

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第3区分

【発行日】令和3年5月6日(2021.5.6)

【公表番号】特表2020-518146(P2020-518146A)

【公表日】令和2年6月18日(2020.6.18)

【年通号数】公開・登録公報2020-024

【出願番号】特願2019-547286(P2019-547286)

【国際特許分類】

H 04 B 10/079 (2013.01)

【F I】

H 04 B 10/079

【手続補正書】

【提出日】令和3年3月25日(2021.3.25)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

光通信リンクに沿って伝播する光信号をスペクトル的に特徴付けるための方法であって、前記光信号が、データ伝送信号帯域幅内のシンボル周波数で変調されたデータ伝送信号寄与と、雑音寄与とを含み、前記方法が、

前記データ伝送信号帯域幅内のスペクトル範囲にわたる前記光信号の光パワースペクトルを測定するステップであって、前記測定された光パワースペクトルが、前記光信号の前記データ伝送信号寄与と関連付けられたデータ伝送信号パワースペクトル寄与と、前記光信号の前記雑音寄与と関連付けられた雑音パワースペクトル寄与とを含む、ステップと、

測定から、前記光信号の複数対のスペクトル成分のセットに対するスペクトル相關関数を決定するステップであって、各対の前記スペクトル成分が、前記シンボル周波数によって互いにスペクトル的に分離され、前記複数対のセットが、前記スペクトル範囲内の中心周波数範囲にわたる中心周波数の対応するセットのそれぞれを中心とし、前記測定されたスペクトル相關関数が、各対の前記スペクトル成分間の相関強度を前記中心周波数範囲にわたる前記対の前記中心周波数に関連させる、ステップと、

プロセッサを使用して、前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解において前記シンボル周波数によってスペクトル的に分離された複数対のスペクトル成分に対して計算されたスペクトル相關関数が前記測定されたスペクトル相關関数と整合するよう前に記光信号の前記測定された光パワースペクトルに基づいて前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す解を得るステップとを含む、方法。

【請求項2】

前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解を得るステップが、

前記雑音パワースペクトル寄与を表す解を決定するステップと、

前記雑音パワースペクトル寄与を表す前記解および前記測定された光パワースペクトルから前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解を導出するステップとを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解を得るステップが、

前記測定された光パワースペクトルおよび前記測定されたスペクトル相關関数を関連さ

せる非線形回帰モデルを提供するステップと、

前記非線形回帰モデルを使用して、前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解を決定するステップと

を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記非線形回帰モデルが、調整可能パラメータのセットを含み、前記調整可能パラメータが、

前記雑音パワースペクトル寄与の正規化モデルを表すモデル関数、

前記データ伝送信号パワースペクトル寄与に対する前記雑音パワースペクトル寄与の相対振幅を表す雑音対信号パラメータ、ならびに、

前記光信号の色分散および偏光モード分散の少なくとも 1 つを示す情報を伝達する分散パラメータ

の少なくとも 1 つを含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記測定された光パワースペクトルおよび前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解に基づいて光信号対雑音比( O S N R )を決定するステップをさらに含む、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記光信号の多数の偏光状態にわたって、前記測定された光パワースペクトルおよび前記測定されたスペクトル相關関数を平均するステップをさらに含む、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

測定から、前記測定されたスペクトル相關関数を決定するステップは、前記光信号の前記シンボル周波数によってスペクトル的に分離された前記複数対のスペクトル成分のセットのそれぞれと関連付けられた複数対のビート成分のセットに対するビートノート振幅関数を測定するステップを含み、各対の前記ビート成分が、前記シンボル周波数より低いビートノート周波数によって互いにスペクトル的に分離され、前記ビートノート振幅関数が、前記測定されたスペクトル相關関数を表す、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記ビートノート周波数に対する前記シンボル周波数の比率が、 $10^3 \sim 10^6$  の範囲である、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記ビートノート振幅関数を測定するステップが、

前記光信号から、第 1 の画像信号および第 2 の画像信号を含む両側波帯信号を生成するステップであって、前記第 1 および第 2 の画像信号が、前記光信号の側波帯画像を表し、前記第 1 および第 2 の画像信号が、前記シンボル周波数に前記ビートノート周波数を加えたものは前記シンボル周波数から前記ビートノート周波数を減じたものに等しいスペクトルシフトによって互いにスペクトル的に分離される、ステップと、

前記スペクトル範囲内の前記両側波帯信号を検出し、スペクトル的に分解するステップと、

前記検出された両側波帯信号から、前記複数対のビート成分のセットに対する前記ビートノート振幅関数を決定するステップであって、各対の一方のビート成分が、前記第 1 の画像信号と関連付けられ、他方のビート成分が、前記第 2 の画像信号と関連付けられる、ステップと

を含む、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 10】

前記両側波帯信号を検出し、スペクトル的に分解するステップが、

可変 L O 周波数を有する局部発振器( L O )信号を生成するステップと、

前記 L O 信号と前記両側波帯信号とを組み合わせて結合信号にするステップと、

前記スペクトル範囲内の前記可変 LO 周波数を掃引しながら、前記結合信号を検出するステップと  
をさらに含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記ビートノート振幅関数を測定するステップが、  
前記スペクトル範囲内の可変 LO 周波数を有する局部発振器 (LO) 信号を生成するステップと、

前記 LO 信号から、第 1 の LO 画像信号および第 2 の LO 画像信号を含む両側波帯 LO 信号を生成するステップであって、前記第 1 および第 2 の LO 画像信号が、前記 LO 信号の側波帯画像を表し、前記第 1 および第 2 の LO 画像信号が、前記シンボル周波数にビートノート周波数を加えたものまたは前記シンボル周波数からビートノート周波数を減じたものに等しいスペクトルシフトによって互いにスペクトル的に分離され、前記ビートノート周波数が、前記シンボル周波数より低い、ステップと、

前記両側波帯 LO 信号と前記光信号とを組み合わせて結合信号にするステップと、  
前記可変 LO 周波数を掃引しながら、前記スペクトル範囲内の前記結合信号を検出し、スペクトル的に分解するステップと、

前記検出された結合信号から、前記複数対のビート成分のセットに対する前記ビートノート振幅関数を決定するステップであって、各対の一方のビート成分が、前記第 1 の LO 画像信号と関連付けられ、他方のビート成分が、前記第 2 の LO 画像信号と関連付けられる、ステップとを含む、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 12】

前記両側波帯 LO 信号の高調波を低減するステップをさらに含む、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記測定された光パワースペクトルおよび前記測定されたスペクトル相関関数が、ヘテロダイン光スペクトルアナライザを使用して得られる、請求項 1 ~ 12 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 14】

コンピュータ可読命令が格納された非一時的なコンピュータ可読記憶媒体であって、前記コンピュータ可読命令が、プロセッサによって実行されると、光通信リンクに沿って伝播する光信号をスペクトル的に特徴付けるための方法であって、前記光信号が、データ伝送信号帯域幅内のシンボル周波数で変調されたデータ伝送信号寄与と、雑音寄与とを含み、前記方法が、

前記データ伝送信号帯域幅内のスペクトル範囲にわたる前記光信号の測定された光パワースペクトルを受信するステップであって、前記測定された光パワースペクトルが、前記光信号の前記データ伝送信号寄与と関連付けられたデータ伝送信号パワースペクトル寄与と、前記光信号の前記雑音寄与と関連付けられた雑音パワースペクトル寄与とを含む、ステップと、

前記光信号の複数対のスペクトル成分のセットに対する測定されたスペクトル相関関数を受信するステップであって、各対の前記スペクトル成分が、前記シンボル周波数によって互いにスペクトル的に分離され、前記複数対のセットが、前記スペクトル範囲内の中心周波数範囲にわたる中心周波数の対応するセットのそれぞれを中心とし、前記測定されたスペクトル相関関数が、各対の前記スペクトル成分間の相関強度を前記中心周波数範囲にわたる前記対の前記中心周波数に関連させる、ステップと、

前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解において前記シンボル周波数によってスペクトル的に分離された複数対のスペクトル成分に対して計算されたスペクトル相関関数が前記測定されたスペクトル相関関数と整合するように、前記光信号の前記測定された光パワースペクトルに基づいて前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す解を得るステップと

を含む、方法を前記プロセッサに実行させる、非一時的なコンピュータ可読記憶媒体。

**【請求項 15】**

前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解を得るステップが、  
前記雑音パワースペクトル寄与を表す解を決定するステップと、  
前記雑音パワースペクトル寄与を表す前記解および前記測定された光パワースペクトル  
から前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解を導出するステップと  
を含む、請求項 14 に記載の非一時的なコンピュータ可読記憶媒体。

**【請求項 16】**

前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解を得るステップが、  
前記測定された光パワースペクトルおよび前記測定されたスペクトル相関関数を関連さ  
せる非線形回帰モデルを提供するステップと、  
前記非線形回帰モデルを使用して、前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前  
記解を決定するステップと  
を含む、請求項 14 に記載の非一時的なコンピュータ可読記憶媒体。

**【請求項 17】**

前記非線形回帰モデルが、調整可能パラメータのセットを含み、前記調整可能パラメー  
タが、  
前記雑音パワースペクトル寄与の正規化モデルを表すモデル関数、  
前記データ伝送信号パワースペクトル寄与に対する前記雑音パワースペクトル寄与の相  
対振幅を表す雑音対信号比パラメータ、ならびに、  
前記光信号の色分散および偏光モード分散の少なくとも 1 つを示す情報を伝達する分散  
パラメータ  
の少なくとも 1 つを含む、請求項 14 に記載の非一時的なコンピュータ可読記憶媒体。

**【請求項 18】**

前記方法が、前記測定された光パワースペクトルおよび前記データ伝送信号パワースペ  
クトル寄与を表す前記解に基づいて光信号対雑音比 (OSNR) を決定するステップをさ  
らに含む、請求項 14 ~ 17 のいずれか一項に記載の非一時的なコンピュータ可読記憶媒体。

**【請求項 19】**

光通信リンクに沿って伝播する光信号をスペクトル的に特徴付けるためのシステムであ  
って、前記光信号が、データ伝送信号帯域幅内のシンボル周波数で変調されたデータ伝送  
信号寄与と、雑音寄与とを含み、前記システムが、

第 1 の取得モードで、前記光信号から両側波帯信号を生成するように構成されたスペクト  
ルシフタであって、前記両側波帯信号が、前記シンボル周波数にビートノート周波数を  
加えたものまたは前記シンボル周波数からビートノート周波数を減じたものに等しいスペ  
クトルシフトによって互いにスペクトル的に分離された第 1 の画像信号および第 2 の画像  
信号を含み、前記ビートノート周波数が、前記シンボル周波数より低い、スペクトルシフ  
タと、

前記データ伝送信号帯域幅のスペクトル範囲内で動作可能なスペクトル分解検出器ユニ  
ットであって、前記第 1 の取得モードで前記両側波帯信号を検出し、第 1 の検出信号を出  
力するように、かつ、第 2 の取得モードで前記光信号を検出し、第 2 の検出信号を出力する  
ように構成されたスペクトル分解検出器ユニットと、

前記スペクトル分解検出器ユニットに結合されたプロセッサであって、

前記第 2 の検出信号に基づいて前記光信号の測定された光パワースペクトルを決定ま  
たは識別するステップであって、前記測定された光パワースペクトルが、前記光信号の前  
記データ伝送信号寄与と関連付けられたデータ伝送信号パワースペクトル寄与と、前記光  
信号の前記雑音寄与と関連付けられた雑音パワースペクトル寄与とを含む、ステップと、

前記光信号の複数対のスペクトル成分内のスペクトル相関関数を決定するステップで  
あって、各対の前記スペクトル成分が、前記シンボル周波数によって互いにスペクトル的  
に分離され、前記スペクトル相関関数が、前記第 1 の検出信号に基づいて、前記複数対の  
スペクトル成分のそれぞれと関連付けられた複数対のビート成分内のビートノート振幅関

数を決定することによって決定され、各対の前記ビート成分が、前記ビートノート周波数によって互いにスペクトル的に分離され、一方が、前記第1の画像信号と関連付けられ、他方が、前記第2の画像信号と関連付けられる、ステップと、

前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解において前記シンボル周波数によってスペクトル的に分離された複数対のスペクトル成分に対して計算されたスペクトル相関関数が前記測定されたスペクトル相関関数と整合するように、前記光信号の前記測定された光パワースペクトルに基づいて前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す解を得るステップと

を行うように構成されたプロセッサと  
を含む、システム。

#### 【請求項20】

前記スペクトル分解検出器ユニットが、

可変LO周波数を有するLO信号を生成する局部発振器(LO)源と、

前記第1の取得モードで、前記LO信号と前記両側波帯信号とを組み合わせて第1の結合信号にし、前記第2の取得モードで、前記LO信号と前記光信号とを組み合わせて第2の結合信号にするための光カプラと、

前記第1の取得モードで、前記第1の結合信号を受信し、そこから前記第1の検出信号を生成し、前記第2の取得モードで、前記第2の結合信号を受信し、そこから前記第2の検出信号を生成するためのヘテロダイン受信機と、

前記LO源に結合された掃引コントローラであって、前記第1および第2の取得モードで前記スペクトル範囲内の前記可変LO周波数を掃引するための掃引コントローラと  
をさらに含む、請求項19に記載のシステム。

#### 【請求項21】

前記スペクトルシフタが、電気光学変調器である、請求項19または20に記載のシステム。

#### 【請求項22】

前記スペクトル分解検出器ユニットの上流に配置された偏光アナライザであって、  
時間の関数として前記光信号または前記両側波帯信号の偏光状態を変化させるように構成された偏光スクランブラーと、

前記変化させた偏光状態の前記光信号または前記両側波帯信号の固定偏光成分を通過させるように構成された偏光子と  
を含む、偏光アナライザをさらに含む、請求項19または20に記載のシステム。

#### 【請求項23】

多数の離間した光チャネルのうちの選択されたものから前記光信号を選択するように構成された光チャネルセレクタをさらに含む、請求項19または20に記載のシステム。

#### 【請求項24】

光通信リンクに沿って伝播する光信号をスペクトル的に特徴付けるためのシステムであって、前記光信号が、データ伝送信号帯域幅内のシンボル周波数で変調されたデータ伝送信号寄与と、雑音寄与とを含み、前記システムが、

前記データ伝送信号帯域幅のスペクトル範囲内で動作可能なスペクトル分解検出器ユニットであって、

可変LO周波数を有するLO信号を生成する局部発振器(LO)源と、

第1の取得モードで、前記LO信号から両側波帯LO信号を生成するように構成されたLOスペクトルシフタであって、前記両側波帯LO信号が、前記シンボル周波数にビートノート周波数を加えたものまたは前記シンボル周波数からビートノート周波数を減じたものに等しいスペクトルシフトによって互いにスペクトル的に分離された第1のLO画像信号および第2のLO画像信号を含み、前記ビートノート周波数が、前記シンボル周波数より低い、LOスペクトルシフタと、

前記第1の取得モードで、前記両側波帯LO信号と前記光信号とを組み合わせて第1の結合信号にし、前記第2の取得モードで、前記LO信号と前記光信号とを組み合わせて

第2の結合信号にするための光カプラと、

前記第1の取得モードで、前記第1の結合信号を受信し、そこから第1の検出信号を生成し、前記第2の取得モードで、前記第2の結合信号を受信し、そこから第2の検出信号を生成するためのヘテロダイン受信機と、

前記LO源に結合された掃引コントローラであって、前記第1および第2の取得モードで前記スペクトル範囲内の前記可変LO周波数を掃引するための掃引コントローラと

を含む、スペクトル分解検出器ユニットと、

前記スペクトル分解検出器ユニットに結合されたプロセッサであって、

前記第2の検出信号に基づいて前記光信号の測定された光パワースペクトルを決定または識別するステップであって、前記測定された光パワースペクトルが、前記光信号の前記データ伝送信号寄与と関連付けられたデータ伝送信号パワースペクトル寄与と、前記光信号の前記雑音寄与と関連付けられた雑音パワースペクトル寄与とを含む、ステップと、

前記光信号の複数対のスペクトル成分内のスペクトル相關関数を決定するステップであって、各対の前記スペクトル成分が、前記シンボル周波数によって互いにスペクトル的に分離され、前記スペクトル相關関数が、前記第1の検出信号に基づいて、前記複数対のスペクトル成分のそれぞれと関連付けられた複数対のビート成分内のビートノート振幅関数を決定することによって決定され、各対の前記ビート成分が、前記ビートノート周波数によって互いにスペクトル的に分離され、一方が、前記第1のLO画像信号と関連付けられ、他方が、前記第2のLO画像信号と関連付けられる、ステップと、

前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す前記解において前記シンボル周波数によってスペクトル的に分離された複数対のスペクトル成分に対して計算されたスペクトル相關関数が前記測定されたスペクトル相關関数と整合するように、前記光信号の前記測定された光パワースペクトルに基づいて前記データ伝送信号パワースペクトル寄与を表す解を得るステップと

を行うように構成されたプロセッサと  
を含む、システム。

#### 【請求項25】

前記LOスペクトルシフタが、電気光学変調器である、請求項24に記載のシステム。

#### 【請求項26】

前記スペクトル分解検出器ユニットの上流に配置された偏光アナライザであって、  
時間の関数として前記光信号の偏光状態を変化させるように構成された偏光スクランブ  
ラと、

前記変化させた偏光状態の前記光信号の固定偏光成分を通過させるように構成された偏  
光子と

を含む、偏光アナライザをさらに含む、請求項24または25に記載のシステム。

#### 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正の内容】

#### 【0018】

いくつかの実装形態では、方法は、両側波带LO信号の高調波を低減するステップをさ  
らに含む。

#### 【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0246

【補正方法】変更

【補正の内容】

#### 【0246】

システム400は、第1の取得モードで、光信号から両側波带信号408を生成するよ

うに構成されたスペクトルシフタ 406 を含む。両側波帯信号 408 は、第 1 の画像信号 410a および第 2 の画像信号 410b を含む。第 1 および第 2 の画像信号 410a、410b は、シンボル周波数  $f_{s_b}$  にビートノート周波数  $f_b$  を加えたものまたはシンボル周波数  $f_{s_b}$  からビートノート周波数  $f_b$  を減じたものに等しいスペクトルシフト 2 によって互いに分離された光信号 402 の側波帯画像を表し、図 4 では、 $2 = (f_{s_b} + f_b)$  の事例が表されている。ビートノート周波数  $f_b$  は、例えば、いくつかの実装形態では、 $10^3 \sim 10^6$ 、より具体的には、 $10^4 \sim 10^5$  の範囲の比率だけシンボル周波数  $f_{s_b}$  より低い。スペクトルシフタ 406 は、第 2 の取得モードで光信号 402 を迂回させるかまたは動作不能になる。前者のシナリオでは、システム 400 は、光スイッチ 446 を含み得、光スイッチ 446 は、第 1 の取得モードで、スペクトルシフタ 406 を含む第 1 のパス 448a に沿って光信号 402 を誘導し、第 2 の取得モードで、スペクトルシフタ 406 を迂回する第 2 のパス 448b に沿って光信号 402 を誘導するためのものである。いくつかの実装形態では、光スイッチ 446 の代わりに、スペクトルシフタ 406 のスペクトルシフト能力は、第 1 および第 2 の取得モードのそれぞれにおいてオンおよびオフを選択的に調整することができる。

#### 【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0256

【補正方法】変更

【補正の内容】

#### 【0256】

は、第 1 の検出信号 414 に基づいて、複数対のビート成分のセットに対するビートノート振幅関数を決定することによって得られる。複数対のビート成分はそれぞれ、光信号 402 の複数対のスペクトル成分と関連付けられる。各対のビート成分は、ビートノート周波数  $f_b$  によって互いにスペクトル的に分離され、一方のビート成分は、両側波帯信号 408 の第 1 の画像信号 410a と関連付けられ、他方は、第 2 の画像信号 410b と関連付けられる。ビートノート振幅関数は、スペクトル範囲内で、その関連付けた対のスペクトル成分の中心周波数の関数として各対のビート成分間のビートノート振幅を関連させる。

#### 【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0316

【補正方法】変更

【補正の内容】

#### 【0316】

の測定が厳密に実行された場合は、回帰の調整可能パラメータ  $C_r$  が補償することを目標とする相対相関  $C_r$ （上記で論じられる図 3 の方法 300 のステップ 4 を参照）は、光通信リンク 704 に沿った P M D が特定の値  $P M D_{s_b}$  よりも大きくなるいくつかの例では、非実用的に小さくなり得ることに留意されたい。 $P M D - P M D_{s_b}$  の際は、スペクトル相関関数

#### 【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0354

【補正方法】変更

【補正の内容】

#### 【0354】

示される実施形態では、光ヘテロダイン O S A 712 は、一般に、局部発振器（L O 源 750、光カプラ 752、ヘテロダイン受信機 754 および掃引コントローラ 756 を含み得る。L O 源 750（例えば、レーザ源）は、可変 L O 周波数 を有する L O 信号 758 を生成し、それを光カプラ 752（例えば、P M ファイバ（P M F）カプラ）に送

信する。第1の取得モード（スペクトルシフタ706はオン）では、光カプラ752は、LO信号758と両側波帯信号708とを組み合わせて第1の結合信号760にし、第2の取得モード（スペクトルシフタ706はオフ）では、光カプラ752は、LO信号758と光信号702とを組み合わせて第2の結合信号762にする。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0355

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0355】

ヘテロダイン受信機754は、第1の取得モードで、第1の結合信号760を受信し、そこから第1の検出信号714を生成し、第2の取得モードで、第2の結合信号762を受信し、そこから第2の検出信号716を生成するように構成される。ヘテロダイン受信機754は、検出された光信号を電気信号に変換するための光検出器764のセット（例えば、平衡検出スキームにおける）と、電気信号を検出信号714、716として出力する前に電気信号をさらに処理するための電子回路766とを含み得る。例えば、電子回路766は、バンドパス電子フィルタ768と、それに続く二乗検波器またはパワー検出器770（ローパスフィルタ772を含む）とを含み得る。