

平成 22 年 10 月 1 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
研究期間：2007～2009
課題番号：19560386
研究課題名 (和文) 時間遅れ結合・双対カオスシステムを用いた簡便な秘匿通信方法の開発
研究課題名 (英文) Development of secure communication system using paired-chaotic system through time-delayed coupling

研究代表者 白濱 弘幸 (SHIRAHAMA HIROYUKI)
愛媛大学・教育学部・教授
研究者番号：60275427

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、双対のカオスシステムを時間遅れ結合させた秘匿通信システムを開発を目指した。本研究はシミュレーションおよび電子回路を用いた実験により行われ、以下の成果を得た。(1) 不安定コントローラを持つ新しい時間遅れ制御法を提案した、(2) 新しい制御法を持つ双対型カオスシステムの通信への適応性を明らかにした、(3) 予測同期現象を遅れ時間を補償する通信システムに適応するための設計指針を見つけた。

研究成果の概要 (英文)：

We have studied to develop a new secure communication system using paired-chaotic system through the time-delayed coupling. The following results were obtained in numerical simulations and electronic circuit experiments. (1) We developed the new time-delayed feedback method with an unstable controller, (2) it was pointed out that the paired-chaotic system based on unstable controllers can be applied to secure communication systems, (3) it was found design guidelines to apply communication system compensating transmission delay time the anticipation chaos synchronization.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2008 年度	400,000	120,000	520,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

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：非線形理論・回路, カオス通信, カオス, 通信方式, 遅れ時間制御

1. 研究開始当初の背景

1990年代後半にPyragasらによって考案された遅れ時間を用いたカオス制御 (Time

Delayed Feedback: TDF)法が開発された。この制御方法はカオスシステムが生成するカオスの挙動を周期的な挙動へと制御することができる。工学的には、制御されるシステムの情報を使用しないために、従来の制御方法に比し、簡単な方法であるとして実用面から大いに注目を集めている。しかしながら、この制御方式はカオスシステムのアトラクタにトーションがないシステムに適応できないという原理的な欠点を持っていた。そこで、報告者らは制御されるシステムに不安定コントローラにより擬似的なトーションを付加した新しいカオス制御方式を開発し、その有効性を実験的に示すことに成功した。さらに、不安定コントローラを用いた制御方法は、その結合方式を工夫することによって高い安定性を持たせることができ、通信方式に応用可能であることが示唆されていた。

2. 研究の目的

本研究の主たる目的は、秘匿性の高い簡便な通信システムを提案し、さらにその開発を目指した研究を行うことにある。本研究では、時間遅れ結合システム用いて上記通信システムの開発を試みた。

3. 研究の方法

本研究は、数値計算を含む机上検討と PLD、FPGA などを用いて集積化に関する実験的検討によって行われた。具体的な遂行の手順を以下に示す。

第一段階：

通信方式に利用できる遅れ時間制御同期方式の一般的な特性とそのシステム構成を机上検討によって概ね明らかにした。

第二段階：

ブレッドボードを用いたディスクリートな電子回路実験においてその有効性を検討した。ここでは、PLD、FPGA などを用いた集積化に関する研究へ進む手がかりが得られたと考えている。

第三段階：

第二段階の結果を受け、カオス通信の実用化のための実験を行った。ここでの研究の過程で、カオス同期通信に使用可能な新しい興味深い現象を発見した。そのために、実用化のための実験を原理的なものにとどめ、新しく発見した現象の評価を行うことにし、より安定な秘匿通信の開発を目指すことに研究方針を変更した。

上記研究はダルムシュタット工科大学をは

じめとした海外の研究機関と連携協力をしながら遂行された。

4. 研究成果

遅れ時間結合カオスシステムはカオス間の結合にあたり、遅延時間を含有させたシステムである。このシステムは遅れ時間要素が持つ莫大な自由度に起因した多様な同期現象を見せることが知られている。中でも、カオスシステムが生成するカオスの挙動を周期的な挙動へと制御することができるカオス制御は工学的有用性の面から最も注目されている。本研究において不安定コントローラの原理に基づいた双対型結合システムはその結合方式を工夫することにより非常に高い安定性を有するために通信方式に応用できる実験結果を得た。

4. 1 トーションフリーシステムの制御

図1に本研究で提案した不安定制御コントローラによるトーションフリーシステムを制御できるシステムのブロック図を示す。各構成要素はアナログ集積回路によって実装された。図2はこのシステムの安定性をペイシン(収束領域)で評価したものを示す。左側が従来に提案されていた結合方式のもの、右側が本研究で提案したものである。同図に示すように、本研究で提案したもののペイシンは従来のものに比し非常に広く実用上の種々の収束・安定性の問題に対応できる結果を得た。

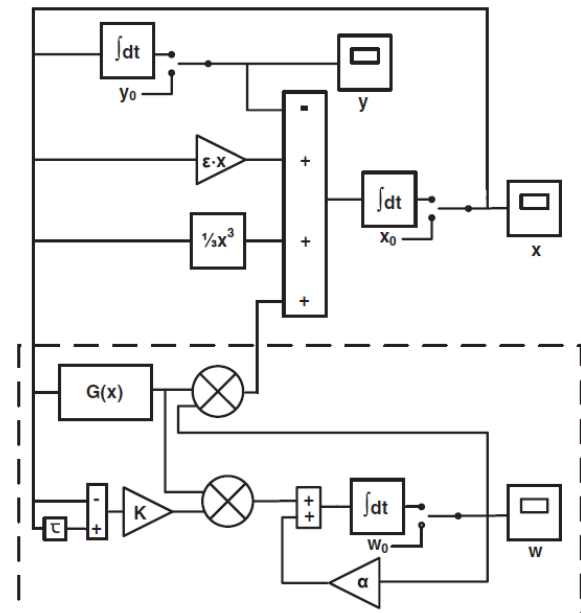


図1 本研究で提案した不安定制御コントローラによるトーションフリーシステムのブロック図。

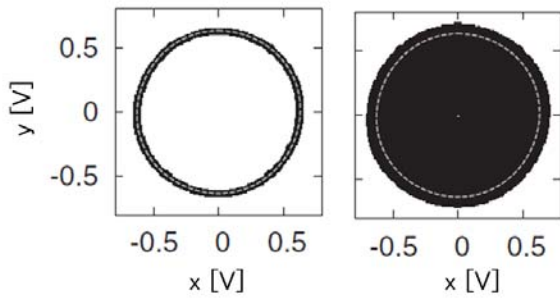


図2 ベイシンによるシステムの安定性に関する評価結果. 左側: 従来形式のもの, 右側: 本研究で提案したもの.

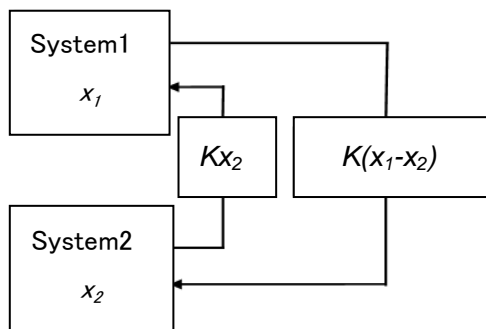


図3 双対型カオス結合システム

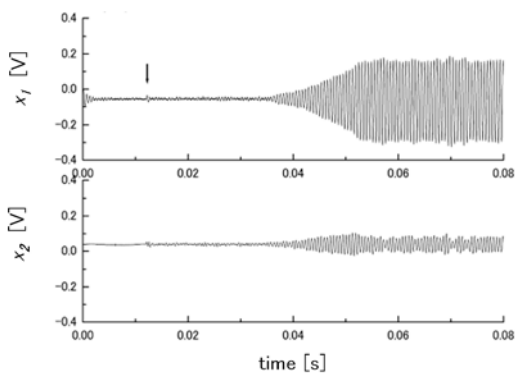


図4 双対型カオスシステムの評価結果. Time=0.04[s]で両システムを結合させている.

4. 2 双対型カオス結合システム

図3に本研究で提案した双対型カオスシステムのブロック図を示す. このシステムは2つの同じ構成要素から成る. 図4はその評価結果である. time=0.04[s]で両システムの結合を開始した. 同図に示すように, 結合を開始した後, system 1 における結合

前の安定点は不安定点に変化し, 不安定期起動が安定化し, 結果的に振動の励起が起った. これは, 結合状態や遅れ時間 τ によって変調をかけることによって通信応用ができることを示唆する結果である.

4. 3 予測同期現象に関する研究

本研究を遂行中にカオス予測同期を用いると, 遅れ時間の影響を非常に小さくすることができることを示唆する実験結果を得た. 図5に予測カオス同期が発生するシステムのブロック図を示す. このシステムでは両システム遅れを伴いつつも同期するので, 図6に示すように結果的にシステム2はシステム1より伝送遅延時間 τ ほど先の状態を予測することになる. 予測カオス同期システムは同期現象が起こるための遅れ時間のトレランスが非常に小さく, 実用化のめどつかなかった. 詳細を記述できないが, 本研究において, 結合器の構成を工夫することにより, この問題を克服できる可能性があることがわかった.

図7に本研究において設計した独自のカオスシステムの等価回路を示す. このシステムは一般的なものに比し, 安価かつ良好な基本特性を持つことが分かった. このシステムは教員研修などの社会貢献活動で用いられている.



図5 予測カオス同期が発生するシステムのブロック図.

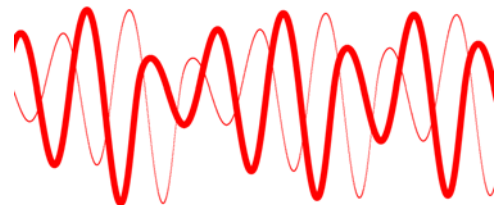


図6 図5の送受信側で観測される波形 (イメージ). 太線: 送信側, 細線: 受信側. 受信側の信号が送信側の信号に比し, 時間的に進んでいる.

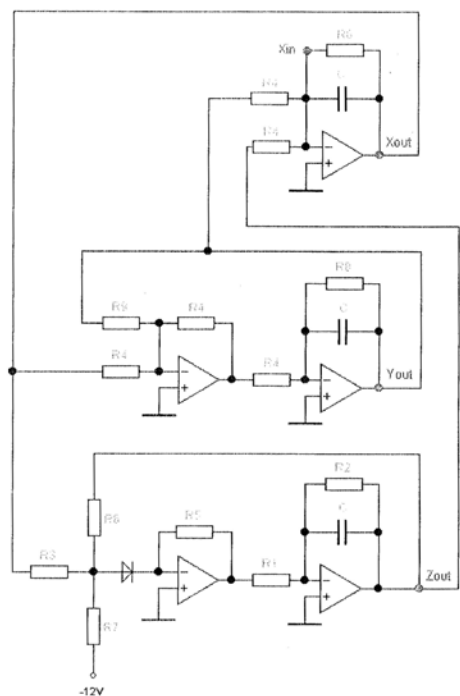


図7 本研究で設計した独自のカオスシステムの等価回路。一般的なものに比し、安価かつ良好な基本特性を持つ。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

1. K. Hohne, H. Shirahama, C.-U. Choe, H. Benner, K. Pyragas, and W. Just: "Global properties in an experimental realisation of time-delayed feedback control with unstable control loop" *Physical Review Letter* 98. 214102-1-4 (2007), 1
2. H. Tsuchiya, H. Shirahama, and Y. Kawai: "Chaos Control of Fluctuations Caused by Flute Instability in Electron Cyclotron Resonance Plasma" *Japanese Journal of Applied Physics* 46. 6074-6077 (2007), 1
3. H. Shirahama, C. Choe, K. Fukushima: "Conversion of Stability Observed in Van der Pol Oscillator by Unstable Time-Delayed Controller" *The 23rd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications* 1. 549-552 (2008), 1
4. A. M. Haidar, N. E. Ahdab, H. Shirahama, A. Alaelidine: "Multiple-Valued Logic Clock Converter Networks" *The 23rd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications* 1. 589-592 (2008), 1

5. H. Shirahama, K. Hohne, H. Benner, W. Just: "Time-delayed feedback control with an unstable control loop realizing wide range operation" *2008 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications* 1. 207-210 (2008), 1
6. H. Shirahama M. Hashiguchi K. Fukushima C.-U. Choe: "Circuit Simulation on Conversion of Stability Features near Hopf Bifurcation by Using Time-Delayed Feedback Coupling", *Journal of the Physical Society of Japan*, 79 094001-1-6 (2010).

[学会発表] (計3件)

1. H. Shirahama, K. Hohne, H. Benner, W. Just: "Observing global properties of time-delayed feedback control with an unstable controller" *DPG conference (Germany)* (2008).
2. Jüngling H. Benner H. Shirahama K. Fukushima: "Complete synchronization of chaotic systems with time delayed coupling", *DPG conference (Germany)* (2009).
3. 大村 詠一 橋口 愛 白濱 弘幸 福島 和洋: "Hopf 分岐近傍における van der Pol 振動子の安定性の転換", *日本物理学会 2009 秋季大会* (2009).

[図書] (計1件)

1. H. Benner, C.-U. Choe, K. Hohne, C. Loewenich, H. Shirahama, and W. Just: "Handbook of chaos control" *Wiley-VCH, Weinheim*. 559-573 (2008)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白濱 弘幸 (SHIRAHAMA HIROYUKI)
愛媛大学・教育学部・教授
研究者番号: 60275427