

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7650844号
(P7650844)

(45)発行日 令和7年3月25日(2025.3.25)

(24)登録日 令和7年3月14日(2025.3.14)

(51)国際特許分類 F I
H 0 4 L 27/26 (2006.01) H 0 4 L 27/26 4 1 0
H 0 4 B 3/06 (2006.01) H 0 4 B 3/06 D

請求項の数 6 (全7頁)

(21)出願番号	特願2022-58072(P2022-58072)	(73)特許権者	000208891 K D D I 株式会社 東京都新宿区西新宿二丁目 3 番 2 号
(22)出願日	令和4年3月31日(2022.3.31)	(74)代理人	100092772 弁理士 阪本 清孝
(65)公開番号	特開2023-149479(P2023-149479 A)	(74)代理人	100119688 弁理士 田邊 壽二
(43)公開日	令和5年10月13日(2023.10.13)	(72)発明者	渡辺 大詩 埼玉県ふじみ野市大原二丁目 1 番 1 5 号 株式会社 K D D I 総合研究所内
審査請求日	令和6年2月7日(2024.2.7)	(72)発明者	大関 武雄 埼玉県ふじみ野市大原二丁目 1 番 1 5 号 株式会社 K D D I 総合研究所内
(出願人による申告) 令和3年度、国立研究開発法人情報通信研究機構、「革新的情報通信技術研究開発委託研究 / Beyond 5Gに向けたテラヘルツ帯を活用した端末拡張型無線通信システム実現のための研究開発 研究開発項目 2 テラヘルツ帯を適用した端末拡張のための信号処理技術 副題: Beyond 5Gに向けたテラヘルツ帯を活用するユーザセントリックアーキテクチャ実現に関する研究開発」、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願		(72)発明者	山崎 浩輔 埼玉県ふじみ野市大原二丁目 1 番 1 5 号 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 送信機、方法及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

深層学習により非線形歪み補償を行う受信機に対する送信機であって、
所定の周波数範囲にあり時間軸上で連続する複数フレームにおいて、前記受信機で用いる非線形歪み補償用のパイロット信号を前記複数フレームの先頭フレームにおける先頭位置にブロックパイロットとして前記所定の周波数範囲の全域に渡って設け、前記受信機で用いるチャンネル推定用のパイロット信号を前記ブロックパイロットよりも後に間欠的に設けて、前記受信機へと送信することにより、
前記ブロックパイロットを少なくとも用いて学習した非線形歪みによる歪み補償を前記複数フレームにおいて継続して利用可能とさせることを特徴とする送信機。

10

【請求項 2】

前記複数フレームでは前記先頭位置のブロックパイロットのみに、非線形歪み補償用のパイロット信号が含まれることを特徴とする請求項 1 に記載の送信機。

【請求項 3】

前記非線形歪み補償用のパイロット信号を非定包絡線のシーケンスとして生成することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の送信機。

【請求項 4】

前記チャンネル推定用のパイロット信号を ZC 系列のシーケンスとして生成することを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の送信機。

【請求項 5】

20

深層学習により非線形歪み補償を行う受信機に対する送信機が実行する方法であって、所定の周波数範囲にあり時間軸上で連続する複数フレームにおいて、前記受信機で用いる非線形歪み補償用のパイロット信号を前記複数フレームの先頭フレームにおける先頭位置にブロックパイロットとして前記所定の周波数範囲の全域に渡って設け、前記受信機で用いるチャンネル推定用のパイロット信号を前記ブロックパイロットよりも後に間欠的に設けて、前記受信機へと送信することを含むことにより、前記ブロックパイロットを少なくとも用いて学習した非線形歪みによる歪み補償を前記複数フレームにおいて継続して利用可能とさせることを特徴とする方法。

【請求項 6】

深層学習により非線形歪み補償を行う受信機に対する送信機としてコンピュータを機能させるプログラムであって、所定の周波数範囲にあり時間軸上で連続する複数フレームにおいて、前記受信機で用いる非線形歪み補償用のパイロット信号を前記複数フレームの先頭フレームにおける先頭位置にブロックパイロットとして前記所定の周波数範囲の全域に渡って設け、前記受信機で用いるチャンネル推定用のパイロット信号を前記ブロックパイロットよりも後に間欠的に設けて、前記受信機へと送信することを前記コンピュータに実行させることにより、前記ブロックパイロットを少なくとも用いて学習した非線形歪みによる歪み補償を前記複数フレームにおいて継続して利用可能とさせることを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、受信側において非線形歪み補償を行う構成に好適な送信機、方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

5G（第5世代移動通信システム）などの通信において利用される電力増幅器の非線形歪み補償を受信側で行うことに関して、特許文献1や非特許文献1の従来技術が存在する。

【0003】

特許文献1では、非定包絡線を利用し、受信側で非線形歪みの補償をする。これは、非線形歪みを受信側で補償する場合、5Gで用いられる振幅一定のZadoff-Chu系列（ZC系列）を用いて、歪みの学習をした場合、振幅が大きい信号が発生した際に十分な補償ができないためであると考えられる。

【0004】

また、非特許文献1では、ニューラルネットワークを利用し、受信側で非線形歪みの補償をする。すべてのサブキャリアがパイロット信号を伝送するため、ブロックパイロットシンボルをデータシンボルよりも先に毎フレーム送信し、ブロックパイロットシンボルを用いたLS（最小二乗法）推定の結果をニューラルネットワークに入力することで伝搬路の補償と非線形歪みの補償を同時に行う。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特表2021-507605号公報

【非特許文献】

【0006】

【文献】K. Mei, J. Liu, X. Zhang, K. Cao, N. Rajatheva, and J. Wei, 'A Low Complexity Learning-Based Channel Estimation for OFDM Systems With Online Training', IEEE Transactions on Communications, vol. 69, no. 10, pp. 6722-6733, Oct. 2021

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 7 】

しかしながら、以上のような従来技術における受信側での非線形歪み補償の手法には、効率上での改良の余地が残っていた。

【 0 0 0 8 】

すなわち、特許文献 1 の問題点として、パイロット信号として非定包絡線を送った場合、他ユーザとの干渉の影響を考慮し、すべてを独立したリソースに配置する必要があり、リソースの利用効率が悪かった。また、非特許文献 1 の問題点として、伝搬路推定と非線形歪みの推定を同時に行っており、伝搬路推定と同様の頻度でブロックパイロットシンボルを送る必要があるため、伝送効率が大きく劣化した。

【 0 0 0 9 】

上記従来技術の課題に鑑み、本発明は、リソースの利用効率や伝送効率などの観点から、効率的に非線形歪み補償を行うことを可能とする技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

上記目的を達成するため、本発明は、深層学習により非線形歪み補償を行う受信機に対する送信機であって、前記受信機で用いる非線形歪み補償用のパイロット信号と、前記受信機で用いるチャネル推定用のパイロット信号と、を区別して生成して、前記受信機へと送信することを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、非線形歪み補償用のパイロット信号とチャネル推定用のパイロット信号とを区別して生成することにより、受信機において効率的に非線形歪み補償を行うことを可能とさせることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】一実施形態に係る通信システムの構成及び当該構成において実施される手順を示す図である。

【図 2】本実施形態で生成するパイロット信号を含むフレーム構成を、対比例との比較で示す図である。

【図 3】本実施形態のフレーム構成におけるチャネル推定用パイロット信号及び非線形歪み補償用パイロット信号の各属性を表形式で列挙する図である。

【図 4】無線通信機能を有するコンピュータ装置の構成の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

図 1 は、一実施形態に係る通信システム 100 の構成及び当該構成において実施される手順であるステップ S1 ~ S3 を示す図である。通信システム 100 は、例えば 5G におけるセルラ通信システム（移動通信ネットワーク）の一部であり、基地局装置としての送信機 10 と、スマートフォン等の移動体通信装置であるユーザ端末としての受信機 20 と、を備える。なお、以下では図 1 に示されるようにパイロット信号が下り側で送信される場合を例として説明するが、本実施形態はこれを逆として、パイロット信号が上り側に送信される場合（パイロット信号に関して図 1 の送信機 10（基地局）が受信側で、受信機 20（ユーザ端末）が送信側となる場合）についても全く同様に適用可能である。（換言すれば、図 1 の送信機 10 及び受信機 20 はパイロット信号の送受信の向きによる名称であり、図 1 の送信機 10 がユーザ端末で、受信機 20 が基地局装置であってもよい。）

【 0 0 1 4 】

これら送信機 10 及び受信機 20 のそれぞれは複数存在しうるが、図 1 では、当該複数存在しうるものの中から、相互に無線通信可能な状態にある任意の 1 台がそれぞれ示され、このような状態にある送信機 10 及び受信機 20 の間で実行される手順としてステップ S1 ~ S3 が示されている。以下、各ステップ S1 ~ S3 を説明する。

【 0 0 1 5 】

ステップS1では、送信機10がパイロット信号を含むフレームを生成して、このフレームを受信機20へと送信する。このフレーム内のパイロット信号の生成においては、非特許文献1の手法（以下、本実施形態に対する「対比例」等と呼ぶ）を改良した手法として、対比例のパイロット信号とは異なり、チャンネル推定用（伝送路推定用）のパイロット信号と非線形歪み推定用のパイロット信号とを区別し、且つ、チャンネル推定用のパイロット信号をフレーム内においてより高頻度に生成させ、非線形歪み推定用のパイロット信号をフレーム内においてより低頻度に生成させるようにする。

【0016】

図2は、本実施形態で生成するパイロット信号を含むフレーム構成C1を、対比例のフレーム構成C2との比較で示す図である。なお、これらフレーム構成C1,C2の内容を示すために凡例欄EXを設けてある。

10

【0017】

対比例のフレーム構成C2では、時間順のOFDM（直交周波数分割多重）フレームF101, F102,...の全てにおいて、チャンネル推定用と歪み補償用とを兼ねたパイロット信号（図中、黒丸で示す）を用いてチャンネル推定と歪み補償と同時に学習するため、チャンネルの変動に対応するためには毎フレームF101, F102,...に対して常にブロックパイロットBP101, BP102,...を送る必要が生じてしまう。

【0018】

一方、本実施形態のフレーム構成C1では、時間順のOFDM（直交周波数分割多重）フレームF1, F2,...について、歪み補償用のパイロット信号（図中、×印を有する丸で示す）とチャンネル推定用のパイロット信号（図中、グレーの丸で示す）とを区別して設け、前者を低頻度に、後者を高頻度に発生及び送信するようにしている。

20

【0019】

すなわち、本実施形態では比較的変動が少ないと考えられる歪み補償のみを、例えばフレームF1のブロックパイロットBP1で学習し、その結果を以降の例えば10枚のフレームF1, F2, F3,..., F10（フレームF3以降は図2では不図示）で共通して利用することができる。従って、本実施形態ではブロックパイロットについて対比例C2のように毎フレームに生成する必要はなく、例えば10枚といったような数フレーム（所定の複数フレーム）に一度のみの割合でブロックパイロットを生成すれば済む。

【0020】

従って、前述の通り、対比例ではチャンネル推定と非線形歪み補償の用途を兼ねたパイロット信号でこれらを同時に行うことから、ブロックパイロットシンボルの送信頻度がチャンネル推定の頻度と同程度に増えてしまい、伝送効率が大きく劣化する問題があったが、本実施形態ではこの問題に対処して伝送効率を改善することができる。

30

【0021】

図3に、本実施形態のフレーム構成C1におけるチャンネル推定用パイロット信号及び非線形歪み補償用パイロット信号の各属性を表形式で列挙する。高頻度に送信するチャンネル推定用パイロット信号のシーケンスに直交系列であるZC系列を用いることから、ユーザ多重（ユーザ分離）が可能であり、前述した特許文献1の手法における問題であた、直交性が失われている非定包絡線をパイロット信号に用いることから他ユーザとの干渉の影響を考慮するにはユーザ毎に独立したリソースを必要とし、リソース利用効率が悪いという問題に、本実施形態では対処することができる。

40

【0022】

一方で、本実施形態において数フレーム毎に1回だけ間欠的に生成・送信されるOFDMフレームにおけるブロックパイロット（1つのタイムスロットで構成されることにより、複数のタイムスロットで構成される1フレームよりも短い）は、その全て（一部でもよい）を非定包絡線のシーケンスで構成することができる。

【0023】

図1の各ステップの説明に戻り、ステップS2では、ステップS1において送信機10で生成され送信されたパイロット信号を含むフレームを受信機20が受信し、ブロックパイロ

50

トBP1をLS推定等することによりチャンネル推定を行い、チャンネル等化後の歪み補償用パイロット信号を用いて非線形歪みを学習する。すなわち、ブロックパイロットBP1より当該時刻でのチャンネル推定結果を得て、このチャンネル推定結果によりチャンネル等化されたブロックパイロットBP1[チャンネル等化]を得て、このチャンネル等化されたブロックパイロットBP1[チャンネル等化]から、非線形歪みを学習することで、学習済みの補償器を得る。

【0024】

ステップS3では受信機20がさらに、チャンネル推定用パイロット信号（図2中にグレーの丸で示す）よりチャンネル推定することで、対応する時刻のデータ信号（図2中に白丸で示され、チャンネル推定用パイロット信号がスキップパイロットとして構成されているフレームF1,F2,...内にあるデータ信号）をチャンネル等化し、ステップS2で学習済みの補償器を用いて歪み補償を行うことで、歪み補償されたデータ信号を得る。

10

【0025】

この、ステップS2,S3の処理については、扱うデータが本実施形態に係るパイロット信号を含むフレームであり、パイロット信号にチャンネル推定用と歪み補償用の区別が設けられている点を除いて、処理内容自体については対比例（非特許文献1）と同様にしてよい。

【0026】

以上、本実施形態によれば、チャンネル推定と非線形歪みの補償処理を分離し、それぞれで別のパイロット信号を用い、チャンネル推定は高頻度に非線形歪みの推定は低頻度に実施する。本実施形態の効果として、リソースの利用効率および伝送効率が悪い歪み補償用のパイロット信号の送信頻度を減らし、受信側での歪み補償処理をする場合のリソースの利用効率及び伝送効率を改善できる。

20

【0027】

図4は、無線通信機能を有するコンピュータ装置200の構成の例を示す図であり、無線通信システム100内の送信機10及受信機20の各々は、コンピュータ装置200の構成を有するものとして実現することができる。

【0028】

コンピュータ装置200は、CPU（及びGPU）等で構成されるプロセッサ201と、プロセッサ201にワークエリアを提供する一時記憶装置としてのメモリ202と、二次記憶装置としてのストレージ203と、変復調回路204と、アンテナ205と、これらの中でデジタルデータを相互に通信可能なように接続するバスBSと、を備える。

30

【0029】

プロセッサ201は、ストレージ203に記憶されメモリ202に読み込まれた所定のプログラムを実行することによって、以上説明してきた各実施形態における送信機10及受信機20の各々の処理（デジタル処理に関するもの）を実行するものである。すなわち、送信機10ではステップS1におけるパイロット信号の生成及び送信処理を、プロセッサ201が所定プログラムとして実行する。また、受信機20では、ステップS2,S3における各信号に対するチャンネル推定及び深層学習による歪み学習を、プロセッサ201が所定プログラムとして実行する。

【0030】

アンテナ205は、複数アンテナを含んで構成され、用いるアンテナを切り替えられることで複数のビームパターンを構成可能なものであってもよい。変復調回路204は、アンテナ205から送受信する無線信号の変復調を行う。

40

【0031】

本実施形態の通信システム100によれば、受信側での歪み補償処理をする場合のリソースの利用効率及び伝送効率を改善できるので、情報通信技術のインフラ整備に寄与することができる。これにより、国連が主導する持続可能な開発目標（SDGs）の目標9「レジリエントなインフラを整備し、持続可能な産業化を推進するとともに、イノベーションの拡大を図る」に貢献することが可能となる。

【符号の説明】

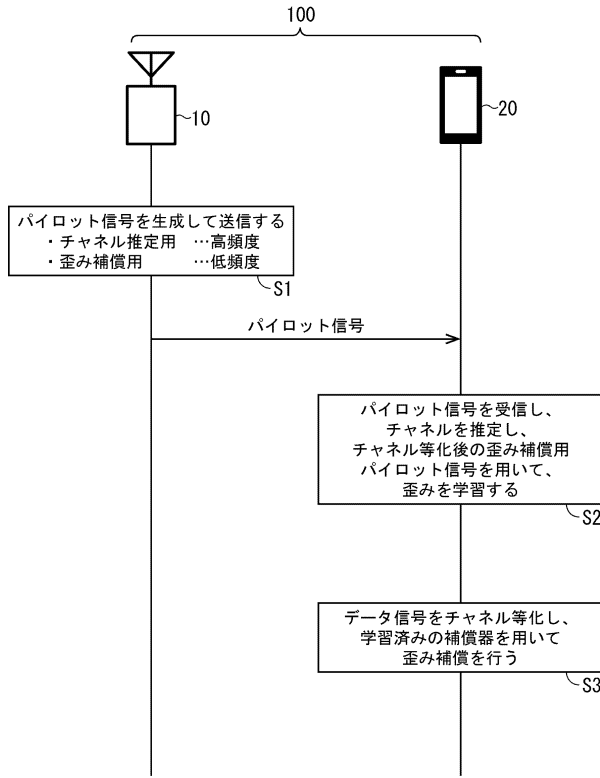
【0032】

50

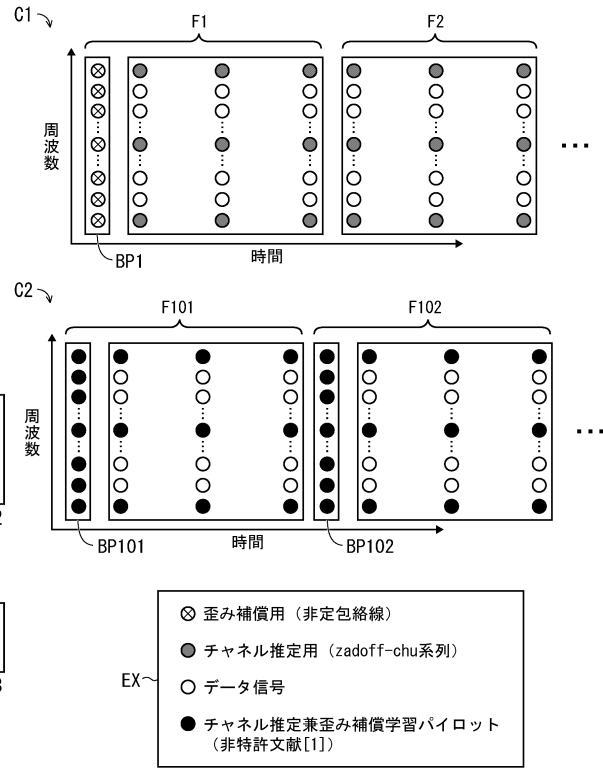
100...通信システム、10...送信機、20...受信機

【図面】

【図1】



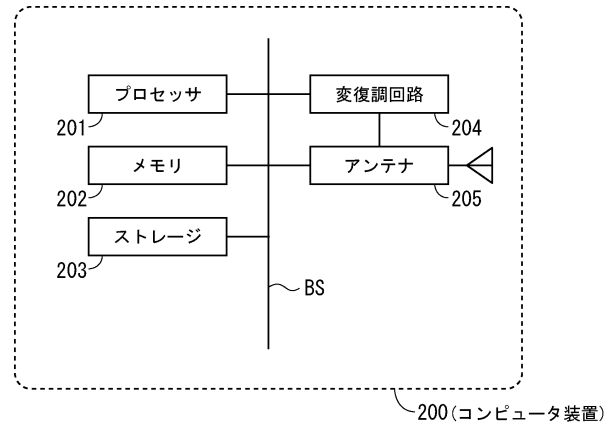
【図2】



【図3】

	送信頻度	1タイミングでの量	シーケンス	ユーザ多重
チャンネル推定用	高	少	Zadoff-Chu系列	可
歪み補償用	低	多 (ブロックパイロット)	非定包絡線	不可

【図4】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

株式会社 K D D I 総合研究所内

審査官 吉江 一明

(56)参考文献 特表 2 0 2 1 - 5 0 7 6 0 5 (J P , A)

特表 2 0 1 8 - 5 2 7 8 0 1 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 3 6 6 3 7 7 (U S , A 1)

XU Liangyuan et al. , Model Aided Deep Learning Based MIMO OFDM Receiver With Nonlinear Power Amplifiers , 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference

(WCNC) , 2021年03月29日

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 4 L 2 7 / 2 6

H 0 4 B 3 / 0 6

I E E E X p l o r e