

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6102597号
(P6102597)

(45) 発行日 平成29年3月29日 (2017.3.29)

(24) 登録日 平成29年3月10日 (2017.3.10)

(51) Int. Cl.

F I

B 6 4 G 3/00 (2006.01)
H 0 4 B 7/155 (2006.01)**B 6 4 G** 3/00
H 0 4 B 7/155

請求項の数 6 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2013-150222 (P2013-150222)
(22) 出願日 平成25年7月19日 (2013.7.19)
(65) 公開番号 特開2015-20591 (P2015-20591A)
(43) 公開日 平成27年2月2日 (2015.2.2)
審査請求日 平成28年4月5日 (2016.4.5)(73) 特許権者 000005223
富士通株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号
(74) 代理人 100074099
弁理士 大菅 義之
(74) 代理人 100133570
弁理士 ▲徳▼永 民雄
(72) 発明者 青木 尋子
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
審査官 前原 義明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 情報処理装置、プログラム、及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の衛星の時々刻々の予測位置及び速度を含む第1の衛星軌道暦から前記第1の衛星の所定時刻における第1の予測位置及び第1の速度を取得し、該第1の速度を用いて前記第1の衛星の進行方向の前記第1の予測位置の予測誤差を第1の時刻誤差に換算し、

第2の衛星の時々刻々の予測位置及び速度を含む第2の衛星軌道暦から前記第2の衛星の前記所定時刻における第2の予測位置及び第2の速度を取得し、該第2の速度を用いて前記第2の衛星の進行方向の前記第2の予測位置の予測誤差を第2の時刻誤差に換算し、

前記所定時刻より前記第1の時刻誤差分前の予測位置及び前記所定時刻より前記第1の時刻誤差分後の予測位置を前記第1の衛星軌道暦から取得し、前記所定時刻より前記第2の時刻誤差分前の予測位置及び前記所定時刻より前記第2の時刻誤差分後の予測位置を前記第2の衛星軌道暦から取得し、

地上局から、前記第1の予測位置を見た第1の視線ベクトル、前記第1の時刻誤差分前の予測位置を見た第2の視線ベクトル、前記第1の時刻誤差分後の予測位置を見た第3の視線ベクトル、前記第2の予測位置を見た第4の視線ベクトル、前記第2の時刻誤差分前の予測位置を見た第5の視線ベクトル、及び前記第2の時刻誤差分後の予測位置を見た第6の視線ベクトルを用いて、前記地上局と前記第1の衛星との前記所定時刻の通信において電波の干渉が生じる可能性のある位置に前記第2の衛星が存在するか否かを判定する、処理をコンピュータに実行させるプログラム。

【請求項 2】

10

20

前記判定は、前記第 1 の視線ベクトルと前記第 2 の視線ベクトルとが成す第 1 の角度、前記第 1 の視線ベクトルと前記第 3 の視線ベクトルとが成す第 2 の角度、前記第 4 の視線ベクトルと前記第 5 の視線ベクトルとが成す第 3 の角度、及び前記第 4 の視線ベクトルと前記第 6 の視線ベクトルとが成す第 4 の角度がいずれも所定の閾値以下である場合に、前記第 1 から第 3 の視線ベクトルのそれぞれと、前記第 4 から前記第 6 の視線ベクトルのそれぞれとが成す角度を計算し、得られた角度のうち 1 つでも前記所定の閾値以下であれば、電波の干渉が生じる可能性のある位置に前記第 2 の衛星が存在すると判定する、請求項 1 に記載のプログラム。

【請求項 3】

前記判定は、前記第 1 の視線ベクトルと前記第 2 の視線ベクトルとが成す第 1 の角度、前記第 1 の視線ベクトルと前記第 3 の視線ベクトルとが成す第 2 の角度、前記第 4 の視線ベクトルと前記第 5 の視線ベクトルとが成す第 3 の角度、及び前記第 4 の視線ベクトルと前記第 6 の視線ベクトルとが成す第 4 の角度のいずれかが所定の閾値よりも大きい場合に、前記第 2 の視線ベクトルの終点と前記第 3 の視線ベクトルの終点とが成す線分から、前記第 1 の衛星の前記進行方向に対して前後に前記所定の閾値の範囲をとり、且つ、前記第 2 の視線ベクトルと前記第 3 の視線ベクトルとが成す面に垂直な方向に前記所定の閾値の範囲をとることで形成される矩形領域の辺のうち前記進行方向に沿った 2 辺の線分のいずれかと、前記第 5 の視線ベクトルの終点と前記第 6 の視線ベクトルの終点とが成す線分が交差するか否かを判定し、交差する場合に、電波の干渉が生じる可能性のある位置に前記第 2 の衛星が存在すると判定する、請求項 1 又は 2 に記載のプログラム。

【請求項 4】

前記判定は、前記第 1 の視線ベクトルと前記第 2 の視線ベクトルとが成す第 1 の角度、前記第 1 の視線ベクトルと前記第 3 の視線ベクトルとが成す第 2 の角度、前記第 4 の視線ベクトルと前記第 5 の視線ベクトルとが成す第 3 の角度、及び前記第 4 の視線ベクトルと前記第 6 の視線ベクトルとが成す第 4 の角度のいずれかが所定の閾値よりも大きい場合に、前記第 2 の視線ベクトルの終点と前記第 3 の視線ベクトルの終点とが成す線分から、前記第 1 の衛星の前記進行方向に対して前後に前記所定の閾値の範囲をとり、且つ、前記第 2 の視線ベクトルと前記第 3 の視線ベクトルとが成す面に垂直な方向に前記所定の閾値の範囲をとることで形成される矩形領域に、前記第 4 の視線ベクトル、前記第 5 の視線ベクトル、及び前記第 6 の視線ベクトルのいずれかが包含されるか否かを判定し、包含される場合に、電波の干渉が生じる可能性のある位置に前記第 2 の衛星が存在すると判定する、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載のプログラム。

【請求項 5】

第 1 の衛星の時々刻々の予測位置及び速度を含む第 1 の衛星軌道暦から前記第 1 の衛星の所定時刻における第 1 の予測位置及び第 1 の速度を取得し、該第 1 の速度を用いて前記第 1 の衛星の進行方向の前記第 1 の予測位置の予測誤差を第 1 の時刻誤差に換算し、

第 2 の衛星の時々刻々の予測位置及び速度を含む第 2 の衛星軌道暦から前記第 2 の衛星の前記所定時刻における第 2 の予測位置及び第 2 の速度を取得し、該第 2 の速度を用いて前記第 2 の衛星の進行方向の前記第 2 の予測位置の予測誤差を第 2 の時刻誤差に換算する、

換算部と、

前記所定時刻より前記第 1 の時刻誤差分前の予測位置及び前記所定時刻より前記第 1 の時刻誤差分後の予測位置を前記第 1 の衛星軌道暦から取得し、前記所定時刻より前記第 2 の時刻誤差分前の予測位置及び前記所定時刻より前記第 2 の時刻誤差分後の予測位置を前記第 2 の衛星軌道暦から取得する取得部と、

地上局から、前記第 1 の予測位置を見た第 1 の視線ベクトル、前記第 1 の時刻誤差分前の予測位置を見た第 2 の視線ベクトル、前記第 1 の時刻誤差分後の予測位置を見た第 3 の視線ベクトル、前記第 2 の予測位置を見た第 4 の視線ベクトル、前記第 2 の時刻誤差分前の予測位置を見た第 5 の視線ベクトル、及び前記第 2 の時刻誤差分後の予測位置を見た第 6 の視線ベクトルを用いて、前記地上局と前記第 1 の衛星との前記所定時刻の通信におい

10

20

30

40

50

て電波の干渉が生じる可能性のある位置に前記第 2 の衛星が存在するか否かを判定する判定部と、
を含む、情報処理装置。

【請求項 6】

第 1 の衛星の時々刻々の予測位置及び速度を含む第 1 の衛星軌道暦から前記第 1 の衛星の所定時刻における第 1 の予測位置及び第 1 の速度を取得し、該第 1 の速度を用いて前記第 1 の衛星の進行方向の前記第 1 の予測位置の予測誤差を第 1 の時刻誤差に換算する工程と、

第 2 の衛星の時々刻々の予測位置及び速度を含む第 2 の衛星軌道暦から前記第 2 の衛星の前記所定時刻における第 2 の予測位置及び第 2 の速度を取得し、該第 2 の速度を用いて前記第 2 の衛星の進行方向の前記第 2 の予測位置の予測誤差を第 2 の時刻誤差に換算する工程と、

前記所定時刻より前記第 1 の時刻誤差分前の予測位置及び前記所定時刻より前記第 1 の時刻誤差分後の予測位置を前記第 1 の衛星軌道暦から取得し、前記所定時刻より前記第 2 の時刻誤差分前の予測位置及び前記所定時刻より前記第 2 の時刻誤差分後の予測位置を前記第 2 の衛星軌道暦から取得する工程と、

地上局から、前記第 1 の予測位置を見た第 1 の視線ベクトル、前記第 1 の時刻誤差分前の予測位置を見た第 2 の視線ベクトル、前記第 1 の時刻誤差分後の予測位置を見た第 3 の視線ベクトル、前記第 2 の予測位置を見た第 4 の視線ベクトル、前記第 2 の時刻誤差分前の予測位置を見た第 5 の視線ベクトル、及び前記第 2 の時刻誤差分後の予測位置を見た第 6 の視線ベクトルを用いて、前記地上局と前記第 1 の衛星との前記所定時刻の通信において電波の干渉が生じる可能性のある位置に前記第 2 の衛星が存在するか否かを判定する工程と、

を含む、コンピュータが実行する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、情報処理装置、プログラム、及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

人工衛星は限られた周波数帯域の電波を使用して地上局のアンテナと通信を行う。そのため、通信をする際に、近い周波数を使用している 2 つの衛星が地上局から見て近接した方向に存在していると、双方の電波が干渉する現象が発生する。図 1 は、地上局から見て、電波の干渉が発生するほど 2 つの衛星が近接した方向に存在する場合を例示する図である。図示されるように、衛星 A と衛星 B はいずれも、地上局 1 のアンテナからのビーム幅内に存在している。この様な状況では、例えば、地上局 1 からのアップリンクが衛星 B に干渉してしまうことがある。或いは、衛星 B からのダウンリンクが地上局 1 に干渉してしまうことがある。

【0003】

そのため、地上局から見て 2 つの衛星が近接方向にあるかを衛星の予測軌道に基づいて判定することで、電波干渉が生じる可能性を判定し、電波干渉が生じる可能性がある場合には、優先度の低い衛星の電波を止めるなど電波の干渉を回避することが行われている。

【0004】

これに関し、複数の衛星によるスペクトルの再使用によってキャパシティを増大させるための、衛星通信システムが知られている。また、宇宙機の軌道を、簡易な設備で高精度に求めることができるようにする技術が知られている。（例えば、特許文献 1 及び特許文献 2 参照）

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】特表 2 0 0 9 - 5 1 7 9 7 3 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 7 - 2 5 6 0 0 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

上述のように、地上局から見て 2 つの衛星が近接方向にある場合に、電波干渉が発生し得る。そのため、地上局から見て 2 つの衛星が近接方向にあるかを、衛星の予測軌道に基づいて判定することが行われている。ここで、衛星 2 の軌道の予測には実際には誤差があり、特に電波の干渉が頻繁に発生する中高度の衛星では無視できない大きさの予測誤差が生じる。そのため、地上局から見て 2 つの衛星が近接方向にあるかを判定する場合、軌道の予測誤差も考慮しなければならない。軌道の予測誤差は、主には衛星の進行方向に生じる。しかしながら、地上局から見て 2 つの衛星が近接方向にあるかの判定に、衛星の進行方向の予測誤差を簡便に反映させることのできる手法は無かった。1 つの側面では、本発明は、地上局から見て 2 つの衛星が近接方向にあるかの判定に、衛星の進行方向の予測誤差を簡便に反映させることのできる手法を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明の一つの態様のプログラムは、コンピュータに第 1 の衛星の時々刻々の予測位置及び速度を含む第 1 の衛星軌道暦から第 1 の衛星の所定時刻における第 1 の予測位置及び第 1 の速度を取得する処理を実行させる。また、第 1 の速度を用いて第 1 の衛星の進行方向の第 1 の予測位置の予測誤差を第 1 の時刻誤差に換算する処理を実行させる。第 2 の衛星の時々刻々の予測位置及び速度を含む第 2 の衛星軌道暦から第 2 の衛星の所定時刻における第 2 の予測位置及び第 2 の速度を取得する処理を実行させる。第 2 の速度を用いて第 2 の衛星の進行方向の第 2 の予測位置の予測誤差を第 2 の時刻誤差に換算する処理を実行させる。所定時刻より第 1 の時刻誤差分前の予測位置及び所定時刻より第 1 の時刻誤差分後の予測位置を第 1 の衛星軌道暦から取得する処理を実行させる。所定時刻より第 2 の時刻誤差分前の予測位置及び所定時刻より第 2 の時刻誤差分後の予測位置を第 2 の衛星軌道暦から取得する処理を実行させる。また、以下の第 1 の視線ベクトルから第 6 の視線ベクトルを用いて、地上局と第 1 の衛星との所定の時刻の通信において電波の干渉が生じる可能性のある位置に第 2 の衛星が存在するか否かを判定する処理を実行させる。ここで、第 1 の視線ベクトルは、地上局から、第 1 の予測位置を見たベクトルである。第 2 の視線ベクトルは、地上局から第 1 の時刻誤差分前の予測位置を見たベクトルである。第 3 の視線ベクトルは、地上局から第 1 の時刻誤差分後の予測位置を見たベクトルである。第 4 の視線ベクトルは、地上局から第 2 の予測位置を見たベクトルである。第 5 の視線ベクトルは、地上局から第 2 の時刻誤差分前の予測位置を見たベクトルである。第 6 の視線ベクトルは、第 2 の時刻誤差分後の予測位置を見たベクトルである。

20

30

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

地上局から見て 2 つの衛星が近接方向にあるかの判定に、衛星の進行方向の予測誤差を簡便に反映させることのできる手法を提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】電波の干渉が発生するほど 2 つの衛星が近接した方向に存在する場合を例示する図である。

【図 2】地上局を基準とした衛星の視線方向ベクトルを例示する図である。

【図 3】A Z - E L 座標のグラフを例示する図である。

【図 4】地上局から見た 2 つの衛星の軌道を例示する図である。

【図 5】視線方向ベクトルについて説明する図である。

【図 6】はさみ角に対する閾値と、電波干渉の判定の一例を示す図である。

50

【図 7】一実施形態に係る衛星軌道暦を例示する図である。

【図 8】進行方向の予測誤差 L と、時刻誤差 T との関係を例示する図である。

【図 9】視線方向単位ベクトルと進行方向の予測誤差について説明する図である。

【図 10】予測誤差がいずれも小さい場合の実施形態に係る電波干渉の判定を例示する図である。

【図 11】予測誤差が大きい場合の例を示す図である。

【図 12】予測誤差が大きい場合の別の例を示す図である。

【図 13】衛星の進行方向における位置の予測誤差の範囲を表す線分を例示する図である。

【図 14】衛星の干渉領域を例示する図である。

10

【図 15】予測誤差が大きい場合の実施形態に係る電波干渉の判定の例を示す図である。

【図 16】予測誤差が大きい場合の実施形態に係る電波干渉の判定の別の例を示す図である。

【図 17】視線方向単位ベクトルを用いて定義される座標系 $X Y Z_s$ を説明する図である。

【図 18】2つの単位ベクトルペアの成す線分の交差判定について説明する図である。

【図 19】干渉領域内の視線方向ベクトルの包含判定について説明する図である。

【図 20】干渉領域内の視線方向ベクトルの包含判定について説明する図である。

【図 21】実施形態に係る情報処理装置の機能ブロック構成を例示する図である。

【図 22 A】情報処理装置の制御部によって実行される時刻 T における電波干渉判定処理を例示する図である。

20

【図 22 B】情報処理装置の制御部によって実行される時刻 T における電波干渉判定処理を例示する図である。

【図 23】実施形態に係る情報処理装置を実現するためのコンピュータのハードウェア構成を例示する図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、図面を参照しながら、本発明のいくつかの実施形態について詳細に説明する。なお、複数の図面において対応する要素には同一の符号を付した。

【0011】

30

まず、衛星の予測誤差を考慮して、地上局から見て2つの衛星が近接方向にあるかを判定し、それにより電波干渉が生じる可能性を判定する手法の一例を説明する。なお、一般に、特定の期間における衛星の衛星軌道暦（例えば、衛星の軌道の時々刻々の位置情報及び速度情報）は事前に計算することが可能であり、予め2つの衛星の予測軌道は与えられているものとする。また、所定の時刻における地上局1の位置ベクトルは計算することが可能な値である。

【0012】

この電波干渉の判定手法の一例では、まず、地上局1から見た衛星の方向ベクトルである視線方向ベクトルを計算する。図2は、地上局1を基準とした衛星2の視線方向ベクトルを例示する図である。通常、視線方向ベクトルは図2に示すように地上局1を基準とした方位角（ AZ : Azimuth）、仰角（ EL : Elevation）で表現される。図3は、地上局1を基準とした方位角と仰角を用いた衛星2の視線方向の軌道の軌跡を表す $AZ - EL$ 座標のグラフを例示する図である。この様な図2及び図3に例示した2つの表現を用いて、衛星2の軌道の予測誤差を考慮した、電波干渉の判定手法の一例を説明する。

40

【0013】

図4は、地上局1から見た2つの衛星2（例えば、衛星A、及び衛星B）の軌道を例示する図である。衛星2の軌道の予測誤差を考慮した、電波干渉の判定手法の一例では、まず、2つの衛星2（例えば、衛星A、及び衛星B）の視線方向ベクトルを計算する。図5は、視線方向ベクトルについて説明する図である。例えば、電波干渉の有無を調べたい時刻における衛星Aの地心からの位置ベクトルを R_a とする。また、電波干渉の有無を調べ

50

たい時刻における地心からの地上局 1 の位置ベクトルを S とする。この場合に、電波干渉の有無を調べたい時刻における衛星 A の視線方向ベクトル： a は、例えば、以下の式 1 で計算できる。

$$a = R a - S \quad \cdots \text{式 1}$$

【 0 0 1 4 】

ここで、衛星 A の位置ベクトル： $R a$ は、予め計算することが可能であり、例えば、事前に計算された衛星軌道暦から取得可能である。また、地上局 1 の位置ベクトル： S も計算することが可能な値である。そのため、電波干渉の有無を調べたい時刻における衛星 A の視線方向ベクトル： a も算出できる。

【 0 0 1 5 】

衛星 B の視線方向ベクトルについても同様に、例えば、電波干渉の有無を調べたい時刻における衛星 B の位置ベクトルを $R b$ とする。また、地上局 1 の位置ベクトルを S とする。この場合に、電波干渉の有無を調べたい時刻における衛星 B の視線方向ベクトルは、例えば、以下の式 2 で計算できる。

$$b = R b - S \quad \cdots \text{式 2}$$

【 0 0 1 6 】

ここで、衛星 B の位置ベクトル： $R b$ は、予め計算することが可能であり、例えば、事前に計算された衛星軌道暦から取得可能である。また、地上局 1 の位置ベクトル： S も計算することが可能な値である。そのため、電波干渉の有無を調べたい時刻における衛星 B の視線方向ベクトル： b も算出できる。

【 0 0 1 7 】

続いて、衛星 A の視線方向ベクトル： a 、及び衛星 B の視線方向ベクトル： b の 2 つのベクトルの成す角度を計算する。なお、この 2 つの衛星 2（例えば衛星 A 及び衛星 B）の視線方向ベクトルの成す角度を“はさみ角”と呼ぶ。衛星 2 の軌道の予測誤差を考慮した、電波干渉の判定手法の一例では、はさみ角が所定の閾値以下になる場合に、干渉ありと判断する。

【 0 0 1 8 】

ここで判定に用いる所定の閾値の値は、例えば、衛星 2 の軌道を正確に予測できる場合には、地上局 1 のアンテナのビーム幅等の電波特性によって決められてもよい。即ち、所定の閾値を、例えば、地上局 1 のアンテナのビーム幅等に設定し、はさみ角がビーム幅よりも広ければ電波干渉が発生しないと判定してもよい。しかしながら、実際には、衛星 2 の軌道の予測には誤差が生じる。特に、高度数 1 0 0 k m ~ 1 0 0 0 k m の中高度衛星では大気抵抗などの影響で、軌道の予測に無視できない予測誤差が生じてしまう。そのため、電波干渉の発生の有無の判定では、軌道の予測誤差を考慮しなければならない。電波干渉の判定において予測誤差を反映させる手法の一例として、はさみ角に対する所定の閾値に予測誤差の分をマージンとして上乗せすることが考えられる。

【 0 0 1 9 】

図 6 は、はさみ角に対する所定の閾値に予測誤差の分をマージンとして上乗せする場合の電波干渉の判定を例示する図である。例えば、地上局 1 が衛星 A との通信において用いるアンテナのビーム幅を b とする。この場合に、 b は図 6 の $A Z - E L$ 座標において実線で示す円 4 0 の範囲として表される。また、図 6 には、 b に、 m の角度だけ予測誤差分のマージンをとった範囲が破線の円 4 1 で示されている。そして、はさみ角に対する所定の閾値に予測誤差の分をマージンとして上乗せすることで軌道の予測誤差を考慮する場合の電波干渉の判定では、このマージンをとった角度 ($b + m$) を所定の閾値として用いる。即ち、円 4 1 の範囲内を電波の干渉が有りと判断する領域として用い、電波干渉が生じるか否かを調べたい対象の衛星 B が円 4 1 の範囲内に入った場合に、干渉ありと判定する。このように構成することで、電波干渉の発生有無を調べたい 2 つの衛星 2（例えば、衛星 A 及び衛星 B）の軌道予測に予測誤差があったとしても、電波の干渉が生じる可能性のある場合を検知することができる。

【 0 0 2 0 】

10

20

30

40

50

しかしながら、この様に、はさみ角に予測誤差の分のマージンを上乗せする場合、軌道誤差の影響を進行方向だけではなく、その垂直方向（クロストラック方向）にも上乗せしていることになる。クロストラック方向とは、例えば衛星固定座標系における衛星の進行方向と垂直な方向である。ところが、中高度の衛星 2 では軌道の予測誤差は主に衛星 2 の進行方向に加わる。そのため、衛星 2 の進行方向に予測誤差の分のマージンを十分に取った場合には、衛星 2 の垂直方向（クロストラック方向）には過大なマージンを考慮することになる。その結果、干渉発生を過剰に判定してしまうという問題が生じる。そこで、地上局から 2 つの衛星が近接方向に見える場合に発生し得る電波干渉の有無の判定に、衛星の進行方向の予測誤差を簡便に反映させることのできる手法が望まれている。

【 0 0 2 1 】

10

実施形態に係る衛星 2 の電波干渉の判定方式では、軌道の予測誤差の進行方向成分を、電波干渉が有り判定する領域に反映し、その領域を用いて他の衛星 2 が電波干渉するかどうかを判定する。以下、図 7 から図 2 2（図 2 2 A 及び図 2 2 B）を参照して、実施形態に係る衛星 2 の電波干渉の判定を説明する。

【 0 0 2 2 】

実施形態に係る衛星 2 の電波干渉の判定では、電波干渉の発生の予測は、指定された期間について指定された時刻間隔で干渉有無を判定する。以下では任意の時刻 T において電波干渉の判定を行うことについて記述する。

【 0 0 2 3 】

まず、実施形態に係る衛星 2 の電波干渉の判定方式における、軌道の予測誤差の扱いについて説明する。上述した様に、中高度の衛星 2 では、軌道の予測誤差は主に衛星 2 の進行方向に加わる。一方、クロストラック方向の予測誤差は進行方向の誤差より小さく、また、クロストラック方向の予測誤差は、時間に依存して変化するものでもない。そのため、クロストラック方向の予測誤差については、考慮する必要がある場合はさみ角の閾値にマージンとして上乗せすればよい。即ち、考慮すべき予測誤差は進行方向の成分であることに着目する。

20

【 0 0 2 4 】

ここで、一般に、特定の期間における衛星 2 の衛星軌道暦（衛星の軌道の時々刻々の位置情報）は事前に計算することが可能である。従って、電波干渉の有無を調べたい 2 つの衛星 2（例えば衛星 A と衛星 B）の予測軌道は、例えば、予め衛星軌道暦 7 0 0 として与えられているものとする。図 7 は、一実施形態に係る衛星軌道暦 7 0 0 を例示する図である。衛星軌道暦 7 0 0 には、例えば、赤道面座標（T . O . D . : True of date）で表された衛星位置ベクトル及び速度ベクトルの時系列データが格納されており、任意時刻 T における衛星の位置及び速度の情報を取り出すことができる。

30

【 0 0 2 5 】

また、中高度の衛星 2 に着目した場合、或る時刻 T における進行方向の位置の予測誤差は次式で計算される。

$$L = L + (3n/2) \cdot a \cdot (T - T_a) + (3n/4) \cdot a \cdot d \cdot o \cdot t \cdot (T - T_a \cdot d) \quad \text{・・・式 3}$$

【 0 0 2 6 】

40

ここで、L は、進行方向位置誤差一定値である。a は、軌道長半径誤差である。T_a は、軌道長半径誤差の予測開始時刻である。a d o t は、軌道長半径変化率誤差である。T a d は、軌道長半径変化率誤差の予測開始時刻である。n は時刻 T における平均運動で、衛星 2 の位置ベクトル / 衛星 2 の速度ベクトルから計算される値である。これらのパラメータ（L、a、T_a、a d o t、T a d、及び n）は、予め計算することが可能な値である。従って、上記の式 3 により、或る時刻 T における進行方向の位置の予測誤差 L は算出可能である。

【 0 0 2 7 】

図 8 は、上記で算出した衛星 2 の進行方向の位置の予測誤差 L と、それを時刻誤差に換算した T との関係性を例示する図である。図示されるように、時刻 T における衛星の予

50

測位置から前後に L の広がりをもって進行方向の位置の予測誤差の範囲が示されている。そして、この進行方向の位置の予測誤差 L は、時刻 T における速度の大きさを V とすると、以下の式 4 により時刻誤差： T に換算できる。なお、時刻 T における速度の大きさ V は、例えば、衛星軌道暦 700 の時刻 T における速度ベクトルから取得できる。

$$T = L / V \quad \dots \text{式 4}$$

【0028】

即ち、図 8 に示すように、或る時刻における衛星 2 の位置の予測誤差の広がり範囲は、時刻 T から T 時間戻った時刻 T_1 における衛星 2 の位置から、時刻 T から T 時間進んだ時刻 T_2 における衛星 2 の位置までの範囲として捉えることができる。

$$T_1 = T - T \quad \dots \text{式 5 (式 5 - 1)}$$

$$T_2 = T + T \quad \dots \text{式 5 (式 5 - 2)}$$

【0029】

そして、衛星 2 の軌道の時々刻々の位置情報は、上述のように衛星軌道暦 700 に格納されている。そのため、衛星軌道暦 700 から、赤道面座標で表された時刻 T における衛星位置ベクトル R_0 、時刻 T_1 ($T_1 = T - T$) における衛星位置ベクトル R_1 、時刻 T_2 ($T_2 = T + T$) における衛星位置ベクトル R_2 をそれぞれ取得することができる。

【0030】

また、時刻 T における地心からの地上局 1 の位置を、赤道面座標 (T, O, D) で表した位置ベクトル： S は計算することが可能な値であり、そのベクトル S の値を取得する。そして、時刻 T において地上局 1 の位置から時刻 T における衛星 2 を見た視線方向単位ベクトル 0 、時刻 T_1 における衛星 2 を見た視線方向単位ベクトル 1 、時刻 T_2 における衛星 2 を見た視線方向単位ベクトル 2 をそれぞれ計算する。図 9 は、地上局 1 から衛星 2 を見たこれらの視線方向単位ベクトル (0 、 1 、及び 2) について説明する図である。これらの視線方向単位ベクトルは、例えば以下の式 6 (式 6 - 1 ~ 式 6 - 3) によって算出できる。

$$0 = (R_0 - S) / |R_0 - S| \quad \dots \text{式 6 (式 6 - 1)}$$

$$1 = (R_1 - S) / |R_1 - S| \quad \dots \text{式 6 (式 6 - 2)}$$

$$2 = (R_2 - S) / |R_2 - S| \quad \dots \text{式 6 (式 6 - 3)}$$

【0031】

続いて、 0 と 1 の成す角度 1 、及び 0 と 2 の成す角度 2 をそれぞれ求める。これらの視線方向単位ベクトルの成す角度は、例えば以下の式 7 (式 7 - 1 ~ 式 7 - 2) によって算出できる。

$$1 = \cos^{-1} (0 \cdot 1) \quad \dots \text{式 7 (式 7 - 1)}$$

$$2 = \cos^{-1} (0 \cdot 2) \quad \dots \text{式 7 (式 7 - 2)}$$

【0032】

従って、衛星 2 の時刻 T における進行方向の位置の予測誤差の範囲は、図 9 に示すように、衛星 2 の時刻 T における視線方向単位ベクトル 0 から ($1 + 2$) の広がりを持つことになる。

【0033】

続いて、以上の衛星 2 の位置の予測誤差を時刻誤差に換算して得られた視線方向単位ベクトル 1 、 2 と、角度 1 及び 2 とを用いた実施形態に係る電波干渉の判定方式について以下に説明する。

【0034】

以下、或る時刻 T における衛星 A 及び衛星 B が地上局 1 から見て電波干渉を起こす位置関係にあるか否かの判定を説明する。なお、以下の説明では、衛星 A に対するパラメータには“a”、衛星 B に対するパラメータには“b”の添え字 (サフィックス) を付けて表記する。まず、衛星 A 及び衛星 B のそれぞれに対して、上述の式 3 ~ 式 7 により、電波干渉の有無を調べたい時刻 T における上述の 0 、 1 、及び 2 、並びに 1 及び 2 を求める。衛星 A に対して求めた 0 、 1 、及び 2 、並びに 1 及び 2 の値を、それ

10

20

30

40

50

ぞれ“a”の添え字をつけて a_0 、 a_1 、及び a_2 、並びに a_1 及び a_2 とする。また、衛星Bに対して求めた θ_0 、 θ_1 、及び θ_2 、並びに θ_1 及び θ_2 の値を、それぞれ“b”の添え字をつけて b_0 、 b_1 、及び b_2 、並びに b_1 及び b_2 とする。

【0035】

そして、実施形態に係る電波干渉判定方式では、上記で求めた衛星Aの(a_1 、 a_2)及び衛星Bの(b_1 、 b_2)と、はさみ角に対して設定される所定の閾値との大小関係によって処理を2通りに分ける。なお、一実施形態に係る電波干渉の判定方式では、所定の閾値 c として、例えば、地上局1が衛星Aとの通信において用いるアンテナのビーム幅を用いてもよい。或いは、別の実施形態においては、このアンテナのビーム幅に、例えば、クロストラック方向の予測誤差に対応するマージンとして所定の角度 m などを上乗せした値を用いてもよい。以下では、例として、所定の閾値 c にアンテナのビーム幅を用いる場合を説明する。

10

【0036】

<ケース1>

まず、衛星Aの(a_1 、 a_2)及び衛星Bの(b_1 、 b_2)が、はさみ角の所定の閾値 c よりも小さい場合について説明する。即ち、以下の条件式1が満たされる場合について説明する。なお、所定の閾値 c は例えば、地上局1のアンテナのビーム幅、及びアンテナのビーム幅にクロストラック方向の予測誤差に対応するマージンなどを上乗せした値などであってよい。

20

a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 のいずれも c ……条件式1

【0037】

この条件式1が満たされる場合、2つの衛星(衛星A及び衛星B)の進行方向における位置の予測誤差はいずれも小さく、はさみ角の所定の閾値 c の方が大きいことを示している。図10は、2つの衛星(衛星A及び衛星B)の進行方向における位置の予測誤差がいずれも小さく、条件式1を満たす場合を例示する図である。図10において、電波干渉の有無を調べたい時刻Tにおける衛星Aの a_0 と a_1 との成す角度 a_1 は閾値 c よりも内側にあり、また、衛星Aの a_0 と a_2 との成す角度 a_2 も閾値 c よりも内側にある。衛星Bについても、電波干渉の有無を調べたい時刻Tにおける衛星Bの b_0 と b_1 との成す角度 b_1 は閾値 c よりも内側にあり、また、衛星Bの b_0 と b_2 との成す角度 a_2 も閾値 c よりも内側にある。従って、 a_1 、 a_2 、 b_1 、及び b_2 のいずれもが c 以下の角度であり、上記条件式1を満たしている。

30

【0038】

この場合に、衛星Aについて求めた視線方向単位ベクトル a_0 、 a_1 、及び a_2 と、衛星Bについて求めた視線方向単位ベクトル b_0 、 b_1 、及び b_2 とのそれぞれの組合せ9通りについてはさみ角を、以下の式8(式8-1~式8-9)で計算する。

$$\theta_{00} = \cos^{-1} (a_0 \cdot b_0) \quad \dots \text{式8 (式8-1)}$$

$$\theta_{01} = \cos^{-1} (a_0 \cdot b_1) \quad \dots \text{式8 (式8-2)}$$

$$\theta_{02} = \cos^{-1} (a_0 \cdot b_2) \quad \dots \text{式8 (式8-3)}$$

$$\theta_{10} = \cos^{-1} (a_1 \cdot b_0) \quad \dots \text{式8 (式8-4)}$$

$$\theta_{11} = \cos^{-1} (a_1 \cdot b_1) \quad \dots \text{式8 (式8-5)}$$

$$\theta_{12} = \cos^{-1} (a_1 \cdot b_2) \quad \dots \text{式8 (式8-6)}$$

$$\theta_{20} = \cos^{-1} (a_2 \cdot b_0) \quad \dots \text{式8 (式8-7)}$$

$$\theta_{21} = \cos^{-1} (a_2 \cdot b_1) \quad \dots \text{式8 (式8-8)}$$

$$\theta_{22} = \cos^{-1} (a_2 \cdot b_2) \quad \dots \text{式8 (式8-9)}$$

40

【0039】

そして、得られた θ_{00} 、 θ_{01} 、 θ_{02} 、 θ_{10} 、 θ_{11} 、 θ_{12} 、 θ_{20} 、 θ_{21} 、及び θ_{22} の9つのはさみ角のうち1つでも閾値 c 以下であれば干渉ありと判定する。

θ_{00} 、 θ_{01} 、 θ_{02} 、 θ_{10} 、 θ_{11} 、 θ_{12} 、 θ_{20} 、 θ_{21} 、及び θ_{22} のい

50

ずれかが c . . . 式 9

【 0 0 4 0 】

以上のようにして、衛星 A の (a_1 、 a_2) 及び衛星 B の (b_1 、 b_2) が、はさみ角の閾値 c よりも小さい場合において電波干渉の有無を判定することができる。この電波干渉の有無の判定方式では、衛星 2 の軌道を予測した衛星軌道暦 7 0 0 があれば、電波干渉の有無を調べたい時刻における進行方向の予測誤差の範囲を表す視線方向ベクトルを得ることができる。即ち、衛星 2 の進行方向の予測誤差を時刻に換算し、時刻誤差分ずれた位置ベクトルを衛星軌道暦 7 0 0 から読み込むことで、進行方向の予測誤差の広がりを表す誤差を考慮した視線方向ベクトル 1 及び 2 を得ることができる。そして、得られた誤差を考慮していない視線方向ベクトルと、誤差を考慮した視線方向ベクトルとから電波の干渉の有無を判定することができる。また、電波干渉の有無の判定に用いられる所定の閾値 c には、例えば、地上局 1 が衛星 A との通信において用いるアンテナのビーム幅、或いは、ビーム幅に例えば、クロストラック方向の予測誤差に対応するマージンなどを上乗せした値などを用いることができる。換言すると、進行方向の予測誤差については視線方向ベクトル： 1 及び 2 により考慮されているため、この所定の閾値 c の値には、進行方向の予測誤差の分はマージンとして上乗せしないでもよい。そのため、例えば、図 6 を参照して説明した場合よりもずっと狭い値（例えば、地上局 1 のアンテナのビーム幅、及びアンテナのビーム幅にクロストラック方向の予測誤差に対応するマージンなどを上乗せした値など）を所定の閾値 c として設定することができる。従って、中高度衛星の電波干渉予測において無視することのできない衛星の進行方向位置誤差を適切に考慮し、且つ、クロストラック方向に過大なマージンを考慮することなく、電波干渉の判定が可能であり、干渉発生を過剰に判定することを抑制できる。

【 0 0 4 1 】

< ケース 2 >

続いて、上述の衛星 A の (a_1 、 a_2) 及び衛星 B の (b_1 、 b_2) のいずれかが、はさみ角の所定の閾値 c よりも大きい場合について説明する。即ち、以下の条件式 2 が満たされる場合について説明する。なお、所定の閾値 c は、例えば、地上局 1 のアンテナのビーム幅、及びアンテナのビーム幅にクロストラック方向の予測誤差に対応するマージンなどを上乗せした値などであってよい。

a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 のいずれかが $> c$. . . 条件式 2

【 0 0 4 2 】

図 1 1 は、2 つの衛星（衛星 A 及び衛星 B）の進行方向における位置の予測誤差が大きく、条件式 2 を満たす場合を例示する図である。図示されるように、衛星 A の進行方向の予測誤差の範囲を表す a_1 から a_2 への線分 5 0 (a) に、衛星 B の進行方向の予測誤差の範囲を表す b_1 から b_2 への線分 5 0 (b) が交差している。即ち、地上局 1 が衛星 A と通信を行う際に電波干渉が起こり得る範囲に衛星 B が存在している可能性がある。しかしながら、 a_0 、 a_1 、及び a_2 のそれぞれから所定の閾値 c の範囲内に、 b_0 、 b_1 、及び b_2 のいずれも入っていないため、上述の < ケース 1 > の式 9 を用いた判定では、電波干渉が有りとは判定されない。

【 0 0 4 3 】

また、図 1 2 は、2 つの衛星（衛星 A 及び衛星 B）の進行方向における位置の予測誤差が大きく、条件式 2 を満たす別な場合を例示する図である。図 1 2 において、衛星 A の進行方向の予測誤差の範囲を表す a_1 の終点から a_2 の終点への線分 5 0 (a) から所定の閾値 c の範囲内に、衛星 B の進行方向の予測誤差の範囲を表す b_1 の終点から b_2 の終点への線分 5 0 (b) が存在している。即ち、地上局 1 が衛星 A と通信を行う際に電波干渉が起こり得る範囲に衛星 B が存在している可能性がある。しかしながら、 a_0 、 a_1 、及び a_2 のそれぞれから所定の閾値 c の範囲内に、 b_0 、 b_1 、及び b_2 のいずれも入っていないため、上述の < ケース 1 > の式 9 を用いた判定では、電波干渉が有りとは判定されない。

【 0 0 4 4 】

< ケース 2 > では、以上で例示した図 1 1 及び図 1 2 のような状況を含む上記条件式 2 が満たされる場合において電波干渉の有無を判定する。まず、“ A Z - E L 座標における進行方向の予測誤差の範囲を表す視線方向単位ベクトル 1 の終点から 2 の終点までの線分 5 0 は、この線分 5 0 の区間において、 1 と 2 の 2 つのベクトルが成す面から大きく外れることはない” という前提を置くこととする。これにより、電波干渉の有無を判定する視線方向ベクトルの予測誤差の範囲を、図 1 3 の線分 5 0 で近似する。これは中高度の衛星 2 では妥当な近似である。なお、妥当でないケースを識別するために、衛星 2 の高度が所定の判定値（例えば、静止衛星の高度に近い値）より大きければワーニング（警告）を出力するように構成してもよい。

【 0 0 4 5 】

衛星 2 の進行方向の予測誤差の範囲を、図 1 3 の線分 5 0 のように近似すると、実施形態に係る時刻 T における衛星 A の電波の干渉領域 5 1 は、図 1 4 の太線矩形枠のように表せる。なお、電波の干渉領域 5 1 とは、実施形態において、その領域の範囲内に別の衛星 2 が入っている場合、電波の干渉が起こる可能性があるとして判定される領域である。干渉領域 5 1 は、衛星 2 の進行方向の予測誤差の範囲を表す線分 5 0 から衛星 2 の進行方向に沿って前後に所定の閾値 c の角度をとり、また、衛星 2 のクロストラック方向にも両側に閾値 c の角度をとった範囲である。なお、クロストラック方向とは、例えば、ベクトル 1 の方向を X 軸とし、ベクトル 1 と、ベクトル 2 とが成す面に垂直な方向を Z 軸とした場合に、Z 軸、X 軸に対して右手系で定義される Y 軸の方向である。この干渉領域 5 1 の 4 隅の方向ベクトル：P 1、P 2、Q 1、及び Q 2 は、上述の a_1 、 a_2 、及び所定の閾値 c からベクトル演算及び行列演算を用いて算出可能であり、その算出については後述する。

【 0 0 4 6 】

実施形態に係る電波の干渉の有無の判定においては、< ケース 2 > に該当する場合、衛星 A の干渉領域 5 1 に対して衛星 B の視線方向単位ベクトルが以下の（判定条件 1）及び（判定条件 2）のいずれかの位置関係にある場合に“干渉あり”と判定する。

【 0 0 4 7 】

（判定条件 1）干渉領域 5 1 の 4 隅を構成する点へのベクトルのうち、ベクトル（P 1、P 2）の終点の成す線分 6 0 又はベクトル（Q 1、Q 2）の終点の成す線分 6 1 のいずれかと、視線方向単位ベクトル（ b_1 、 b_2 ）の終点の成す線分 5 0 が交差する。

（判定条件 2）衛星 A の干渉領域 5 1 内に、衛星 B の視線方向単位ベクトル（ b_0 、 b_1 、 b_2 ）の終点の 1 つ以上が包含される。

【 0 0 4 8 】

上記（判定条件 1）の判定が YES と判定される場合には、例えば、図 1 5 のような状況が含まれている。図 1 5 は、図 1 1 で例示した状況に対して上記（判定条件 1）の判定を実行した例を示す図である。図示されるように、衛星 B の視線方向単位ベクトル（ b_0 、 b_1 、 b_2 ）で示される衛星 B の進行方向の予測誤差の範囲を表す線分 5 0 は、ベクトル（P 1、P 2）の終点の成す線分 6 0 と交わっている。また、衛星 B の視線方向ベクトルの進行方向の予測誤差の範囲を表す線分 5 0 は、ベクトル（Q 1、Q 2）の終点の成す線分 6 1 と交わっている。従って、上記（判定条件 1）の判定は YES となり、“干渉あり”と判定できる。

【 0 0 4 9 】

また、上記（判定条件 2）の判定が YES と判定される場合には、例えば、図 1 6 のような状況が含まれている。図 1 6 は、図 1 2 で例示した状況に対して上記（判定条件 2）の判定を実行した例を示す図である。図示されるように、衛星 B の視線方向単位ベクトル（ b_0 、 b_1 、 b_2 ）は、ベクトル（P 1、P 2、Q 1、Q 2）の終点で構成される干渉領域 5 1 内に存在している。従って、上記（判定条件 2）の判定は YES となり、“干渉あり”と判定できる。

【 0 0 5 0 】

以上のように、衛星 A の（ a_1 、 a_2 ）及び衛星 B の（ b_1 、 b_2 ）のいずれ

10

20

30

40

50

かが、はさみ角の所定の閾値 c よりも大きい場合についても、上記（判定条件 1）及び（判定条件 2）の判定により電波干渉の有無を判定することができる。以下では、上記（判定条件 1）及び（判定条件 2）の判定について更に詳細に説明する。

【0051】

<干渉領域 51 の方向ベクトルの計算>

図 14 から図 16 に示す干渉領域 51 の 4 隅の方向ベクトル：P 1、P 2、Q 1、及び Q 2 の計算について述べる。まず、視線方向単位ベクトル $\mathbf{1}$ 、 $\mathbf{2}$ を用いて図 17 に示すように座標系 $X Y Z_s$ を定義する。座標系 $X Y Z_s$ において、3 軸は下記のように定める。

- ・ X_s 方向： $\mathbf{1}$ 方向
- ・ Z_s 方向： $\mathbf{1}$ と $\mathbf{2}$ が成す面に垂直
- ・ Y_s 方向： Z_s 、 X_s に対して右手系で定義

10

【0052】

この場合に、各軸方向の単位ベクトル： X_s 、 Z_s 、及び Y_s は以下で計算される。

$$X_s = \mathbf{1}$$

$$Z_s = \mathbf{1} \times \mathbf{2}$$

$$Y_s = Z_s \times X_s$$

【0053】

そして、視線方向単位ベクトル $\mathbf{1}$ を $X Y Z_s$ 座標に変換すると、上述の干渉領域 51 の隅のベクトル P 1 は、 $\mathbf{1}$ を Y 軸回りに $-\theta_c$ 、次に Z 軸回りに $-\theta_c$ 回転させることで得ることができる。なお、回転方向の正負は、各軸の方向に右ねじの進む方向を合わせた場合に、右ねじの回転方向と一致する軸の回転方向を正の回転方向とし、逆の回転方向を負の回転方向とする。ベクトル Q 1 は、 Y 軸回り回転を $+\theta_c$ 、次に Z 軸回りに $-\theta_c$ 回転させることで得ることができる。同様に、視線ベクトル $\mathbf{2}$ を X_s 方向として座標系を定義することによりベクトル P 2、Q 2 についても得ることができる。視線方向単位ベクトルで定義する座標系とベクトルの回転方向の関係は、まとめると以下のようになる。

20

【0054】

【表 1】

求めるべき ベクトル	$X Y Z_s$ 座標の X_s 方向	ベクトルの回転方向	
		Y_s 軸回り	Z_s 軸回り
P 1	ρ_1	$-\theta_c$	$-\theta_c$
P 2	ρ_2	$-\theta_c$	$+\theta_c$
Q 1	ρ_1	$+\theta_c$	$-\theta_c$
Q 2	ρ_2	$+\theta_c$	$+\theta_c$

30

40

【0055】

これらの方向ベクトル：P 1、P 2、Q 1、及び Q 2 のそれぞれの計算を以下に示す。

まず、あらかじめ Z_s を計算しておく。

$$Z_s = \mathbf{1} \times \mathbf{2} \quad \cdots \text{式 10}$$

【0056】

また、 Y 軸回りのベクトルの回転行列である $R_y(\quad)$ を以下とする。

【数 1】

$$R_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix}$$

【0057】

10

Z 軸回りのベクトルの回転行列である $R_z(\quad)$ を以下とする。

【数 2】

$$R_z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

20

【0058】

赤道面座標から XYZ s 座標への変換行列である Φ を以下とする。

【数 3】

$$\Phi = \begin{pmatrix} X_{Sx} & X_{Sy} & X_{Sz} \\ Y_{Sx} & Y_{Sy} & Y_{Sz} \\ Z_{Sx} & Z_{Sy} & Z_{Sz} \end{pmatrix}$$

30

【0059】

この場合に、方向ベクトル：P 1 は以下で得ることができる。

(a) ベクトル P 1

$$X_S = 1$$

・・・式 1 1 (式 1 1 - 1)

$$Y_S = Z_S \times X_S$$

・・・式 1 1 (式 1 1 - 2)

$$P_1 = R_z(-c) \cdot R_y(-c) \cdot \dots \cdot 1$$

・・・式 1 1 (式 1 1 - 3)

方向ベクトル：P 2 は以下で得ることができる。

(b) ベクトル P 2

$$X_S = 2$$

・・・式 1 2 (式 1 2 - 1)

$$Y_S = Z_S \times X_S$$

・・・式 1 2 (式 1 2 - 2)

$$P_2 = R_z(+c) \cdot R_y(-c) \cdot \dots \cdot 2$$

・・・式 1 2 (式 1 2 - 3)

方向ベクトル：Q 1 は以下で得ることができる。

(c) ベクトル Q 1

$$X_S = 1$$

・・・式 1 3 (式 1 3 - 1)

$$Y_S = Z_S \times X_S$$

・・・式 1 3 (式 1 3 - 2)

$$Q_1 = R_z(-c) \cdot R_y(+c) \cdot \dots \cdot 1$$

・・・式 1 3 (式 1 3 - 3)

方向ベクトル：Q 2 は以下で得ることができる。

(d) ベクトル Q 2

$$X_S = 2$$

・・・式 1 4 (式 1 4 - 1)

50

$$Y S = Z S \times X S \quad \cdots \text{式 1 4 (式 1 4 - 2)}$$

$$Q 2 = R z (+ c) \cdot R y (+ c) \cdot \quad \cdots \text{式 1 4 (式 1 4 - 3)}$$

【 0 0 6 0 】

以上のようにして、干渉領域 5 1 の 4 隅の方向ベクトル： P 1、P 2、Q 1、及び Q 2 を得ることができる。

【 0 0 6 1 】

< 干渉領域の成す線分と視線方向ベクトルの成す線分の交差判定 >

続いて、上記（判定条件 1）の判定について述べる。例として、以下の説明では衛星 A の視線方向ベクトルの進行方向の予測誤差の範囲を表す線分 5 0 に対して設定された干渉領域 5 1 の線分 6 0 及び線分 6 1 と、衛星 B の進行方向の予測誤差の範囲を表す線分 5 0 の交差の判定について述べる。なお、図 1 8 は、以下に述べる、2 つの単位ベクトルペアの成す線分の交差判定について説明する図である。

【 0 0 6 2 】

[衛星 A のベクトル P 1、P 2 の成す線分 6 0 と衛星 B の線分 5 0 の交差判定]

干渉領域 5 1 のベクトル P 1、P 2 の成す線分 6 0 と、衛星 B の進行方向の予測誤差の範囲を表すベクトル（ b 1、 b 2 ）が成す線分 5 0 との交差は以下のように計算できる。まず、説明の簡便のために、衛星 B の視線ベクトル（ b 1、 b 2 ）をそれぞれ（ V 1、 V 2 ）と置く。また、方向ベクトル（ P 1、 P 2 ）をそれぞれ（ U 1、 U 2 ）と置く。ベクトル（ U 1、 U 2 ）が成す面の法線ベクトル H 1 を求める。

$$H 1 = U 1 \times U 2 \quad \cdots \text{式 1 5}$$

【 0 0 6 3 】

ベクトル（ V 1、 V 2 ）が成す面の法線ベクトル H 2 を求める。

$$H 2 = V 1 \times V 2 \quad \cdots \text{式 1 6}$$

【 0 0 6 4 】

2 つの面の交線方向ベクトル W 1 及び W 2 は、以下で得られる。

$$W 1 = H 1 \times H 2 \quad \cdots \text{式 1 7}$$

$$W 2 = - W 1 \quad \cdots \text{式 1 8}$$

【 0 0 6 5 】

ここで、（ U 1、 U 2 ）の成す角を、（ V 1、 V 2 ）の成す角をとした時、 $< 180 \text{ deg}$ 、 $< 180 \text{ deg}$ であることを前提とする。これは、地上局 1 からの E L 0 deg 以上の領域を対象にする限り妥当な前提である。また、地上局 1 からの E L $< 0 \text{ deg}$ 未満の領域では、そもそも地上局 1 は衛星 2 と直接的に電波による通信を行うことが難しいため、判定から除外してもよい。

【 0 0 6 6 】

続いて、以下の C a 及び C b を定義する。

$$C a = U 1 \cdot U 2 \quad \cdots \text{式 1 9 (式 1 9 - 1)}$$

$$C b = V 1 \cdot V 2 \quad \cdots \text{式 1 9 (式 1 9 - 2)}$$

【 0 0 6 7 】

この場合に、以下の条件が満たされる場合、2 つのベクトルペア（ U 1、 U 2 ）（ V 1、 V 2 ）の線分（図 1 8 の太線）は交差する。

【数 4】

$$\left. \begin{array}{l} U_1 \cdot W_1 > C_a \quad \text{且つ} \\ U_2 \cdot W_1 > C_a \quad \text{且つ} \\ V_1 \cdot W_1 > C_b \quad \text{且つ} \\ V_2 \cdot W_1 > C_b \end{array} \right\} \quad \text{式 20 (式 20-1)}$$

または

$$\left. \begin{array}{l} U_1 \cdot W_2 > C_a \quad \text{且つ} \\ U_2 \cdot W_2 > C_a \quad \text{且つ} \\ V_1 \cdot W_2 > C_b \quad \text{且つ} \\ V_2 \cdot W_2 > C_b \end{array} \right\} \quad \text{式 20 (式 20-2)}$$

【0068】

〔衛星 A のベクトル Q 1、Q 2 の成す線分 6 1 と衛星 B の線分 5 0 の交差判定〕

続いて、衛星 A のベクトル P 1、P 2 の場合と同様に、干渉領域 5 1 のベクトル Q 1、Q 2 の成す線分 6 1 と、衛星 B の進行方向の予測誤差の範囲を表すベクトル (b 1、b 2) が成す線分 5 0 との交差を計算する。方向ベクトル (Q 1、Q 2) をそれぞれ (U 1、U 2) と置いた上で、上述の式 1 5 ~ 式 1 9 を計算し式 2 0 の判定を行う。

【0069】

そして、以上の衛星 B の線分 5 0 と、衛星 A のベクトル P 1、P 2 の成す線分 6 0 との式 2 0 による交差判定、又は衛星 A のベクトル Q 1、Q 2 の成す線分 6 1 との式 2 0 による交差判定のいずれかの判定が Y E S となり交差するならば“干渉あり”と判定する。

【0070】

以上の判定により、衛星 A の干渉領域 5 1 の 4 隅の方向ベクトルのうち方向ベクトル P 1 及び P 2 が成す線分 6 0、又は Q 1 及び Q 2 が成す線分 6 1 と、衛星 B の視線ベクトル (b 1、b 2) の成す線分 5 0 とが交差するか否かを判定することができる。従って、図 1 5 に例示する場合を含む、電波干渉が生じる可能性のある状態を検知することができる。

【0071】

<干渉領域内の視線方向ベクトルの包含条件>

衛星 A の干渉領域 5 1 に、衛星 B の視線方向ベクトル (b 0、b 1、b 2) が包含されるか否かの判定について以下に説明する。なお、図 1 9 及び図 2 0 は、この衛星 A の干渉領域 5 1 に、衛星 B の視線方向ベクトル (b 0、b 1、b 2) が包含されるか否かの判定について説明する図である。

【0072】

まず、説明の簡便のために、干渉領域 5 1 の方向ベクトル (P 1、Q 1、Q 2、P 2) をそれぞれ (U 1、U 2、U 3、U 4) と置く。そして、2 つのベクトル (U 1、U 2) (U 2、U 3) (U 3、U 4) (U 4、U 1) が成す面の法線ベクトルをそれぞれ求める。

$$H_{12} = U_1 \times U_2 \quad \cdots \text{式 21 (式 21-1)}$$

$$H_{23} = U_2 \times U_3 \quad \cdots \text{式 21 (式 21-2)}$$

$$H_{34} = U_3 \times U_4 \quad \cdots \text{式 21 (式 21-3)}$$

$$H_{41} = U_4 \times U_1 \quad \cdots \text{式 21 (式 21-4)}$$

【0073】

10

20

30

40

50

〔干渉領域内に視線方向ベクトル： b_0 が包含されるかを判定〕

衛星 B の視線ベクトル： b_0 を U と置く。この場合に、図 19 及び図 20 に示すように、以下の式 22 が満たされる場合、ベクトル U (即ち、 b_0) が干渉領域 51 内に存在すると判定できる。

【数 5】

$$U \cdot H_{12} \geq 0 \quad \text{且つ}$$

$$U \cdot H_{23} \geq 0 \quad \text{且つ}$$

$$U \cdot H_{34} \geq 0 \quad \text{且つ}$$

$$U \cdot H_{41} \geq 0$$

式 22

10

【0074】

〔干渉領域内に視線方向ベクトル： b_1 が包含されるかを判定〕

同様に、衛星 B の視線ベクトル b_1 を U と置く。この場合に、式 22 が満たされる場合、ベクトル U (即ち、 b_1) が干渉領域 51 内に存在すると判定できる。

20

【0075】

〔干渉領域内に視線方向ベクトル： b_2 が包含されるかを判定〕

同様に、衛星 B の視線ベクトル b_2 を U と置く。この場合に、式 22 が満たされる場合、ベクトル U (即ち、 b_2) が干渉領域 51 内に存在すると判定できる。

【0076】

そして、＜ケース 2＞の(判定条件 2)の判定では、以上の b_0 、 b_1 、及び b_2 に対して実行した式 22 の判定のいずれかが満たされるならば“干渉あり”と判定する。

【0077】

以上で述べた判定により、例えば、衛星 A の干渉領域 51 内に、衛星 B の視線ベクトル (b_0 、 b_1 、 b_2) が存在するか否かを判定することができる。従って、例えば図 16 に例示する場合を含む電波干渉が生じる可能性のある状態を検知することができる。

30

【0078】

以上で述べた＜ケース 1＞、並びに＜ケース 2＞の(判定条件 1)及び(判定条件 2)の判定により、或る時刻 T において衛星 A 及び衛星 B が地上局 1 から見て電波干渉を起こす位置関係にあるか否かを判定することができる。この電波干渉の有無の判定方式では、誤差を考慮せずに予測された衛星 2 の軌道の衛星軌道暦 700 があれば、電波干渉の有無を調べたい時刻における進行方向の予測誤差の範囲を表す視線方向ベクトルを得ることができる。即ち、衛星 2 の進行方向の予測誤差を時刻誤差に換算し、時刻誤差分ずれた位置ベクトルを衛星軌道暦 700 から読み込むことで、衛星 2 の進行方向における予測誤差の広がりを表す誤差を考慮した視線方向ベクトル： 1 及び 2 を得ることができる。そして、得られた誤差を考慮した視線方向ベクトル： 1 及び 2 を基に、電波干渉の有無を判定することができる。

40

【0079】

更に、所定の閾値 c の値には、進行方向の予測誤差については、得られた視線方向ベクトル： 1 及び 2 により考慮済みであるため、図 6 を参照して例示した進行方向の予測誤差の分を含む m をマージンとして上乗せしないでよい。例えば、電波干渉の有無の判定に用いられる所定の閾値 c は、地上局 1 が衛星 A との通信において用いるアンテナ

50

のビーム幅、或いは、アンテナのビーム幅に、例えばクロストラック方向の予測誤差に対応するマージンなどを上乘せした値を用いることができる。そのため、例えば、図6を参照して述べた手法よりもずっと狭い値に所定の閾値 c を設定することができる。従って、中高度の衛星2の電波干渉の予測において無視することのできない衛星2の進行方向の位置の予測誤差を適切に考慮した干渉判定を実行しつつ、干渉発生を過剰に判定することを抑制できる。

【0080】

また更に、上述のように実施形態に係る電波干渉の有無の判定方式では、位置誤差を時刻誤差に換算し、誤差を考慮せずに予測された衛星軌道暦700から読み出した衛星2の位置ベクトルを用いて電波干渉の判定を行う。そのため、計算負荷の高い例えば誤差共分散等を用いる誤差を考慮した軌道の予測等を行わなくてもよい。

10

【0081】

続いて、以上の電波干渉の判定方式を実施する実施形態に係る情報処理装置100について説明する。図21は、実施形態に係る情報処理装置100の機能ブロック構成を例示する図である。情報処理装置100は、例えば、制御部2100及び記憶部2110を含んでいる。制御部2100は、例えば換算部2111、取得部2112、及び判定部2113などの機能部2101を含んでいる。情報処理装置100の記憶部2110は、例えば、プログラム2120、並びに衛星軌道暦700を記憶していてもよい。また更に、情報処理装置100の記憶部2110は、例えば上述の式3のパラメータ、所定の閾値 c などのその他の情報を記憶していてもよい。情報処理装置100の制御部2100は、プログラム2120を読み出して実行することで例えば換算部2111、取得部2112、及び判定部2113などの機能部2101として機能する。これらの各機能部2101の詳細については後述する。

20

【0082】

図22A及び図22Bは、情報処理装置100の制御部2100によって実行される時刻Tにおける電波干渉判定処理を例示する図である。図22A及び図22Bの電波干渉判定処理の動作フローは、例えば、情報処理装置100の制御部2100が記憶部2110に格納されているプログラム2120を読み出して実行することで実施される。一実施形態においては、情報処理装置100に電波干渉判定処理の実行指示が入力されると電波干渉判定処理は開始する。

30

【0083】

なお、情報処理装置100の制御部2100は、予め作成されている衛星Aに対する衛星軌道暦700から、衛星Aの軌道の時々刻々の位置及び速度を表す位置ベクトル及び速度ベクトルを取得可能であるものとする。また同様に、情報処理装置100の制御部2100は、予め作成されている衛星Bに対する衛星軌道暦700から、衛星Bの軌道の時々刻々の位置及び速度を表す位置ベクトル及び速度ベクトルを取得可能であるものとする。衛星軌道暦700は、一実施形態においては、情報処理装置100の記憶部2110に記憶されていてよい。別の実施形態においては、情報処理装置100の制御部2100は、他の情報処理装置が保持する衛星軌道暦700から衛星A及び衛星Bの位置ベクトル及び速度ベクトルを取得してもよい。

40

【0084】

ステップS2201において情報処理装置100の制御部2100は、所定の時刻Tにおける地上局1との通信で電波が干渉するか否かを調べたい2つの衛星2の予測位置に対する進行方向の予測誤差 L を計算する。なお、電波が干渉するか否かを調べたい2つの衛星2を、例として衛星A及び衛星Bとする。

【0085】

予測誤差 L は、例えば上述の式3により計算できる。なお、式3におけるパラメータ (L 、 a 、 T_a 、 a_{dot} 、 T_{ad} 、及び n) は、予め計算することが可能な値であり、これらの値は、例えば、衛星A及び衛星Bのそれぞれについて予め計算されて記憶部2110に記憶されていてよい。或いは、別の実施形態では、計算に用いる際に情報

50

処理装置 100 の制御部 2100 に計算させて得られた値を用いてもよい。情報処理装置 100 の制御部 2100 は、衛星 A 及び衛星 B に対してそれぞれ上記式 3 の計算を実行し、衛星 A に対する $L(La)$ 、及び衛星 B に対する $L(Lb)$ を取得する。

【0086】

続いて、情報処理装置 100 の制御部 2100 は、衛星 A の La の値と、衛星 A の衛星軌道暦 700 から読み出した時刻 T における速度ベクトルとを用いて、上記式 4 を計算し、衛星 A の位置の予測誤差： La を時刻誤差： Ta に換算する。また同様に、衛星 B の Lb の値と、衛星 B の衛星軌道暦 700 から読み出した時刻 T における速度ベクトルとを用いて、上記式 4 を計算し、衛星 B の位置の予測誤差： La を時刻誤差： Tb に換算する。

10

【0087】

ステップ S2202 において制御部 2100 は、電波干渉の有無を調べたい所定の時刻 T と、算出した衛星 A の Ta とを用いて、式 5 の計算を行い、衛星 A について時刻 T から Ta 時間戻った時刻 $Ta1$ 、及び時刻 T から Ta 時間進んだ時刻 $Ta2$ を算出する。また、同様に衛星 B についても、電波干渉の有無を調べたい所定の時刻 T と、算出した衛星 B の Tb とを用いて、式 5 の計算を行い、衛星 B について時刻 T から Tb 時間戻った時刻 $Tb1$ 、及び時刻 T から Tb 時間進んだ時刻 $Tb2$ を算出する。

【0088】

なお、衛星 A に対して算出された時刻 $Ta1$ が Tas より小さい場合には、算出された $Ta1$ の値を Tas に置き換える。また、算出された時刻 $Ta2$ が Tae より大きい場合には、算出された $Ta2$ の値を Tae に置き換える。同様に、衛星 B に対して算出された時刻 $Tb1$ が Tbs より小さい場合には、算出された $Tb1$ の値を Tbs に置き換える。また、算出された時刻 $Tb2$ が Tbe より大きい場合には、算出された $Tb2$ の値を Tbe に置き換える。ここで、 Tas は、例えば、時刻 T における衛星 A の軌道周回において、地上局 1 が衛星 A と通信を確立することが可能な最も早い時刻であってよい。また、 Tae は、例えば、時刻 T における衛星 A の軌道周回において、地上局 1 が衛星 A と通信を確立することが可能な最も遅い時刻であってよい。同様に、 Tbs は、例えば、時刻 T における衛星 B の軌道周回において、地上局 1 が衛星 B と通信を確立することが可能な最も早い時刻であってよい。また、 Tbe は、例えば、時刻 T における衛星 B の軌道周回において、地上局 1 が衛星 B と通信を確立することが可能な最も遅い時刻であってよい。

20

30

【0089】

上記の置き換えは、例えば、以下の理由によるものである。例えば、衛星 A について算出した $Ta1$ から $Ta2$ の期間における衛星 A の軌跡（即ち、進行方向の予測誤差の範囲を表す線分 50 と対応する）には、地上局 1 が通信することが不可能な衛星 A の位置が含まれている可能性がある。例えば、地上局 1 から見て、衛星 A が地平線よりも下側に有る場合（地上局 1 からの EL が $< 0 \text{ deg}$ 未満）には、地上局 1 は衛星 A と直接通信を確立することができない。そのため、このような衛星 A の位置では電波干渉の有無を判定しなくてもよい。そこで、衛星 A が時刻 $Ta1$ において地上局 1 から見て通信を確立することができない位置にある場合には、時刻 $Ta1$ の値を、時刻 T の軌道周回において地上局 1 が衛星 A と通信を確立することが可能な最も早い時刻 Tas に置き換えている。また、衛星 A が時刻 $Ta2$ において地上局 1 から見て通信を確立することができない位置にある場合には、時刻 $Ta2$ の値を、時刻 T の軌道周回において地上局 1 が衛星 A と通信を確立することが可能な最も遅い時刻 Tae に置き換えている。衛星 B の $Tb1$ と Tbs との置き換え及び $Tb2$ と Tbe との置き換えについても同様である。なお、時刻 Tas 、及び時刻 Tae は、例えば衛星 A の衛星軌道暦 700 に基づいて制御部 2100 が予め算出することが可能な値である。また、同様に時刻 Tbs 、及び時刻 Tbe は、衛星 B の衛星軌道暦 700 に基づいて制御部 2100 が予め算出することが可能な値である。例えば、制御部 2100 は、予め算出されて記憶部 2110 に格納されている時刻 Tas 、時刻 Tae 、時刻 Tbs 、及び時刻 Tbe の値を読み出して、ステップ S2202 で用いてもよい。

40

【0090】

50

ステップS 2 2 0 3において制御部2 1 0 0は、衛星Aの衛星軌道暦7 0 0から時刻Tにおける衛星Aの位置ベクトル R_{a0} 、時刻 T_{a1} における衛星Aの位置ベクトル R_{a1} 、時刻 T_{a2} における衛星Aの位置ベクトル R_{a2} を読み込む。また、制御部2 1 0 0は、衛星Bの衛星軌道暦7 0 0から時刻Tにおける衛星Bの位置ベクトル R_{b0} 、時刻 T_{b1} における衛星Bの位置ベクトル R_{b1} 、時刻 T_{b2} における衛星Bの位置ベクトル R_{b2} を読み込む。

【0 0 9 1】

続くステップS 2 2 0 4からステップS 2 2 0 6までの処理において制御部2 1 0 0は、上述の<ケース1>の場合の電波干渉の判定処理を実行する。ステップS 2 2 0 4において制御部2 1 0 0は、時刻Tにおける地上局1の位置ベクトルSを計算する。続いて、制御部2 1 0 0は、地上局1の位置ベクトルSと、ステップS 2 2 0 3で取得した衛星Aの位置ベクトルとから、上述の式6により衛星Aの視線方向単位ベクトル(a_0 、 a_1 、 a_2)を計算する。また、制御部2 1 0 0は、地上局1の位置ベクトルSと、ステップS 2 2 0 3で取得した衛星Bの位置ベクトルとから、上述の式6により衛星Bの視線方向単位ベクトル(b_0 、 b_1 、 b_2)を計算する。更に、制御部2 1 0 0は、衛星Aの視線方向単位ベクトル(a_0 、 a_1 、 a_2)、及び衛星Bの視線方向単位ベクトル(b_0 、 b_1 、 b_2)の各はさみ角を、上記式8により計算する。

【0 0 9 2】

ステップS 2 2 0 5において制御部2 1 0 0は、上記式9の判定により、式8で計算されたはさみ角(θ_0 、 θ_1 、 θ_2 、 ϕ_0 、 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ψ_0 、 ψ_1 、及び ψ_2)のうちいずれか一つでも所定の閾値 c 以下のものがあるか否かを判定する。なお、所定の閾値 c の値は、例えば、予め記憶部2 1 1 0に記憶されていてもよい。はさみ角のうちで所定の閾値 c 以下のものがある場合(ステップS 2 2 0 5がYES)、フローはステップS 2 2 2 3へと進み、例えば、電波干渉有りの判定結果を出力し、本動作フローは終了する。一方、上記式8で得られた全てのはさみ角が所定の閾値 c よりも大きい場合(ステップS 2 2 0 5がNO)、フローはステップS 2 2 0 6へと進む。

【0 0 9 3】

ステップS 2 2 0 6において制御部2 1 0 0は、上記式7により、衛星Aについて a_0 と a_1 の成す角度 α_1 、及び a_0 と a_2 の成す角度 α_2 をそれぞれ求める。また、衛星Bについても、上記式7により、 b_0 と b_1 の成す角度 β_1 、及び b_0 と b_2 の成す角度 β_2 をそれぞれ求める。そして、これら α_1 、 α_2 、 β_1 、及び β_2 のうちで1つでも所定の閾値 c よりも大きいものがあるか否かを判定する。 α_1 、 α_2 、 β_1 、及び β_2 のうちで1つも所定の閾値 c よりも大きいものが無い場合(ステップS 2 2 0 6がNO)、フローはステップS 2 2 2 2へと進み、例えば、電波干渉無しの判定結果を出力し、本動作フローは終了する。一方、 α_1 、 α_2 、 β_1 、及び β_2 うち1つでも所定の閾値 c よりも大きい場合(ステップS 2 2 0 6がYES)、フローはステップS 2 2 0 7へと進む。

【0 0 9 4】

続くステップS 2 2 0 7からステップS 2 2 2 1までの処理において制御部2 1 0 0は、<ケース2>で述べた電波の干渉の可能性を判定する処理を実行する。ステップS 2 2 0 7において制御部2 1 0 0は、時刻Tにおける衛星Aの位置ベクトル R_0 の大きさが、所定の閾値 R_{chk} よりも大きいかなんかを判定する。また、制御部2 1 0 0は、時刻Tにおける衛星Bの位置ベクトル R_0 の大きさが、所定の閾値 R_{chk} よりも大きいかなんかを判定する。なお、所定の閾値 R_{chk} としては、例えば、衛星の静止高度に近い高度を用いることができ、例えば3万キロメートルや4万キロメートルが用いられてよい。ステップS 2 2 0 7において衛星Aの位置ベクトル R_{a0} の大きさ、又は衛星Bの位置ベクトル R_{b0} の大きさが所定の閾値 R_{chk} よりも大きい場合(ステップS 2 2 0 7がYES)、フローはステップS 2 2 0 8へと進む。ステップS 2 2 0 8において制御部2 1 0 0は、警告(ワーニング)を出力し、フローはステップS 2 2 0 9へと進む。一方、ステップS 2 2 0 7において衛星Aの位置ベクトル R_{a0} の大きさ、又は衛星Bの位置

10

20

30

40

50

ベクトル R_{b0} の大きさのいずれもが所定の閾値 R_{chk} 以下である場合（ステップ S_{2207} が NO ）、フローはステップ S_{2209} へと進む。

【0095】

なお、このステップ S_{2207} からステップ S_{2208} の処理は、衛星 A 及び衛星 B が静止軌道に近い高度にある場合を検出するための処理である。例えば、衛星 2 が静止軌道に近い高度である場合、地上局 1 から見た衛星 2 の速度が遅くなり、その結果、例えば地球の自転などの影響で $AZ - EL$ 座標における衛星 2 の軌跡が、直線から大きく外れた軌跡になる。その結果、上記＜ケース 2 ＞で述べた“ $AZ - EL$ 座標における 1 から 2 までの誤差による広がり、視線方向単位ベクトル（ 1 、 2 ）の区間において、この 2 つのベクトルが成す面から大きく外れることはない”という前提が成り立たない可能性がある。そのため、衛星 A 又は衛星 B の位置ベクトル R_{a0} 及び R_{b0} のいずれかの大きさが所定の閾値 R_{chk} よりも大きい場合には、警告を出力し、例えばユーザに注意を促すように構成している。

10

【0096】

ステップ S_{2209} において制御部 2100 は、干渉領域 51 の 4 隅を構成する点への方向ベクトル（例えば、方向ベクトル： $P1$ 、 $P2$ 、 $Q1$ 、及び $Q2$ ）を、上記式 10 から式 14 を用いて計算する。なお、以下の説明では干渉領域 51 における方向ベクトル： $P1$ 、 $P2$ 、 $Q1$ 、及び $Q2$ の配置は、衛星 A の進行方向に対して図 14 から図 16 に例示される配置にあるものとする。また、以下の説明では、衛星 A 及び衛星 B のうち、衛星 A に対して計算した干渉領域 51 に対して、衛星 B の進行方向の予測誤差の範囲を表す線分 50 が電波干渉を引き起こす位置に存在するか否かを判定する場合を例にとり説明する。しかしながら、別の例では、衛星 B に対して計算した干渉領域 51 に対して、衛星 A の進行方向の予測誤差の範囲を表す線分 50 が電波干渉を引き起こす位置に存在するか否かを判定してもよい。

20

【0097】

続くステップ S_{2210} からステップ S_{2214} までの処理において制御部 2100 は、先の＜ケース 2 ＞の（判定条件 1 ）で述べた電波の干渉の可能性を判定する処理を実行する。ステップ S_{2210} において制御部 2100 は、衛星 B の視線方向単位ベクトル $b1$ をベクトル $V1$ と置く。また、衛星 B の視線方向単位ベクトル $b2$ をベクトル $V2$ と置く。ステップ S_{2211} において制御部 2100 は、地上局 1 からの衛星 A の干渉領域 51 の 4 隅を構成する点への方向ベクトル： $P1$ 、 $P2$ 、 $Q1$ 、及び $Q2$ のうちで方向ベクトル $P1$ を、ベクトル $U1$ と置く。また、制御部 2100 は、方向ベクトル $P2$ をベクトル $U2$ と置く。そして、制御部 2100 は、上記式 15 から式 19 を計算する。

30

【0098】

ステップ S_{2212} において制御部 2100 は、上記式 $20 - 1$ 又は式 $20 - 2$ のいずれかが満たされるか否かを判定する。そして、上記式 $20 - 1$ 又は式 $20 - 2$ のうちいずれかが満たされると判定された場合（ステップ S_{2212} が YES ）、フローはステップ S_{2223} へと進み、例えば、電波干渉有りの判定結果を出力し、本動作フローは終了する。なお、ステップ S_{2212} において YES と判定される場合、図 15 に例示するように、方向ベクトル $P1$ 及び $P2$ が成す線分 60 と、衛星 B の視線ベクトル（ $b1$ 、 $b2$ ）の成す進行方向の予測誤差の範囲を表す線分 50 とが交差することを示している。この場合、地上局 1 と衛星 A との通信において電波の干渉が生じる可能性のある位置に衛星 B が存在することになるため、ステップ S_{2223} で電波干渉有りと判定結果を出力させている。一方、上記式 $20 - 1$ 又は式 $20 - 2$ のうちのいずれも満たさないと判定された場合（ステップ S_{2212} が NO ）、フローはステップ S_{2213} へと進む。

40

【0099】

続くステップ S_{2213} からステップ S_{2214} の処理は、ステップ S_{2210} からステップ S_{2212} において方向ベクトル $P1$ 及び $P2$ が成す線分 60 に対して実行した判定を、方向ベクトル $Q1$ 及び $Q2$ が成す線分 61 に対して実行する処理である。ステップ S_{2213} において制御部 2100 は、地上局 1 からの衛星 A の干渉領域 51 の 4 隅を構

50

成する点への方向ベクトル：P 1、P 2、Q 1、及びQ 2のうちで方向ベクトルQ 1を、ベクトルU 1と置く。また、制御部2100は、方向ベクトルQ 2をベクトルU 2と置く。そして、制御部2100は、上記式15から式19を計算する。

【0100】

ステップS 2214において制御部2100は、上記式20-1又は式20-2のいずれかが満たされるか否かを判定する。そして、上記式20-1又は式20-2のうちいずれかが満たされると判定された場合（ステップS 2214がYES）、フローはステップS 2223へと進み、例えば、電波干渉有りの判定結果を出力し、本動作フローは終了する。なお、ステップS 2214においてYESと判定される場合、図15に例示するように、方向ベクトルQ 1及びQ 2が成す線分61と、衛星Bの視線ベクトル（b 1、b 2）の成す進行方向の予測誤差の範囲を表す線分50とが交差することを示している。この場合、地上局1と衛星Aとの通信において電波の干渉が生じる可能性のある位置に衛星Bが存在することになるため、ステップS 2223で電波干渉有りと判定結果を出力させている。一方、上記式20-1又は式20-2のうちのいずれも満たさないと判定された場合（ステップS 2214がNO）、フローはステップS 2215へと進む。

10

【0101】

続くステップS 2215からステップS 2221までの処理において制御部2100は、＜ケース2＞の（判定条件2）で述べた電波の干渉の可能性を判定する処理を実行する。ステップS 2215において制御部2100は、地上局1からの衛星Aの干渉領域51の4隅を構成する点への方向ベクトル：P 1、P 2、Q 1、及びQ 2のうちで、方向ベクトルP 1を、U 1と置く。また、方向ベクトルQ 1を、U 2と置く。方向ベクトルQ 2を、U 3と置く。方向ベクトルP 2を、U 4と置く。そして、上記式21を計算する。

20

【0102】

ステップS 2216において制御部2100は、衛星Bの視線方向単位ベクトル：b 0をベクトルUと置く。ステップS 2217において制御部2100は、上記式22が満たされるか否かを判定する。上記式22が満たされる場合（ステップS 2217がYES）、フローはステップS 2223へと進み、例えば、電波干渉有りの判定結果を出力し、本動作フローは終了する。なお、ステップS 2217においてYESと判定される場合、例えば、図16に例示するように、衛星Aの干渉領域51内に、衛星Bの視線ベクトルb 0が存在することを示している。この場合、地上局1と衛星Aとの通信において電波の干渉が生じる可能性のある位置に衛星Bが存在することになるため、ステップS 2223で電波干渉有りと判定結果を出力させている。一方、上記式22を満たさないと判定された場合（ステップS 2217がNO）、フローはステップS 2218へと進む。

30

【0103】

続くステップS 2218からステップS 2219の処理は、ステップS 2215からステップS 2217において、衛星Bの視線方向単位ベクトル：b 0に対して実行した判定を、視線方向単位ベクトル：b 1に対して実行する処理である。ステップS 2218において制御部2100は、衛星Bの視線方向単位ベクトル：b 1をベクトルUと置く。ステップS 2219において制御部2100は、上記式22が満たされるか否かを判定する。上記式22が満たされる場合（ステップS 2219がYES）、フローはステップS 2223へと進み、例えば、電波干渉有りの判定結果を出力し、本動作フローは終了する。なお、ステップS 2219においてYESと判定される場合、例えば、図16に例示するように、衛星Aの干渉領域51内に、衛星Bの視線ベクトルb 1が存在することを示している。この場合、地上局1と衛星Aとの通信において電波の干渉が生じる可能性のある位置に衛星Bが存在することになるため、ステップS 2223で電波干渉有りと判定結果を出力させている。一方、上記式22を満たさないと判定された場合（ステップS 2219がNO）、フローはステップS 2220へと進む。

40

【0104】

続くステップS 2220からステップS 2221の処理は、ステップS 2215からステップS 2217において、衛星Bの視線方向単位ベクトル：b 0に対して実行した判

50

定を、視線方向単位ベクトル： b_2 に対して実行する処理である。ステップS2220において制御部2100は、衛星Bの視線方向単位ベクトル： b_2 をベクトル U と置く。ステップS2221において制御部2100は、上記式22が満たされるか否かを判定する。上記式22が満たされる場合（ステップS2221がYES）、フローはステップS2223へと進み、例えば、電波干渉有りの判定結果を出力し、本動作フローは終了する。なお、ステップS2221においてYESと判定される場合、例えば、図16に例示するように、衛星Aの干渉領域51内に、衛星Bの視線ベクトル b_2 が存在することを示している。この場合、地上局1と衛星Aとの通信において電波の干渉が生じる可能性のある位置に衛星Bが存在することになるため、ステップS2223で電波干渉有りと判定結果を出力させている。一方、上記式22を満たさないと判定された場合（ステップS2221がNO）、フローはステップS2222へと進む。

10

【0105】

ステップS2222において制御部2100は、例えば、電波干渉無しの判定結果を出力し、本動作フローは終了する。ステップS2222では、ステップS2205からステップS2221の処理において<ケース1>、並びに<ケース2>の（判定条件1）及び（判定条件2）のいずれの判定でも電波の干渉有りと判定されなかったため、干渉無しの判定結果を出力している。

【0106】

以上の図22A及び図22Bの動作フローにより、情報処理装置100の制御部2100は、所定の時刻Tにおいて衛星A及び衛星Bが地上局1から見て電波干渉を起こす位置関係にあるか否かを判定することができる。この電波干渉の有無の判定方式では、誤差を考慮せずに予測された衛星2の軌道の衛星軌道暦700があれば、電波干渉の有無を調べたい時刻における進行方向の予測誤差の範囲を表す視線方向ベクトルを得ることができる。即ち、衛星2の進行方向の予測誤差を時刻誤差に換算し、時刻誤差分ずれた位置ベクトルを衛星軌道暦700から読み込むことで、衛星2の進行方向における予測誤差の広がりを表す誤差を考慮した視線方向ベクトル： 1 及び 2 を得ることができる。そして、得られた誤差を考慮した視線方向ベクトル： 1 及び 2 を基に、電波干渉の有無を判定することができる。

20

【0107】

更に、所定の閾値 c の値には、進行方向の予測誤差については、得られた視線方向ベクトル： 1 及び 2 により考慮済みであるため、図6を参照して例示した進行方向の予測誤差の分を含む m をマージンとして上乗せしないでよい。例えば、電波干渉の有無の判定に用いられる所定の閾値 c は、地上局1が衛星Aとの通信において用いるアンテナのビーム幅、或いは、アンテナのビーム幅に、例えばクロストラック方向の予測誤差に対応するマージンなどを上乗せした値を用いることができる。そのため、例えば、図6を参照して述べた手法よりもずっと狭い値に所定の閾値 c を設定することができる。従って、中高度の衛星2の電波干渉の予測において無視することのできない衛星2の進行方向の位置の予測誤差を適切に考慮した干渉判定を実行しつつ、干渉発生を過剰に判定することを抑制できる。

30

【0108】

また更に、上述のように実施形態に係る電波干渉の有無の判定方式では、位置誤差を時刻誤差に換算し、誤差を考慮せずに予測された衛星軌道暦700から読み出した衛星2の位置ベクトルを用いて電波干渉の判定を行う。そのため、この判定は、単純なベクトル演算で実施することが可能であり、例えば衛星2の軌道の予測に誤差共分散等を用いる場合と比較して、計算にかかる負荷が小さくて済む。そのため、例えば、中高度衛星のように頻繁に電波の干渉が生じる衛星間で電波の干渉の有無を判定するのに、実施形態に係る判定方式は適している。

40

【0109】

また、上述の実施形態では、地上局から2つの衛星が近接方向に見える場合に発生し得る電波干渉の有無の判定に、衛星の進行方向の予測誤差を簡便に反映させることのできる

50

手法を適用する場合を例にとり説明を行った。しかしながら、実施形態はこれに限定されるものではない。例えば、実施形態に係る判定手法は、人工衛星の追跡管制分野や、未知宇宙物体の観測分野などに利用されてもよい。

【0110】

なお、以上の図22の動作フローにおいて、ステップS2201からステップS2202までの処理では、情報処理装置1の制御部300は、例えば、換算部2111として機能する。また、ステップS2203の処理では、情報処理装置1の制御部300は、例えば、取得部2112として機能する。ステップS2204からステップS2223までの処理では、情報処理装置1の制御部300は、例えば、判定部2113として機能する。

【0111】

図23は、実施形態に係る情報処理装置100を実現するためのコンピュータ2300のハードウェア構成を例示する図である。図23の情報処理装置100を実現するためのハードウェア構成は、例えば、プロセッサ2301、メモリ2302、記憶装置2303、読取装置2304、通信インタフェース2306、及び入出力インタフェース2307を備える。なお、プロセッサ2301、メモリ2302、記憶装置2303、読取装置2304、通信インタフェース2306、入出力インタフェース2307は、例えば、バス2308を介して互いに接続されている。

【0112】

プロセッサ2301は、メモリ2302を利用して例えば上述の動作フローの手順を記述したプログラムを含むプログラム2120を実行することにより、上述した各機能部の一部または全部の機能を提供する。例えば、情報処理装置100の制御部2100は、例えばプロセッサ2301であり、また、記憶部2110は、例えばメモリ2302、記憶装置2303、及び着脱可能記憶媒体2305を含んでいる。情報処理装置100のプロセッサ2301は、例えば、記憶装置2303に格納されているプログラム2120を読み出して実行することで、換算部2111、取得部2112、及び判定部2113として機能する。情報処理装置100の記憶装置2303には、例えば、衛星軌道暦700、上述の式3のパラメータ、及び所定の閾値cなどの値を格納していてもよい。

【0113】

メモリ2302は、例えば半導体メモリであり、RAM領域及びROM領域を含んで構成される。記憶装置2303は、例えばハードディスク、フラッシュメモリ等の半導体メモリ、又は外部記憶装置である。

【0114】

読取装置2304は、プロセッサ2301の指示に従って着脱可能記憶媒体2305にアクセスする。着脱可能記憶媒体2305は、例えば、半導体デバイス(USBメモリ等)、磁気的作用により情報が入出力される媒体(磁気ディスク等)、光学的作用により情報が入出力される媒体(CD-ROM、DVD等)などにより実現される。通信インタフェース2306は、プロセッサ2301の指示に従ってネットワーク2320を介してデータを送受信する。入出力インタフェース2307は、例えば、入力装置及び出力装置との間のインタフェースに相当する。入力装置は、例えばユーザからの指示を受け付けるキーボードやマウスなどのデバイスである。また、出力装置は、例えばディスプレイなどの表示装置、及びスピーカなどの音声装置である。

【0115】

実施形態に係る各プログラムは、例えば、下記の形態で情報処理装置100に提供される。

- (1) 記憶装置2303に予めインストールされている。
- (2) 着脱可能記憶媒体2305により提供される。
- (3) プログラムサーバなどのサーバ2330から提供される。

【0116】

以上において、いくつかの実施形態について説明した。しかしながら、実施形態は上記の実施形態に限定されるものではなく、上述の実施形態の各種変形形態及び代替形態を包

10

20

30

40

50

含するものとして理解されるべきである。例えば、各種実施形態は、その趣旨及び範囲を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できることが理解されよう。また、前述した実施形態に開示されている複数の構成要素を適宜組み合わせることにより、種々の実施形態を成すことができることが理解されよう。更には、実施形態に示される全構成要素からいくつかの構成要素を削除して又は置換して、或いは実施形態に示される構成要素にいくつかの構成要素を追加して種々の実施形態が実施され得ることが当業者には理解されよう。

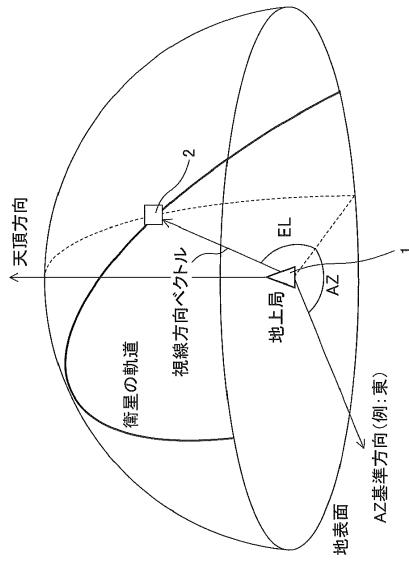
【符号の説明】

【 0 1 1 7 】

1	地上局	10
2	衛星	
1 0 0	情報処理装置	
2 1 0 0	制御部	
2 1 1 0	記憶部	
2 1 1 1	換算部	
2 1 1 2	取得部	
2 1 1 3	判定部	
2 3 0 0	コンピュータ	
2 3 0 1	プロセッサ	
2 3 0 2	メモリ	20
2 3 0 3	記憶装置	
2 3 0 4	読取装置	
2 3 0 5	着脱可能記憶媒体	
2 3 0 6	通信インタフェース	
2 3 0 7	入出力インタフェース	
2 3 0 8	バス	
2 3 2 0	ネットワーク	
2 3 3 0	サーバ	

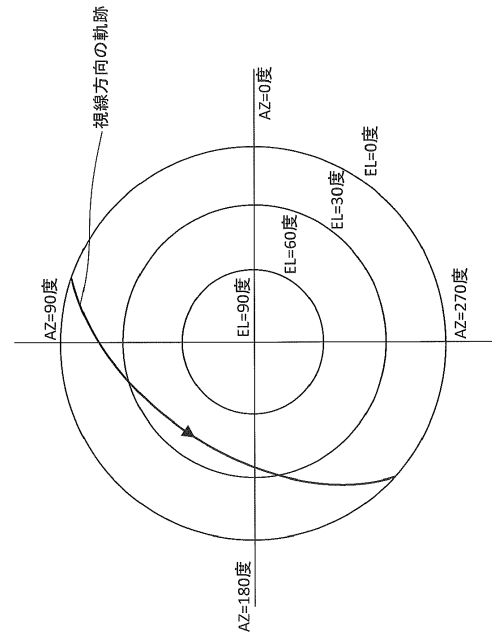
【図 2】

地上局を基準とした衛星の
視線方向ベクトルを例示する図



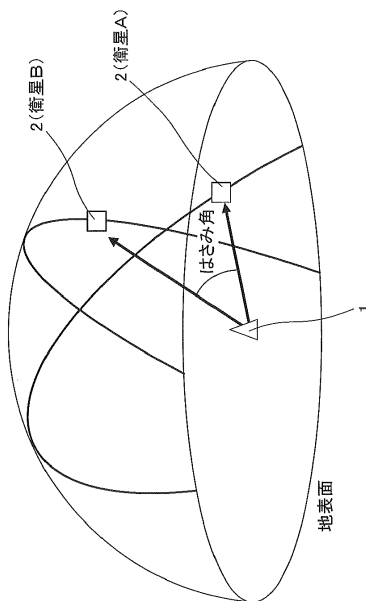
【図 3】

AZ-EL座標のグラフを例示する図



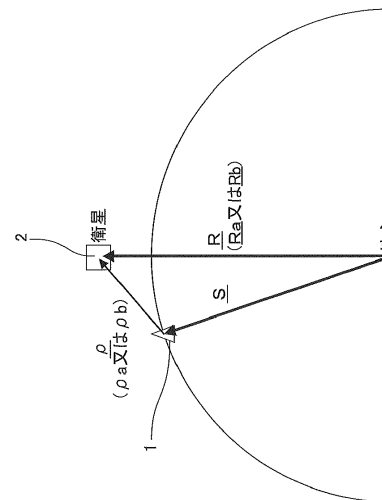
【図 4】

地上局から見た2つの衛星の軌道を例示する図



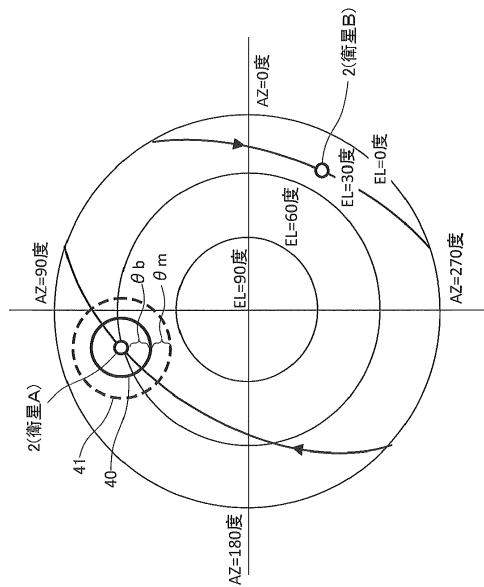
【図 5】

視線方向ベクトルについて説明する図



【 図 6 】

はさみ角に対する閾値と、
電波干渉の判定の一例を示す図



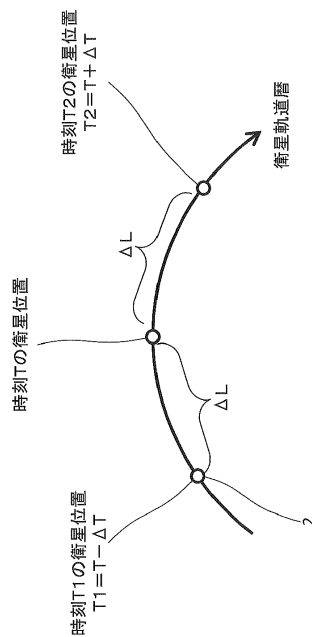
【 図 7 】

一実施形態に係る衛星軌道暦を例示する図

時刻	位置ベクトル			速度ベクトル		
	X	Y	Z	VX	VY	VZ
9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999
9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999
9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999
9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999
9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999
9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999
9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999
9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999
9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999	9999.999
-
-
-

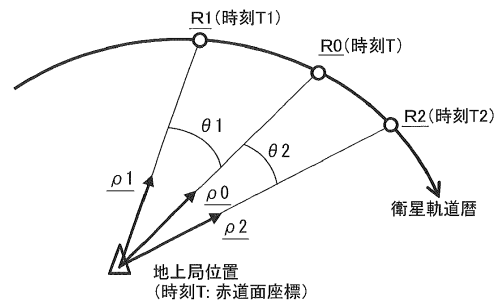
【圖 8】

進行方向の予測誤差 ΔL と、時刻誤差 ΔT との関係为例示する図



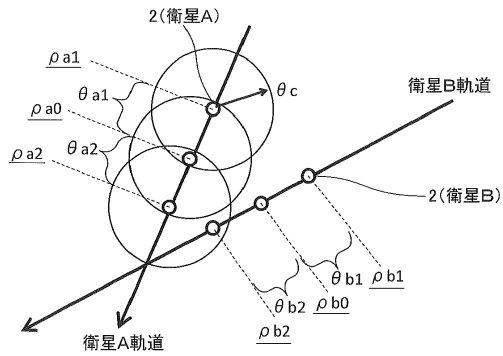
【 図 9 】

視線方向単位ベクトルと進行方向の
予測誤差について説明する図



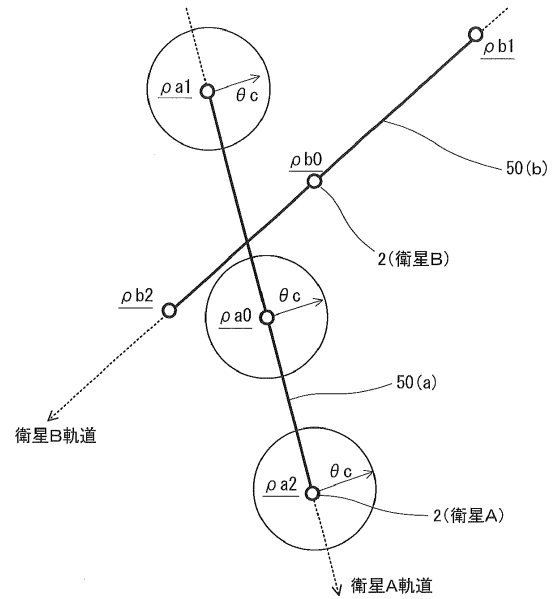
【図 10】

予測誤差がいずれも小さい場合の
実施形態に係る電波干渉の判定を例示する図



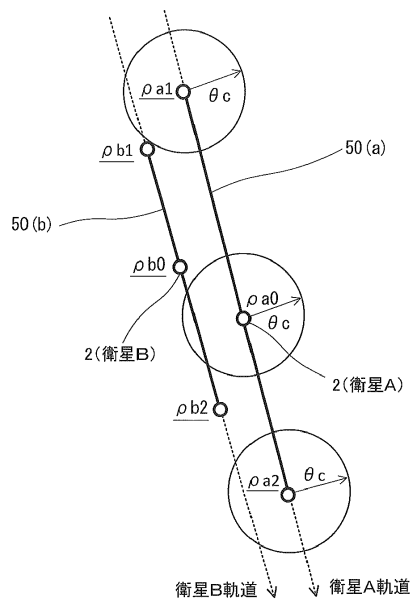
【図 11】

予測誤差が大きい場合の例を示す図



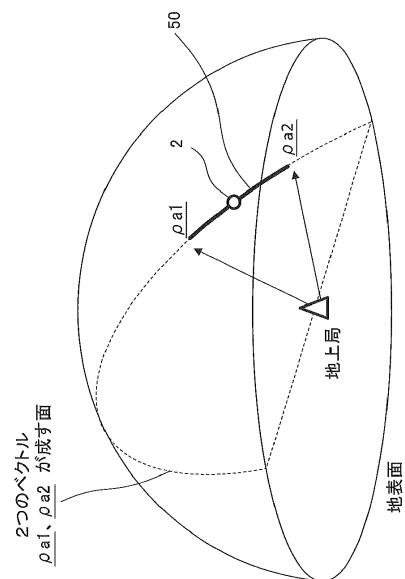
【図 12】

予測誤差が大きい場合の別の例を示す図



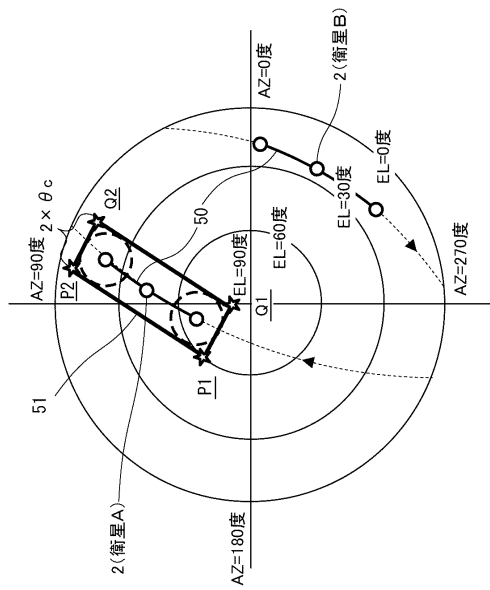
【図 13】

衛星の進行方向における位置の
予測誤差の範囲を表す線分を例示する図



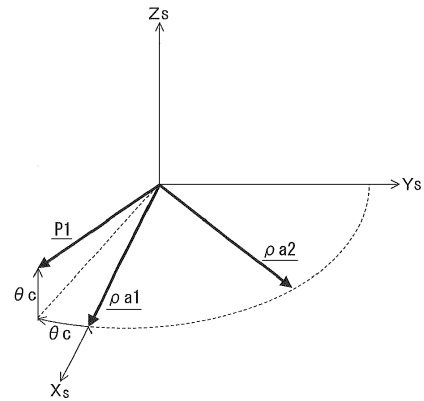
【図 14】

衛星の干渉領域を例示する図



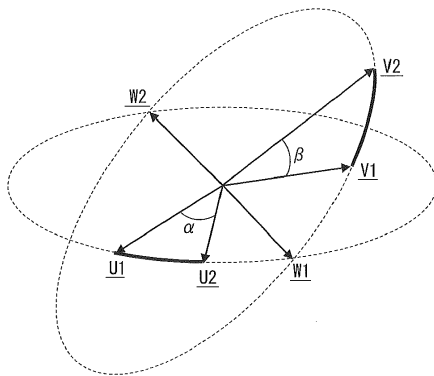
【図 17】

視線方向単位ベクトルを用いて定義される座標系XYZsを説明する図



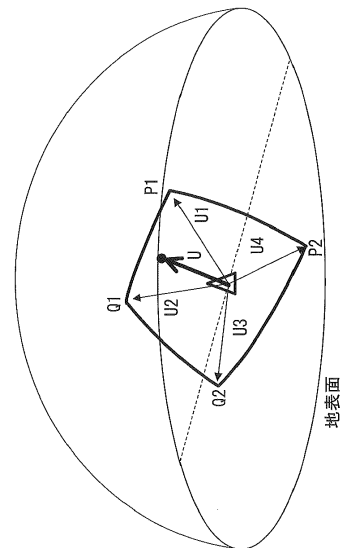
【図 18】

2つの単位ベクトルペアの成す線分の交差判定について説明する図



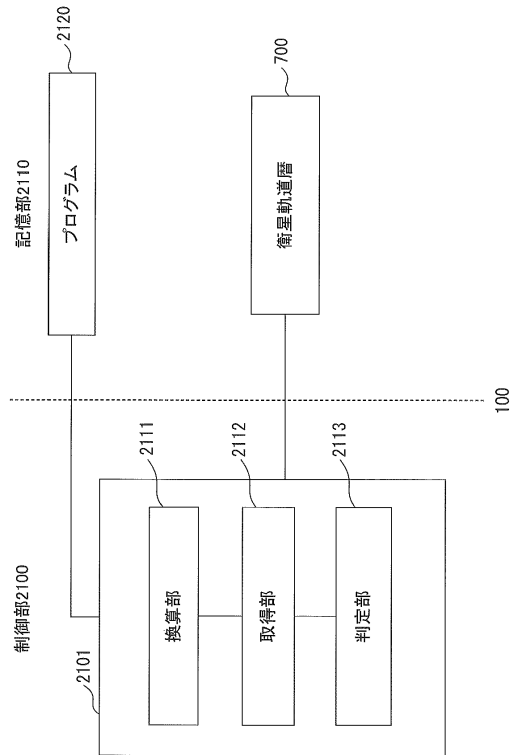
【図 19】

干渉領域内の視線方向ベクトルの包含判定について説明する図



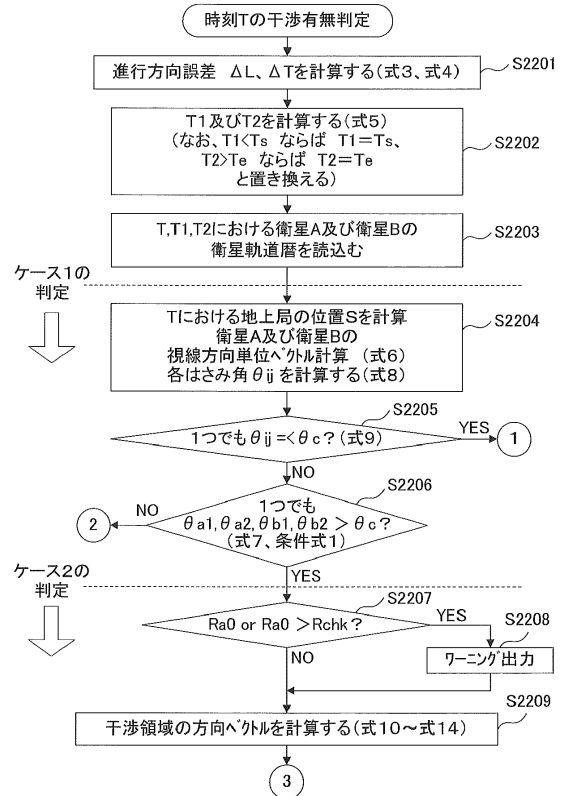
【図 2 1】

実施形態に係る情報処理装置の
機能ブロック構成を例示する図



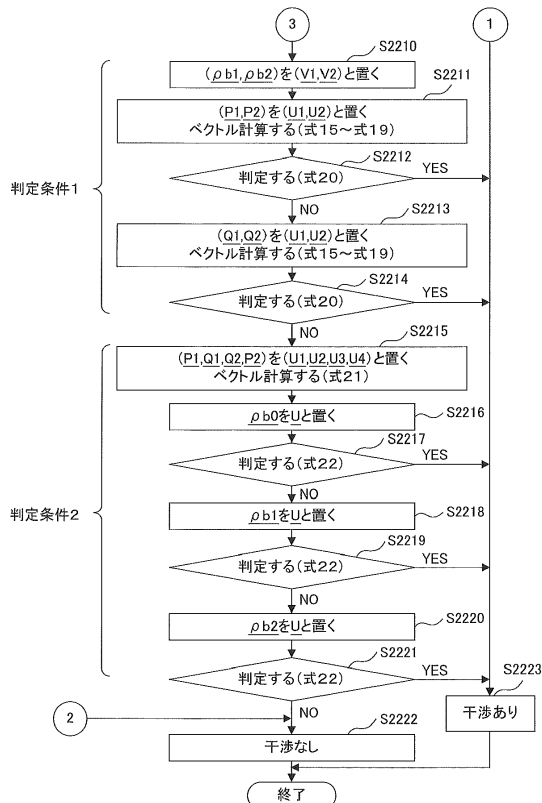
【図 2 2 A】

情報処理装置の制御部によって実行される
時刻Tにおける電波干渉判定処理を例示する図



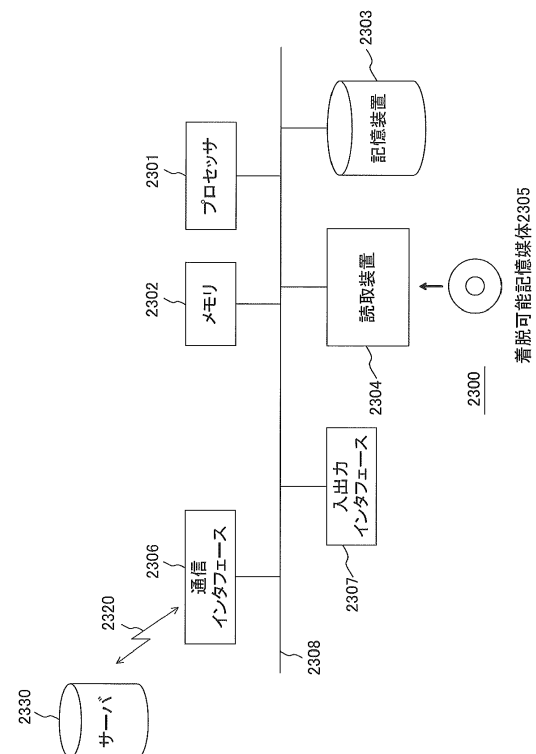
【図 2 2 B】

情報処理装置の制御部によって実行される
時刻Tにおける電波干渉判定処理を例示する図



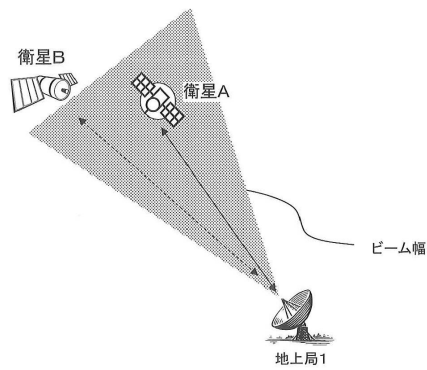
【図 2 3】

実施形態に係る情報処理装置を実現するための
コンピュータのハードウェア構成を例示する図



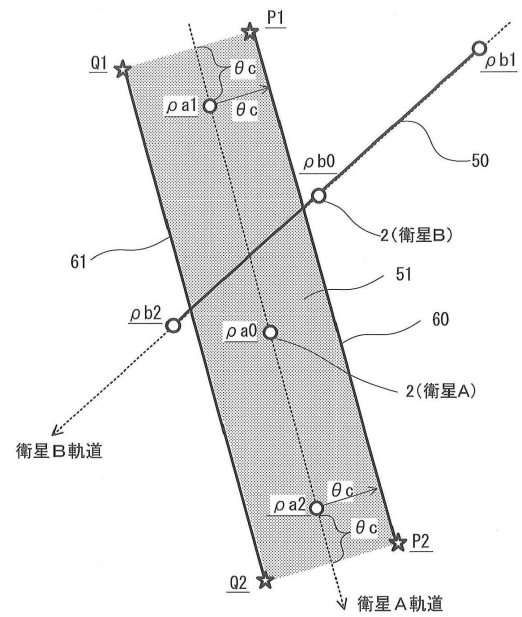
【図 1】

電波の干渉が発生するほど2つの衛星が
近接した方向に存在する場合を示す図



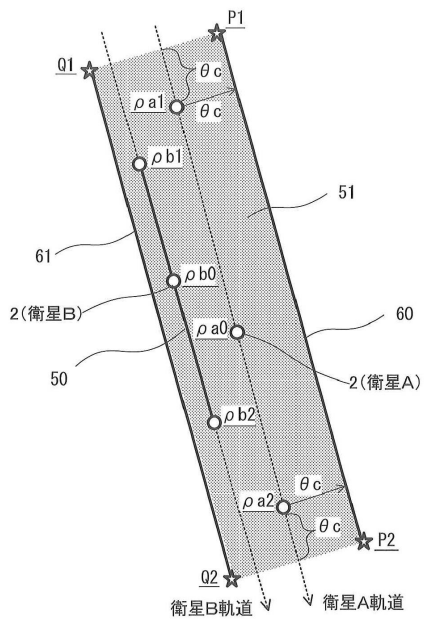
【図 15】

予測誤差が大きい場合の実施形態に係る
電波干渉の判定の例を示す図



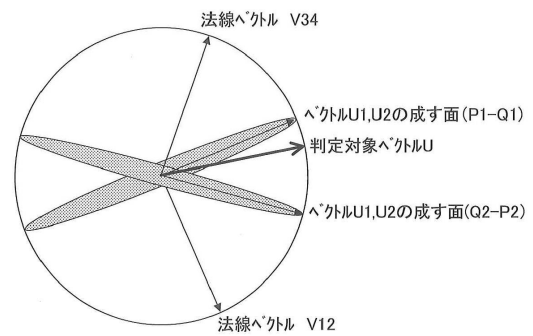
【図 16】

予測誤差が大きい場合の実施形態に係る
電波干渉の判定の別の例を示す図



【図 20】

干渉領域内の視線方向ベクトルの
包含判定について説明する図



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001-273344(JP,A)
特開平5-274600(JP,A)
米国特許第6102334(US,A)
特表2009-517973(JP,A)
特開2007-256004(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 6 4 G	3 / 0 0
H 0 4 B	7 / 1 5 5