

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5982323号  
(P5982323)

(45) 発行日 平成28年8月31日(2016.8.31)

(24) 登録日 平成28年8月5日(2016.8.5)

(51) Int.Cl. F I  
**HO4B 10/116 (2013.01)** HO4B 9/00 116  
**HO4N 5/225 (2006.01)** HO4N 5/225 F

請求項の数 7 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2013-104104 (P2013-104104)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成25年5月16日 (2013.5.16)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2014-225781 (P2014-225781A)		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(43) 公開日	平成26年12月4日 (2014.12.4)	(74) 代理人	100121706
審査請求日	平成27年7月31日 (2015.7.31)		弁理士 中尾 直樹
		(74) 代理人	100128705
			弁理士 中村 幸雄
		(74) 代理人	100147773
			弁理士 義村 宗洋
		(72) 発明者	ガブリエル パブロ ナバ
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	白木 善史
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 受信装置、受信方法、およびそのプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

送信装置と可視光通信をする受信装置であって、

Mを2以上の整数とし、前記送信装置のM個の可視光源から出力された光をイメージセンサにより電気信号に変換して得られる画像に含まれる複数の画素をそれぞれ前記M個の可視光源に対応するM個のクラスタに分類する画像処理部と、

前記M個のクラスタの各々のエネルギーに基づいて、前記M個の可視光源から出力された光に対応する信号を復号する復号部と、を含み、

前記画像処理部は、前記M個のクラスタの各々について、所定フレーム数の前記複数の画像の各々について計算される当該クラスタのエネルギーの分散が最大になるように、前記複数の画素をそれぞれ前記M個のクラスタに分類する、

受信装置。

【請求項2】

請求項1記載の受信装置であって、

前記画像処理部は、

$k = 1, 2, \dots, M$ とし、画素  $j$  ごとに、画素  $j$  の座標  $u(j)$  とクラスタ  $C_k$  の重心  $k$  との距離が最小となるクラスタ  $C_m$  に前記画素  $j$  を分類する初期化部と、

前記可視光源  $L_k$  から出力された光の前記画像上での大きさの推定値を  $r_k$  とし、画素  $j$  ごとに、画素  $j$  の輝度を表す信号である画素信号  $s_j$  とその画素信号  $s_j$  を追加する前のクラスタ  $C'_k$  のエネルギー  $g_k$  との相関度  $c_r(r(s_j), g_k)$  と、画素  $j$  が

前記送信装置の  $k$  番目の可視光源  $L_k$  から出力された光に対応する画素である確率の推定値  $w_j ( \quad_k , r_k )$  とに基づいて、画素  $j$  の所属するクラスタ  $C_m$  を更新するクラスタ更新部と、を含む、

受信装置。

【請求項 3】

請求項 2 記載の受信装置であって、

前記推定値  $w_j ( \quad_k , r_k )$  は、平均をクラスタ  $C_k$  の重心  $\mu_k$  とし、分散を  $r_k^2$  とする画素  $j$  の座標  $u(j)$  とクラスタ  $C_k$  の重心  $\mu_k$  との距離に関するガウス分布に対応した値である、

受信装置。

10

【請求項 4】

送信装置と可視光通信をするための受信方法であって、

$M$  を 2 以上の整数とし、前記送信装置の  $M$  個の可視光源から出力された光をイメージセンサにより電気信号に変換して得られる画像に含まれる複数の画素をそれぞれ前記  $M$  個の可視光源に対応する  $M$  個のクラスタに分類する画像処理ステップと、

前記  $M$  個のクラスタの各々のエネルギーに基づいて、前記  $M$  個の可視光源から出力された光に対応する信号を復号する復号ステップと、を含み、

前記画像処理ステップは、前記  $M$  個のクラスタの各々について、所定フレーム数の前記複数の画像の各々について計算される当該クラスタのエネルギーの分散が最大になるように、前記複数の画素をそれぞれ前記  $M$  個のクラスタに分類する、

20

受信方法。

【請求項 5】

請求項 4 記載の受信方法であって、

前記画像処理ステップは、

$k = 1, 2, \dots, M$  とし、画素  $j$  ごとに、画素  $j$  の座標  $u(j)$  とクラスタ  $C_k$  の重心  $\mu_k$  との距離が最小となるクラスタ  $C_m$  に前記画素  $j$  を分類する初期化ステップと、

前記可視光源  $L_k$  から出力された光の前記画像上での大きさの推定値を  $r_k$  とし、画素  $j$  ごとに、画素  $j$  の輝度を表す信号である画素信号  $s_j$  とその画素信号  $s_j$  を追加する前のクラスタ  $C'_k$  のエネルギー  $g_k$  との相関度  $c_{rr}(s_j, g_k)$  と、画素  $j$  が前記送信装置の  $k$  番目の可視光源  $L_k$  から出力された光に対応する画素である確率の推定値  $w_j ( \quad_k , r_k )$  とに基づいて、画素  $j$  の所属するクラスタ  $C_m$  を更新するクラスタ更新ステップと、を含む、

30

受信方法。

【請求項 6】

請求項 5 記載の受信方法であって、

前記推定値  $w_j ( \quad_k , r_k )$  は、平均をクラスタ  $C_k$  の重心  $\mu_k$  とし、分散を  $r_k^2$  とする画素  $j$  の座標  $u(j)$  とクラスタ  $C_k$  の重心  $\mu_k$  との距離に関するガウス分布に対応した値である、

受信方法。

40

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 3 の何れかに記載の受信装置としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は可視光通信技術に関する。特に、送信装置と可視光通信をする受信装置、受信方法、及びそのプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

可視光通信は、目に見える可視光を利用して通信を行う技術である。2007年に電子情報

50

技術産業協会（J E I T A）で可視光通信システムの標準規格（C P - 1 2 2 1）が規格化されて以降、この規格に基づく可視光通信システムや可視光通信デバイスが提案されてきた。

#### 【 0 0 0 3 】

非特許文献 1 では、複数個の可視光源を送信装置とし、1 個のイメージセンサを受信装置として可視光通信を行う構成が提案されている。この構成では、図 1 のように、送信装置 9 1 が、時刻  $t$  におけるデジタル情報であるバイナリ信号  $x_k(t)$  に対応して可視光源 9 1 1 -  $k$  から出力される光の輝度を調整して出力することにより、バイナリ信号  $x_k(t)$  を送信する。ただし、 $k = 1, 2, \dots, M$  であり、 $M$  は可視光源の総数である。なお、一つの可視光源 9 1 1 -  $k$  に一つのバイナリ信号  $x_k(t)$  を対応させることにより、可視光源 9 1 1 -  $k$  から出力される光の輝度を独立に調整しても良いし（図 1 参照）、 $N$  個の可視光源に一つのデジタル情報を対応させ、 $N$  個の可視光源から出力される光の輝度をまとめて調整しても良い。ただし、 $N$  は 2 以上  $M$  以下の整数である。また、 $M$  個の可視光源 9 1 1 -  $k$  はバラバラに（疎に）配置されても良いし、整列して配置されても良い。さらに、その配置は静的（固定）であっても動的（可動）であっても良い。

#### 【 0 0 0 4 】

受信装置 8 0 は、カメラ 8 1 と復号部 8 2 を含み、カメラ 8 1 は、イメージセンサ 8 1 1 とレンズ 8 1 2 とを有する。レンズ 8 1 2 は、光を集め、イメージセンサ 8 1 1 に像を結ぶ。イメージセンサ 8 1 1 は、伝送されてくる光を電気信号に変換し、電気信号からなる画像として取得（撮影）する。復号部 8 2 は、取得した画像から  $M$  個の可視光源 9 1 1 -  $k$  から出力された光の強度を推定し、推定した値を用いて元のバイナリ信号  $x_k(t)$  を復号し、復号結果  $x'_k(t)$  を取得し、出力する。

#### 【 先行技術文献 】

#### 【 非特許文献 】

#### 【 0 0 0 5 】

【 非特許文献 1 】 S. Arai, S. Mase, T. Yamasato, T. Yendo, T. Fuji, M. tanimoto, T. kindono, Y. Kimura, and Y. ninomiya, " Experimental on Hierarchical Transmission Scheme for Visible Light Communication using LED Traffic Light and High-Speed Camera", in Proc. 66th IEEE Vehicular Technology Conference, 2007, pp. 2174-2178.

#### 【 発明の概要 】

#### 【 発明が解決しようとする課題 】

#### 【 0 0 0 6 】

一般に、カメラと撮影対象物との距離が遠くなるほど、撮影画像における撮影対象物の大きさは小さくなる。つまり、送信装置 9 1 の可視光源 9 1 1 -  $k$  と受信装置 8 0 のイメージセンサ 8 1 1 との距離が遠くなるほど、イメージセンサ 8 1 1 の解像度が不足して撮影される可視光源 9 1 1 -  $k$  の画像が不明瞭になる。そのため、イメージセンサ 8 1 1 で取得した画像から、各可視光源 9 1 1 -  $k$  を判別することが困難になる。図 2 に  $M = 16$  個の可視光源 9 1 1 -  $k$  をイメージセンサ 8 1 1 で撮影した画像の例を示す。なお、画像の画素（ピクセル）数は  $26 \times 5 = 130$  である。イメージセンサ 8 1 1 の解像度が不足することで、可視光源 9 1 1 -  $k$  の光と可視光源 9 1 1 -  $k'$  の光とが重なって、各々の境界が不明瞭になってしまうことが分かる。ここで、 $k' = 1, 2, \dots, M$  であり、 $k \neq k'$  である。このような状況下において、非特許文献 1 の方法では、取得した画像から各可視光源 9 1 1 -  $k$  に対応する画素を正しく判別することができない。その結果、正しい復号結果  $x'_k(t)$  を得ることができない。つまり、伝送距離が長くなるほど、復号結果  $x'_k(t)$  には多くの誤差が含まれる。

#### 【 0 0 0 7 】

本発明は、イメージセンサで撮影した画像の解像度が低い場合であっても、復号誤差を小さくできる受信装置、受信方法、及びそのプログラムを提供することを目的とする。

#### 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 8 】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様によれば、受信装置は、送信装置と可視光通信をする。受信装置は、Mを2以上の整数とし、送信装置のM個の可視光源から出力された光をイメージセンサにより電気信号に変換して得られる画像に含まれる複数の画素をそれぞれM個の可視光源に対応するM個のクラスタに分類する画像処理部と、M個のクラスタの各々のエネルギーに基づいて、M個の可視光源から出力された光に対応する信号を復号する復号部と、を含み、画像処理部は、M個のクラスタの各々について、所定フレーム数の前記複数の画像の各々について計算される当該クラスタのエネルギーの分散が最大になるように、複数の画素をそれぞれM個のクラスタに分類する。

## 【 0 0 0 9 】

上記の課題を解決するために、本発明の他の態様によれば、受信方法は、送信装置と可視光通信をするための受信方法である。受信方法は、Mを2以上の整数とし、送信装置のM個の可視光源から出力された光をイメージセンサにより電気信号に変換して得られる画像に含まれる複数の画素をそれぞれM個の可視光源に対応するM個のクラスタに分類する画像処理ステップと、M個のクラスタの各々のエネルギーに基づいて、M個の可視光源から出力された光に対応する信号を復号する復号ステップと、を含み、画像処理ステップは、M個のクラスタの各々について、所定フレーム数の前記複数の画像の各々について計算される当該クラスタのエネルギーの分散が最大になるように、複数の画素をそれぞれM個のクラスタに分類する。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 1 0 】

本発明は、イメージセンサで撮影した画像の解像度が低い場合であっても、復号誤差を小さくできるという効果を奏する。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 1 】

【 図 1 】 従来技術の可視光通信システムの構成を示す図。

【 図 2 】 可視光源をイメージセンサで撮影した画像の例を示す図。

【 図 3 】 第一実施形態に係る受信装置の機能ブロック図。

【 図 4 】 第一実施形態に係る受信装置の処理フローを示す図。

【 図 5 】 第一実施形態に係る可視光通信システムの概略を説明するための図。

【 図 6 】 閾値  $t_{hr_k}$  の設定方法を説明するための図。

【 図 7 】 第一実施形態に係る画像処理部の機能ブロック図。

【 図 8 】 第一実施形態に係る画像処理部の処理フローを示す図。

【 図 9 】 クラスタリング部 122 の機能ブロック図。

【 図 10 】 図 10 A はイメージセンサで取得した画像の例を示す図であり、図 10 B はクラスタリング結果を付与された画像の例を示す図。

【 図 11 】 第一実施形態に係る受信装置により信号を復号した時の実験結果を示す図。

【 図 12 】 図 11 に係る実験のセッティングを表す図。

【 図 13 】 各可視光源からの光の輝度を閾値で識別したときのビットエラーレート (BER) を表す図。

【 図 14 】 画像処理部においてクラスタの更新を行う前後の各クラスタのエネルギーのヒストグラムを示す図。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 1 2 】

以下、本発明の実施形態について説明する。なお、以下の説明に用いる図面では、同じ機能を持つ構成部や同じ処理を行うステップには同一の符号を記し、重複説明を省略する。また、ベクトルや行列の各要素単位で行われる処理は、特に断りが無い限り、そのベクトルやその行列の全ての要素に対して適用されるものとする。

## 【 0 0 1 3 】

< 第一実施形態に係る受信装置 10 >

図3は第一実施形態に係る受信装置10の機能ブロック図を、図4はその処理フローを示す。受信装置10は、イメージセンサ11と、画像処理部12と、復号部13とを含む。

【0014】

図5を用いて、可視光通信システム1の概略を説明する。可視光通信システム1は受信装置10と送信装置70とを含む。

【0015】

まず、送信装置70は、時刻 $t$ 毎に $M$ 個のバイナリ信号(デジタル情報) $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ , ...,  $x_M(t)$ を $M$ 個の可視光源 $L_1$ ,  $L_2$ , ...,  $L_M$ を使って送信する。例えば、バイナリ信号 $x_k(t)$ が1のときに可視光源 $L_k$ を発光させ、バイナリ信号 $x_k(t)$ が0のときに可視光源 $L_k$ を発光させないようにすることで、バイナリ信号 $x_k(t)$ を送信する。

10

【0016】

<イメージセンサ11>

受信装置10のイメージセンサ11は、 $M$ 個の可視光源 $L_k$ からそれぞれ出力された光 $y_k(t)$ を取り込み、これを電気信号に変換し、電気信号からなる画像として取得(撮影)し( $s_1$ )、撮影されたフレーム $t$ における画像 $S(t)$ 、つまり、画素信号(すなわち、画素の輝度を表す信号)の系列 $S(t) = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)\}$ を出力する。ここで、 $N$ はイメージセンサ11及び画像の画素数である。イメージセンサ11は、例えばフォトダイオード、フォトランジスタ、フォトレジスタ等のフォトセンサからなるアレイ、もしくは、CCDやCMOSなどのイメージセンサである。イメージセンサ11からの出力である画像(画素信号の系列 $s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$ )は、デジタル化された輝度画像、例えば、 $B$  bitのグレースケール画像( $B > 0$ )である。

20

【0017】

<画像処理部12>

画像処理部12は、画素信号の系列 $S(t) = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)\}$ を受け取り、画素 $n$ をそれぞれ $M$ 個の可視光源 $L_k$ に対応する $M$ 個のクラスタ $C_k$ のいずれかに分類し( $s_2$ )、出力する。ここで、画素信号の系列 $S(t) = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)\}$ を所定時間区間 $T_1$ だけ蓄積し、画素 $n$ 毎の時系列 $s_n$ にしたものを画素信号の時系列という。画素信号の時系列は、所定時間区間に含まれる複数のフレームの画像の画素信号の系列からなるものとする。つまり、 $s_n = (s_n(1), \dots, s_n(t), \dots, s_n(T_1))^T$ とする。ここで、上付き $T$ は転置を表し、 $s_n(t)$ は、フレーム $t$ の画像のインデックス $n$ に対応する画素信号( $n$ 番目の画素の画素信号)を表す。なお、分類する際には、画素間の空間的な距離と画素間の輝度の相関度合いに基づいて、各クラスタ $C_k$ のエネルギー $g_k$ の分散が最大化されるように、各画素 $n$ の所属するクラスタ $C_k$ を決定する。また、画像処理部12は、各クラスタ $C_k$ に対応する信号を識別するための閾値 $thr_k$ を設定する。ただし、 $n$ は、画素のインデックスであり、 $n = 1, 2, \dots, N$ である。画像処理部12における処理の詳細は後述する。

30

【0018】

<復号部13>

復号部13は、クラスタ $C_1, C_2, \dots, C_M$ 及び画素信号の時系列 $s_1, s_2, \dots, s_N$ から得られる集合 $S'$ (なお、集合 $S'$ は、画像に含まれる画素信号の時系列 $s_1, s_2, \dots, s_N$ から可視光源 $L_k$ からの情報と関連しない画素信号(ノイズ画素信号)を除いた画素信号の集合である)を受け取り、 $M$ 個のクラスタ $C_k$ の各々のエネルギー $g_k$ に基づいて、 $M$ 個の可視光源 $L_k$ から出力された光 $y_k = (y_k(1), \dots, y_k(t), \dots, y_k(T_1))$ に対応する信号(送信情報であるバイナリ信号 $x_k = (x_k(1), \dots, x_k(t), \dots, x_k(T_1))$ )を復号し( $s_3$ )、復号結果 $x'_k = (x'_k(1), \dots, x'_k(t), \dots, x'_k(T_1))$ を出力する。この処理は、従来技術と同じである。例えば、フレーム $t$ の画像の画素信号の系列 $S(t) = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)\}$ から計算されるクラスタ $C_k$ のエネルギー $g_k(t)$ を計算し、このエ

40

50

エネルギー  $g_k(t)$  が所定の閾値  $thr_k$  以上であれば  $k$  番目の可視光源  $L_k$  から送信されたデジタル信号の復号結果  $x'_k(t)$  を 1 とし、画像処理部 12 で設定された閾値  $thr_k$  より小さい場合は復号結果  $x'_k(t)$  を 0 とする。ここで、クラスタ  $C_k$  のエネルギー  $g_k(t)$  としては、例えば、クラスタ  $C_k(t)$  に含まれる画素信号  $s_i(t)$  の総和、すなわち、

【0019】

【数1】

$$g_k(t) = \sum_{i \in C_k} s_i(t) \quad \dots(1)$$

10

【0020】

を用いることができる。これ以外にも、クラスタ  $C_k$  に含まれる画素  $i$  の輝度を統合した値に対応する値であれば何でも良い。なお、 $i$  はクラスタ  $C_k$  に含まれる画素のインデックスである。

【0021】

< 画像処理部 12 の詳細 >

図 7 は画像処理部 12 の機能ブロック図を、図 8 はその処理フローを示す。画像処理部 12 は、初期化部 121 と、クラスタリング部 122 と、重心更新部 123 と、反復処理部 124 とを含む。

【0022】

20

〔初期化部 121〕

初期化部 121 は、画素信号の系列  $S(t) = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)\}$  を受け取り、画像に含まれる画素信号の時系列  $s_1, s_2, \dots, s_N$  から可視光源  $L_k$  からの情報と関連しない画素信号（ノイズ画素信号）を除いた画素信号のインデックスの集合  $S'$  を生成し（ $s_{121a}$ ）、出力する。集合  $S'$  に含まれる画素信号の画素を表すインデックスを  $j$  とする。次に、初期化部 121 は、画素  $j$  ごとに、画素  $j$  の座標  $u(j)$  とクラスタ  $C_k$  の重心  $c_k$  との距離が最小となるクラスタ  $C_m$  に画素  $j$  を分類し、分類の結果をクラスタ  $C_k$  の初期値として出力する（ $s_{121c}$ ）。なお、可視光源  $L_k$  及びクラスタ  $C_k$  の個数である  $M$  は予め与えられるものとする。

【0023】

30

具体的には、すべての  $t = 1, \dots, T_1$  について、画素信号  $s_n(t)$  のパワー  $P(s_n(t))$  が予め定めたノイズ画素信号のパワー  $P(\text{ノイズ})$  よりも大きい画素信号  $s_n(t)$  のインデックスの集合  $S'$  を生成する。ここで、ノイズ画素信号のパワー  $P(\text{ノイズ})$  は、受信装置 10 を使用する環境に応じて予め計測するなどして設定しておけばよい。

【0024】

次に、集合  $S'$  に含まれる各画素信号のインデックス  $j$  について、予め定めた各クラスタ  $C_k$  の重心  $c_k$  と画素  $j$  の位置（座標  $u(j)$ ）との距離  $d(j, k)$  が最小となるクラスタ  $C_m$  にインデックス  $j$  の画素が所属するように、インデックス  $j$  をクラスタリングする。つまり、

【0025】

40

【数2】

$$m = \underset{k}{\operatorname{argmin}} d(j, k) \quad \dots(2)$$

【0026】

を満たす  $m$  に対応するクラスタ  $C_m$  にインデックス  $j$  を所属させる。つまり、 $j \in C_m$  とする。ここで、距離  $d(j, k)$  には、例えば以下のユークリッド距離を用いる。

【0027】

【数3】

$$d(j,k) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (u(j,i) - \alpha_k(i))^2}$$

【0028】

ここで、 $u(j) = \{u(j,1), u(j,2), \dots, u(j,n)\}$ とする。重心 $\alpha_k$ は $u(j)$ と同じ座標系の座標で表現されるものとし、 $\alpha_k = \{\alpha_k(1), \alpha_k(2), \dots, \alpha_k(n)\}$ である。重心 $\alpha_k$ の初期値は適当な値を設定しておけばよい。例えば、画像が2次元配列の場合、座標 $u(j)$ のx座標の値を $x(s_j)$ 、y座標の値を $y(s_j)$ とし、重心 $\alpha_k$ のx座標の値を $x(\alpha_k)$ 、y座標の値を $y(\alpha_k)$ とすると、

10

【0029】

【数4】

$$d(j,k) = \sqrt{u(j,k)^2 + v(j,k)^2} \quad \dots(3)$$

$$u(j,k)^2 = (x(s_j) - x(\alpha_k))^2,$$

$$v(j,k)^2 = (y(s_j) - y(\alpha_k))^2$$

20

【0030】

である。

【0031】

〔クラスタリング部122〕

クラスタリング部122は、集合 $S'$ とM個のクラスタ $C_k$ のM個の重心 $\alpha_k$ とを受け取り、各クラスタ $C_k$ のエネルギー $g_k$ が最大化される基準に基づいて、集合 $S'$ に含まれる各画素信号 $s_j$ の画素 $j$ をM個のクラスタ $C_k$ にクラスタリングし、このクラスタ $C_k$ を出力する。

【0032】

図9は、クラスタリング部122の機能ブロック図を示す。クラスタリング部122は、画素選択部122aと、クラスタ更新部122bと、終了判定部122cとを含み、以下の処理によりクラスタリングを行う。

30

【0033】

(画素選択部122a)

画素選択部122aは、集合 $S'$ を受け取り、集合 $S'$ の中から、まだ選択していない画素信号を1つ選択し( $s_{122a}$ )、出力する。このとき選択した画素信号の画素のインデックスを $j'$ とし、 $j' \in S'$ として説明する。

【0034】

(クラスタ更新部122b)

クラスタ更新部122bは、集合 $S'$ と画素信号 $s_{j'}$ とM個の重心 $\alpha_k$ とを受け取り、各クラスタ $C_k$ のエネルギー $g_k$ の分散が最大化されるように、各画素 $j'$ の所属するクラスタ $C_k$ を更新する。まず、クラスタ更新部122bは、所定時間区間に含まれる各フレーム $t$ の画像について、式(1)により、クラスタ $C_k$ の初期値または一つ前の反復処理において更新したクラスタ $C_k$ のエネルギー $g_k(t)$ を計算する( $s_{122b-1}$ )。

40

【0035】

【数5】

$$g_k(t) = \sum_{i \in C_k} s_i(t) \quad \dots(1)$$

50

【0036】

クラスタ $C_k$ のエネルギー $g_k$ とは、所定時間区間に含まれる各フレーム毎のクラスタ $C_k$ のエネルギーを並べたベクトル、すなわち $g_k = (g_k(1), \dots, g_k(T_1))^T$ である。

【0037】

次に、クラスタ更新部122bは、画素信号のインデックス $j'$ が所属しているクラスタ $C_k$ のエネルギー $g_k$ の分散 $(g_k)$ が、クラスタ $C_k$ から画素信号 $s_{j'}$ を除いたときのクラスタ $C_{k'}$  ( $C_{k'} = C_k \setminus \{s_{j'}\}$ 、ただし $A \setminus B$ は集合Aから集合Bを除いた差集合を表す)のエネルギー $g_{k'} = g_k - s_{j'}$ の分散 $(g_{k'})$ よりも大きくなるように、画素信号 $s_{j'}$ の所属するクラスタ $C_k$ を更新する(s122b-2)

10

【0038】

具体的には、クラスタ更新部122bは、画素信号 $s_{j'}$ とエネルギー $g_{k'}$ との相関度 $c_{rr}(s_{j'}, g_{k'})$ と、画素 $j'$ が $k$ 番目の可視光源 $L_k$ からの光 $y_k$ に対応する画素である確率の推定値 $w_{j'}(\alpha_k, r_k)$ とに基づいて、画素 $j'$ の所属するクラスタ $C_k$ を更新する。すなわち、

【0039】

【数6】

$$m' = \arg \max_k f_{rr}(s_{j'}, g_k^-) \quad \dots(4)$$

20

【0040】

を満たす $m'$ に対応するクラスタ $C_{m'}$ に画素 $j'$ を所属させる(つまり、 $j' \in C_{m'}$ )。ここで、

【0041】

【数7】

$$f_{rr}(s_{j'}, g_k^-) = w_{j'}(\alpha_k, r_k) \cdot \text{corr}(s_{j'}, g_k^-) \quad \dots(5)$$

where

30

$$\text{corr}(s_{j'}, g_k^-) = \text{cov}(s_{j'}, g_k^-) / (\rho_{s_{j'}} \rho_{g_k^-}) \quad \dots(6)$$

$$w_{j'}(\alpha_k, r_k) = \frac{1}{r_k \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( \frac{d(j', k)}{r_k} \right)^2 \right\} \quad \dots(7)$$

【0042】

40

である。なお、 $r_k$ は送信装置70の $k$ 番目の可視光源 $L_k$ から出力された(伝送されてくる)光の、イメージセンサ11で取得した画像上での大きさ(例えば、半径)の推定値である。 $s_{j'}$ と $g_{k'}$ はそれぞれ画素信号 $s_{j'} = (s_{j'}(1), \dots, s_{j'}(T_1))^T$ とエネルギー $g_{k'} = (g_{k'}(1), \dots, g_{k'}(T_1))^T$ の標準偏差である。ただし、下付き添え字 $s_{j'}$ 及び $g_{k'}$ はそれぞれ $s_{j'}$ 及び $g_{k'}$ を表す。 $\text{cov}(s_{j'}, g_{k'})$ は、画素信号 $s_{j'}$ とエネルギー $g_{k'}$ の共分散であり、画素信号 $s_{j'}$ とエネルギー $g_{k'}$ との間に正の相関がある(つまり、画素信号 $s_{j'}$ が大きいほどエネルギー $g_{k'}$ も大きくなり、画素信号 $s_{j'}$ が小さいほどエネルギー $g_{k'}$ も小さくなる関係が成り立つ)場合に正の値を取り、負の相関がある場合に負の値を取る。また、共分散 $\text{cov}(s_{j'}, g_{k'})$ の絶対値の大きさは正の相関(または負の

50

相関)の度合いに対応する。つまり、 $c_{rr}(s_{j'}, g_{k'})$ は、画素信号 $s_{j'}$ とエネルギー $g_{k'}$ の相関度を表すものであり、相関度が高いことは、画素信号 $s_{j'}$ の値が大きいほどエネルギー $g_{k'}$ の値も大きくなるという正の相関が成り立つことを意味する。相関度が高いほど、画素信号 $s_{j'}$ をエネルギー $g_{k'}$ に対応するクラスタ $C_{k'}$ に所属させた方が、クラスタ $C_k$ のエネルギー $g_k$ の分散が大きくなることを意味する。

【0043】

また、平均を $\mu_k$ 、分散を $\sigma_k^2$ とするガウス分布は、送信装置70のk番目の可視光源 $L_k$ から出力される信号(の輝度)の分布をガウス分布でモデル化したもの、つまり、送信装置70のk番目の可視光源 $L_k$ から出力される信号(の輝度)の分布の推定値である。したがって、平均を $\mu_k$ 、分散を $\sigma_k^2$ とする距離 $d(j', k)$ に関するガウス分布に対応した重み $w_{j'}(\mu_k, \sigma_k)$ は、重心 $\mu_k$ と画素信号 $s_{j'}$ との距離 $d(j', k)$ が小さいほどその値が大きくなり、かつ、可視光源 $L_k$ の画像中の大きさの推定値 $\sigma_k$ が大きいほどその値が大きくなる。言い換えれば、画素 $j'$ がk番目の可視光源 $L_k$ からの信号に対応している確率が高いほど重み $w_{j'}(\mu_k, \sigma_k)$ が大きくなる。つまり、重み $w_{j'}(\mu_k, \sigma_k)$ は、画素 $j'$ がk番目の可視光源 $L_k$ からの光に対応している画素である確率の推定値である。

10

【0044】

(終了判定部122c)

終了判定部122cは、集合 $S'$ と画素信号 $s_{j'}$ とを受け取り、それまでに画素選択部122aで選択された画素 $j'$ を記憶しておき、集合 $S'$ に所属する全ての画素信号 $s_{j'}$ の画素 $j'$ についてクラスタリングを行ったか否か(クラスタ更新部122bにおける処理を実行したか否か)を判定し(s122c)、集合 $S'$ に所属する全ての画素信号 $s_{j'}$ の画素 $j'$ についてクラスタリングを行ったと判定された場合には、クラスタリング部122の処理を終了し、得られたクラスタ $C_1, C_2, \dots, C_M$ を重心更新部123へ出力する。それ以外の場合には、画素選択部122a及びクラスタ更新部122bに処理を繰り返すように制御信号を出力する。そして、画素選択部122aへ処理を移行し、残りの画素についてクラスタリング処理を繰り返す。

20

【0045】

(重心更新部123)

重心更新部は、クラスタリング部122で更新されたクラスタ $C_1, C_2, \dots, C_M$ を受け取り、各クラスタ $C_k$ の重心 $\mu_k$ を更新し(s123)、出力する。例えば、次式により重心 $\mu_k$ を更新する。

30

【0046】

【数8】

$$\alpha_k = \frac{1}{I_k} \sum_{i=1}^{I_k} u_i \quad \dots(8)$$

【0047】

ここで、 $I_k$ はクラスタ $C_k$ に所属する画素 $j$ の総数であり、 $u_i$ はクラスタ $C_k$ のi番目の画素 $j$ の座標である。

40

【0048】

(反復処理部124)

反復処理部124は、クラスタ $C_k$ の初期値と更新後のM個のクラスタ $C_k$ とを受け取り、更新毎に、クラスタリング部122で更新される前のクラスタと更新後のクラスタとが異なるか否かを判定し(s124)、変化がなくなるまで、クラスタリング処理を繰り返すよう制御する。つまり、p回目のクラスタリング部122の実行により得られるクラスタを $C(p) = \{C_1(p), C_2(p), \dots, C_M(p)\}$ としたとき、 $C(p)$ と $C(p-1)$ とが異なるか否かを判定し(s124)、異なる場合には、クラスタリング部122及び重心更新部123に処理を繰り返すように制御信号を出力する。 $C(p)$ と

50

$C(p-1)$ とが等しい場合には、 $C(p) = \{C_1(p), C_2(p), \dots, C_M(p)\}$ をクラスタリング結果 $C_1, C_2, \dots, C_M$ として出力するとともに、 $p$ 回目のクラスタリング部122の実行時に求めたクラスタのエネルギー $g_k$ に基づいて、復号部13で用いる閾値 $thr_k$ を設定する。

【0049】

反復処理部124で反復処理を行うことで、各クラスタ $C_k$ のエネルギー $g_k$ の分散が最大化されるようなクラスタ $C_1, C_2, \dots, C_M$ が得られる。

【0050】

閾値 $thr_k$ の設定は、例えば以下のように行えば良い。エネルギー $g_k$ の各要素 $g_k(1), \dots, g_k(T_1)$ について、その値の出現頻度のヒストグラムを構成し、図6のように2つのガウス分布 $G_0$ 及び $G_1$ にフィッティングさせる（これは周知の方法により実現できる）。このとき、ガウス分布 $G_0$ とガウス分布 $G_1$ との交点の位置に対応するエネルギーの値を所定の閾値 $thr_k$ とすればよい。

【0051】

ここで、画像処理部12で「各クラスタのエネルギーの分散が最大化されるように」クラスタリングを行うことの意味を説明する。なお、エネルギーの分散とは、エネルギー $g_k$ の各要素 $g_k(1), \dots, g_k(T_1)$ の値の分散を意味する。フレーム $t$ におけるバイナリ信号 $x_k(t)$ の値が1である場合、クラスタ $C_k$ に含まれる各画素信号 $s_i(t)$ の輝度は大きな値を取るため、エネルギー $g_k(t)$ の値も大きくなる。一方、フレーム $t$ におけるバイナリ信号 $x_k(t)$ の値が0である場合、クラスタ $C_k$ に含まれる画素信号 $s_i(t)$ の輝度は理想的には0であり、エネルギー $g_k(t)$ も0である。ただし、実際には、可視光源 $L_k$ の周辺の可視光源 $L_{k'}(k \neq k')$ から出力された光や環境の光の影響を受けるため、クラスタ $C_k$ に含まれる画素信号 $s_i(t)$ の中には輝度が0より大きい値を取る成分がでてくるため、エネルギー $g_k(t)$ は0以上の値を取るが、バイナリ信号 $x_k(t)$ の値が1である場合のエネルギーに比べると小さな値を取るはずである。結果として、エネルギー $g_k$ の各要素、すなわち所定時間区間 $t = 1, 2, \dots, T_1$ におけるエネルギー $g_k(t)$ の出現頻度をヒストグラムで表すと、 $g_k(t)$ の値が大きい部分（バイナリ信号 $x_k(t)$ の値が1である場合に対応するエネルギー）と $g_k(t)$ の値が小さい部分（バイナリ信号 $x_k(t)$ の値が0である場合に対応するエネルギー）との二極に偏った図6のような分布が得られる。

【0052】

図6のように2つのガウス分布 $G_0$ 及び $G_1$ にフィッティングさせると、 $G_0$ はバイナリ信号が0の場合に対応するエネルギーであり、 $G_1$ はバイナリ信号が1の場合に対応するエネルギーである。 $G_0$ の山と $G_1$ の山の両方に含まれるエネルギーは、本当は $G_0$ 及び $G_1$ のどちらに属するかを判別することが難しく、識別誤りの原因となる。 $G_0$ の山が $G_1$ の山に近いほど、環境や周囲の可視光源からの光によるノイズが多いことを意味し、 $G_0$ と $G_1$ の重複部分が大きくなるので識別誤りが多くなる。

【0053】

すなわち、ガウス分布 $G_0$ とガウス分布 $G_1$ とが分離されているほど、識別の誤差を小さくすることができることが分かる。ガウス分布 $G_0$ 及び $G_1$ の平均 $\mu_0$ 及び $\mu_1$ の距離が大きくなるほど、2つの山が離れることになるので、ガウス分布 $G_0$ とガウス分布 $G_1$ とが分離されやすくなる。また、ガウス分布 $G_0$ 及び $G_1$ の分散 $\sigma_0$ 及び $\sigma_1$ が小さくなるほど山の傾きが急になるので、ガウス分布 $G_0$ とガウス分布 $G_1$ とが分離されやすくなる。

【0054】

ガウス分布 $G_0$ 及び $G_1$ の平均 $\mu_0$ 及び $\mu_1$ の距離が大きく、かつ、ガウス分布 $G_0$ 及び $G_1$ の分散 $\sigma_0$ 及び $\sigma_1$ が小さくなるということは、すなわち、エネルギー $g_k(t)$  ( $t = 1, 2, \dots, T_1$ )の分散が大きくなることに対応する。つまり、復号誤差を小さくするためには、エネルギー $g_k$ の分散が最大化されるように、クラスタリングを行えば良い。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 5 】

ゆえに、画像処理部 1 2 では、エネルギー  $g_k$  の分散が最大化されるように、イメージセンサ 1 1 で取得した画像の各画素  $n$  (より詳しくいうと、画像に含まれる画素から可視光源  $L_k$  からの情報と関連しない画素を除いた画素の集合に含まれる各画素のインデックス  $j$ ) を、各可視光源  $L_k$  に対応するクラスタ  $C_k$  にクラスタリングする。

## 【 0 0 5 6 】

<シミュレーション結果>

図 1 0 A は、イメージセンサ 1 1 で取得した画像の例である。画素  $n$  の画素信号  $s_n$  は画像中の全画素における当該画素の輝度を表す。各画素  $n$  に付された番号は、初期化部 1 2 1 で付与された各画素  $n$  の所属するクラスタ  $C_k$  のインデックス  $k$  を表す。ただし、ノイズ画素信号は排除していない。この例では、クラスタの総数  $M = 16$  としている。つまり、送信装置 7 0 の可視光源  $L_k$  の個数が 16 個であり、可視光源  $L_k$  から出力された光  $y_k$  がイメージセンサ 1 1 で検出されたことを意味する。

10

## 【 0 0 5 7 】

図 1 0 B は、クラスタリング結果を付与された画像の例である。番号の付されていない画素は、初期化部 1 2 1 でノイズとして排除され、クラスタリングの対象としなかった ( $S'$  に含まれなかった) 画素を表す。

## 【 0 0 5 8 】

図 1 1 は、受信装置 1 0 により信号を復号した時の実験結果を示す。図 1 2 は、実験のセッティングを表す図である。

20

## 【 0 0 5 9 】

送信装置 7 0 では、ノイズの混入していない音響信号をマイク 7 1 で收音し、これを電気信号に変換し、A/D変換部 7 2 に出力する。A/D変換部 7 2 は、マイク 7 1 から出力されるアナログ音響信号を  $M$  個のデジタル音響信号であるバイナリ信号  $x_k$  に変換し、 $M$  個の可視光源 (この例では、LED)  $L_k$  に出力する。 $M$  個の可視光源  $L_k$  は、それぞれバイナリ信号  $x_k$  を光  $y_k$  に変換し、出力 (送信) する。

## 【 0 0 6 0 】

受信装置 1 0 では、イメージセンサを含むハイスピードカメラ 1 4 を用いて、 $M$  個の可視光源  $L_k$  の画像を撮影し、可視光源  $L_k$  から発せられる光  $y_k$  からそれぞれバイナリ信号  $x_k$  を復号し、復号結果  $x'_k$  を出力する。図 1 1 は、このときに復号された音響信号と元の音響信号との誤差をグラフに示したものである。受信装置 1 0 に入力してクラスタリングを行った後、復号した場合の復号された音響信号と元の音響信号との誤差 (図 1 1 の after clustering) と、従来方法で (クラスタリングを行わずに) 復号した場合の音響信号と元の音響信号との誤差 (図 1 1 の no clustering) を示している。受信装置 1 0 の方が、誤差が少なく復号できていることが分かる。

30

## 【 0 0 6 1 】

図 1 3 は、各可視光源からの光の輝度を閾値で識別したときのビットエラーレート (BER) を表す。ここで、

## 【 0 0 6 2 】

【数 9】

$$BER = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{thr_k} G_1(\tau) d\tau + \frac{1}{2} \int_{thr_k}^{+\infty} G_0(\tau) d\tau \quad \dots (9)$$

40

## 【 0 0 6 3 】

により計算した。ここで、 $\tau$  は図 6 のヒストグラムにおける画素の輝度である。前述のとおり、復号部 1 3 は、2つのガウス分布  $G_0$  と  $G_1$  に基づいて閾値を設定し、デジタル信号を判別している。ここで、ガウス分布  $G_0$  と  $G_1$  の各々の平均  $\mu_0$  と  $\mu_1$  が近いほど、閾値  $thr_k$  によるデジタル信号の識別が正確に行えない可能性が高くなる。つまり

50

、復号結果  $x'_k$  に多くの誤差が含まれてしまう。図 1 3 は、受信装置 1 0 によれば、得られたクラスタリング結果から求まるガウス分布  $G_0$  及び  $G_1$  の各々の平均  $\mu_0$  及び  $\mu_1$  が分離され、閾値  $t_{hr_k}$  による信号の識別の誤りを低減することができることを表している。

【 0 0 6 4 】

また、図 1 4 は、画像処理部 1 2 においてクラスタの更新を行う前の初期状態の各クラスタのエネルギー  $g_k$  のヒストグラム（左図）と、画像処理部 1 2 においてクラスタの更新を行ったあとの各クラスタのエネルギー  $g_k$  のヒストグラム（右図）を示すものである。この図から、画像処理部 1 2 の処理により、各クラスタにおけるヒストグラムの 2 つの分布の山  $G_0$  と  $G_1$  の間の距離が大きくなるように、各クラスタが更新されていることが分かる。

10

【 0 0 6 5 】

< 効果 >

このような構成により、イメージセンサで撮影した画像の解像度が低い場合であっても、復号誤差を小さくできるという効果を奏する。

【 0 0 6 6 】

< 変形例 >

本実施形態では、は、画像に含まれる画素信号の時系列  $s_1, s_2, \dots, s_N$  からノイズ画素信号を除いて集合  $S'$  を生成しているが、必ずしもノイズ画素信号を除去しなくともよい。

20

【 0 0 6 7 】

$r_k$  はイメージセンサ 1 1 で取得した画像上での大きさの推定値を表す値であれば、どのような値でもよい。

【 0 0 6 8 】

本実施形態では、受信装置 1 0 がイメージセンサ 1 1 を含む構成としているが、イメージセンサ 1 1 を含まず、他の装置で取得した画像を入力として、画像処理部 1 2 及び復号部 1 3 における処理のみを行う構成としてもよい。

【 0 0 6 9 】

< その他の変形例 >

本発明は上記の実施形態及び変形例に限定されるものではない。例えば、上述の各種の処理は、記載に従って時系列に実行されるのみならず、処理を実行する装置の処理能力あるいは必要に応じて並列的あるいは個別に実行されてもよい。その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能である。

30

【 0 0 7 0 】

< プログラム及び記録媒体 >

また、上記の実施形態及び変形例で説明した各装置における各種の処理機能をコンピュータによって実現してもよい。その場合、各装置が有すべき機能の処理内容はプログラムによって記述される。そして、このプログラムをコンピュータで実行することにより、上記各装置における各種の処理機能がコンピュータ上で実現される。

【 0 0 7 1 】

この処理内容を記述したプログラムは、コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録しておくことができる。コンピュータで読み取り可能な記録媒体としては、例えば、磁気記録装置、光ディスク、光磁気記録媒体、半導体メモリ等のようなものでもよい。

40

【 0 0 7 2 】

また、このプログラムの流通は、例えば、そのプログラムを記録した DVD、CD-ROM 等の可搬型記録媒体を販売、譲渡、貸与等することによって行う。さらに、このプログラムをサーバコンピュータの記憶装置に格納しておき、ネットワークを介して、サーバコンピュータから他のコンピュータにそのプログラムを転送することにより、このプログラムを流通させてもよい。

【 0 0 7 3 】

50

このようなプログラムを実行するコンピュータは、例えば、まず、可搬型記録媒体に記録されたプログラムもしくはサーバコンピュータから転送されたプログラムを、一旦、自己の記憶部に格納する。そして、処理の実行時、このコンピュータは、自己の記憶部に格納されたプログラムを読み取り、読み取ったプログラムに従った処理を実行する。また、このプログラムの別の実施形態として、コンピュータが可搬型記録媒体から直接プログラムを読み取り、そのプログラムに従った処理を実行することとしてもよい。さらに、このコンピュータにサーバコンピュータからプログラムが転送されるたびに、逐次、受け取ったプログラムに従った処理を実行することとしてもよい。また、サーバコンピュータから、このコンピュータへのプログラムの転送は行わず、その実行指示と結果取得のみによって処理機能を実現する、いわゆるASP (Application Service Provider) 型のサービス

10

【0074】

また、コンピュータ上で所定のプログラムを実行させることにより、各装置を構成することとしたが、これらの処理内容の少なくとも一部をハードウェア的に実現することとしてもよい。

【図1】

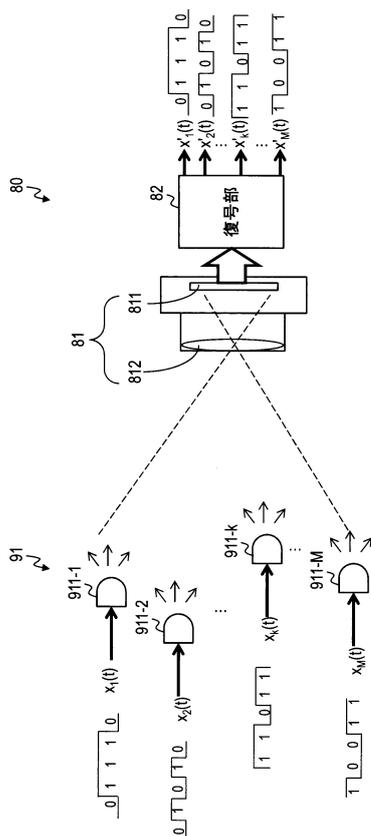


図1

【図3】

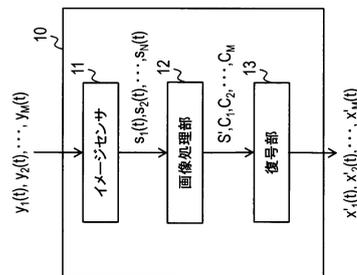


図3

【 図 4 】

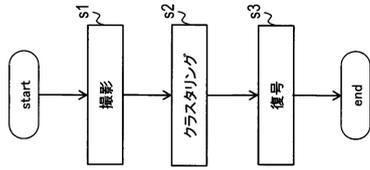


図4

【 図 5 】

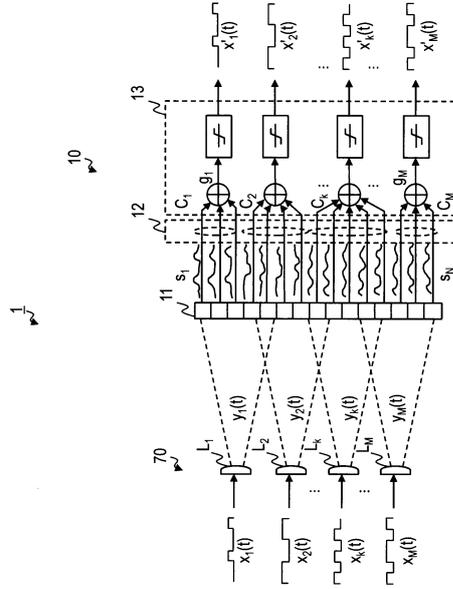


図5

【 図 6 】

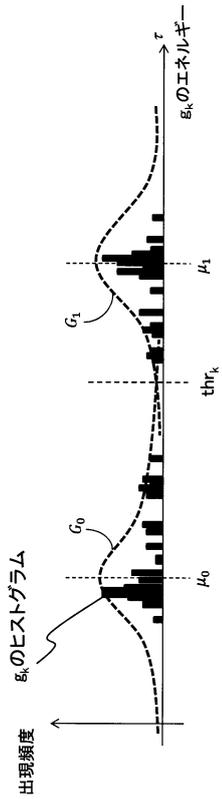


図6

【 図 7 】

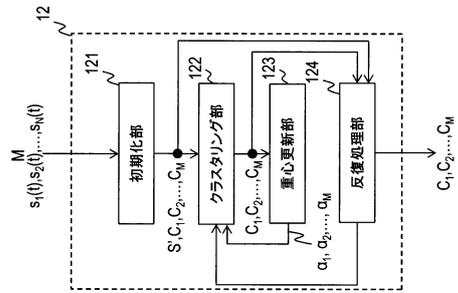


図7

【 図 8 】

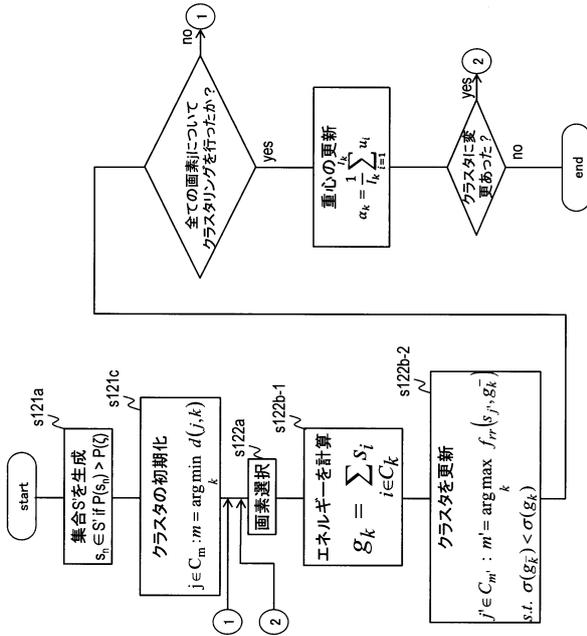


図8

【 図 9 】

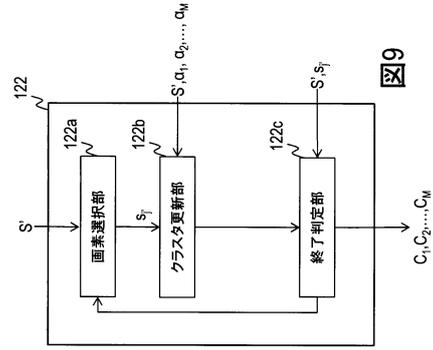


図9

【 図 1 2 】

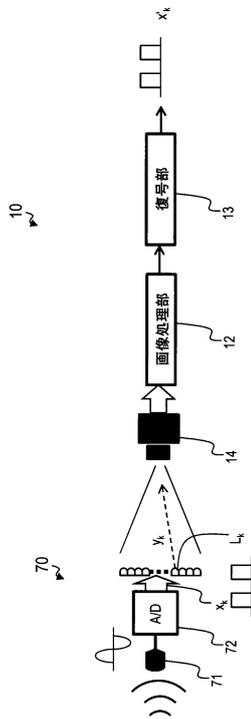


図12

【 図 1 4 】

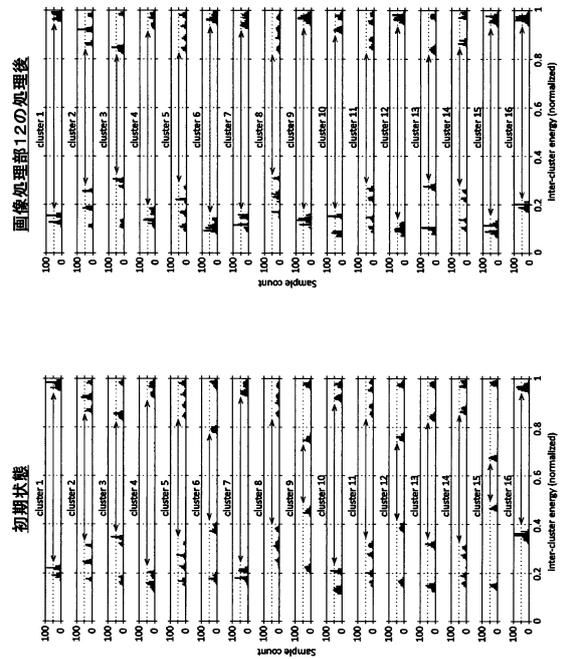


図14

【 図 2 】

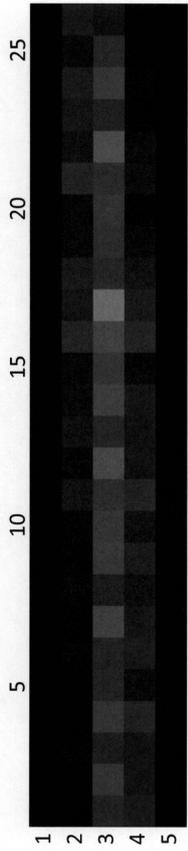


図2

【 図 1 1 】

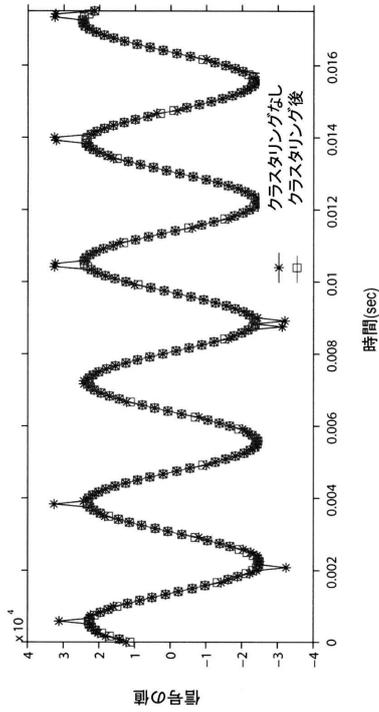
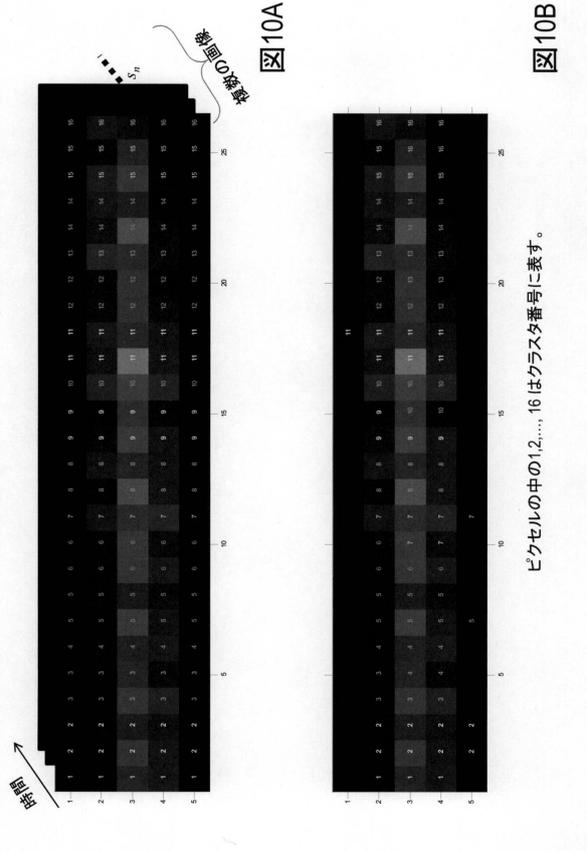


図11

【 図 1 0 】



【 図 1 3 】

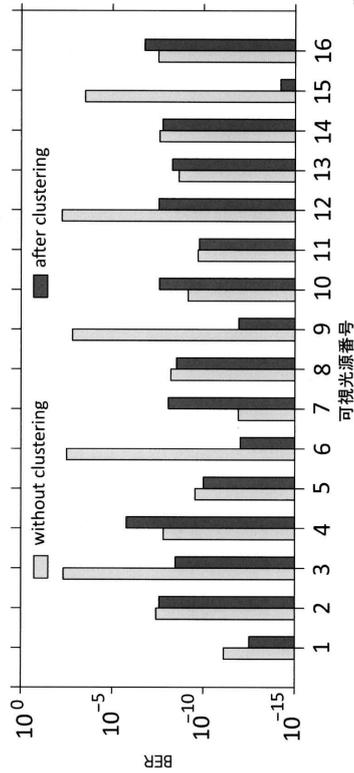


図13

## フロントページの続き

- (72)発明者 鎌本 優  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 佐藤 尚  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 原田 登  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 守谷 健弘  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 前田 典之

- (56)参考文献 特開2012-023572(JP,A)  
特開2010-028481(JP,A)  
特開2008-072636(JP,A)  
Toru Nagura et al., Improved Decoding Methods of Visible Light Communication System for ITS Using LED Array and High-Speed Camera, 2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), 米国, IEEE, 2010年 5月16日, pages.1-5  
栗原誠 他, MEMSマイクとLEDを用いた小型可視化デバイスによる音場の可視化手法の検討, アコースティックイメージング研究会資料, 日本, 日本音響学会アコースティックイメージング研究会 [オンライン], 2009年 9月 3日, pages.1-6, [検索日2016.07.19], <URL:http://old.acoust.ias.sci.waseda.ac.jp/publications/happyou/vr/ai2-kurihara-2009sep.pdf>

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 10/116  
H04N 5/225