

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6475574号  
(P6475574)

(45) 発行日 平成31年2月27日 (2019. 2. 27)

(24) 登録日 平成31年2月8日 (2019. 2. 8)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 4 B	10/077	(2013. 01)	HO 4 B	10/077	
HO 4 B	10/25	(2013. 01)	HO 4 B	10/25	
GO 1 M	11/00	(2006. 01)	GO 1 M	11/00	Q
GO 1 M	11/02	(2006. 01)	GO 1 M	11/02	N
HO 4 J	14/00	(2006. 01)	GO 1 M	11/02	J

請求項の数 8 (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2015-112101 (P2015-112101)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成27年6月2日 (2015. 6. 2)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2016-225899 (P2016-225899A)		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(43) 公開日	平成28年12月28日 (2016. 12. 28)	(74) 代理人	110001634
審査請求日	平成29年6月22日 (2017. 6. 22)		特許業務法人 志賀国際特許事務所
		(72) 発明者	芝原 光樹
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	宮本 裕
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	高良 秀彦
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 クロストーク推定システム及びクロストーク推定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のコアを有する被測定物を介して伝送される信号からコア間のクロストークを推定するクロストーク推定システムであって、

トーン信号が重畳された変調信号光を生成する生成部と、  
生成された前記変調信号光を、前記コアを介して送信する送信部と、  
前記コアから出力された前記変調信号光に重畳されている前記トーン信号の強度に基づいてコア間のクロストークを推定するクロストーク推定部と、  
を備え、

前記コアから出力された前記変調信号光を電気信号に変換する光電気変換部と、  
変換された前記電気信号の強度を測定する電気信号測定部と、  
をさらに備え、

前記クロストーク推定部は、測定結果で示される前記電気信号に重畳されている変調周波数の異なるトーン信号の強度間の差分から前記クロストークを推定するクロストーク推定システム。

【請求項2】

複数のコアを有する被測定物を介して伝送される信号からコア間のクロストークを推定するクロストーク推定システムであって、

トーン信号が重畳された変調信号光を生成する生成部と、  
生成された前記変調信号光を、前記コアを介して送信する送信部と、

前記コアから出力された前記変調信号光に重畳されている前記トーン信号の強度に基づいてコア間のクロストークを推定するクロストーク推定部と、

を備え、

前記コアから出力された前記変調信号光の光パワーを測定する光信号測定部をさらに備え、

前記クロストーク推定部は、測定結果で示される前記変調信号光に重畳されている変調周波数の異なるトーン信号の強度間の差分から前記クロストークを推定するクロストーク推定システム。

【請求項 3】

複数のコアを有する被測定物を介して伝送される信号からコア間のクロストークを推定するクロストーク推定システムであって、

トーン信号が重畳された変調信号光を生成する生成部と、

生成された前記変調信号光を、前記コアを介して送信する送信部と、

前記コアから出力された前記変調信号光に重畳されている前記トーン信号の強度に基づいてコア間のクロストークを推定するクロストーク推定部と、

を備え、

前記コアから出力された前記変調信号光を電気信号に変換する光電気変換部と、

変換された前記電気信号を複数のフレームに分割するフレーム分割部と、

分割された各フレームの同期がなされた後に、前記複数のフレームを用いて前記クロストークの推定に用いられないパラメータのパワースペクトルを減少させる平均化処理を行うフレーム平均部と、

をさらに備え、

前記クロストーク推定部は、平均化処理がなされた後のフレームに重畳されている変調周波数の異なるトーン信号の強度を測定し、変調周波数の異なるトーン信号の強度間の差分から前記クロストークを推定するクロストーク推定システム。

【請求項 4】

前記トーン信号を片側側波帯の信号に変換する片側側波帯変換部をさらに備え、

前記生成部は、片側側波帯の信号に変換された前記トーン信号が重畳された変調信号光を生成する、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載のクロストーク推定システム。

【請求項 5】

前記トーン信号の変調周波数の種類は、前記被測定物における前記変調信号光が伝搬するコアの隣接コア数より 1 つ分多い、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のクロストーク推定システム。

【請求項 6】

複数のコアを有する被測定物を介して伝送される信号からコア間のクロストークを推定するクロストーク推定システムにおけるクロストーク推定方法であって、

トーン信号が重畳された変調信号光を生成する生成ステップと、

生成された前記変調信号光を、前記コアを介して送信する送信ステップと、

前記コアから出力された前記変調信号光に重畳されている前記トーン信号の強度に基づいてコア間のクロストークを推定するクロストーク推定ステップと、

を有し、

前記コアから出力された前記変調信号光を電気信号に変換する光電気変換ステップと、

変換された前記電気信号の強度を測定する電気信号測定ステップと、

をさらに有し、

前記クロストーク推定ステップにおいて、測定結果で示される前記電気信号に重畳されている変調周波数の異なるトーン信号の強度間の差分から前記クロストークを推定するクロストーク推定方法。

【請求項 7】

複数のコアを有する被測定物を介して伝送される信号からコア間のクロストークを推定するクロストーク推定システムにおけるクロストーク推定方法であって、

10

20

30

40

50

トーン信号が重畳された変調信号光を生成する生成ステップと、  
 生成された前記変調信号光を、前記コアを介して送信する送信ステップと、  
 前記コアから出力された前記変調信号光に重畳されている前記トーン信号の強度に基づいてコア間のクロストークを推定するクロストーク推定ステップと、  
 を有し、  
前記コアから出力された前記変調信号光の光パワーを測定する光信号測定ステップをさらに有し、

前記クロストーク推定ステップにおいて、測定結果で示される前記変調信号光に重畳されている変調周波数の異なるトーン信号の強度間の差分から前記クロストークを推定するクロストーク推定方法。

10

【請求項 8】

複数のコアを有する被測定物を介して伝送される信号からコア間のクロストークを推定するクロストーク推定システムにおけるクロストーク推定方法であって、

トーン信号が重畳された変調信号光を生成する生成ステップと、  
 生成された前記変調信号光を、前記コアを介して送信する送信ステップと、  
 前記コアから出力された前記変調信号光に重畳されている前記トーン信号の強度に基づいてコア間のクロストークを推定するクロストーク推定ステップと、  
 を有し、

前記コアから出力された前記変調信号光を電気信号に変換する光電気変換ステップと、  
 変換された前記電気信号を複数のフレームに分割するフレーム分割ステップと、  
 分割された各フレームの同期がなされた後に、前記複数のフレームを用いて前記クロストークの推定に用いられないパラメータのパワースペクトルを減少させる平均化処理を行うフレーム平均ステップと、

20

をさらに有し、

前記クロストーク推定ステップにおいて、平均化処理がなされた後のフレームに重畳されている変調周波数の異なるトーン信号の強度を測定し、変調周波数の異なるトーン信号の強度間の差分から前記クロストークを推定するクロストーク推定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、クロストークの推定技術に関する。

30

【背景技術】

【0002】

近年の光ファイバ通信の普及に伴うブロードバンドサービスの急速な発展とともに、通信容量は年々増え続けている。通信容量の急増に対応する光ネットワークの大容量化は、これまで光ファイバの構造を変えずに光通信システム装置を大容量化することにより実現されてきた。現在の大容量光ネットワークの基盤となっている光ファイバは、1本の光ファイバに光信号の通路となる1つのコアを持つもの（シングルコアファイバ）で、毎秒1テラビットの容量を長距離にわたり伝送する光ネットワークが実現されている。

しかし、近年の通信容量の増加率から、さらなる通信容量の大容量化が課題となっていた。このような問題を回避するために、光ファイバ1本あたり複数のコアを持ち、それぞれのコアを通路として光信号を伝送させるマルチコアファイバを用いた空間多重光通信技術が注目されている。複数のコアを用いることで、従来のシングルコアファイバと比較して、1本の光ファイバで伝送できる容量はコア数分だけ増大する。

40

【0003】

上述のように、近年では、マルチコアファイバを用いた空間多重光通信技術の研究開発が急速に進んでいる。また、空間多重伝送技術によるさらなる伝送容量の拡大や実用システムへの導入には、高性能なマルチコアファイバの実現が必須である。マルチコア伝送における性能の評価指標として、コア間の損失差、コア間のクロストークなどがあり、正確に評価することが重要である。

50

## 【 0 0 0 4 】

上記評価指標のうち、コア間のクロストークとは、あるコアを伝搬する光のパワーの一部が異なるコアへと漏れ出す強度の割合を示したものである。1本の光ファイバに多重するコアの数を増やせばそれに応じ伝送容量は増大するが、同時に、あるコアと別のコアの間隔も短くなり一般にコア間クロストークが増大しやすくなる。マルチコアファイバを用いた空間多重光通信では、コア毎に独立した光信号が伝搬するため、コア間クロストークの増大は光信号を劣化させる。その結果として、光信号が伝搬できる距離を縮小させる、ないしは伝送容量を小さくする必要がある。

## 【 0 0 0 5 】

コア間クロストークについては、伝送路で使用されるマルチコアファイバにおいても重要なパラメータとなっており、従来技術として図15に示す評価系を用いて簡便に測定する方法が提案されている(例えば、非特許文献1参照)。図15は、従来のマルチコアファイバのコア間クロストーク測定系を説明するための図である。

図15の方法では、マルチコアファイバの入力側から1つのコアに光源からの光を入力し、マルチコアファイバの出力側で各コアにシングルコアファイバを調心して光パワーメータで光パワーを測定する。シングルコアファイバを、光を入力したコアに調心したときはそのコアの伝送損失分減衰した光パワー、それ以外のコアに入力したときはコア間クロストーク光パワーが測定できる。このような測定を全てのコアへ光を入力した場合について実施し、コアの伝送損失分減衰した光パワーとコア間クロストーク光パワーとから2コア間のコア間クロストーク値が求められる。

## 【 0 0 0 6 】

また、図16に示すようにクロストークを測定する2コア(Core A及びCore B)で、それぞれ別々の信号光源を用意してそれらの波長を互いに異なるものに設定する方法も提案されている(例えば、非特許文献2参照)。図16は、従来のマルチコア光増幅器のコア間クロストーク測定系と測定結果を説明するための図である。図16(a)は、従来のマルチコア光増幅器のコア間クロストーク測定系の構成を示す。図16(b)に光スペクトラムアナライザで測定された、コア間クロストーク評価における増幅器出力スペクトル結果を示す。被測定物(図16ではマルチコアファイバ増幅器(MC-EDFA))の異なるCore A、Core Bにそれぞれ波長1550nm、1551nmの信号光を入力し、Core Aの出力測定(図16(b)の実線のスペクトル)によりCore BからCore Aのクロストークを、Core Bの出力測定(図16(b)の点線のスペクトル)によりCore AからCore Bのクロストークを測定できる。

## 【 0 0 0 7 】

また、図17に示すように、強度トーンを用いたコア間クロストーク測定法が提案されている(例えば、非特許文献3参照)。図17は、従来のマルチコア光増幅器のコア間クロストーク測定系と測定結果を説明するための図である。図17(a)は、従来のマルチコア光増幅器のコア間クロストーク測定系の構成を示す。コア毎に異なるトーン周波数で強度変調し、被測定物(ファンイン・ファンアウトデバイス、伝送用ファイバ、光増幅器等)に入射する。出射光を光電変換器で受光して電気信号へ変換した後に電気スペクトルアナライザにより各トーン周波数成分を求める。図17(b)のように、電気スペクトルから得られた各トーン周波数成分のレベル差より、コア間のクロストークを求めることができる。

## 【 先行技術文献 】

## 【 非特許文献 】

## 【 0 0 0 8 】

【非特許文献1】K. Takenaga et al. "An Investigation on Crosstalk in Multi-Core Fibers by Introducing Random Fluctuation along Longitudinal Direction" IEICE Trans. Commun., vol.E94-B, no.2, pp.409-416, 2011.

【非特許文献2】Y. Tsuchida et al., "Amplification Characteristics of a Multi-core Erbium-doped Fiber Amplifier," in Proc. OFC/NFOEC2012, paper OM3C.3.

10

20

30

40

50

【非特許文献3】H. Ono 1 ; T. Mizuno 2 ; H. Takara 2 ; K. Ichii 3 ; K. Takenaga 3 ; S. Matsuo 3 ; M. Yamada, “ Inter-core crosstalk measurement in multi-core fibre amplifier using multiple intensity tones,” Electronics Letters, Volume 50, Issue 14, pp. 1009-1010, 2014.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、従来のコア間クロストーク測定法では、ファイバ、デバイス及び装置を対象にした方法であったため、マルチコアファイバ光伝送システムが稼働中（インサービス中）にコア間クロストークを評価することが困難であった。図18は、従来のマルチコアファイバ光伝送システムの構成図である。従来のマルチコアファイバ光伝送システムは、図18に示した通り全てのコアに同じ波長配置の信号光を伝送している。したがって、図15に示した、特定のコアに光を入力せずに、クロストーク光を発生させるコアだけに光を入力して直接コア間クロストークを測定する方法を用いることはできない。図16に示した、コア毎に異なる波長の光を入射して光スペクトラムアナライザで測定する方法も適用できない。図17に示した、強度トーンを用いたコア間クロストーク測定法についても、強度変調を信号光に行うと伝送特性が劣化する問題が発生してしまう。以上のように、従来のクロストーク測定法では、稼働中のマルチコアファイバ光伝送システムに適用することができないという問題があった。

【0010】

上記事情に鑑み、本発明は、稼働中の光通信システムにおけるコア間のクロストークを推定することができる技術の提供を目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の一態様は、複数のコアを有する被測定物を介して伝送される信号からコア間のクロストークを推定するクロストーク推定システムであって、トーン信号が重畳された変調信号光を生成する生成部と、生成された前記変調信号光を、前記コアを介して送信する送信部と、前記コアから出力された前記変調信号光に重畳されている前記トーン信号の強度に基づいてコア間のクロストークを推定するクロストーク推定部と、を備えるクロストーク推定システムである。

【0012】

本発明の一態様は、上記のクロストーク推定システムであって、前記コアから出力された前記変調信号光を電気信号に変換する光電気変換部と、変換された前記電気信号の強度を測定する電気信号測定部と、をさらに備え、前記クロストーク推定部は、測定結果で示される前記電気信号に重畳されている変調周波数の異なるトーン信号の強度間の差分から前記クロストークを推定する。

【0013】

本発明の一態様は、上記のクロストーク推定システムであって、前記コアから出力された前記変調信号光の光パワーを測定する光信号測定部をさらに備え、前記クロストーク推定部は、測定結果で示される前記変調信号光に重畳されている変調周波数の異なるトーン信号の強度間の差分から前記クロストークを推定する。

【0014】

本発明の一態様は、上記のクロストーク推定システムであって、前記コアから出力された前記変調信号光を電気信号に変換する光電気変換部と、変換された前記電気信号を複数のフレームに分割するフレーム分割部と、分割された各フレームの同期がなされた後に、前記複数のフレームを用いて前記クロストークの推定に用いられないパラメータのパワースペクトルを減少させる平均化処理を行うフレーム平均部と、をさらに備え、前記クロストーク推定部は、平均化処理がなされた後のフレームに重畳されている変調周波数の異なるトーン信号の強度を測定し、変調周波数の異なるトーン信号の強度間の差分から前記クロストークを推定する。

## 【 0 0 1 5 】

本発明の一態様は、上記のクロストーク推定システムであって、前記トーン信号を片側側波帯の信号に変換する片側側波帯変換部をさらに備え、前記生成部は、片側側波帯の信号に変換された前記トーン信号が重畳された変調信号光を生成する。

## 【 0 0 1 6 】

本発明の一態様は、上記のクロストーク推定システムであって、前記トーン信号の変調周波数の種類は、前記被測定物における前記変調信号光が伝搬するコアの隣接コア数より1つ分多い。

## 【 0 0 1 7 】

本発明の一態様は、複数のコアを有する被測定物を介して伝送される信号からコア間のクロストークを推定するクロストーク推定システムにおけるクロストーク推定方法であって、トーン信号が重畳された変調信号光を生成する生成ステップと、生成された前記変調信号光を、前記コアを介して送信する送信ステップと、前記コアから出力された前記変調信号光に重畳されている前記トーン信号の強度に基づいてコア間のクロストークを推定するクロストーク推定ステップと、を有するクロストーク推定方法である。

10

## 【発明の効果】

## 【 0 0 1 8 】

本発明により、稼働中の光通信システムにおけるコア間のクロストークを推定することが可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

20

## 【 0 0 1 9 】

【図1】本発明におけるクロストーク推定システムのシステム構成を示す図である。

【図2】第1実施形態におけるクロストーク推定システム100のシステム構成を示す図である。

【図3】第1実施形態における信号スペクトルを示す説明図である。

【図4】第1実施形態におけるデジタル信号スペクトルの具体例を示す図である。

【図5】第1実施形態におけるデジタル信号スペクトルの具体例を示す図である。

【図6】2つのコア間のクロストーク推定方法の一例を示す説明図である。

【図7】3つのコア間のクロストーク推定方法の一例を示す説明図である。

【図8】第1実施形態における2つのコア間のクロストーク推定方法の際のデジタル信号スペクトルの一例を示す説明図である。

30

【図9】第1実施形態における光受信装置20の処理の流れを示すフローチャートである。

【図10】第2実施形態におけるクロストーク推定システム100aのシステム構成を示す図である。

【図11】第3実施形態におけるクロストーク推定システム100bのシステム構成を示す図である。

【図12】第4実施形態におけるクロストーク推定システム100cのシステム構成を示す図である。

【図13】第1実施形態と第3実施形態におけるコア間のクロストーク推定の効果を説明するための図である。

40

【図14】第3実施形態のコア間クロストークの推定方法において、光信号対雑音比を変化させた場合のコア間クロストーク推定値と真値との差分を示す図である。

【図15】従来のマルチコアファイバのコア間クロストーク測定系を説明するための図である。

【図16】従来のマルチコア光増幅器のコア間クロストーク測定系と測定結果を説明するための図である。

【図17】従来のマルチコア光増幅器のコア間クロストーク測定系と測定結果を説明するための図である。

【図18】従来のマルチコアファイバ光伝送システムの構成図である。

50

**【発明を実施するための形態】****【0020】**

以下、本発明の一実施形態を、図面を参照しながら説明する。

(基本構成)

まず、図1を用いて、本発明におけるクロストーク推定システムの基本構成について説明する。

図1は、本発明におけるクロストーク推定システムのシステム構成を示す図である。クロストーク推定システムは、光送信装置10及び光受信装置20を備える。光送信装置10と光受信装置20の間には、被測定物30が設けられる。なお、以下の説明では、説明の簡単化のため、評価の対象となる被測定物30はM個(Mは2以上の整数)の入力ポートとM個の出力ポートを備え、光信号をm(1 ≤ m ≤ M)個目の入力ポートから入力すると、主にm個目の出力ポートから出力される性質を有すると仮定する。また、入力ポートmと出力ポートmをつなぐ伝送路(コア)を伝送路mと記載する。なお、被測定物30を伝搬する光信号は、他の入力ポートから入力された他の光信号の漏れ出しを受け、被測定物30の出力ポートから出力される。

10

**【0021】**

光送信装置10は、被測定物30の入力ポート毎に変調周波数が異なるトーン信号を生成する。変調周波数が異なるトーン信号を生成する方法として、周期が異なるM種類(Mは2以上の整数)のトーン信号生成パターンを使用する。また、光送信装置10は、変調周波数が異なるトーン信号が重畳された信号光(変調信号光)を生成する。光送信装置10は、生成した複数の変調信号光(例えば、変調信号光1、変調信号光2、・・・、変調信号光m(mは3以上の整数))を被測定物30の各入力ポートに入力する。

20

**【0022】**

光受信装置20は、被測定物30から出力された出力光を受信する。光受信装置20は、受信した出力光に重畳されたトーン信号の強度に基づいてコア間のクロストークを推定する。

被測定物30は、光送信装置10と光受信装置20との間で光信号を伝送する。被測定物30は、例えばZ個(Zは2以上の整数)のコアを有する非結合型のマルチコアファイバである。

以上が、本発明におけるクロストーク推定システムの基本構成である。以下、複数の実施形態(第1実施形態～第4実施形態)を例に具体的な内容について説明する。

30

**【0023】**

(第1実施形態)

図2は、第1実施形態におけるクロストーク推定システム100のシステム構成を示す図である。クロストーク推定システム100は、光送信装置10及び光受信装置20を備える。光送信装置10と光受信装置20の間には、被測定物30が設けられる。

以下、光送信装置10、光受信装置20及び被測定物30の構成について具体的に説明する。

**【0024】**

まず、光送信装置10について説明する。光送信装置10は、複数の光源101-1～101-N(Nは2以上の整数)、複数の電気信号処理部102-1～102-N及び複数の変調器103-1～103-Nを備える。なお、以下の説明では、光源101-1～101-N、電気信号処理部102-1～102-N及び変調器103-1～103-Nについて区別しない場合にはそれぞれ光源101、電気信号処理部102及び変調器103と記載する。

40

**【0025】**

光源101は、同一の搬送波周波数の光を送出する。

電気信号処理部102は、ペイロード信号生成部1021、トーン信号生成部1022及びトーン信号挿入部1023を備える。

ペイロード信号生成部1021は、入力信号を所望の変調方式に応じて複素シンボルに

50

マッピングすることによってペイロード信号部を生成する。本実施形態の入力信号は、0と1から成るビットパターンであり、光信号として転送される例えばイーサネット（登録商標）信号やOTN（Optical Transport Network）信号を表す。

【0026】

トーン信号生成部1022は、周期Bのトーン信号を生成する。具体的には、トーン信号生成部1022は、トーン信号生成パターンに基づいて周期Bのトーン信号を生成する。なお、トーン信号生成部1022は、電気信号処理部102毎に、異なる周期（変調周波数）のトーン信号を生成する。電気信号処理部102毎に、どの周期のトーン信号生成パターンを用いるのかは、予め決定されていてもよいし、ユーザによって適宜決定されてもよい。

10

【0027】

トーン信号挿入部1023は、ペイロード信号生成部1021によって生成されたペイロード信号部の先頭に、トーン信号生成部1022によって生成されたトーン信号を挿入することによってフレーム信号を生成する。なお、トーン信号挿入部1023は、ペイロード信号部の末尾に、トーン信号を挿入することによってフレーム信号を生成してもよい。各実施形態において、生成されるフレーム信号は、L個のタイムスロットを持ち、L個のタイムスロットの先頭からP個のトーン信号及び(L-P)個のペイロード信号部から構成される信号フレームを指す（L、Pはそれぞれ1以上の整数）。

【0028】

変調器103は、電気信号処理部102によって生成されたフレーム信号に応じて、光源101から送出された光を変調することによって変調信号光を生成する。変調器103は、生成した変調信号光を被測定物30を介して光受信装置20に送信する。例えば、伝送路mに対応する変調器103は、伝送路mに対して変調信号光を出力し、伝送路mを介して光受信装置20に変調信号光を送信する。

20

【0029】

次に、被測定物30について説明する。被測定物30は、マルチコア入力部301、マルチコア出力部302及びマルチコアファイバ303で構成される。

マルチコア入力部301は、複数の変調信号光をマルチコアファイバ303に入力する。

マルチコア出力部302は、マルチコアファイバ303の複数の出力を分離する。

30

複数の変調信号光はマルチコア入力部301を介してマルチコアファイバ303へ入力され、それぞれ異なるコアを通り、マルチコア出力部302を介して光受信装置20に出力される。

【0030】

次に、光受信装置20について説明する。光受信装置20は、光電気変換器201、電気信号測定部202、クロストーク推定部203を備える。

光電気変換器201は、被測定物30から変調信号光（光信号）を受信する。光電気変換器201は、受信した光信号を電気信号に変換する。光電気変換器201が、例えばホモダイン検波に基づく光電気変換を行う場合、伝送路mを伝搬したトーン信号は周波数軸上で $\pm B_m$ の位置に観測され、伝送路nを伝搬したトーン信号は周波数軸上で $\pm B_n$ の位置に観測される。

40

【0031】

電気信号測定部202は、光電気変換器201によって変換された電気信号のスペクトルを測定する。電気信号測定部202は、例えば電気スペクトラム測定器である。

クロストーク推定部203は、測定された電気信号のスペクトルに基づいてコア間のクロストークを推定する。具体的には、クロストーク推定部203は、スペクトルによって観測された異なる変調周波数のトーン信号の強度の差分から、あるコアに対する他のコアからのクロストークを推定する。

【0032】

図3は、第1実施形態における信号スペクトルを示す説明図である。

50

図3において、横軸は周波数を表し、縦軸は光パワーを表す。光信号に重畳するトーン信号は、上述したようにトーン信号生成パターンを用いて生成することができる。光信号の変調速度を  $B_0$ 、光信号の搬送波周波数を  $f_0$  とすると、トーン信号は  $f_0 - B_0$  以上  $f_0 + B_0$  以下の任意の周波数の位置に生成することができる。トーン信号を  $f_0 \pm B$  ( $B < B_0$ ) の位置に生成する場合には、 $B$  の周期を持つトーン信号生成パターンを与え、光信号を生成すればよい。

【0033】

図4及び図5は、第1実施形態におけるデジタル信号スペクトルの具体例を示す図である。

図4及び図5において、横軸は周波数を表し、縦軸は強度を表す。図4及び図5におけるデジタル信号は、ベースバンド信号のため、 $f_0 = 0$  [Hz] となる。図4及び図5に示す通り、デジタル信号スペクトルにおいてトーン信号40及びトーン信号41が生成されていることが確認できる。ここでは、 $L = 32768$ 、 $P = 10240$ 、変調速度  $B_0 = 32$  Gbaud と設定し、さらに周期  $B$  の値として、図4では  $B = 8$  GHz、図5では  $B = 4$  GHz と設定している。

【0034】

次に、図6及び図7を用いて、クロストーク推定部203によるコア間のクロストーク推定方法について説明する。

図6は、2つのコア間のクロストーク推定方法の一例を示す説明図である。

図6において、横軸は周波数を表し、縦軸は光パワーを表す。図6において、入力ポート  $m$  に入力される光信号には  $B_m$  の周期を持つトーン信号が重畳され、入力ポート  $n$  に入力される光信号には  $B_n$  の周期を持つトーン信号が重畳されているとする。図6では、出力ポート  $m$  から出力された変調信号光のスペクトルを示している。ここで、図6には、変調信号光のスペクトルとして、複数のスペクトル  $f_0 \pm B_m$  及び  $f_0 \pm B_n$  が示されている。上述したように、入力ポート  $m$  から入力された光信号は、主に出力ポート  $m$  から出力され、上述の過程によりその出力信号には変調周波数  $f_0 \pm B_m$  のトーン信号が重畳される。

【0035】

しかし、図6に示すスペクトルには、 $f_0 \pm B_m$  のスペクトルの他に  $f_0 \pm B_n$  のスペクトルが確認される。つまり、出力信号には変調周波数  $f_0 \pm B_m$  のトーン信号の他に変調周波数  $f_0 \pm B_n$  のトーン信号が重畳している。変調信号光に変調周波数  $f_0 \pm B_n$  のトーン信号が重畳している理由は、伝送路  $n$  から伝送路  $m$  へ光信号が漏れ出しているためである。この変調周波数  $f_0 \pm B_m$  のトーン信号と変調周波数  $f_0 \pm B_n$  のトーン信号との光パワーの差  $A_1$  が、推定される伝送路  $n$  から伝送路  $m$  へのコア間のクロストークである。変調周波数  $f_0 \pm B_m$  のトーン信号の絶対強度を  $I_m$  [W]、変調周波数  $f_0 \pm B_n$  のトーン信号の絶対強度を  $I_n$  [W] とすると、クロストーク推定部203は伝送路  $n$  から伝送路  $m$  へのコア間のクロストーク  $\alpha_{nm}$  をデシベル表記で以下の式(1)を用いて推定する。

【0036】

【数1】

$$\alpha_{nm} = 10 \log_{10} \frac{I_n}{I_m} \quad \dots (式1)$$

【0037】

なお、伝送路  $n$  から伝送路  $m$  へのコア間のクロストークは、受信した光の絶対強度を用いて推定してもよいし、入力に対する相対強度を用いてもよい。

【0038】

図7は、3つのコア間のクロストーク推定方法の一例を示す説明図である。

図7において、横軸は周波数を表し、縦軸は光パワーを表す。図7において、入力ポー

10

20

30

40

50

ト m に入力される光信号には B m の周期を持つトーン信号が重畳され、入力ポート n 1 に入力される光信号には B n 1 の周期を持つトーン信号が重畳され、入力ポート n 2 に入力される光信号には B n 2 の周期を持つトーン信号が重畳されているとする。図 7 では、出力ポート m から出力された変調信号光のスペクトルを示している。ここで、図 7 には、変調信号光のスペクトルとして、複数のスペクトル  $f_0 \pm B_m$ 、 $f_0 \pm B_{n1}$  及び  $f_0 \pm B_{n2}$  が示されている。上述したように、入力ポート m から入力された光信号は、主に出力ポート m から出力され、上述の過程によりその出力信号には変調周波数  $f_0 \pm B_m$  のトーン信号が重畳される。

【 0 0 3 9 】

しかし、図 7 に示すスペクトルには、 $f_0 \pm B_m$  のスペクトルの他に  $f_0 \pm B_{n1}$  及び  $f_0 \pm B_{n2}$  のスペクトルが確認される。つまり、出力信号には変調周波数  $f_0 \pm B_m$  のトーン信号の他に変調周波数  $f_0 \pm B_{n1}$  及び  $f_0 \pm B_{n2}$  のトーン信号が重畳している。変調信号光に変調周波数  $f_0 \pm B_{n1}$  及び  $f_0 \pm B_{n2}$  のトーン信号が重畳している理由は、伝送路 n 1 から伝送路 m へ、及び、伝送路 n 2 から伝送路 m へ光信号が漏れ出しているためである。この変調周波数  $f_0 \pm B_m$  のトーン信号と変調周波数  $f_0 \pm B_{n1}$  のトーン信号との光パワーの差 A 2 が、推定される伝送路 n 1 から伝送路 m へのコア間のクロストークである。また、変調周波数  $f_0 \pm B_m$  のトーン信号と変調周波数  $f_0 \pm B_{n2}$  のトーン信号との光パワーの差 A 3 が、推定される伝送路 n 2 から伝送路 m へのコア間のクロストークである。

【 0 0 4 0 】

変調周波数  $f_0 \pm B_m$  のトーン信号の絶対強度を  $I_m [W]$ 、変調周波数  $f_0 \pm B_{n1}$  のトーン信号の絶対強度を  $I_{n1} [W]$  とすると、クロストーク推定部 2 0 3 は伝送路 n 1 から伝送路 m へのコア間のクロストーク  $n_{1m}$  をデシベル表記で以下の式 ( 2 ) を用いて推定する。また、変調周波数  $f_0 \pm B_m$  のトーン信号の絶対強度を  $I_m [W]$ 、変調周波数  $f_0 \pm B_{n2}$  のトーン信号の絶対強度を  $I_{n2} [W]$  とすると、クロストーク推定部 2 0 3 は伝送路 n 2 から伝送路 m へのコア間のクロストーク  $n_{2m}$  をデシベル表記で以下の式 ( 3 ) を用いて推定する。

【 0 0 4 1 】

【 数 2 】

$$\alpha n_{1m} = 10 \log_{10} \frac{I_{n1}}{I_m} \quad \dots (式 2)$$

【 数 3 】

$$\alpha n_{2m} = 10 \log_{10} \frac{I_{n2}}{I_m} \quad \dots (式 3)$$

【 0 0 4 2 】

図 8 は、第 1 実施形態における 2 つのコア間のクロストーク推定方法の際のデジタル信号スペクトルの一例を示す説明図である。

光電気変換器 2 0 1 が、ホモダイン検波に基づく光電気変換を行う場合を仮定して取得したベースバンド信号のため、 $f_0 = 0 [Hz]$  となる。図 8 に示すように、デジタル信号スペクトルにおいて  $\pm B_m$  の周波数にトーン信号 4 2 が生成されていること、及び伝送路 n から伝送路 m へのコア間のクロストークにより、 $\pm B_n$  の周波数にトーン信号 4 3 が重畳されていることが確認できる。なお、ここでは、 $L = 32768$ 、 $P = 10240$ 、変調速度  $B_0 = 32 \text{ Gbaud}$ 、 $B_m = 8 \text{ GHz}$ 、 $B_n = 4 \text{ GHz}$  と設定している。

【 0 0 4 3 】

図 9 は、第 1 実施形態における光受信装置 2 0 の処理の流れを示すフローチャートである。なお、図 9 の処理は、1 つのコアから出力された変調信号光に対して行われる。

光電気変換器 201 は、被測定物 30 を介して光信号（変調信号光）を受信する（ステップ S101）。光電気変換器 201 は、受信した光信号を電気信号に変換する（ステップ S102）。光電気変換器 201 は、変換した電気信号を電気信号測定部 202 に出力する。電気信号測定部 202 は、出力された電気信号のスペクトルを測定する（ステップ S103）。電気信号測定部 202 は、測定結果をクロストーク推定部 203 に出力する。クロストーク推定部 203 は、測定結果で示されるスペクトルで観測される異なる変調周波数のトーン信号の強度に基づいてコア間のクロストークを推定する（ステップ S104）。

#### 【0044】

クロストーク推定部 203 は、クロストークの推定結果を出力装置に出力する。ここで、出力装置は、例えば画像や文字を画面に出力する装置を用いて構成されてもよい。例えば、出力装置は、CRT（Cathode Ray Tube）や液晶ディスプレイや有機 EL（Electro-Luminescent）ディスプレイ等を用いて構成できる。また、出力装置は、画像や文字をシートに印刷（印字）する装置を用いて構成されてもよい。例えば、出力装置は、インクジェットプリンタやレーザープリンタ等を用いて構成できる。また、出力装置は、文字を音声に変換して出力する装置を用いて構成されてもよい。この場合、出力装置は、音声合成装置及び音声出力装置（スピーカー）を用いて構成できる。

その後、光受信装置 20 は、他のコアから出力された変調信号光 1 つ 1 つに対して図 9 の処理を行う。

#### 【0045】

以上のように構成されたクロストーク推定システム 100 によれば、稼働中の光通信システムにおけるコア間のクロストークを推定することが可能になる。以下、効果について詳細に説明する。

光送信装置 10 は、コア毎に異なる変調周波数のトーン信号が重畳された変調信号光を生成し、生成した変調信号光を被測定物 30 のコア毎に送信する。光受信装置 20 は、被測定物 30 から出力された変調信号光を電気信号に変換し、電気信号に重畳されている変調周波数が異なるトーン信号の強度を測定する。この処理によって、他のコアを伝搬している光信号が漏れ出している場合には、複数の周波数帯にトーン信号が検出される。そして、光受信装置 20 は、複数の周波数帯に検出されたトーン信号の強度の差分からクロストークを推定する。そのため、稼働中の光通信システムにおけるコア間のクロストークを推定することが可能になる。

#### 【0046】

##### <変形例>

本実施形態では、光送信装置 10 が、コア毎に変調周波数が異なる変調信号光を生成する構成を示したが、これに限定される必要はない。例えば、光送信装置 10 は、4 種類の変調周波数で 4 種類の変調信号光を生成するように構成されてもよい。また、光送信装置 10 は、被測定物 30 における変調信号光が伝搬するコアの隣接コア数より 1 つ分多い数分の変調周波数で変調信号光を生成するように構成されてもよい。

光受信装置 20 は、どのコアから光信号が漏れ出しているのが推定するように構成されてもよい。このように構成される場合、光受信装置 20 は、ポート毎に、どの周期（周波数）のトーン信号が重畳されるのかを示すトーン信号情報を記憶する記憶部を備える。トーン信号情報は、光送信装置 10 から通知されてもよいし、光送信装置 10 を操作するユーザが設定してもよい。そして、クロストーク推定部 203 は、変調信号光を受信すると、変調信号光を受信した出力ポートに対応付けられている周波数以外で観測されたトーン信号の周波数から、記憶部を参照して出力ポートを特定する。光受信装置 20 は、クロストークの推定結果と、特定した出力ポートの情報とを出力装置に出力する。

#### 【0047】

##### （第 2 実施形態）

図 10 は、第 2 実施形態におけるクロストーク推定システム 100 a のシステム構成を示す図である。クロストーク推定システム 100 a は、光送信装置 10 及び光受信装置 2

10

20

30

40

50

0 aを備える。光送信装置 1 0 と光受信装置 2 0 a との間には、被測定物 3 0 が設けられる。

第 2 実施形態におけるクロストーク推定システム 1 0 0 a では、光受信装置 2 0 a が測定する対象が第 1 実施形態と異なる。具体的には、クロストーク推定システム 1 0 0 a では、被測定物 3 0 から出力された変調信号光の光パワーを測定する。変調信号光として、変調周波数が異なる M 個の変調信号光を使用する。そこで、第 2 実施形態では、光受信装置 2 0 a の構成についてのみ説明する。

#### 【 0 0 4 8 】

光受信装置 2 0 a は、クロストーク推定部 2 0 3 a、光信号受信部 2 0 4、光信号測定部 2 0 5 を備える。

光信号受信部 2 0 4 は、被測定物 3 0 から変調信号光（光信号）を受信する。

光信号測定部 2 0 5 は、光信号受信部 2 0 4 によって受信された変調信号光の波長もしくは周波数に対する光パワーを測定する。光信号測定部 2 0 5 は、例えば光スペクトラム測定器である。そして、変調信号光の変調周波数が、波長もしくは周波数の測定分解能よりも大きくなるよう、光信号測定部 2 0 5 を用いて光パワーを測定する。

クロストーク推定部 2 0 3 a は、測定された光スペクトラムに基づいてコア間のクロストークを推定する。具体的には、クロストーク推定部 2 0 3 は、光スペクトラムによって観測された異なる変調周波数のトーン信号の光パワーの強度間の差分から、あるコアに対する他のコアからのクロストークを推定する。

#### 【 0 0 4 9 】

以上のように構成されたクロストーク推定システム 1 0 0 a によれば、稼働中の光通信システムにおけるコア間のクロストークを推定することが可能になる。以下、効果について詳細に説明する。

光送信装置 1 0 は、コア毎に異なる変調周波数のトーン信号が重畳された変調信号光を生成し、生成した変調信号光を被測定物 3 0 のコア毎に送信する。光受信装置 2 0 a は、被測定物 3 0 から出力された変調信号光の光パワーを測定する。この処理によって、他のコアを伝搬している光信号が漏れ出している場合には、複数の周波数帯にトーン信号が検出される。そして、光受信装置 2 0 a は、複数の周波数帯に検出されたトーン信号の光パワーの強度の差分からクロストークを推定する。そのため、稼働中の光通信システムにおけるコア間のクロストークを推定することが可能になる。

#### 【 0 0 5 0 】

< 変形例 >

第 2 実施形態は、第 1 実施形態と同様に変形されてもよい。

#### 【 0 0 5 1 】

( 第 3 実施形態 )

図 1 1 は、第 3 実施形態におけるクロストーク推定システム 1 0 0 b のシステム構成を示す図である。クロストーク推定システム 1 0 0 b は、光送信装置 1 0 及び光受信装置 2 0 b を備える。光送信装置 1 0 と光受信装置 2 0 b との間には、被測定物 3 0 が設けられる。

第 3 実施形態におけるクロストーク推定システム 1 0 0 b では、光受信装置 2 0 a が被測定物 3 0 のある出力ポート m から出力された変調信号光を複数個の信号に分割し、分割された各信号間で同期がなされた後に、信号の平均化処理が行われる。そして、平均化処理がなされた信号に基づいてコア間のクロストークの推定が行われる。変調信号光として、変調周波数が異なる M 個の変調信号光を使用する。

以下、光送信装置 1 0、光受信装置 2 0 b 及び被測定物 3 0 の構成について具体的に説明する。なお、光送信装置 1 0 及び被測定物 3 0 については第 1 実施形態と同様であるため説明を省略する。

#### 【 0 0 5 2 】

光受信装置 2 0 b は、光電気変換器 2 0 1、クロストーク推定部 2 0 3 b、フレーム分割部 2 0 6、バッファ 2 0 7 ( 2 0 7 - 1 ~ 2 0 7 - k - 1 ( k は 3 以上の整数 ) )、フ

10

20

30

40

50

フレーム平均部 208 を備える。

光電気変換器 201 は、被測定物 30 から変調信号光（光信号）を受信する。光電気変換器 201 は、受信した光信号を電気信号に変換する。

フレーム分割部 206 は、変換された電気信号を K 個のフレーム信号（フレーム 1 ~ フレーム K）に分割する。フレーム分割部 206 は、フレーム 1 ~ フレーム K - 1 をそれぞれバッファ 207 に出力し、フレーム K をフレーム平均部 208 に出力する。

バッファ 207 は、フレーム分割部 206 から出力されたフレームを一時的に保存する。例えば、バッファ 207 は、分割された K 個のフレーム間で同期がなされるまでフレームを保存する。

【0053】

フレーム平均部 208 は、フレーム間の同期がなされると、K 個のフレームの平均化処理を行う。ここで、平均化処理とは、クロストークの推定に用いられないパラメータのワースペクトルを減少させる処理である。クロストークの推定に用いられないパラメータとは、例えば変調信号光に含まれるペイロード信号部や雑音などである。より具体的には、フレーム平均部 208 は、k 番目のフレームの先頭から i 番目のタイムスロットを  $S_{ki}$  と置くと、平均化処理がなされた後の先頭から i 番目のタイムスロット  $X_i$  は、以下の式（4）のように表される。

【0054】

【数 4】

$$X_i = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K S_{ki} \quad \dots (式 4)$$

【0055】

平均化前の K 個のフレームのペイロード信号部は一般に統計的独立のため、平均化処理後のフレームのペイロード信号部にあたる P + 1 番目から L 番目のタイムスロットのワースペクトルは統計的に 1 / K の大きさになる。一方、平均化前の K 個のフレームのトーン信号はフレーム間で同じパターンを持つため、平均化処理後のトーン信号にあたる 1 番目から P 番目のタイムスロットのワースペクトルは、統計的に平均前と同じ大きさを保つ。さらに、光信号が送受信器や光アンプ中などで雑音が重畳されていたとしても、雑音のワースペクトルは統計的独立性のために平均化処理により、統計的に 1 / K の大きさになる。フレーム平均部 208 は、平均処理後のフレームを統合し、統合したフレームを 203b に出力する。

【0056】

クロストーク推定部 203b は、フレーム平均部 208 から出力されたフレームのスペクトルを測定する。そして、クロストーク推定部 203b は、電気信号のスペクトルに基づいてコア間のクロストークを推定する。具体的には、クロストーク推定部 203b は、スペクトルによって観測された異なる変調周波数のトーン信号の強度の差分から、あるコアに対する他のコアからのクロストークを推定する。

【0057】

以上のように構成されたクロストーク推定システム 100b によれば、第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

また、クロストーク推定システム 100b では、平均化処理を行うことによって雑音、ペイロードなどのクロストークの推定に用いられないパラメータのワースペクトルを減少させる。この処理によって、電気信号に重畳されている変調周波数が異なるトーン信号の検出において、雑音などの影響を軽減させることができる。そのため、変調周波数が異なるトーン信号の検出をより精度よく行うことが可能になる。

【0058】

< 変形例 >

10

20

30

40

50

第3実施形態は、第1実施形態と同様に变形されてもよい。

【0059】

(第4実施形態)

図12は、第4実施形態におけるクロストーク推定システム100cのシステム構成を示す図である。クロストーク推定システム100cは、光送信装置10c及び光受信装置20を備える。光送信装置10cと光受信装置20との間には、被測定物30が設けられる。

第4実施形態におけるクロストーク推定システム100cでは、光送信装置10cが変調信号光を生成する処理が第1実施形態から第3実施形態の構成と異なる。そこで、第4実施形態では、光送信装置10cの構成についてのみ説明する。

10

【0060】

光送信装置10cは、複数の光源101、複数の電気信号処理部102c及び複数の変調器103を備える。光源101及び変調器103については第1実施形態から第3実施形態と同様であるため説明を省略する。

電気信号処理部102cは、ペイロード信号生成部1021、トーン信号生成部1022、トーン信号挿入部1023c及び片側側波帯変換部1024を備える。ペイロード信号生成部1021及びトーン信号生成部1022の処理は、第1実施形態から第3実施形態における同名の機能部と同様の処理を行うため説明を省略する。

【0061】

片側側波帯変換部1024は、トーン信号生成部1022によって生成されたトーン信号を上側側波帯又は下側側波帯のどちらかの片側側波帯を持つトーン信号(以下、「片側トーン信号」という。)に変換する。片側側波帯へ変換するには、ヒルベルト変換を適用すればよい。また、正側のトーン周波数成分あるいは負側の周波数成分を透過させるバンドパスフィルタを適用してもよい。どちらの側波帯に変換させるかは、予め設定されていてもよいし、ユーザによって適宜変更されてもよい。

20

トーン信号挿入部1023cは、ペイロード信号生成部1021によって生成されたペイロード信号の先頭に、片側側波帯変換部1024によって変換された片側トーン信号を挿入することによってフレーム信号を生成する。なお、トーン信号挿入部1023cは、ペイロード信号の末尾に、片側トーン信号を挿入することによってフレーム信号を生成してもよい。

30

【0062】

以上のように構成された第1実施形態から第3実施形態と同様の効果を得ることができる。

また、クロストーク推定システム100cでは、光送信装置10cが、トーン信号を片側側波帯に変換する。この処理によって、光受信装置20で受信される変調信号光のスペクトルが、片側のスペクトルのみ表される。第1実施形態から第3実施形態では、両側側波帯でスペクトルが表されるため、多くのコア(例えば、4つ以上など)から光信号が漏れ出して各トーン信号の周波数が近い場合にはコア間のクロストークを推定できない可能性があった。それに対して、クロストーク推定システム100cでは、多くのコア(例えば、4つ以上など)から光信号が漏れ出して重畳している場合のコア間のクロストークの推定精度を向上させることが可能になる。

40

【0063】

<変形例>

第4実施形態は、第1実施形態から第3実施形態と同様に变形されてもよい。

【0064】

次に、図13を用いて、上記第1実施形態と第3実施形態におけるコア間のクロストーク推定の効果について説明する。

図13は、第1実施形態と第3実施形態におけるコア間のクロストーク推定の効果を説明するための図である。

図13において、横軸はコア間クロストークの真値を表し、縦軸はコア間クロストーク

50

推定値を表す。また、図13の点線44は、コア間クロストークの真値に対する理想のコア間クロストーク推定値を示す基準線である。また、実線45は第1実施形態における光受信装置20において推定されたコア間クロストークの推定値を表し、実線46は第3実施形態における光受信装置20bにおいて推定されたコア間クロストークの推定値を表す。なお、ここでは、 $L = 32768$ 、 $P = 10240$ 、変調速度  $B_0 = 32 \text{ Gbaud}$ 、 $B_m = 8 \text{ GHz}$ 、 $B_n = 4 \text{ GHz}$  と設定し、伝送路  $n$  から伝送路  $m$  へのコア間クロストークの推定値を示している。

【0065】

図13に示すシミュレーションでは、第1実施形態の推定結果として、受信された信号から算出されるスペクトル上において、 $B_0 \pm B_m$ の周波数位置に立つトーン信号の絶対強度と  $B_0 \pm B_n$ の周波数位置に立つトーン信号の絶対強度との比を用いて得たコア間クロストーク推定値の結果が示されている。第3実施形態の推定結果として、100フレーム間で平均化を行ったスペクトル上において、 $B_0 \pm B_m$ の周波数位置に立つトーン信号の絶対強度と  $B_0 \pm B_n$ の周波数位置に立つトーン信号の絶対強度との比を用いて得たコア間クロストーク推定値の結果が示されている。

【0066】

図13に示されるように、第1実施形態及び第3実施形態においてコア間クロストークの真値が  $3 \text{ dB} \sim 20 \text{ dB}$ の範囲では、どちらも精度よくクロストークの推定がなされていることが確認できる。しかし、コア間クロストークの真値が  $20 \text{ dB}$ 以上の範囲では、第1実施形態の推定結果の精度が劣化している。これは、コア間クロストークの真値が  $20 \text{ dB}$ 以上の範囲では伝搬路  $n$ を通る光信号に重畳されているトーン信号が仮に伝搬路  $m$ を通る光信号に漏れ出したとしても、光信号のペイロード部分のスペクトルに埋もれ、そのトーン信号が検出できないためである。一方、コア間クロストークの真値が  $20 \text{ dB}$ 以上の範囲においても第3実施形態の推定結果の精度が劣化することなく、 $1 \text{ dB}$ 以下の誤差の範囲内で正しい値を推定できていることが確認できる。これはペイロード部のパターンがフレーム間で統計的独立のため、100フレーム平均後は約  $1/100$ の大きさ、すなわち  $20 \text{ dB}$ のパワー減少となり、相対的にトーン信号が検出しやすくなることに起因する。

【0067】

図14では、第3実施形態のコア間クロストークの推定方法において、フレーム平均数を100とし、光信号対雑音比を変化させた場合のコア間クロストーク推定値と真値との差分が示されている。図14において、横軸は光信号対雑音比を表し、縦軸は推定コア間クロストーク量と真値の差分を表す。コア間クロストーク量は  $20 \text{ dB}$ と設定されている。第3実施形態のコア間クロストークの推定方法では、光信号対雑音比が小さな劣悪な環境下においてもコア間クロストークが  $0.5 \text{ dB}$ 以下の推定誤差の範囲内で推定されていることが確認できる。これは、信号に重畳する雑音が統計的独立のため、100フレーム平均後は約  $1/100$ の大きさ、すなわち約  $20 \text{ dB}$ のパワー減少となり、相対的にトーン信号が検出しやすくなり推定精度に影響を与えないことに起因する。

【0068】

上記各実施形態は、マルチモードファイバでのモード間クロストーク、又は結合型のマルチコアファイバでのコア間クロストーク、又はシングルモードファイバ伝送における同一波長クロストークなどを推定する際にも適用できる。

【0069】

以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

【0070】

なお、本発明の光送信装置10、光送信装置10a、光送信装置10b、光送信装置10c、光受信装置20、光受信装置20a、光受信装置20b、光受信装置20cの各処理を実行するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、当該

10

20

30

40

50

記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することにより、光送信装置 10、光送信装置 10 a、光送信装置 10 b、光送信装置 10 c、光受信装置 20、光受信装置 20 a、光受信装置 20 b、光受信装置 20 c の各処理に係る上述した種々の処理を行ってもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、OS や周辺機器等のハードウェアを含むものであってもよい。また、「コンピュータシステム」は、WWWシステムを利用している場合であれば、ホームページ提供環境（あるいは表示環境）も含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、フラッシュメモリ等の書き込み可能な不揮発性メモリ、CD-ROM等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。

10

## 【0071】

さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムが送信された場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリ（例えばDRAM（Dynamic Random Access Memory））のように、一定時間プログラムを保持しているものも含むものとする。また、上記プログラムは、このプログラムを記憶装置等に格納したコンピュータシステムから、伝送媒体を介して、あるいは、伝送媒体中の伝送波により他のコンピュータシステムに伝送されてもよい。ここで、プログラムを伝送する「伝送媒体」は、インターネット等のネットワーク（通信網）や電話回線等の通信回線（通信線）のように情報を伝送する機能を有する媒体のことをいう。また、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であってもよい。

20

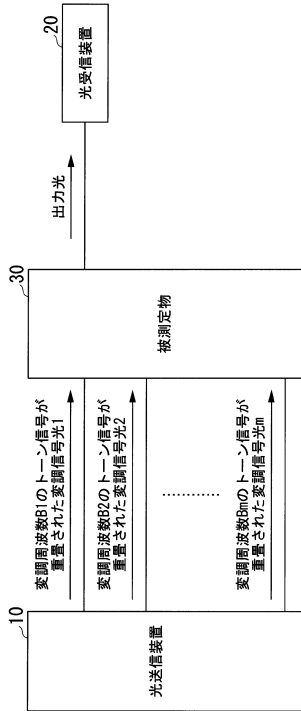
## 【符号の説明】

## 【0072】

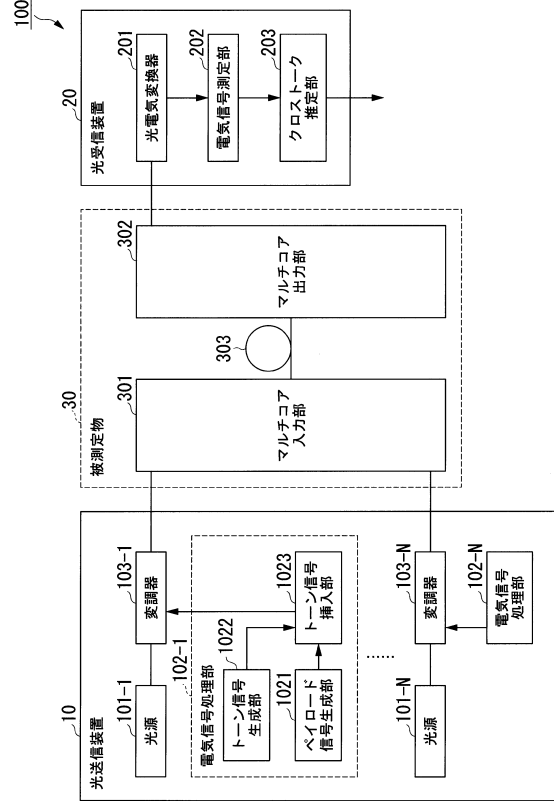
10、10 c ... 光送信装置， 20、20 a、20 b ... 光受信装置， 30 ... 被測定物，  
101（101-1～101-N）... 光源， 102（102-1～102-N）... 電気信号処理部，  
1021 ... ペイロード信号生成部， 1022 ... トーン信号生成部，  
1023、1023 c ... トーン信号挿入部， 1024 ... 片側側波帯変換部， 103（  
103-1～103-N）... 変調器， 201 ... 光電気変換器， 202 ... 電気信号測定  
部， 203、203 a、203 b ... クロストーク推定部， 204 ... 光信号受信部，  
205 ... 光信号測定部， 206 ... フレーム分割部， 207（207-1～207-K  
-1）... バッファ， 208 ... フレーム平均部， 301 ... マルチコア入力部， 302  
... マルチコア出力部， 303 ... マルチコアファイバ

30

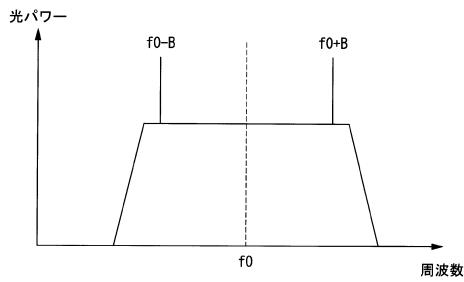
【図1】



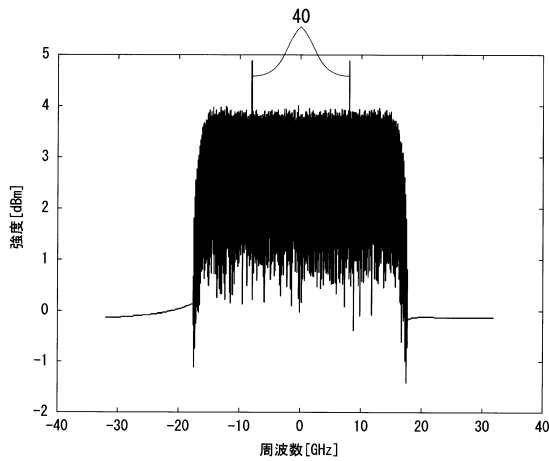
【図2】



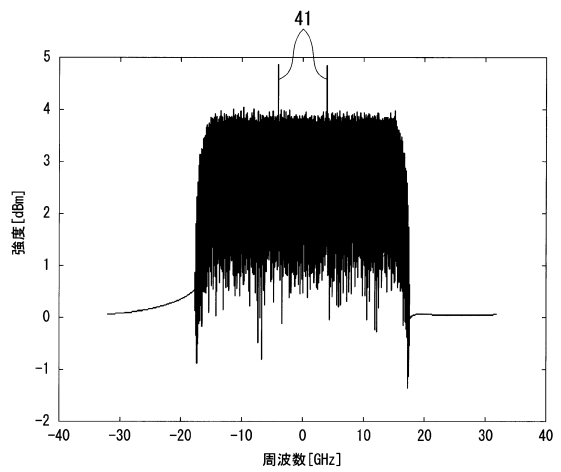
【図3】



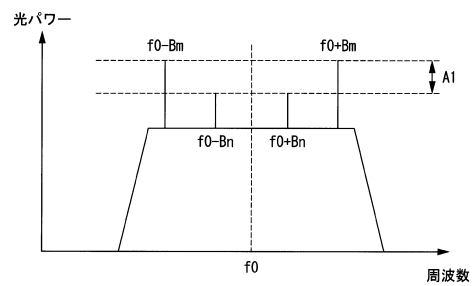
【図4】



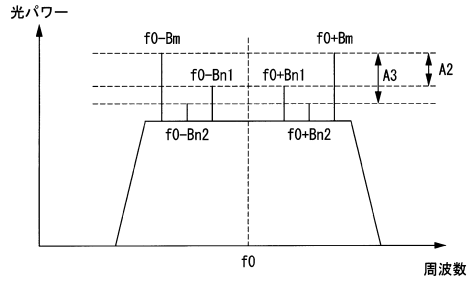
【図5】



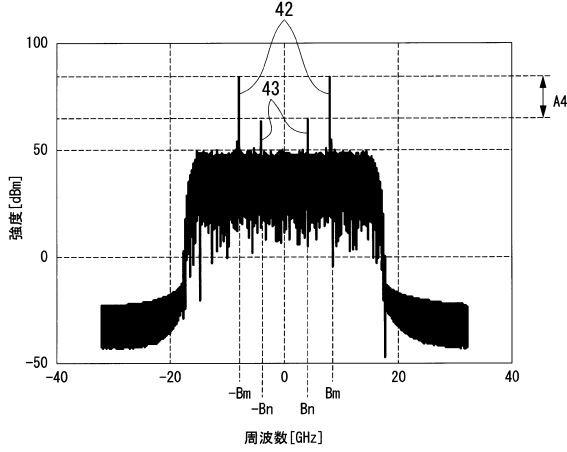
【図6】



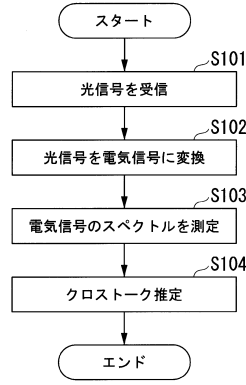
【図7】



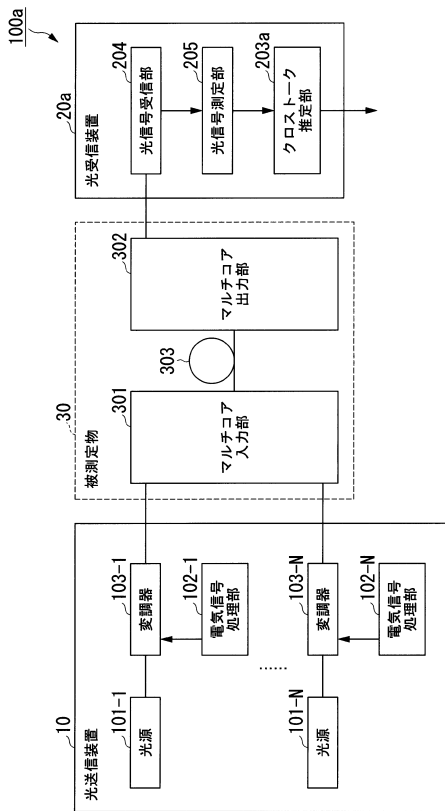
【図8】



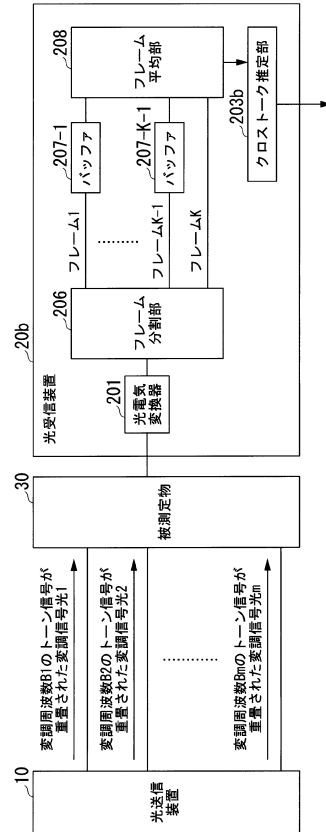
【図9】



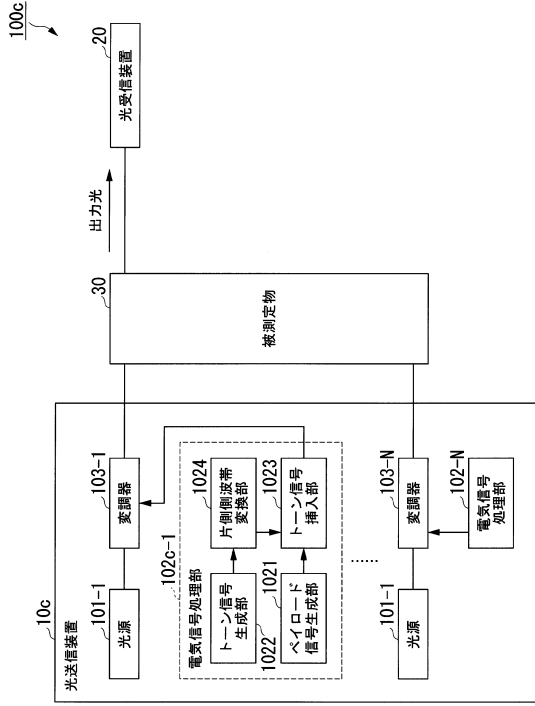
【図10】



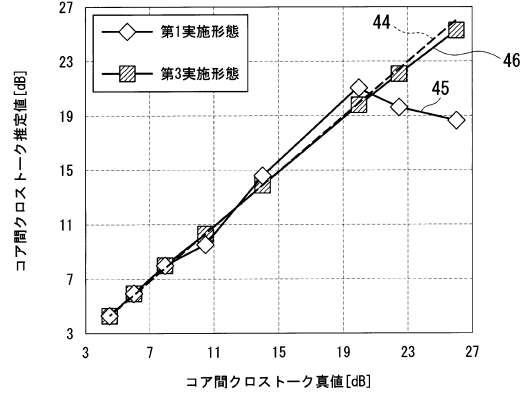
【図11】



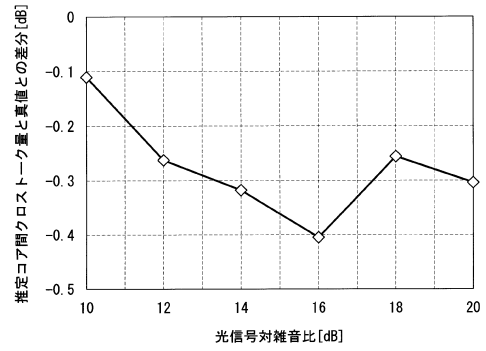
【図 12】



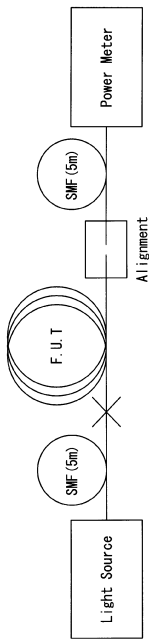
【図 13】



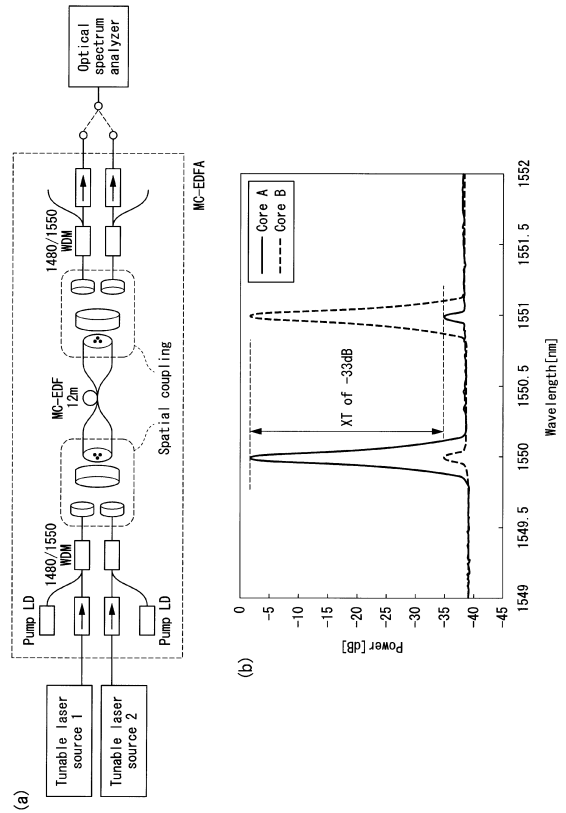
【図 14】



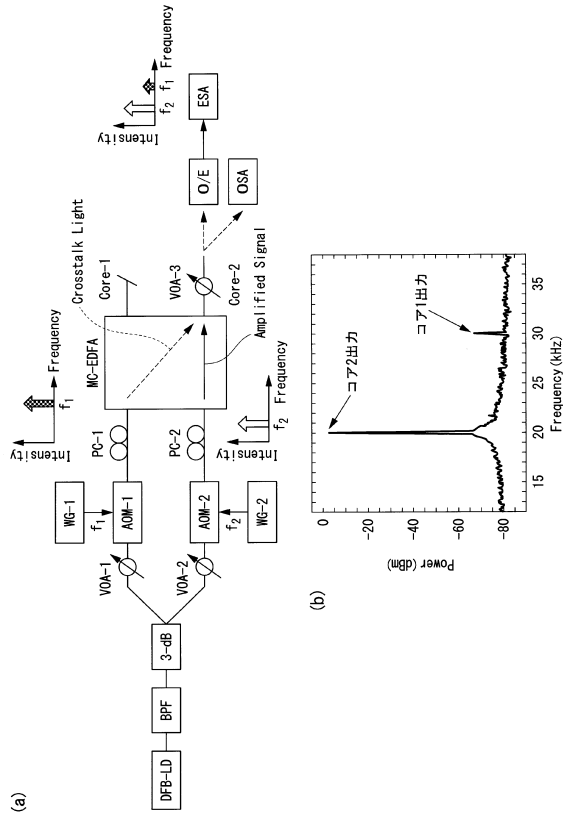
【図 15】



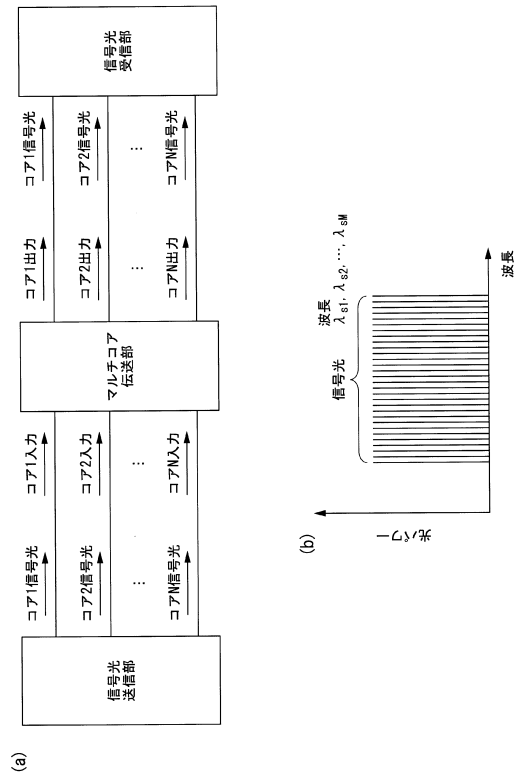
【図 16】



【 図 17 】



【 図 18 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 4 J 14/00

- (72)発明者 佐野 明秀  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 水野 隆之  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 磯田 暁  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 鴨川 学

- (56)参考文献 特開平11-068704(JP,A)  
特開2008-219253(JP,A)  
特開2001-077794(JP,A)  
特開平08-079173(JP,A)  
特開2014-206517(JP,A)  
特開2013-130558(JP,A)  
米国特許出願公開第2013/0136404(US,A1)  
H.Ono et al., Inter-core crosstalk measurement in multi-core fibre amplifier using multiple intensity tones, Electronics Letters, 米国, IET, 2014年 7月, pp.1009-1010

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |         |             |
|---------|-------------|
| H 0 4 B | 1 0 / 0 7 7 |
| G 0 1 M | 1 1 / 0 0   |
| G 0 1 M | 1 1 / 0 2   |
| H 0 4 B | 1 0 / 2 5   |
| H 0 4 J | 1 4 / 0 0   |