

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4671478号
(P4671478)

(45) 発行日 平成23年4月20日 (2011.4.20)

(24) 登録日 平成23年1月28日 (2011.1.28)

(51) Int. Cl.	F I	
HO4B 10/02 (2006.01)	HO4B 9/00	M
HO4B 10/18 (2006.01)	HO4B 9/00	E
HO4J 14/00 (2006.01)	HO4B 3/04	C
HO4J 14/02 (2006.01)	HO4B 9/00	K
HO4B 3/04 (2006.01)	HO4B 17/00	R

請求項の数 10 (全 30 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-240136 (P2000-240136)
 (22) 出願日 平成12年8月8日 (2000.8.8)
 (65) 公開番号 特開2002-57624 (P2002-57624A)
 (43) 公開日 平成14年2月22日 (2002.2.22)
 審査請求日 平成19年8月3日 (2007.8.3)

前置審査

(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 100078330
 弁理士 笹島 富二雄
 (72) 発明者 坂本 剛
 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
 (72) 発明者 泉 太
 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
 (72) 発明者 植木 俊和
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長多重光通信システムおよび波長多重光通信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路および光分岐挿入装置を介して受信端局に伝送する波長多重光通信システムにおいて、

前記受信端局は、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報を測定する受信特性測定手段と、該受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を前記送信端局に伝える受信情報伝達手段と、を備え、

前記送信端局は、前記光伝送路に送信する波長多重信号光にプリエンファシスを行うプリエンファシス実行手段と、前記光伝送路に送信する波長多重信号光に光波長チャープを与えるチャープ付与手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、前記プリエンファシス実行手段におけるプリエンファシスの設定および前記チャープ付与手段における光波長チャープ量を表すパラメータの設定をそれぞれ制御する制御手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報を前記光分岐挿入装置に転送する受信情報転送手段と、を備え、

前記光分岐挿入装置は、前記送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、前記光伝送路に出力する波長多重信号光を行うプリエンファシスの設定を少なくとも制御する監視制御手段を備えて構成されたことを特徴とする波長多重光通信システム

【請求項 2】

請求項 1 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記光伝送路は、前記送信端局から前記受信端局に波長多重信号光を伝送する第 1 回線および該第 1 回線に対向する第 2 回線を有し、

前記受信端局の受信情報伝達手段は、前記受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を、前記第 2 回線を伝送される前記各波長に対応した光信号のオーバーヘッド情報の中に重畳して前記送信端局側まで伝え、

前記送信端局の受信情報転送手段は、前記各波長についての受信情報を、波長多重信号光に重畳される監視制御信号に載せて転送することを特徴とする波長多重光通信システム

10

【請求項 3】

請求項 1 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記受信特性測定手段は、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について電気の信号対雑音比を測定し、予め設定した電気の信号対雑音比と光の信号対雑音比との関係に従って、前記測定した電気の信号対雑音比を光の信号対雑音比に変換することで、前記各波長についての受信情報を得ることを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記受信特性測定手段は、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について電気の信号対雑音比を測定し、予め設定した電気の信号対雑音比と伝送誤り率との関係に従って、前記測定した電気の信号対雑音比を伝送誤り率に変換することで、前記各波長についての受信情報を得ることを特徴とする波長多重光通信システム。

20

【請求項 5】

波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路および光分岐挿入装置を介して受信端局に伝送する波長多重光通信方法において、

前記受信端局では、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報が測定され、該測定された各波長についての受信情報が前記送信端局に伝達され、

前記送信端局では、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、前記光伝送路に送信する波長多重信号光に行うプリエンファシスの設定、および前記光伝送路に送信する波長多重信号光に与える光波長チャープ量を表すパラメータの設定がそれぞれ制御されるとともに、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報が前記光分岐挿入装置に転送され、

30

前記光分岐挿入装置では、前記送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、前記光伝送路に出力する波長多重信号光に行うプリエンファシスの設定が少なくとも制御されることを特徴とする波長多重光通信方法。

【請求項 6】

40

波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路および光中継局を介して受信端局に伝送する波長多重光通信システムにおいて、

前記受信端局は、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報を測定する受信特性測定手段と、該受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を前記送信端局に伝える受信情報伝達手段と、を備え、

前記送信端局は、前記光伝送路に送信する波長多重信号光にプリエンファシスを行うプリエンファシス実行手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、前記プリエンファシス実行手段におけるプリエンファシスの設定を制御する制

50

御手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報を前記光中継局に転送する受信情報転送手段と、を備え、

前記光中継局は、前記光伝送路から送られる波長多重信号光をラマン増幅するラマン増幅器を含んだ光増幅手段と、前記送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、前記ラマン増幅器におけるラマン励起光の供給状態を制御するラマン増幅制御手段と、を備えて構成されたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記光中継局の光増幅手段は、前記ラマン増幅器から出力される波長多重信号光を希土類元素ドープファイバを用いて一定レベルまで増幅する光ファイバ増幅器を有することを特徴とする波長多重光通信システム。

10

【請求項 8】

請求項 6 に記載の波長多重光通信システムであって、

前記光伝送路は、前記送信端局から前記受信端局に波長多重信号光を伝送する第 1 回線および該第 1 回線に対向する第 2 回線を有し、

前記受信端局の受信情報伝達手段は、前記受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を、前記第 2 回線を伝送される前記各波長に対応した光信号のオーバーヘッド情報の中に重畳して前記送信端局側まで伝え、

前記送信端局の受信情報転送手段は、前記各波長についての受信情報を、波長多重信号光に重畳される監視制御信号に載せて転送することを特徴とする波長多重光通信システム。

20

【請求項 9】

波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路および光中継局を介して受信端局に伝送する波長多重光通信方法において、

前記受信端局では、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報が測定され、該測定された各波長についての受信情報が前記送信端局に伝達され、

前記送信端局では、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、前記光伝送路に送信する波長多重信号光に行うプリエンファシスの設定が制御されるとともに、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報が前記光中継局に転送され、

30

前記光中継局では、前記送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、前記光伝送路から送られる波長多重信号光をラマン増幅するためのラマン励起光の供給状態が制御されることを特徴とする波長多重光通信方法。

【請求項 10】

波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路および光中継局を介して受信端局に伝送する波長多重光通信システムにおいて、

40

前記受信端局は、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報を測定する受信特性測定手段と、該受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を前記送信端局に伝える受信情報伝達手段と、を備え、

前記送信端局は、前記光伝送路に送信する波長多重信号光にプリエンファシスを行うプリエンファシス実行手段と、前記光伝送路に送信する波長多重信号光に光波長チャープを与えるチャープ付与手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、前記プリエンファシス実行手段におけるプリエンファシスの設定および前記チャープ付与手段における光波長チャープ量を表すパラメータの設定をそれぞれ制御する

50

制御手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報を前記光中継局に転送する受信情報転送手段と、を備え、

前記光中継局は、前記光伝送路から送られる波長多重信号光をラマン増幅するラマン増幅器を含んだ光増幅手段と、前記送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、前記ラマン増幅器におけるラマン励起光の供給状態を制御するラマン増幅制御手段と、を備えて構成されたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長多重(WDM: Wave Divisional Multiplex)光通信技術に関し、特に、受信側において測定される受信情報に応じて各波長の光信号にプリエンファシスを行うWDM光通信システムおよびWDM光通信方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、通信回線の伝送容量の大容量化を目指して、WDM光通信システムの研究開発が活発に行われている。従来のWDM光通信システムでは、各波長の光信号について伝送特性にばらつきが生じることが知られている。WDM光通信システムの伝送特性は、例えば、光信号のOSNRによって測定することができるが、上記のような伝送特性のばらつきによって、波長多重されている光信号のうちの特定の波長の光信号のOSNRが悪化するため、OSNRの良い波長の光信号があるにもかかわらず、最も悪いOSNRによって評価されてしまう。従って、WDM光通信システムにおいては、受信側でいずれの波長の光信号のOSNRも同程度の良い値を示すことが要求される。

【0003】

上記のような伝送特性のばらつきの要因としては、例えば、中継局等に設けられた光増幅器の利得や光ファイバ伝送路の損失などの波長依存性によって、或いは、光ファイバのラマン効果等に起因する各波長の送受信レベル偏差によって、特定の波長の光信号についての受信側でのOSNRが劣化することが知られている。

【0004】

上記のOSNR劣化の対策としては、例えばプリエンファシス技術の適用が有効である。プリエンファシス技術では、送信側での各チャンネル(各波長の光信号)の光電力がそれぞれ異なる値に設定される。具体的には、プリエンファシスを行わない場合に受信側のOSNRが小さなチャンネルに対しては、プリエンファシスを行って送信側での光電力を他チャンネルに比べて大きく設定する。また、プリエンファシスを行わない場合に受信側のOSNRが大きなチャンネルに対しては、プリエンファシスを行って送信側での光電力を他のチャンネルに比べて小さく設定する。これによりチャンネル間におけるOSNRのばらつきを抑圧することが可能になる。

【0005】

また、伝送特性のばらつきの他の要因として、例えば、波長分岐挿入ノードを含むWDM光通信システムでは、各々のチャンネルについて、通過する光増幅器の数が相違することによって受信側でのOSNRにばらつきが生じることが知られている。これはすなわち、伝送スパン数の多いチャンネルは受信側のOSNRが悪化し、少ないチャンネルは受信側のOSNRに余裕をもっていることになる。

【0006】

上記のOSNRのばらつきに対しては、例えば、各波長分岐挿入ノードにおいて、各波長の入力光レベルや光増幅器の雑音指数のデータ等をそれぞれ収集し、各波長の光信号が通る光パスごとにプリエンファシス量が最適化されるように設定を行う方法などが開発されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

しかしながら、上述したようなプリエンファシスが実施される従来のWDM光通信システムでは、WDM信号光に与えられるプリエンファシス量が增大すると、非線形光学効果の影響が大きくなって伝送特性が劣化してしまうという問題があった。このような非線形光学効果の影響による伝送特性の劣化は、受信側でOSNRの状態をモニタするだけでは正確に判断することが難しい。このため、従来のように受信側でモニタされたOSNRに応じてプリエンファシスを制御しても、最適な伝送特性を得ることができない場合もあった。

【0008】

また、従来のWDM光通信システムにおいては、WDM信号光の波長帯域が拡大すると、送信側で行うプリエンファシスの制御だけでは伝送特性のばらつきを十分に抑えることが難しくなってくるという問題もあった。例えば、光中継局などにラマン増幅器等を適用することで信号光波長帯域の拡大を図る技術の開発が進められているが、このような広い波長帯域の光信号についてのプリエンファシスを送信側だけで制御しようとする、送信光のパワーを制御する可変光減衰器等の制御範囲の制約などにより所要量のプリエンファシスを行うことが困難な場合があった。このような状況に対処するためには、伝送特性のばらつきを抑える他の制御技術をプリエンファシスと組み合わせることが有効であると考えられる。

【0009】

本発明は上記のような点に着目してなされたもので、受信側で測定される受信情報に基づいて、各波長の光信号についての伝送特性のばらつきを非線形光学効果の影響をも考慮して確実に抑え、最適な伝送状態を実現可能なWDM光通信システムおよびWDM光通信方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明による波長多重光通信システムの1つの態様は、波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路および光分岐挿入装置を介して受信端局に伝送するWDM光通信システムにおいて、受信端局は、光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報を測定する受信特性測定手段と、該受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を送信端局に伝える受信情報伝達手段と、を備え、送信端局は、光伝送路に送信する波長多重信号光にプリエンファシスを行うプリエンファシス実行手段と、光伝送路に送信する波長多重信号光に光波長チャープを与えるチャープ付与手段と、受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、プリエンファシス実行手段におけるプリエンファシスの設定およびチャープ付与手段における光波長チャープ量を表すパラメータの設定をそれぞれ制御する制御手段と、受信端局から伝えられる各波長についての受信情報を光分岐挿入装置に転送する受信情報転送手段と、を備え、光分岐挿入装置は、送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、光伝送路に出力する波長多重信号光を行うプリエンファシスの設定を少なくとも制御する監視制御手段を備えて構成されるものである。

【0011】

かかる構成では、プリエンファシス実行手段によりプリエンファシスが行われ、かつ、チャープ付与手段により光波長チャープが与えられたWDM信号光が、送信端局から光伝送路および光分岐挿入装置を介して受信端局まで伝送される。受信端局では、伝送されたWDM信号光を受信処理するとともに、各波長の光信号についての受信情報が受信特性測定手段において測定される。各波長についての受信情報は、光の信号対雑音比(OSNR)およびビット誤り率やQ値で表される伝送誤り率を含んだ情報であり、受信情報伝達手段によって送信端局側に伝えられる。そして、送信端局では、受信側からの各波長についての受信情報に応じて、受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定

10

20

30

40

50

の値を満足するように、プリエンファシスの設定および光波長チャープ量を表すパラメータの設定が制御手段によってフィードバック制御されると共に、各波長についての受信情報が光分岐挿入装置に転送される。光分岐挿入装置では、送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、光伝送路に出力するWDM信号光に行うプリエンファシスの設定が監視制御手段により少なくとも制御される。これにより、伝送路上で光信号の分岐挿入が行われる場合でも最適な伝送状態を得ることが可能となり、各波長の光信号についての伝送特性のばらつきを非線形光学効果の影響による劣化をも含めて確実に補償できるようになる。

【0012】

また、上記の波長多重光通信システムについて、受信特性測定手段は、光伝送路から送られる各波長の光信号について電気の信号対雑音比を測定し、予め設定した電気の信号対雑音比と光の信号対雑音比または伝送誤り率との関係に従って、測定した電気の信号対雑音比を光の信号対雑音比または伝送誤り率に変換することで、各波長についての受信情報を得るようにしてもよい。

【0013】

このような構成の受信特性測定手段を用いることで、各波長についての受信情報が、光スペクトルアナライザを用いることなく、簡略な構成の電気回路により測定できるようになる。

本発明による波長多重光通信システムの他の態様は、波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路および光中継局を介して受信端局に伝送する波長多重光通信システムにおいて、受信端局は、光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報を測定する受信特性測定手段と、該受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を送信端局に伝える受信情報伝達手段と、を備え、前記送信端局は、光伝送路に送信する波長多重信号光にプリエンファシスを行うプリエンファシス実行手段と、受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、プリエンファシス実行手段におけるプリエンファシスの設定を制御する制御手段と、受信端局から伝えられる各波長についての受信情報を前記光中継局に転送する受信情報転送手段と、を備え、光中継局は、光伝送路から送られる波長多重信号光をラマン増幅するラマン増幅器を含んだ光増幅手段と、送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、受信端局で測定される光の信号対雑音比および伝送誤り率が所定の値を満足するように、ラマン増幅器におけるラマン励起光の供給状態を制御するラマン増幅制御手段と、を備えて構成されるものである。

【0014】

かかる構成では、プリエンファシス実行手段によりプリエンファシスが行われたWDM信号光が、送信端局から光伝送路に送信され、光伝送路上に配置された光中継局の光増幅手段によって増幅されながら、受信端局まで中継伝送される。受信端局では、伝送されたWDM信号光を受信処理するとともに、各波長の光信号についてのOSNRおよび伝送誤り率を含んだ受信情報が受信特性測定手段において測定され、受信情報伝達手段によって送信端局側に伝えられる。そして、送信端局では、受信側からの各波長についての受信情報に応じて、受信端局で測定されるOSNRおよび伝送誤り率が所定の値を満足するように、プリエンファシスの設定が制御手段によってフィードバック制御されるとともに、各波長についての受信情報が受信情報転送手段によって光中継局に転送される。光中継局では、送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、受信端局で測定されるOSNRおよび伝送誤り率が所定の値を満足するように、ラマン励起光の供給状態がラマン増幅制御手段によってフィードバック制御される。これにより、最適な伝送状態が実現され伝送特性のばらつきを確実に補償できるようになる。

【0015】

また、本発明によるWDM光通信システムは、上述した2つの態様を組み合わせた構成

10

20

30

40

50

としてもよい。このような構成のWDM光通信システムでは、受信端局で測定された各波長についての受信情報に応じて、送信端局におけるプリエンファシスおよびパラメータの各設定、光分岐挿入装置におけるプリエンファシスの設定、並びに、光中継局におけるラマン増幅の状態がそれぞれフィードバック制御されるようになる。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図1は、第1の実施形態にかかるWDM光通信システムの構成を示す図である。

図1において、本WDM光通信システムは、例えば、2つの送受信端局1W、1Eの間を、伝送方向の異なる2つの回線からなる光伝送路Lで接続した構成である。ここでは、WDM信号光を端局1Wから端局1Eに伝送する回線をWE側の回線とし、端局1Eから端局1Wに伝送する回線をWE側の回線とする。WE側およびEW側の各回線には、複数の光増幅器(光中継器)30が所要の中継間隔でそれぞれ配置されている。このようなシステム構成は、例えば陸上用WDM光通信システムとして好適である。

10

【0017】

端局1Wは、例えば、送受信装置10およびWDM装置11、12を有する。送受信装置10は、 n 個の光送信器(OS)でそれぞれ発生する波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ の各光信号をWDM装置11に送るとともに、WDM装置12から送られる波長 $\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_n$ の各光信号を n 個の光受信器(OR)で受信する。この送受信装置10は、ここでは、波長 λ'_1 に対応する光受信器から波長 λ_1 に対応する光送信器に、後述するような受信情報を転送する経路が設けられ、これと同様にして、波長 $\lambda'_2, \dots, \lambda'_n$ に対応する各光受信器から波長 $\lambda_2, \dots, \lambda_n$ に対応する各光送信器にも受信情報を転送する経路がそれぞれ設けられている。

20

【0018】

WDM装置11は、各光送信器から出力される各々の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光信号を合波して、光伝送路LのWE側回線に送出する。WDM装置12は、光伝送路LのEW側回線から送られてくるWDM信号光を各波長 $\lambda'_1 \sim \lambda'_n$ に分波して、対応する各々の光受信器にそれぞれ送出する。

端局1Eも、前述した端局1Wと同様に、送受信装置20およびWDM装置21、22を有する。送受信装置20は、WDM装置21から送られる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の各光信号を n 個の光受信器(OR)で受信するとともに、 n 個の光送信器(OS)でそれぞれ発生する波長 $\lambda'_1 \sim \lambda'_n$ の各光信号をWDM装置22に送る。この送受信装置20は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に対応する各光受信器から波長 $\lambda'_1 \sim \lambda'_n$ に対応する各光送信器に受信情報を転送する経路がそれぞれ設けられている。

30

【0019】

WDM装置21は、光伝送路LのWE側回線から送られてくるWDM信号光を各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に分波して、対応する各々の光受信器にそれぞれ送出する。WDM装置22は、各光送信器から出力される各々の波長 $\lambda'_1 \sim \lambda'_n$ の光信号を合波して、光伝送路LのEW側回線に送出する。

ここで、各送受信装置10、20の具体的な構成について説明する。

40

【0020】

図2は、例えば、送受信装置10について、波長 λ_1 および波長 λ'_1 に対応した光送信器および光受信器の構成例を示すブロック図である。なお、ここでは波長 λ_1, λ'_1 に対応した構成例についてのみ説明するが、他の波長 $\lambda_2 \sim \lambda_n, \lambda'_2 \sim \lambda'_n$ にそれぞれ対応した光送信器および光受信器の構成、並びに、送受信装置20の各波長 $\lambda'_1 \sim \lambda'_n, \lambda_1 \sim \lambda_n$ にそれぞれ対応した光送信器および光受信器の構成についても同様である。

【0021】

図2の構成例では、波長 λ_1 の光信号を送信する光送信器および波長 λ'_1 の光信号を受信する光受信器が1つのユニット40に載せられる。このユニット40には、光送信器に

50

相当する構成として、OH処理部41A、レーザ光源(LD)41B、変調器41C、可変分散補償器41Dおよび可変光減衰器41Eが設けられ、また、光受信器に相当する構成として、可変分散補償器42A、可変PMD補償器42B、受光素子(PD)42C、等化増幅器42D、0/1判定部42E、OH処理部42Fおよび受信特性測定部42Gが設けられ、さらに、送信側および受信側の動作状態を制御する制御部43が設けられている。

【0022】

OH処理部41Aは、受信特性測定部42Gで測定された波長 λ_1 'についての受信情報が制御部43を介して伝えられ、その波長 λ_1 'についての受信情報を、波長 λ_1 の光信号のオーバーヘッド(OH)情報の中に重畳する。

10

レーザ光源41Bは、波長 λ_1 の光を発生する一般的な光源であり、このレーザ光源41Bからの出力光が変調器41Cによって外部変調される。また、変調器41Cでは、光信号に対して所要量の光波長チャープが加えられ、自己位相変調による波形ひずみの補償が行われる。この光信号に加えられる光波長チャープの量は、一般にパラメータで表され、変調器の動作状態に応じて変えることができる。ここでは、パラメータの設定が、制御部43から変調器41Cに送られる制御信号に従って調整可能である。したがって、ここでは変調器41Cがチャープ付与手段として機能する。

【0023】

可変分散補償器41Dは、波長 λ_1 の光信号に対して光伝送路LのWE側回線で発生する波長分散を補償するための一般的な光デバイスであり、その補償量が制御部43からの制御信号に従って可変制御される。

20

可変光減衰器41Eは、本ユニット40から出力される波長 λ_1 の光信号のパワーを調整するためのものであり、その光減衰量が制御部43からの制御信号に従って可変制御される。この可変光減衰器41Eの光減衰量を調整することにより、光信号に対してプリエンファシスが行われる。したがって、ここでは可変光減衰器41Eがプリエンファシス実行手段として機能する。

【0024】

可変分散補償器42Aは、波長 λ_1 'の光信号に対して光伝送路LのEW側回線で発生する波長分散を補償するための一般的な光デバイスであり、その補償量が制御部43からの制御信号に従って可変制御される。

30

可変PMD補償器42Bは、波長 λ_1 'の光信号に対して光伝送路LのEW側回線で発生する偏波モード分散(Polarization-mode Dispersion:PMD)を補償するための光デバイスであり、その補償量が制御部43からの制御信号に従って可変制御される。なお、PMDとは、光信号における偏波成分(例えばTEモードおよびTMモードのような2つのモード光)の伝播遅延時間が異なることによって生じる分散であって、例えば、伝送速度が40Gb/sに達するような超高速の光伝送を行う場合にPMDの補償が必要になる。従って、上記のような伝送速度よりも低速で光信号を伝送する場合には、可変PMD補償器42Bを省略することが可能である。

【0025】

受光素子42Cは、可変PMD補償器42Bを通過した波長 λ_1 'の光信号を電気信号に変換する公知の受光器である。等化増幅器42Dは、受光素子42Cの出力信号を所要のレベルまで増幅する一般的な電気回路から構成される。

40

0/1判定部42Eは、等化増幅器42Dで等化増幅された受信信号の0/1判定を行う一般的な識別回路であって、その識別点が制御部43からの制御信号に従って調整可能である。

【0026】

OH処理部42Fは、受信した波長 λ_1 'の光信号のオーバーヘッド情報の中に重畳された波長 λ_1 についての受信情報を識別して制御部43に伝えるものである。

受信特性測定部42Gは、例えば、等化増幅器42Dで等化増幅された受信信号を基に、波長 λ_1 'の光信号についての信号対雑音比(OSNR)およびビット誤り率(BER)

50

を測定・演算し、その結果を波長 1' についての受信情報として制御部 43 に伝えるものである。

【0027】

制御部 43 は、OH 処理部 42 F からの波長 1' についての受信情報に基づいて、変調器 41 C、可変分散補償器 41 D および可変光減衰器 41 E の各動作状態をそれぞれ制御する制御信号を生成するとともに、受信特性測定部 42 G からの波長 1' についての受信情報に基づいて、可変分散補償器 42 A、可変 PMD 補償器 42 B および 0/1 判定部 42 E の各動作状態をそれぞれ制御する制御信号を生成する。また、この制御部 43 は、波長 1' についての受信情報を OH 処理部 41 A に転送する機能を有し、該波長 1' についての受信情報が、OH 処理部 41 A によって波長 1 の光信号の OH 情報の中に重畳される。

10

【0028】

ここで、受信特性測定部 42 G の具体的な構成について説明する。

受信特性測定部 42 G では、各部の動作制御に用いる受信特性パラメータとして OSNR および BER の測定が行われる。OSNR の測定については、従来の技術を用いた場合、非常に高性能な光スペクトルアナライザが必要となる。すなわち、例えば制御の自動化を考えたときには、信号光のピークレベルから雑音光レベルまでの広いダイナミックレンジを持ち、かつ、分解能の高い光スペクトルアナライザが必要となる。しかし、このような高性能な光スペクトラムアナライザは高価であってサイズも大きいという欠点がある。また、近年急速に開発が進められている波長の超高密度化、ビットレートの増大に対しては、市販の光スペクトラムアナライザを用いても測定が対応しきれないという問題もある。さらに、光分岐挿入装置を含んだシステムにおいては、通過光と挿入光のクロストークを避けるために信号光を除去する際に、狭帯域で雑音光も含めて除去する。このため、受信端局における信号光近傍の雑音光レベルの測定は、非常に高い精度および分解能が要求され、現状の光スペクトラムアナライザでは測定が不可能である。

20

【0029】

上記のような状況では、従来の場合、計算により OSNR を求めることが必要になってくる。しかしながら、この場合にも、光スペクトラムアナライザの挿入位置の制限などによる入力レベル測定誤差や NF 値の誤差などにより、計算される OSNR に誤差が生じる可能性がある。

30

そこで、本実施形態の受信特性測定部 42 G では、例えば図 3 に示すような電気回路を用いて、受信した光信号の伝送特性の評価が行われるようにする。

【0030】

図 3 に示す回路 50 は、受信特性測定部 42 G の一部を構成するものであり、具体的には、受信特性評価用の電気信号がそれぞれ入力される増幅回路 51 A、51 B と、増幅回路 51 A の出力信号が入力されるバンドパスフィルタ 52 と、増幅回路 51 B の出力信号が入力されるローパスフィルタ 53 と、ローパスフィルタ 53 の出力信号の電圧値を K 倍する K 倍回路 54 とからなる。

【0031】

受信特性評価用の電気信号は、例えば、上述の図 2 に示した等化増幅器 42 D で等化増幅された電気信号の一部を分岐した信号とすることができる。増幅回路 51 A は、受信特性評価用の電気信号を所要の電圧レベルまで増幅してバンドパスフィルタ 52 に送り、増幅回路 51 B は、受信特性評価用の電気信号を所要の電圧レベルまで増幅してローパスフィルタ 53 に送る。

40

【0032】

バンドパスフィルタ 52 は、図 4 に示すように、周波数 $f_2 \sim f_1$ の範囲に通過帯域 B_{52} を有する。また、ローパスフィルタ 53 は、周波数 f_2 よりも低い範囲に通過帯域 B_{53} を有する。なお、周波数 f_1 は、等化増幅器 42 D により除去される高周波成分の最低周波数に対応させて設定される。周波数 f_2 は、受信データの 0 連続がスクランブル時に最大となる数（例えば 13 個等）としたときの周波数に設定される。バンドパスフィルタ 52

50

で抽出された帯域 B_{52} の信号は、DC 変換されて電圧値 V_1 として出力される。

【0033】

K 倍回路 54 は、ローパスフィルタ 53 で抽出された帯域 B_{53} の信号を DC 変換した後に、定数値 K をかけた値を電圧値 V_2 として出力する。なお、定数値 K は次の (1) 式を用いて決定されるものとする。

$$K = (f_1 - f_2) / f_2 \quad \dots (1)$$

すなわち、ローパスフィルタ 53 を通過した信号は、図 4 において帯域 B_{53} に対応する部分の雑音成分である。一方、信号対雑音比を求めるために必要な雑音成分は帯域 B_{52} に対応する部分である。そこで、ローパスフィルタ 53 で抽出した帯域 B_{53} における雑音成分を上記の (1) 式に従って K 倍すれば、帯域 B_{52} における雑音成分を求めることができる

10

【0034】

上記のような構成の回路 50 では、バンドパスフィルタ 52 から出力される電圧値 V_1 が、周波数 $f_2 \sim f_1$ の範囲内での信号成分レベルと雑音成分レベルの和を表し、電圧値 V_2 が、周波数 $f_2 \sim f_1$ の範囲内での雑音成分レベルを表すことになる。従って、受信特性評価用の電気信号の信号対雑音比 (S/N)、すなわち、受信した光信号の電気段における信号対雑音比は、次の (2) 式を用いて算出することができる。

【0035】

$$\begin{aligned} S/N &= (S+N-N) / N \\ &= \{ (S+N) / N \} - 1 \\ &= (V_1/V_2) - 1 \quad \dots (2) \end{aligned}$$

20

ただし、S は信号成分を表し、N は雑音成分を表すものとする。

上記のように回路 50 を用いることで、受信した光信号の電気的信号対雑音比を簡単に測定することができる。そして、この電気的信号対雑音比に対応させて OSNR (光の信号対雑音比) および BER のそれぞれの関係を予め測定しておき、その関係を規格化して変換データとして受信特性測定部 42G 内に記憶しておけば、回路 50 を用いて測定した電気的信号対雑音比を OSNR および BER にそれぞれ変換することができる。これにより、高性能な光スペクトルアナライザを用いることなく、受信した光信号の OSNR および BER が得られるようになる。

30

【0036】

なお、上記の例では、変換データを受信特性測定部 42G 内に記憶させておくようにしたが、本発明はこれに限らず、例えば制御部 43 内などに記憶させてデータの変換を制御部 43 において行うようにしても構わない。

また、電気的信号対雑音比を用いて BER を得る場合を示したが、例えば、光受信器内に誤り訂正器 (Forwarded Error Correction: FEC) を備えている場合には、該誤り訂正器における誤り数を基に BER を得るようにしてもよい。

【0037】

次に、第 1 の実施形態の動作について説明する。

40

上述したような構成の WDM 光通信システムでは、例えば、端局 1W から端局 1E への WDM 信号光の伝送を考えると、端局 1W の各光送信器から出力される波長 $1 \sim n$ の各光信号が、WDM 装置 11 で波長多重された後に光伝送路 L の WE 側回線を介して端局 1E まで中継伝送される。端局 1E では、中継伝送された WDM 信号光が WDM 装置 21 において各波長 $1 \sim n$ にそれぞれ分波された後に各光受信器で受信処理される。このとき、各波長 $1 \sim n$ に対応したそれぞれの光受信器では、受信特性測定部 42G において、受信した光信号についての電気的信号対雑音比が測定され、変換データを用いて OSNR および BER に変換される。得られた OSNR および BER は、当該波長についての受信情報として制御部 43 を介して光送信器側の OH 処理部 41A に送られる。そして、OH 処理部 41A では、端局 1E から端局 1W に伝送する光信号のオーバーヘッド情報の

50

中に受信情報が重畳されて、光伝送路 L の E W 側回線を介して端局 1 W に中継伝送される。

【 0 0 3 8 】

端局 1 E からの W D M 信号光を受けた端局 1 W では、W D M 装置 1 2 で波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に分波された各光信号が、対応する各光受信器で受信処理される。このとき、受信した光信号のオーバーヘッド情報に含まれる受信情報が各々の O H 処理部 4 2 F において識別されて各制御部 4 3 に送られる。

各制御部 4 3 では、端局 1 E で測定された該当する波長 ($\lambda_1 \sim \lambda_n$) についての O S N R および B E R に基づいて、送信側の変調器 4 1 C、可変分散補償器 4 1 D および可変光減衰器 4 1 E の各動作状態を制御する制御信号がそれぞれ生成される。具体的には、受信側で得られる O S N R が光受信器の O S N R 耐力を満足するとともに、B E R が予め設定した目標値 (例えば $B E R = 10^{-15}$ など) を満足するように、変調器 4 1 C のパラメータの設定、可変分散補償器 4 1 D の分散補償量の設定、可変光減衰器 4 1 E の光減衰量 (プリエンファシス) の設定がフィードバック制御される。

【 0 0 3 9 】

なお、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ について、受信側 (端局 1 E 側) に設けられる可変分散補償器 4 2 A、可変 P M D 補償器 4 2 B および 0 / 1 判定部 4 2 E の各動作状態は、端局 1 E 側の各受信特性測定部 4 2 G で測定された O S N R および B E R に従って各制御部 4 3 によりフィードバック制御される。

ここで、具体的な制御アルゴリズムの一例として、光受信器で得られた B E R を基に各装置の動作状態をフィードバック制御する場合について簡単に説明する。なお、本発明は以下の制御アルゴリズムに限定されるものではない。また、O S N R を基に各装置をフィードバック制御する場合も同様にして考えることができる。

【 0 0 4 0 】

上記の場合の制御アルゴリズムとしては、例えば、光受信器で B E R が得られると、まず、当該光受信器の可変 P M D 補償器 4 2 B における P M D 補償量を調整して、測定される B E R の値が最適になるようにフィードバック制御される。そして、最適化された B E R 情報が、上述したように対向側回線を用いて送信側に伝達されると、該 B E R 情報に従って、送信側の変調器 4 1 C のパラメータの設定および可変分散補償器 4 1 D の分散補償量、並びに、受信側の可変分散補償器 4 2 A の分散補償量を調整して、B E R が最適になるようにフィードバック制御する。上記のフィードバック制御により各波長の B E R が目標値を満足するようになると、次に、送信側の可変光減衰器 4 1 E の光減衰量を調整して、B E R が最適になるようにプリエンファシスの設定をフィードバック制御する。測定される B E R が目標値を満足するようになるまで、上記のような一連の制御アルゴリズムを繰り返すことにより、システムの伝送状態の最適化が図られるようになる。

【 0 0 4 1 】

上記のように波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の各光信号について、端局 1 E で測定される O S N R および B E R の情報を波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の各光信号のオーバーヘッド情報に載せて送信側の端局 1 W に伝達し、該 O S N R および B E R に従ってプリエンファシスやパラメータなどのフィードバック制御を行うことで、最適な伝送状態を得ることが可能になる。特に、O S N R だけでなく B E R を含めた受信情報に従って制御が行われることによって、非線形光学効果の影響による伝送特性の劣化をも確実に補償できる。

【 0 0 4 2 】

なお、ここでは端局 1 W から端局 1 E への W D M 信号光 (波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$) の伝送について説明したが、これと同様にして、端局 1 E から端局 1 W への W D M 信号光 (波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$) の伝送についても考えることができるため、ここでの説明は省略する。

次に、本発明の第 2 実施形態について説明する。

【 0 0 4 3 】

上述の第 1 実施形態では、受信側で得た O S N R および B E R の受信情報を、対向する回線に送信する光信号のオーバーヘッド情報の中に重畳させて、送信側に伝達する構成とし

た。これに対して第2の実施形態では、OSNRおよびBERの受信情報を光監視制御チャネル(Optical Supervisory Channel: OSC)にも載せて伝送することで、端局内のWDM装置や光伝送路L上に配置された光増幅器等の動作状態もOSNRおよびBERに応じて制御可能にした場合を考える。

【0044】

図5は、第2の実施形態にかかるWDM光通信システムの構成を示す図である。なお、第1の実施形態の構成と同じ部分には同一の符号が付してあり、以下同様とする。

図5において、本WDM光通信システムの構成が第1の実施形態の場合と異なる点は、各送受信端局1W, 1Eが、監視制御部を有する送受信装置10' 20'およびWDM装置11', 12', 21', 22'をそれぞれ備え、同じ端局内の監視制御部間が互いに接続される構成とした点である。このようなシステム構成も、例えば陸上用WDM光通信システムとして好適である。

10

【0045】

図6は、例えば、送受信装置10'について、波長 λ_1 および波長 λ_1' に対応した光送信器OSおよび光受信器ORの構成例を示すブロック図である。なお、ここでは波長 λ_1 , λ_1' に対応した構成例についてのみ説明するが、他の波長 $\lambda_2 \sim \lambda_n$, $\lambda_2' \sim \lambda_n'$ にそれぞれ対応した光送信器および光受信器の構成、並びに、送受信装置20'の各波長 $\lambda_1' \sim \lambda_n'$, $\lambda_1 \sim \lambda_n$ にそれぞれ対応した光送信器および光受信器の構成についても同様である。

【0046】

図6の構成例では、波長 λ_1 の光信号を送信する光送信器OS(図の上段)と、波長 λ_1' の光信号を受信する光受信器OR(図の下段)とが監視制御部44を介して互いに接続されている。光送信器OSは、第1実施形態の場合と同様な、OH処理部41A、レーザ光源(LD)41B、変調器41C、可変分散補償器41Dおよび可変光減衰器41Eを有するとともに、変調器41Cのパラメータの設定、可変分散補償器41Dの分散補償量の設定、可変光減衰器41Eの光減衰量(プリエンファシス)の設定を、波長 λ_1 についての受信情報に従ってフィードバック制御する制御部41Fが設けられている。また、光受信器ORは、第1実施形態の場合と同様な、可変分散補償器42A、可変PMD補償器42B、受光素子(PD)42C、等化増幅器42D、0/1判定部42E、OH処理部42Fおよび受信特性測定部42Gを有するとともに、可変分散補償器42Aの分散補償量の設定、可変PMD補償器42BのPMD補償量の設定および0/1判定部42Eの識別点の設定を、波長 λ_1' についての受信情報に従ってフィードバック制御する制御部42Hが設けられている。

20

30

【0047】

送受信装置10', 20'の各監視制御部44は、各光受信器ORからそれぞれ送られてくる受信情報を受け、各々の受信情報に対応する各光送信器に転送するとともに、同じ端局内にある各WDM装置の監視制御部にも転送する。

図7は、端局1Wの送信側に配置されるWDM装置11'の具体的な構成例を示すブロック図である。なお、端局1Eの送信側に配置されるWDM装置22'の構成についても、WDM装置11'と同様である。

40

【0048】

図7の構成例では、送受信装置10'から送られてくる各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光信号に対応させてn個の可変光減衰器61が設けられ、各可変光減衰器61から出力される波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の各光信号がWDMカプラ62で合波される。WDMカプラ62から出力されるWDM信号光は、エルビウムドープ光ファイバ増幅器(EDFA)63により所要のレベルまで増幅されて光伝送路LのWE側回線に送信される。上記のEDFAは、ここでは例えば2段増幅構成とし、前段の光増幅部と後段の光増幅部との間に可変光減衰器(VAT)を設けて、出力光パワーを略一定に制御する自動レベル制御(ALC)が行われるものとする。また、EDFA63の段間に設けられた端子には、可変分散補償器64が接続され、光伝送路Lで生じる波長分散の補償が行われる。

50

【 0 0 4 9 】

WDMカプラ62入力側の各可変光減衰器61の光減衰量、EDFA63の駆動状態および可変分散補償器64の分散補償量は、監視制御部65から出力される制御信号に応じて制御される。このWDM装置11'の監視制御部65は、送受信装置10'の監視制御部44から送られてくる各波長1~nについての受信情報(OSNR, BER)に従って、各可変光減衰器61、EDFA63および可変分散補償器64の動作状態をフィードバック制御する。また、監視制御部65は、各波長1~nについての受信情報をOSC処理部66に伝える機能を有する。なお、受信情報に従ってEDFA63の駆動状態をフィードバック制御することにより、EDFA63の出力チルト補正や出力調整(ASE補正に相当)が行われるようになる。

10

【 0 0 5 0 】

OSC処理部66は、監視制御部65から伝えられる受信情報を含んだOSC信号を生成する。このOSC信号は、波長1~nの各光信号とは波長の異なる光信号であって、ここでは、例えばEDFA63の後段の光増幅部等においてWDM信号光に合波され光伝送路Lに送られて、次段の光増幅器(光中継器)30へ伝送される。

【 0 0 5 1 】

なお、本実施形態では、送受信10'の各波長の光送信器OS内に可変光減衰器41Eを設け、さらに、送信側のWDM装置11'にも可変光減衰器61を設けているが、プリエンファシスを行うための可変光減衰器は、各波長の光送信器OSまたはWDM装置11'のいずれかに設けるようにしてもよい。このことは、各光送信器OSの可変分散補償器41DとWDM装置11'の可変分散補償器64についても同様である。また、図7の構成例は、光分岐挿入装置(OADM)の送信部としても応用することが可能である。

20

【 0 0 5 2 】

図8は、端局1Eの受信側に配置されるWDM装置21'の具体的な構成例を示すブロック図である。なお、端局1Wの受信側に配置されるWDM装置12'の構成についても、WDM装置21'と同様である。

図8の構成例では、光伝送路LのWE側回線から送られてくる波長1~nのWDM信号光がラマン増幅器71を介してEDFA72に入力される。ラマン増幅器71は、所要の波長帯のラマン励起光を発生し、該ラマン励起光を本WDM装置21'に接続された光伝送路Lに供給することで、光伝送路Lを伝搬するWDM信号光をラマン増幅させる公知の光増幅器である。EDFA72は、前述したEDFA63と同様の構成であり、ここでも前段の光増幅部と可変光減衰器(VAT)の間には可変分散補償着74が接続されている。EDFA72で所要のレベルまで増幅されたWDM信号光は、WDMカプラ73に送られ各波長1~nに分波される。

30

【 0 0 5 3 】

ラマン増幅器71のチルト可変機能の設定、EDFA72の駆動状態および可変分散補償器74の分散補償量は、監視制御部75から出力される制御信号に応じて制御される。このWDM装置21'の監視制御部75は、OSC処理部76で識別された波長1~nについての受信情報(OSNR, BER)に従って、ラマン増幅器71、EDFA72および可変分散補償器74の動作状態をフィードバック制御する。上記のOSC処理部76は、光伝送路LをWDM信号光と伴に伝送してきたOSC信号を、例えばEDFA72の前段の光増幅部等で分波し、そのOSC信号に含まれる波長1~nについての受信情報を識別処理して監視制御部75に伝えるものである。また、監視制御部75は、各波長1~nについての受信情報を送受信装置20'の監視制御部に伝える機能を有する。

40

【 0 0 5 4 】

なお、図8の構成例は、光分岐挿入装置(OADM)の受信部としても応用することが可能である。

図9は、光伝送路L上に配置された光増幅器(光中継器)30の具体的な構成例を示すブロック図である。

図9の構成では、光伝送路Lから送られてくるWDM信号光がラマン増幅器31を介して

50

EDFA32に入力される。ラマン増幅器31は、所要の波長帯のラマン励起光を発生し、該ラマン励起光を本光増幅器30に接続された光伝送路Lに供給することで、光伝送路Lを伝搬するWDM信号光をラマン増幅させる公知の光増幅器である。EDFA32は、前述したEDFA63, 72と同様の構成であり、ここでも前段の光増幅部と可変光減衰器(VAT)との間には可変分散補償着33が接続されている。EDFA32で所要のレベルまで増幅されたWDM信号光は、再び光伝送路Lに送出されて次段の光増幅器30または端局に伝送される。

【0055】

光伝送路LをWDM信号光と共に伝送してきたOSC信号は、例えばEDFA32の前段の光増幅部等で分波されOSC処理部34に送られる。OSC処理部34では、OSC信号に含まれる各波長についての受信情報(OSNRおよびBER)が識別処理されて監視制御部35に伝えられる。監視制御部35では、OSC処理部34からの受信情報に従って、ラマン増幅器31のチルト可変機能の設定、EDFA32の駆動状態および可変分散補償器33の分散補償量をそれぞれフィードバック制御する制御信号が生成されるとともに、各波長についての受信情報がOSC処理部36に伝えられる。OSC処理部36では、監視制御部35からの受信情報を含んだOSC信号が生成され、このOSC信号は、ここでは例えばEDFA32の後段の光増幅部等においてWDM信号光に合波され光伝送路Lに送られる。

10

【0056】

次に、第2の実施形態の動作について説明する。

20

上記のような構成のWDM光通信システムでは、第1の実施形態の場合の動作と同様に、各波長の光信号のオーバーヘッド情報の中に重畳した各々の波長の受信情報を基に、各端局1W, 1Eの送受信装置10', 20'の動作状態がそれぞれフィードバック制御される。また、送受信装置10'およびWDM装置11', 12'の各監視制御部間、並びに、送受信装置20'およびWDM装置21', 22'の各監視制御部間をそれぞれ接続して、各波長についての受信情報を伝達するようにしたことで、各WDM装置内の可変光減衰器等の動作状態についても受信情報に従ったフィードバック制御が行われるようになる。さらに、各波長についての受信情報をOSC信号を用いて光伝送路L上の各光増幅器30に伝達するようにしたことで、各光増幅器30内のラマン増幅器31やEDFA32等の動作状態についても受信情報に従ったフィードバック制御が行われるようになる。

30

【0057】

上述したように第2の実施形態によれば、各波長についての受信情報が、端局内の各装置間および光伝送路L上の光増幅器30間で伝達され、該受信情報に従って受信側で測定されるOSNRおよびBERが所要の値を満足するようにフィードバック制御が行われることで、より安定した伝送特性を実現することが可能になる。

【0058】

なお、上述した第1, 2の実施形態では、受信側で得られたOSNRおよびBERに従って、各光送信器OS内の変調器41C、可変分散補償器41Dおよび可変光減衰器41E、並びに、各光受信器OR内の可変分散補償器42A、可変PMD補償器42Bおよび0/1判定部42Eをそれぞれフィードバック制御するようにしたが、本発明においては、プリエンファシスおよびパラメータの各設定を調整可能な機器を少なくともフィードバック制御すればよく、上記以外の機器をフィードバック制御することで、伝送特性のばらつきをより高い精度で抑えることが可能になる。

40

【0059】

次に、本発明の第3実施形態について説明する。

図10は、第3の実施形態にかかるWDM光通信システムの構成を示す図である。

図10において、本WDM光通信システムは、第1の実施形態の場合と同様に、例えば、2つの送受信端局100W, 100Eの間を、伝送方向の異なる2つの回線(WE側およびEW側)からなる光伝送路Lで接続した構成である。各回線には、複数の光中継器130が所要の中継間隔でそれぞれ配置されている。以下に詳述するようなシステム構成は、

50

例えば海底用WDM光通信システムとして好適である。

【0060】

端局100Wは、例えば、光送信部101Sおよび光受信部101Rを有し、光送信部101Sで生成された波長 $1 \sim n$ のWDM信号光が光伝送路LのWE側回線に送信され、また、光伝送路LのEW側回線から送られてくる波長 $1' \sim n'$ のWDM信号光が光受信部101Rで受信処理される。端局100Eもまた、光受信部102Rおよび光送信部102Sを有し、光伝送路LのWE側回線から送られてくる波長 $1 \sim n$ のWDM信号光が光受信部102Rで受信処理され、また、光送信部102Sで生成された波長 $1' \sim n'$ のWDM信号光が光伝送路LのEW側回線に送信される。

【0061】

光送信部101Sは、例えば、光源モジュール111A、光増幅器111Bおよび可変光減衰器111Cを有するn個のユニットでそれぞれ発生する波長 $1 \sim n$ の各光信号をWDMカプラ112で合波した後に、光分岐器113および監視制御コマンド処理部(SV)117を介して光伝送路LのWE側回線に送信する。各ユニットの光源モジュール111Aは、送信データに従って変調された互いに波長の異なる光信号をそれぞれ生成する一般的な光送信器である。光増幅器111Bは、光源モジュール111Aから出力される光信号を所要のレベルまで増幅して出力する。可変光減衰器111Cは、ユニットから出力される光信号のパワーを調整するためのものであり、その光減衰量が制御器116によって可変制御される。この可変光減衰器111Cの光減衰量を調整することにより、送信光に対してプリエンファシスが行われる。なお、図10には、波長1に対応したユニットの構成だけを示してあるが、他の波長 $2 \sim n$ に対応したユニットの構成についてもこれと同様である。

【0062】

上記の制御器116は、システム監視制御装置(SSE)115から伝えられる制御信号に従って、各ユニットの光源モジュール111Aおよび可変光減衰器111Cの動作状態を制御する。上記のシステム監視制御部115には、対向回線側の光受信部101Rから送られる波長 $1 \sim n$ についての制御情報が入力される。なお、対向回線の光受信部101Rは、後述する端局100Eの光受信部102Rと同様の構成を有するものである。また、システム監視制御装置115には、光スペクトルアナライザ(OSA)114の測定結果も入力され、光受信部101Rからの制御情報およびWDMカプラ112から出力されるWDM信号光のスペクトル情報に応じて、制御器116に送る前述の制御信号を生成する。さらに、システム監視制御装置115は、波長 $1 \sim n$ についての制御情報を監視制御コマンド処理部117に転送する機能を有し、監視制御コマンド処理部117は、転送された制御情報を含んだ監視制御信号を光分岐器113の通過光に重畳し、波長 $1 \sim n$ のWDM信号光と共に光伝送路Lに送信する。

【0063】

端局100Eの光受信部102Rは、光伝送路LのWE側回線からのWDM信号光が光分岐器121を介してWDMカプラ122に入力され、波長 $1 \sim n$ の各光信号に分波される。WDMカプラ122で分波された各光信号は、各波長 $1 \sim n$ に対応した、光増幅器123A、分散補償器123B、受信処理部123Cおよび受信特性測定部123Dを有する各々のユニットにそれぞれ送られて受信処理される。

【0064】

光増幅器123Aは、WDMカプラ122で分波された光信号を所要のレベルまで増幅して出力する。分散補償器123Bは、光伝送路Lで発生する波長分散を補償するための公知の波長分散補償デバイスである。受信処理部123Cは、分散補償器123Bで分散補償された光信号を電気信号に変換して伝送データの識別処理等を行う回路である。

【0065】

受信特性測定部123Dは、受信した光信号の信号対雑音比および伝送誤り率を測定するものである。具体的には、上述した第1の実施形態の場合と同様にして、図3に示した回路50を用いて信号対雑音比を測定し、その結果を基にOSNRおよびBERを求めるよ

10

20

30

40

50

うにしてもよい。また、受信処理部 123C が誤り訂正器 (FEC) を備えている場合には、該誤り訂正器における誤り数を基に BER を得ることも可能である。さらに、Q モニタを用いて受信光の Q 値を測定し、その測定値を伝送誤り率としてもよい。

【0066】

波長 1 ~ n に対応した各ユニットの受信特性測定部 123D で得られた OSNR および BER (または Q 値) はそれぞれシステム監視制御装置 (SSE) 124 に送られる。このシステム監視制御装置 124 では、各受信特性測定部 123D からの OSNR および BER (または Q 値) を基に、送信側でのプリエンファシスおよび各光中継器 130 でのラマン増幅をフィードバック制御するための制御情報が生成され、該制御情報が EW 側回線を伝送される光信号のオーバーヘッド情報に載せられて端局 100W まで伝達され、さらに、光送信部 101S および WE 側回線上の各光中継器 130 に伝達される。また、光受信部 102R のシステム監視制御装置 124 には、光分岐器 121 で分岐した WDM 信号光が入力され、該 WDM 信号光に含まれるオーバーヘッド情報の中の波長 1' ~ n' についての制御情報が識別処理される。該システム監視制御装置 124 で識別された波長 1' ~ n' についての制御情報は、対向回線の光送信部 102S に送られる。なお、光送信部 102S は、上述した端局 100W の光送信部 101S と同様の構成を有する。

10

【0067】

図 11 は、光中継器 130 の具体的な構成例を示すブロック図である。

図 11 の構成例において、光中継器 130 は、ラマン増幅器 131、EDFA 132 および利得等化フィルタ 133 を備える。ラマン増幅器 131 は、光伝送路 L を伝搬した WDM 信号光が光分岐器 131A を介してラマン増幅用ファイバ 131B に入力される。このラマン増幅用ファイバ 131B には、光合波器 131C を介してラマン励起光が供給されていて、通過する WDM 信号光をラマン増幅する。

20

【0068】

上記のラマン励起光は、ここでは、例えば、波長の異なる 3 つのラマン励起光源 (LD) 131D からそれぞれ出力される励起光が光合波器 131E で合波され、さらに、光合波器 131C によってラマン増幅用ファイバ 131B に後方側から供給される。各ラマン励起光源 131D としては、例えば、波長 1580 nm の付近で大きなラマン利得を得ようとした場合、励起光波長を 1460 nm 以上に選べばよく、具体的には、3 つのラマン励起光の波長として、1470 nm、1485 nm および 1500 nm など設定することが可能である。なお、ラマン励起光源の数および各々の波長帯は上記の例に限定されるものではない。

30

【0069】

制御回路 131F は、各ラマン励起光源 131D の駆動状態を制御する回路であって、光分岐器 131A で分岐され受光素子 (PD) 131G で電気信号に変換された信号と、各ラマン励起光源 131D から出力される光の一部を対応する受光素子 (PD) 131H で電気信号に変換した信号がそれぞれ入力される。この制御回路 131F では、受光素子 131G からの出力信号に重畳された監視制御信号が識別され、また、各受光素子 131H からの出力信号を参照してラマン増幅の発生状態が判断されて、各ラマン励起光源 131D の駆動状態がそれぞれ制御される。ここでは、監視制御信号を取り出すための光分岐器 131A を光中継器 130 の入力端に配置しようとしたが、これ以外にも例えば、光中継器 130 の出力端や、ラマン増幅器 131 の出力端、EDFA 132 の出力端などに光分岐器 131A を配置してもよい。

40

【0070】

なお、ラマン増幅用ファイバ 131B を通り抜けたラマン励起光は、本光中継器 130 の入力端部より光伝送路 L に入射されて、光伝送路 L のファイバ内を伝搬する光信号にラマン増幅を生じさせる。

EDFA 132 は、例えば、ラマン増幅器 131 から出力される WDM 信号光が、光合波器 132A を介してエルビウムドープファイバ (EDF) 132B に入力される。この E

50

D F 1 3 2 Bには、励起光源(L D) 1 3 2 Cで発生する、例えば980nmや1480nm等の波長帯の励起光が光合波器1 3 2 Aを介して供給されている。E D F 1 3 2 Bの誘導放出作用により増幅されたW D M信号光は、利得等化フィルタ1 3 3および光分岐器1 3 2 Eを介して、本光中継器1 3 0の出力側に接続された光伝送路Lに出力される。

【0071】

また、励起光源1 3 2 Cの駆動状態は、励起光源制御回路1 3 2 Dによって自動制御される。励起光源制御回路1 3 2 Dには、利得等化フィルタ1 3 3を通過したW D M信号光の一部を光分岐器1 3 2 Eで分岐し、該分岐光を受光素子(P D) 1 3 2 Fで電気信号に変換した信号が入力される。そして、この励起光源制御回路1 3 2 Dは、受光素子1 3 2 Fの出力信号レベルが一定となるように、励起光源1 3 2 Cの駆動状態を制御する、いわゆる自動レベル制御(A L C)を行う。

10

【0072】

なお、利得等化フィルタ1 3 3は、E D F A 1 3 2の利得波長特性を打ち消すような損失波長特性を備えた固定の光フィルタである。また、ここでは、光中継器1 3 0内の各励起光源をそれぞれ単体で構成したが、複数の励起光源を組み合わせて冗長構成としても構わない。

次に、第3の実施形態の動作について説明する。

【0073】

上記のような構成を有する本W D M光通信システムでは、例えば、端局1 0 0 Wから端局1 0 0 EへのW D M信号光の伝送を考えると、端局1 0 0 Wの光送信部1 0 1 Sから出力される波長 1 ~ nのW D M信号光が、光伝送路LのW E側回線および光中継器1 3 0を介して端局1 0 0 Eまで中継伝送される。端局1 0 0 Eでは、伝送されたW D M信号光が光受信部1 0 2 Rに入力され、W D Mカプラ1 2 2において各波長 1 ~ nにそれぞれ分波された後に、各々の波長に対応した各ユニットで受信処理される。このとき、各ユニットでは、受信特性測定部1 2 3 Dにおいて、受信した光信号についてのO S N RおよびB E R(またはQ値)が測定され、受信情報としてシステム監視制御装置1 2 4に送られる。システム監視制御装置1 2 4では、各受信特性測定部1 2 3 Dで得られた受信情報を基に、送信側でのプリエンファシスおよびW E側回線上の各光中継器1 3 0でのラマン増幅をフィードバック制御するための波長 1 ~ nについての制御情報が生成される。そして、上記波長 1 ~ nについての制御情報は、光送信部1 0 2 Sに送られて、波長 1' ~ n'の各光信号のオーバーヘッド情報の中に重畳されて、光伝送路LのE W側回線を介して端局1 0 0 Wに中継伝送される。

20

30

【0074】

端局1 0 0 EからのW D M信号光を受けた端局1 0 0 Wでは、光受信部1 0 1 Rにおいて各波長 1' ~ n'の光信号が受信処理されると共に、W D M信号光のオーバーヘッド情報に含まれる制御情報が識別されて光送信部1 0 1 Sのシステム監視制御装置1 1 5に送られる。そして、システム監視制御装置1 1 5では、光受信部1 0 1 Rからの波長 1 ~ nについての制御情報および光スペクトルアナライザ1 1 4の測定結果に基づいて、プリエンファシスの制御を行う指示が制御器1 1 6に送られると共に、波長 1 ~ nについての制御情報が監視制御コマンド処理部1 1 7に送られる。

40

【0075】

制御器1 1 6では、システム監視制御装置1 1 5からの指示に従って、各ユニットの光源モジュール1 1 1 Aおよび可変光減衰器1 1 1 Cの各動作状態が制御される。具体的な制御アルゴリズムについては後述する。監視制御コマンド処理部1 1 7では、システム監視制御装置1 1 5から送られてくる波長 1 ~ nについての制御情報が、波長 1 ~ nのW D M信号光に重畳された監視制御信号に載せられて、W E側回線上の各光中継器1 3 0にそれぞれに伝えられる。

【0076】

光伝送路LのW E側回線上に配置された各光中継器1 3 0では、光伝送路LからのW D M信号光がラマン増幅用ファイバ1 3 1 Bに入力されるとともに、その一部が光分岐器1 3

50

1 Aで分岐され受光素子1 3 1 Gで光電変換されて制御回路1 3 1 Fに送られる。制御回路1 3 1 Fでは、受光素子1 3 1 Gの出力信号に含まれる監視制御信号が抽出され、波長1 ~ nについての制御情報が識別されて、各ラマン励起光源1 3 1 Dの駆動状態が制御される。具体的なラマン増幅の制御アルゴリズムについては後述する。ラマン増幅用ファイバ1 3 1 B通ってラマン増幅されたWDM信号光は、ALC動作するEDFA1 3 2によって所要のレベルまで増幅され、さらに、EDFA1 3 2の利得波長特性が利得等化フィルタ1 3 3によって補償される。

【0077】

ここで、各光中継器1 3 0における光増幅作用について具体的に説明する。

各光中継器1 3 0は、ラマン増幅を利用することによりEDFA1 3 2の増幅帯域の拡大を実現している。すなわち、EDFA1 3 2の増幅帯域は、例えば図12の特性Eに示すように長波長側(1560nmを超えるような波長帯)の利得が小さいため、この長波長帯に比較的大きな利得が得られる図12の特性Rに示すようなラマン増幅器1 3 1を組み合わせることで、図12の特性(E+R)に示すような広い波長帯域に亘って平坦な利得波長特性を得ることができる。なお、特性Rに示したラマン増幅器1 3 1の利得波長特性は、波長1470nmのラマン励起光源での特性r(1470)、波長1485nmのラマン励起光源での特性r(1485)および波長1500nmのラマン励起光源での特性r(1500)を組み合わせ得られる利得波長特性である。

【0078】

ラマン励起光源1 3 1 Dの出力制御によって各波長の光信号についての伝送特性を均一化する方法としては、例えば次のような制御方法がある。各光中継器1 3 0の出力光パワーは、EDFA1 3 2のALC動作によって一定に制御されている。従って、ラマン増幅器1 3 1の出力光パワーが増加すると、EDFA1 3 2への入力光パワーが増加し、EDFA1 3 2の利得が低下することで利得波長特性が変化して長波長側の利得が大きくなる。一方、ラマン増幅器1 3 1の出力光パワーが低下すると、EDFA1 3 2への入力光パワーが減少し、EDFA1 3 2の利得が低下することで短波長側の利得が大きくなる。

【0079】

そこで、各ラマン励起光源1 3 1 Dの出力を変化させることにより、ラマン増幅の利得波長特性を変化させて、EDFA1 3 2の利得波長特性の変化を相殺するように制御を行う。各光中継器1 3 0について上記のような制御を行った後の伝送後の利得波長特性G()は、単位をデシベル(dB)として次の(3)式で表すことができる。

【0080】

$$G(\lambda) = N [g(\lambda) \times (R_{ave} - R_{0ave}) + (R(\lambda) - R_0(\lambda))] + G_0(\lambda) \quad \dots (3)$$

ここで、Nは光中継器1 3 0の台数、G₀(λ)は光中継器1 3 0の制御前の利得波長特性、g(λ)はEDFA1 3 2における利得が1dB増加したときの利得波長特性の変化量、R_{ave}はラマン増幅器1 3 1の制御後の利得波長特性の波長平均利得、R_{0ave}はラマン増幅器1 3 1の制御前の利得波長特性の波長平均利得、R(λ)はラマン増幅器1 3 1の制御後の利得波長特性、R₀(λ)はラマン増幅器1 3 1の制御前の利得波長特性を示すものである。ただし、ラマン増幅器1 3 1の利得波長特性は、各ラマン励起光源1 3 1 Dによるラマン利得R_i(λ)の和として、R(λ) = ∑ R_i(λ)で表される。

【0081】

制御目標となる利得波長特性をG_{ob}(λ)としたとき、各波長λ_jの目標利得との偏差は、次の(4)式で表される。

$$\sigma^2 = [G(\lambda_j) - G_{ob}(\lambda_j)]^2 \quad \dots (4)$$

各ラマン励起光源1 3 1 Dによるラマン利得は、各ラマン励起光の出力値を基に計算もしくは実験的に求めることができる。そこで、ラマン励起光源の出力制限内の条件において、上記(4)式の偏差σ²が少なくなるように、各ラマン励起光の出力値の変化量を求め、各ラマン励起光源1 3 1 Dの駆動状態を制御する。

【0082】

10

20

30

40

50

例えば、光伝送路 L における光ファイバの割り入れ等により、1 dB 程度の損失が光伝送路 L に生じ、利得波長特性に傾斜が生じた場合を考える。この場合には、E D F A 1 3 2 を A L C 動作させて光中継器 1 3 0 の出力光パワーを一定にしているため、E D F A 1 3 2 の利得が + 1 dB 増加し、E D F A 1 3 2 の利得波長特性は短波側に利得が大きくなる傾斜をもつようになる。このような状態において、ラマン増幅器 1 3 1 の平均利得を約 + 0 . 8 dB 増加させる制御を行うと、E D F A 1 3 2 の利得増加は + 1 dB から + 0 . 2 dB に減少するため、制御前と比較して利得傾斜は小さくなる。また、ラマン増幅器全体の平均利得を増加させたことにより、ラマン増幅器 1 3 1 は長波側の利得傾斜が増加する。これにより、+ 0 . 2 dB の利得増加により生じる E D F A 1 3 2 の利得傾斜の変化は、ラマン増幅器 1 3 1 の利得傾斜の変化によってある程度打ち消される。最後に、残りの利得波長特性の偏差に対して、各ラマン励起光源 1 3 1 D の出力バランスを 0 . 1 dB 以下の程度で変化させることによって、光中継器 1 3 0 全体として平坦な利得波長特性が得られるようになる。

10

【 0 0 8 3 】

なお、上記の例では、ラマン増幅およびプリエンファシスの最適制御を繰り返し行うことで、結果的に、ラマン増幅の制御およびプリエンファシスの制御による補正量の割合が 4 : 1 になる場合を示したが、各々の制御による補正量の割合は、最適な伝送特性を実現できる割合を予め調べて設定しておくようにしてもよい。

【 0 0 8 4 】

次に、前述した送信側でのプリエンファシスおよび各光中継器 1 3 0 でのラマン増幅の具体的な制御アルゴリズムについて説明する。

20

ここでは、例えば、受信側で得られた O S N R および B E R (または Q 値) に応じて、まず、各光中継器 1 3 0 のラマン励起光源 1 3 1 D を調整してラマン増幅を制御した後、送信側の各波長の可変光減衰器 1 1 1 C を調整してプリエンファシスを制御することにより、各波長の光信号についての伝送特性の均一化を図る一例を考えることにする。なお、本発明における制御アルゴリズムは、これに限定されるものではない。

【 0 0 8 5 】

図 1 3 および図 1 4 は、上記の制御アルゴリズムを示したフローチャートである。

まず、図 1 3 のステップ 1 0 1 (図中 S 1 0 1 で示し、以下同様とする) では、W D M 信号光に含まれる波長 1 ~ n の各光信号について、受信側での O S N R が測定される。次に、ステップ 1 0 3 では、波長 1 ~ n の各光信号のうちの 1 つの光信号が、測定信号チャンネル c h x に設定され、ステップ 1 0 5 では、受信側での B E R (または Q 値) が測定される。そして、ステップ 1 0 7 では、ステップ 1 0 5 で測定した B E R (または Q 値) が予め設定した目標値近傍にあるか否かが判別される。測定値が目標値近傍にない場合には、ステップ 1 0 9 で送信側の測定信号チャンネル c h x に対応した可変光減衰器 1 1 1 C を調整し、ステップ 1 0 5 に戻る。一方、測定値が目標値近傍にある場合には、ステップ 1 1 1 で受信側での O S N R が測定される。ステップ 1 1 1 の測定が終了すると、受信側での O S N R の値がステップ 1 0 1 で測定した値と同様の状態に戻るように、ステップ 1 1 3 で可変光減衰器 1 1 1 C が調整される。そして、ステップ 1 1 5 では、ステップ 1 0 1 で測定した O S N R に対するステップ 1 1 1 で測定した O S N R の変化幅 E x が求められる。ステップ 1 1 7 では、波長 1 ~ n のすべての信号チャンネルについて、上記の変化幅 E x が求められたか否かが判別され、変化幅 E x が得られていない信号チャンネルがある場合には、ステップ 1 0 3 に戻って、未測定の信号チャンネルについての測定が行われる。

30

40

【 0 0 8 6 】

すべての波長について O S N R の変化幅 E x が求められると、ステップ 1 1 9 において、変化幅の平均値 E a v e が求められる。そして、各信号チャンネルについて - (E x - E a v e) の値が求められ、さらに、各々の - (E x - E a v e) の波長依存性を基に、各ラマン増幅器の励起光源出力の変化による (E x - E a v e) ² の変化量 D P が算出される。

50

【 0 0 8 7 】

次に、ステップ 1 2 1 では、 $-(E_x - E_{ave})$ の絶対値が一定値 P 1 よりも小さいか否かが判別される。また、ステップ 1 2 3 では、 $(E_x - E_{ave})^2$ の変化量 DP が一定値 DP 1 よりも小さいか否かが判別される。 $-(E_x - E_{ave})$ の絶対値が一定値 P 1 以上であり、かつ、変化量 DP が一定値 DP 1 以上であると判別された場合には、ステップ 1 2 5 に進んで、各光中継器のラマン励起光源 1 3 1 D の駆動状態が調整制御され、ステップ 1 0 1 に戻って上述した一連の処理が繰り返される。ステップ 1 2 1 またはステップ 1 2 3 のいずれかで各値が一定値よりも小さいと判別されるようになると、ステップ 1 2 7 に進んで、そのときの各ラマン増幅器の制御状態が記憶されラマン増幅の制御を終了してプリエンファシスの制御に移る。

10

【 0 0 8 8 】

次に、図 1 4 のステップ 1 3 1 ~ ステップ 1 4 7 では、上述のステップ 1 0 1 ~ ステップ 1 1 7 の場合と同様の一連の処理が行われる。そして、すべての波長について OSNR の変化幅 E_x が求められると、ステップ 1 4 9 において、変化幅の平均値 E_{ave} が求められ、各信号チャンネルについて $-(E_x - E_{ave})$ の値が求められる。

【 0 0 8 9 】

次に、ステップ 1 5 1 では、 $-(E_x - E_{ave})$ の絶対値が一定値 P 2 よりも小さいか否かが判別される。 $-(E_x - E_{ave})$ の絶対値が一定値 P 2 以上であると判別された場合には、ステップ 1 5 3 に進んで、 $-(E_x - E_{ave})$ の値を基にプリエンファシスの変化量が算出され、送信側の可変光減衰器 1 1 1 C を調整することでプリエンファシスが制御され、ステップ 1 3 1 に戻って上述した一連の処理が繰り返される。ステップ 1 5 1 で $-(E_x - E_{ave})$ の絶対値が一定値 P 2 よりも小さいと判別されるようになると、ステップ 1 5 5 に進んで、そのときのプリエンファシス量が記憶されて一連の制御アルゴリズムが終了する。

20

【 0 0 9 0 】

上述したように第 3 の実施形態によれば、受信側で測定した OSNR および BER の受信情報を基に、送信側のプリエンファシスおよび各光中継器のラマン増幅をフィードバック制御したことによって、各波長の光信号についての伝送特性を均一化でき、最適な伝送状態を得ることが可能になる。また、ラマン増幅器 1 3 1 と EDFA 1 3 2 を組み合わせることで、光中継器 1 3 0 を構成したことで、信号光波長帯域の拡大を図ることが可能であるとともに、ラマン増幅の状態を制御して利得波長特性の変化を補償するようにしたこと、光伝送路 L 上に可変の利得等化フィルタを配置する必要がなくなる、もしくは、利得等化フィルタの配置数を低減することが可能になる。さらに、送信側だけでなく各光中継器 1 3 0 においても WDM 信号光パワーの波長依存性を補償することが可能であるため、送信側で行うプリエンファシスに対する負担（要求）を低減することができる。

30

【 0 0 9 1 】

なお、上述した第 3 の実施形態では、各端局の光受信部において、測定した OSNR および BER（または Q 値）を基に、送信側のプリエンファシスおよび各光中継器のラマン増幅を制御する制御情報を生成し、該制御情報をオーバーヘッド情報および監視制御信号を用いて送信側および各光中継器に伝達する構成とした。しかしながら、本発明はこれに限られるものではなく、例えば、受信側で測定した各波長についての OSNR および BER（または Q 値）を受信情報として送信側および各光中継器に送り、該受信情報を受けた各々の機器において制御情報を生成してプリエンファシスおよびラマン増幅を制御するようにしてもよい。

40

【 0 0 9 2 】

また、各光中継器 1 3 0 に伝達される制御情報は、対向回線を介して一旦送信側に送られた後に、光送信部から各光中継器 1 3 0 に伝達されるようにしたが、これ以外にも、例えば、WE 側回線上の光中継器と EW 側回線上の光中継器との間で監視制御信号の伝達が可能な中継局構成である場合には、受信側で生成した制御情報を対向回線を使って送信側を経由せずに各中継局に送るようにしてもよい。

50

【 0 0 9 3 】

さらに、第3の実施形態では、光伝送路L上に配置されたすべての光中継器130のラマン増幅器131が受信情報に応じて制御されるようにしたが、本発明は、複数の光中継器のうちから適宜に選択した光中継器のラマン増幅状態のみを制御するようにしても構わない。例えば、光伝送路の割り入れ等によって伝送損失が変化した場合には、その割り入れ等が行われた中継区間の付近に配置された1台もしくは数台の光中継器を選択してラマン増幅の制御を行うようにしてもよい。一般に、光伝送路上において利得波長特性がばらついている伝送距離が短いほど非線形劣化およびOSNR劣化を抑制できるため、上記のように利得波長特性のばらつきの発生する地点を特定できるようなときには特に有効である。もちろん、数台おきの等間隔または不等間隔に配置された光中継器のラマン増幅器を制御するようにしてもよく、この場合には、ラマン励起光源の制御機構を備えていない比較的単純な回路構成の光中継器をラマン増幅制御を行わない部分に利用することが可能になる。

10

【 0 0 9 4 】

加えて、上述した第3の実施形態では、光中継器130のラマン増幅器131の構成として、ラマン励起光が信号光の伝送方向とは反対の方向に供給される、いわゆる後方励起型の構成を示したが、本発明に用いられるラマン増幅器の構成はこれに限定されるものではない。

例えば、図15に示すように、光合波器131Eで合波されたラマン励起光が、光合波器131Cを介してラマン増幅用ファイバ131Bの信号光入力側から供給され、信号光とラマン励起光が同方向に伝搬するいわゆる前方励起型の構成とすることも可能である。この場合、ラマン励起光がラマン増幅用ファイバ131Bを通り抜けて、漏れ光としてEDFA132に入力される状況が考えられ、このような状況では、EDFA132の励起光として漏れ光を利用することが可能である。

20

【 0 0 9 5 】

また、ラマン増幅器131内にラマン増幅用ファイバ131Bを配置した構成を示したが、このラマン増幅用ファイバ131Bを光伝送路Lの一部として用いることも可能である。換言すれば、光伝送路Lの一部または全部をラマン増幅媒体とし、光伝送路Lにラマン励起光を供給してラマン増幅を発生させるようにしてもよい。図16は、ラマン増幅用ファイバ131Bを光伝送路Lとして用いた場合の光中継器の構成例である。

30

【 0 0 9 6 】

さらに、上述した第3の実施形態では、光受信部で生成した制御情報をオーバーヘッド情報および監視制御信号に載せて光送信部および各光中継器に伝達するようにしたが、本発明における制御情報を伝達する信号はこれに限られるものではなく、例えば、制御情報を伝達するための専用の光信号を用いるようにしてもよい。

【 0 0 9 7 】

(付記1) 波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路を介して受信端局に伝送する波長多重光通信システムにおいて、

前記受信端局は、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報を測定する受信特性測定手段と、該受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を前記送信端局に伝える受信情報伝達手段と、を備え、

40

前記送信端局は、前記光伝送路に送信する波長多重信号光にプリエンファシスを行うプリエンファシス実行手段と、前記光伝送路に送信する波長多重信号光に光波長チャープを与えるチャープ付与手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記プリエンファシス実行手段におけるプリエンファシスの設定および前記チャープ付与手段における光波長チャープ量を表すパラメータの設定をそれぞれ制御する制御手段と、を備えて構成されたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【 0 0 9 8 】

(付記2) 付記1に記載の波長多重光通信システムであって、

50

前記光伝送路は、前記送信端局から前記受信端局に波長多重信号光を伝送する第1回線および該第1回線に対向する第2回線を有し、

前記受信情報伝達手段は、前記受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を、前記第2回線を伝送される前記各波長に対応した光信号のオーバーヘッド情報の中に重畳して前記送信端局側まで伝えることを特徴とする波長多重光通信システム。

【0099】

(付記3) 付記1に記載の波長多重光通信システムであって、

前記送信端局は、前記各波長の光信号を発生してそれぞれ出力する光送信装置と、該光送信装置から出力される各波長の光信号を合波して前記光伝送路に出力する光合波装置と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報を前記光送信装置および前記光合波装置の間で転送する受信情報転送手段とを備え、前記プリアンプ実行手段および前記チャープ付与手段が、前記光送信装置および前記光合波装置の少なくとも一方にそれぞれ設けられたことを特徴とする波長多重光通信システム。

10

【0100】

(付記4) 付記3に記載の波長多重光通信システムであって、

前記光伝送路上に配置された光増幅器を備え、

前記送信端局は、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報を前記光増幅器に伝える受信情報伝達手段を有し、

前記光増幅器は、前記送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて動作状態を制御する監視制御手段を有することを特徴とする波長多重光通信システム。

20

【0101】

(付記5) 付記3に記載の波長多重光通信システムであって、

前記光伝送路上に配置された光分岐挿入装置を備え、

前記送信端局は、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報を前記光分岐挿入装置に伝える受信情報伝達手段を有し、

前記光分岐挿入装置は、前記送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて動作状態を制御する監視制御手段を有することを特徴とする波長多重光通信システム。

【0102】

(付記6) 付記1に記載の波長多重光通信システムであって、

前記送信端局は、前記光伝送路の波長分散特性を補償する波長分散補償手段を備え、前記制御手段が、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記波長分散補償手段における波長分散補償量も制御することを特徴とする波長多重光通信システム。

30

【0103】

(付記7) 付記1に記載の波長多重光通信システムであって、

前記受信端局は、前記光伝送路の波長分散特性を補償する波長分散補償手段と、

前記光伝送路で発生する偏波モード分散を補償する偏波モード分散補償手段と、受信した波長多重信号光のデータ識別処理を行うデータ識別手段と、前記受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報に応じて、前記波長分散補償手段における波長分散補償量、前記偏波モード分散補償手段における偏波モード分散補償量および前記データ識別手段における識別点の設定をそれぞれ制御する制御手段と、を備えたことを特徴とする波長多重光通信システム。

40

【0104】

(付記8) 付記1に記載の波長多重光通信システムであって、

前記受信特性測定手段は、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について電気の信号対雑音比を測定し、予め設定した電気の信号対雑音比と光の信号対雑音比との関係に従って、前記測定した電気の信号対雑音比を光の信号対雑音比に変換することで、前記各波長についての受信情報を得ることを特徴とする波長多重光通信システム。

【0105】

(付記9) 付記1に記載の波長多重光通信システムであって、

50

前記受信特性測定手段は、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について電気の信号対雑音比を測定し、予め設定した電気の信号対雑音比と伝送誤り率との関係に従って、前記測定した電気の信号対雑音比を伝送誤り率に変換することで、前記各波長についての受信情報を得ることを特徴とする波長多重光通信システム。

【0106】

(付記10) 波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路を介して受信端局に伝送する波長多重光通信方法において、

前記受信端局では、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報が測定され、該測定された各波長についての受信情報が前記送信端局に伝達され、

10

前記送信端局では、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記光伝送路に送信する波長多重信号光を行うプリエンファシスの設定、および前記光伝送路に送信する波長多重信号光に与える光波長チャープ量を表すパラメータの設定がそれぞれ制御されることを特徴とする波長多重光通信方法。

【0107】

(付記11) 波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路および光中継局を介して受信端局に伝送する波長多重光通信システムにおいて、

前記受信端局は、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報を測定する受信特性測定手段と、該受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を前記送信端局に伝える受信情報伝達手段と、を備え、

20

前記送信端局は、前記光伝送路に送信する波長多重信号光にプリエンファシスを行うプリエンファシス実行手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記プリエンファシス実行手段におけるプリエンファシスの設定を制御する制御手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報を前記光中継局に転送する受信情報転送手段と、を備え、

前記光中継局は、前記光伝送路から送られる波長多重信号光をラマン増幅するラマン増幅器を含んだ光増幅手段と、前記送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記ラマン増幅器におけるラマン励起光の供給状態を制御するラマン増幅制御手段と、を備えて構成されたことを特徴とする波長多重光通信システム。

30

【0108】

(付記12) 付記11に記載の波長多重光通信システムであって、

前記光中継局の光増幅手段は、前記ラマン増幅器から出力される波長多重信号光を希土類元素ドープファイバを用いて一定レベルまで増幅する光ファイバ増幅器を有することを特徴とする波長多重光通信システム。

【0109】

(付記13) 付記11に記載の波長多重光通信システムであって、

前記光伝送路は、前記送信端局から前記受信端局に波長多重信号光を伝送する第1回線および該第1回線に対向する第2回線を有し、

前記受信端局の受信情報伝達手段は、前記受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を、前記第2回線を伝送される前記各波長に対応した光信号のオーバーヘッド情報の中に重畳して前記送信端局側まで伝え、

40

前記送信端局の受信情報転送手段は、前記各波長についての受信情報を、波長多重信号光に重畳される監視制御信号に載せて転送することを特徴とする波長多重光通信システム。

【0110】

(付記14) 付記11に記載の波長多重光通信システムであって、

前記受信端局の受信情報伝達手段は、前記送信端局の受信情報転送手段に代えて、前記受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を前記光中継局に伝える機能を備えたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【0111】

50

(付記15) 付記11に記載の波長多重光通信システムであって、前記光伝送路上に複数の光中継局が配置されているとき、該複数の光中継局のうちから選択した特定の光中継局についてのみ、前記ラマン増幅制御手段によって前記ラマン増幅器におけるラマン励起光の供給状態を制御することを特徴とする波長多重光通信システム。

【0112】

(付記16) 波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路および光中継局を介して受信端局に伝送する波長多重光通信方法において、前記受信端局では、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報が測定され、該測定された各波長についての受信情報が前記送信端局に伝達され、

10

前記送信端局では、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記光伝送路に送信する波長多重信号光を行うプリエンファシスの設定が制御されるとともに、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報が前記光中継局に転送され、前記光中継局では、前記送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記光伝送路から送られる波長多重信号光をラマン増幅するためのラマン励起光の供給状態が制御されることを特徴とする波長多重光通信方法。

【0113】

(付記17) 波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重信号光を送信端局から光伝送路および光中継局を介して受信端局に伝送する波長多重光通信システムにおいて、前記受信端局は、前記光伝送路から送られる各波長の光信号について、光の信号対雑音比および伝送誤り率を含んだ受信情報を測定する受信特性測定手段と、該受信特性測定手段で測定された各波長についての受信情報を前記送信端局に伝える受信情報伝達手段と、を備え、

20

前記送信端局は、前記光伝送路に送信する波長多重信号光にプリエンファシスを行うプリエンファシス実行手段と、前記光伝送路に送信する波長多重信号光に光波長チャープを与えるチャープ付与手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記プリエンファシス実行手段におけるプリエンファシスの設定および前記チャープ付与手段における光波長チャープ量を表すパラメータの設定をそれぞれ制御する制御手段と、前記受信端局から伝えられる各波長についての受信情報を前記光中継局に転送する受信情報転送手段と、を備え、

30

前記光中継局は、前記光伝送路から送られる波長多重信号光をラマン増幅するラマン増幅器を含んだ光増幅手段と、前記送信端局から伝えられる各波長についての受信情報に応じて、前記ラマン増幅器におけるラマン励起光の供給状態を制御するラマン増幅制御手段と、を備えて構成されたことを特徴とする波長多重光通信システム。

【0114】

【発明の効果】

以上説明したように本発明のWDM光通信システムおよびWDM光通信方法によれば、受信端局で測定した各波長についての受信情報に応じて、送信端局におけるプリエンファシスの設定をフィードバック制御するとともに、パラメータの設定や、光分岐挿入装置におけるプリエンファシスの設定、光中継局におけるラマン増幅の発生状態をフィードバック制御するようにしたことで、最適な伝送状態を得ることが可能となり、各波長の光信号についての伝送特性のばらつきを非線形光学効果の影響による劣化をも含めて確実に補償することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態にかかるWDM光通信システムの構成を示す図である。

【図2】本発明の第1の実施形態における送受信装置の光送信器および光受信器の構成例を示すブロック図である。

【図3】本発明の第1の実施形態における受信特性測定部の一部を構成する電気回路を示す図である

【図4】図3の電気回路の動作を説明する図である。

50

【図5】本発明の第2の実施形態にかかるWDM光通信システムの構成を示す図である。

【図6】本発明の第2の実施形態における送受信装置の光送信器および光受信器の構成例を示すブロック図である。

【図7】本発明の第2の実施形態における送信側のWDM装置の構成例を示すブロック図である。

【図8】本発明の第2の実施形態における受信側のWDM装置の構成例を示すブロック図である。

【図9】本発明の第2の実施形態における光伝送路上に配置された光増幅器の構成例を示すブロック図である。

【図10】本発明の第3の実施形態にかかるWDM光通信システムの構成を示す図である

10

【図11】本発明の第3の実施形態における光中継器の構成例を示すブロック図である。

【図12】図11の光中継器における光増幅作用を説明する図である。

【図13】本発明の第3の実施形態における制御アルゴリズムの一例を示す第1のフローチャートである。

【図14】本発明の第3の実施形態における制御アルゴリズムの一例を示す第2のフローチャートである。

【図15】本発明の第3の実施形態に適用可能な光中継器の他の構成例を示す図である。

【図16】本発明の第3の実施形態に適用可能な光中継器のさらに別の構成例を示す図である。

20

【符号の説明】

1 W, 1 E, 1 0 0 W, 1 0 0 E 端局

1 0, 1 0', 2 0, 2 0' 送受信装置

1 1, 1 1', 1 2, 1 2', 2 1, 2 1', 2 2, 2 2' WDM装置

3 0 光増幅器(光中継器)

3 1 ラマン増幅器

3 2 EDFA

3 3, 4 1 D, 4 2 A, 6 4, 7 4 可変分散補償衰器

3 4, 3 6, 6 6, 7 6 OSC処理部

3 5 監視制御部

30

4 1 A, 4 2 F OH処理部

4 1 B, 1 1 1 C レーザ光源(LD)

4 1 C 変調器

4 1 E, 6 1, 1 1 1 C 可変光減衰器

4 1 F, 4 2 H, 4 3 制御部

4 2 B 可変PMD補償器

4 2 C 受光素子(PD)

4 2 D 等化増幅器

4 2 E 0/1判定部

4 2 G, 1 2 3 D 受信特性測定部

40

4 4, 6 5, 7 5 監視制御部

5 0 電気回路(受信特性測定部の一部)

5 1 A, 5 1 B 増幅回路

5 2 バンドパスフィルタ

5 3 ローパスフィルタ

5 4 K倍回路

1 0 1 S, 1 0 2 S 光送信部

1 0 1 R, 1 0 2 R 光受信部

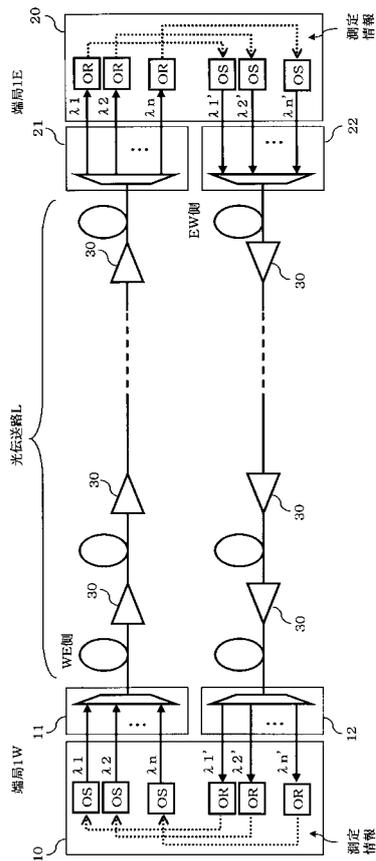
1 1 2, 1 2 2 WDMカプラ

1 1 4 光スペクトルアナライザ(OSA)

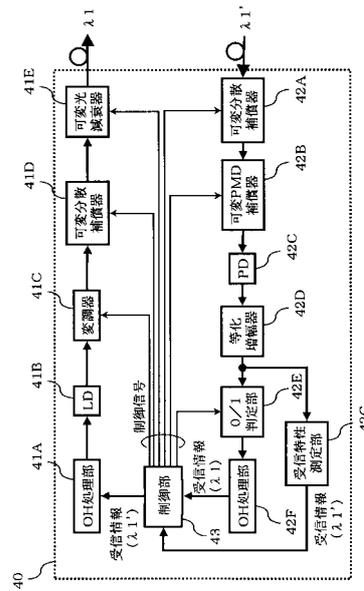
50

- 1 1 5 , 1 2 4 システム監視制御装置 (S S E)
- 1 1 6 制御器
- 1 2 3 C 受信処理部
- 1 3 3 利得等化フィルタ

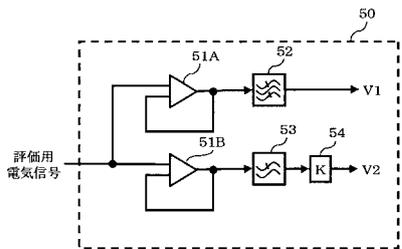
【 図 1 】



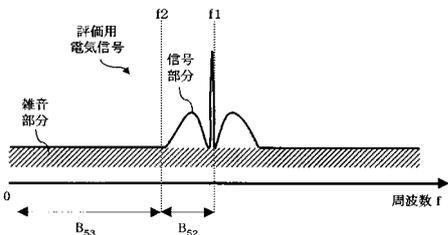
【 図 2 】



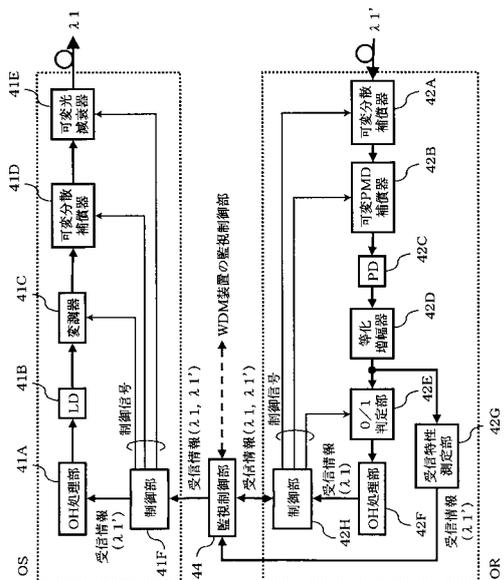
【図3】



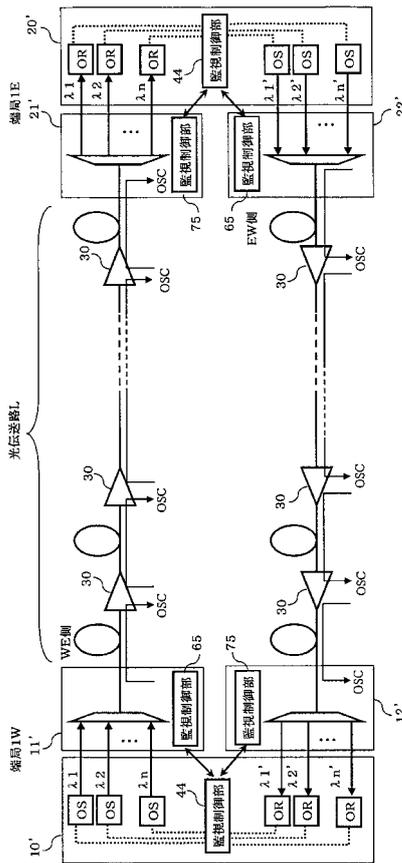
【図4】



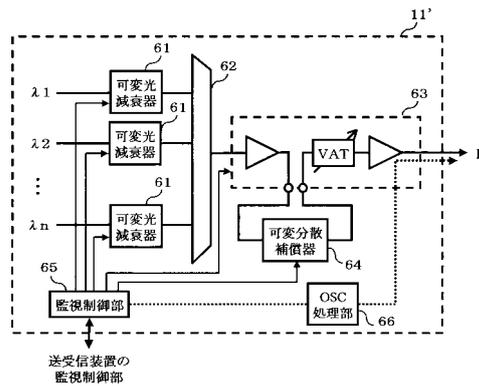
【図6】



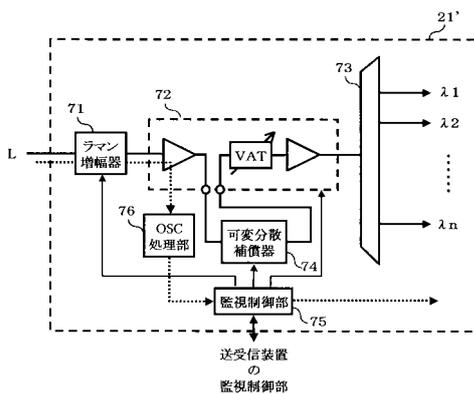
【図5】



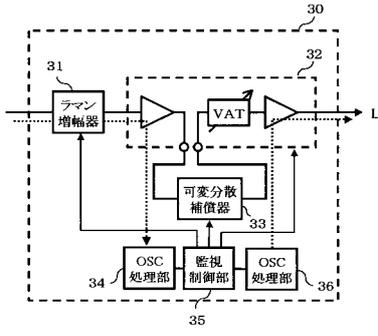
【図7】



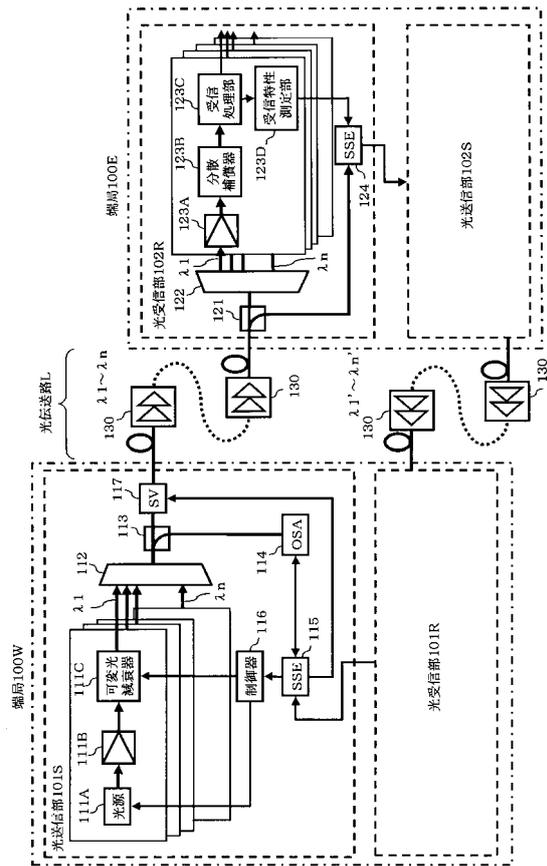
【図8】



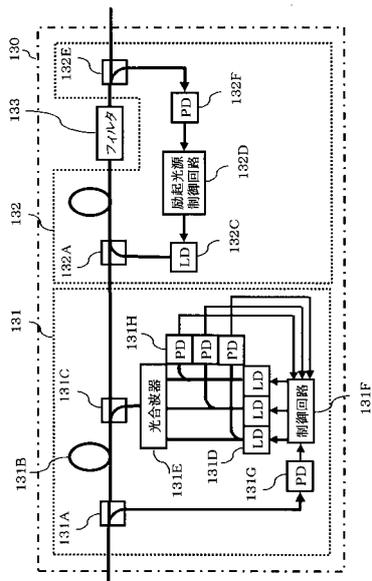
【図9】



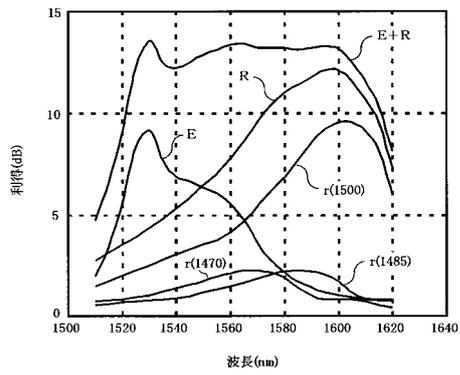
【図10】



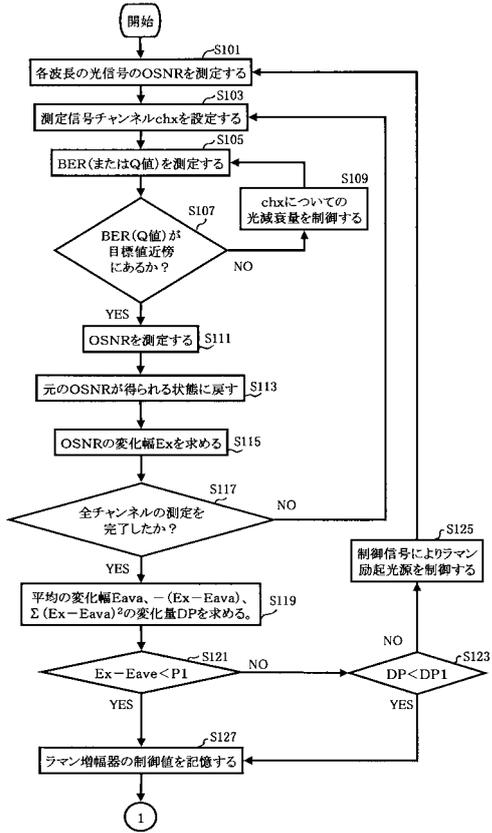
【図11】



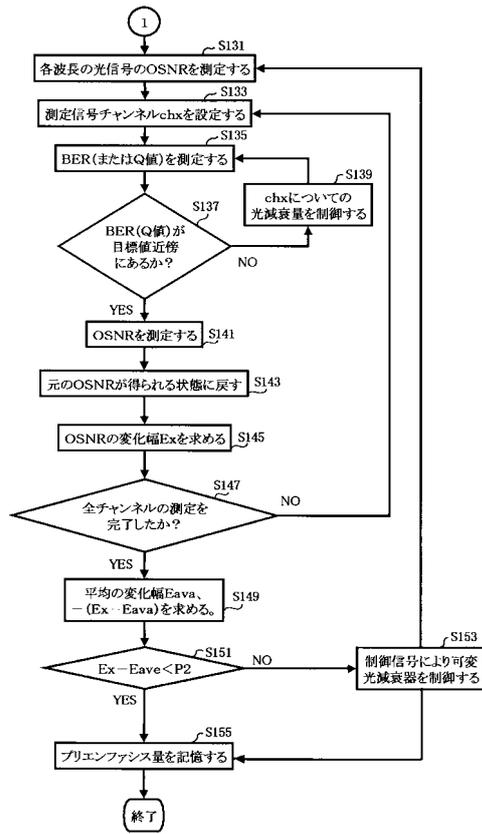
【図12】



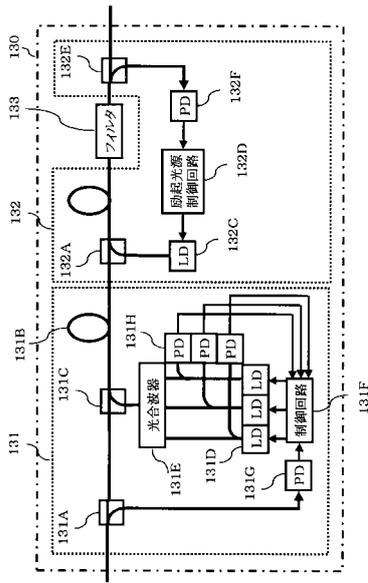
【図13】



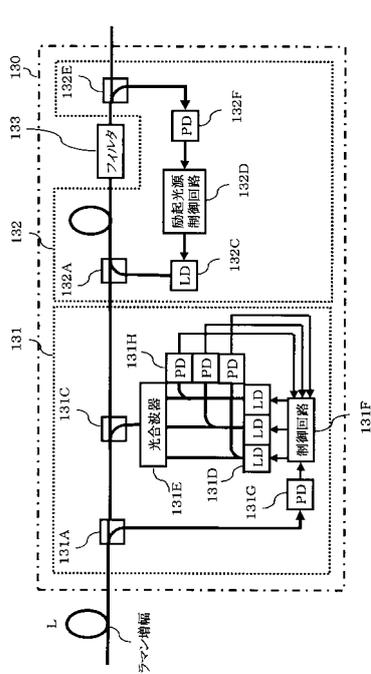
【図14】



【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)

H 0 4 B 17/00 (2006.01)

審査官 後澤 瑞征

(56) 参考文献 特開平 0 9 - 2 6 1 2 0 5 (J P , A)

特開平 0 8 - 3 2 1 8 0 5 (J P , A)

特開平 0 8 - 3 2 1 8 2 4 (J P , A)

特開平 1 1 - 1 0 3 2 8 7 (J P , A)

(58) 調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H04B10/00-10/28

H04J14/00-14/08

H04B 3/04

H04B 17/00