

平成 22 年 6 月 15 日現在

研究種目： 若手研究 (B)
 研究期間： 2007~2010
 課題番号： 19760270
 研究課題名 (和文) 非線形振動回路のネットワークを用いた時系列データの分析と予測
 研究課題名 (英文) Prediction and Analysis of Time-Series Data by Using Nonlinear Oscillation Circuit Network
 研究代表者 山内 将行 (YAMAUCHI MASAYUKI)
 広島工業大学・工学部・准教授
 研究者番号： 40384169

研究成果の概要 (和文)：本研究では、実回路を基にしたネットワーク型の発振器を用いた、時系列データの予測を行うシステムを提案する。これらの回路は、van der Pol 発振器をインダクタで 3x3 の格子状に結合し構築する。また、van der Pol 発振器を数個と共振器を相互インダクタンスで結合して構築する。3x3 に結合したシステムから得られた回路方程式を正規化し、Runge-Kutta 法を用いてシミュレートを行い、カオス時系列データと気温の予測を行う。Pspice を用いたシミュレーション実験でも、現実に実現可能な回路素子の大きさと構成したシステムで予測を行う。

研究成果の概要 (英文)： In this study, we suggest a prediction system by using networks of coupled oscillators on which actual circuit are based. These circuits are 3x3 van der Pol oscillators, which are coupled by inductors as a lattice, and some van der Pol oscillators and one resonator, which are coupled mutual inductances between inductors of oscillators and inductors of a resonator. We predict chaos time-series data and air temperature time-series data by Pspice many using elements of actual scale and by normalize equations of 3x3 van der Pol oscillator array and Runge-Kutta method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	0	2,300,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,800,000	450,000	4,250,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード： ネットワーク型発振器，データマイニング，同期現象，時系列データ，予測

1. 研究開始当初の背景

自然界においては、星の運動、海の波、原子と全てが振動している。この一つ一つの振動

が組み合わさって様々な自然現象が起きていると言え、これらの振動やそれらが組み合わさった動きである時系列データを予測

できれば、例え近い未来しか予測できなかったとしても人間にとって、大きな利益に繋がると考えられる。例えば、1ヵ月後でなくても、1時間後に地震が起こることがわかれば、多くの人命が救われるであろうことは考えるまでもないことである。これらあらゆる時系列データは、消滅し0になることはあっても、存在する限り一方的に発散や減衰し続けることはほぼないと考えられる。すなわち、基本的に一定の範囲を振動し続ける動的なデータが時系列データであると言える場合が多い。これら時系列データの予測手法として、一般的には統計学を用いた過去のデータからの推定手法や、多項式などの数式を構築する手法からの予測などがあるが、特に激しい変動をする時系列データの予測は難しいのが現状である。上記のように時系列データが振動する動的なものであると考えた場合、動的なシステムによる予測が望ましいとも考えられる。

2. 研究の目的

変動の激しい時系列データを、追従良く予測を行うことが、最終的な目的である。そのため、動的なシステムである発振器を結合したネットワークを用いて合成、予測を行うシステムを構築する。また、高速に予測を行うには、実回路を用いる方が良いとも考えられるため、これらのシステムで用いる発振器は、実回路における発振器などを基として構築する。

3. 研究の方法

本研究では、過去のデータを入力すると、未来のデータを出力する一種のフィルタを構築することにより、時系列データを予測する。研究に用いるデータは、時系列データが確実に得られ、自然現象と同じく複雑な、カオス発振回路から得られる時系列データと、自然現象で入手がしやすいと考えられる気温のデータを用いる。これらフィルタは、実回路を基とした発振器を結合したネットワークを用いて行うため、発振器から得られた回路方程式を正規化し、Runge-Kutta法を用いて解析を行うか、Pspiceを用いて現実の素子の値をそのまま利用し解析を行う。また、これらのシステムの特性的についても、調査、解析を行う。これらのシステムでは、結合部の大きさなども変更していく必要がある。そのため、合成に用いるための素子に関する考慮も行う。

4. 研究成果

(1) 本研究では、過去のデータを入力することにより、未来のデータが出力される、発振器を主として構成された一種のフィルタを構築する。既知の値として $0T \sim 2T$ を有して

おり、それに対して $3T \sim 4T$ を合成したいとする。オリジナルのデータ $u(t): \{0 \leq t < T\}$ を入力するとデータ $f(t): \{0 \leq t < T\}$ が、出力される。この時、

$$f(t) = u(t+T) : \{0 \leq t < T\}$$

となるようにシステムを調整する。この調整したシステムに、 $u(t): \{T \leq t < 2T\}$ を入力すると、環境の変化が基本的にない状況で計測された連続したデータであるならば、

$$f(t): \{T \leq t < 2T\} \text{ は } u(t): \{2T \leq t < 3T\} \text{ と}$$

非常に近い値となる可能性が高く、言い換えれば、予測されたデータである可能性が高いと考えられる。これらのシステム用の回路として、本研究では van der Pol 発振器を 3×3 の格子状に結合したネットワークを構築し、予測を行う。さらに、van der Pol 発振器を複数個と、1つの共振器を相互インダクタンスで結合したシステムも構築し、時系列データの予測も行う。

(2) 3×3 に結合した van der Pol 発振器の回路図を図1と図2に示す。図1は正規化した方程式を用いる場合の回路図で図2はPspiceに用いる場合の回路図である。Pspiceの場合は現実を作成する際の回路を考慮しているため、計測用の素子なども含まれている。

① 本システムでは、周りの8個の発振器から予測に用いる信号 $u(t)$ をインダクタを介して入力し、中央の発振器から出力 $f(t)$ を取り出し予測を行う。本システムから得られた方

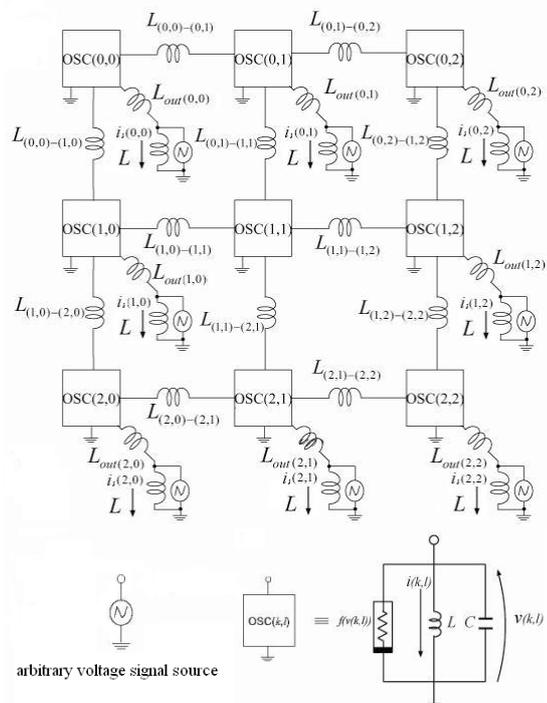


図1 正規化した方程式を利用時の van der Pol 発振器を 3×3 の格子状に結合したシステム。

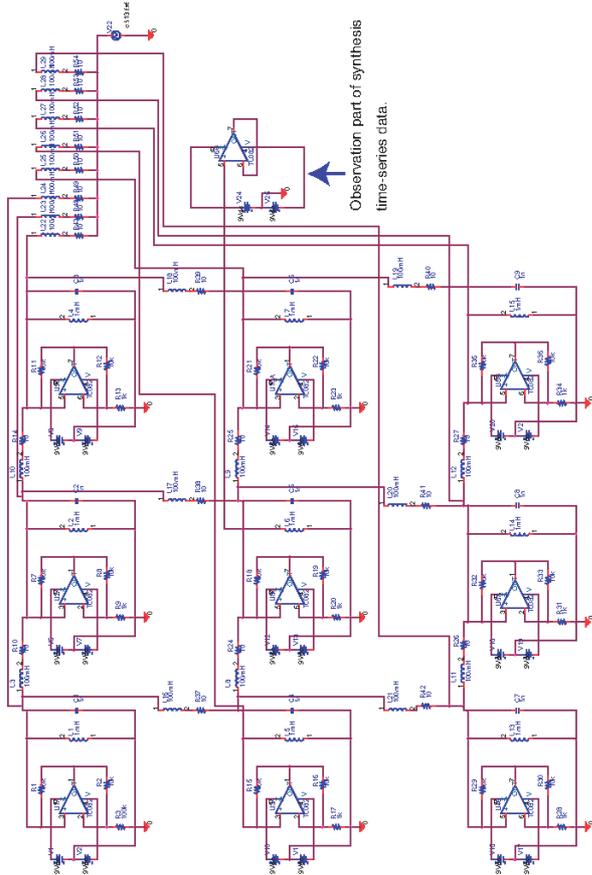


図2 spice を利用時の van der Pol 発振器を 3x3 の格子状に結合したシステム。

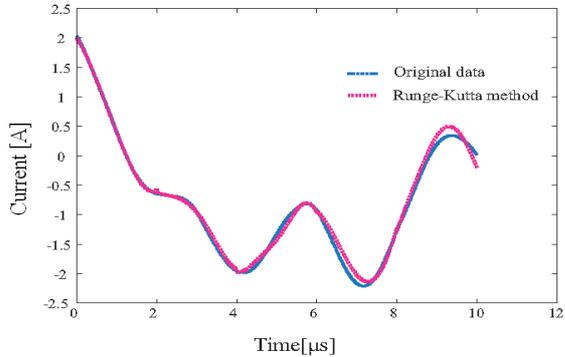


図3 正規化した方程式を用いた手動によるカオス時系列データの予測。

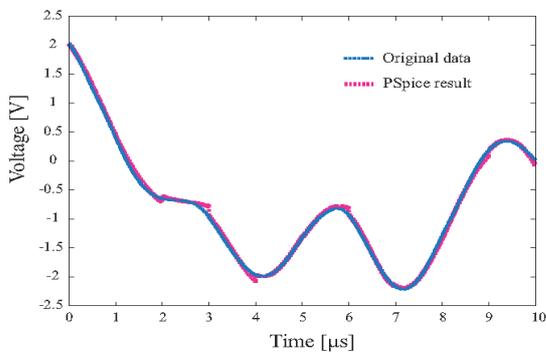


図4 spice を用いた手動によるカオス時系列データの予測。

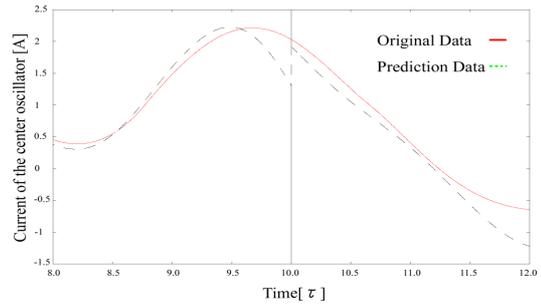


図5 正規化した方程式を用いた自動によるカオス時系列データの予測。

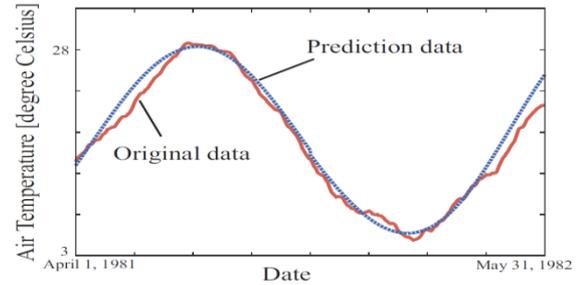


図6 正規化した方程式を用いた自動によるカオス時系列データの予測。

程式を正規化し、それらを用いて予測を行う場合、初期値 18 個、パラメータ 29 個の計 47 個を調整する必要がある。Pspice を用いた場合には、計 94 個も調整すべきパラメータがあり、効率の良い自動化が望まれる。変動させにくい、いくつかのパラメータに関しては固定値とし、手動で Chua 回路から得られたカオス時系列データの予測を行った結果を図 3, 4 に示す。図 3 は正規化した方程式を用いて予測を行った結果であり、図 4 は Pspice を用いて予測を行った結果である。どちらの結果も、概ね同じ誤差がでていることが解る。これらの結果は自動的に総当りで行えば同様の結果が得られると考えられるが、膨大な時間がかかり非現実的である。

② 図 5 に 1 つのパラメータずつ最急降下法を適用した、全自動化による予測結果を示す。図 5 は、図 3 と図 4 の $-2 \sim 2 \mu s$ の急激に変化する部分のみを予測した結果である。1 つのパラメータずつの最急降下法の適用であるが概ね予測できていることが解る。しかし、手動の 1.5 倍程度の誤差が観測される。

③ 図 6 に手動による 1 日ごとの平均気温のデータの予測結果を示す。気温のデータは日々で微弱な振動があるため、31 日で移動平均をとり、1 年間の最高と最低気温の平均値を各値より引いて $0^{\circ}C$ を中心に振動するようにオリジナルデータを変更し予測を行った。オリジナルデータは広島市の 1981 年 4 月 1 日から 1982 年 5 月 31 日までのデータを用いている。多少のずれは生じているものの、概

ね予測ができていることが解る。

④今後回路規模を大きくする必要が考えられることから、これらの格子状の回路の規模を大きくし、システム上で発生する現象についても解析を進め、定常状態で観測できる特殊な位相差の伝搬現象である位相反転波動が存在することを明らかにした。さらに様々な位相差の伝搬現象も見られており、これらをコントロールすることが可能になれば、予測精度の向上や予測時間の短縮に繋がる可能性があると考えられる。

(3)複数の van der Pol 発振器と 1 つの共振器を相互インダクタンスで結合したシステムを図7に示す。本システムは、各 van der Pol 発振器にインダクタを通してオリジナルの信号 $u(t)$ を入力し、各 van der Pol 発振器に含まれるインダクタと相互インダクタンスで結合される共振器から、予測信号 $f(t)$ を出力する。この van der Pol 発振器の数を増やすに従って用いることが可能な周波数が増えるため、発振器の数を増やすことが、予測精度の向上に寄与すると考えられる。

① van der Pol 発振器と共振器を結合する相互インダクタンスも変動させる必要があるため、通常の鉄心を用いたシステムではなく、プリント基板上に合成したプリント・スパイラル・インダクタを図8のように利用することにより、実現することを考える。直径が 40mm、導体の幅が 0.19mm、導体間の空隙の幅が 0.21mm の 42 半円で構成された、インダクタンスが約 $14.0 \mu\text{H}$ のプリント・スパイラル・インダクタを 2 枚使い、図8のよ

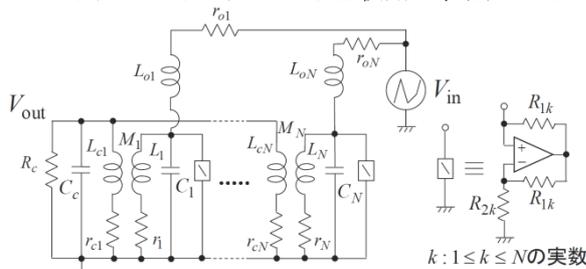


図7 複数の van der Pol 発振器と共振器 1 つを結合したシステム。

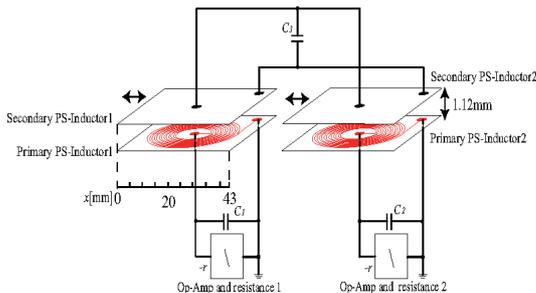


図8 プリントド・スパイラル・インダクタを用いた結合。

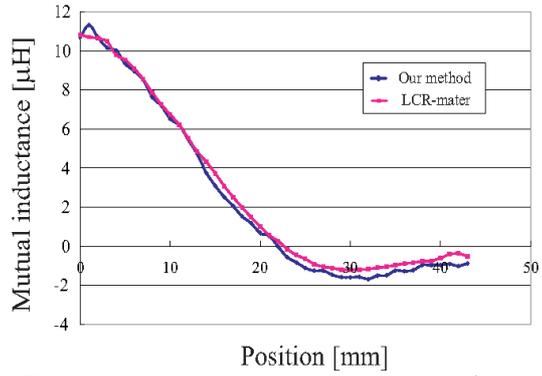


図9 2枚のプリント・スパイラル・インダクタの相対的な位置の変化による相互インダクタンスの変化。

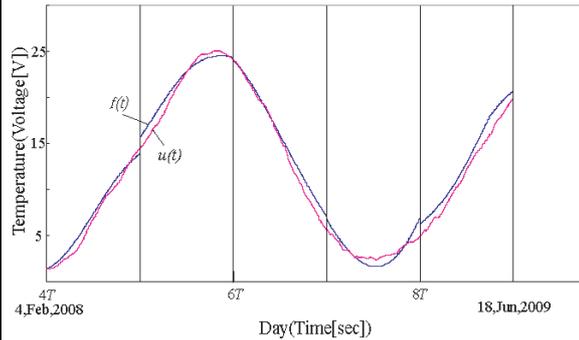


図10 広島県の気温データから広島県の気温データを予測した結果。

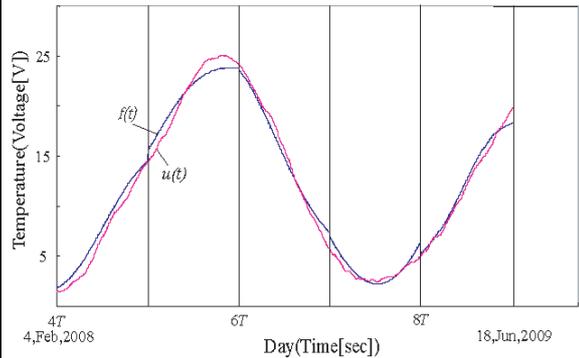


図11 山口県と岡山県の気温データから広島県の気温データを予測した結果。

うに結合し、動かした場合の相互インダクタンスの実測結果を図9に示す。相互インダクタンスは、概ね $-1.5 \mu\text{H} \sim 11 \mu\text{H}$ となり、この範囲で相互インダクタンスを変動させ時系列データの合成を行う。相互インダクタンスの測定は、我々が以前開発した発振器を利用した測定手法と LCR メータの両方を用いている。

② 図10と図11に手動で実際に予測した結果を示す。システムに含まれる van der Pol 発振器の数は2個で行っている。また、Pspice を用いて予測を行い、現実にそった素子値のみを用いる。図10は2008年2月4日から2009

年 1 月 18 日までの広島県の 1 日の平均気温を、広島県の時系列データから予測した結果であり、30 日で移動平均をとり、0 を中心に振動するように気温データのバイアスを調整し、予測を行った後、再びバイアスを元に戻した結果である。図 11 は広島県の周辺の県である岡山県と山口県の 1 日の平均気温を集めた時系列データから、2008 年 2 月 4 日から 2009 年 1 月 18 日までの広島県の 1 日の平均気温を予測した結果である。図 10 の場合と同様の調整をオリジナルデータに行っている。どちらも良く予測できていることが解る。特に、急激な変動がないデータにおいては、予測する時系列データに関連のあるデータから予測が可能であることを示している。

③ 図 12 と図 13 に、カオス時系列データの予測結果を示す。図 3 などで用いた時系列データと同じであり、図 3 で予測した範囲において、最も変動が激しい $0 \sim 3 \mu s$ のみを予測した結果を示す。図 12 が 3 つの van der Pol 発振器を用いた結果であり、図 13 が 4 つの van der Pol 発振器を用いた結果である。3 つの場合の平均相対誤差は約 4.85% となり、4 つの場合の平均相対誤差は約 2.87% となった。また、周波数特性の一致度も、4 つの場合の方が高く、周波数特性からも 4 つ発振器を用いた場合の方が良いことが解る。

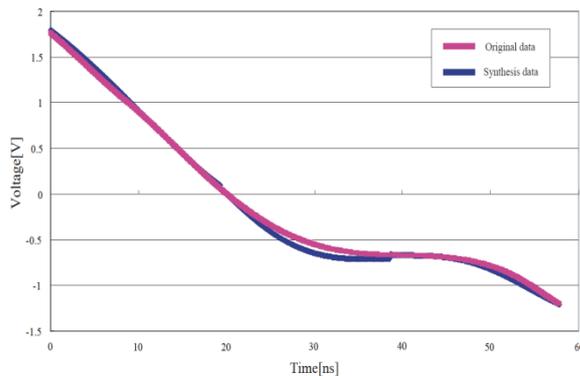


図 12 3 つの van der Pol 発振器を用いたカオス時系列データの予測結果。

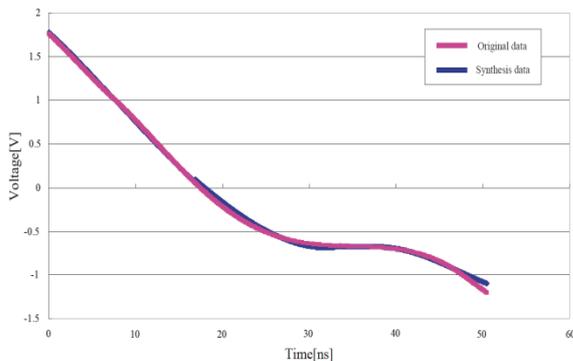


図 13 4 つの van der Pol 発振器を用いたカオス時系列データの予測結果。

(4) 本システムでは、以下の傾向や特長が見られる。

① 1 つ目として、予測された結果は、予測に用いる時系列データ自体が発散するようなものでなく、一定の範囲で振動をするものであれば、本システム自体が振動解を持つため、大きく外れていくことはない。

② 2 つ目として、回路の規模を大きくすることにより、解の探索範囲が広がり、予測を行う時間がよりかかると考えられるが、複雑な波形の予測が可能になる可能性が高い。

③ 上記の特徴を考慮し、現在の、結果を考慮すると、ある程度までは精度良く予測が可能であり、その先もある程度予測が可能である可能性が高いと考えられる。すなわち、気温を例に上げれば、現状では数ヶ月先の何月何日～何日の気温は概ね 30°C であるが、それ以降はまだ気温があがる傾向が強い。などの予測結果になると考えられる。

(5) 本研究では現実の回路を基とした 2 種類の時系列データの予測システムの構築を行った。本研究の意義と今後の課題は以下の通りと考えられる。

① 発振器の結合系による時系列データの予測に関する研究は数少なく、本研究は、回路を基とした発振器の結合系による時系列データの予測が可能であることを示したと言える。さらに、実際の回路を用いて時系列データを合成・予測することができることも示したものと考えられる。

② 今後の課題として、回路規模の拡大、さらなる学習システムの効率化、GPU やクラウドコンピューティングなどの併用による予測の高速化、回路に発生する現象解析から得られる知見を用いての回路構造やシステムの最適化、現実の回路を用いての予測などが考えられる。

③ これら上記課題の解決により、高速でより正確な時系列データの合成が可能となり、急激な変動がみられる時系列データの緻密な予測が可能になるものと考えられる。また、コンピュータが発展するに従ってこれらのシステムを用いて、より一層正確で高速な予測も可能になるものとも考えられ、本システムは未だ大きな可能性を持っているものと言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件) 全て査読あり.

Kazuhisa YOSHIMATSU, Masayuki YAMAUCHI and Yoshifumi NISHIO, “Prediction of Time-Series Data using PSpice and Runge-Kutta Method,” Proceedings of 18th IEEE Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic Systems (NDES2010), pp.106-109, May 2010. 査読有.

Suguru YAMANE, Masayuki YAMAUCHI, and Yoshifumi NISHIO, “Classification of Phenomena on Coupled Oscillators System as a Lattice,” Proceedings of the 2009 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing (NCSP 2009), pp. 249-252 Mar. 2009. 査読有.

Takeo IMOTO, Suguru YAMANE, and Masayuki YAMAUCHI, “Prediction of Chaos Time-Series Data using Coupled Oscillators System,” Proceedings of IEEE CASS Shikoku and Shanghai Chapters Joint Workshop on Nonlinear Circuits and Systems(SSJW’08), pp.32-35, Aug. 2008. 査読有.

[学会発表] (計 7 件)

田中亨, 吉松和久, 山内将行, “複数の発振器と共振器を結合した系による Chua 回路の時系列データの予測に関する研究,” 電子情報通信学会 2011 年総合大会, pp.61, 2011 年 3 月.

佐々木達也, 山内将行, 西尾芳文, “2 次元格子状発振器システムを用いたカオス時系列データの自動予測に関する研究,” 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 北海道大学, pp.193-198, 2011 年 1 月.

田中亨, 吉松和久, 井元健夫, 山内将行, 田中衛, “プリンテッド・スパイラル・インダクタを利用した発振器を結合した系による気温時系列データの予測,” 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 石川県文教会館, pp.85-90, 2010 年 7 月.

中倉幹也, 井元健夫, 山内将行, “格子状に結合した van der Pol 発振器を用いた spice による時系列データの予測実験に関する考察,” 2009 年電子情報通信学会総合大会, A-2-6, pp. 57, 2009 年 3 月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山内 将行 (YAMAUCHI MASAYUKI)
広島工業大学・工学部・准教授
研究者番号：40384169