投入するためのコマンドを生成し、生成したコマンドを後続衛星に対して送信する。

10

【 0 0 5 6 】

人工衛星は、第 2 衛星コンステレーションを構成し、第 2 軌道高度帯に空き軌道領域を確保する。

【 0 0 5 7 】

人工衛星は、軌道離脱衛星であり、第 2 軌道高度帯に空き軌道領域を自律的に確保する。

【 0 0 5 8 】

人工衛星は、後続衛星であり、第 2 軌道高度帯に空き軌道領域を確保する。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 9 】

1 0 0 衛星コンステレーションシステム、 1 0 1 第 1 衛星コンステレーション、 1 0 2 第 2 衛星コンステレーション、 1 0 3 軌道離脱衛星、 1 0 4 第 1 軌道面、 1 0 5 第 2 軌道面、 1 1 0 人工衛星、 1 1 1 推進装置、 1 1 2 姿勢制御装置、 1 1 3 衛星制御装置、 1 1 4 通信システム、 1 2 0 地上設備、 1 2 1 衛星管制装置、 1 2 2 通信装置、 2 1 0 人工衛星、 2 1 1 推進装置、 2 1 2 姿勢制御装置、 2 1 3 衛星制御装置、 2 1 4 通信システム、 2 1 5 エッジサーバ、 2 1 6 計算機。

20

30

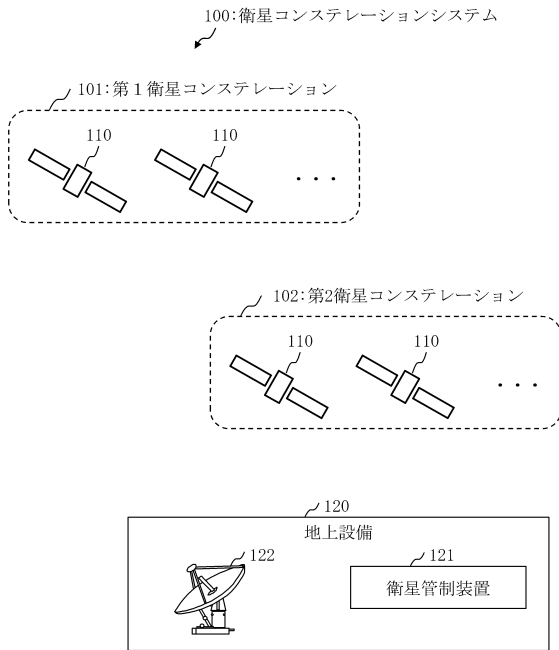
40

50

【図面】

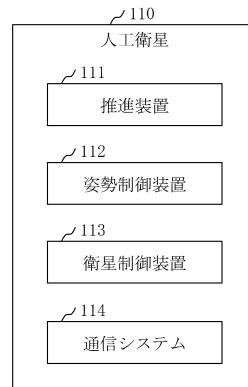
【図 1】

図1



【図 2】

図2

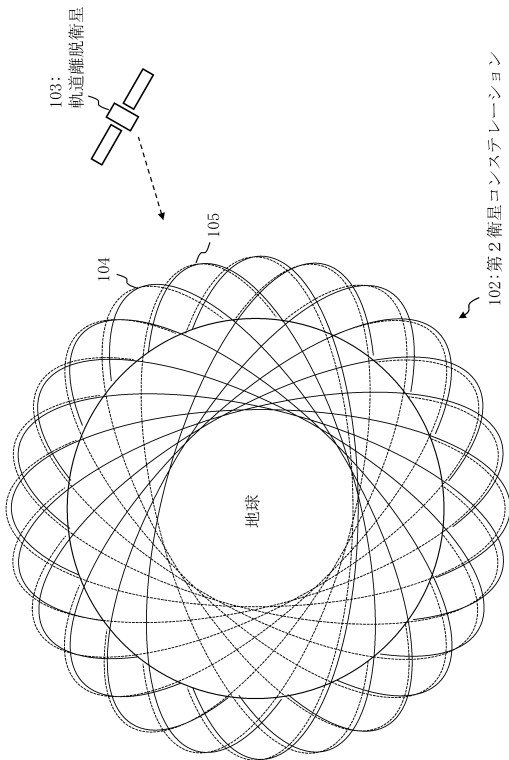


10

20

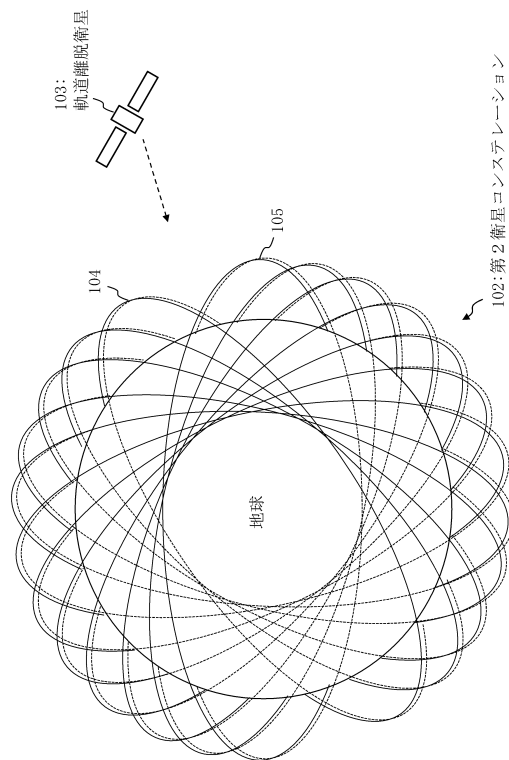
【図 3】

図3



【図 4】

図4



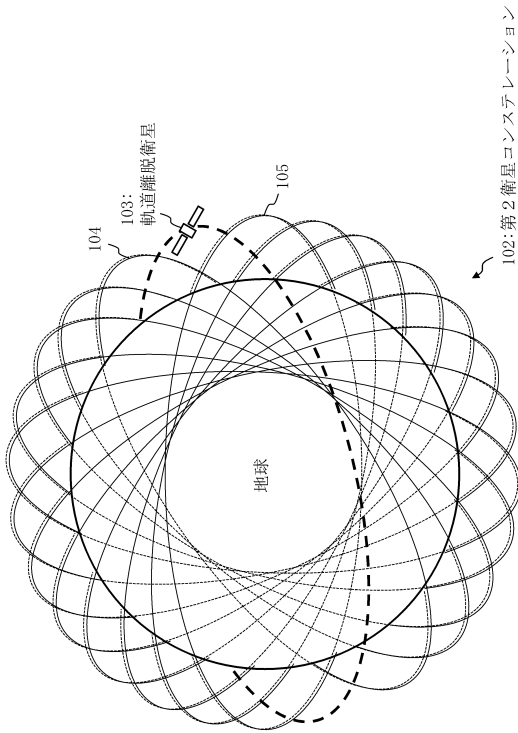
30

40

50

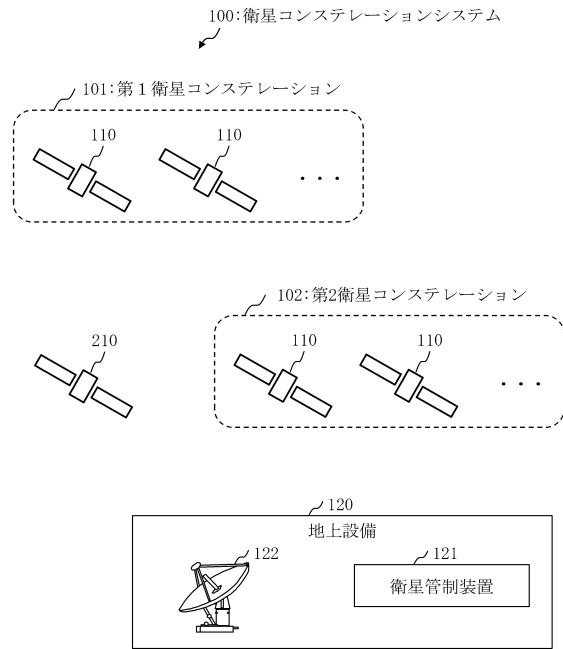
【図5】

図5



【図6】

図6

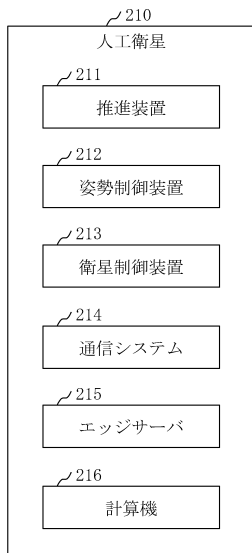


10

20

【図7】

図7



30

40

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 2 1 - 0 4 9 9 0 7 (J P , A)
国際公開第 2 0 2 0 / 1 5 8 0 0 1 (W O , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
B 6 4 G 1 / 1 0