

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5424338号  
(P5424338)

(45) 発行日 平成26年2月26日 (2014. 2. 26)

(24) 登録日 平成25年12月6日 (2013.12.6)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 S 19/08 (2010.01)** GO 1 S 19/08  
**GO 1 S 19/23 (2010.01)** GO 1 S 19/23  
**GO 1 S 19/20 (2010.01)** GO 1 S 19/20

請求項の数 10 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2010-61878 (P2010-61878)	(73) 特許権者	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22) 出願日	平成22年3月18日 (2010. 3. 18)	(73) 特許権者	000232221 日本電気航空宇宙システム株式会社 東京都府中市日新町一丁目10番
(65) 公開番号	特開2011-196738 (P2011-196738A)	(74) 代理人	100085235 弁理士 松浦 兼行
(43) 公開日	平成23年10月6日 (2011. 10. 6)	(72) 発明者	小野 剛 東京都港区芝5丁目7番1号 日本電気株式会社内
審査請求日	平成25年2月15日 (2013. 2. 15)	(72) 発明者	鈴木 和史 東京都港区芝5丁目7番1号 日本電気株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 衛星測位システムの異常値検出装置、異常値検出方法及び異常値検出プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

衛星測位システムの異常値の検出対象である時系列値を第1の確率変数として、前記時系列値の重み付け統計量に基づき、所定の時刻以前の第1の期間における第1の確率密度関数を算出して第1の確率分布として取得する第1確率分布取得手段と、

前記第1の期間内の単位時刻である各時刻tについて前記第1確率分布取得手段により取得された前記第1の確率分布に基づき、前記時刻tの直前の時刻t-1における前記第1の確率変数の選択情報量を不確実性指標として算出する不確実性指標算出手段と、

前記時刻t以前の、前記第1の期間より短い第2の期間内で、前記不確実性指標算出手段により算出された前記不確実性指標の平均値を算出し、その平均値を第2の確率変数として、前記第2の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第1の期間における第2の確率密度関数を算出して第2の確率分布として取得する第2確率分布取得手段と、

前記第2確率分布取得手段により各時刻t毎に取得された前記第2の確率分布に基づき、前記第2の確率分布の取得時刻tの直前の時刻t-1以前の前記第2の期間内の前記第2の確率分布の平均情報量を変化点指標として算出する変化点指標算出手段と、

前記変化点指標算出手段により算出された前記変化点指標を予め設定された閾値と比較し、前記閾値より大きな値の前記変化点指標に対応する前記時系列値を前記異常値として検出する異常値検出手段と

を有することを特徴とする衛星測位システムの異常値検出装置。

【請求項2】

前記第 2 確率分布取得手段は、前記第 2 の期間内で前記不確実性指標の平均値を算出し、その平均値を前記第 2 の確率変数として、前記第 2 の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第 1 の期間の長さ以下の期間である第 3 の期間における前記第 2 の確率密度関数を算出して前記第 2 の確率分布として取得し、

前記変化点指標算出手段は、前記時刻  $t - 1$  に対応する前記第 2 の確率分布に基づき、前記時刻  $t - 1$  以前で、前記第 2 の期間以下の長さである第 4 の期間内の前記第 2 の確率分布の平均情報量を前記変化点指標として算出する

ことを特徴とする請求項 1 記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【請求項 3】

前記時系列値は、衛星測位システムの各人工衛星と受信機との間の擬似距離や測位信号の位相などの、前記受信機において受信した前記人工衛星からの測位信号に基づいて時系列に取得されたデータであることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

10

【請求項 4】

前記第 1 確率分布取得手段は、前記時刻  $t$  における前記第 1 の確率変数を  $x_t$ 、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 1 の確率変数  $x_t$  の重み付け平均値を  $w_{1,t-1}$ 、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、新しい時系列値ほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 1 の確率変数  $x_t$  の重み付け分散値を  $\sigma_{1,t-1}$  としたとき、次式

20

【数 1】

$$p(x_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{1,t-1}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x_t - w_{1,t-1})^2}{\sigma_{1,t-1}^2}\right)$$

により算出される前記第 1 の確率密度関数  $p(x_t)$  を前記第 1 の確率分布として取得することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【請求項 5】

前記不確実性指標算出手段は、前記時刻  $t$  における前記第 1 の確率変数を  $x_t$ 、前記時刻  $t - 1$  における前記第 1 の確率密度関数を  $p_{t-1}(x_t | x^{t-1})$  としたとき、次式

30

【数 2】

$$ULI(t) = -\log(p_{t-1}(x_t | x^{t-1}))$$

により算出される  $ULI(t)$  を前記時刻  $t$  における前記不確実性指標として算出することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【請求項 6】

前記第 2 確率分布取得手段は、前記第 2 の期間を  $T_2$ 、時刻  $i$  に対応する前記不確実性指標を  $ULI(i)$  としたとき、次式

【数 3】

40

$$y_t = \frac{1}{T_2} \sum_{i=t-T_2+1}^t ULI(i)$$

により、前記時刻  $t$  以前の前記第 2 の期間における前記不確実性指標の平均値である前記第 2 の確率変数  $y_t$  を算出し、更に前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 2 の確率変数  $y_t$  の重み付け平均値を  $w_{2,t-1}$ 、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 2 の確率変数  $y_t$  の重み付け分散値を  $\sigma_{2,t-1}$  としたとき、次式

【数 4】

$$q(y_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t-1}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(y_t - w_{t-1})^2}{\sigma_{t-1}^2}\right)$$

により算出される前記第 2 の確率密度関数  $q(y_t)$  を前記第 2 の確率分布として取得することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【請求項 7】

前記変化点指標算出手段は、前記時刻  $t - 1$  以前の前記第 4 の期間を  $T_4$ 、前記時刻  $i$  における前記第 2 の確率密度関数を  $q_{i-1}(y_i | y^{i-1})$  としたとき、次式

【数 5】

$$CPI(t) = \frac{1}{T_4} \sum_{i=t-T_4+1}^t (-\log(q_{i-1}(y_i | y^{i-1})))$$

により算出される  $CPI(t)$  を前記時刻  $t$  における前記変化点指標として算出することを特徴とする請求項 2 記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【請求項 8】

衛星測位システムの異常値の検出対象である時系列値を第 1 の確率変数として、前記時系列値の重み付け統計量に基づき、所定の時刻以前の第 1 の期間における第 1 の確率密度関数を算出して第 1 の確率分布として取得する第 1 のステップと、

前記第 1 の期間内の単位時刻である各時刻  $t$  について前記第 1 のステップにより取得された前記第 1 の確率分布に基づき、前記時刻  $t$  の直前の時刻  $t - 1$  における前記第 1 の確率変数の選択情報量を不確実性指標として算出する第 2 のステップと、

前記時刻  $t$  以前の、前記第 1 の期間より短い第 2 の期間内で、前記第 2 のステップにより算出された前記不確実性指標の平均値を算出する第 3 のステップと、

前記第 3 のステップで算出された前記平均値を第 2 の確率変数として、前記第 2 の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第 1 の期間における第 2 の確率密度関数を算出して第 2 の確率分布として取得する第 4 のステップと、

前記第 4 のステップにより各時刻  $t$  毎に取得された前記第 2 の確率分布に基づき、前記第 2 の確率分布の取得時刻  $t$  の直前の時刻  $t - 1$  以前の前記第 2 の期間内の前記第 2 の確率分布の平均情報量を変化点指標として算出する第 5 のステップと、

前記第 5 のステップにより算出された前記変化点指標を予め設定された閾値と比較し、前記閾値より大きな値の前記変化点指標に対応する前記時系列値を前記異常値として検出する第 6 のステップと

を含むことを特徴とする衛星測位システムの異常値検出方法。

【請求項 9】

前記第 4 のステップは、前記平均値を前記第 2 の確率変数として、前記第 2 の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第 1 の期間の長さ以下の期間である第 3 の期間における前記第 2 の確率密度関数を算出して前記第 2 の確率分布として取得し、

前記第 5 のステップは、前記時刻  $t - 1$  に対応する前記第 2 の確率分布に基づき、前記時刻  $t - 1$  以前で、前記第 2 の期間以下の長さである第 4 の期間内の前記第 2 の確率分布の平均情報量を前記変化点指標として算出することを特徴とする請求項 8 記載の衛星測位システムの異常値検出方法。

【請求項 10】

コンピュータに、

衛星測位システムの異常値の検出対象である時系列値を第 1 の確率変数として、前記時系列値の重み付け統計量に基づき、所定の時刻以前の第 1 の期間における第 1 の確率密度関数を算出して第 1 の確率分布として取得する第 1 のステップと、

前記第 1 の期間内の単位時刻である各時刻  $t$  について前記第 1 のステップにより取得さ

10

20

30

40

50

れた前記第 1 の確率分布に基づき、前記時刻  $t$  の直前の時刻  $t - 1$  における前記第 1 の確率変数の選択情報量を不確実性指標として算出する第 2 のステップと、

前記時刻  $t$  以前の、前記第 1 の期間より短い第 2 の期間内で、前記第 2 のステップにより算出された前記不確実性指標の平均値を算出する第 3 のステップと、

前記第 3 のステップで算出された前記平均値を第 2 の確率変数として、前記第 2 の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第 1 の期間における第 2 の確率密度関数を算出して第 2 の確率分布として取得する第 4 のステップと、

前記第 4 のステップにより各時刻  $t$  毎に取得された前記第 2 の確率分布に基づき、前記第 2 の確率分布の取得時刻  $t$  の直前の時刻  $t - 1$  以前の前記第 2 の期間内の前記第 2 の確率分布の平均情報量を変化点指標として算出する第 5 のステップと、

前記第 5 のステップにより算出された前記変化点指標を予め設定された閾値と比較し、前記閾値より大きな値の前記変化点指標に対応する前記時系列値を前記異常値として検出する第 6 のステップと

を実行させることを特徴とする衛星測位システムの異常値検出プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は衛星測位システムの異常値検出装置、異常値検出方法及び異常値検出プログラムに係り、特に測位信号から算出される擬似距離に含まれる異常値を検出する G B A S 等の衛星測位システムの異常値検出装置、異常値検出方法及び異常値検出プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

人工衛星が送信する測位信号を受信機で受信し、その測位信号から受信機自身の位置を知ることができる全地球測位システム (GPS: Global Positioning System) などの衛星測位システムは、車両、航空機、または船舶などの航法支援などに広く利用されている。この衛星測位システムにおける受信機は、測位信号から人工衛星との距離を算出し、その距離を基に自身の位置を算出する。この測位信号から算出される受信機と人工衛星との間の距離は、擬似距離と呼ばれる。

【0003】

上記の衛星測位システムでは、各人工衛星と受信機との間の擬似距離に基づいて測位計算を行うので、この擬似距離の精度は、測位精度に大きな影響を与える。この擬似距離には、時計誤差、電離層による誤差、対流圏による誤差、ノイズ等の様々な原因により生じた異常値が含まれている。このため、この異常値を適切に取り除くことが、衛星測位システムの測位精度を高め、利用時の安定性を向上させるうえで重要である。

【0004】

そこで、衛星測位システムにおいては、通常、逐次測定される擬似距離等の時系列データにおける異常値の発生状態を監視する異常値検出装置 (IM: Integrity Monitor) が用いられることが多い。特に、地上型補強システム (GBAS: Ground Based Augmentation System) に代表されるような、衛星測位システムを航空機の航法に利用するシステムでは、高い安全性が要求されるため、異常値検出装置は不可欠である。

【0005】

非特許文献 1 に記載された衛星測位システムの異常値検出装置は、被モニタ事象のモデルを前日以前の過去データを用いてモデル化している。この異常値検出装置は、モデルとして 10 度の仰角幅毎にガウス分布を仮定し、この 10 度の仰角幅毎に求めた分散の値を用いて各データを正規化する。そして、この異常値検出装置は、正規化したデータの分布が標準ガウス分布に従うと仮定し、この標準ガウス分布に従わない値を異常値として検出する。

【0006】

また、特許文献 1 に記載された衛星測位システムの異常値検出装置は、所定の有効期間

10

20

30

40

50

内における衛星軌道位置の値同士の差の最悪値と閾値とを比較し、最悪値が閾値を超えていた場合に、最悪値の元となった衛星軌道位置の値を異常値とする。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2009-68927号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】Gang Xie, "OPTIMAL ON-AIRPORT MONITORING OF THE INTEGRITY OF GPS-BASE LANDING SYSTEMS", Ph.D. Dissertation, Stanford University, pp.26-32, March 2004.

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかし、非特許文献1や特許文献1に記載された異常値検出装置では、精度良く異常値を検出できない場合がある。

【0010】

すなわち、非特許文献1や特許文献1に記載された異常値検出装置では、過去のデータに基づく不変のモデルを仮定しているため、観測環境が変化する場合、不変のモデルでは対応できないことがある。このような場合は、計算結果が信用できないものとなり得る。

20

【0011】

また、これらの異常値検出装置では、モデル化において、各データ間に時系列的な相関を仮定していないため、時系列的な相関関係がある場合、その関係を捉えることができない。この場合も、計算結果に誤りが生じ得る。

【0012】

本発明は以上の点に鑑みなされたもので、観測環境に変化が生じたり、各データ間に時系列的な相関関係がある場合であっても、精度良く異常値を検出し得るGPS等の衛星測位システムの異常値検出装置、異常値検出方法及び異常値検出プログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

30

【0013】

上記の目的を達成するため、本発明の衛星測位システムの異常値検出装置は、衛星測位システムの異常値の検出対象である時系列値を第1の確率変数として、時系列値の重み付け統計量に基づき、所定の時刻以前の第1の期間における第1の確率密度関数を算出して第1の確率分布として取得する第1確率分布取得手段と、第1の期間内の単位時刻である各時刻 $t$ について第1確率分布取得手段により取得された第1の確率分布に基づき、時刻 $t$ の直前の時刻 $t-1$ における第1の確率変数の選択情報量を不確実性指標として算出する不確実性指標算出手段と、時刻 $t$ 以前の、第1の期間より短い第2の期間内で、不確実性指標算出手段により算出された不確実性指標の平均値を算出し、その平均値を第2の確率変数として、第2の確率変数の重み付け統計量に基づき、第1の期間における第2の確率密度関数を算出して第2の確率分布として取得する第2確率分布取得手段と、第2確率分布取得手段により各時刻 $t$ 毎に取得された第2の確率分布に基づき、第2の確率分布の取得時刻 $t$ の直前の時刻 $t-1$ 以前の第2の期間内の第2の確率分布の平均情報量を変化点指標として算出する変化点指標算出手段と、変化点指標算出手段により算出された変化点指標を予め設定された閾値と比較し、閾値より大きな値の変化点指標に対応する時系列値を異常値として検出する異常値検出手段とを有することを特徴とする。

40

【0014】

また、上記の目的を達成するため、本発明の衛星測位システムの異常値検出方法は、衛星測位システムの異常値の検出対象である時系列値を第1の確率変数として、時系列値の重み付け統計量に基づき、所定の時刻以前の第1の期間における第1の確率密度関数を算

50

出して第1の確率分布として取得する第1のステップと、第1の期間内の単位時刻である各時刻 $t$ について第1のステップにより取得された第1の確率分布に基づき、時刻 $t$ の直前の時刻 $t - 1$ における第1の確率変数の選択情報量を不確実性指標として算出する第2のステップと、時刻 $t$ 以前の、第1の期間より短い第2の期間内で、第2のステップにより算出された不確実性指標の平均値を算出する第3のステップと、第3のステップで算出された平均値を第2の確率変数として、第2の確率変数の重み付け統計量に基づき、第1の期間における第2の確率密度関数を算出して第2の確率分布として取得する第4のステップと、第4のステップにより各時刻 $t$ 毎に取得された第2の確率分布に基づき、第2の確率分布の取得時刻 $t$ の直前の時刻 $t - 1$ 以前の第2の期間内の第2の確率分布の平均情報量を変化点指標として算出する第5のステップと、第5のステップにより算出された変化点指標を予め設定された閾値と比較し、閾値より大きな値の変化点指標に対応する時系列値を異常値として検出する第6のステップとを含むことを特徴とする。

10

## 【0015】

更に、上記の目的を達成するため、本発明の衛星測位システムの異常値検出プログラムは、コンピュータに、

衛星測位システムの異常値の検出対象である時系列値を第1の確率変数として、時系列値の重み付け統計量に基づき、所定の時刻以前の第1の期間における第1の確率密度関数を算出して第1の確率分布として取得する第1のステップと、第1の期間内の単位時刻である各時刻 $t$ について第1のステップにより取得された第1の確率分布に基づき、時刻 $t$ の直前の時刻 $t - 1$ における第1の確率変数の選択情報量を不確実性指標として算出する第2のステップと、時刻 $t$ 以前の、第1の期間より短い第2の期間内で、第2のステップにより算出された不確実性指標の平均値を算出する第3のステップと、第3のステップで算出された平均値を第2の確率変数として、第2の確率変数の重み付け統計量に基づき、第1の期間における第2の確率密度関数を算出して第2の確率分布として取得する第4のステップと、第4のステップにより各時刻 $t$ 毎に取得された第2の確率分布に基づき、第2の確率分布の取得時刻 $t$ の直前の時刻 $t - 1$ 以前の第2の期間内の第2の確率分布の平均情報量を変化点指標として算出する第5のステップと、第5のステップにより算出された変化点指標を予め設定された閾値と比較し、閾値より大きな値の変化点指標に対応する時系列値を異常値として検出する第6のステップとを実行させることを特徴とする。

20

## 【発明の効果】

30

## 【0016】

本発明によれば、時系列値を確率変数として第1の確率密度関数を取得し、その第1の確率密度関数から算出した選択情報量である不確実性指標の平均値を確率変数として第2の確率密度関数を算出し、更にその第2の確率密度関数の平均情報量である変化点指標を算出し、閾値より大きい変化点指標に対応する時系列値を異常値として検出するため、各データ間に時系列的な相関関係のある場合や、観測環境の変化が生じた場合であっても、精度の高い異常値の検出ができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0017】

【図1】本発明の衛星測位システムの異常値検出装置の一実施形態のブロック図である。

40

【図2】図1中の動的モデル構成部の一実施形態のブロック図である。

【図3】本発明の衛星測位システムの異常値検出方法の一実施形態のフローチャートである。

【図4】時系列で観測される加速度値の時系列データに、意図的に混入される異常値の値と、その異常値を混入する時間の一例を示す図である。

【図5】図1の異常値検出装置による、図4に示した異常値が意図的に混入された加速度値の時系列データの異常値検出結果を示す図である。

【図6】本発明の衛星測位システムの異常値検出装置が適用される地上型補強システム（GBAS）の一実施例のシステム構成図である。

## 【発明を実施するための形態】

50

## 【 0 0 1 8 】

次に、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

## 【 0 0 1 9 】

図 1 は、本発明になる衛星測位システムの異常値検出装置の一実施形態のブロック図を示す。同図に示すように、本実施形態の異常値検出装置 1 0 は、異常値指標算出部 1 1、動的モデル構成部 1 2 及び異常値検出部 1 3 より構成され、入力される時系列データを監視し、衛星測位システムの異常値を検出する。

## 【 0 0 2 0 】

異常値指標算出部 1 1 は、時系列データが入力され、その時系列データの各時刻における異常値指標を算出する。上記の時系列データは、衛星測位システムの各人工衛星と受信機との間の擬似距離や受信測位信号の位相などの、受信機において人工衛星からの測位信号に基づいて時系列に取得されたデータである。異常値指標とは、異常値の検出対象となる時系列値である。ここでは、異常値指標は、擬似距離又は位相の加速度等であり、検出したい異常に鋭敏に反応する値である。この異常値指標は、衛星測位システムの異常値の検出対象である本発明の時系列値に相当する。

## 【 0 0 2 1 】

動的モデル構成部 1 2 は、一定期間において、異常値指標算出部 1 1 により時系列に求められた異常値指標から動的にモデルを構成する。また、動的モデル構成部 1 2 は、構成した動的モデルに基づいて、時系列の異常値指標から変化点指標を算出する。変化点指標は、突発的に増減した時系列値が存在する場合、その時系列値が単発的な動的モデルからの外れ値であるのか、それとも入力データの動的モデル自体が変化しているのかを判断する指標である。本実施形態において、この変化点指標は、動的モデル自体が変化している可能性が高いほど、高くなる値とされ、ある閾値より大きい変化点指標が算出された場合、その時刻を変化点として扱う。

## 【 0 0 2 2 】

図 2 は、動的モデル構成部 1 2 の一実施形態のブロック図を示す。同図に示すように、動的モデル構成部 1 2 は、第 1 確率分布取得部 1 2 1、不確実性指標算出部 1 2 2、第 2 確率分布取得部 1 2 3、及び変化点指標算出部 1 2 4 より構成される。

## 【 0 0 2 3 】

第 1 確率分布取得部 1 2 1 は、衛星測位システムの異常値の検出対象である時系列値（すなわち、異常値指標）を第 1 の確率変数として、その異常値指標の重み付け統計量に基づき、所定の時刻以前の第 1 の期間における第 1 の確率密度関数を算出して、それを第 1 の確率分布として取得する。

## 【 0 0 2 4 】

不確実性指標算出部 1 2 2 は、上記第 1 の期間内の単位時刻である各時刻  $t$  について、第 1 確率分布取得部 1 2 1 により取得された第 1 の確率分布に基づき、時刻  $t - 1$  に対応する第 1 の確率変数の選択情報量を不確実性指標として算出する。

## 【 0 0 2 5 】

第 2 確率分布取得部 1 2 3 は、各時刻  $t$  について、上記第 1 の期間よりも短い期間を第 2 の期間として、時刻  $t$  以前の第 2 の期間内で不確実性指標算出部 1 2 2 により算出された不確実性指標の平均値を算出し、その平均値を第 2 の確率変数として、第 2 の確率変数の重み付け統計量に基づき、上記第 1 の期間における第 2 の確率密度関数を算出して、それを第 2 の確率分布として取得する。

## 【 0 0 2 6 】

変化点指標算出部 1 2 4 は、第 2 確率分布取得部 1 2 3 により各時刻  $t$  毎に取得された第 2 の確率分布に基づき、第 2 の確率分布の取得時刻  $t$  の直前の時刻  $t - 1$  以前の第 2 の期間内の第 2 の確率分布（すなわち、第 2 の確率密度関数）の平均情報量を変化点指標として算出する。この変化点指標の算出において、動的モデル構成部 1 2 は、その計算のための母集団に時系列モデルを導入している。このため、動的モデル構成部 1 2 は、変化点指標の算出において、異常値指標の時系列な挙動を反映させることができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 7 】

図 1 に示す異常値検出部 1 3 は、動的モデル構成部 1 2 により各時刻  $t$  毎に算出された変化点指標を予め設定した閾値と比較し、変化点指標の値が閾値よりも大きければ、その時刻の変化点指標に対応する異常値指標（時系列値）を異常値として検出する。

## 【 0 0 2 8 】

次に、図 1 及び図 2 に示した本実施形態の異常値検出装置 1 0 の動作について、図 3 のフローチャート等を併せ参照して詳細に説明する。

## 【 0 0 2 9 】

まず、異常値検出装置 1 0 は、異常値指標算出部 1 1 により、入力された時系列データから各時刻の異常値指標を算出する（ステップ S 1）。続いて、異常値検出装置 1 0 は第 1 確率分布取得部 1 2 1 により、ステップ S 1 で算出された異常値指標を第 1 の確率変数として、現時刻以前の所定の第 1 の期間  $T 1$  の期間内における、その第 1 の確率変数の第 1 の確率密度関数  $p(x_t)$  を次式により求める（ステップ S 2）。

## 【 0 0 3 0 】

## 【 数 1 】

$$p(x_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{1,t-1}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x_t - w_{1,t-1})^2}{\sigma_{1,t-1}^2}\right) \quad (1)$$

## 【 0 0 3 1 】

( 1 ) 式において、 $t$  は各異常値指標（第 1 の確率変数）が算出された時刻であり、 $x_t$  は時刻  $t$  における異常値指標（第 1 の確率変数）の値である。また、( 1 ) 式において、 $w_{1,t-1}$  は、期間  $T 1$  のうち、時刻  $t - 1$  以前の期間における、異常値指標（第 1 の確率変数） $x_t$  の重み付け平均値である。この重み付け平均値  $w_{1,t-1}$  は、現時刻に近いほど大きな値になるように重み付けを行った異常値指標（第 1 の確率変数） $x_t$  の平均値である。更に、( 1 ) 式において、 $\sigma_{1,t-1}$  は、期間  $T 1$  のうち、時刻  $t - 1$  以前の期間における、異常値指標（第 1 の確率変数） $x_t$  の重み付け分散値である。この重み付け分散値  $\sigma_{1,t-1}$  は、現時刻に近いほど大きな値になるように重み付けを行った異常値指標（第 1 の確率変数） $x_t$  の分散値である。

## 【 0 0 3 2 】

続いて、異常値検出装置 1 0 は、不確実性指標算出部 1 2 2 により、第 1 確率分布取得部 1 2 1 から入力される時刻  $t - 1$  における第 1 の確率密度関数に基づいて、次式により  $t = 2$  以降の各時刻  $t$  における不確実性指標  $U L I (t)$  を算出する（ステップ S 3）。

## 【 0 0 3 3 】

## 【 数 2 】

$$U L I (t) = -\log(p_{t-1}(x_t | x^{t-1})) \quad (2)$$

## 【 0 0 3 4 】

時刻  $t$  の不確実性指標  $U L I (t)$  は、( 2 ) 式から時刻  $t$  の直前の時刻  $t - 1$  における異常値指標の選択情報量である。上記 ( 2 ) 式の右辺の  $p_{t-1}(x_t | x^{t-1})$  は、時刻  $t - 1$  において ( 1 ) 式から算出された第 1 の確率密度関数である。

## 【 0 0 3 5 】

すなわち、この  $p_{t-1}(x_t | x^{t-1})$  は、 $x^{t-1} (= x_1, x_2, \dots, x_{t-1})$  ; 時刻 1 から  $t - 1$  までのデータ) に基づいて推定したパラメータ  $\theta_{t-1}$  で表される確率密度分布である。つまり、 $p_{t-1}(x_t | x^{t-1}) = p_{t-1}(x_t | \theta_{t-1})$  である。因みに、 $\theta_{t-1} = (w_{1,t-1}, \sigma_{1,t-1})$  である。この ( 2 ) 式の右辺は、時刻  $t = 2$  以降の各時刻  $t$  において、時刻  $t - 1$  における確率密度関数  $p_{t-1}(x_t | x^{t-1})$  の対数のマイナス値、すなわち選択情報量を算出することを意味する。

## 【 0 0 3 6 】

次に、異常値検出装置 1 0 は、第 2 確率分布取得部 1 2 3 により、不確実性指標算出部

10

20

30

40

50



1 2 2 により算出された不確実性指標  $ULI(t)$  に基づき、次式により各時刻  $t$  について、時刻  $t$  以前の期間  $T_2$  における不確実性指標の平均値  $y_t$  を算出する (ステップ S 4)。ここで、期間  $T_2$  の長さは、期間  $T_1$  より短く設定される。

【 0 0 3 7 】

【 数 3 】

$$y_t = \frac{1}{T_2} \sum_{i=t-T_2+1}^t ULI(i) \quad (3)$$

【 0 0 3 8 】

(3) 式において、 $ULI(i)$  は、時刻  $i$  に対応する不確実性指標を示す。

10

【 0 0 3 9 】

第 2 確率分布取得部 1 2 3 は、続いて、上記の不確実性指標の平均値  $y_t$  を第 2 の確率変数として、次式に基づき時刻  $t$  以前の期間  $T_3$  における確率変数の第 2 の確率密度関数  $q(y_t)$  を算出する (ステップ S 5)。この第 2 の確率密度関数  $q(y_t)$  は第 2 の確率分布として取得される。ここで、期間  $T_3$  の長さは、期間  $T_1$  以下に設定される。

【 0 0 4 0 】

【 数 4 】

$$q(y_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{2,t-1}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(y_t - w_{2,t-1})^2}{\sigma_{2,t-1}^2}\right) \quad (4)$$

20

【 0 0 4 1 】

(4) 式において、 $w_{2,t-1}$  は期間  $T_3$  のうち、時刻  $t-1$  以前の期間における第 2 の確率変数 (不確実性指標の平均値)  $y_t$  の重み付け平均値である。この重み付け平均値  $w_{2,t-1}$  は、現時刻に近いほど値が大きくなるように重み付けを行った  $y_t$  の平均値である。また、(4) 式において、 $\sigma_{2,t-1}$  は期間  $T_3$  のうち、時刻  $t-1$  以前の期間における第 2 の確率変数 (不確実性指標の平均値)  $y_t$  の重み付け分散値である。この重み付け分散値  $\sigma_{2,t-1}$  は、現時刻に近いほど値が大きくなるように重み付けを行った  $y_t$  の分散値である。

【 0 0 4 2 】

次に、異常値検出装置 1 0 は、変化点指標算出部 1 2 4 により、第 2 確率分布取得部 1 2 3 により算出された第 2 の確率密度関数に基づき、次式により各時刻  $t$  における変化点指標  $CPI(t)$  を算出する (ステップ S 6)。

30

【 0 0 4 3 】

【 数 5 】

$$CPI(t) = \frac{1}{T_4} \sum_{i=t-T_4+1}^t (-\log(q_{i-1}(y_i | y^{i-1}))) \quad (5)$$

【 0 0 4 4 】

(5) 式において、 $T_4$  は時刻  $t-1$  以前の期間であり、また、 $q_{i-1}(y_i | y^{i-1})$  は時刻  $i$  における第 2 の確率密度関数 (第 2 の確率分布) である。(5) 式の右辺は、各時刻  $t$  において、時刻  $t-1$  以前の期間  $T_4$  の第 2 の確率密度関数  $q_{i-1}(y_i | y^{i-1})$  の対数のマイナス値の平均値、すなわち平均情報量を算出することを意味する。ここで、期間  $T_4$  の長さは、期間  $T_1$  より短く設定される。また、本実施形態では期間  $T_4$  の長さは、期間  $T_2$  以下に設定される。

40

【 0 0 4 5 】

異常値検出装置 1 0 は、期間  $T_2$  及び  $T_4$  の長さが短いほど演算量が小さくなり、変化点指標を速く算出することができるが、異常値検出における誤検出率が高くなる。一方、期間  $T_2$  及び  $T_4$  の長さが長いほど演算量が多くなり、変化点指標の算出が遅くなるが、異常値検出装置 1 0 は、高い精度で異常値を検出することができる。従って、上記の期間  $T_2$  及び  $T_4$  の長さは、変化点指標の算出速度 (これは異常値の検出速度に対応する) と

50

異常値の検出精度とのバランスを考慮して定められる。

【 0 0 4 6 】

最後に、異常値検出装置 10 は、異常値検出部 13 により、各時刻について変化点指標算出部 124 において算出された変化点指標と予め設定した閾値とを比較し、閾値より変化点指標の値が大きければその時刻の異常値指標を異常値として検出する（ステップ S7）。

【 0 0 4 7 】

なお、上記の期間 T1 及び T3 は、本発明における第 1 の期間に相当し、上記の期間 T2 及び T4 は、本発明における第 2 の期間に相当する。

【 0 0 4 8 】

次に、図 4 及び図 5 を参照して、異常値検出装置 10 が異常値を検出した結果の一例について説明する。図 4 及び図 5 では、入力された位相の加速度を異常値指標とする。ここで、人工衛星の軌道運動による自然な加速度の変化分は事前に排除している。

【 0 0 4 9 】

図 4 は、時系列で観測される加速度値の時系列データに、意図的に混入される異常値の値と、その異常値を混入する時間の一例を示す。同図において、縦軸は、意図的に混入される異常値の値を示し、横軸は、性能シミュレーションの開始時刻から経過した時間を示す。同図に斜線で示すように、異常値は、基準時から 27 時間経過した時点から 28 時間経過した時点までの期間において、徐々に大きな値となるように意図的に混入される。

【 0 0 5 0 】

図 5 は、本実施形態の異常値検出装置 10 による、異常値が図 4 に示したように意図的に混入された加速度値の時系列データの異常値検出結果を示す。図 5 は、左側の縦軸が異常値指標を示し、右側の縦軸が変化点指標を示し、横軸が、加速度値の時系列データを取得した時間を示す。また、図 5 において、I は本実施形態の異常値検出装置 10 による異常値変換指標の時間変化、II は変化点指標の時間変化を示す。

【 0 0 5 1 】

図 5 に示すように、本実施形態の異常値検出装置 10 は、丸で囲んだ期間 III において、閾値（例えば「1.5」）以上の比較的高い値の変化点指標を算出している。この期間 III は基準時から 27 時間経過した時点であり、図 4 に示したように加速度値の時系列データに意図的に混入された異常値の混入時間と一致する。一方、図 4 に示したように、基準時から 27 時間経過するまでの期間と、28 時間経過した後では、異常値は時系列データに混入されていないが、この期間において本実施形態の異常値検出装置 10 により得られる変化点指標は図 5 に II で示すように閾値以下であり、異常値は検出されない。従って、本実施形態の異常値検出装置 10 によれば、時系列データに混入された異常値だけを精度良く検出できることが分かる。

【 0 0 5 2 】

以上説明したように、本実施形態の異常値検出装置 10 は、時系列値を確率変数として、それぞれ現時刻に近いほど大きくなるように重み付けを行った重み付け平均値  $w_{1,t-1}$  及び重み付け分散値  $\sigma_{1,t-1}$  を用いることで、直近の観測環境に即した第 1 の確率密度関数を算出し、その第 1 の確率密度関数から選択情報量である不確実性指標を算出する。そして、異常値検出装置 10 は、更にその不確実性指標の平均値を確率変数として、それぞれ現時刻に近いほど大きくなるように重み付けを行った重み付け平均値  $w_{2,t-1}$  及び重み付け分散値  $\sigma_{2,t-1}$  を用いることで、直近の観測環境に即した第 2 の確率密度関数を算出し、その第 2 の確率密度関数から平均情報量である変化点指標を算出し、閾値より大きい変化点指標に対応する時系列値を異常値として検出する。

【 0 0 5 3 】

これにより、異常値検出装置 10 は、第 1 の確率密度関数の算出では捉えられない時系列的な相関関係を、第 2 の確率密度関数の算出により捉えることができ、また、第 1 の確率密度関数の算出では捉えられない観測環境の変化を、第 2 の確率密度関数の算出により捉えることができる。このため、異常値検出装置 10 は、時系列的な相関関係のある場合

10

20

30

40

50

や、観測環境の変化が生じた場合であっても、精度の高い異常値の検出ができる。

【実施例 1】

【0054】

図 6 は、本発明になる異常検出装置が適用される地上型補強システム (GBAS) の一実施例のシステム構成図を示す。同図において、衛星測位システムである本実施例の GBAS は、データ処理装置 1 と、VHF 送信機 30 と、基準局 41 ~ 44 と、GPS を構成する人工衛星 (GPS 衛星) 51 ~ 54 と、GBAS ユーザ (航空機) 60 とから構成されている。

【0055】

データ処理装置 1 と VHF 送信機 30 と基準局 41 ~ 44 とは GBAS 地上局を構成している。データ処理装置 1 は、上記の実施形態の異常値検出装置 10 を有し、またディファレンシャル補正処理部 20 を有する。

【0056】

基準局 41 ~ 44 は、GPS 衛星 51 ~ 54 等から送信された測位信号を受信し、その受信信号である GPS 観測データをデータ処理装置 1 内のディファレンシャル補正処理部 20 へそれぞれ出力する。ディファレンシャル補正処理部 20 は、GPS 観測データを基に異常値検出装置 10 の入力用に加工した統計情報量である時系列データを生成して異常値検出装置 10 へ供給する。

【0057】

異常値検出装置 10 は、前述した実施形態の動作を行い、異常値を検出した時には検出した異常値をディファレンシャル補正処理部 20 へ出力する。ディファレンシャル補正処理部 20 は、異常値が入力されると該当する GPS 衛星又は基準局を使用禁止にする。異常値が入力されない場合は、すべての GPS 衛星 51 ~ 54 や基準局 41 ~ 44 の組み合わせにより、GPS による航法の精度や安全性を向上させるための GBAS 補正データを公知の方法により生成して VHS 受信機 30 へ供給する。VHS 送信機 30 は、入力された GBAS 補正データで変調された VHS 信号を送信する。

【0058】

GBAS ユーザである航空機 60 は、GPS 衛星 51 ~ 54 から送信された測位信号を受信して位置情報を取得する GPS 受信機と、VHS 送信機 30 から送信された GBAS 補正データで変調された VHS 信号を受信する受信機 (いずれも図示せず) を搭載している。航空機 60 は、GPS 受信機の受信信号から取得した所定の情報と、VHS 信号の受信機の受信信号から復調した GBAS 補正データとを、公知の方法により着陸誘導等に用いることで、安全な航法を確保する。

【0059】

なお、本発明は以上の実施形態及び実施例に限定されるものではなく、例えば、上記実施形態の異常値検出装置 10 は、(1) 式及び (4) 式により計 2 回確率分布 (確率密度関数) を求めているが、(4) 式で算出された値を確率変数として、その確率変数の重み付け統計量に基づき更に確率密度関数を求め、その確率密度関数から変曲点指標を算出し、その変曲点指標と閾値との比較結果に基づいて、異常値を検知する構成としてもよい。

【0060】

また、本発明は図 3 のフローチャートの全部又は一部のステップをコンピュータである中央処理装置 (CPU: Central Processing Unit) に実行させる異常値検出プログラムも包含する。この場合、異常値検出装置 10 は、処理装置と、主記憶装置と、本発明の異常値検出プログラムを記憶した記憶装置とを備え、処理装置と主記憶装置により上記の異常値検出プログラムを実行することにより、図 3 のフローチャートの全部又は一部のステップを実現する構成とする。ここで、上記の処理装置には異常値検出プログラムに従って処理を実行する CPU が設けられる。また、上記の主記憶装置は、図 3 のフローチャートで説明した処理に必要なデータ、処理装置による演算処理の過程で算出されるデータ及び演算処理の結果を保持する。

【0061】

更に、本発明は人工衛星からの測位信号を利用する衛星測位システムであれば、GPS以外の公知の他の衛星測位システムにも適用可能である。

【0062】

以上の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載されうるが、以下には限られない。

【0063】

(付記1)

衛星測位システムの異常値の検出対象である時系列値を第1の確率変数として、前記時系列値の重み付け統計量に基づき、所定の時刻以前の第1の期間における第1の確率密度関数を算出して第1の確率分布として取得する第1確率分布取得手段と、

10

前記第1の期間内の単位時刻である各時刻 $t$ について前記第1確率分布取得手段により取得された前記第1の確率分布に基づき、前記時刻 $t$ の直前の時刻 $t-1$ における前記第1の確率変数の選択情報量を不確実性指標として算出する不確実性指標算出手段と、

前記時刻 $t$ 以前の、前記第1の期間より短い第2の期間内で、前記不確実性指標算出手段により算出された前記不確実性指標の平均値を算出し、その平均値を第2の確率変数として、前記第2の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第1の期間における第2の確率密度関数を算出して第2の確率分布として取得する第2確率分布取得手段と、

前記第2確率分布取得手段により各時刻 $t$ 毎に取得された前記第2の確率分布に基づき、前記第2の確率分布の取得時刻 $t$ の直前の時刻 $t-1$ 以前の前記第2の期間内の前記第2の確率分布の平均情報量を変化点指標として算出する変化点指標算出手段と、

20

前記変化点指標算出手段により算出された前記変化点指標を予め設定された閾値と比較し、前記閾値より大きな値の前記変化点指標に対応する前記時系列値を前記異常値として検出する異常値検出手段と

を有することを特徴とする衛星測位システムの異常値検出装置。

【0064】

(付記2)

前記第2確率分布取得手段は、前記第2の期間内で前記不確実性指標の平均値を算出し、その平均値を前記第2の確率変数として、前記第2の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第1の期間の長さ以下の期間である第3の期間における前記第2の確率密度関数を算出して前記第2の確率分布として取得し、

30

前記変化点指標算出手段は、前記時刻 $t-1$ に対応する前記第2の確率分布に基づき、前記時刻 $t-1$ 以前で、前記第2の期間以下の長さである第4の期間内の前記第2の確率分布の平均情報量を前記変化点指標として算出する

ことを特徴とする付記1記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【0065】

(付記3)

前記時系列値は、衛星測位システムの各人工衛星と受信機との間の擬似距離や測位信号の位相などの、前記受信機において受信した前記人工衛星からの測位信号に基づいて時系列に取得されたデータであることを特徴とする付記1又は2記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

40

【0066】

(付記4)

前記第1確率分布取得手段は、前記時刻 $t$ における前記第1の確率変数を $x_t$ 、前記第1の期間のうち、前記時刻 $t-1$ 以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第1の確率変数 $x_t$ の重み付け平均値を $w_{1,t-1}$ 、前記第1の期間のうち、前記時刻 $t-1$ 以前の期間における、新しい時系列値ほど大きな値になるように重み付けを行った前記第1の確率変数 $x_t$ の重み付け分散値を $\sigma_{1,t-1}$ としたとき、次式

【0067】

【数6】

$$p(x_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{1,t-1}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x_t - w_{1,t-1})^2}{\sigma_{1,t-1}^2}\right)$$

【0068】

により算出される前記第1の確率密度関数  $p(x_t)$  を前記第1の確率分布として取得することを特徴とする付記1乃至3のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【0069】

(付記5)

前記不確実性指標算出手段は、前記時刻  $t$  における前記第1の確率変数を  $x_t$ 、前記時刻  $t-1$  における前記第1の確率密度関数を  $p_{t-1}(x_t | x^{t-1})$  としたとき、次式

【0070】

【数7】

$$ULI(t) = -\log(p_{t-1}(x_t | x^{t-1}))$$

【0071】

により算出される  $ULI(t)$  を前記時刻  $t$  における前記不確実性指標として算出することを特徴とする付記1乃至4のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【0072】

(付記6)

前記第2確率分布取得手段は、前記第2の期間を  $T_2$ 、時刻  $i$  に対応する前記不確実性指標を  $ULI(i)$  としたとき、次式

【0073】

【数8】

$$y_t = \frac{1}{T_2} \sum_{i=t-T_2+1}^t ULI(i)$$

【0074】

により、前記時刻  $t$  以前の前記第2の期間における前記不確実性指標の平均値である前記第2の確率変数  $y_t$  を算出し、更に前記第1の期間のうち、前記時刻  $t-1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第2の確率変数  $y_t$  の重み付け平均値を  $w_{2,t-1}$ 、前記第1の期間のうち、前記時刻  $t-1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第2の確率変数  $y_t$  の重み付け分散値を  $\sigma_{2,t-1}$  としたとき、次式

【0075】

【数9】

$$q(y_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{2,t-1}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(y_t - w_{2,t-1})^2}{\sigma_{2,t-1}^2}\right)$$

【0076】

により算出される前記第2の確率密度関数  $q(y_t)$  を前記第2の確率分布として取得することを特徴とする付記1乃至5のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【0077】

(付記7)

前記変化点指標算出手段は、前記時刻  $t-1$  以前の前記第4の期間を  $T_4$ 、前記時刻  $i$  における前記第2の確率密度関数を  $q_{i-1}(y_i | y^{i-1})$  としたとき、次式

10

20

30

40

50

【 0 0 7 8 】

【 数 1 0 】

$$C P I (t) = \frac{1}{T_4} \sum_{i=t-T_4+1}^t (-\log(q_{i-1}(y_i | y^{i-1})))$$

【 0 0 7 9 】

により算出される C P I (t) を前記時刻 t における前記変化点指標として算出することを特徴とする付記 2 又は 6 記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【 0 0 8 0 】

(付記 8)

前記第 2 確率分布取得手段により各時刻 t 毎に取得された前記第 2 の確率分布を確率変数として、その確率変数の重み付け統計量に基づき、第 3 の確率密度関数を算出する算出手段を更に有し、

前記変化点指標算出手段は、前記第 3 の確率密度関数から変曲点指標を算出し、前記異常値検出手段は、前記変曲点指標を予め設定された閾値と比較し、前記閾値より大きな値の前記変曲点指標に対応する前記時系列値を異常値として検出することを特徴とする付記 1 記載の衛星測位システムの異常値検出装置。

【 0 0 8 1 】

(付記 9)

衛星測位システムの異常値の検出対象である時系列値を第 1 の確率変数として、前記時系列値の重み付け統計量に基づき、所定の時刻以前の第 1 の期間における第 1 の確率密度関数を算出して第 1 の確率分布として取得する第 1 のステップと、

前記第 1 の期間内の単位時刻である各時刻 t について前記第 1 のステップにより取得された前記第 1 の確率分布に基づき、前記時刻 t の直前の時刻 t - 1 における前記第 1 の確率変数の選択情報量を不確実性指標として算出する第 2 のステップと、

前記時刻 t 以前の、前記第 1 の期間より短い第 2 の期間内で、前記第 2 のステップにより算出された前記不確実性指標の平均値を算出する第 3 のステップと、

前記第 3 のステップで算出された前記平均値を第 2 の確率変数として、前記第 2 の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第 1 の期間における第 2 の確率密度関数を算出して第 2 の確率分布として取得する第 4 のステップと、

前記第 4 のステップにより各時刻 t 毎に取得された前記第 2 の確率分布に基づき、前記第 2 の確率分布の取得時刻 t の直前の時刻 t - 1 以前の前記第 2 の期間内の前記第 2 の確率分布の平均情報量を変化点指標として算出する第 5 のステップと、

前記第 5 のステップにより算出された前記変化点指標を予め設定された閾値と比較し、前記閾値より大きな値の前記変化点指標に対応する前記時系列値を前記異常値として検出する第 6 のステップと

を含むことを特徴とする衛星測位システムの異常値検出方法。

【 0 0 8 2 】

(付記 10)

前記第 4 のステップは、前記平均値を前記第 2 の確率変数として、前記第 2 の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第 1 の期間の長さ以下の期間である第 3 の期間における前記第 2 の確率密度関数を算出して前記第 2 の確率分布として取得し、

前記第 5 のステップは、前記時刻 t - 1 に対応する前記第 2 の確率分布に基づき、前記時刻 t - 1 以前で、前記第 2 の期間以下の長さである第 4 の期間内の前記第 2 の確率分布の平均情報量を前記変化点指標として算出することを特徴とする付記 9 記載の衛星測位システムの異常値検出方法。

【 0 0 8 3 】

(付記 11)

前記時系列値は、衛星測位システムの各人工衛星と受信機との間の擬似距離や測位信号の位相などの、前記受信機において受信した前記人工衛星からの測位信号に基づいて時系

10

20

30

40

50

列に取得されたデータであることを特徴とする付記 9 又は 10 記載の衛星測位システムの異常値検出方法。

【0084】

(付記 12)

前記第 1 のステップは、前記時刻  $t$  における前記第 1 の確率変数を  $x_t$ 、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 1 の確率変数  $x_t$  の重み付け平均値を  $w_{1,t-1}$ 、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、新しい時系列値ほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 1 の確率変数  $x_t$  の重み付け分散値を  $\sigma_{1,t-1}$  としたとき、

【0085】

【数 11】

$$p(x_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{1,t-1}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x_t - w_{1,t-1})^2}{\sigma_{1,t-1}^2}\right)$$

【0086】

により算出される前記第 1 の確率密度関数  $p(x_t)$  を前記第 1 の確率分布として取得することを特徴とする付記 9 乃至 11 のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出方法。

【0087】

(付記 13)

前記第 2 のステップは、前記時刻  $t$  における前記第 1 の確率変数を  $x_t$ 、前記時刻  $t - 1$  における前記第 1 の確率密度関数を  $p_{t-1}(x_t | x^{t-1})$  としたとき、次式

【0088】

【数 12】

$$ULI(t) = -\log(p_{t-1}(x_t | x^{t-1}))$$

【0089】

により算出される  $ULI(t)$  を前記時刻  $t$  における前記不確実性指標として算出することを特徴とする付記 9 乃至 12 のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出方法。

【0090】

(付記 14)

前記第 3 のステップは、前記第 2 の期間を  $T_2$ 、時刻  $i$  に対応する前記不確実性指標を  $ULI(i)$  としたとき、次式

【0091】

【数 13】

$$y_t = \frac{1}{T_2} \sum_{i=t-T_2+1}^t ULI(i)$$

【0092】

により、前記時刻  $t$  以前の前記第 2 の期間における前記不確実性指標の平均値である前記第 2 の確率変数  $y_t$  を算出することを特徴とする付記 9 乃至 13 のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出方法。

【0093】

(付記 15)

前記第 4 のステップは、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 2 の確率変数  $y_t$  の重み付け平均値を  $w_{2,t-1}$ 、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 2 の確率変

10

20

30

40

50

数  $y_t$  の重み付け分散値を  $2_{t-1}$  としたとき、次式

【 0 0 9 4 】

【 数 1 4 】

$$q(y_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma 2_{t-1}}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(y_t - w 2_{t-1})^2}{\sigma 2_{t-1}^2}\right)$$

【 0 0 9 5 】

により算出される前記第 2 の確率密度関数  $q(y_t)$  を前記第 2 の確率分布として取得することを特徴とする付記 1 4 記載の衛星測位システムの異常値検出方法。

10

【 0 0 9 6 】

(付記 1 6)

前記第 5 のステップは、前記時刻  $t - 1$  以前の前記第 4 の期間を  $T 4$ 、前記時刻  $i$  における前記第 2 の確率密度関数を  $q_{i-1}(y_i | y^{i-1})$  としたとき、次式

【 0 0 9 7 】

【 数 1 5 】

$$C P I (t) = \frac{1}{T 4} \sum_{i=t-T 4+1}^t (-\log(q_{i-1}(y_i | y^{i-1})))$$

【 0 0 9 8 】

により算出される  $C P I (t)$  を前記時刻  $t$  における前記変化点指標として算出することを特徴とする付記 1 0 又は 1 5 記載の衛星測位システムの異常値検出方法。

20

【 0 0 9 9 】

(付記 1 7)

コンピュータに、

衛星測位システムの異常値の検出対象である時系列値を第 1 の確率変数として、前記時系列値の重み付け統計量に基づき、所定の時刻以前の第 1 の期間における第 1 の確率密度関数を算出して第 1 の確率分布として取得する第 1 のステップと、

前記第 1 の期間内の単位時刻である各時刻  $t$  について前記第 1 のステップにより取得された前記第 1 の確率分布に基づき、前記時刻  $t$  の直前の時刻  $t - 1$  における前記第 1 の確率変数の選択情報量を不確実性指標として算出する第 2 のステップと、

30

前記時刻  $t$  以前の、前記第 1 の期間より短い第 2 の期間内で、前記第 2 のステップにより算出された前記不確実性指標の平均値を算出する第 3 のステップと、

前記第 3 のステップで算出された前記平均値を第 2 の確率変数として、前記第 2 の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第 1 の期間における第 2 の確率密度関数を算出して第 2 の確率分布として取得する第 4 のステップと、

前記第 4 のステップにより各時刻  $t$  毎に取得された前記第 2 の確率分布に基づき、前記第 2 の確率分布の取得時刻  $t$  の直前の時刻  $t - 1$  以前の前記第 2 の期間内の前記第 2 の確率分布の平均情報量を変化点指標として算出する第 5 のステップと、

前記第 5 のステップにより算出された前記変化点指標を予め設定された閾値と比較し、前記閾値より大きな値の前記変化点指標に対応する前記時系列値を前記異常値として検出する第 6 のステップと

40

を実行させることを特徴とする衛星測位システムの異常値検出プログラム。

【 0 1 0 0 】

(付記 1 8)

前記第 4 のステップは、前記平均値を前記第 2 の確率変数として、前記第 2 の確率変数の重み付け統計量に基づき、前記第 1 の期間の長さ以下の期間である第 3 の期間における前記第 2 の確率密度関数を算出して前記第 2 の確率分布として取得し、

前記第 5 のステップは、前記時刻  $t - 1$  に対応する前記第 2 の確率分布に基づき、前記時刻  $t - 1$  以前で、前記第 2 の期間以下の長さである第 4 の期間内の前記第 2 の確率分布

50



の平均情報量を前記変化点指標として算出することを特徴とする付記 17 記載の衛星測位システムの異常値検出プログラム。

【0101】

(付記 19)

前記時系列値は、衛星測位システムの各人工衛星と受信機との間の擬似距離や測位信号の位相などの、前記受信機において受信した前記人工衛星からの測位信号に基づいて時系列に取得されたデータであることを特徴とする付記 17 又は 18 記載の衛星測位システムの異常値検出プログラム。

【0102】

(付記 20)

前記第 1 のステップは、前記時刻  $t$  における前記第 1 の確率変数を  $x_t$ 、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 1 の確率変数  $x_t$  の重み付け平均値を  $w_{1,t-1}$ 、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、新しい時系列値ほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 1 の確率変数  $x_t$  の重み付け分散値を  $\sigma_{1,t-1}$  としたとき、次式

【0103】

【数 16】

$$p(x_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{1,t-1}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x_t - w_{1,t-1})^2}{\sigma_{1,t-1}^2}\right)$$

【0104】

により算出される前記第 1 の確率密度関数  $p(x_t)$  を前記第 1 の確率分布として取得することを特徴とする付記 17 乃至 19 のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出プログラム。

【0105】

(付記 21)

前記第 2 のステップは、前記時刻  $t$  における前記第 1 の確率変数を  $x_t$ 、前記時刻  $t - 1$  における前記第 1 の確率密度関数を  $p_{t-1}(x_t | x^{t-1})$  としたとき、次式

【0106】

【数 17】

$$ULI(t) = -\log(p_{t-1}(x_t | x^{t-1}))$$

【0107】

により算出される  $ULI(t)$  を前記時刻  $t$  における前記不確実性指標として算出することを特徴とする付記 17 乃至 20 のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出プログラム。

【0108】

(付記 22)

前記第 3 のステップは、前記第 2 の期間を  $T_2$ 、時刻  $i$  に対応する前記不確実性指標を  $ULI(i)$  としたとき、次式

【0109】

【数 18】

$$y_t = \frac{1}{T_2} \sum_{i=t-T_2+1}^t ULI(i)$$

【0110】

により、前記時刻  $t$  以前の前記第 2 の期間における前記不確実性指標の平均値である前記第 2 の確率変数  $y_t$  を算出することを特徴とする付記 17 乃至 21 のうちいずれか一項記載の衛星測位システムの異常値検出プログラム。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 1 1 】

( 付記 2 3 )

前記第 4 のステップは、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 2 の確率変数  $y_t$  の重み付け平均値を  $w_{2,t-1}$ 、前記第 1 の期間のうち、前記時刻  $t - 1$  以前の期間における、前記時系列値が新しいほど大きな値になるように重み付けを行った前記第 2 の確率変数  $y_t$  の重み付け分散値を  $\sigma_{2,t-1}$  としたとき、次式

## 【 0 1 1 2 】

【 数 1 9 】

$$q(y_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{2,t-1}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(y_t - w_{2,t-1})^2}{\sigma_{2,t-1}^2}\right)$$

10

## 【 0 1 1 3 】

により算出される前記第 2 の確率密度関数  $q(y_t)$  を前記第 2 の確率分布として取得することを特徴とする付記 2 2 記載の衛星測位システムの異常値検出プログラム。

## 【 0 1 1 4 】

( 付記 2 4 )

前記第 5 のステップは、前記時刻  $t - 1$  以前の前記第 4 の期間を  $T_4$ 、前記時刻  $i$  における前記第 2 の確率密度関数を  $q_{i-1}(y_i | y^{i-1})$  としたとき、次式

## 【 0 1 1 5 】

【 数 2 0 】

$$CPI(t) = \frac{1}{T_4} \sum_{i=t-T_4+1}^t (-\log(q_{i-1}(y_i | y^{i-1})))$$

20

## 【 0 1 1 6 】

により算出される  $CPI(t)$  を前記時刻  $t$  における前記変化点指標として算出することを特徴とする付記 1 8 又は 2 3 記載の衛星測位システムの異常値検出プログラム。

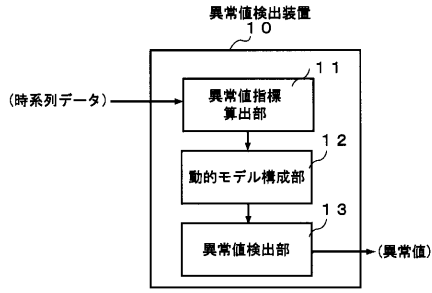
【 符号の説明 】

## 【 0 1 1 7 】

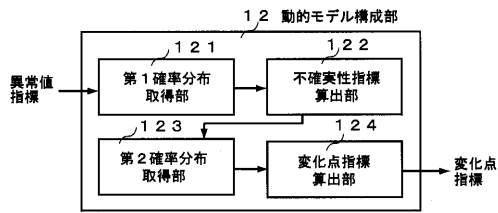
- 1 0 異常値検出装置
- 1 1 異常値指標算出部
- 1 2 動的モデル構成部
- 1 3 異常値検出部
- 1 2 1 第 1 確率分布取得部
- 1 2 2 不確実性指標算出部
- 1 2 3 第 2 確率分布取得部
- 1 2 4 変化点指標算出部

30

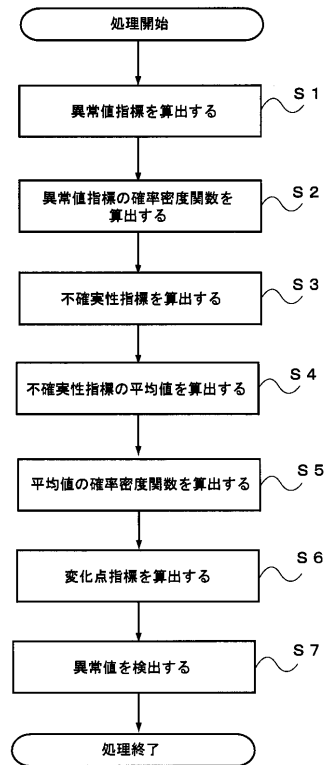
【図1】



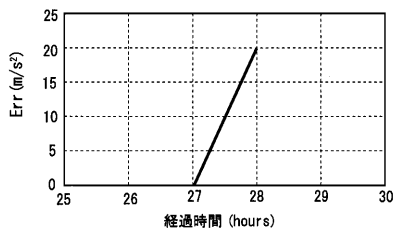
【図2】



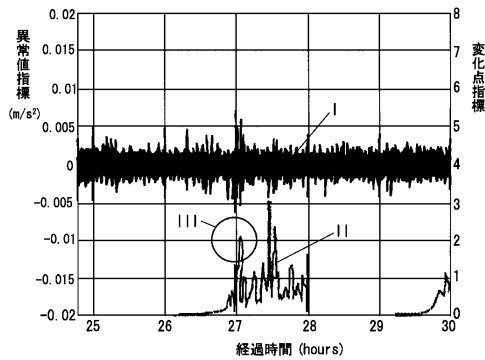
【図3】



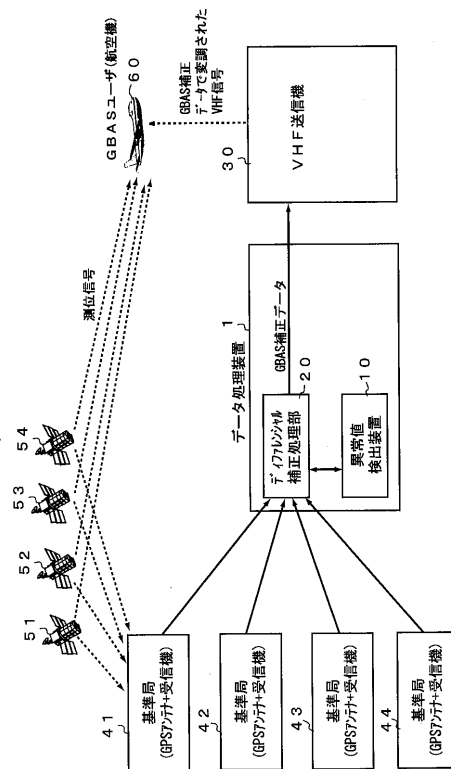
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 金曾 貴之  
東京都府中市日新町1丁目10番 日本電気航空宇宙システム株式会社内
- (72)発明者 中田 貴之  
東京都港区芝5丁目7番1号 日本電気株式会社内
- (72)発明者 青木 健児  
東京都港区芝5丁目7番1号 日本電気株式会社内

審査官 中村 説志

- (56)参考文献 特開2009-128055(JP,A)  
特開2009-053152(JP,A)  
特表2011-522269(JP,A)  
特開2006-107179(JP,A)  
山西健司,「データマイニングによる異常検知」,共立出版,2009年 5月25日,p.45-58

- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)  
G01S 5/00 - 5/14  
G01S19/00 - 19/55