

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6133745号  
(P6133745)

(45) 発行日 平成29年5月24日(2017.5.24)

(24) 登録日 平成29年4月28日(2017.4.28)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 B 10/2575 (2013.01)

H O 4 B 10/2575

H O 4 J 14/06 (2006.01)

H O 4 J 14/06

請求項の数 29 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2013-205300 (P2013-205300)	(73) 特許権者	000208891
(22) 出願日	平成25年9月30日(2013.9.30)		K D D I 株式会社
(65) 公開番号	特開2015-70546 (P2015-70546A)		東京都新宿区西新宿二丁目3番2号
(43) 公開日	平成27年4月13日(2015.4.13)	(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、光送信装置、無線送信装置及び無線受信装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光送信装置と、光伝送路を介して前記光送信装置と接続される無線送信装置と、無線伝送路を介して前記無線送信装置と接続され、かつ、光伝送路を介して光受信装置と接続される無線受信装置と、を備える光伝送システムであって、

前記光送信装置は、

前記光受信装置へ送信すべき第1及び第2の光信号を第1及び第2の偏波成分として含む偏波多重光信号と、前記第1及び第2の偏波成分用の、それぞれ異なる周波数の第1及び第2の連続光とを合波して、光伝送路を介して送信する第1の送信手段、を備え、

前記無線送信装置は、

前記光送信装置から受信した前記第1及び第2の連続光に基づいて、前記光送信装置から受信した前記偏波多重光信号を、前記第1及び第2の光信号がそれぞれ異なる周波数の信号成分として多重された無線信号に変換する第1の変換手段と、

前記無線信号を前記無線受信装置へ送信するための送信アンテナと、を備え、

前記無線受信装置は、

前記無線送信装置から送信された無線信号を受信するための受信アンテナと、

前記受信アンテナによって受信された無線信号を、前記第1及び第2の偏波成分にそれぞれ対応する第3及び第4の光信号に変換する第2の変換手段であって、前記第3の光信号に含まれる前記第1の光信号に対応する信号成分の周波数と、前記第4の光信号に含まれる前記第2の光信号に対応する信号成分の周波数とが同一となるように、前記無線信

10

20

号を変換する、前記第 2 の変換手段と、

前記第 3 及び第 4 の光信号に基づいて、前記第 1 及び第 2 の光信号を含む偏波多重光信号を生成し、光伝送路を介して前記光受信装置へ送信する第 2 の送信手段と、を備えることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2】

前記第 1 の送信手段は、

前記第 1 の光信号を生成し、当該第 1 の光信号と前記第 1 の連続光とを合波して出力する第 1 の信号生成手段と、

前記第 2 の光信号を生成し、当該第 2 の光信号と前記第 2 の連続光とを合波して出力する第 2 の信号生成手段と、

前記第 1 の光信号及び前記第 1 の連続光を前記第 1 の偏波成分、前記第 2 の光信号及び前記第 2 の連続光を前記第 2 の偏波成分として多重して、得られた光信号を、光伝送路を介して送信する偏波多重手段と、

を備える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 1 及び第 2 の光信号は、同一の周波数の光信号であり、

前記第 1 の連続光は、第 1 の周波数の連続光であり、

前記第 2 の連続光は、前記第 1 の周波数と異なる第 2 の周波数の連続光であり、

前記無線信号は、前記第 1 の光信号を、前記第 1 の周波数と前記第 1 の光信号の周波数との差分と等しい周波数の信号成分として含み、前記第 2 の光信号を、前記第 2 の周波数と前記第 2 の光信号の周波数との差分と等しい周波数の信号成分として含む

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 4】

前記第 1 の変換手段は、前記偏波多重光信号に含まれる前記第 1 の光信号と前記第 1 の連続光、及び前記偏波多重光信号に含まれる前記第 2 の光信号と前記第 2 の連続光を、それぞれヘテロダイン方式で混合して電気信号に変換することで、前記無線信号を生成することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の光伝送システム。

【請求項 5】

前記第 1 の変換手段は、フォトダイオードで構成された光 / 電気変換器であることを特徴とする請求項 4 に記載の光伝送システム。

【請求項 6】

前記無線受信装置は、第 1 及び第 2 の受信アンテナを備え、

前記第 2 の変換手段は、

前記第 1 及び第 2 の受信アンテナによってそれぞれ受信された無線信号を、中間周波数帯域の電気信号にそれぞれ変換する第 1 及び第 2 の周波数変換器と、

前記第 1 及び第 2 の周波数変換器からそれぞれ出力された電気信号が入力され、入力された電気信号を前記第 3 及び第 4 の光信号にそれぞれ変換する第 1 及び第 2 の光変調器と、

を備えることを特徴とする請求項 1 から 5 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 の周波数変換器は、前記第 1 の受信アンテナによって受信された無線信号を、前記第 1 の光信号に対応する信号成分が所定の周波数  $f_c$  に配置された電気信号に変換し、

前記第 2 の周波数変換器は、前記第 2 の受信アンテナによって受信された無線信号を、前記第 2 の光信号に対応する信号成分が前記所定の周波数  $f_c$  に配置された電気信号に変換する

ことを特徴とする請求項 6 に記載の光伝送システム。

【請求項 8】

前記所定の周波数  $f_c$  は、

前記第 1 及び第 2 の周波数変換器の周波数特性を示す帯域幅を  $w_{IF}$  とし、前記第 1 及び

10

20

30

40

50

第 2 の光信号の帯域幅を  $w$  とした場合に、

$$w / 2 < f_c < (w_{IF} - w / 2)$$

を満たす周波数に定められることを特徴とする請求項 7 に記載の光伝送システム。

【請求項 9】

前記第 2 の変換手段は、

前記無線送信装置から送信される無線信号に含まれる前記第 1 の光信号に対応する信号成分の周波数と、前記所定の周波数  $f_c$  との差分に等しい周波数の信号を発生させ、前記第 1 の周波数変換器に出力する第 1 の信号発生器と、

前記無線送信装置から送信される無線信号に含まれる前記第 2 の光信号に対応する信号成分の周波数と、前記所定の周波数  $f_c$  との差分に等しい周波数の信号を発生させ、前記第 2 の周波数変換器に出力する第 2 の信号発生器と、

を更に備え、

前記第 1 の周波数変換器は、前記第 1 の受信アンテナによって受信された無線信号と、前記第 1 の信号発生器から出力された信号とを混合して、得られた電気信号を出力し、

前記第 2 の周波数変換器は、前記第 2 の受信アンテナによって受信された無線信号と、前記第 2 の信号発生器から出力された信号とを混合して、得られた電気信号を出力することを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の光伝送システム。

【請求項 10】

前記第 2 の変換手段は、電気信号による変調のための連続光を前記第 1 及び第 2 の光変調器に出力する、前記第 1 及び第 2 の光変調器に対して共通の光源を更に備える

ことを特徴とする請求項 6 から 9 のいずれか 1 項に記載の光伝送システム。

【請求項 11】

前記無線受信装置は、1 つの受信アンテナを備え、

前記第 2 の変換手段は、

前記受信アンテナによって受信された無線信号を、中間周波数帯域の電気信号に変換する周波数変換器と、

前記周波数変換器から出力された電気信号が入力され、入力された電気信号を前記第 3 及び第 4 の光信号にそれぞれ変換する第 1 及び第 2 の光変調器と、

を備え、

前記周波数変換器の周波数特性を示す帯域幅  $w_{IF}$  は、前記第 1 及び第 2 の光信号の帯域幅  $w$  以上の大きさである

ことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の光伝送システム。

【請求項 12】

前記第 1 の光変調器は、前記入力された電気信号を、当該電気信号に含まれる前記第 1 の光信号に対応する信号成分が所定の周波数に配置された光信号に変換し、前記第 3 の光信号として出力し、

前記第 2 の光変調器は、前記入力された電気信号を、当該電気信号に含まれる前記第 2 の光信号に対応する信号成分が前記所定の周波数に配置された光信号に変換し、前記第 4 の光信号として出力する

ことを特徴とする請求項 11 に記載の光伝送システム。

【請求項 13】

前記第 2 の変換手段は、

電気信号による変調のための連続光を前記第 1 及び第 2 の光変調器にそれぞれ出力する第 1 及び第 2 の光源を更に備え、

前記第 1 及び第 2 の光源から出力される連続光の周波数は、前記無線信号に含まれる、前記第 1 の光信号に対応する信号成分の周波数と、前記第 2 の光信号に対応する信号成分の周波数との差分に基づいて定められる

ことを特徴とする請求項 12 に記載の光伝送システム。

【請求項 14】

前記第 2 の送信手段は、

前記第 3 及び第 4 の光信号をそれぞれ前記第 1 及び第 2 の偏波成分として多重して出力する偏波多重手段と、

前記偏波多重手段から出力された信号から、前記第 1 及び第 2 の光信号に対応する信号成分を抽出し、抽出した信号成分から成る光信号を前記偏波多重光信号として出力するバンドパスフィルタと、

を備えることを特徴とする請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の光伝送システム。

【請求項 15】

受信した無線信号を光信号に変換して光受信装置へ送信する無線受信装置に対して、光信号を無線信号として送信する無線送信装置と、光伝送路を介して接続される光送信装置であって、

10

前記光受信装置へ送信すべき第 1 及び第 2 の光信号を第 1 及び第 2 の偏波成分として含む偏波多重光信号と、前記第 1 及び第 2 の偏波成分用の、それぞれ異なる周波数の第 1 及び第 2 の連続光とを合波して、前記光伝送路を介して前記無線送信装置へ送信する送信手段を備え、

前記偏波多重光信号は、前記無線送信装置によって、前記第 1 及び第 2 の連続光に基づいて、前記第 1 及び第 2 の光信号がそれぞれ異なる周波数の信号成分として多重された無線信号に変換されて、前記無線信号として前記無線受信装置へ送信される

ことを特徴とする光送信装置。

【請求項 16】

前記送信手段は、

20

前記第 1 の光信号を生成し、当該第 1 の光信号と前記第 1 の連続光とを合波して出力する第 1 の信号生成手段と、

前記第 2 の光信号を生成し、当該第 2 の光信号と前記第 2 の連続光とを合波して出力する第 2 の信号生成手段と、

前記第 1 の光信号及び前記第 1 の連続光を前記第 1 の偏波成分、前記第 2 の光信号及び前記第 2 の連続光を前記第 2 の偏波成分として多重して、得られた光信号を、光伝送路を介して送信する偏波多重手段と、

を備えることを特徴とする請求項 15 に記載の光送信装置。

【請求項 17】

前記第 1 及び第 2 の光信号は、同一の周波数の光信号であり、

30

前記第 1 の連続光は、第 1 の周波数の連続光であり、

前記第 2 の連続光は、前記第 1 の周波数と異なる第 2 の周波数の連続光であり、

前記無線信号は、前記第 1 の光信号を、前記第 1 の周波数と前記第 1 の光信号の周波数との差分と等しい周波数の信号成分として含み、前記第 2 の光信号を、前記第 2 の周波数と前記第 2 の光信号の周波数との差分と等しい周波数の信号成分として含む

ことを特徴とする請求項 15 または 16 に記載の光送信装置。

【請求項 18】

前記無線信号への変換は、前記偏波多重光信号に含まれる前記第 1 の光信号と前記第 1 の連続光、及び前記偏波多重光信号に含まれる前記第 2 の光信号と前記第 1 の連続光を、それぞれヘテロダイン方式で混合して電気信号に変換することによって行われる

40

ことを特徴とする請求項 15 から 17 のいずれか 1 項に記載の光送信装置。

【請求項 19】

光送信装置から光受信装置に対して送信される、第 1 及び第 2 の光信号を第 1 及び第 2 の偏波成分として含む偏波多重光信号から変換された無線信号を無線送信装置から受信して、受信した無線信号を偏波多重光信号に変換して前記光受信装置へ送信する無線受信装置であって、

前記無線送信装置から送信された、前記第 1 及び第 2 の光信号がそれぞれ異なる周波数の信号成分として多重された無線信号を受信するための受信アンテナと、

前記受信アンテナによって受信された無線信号を、前記第 1 及び第 2 の偏波成分にそれぞれ対応する第 3 及び第 4 の光信号に変換する変換手段であって、前記第 3 の光信号に含

50

まれる前記第 1 の光信号に対応する信号成分の周波数と、前記第 4 の光信号に含まれる前記第 2 の光信号に対応する信号成分の周波数とが同一となるように、前記無線信号を変換する、前記変換手段と、

前記第 3 及び第 4 の光信号に基づいて、前記第 1 及び第 2 の光信号を含む偏波多重光信号を生成し、光伝送路を介して前記光受信装置へ送信する送信手段と、

を備えることを特徴とする無線受信装置。

【請求項 20】

前記無線受信装置は、第 1 及び第 2 の受信アンテナを備え、

前記変換手段は、

前記第 1 及び第 2 の受信アンテナによってそれぞれ受信された無線信号を、中間周波数帯域の電気信号にそれぞれ変換する第 1 及び第 2 の周波数変換器と、

前記第 1 及び第 2 の周波数変換器からそれぞれ出力された電気信号が入力され、入力された電気信号を前記第 3 及び第 4 の光信号にそれぞれ変換する第 1 及び第 2 の光変調器と、

を備えることを特徴とする請求項 19 に記載の無線受信装置。

【請求項 21】

前記第 1 の周波数変換器は、前記第 1 の受信アンテナによって受信された無線信号を、前記第 1 の光信号に対応する信号成分が所定の周波数  $f_c$  に配置された電気信号に変換し、

前記第 2 の周波数変換器は、前記第 2 の受信アンテナによって受信された無線信号を、前記第 2 の光信号に対応する信号成分が前記所定の周波数  $f_c$  に配置された電気信号に変換する

ことを特徴とする請求項 20 に記載の無線受信装置。

【請求項 22】

前記所定の周波数  $f_c$  は、

前記第 1 及び第 2 の周波数変換器の周波数特性を示す帯域幅を  $w_{IF}$  とし、前記第 1 及び第 2 の光信号の帯域幅を  $w$  とした場合に、

$$w/2 < f_c < (w_{IF} - w/2)$$

を満たす周波数に定められることを特徴とする請求項 21 に記載の無線受信装置。

【請求項 23】

前記変換手段は、

前記無線送信装置から送信される無線信号に含まれる前記第 1 の光信号に対応する信号成分の周波数と、前記所定の周波数  $f_c$  との差分に等しい周波数の信号を発生させ、前記第 1 の周波数変換器に出力する第 1 の信号発生器と、

前記無線送信装置から送信される無線信号に含まれる前記第 2 の光信号に対応する信号成分の周波数と、前記所定の周波数  $f_c$  との差分に等しい周波数の信号を発生させ、前記第 1 の周波数変換器に出力する第 2 の信号発生器と、

を更に備え、

前記第 1 の周波数変換器は、前記第 1 の受信アンテナによって受信された無線信号と、前記第 1 の信号発生器から出力された信号とを混合して、得られた電気信号を出力し、

前記第 2 の周波数変換器は、前記第 2 の受信アンテナによって受信された無線信号と、前記第 2 の信号発生器から出力された信号とを混合して、得られた電気信号を出力する

ことを特徴とする請求項 21 または 22 に記載の無線受信装置。

【請求項 24】

前記変換手段は、電気信号による変調のための連続光を前記第 1 及び第 2 の光変調器に出力する、前記第 1 及び第 2 の光変調器に対して共通の光源を更に備える

ことを特徴とする請求項 20 から 23 のいずれか 1 項に記載の無線受信装置。

【請求項 25】

前記無線受信装置は、1 つの受信アンテナを備え、

前記変換手段は、

前記受信アンテナによって受信された無線信号を、中間周波数帯域の電気信号に変換する周波数変換器と、

前記周波数変換器から出力された電気信号が入力され、入力された電気信号を前記第 3 及び第 4 の光信号にそれぞれ変換する第 1 及び第 2 の光変調器と、

を備え、

前記周波数変換器の周波数特性を示す帯域幅  $w_{IF}$  は、前記第 1 及び第 2 の光信号の帯域幅  $w$  以上の大きさである

ことを特徴とする請求項 19 に記載の無線受信装置。

【請求項 26】

前記第 1 の光変調器は、前記入力された電気信号を、当該電気信号に含まれる前記第 1 の光信号に対応する信号成分が所定の周波数に配置された光信号に変換し、前記第 3 の光信号として出力し、

前記第 2 の光変調器は、前記入力された電気信号を、当該電気信号に含まれる前記第 2 の光信号に対応する信号成分が前記所定の周波数に配置された光信号に変換し、前記第 4 の光信号として出力する

ことを特徴とする請求項 25 に記載の無線受信装置。

【請求項 27】

前記変換手段は、

電気信号による変調のための連続光を前記第 1 及び第 2 の光変調器にそれぞれ出力する第 1 及び第 2 の光源を更に備え、

前記第 1 及び第 2 の光源から出力される連続光の周波数は、前記無線信号に含まれる、前記第 1 の光信号に対応する信号成分の周波数と、前記第 2 の光信号に対応する信号成分の周波数との差分に基づいて定められる

ことを特徴とする請求項 26 に記載の無線受信装置。

【請求項 28】

前記送信手段は、

前記第 3 及び第 4 の光信号をそれぞれ前記第 1 及び第 2 の偏波成分として多重して出力する偏波多重手段と、

前記偏波多重手段から出力された信号から、前記第 1 及び第 2 の光信号に対応する信号成分を抽出し、抽出した信号成分から成る光信号を前記偏波多重光信号として出力するバンドパスフィルタと、

を備えることを特徴とする請求項 19 から 27 のいずれか 1 項に記載の無線受信装置。

【請求項 29】

受信した無線信号を光信号に変換して光受信装置へ送信する無線受信装置に対して、光送信装置から受信した光信号を無線信号として送信する無線送信装置であって、

前記光送信装置は、第 1 及び第 2 の光信号を第 1 及び第 2 の偏波成分として含む偏波多重光信号と、前記第 1 及び第 2 の偏波成分用の、それぞれ異なる周波数の第 1 及び第 2 の連続光とを合波して、光伝送路を介して送信し、

前記無線送信装置は、

前記光送信装置から受信した前記第 1 及び第 2 の連続光に基づいて、前記光送信装置から受信した前記偏波多重光信号を、前記第 1 及び第 2 の光信号がそれぞれ異なる周波数の信号成分として多重された無線信号に変換する変換手段と、

前記無線信号を前記無線受信装置へ送信するための送信アンテナと、

を備えることを特徴とする無線送信装置。

【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、光送信装置から光受信装置へ偏波多重光信号を送信する際に、伝送路の一部の区間において偏波多重光信号を無線伝送することを可能にする光伝送システムに関する。

10

20

30

40

50

## 【背景技術】

## 【0002】

光ファイバ伝送路（光回線）を介して高速な光通信が行われる光伝送システムにおいて、災害の発生等によって光回線に断線が発生した際に、断線が発生した区間を無線回線で迂回する技術が知られている（例えば、非特許文献1及び2）。非特許文献1では、光送信装置から送信された光信号を、伝送路の途中に設けられた送信アンテナ基地局及び受信アンテナ基地局間で無線伝送するシステムが提案されている。送信アンテナ基地局は、光送信装置から受信した光信号を電気信号に変換し、当該電気信号を受信アンテナ基地局へ無線伝送し、受信アンテナ基地局は、送信アンテナ基地局から受信した無線信号を光信号に変換し、当該光信号を光受信装置へ送信する。光受信装置は、受信アンテナ基地局から受信した光信号をデジタル光コヒーレント受信器により受信する。

10

## 【0003】

また、非特許文献2では、伝送速度の高速化のために、2つの異なる偏波が多重された偏波多重光信号を伝送するシステムが提案されている。非特許文献2のシステムでは、光送信装置から光受信装置までの伝送路の途中に設けられた2つの無線アクセスユニット（RAU）間で、偏波多重光信号を無線伝送する。具体的には、送信側及び受信側のRAUにそれぞれ2つのアンテナを設け、送信側のRAUにおいて偏波多重光信号を2つの偏波信号に分離し、それらの偏波信号を2×2MIMO無線信号として受信側のRAUへ送信する。

## 【先行技術文献】

20

## 【非特許文献】

## 【0004】

【非特許文献1】Darko Ziber et al, "High-Capacity Wireless Signal Generation and Demodulation in 75- to 110-GHz Band Employing All-Optical OFDM," IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 23, NO. 12, JUNE 15, 2011, pp810-812.

【非特許文献2】Atsushi Kanno et al, "Coherent Optical and Radio Seamless Transmission Based on DSP-Aided Radio-over-Fiber Technology," OFC/NFOEC2013, OTu3D.7.

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

30

非特許文献2によれば、災害等が発生していない通常時だけでなく、災害等の発生時にも、光回線に断線が発生した区間において偏波多重光信号を無線伝送することが可能である。これにより、通常時だけでなく災害等の発生時にも高速伝送を実現できる。しかし、送信側及び受信側のRAUにはそれぞれ2つのアンテナが必要になるため、非特許文献1のように送信側及び受信側にそれぞれ1つずつアンテナを用意する場合と比較して、装置コストが増大してしまう。

## 【0006】

一方、非特許文献1のシステムを用いた場合、光送信装置及び光受信装置間では片偏波光信号のみを無線伝送可能であり、非特許文献2のように偏波多重光信号を無線伝送することはできない。通常時には偏波多重光信号を伝送する光伝送システムにおいて災害等が発生した場合、光回線に断線が発生した区間で無線伝送を行うためには、偏波多重光信号ではなく片偏波光信号を伝送するよう、光送受信器の設定を変更する必要がある。これを実現するためには、例えば、災害等の発生時に、光送受信器を制御するソフトウェアを変更することが必要となる。

40

## 【0007】

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、光伝送システムにおいて、光送信装置から光受信装置までの伝送路の一部の区間で光信号を無線伝送する場合に、装置コストを低減しつつ、偏波多重光信号を無線伝送することを可能にする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】

50

## 【 0 0 0 8 】

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、光送信装置と、光伝送路を介して前記光送信装置と接続される無線送信装置と、無線伝送路を介して前記無線送信装置と接続され、かつ、光伝送路を介して光受信装置と接続される無線受信装置と、を備える光伝送システムであって、前記光送信装置は、前記光受信装置へ送信すべき第1及び第2の光信号を第1及び第2の偏波成分として含む偏波多重光信号と、前記第1及び第2の偏波成分用の、それぞれ異なる周波数の第1及び第2の連続光とを合波して、光伝送路を介して送信する第1の送信手段、を備え、前記無線送信装置は、前記光送信装置から受信した前記第1及び第2の連続光に基づいて、前記光送信装置から受信した前記偏波多重光信号を、前記第1及び第2の光信号がそれぞれ異なる周波数の信号成分として多重された無線信号に変換する第1の変換手段と、前記無線信号を前記無線受信装置へ送信するための送信アンテナと、を備え、前記無線受信装置は、前記無線送信装置から送信された無線信号を受信するための受信アンテナと、前記受信アンテナによって受信された無線信号を、前記第1及び第2の偏波成分にそれぞれ対応する第3及び第4の光信号に変換する第2の変換手段であって、前記第3の光信号に含まれる前記第1の光信号に対応する信号成分の周波数と、前記第4の光信号に含まれる前記第2の光信号に対応する信号成分の周波数とが同一となるように、前記無線信号を変換する、前記第2の変換手段と、前記第3及び第4の光信号に基づいて、前記第1及び第2の光信号を含む偏波多重光信号を生成し、光伝送路を介して前記光受信装置へ送信する第2の送信手段と、を備えることを特徴とする。

10

20

## 【 0 0 0 9 】

本発明は、例えば光送信装置として実現できる。本発明の一態様の係る光送信装置は、受信した無線信号を光信号に変換して光受信装置へ送信する無線受信装置に対して、光信号を無線信号として送信する無線送信装置と、光伝送路を介して接続される光送信装置であって、前記光受信装置へ送信すべき第1及び第2の光信号を第1及び第2の偏波成分として含む偏波多重光信号と、前記第1及び第2の偏波成分用の、それぞれ異なる周波数の第1及び第2の連続光とを合波して、前記光伝送路を介して前記無線送信装置へ送信する送信手段を備え、前記偏波多重光信号は、前記無線送信装置によって、前記第1及び第2の連続光に基づいて、前記第1及び第2の光信号がそれぞれ異なる周波数の信号成分として多重された無線信号に変換されて、前記無線信号として前記無線受信装置へ送信されることを特徴とする。

30

## 【 0 0 1 0 】

本発明は、例えば無線送信装置として実現できる。本発明の一態様の係る無線送信装置は、受信した無線信号を光信号に変換して光受信装置へ送信する無線受信装置に対して、光送信装置から受信した光信号を無線信号として送信する無線送信装置であって、前記光送信装置は、第1及び第2の光信号を第1及び第2の偏波成分として含む偏波多重光信号と、前記第1及び第2の偏波成分用の、それぞれ異なる周波数の第1及び第2の連続光とを合波して、光伝送路を介して送信し、前記無線送信装置は、前記光送信装置から受信した前記第1及び第2の連続光に基づいて、前記光送信装置から受信した前記偏波多重光信号を、前記第1及び第2の光信号がそれぞれ異なる周波数の信号成分として多重された無線信号に変換する変換手段と、前記無線信号を前記無線受信装置へ送信するための送信アンテナと、を備えることを特徴とする。

40

## 【 0 0 1 1 】

本発明は、例えば無線受信装置として実現できる。本発明の一態様の係る無線受信装置は、光送信装置から光受信装置に対して送信される、第1及び第2の光信号を第1及び第2の偏波成分として含む偏波多重光信号から変換された無線信号を無線送信装置から受信して、受信した無線信号を偏波多重光信号に変換して前記光受信装置へ送信する無線受信装置であって、前記無線送信装置から送信された、前記第1及び第2の光信号がそれぞれ異なる周波数の信号成分として多重された無線信号を受信するための受信アンテナと、前記受信アンテナによって受信された無線信号を、前記第1及び第2の偏波成分にそれぞれ

50



対応する第 3 及び第 4 の光信号に変換する変換手段であって、前記第 3 の光信号に含まれる前記第 1 の光信号に対応する信号成分の周波数と、前記第 4 の光信号に含まれる前記第 2 の光信号に対応する信号成分の周波数とが同一となるように、前記無線信号を変換する、前記変換手段と、前記第 3 及び第 4 の光信号に基づいて、前記第 1 及び第 2 の光信号を含む偏波多重光信号を生成し、光伝送路を介して前記光受信装置へ送信する送信手段と、を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、光伝送システムにおいて、光送信装置から光受信装置までの伝送路の一部の区間で光信号を無線伝送する場合に、装置コストを低減しつつ、偏波多重光信号を無線伝送することを可能にする技術を提供できる。

10

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図 1】光伝送システムの構成例を示すブロック図。

【図 2】光送信装置（TX）の構成例を示すブロック図。

【図 3】光送信装置（TX）内の各部における信号のスペクトルの一例を示す図。

【図 4】無線送信ユニット及び無線受信ユニットの構成例を示すブロック図。

【図 5】無線送信ユニット及び無線受信ユニット内の各部における信号のスペクトルの一例を示す図。

【図 6】無線送信ユニット及び無線受信ユニットの構成例を示すブロック図。

20

【図 7】無線送信ユニット及び無線受信ユニット内の各部における信号のスペクトルの一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0014】

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。

【0015】

< 光伝送システムの概要 >

まず、図 1 を参照して、本発明の実施形態に係る光伝送システムの概要について説明する。図 1 に示すように、光伝送システムは、光送信装置（TX）100 及び光受信装置（RX）400 と、それらの間の伝送路の途中に設けられた、無線送信ユニット 200 及び無線受信ユニット 300 とを備える。光送信装置 100 と無線送信ユニット 200、及び無線受信ユニット 300 と光受信装置 400 は、それぞれシングルモードファイバ（SMF）等の光ファイバで接続される。このように、無線送信ユニット 200 は、光伝送路を介して光送信装置 100 と接続される。また、無線受信ユニット 300 は、無線伝送路を介して無線送信ユニット 200 と接続され、かつ、光伝送路を介して光受信装置 400 と接続される。なお、無線送信ユニット 200 及び無線受信ユニット 300 はそれぞれ、本発明の無線送信装置及び無線受信装置の一例である。

30

【0016】

光送信装置 100 は、2 つの光信号（第 1 及び第 2 の光信号）を X 偏波及び Y 偏波（第 1 及び第 2 の偏波成分）として偏波多重して得られる偏波多重光信号を、光受信装置 400 へ送信する。光送信装置 100 から光受信装置 400 までの伝送路における一部の区間である、無線送信ユニット 200 と無線受信ユニット 300 との間の区間では、偏波多重光信号は電気信号に変換されて無線伝送される。

40

【0017】

本実施形態に係る光伝送システムでは、複数の送信アンテナではなく 1 つの送信アンテナを用いるとともに、1 つまたは 2 つの受信アンテナを用いて、無線送信ユニット 200 と無線受信ユニット 300 との間で偏波多重光信号を無線伝送することを実現する。

【0018】

具体的には、無線送信ユニット 200 は、光送信装置 100 から受信した偏波多重光信

50

号に含まれる各偏波成分の光信号を、それぞれ異なる周波数の信号成分として多重した無線信号を生成し、生成した無線信号を1つの送信アンテナから送信する。これを実現するために、光送信装置100は、偏波成分ごとに異なる周波数 $f_{t1}$ 、 $f_{t2}$ の連続光(トーン)を、予め偏波多重光信号に合波(混合)し、それらを光伝送路を介して送信する。無線送信ユニット200は、光送信装置100から受信した周波数 $f_{t1}$ 、 $f_{t2}$ の連続光(第1及び第2の連続光)に基づいて、光送信装置100から受信した偏波多重光信号を無線信号に変換する。これにより、各偏波成分の光信号をそれぞれ異なる周波数の信号成分として多重した無線信号を生成できる。無線送信ユニット200は、生成した無線信号を1つの送信アンテナから送信する。

#### 【0019】

一方、無線受信ユニット300は、無線送信ユニット200から送信された無線信号を(1つまたは2つの)受信アンテナによって受信し、受信した無線信号から偏波多重光信号を生成(再生)し、生成した偏波多重光信号を光受信装置400へ送信する。具体的には、無線受信ユニット300は、受信アンテナによって受信した無線信号を、上述の各偏波成分にそれぞれ対応する2つの光信号(第3及び第4の光信号)に変換する。その際、無線受信ユニット300は、一方の光信号(第3の光信号)に含まれる、所望の光信号(第1の光信号)に対応する信号成分の周波数と、他方の光信号(第4の光信号)に含まれる、所望の光信号(第2の光信号)に対応する信号成分の周波数とが同一となるように、無線信号を2つの光信号に変換する。無線受信ユニット300は、このようにして生成した2つの光信号に基づいて、上述の各偏波成分の光信号(第1及び第2の光信号)を含む偏波多重光信号を生成し、光伝送路を介して光受信装置400へ送信する。

#### 【0020】

以下、図2~図7を参照して、本実施形態に係る光伝送システムにおける各装置の具体的な構成及び動作について説明する。なお、図4は、無線受信ユニット300が2つの受信アンテナを備える場合を示し、図6は、図4に対する変形例として、無線受信ユニット300が1つの受信アンテナを備える場合を示す。後述するように、所定の条件が満たされる場合には、無線受信ユニット300の受信アンテナ数を2ではなく1とすることが可能である。

#### 【0021】

<光送信装置100>

図2は、光送信装置(TX)100の構成例を示すブロック図であり、図3は、光送信装置100内の各部における信号のスペクトルの一例を示す図である。TX100において、光源(LD:Laser Diode)101は、周波数 $f_0$ の連続光を出射する。当該連続光は、分波器102において2方向に分岐する。分岐した2つの連続光はそれぞれ、X偏波成分及びY偏波成分の被変調光として光変調器(IQM:IQ modulator)111、121に入射する。IQM111は、信号発生器(AWG:Arbitrary waveform generator)112、122によって生成された信号によって、入射した連続光を変調することで、変調光(光信号)を生成する。このようにして、X偏波成分及びY偏波成分の光信号(第1及び第2の光信号)が生成される。なお、信号発生器として、AWGの代わりに、例えばパルスパターン発生器(PPG:pulse pattern generator)を用いてもよい。

#### 【0022】

IQM111、121から出射された、X偏波成分及びY偏波成分の光信号は、合波器113、123にそれぞれ入射する。合波器113、123は、入射した各光信号と、LD114、124が出射する周波数 $f_{t1}$ 、 $f_{t2}$ の連続光(第1及び第2の連続光)とをそれぞれ合波して出力する。なお、周波数 $f_{t1}$ 、 $f_{t2}$ は、異なる周波数に設定される。

#### 【0023】

合波器113から出力された光信号及び周波数 $f_{t1}$ の連続光(図3の1A)は、偏波合成力ブラ(PBC:Polarization Beam Combiner)103に入射する。一方、合波器123から出力された光信号及び周波数 $f_{t2}$ の連続光は、位相回転器125に入射する。位相回転器125は、入射した光信号及び周波数 $f_{t2}$ の連続光の位相を90°回転させ(図3

10

20

30

40

50

の1B)、PBC103に出力する。

【0024】

PBC103は、合波器113からの光信号及び周波数 $f_{t1}$ の連続光をX偏波成分、位相回転器125からの光信号及び周波数 $f_{t2}$ の連続光をY偏波成分として多重して、得られた光信号を、光伝送路を介して送信する。これにより、X偏波成分及びY偏波成分の光信号を含む偏波多重光信号と、X偏波成分及びY偏波成分用の、周波数 $f_{t1}$ 、 $f_{t2}$ の連続光とが、光受信装置400（無線送信ユニット200）へ送信される。

【0025】

なお、本実施形態では、IQM111、AWG112、合波器113及びLD114は、第1の信号生成手段の一例として機能し、IQM121、AWG122、合波器123及びLD124は、第2の信号生成手段の一例として機能する。また、位相回転器125及びPBC103は、偏波多重手段の一例として機能する。

【0026】

<無線送信ユニット200>

図4は、無線受信ユニット300の受信アンテナ数が2の場合の、無線送信ユニット200及び無線受信ユニット300の構成例を示すブロック図である。また、図5は、図4に示す無線送信ユニット200及び無線受信ユニット300内の各部における信号のスペクトルの一例を示す図である。

【0027】

無線送信ユニット200は、フォトダイオード(PD)201を備える。PD201は、光信号を電気信号に変換する光/電気変換器として機能する。無線送信ユニット200が光伝送路を介して受信した偏波多重信号及び周波数 $f_{t1}$ 、 $f_{t2}$ の連続光(図3の1C)は、PD201に入力される。PD201では、X偏波成分の光信号及び周波数 $f_{t1}$ の連続光がヘテロダイン方式で混合され、電気信号に変換される。更に、X偏波成分と直交するY偏波成分の光信号及び周波数 $f_{t2}$ の連続光も、X偏波成分と独立にヘテロダイン方式で混合され、電気信号に変換される。

【0028】

本実施形態で、X偏波成分及びY偏波成分の光信号(第1及び第2の光信号)は、図3に示すように、同一の周波数 $f_0$ の連続光に基づいて生成される同一周波数帯域(中心周波数 $f_0$ の帯域)の光信号である。無線送信ユニット200によって生成される無線信号は、X偏波成分の光信号を、対応する連続光の周波数 $f_{t1}$ と周波数 $f_0$ との差分 $a$ に等しい周波数の信号成分として含み、Y偏波成分の光信号を、対応する連続光の周波数 $f_{t2}$ と周波数 $f_0$ との差分 $b$ に等しい周波数の信号成分として含むことになる。このようにして、図5の2Aに示すような、X偏波成分及びY偏波成分の光信号がそれぞれ異なる周波数 $a$ 、 $b$ の信号成分として多重(周波数多重)された電気信号が生成される。

【0029】

PD201によって生成された電気信号は、送信アンテナ202によって無線信号として無線受信ユニット300へ送信される。このように、光送信装置100が送信する偏波多重光信号に含まれるX偏波成分及びY偏波成分の光信号は、1つの無線信号に周波数多重された状態となる。これにより、偏波多重光信号を1つの送信アンテナによって無線伝送することが可能になる。

【0030】

<無線受信ユニット300(受信アンテナ数2)>

図4に示すように、無線受信ユニット300は、受信アンテナ311、321と、各受信アンテナによって受信された無線信号を中間周波数(IF)帯域の電気信号に変換するための、周波数変換器(DBM: Double Balanced Mixer)312、322とを備える。

【0031】

本実施形態で、無線受信ユニット300が無線信号を偏波多重光信号に変換するために必要となる受信アンテナの数は、DBMの周波数特性に依存する。DBM312、322の周波数特性を示す帯域幅( $w_{IF}$ )が、無線信号の帯域幅( $2w$ )を下回る大きさである

10

20

30

40

50

場合には、図 4 に示すように、受信アンテナ数を 1 ではなく 2 とする必要がある。一方、帯域幅 ( $w_{IF}$ ) が無線信号の帯域幅 ( $2w$ ) 以上の大きさである場合には、図 6 に示すように、受信アンテナ数を 1 とすることが可能である。ただし、帯域幅 ( $w_{IF}$ ) が無線信号の帯域幅 ( $2w$ ) 以上の大きさである場合にも、図 4 に示す構成を用いて無線信号を偏波多重光信号に変換することが可能である。なお、 $w$  は、光送信装置 100 から送信される偏波多重光信号に含まれる各光信号 (第 1 及び第 2 の光信号) の帯域幅に相当し、このため無線信号の帯域幅は  $2w$  と表される。

#### 【0032】

無線送信ユニット 200 から送信された無線信号は、無線受信ユニット 300 において受信アンテナ 311, 321 によってそれぞれ受信され、DBM312, 322 にそれぞれ入力される。DBM312, 322 は、入力された無線信号を、それぞれ IF 帯域の電気信号に変換する。その際、DBM312 は、受信アンテナ 311 によって受信された無線信号を、X 偏波成分の所望の光信号 (第 1 の光信号) に対応する信号成分が所定の周波数  $f_c$  に配置された電気信号 (図 5 の 3A-1) に変換する。また、DBM322 は、受信アンテナ 321 によって受信された無線信号を、Y 偏波成分の所望の光信号 (第 2 の光信号) に対応する信号成分が所定の周波数  $f_c$  に配置された電気信号 (図 5 の 3A-2) に変換する。

#### 【0033】

ここで、所定の周波数  $f_c$  は、帯域幅  $w_{IF}$  と、偏波多重光信号に含まれる光信号の帯域幅  $w$  を用いて、

$$w/2 < f_c < w_{IF} - w/2$$

を満たす周波数に定められる。このように周波数  $f_c$  を定めることで、DBM312, 322 による周波数変換後の電気信号に含まれる、X 偏波成分及び Y 偏波成分の所望の光信号に対応する信号成分を、帯域幅  $w_{IF}$  の範囲内に収めることが可能になる。

#### 【0034】

DBM312, 322 によって上述のような周波数変換を行うためには、DBM312, 322 に対して局部発振器 (LO) 313, 323 から供給される信号の周波数を適切に設定する必要がある。具体的には、LO313 は、無線信号に含まれる、X 偏波成分の光信号に対応する信号成分の周波数  $a$  と、所定の周波数  $f_c$  との差分 ( $a - f_c$ ) に等しい周波数の信号を発生させ、DBM312 に供給すればよい。一方、LO323 は、無線信号に含まれる、Y 偏波成分の所望の光信号に対応する信号成分の周波数  $b$  と、所定の周波数  $f_c$  との差分 ( $b - f_c$ ) に等しい周波数の信号を発生させ、DBM322 に供給すればよい。DBM312 は、無線信号と、LO313 から供給された信号とを混合して得られた電気信号を出力し、DBM313 は、無線信号と、LO323 から供給される信号とを混合して得られた電気信号を出力する。

#### 【0035】

DBM312, 322 から出力された電気信号はそれぞれ、増幅器 314, 324 で増幅された後、マッハツェンダ光変調器 (MZM) 315, 325 に入力される。MZM315, 325 はそれぞれ、MZM315, 325 に対して共通の光源 (LD331) から出射される連続光を、入力された電気信号によって変調する。これにより、MZM315, 325 はそれぞれ、X 偏波成分及び Y 偏波成分の光信号 (第 3 及び第 4 の光信号) を生成する。なお、Y 偏波成分の光信号には、位相回転器 326 によって  $90^\circ$  の位相回転が与えられる。これら X 偏波成分及び Y 偏波成分の光信号に含まれる、所望の光信号 (第 1 及び第 2 の光信号) に対応する信号成分の周波数は、DBM312, 322 による周波数変換に起因して、図 5 の 3B-1 及び 3B-2 のように、同一の周波数となる。

#### 【0036】

その後、X 偏波成分及び Y 偏波成分の光信号は、PBC332 に入力される。PBC332 は、MZM315 からの光信号を X 偏波成分として、位相回転器 326 からの光信号を Y 偏波成分として多重して、バンドパスフィルタ (BPF) 333 に出力する。BPF333 は、PBC332 から出力された信号から、所望の光信号 (第 1 及び第 2 の光信号

10

20

30

40

50

）に対応する信号成分（図５の３Ｃに示す破線部分の信号成分）を抽出する。ＢＰＦ３３は、抽出した信号成分から成る光信号を、偏波多重光信号（図５の３Ｄ）として出力する。

#### 【００３７】

無線受信ユニット３００は、無線信号から変換した偏波多重光信号を、光伝送路を介して光受信装置４００に送信する。光受信装置４００は、無線受信ユニット３００から送信された偏波多重光信号を、デジタル光コヒーレント受信器によって受信できる。

#### 【００３８】

<無線受信ユニット３００（受信アンテナ数１）>

上述のように、無線信号をＩＦ帯域の電気信号に変換するために用いられるＤＢＭの周波数特性を示す帯域幅（ $w_{IF}$ ）が無線信号の帯域幅（ $2w$ ）以上の大きさである場合には、無線受信ユニット３００の受信アンテナ数を１とすることが可能である。この場合、図６に示すように、無線受信ユニット３００は、受信アンテナ３５１と、当該受信アンテナによって受信された無線信号をＩＦ帯域の電気信号に変換するためのＤＢＭ３５２とを、１つつつ備える。

#### 【００３９】

無線送信ユニット２００から送信された無線信号は、無線受信ユニット３００において受信アンテナ３５１によって受信され、ＤＢＭ３５２に入力される。ＤＢＭ３５２は、入力された無線信号をＩＦ帯域の電気信号（図７の３Ｅ）に変換する。ＤＢＭ３５２は、無線信号と、ＬＯ３５２から供給される信号とを混合して得られた電気信号を出力する。

#### 【００４０】

ＤＢＭ３５２から出力された電気信号は、分波器３５３において２方向に分岐する。分岐した２つの電気信号はそれぞれ、増幅器３６１，３７１によって増幅された後、ＭＺＭ３６２，３７２に入力される。ＭＺＭ３６２，３７２はそれぞれ、ＬＤ３６３，３７３から出射される連続光を、入力された電気信号によって変調する。これにより、ＭＺＭ３６２，３７２はそれぞれ、Ｘ偏波成分及びＹ偏波成分の光信号（第３及び第４の光信号）を生成する。その際、ＭＺＭ３６２は、入力された電気信号を、Ｘ偏波成分の所望の光信号（第１の光信号）に対応する信号成分が所定の周波数に配置された光信号に変換して出力する。また、ＭＺＭ３７２は、入力された電気信号を、Ｙ偏波成分の所望の光信号（第２の光信号）に対応する信号成分が、同じ所定の周波数に配置された光信号に変換して出力する。なお、Ｙ偏波成分の光信号には、位相回転器３７４によって９０°の位相回転が与えられる。

#### 【００４１】

これらＸ偏波成分及びＹ偏波成分の光信号に含まれる、所望の光信号に対応する信号成分の周波数は、ＬＤ３６３，３７３から出射される連続光の周波数を適切に設定することで、図７の３Ｆ－１及び３Ｆ－２のように、同一の周波数となる。具体的には、ＬＤ３６３，３７３から出射される連続光の周波数は、無線信号に含まれる、Ｘ偏波成分及びＹ偏波成分の光信号（第１及び第２の光信号）に対応する信号成分の周波数の差分（本実施形態では $w$ とする。）に基づいて定められる。例えば、ＬＤ３６３，３７３から出射される連続光の周波数は、それぞれ $f_r$ 及び $(f_r - w)$ に設定される。

#### 【００４２】

その後、Ｘ偏波成分及びＹ偏波成分の光信号は、ＰＢＣ３５４に入力される。ＰＢＣ３５４は、ＭＺＭ３６２からの光信号をＸ偏波成分として、位相回転器３７４からの光信号をＹ偏波成分として多重して、ＢＰＦ３５５に出力する。ＢＰＦ３５５は、ＰＢＣ３５４から出力された信号から、所望の光信号（第１及び第２の光信号）に対応する信号成分（図５の３Ｇに示す破線部分の信号成分）を抽出する。ＢＰＦ３５５は、抽出した信号成分から成る光信号を、偏波多重光信号（図５の３Ｈ）として出力する。

#### 【００４３】

無線受信ユニット３００は、無線信号から変換した偏波多重光信号を、光伝送路を介して光受信装置４００に送信する。光受信装置４００は、無線受信ユニット３００から送信

10

20

30

40

50





---

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 川口 優  
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 五十嵐 浩司  
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 釣谷 剛宏  
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 川口 貴裕

- (56)参考文献 特開2003-046413(JP,A)  
Atsushi Kanno et al., Coherent Optical and Radio Seamless Transmission Based on DSP-Aided Radio-over-Fiber Technology, OFC/OFNFC, 2013年3月  
Atsushi Kanno et al., Coherent Wired/Wireless Seamless Transmission with Combination of Photonic Digital and Analogue Techniques, IEEE Photonics Conference, 2012年, p.636-637

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |       |   |       |
|------|-------|---|-------|
| H04B | 10/00 | - | 10/90 |
| H04J | 14/00 | - | 14/08 |