

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010 年 11 月 25 日(25.11.2010)

(10) 国際公開番号
WO 2010/134447 A1

PCT

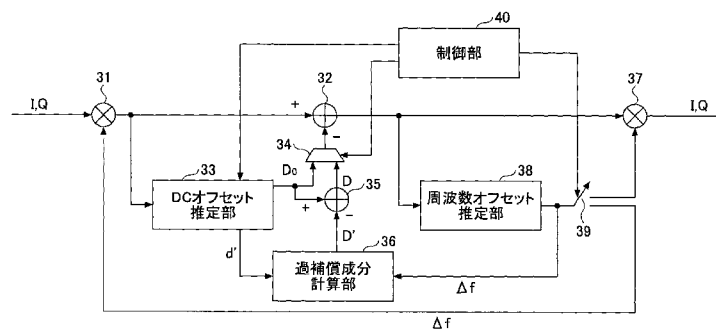
- (51) 国際特許分類:
H04J 11/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/057951
- (22) 国際出願日: 2010 年 5 月 11 日(11.05.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-120483 2009 年 5 月 19 日(19.05.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ミツミ電機株式会社(MITSUMI ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2068567 東京都多摩市鶴牧 2 丁目 1 1 番地 2 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 木村 祐司(KIMURA, Yuji) [JP/JP]; 〒2068567 東京都多摩市鶴牧 2 丁目 1 1 番地 2 ミツミ電機株式会社内 Tokyo (JP). 山元 康之介(YAMAMOTO, Konosuke) [JP/JP]; 〒2068567 東京都多摩市鶴牧 2 丁目 1 1 番地 2 ミツミ電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 伊東 忠彦(ITO, Tadahiko); 〒1506032 東京都渋谷区恵比寿 4 丁目 2 0 番 3 号 恵比寿ガーデンプレイスタワー 3 2 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF,

[続葉有]

(54) Title: OFFSET COMPENSATING CIRCUIT AND OFFSET COMPENSATING METHOD

(54) 発明の名称: オフセット補償回路及びオフセット補償方法

[図2]



33 DC OFFSET ESTIMATING UNIT
36 EXCESSIVELY COMPENSATED COMPONENT CALCULATING UNIT
38 FREQUENCY OFFSET ESTIMATING UNIT
40 CONTROL UNIT

(57) Abstract: An offset compensating circuit comprises: a DC offset estimating/compensating means that estimates the value of a DC offset included in an OFDM signal to compensate the DC offset; a frequency offset estimating/compensating means that estimates the value of a frequency offset included in the DC-offset compensated signal to compensate the frequency offset; an excessively compensated component calculating means that uses both the DC offset value estimated by the DC offset estimating/compensating means after the compensation by the frequency offset estimating/compensating means and the frequency offset value estimated by the frequency offset estimating/compensating means to calculate a component of a subcarrier excessively compensated in the DC offset compensating means; and an excessively compensated component removing means that removes, from the DC offset value estimated by the DC offset estimating/compensating means, the excessively compensated component calculated by the excessively compensated component calculating means to use the resultant in the DC offset compensation by the DC offset estimating/compensating means. Thus, the offset compensating circuit compensates the frequency offset of the signal as DC-offset compensated after the removal of the excessively compensated component and outputs the resultant.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/134447 A1



BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, 添付公開書類:
SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

オフセット補償回路は、OFDM信号に含まれるDCオフセット値を推定して補償するDCオフセット推定補償手段と、前記DCオフセットを補償された信号に含まれる周波数オフセット値を推定して補償する周波数オフセット推定補償手段と、前記周波数オフセット推定補償手段で補償されたのち前記DCオフセット推定補償手段で推定されたDCオフセット値と、前記周波数オフセット推定補償手段で推定された周波数オフセット値を用いて、前記DCオフセット補償手段におけるサブキャリアの過補償成分を算出する過補償成分算出手段と、前記DCオフセット推定補償手段で推定されたDCオフセット値から前記過補償成分算出手段で算出した過補償成分を取り除いて前記DCオフセット推定補償手段でのDCオフセット補償に用いる過補償成分除去手段とを有し、過補償成分を取り除いたのちDCオフセットを補償した信号に対し周波数オフセットを補償し出力する。

明 細 書

発明の名称： オフセット補償回路及びオフセット補償方法

技術分野

[0001] 本発明は、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 直交周波数分割多重) 信号のオフセットを補償するオフセット補償回路及びオフセット補償方法に関する。

背景技術

[0002] OFDM方式は、制限された帯域内で高い伝送レートを有し、また、マルチパスに強いいため、近年種々の無線通信に利用されている。例えば、無線LAN規格IEEE 802.11a, gにおいて、OFDM方式の無線信号が使用される。

[0003] 図10にDCオフセット及び周波数オフセットのないOFDMベースバンド信号スペクトラムを示す。OFDM信号にDCオフセット及び周波数オフセットがない場合は、各サブキャリアは互いに干渉することはない。また、DCサブキャリアのセンター周波数は0Hzとなる。

[0004] 図11にDCオフセット及び周波数オフセットを含むOFDMベースバンド信号スペクトラムを示す。DCオフセットと周波数オフセットが存在すると復調処理に影響を及ぼすために、DCオフセットと周波数オフセットを補償する必要がある。

[0005] ここで、OFDM信号のDCオフセットと周波数オフセットについて説明する。ダイレクトコンバージョン方式のOFDM受信装置は、アンテナで受信したRF (高周波) 信号を直接的に直交復調してOFDMベースバンド信号のI (同相) 成分とQ (直交) 成分を取り出し、その後にOFDM復調を行う。

[0006] しかし、このダイレクトコンバージョン方式では、RF信号と局部発振信号の周波数が同じであるが、局部発振信号に比べてRF信号のレベルが充分ではなくS/Nが良好とは言えないため、局部発振信号成分のRF信号への

回り込み等により、DCオフセットが生じる。ただ、OFDM方式では、全てのサブキャリアの周波数間隔が直交性を満たすように設定され、上記DCオフセットは本来ならば、復調処理に影響を及ぼすことはない。ところが、局部発振器の発振周波数はRF信号の周波数と完全には一致せず僅かにずれ、つまり、周波数オフセットを有している場合が一般的であり、この周波数ずれ自体は後段の周波数補正処理部分によって補正されるものの、上記のDCオフセットがある場合は、その周波数誤差推定が実際より大きく推定されたり、少なく推定されたりする。

[0007] 従来のOFDM信号のオフセット補償方法として、先にDCオフセットを補償して次に周波数オフセットを補償する第1の方法（例えば特許文献1参照）、先に周波数オフセットを補償して次にDCオフセットを補償する第2の方法（例えば特許文献2参照）、システムの行列を特異値分解して周波数オフセットの候補値を求めておき、最適な周波数オフセットの候補値を探索し、最適な周波数オフセットの候補値からDCオフセットを推定する第3の方法（例えば特許文献3参照）等がある。

[0008] 図12は従来のOFDM信号のオフセット補償方法（第1の方法）の一例のフローチャートを示す。図12において、ステップS1でOFDM信号のプリアンプルからDCオフセットを推定し、推定したDCオフセットを補償する。その後、ステップS2で周波数オフセットを推定し、推定した周波数オフセットを補償する。

[0009] 図13は従来のOFDM信号のオフセット補償方法（第2の方法）の一例のフローチャートを示す。図13において、ステップS3でOFDM信号のプリアンプルから周波数オフセットを推定しプリアンプルの周波数オフセットを補償する。その後、ステップS4で周波数オフセットを補償したプリアンプルからDCオフセットを推定し、ステップS5でOFDM信号のデータに対しDCオフセットを補償すると共に周波数オフセットを補償する。

[0010] 図14は従来のOFDM信号のオフセット補償方法（第3の方法）の一例のフローチャートを示す。図14において、システムの行列を特異値分解し

て周波数オフセットの候補値を求めておき、ステップS 6で受信信号に周波数オフセットの候補値を乗算して最適な周波数オフセットの候補値を探索し、最適な周波数オフセットの候補値からDCオフセットを推定する。次に、ステップS 7で推定したDCオフセットを補償し、推定した周波数オフセットを補償する。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：特開2003-32216号公報

特許文献2：特開2004-304507号公報

特許文献3：特開2008-135888号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 図11のOFDMベースバンド信号スペクトラムでは、センター周波数 f_c において、DCオフセット値として観測される値には、隣接するサブキャリアの成分 D' も含まれている。図15に隣接するサブキャリアの成分 D' を抜き出して示している。

[0013] 図12に示す第1の方法では、隣接するサブキャリアの成分 D' までステップS1で補償されるため、図15に示すように、隣接するサブキャリアに対する干渉を引き起こしてしまい、この干渉により受信性能が劣化するという問題があった。

[0014] 図13に示す第2の方法では、ステップS3で周波数オフセットが完全に補償されていれば、ステップS4でDCオフセットを正確に推定することができる。しかし、OFDM信号にDCオフセット及び周波数オフセットが含まれる場合に、先に周波数オフセットを推定すると、DCオフセットの影響で周波数オフセットの推定値に誤差が生じる。この推定値の誤差により受信性能が劣化するという問題があった。

[0015] 図14に示す第3の方法では、システムの行列を特異値分解して周波数オ

フセットの候補値を求めるために回路規模が大きくなり算出に時間がかかる。更に、ステップS 6で受信信号に周波数オフセットの候補値を乗算して最適な周波数オフセットの候補値を探索するために算出時間がかかり、リアルタイムのオフセット補償動作を行うことができないという問題があった。

[0016] 本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、回路規模を増大させることなく、DCオフセット及び周波数オフセットを高速にかつ精度良く推定し補償するオフセット補償回路及びオフセット補償方法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

[0017] 上記の課題を解決するため、本発明に係るオフセット補償回路は、OFDM信号のDCオフセット及び周波数オフセットを推定して補償するオフセット補償回路であって、前記OFDM信号を直交復調した信号に含まれるDCオフセット値を推定して補償するDCオフセット推定補償手段と、前記DCオフセット推定補償手段で補償された信号に含まれる周波数オフセット値を推定して補償する周波数オフセット推定補償手段と、前記周波数オフセット推定補償手段で補償されたのち前記DCオフセット推定補償手段で推定されたDCオフセット値と、前記周波数オフセット推定補償手段で推定された周波数オフセット値を用いて、前記DCオフセット補償手段におけるサブキャリアの過補償成分を算出する過補償成分算出手段と、前記DCオフセット推定補償手段で推定されたDCオフセット値から前記過補償成分算出手段で算出した過補償成分を取り除いて前記DCオフセット推定補償手段でのDCオフセット補償に用いる過補償成分除去手段とを有し、前記過補償成分を取り除いたのち前記DCオフセット推定補償手段でDCオフセットを補償した信号に対し前記周波数オフセット推定補償手段で周波数オフセットを補償し出力することを特徴とする。

[0018] 上記の課題を解決するため、本発明に係るオフセット補償方法は、OFDM信号のDCオフセット及び周波数オフセットを推定して補償するオフセット補償方法であって、前記OFDM信号を直交復調した信号に含まれるDC

オフセット値を推定して補償する第1ステップと、前記第1ステップで補償された信号に含まれる周波数オフセット値を推定して補償する第2ステップと、前記第2ステップで周波数オフセットを補償された信号からDCオフセット値を推定する第3ステップと、前記第3ステップで推定されたDCオフセット値と、前記第2ステップで推定された周波数オフセット値を用いて、前記第1ステップにおけるサブキャリアの過補償成分を算出し、前記第1ステップで推定されたDCオフセット値から前記過補償成分を取り除く第4ステップと、前記第4ステップで前記過補償成分を取り除いたDCオフセット値で前記OFDM信号を直交復調した信号の補償を行う第5ステップと、前記第5ステップで補償された信号に含まれる周波数オフセット値を補償し出力する第6ステップとを有することを特徴とする。

発明の効果

- [0019] 本発明に係るオフセット補償回路及びオフセット補償方法によれば、回路規模を増大させることなく、DCオフセット及び周波数オフセットを高速かつ精度良く補償することができる。

図面の簡単な説明

- [0020] [図1] OFDM受信機の一実施形態のブロック構成図である。
[図2] オフセット補償回路の一実施形態のブロック構成図である。
[図3] OFDM無線フレームの一例の構成図である。
[図4A] シンボルの波形図である。
[図4B] シンボルの波形図である。
[図5] OFDMベースバンド信号スペクトラムを示す図である。
[図6A] 本発明を説明するためのシンボルの波形図である。
[図6B] 本発明を説明するためのシンボルの波形図である。
[図6C] 本発明を説明するためのシンボルの波形図である。
[図7] オフセット補償回路動作の一実施形態のフローチャートである。
[図8] オフセット補償を複数回実行する場合のフローチャートである。
[図9] シミュレーション結果を示す図である。

[図10] DCオフセット及び周波数オフセットのないOFDMベースバンド信号スペクトラムを示す図である。

[図11] DCオフセット及び周波数オフセットを含むOFDMベースバンド信号スペクトラムを示す図である。

[図12] 従来のOFDM信号のオフセット補償方法のフローチャートである。

[図13] 従来のOFDM信号のオフセット補償方法のフローチャートである。

[図14] 従来のOFDM信号のオフセット補償方法のフローチャートである。

[図15] 隣接するサブキャリアに対する干渉を説明するためのOFDMベースバンド信号スペクトラムを示す図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、本発明を実施するための形態について、添付図面を参照しながら説明する。

[0022] 図1は、本発明のオフセット補償回路を適用したOFDM受信機の一実施形態のブロック構成図を示す。図1において、アンテナ10で受信したRF信号はローノイズアンプ(LNA)11で増幅されたのち、ミキサ12、13それぞれに供給される。

[0023] 局部発振器14が出力する局部発振信号は直接ミキサ12に供給されると共に、移相器15で $\pi/2$ 移相されてミキサ13に供給される。ミキサ12、13と局部発振器14と移相器15はダイレクトコンバージョン方式の直交復調器を構成している。ミキサ12はRF信号と移相された局部発振信号を乗算してOFDMベースバンド信号のI(同相)信号を出力する。ミキサ13はRF信号と局部発振信号を乗算してOFDMベースバンド信号のQ(直交)信号を出力する。

[0024] ミキサ12の出力するI信号はAGC(自動利得制御)アンプ17で増幅されたのち、ローパスフィルタ18で不要高周波成分を除去され、A/Dコンバータ19でデジタル化されてデジタル補償・復調部20に供給される。また、ミキサ13の出力するQ信号はAGC(自動利得制御)アンプ21で増幅されたのち、ローパスフィルタ22で不要高周波成分を除去され、A/

Dコンバータ23でデジタル化されてデジタル補償・復調部20に供給される。

[0025] デジタル補償・復調部20はI、Q信号からDCオフセット及び周波数オフセットの推定及び補償を行い、その後、復調を行う。すなわち、デジタル補償・復調部20内においてオフセット補償が実行される。

[0026] <オフセット補償回路>

図2は、本発明のオフセット補償回路の一実施形態のブロック構成図を示す。図2において、A/Dコンバータ19、23が出力するI、Q信号は各種ブロックを通過したのち乗算器31に供給される。乗算器31は後述する周波数オフセット推定部38から周波数オフセット値 Δf を供給された場合、この周波数オフセット Δf からキャリア再生を行い、I、Q信号それぞれに複素乗算することで周波数オフセット補償を行って出力する。乗算器31の出力するI、Q信号は減算器32及びDCオフセット推定部33に供給される。

[0027] ここで、図3に、無線LAN規格IEEE802.11aにおけるOFDM無線フレームの一実施形態の構成図を示す。OFDM無線フレームはPLCPプリアンプル、OFDMヘッダであるSIGNAL、データ領域のDataを有している。PLCPプリアンプルはショートシンボルによる固定パターンであるショートトレーニングシンボルと、ロングシンボルによる固定パターンであるロングトレーニングシンボルを有している。ショートトレーニングシンボルはシンボル $S_1 \sim S_{10}$ を有している。ショートトレーニングシンボル及びロングトレーニングシンボルは、同期、AGC、オフセット推定に用いられる。

[0028] なお、本実施形態では1シンボルの周期を n 回（例えば、 $n=16$ ）サンプリングして、それぞれI、Q信号がA/Dコンバータ19、23から供給されている。

[0029] DCオフセット推定部33は、I、Q信号それぞれのショートトレーニングシンボル（例えばシンボル S_7 ）について1シンボル周期の n サンプルの時

間平均値を求め、この時間平均値を I 、 Q 信号それぞれの DC オフセット推定値とする。

[0030] 具体的には、DC オフセットのない受信信号（トレーニングシンボル）を $s(t)$ 、DC オフセットを D とすると、DC オフセットの存在する受信信号 $r(t)$ は次のように表される。

$$[0031] \quad r(t) = s(t) + D$$

ここで、トレーニングシンボルである $s(t)$ は直流成分がない周期信号であるため 1 シンボル区間の平均値は 0 となる。従って、 $r(t)$ を 1 シンボル区間（ N サンプル）で平均をとると、次式により DC オフセットを求めることができる。

[0032] [数1]

$$\frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} (s(t) + D) = D$$

なお、DC オフセット及び周波数オフセットがない場合には、各シンボルの I 、 Q 信号は図 4 A に示すように 1 シンボル周期の時間平均値が 0 となる。しかし、DC オフセット及び周波数オフセットがある場合には各シンボルの I 、 Q 信号は 1 シンボル周期の時間平均値は 0 以外の値となる。DC オフセット推定部 33 は I 、 Q 信号それぞれで推定した DC オフセット値 D_0 を保持し、セレクタ 34 及び減算器 35 に供給する。

[0033] ところで、制御部 40 は OFDM 無線フレームの受信開始から AGC アンプ 17、21 やその他回路の動作が安定した時点（例えばショートトレーニングシンボルのシンボル S_7 のタイミング、なお、例えば S_5 や S_6 等の場合もある）で DC オフセット推定部 33 に DC オフセット推定動作の開始を指示している。また、制御部 40 は DC オフセット推定部 33 の出力する DC オフセット値 D_0 をセレクタ 34 に選択させて減算器 32 に供給する。

[0034] 減算器 32 は乗算器 31 の出力する I, Q 信号それぞれについて DC オフセット値 D_0 を減算して乗算器 37 及び周波数オフセット推定部 38 に供給する。

[0035] 周波数オフセット推定部 38 は DC オフセット推定に用いたシンボル（例えばシンボル S_7 ）の次の 2 シンボル（例えばシンボル S_8, S_9 ）である $2n$ サンプルの I, Q 信号を用いて周波数オフセットの推定を行う。周波数オフセット推定部 38 は n サンプル（1 シンボル周期）前のサンプルの I, Q 信号との複素相関演算を行って、 n サンプル前の I, Q 信号との位相変化量を算出し、それにより周波数オフセットを推定する。

[0036] 具体的には、周波数オフセットのない受信信号（トレーニングシンボル）を $s(t)$ とすると、トレーニングシンボルは周期信号であり、1 シンボル区間 Δt 毎に同じデータが繰り返されるので次式で表される。

$$[0037] \quad s(t) = s(t - \Delta t)$$

また、周波数オフセット Δf のある信号 $r(t)$ は次式で表される。

$$[0038] \quad r(t) = s(t) \exp(j 2 \pi \Delta f t)$$

また、 $r(t)$ は周期信号であるため、1 シンボル区間の自己相関をとると、次式を得ることができる。なお、 s^* は s と共役な複素数を表す。

$$[0039] \quad r(t) s^*(t - \Delta t) = |s(t)|^2 \exp(j 2 \pi \Delta f \Delta t)$$

この式における位相 $\Delta \omega$ は次式で表される。

$$[0040] \quad \Delta \omega = \arg |s(t)|^2 \exp(j 2 \pi \Delta f \Delta t)$$

従って、周波数オフセット Δf は以下のように表せる。

$$[0041] \quad \Delta f = \Delta \omega / 2 \pi \Delta t$$

なお、周波数オフセットがある場合には各シンボルの I, Q 信号は図 4 B に示すように見かけ上の 1 シンボル周期が変化し、現在のサンプルと 1 シンボル周期前のサンプルとの相関が低くなる。周波数オフセット推定部 38 は周波数オフセット値 Δf を推定して過補償成分算出部 36 及びスイッチ 39 に供給する。

[0042] 制御部 40 は、周波数オフセット推定を行った次のシンボル（例えばシン

ボル S_{10})で周波数オフセット値 Δf から再生されたキャリアを乗算器31に供給するようスイッチ39の切替えを行う。これにより、乗算器31は周波数オフセットを補償したI、Q信号を出力する。

[0043] ここで、先に説明したように、DCオフセット及び周波数オフセットを含むOFDM信号では、図11及び図15に示すように、センター周波数0Hzにおいて、DCオフセット値として観測される値 D_0 には、隣接するサブキャリアの成分 D' も含まれている。なお、DCオフセットの真値を D とすると、下記の(1)式の関係となる。

$$[0044] \quad D_0 = D + D' \quad \dots (1)$$

このため、DCオフセット及び周波数オフセットを補償したOFDMベースバンド信号スペクトラムは図5に示すように、隣接するサブキャリアの成分 D' までDCオフセット補償されて、隣接するサブキャリアが干渉(過補償)された状態である。

[0045] DCオフセット推定部33は、周波数オフセット推定を行った次のシンボル(例えばシンボル S_{10})において、1シンボル周期の n サンプルの時間平均値を求め、この時間平均値をI、Q信号それぞれのDCオフセット推定値 d' とする。この場合のDCオフセット推定値 d' は、図5に示すように、隣接するサブキャリアのオフセットとみなされ過補償された成分 D' に起因する成分である。制御部40はDCオフセット推定部33の出力するI、Q信号それぞれのDCオフセット推定値 d' を過補償成分算出部36に供給させるよう制御する。

[0046] 過補償成分算出部36は、I、Q信号それぞれのDCオフセット推定値 d' に基づき、下記の(2)式を用いて隣接するサブキャリアの成分である過補償成分 D' を算出する。ここで、 f_0 はサブキャリア間隔である。

[0047]

[数2]

$$D' = d' \frac{\pi \Delta f / f_0}{\sin(\pi \Delta f / f_0)} \exp(j\pi \Delta f / f_0) \quad \dots (2)$$

ここで、図 6 A に示すように、時刻 0 から時刻 T まで一定の複素数 A を持つ矩形波は下記の (3) 式で表される。

[0048] [数3]

$$g(t) = \begin{cases} A & (0 \leq t \leq T) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad \dots (3)$$

上記の (3) 式で表される矩形波をフーリエ変換して得られる周波数スペクトラムは、下記の (4) 式で表すことができる。ここで、 $T = 1 / f_0$ とすると、周波数スペクトラムは図 6 B に示すようになる。

[0049] [数4]

$$G(f) = AT \frac{\sin(\pi f T)}{\pi f T} \exp(-j\pi f T) \quad \dots (4)$$

一方、OFDM 信号に加わった複素数の DC オフセットについても、上記の (3) 式で表される矩形波と同様に考えることができる。したがって、DC オフセットの周波数スペクトラムは図 6 C に示すようになる。

[0050] 次に、上記の (4) 式を DC オフセット算出の式に置き換える。このため、上記の (4) 式に $T = 1 / f_0$ 、 $AT = D'$ 、 $f = \Delta f$ を代入すると、下記の (5) 式が得られる。

[0051]

[数5]

$$d' = D' \frac{\sin(\pi \Delta f / f_0)}{\pi \Delta f / f_0} \exp(-j\pi \Delta f / f_0) \quad \dots (5)$$

上記の（５）式を D' について解くと、上記の（２）式が得られる。なお、この（２）式を使用して D' を求めることができる条件としては、 D' を d' との比を用いて算出するため、 d' が０以外の場合である。 d' が０となる場合は、周波数オフセット Δf が、 $\Delta f = \pm f_0, \pm 2f_0, \pm 3f_0, \dots$ となる場合であり、このような $\Delta f = \pm f_0, \pm 2f_0, \pm 3f_0, \dots$ となる場合は、無線LAN規格IEEE 802.11a, gにおいて補償が必要とされる周波数オフセットの範囲外である。

[0052] 図２に戻って説明するに、過補償成分算出部３６は I, Q 信号それぞれの過補償成分 D' は減算器３５に供給される。減算器３５は、 DC オフセット推定部３３が保持して出力する DC オフセット値 D_0 から過補償成分 D' を減算してセレクタ３４に供給する。セレクタ３４は制御部４０の制御により、例えばシンボル S_{10} 以降の受信タイミングでは減算器３５の出力を選択して減算器３２に供給する。また、スイッチ３９は制御部４０の制御により周波数オフセット値 Δf から再生されたキャリアを乗算器３７に供給する。

[0053] これにより、減算器３２は、乗算器３１を通過した I, Q 信号それぞれから DC オフセットの真値 D を減算して DC オフセット補償を行って乗算器３７及び周波数オフセット推定部３８に供給する。この DC オフセット補償では過補償成分 D' の影響を受けていない。そして、乗算器３７は周波数オフセット Δf から再生されたキャリアを I, Q 信号それぞれに複素乗算することで周波数オフセット補償を行って出力する。

[0054] 次に、図７は、本発明の一実施形態に係るオフセット補償回路の動作を説明するためのフローチャートである。図７のフローチャートにおいて、ステップ S_{11} で DC オフセット推定部３３は、 DC オフセット値 D_0 を推定する

。ステップS 1 2で減算器3 2は、I, Q信号のDCオフセット補償を行う。

[0055] 続いて、ステップS 1 3で周波数オフセット推定部3 8は、周波数オフセット値 Δf の推定を行う。ステップS 1 4で乗算器3 1は、I, Q信号の周波数オフセット補償を行う。

[0056] この後、ステップS 1 5でDCオフセット推定部3 3は、DCオフセット推定値 d' を推定する。ステップS 1 6で過補償成分算出部3 6は、DCオフセット推定部3 3から供給されるDCオフセット推定値 d' を用いて過補償成分 D' を算出する。減算器3 5は、DCオフセット値 D_0 から、算出された過補償成分 D' を減算してDCオフセット D を求め、DCオフセット D を減算器3 2に供給する。

[0057] この後、ステップS 1 7で減算器3 2は、DCオフセット D を用いてI, Q信号のDCオフセット補償を行う。ステップS 1 8で乗算器3 1は、I, Q信号の周波数オフセット補償を行って出力する。このステップS 1 8が実行されたのち、OFDM受信信号の復調が開始される。

[0058] ところで、上記のステップS 1 2を実行したのち、ステップS 1 3~S 1 7を複数回実行したのちステップS 1 8を実行し、そののちOFDM受信信号の復調を開始してもよい。図8は、この場合のフローチャートを示す。図8のフローチャートにおいて、上記のステップS 1 2を実行したのち、ステップS 1 3~S 1 7に対応するステップS 2 3~S 2 7を m 回(m は整数)ループして繰り返す。即ち、ステップS 2 3で周波数オフセット推定部3 8は、周波数オフセット値 Δf の推定を行う。ステップS 2 4で乗算器3 1は、I, Q信号の周波数オフセット補償を行う。

[0059] この後、ステップS 2 5でDCオフセット推定部3 3は、DCオフセット推定値 d' を推定する。ステップS 2 6で過補償成分算出部3 6は、DCオフセット推定部3 3から供給されるDCオフセット推定値 d' を用いて過補償成分 D' を算出する。また、減算器3 5は、DCオフセット値 D_0 から過補償成分 D' を減算してDCオフセット D を求め、DCオフセット D を減算器

32に供給する。この後、ステップS27で減算器32は、DCオフセットDを用いてI、Q信号のDCオフセット補償を行う。最後に、ステップS18に対応するステップS28で乗算器31は、I、Q信号の周波数オフセット補償を行って出力する。このステップS28を実行したのちOFDM受信信号の復調が開始される。

[0060] このように、図7の一部の処理を図8のように複数回実行することにより、オフセット推定精度をより向上させることができる。

[0061] 図9にDCオフセット及び周波数オフセットの補償を行った場合の周波数オフセット値に対するEVM (Error Vector Magnitude) を示す。これは無線LAN規格IEEE 802.11aに基づくシミュレーション結果である。ここで、実線は従来技術による補償結果を示し、黒丸付の一点鎖線は本実施形態による補償結果を示す。

[0062] 無線LAN規格IEEE 802.11aでは使用する最大周波数は5.805GHz±232.2kHzである。図9に示すように、周波数オフセット−232.2kHzにおいて、本実施形態による補償結果は、従来技術による補償結果に対し約25dBの改善が見られ、本実施形態では周波数オフセットに対しEVMの劣化を抑制していることが分かる。

[0063] 本実施形態ではDCオフセットの推定には時間平均を用い、周波数オフセットの推定には複素相関演算を用い、上記の(2)式の演算を追加することで、精度の高いDCオフセット及び周波数オフセットの補償を行うことができる。また、従来例(特許文献1)と比較して追加するブロックは乗算器31と過補償成分算出部36でよいから、特別に大きなブロックを追加する必要がない。このため、回路規模の増大を抑えることができる。上記のDCオフセットの推定、周波数オフセットの推定、上記の(2)式の演算に要する時間は、ショートトレーニングシンボルの4シンボル周期であり、DCオフセット及び周波数オフセットを高速に補償することができる。

[0064] 本実施形態は無線LAN規格IEEE 802.11a, gを一例として説明してきたが、上記の実施形態に限定されない。無線LAN規格IEEE 8

02. 11 全般において採用されるOFDM方式に適用することができる。
また、無線LANに限らずOFDMを用いた無線通信一般にも適用することができる。

[0065] 本国際出願は、2009年5月19日に出願された日本国特許出願2009-120483号に基づく優先権を主張するものであり、日本国特許出願2009-120483号の全内容を本国際出願に援用する。

請求の範囲

[請求項1]

OFDM信号のDCオフセット及び周波数オフセットを推定して補償するオフセット補償回路であって、

前記OFDM信号を直交復調した信号に含まれるDCオフセット値を推定して補償するDCオフセット推定補償手段と、

前記DCオフセット推定補償手段で補償された信号に含まれる周波数オフセット値を推定して補償する周波数オフセット推定補償手段と、

前記周波数オフセット推定補償手段で補償されたのち前記DCオフセット推定補償手段で推定されたDCオフセット値と、前記周波数オフセット推定補償手段で推定された周波数オフセット値を用いて、前記DCオフセット補償手段におけるサブキャリアの過補償成分を算出する過補償成分算出手段と、

前記DCオフセット推定補償手段で推定されたDCオフセット値から前記過補償成分算出手段で算出した過補償成分を取り除いて前記DCオフセット推定補償手段でのDCオフセット補償に用いる過補償成分除去手段と、

を有し、

前記過補償成分を取り除いたのち前記DCオフセット推定補償手段でDCオフセットを補償した信号に対し前記周波数オフセット推定補償手段で周波数オフセットを補償し出力することを特徴とするオフセット補償回路。

[請求項2]

請求項1記載のオフセット補償回路において、

前記過補償成分算出手段は、前記周波数オフセット値を Δf とし、前記DCオフセット推定値を d' とし、前記過補償成分を D' とし、サブキャリア間隔を f_0 として、下記の式

[数6]

$$D' = d' \frac{\pi \Delta f / f_0}{\sin(\pi \Delta f / f_0)} \exp(j\pi \Delta f / f_0)$$

に従って、前記過補償成分を算出することを特徴とするオフセット補償回路。

[請求項3]

OFDM信号のDCオフセット及び周波数オフセットを推定して補償するオフセット補償方法であって、

前記OFDM信号を直交復調した信号に含まれるDCオフセット値を推定して補償する第1ステップと、

前記第1ステップで補償された信号に含まれる周波数オフセット値を推定して補償する第2ステップと、

前記第2ステップで周波数オフセットを補償された信号からDCオフセット値を推定する第3ステップと、

前記第3ステップで推定されたDCオフセット値と、前記第2ステップで推定された周波数オフセット値を用いて、前記第1ステップにおけるサブキャリアの過補償成分を算出し、前記第1ステップで推定されたDCオフセット値から前記過補償成分を取り除く第4ステップと、

前記第4ステップで前記過補償成分を取り除いたDCオフセット値で前記OFDM信号を直交復調した信号の補償を行う第5ステップと、

前記第5ステップで補償された信号に含まれる周波数オフセット値を補償し出力する第6ステップと、

を有することを特徴とするオフセット補償方法。

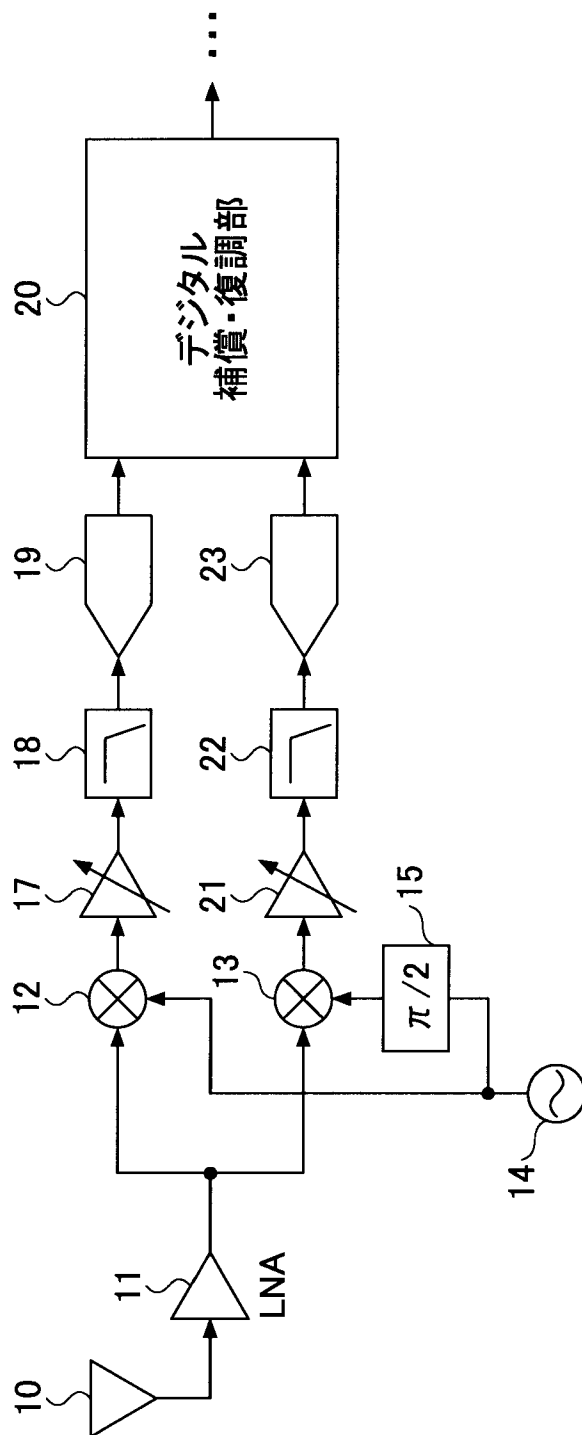
[請求項4]

請求項3記載のオフセット補償方法において、

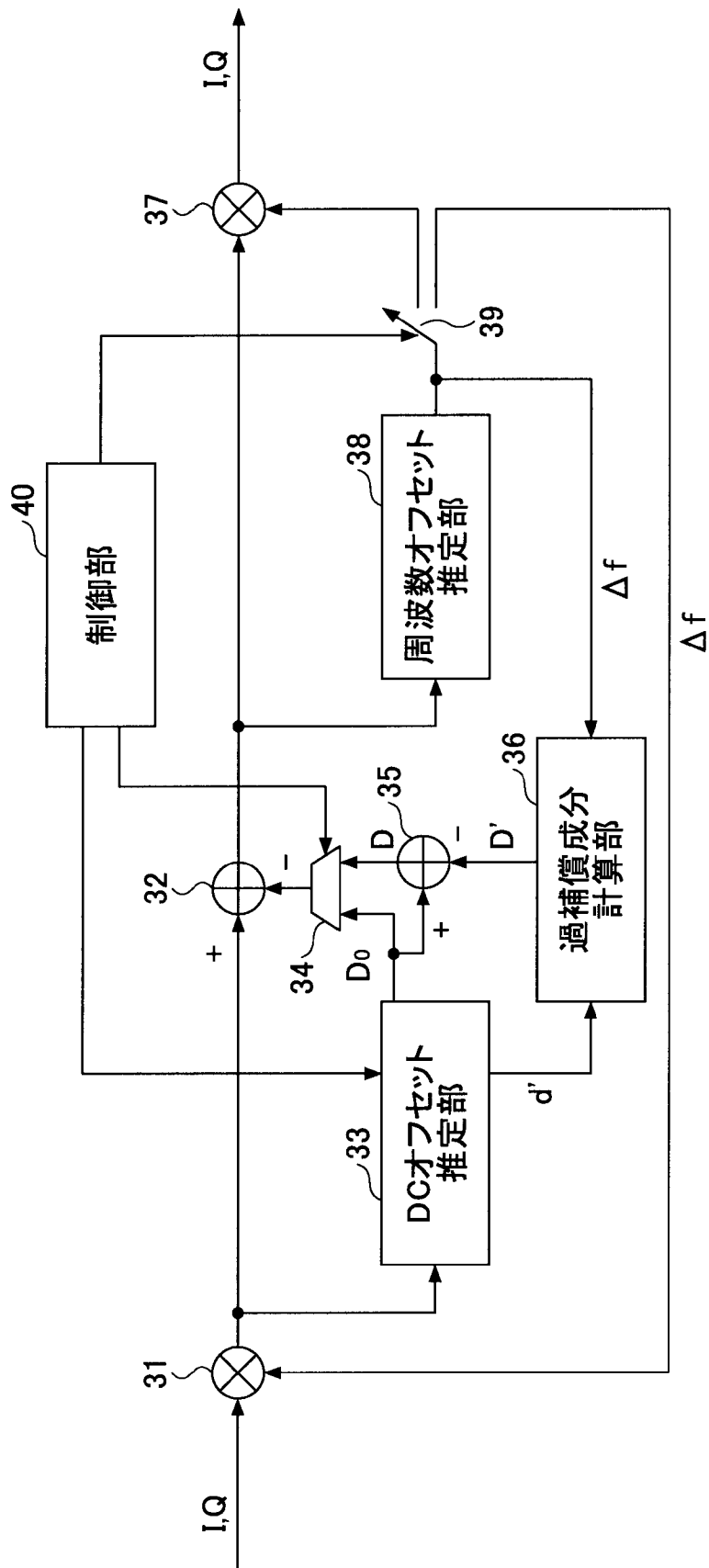
前記第2乃至第5ステップを複数回繰り返すことを特徴とするオフ

セット補償方法。

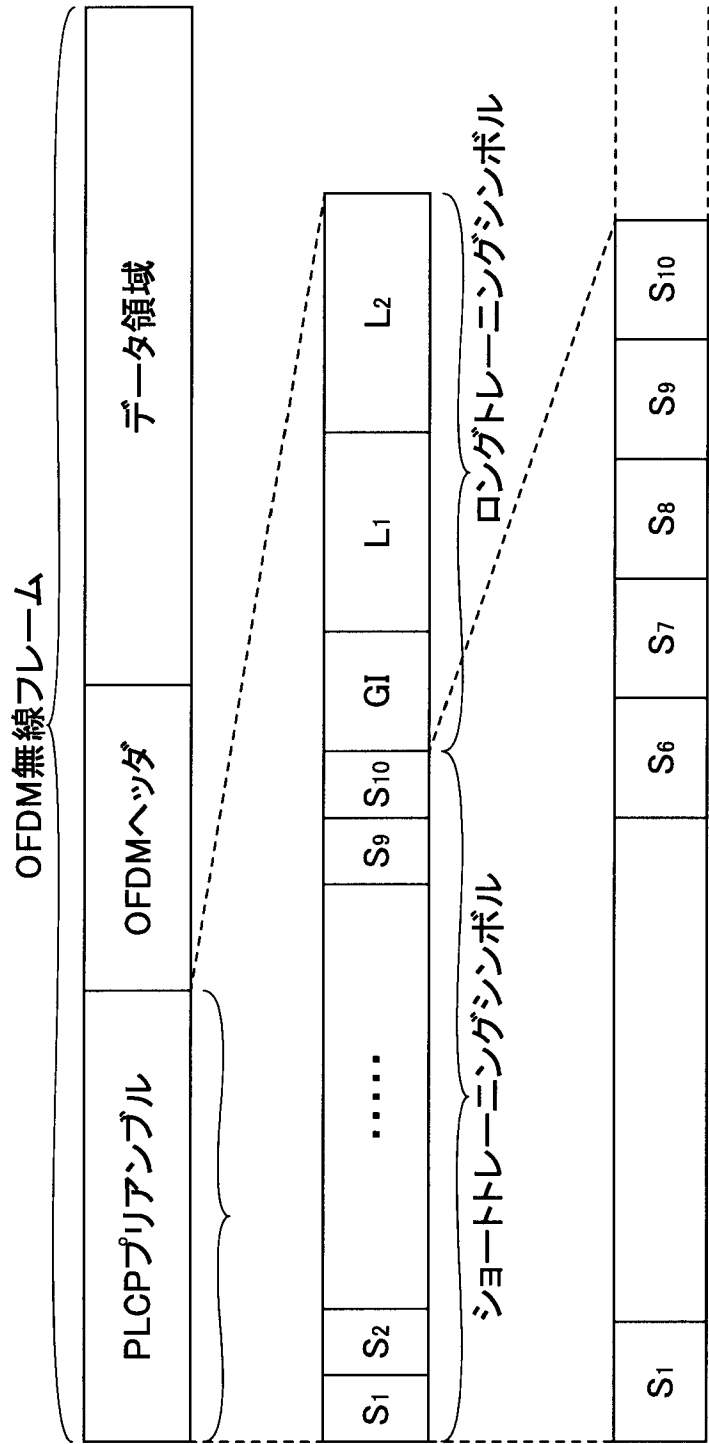
[図1]



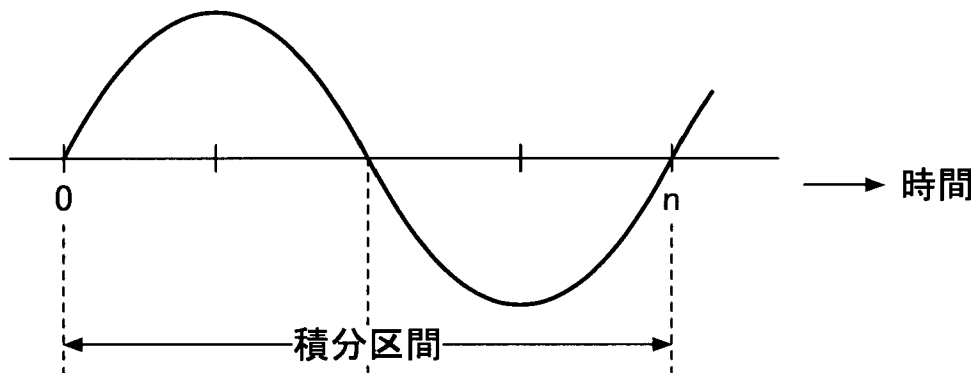
[図2]



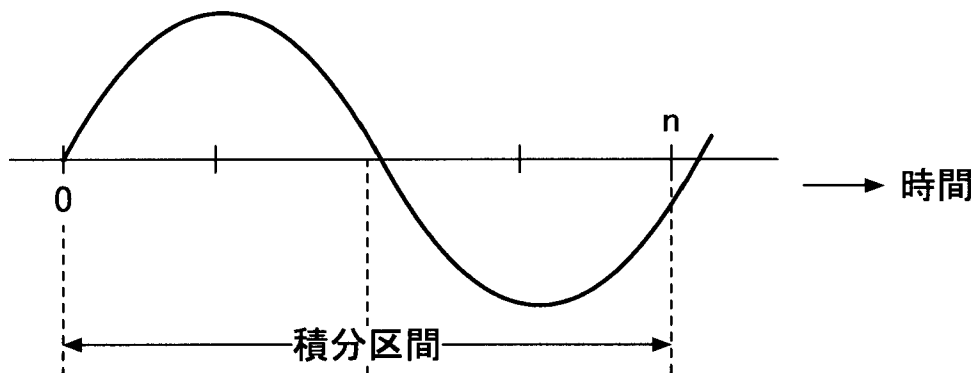
[図3]



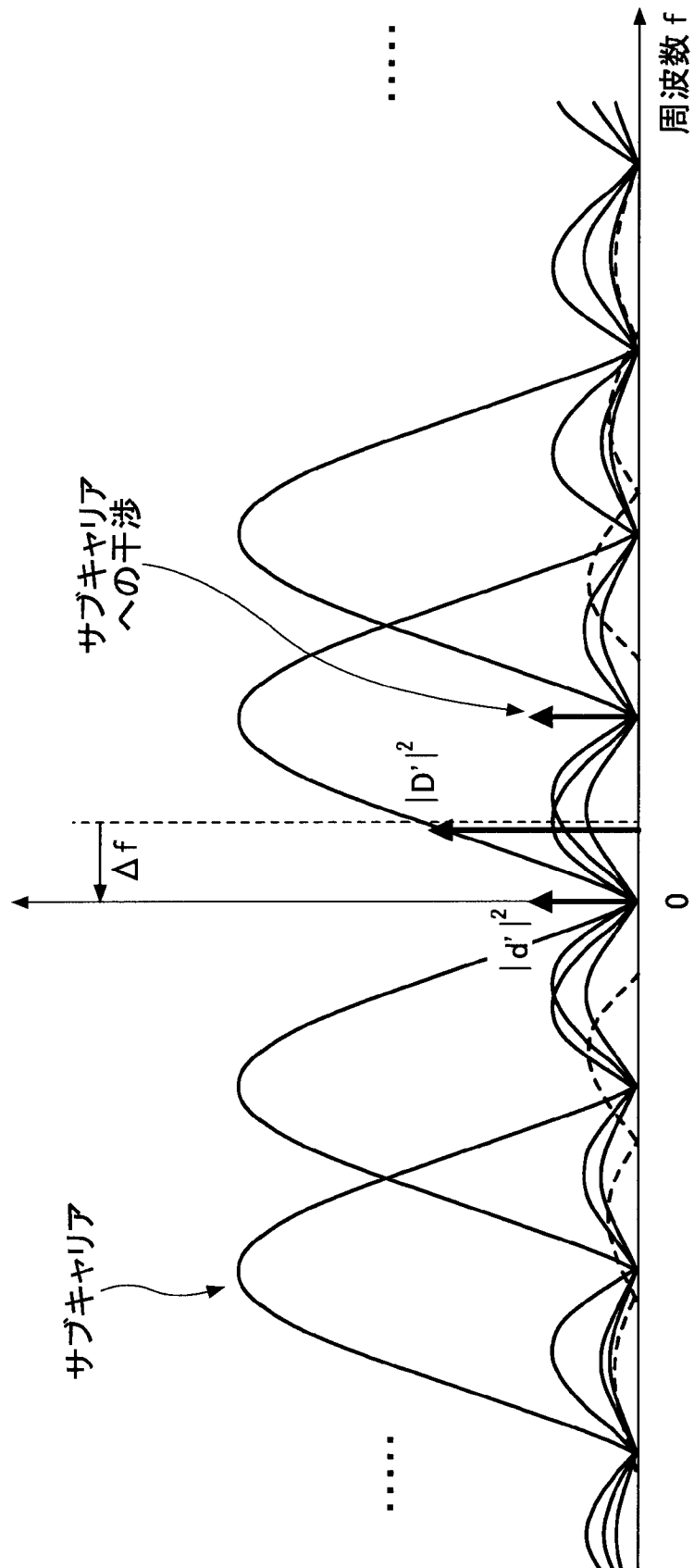
[図4A]



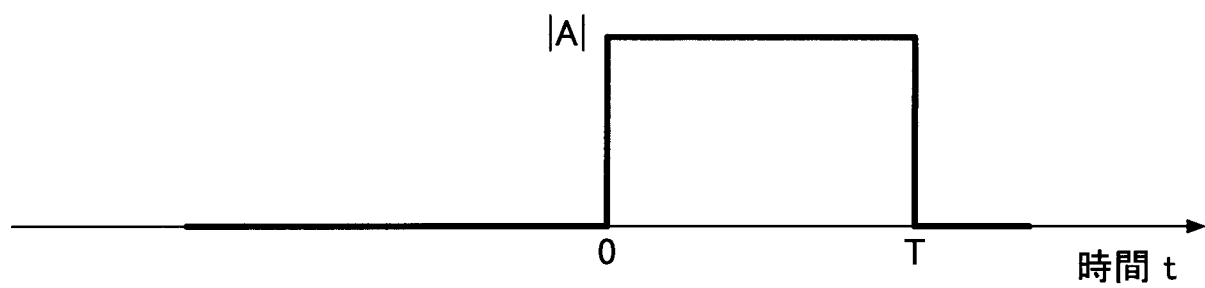
[図4B]



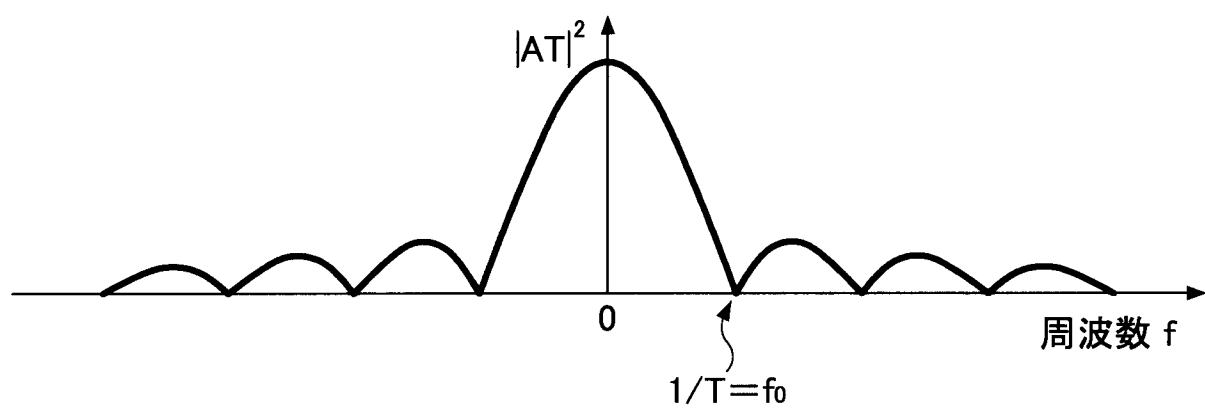
[図5]



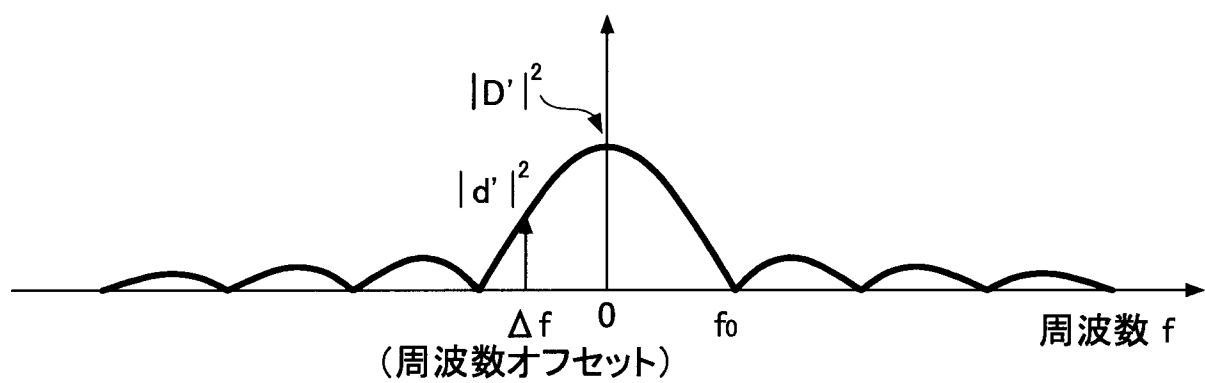
[図6A]



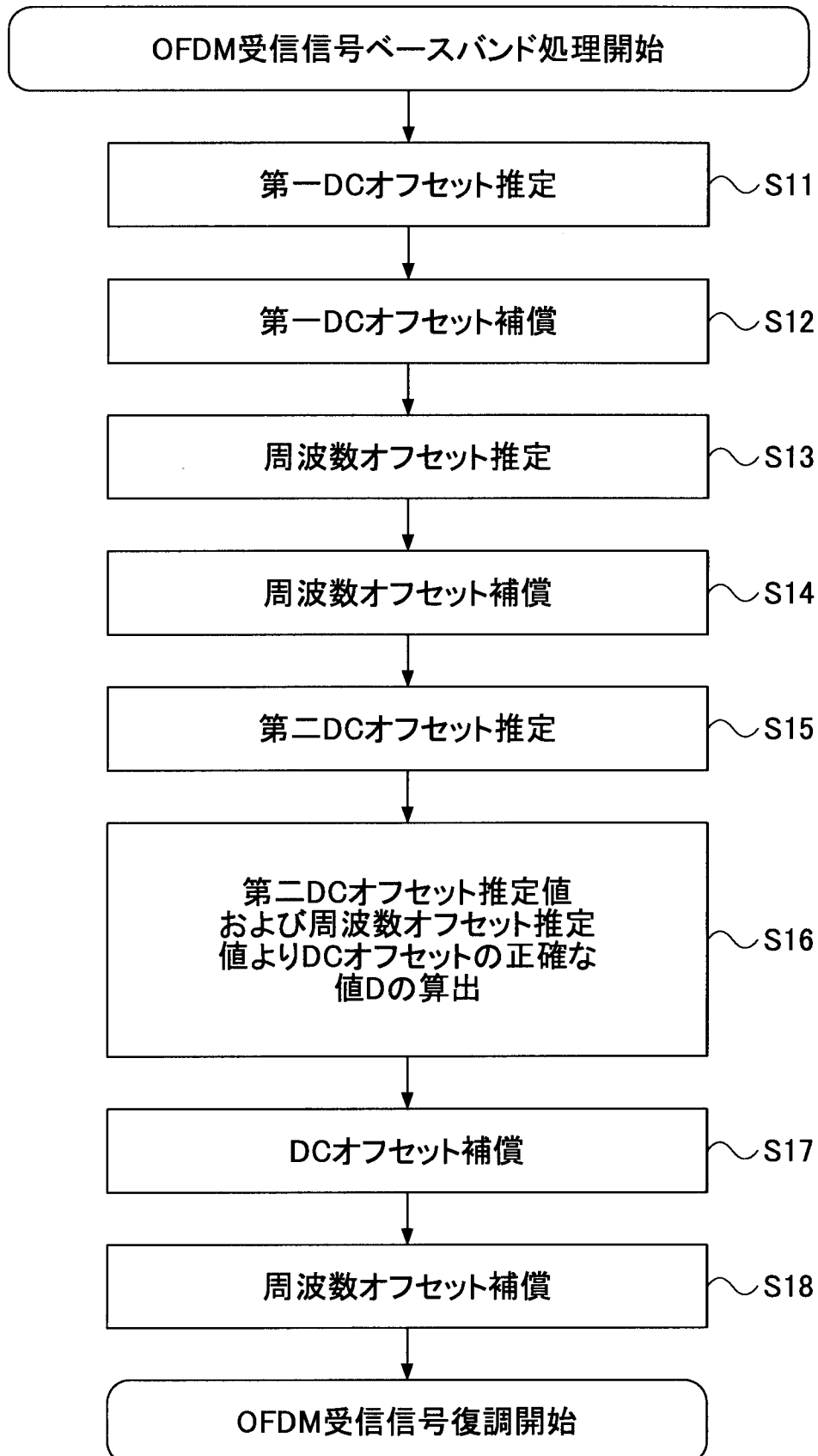
[図6B]



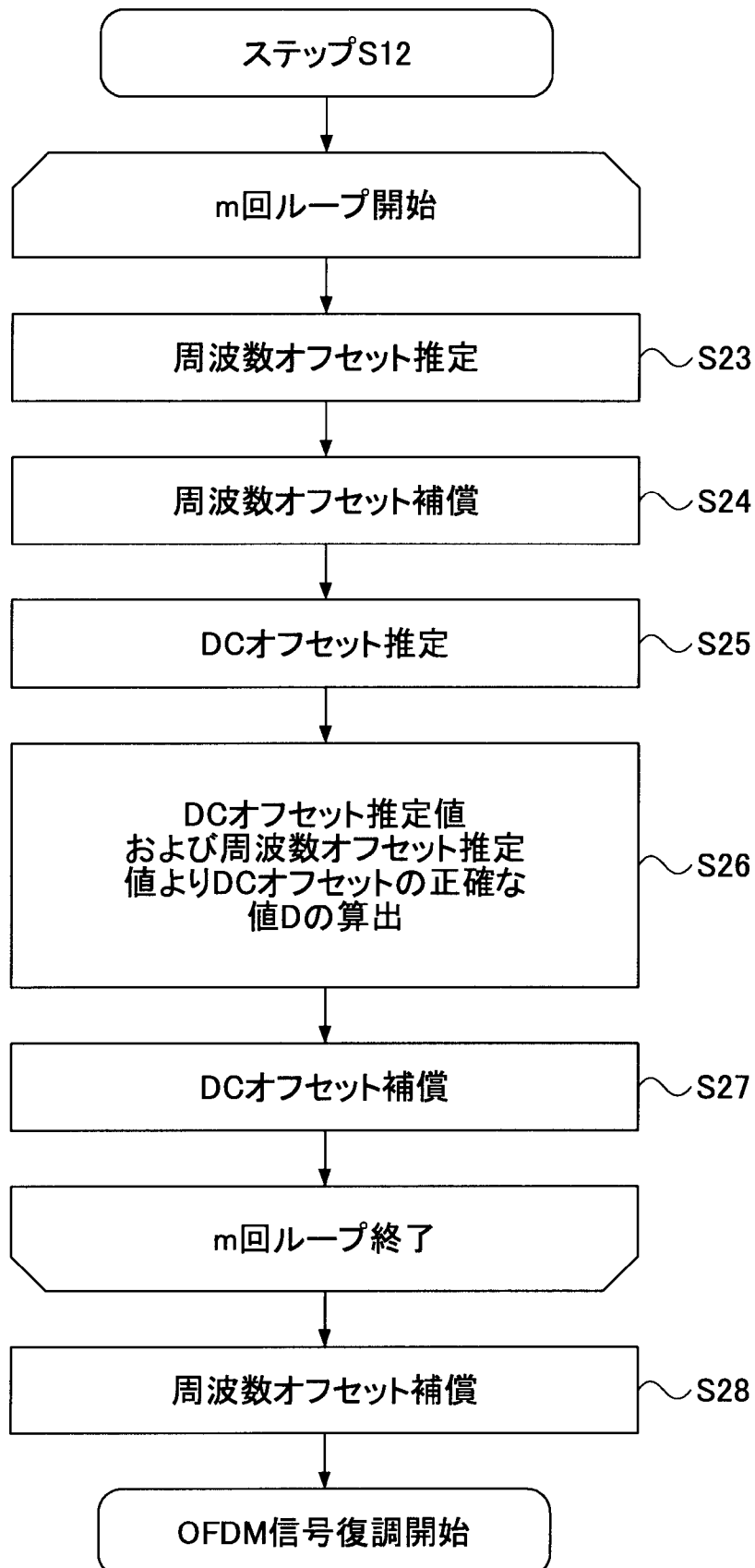
[図6C]



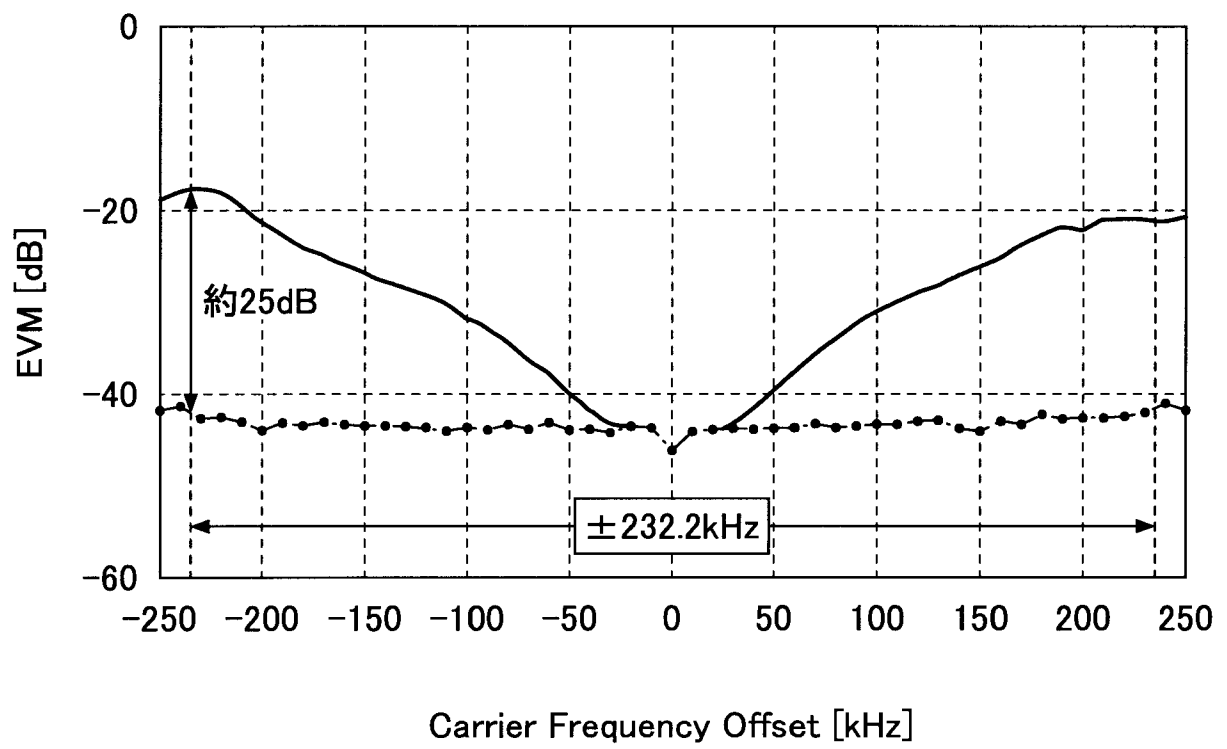
[図7]



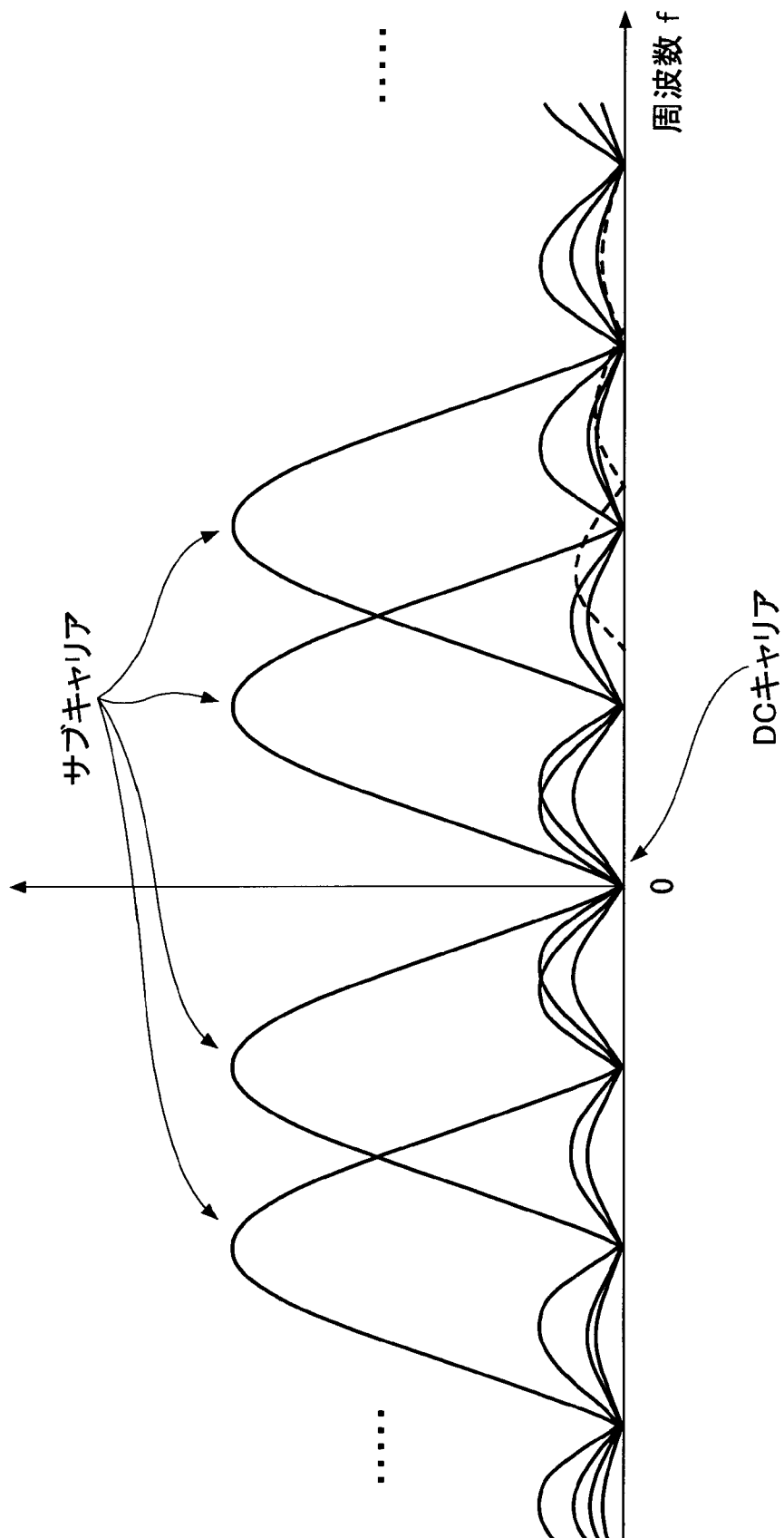
[図8]



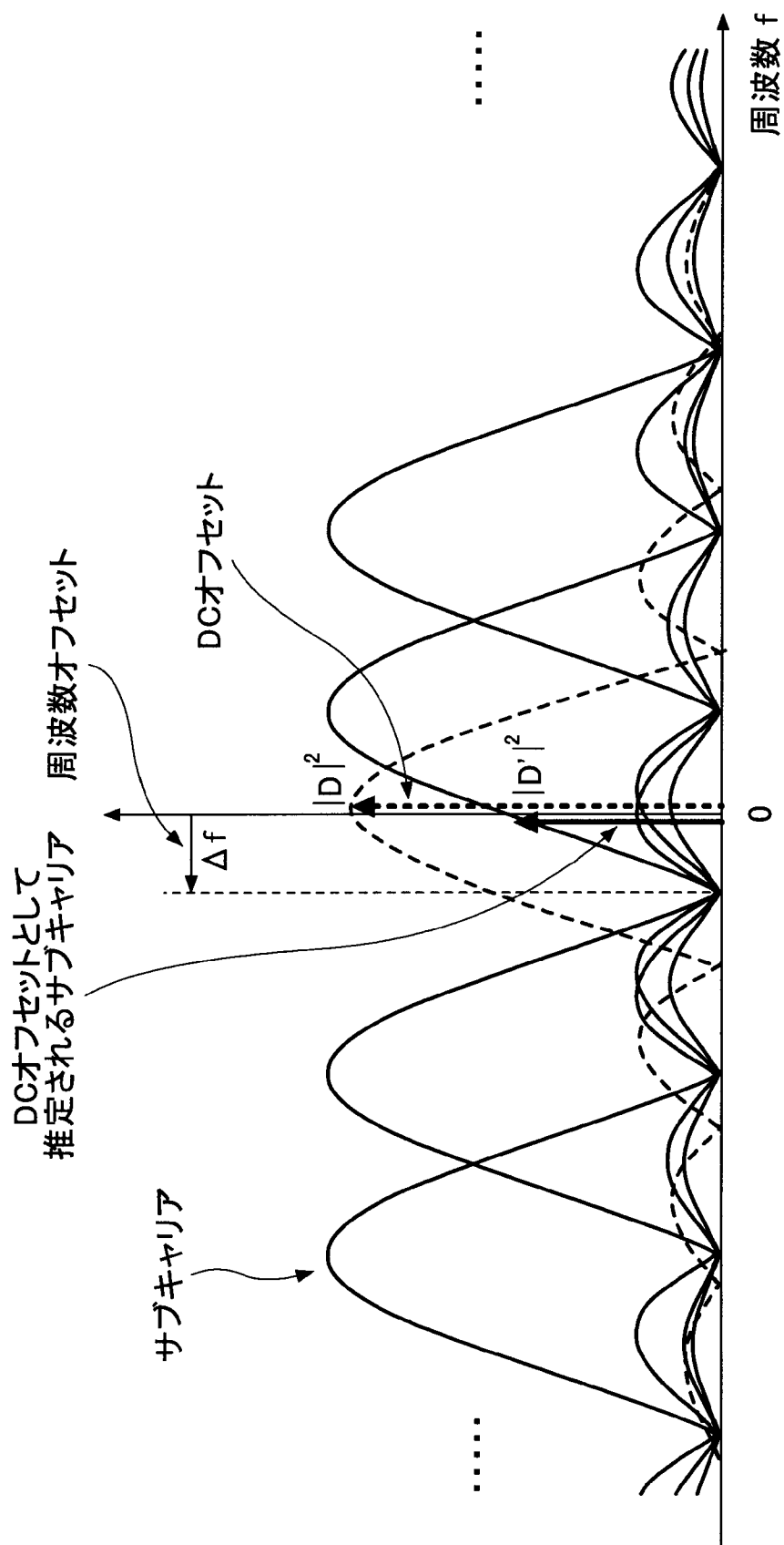
[図9]



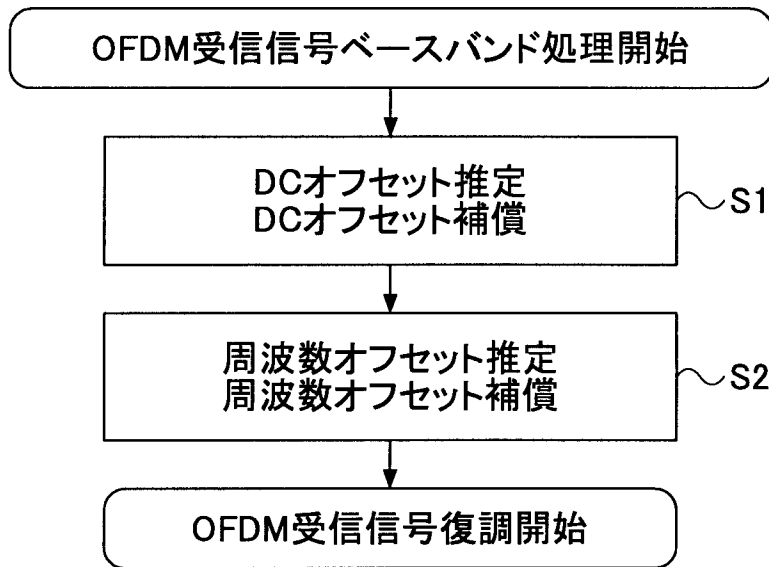
[図10]



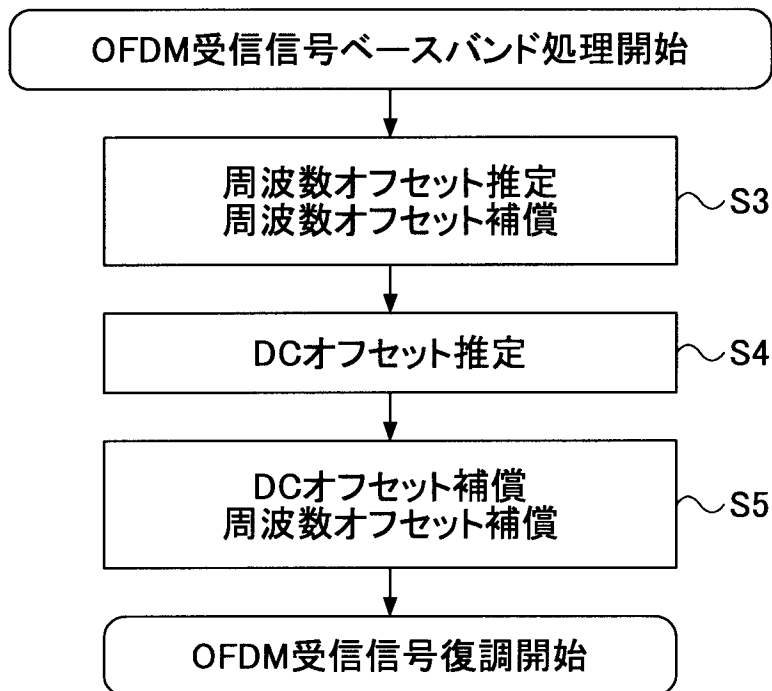
[図11]



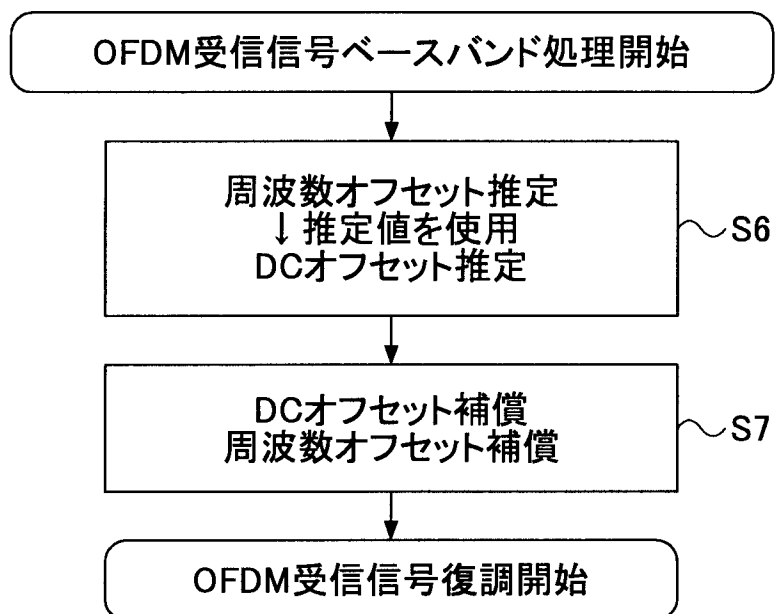
[図12]



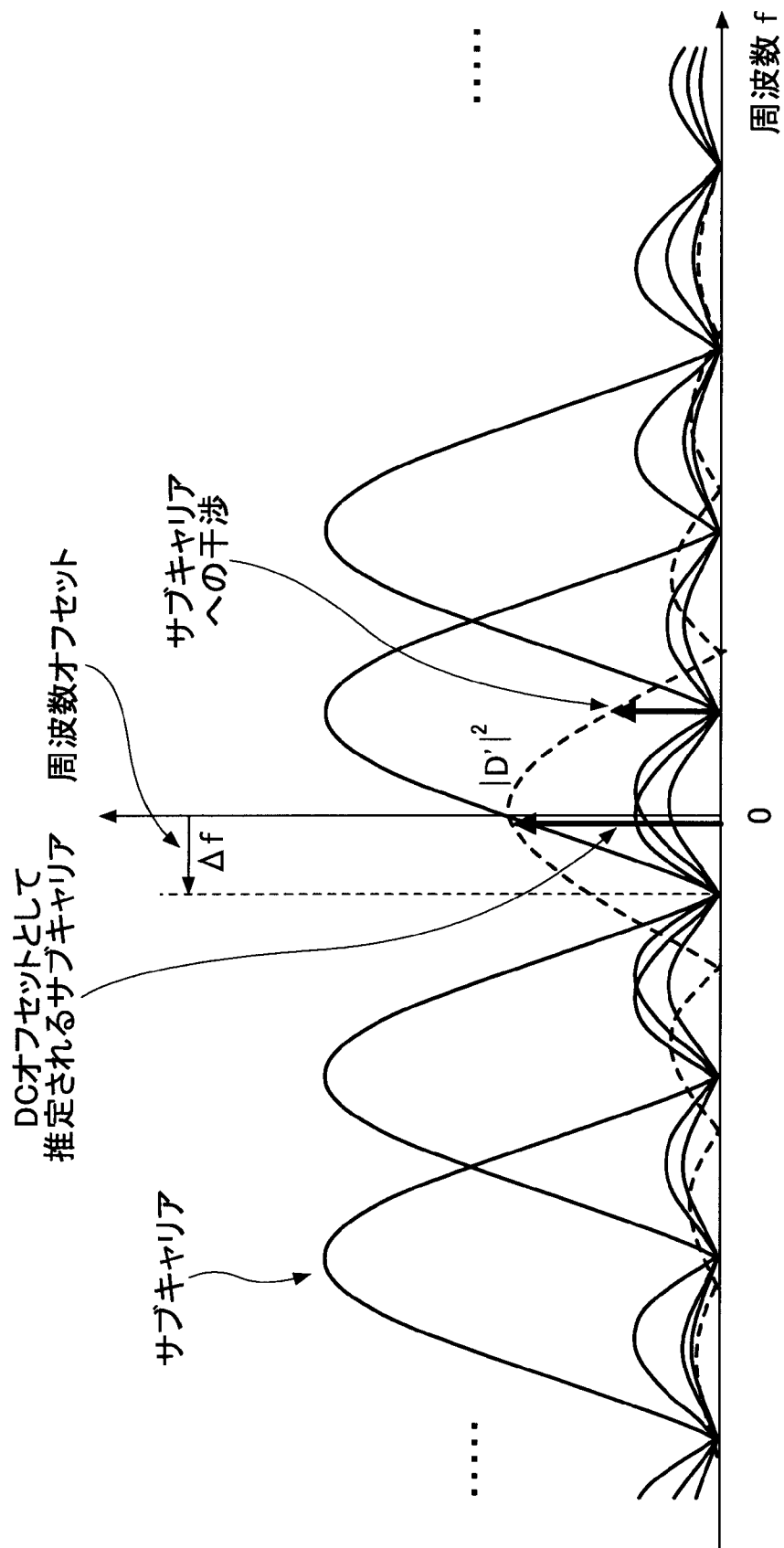
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/057951

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04J11/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04J11/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/0133518 A1 (Koomullil, et al.), 17 July 2003 (17.07.2003), paragraphs [0022] to [0055], [0059]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-4
A	JP 2008-236704 A (Sony Corp.), 02 October 2008 (02.10.2008), entire text; all drawings & US 2008/0089443 A1 & CN 101076004 A	1-4

☐

Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 June, 2010 (03.06.10)

Date of mailing of the international search report
15 June, 2010 (15.06.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H04J11/00 (2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H04J11/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	US 2003/0133518 A1 (Koomullil, 他 1 名) 2003.07.17, 段落【0022】 - 【0055】、【0059】図1-3 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 2008-236704 A (ソニー株式会社) 2008.10.02, 全文、全図 & US 2008/0089443 A1 & CN 101076004 A	1-4

C 欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 3 . 0 6 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 6 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

北村 智彦

5 K

4 4 4 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 6