

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4314099号  
(P4314099)

(45) 発行日 平成21年8月12日(2009.8.12)

(24) 登録日 平成21年5月22日(2009.5.22)

(51) Int.Cl. F I  
 H04 J 11/00 (2006.01) H04 J 11/00 Z

請求項の数 9 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2003-389544 (P2003-389544)	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成15年11月19日(2003.11.19)		パナソニック株式会社
(65) 公開番号	特開2005-151447 (P2005-151447A)		大阪府門真市大字門真1006番地
(43) 公開日	平成17年6月9日(2005.6.9)	(74) 代理人	100077931
審査請求日	平成18年11月14日(2006.11.14)		弁理士 前田 弘
		(74) 代理人	100094134
			弁理士 小山 廣毅
		(74) 代理人	100110939
			弁理士 竹内 宏
		(74) 代理人	100113262
			弁理士 竹内 祐二
		(74) 代理人	100115059
			弁理士 今江 克実
		(74) 代理人	100117710
			弁理士 原田 智雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 OFDM受信装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定のパイロット信号を伝送するパイロットキャリアが所定の周波数間隔毎に配置されたOFDM(orthogonal frequency division multiplexing)信号を受信するOFDM受信装置であって、

前記パイロットキャリアのそれぞれに対する伝送路特性を求めて出力する伝送路特性算出部と、

同一のシンボルにおける、第1のパイロットキャリアに対する第1の伝送路特性、及び少なくとも1つの第2のパイロットキャリアに対する第2の伝送路特性を入力とし、所定の演算を前記第2の伝送路特性に対して行って、その結果が前記第1の伝送路特性に近づくように、この演算において用いられる係数を更新することを繰り返し、かつ、前記係数の最終的な値が求められると、前記シンボルにおける前記第2のパイロットキャリアと同数の選択されたパイロットキャリア周波数に対する伝送路特性を、前記第2の伝送路特性として用いて前記所定の演算を行い、求められた結果を前記選択されたパイロットキャリア周波数から前記第1のパイロットキャリアと前記第2のパイロットキャリアとの間の周波数の差の最小値だけ離れた周波数における推定伝送路特性として出力する適応フィルタとを備え、

前記適応フィルタは、

前記推定伝送路特性と、前記推定伝送路特性を求める際に前記第2の伝送路特性として用いられた伝送路特性の一部とを、新たな前記第2の伝送路特性として用い、新たな推定

伝送路特性を求めることを繰り返すものである

OFDM受信装置。

【請求項2】

請求項1に記載のOFDM受信装置において、  
前記適応フィルタは、

隣接する2以上のパイロットキャリアを前記第2のパイロットキャリアとして用い、前記隣接する2以上のパイロットキャリアと同数の前記選択されたパイロットキャリア周波数に対する伝送路特性を用いて前記推定伝送路特性を求めるものであることを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項3】

請求項2に記載のOFDM受信装置において、  
前記適応フィルタは、

前記第1のパイロットキャリアに隣接するパイロットキャリアを前記第2のパイロットキャリアとして用い、前記選択されたパイロットキャリア周波数に隣接するパイロットキャリア周波数に対する伝送路特性を前記推定伝送路特性として求めるものであることを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項4】

請求項1に記載のOFDM受信装置において、

前記選択されたパイロットキャリア周波数には、最も周波数が高いパイロットキャリアの周波数、又は最も周波数が低いパイロットキャリアの周波数が含まれており、前記推定伝送路特性は、前記OFDM信号の帯域外の周波数に対応することを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項5】

請求項1に記載のOFDM受信装置において、

前記伝送路特性算出部で求められた伝送路特性、及び前記推定伝送路特性に基づいて、前記OFDM信号においてパイロットキャリア間の周波数に配置されたデータキャリアに対する伝送路特性を補間により求める周波数軸補間部と、

前記周波数軸補間部で求められた伝送路特性を用いて、これに対応するデータキャリアの波形歪みを補償する歪み補償部とを更に備えることを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項6】

請求項1に記載のOFDM受信装置において、

前記適応フィルタは、

前記所定の演算を前記第2の伝送路特性に対して行う複素フィルタと、

前記第1の伝送路特性に対する前記所定の演算の結果の誤差を検出して出力する誤差検出器と、

前記誤差を小さくするように前記係数を更新して、前記複素フィルタに出力する係数更新器と、

前記係数の最終的な値が求められたと判断すると、求められた最新の前記係数を出力し続けるように、前記係数更新器を制御する制御部とを備えることを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項7】

請求項6に記載のOFDM受信装置において、

前記係数更新器は、

前記誤差の2乗に基づく評価関数の値が小さくなるように、前記係数を更新するものである

ことを特徴とするOFDM受信装置。

【請求項8】

請求項7に記載のOFDM受信装置において、

前記係数更新器は、

前記係数更新器は、

10

20

30

40

50

LMS (least mean-square) アルゴリズムによって前記係数を更新するものであることを特徴とする OFDM 受信装置。

【請求項 9】

請求項 7 に記載の OFDM 受信装置において、前記係数更新器は、

RLS (recursive least-square) アルゴリズムによって前記係数を更新するものであることを特徴とする OFDM 受信装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、OFDM (orthogonal frequency division multiplexing: 直交周波数分割多重) 信号の受信装置に関し、特に、伝送路特性を推定して受信性能を向上させる OFDM 受信装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、音声信号及び映像信号を伝送するためのデジタル変調方式の開発が盛んである。特に地上デジタル放送においては、マルチパス妨害に強い OFDM 変調方式が注目されている。

【0003】

20

OFDM 信号の同期検波は、次のような処理を行うことによって実現されている。すなわち、パイロット信号を伝送するパイロットキャリアを所定の周波数間隔毎に有する OFDM 信号を受信し、この時間領域の信号にフーリエ変換を行って周波数領域の信号に変換し、パイロット信号を抽出し、抽出されたパイロット信号から伝送路特性を求める。更に周波数フィルタを用いてこの伝送路特性に基づいて周波数軸方向の補間を行って、OFDM 信号の帯域全体にわたってデータキャリアに対する伝送路特性を求め、補間後の伝送路特性を用いて各データキャリアに歪み補償を行う。

【0004】

ところが、OFDM 信号の帯域外においては伝送路特性が求められていないので、OFDM 信号の帯域の両端付近において補間処理を行う際には、周波数フィルタには、その中心周波数の近辺の周波数に対する伝送路特性を与えることができない。このため、補間処理によって求められた伝送路特性の誤差が顕著になり、受信特性が大きく劣化することが知られている。

30

【0005】

そこで、例えば特許文献 1 には、OFDM 信号の帯域の末端のパイロットキャリアからパイロットキャリアの周波数間隔だけ離れた周波数においても、伝送路特性が末端のパイロットキャリアの周波数と等しいと仮定して、補間処理により生じる伝送路特性の誤差を抑えるようにした技術が開示されている。また、特許文献 2 には、更に FFT (fast Fourier transform) のウィンドウの時間ずれに伴う周波数領域の位相回転を考慮することにより、補間処理により生じる誤差を抑える技術が開示されている。

40

【特許文献 1】特開平 11 - 205274 号公報

【特許文献 2】特開 2002 - 9726 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、このような処理を行うと、マルチパス等により振幅変動や位相変動が周波数に応じて生じる場合には、補間処理によって求められた伝送路特性の誤差が顕著になり、受信特性が大きく劣化するという問題があった。

【0007】

本発明は、パイロットキャリアに対する伝送路特性に基づいて、そのパイロットキャリ

50

アの周波数以外の周波数における伝送路特性を外挿により推定し、OFDM受信装置の受信性能を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

前記課題を解決するため、請求項1の発明が講じた手段は、所定のパイロット信号を送送するパイロットキャリアが所定の周波数間隔毎に配置されたOFDM(orthogonal frequency division multiplexing)信号を受信するOFDM受信装置であって、前記パイロットキャリアのそれぞれに対する伝送路特性を求めて出力する伝送路特性算出部と、同一のシンボルにおける、第1のパイロットキャリアに対する第1の伝送路特性、及び少なくとも1つの第2のパイロットキャリアに対する第2の伝送路特性を入力とし、所定の演算を前記第2の伝送路特性に対して行って、その結果が前記第1の伝送路特性に近づくように、この演算において用いられる係数を更新することを繰り返し、かつ、前記係数の最終的な値が求められると、前記シンボルにおける前記第2のパイロットキャリアと同数の選択されたパイロットキャリア周波数に対する伝送路特性を、前記第2の伝送路特性として用いて前記所定の演算を行い、求められた結果を前記選択されたパイロットキャリア周波数から前記第1のパイロットキャリアと前記第2のパイロットキャリアとの間の周波数の差の最小値だけ離れた周波数における推定伝送路特性として出力する適応フィルタとを備え、前記適応フィルタは、前記推定伝送路特性と、前記推定伝送路特性を求める際に前記第2の伝送路特性として用いられた伝送路特性の一部とを、新たな前記第2の伝送路特性として用い、新たな推定伝送路特性を求めることを繰り返すものである。

【0009】

請求項1の発明によると、伝送路特性の推定を行うための演算における係数をシンボル毎に求めて、伝送路特性の推定を正しく行うことができる。特に、OFDM信号の帯域外における伝送路特性を推定することができるので、伝送路特性を周波数軸方向に補間することによって生じる誤差を抑えることができる。したがって、OFDM受信装置の受信性能を向上させることができる。求められた推定伝送路特性を用いて更に伝送路特性を推定することを順次繰り返すので、広範囲の伝送路特性を小規模の回路によって求めることができる。

【0010】

請求項2の発明では、請求項1に記載のOFDM受信装置において、前記適応フィルタは、隣接する2以上のパイロットキャリアを前記第2のパイロットキャリアとして用い、前記隣接する2以上のパイロットキャリアと同数の前記選択されたパイロットキャリア周波数に対する伝送路特性を用いて前記推定伝送路特性を求めるものである。

【0011】

請求項2の発明によると、2以上のパイロットキャリア周波数に対する伝送路特性に基づいて伝送路特性の推定を行うので、より正しい推定を行うことができる。

【0012】

請求項3の発明では、請求項2に記載のOFDM受信装置において、前記適応フィルタは、前記第1のパイロットキャリアに隣接するパイロットキャリアを前記第2のパイロットキャリアとして用い、前記選択されたパイロットキャリア周波数に隣接するパイロットキャリア周波数に対する伝送路特性を前記推定伝送路特性として求めるものである。

【0013】

請求項3の発明によると、選択されたパイロットキャリア周波数に隣接するパイロットキャリア周波数に対する伝送路特性を精度よく推定することができる。

【0016】

請求項4の発明では、請求項1に記載のOFDM受信装置において、前記選択されたパイロットキャリア周波数には、最も周波数が高いパイロットキャリアの周波数、又は最も周波数が低いパイロットキャリアの周波数が含まれており、前記推定伝送路特性は、前記OFDM信号の帯域外の周波数に対応することを特徴とする。

【0017】

10

20

30

40

50

請求項4の発明によると、OFDM信号の帯域外の周波数に対する伝送路特性を精度よく推定することができる。このため、OFDM信号の帯域の両端付近における補間処理による誤差を抑えることができる。

【0018】

請求項5の発明は、請求項1に記載のOFDM受信装置において、前記伝送路特性算出部で求められた伝送路特性、及び前記推定伝送路特性に基づいて、前記OFDM信号においてパイロットキャリア間の周波数に配置されたデータキャリアに対する伝送路特性を補間により求める周波数軸補間部と、前記周波数軸補間部で求められた伝送路特性を用いて、これに対応するデータキャリアの波形歪みを補償する歪み補償部とを更に備えるものである。

10

【0019】

請求項5の発明によると、データキャリアに対する復調を正しく行うことができるので、誤りの少ない復調出力を得ることができる。

【0020】

請求項6の発明では、請求項1に記載のOFDM受信装置において、前記適応フィルタは、前記所定の演算を前記第2の伝送路特性に対して行う複素フィルタと、前記第1の伝送路特性に対する前記所定の演算の結果の誤差を検出して出力する誤差検出器と、前記誤差を小さくするように前記係数を更新して、前記複素フィルタに出力する係数更新器と、前記係数の最終的な値が求められたと判断すると、求められた最新の前記係数を出力し続けるように、前記係数更新器を制御する制御部とを備えるものである。

20

【0021】

請求項6の発明によると、複素フィルタにおいて用いられる係数を求め、その後、求められた係数を用いて伝送路特性の推定を行うことができる。

【0022】

請求項7の発明では、請求項6に記載のOFDM受信装置において、前記係数更新器は、前記誤差の2乗に基づく評価関数の値が小さくなるように、前記係数を更新するものである。

【0023】

請求項8の発明では、請求項7に記載のOFDM受信装置において、前記係数更新器は、LMS (least mean-square) アルゴリズムによって前記係数を更新するものである。

30

【0024】

請求項9の発明では、請求項7に記載のOFDM受信装置において、前記係数更新器は、RLS (recursive least-square) アルゴリズムによって前記係数を更新するものである。

【発明の効果】

【0025】

このように、本発明によると、適応フィルタを用いることによって、周波数に応じて生じる振幅変動や位相変動を考慮した、周波数軸方向の外挿による伝送路特性の推定を行うので、マルチパス等が存在する伝送路環境においても、伝送路特性を正しく推定することができる。特に、OFDM信号の帯域外の伝送路特性を正しく推定することができ、周波数軸方向の補間処理が正確に行えるようになるので、OFDM受信装置の受信性能を大きく向上させることができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0027】

(第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係るOFDM受信装置の構成を示すブロック図である。図1のOFDM受信装置は、受信部2と、FFT部3と、伝送路特性算出部4と、時間軸補間部5と、適応フィルタ6と、周波数軸補間部7と、歪み補償部8と、復調部9と

50

を備えている。

【 0 0 2 8 】

図 2 は、OFDM 信号のフォーマットの例を示す説明図である。図 2 には、OFDM 信号が含む複数のキャリアのそれぞれについて、伝送される信号がシンボル毎に示されている。図 2 においては、3 本のキャリア毎に 1 本のキャリアが所定の分散パイロット信号 (SP 信号) を伝送している。この他に、所定の連続パイロット信号 (CP 信号) を伝送するキャリアが存在している。以下では、SP 信号を伝送するキャリアをパイロットキャリアと称する。更に、パイロットキャリア間の周波数には、データキャリアが配置されている。データキャリアは全てのシンボルにおいて、パイロットキャリアはパイロット信号を伝送しないシンボルにおいて、データ信号を伝送する。

10

【 0 0 2 9 】

図 1 において、受信部 2 には、アンテナ 1 によって受信された高周波信号が入力されている。受信部 2 は、受け取った信号に周波数変換、同期処理、A/D 変換、FFT ウィンドウ処理等を行い、ベースバンド OFDM 信号を求めて FFT 部 3 に出力する。FFT 部 3 は、入力された時間領域の OFDM 信号に対して高速フーリエ変換を行って周波数領域の OFDM 信号に変換し、伝送路特性算出部 4 及び歪み補償部 8 に出力する。

【 0 0 3 0 】

伝送路特性算出部 4 は、周波数領域の OFDM 信号から SP 信号を抽出し、予め保持している SP 信号の位相振幅情報を用いて、各 SP 信号を伝送するパイロットキャリアに対する伝送路特性を求め、時間軸補間部 5 に出力する。すなわち、伝送路特性算出部 4 は、受信された SP 信号を既知の SP 信号で除算して、その SP 信号を伝送するパイロットキャリアに対する伝送路特性を求める。時間軸補間部 5 は、求められた伝送路特性に時間軸方向の補間を行い、各パイロットキャリアについて、SP 信号が挿入されていないシンボルにおける伝送路特性を求め、伝送路特性算出部 4 の出力とともに適応フィルタ 6 に出力する。

20

【 0 0 3 1 】

適応フィルタ 6 は、伝送路特性算出部 4 及び時間軸補間部 5 で求められた伝送路特性から、後述するように各シンボルにおける外挿のためのフィルタ係数を適応的に算出する。更に、各シンボルについて、フィルタ係数と、パイロットキャリアのうちの少なくとも 1 つに対する伝送路特性とに基づいて、このパイロットキャリアよりも高い周波数に対する伝送路特性を外挿により推定し、時間軸補間部 5 の出力とともに周波数軸補間部 7 に出力する。

30

【 0 0 3 2 】

周波数軸補間部 7 は、伝送路特性算出部 4、時間軸補間部 5 及び適応フィルタ 6 で求められた伝送路特性を用いて周波数軸方向に補間を行って、データキャリアに対する伝送路特性を求め、得られた結果を入力された伝送路特性とともに歪み補償部 8 に出力する。歪み補償部 8 は、周波数軸補間部 7 が出力する伝送路特性を用いて、周波数領域の OFDM 信号に含まれるデータキャリアの波形歪みを補償 (等化) し、得られた信号を復調部 9 へ出力する。復調部 9 は、復調を行い、得られたデータ系列を復調出力として出力する。

40

【 0 0 3 3 】

図 3 は、図 1 の適応フィルタ 6 の構成の例を示すブロック図である。図 3 のように、適応フィルタ 6 は、伝送路特性推定フィルタ 6 1、6 2 と、信号付加部 6 3 とを備えている。図 4 は、図 3 の適応フィルタ 6 に入力される伝送路特性の値、及びこの適応フィルタ 6 で推定された伝送路特性の値を模式的に示す説明図である。伝送路特性の値は複素数 (ベクトル) であるが、ここでは簡単のため、実数部分のみを示している。図 4 において、斜線が付された丸はパイロットキャリアに対する伝送路特性の値を示し、白丸はデータキャリアの周波数を示している。

【 0 0 3 4 】

いま、OFDM 信号の総パイロットキャリア数を  $N$  本とし ( $N$  は整数)、これらのパイロットキャリアに周波数の低いものから順にインデックス ( $0, 1, \dots, N-1$ ) を与え

50

ることとする。また、パイロットキャリアの間隔は  $f_p$ 、周波数が最も高いパイロットキャリア（インデックス  $N - 1$ ）の周波数は  $f_{N-1}$  であるとし、実在するパイロットキャリアの周波数のみではなく、OFDM信号の帯域外の周波数  $f_{N-1} + n f_p$  をもパイロットキャリア周波数（インデックス  $N - 1 + n$ ）と称する（ $n$  は 1 以上の整数）。

【0035】

以下では、ある時点のOFDMシンボルにおいて、適応フィルタ6が、周波数  $f_{N-1} + f_p$  及び  $f_{N-1} + 2 f_p$  における伝送路特性を推定する場合について説明する。このOFDMシンボルにおけるインデックス  $L$  のパイロットキャリアに対する伝送路特性を  $H_L$  と表記する（本実施形態において、 $L$  は  $4 \leq L \leq N$  を満たす整数）。

【0036】

伝送路特性推定フィルタ61は、時間軸補間部5が出力する伝送路特性  $H$  を入力としている。伝送路特性推定フィルタ61は、そのうち、隣接する2つのパイロットキャリア（インデックス  $L - 3$  及び  $L - 2$  のパイロットキャリア）に対する伝送路特性  $H_{L-3}$  及び  $H_{L-2}$  から、高域側に隣接するインデックス  $L - 1$  のパイロットキャリアに対する推定伝送路特性  $P_{L-1}$  を、

$$P_{L-1} = H_{L-3} \times C_{10} + H_{L-2} \times C_{11} \quad \dots (1)$$

によって求める。

【0037】

ここで、伝送路特性推定フィルタ61は、推定伝送路特性  $P_{L-1}$  がインデックス  $L - 1$  のパイロットキャリアに対する伝送路特性  $H_{L-1}$  にできるだけ近い値となるように、フィルタ係数  $C_{10}$ 、 $C_{11}$  を求める。より具体的には、伝送路特性推定フィルタ61は、推定伝送路特性  $P_{L-1}$  が伝送路特性  $H_{L-1}$  に近づくように（例えば、伝送路特性  $H_{L-1}$  に対する推定伝送路特性  $P_{L-1}$  の誤差の2乗に基づいた評価関数を小さくするように）、式(1)におけるフィルタ係数  $C_{10}$ 、 $C_{11}$  を更新することを繰り返す。図4の場合は、 $L = N$  であって、インデックス  $N - 3$  及び  $N - 2$  のパイロットキャリアの伝送路特性に基づいて、フィルタ係数  $C_{10}$ 、 $C_{11}$  を算出する。

【0038】

次に、伝送路特性推定フィルタ61は、フィルタ係数  $C_{10}$ 、 $C_{11}$  の最終的な値が求められたと判断すると（例えば、フィルタ係数の更新が所定の回数行われると）、インデックス  $N - 2$  及び  $N - 1$  のパイロットキャリアの伝送路特性を選択し、これらに基づいて推定伝送路特性  $P_{N-1}$  を求める。すなわち、伝送路特性推定フィルタ61は、選択された2つのパイロットキャリアに対する伝送路特性  $H_{N-2}$  及び  $H_{N-1}$  から、これらのキャリアよりも高域側にあるインデックス  $N$  のパイロットキャリア周波数における推定伝送路特性  $P_N$  を、算出されたフィルタ係数を用いて、

$$P_N = H_{N-2} \times C_{10} + H_{N-1} \times C_{11} \quad \dots (2)$$

によって推定し、信号付加部63に出力する。

【0039】

このように、伝送路特性推定フィルタ61は、選択されたインデックス  $N - 1$  のパイロットキャリアからインデックス  $L - 1$  及び  $L - 2$  のパイロットキャリアの間の周波数の差  $f_p$  だけ離れた周波数  $f_{N-1} + f_p$  における推定伝送路特性  $P_N$  を、外挿により求めることができる。

【0040】

伝送路特性推定フィルタ62は、時間軸補間部5が出力する伝送路特性  $H$  を入力としている。伝送路特性推定フィルタ62は、そのうち、隣接する2つのパイロットキャリア（インデックス  $L - 4$  及び  $L - 3$  のパイロットキャリア）に対する伝送路特性  $H_{L-4}$  及び  $H_{L-3}$  から、高域側に隣接するインデックス  $L - 2$  のパイロットキャリアに更に隣接するインデックス  $L - 1$  のパイロットキャリアに対する推定伝送路特性  $P_{L-1}$  を、

$$P_{L-1} = H_{L-4} \times C_{20} + H_{L-3} \times C_{21} \quad \dots (3)$$

によって求める。

【0041】

10

20

30

40

50

ここで、伝送路特性推定フィルタ62は、推定伝送路特性 $P_{2L-1}$ が伝送路特性 $H_{L-1}$ にできるだけ近い値となるように、フィルタ係数 $C_{20}$ 、 $C_{21}$ を求める。より具体的には、伝送路特性推定フィルタ62は、推定伝送路特性 $P_{2L-1}$ が伝送路特性 $H_{L-1}$ に近づくように（例えば、伝送路特性 $H_{L-1}$ に対する推定伝送路特性 $P_{2L-1}$ の誤差の2乗に基づいた評価関数を小さくするように）、式(3)におけるフィルタ係数 $C_{20}$ 、 $C_{21}$ を更新することを繰り返す。図4の場合は、 $L=N$ であって、インデックス $N-4$ 及び $N-3$ のパイロットキャリアの伝送路特性に基づいて、フィルタ係数 $C_{20}$ 、 $C_{21}$ を算出する。

【0042】

次に、伝送路特性推定フィルタ62は、フィルタ係数 $C_{20}$ 、 $C_{21}$ の最終的な値が求められたと判断すると、インデックス $N-2$ 及び $N-1$ のパイロットキャリアの伝送路特性を選択し、これらに基づいて推定伝送路特性 $P_{2N+1}$ を求める。すなわち、伝送路特性推定フィルタ62は、選択された2つのパイロットキャリアに対する伝送路特性 $H_{N-2}$ 及び $H_{N-1}$ から、これらのキャリアよりも高域側にあるインデックス $N+1$ のパイロットキャリア周波数における推定伝送路特性 $P_{2N+1}$ を、算出されたフィルタ係数を用いて、

$$P_{2N+1} = H_{N-2} \times C_{20} + H_{N-1} \times C_{21} \dots (4)$$

によって推定し、信号付加部63に出力する。

【0043】

信号付加部63は、伝送路特性推定フィルタ61、62で求められた推定伝送路特性 $P_{1N}$ 、 $P_{2N+1}$ を伝送路特性 $H$ に付加して、周波数軸補間部7に出力する。

【0044】

式(1)、(3)においては、 $L=N$ ではなくてもよく、OFDM信号の帯域内の他のパイロットキャリアに対する伝送路特性に基づいて、フィルタ係数を求めるようにしてもよい。

【0045】

このように、適応フィルタにおいて外挿のためのフィルタ係数を算出し、これらの係数を用い、隣接する2つのパイロットキャリアに対する伝送路特性に基づいて、周波数が高い側に隣接するパイロットキャリア周波数、及びこのパイロットキャリアに更に隣接するパイロットキャリア周波数における伝送路特性を推定することができる。

【0046】

マルチパス等が存在する伝送路環境下においても、周波数に応じた振幅変動及び位相変動を考慮してOFDM信号の帯域外の伝送路特性を推定することができるので、特に、周波数軸方向にフィルタ処理を行うことによってOFDM信号の帯域端で生じる歪みを抑圧することができる。したがって、OFDM受信装置の受信性能を向上させることができる。

【0047】

なお、適応フィルタが、演算に用いられるパイロットキャリア群から周波数 $f_p$ 、 $2f_p$ 、 $\dots$ 、 $nf_p$ 離れたパイロットキャリアに対する伝送路特性をそれぞれ推定する $n$ 個の伝送路特性推定フィルタを備えるようにしてもよい。すると、パイロットキャリア群から周波数 $nf_p$ 離れた周波数までの伝送路特性を推定することができる。

【0048】

(第2の実施形態)

第2の実施形態では、第1の実施形態と同様にして求められたフィルタ係数を用いて、OFDM信号の帯域外の伝送路特性を広範囲にわたって推定するOFDM受信装置について説明する。

【0049】

図5は、本発明の第2の実施形態に係るOFDM受信装置における適応フィルタ16の構成の例を示すブロック図である。本実施形態では、図1のOFDM受信装置において、適応フィルタ6に代えて適応フィルタ16を用いた場合について説明する。適応フィルタ16は、セクタ161と、複素フィルタ162と、誤差検出器163と、係数更新器164と、制御部165とを備えている。セクタ161は、遅延器171、172、17

10

20

30

40

50

3と、複素乗算器176, 177と、複素加算器178とを備えている。適応フィルタ16以外の構成要素は、図1のOFDM受信装置と同様であるので、その説明を省略する。

【0050】

図6は、図5の誤差検出器163及び係数更新器164の構成の例を示すブロック図である。図7は、図5の適応フィルタ16に入力される伝送路特性の値、及びこの適応フィルタ16で推定された伝送路特性の値を模式的に示す説明図である。伝送路特性の値は複素数であるが、ここでは簡単のため、実数部分のみを示している。

【0051】

まず、フィルタ係数を求めるため、セレクタ161は、制御部165が出力する選択信号SELに従い、伝送路特性Hを選択して複素フィルタ162に出力する。遅延器171, 172, 173は、例えばレジスタであって、インデックスL-1, L-2, L-3のパイロットキャリアに対する伝送路特性 $H_{L-1}$ ,  $H_{L-2}$ ,  $H_{L-3}$ をそれぞれ記憶する(本実施形態において、Lは3 ≤ L ≤ Nを満たす整数)。

【0052】

複素フィルタ162は、係数更新器164から入力されたフィルタ係数 $C_0$ ,  $C_1$ を用いて伝送路特性 $H_{L-2}$ ,  $H_{L-3}$ に対するフィルタリング動作を行う。すなわち、複素フィルタ162は、複素乗算器176, 177及び複素加算器178によって、式(1)と同様に、

$$P_{L-1} = H_{L-3} \times C_0 + H_{L-2} \times C_1 \quad \dots (5)$$

の演算を行い、得られた推定伝送路特性 $P_{L-1}$ を伝送路特性 $H_{L-1}$ とともに誤差検出器163に出力する。

【0053】

図6において、誤差検出器163は、誤差 $E(M)$ 、すなわち、

$$E(M) = P_{L-1}(M) - H_{L-1} \quad \dots (6)$$

を求め、係数更新器164に出力する。ここでMは係数更新回数を表す。P(M)はM回係数更新時のフィルタ出力である。

【0054】

係数更新器164は、誤差Eと、遅延器172, 173にそれぞれ記憶された伝送路特性 $H_{L-2}$ ,  $H_{L-3}$ とに基づいて、LMS(least mean-square)アルゴリズムを用いてフィルタ係数を求める。LMSアルゴリズムは、式(6)の2乗平均値を評価関数として用い、その値ができるだけ小さくなるように動作するアルゴリズムである。ここで評価関数 $J_L(M)$ は、

$$J_L(M) = A [ |E(M)|^2 ] \quad \dots (L1)$$

である。A[ ]は平均を求める演算を示す。

【0055】

また、 $H_{L-1}$ を推定するフィルタ係数更新式は、

$$C(M+1) = C(M) - \mu E(M) H^* \quad \dots (L2)$$

である。ここで、C, Hは行列を、\*は複素共役を表す。例えば、2タップの複素フィルタ162の場合、 $C^T = [C_0, C_1]$ 、 $H^{*T} = [H_{L-2}^*, H_{L-3}^*]$ となる(Tは転置を表す)。また、 $\mu$ は、係数更新量を司るステップパラメータである。

【0056】

係数更新器164は式(L2)の演算を行い、新たなフィルタ係数 $C(M+1)$ を複素フィルタ162に出力する。複素フィルタ162は、このフィルタ係数を用いて新たな推定伝送路特性 $P_{L-1}$ を求める。誤差検出器163は、新たな推定伝送路特性 $P_{L-1}$ を用いて式(6)の演算を行う。

【0057】

このようにフィルタ係数を更新する演算を、例えば所定の回数繰り返すと、フィルタ係数の算出が終了する。その結果、評価関数 $J_L(M)$ を最小値に近づけることができる。制御部165は、フィルタ係数を更新する演算の回数を数え、フィルタ係数の算出が終了したと判断すると、フィルタ係数の出力をホールドさせるホールド信号HD2を係数更新

10

20

30

40

50

器 164 に出力する。係数更新器 164 は、ホールド信号 HD 2 に従って、求められた最新のフィルタ係数をホールドして出力する。

【0058】

以上のようにして、2つのパイロットキャリアに対する伝送路特性を用いて他の周波数における伝送路特性を求めるためのフィルタ係数が求められると、制御部 165 は、ホールド信号 HD 1 によって遅延器 171 ~ 173 をイネーブル動作させる。遅延器 172 , 173 にそれぞれ伝送路特性  $H_{N-1}$  ,  $H_{N-2}$  が入力され、記憶されると、制御部 165 は、その後はセレクタ 161 が複素フィルタ 162 の出力を選択するように、選択信号 SEL を出力する。このとき、複素フィルタ 162 は、推定伝送路特性  $P_N$  を、

$$P_N = H_{N-2} \times C_0 + H_{N-1} \times C_1$$

によって求めてセレクタ 161 に出力する。セレクタ 161 は、推定伝送路特性  $P_N$  を周波数軸補間部 7 及び遅延器 171 に出力し、遅延器 171 は、得られた推定伝送路特性  $P_N$  を記憶する。

【0059】

次に、遅延器 172 , 173 にそれぞれ推定伝送路特性  $P_N$  及び伝送路特性  $H_{N-1}$  が入力され、記憶される。複素フィルタ 162 は、推定伝送路特性  $P_{N+1}$  を、

$$P_{N+1} = H_{N-1} \times C_0 + P_N \times C_1$$

によって求め、セレクタ 161 を介して周波数軸補間部 7 及び遅延器 171 に出力する。遅延器 171 は、得られた推定伝送路特性  $P_{N+1}$  を記憶する。

【0060】

次に、遅延器 172 , 173 にそれぞれ推定伝送路特性  $P_{N+1}$  ,  $P_N$  が入力され、記憶される。複素フィルタ 162 は、推定伝送路特性  $P_{N+2}$  を、

$$P_{N+2} = P_N \times C_0 + P_{N+1} \times C_1$$

によって求め、セレクタ 161 を介して周波数軸補間部 7 及び遅延器 171 に出力する。以後、同様の動作を繰り返すと、OFDM 信号の帯域からより離れた周波数における伝送路特性が順次求められる。

【0061】

このように、本実施形態に係る OFDM 受信装置は、推定された伝送路特性を用いて他の周波数における伝送路特性を順次求めることを繰り返す。推定された伝送路特性を再帰的に用いるので、小規模の回路によって OFDM 信号の帯域外において広範囲に伝送路特性を推定することができる。

【0062】

(第2の実施形態の変形例)

本変形例では、RLS (recursive least-square) アルゴリズムを用いてフィルタ係数を求める OFDM 受信装置について説明する。

【0063】

図 8 は、第 2 の実施形態の変形例に係る係数更新器 264 の構成の例を示すブロック図である。本変形例では、図 5 の適応フィルタにおいて、図 6 の係数更新器 164 に代えて、係数更新器 264 を用いる。係数更新器 264 は、2タップの複素フィルタ 162 のために 2つのフィルタ係数を求める場合の一例である。太い線はベクトル信号を、細かい線はスカラー信号を表す。係数更新器 264 は、自己相関逆行列発生部 267 と、ゲインベクトル発生部 268 と、RLS 係数更新部 269 とを備えている。

【0064】

係数更新器 264 は、誤差  $E$  と、遅延器 172 , 173 にそれぞれ記憶された伝送路特性  $H_{L-2}$  ,  $H_{L-3}$  とに基づいて、RLS アルゴリズムを用いてフィルタ係数を求める。RLS アルゴリズムは、指数重み付き誤差の 2乗和を評価関数として用い、その値ができるだけ小さくなるようにするように動作するアルゴリズムである。ここで評価関数  $J_R(M)$  は、

$$J_R(M) = \sum_{i=1}^M \lambda^{M-i} |E(i)|^2 \dots (R1)$$

である。ここで、 $\lambda$  ( $0 < \lambda < 1$ ) は忘却係数である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 5 】

また、 $H_{L-1}$ を推定するフィルタ係数更新式は、

$$C(M+1) = C(M) + k(M+1)E^*(M+1) \quad \dots (R2)$$

である。ここで、 $k(M)$ はカルマンゲインベクトルであり、

$$k(M+1) = (R^{-1}(M)H) / (I + H^*TR^{-1}(M)H) \quad \dots (R3)$$

で表される。 $R^{-1}$ は、 $H$ の自己相関行列 $R$ の逆行列であり、

$$R^{-1}(M+1) = (R^{-1}(M) - k(M+1)H^*TR^{-1}(M)) / \dots (R4)$$

で表される。

## 【 0 0 6 6 】

自己相関逆行列発生部267は、式(R4)の演算を行い、行列 $R^{-1}$ を求めてゲインベクトル発生部268に出力する。ゲインベクトル発生部268は、式(R3)の演算を行い、カルマンゲインベクトル $k$ を求めて自己相関逆行列発生部267及びRLS係数更新部269に出力する。RLS係数更新部269は、式(R2)の演算を行い、新たなフィルタ係数 $C(M+1)$ を求めて複素フィルタ162に出力する。複素フィルタ162は、このフィルタ係数を用いて新たな推定伝送路特性 $P_{L-1}$ を求める。誤差検出器163は、新たな推定伝送路特性 $P_{L-1}$ を用いて式(6)の演算を行う。

10

## 【 0 0 6 7 】

このようにフィルタ係数を更新する演算を、例えば所定の回数繰り返すと、フィルタ係数の算出が終了する。その結果、評価関数 $J_R(M)$ を最小値に近づけることができる。一般に、RLSアルゴリズムはLMSアルゴリズムに比べて係数の収束速度が速いので、

20

図8の係数更新器264によると、フィルタ係数を高速に算出することができる。

## 【 0 0 6 8 】

(第3の実施形態)

図9は、本発明の第3の実施形態に係るOFDM受信装置の構成を示すブロック図である。図9のOFDM受信装置は、図1のOFDM受信装置において適応フィルタ6に代えて適応フィルタ36を備え、伝送路状態検出部11を更に備えたものである。その他の構成要素は、図1のOFDM受信装置と同様であるので、その説明を省略する。

## 【 0 0 6 9 】

伝送路状態検出部11は、伝送路特性算出部4が出力する伝送路特性から、各パイロットキャリアについて、キャリア妨害の状態や $C/N$ (搬送波電力対雑音電力比)を検出し、適応フィルタ36に通知する。

30

## 【 0 0 7 0 】

いずれのパイロットキャリアに対する伝送路特性に基づいても、求められるフィルタ係数はあまり変わらない。そこで、適応フィルタ36は、周波数が最も高いパイロットキャリアやその近辺のパイロットキャリアに限らず、妨害を受けておらず、かつ、 $C/N$ が良好なパイロットキャリアの伝送路特性から、フィルタ係数を算出する。また、適応フィルタ36は、妨害を受けたり、 $C/N$ が悪いパイロットキャリアに対しては、求められたフィルタ係数を用いてそのキャリアに対する伝送路特性を推定し、そのキャリアから求められた伝送路特性に代えて、推定された伝送路特性を出力する。

## 【 0 0 7 1 】

図9のOFDM受信装置によると、状態のよいパイロットキャリアに対する伝送路特性に基づいてフィルタ係数を求め、かつ、OFDM信号の帯域外の伝送路特性だけでなく、帯域内の伝送路特性をも推定するようにするので、求められる伝送路特性に対する妨害や雑音の影響を抑えることができ、OFDM受信装置の受信性能を向上させることができる。

40

## 【 0 0 7 2 】

第1及び第2の実施形態においては、フィルタ係数を求める際には、隣接する2つのパイロットキャリアに対する伝送路特性を変更することなく用い続けていたが、これらの伝送路特性を順次変更するようにしてもよい。適応フィルタ36がこのような動作をする場合について説明する。

50

## 【 0 0 7 3 】

図 10 は、フィルタ係数を求める際に用いる伝送路特性を順次変更する場合において、用いられる伝送路特性を周波数の順に示す説明図である。例えば、図 6 の係数更新器 164 を用いる場合には、適応フィルタ 36 は次のように動作する。

## 【 0 0 7 4 】

遅延器 171 ~ 173 は、伝送路特性  $H_{N-6}$ 、 $H_{N-7}$ 、 $H_{N-8}$  をそれぞれ記憶する。複素フィルタ 162 は、複素乗算器 176、177 及び複素加算器 178 によって、式 (5) と同様に、

$$P_{N-6} = H_{N-8} \times C_0 + H_{N-7} \times C_1$$

の演算を行い、得られた推定伝送路特性  $P_{N-6}$  を伝送路特性  $H_{N-6}$  とともに誤差検出器 163 10

3 に出力する。誤差検出器 163 は、誤差  $E(M)$ 、すなわち、

$$E(M) = P_{N-6}(M) - H_{N-6}$$

を求め、係数更新器 164 に出力する。

## 【 0 0 7 5 】

係数更新器 164 は、式 (L2) の演算を行い、新たなフィルタ係数  $C(M+1)$  を複素フィルタ 162 に出力する。

## 【 0 0 7 6 】

ここで、制御部の制御によって、遅延器 171 ~ 173 は、伝送路特性  $H_{N-5}$ 、 $H_{N-6}$ 、 $H_{N-7}$  をそれぞれ記憶する。

複素フィルタ 162 は、新たなフィルタ係数を用いて、式 (1) と同様の演算を行い、得られた推定伝送路特性  $P_{N-5}$  を伝送路特性  $H_{N-5}$  とともに誤差検出器 163 20

3 に出力する。以下、同様の動作を繰り返す。

## 【 0 0 7 7 】

伝送路状態検出部 11 は、インデックス  $N-4$  のパイロットキャリアの  $C/N$  が低すぎることを検出したとすると、そのことを適応フィルタ 36 に通知する。適応フィルタ 36 は、このキャリアの伝送路特性  $H_{N-4}$  をフィルタ係数を求めるためには用いないようにし、伝送路特性  $H_{N-4}$  の代わりに推定伝送路特性  $P_{N-4}$  を周波数軸補間部 7 に出力する。すなわち、適応フィルタ 36 は、推定伝送路特性  $P_{N-4}$  が求められると、これを出力し、次に伝送路特性  $H_{N-3}$ 、 $H_{N-2}$  を用いて、その次には伝送路特性  $H_{N-2}$ 、 $H_{N-1}$  を用いて、フィルタ係数の更新を行う。周波数が最も高いパイロットキャリアの伝送路特性  $H_{N-1}$  に対する 30

誤差を用いてフィルタ係数の更新を行うと、適応フィルタ 36 は、フィルタ係数の更新を終了する。

## 【 0 0 7 8 】

このような適応フィルタ 36 によると、フィルタ係数の更新回数の計数等を行うことなく、自動的にフィルタ係数の更新を終了することができる。

## 【 0 0 7 9 】

なお、以上の実施形態においては、パイロットキャリアに対する伝送路特性に基づいて、これよりも周波数が高い側の周波数における伝送路特性を推定する場合について説明したが、周波数が低い側の周波数における伝送路特性を推定することも同様に可能である。

## 【 0 0 8 0 】

また、適応フィルタが、隣接する 2 つのパイロットキャリアに対する伝送路特性に基づいて推定伝送路特性を求める場合について説明したが、1 つ又は隣接する 3 以上のパイロットキャリアに対する伝送路特性に基づいて伝送路特性を推定するようにしてもよい。この場合、式 (1) ~ (5) 等において、項の数を、推定に用いられるパイロットキャリアの数と等しくすればよい。 40

## 【 0 0 8 1 】

また、時間軸方向の補間を行わなくてもよい。この場合、現在のシンボルにおいてパイロット信号が挿入されているパイロットキャリアに対する伝送路特性に基づいて、すなわち、図 2 の場合は、4 パイロットキャリア毎に求められた伝送路特性に基づいて、適応フィルタにおける処理を行うようにすればよい。 50

## 【産業上の利用可能性】

## 【0082】

以上説明したように、本発明に係るOFDM受信装置は、伝送路特性を正しく推定することができ、周波数軸方向の補間処理が正確に行えるようになるので、伝送路特性を推定して受信性能を向上させるOFDM受信装置等として有用である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0083】

【図1】本発明の第1の実施形態に係るOFDM受信装置の構成を示すブロック図である。

【図2】OFDM信号のフォーマットの例を示す説明図である。

10

【図3】図1の適応フィルタの構成の例を示すブロック図である。

【図4】図3の適応フィルタに入力される伝送路特性の値、及びこの適応フィルタで推定された伝送路特性の値を模式的に示す説明図である。

【図5】本発明の第2の実施形態に係るOFDM受信装置における適応フィルタの構成の例を示すブロック図である。

【図6】図5の誤差検出器及び係数更新器の構成の例を示すブロック図である。

【図7】図5の適応フィルタに入力される伝送路特性の値、及びこの適応フィルタで推定された伝送路特性の値を模式的に示す説明図である。

【図8】第2の実施形態の変形例に係る係数更新器の構成の例を示すブロック図である。

【図9】本発明の第3の実施形態に係るOFDM受信装置の構成を示すブロック図である

20

【図10】フィルタ係数を求める際に用いる伝送路特性を順次変更する場合において、用いられる伝送路特性を周波数の順に示す説明図である。

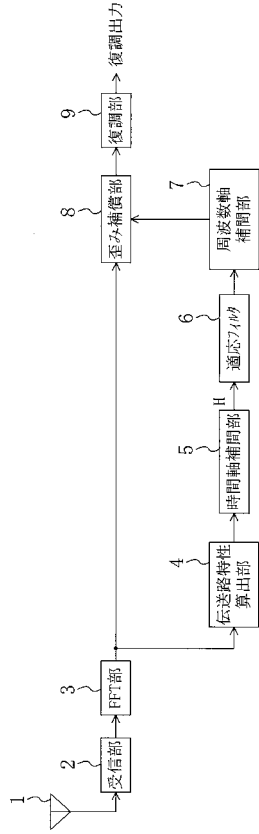
## 【符号の説明】

## 【0084】

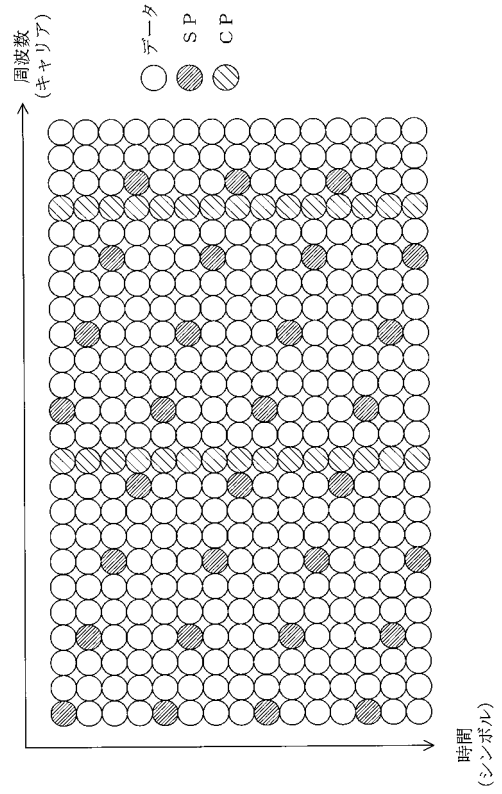
- 2 受信部
- 3 FFT部
- 4 伝送路特性算出部
- 5 時間軸補間部
- 6, 16, 36 適応フィルタ
- 7 周波数軸補間部
- 8 歪み補償部
- 9 復調部
- 11 伝送路状態検出部
- 162 複素フィルタ
- 163 誤差検出器
- 164, 264 係数更新器
- 165 制御部

30

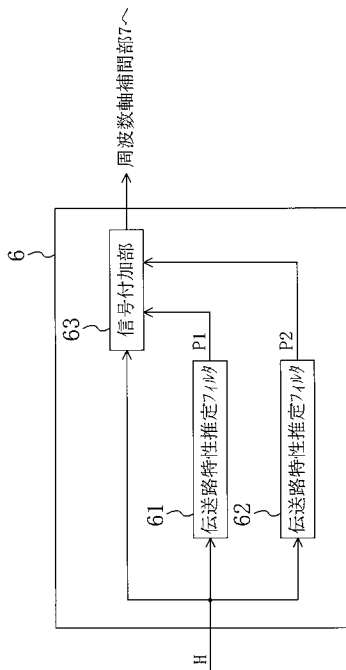
【 図 1 】



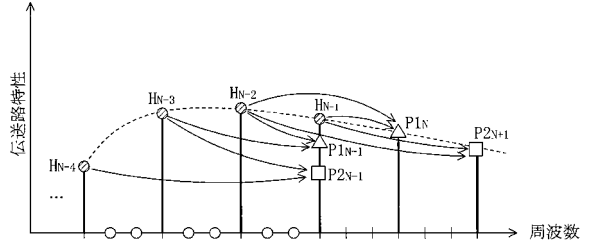
【 図 2 】



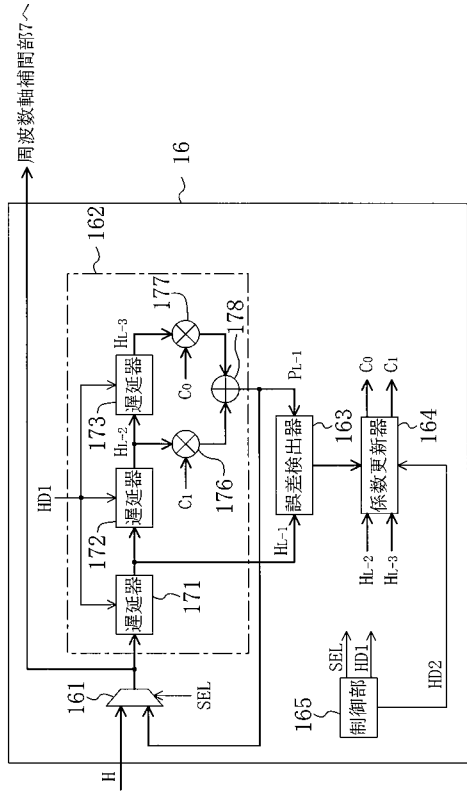
【 図 3 】



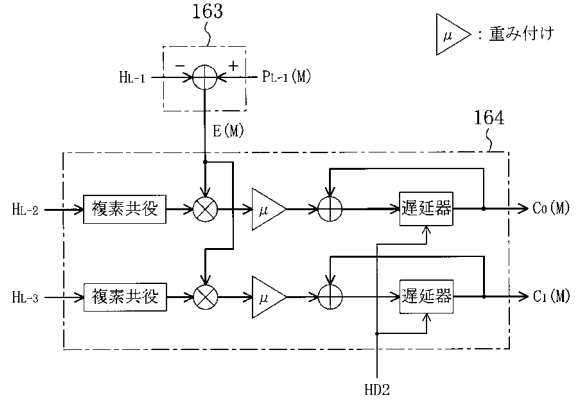
【 図 4 】



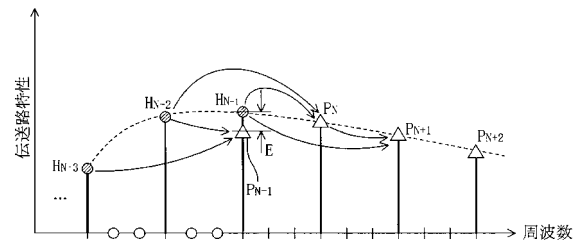
【図5】



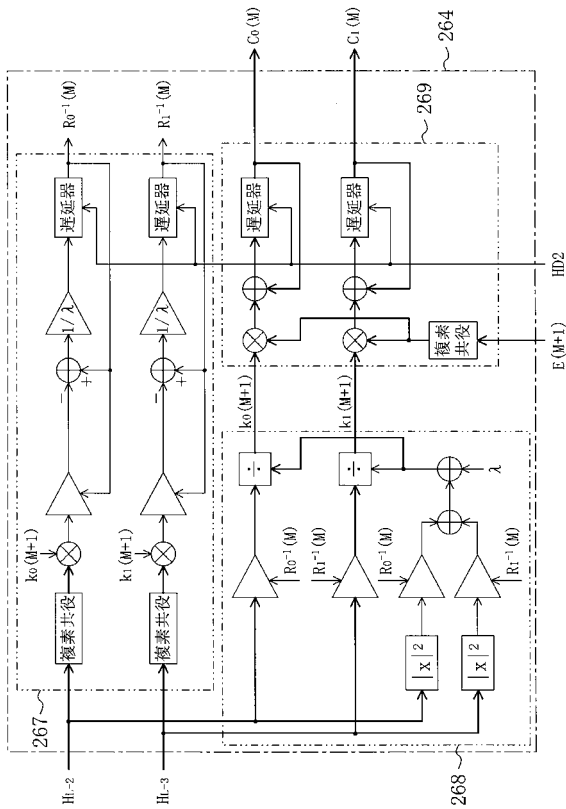
【図6】



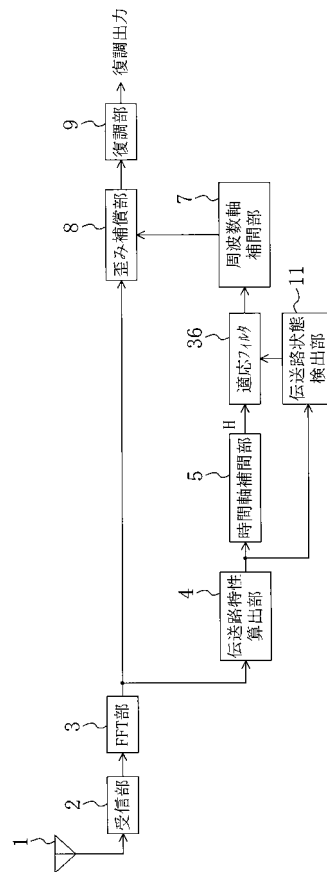
【図7】



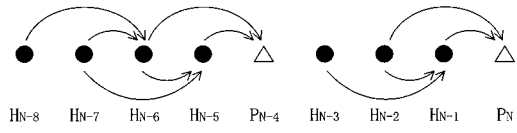
【図8】



【図9】



【 1 0】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 曾我 茂  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
- (72)発明者 林 貴也  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

審査官 富澤 哲生

- (56)参考文献 特開2002-009726(JP,A)  
特開平09-321699(JP,A)  
特開平10-322409(JP,A)  
特開2001-197032(JP,A)  
国際公開第00/079702(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H04J 11/00