

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4985762号
(P4985762)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl.		F I			
HO4B 10/00	(2006.01)	HO4B	9/00	B	
HO4J 14/02	(2006.01)	HO4B	9/00	E	
HO4J 14/00	(2006.01)	HO4B	9/00	J	
HO4B 10/17	(2006.01)	HO4B	9/00	K	
HO4B 10/16	(2006.01)				

請求項の数 5 (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2009-501029(P2009-501029)
 (86) (22) 出願日 平成19年2月27日(2007.2.27)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2007/000129
 (87) 国際公開番号 W02008/105027
 (87) 国際公開日 平成20年9月4日(2008.9.4)
 審査請求日 平成21年6月8日(2009.6.8)

(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
 (74) 代理人 100074099
 弁理士 大菅 義之
 (74) 代理人 100133570
 弁理士 ▲徳▼永 民雄
 (72) 発明者 清水 良浩
 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
 審査官 工藤 一光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 WDM伝送装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

WDM伝送システムにおいてWDM光を受信または中継するWDM伝送装置であって、
 WDM光により伝送される各チャネルの光レベルを測定する測定手段と、
 前記測定手段の分解能を調整する調整手段と、
 各チャネルについてそれぞれ伝送信号のビットレートに対応する分解能で測定した光レ
 ベルを表す光レベル情報を求める処理手段と、
 を有することを特徴とするWDM伝送装置。

【請求項2】

請求項1に記載のWDM伝送装置であって、
 前記処理手段により得られる光レベル情報を前記WDM伝送システムの送信局へ送信す
 る送信手段をさらに備える
 ことを特徴とするWDM伝送装置。

【請求項3】

請求項1に記載のWDM伝送装置であって、
 前記測定手段は、モノクロメータであり、
 前記調整手段は、前記モノクロメータの出射スリットのスリット幅を調整する
 ことを特徴とするWDM伝送装置。

【請求項4】

請求項3に記載のWDM伝送装置であって、

前記モノクロメータは、互いにスリット幅の異なる複数の出射スリットを備え、
前記調整手段は、使用すべき出射スリットを選択する
ことを特徴とするWDM伝送装置。

【請求項5】

WDM伝送システムにおいてWDM光により伝送される各チャネルの品質を調整するためのプリエンファシス方法であって、

送信局から送信されるWDM光を中継または受信する各WDM伝送装置において、第1の分解能で各チャネルの光レベルを測定し、

前記WDM伝送装置において、第2の分解能で各チャネルの光レベルを測定し、

各チャネルについてそれぞれ伝送信号のビットレートに対応する分解能で測定した光レベルを表す光レベル情報を選択し、

前記WDM伝送装置により得られる光レベル情報に基づいて各チャネルの品質を算出し

、算出した品質に基づいて各チャネルの送信レベルを調整する

ことを特徴とするプリエンファシス方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、WDM伝送装置およびWDM伝送システムにおけるプリエンファシス方法に係わる。

【背景技術】

【0002】

波長分割多重(WDM:Wavelength Division Multiplexing)伝送システムでは、互いに異なる複数の波長を利用して1本の光ファイバを介して複数の光信号が並列に伝送される。このため、WDMは、伝送路の大容量化を図るための重要な技術の1つである。

【0003】

光信号を伝送する光ファイバおよび光信号を増幅する光アンプの特性は、一般に、波長依存性を有している。このため、WDM伝送システムの送信装置からWDM光を送信するときに、各波長の送信パワーを均一にすると、そのWDM光を受信する受信装置においては、波長ごとにノイズ量が異なってしまう。すなわち、この場合、WDM光により伝送される複数のチャネルのうちの一部のチャネルの品質が劣化してしまう。このため、従来より、受信装置においてWDM光の各チャネルのノイズが均一になるように、送信装置において各波長の送信パワーを調整するプリエンファシス(或いは、「等化」とも言う。)が提案されている。

【0004】

図1は、プリエンファシス機能を備えたWDM伝送システムの構成を示す図である。図1において、送信局1は、光送信機(TXP1~TXP40)、可変光減衰器(VOA:Variable Optical Attenuator)、光マルチプレクサを備える。光送信機(TXP1~TXP40)は、互いに異なる波長を持った光信号を出力する。可変光減衰器(VOA)は、対応する光送信機から出力される光信号のパワーを調整する。光マルチプレクサは、複数の光信号を多重化してWDM光を生成する。一方、受信局2は、光デマルチプレクサ、光受信機(RXP1~RXP40)、光スペクトルアナライザを備える。光デマルチプレクサは、WDM光に含まれている複数の光信号を波長ごとに分離する。光受信機(RXP1~RXP40)は、対応する光信号を受信する。光スペクトルアナライザは、受信したWDM光の光スペクトルを測定する。

【0005】

なお、送信局1と受信局2との間は、光ファイバで接続されている。また、送信局1と受信局2との間には、1または複数の光中継局(REP1~REP3)を設けるようにしてもよい。

【0006】

10

20

30

40

50

上記構成のWDM伝送システムにおいて、受信局2は、光スペクトルアナライザを用いて測定した光スペクトルに基づいて各チャンネルについてノイズ情報を生成する。ノイズ情報は、例えば、各チャンネルの光S/N比(信号の光レベルと雑音レベルとの比)である。このノイズ情報は、送信局1へ送られる。そして、送信局1は、そのノイズ情報を利用して可変光減衰器(VOA)を調整する。これにより、受信局2においてWDM光の各チャンネルのノイズを均一にするためのプリエンファシス制御が実現される。なお、このようなプリエンファシス技術は、たとえば、特許文献1に記載されている。

【0007】

図2は、WDM光の光スペクトルを示す図である。図2においては、伝送される信号のビットレートがそれぞれ10Gbit/s、20Gbit/sである。また、各チャンネルは、100GHz間隔で配置されている。そして、光S/N比は、光信号のピークレベル(P_{sig})および雑音レベル(P_{ase})を測定することにより得られる。

10

【0008】

ところが、信号のビットレートが高くなると、よく知られているように、光スペクトルの側波帯が広がる。一般に、ビットレートが2倍になると、その側波帯の幅も2倍になる。このため、ビットレートが高くなると(図2では、20Gbit/s)、雑音レベルを正確に測定できなくなる。すなわち、光S/N比を正確に測定できなくなってしまう。

【0009】

この問題を解決するための技術は、例えば、特許文献2に記載されている。以下、図3を参照しながら特許文献2に記載の技術を説明する。ここでは、チャンネルch1~ch8が互いに隣接して配置されているものとする。

20

【0010】

各チャンネルの光S/N比を得るためには、各チャンネルの光信号レベルおよび各チャンネルの近傍波長における雑音レベル(ASEレベル)を測定する必要がある。ところが、信号のビットレートが高く、各チャンネルの光スペクトルの側波帯が広がると、各チャンネルの近傍波長における雑音レベルを測定できなくなってしまう。そこで、特許文献2に記載の方法においては、まず、チャンネルch2、ch4、ch6、ch8を停止してチャンネルch1、ch3、ch5、ch7についての光S/N比を測定する。その後、チャンネルch1、ch3、ch5、ch7を停止してチャンネルch2、ch4、ch6、ch8についての光S/N比を測定する。

30

【0011】

しかしながら、この方法では、WDM光のノイズを測定するために、各チャンネルを一時的に停止する必要がある。したがって、WDM伝送システムの運用中にプリエンファシス制御を行うことができない。

【0012】

また、WDM伝送システムにおいては、ビットレートの異なる信号を並列に伝送することがある。この場合、WDM伝送システムを運用しながら各チャンネルの光S/N比を精度よく測定することはさらに難しくなる。

【0013】

なお、チャンネルを配置する間隔を広くすれば、上述の問題は発生しない。しかし、チャンネルを配置する間隔を広くすると、必然的に、1本の光ファイバ当たりの通信容量は小さくなる。

40

【特許文献1】特開2002-57624号公報

【特許文献2】特開2002-319725号公報

【発明の開示】

【0014】

本発明の目的は、通信容量を下げることなく、WDM伝送システムの運用中に精度のよいプリエンファシス制御を行うことである。

本発明のWDM伝送装置は、WDM伝送システムにおいてWDM光を受信または中継する装置であって、WDM光により伝送される各チャンネルの光レベルを測定する測定手段と

50

、前記測定手段の分解能を調整する調整手段と、各チャネルについてそれぞれ伝送信号のビットレートに対応する分解能で測定した光レベルを表す光レベル情報を求める処理手段と、を有する。

【0015】

光信号の光スペクトルの側波帯の幅は、その光信号のビットレートに依存する。よって、各チャネルの光レベルは、そのビットレートに対応する分解能で測定することにより、各チャネルの配置間隔を必要以上に広げなくても、適正な値が得られる。すなわち、通信容量を下げることなく、各チャネルの光レベルを精度よく測定できる。また、測定手段の分解能を調整する調整手段を備えるので、WDM伝送システムの運用中に各チャネルを停止することなく、各チャネルの光レベルを測定できる。

10

【0016】

本発明のプリエンファシス方法は、WDM伝送システムにおいてWDM光により伝送される各チャネルの品質を調整する方法であって、送信局から送信されるWDM光を中継または受信する各WDM伝送装置において第1の分解能で各チャネルの光レベルを測定し、前記WDM伝送装置において第2の分解能で各チャネルの光レベルを測定し、各チャネルについてそれぞれ伝送信号のビットレートに対応する分解能で測定した光レベルを表す光レベル情報を選択し、前記WDM伝送装置により得られる光レベル情報に基づいて各チャネルの品質を算出し、算出した品質に基づいて各チャネルの送信レベルを調整する。

【0017】

この方法によれば、精度よく測定された光レベルに基づいて各チャネルの送信レベルが調整されるので、通信品質の向上を図ることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】プリエンファシス機能を備えたWDM伝送システムの構成を示す図である。

【図2】WDM光の光スペクトルを示す図である。

【図3】特許文献2に記載の測定方法を説明する図である。

【図4】実施形態のWDM伝送システムにおいて観測されるWDM光の光スペクトルを示す図である。

【図5】観測される光レベルと分解能との関係を示す図である。

【図6】実施形態のWDM伝送装置が備える光スペクトルアナライザの構成を示す図である。

30

【図7】モノクロメータの構成および動作原理を説明する図である。

【図8】回折格子の入射光および回折光の関係を示す図である。

【図9】スリット幅と分解能の関係を示す図である。

【図10】各チャネルの光レベルを判定する方法を示す図である。

【図11】制御部の動作を示すフローチャートである。

【図12】プリエンファシス制御のフローチャートである。

【図13】チルト定数について示す表である。

【図14】PDアレーを備える分光器の構成を示す図である。

【図15】PDアレーを用いた測定方法を説明する図である。

40

【図16】PDアレーを備える分光器を利用して光レベルを測定する方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

本発明に係わるWDM伝送システムでは、ビットレートの異なる光信号が並列に伝送される。すなわち、ビットレートが互いに異なるチャネル(10Gbit/s、20Gbit/s)が存在するシステムを想定する。また、本発明に係わるWDM伝送システムでは、WDM光により伝送される各チャネルの品質を均一にするために、プリエンファシス制御が行われる。なお、制御される品質は、例えば、光S/N比である。

【0020】

50

図4は、実施形態のWDM伝送システムにおいて観測されるWDM光の光スペクトルを示す図である。この光スペクトルは、例えば、図1に示す受信局2または光中継局(REP1~REP3)が備える光スペクトルアナライザにより得られる。

【0021】

図4に示す例では、チャンネルch1~ch3を利用してそれぞれ20Gbit/sの信号が伝送され、チャンネルch4~ch8を利用してそれぞれ10Gbit/sの信号が伝送される。ここで、信号のビットレートが高くなると、光スペクトルの側波帯が広がる。このため、チャンネルch4~ch8は50GHz間隔(約0.4nm間隔)で配置されるが、チャンネルch1~ch3は100GHz間隔(約0.8nm間隔)で配置されている。

【0022】

各チャンネルの光S/N比を得るためには、例えば、光スペクトルアナライザを利用して光信号のピークレベルおよび雑音レベルを測定する。このとき、光スペクトルアナライザの分解能を高くすると、一般に、フォトダイオード等の光検出デバイスに入射される光の量は小さくなる。このため、光スペクトルアナライザにより観測される光信号のピークレベルは、図5に示すように、その光スペクトルアナライザの分解能に応じて変わってしまう。図5は、分解能が1nmの場合、および分解能が0.1nmの場合についての測定結果を示している。ただし、10Gbit/sの信号は、図2に示したように、光スペクトルの幅が狭い(すなわち、側波帯が狭い)。このため、10Gbit/sの信号については、分解能を変えたときの光信号のピークレベルの変化は小さい。一方、20Gbit/sの信号は、光スペクトルの幅が広がる(すなわち、側波帯が広がる)。このため、20Gbit/sの信号については、分解能を変えると、光信号のピークレベルの変化(P)は大きくなる。

【0023】

よって、光スペクトルアナライザの分解能を高くすると(図4において、分解能=0.1nm)、20Gbit/sの信号(ch1~ch3)について観測されるピークレベルが低くなる。この結果、光S/N比の検出精度が低下してしまう。一方、10Gbit/sの信号(ch4~ch8)は、狭い波長間隔で配置されているので、その分解能を低くすると(分解能=1nm)、各チャンネルのピークレベルを正確に測定することができない。

【0024】

このように、ビットレートが互いに異なるチャンネルが混在するWDM伝送システムにおいては、光スペクトルアナライザの分解能を高くすると、10Gbit/sの信号を伝送するチャンネルのピークレベルは正確に測定できるが、20Gbit/sの信号を伝送するチャンネルのピークレベルは正確に測定できない。反対に、その分解能を低くすると、20Gbit/sの信号を伝送するチャンネルのピークレベルは正確に測定できるが、10Gbit/sの信号を伝送するチャンネルのピークレベルは正確に測定できない。そこで、本発明の実施形態のWDM伝送装置においては、WDM光により伝送される各チャンネルのビットレートに応じて、光レベルを測定する際の分解能を切り替える構成を導入している。

【0025】

図6は、実施形態のWDM伝送装置が備える光スペクトルアナライザの構成を示す図である。なお、WDM伝送装置は、図1に示す光中継局(REP1~REP3)、または受信局2に相当する。

【0026】

実施形態に係わる光スペクトルアナライザは、分光器11、受光素子12、増幅器13、A/D変換器14、制御部15、切替制御部16を備える。分光器11は、この実施例では、モノクロメータである。なお、モノクロメータ21は、回折格子を備え、角度制御部22は、その回折格子の角度を調整する。

【0027】

図7は、モノクロメータ21の構成および動作原理を説明する図である。モノクロメータ21は、この実施例では、入射スリットS、放物面ミラーM1、M2、回折格子G、出射スリットS1、S2を備える。そして、このモノクロメータ21にWDM光が入射される。なお、WDM光は、図1に示す送信局1により生成され、光ファイバを介して伝送さ

10

20

30

40

50

れる。光伝送路上には、図 1 に示すように、光中継局 (R E P 1 ~ R E P 3) が設けられていてもよい。

【 0 0 2 8 】

WDM 光は、入射スリット S を介して放物面ミラー M 1 に導かれる。放物面ミラー M 1 により反射される WDM 光は、回折格子 G に導かれる。放物面ミラー M 1 の反射光は、平行ビームである。回折格子 G により得られる回折光は、放物面ミラー M 2 に導かれる。そして、放物面ミラー M 2 による反射光は、出射スリットを通過して受光素子 (P D) 1 2 に導かれる。ここで、回折格子 G に入射される光は、その波長に応じて異なる角度に反射される。したがって、回折格子 G の角度を調節することにより、WDM 光に含まれている所望の波長の光を受光素子 1 2 に導くことができる。すなわち、WDM 光により伝送される所望のチャンネルの光レベルを測定することができる。なお、回折格子 G の角度は、制御部 1 5 からの指示に従い、角度制御部 2 2 によって制御される。

10

【 0 0 2 9 】

図 8 は、回折格子 G の入射光および回折光の関係を示す図である。回折格子 G の入射光および回折光の関係は、下式で表される。

$$n \lambda = d (\sin \theta_i + \sin \theta_r)$$

n : 回折次数

d : グレーティングの溝の間隔

θ_r : 回折格子 G により得られる回折光

このように、回折格子 G により得られる回折光の角度 θ_r は、その波長に応じて異なっている。したがって、回折格子 G の角度を調節することにより、WDM 光に含まれている所望の波長の光を、放物面ミラー M 2 を介して受光素子 1 2 に導くことができる。

20

【 0 0 3 0 】

実施形態のモノクロメータ 2 1 は、1 組の出射スリット S 1、S 2 を備えている。1 組の出射スリット S 1、S 2 は、互いに異なるスリット幅を持っており、選択的に使用される。すなわち、出射スリット S 1、S 2 の一方が選択的に放物面ミラー M 2 から受光素子 1 2 へ至る光路上に配置される。ここで、モノクロメータ 2 1 の分解能は、出射スリットのスリット幅に依存する。したがって、使用すべき出射スリット S 1、S 2 を切替えることにより、モノクロメータ 2 1 の分解能を変えることができる。出射スリットのスリット幅 x と分解能 R の関係は下式で表される。

$$R = d \cdot \cos \theta / (n \cdot f) \cdot x$$

$$R = D \cdot x$$

f : モノクロメータ 2 1 の焦点距離

D : モノクロメータ 2 1 の逆線分散値

このように、出射スリットのスリット幅 x が狭くなると、それに伴ってモノクロメータ 2 1 の分解能 R は向上する。ただし、図 9 に示すように、スリット幅 x が非常に小さい領域では (図 9 において、領域 A)、上記関係式は成立しない。すなわち、この領域では、波長 λ における分解能 R は、下式で表される。

$$R / \lambda = n \cdot N$$

N : グレーティングの総刻線数

40

上記構成のモノクロメータ 2 1 において、この実施例では、出射スリット S 1 が選択されたときの分解能は「 0 . 1 nm」であり、出射スリット S 2 が選択されたときの分解能は「 1 . 0 nm」である。すなわち、上記構成のモノクロメータ 2 1 を備える光スペクトルアナライザは、その分解能を切り替えることができる。

【 0 0 3 1 】

なお、入射スリット S、放物面ミラー M 1、回折格子 G、放物面ミラー M 2 から構成される光学系は、公知の技術により実現される。また、各出射スリット S 1、S 2 は、それぞれ公知の技術により実現することができる。

【 0 0 3 2 】

図 6 に戻る。分光器 1 1 から出力される光は、受光素子 1 2 により、その光パワーに応

50

じて電流に変換される。受光素子 1 2 は、特に限定されるものではないが、例えば、フォトダイオードである。増幅器 1 3 は、受光素子 1 2 の出力信号を増幅する。A / D 変換器 1 4 は、増幅器 1 3 により増幅された信号をデジタルデータに変換する。そして、制御部 1 5 は、そのデジタルデータに従って光レベル情報を生成する。光レベル情報は、分光器 1 1 から出力される光のパワーを表す。

【 0 0 3 3 】

制御部 1 5 は、WDM 光により伝送される各チャネルについての光レベル情報を得るために、角度制御部 2 2 を介してモノクロメータ 2 1 の回折格子 G の角度をスイープする。この制御により、WDM 光の信号波長領域（例えば、L バンド）の全体に渡って光パワーが測定される。すなわち、WDM 光の信号波長領域の光スペクトルが得られる。そして、

10

【 0 0 3 4 】

また、制御部 1 5 は、出射スリット S 1 を使用して WDM 光の光スペクトルを測定すると共に、出射スリット S 2 を使用して同じ WDM 光について光スペクトルを測定する。すなわち、制御部 1 5 は、「分解能：0.1 nm」で各チャネルの光レベルを観測すると共に、「分解能：1.0 nm」で各チャネルの光レベルを観測する。なお、出射スリット S 1、S 2 の切替えは、制御部 1 5 からの指示に基づいて行われる。一例としては、切替え制御部 1 6 によって、出射スリット S 1、S 2 の位置が移動される。

【 0 0 3 5 】

さらに、制御部 1 5 は、チャネル毎に、ビットレートに基づいて、いずれの分解能で測定された光レベルが適切であるかを決定する。この実施例では、図 1 0 に示すように、20 Gbit/s の信号を伝送するチャネルについては、「分解能：1.0 nm」で測定した光レベル情報が選択される。また、10 Gbit/s の信号を伝送するチャネルについては、「分解能：0.1 nm」で測定した光レベル情報が選択される。なお、各チャネルのビットレートを表す情報は、基本的に、予め決められており、各 WDM 伝送装置により保持されている。

20

【 0 0 3 6 】

上述のようにして得られる光レベル情報は、WDM 伝送システムのプリエンファシス制御を行う WDM 制御装置へ送信される。WDM 制御装置は、特に限定されるものではないが、例えば、送信局 1 に設けられる。以下、WDM 制御装置が送信局 1 に設けられている

30

【 0 0 3 7 】

図 1 1 は、制御部 1 5 の動作を示すフローチャートである。このフローチャートの処理は、例えば、所定の時間間隔で繰り返し実行される。あるいは、送信局 1 からの要求に応じて実行するようにしてもよい。

【 0 0 3 8 】

ステップ S 1 では、モノクロメータ 2 1 において出射スリット S 1 を使用するための制御信号を切替え制御部 1 6 に与える。これにより、モノクロメータ 2 1 において出射スリット S 1 が設定される。ステップ S 2 では、回折格子 G の角度をスイープすることによって、出射スリット S 1 を利用して WDM 光の光スペクトルを測定する。すなわち、高い分解能で光スペクトルを測定する。続いて、得られた光スペクトルから各チャネルの光レベルを検出する。そして、ステップ S 3 において、各チャネルの光レベルを表す光レベル情報を保持する。

40

【 0 0 3 9 】

ステップ S 4 ~ S 6 の動作は、基本的に、ステップ S 1 ~ S 3 と同じである。ただし、ステップ S 4 ~ S 6 では、出射スリット S 2 を利用して（すなわち、低い分解能で）WDM 光の光スペクトルが測定される。そして、この光スペクトルから各チャネルの光レベルが検出される。

【 0 0 4 0 】

50

ステップS7では、各チャンネルのビットレートを表すビットレート情報を取得する。なお、ビットレート情報は、所定の記憶領域に予め書き込まれているものとする。ステップS8では、各チャンネルについて、ビットレート情報に基づいて、高い分解能での測定により得られた光レベル情報または低い分解能での測定により得られた光レベル情報を選択する。これにより、各チャンネルについての適正光レベル情報が得られる。そして、ステップS9において、各チャンネルについての適正光レベル情報を送信局1へ送信する。

【0041】

このように、実施形態のWDM伝送装置においては、ビットレートの高い光信号の光レベルは低い分解能（実施例では、1.0nm）で測定され、ビットレートの低い光信号の光レベルは高い分解能（実施例では、0.1nm）で測定される。したがって、ビットレートの異なるチャンネルが混在するWDM伝送システムにおいて、それらのチャンネルを必要以上に広い間隔で配置しなくても、各チャンネルの光レベルを高い精度で測定することができる。すなわち、実施形態のWDM伝送装置によれば、高い通信容量を維持しながら、各チャンネルの光レベルを高い精度で測定することができる。

10

【0042】

なお、上述の実施例では、2種類のビットレート（10Gbit/s、20Gbit/s）が混在するWDM伝送システムにおいて、2つの分解能（0.1nm、1.0nm）を切り替える構成を示したが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、WDM伝送システムは、3以上のビットレートが混在していてもよい。また、分光器は、3以上の分解能を提供できるようにしてもよい。ただし、WDM伝送システムにおいて混在するビットレートの数と分光器が提供する分解能の数は、互いに同じである必要はない。

20

【0043】

また、上述の実施例では、互いにスリット幅の異なる出射スリットを選択することによって分解能の切替えを実現しているが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、制御部15からの制御信号に従ってスリット幅を変えることができる1つの出射スリットを用いて上記機能を実現するようにしてもよい。

【0044】

さらに、上述の実施例では、出射スリットのスリット幅を変えることで分解能を調整しているが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、他のパラメータ（たとえば、モノクロメータの焦点距離）を利用して分解能を調整するようにしてもよい。

30

【0045】

さらに、上述の実施例では、WDM伝送装置において、各チャンネルについてビットレートに応じて適正光レベルを決定しているが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、異なる分解能で得られた光レベル情報をWDM伝送装置から送信局1へ送信し、送信局1において各チャンネルについてビットレートに応じて適正光レベルを決定するようにしてもよい。

【0046】

<プリエンファシス制御>

各WDM伝送装置は、それぞれ上述のようにして求めた光レベル情報を、WDM制御装置へ送信する。WDM制御装置は、送信局1内に設けられていてもよいし、送信局1の外部に設けられてもよい。そして、このWDM制御装置は、各WDM伝送装置から収集した光レベル情報を利用してプリエンファシス制御を実行する。プリエンファシスは、送信局1においてチャンネル毎に設けられている可変減衰器（VOA）の減衰量を調整することにより実現される。

40

【0047】

図12は、プリエンファシス制御の手順を示すフローチャートである。なお、この実施例では、各WDM伝送装置は、送信局1からの要求に応じて、「分解能：0.1nm」で測定した光レベル情報および「分解能：1.0nm」で測定した光レベル情報を送信局1へ送信するものとする。

【0048】

50

ステップS11～S13は、各WDM伝送装置における各チャネルの光レベルを測定/収集する手順である。すなわち、ステップS11では、各WDM伝送装置にログオンし、各WDM伝送装置において「分解能：0.1nm」で測定した光レベル情報を収集する。ステップS12では、各WDM伝送装置において「分解能：1.0nm」で測定した光レベル情報を収集する。ステップS13では、各チャネルのビットレートを参照し、各WDM伝送装置における各チャネルについての適正光レベルを決定する。なお、ステップS13の処理は、実質的に、図11に示すステップS8と同じである。

【0049】

ステップS21では、下式に従って、各WDM伝送装置における各チャネルの光入力パワーPinを算出する。

【0050】

【数1】

$$Pin_{k,i} \text{ (dB)} \equiv (\text{各波長のOPR})_{k,i} - \frac{TILTVALUE_k \times (N-i)}{N-1}$$

k：WDM伝送装置の識別番号

i：チャネルの識別番号

OPR：光レベル（受信パワー）

TILTVALUE_k：k番目のWDM伝送装置におけるチルト定数

なお、チルト定数は、図13に示すように、送信局1からの伝送距離およびWDM光の波長多重数に応じて決まる値であり、予め実験またはシミュレーションにより求められているものとする。ここで、送信局1から各WDM伝送装置までの伝送距離は既知である。また、送信局1は、WDM光の波長多重数を認識している。したがって、送信局1は、各WDM伝送装置のチルト定数を得ることができる。

【0051】

ステップS22では、下式に従って、各WDM伝送装置における各チャネルの光入力パワーPinの平均を算出し、さらに各チャネルについて平均値からの差分Pinを算出する。このとき、「dB」から「W（ワット）」への変換が行われる。

【0052】

【数2】

$$Pin_{k,i} \text{ (W)} = 10^{\frac{Pin_{k,i} \text{ (dB)}}{10}}$$

$$Pin_{k,AVG} \text{ (W)} \equiv \sqrt[NUMBER]{\prod_i^{VALID波長} Pin_{k,i} \text{ (W)}}$$

$$\Delta P_{k,i} \text{ (W)} \equiv Pin_{k,i} \text{ (W)} / Pin_{k,AVG} \text{ (W)}$$

Pin_{k,AVG}：k番目のWDM伝送装置における各チャネルの光入力パワーの相乗平均

P_{k,i}：k番目のWDM伝送装置におけるチャネルiの光入力パワーについての、平均パワーからの差分

なお、光入力パワーの平均と差分との関係は下式により表される。

【0053】

10

20

30

40

【数3】

$$Pin_i(\text{dB}) = Pin_{AVG} + \Delta P_i$$

$$Pin_i(W) = Pin_{AVG}(W) \times \Delta P_i(W)$$

Pin_{AVG} : 光入力パワーの平均値

P_i : チャンネル i の光入力パワーの平均値からのずれ

ステップ S 2 3 では、下式に従い、各 WDM 伝送装置において発生するノイズを算出する。

$$C_k = d_k - (d_{k-1} + b_k)$$

C_k : k 番目の WDM 伝送装置で発生するノイズ

d_k : k 番目の WDM 伝送装置まで発生した累積ノイズ (k 番目の WDM 伝送装置における分布ラマン増幅によるノイズを除く)

d_{k-1} : $k - 1$ 番目の WDM 伝送装置まで発生した累積ノイズ ($d_0 = 0$)

b_k : k 番目の WDM 伝送装置における分布ラマン増幅によるノイズ

なお、これらの値 (C_k 、 d_k 、 b_k) は、例えば、実験またはシミュレーションにより求められているものとする。

【0054】

ステップ S 2 4 では、下式に従い、受信局 2 (最終段の WDM 受信装置) における各チャンネルについての光 S/N 比の偏差 $\Delta OSNR_i$ を算出する。

【0055】

【数4】

$$\Delta OSNR_i = 10 \times \log \frac{Noise_{AVG}}{Noise_i} = 10 \times \log \frac{\sum_k c_k}{\sum_k \frac{c_k}{\Delta P_{k,i}(W)}}$$

ステップ S 2 5 では、各チャンネルについて、光 S/N 比の偏差が目標値以下に収束したか否かをチェックする。そして、すべてのチャンネルの光 S/N 比の偏差が目標値以下に収束していれば、処理を終了する。一方、収束していないチャンネルが残っていれば、ステップ S 2 6 において対応するチャンネルの光送信パワーを調整する。ここで、光送信パワーの変化量は、例えば、 $\Delta OSNR_i$ に比例するようにしてもよい。そして、ステップ S 2 7 において、送信局 1 にログオンし、対応する可変減衰器 (VOA) の減衰量を調整してステップ S 1 1 へ戻る。

【0056】

このように、実施形態のプリエンファシス制御においては、測定により得られた各チャンネルの光レベル情報、および予め用意されているノイズ情報を利用して算出される各チャンネルの品質 (実施例では、光 S/N 比のばらつき) を評価し、その評価結果に応じて各チャンネルの送信パワーが調整される。このとき、各チャンネルの光レベルは、ビットレートに応じた分解能で測定されるので、各チャンネルについての光レベルの測定精度は高く、プリエンファシス制御の精度も高くなる。よって、良好な通信品質が確保される。

【0057】

なお、図 1 2 に示す実施例では、ステップ S 1 1 ~ S 1 3 において光レベル情報を収集して適正な光レベルを決定しているが、ステップ S 1 1 ~ S 1 3 の処理は、各 WDM 伝送

10

20

30

40

50

装置において実行されてもよい。この場合、WDM制御装置は、各WDM伝送装置から受信した光レベル情報を利用してステップS21～S27を実行することになる。

【0058】

<分光器の変形例>

図14は、フォトダイオードアレー（以下、PDアレー）を備える分光器の構成を示す図である。図14において、被測定光としての入力WDM光（a、bを含む）は、光ファイバを介してコリメーティングレンズ31に導かれる。コリメーティングレンズ31は、光ファイバから出射された被測定光を平行ビームにする。偏光解消素子32は、被測定光の偏光を解消する。回折格子Gは、被測定光をPDアレー34に導くように、コリメーティングレンズ31に対して傾けて設置されている。回折格子Gは、被測定光を波長ごとに異なる角度に分光する。フォーカシングレンズ33は、回折格子Gから出射される被測定光をPDアレー34上に収束させる。このとき、被測定光が収束するPDアレー34上の光スポットの位置は、波長に応じて決まる。なお、PDアレーを利用する分光器は、モノクロメータと比較すると、回折格子の角度を変える機構が不要であり、また、光学系のサイズも小さくなる。

10

【0059】

図15は、PDアレー34を用いて光パワーを測定する方法を説明する図である。PDアレー34は、多数の受光素子（PD1～PD29、...）を配列することにより構成されている。各受光素子は、被測定光の光パワーに対応する電流（光電流）を生成する。この電流は、電圧信号に変換され、さらにデジタルデータに変換され、演算部41に与えられる。また、各受光素子（PD1～PD29）は、それぞれ被測定光の波長（1～29）に対応付けられて配置されている。すなわち、受光素子PD1の出力信号により、波長1の光パワーを検出することができる。したがって、各受光素子により検出される光パワーに基づいて、被測定光の光スペクトルを検出できる。

20

【0060】

制御部41には、WDM光により伝送される各チャネルの特性を示すチャネル情報が登録されている。チャネル情報は、図16に示すように、各チャネルについての中心波長、信号速度（ビットレート）、スペクトル形状、スペクトル幅を示す。ここで、中心波長および信号速度は、新たなチャネルを追加する際に設定される。また、スペクトル形状およびスペクトル幅は、光レベルが決まっているものとする、中心波長および信号速度に対してシミュレーション等によって求めることができる。

30

【0061】

上記構成の分光器を利用して各チャネルの光レベルを測定する方法は、以下の通りである。ステップS31では、チャネル情報を参照し、各チャネルにそれぞれ対応する受光素子を割り当てる。すなわち、各チャネルについて、中心波長データおよびスペクトル幅データに基づいて、対応する受光素子を決定する。たとえば、チャネルCH1に対しては、「中心波長 = ch1」および「スペクトル幅 = Wa」に基づいて、受光素子PD2～PD11が割り当てられる。また、チャネルCH5に対しては、「中心波長 = ch5」および「スペクトル幅 = Wb」に基づいて、受光素子PD23～PD27が割り当てられる。

40

【0062】

ステップS32では、各チャネルについて、ステップS31で決定された受光素子により得られる光パワー情報を収集する。例えば、チャネルCH1については、受光素子PD2～PD11により得られる光パワー情報を収集する。

【0063】

ステップS33では、各チャネルについて、ステップS32で得られる光パワー情報に基づいて得られる光スペクトルと予め用意されている光スペクトル（例えば、チャネルCH1に対しては、Sa）とを対比することにより、光レベルを算出する。このとき、上記1組の光スペクトルは、基本的に相似形になるはずである。また、予め用意されている光スペクトル（Sa、Sb）は、予め決められた光パワーに対応している。よって、上記1組の光スペクトルを対比することにより、被測定光の光レベルを算出することができる。

50

【 0 0 6 4 】

上記分光器を用いてプリエンファシス制御を行うためには、例えば、図 1 2 に示すステップ S 1 1 ~ S 1 3 の代わりに、上述のステップ S 3 1 ~ S 3 3 で光パワー情報を収集すればよい。

なお、上述の各実施例を含む実施形態に関して、以下の付記を開示する。

(付 記 1)

WDM 伝送システムにおいて WDM 光を受信または中継する WDM 伝送装置であって、WDM 光により伝送される各チャネルの光レベルを測定する測定手段と、前記測定手段の分解能を調整する調整手段と、各チャネルについてそれぞれ伝送信号のビットレートに対応する分解能で測定した光レベルを表す光レベル情報を求める処理手段と、を有することを特徴とする WDM 伝送装置。 10

(付 記 2)

付記 1 に記載の WDM 伝送装置であって、前記処理手段により得られる光レベル情報を前記 WDM 伝送システムの送信局へ送信する送信手段をさらに備えることを特徴とする WDM 伝送装置。

(付 記 3)

付記 1 に記載の WDM 伝送装置であって、前記測定手段は、モノクロメータであり、前記調整手段は、前記モノクロメータの出射スリットのスリット幅を調整することを特徴とする WDM 伝送装置。 20

(付 記 4)

付記 3 に記載の WDM 伝送装置であって、前記モノクロメータは、互いにスリット幅の異なる複数の出射スリットを備え、前記調整手段は、使用すべき出射スリットを選択することを特徴とする WDM 伝送装置。

(付 記 5)

WDM 伝送システムにおいて WDM 光を受信または中継する WDM 伝送装置であって、フォトダイオードアレーを備える分光器と、WDM 光により伝送される各チャネルについての特性を現すチャネル情報を格納する格納手段と、WDM 光に対する前記分光器の出力および前記チャネル情報に基づいて各チャネルの光レベルを表す光レベル情報を求める処理手段と、を有することを特徴とする WDM 伝送装置。 30

(付 記 6)

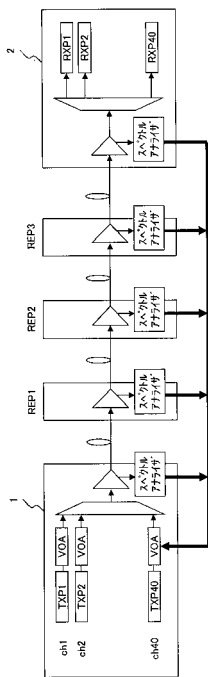
送信局、および付記 1 ~ 5 のいずれか 1 つの請求項に記載の WDM 伝送装置を備える WDM 伝送システムであって、前記送信局は、前記 WDM 伝送装置により得られる光レベル情報に基づいて各チャネルの品質を算出する算出手段と、前記算出手段により得られる品質に基づいて各チャネルの送信レベルを調整する調整手段を備えることを特徴とする WDM 伝送システム。 40

(付 記 7)

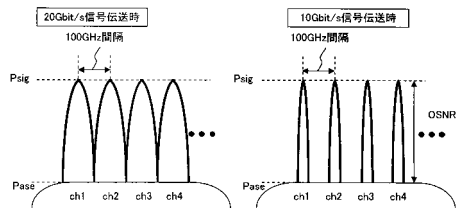
WDM 伝送システムにおいて WDM 光により伝送される各チャネルの品質を調整するためのプリエンファシス方法であって、送信局から送信される WDM 光を中継または受信する各 WDM 伝送装置において、第 1 の分解能で各チャネルの光レベルを測定し、前記 WDM 伝送装置において、第 2 の分解能で各チャネルの光レベルを測定し、 50

各チャンネルについてそれぞれ伝送信号のビットレートに対応する分解能で測定した光レベルを表す光レベル情報を選択し、
 前記WDM伝送装置により得られる光レベル情報に基づいて各チャンネルの品質を算出し、
 算出した品質に基づいて各チャンネルの送信レベルを調整することを特徴とするプリエンファシス方法。

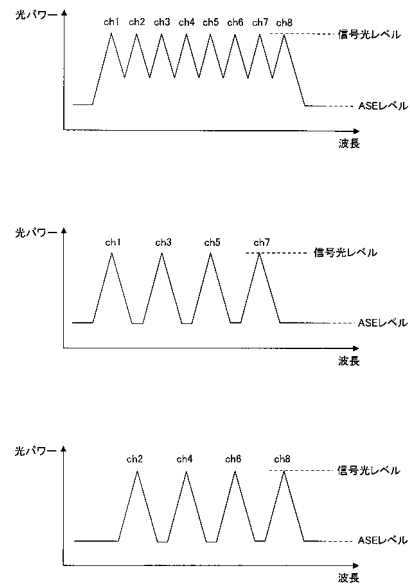
【図1】



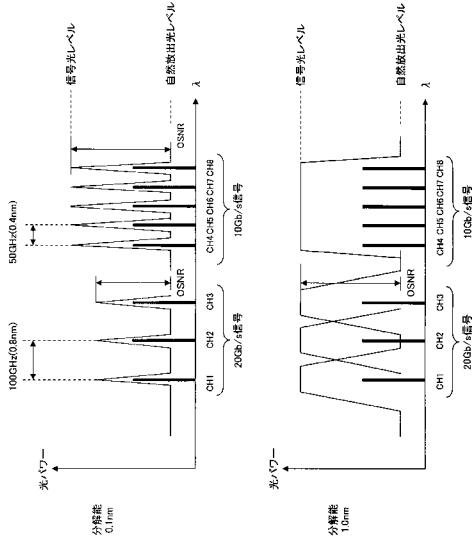
【図2】



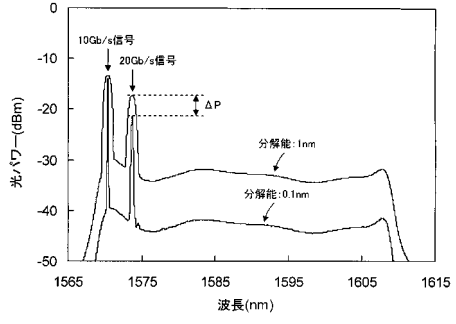
【図3】



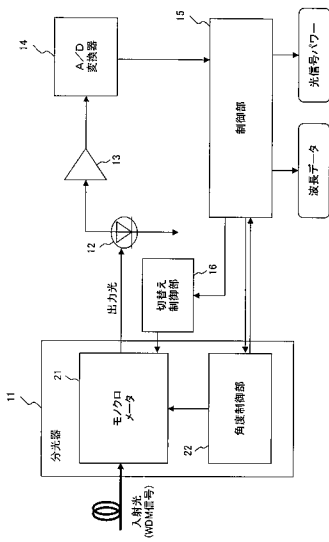
【図4】



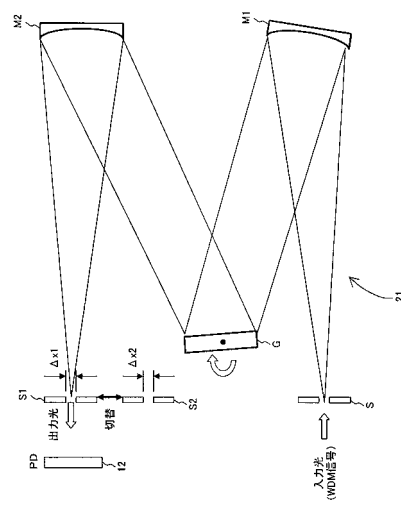
【図5】



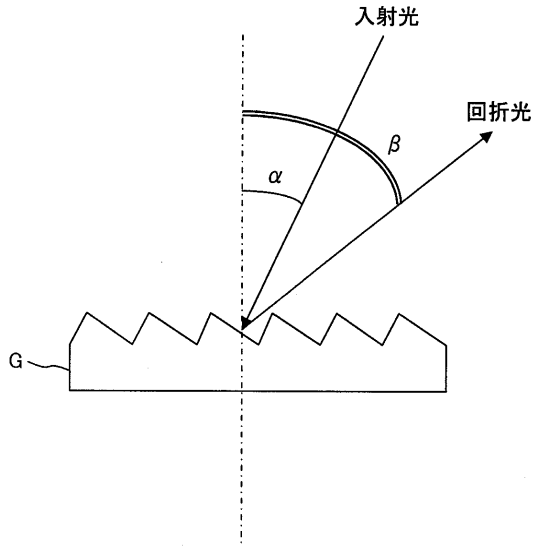
【図6】



【図7】

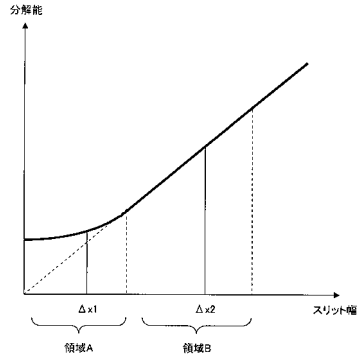


【図 8】



$$n\lambda = d(\sin\alpha + \sin\beta)$$

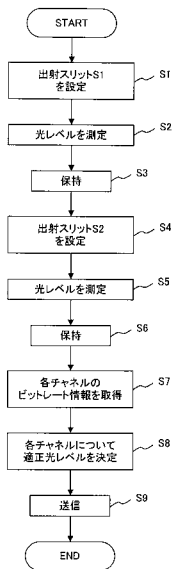
【図 9】



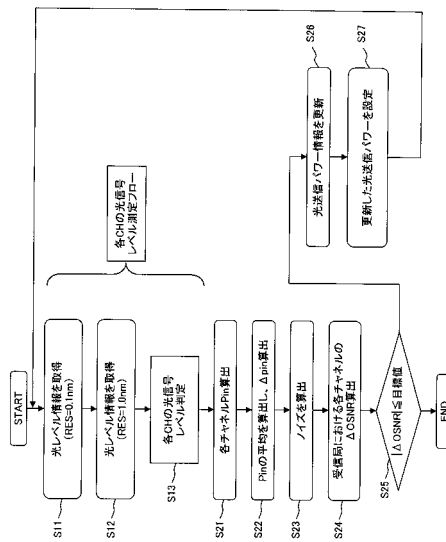
【図 10】

	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
光パワー RES=0.1nm	P1-1	P2-1	P3-1	P4-1	P5-1	P6-1	P7-1	P8-1
光パワー RES=1.0nm	P1-2	P2-2	P3-2	P4-2	P5-2	P6-2	P7-2	P8-2
装置情報 (信号速度)	20G	20G	20G	10G	10G	10G	10G	10G
適正な光パワー	P1-2	P2-2	P3-2	P4-1	P5-1	P6-1	P7-1	P8-1

【図 11】



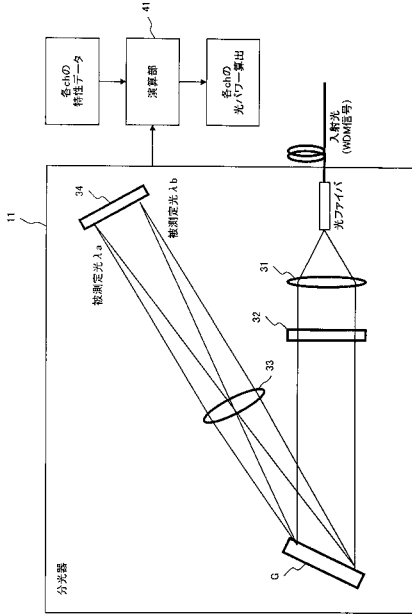
【図 12】



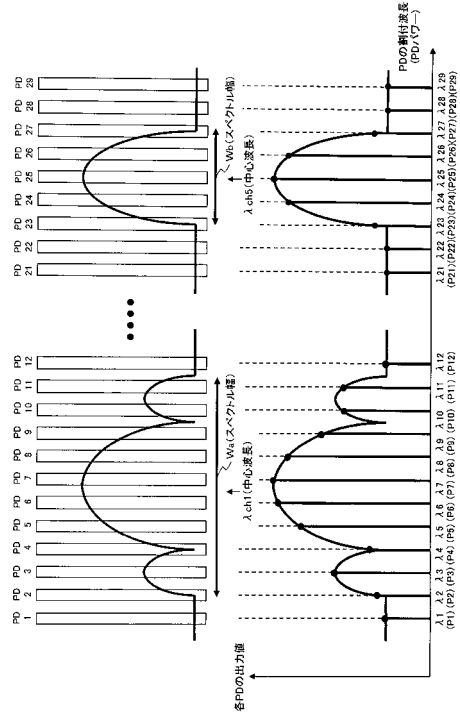
【図 13】

伝送距離	0km~	25km~	50km~	75km~	100km~	125km~
波長数						
~11ch	+0.0dB	+0.2dB	+0.3dB	+0.3dB	+0.4dB	+0.4dB
~22ch	+0.0dB	+0.4dB	+0.6dB	+0.6dB	+0.6dB	+0.7dB
~33ch	+0.0dB	+0.6dB	+0.8dB	+0.9dB	+0.9dB	+1.0dB
~44ch	+0.0dB	+0.8dB	+1.1dB	+1.2dB	+1.2dB	+1.3dB

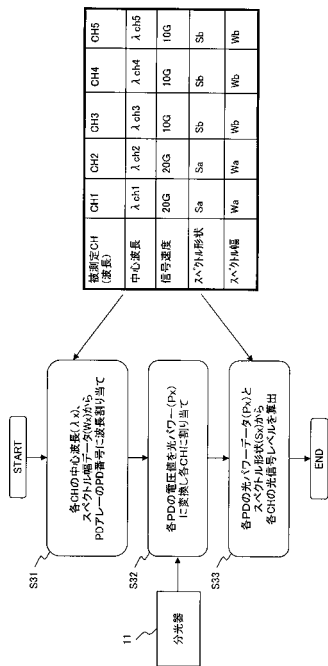
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H 0 4 B 10/08 (2006.01)

(56)参考文献 米国特許出願公開第2005/0078957(US,A1)

特開2002-319725(JP,A)

特開2002-57624(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H04B10/00-10/28

H04J14/00-14/08