

自己評価報告書

平成23年5月9日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20360174

研究課題名 (和文) カ学系理論による符号設計とそのデジタル通信への応用

研究課題名 (英文) Code design based on dynamical systems theory and its application to digital communications

研究代表者

香田 徹 (TOHRU KOHDA)

九州大学・大学院システム情報科学研究所・特任教授

研究者番号：20038102

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：カオス力学系, 擬似直交系列, 同期確立, 時間・周波数同時表現

1. 研究計画の概要

携帯電話・無線通信の分野では OFDM (直交周波数多重) 方式の実用化が急速に進んだ。OFDM はスペクトル効率がよくマルチパスフェージングにも強いものの、搬送波キャリアの直交性の保持を必須条件としており、ドップラー効果による周波数オフセット、時間同期の誤差に対し脆弱である。信頼性の高い通信を行うには、雑音や干渉のある通信路の適切なモデルの構築とその推定方法が通信システム設計の上で極めて重要である。スペクトル拡散方式は、単一ユーザーで非拡散通信の場合時の 100 倍程度の帯域を利用するので、一見スペクトル利用効率が悪いように見えるが、妨害波・干渉波に強い点が OFDM に比べ有利である。また、広帯域性からくる時間分解能の高さと同期捕捉法を組み合わせれば複数到来波の遅れ時間のチップレベルでの推定が可能であり、マルチパス対策が可能である。本研究では、時間・周波数の誤差の同時推定を可能にする Gabor2 次元表現に基づく通信システムを提案する。本方式は Gauss 包絡線キャリアに基づくので、同期誤差に対し頑強となることが期待される。

2. 研究の進捗状況

カオスを利用した通信の研究は1990年代に始まったが、その多くはカオス実数値軌道をそのまま利用するアナログ通信であり、現在隆盛を極めるデジタル通信の諸技術の上に直接載せることが困難と考えられる。一方、本提案手法は、カオス力学系をバイナリ系列の設計に役立てる手法なので、CDMAやOFDMなどの既存のデジタル通信技術に容易に適合できる利点を持つ。第3.9世代携帯電話で利用されるOFDM方式では、通常のシンボル同期に

加えて、サブキャリア間の干渉を無くすために高精度な周波数同期が必要であり、通話者の移動にともなうドップラー効果への対策が必須となる。

研究代表者らはこの状況に鑑み、2008年にサブキャリア間の直交性が不要な擬似直交マルチキャリア CDMA を提案し、さらにこの結果を発展させたユーザ間の時間・周波数の同期誤差に強い耐性をもつ Gabor-Division(GD)-CDMA を提案した。

(1) 負のマルコフ符号を用いることでユーザ間干渉を独立同分布 (i. i. d.) 符号に比べ最大 9/25 まで削減可能であることを示した、(2) 時間と周波数のオフセットを同時に推定可能な 2 次元同期捕捉法を提案した、(3) マルコフ拡散符号を用いることで、元来ベル型の Gauss 波形を時間周波数の 2 次元格子状に並べた GD-CDMA の周波数スペクトルが平坦になることを示した。

以上の結果から、GD-CDMA は、OFDM 方式で問題であったドップラー周波数シフト対策が可能であることが示された。これらの結果は、信号処理分野では最大規模の国際会議 ICASSP2011 に採録され平成 23 年 5 月公表予定である。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

当初計画のうち、(1) シングルキャリア CDMA におけるチップ波形最適化の問題を解決した。(2) マルチユーザ受信器 (MUD) におけるカオス拡散符号の性能評価を実施し、国内研究会で公表した。(3) マルチキャリア CDMA の設計問題に関して、擬似直交 CDMA が Globecom2008 に採録された。こ

の結果をさらに進めた周波数分割に基づくFD-CDMAを提案した。(4)通信路符号設計の力学系理論の視点について、LDPC符号におけるGallagerの復号法の力学系の解釈を与えた。以上の小課題について、当初計画の目標に到達している。残された課題として、(5)同期捕捉、(6)マルチパスへの対応(7)測距があり、これらは現在検討中のGD-CDMAの受信機設計により可能となる(ICASS P2011採録)。以上のように、当初計画はほぼ完遂できる見込みである。さらに、アナログデジタル変換器で標準のPCM方式、 $\Sigma\Delta$ 変調に代わる、新しい β 進展開に関して理論的重要な結果を得ておりこれに関する特許を取得した。AD/DA変換については、当初計画に全くなかったが、力学系に基づく符号設計の根幹技術の開発に成功しており、現在、FIRST合原最先端数理プロジェクト発足において、重要なテーマのひとつとして採択され、理論・実践の多数の研究者を巻き込んだ研究グループを形成するに至った。

4. 今後の研究の推進方策

最終年度は、研究成果の公開・公表、通信・信号処理分野に成果を広めることに重点をおく。そのため、査読付き国際会議へ3件投稿済みであり、うち1件はすでに受理されている。他に7月までに1件投稿予定である。さらに、特許出願の準備を進めており、5月にも出願手続きの計画をしている。次の3点について研究を遂行する。

(1)信号・干渉の評価と2次元同期捕捉：提案法(Gabor-Division(GD)-CDMA)は、その基本概念を国際会議(ICASSP2011,5月開催)で公表する。その特性について詳細に調べる必要があり、信号成分・自己干渉評価、ユーザ間相互干渉の評価を行う。本方式は、時間・周波数2領域の拡散符号を利用するので、その符号の同期捕捉を行うことで時間と周波数のオフセットの同時推定が可能となる。

(2)新型同期捕捉回路の利用：現在、キャリア位相の同期は位相同期回路(Phase-Locked-Loop;PLL)により行われるのが普通である。しかし、周波数がダイナミックに変化する状況では、位相が極端に変化し、ロックを外れることが起こりうる。また、研究代表者らは、送信側と受信側発信器の周波数と位相の誤差に関する2変数非線形方程式をニュートン法により解くことで、周波数と位相を同時に推定する新しい同期回路を提案した。提案法は周波数が急激に変化しても頑強に推定することができる。この回路をGD-CDMAシステムのフロントエンドとして利用することを計画している。なお、この方式は国内と海外主要国で特許出願をすませている。

(3)ウルトラワイドバンド通信への対応：提

案手法であるGD-CDMAをウルトラワイドバンド(UWB)のスペクトルマスク基準を満たすように設定する。ウルトラワイドバンドの超広帯域性を利用して、隣接するサブキャリアの間隔と時間方向のチップの間隔を十分余裕を持って設計することで同期捕捉が容易に行えると考えられる。

5. 代表的な研究成果

(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12件)

- ① 香田徹, カオスによる信号処理-デジタル通信にアナログは活用できるか?- 電子情報通信学会基礎・境界ソサイアティ Fundamental Review, vol.2, No.4, 16-36, 2009, 査読有

[学会発表] (計17件)

- ① Kohda, Jitsumatsu, Aihara, 2D Markovian SS codes flatten Time-frequency distribution of signals in asynchronous Gabor division CDMA systems, 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2011年5月, プラハ, チェコ

- ② Kohda, Une, Aihara, An Active Reflectionless Intergrable Transmission-Line Model of the Cochlea: Revisited, Mechanics of Hearing 2011, 2011年7月, Williamstown, Massachusetts

[図書] (計2件)

- ① 香田徹・吉田啓二(著), 電気回路, 朝倉書店, 2008年, 251頁

- ② 香田徹(著), 非線形理論(電気情報通信レクチャーシリーズ), コロナ社, 2009年, 196頁

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称: 同定装置及び同定方法

発明者: 香田徹, 荻原幸之助

権利者: 九州大学

種類: 特許

番号: 特願2010-38757

出願年月日: 2010年2月24日

国内外の別: 外国

○取得状況 (計2件)

名称: 変換器、変換方法、プログラム、及び記憶装置

発明者: 香田徹, 弘中聖士, 合原一幸

権利者: 九州大学・JST

種類: 特許

番号: EP2169832

取得年月日: 2010年3月31日

国内外の別: 外国