

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2013 年 10 月 24 日(24.10.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/157299 A1

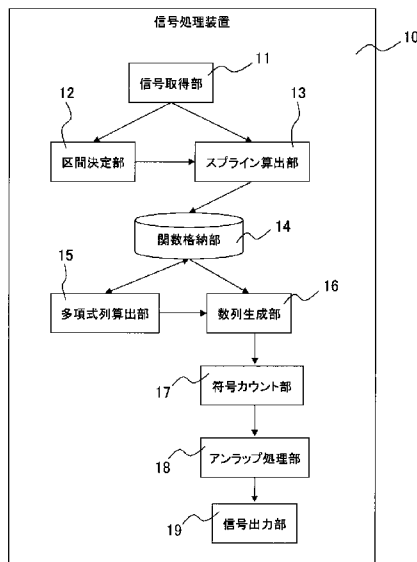
- (51) 国際特許分類:
G01S 13/90 (2006.01) A61B 5/055 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/054596
- (22) 国際出願日: 2013 年 2 月 22 日(22.02.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-095589 2012 年 4 月 19 日(19.04.2012) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東京工業大学(TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1-2 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 山田 功(YAMADA, Isao); 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1-2 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP). 北原 大地(KITAHARA, Daichi); 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1-2 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 青木 篤, 外(AOKI, Atsushi et al.); 〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目 5 番 1 号 虎ノ門 3 7 森ビル 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

[続葉有]

(54) Title: SIGNAL PROCESSING DEVICE, SIGNAL PROCESSING METHOD AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 信号処理装置、信号処理方法およびプログラム

図3



- 10 Signal processing device
11 Signal acquisition unit
12 Interval determination unit
13 Spline calculation unit
14 Function storage unit
15 Polynomial sequence calculation unit
16 Numerical sequence generation unit
17 Sign counting unit
18 Unwrapping processing unit
19 Signal output unit

(57) Abstract: In order to improve the stability of a numerical calculation for finding the continuous phase of a set of signal sequences, provided is a signal processing device (10) wherein a spline calculation unit (13) approximates a set of signal sequences acquired by a signal acquisition unit (11) by spline functions, respectively, and an unwrapping processing unit (18) performs phase unwrapping using polynomials in each interval of the obtained spline functions. The phase unwrapping is performed according to a procedure in which a polynomial sequence calculation unit (15) calculates a polynomial sequence by applying a Euclidean algorithm to the polynomials of the spline functions, a sign counting unit (17) checks the number of changes of the sign of a numerical sequence formed by arranging the values of the polynomial sequence at a point at which the phase is found in each interval, and an unwrapping processing unit (18) determines an indefinite portion that is an integral multiple of π on the basis of the number of changes.

(57) 要約: 1組の信号列の連続した位相を求める数値計算の安定性を向上させる。信号処理装置10は、信号取得部11が取得した1組の信号列をスプライン算出部13がそれぞれスプライン関数で近似し、得られたスプライン関数の各区間の多項式を用いてアンラップ処理部18が位相アンラップを行う。位相アンラップは、スプライン関数の多項式にユークリッドの互除法を適用することにより多項式列算出部15が多項式列を算出し、各区間の位相を求める点におけるその多項式列の値を並べた数列の符号の変化の回数を符号カウント部17が調べ、その変化の回数に基づいて π の整数倍の不定部分をアンラップ処理部18が決定するという手順で行う。



GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 信号処理装置、信号処理方法およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、1組の信号列の位相を決定する信号処理に関する。

背景技術

[0002] リモートセンシングや磁気共鳴映像法 (magnetic resonance imaging: MRI) などの信号処理では位相情報を必要とし、位相情報を精度よく求めることが重要である。そうした信号処理では、2つの信号間の位相 (干渉信号など) を連続値として求めることが必要であり、この問題は「位相アンラップ (Phase Unwrapping) 問題」と呼ばれている。

[0003] 特許文献1には、移動する目標に対して電波を送信し、目標からの反射波を受信して目標の画像を得るため、目標の移動に伴う反射波の位相の変化を補償する位相補償回路であって、反射波の受信信号列から特定のレンジビンのデータ列を取り出すレンジビン決定手段と、取り出されたデータ列から位相の時間変化を算出し、この算出した位相の時間変化の内、位相の折り返しを除去する位相アンラップ手段と、位相の折り返しが除去された位相の時間変化を示すデータに最小二乗法を用いたフィッティングを行い、位相の時間変化の二次以上の変化成分を検出し、この検出結果から二次以上の変化成分を低減させる位相補償量を算出する位相補償量算出手段と、得られた位相補償量に応じて反射波の受信信号列を補償する位相補償手段とを有する位相補償回路が記載されている。

[0004] 特許文献2には、3次元温度分布情報を含む3次元MR撮影シーケンスを実行し、得られる3次元複素MR画像から3次元位相分布を計算し、次に3次元位相アンラップ処理を行い、アンラップ処理後の3次元位相分布から3次元温度分布を計算し、この計算結果に対し、ボリュームレンダリング処理を行って、3次元温度画像を作り表示する、MRI装置を用いた3次元温度

計測方法が記載されている。

[0005] 特許文献3には、受信器において狭帯域干渉信号を相殺する方法であって、受信入力信号から参照信号を減算するステップと、アークタンジェント関数に基づいて減算の結果の位相を計算するステップと、アークタンジェント関数により生じられるモジュロ 2π 制限を除外することによって、アークタンジェント関数からの出力信号にアンラップ関数を実行するステップであって、これにより、絶対値位相表現を生成するステップと、所定の時間だけずらされる位相表現値を比較することによって周波数オフセットを決定するステップと、決定された周波数オフセットの結果に基づいて狭帯域干渉物を相殺するステップと、を有する方法が記載されている。

[0006] 非特許文献1～3には、2つの実多項式関数 $B_{(0)}(r)$ 、 $B_{(1)}(r)$ について、ユークリッドの互除法を拡張した計算法により、連続関数である位相 $\theta(r) = \tan^{-1}(B_{(1)}(r)/B_{(0)}(r))$ を求める代数的な解法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特許第3395606号公報

特許文献2：特開2000-300536号公報

特許文献3：特開2007-521729号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：I. Yamada, K. Kurosawa, H. Hasegawa, K. Sakaniwa, “Algebraic Multidimensional Phase Unwrapping and Zero Distribution of Complex Polynomials — Characterization of Multivariate Stable Polynomials”, IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, vol. 46, no. 6, p. 1639-1664

非特許文献2：I. Yamada, N. K. Bose, “Algebraic Phase Unwrapping and Zero Distribution of Polynomial for Continuous-Time Systems”, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Appli

cations, 2002, vol. 49, no. 3, p.298—304

非特許文献3: I. Yamada, K. Oguchi, “High-Resolution Estimation of the Directions-of-Arrival Distribution by Algebraic Phase Unwrapping Algorithms”, Multidimensional Systems and Signal Processing, Springer, 2011, vol. 22, no. 1—3, p.191—211

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 実際の信号処理での信号は必ずしも実多項式関数で表されず、多項式で近似しようとしても次数が高くなると数値計算が不安定になる。このため、非特許文献1～3の代数的な解法を実際の信号処理に適用して連続な位相を求めることは困難である。本発明の目的は、1組の信号列の連続した位相を求める数値計算の安定性を向上させることにある。

課題を解決するための手段

- [0010] かかる目的のもと、本発明は、1組の信号列を取得する信号取得部と、信号取得部により取得された1組の信号列のそれぞれを複数の区間ごとに多項式で近似した区分的多項式である第1の関数および第2の関数を算出する第1の算出部と、複数の区間のそれぞれにおいて、第1の算出部が算出した第1の関数と第2の関数にユークリッドの互除法を適用することにより得られる多項式剰余列に区間内のいずれかの点を代入した値の数列を算出する第2の算出部と、第2の算出部により算出された数列の各項の符号に基づいて、いずれかの点における1組の信号列の位相を決定する位相決定部と、複数の区間のそれぞれにおいて位相決定部により決定された位相の信号列を出力する信号出力部とを備える信号処理装置を提供する。

位相決定部が、数列内の隣接する2項間で数列の値の符号が変化した回数に基づいて、いずれかの点における1組の信号列の位相がもつ π の整数倍の不定部分の値を決定するものであってよい。

第1の算出部が、1組の信号列のそれぞれについて、信号列の各標本点を通過し、かつ隣り合う区間の多項式同士が滑らかに連続する区分的多項式を

算出するものであってよい。

第2の算出部が、複数の区間のそれぞれにおいて、第1の関数と第2の関数に関する終結式行列の小行列である複数の部分終結式行列の行列式に基づいて、多項式剰余列から得られる数列に代えて、その数列の各項を正の定数倍した数列を算出するものであってよい。

位相決定部が位相を決定した点の中に位相差が π より大きい隣接する2点が含まれる位相の信号列を、信号出力部が出力するものであってよい。

また、本発明は、1組の信号列を取得するステップと、取得された1組の信号列のそれぞれを複数の区間ごとに多項式で近似した区分的多項式である第1の関数および第2の関数を算出するステップと、複数の区間のそれぞれにおいて、算出された第1の関数と第2の関数にユークリッドの互除法を適用することにより得られる多項式剰余列に区間内のいずれかの点を代入した値の数列を算出するステップと、算出された数列の各項の符号に基づいて、いずれかの点における1組の信号列の位相を決定するステップと、複数の区間のそれぞれにおいて決定された位相の信号列を出力するステップとを含む信号処理方法を提供する。

また、本発明は、コンピュータに、1組の信号列を取得する機能と、取得された1組の信号列のそれぞれを複数の区間ごとに多項式で近似した区分的多項式である第1の関数および第2の関数を算出する機能と、複数の区間のそれぞれにおいて、算出された第1の関数と第2の関数にユークリッドの互除法を適用することにより得られる多項式剰余列に区間内のいずれかの点を代入した値の数列を算出する機能と、算出された数列の各項の符号に基づいて、いずれかの点における1組の信号列の位相を決定する機能と、複数の区間のそれぞれにおいて決定された位相の信号列を出力する機能とを実現させるためのプログラムを提供する。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、1組の信号列の連続した位相を求める数値計算の安定性を、本発明の構成を備えない場合と比べて向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]干渉合成開口レーダにより地表高度を計測する方法の原理を説明するための図である。

[図2]位相アンラップを行う位相データの例を示した画像である。

[図3]本実施形態の信号処理装置の機能構成例を示したブロック図である。

[図4]本実施形態の信号処理装置の動作例の概略を示したフローチャートである。

[図5]本実施形態の信号処理装置におけるスプライン算出部の動作例を示したフローチャートである。

[図6]第1の実施形態の信号処理装置における多項式列算出部の動作例を示したフローチャートである。

[図7]第2の実施形態の信号処理装置における多項式列算出部の動作例を示したフローチャートである。

[図8]位相アンラップの数値実験に用いた一方の入力信号のグラフである。

[図9]位相アンラップの数値実験に用いた他方の入力信号のグラフである。

[図10]図8および図9の入力信号のラップ位相のグラフである。

[図11]図8および図9の入力信号のアンラップ位相のグラフである。

[図12]図8および図9の入力信号について位相アンラップを行った数値実験の結果を示したグラフである。

[図13]本実施形態を実現可能なコンピュータのハードウェア構成図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、添付図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

本実施形態の信号処理装置は、取得した1組の信号列 F 、 G から位相 $\theta = \tan^{-1}(G/F)$ を計算し、出力する。この位相 θ は $m\pi$ (m は整数)の不定性があり一意に求まらないが、 θ が連続になる適切な整数値 m を定めることを「位相アンラップ」という。本実施形態の信号処理装置は、この位相アンラップを行う。

[0014] まず、本実施形態の信号処理装置が適用されるシステムの例について説明する。

合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) を用いて地表の情報を計測するシステムがある。SARは、飛行機や衛星に搭載されたレーダから地上に向けて電波を発射し、対象物から反射された電波を自身のアンテナで受信しており、アンテナ自身が飛行機や衛星によって移動することで仮想的に大きな開口面を実現したレーダである。合成開口レーダの1つである干渉合成開口レーダ (干渉SAR) は、同一地域について得られた2セットの複素画像を干渉させて生成される干渉縞から、地表高度や、地殻変動による地表高度の変化を計測する。

[0015] その2セットの複素画像をそれぞれ $A_1 = A_0 \exp(i\phi_1)$, $A_2 = A_0 \exp(i\phi_2)$ とすると、干渉縞は $A_1 A_2^* = |A_0|^2 \exp(i\Delta\phi)$ である。ここで、 $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ は位相差であり、次式で表される。 real は実部、 imag は虚部、 $*$ は複素共役を意味する。

[0016] [数1]

$$\Delta\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\text{imag}(A_1 A_2^*)}{\text{real}(A_1 A_2^*)}\right) + m\pi \quad (m \text{ は整数})$$

[0017] 地表高度を求めるためには $\Delta\phi$ を求める必要があるが、正接関数 $\tan$ には周期 π の周期性があるため、 $\Delta\phi$ の値は一意に決まらない。そこで本実施形態の信号処理装置は、位相アンラップを行って、位相 $\Delta\phi$ が連続になる適切な整数値 m を定める。

[0018] 位相アンラップにより連続な位相 $\Delta\phi$ が求まれば、地表高度は例えば以下のように求められる。図1は、干渉SARにより地表高度を計測する方法の原理を説明するための図である。 R_1 , R_2 はそれぞれの軌道1, 2のレーダから地表の対象物までの距離、 B は軌道1, 2のレーダ間の距離、 H はレーダの高度、 h は測定対象の高度であり、図1のように角 θ , α , $\delta\theta$ を定める。未知数は R_1 , R_2 , h , θ である。すると、 R_1 は $R_1 = B \sin(\theta -$

$\alpha) + R_2 \cos \delta \theta$ となる。実際には $\delta \theta \doteq 0$ なので、 $\cos \delta \theta \doteq 1$ であり、 $R_1 = B \sin(\theta - \alpha) + R_2$ となる。すると、 R_1 と R_2 の差 ΔR は、 $\Delta R = R_1 - R_2 = B \sin(\theta - \alpha)$ である。したがって、位相差 $\Delta \phi$ は次式で表される。

[0019] [数2]

$$\Delta \phi = \frac{4\pi B \sin(\theta - \alpha)}{\lambda}$$

[0020] ここで、 λ は電波の波長である。また、 $h = H - R_1 \cos \theta$ なので、 $\Delta \phi$ から θ を求め、さらに h を求めることで、地表高度 h が計測される。

[0021] 本実施形態の信号処理装置が適用されるシステムの別の例として、MRI を用いた核磁気共鳴画像システムがある。MRI は、体内のプロトン（水素原子の原子核（陽子））の密度と状態を画像化する技術である。人体は 9 割ほどが水と脂肪によって構成されており、それらはどちらも水素原子を多く含むため、プロトンの密度と状態からおおよその体の構造がわかる。MRI の撮像法の 1 つであるグラジエントフィールドエコー（gradient field echo: GRE）法では、水の信号と脂肪の信号が混合した状態から両者の成分を分離して撮像する、Dixon 法という手法が用いられる。

[0022] Dixon 法では、水と脂肪の分子構造の違いから核磁気共鳴スペクトルにシフトが生じる（化学シフト現象）ことを利用する。外部から適切にパルスを加えると、次式のように、水と脂肪の信号が同位相になっている信号と、水と脂肪の信号が逆位相になっている信号が得られる。

$$\text{同位相 (in-phase)} \quad s_0 = (W + F) \exp(i\theta_0)$$

$$\text{逆位相 (out-phase)} \quad s_1 = (W - F) \exp(i(\theta_0 + \phi))$$

ここで、 W 、 F 、 θ_0 は定数である。すると、 $s_0^* s_1 / s_0 s_1^* = \exp(i2\phi)$ であるから、位相差 ϕ は以下のように求められる。

[0023] [数3]

$$2\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\operatorname{imag} \left(\frac{s_0^* s_1}{s_0 s_1^*} \right)}{\operatorname{real} \left(\frac{s_0^* s_1}{s_0 s_1^*} \right)} \right) + m\pi \quad (m \text{ は整数})$$

[0024] 本実施形態の信号処理装置は、ここで適切な整数値 m を定めて連続な位相 2ϕ を求めるために用いられる。連続な位相 2ϕ が求めれば、次式により水画像と脂肪画像が得られる。

[0025] [数4]

$$\begin{aligned} \text{水画像} \quad |W \exp(i\theta_0)| &= \frac{|s_0 + s_1 \exp(-i\phi)|}{2} \\ \text{脂肪画像} \quad |F \exp(i\theta_0)| &= \frac{|s_0 - s_1 \exp(-i\phi)|}{2} \end{aligned}$$

[0026] このように、信号処理や画像処理では、2つの実数値連続関数の組 $f(x)$ 、 $g(x)$ が与えられ、 $\tan \theta(x) = g(x) / f(x)$ を満足する連続関数 $\theta(x)$ を決定することが要請される。一般に独立変数は1つとは限らず、2変数の場合の応用が特に重要である。しかし、2変数の位相アンラップも、1変数の位相アンラップを各々の変数について計算することで実現できる。このため、本実施形態では簡単化のため1つの実数変数 x の関数を考える。

[0027] 一般に、2つの実数の組 (x, y) (ただし $x \neq 0$) が与えられるとき、 $\tan \theta = y / x$ を満たす実数 θ を (x, y) がなす位相という。しかし、上記の通り、正接関数 $\tan$ は周期 π の周期関数であるため、この θ は一意に決まらない。すなわち、 (x, y) がなす位相は、 $\tan \theta_0 = y / x$ を満足する唯一の $\theta_0 \in (-\pi/2, \pi/2)$ (主値という) を用いた $\theta = \theta_0 + m\pi$ (m は任意の整数) のいずれでもよい。

[0028] 上記の連続関数 $\theta(x)$ を決定する位相アンラップ問題は、 $f(x) \neq 0$

となる x では主値に π の適当な整数倍を加える補正を施し、かつ $f(x) = 0$ となる x では適当な実数値を $\theta(x)$ に割り当てて連続関数 θ を構成するという問題である。従来の位相アンラップの方法は試行錯誤的なものであり、系統的かつ安定な位相アンラップを実現する方法は未だ確立されていない。多くの最先端の計測システムの性能は位相アンラップの成否に大きく左右されるため、安定した位相アンラップを実現する技術が確立できれば大きな波及効果が期待される。

[0029] 図2は、位相アンラップを行う位相データの例を示した画像である。これらの画像は、法政大学情報科学部花泉弘研究室のWebページ[online][平成24年4月2日検索](URL: http://cis.k.hosei.ac.jp/research/laboratory/digital/hanaizumi/remote_sensing.html)から引用した。

[0030] 図2(a)は、位相アンラップを行う前の2次元の位相データの画像である。図2の各画像では白黒の濃淡により位相の値の大小を示しており、図2(a)では位相が $-\pi$ から π の間に制限されている。このため、値が $-\pi$ から π または π から $-\pi$ に不連続に変わる点が存在することから、濃淡の変化が不連続な、白と黒にはっきり分かれた部分が見られる。このように、値(値域)が $-\pi$ から π の間などに制限された位相のことを、以下では「ラップ位相(Wrapped Phase)」という。

[0031] 図2(b)は、図2(a)の位相データに対して適切に位相アンラップを行って得られる画像である。図2(b)の場合、位相の値は $-\pi$ から π の間に制限されず、値が不連続に変わる点が存在しない。位相がすべての点で連続的に変化していることを反映して、濃淡が連続的に変化していることがわかる。このように、位相アンラップを行って値域の制限を取り除いた位相のことを、以下では「アンラップ位相(Unwrapped Phase)」という。

[0032] 一方、図2(c)は、図2(a)の位相データに対する位相アンラップに失敗した場合の画像である。すなわち、図2(c)では、位相アンラップを

行った後でも位相が 2π だけ不連続に変わる点が存在するため、濃淡の変化が不連続な部分が見られる。従来の試行錯誤的な位相アンラップの方法では、隣接する標本点間のアンラップ位相の変動が $\pm\pi$ 以下であるという仮定に基づいているため、例えば位相が急激に変化する点がある場合、図 2 (c) のように位相アンラップが失敗する。

[0033] 本実施形態の信号処理装置は、必ずしも実多項式関数で表されない 1 組の信号列について、連続なアンラップ位相を系統的な方法で求める。そのために、本実施形態の信号処理装置は、取得した 1 組の信号列をそれぞれスプライン関数で近似し、得られたスプライン関数の各区間の多項式を用いて位相アンラップを行う。位相アンラップは、スプライン関数の多項式にユークリッドの互除法を適用することにより多項式列を算出し、各区間の位相を求める点におけるその多項式列の値を並べた数列の符号の変化の回数を調べ、その変化の回数に基づいて π の整数倍の不定部分を決定するという手順で行う。

[0034] なお、本実施形態において、「連続」という用語は、関数に対しては数学的な意味で用いるが、実際のシステムで扱われる離散的な信号の位相に対しては、図 2 (a) や図 2 (c) で見られるような値の変化の不自然な「飛び」がないという意味で用いる。

[0035] <第 1 の実施形態>

図 3 は、本実施形態の信号処理装置 10 の機能構成例を示したブロック図である。図示するように、信号処理装置 10 は、信号取得部 11 と、区間決定部 12 と、スプライン算出部 13 と、関数格納部 14 と、多項式列算出部 15 と、数列生成部 16 と、符号カウント部 17 と、アンラップ処理部 18 と、信号出力部 19 とを備える。

[0036] 信号取得部 11 は、処理対象となる 1 組の信号列を取得する。例えば、上記の干渉 SAR の場合は $A_1 A_2^*$ の実部と虚部を、MRI の場合は $s_0^* s_1 / s_0 s_1^*$ の実部と虚部をそれぞれ 1 組の信号列として取得する。以下では、信号取得部 11 が取得する 1 組の信号列のそれぞれを $F(x)$, $G(x)$ と表

す。例えばこれらの信号列が時系列信号である場合には、 x は時刻を表す。

[0037] 区間決定部 1 2 は、信号取得部 1 1 が取得した信号列からスプライン算出部 1 3 がスプライン関数を求める際の区間を決定する。標本点 $x_0, x_1, \dots, x_N$ での信号 $F(x), G(x)$ を信号取得部 1 1 が取得したとすると、区間決定部 1 2 は、スプライン算出部 1 3 がスプライン関数を求める際の区間を例えば $[x_0, x_1], \dots, [x_{N-1}, x_N]$ と定める。なお、区間 $[a, b]$ という表記は、端点 a および b を含む区間を意味する。

[0038] スプライン算出部 1 3 は、信号取得部 1 1 が取得した信号列 $F(x), G(x)$ をそれぞれ近似する区分的多項式の一例として、スプライン関数 $S_F(x), S_G(x)$ を算出する。スプライン算出部 1 3 がスプライン関数 $S_F(x), S_G(x)$ を求める処理の詳細については、図 5 を用いて後述する。本実施形態では、第 1 の算出部の一例として、スプライン算出部 1 3 を設けている。

[0039] 関数格納部 1 4 は、スプライン算出部 1 3 が算出したスプライン関数 $S_F(x), S_G(x)$ や、多項式列算出部 1 5 が算出した多項式列を格納する。

[0040] 多項式列算出部 1 5 は、スプライン算出部 1 3 が算出したスプライン関数 $S_F(x), S_G(x)$ がそれぞれ多項式で表される各区間 $[x_0, x_1], \dots, [x_{N-1}, x_N]$ について、その区間での $S_F(x)$ と $S_G(x)$ にユークリッドの互除法を適用して、多項式列を算出する。多項式列算出部 1 5 が多項式列を求める処理は、非特許文献 3 に示されている手順に従って行う。その詳細については、図 6 を用いて後述する。

[0041] 数列生成部 1 6 は、多項式列算出部 1 5 が多項式列を算出した各区間内の点 x におけるその多項式列の値を並べた数列を生成する。例えば、区間 $[x_0, x_1]$ については、その区間内の x_0 における各多項式の値（すなわち、 x_0 を代入したときの値）を計算し、その計算結果を順に並べて数列とする。本実施形態では、第 2 の算出部の一例として、多項式列算出部 1 5 と数列生成部 1 6 を設けている。

[0042] 符号カウント部 1 7 は、数列生成部 1 6 が生成した数列内の隣接する 2 項

間でその数列の値の符号が変化した回数を数える。

[0043] アンラップ処理部 18 は、数列生成部 16 が数列を生成した点 $x = t$ における信号列 $F(t)$ 、 $G(t)$ の位相がもつ π の整数倍の不定部分の値を、符号カウント部 17 が得た符号変化の回数に基づき決定する。アンラップ処理部 18 が π の整数倍の値を決定する処理の詳細についても後述する。本実施形態では、位相決定部の一例として、符号カウント部 17 とアンラップ処理部 18 を設けている。

[0044] 信号出力部 19 は、アンラップ処理部 18 が各点で求めた位相の値を信号列として出力する。本実施形態のアンラップ処理部 18 が決定する位相は各点で連続的に変化するものであるため、信号出力部 19 が出力する位相の信号列も連続的なものになる。

[0045] 以下では、本実施形態の信号処理装置 10 の動作について説明する。図 4 は、信号処理装置 10 の動作例の概略を示したフローチャートである。

[0046] まず、標本点 $x_0, x_1, \dots, x_N$ での 1 組の信号列 $F(x)$ 、 $G(x)$ を信号取得部 11 が取得する（ステップ 10）。そして、 x の区間 $[x_0, x_1]$ 、 $\dots$ 、 $[x_{N-1}, x_N]$ を区間決定部 12 が決定した上で、それぞれの信号列を近似するスプライン関数 $S_F(x)$ 、 $S_G(x)$ をスプライン算出部 13 が算出する（ステップ 20）。算出されたスプライン関数 $S_F(x)$ 、 $S_G(x)$ は、関数格納部 14 が格納する。

[0047] そして、 x の最初の区間 $[x_0, x_1]$ について、関数格納部 14 に格納されているスプライン関数 $S_F(x)$ 、 $S_G(x)$ から、多項式列算出部 15 が多項式列を算出する（ステップ 30）。区間 $[x_0, x_1]$ において $S_F(x)$ 、 $S_G(x)$ がそれぞれ多項式 $f_0(x)$ 、 $g_0(x)$ で表されるとすると、多項式列算出部 15 はこの $f_0(x)$ 、 $g_0(x)$ にユークリッドの互除法を適用して、多項式列 $\{\phi_0(x), \dots, \phi_q(x)\}$ を算出する。ここで、 q は $\phi_q(x)$ が 0 次（定数）となる番号である。例えば $\phi_0(x)$ と $\phi_1(x)$ を 3 次とすると、この多項式列は、例えば $\phi_2(x)$ が 2 次、 $\phi_3(x)$ が 1 次、 $\phi_4(x)$ が 0 次（定数）のように、次数が順に下がる有限個の列となる（

この例では $q = 4$ である）。本実施形態では、この多項式列のことを「多項式剰余列」とも呼ぶ。算出された多項式列 $\{\phi_0(x), \dots, \phi_q(x)\}$ は、関数格納部 14 が格納する。

[0048] 次に、区間 $[x_0, x_1]$ 内の点 $x = t$ について、数列生成部 16 が多項式列 $\{\phi_0(x), \dots, \phi_q(x)\}$ の値を計算し、それらの値を並べた数列 $\{\phi_0(t), \dots, \phi_q(t)\}$ を作る（ステップ 40）。そして符号カウント部 17 が、その数列 $\{\phi_0(t), \dots, \phi_q(t)\}$ について、隣接する 2 項間で符号が変化する回数を数える（ステップ 50）。この符号変化の回数を $V\{\phi(t)\}$ と書く。

[0049] 符号変化の回数 $V\{\phi(t)\}$ の求め方について、具体的に説明する。例えば、数列の項数が 6 であり、各項の符号が $\{+, +, -, 0, 0, +\}$ であったとする。第 1 項から第 2 項は符号が正のまま変わらないが、第 2 項から第 3 項にかけて正から負に変化するので、これを 1 回と数える。第 4 項と第 5 項は 0 であるが、このように 0 の項は飛ばして次に 0 でない第 6 項を見る。すると、第 3 項から第 6 項にかけて負から正に変化するので、これを 1 回と数える。よって、この数列については $V\{\phi(t)\} = 2$ である。

[0050] 非特許文献 1～3 によると、 $x = t$ での多項式 $f(x)$ 、 $g(x)$ のアンラップ位相 $\theta(t)$ は、次式で与えられることが証明されている。

[0051] [数5]

$$\theta(t) = \theta(t_0) - \tan^{-1}\left(\frac{g(t_0)}{f(t_0)}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{g(t)}{f(t)}\right) + (V\{\psi(t)\} - V\{\psi(t_0)\})\pi$$

[0052] ここで、 t_0 はアンラップ位相 $\theta(t)$ を求めるための基準点である。右辺第 2 項と第 3 項は $(-\pi/2, \pi/2)$ の範囲の値（主値）であり、 $V\{\phi(t)\}$ はステップ 50 で求めた $x = t$ での符号変化の回数である。また、 $V\{\phi(t_0)\}$ は、基準点 $x = t_0$ での多項式列 $\{\phi_0(x), \dots, \phi_q(x)\}$ の値を並べた数列の符号変化の回数である。すなわち、主値に π の何倍を加えればアンラップ位相が得られるのかということは、ステップ 50 で求

めた符号変化の回数 $V\{\phi(t)\}$ から上式により厳密に求められる。

[0053] スプライン関数 $S_F(x)$, $S_G(x)$ は区間ごとに異なる多項式で表されることから、本実施形態では上記の基準点 t_0 も区間ごとに定める。例えば、「区間 $[x_0, x_1]$ では $x_0, \dots$, 区間 $[x_{N-1}, x_N]$ では x_{N-1} 」というように、区間の開始点（左端の点）を基準点 t_0 とすればよい。

[0054] したがって、アンラップ処理部 18 は、区間 $[x_0, x_1]$ については基準点を $t_0 = x_0$ として、関数格納部 14 に格納されている区間 $[x_0, x_1]$ での多項式 $f_0(x)$, $g_0(x)$ とステップ 50 で求めた $V\{\phi(t)\}$ を用いて、数 5 を計算する。すなわち、アンラップ処理部 18 は、次式を計算することにより、区間 $[x_0, x_1]$ 内の $x = t$ でのアンラップ位相 $\theta(t)$ を求める（ステップ 60）。

[0055] [数 6]

$$\theta(t) = \theta(x_0) - \tan^{-1}\left(\frac{g_0(x_0)}{f_0(x_0)}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{g_0(t)}{f_0(t)}\right) + (V\{\psi(t)\} - V\{\psi(x_0)\})\pi$$

[0056] そして、区間 $[x_0, x_1]$ 内の別の点についてもアンラップ位相を求める場合はステップ 40 に戻り、次の区間 $[x_1, x_2]$ の処理に移る場合はステップ 80 に進む（ステップ 70）。なお、各区間内のどの点でアンラップ位相を計算してもよいが、本実施形態では、少なくとも各区間の端点 $x_0, x_1, \dots, x_N$ でのアンラップ位相は計算しておく。

[0057] 次の区間がある場合、処理はステップ 30 に戻る（ステップ 80 で Yes）。区間 $[x_1, x_2]$ でアンラップ位相を求めるときは、アンラップ処理部 18 は、基準点を $t_0 = x_1$ として、区間 $[x_1, x_2]$ での多項式 $f_1(x)$, $g_1(x)$ とステップ 50 で求めた $V\{\phi(t)\}$ を用いて、数 6 と同様の計算を行う。区間 $[x_2, x_3]$ 以降についても同様である。

[0058] 一方、次の区間がない場合、すなわち、区間 $[x_{N-1}, x_N]$ までアンラップ位相を求めた場合、処理はステップ 90 に進む（ステップ 80 で No）。そして最後に、今までに求めた各アンラップ位相の値を信号出力部 19 が信

号列として出力する（ステップ90）。以上で信号処理装置10の動作は終了する。

[0059] 次に、図4のステップ20でスプライン算出部13がスプライン関数 $S_F(x)$ 、 $S_G(x)$ を算出する処理について説明する。

本実施形態では、信号列 $F(x)$ 、 $G(x)$ の標本値を用いて、スプライン算出部13が $F(x)$ 、 $G(x)$ のそれぞれをスプライン関数で近似することにより、各標本点を通る2つの区分的多項式を求める。 n 次のスプライン関数 $S(x)$ は、「各区間において $S(x)$ が n 次以下の多項式であり、かつ定義域全体で $S(x)$ とその $(n-1)$ 次以下の導関数が連続な関数」と定義される。すなわち、スプライン関数は、複数の多項式を互いに接続した区分的多項式であって、多項式同士のつなぎ目（節点という）も含めて数学的な意味で滑らかな関数である。

[0060] 一般に、関数 $f(x)$ の有限個の標本点 $(x_k, f(x_k))$ ($k=1, 2, 3, \dots, p$) が与えられたときに、これらの標本点を通る何らかの関数 $h(x)$ を求めるには、 $h(x)$ を $(p-1)$ 次多項式として、その多項式の係数に関する連立方程式を解けばよい。しかし、標本点の個数 p が大きくなると、多項式 $h(x)$ は標本点以外の x で大きく振動するため、1つの多項式で補間することは適切とはいえない。一方、スプライン関数を用いれば、1つの多項式で補間する場合より低次なものにすることができ、振動の小さな関数になる。そこで本実施形態では、信号列 $F(x)$ 、 $G(x)$ のそれぞれに対してスプライン関数の補間アルゴリズムを利用する。

[0061] 次に、標本点を3次のスプライン関数で補間する場合の計算方法について説明する。ここでは、標本点とスプライン関数の節点とを一致させる。つまり、標本 (x_k, y_k) ($k=0, 1, \dots, N$ かつ $x_0 < x_1 < \dots < x_N$) が与えられたときに、区間 $[x_0, x_1]$ ではある3次関数、区間 $[x_1, x_2]$ では別のある3次関数というように、標本点間をそれぞれ別の3次関数でつなぐものとする。求めるスプライン関数を $S(x)$ とすると、 $S(x)$ は、標本点 (x_k, y_k) ($k=0, 1, \dots, N$) をすべて通過し、かつ区間 $(x_0, x$

N) 上で2階微分までが連続になる。

[0062] さて、標本点 x_k での2階微分の値を M_k ($k = 0, 1, \dots, N$) と書くと、区間 $[x_{k-1}, x_k]$ ($k = 1, 2, \dots, N$) での $S(x)$ の2階微分 $S''(x)$ は次式で表される。

[0063] [数7]

$$S''(x) = \frac{M_k - M_{k-1}}{x_k - x_{k-1}} x + \frac{M_{k-1}x_k - M_kx_{k-1}}{x_k - x_{k-1}} = M_{k-1} \frac{x_k - x}{h_k} + M_k \frac{x - x_{k-1}}{h_k}$$

[0064] ただし、 $h_k = x_k - x_{k-1}$ である。これを2回積分し、 $S(x_{k-1}) = y_{k-1}$ 、 $S(x_k) = y_k$ を用いると、区間 $[x_{k-1}, x_k]$ で $S(x)$ は次式のよう表される。

[0065] [数8]

$$S(x) = M_{k-1} \frac{(x_k - x)^3}{6h_k} + M_k \frac{(x - x_{k-1})^3}{6h_k} + ax + b$$

$$a = \frac{y_k - y_{k-1}}{h_k} - \frac{M_k - M_{k-1}}{6} h_k \quad \text{かつ} \quad b = \frac{x_k y_{k-1} - x_{k-1} y_k}{h_k} + \frac{M_k x_{k-1} - M_{k-1} x_k}{6} h_k$$

[0066] よって、後は M_k ($k = 0, 1, \dots, N$) がわかれば $S(x)$ が求まる。この M_k を求めるために1階微分を考えると、上記の結果から、区間 $[x_{k-1}, x_k]$ での $S'(x)$ は次式で表される。

[0067] [数9]

$$S'(x) = -M_{k-1} \frac{(x_k - x)^2}{2h_k} + M_k \frac{(x - x_{k-1})^2}{2h_k} + \frac{y_k - y_{k-1}}{h_k} - \frac{M_k - M_{k-1}}{6} h_k$$

[0068] よって、 x_k ($k = 1, 2, \dots, N-1$) における $S'(x)$ の左方微分係数と右方微分係数は、次式のように表される。

[0069]

[数10]

$$S'(x_k-) = M_k \frac{h_k^2}{2h_k} + \frac{y_k - y_{k-1}}{h_k} - \frac{M_k - M_{k-1}}{6} h_k = \frac{h_k}{6} M_{k-1} + \frac{h_k}{3} M_k + \frac{y_k - y_{k-1}}{h_k}$$

$$S'(x_k+) = -M_k \frac{h_{k+1}^2}{2h_{k+1}} + \frac{y_{k+1} - y_k}{h_{k+1}} - \frac{M_{k+1} - M_k}{6} h_{k+1} = -\frac{h_{k+1}}{3} M_k - \frac{h_{k+1}}{6} M_{k+1} + \frac{y_{k+1} - y_k}{h_{k+1}}$$

[0070] 1回微分の連続性から $S'(x_k-) = S'(x_k+)$ なので、次式が導かれる。

[0071] [数11]

$$\frac{h_k}{6} M_{k-1} + \frac{h_k + h_{k+1}}{3} M_k + \frac{h_{k+1}}{6} M_{k+1} = \frac{y_{k+1} - y_k}{h_{k+1}} - \frac{y_k - y_{k-1}}{h_k} \quad (k=1, 2, \dots, N-1)$$

[0072] 未知数が M_k ($k=0, 1, \dots, N$) の $(N+1)$ 個であるのに対し、数11の方程式は $(N-1)$ 個しかないので、未知数を一意に決めるために $M_0 = M_N = 0$ とおく。すると、数11の方程式から未知数 M_k ($k=1, 2, \dots, N-1$) が求まるので、数8から $S(x)$ が求まる。このようにして、信号列 $F(x)$ 、 $G(x)$ をそれぞれスプライン関数で補間する。

[0073] なお、本実施形態では一例として3次のスプライン関数を用いるが、次数は何次であってもよい。ただし、 $S_F(x)$ と $S_G(x)$ は同じ次数にするとよい。また、上記のように標本点とスプライン関数の節点を1対1に対応させる必要はなく、例えば x_0 から x_3 までの区間 $[x_0, x_3]$ を1つの3次関数で表してもよい。さらに、標本点以外の点を節点としてもよい。ただし、 $S_F(x)$ と $S_G(x)$ の間では、節点の取り方を一致させるとよい。

[0074] 図5は、スプライン算出部13の動作例を示したフローチャートである。スプライン算出部13は、信号取得部11が取得した信号列 $F(x)$ 、 $G(x)$ のそれぞれについて、以下の手順でスプライン関数 $S_F(x)$ 、 $S_G(x)$ を算出する。

[0075] まず、標本点 $x_0, x_1, \dots, x_N$ をもとに、区間決定部12がスプライン関

数の節点を定める（ステップ21）。上記の通り節点を標本点と同じにする必要はないが、ここでは簡単のため、それぞれの標本点を節点として、区間を $[x_0, x_1], \dots, [x_{N-1}, x_N]$ と定める。この区間割りは、 $F(x)$ と $G(x)$ の間で共通のものとする。

[0076] 次に、スプライン算出部13は、数11を解いて $M_0, \dots, M_N$ を求める（ステップ22）。その際、数11において $h_k = x_k - x_{k-1}$ とする。また、 $F(x)$ の場合は $y_k = F(x_k)$ 、 $G(x)$ の場合は $y_k = G(x_k)$ とする。そして、スプライン算出部13は、1つの区間 $[x_{k-1}, x_k]$ について、数8により3次関数を求める（ステップ23）。次の区間がある場合はステップ23に戻り、すべての区間 $[x_0, x_1], \dots, [x_{N-1}, x_N]$ について3次関数を求め終わったらステップ25に進む（ステップ24）。ここまでに、 $S_F(x)$ は、「 $[x_0, x_1]$ において3次関数 $f_0, \dots, [x_{N-1}, x_N]$ において3次関数 f_{N-1} 」と表されている。 $S_G(x)$ も、「 $[x_0, x_1]$ において3次関数 $g_0, \dots, [x_{N-1}, x_N]$ において3次関数 g_{N-1} 」と表されている。そこで、スプライン算出部13は、このように区間と多項式を対応付けて、 $S_F(x)$ と $S_G(x)$ をそれぞれ関数格納部14に格納する（ステップ25）。以上でスプライン算出部13の動作は終了する。

[0077] なお、スプライン補間の計算方法も、これまでに様々なものが提案されている。スプライン算出部13は、図5の方法に限らず、別の既存の計算方法を利用してもよい。

[0078] 次に、図4のステップ30で多項式列算出部15が多項式列を算出する処理について説明する。図6は、第1の実施形態の多項式列算出部15の動作例を示したフローチャートである。

[0079] まず、現在の処理対象の区間 $[x_{k-1}, x_k]$ について、多項式列算出部15は関数格納部14からスプライン関数 S_F, S_G の3次関数 f_k, g_k を取得し、それぞれを ϕ_0, ϕ_1 とする（ステップ31）。そして、変数 j を $j = 1$ とする（ステップ32）。多項式列算出部15は ϕ_j の次数が0でないかどうかを判定し、次数が0でなければステップ34に進み、0であれば後述する

ステップ37に進む（ステップ33）。

[0080] ϕ_j の次数が0でない場合、多項式列算出部15は、 ϕ_{j-1} を ϕ_j で割り（ステップ34）、その余りを $-\phi_{j+1}$ とする（ステップ35）。そしてjに1を加算し（ステップ36）、処理はステップ33に戻る。一方、 ϕ_j の次数が0である場合は、多項式列算出部15が多項式列 $\{\phi_0, \dots, \phi_j\}$ を関数格納部14に格納する（ステップ37）。以上で多項式列算出部15の動作は終了する。

[0081] 図6の処理は、 ϕ_0, ϕ_1 （すなわち、スプライン関数 S_F, S_G の3次関数 f_k, g_k ）にユークリッドの互除法を適用して多項式列 $\{\phi_0, \dots, \phi_j\}$ を求めるものである。ただし、上記では説明を省略しているが、多項式列 $\{\phi_0, \dots, \phi_j\}$ による数列の符号変化の回数からアンラップ位相を求めるためには、各多項式 ϕ_j がxのべき乗を因数にもつ（すなわち、0次の項が0になる）場合、そのべき乗を除いた部分を ϕ_j と定義し直して図6の処理を行うとよい。本実施形態でいうユークリッドの互除法は、そのような変形例も含むものとする。

[0082] 一般に、実数値をとる多項式の組 $(f(x), g(x))$ が与えられたとき、それらにユークリッドの互除法を適用して得られる多項式剰余列は、スツルム列と呼ばれる条件を満たすことが知られている。 $(f(x), g(x))$ から連続なアンラップ位相を求めるには主値に π の適当な整数倍を補正項として加える必要がある。非特許文献1, 2では、 $f(x)$ が0になるxの前後の $(f(x), g(x))$ の符号(+, -)からこの補正項を決定できることが示されている。図6の方法は、スツルム列の性質を利用することにより、 $f(x)$ が0になるxの位置の情報がなくても補正項を正しく求めることを可能にしている。

[0083] このように、本実施形態の信号処理装置10は、多項式からアンラップ位相を決定する部分は数学的に厳密な方法を用いている。このため、入力信号列を区分的多項式で上手く近似できれば、精度よく位相アンラップを行うことが可能になる。そして、入力信号列をスプライン関数で近似することによ

り、標本点間を結ぶ多項式関数を精度よく求めることができ、位相アンラップの精度の向上につながる。

[0084] <第2の実施形態>

第1の実施形態の信号処理装置10は、アンラップ位相を決定するための多項式列を算出する際に、図6に示したユークリッドの互除法を実行している。しかし、この方法では、多項式の次数が高くなると数値的な不安定性が回避できなくなる。これは、図6の処理に多項式の割り算をするステップ（ステップ34）があることに起因する（ $\phi_{j+1}(x)$ は、 $\phi_{j-1}(x)$ を $\phi_j(x)$ で割った余りを-1倍して求められる）。計算機で実際に図6の処理を実行しようとする、この多項式の割り算が正確に行えない場合がある。例えば、1割る1/3の答えは3余り0であるが、計算機では1/3を正確に表すことができないため、実際には余りが0にならない。また、係数を分母と分子に分けてそれぞれを整数として保存した場合でも、ユークリッドの互除法の途中で多項式の係数の桁が大きくなりすぎてしまい、正確に保存できなくなる。つまり、計算機でユークリッドの互除法を素直に実装しようすると、ある多項式の係数の値が途中で正確でなくなり、その正確でない係数を用いて次の多項式を作るというステップを繰り返してしまうので、途中から多項式の係数が実際のものとずれてしまう。このような数値計算上の誤差が蓄積すると位相アンラップの計算結果に影響を与えるおそれがあるため、ユークリッドの互除法を直接実行せずに多項式列が生成されるようにすることが望ましい。

[0085] そこで、第2の実施形態の信号処理装置10は、スプライン算出部13がスプライン関数を算出した後、図6の処理により得られる多項式剰余列の正の定数倍である多項式列を、多項式列算出部15が算出する。その多項式列は、以下で説明する部分終結式を計算することにより得られる。ユークリッドの互除法を適用する多項式の組を（ $f(x)$ ， $g(x)$ ）とすると、部分終結式を計算して得られる多項式の係数は、すべて $f(x)$ と $g(x)$ の係数の和と差と積を用いて計算される。よって、上記のように正確でない係数

の多項式から次の多項式を作り出すという繰り返しは起こらない。第2の実施形態の多項式列算出部15は、図6のユークリッドの互除法を直接実行しないので、上記のような数値計算上の不安定性が生じることがない。

[0086] 第2の実施形態の信号処理装置10は、多項式列算出部15が行う処理内容を除いて、第1の実施形態の信号処理装置10と同じである。このため、多項式列算出部15の処理内容以外の部分については説明を省略する。

[0087] 部分終結式の前に、まず終結式について説明する。終結式は、 m 次多項式 $f(x) = a_m x^m + a_{m-1} x^{m-1} + \dots + a_0$ と n 次多項式 $g(x) = b_n x^n + b_{n-1} x^{n-1} + \dots + b_0$ が共通根をもつかどうかを判定するための行列の行列式であり、数12のような $(m+n)$ 次正方行列の行列式である。なお、行列の中で空欄になっている成分はすべて0である。本実施形態では、数12の行列を「終結式行列」と呼ぶ。

[0088] [数12]

$$\begin{array}{c} \overbrace{\hspace{10em}}^{m+n} \\ \left(\begin{array}{cccccc} a_m & a_{m-1} & \cdots & a_1 & a_0 & & \\ & a_m & a_{m-1} & \cdots & a_1 & a_0 & \\ & & \ddots & \ddots & & \ddots & \ddots \\ & & & a_m & a_{m-1} & \cdots & a_1 & a_0 \\ b_n & b_{n-1} & \cdots & b_1 & b_0 & & & \\ & b_n & b_{n-1} & \cdots & b_1 & b_0 & & \\ & & \ddots & \ddots & & \ddots & \ddots & \\ & & & b_n & b_{n-1} & \cdots & b_1 & b_0 \end{array} \right) \begin{array}{l} \left. \vphantom{\begin{matrix} a_m \\ a_{m-1} \\ \ddots \\ a_m \end{matrix}} \right\} n \\ \left. \vphantom{\begin{matrix} b_n \\ b_{n-1} \\ \ddots \\ b_n \end{matrix}} \right\} m \end{array} \end{array}$$

[0089] そして、数12の終結式行列から、右側 $2j$ 列と、係数 $a_0, \dots, a_m$ のついでの下側 j 行と、係数 $b_0, \dots, b_n$ のついでの下側 j 行とを除いて、数13のような小行列 $M_j(f, g)$ を作る。ここで、 $p = \min\{m, n\}$ として、 $j = 0, 1, \dots, p-1$ である。

[0090]

[数13]

$$M_j(f, g) = \left(\begin{array}{cccccc} \overbrace{a_m \cdots a_j \ a_{j-1} \cdots a_0}^{m+n-2j} & & & & & \\ & a_m \cdots a_j \ a_{j-1} \cdots a_0 & & & & \\ & & \ddots & & & \\ & & & a_m \cdots a_j \ a_{j-1} \cdots a_0 & & \\ & & & & \ddots & \\ & & & & & a_m \cdots a_j \ a_{j-1} \cdots a_0 \\ & & & & & & a_m \cdots a_{j+1} \ a_j \\ b_n \cdots b_j \ b_{j-1} \cdots b_0 & & & & & \\ b_n \cdots b_j \ b_{j-1} \cdots b_0 & & & & & \\ & \ddots & & & & \\ & & b_n \cdots b_j \ b_{j-1} \cdots b_0 & & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & & b_n \cdots b_j \ b_{j-1} \cdots b_0 \\ & & & & & b_n \cdots b_{j+1} \ b_j \end{array} \right) \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} n-j \\ m-j \end{array}$$

[0091] さらに、数13の行列 $M_j(f, g)$ について、右端の列の要素を、上から順に $f(x) x^{n-j-1}$, $f(x) x^{n-j-2}$, ..., $f(x)$, $g(x) x^{m-j-1}$, $g(x) x^{m-j-2}$, ..., $g(x)$ で置き換えて、数14のような行列 $R_j(f, g)$ を作る。この行列の行列式が、 $f(x)$ と $g(x)$ の j 次の部分終結式である。 $R_j(f, g)$ は行列の要素に多項式を含むため、その行列式である部分終結式も多項式になる。本実施形態では、数14の行列を「部分終結式行列」と呼ぶ。

[0092]

[数14]

$$R_j(f, g) = \begin{pmatrix} \overbrace{a_m \cdots a_j \ a_{j-1} \cdots a_0}^{m+n-2j} & f(x)x^{n-j-1} \\ a_m \cdots a_j \ a_{j-1} \cdots a_0 & f(x)x^{n-j-2} \\ \vdots & \vdots \\ a_m \cdots a_j \ a_{j-1} \cdots & f(x)x^j \\ \vdots & \vdots \\ a_m \cdots a_j & f(x)x \\ a_m \cdots a_{j+1} & f(x) \\ b_n \cdots b_j \ b_{j-1} \cdots b_0 & g(x)x^{m-j-1} \\ b_n \cdots b_j \ b_{j-1} \cdots b_0 & g(x)x^{m-j-2} \\ \vdots & \vdots \\ b_n \cdots b_j \ b_{j-1} \cdots & g(x)x^j \\ \vdots & \vdots \\ b_n \cdots b_j & g(x)x \\ b_n \cdots b_{j+1} & g(x) \end{pmatrix} \begin{matrix} \left. \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \right\} n-j \\ \left. \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \right\} m-j \end{matrix}$$

[0093] さて、スプライン算出部13が算出したスプライン関数 $S_F(x)$ 、 $S_G(x)$ の、処理対象の区間における多項式 $f(x)$ 、 $g(x)$ が、ともに m 次であるとする。この多項式 $f(x)$ 、 $g(x)$ について、 $\Psi_0(x) = f(x)$ 、 $\Psi_1(x) = g(x)$ とおく。そして、 $j = 2, \dots, q$ について数15により多項式列 $\{\Psi_0(x), \Psi_1(x), \dots, \Psi_q(x)\}$ を作る。ただし、 q は Ψ_q が0次（定数）となる番号である。

[0094] [数15]

$$\Psi_j(x) = (-1)^{\frac{(j-1)(j+2)}{2}} b_m \det(R_{m-j+1}(f(x), g(x)))$$

[0095] ここで、 b_m は $g(x)$ の m 次の項の係数である。例えば $\Psi_0(x)$ と $\Psi_1(x)$ を3次とすると、この多項式列は、例えば $\Psi_2(x)$ が2次、 $\Psi_3(x)$ が1次、 $\Psi_4(x)$ が0次（定数）のように、次数が順に下がる有限個の列となる（この例では $q = 4$ であり、 $q = m + 1$ の関係がある）。

[0096] すると、こうして得られる多項式 $\Psi_0(x)$ 、 $\Psi_1(x)$ 、 $\dots$ 、 $\Psi_q(x)$ は、図6の処理により得られる対応する多項式 $\phi_0(x)$ 、 $\dots$ 、 $\phi_q(x)$ の正

の定数倍になる。すなわち、 $c_0, \dots, c_q$ を正の定数として、 $\psi_0(x) = c_0 \phi_0(x), \dots, \psi_q(x) = c_q \phi_q(x)$ の関係がある。さらに、この多項式列 $\{\psi_0(x), \psi_1(x), \dots, \psi_q(x)\}$ を求めるときはユークリッドの互除法を直接実行しないので、数値計算上の不安定性が生じない。

[0097] 本実施形態の信号処理装置 10 は、多項式列から作られる数列の符号変化の回数に基づいてアンラップ位相を求めており、正の定数倍の違いはこの符号変化の回数を数える際に影響を与えない。したがって、第 2 の実施形態では、この多項式列 $\{\psi_0(x), \psi_1(x), \dots, \psi_q(x)\}$ を算出することにより数値計算上の不安定性の問題を回避しつつ、連続的なアンラップ位相を決定する。

[0098] さらに、第 1 の実施形態では多項式列を算出してから変数 x に値を代入して数列を生成していたが、第 2 の実施形態では、部分終結式を計算する前に変数 x に値を代入してしまえば、 $\det(R_j(f, g))$ は数値の行列式になりその数列が直接求められる。数値の行列式は容易に計算することができるため、計算量の点でも、第 2 の実施形態の処理の方が第 1 の実施形態の処理より簡略化される。

[0099] 図 4 のステップ 30 で第 2 の実施形態の多項式列算出部 15 が多項式列を算出する処理についてまとめておく。図 7 は、第 2 の実施形態の多項式列算出部 15 の動作例を示したフローチャートである。

[0100] まず、現在の処理対象の区間 $[x_{k-1}, x_k]$ について、多項式列算出部 15 は関数格納部 14 からスプライン関数 S_F, S_G の 3 次関数 f_k, g_k を取得し、それぞれを ψ_0, ψ_1 とする（ステップ 41）。そして、変数 j を $j = 1$ とする（ステップ 42）。多項式列算出部 15 は ψ_j の次数が 0 でないかどうかを判定し、次数が 0 でなければステップ 44 に進み、0 であれば後述するステップ 47 に進む（ステップ 43）。

[0101] ψ_j の次数が 0 でない場合、多項式列算出部 15 は、数 14 により部分終結式行列 $R_{j+1}(\psi_0, \psi_1)$ を作成する（ステップ 44）。そして、数 15 の $\psi_{j+1}(x)$ にアンラップ位相を決定する $x = t$ の値を代入した上で、数値の行

列式 $\Psi_{j+1}(t)$ を計算する（ステップ45）。区間 $[x_{k-1}, x_k]$ 内の別の点についてもアンラップ位相を求める場合は、ステップ45の行列式の計算を繰り返してもよい。その後 j に1を加算し（ステップ46）、処理はステップ43に戻る。一方、 Ψ_j の次数が0である場合は、多項式列算出部15が数列 $\{\Psi_0(t), \dots, \Psi_j(t)\}$ を出力し、符号カウント部17に渡す（ステップ47）。以上で多項式列算出部15の動作は終了する。

[0102] なお、第1の実施形態と同様に、各多項式 $\Psi_j(x)$ が x のべき乗を因数にもつ（すなわち、0次の項が0になる）場合、多項式列算出部15は、そのべき乗を除いた部分を $\Psi_j(x)$ と定義し直して多項式列 $\{\Psi_0(x), \Psi_1(x), \dots, \Psi_q(x)\}$ を算出するとよい。

[0103] このように、本実施形態の信号処理装置10は、アンラップ位相を決定するための多項式列を算出するときに、部分終結式の方法を用いる。この方法では、ユークリッドの互除法を直接実行しないため、多項式列が数値的に安定に算出される。また、本実施形態の方法は、浮動小数点演算であっても、多倍長整数演算であっても、安定に実現できる。

[0104] <数値実験>

以下では、第1の実施形態の信号処理装置10を用いた位相アンラップの数値実験について説明する。この数値実験では、 $f(x) = \cos(\Theta(x))$ 、 $g(x) = \sin(\Theta(x))$ であり $\Theta(x)$ が以下の数16で表される信号を一定の時間間隔にて観測し、観測した信号から元の信号 $f(x)$ 、 $g(x)$ の連続位相 $\Theta(x)$ を推定する。この数値実験では、観測した信号から、信号処理装置10の位相アンラップ方法と別の位相アンラップ方法とにより、数16の位相を正しく求められるかどうかを調べる。

[0105] [数16]

$$\Theta(x) = -\frac{5}{5+(x-5)^2} + \frac{1}{200}x^3 - \frac{1}{20}x^2 + \frac{1}{10}x + \frac{1}{6} + \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right) \quad [\text{rad}/\pi]$$

[0106] その別の方法としては、隣接する標本点で生じるアンラップ位相の変動が

$\pm \pi$ 以内に収まっていることを仮定し、この仮定に基づき、標本点のラップ位相を 2π の整数倍ずつ変化させて 1 つ前の標本点におけるアンラップ位相の値から $\pm \pi$ 以上離れない値を求め、その値をその標本点のアンラップ位相とする方法を用いる。以下では、この方法のことを「比較法」と呼ぶことにする。

[0107] 図 8 は、位相アンラップの数値実験に用いた一方の入力信号 $f(x)$ のグラフであり、図 9 は、その数値実験に用いた他方の入力信号 $g(x)$ のグラフである。図 8 (a)、図 8 (b)、図 8 (c) は、それぞれ標本間隔を 0.25, 0.4, 0.55 として信号を観測した場合のグラフであり、これは図 9 ~ 図 12 でも共通である。それぞれのグラフの中に、標本点を○印で示している。また、それぞれのグラフにおいて、実線が真の $f(x)$, $g(x)$ である。鎖線は、各標本点での信号を信号列として信号取得部 11 が取得し、その信号列をもとにスプライン算出部 13 が算出したスプライン関数を示している。この数値実験では、隣接する標本点間をそれぞれ 3 次関数で近似している。標本間隔が 0.25 と小さい図 8 (a) と図 9 (a) では真の $f(x)$, $g(x)$ とスプライン関数との差はほとんどわからないが、標本間隔が 0.55 と大きくなる図 8 (c) と図 9 (c) では両者の差異がはっきり認められる。

[0108] 図 10 は、図 8 および図 9 の入力信号のラップ位相のグラフであり、図 11 は、図 8 および図 9 の入力信号のアンラップ位相のグラフである。図 11 のアンラップ位相は数 16 から得られる真のアンラップ位相であり、図 10 のラップ位相はその値域を $(-\pi, \pi]$ に制限して得られるラップ位相である。図 10 のラップ位相は値が $-\pi$ から π または π から $-\pi$ に変化するところで不連続になっているが、図 11 のアンラップ位相は連続関数である。なお、図 10 (a) から図 10 (c) のグラフと図 11 (a) から図 11 (c) のグラフは、数 16 をプロットしたものであるため、標本間隔の大きさにかかわらずすべて同じである。

[0109] 図 12 は、図 8 および図 9 の入力信号について位相アンラップを行った数

値実験の結果を示したグラフである。実線は比較法により得られた $\Theta(x)$ の推定値を表し、鎖線は信号処理装置10により得られた $\Theta(x)$ の推定値を表す。標本間隔が比較的小さい図12(a)と図12(b)の場合には、信号処理装置10の方法と比較法のどちらでも、グラフは図11(a)および図11(b)のものとほとんど同じである。しかし、標本間隔が大きい図12(c)の場合には、図11(c)のグラフとの間に差異が見られる。

[0110] 比較法では、隣接する標本点で生じるアンラップ位相の変動が $\pm\pi$ 以内に収まっていることを仮定しているため、隣接標本点間の真のアンラップ位相が $\pm\pi$ 以上離れる場合には、正確に位相アンラップを行うことができない。このことは、図12(c)で実際に確かめられる。図11(c)を見ると、標本間隔が0.55の場合は、隣接する2つの標本点である $x=7.7$ と $x=8.25$ におけるアンラップ位相 $\Theta(x)$ の差が π より大きいことがわかる(差は約 1.04π である)。そして、比較法によるアンラップ位相を表した図12(c)の実線は、その標本点間で図11(c)の曲線からずれている。このことから、比較法では $x=8.25$ における位相アンラップに失敗していることが確かめられる。

[0111] 一方、本実施形態の信号処理装置10では、図12(c)の場合であっても、各標本点におけるアンラップ位相の推定値は図11(c)の真のアンラップ位相に完全に一致しており、全体的に正しく位相アンラップを実行できていることが確かめられる。すなわち、隣接標本点間における真のアンラップ位相の差が π より大きい場合であっても、正しく位相アンラップを行うことができる。このため、信号処理装置10により出力される位相信号は、比較法による出力結果と異なり、隣接標本点間の位相差が π より大きいような標本点も含まれることがある。

[0112] 以上の数値実験の結果から、本実施形態の信号処理装置10では、入力信号列の標本間隔を十分小さくしておけば、入力信号列がスプライン関数によって十分な精度で近似され、位相アンラップが成功することがわかる。

[0113] ところで、本実施形態の信号処理装置10は、PC(Personal

Computer)等の汎用のコンピュータ内で実現するとよい。最後に、このような汎用のコンピュータのハードウェア構成について説明する。

[0114] 図13は、コンピュータ90のハードウェア構成を示した図である。図示するように、コンピュータ90は、プロセッサ91と、メインメモリ92と、記憶装置93と、通信インタフェース94と、表示機構95と、入力インタフェース96とを備える。プロセッサ91は、記憶装置93に記憶されるプログラムを実行することにより、上述した各機能を実現する。メインメモリ92は、プロセッサ91が実行中のプログラムや、そのプログラムにより一時的に使用されるデータ等を記憶する。記憶装置93は、プロセッサ91が実行するプログラムやそのプログラムに関する入出力データ等を記憶する。通信インタフェース94は、外部装置との間でデータの送受信を行う。表示機構95は、ビデオメモリやディスプレイ等を含み、ユーザにデータ等を表示する。入力インタフェース96は、キーボードやマウス等を含み、ユーザからの入力操作を受け付ける。

[0115] なお、図3を用いて説明した信号処理装置10の各機能部は、図13に示すプロセッサ91がプログラムを記憶装置93からメインメモリ92に読み込んで実行することにより実現される。また、関数格納部14は、例えば図13に示すメインメモリ92により実現される。

[0116] なお、本実施形態を実現するプログラムは、通信手段により提供してもよいし、CD-ROM等の記録媒体に格納して提供してもよい。

符号の説明

- [0117]
- | | |
|----|----------|
| 10 | 信号処理装置 |
| 11 | 信号取得部 |
| 12 | 区間決定部 |
| 13 | スプライン算出部 |
| 14 | 関数格納部 |
| 15 | 多項式列算出部 |
| 16 | 数列生成部 |

- 1 7 符号カウント部
- 1 8 アンラップ処理部
- 1 9 信号出力部

請求の範囲

[請求項1]

1組の信号列を取得する信号取得部と、

前記信号取得部により取得された前記1組の信号列のそれぞれを複数の区間ごとに多項式で近似した区分的多項式である第1の関数および第2の関数を算出する第1の算出部と、

前記複数の区間のそれぞれにおいて、前記第1の算出部が算出した前記第1の関数と前記第2の関数にユークリッドの互除法を適用することにより得られる多項式剰余列に当該区間内のいずれかの点を代入した値の数列を算出する第2の算出部と、

前記第2の算出部により算出された前記数列の各項の符号に基づいて、前記いずれかの点における前記1組の信号列の位相を決定する位相決定部と、

前記複数の区間のそれぞれにおいて前記位相決定部により決定された位相の信号列を出力する信号出力部と
を備える信号処理装置。

[請求項2]

前記位相決定部が、前記数列内の隣接する2項間で当該数列の値の符号が変化した回数に基づいて、前記いずれかの点における前記1組の信号列の位相がもつ π の整数倍の不定部分の値を決定する、請求項1に記載の信号処理装置。

[請求項3]

前記第1の算出部が、前記1組の信号列のそれぞれについて、当該信号列の各標本点を通過し、かつ隣り合う区間の多項式同士が滑らかに連続する区分的多項式を算出する、請求項1または2に記載の信号処理装置。

[請求項4]

前記第2の算出部が、前記複数の区間のそれぞれにおいて、前記第1の関数と前記第2の関数に関する終結式行列の小行列である複数の部分終結式行列の行列式に基づいて、前記多項式剰余列から得られる前記数列に代えて、当該数列の各項を正の定数倍した数列を算出する、請求項1から3のいずれか1項に記載の信号処理装置。

[請求項5] 前記位相決定部が位相を決定した点の中に位相差が π より大きい隣接する2点が含まれる位相の信号列を、前記信号出力部が出力する、請求項1から4のいずれか1項に記載の信号処理装置。

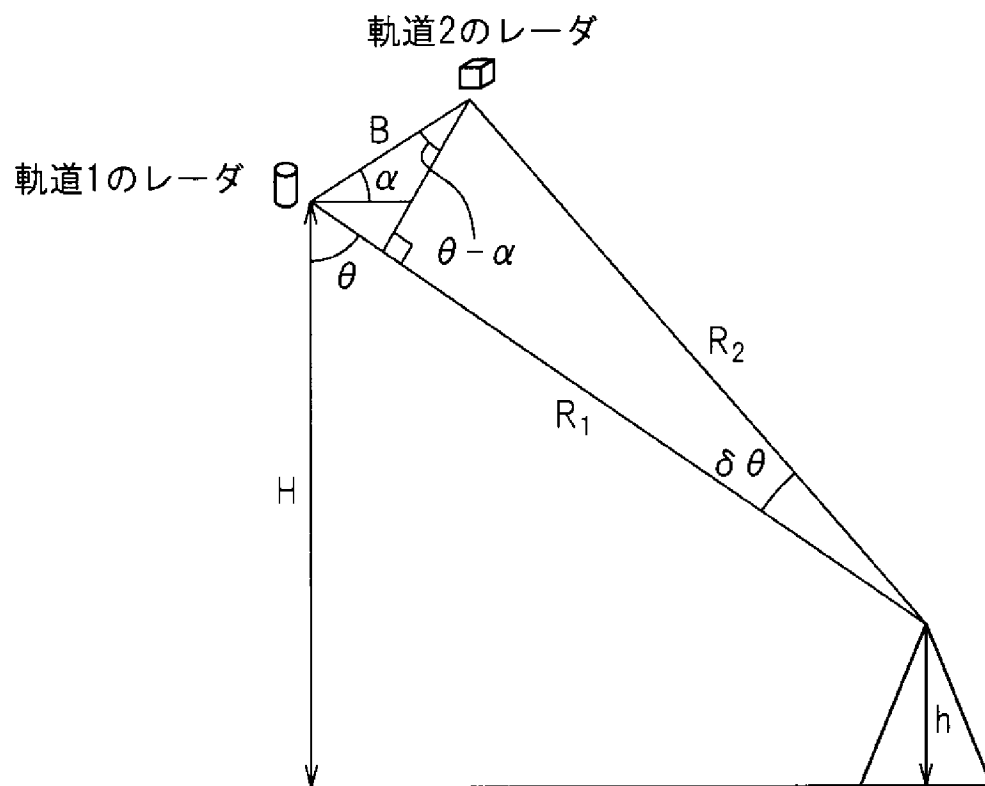
[請求項6] 1組の信号列を取得するステップと、
取得された前記1組の信号列のそれぞれを複数の区間ごとに多項式で近似した区分的多項式である第1の関数および第2の関数を算出するステップと、
前記複数の区間のそれぞれにおいて、算出された前記第1の関数と前記第2の関数にユークリッドの互除法を適用することにより得られる多項式剰余列に当該区間内のいずれかの点を代入した値の数列を算出するステップと、
算出された前記数列の各項の符号に基づいて、前記いずれかの点における前記1組の信号列の位相を決定するステップと、
前記複数の区間のそれぞれにおいて決定された位相の信号列を出力するステップと
を含む信号処理方法。

[請求項7] コンピュータに、
1組の信号列を取得する機能と、
取得された前記1組の信号列のそれぞれを複数の区間ごとに多項式で近似した区分的多項式である第1の関数および第2の関数を算出する機能と、
前記複数の区間のそれぞれにおいて、算出された前記第1の関数と前記第2の関数にユークリッドの互除法を適用することにより得られる多項式剰余列に当該区間内のいずれかの点を代入した値の数列を算出する機能と、
算出された前記数列の各項の符号に基づいて、前記いずれかの点における前記1組の信号列の位相を決定する機能と、
前記複数の区間のそれぞれにおいて決定された位相の信号列を出力

する機能と
を実現させるためのプログラム。

[図1]

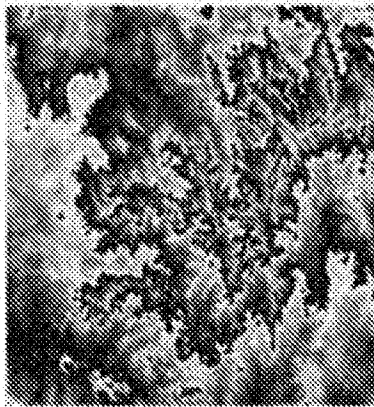
図1



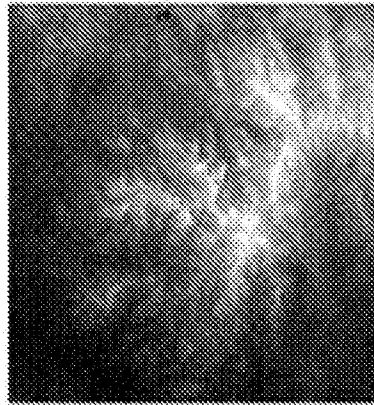
[図2]

図2

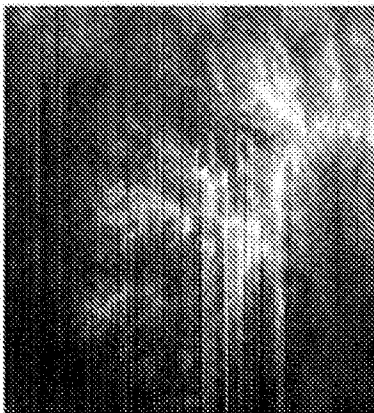
(a)



(b)

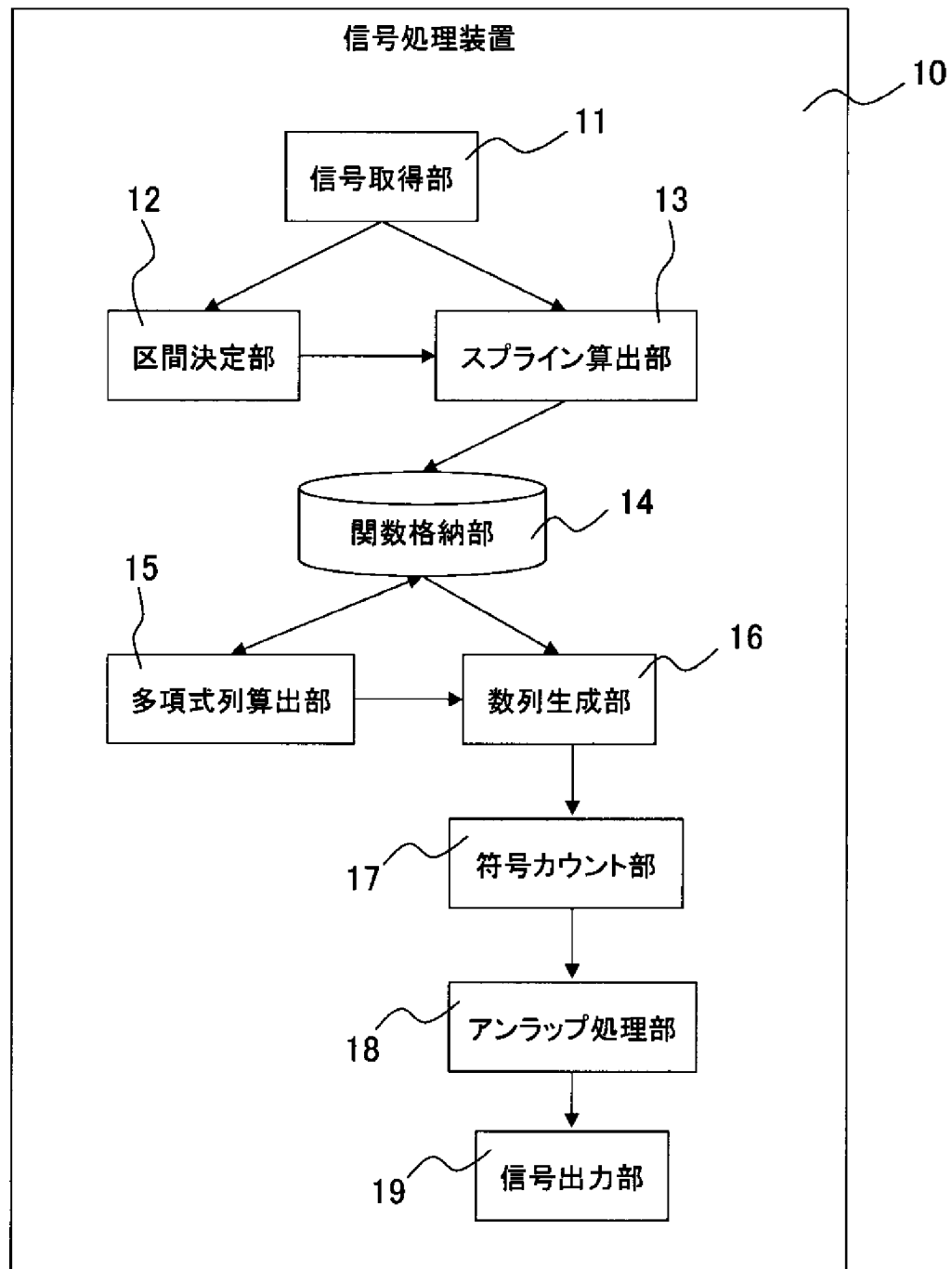


(c)



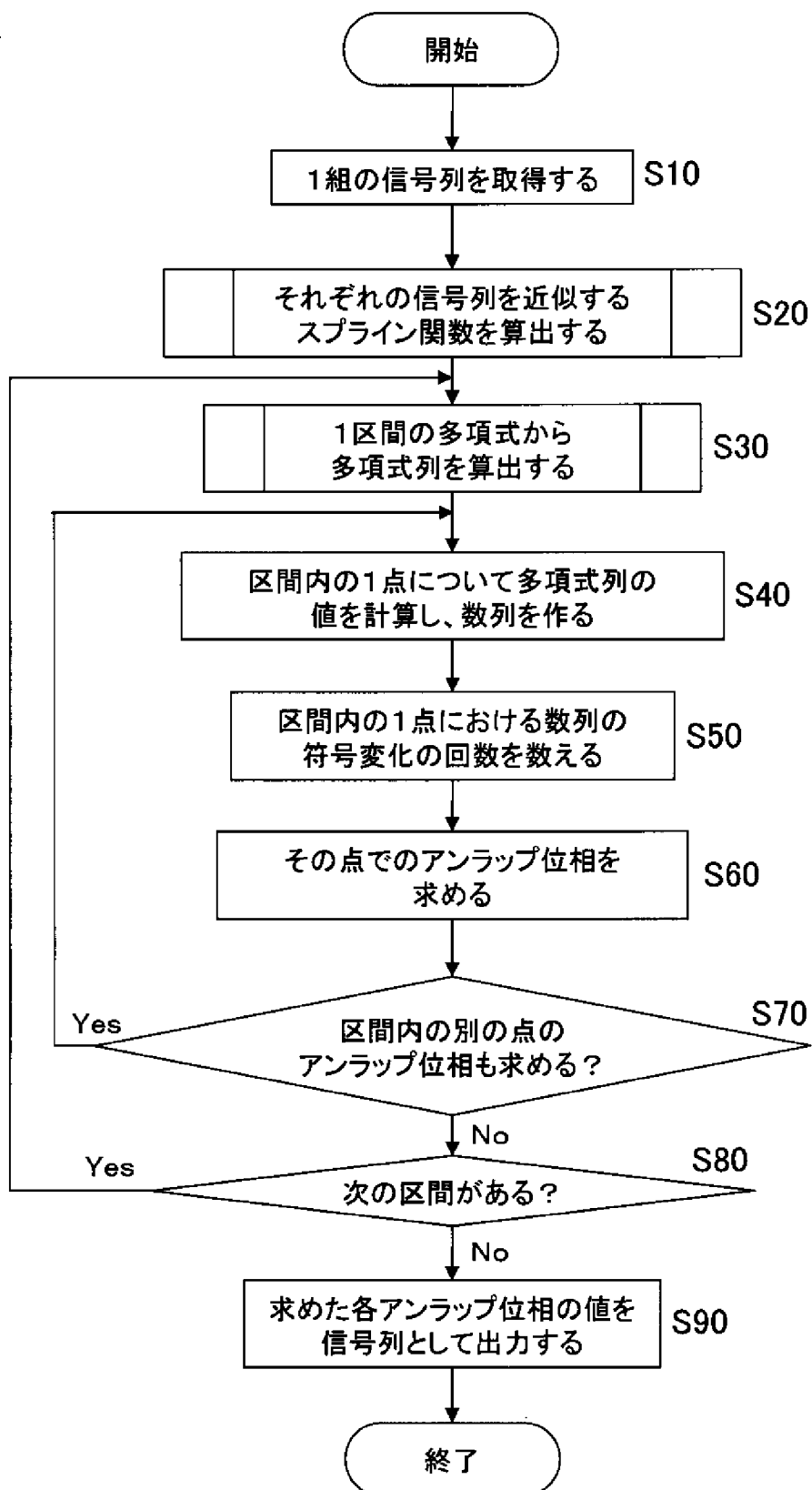
[図3]

図3



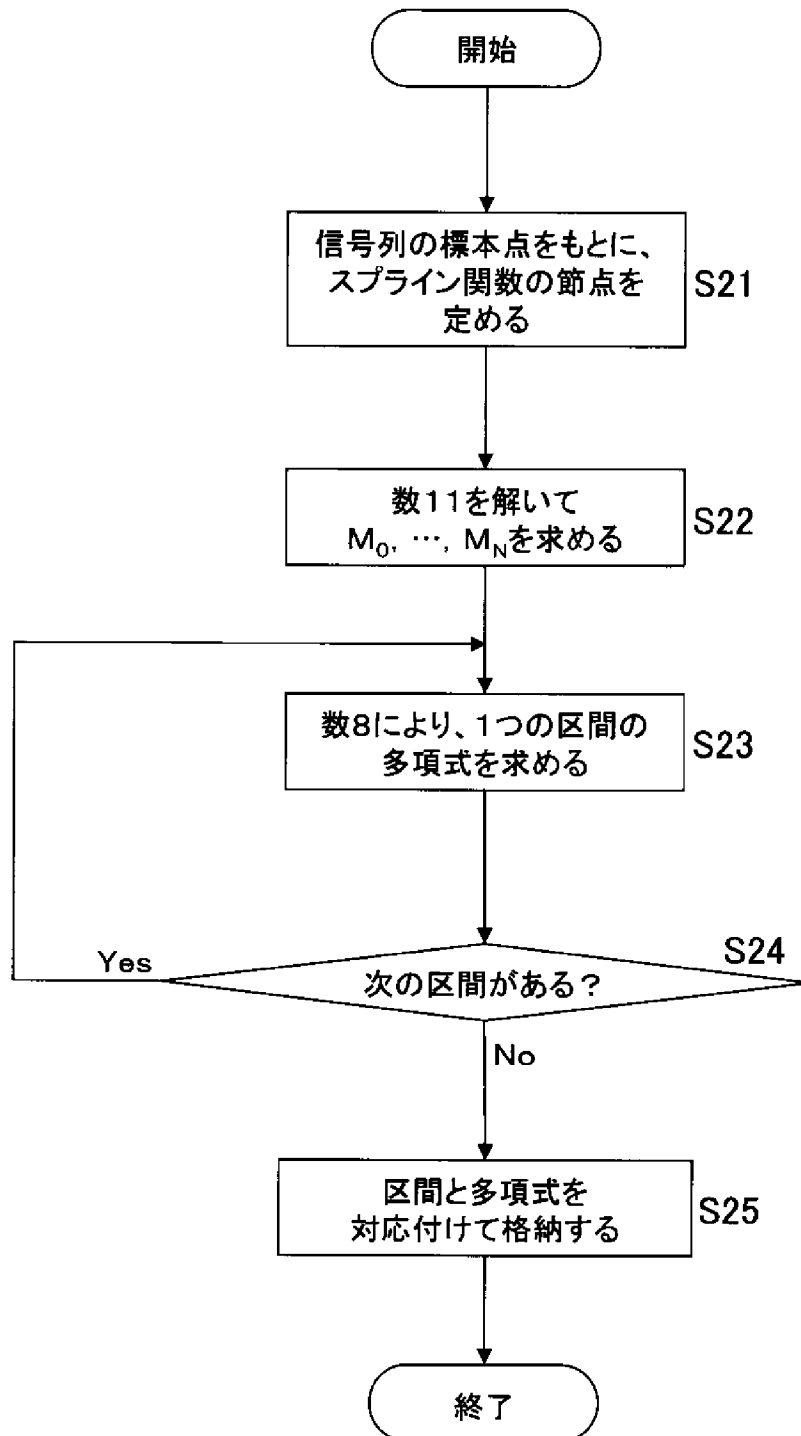
[図4]

図4



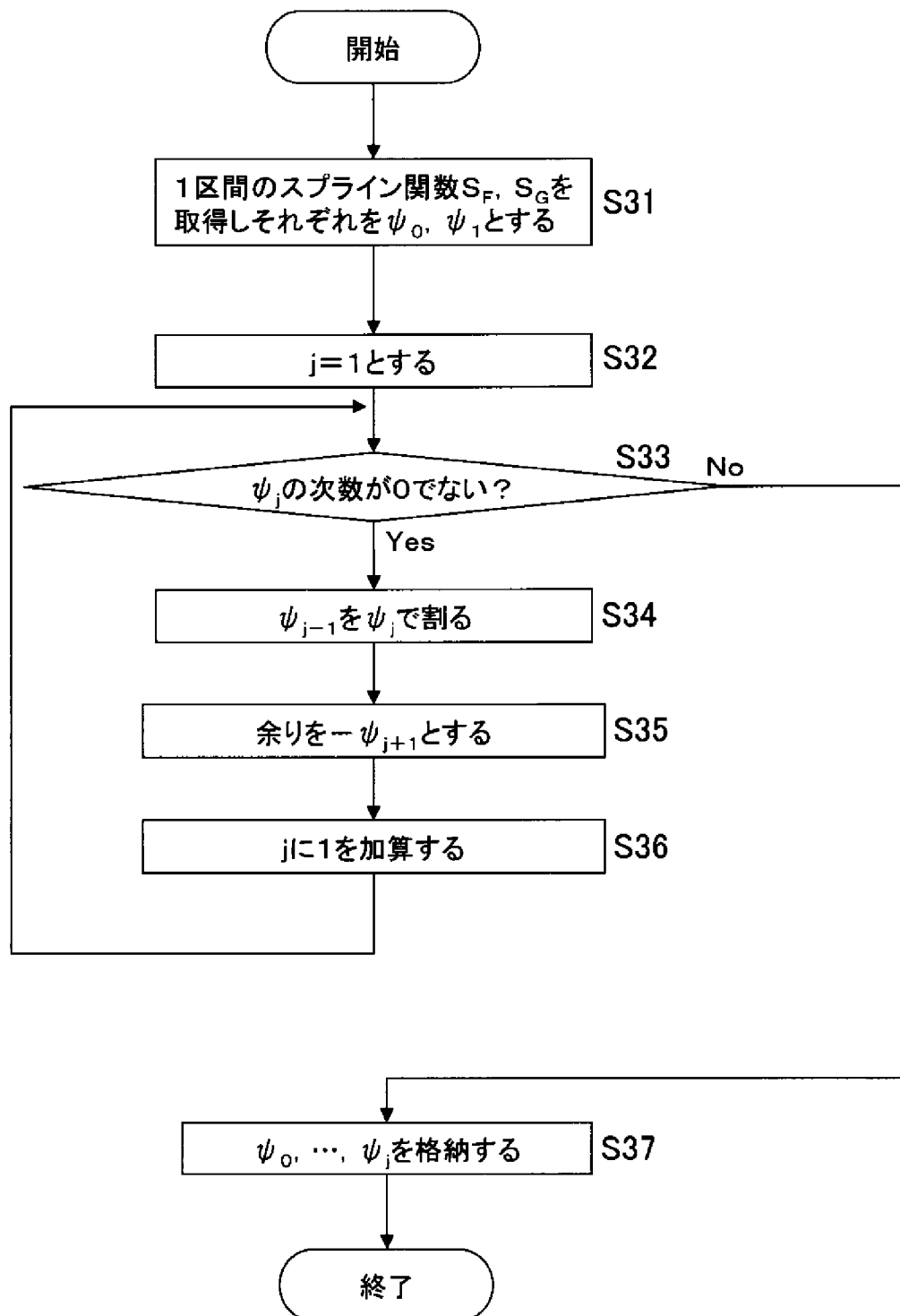
[図5]

図5



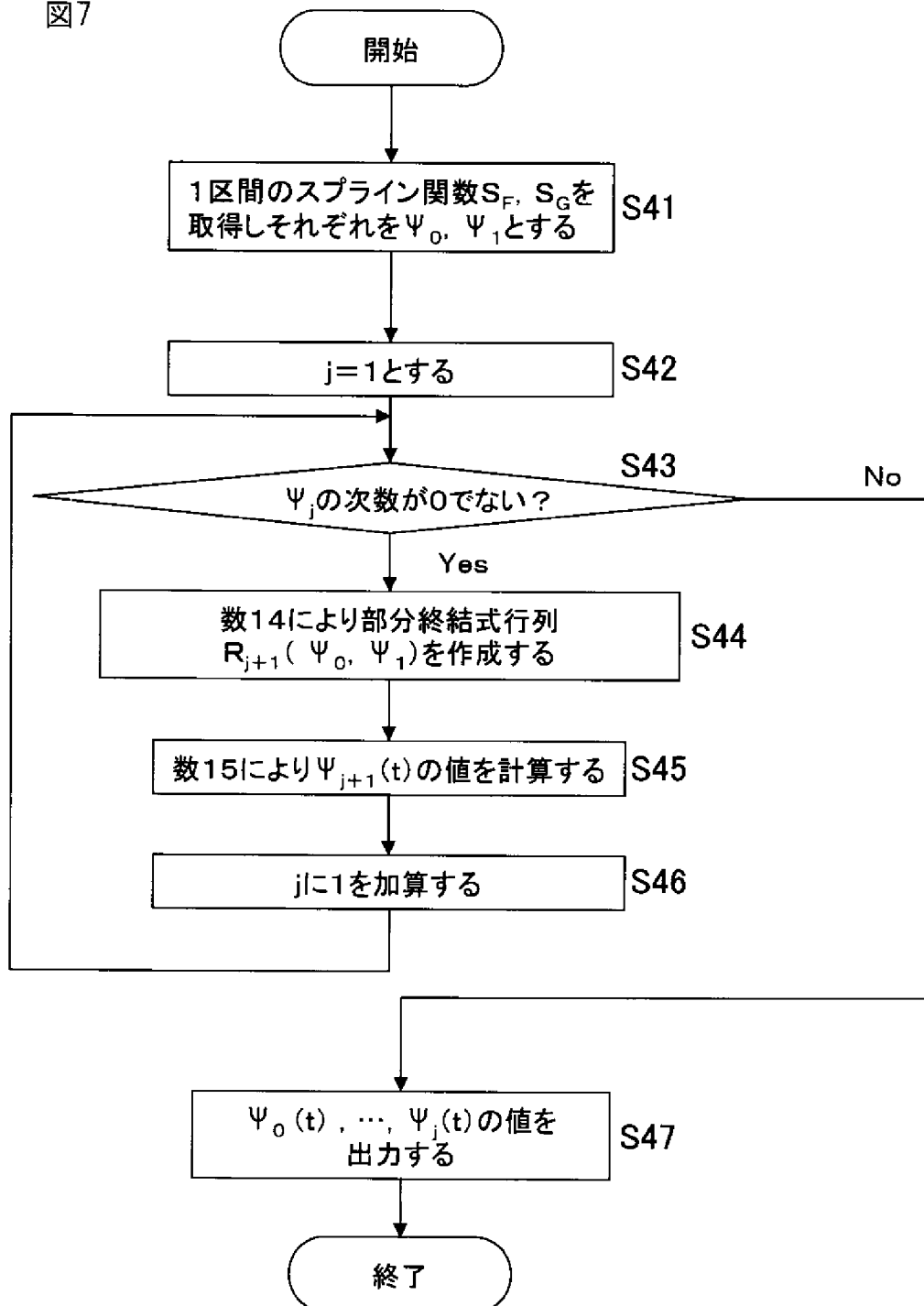
[図6]

図6



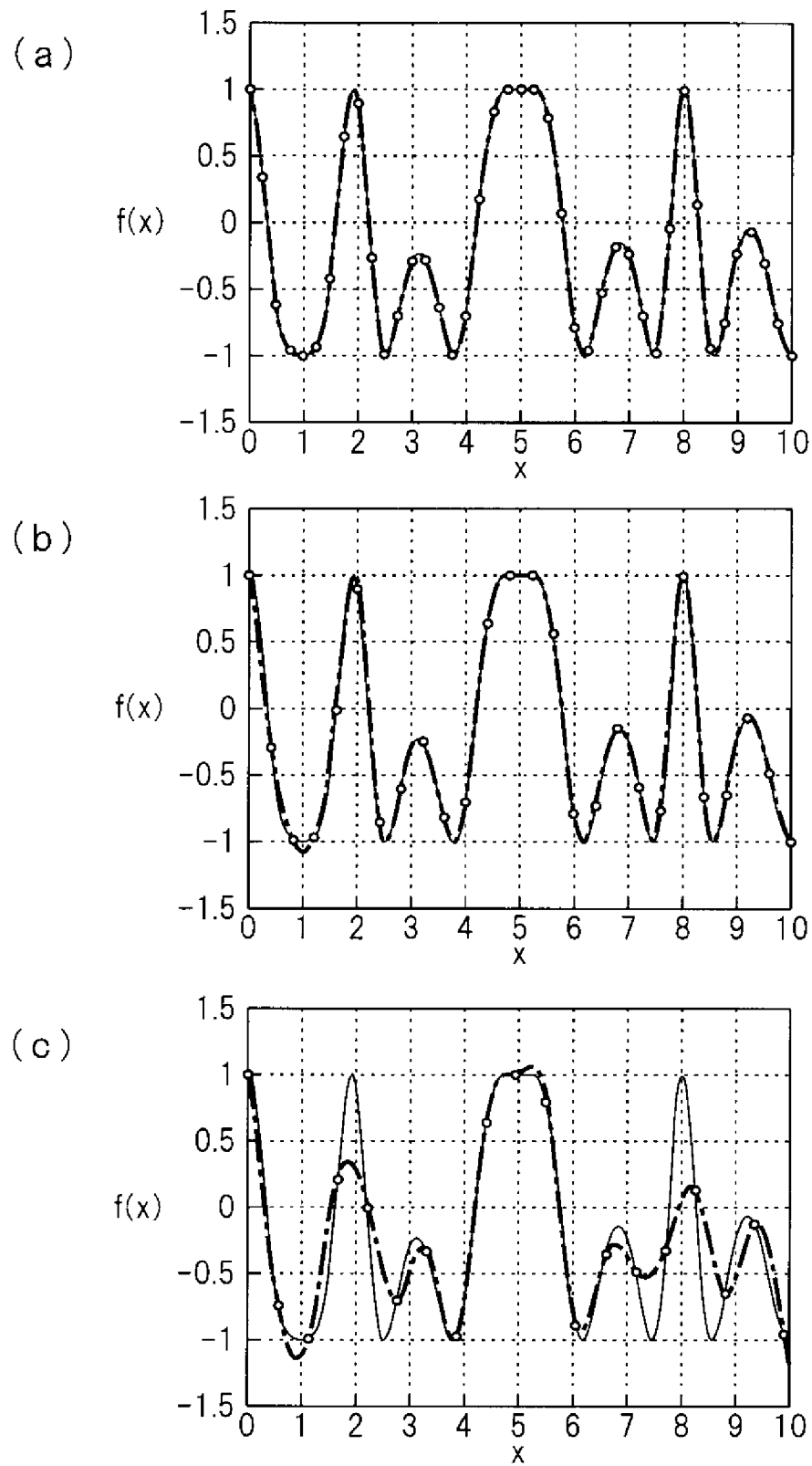
[図7]

図7



[図8]

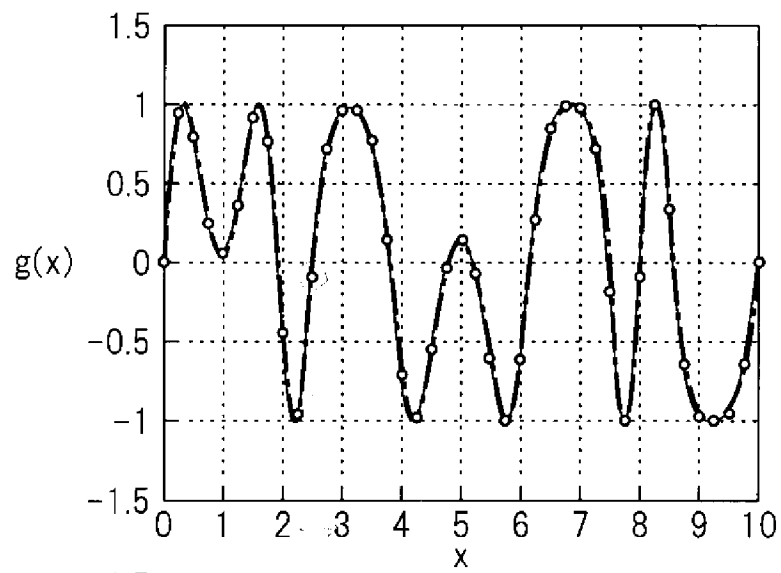
図8



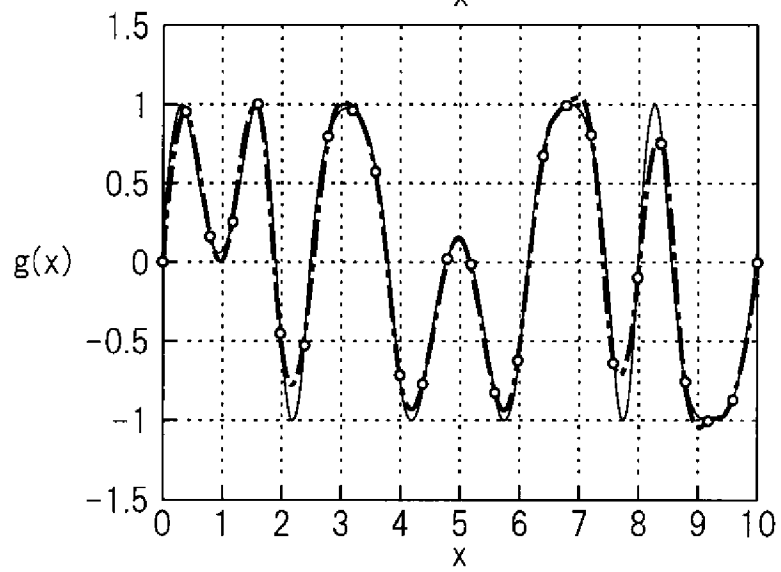
[図9]

図9

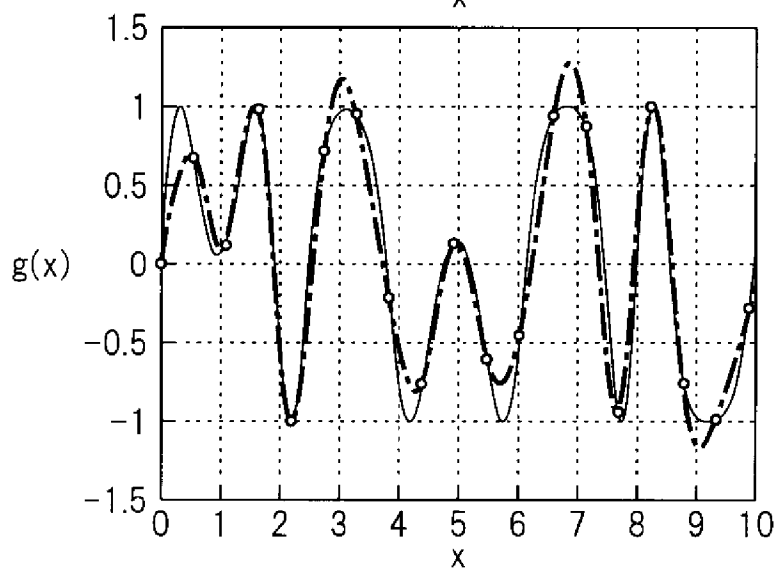
(a)



(b)



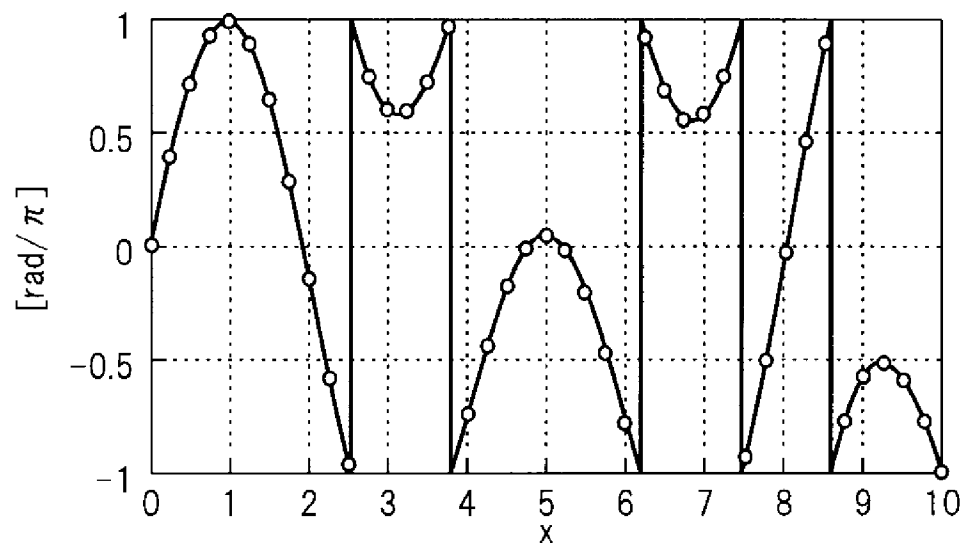
(c)



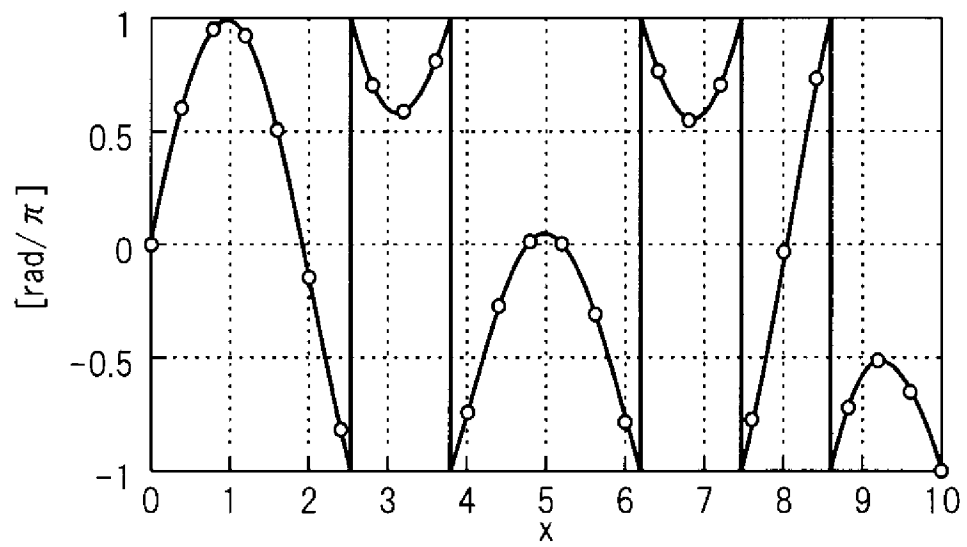
[図10]

図10

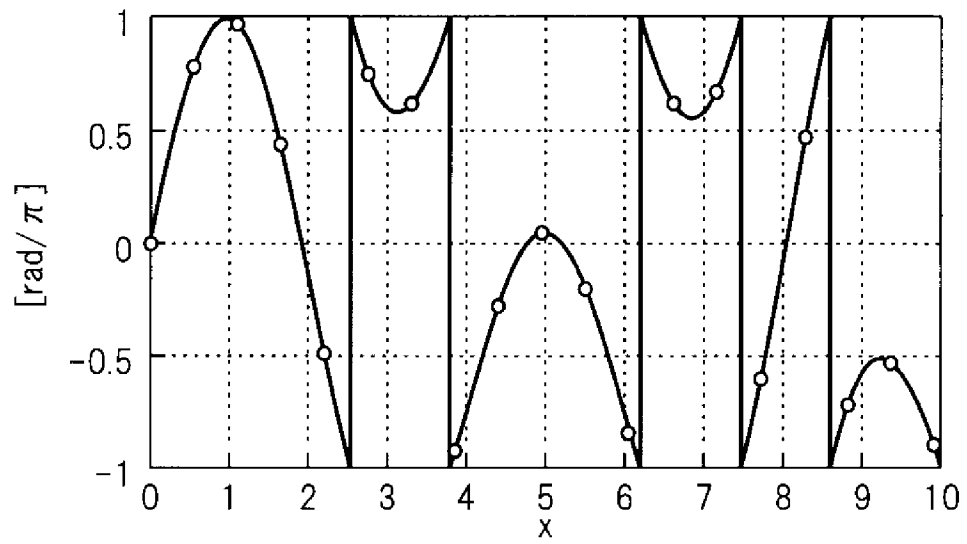
(a)



(b)



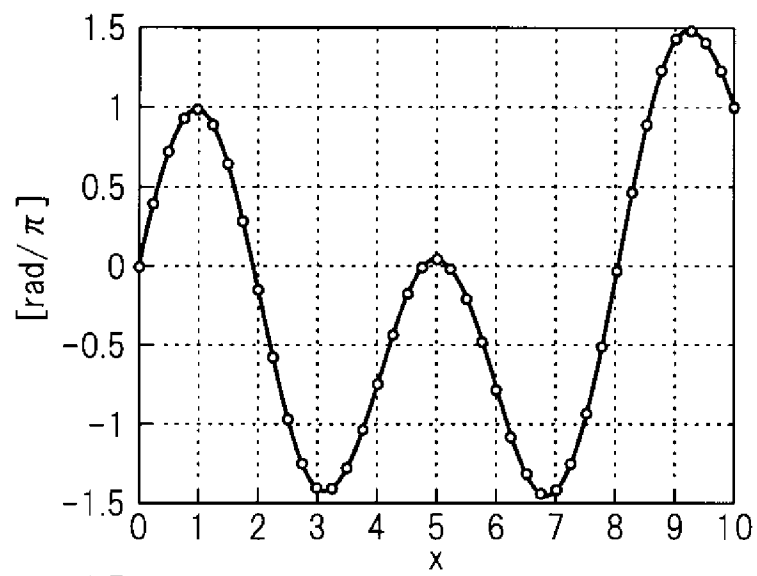
(c)



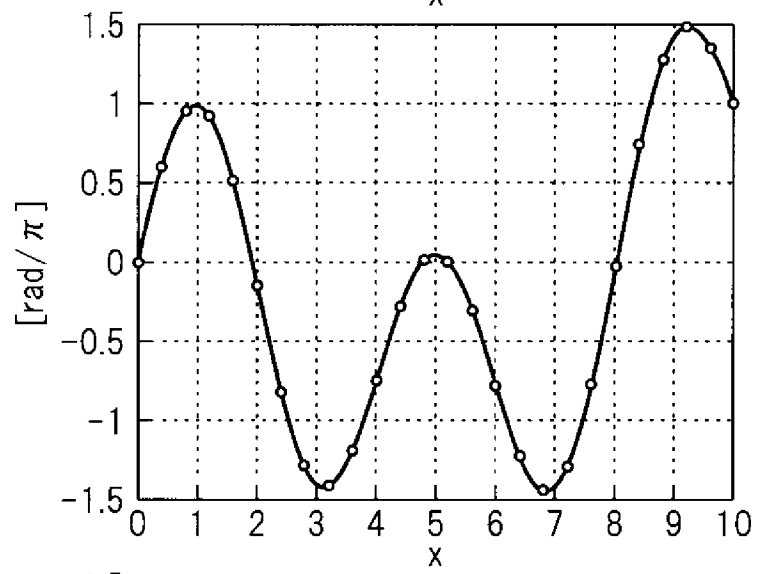
[図11]

図11

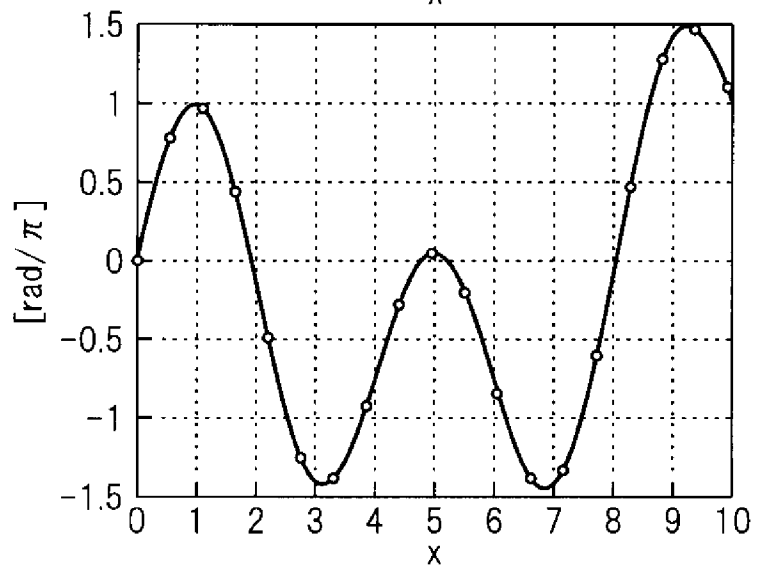
(a)



(b)



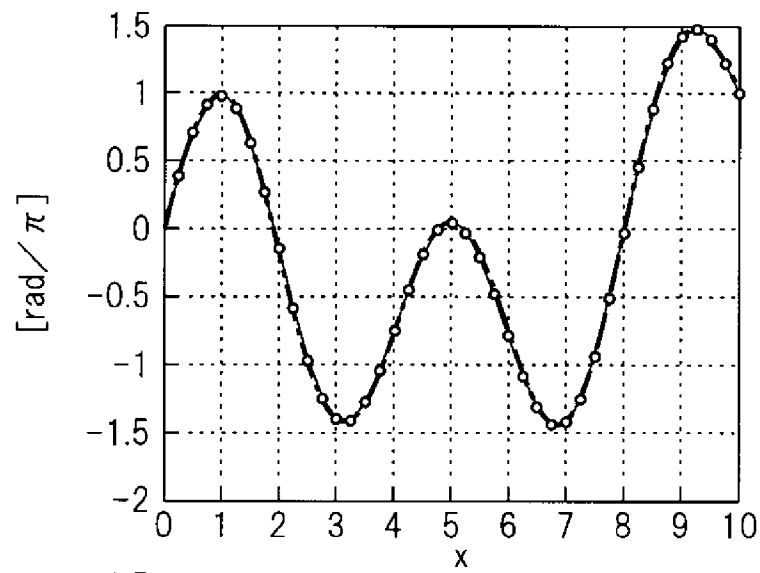
(c)



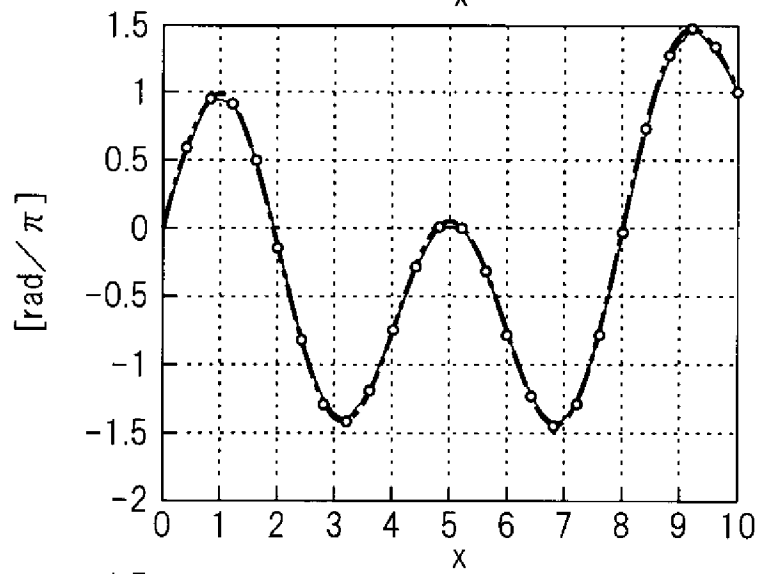
[図12]

図12

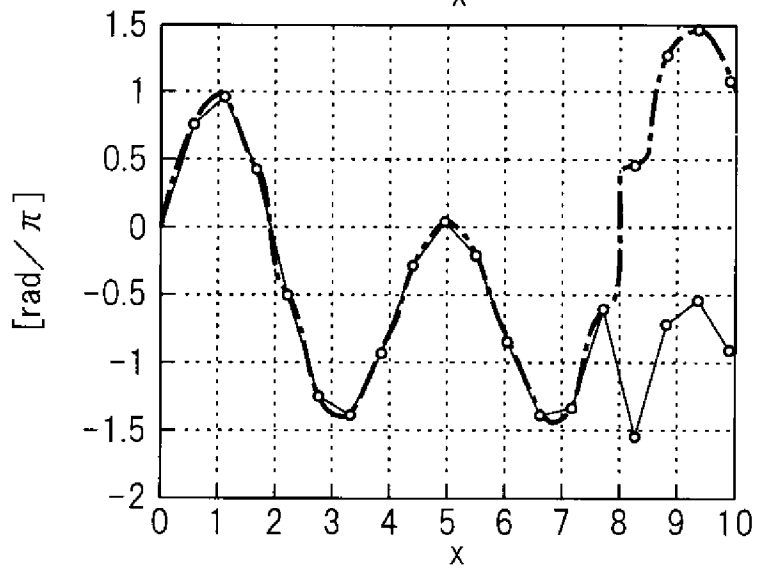
(a)



(b)

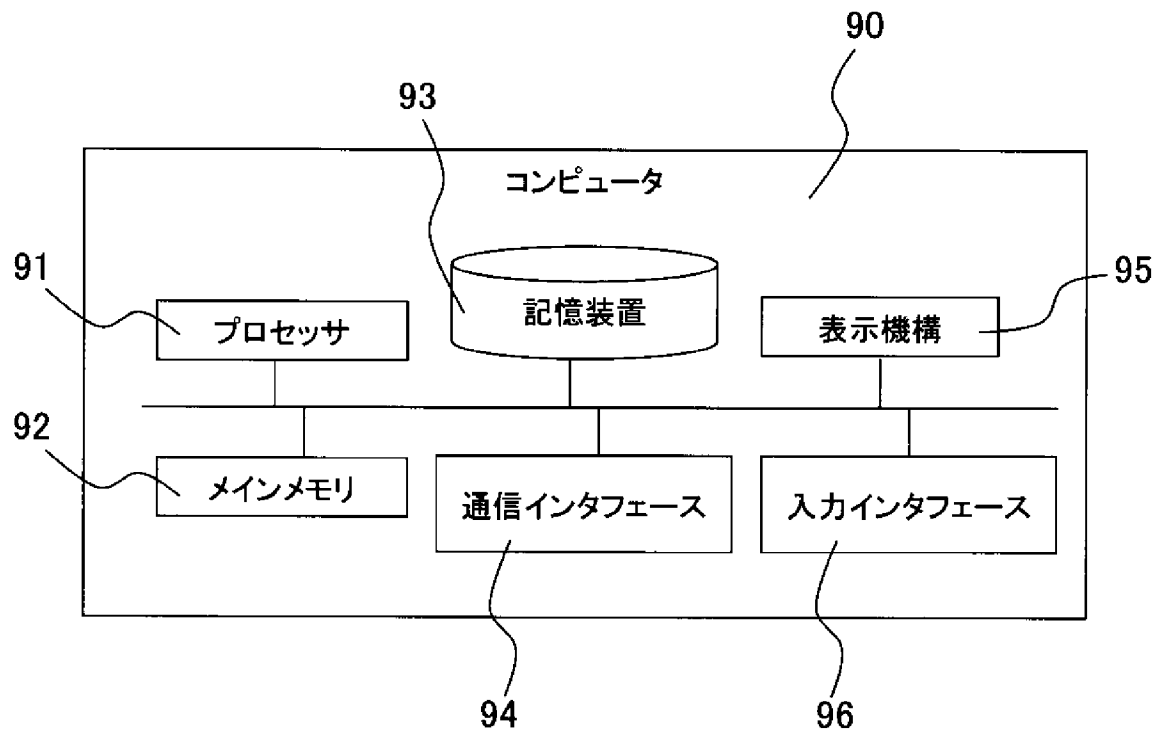


(c)



[図13]

図13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/054596

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S13/90 (2006.01) i, A61B5/055 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S13/90, A61B5/055

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-333583 A (Mitsubishi Electric Corp.), 27 December 2007 (27.12.2007), abstract; claims (Family: none)	1-7
A	JP 2003-70763 A (GE Medical Systems Global Technology Co., L.L.C.), 11 March 2003 (11.03.2003), abstract; claims (Family: none)	1-7
A	JP 10-90112 A (Sony Corp.), 10 April 1998 (10.04.1998), abstract; claims (Family: none)	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 May, 2013 (15.05.13)

Date of mailing of the international search report
28 May, 2013 (28.05.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/054596

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-252331 A (Advantest Corp.), 04 November 2010 (04.11.2010), paragraphs [0029] to [0035] (Family: none)	1-7
A	JP 5-75476 A (Nippon Hoso Kyokai), 26 March 1993 (26.03.1993), entire text; all drawings (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01S13/90 (2006.01) i, A61B5/055 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01S13/90, A61B5/055

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2007-333583 A (三菱電機株式会社) 2007. 12. 27, 要約、特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2003-70763 A (ジーイー・メディカル・システムズ・グローバル・テクノロジー・カンパニー・エルエルシー) 2003. 03. 11, 要約、特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 10-90112 A (ソニー株式会社) 1998. 04. 10, 要約、特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-7

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 5 . 0 5 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 8 . 0 5 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山下 雅人

2 F

9 3 0 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 1 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-252331 A (株式会社アドバンテスト) 2010.11.04, 段落 0029-0035 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 5-75476 A (日本放送協会) 1993.03.26, 全文、全図 (ファミリ ーなし)	1-7