

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5905356号
(P5905356)

(45) 発行日 平成28年4月20日 (2016. 4. 20)

(24) 登録日 平成28年3月25日 (2016. 3. 25)

(51) Int. Cl. F I
HO 4 B 10/556 (2013. 01) HO 4 B 9/00 5 5 6
GO 2 F 1/01 (2006. 01) GO 2 F 1/01 C

請求項の数 4 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2012-157592 (P2012-157592)	(73) 特許権者	000208891
(22) 出願日	平成24年7月13日 (2012. 7. 13)		K D D I 株式会社
(65) 公開番号	特開2014-22827 (P2014-22827A)		東京都新宿区西新宿二丁目 3 番 2 号
(43) 公開日	平成26年2月3日 (2014. 2. 3)	(74) 代理人	100092772
審査請求日	平成27年1月21日 (2015. 1. 21)		弁理士 阪本 清孝
		(74) 代理人	100084870
			弁理士 田中 香樹
		(74) 代理人	100119688
			弁理士 田邊 壽二
		(72) 発明者	崔 賢瑛
			埼玉県ふじみ野市大原二丁目 1 番 1 5 号
			株式会社 K D D I 研究所内
		(72) 発明者	釣谷 剛宏
			埼玉県ふじみ野市大原二丁目 1 番 1 5 号
			株式会社 K D D I 研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 64 QAM光信号を生成する送信装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

4つの独立した2値駆動信号によって独立して駆動される2つの副マッハツェンダ変調器を備え、異なったシンボル間距離を有する4角形配置のシンボルを生成し、該4角形配置のシンボルを結合して64値直交振幅変調(64QAM)の16のシンボルを生成し、該16のシンボルで光信号を変調する周波数偏移キューイング変調器と、

2つの独立した2値駆動信号によって独立して駆動される2つの副マッハツェンダ変調器を備え、前記周波数偏移キューイング変調器により変調された光信号を4等位相で変調して64QAM光信号を生成するデュアルパラレルマッハツェンダ変調器と、を備えることを特徴とする送信装置。

【請求項 2】

前記周波数偏移キューイング変調器の4つの駆動信号の振幅($A_1 \sim A_4$)、およびバイアス電圧(v_a 、 v_b 、および v_c)が、光信号の振幅と位相を操作するために調整されることを特徴とする請求項1に記載の送信装置。

【請求項 3】

前記周波数偏移キューイング変調器の変調条件は、 $A_1 = A_2 = 0.25V$ 、 $A_3 = A_4 = 0.56V$ 、 $v_a = v_b = 0.5V$ 、および $v_c = 0$ (Vは前記副マッハツェンダ変調器のスイッチング電圧)で、64QAMコンスタレーションのうち、16のシンボルを作ること特徴とする請求項2に記載の送信装置。

【請求項 4】

4つの独立した2値駆動信号によって独立して駆動される2つの副マツハツェンダ変調器を備えた周波数偏移キューイング変調器が、異なるシンボル間距離を有する4角形配置のシンボルを生成し、該4角形配置のシンボルを結合して64値直交振幅変調(64QAM)の16のシンボルを生成し、該16のシンボルで光信号を変調するステップと、

2つの独立した2値駆動信号によって独立して駆動される2つの副マツハツェンダ変調器を備えたデュアルパラレルマツハツェンダ変調器が、前記周波数偏移キューイング変調器により変調された光信号を4等位相で変調して64QAM光信号を生成するステップと

、を含むことを特徴とする64QAM光信号を生成するための方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、光通信装置および光ファイバリンクを備える光通信システムにおいて使用される64値直交振幅変調(64QAM、64-ary quadrature amplitude modulation)光信号を生成する送信装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

波長分割多重(WDM)システムにおいて、高い周波数利用効率を得るための変調方式として、64値直交振幅変調(64QAM)方式は有望な方法の一つである。これまで、64QAM光信号を生成するための方法は、いくつか提案されている。

20

【0003】

非特許文献1および非特許文献2では、64QAM光信号は、主MZ干渉計の中に統合された2つの副MZMを備える1つのデュアルパラレルマツハツェンダ変調器(DP-MZM)を使用することによって生成される(図6(a)および(図6(b)))。64QAM光信号生成のため、DP-MZMの各MZMは、電気8値符号化信号によって駆動され、この8値符号化信号は、光電気スキーム(非特許文献1)または高速デジタルアナログ変換器(DAC)(非特許文献2)のいずれかによって合成される。

【0004】

非特許文献3では、電気2値駆動信号による新しい送信器が提案され、実証される。この送信器の技術は、シリカ平面光波回路(PLC: planar lightwave circuit)とLiNbO₃位相変調器の混成集積に基づいている(図6(c))。

30

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】A. H. Gnauck, et al., JLT, vol. 30, 2012, pp. 532-536

【非特許文献2】J. Yu, et al., OFC/NFOEC2010, OThM1

【非特許文献3】A. Sano, et al., ECOC2009, PD2.2

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

40

しかしながら、高分解能で高サンプリングレートなDACはまだ未成熟な部分が多く、電気の多値符号化信号を増幅するための高速な駆動増幅器が要求されるため、非特許文献1および非特許文献2の方法は、シンボルレートを増加する際に問題を有している。また、非特許文献3の送信器によって生成された、20ギガボア偏波多重64QAM光信号の性能は、良くなく、ビットエラーレート(BER)の下限は 10^{-2} BER程度である。さらに、この送信器は非常に複雑で結合器および位相シフト器のような多くの制御パラメータを有する。

【0007】

したがって、本発明は、電気の8値符号化信号やシリカ平面光波回路とLiNbO₃位相変調器の混成集積光回路を使用することなしに、高効率で64QAM光信号を生成する

50

送信装置および方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するため本発明の送信装置は、4つの独立した2値駆動信号によって独立して駆動される2つの副マッハツェンダ変調器を備え、異なったシンボル間距離を有する4角形配置のシンボルを生成し、該4角形配置のシンボルを結合して64値直交振幅変調(64QAM)の16のシンボルを生成し、該16のシンボルで光信号を変調する周波数偏移キューイング変調器と、2つの独立した2値駆動信号によって独立して駆動される2つの副マッハツェンダ変調器を備え、前記周波数偏移キューイング変調器により変調された光信号を4等位相で変調して64QAM光信号を生成するデュアルパラレルマッハツェンダ変調器とを備える。

10

【0011】

また、前記周波数偏移キューイング変調器の4つの駆動信号の振幅($A_1 \sim A_4$)、およびバイアス電圧(v_a 、 v_b 、および v_c)は、光信号の振幅と位相を操作するために調整されることも好ましい。

【0012】

また、前記周波数偏移キューイング変調器の変調条件は、 $A_1 = A_2 = 0.25V$ 、 $A_3 = A_4 = 0.56V$ 、 $v_a = v_b = 0.5V$ 、および $v_c = 0$ (V は前記副マッハツェンダ変調器のスイッチング電圧)で、64QAMのコンスタレーションのうち、16のシンボルを作ることも好ましい。

20

【0013】

また、前記デュアルパラレルマッハツェンダ変調器は、2つの副マッハツェンダ変調器を備え、各副マッハツェンダ変調器は、2つの独立した2値駆動信号によって、独立して駆動されることも好ましい。

【0014】

上記課題を解決するため本発明の64QAM光信号を生成するための方法は、4つの独立した2値駆動信号によって独立して駆動される2つの副マッハツェンダ変調器を備えた周波数偏移キューイング変調器が、異なったシンボル間距離を有する4角形配置のシンボルを生成し、該4角形配置のシンボルを結合して64値直交振幅変調(64QAM)の16のシンボルを生成し、該16のシンボルで光信号を変調するステップと、2つの独立した2値駆動信号によって独立して駆動される2つの副マッハツェンダ変調器を備えたデュアルパラレルマッハツェンダ変調器が、前記周波数偏移キューイング変調器により変調された光信号を4等位相で変調して64QAM光信号を生成するステップとを含む。

30

【発明の効果】

【0015】

高速64QAM信号(>20ギガボア)は、高速DACまたは高速多値レベル駆動増幅器の問題のため、今まで品質の高い64QAM信号を生成することが困難であった。しかしながら、本発明の送信装置は、高速DACまたは高速多値レベル駆動増幅器を用いることなく、一般的な商用の光変調器と、多値レベルの電気信号ではなく電気の2値駆動信号を使用して、効率的に高速64QAM光信号を生成することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の送信装置の構成を示す。

【図2】本発明のFSK変調器の動作を示す。

【図3】本発明のFSK変調器での加算手順と出力信号を示す。

【図4】本発明の送信装置の最終的な出力信号を示す。

【図5】シミュレーションによる各変調器での出力シンボルとシンボル間の全ての遷移を含む信号の軌跡を示す。

【図6】64QAM光信号を生成する既存の装置例を示す。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 1 7 】

本発明を実施するための最良の実施形態について、以下では図面を用いて詳細に説明する。図 1 は、本発明の送信装置の構成を示す。本送信装置は、レーザ光源 1 と光位相変調部 2 を備え、光位相変調部 2 は、直列に並べられた周波数偏移キューイング (F S K) 変調器 2 1、およびデュアルパラレルマツハツェンダ (D P - M Z M) 変調器 2 2 を備える。

【 0 0 1 8 】

F S K 変調器 2 1 の構成は、F S K 変調器 2 1 の各副 M Z M が二重進行波電極を有していること以外、D P - M Z M 2 2 の構成と同じである。一方、D P - M Z M 2 2 は x - c u t M Z M の組を備えるため、D P - M Z M 2 2 の各副 M Z M は単一電極を有している。

10

【 0 0 1 9 】

光位相変調部 2 は、レーザ光源 1 からの連続光を、入力 2 値電気信号のデータ 1 ($v_1(t)$)、データ 2 ($v_2(t)$)、データ 3 ($v_3(t)$)、データ 4 ($v_4(t)$)、データ 5 ($v_5(t)$)、およびデータ 6 ($v_6(t)$) により光位相変調を行い、位相変調光信号を光伝送路に出力する。4 つの独立した 2 値電気信号 ($v_1(t) \sim v_4(t)$) によって、F S K 変調器 2 1 を駆動し、最初に 6 4 Q A M 光信号コンスタレーションの 1 6 シンボル点を作成する。その後、2 つの独立した 2 値電気信号 ($v_5(t) \sim v_6(t)$) によって、D P - M Z M 2 2 を駆動する。これらの信号の位相が、Q P S K (quadrature phase shift keying) 光信号と同じ 4 等位相で変調され、結果として 6 4 Q A M 光信号が生成される。

20

【 0 0 2 0 】

F S K 変調器 2 1 は、2 つのデュアルドライブマツハツェンダ変調器 (D D - M Z M) を並列に備える。連続光が 2 つに分岐され、さらに 2 つに分岐された後、各 M Z M で駆動信号により振幅および位相を操作し、合波され出力される。駆動信号の大きさを調整することによって光信号のチャープを制御することができるため、光信号の振幅と位相を操作することができる。F S K 変調器 2 1 では、統合された 4 つの M Z M を独立に利用することができる。このため、図 1 に示すように、F S K 変調器 2 1 は、各 M Z M に 4 つの独立した 2 値データを与えることによって、6 4 Q A M 光信号の 1 6 シンボル点を生成することができる。

【 0 0 2 1 】

F S K 変調器 2 1 の 2 つのデュアルドライブマツハツェンダ変調器を、 $M Z M_A$ と $M Z M_B$ とする。各駆動信号と対応する駆動電圧は、 $v_1(t) \sim v_4(t)$ 、 $A_1 \sim A_4$ と表される。すべての M Z M の分岐 / 合成比を同じであると仮定し、 $M Z M_A$ と $M Z M_B$ の伝達関数をそれぞれ $H_A(t)$ と $H_B(t)$ とすると、F S K 変調器 2 1 の出力信号 $E_o(t)$ は、

30

【 数 1 】

$$E_o(t) = \frac{E_{in}(t)}{2} \left\{ H_A(t) + \exp\left(\frac{j\pi v_c}{V_\pi}\right) \cdot H_B(t) \right\}$$

と表される。ここで、 $E_{in}(t)$ は入力光信号であり、 V は M Z M のスイッチング電圧であり、 v_c は F S K 変調器 2 1 の主 M Z M 干渉系のバイアス電圧である。各伝達関数 $H_A(t)$ と $H_B(t)$ は、

40

【 数 2 】

$$H_A(t) = \frac{1}{2} \left\{ \exp\left(\frac{j\pi A_1 v_1(t) + j\pi v_a}{V_\pi}\right) + \exp\left(\frac{j\pi A_2 v_2(t)}{V_\pi}\right) \right\}$$

$$H_B(t) = \frac{1}{2} \left\{ \exp\left(\frac{j\pi A_3 v_3(t) + j\pi v_b}{V_\pi}\right) + \exp\left(\frac{j\pi A_4 v_4(t)}{V_\pi}\right) \right\}$$

と表される。ここで、 v_a と v_b は、それぞれ $M Z M_A$ と $M Z M_B$ のバイアス電圧である

50

。この関係から、7つのパラメータ (A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 v_a 、 v_b 、 v_c) を調節することによって、64QAMコンスタレーションの四分円の中に16シンボルを生成するためのFSK変調器21の変調条件を見つけることができる。

【0022】

図2は、本発明のFSK変調器の動作を示す。図2で白丸と黒丸はそれぞれMZMAとMZMBの入力と結果を表す。この中で白丸の小円と黒丸の小円は、それぞれMZMAとMZMBの入力データシンボルを表し、白丸の大円と黒丸の大円は、それぞれMZMAとMZMBの出力結果のデータシンボルを表す。FSK変調器21の出力信号は、 $v_c = 0$ のとき、MZMAとMZMBの出力間の単純な和の結果であるため、MZMAとMZMBは、図2に示されたような異なったシンボル間距離を有する4角形の配置を生成する。

10

【0023】

2つの出力信号から、16シンボルが以下のように生成される。FSK変調器21の出力で64QAMコンスタレーションの正しい、16シンボル点を得るため、次の2つの条件が要求される。

【数3】

$$i) \quad 2\sin\phi_A = \sin\phi_B$$

$$ii) \quad \cos\phi_A + \cos\phi_B = 2\sin\phi_B$$

ここで、

20

【数4】

$$\phi_A = \frac{\pi A_1}{2V_\pi} \left(= \frac{\pi A_2}{2V_\pi} \right), \quad \phi_B = \frac{\pi A_3}{2V_\pi} \left(= \frac{\pi A_4}{2V_\pi} \right)$$

である。

【0024】

第1の条件は、MZMBの出力のシンボル間の距離がMZMAの出力のシンボル間の距離の2倍であることを意味している。第2の条件は、2つの4角形配置間の距離に関係し、MZMAの出力とMZMBの出力とを加算して、16のシンボルを作成した時、各シンボル間の距離が等しくなるための条件である。これらの条件から、FSK変調器21の変調条件を以下のように、見つけることができる。 $A_1 = A_2 = 0.25V$ と $v_a = 0.5V$ であるとき、MZMAの出力は4角形になり、 $A_3 = A_4 = 0.56V$ と $v_b = 0.5V$ であるとき、MZMBの出力は、図2に示されるように、MZMAの出力より大きい4角形になる。

30

【0025】

図3は、本発明のFSK変調器での加算手順と最終的な出力信号を示す。図3(a)は、MZMAの出力シンボル(白丸)とMZMBの出力シンボル(黒丸)を、同じ平面上においた図である。図3(b)は、MZMBの各シンボルがMZMAの出力シンボルと結合されることを示す。一番左の図は、MZMBの左下のシンボルとMZMAの各出力シンボルとの結合を示し、結合されたシンボルは、二重丸で表される。同様に、他の図でMZMBの右下のシンボル、左上のシンボル、右上のシンボルとMZMAの各出力シンボルとの結合が、二重丸で表される。結果的に、FSK変調器21の出力で、図3(c)に示される、64QAMコンスタレーションの四分円の中に置かれた16シンボルを生成することができる。

40

【0026】

この後、DP-MZM22に、駆動信号 $v_5(t)$ 、 $v_6(t)$ を入力する。これにより、最終的に64QAMコンスタレーションが得られる。図4は、本送信装置の出力での64QAMコンスタレーションを示す。

【0027】

図5は、シミュレーションによる各変調器での出力シンボルとシンボル間の全ての遷移

50

を含む信号の軌跡を示す。図5(a)は、各変調器での出力シンボルを示し、図5(b)は、シンボル間の全ての遷移を含む信号の軌跡を示す。それぞれ、左から、MZM_A、MZM_B、FSK変調器21、DP-MZM変調器22の出力結果を示す。

【0028】

以上のように、本発明の送信装置は、商用的に利用可能であるFSK変調器、およびDP-MZM変調器を利用して、電気2値信号により効果的に64QAM光信号を生成することができる。

【0029】

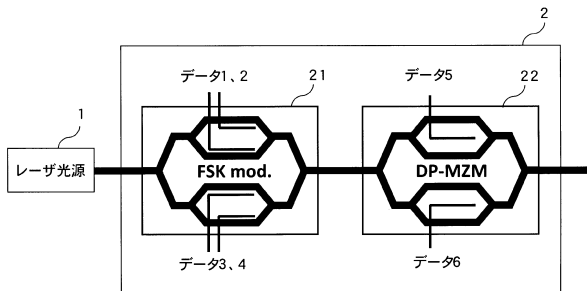
また、以上述べた実施形態は全て本発明を例示的に示すものであって限定的に示すものではなく、本発明は他の種々の変形態様および変更態様で実施することができる。従って本発明の範囲は特許請求の範囲およびその均等範囲によってのみ規定されるものである。

【符号の説明】

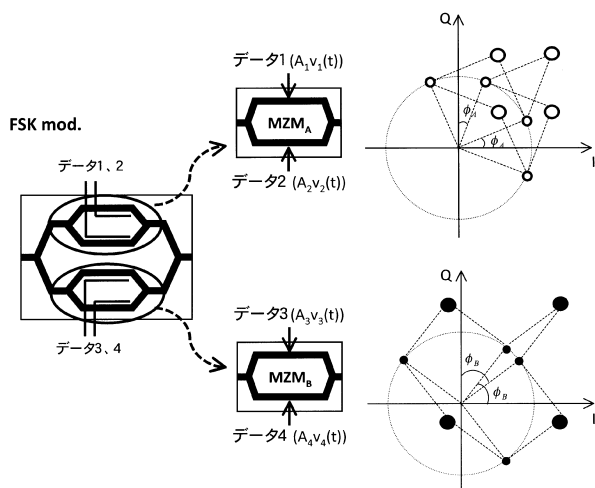
【0030】

- 1 レーザ光源
- 2 光位相変調部
- 21 周波数偏移キューイング(FSK)変調器
- 22 デュアルパラレルマッハツェンダ(DP-MZM)変調器

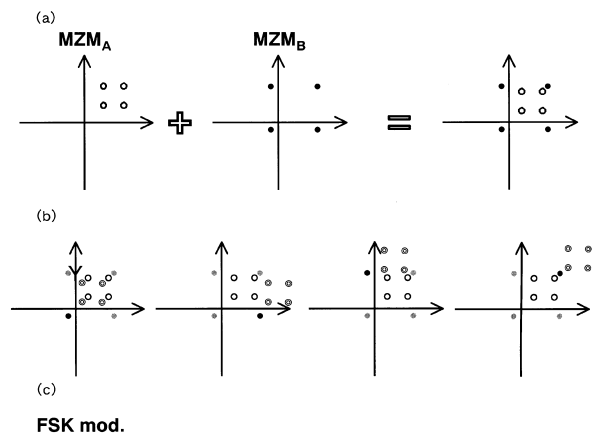
【図1】



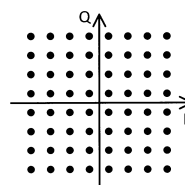
【図2】



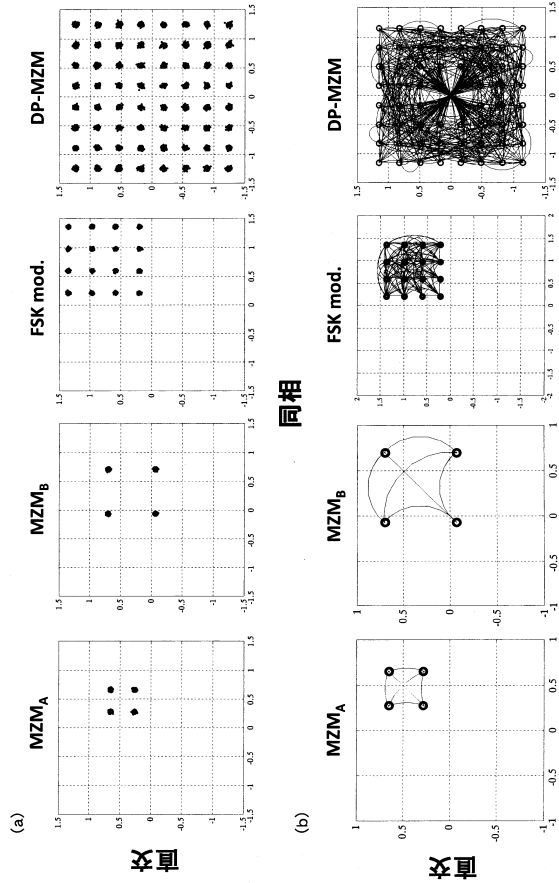
【図3】



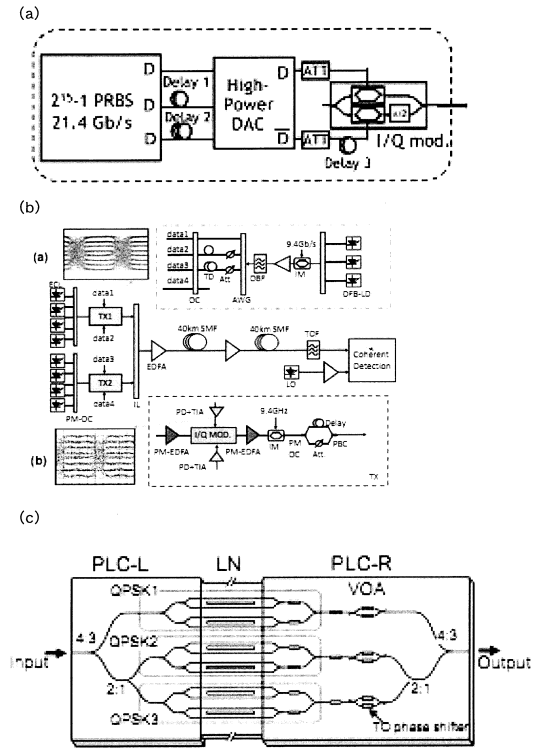
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

審査官 前田 典之

(56)参考文献 特表2011-529647(JP,A)

Guo-Wei Lu 他, 「40-Gbaud 16-QAM transmitter using tandem IQ modulators with binary driving electronic signals」, Optics Express, 2010年10月, Vol.18 No.22, p.23062-23069

M. Secondini et al., Novel optical modulation scheme for 16-QAM format with quadrant differential encoding, International Conference on Photonics in Switching, 2009. PS '09, 米国, IEEE, 2009年9月15日, pages.1-2

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 10/556

G02F 1/01