

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-253688

(P2012-253688A)

(43) 公開日 平成24年12月20日(2012.12.20)

(51) Int.Cl.
H04J 11/00 (2006.01)

F I
H04J 11/00 Z

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2011-126672 (P2011-126672)
(22) 出願日 平成23年6月6日(2011.6.6)

(71) 出願人 000005049
シャープ株式会社
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(74) 代理人 100114258
弁理士 福地 武雄
(74) 代理人 100125391
弁理士 白川 洋一
(72) 発明者 加藤 勝也
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
シャープ株式会社内
(72) 発明者 吉本 貴司
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
シャープ株式会社内
(72) 発明者 山田 良太
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
シャープ株式会社内

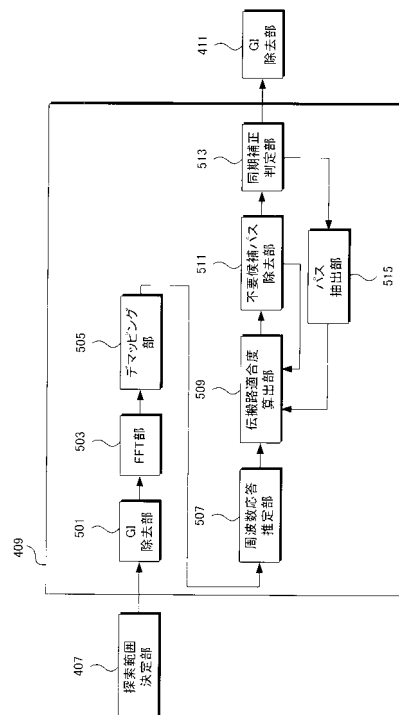
(54) 【発明の名称】 受信装置、受信方法、制御プログラムおよび集積回路

(57) 【要約】

【課題】 高精度な同期位置確定を可能とする。

【解決手段】 受信したマルチパスから先行パス位置を決定する受信装置であって、周波数応答推定値を用いてチャネルインパルス応答を推定し、その推定値とパスとの適合度を示す伝搬路適合度をパス毎に算出する伝搬路適合度算出部509と、前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去する不要候補パス除去部511と、前記伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとするパス抽出部515と、前記抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定する同期補正判定部513と、を備える。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

受信したマルチパスから先行パス位置を決定する受信装置であって、
周波数応答推定値を用いてチャンネルインパルス応答を推定し、その推定値とパスとの適合度を示す伝搬路適合度をパス毎に算出する伝搬路適合度算出部と、
前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去する不要候補パス除去部と、
前記伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとするパス抽出部と、
前記抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定する同期補正判定部と、を備えることを特徴とする受信装置。

10

【請求項 2】

前記受信したマルチパスから仮先行パス位置を決定し、前記決定した仮先行パス位置を基準として先行パスの探索範囲を決定する探索範囲決定部を備えることを特徴とする請求項 1 記載の受信装置。

【請求項 3】

前記探索範囲決定部は、前記仮先行パス位置よりも遅延時間が小さい位置を前記探索範囲の先頭とすることを特徴とする請求項 2 記載の受信装置。

【請求項 4】

前記探索範囲決定部は、前記仮先行パス位置よりも遅延時間が大きい位置を前記探索範囲の終端とすることを特徴とする請求項 2 または請求項 3 記載の受信装置。

20

【請求項 5】

前記探索範囲決定部は、前記仮先行パス位置よりも遅延時間が最大遅延時間だけ大きい位置を前記探索範囲の終端とすることを特徴とする請求項 2 または請求項 3 記載の受信装置。

【請求項 6】

情報量基準を前記伝搬路適合度として用いることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれかに記載の受信装置。

【請求項 7】

前記情報量基準は、ベイズ情報量基準であることを特徴とする請求項 6 記載の受信装置。

30

【請求項 8】

受信信号を時間領域の信号から周波数領域の信号に変換する時間周波数変換部と、
前記周波数領域の受信信号と参照信号とを用いて周波数領域の伝搬路である周波数応答を推定し、周波数応答推定値を出力する周波数応答推定部と、を備え、
前記伝搬路適合度算出部は、前記周波数応答推定値を用いて前記伝搬路適合度を算出することを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれかに記載の受信装置。

【請求項 9】

前記伝搬路適合度算出部は、参照信号がマッピングされた時刻に対応する受信信号を用いて前記チャンネルインパルス応答を推定することを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれかに記載の受信装置。

40

【請求項 10】

前記同期補正判定部は、前記抽出パスのうち、遅延時間が最小であるパスよりも遅延時間が小さい候補パスが存在しないことを検出した場合、前記先行パス位置の決定を行なうことを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の受信装置。

【請求項 11】

前記同期補正判定部は、前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去した結果、候補パスが無くなった場合、前記先行パス位置の決定を行なうことを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の受信装置。

【請求項 12】

前記抽出パスから構成されるチャンネルインパルス応答推定値を時間領域の信号から周波

50

数領域の信号に変換し、周波数応答推定値を出力する伝搬路用時間周波数変換部を備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 11 のいずれかに記載の受信装置。

【請求項 13】

前記伝搬路適合度算出部、前記不要候補パス除去部、前記パス抽出部および前記同期補正判定部を有する複数の同期部と、

前記各同期部から得られる伝搬路適合度のうち、最も大きい伝搬路適合度に対応するパス位置を先行パス位置に決定する伝搬路適合判定部と、を備えることを特徴とする請求項 1 記載の受信装置。

【請求項 14】

受信したマルチパスから先行パス位置を決定する受信方法であって、

周波数応答推定値を用いてチャンネルインパルス応答を推定し、その推定値とパスとの適合度を示す伝搬路適合度をパス毎に算出するステップと、

前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去するステップと、

前記伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとするステップと、

前記抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定するステップと、を少なくとも含むことを特徴とする受信方法。

【請求項 15】

受信したマルチパスから先行パス位置を決定する受信装置の制御プログラムであって、

周波数応答推定値を用いてチャンネルインパルス応答を推定し、その推定値とパスとの適合度を示す伝搬路適合度をパス毎に算出する処理と、

前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去する処理と、

前記伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとする処理と、

前記抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定する処理と、の一連の処理を、コンピュータに実行させることを特徴とする制御プログラム。

【請求項 16】

受信装置に実装されることにより、前記受信装置に複数の機能を発揮させる集積回路であって、

マルチパスを受信する機能と、

周波数応答推定値を用いてチャンネルインパルス応答を推定し、その推定値とパスとの適合度を示す伝搬路適合度をパス毎に算出する機能と、

前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去する機能と、

前記伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとする機能と、

前記抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定する機能と、の一連の機能を、前記受信装置に発揮させることを特徴とする集積回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、受信装置の高精度な同期位置確定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

無線通信においては、特に広帯域伝送の場合、先行して受信するパスに加え、建物や山などの障害物からの反射を経由する等して遅延して到来するパスが存在する。このように複数のパスが到来する環境をマルチパス環境という。受信装置が受信信号に対して復調処理を行なう場合は、最初に到来するパスに同期することが望ましい。

【0003】

非特許文献 1 には、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing ; 直交周

10

20

30

40

50

波数分割多重)において、ガードインターバル(Guard Interval;GI)を超える遅延パスがある場合でも高精度に同期を行なえる方法が記載されている。その方法は、まず受信信号を用いて自己相関を計算し、ピークの値に事前に定められた値を乗算したものを閾値とし、それを上回る遅延時間最小のパスを仮タイミングとする。次に、その位置から遅延時間の少し小さい位置を先頭とし、遅延時間の大きい領域にもある程度の長さを持った区間を設定し、その区間に対してチャンネルインパルス応答の推定を行なう。ただし、チャンネルインパルス応答とは、時間領域の伝搬路のことをいう。推定されたチャンネルインパルス応答のピーク値に事前に定められた値を乗算したものを閾値とし、それを上回る遅延時間最小のパスを同期位置として決定する。

【0004】

図27は、自己相関に基づいて、チャンネルインパルス応答の推定を行ない、これにより同期位置を決定する一例を示す図である。図27において、上段は自己相関を表わす。ピークのパス101により、閾値103が決まる。閾値103を超える遅延時間最小のパスがパス105なので、ここではパス105を仮タイミングとして決定する。次に、図27下段は、パス105の位置から決まる探索範囲において推定したチャンネルインパルス応答を表わす。パス201~215はチャンネルインパルス応答を構成するパスであり、ピークのパス201を有する。これにより閾値217が決まる。閾値217を超える遅延時間最小のパスがパス203なので、パス203を先行パスとして同期位置を決定する。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】 静野、須山、鈴木、府川、「OFDMパケット伝送におけるチャンネル推定を用いた高精度タイミング再生」、電子情報通信学会技術報告、RCS2003-124、2003年8月

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、非特許文献1の方法では、サブキャリアが多いシステムなど探索範囲が非常に大きくなる場合、雑音強調で推定値の真値からの誤差が大きくなり、同期位置の精度が劣化してしまう。本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、高精度な同期位置確定が可能な受信装置、受信方法、制御プログラムおよび集積回路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】

【0007】

(1)上記の目的を達成するために、本発明は、以下のような手段を講じた。すなわち、本発明の受信装置は、受信したマルチパスから先行パス位置を決定する受信装置であって、周波数応答推定値を用いてチャンネルインパルス応答を推定し、その推定値とパスとの適合度を示す伝搬路適合度をパス毎に算出する伝搬路適合度算出部と、前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去する不要候補パス除去部と、前記伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとするパス抽出部と、前記抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定する同期補正判定部と、を備えることを特徴としている。

【0008】

このように、受信装置は、伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去し、伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとし、抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定するので、パスを選んで推定でき、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えることができる。

【0009】

(2)また、本発明の受信装置において、前記受信したマルチパスから仮先行パス位置を決定し、前記決定した仮先行パス位置を基準として先行パスの探索範囲を決定する探索

10

20

30

40

50

範囲決定部を備えることを特徴としている。

【0010】

このように、受信装置は、受信したマルチパスから仮先行パス位置を決定し、決定した仮先行パス位置を基準として先行パスの探索範囲を決定するので、ガードインターバル (Guard Interval;GI) を超える遅延パスがある場合でも高精度に同期を行なえる。

【0011】

(3) また、本発明の受信装置において、前記探索範囲決定部は、前記仮先行パス位置よりも遅延時間が小さい位置を前記探索範囲の先頭とすることを特徴としている。

【0012】

このように、受信装置は、仮先行パス位置よりも遅延時間が小さい位置を探索範囲の先頭とするので、ガードインターバル (Guard Interval;GI) を超える遅延パスがある場合でも高精度に同期を行なえる。

【0013】

(4) また、本発明の受信装置において、前記探索範囲決定部は、前記仮先行パス位置よりも遅延時間が大きい位置を前記探索範囲の終端とすることを特徴としている。

【0014】

このように、受信装置は、仮先行パス位置よりも遅延時間が大きい位置を探索範囲の終端とするので、ガードインターバル (Guard Interval;GI) を超える遅延パスがある場合でも高精度に同期を行なえる。

【0015】

(5) また、本発明の受信装置において、前記探索範囲決定部は、前記仮先行パス位置よりも遅延時間が最大遅延時間だけ大きい位置を前記探索範囲の終端とすることを特徴としている。

【0016】

このように、受信装置は、仮先行パス位置よりも遅延時間が最大遅延時間だけ大きい位置を前記探索範囲の終端とするので、ガードインターバル (Guard Interval;GI) を超える遅延パスがある場合でも高精度に同期を行なえる。

【0017】

(6) また、本発明の受信装置において、情報量基準を前記伝搬路適合度として用いることを特徴としている。

【0018】

このように、受信装置は、情報量基準を伝搬路適合度として用いるので、パスを選んで推定でき、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えることができる。

【0019】

(7) また、本発明の受信装置において、前記情報量基準は、ベイズ情報量基準であることを特徴としている。

【0020】

このように、情報量基準が、ベイズ情報量基準であるので、受信装置は、パスを選んで推定でき、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えることができる。

【0021】

(8) また、本発明の受信装置において、受信信号を時間領域の信号から周波数領域の信号に変換する時間周波数変換部と、前記周波数領域の受信信号と参照信号とを用いて周波数領域の伝搬路である周波数応答を推定し、周波数応答推定値を出力する周波数応答推定部と、を備え、前記伝搬路適合度算出部は、前記周波数応答推定値を用いて前記伝搬路適合度を算出することを特徴としている。

【0022】

このように、受信装置は、周波数応答推定値を用いて伝搬路適合度を算出するので、パスを選んで推定でき、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えることができる。

【0023】

(9) また、本発明の受信装置において、前記伝搬路適合度算出部は、参照信号がマッ

10

20

30

40

50

ピングされた時刻に対応する受信信号を用いて前記チャンネルインパルス応答を推定することを特徴としている。

【0024】

このように、受信装置が、参照信号がマッピングされた時刻に対応する受信信号を用いて前記チャンネルインパルス応答を推定するので、送信装置は、時間領域で連続した信号を送信するシングルキャリア送信を行ない、その中で時間的に連続したパイロットシンボルを挿入し、そのパイロットシンボルを参照信号として同期補正を行なうことができる。

【0025】

(10)また、本発明の受信装置において、前記同期補正判定部は、前記抽出パスのうち、遅延時間が最小であるパスよりも遅延時間が小さい候補パスが存在しないことを検出した場合、前記先行パス位置の決定を行なうことを特徴としている。

10

【0026】

このように、受信装置は、抽出パスのうち、遅延時間が最小であるパスよりも遅延時間が小さい候補パスが存在しないことを検出した場合、先行パス位置の決定を行なうので、パスを選んで推定でき、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えることができる。

【0027】

(11)また、本発明の受信装置において、前記同期補正判定部は、前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去した結果、候補パスが無くなった場合、前記先行パス位置の決定を行なうことを特徴としている。

20

【0028】

このように、受信装置は、伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去した結果、候補パスが無くなった場合、前記先行パス位置の決定を行なうので、パスを選んで推定でき、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えることができる。

【0029】

(12)また、本発明の受信装置において、前記抽出パスから構成されるチャンネルインパルス応答推定値を時間領域の信号から周波数領域の信号に変換し、周波数応答推定値を出力する伝搬路用時間周波数変換部を備えることを特徴としている。

【0030】

このように、受信装置は、抽出パスから構成されるチャンネルインパルス応答推定値を時間領域の信号から周波数領域の信号に変換し、周波数応答推定値を出力するので、回路規模を削減することができる。

30

【0031】

(13)また、本発明の受信装置において、前記伝搬路適合度算出部、前記不要候補パス除去部、前記パス抽出部および前記同期補正判定部を有する複数の同期部と、前記各同期部から得られる伝搬路適合度のうち、最も大きい伝搬路適合度に対応するパス位置を先行パス位置に決定する伝搬路適合判定部と、を備えることを特徴としている。

【0032】

このように、受信装置は、各同期部から得られる伝搬路適合度のうち、最も大きい伝搬路適合度に対応するパス位置を先行パス位置に決定するので、伝搬路適合度を最も大きくする同期位置とチャンネルインパルス応答推定値を採用することができる。

40

【0033】

(14)また、本発明の受信方法は、受信したマルチパスから先行パス位置を決定する受信方法であって、周波数応答推定値を用いてチャンネルインパルス応答を推定し、その推定値とパスとの適合度を示す伝搬路適合度をパス毎に算出するステップと、前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去するステップと、前記伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとするステップと、前記抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定するステップと、を少なくとも含むことを特徴としている。

【0034】

50

このように、受信装置は、伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去し、伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとし、抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定するので、パスを選んで推定でき、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えることができる。

【0035】

(15)また、本発明の制御プログラムは、受信したマルチパスから先行パス位置を決定する受信装置の制御プログラムであって、周波数応答推定値を用いてチャンネルインパルス応答を推定し、その推定値とパスとの適合度を示す伝搬路適合度をパス毎に算出する処理と、前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去する処理と、前記伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとする処理と、前記抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定する処理と、の一連の処理を、コンピュータに実行させることを特徴としている。

10

【0036】

このように、受信装置は、伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去し、伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとし、抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定するので、パスを選んで推定でき、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えることができる。

【0037】

(16)また、本発明の集積回路は、受信装置に実装されることにより、前記受信装置に複数の機能を発揮させる集積回路であって、マルチパスを受信する機能と、周波数応答推定値を用いてチャンネルインパルス応答を推定し、その推定値とパスとの適合度を示す伝搬路適合度をパス毎に算出する機能と、前記伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去する機能と、前記伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとする機能と、前記抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定する機能と、の一連の機能を、前記受信装置に発揮させることを特徴としている。

20

【0038】

このように、受信装置は、伝搬路適合度を向上できない候補パスを除去し、伝搬路適合度を向上させる候補パスを少なくとも一つ抽出して抽出パスとし、抽出パスのうち、最も遅延時間が小さい候補パスの時間的位置を先行パス位置に決定するので、パスを選んで推定でき、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えることができる。

30

【発明の効果】

【0039】

この発明によれば、同期の精度を大きく向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る送信装置の概略ブロック図である。

【図2】マッピング部309がパイロットシンボルと変調信号をマッピングする例を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る受信装置401の構成を示す概略ブロック図である。

40

【図4】本発明の第1の実施形態に係る同期部409の構成を示す概略ブロック図である。

【図5】本発明の第1の実施形態に係る探索範囲決定部407で、先行パスの位置を特定するのに用いられる相関 $R_{i,n}$ を示す図である。

【図6】本発明の第1の実施形態に係る探索範囲決定部407で決めた先行パス位置が真の位置より N_e ポイント前であったとした場合に、第 i シンボル第 n サブキャリアの信号 $R_{i,n}$ を表す式(5)、(6)において、 $N_g = 3$ 、 $D = 3$ 、 $N_e = -1$ としたときの例を示す図である。

【図7】本発明の第1の実施形態に係る探索範囲決定部407で決めた先行パス位置が真

50

の位置より N_g ポイント後ろにずれた場合に、第 i シンボル第 n サブキャリアの信号 $R_{i,n}$ を表す式 (8)、(9) において、 $N_g = 3$ 、 $D = 3$ 、 $N_e = 1$ としたときの例を示す図である。

【図 8】本発明の第 1 の実施形態に係る各パスの平均電力を示す図である。

【図 9】本発明の第 1 の実施形態に係る全候補パスによる 1 パス推定を説明するための図である。

【図 10 A】本発明の第 1 の実施形態に係る同期部 409 の処理が終了した後の各パスの平均電力を示す図である。

【図 10 B】本発明の第 1 の実施形態に係る同期部 409 の処理が終了した後の各パスの平均電力を示す図である。

【図 10 C】本発明の第 1 の実施形態に係る同期部 409 の処理が終了した後の各パスの平均電力を示す図である。

【図 11】本発明の第 1 の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。

【図 12】本発明の第 1 の実施形態において、パスの位置が受信信号のサンプリング位置とサンプリング点の間に存在するものとした場合のパス構造を示す図である。

【図 13】本発明の第 2 の実施形態に係る受信装置 901 の構成を示す概略ブロック図である。

【図 14】本発明の第 2 の実施形態に係る同期部 903 の構成を示す概略ブロック図である。

【図 15】本発明の第 2 の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。

【図 16】本発明の第 3 の実施形態に係る送信装置 1101 の構成を示す概略ブロック図である。

【図 17】本発明の第 3 の実施形態に係るマッピング部 1103 が情報データシンボルとパイロットシンボルをマッピングする一例を示す図である。

【図 18】本発明の第 3 の実施形態に係る受信装置 1201 の構成を示す概略ブロック図である。

【図 19】本発明の第 3 の実施形態に係る同期部 1203 の構成を示す概略ブロック図である。

【図 20】本発明の第 3 の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。

【図 21】本発明の第 4 の実施形態に係る受信装置 1401 の構成を示す概略ブロック図である。

【図 22】本発明の第 4 の実施形態に係る同期部 1403 の構成を示す概略ブロック図である。

【図 23】本発明の第 4 の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。

【図 24】本発明の第 5 の実施形態に係る受信装置 1501 の構成を示す概略ブロック図である。

【図 25】本発明の第 5 の実施形態に係る先行パス位置を複数設定する設定方法を説明するための図である。

【図 26】本発明の第 5 の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。

【図 27】自己相関に基づいて、チャンネルインパルス応答の推定を行ない、これにより同期位置を決定する一例を示す図である。

【図 28】 N_g のサブキャリアからなる送信信号を表す図である。

【図 29】アナログの受信信号を時間間隔 T_s でサンプリングした様子を表わす図である。

【発明を実施するための形態】

【0041】

図 27 のマルチパスに関して補足説明する。FFT ポイント数を N 、サブキャリア間隔を f_s としたとき、各パスの時間間隔は $1 / (N \cdot f_s)$ とするのが一般的で、本発明でもそのように仮定している。

【0042】

10

20

30

40

50

図28は、 N_a のサブキャリアからなる送信信号を表す図である。 f はシステムによって決まっている値でLTE(第3.9世代移動通信システム)なら15kHzとなる。この信号が送信側から送信され、伝搬路を通過して受信側に送られる。なお、 N は N_a より大きい整数であれば良いが、FFTの性質上、2のべき乗とするのが一般的である(2のべき乗が最も速く計算可能)。受信機で受信される信号は当然アナログ信号(連続)であるので、デジタル信号処理を行なえるようにするため、フィルタリングおよびAD変換を行なう。

【0043】

図29は、アナログの受信信号を時間間隔 t でサンプリングした様子を表わす図である。 t は $1/(N \cdot f)$ に当たる。本明細書では、遅延パスの遅延時間は t の整数倍で扱えるものとしてモデル化する。従って、例えばLTEで N を2048としたとき、パス間隔は $0.0326 \mu s$ となる。以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

【0044】

(第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係る送信装置の概略ブロック図である。以下、本実施形態に係る送信装置を送信装置301という。この図において、送信装置301は、パイロット生成部303、符号部305、変調部307、マッピング部309、IFFT部(周波数時間変換部とも呼ぶ)311、GI挿入部313、送信部315、および送信アンテナ317を含んで構成され、OFDM信号を送信する。パイロット生成部303は、受信装置がその波形(あるいは、その信号系列)の振幅値を予め記憶するパイロットシンボルを生成し、マッピング部309に出力する。なお、以下、本実施形態では、受信装置を受信装置401という。受信装置401では、パイロットシンボルを参照信号として伝搬路推定や同期を行なう。符号部305は、受信装置401に送信する情報ビットに対して畳込み符号、ターボ符号、LDPC(Low Density Parity Check: 低密度パリティ検査)符号などの誤り訂正符号を用いて符号化し、符号化ビットを生成する。符号部305は、生成した符号化ビットを変調部307に出力する。

【0045】

変調部307は、符号部305から入力された符号化ビットを、PSK(Phase Shift Keying: 位相偏移変調)やQAM(Quadrature amplitude modulation: 直交振幅変調)などの変調方式を用いて変調し、変調シンボルを生成する。変調部307は、生成した変調シンボルをマッピング部309に出力する。マッピング部309は、パイロット生成部303から入力されたパイロットシンボル、および変調部307から入力された変調シンボルを、予め定められたマッピング情報に基づいてリソース(時間-周波数帯域)にマッピングして周波数領域の信号を生成し、生成した周波数領域の信号をIFFT部311に出力する。なお、リソースとは、送信装置301が送信するフレームにおいて1つのサブキャリアと1つの後述するFFT区間から成る、変調シンボルを配置する単位である。また、マッピング情報は、送信装置301が決定し、送信装置301から受信装置401へ予め通知される。

【0046】

図2は、マッピング部309がパイロットシンボルと変調信号をマッピングする例を示す図である。IFFT部311は、マッピング部309から入力された周波数領域の信号を周波数-時間変換し、時間領域の信号を生成する。ここで、IFFTを行なう単位の間隔をFFT区間という。IFFT部311は、生成した時間領域の信号をGI挿入部313に出力する。GI挿入部313は、IFFT部311から入力された時間領域の信号に対して、FFT区間の信号毎にガードインターバル(Guard Interval:GI)を付加する。ここで、ガードインターバルとは、FFT区間の信号の後方の一部を複製したものであるサイクリックプレフィックス(Cyclic Prefix:CP)やゼロ区間が続くゼロパディング、Golay符号等を用いた既知信号等であり、GI挿入部313は、このような信号をこのFFT区間の信号の前方に付加する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 7 】

なお、FFT区間と、GI挿入部313がその時間区間の信号に付加したガードインターバルの時間区間(GI区間という)と、を併せてOFDMシンボル区間という。また、OFDMシンボル区間の信号をOFDMシンボルという。GI挿入部313は、ガードインターバルを付加した信号を送信部315に出力する。なお、ガードインターバルをFFT区間の後方に挿入してもよい。例えば、サイクリックプレフィックスを用いる場合、FFT区間の前方の一部の複製をFFT区間の信号の後方に付加する。また、サイクリックプレフィックスの場合は、OFDMシンボル区間で周期性が保たれるようにすればよく、前記の限りではない。送信部315は、GI挿入部313から入力された信号をデジタル・アナログ変換し、変換したアナログ信号を波形整形する。送信部315は、波形整形した信号をベースバンド帯から無線周波数帯にアップコンバートし、送信アンテナ317から受信装置401へ送信する。

10

【 0 0 4 8 】

図3は、本発明の第1の実施形態に係る受信装置401の構成を示す概略ブロック図である。この図において、受信装置401は、受信アンテナ403、受信部405、探索範囲決定部407、同期部409、GI除去部411、FFT部(時間周波数変換部とも呼ぶ)413、デマッピング部415、伝搬路推定部417、復調部419、復号部421を含んで構成される。受信部405は、送信装置301が送信した送信信号を、受信アンテナ403を介して受信する。受信部405は、受信した信号に対して、周波数変換およびアナログ-デジタル変換を行なう。探索範囲決定部407は、受信部405から入力される受信信号から、パスの探索範囲を決定する。この具体的な処理は動作原理と併せて後述する。

20

【 0 0 4 9 】

同期部409は、探索範囲決定部407が決定した探索範囲において、パイロットシンボルが送信されたサブキャリアの受信信号とパイロットシンボルを用いて、伝搬路適合度を向上させるパスを検出することで同期を行なう。同期部409に関しては、図面を用いて詳細を後述する。結果はGI除去部411に出力する。GI除去部411は、受信部405から入力される受信信号と、同期部409から入力される同期情報を用い、受信信号から、ガードインターバルを除去し、FFT部413へ出力する。FFT部413は、GI除去部411から入力された時間領域の信号に対して時間周波数変換を行ない、変換した周波数領域の信号をデマッピング部415へ出力する。デマッピング部415は、送信装置301から予め通知されたマッピング情報に基づいてデマッピングし、分離されたパイロットシンボルが送信されたサブキャリアの受信信号を伝搬路推定部417に出力する。また、データが送信されたサブキャリアの受信信号を復調部419に出力する。

30

【 0 0 5 0 】

伝搬路推定部417は、パイロットシンボルが送信されたサブキャリアの受信信号とパイロットシンボルを用いて復調周波数応答推定値を算出し、復調部419に出力する。手法には最小二乗法やMMSE(Minimum Mean Square Error)、DFT(Discrete Fourier Transform)法等の既知技術を用いればよい。また、伝搬路推定部417は、予め記憶するパイロットシンボルを用い、パイロットシンボルが配置されるサブキャリア(パイロットサブキャリアという)において、雑音電力を測定する。具体的な算出方法は、動作原理と併せて後述する。復調部419は、伝搬路推定部417から入力された復調周波数応答推定値および雑音電力を用いて、ZF(Zero Forcing)基準、MMSE基準等のフィルタ係数を算出する。復調部419は、算出したフィルタ係数を用いて、信号の振幅と位相の変動の補償(伝搬路補償という)を行なう。復調部419は、復調処理の結果のビット対数尤度比(LLR;Log Likelihood Ratio)を復号部421に出力する。

40

【 0 0 5 1 】

復号部421は、復調部419から入力された復調シンボルに対して、例えば、最尤復号法(MLD;Maximum Likelihood Decoding)、最大事後確率(MAP;Maximum A posteriori Probability)、log-MAP、Max-log-MAP、SOVA(Soft Output Vit

50

erbi Algorithm) 等を用いて、復号処理を行なう。

【 0 0 5 2 】

図 4 は、本発明の第 1 の実施形態に係る同期部 4 0 9 の構成を示す概略ブロック図である。同期部 4 0 9 は、G I 除去部 5 0 1、F F T 部 5 0 3、デマッピング部 5 0 5、周波数応答推定部 5 0 7、伝搬路適合度算出部 5 0 9、不要候補パス除去部 5 1 1、同期補正判定部 5 1 3、パス抽出部 5 1 5 から構成される。この具体的な処理は動作原理と併せて後述する。

【 0 0 5 3 】

< 動作原理について >

以下、受信装置 4 0 1 の動作原理について、図 3 を参照しながら説明する。受信部 4 0 5 が受信した第 k 離散時刻の第 i シンボルの受信信号 $r_{i,k}$ は、次式 (1)、(2) で表わされる。

10

【 数 1 】

$$r_{i,k} = \sum_{d=0}^D h_{i,d} s_{i,k-d} + z_{i,k} \quad \dots (1)$$

20

【 数 2 】

$$s_{i,k} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} S_{i,n} \exp \left[j \frac{2\pi n}{N} (k - N_g) \right] \quad \dots (2)$$

【 0 0 5 4 】

ここで、 D は最大遅延時間、 $h_{i,d}$ は第 i シンボルの伝搬路番号 d のパス (第 d パスという) における複素振幅、 $s_{i,k}$ は第 i シンボル第 k 離散時刻の時間領域の送信信号であり、 $z_{i,k}$ は第 i シンボルの時間領域の雑音である。また、 N は F F T 区間のポイント数、 $S_{i,n}$ は第 n サブキャリアの第 i シンボルの変調信号、 N_g は G I 区間のポイント数 (後述する図 6 参照)、 j は虚数単位である。なお、 $d = 0 \sim D$ の複素振幅をまとめて、チャンネルインパルス応答という。

30

【 0 0 5 5 】

なお、受信部 4 0 5 が受信した時点では、同期が確立されていないため、そのポイントがどのシンボルのどの離散時刻のポイントなのかは分からない。そこで、この時点での受信信号を r_u とする。探索範囲決定部 4 0 7 では、 r_u を用いてガードインターバル相関や参照信号の時間波形との相関を用い、先行パスの位置を特定する。ガードインターバル相関を用いる場合、相関は次式 (3) のようになる。

【 数 3 】

$$\rho_\tau = \sum_u r_{u+\tau} r_u^* \quad \dots (3)$$

40

【 0 0 5 6 】

また、参照信号を用いる場合、相関は次式 (4) のようになる。

【数 4】

$$\rho_{\tau} = \sum_u r_{u+\tau} s'_u{}^* \quad \dots (4)$$

【0057】

式(3)、(4)において、和の幅は、相関が充分取れる範囲で行なえばよい。例えば、10FDMSymbol分の和でもよいし、受信装置401を設計した段階で固定にしてもよいし、受信装置401のファームウェア、ソフトウェア等をアップデートするときに更新する等してもよい。

10

【0058】

図5は、本発明の第1の実施形態に係る探索範囲決定部407で、先行パスの位置を特定するのに用いられる相関を示す図である。パス601~619は相関の強く出ている部分であり、パスの候補となる。実際には雑音も存在するため、これ以外の位置にも微小な値が存在する。図5ではパス601が先行パスと考えられ、この位置、あるいはさらに前の時間にも観測できなかったパスが存在する可能性を考慮してさらに前にオフセットした位置を先行パス位置とする。このオフセット量は受信装置401を設計した段階で固定にしてもよいし、受信装置401のファームウェア、ソフトウェア等をアップデートするときに更新する等してもよい。またオフセット量は0でも良い。なお、非特許文献1のように、ピーク値から閾値を算出し、それを上回る遅延時間最小のパスを先行パス位置としてもよいし、このようにして求めた位置のさらに前にオフセットした位置を先行パス位置としてもよい。なお、このようにして決めた先行パス位置を仮先行パス位置と呼ぶ。

20

【0059】

探索範囲決定部407は、この後同期を行なうための探索範囲も決定する。具体的には、ここで決めた先行パス位置からTだけ遅延時間の小さい位置から、Lだけ遅延時間の大きい位置、すなわち、遅延時間-T~Lを探索範囲とする。具体的なTやLの値は、受信装置を設計する段階で決めておいてもよいし、設計段階では可変にしておき、受信装置のファームウェア、ソフトウェア等をアップデートするときに更新する等してもよい。すなわち、Tは0でもよい。Lは、最大遅延時間をカバーできる程度に大きいことが望ましいが、Tと同程度の値でもよい。

30

【0060】

次に図4を参照しながら同期部409の動作を説明する。まず、GI除去部501において、探索範囲決定部407が決定した先行パス位置に基づいて受信信号からGIを除去し、受信信号のFFT区間を抽出する。その後、FFT部503において、受信信号のFFT区間に時間周波数変換を行ない、周波数領域の受信信号に変換する。このとき、探索範囲決定部407で決めた先行パス位置が真の位置より N_e ポイント前であったとすると、第iシンボル第nサブキャリアの信号 $R_{i,n}$ は次式(5)で表わされる。

40

【数 5】

$$\begin{aligned} R_{i,n} &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=N_g-N_e}^{N_g+N-N_e-1} r_{i,k} \exp\left[-j\frac{2\pi n}{N}(k-N_g)\right] \\ &= H_{i,n,-N_e} S_{i,n} + Z_{i,n,-N_e} \end{aligned} \quad \dots (5)$$

【0061】

ただし、 $Z_{i,n,-N_e}$ は周波数領域の雑音である。また、 $H_{i,n,-N_e}$ は第i

50

シンボル第 n サブキャリアの周波数応答であり、次式 (6)、(7) のようになる。

【数 6】

$$H_{i,n,-N_e} = \sum_{d=0}^D a_{d+N_e} h_{i,d} \exp\left[-j \frac{2\pi n}{N} (d + N_e)\right] \dots (6)$$

【数 7】

$$a_d = \begin{cases} \frac{N - |d|}{N} & \text{for } d < 0 \\ 1 & \text{for } 0 \leq d \leq N_g \\ \frac{N + N_g - d}{N} & \text{for } d > N_g \end{cases} \dots (7)$$

【0062】

なお、 N_e ポイント前にずれたことにより、 $D + N_e > N_g$ となった場合、ISI および ICI が発生し、式 (5) の $Z_{i,n,-N_e}$ が雑音だけでなく、ISI および ICI も加算されたものとなる。図 6 にこの様子を示す。

【0063】

図 6 は、本発明の第 1 の実施形態に係る探索範囲決定部 407 で決めた先行パス位置が真の位置より N_e ポイント前であったとした場合に、第 i シンボル第 n サブキャリアの信号 $R_{i,n}$ を表す式 (5)、(6) において、 $N_g = 3$ 、 $D = 3$ 、 $N_e = -1$ としたときの例を示す図である。 N_e だけずれた結果、第 3 パスの部分 701 がガードインターバルを超える遅延波として観測され、ISI および ICI が発生する。このため、伝送特性が劣化する。

【0064】

次に、 N_e ポイント後ろにずれた場合について説明する。第 i シンボル第 n サブキャリアの信号 $R_{i,n}$ は次式 (8)、(9) で表わされる。

【数 8】

$$R_{i,n} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=N_g+N_e}^{N_g+N+N_e-1} r_{i,k} \exp\left[-j \frac{2\pi n}{N} (k - N_g)\right] \dots (8)$$

$$= H_{i,n,N_e} S_{i,n} + Z_{i,n,N_e}$$

【数 9】

$$H_{i,n,N_e} = \sum_{d=0}^D a_{d-N_e} h_{i,d} \exp\left[-j \frac{2\pi n}{N} (d - N_e)\right] \dots (9)$$

【0065】

10

20

30

40

50

図7にこの様子を示す。図7は、本発明の第1の実施形態に係る探索範囲決定部407で決めた先行パス位置が真の位置より N_e ポイント後ろにずれた場合に、第 i シンボル第 n サブキャリアの信号 $R_{i,n}$ を表す式(8)、(9)において、 $N_g = 3$ 、 $D = 3$ 、 $N_e = 1$ としたときの例を示す図である。 N_e だけ後ろにずれた結果、先行パスの部分801が異なるOFDMシンボルであるため、ISIおよびICIが発生する。このため、伝送特性が劣化する。実際には真の先行パス位置からのずれは未知であるため、第 i シンボル第 n サブキャリアの周波数応答を $H_{i,n}$ として説明する。 $H_{i,n}$ からのチャンネルインパルス応答の推定を利用して同期を行なう。ここで、周波数応答推定値からチャンネルインパルス応答を推定する方法について説明する。 n_1 、 n_2 、 \dots 、 n_p をパイロットサブキャリアとし、周波数応答推定ベクトル $H_{i,p}$ を次式(10)のように定義する。

【数10】

$$\mathbf{H}_{i,P} = \left(H''_{i,n_1} \quad H''_{i,n_2} \quad \dots \quad H''_{i,n_p} \right)^T \quad \dots (10)$$

【0066】

ただし、太字はベクトルまたは行列を表わし、 Y^T は Y の転置を表わす。なお、例えば図2における最初のOFDMシンボルを考えると、 n_1 は一番低いサブキャリア、 n_2 はそれより2つ先のサブキャリア、 n_3 はさらに2つ先のサブキャリア、 \dots 、ということになる。このとき、MMSEによるチャンネルインパルス応答推定ベクトル $\mathbf{h}_{i,MMSE}$ は、次式(11)~(14)のようになる。

【数11】

$$\mathbf{h}_{i,MMSE} = \mathbf{C}_{i,h} \mathbf{F}^H \left(\mathbf{F} \mathbf{C}_{i,h} \mathbf{F}^H + \sigma_z^2 \mathbf{I}_{N_p} \right)^{-1} \mathbf{H}_{i,P} \quad \dots (11)$$

【数12】

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}' \mathbf{A} \quad \dots (12)$$

【数13】

$$\mathbf{F}' = \begin{bmatrix} \exp\left(-j\frac{2\pi n_1}{N}(-T)\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi n_1}{N}(-T+1)\right) & \dots & \exp\left(-j\frac{2\pi n_1}{N}L\right) \\ \exp\left(-j\frac{2\pi n_2}{N}(-T)\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi n_2}{N}(-T+1)\right) & \dots & \exp\left(-j\frac{2\pi n_2}{N}L\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp\left(-j\frac{2\pi n_p}{N}(-T)\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi n_p}{N}(-T+1)\right) & \dots & \exp\left(-j\frac{2\pi n_p}{N}L\right) \end{bmatrix} \quad \dots (13)$$

10

20

30

40

【数 1 4】

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{-T} & & & & \\ & a_{-T+1} & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & a_L \end{pmatrix} \dots (14)$$

10

【0067】

ただし、 N_p はパイロットサブキャリア数であり、 I_x はサイズ x の単位行列である。また、遅延時間 $-T \sim L$ は探索範囲を表わし、探索範囲決定部 407 が先行パス位置を決めることで定まる。先行パス位置より負の遅延時間も考慮しており、 $-T$ まで考慮する。また、 L は想定する最大遅延時間である。なお、 $C_{i,h}$ は主対角要素に、 $-T \sim L$ までのパスの平均電力の値を持つサイズ $L + T + 1$ の対角行列である。平均電力は未知のため、一定値とする。ただし、伝搬路適合度を向上するパスだけをとし、それ以外は 0 とする。ここで、伝搬路適合度とは、計算した推定値と観測したデータ（ここでは受信信号）の適合度合いを定量的に表わす量である。

20

【0068】

図 8 は、本発明の第 1 の実施形態に係る各パスの平均電力を示す図である。例えば、図 8 のように $T = 2$ 、 $L = 5$ のもとで遅延時間 0、1、3 のパスだけを推定する場合、 $C_{i,h}$ は次式 (15) のようになる。

【数 1 5】

$$C_{i,h} = \begin{pmatrix} 0 & & & & & & \\ & 0 & & & & & \\ & & \alpha & & & & \\ & & & \alpha & & & \\ & & & & 0 & & \\ & & & & & \alpha & \\ & & & & & & 0 \\ & & & & & & & 0 \end{pmatrix} \dots (15)$$

30

40

【0069】

同期部 409 では、詳細は後述するが、例えば、伝搬路適合度を向上するパスが負の遅延時間に相当する部分 ($-T \sim -1$ に対応する部分) にあった場合、先行パス位置を探索範囲決定部 407 が決めたものより検出した分だけシフトする。また、伝搬路適合度を向上する最も遅延時間の小さいパスが正の遅延時間にあった場合もシフトを行なう。伝搬路適合度算出部 509 では、周波数応答推定部 507 から入力される周波数応答推定値を用い、それまでに抽出されているパスに加えて、候補パスのうち 1 パスを増やしてチャネル

50

インパルス応答を推定する。これを全候補パスについて行ない、それぞれ伝搬路適合度を算出する。ただし、初回の処理では抽出されているパスが存在しないため、全候補パスによる1パス推定を行なって伝搬路適合度を算出する。

【0070】

図9は、本発明の第1の実施形態に係る全候補パスによる1パス推定を説明するための図である。例えば、 $T = 2$ 、 $L = 5$ で初回の処理の場合、図9のように8通りの伝搬路適合度を算出することになる。この結果を不要候補パス除去部511に出力する。不要候補パス除去部511では、伝搬路適合度算出部509からの入力のうち、パスを増やす前の伝搬路適合度を下回ったパスを候補パスから削除する。ただし、初回の処理の場合はパスを増やす前の伝搬路適合度が存在しないため、この削除処理は行なわない。同期補正判定部513では、抽出した最も遅延時間の小さいパスより遅延時間の小さい候補パスがなくなったことを検出した場合、同期部409の処理を終了させる。

10

【0071】

図10A~10Cは、本発明の第1の実施形態に係る同期部409の処理が終了した後の各パスの平均電力を示す図である。後述するが、図10においては、同期部409の処理が終了した後に3パス選ぶ場合を示している。図10A~10Cにおいて、パスの立っている位置はそれまでの処理で抽出されたパスを表わし、×のついた位置は削除された候補パスを表わす。図10Aは、探索範囲決定部407が決めた同期位置と同じパスが先行パスとなる場合の例であり、この場合は同期位置は変わらない。図10Bは、負の遅延時間にパスを検出した場合の例であり、図7のような問題が起こっていると考えられ、同期位置をシフトする。そのシフト量(ここでは-1)を加えてGI除去部411に出力する。図10Cは、正の方向に同期がずれていたことを検出した場合の例である。上述してきた通り、図6のような問題の発生が起こりうるため、この場合もシフトを行なう。そのシフト量(ここでは1)をGI除去部411に出力する。なお、抽出した最も遅延時間の小さいパスより遅延時間の小さい候補パスが残っている場合、同期補正判定部513は特に動作をせず、パス抽出部515に移行する。

20

【0072】

パス抽出部515では、不要候補パス除去部511で除去されなかった候補パスのうち、伝搬路適合度を最も大きくするパスを抽出する。抽出したパス位置は候補パスから除去し、抽出したパス情報を伝搬路適合度算出部509に出力する。同期部409は、これらの処理を同期補正判定部513がシフト量を決定するまで繰り返す。なお、伝搬路適合度には、赤池情報量基準(AIC: Akaike Information Criterion)やベイズ情報量基準(BIC: Bayesian Information Criterion)、最小記述長(MDL: Minimum Description Length)を用いてもよいし、図2のパイロット構造から導かれるモデルエビデンスを用いる等でもよい。例えば、BICを用いた場合の伝搬路適合度は次式(16)のようになる。

30

【数16】

$$\mathbf{H}_{i,P}^H \mathbf{F} \mathbf{h}_{i,MMSE} - \ln(N_P) N_s \quad \dots (16)$$

40

ただし、 N_s はその時点までに抽出されたパス数である。

【0073】

次に、図3の説明に戻る。GI除去部411は、同期部409が決定した同期位置に基づいて受信部405から入力される受信信号からGIを除去する。その結果得られる受信信号のFFT区間に、FFT部413が時間周波数変換を行ない、周波数領域の受信信号に変換する。伝搬路推定部417において周波数応答が推定され、復調用周波数応答として用いる。次に、復調部419は、例えばMMSE基準のフィルタリングを用いた場合、復調シンボル $S'_{i,n}$ を次式(17)のように算出する。

【数 17】

$$S'_{i,n} = \frac{H_{i,n}^*}{H_{i,n}^* H_{i,n} + \sigma_z^2} R_{i,n} \quad \dots (17)$$

【0074】

ここで、 Y^* は Y の複素共役であることを示す。また、式 (17) において σ_z^2 は $Z_{i,n}$ の電力であり、次式 (18) のように表わされる。

【数 18】

$$\sigma_z^2 = E \left[|Z_{i,n}|^2 \right] \quad \dots (18)$$

【0075】

ここで、 $E[X]$ は、 X のアンサンブル平均を示す。なお、この電力は次式 (19) のように計算することができ、その結果を式 (17) に用いて復調シンボル $S'_{i,n}$ を算出する。

【数 19】

$$\sigma_z'^2 = \left(\sum_{n \in P_i} |R_{i,n}|^2 - |P_i| \right) / |P_i| \quad \dots (19)$$

【0076】

ここで、 $\sigma_z'^2$ は σ_z^2 の推定値であり、 P_i は第 i シンボルにおいて、パイロットサブキャリアを表わす集合である。なお、これは十分な数の算術平均がアンサンブル平均に等しいと仮定した場合、式 (19) が次式 (20) のようにできることを利用した算出法である。

【数 20】

$$\begin{aligned} \sigma_z'^2 &= \left(\sum_{n \in P_i} |H_{i,n} S_{i,n}|^2 + \sum_{n \in P_i} |Z_{i,n}|^2 - |P_i| \right) / |P_i| \\ &= \left(|P_i| + |P_i| \sigma_z^2 - |P_i| \right) / |P_i| \\ &= \sigma_z^2 \end{aligned} \quad \dots (20)$$

【0077】

この式は、パイロットシンボルの電力が 1 に正規化され、周波数応答の電力平均が 1 に正規化される場合のものである。すなわち、この式は次式 (2 1) が満たされる場合のものである。

【数 2 1】

$$\sum_{n \in P_i} |H_{i,n} S_{i,n}|^2 = |P_i| \quad \dots (21) \quad 10$$

【0078】

なお、パイロットシンボルの電力が 1 でない場合は、その分の調整係数を導入すればよい。また、周波数応答の正規化は、受信部 405 にてアナログ - デジタル変換されるときに振幅調整に起因する。復調部 419 は、式 (17) の復調シンボル $S'_{i,n}$ からビット対数尤度比を算出する。この算出処理には等価振幅利得が用いられる。具体的には、QPSK の場合、次式 (22) で表わされる第 n サブキャリアの等価振幅利得 $\mu_{i,n}$ に対して、ビット対数尤度比は、次式 (23)、(24) で表わされる。ここで、式 (23)、(24) は、それぞれ、1 ビット目のビット $b_{i,n,0}$ 、2 ビット目のビット $b_{i,n,1}$ のビット対数尤度比 $(b_{i,n,0})$ 、 $(b_{i,n,1})$ である。

【数 2 2】

$$\mu_{i,n} = \frac{H_{i,n}^* H_{i,n}}{H_{i,n}^* H_{i,n} + \sigma_z^2} \quad \dots (22) \quad 30$$

【数 2 3】

$$\lambda(b_{i,n,0}) = \frac{4 \operatorname{Re}[S'_{i,n}]}{\sqrt{2}(1 - \mu_{i,n})} \quad \dots (23) \quad 40$$

【数 2 4】

$$\lambda(b_{i,n,1}) = \frac{4 \operatorname{Im}[S'_{i,n}]}{\sqrt{2}(1 - \mu_{i,n})} \quad \dots (24)$$

10

【0079】

< 受信装置 401 の動作について >

図 11 は、本発明の第 1 の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。なお、この図が示す動作は、図 3 の受信部 405 が受信信号を探索範囲決定部 407 に出力した後の処理である。探索範囲決定部 407 は、受信信号から先行パス位置および同期するための探索範囲を決定する（ステップ S101）。その後、ステップ S102 へ進む。周波数応答推定部 507 は、ステップ S101 で決定した先行パス位置に基づいて時間周波数変換された受信信号を用いてパイロットサブキャリアの周波数応答を推定して周波数応答推定値とする（ステップ S102）。その後、ステップ S103 へ進む。伝搬路適合度算出部 509 は、ステップ S102 で得られる周波数応答推定値を用い、パス抽出部 515 がそれまでに決定したパスに加え、候補パスのうち 1 パスを追加した場合のチャンネルインパルス応答を推定する（ステップ S103）。この処理を候補パスの数だけ行ない、それぞれ伝搬路適合度を算出する。その後ステップ S104 へ進む。

20

【0080】

不要候補パス除去部 511 は、ステップ S103 で得られる伝搬路適合度のうち、1 パス追加を行なう前の伝搬路適合度を下回ったものに対応するパスを候補パスから除去する（ステップ S104）。その後、ステップ S105 へ進む。同期補正判定部 513 は、ステップ S104 の結果、抽出されているパスのうち遅延時間の最も小さいパスより遅延時間の小さい候補パスが存在しない場合（ステップ S105 : Yes）、同期位置に施すシフト量を決定し、ステップ S107 へ進む。そうではない場合（ステップ S105 : No）、ステップ S106 へ進む（ステップ S105）。パス抽出部 515 は、ステップ S104 の結果残った候補パスの伝搬路適合度のうち、最も大きいものに対応するパスを抽出パスとして決定する（ステップ S106）。その後、ステップ S103 へ戻る。

30

【0081】

GI 除去部 411 は、ステップ S105 で決定した同期位置に基づいて受信信号からガードインターバルを除去する（ステップ S107）。その後、ステップ S108 へ進む。FFT 部 413 は、ステップ S107 で得られる信号に対して時間周波数変換を行なう（ステップ S108）。デマッピング部 415 は、得られた周波数領域の信号から、データとパイロットシンボルを分離する。パイロットサブキャリアの受信信号を伝搬路推定部 417 に出力する。その後、ステップ S109 へ進む。伝搬路推定部 417 は、ステップ S108 で得られるパイロットサブキャリアの受信信号を用いて伝搬路推定を行ない、復調周波数応答推定値を復調部 419 に出力する（ステップ S109）。その後、ステップ S110 へ進む。復調部 419 は、ステップ S108 で得られるデータサブキャリアの受信信号と、ステップ S109 で得られる復調周波数応答推定値とを用いて復調を行なう（ステップ S110）。その後、ステップ S111 へ進む。復号部 421 は、ステップ S110 で得られる復調結果を用いて復号を行なう（ステップ S111）。その後、受信装置 401 は動作を終了する。

40

【0082】

このように、本実施形態によれば、同期部 409 は、パイロットサブキャリアの周波数

50

応答を推定し、候補パスのうちから伝搬路適合度を向上できないパスを削除し、伝搬路適合度を向上させるパスを抽出する処理を繰り返し、抽出されたパスのうちで最も遅延時間の小さいものよりさらに遅延時間の小さい候補パスがなくなった時点で処理を終了する。その際、抽出されたパスのうちで最も遅延時間の小さいものが遅延時間 0 のパスでなかった場合、同期補正を行なう。このようにすることで、パスを選んで推定しているため、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えることができる。

【 0 0 8 3 】

なお、上記第 1 の実施形態において、OFDM シンボル毎にパイロットシンボルを用いて周波数応答を推定し、探索範囲決定部 4 0 7 が決定した同期位置に対するシフト量を決定する場合について説明したが、近傍の OFDM シンボルのパイロットシンボルを用いて補間してもよい。例えば、図 2 の最初の OFDM シンボルにおいては、パイロットサブキャリアの位置は一番低いサブキャリア、2 つ先のサブキャリア、さらに 2 つ先のサブキャリア、・・・、となっているが、パイロットサブキャリアでない場所についても時刻の異なる OFDM シンボルのパイロットシンボルを用いて推定してもよい。また、パイロットシンボルのあるサブキャリアに関しても、異なる時刻のパイロットシンボルを用いることで、雑音・干渉を低減することができる。このようにすることで、同期補正精度をさらに改善できる。具体的には、伝搬路変動が大きい場合には算術平均を行なってもよいし、伝搬路変動に合わせて重み付け平均を行なってもよい。

10

【 0 0 8 4 】

なお、上記第 1 の実施形態において、周波数応答の推定に用いる参照信号として、パイロットシンボルを用いて行なう場合について説明したが、判定したデータを用いて推定してもよい。具体的には、復調部 4 1 9 または復号部 4 2 1 の出力を周波数応答推定部 5 0 7 にフィードバックすること等で実現できる。なお、上記第 1 の実施形態において、候補パスを加えてチャンネルインパルス応答の推定を行ない、伝搬路適合度を最も向上させるパスを抽出していく場合について説明したが、最も向上させるパスでなくともよい。例えば、向上の大きい順に 3 パス選ぶ等でもよいし、それら 3 パスは、遅延時間の近いものは選ばないという条件を加えてもよい。これは例えば、図 8 のように遅延時間 - 2 ~ 5 を処理する場合において、パス抽出部 5 1 5 が遅延時間 0 のパスを選んだらその近傍 2 パス (- 2、- 1、1、2) は同時には選ばないようにする等で実現できる。

20

【 0 0 8 5 】

なお、上記第 1 の実施形態において、遅延時間 L までのパスを検出して同期補正を行なう方法について説明したが、事前に他の方法で候補パス数を制限してから行なってもよい。例えば図 4 において、周波数応答推定部 5 0 7 で得られる周波数応答推定値に周波数時間変換を施し、得られるチャンネルインパルス応答の仮推定値のうち電力の高い位置だけを候補パスとして残し、伝搬路適合度算出部 5 0 9 以降の処理を行なう。なお、上記第 1 の実施形態において、式 (1) のように、パスの位置が受信信号のサンプリング位置に存在するものとして説明したが、サンプリング点の間を考慮してもよい。その場合は、式 (1 3) のフーリエ変換行列が小数点位置を含むようになる。

30

【 0 0 8 6 】

図 1 2 は、本発明の第 1 の実施形態において、パスの位置が受信信号のサンプリング位置とサンプリング点の間に存在するものとした場合のパス構造を示す図である。例えば、図 1 2 のようなパス構造を考える場合、フーリエ変換行列は次式 (2 5) のようになる。

40

【数 2 5】

$$\mathbf{F}' = \begin{bmatrix} \exp\left(-j\frac{2\pi m_1}{N}(-0.5)\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_1}{N}0\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_1}{N}1.5\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_1}{N}3\right) \\ \exp\left(-j\frac{2\pi m_2}{N}(-0.5)\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_2}{N}0\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_2}{N}1.5\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_2}{N}3\right) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \exp\left(-j\frac{2\pi m_p}{N}(-0.5)\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_p}{N}0\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_p}{N}1.5\right) & \exp\left(-j\frac{2\pi m_p}{N}3\right) \end{bmatrix}$$

… (25)

10

【0087】

なお、上記第1の実施形態において、通信システムはマルチキャリア信号の通信を行なう場合について説明したが、本発明はこれに限らず、FFTを用いてシングルキャリア信号の通信を行なう場合にも、適用することができる。

【0088】

(第2の実施形態)

以下、図面を参照しながら本発明の第2の実施形態について詳しく説明する。第1の実施形態では、送信装置301がパイロットシンボルを周波数領域にマッピングするマルチキャリア信号等を送信し、受信装置401が、パイロットサブキャリアにおいて周波数応答推定値を算出し、チャンネルインパルス応答の推定を利用して伝搬路適合度を向上させるパスを1つずつ選択していき、同期補正の必要性の有無が確定した時点で同期補正量を決定する。本実施形態では、同期補正を行ないつつ同時に伝搬路推定を行なう場合について説明する。なお、本実施形態に係る送信装置は、第1の実施形態に係る送信装置301と同じ構成のため、説明を省略する。

20

【0089】

図13は、本発明の第2の実施形態に係る受信装置901の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る受信装置901(図13)と第1の実施形態に係る受信装置401(図3)とを比較すると、伝搬路推定部417を持たず、同期部903の動作が同期部409と異なる。しかし、その他の構成要素(受信アンテナ403、受信部405、探索範囲決定部407、GI除去部411、FFT部413、デマッピング部415、復調部419、復号部421)が持つ機能は第1の実施形態と同じである。第1の実施形態と同じ機能の説明は省略する。なお、第1の実施形態と異なり、Lに設定する値は最大遅延時間をカバーできる程度の値であることが望ましい。

30

【0090】

図14は、本発明の第2の実施形態に係る同期部903の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る同期部903(図14)と第1の実施形態に係る同期部409(図4)とを比較すると、同期補正判定部1001の動作が異なり、FFT部1003(伝搬路用時間周波数変換部とも呼ぶ)が追加されている。しかし、その他の構成要素(GI除去部501、FFT部503、デマッピング部505、周波数応答推定部507、伝搬路適合度算出部509、不要候補パス除去部511、パス抽出部515)が持つ機能は第1の実施形態と同じである。第1の実施形態と同じ機能の説明は省略する。第1の実施形態における同期補正判定部513では、抽出した最も遅延時間の小さいパスより遅延時間の小さい候補パスがなくなったことを検出した場合、シフト量を決定して同期部409の動作を終了させていた。本実施形態における同期補正判定部1001では、候補パスが全てなくなったことを検出した場合、シフト量を決定すると共に、同時に推定されている式(11)のチャンネルインパルス応答の推定値をFFT部1003へ出力する。

40

【0091】

FFT部1003では、同期補正判定部1001から入力されるチャンネルインパルス応答推定値に時間周波数変換を施し、周波数応答推定値に変換する。なお、この際、同期補

50

正判定部 1001 が決定したシフト量をチャンネルインパルス応答に反映してから時間周波数変換を行なう。結果を復調部 419 へ出力する。

【0092】

< 受信装置 901 の動作について >

図 15 は、本発明の第 2 の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。なお、この図が示す動作は、図 13 の受信部 405 が受信信号を探索範囲決定部 407 に出力した後の処理である。探索範囲決定部 407 は、受信信号から先行パス位置および同期するための探索範囲を決定する（ステップ S201）。その後、ステップ S202 へ進む。周波数応答推定部 507 は、ステップ S201 で決定した先行パス位置に基づいて時間周波数変換された受信信号を用いてパイロットサブキャリアの周波数応答を推定して周波数応答推定値とする（ステップ S202）。その後、ステップ S203 へ進む。伝搬路適合度算出部 509 は、ステップ S202 で得られる周波数応答推定値を用い、パス抽出部 515 がそれまでに決定したパスに加え、候補パスのうちの 1 パスを追加した場合のチャンネルインパルス応答を推定する。この処理を候補パスの数だけ行ない、それぞれ伝搬路適合度を算出する（ステップ S203）。その後ステップ S204 へ進む。

10

【0093】

不要候補パス除去部 511 は、ステップ S203 で得られる伝搬路適合度のうち、1 パス追加を行なう前の伝搬路適合度を下回ったものに対応するパスを候補パスから除去する（ステップ S204）。その後、ステップ S205 へ進む。同期補正判定部 1001 は、ステップ S204 の結果、候補パスの残りが 0 になった場合（ステップ S205 : Yes）、同期位置に施すシフト量を決定すると共に推定されているチャンネルインパルス応答推定値を周波数応答推定値に変換してから復調部 419 に出力し、ステップ S207 へ進む。そうではない場合（ステップ S205 : No）、ステップ S206 へ進む（ステップ S205）。パス抽出部 515 は、ステップ S204 の結果残った候補パスの伝搬路適合度のうち、最も大きいものに対応するパスを抽出パスとして決定する（ステップ S206）。その後、ステップ S203 へ戻る。

20

【0094】

GI 除去部 411 は、ステップ S205 で決定した同期位置に基づいて受信信号からガードインターバルを除去する（ステップ S207）。その後、ステップ S208 へ進む。FFT 部 413 は、ステップ S207 で得られる信号に対して時間周波数変換を行なう（ステップ S208）。デマッピング部 415 は、得られた周波数領域の信号から、データとパイロットシンボルを分離する。その後、ステップ S209 へ進む。復調部 419 は、ステップ S208 で得られるデータサブキャリアの受信信号と、ステップ S205 で得られる復調用周波数応答推定値とを用いて復調を行なう（ステップ S209）。その後、ステップ S210 へ進む。復号部 421 は、ステップ S209 で得られる復調結果を用いて復号を行なう（ステップ S210）。その後、受信装置 901 は動作を終了する。

30

【0095】

このように、本実施形態によれば、同期部 903 の処理の中で同時に伝搬路推定も行なうことで、伝搬路推定部を持たずにすむため、回路規模を削減することができる。

【0096】

（第 3 の実施形態）

以下、図面を参照しながら本発明の第 3 の実施形態について詳しく説明する。第 1、第 2 の実施形態では、送信装置 301 がパイロットシンボルを周波数領域にマッピングするマルチキャリア信号等を送信し、受信装置 401 または受信装置 901 が、パイロットサブキャリアにおいて周波数応答推定値を算出し、MMSE によるチャンネルインパルス応答の推定を利用して伝搬路適合度を向上させるパスを 1 つずつ選択していくことで、同期補正量を決定する。本実施形態では、送信装置 1101 が、時間領域で連続した信号を送信するシングルキャリア送信を行ない、その中で時間的に連続したパイロットシンボルを挿入し、そのパイロットシンボルを参照信号として同期補正を行なう場合について説明する。

40

50

【 0 0 9 7 】

図 1 6 は、本発明の第 3 の実施形態に係る送信装置 1 1 0 1 の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る送信装置 1 1 0 1 (図 1 6) と第 1 または第 2 の実施形態に係る送信装置 3 0 1 (図 1) とを比較すると、IFFT 部 3 1 1 および GI 挿入部 3 1 3 を持たず、マッピング部 1 1 0 3 が異なる。しかし、その他の構成要素 (パイロット生成部 3 0 3、符号部 3 0 5、変調部 3 0 7、送信部 3 1 5、送信アンテナ 3 1 7) が持つ機能は第 1 または第 2 の実施形態と同じである。第 1 または第 2 の実施形態と同じ機能の説明は省略する。マッピング部 1 1 0 3 は、パイロット生成部 3 0 3 から入力されたパイロットシンボル、および変調部 3 0 7 から入力された変調シンボルを、予め定められたマッピング情報に基づいて時間領域にマッピングして時間領域の信号を生成し、生成した時間領域の信号を送信部 3 1 5 に出力する。また、マッピング情報は、送信装置 1 1 0 1 が決定し、送信装置 1 1 0 1 から受信装置 1 2 0 1 (本発明の第 3 の実施形態に係る受信装置を受信装置 1 2 0 1 とする) へ予め通知される。

10

【 0 0 9 8 】

図 1 7 は、本発明の第 3 の実施形態に係るマッピング部 1 1 0 3 が情報データシンボルとパイロットシンボルをマッピングする一例を示す図である。この図において、白の四角形は情報データシンボル、網掛けの四角形はパイロットシンボルを表わす。パイロットシンボルは K シンボル連続で送信される。

【 0 0 9 9 】

図 1 8 は、本発明の第 3 の実施形態に係る受信装置 1 2 0 1 の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る受信装置 1 2 0 1 (図 1 8) と第 1 の実施形態に係る受信装置 4 0 1 (図 3) とを比較すると、GI 除去部 4 1 1 および FFT 部 4 1 3 を持たず、同期部 1 2 0 3、伝搬路推定部 1 2 0 5、復調部 1 2 0 7、デマッピング部 1 2 0 9 が異なる。しかし、その他の構成要素 (受信アンテナ 4 0 3、受信部 4 0 5、探索範囲決定部 4 0 7、復号部 4 2 1) が持つ機能は第 1 の実施形態と同じである。第 1 の実施形態と同じ機能の説明は省略する。

20

【 0 1 0 0 】

図 1 9 は、本発明の第 3 の実施形態に係る同期部 1 2 0 3 の構成を示す概略ブロック図である。同期部 1 2 0 3 と第 1 の実施形態における同期部 4 0 9 とを比較すると、GI 除去部 5 0 1、FFT 部 5 0 3、周波数応答推定部 5 0 7 を持たず、デマッピング部 1 3 0 1 および伝搬路適合度算出部 1 3 0 3 の処理が異なる。しかし、その他の構成要素 (不要候補パス除去部 5 1 1、同期補正判定部 5 1 3、パス抽出部 5 1 5) が持つ機能は第 1 の実施形態と同じである。第 1 の実施形態と同じ機能の説明は省略する。伝搬路適合度算出部 1 3 0 3 では、デマッピング部 1 3 0 1 から入力されるパイロットシンボルが送信された時刻に対応する受信信号を用い、それまでに抽出されているパスに加えて、候補パスのうち 1 パスを増やしてチャンネルインパルス応答を推定する。ここで、パイロットシンボルが送信された時刻に対応する受信信号を用いること以外は、第 1 の実施形態における伝搬路適合度算出部 5 0 9 と同様である。

30

【 0 1 0 1 】

デマッピング部 1 2 0 9 は、送信装置 1 1 0 1 から予め通知されたマッピング情報に基づいてデマッピングし、分離されたパイロットシンボルが送信された時刻に対応する受信信号を伝搬路推定部 1 2 0 5 に出力し、データが送信された時刻に対応する受信信号を復調部 1 2 0 7 に出力する。伝搬路推定部 1 2 0 5 は、パイロットシンボルが送信された時刻に対応する受信信号とパイロットシンボルを用いてチャンネルインパルス応答推定値を算出し、復調部 1 2 0 7 に出力する。手法には、第 1 の実施形態と同様に最小二乗法や MMSE を用いてもよいし、RLS (Recursive Least Squares : 逐次最小二乗) アルゴリズムや LMS (Least Mean Square) アルゴリズム等を用いてチャンネルインパルス応答の推定値を時間経過と共に更新していく推定方法のような既知技術を用いればよい。復調部 1 2 0 7 は、デマッピング部 1 2 0 9 から入力される受信信号と伝搬路推定部 1 2 0 5 から入力されるチャンネルインパルス応答推定値を用いて復調処理を行なう。この際、マルチパ

40

50

スによるISIを補償する。これには、MMSEやMLSE（最尤系列推定：Maximum Likelihood Sequence Estimation）等の既知技術を用いればよい。

【0102】

<受信装置1201の動作について>

図20は、本発明の第3の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。なお、この図が示す動作は、図18の受信部405が受信信号を探索範囲決定部407に出力した後の処理である。探索範囲決定部407は、受信信号から先行パス位置および同期するための探索範囲を決定する（ステップS301）。その後、ステップS302へ進む。伝搬路適合度算出部1303は、ステップS301で決定した先行パス位置に基づき、パス抽出部515がそれまでに決定したパスに加え、候補パスのうちの1パスを追加した場合のチャンネルインパルス応答を推定する。この処理を候補パスの数だけ行ない、それぞれ伝搬路適合度を算出する（ステップS302）。その後ステップS303へ進む。不要候補パス除去部511は、ステップS302で得られる伝搬路適合度のうち、1パス追加を行なう前の伝搬路適合度を下回ったものに対応するパスを候補パスから除去する（ステップS303）。その後、ステップS304へ進む。

10

【0103】

同期補正判定部513は、ステップS303の結果、抽出されているパスのうち遅延時間の最も小さいパスより遅延時間の小さい候補パスが存在しない場合（ステップS304：Yes）、同期位置に施すシフト量を決定し、ステップS306へ進む。そうではない場合（ステップS304：No）、ステップS305へ進む（ステップS304）。パス抽出部515は、ステップS303の結果残った候補パスの伝搬路適合度のうち、最も大きいものに対応するパスを抽出パスとして決定する（ステップS305）。その後、ステップS302へ戻る。

20

【0104】

デマッピング部1209は、ステップS304で決定した同期位置に基づいて受信信号からデータとパイロットシンボルを分離する。分離されたパイロットシンボルが送られた時刻に対応する受信信号を伝搬路推定部1205へ出力し、データが送られた時刻に対応する受信信号を復調部1207へ出力する。また、伝搬路推定部1205は、チャンネルインパルス応答を推定して復調部1207へ出力する（ステップS306）。その後、ステップS307へ進む。復調部1207は、ステップS306で得られるデータが送信された時刻に対応する受信信号と、チャンネルインパルス応答推定値とを用いて復調を行なう（ステップS307）。その後、ステップS308へ進む。復号部421は、ステップS307で得られる復調結果を用いて復号を行なう（ステップS308）。その後、受信装置1201は動作を終了する。

30

【0105】

このように、本実施形態によれば、同期部1203は、パイロットシンボルが送信された時刻に対応する受信信号を用い、候補パスのうちから伝搬路適合度を向上できないパスを削除し、伝搬路適合度を向上させるパスを抽出する処理を繰り返し、抽出されたパスのうちで最も遅延時間の小さいものよりさらに遅延時間の小さい候補パスがなくなった時点で処理を終了する。その際、抽出されたパスのうちで最も遅延時間の小さいものが遅延時間0のパスでなかった場合、同期補正を行なう。このようにすることで、パスを選んで推定しているため、雑音や干渉の低減効果が増加し、雑音強調を抑えて高精度な同期を行なうことができる。なお、第1の実施形態で述べたように、本実施形態に係る送信装置301が送信した信号に対する受信処理として、第1の実施形態に係る受信装置401を用いてもよい。この場合、GI区間が0の信号として処理すればよい。

40

【0106】

（第4の実施形態）

以下、図面を参照しながら本発明の第4の実施形態について詳しく説明する。第3の実施形態では、送信装置1101がパイロットシンボルを時間領域にマッピングするシングルキャリア信号等を送信し、受信装置1201が、パイロットシンボルが送信された時刻

50

に対応する受信信号を用い、チャンネルインパルス応答の推定を利用して伝搬路適合度を向上させるパスを1つずつ選択していき、同期補正の必要性の有無が確定した時点で同期補正量を決定する。本実施形態では、同期補正を行ないつつ同時に伝搬路推定を行なう場合について説明する。なお、本実施形態に係る送信装置は、第3の実施形態に係る送信装置1101と同じ構成のため、説明を省略する。

【0107】

図21は、本発明の第4の実施形態に係る受信装置1401の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る受信装置1401(図21)と第3の実施形態に係る受信装置1201(図18)とを比較すると、伝搬路推定部1205を持たず、同期部1403の動作が同期部1203と異なる。しかし、その他の構成要素(受信アンテナ403、受信部405、探索範囲決定部407、デマッピング部1209、復調部1207、復号部421)が持つ機能は第3の実施形態と同じである。第3の実施形態と同じ機能の説明は省略する。

10

【0108】

図22は、本発明の第4の実施形態に係る同期部1403の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る同期部1403(図22)と第3の実施形態に係る同期部1203(図19)とを比較すると、第1の実施形態における同期補正判定部513の代わりに第2の実施形態における同期補正判定部1001を持つ。しかし、その他の構成要素(デマッピング部1301、伝搬路適合度算出部1303、不要候補パス除去部511、パス抽出部515)が持つ機能は第3の実施形態と同じである。第3の実施形態と同じ機能の説明は省略する。

20

【0109】

<受信装置1401の動作について>

図23は、本発明の第4の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。なお、この図が示す動作は、図21の受信部405が受信信号を探索範囲決定部407に出力した後の処理である。探索範囲決定部407は、受信信号から先行パス位置および同期するための探索範囲を決定する(ステップS401)。その後、ステップS402へ進む。伝搬路適合度算出部1303は、ステップS401で決定した先行パス位置に基づき、パス抽出部515がそれまでに決定したパスに加え、候補パスのうちの1パスを追加した場合のチャンネルインパルス応答を推定する。この処理を候補パスの数だけ行ない、それぞれ伝搬路適合度を算出する(ステップS402)。その後ステップS403へ進む。不要候補パス除去部511は、ステップS402で得られる伝搬路適合度のうち、1パス追加を行なう前の伝搬路適合度を下回ったものに対応するパスを候補パスから除去する(ステップS403)。その後、ステップS404へ進む。

30

【0110】

同期補正判定部1001は、ステップS403の結果、候補パスの残りが0になった場合(ステップS404:Yes)、同期位置に施すシフト量を決定すると共に推定されているチャンネルインパルス応答推定値を復調部1207に出力し、ステップS406へ進む。そうではない場合(ステップS404:No)、ステップS405へ進む(ステップS404)。パス抽出部515は、ステップS403の結果残った候補パスの伝搬路適合度のうち、最も大きいものに対応するパスを抽出パスとして決定する(ステップS405)。その後、ステップS402へ戻る。

40

【0111】

デマッピング部1209は、ステップS404で決定した同期位置に基づいて受信信号からデータとパイロットシンボルを分離する。分離されたデータが送られた時刻に対応する受信信号を復調部1207へ出力する。復調部1207は、この受信信号とステップS404で得られるチャンネルインパルス応答推定値とを用いて復調を行なう(ステップS406)。その後、ステップS407へ進む。復号部421は、ステップS406で得られる復調結果を用いて復号を行なう(ステップS407)。その後、受信装置1401は動作を終了する。

【0112】

このように、本実施形態によれば、同期部1403の処理の中で同時に伝搬路推定も行

50

なうことで、伝搬路推定部を持たずにすむため、回路規模を削減することができる。

【0113】

(第5の実施形態)

以下、図面を参照しながら本発明の第5の実施形態について詳しく説明する。第2の実施形態では、送信装置301がパイロットシンボルを周波数領域にマッピングするマルチキャリア信号等を送信し、受信装置401が、まず決定した探索範囲と先行パス位置に基づいて、パイロットサブキャリアにおいて周波数応答推定値を算出し、チャンネルインパルス応答の推定を利用して伝搬路適合度を向上させるパスを1つずつ選択していき、候補パスの残りが0になったら同期量を決定する。本実施形態では、先行パス位置を複数用意し、それぞれにおいて同期位置とチャンネルインパルス応答推定値と伝搬路適合度を算出し、伝搬路適合度を最も大きくする同期位置とチャンネルインパルス応答推定値を採用する。なお、本実施形態に係る送信装置は、第1の実施形態に係る送信装置301と同じ構成のため、説明を省略する。

10

【0114】

図24は、本発明の第5の実施形態に係る受信装置1501の構成を示す概略ブロック図である。本実施形態に係る受信装置1501(図24)と第2の実施形態に係る受信装置901(図13)とを比較すると、探索範囲決定部1503の構成が異なり、同期部903を複数備え、伝搬路適合判定部1505が追加されている。しかし、その他の構成要素(受信アンテナ403、受信部405、GI除去部411、FFT部413、デマッピング部415、復調部419、復号部421)が持つ機能は第2の実施形態と同じである。第2の実施形態と同じ機能の説明は省略する。探索範囲決定部1503は、先行パス位置を複数設定し、それぞれに第1~4の実施形態と同様に探索範囲を決定する。この設定方法は、例えば図25のようにする。

20

【0115】

図25は、本発明の第5の実施形態に係る先行パス位置を複数設定する設定方法を説明するための図である。図25において、2種類の探索範囲を設定しており、位置1601は1つ目の探索範囲の先頭、位置1603は1つ目の先行パス位置、位置1605は1つ目の探索範囲の終端を表わす。また、位置1611は1つ目の探索範囲の先頭、位置1613は1つ目の先行パス位置、位置1615は1つ目の探索範囲の終端を表わす。複数存在する同期部903は、探索範囲決定部1503が出力した複数の探索範囲に対して、第2の実施形態と同様の処理を行なう。ただし、同期位置とチャンネルインパルス応答推定値だけでなく、最終的な伝搬路適合度も出力し、伝搬路適合判定部1505に出力する。伝搬路適合判定部1505は、複数の同期部903から入力された伝搬路適合度の最も大きいものを選び、対応する同期位置をGI除去部411に出力し、チャンネルインパルス応答推定値を復調部419に出力する。

30

【0116】

<受信装置1501の動作について>

図26は、本発明の第5の実施形態に係る受信装置の動作を示すフローチャートである。なお、この図が示す動作は、図24の受信部405が受信信号を探索範囲決定部1503に出力した後の処理である。探索範囲決定部1503は、受信信号から複数の先行パス位置および同期するための探索範囲を決定する(ステップS501)。その後、ステップS502へ進む。複数の周波数応答推定部507は、ステップS501で決定した複数の先行パス位置に基づいて時間周波数変換された受信信号を用いてパイロットサブキャリアの周波数応答を推定して周波数応答推定値とする(ステップS502)。その後、ステップS503へ進む。複数の伝搬路適合度算出部509は、ステップS502で得られる複数の周波数応答推定値を用い、対応するパス抽出部515がそれまでに決定したパスに加え、候補パスのうちの1パスを追加した場合のチャンネルインパルス応答を推定する。この処理を候補パスの数だけ行ない、それぞれ伝搬路適合度を算出する(ステップS503)。その後ステップS504へ進む。

40

【0117】

50

複数の不要候補パス除去部 5 1 1 は、ステップ S 5 0 3 で得られる複数の伝搬路適合度のうち、1 パス追加を行なう前の対応する伝搬路適合度を下回ったものに対応するパスを候補パスから除去する（ステップ S 5 0 4）。その後、ステップ S 5 0 5 へ進む。複数の同期補正判定部 1 0 0 1 は、ステップ S 5 0 4 の結果、候補パスの残りが 0 になった場合、同期位置に施すシフト量を決定すると共に推定されているチャンネルインパルス応答推定値を伝搬路適合判定部 1 5 0 5 に出力し、動作を終了する。全ての同期補正判定部 1 0 0 1 が動作を終了している場合（ステップ S 5 0 5 : Yes）、ステップ S 5 0 7 へ進む。そうではない場合（ステップ S 5 0 5 : No）、ステップ S 5 0 6 へ進む（ステップ S 5 0 5）。複数のパス抽出部 5 1 5 は、ステップ S 5 0 4 の結果残った候補パスの伝搬路適合度のうち、最も大きいものに対応するパスを抽出パスとして決定する（ステップ S 5 0 6）。その後、ステップ S 5 0 3 へ戻る。

10

【0 1 1 8】

伝搬路適合判定部 1 5 0 5 は、ステップ S 5 0 5 の結果得られる複数の伝搬路適合度のうち、最も大きいものに対応する同期位置を b 1 0 5 に出力し、チャンネルインパルス応答推定値を周波数応答推定値に変換してから復調部 4 1 9 に出力する（ステップ S 5 0 7）。その後、ステップ S 5 0 8 へ進む。GI 除去部 4 1 1 は、ステップ S 5 0 7 で決定した同期位置に基づいて受信信号からガードインターバルを除去する（ステップ S 5 0 8）。その後、ステップ S 5 0 9 へ進む。FFT 部 4 1 3 は、ステップ S 5 0 8 で得られる信号に対して時間周波数変換を行なう（ステップ S 5 0 9）。デマッピング部 4 1 5 は、得られた周波数領域の信号から、データとパイロットシンボルを分離する。その後、ステップ S 5 1 0 へ進む。復調部 4 1 9 は、ステップ S 5 0 9 で得られるデータサブキャリアの受信信号と、ステップ S 5 0 7 で得られる復調用周波数応答推定値とを用いて復調を行なう（ステップ S 5 1 0）。その後、ステップ S 5 1 1 へ進む。復号部 4 2 1 は、ステップ S 5 1 0 で得られる復調結果を用いて復号を行なう（ステップ S 5 1 1）。その後、受信装置 1 5 0 1 は動作を終了する。

20

【0 1 1 9】

このように、本実施形態によれば、複数の同期部が同期位置を決定し、それぞれの伝搬路適合度のうちで最も大きいものを選ぶことで、伝送特性を改善できる位置を同期位置に選ぶことができる。

【0 1 2 0】

なお、上述した実施形態における送信装置 3 0 1、1 1 0 1 および受信装置 4 0 1、9 0 1、1 2 0 1、1 3 0 1 の一部、例えば、同期部 4 0 9、復調部 4 1 9 をコンピュータで実現するようにしても良い。その場合、この制御機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することによって実現しても良い。

30

【0 1 2 1】

なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、送信装置 3 0 1、1 1 0 1 または受信装置 4 0 1、9 0 1、1 2 0 1、1 3 0 1 に内蔵されたコンピュータシステムであって、OS や周辺機器等のハードウェアを含むものとする。さらに、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM 等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間、動的にプログラムを保持するもの、その場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものも含んでも良い。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであっても良く、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであっても良い。

40

【0 1 2 2】

また、上述した実施形態における送信装置 3 0 1、1 1 0 1 および受信装置 4 0 1、9

50

01、1201、1301の一部、または全部を、LSI (Large Scale Integration) 等の集積回路として実現しても良い。送信装置301および受信装置401、901、1201の各機能ブロックは個別にプロセッサ化してもよいし、一部、または全部を集積してプロセッサ化しても良い。また、集積回路化の手法はLSIに限らず専用回路、または汎用プロセッサで実現しても良い。また、半導体技術の進歩によりLSIに代替する集積回路化の技術が出現した場合、当該技術による集積回路を用いても良い。

【0123】

以上、図面を参照してこの発明の一実施形態について詳しく説明してきたが、具体的な構成は上述のものに限られることはなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲内において様々な設計変更等を行うことが可能である。

10

【符号の説明】

【0124】

101、105、107、109、111、113 パス
 103 閾値
 201～215 パス
 217 閾値
 301 送信装置
 303 パイロット生成部
 305 符号部
 307 変調部
 309 マッピング部
 311 IFFT部
 313 GI挿入部
 315 送信部
 317 送信アンテナ
 401 受信装置
 403 受信アンテナ
 405 受信部
 407 探索範囲決定部
 409 同期部
 411 GI除去部
 413 FFT部
 415 デマッピング部
 417 伝搬路推定部
 419 復調部
 421 復号部
 501 GI除去部
 503 FFT部
 505 デマッピング部
 507 周波数応答推定部
 509 伝搬路適合度算出部
 511 不要候補パス除去部
 513 同期補正判定部
 515 パス抽出部
 601～619 パス
 701 部分
 801 部分
 901 受信装置
 903 同期部
 1001 同期補正判定部

20

30

40

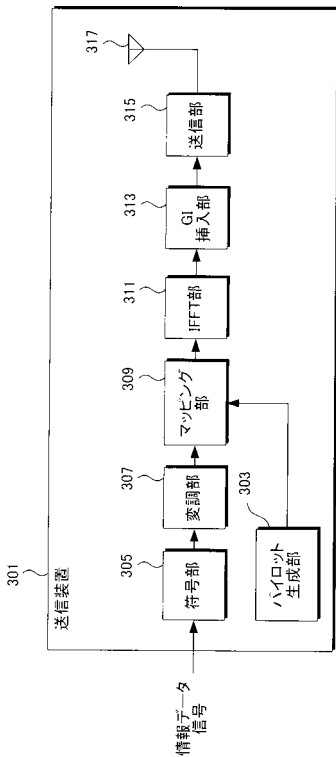
50

- 1 0 0 3 F F T 部
- 1 1 0 1 送信装置
- 1 1 0 3 マッピング部
- 1 2 0 1 受信装置
- 1 2 0 3 同期部
- 1 2 0 5 伝搬路推定部
- 1 2 0 7 復調部
- 1 2 0 9 デマッピング部
- 1 3 0 1 デマッピング部
- 1 3 0 3 伝搬路適合度算出部
- 1 4 0 1 受信装置
- 1 4 0 3 同期部
- 1 5 0 1 受信装置
- 1 5 0 3 探索範囲決定部
- 1 5 0 5 伝搬路適合判定部
- 1 6 0 1 位置
- 1 6 0 3 位置
- 1 6 0 5 位置
- 1 6 1 1 位置
- 1 6 1 3 位置
- 1 6 1 5 位置

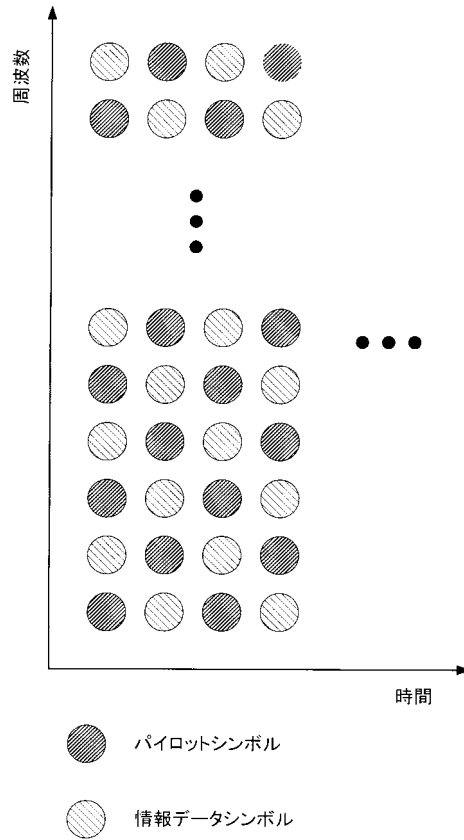
10

20

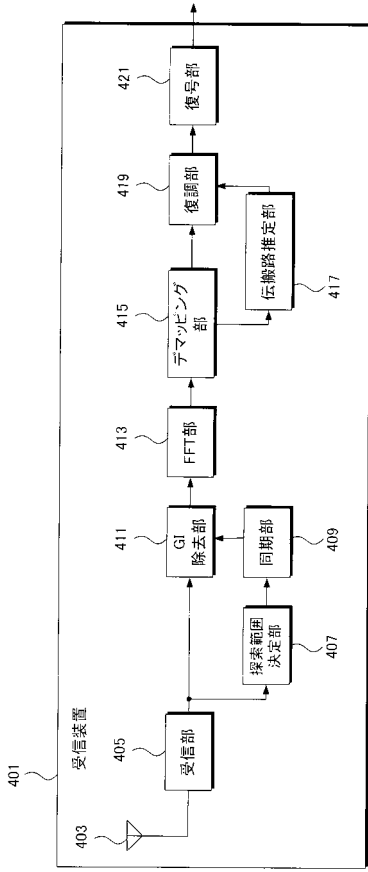
【図1】



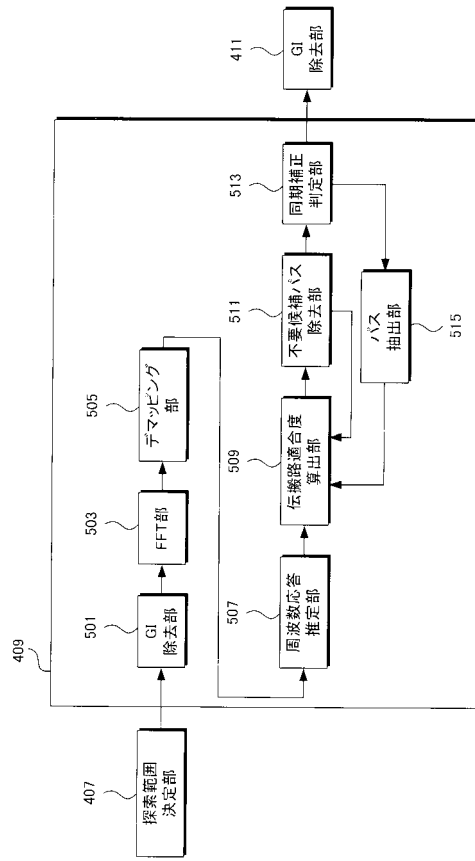
【図2】



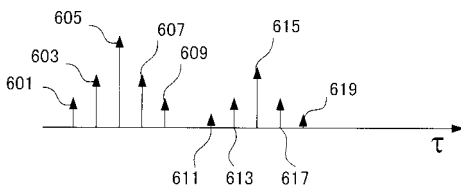
【図3】



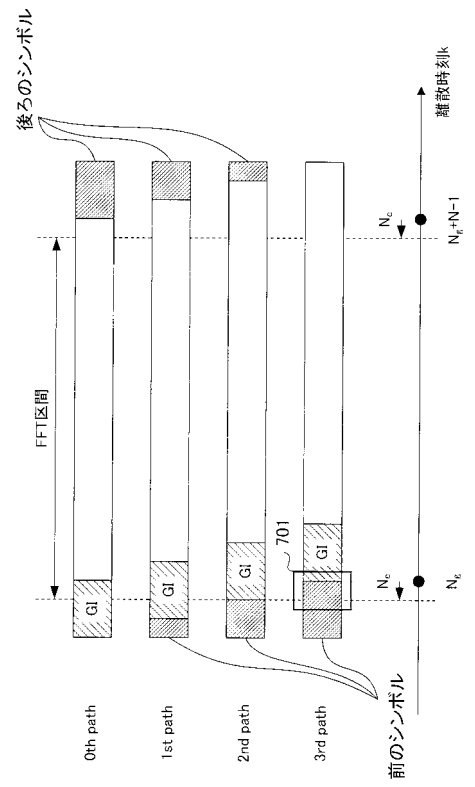
【図4】



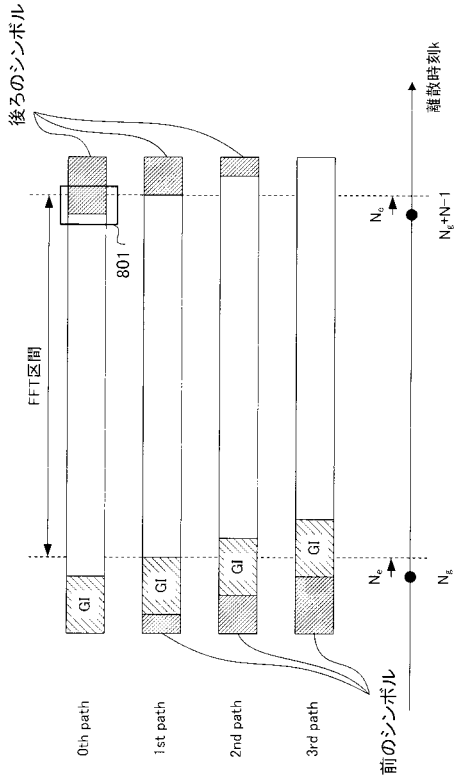
【図5】



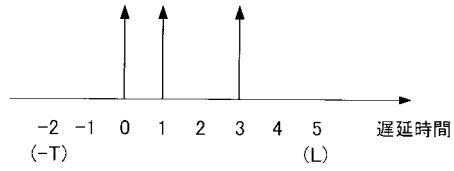
【図6】



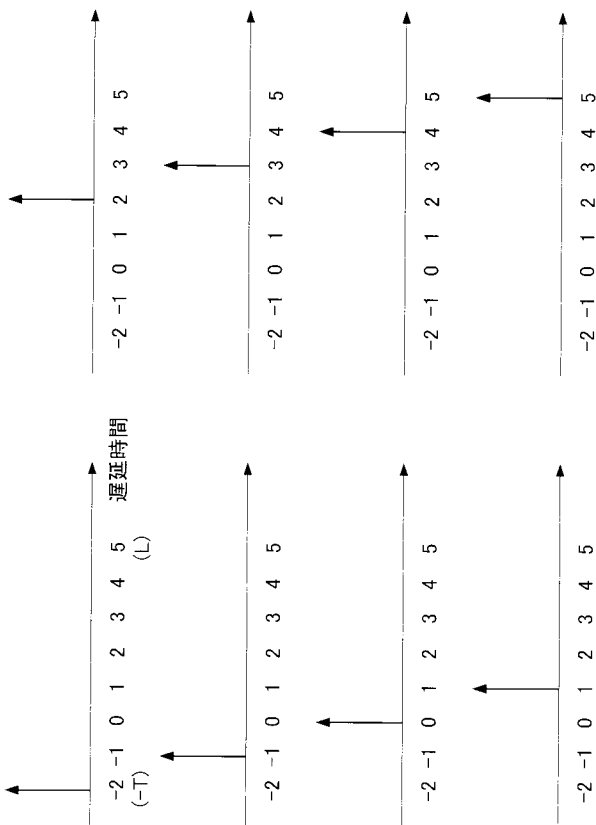
【 図 7 】



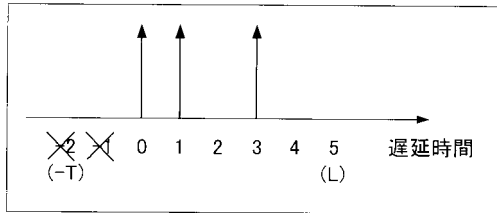
【 図 8 】



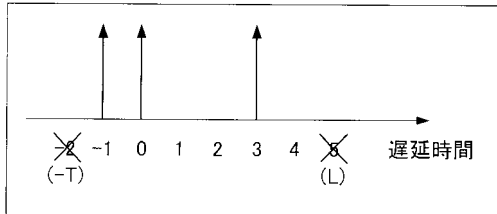
【 図 9 】



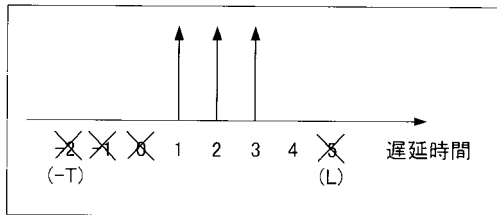
【 図 10 A 】



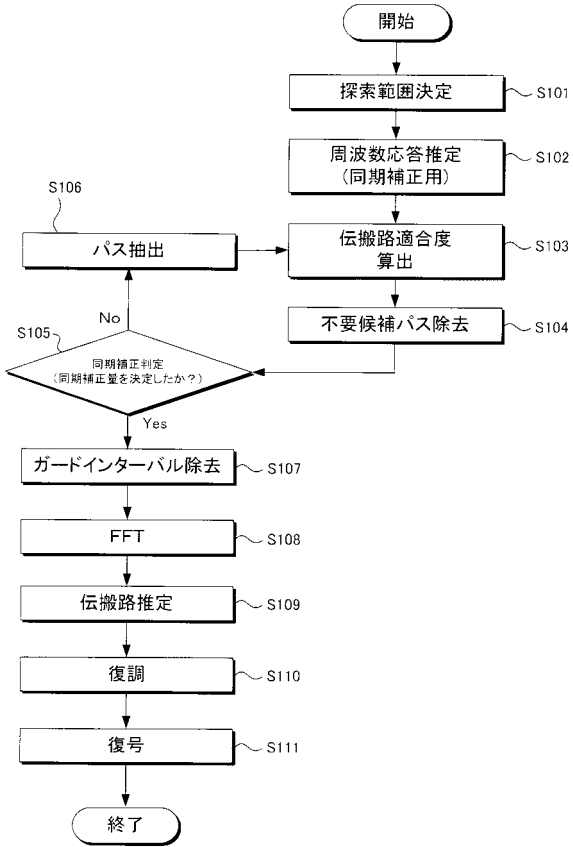
【 図 10 B 】



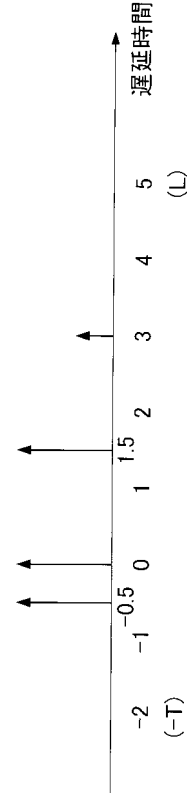
【 図 10 C 】



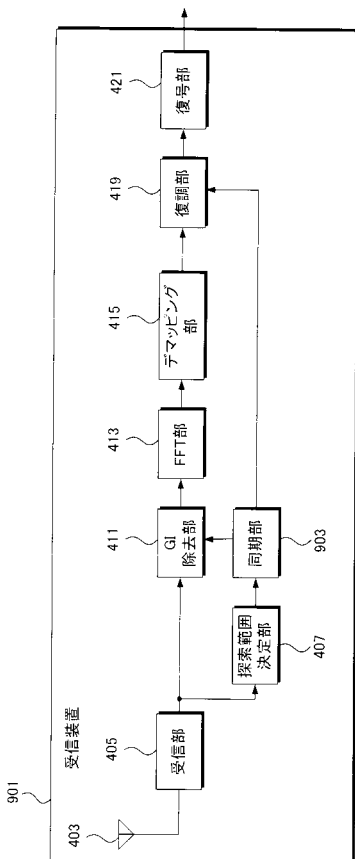
【図 1 1】



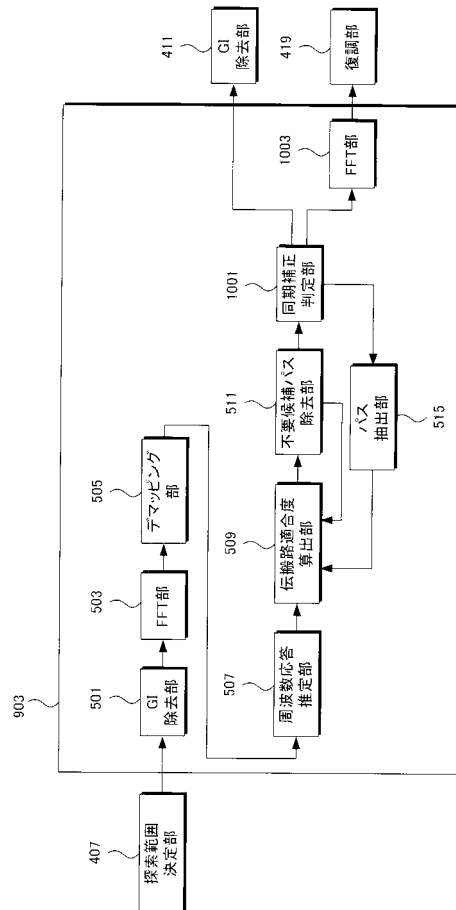
【図 1 2】



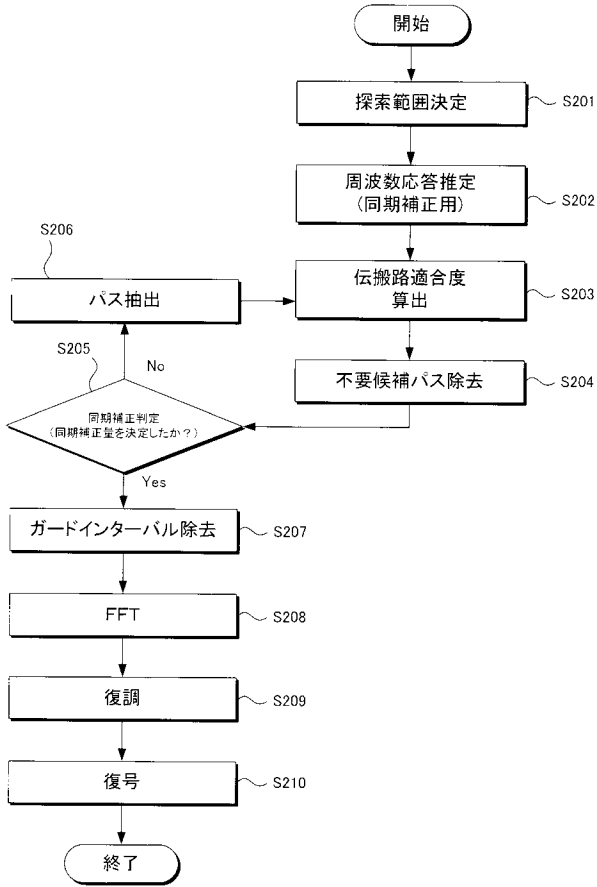
【図 1 3】



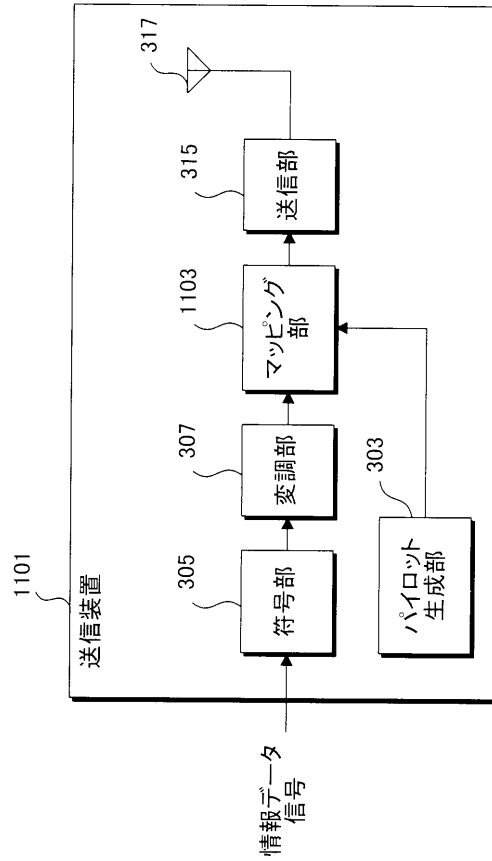
【図 1 4】



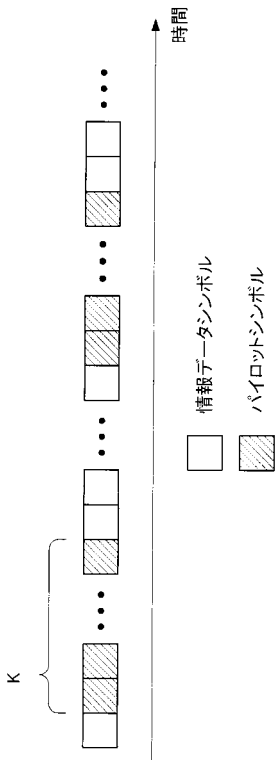
【図 15】



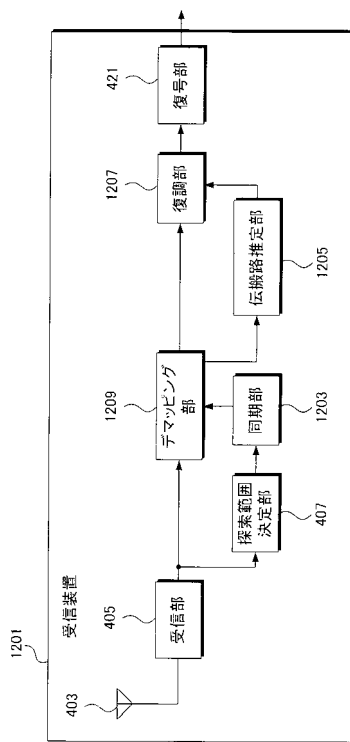
【図 16】



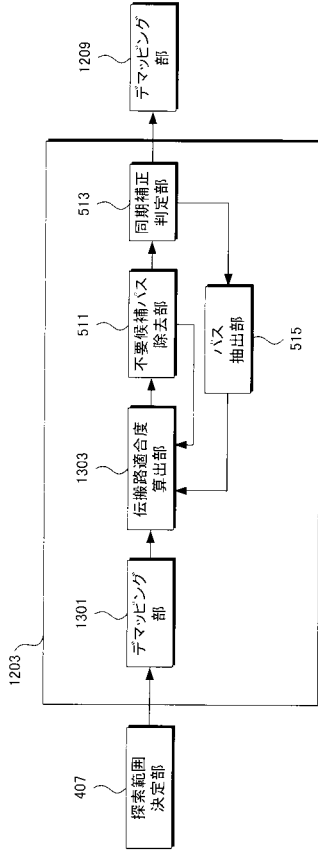
【図 17】



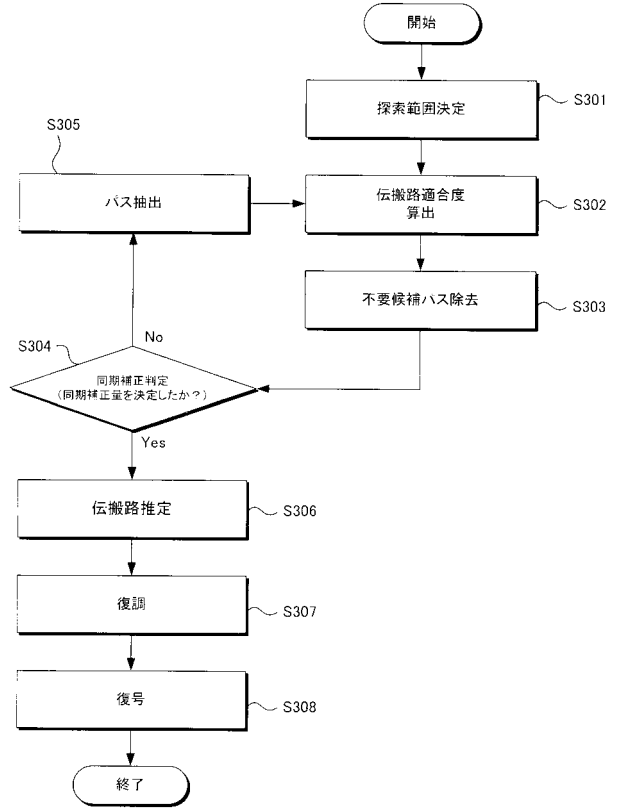
【図 18】



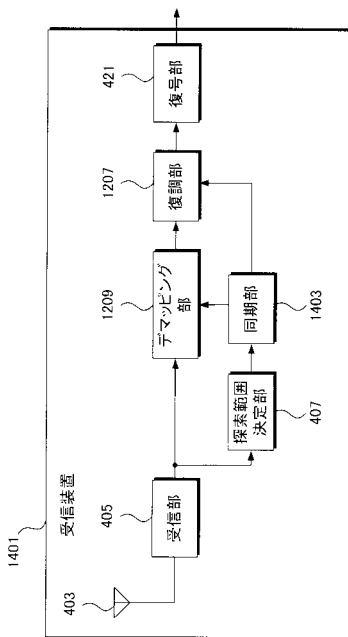
【図 19】



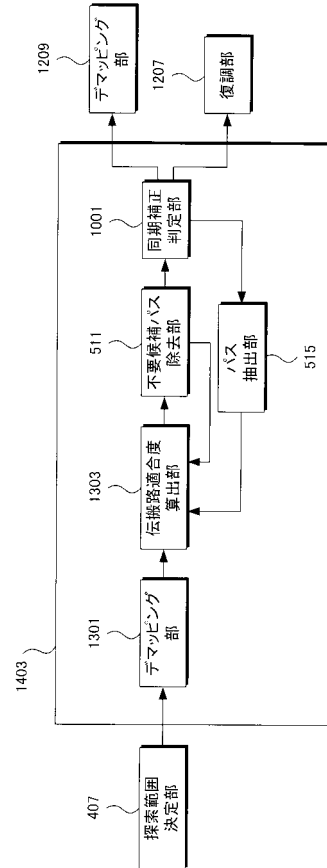
【図 20】



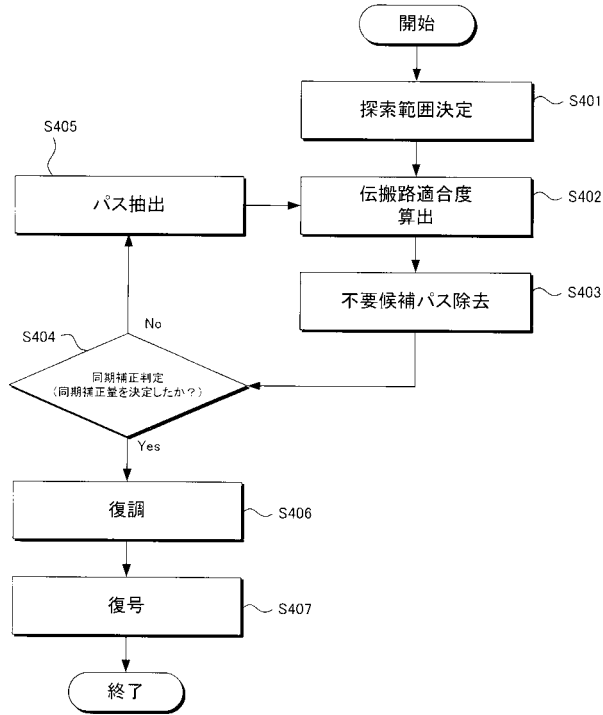
【図 21】



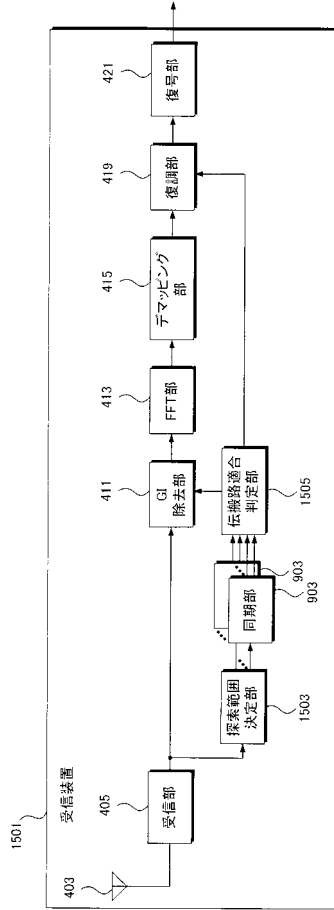
【図 22】



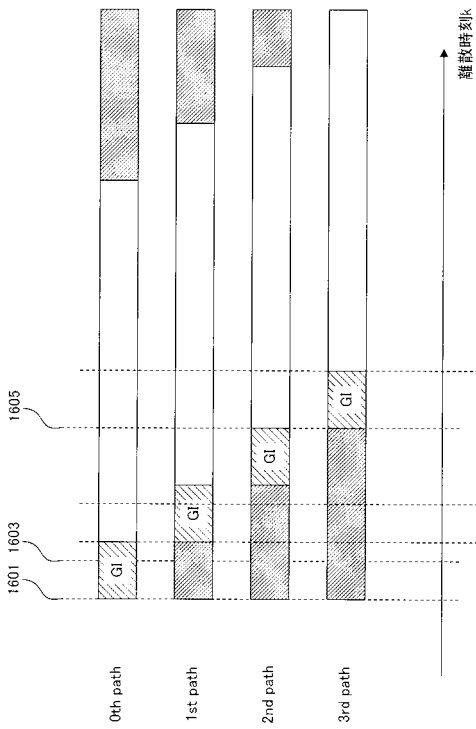
【図 2 3】



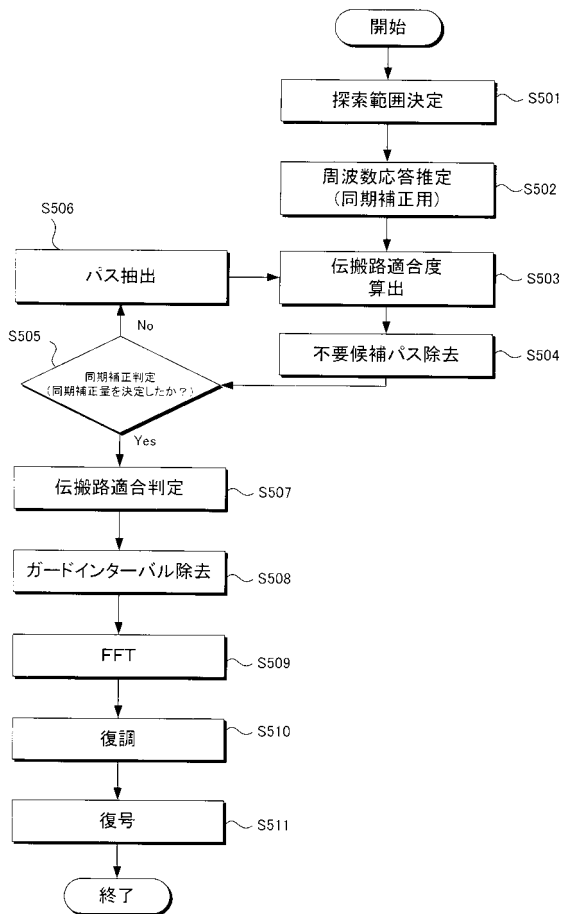
【図 2 4】



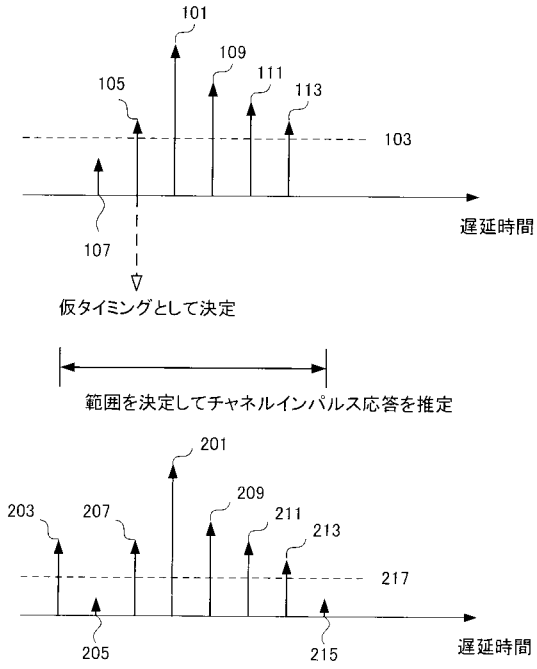
【図 2 5】



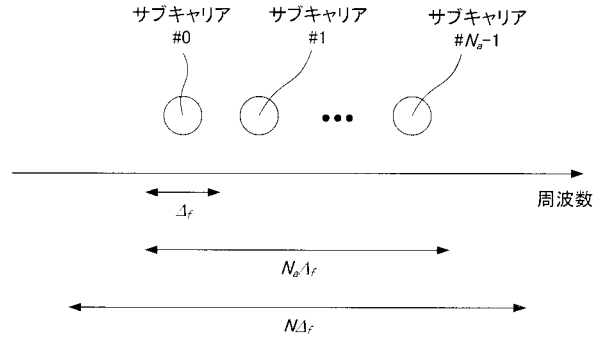
【図 2 6】



【図 27】



【図 28】



【図 29】

