

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5347363号
(P5347363)

(45) 発行日 平成25年11月20日 (2013.11.20)

(24) 登録日 平成25年8月30日 (2013.8.30)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 4 B	10/294	(2013.01)	HO 4 B	9/00	2 9 4
HO 1 S	3/13	(2006.01)	HO 1 S	3/13	
GO 2 F	3/00	(2006.01)	GO 2 F	3/00	

請求項の数 7 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2008-197392 (P2008-197392)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 出願日	平成20年7月31日 (2008.7.31)	(74) 代理人	100092978 弁理士 真田 有
(65) 公開番号	特開2010-35089 (P2010-35089A)	(72) 発明者	中村 健太郎 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
(43) 公開日	平成22年2月12日 (2010.2.12)	審査官	後澤 瑞征
審査請求日	平成23年4月18日 (2011.4.18)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 WDM光伝送システムおよびその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長の異なる複数のチャネルを含んだ波長多重(WDM)光が伝送される伝送路と、前記伝送路上に配置され、前記伝送路から入力されるWDM光を個々のチャネルに分波した後、該分波された各チャネルに対して波長分散の補償を行い、該波長分散補償された各チャネルを合波したWDM光を光増幅器で増幅して前記伝送路に出力する少なくとも1つの第1ノードと、

前記伝送路上に配置され、前記伝送路から入力されるWDM光を個々のチャネルに分波することなく光増幅器で増幅して前記伝送路に出力する少なくとも1つの第2ノードと、を備えたWDM光伝送システムであって、

前記第1ノードおよび前記第2ノードは、それぞれ、自ノード内の前記光増幅器で増幅されたWDM光の強度をモニタする光強度モニタと、該光強度モニタのモニタ結果に応じて、自ノードから前記伝送路に出力するWDM光の1チャネル当たりの信号成分および雑音成分を合わせたトータル光強度が予め設定した制御目標値で一定になるように前記光増幅器の利得を制御する利得制御部と、前記光強度モニタのモニタ結果を基に、WDM光の1チャネルの信号光強度および雑音光強度の割合を求め、1チャネルの信号光強度が全てのノードで一定となるように、前記利得制御部で用いるトータル光強度の制御目標値を補正する補正值算出部と、前記伝送路上の各ノードに対してノードの種別に関する情報を含むシステム管理情報を伝達することにより、各々のノードの動作状態を集中して管理するシステム管理部と、を有し、さらに、

10

20

前記補正值算出部は、前記システム管理部から伝達されるノードの種別に関する情報を基に、自ノードが前記第1ノードおよび前記第2ノードのいずれに該当しているかを判別し、第1ノードに該当しているとき、WDM光を個々のチャンネルに分波する際のフィルタリング特性に応じて定めたノイズカット比率を用いた計算式に従って、前記トータル光強度の制御目標値の補正を行うことを特徴とするWDM光伝送システム。

【請求項2】

請求項1に記載のWDM光伝送システムであって、

前記ノイズカット比率は、個々のチャンネルに分波される前のWDM光における1チャンネル当たりの雑音成分に対する、個々のチャンネルに分波された後の1チャンネルに含まれる雑音成分の割合としたことを特徴とするWDM光伝送システム。

10

【請求項3】

請求項2に記載のWDM光伝送システムであって、

前記ノイズカット比率は、WDM光の隣り合うチャンネルの波長間隔に対する、前記フィルタリング特性における各チャンネルに対応した透過帯の幅の割合としたことを特徴とするWDM光伝送システム。

【請求項4】

請求項1～3のいずれか1つに記載のWDM光伝送システムであって、

前記第2ノードは、前記伝送路から入力されるWDM光の各チャンネルをインラインアンプにより一括して増幅する光中継ノードであることを特徴とするWDM光伝送システム。

【請求項5】

請求項1～4のいずれか1項に記載のWDM光伝送システムであって、

前記光強度モニタは、前記光増幅器で増幅されたWDM光に含まれる全てのチャンネルの光強度の総和をモニタし、

前記補正值算出部は、前記光強度モニタのモニタ結果および前記システム管理部から伝達されるWDM光のチャンネル数に関する情報を用いて、1チャンネル当たりのトータル光強度を算出すると共に、該トータル光強度および前記システム管理部から伝達される光信号対雑音比(OSNR)を用いて、WDM光の1チャンネルの信号光強度を算出し、該算出されたトータル光強度および信号光強度、または、OSNRの値を使用して、前記トータル光強度の制御目標値の補正を行うことを特徴とするWDM光伝送システム。

20

【請求項6】

請求項1～4のいずれか1項に記載のWDM光伝送システムであって、

前記光強度モニタは、前記光増幅器で増幅されたWDM光の1チャンネル当たりのトータル光強度、信号光強度および光信号対雑音比(OSNR)をモニタし、

前記補正值算出部は、前記光強度モニタの各モニタ値を使用して、前記トータル光強度の制御目標値の補正を行うことを特徴とするWDM光伝送システム。

30

【請求項7】

波長の異なる複数のチャンネルを含んだ波長多重(WDM)光が伝送される伝送路と、前記伝送路上に配置され、前記伝送路から入力されるWDM光を個々のチャンネルに分波した後、該分波された各チャンネルに対して波長分散の補償を行い、該波長分散補償された各チャンネルを合波したWDM光を光増幅器で増幅して前記伝送路に出力する第1ノードと、前記伝送路上に配置され、前記伝送路から入力されるWDM光を個々のチャンネルに分波することなく光増幅器で増幅して前記伝送路に出力する第2ノードと、を備えたWDM光伝送システムについて、前記第1および第2の各ノードから前記伝送路に出力されるWDM光の1チャンネル当たりの信号成分および雑音成分を合わせたトータル光強度が予め設定した制御目標値で一定になるように、各ノード内の光増幅器の利得を制御する方法であって、

40

前記第1ノードおよび前記第2ノードにおいて、自ノード内の前記光増幅器で増幅されたWDM光の強度をモニタする過程と、

前記モニタしたWDM光の強度を基に、WDM光の1チャンネルの信号光強度および雑音光強度の割合を求め、1チャンネルの信号光強度が全てのノードで一定となるように、前記トータル光強度の制御目標値を補正する過程と、

50

前記モニタしたWDM光の強度に応じて、自ノードから前記伝送路に出力するWDM光の1チャンネル当たりのトータル光強度が、前記補正したトータル光強度の制御目標値で一定となるように、自ノード内の前記光増幅器の利得を制御する過程と、

前記伝送路上の各ノードに対してノードの種別に関する情報を含むシステム管理情報を伝達する過程と、を含み、さらに、

前記トータル光強度の制御目標値を補正する過程は、前記伝達されるノードの種別に関する情報を基に、自ノードが前記第1ノードおよび前記第2ノードのいずれに該当しているかを判別し、前記第1ノードに該当しているとき、WDM光を個々のチャンネルに分波する際のフィルタリング特性に応じて定めたノイズカット比率を用いた計算式に従って、前記トータル光強度の制御目標値の補正を行うことを特徴とする制御方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)光を中継伝送するWDM光伝送システムおよびその制御方法に関する。さらに、本発明は、WDM光を各波長の光信号に分波して所定の処理を行うノードを伝送路上に備えたWDM光伝送システムおよびその制御方法を含む。

【背景技術】

【0002】

伝送路上に配置された光中継器でWDM光を増幅しながら中継伝送するWDM光伝送システムにおいて、光中継器で増幅されたWDM光が該光中継器の出力側に接続する伝送路ファイバに入力される強度(以下、ファイバ入力光強度とする)は、システムの特性を決める重要なパラメータの1つである。このファイバ入力光強度が低くなり過ぎると、光信号対雑音比(OSNR: Optical Signal to Noise Ratio)が悪くなる。一方、ファイバ入力光強度が高くなり過ぎると、光ファイバ内の非線形効果により伝送品質の劣化が生じる。このため、一般に光中継器では、光増幅器を用いて増幅したWDM光の強度をモニタし、そのモニタ結果に応じてWDM光の1チャンネル当たりの光強度が一定となるように、前記光増幅器の制御が行われる。なお、前記チャンネルは、WDM光に含まれる各波長の光信号を意味する。

20

【0003】

しかしながら、例えば図14の上段に示すように、送信局101および受信局102の間の伝送路103上に複数の光中継器104が配置され、各光中継器104でWDM光を順次増幅して伝送するシステムでは、各光中継器104内の光増幅器で発生する光雑音が累積されるようになる。このため、各光中継器104において1チャンネル当たりの光強度を一定にする制御が行われていても、図14の下段に示すように、各チャンネルに含まれる信号成分および雑音成分のうちの信号成分の割合が、中継数の増加に伴って徐々に減少してしまう。

30

【0004】

図15は、各中継区間(スパン)の伝送路に入力されるWDM光について、信号成分の光強度と雑音成分の光強度の割合の変化をスパン数に応じて示した一例である。また、図16は、1チャンネルにおける信号光強度の変化をスパン数に応じて示した一例である。各図の例のように、WDM光の各チャンネルは、信号成分および雑音成分を合わせた光強度(以下、トータル光強度とする)が一定に制御されていても、スパン数の増加と共に雑音光強度は増大し、信号光強度は減少する。このため、トータル光強度の一定制御下で各チャンネルの受信処理を正常に行うことのできる所要の信号光強度(図16の丸印)よりも実際の信号光強度(図16の四角印)が小さくなり、その差はスパン数の増加に応じて拡大して行く。

40

【0005】

上記のようなOSNRの劣化を低減するための従来技術としては、例えば図17に示すように、各光中継器における光増幅器の制御について、スパン数の増加による雑音光強度

50

の増大分に対応させて、1チャンネル当たりのトータル光強度の制御目標値を補正する手法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。この従来技術によれば、図18に示すように、スパン数の増加により雑音光強度が大きくなっても信号光強度は一定のレベルに保たれるため、スパン数に関係なく所要の信号光強度を実現することができる。

【特許文献1】国際公開第02/021203号パンフレット

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記のようなトータル光強度の制御目標値の補正を行ってOSNRの劣化を抑えるようにした従来のWDM光伝送システムについては、伝送路上に、WDM光の一括増幅を行う光中継ノードだけでなく、OADM（Optical Add Drop Multiplexing）ノードなどのようにWDM光を一旦チャンネル毎に分波して所要の処理を行った後に各チャンネルを再び合波して伝送路に送る機能を持ったノードが含まれている場合に、非線形効果による伝送品質の劣化が生じる可能性があるという問題点がある。

【0007】

具体的に説明すると、例えば図19の上段に示すような伝送路103上に複数のOADMノード105が配置されたWDM光伝送システムの場合、各OADMノード105では、伝送路103を伝搬したWDM光が入力側の光増幅器で所要のレベルまで増幅された後にOADMユニットに与えられる。OADMユニットでは、分波器によりWDM光がチャンネル毎に分波され、各チャンネルに対するアド・ドロップ処理が行われ、各々のチャンネルが合波器により再び合波される。そして、OADMユニットで処理されたWDM光は、出力側の光増幅器で所要のレベルまで増幅されて伝送路103に送出される。

【0008】

このようなOADMノード105では、OADMユニット内の分波器でWDM光がチャンネル毎に分波される際に、各々のチャンネルの中間の波長領域に分布する雑音成分がフィルタリングされて取り除かれる。このため、OADMノード105で処理されたWDM光に含まれる雑音光は、図19の下段に示すように各チャンネルの波長幅に対応した成分だけが残るようになる。よって、OADMノード105から伝送路103に送出されるWDM光は、光増幅器を含むがOADMを含まない光中継ノード（以下、インラインアンプ（ILA：In-Line Amplifier）と呼ぶこともある）104から伝送路103に送出されるWDM光（図17の下段参照）と比べて、雑音成分が減少する。

【0009】

上記のような雑音成分のフィルタリングが行われるOADMノード105に対して、前述した従来技術により光中継ノード104の場合と同様なトータル光強度の制御目標値の補正を行った場合、雑音成分の増大分が実際よりも多く見積もられるようになるため、トータル光強度の制御目標値が過剰に補正されてしまう。このように補正されたトータル光強度の制御目標値に従って、OADMノード105における出力光強度の一定制御が行われると、OADMノード105の出力側の伝送路103に入力されるWDM光の各チャンネルは、信号光強度が所要のレベルよりも高くなってしまい、非線形効果による伝送品質の劣化が生じる可能性がある。

【0010】

図20は、伝送路上にOADMノードを多段に配置した場合における各中継区間の伝送路に入力されるWDM光について、信号成分の光強度と雑音成分の光強度の割合の変化をスパン数に応じて示した一例である。また、図21は、1チャンネルにおける信号光強度の変化をスパン数に応じて示した一例である。このように、WDM光の各チャンネルは、スパン数の増加と共に雑音光強度に対する信号光強度の割合が増大し、所要の信号光強度（図21の丸印）よりも実際の信号光強度（図21の四角印）が大きくなり、その差はスパン数の増加に応じて拡大して行く。したがって、伝送路上に多数のOADMノードを含んだシステムでは非線形効果による伝送品質の劣化が発生しやすくなる。

【0011】

10

20

30

40

50

本発明は上記の問題点に着目してなされたもので、伝送路上の複数のノードに、WDM光を個々のチャンネルに分波して所定の処理を行うノードが含まれていても、各ノードから出力される信号光強度を高い精度で一定に制御して、良好な伝送品質を得ることのできるWDM光伝送システムおよびその制御方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記の目的を達成するため、本WDM光伝送システムの一態様は、波長の異なる複数のチャンネルを含んだWDM光が伝送される伝送路と、前記伝送路上に配置され、前記伝送路から入力されるWDM光を個々のチャンネルに分波した後、該分波された各チャンネルに対して波長分散の補償を行い、該波長分散補償された各チャンネルを合波したWDM光を光増幅器で増幅して前記伝送路に出力する少なくとも1つの第1ノードと、前記伝送路上に配置され、前記伝送路から入力されるWDM光を個々のチャンネルに分波することなく光増幅器で増幅して前記伝送路に出力する少なくとも1つの第2ノードと、を備える。また、前記第1ノードおよび前記第2ノードは、それぞれ、自ノード内の前記光増幅器で増幅されたWDM光の強度をモニタする光強度モニタと、該光強度モニタのモニタ結果に応じて、自ノードから前記伝送路に出力するWDM光の1チャンネル当たりの信号成分および雑音成分を合わせたトータル光強度が予め設定した制御目標値で一定になるように前記光増幅器の利得を制御する利得制御部と、前記光強度モニタのモニタ結果を基に、WDM光の1チャンネルの信号光強度および雑音光強度の割合を求め、1チャンネルの信号光強度が全てのノードで一定となるように、前記利得制御部で用いるトータル光強度の制御目標値を補正する補正值算出部と、前記伝送路上の各ノードに対してノードの種別に関する情報を含むシステム管理情報を伝達することにより、各々のノードの動作状態を集中して管理するシステム管理部と、を有する。さらに、前記補正值算出部は、前記システム管理部から伝達されるノードの種別に関する情報を基に、自ノードが前記第1ノードおよび前記第2ノードのいずれに該当しているかを判別し、第1ノードに該当しているとき、WDM光を個々のチャンネルに分波する際のフィルタリング特性に応じて定めたノイズカット比率を用いた計算式に従って、前記トータル光強度の制御目標値の補正を行う。

【発明の効果】

【0013】

上記のようなWDM光伝送システムでは、伝送路上の各ノードにおいてWDM光の1チャンネル当たりのトータル光強度の制御目標値の補正が行われるとき、各々のノードの補正值算出部でシステム管理部から伝達されるノードの種別に関する情報を基に自ノードの種別が判別され、チャンネル毎に波長分散の補償が行われる第1ノード（分散補償ノード）に該当している場合には、ノイズカット比率を用いた計算式に従ってトータル光強度の制御目標値の補正処理が行われる。このノイズカット比率は、WDM光を個々のチャンネルに分波する際のフィルタリング特性に応じて定められており、当該フィルタリングにより各チャンネルの中間の波長領域に分布する雑音成分が取り除かれることによる影響が、トータル光強度の制御目標値の補正処理に反映されるようになり、従来のような過剰な補正が回避される。

【0014】

したがって、本WDM光伝送システムによれば、伝送路上に第1ノードと第2ノードが混在していても、各々のノードから出力されるWDM光の各チャンネルの信号光強度を高い精度で一定に制御することができるため、良好な伝送品質を実現することが可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、本発明を実施するための最良の形態について添付図面を参照しながら説明する。

図1は、本発明によるWDM光伝送システムの一実施形態における構成を示すブロック図である。

図1において、本実施形態のWDM光伝送システムは、伝送路1上に配置される第1および第2ノードとしてのOADMノード2Aおよび光中継ノード2Bを備えると共に、こ

10

20

30

40

50

れら各ノードの動作状態を集中して管理するシステム管理部 3 および該システム管理部 3 に接続された記憶部 4 を有する。

【 0 0 1 6 】

伝送路 1 は、システム上の各ノードの間を一般的な光ファイバを用いて互いに接続する。この伝送路 1 は、前述の図 1 4 に示した場合と同様に、その両端に送信局および受信局が接続されていてもよく、また、リング状やメッシュ状の接続形態であっても構わない。

【 0 0 1 7 】

OADM ノード 2 A は、伝送路 1 を伝送される WDM 光に対して各チャンネルのアド・ドロップを行う機能を備えている。この OADM ノード 2 A の具体的な構成例が、図 1 の下段に拡大して示してある。この構成例では、OADM ノード 2 A の入力ポート 1 1 および出力ポート 1 2 の間の光路上に、入力側の光増幅器 1 3、OADM ユニット 1 4 および出力側の光増幅器 1 5 が順に配置されている。また、出力側の光増幅器 1 5 および出力ポート 1 2 の間には光分岐器 1 6 が設けられており、出力側の光増幅器 1 5 から出力ポート 1 2 に出力される WDM 光の一部が光分岐器 1 6 により取り出される。この光分岐器 1 6 の分岐ポートには光強度モニタ 1 7、補正值算出部 1 8 および利得制御部 1 9 が順に接続されており、後で詳しく説明するように出力側の光増幅器 1 5 の利得が利得制御部 1 9 によりフィードバック制御される。

【 0 0 1 8 】

上記 OADM ノード 2 A の入力側および出力側の光増幅器 1 3、1 5 は、入力される WDM 光の各チャンネルを一括して増幅可能な公知の光増幅器である。

OADM ユニット 1 4 は、入力側の光増幅器 1 3 で増幅された WDM 光を各波長の光信号 (チャンネル) に分波し、該各チャンネルについて、当該ノードの設定でドロップ波長に割り当てられたチャンネルを外部に取り出す処理、および、アド波長に割り当てられたチャンネルに対して外部から与えられるアド光を挿入する処理を行い、さらに、アド・ドロップ処理された各々のチャンネルを再び合波して、出力側の光増幅器 1 5 に出力する。

【 0 0 1 9 】

図 2 ~ 図 5 は、上記 OADM ユニット 1 4 の具体的な構成例を示している。図 2 および図 3 は、複数の入出力ポート間での光の経路の切り替えを分光素子および可動ミラー等を組み合わせて行う公知の波長選択スイッチ (WSS : Wavelength Selective Switch) を利用した構成例である。また、図 4 および図 5 は、一般的なアレイ導波路回折格子 (AWG : Arrayed Waveguide Grating) を利用した構成例である。

【 0 0 2 0 】

図 2 の構成例では、OADM ユニット 1 4 に入力される WDM 光が光分岐器 1 4 A で 2 つに分岐されて各 WSS 1 4 B、WSS 1 4 E に送られる。WSS 1 4 B では、光分岐器 1 4 A からの分岐光に含まれる各チャンネルのうちで当該ノードのドロップ波長に該当しているチャンネルが複数のグループに分けて取り出された後、該各グループの光が各々に対応した WSS 1 4 C で個々のチャンネルに分離されてドロップ光として外部に出力される。一方、外部から当該ノードに与えられるアド光は、複数のグループ毎に WSS 1 4 D で合波された後に WSS 1 4 E に与えられる。WSS 1 4 E では、光分岐器 1 4 A からの分岐光に含まれる各チャンネルのうちで当該ノードのスルー波長に該当しているチャンネルと、各 WSS 1 4 D からの出力光とが合波されて、出力側の光増幅器 1 5 に出力される。この OADM ユニット 1 4 の構成例では、各 WSS 1 4 B ~ 1 4 E において WDM 光が合分波される際に、各々の WSS のフィルタリング特性により、各チャンネルの中間の波長領域に分布する雑音成分が取り除かれる。

【 0 0 2 1 】

また、上記図 2 の OADM ユニット 1 4 に関する変形例として、図 3 には、ドロップ側の複数の WSS 1 4 B、1 4 C に代えて 1 つの AWG 1 4 F を用いると共に、アド側の複数の WSS 1 4 D に代えて 1 つの AWG 1 4 G を用いた構成例が示してある。

【 0 0 2 2 】

さらに、図 4 の構成例では、OADM ユニット 1 4 に入力される WDM 光が AWG 1 4

10

20

30

40

50

Hに与えられることで個々のチャンネルに分波され、各チャンネルのうちで当該ノードのドロップ波長に該当しているチャンネルがドロップ光として外部に出力されると共に、スルー波長に該当しているチャンネルがAWG14Iに送られる。AWG14Iには、外部から当該ノードに与えられるアド光も入力され、AWG14Hからのスルー光とアド光が合波されて、出力側の光増幅器15に出力される。このOADMユニット14の構成例では、入力側のAWG14HでWDM光が個々のチャンネルに分波される際に、該AWG14Hのフィルタリング特性により、各チャンネルの中間の波長領域に分布する雑音成分が取り除かれる。

【0023】

また、上記図4のOADMユニット14に関する変形例として、図5には、AWG14Hで分波された各チャンネルを光分岐器14Jでそれぞれ2分岐し、一方の分岐光をドロップ光とすると共に、他方の分岐光をスルー光として2×1光スイッチ14Kに与え、該光スイッチ14Kでスルー光とアド光のいずれかを選択して出力側のAWG14Iに与えるようにした構成例が示してある。この図5の構成例では、各光スイッチ14Kの切替えにより、当該ノードでのスルー波長およびアド波長の設定を適宜変更することができる。

【0024】

光分岐器16(図1の下段)は、出力側の光増幅器15で増幅されWDM光が入力され、該WDM光を所要の比率で2分岐し、一方の分岐光を出力ポート12から伝送路1に出力すると共に、他方の分岐光を光強度モニタ17に出力する。光強度モニタ17は、光分岐器16で分岐されたWDM光の強度をモニタし、そのモニタ結果を補正值算出部18に伝える。補正值算出部18は、光強度モニタ17のモニタ結果に基づいて、当該ノードから出力され伝送路1に入力されるWDM光についての1チャンネル当たりのトータル光強度、OSNRおよび該チャンネルの信号光強度を算出し、その計算結果を用いてトータル光強度の制御目標値の補正を行う。

【0025】

図6は、上記光強度モニタ17の具体例とそれに対応した周辺回路の構成を示す図である。図6(A)では光強度モニタ17としてフォトディテクタ17Aが使用され、図6(B)では光強度モニタ17として光パワーメータ17Bが使用されている。いずれの具体例においても、光強度モニタ17では、WDM光に含まれる全てのチャンネルの光強度の総和(以下、WDM光の全光強度とする)がモニタされることになる。この場合、補正值算出部18では、光強度モニタ17から伝えられるWDM光の全光強度のモニタ値と、システム管理部3(図1)から伝えられる当該WDM光のチャンネル数に関する情報とを用いて、1チャンネル当たりのトータル光強度(信号成分+雑音成分)が算出される。また、各チャンネルのOSNRについては、システム管理部3から伝えられる当該ノードのOSNRに関する情報が利用される。そして、該トータル光強度およびOSNRを用い、後述する計算式に従って1チャンネルの信号光強度が算出され、取得されたトータル光強度および信号光強度、またはOSNRの値を使用してトータル光強度の制御目標値の補正が行われる。

【0026】

なお、上記図6の例では、光強度モニタ17でWDM光の全光強度がモニタされる場合を示したが、例えば図7(A)に示すように光強度モニタ17として光スペクトルアナライザ17Cを使用するか、または、図7(B)に示すように光強度モニタ17としてチャンネルモニタ17Cを使用するなどして、WDM光の1チャンネル当たりのトータル光強度、信号光強度およびOSNRの各値を光強度モニタ17でモニタするようにしてもよい。この場合、補正值算出部18では、光強度モニタ17から伝えられる各モニタ値を使用して、トータル光強度の制御目標値の補正が行われる。

【0027】

利得制御部19は、補正值算出部18で補正されたトータル光強度の制御目標値に従って、出力ポート12に接続された伝送路1に入力されるWDM光の1チャンネル当たりのトータル光強度が制御目標値で一定となるように、出力側の光増幅器15での利得をフィードバック制御する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

上記のような構成の O A D M ノード 2 A に対して、光中継ノード 2 B は、例えば図 8 に示すように、O A D M ノード 2 A の O A D M ユニット 1 4 を省略した構成となっている。なお、O A D M ノード 2 A と同様の構成要素には同じ符号を付すようにして、その説明を省略する。この光中継ノード 2 B は、伝送路 1 から入力される W D M 光を個々のチャンネルに分波する機能は有してはならず、W D M 光に含まれる全チャンネルを光増幅器 1 3 , 1 5 で一括増幅して伝送路 1 に出力するインラインアンプ (I L A) としての機能を有している。

【 0 0 2 9 】

システム管理部 3 は、伝送路上の各ノードに対してシステム管理情報を伝達することにより、各々のノードの動作状態を集中して管理するものである。システム管理部 3 から各ノードに伝達されるシステム管理情報は、少なくともノードの種別に関する情報を含むものとし、前述したように光強度モニタ 1 7 で W D M 光の全光強度のみがモニタされる場合には、W D M 光のチャンネル数および O S N R に関する情報も付加される。このシステム管理情報は、ノードごとにデータベース化されて記憶部 4 に予め格納されている。なお、上記のシステム管理部 3 は、一般的な W D M 光伝送システムに備えられているネットワークマネジメントシステム (N M S : Network Management System) により実現することが可能である。

10

【 0 0 3 0 】

次に、本実施形態の W D M 光伝送システムの動作について、各ノードから伝送路に出力される W D M 光強度の制御を中心に詳しく説明する。

20

上記のような構成の W D M 光伝送システムでは、システム管理部 3 から伝達されるシステム管理情報に従って、伝送路 1 上の各ノード 2 A , 2 B に設けられた補正值算出部 1 8 が自ノードの種別、ここでは O A D M ノードおよび光中継ノードのいずれであるかを判別し、該ノード種別に対応したトータル光強度の制御目標値の補正を実施する。

【 0 0 3 1 】

光中継ノードに対応したトータル光強度の制御目標値の補正は、上述の図 1 7 および図 1 8 に示したような光増幅器で発生する光雑音の累積を考慮した従来の補正と同様の処理となる。これに対して O A D M ノードに対応したトータル光強度の制御目標値の補正は、光増幅器で発生する光雑音の累積だけでなく、O A D M ユニット 1 4 で個々のチャンネルを分波する際のフィルタリングにより取り除かれる雑音成分の影響までを考慮した処理となる。

30

【 0 0 3 2 】

具体的に、O A D M ノードに対応したトータル光強度の補正処理は、O A D M ユニット 1 4 における各チャンネルのフィルタリング特性に応じてノイズカット比率 N C R というパラメータを定め、このノイズカット比率 N C R を用いた計算式に従って補正を行うことにより、O A D M ユニット 1 4 で取り除かれる雑音成分の影響を排除する。上記のノイズカット比率 N C R は、O A D M ユニット 1 4 でフィルタリングを行う前の W D M 光の 1 チャンネル当たりの雑音成分に対する、O A D M ユニット 1 4 でフィルタリングを行った後の 1 チャンネルに含まれる雑音成分の割合を表すパラメータとして定義される。

40

【 0 0 3 3 】

図 9 は、O A D M ユニット 1 4 のフィルタリング特性とノイズカット比率 N C R との関係を示すための概念図である。O A D M ユニット 1 4 のフィルタリング特性は、入力される W D M 光の各チャンネルの中心波長 λ_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) にそれぞれ対応した透過帯 (図 9 の斜線部分) を有しており、各々の透過帯の幅 (フィルタ帯域幅) W_{fil} は、隣り合うチャンネルの波長間隔 (チャンネル間隔) S よりも狭くなるように設定されている。W D M 光を個々のチャンネルに分波可能にしている。このようなフィルタリング特性に対して、ノイズカット比率 N C R は、1 つのチャンネル (例えば、中心波長 λ_n のチャンネル) に注目し、フィルタリング前の W D M 光における波長 λ_n を中心とするチャンネル間隔 S の範囲に存在する雑音成分に対する、フィルタリング後の透過雑音に相当するフィルタ帯

50

域幅 W_{fil} の範囲に存在する雑音成分の割合を表している。このようなノイズカット比率 NCR は、簡易的には、チャンネル間隔 S に対するフィルタ帯域幅 W_{fil} の割合 ($NCR = W_{fil} / S$) として定義することも可能である。

【0034】

上記のようにして OADM ユニット 14 についてのノイズカット比率 NCR を定義した上で、OADM ノードに対応したトータル光強度の補正処理は、次に示すような関係式に従って実行される。まず、WDM 光のあるチャンネルの $OSNR$ は、該チャンネルの信号光強度を $SIG [mW]$ とすると共に、該チャンネルの帯域幅を $0.1 nm$ としたときの雑音光強度を $ASE_{0.1} [mW]$ として、次の (1) 式で表される。

$$OSNR = SIG / ASE_{0.1} \quad \dots (1)$$

10

【0035】

また、WDM 光の 1 チャンネルについてのフィルタリング前の雑音光強度、つまり、該チャンネルの帯域幅を前述したチャンネル間隔 $S [nm]$ と考えた場合の雑音光強度を $ASE_{TOTAL} [mW]$ とすると、この ASE_{TOTAL} は、ノイズカット比率 NCR および上記 (1) 式の関係を用いて、次の (2) 式で表される。

$$\begin{aligned} ASE_{TOTAL} &= (S / 0.1) \cdot NCR \cdot ASE_{0.1} \\ &= (S / 0.1) \cdot NCR \cdot (SIG / OSNR) \quad \dots (2) \end{aligned}$$

【0036】

さらに、1 チャンネルの帯域幅をチャンネル間隔 S と考えた場合のトータル光強度を $TOTAL [mW]$ とすると、この $TOTAL$ は、信号光強度 SIG と雑音光強度 ASE_{TOTAL} の和となり、上記 (2) 式の関係を用いると、次の (3) 式で表すことができる。

20

$$\begin{aligned} TOTAL &= SIG + ASE_{TOTAL} \\ &= SIG + (S / 0.1) \cdot NCR \cdot (SIG / OSNR) \\ &= SIG \cdot \{ 1 + (S / 0.1) \cdot NCR / OSNR \} \quad \dots (3) \end{aligned}$$

【0037】

上記 (3) 式より、信号光強度 SIG は、トータル光強度 $TOTAL$ および $OSNR$ をパラメータ (モニタ値) として、次の (4) 式で表される。

$$SIG = TOTAL / \{ 1 + (S / 0.1) \cdot NCR / OSNR \} \quad \dots (4)$$

【0038】

そして、1 チャンネルのトータル光強度の制御目標値を $TOTAL_{TARGET}$ とし、この $TOTAL_{TARGET}$ の雑音光を考慮した補正值を $TOTAL_{COMP}$ とすると、この $TOTAL_{COMP}$ は、次の (5) 式によって表される。

30

$$\begin{aligned} TOTAL_{COMP} &= TOTAL_{TARGET} \cdot (TOTAL / SIG) \\ &= TOTAL_{TARGET} \cdot TOTAL / [TOTAL / \{ 1 + (S / 0.1) \cdot NCR / OSNR \}] \\ &= TOTAL_{TARGET} \cdot \{ 1 + (S / 0.1) \cdot NCR / OSNR \} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

したがって、1 チャンネルのトータル光強度の制御目標値の補正は、上記 (5) 式の関係に従う計算処理によって実施される。

【0039】

上記のような OADM ノードに対応したトータル光強度の補正処理に対して、光中継ノードに対応したトータル光強度の補正処理 (従来の補正処理) は、上記 (2) 式 ~ (5) 式においてノイズカット比率 NCR を導入していない点で異なっている。つまり、光中継ノードに対応したトータル光強度の補正值を $TOTAL_{COMP}'$ とすると、この $TOTAL_{COMP}'$ は次の (6) 式の関係に従って計算される。

40

$$\begin{aligned} TOTAL_{COMP}' &= TOTAL_{TARGET} \cdot (TOTAL / SIG) \\ &= TOTAL_{TARGET} \cdot TOTAL / [TOTAL / \{ 1 + (S / 0.1) / OSNR \}] \\ &= TOTAL_{TARGET} \cdot \{ 1 + (S / 0.1) / OSNR \} \quad \dots (6) \end{aligned}$$

【0040】

ここで、各ノードにおける出力光強度の制御手順の一例について、図 10 のフローチャ

50

ートを参照しながら説明する。

本実施形態のWDM光伝送システムでは、システム管理部3による管理の下で、伝送路上の各ノードにおけるトータル光強度の制御目標値の補正処理が順次実施される。ここでは、例えば、各ノードに固有に設定されているノード番号の小さい順に補正処理が行われるものとする。ただし、各ノードで補正処理を行う順番はこの一例に限定されない。

【0041】

具体的に、図10において、伝送路上の各ノードにおけるトータル光強度の制御目標値の補正処理が開始されると、まず、システム管理部3から1番目のノードに対して、補正処理の実施を指示する信号が送られる(S11)。該信号を受信した1番目のノードでは、自ノードから伝送路1に出力されるWDM光の強度等が光強度モニタ17でモニタされる(S12)。そのモニタ結果が補正值算出部18に伝えられ、WDM光の1チャンネル当たりのトータル光強度TOTAL、信号光強度SIGおよびOSNRの各値が取得される(S13)。

10

【0042】

そして、補正值算出部18では、システム管理部3から伝達されるノード種別の情報により、自ノードがOADMノードであるか光中継ノードであるかの判別が行われる(S14)。OADMノードの場合には、前述した(5)式の関係に従ってトータル光強度の制御目標値が補正され(S15)、光中継ノードの場合には、前述した(6)式の関係に従ってトータル光強度の制御目標値が補正される(S16)。その補正結果が補正值算出部18から利得制御部19に伝えられると、補正後のトータル光強度の制御目標値に従って、光増幅器15の利得がフィードバック制御される(S17)。該光増幅器15のフィードバック制御が終了すると、伝送路上の全てのノードについてトータル光強度の制御目標値の補正処理が行われたかどうか判別され(S18)、未処理のノードが残っている場合には、ステップS11に戻って上記の各処理が繰り返し替えされる。

20

【0043】

上記のような一連の処理によって、伝送路上のOADMノード2Aでは、図11に示すように、OADMユニット14のフィルタリング特性によって各チャンネルの中間の波長領域に分布する雑音成分が取り除かれても、ノイズカット比率NCRというパラメータを導入した補正処理が行われるので、従来のように雑音成分が実際よりも多く見積もられることで補正が過剰になるようなことは回避される。一方、伝送路上の光中継ノード2Bでは、従来と同様な雑音光の累積を考慮した補正処理が行われるのでOSNRの劣化が抑えられる。

30

【0044】

図12は、伝送路上にOADMノードを多段に配置した場合に、ノイズカット比率NCRを導入した補正処理を実施して光強度制御を行ったときの信号光強度と雑音光強度の割合の変化をスパン数に応じて示した一例である。また、図13は、スパン数の増加に対する1チャンネルの信号光強度の変化を本発明と従来技術とで比較した一例である。これらの図より、スパン数が増加してもOADMノードから出力されるWDM光の各チャンネルの信号光強度は高い精度で一定に制御されることが分かる。したがって、本WDM光伝送システムによれば、伝送路上にOADMノード2Aと光中継ノード2Bが混在していても、各々のノードから出力されるWDM光の各チャンネルの信号光強度を高い精度で一定に制御することができ、良好な伝送品質を実現することが可能である。

40

【0045】

なお、上述した実施形態では、伝送路上にOADMノードと光中継ノードが混在する一例について説明したが、本発明における伝送路上のノードの種別は上記の一例に限定されるものではない。例えば、WDM光を個々のチャンネルに分波した後にチャンネル毎に波長分散補償を行い再度各チャンネルを合波して伝送路に出力する分散補償ノードが伝送路上に含まれている場合にも本発明は有効である。この場合、分散補償ノードにおけるトータル光強度の制御目標値の補正処理は、上述したOADMノードの場合と同様の処理が実施されることになる。

50

【 0 0 4 6 】

また、上述した実施形態では、ノードの種別に関する情報がシステム管理部から各ノードに伝達される場合を説明したが、各々のノードの補正值算出部に自ノードの種別を予め設定しておくようにしてもよい。ただし、ノード種別がシステム管理部から伝達されるようにしておくことで、システムの立ち上げ後におけるノード機能の追加、変更等に容易に対応することが可能である。

【 0 0 4 7 】

以上の各実施形態に関して、さらに以下の付記を開示する。

(付記1) 波長の異なる複数のチャネルを含んだ波長多重(WDM)光が伝送される伝送路と、

前記伝送路上に配置され、前記伝送路から入力されるWDM光を個々のチャネルに分波した後、各チャネルに対して所定の処理を行い、該処理された各チャネルを合波したWDM光を光増幅器で増幅して前記伝送路に出力する少なくとも1つの第1ノードと、

前記伝送路上に配置され、前記伝送路から入力されるWDM光を個々のチャネルに分波することなく光増幅器で増幅して前記伝送路に出力する少なくとも1つの第2ノードと、
を備えたWDM光伝送システムであって、

前記第1ノードおよび前記第2ノードは、それぞれ、自ノード内の前記光増幅器で増幅されたWDM光の強度をモニタする光強度モニタと、該光強度モニタのモニタ結果に応じて、自ノードから前記伝送路に出力するWDM光の1チャネル当たりの信号成分および雑音成分を合わせたトータル光強度が予め設定した制御目標値で一定になるように前記光増幅器の利得を制御する利得制御部と、前記光強度モニタのモニタ結果を基に、WDM光の1チャネルの信号光強度および雑音光強度の割合を求め、1チャネルの信号光強度が全てのノードで一定となるように、前記利得制御部で用いるトータル光強度の制御目標値を補正する補正值算出部と、を有し、さらに、

前記補正值算出部は、自ノードが前記第1ノードおよび前記第2ノードのいずれに該当しているかを判別し、第1ノードに該当しているとき、WDM光を個々のチャネルに分波する際のフィルタリング特性に応じて定めたノイズカット比率を用いた計算式に従って、前記トータル光強度の制御目標値の補正を行うことを特徴とするWDM光伝送システム。

【 0 0 4 8 】

(付記2) 付記1に記載のWDM光伝送システムであって、

前記ノイズカット比率は、個々のチャネルに分波される前のWDM光における1チャネル当たりの雑音成分に対する、個々のチャネルに分波された後の1チャネルに含まれる雑音成分の割合としたことを特徴とするWDM光伝送システム。

【 0 0 4 9 】

(付記3) 付記2に記載のWDM光伝送システムであって、

前記ノイズカット比率は、WDM光の隣り合うチャネルの波長間隔に対する、前記フィルタリング特性における各チャネルに対応した透過帯の幅の割合としたことを特徴とするWDM光伝送システム。

【 0 0 5 0 】

(付記4) 付記1～3のいずれか1つに記載のWDM光伝送システムであって、

前記第1ノードは、分波した各チャネルに対してアド・ドロップの処理を行うOADMノードであることを特徴とするWDM光伝送システム。

【 0 0 5 1 】

(付記5) 付記4に記載のWDM光伝送システムであって、

前記OADMノードは、前記伝送路から入力されるWDM光を増幅する入力側の光増幅器と、該入力側の光増幅器で増幅されたWDM光を個々のチャネルに分波してアド・ドロップの処理を行い、該処理された各チャネルを合波して出力するOADMユニットと、該OADMユニットから出力されるWDM光を増幅する第2の光増幅器と、を有し、該第2の光増幅器で増幅されたWDM光の強度が前記光強度モニタでモニタされ、前記利得制御部により前記第2の光増幅器の利得がフィードバック制御されることを特徴とするWDM

10

20

30

40

50

光伝送システム。

【0052】

(付記6) 付記5に記載のWDM光伝送システムであって、

前記OADMユニットは、波長選択スイッチ(WSS)を含むことを特徴とするWDM光伝送システム。

【0053】

(付記7) 付記5に記載のWDM光伝送システムであって、

前記OADMユニットは、アレイ導波路回折格子(AWG)を含むことを特徴とするWDM光伝送システム。

【0054】

(付記8) 付記1~3のいずれか1つに記載のWDM光伝送システムであって、

前記第1ノードは、分波した各チャネルに対して波長分散の補償を行う分散補償ノードであることを特徴とするWDM光伝送システム。

【0055】

(付記9) 付記1~8のいずれか1つに記載のWDM光伝送システムであって、

前記第2ノードは、前記伝送路から入力されるWDM光の各チャネルをインラインアンプにより一括して増幅する光中継ノードであることを特徴とするWDM光伝送システム。

【0056】

(付記10) 付記1~9のいずれか1つに記載のWDM光伝送システムであって、

前記伝送路上の各ノードに対してシステム管理情報を伝達することにより、各々のノードの動作状態を集中して管理するシステム管理部を備え、

前記補正值算出部は、前記システム管理部から伝達されるノードの種別に関する情報を基に、自ノードが前記第1ノードおよび前記第2ノードのいずれに該当しているかを判別することを特徴とするWDM光伝送システム。

【0057】

(付記11) 付記10に記載のWDM光伝送システムであって、

前記光強度モニタは、前記光増幅器で増幅されたWDM光に含まれる全てのチャネルの光強度の総和をモニタし、

前記補正值算出部は、前記光強度モニタのモニタ結果および前記システム管理部から伝達されるWDM光のチャネル数に関する情報を用いて、1チャネル当たりのトータル光強度を算出すると共に、該トータル光強度および前記システム管理部から伝達される光信号対雑音比(OSNR)を用いて、WDM光の1チャネルの信号光強度を算出し、該算出されたトータル光強度および信号光強度、または、OSNRの値を使用して、前記トータル光強度の制御目標値の補正を行うことを特徴とするWDM光伝送システム。

【0058】

(付記12) 付記10に記載のWDM光伝送システムであって、

前記光強度モニタは、前記光増幅器で増幅されたWDM光の1チャネル当たりのトータル光強度、信号光強度および光信号対雑音比(OSNR)をモニタし、

前記補正值算出部は、前記光強度モニタの各モニタ値を使用して、前記トータル光強度の制御目標値の補正を行うことを特徴とするWDM光伝送システム。

【0059】

(付記13) 波長の異なる複数のチャネルを含んだ波長多重(WDM)光が伝送される伝送路と、前記伝送路上に配置され、前記伝送路から入力されるWDM光を個々のチャネルに分波した後、各チャネルに対して所定の処理を行い、該処理された各チャネルを合波したWDM光を光増幅器で増幅して前記伝送路に出力する第1ノードと、前記伝送路上に配置され、前記伝送路から入力されるWDM光を個々のチャネルに分波することなく光増幅器で増幅して前記伝送路に出力する第2ノードと、を備えたWDM光伝送システムについて、前記第1および第2の各ノードから前記伝送路に出力されるWDM光の1チャネル当たりの信号成分および雑音成分を合わせたトータル光強度が予め設定した制御目標値で一定になるように、各ノード内の光増幅器の利得を制御する方法であって、

10

20

30

40

50

前記第1ノードおよび前記第2ノードにおいて、自ノード内の前記光増幅器で増幅されたWDM光の強度をモニタする過程と、

前記モニタしたWDM光の強度を基に、WDM光の1チャンネルの信号光強度および雑音光強度の割合を求め、1チャンネルの信号光強度が全てのノードで一定となるように、前記トータル光強度の制御目標値を補正する過程と、

前記モニタしたWDM光の強度に応じて、自ノードから前記伝送路に出力するWDM光の1チャンネル当たりのトータル光強度が、前記補正したトータル光強度の制御目標値で一定となるように、自ノード内の前記光増幅器の利得を制御する過程と、を含み、さらに、

前記トータル光強度の制御目標値を補正する過程は、自ノードが前記第1ノードおよび前記第2ノードのいずれに該当しているかを判別し、前記第1ノードに該当しているとき、WDM光を個々のチャンネルに分波する際のフィルタリング特性に応じて定めたノイズカット比率を用いた計算式に従って、前記トータル光強度の制御目標値の補正を行うことを特徴とする制御方法。

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1】本WDM光伝送システムの一実施形態の構成を示すブロック図である。

【図2】上記実施形態におけるWSSを用いたOADMユニットの構成例を示す図である。

。

【図3】上記実施形態におけるWSSを用いたOADMユニットの他の構成例を示す図である。

【図4】上記実施形態におけるAWGを用いたOADMユニットの構成例を示す図である。

。

【図5】上記実施形態におけるAWGを用いたOADMユニットの他の構成例を示す図である。

【図6】上記実施形態における光強度モニタの具体例とそれに対応した周辺回路の構成を示す図である。

【図7】上記実施形態における光強度モニタの他の具体例とそれに対応した周辺回路の構成を示す図である。

【図8】上記実施形態における光中継ユニットの構成例を示す図である。

【図9】上記実施形態におけるOADMユニットのフィルタリング特性とノイズカット比率との関係を説明するための概念図である。

【図10】上記実施形態における出力光強度の制御手順の一例を示すフローチャートである。

【図11】上記実施形態におけるOADMノードでのWDM光強度の制御の様子を示す図である。

【図12】上記実施形態に関して伝送路上にOADMノードを多段に配置した場合の信号光強度と雑音光強度の割合の変化をスパン数に応じて示した図である。

【図13】図12におけるスパン数の増加に対する信号光強度の変化を従来技術と比較した一例を示す図である。

【図14】伝送路上に複数の光中継器が配置された一般的なWDM光伝送システムの一例を示す図である。

【図15】図14のシステムにおける信号光強度と雑音光強度の割合の変化をスパン数に応じて示した図である。

【図16】図14のシステムにおける1チャンネルの信号光強度の変化をスパン数に応じて示した図である。

【図17】トータル光強度の制御目標値を補正してOSNR劣化を抑えた従来のWDM光伝送システムの一例を示す図である。

【図18】図17のシステムにおける信号光強度と雑音光強度の割合の変化をスパン数に応じて示した図である。

【図19】伝送路上にOADMノードと光中継ノードが混在するWDM光伝送システムに

10

20

30

40

50

従来の補正ありの制御を適用した一例を示す図である。

【図20】図19のシステムに関して伝送路上にOADMノードを多段に配置した場合の信号光強度と雑音光強度の割合の変化をスパン数に応じて示した図である。

【図21】図20におけるスパン数の増加に対する信号光強度の変化を示す図である。

【符号の説明】

【0061】

1 伝送路

2 A OADMノード

2 B 光中継ノード

3 システム管理部

4 記憶部

1 1 入力ポート

1 2 出力ポート

1 3 , 1 5 光増幅器

1 4 OADMユニット

1 4 A , 1 4 J , 1 6 光分岐器

1 4 B , 1 4 C , 1 4 D , 1 4 E 波長選択スイッチ(WSS)

1 4 F , 1 4 G , 1 4 H , 1 4 I アレイ導波路回折格子(AWG)

1 4 K 2×1光スイッチ

1 7 光強度モニタ

1 7 A フォトディテクタ

1 7 B 光パワーメータ

1 7 C 光スペクトルアナライザ

1 7 D チャンネルモニタ

1 8 補正值算出部

1 9 利得制御部

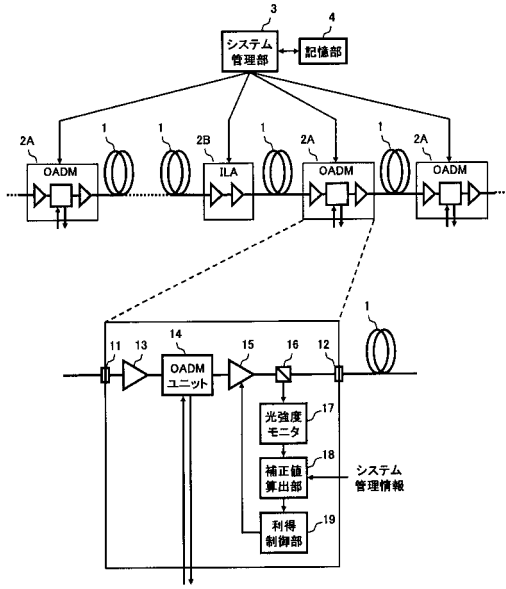
S チャンネル間隔

W f i l フィルタ帯域幅

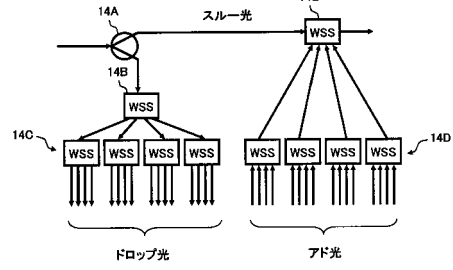
10

20

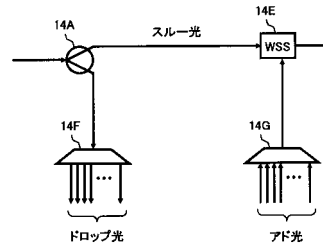
【図1】



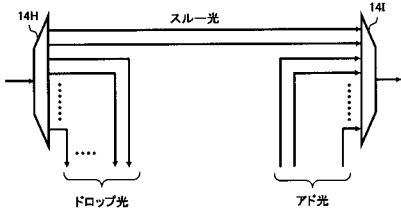
【図2】



【図3】



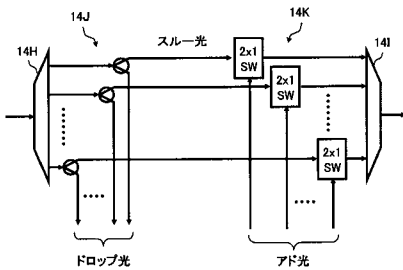
【図4】



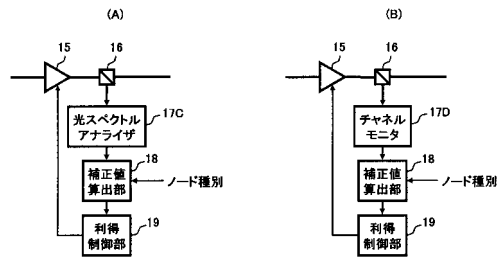
【図6】



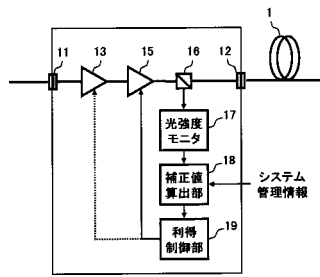
【図5】



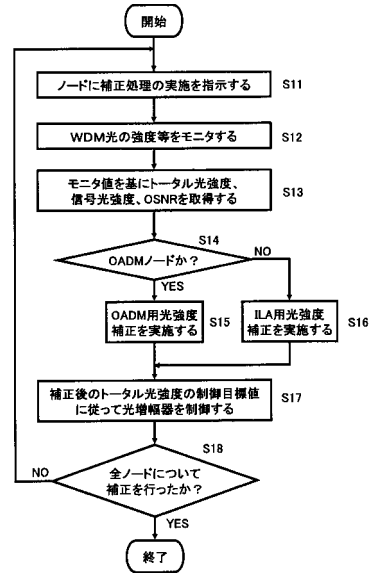
【図7】



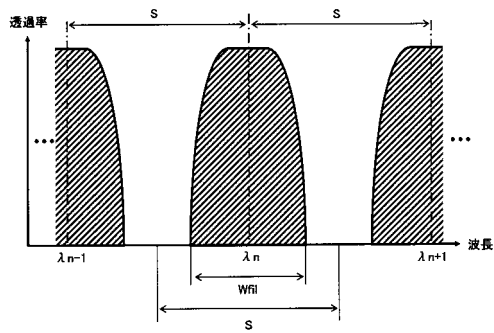
【図8】



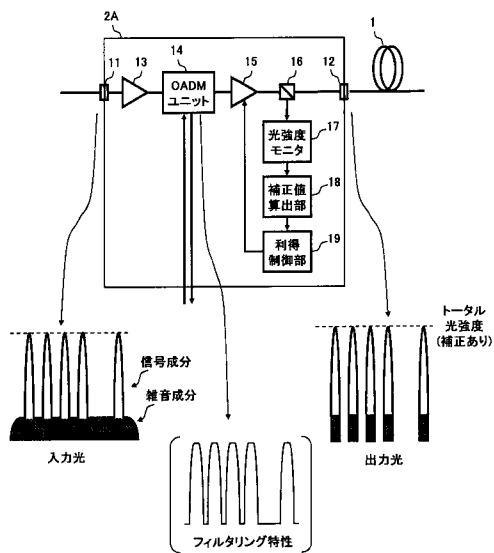
【図10】



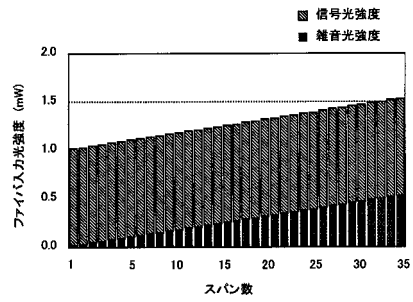
【図9】



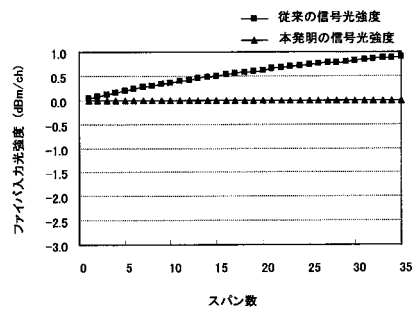
【図11】



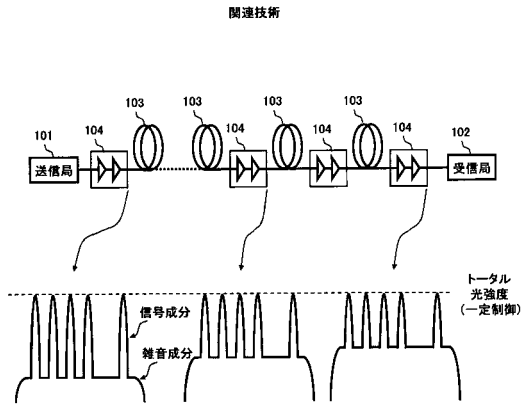
【図12】



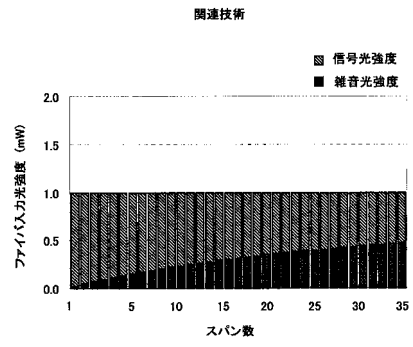
【図13】



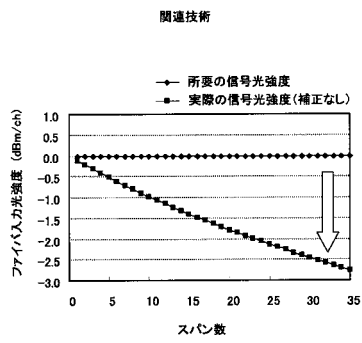
【図14】



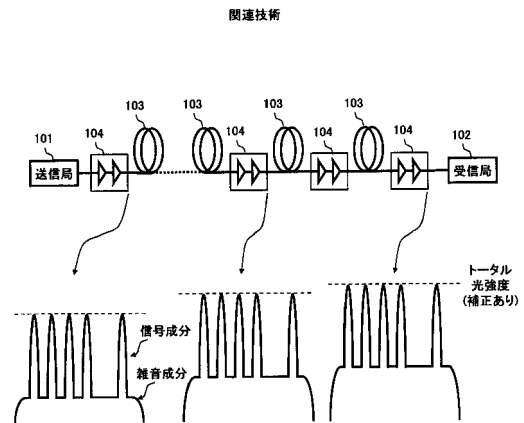
【図15】



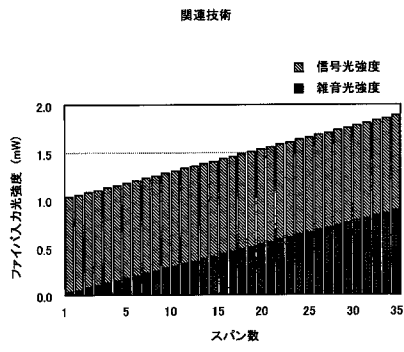
【図16】



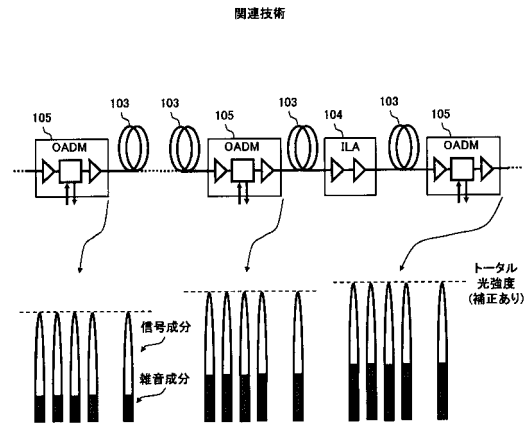
【図17】



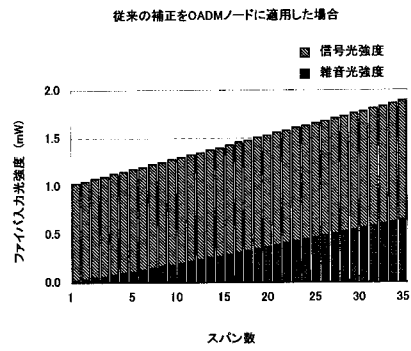
【 図 18 】



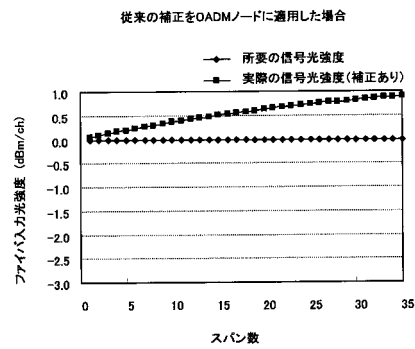
【 図 19 】



【 図 20 】



【 図 21 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平10-276172(JP,A)
特開平07-107069(JP,A)
特開2002-057394(JP,A)
特開2002-280967(JP,A)
特開2007-274545(JP,A)
特開2006-086365(JP,A)
特開2001-144692(JP,A)
特開2001-197010(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B10/00-10/90
H04J14/00-14/08
G02F 3/00
H01S 3/13