

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6733395号  
(P6733395)

(45) 発行日 令和2年7月29日(2020.7.29)

(24) 登録日 令和2年7月13日(2020.7.13)

(51) Int. Cl. F I  
**HO 4 B 10/516 (2013.01)** HO 4 B 10/516  
**HO 4 B 10/61 (2013.01)** HO 4 B 10/61

請求項の数 6 (全 19 頁)

|           |                              |           |                                |
|-----------|------------------------------|-----------|--------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2016-145791 (P2016-145791) | (73) 特許権者 | 000005223                      |
| (22) 出願日  | 平成28年7月25日(2016.7.25)        |           | 富士通株式会社                        |
| (65) 公開番号 | 特開2018-19148 (P2018-19148A)  |           | 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号          |
| (43) 公開日  | 平成30年2月1日(2018.2.1)          | (74) 代理人  | 100074099                      |
| 審査請求日     | 平成31年4月9日(2019.4.9)          |           | 弁理士 大菅 義之                      |
|           |                              | (74) 代理人  | 100121083                      |
|           |                              |           | 弁理士 青木 宏義                      |
|           |                              | (74) 代理人  | 100138391                      |
|           |                              |           | 弁理士 天田 昌行                      |
|           |                              | (72) 発明者  | 谷村 崇仁                          |
|           |                              |           | 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光送信器、光受信器、および光伝送方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

連続光を生成する光源と、  
 入力データに基づいて駆動信号を生成する駆動信号生成部と、  
 前記連続光を前記駆動信号で変調して第1の光信号を生成する光変調器と、  
 前記第1の光信号および前記光源とは別の光源を使用して生成される第2の光信号を合波する合波器と、  
 前記連続光の周波数と前記第2の光信号の中心周波数との差分を検出する周波数差検出部と、を備え、  
 前記駆動信号生成部は、  
 前記入力データに基づいて、前記第1の光信号の光スペクトラムと前記第2の光信号の光スペクトラムとが互いに重複しないように電界情報信号を生成するマップと、  
 前記周波数差検出部により検出される差分に基づいて、前記連続光の周波数と前記第2の光信号の中心周波数とが一致するように前記電界情報信号を補正する周波数補正部と、を備える  
 ことを特徴とする光送信器。

【請求項2】

前記周波数補正部は、前記周波数差検出部により検出される差分に基づいて前記電界情報信号により表される位相を制御することにより、前記第1の光信号の中心周波数をシフトさせる

ことを特徴とする請求項 1 に記載の光送信器。

【請求項 3】

前記マップは、

前記入力データの一部のビットから第 1 の電界情報信号を生成する第 1 のマップと、  
前記入力データの残りのビットから第 2 の電界情報信号を生成する第 2 のマップと、  
前記第 1 の電界情報信号に基づいて前記光変調器により生成される光信号の中心周波数を所定量だけ高くするように、前記第 1 の電界情報信号を補正する第 1 の周波数補正部と、

前記第 2 の電界情報信号に基づいて前記光変調器により生成される光信号の中心周波数を前記所定量だけ低くするように、前記第 2 の電界情報信号を補正する第 2 の周波数補正部と、

補正された第 1 の電界情報信号および補正された第 2 の電界情報信号を足し合わせて前記電界情報信号を生成する加算器と、を備える

ことを特徴とする請求項 1 に記載の光送信器。

【請求項 4】

前記第 1 の光信号は、1 シンボルで 2 ビット以上のデータを伝送する変調方式で生成され、

前記第 2 の光信号は、強度変調またはオン/オフキーイングにより生成される

ことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の光送信器。

【請求項 5】

中心周波数が互いに一致し、且つ、光スペクトラムが互いに重複していない第 1 の光信号および第 2 の光信号を受信する光受信器であって、

前記第 1 の光信号および前記第 2 の光信号を含む入力光の電界情報を表す電界情報信号を生成するコヒーレント受信器と、

前記電界情報信号から前記第 1 の光信号に対応する第 1 の電界情報信号と前記第 2 の光信号に対応する第 2 の電界情報信号を抽出する周波数分離部と、

前記第 2 の電界情報信号により表される前記第 2 の光信号の強度に基づいて、前記第 1 の光信号と前記第 2 の光信号との間の干渉成分を計算する干渉計算部と、

前記第 1 の電界情報信号から前記干渉成分を除去する干渉除去部と、

前記干渉成分が除去された前記第 1 の電界情報信号を復調する復調器と、

を備える光受信器。

【請求項 6】

入力データに基づいて電界情報信号を生成し、

前記電界情報信号から駆動信号を生成し、

前記駆動信号で連続光を変調して第 1 の光信号を生成し、

前記第 1 の光信号および前記連続光を使用せずに生成される第 2 の光信号を合波する光伝送方法であって、

前記連続光の周波数と前記第 2 の光信号の中心周波数との差分を検出する処理を含み、

前記電界情報信号を生成する処理は、前記入力データに基づいて、前記第 1 の光信号の光スペクトラムと前記第 2 の光信号の光スペクトラムとが互いに重複しないように電界情報信号を生成する工程を含み、

前記駆動信号を生成する処理は、検出される差分に基づいて、前記連続光の周波数と前記第 2 の光信号の中心周波数とが一致するように前記電界情報信号を補正する工程を含む

ことを特徴とする光伝送方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光送信器、光受信器、および光伝送方法に係わる。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

近年、通信要件の異なる様々なアプリケーションを収容可能な光ネットワークシステムが要求されている。このため、異なる通信技術により送信および受信される光信号を多重化する通信技術が検討されている。例えば、大容量のデータを伝送するアプリケーションに対しては、多値度の高い変調方式で生成される変調光信号が使用される。この場合、デジタル信号処理技術を利用して、変調光信号の生成および復調が実現される。また、レイテンシ（又は、伝送遅延）の小さいデータ伝送を要求するアプリケーションに対しては、通信路中の光電気光変換の数を最小化する伝送技術（たとえば、強度変調/直接検波（IM/DD））が使用される。

【0003】

関連技術として、単一の光ファイバネットワークに異種変調信号の伝送システムを追加できる光通信システムが提案されている（例えば、特許文献1）。また、情報を高密度に多重化して伝送する光多重化装置が提案されている（例えば、特許文献2）。さらに、データセンタ内の通信およびデータセンタ間の通信を行う光ネットワークが提案されている（例えば、非特許文献1、2）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2011-244436号公報

【特許文献2】特開2013-51541号公報

【非特許文献】

20

【0005】

【非特許文献1】Payman Samadi et al., Virtual Machine Migration over Optical Circuit Switching Network in a Converged Inter/Intra Data Center Architecture, OSA Optical Fiber Communication Conference 2015, Th4G.6

【非特許文献2】Payman Samadi et al., Experimental Demonstration of Converged Inter/Intra Data Center Network Architecture, In 17th International Conference on Transparent Optical Networks, IEEE, We.B.3.3

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

30

上述したように、大容量のデータを効率よく伝送するためには、多値度の高い変調方式で光信号が生成される。ここで、多値度の高い変調方式によるデータ伝送は、一般に、伝送可能距離が短いので、送信局と受信局との間に多数の中継装置を必要とする。また、多くのケースにおいて、処理遅延の大きいデジタル信号処理を利用して実現される。したがって、多値度の高い変調方式によるデータ伝送のレイテンシを小さくすることは困難である。特に、強度変調光信号をいったん電気信号に変換した後にデジタル信号処理を利用して多値度の高い変調光信号を生成する構成では、レイテンシが大きくなってしまふ。

【0007】

レイテンシの小さいデータ伝送を実現するためには、例えば、強度変調/直接検波（IM/DD）技術が使用される。この場合、強度変調で生成される光信号がそのまま宛先まで伝送されるので、レイテンシは小さい。ところが、強度変調によるデータ伝送では、1つのシンボルで伝送できるビット数が少ないため、通信資源の利用効率が低い。

40

【0008】

本発明の1つの側面に係わる目的は、複数の異なる通信要件を満足する光通信において通信資源の利用効率を改善することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の1つの態様の光送信器は、連続光を生成する光源と、入力データに基づいて駆動信号を生成する駆動信号生成部と、前記連続光を前記駆動信号で変調して第1の光信号を生成する光変調器と、前記第1の光信号および前記光源とは別の光源を使用して生成さ

50

れる第2の光信号を合波する合波器と、前記連続光の周波数と前記第2の光信号の中心周波数との差分を検出する周波数差検出部と、を備える。前記駆動信号生成部は、前記入力データに基づいて電界情報信号を生成するマップと、前記周波数差検出部により検出される差分に基づいて、前記連続光の周波数と前記第2の光信号の中心周波数とが一致するように前記電界情報信号を補正する周波数補正部と、を備える。

【発明の効果】

【0010】

上述の態様によれば、複数の異なる通信要件を満足する光通信において通信資源の利用効率が改善する。

【図面の簡単な説明】

10

【0011】

【図1】光ネットワークシステムの一例を示す図である。

【図2】エクスプレスパスによる通信の一例を示す図である。

【図3】光送信回路の実施例を示す図である。

【図4】光受信回路の実施例を示す図である。

【図5】通常通信パスによる通信の一例を示す図である。

【図6】データセンタ間通信の光スペクトラムを模式的に示す図である。

【図7】周波数補正部の一例を示す図である。

【図8】マップの一例を示す図である。

【図9】分離部の一例を示す図である。

20

【図10】データセンタ間通信の実施例を示す図である。

【図11】データセンタ間通信の一例を示すフローチャート(その1)である。

【図12】データセンタ間通信の一例を示すフローチャート(その2)である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

図1は、本発明の実施形態に係わる光ネットワークシステムの一例を示す。図1に示す例では、異なる地点に設けられるデータセンタ100(100A、100B)が光ファイバリンク200より接続されている。

【0013】

各データセンタには、複数のサーバ110が収容されている。図1に示す例では、データセンタ100Aは、サーバ110a~110cを収容している。また、データセンタ100Bは、サーバ110d~110fを収容している。なお、各サーバ110a~110fは、それぞれ複数のサーバエレメントから構成される。

30

【0014】

ユーザは、所望のサーバ110にアクセスすることができる。このとき、このアクセスに応じて、サーバ間でデータが伝送されることがある。例えば、1つのデータセンタ内に収容されているサーバ間でデータ通信が行われることがある。或いは、データセンタ間でデータ通信が行われることもある。例えば、サーバ110dは、サーバ110aのバックアップデータを格納するものとする。この場合、サーバ110aに格納されているデータが更新されると、サーバ110a、110d間で通信が行われ、サーバ110dのデータも同様に更新される。或いは、ユーザは、有るサーバに格納されているデータを他のサーバへ移動させることもできる。

40

【0015】

このように、光ネットワークシステムは、ユーザからの要求に応じてサーバ間でデータを伝送する。ただし、アプリケーションによって要求される通信要件は異なる。例えば、大容量のデータを効率よく伝送できる通信が要求されることがある。また、レイテンシの小さい通信が要求されることがある。したがって、光ネットワークシステムは、様々な通信要件を満足することが求められる。

【0016】

各サーバ110は、サーバラック140に収容される。サーバラック140は、サーバ

50

110に加えて、Top-of-Rack電気スイッチ120および光トランシーバ130を収容する。Top-of-Rack電気スイッチ120は、複数のサーバエレメントから送信される信号を統合する機能、および受信信号を複数のサーバエレメントに分配する機能を備える。光トランシーバ130は、Top-of-Rack電気スイッチ120の出力信号から光信号を生成して信号処理装置150へ導く。また、光トランシーバ130は、信号処理装置150から受信する光信号を電気信号に変換してTop-of-Rack電気スイッチ120へ導く。

【0017】

信号処理装置150は、スイッチ回路151およびトランシーバ回路152を備える。スイッチ回路151は、ユーザから要求される通信に応じて光パスを提供する。例えば、サーバ110aに格納されているデータをサーバ110bへ移動する要求が与えられたときは、スイッチ回路151は、サーバ110aを収容するサーバラックから送信される光信号を、サーバ110bを収容するサーバラックへ導く。また、サーバ110aに格納されているデータをサーバ110dへ移動する要求が与えられたときは、スイッチ回路151は、サーバ110aを収容するサーバラックから送信される光信号を、データセンタ100Bへ導く。

10

【0018】

トランシーバ回路152は、データセンタ100A、100B間で伝送される変調光信号を処理する。ここで、トランシーバ回路152は、変調光信号を送信する光送信器および変調光信号を受信する光受信器を備える。変調光信号は、この実施例では、多値度の高い変調方式（すなわち、1シンボルで2ビット以上のデータを伝送する変調方式）で生成される。

20

【0019】

一例として、サーバ110aに格納されているデータをサーバ110dへ移動する要求が与えられたときは、データセンタ100Aのトランシーバ回路152は、サーバ110aを収容するサーバラックから送信される光信号をいったん電気信号に変換する。そして、トランシーバ回路152は、デジタル信号処理により、この電気信号から変調光信号を生成してデータセンタ100Bへ送信する。そうすると、データセンタ100Bにおいて、トランシーバ回路152は、受信する変調光信号を復調してデータを再生する。さらに、トランシーバ回路152は、再生したデータを伝送する光信号を生成して、サーバ110bを収容するサーバラックへ導く。

30

【0020】

上記構成の光ネットワークシステムにおいて、光ファイバリンク200の通信資源を効率的に使用することが要求される。したがって、データセンタ100A、100B間の通信は、トランシーバ回路152を利用して実現される。すなわち、多値度の高い変調方式で生成される光信号がデータセンタ100A、100B間で伝送される。

【0021】

ただし、トランシーバ回路152を利用する通信は、光トランシーバ130から出力される光信号を電気信号に変換する工程、デジタル信号処理でその電気信号から駆動信号を生成する工程、コヒーレント受信で変調光信号を復調する工程、復調されたデータを光信号に変換して光トランシーバ130へ送信する工程を含む。このため、レイテンシの小さい通信を行うことは困難である。そこで、データセンタ100A、100B間でレイテンシの小さい通信が要求されたときは、光ネットワークシステムは、トランシーバ回路152を使用することなく、スイッチ回路151を介して光トランシーバ130、130間で光信号を伝送する。

40

【0022】

なお、以下の記載では、トランシーバ回路152を利用してデータセンタ100A、100B間で変調光信号を伝送する光パスを「通常通信パス」と呼ぶことがある。また、トランシーバ回路152を利用することなくデータセンタ100A、100B間で光信号を伝送する光パスを「エクスプレスパス」と呼ぶことがある。

【0023】

50

図2は、エクスプレスパスによる通信の一例を示す。図2に示す例では、地点Aに設けられているデータセンタ100Aから地点Bに設けられているデータセンタ100Bへデータが伝送されるものとする。エクスプレスパスは、例えば、強度変調(IM)/直接検波(DD)により実現される。

【0024】

各光トランシーバ130は、光送信回路131および光受信回路132を備える。光トランシーバ130は、図1に示すように、各サーバラック140内に設けられる。なお、図2では、データセンタ100Aの光トランシーバ130の光受信回路132は省略されており、また、データセンタ100Bの光トランシーバ130の光送信回路131は省略されている。

10

【0025】

データセンタ100Aにおいて、光送信回路131にはデータYが与えられる。データYは、サーバラック140に収容されているサーバ110から出力される。光送信回路131は、光源(LD)131aを備える。そして、光送信回路131は、光源131aを使用してデータYを伝送する光信号を生成する。この例では、光送信回路131は、強度変調方式(または、オン/オフキーイング)でデータYから強度変調光信号(光信号Y)を生成する。この場合、例えば、直接変調方式で光源131aが駆動される。ここで、光源131aは、周波数可変レーザ光源であってもよい。なお、以下の記載では、強度変調光信号を「IM光信号」と呼ぶことがある。

【0026】

20

光送信回路131により生成されるIM光信号Yは、スイッチ回路151によりデータセンタ100Bへ送信される。データセンタ100Bにおいて、スイッチ回路151は、受信したIM光信号Yを光受信回路132に導く。光受信回路132は、受光器(PD)132aを備える。そして、光受信回路132は、受光器132aを使用してIM光信号Yを電気信号に変換する。ここで、受光器132aの出力信号の電力または振幅は、データYの各ビットの値を表す。したがって、IM光信号Yを電気信号に変換することによりデータYが再生される。

【0027】

図3は、IM光信号を生成する光送信回路の実施例を示す。光送信回路131は、図3(a)に示すように、光源131aを備える。光源131aは、例えば、周波数可変レーザ光源である。この構成では、直接変調でIM光信号が生成される。すなわち、入力データにより光源131aが駆動される。光源131aから出力されるIM光信号は、光アンテナ131cを利用して、空間伝送により所望の光ポートへ導かれるようにしてもよい。光アンテナ131cは、例えば、ミラーおよびレンズを含む光学系により実現される。

30

【0028】

光送信回路131は、図3(b)に示すように、光源131aおよび光変調器131bを含む構成であってもよい。この場合、光源131aは、連続光を生成する。そして、光変調器131bは、入力データで連続光を変調してIM光信号を生成する。光変調器131bは、例えば、強度変調方式(オン/オフキーイング)で入力データからIM光信号を生成する。

40

【0029】

このように、光送信回路131は、入力データに基づいてIM光信号を生成する。ただし、本発明の実施形態は、この構成に限定されるものではない。例えば、光送信回路131が図3(b)に示す構成で実現される場合は、光変調器131bは、位相変調(mPSK)または直交強度変調(mQAM)で変調光信号を生成してもよい。

【0030】

図4は、光受信回路132の実施例を示す。光受信回路132は、図3に示す光送信回路131から送信される光信号を受信する。光受信回路132は、図4(a)に示すように、受光器(PD)132aを備える。受信光信号が強度変調信号である場合、その受信光信号を電気信号に変換することによりデータが再生される。なお、入力光ポートに到着

50

する光信号は、光アンテナ 132b を利用して受光器 132a へ導かれるようにしてもよい。

【0031】

光受信回路 132 は、図 4 (b) に示すように、コヒーレント受信回路 132c およびデジタル信号処理器 (DSP) 132d を備える構成であってもよい。位相変調または直交強度変調で変調光信号が生成されるケースでは、光受信回路 132 は、コヒーレント受信でデータ Y を再生する構成が好ましい。

【0032】

図 5 は、通常通信パスによる通信の一例を示す。通常通信パスは、図 1 に示すトランシーバ回路 151 により設定される。そして、トランシーバ回路 151 は、エッジ送信器 10 およびエッジ受信器 60 を備える。なお、図 5 では、データセンタ 100A のエッジ受信器 60 は省略されており、また、データセンタ 100B のエッジ送信器 10 は省略されている。

10

【0033】

エッジ送信器 10 は、O/E 回路 11、光スイッチ 12、マップ 13、歪補正部 14、周波数補正部 15、D/A 変換器 (DAC) 16、光源 (LD) 17、IQ 変調器 (IQM) 18 を備える。なお、マップ 13、歪補正部 14、周波数補正部 15 は、例えば、デジタル信号処理器で実現される。この場合、マップ 13、歪補正部 14、周波数補正部 15 は、1 個のプロセッサで実現してもよいし、2 個以上のプロセッサで実現してもよい。

【0034】

O/E 回路 11 は、データセンタ 100A 内のサーバラック 140 から送信される光信号を電気信号に変換する。サーバラック 140 から強度変調光信号が送信されるケースでは、O/E 回路 11 は、受光器により実現される。光スイッチ 12 は、O/E 回路 11 から出力される電気信号をマップ 13 に導く。光スイッチ 12 は、アグリゲーション機能を備えていてもよい。すなわち、光スイッチ 12 は、複数の電気信号を統合してマップ 13 に導くこともできる。以下の記載では、マップ 13 に与えられるデータを「データ X」と呼ぶことがある。

20

【0035】

マップ 13 は、指定された変調方式に応じて、データ X から電界情報信号を生成する。電界情報信号は、IQ 変調器 18 から出力される変調光信号の位相および振幅を表す。したがって、この電界情報信号は、I 成分信号および Q 成分信号から構成される。歪補正部 14 は、光ファイバリンク 200 の波長分散を補償するように、マップ 13 により生成される電界情報信号を補正する。すなわち、歪補正部 14 は、光ファイバリンク 200 の波長分散を補償するための予等化または予補償を行う。

30

【0036】

周波数補正部 15 は、波長チャネル内に通常通信パスおよびエクスプレスパスが多重化されるときに起動される。よって、周波数補正部 15 については後述する。

【0037】

D/A 変換器 16 は、電界情報信号をアナログ信号に変換して駆動信号を生成する。つまり、マップ 13、歪補正部 14、周波数補正部 15、D/A 変換器 (DAC) 16 により駆動信号が生成される。換言すれば、マップ 13、歪補正部 14、周波数補正部 15、D/A 変換器 16 は、駆動信号を生成する駆動信号生成部として動作する。光源 17 は、この実施例では、周波数可変レーザ光源により実現される。すなわち、光源 17 は、指定された周波数の連続光を出力する。IQ 変調器 18 は、光源 17 から出力される連続光を駆動信号で変調して変調光信号を生成する。そして、IQ 変調器 18 により生成される変調光信号は、光ファイバリンク 200 を介してデータセンタ 100B へ伝送される。

40

【0038】

なお、マップ 13 は、1 個のシンボルで 2 ビット以上のデータを伝送する変調方式でデータ X から電界情報信号を生成する。すなわち、IQ 変調器 18 から出力される変調光信号は、1 個のシンボルで 2 ビット以上のデータを伝送する。よって、以下の記載では、I

50

Q変調器18から出力される変調光信号を「多値光信号」と呼ぶことがある。

【0039】

図6(a)は、エッジ送信器10によって生成される多値光信号Xのスペクトラムを示す。光周波数 $f_x$ は、光源17から出力される連続光の周波数に相当する。即ち、光周波数 $f_x$ は、多値光信号Xの中心周波数を表す。スペクトラムの幅(すなわち、変調光信号の帯域幅)は、多値光信号Xのポーレートおよび変調方式等に依存する。

【0040】

上述の通常通信パスが設定されているときに、レイテンシの小さいデータ伝送が要求されるものとする。即ち、エッジ送信器10により生成される多値光信号Xが伝送されているときに、図2に示す光送信回路131からIM光信号Yが送信されるものとする。

10

【0041】

この場合、光ファイバリンク200の通信資源を節約するために、多値光信号Xを伝送する通常通信パスおよびIM光信号Yを伝送するエクスプレスパスが1つの波長チャンネル中に多重化される。なお、図5に示す構成では、多値光信号XおよびIM光信号Yは、光カプラ19により合波されて光ファイバリンク200に導かれる。

【0042】

図6(b)は、光送信回路131によって生成されるIM光信号Yのスペクトラムを示す。光周波数 $f_y$ は、図2または図3に示す光源131aの出力光信号の中心周波数に相当する。すなわち、光周波数 $f_y$ は、IM光信号Yの中心周波数を表す。スペクトラムの幅(即ち、変調光信号の帯域幅)は、IM光信号Yのポーレート等に依存する。

20

【0043】

ここで、通常通信パスおよびエクスプレスパスを1つの波長チャンネル中に多重化するためには、多値光信号Xの中心光周波数 $f_x$ とIM光信号Yの中心光周波数 $f_y$ とが互いに同じである必要がある。よって、例えば、 $f_x$ と $f_y$ とが互いに同じになるように、光源17の出力光の周波数が制御される。ただし、レーザの発振周波数は誤差を有する。一般的なレーザ光源の最大周波数誤差は、1.5GHz程度である。このため、 $f_x$ と $f_y$ とが完全に一致することは稀である。例えば、図6(a)~図6(b)に示す例では、多値光信号Xの中心光周波数 $f_x$ よりもIM光信号Yの中心光周波数 $f_y$ の方が少しだけ高くなっている。

【0044】

30

そこで、エッジ送信器10は、光周波数 $f_x$ と光周波数 $f_y$ とを一致させるための機能を備える。すなわち、エッジ送信器10は、上述した回路要素に加えて、光スプリッタ21、光カプラ22、周波数差検出部23を備える。

【0045】

光スプリッタ21は、サーバラック140の光送信回路131から送信されるIM光信号Yを分岐して光カプラ22に導く。光カプラ22は、光源17から出力される連続光および光スプリッタ21により分岐されたIM光信号Yを合波する。周波数差検出部23は、光カプラ22の出力光を電気信号に変換する受光器を備える。そして、周波数差検出部23は、この受光器から出力される電気信号に基づいて、光カプラ22の出力光のビート成分の周波数を検出する。光カプラ22の出力光のビート成分の周波数は、多値光信号Xの中心光周波数 $f_x$ とIM光信号Yの中心光周波数 $f_y$ との差分に相当する。

40

【0046】

周波数補正部15は、周波数差検出部23により検出される周波数差に基づいて、電界情報信号を補正する。周波数補正部15の一例を図7示す。なお、図7に示す例では、周波数補正部15は、デジタル信号処理器により実現される。

【0047】

周波数補正部15は、積算回路31および回転演算回路32を備える。そして、周波数補正部15には、関数 $f(t)$ および電界情報信号が与えられる。関数 $f(t)$ は、周波数差検出部23により検出される光周波数差 $f$ である。電界情報信号は、マップ13により生成され、I成分信号およびQ成分信号から構成される。

50



## 【 0 0 4 8 】

積算回路 3 1 は、光周波数差  $f$  を時間で積分する。そして、積算回路 3 1 は、積分結果として、下記の位相情報  $\phi(t)$  を出力する。

$$\phi(t) = 2 \int f(t) dt$$

なお、積算回路 3 1 は、mod 2 回路を備えていてもよい。この場合、積算回路 3 1 の出力値は、0 ~ 2 の範囲内の値に変換される。

## 【 0 0 4 9 】

回転演算回路 3 2 は、下記の演算により、位相情報  $\phi(t)$  を利用して I 成分信号および Q 成分信号を補正させる。即ち、回転演算回路 3 2 は、周波数差検出部 2 3 により検出される光周波数差  $f$  に基づいて、I 成分信号および Q 成分信号により表される位相を制御する。なお、I および Q は、回転演算回路 3 2 の入力信号を表す。I' および Q' は、回転演算回路 3 2 の出力信号を表す。

$$I' = I \cos \phi(t) - Q \sin \phi(t)$$

$$Q' = I \sin \phi(t) + Q \cos \phi(t)$$

## 【 0 0 5 0 】

周波数補正部 1 5 の出力信号は、D/A 変換器 1 6 によりアナログ信号に変換されて I/Q 変調器 1 8 に与えられる。そして、I/Q 変調器 1 8 は、光源 1 7 から出力される連続光を回転演算回路 3 2 の出力信号で変調することにより多値光信号 X を生成する。

## 【 0 0 5 1 】

このように、電界情報信号は、光周波数差  $f$  に基づいて補正される。よって、I/Q 変調器 1 8 により生成される多値光信号 X の中心周波数は、 $f_x + f$  である。 $f_x$  は、光源 1 7 から出力される連続光の周波数を表す。ここで、光周波数差  $f$  は、光源 1 7 から出力される連続光の周波数  $f_x$  と I/M 光信号 Y の中心光周波数  $f_y$  との差分に相当する。したがって、電界情報信号が周波数補正部 1 5 により補正されると、I/Q 変調器 1 8 により生成される多値光信号 X の中心周波数は、図 6 (c) に示すように、I/M 光信号 Y の中心光周波数  $f_y$  と一致することになる。

## 【 0 0 5 2 】

しかし、図 6 (b) に示す I/M 光信号 Y の信号帯および図 6 (c) に示す多値光信号 X の信号帯は、周波数領域において互いに重複する。このため、I/M 光信号 Y および多値光信号 X が多重化されると、光受信器は、それらを互いに分離することは困難である。そこで、エッジ送信器 1 0 は、通常通信パスに加えてエクスプレスパスが設定されるときは、エクスプレスパスの信号帯と通常通信パスの信号帯とが重複しないように、通常通信パスを介して伝送される変調光信号の電界情報信号を生成する。

## 【 0 0 5 3 】

図 8 は、マップ 1 3 の一例を示す。この実施例では、マップ 1 3 は、スイッチ 4 1、マップ 4 2、分配器 4 3、マップ 4 4 - 1、4 4 - 2、周波数補正部 4 5 - 1、4 5 - 2、加算器 4 6、セレクタ 4 7 を備える。そして、マップ 1 3 には、エクスプレスパスを設定するか否かを表すエクスプレスパス指示が与えられる。

## 【 0 0 5 4 】

エクスプレスパスを設定する指示が無いときは、スイッチ 4 1 は、入力データをマップ 4 2 に導く。一方、エクスプレスパスを設定する指示が与えられたときは、スイッチ 4 1 は、入力データを分配器 4 3 に導く。分配器 4 3 は、入力データをマップ 4 4 - 1、4 4 - 2 に分配する。このとき、分配器 4 3 は、例えば、入力データを N ビット毎に交互にマップ 4 4 - 1、4 4 - 2 に分配する。

## 【 0 0 5 5 】

マップ 4 2 は、指定された変調方式に従って入力データから電界情報信号を生成する。各マップ 4 4 - 1、4 4 - 2 は、マップ 4 2 の変調方式に応じて決まる変調方式で、入力データから電界情報信号を生成する。ここで、マップ 4 2 が 2 k ビット/シンボルの変調方式でマッピングを行うときは、各マップ 4 4 - 1、4 4 - 2 は、k ビット/シンボルの変調方式でマッピングを行う。例えば、マップ 4 2 が 16 QAM でマッピングを行うとき

10

20

30

40

50

は、各マップ44-1、44-2はQPSKでマッピングを行う。また、マップ42が256QAMでマッピングを行うときは、各マップ44-1、44-2は16QAMでマッピングを行う。

【0056】

周波数補正部45-1は、マップ44-1の出力信号に基づいて生成される変調光信号の中心周波数が  $f_1$  だけ高くなるように、マップ44-1の出力信号を補正する。これに対して、周波数補正部45-2は、マップ44-2の出力信号に基づいて生成される変調光信号の中心周波数が  $f_1$  だけ低くなるように、マップ44-2の出力信号を補正する。周波数補正部45-1および45-2の構成および動作は、それぞれ図7に示す周波数補正部15と実質的に同じである。ただし、周波数補正部45-1、45-2には、関数  $f(t)$  として、それぞれ  $+f_1$ 、 $-f_1$  が与えられる。 $f_1$  は、多値光信号  $X$  の中心周波数とIM光信号  $Y$  の中心周波数が互いに同じであるときに、多値光信号  $X$  のスペクトラムとIM光信号  $Y$  のスペクトラムとが互いに重複しないように決定される。 $f_1$  は、例えば、5GHz程度である。

10

【0057】

加算器46は、周波数補正部45-1の出力信号および周波数補正部45-2の出力信号を足し合わせる。セレクタ47は、エクスプレスパスを設定する指示が無いときは、マップ42の出力信号を選択する。一方、エクスプレスパスを設定する指示が与えられたときは、セレクタ47は、加算器46の出力信号を選択する。そして、マップ13は、セレクタ47により選択された信号を電界情報信号として出力する。

20

【0058】

図6(d)は、エクスプレスパスが設定されるときにIQ変調器18により生成される多値光信号  $X$  のスペクトラムを示す。 $X_1$  は、マップ44-1から出力される電界情報信号に基づいて生成される光信号を表し、 $X_2$  は、マップ44-2から出力される電界情報信号に基づいて生成される光信号を表す。 $X_1$  の中心周波数は  $f_y + f_1$  であり、 $X_2$  の中心周波数は  $f_y - f_1$  である。

【0059】

図6(e)は、通常通信パスおよびエクスプレスパスが多重化されたときの、エッジ送信器10の出力光信号のスペクトラムを示す。このように、通常通信パスおよびエクスプレスパスが多重化されても、エクスプレスパスの信号帯と通常通信パスの信号帯とは重複しない。換言すれば、周波数シフト量  $f_1$  は、エクスプレスパスの信号帯と通常通信パスの信号帯とが重複しないように決定される。ここで、変調光信号の信号帯域幅は、その変調光信号のボーレートおよび変調方式等に基づいて推定される。したがって、マップ13は、エクスプレスパスの信号帯と通常通信パスの信号帯とが重複しないように、入力データから電界情報信号を生成することができる。

30

【0060】

上述のように、エクスプレスパスが設定されないときには、データセンタ100Aのエッジ送信器10は、図6(a)に示す多値光信号  $X$  をデータセンタ100Bへ送信する。一方、エクスプレスパスが設定されるときは、エッジ送信器10は、図6(e)に示すように、多値光信号  $X$  ( $X_1$ 、 $X_2$ ) およびIM光信号  $Y$  をデータセンタ100Bへ送信する。

40

【0061】

データセンタ100Aから光ファイバリンク200を介して伝送される光信号は、データセンタ100Bにおいて、光スプリッタ51により分岐され、光スイッチ52およびエッジ受信器60へ導かれる。光スイッチ52は、受信光信号を、宛先サーバを収容するサーバラックの光受信回路132へ導く。

【0062】

光受信回路132は、例えば、図2に示すように、受光器132aを用いて受信光信号を電気信号に変換する。ここで、光受信回路132は、図6(e)に示すように、IQ変調器18により生成される多値光信号  $X$  ( $X_1$ 、 $X_2$ ) および光送信回路131から送信

50

されるIM光信号Yを受信するものとする。この場合、IM光信号Yは、電気領域では、実質的にベースバンド信号である。したがって、IM光信号Yが受光器132aにより電気信号に変換されると、データYが再生される。一方、多値光信号X(X1、X2)の中心周波数は、電気領域において、ベースバンドに対してf1だけシフトしている。このため、受光器132aの帯域がf1よりも低いものとする、多値光信号Xの信号成分は、受光器132aにより検出されない。換言すれば、光受信回路132が備える受光器132aの帯域をf1よりも低く構成すれば、光受信回路132は、図6(e)に示す光信号からIM光信号Yにより伝送されるデータYを再生することができる。なお、多値光信号Xを精度よく除去するためには、受光器132aの出力側にローパスフィルタを設けるようにしてもよい。

10

## 【0063】

エッジ受信器60は、図5に示すように、コヒーレント受信器61、A/D変換器(ADC)62、FFT演算器63、分離部64、復調器65、電気スイッチ66、E/O回路67を備える。なお、FFT演算器63、分離部64、復調器65は、例えば、デジタル信号処理器で実現される。この場合、FFT演算器63、分離部64、復調器65は、1個のプロセッサで実現してもよいし、2個以上のプロセッサで実現してもよい。

## 【0064】

コヒーレント受信器61は、局発光源を用いて受信光信号を表す電界情報信号を生成する。コヒーレント受信器61が図6(a)に示す多値光信号Xを受信するときは、局発光源の周波数はfxに制御される。また、コヒーレント受信器61が図6(e)に示す多値光信号XおよびIM光信号Yを受信するときは、局発光源の周波数はfyに制御されるようにしてもよい。A/D変換器62は、コヒーレント受信器61により生成される電界情報信号をデジタル信号に変換する。FFT演算器63は、A/D変換器62の出力信号を周波数領域信号に変換する。

20

## 【0065】

分離部64は、図9に示すように、周波数分離部64a、判定部64b、干渉計算部64c、干渉除去部64dを備える。そして、分離部64は、多値光信号Xにより伝送された信号成分(データX信号成分)およびIM光信号Yにより伝送された信号成分(データY信号成分)を含む入力信号から、データX信号成分を抽出する。

## 【0066】

周波数分離部64aは、FFT演算器63から出力される周波数領域信号からデータX信号成分およびデータY信号成分を抽出する。データX信号成分は干渉除去部64dに導かれ、データY信号成分は判定部64bに導かれる。判定部64bは、データY信号成分に基づいて、シンボル毎に値を判定する。ここで、データYは、図3に示す光送信回路131により強度変調(または、オン/オフキーイング)により伝送される。したがって、判定部64bは、シンボル毎に「1」または「0」を検出する。

30

## 【0067】

干渉計算部64cは、多値光信号XとIM光信号Yとの間の干渉成分を計算する。具体的には、干渉計算部64cは、IM光信号Yに起因する多値光信号Xの位相変動を計算する。ここで、IM光信号Yがオフ状態であるときは、IM光信号Yに起因する多値光信号Xの位相変動はほぼゼロである。一方、IM光信号Yがオン状態であるときは、IM光信号Yに起因して多値光信号Xの位相が変動する。この位相変動の量は、光ファイバリンク200の特性および長さなどに基づいて算出可能である。よって、干渉計算部64cは、IM光信号Yの状態に応じて、IM光信号Yに起因する多値光信号Xの位相変動を計算する。

40

## 【0068】

干渉除去部64dは、データX信号成分から干渉成分を除去する。干渉成分の除去は、例えば、引き算により実現される。すなわち、分離部64は、多値光信号Xを表す電界情報信号を抽出し、さらにその電界情報信号から干渉成分を除去する。

## 【0069】

50

なお、分離部 6 4 は、干渉成分の除去を行わなくてもよい。この場合、分離部 6 4 は、判定部 6 4 b、干渉計算部 6 4 c、干渉除去部 6 4 d を備える必要はない。そして、分離部 6 4 は、周波数分離部 6 4 a を用いて、入力信号から多値光信号 X を表す電界情報信号を抽出して出力する。この場合、周波数分離部 6 4 は、周波数フィルタとして動作する。  
【 0 0 7 0 】

図 5 に戻る。復調器 6 5 は、分離部 6 4 から出力される電界情報信号に基づいて各シンボルを復調する。このとき、復調器 6 5 は、データセンタ 1 0 0 A のマップ 1 3 によるマッピングに対応するデマッピングを行う。この結果、データ X が再生される。スイッチ 6 6 は、データ X を宛先サーバに対応する E / O 回路 6 7 に導く。すなわち、スイッチ 6 6 は、ルータとして動作する。E / O 回路 6 7 は、データ X を光信号に変換する。なお、E / O 回路 6 7 は、例えば、図 3 に示す構成で実現される。そして、データ X を伝送する光信号は、データ X の宛先サーバを収容するサーバラックへ送信される。

10

【 0 0 7 1 】

このように、データセンタ間のデータ通信は、光ファイバリンク 2 0 0 の通信資源を節約するために、通常通信パスを介して実現される。ここで、通常通信パスは、多値度の高い変調方式で生成される変調光信号を伝送する。これに加えて、データセンタ間でレイテンシの小さいデータ通信を行うときには、1 つの波長チャンネル内に通常通信パスおよびエクスプレスパスが多重化される。エクスプレスパスは、例えば、IM / DD により実現される。このとき、通常通信パスの中心波長およびエクスプレスパスの中心波長が互いに一致し、且つ、通常通信パスの信号帯およびエクスプレスパスの信号帯が互いに重複しないように、通常通信パスの電界情報がデジタル信号処理により補正される。したがって、データセンタ間の通信資源を節約しながら、必要に応じてレイテンシの小さいデータ通信を実現できる。

20

【 0 0 7 2 】

また、エッジ受信器 6 0 は、多重化光信号から目的光信号の電界情報信号を抽出するときに、隣接光信号に起因する位相変動を抑制できる。したがって、1 つの波長チャンネル内に通常通信パスおよびエクスプレスパスが多重化される場合であっても、通常通信パスを介して伝送されるデータを精度よく再生できる。

【 0 0 7 3 】

< 実施例 >

30

図 1 0 は、データセンタ間通信の実施例を示す。図 1 0 に示すデータセンタ 1 0 0 は、図 1 に示すデータセンタ 1 0 0 A または 1 0 0 B に相当する。よって、データセンタ 1 0 0 は、複数のサーバラック 1 4 0 を備える。そして、各サーバラック 1 4 0 には、サーバ 1 1 0、Top-of-Rack 電気スイッチ 1 2 0、光トランシーバ 1 3 0 が収容される。なお、この実施例では、データセンタ間の通信において WDM 信号が伝送される。

【 0 0 7 4 】

データセンタ 1 0 0 は、光周波数検出器 7 1、エッジトランシーバ 7 2、光スイッチ 8 1、光トランシーバ 8 2、電気スイッチ 8 3 を備える。なお、光周波数検出器 7 1 およびエッジトランシーバ 7 2 は、図 1 に示すトランシーバ回路 1 5 2 に相当する。また、光スイッチ 8 1、光トランシーバ 8 2、電気スイッチ 8 3 は、図 1 に示すスイッチ回路 1 5 1 に相当する。

40

【 0 0 7 5 】

光周波数検出器 7 1 は、図 5 に示す例では、周波数差検出部 2 3 に相当する。即ち、光周波数検出器 7 1 は、通常通信パスを介して伝送される光信号の中心周波数とエクスプレスパスを介して伝送される光信号の中心周波数との差分を検出する。エッジトランシーバ 7 2 は、図 5 に示すエッジ送信器 1 0 およびエッジ受信器 6 0 を備える。なお、光周波数検出器 7 1 は、エッジトランシーバ 7 2 に内蔵されていてもよい。

【 0 0 7 6 】

チャンネル割り当て制御部 9 1 は、ユーザからデータセンタ間の通信が要求されたときに、未使用の波長チャンネルを選択する。そして、チャンネル割り当て制御部 9 1 は、選択した

50

波長チャンネルが設定されるように、チャンネル割当て指示を使用してエッジトランシーバ72、光スイッチ81、光トランシーバ82、電気スイッチ83、光トランシーバ130を制御する。

【0077】

各光トランシーバ130は、IM/DDで光信号を送信および受信することができる。光トランシーバ130から送信される光信号の中心周波数は、チャンネル割当て指示により制御される。なお、データセンタ内通信は、光スイッチ81により実現される。例えば、サーバ110aからサーバ110cへのデータ伝送は、光トランシーバ130a、光スイッチ81、光トランシーバ130cにより実現される。

【0078】

各光トランシーバ82も、IM/DDで光信号を送信および受信することができる。すなわち、光トランシーバ130および光トランシーバ82は、光スイッチ81を介してIM/DDで光信号を送信および受信することができる。

【0079】

データセンタ間通信は、アプリケーションによって、通常通信パスまたはエクスプレスパスにより実現される。例えば、小さいレイテンシが要求されないときは、データセンタ間の通信資源を節約するために、通常通信パスが設定される。この場合、エッジトランシーバ72を利用して多値光信号の送信および受信が行われる。例えば、サーバ110aに格納されているデータXを他のデータセンタへ送信するケースでは、データXは、光トランシーバ130a、光スイッチ81、光トランシーバ82、電気スイッチ83を介してエッジトランシーバ72に導かれる。そうすると、エッジトランシーバ72は、エッジ送信器10（図5では、マップ13、歪補正部14、IQ変調器18など）を利用して多値光信号Xを生成し、光ファイバリンク200を介して指定されたデータセンタへ送信する。

【0080】

通常通信パスを介して受信する光信号は、光スイッチ81によりエッジトランシーバ72に導かれる。そうすると、エッジトランシーバ72は、エッジ受信器60（図5では、コヒーレント受信器61、FFT演算器63、分離部64、復調器65など）を利用してデータを再生する。再生されたデータは、電気スイッチ83、光トランシーバ82、光スイッチ81を介して目的サーバへ転送される。

【0081】

小さいレイテンシが要求されるときは、エクスプレスパスが設定される。この場合、光トランシーバ130から送信されるIM光信号は、光スイッチ81により光ファイバリンク200に導かれる。また、エクスプレスパスを介して受信するIM光信号は、光スイッチ81により目的サーバに導かれる。すなわち、IM光信号は、エッジトランシーバ72を経由することなく、光トランシーバ130、130間で伝送される。

【0082】

1つの波長チャンネルに通常通信パスおよびエクスプレスパスが多重化されるときには、光周波数検出器71は、通常通信パスを介して伝送される多値光信号の中心周波数とエクスプレスパスを介して伝送されるIM光信号の中心周波数との差分を検出する。エッジ送信器10は、検出された周波数差に基づいて電界情報信号を補正する。このとき、マップ13において図6(d)に示すマッピング補正が行われ、また、周波数補正部15において図6(c)に示す中心周波数の補正が行われる。そして、エッジ送信器10は、補正された電界情報信号に基づいて多値光信号を生成する。

【0083】

図11～図12は、データセンタ間通信の一例を示すフローチャートである。このフローチャートの処理は、例えば、ユーザからデータセンタ間の通信が要求されたときに実行される。この実施例では、あるデータセンタに収容されているサーバ（送信元サーバ）から他のデータセンタに収容されているサーバ（宛先サーバ）へのデータ伝送が要求されるものとする。なお、以下の記載では、送信元サーバを収容するデータセンタを「送信元データセンタ」と呼ぶことがある。また、宛先サーバを収容するデータセンタを「宛先デー

10

20

30

40

50

タセンタ」と呼ぶことがある。

【 0 0 8 4 】

S 1において、チャンネル割り当て制御部 9 1は、光ファイバリンク 2 0 0において利用可能な波長チャンネルを選択する。以下の記載では、選択された波長チャンネルの中心周波数を「 $f_z$ 」と呼ぶことがある。S 2において、チャンネル割り当て制御部 9 1は、選択した波長チャンネルに応じてエッジトランシーバ 7 2の光周波数を制御する。すなわち、送信元データセンタにおいては、エッジ送信器 1 0の光源 1 7の周波数が $f_z$ に制御される。宛先データセンタにおいては、エッジ受信器 6 0のコヒーレント受信器 6 1が使用する局発光源の周波数が $f_z$ に制御される。

【 0 0 8 5 】

S 3において、チャンネル割り当て制御部 9 1は、光スイッチ 8 1、光トランシーバ 8 2、電気スイッチ 8 3を制御して通常通信パスのセットアップを行う。すなわち、送信元データセンタにおいては、送信元サーバから読み出されるデータがエッジトランシーバ 7 2に導かれるように、光スイッチ 8 1、光トランシーバ 8 2、電気スイッチ 8 3が制御される。宛先データセンタにおいては、受信光信号から再生されるデータが宛先サーバに導かれるように、光スイッチ 8 1、光トランシーバ 8 2、電気スイッチ 8 3が制御される。そして、S 4において、通常通信パスを使用するデータセンタ間通信が開始される。

【 0 0 8 6 】

S 5において、チャンネル割り当て制御部 9 1は、データセンタ間での低レイテンシ通信の要求を待ち受ける。そして、この要求を受信すると、チャンネル割り当て制御部 9 1は、S 6において、光スイッチ 8 1を制御してエクスプレスパスのセットアップを行う。

【 0 0 8 7 】

S 7において、チャンネル割り当て制御部 9 1は、S 1で選択した波長チャンネルに応じて対応する光トランシーバ 1 3 0の光周波数を制御する。すなわち、低レイテンシ通信の送信元サーバに対応する光トランシーバ 1 3 0において、光源 1 3 1 aの光周波数が $f_z$ に制御される。これにより、先に設定されている通常通信パスの中心周波数および新たに設定されるエクスプレスパスの中心周波数がいずれも $f_z$ に制御される。ただし、レーザ光源の発振周波数誤差が存在するので、通常通信パスの中心周波数とエクスプレスパスの中心周波数とは完全には一致していない。

【 0 0 8 8 】

S 8において、光周波数差検出器 7 1は、通常通信パスの中心周波数とエクスプレスパスの中心周波数との差分  $f$ を検出する。そして、エッジ送信器 1 0の周波数補正部 1 5は、通常通信パスの中心周波数とエクスプレスパスの中心周波数とが一致するように、光周波数差検出器 7 1による検出結果に基づいて電界情報信号を補正する。このとき、周波数補正部 1 5は、I Q変調器 1 8の出力光信号の中心周波数を  $f$ だけシフトさせるように、電界情報信号を補正する。

【 0 0 8 9 】

S 9において、エッジ送信器 1 0のマッパ 1 3は、通常通信パスおよびエクスプレスパスの光スペクトラムが互いに重複しないように、通常通信パスを介して伝送される多値光信号の電界情報信号を補正する。このとき、マッパ 1 3は、たとえば、図 6 ( d )に示すように、通常通信パスを介して伝送される多値光信号のスペクトラムが 2 つに分離されるように、電界情報信号を補正する。換言すれば、マッパ 1 3は、図 8 に示すマッパ 4 4 - 1、4 4 - 2を使用して入力データから電界情報信号を生成する。なお、S 8およびS 9は、並列に実行されるようにしてもよい。また、S 9は、S 8よりも前に実行されるようにしてもよい。そして、S 1 0において、データセンタ間で通常通信パスおよびエクスプレスパスが多重化された通信が開始される。

【 0 0 9 0 】

S 1 1において、チャンネル割り当て制御部 9 1は、低レイテンシ通信の停止要求を待ち受ける。そして、この要求を受信すると、S 1 2において、データセンタ 1 0 0は、エクスプレスパスによるデータ伝送を停止する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 1 】

S 1 3において、周波数補正部 1 5は、電界情報信号の補正を停止する。この結果、通常通信パスの中心周波数は、エクスプレスパスが設定される前の状態に戻るようになる。S 1 4において、マップ 1 3は、電界情報信号を生成するためのマッピングパターンを、エクスプレスパスが設定される前の状態に戻す。すなわち、マップ 1 3は、図 8に示すマップ 4 2を使用して入力データから電界情報信号を生成する。

## 【 0 0 9 2 】

このように、本発明の実施形態に係わる光ネットワークシステムによれば、多値光信号を伝送する通常通信パスおよび小さいレイテンシを実現するエクスプレスパスが多重化される。したがって、複数の異なる通信要件を満足する光通信において通信資源の利用効率が改善する。

10

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 9 3 】

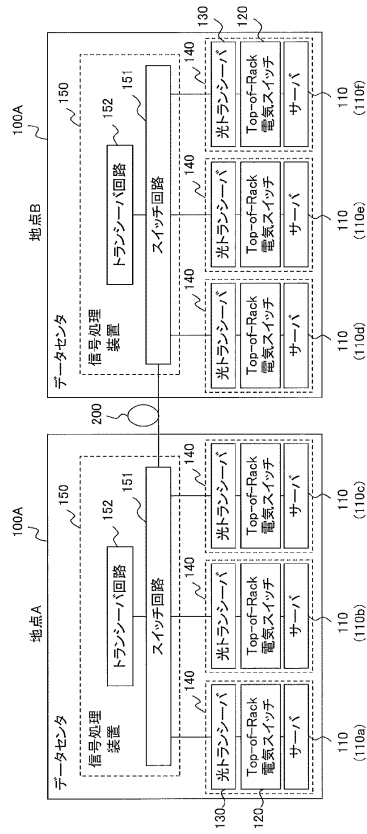
- 1 0 エッジ送信器
- 1 3 マップ
- 1 5 周波数補正部
- 1 7 光源 ( L D )
- 1 8 I Q 変調器
- 4 4 - 1、4 4 - 2 マップ
- 4 5 - 1、4 5 - 2 周波数補正部
- 4 6 加算器
- 6 0 エッジ受信器
- 6 4 分離部
- 6 4 a 周波数分離部
- 6 4 b 判定部
- 6 4 c 干渉計算部
- 6 4 d 干渉除去部
- 1 0 0 A、1 0 0 B データセンタ
- 1 3 0 光トランシーバ
- 1 3 1 光送信器
- 1 3 1 a 光源 ( L D )
- 1 3 2 光受信器
- 1 3 2 a 受光器 ( P D )
- 2 0 0 光ファイバリンク

20

30

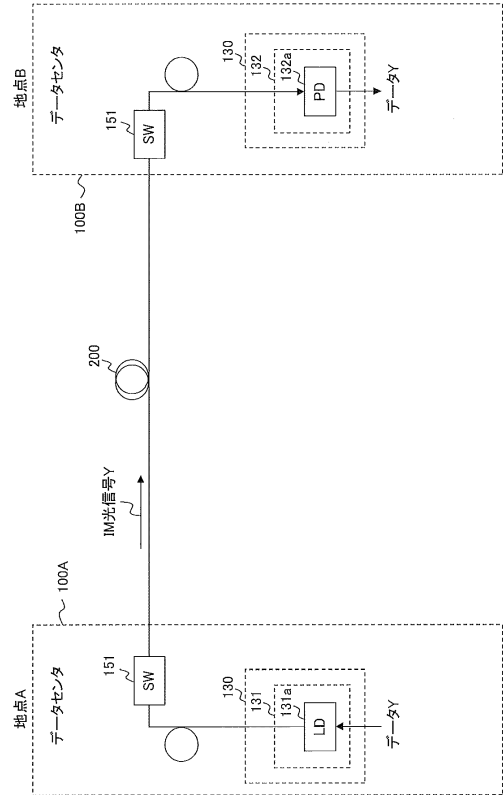
【図1】

光ネットワークシステムの一例を示す図



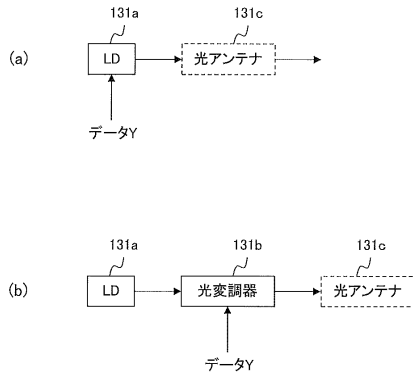
【図2】

エクスペリメンタルによる通信の一例を示す図



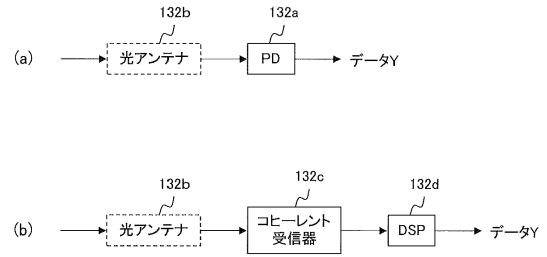
【図3】

光送信回路の実施例を示す図



【図4】

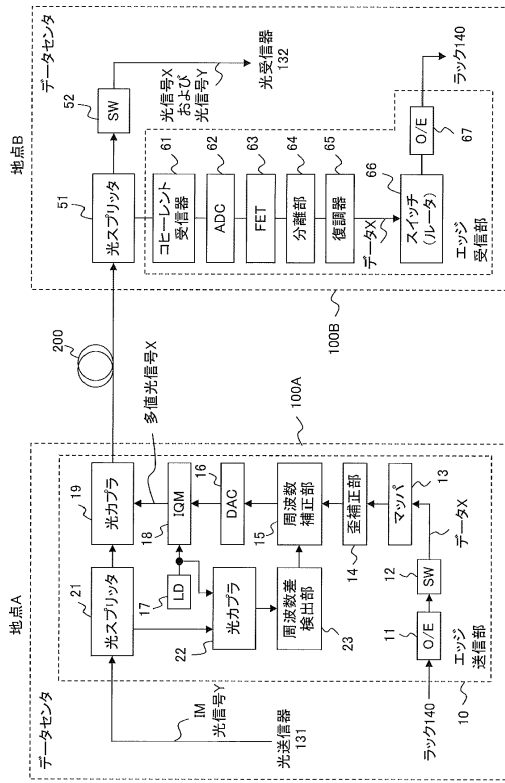
光受信回路の実施例を示す図





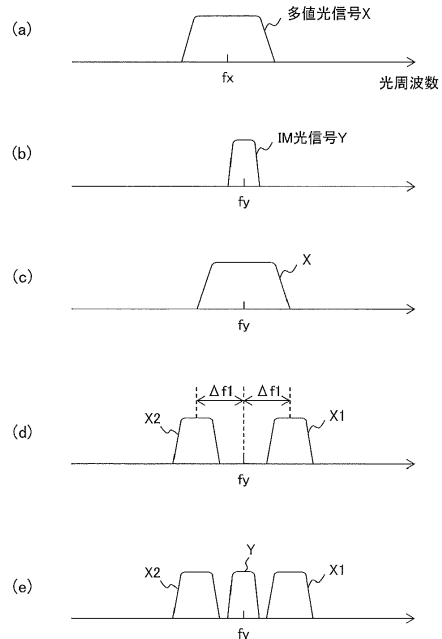
【図5】

通常通信バスによる通信の一例を示す図



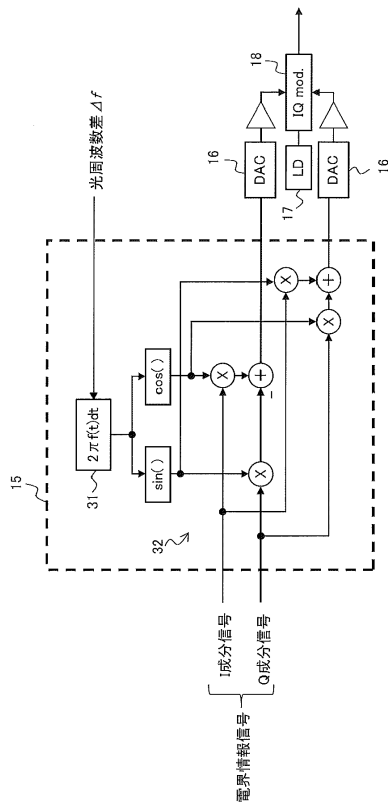
【図6】

データセンタ間通信の光スペクトラムを模式的に示す図



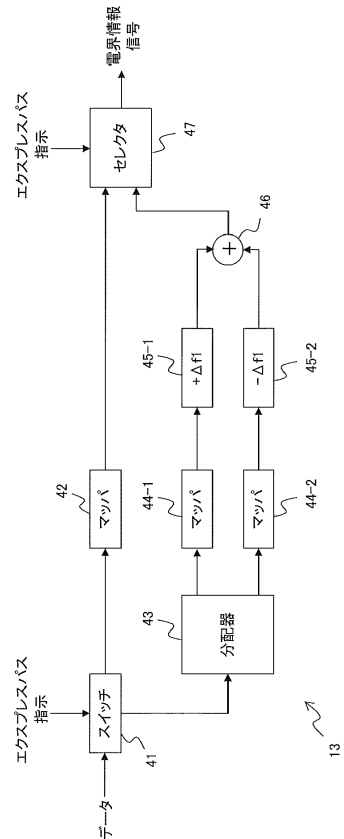
【図7】

周波数補正部の一例を示す図



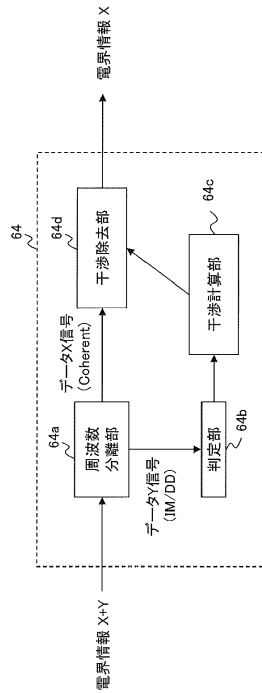
【図8】

マッパの一例を示す図



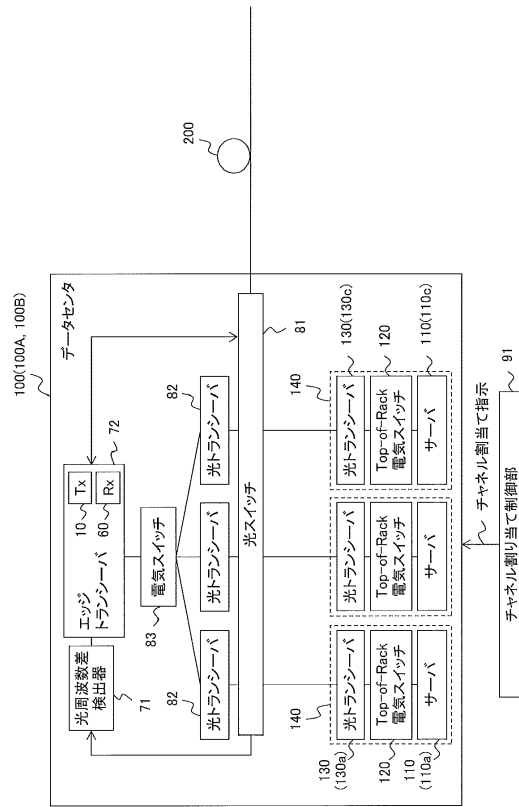
【図9】

分離部の一例を示す図



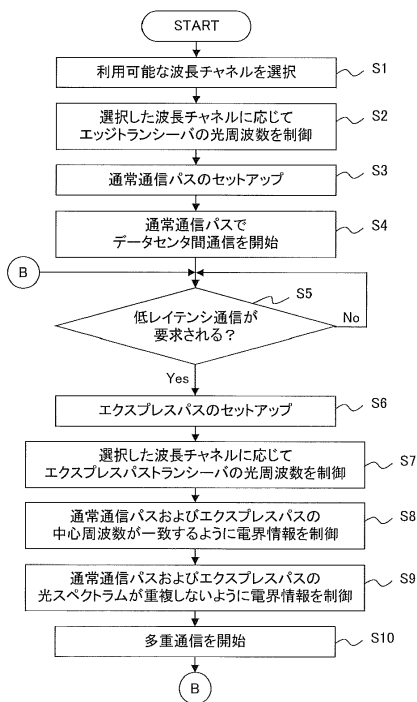
【図10】

データセンタ間通信の実施例を示す図



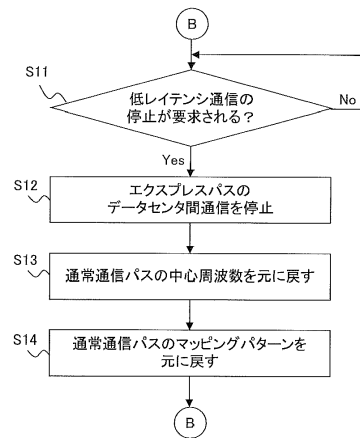
【図11】

データセンタ間通信の一例を示すフローチャート(その1)



【図12】

データセンタ間通信の一例を示すフローチャート(その2)



---

フロントページの続き

(72)発明者 星田 剛司

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

審査官 対馬 英明

(56)参考文献 特開2011-244436(JP,A)

特開2013-051541(JP,A)

特開2016-034078(JP,A)

特開2001-320290(JP,A)

SAMADI P. et al., Virtual Machine Migration over Optical Circuit Switching Network in a Converged Inter/Intra Data Center Architecture, OFC 2015, 米国, OSA, 2015年 3月, Th4G.6

SAMADI P. et al., Experimental Demonstration of Converged Inter/Intra Data Center Network Architecture, 2015 17th International Conference on Transparent Optical Networks, 米国, IEEE, 2015年 7月, page 1-4, We.B3.3

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 10/00 - 10/90

H04J 14/00 - 14/08