

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18760287  
 研究課題名（和文） 非線形ひずみ存在下における OFDM 信号の  
 ビット誤り率の理論的導出法に関する研究  
 研究課題名（英文） Theoretical Derivation Method of Bit Error Rate for OFDM Signals  
 over Nonlinear Channels  
 研究代表者  
 前原 文明（MAEHARA, Fumiaki）  
 早稲田大学・理工学術院・准教授  
 研究者番号：80329101

## 研究成果の概要：

本研究では、ユビキタスネットワークを実現するために必須となるブロードバンド無線通信に関する研究課題を採り上げている。具体的には、ブロードバンド無線通信を実現する OFDM 変調方式について、実用的な問題点である、非線形ひずみによる伝送特性の劣化を、計算機コストを要しない簡易な数式表現により明らかにすることを目的とする。本研究成果により、これまでのコンピュータシミュレーションによる特性解析がもたらす多大な計算コストを必要とすることなく、非線形ひずみによる伝送特性劣化の影響を把握することができる。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,400,000	0	1,400,000
2007年度	1,300,000	0	1,300,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	270,000	3,870,000

研究分野：デジタル無線通信

科研費の分科・細目：情報学、計算機システム・ネットワーク

キーワード：OFDM，非線形増幅，非線形ひずみ，帯域制限，オーバーサンプリング

## 1. 研究開始当初の背景

ブロードバンド無線通信を実現する変調方式として、直交周波数分割多重（OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing）が注目を集めており、既に、デジタル放送および無線LANには採用され、将来の第

4世代移動通信システムにおいても、その適用が有力視されている。ところが、OFDM変調方式をいずれのシステムに適用する場合にも、伝送特性の劣化を引き起こし、周波数の有効利用を妨げる原理的な問題が存在する。具体的には、OFDM変調は、送信波形が

変化の激しい雑音のような信号となるために、信号のピーク対平均電力比 (PAPR: Peak-to-Average Power Ratio)が、これまで多くのシステムで適用されてきたシングルキャリア方式と比較して非常に大きくなる。したがって、このような信号を送信機において、線形的に増幅する領域が制限される通常の増幅器で増幅すると非線形ひずみが発生し、その特性が大きく劣化する。実際に、OFDM変調を用いたシステムを回線設計する立場から見ると、信号において非線形ひずみがどの程度発生し、そのひずみがどの程度の伝送特性の劣化を引き起こすかを事前に把握することは極めて重要な課題である。現在、このような非線形ひずみの影響や伝送特性の劣化量は、経済的・時間的に大きなコストのかかる大規模な計算機シミュレーションにより取得することが多い。また、取得された結果も、対象とするシステムが変わると、無線方式の観点からは同等と見なすことができるのに、送信機が使用する非線形増幅器のバックオフや無線伝搬条件などの設計パラメータが異なるため、異システム間で転用することは容易なことではない。したがって、このような設計パラメータを包含する比較的簡易な理論解析式を確立することが期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、非線形ひずみがOFDM信号のビット誤り率に与える劣化の度合いを理論的に解析するとともに、簡易な理論式を導出することを目的とする。具体的には、無線伝搬環境として、熱雑音だけでなく、フェージングを想定し、変調方式としては、位相のみに情報を重畳したQPSK変調だけでなく、最近の無線システムに積極的に適用されている振幅と位相に情報を重畳したM値QAM変調を対象としたOFDM信号のビット誤り率を、

級数表現を用いた数式により表現する。

## 3. 研究の方法

様々な伝搬環境下や変調方式を想定して、理論式により得られたビット誤り率特性とコンピュータシミュレーションにより得られたビット誤り率特性を比較・評価する。さらに、理論式により得られたビット誤り率特性とコンピュータシミュレーションにより得られたビット誤り率特性との一致を確認することにより、導出したビット誤り率の理論式の妥当性を確認する。

## 4. 研究成果

2006年度は、理論解析に先立って、非線形ひずみに起因した帯域外輻射と信号ひずみがOFDM信号に与える影響を定性的に把握することを目的として、連続的なOFDM信号をオーバーサンプリングにより計算機上に生成するとともに、非線形増幅器を通過したOFDM信号に現れる非線形ひずみの影響を周波数特性や信号空間ダイアグラムの観点から観察・評価した。特性評価の結果、サブキャリア数が十分に大きい場合、非線形ひずみの影響は、熱雑音と同様のガウス雑音に近似できることがわかった。

2007年度は、非線形ひずみと熱雑音が存在する環境下における、ナイキストレートOFDM信号の理論ビット誤り率を導出するとともに、理論ビット誤り率特性と計算機シミュレーションにより得られるビット誤り率特性を比較・評価することにより、導出式の妥当性を確認した。さらに、ナイキストレートOFDM信号の理論ビット誤り率は、計算機シミュレーションにより得られる連続時間OFDM信号のビット誤り率よりも劣化することも明らかにした。これは、ナイキストレートが、実際には帯域外に輻射される非

線形ひずみの影響を伝送帯域内に留め、連続時間信号の場合よりも各サブキャリアにおける非線形ひずみの影響を増加させることに起因した結果である。

2008年度は、熱雑音に加えて、フェージングと非線形ひずみが存在する現実的な伝送路条件下において、ナイキストレートOFDM信号の理論ビット誤り率を簡易な級数表現を用いて導出するとともに、理論ビット誤り率特性と計算機シミュレーションにより得られるビット誤り率特性を比較・評価することにより、導出式の妥当性を確認した。さらに、本導出式の適用範囲を連続時間OFDM信号へ拡張すべく、帯域外に輻射される非線形ひずみの影響を理論的に考察した。

以上3カ年の研究により、フェージングと非線形ひずみが存在する現実的な伝送路条件下において、OFDM信号の理論BERが簡易な数式により導出できる確固たる見通しを得た。

#### 5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計2件)

1. Y. Goto, A. Yamakita, F. Maehara, "Simple series form formula of BER performance of M-ary QAM/OFDM signals over nonlinear fading channels," Multi-Carrier Systems & Solutions (MC-SS 2009), 査読有, 2009, pp. 281-290.

2. F. Maehara, A. Taira, F. Takahata, "Simple series form formula of BER performance for DQPSK/OFDM signals in comprehensive nonlinear fading channels," Proc. IEEE Radio and Wireless Symposium 2008, 査読有, 2008, pp. 37-40.

#### 〔学会発表〕(計6件)

1. 山北晃大, 後藤侑一郎, 前原文明, 笹森文仁, "非線形ひずみと時間選択性フェージング

が存在する環境下におけるDBPSK/OFDM信号の級数表現を用いた理論ビット誤り率の導出法," 電子情報通信学会総合大会 B-5-68, 2009年3月, 愛媛大学.

2. 後藤侑一郎, 前原文明, "非線形増幅を伴うOFDM信号へのガウス雑音近似を用いた理論ビット誤り率導出式の適用性に関する検討," 電子情報通信学会技術研究報告 WBS2008-36, pp.43-47, 2008年10月, 山口大学.

3. 後藤侑一郎, 前原文明, "非線形ひずみとフェージングが存在する環境下における多値変調/同期検波を適用したOFDM信号の級数表現を用いた理論ビット誤り率の導出法," 電子情報通信学会技術研究報告 RCS2008-27, pp. 67-71, 2008年6月, 三重大学.

4. 神谷尚邦, 前原文明, "非線形ひずみ存在下におけるCAZAC-OFDM方式の伝送特性評価," 電子情報通信学会総合大会 B-5-2, 2008年3月, 北九州学術研究都市.

5. 後藤侑一郎, 前原文明, "非線形ひずみとフェージングが存在する環境下における多値変調/同期検波を適用したOFDM信号のビット誤り率特性の級数表現," 電子情報通信学会総合大会 B-5-3, 2008年3月, 北九州学術研究都市.

6. 原田浩行, 前原文明, "非線形ひずみ環境下におけるナイキストレートOFDM信号のビット誤り率理論特性の適用性に関する検討," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-80, 2007年9月, 鳥取大学.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

前原 文明 (MAEHARA FUMIAKI)  
早稲田大学・理工学術院・准教授  
研究者番号：80329101