

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11264

研究課題名(和文) 広帯域無線通信のための受信信号帯域内周波数偏差を有する直交誤差のブラインド推定

研究課題名(英文) Blind frequency-dependent IQ imbalance compensation for wideband wireless communication systems

研究代表者

中川 匡夫 (NAKAGAWA, Tadao)

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：50530804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：無線通信のさらなる高速化を実現するための信号周波数の広帯域化は、直交変調器・直交復調器の位相誤差・振幅誤差(IQインバランス)の受信信号帯域内の周波数偏差を増大させ、信号品質を劣化させる。低消費電力化が可能なシングルキャリア信号に対しては、このようなIQインバランスをブラインド推定・補償することが困難であった。そこで時間領域と周波数領域にまたがりIQインバランスを推定・補償するアルゴリズムを検討し、提案した。また新たな位相補償器を実装した。この結果、周波数オフセット存在下においても各種周波数依存性を有するIQインバランスに対して、伝送特性の改善効果を確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高速な通信をするためには、信号をより広い周波数範囲にわたって送らなくてはならない。しかし中央付近の周波数帯では良くても端のほうでは特性が劣化するという周波数依存性を有する不完全性を持つようになる。このような不完全性の推定は送受信機で既知の信号を用いるよりも受信データから直接補償できるブラインド推定・補償のほうが高速化の観点からは望ましい。しかしながら低消費電力化が可能なシングルキャリア信号は、ブラインド推定・補償が困難であった。本研究において、シングルキャリア信号に対して周波数依存性を持つ不完全性をブラインド推定・補償する新規技術を初めて提案し、その効果をシミュレーションによって実証した。

研究成果の概要(英文)：As the frequency bandwidth in wireless communications are wide, impairments of analog circuits of transceivers including IQ imbalance become exacerbated and have frequency-dependent. In this research, we propose a blind compensation technique for frequency-dependent IQ imbalance in the presence of carrier frequency offset of single carrier systems by using an iterative decision-directed algorithm, in which the decision is performed in the time domain and the IQ imbalance estimation is performed in the frequency domain. In the proposed configuration, phase offset is compensated by the feedforward method which is modified to adapt to the IQ imbalance compensation. Simulation results show that our proposed method operates properly and effectively.

研究分野：通信工学

キーワード：直交誤差 IQインバランス シングルキャリア ブラインド推定 ブラインド補償 周波数オフセット
フィードフォワード型位相補償

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

無線通信のさらなる高速化を実現するための信号周波数の広帯域化は、直交変調器・直交復調器の位相誤差・振幅誤差 (IQ インバランス) の受信信号帯域内の周波数偏差を増大させ、信号品質を劣化させる。このような周波数依存性のある IQ インバランスを推定・補償するためには狭帯域な周波数ごとに推定・補償する必要がある。OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 信号の有する周波数依存性のある IQ インバランスに対しては、数十から数百シンボルのトレーニング信号を用いないブラインド推定・補償の適応アルゴリズムが提案されている。一方、OFDM よりも低消費電力化が可能なシングルキャリア信号に対しては、ブラインド推定・補償は困難であった。

2. 研究の目的

- (1) 周波数依存性のある IQ インバランスを有するシングルキャリア信号に対し、トレーニング信号を用いないブラインド推定・補償技術を見出して確立する。
- (2) 周波数依存性のある IQ インバランスに加え、周波数オフセットがある場合についてもブラインド推定・補償を可能とするような信号処理アルゴリズムを確立する。

3. 研究の方法

- (1) シングルキャリア信号に先立ち OFDM 信号のブラインド推定の推定精度を、トレーニング信号を使う場合と同等にまで高精度化する。OFDM 信号は IQ インバランスを推定・補償するのも信号点配置が行われているのも共に周波数領域であり、周波数領域のみでブラインド推定が可能であるためシングルキャリアの検討の基礎となる。この高精度化のために、収束するためのコスト関数を信号点と複素平面上の円周との距離から信号点と複素平面上の四角形や他の形状との距離に変更するなどの検討を行い、周波数依存性のある IQ インバランスの推定・補償に適し、トレーニング信号を使う場合と同等にまで高精度化する手法をシミュレーションによって明らかにする。
- (2) 周波数依存性のある IQ インバランスを有するシングルキャリア信号に対するブラインド推定・補償するための前記提案手法を計算機上に構築し、シミュレーションによって特性を評価する。
- (3) 周波数オフセットがある場合の IQ インバランスに対する信号処理技術を検討し、シミュレーションによって特性を評価し、受信信号処理アルゴリズムを確立する。

4. 研究成果

- (1) 周波数依存性のある IQ インバランスを有するシングルキャリア信号に対するブラインド推定補償技術を検討し、時間領域と周波数領域にまたがり IQ インバランスを推定・補償する繰り返し判定指向形アルゴリズムを考案し、提案した。
- (2) 線形、放物線状など異なる周波数依存性を持った IQ インバランスを与えて提案方式の有効性を検証した。この結果、一様な周波数依存性を与えた時に比べて劣化するものの、繰り返し回数を 5 回程度行うことでトレーニング信号を用いた場合と同等の特性にまで補償できることを明らかにした。
- (3) 周波数オフセットがある環境下においても周波数依存性のある IQ インバランスをブラインド推定補償できるよう、あらたなフィードフォワード型の位相補償器を実装した。従来のフィードフォワード型位相補償器ではテスト位相の判定後の信号を出力しているがこの構成では IQ インバランスの補償ができないため、テスト位相の確定には判定後の信号、後段に出力する信号は判定前の信号とする構成を提案した。この結果、周波数オフセット存在下においても各種周波数依存性を有する IQ インバランスに対して、ブラインド補償による伝送特性の改善効果を確認した。提案技術を用いた受信機構成を図 1 に示す。またその特性を図 2 に示す。変調方式は 16QAM、シンボルレートは 10GHz、周波数オフセットは 1GHz、IQ インバランスは位相誤差 -20° から $+20^\circ$ 、振幅誤差を最大 1.5dB をリニア (直線形) 形状で与えている。ループ 1 回は判定した信号を用いて収束させたウェイトで 1 回 IQ インバランスを補償した結果、ループ 2 回は補償した信号を用いて再び判定し、再度収束させたウェイトで IQ インバランスを補償することを繰り返した結果である。繰り返し回数を増やすごとに BER 特性が改善し、ループ 2 回目で BER 特性は収束し、既知信号であるトレーニング信号を用いた場合とほぼ同等の特性が得られていることがわかる。

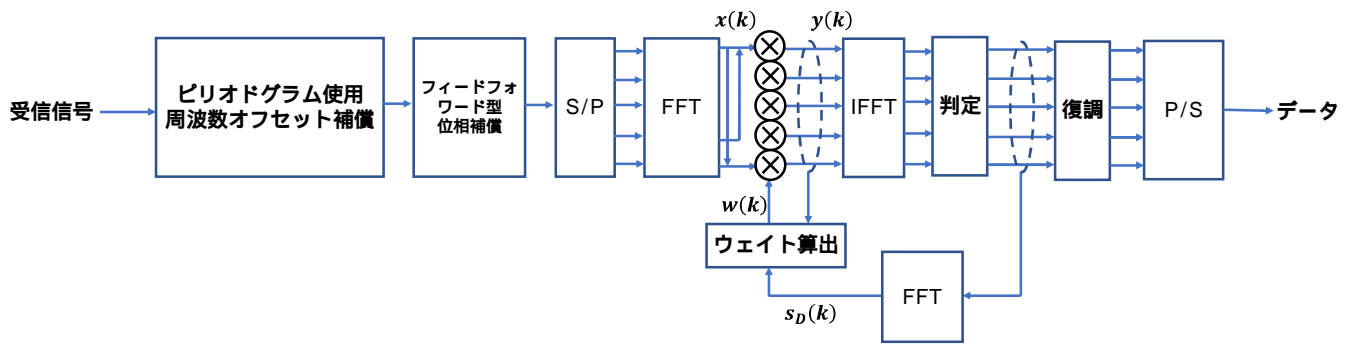


図 1 . 周波数オフセットと周波数依存性のある IQ インバランスのブラインド補償が可能な受信機構成

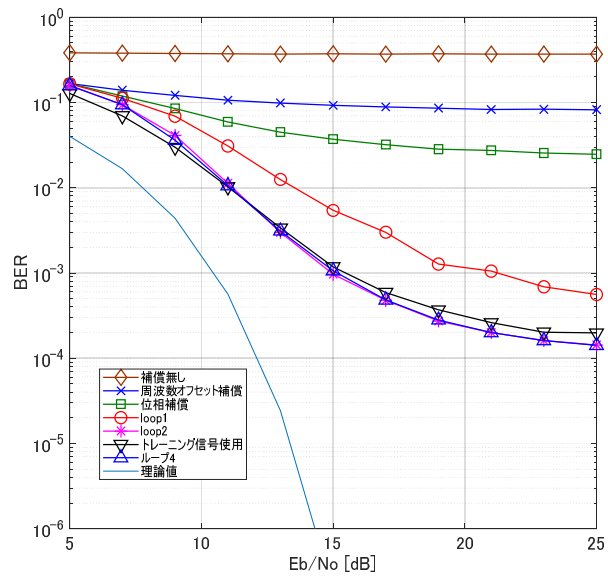


図 2 . BER 特性のシミュレーション結果

(4) 周波数依存性のある IQ インバランスを有する OFDM 信号に対するブラインド推定補償技術を検討し、CNA (Constant Modulus Algorithm)による補償器と判定後の信号を用いた LMS (Least Mean Square)による補償器を従属接続するブラインド構成を考案し、提案した。またシミュレーションによって伝送特性の改善効果を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sasaoka Naoto, Inata Hiroki, Nakagawa Tadao, Hamabe Ryoto, Itoh Yoshio	4. 巻 10
2. 論文標題 Blind frequency-dependent in-phase/quadrature imbalance compensation with constant norm algorithm and cascaded structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 237 ~ 242
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2021xb10021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森秀樹, 中川匡夫, 笹岡直人, 李斗煥	4. 巻 vol. 120, no. 260
2. 論文標題 広帯域シングルキャリア通信における周波数オフセット存在下の各種周波数依存性IQインバランスに対するブラインド補償	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 19 ~ 24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森秀樹, 中川匡夫, 笹岡直人, 李斗煥, 加保貴奈	4. 巻 vol. 118, no. 386
2. 論文標題 広帯域シングルキャリアの周波数依存性IQインバランスに対するブラインド補償	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 25 ~ 29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森秀樹, 中川匡夫, 笹岡直人, 李斗煥, 加保貴奈
2. 発表標題 広帯域シングルキャリアにおける周波数依存性IQインバランスのブラインド補償方法
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	笹岡 直人 (SASAOKA Naoto) (80432607)	鳥取大学・工学研究科・准教授 (15101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------