

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4031076号
(P4031076)

(45) 発行日 平成20年1月9日(2008.1.9)

(24) 登録日 平成19年10月26日(2007.10.26)

(51) Int. Cl.

G02F 1/01 (2006.01)

F I

G02F 1/01

B

請求項の数 11 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願平8-340738	(73) 特許権者	390035493
(22) 出願日	平成8年12月20日(1996.12.20)		エイ・ティ・アンド・ティ・コーポレーション
(65) 公開番号	特開平9-197354		AT&T CORP.
(43) 公開日	平成9年7月31日(1997.7.31)		アメリカ合衆国 10013-2412
審査請求日	平成15年12月19日(2003.12.19)		ニューヨーク ニューヨーク アヴェニュー
(31) 優先権主張番号	08/580869		オブ ジ アメリカズ 32
(32) 優先日	平成7年12月29日(1995.12.29)	(74) 代理人	100064447
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 岡部 正夫
前置審査		(74) 代理人	100085176
			弁理士 加藤 伸晃
		(74) 代理人	100094112
			弁理士 岡部 譲
		(74) 代理人	100096943
			弁理士 臼井 伸一
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高性能光学的送信システム用の複雑な高調波を含む周期的波形を使用する同期偏光および位相変調

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定のデータ変調周波数でデータが変調される光信号を生成するための光信号源と、
上記光信号源に接続されるとともに、上記光信号の位相を変調するための位相変調器と

、
上記位相変調器に接続されるとともに、上記位相変調器の変調サイクルを制御するための、位相変調周波数を有する周期的制御信号を生成するための周期的波形発生器と、

上記位相変調器及び上記光信号源に接続されるとともに、上記データ変調周波数が上記位相変調周波数に等しくなるように上記データ変調周波数及び上記位相変調周波数を決定するクロックとを備える装置。

【請求項 2】

上記光信号源は、連続した波形の光信号発生器とデータ源とを含み、上記のクロックがデータ源に接続されるとともに、データが上記光信号上で変調される上記の所定のデータ変調周波数を確立する請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

上記波形発生器を上記位相変調器に接続するとともに、上記光信号と上記制御信号との間の相対的な遅れを選択的に変化させるための可変遅延素子をさらに含む請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

上記位相変調器が、上記クロックに位相ロックされる請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

上記位相変調器が、光信号に実質的に偏光変調を行わないで、光信号を光学的位相変調する請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

上記クロックは、上記の位相変調器が、上記の所定のデータ変調周波数に位相ロックされる周波数で光学的位相変調を行うように上記位相変調器に接続される請求項 5 に記載の装置。

【請求項 7】

上記制御信号が、 $f(t) = \sin(t + 0.6 \cdot \sin(t))$ で表される時間の関数 $f(t)$ である請求項 1 に記載の装置。

10

【請求項 8】

上記制御信号が $f(t) = \sin(t) + 0.4 \cdot \sin(2t) + 0.2 \cdot \sin(4t)$ で表される時間の関数 $f(t)$ である請求項 1 に記載の装置。

【請求項 9】

上記制御信号が、基本波周波数および少なくとも一つのより高い高調波周波数を持つ周期的信号である請求項 1 に記載の装置。

【請求項 10】

所定のデータ変調周波数でデータにより変調される光信号を受信することができ、変調サイクルの間の偏光状態の平均値がほぼゼロに等しくなるように、上記光信号の偏光をポアンカレの球面の少なくとも一部に沿って、トレースすることによって、上記光信号の偏光状態を変調するための偏光変調器と、

20

上記偏光変調器に接続されるとともに、偏光変調周波数が、上記の所定のデータ変調周波数にほぼ等しくなるように、上記偏光変調器の変調サイクルを制御するための偏光変調周波数を有する周期的制御信号を生成するための周期的波形発生器とからなる装置。

【請求項 11】

上記の所定のデータ変調周波数および上記の偏光変調周波数を決定するクロック周波数を持つ、上記波形発生器に接続しているクロックをさらに含む請求項 10 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

30

本発明は、情報の光学的送信に関し、より詳細には、高性能光学的送信システム用の複雑な高調波を含む周期的波形を使用する同期偏光および位相変調に関する。

【0002】

【従来の技術、及び、発明が解決しようとする課題】

光学的アンプ・レピータを使用する海底または大陸横断陸上光波送信システムで使用されるような非常に長い光ファイバ送信経路の性能は、送信経路を構成している光ファイバの全長にわたって累積する多くの障害によって低下する。通常、上記障害は、時間と共に変化し、受信信号の S/N 比をランダムに変動させる。上記障害は、例えば、光学的アンプで使用するエルビウムでドーピングした光ファイバの偏光孔開き（「PHB」）、および送信経路全体にわたる、色分散および光学的非直線性による波形歪によって生じる累積ノイズ効果により起こることがある。光学的キャリアの偏光を取り除くために、送信した光信号の偏光状況をスクランブルすると、PHB が低減し受信信号の S/N 比を改善することができる。

40

【0003】

本発明の同時係属出願である米国特許出願第 08 / 312、848 号には、ある装置が開示されているが、この装置の場合、偏光スクランプリング周波数は、送信機のビット速度を指定するクロック周波数として使用されている。上記技術により、波長分割多重化（「WDM」）システムでの光の帯域幅をより有効に使用することができる。このビット同期偏光スクランプリングは、また低速スクランプリングと高速スクランプリングの二つの方式の間の折り合いをつけるのに特に有利である。同期偏光スクランプリングの他に、重畳

50

した位相変調（「PM」）が、受信データ・パターンの孔開きを劇的に増大する場合がある。上記孔開きの増大は、光ファイバの色分散および非直線効果を通して行われるPMからビット同期振幅変調（「AM」）への変換によるものである。

【0004】

【課題を解決するための手段】

本発明は、単純な正弦波が含む高調波内容よりさらに複雑な高調波内容を持つ周期的波形によって、光信号の光学的位相および偏光を変調することにより、性能を改善する方法および装置を提供する。位相変調器は、その上で所定の周波数で、データが変調されている光信号を受信する。位相変調器は、基本波位相変調周波数が、光信号上でデータが変調された同じ所定の周波数と等しい場合に、複雑な高調波を持つ周期的波形によって、連続的に光信号の位相を変調する。本発明の他の実施例の場合には、偏光変調器は、さらに基本波偏光変調周波数が、光信号上でデータが変調されたのと同じものである所定の周波数と等しい場合に、複雑な高調波を持つ周期的波形によって、連続的に信号の偏光状態を変調することによって、光信号を処理する。連続的に変調するほかに、各変調サイクルの間の偏光状態の平均数値が、ほぼゼロに等しくなるように偏光変調が行われる。

10

【0005】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の実施を容易にする例示としての装置の簡単なブロック図である。図に示すように、本発明は、連続波形（「CW」）の光信号101を発生するためのレーザ100を含む。光信号101は、データ変調器102に送られ、このデータ変調器102は、変調光情報信号103を作る目的で、従来の方法により情報を加えるために上記信号を変調する。データ変調器102は、データ源104から、光信号101に加える信号データ116を受信する。データ変調器102は、ライン117上のクロック信号を通して、クロック106が指定した周波数で、光信号101を変調する。光情報信号103は、データ変調器102から位相変調器108へ送信される。位相変調器108は、その上でデータ信号の変調が行われた光学的キャリア（すなわち、光信号101）の位相を変調する。本発明の原理によれば、位相変調器108は周期的波形112によって駆動される。周期的波形112は、波形発生器110および可変遅延素子を使用して生成する。波形発生器110は、周期的制御信号111を生成する。周期的制御信号111は、クロック106と同じ基本周波数を持ち、さらにライン118上のクロック信号を通して、クロック106に位相ロックされる。

20

30

【0006】

光情報信号103によって運ばれる信号データ116と、周期的波形112との間の相対的な遅れは、可変遅延素子107によって決定される。図1に示すように、可変遅延素子107は波形発生器110に接続していて、周期的制御信号111を受信する。遅延は、上記位相変調器により、システムの送信性能を容易に最適化できるように設定される。例えば、遅延は遠隔地で受信したSN比またはQ係数が最大になるように設定することができる。しかし、可変遅延素子107は、使用しても使用しなくてもよいものであり、本発明のある実施例の場合には、取り外すことができることを強調しておきたい。周期的波形112により位相変調器108を駆動する方法は、位相変調器によって処理される光信号の電界を参照しながら説明する。

40

【0007】

【数1】

$$E(t) = A(t)e^{i(\omega t + \phi(t))} \quad (1)$$

但し、 ω は光学的キャリア周波数であり、 $\phi(t)$ は光信号105の位相角であり、 $A(t)$

50

t) は真の磁界振幅であり、輝度変調を含む。光位相 $\phi(t)$ は、下記の式 (2) で示すように、周期的関数 $f(x)$ により駆動される。

【0008】

【数2】

$$\phi(t) = \gamma + a f(\Omega t + \Psi) \quad (2)$$

但し、 a は光位相変調指数、 Ω は (ビット速度に対応する) 位相変調周波数、 Ψ は P M とデータ・ビットとの間の相対的な遅れであり、 γ は任意のオフセットである。時間関数 $f(t)$ は、位相波形発生器 110 で生成する。位相 Ψ を追加の選択的調整可能なパラメータとして導入することにより、非ゼロ復帰 (「NRZ」) 変調書式を使用したとき、性能に悪影響を与える種々の振幅エラーを軽減することができる。振幅エラーは、アンプ・ノイズ、色分散および光ファイバの非直線性を含む種々の要因によって起こる場合がある。

すでに説明したように、信号と光ファイバの色分散および屈折非直線指数との間の相互作用により生じる偏光および位相変調の変換から生成された A M は、A M の位相をデータに対して適当に調整すれば、有利に使用することができる。信号に対するノイズ以外の障害を調査するためのグラフによる方法は、アイ・ダイアグラムとして、通常の当業者には周知である。生成される A M は、受信データのアイを「開く」ことができ、エラーの振幅のタイプによるアイの閉鎖を確実に行うことができる。適当に位相 Ψ を調整することによって、アイの開きを改善することができる。動作中、位相 Ψ は、受信光信号の S N 比 (「S N R」) が最適になるまで、可変遅延素子 107 によって調整される。

【0009】

図2 - 図5 は、光情報信号 103 を位相変調するのに使用される周期的波形 $f(t)$ のいくつかの例である (図1)。図2 に示す波形は、上記共出願に開示されている単純な正弦波信号である。図3 - 図5 に示す波形は、本発明の原理による光学的送信システムの性能を改善するために設計された、もっと複雑な高調波内容を含む波形のいくつかの例である。図3 に示す波形は、帯域幅制限矩形波または有限遷移領域を持つ矩形波である。この波形は、データ・ビットの縁部に時変位相を加えるために使用される。当業者にとっては周知のように、時変位相は、下記式が示す関係による周期的の変化と同じものである。

【数3】

$$\Delta f = \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (3)$$

但し、 Δf は周波数偏差である。

【0010】

図4 および図5 に示す波形は、ランプ関数への実際の近似のいくつかの例である。図4 に示す波形は、正弦波周波数変調が行われた正弦波であり、下記の式によって表される。

【数4】

$$f(t) = \sin(t + 0.6 * \sin(t)) \quad (4)$$

【0011】

図5 に示す波形は、一連の正弦波信号によって発生するもので、下記の式によって表され

10

20

30

40

50

る。

【数 5】

$$f(t) = \sin(t) + 0.4 * \sin(2t) + 0.2 * \sin(4t) \quad (5)$$

【 0 0 1 2 】

図 6 は、偏光変調機能が図 1 の装置の出力に追加された本発明の他の実施例である。レーザ 300 は CW 光信号 301 を発生する。光信号 301 は、データ変調器 302 に送られ、このデータ変調器 302 は、変調光情報信号 303 を作る目的で、従来の方法により情報を加えるために上記信号を変調し、変調光情報信号 303 を作る。データ変調器 302 は、データ源 304 から、光信号 301 に加える信号データ受信し、クロック信号 337 により、クロック 306 が指定した周波数で、光信号 301 を変調する。光情報信号 303 は、データ変調器 302 から位相変調器 308 へ送られ、位相変調器 308 は、光情報信号 303 の位相を変調する。位相変調器 308 は、図 1 のところすでに説明したような動作を行う。位相変調器 308 からの位相変調信号 330 は、偏光変調器 311 に送られ、この偏光変調器 311 は光情報信号 303 の偏光状態（「SOP」）を変調する。偏光変調器 311 は、変調周期の間に平均された好適な SOP を持たないような方法で、光情報信号の SOP を変更する。従って、出力信号 314 は、ほぼゼロの偏光を受けていて、スクランプリングによる偏光を受けていると呼ばれる。偏光変調器 311 の動作の一例を説明すると、光情報信号 303 の SOP は、ポアンカレの球面上に完全な大きな円を描く。別の場合、光信号の SOP は、ポアンカレの球面上を往復する。どちらの場合でも、各変調サイクルの間の SOP の平均値はほぼゼロに等しい。本発明で 사용할ことができる偏光変調器 108 の一例が、米国特許第 5、327、511 号、特にその明細書の図 3 に開示されている。

【 0 0 1 3 】

本発明によれば、偏光変調器 311 は偏光波形発生器 312 が発生する周期的波形 316 によって駆動される。図 1 の実施例と同じように、周期的波形 316 は、本発明の原理に従って、図 2 - 図 5 に示す例示としての波形の中の任意の波形をとることができる。この周期的波形は、クロック 306 と同じ基本波周波数を持ち、さらにクロック 306 によって位相ロックされる。信号 303 上で変調された信号データと、312 で発生した周期的波形 315 との間の相対的な遅れは可変遅延素子 313 によって設定される。周期的波形 317 および 316 が、それぞれ位相変調器 308 および偏光変調器 311 を駆動する方法は、位相変調器によって処理される光信号の電界を参照しながら説明する。x - y 座標においては、上記構成要素は下記式によって表される。

【数 6】

$$E_x(t) = A_x(t) e^{i(\omega t + \phi_x(t))} \quad (6)$$

$$E_y(t) = A_y(t) e^{i(\omega t + \phi_y(t))} \quad (7)$$

【 0 0 1 4 】

但し、 ω は光学的キャリアの周波数であり、 $\phi_x(t)$ および $\phi_y(t)$ は光信号 314 の位相角であり、 $A_x(t)$ および $A_y(t)$ は、真の磁界振幅であると見なされ、輝度変調を含む。原則的には、上記電界構成要素を持つ光信号の可能な各 SOP は、 $(A_x^2 + A_y^2)$ の数値を一定に保ちながら、相対的な位相差 $\phi_x - \phi_y$ を 0 から 2π の間で変化させて、 A_x / A_y 比を変化させることによって得ることができる。しかし、偏光変調器 308 は、

変調サイクルの間その平均値がゼロである S O P を供給するのに十分なだけ、位相 ϕ_x および ϕ_y だけを変化させることによって、光信号の S O P を変調する。

【数 7】

$$\phi_x(t) = \gamma_x + a f_1(\Omega t + \Psi_1) + b_x f_2(\Omega t + \Psi_2) \quad (8)$$

$$\phi_y(t) = \gamma_y + a f_1(\Omega t + \Psi_1) + b_y f_2(\Omega t + \Psi_2) \quad (9)$$

10

【0015】

式 8 および式 9 が示すように、位相変調器 308 は、光信号 303 の構成要素 x および y の両方に同じ位相変調をおこなう。何故なら、これら構成要素は同じ位相変調指数 a を持っているからである。従って、位相変調器 308 は、光信号の偏光は変調しないで、信号 303 の光学的位相を変調する。位相変調器 308 が偏光を変調しないのは、光信号の偏光変調は、位相 ϕ_x と ϕ_y との間の差に比例するからであり、また、上記位相差は位相変調器 308 によって影響されない。何故なら、位相変調器 308 は ϕ_x および ϕ_y の両方を等しい量だけ変調するからである。

20

【0016】

A M 変調の偏光変調および / または位相変調を変換可能な現象には二つの種類がある。すなわち、偏光依存型の現象と偏光に依存しない現象である。偏光依存型の現象の一例は、送信媒体の偏光依存型損失 (「PDL」) が仲介している。それ故、時間の経過中に変動し、追加の信号のフェージングを起こす。偏光に依存しない現象の一例は、送信光ファイバの色拡散および / または屈折の非直線指数を仲介としているので、そのため時間の経過中変動しない。以下に説明するように、ビット速度で偏光を変調することにより生成される A M は、信号のフェージングに有意な影響を与えない。

【0017】

偏光スクランプリングされた信号が PDL を持つ素子を通ると、変調周波数 Ω およびその高調波 (すなわち、 2Ω 、 3Ω ...) のところで A M 変調が起こる。A M の量および偏光変調の位相に対する A M の位相関係は、一般的に、偏光変調軸に対する PDL 素子の損失軸の方向によって変わる。発生する A M の量は、時間の経過と共に変動する。何故なら、光信号の偏光状態は時間と共に変化するためである。当業者なら理解できるように、通常の光ファイバ受信機は、データ速度の約 60% の電氣的な帯域幅を持つ。それ故、ビット速度で起こる A M の一部は、受信機を通して決定回路に行き、BER に作用することができる。しかし、BER は 2Ω またはそれ以上の周波数を持つビット速度の高調波で起こる A M によっては影響を受けない。何故なら、上記高調波は受信機によって阻止されるからである。光信号の往復 S O P と PDL 素子との間の相互作用による A M の編成を分析することにより、ほとんどの A M 変調は、変調周波数 (すなわち、 2Ω およびそれより高い周波数) の高調波の所で起こり、基本波変調周波数 Ω のところで起きていないことを証明することができる。それ故、すでに説明したように、ビット速度で偏光を変調した結果生じた A M は、適当に設計した光学的受信機を使用すれば、信号のフェージングに有意な影響を与えることはない。光ファイバの色分散および / または屈折の非直線指数のために、偏光および / または位相変調の変換によって生じた A M は、ビット速度で偏光変調を行った場合有利に使用できる。

30

40

【0018】

図 7 においては、図 6 に示す位相変調器 308 および偏光変調器 311 は、両方とも一つの装置 408 に収容されている。本発明のこの実施例の場合には、単一の可変遅延素子 407 が、偏光変調および光学的位相変調の両方を変化するために使用される。偏光変調は

50

、角度の差 $\phi_1 - \phi_2$ によって行われ、少ない偏光に対して調整が行われる。過度の位相変調は、二つの角度の平均 $(\phi_1 + \phi_2) / 2$ によって行われる。本発明のこの実施例の動作は、下記の式を使用する図 6 に示す動作に類似している。

【数 8】

$$\Psi_1 = \Psi_2 \text{ and } f_1(t) = f_2(t). \quad (8)$$

【0019】

図 8 は、本発明の原理を実施する送信システム・アーキテクチャの簡単なブロック図である。レーザ、データ源、データ変調器、およびクロック（図示せず）を含む送信機 500 は、変調器 510 に接続している。この例示としての送信システム・アーキテクチャの場合、変調器 510 は、位相変調および偏光変調の両方を行う。すなわち、図 4 に示し、すでに説明した素子に類似の装置に形成され、それが持つ有利な特徴を実施している。別な場合には、変調器 510 は、図 1 に示す位相変調器の特徴を実施している（すなわち、上記の偏光変調は行はない）。受信機 520 は、順方向送信経路 530 を通して変調器 510 に接続している。モニタ 550 は、受信機 520 が受信した光信号の性能特性を測定するために受信機 520 に接続している。モニタ 550 は、例えば、従来のビット・エラー速度検出装置であってもよい。戻りの遠隔測定経路 540 は、モニタ 550 を変調器 510 に接続している。上記性能特性は、SNR または Q 係数を含む。測定した性能特性は、遠隔測定回路 540 を通して変調器 510 に送信される。すでに説明したように、式 2 の位相 Ψ （すなわち、相対的遅れ）パラメータは、送信システムの性能を最適化するために、測定した性能特性に従って、変調器 510 で調整することができる。

【0020】

上記特定の技術は、本発明の原理を単に説明するためのもので、当業者なら本発明の精神および範囲を逸脱しないで、種々の変更を行うことができ、本発明は以下の特許請求の範囲によってのみ制限されることを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の位相変調送信機の一実施例の簡単なブロック図である。

【図 2】図 1 の位相変調器を駆動するのに使用される例示としての波形である。

【図 3】図 1 の位相変調器を駆動するのに使用される例示としての波形である。

【図 4】図 1 の位相変調器を駆動するのに使用される例示としての波形である。

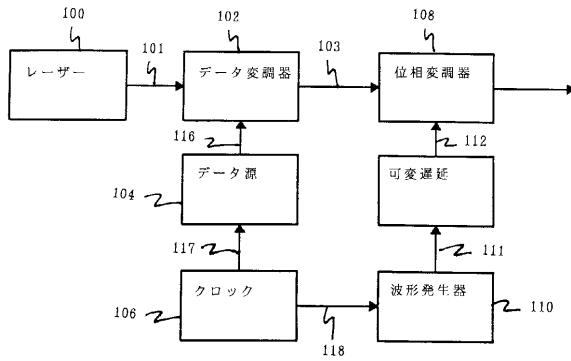
【図 5】図 1 の位相変調器を駆動するのに使用される例示としての波形である。

【図 6】本発明の位相および偏光変調送信機の一実施例の簡単なブロック図である。

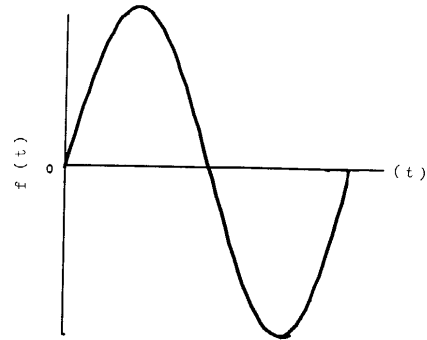
【図 7】本発明による位相および偏光変調が一回で行われる、位相および偏光変調送信機の実施例の簡単なブロック図である。

【図 8】本発明の原理を実施する送信システム・アーキテクチャの簡単なブロック図である。

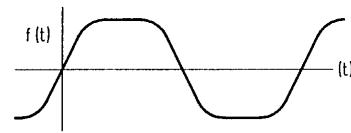
【図 1】



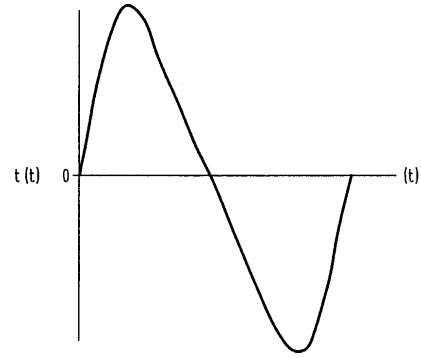
【図 2】



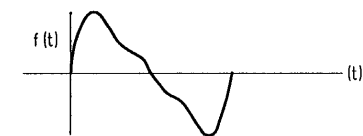
【図 3】



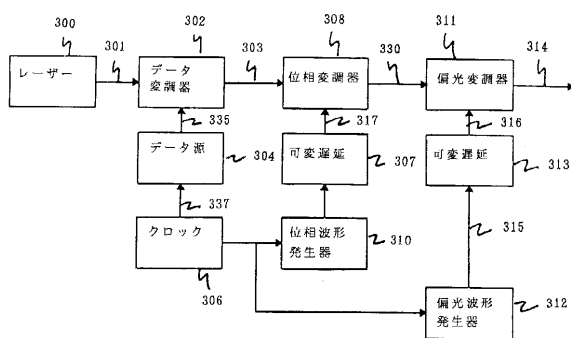
【図 4】



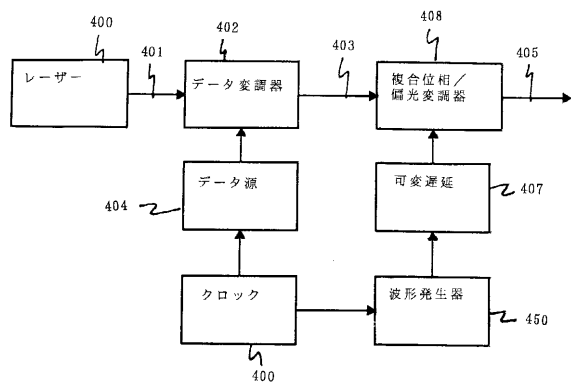
【図 5】



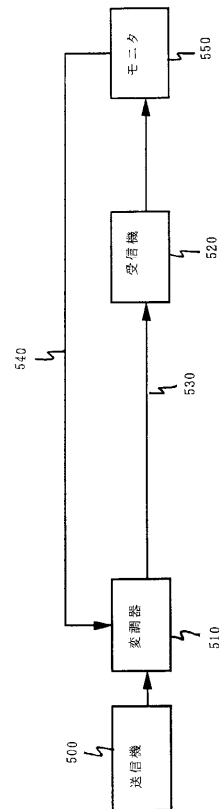
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(74)代理人 100101498

弁理士 越智 隆夫

(74)代理人 100104352

弁理士 朝日 伸光

(72)発明者 ニール エス . パーガノ

アメリカ合衆国 0 7 7 3 8 ニュージャージー , リンクロフト , ハーヴェイ アヴェニュー 1
1

審査官 柏崎 康司

(56)参考文献 特開平 0 5 - 2 8 9 1 2 5 (J P , A)

特開平 0 6 - 3 2 6 3 8 7 (J P , A)

特開平 0 7 - 1 5 2 0 0 5 (J P , A)

特開平 0 7 - 2 9 4 8 6 0 (J P , A)

特開平 0 5 - 1 2 7 1 3 9 (J P , A)

特開平 0 8 - 1 1 1 6 6 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G02F 1/01