

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5349206号
(P5349206)

(45) 発行日 平成25年11月20日 (2013.11.20)

(24) 登録日 平成25年8月30日 (2013.8.30)

(51) Int.Cl.	F I
H04J 11/00 (2006.01)	H04J 11/00 Z
H04B 1/10 (2006.01)	H04B 1/10 M
H04B 7/01 (2006.01)	H04B 1/10 L
	H04B 7/01

請求項の数 10 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2009-197865 (P2009-197865)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成21年8月28日 (2009.8.28)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2011-49937 (P2011-49937A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成23年3月10日 (2011.3.10)	(74) 代理人	100088672
審査請求日	平成24年7月23日 (2012.7.23)		弁理士 吉竹 英俊
		(74) 代理人	100088845
			弁理士 有田 貴弘
		(72) 発明者	新保 大介
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
			菱電機株式会社内
		(72) 発明者	前田 尚利
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
			菱電機株式会社内
		審査官	岡 裕之
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 キャリア間干渉除去装置及びキャリア間干渉除去方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

有効データ及び既知データからなる受信信号を受け、該受信信号に含まれるキャリア間干渉成分を抑圧するキャリア間干渉除去装置であって、

前記受信信号に基づき、少なくとも一つの到来波よりなる遅延プロファイルを推定する遅延プロファイル推定部を備え、前記少なくとも一つの到来波は主波と、主波より遅れて到来する少なくとも一つの遅延波が存在する場合は当該少なくとも一つの遅延波とを含み、

前記遅延プロファイルに基づき、前記少なくとも一つの到来波のうち計算対象となる到来波についての振幅及び位相の時間変動量を得る振幅・位相変動量取得部と、

前記計算対象となる到来波についての振幅及び位相の時間変動量に基づき窓関数を算出する窓関数算出部と、

前記受信信号における前記有効データに対し前記窓関数を乗算して乗算済み受信信号を得る窓関数乗算部とをさらに備える、
キャリア間干渉除去装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載のキャリア間干渉除去装置であって、

前記窓関数算出部は、さらに前記計算対象となる到来波それぞれの受信レベルを加味して、前記窓関数を算出する窓関数算出部を含む、
キャリア間干渉除去装置。

10

20

【請求項 3】

請求項 1 あるいは請求項 2 記載のキャリア間干渉除去装置であって、
前記計算対象となる到来波は前記少なくとも一つの到来波を含み、
前記振幅・位相変動量取得部は、
前記遅延プロファイルを所定時間遅延させて遅延信号を得る遅延部と、
前記遅延プロファイル及び前記遅延信号に基づき、前記少なくとも一つの到来波についての振幅及び位相の時間変動量を計算する振幅・位相変動量計算部とを含む、
キャリア間干渉除去装置。

【請求項 4】

請求項 1 あるいは請求項 2 記載のキャリア間干渉除去装置であって、
前記振幅・位相変動量取得部は、
前記遅延プロファイルにおける前記少なくとも一つの到来波のうち、受信レベルが所定の条件を満足する到来波を、前記計算対象となる到来波として有する選択遅延プロファイルを選択する到来波選択部と、
前記選択遅延プロファイルを所定時間遅延させて選択遅延信号を得る遅延部と、
前記選択遅延プロファイル及び前記選択遅延信号に基づき、前記計算対象となる到来波についての振幅及び位相の時間変動量を計算する振幅・位相変動量計算部とを含む、
キャリア間干渉除去装置。

【請求項 5】

請求項 1 ないし請求項 4 のうち、いずれか 1 項に記載のキャリア間干渉除去装置であって、
前記乗算済み受信信号を周波数領域に変換して周波数領域信号を得る第 1 の周波数領域変換部と、
前記遅延プロファイルを周波数領域に変換して周波数領域遅延プロファイルを得る第 2 の周波数領域変換部と、
前記周波数領域遅延プロファイルに基づき、前記周波数領域信号の歪みを補正する等化部とをさらに備える、
キャリア間干渉除去装置。

【請求項 6】

有効データ及び既知データからなる受信信号を受け、該受信信号に含まれるキャリア間干渉成分を抑圧するキャリア間干渉除去方法であって、
(a) 前記受信信号に基づき、少なくとも一つの到来波よりなる遅延プロファイルを推定するステップを備え、前記少なくとも一つの到来波は主波と、主波より遅れて到来する少なくとも一つの遅延波が存在する場合は当該少なくとも一つの遅延波とを含み、
(b) 前記遅延プロファイルに基づき、前記少なくとも一つの到来波のうち計算対象となる到来波についての振幅及び位相の時間変動量を計算するステップと、
(c) 前記振幅及び位相の時間変動量に基づき窓関数を算出するステップと、
(d) 前記受信信号における前記有効データに対し前記窓関数を乗算して乗算済み受信信号を得るステップとをさらに備える、
キャリア間干渉除去方法。

【請求項 7】

請求項 6 記載のキャリア間干渉除去方法であって、
前記ステップ(c) は、さらに前記計算対象となる到来波それぞれの受信レベルを加味して、前記窓関数を算出するステップを含む、
キャリア間干渉除去方法。

【請求項 8】

請求項 6 あるいは請求項 7 記載のキャリア間干渉除去方法であって、
前記計算対象となる到来波は前記少なくとも一つの到来波を含み、
前記ステップ(b) は、
(b-1) 前記遅延プロファイルを所定時間遅延させて遅延信号を得るステップと、

(b-2) 前記遅延プロファイル及び前記遅延信号に基づき、前記少なくとも一つの到来波についての振幅及び位相の時間変動量を計算するステップとを含む、
キャリア間干渉除去方法。

【請求項 9】

請求項 6 あるいは請求項 7 記載のキャリア間干渉除去方法であって、
前記ステップ (b) は、

(b-1) 前記遅延プロファイルにおける前記少なくとも一つの到来波のうち、受信レベルが所定の条件を満足する到来波を前記計算対象となる到来波として有する選択遅延プロファイルを選択するステップと、

(b-2) 前記選択遅延プロファイルを所定時間遅延させて選択遅延信号を得るステップと 10

、
(b-3) 前記選択遅延プロファイル及び前記選択遅延信号に基づき、前記計算対象となる到来波についての振幅及び位相の時間変動量を計算するステップとを含む、
キャリア間干渉除去方法。

【請求項 10】

請求項 6 ないし請求項 9 のうち、いずれか 1 項に記載のキャリア間干渉除去方法であって、

(e) 前記乗算済み受信信号を周波数領域に変換して周波数領域信号を得るステップと、

(f) 前記遅延プロファイルを周波数領域に変換して周波数領域遅延プロファイルを得る 20

ステップと、
(g) 前記周波数領域遅延プロファイルに基づき、前記周波数領域信号の歪みを補正するステップとをさらに備える、
キャリア間干渉除去方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)信号等の受信信号に含まれるキャリア間干渉を除去するキャリア間干渉除去装置及びキャリア間干渉除去方法に関する。

【背景技術】

30

【0002】

OFDMは、直交する複数の狭帯域サブキャリアに信号を乗せて情報を伝送するマルチキャリア伝送方式であり、周波数利用効率が高く、複数の反射波を受信するマルチパス環境下で良好な受信性能を示すことから、デジタル無線通信や地上デジタル放送等、多くの通信システムで採用されている。

【0003】

一方、OFDM信号を移動体で受信する場合、伝送路特性が時間とともに変化するためキャリア間干渉が発生するという問題がある。

【0004】

OFDM信号に含まれるキャリア間干渉を窓関数を用いて抑圧する手法が、例えば、非特許文献 1 に開示されている。一般に、OFDM信号である受信信号を復調する際、受信信号に含まれる有効シンボル部に矩形波の窓関数をかけて、その後、周波数領域に変換することで、各サブキャリアで伝送された送信信号を復元する。しかし、伝送路特性が時間とともに変化している場合、サブキャリア間で干渉を起こすため、元の信号を正しく復元できない。そこで、非特許文献 1 に開示の手法は、受信信号に含まれる時間変動成分を小さくする窓関数を計算し、この窓関数を受信信号に含まれる有効シンボル部に乗算して、その後、周波数領域に変換する。その結果、伝送路の時間変動成分によるキャリア間干渉成分が抑圧され、送信信号を正しく復元することを可能にしている。 40

【先行技術文献】

【非特許文献】

50

【 0 0 0 5 】

【非特許文献 1】Philip Schniter, Siddharth D' Silva, " Low-Complexity Detection of O F D M in Doubly-Dispersive Channels ", Conference Record of the Thirty-Sixth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2002, Vol.2, pp.1799 - 1803

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

しかし、日本や欧州、中国等の地上デジタル放送に対して非特許文献 1 に開示のキャリア間干渉除去手法を適用する場合、窓関数を算出する際に1,000,000個以上の要素を持つ行列の乗算や、固有ベクトルの導出を行う必要があるため、計算量が多くなってしまうという問題点があった。

10

【 0 0 0 7 】

この発明は上記問題点を解決するためになされたもので、少ない計算量で伝送路特性の時間変動によるキャリア間干渉を抑圧することができる、キャリア間干渉除去装置及びキャリア間干渉除去方法を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

この発明に係る請求項 1 記載のキャリア間干渉除去装置は、有効データ及び既知データからなる受信信号を受け、該受信信号に含まれるキャリア間干渉成分を抑圧するキャリア間干渉除去装置であって、前記受信信号に基づき、少なくとも一つの到来波よりなる遅延プロファイルを推定する遅延プロファイル推定部を備え、前記少なくとも一つの到来波は主波と、主波より遅れて到来する少なくとも一つの遅延波が存在する場合は当該少なくとも一つの遅延波とを含み前記遅延プロファイルに基づき、前記少なくとも一つの到来波のうち計算対象となる到来波についての振幅及び位相の時間変動量を得る振幅・位相変動量取得部と、前記計算対象となる到来波についての振幅及び位相の時間変動量に基づき窓関数を算出する窓関数算出部と、前記受信信号における前記有効データに対し前記窓関数を乗算して乗算済み受信信号を得る窓関数乗算部とを備える。

20

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

30

この発明におけるキャリア間干渉除去装置は、窓関数算出部によって振幅及び位相の時間変動量に基づき窓関数を求めることにより、従来手法に比べて少ない計算量で受信信号に含まれるキャリア間干渉を除去することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】この発明の実施の形態 1 であるキャリア間干渉除去装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】受信信号の構成例（その 1）を模式的に示す説明図である。

【図 3】受信信号の構成例（その 2）を模式的に示す説明図である。

【図 4】図 1 で示した遅延プロファイル推定部による推定内容（PN 系列に基づき遅延プロファイルを得る）を模式的に示す説明図である。

40

【図 5】図 1 で示した遅延プロファイル推定部による推定内容（パイロットキャリアに基づき遅延プロファイルを得る）を模式的に示す説明図である。

【図 6】2 波モデル伝送路の場合における、図 1 で示した振幅・位相変動量計算部の処理例を示す説明図である。

【図 7】この発明の実施の形態 2 であるキャリア間干渉除去装置の構成を示すブロック図である。

【図 8】この発明の実施の形態 3 であるキャリア間干渉除去装置の構成を示すブロック図である。

【図 9】図 8 で示した遅延波選択部による遅延波選択処理内容を示す説明図である。

50

【図 10】この発明の実施の形態 4 であるキャリア間干渉除去装置の構成を示すブロック図である。

【図 11】この発明の解決課題となるキャリア間干渉について説明する波形図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

<前提技術>

図 11 はこの発明の解決課題となるキャリア間干渉について説明する波形図である。同図(a) に示すように、伝送路特性が時間変動しない場合、各サブキャリア SC1, SC2 は、サブキャリア間隔 f_c 毎に振幅が“0”で交差するため、隣接キャリア SC1, SC2 間において互いに影響を及ぼさない。

10

【0012】

一方、伝送路特性が時間とともに変化する場合、すなわち、同図(b) に示すように、ドップラー周波数 DF1 及び DF2 により、理想的なサブキャリア SC10 及びサブキャリア SC20 がそれぞれ実際にはサブキャリア SC11 及びサブキャリア SC21 にシフトした場合、サブキャリア SC11, SC21 にキャリア干渉 CI1, CI2 が生じるため、隣接するサブキャリア SC11, SC21 間において干渉が生じてしまう。このキャリア間干渉の抑圧を少ない計算量で図るのが本発明である。

【0013】

<実施の形態 1>

(原理)

20

まず、数式を用いて本実施の形態の原理について説明する。

【0014】

N 個のサブキャリアにそれぞれ信号 $S(n)$ ($n = 0, 1, \dots, N-1$) をのせて伝送する場合、有効シンボルは $S(n)$ の逆離散フーリエ変換結果 $s(k)$ で表される。この有効シンボルを遅延プロファイルが $h(l; k)$ である伝送路を介して受信した場合、受信信号は次の式(1)で表すことができる。

【0015】

【数 1】

$$r(k) = \sum_{l=0}^{L-1} h(l; k) s(k-l) \quad \dots (1)$$

30

【0016】

ここで、 $h(l; k)$ は、時刻 k における伝送路の遅延プロファイルであり、 $(L-1)$ は最大遅延時間である。パスの数が P の場合、遅延プロファイルと受信信号は次の式(2)、式(3)で表すことができる。

【0017】

【数 2】

$$h(l; k) = \sum_{p=0}^{P-1} \alpha_p \beta_p(k) \exp[j(\theta_p + \phi_p(k))] \delta(l - \tau_p) \quad \dots (2)$$

40

【0018】

【数 3】

$$r(k) = \sum_{p=0}^{P-1} \beta_p(k) \exp(j\phi_p(k)) \cdot \alpha_p \exp(j\theta_p) s(k - \tau_p) \quad \dots (3)$$

【0019】

ここで、 α_p , β_p 及び τ_p はそれぞれ p 番目の遅延波の振幅、位相及び遅延時間を示しており、 $\beta_p(k)$ 及び $\phi_p(k)$ はそれぞれ p 番目の遅延波の振幅及び位相の時間変動成分を示している。時間変動のない伝送路の場合、式(3)の一部を構成する以下の数 4 で示す項(4)が定数であり、このとき、キャリア間干渉は発生しない。伝送路特性が時間変動する場合

50

、上記項(4)が時間とともに変化するため、キャリア間干渉が生じる。そこで、本発明では式(5)に示すように受信信号に窓関数 $w(k)$ を乗算することにより、受信信号に含まれる時間変動成分である上記項(4)を小さくする。以下、本明細書において、主波(0番目の遅延波)及び1～ p 番目の遅延波を総称して「到来波」と呼ぶ場合がある。

【0020】

【数4】

$$\beta_p(k) \exp(j\phi_p(k)) \quad \dots (4)$$

【0021】

【数5】

$$w(k) r(k) = \sum_{p=0}^{P-1} w(k) \beta_p(k) \exp(j\phi_p(k)) \cdot \alpha_p \exp(j\theta_p) s(k - \tau_p) \quad \dots (5)$$

10

【0022】

本発明では、式(5)の一部を構成する以下の数6で示す項(6)が定数に近づくように窓関数 $w(k)$ を設定する。そこで、窓関数 $w(k)$ を式(7)に示すように表し、窓関数 $w(k)$ の振幅 $\gamma(k)$ と位相 $\psi(k)$ を用いて以下の式(8)に示す評価関数 J_1 を定義する。

【0023】

【数6】

$$w(k) \beta_p(k) \exp(j\phi_p(k)) \quad (p=0, 1, \dots, P-1) \quad \dots (6)$$

【0024】

【数7】

$$w(k) = \gamma(k) \exp(j\psi(k)) \quad \dots (7)$$

【0025】

【数8】

$$J_1(\gamma(k), \psi(k)) = \sum_{p=0}^{P-1} |\gamma(k) \beta_p(k) \exp[j(\psi(k) + \phi_p(k))] - 1|^2 \quad \dots (8)$$

30

【0026】

上記式(8)で示す評価関数 J_1 は、窓関数 $w(k)$ を乗算した後に残る時間変動成分の大きさを示している。この評価関数 J_1 を最小にするような窓関数 $w(k)$ を受信信号に乗算することで、受信信号に含まれる伝送路の時間変動成分を小さくすることができる。評価関数 J_1 を最小にする窓関数の振幅 $\gamma(k)$ と位相 $\psi(k)$ は、以下の式(9)で示す連立方程式を解くことにより、以下の式(10)及び式(11)に示すように求められる。

【0027】

【数9】

$$\frac{\partial}{\partial \gamma} J(\gamma, \psi) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial \psi} J(\gamma, \psi) = 0 \quad \dots (9)$$

【0028】

40

【数 1 0】

$$\psi(k) = a \cdot \tan \left[- \frac{\sum_{p=0}^{P-1} \beta_p(k) \sin(\phi_p(k))}{\sum_{p=0}^{P-1} \beta_p(k) \cos(\phi_p(k))} \right] \quad \dots (10)$$

【 0 0 2 9】

10

【数 1 1】

$$\gamma(k) = \frac{\sum_{p=0}^{P-1} \beta_p(k) \cos(\phi_p(k) + \psi(k))}{\sum_{p=0}^{P-1} \beta_p^2(k)} \quad \dots (11)$$

【 0 0 3 0】

以降、式(10)及び式(11)で表される窓関数 $w(k)$ の算出、及びキャリア間干渉除去に関する実施の形態 1 の実際の構成について説明する。

20

【 0 0 3 1】

(構成)

図 1 はこの発明の実施の形態 1 であるキャリア間干渉除去装置の構成を示すブロック図である。

【 0 0 3 2】

同図に示すように、OFDM 信号である受信信号 RS が遅延プロファイル推定部 1 及び窓関数乗算部 5 に付与される。遅延プロファイル推定部 1 は受信信号 RS に含まれる既知信号から伝送路の遅延プロファイルを推定して、推定結果である遅延プロファイル $DP1$ を得る。

30

【 0 0 3 3】

遅延部 2 は遅延プロファイル $DP1$ を予め決められた時間だけ遅延させて遅延信号 $DP1$ を出力する。振幅・位相変動量計算部 3 は遅延プロファイル $DP1$ と遅延信号 $DP1$ とを比較して、到来波（主波及び遅延波）毎に振幅と位相の時間変動量を計算する。これら遅延部 2 及び振幅・位相変動量計算部 3 は、遅延プロファイル $DP1$ 及び遅延信号 $DP1$ に基づき、遅延プロファイル $DP1$ より得られる到来波全てについての振幅及び位相の時間変動量を得る振幅・位相変動量取得部として機能する。すなわち、振幅・位相変動量計算部 3 において計算対象となる到来波は遅延プロファイル $DP1$ より得られる少なくとも一つの到来波全てを含む。

【 0 0 3 4】

40

第 1 の窓関数算出部 4 は到来波毎に計算された振幅と位相の時間変動量をもとに窓関数 $w(k)$ を計算する。

【 0 0 3 5】

窓関数乗算部 5 は、受信信号 RS に含まれる有効シンボル部（有効データ）に、第 1 の窓関数算出部 4 から出力される窓関数 $w(k)$ を乗算して乗算済み受信信号 MRS を出力する。

【 0 0 3 6】

第 1 の FFT 演算部 6 は乗算済み受信信号 MRS を周波数領域に変換して（サブ）キャリア信号 $S6$ （周波数領域信号）を得る。第 2 の FFT 演算部 7 は遅延プロファイル $DP1$ を周波数領域に変換して周波数領域遅延プロファイルを得る。等化部 8 は第 2 の FFT 演算部

50

7 から出力される周波数領域遅延プロファイルに基づき、第 1 のFFT演算部 6 から出力されるキャリア信号 S 6 の歪を補正して補正済みキャリア信号 S 8 を得る。

【 0 0 3 7 】

図 2 は受信信号 R S の構成例 (その 1) を模式的に示す説明図である。同図に示すように、受信信号 R S は、複数の有効シンボル部 V S (有効データ) と、各有効シンボル部 V S の前に配置される P N 系列部 P N (既知データ) とから構成され、一単位の有効シンボル部 V S と前段の P N 系列部 P N とにより一単位の伝送シンボル D S が構成される。この伝送シンボル D S が伝送単位とする信号となる。

【 0 0 3 8 】

図 3 は受信信号 R S の構成例 (その 2) を模式的に示す説明図である。同図に示すように、受信信号 R S は、丸印で示す送信データの伝送に使用されるキャリアのうち、複数の所定キャリアに既知のパイロットキャリア (S P (Scattered Pilot)、C P (Continual Pilot)) を割り当てて周波数多重した信号となる。すなわち、図 3 において、ハッチング入り丸印及び黒丸印がパイロットキャリア C P 及び S P (既知データ) となり、白丸印が送信データを伝送するキャリア (有効データ) となる。

【 0 0 3 9 】

実施の形態 1 のキャリア間干渉除去装置では、受信信号 R S として、図 2 あるいは図 3 で示した受信信号 R S を受信している。すなわち、有効データ (有効シンボル部 V S 、送信データを伝送するキャリア) と、既知データ (P N 系列部 P N 、パイロットキャリア S P , C P) とからなる受信信号 R S を受信している。

【 0 0 4 0 】

図 1 の遅延プロファイル推定部 1 は既知信号 (既知データ) をもとに遅延プロファイルを推定する。この既知信号が P N 系列 (図 2 参照) かパイロットキャリア (図 3 参照) かによって、遅延プロファイルの推定方法が異なる。以降、それぞれの場合の推定方法を説明する。

【 0 0 4 1 】

まず、P N 系列 (P N 系列部 P N) に基づき遅延プロファイル D P 1 を推定する方法を説明する。一般に、P N 系列は鋭い相関特性を持つことが知られている。遅延プロファイル推定部 1 は、この相関特性を利用して伝送路の遅延プロファイルを推定する。具体的には、受信信号 R S と、本実施の形態のキャリア間干渉除去装置を用いる受信機であらかじめ用意しておいた既定の P N 系列との相関を計算することにより、遅延プロファイル D P 1 を得る。

【 0 0 4 2 】

図 4 は P N 系列部 P N に基づき遅延プロファイル D P 1 を得る遅延プロファイル推定部 1 による推定内容を模式的に示す説明図である。

【 0 0 4 3 】

同図 (a) に示すように、主波 M W と、主波 M W に対して遅延時間 遅延した遅延波 D W とからなる 2 波モデル伝送路の場合を想定する。

【 0 0 4 4 】

この場合、同図 (b) に示すように、主波 M W に含まれる P N 系列部 P N と、受信機側で予め用意しておいた P N 系列部 P N とが一致したときに主波 M W に応じた相関ピークが主波演算結果 C M W として出力され、遅延波に含まれる P N 系列部 P N と、受信機で予め用意しておいた P N 系列部 P N とが一致したときに遅延波に応じた相関ピークが遅延波演算結果 C D W として出力される。これらの相関ピークは、それぞれ主波 M W 、及び遅延波 D W の振幅と位相を示す複素数値である。

【 0 0 4 5 】

このように、遅延プロファイル推定部 1 は、P N 系列部 P N に基づき、主波演算結果 C M W 及び遅延波演算結果 C D W からなる遅延プロファイル D P 1 を推定することができる。

【 0 0 4 6 】

10

20

30

40

50

図 5 はパイロットキャリア S P に基づき遅延プロファイル D P 1 を得る遅延プロファイル推定部 1 による推定内容を模式的に示す説明図である。以下、図 5 を参照して、パイロットキャリア S P に基づき遅延プロファイル D P 1 を推定する方法について説明する。

【 0 0 4 7 】

遅延プロファイル推定部 1 は、まず、受信信号 R S におけるパイロットキャリア S P と受信機で予め用意しておいたパイロットキャリアとを比較することにより、パイロットキャリアに作用した伝送路特性を推定する。

【 0 0 4 8 】

そして、図 5 (a) に示すように、パイロットキャリア S P (黒丸印) に作用した伝送路特性をシンボル方向に補間し (右肩上がりハッチング入りの丸印)、さらに、図 5 (b) に示すように、パイロットキャリア S P に作用した伝送路特性をキャリア方向に補間する (左肩上がりハッチング入りの丸印)、その結果、全キャリアに作用する伝送路特性を推定する。

10

【 0 0 4 9 】

その後、遅延プロファイル推定部 1 は、同一シンボル内に存在する伝送路特性をキャリア方向に逆離散フーリエ変換することにより遅延プロファイル D P 1 を得る。このように、遅延プロファイル推定部 1 は、パイロットキャリア S P に基づき、遅延プロファイル D P 1 を推定することができる。

【 0 0 5 0 】

図 1 に戻って、遅延部 2 は、遅延プロファイル D P 1 を予め決められた時間 だけ遅延して遅延信号 D P 1 を出力する。本実施の形態では、1 伝送シンボル長 (=) だけ遅延させるものとするが、受信する信号構成に応じて異なる遅延時間を設定してもよい。

20

【 0 0 5 1 】

振幅・位相変動量計算部 3 は、遅延プロファイル D P 1 及び遅延信号 D P 1 に基づき、遅延プロファイル D P 1 に含まれる到来波毎に伝送路特性の時間変動成分を計算する。すなわち、実施の形態 1 においては、遅延プロファイル D P 1 に含まれる全ての到来波を計算対象の到来波として、到来波毎に伝送路特性の時間変動成分が計算される。

【 0 0 5 2 】

図 6 は 2 波モデル伝送路の場合における振幅・位相変動量計算部 3 の処理例を示す説明図である。

30

【 0 0 5 3 】

同図に示すように、1 伝送シンボル前に推定した主波 M W に応じた遅延プロファイルの値 (遅延部 2 の出力である遅延信号 D P 1 に相当) を数 1 2 で示す項 (12) とし、現在のシンボルで推定した主波 M W に応じた遅延プロファイルの値 (遅延プロファイル推定部 1 の出力である遅延プロファイル D P 1 に相当) を数 1 3 で示す項 (13) とし、伝送路特性は 1 伝送シンボル期間に線形的に変化するものと仮定する。このとき、振幅・位相変動量計算部 3 は、次の式 (14) 及び式 (15) で表される主波 M W の振幅 $\alpha_0(k)$ 及び位相の時間変動成分 $\theta_0(k)$ を出力する。

【 0 0 5 4 】

【数 1 2】

$$\alpha_a \exp(j\theta_a) \cdots (12)$$

【 0 0 5 5 】

【数 1 3】

$$\alpha_b \exp(j\theta_b) \cdots (13)$$

【 0 0 5 6 】

40

【数 1 4】

$$\beta_0(k) = \frac{(\alpha_b/\alpha_a) - 1}{N} k + 1 \quad \dots (14)$$

【0 0 5 7】

【数 1 5】

$$\phi_0(k) = \frac{\theta_b - \theta_a}{N} k \quad \dots (15)$$

【0 0 5 8】

10

式(14)及び式(15)において、Nは伝送シンボルのサンプル数である。式(14)及び式(15)は主波の振幅及び位相の時間変動成分であり、遅延波の振幅及び位相の時間変動成分も式(14)及び式(15)を応用して同様に計算し出力する。また、上記の例は2波モデル伝送路であるが、3波以上のパスが存在する場合も、同様に到来波毎に振幅及び位相の時間変動成分を計算する。

【0 0 5 9】

図1に戻って、第1の窓関数算出部4は、式(14)及び式(15)で示す各到来波の時間変動成分の振幅 $\beta_p(k)$ と位相 $\phi_p(k)$ ($p=0, 1, \dots, P-1$)を式(10)及び式(11)に代入することにより、式(8)で示す評価関数J1を最小にする、式(7)で示す窓関数 $w(k)$ を算出する。

20

【0 0 6 0】

窓関数乗算部5は、受信信号RSに含まれる有効シンボル部VSに第1の窓関数算出部4からの窓関数 $w(k)$ を乗算して乗算済み受信信号MRSを得る。その結果、窓関数 $w(k)$ で乗算することによって受信信号RSに含まれる伝送路の時間変動成分を小さくした乗算済み受信信号MRSを得ることができる。

【0 0 6 1】

第1のFFT演算部6は、乗算済み受信信号MRSを周波数領域に変換して、各サブキャリアで伝送されたキャリア信号S6を出力する。マルチパス伝送路の場合、各サブキャリアは周波数選択性フェージングの影響を受ける。受信信号RSから送信信号を正しく復元するためには、この周波数選択性フェージングの影響を補正する必要がある。

30

【0 0 6 2】

この周波数選択性フェージングが各サブキャリアに及ぼす影響を調べるために、第2のFFT演算部7は、遅延プロファイルDP1を周波数領域に変換して周波数領域遅延プロファイルを得る。ここで得られる周波数領域遅延プロファイルは、各サブキャリアに作用する周波数選択性フェージングの影響、つまり、振幅の減衰量と位相の回転量を示す値である。

【0 0 6 3】

等化部8は、第2のFFT演算部7から得られる各サブキャリアの振幅の減衰量と位相の回転量とを示す周波数領域遅延プロファイルに基づき、キャリア信号S6において各サブキャリアに作用している周波数選択性フェージングの影響を補正して補正済みキャリア信号S8を得る。具体的には、キャリア信号S6における各サブキャリアの信号を、振幅の減衰量と位相の回転量を示す値で除算することで補正を行う。

40

【0 0 6 4】

以上のように、実施の形態1のキャリア間干渉除去装置における第1の窓関数算出部4は、振幅・位相変動量計算部3より得られた各到来波の振幅及び位相の時間変動量に基づく評価関数J1を最小にする窓関数 $w(k)$ を算出している。

【0 0 6 5】

したがって、実施の形態1のキャリア間干渉除去装置は、第1の窓関数算出部4によって各到来波の振幅及び位相の時間変動量に基づき窓関数を求めることにより、従来手法に比べて少ない計算量で受信信号に含まれるキャリア間干渉を除去することができるという

50

効果を奏する。その結果、少ない計算量でキャリア間干渉を除去できる分、省エネルギー化を図れ、第1の窓関数算出部4について構成の小型化を図ることができる。

【0066】

<実施の形態2>

(原理)

マルチパス環境下では、受信レベルの小さな到来波の時間変動成分によるキャリア間干渉より、受信レベルの大きな到来波の時間変動成分によるキャリア間干渉の方が、性能劣化に大きな影響を与える。そこで、本実施の形態では、受信レベルの大きな到来波の時間変動成分によるキャリア間干渉を、より強く抑圧するキャリア間干渉抑圧法を示す。

【0067】

まず、数式を用いて本実施の形態について説明する。実施の形態1で説明したように、式(5)において、受信信号RSに含まれる時間変動成分である上記項(6)が定数になるよう窓関数 $w(k)$ を設定することにより、キャリア間干渉を抑圧することができる。ここで、 $w(k)$ は式(7)で示す内容であり、この (k) 、 (k) で次の式(16)で示す評価関数J2を定義する。

【0068】

【数16】

$$J2(\gamma(k), \psi(k)) = \sum_{p=0}^{P-1} \alpha_p^2 |\gamma(k) \beta_p(k) \exp[j(\phi_p(k) + \psi(k))] - 1|^2 \quad \dots (16)$$

【0069】

式(16)は、窓関数 $w(k)$ を乗算した後に残る到来波の時間変動成分の大きさである数17で示す項(17)に対して、到来波の受信レベル α_p^2 を重みとして乗算した値を、すべての到来波について総和する関数である。実施の形態1で定義した評価関数J1(式(8))との違いは、残存する時間変動成分のうち、受信レベルの大きい到来波による時間変動成分により大きな重みを乗算していることである。この評価関数J2を最小にする窓関数 $w(k)$ を受信信号RSに乗算することにより、受信レベルの小さい到来波によるキャリア間干渉より、受信レベルの大きい到来波によるキャリア間干渉を、より強く抑圧することができる。

【0070】

【数17】

$$|\gamma(k) \beta_p(k) \exp[j(\phi_p(k) + \psi(k))] - 1|^2 \quad \dots (17)$$

【0071】

上記の評価関数J2を最小にする (k) 及び (k) は、上述した式(9)の連立方程式を解くことにより、以下の式(18)及び式(19)に示すように求められる。

【0072】

【数18】

$$\psi(k) = a \cdot \tan \left[- \frac{\sum_{p=0}^{P-1} \alpha_p^2 \beta_p(k) \sin(\phi_p(k))}{\sum_{p=0}^{P-1} \alpha_p^2 \beta_p(k) \cos(\phi_p(k))} \right] \quad \dots (18)$$

【0073】

10

20

30

40

【数 19】

$$\gamma(k) = \frac{\sum_{p=0}^{P-1} \alpha_p^2 \beta_p(k) \cos(\phi_p(k) + \psi(k))}{\sum_{p=0}^{P-1} \alpha_p^2 \beta_p^2(k)} \quad \dots(19)$$

【0074】

(構成)

図7はこの発明の実施の形態2であるキャリア間干渉除去装置の構成を示すブロック図である。同図において、第1の窓関数算出部4に代えて設けられる第2の窓関数算出部10以外の構成は、図1で示した実施の形態1の構成と同じであるため、同一符号を付し説明を適宜省略する。

10

【0075】

第2の窓関数算出部10は、式(14)及び式(15)で示す伝送路特性の時間変動成分の振幅 $\beta_p(k)$ と位相 $\phi_p(k)$ 、及び遅延プロファイルDP1に含まれる各到来波の受信レベル α_p ($p=0, 1, \dots, P-1$)を式(18)及び式(19)に代入して、式(7)で示す窓関数 $w(k)$ を計算し出力する。

【0076】

このように、実施の形態2のキャリア間干渉除去装置は、実施の形態1と同様、評価関数J2を最小にする窓関数 $w(k)$ を求めることにより、従来手法に比べて少ない計算量でキャリア間干渉を除去することができるという効果を奏する。その結果、少ない計算量でキャリア間干渉を除去できる分、省エネルギー化を図れ、第2の窓関数算出部10について構成の小型化を図ることができる。

20

【0077】

加えて、実施の形態2のキャリア間干渉除去装置は、到来波毎に受信レベルが異なるマルチパス環境下で、受信レベルの小さな到来波の時間変動成分によるキャリア間干渉より、受信レベルの大きな到来波の時間変動成分によるキャリア間干渉の方を、より強く抑圧することで、受信信号が受けるキャリア間干渉の影響をより小さくすることができる効果をさらに奏する。

30

【0078】

すなわち、実施の形態2のキャリア間干渉除去装置における第2の窓関数算出部10は、各到来波の時間変動成分の振幅 $\beta_p(k)$ と位相 $\phi_p(k)$ に加え、各到来波の受信レベル(α_p)を加味して、窓関数 $w(k)$ を算出することにより、より精度の高いキャリア間干渉除去を行うことができる効果を奏する。

【0079】

<実施の形態3>

(原理)

本実施の形態では、受信レベルの大きい到来波を予め選択し、この選択された到来波を計算対象の到来波として時間変動成分をもとに窓関数を決める。

40

【0080】

(構成)

図8は実施の形態3であるキャリア間干渉除去装置の構成を示すブロック図である。同図において、新たに追加された遅延波選択部9以外の構成は、図1で示した実施の形態1の構成と同じであるため、同一符号を付し説明を適宜省略する。

【0081】

遅延波選択部9(到来波選択部)は、遅延プロファイルDP1に含まれる到来波(主波及び遅延波)のうち、受信電力の大きい到来波を選択して選択遅延プロファイルDP2として出力する。具体的には、受信レベルの大きい到来波から順番に、予め決められた数だけ計算対象となる到来波を選択する。

50

【 0 0 8 2 】

図 9 は実施の形態 3 の遅延波選択部 9 よる到来波選択処理内容を示す説明図である。同図(a)に示すように、6 波モデル伝送路における遅延プロファイル D P 1 に対して、遅延波選択部 9 は、受信レベルの大きい方から 3 つの到来波 2 0 を選択して選択遅延プロファイル D P 2 として出力する。

【 0 0 8 3 】

図 9 (b)に示すように、6 波モデル伝送路における推定遅延プロファイルに対して、遅延波選択部 9 は、受信レベルが点線で示す閾値 R 1 より大きい到来波 2 0 を選択して選択遅延プロファイル D P 2 として出力する。このように、遅延波選択部 9 による選択方法として、遅延プロファイル D P 1 に含まれる到来波のうち、ある一定の受信レベルより大きな到来波を選択してもよい。

10

【 0 0 8 4 】

このように、実施の形態 3 の遅延波選択部 9 は、遅延プロファイル D P 1 より得られる少なくとも一つの到来波のうち、受信レベルが所定の条件を満足する計算対象となる到来波を選択する。

【 0 0 8 5 】

図 8 に戻って、遅延部 2 は、遅延波選択部 9 から出力された到来波選択後の選択遅延プロファイル D P 2 を 1 伝送シンボル長だけ遅延させて遅延選択信号 D P 2 を出力する。

【 0 0 8 6 】

振幅・位相変動量計算部 3 は、選択遅延プロファイル D P 2 及び遅延選択信号 D P 2 に基づき、遅延波選択部 9 により選択された計算対象となる到来波それぞれの振幅と位相の時間変動成分を計算する。これら遅延波選択部 9、遅延部 2 及び振幅・位相変動量計算部 3 は、選択遅延プロファイル D P 2 及び遅延選択信号 D P 2 に基づき、遅延波選択部 9 によって選択された計算対象となる到来波についての振幅及び位相の時間変動量を得る振幅・位相変動量取得部として機能する。

20

【 0 0 8 7 】

ここで、遅延波選択部 9 で選択された計算対象となる到来波の選択数が少ないほど、振幅・位相変動量計算部 3 の計算量が少なくなる。

【 0 0 8 8 】

図 8 の第 1 の窓関数算出部 4 は、選択された到来波の振幅と位相の時間変動量を式(10)及び式(11)に代入して、式(7)で示す窓関数を計算する。ここで、遅延波選択部 9 で選択された計算対象となる到来波の選択数が少ないほど、第 1 の窓関数算出部 4 の計算量が少なくなる。

30

【 0 0 8 9 】

窓関数乗算部 5、第 1 の FFT 演算部 6、第 2 の FFT 演算部 7、等化部 8 は実施の形態 1 と同じであるので説明を省略する。

【 0 0 9 0 】

以上のように、実施の形態 3 のキャリア間干渉除去装置は、遅延プロファイル推定部 1 によって推定された遅延プロファイル D P 1 における少なくとも一つの到来波から、遅延波選択部 9 によって受信レベルの大きな到来波を選択することにより、窓関数 $w(k)$ を計算する際の計算量がさらに少なくなるという効果を奏する。

40

【 0 0 9 1 】

すなわち、実施の形態 3 のキャリア間干渉除去装置における遅延波選択部 9 は、少なくとも一つの到来波からなる遅延プロファイル D P 1 から、受信レベルが所定の条件を満足する計算対象の到来波を選択するため、第 1 の窓関数算出部 4 は、より少ない計算量で窓関数を算出することができる。

【 0 0 9 2 】

その結果、実施の形態 3 のキャリア間干渉除去装置は、より少ない計算量で伝送路特性の時間変動によるキャリア間干渉を抑圧することができる効果を奏する。

【 0 0 9 3 】

50

< 実施の形態 4 >

(原理)

実施の形態 4 では、実施の形態 3 と同様、予め受信レベルの大きい到来波を計算対象の到来波として選択し、この選択された到来波の受信レベルと時間変動成分をもとに窓関数を決める。

【 0 0 9 4 】

(構成)

図 1 0 はこの発明の実施の形態 4 であるキャリア間干渉除去装置の構成を示すブロック図である。同図において、第 1 の窓関数算出部 4 に代わる第 2 の窓関数算出部 1 0 以外の構成は、図 8 で示した実施の形態 3 の構成と同じであるため、同一符号を付し説明を適宜省略する。

10

【 0 0 9 5 】

第 2 の窓関数算出部 1 0 は、遅延波選択部 9 で選択された選択遅延プロファイル D P 2 に関し、式(14)及び式(15)で示す伝送路特性の時間変動成分の振幅 $\rho_p(k)$ と位相 $\phi_p(k)$ 、及び選択遅延プロファイル D P 2 に含まれる各到来波の受信レベル $\rho_p(p=0, 1, \dots, P-1)$ を式(18)及び式(19)に代入して、式(7)で示す窓関数 $w(k)$ を計算し出力する。

【 0 0 9 6 】

以上のように、実施の形態 4 のキャリア間干渉除去装置は、遅延プロファイル推定部 1 で推定された遅延プロファイル D P 1 から、遅延波選択部 9 により受信レベルの大きな到来波を計算対象の到来波として選択することにより、実施の形態 3 と同様、窓関数を計算する際の計算量がさらに少なくなるという効果を奏する。

20

【 0 0 9 7 】

加えて、実施の形態 4 のキャリア間干渉除去装置は、実施の形態 2 と同様、到来波毎に受信レベルが異なるマルチパス環境下で、受信レベルの小さな到来波の時間変動成分によるキャリア間干渉より、受信レベルの大きな到来波の時間変動成分によるキャリア間干渉の方を、より強く抑圧することにより、受信信号が受けるキャリア間干渉の影響をより小さくすることができる効果を奏する。

【 0 0 9 8 】

< その他 >

(キャリア間干渉除去方法への適用)

30

実施の形態 1 ~ 実施の形態 4 で述べたキャリア間干渉除去装置の処理内容に沿って、有効データ及び既知データからなる受信信号 R S を受け、該受信信号に含まれるキャリア間干渉成分を抑圧するキャリア間干渉除去方法を実現することができる。

【 0 0 9 9 】

実施の形態 1 のキャリア間干渉除去装置の処理を基本とし、実施の形態 1 ~ 実施の形態 4 の処理内容を包含したキャリア間干渉除去方法は以下のステップ(a) ~ (g)を備えることによって実現することができる(図 1 等参照)。

【 0 1 0 0 】

ステップ(a)において、受信信号 R S に基づき、少なくとも一つの到来波よりなる遅延プロファイル D P 1 を推定する(遅延プロファイル推定部 1 による処理)。

40

【 0 1 0 1 】

ステップ(b)において、遅延プロファイル D P 1 に基づき、少なくとも一つの到来波のうち計算対象となる到来波それぞれの振幅及び位相の時間変動量を計算する(遅延部 2 及び振幅・位相変動量計算部 3 による処理)。

【 0 1 0 2 】

ステップ(c)において、上記計算対象となる到来波それぞれの振幅及び位相の時間変動量に基づき窓関数 $w(k)$ を算出する(第 1 の窓関数算出部 4 による処理)。

【 0 1 0 3 】

ステップ(d)において、受信信号 R S における有効データ(有効シンボル部 V S 等)に対し窓関数 $w(k)$ を乗算して乗算済み受信信号 M R S を得る(窓関数乗算部 5 による処

50

理)。

【0104】

ステップ(e)において、乗算済み受信信号MRSを周波数領域に変換してキャリア信号S6を得る(第1のFFT演算部6による処理)。

【0105】

ステップ(f)において、遅延プロファイルDP1を周波数領域に変換して周波数領域遅延プロファイルを得る(第2のFFT演算部7による処理)。

【0106】

ステップ(g)において、上記周波数領域遅延プロファイルに基づき、キャリア信号S6の歪みを補正する(等化部8による処理)。

10

【0107】

上述したキャリア間干渉除去方法は、上記ステップ(c)で計算対象となる到来波それぞれの振幅及び位相の時間変動量に基づき窓関数を求めることにより、従来手法に比べて少ない計算量で受信信号に含まれるキャリア間干渉を除去することができるという効果を奏する。

【0108】

また、実施の形態2(実施の形態4)のように、第1の窓関数算出部4を第2の窓関数算出部10で置き換えた構成による処理方法は、ステップ(c)の処理内容を以下のように明記することにより実現でき、実施の形態2のキャリア間干渉除去装置と同様の効果を奏する。

20

【0109】

ステップ(c)は、さらに上記計算対象となる到来波それぞれの受信レベルを加味して、前記窓関数を算出する(第2の窓関数算出部10による処理であることを明記)。

【0110】

また、実施の形態1(実施の形態2)のように(図1(図7)参照)、遅延波選択部9を設けない構成による処理方法は、上記ステップ(b)を以下のステップ(b-1)~(b-2)により実現でき、実施の形態1のキャリア間干渉除去装置と同様の効果を奏する。この場合、計算対象となる到来波は少なくとも一つの到来波全てを含むことになる。

【0111】

ステップ(b-1)において、遅延プロファイルDP1を所定時間遅延させて遅延信号DP1を得る(遅延部2による処理)。

30

【0112】

ステップ(b-2)において、遅延プロファイルDP1及び遅延信号DP1に基づき、上記少なくとも一つの到来波についての振幅及び位相の時間変動量を計算する(振幅・位相変動量計算部3による処理)。

【0113】

さらに、実施の形態3(実施の形態4)のように(図8(図10)参照)、遅延波選択部9を追加した構成による処理方法は、上記ステップ(b)を以下のステップ(b-1)~(b-3)により実現でき、実施の形態3のキャリア間干渉除去装置と同様の効果を奏する。

【0114】

40

ステップ(b-1)において、遅延プロファイルDP1における少なくとも一つの到来波のうち、受信レベルが所定の条件を満足する到来波を計算対象となる到来波として有する選択遅延プロファイルDP2を選択する(遅延波選択部9による処理)。

【0115】

ステップ(b-2)において、選択遅延プロファイルDP2を所定時間遅延させて遅延選択信号DP2を得る(遅延部2より処理)。

【0116】

ステップ(b-3)において、選択遅延プロファイルDP2及び遅延選択信号DP2に基づき、上記計算対象となる到来波についての振幅及び位相の時間変動量を計算する(振幅・位相変動量計算部3による処理)。

50

【 0 1 1 7 】

(受信機への適応)

図 1 , 図 7 , 図 8 , 図 1 0 で示した実施の形態 1 ~ 実施の形態 4 のキャリア間干渉除去装置の補正済みキャリア信号 S 8 に対し、さらに誤り訂正回路を追加することにより、OFDM 信号を受信信号 R S に対する、キャリア間干渉除去機能付き受信機を構成することができる。

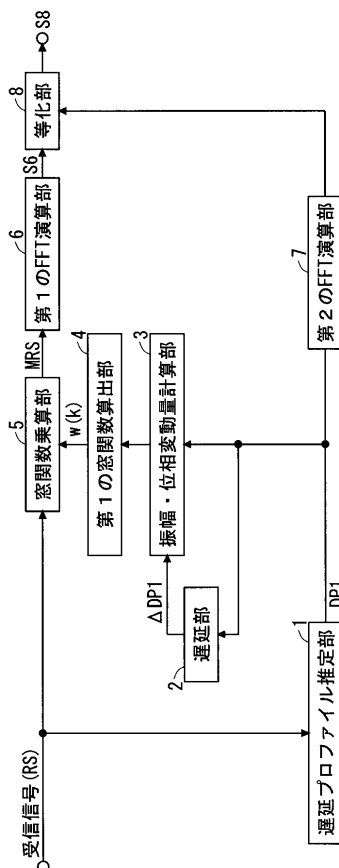
【符号の説明】

【 0 1 1 8 】

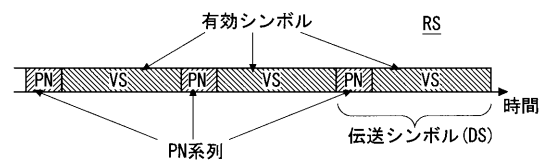
1 遅延プロファイル推定部、2 遅延部、3 振幅・位相変動量計算部、4 第 1 の窓関数算出部、5 窓関数乗算部、6 第 1 の FFT 演算部、7 第 2 の FFT 演算部、8 等化部、9 遅延波選択部、10 第 2 の窓関数算出部。

10

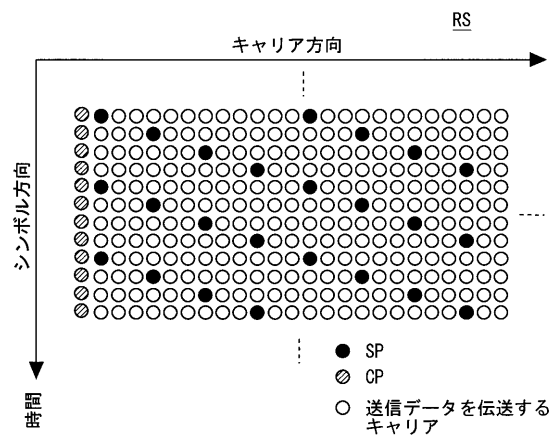
【 図 1 】



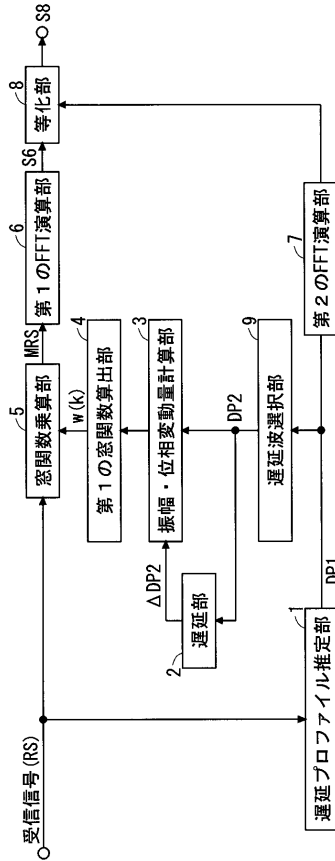
【 図 2 】



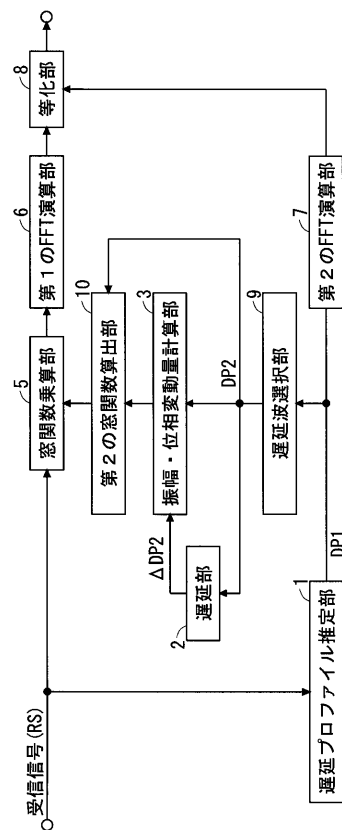
【 図 3 】



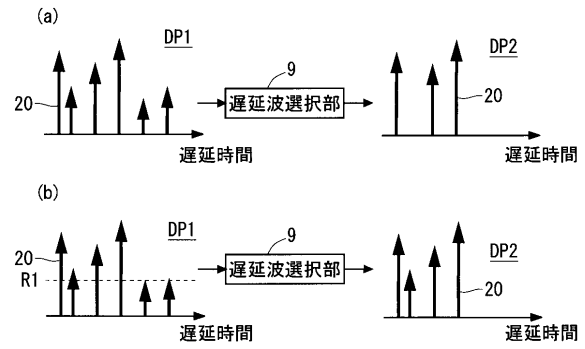
【図 8】



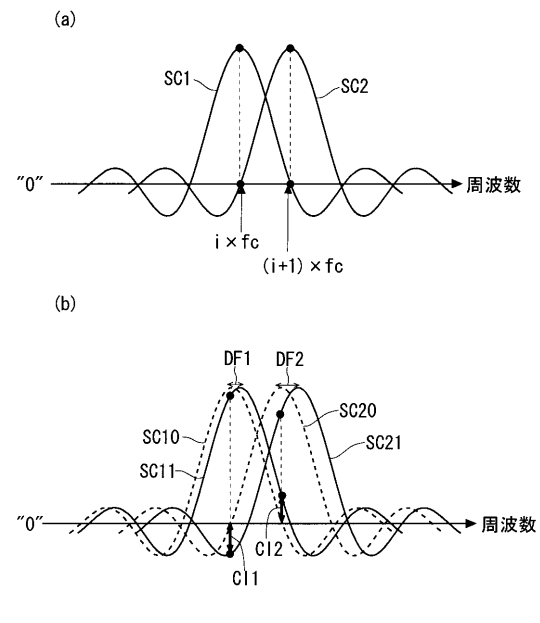
【図 10】



【図 9】



【図 11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2008-537424(JP,A)
特開2009-153096(JP,A)
特開平05-075568(JP,A)
特開2008-271298(JP,A)
特許第4298320(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 11/00
H04B 1/10
H04B 7/01
IEEE Xplore
CiNii