

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6088350号
(P6088350)

(45) 発行日 平成29年3月1日(2017.3.1)

(24) 登録日 平成29年2月10日(2017.2.10)

(51) Int.Cl.

F I

HO 4 B 10/2513 (2013.01)

HO 4 B 10/032 (2013.01)

HO 4 B 10/038 (2013.01)

HO 4 B 10/2513

HO 4 B 10/032

HO 4 B 10/038

請求項の数 14 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2013-104485 (P2013-104485)	(73) 特許権者	000208891
(22) 出願日	平成25年5月16日 (2013.5.16)		K D D I 株式会社
(65) 公開番号	特開2014-225802 (P2014-225802A)		東京都新宿区西新宿二丁目3番2号
(43) 公開日	平成26年12月4日 (2014.12.4)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成28年2月2日 (2016.2.2)		弁理士 大塚 康德
(出願人による申告)平成25年度、独立行政法人情報通信研究機構、「高い臨時設置性を持つ有無線両用通信技術の研究開発」副題「光ファイバ伝送とW帯無線伝送を柔軟に切替可能な通信方式を実現する要素デバイス及びシステム化技術」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 光伝送システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

R F 信号で変調された光信号を送信する光送信装置と、
前記光信号を受信する光受信装置と、
前記光送信装置から前記光受信装置までの光伝送路の途中に設けられ、前記光信号の伝送方向における上流側及び下流側にそれぞれ位置する上流側ノード及び下流側ノードから成るノード対であって、前記上流側ノードと前記下流側ノードとの間で前記光伝送路に回線断が発生すると、前記上流側ノードと前記下流側ノードとの間の接続回線を、前記光伝送路の光回線から無線伝送路の無線回線に切り替える、前記ノード対と、を備え、
前記光伝送路で、前記光送信装置から前記ノード対を介して前記光受信装置へ前記光信号を伝送する光伝送システムであって、
前記光送信装置は、
光信号を R F 信号で変調し、変調後の光信号を、前記光伝送路を介して送信する光変調手段と、
前記光伝送路を介して前記下流側から受信される試験光を、前記光伝送路を介して前記下流側へ伝搬するように反射させる第 1 反射手段と、を備え、
前記上流側ノードは、
前記接続回線が前記無線回線に切り替わると、前記光伝送路を介して前記上流側から受信した前記光信号に対して波長分散補償を行う第 1 補償手段と、
前記接続回線が前記無線回線に切り替わると、前記第 1 補償手段による補償後の光信

10

20

号を、無線信号に変換して前記無線回線を介して送信する送信手段と、を備え、

前記下流側ノードは、

前記接続回線が前記無線回線に切り替わると、前記無線回線を介して前記上流側ノードから前記無線信号を受信するとともに、当該無線信号を光信号に変換して、前記光伝送路を介して前記下流側に送信する受信手段と、

前記接続回線が前記無線回線に切り替わると、前記光伝送路を介して前記下流側から受信される前記試験光を、前記光伝送路を介して前記下流側へ伝搬するように反射させる第2反射手段と、を備え、

前記光受信装置は、

前記試験光を、前記光伝送路を介して前記上流側に送信し、前記第1反射手段または前記第2反射手段で反射して前記光伝送路を伝搬してきた前記試験光を受信することで、前記試験光の往復伝搬遅延時間(RTT)を計測する第1計測手段と、

前記光送信装置から送信された前記光信号を受信すると、前記第1計測手段によって計測されたRTTに応じた補償量で、前記光信号に対して波長分散補償を行う第2補償手段と、を備えることを特徴とする光伝送システム。

【請求項2】

前記光伝送システムは、第1ノード対と、前記第1ノード対と前記光受信装置との間に設けられた第2ノード対を含む、複数の前記ノード対を備え、

前記第2ノード対の前記上流側ノードは、

前記試験光を、前記光伝送路を介して前記上流側に送信し、前記第1反射手段または前記第2反射手段で反射して前記光伝送路を伝搬してきた前記試験光を受信することで、前記試験光のRTTを計測する第2計測手段を更に備え、

前記第2ノード対の前記第1補償手段は、

前記第2計測手段によって計測されたRTTに応じた補償量で、前記光信号に対して波長分散補償を行うことを特徴とする請求項1に記載の光伝送システム。

【請求項3】

前記第2ノード対の前記第1補償手段及び前記第2補償手段は、

前記RTT及び前記光伝送路内の光速に基づいて、前記試験光が伝搬した伝送路長を算出し、算出した前記伝送路長から、前記光信号が前記伝送路長の光伝送路を伝搬する間に受ける波長分散を補償する補償量で、波長分散補償を行う

ことを特徴とする請求項2に記載の光伝送システム。

【請求項4】

前記第2ノード対は、前記第1ノード対と前記光受信装置との間の前記光伝送路において、それぞれ異なる位置に複数設けられることを特徴とする請求項2または3に記載の光伝送システム。

【請求項5】

前記第2ノード対の前記第1補償手段は、

それぞれ補償量が異なる複数の分散補償ファイバを備え、前記RTTに対応する補償量の分散補償ファイバによって波長分散補償を行うことを特徴とする請求項2乃至4のいずれか1項に記載の光伝送システム。

【請求項6】

前記第2ノード対の前記第1補償手段は、

それぞれ補償量が異なる複数のファイバ・ブラッグ・グレーティング(FBG)を備え、前記RTTに対応する補償量のFBGによって波長分散補償を行うことを特徴とする請求項2乃至4のいずれか1項に記載の光伝送システム。

【請求項7】

前記第1ノード対の前記第1補償手段は、

前記光送信装置と前記第1ノード対との間の前記光伝送路の伝送路長に対応する補償量で、前記光信号に対して波長分散補償を行うことを特徴とする請求項2乃至6のいずれか1項に記載の光伝送システム。

10

20

30

40

50

【請求項 8】

前記第 2 補償手段は、

それぞれ補償量が異なる複数の分散補償ファイバを備え、前記 R T T に対応する補償量の分散補償ファイバによって波長分散補償を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の光伝送システム。

【請求項 9】

前記第 2 補償手段は、

それぞれ補償量が異なる複数の F B G を備え、前記 R T T に対応する補償量の F B G によって波長分散補償を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の光伝送システム。

10

【請求項 10】

前記光信号の波長は、第 1 波長であり、

前記試験光の波長は、前記第 1 波長と異なる第 2 波長である

ことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の光伝送システム。

【請求項 11】

前記光送信装置は、

前記光伝送路に接続され、前記光伝送路を介して前記下流側から入射した前記試験光を前記第 1 反射手段に導くとともに、前記光変調手段から入射した前記光信号と、前記第 1 反射手段で反射した前記試験光とを合波して、前記光伝送路に導く合分波器を更に備えることを特徴とする請求項 10 に記載の光伝送システム。

20

【請求項 12】

前記光受信装置は、

前記光伝送路に接続され、前記第 1 計測手段から入射する前記試験光を前記光伝送路に導くとともに、前記上流側から受信した信号から、前記試験光を分波して前記第 1 計測手段に導き、前記光信号を分波して前記第 2 補償手段に導く合分波器を更に備えることを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の光伝送システム。

【請求項 13】

前記下流側ノードは、

前記下流側で前記光伝送路に接続され、前記光伝送路を介して前記下流側から入射した前記試験光を前記第 2 反射手段に導くとともに、前記受信手段から入射した前記光信号と、前記第 2 反射手段で反射した前記試験光とを合波して、前記光伝送路に導く合分波手段を更に備えることを特徴とする請求項 10 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の光伝送システム。

30

【請求項 14】

前記光変調手段は、光信号に対して前記 R F 信号で両側波帯 (D S B) 変調を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の光伝送システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、光伝送システムに関し、より具体的には、R F 信号を光伝送する際に生じる波長分散の影響を補償する R F 信号光伝送システムに関する。

40

【背景技術】**【0002】**

近年の通信トラヒックの増大に応えるべく、高速かつ大容量の光伝送システムが普及している。このようなシステムを実現するための技術として、例えば、波長分割多重 (W D M : Wavelength Division Multiplexing) 伝送や、光強度及び光位相の複数の状態に情報を付加して伝送する多値変調技術等が提案されている。光アクセス網でも、加入者当たり 1 G b i t / s の高速データ通信を可能とする P O N (Passive Optical Network) システムが普及している。

【0003】

50

上記のような高速・大容量の光伝送システムでは、災害発生等により光回線に物理的に回線断が生じた場合に備えて、別の冗長用の光回線を備えておくことが望ましい。しかし、冗長用の光回線にも同時に回線断が生じた場合や、同時に複数個所で回線断が発生した場合等には、その冗長性が失われることになる。

【 0 0 0 4 】

光回線障害が発生した場合に、光回線の障害発生箇所を F W A (Fixed Wireless Access) 等の無線回線で迂回する技術が知られている。無線回線では、自由空間で通信可能となるため、耐災害性が高く、可搬性も高いという利点がある。しかし、無線回線は、一般に光ファイバ通信に比べて通信帯域が狭いので、光伝送システムほどの高速・大容量の通信を実現することが難しい。

10

【 0 0 0 5 】

一方、近年では、例えば Wireless HD や WiGig のように、60GHz 等のミリ波帯 RF (無線周波数) キャリアを使用する高速無線通信技術が知られている。このようなミリ波帯 RF キャリアを利用する無線通信では、GHz オーダの広い通信帯域を確保できるので、数 Gbit/s 級の高速無線伝送が実現できる。したがって、このような無線通信技術によって実現される無線回線を、光回線に障害が発生した場合のバックアップ回線として使用することによって、高速・大容量のバックアップ通信を実現することが期待できる。

【 0 0 0 6 】

また、光無線融合技術の 1 つに、光信号を RF 信号で強度変調して光ファイバ上を伝送する Radio over Fiber (RoF) 技術が知られている。RoF 技術を使用する光伝送システムにおいて、RF 信号で変調された光信号を伝送するためには、一般に、光信号が光ファイバを伝搬する際に生じる波長分散の影響を取り除く必要がある。特に、光信号を RF 信号で強度変調して得られる RF 上側波帯及び RF 下側波帯の両方の信号を伝送する両側波帯 (DSB: Double Sideband) 変調を用いる場合、光ファイバ伝送路上で生じる波長分散に起因して、両側波帯の信号間で RF 位相フェージングが発生する。このため、DSB 変調を用いて RF 信号を光ファイバ伝送路を介して伝送する場合、波長分散の影響を、適切な分散補償量で補償することが必要となる。

20

【 0 0 0 7 】

非特許文献 1 には、光電波融合親局と PON とで光ファイバを共有するシステムにおいて、波長分散を補償する技術が記載されている。具体的には、光電波融合親局に分散付加器を配置して予め適切な波長分散を与えることで、PON システムの加入者側端末に干渉する無線信号を除去し、また光電波融合子局にも波長分散を補償するための分散付加器を配置することで、適切な RF 信号強度の無線信号を取り出している。

30

【 0 0 0 8 】

非特許文献 2 には、光強度変調器と光位相変調器を組み合わせ、それぞれの変調器に印加するバイアス電圧、RF 信号強度及び位相を適切に調節することにより、長距離伝送時に発生する RF 位相フェージングを抑圧する技術について記載されている。

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

40

【 0 0 0 9 】

【非特許文献 1】堤、池田、"光電波融合信号の波長分散制御による光ベースバンド信号への干渉抑圧効果の実験的検討," 信学技報, Vol. 112, No. 398, MWP2012-63, 2013 年 1 月。

【非特許文献 2】Y. Cui et al., "Overcoming chromatic-dispersion induced power fading in ROF links employing parallel modulators," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 24, No. 14, pp. 1173-1175 (2012)。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

50

上述のように、光ファイバの光回線における回線断の発生に備えて、冗長用の無線回線をバックアップとして備える光伝送システムでは、回線断が発生した箇所の接続回線を光回線から無線回線に切り替える。これにより、光送受信装置間の光回線の一部が無線回線に置き換わることにより、光送受信装置間で光信号が光ファイバを伝搬する距離が変化する。また、光信号が光ファイバを伝搬する距離は、光送受信装置間の光回線における回線断の発生箇所及び発生数に依存して変化する。このため、このような光伝送システムにおいて、R F 信号で変調された光信号を伝送する場合には、補償すべき分散補償量が、回線断の発生箇所及び発生数に依存して変化するようになる。したがって、上述の非特許文献 1 及び 2 のように、分散補償量を固定値として使用する技術は、このような光伝送システムにおける分散補償には適用できない。

10

【 0 0 1 1 】

本発明は、上述の課題に鑑みてなされたものである。本発明は、光回線における回線断の発生に備えて、冗長用の無線回線をバックアップとして備える光伝送システムにおいて、回線断の発生状況に応じた適切な分散補償量で分散補償を行うための技術を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】**【 0 0 1 2 】**

本発明は、例えば光伝送システムとして実現できる。本発明の一態様の係る光伝送システムは、R F 信号で変調された光信号を送信する光送信装置と、前記光信号を受信する光受信装置と、前記光送信装置から前記光受信装置までの光伝送路の途中に設けられ、前記光信号の伝送方向における上流側及び下流側にそれぞれ位置する上流側ノード及び下流側ノードから成るノード対であって、前記上流側ノードと前記下流側ノードとの間で前記光伝送路に回線断が発生すると、前記上流側ノードと前記下流側ノードとの間の接続回線を、前記光伝送路の光回線から無線伝送路の無線回線に切り替える、前記ノード対と、を備え、前記光伝送路で、前記光送信装置から前記ノード対を介して前記光受信装置へ前記光信号を伝送する光伝送システムであって、前記光送信装置は、光信号を R F 信号で変調し、変調後の光信号を、前記光伝送路を介して送信する光変調手段と、前記光伝送路を介して前記下流側から受信される試験光を、前記光伝送路を介して前記下流側へ伝搬するように反射させる第 1 反射手段と、を備え、前記上流側ノードは、前記接続回線が前記無線回線に切り替わると、前記光伝送路を介して前記上流側から受信した前記光信号に対して波長分散補償を行う第 1 補償手段と、前記接続回線が前記無線回線に切り替わると、前記第 1 補償手段による補償後の光信号を、無線信号に変換して前記無線回線を介して送信する送信手段と、を備え、前記下流側ノードは、前記接続回線が前記無線回線に切り替わると、前記無線回線を介して前記上流側ノードから前記無線信号を受信するとともに、当該無線信号を光信号に変換して、前記光伝送路を介して前記下流側に送信する受信手段と、前記接続回線が前記無線回線に切り替わると、前記光伝送路を介して前記下流側から受信される前記試験光を、前記光伝送路を介して前記下流側へ伝搬するように反射させる第 2 反射手段と、を備え、前記光受信装置は、前記試験光を、前記光伝送路を介して前記上流側に送信し、前記第 1 反射手段または前記第 2 反射手段で反射して前記光伝送路を伝搬してきた前記試験光を受信することで、前記試験光の往復伝搬遅延時間 (R T T) を計測する第 1 計測手段と、前記光送信装置から送信された前記光信号を受信すると、前記第 1 計測手段によって計測された R T T に応じた補償量で、前記光信号に対して波長分散補償を行う第 2 補償手段と、を備えることを特徴とする。

20

30

40

【発明の効果】**【 0 0 1 3 】**

本発明によれば、光回線における回線断の発生に備えて、冗長用の無線回線をバックアップとして備える光伝送システムにおいて、回線断の発生状況に応じた適切な分散補償量で分散補償を行うための技術を提供できる。

【図面の簡単な説明】**【 0 0 1 4 】**

50

【図 1】本発明の一実施形態に係る、R F 信号を光伝送する光伝送システムの概略的な構成例を示すブロック図。

【図 2】D C F 4 4 - k の構成の第 1 の例を示す図。

【図 3】D C F 4 4 - k の構成の第 2 の例を示す図。

【図 4】本発明の実施形態の前提となる、R F 信号を光伝送する光伝送システムの概略的な構成例を示すブロック図。

【図 5】光ファイバ伝送距離と R F スループットとの関係の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の例示的な実施形態について図面を参照して説明する。なお、以下の各図においては、実施形態の説明に必要な構成要素については図から省略する。

【0016】

まず、図 4 を参照して、本発明の実施形態を説明するための前提となる光伝送システムについて説明する。図 4 に示す光伝送システムにおいて、光送信装置 400 は、R F 信号で変調した光信号を光受信装置 402 へ送信することで、R F 信号を光伝送する。

【0017】

図 4 (A) は、光回線障害 (回線断) が発生していない正常運用時の信号伝送経路、図 4 (B) は、光回線障害の発生時の信号伝送経路をそれぞれ示している。図 4 (A) 及び (B) に示すように、光送信装置 400 と光受信装置 402 は、光ファイバを介して接続され、その途中に光 / 無線ノード対 404 - 1 ~ n が設けられている。光 / 無線ノード対 404 - 1 ~ n はそれぞれ、光信号の伝送方向における上流側及び下流側にそれぞれ位置する上流側ノード及び下流側ノードから成る。光 / 無線ノード対 404 - 1 ~ n のそれぞれにおける上流側ノードと下流側ノードの間には、光ファイバ (光回線) 406 - 1 ~ n がそれぞれ接続されている。また、光 / 無線ノード対 404 - 1 ~ n のそれぞれにおける上流側ノードと下流側ノードの間には、光回線 406 - 1 ~ n のバックアップ (迂回) 用に、無線通信用アンテナを介した、無線伝送路の無線回線 408 - 1 ~ n が設けられている。

【0018】

図 4 (A) に示すように、光回線障害が発生していない正常運用時には、光送信装置 400 から送信された光信号は、光 / 無線ノード対 404 - 1 ~ n 及び光回線 406 - 1 ~ n を伝搬して、光受信装置 402 によって受信される。一方、光 / 無線ノード対 404 - 1 ~ n にそれぞれ対応する光回線 406 - 1 ~ n に光回線障害が発生し、回線断が発生すると、各光 / 無線ノード対は、接続回線を光回線から無線回線に切り替える。即ち、回線断が発生した光回線に対応する光 / 無線ノード対の上流側ノード及び下流側ノードは、接続回線を光回線 406 - 1 ~ n から無線回線 408 - 1 ~ n に切り替えて、臨時のバックアップ通信を行う。

【0019】

図 4 (B) は、光回線 406 - 1, 406 - n に回線断が発生した場合を一例として示しており、光 / 無線ノード対 404 - 1, 404 - n はそれぞれ、上流側ノードと下流側ノードとの間の接続回線を、光回線 406 - 1, 406 - n から無線回線 408 - 1, 408 - n に切り替えている。このように、光送信装置 400 と光受信装置 402 との間の光回線において複数箇所回線断が発生した場合には、それぞれの箇所における接続回線をバックアップ用の無線回線に切り替えることで、光送受信装置間の通信を継続できる。

【0020】

ここで、図 4 (A) 及び (B) に示すような、R F 信号を光伝送する光伝送システムでは、R F 信号で変調された光信号が光ファイバを伝搬する際に生じる波長分散の影響を取り除く必要がある。例えば、光信号のキャリア周波数を f_0 、R F 信号のキャリア周波数を f_{RF} とすると、R F 信号で強度変調された光信号は、光変調度を m とすると、以下の式 (1) で表現される。

$$\cos(2\pi f_0 t) \cdot \{1 + m \cdot \cos(2\pi f_{RF} t)\}$$

10

20

30

40

50

$$= \cos(2 f_0 t) + (m/2) \cos\{2(f_0 + f_{RF})t\} + (m/2) \cos\{2(f_0 - f_{RF})t\} \quad (1)$$

式(1)の右辺において、第1項は、光信号キャリアを示し、第2項及び第3項はそれぞれ、上側波帯及び下側波帯のRF信号成分を示す。

【0021】

式(1)に示すように、上側波帯及び下側波帯の両方のRF信号成分を伝送する両側波帯(DSB)変調を用いる場合、光ファイバ伝搬後のRF信号強度は、上側波帯及び下側波帯のRF信号成分の強度の総和によって定まる。この総和は、これら2つのRF信号成分の位相関係に依存して変化する。このため、RF信号のスループットは、上側波帯及び下側波帯のRF信号成分の位相関係に依存し、特に、位相差が π になると、上側波帯及び下側波帯のRF信号が互いに打ち消し合い、スループットが0となる。上側波帯及び下側波帯のRF信号成分の位相関係の変化は、波長分散の影響によって生じる。このように波長分散に起因したRF信号強度の変化は、一般に、RF位相フェージングと称される。(以下では、このようなRF位相フェージングに起因するRF信号強度の変化を「分散ペナルティ」と称する。)

10

【0022】

例えば、長さLの光ファイバを伝搬した後の、RF信号スループット P_{RF} は、以下の式(2)で表現される。

$$P_{RF} = 10 \cdot \log_{10}\{\cos^2(L D \lambda_0^2 f_{RF}^2 / c)\} \quad (2)$$

ここで、Dは光ファイバの分散値、 λ_0 は光信号キャリアの波長、cは光ファイバ中の光速である。なお、式(2)では、簡略化のため、光ファイバの伝搬損失は考慮しておらず、波長分散によるRF位相フェージングのみを考慮している。

20

【0023】

図5は、RF信号のキャリア周波数 f_{RF} をパラメータとして、式(2)を用いて計算した、光ファイバ伝送距離に対する分散ペナルティを示す図である。同図では、 $D = 17$ [ps/nm/km]、 $\lambda_0 = 1550$ [nm]とし、RF信号のキャリア周波数 f_{RF} を2GHz、30GHz、60GHzの3パターンとして計算している。図5に示すように、モバイル通信等で広く利用されている2GHzでは、光信号が光ファイバを10kmを伝搬した後も、分散ペナルティはほとんど発生しない。一方で、ミリ波帯に属する30GHzでは、数kmの光伝送で数dBの分散ペナルティが発生する。更に、60GHzでは、1kmの光伝送で著しい分散ペナルティが生じ、1kmの光伝送すら実現できないことが分かる。

30

【0024】

このように、キャリア周波数 f_{RF} の増加に伴い、波長分散によるRF位相フェージングに起因した、光受信装置におけるRF信号強度の変化が大きくなり、特にミリ波帯ではその変化が顕著になる。したがって、RF信号を光伝送する光伝送システムでは、RF信号で変調された光信号が光ファイバ伝送路を伝搬する際に生じる波長分散の影響を、適切な分散補償量で補償する必要がある。

【0025】

更に、図4(A)及び(B)に示すように、光回線における回線断の発生に備えて、冗長用の無線回線を備える光伝送システムでは、上述のように、光送受信装置間の光回線における回線断の発生箇所及び発生数に依存して、補償すべき分散補償量に変化する。これは、回線断が発生した箇所の接続回線を無線回線に切り替えると、光送受信装置間で光信号が光ファイバを伝搬する距離が変化するためである。このため、図4(A)及び(B)に示すような光伝送システムでは、回線断の発生状況に応じた適切な分散補償量で分散補償を行うことが必要である。

40

【0026】

< 光伝送システムの構成 >

次に、図1を参照して、本発明の一実施形態に係る、RF信号を光伝送する光伝送システムの構成例について説明する。図1に示す光伝送システムは、RF信号で変調された光

50

信号を送信する光送信装置 100 と、当該光信号を受信する光受信装置 102 と、光送信装置 100 から光受信装置 102 までの光伝送路の途中に設けられた光/無線ノード対 104 - 1 ~ n とを備える。なお、本実施形態において、光/無線ノード対 104 - 1 は、第 1 ノード対の一例であり、光/無線ノード対 104 - 2 ~ n は、第 2 ノード対の一例である。光伝送システムは、任意の数の光/無線ノード対 104 - 2 ~ n を備えうる。

【0027】

図 1 に示すように、光送信装置 100 と光/無線ノード対 104 - 1 とは、光ファイバ 20 - 1 で接続され、光/無線ノード対 104 - n と光受信装置 102 とは、光ファイバ 20 - (n + 1) で接続されている。また、光/無線ノード対 104 - 1 ~ n のうちで、隣り合う 2 つの光無線ノード対は、光ファイバ 20 - 2 ~ n でそれぞれ接続されている。

10

【0028】

光/無線ノード対 104 - 1 は、光信号の伝送方向における上流側及び下流側にそれぞれ位置する上流側ノード 104 - 1 a 及び下流側ノード 104 - 1 b から成り、光/無線ノード対 104 - 2 ~ n も同様である。光/無線ノード対 104 - 1 ~ n のそれぞれにおける上流側ノード及び下流側ノードは、光ファイバ 106 - 1 ~ n でそれぞれ接続されている。光/無線ノード対 104 - 1 において、上流側ノード 104 - 1 a の送信アンテナ 28 - 1 と下流側ノード 104 - 1 b の受信アンテナ 30 - 1 との間には、光ファイバ(光回線) 106 - 1 のバックアップ(迂回)用の無線回線が設けられており、光/無線ノード対 104 - 2 ~ n も同様である。後述するように、光/無線ノード対 104 - 1 ~ n はそれぞれ、上流側ノードと下流側ノードとの間で光伝送路(光ファイバ 106 - 1 ~ n)に回線断が発生すると、上流側ノードと下流側ノードとの間の接続回線を、光伝送路の光回線から無線伝送路の無線回線に切り替える。

20

【0029】

図 1 に示す光伝送システムは、正常運用時(即ち、回線断が生じていない時)には、光送信装置 100 から光受信装置 102 までの光伝送路及び光/無線ノード対 104 - 1 ~ n を介して、光送信装置 100 から光受信装置 102 へ、RF 信号で変調された光信号を伝送する。即ち、光送信装置 100 から光受信装置 102 へ、RF 信号を光信号により伝送する。この場合、光送信装置 100 と光受信装置 102 との間の光伝送路は、図 1 に示すように、光ファイバ 20 - 1 ~ (n + 1) と、光ファイバ 106 - 1 ~ n とで構成される。

30

【0030】

本実施形態では、光ファイバ(光回線) 106 - 1 ~ n は、光ファイバ 20 - 1 ~ (n + 1) よりも、災害発生時等に回線断が発生する可能性が高い場所に設けられており、例えば、架空や橋の下等に配線されているものとする。冗長用の無線回線は、このように回線断が発生する可能性が比較的高い光回線に対応して設けられることが望ましい。

【0031】

図 1 に示す光伝送システム内で、光ファイバ 106 - 1 ~ n 及び光ファイバ 20 - 1 ~ (n + 1) 以外の(図 1 に示していない)光ファイバの長さは、波長分散の影響が無視できる程度に短いものとする。なお、図 1 では、説明を容易にするため、光伝送路上の任意の箇所に挿入される光増幅器や RF 増幅器等を省略している。また、光送信装置 100 から光受信装置 102 までの片方向通信の例を示しているが、双方向通信であってもよい。

40

【0032】

< 正常運用時の信号伝送 >

次に、図 1 に示す光伝送システムにおける、正常運用時の信号伝送について説明する。光送信装置 100 において、光源(LD: Laser Diode) 10 は、 λ_1 の波長で、一定の光強度の連続光を送出し、当該連続光は光変調器 12 に入射する。光変調器 12 は、LD 10 から入射した連続光を、光伝送すべき RF 信号 14 で強度変調する。光変調器 12 に供給される RF 信号 14 の強度は、RF 増幅器等を適宜挿入することで増幅してもよい。光変調器 12 に印加するバイアス電圧等については説明を省略する。

【0033】

50

光送信装置 100 において、RF 信号 14 で強度変調された波長 λ_1 の光信号（以下では、「データ光信号」とも称する。）は、波長分割多重光合分波器（WDM OC : Wavelength Division Multiplexing Optical Coupler）16 を介して出力され、光ファイバ 20 - 1 に入射する。WDM OC 16 は、波長 λ_1 のデータ光信号と、後述する波長 λ_2 の光信号とを、波長合分波する受動光部品である。光ファイバ 20 - 1 を伝搬した光信号は、光ノード対 104 - 1 の上流側ノード 104 - 1 a における光スイッチ 22 - 1 に入射する。

【0034】

光ノード対 104 - 1 において、光スイッチ 22 - 1 は、A - B の接続と A - C の接続との間で切り替えを行うことで、光信号の伝送路を切り替える能動光デバイスであり、外部からの制御に応じて接続を切り替え可能である。正常運用時には、光スイッチ 22 - 1 は、A - B の接続状態に制御される。これにより、光ファイバ 20 - 1 を伝搬した光信号は、光回線 106 - 1 に供給される。上流側ノード 104 - 1 a と下流側ノード 104 - 1 b との間で、光回線 106 - 1 を伝搬した光信号は、下流側ノード 104 - 1 b の光スイッチ 23 - 1 に入射する。光スイッチ 23 - 1 は、光スイッチ 22 - 1 と同様の構成を有し、正常運用時には、B - A の接続状態に制御される。光スイッチ 23 - 1 を通過した光信号は、光ノード対 104 - 1 の下流側ノード 104 - 1 b から出力され、光ファイバ 20 - 2 に入射する。当該光信号は、光ファイバ 20 - 2 を伝搬して、光ノード対 104 - 2 の上流側ノード 104 - 2 a における光スイッチ 22 - 2 に入射する。

【0035】

なお、後述するように、光回線 106 - 1 に回線断が発生した際には、光スイッチ 22 - 1 は、外部からの制御に応じて A - C の接続に切り替わり、光スイッチ 23 - 1 は、外部からの制御に応じて C - A の接続に切り替わる。

【0036】

光ノード対 104 - 2 において、上流側ノード 104 - 2 a の光スイッチ 22 - 2 と、下流側ノード 104 - 2 b の光スイッチ 23 - 2 は、同様の構成を有し、正常運用時には、それぞれ A - B 及び B - A の接続状態に制御される。これにより、光信号は、上流側ノード 104 - 2 a と下流側ノード 104 - 2 b との間で、光回線 106 - 2 を伝搬する。光スイッチ 22 - 2、光回線 106 - 2 及び光スイッチ 23 - 2 を通過した光信号は、光ファイバ 20 - 3 を伝搬して、光ノード対 104 - 3（の上流側ノード 104 - 3 a における光スイッチ 22 - 3）に入射する。

【0037】

光ノード対 104 - 3 ~ n は、光ノード対 104 - 2 と同様の構成を有する。このため、正常運用時には、上述と同様、光信号は、光ファイバ 20 - 4 ~ (n + 1) 及び光回線 106 - 3 ~ n で構成される光伝送路を伝搬して、光受信装置 102 における WDM OC 60 に入射する。

【0038】

光受信装置 102 において、WDM OC 60 は、WDM OC 16 と同様、波長 λ_1 のデータ光信号と、後述する波長 λ_2 の光信号とを、波長合分波する受動光部品である。WDM OC 60 は、波長 λ_1 のデータ光信号を分散補償器（DCF : Dispersion Compensating Fiber module）62 に、波長 λ_2 の光信号を光送受信器（TRX）68 に、それぞれ供給する。

【0039】

光受信装置 102 において、DCF 62 は、データ光信号が、光ファイバ 20 - 1 ~ (n + 1)、光回線 106 - 1 ~ n で構成される光伝送路を伝搬する間に受ける波長分散の影響を補償する。即ち、波長分散により生じた RF 位相フェージング及び波形劣化の影響を補償する。DCF 62 を通過したデータ光信号は、光ノード対 104 - 3 の下流側ノード 104 - 3 b における電気変換器（O/E : Optical-to-Electrical Converter）64 に入射し、光信号から電気信号（無線信号）に変換され、RF 信号 70 として出力される。

【 0 0 4 0 】

< 光回線障害の発生時の信号伝送 >

次に、図 1 に示す光伝送システムにおける、光回線障害（回線断）の発生時の信号伝送について説明する。具体的には、光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 ~ n のうち、回線断が発生した光回線に対応する光 / 無線ノード対において、接続回線を光回線から冗長用の無線回線に切り替える場合の信号伝送について説明する。

【 0 0 4 1 】

（光回線 1 0 6 - 1 に回線断が発生した場合）

光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 に対応する光回線 1 0 6 - 1 に回線断が発生した場合、光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 は、それを検知し、上流側ノード 1 0 4 - 1 a と下流側ノード 1 0 4 - 1 b との間の接続回線を光回線 1 0 6 - 1 から冗長用の無線回線に切り替える。具体的には、光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 は、光スイッチ 2 2 - 1 を A C の接続に、光スイッチ 2 3 - 1 を C A の接続に、それぞれ切り替える。これにより、光ファイバ 2 0 - 1 を伝搬したデータ光信号は、上流側ノード 1 0 4 - 1 a において、光スイッチ 2 2 - 1 を介して D C F 2 4 へ入射する。D C F 2 4 は、分散補償ファイバ、ファイバ・ブラッグ・グレーティング（F B G : Fiber Bragg Grating）等で構成され、データ光信号に対して負の波長分散値で分散補償を行う。

【 0 0 4 2 】

光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 における接続回線が無線回線に切り替わる場合、D C F 2 4 は、光ファイバ 2 0 - 1 で受ける波長分散による R F 位相フェージングの影響を補償すればよい。このため、D C F 2 4 は、光ファイバ 2 0 - 1 で受ける波長分散量に相当する補償量で、データ信号に対する分散補償を行う。なお、D C F 2 4 の分散補償量は、固定値に設定できる。これは、光送信装置 1 0 0 から光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 の上流側ノード 1 0 4 - 1 a までの間で、データ光信号が光ファイバ内を伝搬する距離は、正常運用時も回線断の発生時も一定であるためである。したがって、D C F 2 4 は、光送信装置 1 0 0 と光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 との間の光伝送路の伝送路長に対応する補償量で、波長分散補償を行えばよい。なお、本実施形態で、D C F 2 4 は、第 1 ノード対の第 1 補償手段の一例である。

【 0 0 4 3 】

D C F 2 4 において分散補償が行われたデータ光信号は、光 / 電気変換器（O / E : Optical-to-Electrical converter）2 6 によって電気信号（無線信号）に変換される。当該電気信号は、上流側ノード 1 0 4 - 1 a から、送信アンテナ 2 8 - 1 を介して自由空間へ所定のビーム指向性及び強度で放射される。このようにして、分散補償後の光信号は、無線信号に変換され、無線回線を介して送信される。放射された電気信号は、受信アンテナ 3 0 - 1 を介して下流側ノード 1 0 4 - 1 b によって受信され、電気 / 光変換器（E / O : Electrical-to-Optical converter）3 2 - 1 に入力される。なお、上流側ノード 1 0 4 - 1 a における送信アンテナ 2 8 - 1 の前段、及び下流側ノード 1 0 4 - 1 b における受信アンテナ 3 0 - 1 の直後に、電気信号を増幅するための増幅器を挿入してもよい。

【 0 0 4 4 】

光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 の下流側ノード 1 0 4 - 1 b において、E / O 3 2 - 1 は、入力された電気信号（R F 信号）で強度変調した光信号（データ光信号）を生成し、W D M O C 3 4 - 1 へ供給する。W D M O C 3 4 - 1 は、W D M O C 1 6 及び 6 0 と同様、波長 λ_1 のデータ光信号と、後述する波長 λ_2 の光信号とを合分波する受動光部品であり、合波した光信号を光スイッチ 2 3 - 1 へ供給する。その後、光スイッチ 2 3 - 1 に供給された光信号は、光スイッチ 2 3 - 1 及び光ファイバ 2 0 - 2 を介して、光 / 無線ノード対 1 0 4 - 2 の上流側ノード 1 0 4 - 2 a に到達する。このようにして、光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 に対応する光回線 1 0 6 - 1 に回線断が発生した場合にも、光回線 1 0 6 - 1 のバックアップとして、無線回線を介した通信（信号伝送）が可能となる。

【 0 0 4 5 】

（光回線 1 0 6 - 2 に回線断が発生した場合）

光／無線ノード対１０４－２に対応する光回線１０６－２に回線断が発生した場合には、光／無線ノード対１０４－２は、それを検知し、上流側ノード１０４－２ａと下流側ノード１０４－２ｂとの間の接続回線を光回線１０６－２から冗長用の無線回線に切り替える。具体的には、光／無線ノード対１０４－２は、光スイッチ２２－２をＡ　Ｃの接続に、光スイッチ２３－２をＣ　Ａの接続に、それぞれ切り替える。これにより、光ファイバ２０－２を伝搬した光信号は、上流側ノード１０４－２ａにおいて、光スイッチ２２－２を介してＷＤＭ　ＯＣ４２－２に入射する。ＷＤＭ　ＯＣ４２－２は、ＷＤＭ　ＯＣ１６，６０と同様、波長 λ_1 のデータ光信号と、波長 λ_2 の光信号とを合分波し、分波した波長 λ_1 のデータ光信号をＤＣＦ４４－２に供給する。

【００４６】

光／無線ノード対１０４－１のＤＣＦ２４では、上述のように、光ファイバ２０－１で受ける波長分散量のみに対応する補償量で分散補償を行えばよい。一方、光／無線ノード対１０４－２のＤＣＦ４４－２では、光回線１０６－１の接続状態を考慮して、分散補償における補償量を決定する必要がある。具体的には、光回線１０６－１が正常状態である場合、ＤＣＦ４４－２は、光ファイバ２０－１，２０－２及び光ファイバ（光回線）１０６－１で受ける波長分散量の総和に対応する補償量で、分散補償を行う。また、光回線１０６－１に回線断が発生した場合、ＤＣＦ４４－２は、光ファイバ２０－１，２０－２で受ける波長分散量の総和に対応する補償量で、分散補償を行う。このように、ＤＣＦ４４－２で補償すべき波長分散量には、光回線１０６－１の接続状態により、２つのパターンが存在する。

【００４７】

ＤＣＦ４４－２による分散補償後のデータ光信号は、光回線１０６－１で回線断が発生した場合の上流側ノード１０４－１ａにおける処理と同様、電気信号に変換され、上流側ノード１０４－２ａから無線回線を介して下流側ノード１０４－２ｂに送信される。即ち、ＤＣＦ４４－２から出力されたデータ光信号は、Ｏ／Ｅ４６－２に入射して、電気信号に変換され、送信アンテナ２８－２を介して送信される。下流側ノード１０４－２ｂは、下流側ノード１０４－１ｂと同様の構成を有するため、下流側ノード１０４－１ｂと同様の処理を行う。それにより、ＷＤＭ　ＯＣ３４－２から出力された光信号は、光スイッチ２３－２及び光ファイバ２０－３を介して、光／無線ノード対１０４－３に送信される。

【００４８】

（光回線１０６－ｋに回線断が発生した場合）

光／無線ノード対１０４－ｋ（ $k = 3, 4, \dots, n$ ）に対応する光回線１０６－ｋに回線断が発生した場合、上述のように光回線１０６－２に回線断が発生した場合と同様に、ＤＣＦ４４－ｋによる分散補償を行う。

【００４９】

例えば、光／無線ノード対１０４－３のＤＣＦ４４－３では、光回線１０６－１，１０６－２の接続状態を考慮して、分散補償における補償量を決定する必要がある。このため、ＤＣＦ４４－３で補償すべき波長分散量には、光回線１０６－１，１０６－２の接続状態により、３つのパターンが存在する。更に、光／無線ノード対１０４－ｋ（ $k = 2, 3, \dots, n$ ）に一般化すると、光／無線ノード対１０４－ｋのＤＣＦ４４－ｋで補償すべき波長分散量には、光回線１０６－１～（ $k - 1$ ）の接続状態により、 k 個のパターンが存在する。また、光受信装置１０２は、光／無線ノード対１０４－（ $n + 1$ ）に相当するため、ＤＣＦ６２で補償すべき波長分散量には、（ $n + 1$ ）個のパターンが存在することになる。

【００５０】

なお、光回線１０６－ｋ（ $k = 3, 4, \dots, n$ ）に回線断が発生した場合の、ＤＣＦ４４－ｋによる分散補償後の、光／無線ノード対１０４－ｋによるデータ光信号に対する処理は、上述の、光／無線ノード対１０４－２による処理と同様である。

【００５１】

このように、本実施形態に係る光伝送システムにおいて光回線１０６－ｋ（ $k = 1, 2$

10

20

30

40

50

, ..., n) に回線断が発生した場合、回線断の発生箇所における接続回線をバックアップ用の無線回線に切り替える。これにより、光伝送路上で回線断が発生した場合にも、光送信装置 100 と光受信装置 102 との間で、RF 信号の光伝送を継続することが可能である。

【0052】

<DCF44 - k の構成>

DCF44 - k (k = 2, 3, ..., n) は、DCF24, 62 と同様、分散補償ファイバ、FBG 等で構成される。ただし、DCF44 - k では、光回線 106 - 1 ~ (k - 1) の接続状況に応じて、k パターンの分散補償量で分散補償を行える構成であることが必要である。以下では、第 1 の例として、DCF44 - k を分散補償ファイバで構成する例 (図 2) を、第 2 の例として、DCF44 - k を FBG で構成する例 (図 3) を、それぞれ説明する。なお、k = n + 1 とした場合の構成は、光受信装置 102 (k = n + 1) の DCF62 の構成に相当する。また、本実施形態で、DCF44 - 2 ~ n は、第 2 ノード対の第 1 補償手段の一例であり、DCF62 は、第 2 補償手段の一例である。

【0053】

図 2 は、複数の分散補償ファイバで構成される DCF44 - k の概略的な構成例を示す図である。WDM OC42 - k から入射した波長 λ_1 のデータ光信号は、光スイッチ 80 を介して、k 本の分散補償ファイバ 82 - 1 ~ k のいずれかに入射する。光スイッチ 80 は、1 × k の構成を有し、光/無線ノード対 104 - k (の上流側ノード 104 - ka) 内の制御装置 (CTL) 52 - k によって制御される。本実施形態では、CTL 52 - k は、後述する方法で決定した分散補償量に応じて、光スイッチ 80 の光接続を切り替えることで、データ光信号に対する分散補償量を制御する。分散補償ファイバ 82 - 1 ~ k のいずれかを伝搬したデータ光信号は、光カプラ (OC: Optical Coupler) 84 を介して、O/E46 - k へ入射する。

【0054】

分散補償ファイバ 82 - 1 ~ k は、それぞれ長さが異なり、それぞれの長さは異なる波長分散の補償量に対応している。即ち、分散補償ファイバ 82 - 1 ~ k のいずれを使用するかを選択することによって、その長さに対応する補償量で、データ光信号に対する分散補償を行うことが可能である。光ファイバ 20 - 1 ~ k 及び光ファイバ (光回線) 106 - 1 ~ (k - 1) のそれぞれの長さ、または、各光ファイバで受ける波長分散量を予め把握することで、分散補償ファイバ 82 - 1 ~ k のそれぞれの長さを決定できる。即ち、光送信装置 100 と光/無線ノード対 104 - k (の上流側ノード 104 - ka) との間に配置されている各光ファイバの接続状態に依存した、k 個の補償すべき波長分散量を予め求め、それらに基づいて、各分散補償ファイバの長さを決定すればよい。

【0055】

次に、図 3 は、複数の FBG で構成される DCF44 - k の概略的な構成例を示す図である。WDM OC42 - k から入射した波長 λ_1 のデータ光信号は、光スイッチ 80 を介して、k 個の光サーキュレータ 86 - 1 ~ k のいずれかに入射する。光サーキュレータ 86 - 1 ~ k は、特定の方向にのみ光信号を導く受動光部品であり、光スイッチ 80 から入射したデータ光信号を FBG 88 - 1 ~ k にそれぞれ供給する。

【0056】

FBG 88 - 1 ~ k は、入射したデータ光信号を、グレーティング部分で反射させ、反射させた光信号を再び光サーキュレータ 86 - 1 ~ k に供給する。FBG 88 - 1 ~ k のグレーティング周期を光ファイバの長手方向に変化させることで、異なる波長の光が異なるグレーティング部分で反射するようになる。これにより波長による群遅延時間差を発生させることができる。したがって、光ファイバ 20 - 1 ~ k 及び光ファイバ (光回線) 106 - 1 ~ (k - 1) で受ける波長分散の逆特性になるようにグレーティング部分を設計することで、FBG 88 - 1 ~ k は波長分散補償器として動作することになる。

【0057】

FBG 88 - 1 ~ k のいずれか反射した光信号は、対応する光サーキュレータ 86 - 1

10

20

30

40

50

～ k を通過して、O C 8 4 に入射する。O C 8 4 に入射した光信号は、O C 8 4 を介して O / E 4 6 - k へ入射する。

【 0 0 5 8 】

< D C F 4 4 - k における分散補償量の決定方法 >

D C F 4 4 - k (k = 2 , 3 , . . . , n) 及び D C F 6 2 における分散補償量を決定するためには、補償すべき波長分散量、即ち、光 / 無線ノード対 1 0 4 - k または光受信装置 1 0 2 に到達するまでに光信号が伝搬した光ファイバ長を把握する必要がある。以下では、光 / 無線ノード対 1 0 4 - 2 を例に、分散補償量の決定方法について説明する。

【 0 0 5 9 】

光 / 無線ノード対 1 0 4 - 2 に対応する光回線 1 0 6 - 2 に回線断が発生し、上流側ノード 1 0 4 - 2 a と下流側ノード 1 0 4 - 2 b との間の接続回線が無線回線に接続が切り替えられた場合を想定する。この場合、上流側ノード 1 0 4 - 2 a の C T L 5 2 - 2 は、D C F 4 4 - 2 における波長分散の補償量を決定する必要がある。

【 0 0 6 0 】

まず、C T L 5 2 - 2 は、光送受信器 (T R X : Optical Transceiver) 5 4 を起動する。T R X 5 4 - 2 は、波長 λ_1 のデータ光信号が伝搬した光ファイバ長を計測するために、波長 λ_1 とは異なる波長 λ_2 の光信号を、試験的に送受信する。なお、T R X 5 4 - 2 が送信する波長 λ_2 の光信号は、単一パルスでもよいし、制御信号であってもよく、任意の光信号を使用可能である。

【 0 0 6 1 】

T R X 5 4 - 2 は、C T L 5 2 - 2 からのクロック (C L K) を参照して、波長 λ_2 の光信号 (以下では、「試験光」とも称する。) を一定の周期で、光伝送路を介して上流側に送信する。なお、D C F 4 4 - 2 の分散補償量は、試験光を一回送信するのみで決定可能であるが、災害発生時等には、その状況に応じて光回線 1 0 6 - 1 の接続状態が変化する可能性もあるため、定期的に計測するとよい。

【 0 0 6 2 】

T R X 5 4 - 2 から出力された試験光は、W D M O C 4 2 - 2 を介して光スイッチ 2 2 - 2 に入射する。光スイッチ 2 2 - 2 は、光回線 1 0 6 - 2 における回線断の発生により、既に C A の接続に切り替わっている。このため、光スイッチ 2 2 - 2 は、入射した試験光を、光ファイバ 2 0 - 2 に供給する。これにより、光 / 無線ノード対 1 0 4 - 2 の上流側ノード 1 0 4 - 2 a から、上流側の光ファイバ 2 0 - 2 へ、試験光が出力される。光ファイバ 2 0 - 2 を伝搬した波長 λ_2 の光信号 (試験光) は、光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 の下流側ノード 1 0 4 - 1 b に到達し、光スイッチ 2 3 - 1 に入射する。

【 0 0 6 3 】

(光回線 1 0 6 - 1 が正常である場合)

ここで、光 / 無線ノード対 1 0 4 - 1 に対応する光回線 1 0 6 - 1 が正常である場合、光スイッチ 2 3 - 1 , 2 2 - 1 の接続状態は、それぞれ A B 及び B A である。このため、光スイッチ 2 3 - 1 に到達した試験光は、下流側ノード 1 0 4 - 1 b から上流側ノード 1 0 4 - 1 a まで、光回線 1 0 6 - 1 を伝搬し、更に光ファイバ 2 0 - 1 を伝搬することで光送信装置 1 0 0 に到達し、W D M O C 1 6 に入射する。W D M O C 1 6 で分波された波長 λ_2 の試験光は、光反射器 1 8 において反射し、再び W D M O C 1 6 に入射する。なお、光反射器 1 8 は、入射した光をほぼ全反射させる構成であることが望ましく、ミラーや F B G で構成できる。このようにして、光反射器 1 8 は、光伝送路を介して下流側から受信された試験光を、当該光伝送路を介して下流側へ伝搬するように反射させる。

【 0 0 6 4 】

光反射器 1 8 で反射した試験光は、W D M O C 1 6 において、波長 λ_1 のデータ光信号と合波され、光送信装置 1 0 0 から光ファイバ 2 0 - 1 に出力される。光送信装置 1 0 0 から出力された、試験光を含む光信号は、光ファイバ 2 0 - 1 、光回線 1 0 6 - 1 及び光ファイバ 2 0 - 2 を伝搬して、再び光 / 無線ノード対 1 0 4 - 2 の上流側ノード 1 0 4 - 2 a に到達する。上流側ノード 1 0 4 - 2 a において、波長 λ_2 の試験光は、W D M O C

10

20

30

40

50

4 2 - 2 を介して、T R X 5 4 - 2 によって受信される。このようにして、T R X 5 4 - 2 は、光伝送路を介して試験光を上流側に送信し、光反射器 1 8 または光反射器 3 6 - 1 (ここでは光反射器 1 8) で反射して当該光伝送路を伝搬してきた試験光を受信する。

【 0 0 6 5 】

C T L 5 2 - 2 は、T R X 5 4 - 2 に指示した試験光の送信時刻を把握している。このため、C T L 5 2 - 2 は、T R X 5 4 - 2 が試験光を送信した時刻と試験光を受信した時刻との差、即ち、往復伝搬遅延時間 (R T T : Round Trip Time) を計測することで、試験光が伝搬した光ファイバ長 (伝送路長) を算出することができる。具体的には、光ファイバ内の光速を R T T の半分の値で乗算すれば、試験光が伝搬した光ファイバ長が求められる。

10

【 0 0 6 6 】

上述のように、光ファイバ 2 0 - 1 , 2 0 - 2 及び光回線 1 0 6 - 1 以外の光ファイバ長が無視できる程度に短いものとする、試験光が伝搬した光ファイバ長は、データ光信号が伝搬する光ファイバ長と等しい。このため、C T L 5 2 - 2 は、試験光が伝搬した光ファイバ長を求めることにより、データ光信号が伝搬する光ファイバ長、即ち、補償すべき波長分散量を決定することが可能である。したがって、C T L 5 2 - 2 は、D C F 4 4 - 2 における波長分散の補償量が、データ光信号が伝搬する光ファイバ長に対応する値となるように、D C F 4 4 - 2 内の光スイッチ 8 0 の接続の切替制御を行えばよい。これにより、D C F 4 4 - 2 は、光信号が伝搬する光ファイバ長 (伝送路長) を伝搬する間に受ける波長分散を補償する補償量で、波長分散補償を行う。

20

【 0 0 6 7 】

(光回線 1 0 6 - 1 に回線断が発生している場合)

一方、光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 1 に対応する光回線 1 0 6 - 1 に回線断が発生している場合、光スイッチ 2 3 - 1 , 2 2 - 1 の接続状態は、それぞれ A C 及び C A である。このため、光スイッチ 2 3 - 1 に到達した、波長 λ_2 の試験光は、W D M O C 3 4 - 1 を介して、光反射器 3 6 - 1 に入射する。光反射器 3 6 - 1 は、光反射器 1 8 と同様、入射した試験光を反射させ、再び W D M O C 3 4 - 1 に入射させる。なお、光反射器 3 6 - 1 は、光反射器 1 8 と同様、入射した光をほぼ全反射させる構成であることが望ましく、ミラーや F B G で構成できる。このようにして、光反射器 3 6 - 1 は、光伝送路を介して下流側から受信された試験光を、当該光伝送路を介して下流側へ伝搬するように反射させる。

30

【 0 0 6 8 】

光反射器 3 6 - 1 で反射した試験光は、W D M O C 3 4 - 1 において、波長 λ_1 のデータ光信号と合波され、合波した光信号は、光スイッチ 2 3 - 1 に入射する。当該光信号は、光スイッチ 2 3 - 1 を通過して、光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 1 の下流側 ノード 1 0 4 - 1 b から光ファイバ 2 0 - 2 に出力される。下流側 ノード 1 0 4 - 1 b から出力された、試験光を含む光信号は、光ファイバ 2 0 - 2 を伝搬して、再び光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 2 の上流側 ノード 1 0 4 - 2 a に到達する。上流側 ノード 1 0 4 - 2 a において、波長 λ_2 の試験光は、W D M O C 4 2 - 2 を介して、T R X 5 4 - 2 によって受信される。このようにして、T R X 5 4 - 2 は、光伝送路を介して試験光を上流側に送信し、光反射器 1 8 または光反射器 3 6 - 1 (ここでは光反射器 3 6 - 1) で反射して当該光伝送路を伝搬してきた試験光を受信する。

40

【 0 0 6 9 】

その後、C T L 5 2 - 2 は、上述の手順と同様に、R T T を計測することで、試験光が伝搬した光ファイバ長を算出する。更に、C T L 5 2 - 2 は、D C F 4 4 - 2 における波長分散の補償量が、データ光信号が伝搬する光ファイバ長に対応する値となるように、D C F 4 4 - 2 内の光スイッチ 8 0 の接続の切替制御を行えばよい。

【 0 0 7 0 】

光スイッチ 8 0 の接続の切替制御を行うために、C T L 5 2 - 2 は、R T T と光スイッチ 8 0 の接続とを対応付けたテーブルを予め保持していればよい。C T L 5 2 - 2 は、当

50

該テーブルを参照することで、計測した R T T と対応付けられた光スイッチ 8 0 の接続を特定し、光スイッチ 8 0 を、当該特定した接続に切り替える制御を行う。

【 0 0 7 1 】

また、光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 2 よりも下流側に位置する、光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 3 ~ n のいずれかの上流側 ノード から送信された試験光が、光ファイバ 2 0 - 3 を伝搬し、下流側 ノード 1 0 4 - 2 b に到達した場合、当該試験光は以下のように伝搬する。光回線 1 0 6 - 2 が正常である場合、試験光は、光ファイバ 2 0 - 2 を伝搬して光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 1 の下流側 ノード 1 0 4 - 1 b に伝搬し、下流側 ノード 1 0 4 - 1 b の光反射器 3 6 - 1 または光送信装置 1 0 0 の光反射器 1 8 で反射する。反射した試験光は、反射前に通過してきた光伝送路を戻り、当該試験光を送信した T R X 5 4 - 3 ~ n で受信される。

10

【 0 0 7 2 】

一方、光回線 1 0 6 - 2 に回線断が発生している場合、光信号は、光スイッチ 2 3 - 2 を介して W D M O C 4 2 - 2 に入射する。W D M O C 4 2 - 2 で分波された、波長 λ_2 の試験光は、光反射器 3 6 - 2 で反射する。反射した試験光は、再び W D M O C 4 2 - 2 及び光スイッチ 2 3 - 2 を介して、光ファイバ 2 0 - 3 に出力されることで、反射前に通過してきた光伝送路を戻り、当該試験光を送信した T R X 5 4 - 3 ~ n で受信される。

【 0 0 7 3 】

T R X 5 4 - 3 ~ n が、反射した試験光を受信すると、対応する C T L 5 2 - 3 ~ n は、上述と同様に、R T T を計測し、D C F 4 4 - 3 ~ n による分散補償量を決定できる。即ち、図 1 に示すように、光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 3 ~ n は、光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 2 と同様の構成を有するため、光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 3 ~ n においても同様の手順で、D C F 4 4 - 3 ~ n における波長分散の補償量を制御可能である。

20

【 0 0 7 4 】

上述の実施形態では、D C F 2 4 , 4 4 - 1 ~ n , 6 2 で波長分散を補償する例について説明してきた、電気分散補償 (E D C : Electrical Dispersion Compensation) によって波長分散を補償することも可能である。この場合、E D C 機能を有する信号処理部を、送信アンテナ 2 8 - 1 ~ n の前段及び O / E 6 4 の後段に挿入すればよい。なお、R T T は、上述と同様の方法で計測可能である。C T L 5 2 - 2 ~ n 及び 6 6 は、R T T の計測結果に基づいて、かかる信号処理部の E D C を制御すればよい。

30

【 0 0 7 5 】

以上説明したように、本実施形態に係る光伝送システムは、光送信装置 1 0 0 と光受信装置 1 0 2 との間の光伝送路の途中に、上流側 ノード 及び下流側 ノード から成る光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 1 ~ n を備える。各光 / 無線 ノード 対は、両ノード間の光伝送路 (光ファイバ 1 0 6 - 1 ~ n) に回線断が発生すると、両ノード間の接続回線を、光回線からの無線回線に切り替える。光受信装置 1 0 2 は、試験光を光伝送路を介して上流側に送信し、光送信装置 1 0 0 またはいずれかの光 / 無線 ノード 対の下流側 ノード で反射した試験光を受信することで、試験光の R T T を測定する。更に、光受信装置 1 0 2 は、測定した R T T に応じた補償量で、D C F 6 2 により、光送信装置 1 0 0 から受信した光信号に対して分散補償を行う。

40

【 0 0 7 6 】

本実施形態によれば、光回線と無線回線とを切替可能な光 / 無線 ノード 対に対応する光回線で回線断が生じたとしても、光送信装置 1 0 0 と光受信装置 1 0 2 との間に、R F 信号で変調された光信号が伝搬した光ファイバ長 (伝送路長) を求めることが可能である。更に、求めた伝送路長に基づいて分散補償を行うことによって、回線断の発生状況に応じた適切な分散補償量で、R F 信号で変調された光信号に対する分散補償を行うことが可能である。

【 0 0 7 7 】

また、本実施形態では、光 / 無線 ノード 対 1 0 4 - 2 ~ n の上流側 ノード も、光受信装置 1 0 2 と同様に、試験光を用いて当該試験光の R T T を測定し、測定した R T T に応じ

50

た補償量で、DCF 44 - 2 ~ nにより、光送信装置 100 から受信した光信号に対して分散補償を行う。これにより、光回線 106 - 1 ~ nのうちで回線断が発生した回線数によらず、適切な分散補償量で、RF信号で変調された光信号に対する分散補償を行うことが可能である。

【0078】

<SSB変調を使用する例>

上述の実施形態では、光信号をRF信号でDSB変調して光伝送を行う場合を想定しているが、光信号をRF信号でSSB変調を行う場合には、以下のように、図1に示す光伝送システムを変更すればよい。一般に、光信号をRF信号でSSB変調した場合には、DSB変調を用いる場合のように、位相フェージングは発生しない。このため、上述のよう

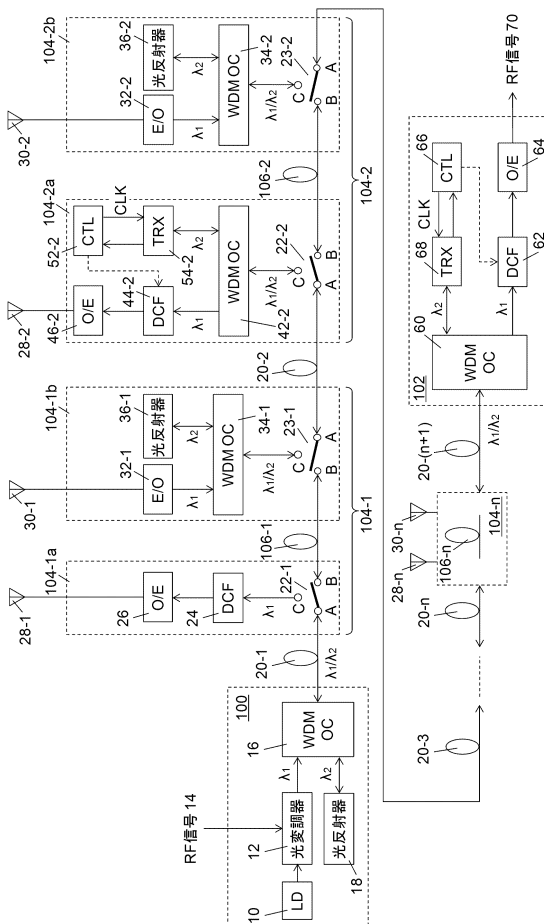
10

【0079】

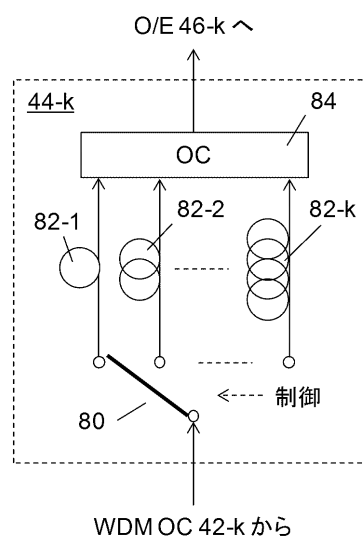
また、DCF 44 - 1 ~ nは、光回線 106 - 1 ~ nに回線断が発生した場合、光受信装置 102 に到達したデータ光信号が受けている波長分散量が、光回線 106 - 1 ~ nが正常である場合と同じ量になるよう、正の分散補償値でデータ光信号に対する分散補償を行えばよい。これにより、DCF 62の分散補償量は、光回線 106 - 1 ~ nの接続状態によらず、固定値とすることが可能である。

20

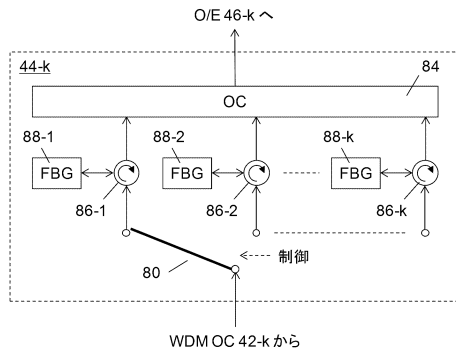
【図1】



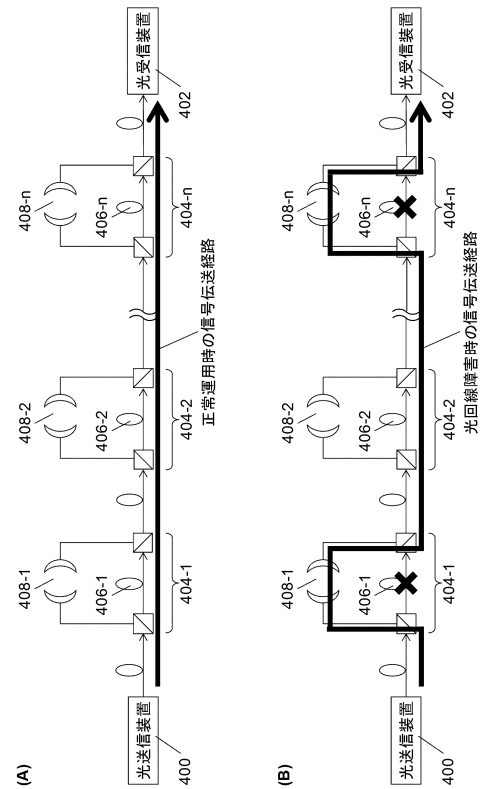
【図2】



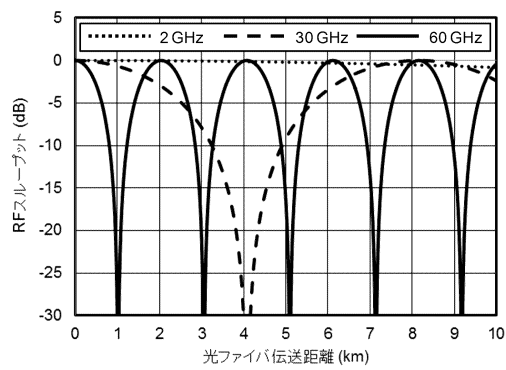
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

- (74)代理人 100131886
弁理士 坂本 隆志
- (74)代理人 100170667
弁理士 前田 浩次
- (74)代理人 100166660
弁理士 吉田 晴人
- (72)発明者 大石 将之
埼玉県ふじみ野市大原二丁目1番15号 株式会社KDDI研究所内
- (72)発明者 村上 隆秀
埼玉県ふじみ野市大原二丁目1番15号 株式会社KDDI研究所内
- (72)発明者 西村 公佐
埼玉県ふじみ野市大原二丁目1番15号 株式会社KDDI研究所内

審査官 前田 典之

- (56)参考文献 特開2003-046413(JP,A)
特開平03-274928(JP,A)
特開昭64-073934(JP,A)
特開2009-164988(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|---------|
| H04B | 10/2513 |
| H04B | 10/032 |
| H04B | 10/038 |