

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5325526号
(P5325526)

(45) 発行日 平成25年10月23日(2013.10.23)

(24) 登録日 平成25年7月26日(2013.7.26)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 4 B	10/116	(2013.01)	HO 4 B	9/00	1 1 6
HO 1 L	33/00	(2010.01)	HO 1 L	33/00	L
HO 1 L	31/0232	(2006.01)	HO 1 L	31/02	D

請求項の数 7 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2008-268490 (P2008-268490)	(73) 特許権者	390019839
(22) 出願日	平成20年10月17日(2008.10.17)		三星電子株式会社
(65) 公開番号	特開2010-98574 (P2010-98574A)		Samsung Electronics Co., Ltd.
(43) 公開日	平成22年4月30日(2010.4.30)		大韓民国京畿道水原市靈通区三星路129 129, Samsung-ro, Yeon gtong-gu, Suwon-si, G yeonggi-do, Republic of Korea
審査請求日	平成23年10月17日(2011.10.17)	(74) 代理人	110000981 アイ・ピー・ディー国際特許業務法人
		(74) 代理人	100095957 弁理士 亀谷 美明
		(74) 代理人	100096389 弁理士 金本 哲男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可視光通信システム、及び可視光通信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

送信装置及び受信装置が含まれる可視光通信システムであって、
前記送信装置は、
互いに異なる色の光を発光する複数の発光部と、
送信データを前記発光部の各々が発する色の組み合わせに変調し、当該色の組み合わせ
に対応する色が放射されるように前記発光部の各々の発光量を算出する発光量算出部と、
チャンネル行列の推定に用いるプリアンプル信号を生成するプリアンプル信号生成部と、
前記プリアンプル信号生成部により生成されたプリアンプル信号に基づいて前記発光部
の各々の発光量を制御すると共に、前記発光量算出部により算出された発光量で前記発光
部の各々を発光させる発光制御部と、
を有し、
前記受信装置は、
互いに異なる色の光信号を受信する複数の受光部と、
前記プリアンプル信号に対応する光信号が前記受光部の各々で受信された場合に当該光
信号に基づいて前記チャンネル行列を推定するチャンネル推定部と、
前記色の組み合わせに対応する光信号が前記受光部の各々で受信された場合に前記チャ
ネル推定部により推定されたチャンネル行列に基づいて当該光信号に伝搬路補償を施す伝搬
路補償部と、
前記伝搬路補償部から出力された信号に基づき、前記色の組み合わせを検出して前記送

10

20

信データを復調するデータ復調部と、
を有し、

前記プリアンブル信号生成部は、前記発光部の各々に対応するプリアンブル信号を生成し、

一の前記発光部に対応するプリアンブル信号のチャンネル推定符号成分、及び他の前記発光部に対応するプリアンブル信号のチャンネル推定符号成分は、互いに直交関係を有する、可視光通信システム。

【請求項 2】

前記送信装置は、送信データを色度座標上に配置された所定の色度点に対応付ける色座標変調部をさらに有し、

前記発光量算出部は、前記色座標変調部により前記送信データが対応付けられた色度点に対応する色が放射されるように前記発光部の各々の発光量を算出し、

前記伝搬路補償部は、前記色度点に対応する光信号が前記受光部の各々で受信された場合に前記チャンネル推定部により推定されたチャンネル行列に基づいて当該光信号に伝搬路補償を施し、

前記データ復調部は、前記伝搬路補償部から出力された信号に基づき、前記色度座標上の色度点を検出して前記送信データを復調する、請求項 1 に記載の可視光通信システム。

【請求項 3】

前記プリアンブル信号には、自己相関が強くタイミング同期に用いられる同期符号成分が含まれ、

前記発光制御部は、前記対応するプリアンブル信号に基づいて前記発光部の各々を制御し、

一の前記発光部に対応するプリアンブル信号の同期符号成分と、他の前記発光部に対応するプリアンブル信号の同期符号成分とは同一形状である、請求項 1 又は 2 に記載の可視光通信システム。

【請求項 4】

前記受信装置は、

前記プリアンブル信号の同期符号成分と同じ波形のサンプル信号を生成し、前記発光部の各々で受信した光信号のタイミングとサンプル信号のタイミングとを互いにスライドさせながら相関値を算出する相関値算出部と、

前記相関値算出部により算出された相関値が所定の閾値を越えるタイミングを検出する同期タイミング検出部と、

をさらに有する、請求項 3 に記載の可視光通信システム。

【請求項 5】

前記伝搬路補償部は、前記チャンネル行列 H に基づいて算出されるウェイト行列 W を前記光信号に作用させて当該光信号に伝搬路補償を施す、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の可視光通信システム。

【請求項 6】

前記ウェイト行列 W は、 $W = (H * H H) - 1 * H H$ である、請求項 5 の記載の可視光通信システム。

【請求項 7】

互いに異なる色の光を発光する複数の発光部を有する送信装置と、互いに異なる色の光信号を受信する複数の受光部を有する受信装置との間で実行される可視光通信における可視光通信方法であって、

前記送信装置により、

送信データが前記発光部の各々の発する色の組み合わせに変調され、当該色の組み合わせに対応する色が放射されるように前記発光部の各々の発光量が算出される発光量算出ステップと、

チャンネル行列の推定に用いるプリアンブル信号が生成されるプリアンブル信号生成ステップと、

10

20

30

40

50

前記プリアンプル信号生成ステップで生成されたプリアンプル信号に基づいて前記発光部の各々の発光量が制御されると共に、前記発光量算出ステップで算出された発光量に応じて前記発光部の各々が発光制御させる発光制御ステップと、

前記受信装置により、

前記プリアンプル信号に対応する光信号が前記受光部の各々で受信された場合に当該光信号に基づいて前記チャンネル行列が推定されるチャンネル推定ステップと、

前記色の組み合わせに対応する光信号が前記受光部の各々で受信された場合に前記チャンネル推定ステップで推定されたチャンネル行列に基づいて当該光信号に伝搬路補償が施される伝搬路補償ステップと、

前記伝搬路補償ステップで伝搬路補償が施された光信号に基づき、前記色の組み合わせが検出される色検出ステップと、

前記色検出ステップで検出された色の組み合わせに基づいて前記送信データが復調されるデータ復調ステップと、

を含み、

前記プリアンプル信号生成ステップでは、前記発光部の各々に対応するプリアンプル信号を生成し、

一の前記発光部に対応するプリアンプル信号のチャンネル推定符号成分、及び他の前記発光部に対応するプリアンプル信号のチャンネル推定符号成分は、互いに直交関係を有する、可視光通信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、可視光通信システム、及び可視光通信方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、可視光領域の光を利用した光通信技術に大変注目が集まっている。特に、発光ダイオード(LED; Light Emitting Diode)等の発光素子を利用した照明装置の普及が急速に進んでいる状況を背景にし、屋内外に設置された照明装置等のインフラを活用して、利便性に富んだ、より高速なデータ通信を実現させるための技術開発が進められている。

【0003】

高速な光データ通信に利用される発光手段としては、人体や医療機器等に対する影響を考慮するとLEDが最も有力な候補になる。一方で、より高速な応答性能を有するレーザーダイオード(LD; Laser Diode)やスーパーluminescentダイオード(SLD; Super luminescent Diode)等の半導体発光素子も候補に挙げられている。光通信におけるデータ伝送速度は、発光素子の応答速度に依存する。そのため、こうした応答速度の高い発光素子にも注目が集まっているのである。また、データ伝送速度を更に向上させるため、発光素子が発する1シグナルの間に多くのデータを安定して伝送する技術も求められている。

【0004】

上記のような光通信技術に関し、例えば、下記の特許文献1には、光の三原色(以下、RGB)を発光する複数のLEDの発光電力に応じて信号の多重数を決定し、その多重数に基づいて入力データを割り当てることで、白色を維持しつつ、効率的に通信する技術が開示されている。また、下記の特許文献2には、2次元の送受信セルにおいて補正フレームを挿入することで、背景光やノイズの影響を低減させる技術が開示されている。

【0005】

【特許文献1】特開2003-318836号公報

【特許文献2】特開2007-166526号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記の各文献に記載された技術を用いても、光源数より多い多重度を実現することができず、データ伝送速度の高速化に限界がある。また、上記の各文献に記載された技術を用いても、伝搬路内での光量低下、外光の混入、光源の発光特性、及び受光素子の色分解感度等の影響により伝送品質が大きく劣化してしまう。

【0007】

そこで、本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、本発明の目的とするところは、光伝搬路における伝搬特性の影響を低減させ、伝送品質を向上させることが可能な、新規かつ改良された可視光通信システム、及び可視光通信方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するために、本発明のある観点によれば、送信装置及び受信装置が含まれる可視光通信システムが提供される。

【0009】

前記送信装置は、互いに異なる色の光を発光する複数の発光部と、送信データを前記各発光部が発する色の組み合わせに変調し、当該色の組み合わせに対応する色が放射されるように前記各発光部の発光量を算出する発光量算出部と、チャンネル行列の推定に用いるプリアンブル信号を生成するプリアンブル信号生成部と、前記プリアンブル信号生成部により生成されたプリアンブル信号に基づいて前記各発光部の発光量を制御すると共に、前記発光量算出部により算出された発光量で前記各発光部を発光させる発光制御部と、を有する。

【0010】

前記受信装置は、互いに異なる色の光信号を受信する複数の受光部と、前記プリアンブル信号に対応する光信号が前記各受光部で受信された場合に当該光信号に基づいて前記チャンネル行列を推定するチャンネル推定部と、前記色の組み合わせに対応する光信号が前記各受光部で受信された場合に前記チャンネル推定部により推定されたチャンネル行列に基づいて当該光信号に伝搬路補償を施す伝搬路補償部と、前記伝搬路補償部から出力された信号に基づき、前記色の組み合わせを検出して前記送信データを復調するデータ復調部と、を有する。

【0011】

上記の可視光通信システムにおいては、チャンネル行列の推定に用いるプリアンブル信号が光信号に乗せて送信される。さらに、このプリアンブル信号を用いて推定されたチャンネル行列に基づき、光信号に伝搬路補償が施される。チャンネル行列は、光伝搬路の伝搬特性を示すものである。そのため、チャンネル行列を用いて光信号から伝搬路特性を除去することができる。例えば、ZF (Zero Forcing) 法等を用いて光信号から伝搬路特性を除去することができる。その結果、伝送品質の劣化を効果的に低減させることが可能になる。

【0012】

なお、上記の可視光通信システムは、次のような構成を有していてもよい。

【0013】

前記送信装置は、送信データを色度座標上に配置された所定の色度点に対応付ける色座標変調部をさらに有する。また、前記発光量算出部は、前記色座標変調部により前記送信データが対応付けられた色度点に対応する色が放射されるように前記各発光部の発光量を算出する。さらに、前記伝搬路補償部は、前記色度点に対応する光信号が前記各受光部で受信された場合に前記チャンネル推定部により推定されたチャンネル行列に基づいて当該光信号に伝搬路補償を施す。そして、前記データ復調部は、前記伝搬路補償部から出力された信号に基づき、前記色度座標上の色度点を検出して前記送信データを復調する。このように、当該可視光通信システムにおいては、色座標変調部により送信データが色度座標上の色度点に対応付けて変調される。つまり、送信データは、各色の比率に変調される。そのため、伝搬路で光量が減衰しても光信号に含まれる情報は失われなため、光量減衰に伴

10

20

30

40

50

う伝送品質の劣化が生じにくくなる。

【0014】

前記プリアンブル信号には、自己相関が強くタイミング同期に用いられる同期符号成分と、直交性が高くチャンネル推定に用いられるチャンネル推定符号成分とが含まれている。さらに、前記プリアンブル信号生成部は、前記各発光部に対応するプリアンブル信号を生成する。そして、前記発光制御部は、前記対応するプリアンブル信号に基づいて前記各発光部を制御する。なお、一の前記発光部に対応するプリアンブル信号の同期符号成分と、他の前記発光部に対応するプリアンブル信号の同期符号成分とは同一形状であり、一の前記発光部に対応するプリアンブル信号のチャンネル推定符号成分、及び他の前記発光部に対応するプリアンブル信号のチャンネル推定符号成分は、互いに直交関係を有する。このような

10

【0015】

また、前記受信装置は、前記プリアンブル信号の同期符号成分と同じ波形のサンプル信号を生成し、前記各発光部で受信した光信号のタイミングとサンプル信号のタイミングとを互いにスライドさせながら相関値を算出する相関値算出部と、前記相関値算出部により算出された相関値が所定の閾値を越えるタイミングを検出する同期タイミング検出部と、を有する。このように、各信号成分の相関特性を考慮すると、上記のように同期符号成分に基づいて同期タイミングを検出することができる。

【0016】

20

また、前記伝搬路補償部は、前記チャンネル行列Hに基づいて算出されるウェイト行列を前記光信号に作用させて当該光信号に伝搬路補償を施す。例えば、前記ウェイト行列Wは、 $W = (H * H^H)^{-1} * H^H$ である。この方法は、比較的演算負荷が低いため、高速に伝搬路補償処理を実行することができる。また、可視光通信においてはチャンネル行列Hの各成分が実数であるため、より負荷が小さく、かつ高速な処理が実現される。

【0017】

また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、互いに異なる色の光を発光する複数の発光部を有する送信装置と、互いに異なる色の光信号を受信する複数の受光部を有する受信装置との間で実行される可視光通信における可視光通信方法が提供される。

30

【0018】

上記の可視光通信方法は、前記送信装置により、送信データが前記各発光部の発する色の組み合わせに変調され、当該色の組み合わせに対応する色が放射されるように前記各発光部の発光量が算出される発光量算出ステップと、チャンネル行列の推定に用いるプリアンブル信号が生成されるプリアンブル信号生成ステップと、前記プリアンブル信号生成ステップで生成されたプリアンブル信号に基づいて前記各発光部の発光量が制御されると共に、前記発光量算出ステップで算出された発光量に応じて前記各発光部が発光制御させる発光制御ステップと、前記受信装置により、前記プリアンブル信号に対応する光信号が前記各受光部で受信された場合に当該光信号に基づいて前記チャンネル行列が推定されるチャンネル推定ステップと、前記色の組み合わせに対応する光信号が前記各受光部で受信された場合に前記チャンネル推定ステップで推定されたチャンネル行列に基づいて当該光信号に伝搬路補償が施される伝搬路補償ステップと、前記伝搬路補償ステップで伝搬路補償が施された光信号に基づき、前記色の組み合わせが検出される色検出ステップと、前記色検出ステップで検出された色の組み合わせに基づいて前記送信データが復調されるデータ復調ステップと、を含む。

40

【0019】

上記の方法では、チャンネル行列の推定に用いるプリアンブル信号が光信号に乗せて送信される。さらに、このプリアンブル信号を用いて推定されたチャンネル行列に基づき、光信号に伝搬路補償が施される。チャンネル行列は、光伝搬路の伝搬特性を示すものである。そのため、チャンネル行列を用いて光信号から伝搬路特性を除去することができる。例えば、

50

ZF法等を用いて光信号から伝搬路特性を除去することができる。その結果、光量減衰以外の要因により発生する伝送品質の劣化を効果的に低減させることが可能になる。

【発明の効果】

【0020】

以上説明したように本発明によれば、光伝搬路における伝搬特性の影響を低減させ、伝送品質を向上させることが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下に添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

10

【0022】

[説明の流れについて]

ここで、以下に記載する本発明の実施形態に関する説明の流れについて簡単に述べる。まず、図1～図4を参照しながら、色座標多重方式に係る可視光通信方法について説明する。この説明の中で、従前の色座標多重方式に係る可視光通信システム10が抱える技術的課題について説明する。その後で、図5～図10を参照しながら、本発明の一実施形態に係る可視光通信システム20の構成、及び効果について詳細に説明する。

【0023】

[課題の整理]

20

まず、本発明の一実施形態に係る技術について詳細な説明をするに先立ち、同実施形態が解決しようとする課題について簡単に纏める。

【0024】

(可視光通信システム10の構成)

はじめに、図1を参照しながら、色座標多重方式に係る可視光通信システム10の構成について説明する。可視光通信システム10は、入力データを表色系(color system)の色度座標(chromaticity coordinates)上に配置された色度点にマッピングし、当該色度点に対応する色光で入力データを多重伝送する構成に特徴を有する。本稿では、このような多重伝送方式のことを色座標多重方式と呼ぶ。

【0025】

30

図1に示すように、可視光通信システム10には、送信装置100と、受信装置130とが含まれる。送信装置100は、データを所定の色度点にマッピングして受信装置130に送信する。受信装置130は、送信装置100から受光した光の色と色度座標上に配置された所定の色度点とを比較して元の入力データを復調する。以下、送信装置100による変調処理、及び受信装置130による復調処理等について、より詳細に説明する。

【0026】

(送信装置100による変調処理等について)

まず、送信装置100による変調処理等について説明する。

【0027】

図1に示すように、送信装置100は、色座標変調部102と、座標系変換部104と、複数の発光部106とを有する。なお、発光部106は、LED等の光源、及び当該光源を駆動するための駆動回路により構成される。また、座標系変換部104は、各発光部106の発光量を制御する発光制御手段を含んでいる。

40

【0028】

まず、色座標変調部102には、送信されるデータが入力される。データが入力されると、色座標変調部102は、入力データ(デジタル値)を所定の表色系の色度座標上に配置された所定の色度点にマッピングする。色度点が配置される表色系としては、例えば、国際照明委員会(CIE; Commission Internationale de l'Éclairage)により規定されたCIE表色系(RGB、XYZ(Yxy)、L*u*v*、L*a*b*等)、マンセル表色系、又はオストワルト表色系等が利用

50

される。例えば、入力データは、図 2 に示すような色座標上の色度点にマッピングされる。但し、図 2 に示した色度座標は、Y x y 表色系のものである。

【 0 0 2 9 】

図 2 の例においては、表色系に所定の色度点配置 S が設定されている。図 2 に例示した色度点配置 S は、デジタル値を 4 ビット多重する場合（多重度 = 1 6 ）に用いられるものである。そのため、図 2 に例示した色度点配置 S には、1 6 個の色度点 S 0 ~ S 1 5 が含まれている。色度点配置 S に含まれる色度点 S 0 ~ S 1 5 には、図 3 に示すようにデジタル値が対応付けられている。そこで、色座標変調部 1 0 2 は、入力データ（デジタル値）に対応する色度点 S 0 ~ S 1 5 を選択する。色座標変調部 1 0 2 により色度点を選択されると、その色度点の色度座標値（x , y）が座標系変換部 1 0 4 に入力される。なお、表色系及び色度点配置 S の情報は受信装置 1 3 0 との間で共有される。

10

【 0 0 3 0 】

再び図 1 を参照する。上記の通り、座標系変換部 1 0 4 には、色座標変調部 1 0 2 により、入力データに応じて選択された色度点の色度座標値（x , y）が入力される。座標系変換部 1 0 4 は、入力された色度座標値（x , y）に対応する赤色（R）、緑色（G）、青色（B）の混合比率を算出する。つまり、座標系変換部 1 0 4 は、表色系を R G B 形式に変換し、色座標変調部 1 0 2 により選択された色度点を変換後の R G B 形式で表現する。さらに、座標系変換部 1 0 4 は、上記のようにして算出された赤色（R）、緑色（G）、青色（B）の混合比率に基づき、赤色光（R）、緑色光（G）、青色光（B）を発光する個々の発光部 1 0 6 に供給すべき駆動電圧を設定する。但し、この駆動電圧は、複数の発光部 1 0 6 により発光される総光量が所定値になるように設定される。

20

【 0 0 3 1 】

なお、座標系変換部 1 0 4 は、駆動電圧を設定する際、所定時間内に各発光部 1 0 6 から発光される積算光量が上記の混合比率となるように駆動電圧を設定するように構成されていてもよい。このような構成にすると、送信装置 1 0 0 が P W M 制御に対応した照明機器であっても、P W M 周期に合わせて積算光量と色度座標値（x , y）とを対応付けることで、P W M 制御による影響を除去することが可能になる。このようにして座標系変換部 1 0 4 により設定された駆動電圧の情報は、制御信号として、それぞれ対応する色の発光部 1 0 6 に入力される。

【 0 0 3 2 】

上記の通り、送信装置 1 0 0 には、赤色光（R）を発光する発光部 1 0 6、緑色光（G）を発光する発光部 1 0 6、青色光（B）を発光する発光部 1 0 6 が設けられている。座標系変換部 1 0 4 から駆動電圧の制御信号が入力されると、各発光部 1 0 6 は、制御信号に応じて駆動され、対応する色光を発光する。例えば、赤色（R）に対応する発光部 1 0 6 は、赤色光（R）の混合比率に応じて設定された駆動電圧の制御信号に応じて赤色光（R）を発光する。より具体的には、各発光部 1 0 6 に設けられた駆動回路に制御信号が入力され、駆動回路から駆動電圧が L E D 等の光源に供給されて各色の光が発せられる。光源としては、例えば、L E D、L D、S L D 等の半導体発光素子、又は、蛍光灯、ブラウン管（C R T）ディスプレイ装置、プラズマディスプレイ（P D P）装置、有機電界発光（E L）ディスプレイ装置、液晶ディスプレイ（L C D）装置等が用いられる。

30

【 0 0 3 3 】

上記の通り、送信装置 1 0 0 は、入力データのデジタル値を色度座標にマッピングして送信する。そのため、光源の種類に依存しない。例えば、L E D の白色光スペクトルでは、赤色光（R）、緑色光（G）、青色光（B）の周波数帯において鋭いピークが観測される。一方、ディスプレイ装置の白色光スペクトルでは、赤色光（R）、緑色光（G）、青色光（B）の周波数帯において小さなピークが観測されるものの、全体的にブロードな分布形状が観測される。波長変調方式や振幅変調方式においては、このようなスペクトル形状の違いが復調データの違いとして現れてしまう。一方、色座標多重方式の場合、色度座標上でデータが変調マッピングされているため、光源の種類が違っていてもデータは同じように復調される。そのため、光源に種々の発光手段を用いることができるのである。

40

50

【 0 0 3 4 】

なお、発光部 1 0 6 には、複数の光源が搭載されていてもよい。この場合、発光部 1 0 6 に設けられた駆動回路は、上記の制御信号に応じて複数の光源に共通して駆動電圧を供給するように構成される。但し、複数の光源が搭載されている場合、発光部 1 0 6 に設けられた駆動回路は、発光部 1 0 6 の発光量を調整する際に、発光させる光源の数を調整するように構成されていてもよい。このように複数の光源を利用することで、光源の種類に寄らず、発光部 1 0 6 から発せられる光の強度を大きくすることができるようになる。

【 0 0 3 5 】

以上、送信装置 1 0 0 の機能構成について説明した。上記の構成を適用すると、色度座標を利用してデータ伝送するため、送信装置 1 0 0 が備える発光部 1 0 6 の数を越える多
10
値数にデータを変調することが可能になる。そのため、1 つのパルスで送信可能なデータ量が増大し、より高速なデータ伝送が可能になる。また、色光の混合比率にデータを変調しているため、伝送路で発生する光量減衰の影響が小さく抑えられ、伝送誤り率が低減される。さらに、光源の種類を選ばないという利点もある。また、色度座標は色相と彩度とを同時に表現するものである。そのため、色度座標に入力データをマッピングして変調すると、彩度の分だけ入力データの多重度を高めることができる。

【 0 0 3 6 】

(受信装置 1 3 0 による復調処理等について)

次に、受信装置 1 3 0 による復調処理等について説明する。

【 0 0 3 7 】

図 1 に示すように、受信装置 1 3 0 は、複数の受光部 1 3 2 と、座標系変換部 1 3 4 と、色座標復調部 1 3 6 とを有する。なお、受光部 1 3 2 は、カラーフィルタ、光電変換素子、A / D 変換回路により構成される。
20

【 0 0 3 8 】

上記の通り、送信装置 1 0 0 から受信装置 1 3 0 に向けて入力データに対応する色光が発せられる。複数の発光部 1 0 6 から発せられた複数の色光は、伝送路において混合される。混合された色光は、受信装置 1 3 0 が有する複数の受光部 1 3 2 により受光される。受光部 1 3 2 は、特定の分光感度特性を持つカラーフィルタを有している。受光部 1 3 2 により受光された混合光は、カラーフィルタに入射されて所定の色光に分離される。カラーフィルタを通過した色光は、受光部 1 3 2 が有する光電変換素子に入射される。光電変換素子は、カラーフィルタを通過した色光の受光量に比例した電流を出力する。
30

【 0 0 3 9 】

例えば、赤色 (R) に対応する受光部 1 3 2 の光電変換素子は、赤色光 (R) の受光量に比例した電流が出力される。同様に、緑色 (G) 及び青色 (B) に対応する受光部 1 3 2 の光電変換素子は、それぞれ緑色光 (G) 及び青色光 (B) の受光量に比例した電流が出力される。なお、上記の光電変換素子としては、例えば、フォトダイオード (P D ; P h o t o D i o d e 、 p n 型 P D 、 p i n 型 P D 、 A P D ; A v a l a n c h e P h o t o d i o d e) が用いられる。受光部 1 3 2 の光電変換素子から出力された電流は、受光部 1 3 2 が有する A / D 変換回路に入力される。A / D 変換回路では、光電変換素子から入力された電流値が各色光の受光量に対応する輝度信号 (R , G , B) に変換される
40
。A / D 変換回路から出力された輝度信号は、座標系変換部 1 3 4 に入力される。

【 0 0 4 0 】

受光部 1 3 2 から各色光の輝度信号が入力されると、座標系変換部 1 3 4 は、各色光に対応する輝度信号 (R , G , B) を元の色度座標値 (x , y) に変換する。例えば、Y x y 表色系の場合、座標系変換部 1 3 4 は、人間の目に対応する分光感度を示す等色関数を用いて、上記の輝度信号 (R , G , B) から三刺激値 (X , Y , Z) を算出し、その算出結果から色度座標値 (x , y) を算出する。なお、送信装置 1 0 0 から P W M 周期に合わせて信号が送信される場合、座標系変換部 1 3 4 は、1 つの P W M 周期の間に各受光部 1 3 2 から出力される輝度信号 (R , G , B) を積算し、その積算値に基づいて色度座標値 (x , y) を算出する。このようにして算出された色度座標値 (x , y) は、色座標復調
50

部 1 3 6 に入力される。

【 0 0 4 1 】

色度座標値 (x , y) が入力されると、色座標復調部 1 3 6 は、入力された色度座標値 (x , y) に基づいて元の送信データを復調する。まず、色座標復調部 1 3 6 は、色度座標上に配置された所定の色度点 (図 2 を参照) と色度座標値 (x , y) との間の距離を算出し、距離が最も近い所定の色度点を検出する。例えば、送信データのデジタル値が 0 x 7 である場合、伝送路におけるノイズ等の影響が小さければ色度点 S 7 が検出される。この場合、色座標復調部 1 3 6 は、図 3 の表を参照して色度点 S 7 に対応するデジタル値 0 x 7 を出力する。このようにして送信データが復調される。

【 0 0 4 2 】

以上、受信装置 1 3 0 の機能構成について説明した。上記の通り、各色に対応する受光量に基づいて色度座標値が算出される。また、算出された色度座標値に基づいて元のデータが復調される。そのため、伝送路における光量の減衰に起因して発生する伝送誤り率の増加を抑制することができる。

【 0 0 4 3 】

なお、図 1 には、ある色度点 S 2 、 S 8 、 S 6 に対応する発光タイミング及び発光量 (波形) の一例が示されている。この例に示すように、各色度点に対応するデータは、各発光部 1 0 6 から発せられる光の光量比率に変調されて伝送される。そのため、発光部 1 0 6 の数以上に多重度を高めることができる上、伝送路における光量減少に強い。しかしながら、外乱光の影響は無視することができない。また、個々の発光部 1 0 6 から発せられる光のスペクトルには有限の幅があるため、複数の発光部 1 0 6 から発せられた色光の干渉 (以下、 R G B 干渉) による影響も無視することができない。さらに、複数の発光部 1 0 6 の間で発光強度のばらつき (以下、 R G B ばらつき) があると、その影響により伝送品質の劣化が発生してしまう。

【 0 0 4 4 】

上記の R G B 干渉は、送信装置 1 0 0 が有する発光部 1 0 6 の帯域特性、及び受信装置 1 3 0 が有する受光部 1 3 2 の帯域特性に起因して発生する。また、上記の R G B ばらつきは、送信装置 1 0 0 が有する発光部 1 0 6 の発光強度特性、及び受信装置 1 3 0 が有する受光部 1 3 2 の受光感度特性に起因して発生する。このような影響に関し、例えば、図 4 に示すような試験結果が得られている。

【 0 0 4 5 】

図 4 は、色度座標上に配置された 4 つの色度点に 2 ビット毎のデータを割り当てて送信した場合 (Q P S K 変調に相当) に受信装置 1 3 0 において検出される色度点の位置を示したものである。特に、図 4 には、 (A) 外乱光 (D C n o i s e) を加えた場合、 (B) R G B 干渉 (R G B i n t e r f e r e n c e) を加えた場合、 (C) R G B ばらつき (R G B u n b a r a n c e) を加えた場合について検出結果が示されている。但し、図中の R e f e r e n c e は参照点の位置を示す。なお、図 4 は X Y Z 表色系で表現されている。また、図 4 の色度座標値 (x , y) は、各受光部 1 3 2 が受信した光の光量に対応する輝度信号 (R , G , B) を下式 (2) により変換した結果 (X , Y , Z) に基づいて算出されたものである。

【 0 0 4 6 】

【 数 2 】

$$\begin{aligned} X &= 2.7689 * R + 1.7517 * G + 1.1302 * B \\ Y &= R + 4.5907 * G + 0.0601 * B \\ Z &= 0.0565 * G + 5.5943 * B \\ \dots &(2) \end{aligned}$$

【 0 0 4 7 】

図 4 の (B : C o l o r D e c o d i n g) を参照すると、 (A) D C ノイズを加え

10

20

30

40

50

た場合の結果、及び（Ｂ）RGB干渉を加えた場合の結果は、参照点から非常に大きく離れてしまっていることが分かる。また、（Ｃ）RGBばらつきを加えた場合の結果についても、参照点からの距離が離れてしまっていることが分かる。一方で、図中には明示していないが、伝送路における光量減衰の影響を加えても参照点とほぼ重なる位置で受光量に対応する色度座標値（ x, y ）が観測される。また、上記（Ａ）（Ｂ）の場合、４つの色度点間の間隔が小さくなっている。一方、上記（Ｃ）の場合、各色度点間の間隔は大きく変わらないものの、４つの色度点で形成される矩形の形状が回転したものとなっている。このように、可視光通信システム１０の構成を用いても、上記（Ａ）～（Ｃ）に示すような影響により、伝送品質が劣化してしまう。このような事情に鑑み、後述する本発明の実施形態においては、上記のような影響に起因して生じる伝送品質の劣化を低減させる方法が提案される。

10

【００４８】

<実施形態>

以下、本発明の一実施形態について説明する。本実施形態は、光伝送路の伝送特性を示すチャンネル行列を推定し、そのチャンネル行列を用いて光伝送路の伝送特性を補償することにより伝送品質の劣化を低減させる技術に特徴がある。以下、本実施形態に係る可視光通信システム２０の構成、及び伝送特性の補償方法について詳細に説明する。

【００４９】

[可視光通信システム２０の構成]

まず、図５を参照しながら、本実施形態に係る可視光通信システム２０の構成について説明する。但し、図１に示した可視光通信システム１０と実質的に同一の構成要素については詳細な説明を省略する。

20

【００５０】

図５は、本実施形態に係る可視光通信システム２０の構成例を示す説明図である。図５に示すように、可視光通信システム２０には、送信装置２００、及び受信装置２３０が含まれる。送信装置２００から送信された信号は、光伝送路において光量の減衰、外光の混入、RGB干渉、RGBばらつき等の影響を受ける。そこで、可視光通信システム２０では、受信装置２３０において伝送路特性を補償し、補償後の輝度信号に基づいて送信データを検出する構成が採用されている。以下、当該伝送路特性の補償方法に関する送信装置２００、及び受信装置２３０の機能構成について詳細に説明する。

30

【００５１】

(送信装置２００の機能構成について)

まず、送信装置２００の機能構成について説明する。図５に示すように、送信装置２００は、主に、色座標変調部２０２と、座標系変換部２０４と、プリアンプル信号生成部２０８と、複数の発光部２０６とを有する。但し、色座標変調部２０２は、上記の送信装置１００が備える色座標変調部１０２と実質的に同じ機能構成を有する。また、座標系変換部２０４は、上記の送信装置１００が備える座標系変換部１０４と実質的に同じ機能構成を有する。さらに、発光部２０６は、上記の送信装置１００が備える発光部１０６と実質的に同じ機能構成を有する。従って、プリアンプル信号生成部２０８の機能構成を中心に説明する。

40

【００５２】

図５に示すように、プリアンプル信号生成部２０８には、同期符号（Synchronization code）、及びチャンネル推定符号（Channel estimation code）が入力される。同期符号は、受信装置２３０においてプリアンプル信号のタイミング同期に用いられる信号成分に相当する。また、チャンネル推定符号は、受信装置２３０においてチャンネル推定に用いられる信号成分に相当する。プリアンプル信号生成部２０８は、入力された同期符号、及びチャンネル推定符号に基づいてプリアンプル信号を生成する。プリアンプル信号生成部２０８により生成されるプリアンプル信号の一例を図６に示した。

【００５３】

50

図6に示すように、プリアンブル信号生成部208により生成されるプリアンブル信号には、同期符号の成分とチャンネル推定符号の成分とが含まれる。また、プリアンブル信号Rは、赤色光(R)の発光部206に入力される制御信号である。同様に、プリアンブル信号G、Bは、それぞれ緑色光(G)、青色光(B)の発光部206に入力される制御信号である。同期符号の成分においては、赤色光(R)、緑色光(G)、青色光(B)に対応するプリアンブル信号の信号波形が全て同じである。また、本実施形態において、好ましくは、自己相関特性が良好なM系列(M(Maximal-length)sequence)の信号が同期符号の信号成分として用いられる。逆に、チャンネル推定符号の成分には、相互に相関の小さい信号波形が用いられる。好ましくは、Hadamard符号が用いられる。

10

【0054】

再び図5を参照する。上記の通り、プリアンブル信号生成部208は、自己相関特性が良好な同期符号の成分と、及び異なる色光間で相互相関特性が良好なチャンネル推定符号の成分を含むプリアンブル信号を生成する。各色に対応するプリアンブル信号は、各色に対応する発光部206に入力される。そして、各発光部206は、プリアンブル信号生成部208から入力されたプリアンブル信号に基づいて発光する。なお、プリアンブル信号の送信処理は、色座標変調部202に入力された送信データが送信される前に実行される。つまり、プリアンブル信号が送信され、受信装置230においてチャンネル行列が推定された後で、上記の送信データが送信される。送信データは、上記の可視光通信システム10の場合と同様に、色座標変調部202で色度点にマッピングされ、座標系変換部204でRGB信号に変換されて複数の発光部206により送信される。

20

【0055】

(受信装置230の機能構成について)

次に、受信装置230の機能構成について説明する。図5に示すように、受信装置230は、主に、複数の受光部232と、信号検出/同期部234と、チャンネル推定部236と、色補償部238と、座標系変換部240と、色座標復調部242とを有する。上記の受信装置130との主な相違点は、信号検出/同期部234、チャンネル推定部236、及び色補償部238の機能構成にある。一方で、受光部232、座標系変換部240、色座標復調部242は、上記の受信装置130が有する受光部132、座標系変換部134、色座標復調部136と実質的に同じである。従って、信号検出/同期部234、チャンネル推定部236、及び色補償部238の機能構成を中心に説明する。

30

【0056】

まず、送信装置200からプリアンブル信号が送信されると、受信装置230においては、複数の受光部232を用いてプリアンブル信号を受信する。但し、伝送路において光量の減衰、外光の混入、RGB干渉、RGBばらつき等が発生するため、各受光部232で受信される信号は元のプリアンブル信号に伝送路特性が加味されたものとなる。各受光部232が受けた光の輝度信号は、信号検出/同期部234、及びチャンネル推定部236に入力される。但し、信号検出/同期部234においては、プリアンブル信号の同期符号成分に対応する信号成分だけが用いられる。同様に、チャンネル推定部236においては、プリアンブル信号のチャンネル推定符号成分に対応する信号成分だけが用いられる。

40

【0057】

まず、信号検出/同期部234の機能構成について説明する。信号検出/同期部234は、入力された輝度信号のうち、プリアンブル信号の同期符号成分に対応する信号成分(以下、単に同期符号成分と呼ぶ。)に基づいてタイミング同期を確立する。上記の通り、同期符号は、自己相関特性が良好な信号波形を有する。そのため、信号検出/同期部234は、送信装置200のプリアンブル信号生成部208が用いた同期符号と同じ符号を利用し、スライディング相関処理を実行して自己相関ピークを検出することができる。また、検出された自己相関ピークに基づいて信号の存在及び位置が検出される。信号検出/同期部234により検出された信号の位置はチャンネル推定部236に通知される。

【0058】

50

ここで、図7を参照しながら、信号検出/同期部234の構成について、より詳細に説明する。図7は、信号検出/同期部234のより詳細な構成を示す説明図である。図7に示すように、信号検出/同期部234は、例えば、クロック発生器252と、符号発生器254と、相関器256と、比較器258とにより構成される。

【0059】

まず、符号発生器254は、クロック発生器252により発生されたクロックを用いて送信装置200のプリアンプル信号生成部208に入力された同期符号と同じ符号を発生させる。例えば、符号発生器254は、M系列の同期符号を発生させる。符号発生器254により発生された同期符号は、相関器256に入力される。さらに、相関器256には、入力信号(輝度信号)が入力される。相関器256は、符号発生器254により発生された同期符号のタイミングと入力信号のタイミングとをスライディングさせながら、各タイミングにおける相関値を出力する。相関器256により出力された相関値は、比較器258に入力される。比較器258は、相関器256から入力された相関値が所定の閾値を上回っているか否かを判定し、上回っている場合に同期補足が完了したと判定して同期補足信号を出力する。同期補足信号は、チャンネル推定部236に信号の存在及び位置を通知するためのものである。このようにして信号のタイミング同期が実現される。

【0060】

再び図5を参照する。次に、チャンネル推定部236の機能構成について説明する。チャンネル推定部236は、プリアンプル信号のチャンネル推定符号成分に対応する信号成分(以下、単にチャンネル推定符号成分と呼ぶ。)に基づいてチャンネル行列Hを推定する。上記の通り、チャンネル推定部236には、信号検出/同期部234から信号の位置(タイミング)が通知されている。そこで、チャンネル推定部236は、信号検出/同期部234により検出されたタイミングに合わせてチャンネル推定符号成分の相関値を計算する。例えば、Hadamard符号が用いられている場合、自己相関は1となり、相互相関は0となる。そのため、図8に示すような構成を用いることで、チャンネル行列Hの各成分を算出することができる。

【0061】

ここで、図8を参照する。図8には、送信装置200が有する各発光部206から送信された光信号が伝送路で混合され、受光部232に入射される様子が示されている。また、各受光部232が受けた光に対応する輝度信号からチャンネル行列Hの各成分が検出される様子が示されている。但し、複数の発光部206(R、G、B)から送信される信号はそれぞれ C_R 、 C_G 、 C_B と表現されている。また、各発光部206から各受光部232への伝送路に対応するチャンネル行列Hの成分は、それぞれ h_{IJ} の形で表現されている。但し、I及びJはR、G、Bのいずれかである。そして、Iは発光部206の色に対応し、Jは受光部232の色に対応する。例えば、発光部206(R)から受光部232(B)への伝送路に対応するチャンネル行列Hの成分は h_{RB} と表現されている。

【0062】

まず、受光部232(R)から出力される輝度信号に基づいてチャンネル行列Hの成分 h_{RR} 、 h_{RG} 、 h_{RB} を検出する方法について具体的に説明する。図8に示されている通り、受光部232(R)には、発光部206(R)から発せられた赤色光(R)の他にも、発光部206(G)及び発光部206(B)から発せられた光(緑色光(G)及び青色光(B))が入射される。

【0063】

しかし、受光部232(R)には、赤色光(R)を透過するカラーフィルタが設けられており、本来ならば、緑色光(G)及び青色光(B)はカラーフィルタでカットされるはずである。ところが、発光部206(G)及び発光部206(B)から発せられる光のスペクトルは有限の幅を持っているため、発光部206(G)及び発光部206(B)から発せられる光にも赤色光(R)の成分が含まれている。また、受光部232(R)に設けられたカラーフィルタは緑色光(G)及び青色光(B)を完全にカットできるわけではない。そのため、受光部232(R)で検出される光の強度には、発光部206(R)によ

10

20

30

40

50

り発せられた赤色光 (R) 以外の成分が含まれてしまうのである。これらの影響は、チャンネル行列 H の成分 h_{RR} 、 h_{GR} 、 h_{BR} により表現されている。

【 0 0 6 4 】

そこで、受光部 2 3 2 (R) から出力される輝度信号を C'_R と表現すると、輝度信号 C'_R は、下式 (3) のように表現される。同様に、受光部 2 3 2 (G) から出力される輝度信号 C'_G は、下式 (4) のように表現される。さらに、受光部 2 3 2 (B) から出力される輝度信号 C'_B は、下式 (5) のように表現される。つまり、チャンネル行列 H は、下式 (6) のように表現される。

【 0 0 6 5 】

【 数 3 】

$$C'_R = C_R * h_{RR} + C_G * h_{RG} + C_B * h_{RB} \quad \dots \quad (3)$$

$$C'_G = C_R * h_{GR} + C_G * h_{GG} + C_B * h_{GB} \quad \dots \quad (4)$$

$$C'_B = C_R * h_{BR} + C_G * h_{BG} + C_B * h_{BB} \quad \dots \quad (5)$$

10

【 0 0 6 6 】

【 数 4 】

$$H = \begin{pmatrix} h_{RR} & h_{RG} & h_{RB} \\ h_{GR} & h_{GG} & h_{GB} \\ h_{BR} & h_{BG} & h_{BB} \end{pmatrix} \quad \dots \quad (6)$$

20

【 0 0 6 7 】

そこで、上式 (3) からチャンネル行列 H の成分 h_{RR} 、 h_{GR} 、 h_{BR} を検出する方法について考える。既に述べた通り、チャンネル推定部 2 3 6 は、受信した輝度信号のうち、チャンネル推定符号成分に基づいてチャンネル行列 H の各成分を推定する。そこで、チャンネル推定符号成分に注目して説明を進めるため、信号 C_R 、 C_G 、 C_B はプリアンブル信号のチャンネル推定符号成分を示しているものと仮定する。

30

【 0 0 6 8 】

まず、輝度信号 C'_R は、図 8 に示すように 3 種類の相関計算部 2 6 0 にそれぞれ入力される。また、3 種類の相関計算部 2 6 0 には、それぞれ信号 C_R 、 C_G 、 C_B が入力される。信号 C_R が入力される相関計算部 2 6 0 においては、輝度信号 C'_R と信号 C_R との間の相関計算が実行される。チャンネル推定符号として H a r a m a r d 符号が用いられている場合、上記の通り、自己相関が 1 になり、相互相関が 0 になる。そのため、信号 C_R が入力される相関計算部 2 6 0 において、輝度信号 C'_R から相関 1 の成分 (h_{RR}) のみが抽出される。同様に、信号 C_G が入力される相関計算部 2 6 0 からチャンネル行列 H の成分 h_{RG} が抽出され、信号 C_B が入力される相関計算部 2 6 0 からチャンネル行列 H の成分 h_{RB} が抽出される。

40

【 0 0 6 9 】

ここでは、受光部 2 3 2 (R) の輝度信号 C'_R からチャンネル行列 H の各成分を算出する方法について説明した。同様に、受光部 2 3 2 (G) 及び受光部 2 3 2 (B) の輝度信号 C'_G 、 C'_B からチャンネル行列 H の各成分を算出することができる。つまり、チャンネル推定部 2 3 6 は、上記の方法によりチャンネル行列 H を推定することができるのである。なお、ここで算出されたチャンネル行列 H には、発光部 2 0 6 の発光特性、伝送路における光量減衰、R G B 干渉、R G B ばらつきの効果が含まれる点に注意されたい。

【 0 0 7 0 】

50

再び図5を参照する。また、以下の説明においては、信号 (C_R, C_G, C_B) がプリアンブル信号に限定されないものとする。チャンネル推定部236により推定されたチャンネル行列 H は、色補償部238に入力される。また、色補償部238には、各受光部232から輝度信号が入力される。輝度信号が入力されると、色補償部238は、チャンネル推定部236から入力されたチャンネル行列 H を用いて輝度信号に伝搬路の補償処理を施す。例えば、色補償部238は、伝搬路の補償処理にZF(Zero Forcing)法を用いる。ZF法には、他の方法に比べて演算量が少なく済むという利点がある。但し、本実施形態に係る技術の適用範囲はZF法に限定されない。

【0071】

ここで、簡単にZF法について説明する。ZF法は、チャンネル行列 H で表現される伝搬路特性を受信信号からキャンセルするために用いられる方法である。特に、ZF法においては、下記の式(7)で表現されるウェイト行列 W が用いられる。まず、色補償部238は、チャンネル推定部236により推定されたチャンネル行列 H を用いて、下記の式(7)で示されるウェイト行列 W を算出する。次いで、色補償部238は、下記の式(8)に示すように、算出したウェイト行列 W を輝度信号ベクトル $C' = (C'_R, C'_G, C'_B)^T$ に乗算し、元の信号ベクトル $C = (C_R, C_G, C_B)^T$ を検出する。

【0072】

【数5】

$$W = (H * H^H)^{-1} * H^H \quad \dots \quad (7)$$

$$\begin{aligned} C &= W * C' \\ &= W * H * C \\ &= (H * H^H)^{-1} * (H^H * H) * C \\ &= C \\ &\dots \quad (8) \end{aligned}$$

【0073】

但し、上記の上付き H は、エルミート共役を表す。但し、本実施形態においては、チャンネル推定部236により推定されたチャンネル行列 H の各成分が実数であるため、そのエルミート行列は対称行列となる。従って、上記の式(8)に含まれる第4番目の等号が成り立つのである。なお、実数演算であるため、複素数を用いた演算に比べて処理負荷が小さく、高速に演算処理が実行される。上記の式(8)に含まれる第2番目の等号は、上記の式(3)~式(5)による。また、上記の式(7)及び式(8)においては、行列間の乗算処理に対し、見やすさの観点から敢えて乗算記号「*」を用いている。

【0074】

上記のようにしてZF法に基づく補償処理が実行されると、補償処理が施された後の輝度信号が色補償部238から座標系変換部240に入力される。座標系変換部240は、上記の受信装置130が有する座標系変換部134と同様にしてRGB信号を色度座標値 (x, y) に変換する。座標系変換部134による変換後の色度座標値 (x, y) は、色座標復調部242に入力される。色座標復調部242は、上記の受信装置130が有する色座標復調部136と同様に、入力された色座標値 (x, y) に最も近い色度点を検出し、その検出された色度点に対応するデータを出力する。

【0075】

以上、本実施形態に係る可視光通信システム20の構成について説明した。上記の通り、可視光通信システム20は、プリアンブル信号を用いてチャンネル行列を推定し、そのチャンネル行列を用いて伝送路を補償する構成に特徴を有する。特に、自己相関性が高い同期符号の成分、及び相互相関性が高い(自己相関性が低い)チャンネル推定符号の成分を含むプリアンブル信号を用いてタイミング同期、及びチャンネル推定が実行される構成に特徴がある。また、可視光通信システム20においては、外光の混入、RGB干渉、RGBばらつきを除去することが目的であるため、伝送路の補償処理に演算負荷の少ないZF法が用

10

20

30

40

50

いられている点も特徴に1つである。もちろん、色度座標にデータをマッピングして伝送する方式を用いて、伝送路における光量減衰の影響が無視できる程度にまで低減されている点も特徴の1つである。こうした特徴が組合わさることにより、図9及び図10に示すような格別の効果が得られる。

【0076】

[効果について]

まず、図9を参照する。図9は、参照点として色度座標上に4つの色度点を設定し、これらの色度点に対応する信号を送信した場合に得られる受信結果を示すものである。図9の左図は、上記の可視光通信システム10のように光伝搬路の補償をしない場合に得られる受信結果である。同図から明らかなように、伝搬路特性の影響により、4つの色度点間の間隔が狭まると共に、4つの色度点で形成される矩形が歪みつつ回転しているのが分かる。その結果、受信信号から検出された色度点の多くは参照点から大きく離れてしまっている。なお、このケースにおけるEVM(Error Vector Magnitude)を算出すると、 $EVM = 13.6$ [dB]という値が得られた。

10

【0077】

一方、図9の右図は、上記の可視光通信システム20のように光伝搬路の補償をした場合に得られる受信結果である。同図から明らかなように、上記の補償処理により伝搬路特性の影響が大きく低減され、受信信号から検出された色度点の位置は参照点の位置とほぼ一致している。また、このケースにおけるEVM(Error Vector Magnitude)を算出すると、 $EVM = 23.4$ [dB]という値が得られた。つまり、受信信号に光伝搬路の補償処理が施されることで、EVMが10dB程度も向上するのである。同様に、参照点として色度座標上に16個の色度点を設定した場合について、受信信号に光伝搬路の補償処理を施した場合と施していない場合とで得られる受信結果を比較したものが図10である。同図から明らかなように、図9の場合と同様に、光伝搬路の補償処理による効果は大きく、EVMが10dB以上も向上している。

20

【0078】

上記の通り、本実施形態に係る技術を用いることで、可視光通信における伝送品質を大きく向上させることができる。なお、本実施形態に係る技術は、プリアンプル信号を予め付加して送信し、プリアンプル信号に基づいて算出されたチャネル行列を用いて光伝搬路の補償処理を実行する方法である。そのため、プリアンプル信号の付加に起因する伝送速度の低下が若干懸念される。そこで、プリアンプル信号の付加に起因する伝送速度低下の影響について考察する。

30

【0079】

一例として、無線LAN型のアプリケーションを想定する。この場合、送信信号はフレーム構造を有する。また、1フレームが伝送される度に本実施形態に係る光伝搬路の補償処理が実行されるものとする。例えば、1フレーム内のデータ長を512シンボルと仮定する。この数字は、VLC-C-STD-003(可視光IDシステム規格)に準拠するものである。

【0080】

また、同期符号には、周期7のM系列が用いられるものと仮定する。雑音の多い伝搬路を想定した場合には周期の長いM系列を用いる方が有利であるが、可視光通信の場合にはSN比が比較的高い見通し内通信であることが多いため、M系列の周期は7で十分である。但し、信号検出の確度を高めるために同じ符号を3回繰り返すことにする。この場合、同期符号成分の信号長は、 $7 * 3 = 21$ シンボルとなる。さらに、チャネル推定符号には、周期4のHadamard符号が用いられるものと仮定する。通常、色多重数に応じて直交性を確保するための符号長は異なるが、ここではRGBの3多重を想定しているため、周期4のHadamard符号により直交性が確保される。従って、チャネル推定符号成分の信号長は4シンボルとなる。

40

【0081】

上記の仮定に基づくと、プリアンプル信号の長さは、 $21 + 4 = 25$ シンボルとなる。

50

各フレームの先頭部分にプリアンブル信号が付加される場合、伝送速度の低下率は、 $25 / 512 * 100 = 4.9\%$ 程度と見積もることができる。つまり、本実施形態を適用する場合に発生する伝送速度の劣化は5%以下と小さく、本実施形態を適用することにより得られる性能向上効果が伝送速度の劣化による影響を補って余りあることが分かる。このように、本実施形態に係る可視光通信システム20によると、伝搬路内の光量減衰、外光の影響、RGB干渉、及びRGBばらつきの影響が効果的に除去されるため、実際の実施状況に近い環境において非常に高い伝送品質を得ることができるのである。

【0082】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は係る例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【0083】

(備考)

上記の座標系変換部204は、発光量算出部、発光制御部の一例である。上記の色補償部238は、伝搬路補償部の一例である。上記の色座標復調部242は、データ復調部の一例である。上記の符号発生器254、相関器256は、相関値算出部の一例である。上記の比較器258は、同期タイミング検出部の一例である。

【図面の簡単な説明】

【0084】

【図1】色座標多重方式に係る可視光システムのシステム構成を示す説明図である。

【図2】色座標多重方式の変調方法を示す説明図である。

【図3】色座標多重方式の変調方法を示す説明図である。

【図4】色座標多重方式により得られる効果及びその課題を示す説明図である。

【図5】本発明の一実施形態に係る可視光通信システムのシステム構成、及び、同システムに含まれる送信装置及び受信装置の機能構成を示す説明図である。

【図6】同実施形態に係るプリアンブル信号の符号形態を示す説明図である。

【図7】同実施形態に係る信号検出/同期部の構成例を示す説明図である。

【図8】同実施形態に係るチャンネル推定部の構成例を示す説明図である。

【図9】同実施形態に係る色補償処理により得られる効果を示す説明図である。

【図10】同実施形態に係る色補償処理により得られる効果を示す説明図である。

【符号の説明】

【0085】

10、20	可視光通信システム
100、200	送信装置
102、202	色座標変調部
104、204	座標系変換部
106、206	発光部
130、230	受信装置
132、232	受光部
134、240	座標系変換部
136、242	色座標復調部
234	信号検出/同期部
236	チャンネル推定部
238	色補償部
252	クロック発生器
254	符号発生器
256	相関器
258	比較器
260	相関計算部

10

20

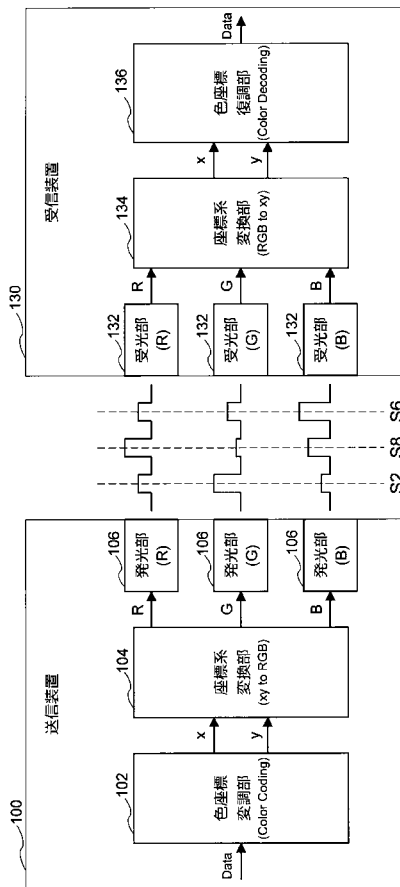
30

40

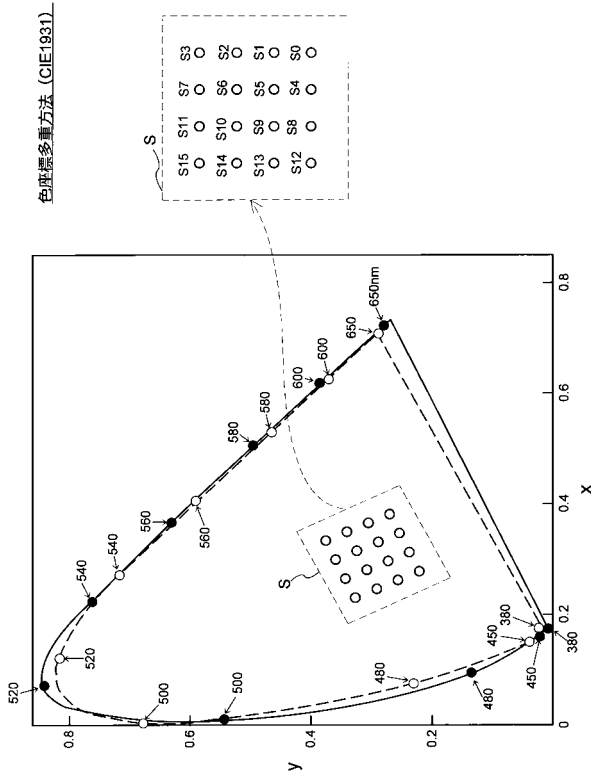
50

10. 可視光通信システム

【図 1】



【図 2】

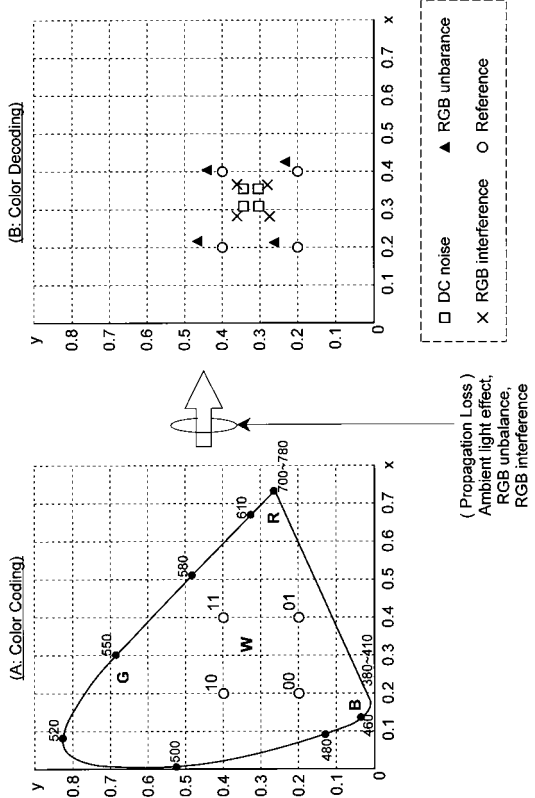


【図3】

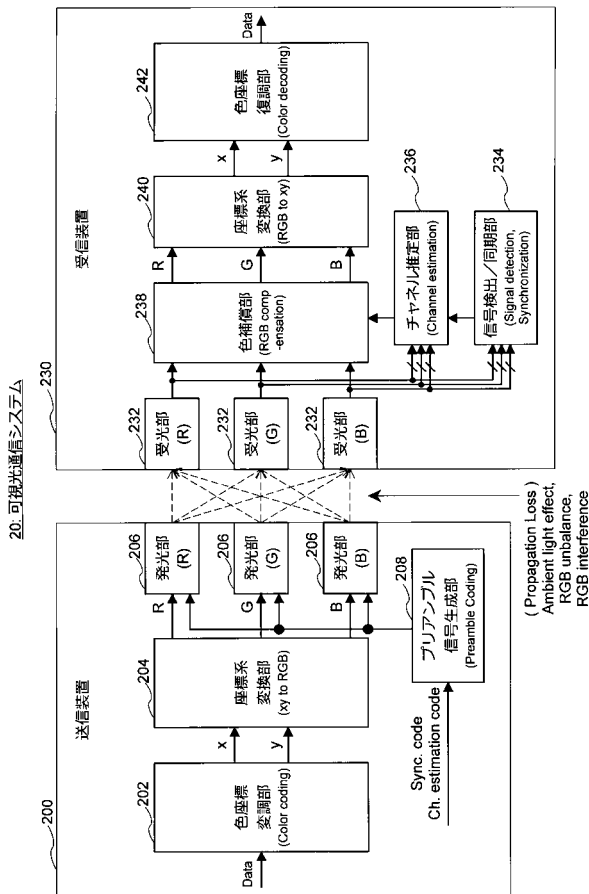
色座標多重方法
(16値化(4bit多重)の場合)

色度点	デジタル値
S0	0x0
S1	0x1
S2	0x2
S3	0x3
S4	0x4
S5	0x5
S6	0x6
S7	0x7
S8	0x8
S9	0x9
S10	0xA
S11	0xB
S12	0xC
S13	0xD
S14	0xE
S15	0xF

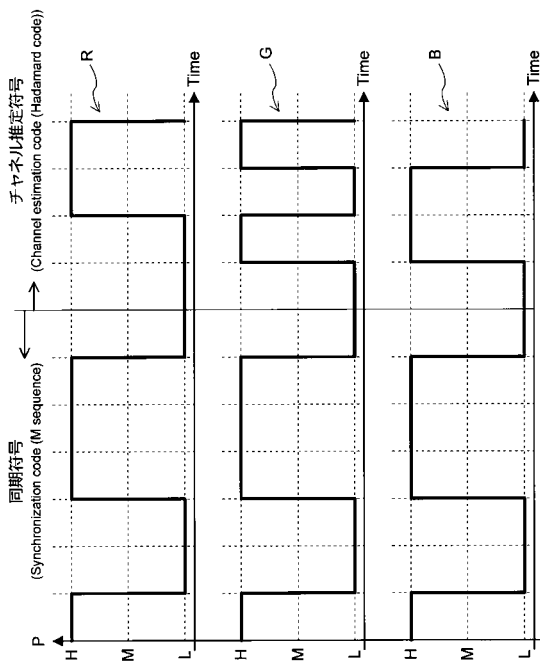
【図4】



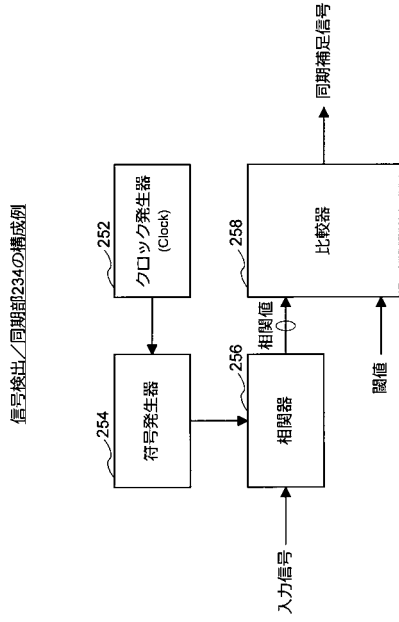
【図5】



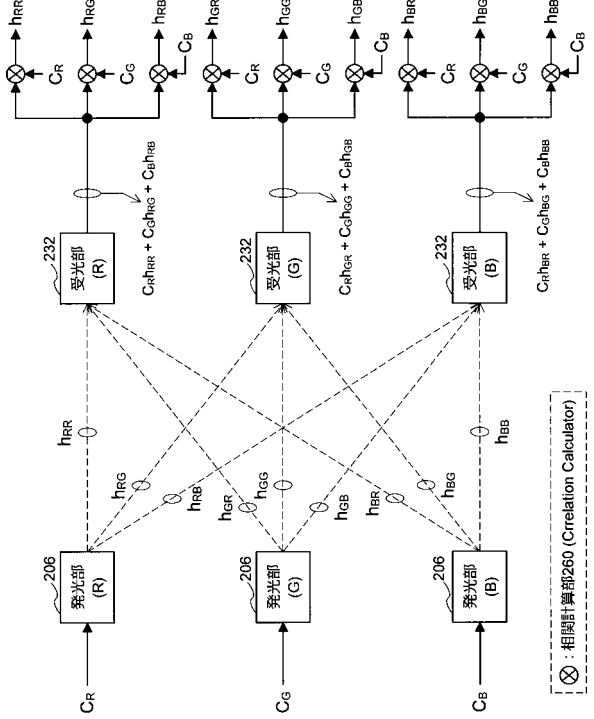
【図6】



【 図 7 】

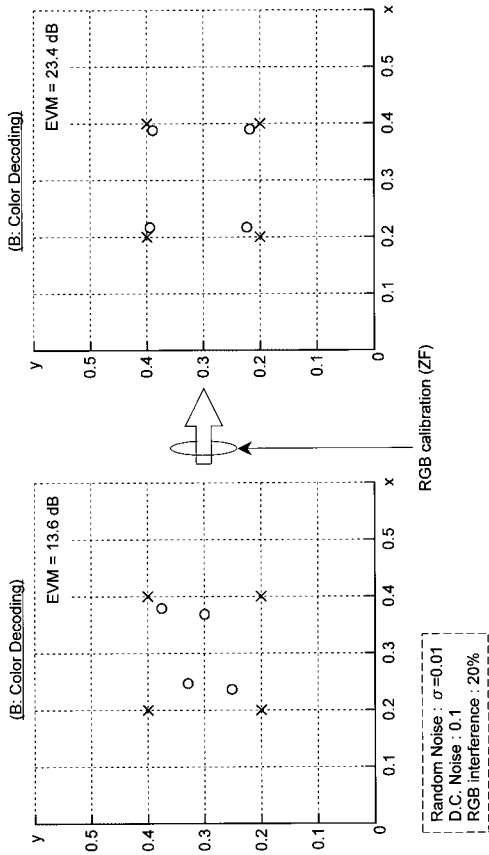


【 図 8 】



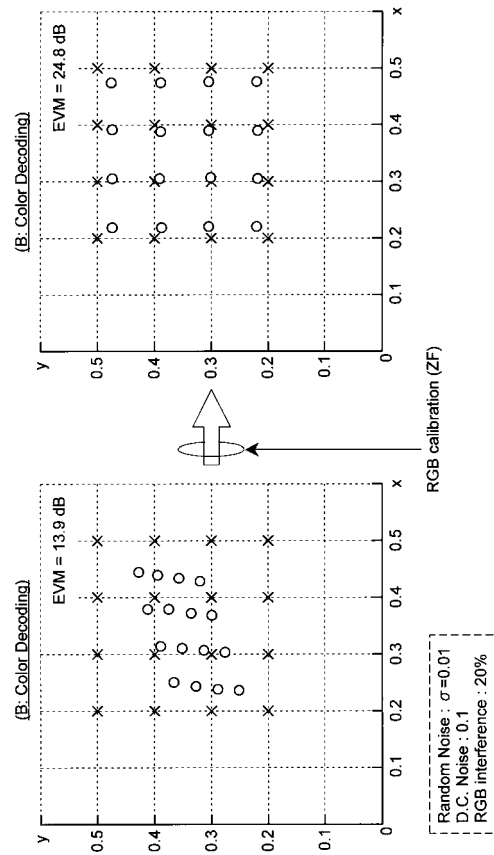
【 図 9 】

色補償による効果 (4点の場合)



【 図 10 】

色補償による効果 (16点の場合)



フロントページの続き

(74)代理人 100101557

弁理士 萩原 康司

(72)発明者 横井 敦也

神奈川県横浜市鶴見区菅沢町2-7 株式会社サムスン横浜研究所内

審査官 後澤 瑞征

(56)参考文献 特開2008-252570(JP,A)

特開2007-096548(JP,A)

特開2006-174120(JP,A)

特開2007-274091(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B10/00-10/90

H04J14/00-14/08

H01L 31/0232

H01L 33/00