

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6621219号
(P6621219)

(45) 発行日 令和1年12月18日 (2019. 12. 18)

(24) 登録日 令和1年11月29日 (2019. 11. 29)

(51) Int. Cl.	F I
HO 4 B 17/309 (2015. 01)	HO 4 B 17/309
HO 4 K 3/00 (2006. 01)	HO 4 K 3/00

請求項の数 15 (全 55 頁)

(21) 出願番号	特願2017-535150 (P2017-535150)	(73) 特許権者	517093500
(86) (22) 出願日	平成27年9月16日 (2015. 9. 16)		ノッティンガム サイエントフィック
(65) 公表番号	特表2017-531410 (P2017-531410A)		リミテッド
(43) 公表日	平成29年10月19日 (2017. 10. 19)		NOTTINGHAM SCIENTIF
(86) 国際出願番号	PCT/GB2015/052682		IC LIMITED
(87) 国際公開番号	W02016/042325		イギリス, ノッティンガムシャー エヌ
(87) 国際公開日	平成28年3月24日 (2016. 3. 24)		ジー2 1アールティ, ノッティンガム
審査請求日	平成30年9月10日 (2018. 9. 10)		, リバーサイド ビジネス パーク,
(31) 優先権主張番号	1416365.3		トトル ロード, ロクスリー ハウス
(32) 優先日	平成26年9月16日 (2014. 9. 16)	(74) 代理人	100107456
(33) 優先権主張国・地域又は機関	英国 (GB)		弁理士 池田 成人
		(74) 代理人	100162352
			弁理士 酒巻 順一郎
		(74) 代理人	100123995
			弁理士 野田 雅一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 G N S S 妨害信号検出

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

G N S S 妨害信号を分類する方法であって、
ツリーベースの決定プロセスを用いて前記妨害信号のスペクトログラムを解析するステップと、
結果として、有限数の種類の妨害信号のうちの 1 つを選択するステップと、
を含み、
前記ツリーにおける前記決定のうちの 1 つが、前記スペクトログラムがスペクトル周期性を有するか否かの決定である、
方法。

【請求項 2】

前記方法は、
前記スペクトル周期性を有するか否かの決定に先立って、前記スペクトログラムを修正するステップ、
を含み、当該修正するステップが、低電力の過程を取り除くことを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記方法は、
前記スペクトル周期性を有するか否かの決定に先立って、前記スペクトログラムを修正するステップ、

を含み、当該修正するステップが、前記スペクトログラムを時間領域で自動相関させることを含む、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記スペクトログラムをフーリエ変換して、時間領域情報を周波数領域情報に変換するステップ、

を含む、請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記スペクトログラムがスペクトル周期性を有するか否かの決定の結果がスペクトル周期性を有するという結果である場合、周波数変動を試験するステップが実行され、

前記スペクトログラムがスペクトル周期性を有するか否かの決定の結果がスペクトル周期性を有さないという結果である場合、前記周波数変動を試験するステップは実行されない、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項 6】

前記方法は、

前記妨害信号の周波数変動を試験するステップ、

を含み、

当該試験するステップが、前記妨害信号の前記スペクトログラムをスキューさせて、時間軸に沿って周波数に応じた異なる量だけデータをシフトさせることであり、時間領域において、このようなスキューイングスペクトログラムがより良い規定信号成分グループを有する場合、前記妨害信号が周波数変動を有するものと判断される、ことを含む、

20

請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記方法は、

1 つ又は複数の種類の妨害信号を 1 つ又は複数の異なる種類から区別する試験を行うステップ、

を含み、

当該試験を行うステップが、時間領域において、前記スペクトログラムがより良い規定信号成分グループを有するように、時間軸に沿って異なる量だけ前記スペクトログラムの異なるストリップをシフトさせることであり、このような各ストリップが、複数の異なる周波数を網羅する少なくとも 1 つの周波数帯に関係する、ことを含む、

30

請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記スペクトログラムがスペクトル周期性を有するか否かの決定の結果がスペクトル周期性を有さないという結果である場合、時間周期性を試験するステップが実行され、

前記スペクトログラムがスペクトル周期性を有するか否かの決定の結果がスペクトル周期性を有するという結果である場合、前記時間周期性を試験するステップが実行されない、

請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

計算、試験、解析ステップ、及び他の信号処理ステップがすべて、後で処理される信号を検出する検出器に局所的に提供されたコンピュータプロセッサにより実行される、請求項 1 ～ 8 のいずれか一項に記載の方法。

40

【請求項 10】

G N S S 妨害信号の検出器であって、

G N S S 信号アンテナと、

G N S S 受信機と、

ソフトウェアに関連付けられたコンピュータプロセッサであって、前記ソフトウェアは、当該コンピュータプロセッサにより実行された場合に、請求項 9 に記載された、前記コンピュータプロセッサにより実行されるステップを、前記検出器により実行させる、当該コンピュータプロセッサと、

50

を備えた、検出器。

【請求項 1 1】

前記検出器は、位置固定検出器である、
請求項 1 0 に記載の検出器。

【請求項 1 2】

中央サーバ及び別の類似検出器の少なくとも一方との通信を容易にする無線通信モジュール、を具備した、請求項 1 0 又は 1 1 に記載の検出器。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の検出器を複数台含むネットワークであって、
各検出器は、前記ネットワークの中央サーバ及び別の検出器の少なくとも一方と通信するように構成された、ネットワーク。

10

【請求項 1 4】

G N S S 検出器のコンピュータプロセッサに、請求項 1 0 ~ 1 3 のいずれか一項に記載された前記コンピュータプロセッサにより実行されるステップを、実行させるためのコンピュータソフトウェアプログラム。

【請求項 1 5】

請求項 1 3 に記載された、検出器を複数台含むネットワークの制御、及び当該ネットワークとの通信、を行うようにプログラムされた中央サーバ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0 0 0 1】

本発明は、G N S S 妨害信号（又は、無線周波数干渉（R F I））の検出及び分類の分野に関する。本発明は、より詳細にはG N S S 妨害信号の検出方法、G N S S 妨害信号の分類方法、及びG N S S 妨害信号の位置特定方法に関するが、これらに限定されない。また、本発明は、このような方法を実行するコンピュータプロセッサ及びそのためのソフトウェアに関する。また、本発明は、G N S S 妨害信号検出器にも関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

近年、G N S S は、安全及び金融取引に関わることから重要と考えられる用途等、様々な分野のますます多くの用途に含まれるようになってきている。G N S S の広範な採用及び使用に対する大きな脅威は、信号干渉及び妨害に対する脆弱性であり、これらは、G N S S サービスを大幅に劣化させ、性能に影響を及ぼす可能性がある。影響は、精度の低下からG N S S サービスの完全な否定にまで及ぶ。意図的でないR F Iの脅威については、以前から認識されており、R F スペクトルが過密になって、これらの周波数を使用する機器がこれまで以上に多くなるにつれて大きくなる。意図的な妨害については、いわゆる個人用プライバシー保護装置（P P D）等の民生用妨害装置の低コスト及び広い有用性に起因して、深刻な問題となっている。

30

【0 0 0 3】

意図的な信号又は意図的でない信号のいずれに起因するかを問わず、G N S S 妨害信号が存在する場合に、効果的な検出手段を提供することが所望及び／又は要求されている。このような妨害信号は通常、R F 信号（R F 干渉又は「R F I」）となる。このような如何なるG N S S 妨害信号検出器も、G N S S 妨害信号を分類可能であるとともに、その推定位置を決定可能であることが望ましい。干渉源の種類及び位置を把握することによって、より適当且つ効果的な軽減措置につながる可能性がある。

40

【0 0 0 4】

G N S S 妨害信号検出及び／若しくは分類の目的として不適切な不都合並びに／又は改善可能な不都合を抱えた様々なG N S S R F I 検出器が公知である。このようなG N S S R F I 受信機（G P S W o r l d という雑誌において、「L o n e S e n t i n e l : S i n g l e - R e c e i v e r S e n s i t i v i t y t o R F I n t e r f e r e n c e」（<http://gpsworld.com/gnss-systemsignal-processinglone-senti>

50

nel-11844より入手可能)というタイトルで記載)には、RFI検出が受信機推定信号対雑音比(SNR)[又は、搬送波対雑音密度(CN0)と同等]に基づく点において、民生用(COTS)GPS/GNSS受信機による測定結果に依拠したものがあ

る。この種の技術の第1の欠点は、透明性が限られており、COTS受信機の独自設計が変動することに起因する。この変動に対処するため、妨害信号検出アルゴリズムでは、検出基準を緩くすることによって、この変動を受け入れる必要がある。この種の技術の第2の欠点は、SNR又はCN0が通例、GNSS

関連段階の後に推定され、フィルタリングによって、推定値のノイズが抑制されることである。このプロセスによって、検出の感度が低下するとともに、フィルタ時定数に比例する遅延が導かれる。また、このような受信機では、十分な情報又はデータの提供によって妨害信号の詳細な分類を実現することができない。

10

【0005】

また、ロックインジェータのループ損の追跡、コード及び搬送波コヒーレンスの測定、並びに自動利得制御(AGC)の測定等についても、それぞれがGNSS妨害信号検出を可能にする別の手段として提案されている。ただし、これらの技術についても、SNR又はCN0に依拠した欠点と同様の欠点に直面している。

【0006】

RFIを検出する特定の測定基準の使用に関する別の欠点は、干渉と関連しない要因によって、このような測定基準の一部が変動し得ることである。GNSS信号の強度は、衛星信号が反射、回折して完全に見えなくなる局所的な運用環境によって異なる。例えば、システムがCN0又は追跡衛星数のみを考慮に入れる場合は、任意の劣化の原因がRFI

20

であるかを判定することができない。

【0007】

GNSS妨害信号の検出用として提案されている別の種類のシステム(例えば、Wende, J., Kurzahls, C., Houdek, M., Samson, J.による論文「An interference monitoring system for GNSS reference stations」、Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM)、2012 15th International Symposium on, vol., no., pp. 1, 5, 25 - 28 June 2012を参照)は、COTS実時間スペクトルアナライザである。このようなスペクトルアナライザを使用すれば、連続したスペクトル解析の実行によって、RFIをモニタリング及び特性化することができる。強力なスペクトル解析機能の恩恵により、このようなシステムでは、上述の技術と比較して、より高い感度が得られる場合がある。ただし、より強力ではあるものの、このような実時間スペクトルアナライザは非常に高価であり、GNSS妨害信号の検出に役立たない多くの点でより高機能となっている。実際、このようなCOTSスペクトルアナライザの機能の大部分は、GNSS妨害信号の検出に不要である。このようなCOTSスペクトルアナライザを使い易くて実用的なGNSS妨害信号検出システムに組み込むことは、自明の課題ではない。したがって、このようなCOTSスペクトルアナライザの用途は、ある期間のデータを捕捉して手動で後々解析可能な特定の現場の1回限りの調査に限られ得る。このようなCOTSスペクトルアナライザは、大多数の所望用途にとって、費用対効果に優れたソリューションでもなければ実用的なソリューションでもない。

30

40

【0008】

GNSS RFI検出及び特性化に関して、様々な学術論文が提示されているものの、このような論文では、別途詳細及び/又は別途発明的活動の必要なく、完全に機能するGNSS RFI検出器を当業者が製造できるだけの十分な詳細が提供されていない。

【0009】

本発明は、上述の問題/不都合のうちの1つ又は複数を軽減しようとする。この代替又は追加として、本発明は、GNSS妨害信号を検出する改良された方法を提供しようとする。この代替又は追加として、本発明は、GNSS妨害信号を分類する改良された方法を提供しようとする。この代替又は追加として、本発明は、GNSS妨害信号を位置特定す

50

る改良された方法を提供しようとする。この代替又は追加として、本発明は、改良されたGNSS妨害信号検出器を提供しようとする。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】雑誌「GPS World」、「Lone Sentinel: Single-Receiver Sensitivity to RF Interference」、URL: <http://gpsworld.com/gnss-systemsignal-processinglone-sentinel-11844>

【非特許文献2】Wende, J., Kurzhals, C., Houdek, M., Samson, J. による論文「An interference monitoring system for GNSS reference stations」、Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM)、2012 15th International Symposium on、vol., no., pp. 1, 5, 25-28 June 2012

【発明の概要】

【0011】

本発明の第1の態様によれば、GNSS妨害信号（又は、RFI信号）を分類する方法であって、ツリーベースの決定プロセスを用いて妨害信号のスペクトログラムを解析するステップと、結果として、有限数の種類の妨害信号のうちの1つを選択するステップと、を含み、ツリーにおける決定のうちの1つが、スペクトログラムがスペクトル周期性を有するかである、方法が提供される。

【0012】

本発明の第2の態様によれば、検出器でGNSS妨害信号を検出する方法であって、妨害信号の検出の信頼性を表す複数の信頼値を計算するステップであり、信頼値が、

(i) 所与の時間ウィンドウ及び閾値電力レベルにおいて、検出器で受信された信号の絶対電力の指標を検出器の帯域幅全体で比較する試験と、

(ii) 所与の時間ウィンドウ及び閾値電力変化率において、検出器で受信された信号の電力の変化率の指標を検出器の帯域幅全体で比較する試験と、

(iii) 所与の時間ウィンドウにおいて、狭帯域幅で所与の周波数を中心とする所与の全周波数帯それぞれにわたって検出器で受信された信号の測定電力を、所与の周波数帯と関連付けられた閾値電力レベルと比較する試験と、

(iv) 所与の時間ウィンドウにおいて、狭帯域幅で所与の周波数を中心とする所与の周波数帯にわたって検出器で受信された信号の測定電力の変化率を、所与の周波数帯と関連付けられた閾値電力変化率と比較する試験と、

(v) 検出器の少なくとも一部を構成するGNSS受信機の出力であり、GNSS受信機により受信又は生成された位置特定データの品質を表す、出力と閾値品質レベルとを比較する試験と、

(vi) 検出器の少なくとも一部を構成するGNSS受信機の出力であり、GNSS受信機により受信又は生成された位置特定データの品質を表す、出力の変化率と閾値品質変化率とを比較する試験と、

のうちの4つ以上に基づく、ステップと、

(a) 試験(i)及び(ii)の両方が実行された場合、試験(i)及び(ii)の結果としての信頼値の組み合わせ、

(b) 試験(iii)及び(iv)の両方が実行された場合、試験(iii)及び(iv)の結果としての信頼値の組み合わせ、

(c) 試験(v)及び(vi)の両方が実行された場合、試験(v)及び(vi)の結果としての信頼値の組み合わせ、

(d) 試験(i)、(iii)、及び(v)のうちの2つ若しくは3つが実行された場合、実行された試験のうちの2つ若しくは3つの結果としての信頼値の組み合わせ、並び

に、

(e) 試験 (i i)、(i v)、及び (v i) のうちの 2 つ若しくは 3 つが実行された場合、実行された試験のうちの 2 つ若しくは 3 つの結果としての信頼値の組み合わせ、

という計算のうちの少なくとも 3 つの組み合わせに基づいて妨害信号の検出を判断するか否かについてのグローバル決定を計算するステップと、

を含む、方法が提供される。

【 0 0 1 3 】

本発明の第 3 の態様によれば、GNSS 妨害信号を検出して位置特定する方法であって、

GNSS 妨害信号の存在を検出するように構成された少なくとも 1 つの位置固定信号検出器を用意するステップと、

位置固定信号検出器による検出としての妨害信号の存在の検出に際して、モバイル信号検出器をディスパッチするステップと、

複数の異なる場所でモバイル信号検出器を使用することにより、妨害信号の 1 つ又は複数の特性を測定するステップであり、

モバイル信号検出器が、妨害信号の発生源の場所を手動オペレータが決定できるようにするフィードバックをオペレータに提供する、ステップと、

を含む、方法が提供される。

【 0 0 1 4 】

本発明の第 4 の態様によれば、検出器で GNSS 妨害信号を検出する方法であって、無線周波数信号の電力を表すアナログ信号を受信するステップと、所与のタイミングの電力がデジタル値によって表される量子化デジタル信号にアナログ信号を変換するステップと、測定ウィンドウにおいて受信されたデジタル値列からデジタル電力量を計算するステップと、測定ウィンドウについて、量子化モデル、特定の測定ウィンドウで行われた測定の数のサンプル分散、及び特定の測定ウィンドウに関する環境分散を考慮した閾値を計算するステップと、デジタル電力量及び計算した閾値に基づいて、妨害信号検出パラメータを計算するステップと、を含む、方法が提供される。

【 0 0 1 5 】

本発明の第 5 の態様によれば、GNSS 妨害信号を分類する方法であり、有限数の種類の妨害信号のうちの 1 つが GNSS 妨害信号を分類するものとして選択される、方法であって、妨害信号のスペクトログラムを解析することにより、信号成分を時間領域においてグループ化しようとする際に、時間軸に沿って異なる量だけスペクトログラムの異なる部分をシフトさせることによって、1 つ又は複数の種類の妨害信号を 1 つ又は複数の異なる種類から区別するステップを含む、方法が提供される。

【 0 0 1 6 】

本発明の第 6 の態様によれば、GNSS 妨害信号の検出器であって、GNSS 信号アンテナと、GNSS 受信機と、コンピュータプロセッサであり、コンピュータプロセッサ上で実行された場合に、本発明の方法又は装置の任意の態様に関して本明細書に記載又は特許請求のコンピュータプロセッサにより実行されるステップを検出器に実行させるソフトウェアと関連付けられたコンピュータプロセッサと、を備えた、検出器が提供される。

【 0 0 1 7 】

本発明の第 7 の態様によれば、それぞれがネットワーク中の中央サーバ及び別の検出器の少なくとも一方と通信するように構成された本発明の方法又は装置の任意の態様に関して本明細書に記載又は特許請求の検出器のネットワークが提供される。

【 0 0 1 8 】

本発明の第 8 の態様によれば、GNSS 検出器のプロセッサ上で実行された場合に、本発明の方法又は装置の任意の態様に関して本明細書に記載又は特許請求のコンピュータプロセッサにより実行されるステップを検出器に実行させるコンピュータソフトウェア製品が提供される。

【 0 0 1 9 】

10

20

30

40

50

本発明の第9の態様によれば、本発明の方法又は装置の任意の態様に関して本明細書に記載又は特許請求の検出器のネットワークの制御及びネットワークとの通信を行うようにプログラムされた中央サーバが提供される。

【0020】

本発明の第10の態様によれば、コンピュータサーバ上で実行された場合に、本発明の方法又は装置の任意の態様に関して本明細書に記載又は特許請求のサーバの機能を実行するコンピュータソフトウェア製品が提供される。

【0021】

当然のことながら、本発明の一態様に関して記載する特徴は、本発明の他の態様にも含まれ得ることが理解されるだろう。例えば、本発明の方法は、本発明の装置に関連して説明する特徴のいずれかを含むことができ、その逆も可能である。

10

【0022】

以下、添付の模式的な図面を参照して、本発明の実施形態を説明するが、これらはほんの一例に過ぎない。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る、位置固定信号検出器（主プローブ）、モバイル信号検出器（副プローブ）、ローカルハブ、及び中央サーバから成るシステムを示した図である。

【図2】主プローブのブロック図である。

20

【図3】主プローブの動作のフローチャートである。

【図4】副プローブのブロック図である。

【図5a】副プローブを用いた妨害信号の位置特定のフローチャートである。

【図5b】副プローブを用いた妨害信号の位置特定のフローチャートである。

【図6】電力ベースの検出のアルゴリズムを示したフローチャートである。

【図7】スペクトルベースの検出のアルゴリズムを示したフローチャートである。

【図8a】測定ベースの検出のアルゴリズムを示したフローチャートである。

【図8b】測定GPS衛星の高度に対する測定信号対雑音比の例示的なグラフである。

【図9】6つの検出アルゴリズムをまとめた図である。

【図10】RFIの種類及びそれぞれの対応する特性を示した表である。

30

【図11】分類決定ツリーの一実施形態を示した図である。

【図12a】本発明の一実施形態に係る、信号処理前及び信号処理後の測定信号を表すスペクトログラムを示した図である。

【図12b】本発明の一実施形態に係る、信号処理前及び信号処理後の測定信号を表すスペクトログラムを示した図である。

【図12c】本発明の一実施形態に係る、信号処理前及び信号処理後の測定信号を表すスペクトログラムを示した図である。

【図12d】本発明の一実施形態に係る、信号処理前及び信号処理後の測定信号を表すスペクトログラムを示した図である。

【図12e】本発明の一実施形態に係る、信号処理前及び信号処理後の測定信号を表すスペクトログラムを示した図である。

40

【図13】スペクトログラム演算の模式図である。

【図14】スペクトル周期性試験のフローチャートである。

【図15a】水平調整試験のフローチャートである。

【図15b】水平調整後の総計の例示的なグラフである。

【図16】デューティサイクル試験のフローチャートである。

【図17】シフト合計試験のフローチャートである。

【図18】時間周期性試験のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0024】

50

本発明の特定の実施形態は、GNSS妨害信号を分類する方法に関係する。このような方法は、妨害信号のスペクトログラムを解析するステップを含んでいてもよい。この解析には、ツリーベースの決定プロセスの使用を含んでいてもよい。ツリーにおける決定のうちの1つは、スペクトログラムがスペクトル周期性を有するかであってもよい。このようなステップを実行することには、ある妨害信号種グループと別の妨害信号種グループとを高い精度で強力且つ明確に区別可能となる潜在的な利点がある。このような方法を使用するにより、GNSS妨害信号を分類するプロセス効率的な手段によって、時間及び/又は電力を節約することができる。上記決定では、有限且つ完全な一連の種類(例えば、既定クラス)の妨害信号の考え得るすべての種類を完全集合の2つ(2つのみ)の異なる部分集合に分割するようにしてもよい。このような解析の後、有限数の種類(又は、クラス)の妨害信号のうちの1つが選択されるようになっていてもよく、これには、他の後続決定を含んでいてもよい。したがって、GNSS妨害信号を分類するステップの結果、検出されたGNSS妨害信号は、GNSS妨害信号の1つ又は複数の異なるクラスと一致する特定の特性を有するものとして特性化され得ることが了解される。この方法では、GNSS妨害信号と判断された任意の検出信号が有限数のクラスのうちの1つ(又は、複数)に属するものとして分類可能であってもよい。クラスのうちの1つは、その他任意のクラスに分類不可能な信号を表していてもよいが、そのような「雑多」なクラスは存在しないのが好ましい。スペクトログラムには、時間領域において検出された信号に関する情報を含んでいてもよい。スペクトログラムには、周波数領域において検出された信号に関する情報を含んでいてもよい。スペクトログラムには、検出された信号の電力に関する情報を含んでいてもよい。スペクトログラムには、所与の周波数で検出された信号の電力又は様々な周波数の平均電力に関する情報を含んでいてもよい。スペクトログラムには、所与の時間に検出された信号の電力又はある時間期間の平均電力に関する情報を含んでいてもよい。電力情報は、例えば最大振幅及び/又は信号振幅の二乗平均平方根(RMS)値等、信号の振幅の指標の形態であってもよい。スペクトログラムは、電力値の2次元行列(例えば、テーブル又はアレイ)の形態であり、一方の次元が信号周波数を表し、他方の次元が時間を表していてもよい。スペクトログラムには、信号の1つ又は複数のアナログ表現を含んでいてもよいが、スペクトログラムがデジタル表示されるのが好ましい。スペクトログラムが行列の形態の場合は、上記のように周波数及び時間軸を表す行及び列に配置された値(例えば、電力値)のセルを含むものと考えられる。

【0025】

スペクトル周期性の決定における使用に先立って、スペクトログラムを修正するステップが存在していてもよい。この修正ステップは、スペクトログラム中の低電力の過程を取り除くことを含んでいてもよい。この修正ステップは、低電力の周波数帯を検出して取り除くことを含んでいてもよい。この修正ステップは、個々の電力値を検出して取り除くことを含んでいてもよい。例えば、所与の基準を満足する電力値を有するスペクトログラムの任意のライン(列であれ行であれ、すなわち、時間領域であれ周波数領域であれ)、ライングループ、セル、又はセルグループがゼロに再設定されるようになっていてもよい。例えば、行列の形態の場合のスペクトルのセルが既定閾値よりも低い場合、セルの値は、ゼロに設定されるようになっていてもよい。セルグループ(例えば、列又は行)の平均電力が閾値未満である場合は、グループ中のセルすべてがゼロに設定されるようになっていてもよい。このような低電力除去ステップによって、スペクトログラムのノイズを抑えることができる。この代替又は追加として、修正ステップは、例えば時間領域において、スペクトログラムを自動相関させるステップを含んでいてもよい。このような自動相関値は、時間差ゼロで最初のピークを除去することにより、さらに修正されるようになっていてもよい。このような自動相関値は、経時変化しないスペクトログラム周波数成分(例えば、単一トーン)又はランダムに経時変化するスペクトログラム周波数成分(例えば、ホワイトノイズ)を表すDC項を除去することにより、さらに修正されるようになっていてもよい。

【0026】

スペクトログラムの自動相関をフーリエ変換して、時間領域情報を周波数領域情報に変換するステップが存在していてもよい。このようなステップは、信号の経時的な周波数分散の周期性が存在する場合、それを決定するのに役立ち得る。フーリエ変換したスペクトログラムの解析によって、例えばある所定の閾値を上回る１つ又は複数のピーク等、スペクトル周期性に有意なピークが存在するかを検出するようにしてもよい。

【 0 0 2 7 】

スペクトログラムがスペクトル周期性を有するものと決定された場合は、周波数変動を試験するステップが存在していてもよい。スペクトログラムがスペクトル周期性を有さないものと決定された場合は、周波数変動を試験するステップが実行されなくてもよい。このように、スペクトログラムがスペクトル周期性を有するか否かの試験の結果に基づいて、周波数変動を試験するか否かを決定するようにしてもよい。このような決定をすることにより、周波数変動を試験する必要をなくせるため、G N S S 妨害信号の分類の効率が向上し得る。

【 0 0 2 8 】

この方法は、スペクトログラムがスペクトル周期性を有するかについての決定の結果がスペクトル周期性を有するという結果である場合、信号がパルス化／電力変動しているかを試験するステップが実行される一方、スペクトログラムがスペクトル周期性を有するかについての決定の結果がスペクトル周期性を有さないという結果である場合、信号がパルス化／電力変動しているかを試験するステップが実行されないようになっていてもよい。このように、スペクトログラムがスペクトル周期性を有するか否かの試験の結果に基づいて、信号がパルス化／電力変動しているかを試験するか否かを決定するようにしてもよい。

【 0 0 2 9 】

信号がパルス化しているかを試験するステップには、信号をサンプリングすることと、サンプルをブロックに分割することと、各ブロックの平均電力を計算することと、各ブロックに割り当てられた結果的な電力値を解析することとを含んでいてもよい。例えば、一部のブロックが高電力ブロック（例えば、「R F I オン」ブロック）と判断されるようになっていてもよい。一部のブロックが低電力ブロック（例えば、「R F I オフ」ブロック）と判断されるようになっていてもよい。信号を少数のブロックグループに分割可能であり、各グループに関連する電力レベルの範囲が狭い場合は、信号がパルス化しているものと判断されるようになっていてもよい。信号は、低電力又はゼロ電力且つ「R F I オフ」を表すものと判断された有意数のブロックグループを有するとともに、相対的に高い電力を表すものと判断された有意数のブロックグループを有する場合、パルス化しているものと判断されるようになっていてもよい。ブロックは、２つのグループに分割され、一方のグループが「R F I オフ」状態を表し、他方のグループが「R F I オン」状態を表していてもよい。「R F I オフ」状態に割り当てられたブロックは、全ブロックの平均電力（又は、測定ウィンドウにおける信号の平均電力）未満の平均電力を有するブロックであってもよい。「R F I オフ」状態に割り当てられたそれらのブロックは、既定閾値未満の平均電力を有するブロックであってもよい。「R F I オフ」状態に割り当てられていないブロックは、「R F I オン」状態に割り当てられていてもよい。「R F I オン」ブロックの平均電力は、既定閾値と比較されるようになっていてもよい。「R F I オフ」ブロックの平均電力は、既定閾値と比較されるようになっていてもよい。また、「R F I オン」ブロックの平均電力は、「R F I オフ」ブロックの平均電力と比較されるようになっていてもよい。このような１つ又は複数の比較によって、信号がパルス化しているかを決定するようにしてもよい。このような１つ又は複数の比較によって、信号が電力変動しているかを決定するようにしてもよい。

【 0 0 3 0 】

スペクトログラムがスペクトル周期性を有するかについての決定の結果がスペクトル周期性を有さないという結果である場合は、信号が時間周期的であるかを試験するステップが存在していてもよい。このような試験には、時間領域信号に対する自動相関機能の実行

10

20

30

40

50

を含んでいてもよい。

【0031】

妨害信号の周波数変動を試験するステップが存在していてもよい。例えば、周波数変動の試験の一部として、妨害信号のスペクトログラムをスキューさせるステップが存在していてもよい。スキューイングでは、時間軸に沿って周波数に応じた異なる量だけデータをシフトさせるようにしてもよい。その後、時間領域において、このようなスキューイングスペクトログラムが基準スペクトログラム又は閾値よりも良い規定信号成分グループを有するかの試験が存在していてもよい。基準スペクトログラム又は閾値は、非スキューイングスペクトログラムに基づいていてもよい。スキューイングスペクトログラムがより良い規定（有意に良い規定）信号成分グループを有する場合は、妨害信号が周波数変動を有するものと判断されるようになっていてもよい。この方法では、上記のような状態において、妨害信号が周期的な周波数変動を有するものと判断可能であってもよい。スキューは、線形スキューであってもよい。例えば、スキューイングでは、時間軸に沿って、周波数と関連するパラメータに比例した量だけデータをシフトさせるようにしてもよい。上述の通り、スペクトログラムは、（当然のことながら任意の）行及び列を表す2次元アレイにより表され、行及び列の一方が時間を表し、行及び列の他方が周波数を表し、行及び列の各交点が、当該時間及び当該周波数における信号の電力の値であってもよい。また、当然のことながら、このようなアレイの各値は、（所与の周波数を中心とする）特定の周波数帯にわたる（所与の時間を中心とする）所与の時間期間における信号の電力（例えば、平均又は合計電力）を表す場合がある。水平軸（すなわち、行）に沿って時間を有するとともに垂直軸（すなわち、列）に沿って周波数を有することでスペクトログラムが表され、電力又は特定の時間及び特定の周波数における妨害信号への寄与を表すその他何らかのパラメータが値（すなわち、直交軸に沿った点）で表されている場合、スキューは、スペクトログラムの水平スキューと考えられるようになっていてもよい。このような方法は、水平調整試験と称する場合がある。例えば、N個の値の行において、1番目、2番目、及びn番目のセル C_1 、 C_2 、 \dots 、 C_{N-1} 、及び C_N の電力の値が P_1 、 P_2 、 \dots 、 P_{N-1} 、及び P_N であり、水平方向にX個のセル（ $1 < X < N - 1$ ）だけシフトすると、以前のセル C_1 、 C_2 、 \dots 、 C_{N-1} 、及び C_N の値 P_1 、 P_2 、 \dots 、 P_{N-1} 、及び P_N が C_{1+X} 、 C_{2+X} 、 \dots 、 C_{X-1} 、及び C_X へとシフトするように、データのシフトは円形であってもよい。Xが小数値として計算された場合、シフトは、xの四捨五入又は補間によって実行されるようになっていてもよい。この方法では、スペクトログラムの複数のスキューを含んでいてもよい。この方法には、スペクトログラムにより表される経時的に取得された離散サンプルの半分以上の数のスキューの実行を含んでいてもよい。この方法には、スペクトログラムにより表される経時的に取得された離散サンプルと実質的に同数のスキューの実行を含んでいてもよい。複数のスキューイングスペクトログラムが計算される場合は、電力値を最も良くグループ化したスキューイングスペクトログラムが選択されるようになっていてもよい。この最も良くグループ化したスキューイングスペクトログラムが閾値よりある量だけ良い信号成分のグループを有する場合、妨害信号は、周波数変動を有するものと判断されるようになっていてもよい。また、スキューイングスペクトログラムと非スキューイングスペクトログラムとの比較として、信号成分がどれほど良くグループ化されているかを計算するステップが存在していてもよい。このようなステップは、所与の時間を表す各ライン（例えば、列）の値を合計するとともに、より多くの高い合計値が存在するかを評価することによって実現されるようになっていてもよい。例えば、各列（それぞれ、タイミングを表す）を合計し、値を1より大きな（好ましくは、2以上の）乗数で大きくした後、これらの数を合計することによって、単一のパラメータが計算されるようになっていてもよい。このような単一のパラメータは、信号電力がそろっている場合に著しく高くなるため、異なる量だけスキューさせたスペクトログラム間で電力のグループを比較するのに便利な手段である。このような単一のパラメータが既定閾値よりも大きい場合、妨害信号は、周波数変動を有するものと判断されるようになっていてもよい。既定閾値は、非スキューイングスペクトログラムについて計算した単一の

10

20

30

40

50

パラメータに応じて設定されるようになっていてもよい。例えば、閾値は、非スキューイングスペクトログラムについて計算した単一のパラメータに（例えば、2より大きな）定数である係数を乗じたものに等しくてもよい。

【0032】

時間軸に沿って異なる量だけスペクトログラムの異なるストリップをシフトさせることにより、1つ又は複数の種類の妨害信号を1つ又は複数の異なる種類から区別する試験を行うステップが存在していてもよい。このような各ストリップは、複数の異なる周波数を網羅する少なくとも1つの周波数帯に関係していてもよい。このような方法は、シフト合計試験と称する場合がある。ストリップのシフトは、ある点では上述のスキューイングと同様であってもよい。例えば、ストリップのシフトに際して、このシフトは円形であってもよい。ストリップのシフトにより、時間軸に沿って異なる量だけ、データがシフトされるようになっていてもよい。この方法の部分におけるストリップのシフトは、スペクトログラムの時間領域において、電力値をより良くそろえることを目的としていてもよい。このため、シフトの量は、時間軸に沿って電力値をより良くグループ化するために計算されるようになっていてもよい。また、時間領域において、ストリップをシフトさせたスペクトログラムが基準スペクトログラム又は閾値よりも良い規定信号成分グループを有するかの試験が存在していてもよい。基準スペクトログラム又は閾値は、シフトさせていないスペクトログラムに基づいていてもよい。シフトさせたスペクトログラムがより良い規定（有意に良い規定）信号成分グループを有する場合は、妨害信号が周波数ホッピング信号であるものと判断されるように、決定ツリーが構成されていてもよい。この方法では、完全なストリップシフトスペクトログラムを1つだけ生成するようにしてもよく、このスペクトログラムを複数のストリップに分割するとともに、このようなすべてのストリップにおいて電力値を整列させることにより、時間領域において可能な限りの整列を図るようにする。この方法は、スペクトログラムにおける電力分布に応じてストリップの境界を決定するステップを含んでいてもよい。また、スキューイングスペクトログラムと非スキューイングスペクトログラムとの比較に関して上述したのと実質的に同じように、シフトスペクトログラムと非シフトスペクトログラムとの比較として、信号成分がどれほど良くグループ化されているかを計算するステップが存在していてもよい。シフトは、複数の異なる周波数を網羅する少なくとも1つの周波数帯に関係するスペクトログラムの部分が同じ量だけ時間軸に沿ってシフトされる一方、他の周波数に関係するスペクトログラムの他の部分が異なる量だけ時間軸に沿ってシフトされるようになっていてもよい。

【0033】

妨害信号がスペクトル周期性及び周波数変動を有するものと判定されたら、周波数ホッピング信号と周波数連続変化（例えば、掃引）信号とを区別する試験が行われるのが好ましい。これは、上述のシフト合計試験の結果を上述の水平合計試験の結果と比較することによって実現可能である。

【0034】

スペクトログラムがスペクトル周期性を有するかについての決定の結果がスペクトル周期性を有さないという結果である場合は、時間周期性を試験するステップが実行されるようになっていてもよい。スペクトログラムがスペクトル周期性を有するかについての決定の結果がスペクトル周期性を有するという結果である場合は、時間周期性を試験するステップが実行されないようになっていてもよい。このように、スペクトログラムがスペクトル周期性を有するか否かの試験の結果に基づいて、時間周期性の試験を実行するか否かを決定するようにしてもよい。

【0035】

この方法の実行により、5つの異なる種類と、少なくとも5つ（好ましくは、少なくとも10個）が非パルス広帯域ノイズ、非パルス狭帯域ノイズ、非パルス単一トーン、非パルスマルチトーン、非パルスCDMA（符号分割多重アクセス）信号、パルス広帯域ノイズ、パルス狭帯域ノイズ、パルス単一トーン、パルスマルチトーン、パルスCDMA、非パルスのこぎり歯チャープ、非パルス三角チャープ、非パルスチャープ（のこぎり歯チャ

10

20

30

40

50

ープでも三角チャープでもない)、パルスのこぎり歯チャープ、パルス三角チャープ、パルスチャープ(のこぎり歯チャープでも三角チャープでもない)、連続周波数ホッピング、パルス周波数ホッピングから成るグループに属する20個の異なる種類(好ましくは、20個以下の異なる種類)と、を区別するのが好ましい。

【0036】

以上では、GNSS妨害信号を分類する方法に関する様々な特徴を説明している。本発明の特定の実施形態は、必ずしも同様に分類することなく、GNSS妨害信号を検出することに関する。このような方法は、検出器で検出された信号に関連して実行されるようになっていてもよい。この方法には、妨害信号の検出の信頼性を表す複数の信頼値の計算を含む。信頼値のうちの少なくとも1つは、検出器で受信された信号の絶対電力の解析を含む試験に基づいていてもよい。これには、所与の時間ウィンドウにおいて、好ましくは検出器の帯域幅の実質的に全体にわたって、閾値電力レベルに対して検出器で受信された信号の絶対電力の指標を比較することを含んでいてもよい。

10

【0037】

信頼値のうちの少なくとも1つは、検出器で受信された信号の電力の変化率の指標の解析を含む試験に基づいていてもよい。例えば、変化率は、電力の閾値変化率と比較されるようになっていてもよい。このような解析に用いられる電力の変化率は、所与の時間ウィンドウにおいて、検出器の帯域幅全体にわたって測定された電力の変化率であるのが好ましい。

【0038】

20

絶対電力は、検出器の一部を構成する信号増幅器(例えば、可変利得増幅器)により適用された利得を制御するように構成された自動利得制御により適用される利得をサンプリングすることによって導出されるようになっていてもよい。この代替又は追加として、絶対電力は、所与のタイミングの電力がデジタル値によって表される量子化デジタル信号に直接受信アナログ信号を変換することにより計算されるようになっていてもよい。また、測定ウィンドウにおいて受信されたデジタル値列からデジタル電力量が計算されるようになっていてもよい。

【0039】

信頼値のうちの少なくとも1つは、2つ以上の所与の周波数、好ましくは10個以上、可能であれば100個以上の所与の周波数において検出器で受信された信号の測定電力の解析を含む試験に基づいていてもよい。スペクトル解析の実行が好ましい。この解析には、(i)所与の時間ウィンドウにおいて、狭帯域幅で所与の周波数を中心とする所与の周波数帯にわたって検出器で受信された信号の測定電力を(ii)所与の周波数帯と関連付けられた閾値電力レベルと比較することを含んでいてもよい。

30

【0040】

信頼値のうちの少なくとも1つは、2つ以上の所与の周波数、好ましくは10個以上、可能であれば100個以上の所与の周波数において検出器で受信された信号の測定電力の変化率の解析を含む試験に基づいていてもよい。このような試験には、(i)所与の時間ウィンドウにおいて、狭帯域幅で所与の周波数を中心とする所与の周波数帯にわたって検出器で受信された信号の測定電力の変化率を(ii)所与の周波数帯と関連付けられた閾値電力変化率と比較することを含んでいてもよい。検出信号の様々な周波数成分の電力の変化率について、スペクトル解析が実行されるようになっていてもよい。この試験には、(i)所与の時間ウィンドウにおいて、それぞれが狭帯域幅で所与の周波数を中心とする複数の所与の周波数帯それぞれにわたって検出器で受信された信号の測定電力の変化率を(ii)所与の各周波数帯と関連付けられた閾値電力変化率と比較することを含んでいてもよい。

40

【0041】

信頼値のうちの少なくとも1つは、検出器の少なくとも一部を構成するGNSS受信機の出力の解析を含む試験に基づいていてもよい。出力は、GNSS受信機により受信又は生成された位置特定データ/信号の品質を表していてもよい。例えば、GNSS受信機の

50

出力を閾値と比較するステップが存在していてもよい。また、このようなGNSS受信機のこのような出力の変化率を閾値変化率と比較する試験が存在していてもよい。位置特定データの品質に関係する出力は、GNSSデータの精度又は精確性の尺度の形態であってもよい。例えば、GNSS受信機の位置が高い精度で既知の場合は、所与の時間に受信されたGNSSデータにより計算されたGNSS受信機の地理的位置情報の精度及び精確性が位置特定データ/信号の品質の指標であってもよい。位置特定データの品質に関係する出力は、受信機により受信されたGNSS信号中に検出されるノイズの量に関係する計算比の形態であってもよい。位置特定データの品質に関係する出力は、計算された信号対雑音比の形態であってもよい。位置特定データの品質に関係する出力は、計算された搬送波対雑音比の形態であってもよい。出力は、民生用(COTS)GNSS受信機によって直ちに与えられるものであってもよい。閾値は、基準データに基づいて設定されていてもよい。基準データには、検出器でGNSS信号を受信する1つ又は複数のGNSS衛星のID及び位置に基づいて品質(例えば、信号対雑音比)を表すパラメータの期待値を予測可能なデータを含んでいてもよい。衛星が異なれば、生成されるGNSS信号の品質も異なる可能性がある。また、所与の衛星の高度がGNSS信号の品質に影響を及ぼす可能性がある。このように、検出器でGNSS信号を受信する1つ又は複数のGNSS衛星のID及び位置の少なくとも一方に応じて閾値が計算されるようになっていてもよい。

10

【0042】

基準データは、妨害信号が存在しないものと確実に判断可能な時間にわたって収集されるようになっていてもよい。基準データは、少なくとも5時間にわたって収集されるようになっていてもよい。基準データは、少なくとも24時間にわたって収集されるのが好ましい。基準データは、特定の条件を考慮した予想ノイズの尺度の形態であってもよい。基準データは、特定のGNSS衛星を将来的に区分可能となるように収集されるのが好ましい。

20

【0043】

試験(i)~(vi)のうちの少なくとも4つが実行されるようになっていてもよい。試験(i)~(vi)のうちの少なくとも5つが実行されるようになっていてもよい。試験(i)~(vi)がすべて実行されるのが好ましい。

【0044】

上述の試験のうちの実行した試験の実行結果として計算される信頼値の組み合わせに基づいて妨害信号の検出を判断するか否かについてのグローバル決定が行われる。グローバル決定には、(a)試験(i)及び(ii)の結果としての信頼値の組み合わせの解析を含んでいてもよい。このため、全体的な信号電力の絶対値及び全体的な信号電力の変化率の組み合わせがグローバル決定に役立つようになっていてもよい。グローバル決定には、(b)試験(iii)及び(iv)の結果としての信頼値の組み合わせの解析を含んでいてもよい。このため、特定の周波数における信号電力の絶対値及びこのような信号電力の値の変化率の組み合わせがグローバル決定に役立つようになっていてもよい。グローバル決定には、(c)試験(v)及び(vi)の結果としての信頼値の組み合わせの解析を含んでいてもよい。このため、GNSS受信機により受信又は生成された位置特定データ/信号の品質の絶対値及びこのような値の変化率の組み合わせがグローバル決定に役立つようになっていてもよい。グローバル決定には、(d)試験(i)、(iii)、及び(v)のうちの2つ、好ましくは3つすべての結果としての信頼値の組み合わせの解析を含んでいてもよい。このため、異なる尺度の様々な絶対値の組み合わせがグローバル決定に役立つようになっていてもよい。グローバル決定には、(e)試験(ii)、(iv)、及び(vi)のうちの2つ、好ましくは3つすべての結果としての信頼値の組み合わせの解析を含んでいてもよい。このため、異なる尺度の様々な変化率値の組み合わせがグローバル決定に役立つようになっていてもよい。グローバル決定は、上述の計算(a)~(e)のうちの少なくとも3つの組み合わせに基づいてなされるようになっていてもよい。グローバル決定は、上述の計算(a)~(e)のうちの少なくとも4つの組み合わせに基づいてなされ得るのが好ましい。グローバル決定は、計算(a)~(e)のうちの5つすべて

30

40

50

の組み合わせに基づいてなされようになっているてもよい。グローバル決定において、上記のような計算を5つすべて組み合わせて使用することにより、妨害信号の検出の比較的高い精度（及び、これに対応する妨害信号の非存在の判断の高い精度すなわち誤警報の低い発生）を提供可能であることが分かっており都合が良い。

【0045】

GNSS信号関連の実行前には、捕捉後に解析された解析信号/データの一部がサンプリングされるようになっていてもよい（「相関前」信号/データ）。GNSS相関の実行後には、捕捉後に解析された解析信号/データの一部が信号から取り出されるようになっていてもよい（「相関後」信号/データ）。このような相関前及び相関後は、GNSS受信機の分野における技術用語であることが了解される。相関は一般的に、受信GNSS信号に符号化されている位置特定データの読み出しにおける通常のGNSS受信機の動作の本質的側面である。

10

【0046】

妨害信号の検出を判断するか否かについてのグローバル決定は、二分決定（例えば、「妨害信号検出」又は「妨害信号非検出」のような「オン」又は「オフ」決定）として表されるようになっていてもよい。妨害信号の検出を判断するか否かについてのグローバル決定は、信頼値として表されるようになっていてもよい。例えば、信頼値は、0～1の範囲であって、妨害信号が存在するという完全又は非常に高い信頼性を1が表し、妨害信号が存在しないという完全又は非常に高い信頼性を0が表しており、両者間の値が、妨害信号の存在/非存在の確実性の量を表していてもよい。

20

【0047】

試験(i)～(vi)のうちの少なくとも1つによって、妨害信号が存在するという完全な信頼性を示す結果を生成可能であってもよい。試験(i)～(vi)がそれぞれ実行された場合に、妨害信号が存在するという完全な信頼性を示す結果を生成可能であってもよい。計算(a)～(e)は、実行に際して、試験(i)～(vi)のうちのいずれか1つの実行によって妨害信号が存在するという完全な信頼性が示された場合に、妨害信号が存在するか否かについてのグローバル決定が妨害信号の存在を常に判断するようになっていてもよい。試験(i)～(vi)のうちの1つ又は複数によって、妨害信号が存在するという不完全な信頼性を示す結果を生成可能であってもよい。この方法の実行により、妨害信号が存在するという不完全な信頼性のみを示す2つ以上の信頼値の組み合わせによって、実際に妨害信号が存在すると判断するのに十分であってもよい。妨害信号が存在するという不完全な信頼性を示す結果を試験(i)～(vi)のうちの1つだけが生成し、妨害信号が存在するという完全な信頼性を示す結果を試験(i)～(vi)のいずれも生成しない場合は、妨害信号が検出されたものと判断されない。

30

【0048】

本発明の特定の実施形態には、GNSS妨害信号を位置特定する方法に係するという共通点がある。したがって、このような方法には、GNSS妨害信号の検出のみならず、GNSS妨害信号の考え得る位置の特定を含んでいてもよい。GNSS妨害信号の存在を検出するように構成された少なくとも1つの位置固定信号検出器が存在していてもよい。このような位置固定信号検出器は、主プローブと考えられる。位置固定信号検出器により検出される妨害信号の存在の検出に際しては、モバイル信号検出器のディスパッチによって、好ましくはGNSS妨害信号の発生源の位置特定に役立つようになっていてもよい。このようなモバイル信号検出器は、副プローブと考えられる。複数の異なる場所でモバイル信号検出器を使用することにより、信号電力等、妨害信号の1つ又は複数の特性を測定するステップが存在していてもよい。検出された妨害信号の電力は、発生源の位置特定に用いられるのが好ましい。モバイル信号検出器は、妨害信号の発生源の場所を手動オペレータが決定できるようにするフィードバックをオペレータに提供するようにしてもよい。また、位置固定信号検出器により検出される妨害信号の種類が確定されるようになっていてもよい。モバイル信号検出器は、妨害信号の種類の独自分類を実行することにより、妨害信号の同じ発生源の検出を確認するようにしてもよい。妨害信号の種類は、位置固定信

40

50

号検出器からモバイル信号検出器に伝えられるようになっていてもよい。妨害信号の種類は、位置固定信号検出器からモバイル信号検出器のユーザに伝えられるようになっていてもよい。妨害信号の種類は、位置固定検出器から遠隔で実行する方法により確定されるようになっていてもよい。妨害信号の種類は、位置固定検出器が実行する方法により確定されるようになっていてもよい。妨害信号の種類が特性化されたら、妨害信号の電力が検出信号から抽出されるようになっていてもよい。

【0049】

モバイル信号検出器は、例えば妨害信号の発生源の位置特定プロセスの開始及び／又は終了時に、複数の異なる場所のうちの1つで、妨害信号の種類の独自分類を実行するようにしてもよい。モバイル信号検出器は、測定を行う連続した場所の少なくとも一部において、妨害信号の種類の分類を実行しないようにしてもよい。例えば、モバイル信号検出器は、妨害信号の発生源の位置特定に際して最初と最後の測定をいずれも行う場合に、複数の異なる場所のうちの1つで、妨害信号の種類の独自分類を実行するようにしてもよいが、途中の測定の実質的にすべてについては、妨害信号の種類の分類を実行しないようにしてもよい。

【0050】

モバイル信号検出器は、新たな測定を行う新たな場所にオペレータを移動させるようにしてもよい。この場所は、モバイル信号検出器により行われた先行測定に基づいて、当該モバイル信号検出器により選択されるようになっていてもよい。このような指示及び誘導によって、モバイル信号検出器のユーザがGNSS信号妨害の発生源の場所を迅速且つ効率的に決定するのを補助することができる。GNSS妨害信号の存在を検出するように構成された位置固定信号検出器のネットワークが存在していてもよい。また、位置固定信号検出器のネットワークにより決定された妨害信号のおおよその場所の指標を与えるステップが存在していてもよい。

【0051】

妨害信号は、ネットワーク中の位置固定信号検出器のうちの1つのみで検出されるようになっていてもよく、これにより、その他如何なる検出器よりも妨害信号が当該位置固定信号検出器に近いことを示すようにしてもよい。この追加又は代替として、妨害信号が指向性であり、その他如何なる検出器よりも当該位置固定信号検出器へと向かう方向に放射されていることを示していてもよい。妨害信号は、ネットワーク中の位置固定信号検出器のうちの2つ以上で検出されるようになっていてもよく、これにより、ネットワーク中の他の検出器よりも妨害信号が当該位置固定信号検出器に近いことを示すようにしてもよい。この追加又は代替として、妨害信号が指向性であり、ネットワーク中の他の検出器よりも当該位置固定信号検出器へと向かう方向に放射されていることを示していてもよい。

【0052】

上述の通り、本発明の特定の実施形態では、電力ベースの測定により、検出器でGNSS妨害信号を検出及び／又は分類する。特定の実施形態においては、有利な電力解析方法が実行される。無線周波数信号の電力を表すアナログ信号が受信され、所与のタイミングの電力がデジタル値によって表される量子化デジタル信号に変換される。その後、測定ウィンドウにおいて受信されたデジタル値列からデジタル電力量を計算するステップが存在していてもよい。この測定ウィンドウには、閾値が設定されていてもよい。閾値の設定には、量子化モデルを考慮するようにしてもよい。閾値の設定には、特定の測定ウィンドウで行われた測定の数のサンプル分散を考慮するようにしてもよい。閾値の設定には、特定の測定ウィンドウに関する環境分散を考慮するようにしてもよい。変化する条件に応じて、閾値をこのように動的に更新することにより、誤警報を抑えるようにしてもよい。デジタル電力量及び計算した閾値に基づいて、妨害信号検出パラメータを計算するステップが存在していてもよい。妨害信号検出パラメータは、信頼値の形態であってもよい。妨害信号検出パラメータは、二分決定（すなわち、妨害信号存在又は妨害信号非存在）の形態であってもよい。デジタル電力量は、検出されたアナログ信号の絶対電力を表していてもよい。このような場合、閾値は、それを上回る場合に妨害信号が存在すると判断し得る絶対

電力を表していてもよい。デジタル電力量は、検出されたアナログ信号の絶対電力の変化率を表していてもよい。このような場合、閾値は、それを上回る場合に妨害信号が存在すると判断し得る変化率又は短時間期間の増加を表していてもよい。妨害信号が存在する可能性の判断においては、電力の絶対比較及び微分比較の両方が用いられるようになっていてもよい。デジタル量子化は、2ビットという低い量子化であってもよい。デジタル量子化は、3ビット量子化であってもよい。量子化の解像度が相対的に低いにも関わらず、多くのサンプル及び適当な量子化モデルによって、妨害信号の有無を正確に判定することができる。2ビット及び3ビット量子化を上述したが、当然のことながら、本発明の実施形態では、1以外の任意数のビット量子化のデジタル量子化を利用するようにしてもよい。

【0053】

10

閾値は、基準電力レベルに応じて計算されるようになっていてもよい。基準電力レベルは、妨害信号の非存在が保証された複数の異なる時間ウィンドウにおける測定結果から導出されるようになっていてもよい。このような測定結果により決定された電力レベルの分散が計算され、閾値の設定に用いられるようになっていてもよい。閾値の設定に際しては、大気温度、プローブの無線周波数環境、電離層の活動レベル、並びに受信機アンテナ及びフロントエンドのノイズ温度のうちの1つ又は複数の変数が考慮されるようになっていてもよい。「フロントエンド」は、GNSS信号調節フロントエンドすなわちGNSSアンテナからRF信号を受信し、中間ノベースバンド周波数信号を増幅、フィルタリング、ダウンコンバート、及びデジタル化する検出器の部分として了解される。

【0054】

20

本発明の特定の実施形態には、(検出器であれ、その遠隔位置であれ)GNSS妨害信号を解析(例えば、分類)する方法であり、有限数の種類の妨害信号のうちの1つがGNSS妨害信号を分類するものとして選択される、方法であって、妨害信号のスペクトログラムを解析することにより、例えば信号成分を時間領域においてグループ化しようとする際に、時間軸に沿って異なる量だけスペクトログラムの異なる部分をシフトさせることによって、1つ又は複数の種類の妨害信号を1つ又は複数の異なる種類から区別するステップを含む、方法に関係するという共通点がある。時間軸に沿って異なる量だけスペクトログラムの異なる部分をシフトさせるステップは、妨害信号のスペクトログラムをスキューさせて、時間軸に沿って周波数に応じた異なる量だけデータをシフトさせることを含んでいてもよい。このような実施形態は、本明細書に記載の水平調整試験の特徴のうちの1つ又は複数を有していてもよい。

30

【0055】

いくつかの実施形態において、時間軸に沿って異なる量だけスペクトログラムの異なる部分をシフトさせるステップは、時間軸に沿って異なる量だけスペクトログラムの異なるストリップをシフトさせることを含んでいてもよい。例えば、このような各ストリップは、複数の異なる周波数を網羅する少なくとも1つの周波数帯に関係していてもよい。このような実施形態は、本明細書に記載のシフト合計試験の特徴のうちの1つ又は複数を有していてもよい。

【0056】

当然のことながら、上述のステップの多くは、例えばコンピュータ及び/又はデジタルシグナルプロセッサ技術を用いて電子的に実行されることになる。本明細書に記載の計算、信号変換、試験、解析ステップ、及び他の信号処理ステップは、例えば後で処理される信号を検出する検出器に局所的に提供されたコンピュータプロセッサにより実行されるようになっていてもよい。例えば、このような局所的に提供されたコンピュータプロセッサを有する位置固定信号検出器が存在していてもよい。このような局所的に提供されたコンピュータプロセッサを有するモバイル(例えば、携帯型)信号検出器が存在していてもよい。この代替又は追加として、非局所的なプロセッサによりデータが保存されて後で処理されるようになっていてもよい。この代替又は追加として、データが遠隔位置に伝達されてコンピュータ処理されるようになっていてもよい。このような遠隔位置における処理は、局所的/現地に直ちに提供可能なものより強力なコンピュータによって実行されるよう

40

50

になっていてもよい。このような遠隔位置におけるデータ処理は、例えばコンピュータサーバによって、バックオフィス機能により与えられるようになっていてもよい。

【 0 0 5 7 】

例えば、信号処理は、GNSS妨害信号の存在の検出の形態であってもよい。信号処理は、検出されたGNSS妨害信号の分類の形態であってもよい。信号処理は、モバイル信号検出器により行われた先行測定に基づく当該モバイル信号検出器による位置の選択の形態であってもよい。

【 0 0 5 8 】

本発明の特定の実施形態は、GNSS妨害信号検出器に関係する。このような検出器は通常、GNSS信号アンテナ、GNSS受信機、及び適当にプログラムされたコンピュータプロセッサを備えることになる。データバッファ用のメモリが存在していてもよい。データを格納して後でより詳しく解析する記憶装置（場合により、リムーバブルデバイス）が存在していてもよい。検出器は、位置固定検出器であってもよい。検出器は、一人の人間が容易に持ち運び可能なサイズ及び重量の装置を構成するモバイル検出器（例えば、携帯型検出器）であってもよい。検出器は、コンピュータサーバ及び別の類似検出器の少なくとも一方との通信を容易にする無線通信モジュールを具備していてもよい。コンピュータサーバは、バックオフィスサポート設備の一部として設けられていてもよい。また、検出器のネットワークが存在していてもよい。各検出器は、ネットワーク中のコンピュータサーバ及び別の検出器の少なくとも一方と通信するように構成されていてもよい。また、このような検出器のネットワークの制御及びネットワークとの通信を行うように構成された（例えば、適当なソフトウェアでプログラムされた）サーバが設けられていてもよい。このサーバは、多くの上記サーバのうちの1つであってもよい。また、（例えば、1つ又は複数の検出器を備えた）ネットワークの部分と制御センタとの間のデータ通信等を行うハブとして機能するコンピュータサーバが存在していてもよい。例えば、制御センタの機能を果たす中央サーバが存在していてもよい。検出器のネットワークは、スター型ネットワークとして配置されていてもよい。

【 0 0 5 9 】

本発明の実施形態は、コンピュータ上で実行された場合に、上記サーバのうちの1つの機能を実行するコンピュータソフトウェア製品に関係する。本発明の実施形態は、検出器のプロセッサ上で実行された場合に、本明細書に記載の所要機能を検出器に持たせるコンピュータソフトウェア製品に関係する。

【 0 0 6 0 】

以下、添付の図面を参照して、本発明の特定の実施形態を説明する。

【 0 0 6 1 】

図1には、本発明の一実施形態に係る、GNSS妨害信号を検出するシステムを示している。このシステムは、中央サーバ100、一組の位置固定信号検出器（主プローブ）102、一組のローカルハブ104、及び一組のモバイル信号検出器（副プローブ）106を備える。概要として、主プローブ102は、GNSS妨害信号の検出及び局所的特性化の実行に用いられ、モバイル副プローブ106は、妨害信号の発生源の位置をより良く識別したい場合に主として用いられ、ハブ及びサーバは、通信ネットワークの形成並びに信号処理、データ記憶、及びレポート等を目的としたより強力なコンピューティング資源の提供に用いられる。

【 0 0 6 2 】

主プローブ102は、中央サーバ100及びローカルハブ104の両者と通信するように構成されている。ローカルハブ104は、主プローブ102及び中央サーバ100の両方と通信するように構成されている。副プローブ106は、中央サーバ100と通信するように構成されている。

【 0 0 6 3 】

使用時、中央サーバ100は、プローブ102/ローカルハブ104からデータ及びメッセージを収集し、中央データ処理及び解析を実行して、対応するイベント情報をデータ

ベースに保管する。また、すべてのブローブ 102 及びローカルハブ 104 を遠隔でモニタリング及び制御するように構成されている。また、中央サーバ 100 は、ブローブ以外のソースからの情報取得を可能にするサードパーティインターフェースを備える。中央サーバは、それ自体の演算結果及び／又は過去のイベントのデータベースに基づいて、ブローブによるイベントレポートをもたらす閾値を変更可能である。中央サーバ 100 は、サードパーティ情報に基づいて、ブローブによるイベントレポートをもたらす閾値を変更可能である。本実施形態の一変形例において、閾値は、GNSS サービスを妨害する自然現象に応答して変更される。

【0064】

ローカルハブ 104 は、近接ブローブ 102 と中央サーバ 100 との間のローカルゲートウェイである。また、ローカルハブ 104 は、イベントレポートを格納するとともにブローブ 102 からのメッセージに対して局所的に注意喚起するデータアーカイブである。また、各ローカルハブは、局所的なイベントレポートを中央サーバ 100 に転送する前に、近接ブローブ 102 から受信されたデータの処理の一部を実行するように構成されている。本実施形態において、ローカルハブ 104 は、ソフトウェアによる適当なプログラムによって、本実施形態に必要な機能を実行するように構成された汎用無線ネットワークコンピュータである。

【0065】

主ブローブ 102 は、特定の局所的 RFI イベントの出現を自動的に識別し、各局所的 RFI イベントに基づいてイベントレポートを生成し、（直接又はローカルハブ 104 を介して）レポートを中央サーバ 100 に送信してネットワークレベル処理を行うように構成されたセンサを備える。

【0066】

副ブローブ 106 は、主ブローブ 102 が RFI イベントを報告した場合に、RFI 発生源に近接するオペレータによって、RFI 発生源を識別して位置特定するのに用いられるように指定された機器である。本実施形態において、副ブローブは、必要なハードウェア及びソフトウェアがすべて組み込まれた専用機器であるが、他の実施形態においては、タブレット PC 等の一般的な携帯型コンピュータによってホスティング可能なアドオンハードウェアドングルと併せたソフトウェアアプリケーションを使用可能である。

【0067】

図 2 は、主ブローブ 102 の一実施形態を示しており、ネットワークインターフェースモジュール 200、GNSS 信号受信アンテナ 202、GNSS 信号調節フロントエンド 204、GNSS COTS 受信機 206、マンマシンインターフェース 208、組み込みマイクロプロセッサ・オペレーティングシステム 210、RFI 検出・分類エンジン 212、データ記憶ユニット 214、モニタリング・制御エンジン 216、GNSS ソフトウェア受信機エンジン 218、及び電源モジュール・インターフェース 220 を備える。

【0068】

ネットワークインターフェースモジュール 200 は、ローカルハブ 104 及び中央サーバ 100 等の他の機器とのデータ通信の取り扱いを担う。本実施形態において、ネットワークインターフェースモジュール 200 は、無線通信アンテナを備えるが、別の実施形態においては、イーサネット（登録商標）モデム等の有線通信モデム又はセルラーネットワークモデム等の他の無線通信モジュール（例えば、GSM（登録商標）、GPRS、UMTS、又は LTE）を備える。他の実施形態では、有線及び無線ともに、異なるモジュールの組み合わせを含む。

【0069】

GNSS 信号受信アンテナ（又は、GNSS アンテナ）202 は、GNSS 信号を受信するため、GNSS 空間信号（SIS）とのインターフェースである。アンテナは、ブローブがモニタリングしている GNSS 信号周波数帯を受信可能である。本実施形態において、アンテナは、GPS L1 単一周波数アンテナである。別の実施形態において、アンテナは、GPS L1 及び L5 帯の 2 つを受信可能である。別の実施形態において、アン

10

20

30

40

50

テナは、2つ以上のGNSS周波数帯の任意の組み合わせを受信可能である。GNSSアンテナ202は、デジタル信号調節フロントエンド204及びGNSS COTS受信機206に対して通信可能に接続され、受信したRF信号を送信する。他の実施形態において、GNSSアンテナ202は、信号調節フロントエンド204への送信前に、低ノイズ増幅器(LNA)で受信したRF信号を増幅する。

【0070】

GNSS信号調節フロントエンド(又は、GNSSフロントエンド)204は、GNSSアンテナからRF信号を受信する電子機器である。GNSSフロントエンド204は、中間/ベースバンド周波数信号の増幅、フィルタリング、ダウンコンバート、及びデジタル化が可能である。デジタル化した信号は、ソフト実時間でマイクロプロセッサ210に送信され、さらに処理される。

【0071】

組み込みマイクロプロセッサ・オペレーティングシステム210は、GNSSソフトウェア受信機エンジン218、RFI検出・特性化エンジン212、及びプローブモニタリング・制御エンジン216等の関連処理をホスティングする。モニタリング・制御エンジン216は、プローブの遠隔モニタリング及び制御を可能にするソフトウェアエンジンである。これには、プローブステータスモニタリング及びシステム更新の設定を含む。RFI検出・特性化エンジン212は、GNSS信号調節フロントエンド204からのデジタルサンプルに基づいて、以下により詳しく説明する通り、アルゴリズムを用いてRFI検出及び特性化を実行する中核的なソフトウェアエンジンである。GNSSソフトウェア受信機エンジン218は、GNSS信号取得、信号追跡、ナビゲーションメッセージ処理、及び位置解演算を実行するソフトウェアエンジンである。GNSSソフトウェア受信機エンジン218は、RFI検出に用いられる特定のパラメータの測定結果及び値を生成可能なソフトウェアエンジンである。

【0072】

GNSS COTS受信機206は、GNSSアンテナ202から受信したGNSS信号を処理し、受信信号に基づいて情報を生成するサードパーティGNSS受信機である。また、NMEA等の標準フォーマットの標準的なGNSS受信機出力を提供する。生成される情報には、位置、プローブの時間及び速度のほか、高度、方位角、及び信号対雑音比等の衛星測定結果を含む。別の実施形態においては、GNSS COTS受信機206が一切存在しない。

【0073】

マンマシンインターフェース208は、局所的な診断、試験、及び制御のためにプローブに対して物理的に接続するインターフェースである。主要なグラフィカルユーザインターフェース(GUI)はローカルハブ104又は中央サーバ100で遠隔に実装されるが、プローブのインターフェースを介して、別のディスプレイを取り付けることも可能である。本実施形態において、このインターフェースは、HDMI(登録商標)インターフェースである。

【0074】

データ記憶ユニット214は、検出信号により生成されたイベントレポートのほか、干渉信号の電子指紋として用いられるデジタルサンプルのスナップショットを格納するように構成されたメモリデバイスを備える。本実施形態において、使用するメモリデバイスは、マイクロSDカードである。

【0075】

図3には、GNSS信号を検出する場合の主プローブ102の動作を示している。まず、各プロービング期間においては、低ノイズ増幅器(LNA)で受信したRF信号を増幅するGNSSアンテナ202によって、モニタリングしたGNSS周波数帯信号を受信する(ステップ301)。そして、GNSSアンテナ202からのアナログRF信号列を2つに分割するが、一方が信号をGNSSフロントエンド204に送信し、他方が信号をGNSS COTS受信機206に送信する。

【 0 0 7 6 】

G N S S フロントエンド 2 0 4 では、アナログ領域及びデジタル領域の両方において、受信したアナログ R F 信号をさらに処理する（ステップ 3 0 2）。アナログ領域においては、信号の増幅、フィルタリング、及び中間周波数又はベースバンドへのダウンコンバートを行う。そして、得られた信号をデジタル化する（ステップ 3 0 3）（例えば、A D C によってサンプリング及び量子化する）。デジタル化した信号は、プロセッサ 2 1 0 に送信してバッファリングし（ステップ 3 1 0）、ソフトウェア受信機エンジン 2 1 8 に送信してベースバンド処理及びナビゲーション解の演算を行い（ステップ 3 0 4）、電力ベースの R F I 検出アルゴリズム（すなわち、いくつかの変形例においては、自動利得制御回路に由来する 1 つ又は複数のパラメータに基づく検出アルゴリズムの形態が可能）及びスペクトルベースの検出アルゴリズムに供給する（それぞれステップ 3 0 6 及び 3 0 7）。また、C O T S 受信機は、G N S S アンテナ 2 0 2 からの受信信号を処理する（ステップ 3 0 5）。演算したナビゲーション解及び C O T S 受信機の測定結果 / 解は、測定ベースの検出アルゴリズムに供給する（ステップ 3 0 8）。

10

【 0 0 7 7 】

したがって、並列に用いられる 3 つの別個の検出アルゴリズム、すなわち、電力ベースの検出 3 0 6、スペクトルベースの検出 3 0 7、及び測定ベースの検出 3 0 8 が存在する。各アルゴリズムは、以下により詳しく説明する通り、検出信号が妨害信号である可能性又は妨害信号を含む可能性に関係する 2 つの別個の結果を提供する。そして、3 つの検出アルゴリズムによる検出結果（合計 6 つの検出結果）のデータを集めて、検出融合アルゴリズムエンジンに供給することにより、R F I が存在するかを決定する最終的な検出決定を行う（ステップ 3 0 9）。R F I が存在するものと決定した場合は、バッファリングしたデジタルサンプルを 3 つの検出エンジンからの演算結果と併せて、R F I 分類エンジンに供給して、干渉の種類（例えば、妨害信号の種類）及び分類の対応する数的な信頼レベルを特性化する（ステップ 3 1 1）。検出結果及び分類結果の両方に基づいて、この特定のエポックのイベントレコードを生成する（ステップ 3 1 2）。このエポックの前に、R F I が存在するものと既に判断されている場合は、現行エポックのレコードをイベントレポートファイルに追加する（ステップ 3 1 3）。一方、R F I が存在するものと判断された最初のエポックである場合は、現行エポックに関する添付の記録によって、新たなイベントレポートファイルを生成する。分類により、データベースに格納されたデータに基づいて、R F I 干渉が悪意のある危険な妨害信号と判断された場合には、警告メッセージを生成する。イベントレポート及び対応するデジタル信号サンプルのスナップショットをデータ記憶装置に格納する一方、中央サーバ 1 0 0 への送信を予定する（ステップ 3 1 4）。警告が発せられた場合は、警告メッセージを直ちに中央サーバ 1 0 0 へ送信する。このプロセスにおける主プローブ 1 0 2 の動作は、モニタリング・制御ユニット 3 1 5 によってモニタリングされる。本実施形態においては、このユニットが中央サーバ 1 0 0 に置かれるが、本実施形態の変形例においては、他所に位置付けられていてもよい。

20

30

【 0 0 7 8 】

モニタリング可能な周波数範囲は、利用可能な処理能力並びに G N S S アンテナ 2 0 2 及びフロントエンド 2 0 4 の機能によって決まる。G P S L 1 受信機に影響を及ぼす可能性があるすべての干渉の捕捉には、1 5 7 5 M H z という G P S L 1 中心周波数を中心とする帯域幅 ± 8 M H z の単一の R F チェインで十分である。本実施形態では、2 つのチャンネルを含む S T E R E O フロントエンドを使用する。第 1 のチャンネルは上述の L 1 を対象とし、第 2 のチャンネルは 8 0 M H z の帯域幅を有する。第 2 のチャンネルは、任意の L 帯周波数を中心とすることにより、L 1 / E 1、L 2、L 5 / E 5 a / E 5 b、E 6 帯、及び G S M 帯の一部等で G N S S をモニタリングするのに使用可能である。

40

【 0 0 7 9 】

図 4 には、副プローブ 1 0 6 の一実施形態を示している。副プローブ 1 0 6 の目的は、小さな地理的範囲内で R F I 発生源を検出して位置特定することである。本実施形態において、副プローブ 1 0 6 は、C O T S 携帯型パーソナルコンピュータ機器（又は、携帯型

50

PC) 400、携帯型PC 400がホスティングするソフトウェア(SW)アドオンモジュール410、及びハードウェア(HW)アドオンモジュール420を備える。本実施形態において、携帯型PC 400はタブレットPCであるが、他の実施形態においては、PDA又はスマートフォンである。

【0080】

携帯型PC 400は、無線通信信号受信モジュール401、無線通信モジュール404、有線通信モジュール407、GNSS信号受信モジュール402、GNSS COTS受信機403、データ記憶ユニット405、USBインターフェース406、組み込みマイクロプロセッサ408、及びマンマシンインターフェース409を備える。

【0081】

HWアドオンモジュール420は、USBインターフェース421、GNSSアンテナ422、及びGNSSフロントエンド423を備える。HWアドオンモジュールは、USBインターフェース406、421を介して携帯型PCにつながっており、携帯型PC 400は、この接続を介してモジュールの設定が可能である。他の実施形態において、HWアドオンモジュールは、イーサネット等の他の有線通信又はBluetooth(登録商標)若しくはセルラーネットワークモデム等の無線通信手段を介して携帯型PCにつながっている。本実施形態では、Maxim Integrated社の信号無線周波数(RF)、中間周波数(IF)、及びデジタル化処理用シングルチップASIC GNSSL1周波数フロントエンドチップを用いることにより、解析信号のIF又はベースバンド(BB)デジタル時系列を出力する。他の実施形態において、副プローブ106で用いられるGNSSフロントエンドは、主プローブ102のものと同一である。

【0082】

ソフトウェア(SW)アドオンモジュール410は、モニタリング・制御エンジン411、RFI検出・分類・位置特定エンジン(又は、RFIエンジン)412、イベントレポート生成・送信エンジン(又は、レポートエンジン)413、及び情報表示エンジン414を備える。SWアドオンモジュール410は、携帯型PC 400がホスティングする。

【0083】

図5aは、副プローブを用いてRFI発生源を特定するプロセスを示したブロック図である。一実施形態においては、特定エリアの主プローブ102のネットワークによってRFIイベントを検出する(ステップ501)。この検出を中央サーバ100に報告して(ステップ502)、サーバ100による確認を受ける(ステップ503)。副プローブ106を当該エリアに展開して、RFI発生源を特定する(ステップ504)。副プローブ106が当該エリアに到達したら、副プローブのオペレータは、1つの検出・分類アルゴリズムを実行して(ステップ505)、検出RFIイベント無線周波数シグネチャを中央サーバ100から送信済みのものと比較する(ステップ506)。RFIイベントを確認して(ステップ507)、オペレータは、位置特定プロセス(図5bを参照して以下により詳しく説明する)を開始させるが、これは、RFI発生源が見つかるまでである(ステップ509)。RFI発生源が見つかったら、副プローブは、時間と場所が入った写真及び信号の指紋等の証拠を含むレポートを生成する(ステップ510)とともに、結果を中央サーバ100に報告する(ステップ511)。

【0084】

図5bは、上述のステップ508によって起動された場合に副プローブ106が実行する位置特定プロセスを示した決定ツリーである。このように、図5bを参照して、副プローブ106のユーザは、ある場所でプロービングを開始させる(ステップ508)。そして、副プローブ106が起動し(新たなログファイルの作成を含む(ステップ513))、GNSSアンテナ/フロントエンドがGNSS信号を受信して(ステップ514)、信号の調節及びデジタル化を行う(ステップ515及びステップ516)とともに、信号情報でメモリデバイスを更新する(ステップ517)。信号をフィルタリングし、副プローブの検出・分類・位置特定エンジン412を用いて、GNSS信号の電力を推定する(ス

テップ518)。そして、GNSS COTS受信機403を用いることにより、受信機の時間及び位置を確定する(ステップ519)。また、他の無線チャンネル等の他のソースによっても時間及び位置を測定可能である。時間、位置、及び電力情報をログファイルに追加し(ステップ520)、組み込みマイクロプロセッサ408によって、電力差演算を実行する(ステップ521)。電力差演算では、ログファイルに保存された過去の電力レベルに対して、検出電力レベルを比較する(ステップ522)。電力差が正である場合は、最大電力スナップショットを更新する(ステップ523)(最大電力測定結果の時間及び位置を含む)。電力差が正でない場合は、最大電力スナップショットを更新しない。測定電力差に基づいて、副プローブ106は、次の測定場所への誘導を演算する(ステップ524)。本実施形態における演算には、信号の発生源の位置が固定であり、副プローブの位置及び発生源の位置がともに平地上にあると判断し得ることを仮定した三角法を使用するが、本実施形態の変形例においては、より精緻な位置特定方法が実装されるようになっていてもよい。このように、副プローブ106は、検出信号の発生源の可能性が高い位置を推定し、当該推定位置を用いることによって、次の測定結果を取得すべき適当な位置を決定するようにしてもよい。その後、ユーザを次の場所に誘導して、別の電力測定を行う(ステップ526及び527)。このプロセスは、RFI発生源が見つかったものとユーザが決定するまで繰り返すが、この時点で、ユーザは、プロービング期間が終了した旨を副プローブ106に示す。そして、ユーザは、副プローブ106が検出・分類・位置特定エンジン412を用いて分類プロセスを実行するかを決定する(ステップ528)。選択された場合、副プローブ106は、スペクトル演算、スペクトログラム演算、及び分類アルゴリズムを実行する(それぞれ、ステップ529、530、及び531)。その後、結果を生成してログファイルに追加する(ステップ532)。分類プロセスの後には、ログファイルを閉じて格納し、情報表示を分類結果で更新する(ステップ533及びステップ534)。分類プロセスが選択されなかった場合は、ログファイルを閉じて格納する。

【0085】

図3に関して上述した通り、最終的な検出決定を行うために検出融合アルゴリズムエンジンがすべて使用する別個の検出アルゴリズムによって、6つの検出結果が生成される。以下、これら6つの検出結果を確定した後に使用方法について、図6、図7、図8a、及び図8bを参照して説明する。COTS受信機206からのデータに基づいて、電力ベースのアルゴリズムにより2つの結果が導出され、スペクトルベースのアルゴリズムにより2つの結果が導出され、測定ベースのアルゴリズムにより2つの結果が導出される。電力ベース及びスペクトルベースのアルゴリズムの場合、プローブ102、106は、各検出エポックにおいて、 N_e 個の測定サンプルを取得する。これらの測定サンプルをプローブで評価することにより、干渉が存在するかを判定する。 N_e は、プローブの最大演算複雑性によって制限される数である。測定ベースのアルゴリズムの場合、プローブは、所与の検出エポックについて、COTS受信機206からデータを受信し、以下の概説の通りに解析する。

【0086】

検出アルゴリズムの各対は、絶対値に基づく第1のアルゴリズム及び値の変化(微分値)に基づく第2のアルゴリズムから成る。

【0087】

2つの電力ベースの検出アルゴリズム(絶対電力アルゴリズム及び微分電力アルゴリズム)は、受信機フロントエンド204内のデジタルビットの分布をモニタリングする。これらは、受信機フロントエンド204の帯域幅全体に含まれる全電力に基づいて、RFIの出現を検出するように設計されている。分布が異常過ぎる場合又は分布が大きく急に変化する場合、考えられる原因は、干渉源の追加である。最も簡単に調べられる分布測定基準は、電力である。電力測定基準を使用する主な理由は、すべてではないものの、ガウス電力分布等のほとんどの種類の干渉に対して機能することである。

【0088】

図 6 には、2 つの電力ベースの検出アルゴリズムの実行に用いられる方法を示している。最初に、エポックカウンタを含むすべてのパラメータをリセットし（ステップ 601）、その後、現行エポック（ステップ 602 においてカウントが 1 だけ増加）について、単位なし量を計算して平均電力レベルを表す（ステップ 603 ~ 606）。これは、電力量と規定され、P と表示可能である。この平均は、 N_p 個のサンプルに渡って取得される（ステップ 603）が、これは、評価ウィンドウ N_e におけるサンプル数以下の数である。電力量は、 N_p 個のサンプルについて受信した各データ値の数を集計した中間物としてフロントエンド 204 から受信されたデジタルデータからヒストグラムを求めることによって演算される（ステップ 604）。ヒストグラムには $K = 2N_b$ 個の点があり、 N_b は、サンプルを表すのに用いられるビットの数である。これは、配置が 2 次元である場合（すなわち、信号の実数成分及び虚数成分の両方がサンプリングされる場合）に無視されることになり、すべてのサンプルが実数として扱われる。次元が直交且つ対称なためである。P の演算（ステップ 605）は、以下の式によって記述可能である。

【数 1】

$$P = \sum_{k=0}^{K-1} \|a_k\|^2 p_k$$

ここで、 a_k は k 番目のヒストグラム点、 p_k は k 番目のヒストグラム値（すなわち、一組の測定サンプル中の各データ値 a_k の数をサンプル総数 N_p で除したもの）である。2 つの電力ベースの検出アルゴリズム（絶対電力検出アルゴリズム及び微分電力検出アルゴリズム）において測定された電力値についても、同様に規定される。

【0089】

絶対電力検出アルゴリズムにおいて、基準電力量 P_{ref} は、RFI の非存在が保証された時間ウィンドウにおいて導出される。この基準は、長時間期間にわたって広がった複数の異なる時間ウィンドウからの推定電力量を組み合わせることで電力変動の正確な情報を取得することにより演算される。この一組の測定値の平均が P_{ref} であり、また、分散の取得及び使用によって、それを上回る場合に RFI イベントが検出されたことが確実になる閾値の選択に役立つ。

【0090】

各評価ウィンドウにおいて、ステップ 606 及び 607 を実行することにより、評価電力量 P_i を演算した後、平滑化して以下を得る。

【数 2】

$$\tilde{P}_i$$

平滑化（ステップ 606）は、以下の移動平均フィルタを用いて実現される。

【数 3】

$$\tilde{P}_i = \frac{1}{N_{sm}} \sum_{m=i-N_{sm}+1}^i P_m$$

ここで、 N_{sm} は、平滑化フィルタのウィンドウサイズである（フィルタリングが不要な場合は、1 に設定される）。別の実施形態においては、以下の 1 次 IIR フィルタが用いられる。

【数 4】

$$\tilde{P}_i = (1-\alpha)\tilde{P}_{i-1} + \alpha P_i$$

10

20

30

40

50

ここで、 γ_i は、平滑化係数である。 i 番目のエポックについて計算した値 P_i 及び

【数 5】

$$\tilde{P}_i$$

は、ステップ 607 として、メモリに格納される（すなわち、バッファリングされる）。

【0091】

基準値 P_{ref} から、 i 番目のエポックについて、干渉閾値

【数 6】

$$\lambda_i^{PA}$$

10

が得られる。これは、それを上回る場合に RFI イベントが発生したことが確実に値である。閾値は、評価ウィンドウごとに異なることで、周囲環境又は受信機アンテナ 202 及びフロントエンド 204 の電子的構成要素による変動を補償するようにしてもよい。

【0092】

絶対電力検出アルゴリズムを扱う図 6 のプロセスの分岐（ステップ 608 及び 610）においては、「絶対電力」閾値

【数 7】

$$\lambda_i^{PA}$$

20

を更新する（ステップ 608）。閾値

【数 8】

$$\lambda_i^{PA}$$

は、片側統計学的有意に基づく。片側有意は、GNSS スペクトル帯にわたるより大きな電力の発生シナリオを反映した $P_i > P_{ref}$ の場合のみが関連するという事実によって選定される。 P_i の分散に対しては、2つの成分が存在しており、一方が限られた数のサンプル（サンプル分散と称する）、他方が ADC に先立つアナログ信号の電力の変動性（環境分散と称する）に由来する。環境分散は、太陽、地球、アンテナ温度、フロントエンド、環境（アンテナが一時的に地中にある場合）等、多くのものによって決まる。

30

【0093】

アンテナ 202 により受信されたアナログ信号は、標準偏差 $\sigma_x (1 + \gamma_i)$ のゼロ平均ガウスとしてモデル化されるが、 σ_x は平均信号強度であり、エポックごとに異なり得る。 γ_i はゼロ平均及び標準偏差 σ_x を有する。デジタルサンプルが 2 ビット量子化（すなわち、-3、-1、+1、+3 というレベル）を使用する一実施形態において、 P_i の分布は、以下により近似される。

【数 9】

40

$$E[P_i] = 1 + 8 \operatorname{erfc} \left(\frac{2}{\sqrt{2}\sigma_x} \right),$$

$$\operatorname{VAR}[P_i] = \frac{64}{N} \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{2}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) - \operatorname{erfc} \left(\frac{2}{\sqrt{2}\sigma_x} \right)^2 \right\} + \frac{64\gamma^2}{\pi\sigma_x^2} 2^3 e^{-\left(\frac{2}{\sigma_x}\right)^2}$$

ここで、2つの分散項は、それぞれサンプル及び環境である。上記相補誤差関数及び指数項の分子「2」は、(±)2 という量子化境界を表す。別の実施形態において、デジタル

50

サンプルは、3ビット量子化を使用する。分布表現の3ビットへの拡張は、以下により与えられる。

【数 1 0】

$$E[P_i] = 1 + 8 \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{2}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) + 2 \operatorname{erfc} \left(\frac{4}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) + 3 \operatorname{erfc} \left(\frac{6}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) \dots \right\},$$

$$VAR[P_i] = \frac{64}{N} \left\{ 1^3 \operatorname{erfc} \left(\frac{2}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) + 2^3 \operatorname{erfc} \left(\frac{4}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) + 3^3 \operatorname{erfc} \left(\frac{6}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) \dots \right\}$$

$$- \frac{64}{N} \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{2}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) + 2 \operatorname{erfc} \left(\frac{4}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) + 3 \operatorname{erfc} \left(\frac{6}{\sqrt{2}\sigma_x} \right) \dots \right\}^2$$

$$+ \frac{64\gamma^2}{\pi\sigma_x^2} \left\{ 2^3 e^{-\left(\frac{2}{\sigma_x}\right)^2} + 4^3 e^{-\left(\frac{4}{\sigma_x}\right)^2} + 6^3 e^{-\left(\frac{6}{\sigma_x}\right)^2} \dots \right\}$$

10

この場合も、誤差関数及び指数項の分子(2、4、6)は、3ビット量子化の境界である。他の実施形態では、より多くのビットを使用するため、これらの実施形態では、それに応じて式が拡張される。閾値は、平均を上回る特定数の標準偏差となるように選定してあるレベルの誤警報を実現するように設定される。本実施形態において、閾値は、以下により規定される。

20

【数 1 1】

$$\lambda_i^{PA} = E[P_i] + 6\sqrt{VAR[P_i]}$$

一方、他の実施形態においては、より高い閾値又はより低い閾値となる。閾値の更新は、新たな情報によって決まる。平均 $E[P_i]$ は、より多くの測定値で絶えず更新され、分散 $VAR[P_i]$ は、大気温度、プローブの無線周波数環境、電離層の活動レベル、並びに受信機アンテナ 202 及びフロントエンド 204 のノイズ温度に関するより多くの情報がある場合に調整される。本実施形態において、この情報の一部は、中央サーバ 100 において演算され、通信チャンネルを介してプローブ 102、106 に転送されることにより、プローブの演算負荷が抑えられる。他の実施形態においては、プローブがすべての演算を実行する。

30

【0094】

最終的に、図 6 に示すプロセスの絶対電力検出分岐のステップ 610 において、信頼度を求めることにより、最新の検出融合を実行する。この試験の信頼値は、0 と 1 の間の数であって、以下により与えられる。

40

【数 1 2】

$$C_i^{PA} = 0 \quad \text{if} \quad \tilde{P}_i < P_{ref}$$

$$C_i^{PA} = 1 \quad \text{if} \quad \tilde{P}_i > \lambda_i^{PA}$$

$$C_i^{PA} = g \left(\frac{\tilde{P}_i - P_{ref}}{\lambda_i^{PA} - P_{ref}} \right) \quad \text{otherwise}$$

ここで、本実施形態においては、 $g(y)$ が 0 と 1 の間の単調増加関数であり、評価電力が閾値に近づくにつれて信頼性が高くなることを表している。別の実施形態において、こ

50

の関数の例は、以下の通りである。

線形 $g(y) = y$

対数 $g(y) = \log(y + 1) / \log(\quad + 1)$

指数 $g(y) = (e^y - 1) / (e - 1)$

ここで、 γ は、制御因子である（他の実施形態において、 g の値は、一組の離散値であってもよい）。信頼性が閾値に近づく場合にのみ大きくなることが望まれるものと仮定すると、本実施形態において選定される信頼性関数は、 $\gamma = 5$ の指数である。他の実施形態においては、時間とともに調節される。信頼値

【数 1 3】

$$C_i^{PA}$$

10

は、決定融合モジュールに入力される。

【0 0 9 5】

微分電力検出アルゴリズムにおいては、絶対電力検出アルゴリズムのように評価電力量を基準値 P_{ref} と比較する代わりに、最新の平滑化ウィンドウ値

【数 1 4】

$$\tilde{P}_{i-d}$$

20

と比較する。ここで、本実施形態においては、 d が 5 ~ 20 秒の間隔を表す。言い換えると、このエポックの電力が 5 ~ 20 秒前よりも有意に大きな場合、

【数 1 5】

$$(P_i - \tilde{P}_{i-d})$$

が大きくなる。本実施形態において、平滑化ウィンドウ値

【数 1 6】

$$\tilde{P}_{i-d}$$

30

は、絶対試験と同じウィンドウサイズを有するが、他の実施形態においては、ウィンドウサイズが異なる。

【0 0 9 6】

絶対試験及び微分試験の両方を有する利益は、2 倍である。第 1 に、電力が（例えば、環境因子によって）予想より小さく、急激に通常値へと戻る場合は、干渉源がオンに切り替えられたことを示すが、必ずしも絶対試験をもたらしことにはならない。第 2 に、検出器プロセスのオン切り替えに際して、この試験では、5 ~ 20 秒後には検出できるようになるが、絶対試験では、発生するデータを十分に集めるのに数分 / 数時間かかる場合がある。

40

【0 0 9 7】

微分電力検出アルゴリズムは、図 6 に示すプロセスのステップ 6 0 9 及び 6 1 1 を実行することによって行われる。微分電力検出アルゴリズムでは、閾値

【数 1 7】

$$\lambda_i^{PD}$$

を使用する。この試験の閾値の演算及び更新は、絶対試験に記載したものと同様の方法に従うが、標準偏差の項 σ_i は異なる。この場合は、環境がゆっくりと変化し、例えば、アンテナの温度が 5 ~ 20 秒ではそれほど変化しないという事実が反映されることになる

50

。

【 0 0 9 8 】

その後、 P_i 及び閾値

【 数 1 8 】

$$\lambda_i^{PD}$$

が絶対試験と同様に扱われることにより、図 6 のステップ 6 1 1 に示す信頼値が求められる。

【 数 1 9 】

$$C_i^{PD} = 0 \quad \text{if} \quad P_i < \tilde{P}_{i-d}$$

$$C_i^{PD} = 1 \quad \text{if} \quad P_i > \lambda_i^{PD}$$

$$C_i^{PD} = g \left(\frac{P_i - \tilde{P}_{i-d}}{\lambda_i^{PD} - \tilde{P}_{i-d}} \right) \quad \text{otherwise}$$

その後、連続するエポックに対して、上述のステップ (6 0 2 ~ 6 1 1) が繰り返される。本実施形態の絶対及び微分電力検出アルゴリズムに関連して、以下に留意するものとする。

【 0 0 9 9 】

受信フロントエンド 2 0 4 により導かれる電力変動を取り除くため、受信フロントエンド処理中に適用される利得は、動作期間全体で一定に保つ必要がある。或いは、調整を行う場合は、図 6 に示す P_i 演算ブロックに与えて、このブロープが導く変動を補償する必要がある。

【 0 1 0 0 】

いくつかの実施形態においては、自動利得制御の実装によって全体利得が変動するとともに正確な変動を演算実体で入手できないことから、上記制約を克服する必要がある。これらの実施形態においては、第 2 の電力量推定値を使用する。また、この方法は、A G C の実装によって A D C との入力整合を改善する実施形態の場合に有益である。可変利得増幅器 (V G A) の制御電圧 V_i は、別個の A D C によってサンプリングされ、演算モジュールに供給されて、電力量値が求められる。V G A 利得 G_A とその制御電圧信号 $V_A(t)$ 及び利得値 $G_v(t)$ との関係は、以下のように表すことができる。

$$G_v(t) = e^{V_A(t)}$$

ここで、 G_A は A G C 利得係数、 $V_A(t)$ は制御電圧係数である。利得の設計目的は、A D C への二乗平均平方根 (R M S) 信号振幅が A D C 動作に最適な値に維持されるように、 $G_v(t)$ を調整することである。上記関係は、以下となるように操作可能である。

【 数 2 0 】

$$V_A(t) = \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{G_v(t)}{\alpha} \right)$$

熱雑音 (G N S S 信号が埋没) のみが存在する場合に A D C に対して入力信号振幅を最適化する利得値が G_0 であり、対応する制御電圧が V_0 であると仮定すると、受信機フロントエンドへの入力信号電力の如何なる増加によっても、A D C への入力信号振幅が最終的にその最適値まで低下し得るように、A G C が $V_A(t)$ を低下させて $G_v(t)$ を抑えることになる。したがって、 $V_A(t)$ の測定が P と同等の効果を有するため、P の代わりに $V_A(t)$ を使用するだけで、上記と同様に絶対試験測定基準及び微分測定基準を規定することができる。アナログ電圧信号 $V_A(t)$ の変換に用いられる A D C は、受信機が組み込み A G C を有し、制御電圧のみが出力となる実施形態においてのみ必要である。

別の実施形態では、組み込み A G C が無効化され、制御回路が演算モジュールに実装された「ソフト A G C」が実装される。この場合は、 $V_A(t)$ のデジタル形態が既に利用可能である。

【 0 1 0 1 】

上述の通り、スペクトルベースの検出アルゴリズムも実行されるが、第 1 のアルゴリズムは絶対スペクトル値を使用し、他方は微分値を使用する。2 つのスペクトルベースの検出アルゴリズムは、R F I の詳細への洞察を有効化するように設計されている。R F I が通例、特定の周波数特性を有することから、スペクトルベースのアルゴリズムは、周波数領域の無線周波数信号の如何なる異常放射の存在もより明瞭に識別可能となるように、信号の時系列を周波数領域に変換する。このように設計された方法は、非パラメータベースのピリオドグラム・統計的仮説試験に基づく。この方法は、干渉の電力が受信機フロントエンド 2 0 4 よりもはるかに狭い帯域幅にある場合、電力ベースの方法よりも優れた性能を有する。逆に、広範な帯域幅に電力が一様に拡がっている場合は、電力ベースの方法がスペクトルベースの方法よりも優れた性能となるはずである。

【 0 1 0 2 】

図 7 は、2 つのスペクトルベースの検出アルゴリズムの方法を行う際に実行されるステップを示している。この方法の場合、選定する必要がある複数のパラメータが存在する。最初のステップとして、エポックカウンタを含むすべてのそのようなパラメータをリセットする（ステップ 7 0 1）が、そのカウントは、ステップ 7 0 2 において 1 だけ増加する。各エポックについて、W e l c h の方法を用いてスペクトル推定値を演算するのに、 N_e 個のサンプルを利用可能である。プロセスが W S S である（広義の定常性を有する）ウィンドウよりもこのウィンドウが短くなることは、指摘しておく価値がある。ウィンドウ全体から、ブロック当たり N_s 個のサンプルで 2 つの連続するブロック間の重畳比を α とし、重畳ブロックを取得する（ステップ 7 0 3）。取得ブロック数は、 M で与えられる。F F T（高速フーリエ変換）サイズ N_f （ N_s 以上）によって演算スペクトルの周波数解像度が決まり、 M によってスペクトル上の各点の分散が決まることは、指摘しておく価値がある。 N_e が非常に大きな場合は、 α は負となり得、W e l c h ブロック間には重畳の代わりに間隙が存在することを意味する。一方、 0.5 以下の場合は、 α 、 N_s 、及び M を併用することにより、システムで使用すべき N_e の最小値を設定することができる。

【 0 1 0 3 】

W e l c h の方法を用いて、 i 番目のエポックのパワースペクトル密度及び分散を計算する（ステップ 7 0 4）。入力信号 $x_i[n]$ からエポック $X_i(f_k)$ のパワースペクトル密度を推定する W e l c h の方法を実行するため、サイズ N_s の M 個のブロックそれぞれについて、ウィンドウ表示し、F F T を行い、2 乗した後平均を取る。

【 数 2 1 】

$$\chi_{i,j}(f_k) = \sum_{n=0}^{N_s-1} x_i[n] w[n] \exp(-j2\pi f_k n / N_f), \quad j=0, \dots, M-1$$

$$X_i(f_k) = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} \|\chi_{i,j}(f_k)\|^2$$

ここで、 $w[n]$ はウィンドウ（例えば、ハニング）であり、 f_k は k 番目の離散周波数ビンである。

【 0 1 0 4 】

ステップ 7 0 4 においては、各スペクトルの分散も確定するが、これには、W e l c h スペクトル推定値を構成する M 個のブロックを利用する。

【数 2 2】

$$X_i(f_k) = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} \|\chi_{i,j}(f_k)\|^2$$

$$\sigma_i^2(f_k) = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} \left(\|\chi_{i,j}(f_k)\|^2 - X_i(f_k) \right)^2$$

その後、ステップ 705 においては、 i 番目のエポックの $X_i(f_k)$ 及び $\sigma_i^2(f_k)$ について計算した値をメモリに格納する（すなわち、バッファリングする）。

10

【0105】

スペクトル推定値が規定された状態で、得られた検出測定基準は、絶対スペクトルベースの検出アルゴリズム（ステップ 707 及び 709）及び微分スペクトルベースの検出アルゴリズム（ステップ 708 及び 710）という 2 つの異なる統計的仮説試験に基づく。

【0106】

絶対電力ベースの検出アルゴリズムと同様に、多くのエポックについて推定スペクトルを組み合わせるにより、経時的な基準スペクトルが得られる。これらの平均は $X_{ref}(f_k)$ であり、この場合も、分散の使用によって、それを上回る場合に RFI イベントが存在したことが確実に閾値の選択肢を決定する。なお、この場合の基準及び閾値はともに、長さ N_f のベクトルである。

20

【0107】

i 番目の評価エポックについて、スペクトル推定 $X_i(f_k)$ が得られる。このエポックの閾値

【数 2 3】

$$\lambda_i^{SA}(f_k)$$

は、絶対電力ベースの検出アルゴリズムと同様に、片側有意試験から取得する（ステップ 707）。最終的に、基準値、閾値、及び評価値から信頼性測定基準を演算して（ステップ 709）、検出融合モジュールに受け渡す。

30

【0108】

絶対スペクトルベースの試験の場合、信頼性測定基準

【数 2 4】

$$C_i^{SA}$$

は、その他の信頼性測定基準と同様に、スカラー値であるのが望ましい。このため、電力ベースの検出アルゴリズムと同様に各点の信頼性を取得し、最大値のみを保持する。結果として、以下ようになる。

【数 2 5】

40

$$C_i^{SA} = \begin{cases} 0 & \text{if_all } X_i(f_k) < X_{ref}(f_k) \\ 1 & \text{if_any } X_i(f_k) > \lambda_i^{SA}(f_k) \\ g \left(\max \left\{ \frac{X_i(f_k) - X_{ref}(f_k)}{\lambda_i^{SA}(f_k) - X_{ref}(f_k)} \right\} \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

ここで、「max」関数は、周波数ビン f_k に渡って取得される。

【0109】

微分スペクトルベースの検出アルゴリズムの場合、 i 番目のエポックのスペクトルは、

50

(i - d) 番目のエポックと比較される。この場合は、ステップ 7 0 4 において計算した各スペクトルの分散

【数 2 6】

$$\sigma_i^2(f_k)$$

が用いられる。演算した P S D 周波数ビンそれぞれについて、基準と評価との間の対応する対の使用により、R F I が存在するかを決定する。この試験は、2 サンプルング T 試験に基づく。2 サンプルング T 試験は、正規性の観点で制約が少ない 2 つのサンプルを比較するのに適している。上記ステップにより、i 番目のエポックの検定統計量は、以下に従って演算可能である。

【数 2 7】

$$T_i(f_k) = \frac{X_i(f_k) - X_{i-d}(f_k)}{\sqrt{\frac{\sigma_i^2(f_k) + \sigma_{i-d}^2(f_k)}{M}}}$$

【0 1 1 0】

統計量は、2 M - 2 の自由度で分布したスチューデント T である。M が大きな場合、ガウス分布の仮定が有効となり、閾値は、基準のみに基づく可能性がある。所望の誤警報率のため、分布から検出閾値

【数 2 8】

$$\lambda_i^{SD}(f_k)$$

を導出 / 更新可能であり (ステップ 7 0 8)、この閾値は、すべての周波数ビンについて同一とすることも可能であるし、異なるものとすることも可能である (スペクトルの一部のエリアにより多くの関心が集まる場合に有用)。

【0 1 1 1】

この場合も、微分スペクトルベースの検出試験の信頼性測定基準

【数 2 9】

$$C_i^{SD}$$

は、スカラーであるのが望ましい。測定基準

【数 3 0】

$$C_i^{SD}$$

は、以下のように計算する (ステップ 7 1 0)。

【数 3 1】

$$C_i^{SD} = \begin{cases} 0 & \text{if_all } T_i(f_k) < 0 \\ 1 & \text{if_any } T_i(f_k) > \lambda_i^{SD}(f_k) \\ g\left(\max\left\{\frac{T_i(f_k)}{\lambda_i^{SD}(f_k)}\right\}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

ここで、「max」関数は、周波数ビン f_k に渡って取得される。その後、連続するエポックに対して、上述のステップ (7 0 2 ~ 7 1 0) が繰り返される。

【0 1 1 2】

上述の通り、2つの測定ベースの検出アルゴリズムも実行される。これらは、GNSS COTS受信機206を用いた測定に由来する絶対値を用いる第1の検出試験と、微分COTS測定値を用いる第2の検出試験とから成る。本実施形態の変形例において、COTS測定ベースの検出アルゴリズムでは、追跡測定、衛星情報処理、受信機位置、速度及び時間演算のうちの1つ又は複数等、様々な出力を処理するようにしてもよい。検出アルゴリズムは、受信機の追跡測定のほか、衛星の情報に基づく。

【0113】

図8aは、本実施形態の2つのCOTS測定ベースの検出アルゴリズムの方法を行う際に実行されるステップを示している。複数のパラメータが用いられるが、最初のステップとしては、エポックカウンタを含むすべてのそのようなパラメータをリセットする（ステップ801）。そのカウントは、ステップ802において1だけ増加する。

【0114】

本実施形態において検出に用いられるCOTS測定は、主として信号対雑音比（SNR）に基づき、より具体的には、GNSS COTS受信機206の場合、搬送波対雑音密度比（ CN_0 ）に基づく。静的展開シナリオにおいて、プローブが展開されるサイトの環境は、既知又は十分に調査可能である。したがって、 CN_0 測定結果と衛星位置との間の関係は、受信機アンテナに対する高度及び方位角の形態において、十分にモデル化可能であり、RFIが存在しない場合は相対的に一定を維持する。RFIが存在する場合は、全体ノイズ及び受信機が感じ取る干渉レベルが増大するため、このモデル化関係が崩れることになる。この事実に基づいて、 CN_0 測定結果と衛星位置との間のこのモデル化関係を用いることにより、RFIの存在を検出することができる。

【0115】

2つのCOTS測定ベースの検出アルゴリズムが用いられるのは、これらが相対的に複雑ではなく、干渉によるGNSSシステムの劣化の程度を明確に示しているという事実があるためである。

【0116】

測定は、高度範囲 $[e_{low}, 90]$ でのみ有効と考えられ、 e_{low} は、低角度衛星からのマルチパス問題を回避する「ガードゾーン」である。図8aのステップ803に示すように、 i 番目のエポックにおいて、COTS受信機は、2つのベクトルを伝えるが、ベクトルは CN_0 示度が $R_i[s]$ 且つ仰角が $E_i[s]$ であり、 s は衛星数である。一実施形態において、これらの値はすべて、整数である。これにより、現行のCOTS受信機のほとんどが動作するようになるためである。他の実施形態において、 $R_i[s]$ 及び $E_i[s]$ の値は、四捨五入される。

【0117】

ステップ804においては、（有効な仰角のみのデータを用いて）平滑化値

【数32】

$$\tilde{R}_i[s]$$

を以下のように計算する。

【数33】

$$\tilde{R}_i[s] = \frac{1}{N_{sm}} \sum_{m=i-N_{sm}+1}^i R_i[s]$$

そして、ステップ805においては、 i 番目のエポックについて計算した値 $R_i[s]$ 及び

【数34】

$$\tilde{R}_i[s]$$

10

20

30

40

50

をメモリに格納する（すなわち、バッファリングする）。

【 0 1 1 8 】

絶対測定ベースの検出アルゴリズム（ステップ 8 0 6、8 0 8、及び 8 1 0）では、先の「絶対」アルゴリズムと同様に、現在の平滑化値を基準と比較する。本実施形態において、基準演算は、衛星数に基づく。衛星数に基づく基準演算の利点は、 CN_0 と衛星位置（ el 、 az ）との間の関係をより正確にモデル化できることである。これによって、より厳密な検出閾値を設定可能であり、検出率及び誤警報の観点で検出性能が向上する。他の実施形態においては、すべての衛星が閾値を共有していてもよく、このため、絶対測定ベースの検出が開始可能となる前のモニタリング期間を短くする必要がある。基準演算及び更新の詳細な手順については、以下に示す。

10

【 0 1 1 9 】

電力ノスペクトルの場合と異なり、ここでは、長い基準を取ることが重要である。本実施形態においては、最短基準時間として 1 2 時間を選択するが、他の実施形態においては、2 4 時間以上を選択する。 RFI が存在せず、検出器プロンプが評価段階でオンライン動作している場合に収集された測定データを用いて基準を定期的に更新するのが好都合となり得る。これらの定期的な更新によって、冬季及び夏季の大気温度の影響による変動を取り除くことができる。また、電離層の活動の情報等、中央サーバ 1 0 0 において利用可能な外部情報の使用により、閾値に必要な調整を演算するが、この調整は、プロンプに送信されることになる。

20

【 0 1 2 0 】

初期の展開段階においては、プロンプが測定結果を記録し、 N_{ref} 個のエポックの当該期間の最後には、各仰角での基準 CN_0 のほか、分散が演算される。まず、各 el 値での測定値の数は、以下の通りである。

【 数 3 5 】

$$N_r(el) = \sum_s \sum_{i=0}^{N_{ref}-1} (E_i[s] = el)$$

基準 CN_0 推定値は、

30

【 数 3 6 】

$$CN_0(el) = \frac{1}{N_r(el)} \sum_s \sum_{i=0}^{N_{ref}-1} R[i,s] * (E_i[s] = el)$$

であり、推定分散は、

【 数 3 7 】

$$\sigma^2(el) = \frac{1}{N_r(el)} \left\{ \sum_s \sum_{i=0}^{N_{ref}-1} R_i[s] * (E_i[s] = el) - CN_0(el) \right\}^2$$

40

である。 $N_r(el)$ 個の値のいずれかが小さ過ぎる（調節した値を下回る）場合、この el 値での $CN_0(el)$ 及び $\sigma^2(el)$ の正確な推定には値の数が少な過ぎるため、その他の値に適用される 3 次多項式曲線フィッティングでこれらの値を置き換える。

【 0 1 2 1 】

ここで、基準平均値に対応する閾値

【 数 3 8 】

$$\lambda_i^{MA}(el)$$

50

を演算／更新する（ステップ 806）。一実施形態においては、片側有意試験に CN_0 (e1) 及び (e1) を適用可能である。ガウス仮定が有効でない場合により好ましい別の実施形態においては、いわゆる離散散乱を用いて、各仰角の閾値を設定する。各仰角について図 8 b に示すように（図 8 b の横軸は仰角を表す）、 CN_0 値は、特に低仰角範囲場合に、ある範囲で散乱する。図 8 b のグラフにプロットされた円の異なるグレー部分は、異なる発生割合を表す。例えば、 49° の仰角においては、収集された基準データのうち、 51 dBHz の観測 CN_0 の 90% を表すグレー部分を有する円が存在し、 49 dBHz の観測 CN_0 の 10% を表すグレー部分を有する別の円が存在する。したがって、閾値が 49 dB に設定されている場合、システムの個々の衛星誤警報率は、 10% である。平均の場合と同様に、仰角の一部に関して、閾値が外挿される。図 8 b のグラフにおいて、上側の実線は、2 日間に収集されたデータから演算された対応する平均 CN_0 であり、下側の破線は、同じデータ集合から演算された標準偏差の 2 倍をこの平均から減算したものを表す。仰角 46° と 48° との間では、収集された測定結果の 100% が 50 dBHz にあるため、これらの値について演算される分散はゼロであることが分かる。

10

【0122】

以下の点が留意される。

【0123】

衛星数に基づく基準演算により、衛星の使用年数及びモデルに起因する衛星送信電力レベルの変動が取り除かれる。例えば、新しい GPS 衛星と古い GPS 衛星との間では、この変動が 3 dB にもなり得る。

20

【0124】

また、衛星数に基づく基準演算によれば、 CN_0 測定結果による評価によってより正確な検出結果を導出する衛星それぞれに対して、異なる重み付け係数を適用することができる。例えば、一実施形態において、GEO 静止衛星は、プローブに対して位置が固定されているため、MEO 衛星よりも大きな重み付け係数が与えられる。

【0125】

この長い基準収集段階の後、

【数 39】

$$\lambda_i^{MA}(el)$$

30

が求められ、プローブはいつでも、評価演算プロセスを開始することができる。

【0126】

上述の通り、 i 番目のエポックについては、結果ベクトルの平滑化によって、

【数 40】

$$\tilde{R}_i[s]$$

が求められる。これは、各（有効）衛星の平均測定 CN_0 の尺度である。ステップ 808 においては、当該衛星高度でこれらの各値を閾値と比較し、閾値を下回る数を集計する。

40

【数 41】

$$F_i^A = \sum_s \tilde{R}_i[s] < \lambda_i^{MA}(E_i[s])$$

ここで、

【数 42】

$$F_i^A$$

は、試験に失敗した（すなわち、信号対雑音比が閾値を下回る）衛星の数を表す。先の試

50

験で用いられた信頼性関数 $g(y)$ は、連続データに関して設計されているため、整数
【数 4 3】

$$F_i^A$$

には適していない。その代わりに、実行済みの試験に基づいて、離散信頼性関数 $h[y]$ が設計されている。

【数 4 4】

$$\begin{aligned} h[y] &= 0 & \text{if } y &= \{0,1\} \\ h[y] &= \frac{y-1}{3} & \text{if } y &= \{2,3\} \\ h[y] &= 1 & \text{if } y &\geq 4 \end{aligned}$$

10

多くの G N S S 配置及び / 又は周波数をモニタリングする他の実施形態においては、関数 $h[y]$ が変化することになる。そして、絶対測定ベースの検出試験の場合は、ステップ 8 1 0 において、スカラー信頼値

【数 4 5】

$$C_i^{MA}$$

20

を計算するようにしてもよい。

【数 4 6】

$$C_i^{MA} = h[F_i^A]$$

そして、この値

【数 4 7】

$$C_i^{MA}$$

30

を融合検出エンジンモジュールに受け渡す。この絶対測定ベースの検出試験は、長い持続性干渉の検出に有効である。

【0 1 2 7】

図 8 a のステップ 8 0 7、8 0 9、及び 8 1 1 に示す微分測定ベースの検出アルゴリズムにおいては、現行エポックの測定結果 $R_i[s]$ を最新の平滑化エポック

【数 4 8】

$$\tilde{R}_{i-d}[s]$$

40

による測定結果と比較する。このアルゴリズムに用いられる閾値

【数 4 9】

$$\lambda_i^{MD}$$

は、G N S S モニタリングステーションのネットワークから収集された実データに基づく試験に由来する。首尾よく配置されたアンテナの場合、この閾値は通例 2 d B となり、衛星送信の一貫した性質を反映している。閾値

【数 5 0】

$$\lambda_i^{MD}$$

は、必要に応じて更新するようにしてもよく（ステップ 8 0 7）、例えば、あまりに多くの誤警報が疑われる場合は、中央サーバ 1 0 0 により調節するようにしてもよい。

【0 1 2 8】

微分測定ベースの検出アルゴリズムの場合は、 $R_i[s]$ 値が低過ぎて $E_i[s]$ が依然として有効である場合、すなわち性能レベルが（おそらくは干渉によって）低下した場合と、 $R_i[s]$ 及び / 又は $E_i[s]$ が空値であるものの、

10

【数 5 1】

$$\tilde{R}_{i-d}[s]$$

が有効である場合、すなわち当該衛星がもはや追跡されておらず、C O T S 受信機が見失っている場合との両方を捕捉するのが重要である。これは、以下のように計算する（ステップ 8 0 9）。

【数 5 2】

$$F_i^D = \sum_s (\tilde{R}_{i-d}[s] - R_i[s]) > \lambda_i^{MD} + \sum_s (\tilde{R}_{i-d}[s] \neq null) \cap (R_i[s] == null)$$

20

そして、以下の信頼値を計算して（ステップ 8 1 1）、融合検出エンジンに伝える。

【数 5 3】

$$C_i^{MD} = h[F_i^D]$$

【0 1 2 9】

図 9 には、上記 6 つの異なる検出アルゴリズム及びそれぞれの主要な値をまとめて示している。閾値については、以下が留意される。

【数 5 4】

30

$$\lambda_i^{PA}$$

は、 P_{ref} の大きな捕捉集合に基づき、これらの分散がガウスと仮定されることになる。

【数 5 5】

$$\lambda_i^{PD}$$

は、ある許容誤差で（試験により求められる）動作レベルでのフロントエンドの既知の変動性に基づく。

40

【数 5 6】

$$\lambda_i^{SA}(f_k)$$

は、 $X_{ref}(f_k)$ の大きな捕捉集合に基づき、これらの分散がガウスと仮定されることになる。

【数 5 7】

$$\lambda_i^{SD}$$

50

は、スチューデント T 分布に基づく。

【数 5 8】

$$\lambda_i^{MA}(el)$$

は、 $C N_0 (el)$ の大きな測定結果集合と、これら測定結果の分散又は離散散乱とのおのづからに基づく。

【数 5 9】

$$\lambda_i^{MD}$$

10

は、C O T S 受信機の試験及び陸地測量 G N S S サイトに基づく。

【0 1 3 0】

6 つの検出アルゴリズムのそれぞれの結果

【数 6 0】

$$(C_i^{PA} C_i^{PD} C_i^{SA} C_i^{SD} C_i^{MA} C_i^{MD})$$

はそれぞれ、検出融合アルゴリズムエンジン（図 3 のボックス 3 0 9）に入力され、R F I が検出されたかに関する最終的な決定がなされる。

20

【0 1 3 1】

R F I が存在するか否かを決定するため、様々な論理的試験が適用される。現在選定されているものを以下に示すが、これらは、試験の実行状況及び異なる試験に現れる異なる干渉クラスの多様度に関する認識を反映している。なお、システムアーキテクチャは、中央サーバにおけるデータマイニングプロセスに基づいて初期展開後の論理を更新するように柔軟であるため、アルゴリズムにさらなる論理的試験を追加することができる。

【0 1 3 2】

以下のいずれかが起こった場合に、検出フラグを設定する。

【数 6 1】

30

$$1. C_i^{PA} + C_i^{PD} \geq 1$$

$$2. C_i^{SA} + C_i^{SD} \geq 1$$

$$3. C_i^{MA} + C_i^{MD} \geq 1$$

$$4. C_i^{PA} + C_i^{SA} + C_i^{MA} \geq 1.5$$

$$5. C_i^{PD} + C_i^{SD} + C_i^{MD} \geq 1.5$$

40

以下が留意される。

【0 1 3 3】

これは、

【数 6 2】

$$(C_i^{PA} C_i^{PD} C_i^{SA} C_i^{SD} C_i^{MA} C_i^{MD}) = 1$$

50

のいずれかが成り立つ場合に、グローバルフラグが立ち上がることを意味する。試験の閾値はそれぞれ、R F I がない場合を超える可能性が非常に低くなるように設計されている。したがって、いずれかの信頼性が1である場合は、グローバルフラグが立ち上がるものとする。

【0134】

同じ基準の2つの試験がいずれも高い信頼性を有するものの、完全に1でない場合は、それらが一緒にグローバルフラグが立ち上がるのに十分である。

【0135】

3点の測定ベースの場合、3つの衛星が絶対試験に失敗し、2つの衛星が微分試験に失敗した場合（又は、その逆の場合）は、辛うじてグローバルフラグが立ち上がる。それぞれが2つの失敗の場合は、こうならない。

10

【0136】

経験上、S T 妨害装置では、2点の場合に、他の場合よりも容易にフラグが立つ。

【0137】

経験上、ホワイトノイズ妨害装置では、1点の場合に、他の場合よりも容易にフラグが立つ。

【0138】

妨害装置の高い電力までゆっくりと確実に上昇することにより、4点の場合に、他の場合よりも容易にフラグが立つ。

【0139】

20

妨害の突然の鋭いパルスでは、5点の場合に、他の場合よりも容易にフラグが立つ。

【0140】

また、3点では、例えば（悪意又は偶然の結果として）アンテナのごく近くに大きな金属物体を置く場合等、物理的干渉の存在に気付く可能性が高くなる。

【0141】

グローバル検出フラグが設定されたら、分類に要する特性パラメータが検出結果から抽出され、R F I 分類エンジンに供給されることになる（図3のブロック310及び311参照）。

【0142】

R F I 検出融合アルゴリズムによって検出のフラグが立ったら、R F I 分類アルゴリズムがR F I 分類を実行する。なお、主プロープ102におけるこの機能ブロックの目的は、以下の機能ブロックによりシステムレベルで適当な動作を行えるように、R F I イベントの緊急性レベルに優先順位を与えることである。したがって、説明には、分類及び分類アルゴリズムの全体を含むが、これは、アルゴリズム全体が主プロープ102に実装されているためであり、アクティブな処理ステップの中央サーバ100による設定及び制御によって、主プロープ102の処理能力の利用が最適化される。また、分類アルゴリズム全体は、中央サーバ100において実装されているが、より高度な構成である。

30

【0143】

分類アルゴリズムは、「フローチャート分類及び分類方法」である。この方法は、システムレベルで「閉ループ」を構成する4つの主要な動作段階から成る。

40

【0144】

事前R F I 特性解析：オフライン解析によって、異なる種類の既知及び潜在的R F I の特性のルックアップテーブルを構築する。

【0145】

分類アルゴリズム設計：事前特性ルックアップテーブルに依拠して、オンライン処理中に、未知のR F I を特定の干渉クラス（例えば、単一トーン、ホワイト、チャープ等）に割り当てられるように、一組のD S P 試験を構築する。

【0146】

詳細パラメータ化及び分類：中央サーバにおけるより高度な解析によって、検出R F I 信号の特定のパラメータの特性及び値を決定する。

50

【 0 1 4 7 】

データベーストレーニング及び更新：「新規」特性化 R F I 及びその特性をデータベースに追加し、全体システム設計のトレーニングに使用する。

【 0 1 4 8 】

図 1 0 には、オフライン R F I 特性解析段階における信号の種類及び特性をまとめて記載している。なお、一覧化した 5 つの特性がすべてではない。この表は、試験の設計によって信号が有する特性を決定可能な場合、R F I の試験及び分類が可能であり、或いは、2 つ / 3 つのクラスのうちの 1 つに限定することが少なくとも可能であることを示している。また、この表は、設計可能な個々の試験の一部を示している。

【 0 1 4 9 】

なお、この表では、答えが分からない複数部分に疑問符が存在する。これは、妨害装置を完全に把握していないことに一部起因しており、その一部は、いかに特定クラスの妨害装置を実現するか（アナログ / デジタル信号生成）によって決まるためであり、別の一部は、これら信号クラスの多くが非存在又は未観測であるものの、単純に存在の可能性があるためである。

【 0 1 5 0 】

一部の試験は、その実行順序に応じて冗長と判定される場合がある。例えば、R F I がスペクトル周期性を持たないと判定された場合は、パルス化 / 電力変動しているかを試験することにほとんど利益はない。また、周波数変動であることが証明済みでない場合も、R F I が周波数ジャンプしているかを試験することにほとんど利益はない。

【 0 1 5 1 】

表中で強調していない重要な点として、個々の試験のほとんどは、試験対象のクラス数が限られている場合にのみ、より良い性能を有することになる。

【 0 1 5 2 】

本実施形態によれば、使用される最上位の分類方法は、図 1 1 に示すような決定ツリーフローチャートの形態である。図 1 1 のフローチャートによれば、複数の利益が得られる。

- ・全体的に複雑ではない。
- ・最も複雑な個々の試験が可能な限り回避される。
- ・早期試験がより識別的である（疑問符がほとんどない）。
- ・早期試験がより正確である。
- ・早期試験が多様な入力を取り扱い可能である。

【 0 1 5 3 】

上述の通り、R F I 干渉の検出によって、決定ツリーの使用を開始する（ステップ 1 1 0 1）。本明細書に記載の通り、スペクトログラムを取得するほか、結果の修正と併せてスペクトログラムの A C F 及び F F T を行う（ステップ 1 1 0 2）。その後、スペクトログラムが周期的であり、平均優位でないかを決定する（ステップ 1 1 0 3）。

【 0 1 5 4 】

スペクトログラムが周期的であり、平均優位でない場合は、水平調整試験及びデューティサイクル試験を実行する（それぞれ、ステップ 1 1 0 4 及び 1 1 0 6（以下により詳しく説明する））。その後、これらの試験に基づいて、スペクトログラムが周波数変動であるかを決定する（ステップ 1 1 0 7）。周波数変動である場合は、シフト合計試験を実行する（ステップ 1 1 1 0（以下により詳しく説明する））とともに、シフト合計試験により生成されたシフトスペクトログラムに基づいて、信号がチャープ又は周波数ホッピングであるかを決定する（ステップ 1 1 1 1（以下により詳しく説明する））。その後、信号がパルス化されているかに基づいて、信号の種類を決定する（先のステップの結果に応じて、ステップ 1 1 0 9、1 1 1 2、又は 1 1 1 3）。本実施形態において、周期的且つ平均優位でない信号の場合は、未知のスペクトル周期性 1 1 1 7、パルス W B / N B / S T（広帯域、狭帯域、又は単一トーン）1 1 1 8、連続チャープ 1 1 1 9、パルスチャープ 1 1 2 0、周波数ホッピング 1 1 2 1、又は散発性周波数ホッピング 1 1 2 2 といった結

10

20

30

40

50

果が考えられる。また、結果 1 1 2 2 については、周波数ホッピング信号の周波数範囲がプローブ周波数範囲よりも大きい場合に実現される。

【 0 1 5 5 】

ステップ 1 1 0 3 の後、スペクトログラムが周期的且つ平均優位でない場合は、時間領域信号の A C F を取得する（ステップ 1 1 0 5 ）とともに、これによって、信号が時間周期的であるかを決定する（ステップ 1 1 0 8 ）。周期的でない場合は、信号をホワイト / N B として特性化する（ 1 1 1 4 ）。非常に周期的である場合は、信号を S T / N B として特性化する（ 1 1 1 5 ）。時々時間周期的である場合すなわち強い周期性でない場合は、信号を C D M A 信号として特性化する（ 1 1 1 6 ）。特性化プロセスについては、以下により詳しく説明する。

10

【 0 1 5 6 】

分岐決定の入力となる測定基準の導出のため、5つのサブプロセスが実行される。第1に、スペクトル周期性を試験する（ステップ 1 1 0 3 ）。これは、上掲の目的に整合するためである。すなわち、非常に識別的であり（唯一の疑問符が C D M A の場合であり、試験アルゴリズムの調節によって解決済みである）、最も複雑な試験ではなく、また、実験により、様々な入力において正確であることが示されている。周波数ジャンプ特性の前に、周波数変動特性を試験し（ステップ 1 1 0 4 、 1 1 0 6 、 及び 1 1 0 7 ）、周波数変動である場合にのみ電力変動特性を試験し（ステップ 1 1 1 0 及び 1 1 1 1 ）、多くの種類の R F I について、時間周期性試験を経ることで、最も複雑な試験を回避する（ステップ 1 1 0 5 及び 1 1 0 8 ）。

20

【 0 1 5 7 】

スペクトル周期性試験では、スペクトログラムを入力とする。この試験は、スペクトル周期性が存在するかを判定することを意図している。

【 0 1 5 8 】

プログラミング用語において、スペクトログラムは2次元行列であり、時間が水平次元且つ周波数が垂直次元で、行列の各値は、所与の周波数を中心とする単一の（狭い）周波数帯及び所与の時間を中心とする（狭い）時間ウィンドウにおける測定信号電力を表す。そして、行列の1つの列が非常に短いタイミングのすべての周波数を示し、1つの行が特定の周波数の電力がどのように経時的に変化するかを示している。図 1 2 a ~ 図 1 2 e には、スペクトログラムの2次元表記を示しており、一部が部分的又は完全に信号処理されている。各スペクトログラムは、電力をプロットしたものであり（所与のデータ点で用いられるグレー部分によって表されている）、水平軸が時間、垂直軸が周波数を表している。

30

【 0 1 5 9 】

スペクトル周期性試験（図 1 1 のステップ 1 1 0 3 ）において、特に R F I 信号強度が低い場合（この試験が分岐ツリーの第1レベルであるという事実を踏まえて重要）に正確な分岐を生成するため、R F I のスペクトログラムの推定値は、正確であることが求められる。本発明においては、スペクトログラムの演算に「W e l c h」方法を適用する（ステップ 1 1 0 2 ）。演算したスペクトログラムは、プローブ 1 0 2 、 1 0 6 のメモリに格納され、その他のプロセスに再利用される。図 1 3 は、このスペクトログラム演算方法を示している。「W e l c h」方法に関して周知の通り、解析対象の信号の所与の時間ウィンドウに関して、スペクトルを演算する連続チャンク間の重畳比が大きいと、時間領域におけるこれら2つのチャンク間のスペクトル遷移がより平滑となる。一方、平滑なスペクトログラムデータを有することにより、以下により詳しく説明する水平調整試験及びシフト合計試験（それぞれ、ステップ 1 1 0 4 及び 1 1 1 0 ）の性能が向上する可能性がある。また一方、重畳比が大きいと、スペクトログラムの連続時間ビン間の相関が高くなって、スペクトル周期性試験（ステップ 1 1 0 3 ）が劣化する。このため、試験結果が良い性能となるには、首尾よく設計された重畳比が重要になる。本発明の本実施形態においては、主プローブ 1 0 2 及び中央サーバ 1 0 0 において、2つの異なる手法が実装される。主プローブ 1 0 2 においては、演算したスペクトログラム推定値がすべての試験に対して偏り

40

50

なく作用するように、平衡状態の重畳比が選定される。これは、主プローブ102のRFI分類アルゴリズムに対する演算及び待ち時間の制約に起因する。これらの制約のほか、スペクトログラム演算の高い演算複雑性のため、信号のウィンドウに対してスペクトログラムを一度だけ演算するのが好ましい。そして、演算したスペクトログラムは、その他すべての試験の入力として用いられる。中央サーバ100においては、2つの異なる重畳比で2つのスペクトログラム推定値を演算することができ、重畳比が低い方がスペクトル周期性試験に用いられる一方、重畳比が高い方が水平調整試験及びシフト合計試験に用いられる。この選択肢が存在するのは、中央サーバ100がより高い演算能力を有し、中央サーバ100での信号解析に際しては、待ち時間要件が厳しくないためである。

【0160】

10

図14には、スペクトル周期性試験のプロセスを示している。スペクトログラム推定値を演算したら(ステップ1402)、スペクトログラムの前処理を適用する。この前処理では、有用な信号を含まないと考えられる最小エネルギーの任意の周波数帯を取り除く。そして、スペクトログラム上の低エネルギーの任意の点は、ノイズと考えられるため、ゼロにする(ステップ1403)。このプロセスによって、いわゆる「修正スペクトログラム」が生成される。

【0161】

その後、時間次元に沿って「水平」に、修正スペクトログラムの自己相関関数(ACF)を演算する(ステップ1404)。これは、スペクトログラムの各行がそのACFを取得し、得られる行ベクトルを合計することを意味する。得られた元のACFを用いて、時間差ゼロにおける最初のピーク及びその他のDC項を除去することによって、第1の修正ACFを生成する(ステップ1408及び1409)。この修正によって、スペクトル周期性の識別が改善される。この修正を行ったら、高速フーリエ変換(FFT)によって、第1の修正ACFを周波数領域へと変換する(ステップ1410)ことにより、「FFT-ACF」を生成する(1411)。また、時間差ゼロにおける最初のピークのみを除去することによって、元のACFを修正する(ステップ1405)ことにより、第2の修正ACFを生成する(ステップ1406)。そして、第1及び第2の修正ACFのピーク-平均比を取得する(ステップ1407及びステップ1412)。スペクトル周期性の試験は、閾値に対してACFのピーク-平均値及びACFのFFTを比較することによって終了となり(ステップ1413)、これに応じて決定を行う(ステップ1414)。

20

30

【0162】

スペクトル周期性試験の完了後は、(図11の決定ツリーのステップ1103として)解析したRFI信号がスペクトル周期性を有する(且つ、平均優位でない)か否かを決定することができる。以下の試験は、ステップ1103に続く2つの異なる分岐(「はい」及び「いいえ」)に対して設計されたものである。スペクトル周期性分岐(「はい」分岐)の場合は、次のレベルに対して周波数変動試験(ステップ1104、1106、及び1107)を実行し、スペクトル非周期性分岐(「いいえ」分岐)の場合は、時間周期性を試験する(ステップ1105及び1108)。

【0163】

スペクトル周期性分岐においては、水平調整試験(ステップ1104)及びデューティサイクル試験(ステップ1106)を実行するため、決定ステップ1107において、プロセスが周波数変動分岐(「周波数変動」=「はい」)又は周波数非変動分岐(「周波数変動」=「いいえ」)のいずれかに分岐する可能性がある。周波数変動の試験の場合は、(フローチャートのこの段階によって)信号がスペクトル周期性を有することが既知である。

40

【0164】

水平調整アルゴリズムでは、スペクトログラムを取得して、これをスキューさせる(水平方向に調整する)。これは、スペクトログラムの最下行を固定し、最上行を左/右に円形回転させ、最上行/最下行との近さに応じて間の行を回転させることによって実現される。図12aは、水平調整アルゴリズムに係る、非スキューイングスペクトログラムを示

50

したグラフであり、図 1 2 b は、スキューさせた同じスペクトログラムを示したグラフである。

【 0 1 6 5 】

スペクトルグラム列は、スキューイングの前後に合計された後、比較によって、新たなスキューイングスペクトログラムがより高いピークを有するかが評価される。したがって、この比較により、スキューイングスペクトログラムがより良く電力を「整列」させて、信号周波数が漸進的に上昇 / 低下していることを示しているかが効果的に判定される。その後、水平スキューイングの前後に、3 乗値から成る合計列がそれぞれ 2 乗され、(垂直方向に) 合計される。他の実施形態においては、3 乗されるか、又は別の乗数で大きくされる。

10

【 0 1 6 6 】

高い値の点をより優先するため、調整に先立って、スペクトログラムの値を 3 乗する。スペクトログラム列は、スキューイングの前後に (垂直方向に) 合計される。合計されたスキューイングスペクトログラムは、合計された非スキューイングスペクトログラムよりもピークが高くなるため、合計されたスキューイングスペクトログラムは、対応する非スキューイングスペクトログラムよりも良く電力を「整列」させていることが示される可能性がある。このことにより、検出信号において、信号周波数が変化していることが示される。その後、垂直方向に合計した水平方向シフト 3 乗値の 2 乗及び合計 (すなわち、水平方向) によって、単一の値が生成される。他の実施形態においては、この最終的な合計ステップの前に、3 乗されるか、又は別の乗数で大きくされるようになっていてもよい。多くの異なるスキューイング量 (正負両方) に関して上記プロセスが繰り返され、所与のスキューイングスペクトログラムが非スキューイングスペクトログラムよりも大幅に良い電力を整列させているかについての決定がなされる。

20

【 0 1 6 7 】

図 1 5 a 及び図 1 5 b は、水平調整試験 (「スキューイング」) に関係する別の詳細を示しており、異なるスキューイング調整によるスペクトログラム上での計算がどのように実行されたかを説明している。図 1 5 a のフローチャートを参照して、スペクトログラム及びスペクトログラム値の 3 乗を演算する (それぞれ、ステップ 1 5 0 2 及び 1 5 0 3) 。上記説明した一組の調整値によって、3 乗したスペクトログラムをスキューさせることにより、一組の修正 3 乗スペクトログラムを生成する (ステップ 1 5 0 4) 。元の 3 乗スペクトログラム及び修正 3 乗スペクトログラムをすべて垂直方向 (すなわち、周波数方向) に合計する (ステップ 1 5 0 5) とともに、結果を 2 乗する (ステップ 1 5 0 6) 。その後、各スペクトログラムの値集合をすべて合計する (ステップ 1 5 0 7) 。 - 3 と 3 の間の調整値を用いることにより、修正スペクトログラム集合において得られた最大値に「ピーク中間値」を割り当てる (ステップ 1 5 0 8) 。3 以上の調整値を用いることにより、修正スペクトログラム集合において得られた最大値に「ピーク超過値」を割り当てる (ステップ 1 5 0 9) 。 - 3 を下回る調整値を用いることにより、修正スペクトログラム集合において得られた最大値に「ピーク未満値」を割り当てる (ステップ 1 5 1 0) 。ピーク超過値及び / 又はピーク未満値がピーク中間値より 3 % 大きくない場合、この信号は周波数変動していない (ステップ 1 5 1 1 及び 1 5 1 2) 。ピーク超過値及び / 又はピーク未満値の一方がピーク中間値より 3 % 大きいものの、両方が大きいわけではない場合、この信号は周波数変動するのこぎり歯型であり (ステップ 1 5 1 1、1 5 1 3、及び 1 5 1 4) 、ピーク超過値及びピーク未満値の大きい方としてチャープ測定基準が与えられる。ピーク超過値及び / 又はピーク未満値の両方がピーク中間値より 3 % 大きい場合、この信号は周波数変動している三角型である (ステップ 1 5 1 1、1 5 1 3、及び 1 5 1 6) 。

30

40

【 0 1 6 8 】

周波数変動している三角型の信号の場合、ピーク超過値がピーク未満値よりも大きい場合は、以下の結果としてチャープ測定基準が与えられる。

ピーク超過 + (ピーク未満 - ピーク中間) / 2

それ以外の場合は、以下の結果としてチャープ測定基準が与えられる。

50

ピーク未満 + (ピーク超過 - ピーク中間) / 2

最良調整値がゼロ調整値よりも $x\%$ 高い結果を与えている場合、信号は、周波数変動と判定される。この $x\%$ という値は単に、許容誤差を与えるものである。また、 ± 2 の調整値が周波数変動信号を示すものと考えないようにすることも重要である。3 未満の調整は、変動とは考えられない。

【0169】

図15bには、水平調整試験のステップ1507により得られる値集合の一例を示している。なお、ピーク位置（例えば、図15bに示すピークを参照）は、周波数変動信号の掃引率の推定値であり、これを用いて、RFI信号のパラメータ化及び分類を行うことができる。

10

【0170】

スペクトログラムを図12bに示す形状に変換するスキューイングにより、図12aに示す信号に対して水平調整試験が実行された場合は、（電力値が垂直方向に十分整列している場合の）図15bに示すような種類のグラフにおいて、フィッティング値に優れた強い単一ピークが現れることになる。このような結果は、非スキューイングスペクトログラムにより検出・表現された信号がチャープ信号であることを示している。

【0171】

図16のフローチャートには、デューティサイクル試験（図11のステップ1106）をより詳しく示している。これを実行することにより、解析したRFI信号がパルス化されているか否かを決定する。大きなブロックのサンプルをより小さなサブブロックに分割し（ステップ1601）（いくつかの実施形態においては、重畳を伴う）、各ブロックの平均電力を取得する。これによって、背景ノイズの分散及び量子化ノイズが平滑化される。サブブロックは、パルスチェーンの「オン」及び「オフ」サイクルのいずれよりも小さい。

20

【0172】

この方法で使用する統計量は、以下の通りである。

【0173】

各サブブロックについて、平均電力 P_{mean} を取得する（ステップ1602）。

【0174】

信号が P_{mean} を上回ったらいつでも、「オン」と考え、そうでない場合は「オフ」と考える（ステップ1603）。

30

【0175】

「オン」信号データを平均化して P_{on} を与え、同様に P_{off} も与える（ステップ1604及び1605）。

パルス信号と考える信号は、以下2つの基準を満たしている必要がある。

【0176】

$P_{on} > P_{off}$ 、（ は設計パラメータ）（ステップ1606）

$(P_{on} - P_{mean}) / (P_{mean} - P_{off}) > \text{ }、$ （ は設計パラメータ）（ステップ1607）

その後、これらの結果に基づいて決定を行う（ステップ1608）。

40

【0177】

これらの基準によって、変動が平均よりも大きくなり、デューティサイクルが1に近過ぎることはない。これは、（ホワイトノイズのような）ランダム変動の「オン」信号と考えるべきだからである。

【0178】

図11の決定ツリーにおいて、スペクトログラムがスペクトル周期性を有し、周波数変動であると決定された場合は、「シフト合計試験」を実行して、周波数ホッピング信号を試験する（ステップ1110）。以下、図17に示すフローチャートを参照して、シフト合計試験をより詳しく説明する。この試験により、周波数ホッピング信号と連続周波数掃引（すなわち、チャープ）信号とを区別することができる。シフト合計試験は、上述の水

50

平調整合計法に類似している。このため、スペクトログラムを取得して、電力を垂直方向に整列させようとする。両方の違いは、シフト合計法において、スペクトログラムがスキューされるのではなく、ストリップが円形にシフトされるという事実である。これは、周波数ホッピング信号の性質を反映している。一例として、周波数ホッピング信号のスペクトログラムを図 1 2 c に示す。各ストリップ / 周波数帯（隣接行の集合）は、一列に並ぶまで円形に回転可能である。スペクトログラムの各ストリップは、占有周波数間の中点によって境界を設定することができる。このアルゴリズムでは、スペクトログラムを水平次元に合計し、ローカルピークを拾うことによって、存在する周波数を推定する。その後、最小の複雑性で各周波数をどこまでシフトさせるかを見出すため、ローカルピークそれぞれをグローバルピークと関連させる。周波数間の中点によってグループを再び探索し、これに応じてグループを移動させる。その後、グローバルピーク帯を適所に保って、その他の帯域を最高値から最低値へと順序付ける。図 1 2 d 及び図 1 2 e は、電力値を垂直方向により良く整列させるステップにおいて、スペクトログラムのストリップがどのようにシフトし得るかを示している。

10

【 0 1 7 9 】

シフト合計試験（図 1 7 に示すフローチャート）によって、解析信号がホッピングしているものと決定するため、このシフト合計試験は、水平調整合計法よりも良い整合を与える必要がある。すなわち、電力の整列に優れている必要がある。

【 0 1 8 0 】

本実施形態においては、スペクトログラムを演算して 3 乗する（ステップ 1 7 0 2、1 7 0 3）とともに、3 乗したスペクトログラムを水平方向に合計する（ステップ 1 7 0 4）。そして、周波数ピークを計算する（ステップ 1 7 0 5）とともに、スペクトログラムがマルチピークであるかを決定する（1 7 0 6）。

20

【 0 1 8 1 】

マルチピークである場合は、ピーク位置を用いて、信号の周波数帯の位置（すなわち、帯域の中心のピーク）を計算する（ステップ 1 7 0 7）。その後、選択した周波数帯に沿って、元の 3 乗スペクトログラムを解析し、水平総計による最高ピークの帯域と比較する（ステップ 1 7 0 8）。そして、各帯域を水平方向及び円形にシフトさせる（ステップ 1 7 0 9）。

【 0 1 8 2 】

スペクトログラムは、マルチピークでない場合、サイズの異なる上側帯域及び下側帯域に分割し、これらの集合を生成する（ステップ 1 7 1 1）。各帯域対について、上側帯域を円形及び水平方向にシフトさせて、最良フィッティング（すなわち、各帯域の最近接ピーク整合）を探索する（ステップ 1 7 1 2）。その後、ステップ 1 7 1 1 のように、再び上側帯域及び下側帯域をそれぞれ分割して、プロセスを複数回繰り返す（ステップ 1 7 1 4）。

30

【 0 1 8 3 】

マルチピークの場合も非マルチピークの場合も、スペクトログラムを垂直方向に合計して（ステップ 1 7 1 0）、総計の集合を 2 乗する（ステップ 1 7 1 5）。その後、2 乗集合を合計して（ステップ 1 7 1 6）、周波数ホッピング測定基準を与える（ステップ 1 7 1 8）。

40

【 0 1 8 4 】

周波数ホッピング測定基準とチャープ測定基準との比較によって、チャープフィッティングが周波数ホッピングフィッティングよりも優れているかを決定する（図 1 1 のステップ 1 1 1 1）。

【 0 1 8 5 】

解析信号がスペクトル周期性を有さない場合は、依然として、符号分割多重アクセス（CDMA）信号と同様に、ノイズと疑似ランダムノイズとを区別することが重要である。CDMA は、GNSS 信号が使用する変調方式であると同時に、スプーフィング RFI 及び一部の悪意ある妨害装置も使用するからである。この試験では、広帯域（WB）、狭帯

50

域 (NB)、又は単一トーン (ST) の可能性がある真のランダム信号と CDMA 等の疑似ランダム信号とを区別することのみが必要であることは、指摘しておく価値がある。したがって、チャープ等の信号は時間領域において十分な周期性を有するように見えるであろうが、この試験では、このような信号とホワイトノイズとを識別する必要がない。

【0186】

ホワイトノイズに対する疑似ランダム CDMA 信号の明らかな特徴は、時間周期性である。ACF を用いることにより、CDMA 信号の存在を確認することができる。ただし、この手法には困難を伴う。周期性の試験のため、試験ウィンドウは、1 コード周期よりも大きくする必要がある。

【0187】

例えば中央サーバ 100 において、演算能力及び待ち時間が制限されていない場合は、解析ウィンドウ全体について、完全 ACF を信号に実行可能である。本実施形態においては、主プローブ 102 において時間周期性試験を実行するため、図 18 に示すように、簡単な ACF 演算方法を実行する。この方法では、信号の時系列の微小なチャンクを取得し、信号の解析ウィンドウ全体について、このチャンクをスライドさせる (ステップ 1801)。平均及び分散を取得し (ステップ 1802)、第 1 のピーク ($t = 0$) を取り除く (ステップ 1803) (複数の調波ピークが存在する場合は、同様に取り除くことによって、ノイズの分散のより正確な推定値を得るようにする)。時間周期性として特性化する信号について、ピークは、平均を超えるより大きくなければならない。ここで、は設計パラメータであり、は推定標準偏差である。したがって、を計算して平均と比較し (ステップ 1804)、平均を上回るかに基づいて決定を行う (ステップ 1805)。

【0188】

したがって、図 11 に示すフローチャートの決定ツリーは、9 つの異なる妨害信号クラス (種類) のうちの 1 つに属するものとして GNSS 妨害信号を分類する手段を与えることになる。

【0189】

その後、プローブ 102 は、所定の優先測定基準と併せて、RFI 検出融合アルゴリズム及び RFI 分類アルゴリズムの出力を取得することにより、低遅延のイベント警告メッセージ又は遅延耐性のレポートメッセージのいずれかを生成する。これらの測定基準は、中央サーバ 100 の制御によって、再設定及び更新可能である。例えば、1 つの基準として、検出 RFI が「チャープ信号」と分類された場合は、警告メッセージを直ちに生成して中央サーバに送信する必要がある。これは、現在の悪意ある妨害装置のほとんどが「チャープ信号」を生成しており、GNSS サービスに対する影響が甚大な損害となるという事実に起因する。

【0190】

本実施形態において、プローブ 102 は、イベント警告/レポートメッセージの送信のスケジューリングも管理する。警告メッセージが生成された場合、この実体は、メッセージの中央サーバ 100 への送信に最も高い優先度を割り当てることになる。通常の優先度のメッセージの場合は、演算及び通信リソースが利用可能な場合にメッセージを送信することになる。このイベントの優先度の識別によって、中央サーバ 100 で緊急イベントが受信される待ち時間が最小化されるため、対応する動作を適時に行うことができる。本発明に係るメッセージの識別により、比較的低い通信コストで最良の性能が保証される。

【0191】

通信リンクの考え得る一時的喪失に対して堅牢であるために、メッセージが無事に受信されて復号化されたという中央サーバ 100 / ハブ 104 からの確認メッセージが主プローブ 102 により受信されるまで、プローブ 102 のデータストレージに個々のレポートも格納する。通信リンクの一時的喪失の場合は、複数のイベント警告/レポートをプローブ 102 のメモリに格納して、通信リンクが再び利用可能となったら直ちに送信する。

【0192】

以上、特定の実施形態を参照して本発明を説明及び図示したが、当業者には当然のことながら、本発明は、本明細書で具体的に示していない多くの種々変形例に適用可能である。以下、このような一部の变形例を説明するが、これらはほんの一例に過ぎない。

【0193】

例えば、当然のことながら、上記実施形態の特定の態様は、他の態様とは別に適用可能である。例えば、妨害信号の種類（又は、クラス）の分類に用いられる決定ツリーは、既知の妨害信号の検出又は位置特定に際して、構造が変更されてもよいし、一切用いられなくてもよい。別のネットワークトポロジが利用されてもよい。副プロブは、例えばローカルハブを介して中央サーバに接続することも可能である。

【0194】

上述の検出アルゴリズムでは、融合試験の6つの異なる試験により決定されたFR干渉（又は、妨害信号）の検出の信頼性を表す6つのスカラー値を使用して、妨害信号の検出の単一決定を与えている。使用する試験は、これより少なくすることも可能である。また、個々の試験の異なる組み合わせ又は別途組み合わせを行うようにしてもよい。

【0195】

以上の説明において、既知、明確、又は予測可能な均等値を有する整数又は要素を述べている場合、このような均等値は、個別に指定されているかの如く本明細書に組み入れられる。本発明の真の範囲を決定するには、特許請求の範囲を参照するものとするが、これは、このような如何なる均等値も含むものと解釈されるべきである。また、読者には当然のことながら、好適、好都合、便利なもの等として記載の本発明の整数又は特徴は、任意選択であり、独立請求項の範囲を制限するものではない。さらに、このような任意選択としての整数又は特徴は、本発明のいくつかの実施形態においては有益となる可能性があるものの、他の実施形態では望ましくない可能性があるため、存在していなくてもよいことが了解されるものとする。

本件は、以下の態様もありうる。

[態様 1]

検出器でGNSS妨害信号を検出する方法であって、

妨害信号の検出の信頼性を表す複数の信頼値を計算するステップであって、前記信頼値が、

(i) 所与の時間ウィンドウ及び閾値電力レベルにおいて、前記検出器で受信された前記信号の絶対電力の指標を前記検出器の帯域幅全体で比較する試験と、

(i i) 所与の時間ウィンドウ及び閾値電力変化率において、前記検出器で受信された前記信号の電力の変化率の指標を前記検出器の帯域幅全体で比較する試験と、

(i i i) 所与の時間ウィンドウにおいて、狭帯域幅で所与の周波数を中心とする所与の周波数帯にわたって前記検出器で受信された前記信号の測定電力を、その所与の周波数帯と関連付けられた閾値電力レベルと比較する試験と、

(i v) 所与の時間ウィンドウにおいて、狭帯域幅で所与の周波数を中心とする所与の周波数帯にわたって前記検出器で受信された前記信号の測定電力の変化率を、その所与の周波数帯と関連付けられた閾値電力変化率と比較する試験と、

(v) 前記検出器の少なくとも一部を構成するGNSS受信機の出力であり、前記GNSS受信機により受信又は生成された位置特定データの品質を表す、出力と閾値品質レベルとを比較する試験と、

(v i) 前記検出器の少なくとも一部を構成するGNSS受信機の出力であり、前記GNSS受信機により受信又は生成された位置特定データの品質を表す、出力の変化率と閾値品質変化率とを比較する試験と、

のうちの4つ以上に基づく、当該計算するステップと、

(a) 試験 (i) 及び (i i) の両方が実行された場合、試験 (i) 及び (i i) の結果としての前記信頼値の組み合わせ、

(b) 試験 (i i i) 及び (i v) の両方が実行された場合、試験 (i i i) 及び (i v) の結果としての前記信頼値の組み合わせ、

10

20

30

40

50

(c) 試験 (v) 及び (v i) の両方が実行された場合、試験 (v) 及び (v i) の結果としての前記信頼値の組み合わせ、

(d) 試験 (i)、(i i i)、及び (v) のうちの 2 つ若しくは 3 つが実行された場合、実行された前記試験のうちの前記 2 つ若しくは 3 つの結果としての前記信頼値の組み合わせ、並びに、

(e) 試験 (i i)、(i v)、及び (v i) のうちの 2 つ若しくは 3 つが実行された場合、実行された前記試験のうちの前記 2 つ若しくは 3 つの結果としての前記信頼値の組み合わせ、

という計算のうちの少なくとも 3 つの組み合わせに基づいて、妨害信号の検出を判断するか否かについてのグローバル決定を計算するステップと、

を含む、方法。

[態様 2]

試験 (i) ~ (v i) のすべてが実行される、態様 1 に記載の方法。

[態様 3]

妨害信号の検出を判断するか否かについての前記グローバル決定を計算するステップが、計算 (a) ~ (e) のすべての組み合わせを使用する、態様 2 に記載の方法。

[態様 4]

試験 (i) ~ (v i) のうちの 1 つ又は複数は、実行されることで、妨害信号が存在するという完全信頼性を示す結果を生成可能であり、

試験 (i) ~ (v i) のいずれか 1 つが、妨害信号が存在するという完全信頼性を示す結果を生成する場合、計算 (a) ~ (e) は、実行されることで、妨害信号が存在するか否かについての前記グローバル決定が常に、妨害信号が存在するものと判断する、

態様 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の方法。

[態様 5]

試験 (i) ~ (v i) のうちの 1 つ又は複数は、実行されることで、妨害信号が存在するという部分信頼性を示す結果を生成可能であり、

妨害信号が存在するという部分信頼性のみを示す 2 つ以上の信頼値の組み合わせが、実際に妨害信号が存在すると判断するのに十分ではあるものの、妨害信号が存在するという部分信頼性を示す結果を試験 (i) ~ (v i) のうちの 1 つだけが生成している場合、妨害信号が検出されたとは判断されない、

態様 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の方法。

[態様 6]

G N S S 妨害信号を検出して位置特定する方法であって、

G N S S 妨害信号の存在を検出するように構成された少なくとも 1 つの位置固定信号検出器を用意するステップと、

前記位置固定信号検出器による検出としての妨害信号の存在の検出に際して、モバイル信号検出器をディスパッチするステップと、

複数の異なる場所で前記モバイル信号検出器を使用することにより、前記妨害信号の 1 つ又は複数の特性を測定するステップであって、前記モバイル信号検出器が、前記妨害信号の発生源の場所を手動オペレータが決定できるようにするフィードバックを前記オペレータに提供する、当該ステップと、

を含む、方法。

[態様 7]

前記位置固定信号検出器により検出される妨害信号の種類が確定され、前記モバイル信号検出器が、前記妨害信号の種類の独自分類を実行することにより、前記妨害信号の同じ発生源の検出を確認する、態様 6 に記載の方法。

[態様 8]

前記モバイル信号検出器が、前記モバイル信号検出器により行われた先行測定に基づいて前記モバイル信号検出器により選択された、測定が行われる場所に前記オペレータを向かわせる、態様 6 又は 7 に記載の方法。

10

20

30

40

50

[態様 9]

G N S S 妨害信号の存在を検出するように構成された位置固定信号検出器のネットワークが存在しており、

前記方法は、

位置固定信号検出器の前記ネットワークにより決定された前記妨害信号のおおよその場所の指標を与えるステップ、

を含む、態様 6 ~ 8 のいずれか一項に記載の方法。

[態様 10]

前記位置固定信号検出器及び前記モバイル信号検出器の一方又は両方が、検出された妨害信号の信号処理を実行し、前記信号処理が、前記検出器に局所的に提供されたコンピュータプロセッサにより実行される、態様 6 ~ 9 のいずれか一項に記載の方法。

10

[態様 11]

検出器で G N S S 妨害信号を検出する方法であって、

無線周波数信号の電力を表すアナログ信号を受信するステップと、

所与のタイミングの電力がデジタル値によって表される量子化デジタル信号に前記アナログ信号を変換するステップと、

測定ウィンドウにおいてデジタル値列からデジタル電力量を計算するステップと、

前記測定ウィンドウについて、量子化モデル、特定の測定ウィンドウで行われた測定の数のサンプル分散、及び前記特定の測定ウィンドウに関する環境分散を考慮した閾値を計算するステップと、

20

前記デジタル電力量及び前記計算された閾値に基づいて、妨害信号検出パラメータを計算するステップと、

を含む、方法。

[態様 12]

前記妨害信号検出パラメータが、妨害信号の存在の検出の信頼性の指標である、態様 11 に記載の方法。

[態様 13]

前記デジタル電力量が、検出された前記アナログ信号の絶対電力を表し、

前記閾値が、当該閾値を上回る場合に妨害信号が存在すると判断し得る絶対電力を表す、

30

態様 11 又は 12 に記載の方法。

[態様 14]

前記デジタル電力量が、検出された前記アナログ信号の絶対電力の変化を表し、

前記閾値が、当該閾値を上回る場合に妨害信号が存在すると判断し得る電力の増加を表す、

態様 11 又は 12 に記載の方法。

[態様 15]

G N S S 妨害信号を分類する方法であり、有限数の種類の妨害信号のうちの 1 つが前記 G N S S 妨害信号を分類するものとして選択される、当該方法であって、

前記妨害信号のスペクトログラムを解析することにより、信号成分を時間領域においてグループ化しようとする際に、時間軸に沿って異なる量だけ前記スペクトログラムの異なる部分をシフトさせることによって、1 つ又は複数の種類の妨害信号を 1 つ又は複数の異なる種類から区別するステップ、

40

を含む、方法。

[態様 16]

時間軸に沿って異なる量だけ前記スペクトログラムの異なる部分をシフトさせる処理は、

前記妨害信号の前記スペクトログラムをスキューさせて、時間軸に沿って周波数に応じた異なる量だけデータをシフトさせること、を含む、態様 15 に記載の方法。

[態様 17]

50

時間軸に沿って異なる量だけ前記スペクトログラムの異なる部分をシフトさせる処理は、時間軸に沿って異なる量だけ前記スペクトログラムの異なるストリップをシフトさせることであり、各ストリップが、複数の異なる周波数を網羅する少なくとも1つの周波数帯に関係する、態様15又は16に記載の方法。

[態様 1 8]

信号変換、計算、試験、解析、及び他の信号処理ステップがすべて、後で処理される信号を検出するGNSS信号検出器に局所的に提供されたコンピュータプロセッサにより実行される、態様11～17のいずれか一項に記載の方法。

[態様 1 9]

コンピュータソフトウェア製品であって、
コンピュータサーバ上で実行された場合に、本発明に係る中央サーバの機能を実行する
当該コンピュータソフトウェア製品。

10

【 図 1 】

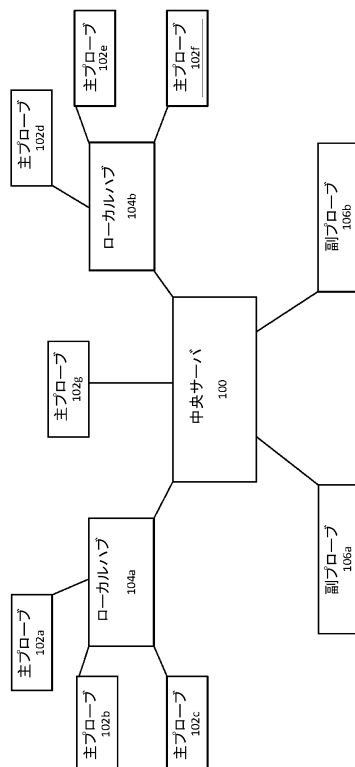


Figure 1

【 図 2 】

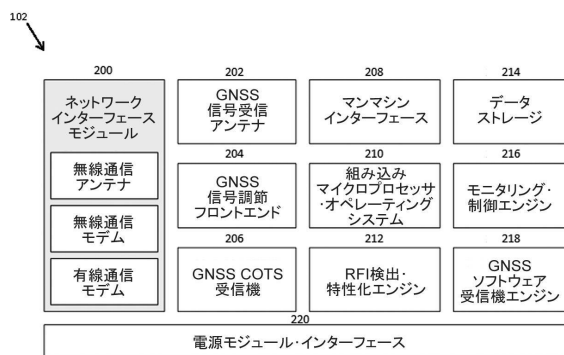


Figure 2

【図 3】

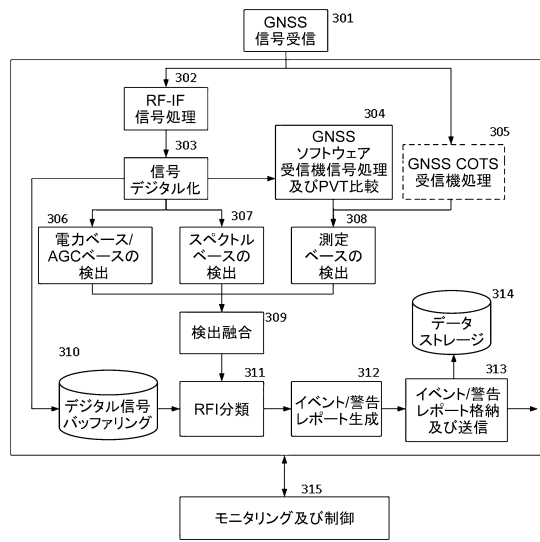


Figure 3

【図 4】

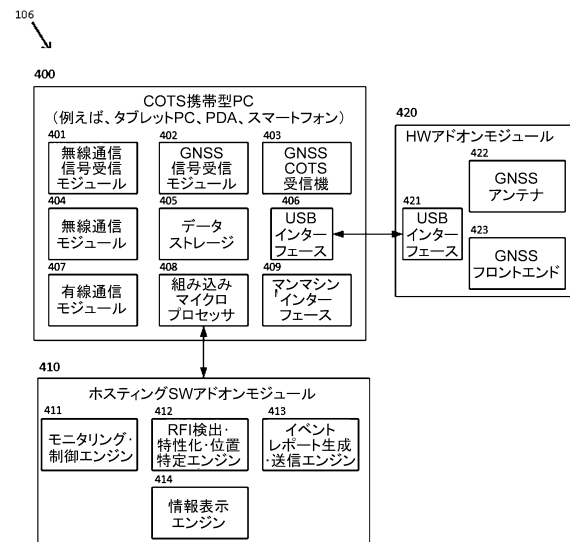


Figure 4

【図 5 a】

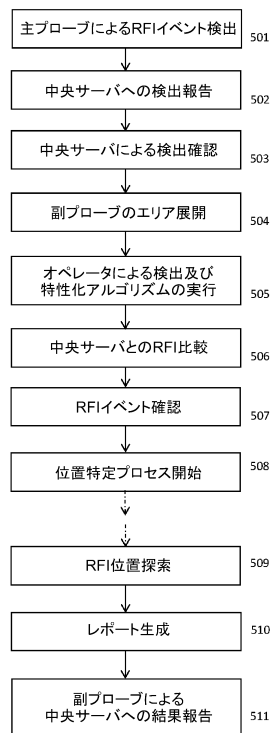


Figure 5a

【図 5 b】

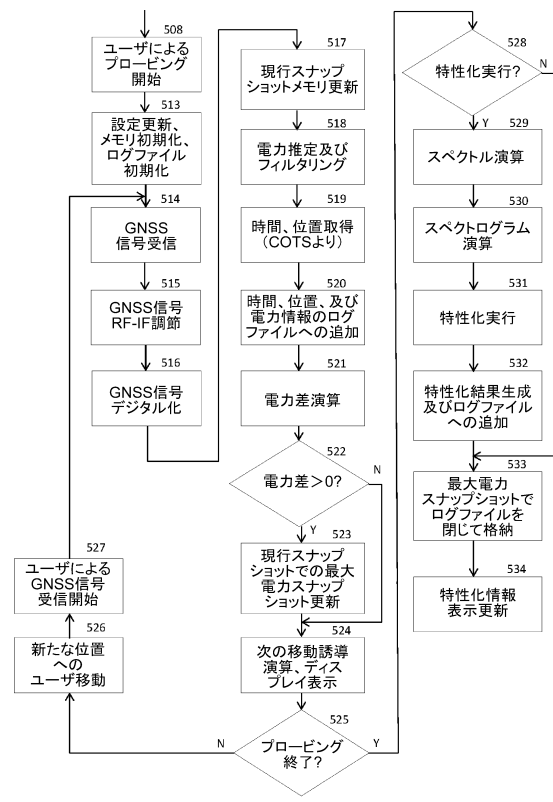


Figure 5b

【図 6】

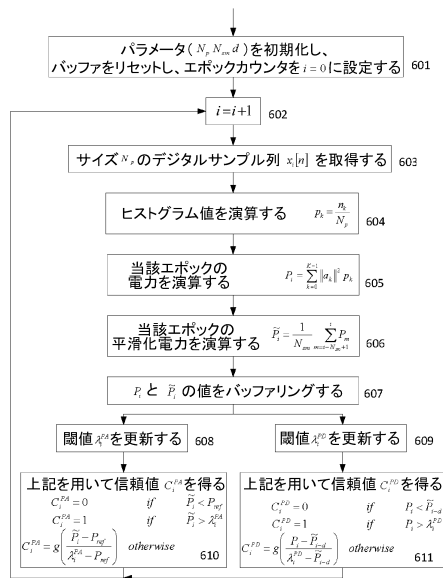


Figure 6

【図 7】

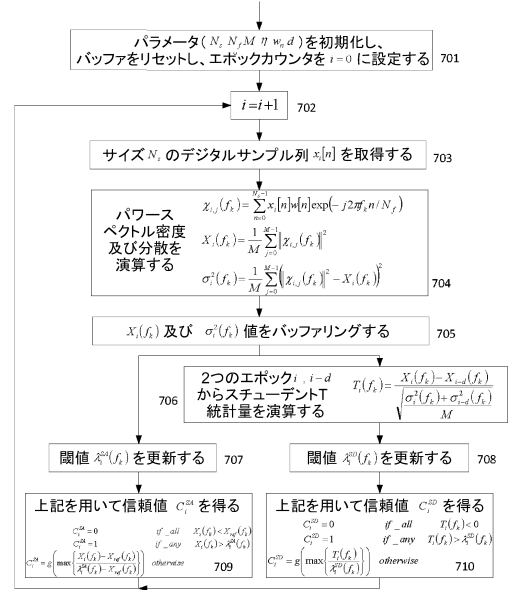


Figure 7

【図 8 a】

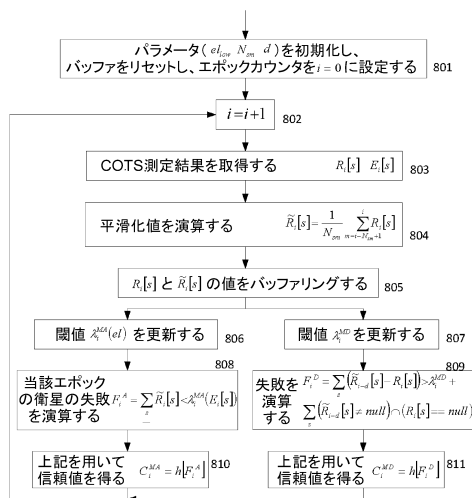


Figure 8a

【図 8 b】

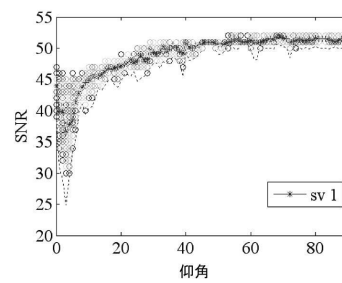
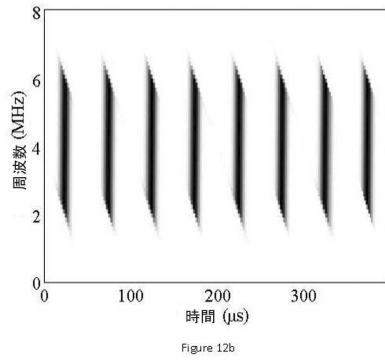
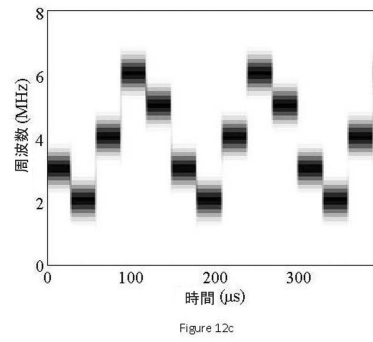


Figure 8b

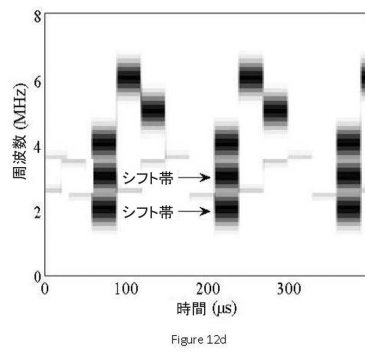
【図 1 2 b】



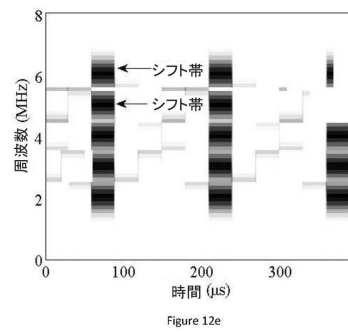
【図 1 2 c】



【図 1 2 d】



【図 1 2 e】



【図 13】

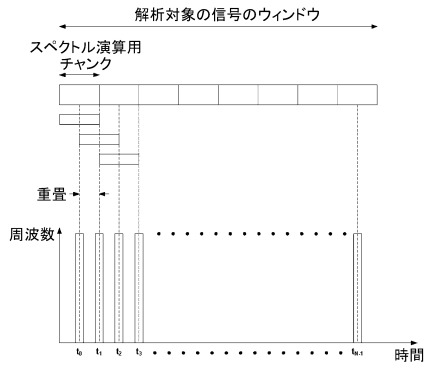


Figure 13

【図 14】

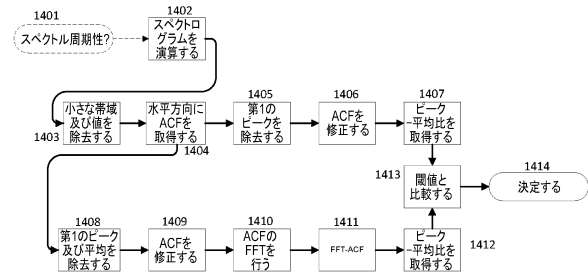


Figure 14

【図 15 a】

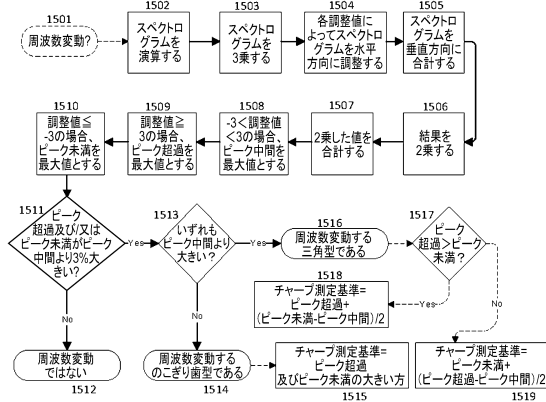


Figure 15a

【図 15 b】

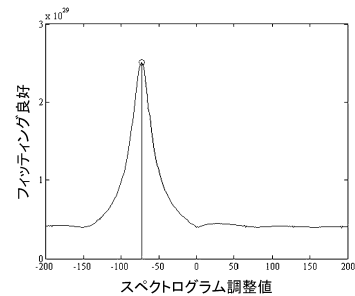


Figure 15b

【図 16】

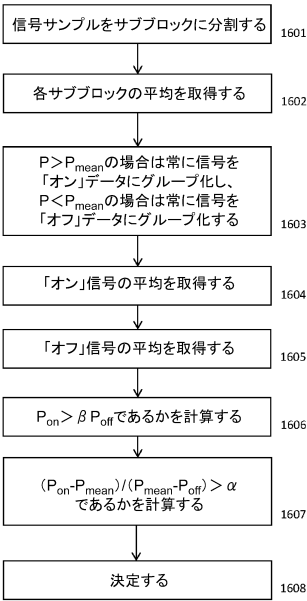


Figure 16

【図 17】

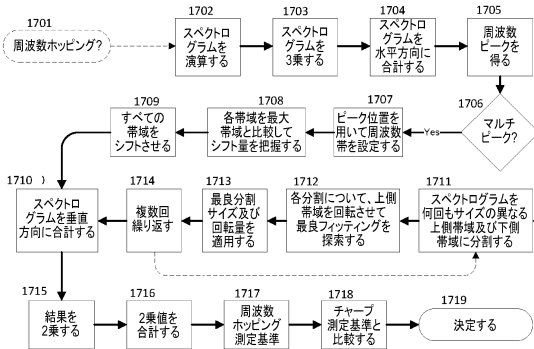


Figure 17

【図 18】

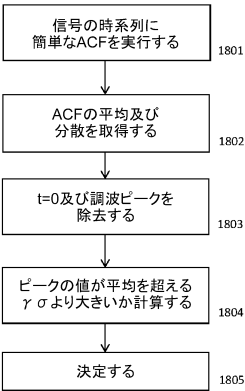


Figure 18

フロントページの続き

- (72)発明者 イン, イエチュウ
イギリス, ノッティンガム エヌジー 2 1アールティ, リバーサイド ビジネス パーク,
トトル ロード, ロクスリー ハウス, ケア オブ ノッティンガム サイエнтиフィッ
ク リミテッド
- (72)発明者 ウィットワース, ティモシー クリストファー
イギリス, ノッティンガム エヌジー 2 1アールティ, リバーサイド ビジネス パーク,
トトル ロード, ロクスリー ハウス, ケア オブ ノッティンガム サイエнтиフィッ
ク リミテッド
- (72)発明者 シェリダン, ケヴィン
イギリス, ノッティンガム エヌジー 2 1アールティ, リバーサイド ビジネス パーク,
トトル ロード, ロクスリー ハウス, ケア オブ ノッティンガム サイエнтиフィッ
ク リミテッド

審査官 佐藤 敬介

- (56)参考文献 国際公開第 2011/065559 (WO, A1)
特開 2010-081404 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04B 17/309
H04K 3/00