

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年4月25日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560407

研究課題名（和文） 次世代ブロードバンド無線通信システムを対象とした伝送特性改善に関する研究

研究課題名（英文） A Study on Improve Performance in the Next-generation Broadband Wireless Communication Systems

研究代表者

山下 勝己（YAMASHITA KATSUMI）

大阪府立大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：60158152

研究成果の概要（和文）：

直交周波数分割多重(OFDM)方式は、種々の無線通信システムに採用されている。OFDM信号は、送受信機のキャリア周波数誤差(CFO)によりサブキャリア間の直交性が崩れ、キャリア間干渉を引き起こす。

一方、小型化・低コスト化・省電力化を可能とするダイレクトコンバージョン受信(DCR)方式が非常に注目を受けているが、直流オフセット(DCO)及びI/Q不均衡問題等、非常に深刻な問題を生じる。本研究では、OFDM DCRにおけるアナログ歪み、すなわち、CFO、DCO及びI/Q不均衡を補正し、伝送特性を改善する新たな手法を提案した。

研究成果の概要（英文）：

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) has been adopted in many wireless communication systems. OFDM is known for its sensitivity to carrier frequency offset (CFO). Since the CFO destroys the orthogonality among subcarriers, the resulting inter-carrier interference (ICI) leads to severe performance degradation.

On the other hand, direct-conversion receiver (DCR) has attracted a lot of attention in recent years, for its smaller size and lower cost. However, the price is the additional disturbances, such as DC offset (DCO), I/Q imbalance. Obviously, the coexistence of the CFO and DCO is a critical problem in an OFDM DCR. In order to improve bit error ratio performance in the presence of analog impairments, a novel joint estimated method of CFO, DCO and I/Q imbalance were proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：OFDM通信、DCR方式、周波数補正、直流オフセット補正、I/Q不均衡補正

## 1. 研究開始当初の背景

OFDM方式は、ガードインターバルの設定によりマルチパスへの耐性を高めること

が可能であり、これまで地上波デジタルTV放送や無線LAN等の通信方式として実用化され、最近では、次世代移動通信システ

ムへの検討が積極的に進められている。また、受信端末機において、小型化・低コスト化・省電力化を可能とするダイレクトコンバージョン受信 (Direct Conversion Receiver : DCR) 方式が非常に注目を受けているが、DCR 方式では、RF 信号をベースバンド信号に直接変換することから、直流オフセット (Direct Current Offset : DCO), I/Q 不均衡等の問題が新たに発生する。DCO とは、RF 部での信号漏れを原因としたセルフミキシングにより引き起こされるものであり、I/Q 不均衡とは、I 相成分と Q 相成分が理想的状態から歪むことにより引き起こされるものであり、DCO 及び I/Q 不均衡によるイメージ干渉により誤り率特性は著しく劣化する。

本研究では、CFO, DCO 及び I/Q 不均衡補正問題は、OFDM DCR 受信機の実用化を目指す際には、避けては通れない非常に重要な課題と位置づけ、同問題の解決策を提案する。

## 2. 研究の目的

OFDM 変調信号に対する CFO 推定に関する研究は数多く報告されており、一例として、M.Morelli 等による方法等を挙げることができる。また、I/Q 不均衡補正問題として、LO の振幅差と位相差しか考慮しない周波数非選択性 I/Q 不均衡の補正法として、A. Tarighat 等による方法、また、I ブランチと Q ブランチに設置されたフィルタなどアナログ部品の特性の違いを考慮に入れた周波数選択性 I/Q 不均衡の補正法として、E.Lopez 等による方法等が提案されている。しかしながら、CFO 推定に非線形最小二乗問題を解く必要があることから、次元探索を必要とし実用化においては大きな障害となる。

本研究では、CFO 推定の非線形最小二乗問題を線形最小二乗問題に変換することにより、計算負荷を大幅に軽減し得る新たな手法を提案する。更に、提案手法に基づき、OFDM DCR 受信機において生じる DCO 及び I/Q 不均衡補正問題を解決する。

## 3. 研究の方法

OFDM 変調信号に対する CFO, DCO 及び I/Q 不均衡補正を可能とする評価関数を作成する。その際、CFO 推定の評価関数を、線形最小二乗問題とすることを念頭に構成する。次に、同関数を最小化するアルゴリズムを開発すると共に、計算機シミュレーションにより提案したアルゴリズムの有効性を検証する。一方、FPGA 評価ボード装置の基本的動作等を確認する。なお、動作確認実験には、CFO, DCO 及び I/Q 不均衡補正の回路化を実施するものであるが、実現可能性の高いシステムを構築するには、数値実験により得られたモデルを、より回路化に適したモ

デルに改良する必要がある。ここでは、数値実験を通し回路規模縮小化を主目的としたシステム設計を行った。

## 4. 研究成果

DCR 受信機において生じる DCO 及び I/Q 不均衡補正問題に対して、提案手法の有効性を表 1 のモデルに対して検証した。通信路は 6 パスのレイリーフェージングチャネルを想定し、OFDM 信号のガードインターバル長は、通信路の最大遅延長より長いものとした。図 1 には、I/Q 不均衡の振幅及び位相誤差をそれぞれ  $g = 1.25, \phi = 6^\circ$  とし、正規化 CFO 値を  $\varepsilon = 0.2$  とし、また、カットオフ周波数  $f_x = 100\text{KHz}$  とした際の、SNR に対する CFO の平均 2 乗誤差を示したものである。同図より、従来手法に比較して、提案手法のほうが SNR 値が高い領域において、CFO の推定が非常に優れていることが分かる。

表 1. シミュレーション諸言

Modulation scheme	QPSK
Number of subcarrier	64
Channel	Rayleigh fading
HPF	1st order Butterworth
LNA gain	35/15[dB]
Normalized frequency offset	-0.5 ~ 0.5

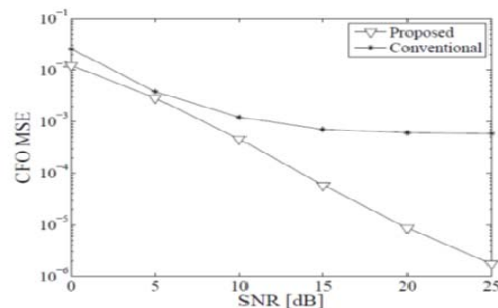


図 1  $f_x = 100\text{KHz}, g = 1.25, \phi = 6^\circ$   
 $\varepsilon = 0.2$  に対する CFO MSE 対 SNR

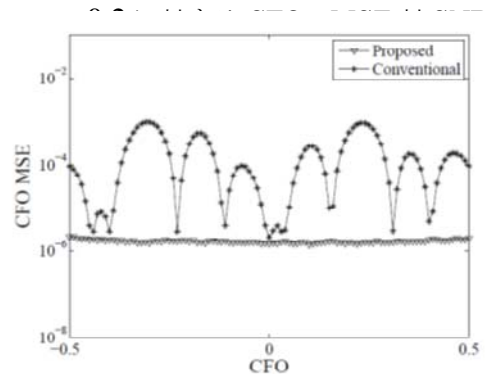


図 2  $f_x = 100\text{KHz}, g = 1.25, \phi = 6^\circ$   
SNR=25dB に対する CFO MSE 対  $\varepsilon$

図2には、 $\varepsilon = -0.5 \sim 0.5$ における $\varepsilon$ に対するCFOの平均2乗誤差を示した。同図より、提案手法の方が従来法に比較して、CFOの推定がCFOの値に殆ど依存していないことが分かる。図3及び図4には、SNRに対するIRR及びBER特性を示したものである。図3より、提案手法によるI/Q不均衡の補正の有効性が、また、図4より、提案手法による伝送特性の有効性が分かる。更に、図4におけるSNR値が高い領域においては、CFO、DCO及びI/Q不均衡を有しない、すなわち、アナログ歪みなしの特性と殆ど一致していることが分かる。

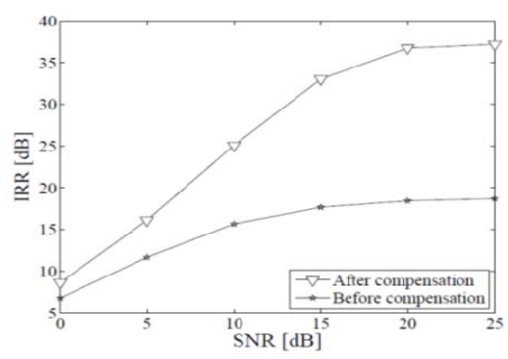


図3  $f_x = 100\text{KHz}$ ,  $g = 1.25$ ,  $\phi = 6^\circ$   
 $\varepsilon = 0.2$ に対するIRR対SNR

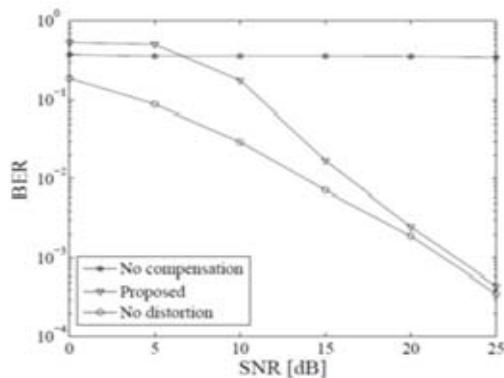


図4  $f_x = 100\text{KHz}$ ,  $g = 1.25$ ,  $\phi = 6^\circ$   
 $\varepsilon = 0.2$ に対するBER対SNR

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計8件)

- ① X.Cai, Y.Wu, H.Lin, K.Yamashita, "Estimation of CFO and I/Q Imbalance in OFDM System under Timing Ambiguity", IEEE Trans.Vehicular Technology, vol.60, no.3, pp.1200-1205, Mar. (2011).
- ② H.Lin, X.Xhu, K.Yamashita, "Low-Complexity Pilot-Aided Compensation for Carrier Frequency offset and I/Q Imbalance, " IEEE Commun., vol.58, no.2,pp.448-452, Feb.(2010).

- ③ U.Yunus, H.Lin, K.Yamashita, "Joint Estimation of Carrier Frequency and I/Q Imbalance in the presence of Time-Varing DC Offset", IEICE Trans. Commun., vol.E93-B, no.1, pp.16-21, Feb. (2010).

\* 上記の論文は全て査読有.

[学会発表] (計9件)

- ① H.Lin,K.Yamashita, "Blind Frequency-Dependent I/Q Imbalance Compensation Using System Identification", Proc. of IEEE GLOBECOM, Houston, USA, Total 5 pages (2011).
- ② M.Ohta, M.Okuno, K.Yamashita, "Receiver Iteration Reduction of an N-Continuous OFDM System with Cancellation Tones", Proc. of IEEE GLOBECOM, Houston, USA, Total 5 pages (2011).
- ③ T.Onishi, Md.A.Hossain, H.Lin, K.Yamashita, "Blind OFDM Carrier Frequency Offset Estimation in the Presence of DC Offset", Proc. of IEEE WiMob, Shanghai, China, Total 5 pages (2011).

[図書] (計1件)

- ① M.Khosravy,M.R.Alsharif,K.Yamashita, "Blind Source Separation: generalization, Modification and Applications to Speech, Image and MIMO-OFDM Communications Systems", Lap Lambert Academic Publishing, Germany, Total 137 pages (2011).

[産業財産権]

○出願状況 (計3件)

- ① 名称：OFDM 通信システムにおけるアナログ損失のハイブリッドドメイン補償方法方式に基づくWLANにおけるCFOおよびIQインバランスの補正方法  
発明者：林海、山下勝己  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：PCT/JP2009/005834  
出願年月日：2009年11月1日  
国内外の別：国外
- ② 名称：送受信方法  
発明者：林海、山下勝己  
権利者：大阪府立大学  
種類：特許  
番号：特願2010-270909  
出願年月日：2010年12月3日

- 国内外の別：国内
- ③ 名称：I/Q インバランス補償方法および  
I/Q インバランスを補償する複素復調器  
と受信装置
- 発明者：林海、山下勝己
- 権利者：大阪府立大学
- 種類：特許
- 番号：特願 2011-265271
- 出願年月日：2011年12月2日
- 国内外の別：国内

[その他]

<http://www.eis.osakafu-u.ac.jp/~iic/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山下 勝己 (YAMASHITA KATSUMI)  
大阪府立大学・工学 (系)  
研究科 (研究院)・教授  
研究者番号：60158152