

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7348582号
(P7348582)

(45)発行日 令和5年9月21日(2023.9.21)

(24)登録日 令和5年9月12日(2023.9.12)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 B 10/516 (2013.01)

H 0 4 B 10/516

H 0 4 J 14/02 (2006.01)

H 0 4 J 14/02 1 9 8

請求項の数 6 (全23頁)

(21)出願番号	特願2022-548292(P2022-548292)	(73)特許権者	000004226
(86)(22)出願日	令和2年9月9日(2020.9.9)		日本電信電話株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/034112		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(87)国際公開番号	WO2022/054166	(74)代理人	110001634
(87)国際公開日	令和4年3月17日(2022.3.17)		弁理士法人志賀国際特許事務所
審査請求日	令和4年12月23日(2022.12.23)	(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	藤原 正満
			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	可児 淳一
			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	川口 貴裕

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光送信器及び光送信における周波数制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の周波数の光を出力するレーザの出力光を、送信データが重畳されたサブキャリアで変調することによって上り方向の光信号を生成する光送信器と、

下り方向の光信号をヘテロダイン検波によって受信するヘテロダイン検波部と、

ヘテロダイン検波によって受信された前記下り信号の周波数と、前記レーザの前記第1の周波数とに基づいて第1の中間周波数を算出し、算出した前記第1の中間周波数と、基準となる第2の中間周波数とが閾値以上ずれが生じている場合に、前記レーザの第1の周波数を制御する制御部と、

を備える光伝送装置。

10

【請求項2】

前記制御部は、閾値以上ずれが生じている場合に、前記第1の中間周波数が前記第2の中間周波数と同じになるように前記レーザの第1の周波数を制御する、請求項1に記載の光伝送装置。

【請求項3】

前記レーザの出力光を、分岐して前記ヘテロダイン検波部に入力する分岐部をさらに備え、

前記ヘテロダイン検波部は、分岐された前記レーザの出力光を、前記ヘテロダイン検波に用いる局発光として利用し、

前記制御部は、分岐された前記レーザの出力光の周波数と、前記ヘテロダイン検波によ

20

って受信された前記下り信号の周波数との差分を前記第 1 の中間周波数として算出する、請求項 1 又は 2 に記載の光伝送装置。

【請求項 4】

前記第 1 の中間周波数は、両サイドバンド変調された上り信号の一方の側波帯の帯域幅と、下り信号の一方の側波帯の帯域幅とを加算した値以上である、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の光伝送装置。

【請求項 5】

前記ヘテロダイン検波部は、前記第 1 の周波数と異なる第 2 の周波数の光を出力するレーザの出力光を、送信データが重畳されたサブキャリアでシングルサイドバンド変調又は残留側波帯変調することによって下り方向の光信号を生成する光送信器から送信された前記下り方向の光信号をヘテロダイン検波によって受信する、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の光伝送装置。

10

【請求項 6】

第 1 の周波数の光を出力するレーザの出力光を、送信データが重畳されたサブキャリアで変調することによって上り方向の光信号を生成し、

下り方向の光信号をヘテロダイン検波によって受信し、

ヘテロダイン検波によって受信された前記下り信号の周波数と、前記レーザの前記第 1 の周波数とに基づいて第 1 の中間周波数を算出し、算出した前記第 1 の中間周波数と、基準となる第 2 の中間周波数とが閾値以上ずれが生じている場合に、前記レーザの第 1 の周波数を制御する光送信における周波数制御方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光送信器及び光送信における周波数制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の光サブキャリア多重信号の伝送では、光送信器に光 I Q 変調器を用いた搬送波抑圧型の光サブキャリア多重信号を利用している。この場合、光受信器では、光イントラダイン検波を用いることで光サブキャリア多重信号を復調する。これにより、光イントラダイン検波時において干渉雑音による信号性能劣化の影響を低減している。

30

【0003】

図 13 は、従来技術における光伝送システム 1000 の構成を表す図である。図 13 では、光伝送システム 1000 を、PON (Passive Optical Network) システムに適用した場合を示している。光伝送システム 1000 は、N 台の ONU (Optical Network Unit) 100-1 ~ 100-N (N は 1 以上の整数である。) と、1 台の OLT (Optical Line Terminal) 110 とを備える。ONU 100-1 ~ 100-N と OLT 110 とは、光スプリッタ 120 を介して光ファイバで接続されている。

【0004】

光スプリッタ 120 は、ONU 100-1 ~ 100-N それぞれから出力された光信号を多重して OLT 110 に出力する。光スプリッタ 120 は、OLT 110 から出力された光信号を分波して ONU 100-1 ~ 100-N に出力する。

40

【0005】

ONU 100 は、例えば通信サービスの提供を受ける加入者の宅内に設置される。ONU 100 は、光送信器及び光受信器を備える。

OLT 110 は、例えば収容局に設置される。OLT 110 は、光送信器及び光受信器を備える。光受信器は、例えば、光スプリッタ 120 によって多重されたサブキャリア多重信号を受信する。

【0006】

各 ONU 100-1 ~ 100-N が備える光送信器は、同一周波数 (f_0) のレーザ出力を、送信データが重畳された電気段のサブキャリアで光変調することによって変調信号

50

を生成する。各ONU 100で生成された変調信号は、光スプリッタ120で合流し、光サブキャリア多重されてOLT 110に伝送される。

【0007】

図13では、ONU 100 - 1 ~ 100 - Nがそれぞれ、 $f_0 \pm \Delta f$, $f_0 \pm 2\Delta f$, $\dots$, $f_0 \pm N\Delta f$ の位置の光サブキャリアを生成する場合を示している。例えば、ONU 100 - 1が $f_0 \pm \Delta f$ の位置の光サブキャリアを生成し、ONU 100 - 2が $f_0 \pm 2\Delta f$ の位置の光サブキャリアを生成し、ONU 100 - Nが $f_0 \pm N\Delta f$ の位置の光サブキャリアを生成する。すなわち、1台のONU 100が1つの光サブキャリアを生成する場合を示しているが、1台のONU 100が複数の光サブキャリアを生成する場合もある。

10

【0008】

ONU 100 - 1 ~ 100 - Nのそれぞれが図13に示す光サブキャリアの変調信号を送信する場合、OLT 110で受信されるサブキャリア多重信号は搬送波が同一周波数(f_0)で重畳される。図14 ~ 図16において従来の光送信器について説明する。

【0009】

図14は、従来のアナログ方式による光送信器150の機能構成を表すブロック図である。光送信器150は、シンボルマップ151、発振器152、変調回路153、レーザ154及び光強度変調器155を備える。

【0010】

シンボルマップ151は、外部から入力されたデータ信号を変調方式に応じてマッピングする。発振器152は、周波数 $k\Delta f$ ($k = 1, 2, \dots, N$)の正弦波(サブキャリア)を出力する。

20

【0011】

変調回路153は、発振器152から出力されたサブキャリアを、シンボルマップ151によりマッピングされたデータで変調する。レーザ154は、周波数 f_0 の光信号を光強度変調器155に出力する。

【0012】

光強度変調器155は、レーザ154の出力光を、変調回路153によって変調されたサブキャリアで光変調する。具体的には、光強度変調器155は、レーザ154の出力光の強度を、変調回路153によって変調されたサブキャリアで光変調することによって変調信号を生成する。

30

【0013】

図15は、従来のデジタル方式による光送信器150aの機能構成を表すブロック図である。光送信器150aは、シンボルマップ151 - 1 ~ 151 - n、レーザ154、シリアルパラレル変換部156、エルミート対称化部157、周波数シフト部158 - 1 ~ 158 - 2n、加算器159、D/A変換器160及び光強度変調器161を備える。周波数シフト部158 - 1 ~ 158 - 2nの台数は、シンボルマップ151の2倍の台数である。

【0014】

シリアルパラレル変換部156は、外部から入力されたデータ信号を2N列に並列化する。例えば、シリアルパラレル変換部156は、データ信号をシンボルマップ151 - 1 ~ 151 - nの台数分並列化する。シンボルマップ151 - 1 ~ 151 - nは、並列化されたデータ信号を変調方式に応じてマッピングする。マッピングされたデータ信号は、エルミート対称化部157に輸入される。

40

【0015】

エルミート対称化部157は、入力されたマッピングされたデータ信号を、ゼロ周波数を中心として複素共役になるようにサブキャリアにデータを配置する。これにより、エルミート対称化部157は、並列化されたデータ信号の実数成分と虚数成分とを生成することができる。周波数シフト部158 - 1 ~ 158 - 2nは、エルミート対称化部157から出力された並列データを、周波数軸上で重ならないように移動する。周波数シフト部1

50

58 - 1 ~ 158 - n は、上側波帯成分の並列データを、周波数軸上で重ならないように移動する。周波数シフト部 158 - n + 1 ~ 2n は、下側波帯成分の並列データを、周波数軸上で重ならないように移動する。

【0016】

加算器 159 は、周波数シフト部 158 - 1 ~ 158 - 2n それぞれから出力されたデータ信号を加算することによって周波数サブキャリア多重信号を生成する。D/A変換器 160 は、周波数サブキャリア多重信号をデジタルアナログ変換する。これにより、D/A変換器 160 は、電気段で I サブキャリア多重信号を生成する。

【0017】

光強度変調器 161 は、レーザ 154 の出力光を、I サブキャリア多重信号で光変調することによって変調信号を生成する。各 ONU 100 で生成された変調信号は、光スプリッタ 120 で合流し、光サブキャリア多重されて OLT 110 に伝送される。

10

【0018】

図 16 は、搬送波抑圧型の光サブキャリア多重信号を生成するための光送信器 150 b の機能構成を表すブロック図である。光送信器 150 b は、シンボルマップ 151 - 1 ~ 151 - n (n は 2 以上の整数)、レーザ 154、シリアルパラレル変換部 156、周波数シフト部 158 - 1 ~ 158 - n、加算器 159、D/A (Digital-to-Analog) 変換器 160 - 1 ~ 160 - 2 及び光 I/Q 変調器 162 を備える。

【0019】

シリアルパラレル変換部 156 は、外部から入力されたデータ信号を 2N 列に並列化する。例えば、シリアルパラレル変換部 156 は、データ信号をシンボルマップ 151 - 1 ~ 151 - n の台数分並列化する。

20

【0020】

シンボルマップ 151 - 1 ~ 151 - n は、並列化されたデータ信号を変調方式に応じてマッピングする。マッピングされたデータ信号は、周波数シフト部 158 - 1 ~ 158 - n に入力される。周波数シフト部 158 - 1 ~ 158 - n は、入力されたデータ信号を、周波数軸上で重ならないように移動する。

【0021】

加算器 159 は、周波数シフト部 158 - 1 ~ 158 - n それぞれから出力されたデータ信号を加算することによって周波数多重信号を生成する。D/A変換器 160 - 1 ~ 160 - 2 は、周波数多重信号をデジタルアナログ変換する。例えば、D/A変換器 160 - 1 は、周波数多重信号の実部 (I 成分) をデジタルアナログ変換する。例えば、D/A変換器 160 - 2 は、周波数多重信号の虚部 (Q 成分) をデジタルアナログ変換する。これにより、電気段で I 成分と Q 成分に分かれたサブキャリア多重信号が生成される。

30

【0022】

レーザ 154 は、周波数 f_0 の光信号を光 I/Q 変調器 162 に出力する。光 I/Q 変調器 162 は、レーザ 154 の出力光を、I 成分と Q 成分に分かれたサブキャリア多重信号で光変調することによって変調信号を生成する。光 I/Q 変調器 162 は、生成した変調信号を、光ファイバを介して光受信器に送信する。

【0023】

2N 列の並列データは、例えば図 14 に示すように、1, ..., N - 1, N, N + 1, N + 2, ..., 2N で番号付けされる周波数位置にある光サブキャリアに重畳される。ただし、光送信器 150 は、図 16 (A) のように、全ての光サブキャリアを利用する訳ではない。シリアルパラレル変換は利用する光サブキャリアに応じて行われる。例えば、図 16 (B) では、N - 1 の光サブキャリアのみが利用されている例を示している。図 16 では、上側波帯および下側波帯の両方を利用した DSB (Double Side Band) 変調を例示しているが、上側波帯もしくは下側波帯の光サブキャリアのみを利用すれば SSB (Single Side Band) 変調も対応可能。

40

【0024】

図 17 は、従来の光受信器 200 の機能構成を表すブロック図である。光受信器 200

50

は、一般的な光イントラダイン検波によるデジタルコヒーレント受信器の構成を備える。光受信器 200 は、PBS (Polarization Beam Splitter) 201、局部発振光源 202、PBS 203、光 90 度ハイブリッド検波器 204 - 1 ~ 204 - 2、A/D (Analog-to-Digital) 変換器 205 - 1 ~ 205 - 2、A/D 変換器 206 - 1 ~ 206 - 2 及びデジタル信号処理部 207 を備える。

【0025】

PBS 201 は、偏波スプリッタである。PBS 201 は、光送信器から送信された変調信号を入力する。PBS 201 は、入力した変調信号を、水平偏波の光信号及び垂直偏波の光信号に分離する。PBS 201 は、水平偏波の光信号を光 90 度ハイブリッド検波器 204 - 1 に出力し、垂直偏波の光信号を光 90 度ハイブリッド検波器 204 - 2 に出力する。

10

【0026】

局部発振光源 202 は、局発光を出力する。

PBS 203 は、偏波スプリッタである。PBS 203 は、局部発振光源 202 から出力された局発光を入力する。PBS 203 は、入力した局発光を、水平偏波の光信号及び垂直偏波の光信号に分離する。PBS 203 は、水平偏波の光信号を光 90 度ハイブリッド検波器 204 - 1 に出力し、垂直偏波の光信号を光 90 度ハイブリッド検波器 204 - 2 に出力する。

【0027】

光 90 度ハイブリッド検波器 204 - 1 は、水平偏波の光信号を入力して処理する。光 90 度ハイブリッド検波器 204 - 1 は、スプリッタ 208 - 1 ~ 208 - 2、 $\pi/2$ 遅延器 209、カブラ 210 - 1 ~ 210 - 2 及びバランスド受信器 211 - 1 ~ 211 - 2 を備える。

20

【0028】

スプリッタ 208 - 1 は、PBS 201 から出力される水平偏波の光信号を入力する。スプリッタ 208 - 1 は、入力した水平偏波の光信号を分岐してカブラ 210 - 1 及び 210 - 2 に出力する。スプリッタ 208 - 2 は、PBS 203 から出力される水平偏波の光信号を入力する。スプリッタ 208 - 2 は、入力した水平偏波の光信号を分岐してカブラ 210 - 1 と、 $\pi/2$ 遅延器 209 に出力する。

【0029】

$\pi/2$ 遅延器 209 は、スプリッタ 208 - 2 が出力した水平偏波の光信号を $\pi/2$ 分遅延させてカブラ 210 - 2 に出力する。

30

カブラ 210 - 1 は、スプリッタ 208 - 1 が出力した水平偏波の光信号と、スプリッタ 208 - 2 が出力した水平偏波の光信号とを合波して干渉させることにより干渉光を生成する。カブラ 210 - 1 は、生成した干渉光を 2 つの干渉光に分岐してバランスド受信器 211 - 1 に出力する。

【0030】

カブラ 210 - 2 は、スプリッタ 208 - 1 が出力した水平偏波の光信号と、 $\pi/2$ 遅延器 209 が出力した $\pi/2$ 分遅延した水平偏波の光信号とを合波して干渉させることにより干渉光を生成する。カブラ 210 - 2 は、生成した干渉光を 2 つの干渉光に分岐してバランスド受信器 211 - 2 に出力する。

40

【0031】

バランスド受信器 211 - 1 は、カブラ 210 - 1 が出力した 2 つの干渉光を電気信号に変換する。バランスド受信器 211 - 1 は、変換した電気信号の差分を同相成分、すなわち I 成分として検出して A/D 変換器 205 - 1 に出力する。

バランスド受信器 211 - 2 は、カブラ 210 - 2 が出力した 2 つの干渉光を電気信号に変換する。バランスド受信器 211 - 2 は、変換した電気信号の差分を直交成分、すなわち Q 成分として検出して A/D 変換器 205 - 2 に出力する。

【0032】

A/D 変換器 205 - 1 は、I 成分のアナログ電気信号をサンプリングしてデジタルの

50

サンプリング信号としてデジタル信号処理部 207 に出力する。

A/D変換器 205 - 2 は、Q 成分のアナログ電気信号をサンプリングしてデジタルのサンプリング信号としてデジタル信号処理部 207 に出力する。

【0033】

光 90 度ハイブリッド検波器 204 - 2 は、垂直偏波の光信号を入力して処理する。光 90 度ハイブリッド検波器 204 - 2 は、スプリッタ 212 - 1 ~ 212 - 2、 $\pi/2$ 遅延器 213、カブラ 214 - 1 ~ 214 - 2 及びバランスト受信器 215 - 1 ~ 215 - 2 を備える。

【0034】

スプリッタ 212 - 1 は、PBS 201 から出力される垂直偏波の光信号を入力する。スプリッタ 212 - 1 は、入力した垂直偏波の光信号を分岐してカブラ 214 - 1 及び 214 - 2 に出力する。スプリッタ 212 - 2 は、PBS 203 から出力される垂直偏波の光信号を入力する。スプリッタ 212 - 2 は、入力した垂直偏波の光信号を分岐してカブラ 214 - 1 と、 $\pi/2$ 遅延器 213 に出力する。

【0035】

$\pi/2$ 遅延器 213 は、スプリッタ 212 - 2 が出力した垂直偏波の光信号を $\pi/2$ 分遅延させてカブラ 214 - 2 に出力する。

カブラ 214 - 1 は、スプリッタ 212 - 1 が出力した垂直偏波の光信号と、スプリッタ 212 - 2 が出力した垂直偏波の光信号とを合波して干渉させることにより干渉光を生成する。カブラ 214 - 1 は、生成した干渉光を 2 つの干渉光に分岐してバランスト受信器 215 - 1 に出力する。

【0036】

カブラ 214 - 2 は、スプリッタ 212 - 1 が出力した垂直偏波の光信号と、 $\pi/2$ 遅延器 213 が出力した $\pi/2$ 分遅延した垂直偏波の光信号とを合波して干渉させることにより干渉光を生成する。カブラ 214 - 2 は、生成した干渉光を 2 つの干渉光に分岐してバランスト受信器 215 - 2 に出力する。

【0037】

バランスト受信器 215 - 1 は、カブラ 214 - 1 が出力した 2 つの干渉光を電気信号に変換する。バランスト受信器 215 - 1 は、変換した電気信号の差分を同相成分、すなわち I 成分として検出して A/D 変換器 206 - 1 に出力する。

バランスト受信器 215 - 2 は、カブラ 214 - 2 が出力した 2 つの干渉光を電気信号に変換する。バランスト受信器 215 - 2 は、変換した電気信号の差分を直交成分、すなわち Q 成分として検出して A/D 変換器 206 - 2 に出力する。

【0038】

A/D 変換器 206 - 1 は、I 成分のアナログ電気信号をサンプリングしてデジタルのサンプリング信号としてデジタル信号処理部 207 に出力する。

A/D 変換器 206 - 2 は、Q 成分のアナログ電気信号をサンプリングしてデジタルのサンプリング信号としてデジタル信号処理部 207 に出力する。

【0039】

デジタル信号処理部 207 は、A/D 変換器 205 - 1 ~ 205 - 4 それぞれから出力されたデジタルのサンプリング信号を入力する。デジタル信号処理部 207 は、入力したサンプリング信号を復調する。

光受信器 200 が行う処理は、デジタルコヒーレント伝送で用いられる一般的なイントラダイン受信器と同様である。

【0040】

上記のように、従来では、光サブキャリア多重信号の伝送において、図 16 に示す光送信器 150b で光 I/Q 変調器 162 を用いて光サブキャリア変調を行うことによって、搬送波を抑圧し、光受信時の干渉雑音の影響を低減することができる（非特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【非特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 4 1 】

【文献】 “ Rate-flexible Single-wavelength TDFM 100G Coherent PON based on Digital Subcarrier Multiplexing Technology ” , OFC2020, W1E.5, 2020.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 4 2 】

図 1 3 のシステムの上り伝送において、例えば図 1 4 ~ 図 1 6 の光送信器を用いる場合、各 ONU 1 0 0 に配置される光送信器が出力する上り信号波長が互いにずれていると、光スプリッタ 1 2 0 で光サブキャリアが多重された際に各 ONU 1 0 0 から送信された光サブキャリアが周波数軸上で重複することになる。光信号の受信の際には、デジタル信号処理による周波数フィルタリングで各サブキャリアを分離するが、光サブキャリアが周波数軸上で重複すると受信できなくなってしまうという問題があった。さらに、光イントラダイン検波器は構成が複雑でありアクセス系で使用するには高価であるという問題もあった。

10

【 0 0 4 3 】

上記事情に鑑み、本発明は、低コストで多重信号の光サブキャリアの周波数軸上における重複を抑制することができる技術の提供を目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 4 4 】

本発明の一態様は、第 1 の周波数の光を出力するレーザの出力光を、送信データが重畳されたサブキャリアで変調することによって上り方向の光信号を生成する光送信器と、下り方向の光信号をヘテロダイン検波によって受信するヘテロダイン検波部と、ヘテロダイン検波によって受信された前記下り信号の周波数と、前記レーザの前記第 1 の周波数とに基づいて第 1 の中間周波数を算出し、算出した前記第 1 の中間周波数と、基準となる第 2 の中間周波数とが閾値以上ずれが生じている場合に、前記レーザの第 1 の周波数を制御する制御部と、を備える光伝送装置である。

20

【 0 0 4 5 】

本発明の一態様は、第 1 の周波数の光を出力するレーザの出力光を、送信データが重畳されたサブキャリアで変調することによって上り方向の光信号を生成し、下り方向の光信号をヘテロダイン検波によって受信し、ヘテロダイン検波によって受信された前記下り信号の周波数と、前記レーザの前記第 1 の周波数とに基づいて第 1 の中間周波数を算出し、算出した前記第 1 の中間周波数と、基準となる第 2 の中間周波数とが閾値以上ずれが生じている場合に、前記レーザの第 1 の周波数を制御する光送信における周波数制御方法である。

30

【発明の効果】

【 0 0 4 6 】

本発明により、低コストで多重信号の光サブキャリアの周波数軸上における重複を抑制することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 7 】

40

【図 1】第 1 の実施形態における光伝送システムの構成を表す図である。

【図 2】第 1 の実施形態における O L T が備える光受信器の機能構成を表すブロック図である。

【図 3】第 1 の実施形態における ONU が備える光受信器の機能構成を表すブロック図である。

【図 4】第 1 の実施形態における光送信器の搬送波を $f_0 + B_0 + B_1$ 以上の周波数位置に設定した場合の一例を示す図である。

【図 5】第 1 の実施形態における光送信器の搬送波を $f_0 - B_0 - B_1$ 以下の周波数位置に設定した場合の一例を示す図である。

【図 6】第 1 の実施形態における光伝送システムの処理の流れを示すシーケンス図である。

50

【図 7】第 2 の実施形態における光送信器の機能構成を表すブロック図である。

【図 8】第 2 の実施形態における光送信器の搬送波を $f_0 + B_0 + B_1$ 以上の周波数位置に設定した場合の一例を示す図である。

【図 9】第 2 の実施形態における光送信器の搬送波を $f_0 - B_0 - B_1$ 以下の周波数位置に設定した場合の一例を示す図である。

【図 10】第 2 の実施形態における光送信器の搬送波を $f_0 - B_0 - B_1$ 以下の周波数位置に設定した場合の一例を示す図である。

【図 11】第 2 の実施形態における光送信器の搬送波を $f_0 + B_0 + B_1$ 以上の周波数位置に設定した場合の一例を示す図である。

【図 12】第 3 の実施形態における光伝送システムの構成を表す図である。

10

【図 13】従来技術における光伝送システムの構成を表す図である。

【図 14】従来のアナログ方式による光送信器の機能構成を表すブロック図である。

【図 15】従来のデジタル方式による光送信器の機能構成を表すブロック図である。

【図 16】搬送波抑圧型の光サブキャリア多重信号を生成するための光送信器の機能構成を表すブロック図である。

【図 17】従来の光受信器の機能構成を表すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0048】

以下、本発明の一実施形態を、図面を参照しながら説明する。

まず本発明の概略について説明する。

20

本発明では、ONU（加入者線終端装置）と、OLT（加入者線端局装置）とを備える光伝送システムにおいて、ONUにてヘテロダイン検波を行う。そして、各ONUは、OLTから送信された下り信号の周波数 f_1 と、ONUにおける上り光源の周波数 f_0 とに基づいて、中間周波数 $f_{IF} = |f_1 - f_0|$ （第 1 の中間周波数）を算出する。各ONUは、得られた値が事前に保持している各ONUの上り光源の周波数 f'_0 と下り信号の周波数 f'_1 とに基づいて算出された中間周波数 $f'_{IF} = |f'_1 - f'_0|$ （第 2 の中間周波数）と比較する。比較の結果、中間周波数 f_{IF} と、中間周波数 f'_{IF} との間にずれが生じている場合、ずれが生じているONUは、中間周波数 f_{IF} と、中間周波数 f'_{IF} とが同じ値になるように上り光源（例えば、レーザ）の周波数 f_0 を制御する。例えば、ONUは、上り光源（例えば、レーザ）の周波数 f_0 を、事前に保持している上り信号の周波数となるように制御する。

30

以下、具体的な構成について説明する。

【0049】

（第 1 の実施形態）

図 1 は、第 1 の実施形態における光伝送システム 1 の構成を表す図である。図 1 では、光伝送システム 1 を、PONシステムに適用した場合を示している。光伝送システム 1 は、OLT 2 と、ONU 3 とを備える。OLT 2 と、ONU 3 とは、光ファイバ 4 を介して接続されている。図 1 では、ONU 3 の台数を 1 台としているが、光伝送システム 1 には ONU 3 が複数台備えられてもよい。以下の説明では、OLT 2 から ONU 3 への信号の伝送方向を下り方向とし、ONU 3 から OLT 2 への信号の伝送方向を上り方向として説明する。

40

【0050】

OLT 2 は、例えば収容局に設置される。OLT 2 は、光送信器 21、光サーキュレータ 22 及び光受信器 23 を備える。

光送信器 21 は、下り方向の光信号（以下「下り信号」という。）を生成し、生成した下り信号を ONU 3 に送信する。図 1 では、下り信号として光強度変調器を用いてシングルキャリアの ASK（Amplitude-Shift Keying）信号（オンオフ信号）を生成する場合を例に説明する。光送信器 21 は、光位相変調器や光 IQ 変調器を用いて BPSK（Binary Phase Shift Keying）や QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）を用いて生成された変調信号を用いてもよい。シングルキャリア変調を行う場合、各 ONU 3 に送信す

50

る下り信号は、上り信号と異なり時分割多重(TDM: Time Division Multiple)してもよい。光送信器21は、SCM(Subcarrier Multiplexing)変調を行い、各ONU3に送信する信号を光サブキャリアに割り当ててもよい。

【0051】

光送信器21は、レーザ24、光分岐器25及び光強度変調器26を含んで構成される。

レーザ24は、周波数 f_1 の光信号を光強度変調器26に出力する。

【0052】

光分岐器25は、レーザ24から出力された光信号の一部を光受信器23に分岐する。すなわち、レーザ24から出力された光信号は、光分岐器25を介して光受信器23と光強度変調器26に出力される。

光強度変調器26は、レーザ24の出力光を強度変調することによって下り信号を生成する。

【0053】

光サーキュレータ22は、3つのポートを有する。光サーキュレータ22が有する第1のポートは、光送信器21に接続される。光サーキュレータ22が有する第2のポートは、光ファイバ4に接続される。光サーキュレータ22が有する第3のポートは、光受信器23に接続される。光サーキュレータ22が有する第1のポートに入力された下り信号は、光サーキュレータ22が有する第2のポートから出力される。光サーキュレータ22が有する第2のポートに入力された上り信号は、光サーキュレータ22が有する第3のポートから出力される。

【0054】

光受信器23は、ONU3から送信される光信号をヘテロダイン検波により受信する。光受信器23は、例えばONU3から送信される光サブキャリア多重(SCM)信号を、ヘテロダイン検波により受信する。この際、光受信器23は、局発光として、光分岐器25により分岐されたレーザ24の光信号を利用する。光受信器23は、受信した光サブキャリア多重をデジタル信号処理により復調する。

【0055】

ONU3は、例えば通信サービスの提供を受ける加入者の宅内に設置される。ONU3は、光送信器31、光サーキュレータ32及び光受信器33を備える。

光送信器31は、上り方向の光信号(以下「上り信号」という。)を生成し、生成した上り信号をOLT2に送信する。ONU3に備えられる光送信器31としては、図14から図16に示した光送信器150、150a、150bのいずれかが利用される。図1では、光送信器31として、光強度変調器を用いた場合を例に説明する。この場合、光送信器31は、サブキャリアで光変調した上り信号を生成する。

【0056】

サブキャリアは、搬送波の周波数 f_0 に対して、 $\pm B_0$ の範囲で生成される。 B_0 は、両サイドバンド(DSB: Double Side Band)変調された上り信号の一方の側波帯の帯域幅である。図1の挿絵に示される通り、光ファイバ4に光信号を入射するとレイリー散乱により反射が生じる。この影響を回避するためには、中間周波数 $f_{IF}(=|f_1 - f_0|)$ を $B_0 + B_1$ とすることが望ましい。ここで、 B_1 は、下り信号の一方の側波帯の帯域幅を表す。

【0057】

光送信器31は、レーザ34、光分岐器35及び光強度変調器36を含んで構成される。

レーザ34は、周波数 f_0 の光信号を光強度変調器26に出力する。ここで、レーザ34の周波数は、OLT2が備えるレーザ24の周波数とは異なる($f_0 \neq f_1$)。

【0058】

光分岐器35は、レーザ34から出力された光信号の一部を光受信器33に分岐する。すなわち、レーザ34から出力された光信号は、光分岐器35を介して光受信器33と光強度変調器36に出力される。

光強度変調器36は、レーザ34の出力光を強度変調することによって上り信号を生成

10

20

30

40

50

する。

【 0 0 5 9 】

光サーキュレータ 3 2 は、3 つのポートを有する。光サーキュレータ 3 2 が有する第 1 のポートは、光送信器 3 1 に接続される。光サーキュレータ 3 2 が有する第 2 のポートは、光ファイバ 4 に接続される。光サーキュレータ 3 2 が有する第 3 のポートは、光受信器 3 3 に接続される。光サーキュレータ 3 2 が有する第 1 のポートに入力された上り信号は、光サーキュレータ 3 2 が有する第 2 のポートから出力される。光サーキュレータ 3 2 が有する第 2 のポートに入力された下り信号は、光サーキュレータ 3 2 が有する第 3 のポートから出力される。

【 0 0 6 0 】

光受信器 3 3 は、O L T 2 から送信される光信号をヘテロダイン検波により受信する。光受信器 3 3 は、例えば O L T 2 から送信される A S K 信号を、ヘテロダイン検波により受信する。この際、光受信器 3 3 は、局発光として、光分岐器 3 5 により分岐されたレーザ 3 4 の光信号を利用する。

【 0 0 6 1 】

さらに光受信器 3 3 は、O L T 2 から送信された下り信号の周波数 f_1 と、O N U 3 における上り光源の周波数 f_0 とに基づいて、中間周波数 $f_{IF} = |f_1 - f_0|$ を算出する。光受信器 3 3 は、算出した中間周波数 $f_{IF} = |f_1 - f_0|$ が、事前に保持している上り光源の周波数 f'_0 と下り信号の周波数 f'_1 とに基づいて算出された中間周波数 $f'_{IF} = |f'_1 - f'_0|$ と比較してずれが生じている場合に、中間周波数 f_{IF} と、中間周波数 f'_{IF} とが同じ値になるように上り光源（例えば、レーザ）の周波数 f_0 を制御する。具体的には、O N U は、上り光源（例えば、レーザ）の周波数 f_0 をずれが生じている分だけ調整することによって、ずれが無くなるようにレーザ 3 4 の周波数 f_0 を制御する。

【 0 0 6 2 】

光受信器 3 3 で設定すべき中間周波数 f'_{IF} の値は、不図示のメモリ等に保存されているものとする。例えば、設定すべき中間周波数 f'_{IF} の値は、O L T 2 が処理開始以前に各 O N U 3 に通知するなどして知らせておく。

【 0 0 6 3 】

図 2 は、第 1 の実施形態における O L T 2 が備える光受信器 2 3 の機能構成を表すブロック図である。光受信器 2 3 は、光ヘテロダイン検波を行うデジタルコヒーレント受信器である。光受信器 2 3 は、P B S 2 3 1、局部発振光源 2 3 2、P B S 2 3 3、カプラ 2 3 4 - 1、2 3 4 - 2、バランス受信器 2 3 5 - 1、2 3 5 - 2、フィルタ 2 3 6 - 1、2 3 6 - 2、A / D 変換器 2 3 7 - 1、2 3 7 - 2 及びデジタル信号処理部 2 3 8 を備える。P B S 2 3 1、局部発振光源 2 3 2、P B S 2 3 3、カプラ 2 3 4 - 1、2 3 4 - 2、バランス受信器 2 3 5 - 1、2 3 5 - 2 は、第 1 のヘテロダイン検波部の一例である。

【 0 0 6 4 】

P B S 2 3 1 は、偏波スプリッタである。P B S 2 3 1 は、光信号（例えば、サブキャリア多重信号）を入力する。ここでは、複数の O N U 3 それぞれから送信された上り信号が多重化されたサブキャリア多重信号が入力されたとして説明する。P B S 2 3 1 は、入力したサブキャリア多重信号を、水平偏波のサブキャリア多重信号及び垂直偏波のサブキャリア多重信号に分離する。P B S 2 3 1 は、水平偏波のサブキャリア多重信号をカプラ 2 3 4 - 1 に出力し、垂直偏波のサブキャリア多重信号をカプラ 2 3 4 - 2 に出力する。

【 0 0 6 5 】

局部発振光源 2 3 2 は、光ヘテロダイン検波に用いる局発光を出力する。例えば、局部発振光源 2 3 2 は、光分岐器 2 5 により分岐されて入力されたレーザ 2 4 の光信号を局発光として出力する。

P B S 2 3 3 は、偏波スプリッタである。P B S 2 3 3 は、局部発振光源 2 3 2 から出力された局発光を入力する。P B S 2 3 3 は、入力した局発光を、水平偏波の光信号及び垂直偏波の光信号に分離する。P B S 2 3 3 は、水平偏波の光信号をカプラ 2 3 4 - 1 に

10

20

30

40

50

出力し、垂直偏波の光信号をカブラ 2 3 4 - 2 に出力する。

【 0 0 6 6 】

カブラ 2 3 4 - 1 は、P B S 2 3 1 が出力した水平偏波のサブキャリア多重信号と、P B S 2 3 3 が出力した水平偏波の光信号とを合波して干渉させることにより干渉光を生成する。カブラ 2 3 4 - 1 は、生成した干渉光を 2 つの干渉光に分岐してバランスド受信器 2 3 5 - 1 に出力する。

【 0 0 6 7 】

カブラ 2 3 4 - 2 は、P B S 2 3 1 が出力した垂直偏波のサブキャリア多重信号と、P B S 2 3 3 が出力した垂直偏波の光信号とを合波して干渉させることにより干渉光を生成する。カブラ 2 3 4 - 2 は、生成した干渉光を 2 つの干渉光に分岐してバランスド受信器 2 3 5 - 2 に出力する。

10

【 0 0 6 8 】

バランスド受信器 2 3 5 - 1 は、カブラ 2 3 4 - 1 が出力した 2 つの干渉光を電気信号に変換する。バランスド受信器 2 3 5 - 1 は、変換した電気信号の差分をフィルタ 2 3 6 - 1 に出力する。

バランスド受信器 2 3 5 - 2 は、カブラ 2 3 4 - 2 が出力した 2 つの干渉光を電気信号に変換する。バランスド受信器 2 3 5 - 2 は、変換した電気信号の差分をフィルタ 2 3 6 - 2 に出力する。

【 0 0 6 9 】

フィルタ 2 3 6 - 1 は、バランスド受信器 2 3 5 - 1 から出力された 2 つの干渉光の差分を表す電気信号をフィルタリングする。フィルタ 2 3 6 - 1 は、L P F (Low-Pass Filter) 又は H P F (High-Pass Filter) である。L P F や H P F は、図示の通りアナログ回路を用いてもよいが、デントル信号処理で行ってもよい。

20

【 0 0 7 0 】

例えば、フィルタ 2 3 6 - 1 は、L P F でサブキャリア多重 (S C M) 信号の上測波帯成分 (+)、もしくは、H P F で下測波帯成分 (-) のみを抜き出す。上測波帯成分を抜き出した方がより低周波の A / D 変換器を利用して受信できるためより経済的である。

【 0 0 7 1 】

フィルタ 2 3 6 - 2 は、バランスド受信器 2 3 5 - 2 から出力された 2 つの干渉光の差分を表す電気信号をフィルタリングする。フィルタ 2 3 6 - 2 は、L P F 又は H P F である。

30

A / D 変換器 2 3 7 - 1 は、フィルタ 2 3 6 - 1 によって抜き出された上測波帯成分 (+)、もしくは、下測波帯成分 (-) をアナログデジタル変換してデジタル信号を生成する。

【 0 0 7 2 】

A / D 変換器 2 3 7 - 2 は、フィルタ 2 3 6 - 2 によって抜き出された上測波帯成分 (+)、もしくは、下測波帯成分 (-) をアナログデジタル変換してデジタル信号を生成する。

デジタル信号処理部 2 3 8 は、A / D 変換器 2 3 7 - 1 ~ 2 3 7 - 2 それぞれから出力されたデジタル信号を入力する。デジタル信号処理部 2 3 8 は、入力したデジタル信号をサブキャリア毎にデジタル信号処理を行うことによって復調する。

40

【 0 0 7 3 】

図 3 は、第 1 の実施形態における O N U 3 が備える光受信器 3 3 の機能構成を表すブロック図である。光受信器 3 3 は、光ヘテロダイン検波を行うデジタルコヒーレント受信器である。光受信器 3 3 は、P B S 3 3 1、局部発振光源 3 3 2、P B S 3 3 3、カブラ 3 3 4 - 1、3 3 4 - 2、バランスド受信器 3 3 5 - 1、3 3 5 - 2、増幅器 3 3 6 - 1、3 3 6 - 2、包絡線検波器 3 3 7 - 1、3 3 7 - 2、加算器 3 3 8 及び A G C / A F C 制御器 3 3 9 を備える。P B S 3 3 1、局部発振光源 3 3 2、P B S 3 3 3、カブラ 3 3 4 - 1、3 3 4 - 2、バランスド受信器 3 3 5 - 1、3 3 5 - 2 は、第 2 のヘテロダイン検波部の一例である。

50

【 0 0 7 4 】

P B S 3 3 1 は、偏波スプリッタである。P B S 3 3 1 は、O N U 3 から送信された光信号（下り信号）を入力する。P B S 3 3 1 は、入力した下り信号を、水平偏波の下り信号及び垂直偏波の下り信号に分離する。P B S 3 3 1 は、水平偏波の下り信号をカブラ 3 3 4 - 1 に出力し、垂直偏波の下り信号をカブラ 3 3 4 - 2 に出力する。

【 0 0 7 5 】

局部発振光源 3 3 2 は、光ヘテロダイン検波に用いる局発光を出力する。例えば、局部発振光源 3 3 2 は、光分岐器 3 5 により分岐されて入力されたレーザ 3 4 の光信号を局発光として出力する。

【 0 0 7 6 】

P B S 3 3 3 は、偏波スプリッタである。P B S 3 3 3 は、局部発振光源 3 3 2 から出力された局発光を入力する。P B S 3 3 3 は、入力した局発光を、水平偏波の光信号及び垂直偏波の光信号に分離する。P B S 3 3 3 は、水平偏波の光信号をカブラ 3 3 4 - 1 に出力し、垂直偏波の光信号をカブラ 3 3 4 - 2 に出力する。

【 0 0 7 7 】

カブラ 3 3 4 - 1 は、P B S 3 3 1 が出力した水平偏波の下り信号と、P B S 3 3 3 が出力した水平偏波の光信号とを合波して干渉させることにより干渉光を生成する。カブラ 3 3 4 - 1 は、生成した干渉光を 2 つの干渉光に分岐してバランスド受信器 3 3 5 - 1 に出力する。

【 0 0 7 8 】

カブラ 3 3 4 - 2 は、P B S 3 3 1 が出力した垂直偏波の下り信号と、P B S 3 3 3 が出力した垂直偏波の光信号とを合波して干渉させることにより干渉光を生成する。カブラ 3 3 4 - 2 は、生成した干渉光を 2 つの干渉光に分岐してバランスド受信器 3 3 5 - 2 に出力する。

【 0 0 7 9 】

バランスド受信器 3 3 5 - 1 は、カブラ 3 3 4 - 1 が出力した 2 つの干渉光を電気信号に変換する。バランスド受信器 3 3 5 - 1 は、変換した電気信号の差分を増幅器 3 3 6 - 1 に出力する。

バランスド受信器 3 3 5 - 2 は、カブラ 3 3 4 - 2 が出力した 2 つの干渉光を電気信号に変換する。バランスド受信器 3 3 5 - 2 は、変換した電気信号の差分を増幅器 3 3 6 - 2 に出力する。

【 0 0 8 0 】

増幅器 3 3 6 - 1 , 3 3 6 - 2 は、入力された電気信号を増幅する。なお、増幅器 3 3 6 - 1 , 3 3 6 - 2 は、A G C / A F C 制御器 3 3 9 から自動利得制御（A G C : Automatic Gain Control）により利得制御がなされる。増幅器 3 3 6 - 1 で増幅された電気信号は、包絡線検波器 3 3 7 - 1 及び A G C / A F C 制御器 3 3 9 に入力される。増幅器 3 3 6 - 2 で増幅された電気信号は、包絡線検波器 3 3 7 - 2 及び A G C / A F C 制御器 3 3 9 に入力される。

【 0 0 8 1 】

包絡線検波器 3 3 7 - 1 は、増幅器 3 3 6 - 1 から出力された電気信号の包絡線を検出する。

包絡線検波器 3 3 7 - 2 は、増幅器 3 3 6 - 2 から出力された電気信号の包絡線を検出する。

【 0 0 8 2 】

加算器 3 3 8 は、包絡線検波器 3 3 7 - 1 及び 3 3 7 - 2 それぞれから出力された包絡線を加算する。

A G C / A F C 制御器 3 3 9 は、増幅器 3 3 6 - 1 及び 3 3 6 - 2 から出力された電気信号に基づいてレーザ 3 4 の周波数及び増幅器 3 3 6 - 1 , 3 3 6 - 2 の利得を制御する。例えば、A G C / A F C 制御器 3 3 9 は、コヒーレント検波時の電気信号から中間周波数を検出する手法を用いてレーザ 3 4 の周波数を調整する。コヒーレント検波時の電気信

10

20

30

40

50

号から中間周波数を検出する手法は、以下の参考文献 1 に記載の技術が用いられてもよい。
(参考文献 1 : “ 622Mbit/s-16ch FDMコヒーレント光伝送装置 ” , テレビジョン学会技術報告 , 1993年 17巻 18号 pp.25-30 .)

【 0 0 8 3 】

シングルキャリア変調信号であれば、図 3 に示すようにアナログ電気回路で復調でき、デジタル信号処理を用いる場合よりも低消費電力が可能となる。A G C / A F C 制御器 3 3 9 によって、上り波長を下り波長に対して光ヘテロダイン検波の中間周波数 ($f_{IF} = |f_1 - f_0|$) だけずれた周波数に制御するために、参考文献 1 に示される通り、受信した電気信号の一部を分岐する。分岐した電気信号は、最大比合成法による偏波ダイバーシティ受信を実現するための電気増幅器の A G C 及び所望の中間周波数 (f_{IF}) からのずれを周波数弁別により検出し、その値に基づいて上りレーザ波長を A F C するために用いられる。

10

【 0 0 8 4 】

O L T 2 が下り信号としてサブキャリア多重信号を用いる場合、O N U 3 は第 2 のヘテロダイン検波部として図 3 に示す構成を用いることで、デジタル信号処理により下り信号を復調する。この場合、上り波長のずれは、デジタル信号処理により算出することができる。

【 0 0 8 5 】

図 1 に示す O N U 3 が備える光送信器 3 1 で生成されるサブキャリアの変調信号は、搬送波の周波数 f_0 に対して、 $\pm B_0$ の範囲で生成される。図 4 は搬送波を $f_0 + B_0 + B_1$ 以上の周波数位置に設定した場合の一例を示し、図 5 は搬送波を $f_0 - B_0 - B_1$ 以下の周波数位置に設定した場合の一例を示している。図 4 及び図 5 において、左図は光受信器において受信されたサブキャリア多重信号の周波数は位置を示す図であり、右図は光受信器の具体的な処理を説明するための図である。

20

【 0 0 8 6 】

図 4 の右図では、光ヘテロダイン検波を行い、L P F でサブキャリア多重 (S C M) 信号の上側波帯成分 (+)、もしくは、H P F で下側波帯成分 (-) のみを抜き出す例を示している。その後、光受信器においてはこれを A D 変換して、サブキャリア毎にデジタル信号処理を行い復調する。図 4 に示す通り、上側波帯成分を抜き出した方がより低周波の A / D 変換器 2 3 7 を利用して受信できるためより経済的である。中間周波数帯に変換された搬送波成分は除去される。L P F で上側波帯成分 (+) を抜き出す場合、下り信号の反射光成分も残るが、S C M 信号をデジタル信号処理により復調する際に、周波数フィルタリングされるため問題ない。

30

【 0 0 8 7 】

図 5 の右図では、光ヘテロダイン検波により中間周波数帯の信号に変換されたサブキャリア多重信号の上側波帯成分 (+) と、搬送波成分とを L P F で除去した例を示している。

【 0 0 8 8 】

図 6 は、第 1 の実施形態における光伝送システム 1 の処理の流れを示すシーケンス図である。図 6 の処理開始時には、O N U 3 の上り信号が一度送信されているものとする。すなわち、光受信器 3 3 には、レーザ 3 4 から出力された光信号が入力されているものとする。

40

O L T 2 の光送信器 2 1 は、下り信号を生成する (ステップ S 1 0 1)。光送信器 2 1 は、生成した下り信号を光サーキュレータ 2 2 に送出する。光サーキュレータ 2 2 に入力された下り信号は、光ファイバ 4 に送出される (ステップ S 1 0 2)。

【 0 0 8 9 】

光ファイバ 4 を介して O N U 3 の光サーキュレータ 3 2 に入力された下り信号は、光受信器 3 3 に出力される。光受信器 3 3 は、光サーキュレータ 3 2 から出力された下り信号を受信する。光受信器 3 3 は、受信した下り信号を光ヘテロダイン検波することにより水平偏波の電気信号と、垂直偏波の電気信号を取得する (ステップ S 1 0 3)。なお、この際、光受信器 3 3 は、光ヘテロダイン検波に用いる局発光として、レーザ 3 4 から出力さ

50

れた光信号を用いる。水平偏波の電気信号は増幅器 336 - 1 に入力され、垂直偏波の電気信号は増幅器 336 - 2 に入力される。増幅器 336 - 1 は、水平偏波の電気信号を増幅する。増幅器 336 - 2 は、垂直偏波の電気信号を増幅する（ステップ S 104）。

【0090】

増幅器 336 - 1 は、増幅後の水平偏波の電気信号を包絡線検波器 337 - 1 及び AGC / AFC 制御器 339 に出力する。増幅器 336 - 2 は、増幅後の垂直偏波の電気信号を包絡線検波器 337 - 2 及び AGC / AFC 制御器 339 に出力する。

AGC / AFC 制御器 339 は、増幅器 336 - 1 及び 336 - 2 から出力された電気信号に基づいてレーザ 34 の周波数及び増幅器 336 - 1 , 336 - 2 の利得を制御する（ステップ S 105）。ここでは、レーザ 34 の周波数を制御する構成について具体的に説明する。

10

【0091】

AGC / AFC 制御器 339 は、増幅器 336 - 1 及び 336 - 2 から出力された電気信号に基づいて所望の中間周波数 (f_{IF}) からのずれを周波数弁別により検出する。AGC / AFC 制御器 339 は、検出した中間周波数 (f_{IF}) からのずれに応じて、レーザ 34 の周波数を制御する。

【0092】

その後、ONU 3 の光送信器 31 は、調整後のレーザ 34 を用いて上り信号を生成する（ステップ S 106）。光送信器 31 は、生成した上り信号を光サーキュレータ 32 に送出する。光サーキュレータ 32 に入力された上り信号は、光ファイバ 4 に送出される（ステップ S 107）。

20

【0093】

光ファイバ 4 を介してOLT 2 の光サーキュレータ 22 に入力された上り信号は、光受信器 23 に出力される。光受信器 23 は、光サーキュレータ 22 から出力された上り信号を受信する。光受信器 23 は、受信した上り信号を光ヘテロダイン検波することにより水平偏波の電気信号と、垂直偏波の電気信号を取得する（ステップ S 108）。なお、この際、光受信器 23 は、光ヘテロダイン検波に用いる局発光として、レーザ 24 から出力された光信号を用いる。取得された水平偏波の電気信号と、垂直偏波の電気信号とは、後段のフィルタ 236、A / D 変換器及びデジタル信号処理部 238 により復調される（ステップ S 109）。

30

【0094】

以上のように構成された第 1 の実施形態における光伝送システム 1 によれば、各 ONU 3 から送信される上り信号波長が、下り信号波長に対して光ヘテロダイン検波の中間周波数分だけずれた値に制御される。これにより、合波された光キャリア多重信号の各光サブキャリアの周波数軸上での重複を防ぐことができる。また、上り信号及び下り信号の受信に光イントラダイン検波器ではなく光ヘテロダイン検波器を用いることにより、送受信器の低コスト化を図ることができる。そのため、低コストで多重信号の光サブキャリアの周波数軸上における重複を抑制することが可能になる。

【0095】

本実施形態では、局部発振光源 232 及び局部発振光源 332 は、レーザが出力した光信号を局発光として利用している。これにより、光信号と局発光それぞれ別の光源を用意するよりも光源の数を減らす（例えば、半分）ことができる。そのため、装置のコストを削減することができる。

40

【0096】

（第 2 の実施形態）

第 1 の実施形態では、ONU 3 の光送信器として DSB の光送信器を用いた場合について説明した。第 2 の実施形態では、ONU 3 の光送信器として SSB の光送信器を用いた場合について説明する。

【0097】

図 7 は、第 2 の実施形態における光送信器 31 a の機能構成を表すブロック図である。

50

光送信器 31a は、シンボルマップ 151 - 1 ~ 151 - n、レーザ 154、シリアルパラレル変換部 156、周波数シフト部 158 - 1 ~ 158 - 2n、加算器 159、D/A変換器 160 - 1 ~ 160 - 2 及び両電極型光強度変調器 163 を備える。以下、第 1 の実施形態における光送信器 31 との相違点についてのみ説明する。

【0098】

周波数シフト部 158 - 1 ~ 158 - n は、シンボルマップ 151 - 1 ~ 151 - n に よってマッピングされたデータ信号を、周波数軸上で重ならないように移動する。周波数シフト部 158 - n + 1 ~ 158 - 2n にはゼロの値が入力される。この場合、周波数シフト部 158 - n + 1 ~ 158 - 2n からの出力はゼロとなる。

【0099】

加算器 159 は、周波数シフト部 158 - 1 ~ 158 - 2n それぞれから出力されたデータ信号を加算することによって周波数多重信号を生成する。図 8 の例では、加算器 159 は、周波数シフト部 158 - 1 ~ 158 - n それぞれから出力されたデータ信号を加算することによって周波数多重信号を生成する。

【0100】

D/A変換器 160 - 1 ~ 160 - 2 は、周波数多重信号をデジタルアナログ変換する。例えば、D/A変換器 160 - 1 は、周波数多重信号の実部（I 成分）をデジタルアナログ変換する。例えば、D/A変換器 160 - 2 は、周波数多重信号の虚部（Q 成分）をデジタルアナログ変換する。これにより、電気段で I 成分と Q 成分に分かれたサブキャリア多重信号が生成される。

【0101】

両電極型光強度変調器 163 は、レーザ 154 の出力光の強度を、I 成分と Q 成分に分かれたサブキャリア多重信号で光変調することによって変調信号を生成する。両電極型光強度変調器 163 には、I 成分又は Q 成分のいずれか一方の成分のサブキャリア多重信号が入力される。そのため、両電極型光強度変調器 163 は、上測波帯（+）、もしくは下測波帯（-）のいずれかの成分の変調信号を生成する。両電極型光強度変調器 163 は、生成した変調信号を、光ファイバを介して ONU 3 に送信する。

【0102】

図 7 に示す光送信器 31a で生成されるサブキャリアの変調信号は、搬送波周波数 f_0 に対して、 $\pm B_0$ の範囲で生成される。図 8 は搬送波を $f_0 + B_0 + B_1$ 以上の周波数位置に設定した場合の一例を示し、図 9 は搬送波を $f_0 - B_0 - B_1$ 以下の周波数位置に設定した場合の一例を示している。図 10 は搬送波を $f_0 - B_0 - B_1$ 以下の周波数位置に設定した場合の一例を示し、図 11 は搬送波を $f_0 + B_0 + B_1$ 以上の周波数位置に設定した場合の一例を示している。

【0103】

図 8 ~ 図 11 において、左図は光受信器において受信されたサブキャリア多重信号の周波数は位置を示す図であり、右図は光受信器の具体的な処理を説明するための図である。

図 8 の右図では、光ヘテロダイン検波を行い、LPF でサブキャリア多重信号の上測波帯成分（+）のみを抜き出す例を示している。その後、光受信器においては、これを AD 変換して、サブキャリア毎にデジタル信号処理を行い復調する。中間周波数帯に変換された搬送波成分は除去される。

図 9 の右図では、光ヘテロダイン検波を行い、LPF でサブキャリア多重信号の下測波帯成分（-）のみを抜き出し、LPF で搬送波成分を除去した例を示している。

【0104】

図 10 の右図では、光ヘテロダイン検波を行い、HPF でサブキャリア多重信号の上測波帯成分（+）のみを抜き出し、搬送波成分を除去した例を示している。

図 11 の右図では、光ヘテロダイン検波を行い、HPF でサブキャリア多重信号の下測波帯成分（-）のみを抜き出し、搬送波成分を除去した例を示している。

【0105】

以上のように構成された第 2 の実施形態における光伝送システム 1 によれば、安価な光へ

10

20

30

40

50

テロダイン検波器を用いて受信することができる。そのため、上り信号がSSBの場合においても低コストで多重信号の光サブキャリアの周波数軸上における重複を抑制することが可能になる。

【0106】

(変形例)

図7では、光送信器31aが上測波帯(+)の成分のみを含む変調信号を生成する例を示しているが、光送信器31aは下測波帯(-)の成分のみを含む変調信号を生成するように構成されてもよい。このように構成される場合、周波数シフト部158-1~158-nにはゼロの値が入力され、周波数シフト部158-n+1~158-2nにはシンボルマップ151-1~151-nによってマッピングされたデータ信号が入力される。周波数シフト部158-n+1~158-2nは、シンボルマップ151-1~151-nによってマッピングされたデータ信号を、周波数軸上で重ならないように移動する。

10

【0107】

(第3の実施形態)

第1の実施形態では、反射光の影響を回避するために、光ヘテロダイン検波における中間周波数を大きく設定する必要があり、使用する電気部品の帯域が増大するという問題がある。そこで、第3の実施形態では、OLTが下り信号としてSSB信号(もしくはVSB(Vestigial Sideband Modulation: 残留側波帯変調)信号)を用いる構成について説明する。

【0108】

20

図12は、第3の実施形態における光伝送システム1bの構成を表す図である。図12では、光伝送システム1bを、PONシステムに適用した場合を示している。光伝送システム1bは、OLT2bと、ONU3bとを備える。OLT2bと、ONU3bとは、光ファイバ4を介して接続されている。図12では、ONU3bの台数を1台としているが、光伝送システム1bにはONU3bが複数台備えられてもよい。

【0109】

第1の実施形態と異なる点は、OLT2bが、下り信号としてSSB信号(もしくはVSB信号)を用いる点である。

OLT2bは、光送信器21b、光サーキュレータ22及び光受信器23を備える。

光送信器21bは、下り信号を生成し、生成した下り信号をONU3bに送信する。光送信器21bにおいてサブキャリア多重信号を用いる場合、光送信器21bの具体的な構成は図7や図16のようになる。なお、中間周波数の設定は、 $B_0 + B_1 > |f_1 - f_0|$ ($= f_{IF}$) $> B_1$ である。下り信号にSSB信号を用いることにより、上記の各実施形態よりも中間周波数 f_{IF} の値を低く設定することが可能になる。図12では、下り信号として光IQ変調器を用いてSSB信号を生成する場合を例に説明する。

30

【0110】

光送信器21bは、レーザ24、光分岐器25及び光IQ変調器27を含んで構成される。なお、図12では、省略している光送信器21bには、光IQ変調器27の前に、図7や図16示す各構成が設けられる。

光IQ変調器27は、レーザ24の出力光を、I成分とQ成分に分かれたサブキャリア多重信号で光変調することによって変調信号を生成する。ここで、光送信器21bにおいてシングルキャリア変調によるSSB信号やVSB信号の生成方法として、以下の参考文献2(SSB信号)及び3(VSB信号)の技術が用いられてもよい。

40

(参考文献2: "SPM effect on carrier-suppressed optical SSB transmission with NRZ and RZ formats", IET Electron. Lett., Vol. 14, No. 18, pp. 1150-1151, 2004.)

(参考文献3: "Dispersion compensation for homodyne detection systems using a 10-Gb/s optical PSK-VSB signal", IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 7, No 8, pp. 929-931, 1995.)

【0111】

ONU3bが送信する上りサブキャリア多重信号の送信において、上り信号がSSB変

50

調の場合には下り信号から遠い周波数位置の側波帯を生成する。

OLT 2bは、上りサブキャリア多重信号の受信時にHPFにより所望の側波帯を抜き出す。上り信号がDSB変調の場合、下り信号の反射成分と局発光に近い周波数位置の側波帯成分が周波数軸上で重複するが、本側波帯成分は利用しないため問題は生じない。

【0112】

以上のように構成された第3の実施形態における光伝送システム1bによれば、第1の実施形態と同様の効果を得ることができる。

さらに、光伝送システム1bによれば、OLT 2bが下り信号としてSSB信号もしくはVSB信号を用いるため、使用する電気部品の帯域を抑制することができる。

第3の実施形態では、OLT 2bが受信時に受信信号の側波帯のうち、局発光から遠い方の側波帯のみをフィルタで切り出すことで、 f_0 と f_1 の中間周波数を第1及び第2の実施形態に比べて小さくすることができる。したがって、光受信器に求められる帯域を削減することができ、低コスト化が期待できる。

【0113】

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】

【0114】

本発明は、サブキャリア多重を行う光アクセスシステムに適用できる。

【符号の説明】

【0115】

2...OLT, 3...ONU, 4...光ファイバ, 21、31...光送信器, 22、32...光サーキュレータ, 23、33...光受信器, 24、34...レーザ, 25、35...光分岐器, 26、36...光強度変調器, 231、233、331、333...PBS, 232、332...局部発振光源, 234-1、234-2、334-1、334-2...カプラ, 235-1、235-2、335-1、335-2...バランスド受信器, 236-1、236-2...フィルタ, 237-1、237-2...A/D変換器, 238...デジタル信号処理部, 336-1、336-2...増幅器, 337-1、337-2...包絡線検波器, 338...加算器, 339...AGC/AFC制御器

10

20

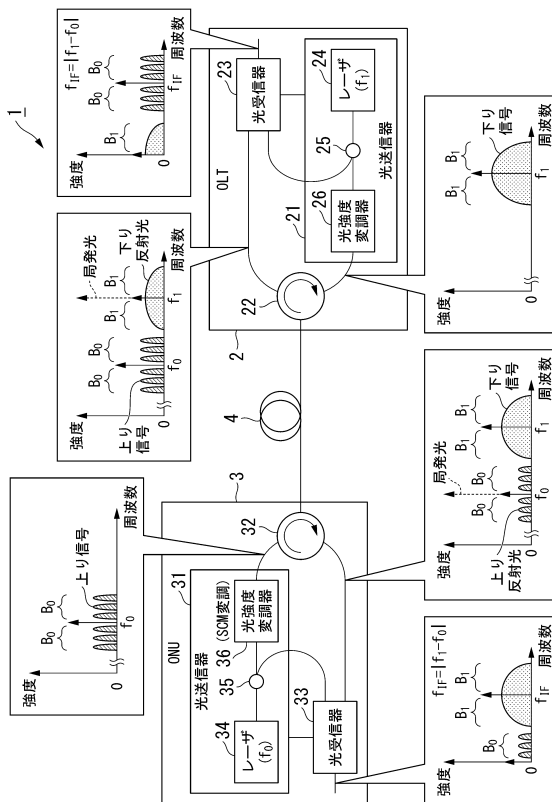
30

40

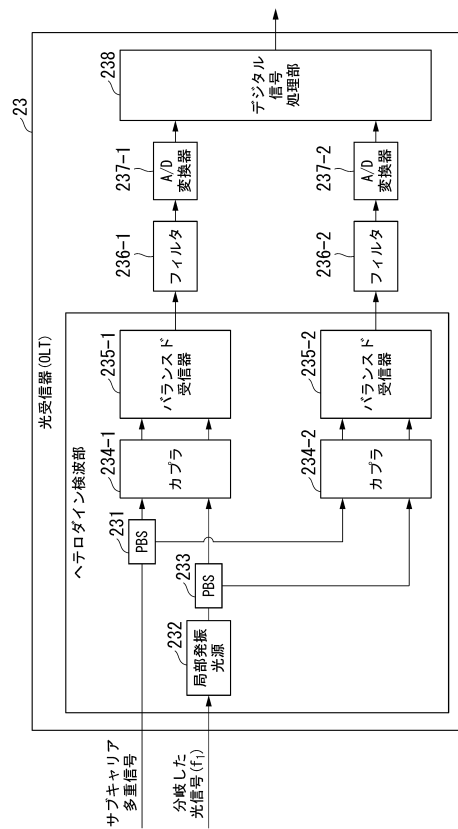
50

【図面】

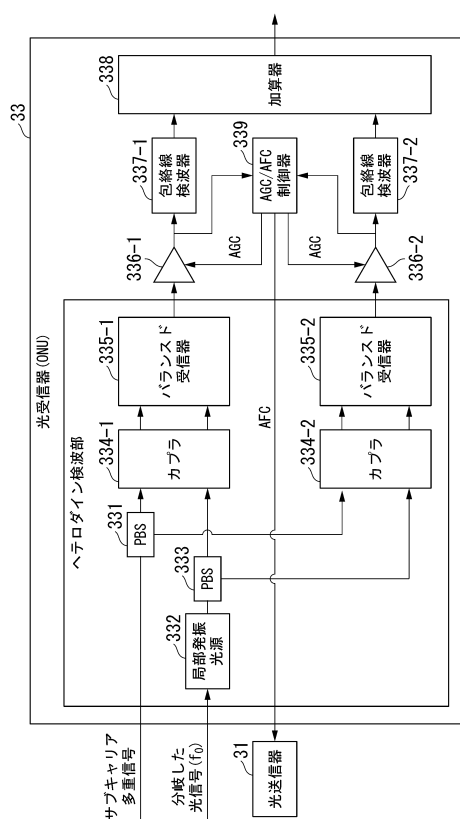
【図 1】



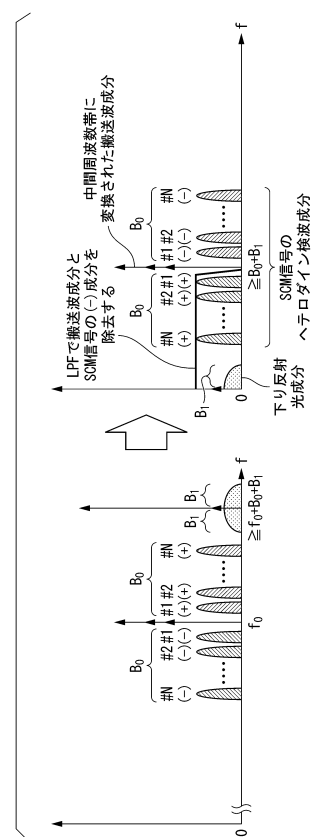
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

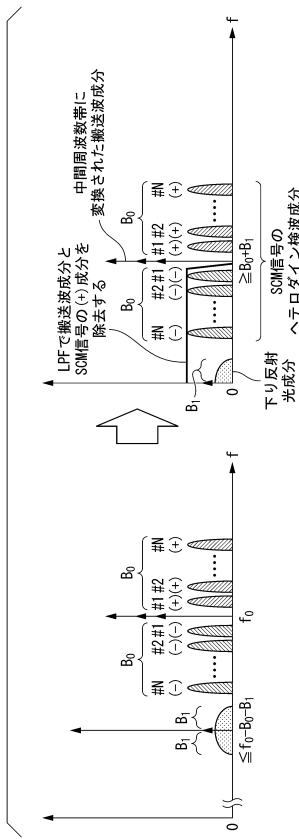
20

30

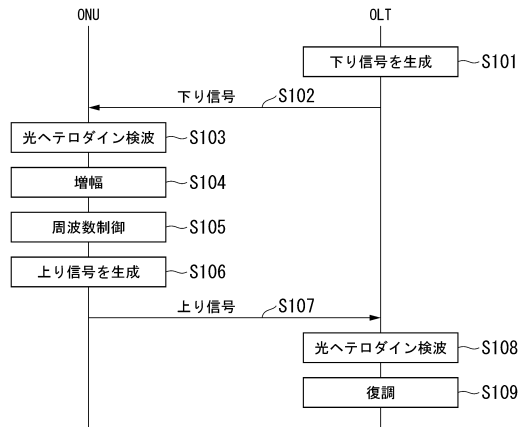
40

50

【図 5】



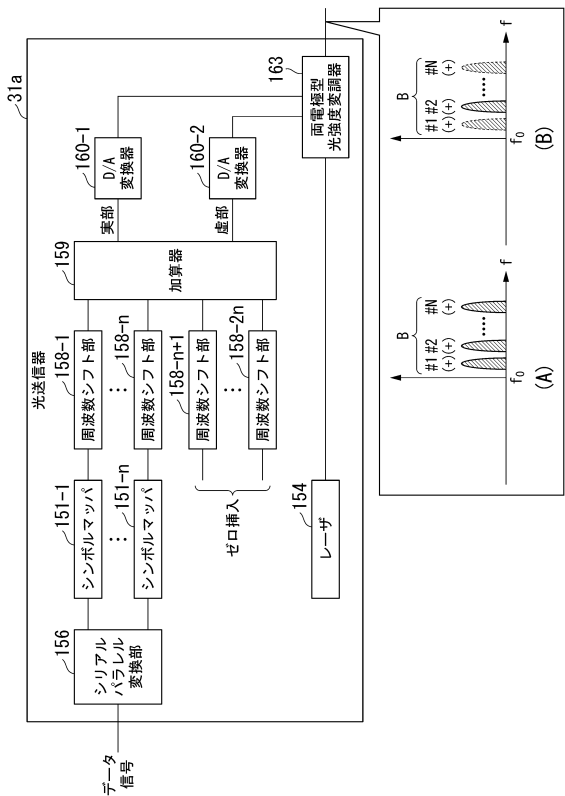
【図 6】



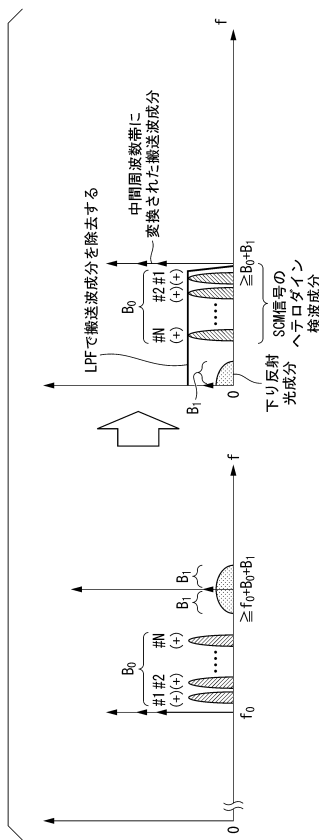
10

20

【図 7】



【図 8】

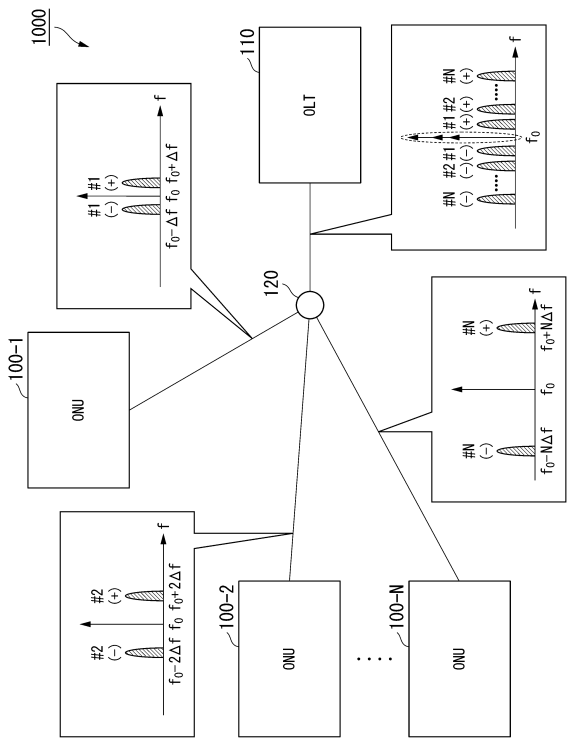


30

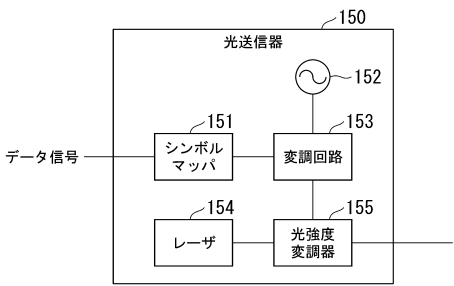
40

50

【図 1 3】



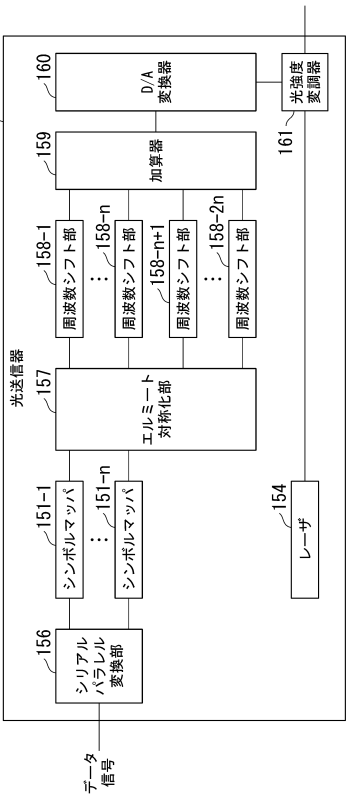
【図 1 4】



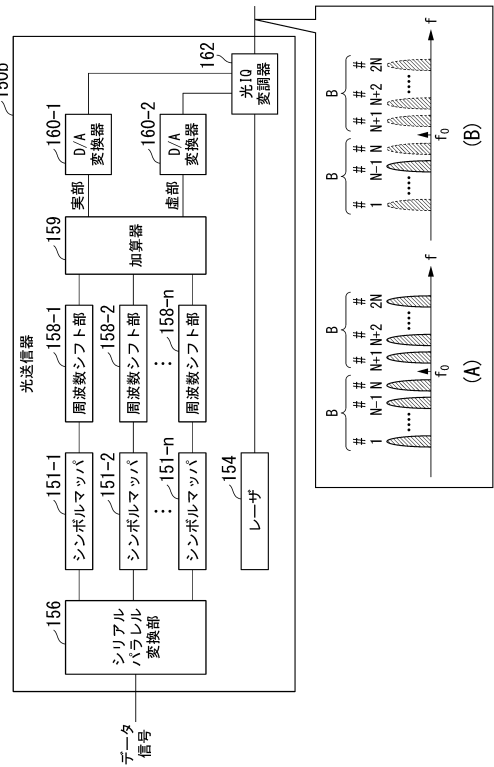
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

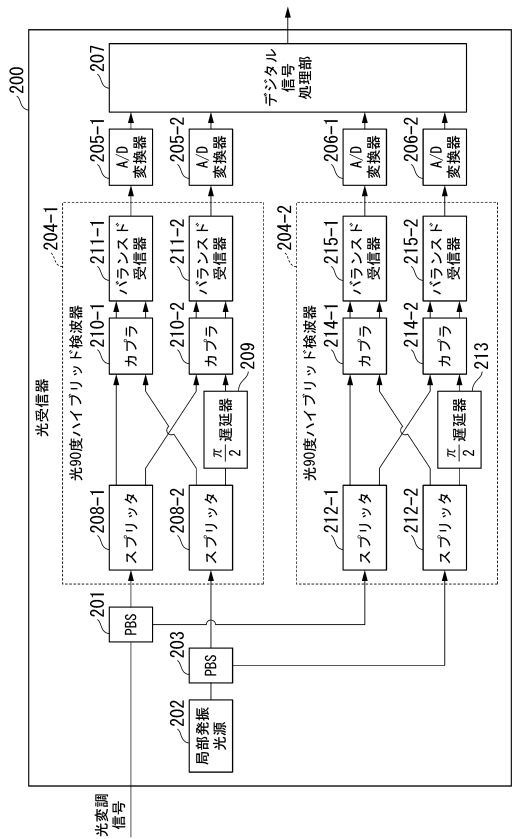


30

40

50

【図 17】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特表 2 0 1 9 - 5 1 7 1 7 6 (J P , A)
Ming Zhu et al. , Radio-Over-Fiber Access Architecture for Integrated Broadband Wireless Services , Journal of Lightwave Technology , 2013年10月21日 , Vol. 31, No. 23 , pp. 3614-3620
- (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
I E E E X p l o r e