

平成 22 年 5 月 6 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20800074
 研究課題名（和文）
 脳型信号処理とゆらぎを利用した通信方式の研究とその通信システム評価
 研究課題名（英文）
 Study and evaluation of advanced communication system using brain-style signal processing and fluctuations
 研究代表者
 高橋 亮 (Takahashi Ryo)
 独立行政法人理化学研究所・Zhang 独立主幹研究ユニット・特別研究員
 研究者番号：00455354

研究成果の概要（和文）：

現在使用されているCDMA通信方式では、各信号に適切な疑似乱数で構成された拡散符号を適用することで複数ユーザが同一周波数帯を同時に使用することを可能としている。本研究ではカオス的なゆらぎを持った拡散符号や、脳型信号処理を利用して生成した直交拡散符号など、より性能の高い符号を提案しその評価を行った。また、カオス系列と純粋な乱数系列に対して異なる値を示す物理量を見つけ出し、解析的数値的に示した。

研究成果の概要（英文）：

In Code Division Multiple Access (CDMA), multiple access communication is realized by assigning spreading sequences to each simultaneous signal. In this study, much more efficient spreading sequences are proposed and evaluated in CDMA. In particular, orthogonal chaotic spreading sequences which have good correlation property obtained by brain-style signal processing and complex chaotic sequences with constant power are investigated. On the other hand, a quantity which shows differences in pure random or chaotic sequences is found and evaluated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,330,000	399,000	1,729,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

研究分野：工学

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：複雑系、カオス、情報通信、CDMA、

1. 研究開始当初の背景

我々の脳は周囲に様々な雑音や話し声が存在している中から自分の話し相手の言葉を聞き取り理解することができる。このような現象はカクテルパーティ効果と呼ばれ興味を集めている。近年このような混ざり合った人声・雑音等の信号を分離して目的の信号を取り出すような脳型信号処理機構の研究が進められている。この機構を表すものとして独立成分分析など様々なアルゴリズムが提案されている。今日では、聴覚信号の分離や特徴抽出、金融関係の時系列解析など、多くの分野で発展的研究が進められている。

また、近年周囲に適量の雑音がある方が信号が強調されるという直観に反するような現象が見つけられており、ゆらぎの利用という点で注目されている。

一方現在、携帯電話などの移動端末の普及が著しいが、限られた周波数帯におけるさらに高速かつ大容量なデータ通信など、その求められる性能もますます高まっており、その要求を満たすような通信方式が早急に求められている。通信においては使用できる周波数帯域幅などの制限がある中で、複数ユーザの信号や通信路雑音が含まれている受信信号から、いかにして誤り無く信号を復元するか、そしていかにして信号データを多く詰め込めるかが最も重要な課題の一つである。

2. 研究の目的

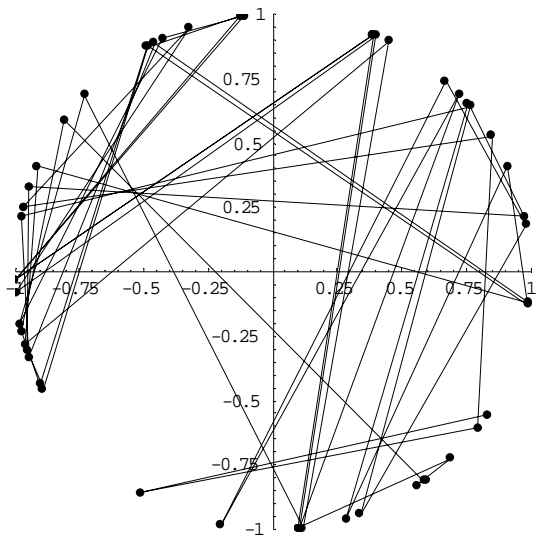
本研究では、拡散符号を用いた通信において脳型信号処理とゆらぎによる信号強調を導入した通信システムの提案とその評価を目的とした。ゆらぎの性質を判定し、その違いがどのように現れるのかを調べた。

複数の送信信号や雑音が混ざった受信信号から目的の信号を取り出す過程において脳型信号処理を用い、また、各種ゆらぎの特徴的な統計的性質を利用したシステムを考える。さらに脳型信号処理を用いた拡散符号生成法を用いてシステムに適した符号の提案を行い、このような通信システムの解析的数値的な評価を行った。またこれらに派生して、乱数系列とカオス的なゆらぎを持った系列を比較し、それらを区別できるような物理量の検討、評価を行った

3. 研究の方法

(1) 本研究ではまず、脳型信号処理の一つと考えられる独立成分分析(ICA)の性能評価を行った。独立成分分析を用いると、複数の信号が線形混合された観測信号から原信号を分離復元することができる。しかしその分離精度はその原信号の性質に依存する。そこで、性質の異なる様々な信号を用意し、どの性質を持つ信号が独立成分分析による分離と相性が良いかを評価する。一方、現在使用されている第3世代通信方式である符号分割多元接続(CDMA)方式は、同時存在する信号にそれぞれ異なる拡散符号を割り当てることにより、同一周波数帯において同時に複数の信号の使用が可能とする。拡散符号は使用環境に応じてさまざまな特性が要求される。現在、上り回線、下り回線それぞれにおいて異なる種類の拡散符号が使用されているが、これは同期において要求される理想的な符号間相関特性と、多元接続干渉を避けるための符号間直交性を同時に満たすことが困難であるためである。そこで、カオス系列と脳型信号処理の一つである独立成分分析を用いることで、理想的な相関特性を持ち、更に同期時には符号間が直交する拡散符号を提案し、下り回線における帯域制限を施した通信路で、数値シミュレーションにより CDMA 通信性能評価をおこなった。

(2) カオス的なゆらぎを持つ時系列を拡散符号として利用することにより、任意の符号長に対して任意の数の符号を用意することができる。また、カオス的な揺らぎであるこ



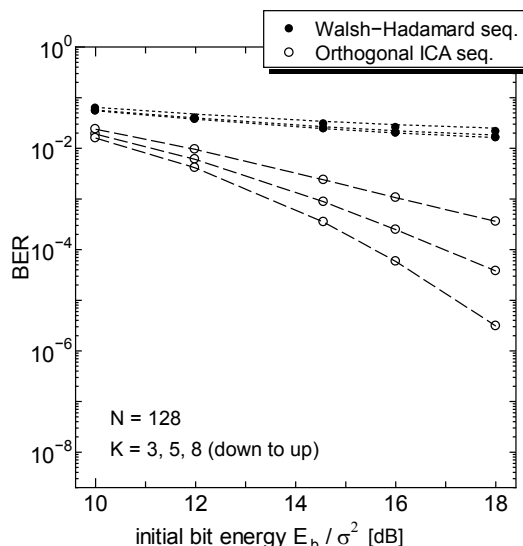
とから、従来の符号に比べ強力な暗号化をすることができる。これまで様々なカオス符号が提案されており、その一つとしてパワー一定を実現する複素カオス拡散符号がある。これは複素 CDMA 通信における実数部 (I-チャネル)、虚数部 (Q-チャネル) それぞれに割り当てる拡散符号 1 セットのパワーが一定となるように生成される複素系列である。現行の W-CDMA の中では複素拡散が行われており、そこで本研究では複素カオス拡散符号を複素 CDMA に用いた場合の性能評価を数値的、解析的に行った。また、異なるリヤプノフ指数の複素カオス拡散符号を使用した場合の違いも調べた。

(3) ゆらぎ・雑音として信号が得られた際、それが純粋な乱数であるのか、もしくは背後に方程式がありその規則にしたがって生成されているカオス系列かを見分けるために、これまで様々な手法、物理量が提案されている。これらの手法はそれぞれの信号の統計的性質や環境によって使い分けられており、未だ効果的な手法が探索されている。本研究ではパワー一定のカオス符号が複素平面上に

描く軌跡に注目し、特に連続してプロットされた 3 点で構成される三角形を考え、その 3 中の 2 番目の点における内角に着目した。この内角について、単位円上に一様乱数として点をプロットした場合とパワー一定カオスを用いて点をプロットした場合、さらにパワー一定カオスを用いた場合はリヤプノフ指数が異なる場合を調べた。

4. 研究成果

(1) 独立成分分析は原信号の非ガウス性を利用して信号を復元する。カオス的なゆらぎを持つ信号はそれぞれ特徴的な不変測度に従う。このことにより、ガウス分布と全く異なる不変測度を持つチェビシェフ多項式より生成されるカオス信号は、独立成分分析によって分離復元するのに適した信号であることが分かった。また、それぞれ異なる初期値、もしくは異なるリヤプノフ指数から生成されたチェビシェフカオス系列は拡散符号としての関連特性が良いことから、拡散符号としての使用が提案されており、本研究では独立成分分析とチェビシェフカオス系列を用いて直交拡散符号を生成した。生成した関連特性を確認した結果、原信号の関連特性を保ち、現在下り回線において直

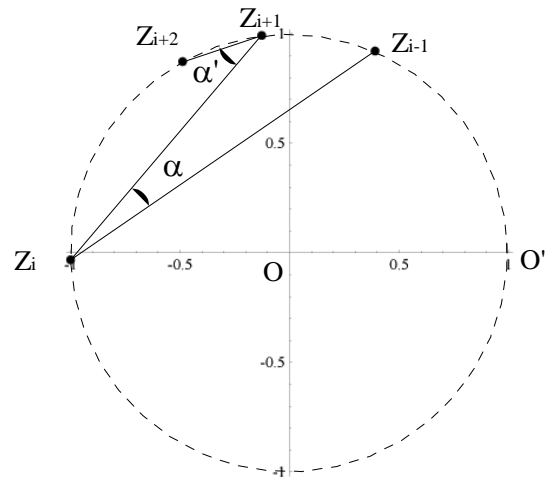


交符号として使用されている Walsh-Hadamard 符号と比べて理想的な関連特性を持つことができることが分かった。この独立成分分析による拡散符号 (直交 ICA 符号) と Walsh-Hadamard 符号を、周波

数帯域制限がある中での同期 CDMA システムに用いた場合の性能評価を数値的に行うと、直交 ICA 符号は Walsh-Hadamard 符号に比べて劇的にビット誤り率を抑えることができることが分かった。この直交 ICA 符号は Walsh-Hadamard 符号と異なり理想に近い相関特性を持つことができ、下り回線だけではなく上り回線でも使用することができると考えられる。

(2) パワー一定の複素カオス拡散符号は実部、虚部それぞれに割り当てる符号を一つの力学写像系で表すことができる。またこの力学写像についての不変測度は解析的に得ることができる。これを用いることによってパワー一定複素カオス符号を使用した場合のチップ同期複素 CDMA システムについて解析的に信号対干渉比(SIR)を導出した。この SIR は実数チェビシェフカオス符号を用いたチップ同期実数 CDMA と同じであり、複素化した場合においても同じ性能が保たれることが分かった。また、解析的に導出された信号対干渉比より、カオス拡散符号のリヤプノフ指数を変更しても同じ信号対干渉比となり、性能がリヤプノフ指数に依存しないことが解析的に示された。

(3) パワー一定の複素カオス符号を複素平面上にプロットすると単位円を描く。その連続する3点で形成される三角形の2番目の点における内角に着目した。パワー一定カオスはベルヌーイ写像によって生成された点を単位円上にプロットした場合と等価となる。単位円上に一様乱数をプロットした場合、その角度の期待値は $\pi/3$ となる。しかし、リヤプノフ指数 $\log(p)$ のベルヌーイ写像による系列をプロットした場合には $(2+1/p)\pi/6$ となり、一様乱数の場合とは大きく異なることが示された。また、 p が大きな値をとるにつれて一様乱数を使用した場合の結果に漸近することが分かった。パワー一定カオス系列



を拡散符号として使用した場合のチップ同期 CDMA の信号対干渉比は一様乱数を拡散符号として使用した場合と等しい。しかし本結果では内角に着目すると違いが表れることが分かった。この物理量は純粋乱数とカオス系列判定の一つの指標として一般的に使用できる可能性を持つ。

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 8 件)

- ① Ryo Takahashi, Etsushi Nameda and Ken Umeno, "Inner angle of triangle on unit circle made of consecutive three points generated by chaotic map", JSIAM Letters, vol. 2, pp. 9-12, 2010, 査読有り
- ② Ryo Takahashi and Ken Umeno, "Performance evaluation of band-limited baseband synchronous CDMA using orthogonal ICA sequences", IEICE Trans. Fundamentals, vol. E93-A, no. 3, pp. 577-582, Mar. 2010, 査読有り
- ③ Ryo Takahashi and Ken Umeno, "Performance analysis of complex CDMA using complex chaotic spreading sequence with constant power", IEICE Trans. Fundamentals, vol. E92-A, no. 12, pp. 3394-3397, Dec. 2009, 査読有り

〔学会発表〕（計 6 件）

- ① 高橋亮, 行田悦資, 梅野健, 単位円上の可解カオスの性質, 日本応用数理学会, 2009年3月, 京都大学
- ② 高橋亮, 行田悦資, 梅野健, パワー一定の複素カオス拡散符号の性能評価, 電子情報通信学会非線形問題研究会, 2008年12月, 石川県文教会館
- ③ Ryo Takahashi and Ken Umeno, Performance comparison of band-limited baseband synchronous CDMA using between Walsh-Hadamard sequence and ICA sequence, July 2008, University of Klagenfurt, Austria.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 亮 (Takahashi Ryo)

独立行政法人理化学研究所・Zhang 独立主幹

研究ユニット・特別研究員

研究者番号：00455354