

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560469

研究課題名(和文) ワイドバンド通信システムにおけるアナログ歪み補正に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Improving Device Impairments for the 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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年、半導体技術の進歩によりデジタル信号処理技術は飛躍的に向上し、同技術に基づいたワイドバンド無線受信機のアナログ回路歪み補正技術は、費用対効果の高い解決策として、非常に注目されている。

本研究では、直交周波数分割多重方式のダイレクトコンバージョン受信機に安価なアナログ部品を用いハードウェア価格を抑えると共に、ベースバンド受信DSPチップにより、I/Q不均衡等の回路歪みを補正する新たなブラインド手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：Today's, wireless communication systems demand high-speed and high-efficient data transmission. Therefore, orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) systems have been adopted in a lot of communication standards. Also, the direct-conversion receiver without intermediate frequency hardware components, is small, low-power consumption, and low-cost to equip.

In this paper, we propose a novel blind I/Q imbalance estimation for the direct-conversion OFDM receiver.

研究分野：工学

キーワード：直交周波数分割多重 デジタル信号処理技術 アナログ歪み補正技術 I/Q不均衡補正

### 1. 研究開始当初の背景

スマートフォンの登場により、人々のライフスタイルはここ数年の間に急激に変化した。同時に、ユーザが移動体通信に寄せる期待や技術的要求は日々高まってきている。次世代移動体通信システムでは、物理層において直交周波数分割多重方式 (OFDM) と多値変調 (high-order QAM) の組み合わせにより、高密度かつ大容量の伝送を可能にし、また空間多重 (MIMO) 技術を用いることで、更なる通信容量の増加を目指している。これら高度化された通信方式では、サイズや電力の制約の下で、より高精度な受信機設計が要求される。以上の背景から、小型かつ低消費電力なダイレクトコンバージョン受信機 (DCR) とデジタル信号処理 (DSP) の組み合わせによる受信機設計が注目されている。DCR では RF 信号を直接ベースバンドへダウンコンバージョンするため、従来の IF 帯での信号処理が不要であり、小型化・低消費電力を実現できる。また、半導体技術の発展により、非常に小さなチップでも同期・等化・復調等の高度な DSP が可能となった。

一方で、移動体端末はマーケットにおける熾烈な価格競争の影響により、大量生産・低コスト化が進んでいる。安価で低精度な DCR では、RF フロントエンドのアナログ回路において回路歪みが生じ、受信性能を著しく劣化させるという問題点がある。その 1 つとして I/Q 不均衡 (I/Q imbalance) がある。I/Q 不均衡は I 相・Q 相間の局部発信機 (LO) 信号の歪み (振幅・位相) や、IQ 相の高周波回路の周波数特性の差異により、ベースバンド信号の IQ 相間の信号に不均衡が生まれる現象である。本研究では、DSP により受信機 I/Q を推定かつ補正する手法を提案し、これを解決する。

### 2. 研究の目的

Tarighat らの提案した手法では、パイロット信号と呼ばれる受信側で既知の信号を用いて、I/Q 不均衡を推定し補正を行っている。一方、Antilla らは受信信号の統計量を用いたブラインド推定法を提案している。ブラインド推定法は、パイロット信号のように通信規格に依存することなく、広汎に利用できることを利点としている。

本研究では、受信機 I/Q 不均衡のブラインド推定に着目するものである。Antilla らの手法は、複素信号に対する推定・補正法を提案しているため、推定における計算負荷が多いという欠点がある。この欠点を克服するために、本研究では、より計算負荷の少ない実信号を対象とした推定・補正法を提案する。

### 3. 研究の方法

まず、I/Q 不均衡のモデルを構築する。Antilla らの手法は複素信号を考えているが、ここでは、I 相・Q 相を別々に考えることで実信号に対するモデリングを行っている。

次に、ブラインド推定では、受信信号の統計量が重要となる。QAM 信号や OFDM 信号は、2 次統計量 (自己相関関数・相互相関関数) が循環対称 (circular または proper) であるという性質がある。実信号に対して、これらの性質を利用することで、I 相・Q 相の信号の自己相関関数および I/Q 相間の相互相関関数を用いることにより、I/Q 不均衡を推定できることを示す。最後に、これらの推定法の性能を数値シミュレーションにより評価し、従来法よりも高い補正性能を有していることを確認する。

### 4. 研究成果

提案法の有効性を示すために、計算機シミュレーションを行った。送信信号は、サブキャリア数 1024 の OFDM 信号であり、各サブキャリア信号は 16-QAM 変調されているものとした。I/Q 不均衡の値は振幅の不均衡を 1.2、位相の不均衡を  $5^\circ$  とし、AWGN チャネルにおける性能を検証した。

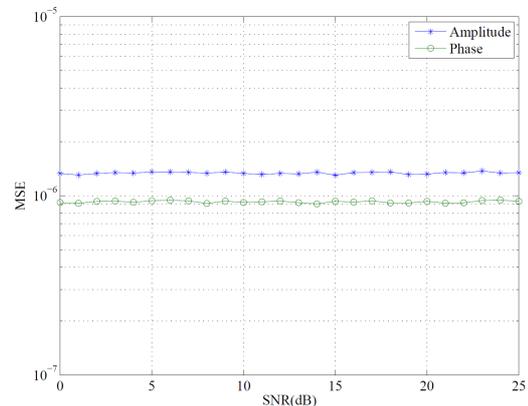


図 1 SNR に対する MSE

図 1 は通信路の信号対雑音比 (SNR) に対する I/Q 不均衡の推定値の平均 2 乗誤差 (MSE) を示している。注目すべき点は、MSE が SNR に対してフラットであることであり、これは通信路 SNR に依存せずに安定した推定性能が確保されていることを意味している。

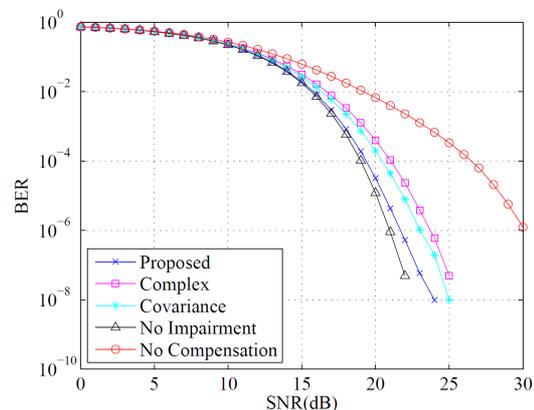


図 2 SNR に対する BER

次に、図2はSNR対するビット誤り率(BER)を示したものである。提案法は従来法である「Complex」、「Covariance」よりも低いBERを実現できている。

次に周波数選択性I/Q不均衡補正に関する結果を示す。通信路を最大遅延36サンプルのレイリーフェージングチャネルとし、ドップラー周波数を50Hzとした。これは搬送波周波数が800MHzである場合に、端末が67.5km/hで移動する環境を想定している。通信路SNRは35dBとし、振幅の不均衡は1.05、位相の不均衡は $-3^\circ$ とした。また、I相およびQ相のフィルタは5次のFIRフィルタとして設計し、振幅特性をI相・Q相で変化させた。

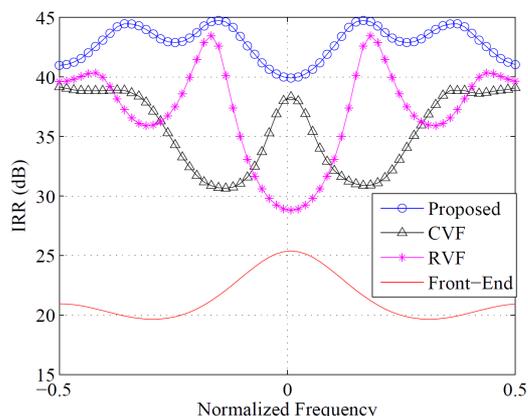


図3 最小位相の差分フィルタに対するIRR

図3は最小位相の差分フィルタに対するイメージ干渉除去比(Image Rejection Ratio)を示しており、高いほどI/Q不均衡を補正できていることになる。提案法は複素フィルタを用いる従来法CVFよりも高いIRRを示しており、フロントエンドに対して20dB以上の改善を示している。

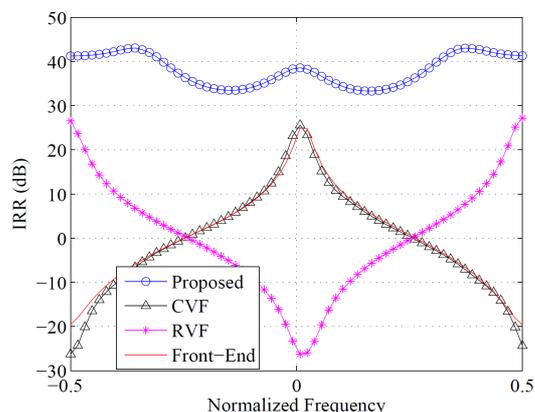


図4 非最小位相差分フィルタに対するIRR

図4は非最小差分フィルタに対するIRRを示している。差分フィルタが非最小位相となる場合には、従来法は推定ができないため、IRRを改善できていないが、提案法は高いIRRを維持している。

## 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計5件)

H.Kawasaki, M.Ohta, K.Yamashita, "Extension of N-continuous Precoder Matrix for Improving Error Rate", IEEE Communications Letters, vol.19, no.2, pp.283-286 (2015).

M.Ohta, Y.Kanematsu, K.Yamashita, "Improvement of SER of spectrum sculpting precoder with SLM for sidelobe suppression of OFDM signal", IEICE Communication Express, vol.3, no.3, pp.118-123 (2014).

川崎耀, 太田正哉, 山下勝己, "コグニティブ無線に向けたNCSP-OFDMのサイドローブ抑圧性能の評価", 電気学会論文誌C, John Wiley & Sons, vol.134, no.11, pp.1624-1625 (2014).

H.Lin, T.Onishi, R.Kume, K.Yamashita, "Frequency offset and I/Q imbalance estimation for orthogonal frequency division multiplexing based wireless local area networks", Physical Communication, 5, 209-216 (2012).

H.Lin, K.Yamashita, "Time domain blind I/Q imbalance compensation based on real-valued filter", IEEE Trans. Wireless Communications, 11, 4342-4350 (2012).

\* 上記の論文は全て査読有。

(学会発表)(計5件)

M.Sakai, H.Lin, K.Yamashita, "Adaptive Cancellation of Self-Interference in Full-Duplex Wireless with Transmitter IQ Imbalance", Proc. of IEEE GLOBECOM 2014, Austin, Texas, USA, Total 5 pages (2014).

M.Ohta, H.Kawasaki, K.Torigoe, K.Yamashita, "Matrix Decomposition Suitable for FPGA Implementation of N-continuous OFDM", Proc. of Int. Conf. on Information and Communication Technology Convergence 2014, Busan, Korea, pp.413-415 (2014).

H.Kawasaki, T.Fujita, M.Ohta, K.Yamashita, "Timing Synchronization Performance of N-continuous Symbol Padding OFDM", Proc. of Int. Conf. on Information & Communication Technology Convergence 2014, Busan, Korea, pp.413-415 (2014).

M.Ohta, H.Kawasaki, K.Yamashita, "FPGA Implementation of N-continuous OFDM with SLM for Sidelobe Suppression", Proc. of the 28th Int. Tech. Conf. of Circuits /Systems, Computers & Communications, Yeosu, Korea, pp.762-764 (2013).

M.Ohta, Y.Kanematsu, K.Yamashita, "Spectrum Sculpting precoder with SLM for Sidelobe Suppression of OFDM signal", Proc. of the 28th Int. Tech. Conf. of Circuits/Systems, Computers & Communications, Yeosu, Korea, pp.782-784 (2013).

〔その他〕

ホームページ等

<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：6 0 1 5 8 1 5 2