

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700224

研究課題名(和文)非線形効果を用いたセキュアな電力線通信システムのデザイン

研究課題名(英文)Design of secure power line communication using nonlinear effects

研究代表者

高橋 亮(Takahashi, Ryo)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00455354

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円、(間接経費) 780,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大容量情報伝送かつ高度なセキュリティを実現できるカオスを用いた通信方式と、それを用いたセキュアな電力線通信システムの検討を行った。本研究では特にカオス系列を拡散符号として用いた符号分割多元接続(CDMA)通信方式に着目し、電力線通信路のようなフェージング通信路における通信性能についての評価を行った。その結果、フェージング通信路における同期CDMAにカオス拡散符号を使用した場合、従来使用されている拡散符号であるWalsh-Hadamard符号に比べてビット誤り率を低減できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：In the study, secure communication system using chaotic spreading sequence with constant power is investigated. Especially, its performance is evaluated in the power line channel which has frequency selective fading characteristics. It is shown that, the number of simultaneous users increase, the chaotic spreading sequences realize better performance than the Walsh-Hadamard sequence in the fading channels.

研究分野：通信工学, 物理学

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：カオス CDMA 電力線通信 フェージング

## 1. 研究開始当初の背景

決定論的カオスが発見されて以降、その基礎的な性質が多くの研究者によって長年調べられてきた。それと同時にカオスの応用が活発に議論され様々な提案がされてきた。非線形性を有するシステムにおいてその初期値の僅かな差がその後のダイナミクスにおいて劇的に拡大される。その性質を利用することによる暗号・通信への応用は特に盛んに議論され、従来よりも高度に暗号化された、セキュアかつ大容量を実現する新たな通信システムのデザインとして注目が集まっている。

カオスを利用した通信として代表的なものでは、カオス発生機から得られたカオス信号に送信信号を乗積して送信し、受信機ではカオス同期を用いてカオス信号を再生し復調する Chaotic Masking やデジタル信号に対して2種類の異なるカオスを割り当てて通信を行う Chaos Shift Keying と呼ばれる方式が提案されている。また、現在携帯電話で使用されている通信方式の一つである符号分割多元接続(CDMA)方式では拡散符号というコードとして用いて信号多重化を行うが、その拡散符号としてカオス系列を用いる手法も提案されている。これらカオスを利用した通信では、カオスの持つ非周期性や初期値鋭敏性を利用することにより、スペクトル分布を広げ、かつ暗号性が極めて高い変調を行っている。

一方近年、スマートグリッドという観点からリアルタイムに近い家庭内消費電力情報の収集・分析が必要となっており、その情報伝送の有効な手段の一つとして電力線通信(PLC)が注目されている。PLCは家庭内の電力線に高周波信号を乗せて情報の伝送を実現するものである。PLCでは有線での通信となるが、高周波であるため信号の反射等が生じ、無線通信と同様にマルチパス伝送となり、通信方式として現在OFDMやCDMAをベースにしてより効率的な方式の研究が進められている。また、PLCは有線通信であること

から各PLC端末をどのように配置しラインを結び効率の良い情報伝送を実現するかというネットワーク設計についても研究が行われている。更にスマートグリッドでの使用という点では伝送される情報が使用者の生活に直結する詳細なデータであり、更なるセキュリティ向上が要求される。

## 2. 研究の目的

本研究では、CDMA方式における拡散符号としてカオス系列を用いるカオスCDMAに重点を置き、マルチパス環境に強い拡散符号やエネルギー減衰の少ないパルス整形などの提案を試み、カオスCDMAの通信性能をさらに向上させ、セキュアな新しい通信システムの提案を行う。また、スマートグリッド等で発展が期待される電力線通信への応用を念頭に置き、マルチパスフェージングチャネルとなる電力線通信路におけるカオスCDMAの通信性能評価を行う。

## 3. 研究の方法

本研究ではこれまでよりセキュアな電力線通信システムを検討するため、パワー一定複素カオス拡散符号を使用した同期CDMAの電力線通信路における性能評価を行った。特にビット誤り率と受信機における相関器出力に着目し、数値シミュレーションによって計算を行った。また、現在同期CDMAにおいて使用されているWalsh-Hadamard符号を用いた場合も同様の計算を行い、比較を行った。

電力線通信路は多数の分岐や接続される負荷によるインピーダンス不整合などのため信号の反射が生じ、マルチパスフェージング環境となる。このような電力線通信路の伝搬特性は現在も活発に研究が進められている。本研究では特に日本の屋内でよく用いられている2芯VVFケーブルで構成された分岐のある電力線通信路における性能評価を行った。

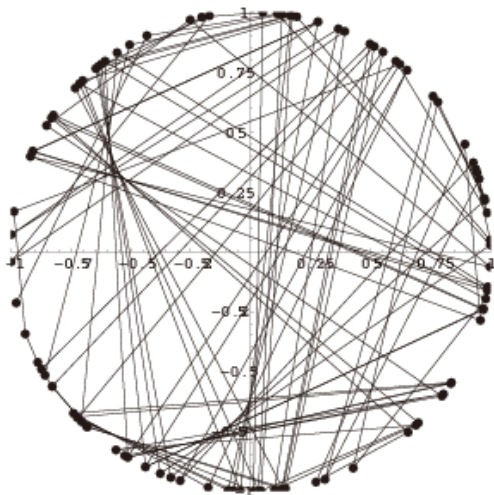


図 1 パワー一定カオス拡散符号のコンスタレーション

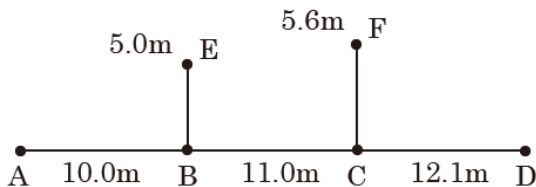


図 2 電力線通信路モデル

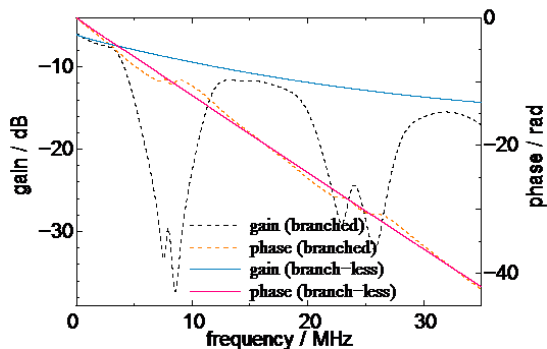


図 3 伝搬特性

パワー一定カオス拡散符号はチェビシエフ多項式を用いて生成することができる。この特性を利用することにより、I チャネルと Q チャネルの信号のパワーの和が常に一定値をとるようなカオス系列を生成することができる。図 1 に横軸を I チャネル、縦軸を Q チャネルとした、パワー一定カオス拡散符号のコンスタレーションの一例を示す。本研究ではこの符号をユーザごとに初期値を変えて生成し割りあててスペクトル拡散を行い、通信性能評価を行った。

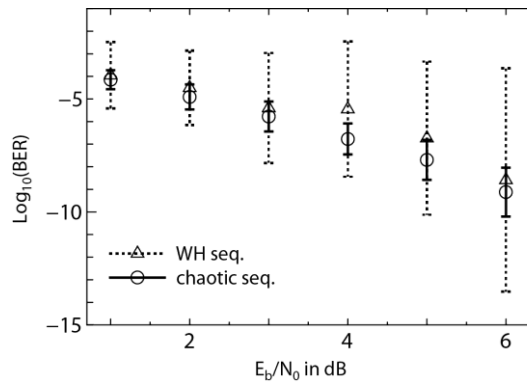


図 4 ビット誤り率

また、本研究で使用した電力線通信路モデルの概念図を図 2 に示す。A に送信機、D に受信機を設置する。また、E, F は開放端とする。これにより、A から D へ信号が送信される際、BE, CF という 2 本の分岐線と開放端のため信号に反射が生じ、周波数によっては信号が打ち消しあい減衰する。すなわち、この通信路はマルチパスフェージング特性を持つ。図 3 にこの電力線通信路モデルの伝搬特性を示す。

本研究では上記電力線通信路において、酢酸符号としてパワー一定カオス拡散符号を用いた場合と Walsh-Hadamard 符号を用いた場合について性能評価を行った。

#### 4. 研究成果

図 4 に数値シミュレーションによって得られたビット誤り率を示す。この図より、カオス拡散符号を用いた場合、従来の Walsh-Hadamard 符号と比較して平均的に低誤り率を達成できることが示された。また、カオス拡散符号は Walsh-Hadamard 符号と比べて偏差を抑えることができることが示された。これはすなわち Walsh-Hadamard 符号では使用する符号系列の選択によって大きく性能が変わるのに対し、カオス拡散符号は符号系列の選択にあまり依存しないことを示している。

これにより、カオス拡散符号を用いることによって、フェージング環境においても従来よりも低ビット誤り率を実現し、よりセキュアな通信システムを構築できる可能性が示された。

## 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 2 件)

- ① Ryo Takahashi and Ken Umeno,  
“Performance Evaluation of CDMA Using Chaotic Spreading Sequence with Constant Power in Indoor Power Line Fading Channels”, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E97-A, no. 7, 2014, 査読有り (in press)
- ② Ryo Takahashi and Ken Umeno,  
“Performance Evaluation of CDMA Using Chaotic Spreading Sequences in Indoor Power Line Channels”, Proc. 2013 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 209-212, 2013, 査読有り

[学会発表] (計 2 件)

- ① Ryo Takahashi and Ken Umeno,  
“Performance Evaluation of CDMA Using Chaotic Spreading Sequences in Indoor Power Line Channels”, 2013 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Santa Fe, USA, Sep.8-11, 2013.
- ② Ryo Takahashi and Ken Umeno,  
“Performance Evaluation of Indoor Power Line Communication Using Chaos CDMA”, 2013 SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Utah, USA, May 19-23, 2013.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋 亮 (TAKAHASHI Ryo)

京都大学・大学院工学研究科・特定助教

研究者番号：00455354