

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5871841号
(P5871841)

(45) 発行日 平成28年3月1日(2016.3.1)

(24) 登録日 平成28年1月22日(2016.1.22)

(51) Int.Cl. F I
HO4J 11/00 (2006.01) HO4J 11/00 Z

請求項の数 12 (全 24 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2013-41054 (P2013-41054) (22) 出願日 平成25年3月1日(2013.3.1) (65) 公開番号 特開2014-171045 (P2014-171045A) (43) 公開日 平成26年9月18日(2014.9.18) 審査請求日 平成27年6月30日(2015.6.30)</p> <p>(出願人による申告)平成24年度、総務省、超高速近距離無線伝送技術等の研究開発の委託事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 000005821 パナソニック株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地 (74) 代理人 110002000 特許業務法人栄光特許事務所 (74) 代理人 100119552 弁理士 橋本 公秀 (74) 代理人 100138771 弁理士 吉田 将明 (72) 発明者 白川 佳則 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内 審査官 羽岡 さやか</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 キャリア周波数オフセット補正方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

受信部において、粗いキャリア周波数オフセット補正、粗いシンボル同期ずれ補正の後、特定の参照信号を有する送信信号を受信した受信信号の中から、前記特定の参照信号を抽出して、周波数領域の受信参照信号を取得し、

前記周波数領域の受信参照信号と前記送信信号における特定の参照信号を周波数領域で表した送信参照信号とを周波数ごとに比較して複数の誤差ベクトルを得て、

前記複数の誤差ベクトルから、周波数領域における直線近似による位相誤差を推定し、位相誤差の傾きを残留シンボル同期ずれ、位相誤差のオフセットを残留キャリア周波数オフセットとして求め、

前記残留シンボル同期ずれの補正を周波数領域において行い、

前記残留キャリア周波数オフセットの補正を、周波数領域から時間領域に変換した受信信号に対して行う、キャリア周波数オフセット補正方法。

【請求項2】

受信部において、粗いキャリア周波数オフセット補正、粗いシンボル同期ずれ補正の後、特定の参照信号を有する送信信号を受信した受信信号の中から、前記特定の参照信号を抽出して、周波数領域の受信参照信号を取得し、

前記周波数領域の受信参照信号と前記送信信号における特定の参照信号を周波数領域で表した送信参照信号とを周波数ごとに比較して複数の誤差ベクトルを得て、

前記複数の誤差ベクトルから、周波数領域における直線近似による位相誤差を推定し、

位相誤差の傾きを残留シンボル同期ずれ、位相誤差のオフセットを残留キャリア周波数オフセットとして求め、

前記残留シンボル同期ずれの補正、及び前記残留キャリア周波数オフセットの補正を、周波数領域から時間領域に変換した受信信号に対して行う、キャリア周波数オフセット補正方法。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載のキャリア周波数オフセット補正方法であって、

前記位相誤差の推定において、前記複数の誤差ベクトルをベクトルから位相に変換し、変換後の位相にアンラッピング処理を施し、直線近似を行う、キャリア周波数オフセット補正方法。

10

【請求項 4】

請求項 1 または請求項 2 に記載のキャリア周波数オフセット補正方法であって、

時間領域における前記残留キャリア周波数オフセットの補正において、前記位相誤差のオフセットを位相からベクトルに変換し、変換後のベクトルの共役の複素数を補正值とし、前記補正值と時間領域の受信信号とを複素乗算することにより、残留キャリア周波数オフセットを補正する、キャリア周波数オフセット補正方法。

【請求項 5】

請求項 1 または請求項 2 に記載のキャリア周波数オフセット補正方法であって、

時間領域における前記残留キャリア周波数オフセットの補正において、前記位相誤差のオフセットを - 1 倍した位相を補正值とし、前記補正值と時間領域の受信信号と合わせてCORDIC演算することにより、残留キャリア周波数オフセットを補正する、キャリア周波数オフセット補正方法。

20

【請求項 6】

請求項 1 に記載のキャリア周波数オフセット補正方法であって、

周波数領域における前記残留シンボル同期ずれの補正において、前記位相誤差の傾きと周波数に対応した係数とを乗算して各周波数のシンボル同期ずれ量を求め、周波数ごとに、前記シンボル同期ずれ量を位相からベクトルに変換し、変換後のベクトルの共役の複素数を補正值とし、前記補正值と周波数領域の受信信号とを複素乗算することにより、残留シンボル同期ずれを補正する、キャリア周波数オフセット補正方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載のキャリア周波数オフセット補正方法であって、

周波数領域における前記残留シンボル同期ずれの補正において、前記位相誤差の傾きと周波数に対応した係数とを乗算して各周波数のシンボル同期ずれ量を求め、周波数ごとに、前記シンボル同期ずれ量を - 1 倍した位相を補正值とし、前記補正值と周波数領域の受信信号と合わせてCORDIC演算することにより、残留シンボル同期ずれを補正する、キャリア周波数オフセット補正方法。

30

【請求項 8】

請求項 2 に記載のキャリア周波数オフセット補正方法であって、

時間領域における前記残留シンボル同期ずれの補正において、同期補正を行うフィルタを用い、前記位相誤差の傾きをシンボル同期ずれ量に変換し、前記シンボル同期ずれ量に対応するフィルタ係数を選択し、時間領域の受信信号を前記フィルタに通過させることにより、残留シンボル同期ずれを補正する、キャリア周波数オフセット補正方法。

40

【請求項 9】

請求項 2 に記載のキャリア周波数オフセット補正方法であって、

時間領域において、前記残留キャリア周波数オフセットの補正を行った後、前記残留シンボル同期ずれの補正を行う、キャリア周波数オフセット補正方法。

【請求項 10】

請求項 2 に記載のキャリア周波数オフセット補正方法であって、

時間領域において、前記残留シンボル同期ずれの補正を行った後、前記残留キャリア周波数オフセットの補正を行う、キャリア周波数オフセット補正方法。

50

【請求項 1 1】

受信部において、粗いキャリア周波数オフセット補正、粗いシンボル同期ずれ補正の後、特定の参照信号を有する送信信号を受信した受信信号の中から、前記特定の参照信号を抽出して、周波数領域の受信参照信号を取得する信号抽出部と、

前記周波数領域の受信参照信号と前記送信信号における特定の参照信号を周波数領域で表した送信参照信号とを周波数ごとに比較して複数の誤差ベクトルを得る誤差ベクトル算出部と、

前記複数の誤差ベクトルから、周波数領域における直線近似による位相誤差を推定し、位相誤差の傾きを残留シンボル同期ずれ、位相誤差のオフセットを残留キャリア周波数オフセットとして求める残留位相誤差算出部と、

前記残留シンボル同期ずれの補正を周波数領域において行う残留シンボル同期ずれ補正部と、

周波数領域の前記受信信号を時間領域に変換する周波数 - 時間変換部と、

前記残留キャリア周波数オフセットの補正を、周波数領域から時間領域に変換した受信信号に対して行う残留キャリア周波数オフセット補正部と、

を有するキャリア周波数オフセット補正装置。

10

【請求項 1 2】

受信部において、粗いキャリア周波数オフセット補正、粗いシンボル同期ずれ補正の後、特定の参照信号を有する送信信号を受信した受信信号の中から、前記特定の参照信号を抽出して、周波数領域の受信参照信号を取得する信号抽出部と、

前記周波数領域の受信参照信号と前記送信信号における特定の参照信号を周波数領域で表した送信参照信号とを周波数ごとに比較して複数の誤差ベクトルを得る誤差ベクトル算出部と、

前記複数の誤差ベクトルから、周波数領域における直線近似による位相誤差を推定し、位相誤差の傾きを残留シンボル同期ずれ、位相誤差のオフセットを残留キャリア周波数オフセットとして求める残留位相誤差算出部と、

周波数領域の前記受信信号を時間領域に変換する周波数 - 時間変換部と、

前記残留キャリア周波数オフセットの補正を、周波数領域から時間領域に変換した受信信号に対して行う残留キャリア周波数オフセット補正部と、

前記残留シンボル同期ずれの補正を、周波数領域から時間領域に変換した受信信号に対して行う時間領域残留シンボル同期ずれ補正部と、

を有するキャリア周波数オフセット補正装置。

20

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、無線通信装置に適用されるキャリア周波数オフセット補正方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0002】

無線通信システムにおいては、送信機と受信機の間には発生する、キャリア周波数誤差補正、及びシンボル同期ずれ補正が行われる。例えば、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) の無線通信方式に対応した無線通信装置では、キャリア周波数誤差の補正方法として、通常、粗い周波数補正、及び粗いシンボル同期ずれ補正を行った後、残留キャリア周波数オフセット及び残留シンボル同期ずれにより生じる位相誤差を補正する方法が採用されている。

40

【0003】

従来は、残留キャリア周波数オフセットと残留シンボル同期ずれを補正するために、キャリア周波数オフセット推定部によって残留キャリア周波数オフセットを求めた後、位相誤差補正部に補正値をフィードバックさせて補正を行う例である。また、周波数補正部

50

に補正値をフィードバックさせて補正を行う例、あるいはRF処理部に補正値をフィードバックさせて補正を行う例もある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特表2012-519986号公報

【特許文献2】国際公開第2008/047776号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記従来例のように補正値をフィードバックさせて補正を行う方法では、残留キャリア周波数オフセットの補正がフィードバック後に反映されるため、高速伝送を行う無線通信システムに適用した場合、受信データのヘッダに補正が間に合わないことがある。特に、ミリ波帯を使用する無線通信規格WiGig（登録商標、以下同様）（Wireless Gigabit）では、プリアンブル期間の時間が短いため、受信データのヘッダ先頭から残留キャリア周波数オフセットの補正が反映されず、ヘッダを正しく復調できない課題が生じる。

【0006】

本開示の目的は、キャリア周波数オフセットを適切に補正でき、受信データを正しく復調可能にするキャリア周波数オフセット補正方法及び装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示のキャリア周波数オフセット補正方法は、受信部において、粗いキャリア周波数オフセット補正、粗いシンボル同期ずれ補正の後、特定の参照信号を有する送信信号を受信した受信信号の中から、前記特定の参照信号を抽出して、周波数領域の受信参照信号を取得し、前記周波数領域の受信参照信号と前記送信信号における特定の参照信号を周波数領域で表した送信参照信号とを周波数ごとに比較して複数の誤差ベクトルを得て、前記複数の誤差ベクトルから、周波数領域における直線近似による位相誤差を推定し、位相誤差の傾きを残留シンボル同期ずれ、位相誤差のオフセットを残留キャリア周波数オフセットとして求め、前記残留シンボル同期ずれの補正を周波数領域において行い、前記残留キャリア周波数オフセットの補正を、周波数領域から時間領域に変換した受信信号に対して行う。

【0008】

本開示のキャリア周波数オフセット補正方法は、受信部において、粗いキャリア周波数オフセット補正、粗いシンボル同期ずれ補正の後、特定の参照信号を有する送信信号を受信した受信信号の中から、前記特定の参照信号を抽出して、周波数領域の受信参照信号を取得し、前記周波数領域の受信参照信号と前記送信信号における特定の参照信号を周波数領域で表した送信参照信号とを周波数ごとに比較して複数の誤差ベクトルを得て、前記複数の誤差ベクトルから、周波数領域における直線近似による位相誤差を推定し、位相誤差の傾きを残留シンボル同期ずれ、位相誤差のオフセットを残留キャリア周波数オフセットとして求め、前記残留シンボル同期ずれの補正、及び前記残留キャリア周波数オフセットの補正を、周波数領域から時間領域に変換した受信信号に対して行う。

【0009】

本開示のキャリア周波数オフセット補正装置は、受信部において、粗いキャリア周波数オフセット補正、粗いシンボル同期ずれ補正の後、特定の参照信号を有する送信信号を受信した受信信号の中から、前記特定の参照信号を抽出して、周波数領域の受信参照信号を取得する信号抽出部と、前記周波数領域の受信参照信号と前記送信信号における特定の参照信号を周波数領域で表した送信参照信号とを周波数ごとに比較して複数の誤差ベクトルを得る誤差ベクトル算出部と、前記複数の誤差ベクトルから、周波数領域における直線近似による位相誤差を推定し、位相誤差の傾きを残留シンボル同期ずれ、位相誤差のオフセットを残留キャリア周波数オフセットとして求める残留位相誤差算出部と、前記残留シン

10

20

30

40

50

ボル同期ずれの補正を周波数領域において行う残留シンボル同期ずれ補正部と、周波数領域の前記受信信号を時間領域に変換する周波数 - 時間変換部と、前記残留キャリア周波数オフセットの補正を、周波数領域から時間領域に変換した受信信号に対して行う残留キャリア周波数オフセット補正部と、を有する。

【 0 0 1 0 】

本開示のキャリア周波数オフセット補正装置は、受信部において、粗いキャリア周波数オフセット補正、粗いシンボル同期ずれ補正の後、特定の参照信号を有する送信信号を受信した受信信号の中から、前記特定の参照信号を抽出して、周波数領域の受信参照信号を取得する信号抽出部と、前記周波数領域の受信参照信号と前記送信信号における特定の参照信号を周波数領域で表した送信参照信号とを周波数ごとに比較して複数の誤差ベクトルを得る誤差ベクトル算出部と、前記複数の誤差ベクトルから、周波数領域における直線近似による位相誤差を推定し、位相誤差の傾きを残留シンボル同期ずれ、位相誤差のオフセットを残留キャリア周波数オフセットとして求める残留位相誤差算出部と、周波数領域の前記受信信号を時間領域に変換する周波数 - 時間変換部と、前記残留キャリア周波数オフセットの補正を、周波数領域から時間領域に変換した受信信号に対して行う残留キャリア周波数オフセット補正部と、前記残留シンボル同期ずれの補正を、周波数領域から時間領域に変換した受信信号に対して行う時間領域残留シンボル同期ずれ補正部と、を有する。

【 発明の 効果 】

【 0 0 1 1 】

本開示によれば、キャリア周波数オフセットを適切に補正でき、受信データを正しく復調可能にできる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 2 】

【 図 1 】 実施の形態 1 における無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図

【 図 2 】 実施の形態 1 における位相誤差補正部の構成を示すブロック図

【 図 3 】 周波数領域における参照信号 G I のスペクトラムと誤差ベクトル算出に用いられる周波数番号を示す図

【 図 4 】 誤差ベクトル算出部の構成を示す図

【 図 5 】 位相誤差算出部の構成を示す図

【 図 6 】 残留シンボル同期ずれ算出部の構成を示す図

【 図 7 】 残留シンボル同期ずれ補正部の構成を示す図

【 図 8 】 残留キャリア周波数オフセット補正部の構成を示す図

【 図 9 】 本実施形態におけるキャリア周波数オフセットの補正タイミングを示す図

【 図 1 0 】 実施の形態 2 における残留キャリア周波数オフセット補正部の構成を示すブロック図

【 図 1 1 】 実施の形態 3 における残留シンボル同期ずれ補正部の構成を示すブロック図

【 図 1 2 】 実施の形態 4 における無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図

【 図 1 3 】 実施の形態 5 における無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図

【 図 1 4 】 位相誤差推定部の構成を示す図

【 図 1 5 】 時間領域残留シンボル同期ずれ補正部の構成を示す図

【 図 1 6 】 位相誤差の傾きと残留シンボル同期ずれ補正值との関係を示す図

【 図 1 7 】 補正係数の選択例を示す図

【 図 1 8 】 実施の形態 6 における無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図

【 図 1 9 】 W i G i g に対応した無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図

【 図 2 0 】 W i G i g の信号フォーマットを示す図

【 図 2 1 】 周波数領域における残留キャリア周波数オフセット及び残留シンボル同期ずれを示す図

【 図 2 2 】 S T F における G a 相互相関ピークを示す図

【 図 2 3 】 従来の残留キャリア周波数オフセットの補正方法を用いた無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図

10

20

30

40

50

【図 2 4】従来例におけるキャリア周波数オフセットの補正タイミングを示す図

【発明を実施するための形態】

【0013】

<本開示の各実施形態の内容に至る経緯>

本開示では、例えば、無線 LAN 規格の IEEE 802.11a、g、n のような OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)、あるいは WiGig のような SC-FDE (Single Carrier Frequency Domain Equalizer) など、受信部に DFT (Discrete Fourier Transformation) 及び IDFT (Inverse Discrete Fourier Transformation) を含む無線通信装置の例を示す。

【0014】

この種の無線通信装置における、送信機と受信機の間で発生する、残留キャリア周波数オフセット及び残留シンボル同期ずれにより生じる位相誤差の補正について、以下に説明する。

【0015】

図 19 は、WiGig に対応した無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図である。図 19 に示す無線通信装置は、RF (Radio Frequency) 処理部 1、ADC (Analog-Digital Converter) 部 2、AGC (Auto Gain Controller) 部 3、同期検出部 4、周波数補正部 5、S/P (serial-parallel) 変換部 6、DFT 部 7、伝送路補正部 8、位相誤差補正部 9、IDFT 部 10、P/S (parallel-serial) 変換部 11、復調部 13 を有する。

【0016】

RF 処理部 1 は、アンテナにて受信された無線周波数の受信信号を複素信号のベースバンド信号に変換する。ADC 部 2 は、複素信号のベースバンド信号を一定周期でサンプリングし、デジタル複素ベースバンド信号に変換する。AGC 部 3 は、RF 処理部 1 の出力信号レベルを一定に保つよう、RF 処理部 1 における信号増幅のゲインを制御する。

【0017】

同期検出部 4 は、複素ベースバンド信号から同期用の既知のプリアンブル信号 (後述する STF) を検出する。周波数補正部 5 は、既知のプリアンブル信号 (後述する STF) を用いてキャリア周波数の誤差を算出し、粗いキャリア周波数オフセットの補正を行う。S/P 変換部 6 は、シリアル信号の複素ベースバンド信号をパラレル信号に変換する。DFT 部 7 は、粗いキャリア周波数オフセット補正を行った時間領域の複素ベースバンド信号を、同期検出部 4 によって検出されたプリアンブル信号のタイミングに従った粗いシンボル同期の後、周波数領域の複素信号に変換する。

【0018】

伝送路補正部 8 は、既知のプリアンブル信号 (後述する CEF) を用いて、送信機と受信機の間での伝送路誤差を補正する。位相誤差補正部 9 は、既知の参照信号 (後述する GI) を用いて、残留キャリア周波数オフセット及び残留シンボル同期ずれにより生じる残留位相誤差を補正する。

【0019】

IDFT 部 10 は、位相誤差補正部 9 から出力される位相誤差補正後の周波数領域の信号を時間領域の複素ベースバンド信号に変換する。P/S 変換部 11 は、IDFT 部 10 の出力のパラレル信号をシリアル信号に変換する。復調部 13 は、IDFT 部 10 によって時間領域に変換された複素ベースバンド信号を用いて、デジタル変調された信号を復調する。

【0020】

図 20 は、WiGig の信号フォーマットを示す図である。WiGig の無線通信システムにおいて伝送される信号は、先頭より、STF (Short Training Field)、CEF (Channel Estimation Field)、GI (Guard Interval)、ヘッダ (Header)、... データ部 (Data 1、Data 2 ...) を有する。ここでは、プリアンブル信号として STF、CEF を有する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 1 】

S T F は、図 1 9 の A G C 部 3、同期検出部 4、周波数補正部 5 において用いられる既知のプリアンブル信号 $G a$ (1 2 8 シンボル) の 1 7 回の繰り返しである。S T F の先頭からの A G C 期間において A G C 部 3 による A G C 動作が行われ、残りの粗い C F O 期間において周波数補正部 5 による粗いキャリア周波数オフセットの算出が行われる。S T F の最終の 1 シンボルは同期検出期間であり、同期検出部 4 によるプリアンブル信号の検出により粗いシンボル同期が行われる。

【 0 0 2 2 】

C E F は、図 1 9 の伝送路補正部 8 において用いられる、前述の S T F とは異なる既知のプリアンブル信号 $G a$ 、 $G b$ (1 2 8 シンボル)、 $- G a$ 、 $- G b$ の 9 回の繰り返しである。ここで、 $G a$ 、 $G b$ は予め規定された符号列である。

10

【 0 0 2 3 】

ヘッダには、変調方式、及び送信シンボル数などの伝送データの属性を示す情報が含まれる。データ部には、伝送したいデータ自体が含まれている。G I は、前述の S T F、C E F とは異なる、ヘッダ及びデータ部において一定間隔ごとに繰り返し挿入される既知の参照信号である。G I は、残留 C F O 算出期間として用いられ、位相誤差補正部 9 による残留キャリア周波数オフセットの算出が行われる。

【 0 0 2 4 】

次に、位相誤差補正部 9 において補正する、残留キャリア周波数オフセット及び残留シンボル同期ずれについて説明する。キャリア周波数オフセットは、送信機 (図示せず) の R F 処理部において複素ベースバンド信号を直交変調する際に用いるキャリア周波数と、受信機の R F 処理部 1 において直交復調に用いるキャリア周波数とが微小に異なることを原因とする位相誤差である。

20

【 0 0 2 5 】

周波数補正部 5 は、キャリア周波数の誤差 (粗いキャリア周波数オフセット) を推定して補正を行うが、信号雑音及びキャリアの位相雑音の影響により、キャリア周波数オフセットの推定に誤差が生じるため、位相誤差は残留する。これが残留キャリア周波数オフセットである。

【 0 0 2 6 】

残留シンボル同期ずれは、送信機 (図示せず) における複素ベースバンド信号を生成する D A C (Digital Analog Converter) 部のサンプリング周波数と、受信機の A D C 部 2 のサンプリング周波数とが微小に異なることを原因とする位相誤差である。送信機と受信機とのサンプリング周波数の誤差により、最初期に位相誤差補正を行っても、時間の経過と共に、シンボル同期ずれが残留して累積し、シンボルのタイミング誤差が広がる。このため、継続して位相誤差の補正值を更新し続けて、残留シンボル同期ずれを補正する必要がある。

30

【 0 0 2 7 】

図 2 1 は、周波数領域における残留キャリア周波数オフセット及び残留シンボル同期ずれを示す図である。図 2 1 において、横軸は周波数を示し、縦軸は位相誤差を $- \sim [\text{rad}]$ の範囲で示している。図示されるように、位相誤差は直線性を持つため、位相誤差のオフセット (各周波数の位相誤差の平均、すなわち周波数の平均値におけるオフセット量) は残留キャリア周波数オフセット、位相誤差の傾き (周波数に対する位相誤差の変化量) は残留シンボル同期ずれを表すものとなる。

40

【 0 0 2 8 】

周波数補正部 5 における粗いキャリア周波数オフセットの算出方法を説明する。図 2 2 は、S T F における $G a$ 相互相関ピークを示す図である。図 2 2 は、 $G a$ の N 番目 ($G a (N)$)、 $N + 1$ 番目 ($G a (N + 1)$)、 $N + 2$ 番目 ($G a (N + 2)$) のそれぞれの相互相関ピークを、複素 I Q 平面上に表したものである。

【 0 0 2 9 】

$G a$ の N 番目と $N + 1$ 番目の相互相関ピークの間には、キャリア周波数オフセットによ

50

って位相差があり、同様に $N + 1$ 番目と $N + 2$ 番目の間にも位相差がある。この2つの位相差を平均することで、128シンボルあたりのノイズ成分を丸めた平均位相差が算出され、1シンボルあたりの位相差が求まる。1シンボルあたりの位相差が粗いキャリア周波数オフセットである。位相差を算出する際の平均数が多いほど、精度の高い粗いキャリア周波数オフセットが得られる。

【0030】

従来では、残留した位相誤差を補正するために、前述の特許文献1、2に示されるように、算出した残留キャリア周波数オフセットを位相誤差補正部にフィードバックさせて補正を行う方法がとられていた。図23は、従来の残留キャリア周波数オフセットの補正方法を用いた無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図である。この従来例では、キャリア周波数オフセット推定部514によって、IDFT部510の出力から残留キャリア周波数オフセットを算出し、位相誤差補正部509に補正値をフィードバックさせて位相誤差補正を行う。なお、周波数補正部505またはRF処理部501に補正値をフィードバックさせて補正を行う構成もある。

10

【0031】

図24は、従来例におけるキャリア周波数オフセットの補正タイミングを示す図である。STFにおいて、粗いキャリア周波数オフセットの推定(算出)が行われ、補正値の算出後に粗いキャリア周波数オフセット補正が行われる。粗いキャリア周波数オフセット補正の後、残留キャリア周波数オフセットが累積していく。その後、GIにおいて残留キャリア周波数オフセットの推定(算出)が行われ、補正値の算出後に残留キャリア周波数オフセット補正が行われる。

20

【0032】

従来例では、最初のGIによって求められる残留キャリア周波数オフセットの補正がフィードバック後に反映されるため、補正処理がヘッダに間に合わない場合がある。特に、残留キャリア周波数オフセットが大きい場合、CEFの期間の間、残留キャリア周波数オフセットを補正するタイミングがないため、ヘッダを正しく復調できないという課題を有している。残留キャリア周波数オフセットが大きくなる要因としては、低SNR(Signal-to-Noise Ratio)、キャリアの位相ノイズ、粗いキャリア周波数オフセットの算出に用いるSTFでのGaの平均数が少ないことによる算出精度の低下がある。

【0033】

無線LAN規格のIEEE 802.11aでは、STF期間が8 μ sであるのに対し、WiGigでは、STF期間が1.236 μ sと短くなっている。図19に示したWiGig対応の無線通信装置において、例えば、RF処理部1とADC部2以降とは別々の回路チップで構成される。このため、AGC動作を行うRF処理部1、ADC部2、AGC部3のループは信号のやり取りに時間がかかり、STF期間の1.236 μ sの多くを使ってしまう。このことにより、粗いキャリア周波数オフセットの算出に用いるSTFでのGaの平均数が少ないため粗いキャリア周波数オフセット算出は精度が低くなり、キャリアの位相ノイズが発生し、残留キャリア周波数オフセットが大きくなってしまふ。

30

【0034】

このように、特に高速伝送を行うWiGigなどの無線通信システムでは、従来のようなフィードバックによる残留キャリア周波数オフセットの補正を行うと、位相誤差の算出にかかる時間により、一定時間補正されない期間が生じる。このため、受信データのヘッダ先頭に残留キャリア周波数オフセットの補正が間に合わず、ヘッダを正しく復調できなくなる。

40

【0035】

上述した課題を鑑み、本開示では、ヘッダにおいてもキャリア周波数オフセットを適切に補正でき、ヘッダを含む受信データを正しく復調可能にするキャリア周波数オフセット補正方法及び装置を提供する。

【0036】

<本開示の実施形態>

50

以下、図面を参照しながら本開示に係る実施形態を詳細に説明する。本開示に係るキャリア周波数オフセット補正方法、及びキャリア周波数オフセット補正装置は、実施形態の無線通信装置において実現される。なお、以下の説明において用いる図について、同一の構成要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0037】

(実施の形態1)

図1は、本開示の実施の形態1における無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図である。実施の形態1の無線通信装置は、RF処理部1、ADC部2、AGC部3、同期検出部4、周波数補正部5、S/P変換部6、DFT部7、伝送路補正部8、位相誤差補正部9、IDFT部10、P/S変換部11、残留キャリア周波数オフセット補正部12、復調部13を有する。

10

【0038】

RF処理部1は、アンテナにおいて受信された無線周波数の受信信号を増幅し、直交変調を行ってベースバンド信号に変換する。直交変調後のベースバンド信号は複素信号である。

【0039】

ADC部2は、RF処理部1での直交変調後の信号を、一定周期でサンプリングし、デジタル複素ベースバンド信号に変換する。

【0040】

AGC部3は、デジタル複素ベースバンド信号の振幅を算出し、RF処理部1の出力信号レベルを一定に保つよう、RF処理部1における信号増幅のゲインを制御する。AGC動作は既知のプリアンブル信号(STF)の期間で行われる。

20

【0041】

同期検出部4は、複素ベースバンド信号から同期用の既知のプリアンブル信号(STF)を検出し、同期用のタイミング信号を出力する。プリアンブル信号は、DFT部7の窓同期、すなわち粗いシンボル同期に用いられる。

【0042】

周波数補正部5は、既知のプリアンブル信号(STF)を用いてキャリア周波数誤差として粗いキャリア周波数オフセットを算出し、粗いキャリア周波数オフセットを補正した複素ベースバンド信号を出力する。

30

【0043】

S/P変換部6は、DFT部7を動作させるためのバッファであり、シリアル信号の複素ベースバンド信号をパラレル信号に変換する。DFT部7は、時間-周波数変換部の一例に相当し、粗いキャリア周波数オフセットの補正を行った時間領域の複素ベースバンド信号について、同期検出部4によって検出されたSTFのタイミングに従って時間-周波数変換を行い、周波数領域の複素信号を出力する。

【0044】

伝送路補正部8は、既知のプリアンブル信号(CEF)を用いて、送信機と受信機との伝送路が持つ伝達特性である振幅及び位相を算出し、伝送路誤差を補正する。

【0045】

位相誤差補正部9は、特定の参照信号として、周期的に挿入される既知の参照信号(GI)を用いて、残留キャリア周波数オフセット及び残留シンボル同期ずれを算出し、周波数領域において、残留シンボル同期ずれによる位相誤差を補正する。

40

【0046】

IDFT部10は、周波数-時間変換部の一例に相当し、位相誤差補正部9の出力信号の周波数-時間変換を行い、時間領域の複素ベースバンド信号に変換する。

【0047】

P/S変換部11は、IDFT部10の出力のパラレル信号をシリアル信号に変換する。

【0048】

50

残留キャリア周波数オフセット補正部 12 は、位相誤差補正部 9 によって算出された残留キャリア周波数オフセット推定値を用いて、時間領域において残留キャリア周波数オフセットの補正を行う。

【0049】

復調部 13 は、時間領域に変換された残留位相誤差補正後の複素ベースバンド信号を用いて、デジタル変調された信号を復調し、受信データを得る。

【0050】

上記構成において、同期検出部 4、周波数補正部 5、S/P 変換部 6、DFT 部 7、伝送路補正部 8、位相誤差補正部 9、IDFT 部 10、P/S 変換部 11、残留キャリア周波数オフセット補正部 12、復調部 13 は、プロセッサ、メモリを含む情報処理回路により実現可能であり、プロセッサにおいてソフトウェアプログラムを動作させて所定の処理を実行することによって、各機能を実現できる。

10

【0051】

本実施形態では、位相誤差補正部 9 において、DFT 部 7 により周波数領域に変換され、伝送路補正部 8 により補正された受信信号から残留キャリア周波数オフセットを算出する。そして、算出した残留キャリア周波数オフセット推定値を、フィードフォワードにて残留キャリア周波数オフセット補正部 12 に与え、IDFT 部 10 により時間領域に変換された受信信号に対して残留キャリア周波数オフセットの補正を行う。

【0052】

図 2 は、実施の形態 1 における位相誤差補正部 9 の構成を示すブロック図である。位相誤差補正部 9 は、信号抽出部 90、誤差ベクトル算出部 91、位相誤差算出部 92、残留位相誤差算出部 93、残留シンボル同期ずれ算出部 94、残留シンボル同期ずれ補正部 95 を有する。

20

【0053】

信号抽出部 90 では、周波数領域において、受信信号の中から、周期的に繰り返し受信される参照信号 (GI) (受信参照信号の一例に相当する) を抽出する。誤差ベクトル算出部 91 では、受信された信号から抽出した参照信号と送信されるべき既知の参照信号 (GI) (送信参照信号の一例に相当する) とを比較し、両者の差分による複数の誤差ベクトルを算出する。位相誤差算出部 92 では、誤差ベクトル算出部 91 にて得られた複数の誤差ベクトルを、位相に変換し、位相誤差を算出する。

30

【0054】

残留位相誤差算出部 93 では、位相誤差算出部 92 にて得られた位相誤差から、直線近似による位相誤差推定を行い、位相誤差のオフセットと位相誤差の傾きを算出する。ここで、位相誤差の傾きは残留シンボル同期ずれ、位相誤差のオフセットは残留キャリア周波数オフセットとして算出される。残留シンボル同期ずれ算出部 94 では、残留位相誤差算出部 93 にて得られた位相誤差の傾きから、各周波数における位相誤差推定値を算出する。

【0055】

残留シンボル同期ずれ補正部 95 では、残留位相誤差算出部 93 にて算出された位相誤差推定値を用いて、各周波数の残留シンボル同期ずれを補正する。

40

【0056】

残留位相誤差算出部 93 にて得られた位相誤差のオフセットは、残留キャリア周波数オフセットに相当し、この残留キャリア周波数オフセット推定値が残留キャリア周波数オフセット補正部 12 へ与えられる。

【0057】

次に、本実施形態における位相誤差補正部 9 の動作をより詳細に説明する。

【0058】

図 3 は、周波数領域における参照信号 GI のスペクトラムと誤差ベクトル算出に用いられる周波数番号を示す図である。図 3 において、横軸は各周波数に対応する周波数番号を示し、縦軸は GI のスペクトラムの振幅の絶対値を示している。

50

【 0 0 5 9 】

信号抽出部 9 0 では、受信信号から参照信号 G I を抽出し、図 3 に示す 6 4 シンボルの参照信号 G I をフーリエ変換したスペクトラムを得る。ここで、周波数番号とは、W i G i g 規格のシンボルレートである 1 . 7 6 G H z (- 8 8 0 M H z ~ + 8 8 0 M H z) を 6 4 シンボルで割った 2 7 . 5 M H z を 1 単位とし、各周波数を表す番号である。

【 0 0 6 0 】

周波数領域のスペクトラムのうち、特に絶対値が大きいものはノイズ耐性が強く、位相ノイズの影響が少ない。よって、ここでは一例として、振幅の絶対値が大きいものから所定数（図示例では 8 シンボル分）のスペクトラムを代表値として使用するものとし、図 3 の黒丸で示される周波数番号 - 2 5、- 2 2、- 1 0、- 7、及び、8、1 3、1 9、2 4 を更に抽出する。

10

【 0 0 6 1 】

図 4 は、誤差ベクトル算出部 9 1 の構成を示す図である。誤差ベクトル算出部 9 1 は、複素乗算器 9 1 0 - 0 0 ~ 9 1 0 - 0 7 を有する。ここでは、8 個の周波数について参照信号 G I の誤差ベクトルを算出するため、8 系統の回路が並列に設けられる。誤差ベクトルを算出するために、複素乗算器 9 1 0 - 0 0 ~ 9 1 0 - 0 7 を用いて、受信された信号から抽出した参照信号と送信されるべき既知の参照信号との比較を行う。

【 0 0 6 2 】

各複素乗算器 9 1 0 - 0 0 ~ 9 1 0 - 0 7 には、基準となる既知の参照信号の係数 $r e f 0 0 \sim r e f 0 7$ がそれぞれ与えられ、信号抽出部 9 0 にて抽出された各周波数の参照信号 G I の値 $S 1 - 0 0 \sim S 1 - 0 7$ と係数 $r e f 0 0 \sim r e f 0 7$ とが周波数ごとに複素乗算される。係数 $r e f 0 0 \sim r e f 0 7$ は、既知の参照信号の共役の複素数となっており、複素乗算することによって、周期的に受信される参照信号との誤差ベクトル $S 2 - 0 0 \sim S 2 - 0 7$ が得られる。なお、係数に予め重み係数を加えることで、誤差ベクトルの大きさを揃えることも可能である。

20

【 0 0 6 3 】

図 5 は、位相誤差算出部 9 2 の構成を示す図である。位相誤差算出部 9 2 は、ベクトル - 位相変換 (vector to phase) 部 9 2 0 - 0 0 ~ 9 2 0 - 0 7、アンラッピング (Unwrapping) 部 9 2 1 - 0 0 ~ 9 2 1 - 0 7 を有する。ここでは、8 個の周波数について位相誤差を算出するため、8 系統の回路が並列に設けられる。

30

【 0 0 6 4 】

ベクトル - 位相変換部 9 2 0 - 0 0 ~ 9 2 0 - 0 7 では、誤差ベクトル算出部 9 1 にて得られた誤差ベクトル $S 2 - 0 0 \sim S 2 - 0 7$ を位相に変換する。ベクトル - 位相変換は、例えば $a r c t a n$ 演算、あるいは $C O R D I C$ によって実現できる。

【 0 0 6 5 】

アンラッピング部 9 2 1 - 0 0 ~ 9 2 1 - 0 7 では、位相アンラッピング (Phase Unwrapping) 処理を行い、位相誤差 $S 3 - 0 0 \sim S 3 - 0 7$ を算出する。ここで、位相が $2 +$ となった場合、 $- 2 +$ として現れることを防ぎ、位相を戻すようにして $2 +$ と位相表現範囲を広げる。位相が $- 2 -$ となった場合も同様である。位相アンラッピング (Phase Unwrapping) 処理は、一般的に知られている位相演算による手法を用いて実現できる。

40

【 0 0 6 6 】

図 2 における残留位相誤差算出部 9 3 では、位相誤差算出部 9 2 にて得られた位相誤差を基に直線近似を行い、位相誤差のオフセット $S 4 b$ と、位相誤差の傾き $S 4 a$ とを算出する。直線近似には、例えば $L S M$ (Least Squares Method) が用いられる。L S M 処理は、一般的に知られている近似による手法を用いて実現できる。

【 0 0 6 7 】

図 6 は、残留シンボル同期ずれ算出部 9 4 の構成を示す図である。残留シンボル同期ずれ算出部 9 4 は、乗算器 9 4 0 - 0 0 ~ 9 4 0 - 6 3 を有する。ここでは、6 4 個（元の G I の 6 4 シンボル分）の周波数について残留シンボル同期ずれ推定値を算出するため、

50

64系統の回路が並列に設けられる。図21に示した位相誤差の直線性より、位相誤差の傾きから各周波数の位相誤差（残留シンボル同期ずれ推定値）が求められる。

【0068】

乗算器940-00~940-63では、各周波数の残留シンボル同期ずれ推定値を算出するために、残留位相誤差算出部93にて得られた位相誤差の傾きS4aに対して各周波数に対応する係数を乗算する。乗算の係数は周波数番号-32~+31である。この係数乗算により、各周波数の位相誤差S5-00~S5-63を算出する。

【0069】

図7は、残留シンボル同期ずれ補正部95の構成を示す図である。残留シンボル同期ずれ補正部95は、位相-ベクトル変換（phase to vector）部950-00~950-63、共役変換（conj）部951-00~951-63、複素乗算器952-00~952-63を有する。ここでは、64個（元のGIの64シンボル分）の周波数について残留シンボル同期ずれの補正を行うため、64系統の回路が並列に設けられる。

【0070】

位相-ベクトル変換部950-00~950-63では、残留シンボル同期ずれ算出部94にて得られた各周波数の位相誤差（残留シンボル同期ずれ推定値）S5-00~S5-63を、複素ベクトルに変換する。共役変換部951-00~951-63では、残留シンボル同期ずれ推定値の複素ベクトルを共役の複素数に変換する。複素乗算器952-00~952-63では、伝送路補正部8による伝送路誤差補正後の周波数領域の受信信号S0-00~S0-63に対して、残留シンボル同期ずれ推定値の共役複素ベクトルを乗算する。これにより、受信信号の位相を逆回転させ、残留シンボル同期ずれを補正し、補正後の信号S6-00~S6-63を得る。位相-ベクトル変換は、例えばtan演算、あるいはCORDICによって実現できる。

【0071】

図8は、残留キャリア周波数オフセット補正部12の構成を示す図である。残留キャリア周波数オフセット補正部12は、位相-ベクトル変換（phase to vector）部120、共役変換（conj）部121、複素乗算器122を有する。残留キャリア周波数オフセット補正部12は、時間領域での位相誤差補正を行うものである。

【0072】

位相-ベクトル変換部120では、残留位相誤差算出部93にて得られた位相誤差のオフセットS4b、すなわち残留キャリア周波数オフセット推定値を、複素ベクトルに変換する。共役変換部121では、残留キャリア周波数オフセット推定値の複素ベクトルを共役の複素数に変換する。複素乗算器122では、時間領域の受信信号S7に対して、残留キャリア周波数オフセット推定値の共役複素ベクトルを乗算する。これにより、時間領域の受信信号S7の位相を回転させ、残留キャリア周波数オフセットを補正し、補正後の信号S8を得る。位相-ベクトル変換は、例えばtan演算、あるいはCORDICによって実現できる。

【0073】

図9は、本実施形態におけるキャリア周波数オフセットの補正タイミングを示す図である。STFにおいて、周波数補正部5により粗いキャリア周波数オフセットの推定（算出）が行われ、補正值の算出後に粗いキャリア周波数オフセット補正が行われる。粗いキャリア周波数オフセット補正の後、残留キャリア周波数オフセットが累積していく。CEFにおいて、伝送路補正部8により伝送路誤差補正が行われる。

【0074】

その後、ヘッダの前のGIにおいて、位相誤差補正部9により残留キャリア周波数オフセットの推定（算出）が行われ、残留キャリア周波数オフセット補正部12により残留キャリア周波数オフセット補正が行われる。

【0075】

本実施形態では、周期的に繰り返し送信される特定の参照信号（参照信号GI）を用いて、位相誤差補正部9によって、周波数領域に変換された受信信号の中から特定の参照信

10

20

30

40

50

号（参照信号 G I）を抽出し、送信されるべき特定の参照信号と比較することにより、周波数領域において位相誤差のオフセットと位相誤差の傾きを算出する。算出した位相誤差の傾きに基づき、位相誤差補正部 9 によって周波数領域において残留シンボル同期ずれ補正を行う。

【 0 0 7 6 】

また、算出した位相誤差のオフセット（残留キャリア周波数オフセット推定値）を、残留キャリア周波数オフセット補正部 1 2 へ時間領域の位相回転角として与え、時間領域に変換された受信信号の位相を回転させる。すなわち、残留キャリア周波数オフセット補正部 1 2 によって、時間領域において残留キャリア周波数オフセット補正を行う。I D F T 部 1 0 における周波数 - 時間変換処理は時間を要するため、残留キャリア周波数オフセット推定値を残留キャリア周波数オフセット補正部 1 2 へフィードフォワードして時間領域にて残留キャリア周波数オフセット補正を実行することで、位相誤差補正の処理遅延を解消できる。

10

【 0 0 7 7 】

本実施形態によれば、高速伝送を行う無線通信システムにおいても G I 直後のヘッダの先頭から残留キャリア周波数オフセット補正を実行でき、復調部 1 3 にてヘッダを正しく復調できる。したがって、残留キャリア周波数オフセットが大きい場合でも、信号の遅延バッファを用いることなく、ヘッダを含む受信データを正しく復調可能である。

【 0 0 7 8 】

（実施の形態 2）

20

図 1 0 は、本開示の実施の形態 2 における残留キャリア周波数オフセット補正部の構成を示すブロック図である。実施の形態 2 は、残留キャリア周波数オフセット補正部 1 2 の構成を変更した例である。その他の構成は前述した実施の形態 1 と同様である。

【 0 0 7 9 】

実施の形態 2 の残留キャリア周波数オフセット補正部 1 2 は、ゲイン乗算部 1 2 3、C O R D I C 部 1 2 4 を有する。ゲイン乗算部 1 2 3 では、残留位相誤差算出部 9 3 にて得られた位相誤差のオフセット S 4 b、すなわち残留キャリア周波数オフセット推定値を、- 1 倍する。C O R D I C 部 1 2 4 では、- 1 倍した残留キャリア周波数オフセット推定値によって時間領域の受信信号 S 7 の位相を回転させ、残留キャリア周波数オフセットを補正する。

30

【 0 0 8 0 】

実施の形態 2 においても、実施の形態 1 と同様の機能を実現でき、高速伝送を行う無線通信システムにおいてもヘッダを正しく復調できる。

【 0 0 8 1 】

（実施の形態 3）

図 1 1 は、本開示の実施の形態 3 における残留シンボル同期ずれ補正部の構成を示すブロック図である。実施の形態 3 は、残留シンボル同期ずれ補正部 9 5 の構成を変更した例である。その他の構成は前述した実施の形態 1 と同様である。

【 0 0 8 2 】

実施の形態 3 の残留シンボル同期ずれ補正部 9 5 は、ゲイン乗算部 9 5 3 - 0 0 ~ 9 5 3 - 6 3、C O R D I C 部 9 5 4 - 0 0 ~ 9 5 4 - 6 3 を有する。ゲイン乗算部 9 5 3 - 0 0 ~ 9 5 3 - 6 3 では、残留シンボル同期ずれ算出部 9 4 にて得られた各周波数の位相誤差（残留シンボル同期ずれ推定値）S 5 - 0 0 ~ S 5 - 6 3 を、- 1 倍する。C O R D I C 部 9 5 4 - 0 0 ~ 9 5 4 - 6 3 では、- 1 倍した各周波数の残留シンボル同期ずれ推定値によって周波数領域の受信信号 S 0 - 0 0 ~ S 0 - 6 3 の位相を回転させ、残留シンボル同期ずれを補正する。

40

【 0 0 8 3 】

実施の形態 3 においても、実施の形態 1 と同様の機能を実現でき、高速伝送を行う無線通信システムにおいてもヘッダを正しく復調できる。

【 0 0 8 4 】

50

(実施の形態4)

図12は、本開示の実施の形態4における無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図である。実施の形態4の無線通信装置は、残留キャリア周波数オフセット補正部12Aを、IDFT部10とP/S変換部11との間に設けた構成例である。その他の構成は前述した実施の形態1と同様である。

【0085】

この場合、残留キャリア周波数オフセット補正部12Aは、64並列の回路により、時間領域の受信信号の残留キャリア周波数オフセットを補正する。残留キャリア周波数オフセット補正部12Aの構成は、図8の構成あるいは図10の構成の残留キャリア周波数オフセット補正部12を、64並列に配置する。

10

【0086】

実施の形態4においても、実施の形態1と同様の機能を実現でき、高速伝送を行う無線通信システムにおいてもヘッダを正しく復調できる。

【0087】

(実施の形態5)

図13は、本開示の実施の形態5における無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図である。実施の形態5の無線通信装置は、図1に示した実施の形態1における位相誤差補正部9の代わりに、位相誤差推定部15と時間領域残留シンボル同期ずれ補正部16とを有する。

【0088】

20

位相誤差推定部15は、伝送路補正部8とIDFT部10との間に接続され、残留シンボル同期ずれ推定値と残留キャリア周波数オフセット推定値とを推定(算出)する。時間領域残留シンボル同期ずれ補正部16は、P/S変換部11と残留キャリア周波数オフセット補正部12との間に設けられ、時間領域において受信信号の残留シンボル同期ずれ補正を行う。その他の構成は前述した実施の形態1と同様である。

【0089】

実施の形態5では、DFT部7により周波数領域に変換された受信信号から、位相誤差推定部15によって残留シンボル同期ずれ推定値と残留キャリア周波数オフセット推定値とを算出する。残留シンボル同期ずれ推定値を時間領域残留シンボル同期ずれ補正部16に、残留キャリア周波数オフセット推定値を残留キャリア周波数オフセット補正部12に

30

【0090】

図14は、位相誤差推定部15の構成を示す図である。位相誤差推定部15は、信号抽出部90、誤差ベクトル算出部91、位相誤差算出部92、残留位相誤差算出部93を有する。すなわち、位相誤差推定部15は、実施の形態1の位相誤差補正部9のうち、残留シンボル同期ずれ算出部94、残留シンボル同期ずれ補正部95を除いた構成である。よって、ここでは各部の動作の詳細説明は省略する。

【0091】

位相誤差推定部15では、信号抽出部90にて抽出した参照信号GIについて、誤差ベクトル算出部91にて誤差ベクトルを算出し、位相誤差算出部92にて位相誤差に変換し、残留位相誤差算出部93にて位相誤差のオフセットS4bと位相誤差の傾きS4aを算出する。位相誤差の傾きS4aは残留シンボル同期ずれ推定値として、位相誤差のオフセットS4bは残留キャリア周波数オフセット推定値として、それぞれ出力される。

40

【0092】

図15は、時間領域残留シンボル同期ずれ補正部16の構成を示す図である。時間領域残留シンボル同期ずれ補正部16は、時間領域において残留シンボル同期ずれの補正を行うために、位相回転ではなく、フィルタを用いて同期補正を行う。時間領域残留シンボル同期ずれ補正部16は、IQ分離部160、補正係数選択部161、フリップフロップ(FF)部162-I-00~162-I-09、162-Q-00~162-Q-09、

50

乗算器 163 - I - 00 ~ 163 - I - 10、163 - Q - 00 ~ 163 - Q - 10、加算器 164 - I、164 - Q、I Q 統合部 165 を有する。ここでは一例として、フィルタのタップ数を 11 とした例を示す。

【0093】

時間領域残留シンボル同期ずれ補正部 16 において、I Q 分離部 160 では、時間領域の受信信号 S0 の複素数信号を I、Q の直交成分に分離する。FF 部 162 - I - 00 ~ 162 - I - 09、162 - Q - 00 ~ 162 - Q - 09 では、I、Q に分離された複素信号をそれぞれ保持する。補正係数選択部 161 では、位相誤差の傾き S4 a から、フィルタの各タップの補正係数を選択する。乗算器 163 - I - 00 ~ 163 - I - 10、163 - Q - 00 ~ 163 - Q - 10 では、それぞれ選択された補正係数と、FF 部に保持された信号とを乗算する。加算器 164 - I、164 - Q では、各乗算器の乗算結果を加算し、I、Q 毎の和を算出する。I Q 統合部 165 では、I Q それぞれの加算結果を統合し、複素信号に変換して時間領域のシンボル同期ずれ補正後の信号 S7 を得る。

10

【0094】

図 16 及び図 17 は補正係数選択部 161 における補正係数の選択処理を説明する図である。図 16 は位相誤差の傾きと残留シンボル同期ずれ補正值との関係を示す図、図 17 は補正係数の選択例を示す図である。図 16 において、横軸は位相誤差の傾きを、縦軸は残留シンボル同期ずれ補正值を示している。図 16 に示す直線関数 166 が、位相誤差の傾き $+ / 64 \sim - / 64$ に対して一対一に対応する残留シンボル同期ずれ補正值 $-1 \sim +1$ を表す。例えば、位相誤差の傾き S4 a が図中の黒丸に示す値 a1 の場合、直線関数 166 に対応する残留シンボル同期ずれ補正值は、図中の白丸に示す値 c a1 となる。補正係数選択部 161 は、位相誤差の傾きから対応する残留シンボル同期ずれ補正值を取得する。

20

【0095】

そして、補正係数選択部 161 は、例えば図 17 に示す sinc 関数の係数をタップ係数として用い、位相誤差の傾きに対応する残留シンボル同期ずれ補正值から、各タップの補正係数を選択する。図 17 において、横軸は各タップに対応するタップ番号、縦軸は sinc 関数の値（補正係数）を示している。

【0096】

図 17 の例では、残留シンボル同期ずれ補正值が 0 の場合、シンボル同期ずれが 0 のため、図中の黒丸の値 h a 0、すなわち中央が「1」でその他が「0」の値を補正係数として選択する。残留シンボル同期ずれ補正值が 0.2（シンボル同期ずれが -0.2）の場合、補正值 0 から +0.2（図のマークで右に 2 つ分）だけずれた値（図中の黒四角の値）h a 2 を補正係数として選択する。

30

【0097】

上記のようなフィルタを用いて、時間領域の受信信号を通過させて同期補正を行うことにより、時間領域における残留シンボル同期ずれの補正が可能である。なお、残留シンボル同期ずれの値などに応じて、フィルタ係数を調整してもよい。

【0098】

実施の形態 5 においても、実施の形態 1 と同様の機能を実現でき、高速伝送を行う無線通信システムにおいてもヘッダを正しく復調できる。

40

【0099】

実施の形態 5 では、時間領域において残留シンボル同期ずれ補正と残留キャリア周波数オフセット補正とを行うことにより、残留シンボル同期ずれについても残留キャリア周波数オフセットと共にヘッダ先頭から補正できる。よって、残留シンボル同期ずれによる位相誤差補正をより早いタイミングで実施できる。

【0100】

（実施の形態 6）

図 18 は、本開示の実施の形態 6 における無線通信装置の受信部の構成を示すブロック図である。実施の形態 6 の無線通信装置は、実施の形態 5 の構成に対し、時間領域残留シ

50

ンボル同期ずれ補正部 1 6 と残留キャリア周波数オフセット補正部 1 2 の順序を入れ替え、残留キャリア周波数オフセット補正部 1 2 を前段に配置した例である。その他の構成は前述した実施の形態 5 と同様である。

【 0 1 0 1 】

実施の形態 6 においても、実施の形態 5 と同様の機能を実現でき、高速伝送を行う無線通信システムにおいてもヘッダを正しく復調できる。

【 0 1 0 2 】

実施の形態 6 では、残留キャリア周波数オフセット補正部 1 2 における C O R D I C 部などの演算誤差を考慮し、先に残留キャリア周波数オフセットの補正を行うことで、残留シンボル同期ずれ補正の精度を向上できる。

10

【 0 1 0 3 】

以上、図面を参照しながら各種の実施形態について説明したが、本開示はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。また、開示の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施形態における各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

【 0 1 0 4 】

上記各実施形態では、本開示を、ハードウェアを用いて構成する場合を例にとって説明したが、本開示はハードウェアとの連携においてソフトウェアでも実現可能である。

【 0 1 0 5 】

20

また、上記各実施形態の説明に用いた各機能ブロックは、典型的には集積回路である L S I として実現される。これらは個別に 1 チップ化されてもよいし、各機能ブロックの一部又は全てを含むように 1 チップ化されてもよい。ここでは、L S I としたが、集積度の違いにより、I C、システム L S I、スーパー L S I、ウルトラ L S I と呼称されることもある。

【 0 1 0 6 】

また、集積回路化の手法には L S I に限らず、専用回路または汎用プロセッサを用いて実現してもよい。L S I 製造後に、プログラムすることが可能な F P G A (F i e l d P r o g r a m m a b l e G a t e A r r a y)、又は、L S I 内部の回路セルの接続、設定が再構成可能なリプログラマブル・プロセッサを利用してよい。

30

【 0 1 0 7 】

さらには、半導体技術の進歩または派生する別技術により L S I に置き換わる集積回路化の技術が登場すれば、当然、別技術を用いて機能ブロックの集積化を行ってもよい。バイオ技術の適用等が可能性としてありえる。

【 0 1 0 8 】

なお、本開示は、無線通信装置において実行されるキャリア周波数オフセット補正方法として表現することが可能である。また、本開示は、キャリア周波数オフセット補正方法を実行する機能を有する装置としてのキャリア周波数オフセット補正装置、あるいはキャリア周波数オフセット補正方法またはキャリア周波数オフセット補正装置をコンピュータにより動作させるためのプログラムとして表現することも可能である。すなわち、本開示は、装置、方法及びプログラムのうちいずれの категорияにおいても表現可能である。

40

【産業上の利用可能性】

【 0 1 0 9 】

本開示は、キャリア周波数オフセットを適切に補正でき、受信データを正しく復調可能となる効果を有し、例えば高速伝送を行う無線通信装置に適用されるキャリア周波数オフセット補正方法及び装置等として有用である。

【符号の説明】

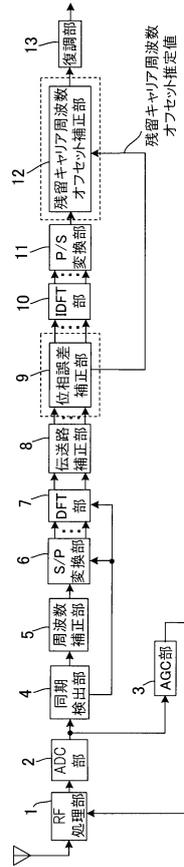
【 0 1 1 0 】

- 1 R F 処理部
- 2 A D C 部

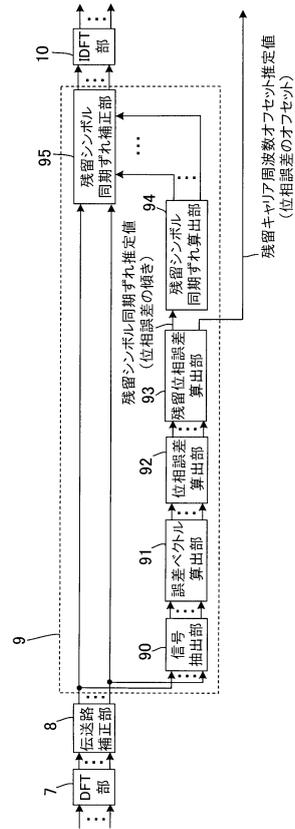
50

3	A G C 部	
4	同期検出部	
5	周波数補正部	
6	S / P 変換部	
7	D F T 部	
8	伝送路補正部	
9	位相誤差補正部	
9 0	信号抽出部	
9 1	誤差ベクトル算出部	
9 1 0 - 0 0 ~ 9 1 0 - 0 7	複素乗算器	10
9 2	位相誤差算出部	
9 2 0 - 0 0 ~ 9 2 0 - 0 7	ベクトル - 位相変換部	
9 2 1 - 0 0 ~ 9 2 1 - 0 7	アンラッピング部	
9 3	残留位相誤差算出部	
9 4	残留シンボル同期ずれ算出部	
9 4 0 - 0 0 ~ 9 4 0 - 6 3	乗算器	
9 5	残留シンボル同期ずれ補正部	
9 5 0 - 0 0 ~ 9 5 0 - 6 3	位相 - ベクトル変換部	
9 5 1 - 0 0 ~ 9 5 1 - 6 3	共役変換部	
9 5 2 - 0 0 ~ 9 5 2 - 6 3	複素乗算器	20
9 5 3 - 0 0 ~ 9 5 3 - 6 3	ゲイン乗算部	
9 5 4 - 0 0 ~ 9 5 4 - 6 3	C O R D I C 部	
1 0	I D F T 部	
1 1	P / S 変換部	
1 2、1 2 A	残留キャリア周波数オフセット補正部	
1 2 0	位相 - ベクトル変換部	
1 2 1	共役変換部	
1 2 2	複素乗算器	
1 2 3	ゲイン乗算部	
1 2 4	C O R D I C 部	30
1 3	復調部	
1 5	位相誤差推定部	
1 6	時間領域残留シンボル同期ずれ補正部	
1 6 0	I Q 分離部	
1 6 1	補正係数選択部	
1 6 2 - I - 0 0 ~ 1 6 2 - I - 0 9、1 6 2 - Q - 0 0 ~ 1 6 2 - Q - 0 9	F F 部	
1 6 3 - I - 0 0 ~ 1 6 3 - I - 1 0、1 6 3 - Q - 0 0 ~ 1 6 3 - Q - 1 0	乗算器	
1 6 4 - I、1 6 4 - Q	加算器	
1 6 5	I Q 統合部	

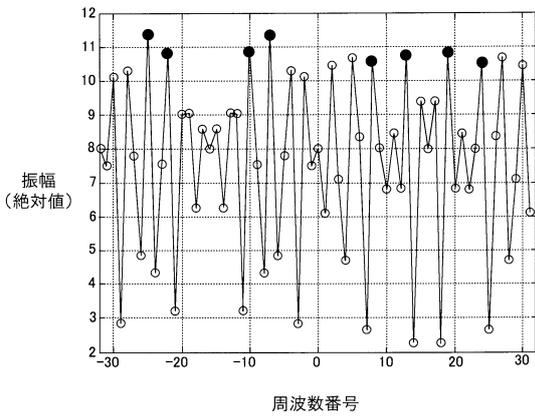
【図1】



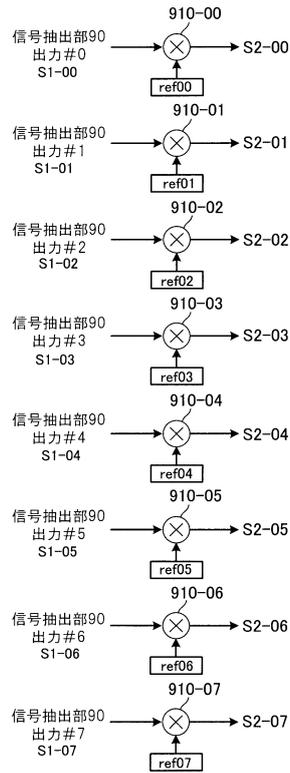
【図2】



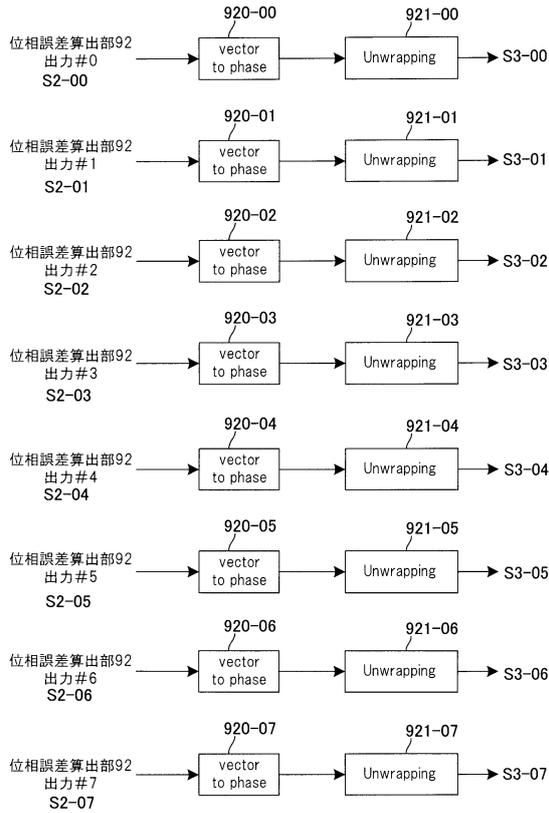
【図3】



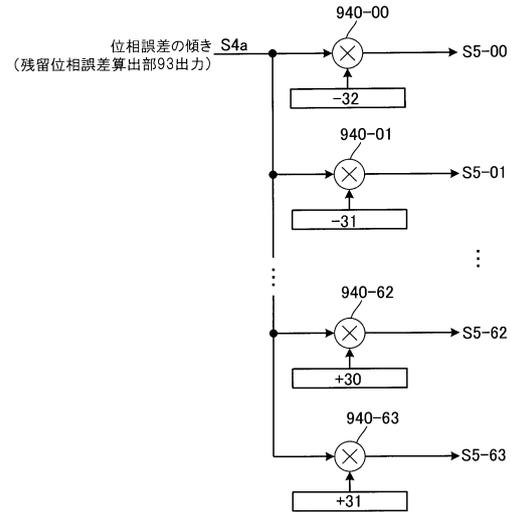
【図4】



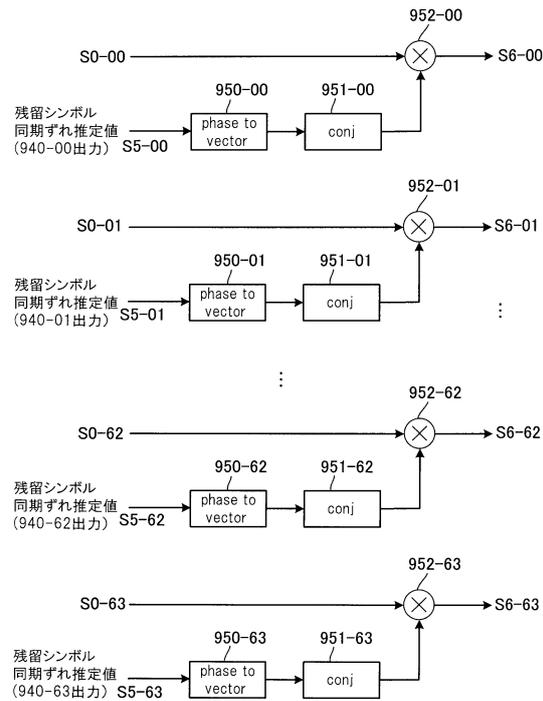
【図5】



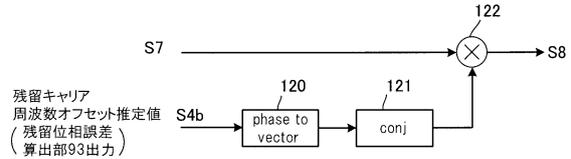
【図6】



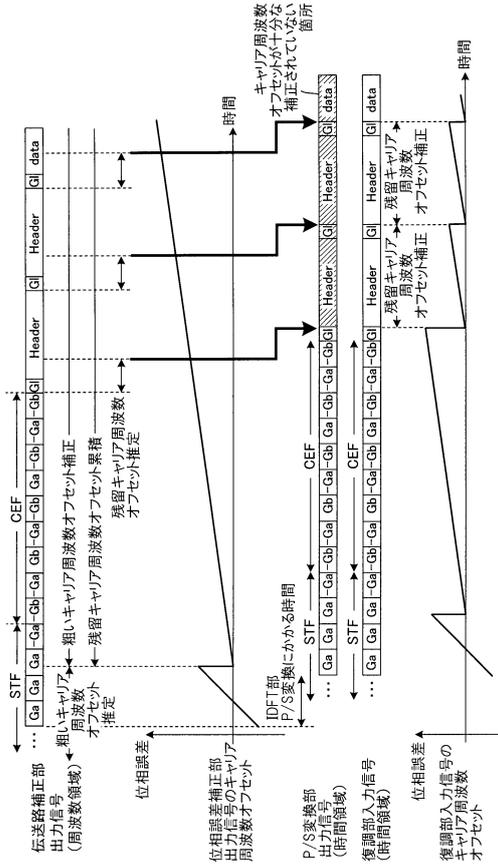
【図7】



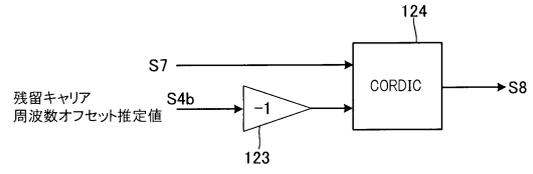
【図8】



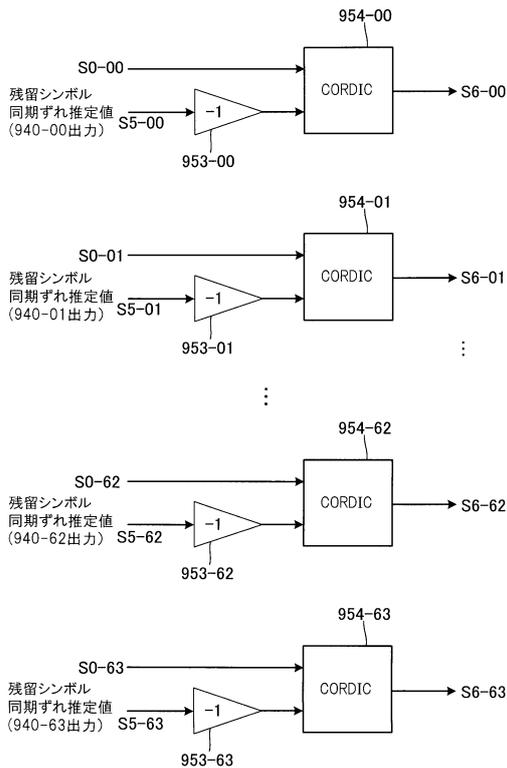
【図 9】



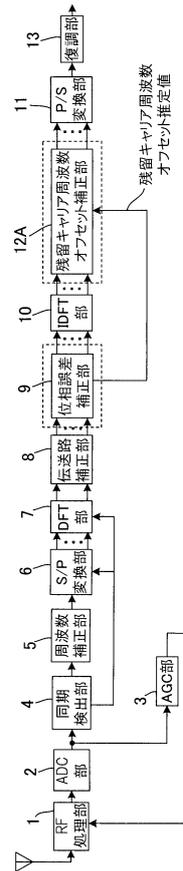
【図 10】



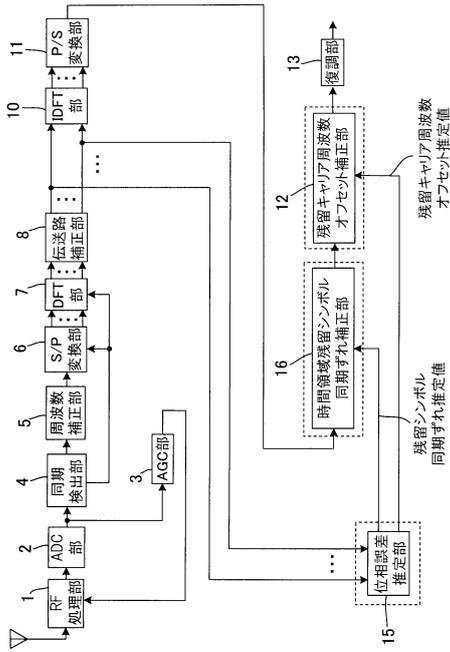
【図 11】



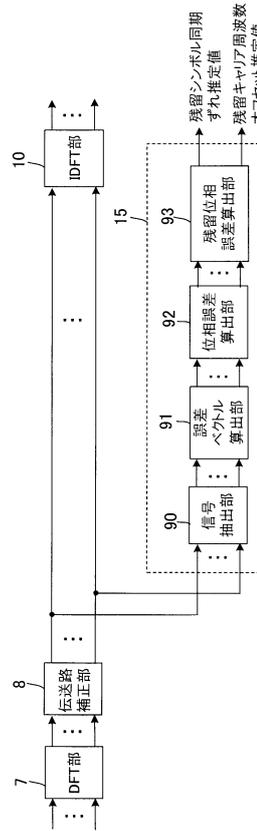
【図 12】



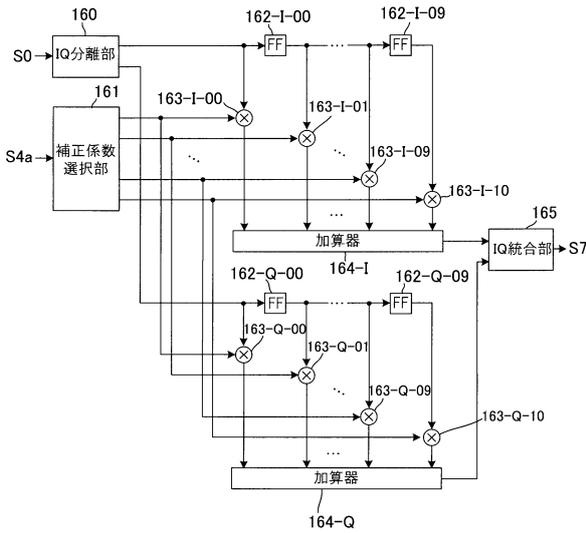
【図13】



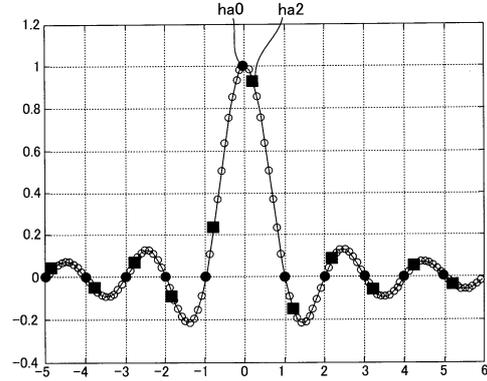
【図14】



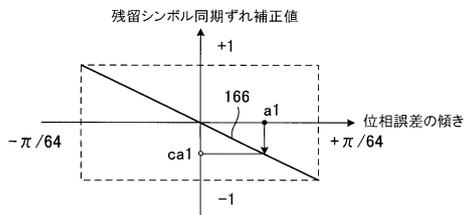
【図15】



【図17】

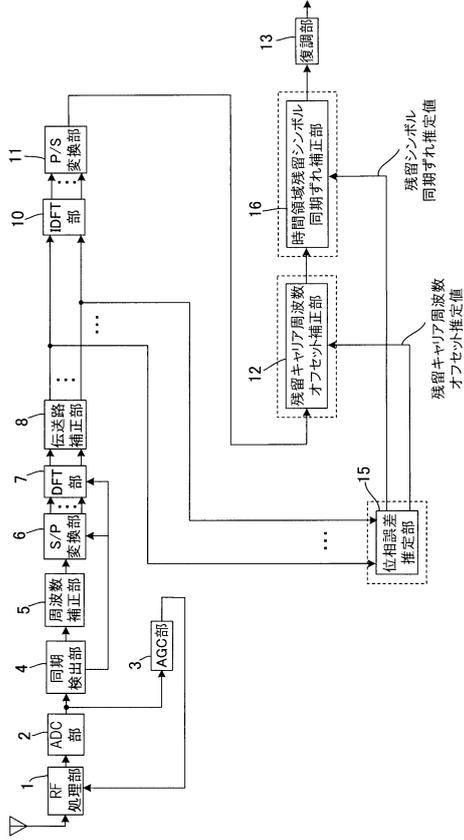


【図16】

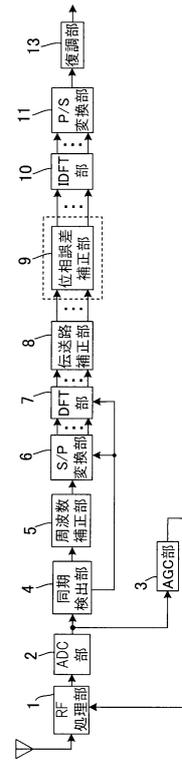


- 残留シンボル同期ずれ補正值:0
- 残留シンボル同期ずれ補正值:0.2

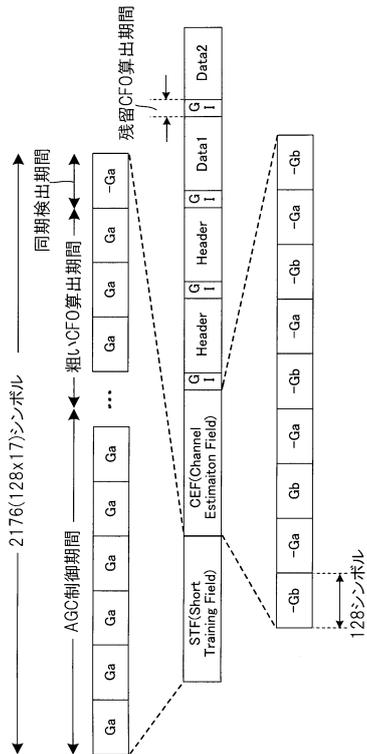
【図18】



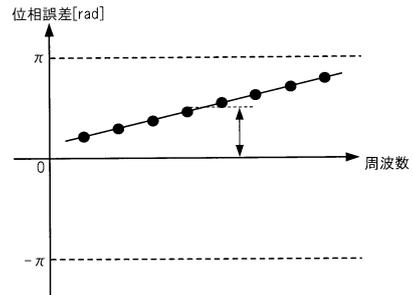
【図19】



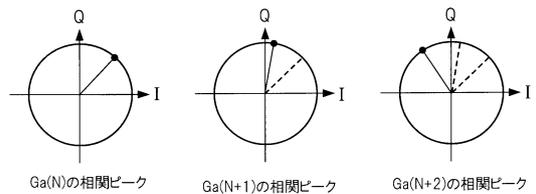
【図20】



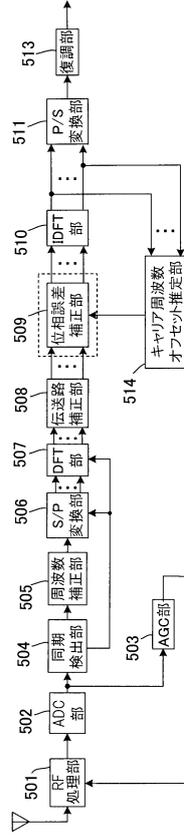
【図21】



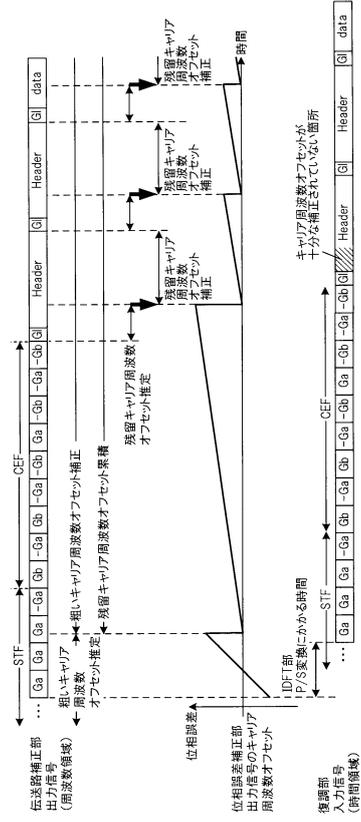
【図22】



【図 23】



【図 24】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-104744(JP,A)
国際公開第2009/154278(WO,A1)
特表2012-519986(JP,A)
国際公開第2008/047776(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 11/00
H04L 27/00 - 27/38