

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4013009号

(P4013009)

(45) 発行日 平成19年11月28日(2007.11.28)

(24) 登録日 平成19年9月21日(2007.9.21)

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

請求項の数 10 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平10-267610	(73) 特許権者	502442290
(22) 出願日	平成10年9月22日(1998.9.22)		株式会社大宇エレクトロニクス
(65) 公開番号	特開平11-186985		Daewoo Electronics Corporation
(43) 公開日	平成11年7月9日(1999.7.9)		大韓民国ソウル特別市麻浦區阿▲けん▼洞
審査請求日	平成17年2月2日(2005.2.2)		686番地
(31) 優先権主張番号	1997-64409		686, Ahyeon-dong, mapo-gu, Seoul, Rep. of Korea
(32) 優先日	平成9年11月29日(1997.11.29)	(74) 代理人	100065215
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		弁理士 三枝 英二
		(74) 代理人	100076510
			弁理士 掛樋 悠路
		(74) 代理人	100086427
			弁理士 小原 健志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 OFDM受信機における簡略周波数オフセット推定方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数個の搬送波の内、固定されたL個の搬送波の位置に基準信号が挿入され、残りの搬送波の位置に情報データ信号が挿入されたOFDM信号から、簡略周波数オフセット値を推定する方法であって、

(a) 連続して受信した二つの前記OFDM信号の各々をFFT処理して得られた周波数領域上の、二つのOFDMシンボルを微分デコーディング処理し、微分デコーディング値を得るステップと、

(b) 前記(a)ステップで得られた前記微分デコーディング値のうち、前記基準信号の位置に対応するL個の前記微分デコーディング値の各々を中心に、予め決められた周波数オフセット値範囲 $\{-S; S\}$ 内の、同一の周波数オフセット値だけ離れた位置にあるL個の前記微分デコーディング値を利用して、 $2S+1$ 個の候補オフセット値 $\{s_s; s_e\}$ を求めるステップと、

(c) 前記(b)ステップで得られた前記候補オフセット値の内、一番目の最大値と二番目の最大値とが存在する位置によって簡略周波数オフセット値を推定するステップとを備えることを特徴とするOFDM受信機における簡略周波数オフセット推定方法。

【請求項2】

前記(a)ステップにおける前記微分デコーディング値 (D_j) は次式によって求められることを特徴とする請求項1に記載のOFDM受信機における簡略周波数オフセット推定方法。

10

20

【数 1】

$$D_j = C_{t,j} \times C_{t-1,j}^* \quad (j = 0 \sim N)$$

ここで、 $C_{t,j}$ は、 t 番目に受信したシンボルの j 番目の副搬送波に載せられたサンプルであり、 $C_{t-1,j}$ は、 $t - 1$ 番目に受信したシンボルの j 番目の副搬送波に載せられたサンプルであり、 N は、一つの OFDM シンボルのサンプルの個数であり、 $*$ は、共役複素数を示す。

【請求項 3】

前記 (b) ステップにおける前記候補オフセット値 (q) は、次式によって求められることを特徴とする請求項 1 に記載の OFDM 受信機における簡略周波数オフセット推定方法。

【数 2】

$$\epsilon_q = \text{Mag} \left(\sum_{j=0}^{L-1} D_{p(j)+q} \right), \quad (q \in \{ -S ; S \})$$

ここで、 Mag は、複素数の大きさを表し、 $D_{p(j)+q}$ は、 $p(j) + q$ 番目の副搬送波におけるサンプルについての微分デコーディング値であり、 $P(j)$ は、 L 個の基準信号の内、 j 番目の基準信号の位置である。

【請求項 4】

前記 (c) ステップは、

(c 1) $2S + 1$ 個の前記候補オフセット値の内、一番目の最大値と二番目の最大値とを検出するステップと、

(c 2) 前記 (c 1) ステップで検出した前記一番目の最大値と前記二番目の最大値とが連続して位置しない場合、前記一番目の最大値を周波数オフセット補正のための基準値として発生させるステップと、

(c 3) 前記 (c 1) ステップで検出した前記一番目の最大値と前記二番目の最大値とが連続して位置する場合、二つの最大値の位置を示すインデックスに、予め決められた加重値を加えて新しいインデックスを得、該新しいインデックスから周波数オフセット補正のための基準値を発生させるステップとを備えることを特徴とする請求項 1 に記載の OFDM 受信機における簡略周波数オフセット推定方法。

【請求項 5】

複数個の搬送波の内、固定された L 個の搬送波の位置に基準信号が挿入され、残りの搬送波の位置に情報データ信号が挿入された OFDM 信号から、簡略周波数オフセット値を推定する装置であって、

受信した前記 OFDM 信号を FFT 処理した後、得られた周波数領域上の連続的な OFDM シンボルをサンプル単位で受信し、所定のシンボル長さだけ遅延後、サンプル単位で出力する入力バッファと、

前記入力バッファから出力された過去の OFDM サンプルと、FFT 処理後に入力された現在の OFDM サンプルとを微分デコーディング処理し、微分デコーディング値を得る複素数乗算部と、

前記複素数乗算部から出力された前記微分デコーディング値を直列に受信し、記憶した後、ランダム出力する、微分デコーディング値記憶部と、

前記微分デコーディング値記憶部の出力を制御するためのアドレス及び制御信号を発生するアドレス制御部と、

前記微分デコーディング値記憶部からサンプルクロック毎にランダム出力された L 個の前記微分デコーディング値の合計値を計算し、該合計値の絶対値を計算して候補オフセット値 i ($-S \leq i \leq S$ の整数、 S は、予め決められた最大周波数オフセット) を出力す

10

20

30

40

50

る周波数オフセット獲得部と、

前記周波数オフセット獲得部から得られた $2S + 1$ 個の前記候補オフセット値 $\{ \omega_s ; \omega_s \}$ を調査し、一番目の最大値及び二番目の最大値の位置によって簡略周波数オフセット値を決定する周波数オフセット追跡部とを備えることを特徴とする OFDM 受信機における簡略周波数オフセット推定装置。

【請求項 6】

前記複素数乗算部は、次式を利用して前記微分デコーディング値 (D_j) を求めることを特徴とする請求項 5 に記載の OFDM 受信機における簡略周波数オフセット推定装置。

【数 3】

$$D_j = C_{t,j} \times C_{t-1,j}^* \quad (j = 0 \sim N)$$

ここで、 $C_{t,j}$ は、 t 番目に受信したシンボルの j 番目の副搬送波に載せられたサンプルであり、 $C_{t-1,j}$ は、 $t - 1$ 番目に受信したシンボルの j 番目の副搬送波に載せられたサンプルであり、 N は、一つの OFDM シンボルのサンプルの個数であり、 $*$ は、共役複素数を示す。

【請求項 7】

前記アドレス制御部は、前記微分デコーディング値記憶部に記憶された基準信号の位置に対応する L 個の前記微分デコーディング値の各々を中心に、同一の周波数オフセット値だけ離れた位置に存在する L 個の微分デコーディング値をグループとし、各サンプルクロック毎にアドレス及び制御信号を出力するように制御することを特徴とする請求項 5 に記載の OFDM 受信機における簡略周波数オフセット推定装置。

【請求項 8】

前記周波数オフセット獲得部は、シンボルクロック毎にリセット信号により初期化され、入力された L 個の微分デコーディング値を積分し、その積分値の複素数の大きさを計算し、次式を利用して前記候補オフセット値 (ω_q) を計算することを特徴とする請求項 5 に記載の OFDM 受信機における簡略周波数オフセット推定装置。

【数 4】

$$\varepsilon_q = \text{Mag} \left(\sum_{j=0}^{L-1} D_{p(j)+q} \right), \quad (q \in \{ -S ; S \})$$

ここで、 Mag は、複素数の大きさを表し、 $D_{p(j)+q}$ は、 $p(j) + q$ 番目の副搬送波におけるサンプルについての微分デコーディング値であり、 $P(j)$ は、 L 個の基準信号の内、 j 番目の基準信号の位置である。

【請求項 9】

前記周波数オフセット追跡部は、前記一番目の最大値と前記二番目の最大値とが連続して位置しない場合、簡略周波数オフセット値として前記一番目の最大値を出力し、前記一番目の最大値と前記二番目の最大値とが連続して位置する場合、二つの最大値の位置を示すインデックスに、第 1 及び第 2 の加重値を与えて得られた新しいインデックスから簡略周波数オフセット値を抽出することを特徴とする請求項 5 に記載の OFDM 受信機における簡略周波数オフセット推定装置。

【請求項 10】

前記第 1 及び第 2 の加重値は、その合計が 1 であり、互いに異なる値を有することを特徴とする請求項 9 に記載の OFDM 受信機における簡略周波数オフセット推定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、直交周波数分割多重化 (orthogonal frequency division multiplexing; 以下

10

20

30

40

50

、OFDMと略称する)受信機の周波数同期に関するものであって、特に、副搬送波間隔(intercarrier spacing)の $\pm 1/2$ 範囲内において周波数オフセットを推定するための簡略周波数オフセット(coarse frequency offset)推定方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

OFDM方式においては、直列態様に入力されるシンボル列が複数個の単位ブロックに分割された後、分割された各ブロックのシンボル列がN個の並列シンボルに変換される。このN個の並列のシンボルは、逆高速フーリエ変換(inverse fast fourier transform)により、それぞれ互いに異なる周波数を有する副搬送波を利用して多重化された後、更に所定の変調過程を経てチャンネルを通じて伝送される。即ち、N個の並列シンボルを一つの単位ブロックと定義し、単位ブロックの各副搬送波が相互直交性を有するように成し、副チャンネル間の影響が互いに無いようにされる。したがって、単一搬送波伝送方式と同一のシンボル伝送率を保ちながらもシンボル周期を副チャンネル数(N)だけ増加させることができ、多重経路フェージングによるシンボル間の干渉を減らすことができる。特に、伝送されるシンボル間に保護区間を挿入する場合には、シンボル間の干渉をさらに減少させることができるため、チャンネル等化器の構造が極めて簡単になるという利点を有する。

10

【0003】

OFDM方式においては、シンボル検出が各副チャンネル別に行われるが、送信機と受信機との間の搬送波周波数の差である周波数のオフセットが発生するようになると、各副搬送波周波数間の直交性が保たれず、隣接する副チャンネル間の干渉現象が生ずる。特に、副チャンネル数が増加する程、各副搬送波は、定められた帯域内に密に分布し、小さい周波数オフセット値であっても隣接副チャンネル間の干渉が甚だしく発生するようになる。

20

【0004】

しかし、受信機において用いられる高速フーリエ変換(fast fourier transform; 以下、FFTと略称する)の非線形性により、OFDMシステムには、単一搬送波変調システムにおいて使用する周波数同期化方式を適用することができない。このような理由から、回転子に複数の連続的なオフセット値を引加して所定範囲をスキミングした後、基準搬送波が正確に位置したときに、周波数オフセットの影響を補償するための最終値を検出する方法が提案されてきた。

30

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上記回転子を利用した方法は、FFT処理以前に時間領域において与えられた範囲 $\{-S; S\}$ 内の周波数オフセット値を獲得する時間が必要なため、全体の処理時間が長くなるという欠点を有する。即ち、現在のOFDMシンボルと過去のOFDMシンボルとの間の微分デコーディング技法を用いて周波数オフセット値を得るが、微分デコーディングを行うためには、回転子に適用される連続的なオフセット値 $\{-S; S\}$ (ここで、Sは予め設定された最大周波数オフセット値)の全てが、少なくとも2個のOFDMシンボル間に保たれていなければならない。回転子において、搬送波間隔の整数倍に定められた周波数オフセット値範囲 $\{-S; S\}$ の副搬送波を全てスキミングするのに要する時間は、 $2S + 1$ 個の推定値 $\{-S, -S+1, \dots, S-1, S\}$ を計算するのに要する時間、即ち、 $2 \times (2S + 1)$ 個のOFDMシンボル処理時間となる。

40

【0006】

典型的には、地上波放送における伝送信号は、フレームから形成され、各フレームは、68個のOFDMシンボルを備えている。各シンボルは、8Kモードの場合に $K = 6817$ の搬送波(K:伝送搬送波の数)又は2Kモードの場合に $K = 1705$ の搬送波から構成されている。このとき、周波数オフセット獲得のために必要な遅延は、2Kモードの場合、およそ70個のOFDMシンボルであり、8Kモードの場合、およそ274個のOFDMシンボルである。このように、獲得過程の遅延は、一個のOFDMフレーム(68個の

50

シンボル)以上を要し、同期化過程において相当な処理遅延を招くという問題がある。

【0007】

さらに、各副搬送波領域においてスキヤニングする際、副搬送波の間隔の $\pm 1/2$ 範囲内において残余のオフセットが生じ得るため、簡略周波数同期を採った以後にもう少し精緻な周波数同期過程を経るようになる。しかしながら、簡略周波数同期獲得過程において、周波数オフセット値が、基準信号から副搬送波間隔の $\pm 1/2$ 範囲に近接するようになれば、次の精緻な周波数同期が外れることもある。従って、正確な周波数同期を得るには、二番目のスキヤニングは、簡略周波数オフセット値の周辺をもう少し小さいステップサイズでなされる必要があり、そのことにより、処理遅延時間がより一層増加するという問題がある。

10

【0008】

本発明は、前記従来技術の問題点を解決するべくなされたもので、OFDM受信機において、OFDMフレーム内に挿入された基準搬送波信号を利用し、FFT処理後の周波数領域の追跡可能な範囲内の周波数オフセット値を直接獲得した後、 $\pm 1/2$ 副搬送波の間隔に接近しない周波数オフセット値を推定するための簡略周波数オフセット推定方法を提供することを目的とする。

【0009】

本発明の他の目的は、OFDM受信機において、簡単な構造であって、前記簡略周波数オフセット推定方法を実現させるための装置を提供することである。

【0010】

20

【課題を解決するための手段】

前記目的を達成するため、本発明は、複数個の搬送波の内、固定されたL個の搬送波の位置に基準信号が挿入され、残りの搬送波の位置に情報データ信号が挿入されたOFDM信号から、簡略周波数オフセット値を推定する方法であって、(a)連続して受信した二つの前記OFDM信号の各々をFFT処理して得られた周波数領域上の、二つのOFDMシンボルを微分デコーディング処理し、微分デコーディング値を得るステップと、(b)前記(a)ステップで得られた前記微分デコーディング値のうち、前記基準信号の位置に対応するL個の前記微分デコーディング値の各々を中心に、予め決められた周波数オフセット値範囲 $\{-S; S\}$ 内の、同一の周波数オフセット値だけ離れた位置にあるL個の前記微分デコーディング値を利用して、 $2S+1$ 個の候補オフセット値 $\{s_{-1}; s_1\}$ を

30

【0011】

求めるステップと、(c)前記(b)ステップで得られた前記候補オフセット値の内、一番目の最大値と二番目の最大値とが存在する位置によって簡略周波数オフセット値を推定するステップとを備えることを特徴とするOFDM受信機における簡略周波数オフセット推定方法を提供する。

また、前記他の目的を達成するため、本発明は、複数個の搬送波の内、固定されたL個の搬送波の位置に基準信号が挿入され、残りの搬送波の位置に情報データ信号が挿入されたOFDM信号から、簡略周波数オフセット値を推定する装置であって、受信した前記OFDM信号をFFT処理した後、得られた周波数領域上の連続的なOFDMシンボルをサンプル単位で受信し、所定のシンボル長さだけ遅延後、サンプル単位で出力する入力バッファと、前記入力バッファから出力された過去のOFDMサンプルと、FFT処理後に入力された現在のOFDMサンプルとを微分デコーディング処理し、微分デコーディング値を得る複素数乗算部と、前記複素数乗算部から出力された前記微分デコーディング値を直列に受信し、記憶した後、ランダム出力する、微分デコーディング値記憶部と、前記微分デコーディング値記憶部の出力を制御するためのアドレス及び制御信号を発生するアドレス制御部と、前記微分デコーディング値記憶部からサンプルクロック毎にランダム出力されたL個の前記微分デコーディング値の合計値を計算し、該合計値の絶対値を計算して候補オフセット値 s_i ($-S \leq s_i \leq S$ の整数、Sは、予め決められた最大周波数オフセット)を出力する周波数オフセット獲得部と、前記周波数オフセット獲得部から得られた $2S+1$ 個の前記候補オフセット値 $\{s_{-1}; s_1\}$ を調査し、一番目の最大値及び二番目の

40

50

最大値の位置によって簡略周波数オフセット値を決定する周波数オフセット追跡部とを備えることを特徴とするOFDM受信機における簡略周波数オフセット推定装置を提供する。

【0012】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照しつつ、本発明の好ましい一実施形態について詳細に説明する。図1は、本発明に適用される基準搬送波信号が挿入されたOFDMフレーム構造を示す図面である。図1に示したOFDMフレーム構造において、変数 C_i は、シンボルインデックス(symbol index)であり、変数 K は、副搬送波インデックスである。各シンボルは、 N ($= K_{max} + 1$)個のサンプルから構成されており、各サンプルは、直交性を有する副搬送波に変調される。各OFDMシンボル内には、固定された搬送波位置に L 個($R \# 0 \sim R \# L - 1$)の基準搬送波信号(以下、基準信号と略称する)が挿入されており、この基準信号は、BPSK(binary phase shift keying)変調され、一定の位相と振幅とを有する。残りの搬送波には情報データが載せられ、この情報データ信号は、QAM変調(quadrature amplitude modulation)される。

10

本発明では、図1に示すように、各シンボルの固定された搬送波の位置に挿入した基準信号($R \# 0 \sim R \# L - 1$)を利用して、歪んだ周波数を補正すべき簡略周波数同期を追跡する。

【0013】

以下、本発明の核心となる2種の技術について詳細に説明する。

20

【0014】

第1の技術は、周波数領域上の連続的なOFDMサンプルから、同一の搬送波位置における周波数オフセット値を推定するものである。これは、回転子を通じて時間領域のサンプルから数個のオフセット値を発生させ、周波数領域のサンプルから基準搬送波の位置を利用してオフセット値を推定する従来技術とは確実に対比されるものである。即ち、本発明は、連続して受信した2個のOFDM信号の各々をFFT処理して得られた周波数領域上の、2個のOFDMシンボルを微分デコーディング処理し、基準信号の位置に対応する微分デコーディング値の各々を中心に同一の周波数オフセット値だけ離れた位置の微分デコーディング値を利用して、各搬送波位置における周波数オフセットの推定値を獲得するものである。従って、従来技術に比べて、処理時間を画期的に短縮することができる。

30

【0015】

以下、第1の技術を適用した場合の処理時間を計算する。微分デコーディングのためには、2個のOFDMシンボルしか必要としない。したがって、搬送波の整数倍の調査範囲 $\{-S; S\}$ 内において、必要とされる獲得時間は、全ての連続的な搬送波の位置について $2S + 1$ 個のオフセット推定値を計算するのに要する時間と一致する。ここで、 S は、定められた最大周波数オフセット値である。

【0016】

この際、基準搬送波の信号はBPSK変調されているため、受信した順に連続する2個のOFDMシンボルの、搬送波の周波数オフセット値が同じ位置のサンプル同士を微分デコーディングすれば、発生するエラー値を訂正することができる。したがって、微分デコーディングの値を適切に処理することにより、候補オフセット値を獲得することが可能である。

40

【0017】

図2は、微分デコーディング処理方法を表す概念図である。図2に示すように、隣接する2個のOFDMシンボル C_0 、 C_1 は、 N 個のサンプルから構成されており、一定の間隔で L 個($R \# 0 \sim R \# L - 1$)の基準信号が挿入されている。この二つのOFDMシンボルを微分デコーディング処理すれば、シンボル D を得ることができ、その計算式は、次の式(1)の通りである。

【0018】

【数5】

50

$$D_j = C_{1,j} \times C_{0,j}^* \quad (j = 0 \sim N) \quad \dots (1)$$

【0019】

ここで、 $C_{0,j}$ は、受信した0番目のシンボルのj番目の副搬送波に載せられたサンプルであり、 $C_{1,j}$ は、受信した1番目のシンボルのj番目の副搬送波に載せられたサンプルである。Nは、一つのOFDMシンボルのサンプルの個数であり、*は、共役 (conjugate) 複素数を示す。

【0020】

ここで、周波数オフセットの絶対値が1/2より小さい場合、復号されたシンボル間の回転移動は発生せず、隣接するチャンネル間の干渉であるクロストーク現象のみが生ずる。クロストーク現象は、シンボルに対する信号対雑音比(SNR)を減少させる。周波数オフセットによるクロストーク現象の程度を定量的に表現するため、隣接する二つのシンボルが微分デコーディングされ、 D_j 値は、両シンボルの相関性を示す。

【0021】

前記式(1)と同様の計算により、隣接する二つのシンボルの相関関係を知ることができるため、従来技術においても用いられたことがある。しかし、従来は、定められたオフセット範囲{-S; S}についての全ての場合を計算する必要があったため、2S+1回だけ繰り返さなければならなかった。しかしながら、本発明においては、ただ一度の計算で足りる。結局、二つのシンボルの相関性を調査する計算処理に要する遅延は、2個のOFDMシンボル長さ、即ち、2N個のサンプル長さである。従って、処理速度は、相当に速くなり、メモリの側面においては、微分デコーディングするための2個のシンボルを記憶するためのメモリとデコーディングされた1個のシンボルを記憶するためのメモリだけ設ければ足りる。

【0022】

前記式(1)によって得られた二つのシンボルの微分デコーディング値は、以下の式(2)によって基準信号位置を中心に一定の間隔だけ離れた値同士で加算され、候補オフセット値を推定する。

【0023】

【数6】

$$\varepsilon_q = \text{Mag} \left(\sum_{j=0}^{L-1} D_{p(j)+q} \right), \quad (q \in \{-S; S\}) \quad \dots (2)$$

【0024】

ここで、Magは、複素信号値の大きさを表し、 $D_{p(j)+q}$ は、 $p(j)+q$ 番目の副搬送波の微分デコーディング値である。P(j)は、L個の基準搬送波信号中においてj番目の基準搬送波の位置を表す。

【0025】

前記式(2)により{-S; S}範囲内において得た2S+1個の候補オフセット値は、 $-\varepsilon_s, \dots, \varepsilon_0, \dots, \varepsilon_s$ で表す。ここで、 $-\varepsilon_s$ は、 $q = -S$ のとき、基準搬送波から-Sだけ離れた位置の微分デコーディング値の合計の絶対値、 ε_0 は、 $q = 0$ の場合の、基準搬送波位置の微分デコーディング値の合計の絶対値、 ε_s は、 $q = S$ の場合の、基準搬送波からSだけ離れた位置の微分デコーディング値の合計の絶対値にそれぞれ該当する。

【0026】

前記式(2)の候補オフセット値{- ε_s ; ε_s }が計算される入出力関係を理解し易くするため、図2のように、複数個の加算器(A-1~A-4)と絶対値計算器(M-1~M-4)で表示したが、実際のハードウェアでは単一の加算器と絶対値計算器だけで具現することができる。即ち、メモリに記憶された微分デコーディング値を一定のクロックによ

10

20

30

40

50

り抽出し、単位クロック毎に候補オフセット値を一つずつ順次計算することにより、ハードウェアを時分割的に共有することができる。

【0027】

候補オフセット値を計算するのに必要な時間は、該当するデコーディング値を合計するのに要する時間であり、1個の候補オフセット値を得るためには、L個のサンプルが必要である。即ち、 $2S + 1$ 個の推定値を計算するのに要する遅延時間は、 $L \times (2S + 1)$ サンプルである。従って、簡略周波数同期獲得のために必要な合計の時間は、 $2N + L \times (2S + 1)$ となる。

【0028】

同一のチャンネル状況を仮定して、従来技術と本発明による処理遅延時間とを比較した結果を以下に述べる。既に従来技術において言及した地上波TVにおいて、周波数オフセット獲得遅延は、OFDM 2Kモードにおいては70個のOFDMシンボル、8Kモードにおいては274個のOFDMシンボルが必要とされる。本発明では、地上波TVのフレーム内の基準搬送波数は、全体の搬送波数の約2%を占める。本発明の簡略周波数同期獲得のために必要な合計の時間は、2Kモードにおいては3個のOFDMシンボルより少なく、8Kモードにおいては5個のOFDMシンボルより少なかった。これは、本発明が従来の遅延時間に比して画期的に減少されたことを示している。

10

【0029】

次に、第2の技術を説明する前に、周波数オフセット値と受信機の性能との関係を説明すれば次の通りである。

20

【0030】

周波数オフセット $| \Delta f | > 1/2$ の場合、受信機側の性能劣化程度が更に甚だしくなるが、これは、周波数オフセットが、各副搬送波の周波数を隣接する副チャンネル帯域へ平行に移動させ、復号されたOFDMシンボル間の回転移動(circular shift)を招くからである。即ち、周波数オフセットを含んだ信号は、フーリエ変換の性質により、FFT変換後には復号シンボル間の回転移動を起こすため、周波数オフセット値が整数であれば回転移動だけ生じ、整数でなければ回転移動と共にクロストーク現象も生じる。このような回転移動が生じると、補正技法を用いて復旧すると言えども、正確に復元することができない。一方、周波数オフセットが $| \Delta f | < 1/2$ と小さい場合、回転移動は無く、クロストーク現象だけが生じる。したがって、周波数オフセット補正技法においては、周波数オフセット値を回転移動が生じない範囲($| \Delta f | < 1/2$)内に減少させる過程が必須である。

30

【0031】

第2の技術は、獲得した周波数オフセット値が基準搬送波から $1/2$ または $-1/2$ 副搬送波間隔に近づかないように成すアルゴリズムを用いるものである。従来技術では、推定された $2S + 1$ 個のオフセット値を全て調査した後、その中から最大値のみを抽出して最終的なオフセット値を決定した。本発明においては、第1の技術によって得られた $2S + 1$ 個のオフセット値において、一番目の最大値(この値の位置をインデックス I_{M1} で表記)と二番目の最大値(その値の位置をインデックス I_{M2} で表記)を探し出し、この二つの値が存在する位置(インデックス)を考慮して最終的なオフセット値を決定する。

【0032】

全ての周波数範囲のスキャン後、2個の最大値のインデックス(I_{M1} 、 I_{M2})が連続して位置しない場合、一番目の最大値のインデックス(I_{M1})が周波数オフセットを補正するための基準として用いられる。2個の最大値のインデックス(I_{M1} 、 I_{M2})が連続的に存在する場合($I_{M2} = I_{M1} \pm 1$)、二つの最大インデックスに加重値を与えて得たインデックスを周波数オフセットを補正するための基準として用いる。一例として、 $3/4 I_{M1} + 1/4 I_{M2}$ のように、一番目の最大インデックスに二番目のインデックスの3倍の加重値を与えて得られたインデックスの位置において推定される値が、周波数オフセット値として最終決定される。

40

【0033】

図3及び4は、 $\{-17; +17\}$ の副搬送波に設定された追跡範囲において、前記提案

50

の方式により推定されるオフセット値を連続的に示す。図3は、2個の最大値が連続して存在しない場合を示し、図4は、2個の最大値が連続して存在する場合を示す。

【0034】

図3を参照すれば、インデックス4(=I_{M1})から得られた最大のオフセット値は、殆ど副搬送波領域の倍数に近い値で、他の推定値と区別される極めて明瞭なピク値を示している。インデックス4から得られた最大オフセット値が正確に補正しようとする簡略周波数オフセット値として用いられる。これは、一番目の最大値と二番目の最大値とが互いに隣接していなかったためであり、したがって、インデックス9(=I_{M2})から得られた二番目の最大オフセット値は考慮されない。

【0035】

図4を参照すれば、2個の最大値は、インデックス3(=I_{M2})とインデックス4(=I_{M1})から連続して得られるため、二つのインデックス間に加重値を与えることによりオフセット値の位置を推定すべきである。この際、加重値は、正確な数値であることを要しないが、加重値を置く理由は、オフセット値の位置が搬送波間の間隔(inter-carrier spacing)に存在することを避けるためである。更に、2個の最大値が不安定に隣接する場合は発生し得るので、加重値係数として{1/2, 1/2}を使用しないように注意する必要がある。2個の最大値が不安定に隣接していれば、単一の最大値を用いるよりも、獲得をより一層不利なようにし得るからである。実際のハードウェアを簡単に具現化するためには、加重値係数{3/4, 1/4}を用いるのが望ましい。

【0036】

次に、図5を参照して本発明の構成及び作用を詳細に説明する。

【0037】

先ず、OFDMフレーム内のデータ外に固定したL個の搬送波の位置に、基準信号が挿入され、基準信号を利用して±1/2範囲内の簡略周波数オフセット値を獲得する。前記基準信号は、一定の位相及び振幅を有する信号である。本発明の簡略周波数オフセット推定装置は、受信したOFDM変調信号をFFT処理した後、得られた周波数領域上のOFDMシンボルを適当に処理して、いくつかの候補のオフセット値を獲得した後、その中から補正しようとするオフセット値を最終的に決定する。

【0038】

図5において、簡略周波数オフセット推定装置は、入力バッファ100、複素数乗算部110、微分デコーディング値記憶部120、アドレス制御部130、周波数オフセット獲得部140、及び周波数オフセット追跡部150から構成されている。

【0039】

入力バッファ100は、FFT処理後に得られた、周波数領域上の連続的なOFDMシンボル(C_t)をサンプル単位(C_{t,j})で受信し、一つのシンボル長さ(Nサンプル)だけ遅延後、サンプル単位で出力するものであり、ファーストインファーストアウト(FIFO)バッファで具現化される。

【0040】

複素数乗算部110は、前記入力バッファ100から出力された過去のOFDMサンプル(C_{t-1,j})と、FFT処理後に入力された現在のOFDMサンプル(C_{t,j})とを複素数乗算し、微分デコーディング処理する。即ち、過去のサンプルの共役複素数と現在のサンプルの複素数とを乗算して微分デコーディング値を出力する。微分デコーディングの計算式は前記式(1)と同じである。

【0041】

微分デコーディング値記憶部120は、前記複素数乗算器110から出力された微分デコーディング値D_jを直列入力で受信し、記憶した後、ランダム出力する。微分デコーディング値記憶部120は、入出力を分離して制御するデュアルポートメモリ(DPRAM: Dual Port Random Access Memory)として具現化される。

【0042】

アドレス制御部130は、前記微分デコーディング値記憶部120の出力を制御するため

10

20

30

40

50

のアドレス及び制御信号を発生する。アドレス及び制御信号発生規則は、前記微分デコーディング値記憶部 120 に記憶された基準信号 (図 1 参照、 $R \# 0 \sim R \# L - 1$) を中心に同一の位置に存在する L 個の微分デコーディング値を一つのグループとして各サンプルクロック毎に並列出力することである。

【0043】

周波数オフセット獲得部 140 は、各サンプルクロック毎に前記微分デコーディング値記憶部 120 からランダム出力された L 個の微分デコーディング値を合計した後、その絶対値を計算して候補オフセット値 i ($-S \leq i \leq S$ の整数、 S は予め設定された最大周波数オフセット) を出力する。周波数オフセット獲得部 140 は、各シンボルクロック毎にリセットされ、 L 個の微分デコーディング値を積分する加算器と、加算器の出力を受信し、複素数の大きさ ($|Re| + |Im|$) を計算する絶対値計算器とから構成される。

10

【0044】

周波数オフセット追跡部 150 は、前記周波数オフセット獲得部 140 から得られた $2S + 1$ 個の候補オフセット値 $\{ \dots; \dots \}$ を調査し、一番目の最大値と二番目の最大値とが存在する位置によって最終的に補正すべき簡略周波数オフセット値を出力する。周波数オフセット追跡部 150 は、最大値を検出し、2 個の最大値に加重値を与えるアルゴリズムを具現化した簡単な論理回路と DSP (digital signal processing) 技術として具現化される。

【0045】

即ち、候補オフセット値をスキヤニングし、最大値を探し出して一番大きい値を有する位置 (インデックス I_{M1}) と二番目に大きい値を有する位置 (インデックス I_{M2}) を調査する。一番目の最大値のインデックスと二番目の最大値のインデックスとが連続して位置しない場合 ($I_{M1} = I_{M2} \pm 1$)、補正すべき簡略周波数オフセット値を、一番目の最大値に決定する。一番目の最大値のインデックスと二番目の最大値のインデックスとが隣接している場合 ($I_{M1} = I_{M2} \pm 1$)、二つの最大値インデックスに対して加重値を与え、二つの最大値の間に存在する値を補正すべき簡略周波数オフセット値として決定する。

20

【0046】

従来技術においては、 $2S + 1$ 個の推定値を得るために $2S + 1$ 回の演算が行われる必要があったが、本発明では、単一の演算により $2S + 1$ 個の推定値が並列的に計算されるため、処理時間を短縮可能である。このとき、微分デコーディング演算により、2 個の OFDM シンボル (即ち、 $2N$ 個のサンプル) を記憶するメモリと同等の遅延とを要する。

30

【0047】

図 5 に示すように、具現化された簡略周波数同期獲得装置の構成要素、例えば、複素数乗算部 110 及び入力バッファ 100 等は、本発明の目的以外の他の目的にも利用可能である。簡略周波数同期獲得過程は一度だけ遂行され、簡略周波数獲得後、更に精緻な精密周波数同調が行われる。典型的には、精密周波数同調において、連続した OFDM シンボルを微分デコーディング処理し、相関性を探すため、微分デコーディングに必須の複素数乗算部と入力バッファを再使用することができる。

【0048】

更に、微分デコーディングの OFDM シンボルを記憶する微分デコーディング値記憶部 120 は、デュアルポートメモリにより具現化されているため、同期化以後に行われる等化過程において再使用することができる。チャンネル環境に適応可能な等化器の場合、更新されるフィルターバンク係数を記憶するのに利用することができるし、適応不能な等化器の場合、チャンネル応答補間値を記憶するのに利用されることもある。

40

【0049】

【発明の効果】

以上に説明したように、本発明によれば、二つの隣接するシンボルを微分デコーディングして得られた微分デコーディング値中、基準信号から同一の位置にある微分デコーディング値を使用して候補オフセット値を得た後、これらの候補オフセット値の第 1 及び第 2 の最大値の位置により、簡略周波数オフセット値が推定される。従って、高速に処理され、

50

信頼性のある簡略周波数同期を行うことができる。また、本発明の装置の一部は、他の同期化装置或いは等化処理装置と共有して使用することができるため、受信機内のハードウェア全体の複雑さを軽減することができる。さらに、候補オフセット値から簡略周波数オフセット値を推定する方式は、2個の最大値のアルゴリズムを適用し、搬送波間の間隔において同期が採れないようにすることによって、極めて安定し且つ信頼性のあるオフセット値を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明に適用される基準搬送波信号が挿入されたOFDMフレーム構造を示す図面である。

【図2】図2は、図1の基準搬送波信号を基準とし、一定範囲内の周波数オフセット値を獲得するための微分デコーディング処理方法を表す概念図である。

10

【図3】図3は、本発明に係る簡略周波数オフセット推定方法により得られた周波数帯域における、副搬送波位置による周波数オフセット推定値のシミュレーション結果を表すグラフである。

【図4】図4は、本発明に係る簡略周波数オフセット推定方法により得られた周波数帯域における、副搬送波位置による周波数オフセット推定値の他のシミュレーション結果を表すグラフである。

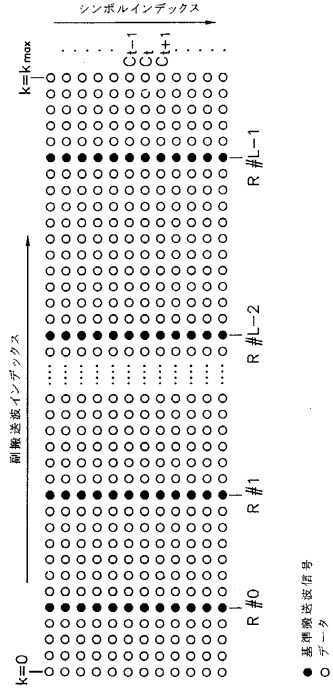
【図5】OFDM方式のデジタル通信システムの受信機における、本発明に係る簡略周波数オフセット推定装置を表すブロック図である。

【符号の説明】

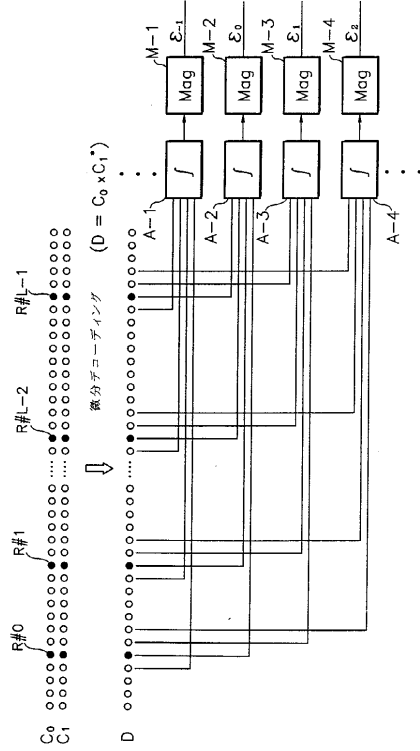
20

- 100 入力バッファ
- 110 複素数乗算部
- 120 微分デコーディング値記憶部
- 130 アドレス制御部
- 140 周波数オフセット獲得部
- 150 周波数オフセット追跡部

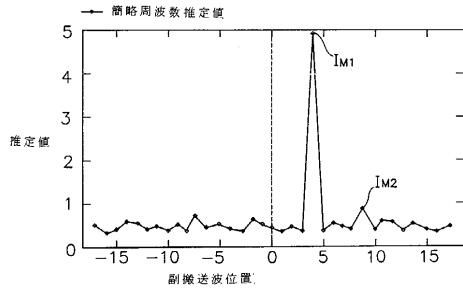
【図1】



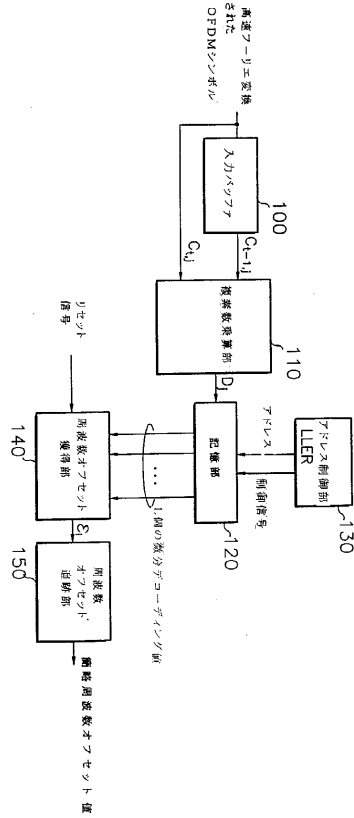
【図2】



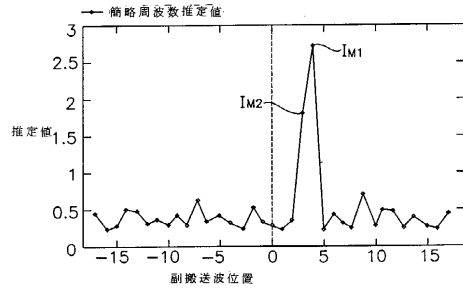
【図3】



【図5】



【図4】



フロントページの続き

- (74)代理人 100090066
弁理士 中川 博司
- (74)代理人 100094101
弁理士 館 泰光
- (74)代理人 100099988
弁理士 斎藤 健治
- (74)代理人 100105821
弁理士 藤井 淳
- (74)代理人 100099911
弁理士 関 仁士
- (74)代理人 100108084
弁理士 中野 睦子
- (72)発明者 ドジョンジュ オリヴィエ
フランス メツ 57000 リュ デ シャンペ 5

審査官 高野 洋

- (56)参考文献 特開平08 - 237219 (JP, A)
特開平08 - 223132 (JP, A)
特開平11 - 112460 (JP, A)
特開平10 - 308713 (JP, A)
特開2002 - 064457 (JP, A)
特開2005 - 143137 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04J 11/00