

(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
2022年2月17日(17.02.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/034656 A1

(51) 国際特許分類:
G06F 17/18 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/030714

(22) 国際出願日: 2020年8月12日(12.08.2020)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (**NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 橋本 悠香 (**HASHIMOTO, Yuka**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).

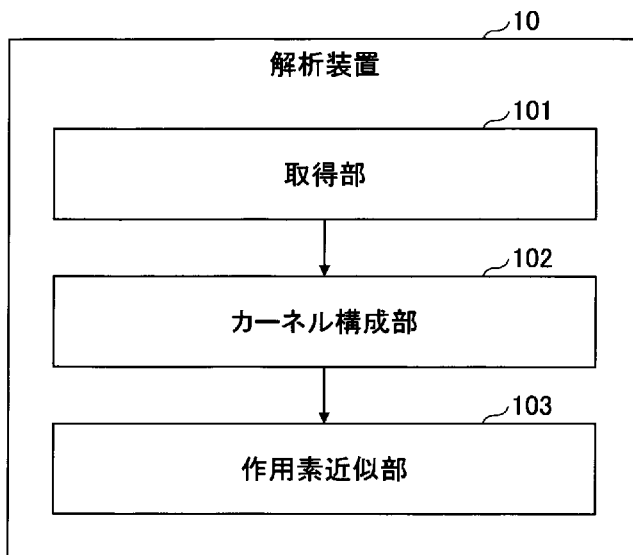
(74) 代理人: 伊東 忠重, 外 (**ITO, Tadashige et al.**); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号 丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 16階 Tokyo (JP).

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) **Title:** ANALYSIS DEVICE, ANALYSIS METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 解析装置、解析方法及びプログラム

[図2]



10 Analysis device
101 Acquisition unit
102 Kernel configuration unit
103 Operator approximation unit

(57) **Abstract:** The analysis device according to one embodiment is characterized by including an acquisition unit that acquires time series data containing random noise, a kernel configuration unit that configures a new kernel function l by using a function g that satisfies a predetermined first condition and a kernel function k that satisfies a predetermined second condition, and an operator approximation unit that approximates $K\psi(z)$ obtained by applying a transfer operator K to $\psi(z)$, where ψ is a feature mapping of the kernel function l , and z is the data to be analyzed and is included in the time series data, by using the feature mapping ψ and a kernel mean embedding Ψ of the kernel function l .

[続葉有]

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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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, ST, 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, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 一実施形態に係る解析装置は、ランダムなノイズを含む時系列データを取得する取得部と、所定の第1の条件を満たす関数 g と所定の第2の条件を満たすカーネル関数 k とを用いて、新たなカーネル関数 l を構成するカーネル構成部と、前記カーネル関数 l の特徴写像を ψ 、前記時系列データに含まれる解析対象データを z として、前記特徴写像 ψ と前記カーネル関数 l のカーネル平均埋め込み Ψ とを用いて、Transfer作用素 K を $\psi(z)$ に作用させた $K\psi(z)$ を近似する作用素近似部と、を有することを特徴とする。

明 細 書

発明の名称： 解析装置、解析方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、解析装置、解析方法及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] ランダムなノイズを含む時系列データとして通信トラフィックデータや株価データ、気象データ等が知られており、これらのデータの振る舞いを近似することで各種解析（例えば、特徴理解や予測、異常検知等）を行う技術が研究されている。また、近年では、Transfer作用素と呼ばれる数学的対象を用いることで、非線形な振る舞いをする時系列データを解析する技術が提案されている。この際、Transfer作用素は有限個のサンプル（つまり、時系列データを構成する有限個のデータ）から推定される。

[0003] Transfer作用素は任意の関係性を表現できるという高い表現力を持ち、更に、元の関係性が非線形であってもTransfer作用素自身は線形という単純な構造を持っているため、ブラックボックス化することなく時系列データを解析できることが知られている（例えば、非特許文献1参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Y. Hashimoto, I. Ishikawa, M. Ikeda, Y. Matsuo, and Y. Kawahara. Krylov subspace method for nonlinear dynamical systems with random noise. arXiv:1909.03634v3, 2019.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、Transfer作用素を用いた時系列データの解析は計算コストが高いという課題が存在する。これは、ランダム性を表現するために全てのサンプルにわたって平均を取る操作が必要になることが主な要因である。したがって、できるだけ少ないサンプルでできるだけ精度の良い近似を得るこ

とが必要となるが、Transfer作用素を用いた時系列データの解析手法は近年注目され始めた新しい手法であるため、その高速化手法は未だ知られていない。

[0006] 本発明の一実施形態は、上記の点に鑑みてなされたもので、Transfer作用素を用いた時系列データ解析の高速化を実現することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記目的を達成するため、一実施形態に係る解析装置は、ランダムなノイズを含む時系列データを取得する取得部と、所定の第1の条件を満たす関数 g と所定の第2の条件を満たすカーネル関数 k とを用いて、新たなカーネル関数 l を構成するカーネル構成部と、前記カーネル関数 l の特徴写像を ϕ 、前記時系列データに含まれる解析対象データを z として、前記特徴写像 ϕ と前記カーネル関数 l のカーネル平均埋め込み Ψ とを用いて、Transfer作用素 K を $\phi(z)$ に作用させた $K\phi(z)$ を近似する作用素近似部と、を有することを特徴とする。

発明の効果

[0008] Transfer作用素を用いた時系列データ解析の高速化を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本実施形態に係る解析装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

[図2]本実施形態に係る解析装置の機能構成の一例を示す図である。

[図3]本実施形態に係る時系列データ解析処理の一例を示すフローチャートである。

[図4]実験結果の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明の一実施形態について説明する。本実施形態では、Transfer作用素を用いて、ランダム性を持つ時系列データの解析を高速に行うことができる解析装置10について説明する。本実施形態に係る解析装置10を用

いることで、例えば、特徴理解や予測、異常検知等の各種解析を行うことが可能となる。

[0011] <理論的構成>

まず、本実施形態の理論的構成について説明する。

[0012] <<準備>>

時系列データは、以下のような数学モデルから生成されるものとする。

[0013] $X_{t+1} = h(X_t) + \xi_t$

ただし、 X_t 及び ξ_t は状態空間 X から確率空間 (Ω, F, P) への確率変数とし、 h は X から X への非線形な写像とする。 ξ_t ($t = 0, 1, \dots$) は時系列データのランダム性を表現するためのノイズを表す独立同分布な確率変数で、 X_t と ξ_t も独立であるとする。また、 Ω は標本空間となる集合、 F は Ω 上の σ -加法族、 P は Ω 上の確率測度である。

[0014] k を、 X に関する 2 変数関数かつ可測で有界連続な関数で以下の 2 つの条件を満たす関数であるものとする。

[0015] 条件 1 : 任意の $x, y \in X$ に対して、 $k(x, y) = k(y, x)$

条件 2 : 任意の $x_1, \dots, x_n \in X$ と $c_1, \dots, c_n \in \mathbb{C}$ に対して、

[0016] [数1]

$$\sum_{i,j=1}^n c_i c_j k(x_i, x_j) \geq 0$$

ここで、 $\mathbb{C}$ は複素数全体の集合を表す。

[0017] このとき、 k はカーネルと呼ばれる。また、 $x \in X$ に対して、 $\phi(x)$ を、 y に関する関数 $k(y, x)$ 、すなわち $\phi(x) = k(\cdot, x)$ とする。

この ϕ は特徴写像 (feature map) とも呼ばれる。

[0018] k に関する RKHS (Reproducing kernel Hilbert space) とは、 $\phi(x)$ の

全ての線形結合とその極限から成る、無限次元の関数空間である。以降、 k に関するRKHSを H_k と表す。

[0019] H_k において、 $\phi(x)$ と $\phi(y)$ の内積を $k(x, y)$ で定めることで、 H_k の要素に内積という概念を適用することができる。この内積という概念により、 H_k において線形代数の理論を用いることができるようになる。なお、カーネル k の例としては以下のGaussian kernelやLaplacian kernel等がある。ただし、 c は正の定数である。

[0020] [数2]

$$\text{Gaussian kernel: } k(x, y) = e^{-c\|x-y\|^2}$$

$$\text{Laplacian kernel: } k(x, y) = e^{-c|x-y|}$$

これらのGaussian kernelやLaplacian kernelは多くの応用において用いられている。

[0021] H_k 上のPerron-Frobenius作用素 K とは、以下により定義される作用素である。なお、Perron-Frobenius作用素とはTransfer作用素のうちの1つである。

[0022] [数3]

$$K\Phi(X_*P) = \Phi\left(F_{t*}(X_*P \otimes P)\right)$$

ただし、確率変数 X に対して X_*P とは、集合 $A \in \mathcal{F}$ に対して、 $X_*P(A) = P(X^{-1}(A))$ により定まる確率測度であり、 $F_t(x, \omega) = h(x$

) + $\xi_t(\omega)$ である (なお、 $\omega \in \Omega$ である。)。つまり、明細書のテキスト中では直積を「 $(\times)$ 」と表記することにすれば、 $F_t * (X * P(\times) P)$ は関数 F_t と確率測度 $X * P(\times) P$ に対する押し出し測度 (Pushforward measure) を表している。

[0023] また、 Φ はカーネル平均埋め込み (kernel mean embedding) と呼ばれ、符号付測度 μ に対して

[0024] [数4]

$$\Phi(\mu) = \int_{x \in X} \phi(x) d\mu(x)$$

で定義される。 K は t に依存しないこと、及び K は線形であることが示せる。なお、上記の Perron-Frobenius 作用素 K の定義は関数 F_t による時間発展の情報を表している。

[0025] ≪RKHS上のPerron-Frobenius作用素の推定≫

$\{x_0, x_1, \dots, x_{T-1}\}$ を観測データ (つまり、観測された時系列データ) とする。この観測データを $\{x_0, x_{S'}, \dots, x_{(N-1)S'}\}$, $\{x_1, x_{1+S'}, \dots, x_{1+(N-1)S'}\}$, $\dots$, $\{x_{S-1}, x_{S-1+S'}, \dots, x_{S-1+(N-1)S'}\}$ という S 組のデータセットに分ける。ただし、 $S' \geq S$ である。また、 N は各データセットに含まれる観測数 (データ数) である。

[0026] このとき、

[0027]

[数5]

$$\mu_{t,N} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \delta_{x_{t+iS'}} \quad (t = 0, 1, \dots, S-1)$$

とする。ただし、 X の要素 x に対して δ_x とは、集合 $A \in \mathcal{F}$ に対して $x \in A$ である場合は $\delta_x(A) = 1$ 、そうでない場合（ x が A に含まれない場合）は $\delta_x(A) = 0$ を返す確率測度である。なお、 $\mu_{t,N}$ は、観測データのみから計算することができる。

[0028] ここで、以下のような、空間平均と時間平均が一致するという条件を仮定する。

[0029] [数6]

$$\begin{aligned} & \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \int_{\omega \in \Omega} \phi(h(x_{t+iS'}) + \xi_t(\omega)) dP(\omega) \\ &= \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \phi(h(x_{t+iS'}) + \xi_{t+iS'}(\omega_0)) \end{aligned}$$

ただし、 $\omega_0 \in \Omega$ は、観測データにおける潜在状態である。 K が有界という良い性質を持つ場合、以下が成立する。

[0030] $[\Phi(\mu_1), \dots, \Phi(\mu_S)] = K [\Phi(\mu_0), \dots, \Phi(\mu_{S-1})]$

ただし、

[0031] [数7]

$$\mu_t = \lim_{N \rightarrow \infty} \mu_{t,N}$$

である。

[0032] このとき、 $[\Phi(\mu_0), \dots, \Phi(\mu_{s-1})] = Q_s R_s$ とQR分解する。
そして、

[0033] [数8]

$$\tilde{K}_s = Q_s^* K Q_s$$

とおき（以降、明細書のテキスト中では、これを「 $\sim K_s$ 」と表記する。） 、

[0034] [数9]

$$K \approx Q_s \tilde{K}_s Q_s^*$$

によりKを近似する。ここで、 $\sim K_s$ は以下の式（1）により計算できることが示せる。

[0035]

[数10]

$$\tilde{K}_S = Q_S^*[\Phi(\mu_1), \dots, \Phi(\mu_S)]R_S^{-1} \quad (1)$$

また、実際には、十分に大きなNを取り、 $\Phi(\mu_t)$ を $\Phi(\mu_{t, N})$ で近似して計算する。

[0036] 《カーネルkの置き換えによる近似の高速化》

実際には、Kそのものの近似ではなく、或る時刻tにおける観測zに対して $K\phi(z)$ を近似することで、時刻t+1における観測を予測することができるようになる。そこで、 $K\phi(z)$ と $Q_S \sim K_S Q_S^* \phi(z)$ の誤差（近似誤差）を小さくすることを考える。

[0037] カーネルkは自由に選ぶことができ、 ϕ や Φ はkから構成されるため、kを変化させれば、それに応じて ϕ や Φ も変化する。そこで、カーネルkを置き換えることにより近似誤差を小さくする。近似誤差は以下の式（2）のよう

[0038] [数11]

$$\begin{aligned} \|K\phi(z) - Q_S \tilde{K}_S Q_S^* \phi(z)\| &\leq \|K\| \|\phi(z) - Q_S Q_S^* \phi(z)\| \\ &\quad + \|K\phi(z) - Q_S Q_S^* K\phi(z)\| \end{aligned} \quad (2)$$

このとき、上記の式（2）の右辺の第1項を小さくすることを考える。 $\|\phi(z) - Q_S Q_S^* \phi(z)\|$ はSが大きいほど小さくなるが、Sが大きいほど計算量は大きくなる。一方で、 $\|\phi(z) - Q_S Q_S^* \phi(z)\| \leq \|\Phi(\mu_t) - \phi(z)\|$ が成立するため、 $\|\Phi(\mu_t) - \phi(z)\|$ が小さくなるよ

うに新たなカーネルを作成することで、小さな S に対しても $\|\phi(z) - Q_S Q_S^* \phi(z)\|$ が小さくなることが期待される。

[0039] そこで、 X から X への関数 g を導入し、新たなカーネル $l(x, y) = k(g(x), g(y))$ を作成する。 $\phi(x)$ を、 y に関する $l(y, x)$ 、すなわちfeature map $\phi(x) = l(\cdot, x)$ とし、 l に対するkernel mean embeddingを Ψ とする。

[0040] カーネル k が、単調増加な関数 f と距離を表す関数 d とを用いて $k(x, y) = f(-d(x, y))$ と表され、任意の $x \in X$ に対して $k(x, x) = 1$ を満たすとする。この条件はGaussian kernelやLaplacian kernel等のよく利用されるカーネルでは満たされる条件である。また、関数 g が

[0041] [数12]

$$d(x_t, z) \geq d(g(x_t), g(z)) \text{ かつ } \|\Phi(\mu_t)\| \approx \|\Psi(\mu_t)\|$$

を満たすとする。このとき、

[0042] [数13]

$$\|\Psi(\mu_t) - \psi(z)\| \leq \|\Phi(\mu_t) - \phi(z)\|$$

が成立することが示せる。これは、カーネル k を用いて $K\phi(z)$ の近似 $Q_S \sim K_S Q_S^* \phi(z)$ を作成する代わりに、新たなカーネル l を用いて $K\phi(z)$ の近似 $Q_S \sim K_S Q_S^* \phi(z)$ を作成すれば、近似誤差が小さくなることを示している。なお、関数 g の具体的な構成例としては、後述する実験にて述べる関数 g_0 等がある。

[0043] <解析装置 10 のハードウェア構成>

次に、本実施形態に係る解析装置 10 のハードウェア構成について、図 1 を参照しながら説明する。図 1 は、本実施形態に係る解析装置 10 のハードウェア構成の一例を示す図である。

[0044] 図 1 に示すように、本実施形態に係る解析装置 10 は一般的なコンピュータ又はコンピュータシステムで実現され、ハードウェアとして、入力装置 11 と、表示装置 12 と、外部 I/F 13 と、通信 I/F 14 と、プロセッサ 15 と、メモリ装置 16 とを有する。これらの各ハードウェアは、それぞれがバス 17 を介して通信可能に接続されている。

[0045] 入力装置 11 は、例えば、キーボードやマウス、タッチパネル等である。表示装置 12 は、例えば、ディスプレイ等である。なお、解析装置 10 は、入力装置 11 及び表示装置 12 のうちの少なくとも一方を有していなくてもよい。

[0046] 外部 I/F 13 は、外部装置とのインタフェースである。外部装置には、記録媒体 13a 等がある。解析装置 10 は、外部 I/F 13 を介して、記録媒体 13a の読み取りや書き込み等を行うことができる。なお、記録媒体 13a には、例えば、CD (Compact Disc)、DVD (Digital Versatile Disk)、SD メモリカード (Secure Digital memory card)、USB (Universal Serial Bus) メモリカード等がある。

[0047] 通信 I/F 14 は、解析装置 10 を通信ネットワークに接続するためのインタフェースである。プロセッサ 15 は、例えば、CPU (Central Processing Unit) や GPU (Graphics Processing Unit) 等の各種演算装置である。メモリ装置 16 は、例えば、HDD (Hard Disk Drive) や SSD (Solid State Drive)、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ等の各種記憶装置である。

[0048] 本実施形態に係る解析装置 10 は、図 1 に示すハードウェア構成を有することにより、後述する時系列データ解析処理を実現することができる。なお、図 1 に示すハードウェア構成は一例であって、解析装置 10 は、他のハー

ドウェア構成を有していてもよい。例えば、解析装置 10 は、複数のプロセッサ 15 を有していてもよいし、複数のメモリ装置 16 を有していてもよい。

[0049] <解析装置 10 の機能構成>

次に、本実施形態に係る解析装置 10 の機能構成について、図 2 を参照しながら説明する。図 2 は、本実施形態に係る解析装置 10 の機能構成の一例を示す図である。

[0050] 図 2 に示すように、本実施形態に係る解析装置 10 は、機能部として、取得部 101 と、カーネル構成部 102 と、作用素近似部 103 とを有する。これらの各機能部は、例えば、解析装置 10 にインストールされた 1 以上のプログラムがプロセッサ 15 に実行させる処理により実現される。

[0051] 取得部 101 は、解析対象の時系列データを取得する。なお、取得部 101 は、例えば、メモリ装置 16 等に格納されている時系列データを取得してもよいし、通信ネットワークを介して接続されるデータベースサーバ等に格納されている時系列データを取得してもよい。

[0052] カーネル構成部 102 は、 X から X への関数 g を用いて新たなカーネル $l(x, y)$ を構成する。

[0053] 作用素近似部 103 は、カーネル構成部 102 によって構成されたカーネル $l(x, y)$ を用いて $K\phi(z)$ の近似 $Q_s \sim K_s Q_s^* \phi(z)$ を計算する。これにより、取得部 101 によって取得された時系列データの解析（例えば、特徴理解や予測、異常検知等）を行うことができる。なお、 z は、当該時系列データ中の或る時刻 t におけるデータ（観測）である。

[0054] <時系列データ解析処理>

次に、本実施形態に係る解析装置 10 が実行する時系列データ解析処理の流れについて、図 3 を参照しながら説明する。図 3 は、本実施形態に係る時系列データ解析処理の一例を示すフローチャートである。

[0055] まず、取得部 101 は、解析対象の時系列データを取得する（ステップ S101）。次に、カーネル構成部 102 は、 X から X への関数 g を用いて新

たカーネル $l(x, y)$ を構成する (ステップ S102)。そして、作用素近似部 103 は、上記のステップ S102 で構成したカーネル $l(x, y)$ を用いて、上記のステップ S101 で取得した時系列データ中の或る時刻 t におけるデータ z に関して $K\phi(z)$ の近似 $Q_S \sim K_S Q_S^* \phi(z)$ を計算する (ステップ S103)。すなわち、作用素近似部 103 は、カーネル $l(x, y)$ から ϕ 及び Ψ を構成し、 $K\phi(z)$ の近似 $Q_S \sim K_S Q_S^* \phi(z)$ を計算する。

[0056] 以上により、本実施形態に係る解析装置 10 は、比較的少ないサンプル数 (つまり、比較的小さい S) で Perron-Frobenius 作用素を精度良く近似できるため、ランダム性を持つ時系列データの解析を高速に行うことができる。

[0057] <実験>

本実施形態に係る解析装置 10 と従来手法とで Perron-Frobenius 作用素の近似精度及びその計算コストを比較するために実験を行った。本実験では、以下のような力学系から、人工的に時系列データ $\{x_0, x_1, \dots\}$ を作成した。

[0058] $x_0 = 1, x_{t+1} = 0.99x_t \cos(0.1x_t) + 0.01\xi_t$

ただし、 ξ_t は平均 0、分散 1 の正規分布に従う独立が確率変数である。

[0059] このとき、 $z = x_{220}$ とし、 $K\phi(z)$ を近似した。 k を Laplacian kernel $k(x, y) = e^{-|x-y|}$ とし、

[0060] [数14]

$$g_0(x) = \left| x - \frac{\frac{1}{|Y|} \sum_{y \in Y} y + z}{2} \right|$$

とおいた。ただし、 Y は観測データの一部又は全部からなる集合で、本実験では $Y = \{x_0, \dots, x_{199}\}$ とした。

[0061] そして、 $g(x) = x$ とした場合（これは従来手法に相当する。）と、本実施形態に係る解析装置 10 で $g(x) = g_o(x)$ とした場合とで Perron-Frobenius 作用素の近似誤差を比較した。100 回計算した平均の結果を図 4 に示す。図 4 では、横軸が近似空間の次元（つまり、観測データを複数のデータセットに分けた際のデータセット数 S ）を表し、縦軸が近似誤差を表す。一般に、近似空間の次元が大きくなるほど近似誤差は小さくなる。図 4 に示されるように、 $g(x) = g_o(x)$ とした場合の方が、小さい近似空間の次元でも近似誤差が小さくなっていることがわかる。

[0062] したがって、本実施形態に係る解析装置 10 では、従来手法よりも、より少ないサンプル数でより精度良く Perron-Frobenius 作用素が近似できていることがわかる。

[0063] 本発明は、具体的に開示された上記の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲の記載から逸脱することなく、種々の変形や変更、既知の技術等との組み合わせが可能である。

符号の説明

[0064]	10	解析装置
	11	入力装置
	12	表示装置
	13	外部 I/F
	13a	記録媒体
	14	通信 I/F
	15	プロセッサ
	16	メモリ装置
	17	バス
	101	取得部
	102	カーネル構成部
	103	作用素近似部

請求の範囲

- [請求項1] ランダムなノイズを含む時系列データを取得する取得部と、
 所定の第1の条件を満たす関数 g と所定の第2の条件を満たすカーネル関数 k とを用いて、新たなカーネル関数 l を構成するカーネル構成部と、
 前記カーネル関数 l の特徴写像を ϕ 、前記時系列データに含まれる解析対象データを z として、前記特徴写像 ϕ と前記カーネル関数 l のカーネル平均埋め込み Ψ とを用いて、Transfer作用素 K を $\phi(z)$ に作用させた $K\phi(z)$ を近似する作用素近似部と、
 を有することを特徴とする解析装置。
- [請求項2] 前記時系列データに含まれる各データは、前記ノイズを表す確率変数を含む数学モデルから生成されたものとみなすことができるデータであり、
 前記カーネル構成部は、
 前記カーネル関数 k の特徴写像を ϕ 、カーネル平均埋め込みを Φ 、前記時系列データから計算される確率測度を μ_t (ただし、 t は前記時系列データの時刻を表す) として、 $\Phi(\mu_t)$ と $\phi(z)$ の差が小さくなるように前記カーネル関数 l を構成する、ことを特徴とする請求項1に記載の解析装置。
- [請求項3] 前記第2の条件は、前記カーネル関数 k の定義域に含まれる元を x 、 y として、単調増加な関数 f と距離関数 d とを用いて $k(x, y) = f(-d(x, y))$ と表され、かつ、 $k(x, x) = 1$ を満たすという条件であり、
 前記第1の条件は、前記時系列データに含まれる時刻 t のデータを x_t として、 $d(x_t, z) \geq d(g(x_t), g(z))$ 、かつ、 $\Psi(\mu_t)$ は $\Phi(\mu_t)$ で近似されるという条件である、ことを特徴とする請求項2に記載の解析装置。
- [請求項4] 前記カーネル構成部は、

$l(x, y) = k(g(x), g(y))$ により前記カーネル関数 l を構成する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の解析装置。

[請求項5]

前記カーネル構成部は、

前記時系列データの全部又は一部のデータで構成される集合 Y 、前記カーネル関数 k をラプラスカーネル、前記関数 g を $g(x) = |x - 1/2(1/|Y| \sum_{y \in Y} y + z)|$ として、前記カーネル関数 l を構成する、ことを特徴とする請求項 4 に記載の解析装置。

[請求項6]

ランダムなノイズを含む時系列データを取得する取得手順と、

所定の第 1 の条件を満たす関数 g と所定の第 2 の条件を満たすカーネル関数 k とを用いて、新たなカーネル関数 l を構成するカーネル構成手順と、

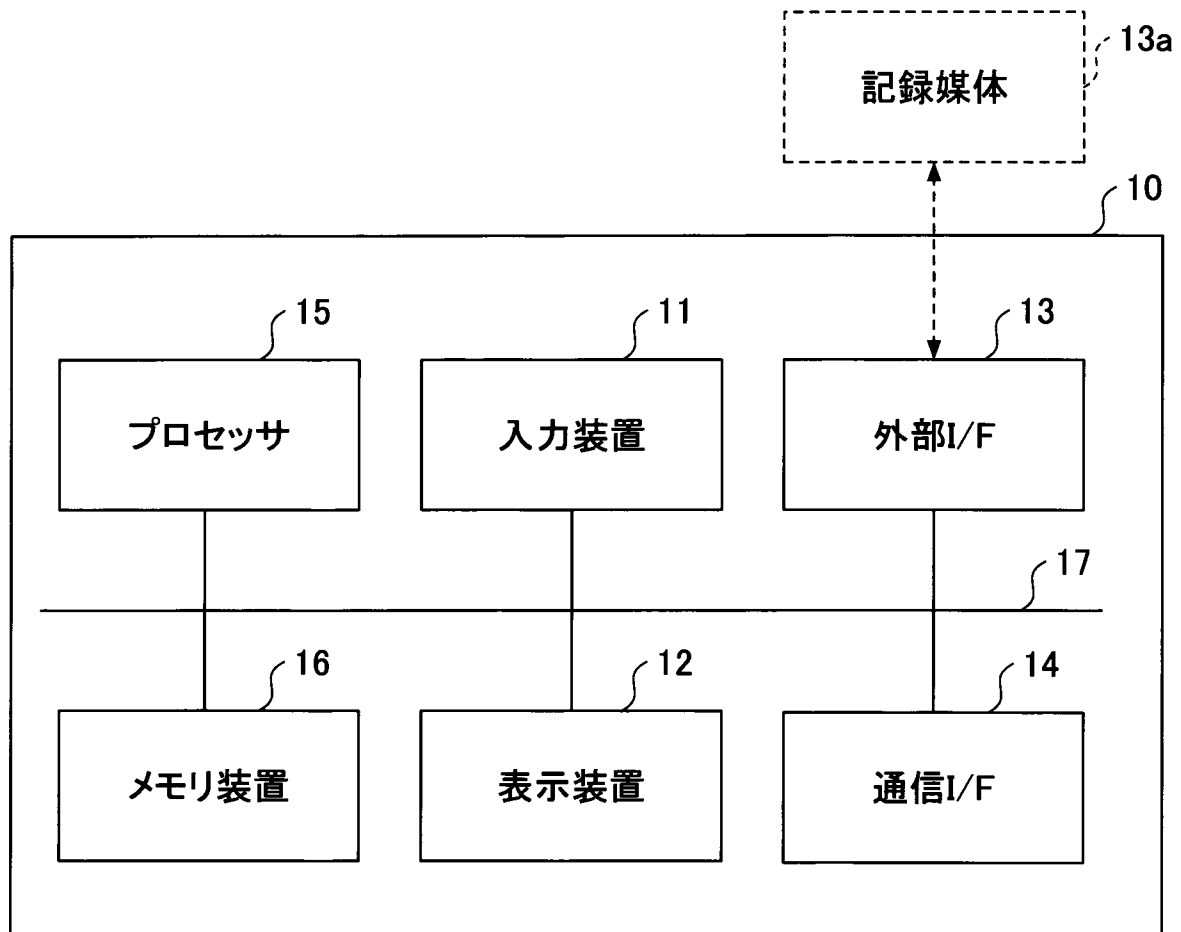
前記カーネル関数 l の特徴写像を ϕ 、前記時系列データに含まれる解析対象データを z として、前記特徴写像 ϕ と前記カーネル関数 l のカーネル平均埋め込み Ψ とを用いて、Transfer作用素 K を $\phi(z)$ に作用させた $K\phi(z)$ を近似する作用素近似手順と、

をコンピュータが実行することを特徴とする解析方法。

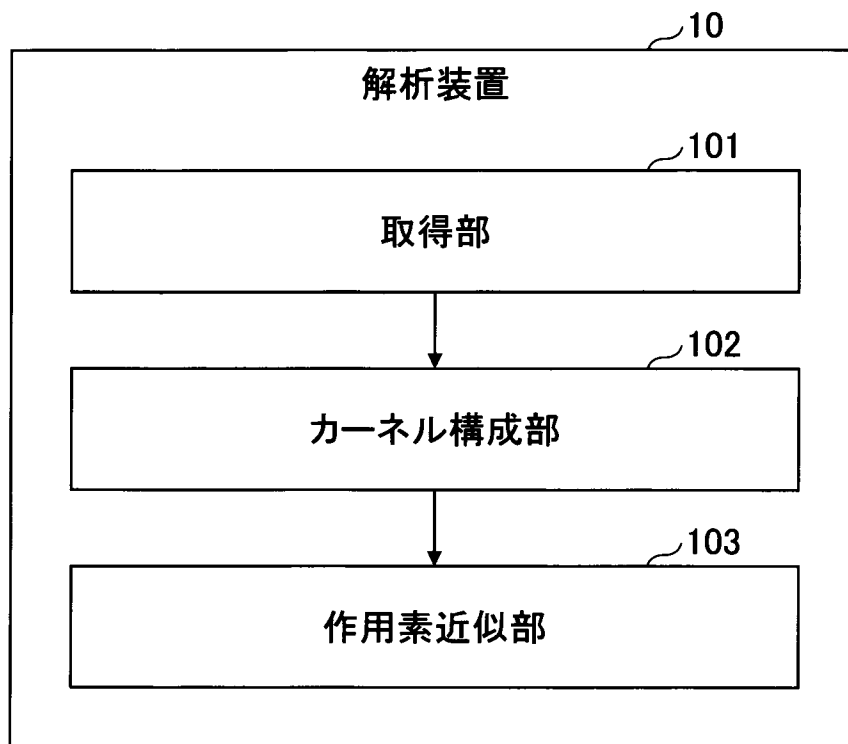
[請求項7]

コンピュータを、請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の解析装置として機能させるプログラム。

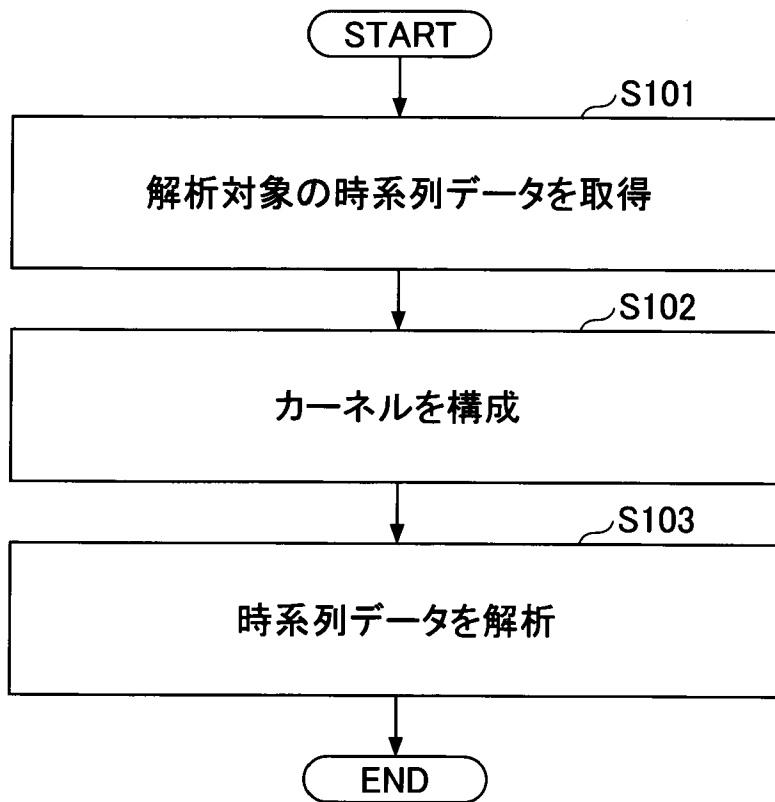
[図1]



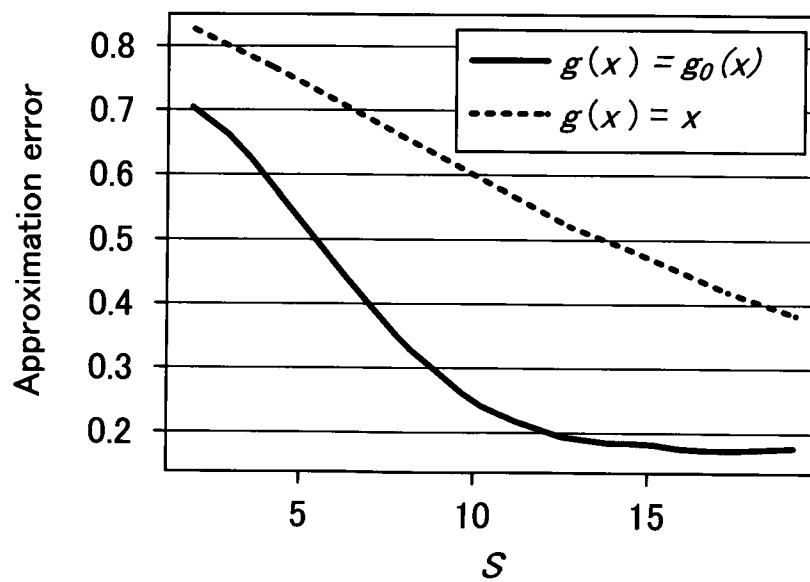
[図2]



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/030714

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G06F17/18 (2006.01) i

FI: G06F17/18 Z

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)

Int. Cl. G06F17/00-17/18, G06N20/00-20/20

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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

IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	HASHIMOTO, Yuka, et al. Krylov Subspace Method for Nonlinear Dynamical Systems with Random Noise, arXiv:1909.03634v3, [online], arXiv (Cornell University), 02 December 2019, version v3, pp. 1-27, [retrieved on 18 September 2020], Retrieved from the Internet: URL:https://arxiv.org/abs/1909.03634v3, URL:https://arxiv.org/pdf/1909.03634v3.pdf, p. 2, lines 7-11, p. 3, lines 31, 32, p. 6, line 32, p. 7, lines 8, 9, formula (1), table 1	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
18.09.2020

Date of mailing of the international search report
06.10.2020

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G06F 17/18(2006.01)i FI: G06F17/18 Z														
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（IPC）） G06F17/00-17/18; G06N20/00-20/20 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2020年</td> </tr> </table> 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） IEEE Xplore			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2020年	日本国実用新案登録公報	1996-2020年	日本国登録実用新案公報	1994-2020年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2020年													
日本国実用新案登録公報	1996-2020年													
日本国登録実用新案公報	1994-2020年													
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	HASHIMOTO, Yuka, et al., Krylov Subspace Method for Nonlinear Dynamical Systems with Random Noise, arXiv:1909.03634v3, [online], arXiv (Cornell University), 2019.12.02, version v3, Pages 1-27, [retrieved on 2020.09.18], Retrieved from the Internet: <URL: https://arxiv.org/abs/1909.03634v3> and <URL: https://arxiv.org/pdf/1909.03634v3.pdf>. Page 2, lines 7-11; Page 3, lines 31-32; Page 6, line 32; Page 7, lines 8-9; Formula (1); Table 1.	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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 18.09.2020	国際調査報告の発送日 06.10.2020													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 久保 光宏 5C 9189 電話番号 03-3581-1101 内線 3539													