

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5395763号
(P5395763)

(45) 発行日 平成26年1月22日(2014.1.22)

(24) 登録日 平成25年10月25日(2013.10.25)

(51) Int.Cl.

F I

GO6N 5/04 (2006.01)

GO6N 5/04 550M

請求項の数 8 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2010-183172 (P2010-183172)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成22年8月18日 (2010.8.18)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2012-43131 (P2012-43131A)		東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(43) 公開日	平成24年3月1日 (2012.3.1)	(74) 代理人	100121706
審査請求日	平成24年11月1日 (2012.11.1)		弁理士 中尾 直樹
		(74) 代理人	100128705
			弁理士 中村 幸雄
		(74) 代理人	100147773
			弁理士 義村 宗洋
		(74) 代理人	100066153
			弁理士 草野 卓
		(72) 発明者	佐藤 尚
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位相予測装置、方法、プログラム及びその記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

観測信号を $V(t)$ とし、その観測信号 $V(t)$ に関連する信号である関連信号を $V'(t)$ とし、点 $(V(t), V'(t))$ の極座標系における偏角 $\theta(t)$ を取得する偏角取得部と、

$Sgn[\cdot]$ を \cdot の符号を出力する関数として、時刻 t の偏角 $\theta(t)$ と時刻 $t-1$ の偏角 $\theta(t-1)$ との差の絶対値 $|\theta(t) - \theta(t-1)|$ が より大である場合には $(\theta(t) - \theta(t-1)) - Sgn[\theta(t) - \theta(t-1)] \times 2$ を差分 $d(t)$ とし、その絶対値 $|\theta(t) - \theta(t-1)|$ が より大でない場合には $\theta(t) - \theta(t-1)$ を差分 $d(t)$ とする差分計算部と、

上記偏角 $\theta(t)$ 及び差分 $d(t)$ を用いて、ある時刻の偏角とその時刻よりも未来の偏角との関係性を示す予測パラメータを生成する予測パラメータ生成部と、

上記予測パラメータを用いて、上記ある時刻とは別のある時刻の偏角及び差分からその別のある時刻よりも未来の偏角を予測する予測部と、

を含む位相予測装置。

【請求項2】

請求項1の位相予測装置において、

上記予測パラメータ生成部は、

T 、 L 、 M 及び N を所定の正の整数とし、 $n = (T - n) + d(T - n + 1) + d(T - n + 2) + \dots + d(T - n + L)$ とし、 $m = 0$ のとき $(n, m) = (T$

- n)とし、 $m = 0$ でないとき $(n, m) = (n, m - 1) - d$ ($T - n - m + 1$)として、学習データセット $0, 1, \dots, n, \dots, N, (0, 0), (0, 1), \dots, (n, m), \dots, (N, M)$ を生成する学習データセット生成部と、

上記学習データセットを用いて学習を行い、上記予測パラメータを生成する学習部と、
を含み、

上記予測部は、上記予測パラメータを用いて、 (t^*) 、 $(t^*) - d$ (t^*)、 $(t^*) - d$ ($t^*) - d$ ($t^* - 1$)、 \dots 、 $(t^*) - d$ ($t^*) - d$ ($t^* - 1$) $\dots - d$ ($t^* - M + 1$)から、時刻 $t^* + L$ の偏角の予測値 $\theta'(t^* + L)$ を計算する、

ことを特徴とする位相予測装置。

10

【請求項3】

請求項1の位相予測装置において、

上記予測パラメータ生成部は、

T 、 L 、 M 及び N を所定の正の整数とし、 $n = (T - n) + d$ ($T - n + 1$) + d ($T - n + 2$) + \dots + d ($T - n + L$)とし、 $m = 0$ のとき $(n, m) = (T - n)$ とし、 $m = 0$ でないとき $(n, m) = d$ ($T - n - m + 1$)として、学習データセット $0, 1, \dots, n, \dots, N, (0, 0), (0, 1), \dots, (n, m), \dots, (N, M)$ を生成する学習データセット生成部と、

上記学習データセットを用いて学習を行い、上記予測パラメータを生成する学習部と、
を含み、

20

上記予測部は、上記予測パラメータを用いて、 (t^*) 、 d (t^*)、 d ($t^* - 1$)、 \dots 、 d ($t^* - M + 1$)から、時刻 $t^* + L$ の偏角の予測値 $\theta'(t^* + L)$ を計算する、

ことを特徴とする位相予測装置。

【請求項4】

請求項1から3の何れかに記載の位相予測装置において、

上記予測部は、上記予測した偏角を2で割った余りから θ を引いて $\theta - \theta$ から θ の範囲の値にする修正部を更に含む、

ことを特徴とする位相予測装置。

30

【請求項5】

請求項1から4の何れかに記載の位相予測装置において、

上記関連信号 $V'(t)$ は、 θ を所定の正の整数として、時刻 $t - \theta$ の観測信号 $V(t - \theta)$ である、

ことを特徴とする位相予測装置。

【請求項6】

偏角取得部が、観測信号を $V(t)$ とし、その観測信号 $V(t)$ に関連する信号である関連信号を $V'(t)$ とし、点 $(V(t), V'(t))$ の極座標系における偏角 $\theta(t)$ を取得する偏角取得ステップと、

差分計算部が、 $\text{Sgn}[\cdot]$ を \cdot の符号を出力する関数として、時刻 t の偏角 $\theta(t)$ と時刻 $t - 1$ の偏角 $\theta(t - 1)$ との差の絶対値 $|\theta(t) - \theta(t - 1)|$ が θ より大である場合には $(\theta(t) - \theta(t - 1)) - \text{Sgn}[\theta(t) - \theta(t - 1)] \times 2$ を差分 d (t)とし、その絶対値 $|\theta(t) - \theta(t - 1)|$ が θ より大でない場合には $\theta(t) - \theta(t - 1)$ を差分 d (t)とする差分計算ステップと、

40

予測パラメータ生成部が、上記偏角 $\theta(t)$ 及び差分 d (t)を用いて、ある時刻の偏角とその時刻よりも未来の偏角との関係性を示す予測パラメータを生成する予測パラメータ生成ステップと、

予測部が、上記予測パラメータを用いて、上記ある時刻とは別のある時刻の偏角及び差分からその別のある時刻よりも未来の偏角を予測する予測ステップと、

を含む位相予測方法。

【請求項7】

50

請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載された位相予測装置の各部としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

【請求項 8】

請求項 7 に記載されたプログラムが記録されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、周期現象の位相を機械学習により予測する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

周期的な観測信号に対して変換をほどこして、 $-$ から $+$ の範囲に入るように規格化した位相を利用することが行われている（例えば、非特許文献 1 参照。）。この位相を、時間的に逐次予測することによって様々な応用の可能性が広がると考えられる。

【0003】

特に、呼吸のように周期的な現象であるに関わらず非線形的な要素の強い現象では、観測信号に直接基づいて学習及び予測を行うよりも、観測信号を $-$ から $+$ の範囲の位相に変換してその変換された位相に基づいて学習及び予測を行う方が、予測の精度が高くなる可能性が高い。

【0004】

なお、このように、 $-$ から $+$ の範囲の位相に変換してその変換された位相に基づいて時系列学習及び時系列予測を行う技術は公知となっていない。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】蔵本由紀（編），「非線形・非平衡現象の数理 1 リズム現象の世界」，第 2 刷，東京大学出版会，2008 年 10 月 21 日，p. 60 - p. 65

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

観測信号を $-$ から $+$ の範囲の位相に変換した場合には、 $-$ から $+$ に不連続に位相が変化することがある。例えば、位相が単調増加する場合には、単調増加により $+$ になった位相は、 $-$ から $+$ にジャンプして $-$ から単調増加する。

【0007】

このように値域の最大値から値域の最小値に移行する位相に基づいて学習及び予測を行うと、予測の精度が必ずしも高くないという問題があった。

【0008】

この発明の課題は、より精度が高い位相予測装置、方法、プログラム及び記録媒体を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記の課題を解決するために、観測信号を $V(t)$ とし、その観測信号 $V(t)$ に関連する信号である関連信号を $V'(t)$ とし、点 $(V(t), V'(t))$ の極座標系における偏角 $\theta(t)$ を取得する。 $\text{Sgn}[\cdot]$ を \cdot の符号を出力する関数として、時刻 t の偏角 $\theta(t)$ と時刻 $t-1$ の偏角 $\theta(t-1)$ との差の絶対値 $|\theta(t) - \theta(t-1)|$ がより大である場合には $(\theta(t) - \theta(t-1)) - \text{Sgn}[\theta(t) - \theta(t-1)] \times 2$ を差分 $d(t)$ とし、その絶対値 $|\theta(t) - \theta(t-1)|$ がより大でない場合には $(\theta(t) - \theta(t-1))$ を差分 $d(t)$ とする。偏角 $\theta(t)$ 及び差分 $d(t)$ を用いて、ある時刻の偏角とその時刻よりも未来の偏角との関係性を示す予測パラメータを生成する。予測パラメータを用いて、上記ある時刻とは別のある時刻の偏角及び差分からその別のある時刻よりも未来の偏角を予測する。

10

20

30

40

50

【発明の効果】

【0010】

位相の予測の精度がより高くなる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】位相予測装置の例の機能ブロック図。

【図2】位相予測方法の例を示す流れ図。

【図3】ステップS61の例を示す流れ図。

【図4】偏角 $\theta(t)$ を説明するための図。

【図5】差分 $d(t)$ を説明するための図。

10

【図6】教師データ及び入力データを例示する図。

【図7】教師データ及び入力データを例示する図。

【図8】実験結果を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、この発明の一実施形態について、詳細に説明する。

【0013】

位相予測装置は、図1に示すように、偏角取得部1、差分計算部2、予測パラメータ生成部3、予測部4、修正部5及び制御部6を例えば含む。

【0014】

20

制御部6は、 t に0を代入する(ステップS1、図2)。

【0015】

偏角取得部1は、入力された観測信号を $-$ から $+$ の範囲の偏角に変換する。例えば図4に示すように、時刻 t の観測信号 $V(t)$ を x 成分とし、その観測信号 $V(t)$ に関連する信号である関連信号 $V'(t)$ を y 成分とする点 $(V(t), V'(t))$ の極座標系における偏角 $\theta(t)$ を、時刻 t の観測信号 $V(t)$ に対応する時刻 t の偏角 $\theta(t)$ とする(ステップS2)。偏角 $\theta(t)$ についての情報は、差分計算部2に送られる。

【0016】

例えば、関連信号 $V'(t)$ は、時刻 $t - \tau$ の観測信号 $V(t - \tau)$ である。 τ は、遅延幅を表す所定の正の整数である。 τ は、想定される周期よりも短くなるように設定される。観測信号 $V(t - \tau)$ は、観測信号 $V(t)$ を時間遅延フィルタに通すことで例えば得られる。

30

【0017】

また、関連信号 $V'(t)$ は、観測信号 $V(t)$ をヒルベルト変換により半位相遅れさせた信号であってもよい。また、関連信号 $V'(t)$ は、観測信号 $V(t)$ を時間微分した信号であってもよい。さらに、関連信号 $V'(t)$ は、観測信号 $V(t)$ に差分フィルタを適用した結果 $(V(t) - V(t - 1))$ であってもよい。

【0018】

制御部6は、 $t = 0$ であるか判定する(ステップS3)。 $t = 0$ ではない場合、すなわち偏角 $\theta(t)$ が2回以上計算されている場合には、ステップS4に進む。 $t = 0$ であれば、制御部6は、 t を1だけインクリメントして、ステップS2に進む。

40

【0019】

差分計算部2は、時刻 t の偏角 $\theta(t)$ と時刻 $t - 1$ の偏角 $\theta(t - 1)$ との差の絶対値 $|\theta(t) - \theta(t - 1)|$ がより大である場合には $(\theta(t) - \theta(t - 1)) - \text{Sgn}[\theta(t) - \theta(t - 1)] \times 2$ を差分 $d(t)$ とし、その絶対値 $|\theta(t) - \theta(t - 1)|$ がより大でない場合には $(\theta(t) - \theta(t - 1))$ を差分 $d(t)$ とする(ステップS4)。 $\text{Sgn}[\cdot]$ は、 \cdot の符号を出力する関数である。差分 $d(t)$ は、予測パラメータ生成部3に送られる。

【0020】

図5に示す例では、 $(k - 7) - (k - 8)$ はより大でないため、 $(k - 7)$

50

- $(k-8)$ を $d(k-7)$ とする。一方、 $(k) - (k-1)$ が より大であるため、 $(k) - (k-1)$ を $\text{Sgn}[(t) - (t-1)] \times 2$ だけシフトした値を $d(k)$ とする。

【0021】

(t) から、このようにして計算された $d(t)$ を減算することにより、- から の範囲から外れるが、 (t) と不連続にならない $'(t-1) = (t) - d(t)$ を求めることができる。図5の例では、黒丸 で示した $(k-1)$ の実際の値ではなく、黒丸 の $(k-1)$ の値を -2 シフトした白丸 の $'(k-1)$ の値に基づいて学習を行うことになる。このように、不連続とならない偏角 (t) 及び差分 $d(t)$ に基づいて学習を行うことにより、予測の精度が増す。

10

【0022】

ここで、不連続とは、位相の値域の最大値から最小値に移行すること、又は、値域の最小値から最大値に移行することを意味する。離散サンプリングの場合は、位相が最大値、最小値を取らないことが多いが、サンプル間隔がナイキスト周波数を十分満たしている場合には、このように連続する2つの偏角 $(t-1)$, (t) が例えば 以上変化した場合に、不連続と判断しても実用上問題は生じない。

【0023】

制御部6は、 $d(t)$ が $T+L$ 個生成されたか判定する(ステップS5)。 $T+L$ 個生成されている場合には、ステップS6に進む。 $T+L$ 個生成されていない場合には、制御部6は、 t を1だけインクリメントして、ステップS2に進む。

20

【0024】

予測パラメータ生成部3は、偏角 (t) 及び差分 $d(t)$ を用いて、ある時刻の偏角とその時刻よりも未来の偏角との関係性を示す予測パラメータを生成する(ステップS6)。

【0025】

予測パラメータ生成部3は、図1に示すように、学習データセット生成部31及び学習部32を例えば含む。

【0026】

学習データセット生成部31は、学習データセット $0, 1, \dots, n, \dots, N$, $(0, 0), (0, 1), \dots, (n, m), \dots, (N, M)$ を生成する(ステップS61)。ここで、 T, L, M 及び N は所定の正の整数であり、 $n = (T-n) + d(T-n+1) + d(T-n+2) + \dots + d(T-n+L)$ であり、 $m=0$ のとき $(n, m) = (T-n)$ であり、 $m \neq 0$ でないとき $(n, m) = (n, m-1) - d(T-n-m+1)$ である。

30

【0027】

N は学習に用いるデータ数であり、 M は予測に用いる過去時系列の長さであり、 L は予測する未来のサンプル点の幅であり、 T は学習を行う際の起点となるサンプル位置を表す。 T は、 $(m$ の階差) $\times M + (n$ の階差) $\times N$ 以上の値とする。

【0028】

$L=2, M=2, N=1$ の場合の学習データセットの例を、図6及び図7に示す。この例では、学習データセットは、入力データと教師データの組で構成される。 $n=0$ のときは (T) を基準とする入力データ $(0, 0) = (T), (0, 1), (0, 2)$ に対応する教師データが 0 となる。 $n=0$ のときの入力データを四角 で示し、教師データを破線の四角で示す。また、 $n=1$ のときは $(T-1)$ を基準とする入力データ $(1, 0) = (T-1), (1, 1), (1, 2)$ に対応する教師データが 1 となる。 $n=1$ のときの入力データを丸 で示し、教師データを破線の丸で示す。

40

【0029】

$d(t)$ を上記のように定義することにより、入力データと教師データの組はその基準点を通る曲線上に位置することになる。 $n=0$ のときは、 $d(t)$ の定義により、 $(T-1)$ 及び $(T-2)$ を -2 だけシフトさせた点がそれぞれ $(0, 1)$ 及び

50

(0, 2)となり、入力データ (0, 0), (0, 1), (0, 2)と教師データ 0は曲線L0上に位置することになる。n = 1のときは、d (t)の定義により、(T + 1)を+2だけシフトさせた点が1となり、入力データ(1, 0), (1, 1), (1, 2)と教師データ1は曲線L1上に位置することになる。このように、同一曲線上に位置する入力データと教師データの組に基づいて学習を行うことにより、すなわち不連続とならない偏角 (t)及び差分d (t)に基づいて学習を行うことにより、予測の精度が増す。

【0030】

ステップS61は、例えば図3に示すステップS611からステップS619により行われる。

10

【0031】

学習部32は、学習データセット 0, 1, ..., n, ..., N, (0, 0), (0, 1), ..., (n, m), ..., (N, M)を用いて学習を行い、予測パラメータを生成する(ステップS62)。例えば、ニューラルネットワーク、最小二乗法、カルマンフィルタ、参考文献1に記載された非定常時系列予測方法等の学習アルゴリズムを用いて学習が行われる。もちろん、他の学習方法を用いて学習を行ってもよい。生成される予測パラメータは、用いる学習アルゴリズムによって異なる。予測パラメータは、ある時刻の偏角とその時刻よりも未来の偏角との関係性を示し、後述する予測部4がそれを用いて未来の偏角を予測可能であれば、どのようなものでもよい。

【0032】

20

[参考文献1]北川源四郎(著),「時系列解析入門」,岩波書店,2005年2月

予測部4は、予測パラメータを用いて、上記ある時刻とは別のある時刻の偏角及び差分からその別のある時刻よりも未来の偏角を予測する(ステップS7)。予測された未来の偏角の予測値は、修正部5に送られる。

【0033】

予測パラメータを生成するために用いたデータセットが、0, 1, ..., n, ..., N, (0, 0), (0, 1), ..., (n, m), ..., (N, M)である場合には、予測部4は、上記予測パラメータを用いて、(t*), (t*) - d (t*), (t*) - d (t*) - d (t* - 1), ..., (t*) - d (t*) - d (t* - 1) ... - d (t* - M + 1)から、時刻t* + Lの偏角の予測値 (t* + L)を計算する。t*は、任意の時刻である。

30

【0034】

修正部5は、予測された未来の偏角の予測値を2で割った余りからを引いて-から の範囲の値にする(ステップS8)。

【0035】

[変形例等]

学習データセット生成部31は、上記のデータセットに代えて、m = 0のとき (n, m) = (T - n)とし、m = 0でないとき (n, m) = d (T - n - m + 1)として、学習データセット 0, 1, ..., n, ..., N, (0, 0), (0, 1), ..., (n, m), ..., (N, M)を生成してもよい。T, L, M及びN、nについては上記と同じである。すなわち、図3のステップS615において、(n, m)にd (T - n - m + 1)を代入する点のみが異なる。

40

【0036】

この場合、予測部4は、(t*), d (t*), d (t* - 1), ..., d (t* - M + 1)から、時刻t* + Lの偏角の予測値 (t* + L)を計算する。

【0037】

このように、絶対的な情報である (n, 0)をただ1つのみを保持して、そこから相対的な情報 (n, m) (m > 0)を用いて不連続性をなくした偏角の値を表現してもよい。これにより、計算回数を減らすことができる。

【0038】

50

上記の例では、 n 、 m ともに階差として1を用いる例を示したが、階差として1以外の自然数、例えば2、3を用いてもよい。

【0039】

位相予測装置は、コンピュータによって実現することができる。この場合、位相予測装置の各部はプログラムによって記述される。そして、このプログラムをコンピュータで実行することにより、位相予測装置の各部が、コンピュータ上で実現される。

【0040】

このプログラムは、コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録しておくことができる。また、この形態では、コンピュータ上で所定のプログラムを実行させることにより、これらの装置を構成することとしたが、これらの処理内容の少なくとも一部をハードウェア的に実現することとしてもよい。

10

【0041】

この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能である。

【0042】

[実験例]

上記の位相予測装置及び方法を、呼吸計測に適用した場合の結果を図8に示す。観測信号として、およそ3分の間、100Hzのサンプリングレートで計測された安静時の呼吸データを用いた。このデータは、ハイカットフィルタリングされている。最初の20秒のデータをニューラルネットワークの学習に用い、直前の2秒分のデータから500ms先の位相を予測した場合を、次の(1)から(3)の方法のそれぞれについてニューロン数を変えて検証した。

20

【0043】

(1) 観測信号から直接推定：すなわち、観測信号をそのまま入力データ及び教師データとして、ニューラルネットワークに学習させる。直前時系列の入力により出力された予測値から位相を予測する。この場合の平均予測誤差を、図8の三角の線で示す。

【0044】

(2) 位相に変換した後に推定：観測信号を位相に変換し、それを直接入力データ及び教師データとして、ニューラルネットワークに学習させる。直前時系列の入力により予測値を得る。この場合の平均予測誤差を、図8のひし形の線で示す。

30

【0045】

(3) 修正された位相：観測信号を位相に変換し、そこから上記の位相予測装置及び方法で説明したのと同様の処理により不連続性の除去を行った入力データ及び教師データを用意する。これをニューラルネットワークに学習させる。直前時系列の入力により出力された予測値を位相の値域内の値に戻す。この場合の平均予測誤差を、図8の四角の線で示す。

【0046】

図8を見ると、(3)の場合に平均予測誤差が最も小さくなることがわかる。

【符号の説明】

【0047】

- 1 偏角取得部
- 2 差分計算部
- 3 予測パラメータ生成部
- 3 1 学習データセット生成部
- 3 2 学習部
- 4 予測部
- 5 修正部

40

【図1】

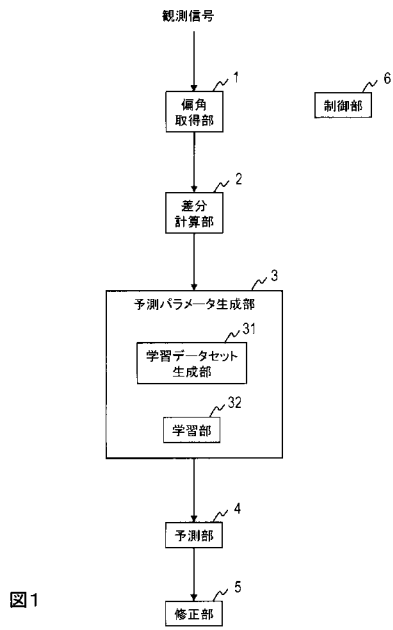


図1

【図2】

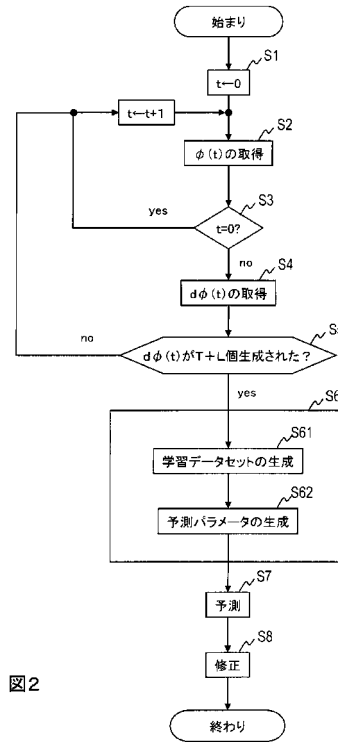


図2

【図3】

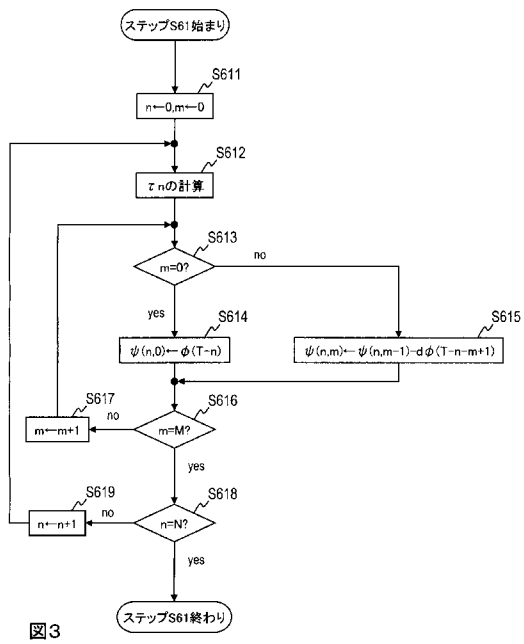


図3

【図4】

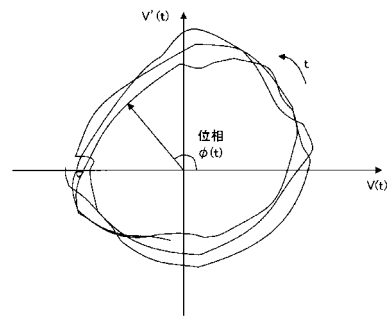


図4

【 図 5 】

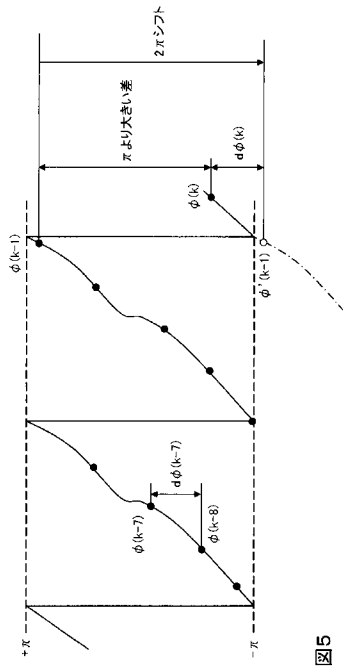


図5

【 図 6 】

	教師データ $z(n)$	入力データ $\psi(n,0), \psi(n,1), \psi(n,2)$
$n=0$	$\phi(T)+d \phi(T+1)+\phi(T+2)$	$\phi(T), \psi(0,0)-d \phi(T), \psi(0,1)-d \phi(T-1)$
$n=1$	$\phi(T-1)+d \phi(T)+\phi(T+1)$	$\phi(T-1), \psi(1,0)-d \phi(T-1), \psi(1,1)-d \phi(T-2)$

図6

【 図 7 】

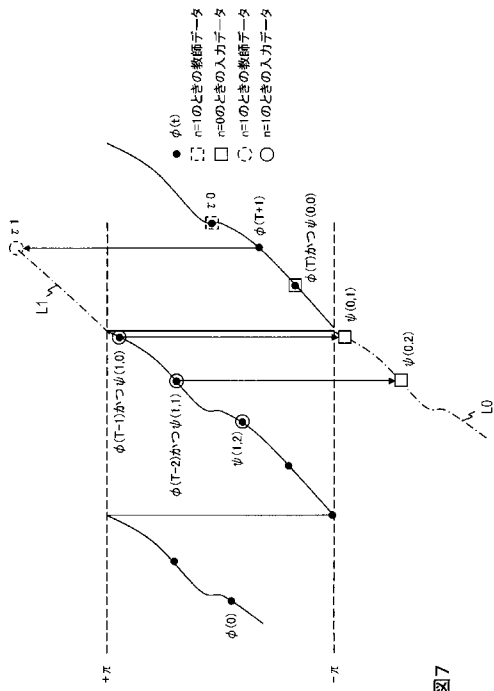


図7

【 図 8 】

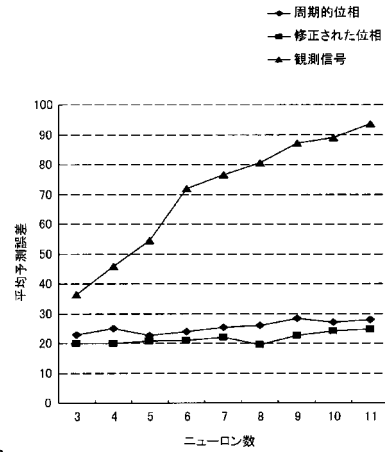


図8

フロントページの続き

(72)発明者 守谷 健弘

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 トマシュ クルール

神奈川県厚木市長谷1182-1 ベルフラワーハイツ5-414

審査官 相崎 裕恒

(56)参考文献 特開平08-044699(JP,A)

特開平07-288931(JP,A)

特開平06-290164(JP,A)

特開2001-356787(JP,A)

特開2007-109349(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06N 5/00 - 7/06