

【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 0 4 B 10/079 (2013.01)

【F I】

H 0 4 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、

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。

【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 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 (OSNR) 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関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関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関関数を表す、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また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 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 信号と前記両側波帯信号とを組み合わせる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る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る第 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る第 2 の結合信号にするための光プラと、

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る第 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る

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ッ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、前記ビートノッ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 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、両側波帯 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、光信号から両側波帯信号 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 410 a および第 2 の画像信号 410 b を含む。第 1 および第 2 の画像信号 410 a、410 b は、シンボル周波数 f_{sb} 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_{sb} 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、 $2 = (f_{sb} + f_b)$ 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_{sb} 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 448 a 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 448 b 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 410 a と関連付けられ、他方は、第 2 の画像信号 410 b 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 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 PMD が特定の値 PMD_{sb} 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。 $PMD > PMD_{sb}$ 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 OSA 712 は、一般に、局部発振器 (LO) 源 750、光カブラ 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。LO 源 750 (例えば、レーザ源) は、可変 LO 周波数 を有する LO 信号 758 を生成し、それを光カブラ 752 (例えば、PM ファイバ (PMF) カブラ) に送

信する。第 1 の取得モード（スペクトルシフタ 7 0 6 はオン）では、光カブラ 7 5 2 は、L O 信号 7 5 8 と両側波帯信号 7 0 8 とを組み合わせで第 1 の結合信号 7 6 0 にし、第 2 の取得モード（スペクトルシフタ 7 0 6 はオフ）では、光カブラ 7 5 2 は、L O 信号 7 5 8 と光信号 7 0 2 とを組み合わせで第 2 の結合信号 7 6 2 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】0 3 5 5

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 3 5 5】

ヘテロダイン受信機 7 5 4 は、第 1 の取得モードで、第 1 の結合信号 7 6 0 を受信し、そこから第 1 の検出信号 7 1 4 を生成し、第 2 の取得モードで、第 2 の結合信号 7 6 2 を受信し、そこから第 2 の検出信号 7 1 6 を生成するように構成される。ヘテロダイン受信機 7 5 4 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 7 6 4 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 7 1 4、7 1 6 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 7 6 6 とを含み得る。例えば、電子回路 7 6 6 は、バンドパス電子フィルタ 7 6 8 と、それに続く二乗検波器またはパワー検出器 7 7 0（ローパスフィルタ 7 7 2 を含む）とを含み得る。