

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6274100号  
(P6274100)

(45) 発行日 平成30年2月7日(2018.2.7)

(24) 登録日 平成30年1月19日(2018.1.19)

(51) Int.Cl.

F 1

HO4L 27/227	(2006.01)	HO4L 27/227
HO4L 27/38	(2006.01)	HO4L 27/38
HO3M 13/45	(2006.01)	HO3M 13/45

100

請求項の数 9 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2014-512602 (P2014-512602)  
 (86) (22) 出願日 平成25年4月23日 (2013.4.23)  
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2013/061881  
 (87) 国際公開番号 WO2013/161801  
 (87) 国際公開日 平成25年10月31日 (2013.10.31)  
 審査請求日 平成28年3月16日 (2016.3.16)  
 (31) 優先権主張番号 特願2012-99167 (P2012-99167)  
 (32) 優先日 平成24年4月24日 (2012.4.24)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000004237  
 日本電気株式会社  
 東京都港区芝五丁目7番1号  
 (74) 代理人 100109313  
 弁理士 机 昌彦  
 (74) 代理人 100124154  
 弁理士 下坂 直樹  
 (72) 発明者 神谷 典史  
 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株  
 式会社内  
 (72) 発明者 佐々木 英作  
 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株  
 式会社内

審査官 宮田 繁仁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 搬送波再生装置および搬送波再生方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

受信シンボルに含まれるパイロットシンボルに基づいて前記受信シンボルの位相誤差を推定する補間フィルタと、

前記補間フィルタにより推定された位相誤差に応じて前記受信シンボルの位相を回転して第1の出力シンボルとして出力する第1の位相回転器と、

前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償して第2の出力シンボルとして出力する位相誤差補償部と、

前記第1の出力シンボルに対応する第1のビット列を算出するとともに前記第2の出力シンボルに対応する第2のビット列を算出するQAMシンボルデマッピング部と、

前記第1のビット列におけるビットエラーを誤り訂正して出力する誤り訂正復号器と、を備え、

前記位相誤差補償部は、前記誤り訂正後の前記第1のビット列を参照して前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償し、

前記第1の位相回転器から出力された前記第1の出力シンボルを一時的に保持するバッファを備え、

前記位相誤差補償部は、前記バッファから出力された前記第1の出力シンボルの位相を回転して前記第2の出力シンボルを生成する第2の位相回転器を備え、

前記位相誤差補償部は、前記誤り訂正後のビット列に応じたシンボルを第3の出力シンボルとして生成するQAMシンボルマッピング部を備え、

10

20

前記位相誤差補償部は、前記第1の出力シンボルおよび前記第2の出力シンボルの少なくともいずれか一方と前記第3の出力シンボルとの位相差を検出して、前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償し、

前記位相誤差補償部は、前記第2の出力シンボルと前記第3の出力シンボルとの位相差を検出する位相誤差検出器と、

前記位相差に含まれる高周波成分を除去した後の前記位相差に基づいて位相回転量を算出する数値制御発振器と、を備え、

前記第2の位相回転器は、前記バッファから出力された前記第1の出力シンボルの位相を前記位相回転量に応じて回転して前記第2の出力シンボルを生成する、搬送波再生装置。

10

#### 【請求項2】

前記位相誤差補償部は、前記位相差に含まれる高周波成分を除去して前記数値制御発振器に出力するループフィルタを備える、請求項1に記載の搬送波再生装置。

#### 【請求項3】

受信シンボルに含まれるパイロットシンボルに基づいて前記受信シンボルの位相誤差を推定する補間フィルタと、

前記補間フィルタにより推定された位相誤差に応じて前記受信シンボルの位相を回転して第1の出力シンボルとして出力する第1の位相回転器と、

前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償して第2の出力シンボルとして出力する位相誤差補償部と、

20

前記第1の出力シンボルに対応する第1のビット列を算出するとともに前記第2の出力シンボルに対応する第2のビット列を算出するQAMシンボルデマッピング部と、

前記第1のビット列におけるビットエラーを誤り訂正して出力する誤り訂正復号器と、を備え、

前記位相誤差補償部は、前記誤り訂正後の前記第1のビット列を参照して前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償し、

前記第1の位相回転器から出力された前記第1の出力シンボルを一時的に保持するバッファを備え、

前記位相誤差補償部は、前記バッファから出力された前記第1の出力シンボルの位相を回転して前記第2の出力シンボルを生成する第2の位相回転器を備え、

30

前記位相誤差補償部は、前記誤り訂正後のビット列に応じたシンボルを第3の出力シンボルとして生成するQAMシンボルマッピング部を備え、

前記位相誤差補償部は、前記第1の出力シンボルおよび前記第2の出力シンボルの少なくともいずれか一方と前記第3の出力シンボルとの位相差を検出して、前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償し、

前記位相誤差補償部は、前記第1の出力シンボルと前記第3の出力シンボルとの位相差を検出する位相誤差検出器と、

前記位相差を平均化して位相回転量を算出するローパスフィルタと、を備え、

前記第2の位相回転器は、前記バッファから出力された前記第1の出力シンボルの位相を前記位相回転量に応じて回転して前記第2の出力シンボルを生成する、搬送波再生装置。

40

#### 【請求項4】

前記補間フィルタは、前記パイロットシンボルを保持する複数のレジスタと、

前記複数のレジスタと同数の複数の乗算器と、

前記複数のレジスタと同数の複数の加算器と、を備えた有限インパルスレスポンス型フィルタである、請求項1ないし3のいずれか1項に記載の搬送波再生装置。

#### 【請求項5】

前記補間フィルタは、位相雑音レベルおよび搬送波対雑音比に応じてタップ係数の初期値および前記タップ係数の更新時のステップ幅を決定するとともに、前記受信シンボルに含まれる前記パイロットシンボルの間隔と同一の回数だけ前記タップ係数を更新する、請

50

求項4に記載の搬送波再生装置。

【請求項6】

請求項1ないし5のいずれか1項に記載の搬送波再生装置を備える、準同期検波方式に基づく復調装置。

【請求項7】

受信シンボルに含まれるパイロットシンボルに基づいて前記受信シンボルの位相誤差を推定する工程と、

推定した位相誤差に応じて前記受信シンボルの位相を回転して第1の出力シンボルとする工程と、

前記第1の出力シンボルに対応する第1のビット列を算出する工程と、

10

前記第1のビット列におけるビットエラーを誤り訂正する工程と、

前記誤り訂正後の第1のビット列を参照して前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償して第2の出力シンボルとする工程と、

前記第2の出力シンボルに対応する第2のビット列を算出する工程と、

前記第2のビット列におけるビットエラーを誤り訂正する工程と、を含み、

前記第2の出力シンボルとする工程は、前記第1の出力シンボルとする工程で出力された前記第1の出力シンボルを一時的に保持するバッファから出力された前記第1の出力シンボルの位相を回転して前記第2の出力シンボルを生成する工程を含み、

前記第2の出力シンボルとする工程は、前記誤り訂正後のビット列に応じたシンボルを第3の出力シンボルとして生成する工程を含み、

20

前記第2の出力シンボルとする工程では、前記第1の出力シンボルおよび前記第2の出力シンボルの少なくともいずれか一方と前記第3の出力シンボルとの位相差を検出して、前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償し、

前記第2の出力シンボルとする工程は、前記第2の出力シンボルと前記第3の出力シンボルとの位相差を検出する工程と、前記位相差に含まれる高周波成分を除去した後の前記位相差に基づいて位相回転量を算出する工程とを含み、

前記第2の出力シンボルを生成する工程で、前記バッファから出力された前記第1の出力シンボルの位相を前記位相回転量に応じて回転して前記第2の出力シンボルを生成する搬送波再生方法。

【請求項8】

30

前記誤り訂正後の第nのビット列(nは自然数)を参照して前記第nの出力シンボルに残留する位相誤差を補償して第(n+1)の出力シンボルとする工程と、

前記第(n+1)の出力シンボルに対応する第(n+1)のビット列を算出する工程と、

前記第(n+1)のビット列におけるビットエラーを誤り訂正する工程とを、

nをインクリメントしつつnが所定の数となるまで、または、誤り訂正においてすべてのエラーが訂正されるまで繰り返す、請求項7に記載の搬送波再生方法。

【請求項9】

受信シンボルに含まれるパイロットシンボルに基づいて前記受信シンボルの位相誤差を推定する工程と、

40

推定した位相誤差に応じて前記受信シンボルの位相を回転して第1の出力シンボルとする工程と、

前記第1の出力シンボルに対応する第1のビット列を算出する工程と、

前記第1のビット列におけるビットエラーを誤り訂正する工程と、

前記誤り訂正後の第1のビット列を参照して前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償して第2の出力シンボルとする工程と、

前記第2の出力シンボルに対応する第2のビット列を算出する工程と、

前記第2のビット列におけるビットエラーを誤り訂正する工程と、を含み、

前記第2の出力シンボルとする工程は、前記第1の出力シンボルとする工程で出力された前記第1の出力シンボルを一時的に保持するバッファから出力された前記第1の出力シ

50

ンボルの位相を回転して前記第2の出力シンボルを生成する工程を含み、

前記第2の出力シンボルとする工程は、前記誤り訂正後のビット列に応じたシンボルを第3の出力シンボルとして生成する工程を含み、

前記第2の出力シンボルとする工程では、前記第1の出力シンボルおよび前記第2の出力シンボルの少なくともいずれか一方と前記第3の出力シンボルとの位相差を検出して、前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償し、

前記第2の出力シンボルとする工程は、前記第1の出力シンボルと前記第3の出力シンボルとの位相差を検出する工程と、前記位相差を平均化して位相回転量を算出する工程とを含み、

前記第2の出力シンボルを生成する工程で、前記バッファから出力された前記第1の出力シンボルの位相を前記位相回転量に応じて回転して前記第2の出力シンボルを生成する搬送波再生方法。10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

【関連出願についての記載】

本発明は、日本国特許出願：特願2012-099167号（2012年4月24日出願）の優先権主張に基づくものであり、同出願の全記載内容は引用をもって本書に組み込み記載されているものとする。

本発明は、搬送波再生装置および搬送波再生方法に関し、特に、誤り訂正を含む多値伝送のための復調装置に対して好適に適用し得る搬送波再生装置および搬送波再生方法に関する。20

【背景技術】

【0002】

デジタル通信において、効率的なデータ伝送を行うための変復調方式として、位相情報と振幅情報の両方をデータの識別に利用する直交振幅変調（Quadrature Amplitude Modulation；QAM）方式が知られている。現在、無線通信システムの大容量化の要請に伴い、変調多値数を拡張することが求められている。

【0003】

しかし、変調多値数の増加は、ノイズによる伝送誤り確率を増大させ、ノイズ耐性を低下させるという問題がある。特に、送信装置または受信装置に設けられた基準発振器（Local Oscillator；LO）によって生じる位相雑音は、位相情報の不確定さを増幅し、ビット誤り率（Bit Error Rate；BER）特性を劣化させる要因となる。したがって、例えば、信号点数が256以上の多値QAM方式によって信頼性の高いデータ通信を行うには、位相雑音によって生じる位相誤差を高い精度で補償する必要がある。また、これと同時に、熱雑音などの他の要因による誤りに対しても、耐性を向上させる必要がある。30

【0004】

図14は、デジタル無線装置システムの受信装置における、関連技術の復調装置の構成を示すブロック図である。図14を参照すると、復調装置は、基準発振器121と、検波器122と、アナログ／デジタル（Analog/Digital；A/D）変換器123と、位相回転器124、位相誤差検出器125、ループフィルタ126、および、数値制御発振器127がループ状に結線された搬送波再生位相ロックループ（Phase Lock Loop；PLL）と、受信シンボルをビット列に変換するQAMシンボルデマッピング部128と、誤り訂正復号器129とを備える。40

【0005】

基準発振器121は、予め定められた固定周波数のリファレンス信号を出力する。検波器122は、リファレンス信号を用いて入力信号を直交検波し、Ich（In-phase channel；同相チャネル）とQch（Quadrature-phase Channel；直交チャネル）の各ベースバンド信号を生成する。生成されたベースバンド信号は、A/D変換器123を通してデジタル信号に変換される。50

## 【0006】

位相回転器124は、ディジタル化されたI<sub>ch</sub>、Q<sub>ch</sub>の各ベースバンド信号に対応する受信シンボルの位相を、数値制御発振器127の出力情報に応じて回転させることにより、位相誤差を補正する。位相回転器124の出力信号は、位相誤差検出器125に入力される。位相誤差検出器125は、受信シンボルに残された位相誤差を検出し、ループフィルタ126へ出力する。ループフィルタ126は、位相誤差中に含まれる不要な高周波成分を除去し、数値制御発振器127に出力する。数値制御発振器127は、ループフィルタ126の出力から、位相回転器124における位相回転量を指定する位相誤差情報を生成して出力する。

## 【0007】

以上のように、ループ状に結線された位相回転器124、位相誤差検出器125、ループフィルタ126、および、数値制御発振器127を有する搬送波再生PLLの動作によって、安定した位相ロック状態を実現することで、位相誤差の補償が可能となる。

## 【0008】

位相回転器124によって位相雑音補正された受信シンボルは、位相誤差検出器125へ入力される以外に、QAMシンボルデマッピング部128にも入力される。QAMシンボルデマッピング部128は、受信シンボルからそれに対応する受信ビット列を算出し、誤り訂正復号器129で誤り訂正処理を行って出力する。なお、誤り訂正復号器129が、各受信ビットに対する確からしさを示す尤度情報を入力して訂正処理を行う軟判定復号器の場合、QAMシンボルデマッピング部128は尤度情報を反映したビット列を出力する。尤度情報を反映したビット列を出力するQAMシンボルデマッピング部128は、例えば、特許文献1に記載されている。

## 【0009】

以上のように、関連技術の復調装置は、搬送波再生PLLによって位相誤差補償を行い、後段の誤り訂正処理によって、エラー耐性の向上を実現している。しかしながら、検波器122が出力するベースバンド信号に含まれる位相雑音の大きさ、または、熱雑音などに起因する位相誤差検出器125の精度劣化により、十分なBER特性が得られない場合がある。この場合、搬送波再生回PLLにおけるループフィルタ126の帯域幅を適応的に調整することにより、位相誤差補償の精度を向上させる技術が、特許文献2、特許文献3、特許文献4に記載されている。しかし、これらの技術をもってしても、十分な効果が得られない場合もある。

## 【0010】

搬送波再生PLLを使用する方法以外に、伝送信号中に既知の信号（パイロット信号）を埋め込んでおき、これをを利用して位相誤差を補償する方法がある。図15は、この方法に基づく復調装置の構成を示すブロック図である。図15を参照すると、復調装置は、図14に示した復調装置と同様に、基準発振器131、検波器132、A/D変換器133、QAMシンボルデマッピング部137、および、誤り訂正復号器138を備える。また、復調装置は、パイロット信号に対応する受信パイロットシンボルから該受信パイロットシンボル間の位相誤差を推定するための補間フィルタ135と、補間処理に相当するシンボル数と同等の遅延を生じさせる遅延回路134と、推定した位相誤差の補正を行う位相回転器136とを備える。

## 【0011】

図15に示した復調装置は、図14に示した復調装置と同様に、基準発振器131が出力する固定周波数のリファレンス信号を利用して、検波器132において入力信号を直交検波し、I<sub>ch</sub> (In-phase channel ; 同相チャネル) と Q<sub>ch</sub> (Quadrature-phase Channel ; 直交チャネル) の各ベースバンド信号を生成する。生成されたベースバンド信号は、A/D変換器133を通してディジタル信号に変換される。

## 【0012】

ディジタル化されたI<sub>ch</sub>、Q<sub>ch</sub>の各ベースバンド信号に対応する受信シンボルは、遅延回路134に入力される。ここで、受信シンボルが既知のパイロット信号に対応する

10

20

30

40

50

パイロットシンボルである場合に限り、受信シンボルは補間フィルタ 135 にも入力される。補間フィルタ 135 は、複数のパイロットシンボルから、パイロットシンボル間の受信シンボルにおける位相誤差を補間処理によって推定する。位相回転器 136 は、補間フィルタの出力する位相誤差情報に基づいて、受信シンボルの位相を回転し、受信シンボル中の位相誤差を補正する。

【0013】

補間フィルタ 135 による位相誤差補償後の受信シンボルは、図 14 に示した復調装置による復調方式と同様に、QAMシンボルデマッピング部 137 に入力され、(軟判定)受信ビット列に変換された後、誤り訂正復号器 138 において誤り訂正処理され、出力データとなる。

10

【0014】

パイロットシンボルを利用した補間フィルタによる復調方式は、例えば、非特許文献 1 および非特許文献 2 に記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0015】

【特許文献 1】国際公開第 2011/068119 号

【特許文献 2】特開 2000-101666 号公報

【特許文献 3】特表 2003-531523 号公報

【特許文献 4】特開 2011-101177 号公報

20

【非特許文献】

【0016】

【非特許文献 1】Arnaldo Spalvieri, Luca Barletta, "Pilot-Aided Carrier Recovery in the Presence of Phase Noise," IEEE Transactions on Communications, July 1, 2011, pp. 1966-1974.

【非特許文献 2】Volker Simon, Andreas Senst, Michael Speth, Heinrich Meyr, "Phase Noise Estimation via Adapted Interpolation," IEEE Global Telecommunications Conference, November 25, 2001, pp. 3297-3301.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0017】

以下の分析は、本発明者によってなされたものである。

【0018】

無線通信システムへの大容量化の要請が強まり、変調多値数を拡張することが求められている。しかしながら、伝送特性に大きな影響を与える LO 信号の位相雑音の低減は、大幅なコスト増を招く。また、誤り訂正機能の能力を向上させるには、復調器において、さらに低い搬送波対雑音比 (C/N) での安定動作が求められる。この問題に対して、関連技術の搬送波再生 PLL による位相雑音補償の効果は限定的である。例えば、検波器が出力するベースバンド信号に含まれる位相雑音レベルが QAM 方式の信号多値数と比較して大きい場合には、十分な BER 特性が得られず、大容量かつ高品質なデータ通信が困難となる。

40

【0019】

一方、埋め込まれたパイロット信号を手がかりとして補間フィルタを通して位相誤差を補償する復調方式は、本来、信号点数が少ない QPSK 等に適用される技術であり、この方式のみに基づいて多値変調方式に必要とされる特性を得ることは困難である。また、パイロット信号の挿入率を上げると伝送容量が犠牲となり、多値化の効果が減殺されるという問題もある。

【0020】

そこで、伝送容量を低下させることなく、ビット誤り率特性を向上させることが要望される。本発明の目的は、かかる要望に寄与する搬送波再生装置および搬送波再生方法を提

50

供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0021】

本発明の第1の視点に係る搬送波再生装置は、

受信シンボルに含まれるパイロットシンボルに基づいて前記受信シンボルの位相誤差を推定する補間フィルタと、

前記補間フィルタにより推定された位相誤差に応じて前記受信シンボルの位相を回転して第1の出力シンボルとして出力する第1の位相回転器と、

前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償して第2の出力シンボルとして出力する位相誤差補償部と、

前記第1の出力シンボルに対応する第1のビット列を算出するとともに前記第2の出力シンボルに対応する第2のビット列を算出するQAMシンボルデマッピング部と、

前記第1のビット列におけるビットエラーを誤り訂正して出力する誤り訂正復号器と、を備え、

前記位相誤差補償部は、前記誤り訂正後の前記第1のビット列を参照して前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償する。

【0022】

本発明の第2の視点に係る搬送波再生方法は、

受信シンボルに含まれるパイロットシンボルに基づいて前記受信シンボルの位相誤差を推定する工程と、

推定した位相誤差に応じて前記受信シンボルの位相を回転して第1の出力シンボルとする工程と、

前記第1の出力シンボルに対応する第1のビット列を算出する工程と、

前記第1のビット列におけるビットエラーを誤り訂正する工程と、

前記誤り訂正後の第1のビット列を参照して前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償して第2の出力シンボルとする工程と、

前記第2の出力シンボルに対応する第2のビット列を算出する工程と、

前記第2のビット列におけるビットエラーを誤り訂正する工程と、を含む。

【発明の効果】

【0023】

本発明に係る搬送波再生装置および搬送波再生方法によると、伝送容量を低下させることなく、ビット誤り率特性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】第1の実施形態に係る搬送波再生装置の構成を一例として示すブロック図である。

【図2】第1の実施形態に係る搬送波再生装置における補間フィルタの構成を一例として示すブロック図である。

【図3】第1の実施形態に係る搬送波再生装置におけるタップ係数生成部の構成を一例として示すブロック図である。

【図4】第1の実施形態におけるパイロットシンボルとペイロードシンボルの関係を一例として示す図である。

【図5】第1の実施形態に係る搬送波再生装置の動作を一例として示すフロー図である。

【図6】第1の実施形態に係る搬送波再生装置における補間フィルタの動作を一例として示すフロー図である。

【図7】第2の実施形態に係る搬送波再生装置の構成を一例として示すブロック図である。

【図8】第2の実施形態に係る搬送波再生装置におけるループフィルタの構成を一例として示す図である。

【図9】第2の実施形態に係る搬送波再生装置における数値制御発振器の構成を一例とし

10

20

30

40

50

て示すブロック図である。

【図10】第2の実施形態に係る搬送波再生装置の動作を一例として示すフロー図である。

【図11】第3の実施形態に係る搬送波再生装置の構成を一例として示すブロック図である。

【図12】第3の実施形態に係る搬送波再生装置におけるローパスフィルタの構成を一例として示すブロック図である。

【図13】第2の実施形態に係る搬送波再生装置の動作を一例として示すフロー図である。

【図14】関連技術における搬送波再生装置の構成を示すブロック図である。

10

【図15】関連技術における搬送波再生装置の構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

はじめに、一実施形態の概要について説明する。なお、この概要に付記する図面参照符号は、専ら理解を助けるための例示であり、本発明を図示の態様に限定することを意図するものではない。

【0026】

図1は、一実施形態に係る搬送波再生装置を備えた復調装置の構成を一例として示すブロック図である。図1を参照すると、搬送波再生装置(10)は、受信シンボルに含まれるパイロットシンボルに基づいて受信シンボルの位相誤差を推定する補間フィルタ(15)と、補間フィルタ(15)により推定された位相誤差に応じて受信シンボルの位相を回転して第1の出力シンボルとして出力する第1の位相回転器(17)と、前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償して第2の出力シンボルとして出力する位相誤差補償部(19)と、前記第1の出力シンボルに対応する第1のビット列を算出するとともに前記第2の出力シンボルに対応する第2のビット列を算出するQAMシンボルマッピング部(31)と、前記第1のビット列におけるビットエラーを誤り訂正して出力する誤り訂正復号器(32)と、を備える。位相誤差補償部(19)は、前記誤り訂正後の第1のビット列を参照して前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償する。

20

【0027】

図7および図11は、図1に示した位相誤差補償部(19)の詳細な構成を一例として示すブロック図である。図7および図11を参照すると、搬送波再生装置(図7の10a、図11の10b)は、第1の位相回転器(17)から出力された前記第1の出力シンボルを一時的に保持するバッファ(18)を備え、位相誤差補償部(図7の19a、図11の19b)は、バッファ(18)から出力された前記第1の出力シンボルの位相を回転して前記第2の出力シンボルを生成する第2の位相回転器(図7の55、図11の61)を備えていてもよい。

30

【0028】

図7および図11を参照すると、位相誤差補償部(図7の19a、図11の19b)は、前記誤り訂正後のビット列に応じたシンボルを第3の出力シンボルとして生成するQAMシンボルマッピング部(図7の51、図11の62)を備えていてもよい。

40

【0029】

図7および図11を参照すると、位相誤差補償部(図7の19a、図11の19b)は、前記第1の出力シンボルおよび前記第2の出力シンボルの少なくともいずれか一方と前記第3の出力シンボルとの位相差を検出して、前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償するようにしてもよい。

【0030】

図7を参照すると、位相誤差補償部(19a)は、前記第2の出力シンボルと前記第3の出力シンボルとの位相差を検出する位相誤差検出器(52)と、前記位相差に含まれる高周波成分を除去した後の前記位相差に基づいて位相回転量を算出する数値制御発振器(54)と、を備え、第2の位相回転器(55)は、バッファ(18)から出力された前記

50

第1の出力シンボルの位相を前記位相回転量に応じて回転して前記第2の出力シンボルを生成するようにしてもよい。

【0031】

図7を参照すると、位相誤差補償部(19a)は、前記位相差に含まれる高周波成分を除去して数値制御発振器(54)に出力するループフィルタ(53)を備えていてもよい。

【0032】

図11を参照すると、位相誤差補償部(19b)は、前記第1の出力シンボルと前記第3の出力シンボルとの位相差を検出する位相誤差検出器(63)と、前記位相差を平均化して位相回転量を算出するローパスフィルタ(64)と、を備え、第2の位相回転器(61)は、バッファ(18)から出力された前記第1の出力シンボルの位相を前記位相回転量に応じて回転して前記第2の出力シンボルを生成してもよい。

【0033】

以上より、一実施形態に係る搬送波再生装置(10)は、補間フィルタ(15)が、受信パイロットシンボルから補間処理によって受信シンボル中の位相誤差を補正し、位相誤差補償部(19)が、補正後の受信シンボルに残留する位相誤差をさらに補正する。ここで、位相誤差補償部(19)は、補間フィルタ(15)による第1段階目の補正結果を、デマッピング処理(31)を通して誤り訂正(32)した後で参照データとして利用することで、位相誤差を高精度に推定する。また、デマッピング(31)、誤り訂正(32)、位相誤差補償(19)の一連の処理を繰返し実行することにより、パイロットシンボルを増大させることなく位相誤差を高精度に推定するとともに、ビット誤り率特性に優れた搬送波再生装置を実現することができる。

【0034】

一実施形態に係る搬送波再生装置によると、位相雑音、熱雑音などを要因とする劣悪なノイズ環境下にあっても、ビット誤り率特性に優れ、大容量かつ高品質なデータ通信が可能となる。かかる搬送波再生装置によると、伝送容量を著しく低下させることなく、変調多値数と比較して位相雑音レベルが大きい場合においても、受信装置のビット誤り率特性を向上させることができる。

【0035】

なお、本発明において、下記の形態が可能である。

30

【形態1】

上記第1の視点に係る搬送波再生装置のとおりである。

【形態2】

搬送波再生装置は、前記第1の位相回転器から出力された前記第1の出力シンボルを一時的に保持するバッファを備え、

前記位相誤差補償部は、前記バッファから出力された前記第1の出力シンボルの位相を回転して前記第2の出力シンボルを生成する第2の位相回転器を備えていてもよい。

【形態3】

前記位相誤差補償部は、前記誤り訂正後のビット列に応じたシンボルを第3の出力シンボルとして生成するQAMシンボルマッピング部を備えていてもよい。

40

【形態4】

前記位相誤差補償部は、前記第1の出力シンボルおよび前記第2の出力シンボルの少なくともいずれか一方と前記第3の出力シンボルとの位相差を検出して、前記第1の出力シンボルに残留する位相誤差を補償してもよい。

【形態5】

前記位相誤差補償部は、前記第2の出力シンボルと前記第3の出力シンボルとの位相差を検出する位相誤差検出器と、

前記位相差に含まれる高周波成分を除去した後の前記位相差に基づいて位相回転量を算出する数値制御発振器と、を備え、

前記第2の位相回転器は、前記バッファから出力された前記第1の出力シンボルの位相

50

を前記位相回転量に応じて回転して前記第2の出力シンボルを生成してもよい。

[形態6]

前記位相誤差補償部は、前記位相差に含まれる高周波成分を除去して前記数値制御発振器に出力するループフィルタを備えていてもよい。

[形態7]

前記位相誤差補償部は、前記第1の出力シンボルと前記第3の出力シンボルとの位相差を検出する位相誤差検出器と、

前記位相差を平均化して位相回転量を算出するローパスフィルタと、を備え、

前記第2の位相回転器は、前記バッファから出力された前記第1の出力シンボルの位相を前記位相回転量に応じて回転して前記第2の出力シンボルを生成してもよい。

10

[形態8]

前記補間フィルタは、前記パイロットシンボルを保持する複数のレジスタと、

前記複数のレジスタと同数の複数の乗算器と、

前記複数のレジスタと同数の複数の加算器と、を備えた有限インパルスレスポンス型フィルタであってもよい。

[形態9]

前記補間フィルタは、位相雑音レベルおよび搬送波対雑音比に応じてタップ係数の初期値および前記タップ係数の更新時のステップ幅を決定するとともに、前記受信シンボルに含まれる前記パイロットシンボルの間隔と同一の回数だけ前記タップ係数を更新してもよい。

20

[形態10]

準同期検波方式に基づく復調装置は、上記搬送波再生装置を備えていてもよい。

[形態11]

上記第2の視点に係る搬送波再生方法のとおりである。

[形態12]

搬送波再生方法は、前記誤り訂正後の第nのビット列（nは自然数）を参照して前記第nの出力シンボルに残留する位相誤差を補償して第（n+1）の出力シンボルとする工程と、

前記第（n+1）の出力シンボルに対応する第（n+1）のビット列を算出する工程と、

30

前記第（n+1）のビット列におけるビットエラーを誤り訂正する工程とを、

nをインクリメントしつつnが所定の数となるまで、または、誤り訂正においてすべてのエラーが訂正されるまで繰り返してもよい。

[形態13]

既知のパイロット信号を含むデータ信号を復調する準同期検波復調回路における搬送波再生装置は、

受信パイロットシンボルから、該受信パイロットシンボルを含むすべての受信シンボルに対する位相誤差を推定する補間フィルタと、

前記補間フィルタによって推定した位相誤差分の位相回転を、前記受信シンボルに施すことにより位相誤差を補正する第1の位相回転器と、

40

前記第1の位相回転器の出力シンボルに残留する残留位相誤差を補償する位相誤差補償部と、

前記位相誤差補償部がリファレンスとして入力するデータを生成する誤り訂正復号器と、

前記位相誤差補償部の出力および前記第1の位相回転器の出力シンボルを、前記誤り訂正復号器への入力ビット列へ変換するQAMシンボルデマッピング部と、を備え、

前記補間フィルタおよび前記位相誤差補償部による2段階の位相誤差補償を行うことが好ましい。

[形態14]

搬送波再生装置は、前記第1の位相回転器の出力を一時的に保持するバッファを備えて

50

いてもよい。

[形態15]

前記位相誤差補償部は、前記バッファの出力シンボルの位相を回転する第2の位相回転器と、

前記誤り訂正復号器の出力データから該出力データに対応する送信シンボル系列のレプリカを生成するQAMシンボルマッピング部と、

前記第2の位相回転器の出力シンボルと、前記レプリカとの間の位相差を検出する位相誤差検出器と、

前記位相誤差検出器の出力に含まれる高周波成分を除去するためのループフィルタと、

前記ループフィルタの出力から位相回転量を算出する数値制御発振器と、を備え、

10

前記位相誤差検出器、前記ループフィルタおよび前記数値制御発振器とともに環状に結線された前記第2の位相回転器によって、2段階目の位相誤差補償を行うようにしてもよい。

[形態16]

前記位相誤差補償部は、前記バッファの出力シンボルの位相を回転する第2の位相回転器と、

前記誤り訂正復号器の出力データから該出力データに対応する送信シンボル系列のレプリカを生成するQAMシンボルマッピング部と、

前記バッファの出力シンボルと前記レプリカとの間の位相差を検出する位相誤差検出器と、

20

前記位相誤差検出器の出力値を平均化するためのローパスフィルタと、を備え、

前記ローパスフィルタの出力を用いて、前記第2の位相回転器で前記バッファの出力シンボルの位相を回転し、2段階目の位相誤差補償を行うようにしてもよい。

[形態17]

前記補間フィルタは、前記パイロットシンボルのみを入力として一定数の受信パイロットシンボルを保持するレジスタと、該レジスタと同数の乗算器および累積加算装置を備えた有限インパルスレスポンス(Finite Impulse Response; FIR)型フィルタであり、

前記補間フィルタのタップ係数を、前記累積加算装置によって、受信パイロットシンボル間隔と同一の回数更新してもよい。

[形態18]

30

既知のパイロット信号を含むデータ信号を復調する準同期検波復調方式における搬送波再生方法は、

受信パイロットシンボルから、補間によって該受信パイロットシンボルを含むすべての受信シンボルに対して位相誤差を推定する補間処理を行う補間処理工程と、

前記推定した位相誤差分の補正を行う第1回目の位相誤差補償工程と、

前記位相誤差補償を行った受信シンボルをビット列にデマッピングする工程と、

前記デマッピングされたビット列を誤り訂正処理する工程と、

位相誤差補償を行った回数が予め設定した回数より小さい場合に、2回目以降の位相誤差補償を行う工程と、を含み、

前記2回目以降の位相誤差補償は、前記誤り訂正処理後のデータをリファレンスとして使用し、

40

前記位相誤差補償を行った回数が予め設定した回数に達する、または、前記誤り訂正処理がすべてのエラーを訂正するまで、前記2回目以降の位相誤差補償工程、前記デマッピング工程、および、前記誤り訂正処理工程を繰り返すことが好ましい。

[形態19]

前記2回目以降の位相誤差補償工程は、誤り訂正処理されたデータをQAMシンボルにマッピングすることで送信シンボル系列のレプリカを生成する工程と、

前記レプリカをリファレンスとして位相誤差を検出する工程と、

前記位相誤差に含まれる高周波成分を除去する工程と、

前記高周波成分が除去された位相誤差情報を変換して位相回転情報を生成する工程と、

50

前記位相回転情報によって位相誤差補償を行う工程と、を含み、  
前記位相誤差補償を行った受信シンボルを、前記位相誤差を検出する工程にフィードバックして位相誤差を検出するようにしてもよい。

【形態20】

前記2回目以降の位相誤差補償工程は、誤り訂正処理されたデータをQAMシンボルにマッピングすることで送信シンボルレプリカを生成する工程と、

前記送信シンボルレプリカをリファレンスとして位相誤差を検出する工程と、

前記検出された位相誤差を、ローパスフィルタを通して平均化して位相回転信号を生成する工程と、を含み、

前記位相回転信号に基づいて位相誤差補償を行うようにしてもよい。

10

【形態21】

前記補間処理工程は、タップ係数の初期値をセットする工程と、

積和演算処理を実行する工程と、

累積加算によって前記タップ係数を更新する2種類のタップ係数更新工程と、を含み、

前記積和演算処理工程および前記タップ係数更新工程を前記受信パイロットシンボル間隔と同一の回数繰り返してもよい。

【0036】

次に、実施形態について図面を参照して詳細に説明する。以下の実施形態では、位相情報をデータの識別に使用する変調方式を対象とする。また、以下の実施形態では、一例として、変調方式がQAMである場合について説明するが、位相情報をデータの識別に使用する変調方式であれば、本実施形態を適用することができる。また、本実施形態は、復調方式の検波方法として、復調装置自身が生成する固定周波数の周期信号を用いて検波を行い、検波後に位相誤差を取り除く準同期検波方式を対象とする。この方式によると、搬送波に完全に同期する信号を生成する必要がない。

20

【0037】

(実施形態1)

第1の実施形態に係る搬送波再生装置について、図面を参照して説明する。図1は、本実施形態に係る搬送波再生装置10を備えた復調装置20の構成を一例として示すプロック図である。

【0038】

30

復調装置20は、既知のパイロット信号を含むデータ信号を復調する装置である。図1を参照すると、復調装置20は、基準発振器11、検波器12、A/D変換器13、および、搬送波再生装置10を備える。搬送波再生装置10は、遅延回路14と、補間フィルタ15と、補間フィルタ15に関連したタップ係数生成部16と、位相回転器17と、位相誤差補償部19と、QAMシンボルデマッピング部31と、誤り訂正復号器32とを備える。

【0039】

基準発振器11は、固定周波数のリファレンス信号を検波器12に出力する。検波器12は、IF(Intermediate Frequency; 中間周波数)入力信号を直交検波して、IchとQchの各ベースバンド信号を生成する。生成されたベースバンド信号は、A/D変換器13を通してデジタル信号に変換される。

40

【0040】

変復調の手段であるQAM方式の信号点数が2m個の場合(mは正整数)、送信側では伝送するビット列をmビット毎に区切り、各mビットを2m個の信号点の1つにマッピングする。マッピングされた信号点は複素数値で表すことができ、これを送信シンボルと呼ぶ。A/D変換器13によってデジタルに変換されたIch、Qchの各ベースバンド信号は、送信シンボルに対応する受信シンボルであって、Ich、Qchのベースバンド信号が各々実部と虚部に対応する複素数値で表現することができる。以下では、この複素数値を「受信シンボル」と呼び、搬送波再生装置10への入力とする。一方、搬送波再生装置10の出力は、受信シンボルから推定した送信シンボルに対応するビット列から成る

50

。

## 【0041】

遅延回路14は、受信シンボルを入力とし、後述の補間フィルタ15が要する処理時間に応じて一定時間遅延させた後、位相回転器17に出力する。

## 【0042】

補間フィルタ15は、デジタル化されたIch、Qchの各ベースバンド信号からなる受信シンボルのうち、送信側で埋め込まれた既知のパイロットシンボルのみを入力とし、複数のパイロットシンボルから各パイロットシンボルの間の受信シンボルについて、受信シンボルが含む位相誤差の推定値を算出して位相回転器17に出力する。

## 【0043】

タップ係数生成部16は、補間フィルタ15において位相誤差の推定処理に使用するデータを、位相雑音と熱雑音に関する統計情報から生成し、補間フィルタ15に供給する。

## 【0044】

位相回転器17は、遅延回路14の出力と補間フィルタ15の出力を入力とし、遅延回路14の出力である受信シンボルの位相を、補間フィルタ15の出力データに基づいて回転し、バッファ18へ出力する。

## 【0045】

位相誤差補償部19は、位相回転器17の出力シンボルを、バッファ18を介して入力し、位相回転器17の出力シンボルに残留する位相誤差を推定して、補正する。位相誤差補償部19は、残留する位相誤差を推定するために、誤り訂正復号器32の出力データを用いる。

## 【0046】

QAMシンボルデマッピング部31は、バッファ18および位相誤差補償部19の出力シンボルを、セレクタ30を介して入力し、セレクタ30の出力シンボルから、出力シンボルに対応するビット列を算出し、後述の誤り訂正復号器32へ出力する。

## 【0047】

なお、本実施形態では、一例として、誤り訂正復号器32が、各送信ビットに対する尤度情報を入力して訂正処理を行う軟判定復号器である場合について説明する。この場合、QAMシンボルデマッピング部31は、受信ビットの確からしさを示す尤度情報を反映したビット列を出力する。QAMシンボルデマッピング部31は、一例として、特許文献1に記載されたものを用いることができる。

## 【0048】

誤り訂正復号器32は、QAMシンボルデマッピング部31の出力データを入力し、バッファ18または位相誤差補償部19の出力シンボルが含むビットエラーの推定および訂正を行う。

## 【0049】

図2は、本実施形態の搬送波再生装置10における補間フィルタ15の構成を一例として示すブロック図である。図2を参照すると、補間フィルタ15は、有限インパルスレスポンス(Finite Impulse Response; FIR)型フィルタであり、レジスタ41、44、セレクタ42、45、乗算器43、および、加算器46、47を備える。

## 【0050】

図3は、タップ係数生成部16の構成を一例として示すブロック図である。図3を参照すると、タップ係数生成部16は、タップ係数 $h_j$ の初期値を生成するROMテーブル38と、タップ係数 $h_j$ 更新時のステップ幅 $\Delta_j$ を生成するROMテーブル39を備える。ROMテーブル38は、位相雑音レベル(Phase Noise Level; PNL)および搬送波対雑音比(Carrier to Noise Ratio; CNR)を入力として、これらに応じて、タップ係数 $h_j$ の初期値を出力する。一方、ROMテーブル39は、PNLおよびCNRを入力として、これらに応じて、タップ係数 $h_j$ を更新する際のステップ幅 $\Delta_j$ を出力する。

## 【0051】

次に、搬送波再生装置10の動作について説明する。搬送波再生装置10は、A/D変

10

20

30

40

50

換器 13 を通してデジタル信号に変換された I ch、Q ch の各ベースバンド信号に相当する受信シンボルを入力し、受信シンボルが含む位相誤差を補償すると共に、残留位相雑音、熱雑音などの外乱に起因するビット誤りを、誤り訂正符号の復号処理を通して訂正する。搬送波再生装置 10 は、以上の処理によって、送信ビット列を推定して、出力する。

#### 【 0 0 5 2 】

図 4 は、搬送波再生装置 10 の入力シンボル列の構成を一例として示す図である。図 4 を参照すると、入力シンボル列は、伝送データ本体 (Payload；ペイロード) と、予め取り決めた既知のパイロットシンボルから成る。以下では、説明を簡単にするため、パイロットシンボルは、入力シンボル M 個に対して 1 つの割合で、一定間隔で埋め込まれているものとする。ここで、M は正整数であり、パイロットシンボル間隔を表す。

#### 【 0 0 5 3 】

搬送波再生装置 10 への入力シンボル列は、遅延回路 14 へ入力される。これと並行して、M シンボルに 1 回の割合で埋め込まれたパイロットシンボルに相当する受信パイロットシンボルに限り、補間フィルタ 15 へ入力される。すなわち、補間フィルタ 15 への入力イベントは M 回に 1 回の割合で生じる。パイロットシンボルは事前に取り決めた既知シンボルであるため、受信したパイロットシンボルと、事前に取り決めたシンボルを比較することで、受信パイロット中に含まれる位相誤差を抽出することができる。一方、ペイロードシンボルに関しては、送信シンボルが既知ではないため、位相誤差の抽出には誤差を伴うおそれがある。

#### 【 0 0 5 4 】

補間フィルタ 15 はタップ数が  $2t + 1$  の FIR フィルタであって (t は正整数)、 $2t + 1$  個の入力パイロットシンボルから M - 1 個のペイロードシンボルと 1 個のパイロットシンボルが含む位相誤差を推定する。入力パイロットシンボルと、位相誤差を推定するペイロードシンボルの関係の詳細について、以下に説明する。

#### 【 0 0 5 5 】

搬送波再生装置 10 への入力シンボルは 1 単位時間当たり 1 シンボルとし、 $2tM + 1$  個の入力シンボルを  $S_0, S_1, S_2, \dots, S_{2tM}$  とし、特に、M シンボル毎に埋め込まれているパイロットシンボルを  $S_0, S_M, S_{2M}, S_{3M}, \dots, S_{2tM}$  とする。これらの  $2t + 1$  個のパイロットシンボルが補間フィルタ 15 に順次入力され、最後の  $S_{2tM}$  が入力されてから、次のパイロットシンボル  $S_{(2t+1)M}$  が入力されるまでの M 単位時間内で、補間フィルタ 15 は、次の数式 1 に示した M - 1 個のペイロードシンボルと、パイロットシンボル  $S_{tM}$  に含まれる位相誤差を順次推定する。

#### 【 0 0 5 6 】

##### 【数 1】

$$S_{tM - [(M-1)/2]}, \dots, S_{tM-2}, S_{tM-1}, S_{tM+1}, S_{tM+2}, \dots, S_{tM+[M/2]}$$

#### 【 0 0 5 7 】

なお、数式 1 において、 $[M/2]$  は  $M/2$  以下の最大の整数を表す。したがって、 $[M/2]$  は、M が偶数のときには  $M/2$  であり、M が奇数のときには  $(M-1)/2$  を表す。 $[(M-1)/2]$  についても同様である。

#### 【 0 0 5 8 】

補間フィルタ 15 は、上記 M - 1 個のペイロードシンボル中の位相誤差の推定を、フィルタのタップ係数を逐次更新して行う。タップ係数の更新に必要な情報は、タップ係数生成部 16 から供給される。以上により、遅延回路 14 の遅延量は、 $tM + [(M-1)/2]$  単位時間以上となる。

#### 【 0 0 5 9 】

位相回転器 17 は、遅延回路 14 の出力である受信シンボルの位相を補間フィルタ 15 の出力データに基づいて回転して出力する。受信シンボルは I ch、Q ch の各ベースバンド信号に相当する複素数値によって表され、補間フィルタの出力データも同様に複素数

10

20

30

40

50

値で表される。したがって、位相回転器 17 は、一例として、複素数値の乗算器によって実現することができる。ただし、位相回転器 17 はこれに限定されるものではない。

【0060】

位相回転器 17 の出力シンボルは、補間フィルタ 15 によって位相雑音が補正された受信シンボル列である。しかし、位相雑音レベルが高い場合、または、パイロットシンボル間隔 M が大きい場合には、残留位相誤差が問題となる。そこで、位相回転器 17 の出力シンボルを、位相誤差補償部 19 および誤り訂正復号器 32 によって補償する。

【0061】

位相誤差補償部 19 は、位相回転器 17 の出力シンボルを、バッファ 18 を介して入力し、出力シンボルに残留する位相誤差を推定して補正する。

10

【0062】

位相誤差補償部 19 が残留する位相誤差の推定において使用するリファレンスとなるシンボルは、誤り訂正復号器 32 を使用して生成する。そこで、まず、QAMシンボルデマッピング部 31 および誤り訂正復号器 32 により、位相回転器 17 の出力シンボル中に含まれるビットエラーの訂正処理を行う。

【0063】

QAMシンボルデマッピング部 31 は、バッファ 18、セレクタ 30 を介して、位相回転器 17 の出力シンボルを受信し、当該出力シンボルを構成する各ビットに対し、尤度情報を反映したビット列を生成して誤り訂正復号器 32 に出力する。

20

【0064】

誤り訂正復号器 32 は、当該ビット列を入力し、第1回目の誤り訂正復号処理を行って送信ビット列を推定し、推定送信ビット列を位相誤差補償部 19 に出力する。

【0065】

位相誤差保障部 19 は、受信した推定送信ビット列を、位相回転器 17 の出力シンボルが含む残留位相誤差の推定を利用して、第2回目の位相誤差補償を行う。

【0066】

位相誤差補償部 19 において第2回目の位相誤差補償を適用した受信シンボルは、セレクタ 30、QAMシンボルデマッピング部 31 を介して、誤り訂正復号器 32 へ入力される。誤り訂正復号器 32 は、第2回目の誤り訂正復号処理を行い、送信ビット列の推定を行う。

30

【0067】

以下、同様の手順に従って第3回目の位相誤差補償および誤り訂正処理を行い、引き続き第4回目、第5回目の位相誤差補償および誤り訂正処理を繰り返すことができる。搬送波再生装置 10 は、位相誤差補償および誤り訂正処理を所定の回数繰り返した後、誤り訂正復号器 32 の出力データを搬送波再生装置 10 の出力データとして出力する。

【0068】

誤り訂正復号器 32 によって推定した送信ビット、および、これを用いて位相誤差補償部 19 で推定した位相誤差の精度は、誤り訂正と位相誤差補償の各処理回数を重ねることによって、次第に向上するものと期待される。

40

【0069】

図 5 は、搬送波再生装置 10 の動作、すなわち、受信シンボルの入力から出力データの生成までの動作を一例として示すフロー図である。

【0070】

図 5 を参照すると、搬送波再生装置 10 は、A/D 変換器 13 から出力された受信シンボルを入力とする（ステップ A1）。

【0071】

補間フィルタ 15 は、受信シンボル列中のパイロットシンボルのみを利用し、補間処理によって、パイロットシンボル間のペイロードシンボル中に含まれる位相誤差を推定する（ステップ A2）。

【0072】

50

次に、位相回転器 17 は、1 回目の位相誤差補償を行う（ステップ A3）。

【0073】

QAMシンボルデマッピング部 31 は位相誤差補償を行った受信シンボルをビット列にデマッピングし（ステップ A4）、誤り訂正復号器 32 は誤り訂正符号による誤り訂正を行う（ステップ A5）。

【0074】

位相誤差補償を行った回数  $k$  が予め設定した回数  $T$  以上である場合（ $k, T$  は正整数）、または、誤り訂正（ステップ A5）ですべてのエラーの訂正に成功した場合、誤り訂正（ステップ A5）されたデータを、搬送波再生装置 10 の出力とする（ステップ A6）。

【0075】

一方、位相誤差補償を行った回数  $k$  が予め設定した回数  $T$  よりも小さい場合、 $k + 1$  回目の位相誤差補償を行う（ステップ A7）。なお、位相誤差補償（ステップ A7）は、誤り訂正復号（ステップ A5）の出力をリファレンスデータとして使用するものであり、バイロット間補間（ステップ A2）に基づく位相回転器 17 による位相誤差補償（ステップ A3）とは異なる。

【0076】

図 2 に示した補間フィルタ 15 の動作について、図 6 に示したフロー図を使って説明する。図 4 に示したように、入力シンボル列は、ペイロードシンボルとバイロットシンボルから成り、バイロットシンボルは、 $M$  個のシンボルの入力に対して 1 つの割合で、一定間隔で埋め込まれているものとする。このとき、補間フィルタ 15 への入力イベントは、 $M$  回に 1 回の割合で発生する。

【0077】

図 6 を参照すると、受信バイロットシンボルが補間フィルタ 15 へ入力され（ステップ B1）、図 2 の上段に位置するレジスタ 41 のうちの、左端のレジスタにセットされる。また、タップ係数を保持する各レジスタ 44 に初期値が設定される（ステップ B2）。

【0078】

入力された受信バイロットシンボルを  $S_{nM}$  とすると（ $n$  は整数）、レジスタ 41 に保持されている受信バイロットシンボル列は、左から順に、 $S_{nM}, S_{(n-1)M}, \dots, S_{(n-2t)M}$  となる。これらの各々は、乗算器 43 でタップ係数  $h_0, h_1, \dots, h_{2t}$  と乗算され、加算器 47 によって総和が計算される（ステップ B3）。

【0079】

補間フィルタ 15 は、求めた総和を補間データとして出力する（ステップ B4）。補間データは、次の数式 2 で表される。

【0080】

【数 2】

$$\sum_{i=0}^{2t} h_i \cdot S_{(n-i)M}$$

【0081】

補間フィルタ 15 は、以上説明した数式 2 の積和演算を、タップ係数  $h_0, h_1, \dots, h_{2t}$  を更新しつつ  $M$  回繰り返す。タップ係数の更新は、図 6 中のタップ係数更新（ステップ B5）とタップ係数更新（ステップ B6）に示した方法で行う。ステップ B5、D6 におけるタップ係数更新は、いずれも、予め設定した数値であるステップ幅（ $j, j+1$ ）を加算することによって行われる。ただし、ステップ B5、D6 の間では、ステップ幅が異なる。

【0082】

補間フィルタ 15 は、第  $k$  回目の積和演算を行った後、 $k = [(M-1)/2]$  の場合には、ステップ B5 に従ってタップ係数を更新し、それ以外の場合には、ステップ B6 に従ってタップ係数を更新する。補間フィルタ 15 は、図 2 に示したレジスタ 44、加算器

10

20

30

40

50

46、および、加算器46に接続されたセレクタ45を用いて、タップ係数の更新を行う。セレクタ45は、ステップB5のタップ係数更新と、ステップB6のタップ係数更新を切り替える。

【0083】

なお、ステップB2におけるタップ係数 $h_j$ の初期値と、ステップB5およびD6におけるタップ係数更新時のステップ幅 $\Delta_j$ は、位相雑音レベル(Phase Noise Level; PN-L)と熱雑音による搬送波対雑音比(Carrier to Noise Ratio; CNR)に応じて定まり、タップ係数生成部16から供給される。

【0084】

(実施形態2)

10

第2の実施形態に係る搬送波再生装置について、図面を参照して説明する。図7は、本実施形態に係る搬送波再生装置10aを備えた復調装置20a構成を一例として示すプロック図である。

【0085】

復調装置20aにおいて、基準発振器11と検波器12、A/D変換器13については第1の実施形態における復調装置20(図1)と同一である。また、搬送波再生装置10aにおいて、遅延回路14、補間フィルタ15、タップ係数生成部16、位相回転器17、バッファ18、セレクタ30、QAMシンボルデマッピング部31、および、誤り訂正復号器32についても、第1の実施形態における搬送波再生装置10(図1)と同一である。

20

【0086】

図7を参照すると、位相誤差補償部19aは、QAMシンボルマッピング部51、位相誤差検出器52、ループフィルタ53、数値制御発振器54、および、位相回転器55を備える。

【0087】

QAMシンボルマッピング部51は、誤り訂正復号器32の出力データから、当該出力データに対応する送信シンボル系列のレプリカを生成し、位相誤差検出器52へ出力する。

【0088】

位相誤差検出器52は、位相回転器55の出力シンボルと、QAMシンボルマッピング部51の出力シンボルの位相差を検出し、ループフィルタ53へ出力する。

30

【0089】

ループフィルタ53は、位相誤差検出器52の出力に含まれる高周波ノイズを除去し、数値制御発振器54へ出力する。

【0090】

数値制御発振器54は、ループフィルタ53の出力から位相回転量を算出し、位相回転器55へ出力する。

【0091】

ここで、位相誤差検出器52、ループフィルタ53、数値制御発振器54、および、位相回転器55は、環状に結線されている。

40

【0092】

次に、図7の搬送波再生装置10aの動作について説明する。ただし、搬送波再生装置10aにおいて、遅延回路14、補間フィルタ15、タップ係数生成部16、位相回転器17、バッファ18、セレクタ30、QAMシンボルデマッピング部31、および、誤り訂正復号器32については、第1の実施形態に係る搬送波再生装置10(図1)と同一である。したがって、搬送波再生装置10aへの受信シンボルの入力から、遅延回路14、補間フィルタ15、タップ係数生成部16、位相回転器17までの動作、ならびに、QAMシンボルデマッピング部31および誤り訂正復号器32の動作は、第1の実施形態に係る搬送波再生装置10(図1)の動作と同一であるため、説明を省略する。

【0093】

50

QAMシンボルマッピング部51は、誤り訂正復号器32の出力データをQAM方式における信号点にマッピングすることによって、送信シンボルのレプリカを生成する。変調方式として $2^m$ -QAM方式を利用した場合、QAMシンボルマッピング部51が outputする各送信シンボルレプリカは、QAM方式の $2^m$ 個の信号点を表す複素数値のうちの1つに一致する。

【0094】

なお、誤り訂正復号器32が訂正後のデータと併せて、当該訂正後データの確からしさを表す尤度情報を出力するソフトアウトプット復号器である場合、QAMシンボルマッピング部51が出力するシンボルは、尤度情報によって重み付けした各送信シンボルの加算値になる。この場合、QAMシンボルマッピング部51の出力は、QAM方式の $2^m$ 個の信号点を表す複素数値のうちの1つに必ずしも一致しない。10

【0095】

位相誤差検出器52は、QAMシンボルマッピング部51が生成した送信シンボルのレプリカを入力とする。位相誤差検出器52は、さらに、位相回転器55を介して、前記補間フィルタ処理によって位相誤差補償された受信シンボルを入力とする。受信シンボルを複素数 $\alpha$ で表し、QAMシンボルマッピング部51の生成する送信シンボルレプリカを複素数 $\beta$ で表す。複素数 $\alpha$ の実部を $Re(\alpha)$ とし、虚部を $Im(\alpha)$ とすると、位相誤差検出器52の出力値は数式3で表される。

【0096】

【数3】

$$\frac{1}{|\alpha|} \{ Im(\alpha) \cdot Re(\beta) - Re(\alpha) \cdot Im(\beta) \}$$

【0097】

複素数 $\alpha$ の偏角を $\theta_\alpha$ とし、複素数 $\beta$ の偏角を $\theta_\beta$ と表記すると、数式3は数式4となる。

【0098】

【数4】

$$|\beta| \sin(\theta_\alpha - \theta_\beta)$$

30

【0099】

したがって、位相誤差検出器52の出力値である数式3は、2つの入力シンボルの位相差に応じた値となる。位相誤差検出器52は、出力値をループフィルタ53に出力する。

【0100】

図8は、ループフィルタ53の構成を一例として示す図である。図8を参照すると、ループフィルタ53は、乗算器91を備える。ループフィルタ53は、数式3に示した入力値に定数 $k$ を乗じて出力する。定数 $k$ は、パイラットシンボルとペイロードシンボルの区別、あるいは位相誤差補償回数等に応じて、適応的に変化させることができる。ループフィルタ53は、出力値を数値制御発振器54に出力する。40

【0101】

図9は、数値制御発振器54の構成を一例として示すブロック図である。図9を参照すると、数値制御発振器54は、加算器34およびレジスタ35を有する累積加算器と、累積加算の結果 $\theta$ を $\cos(\theta)$ と $\sin(\theta)$ の各値に変換するROMテーブル36とを備える。

【0102】

数値制御発振器54は、レジスタ35に保持されたデータを入力データに加算し、加算結果をレジスタ35が保持するデータとして更新するとともに、ROMテーブル36によって、余弦関数値と正弦関数値に変換して、位相回転器55へ出力する。50

## 【0103】

位相回転器55は、バッファ18の出力シンボル' と数値制御発振器54の出力値( $\cos(\cdot)$ 、 $\sin(\cdot)$ )から、式5に従ってシンボル'の位相を-だけ回転して得られるシンボル'を出力する。

## 【0104】

## 【数5】

$$\operatorname{Re}(\alpha) = \cos(\theta) \cdot \operatorname{Re}(\alpha') + \sin(\theta) \cdot \operatorname{Im}(\alpha')$$

$$\operatorname{Im}(\alpha) = \cos(\theta) \cdot \operatorname{Im}(\alpha') - \sin(\theta) \cdot \operatorname{Re}(\alpha')$$

10

## 【0105】

位相回転器55、位相誤差検出器52、ループフィルタ53、および、数値制御発振器54は、図7に示すように環状に結線されている。

## 【0106】

位相回転器55によって、第2回目の位相誤差補償を適用した受信シンボルは、セレクタ30、QAMシンボルデマッピング部31を介して、誤り訂正復号器32へ入力される。

## 【0107】

誤り訂正復号器32は、第2回目の誤り訂正復号を行い、送信ビット列を推定する。送信ビット列は、前回と同様の手順で、QAMシンボルマッピング部51を通して位相誤差検出器52に供給される。他方の入力は、位相回転器55を通してバッファ18から、位相誤差検出器52に供給されるが、手順のみならず、バッファ18から供給されるシンボル値も前回と同一である。

20

## 【0108】

QAMシンボルマッピング部51を通して供給される送信シンボルのレプリカ中に含まれるエラーは前回よりも低減されていると期待され、この効果によって第2回目よりも精度の高い位相誤差の補償が行われる。以下同様に、送信シンボルのレプリカを繰返し更新することで、より高い精度で位相雑音を補償することができる。

## 【0109】

図10は、位相誤差補償部19aを備えた本実施形態の搬送波再生装置10aにおける、受信シンボルの入力から出力データを得るまでの動作を一例として示すフロー図である。

30

## 【0110】

図10を参照すると、搬送波再生装置10aは、A/D変換器13から出力された受信シンボルを入力とする(ステップC1)。

## 【0111】

補間フィルタ15は、受信シンボル列中のパイロットシンボルのみを利用し、補間処理によって、パイロットシンボル間のペイロードシンボル中に含まれる位相誤差を推定する(ステップC2)。

## 【0112】

次に、位相回転器17は、1回目の位相誤差補償を行う(ステップC3)。

40

## 【0113】

QAMシンボルデマッピング部31は位相誤差補償を行った受信シンボルをビット列にデマッピングし(ステップC4)、誤り訂正復号器32は誤り訂正符号による誤り訂正を行う(ステップC5)。

## 【0114】

位相誤差補償を行った回数kが予め設定した回数T以上である場合(k、Tは正整数)、または、誤り訂正(ステップC5)ですべてのエラーの訂正に成功した場合、誤り訂正(ステップC5)されたデータを、搬送波再生装置10aの出力とする(ステップC6)。

50

## 【0115】

一方、位相誤差補償を行った回数  $k$  が予め設定した回数  $T$  よりも小さい場合、QAMシンボルマッピング部 51 は誤り訂正（ステップ C5）されたデータを QAMシンボルにマッピングすることで送信シンボルのレプリカを作成する（ステップ C7）。

## 【0116】

次に、位相誤差検出器 52 は、送信シンボルのレプリカをリファレンスシンボルとして、位相誤差を検出する（ステップ C8）。

## 【0117】

次に、ループフィルタ 53 は、検出された位相誤差の高周波成分を除去する（ステップ C9）。

10

## 【0118】

次に、数値制御発振器 54 は、高周波成分除去された位相誤差情報を変換して位相回転情報を生成する（ステップ C10）。

## 【0119】

次に、位相回転器 55 は、位相回転情報に応じて  $k + 1$  回目の位相誤差補償を行う（ステップ C11）。

## 【0120】

なお、図 7 に示すように、 $k + 1$  回目の位相誤差補償は、シンボル単位で見れば、位相誤差検出器 52 による位相誤差の検出にフィードバックされる。

## 【0121】

20

## (実施形態 3)

第 3 の実施形態に係る搬送波再生装置について、図面を参照して説明する。図 11 は、本実施形態に係る搬送波再生装置 10b を備えた復調装置 20b の構成を一例として示すブロック図である。

## 【0122】

図 11 を参照すると、復調装置 20b において、基準発振器 11、検波器 12、および、A/D 変換器 13 については、第 1 の実施形態における復調装置 20（図 1）と同一である。また、搬送波再生装置 10b において、遅延回路 14、補間フィルタ 15、タップ係数生成措置 16、位相回転器 17、バッファ 18、セレクタ 30、QAMシンボルデマッピング部 31、および、誤り訂正復号器 32 についても、第 1 の実施形態に係る搬送波再生装置 10（図 1）と同一である。

30

## 【0123】

図 11 を参照すると、位相誤差補償部 19b は、位相回転器 61、QAMシンボルマッピング部 62、位相誤差検出器 63、および、ローパスフィルタ 64 を備える。

## 【0124】

位相回転器 61 は、バッファ 18 を介して位相回転器 17 の出力を入力し、後述のローパスフィルタ 64 の出力を用いて位相を回転する。位相回転器 61 の出力は、セレクタ 30 を介して、QAMシンボルデマッピング部 31 へ入力される。

## 【0125】

QAMシンボルマッピング部 62 は、誤り訂正復号器 32 の出力データから、当該出力データに対応する送信シンボル系列のレプリカを生成し、位相誤差検出器 63 へ出力する。

40

## 【0126】

位相誤差検出器 63 は、バッファ 18 の出力シンボルと、QAMシンボルマッピング部 62 の出力シンボルの位相差を検出し、ローパスフィルタ 64 へ出力する。

## 【0127】

ローパスフィルタ 64 は、位相誤差検出器 63 の出力を平均化し、位相回転器 61 へ出力する。

## 【0128】

次に、搬送波再生装置 10b の動作について説明する。搬送波再生装置 10b において

50

、遅延回路 14、補間フィルタ 15、タップ係数生成装置 16、位相回転器 17、バッファ 18、セレクタ 30、QAMシンボルデマッピング部 31、および、誤り訂正復号器 32については、第 1 の実施形態に係る搬送波再生装置 10 (図 1) と同一である。したがって、搬送波再生装置 10 b への受信シンボルの入力から、遅延回路 14、補間フィルタ 15、タップ係数生成部 16、および、位相回転器 17 までの動作、ならびに、QAMシンボルデマッピング部 62 および誤り訂正復号器 32 の動作は、第 1 の実施形態に係る搬送波再生装置 10 (図 1) の動作と同一であるため、説明を省略する。

#### 【0129】

QAMシンボルマッピング部 62 は、誤り訂正復号器 32 の出力データを QAM 方式における信号点にマッピングすることによって、送信シンボルのレプリカを生成する。QAMシンボルマッピング部 62 は、第 2 の実施形態に係る搬送波再生装置 10 a (図 7) の位相誤差補償部 19 a に設けられた QAMシンボルマッピング部 51 と同一である。

#### 【0130】

位相誤差検出器 63 は、第 2 の実施形態に係る搬送波再生装置 10 a (図 7) に設けられた位相誤差検出器 52 と同様に、QAMシンボルマッピング部 62 で生成された送信シンボルのレプリカを一方の入力とする。第 2 の実施形態においては、位相誤差検出器 52 は、位相回転器 55 の出力シンボルを他方の入力とする。本実施形態においては、位相誤差検出器 63 は、補間フィルタ 15 によって補正された受信シンボルを保持するバッファ 18 の出力シンボルを他方の入力とする。

#### 【0131】

バッファ 18 の出力シンボルを複素数 とし、QAMシンボルマッピング部 62 が出力する送信シンボルのレプリカを複素数 とすると、位相誤差検出器 63 の出力値は、第 2 の実施形態の場合と同様に、数式 3 によって表される。

#### 【0132】

図 12 は、ローパスフィルタ 64 の構成を一例として示すブロック図である。図 12 を参照すると、ローパスフィルタ 64 は、位相誤差検出器 63 の出力を平均化する平均化フィルタ 65 と、平均化フィルタ 65 の出力値 を余弦関数値と正弦関数値の組 (cos( ))、sin( )) に変換して出力する ROM テーブル 66 とを備える。

#### 【0133】

ROM テーブル 66 の出力データは、位相回転器 61 において、バッファ 18 の出力シンボルの位相回転に使用される。位相回転器 61 は、バッファ 18 の出力シンボルを 、平均化フィルタ 65 の出力を とすると、数式 4 に従って位相回転を行い、シンボルを出力する。

#### 【0134】

位相回転器 61 によって、第 2 回目の位相誤差補償を適用した受信シンボルは、図 7 の搬送波再生装置 10 a と同様に、セレクタ 30、QAMシンボルデマッピング部 31 を介して、誤り訂正復号器 32 へ入力される。

#### 【0135】

誤り訂正復号器 32 は、第 2 回目の誤り訂正復号を行い、送信ビット列を推定する。送信ビット列は、前回と同様の手順で、QAMシンボルマッピング部 62 を通して位相誤差検出器 63 に供給される。他方の入力は、バッファ 18 から位相誤差検出器 63 供給されるが、手順のみならず、バッファ 18 から供給されるシンボル値も前回と同一である。

#### 【0136】

QAMシンボルマッピング部 62 を通して供給される送信シンボルのレプリカ中に含まれるエラーが前回よりも低減されていると期待され、この効果によって第 2 回目よりも精度の高い位相誤差の補償が行われる。以下同様に、送信シンボルレプリカを繰返し更新することで、より高い精度で位相雑音を補償することができる。

#### 【0137】

図 13 は、位相誤差補償部 19 b を備えた本実施形態の搬送波再生装置 10 b における受信シンボルの入力から出力データを得るまでの動作を一例として示すフロー図である

10

20

30

40

50

。

## 【0138】

図13を参照すると、搬送波再生装置10bは、A/D変換器13から出力された受信シンボルを入力とする(ステップD1)。

## 【0139】

補間フィルタ15は、受信シンボル列中のパイロットシンボルのみを利用し、補間処理によって、パイロットシンボル間のペイロードシンボル中に含まれる位相誤差を推定する(ステップD2)。

## 【0140】

次に、位相回転器17は、1回目の位相誤差補償を行う(ステップD3)。

10

## 【0141】

QAMシンボルデマッピング部31は位相誤差補償を行った受信シンボルをビット列にデマッピングし(ステップD4)、誤り訂正復号器32は誤り訂正符号による誤り訂正を行う(ステップD5)。

## 【0142】

位相誤差補償を行った回数kが予め設定した回数T以上である場合(k、Tは正整数)、または、誤り訂正(ステップD5)ですべてのエラーの訂正に成功した場合、誤り訂正(ステップD5)されたデータを、搬送波再生装置10bの出力とする(ステップD6)。

。

## 【0143】

20

一方、位相誤差補償を行った回数kが予め設定した回数Tよりも小さい場合、QAMシンボルマッピング部62は誤り訂正(ステップD5)されたデータをQAMシンボルにマッピングすることで送信シンボルのレプリカを作成する(ステップD7)。

## 【0144】

次に、位相誤差検出器63は、送信シンボルのレプリカをリファレンスシンボルとして、位相誤差を検出する(ステップD8)。

## 【0145】

次に、ローパスフィルタ64は、検出された位相誤差を平均化し、位相回転信号を生成する(ステップD9)。

## 【0146】

30

次に、位相回転器61は、位相回転信号を使って、k+1回目の位相誤差補償を行う(ステップD10)。

## 【0147】

以上、本発明の実施形態について、図面を参照して説明した。図示された構成は単なる一例であって、本発明は図示された構成に限定されるものではない。

## 【0148】

本発明に係る搬送波再生装置は、携帯端末装置、基幹無線装置を含むデジタル無線通信装置に対して好適に適用することができる。

## 【0149】

なお、上記の特許文献等の先行技術文献の各開示を、本書に引用をもって繰り込むものとする。本発明の全開示(請求の範囲を含む)の枠内において、さらにその基本的技術思想に基づいて、実施形態の変更・調整が可能である。また、本発明の請求の範囲の枠内において種々の開示要素(各請求項の各要素、各実施形態の各要素、各図面の各要素等を含む)の多様な組み合わせ、ないし、選択が可能である。すなわち、本発明は、請求の範囲を含む全開示、技術的構成にしたがって当業者であればなし得るであろう各種変形、修正を含むことは勿論である。本書に記載した数値範囲については、当該範囲内に含まれる任意の数値ないし小範囲が、別段の記載のない場合でも具体的に記載されているものと解釈されるべきである。

40

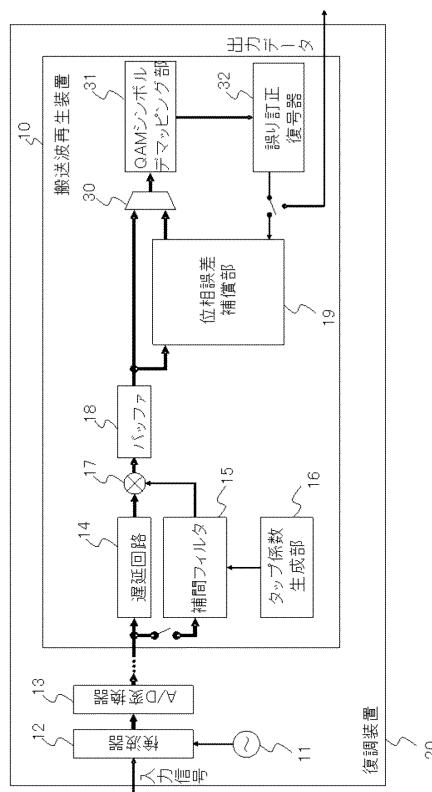
## 【符号の説明】

## 【0150】

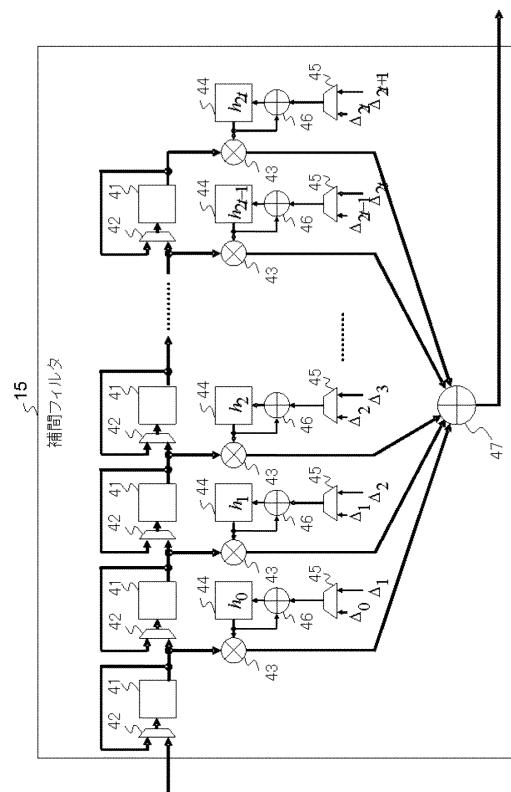
50

1 0 、 1 0 a 、 1 0 b	搬送波再生装置	
1 1 、 1 2 1 、 1 3 1	基準発振器	
1 2 、 1 2 2 、 1 3 2	検波器	
1 3 、 1 2 3 、 1 3 3	A / D 変換器	
1 4 、 1 3 4	遅延回路	
1 5 、 1 3 5	補間フィルタ	
1 6	タップ係数生成部	
1 7 、 5 5 、 6 1 、 1 2 4 、 1 3 6	位相回転器	
1 8	バッファ	
1 9 、 1 9 a 、 1 9 b	位相誤差補償部	10
2 0 、 2 0 a 、 2 0 b	復調装置	
3 0 、 4 2 、 4 5	セレクタ	
3 1 、 1 2 8 、 1 3 7	Q A M シンボルデマッピング部	
3 2 、 1 2 9 、 1 3 8	誤り訂正復号器	
3 4 、 4 6 、 4 7	加算器	
3 5 、 4 1 、 4 4	レジスタ	
3 6 、 3 8 、 3 9 、 6 6	R O M (リードオンリーメモリ) テーブル	
4 3 、 9 1	乗算器	
5 1 、 6 2	Q A M シンボルマッピング部	
5 2 、 6 3	位相誤差検出器 (参照信号入力付き)	20
5 3 、 1 2 6	ループフィルタ	
5 4 、 1 2 7	数値制御発振器	
6 4	ローパスフィルタ	
6 5	平均化フィルタ	
1 2 5	位相誤差検出器	

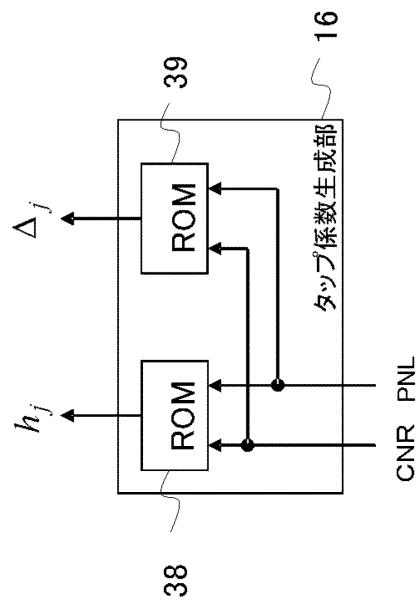
【図 1】



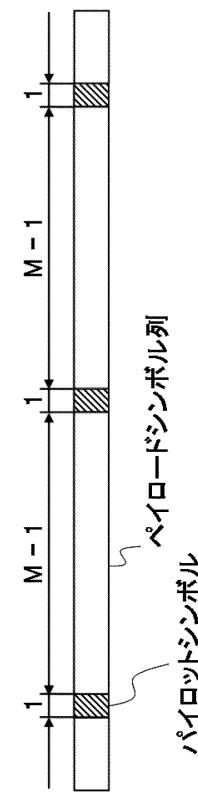
【図 2】



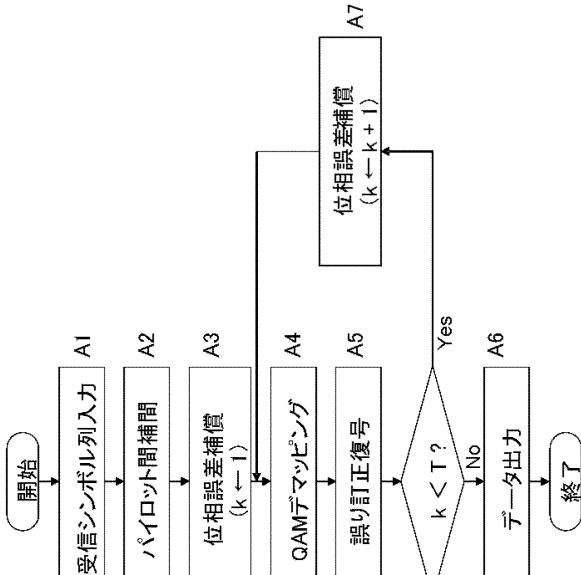
【図3】



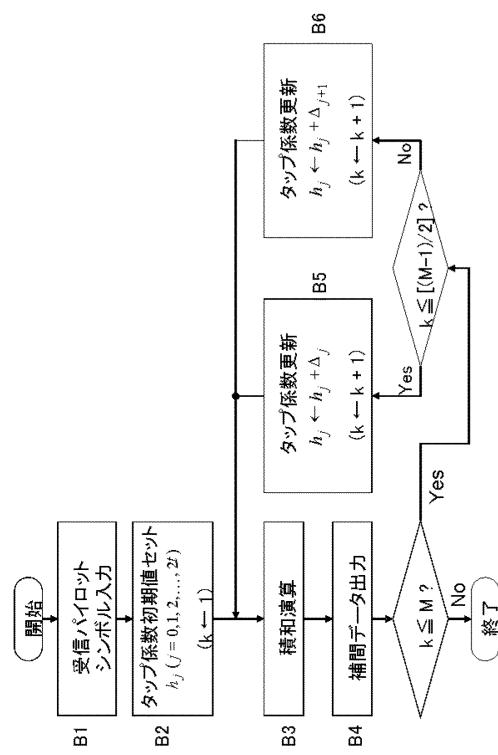
【図4】



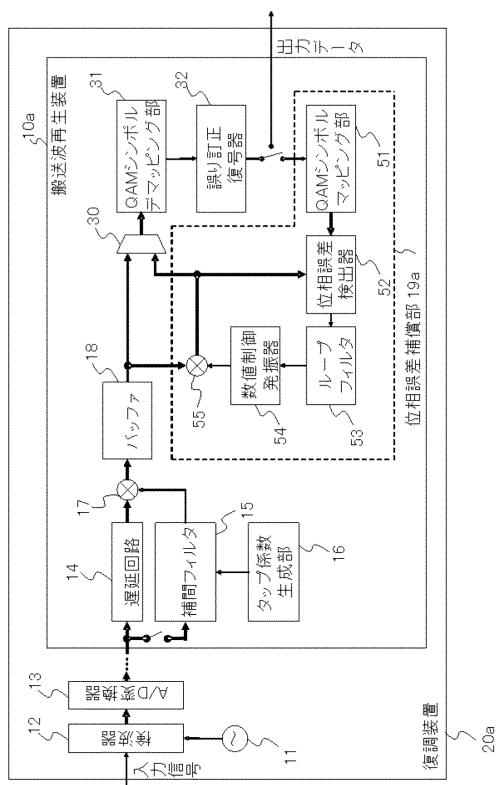
【図5】



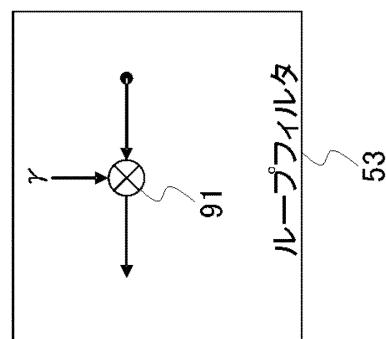
【図6】



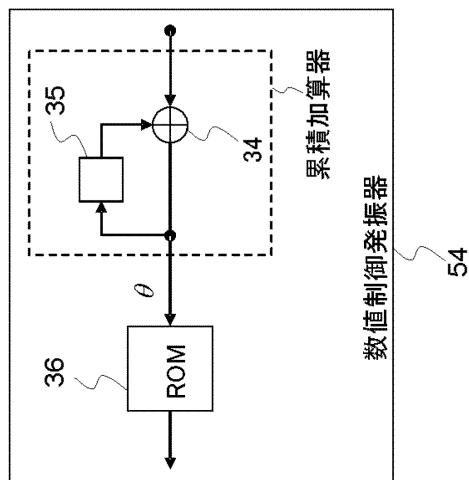
【図7】



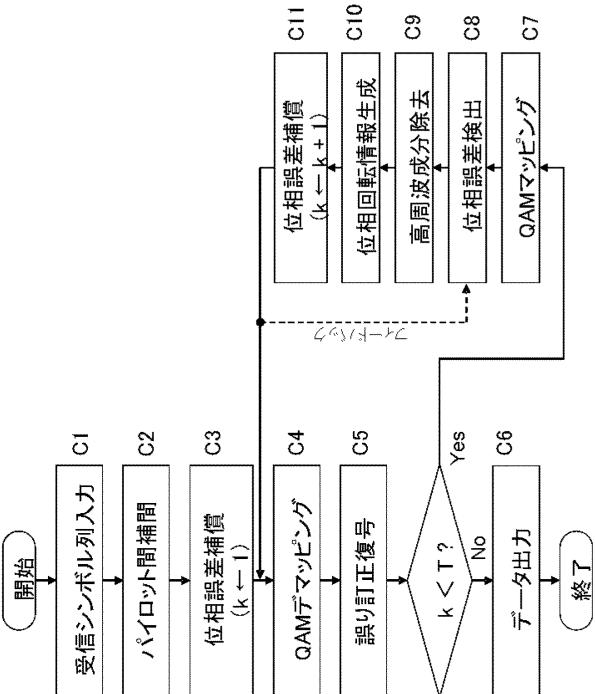
【図8】



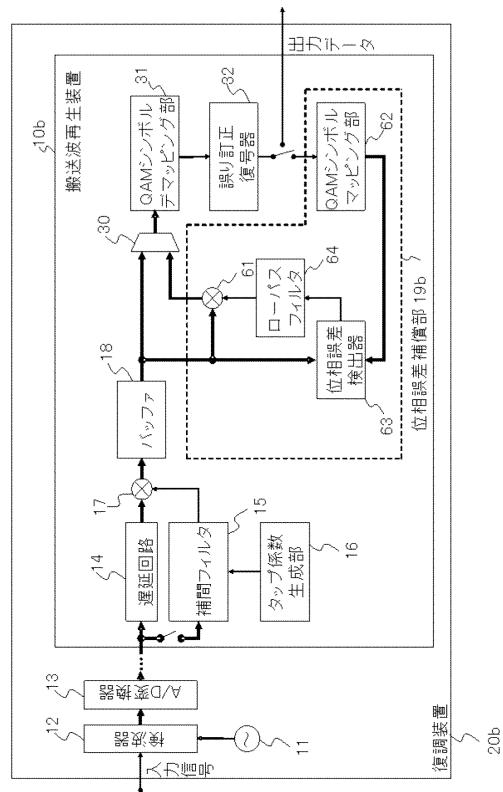
【図9】



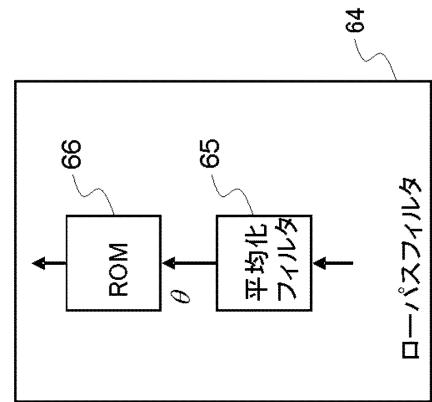
【図10】



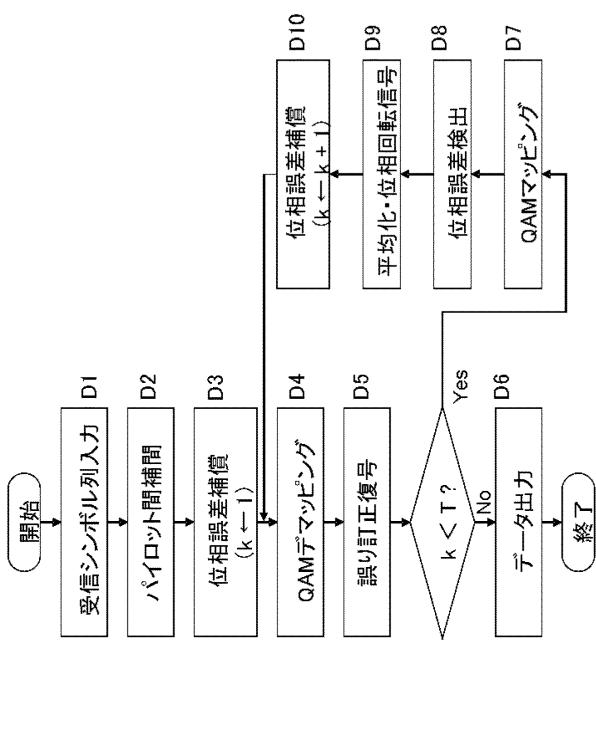
【図11】



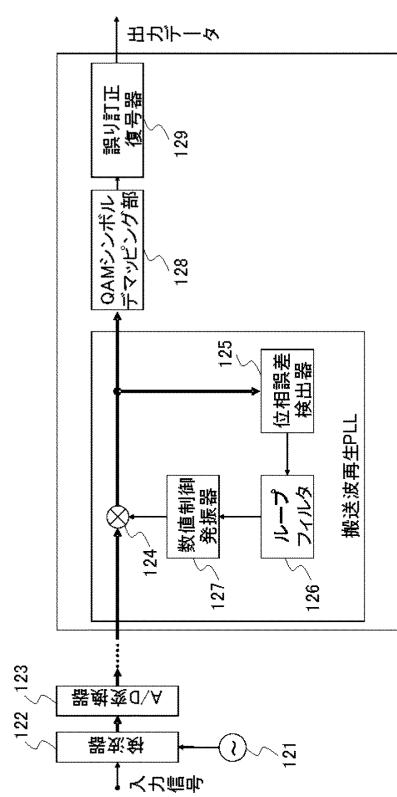
【 図 1 2 】



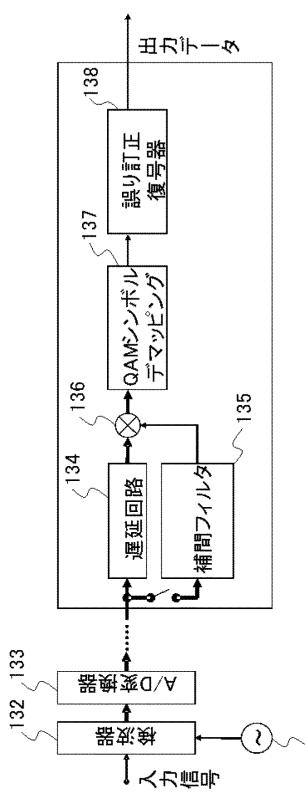
【図13】



### 【 図 1 4 】



【図15】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-208967(JP,A)

橋本 裕樹 他, 高符号化率LDPC符号を用いた10Gb/sミリ波OFDM伝送における判定指向形位相雑音補償, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol.111 No.145, 日本, 社団法人電子情報通信学会, 2011年 7月

Arnaldo Spalvieri, Pilot-Aided Carrier Recovery in the Presence of Phase Noise, IEEE Transactions on Communications, 2011年 7月, p.1966-1974

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04L27/00 - 27/38