

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2012年10月4日(04.10.2012)



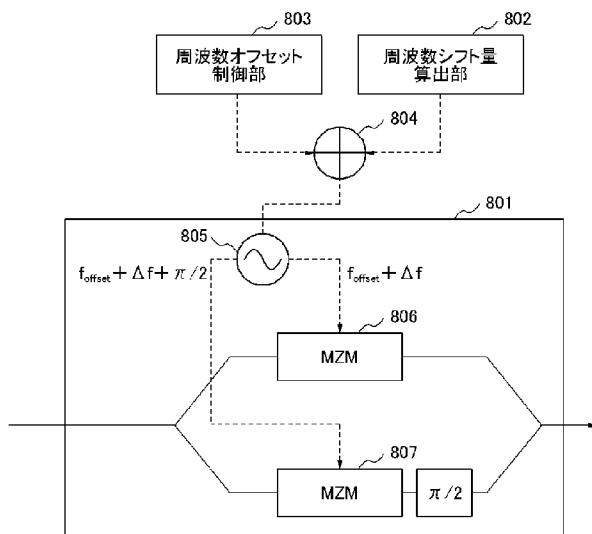
(10) 国際公開番号  
WO 2012/132374 A1

- (51) 国際特許分類:  
H04B 10/105 (2006.01) H04B 10/148 (2006.01)
  - (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/002049
  - (22) 国際出願日: 2012年3月23日(23.03.2012)
  - (25) 国際出願の言語: 日本語
  - (26) 国際公開の言語: 日本語
  - (30) 優先権データ:  
特願 2011-067698 2011年3月25日(25.03.2011) JP
  - (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社(NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).
  - (72) 発明者; および
  - (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 橋本 陽一 (HASHIMOTO, Yoichi) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
  - (74) 代理人: 速水 進治(HAYAMI, Shinji); 〒1410031 東京都品川区西五反田7-9-2 五反田TGビル9階 Tokyo (JP).
  - (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
  - (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: TRANSMITTER, RECEIVER, TRANSMISSION METHOD, RECEPTION METHOD AND COMMUNICATION SYSTEM

(54) 発明の名称: 送信器、受信器、送信方法、受信方法及び通信システム

[図1]



802... FREQUENCY SHIFT AMOUNT CALCULATION UNIT  
803... FREQUENCY OFFSET CONTROL UNIT

(57) Abstract: A transmitter is provided with: an optical data modulating means for modulating an optical carrier having a first frequency with a data signal and outputting the result as signal light; an optical frequency shifting means for shifting the frequency of the signal light, on the basis of a predetermined frequency offset amount, from the first frequency to a second frequency and outputting the result; and a frequency offset control means for controlling the frequency offset amount such that the harmonic component generated by the optical frequency shifting means does not overlap the band of the data signal.

(57) 要約: 送信器は、第1の周波数を持つ光搬送波をデータ信号で変調して信号光として出力する光データ変調手段と、前記信号光の周波数を、所定の周波数オフセット量に基づいて前記第1の周波数から第2の周波数へシフトさせて出力する光周波数シフト手段と、前記光周波数シフト手段で生じる高調波成分が前記データ信号の帯域と重複しないように前記周波数オフセット量を制御する周波数オフセット制御手段と、を備える。

WO 2012/132374 A1

## 明 細 書

発明の名称：

送信器、受信器、送信方法、受信方法及び通信システム

### 技術分野

[0001] 本発明は、送信器、受信器、送信方法、受信方法及び通信システムに関し、特にコヒーレント光通信方式に用いられる光送信器、光受信器、光送信方法、光受信方法及び光通信システムに関する。

### 背景技術

[0002] 近年、次世代の陸上及び海底における光ファイバ網を用いた光通信技術として、コヒーレント光送受信方式とデジタル信号処理技術とを組み合わせたデジタルコヒーレント光通信方式が注目されている。

[0003] 加えて、人工衛星などの飛翔体（移動体）と地上基地局等とを接続する次世代光空間通信においても、高感度化と高ビットレート化との期待から、デジタルコヒーレント光通信方式の導入が検討され始めている。

[0004] デジタルコヒーレント光通信方式で用いられる受信器は、受信された信号光（受信光）を局部発振器からの出力光（局発光）と混合することによって、受信光の強度と位相情報とを抽出可能なベースバンド電気信号を生成する。そして、受信器は、電気信号に変換された信号をアナログ／デジタル変換器（`analog to digital converter`、ADC）によってデジタル信号に変換する。さらに、受信器は、変換されたデジタル信号から受信光の強度および位相情報を抽出し、抽出した信号をデジタル信号処理することによって、受信した信号からデータを復調する。

[0005] 図9は、光ファイバを伝送媒体とするデジタルコヒーレント光通信方式において、送信される信号光、受信された信号光、及び受信された信号光をコヒーレント検波する際の局発光の周波数の関係を示す図である。図9において、送信される信号光及び受信された信号光の周波数は  $f_s$ 、局発光の周波数は  $f_{LO}$  である。

[0006] 図9に示すデジタルコヒーレント光通信方式においては、受信された信号光の周波数と局発光の周波数とをおおむね一致させるイントラライン方式が採用されている。イントラライン方式では受信した光信号と局発光との間の周波数同期や位相同期を光信号の状態では行わない。受信信号と局発光との周波数ずれや位相ずれは、デジタル信号処理技術を用いて電気信号として補償される。

[0007] 受信器においては、受信光と局発光との周波数ずれの量は、例えば、数GHz以内であることが望ましい。受信器は、デジタル信号処理における位相同期処理により、受信光と局発光との周波数及び位相の同期を行う。このため、さらに具体的には、受信光と局発光との周波数ずれの量は受信器の位相同期処理の周波数同期範囲内であることが望ましい。現在、商用可能なレーザの発振周波数の誤差は、±2.0GHz程度である。実際の光通信システムにおいて送信側光源及び受信側局発振光源の2つが使用されることを考慮すると、周波数ずれの量は±5.0GHz以上となる場合がある。受信器はこのような周波数ずれをデジタル信号処理により補償している。

[0008] 図10は、非特許文献1に記載された、受信光と局発光との周波数及び位相の同期を行う構成を示す図である。非特許文献1は、受信光と局発光との周波数差を数GHz以下とすることで、デジタル信号処理による位相補償を安定して実施する構成を開示している。

[0009] 図10に示す構成では、90度ハイブリッド1201には信号光及び光周波数シフト部1206の出力が入力される。そして、90度ハイブリッド1201は直交するI (in phase) 信号及びQ (quadrature) 信号を出力する。サンプラー1202及び1203は、I信号及びQ信号をサンプリングし、キャリア位相抽出部1204に入力する。キャリア位相抽出部1204は、局発振光源1208の出力光と信号光との周波数差を検知する。そして、キャリア位相抽出部1204は、検知した周波数差を示す信号によって、VCO (voltage-controlled oscillator、電圧制御発振器) 1207を制御する。VCO1207は

、キャリア位相抽出部1204が検知した周波数差に対応する周波数の信号を発生させる。さらに、光周波数シフト部1206は、VCO1207が発生する信号によって、90度ハイブリッド1201に入力される局部発振光源1208の周波数をシフトさせる。

[0010] 一方、移動体ー地上基地局間あるいは移動体間における光空間通信システムなどにおいては、チャンネルにおいて信号光のキャリア（搬送波）周波数の動的なシフト（周波数シフト）が生じる場合がある。このような通信システムにデジタルコヒーレント光送受信方式を導入すると、チャンネルで周波数シフトが発生した結果、デジタル信号処理で補償できる周波数差をこえた周波数オフセットが生じる恐れがある。

[0011] 特に、非常に大きな周波数シフト（例えば、QPSKの場合には $\pi/2$ に近い位相シフト）が起きてしまうと、受信信号のシンボル間の位相差が、変調によるシンボル遷移であるのか、局発光との周波数差であるのかの区別が困難になる。その結果、デジタル信号処理回路においてこのような周波数シフトを含んだ状態での安定した復調が実現できなくなる場合がある。

[0012] また、周波数オフセットが動的に変動する場合には、デジタル信号処理によって周波数補償及び位相補償を行う際に、周波数補償量の動的な変化量が大きくなる場合がある。このような場合にはデジタル信号処理回路において位相補償の誤差が生じやすく、復調する信号の判定に誤りが生じる恐れがあるという問題もある。

[0013] また、周波数補償の際に高速のオーバーサンプリングを行うことで、周波数補償量の補償精度を向上させることが可能である。しかし、オーバーサンプリングを行うと単位時間当たりに処理する信号のデータ量が増えるため、信号処理回路の規模が増大するといった問題が生じる。

[0014] 図11を用いて、上記の問題点を具体的に説明する。図11は、光空間通信チャンネルにデジタルコヒーレント光送受方式を導入した場合において、送信される信号光、受信される信号光及び局発光の周波数を示す図である。

[0015] 図11を参照すると、光空間通信においては、人工衛星等の移動体から送

信される信号光の周波数 ( $f_s$ ) は、移動体と地上局との相対的な移動速度に依存して正または負の周波数シフト ( $+\Delta f$  または  $-\Delta f$ ) を受ける。周波数シフトの発生する原因としては、例えばドップラーシフトがある。

[0016] 具体的には、移動体の送信開始時 (A) においては、移動体は地上局に近づくように動く。このため、地上局は周波数が  $f_s + \Delta f$  である信号光を移動体から受信する。そして、移動体が頂点 (B) に近づくにつれて移動体の地上局との相対的な速度は小さくなるので、周波数シフト  $\Delta f$  はゼロに近づく。移動体が頂点 (B) を通過する瞬間においては、地上局は、送信光と同じ周波数の信号を受信する。

[0017] 移動体は、頂点 (B) を通過後には地上局から遠ざかるように動く。このため、地上局は、周波数が  $f_s - \Delta f$  である信号を受信する。一般に、周波数  $f$  は光速  $c$  と波長  $\lambda$  とを用いて  $f = c / \lambda$  と表記できる。従って、地上局が受信する信号光の波長は、送信開始時刻直後から移動体が頂点 (B) に到達するまでの間は  $\lambda_s (= c / f_s)$  よりも短波長側にシフトしている。そして、移動体が頂点 (B) を通過後、送信の終了までの間は、地上局が受信する信号光の波長は、 $\lambda_s$  よりも長波長側にシフトしていく。

[0018] この周波数シフト量  $\Delta f$  は、低軌道 (low earth orbit、LEO) 衛星などの高速な移動体においては  $\pm 10 \text{ GHz}$  以上に達する。そのため、地上基地局で受信された信号光の周波数と、局発光の周波数  $f_{LO}$  の光周波数差が時間と共に増大する場合がある。

[0019] ドップラーシフトが存在する場合、自走する局発光と光搬送波とのイントラダイン検波において想定される局発光の周波数の揺らぎによる局発光と光搬送波との光周波数差に加えて、さらに周波数シフトによってより大きい周波数差が生じる。また、周波数シフト量は移動体の位置とともに変化するため、時間とともに光搬送波の周波数は大きく変化する。これは、動的なキャリア周波数の推定が必要になることを意味する。

[0020] 本発明に関連して、特許文献 1 及び特許文献 2 は、移動体と地上局との間のドップラーシフト量に基づいて搬送波周波数を調整する無線伝送システム

または無線通信システムを記載している。さらに、特許文献3は、コヒーレント光通信システムを空間光伝送装置に適用した構成を記載している。

## 先行技術文献

### 特許文献

- [0021] 特許文献1：特開2006-345427号公報  
特許文献2：特開2009-201143号公報  
特許文献3：特開平6-112904号公報

### 非特許文献

- [0022] 非特許文献1：Sakamoto et al, "Digital Optical Costas Loop for Coherent Demodulation of 10-Gb/s BPSK", The 15th OptoElectronics and Communications Conference (OECC2010)、2010年7月、9B3-2

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0023] 図10に示したような光周波数シフト部1206を用いて周波数シフトをさせる場合、高次のサイドバンド（高調波）が発生する。例えば、光シングルサイドバンド変調器によって局発光の周波数をシフトさせる場合を考える。この場合、光周波数シフト部1206における周波数のシフト量の絶対値 $\Delta f$ が小さい場合は、データ信号成分と高調波に重畳されるデータ変調成分が重なってしまう場合がある。その場合には、データ信号成分と高調波成分とが分離ができないという問題が生じる。
- [0024] 図12は、光周波数シフト部の構成の一例を示す図である。図12に示す光周波数シフト部1101は、VCO1102及び2個のMZM（Mach-Zehnder Modulator、マッハツェンダ変調器）1103及び1104を備える。

[0025] VCO 1102は、外部から入力される信号により、周波数シフト量に相当する周波数 $\Delta f$ の信号を発生し、その信号を2個のMZM 1103及び1104に印加する。これにより、MZMに入力された光信号の信号キャリア周波数を $\Delta f$ だけシフトさせることができる。ここで、MZMで構成された光周波数シフタは当業者にはよく知られているので、詳細な説明は省略する。

[0026] 図13は、図12で説明した光周波数シフタ部1101により信号光の周波数をシフトした場合に発生するシフト後の信号光の周波数成分と、付加的に発生する3次の高調波の周波数成分との一般的な関係を示した図である。図13の(a)は、光周波数シフタ部1101へ入力される信号光のスペクトルであり、図13の(b)は光周波数シフタ部1101から出力される信号光のスペクトルである。

[0027] 図13の(b)に示すように、光周波数シフタ部1101におけるシフト量の絶対値 $\Delta f$ が比較的小さい場合は、データ信号成分と高調波に重畳されるデータ変調成分の帯域が重なる。その結果、データ信号成分と高調波とが分離できない。例えば、周波数シフト量が正の値から0へ変化し、さらに0から負の値へ変化するような場合、光周波数シフタ部1101から出力される信号光では、シフトさせた周波数の絶対値が小さいほど、信号光と高調波成分との間で強い干渉(ビート)が生じる。そして、干渉成分が信号光に重畳されてしまうことにより、信号光の信号対雑音比が悪化する。その結果、データの復調が正常に行われず、通信システムの通信品質が低下するといった問題が生じる。

[0028] しかしながら、上述した非特許文献1や特許文献1~3は、光周波数シフタ部から出力される光の高調波がデータ信号の帯域と重なることにより、通信システムの通信品質が低下する場合があるという課題を解決していない。

[発明の目的]

本発明の目的は、光周波数シフタ部から出力される光の高調波がデータ信号の帯域と重なることにより信号光の信号対雑音比が悪化する結果、通信シ

ステムの通信品質が低下するという課題を解決するための技術を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0029] 本発明の送信器は、第1の周波数を持つ光搬送波をデータ信号で変調して信号光として出力する光データ変調手段と、信号光の周波数を、所定の周波数オフセット量に基づいて第1の周波数から第2の周波数へシフトさせて出力する光周波数シフト手段と、光周波数シフト手段で生じる高調波成分がデータ信号の帯域と重複しないように周波数オフセット量を制御する周波数オフセット制御手段と、を備える。

[0030] 本発明の受信器は、第2の周波数を持つ信号光を受信する受信手段と、第3の周波数を持つ局発光の周波数を、所定の周波数オフセット量に基づいて第2の周波数へシフトさせて出力する光周波数シフト手段と、光周波数シフト手段で生じる高調波成分がデータ信号の帯域と重複しないように周波数オフセット量を制御する周波数オフセット制御手段と、信号光と光周波数シフト手段から出力される局発光とを用いてコヒーレント受信を実行するコヒーレント受信手段と、を備える。

[0031] 本発明の送信方法は、第1の周波数を持つ光搬送波をデータ信号で変調して信号光として出力し、信号光の周波数を所定の周波数オフセット量に基づいて第1の周波数から第2の周波数へシフトさせて出力し、第2の周波数へのシフトの際に生じる高調波成分がデータ信号の帯域と重複しないように周波数オフセット量を制御する。

[0032] 本発明の受信方法は、データ信号で変調された、第2の周波数を持つ信号光を受信し、第3の周波数を持つ局発光の周波数を、所定の周波数オフセット量に基づいて第2の周波数へシフトさせて出力し、第2の周波数へのシフトの際に生じる高調波成分がデータ信号の帯域と重複しないように周波数オフセット量を制御し、信号光と第2の周波数へシフトさせた局発光とを用いてコヒーレント受信を実行する。

### 発明の効果



[0033] 本発明は、通信システムにおける通信品質を向上させるという効果を奏する。

### 図面の簡単な説明

[0034] 上述した目的、およびその他の目的、特徴および利点は、以下に述べる好適な実施の形態、およびそれに付随する以下の図面によってさらに明らかになる。

[0035] [図1]第1の実施形態の基本的な構成を説明するための図である。

[図2]第1の実施形態において、光周波数シフト部から出力される光の周波数を示す図である。

[図3]第1の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。

[図4]第2の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。

[図5]第2の実施形態において、送信された光信号の周波数及び局発光の周波数の関係を示す図である。

[図6]第3の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。

[図7]第4の実施形態のエミュレーションシステムの構成を示す図である。

[図8]第5の実施形態として、人工衛星と地上局との間の通信のハンドオーバを説明するための図である。

[図9]光ファイバを伝送媒体とするデジタルコヒーレント光通信方式において、送信される信号光、受信される信号光及び局発光の周波数を示す図である。

[図10]本願発明と関連する、光信号と局発光との周波数及び位相の同期を行う方法を示す図である。

[図11]光空間通信チャンネルにデジタルコヒーレント光送受方式を導入した場合において、送信される信号光、受信される信号光及び局発光の周波数を示す図である。

[図12]光周波数シフト部の構成例を示す図である。

[図13]光周波数シフト部により信号光をシフトした場合に発生するシフト後の信号光と、付加的に発生する高次の高調波成分の周波数の関係を示す図で

ある。

### 発明を実施するための形態

[0036] 次に、本発明の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。ただし、以下に説明する実施形態は、あくまでも光空間通信における例示である。すなわち、以下の実施形態は、信号がチャンネルを伝送する際に光信号の周波数がシフトする場合に全般的に適用できる。また、以下の記載は、明示されない種々の変形や技術の適用を排除するものではない。即ち、以下の実施形態は、その趣旨を逸脱しない範囲において種々変形して実施することができる。

[0037] [第1の実施形態]

図1は、本発明の第1の実施形態の構成を説明するための図である。光周波数シフタ部801は、入力された信号に対応する周波数シフトを入力された信号光に与えて出力する。光周波数シフタ部801は、例えば、シングルサイドバンド変調器によって構成される。また、光周波数シフタ部801として、図12で説明した光周波数シフタ部1101を用いてもよい。

[0038] 周波数シフト量算出部802は、信号キャリア周波数シフト量 $\Delta f$ と対応する信号を出力する。ここで、信号キャリア周波数シフト量 $\Delta f$ は、信号光が伝送路を伝搬中に受ける周波数シフト量の絶対値である。周波数オフセット制御部803は、周波数オフセット量 $f_{offset}$ と対応する信号を出力する。周波数印加部804は、これらの信号に基づいて、周波数 $f_{offset} \pm \Delta f$ を示す信号を光周波数シフタ部801が備えるVCO805へ出力する。

[0039] なお、「 $\pm \Delta f$ 」は、場合に依じて実際シフトされる周波数が $+\Delta f$ または $-\Delta f$ のいずれかであることを示す。VCO805は、周波数印加部804から入力された、周波数 $f_{offset} \pm \Delta f$ を示す信号に基づいて、周波数が $f_{offset} \pm \Delta f$ である信号を発生する。

[0040] 例えば、周波数シフト量算出部802及び周波数オフセット制御部803は、それぞれ周波数に比例した直流電圧を出力するようにしてもよい。そし

て、周波数印加部804はそれらの直流電圧を加算してVCO805に出力し、VCO805は周波数印加部804から入力された直流電圧に比例する周波数の信号を発生するようにしてもよい。ここで、信号光の周波数が $\Delta f$ だけ低くなる方向へのシフトが行われる場合には、周波数印加部804は、周波数シフト量 $\Delta f$ を示す直流電圧を減算する。

[0041] 光周波数シフト部801は、VCO805が発生する周波数が $f_{offset} \pm \Delta f$ である信号をMZM806及び807に印加することで、周波数オフセット量 $f_{offset}$ に信号キャリア周波数シフト量 $\Delta f$ を加減算した周波数だけ、入力される信号光の周波数をシフトさせる。

[0042] たとえば、光周波数シフト部801は、 $f_{offset} \pm \Delta f$ が正の値である場合には、入力される信号光の周波数をより周波数が高い方向へシフトさせる。逆に、 $f_{offset} \pm \Delta f$ が負の値である場合には、光周波数シフト部801は、入力される信号光の周波数をより周波数が低い方向へシフトさせる。

[0043] 図2は、光周波数シフト部801から出力される光の周波数を示す図である。図2は、光周波数シフト部801により信号光をシフトした場合に発生するシフト後の信号光と、付加的に発生する高次（図2では3次）の高調波成分の周波数の関係を示す。

[0044] 図2を参照して、光周波数シフト部801の作用を説明する。図2(a)は、信号光の周波数が高くなる方向に信号キャリア周波数シフト量 $\Delta f$ によるシフトを行う場合を示す。図2(b)は、信号光の周波数が低くなる方向に信号キャリア周波数シフト量 $\Delta f$ によるシフトを行う場合を示す。図2(a)および図2(b)に示すように、光周波数シフト部801は、周波数が $f_s$ である光信号の周波数を、信号キャリア周波数シフトを補正するために推定された周波数量 $\Delta f$ と周波数オフセット量 $f_{offset}$ が加算されたシフト量 $f_{offset} \pm \Delta f$ で周波数シフトさせる。ここで、 $\Delta f$ は、実際に信号光が受ける信号キャリア周波数シフトとは絶対値が等しく逆の符号を持つように設定される。そして、光周波数シフト部801は $f_s + f_{offset}$

$f_{\text{set}} + \Delta f$  又は  $f_s + f_{\text{offset}} - \Delta f$  の周波数の信号光を出力する。この際、光周波数シフト部 801 では、 $3 \times (f_{\text{offset}} \pm \Delta f)$  の周波数の 3 次高調波が同時に発生する。

[0045] 図 2 (a) および図 2 (b) に示す信号光が、それぞれ信号キャリア周波数の動的なシフト  $-\Delta f$  または  $+\Delta f$  が生じるチャンネルを伝搬すると、図 2 (c) に示すように、信号キャリア周波数シフト  $\pm \Delta f$  は相殺される。その結果、周波数が  $(f_s + f_{\text{offset}})$  の信号光が受信器に到着する。

[0046] 一方、図 2 (d) に示すように、受信器は、局発光の周波数を  $f_s + f_{\text{offset}}$  となるように設定する。図 2 (e) に示すように、受信される信号光と 3 次高調波は、この局発光とイントラダイン検波により  $f_s + f_{\text{offset}}$  を基準としたベースバンド変調信号に変換される。このとき、図 13 で説明したように、周波数オフセット量  $f_{\text{offset}}$  (図 13 では  $\Delta f$  として記載されている) が小さいと、データ信号成分と高調波に重畳されるデータ変調成分の帯域が重なってしまう場合がある。

[0047] そこで、第 1 の実施形態においては、光周波数シフト部 801 で生じる 3 次高調波成分 (例えば図 2 (d) の場合、 $4 \times (f_{\text{offset}} \pm \Delta f)$  で発生する周波数) が信号光から復調されたデータの帯域と重複しないように、周波数オフセット量  $f_{\text{offset}}$  を設定する。

[0048] 図 2 (d) を参照すると、受信した信号光から復調された、帯域の全幅が  $W$  であるデータは、ベースバンド周波数領域では  $0 \sim W/2$  の帯域を占める。一方、3 次の高調波成分の中心周波数は、周波数軸上で  $4 \times f_{\text{offset}}$  の位置にあり、その帯域幅 (全幅) は  $W$  である。従って、データ信号と 3 次高調波とが周波数領域で重ならないようにするためには、 $4 \times f_{\text{offset}}$  の帯域内で、復調されたデータの帯域 (半幅)  $W/2$  と 3 次高調波の帯域 (半幅) が重ならないように  $f_{\text{offset}}$  を設定すればよい。その条件は  $4 \times f_{\text{offset}} > W/2 + W/2$  から  $f_{\text{offset}} > W/4$  と求められる。すなわち、データ信号の帯域幅 (全幅) を  $W$  とした場合、 $f_{\text{offset}}$  を  $W/4$  以上の周波数に設定すれば、光周波数シフト部 801 で生じ

る3次高調波成分とデータ信号の周波数成分は重ならない。

[0049] 第1の実施形態においては、周波数オフセット量  $f_{offset}$  を受信器における信号帯域の全幅  $W$  より大きく設定している。これにより、光周波数シフト部 801 で生じる3次高調波成分で発生する周波数は、除去される。

[0050] 図3は、本発明の第1の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。光通信システム10は、飛翔体である人工衛星と地上局との間を光空間通信で接続する。人工衛星は地上局に対して移動しており、人工衛星と地上局との間の相対的な距離は時間的に変化している。以下の説明では、送信器101は人工衛星に搭載されており、受信器115は地上局に設置されている場合について説明する。

[0051] 光通信システム10においては、デジタルコヒーレント光通信方式が適用されている。人工衛星に搭載された送信器101から送信される信号光データは、光空間通信によって信号キャリア周波数の動的なシフトが生じるチャンネル117を経由して地上局に設置された受信器115で受信される。

[0052] 図3において、送信器101は、光源部102、データ変調部103、光周波数シフト部104、周波数印加部105、周波数オフセット制御部106、周波数シフト量算出部107、位置情報算出部108を備える。また、受信器115は、光増幅部116、コヒーレント受信部112、デジタル信号処理部113、局部発振光源114を備える。

[0053] 位置情報算出部108は、人工衛星と地上局の距離またはこれらの位置や、人工衛星の移動速度の情報を周波数シフト量算出部107に出力する。位置情報算出部108は、例えば移動速度を、単位時間当たりの位置の変化量に基づいて算出する。

[0054] 周波数シフト量算出部107は、送信器から出力される信号光が地上局へ到達するまでに受ける周波数シフト量  $\Delta f$  を算出する。周波数シフト量  $\Delta f$  は、たとえばドップラーシフトなどに起因する周波数シフトの量であり、人工衛星と地上局の距離の変化またはこれらの位置の変化や、人工衛星の移動速度の情報などから算出することができる。そして、周波数シフト量算出部

107は、算出された周波数シフト量 $\Delta f$ に対して、伝搬する際に受ける周波数シフト量とは正負が逆の周波数に対応する信号を発生する。一般に、送信器から出射される信号光の波長は、人工衛星が地上局に近づく場合には周波数が上昇する方向 $+\Delta f$ （波長でいえば短波長の方向）へシフトする。一方、人工衛星が地上局から遠ざかる場合には、周波数が減少する方向 $-\Delta f$ （波長でいえば長波長の方向）へシフトする。そのため、周波数シフト量算出部107が出力する信号が示す周波数は、人工衛星が近づく方向の場合は、周波数が減少する方向へ変化し、人工衛星が遠ざかる場合は周波数が上昇する方向へ変化する。周波数シフト量算出部107は、通信開始時刻から通信終了時刻までの間、人工衛星の位置情報及び速度情報から逐次周波数シフト量を算出する。

[0055] 一方、周波数オフセット制御部106は、データ変調部103で変調される信号光のデータ変調帯域と周波数シフト量算出部107が算出する周波数シフト量とのそれぞれの最大値を考慮して、これらの和より大きい周波数である周波数オフセット $f_{offset}$ に対応する信号を発生させる。

[0056] 例えば、50Gbpsのデータレートで単一偏波QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 方式によりデータ変調を行った光信号を送信する場合を考えた場合、送信信号のボーレートは25GHzとなる。ここで、ドップラーシフト等による最大周波数シフト量が10GHzであると仮定すると、周波数オフセット制御部106は、 $25\text{GHz} + 10\text{GHz} = 35\text{GHz}$ 以上の周波数である $f_{offset} = 40\text{GHz}$ に周波数オフセットを設定する。そして、周波数オフセット制御部106は、周波数が40GHzであることを示す信号を出力する。

[0057] ここで、周波数オフセット制御部106及び周波数シフト量算出部107が出力する「周波数と対応する信号」は、周波数に比例した直流電圧とし、周波数印加部105はこれらの直流電圧の和の電圧の直流電圧を出力するようにしてもよい。

[0058] 光周波数シフト部104には、光源部102で発生された光をデータ変調

部103で変調した波長 $\lambda_S (= c / f_s)$ の信号光110が入射される。周波数印加部105は加算された周波数 $f_{offset} \pm \Delta f$ を示す信号を出力する。

[0059] 光周波数シフタ部104は、周波数印加部105から入力された信号に基づいて、信号光110の周波数を $f_{offset} \pm \Delta f$ だけシフトさせる。例えば、光周波数シフタ部104は、周波数印加部105から入力された信号の直流電圧に比例する周波数をVCOに発振させ、VCOの出力をMZMに印加することで信号光の周波数をシフトさせてもよい。この際、光周波数シフタ部104は、信号キャリア周波数が $f_s + f_{offset} \pm \Delta f (= c / (\lambda_s + \lambda_{offset} \pm \Delta \lambda))$ である光信号111と3次以上の高調波成分とを同時に出力する。

[0060] 光周波数シフタ部104から出力された光信号111は、光送信アンテナより空間へ放射される。この送信信号光が光搬送波周波数の動的なシフトが生じるチャンネルを伝搬中に、周波数シフト $\pm \Delta f$ はキャンセルされる。その結果、受信器は信号光キャリア周波数が $f_s + f_{offset}$ である受信光119を光受信アンテナを経て受信する。

[0061] 光増幅部116は、受信光119を増幅する。コヒーレント受信部112は、光増幅部116で増幅された受信光を、コヒーレント受信技術を用いて電気信号に変換する。コヒーレント受信部112は、例えば90°ハイブリッド光回路、バランストディテクタ、電気帯域通過フィルタ及びアナログ／デジタル変換器(analog-digital converter、ADC)等によって構成されている。コヒーレント受信部112の一般的な構成は知られているので、その構成及び作用の詳細な説明は省略する。コヒーレント受信部112は、光増幅部116で増幅された受信光と局部発振光源114から出力される局発光とを混合して、ベースバンド変調信号を復調する。具体的には、局発光の光周波数 $f_{LO}$ は、受信される受信光119の周波数 $f_s + f_{offset}$ とほぼ同程度になるように設定される。

[0062] ここで、局部発振光源114の周波数 $f_{LO}$ と光源部102の周波数 $f_s$

とが大きく異なっていると、デジタル信号処理部 113 においてこれらの周波数差の補償が困難となる場合がある。そこで、周波数オフセット制御部 106 は、受信器 115 が受信する信号光の周波数  $f_s + f_{offset}$  が局部発振光源 114 の周波数  $f_{LO}$  とほぼ同一となるような周波数に  $f_{offset}$  をあらかじめ設定してもよい。その結果、局部発振光源 114 の周波数  $f_{LO}$  と光源部 102 の周波数  $f_s$  とが異なっている場合でも、デジタル信号処理部 113 において、受信器 115 が受信する信号光と局部発振光源 114 との周波数差を補償することが可能となる。

[0063] そして、コヒーレント受信部 112 において、イントラライン検波したベースバンド変調信号を ADC によりサンプリングすることでデジタル化された変調信号が得られる。また、受信器で受信されたデータ信号のうち、コヒーレント受信部 112 の受信帯域外の高次の高調波成分は、データ信号に影響を与えることなく除去される。

[0064] デジタル信号処理部 113 は、受信した信号に対して波形整形、位相抽出、周波数偏差及び位相偏差の補償等を行い、データを復調する。

[0065] このように、第 1 の実施形態の光通信システムにおいては、送信器の光源の波長と、受信器の局部発振光源の波長が、互いに周波数オフセット量だけ離れている。そして、周波数オフセットは、送信器において、データ変調帯域と周波数シフト量との和より大きい周波数となるように生成されるので、光周波数シフトから出力される 3 次高調波成分は、信号光から復調されたデータの帯域と重複しない。その結果、第 1 の実施形態の光通信システムにおいては、送信器の光周波数シフト部で生じる高調波成分による光信号対雑音比の悪化を軽減することが可能となる。

[0066] また、第 1 の実施形態の光通信システムは、信号光キャリア周波数を、移動体の動きに基づいて発生する周波数シフトを相殺するようにさらにシフトさせる。このため、第 1 の実施形態の光通信システムにおいては、移動体の動きに基づいて発生する、受信光と局発光の周波数差を低減することができる。その結果、第 1 の実施形態の光通信システムにおいては、オーバーサン



プリングを行うことなく受信データのシンボルの位相をより正確に検出できる。

[0067] このように、第1の実施形態の光通信システムは、通信システムの通信品質を向上させるという効果を奏する。加えて、第1の実施形態の光通信システムは、オーバーサンプリングを行って受信データの位相補償精度を向上させる構成と比較して、デジタル信号処理の際の処理量を軽減させることができる。その結果、第1の実施形態の光通信システムは、デジタル信号処理回路の規模を小さくすることができ、送信器のデジタル信号処理回路の低消費電力化を図ることができるという効果も奏する。

[0068] また、第1の実施形態において、データ信号の帯域幅（全幅）を $W$ とした場合、周波数オフセット量を $W/4$ 以上に設定してもよい。周波数オフセット量を少なくとも $W/4$ 以上に設定すれば、光周波数シフト部で生じる3次高調波成分とデータ信号の周波数成分は重ならない。従って、周波数オフセット量を $W/4$ 以上に設定した場合も、上記の第1の実施形態と同様の効果が得られる。

[0069] なお、図3に示した光通信システムにおいて、送信器101は、光源部102、データ変調部103、光周波数シフト部104及び周波数オフセット制御部106のみを備え、周波数オフセット制御部106の出力は直接光周波数シフト部104に入力されていてもよい。この場合、周波数オフセット制御部106は、信号光キャリア周波数をシフトさせることで移動体の動きに基づいて発生する周波数シフトを相殺するように光周波数シフト部104を制御する。その結果、光源部102、データ変調部103、光周波数シフト部104及び周波数オフセット制御部106のみを備える送信器も、上述した第1の実施形態の効果を得ることができる。

[0070] [第2の実施形態]

図4は、本発明の第2の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。第2の実施形態の光通信システム20においては、送信器201から送信される信号光データは、光空間通信などの信号キャリア周波数の動的なシフト

が生じるチャンネル204を経由して、デジタルコヒーレント光通信方式を適用した受信器206で受信される。

[0071] 送信器201は、光源部202及びデータ変調部203を備える。送信器201においては、光源部202が発生した周波数 $f_s$  ( $=c/\lambda_S$ )の光搬送波は、データ変調部203により変調されてチャンネル204に放射される。

[0072] 受信器206は、光増幅部208、コヒーレント受信部209、デジタル信号処理部210、局部発振光源211及び光周波数シフト部212を備える。受信器206は、さらに、周波数印加部213、周波数オフセット制御部214、周波数シフト量算出部215及び位置情報算出部216を備える。

[0073] 図3で説明した光通信システム10では、送信器101においてデータ変調部103の出力と周波数印加部105の出力とが光周波数シフト部104に入力されていた。これに対して、図4に示す光通信システム20では、受信器206において、局部発振光源211の出力と周波数印加部213の出力とが光周波数シフト部212に入力されている。

[0074] 図5は、第2の実施形態において、送信された光信号の周波数及び局発光の周波数の関係を示す図である。

[0075] 図5(a)は、地上局に近づく人工衛星の送信器から出射された信号光の周波数 $f_s$ が、ドップラーシフト等の周波数シフト $+\Delta f$ を受けて周波数が $f_s + \Delta f$ となることを示す。受信器206は、周波数シフト $+\Delta f$ を受けた信号光を受信する。

[0076] 図5(b)は、地上局に近づく人工衛星の送信器から出射された信号光を受信する場合において、受信器206における局部発振光源211の周波数 $f_{LO}$ をシフトさせる様子を示している。

[0077] 受信器206が備える光周波数シフト部212は、図3で説明した光周波数シフト部104と同様に、周波数印加部213の出力に基づいて、局部発振光源211の周波数 $f_{LO}$ をシフトさせる。周波数印加部213には、周

波数オフセット制御部 214 及び周波数シフト量算出部 215 の出力が入力される。また、周波数シフト量算出部 215 の出力は、位置情報算出部 216 によって制御される。

[0078] そして、周波数シフトによって周波数が  $f_s + \Delta f$  となった受信光と周波数  $f_{LO}$  の局発光とでイントラダイン検波を行う。このため、光周波数シフト部 212 は、コヒーレント受信部 209 に入力される局発光の周波数と受信光の光搬送波の周波数  $f_s + \Delta f$  とがほぼ一致するように局発光の波長  $f_{LO}$  をシフトさせる。

[0079] 位置情報算出部 216 及び周波数シフト量算出部 215 は、図 3 で説明した位置情報算出部 108 及び周波数シフト量算出部 107 と同様の機能を備える。すなわち、位置情報算出部 216 は、人工衛星及び地上局の位置情報を周波数シフト量算出部 215 へ出力する。周波数シフト量算出部 215 は、位置情報算出部 216 から入力された位置情報に基づいて人工衛星と地上局との相対的な速度を算出する。そして、周波数シフト量算出部 215 は、ある時刻における受信された信号光の周波数シフト量と周波数シフトの向きとを推定し、それらに対応する信号を周波数印加部 213 に出力する。

[0080] 周波数オフセット制御部 214 は、周波数シフト量算出部 215 が算出した周波数シフト量  $\Delta f$  と受信した変調信号の帯域とを加算した周波数より大きい周波数を与える周波数オフセット量  $f_{offset}$  を設定し、周波数オフセット量に対応する信号を周波数印加部 213 に出力する。

[0081] 周波数印加部 213 は、周波数オフセット量  $f_{offset}$  と周波数シフト量  $\Delta f$  とが加算された周波数に対応する信号を光周波数シフト部 212 に入力する。

[0082] 図 5 (b) に示すように、光周波数シフト部 212 からは、周波数が  $f_{LO} - f_{offset} + \Delta f$  である光と、周波数が  $3(f_{offset} - \Delta f)$  で表記できる 3 次の高調波とが出力される。

[0083] ここで、第 1 の実施形態と同様に、周波数オフセット制御部 214 及び周波数シフト量算出部 215 は、「周波数と対応する信号」として、周波数に

比例した直流電圧を出力してもよい。そして、周波数印加部 213 はこれらの直流電圧の和の電圧の直流電圧を光周波数シフト部 212 へ出力するようにしてもよい。そして、光周波数シフト部 212 は、周波数オフセット量  $f_{offset}$  と周波数シフト量  $\Delta f$  とが加算された周波数の信号を VCO に発振させ、VCO の出力を MZM に印加して受信された信号光の周波数をシフトさせてもよい。

[0084] 図 5 (c) は、受信器のコヒーレント受信部 209 において、光増幅部 208 で増幅された受信光 218 と光周波数シフト部 212 によって周波数がシフトされた局発光とが混合され、ベースバンド変調信号に変換される様子を示す。ベースバンド変調信号は、受信帯域内に収まるように受信される。この際に、光周波数シフト部 212 で発生した 3 次の高調波成分は除去される。

[0085] 図 5 (d) ~ 図 5 (f) は、各々地上局から遠ざかる人工衛星の送信器から放射された信号光を受信する場合について説明する図である。図 5 (d) ~ 図 5 (f) は、人工衛星が地上局に近づく場合について説明した図 5 (a) ~ 図 5 (c) における周波数シフトを  $+\Delta f$  から  $-\Delta f$  に置き換えたものである。

[0086] すなわち、図 5 (d) は、地上局から遠ざかる人工衛星の送信器から出射された信号光の周波数  $f_s$  が、ドップラーシフト等により周波数シフト  $-\Delta f$  を受け、周波数が  $f_s - \Delta f$  となる様子を示す。

[0087] また、図 5 (e) は、地上局から遠ざかる人工衛星の送信器から出射された信号光を受信する場合において、受信器 206 における局発光の周波数を示す。

[0088] さらに、図 5 (f) は、受信器のコヒーレント受信部 209 において、光増幅部 208 から出力された受信光と光周波数シフト部 212 から出力された局発光とが混合され、ベースバンド変調信号が生成される様子を示す。

[0089] このように、第 2 の実施形態の光通信システムにおいては、送信器の光源の周波数と、受信器の局発振光源の周波数とが、互いに周波数オフセット

分だけ離れている。そして、周波数オフセットは、受信器において、データ変調帯域と周波数シフト量との和より大きい周波数となるように生成される。その結果、第2の実施形態の光通信システムにおいては、受信器の光周波数シフト部212で生じる高調波成分による光信号対雑音比の低下を軽減することが可能となる。

[0090] また、第2の実施形態においても、第1の実施形態と同様に、データ信号の帯域幅（全幅）を $W$ とした場合、周波数オフセット量を $W/4$ 以上に設定してもよい。周波数オフセット量を少なくとも $W/4$ 以上に設定すれば、光周波数シフト部212で生じる3次高調波成分とデータ信号の周波数成分は重ならない。従って、周波数オフセット量を $W/4$ 以上に設定した場合も、上記と同様の効果が得られる。

[0091] また、第2の実施形態の光通信システムは、信号光キャリア周波数を、移動体の動きに基づいて発生する周波数シフトを相殺するようにさらにシフトさせる。このため、第2の実施形態の光通信システムにおいては、移動体の動きに基づいて発生する、受信光と局発光の周波数差を低減することができる。その結果、第2の実施形態の光通信システムにおいては、オーバーサンプリングを行うことなく受信データのシンボルの位相をより正確に検出できる。

[0092] このように、第2の実施形態の光通信システムも、第1の実施形態の光通信システムと同様に、通信システムの通信品質を向上させるという効果を奏する。また、第2の実施形態の光通信システムは、オーバーサンプリングを行って受信データの位相補償精度を向上させる構成と比較して、デジタル信号処理の際の処理量を軽減させることができる。その結果、第2の実施形態の光通信システムは、デジタル信号処理回路の規模を小さくすることができ、受信器のデジタル信号処理回路の低消費電力化を図ることができるという効果も奏する。

[0093] なお、図4に示した光通信システム20において、受信器206は、コヒーレント受信部209、光周波数シフト部212、局部発振光源211及び

周波数オフセット制御部 214 のみを備え、周波数オフセット制御部 214 の出力は直接光周波数シフト部 212 に入力されていてもよい。この場合、周波数オフセット制御部 214 は、信号光キャリア周波数をシフトさせることで移動体の動きに基づいて発生する周波数シフトを相殺するように光周波数シフト部 212 を制御する。その結果、コヒーレント受信部 209、光周波数シフト部 212、局部発振光源 211 及び周波数オフセット制御部 214 のみを備える受信器 206 も、上述した第 2 の実施形態の効果を得ることができる。

[0094] [第 3 の実施形態]

図 6 は、本発明の第 3 の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。光通信システム 30 は、信号キャリア周波数の動的なシフトを生じさせるチャンネル 304 と、デジタルコヒーレント送受信方式を適用した送信器 301 と、受信器 306 を備える。

[0095] 図 6 に示す光通信システム 30 は、図 4 で説明した周波数シフト量算出部 215 と位置情報算出部 216 とに代えて、周波数差抽出回路 315 を備える。

[0096] チャンネル 304 を伝搬中に信号光キャリアが受ける周波数シフト量は、送信器 301 と受信器 306 との相対速度の変化に追従して、受信開始時から終了時まで随時変化している。

[0097] 光通信システム 30 においては、位置情報に基づいて周波数シフトを行う構成に代えて、光周波数シフト部 312 から出力される局発光の周波数を逐次受信光の光キャリア周波数に追従させるように光周波数シフト部 312 を制御する。その結果、光通信システム 30 では、周波数シフト量を位置情報から計算する場合と比較して、さらに正確に周波数シフト量を補正することが可能となる。

[0098] 周波数差抽出回路 315 には、受信した信号光と光周波数シフト部 312 から出力される局発光とが入射される。周波数差抽出回路 315 は、入力されたこれらの信号の周波数差（すなわち、周波数シフト量）を検出して周波

数印加部 3 1 3 に出力する。

[0099] 周波数差抽出回路 3 1 5 で検出された周波数差は、周波数印加部 3 1 3 を経て、光周波数シフト部 3 1 2 に印加され、周波数差が小さくなるように制御される。

[0100] ここで、周波数差抽出回路 3 1 5 は、バランスディタクタ等で一旦周波数差を高周波ビート信号に変換した後、位相同期ループ回路で周波数差を検出するように構成してもよい。

[0101] また、局部発振光源 3 1 1 及び光周波数シフト部 3 1 2 に代えてモード同期半導体レーザ等の周波数可変発光デバイスを用いてもよい。そして、周波数印加部 3 1 3 の出力によってモード同期半導体レーザの出力周波数を直接制御して、モード同期半導体レーザの出力をコヒーレント受信部 3 0 9 及び周波数差抽出回路 3 1 5 に入力するように構成してもよい。

[0102] このように、第 3 の実施形態の光通信システムにおいては、光周波数シフト部から出力される局発光の周波数を逐次受信光の光搬送波の周波数に追従させるように、光周波数シフト部を制御する。その結果、第 3 の実施形態の光伝送システムは、第 2 の実施形態の光伝送システムと同様の効果を奏するとともに、さらに正確に周波数シフト量を補正したデジタルコヒーレント送受信方式が構築できる。

[0103] [第 4 の実施形態]

図 7 は、本発明の第 4 の実施形態のエミュレーションシステム 4 0 の構成を示す図である。エミュレーションシステム 4 0 は、デジタルコヒーレント光通信方式を適用した送信器 4 0 1 及び受信器 4 0 3 と、光空間通信伝搬時に生じる周波数シフト量を擬似的に発生させるエミュレータ 4 0 2 とを備える。

[0104] 周波数シフトが通信方式に与える影響を検証することは、特にデジタルコヒーレント方式による光空間通信技術の構築において重要となる。そして、人工衛星等の移動体との光空間通信の際に生じる周波数シフトを発生させるためには、送信器が搭載された移動体を高速で移動させる必要がある。しか

しながら、自動車や航空機を移動体として用いても、低軌道人工衛星が移動することで発生する $\pm 10\text{GHz}$ 程度の周波数シフトを発生させることはできない。第4の実施形態は、送信器が高速で移動する場合の周波数シフトをエミュレートするためのエミュレーションシステムを提供する。

[0105] 図7に示すエミュレーションシステム40における送信器401は、図3で説明した送信器101において、光周波数シフト部104とその駆動部である周波数印加部105、周波数オフセット制御部106、周波数シフト量算出部107を送信器101から分離し、エミュレータ402として構成したものである。

[0106] 図3で説明した周波数シフト量算出部107及び位置情報算出部108は、図7においては周波数シフト量エミュレーション部411として記載されている。周波数シフト量エミュレーション部411は、任意の時刻に任意の周波数シフト量 $\pm \Delta f$ に対応する信号を周波数印加部409に出力する。図7における光周波数シフト部408、周波数印加部409及び周波数オフセット制御部410の動作は、それぞれ図3における光周波数シフト部104、周波数印加部105及び周波数オフセット制御部106と同様であるので詳細な説明は省略する。

[0107] 送信器401とエミュレータ402との間、及び、エミュレータ402と受信器403との間は、光伝送路407で接続されている。光伝送路407は、例えば光ファイバもしくは空間光伝送路である。このような構成によって、エミュレーションシステム40は、信号光の周波数シフトをエミュレートすることが可能である。その結果、第4の実施形態のエミュレーションシステム40は、高速で移動する物体を用意することなく周波数シフトが発生する環境下における光通信システムの性能評価を可能とする。

[0108] なお、図7に示すエミュレーションシステム40において、送信器401を図3で説明した送信器101に置き換えてもよい。送信器401を送信器101に置き換えた構成により、エミュレータ402によって与えられる周波数シフトを、送信器101が備える光周波数シフト部104において事前



に補償する動作のエミュレーションが可能となる。

[0109] あるいは、図7に示すエミュレーションシステム40において、受信器403を図4で説明した受信器206又は図6で説明した受信器306に置き換えてもよい。受信器403を受信器206又は306に置き換えた構成により、エミュレータ402が備える光周波数シフト部408によって光信号が受けた周波数シフトを、受信器206又は306が補償する動作のエミュレーションが可能となる。

[0110] このように、第4の実施形態のエミュレーションシステムは、高速に移動する移動体からの送信光が受ける周波数シフトの影響をエミュレートした受信光を容易に作り出すことができ、光通信システムの性能検証を簡便化、低コスト化することができる。

[0111] [第5の実施形態]

図8は、本発明の第5の実施形態として、人工衛星と地上局との間の通信のハンドオーバー方法を説明するための図である。図8においては、図3で説明した送信器101が人工衛星850に配置され、受信器115が地上局851及び地上局852に配置されているものとする。

[0112] 当初、人工衛星850からは、地上局851へ周波数  $f_s + f_{offset} + f_{d1}$  の信号キャリア周波数で通信リンクが設定されているものとする。ここで、 $f_{d1}$  は、人工衛星850と地上局851との位置情報から算出される周波数シフト量である。

[0113] 雲等の影響で光が減衰して人工衛星850から地上局851への通信リンクが遮断された場合には、代替回線を確保するために、人工衛星850は、リンク回線を別の地上局852にハンドオーバーさせて障害を早急に回復させる必要がある。

[0114] 図8を用いて、人工衛星850から地上局851へのリンク回線を、人工衛星850から地上局852へのリンク回線へハンドオーバーする際の光周波数シフト量制御を説明する。

[0115] 地上局851への通信リンクが遮断された場合、人工衛星850は、直ち

に地上局 852 への周波数シフト量  $f_{d2}$  を推定して算出する。そして、人工衛星 850 は、送信器に搭載された光周波数シフト部で予め、推定算出された周波数シフト量分の光周波数シフトとオフセット周波数を加味して地上局 852 の局発光の周波数とほぼ同値になるようにシフトさせてデータを送信する。これにより、ハンドオーバー先である地上局 852 における受信時の周波数差を小さくすることが可能となる。

[0116] また、地上局 851 と地上局 852 とのそれぞれの受信器が備える局部発振光源の周波数が大きく異なる可能性もある。このような場合には、地上局 852 の受信器における局発光と受信光との周波数差が所定の範囲内となるように、人工衛星 850 の送信器は周波数オフセット  $f_{offset}$  の値を変更してもよい。

[0117] このように、第 5 の実施形態のハンドオーバー方法においては、ある地上局への通信リンクが遮断された場合、人工衛星は、直ちに代替の地上局の周波数シフト量を算出する。そして、人工衛星は、算出された周波数シフト量分の光周波数シフトとオフセット周波数を加味して地上局の局発光の周波数とほぼ同値になるようにシフトさせてデータを送信する。その結果、第 5 の実施形態のハンドオーバー方法においては、障害発生時に短時間で回線のハンドオーバーを行うことができる。

[0118] この出願は、2011年3月25日に提出された日本出願特願 2011-67698 号を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

## 請求の範囲

- [請求項1] 第1の周波数を持つ光搬送波をデータ信号で変調して信号光として出力する光データ変調手段と、  
前記信号光の周波数を、所定の周波数オフセット量に基づいて前記第1の周波数から第2の周波数へシフトさせて出力する光周波数シフト手段と、  
前記光周波数シフト手段で生じる高調波成分が前記データ信号の帯域と重複しないように前記周波数オフセット量を制御する周波数オフセット制御手段と、  
を備える送信器。
- [請求項2] 前記周波数オフセット制御手段は、前記周波数オフセット量を前記データ信号の帯域全幅の4分の1以上となるように制御する、請求項1に記載された送信器。
- [請求項3] 前記信号光の伝搬経路において前記信号光に印加される動的な周波数シフト量を出力する周波数シフト量算出手段をさらに備え、  
前記光周波数シフト手段は、前記周波数オフセット量及び前記動的な周波数シフト量に基づいて前記信号光の周波数を前記第1の周波数から前記第2の周波数へシフトさせる、請求項1又は2に記載された送信器。
- [請求項4] 請求項1乃至3のいずれかに記載された送信器と、  
前記送信器が送信した信号光を受信し、前記信号光を局発光を用いてコヒーレント受信する受信器と、を備えた通信システム。
- [請求項5] 第2の周波数を持つ光搬送波をデータ信号で変調した信号光を受信する受信手段と、  
第3の周波数を持つ局発光の周波数を、所定の周波数オフセット量に基づいて前記第2の周波数へシフトさせて出力する光周波数シフト手段と、  
前記光周波数シフト手段で生じる高調波成分が前記データ信号の帯域

と重複しないように前記周波数オフセット量を制御する周波数オフセット制御手段と、

前記信号光と前記光周波数シフト手段から出力される前記局発光とを用いてコヒーレント受信を実行するコヒーレント受信手段と、を備える受信器。

[請求項6] 前記周波数オフセット制御手段は、前記周波数オフセット量を前記データ信号の帯域全幅の4分の1以上となるように制御する、請求項5に記載された受信器。

[請求項7] 前記信号光の伝搬経路において前記信号光の第1の周波数から前記第2の周波数への周波数シフト量を算出する周波数シフト量算出手段をさらに備え、

前記光周波数シフト手段は、前記周波数オフセット量及び前記周波数シフト量に基づいて前記局発光の周波数を前記第2の周波数へシフトさせて出力する、請求項5又は6に記載された受信器。

[請求項8] 第1の周波数を持つ光搬送波をデータ信号で変調して信号光として出力する光データ変調手段を備える送信器と、前記第1の周波数から第2の周波数へ光搬送波の周波数がシフトした信号光を受信するように構成された請求項5乃至7のいずれかに記載された受信器と、を備えた通信システム。

[請求項9] 第1の周波数を持つ光搬送波をデータ信号で変調して信号光として出力し、

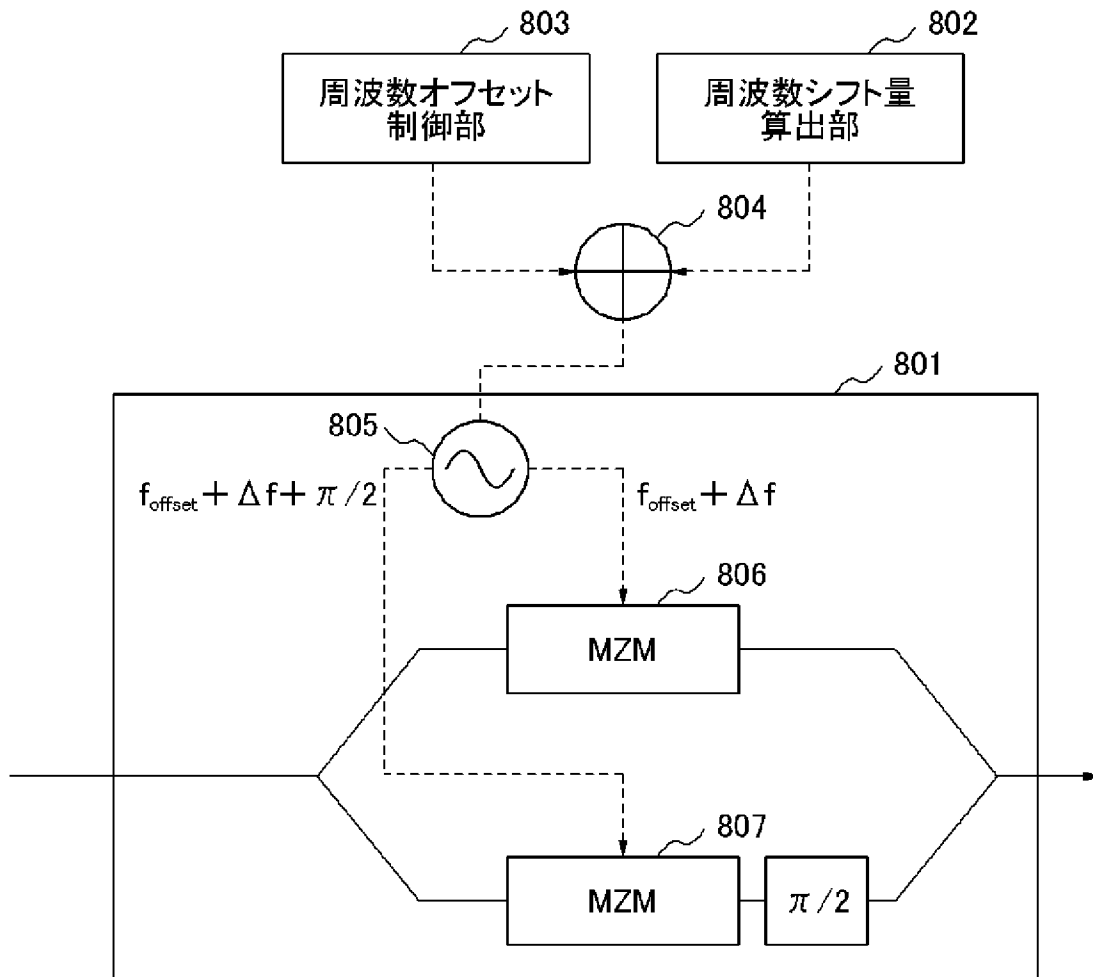
前記信号光の周波数を所定の周波数オフセット量に基づいて前記第1の周波数から第2の周波数へシフトさせて出力し、

前記第2の周波数へのシフトの際に生じる高調波成分が前記データ信号の帯域と重複しないように前記周波数オフセット量を制御する、送信方法。

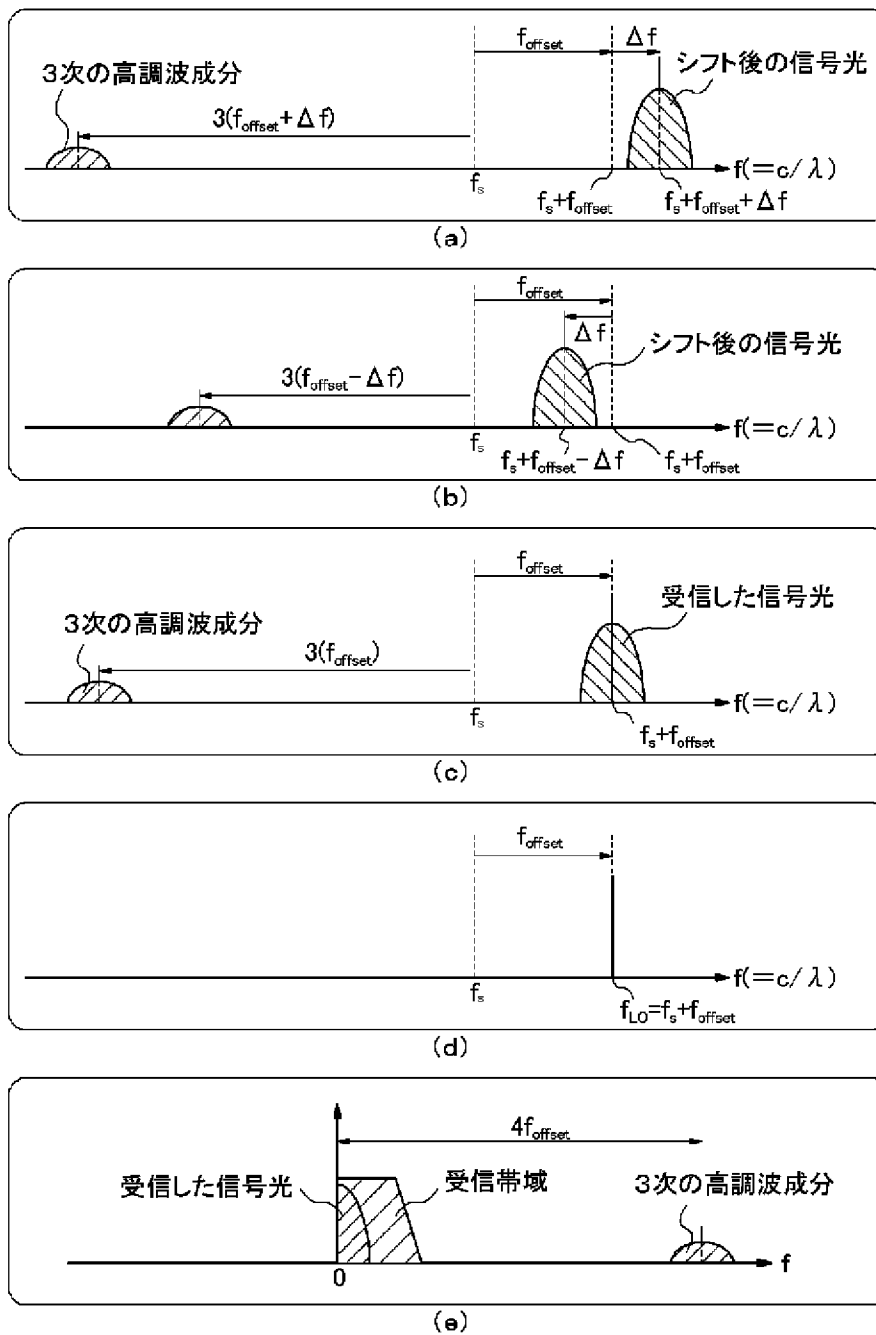
[請求項10] データ信号で変調された、第2の周波数を持つ信号光を受信し、第3の周波数を持つ局発光の周波数を、所定の周波数オフセット量に

基づいて前記第2の周波数へシフトさせて出力し、  
前記第2の周波数へのシフトの際に生じる高調波成分が前記データ信号の帯域と重複しないように前記周波数オフセット量を制御し、  
前記信号光と前記第2の周波数へシフトさせた前記局発光とを用いて  
コヒーレント受信を実行する、受信方法。

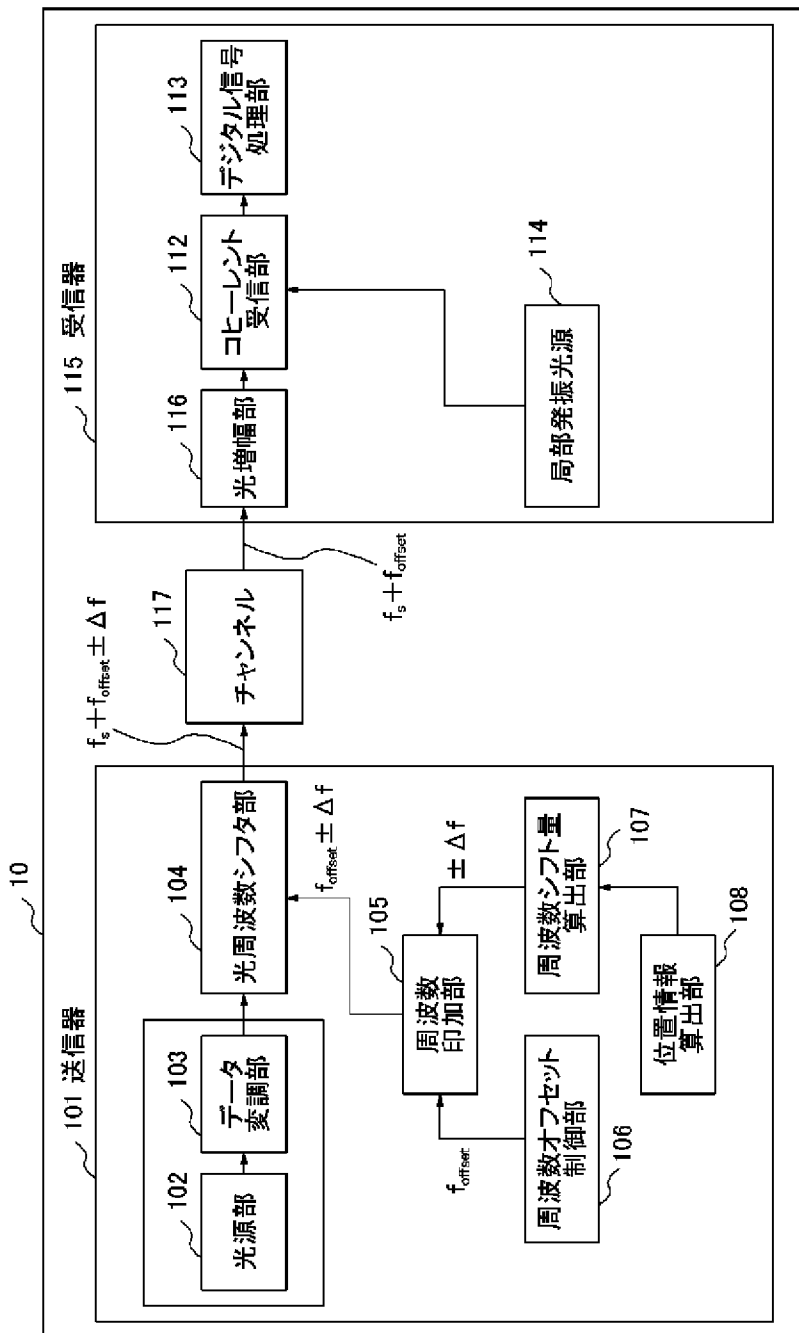
[図1]



[図2]

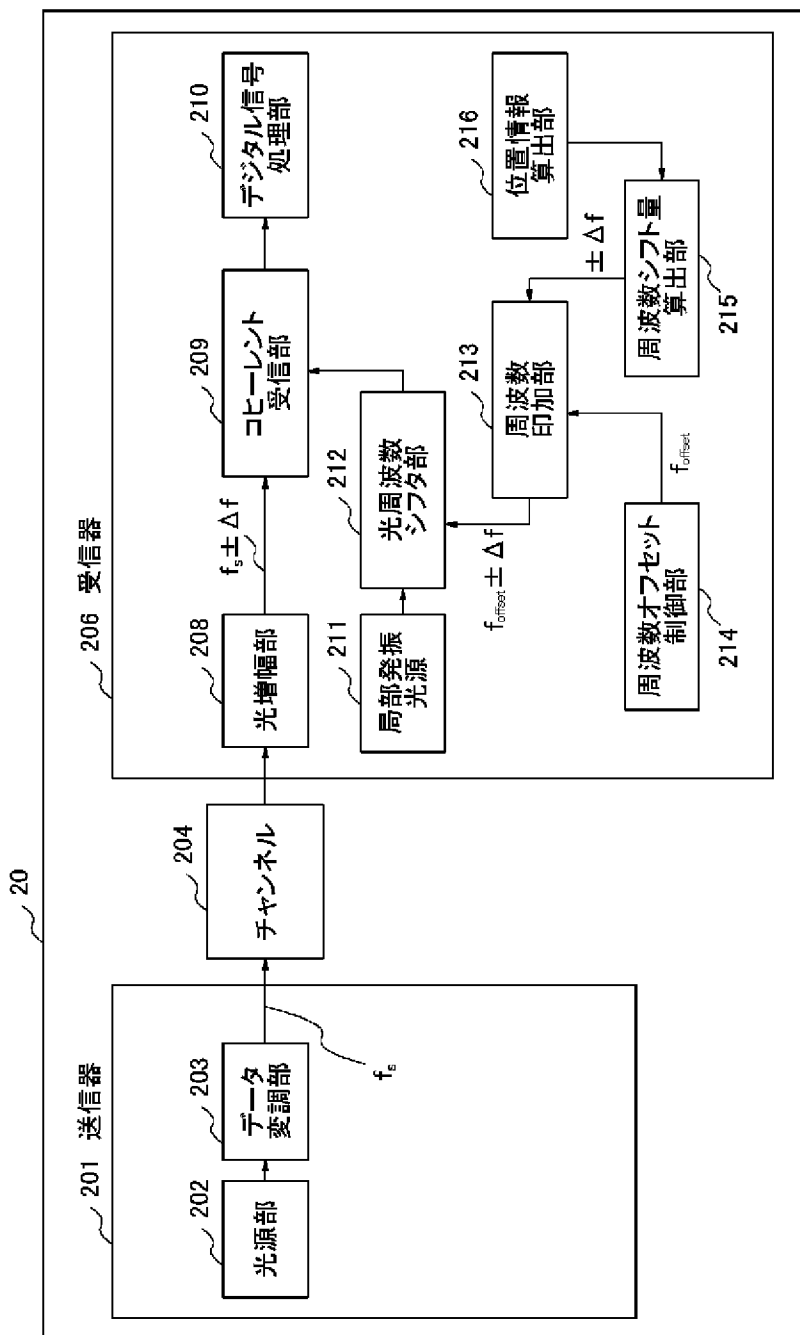


[図3]

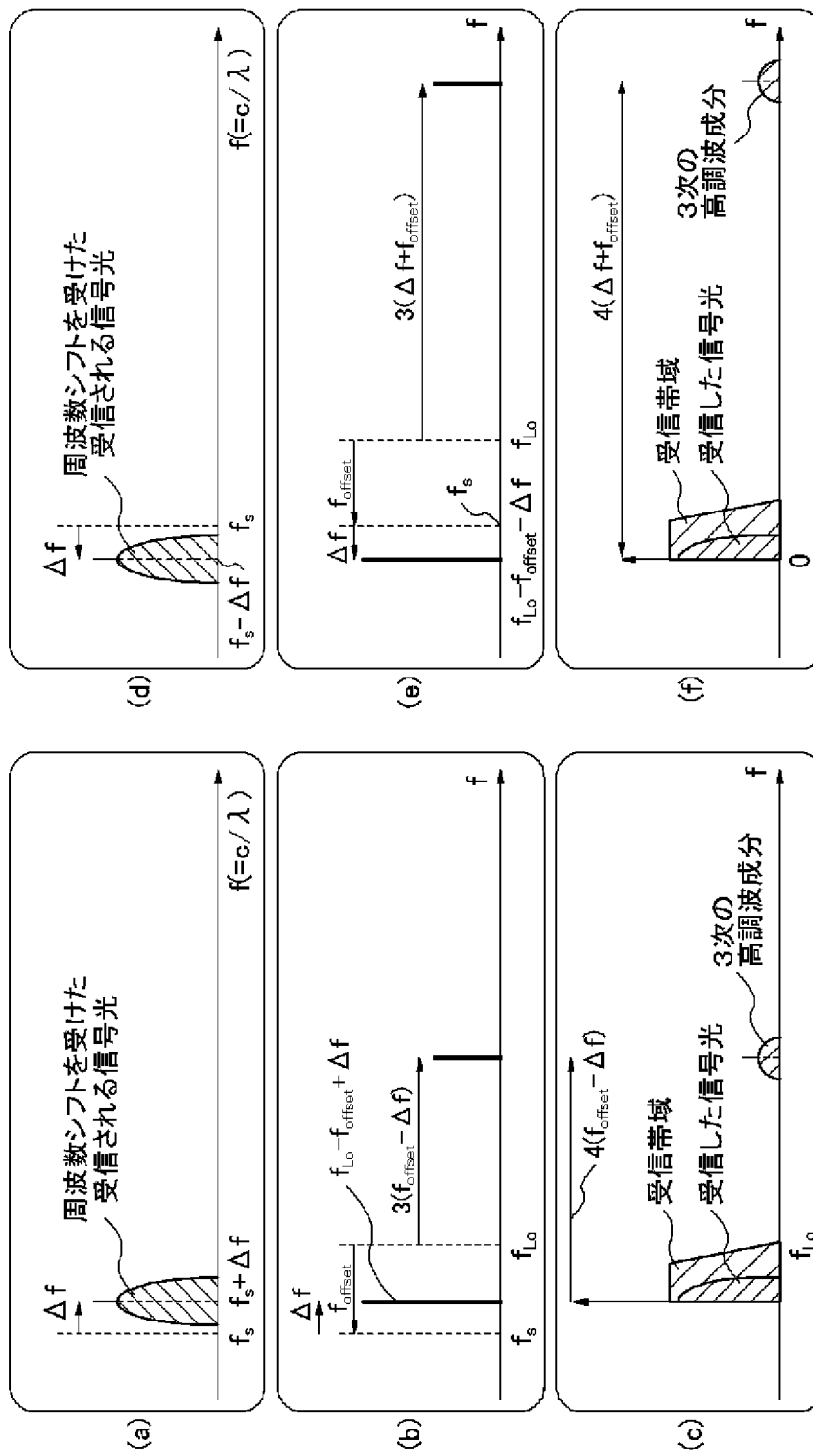




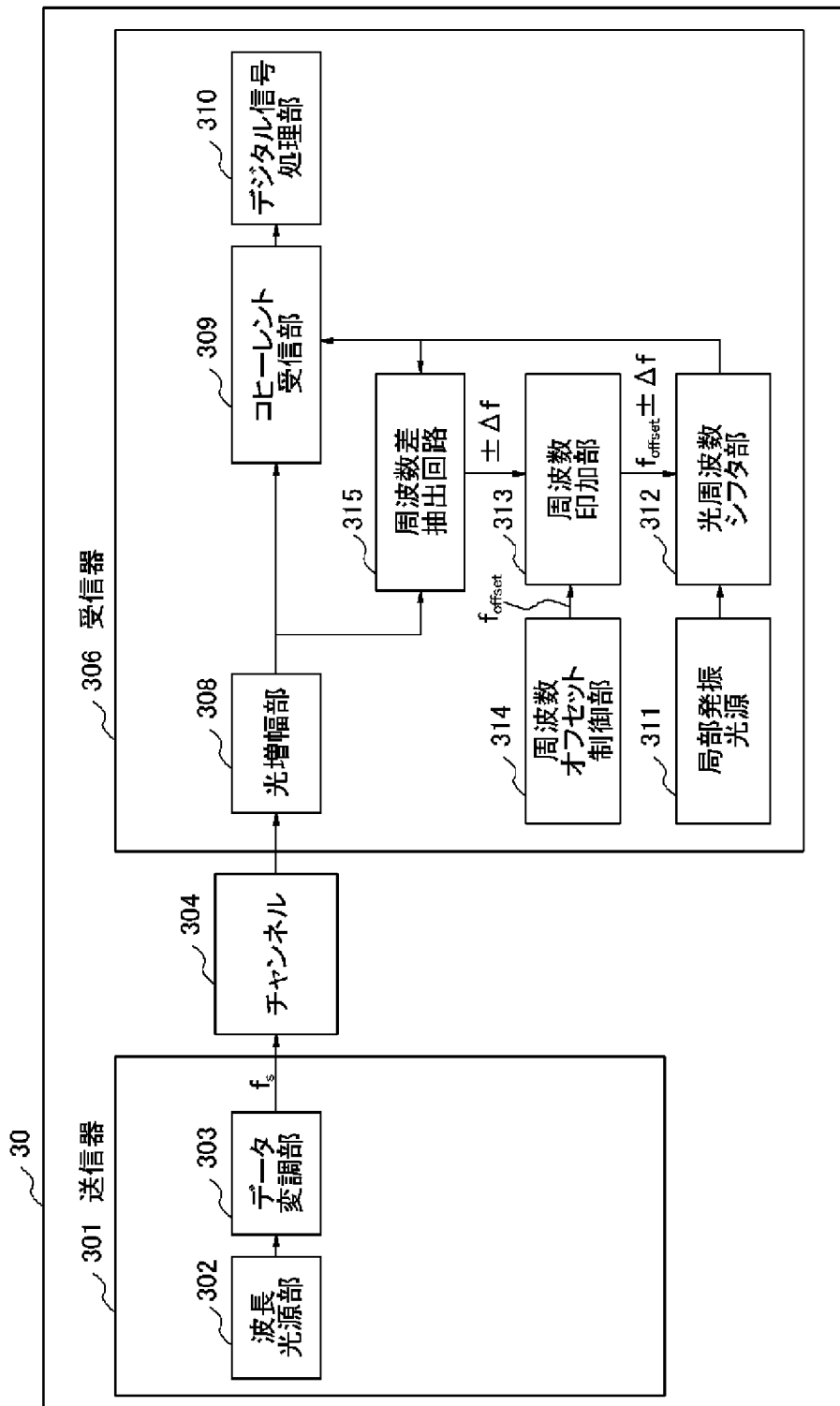
[図4]



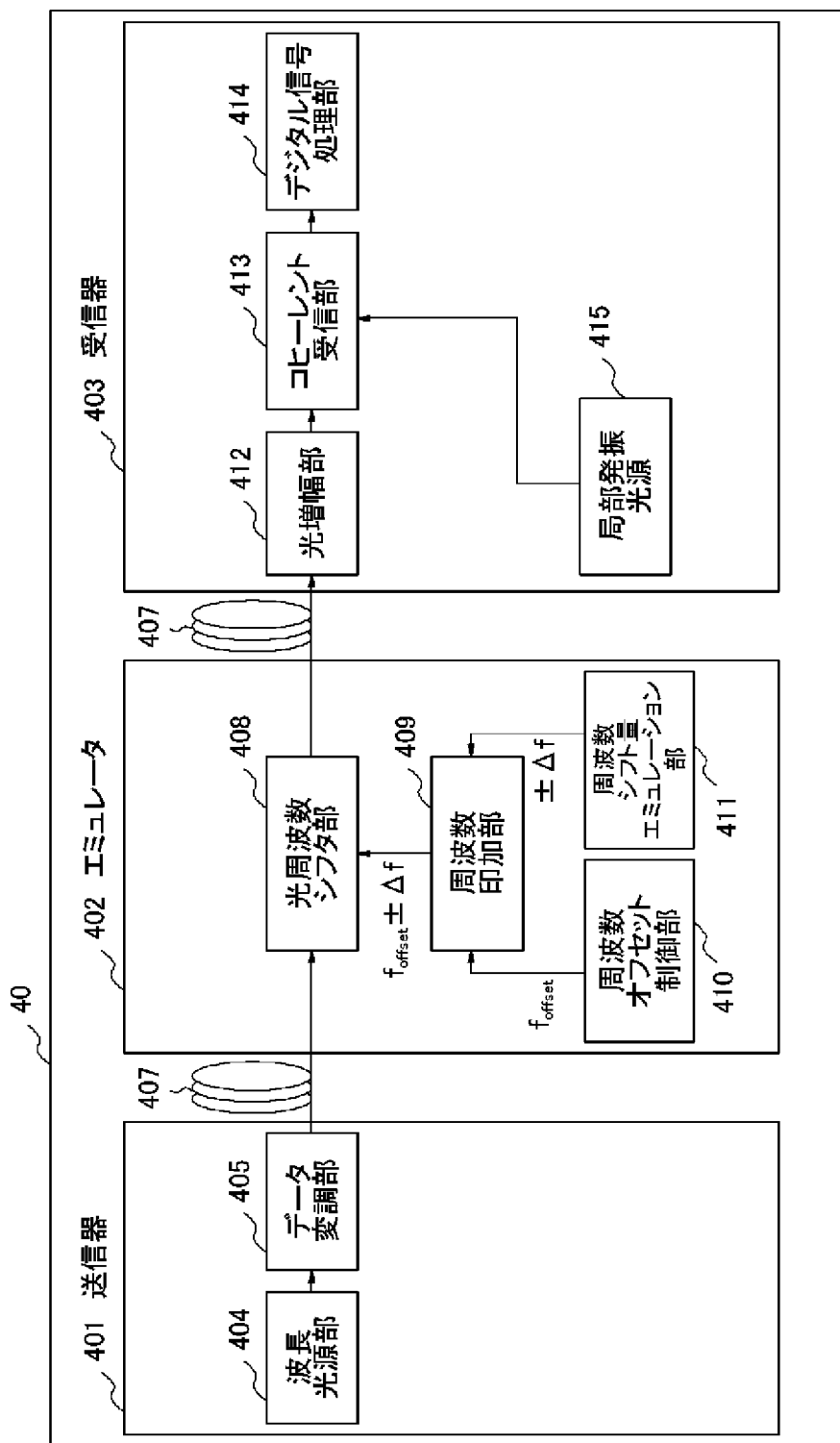
[図5]



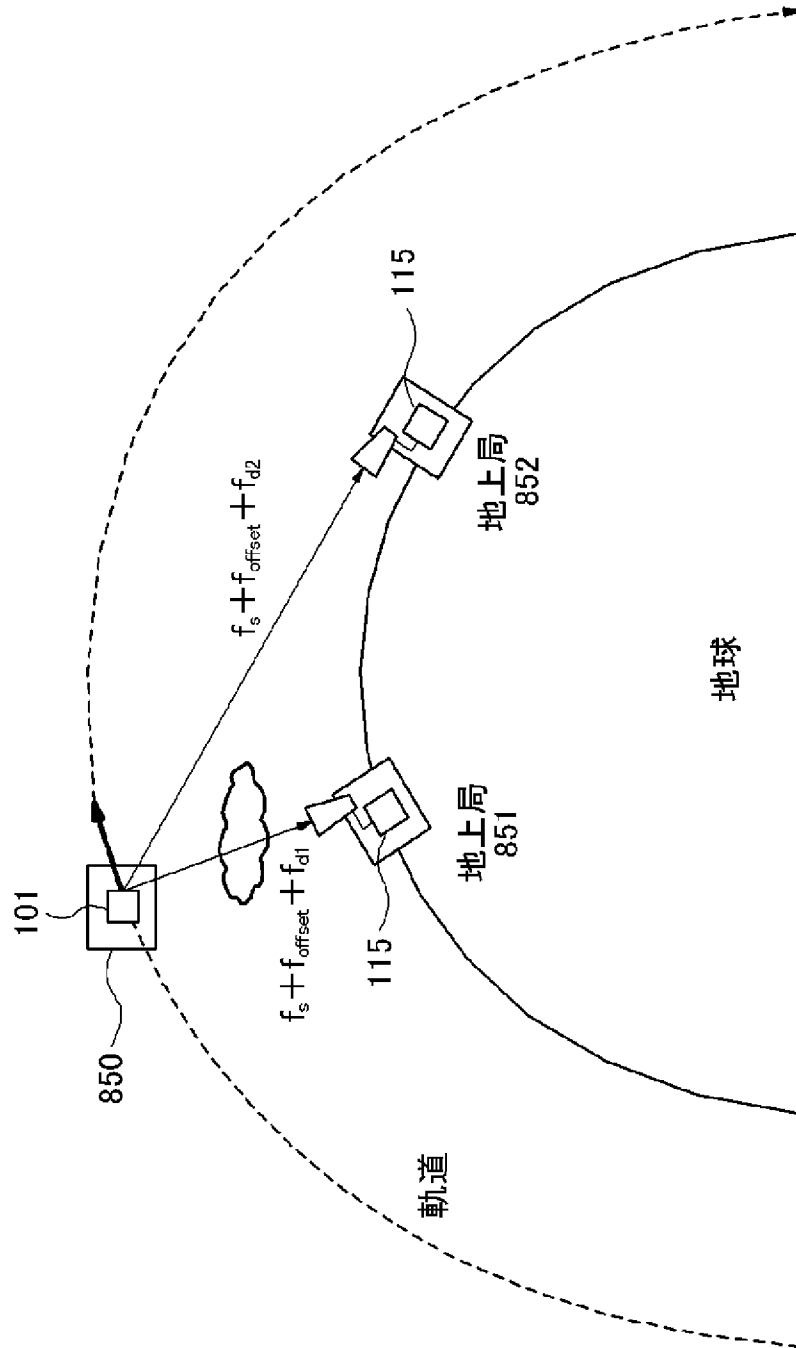
[図6]



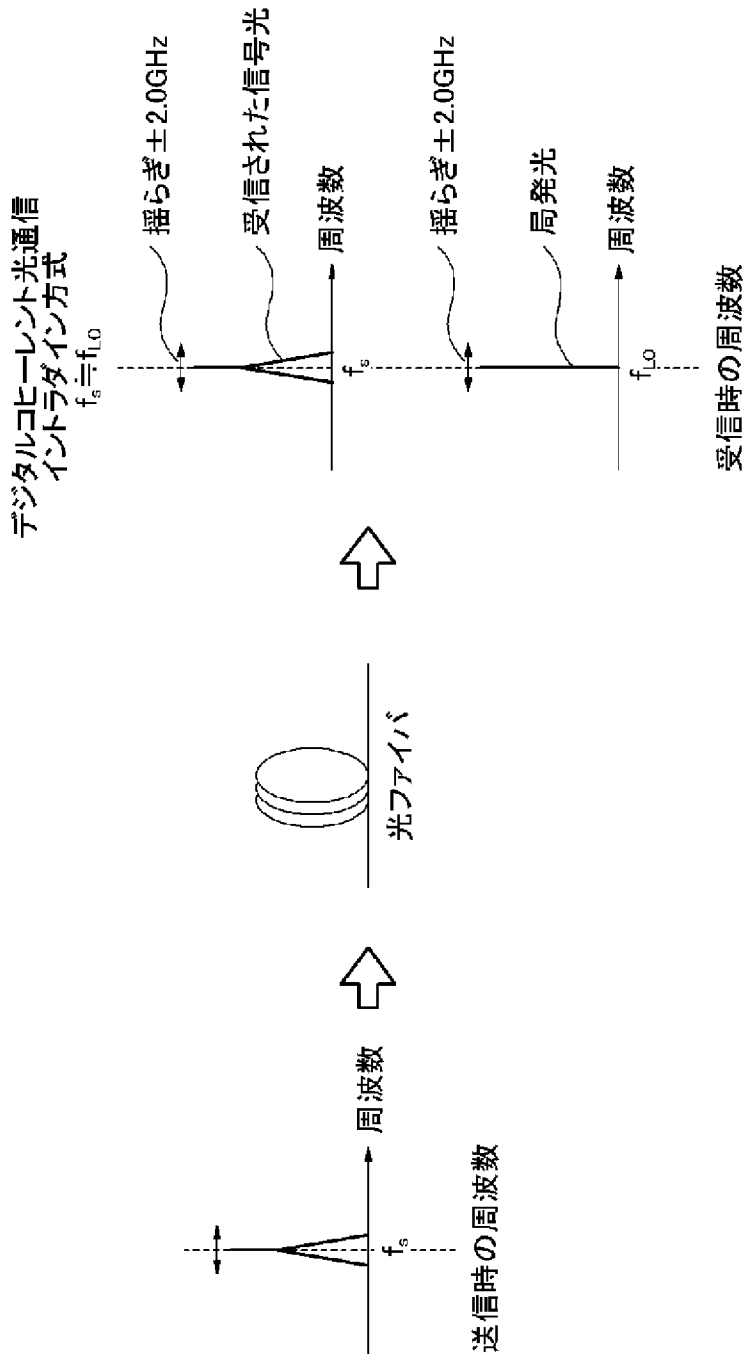
[図7]



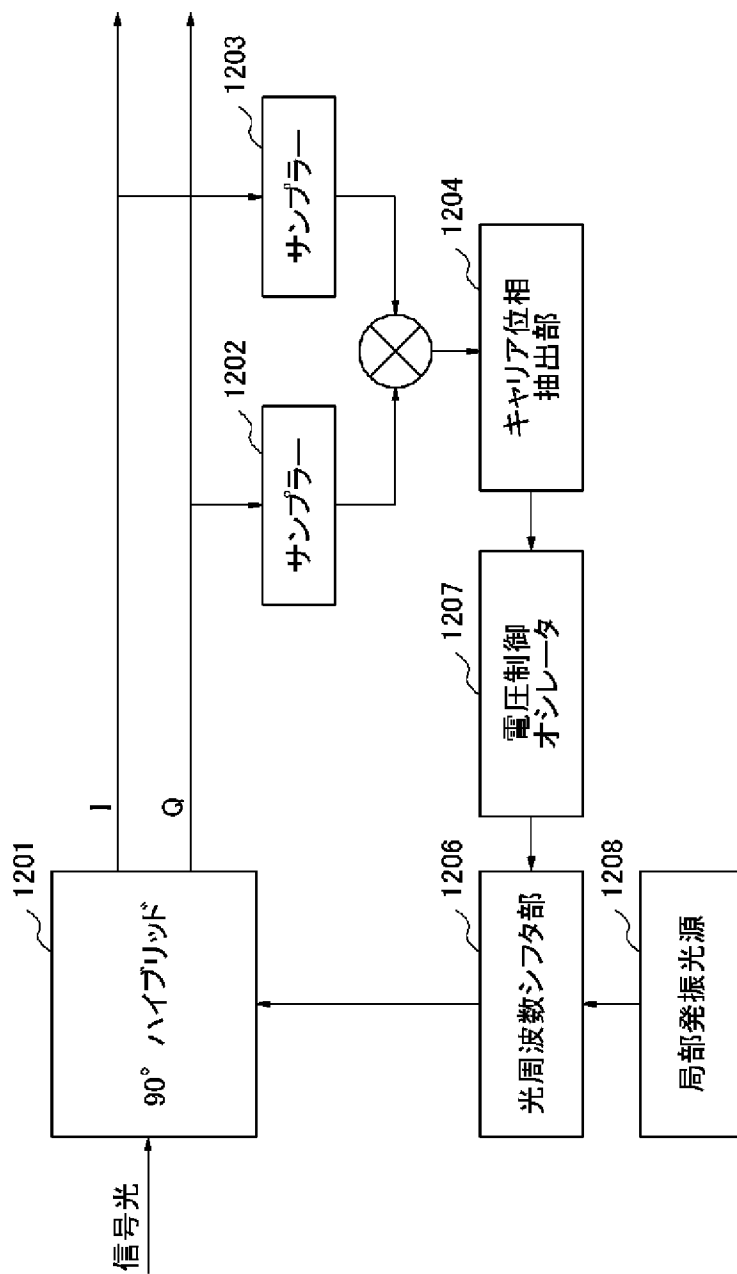
[図8]



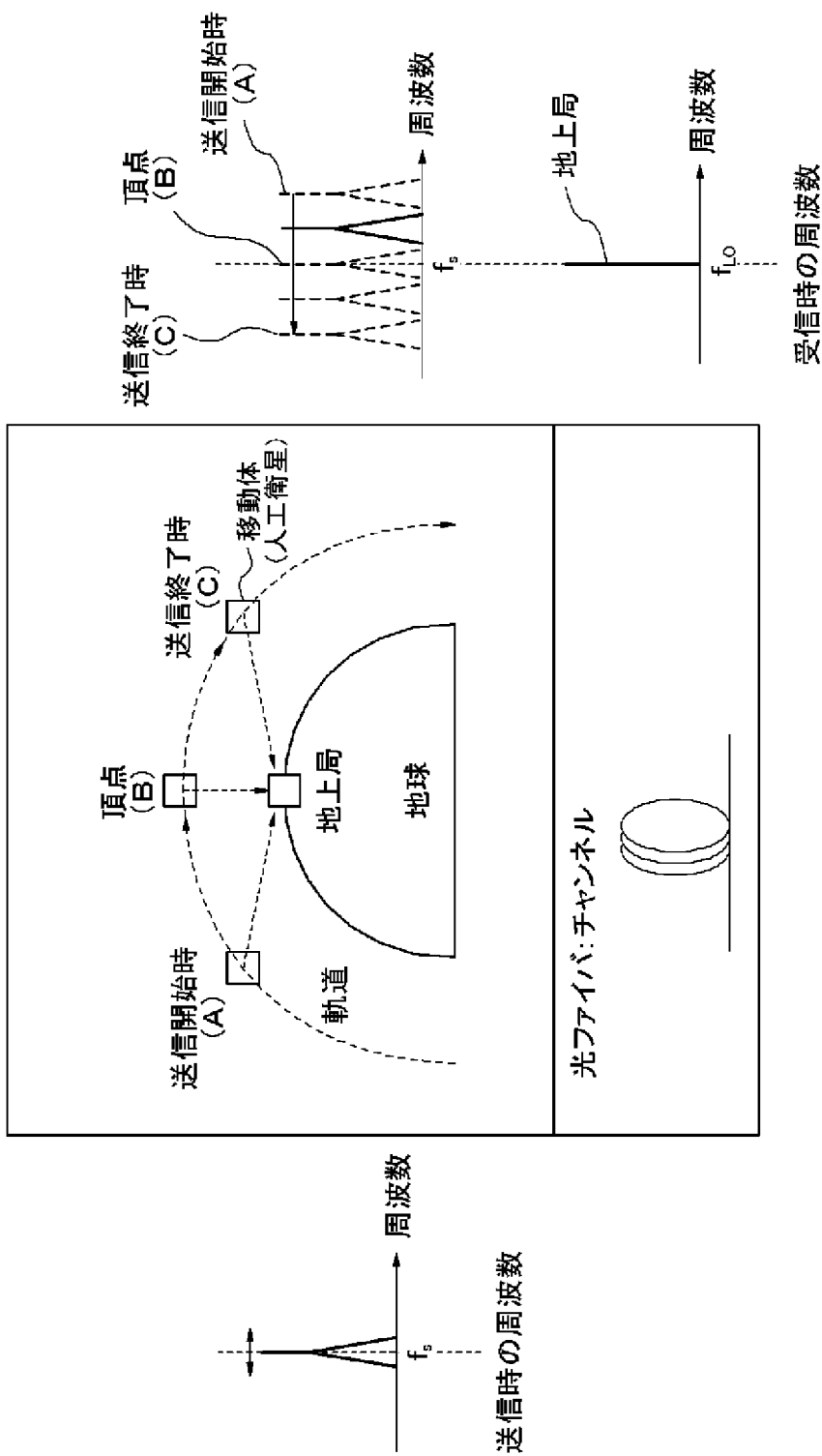
[図9]



[図10]

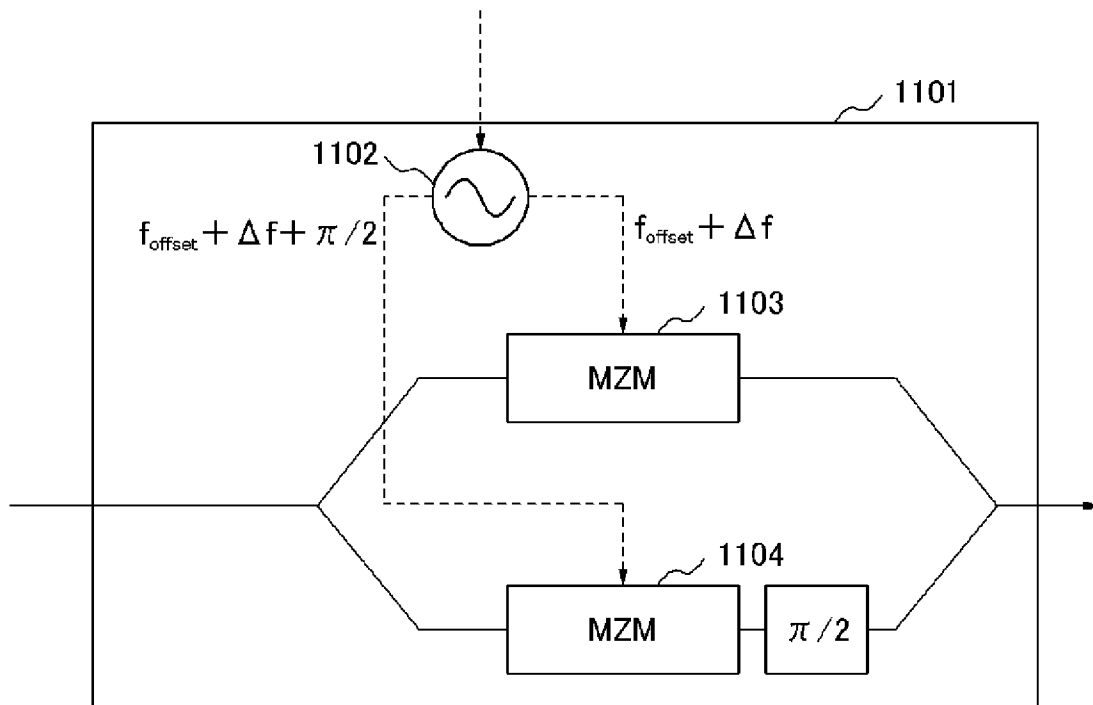


[図11]

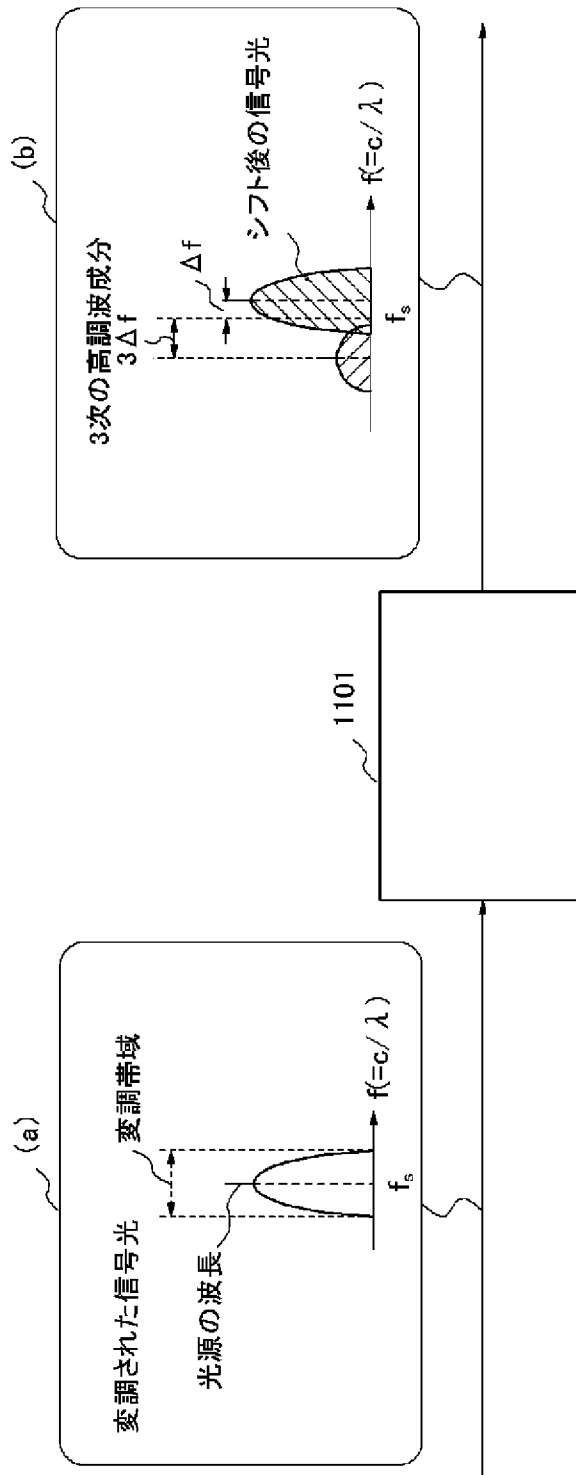




[図12]



[図13]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/002049

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B10/105(2006.01) i, H04B10/148(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B10/105, H04B10/148

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-524351 A (Alcatel-Lucent USA Inc.), 25 June 2009 (25.06.2009), claim 6; paragraphs [0033] to [0041]; fig. 7 to 9 & US 2007/0166048 A1 & WO 2007/084476 A1 & CN 101371479 A	1-10
A	JP 1-149533 A (Alcatel Espace), 12 June 1989 (12.06.1989), page 2, lower right column, line 2 to page 4, upper left column, line 20; fig. 1 to 3 & US 4928317 A & EP 314101 A1 & FR 2622754 A & NO 884803 A & CA 1298617 A	1-10

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
31 May, 2012 (31.05.12)Date of mailing of the international search report  
12 June, 2012 (12.06.12)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/002049

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-512124 A (ADC Telecommunications, Inc.), 17 November 1998 (17.11.1998), page 10, line 8 to page 15, line 4; fig. 2 & US 5515199 A & WO 1996/024201 A1 & AU 4706796 A & BR 9607166 A & CA 2211923 A & IL 116954 A & KR 10-0253497 B1 & CN 1172564 A & MX 9705846 A	1-10
A	JP 2002-365677 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 18 December 2002 (18.12.2002), paragraphs [0019] to [0050]; fig. 1 to 5 & US 2002/0146046 A1 & EP 1246323 A2 & KR 10-2002-0076472 A & CN 1378095 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H04B10/105(2006.01)i, H04B10/148(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H04B10/105, H04B10/148		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2012年 日本国実用新案登録公報 1996-2012年 日本国登録実用新案公報 1994-2012年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-524351 A (アルカテルルーセント ユーエスエー イン コーポレーテッド) 2009.06.25, 【請求項6】、【0033】 - 【0041】、 図7-9 & US 2007/0166048 A1 & WO 2007/084476 A1 & CN 101371479 A	1-10
A	JP 1-149533 A (アルカテル・エスパーズ) 1989.06.12, 第2頁右下 欄第2行-第4頁左上欄第20行, 図1-3 & US 4928317 A & EP 314101 A1 & FR 2622754 A & NO 884803 A & CA 1298617 A	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 31.05.2012	国際調査報告の発送日 12.06.2012	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 角田 慎治 電話番号 03-3581-1101 内線 3534	5 J   9466

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 10-512124 A (エーディーシー・テレコミュニケーションズ・インコーポレイテッド) 1998. 11. 17, 第 10 頁第 8 行—第 15 頁第 4 行, 図 2 & US 5515199 A & WO 1996/024201 A1 & AU 4706796 A & BR 9607166 A & CA 2211923 A & IL 116954 A & KR 10-0253497 B1 & CN 1172564 A & MX 9705846 A	1-10
A	JP 2002-365677 A (三星電子株式会社) 2002. 12. 18, 段落【0019】—【0050】, 図 1-5 & US 2002/0146046 A1 & EP 1246323 A2 & KR 10-2002-0076472 A & CN 1378095 A	1-10