

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7545075号
(P7545075)

(45)発行日 令和6年9月4日(2024.9.4)

(24)登録日 令和6年8月27日(2024.8.27)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 B 10/61 (2013.01)

H 0 4 B 10/61

H 0 4 B 10/077(2013.01)

H 0 4 B 10/077

請求項の数 6 (全20頁)

(21)出願番号	特願2022-564884(P2022-564884)	(73)特許権者	000004226
(86)(22)出願日	令和2年11月25日(2020.11.25)		日本電信電話株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/043819		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(87)国際公開番号	WO2022/113205	(74)代理人	110001634
(87)国際公開日	令和4年6月2日(2022.6.2)		弁理士法人志賀国際特許事務所
審査請求日	令和5年3月7日(2023.3.7)	(72)発明者	五十嵐 稜
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内
		(72)発明者	胡間 遼
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内
		審査官	対馬 英明

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 受信装置および受信方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

主信号と、主信号に対して周波数の低い制御信号とを加算した信号で周波数変調された信号光を受信し、アナログ電気信号に変換する受信部と、

前記アナログ電気信号に基づいて前記制御信号に対応した符号系列を取得する処理部とを備え、

前記処理部は、前記アナログ電気信号に基づいて取得される前記信号光の周波数オフセット量を取得する周波数オフセット量取得部と、

前記周波数オフセット量の高周波成分を除去する周波数成分除去部と、

前記周波数成分除去部によって高周波成分が除去された前記周波数オフセット量に基づいてダウンサンプリングを行うことによって前記制御信号に対応するシンボルを抽出するダウンサンプリング部と、

前記ダウンサンプリング部によって抽出された前記シンボルに基づいて制御信号に対応する符号系列を判定する判定部と

を備える、受信装置。

【請求項2】

前記処理部は、

前記周波数オフセット量の統計値を導出する導出部

をさらに備え、

前記判定部は、前記導出部が導出した前記統計値に基づいて制御信号に対応する符号系

列を判定する、請求項 1 に記載の受信装置。

【請求項 3】

主信号と、主信号に対して周波数の低い制御信号にサブキャリアを重畳した信号とを加算した信号で周波数変調された信号光を受信し、アナログ電気信号に変換する受信部と、前記アナログ電気信号に基づいて前記制御信号に対応した符号系列を取得する処理部とを備え、

前記処理部は、

前記アナログ電気信号に基づいて取得される前記信号光の周波数オフセット量を取得する周波数オフセット量取得部と、

前記周波数オフセット量から前記制御信号の周波数帯域の信号以外を除去する周波数成分除去部と、

前記周波数成分除去部が取得した前記制御信号の周波数帯域の信号をベースバンドにダウンコンバートするダウンコンバート部と、

前記ダウンコンバート部によってベースバンドにダウンコンバートされた前記制御信号の周波数帯域の信号の統計値を導出する導出部と、

前記ダウンコンバート部によってベースバンドにダウンコンバートされた前記制御信号の周波数帯域の信号と、前記導出部が導出した前記統計値に基づいて制御信号に対応する符号系列を判定する判定部と

を備える、受信装置。

【請求項 4】

前記処理部は、

ベースバンドにダウンコンバートされた前記制御信号の周波数帯域の前記周波数オフセット量に対してダウンサンプリングを行うことによって前記制御信号に対応するシンボルを抽出するダウンサンプリング部

をさらに備え、

前記判定部は、前記ダウンサンプリング部によって抽出された前記シンボルに基づいて制御信号に対応する符号系列を判定する、請求項 3 に記載の受信装置。

【請求項 5】

主信号と、主信号に対して周波数の低い制御信号とを加算した信号で周波数変調された信号光を受信し、アナログ電気信号に変換するステップと、

前記アナログ電気信号に基づいて取得される前記信号光の周波数オフセット量を取得するステップと、

前記周波数オフセット量の高周波成分を除去するステップと、

高周波成分が除去された前記周波数オフセット量に基づいてダウンサンプリングを行うことによって前記制御信号に対応するシンボルを抽出するステップと、

抽出された前記シンボルに基づいて制御信号に対応する符号系列を判定するステップとを有する、受信装置が実行する受信方法。

【請求項 6】

主信号と、主信号に対して周波数の低い制御信号にサブキャリアを重畳した信号とを加算した信号で周波数変調された信号光を受信し、アナログ電気信号に変換するステップと、

前記アナログ電気信号に基づいて取得される前記信号光の周波数オフセット量を取得するステップと、

前記周波数オフセット量から前記制御信号の周波数帯域の信号以外を除去するステップと、
除去によって取得された前記制御信号の周波数帯域の信号をベースバンドにダウンコンバートするステップと、

ベースバンドにダウンコンバートされた前記制御信号の周波数帯域の信号の統計値を導出するステップと、

ベースバンドにダウンコンバートされた前記制御信号の周波数帯域の信号と、導出した前記統計値に基づいて制御信号に対応する符号系列を判定するステップと

を有する、受信装置が実行する受信方法。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、受信装置および光受信方法の技術に関する。

【背景技術】**【0002】**

デジタルコヒーレント伝送方式にAMCC (auxiliary management and control channel) 方式を適用する技術が知られている (例えば、非特許文献1参照)。

一般的に、多くのデジタルコヒーレント伝送方式では、送信器にIQ変調器を必要とするため、コストが増大する。そこで、これまでに送信器の低コスト化を実現するための手法としてCPFSK (continuous phase frequency shift keying) 方式が提案されている。CPFSK方式では、送信器を直接変調構成とし、その変調信号の振幅を通常の強度変調時に対して小さく設定することで、信号光を振幅一定で周波数変調する。受信側では一定時間内に生じる位相の変化量を算出することで通信を行う。この方式では、送信器にIQ変調器を必要としないため、送信器の低コスト化が期待できる。

10

【先行技術文献】**【非特許文献】****【0003】**

【文献】N. Suzuki他, "Demonstration of 100-Gb/s/ λ -Based Coherent WDM-PON System Using New AGC EDFA Based Upstream Preamplifier and Optically Superimposed AMCC Function," IEEE Journal of Lightwave Technology, vol.35, No. 8, April 15, 2017.

20

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

しかしながら、デジタルコヒーレント伝送方式の1つであるCPFSK方式にAMCC方式を適用した場合に、光段で主信号とAMCC信号との分離を行う場合には、受信器のデバイス構成が複雑化する問題があった。

上記事情に鑑み、本発明は、デジタルコヒーレント伝送方式の1つであるCPFSK方式において、AMCC方式を適用した場合に受信装置の構成を簡易化することができる技術の提供を目的としている。

30

【課題を解決するための手段】**【0005】**

本発明の一態様は、主信号と、主信号に対して周波数の低い制御信号とを加算した信号で周波数変調された信号光を受信し、アナログ電気信号に変換する受信部と、前記アナログ電気信号に基づいて前記制御信号に対応した符号系列を取得する処理部とを備え、前記処理部は、前記アナログ電気信号に基づいて取得される前記信号光の周波数オフセット量を取得する周波数オフセット量取得部と、前記周波数オフセット量取得部が取得した前記周波数オフセット量に基づいて制御信号に対応する符号系列を判定する判定部とを備える、受信装置である。

40

【0006】

本発明の一態様は、主信号と、主信号に対して周波数の低い制御信号にサブキャリアを重畳した信号とを加算した信号で周波数変調された信号光を受信し、アナログ電気信号に変換する受信部と、前記アナログ電気信号に基づいて前記制御信号に対応した符号系列を取得する処理部とを備え、前記処理部は、前記アナログ電気信号に基づいて取得される前記信号光の周波数オフセット量を取得する周波数オフセット量取得部と、前記周波数オフセット量取得部が取得した前記周波数オフセット量をベースバンドにダウンコンバートするダウンコンバート部と、前記ダウンコンバート部によってベースバンドにダウンコンバートされた前記周波数オフセット量に基づいて制御信号に対応する符号系列を判定する判定部とを備える、受信装置である。

50

【 0 0 0 7 】

本発明の一態様は、主信号と、主信号に対して周波数の低い制御信号とを加算した信号で周波数変調された信号光を受信し、アナログ電気信号に変換するステップと、前記アナログ電気信号に基づいて取得される前記信号光の周波数オフセット量を取得するステップと、前記周波数オフセット量に基づいて制御信号に対応する符号系列を判定するステップとを有する、受信装置が実行する受信方法である。

【 0 0 0 8 】

本発明の一態様は、主信号と、主信号に対して周波数の低い制御信号にサブキャリアを重畳した信号とを加算した信号で周波数変調された信号光を受信し、アナログ電気信号に変換するステップと、前記アナログ電気信号に基づいて取得される前記信号光の周波数オフセット量を取得するステップと、前記周波数オフセット量をベースバンドにダウンコンバートするステップと、ベースバンドにダウンコンバートされた前記周波数オフセット量に基づいて制御信号に対応する符号系列を判定するステップとを有する、受信装置が実行する受信方法である。

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

本発明により、デジタルコヒーレント伝送方式の1つであるC P F S K方式にA M C C方式を適用した場合に受信装置の構成を簡易化することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】本発明の第1実施形態に係る通信システム100のシステム構成例を示す図である。

【図 2】C P F S K変調の例1を説明するための図である。

【図 3 A】C P F S K変調の例2を説明するための図である。

【図 3 B】C P F S K変調の例2を説明するための図である。

【図 4】本実施形態に係る送信装置10の処理の一例を示す図である。

【図 5】本実施形態に係る受信装置20の一例を示す図である。

【図 6】周波数オフセット量の時間波形の一例を示す図である。

【図 7】本実施形態に係る通信システム100に含まれる送信装置10の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 8】本実施形態に係る通信システム100に含まれる受信装置20の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 9】本実施形態に係る受信装置20のD S P処理部24の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 10】本発明の第2実施形態に係る通信システム100aのシステム構成例を示す図である。

【図 11】本実施形態に係る受信装置20aのD S P処理部24aの詳細の一例を示す図である。

【図 12】本実施形態に係る受信装置20aの動作の一例を説明するための図である。

【図 13】本実施形態に係る通信システム100aに含まれる送信装置10aの動作の一例を示すフローチャートである。

【図 14】本実施形態に係る通信システム100aに含まれる受信装置20aの動作の一例を示すフローチャートである。

【図 15】本実施形態に係る受信装置20aのD S P処理部24aの動作の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

(第1実施形態)

本発明の第1実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

図1は、本発明の第1実施形態に係る通信システム100のシステム構成例を示す図で

10

20

30

40

50

ある。

通信システム 100 は、送信装置 10 と受信装置 20 とを備える。

送信装置 10 は、レーザ光を C P F S K (continuous phase frequency shift keying) 信号生成のための変調信号によって直接変調する。送信装置 10 は、直接変調したレーザ光（以下「信号光」という）を送信する。送信装置 10 が送信した信号光は、伝送路 2 を伝搬する。伝送路 2 の一例は、光ファイバである。

【0012】

受信装置 20 は、伝送路 2 を伝搬した信号光と局発光とを含む光信号を受信する。受信装置 20 は、受信した光信号の同相成分（I (Inphase) 成分）と直交位相成分（Q (Quadrature) 成分）とをアナログ電気信号に変換する。受信装置 20 は、アナログ電気信号を、サンプリングし、量子化されたデジタル信号に変換する。受信装置 20 は、デジタル信号をデジタル信号処理することによって、主信号と A M C C 信号とに分離する。受信装置 20 は、主信号と A M C C 信号とに基づいて符号系列を出力する。

【0013】

ここで、C P F S K 変調について説明する。ただし、ここでは簡単のため、周波数オフセット ω_0 （信号光の中心周波数と局発光の周波数差）が正（0 以上）の場合を例について説明する。

図 2 は、C P F S K 変調の一例を説明するための図である。

図 2 において、(a) は送信信号の電界波形の一例を示す。C P F S K では、送信装置は、信号の周波数を変調し、符号系列を送信する。

A を振幅、 ω を中間周波数の角周波数、t を時間、 ϕ を位相とする。A は時間的に一定である。中間周波数は、主信号と局発光の周波数差である。

受信信号の電界 E_{sig} は、下式で表される。

$$E_{sig} = A \exp j(\omega t - \phi)$$

【0014】

図 2 において、(b) は中間周波数の角周波数の時間変化を示す。時間 t_1 から時間 t_2 の間に生じる位相の変化量 ϕ_{dif} は、式 (1) で表される。

【数 1】

$$\phi_{dif} = \int_{t_1}^{t_2} \omega dt \quad \dots (1)$$

位相の変化量 ϕ_{dif} は、(b) の中間周波数の角周波数の時間変化において、時間 t_1 から時間 t_2 の間の面積 S に等しい。ここで、時間 t_1 から時間 t_2 の間を十分に短くとれば、周波数と位相変化量は比例する。この場合、周波数を N R Z (non-return-to-zero) 信号で変調すれば位相変化量を N R Z で変調することができる。

図 2 において、(c) は位相変化量の時間変化を示す。C P F S K 方式では、送信側において周波数変調を行い、受信側では位相変化量として符号の識別を行う。

【0015】

図 3 A と図 3 B とは、C P F S K 変調の例 2 を説明するための図である。ただし、ここでは簡単のため、周波数オフセット ω_0 が 0 の場合を例について説明する。

図 3 A において、左図は符号系列が 1 に相当するシンボル付近での時間 t_1 の受信シンボル sy_{01a} と時間 t_2 の受信シンボル sy_{02a} との様子を示す。

図 3 A において、右図は、受信シンボル sy_{01a} と受信シンボル sy_{02a} との 2 シンボル間で複素共役積をとることによって生成される位相変化量を偏角に持つ複素振幅を示す。

【0016】

図 3 B において、左図は符号系列が 0 に相当するシンボル付近での時間 t_1 の受信シンボル sy_{01b} と時間 t_2 の受信シンボル sy_{02b} との様子を示す。

図 3 B において、右図は、受信シンボル sy_{01b} と受信シンボル sy_{02b} との 2 シ

ンボル間で複素共役積をとることで生成される位相変化量を偏角に持つ複素振幅を示す。

このように、位相変化量を位相に持つベクトルを計算することでコンスタレーションを作成し、作成したコンスタレーションに対して閾値判定することで送信符号系列を識別することができる。

図 1 に戻り、通信システム 100 に含まれる送信装置 10 と受信装置 20 との詳細について順次説明する。

【0017】

(送信装置 10)

送信装置 10 は、光源 11 と変調信号生成部 12 とを備える。

光源 11 の一例は、半導体レーザである。以下、光源 11 が半導体レーザである場合に
10
ついて説明を続ける。光源 11 は、変調信号生成部 12 が出力する変調信号によって駆動電流を直接変調する。

変調信号生成部 12 は、変調信号を生成する。変調信号生成部 12 は、主信号生成部 13 と AMCC 信号生成部 14 と加算部 15 とを備える。

主信号生成部 13 には、主信号符号系列が入力される。主信号生成部 13 は、入力された主信号符号系列に基づいて主信号を生成する。主信号生成部 13 は、生成した主信号を加算部 15 へ出力する。

【0018】

AMCC 信号生成部 14 には、AMCC 信号符号系列が入力される。AMCC 信号生成部 14 は、入力された AMCC 信号符号系列に基づいて AMCC 信号を生成する。AMCC
20
C 信号生成部 14 は、生成した AMCC 信号を加算部 15 へ出力する。

加算部 15 は、主信号生成部 13 が出力した主信号に AMCC 信号生成部 14 が出力した AMCC 信号と直流バイアスとを加算し、光源 11 に出力する。図 1 では、直流バイアスが変調信号生成部 12 の内部から加算部 15 へ入力されるように記載されているが、直流バイアスが変調信号生成部 12 の外部から加算部 15 へ入力されてもよい。

【0019】

図 4 は、本実施形態に係る変調信号生成部 12 で生成される変調信号の一例を示す図である。図 4 において、横軸は時間である。(A) は主信号の時間波形の一例を示す。主信号は、デジタル信号であり、離散的な値を取る。(B) は AMCC 信号の時間波形の一例を示す。AMCC 信号は、主信号に対して周波数が低い信号(制御信号)である。(C) 30
は主信号の変調信号と AMCC 信号の変調信号に直流バイアスを加算した信号である。(C) では、(1) 主信号の変調信号に(2) AMCC 信号の変調信号を加算した信号に直流バイアスが加算される。

(C) に示すような変調信号でレーザを直接変調する場合、強度と周波数が変調される。この時、(A) や (B) に対して直流バイアスを十分に大きく設定する場合には強度変調成分が小さくなるため、無視できる。本実施形態では、強度変調成分は無視できるほど小さいものとして説明する。

【0020】

変調信号生成部 12 は、CPU (Central Processing Unit) 等のプロセッサとメモリーとを用いて構成される。変調信号生成部 12 は、プロセッサがプログラムを実行することによって、主信号生成部 13、AMCC 信号生成部 14 及び加算部 15 として機能する。なお、変調信号生成部 12 の各機能の全て又は一部は、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) や PLD (Programmable Logic Device) や FPGA (Field Programmable Gate Array) 等のハードウェアを用いて実現されても良い。上記のプログラムは、コンピューター読み取り可能な記録媒体に記録されても良い。コンピューター読み取り可能な記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM、半導体記憶装置(例えば SSD: Solid State Drive)等の可搬媒体、コンピューターシステムに内蔵されるハードディスクや半導体記憶装置等の記憶装置である。上記のプログラムは、電気通信回線を介して送信されてもよい。図 1 に戻り説明を続ける。
40
50

【 0 0 2 1 】

(受信装置 2 0)

受信装置 2 0 は、局発光生成部 2 1 とコヒーレント受信器 2 2 と A D C (analog to digital converter) 2 3 と D S P 処理部 2 4 とを備える。

局発光生成部 2 1 は、局発光を生成する。局発光は、受信装置 2 0 に搭載されているレーザ光である。

コヒーレント受信器 2 2 は、局発光生成部 2 1 が出力した局発光と送信装置 1 0 が送信した信号光とを受信する。コヒーレント受信器 2 2 は、受信した光信号をアナログ電気信号に変換する。具体的には、コヒーレント受信器 2 2 は、受信した局発光を用いて、コヒーレント受信を行い、受信した光信号の同相成分 (I 成分) と直交位相成分 (Q 成分) をアナログ電気信号に変換する。コヒーレント受信器 2 2 は、アナログ電気信号に変換した光信号の I 成分および Q 成分 (以下「受信信号」という) を、A D C 2 3 に出力する。

10

【 0 0 2 2 】

A D C 2 3 は、コヒーレント受信器 2 2 が出力した受信信号をサンプリングして、離散化する。A D C 2 3 は、離散化した受信信号を D S P (Digital Signal Processing) 処理部 2 4 に出力する。

D S P 処理部 2 4 は、A D C 2 3 が出力した離散化した受信信号に D S P 処理を行い、受信信号から主信号と A M C C 信号との各々に対応した符号系列を判定する。これによって、D S P 処理部 2 4 は、受信信号から主信号と A M C C 信号との各々に対応した符号系列を識別 (復号) する。D S P 処理部 2 4 は、主信号と A M C C 信号との各々に対応した符号系列を判定した結果を出力する。

20

【 0 0 2 3 】

D S P 処理部 2 4 の詳細について説明する。

図 5 は、本実施形態に係る受信装置 2 0 の一例を示す図である。D S P 処理部 2 4 は、複素振幅算出部 2 4 - 1 と、差動検波部 2 4 - 2 と、周波数オフセット補償部 2 4 - 3 と、等化処理部 2 4 - 4 と、判定部 2 4 - 5 と、フィルタ 2 4 - 6 と、ダウンサンプリング部 2 4 - 7 と、判定部 2 4 - 8 と、平均導出部 2 4 - 9 とを含む。

【 0 0 2 4 】

主信号と A M C C 信号との各々に対応した符号系列を識別する処理について、主信号符号系列と A M C C 信号の符号系列とに分けて説明する。

30

主信号符号系列の判定手順について説明する。

複素振幅算出部 2 4 - 1 は、A D C 2 3 が出力した離散化した受信信号に基づいて、複素振幅を算出する。具体的には、アナログ電気信号に変換した光信号の I 成分および Q 成分を離散化した結果を、それぞれ E I および E Q とする。複素振幅算出部 2 4 - 1 は、E I および E Q に基づいて、式 (2) によって、複素振幅 E を算出する。

$$E = \sqrt{(E I^2 + E Q^2)} \exp j(\tan^{-1}(E Q / E I)) \quad (2)$$

複素振幅算出部 2 4 - 1 は、複素振幅 E を差動検波部 2 4 - 2 に出力する。

【 0 0 2 5 】

差動検波部 2 4 - 2 は、複素振幅算出部 2 4 - 1 の出力、つまり複素振幅 E に基づいて、作動検波を行い、位相変化量を位相に持つ複素振幅を算出する。具体的には、差動検波部 2 4 - 2 は、複素振幅 E に基づいて、一定時間後のサンプルとの複素共役積を算出する。差動検波部 2 4 - 2 は、位相変化量を位相に持つ複素振幅 (以下「複素振幅」という) を、周波数オフセット補償部 2 4 - 3 に出力する。

40

【 0 0 2 6 】

周波数オフセット補償部 2 4 - 3 は、差動検波部 2 4 - 2 の出力、つまり複素振幅の周波数オフセットを補償する。C P F S K 方式の周波数オフセット補償技術の一例は、例えば、「T. Kanai et al., " Wide-Range Frequency Offset Compensation for CPFSK used as TDM-Based Digital Coherent PON ' s Upstream Signals ", ECOC2019」に記載されている。

【 0 0 2 7 】

50

図 6 は、周波数オフセット量の時間波形の一例を示す図である。図 6 において、横軸は時間であり、縦軸は周波数オフセット量である。

図 6 に示すように、周波数オフセット量には、(i) 局発光と信号光との中心周波数の差に由来する成分と、(i i) A M C C 信号に由来する成分とが含まれる。仮に、(i) 局発光と信号光との中心周波数の差に由来する成分が時間的に一定とした場合、周波数オフセット量はある直流成分に A M C C 信号が重畳されたものとなる。

周波数オフセット補償部 2 4 - 3 は、周波数オフセット量の平均値を算出することによって (i) 局発光と信号光との中心周波数の差に由来する成分を取得する。図 5 に戻り、説明を続ける。

差動検波部 2 4 - 2 が出力する信号が周波数オフセットによる位相回転成分を含む場合、閾値判定ができない。そこで周波数オフセット補償部 2 4 - 3 は差動検波部 2 4 - 2 から出力された信号から上記「(i) 局発光と信号光との中心周波数の差に由来する成分」を検出し、それに基づき適当な回転量を与えることでこれを補償する。周波数オフセット補償部 2 4 - 3 は、周波数オフセットを補償した複素振幅を、等化処理部 2 4 - 4 に出力する。周波数オフセット補償部 2 4 - 3 は、周波数オフセット量をフィルタ 2 4 - 6 へ出力する。

【 0 0 2 8 】

等化処理部 2 4 - 4 は、周波数オフセット補償部 2 4 - 3 の出力、つまり周波数オフセットを補償した複素振幅の伝送路 2 で受けた波形歪を補償する。等化処理部 2 4 - 4 は、周波数オフセットを補償した複素振幅の波形歪を補償した結果を判定部 2 4 - 5 へ出力する。

【 0 0 2 9 】

判定部 2 4 - 5 は、等化処理部 2 4 - 4 の出力、つまり周波数オフセットを補償した複素振幅の波形歪を補償した結果に基づいて、閾値判定を行うことによって、主信号の符号系列を判定する。判定部 2 4 - 5 は、主信号の符号系列を判定した結果を出力する。

【 0 0 3 0 】

A M C C 信号の符号系列の判定手順について説明する。

周波数オフセット補償部 2 4 - 3 は、推定した周波数オフセット量（前記 (i) 局発光と信号光との中心周波数の差に由来する成分）をフィルタ 2 4 - 6 に送信する。

フィルタ 2 4 - 6 は、周波数オフセット補償部 2 4 - 3 が出力した周波数オフセット量の高周波成分（主信号成分）を除去する。フィルタ 2 4 - 6 は、高周波成分を除去した周波数オフセット量を、ダウンサンプリング部 2 4 - 7 と平均導出部 2 4 - 9 とへ出力する。

【 0 0 3 1 】

ダウンサンプリング部 2 4 - 7 は、フィルタ 2 4 - 6 が出力した高周波成分を除去した周波数オフセット量に基づいて、A M C C 信号のシンボルレートまでダウンサンプリングする。ダウンサンプリング部 2 4 - 7 は、ダウンサンプリングした高周波成分を除去した周波数オフセット量を判定部 2 4 - 8 に出力する。

【 0 0 3 2 】

平均導出部 2 4 - 9 は、フィルタ 2 4 - 6 が出力した高周波成分を除去した周波数オフセット量の平均などの統計値を導出する。ここでは、統計値の一例として、平均を適用した場合について説明を続ける。平均導出部 2 4 - 9 は、平均の導出結果を判定部 2 4 - 8 に出力する。

【 0 0 3 3 】

判定部 2 4 - 8 は、ダウンサンプリング部 2 4 - 7 の出力、つまりダウンサンプリングした高周波成分を除去した周波数オフセット量と、平均導出部 2 4 - 9 が導出した平均の導出結果とに基づいて、平均の導出結果を閾値として、ダウンサンプリングした高周波成分を除去した周波数オフセット量に対して閾値判定を行うことで A M C C 信号に対応する符号系列を判定する。判定部 2 4 - 8 は、A M C C 信号の判定結果を出力する。

【 0 0 3 4 】

D S P 処理部 2 4 は、C P U 等のプロセッサとメモリーとを用いて構成される。D S

10

20

30

40

50

P 処理部 2 4 は、プロセッサがプログラムを実行することによって、複素振幅算出部 2 4 - 1、差動検波部 2 4 - 2、周波数オフセット補償部 2 4 - 3、等化処理部 2 4 - 4、判定部 2 4 - 5、フィルタ 2 4 - 6、ダウンサンプリング部 2 4 - 7、判定部 2 4 - 8 及び平均導出部 2 4 - 9 として機能する。なお、D S P 処理部 2 4 の各機能の全て又は一部は、A S I C や P L D や F P G A 等のハードウェアを用いて実現されても良い。上記のプログラムは、コンピューター読み取り可能な記録媒体に記録されても良い。コンピューター読み取り可能な記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、R O M、C D - R O M、半導体記憶装置（例えば S S D : Solid State Drive）等の可搬媒体、コンピューターシステムに内蔵されるハードディスクや半導体記憶装置等の記憶装置である。上記のプログラムは、電気通信回線を介して送信されてもよい。

10

【 0 0 3 5 】

（通信システム 1 0 0 の動作）

図 7 は、本実施形態に係る通信システム 1 0 0 に含まれる送信装置 1 0 の動作の一例を示すフローチャートである。

（ステップ S 1 - 1）

送信装置 1 0 において、主信号生成部 1 3 には、主信号符号系列が入力される。主信号生成部 1 3 は、入力された主信号符号系列に基づいて主信号を生成する。

（ステップ S 2 - 1）

送信装置 1 0 において、A M C C 信号生成部 1 4 には、A M C C 信号符号系列が入力される。A M C C 信号生成部 1 4 は、入力された A M C C 信号符号系列に基づいて A M C C 信号を生成する。

20

【 0 0 3 6 】

（ステップ S 3 - 1）

送信装置 1 0 において、主信号生成部 1 3 は、生成した主信号を加算部 1 5 へ出力する。A M C C 信号生成部 1 4 は、生成した A M C C 信号を加算部 1 5 へ出力する。加算部 1 5 は、主信号生成部 1 3 が出力した主信号に A M C C 信号生成部 1 4 が出力した A M C C 信号と直流バイアスとを加算し、光源 1 1 に出力する。

（ステップ S 4 - 1）

送信装置 1 0 において、光源 1 1 は、変調信号生成部 1 2 が出力する変調信号によって駆動電流を直接変調することによって、信号光を送信する。

30

【 0 0 3 7 】

図 8 は、本実施形態に係る通信システム 1 0 0 に含まれる受信装置 2 0 の動作の一例を示すフローチャートである。

（ステップ S 1 - 2）

受信装置 2 0 において、局発光生成部 2 1 は、局発光を生成する。

（ステップ S 2 - 2）

受信装置 2 0 において、コヒーレント受信器 2 2 は、局発光生成部 2 1 が出力した局発光と送信装置 1 0 が送信した信号光とを受信する。コヒーレント受信器 2 2 は、受信した光信号をアナログ電気信号に変換する。

（ステップ S 3 - 2）

40

受信装置 2 0 において、A D C 2 3 は、コヒーレント受信器 2 2 が出力した受信信号をサンプリングして、離散化する。A D C 2 3 は、離散化した受信信号を D S P 処理部 2 4 に出力する。

（ステップ S 4 - 2）

受信装置 2 0 において、D S P 処理部 2 4 は、A D C 2 3 が出力した離散化した受信信号に D S P 処理を行い、受信信号から主信号と A M C C 信号との各々に対応した符号系列を判定する。

【 0 0 3 8 】

図 9 は、本実施形態に係る受信装置 2 0 の D S P 処理部 2 4 の動作の一例を示すフローチャートである。

50

(ステップ S 1 - 3)

受信装置 2 0 において、複素振幅算出部 2 4 - 1 は、A D C 2 3 が出力した離散化した受信信号に基づいて、複素振幅を算出する。複素振幅算出部 2 4 - 1 は、複素振幅 E を差動検波部 2 4 - 2 に出力する。

(ステップ S 2 - 3)

受信装置 2 0 において、差動検波部 2 4 - 2 は、複素振幅算出部 2 4 - 1 の出力に基づいて、作動検波を行い、位相変化量を位相に持つ複素振幅を算出する。

(ステップ S 3 - 3)

受信装置 2 0 において、周波数オフセット補償部 2 4 - 3 は、差動検波部 2 4 - 2 の出力、つまり複素振幅の周波数オフセットを補償する。周波数オフセット補償部 2 4 - 3 は、周波数オフセットを補償した複素振幅を、等化处理部 2 4 - 4 に出力する。周波数オフセット補償部 2 4 - 3 は、周波数オフセット量を、フィルタ 2 4 - 6 へ出力する。

10

【 0 0 3 9 】

(ステップ S 4 a - 3)

受信装置 2 0 において、等化处理部 2 4 - 4 は、周波数オフセット補償部 2 4 - 3 が出力した周波数オフセットを補償した複素振幅の伝送路 2 で受けた波形歪を補償する。等化处理部 2 4 - 4 は、周波数オフセットを補償した複素振幅の波形歪を補償した結果を、判定部 2 4 - 5 へ出力する。

(ステップ S 5 a - 3)

判定部 2 4 - 5 は、等化处理部 2 4 - 4 が出力した周波数オフセットを補償した複素振幅の波形歪を補償した結果に対して閾値判定を行うことによって、主信号の符号系列を判定する。

20

(ステップ S 6 a - 3)

受信装置 2 0 において、判定部 2 4 - 5 は、主信号の符号系列を判定した結果を出力する。

【 0 0 4 0 】

(ステップ S 4 b - 3)

受信装置 2 0 において、フィルタ 2 4 - 6 は、周波数オフセット補償部 2 4 - 3 が出力した周波数オフセット量に基づいて、周波数オフセット量の高周波成分を除去する。フィルタ 2 4 - 6 は、高周波成分を除去した周波数オフセット量を、ダウンサンプリング部 2 4 - 7 と平均導出部 2 4 - 9 とに出力する。

30

(ステップ S 5 b - 3)

受信装置 2 0 において、ダウンサンプリング部 2 4 - 7 は、フィルタ 2 4 - 6 が出力した高周波成分を除去した周波数オフセット量に基づいて、A M C C 信号のシンボルレートまでダウンサンプリングを行うことによってシンボルを抽出する。

(ステップ S 6 b - 3)

受信装置 2 0 において、平均導出部 2 4 - 9 は、フィルタ 2 4 - 6 が出力した高周波成分を除去した周波数オフセット量の平均を導出する。平均導出部 2 4 - 9 は、平均の導出結果を判定部 2 4 - 8 に出力する。

判定部 2 4 - 8 は、ダウンサンプリング部 2 4 - 7 が出力したシンボルと、平均導出部 2 4 - 9 が導出した平均とに基づいて、平均の導出結果を閾値として、ダウンサンプリング部 2 4 - 7 が抽出したシンボルに対して閾値判定を行うことで A M C C 信号に対応する符号系列を判定する。

40

(ステップ S 7 b - 3)

受信装置 2 0 において、判定部 2 4 - 8 は、A M C C 信号に対応する符号系列の判定結果を出力する。

【 0 0 4 1 】

前述した第 1 実施形態では、A M C C 信号が主信号に重畳された変調信号で直接変調することによって生成した C P F S K の信号光を受信装置が受信する場合について説明したが、この例に限られない。A M C C 信号に限らず、主信号に対して周波数が低い制御信号

50

が主信号に重畳された変調信号で直接変調された C P F S K の信号光を適用できる。

このように構成された受信装置 2 0 では、D S P 処理部 2 4 が周波数オフセット量を解析し、解析結果に基づいて閾値判定することで A M C C 信号の符号系列を判定するため、主信号と A M C C 信号との分離を D S P 処理部 2 4 で、電気信号で行うことが可能となる。

光信号で主信号と A M C C 信号との分離を行う場合には、コヒーレント受信器における受信光強度が減少し雑音特性が劣化する。また、光信号で主信号と A M C C 信号との分離を行う場合には、A M C C 受信用のデバイスが必要である。このように構成された受信装置 2 0 では、主信号と A M C C 信号との分離を D S P 処理部 2 4 で、電気信号で行うため、A M C C 受信用のデバイスを使用することなく、雑音特性を改善できる。

このように構成された受信装置 2 0 では、主信号と A M C C 信号との分離を D S P 処理部 2 4 で、電気信号で行うため、雑音特性を改善することが可能となる。

10

【 0 0 4 2 】

(第 2 実施形態)

本発明の第 2 実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

図 1 0 は、本発明の第 2 実施形態に係る通信システム 1 0 0 a のシステム構成例を示す図である。

通信システム 1 0 0 a は、送信装置 1 0 a と受信装置 2 0 a とを備える。

第 1 実施形態では、A M C C 信号が周波数オフセット量に比例することを用いて周波数オフセット補償部 2 4 - 3 が出力した周波数オフセット量に基づいて A M C C 信号を識別していた。

20

光源 1 1 の周波数と局発光の周波数との差が変動する場合には、局発光と信号光の中心周波数の差に由来する成分も変化する。局発光と信号光の中心周波数の差に由来する周波数オフセットの変動と A M C C 信号による周波数オフセット変動とが同じ周波数領域にある場合、A M C C 信号を分離することができない。そこで、第 2 実施形態に係る受信装置 2 0 a は、光源 1 1 の周波数と局発光の周波数との差が変動する場合に、A M C C 信号を分離する。

【 0 0 4 3 】

(送信装置 1 0 a)

送信装置 1 0 a は、光源 1 1 と変調信号生成部 1 2 a とを備える。

変調信号生成部 1 2 a は、変調信号を生成する。変調信号生成部 1 2 a は、主信号生成部 1 3 と A M C C 信号生成部 1 4 と加算部 1 5 とサブキャリア生成部 1 6 と乗算部 1 7 とを備える。

30

サブキャリア生成部 1 6 は、サブキャリアを生成する。

乗算部 1 7 は、A M C C 信号生成部 1 4 が生成した A M C C 信号にサブキャリア生成部 1 6 が生成したサブキャリアを重畳する。

加算部 1 5 は、主信号生成部 1 3 が出力した主信号と乗算部 1 7 が出力した A M C C 信号にサブキャリアを重畳した信号と直流バイアスとを加算し、光源 1 1 に出力する。図 1 0 では、直流バイアスが変調信号生成部 1 2 a の内部から加算部 1 5 へ入力されるように記載されているが、直流バイアスが変調信号生成部 1 2 a の外部から加算部 1 5 へ入力されてもよい。

40

【 0 0 4 4 】

変調信号生成部 1 2 a は、C P U 等のプロセッサとメモリとを用いて構成される。変調信号生成部 1 2 a は、プロセッサがプログラムを実行することによって、主信号生成部 1 3 、A M C C 信号生成部 1 4 、加算部 1 5 、サブキャリア生成部 1 6 及び乗算部 1 7 として機能する。なお、変調信号生成部 1 2 a の各機能の全て又は一部は、A S I C や P L D や F P G A 等のハードウェアを用いて実現されても良い。上記のプログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録されても良い。コンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、R O M 、C D - R O M 、半導体記憶装置 (例えば S S D : Solid State Drive) 等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスクや半導体記憶装置等の記憶装置である。上記のプロ

50

グラムは、電気通信回線を介して送信されてもよい。

【 0 0 4 5 】

(受信装置 2 0 a)

受信装置 2 0 a は、局発光生成部 2 1 とコヒーレント受信器 2 2 と A D C 2 3 と D S P 処理部 2 4 a とを備える。

D S P 処理部 2 4 a は、A D C 2 3 が出力した離散化した受信信号に D S P 処理を行い、受信信号から主信号と A M C C 信号との各々に対応した符号系列を判定する。D S P 処理部 2 4 a は、主信号と A M C C 信号との各々に対応した符号系列を判定した結果を出力する。

【 0 0 4 6 】

D S P 処理部 2 4 a の詳細について説明する。

図 1 1 は、本実施形態に係る受信装置 2 0 a の D S P 処理部 2 4 a の詳細の一例を示す図である。D S P 処理部 2 4 a は、複素振幅算出部 2 4 - 1 と、差動検波部 2 4 - 2 と、周波数オフセット補償部 2 4 - 3 と、等化処理部 2 4 - 4 と、判定部 2 4 - 5 と、フィルタ 2 4 - 6 と、ダウンコンバート部 2 4 a - 7 と、ダウンサンプリング部 2 4 a - 8 と、判定部 2 4 a - 9 と、平均導出部 2 4 a - 1 0 とを含む。

【 0 0 4 7 】

主信号符号系列の判定手順については、第 1 実施形態を適用できるため、ここでの説明は省略する。

A M C C 信号の符号系列の判定手順について説明する。

フィルタ 2 4 - 6 は、周波数オフセット補償部 2 4 - 3 が出力した周波数オフセット量に基づいて、A M C C 信号の周波数帯域の信号以外をフィルタリング（除去）することによって、A M C C 信号の周波数帯域の信号を切り出す（抽出する）。A M C C 信号の周波数帯域の信号を切り出すことによって、局発光と信号光との周波数差に由来の成分を除去する。フィルタ 2 4 - 6 は、抽出した A M C C 信号の周波数帯域の信号を、ダウンコンバート部 2 4 a - 7 へ出力する。

【 0 0 4 8 】

ダウンコンバート部 2 4 a - 7 は、フィルタ 2 4 - 6 が出力した A M C C 信号の周波数帯域の信号を取得する。ダウンコンバート部 2 4 a - 7 は、取得した A M C C 信号の周波数帯域の信号をベースバンドにダウンコンバートすることによってサブキャリアを除去する。ダウンコンバート部 2 4 a - 7 は、ダウンコンバートした A M C C の周波数帯域の信号を平均導出部 2 4 - 9 へ出力する。

ダウンサンプリング部 2 4 a - 8 は、ダウンコンバートした A M C C 信号の周波数帯域の信号を、A M C C 信号のシンボルレートまでダウンサンプリングすることによってシンボルを抽出する。ダウンサンプリング部 2 4 a - 8 は、抽出したシンボルを判定部 2 4 a - 9 へ出力する。

【 0 0 4 9 】

平均導出部 2 4 a - 1 0 は、ダウンコンバート部 2 4 a - 7 が出力したダウンコンバートした A M C C の周波数帯域の信号の平均などの統計値を導出する。ここでは、統計値の一例として平均を適用した場合について説明を続ける。平均導出部 2 4 a - 1 0 は、平均の導出結果を判定部 2 4 a - 9 に出力する。

判定部 2 4 a - 9 は、ダウンサンプリング部 2 4 a - 8 の出力、つまりシンボルと、平均導出部 2 4 a - 1 0 が導出した平均の導出結果とに基づいて、平均の導出結果を閾値として、シンボルに対して閾値判定を行うことで A M C C 信号を判定する。判定部 2 4 a - 9 は、A M C C 信号の判定結果を出力する。

【 0 0 5 0 】

D S P 処理部 2 4 a は、C P U 等のプロセッサとメモリとを用いて構成される。D S P 処理部 2 4 a は、プロセッサがプログラムを実行することによって、複素振幅算出部 2 4 - 1、差動検波部 2 4 - 2、周波数オフセット補償部 2 4 - 3、等化処理部 2 4 - 4、判定部 2 4 - 5、フィルタ 2 4 - 6、ダウンコンバート部 2 4 a - 7、ダウンサンプリング部 2 4 a - 8、判定部 2 4 a - 9、平均導出部 2 4 a - 10 とを含む。

10

20

30

40

50

リング部 24a - 8、判定部 24a - 9 及び平均導出部 24a - 10 として機能する。なお、DSP 処理部 24a の各機能の全て又は一部は、ASIC や PLD や FPGA 等のハードウェアを用いて実現されても良い。上記のプログラムは、コンピューター読み取り可能な記録媒体に記録されても良い。コンピューター読み取り可能な記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM、半導体記憶装置（例えば SSD : Solid State Drive）等の可搬媒体、コンピューターシステムに内蔵されるハードディスクや半導体記憶装置等の記憶装置である。上記のプログラムは、電気通信回線を介して送信されてもよい。

【0051】

図 12 は、本実施形態に係る受信装置 20a の動作の一例を説明するための図である。

10

図 12 において、横軸は周波数であり、縦軸はパワーである。

図 12 において、(a) は DSP 処理部 24a に入力される離散化した受信信号の周波数スペクトルの一例を示す。(b) はフィルタ 24 - 6 によって切り出された AMCC 信号の周波数帯域の信号の一例を示す。(c) はダウンコンバート部 24a - 7 によってダウンコンバートされた AMCC 信号の周波数帯域の信号の一例を示す。

【0052】

(通信システム 100a の動作)

図 13 は、本実施形態に係る通信システム 100a に含まれる送信装置 10a の動作の一例を示すフローチャートである。

20

(ステップ S1 - 4)

送信装置 10a において、主信号生成部 13 には、主信号符号系列が入力される。主信号生成部 13 は、入力された主信号符号系列に基づいて主信号を生成する。

(ステップ S2 - 4)

送信装置 10a において、AMCC 信号生成部 14 には、AMCC 信号符号系列が入力される。AMCC 信号生成部 14 は、入力された AMCC 信号符号系列に基づいて AMCC 信号を生成する。

(ステップ S3 - 4)

送信装置 10a において、サブキャリア生成部 16 は、サブキャリアを生成する。

【0053】

(ステップ S4 - 4)

30

送信装置 10a において、乗算部 17 は、AMCC 信号生成部 14 が生成した AMCC 信号にサブキャリア生成部 16 が生成したサブキャリアを重畳する。

(ステップ S5 - 4)

送信装置 10a において、主信号生成部 13 は、生成した主信号を加算部 15 へ出力する。乗算部 17 は、AMCC 信号にサブキャリアを重畳した信号を加算部 15 へ出力する。加算部 15 は、主信号生成部 13 が出力した主信号と乗算部 17 が出力した AMCC 信号にサブキャリアを重畳した信号と直流バイアスとを加算し、光源 11 に出力する。

(ステップ S6 - 4)

送信装置 10a において、光源 11 は、変調信号生成部 12a が出力する変調信号によって駆動電流を直接変調することによって、CPFSK の信号光を送信する。

40

【0054】

図 14 は、本実施形態に係る通信システム 100a に含まれる受信装置 20a の動作の一例を示すフローチャートである。

(ステップ S1 - 5)

受信装置 20a において、局発光生成部 21 は、局発光を生成する。

(ステップ S2 - 5)

受信装置 20a において、コヒーレント受信器 22 は、局発光生成部 21 が出力した局発光と送信装置 10a が送信した信号光とを受信する。コヒーレント受信器 22 は、受信した光信号をアナログ電気信号に変換する。

(ステップ S3 - 5)

50

受信装置 20 a において、A D C 2 3 は、コヒーレント受信器 2 2 が出力した受信信号をサンプリングして、離散化する。A D C 2 3 は、離散化した受信信号を D S P 処理部 2 4 a に出力する。

(ステップ S 4 - 5)

受信装置 20 a において、D S P 処理部 2 4 a は、A D C 2 3 が出力した離散化した受信信号に D S P 処理を行い、受信信号から主信号と A M C C 信号との各々に対応した符号系列を復号する。

【 0 0 5 5 】

図 1 5 は、本実施形態に係る受信装置 20 a の D S P 処理部 2 4 a の動作の一例を示すフローチャートである。

10

ステップ S 1 - 6 から S 6 a - 6 は、図 9 を適用できるため、ここでの説明は省略する。

(ステップ S 4 b - 6)

受信装置 20 a において、フィルタ 2 4 - 6 は、周波数オフセット補償部 2 4 - 3 が出力した周波数オフセット量に基づいて、A M C C 信号の周波数帯域の信号以外をフィルタリング (除去) することによって、A M C C 信号の周波数帯域の信号を切り出す (抽出する) 。フィルタ 2 4 - 6 は、取得した A M C C 信号の周波数帯域の信号を、ダウンコンバート部 2 4 a - 7 へ出力する。

(ステップ S 5 b - 6)

受信装置 20 a において、ダウンコンバート部 2 4 a - 7 は、フィルタ 2 4 - 6 が出力した A M C C 信号の周波数帯域の信号を取得し、取得した A M C C 信号の周波数帯域の信号をベースバンドにダウンコンバートする。ダウンコンバート部 2 4 a - 7 は、ダウンコンバートした A M C C の周波数帯域の信号をダウンサンプリング部 2 4 a - 8 と平均導出部 2 4 - 9 とへ出力する。

20

【 0 0 5 6 】

(ステップ S 6 b - 6)

受信装置 20 a において、ダウンサンプリング部 2 4 a - 8 は、ダウンコンバートした A M C C 信号の周波数帯域を、A M C C 信号のシンボルレートまでダウンサンプリングすることによってシンボルを抽出する。

(ステップ S 7 b - 6)

受信装置 20 a において、平均導出部 2 4 a - 1 0 は、ダウンコンバート部 2 4 a - 7 が出力したダウンコンバートした A M C C の周波数帯域の信号の平均を導出する。平均導出部 2 4 a - 1 0 は、平均の導出結果を判定部 2 4 a - 9 に出力する。判定部 2 4 a - 9 は、ダウンサンプリング部 2 4 a - 8 の出力、つまりシンボルと、平均導出部 2 4 a - 1 0 が導出した平均の導出結果とに基づいて、平均の導出結果を閾値として、シンボルに対して閾値判定を行うことで A M C C 信号に対応する符号系列を判定する。

30

(ステップ S 7 b - 6)

受信装置 20 a において、判定部 2 4 a - 9 は、A M C C 信号の判定結果を出力する。

【 0 0 5 7 】

前述した第 2 実施形態では、サブキャリアが重畳された A M C C 信号が主信号に重畳された変調信号で直接変調された C P F S K の信号光を受信装置が受信する場合について説明したが、この例に限られない。A M C C 信号に限らず、サブキャリアが重畳され、且つ主信号に対して周波数が低い信号が主信号に重畳された変調信号で直接変調された C P F S K の信号光を適用できる。

40

このように構成された受信装置 20 a では、D S P 処理部 2 4 a が周波数オフセット量を解析し、解析結果に基づいて閾値判定することで A M C C 信号の符号系列を判定するため、主信号と A M C C 信号との分離を D S P 処理部 2 4 a で、電気信号で行うことが可能となる。

このように構成された受信装置 20 では、主信号と A M C C 信号との分離を D S P 処理部 2 4 a で、電気信号で行うため、雑音特性を改善することが可能となる。

前述した第 1 実施形態と第 2 実施形態とにおいて、コヒーレント受信器 2 2 は受信部の

50

一例であり、周波数オフセット補償部 24 - 3 は周波数オフセット量取得部の一例であり、平均導出部 24 - 9、24 a - 10 は導出部の一例であり、フィルタ 24 - 6 は周波数成分除去部の一例である。

【0058】

以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

【産業上の利用可能性】

【0059】

本発明は、通信システムに適用可能である。

10

【符号の説明】

【0060】

2 ... 伝送路、10、10 a ... 送信装置、11 ... 光源、12、12 a ... 変調信号生成部、13 ... 主信号生成部、14 ... AMCC 信号生成部、15 ... 加算部、16 ... サブキャリア生成部、17 ... 乗算部、20、20 a ... 受信装置、21 ... 局発光生成部、22 ... コヒーレント受信器、23 ... ADC、24、24 a ... DSP 処理部、24 - 1 ... 複素振幅算出部、24 - 2 ... 差動検波部、24 - 3 ... 周波数オフセット補償部、24 - 4 ... 等化処理部、24 - 5 ... 判定部、24 - 6 ... フィルタ、24 - 7 ... ダウンサンプリング部、24 - 8 ... 判定部、24 - 9 ... 平均導出部、24 a - 7 ... ダウンコンバート部、24 a - 8 ... ダウンサンプリング部、24 a - 9 ... 判定部、24 a - 10 ... 平均導出部、100、100 a ... 通信システム

20

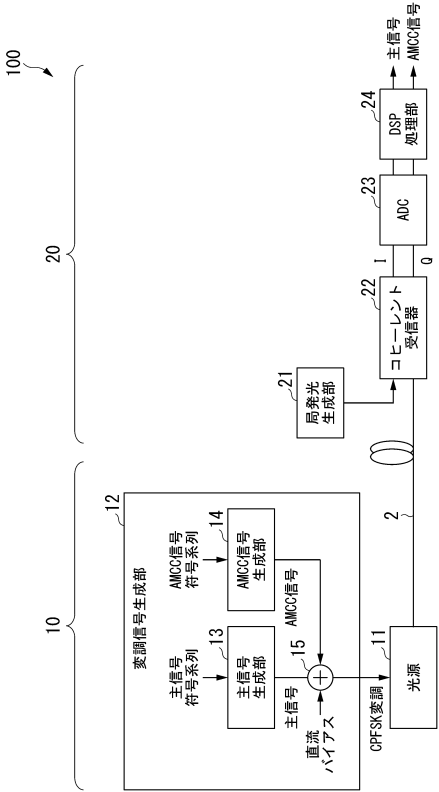
30

40

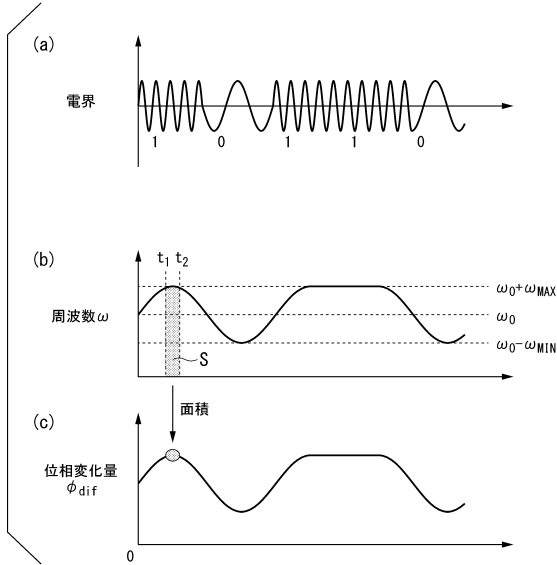
50

【図面】

【図 1】



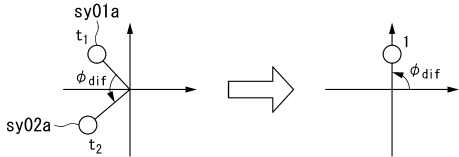
【図 2】



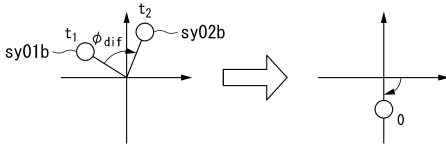
10

20

【図 3 A】



【図 3 B】

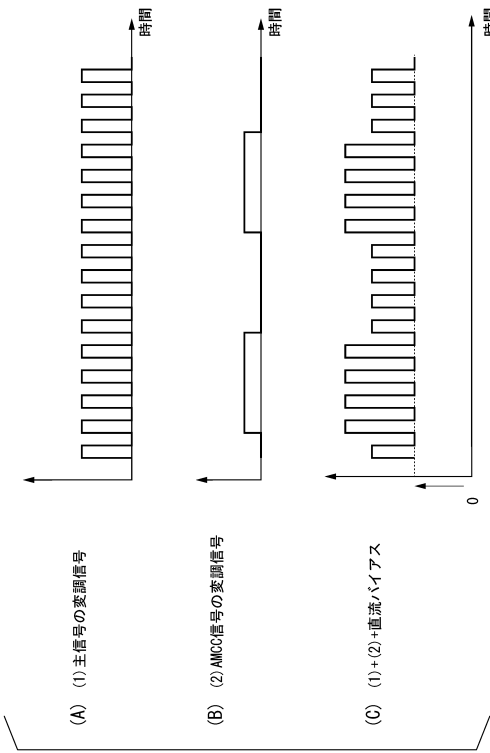


30

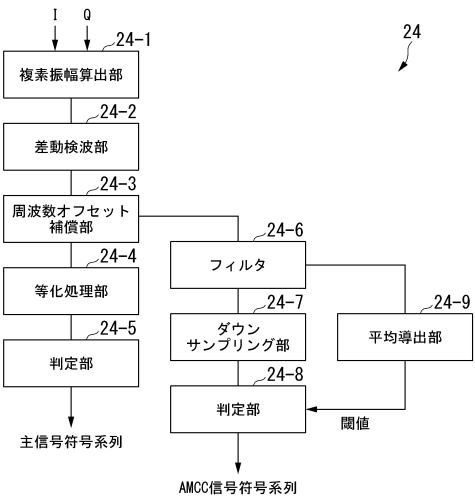
40

50

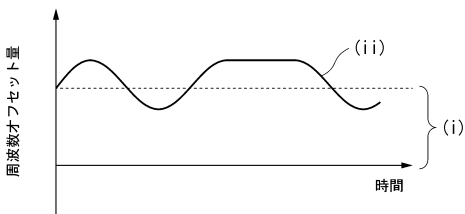
【図 4】



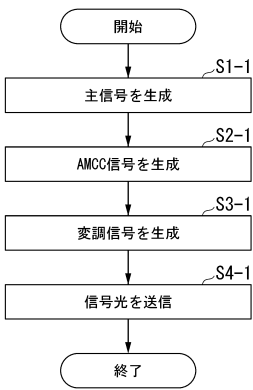
【図 5】



【図 6】



【図 7】



10

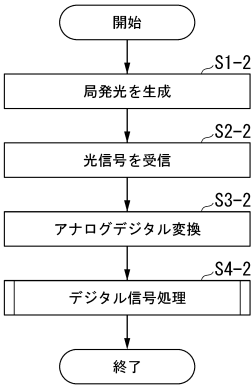
20

30

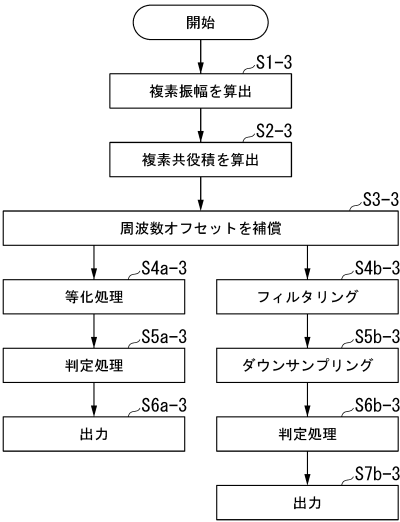
40

50

【図 8】

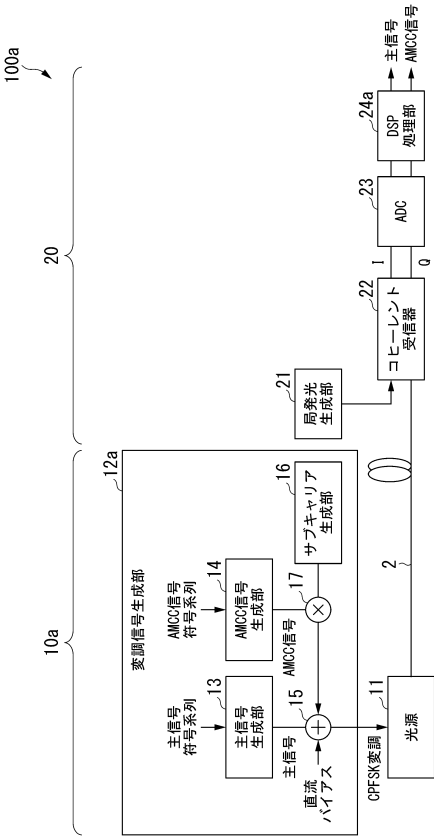


【図 9】

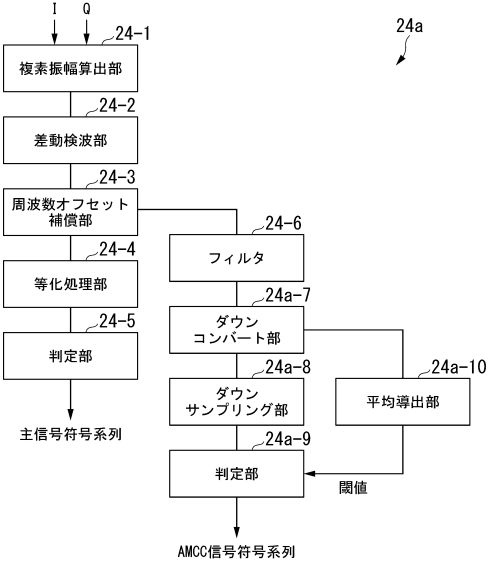


10

【図 10】



【図 11】



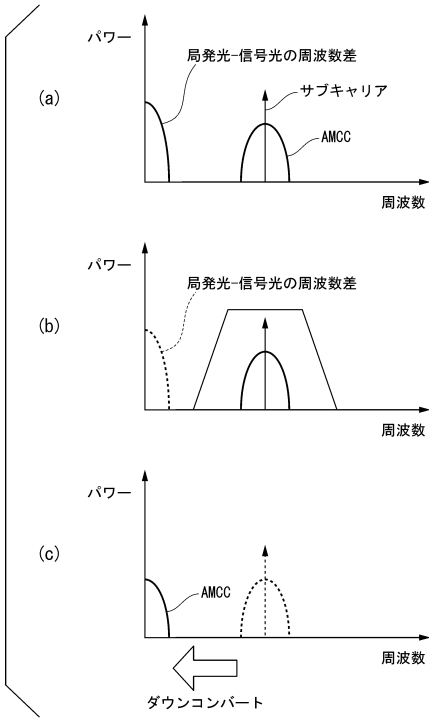
20

30

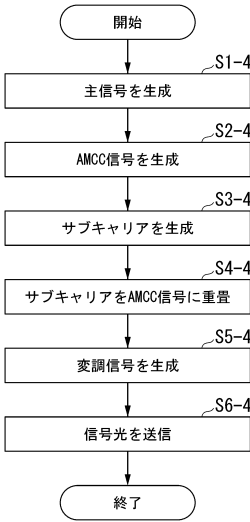
40

50

【図 1 2】



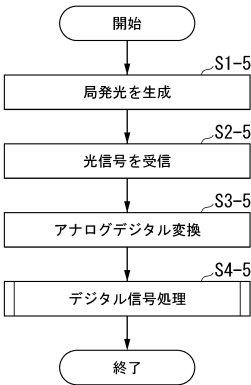
【図 1 3】



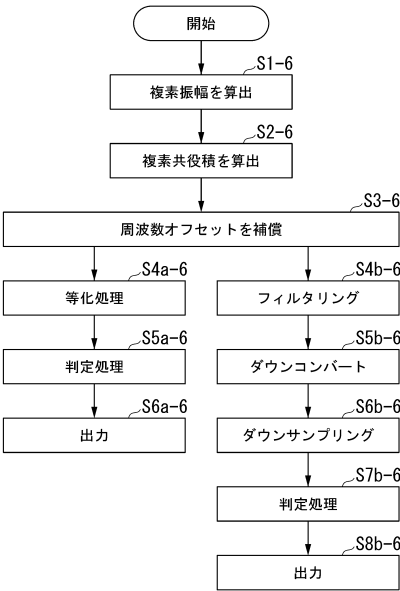
10

20

【図 1 4】



【図 1 5】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 6 - 0 3 4 0 7 8 (J P , A)
 特開 2 0 2 0 - 0 3 9 0 8 9 (J P , A)
 特開 2 0 1 7 - 0 2 2 5 0 9 (J P , A)
 特開 2 0 0 2 - 0 0 9 7 3 8 (J P , A)
 SUZUKI N. et al. , Demonstration of 100-Gb/s/ λ -Based Coherent WDM-PON System Using
 New AGC EDFA Based Upstream Preamplifier and Optically Superimposed AMCC Function
 , JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY , 米国 , IEEE , 2017年04月 , VOL. 35, NO. 8
 , pages 1415-1421
 KANAI T. et al. , Wide-Range Frequency Offset Compensation for CPFSK used as TDM-Based
 Digital Coherent PON ' s Upstream Signals , 2018 European Conference on Optical Commun
 ication (ECOC) , IEEE , 2018年09月
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
 H 0 4 B 1 0 / 0 0 - 1 0 / 9 0
 H 0 4 J 1 4 / 0 0 - 1 4 / 0 8