

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年2月27日(27.02.2025)



(10) 国際公開番号

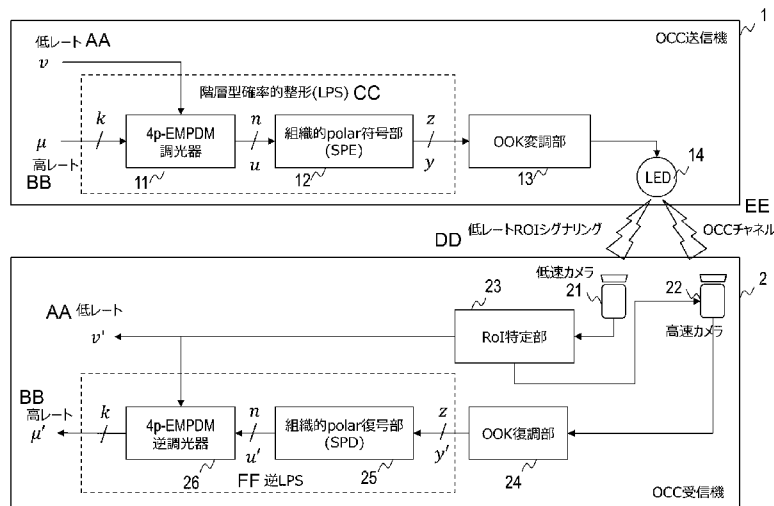
WO 2025/041258 A1

- (51) 国際特許分類:
H04B 10/516 (2013.01) **H04B 10/114** (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/030127
- (22) 国際出願日: 2023年8月22日(22.08.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: グエン ドック フク (NGUYEN, Duc Phuc); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

白木 善史(SHIRAKI, Yoshifumi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 石川 憲治 (ISHIKAWA, Kenji); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 村松 純(MURAMATSU, Jun); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 原田 登 (HARADA, Noboru); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 守谷 健弘(MORIYA, Takehiro); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(54) Title: OCC TRANSMITTER, OCC RECEIVER, OCC SIGNAL GENERATION METHOD, OCC SIGNAL RECEPTION METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: O C C 送信機、O C C 受信機、O C C 信号生成方法、O C C 信号受信方法、及びプログラム



- 1 OCC transmitter
- 2 OCC receiver
- 11 4p-EMPDM dimmer
- 12 Systematic polar encoder (SPE)
- 13 OOK modulation unit
- 14 LED
- 21 Low-speed camera
- 22 High-speed camera
- 23 RoI identification unit
- 24 OOK demodulation unit
- 25 Systematic polar decoder (SPD)
- 26 4p-EMPDM inverse dimmer
- AA Low rate
- BB High rate
- CC Layered probabilistic shaping (LPS)
- DD Low-rate ROI signaling
- EE OCC channel
- FF Inverse LPS

図1

(57) Abstract: The present invention provides an OCC transmitter comprising a dimmer and an on-off keying modulation unit. The dimmer converts a high-rate signal on the basis of a low-rate signal by m-out-of-n encoding, and generates a superimposed signal that gives two desired dimming levels. Provided that Y_0 and Y_1 denote the two dimming levels, respectively, m and n are related by $m = Y_0 n$ and $m = Y_1 n$. The on-off keying modulation unit converts the signal outputted by the dimmer into an optical signal. An OCC receiver comprises a low-speed camera, a RoI identification unit, a high-speed camera, an on-off keying demodulation unit, and an inverse dimmer. The

(74) 代理人: 中尾 直樹, 外 (NAKAO, Naoki et al.);
〒1600022 東京都新宿区新宿三丁目 1 番 2 2
号 新宿NSOビル6階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

low-speed camera captures an image of the OCC signal and outputs a low-rate signal. The RoI identification unit identifies a RoI from the low-rate signal. The high-speed camera extracts the RoI from the camera field of view and outputs a RoI image capture signal. The on – off keying demodulation unit demodulates the RoI image capture signal and acquires a superimposed signal. The inverse dimmer uses a codebook to decode the superimposed signal into a high-rate signal.

(57) 要約: OCC送信機は、調光器とオン・オフ・キーイング変調部とを備える。調光器は、低レート信号に基づいて高レート信号をm-out-of-n符号化により変換し、所望の2つの調光レベルを与える重畳信号を生成する。mとnは、2つの調光レベルをそれぞれ Y_0 、 Y_1 として $m=Y_0 n$ 、 $m=Y_1 n$ の関係にある。オン・オフ・キーイング変調部は、調光器の出力した信号を光信号に変換する。OCC受信機は、低速カメラと、RoI特定部と、高速カメラと、オン・オフ・キーイング復調部と、逆調光器とを備える。低速カメラは、OCC信号を撮影して低レート信号を出力する。RoI特定部は、低レート信号からRoIを特定する。高速カメラは、カメラ視野の中からRoIを切り出してRoI撮影信号を出力する。オン・オフ・キーイング復調部は、RoI撮影信号を復調し、重畳信号を取得する。逆調光器は、コードブックを用いて重畳信号から高レート信号を復号する。

明 細 書

発明の名称：

ＯＣＣ送信機、ＯＣＣ受信機、ＯＣＣ信号生成方法、ＯＣＣ信号受信方法、及びプログラム

技術分野

[0001] 開示技術は、光学カメラ通信のための調光制御と符号化技術に関する。

背景技術

[0002] 光学カメラ通信(optical camera communication: OCC)とは、送信手段として、例えば、LEDディスプレイの光源を用い、受信手段としてカメラを用いる可視光通信のことである。送信側は、LEDなどの光源が発する光を変調してデジタル信号を送信する。変調は、光源のONとOFFの制御により行う。

[0003] IEEE 802.15.7 mグループ (TG 7 m)により、可視光関心領域(Region-of-Interest: RoI)信号が車両OCCシステムに導入された（非特許文献1）。この技術により、OCCシステムは低レートと高レートのデータストリームを同時に送信できるようになった。

[0004] 低レートストリームがRoI識別に使用される場合、高レートストリームは選択されたRoI上の高速データ通信に使用される。トゥインクル・可変パルス位置変調(Variable Pulse Position Modulation: VPPM)や、ハイブリッド空間位相シフトキーイング(Hybrid Spatial Phase-Shift Keying: HS-PSK)などのハイブリッド変調方式が、低レートストリームおよび高レートストリームの変調でよく利用される。

[0005] 具体的には、高レートストリームはトゥインクルVPPM（非特許文献2）、または調光空間8位相シフトキーイング(Dimming Spatial-8 Phase-Shift Keying: DS8-PSK)（非特許文献1）によって変調され、低レートストリームはアンダーサンプルド周波数シフトオンオフキーイング(Undersampled Frequency-Shift On-Off Keying: UFSOOK)、アンダーサンプルド位相シフトオンオフキーイング (Undersampled Phase-Shift On-Off Keying: UPSOOK)、または空間

2位相シフトキーイング(Spatial-2 Phase-Shift Keying: S2-PSK)によって変調される。

[0006] RoIから送信された両方のストリームはデュアルカメラ受信機でデコードされ、高速(high-speed: HS)カメラが高レートストリームを復調し、低速(low-speed: LS)カメラが低レートストリームを復調する。この結果、高速カメラベースの受信機の計算負荷が軽減される。

先行技術文献

非特許文献

- [0007] 非特許文献1: M. D. Thieu et al, "Optical RoI-signaling for vehicular communications", IEEE Access, vol. 7, pp.69873 - 69891, 2019.
- 非特許文献2: R. Roberts, "Intel OCC Proposal", IEEE Standards Assoc., Jan. 2016, [令和5年7月25日検索], インターネット<<https://bit.ly/3dUL7ZK>>
- 非特許文献3: D.-P. Nguyen et al., "A probabilistic shaping approach for optical region-of-interest signaling", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 34, no. 6, pp.309 - 312, Mar. 2022.
- 非特許文献4: T. Fehenberger et al., "Multiset-partition distribution matching", IEEE Transactions on Communications 67, no. 3 (2018), pp.1885 - 1893.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 調光制御は、OCCや可視光通信(visible light communication: VLC)システムにおける重要な問題の一つである。

従来のアプローチでは、調光制御には補正シンボルの挿入とパンクチャリングを使用する。すると、フレームに多数の冗長ビットが追加されるため、達成可能な伝送レートが低下する。

[0009] 調光レベルは、光ビットストリームのOFF(以下「論理0」とする)またはON

(以下「論理1」とする)の割合を0%から100%の間で調整することで管理できる。HS-PSKおよびトゥインクルVPPMにおける調光制御では、高レートパルス群のデューティサイクル(ONまたはOFFの長さ)を変更する。そのため、各光パルスを厳格なタイミングで同期し、サンプリングし、復号しなければならないDS8-PSK信号やトゥインクルVPPM信号では、復調が容易でない。

[0010] さらに、従来のVLCシステムでは、長く続く論理1や論理0は避けるべきものだった。ちらつき問題やクロック・データ・リカバリ(clock data recovery: CDR)問題の原因となるからである。このため、限定ラン・レングス(run-length-limited: RLL)符号は、各シンボルにおける論理1と論理0の数を等しくして、直流(direct current: DC)のバランスを保つ。

[0011] マンチェスターや4B6Bや8B10BなどのRLL符号におけるレート損失と実装の容易さの間にはトレード・オフの関係がある。

さらに、前方誤り訂正(forward error correction: FEC)について見ると、FECとRLLを共用するシステムでは、硬判定(hard-decision: HD)方式のFECデコーダしかサポートされていない。ほとんどのRLLデコーダがハード出力情報を生成するためであり、この結果、エラー訂正のパフォーマンスが低下する。

[0012] キムらによって導入されたソフト入力ソフト出力(soft-input soft-output: SIS0)のRLLデコーダは、軟判定(soft-decision: SD)FEC復号アルゴリズム用のソフト出力を生成してシステムの信頼性を向上させている。しかし、SIS0 RLL符号の復号アルゴリズムは複雑であり、VLC受信機に組み込むことは不可能である。

[0013] 上述の欠点を有するハイブリッド変調技術を使用する代わりに、Nguyenらは、RoIシグナリングアプリケーションのための確率的整形を提案したが(非特許文献3)、実装にはまだ課題がある。

課題を解決するための手段

[0014] 上記課題を解決するため、開示技術に係るOCC送信機は、調光器と、オン・オフ・キーイング変調部とを備える。

調光器は、低レート信号に基づいて高レート信号をm-out-of-n符号化により変換し、所望の2つの調光レベルを与える重畳信号を生成する。

m-out-of-n符号化のmとnは、2つの調光レベルをそれぞれY0、Y1とし、 $m = Y0 \cdot n$ 、 $m = Y1 \cdot n$ の関係にある。

m-out-of-n符号化のコードブックは、nビット中にm個の論理1または論理0を有するビットシーケンスの集合を C_m として、前記 C_m と、 C_{m-1} と C_{m+1} のペア（1は自然数）とを用いて生成する。

オン・オフ・キーイング変調部は、調光器の出力した信号を光信号に変換する。

また、OCC送信機が送信するOCC信号を受信する、開示技術に係るOCC受信機は、低速カメラと、RoI特定部と、高速カメラと、オン・オフ・キーイング復調部と、逆調光器とを備える。

低速カメラは、OCC信号を撮影して低レート信号を出力する。

RoI特定部は、低レート信号からRoIを特定する。

高速カメラは、カメラ視野の中からRoIを切り出してRoI撮影信号を出力する。

オン・オフ・キーイング復調部は、RoI撮影信号を復調し、重畳信号を取得する。

逆調光器は、コードブックを用いて重畳信号から高レート信号を復号する。

発明の効果

[0015] 非RLL機能のおかげで、ソフトディシジョン前方誤り訂正アルゴリズムを適用することができ、これによりシステムの信頼性を高めることができる。

開示技術の4p - EMDPM調光器に基づく可視光RoI信号技術は、従来のトゥインクルVPPMアプローチと比較して容易なクロック追跡と同期を可能にする。

開示技術の4p - EMDPM法は、従来法よりも確率的整形によるレート損失(ビット冗長性)を低減する。

図面の簡単な説明

- [0016] [図1]実施形態に係るOCC送信機とOCC受信機の機能ブロック図。
- [図2]異なる分布マッチング方式のレート損失を比較した図。
- [図3]MPDM、EMPDM、2p-EMPDM、4p-EMPDMのレート損失を比較した図。
- [図4]4p-EMPDM調光器の機能ブロック図と、コードブック構造図。
- [図5]MPDM、EMPDM、および4p-EMPDMのコードブック構造を示す図。
- [図6]4p-EMPDMの二分木構造を示す図。
- [図7]実施形態に係るOCC送信機とOCC受信機のデジタル信号処理の流れの詳細を説明する図。
- [図8]低速RoIシグナリングー高速OCC実証システムのうち、OCC送信機と低速カメラとビデオモニターを示す写真。
- [図9]低速RoIシグナリングー高速OCC実証システムのうち、OCC送信機と高速カメラとOCC受信機を示す写真。
- [図10]露光時間とpixel E_b/N_0 の関係を、送信機と受信機の距離を変えて測定した図。
- [図11]ノイズが50%調光シンボルの強度 I と領域 A にどのように影響するかを示す図。
- [図12]ノイズが30%調光シンボルと70%調光シンボルの強度 I と領域 A にどのように影響するかを示す図。
- [図13]強度領域しきい値による二クラス分類を示す図。
- [図14] $Y_0=41\%$ 、 $Y_1=59\%$ の4p-EMPDM調光器およびEMPDM調光器のコードブックサイズを示す図。
- [図15]4p-EMPDM調光とFEC符号化のオーバーヘッドを示す図。
- [図16]4p-EMPDM調光器によって整形され、LPSアーキテクチャに従ったSPEによって符号化された10万個の情報語の出力確率分布を示す図。
- [図17]低レート実験システムと高レート実験システムの設定を示す図。
- [図18]OCC送信機1の作用を説明するフローチャート図。
- [図19]OCC受信機2の作用を説明するフローチャート図。
- [図20]コンピュータの機能構成例を示す図。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、開示技術の実施形態について、詳細に説明する。なお、同じ機能を有する構成部には同じ番号を付し、重複説明を省略する。

[0018] 開示技術は、4つのコンポジションペア(Four Composition Pairs: 4p)を持つバイナリ拡張マルチセット-パーティション分布マッチング(binary extended Multiset-Partition Distribution Matching: EMPDM)、および可視光RoI信号アプリケーションのための4p-EMPDMに基づく調光器を提供する。最初に、4p-EMPDMが使用される提案されたシステムの概要を通じて開示技術を説明し、その後、提案されたアルゴリズムの理論的分析と、RoIシグナリングアプリケーション専用の4p-EMPDM調光器の最適パラメータを見つけるための実験的最適化を行う。

[0019] [提案システムの概要]

提案システムの機能ブロック図を図1に示す。システムへの2つの入力は、低レート信号 v と、高レート信号 $\mu=(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k)$ である。なお、 v と μ_j ($1 \leq j \leq k$) は、0または1の値を取るものとする。

n ビットの4p-EMPDM調光符号語 u と、 z ビットのFEC符号語 y における論理1の割合を、それぞれ、type PA(1)(%)と ω (%)とする。OCC送信機では、4p-EMPDM調光器は、ベルヌーイ(1/2)分布を持つ情報語 μ を、任意の分布を持つ符号語 $u=(u_1, u_2, \dots, u_n)$ に符号化する。

[0020] 実は、メッセージ u が、組織的FECエンコーダによってエンコードされると、 ω はPA(1)とわずかに異なる値となる。階層型確率的シェーピング(Layered Probabilistic Shaping: LPS)アーキテクチャに従い、組織的ポーラーエンコーダ(Systematic Polar Encoder: SPE)を使用して ω の確率的形状を保持し、非RLL VLC送信機で2つの調光レベルを生成する。さらに、従来のVLCシステムのようにRLL符号を使用してラン・レングスを制限するのではなく、4p-EMPDM調光器は情報語 μ を、論理1と論理0の出現割合に大きな差が生じないように整形する。この結果、 y のラン・レングスは、最小光学クロックレートでちらつきが発生しない範囲に制限される。

なお、符号語 u における論理1と論理0の出現頻度（例えば、“1011101011”では「0が3回、1が7回」）を、本明細書において「コンポジション」と呼ぶ。また、論理1の出現頻度が i のコンポジションを γ_i で表す。例えば、シーケンス“1011101011”は γ_7 に属する。

[0021] デュアルカメラ受信機（OCC受信機）では、フレームレート30 fps、長露光時間の低速グローバルシャッターカメラが、発光ダイオード（Light Emission Diode: LED）の調光レベルを検出する。このカメラが、RoI識別に使用される低レートビットストリームの論理0、1をデコードする。

高速カメラは、高フレームレート（例えば10000 fps）で、低速カメラが検出したRoI上の高レートデータストリームをデコードする。SD連続キャンセルSPD（SD-SPD）は、符号語 y' を u' に復号する。最後に、逆4p-EMPDM調光器は、伝送エラーはすべてSD-SPDによって修正されているという想定で、メッセージ u' をデコードして、高速バイナリシーケンス μ' を再構築する。

[0022] その単純さとVLCシステムにおける人気の高さから、変調技術にはOOKを選択した。

なお、符号語 u は、低レート信号と高レート信号とが合成されたものなので、本明細書では、符号語 u およびデコード（逆調光）前の符号語 u' を「重畳信号」と称することもある。

[0023] [バイナリ拡張MPDM(EMPDM)]

バイナリDMで符号化された各ビットで何ビットの情報が伝送されるかを示すマッチングレート R_{DM} は、次の式（1）で定義される。

[数1]

$$R_{DM} = \frac{k}{n} = \frac{\left\lfloor \log_2 \binom{n}{m} \right\rfloor}{n} \dots (1)$$

ここで

[数2]

$$\left\lfloor \log_2 \binom{n}{m} \right\rfloor$$

は、不等式

[数3]

$$2^k \leq \binom{n}{m}$$

を満たす最大の k を出力する。

[0024] アルファベット $B = \{0, 1\}$ 、タイプ P_A の離散確率変数 A のエントロピーは式 (2) で与えられる。

[数4]

$$H(A) = \sum_{a \in B} -P_A(a) \log_2 P_A(a) \quad \cdots (2)$$

バイナリDMが達成しうる最大マッチング率は式 (3) となる。

[数5]

$$\mathcal{R}_{DM} \leq H(A) \quad \cdots (3)$$

バイナリDMのレート損失は、式 (4) のように定義される。

[数6]

$$\Delta_{DM} = H(A) - \mathcal{R}_{DM} \quad \cdots (4)$$

[0025] 固定コンポジション分布マッチング(Constant Composition Distribution Matching: CCDM)のレート損失は、ブロック長が短くなると増加する (参考文献1)。

[0026] 参考文献1 : P. Schulte et al., "Constant composition distribution matching", IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 62, no. 1, pp.430 - 434, Jan. 2016.

[0027] MPDMは、レート損失を減らす方法（特にブロック長が短い場合に）として導入され、実用的な実装に適している（非特許文献4）。MPDMのレート損失低減は、非固定コンポジションDMを生成するために、典型コンポジション(Typical Composition: TC)に加えて、複数のコンポジションペア(Composition Pairs: CPs)を含めることに起因している。ペアで使用されるコンポジションは、各構成コンポジションが、両コンポジションで生成したシーケンスの確率的平均が目的の分布を達成するような、互いに相補的なコンポジションとなっている。

[0028] 非特許文献4は、各情報語が、バイナリCCDMシーケンスにマッピングされるペイロードと、コンポジションを選択するプレフィックスとに分割される二分木構造を導入した。

特定のコンポジションのシーケンス数を最も近い2のべき乗に丸める必要（2のべき乗制約）がある従来のMPDMとは異なり、開示技術では、各コンポジションの2のべき乗制約を解除して、従来のマッチングのコードブックを拡張するバイナリEMPDMを提案する。また、EMPDMを二分木構造で実装可能にするために、TCと先頭CPの間で、および隣接コンポジション間で、コードブックを共有することを提案する。

[0029] C_m は、重み m の n 要素のバイナリ群を表し、TCのコードブックを形成する。低レベル調光の場合、 $m=Y_0 \cdot n$ 、高レベル調光の場合 $m=Y_1 \cdot n$ である。 $|C_i|$ が C_i の要素数を表すものとして、コンポジションペア $\{\gamma_{m-l}, \gamma_{m+l}\} (l>0)$ のコードブック内の順列の数は次のように計算できる。

[数7]

$$Z_l = |C_{m-l}| + |C_{m+l}| = 2 \cdot \min(|C_{m-l}|, |C_{m+l}|) \quad \cdots (5)$$

TCとすべてのCPを含むEMPDMコードブックの順列の総数は、次のように与えられる。

[数8]

$$Z = \sum_{l=1}^{N_{pairs}} Z_l + |C_m| = \sum_{l=1}^{N_{pairs}} (|C_{m-l}| + |C_{m+l}|) + |C_m| \quad \cdots (6)$$

ここで、 N_{pairs} は、制約 $\{\gamma_{m-l}, \gamma_{m+l}\}=2\{\gamma_m\}$ (l は自然数)を満たす有効なCPの数を示し、 $m < n/2$ のとき最大で m 、 $m > n/2$ のとき最大で $n-m$ である。

[0030] $Y_0 < 0.5$ の場合、 $\min(|C_{m-l}|, |C_{m+l}|) = |C_{m-l}|$ であり、式(5)、(6)より

[数9]

$$Z_{Y_0} = \sum_{l=1}^{N_{pairs}} 2 \cdot |C_{m-l}| + |C_m| = 2 \sum_{l=1}^{N_{pairs}} |C_{m-l}| + |C_m| \quad \cdots (7)$$

同様に、 $Y_1 > 0.5$ の場合、 $\min(|C_{m-l}|, |C_{m+l}|) = |C_{m+l}|$ であり、式(5) (6)より式(8)を得る。

[数10]

$$Z_{Y_1} = 2 \sum_{l=1}^{N_{pairs}} |C_{m+l}| + |C_m| \quad \cdots (8)$$

低レベル用シェーピング Y_0 と、高レベル用シェーピング Y_1 のEMPDMコードブックのシーケンス数は次のとおりである。

[数11]

$$Z_{Y_0} = 2 \sum_{l=1}^{N_{pairs}} \binom{n}{Y_0 n - l} + \binom{n}{Y_0 n} \quad \cdots (9)$$

$$Z_{Y_1} = 2 \sum_{l=1}^{N_{pairs}} \binom{n}{Y_1 n + l} + \binom{n}{Y_1 n}$$

[0031] EMPDMは、固定長の逆転可能なマッピングであるため、入力ビット数 k と出力シーケンス長 n は固定されている。制約 $Y_0 = 1 - Y_1$ を課すと、RoIシグナリングアプリケーションのために2つの対称シェーピングレベルをサポートする実装につながる。この制約を式(9)に課すことで、次式が得られる。

[数12]

$$Z_{Y_0} = Z_{Y_1}$$

[0032] (1)と(9)から、2つのシェーピングレベルにおけるEMPDMのマッチングレートは次のように書ける。

[数13]

$$\mathcal{R}_{EMPDM} = \frac{\lfloor \log_2(Z_{Y_0}) \rfloor}{n} = \frac{\lfloor \log_2(Z_{Y_1}) \rfloor}{n} \quad \dots (10)$$

[0033] EMPDMのレート損失 Δ_{EMPDM} は、式(10)の $\mathcal{R}_{EMPDM}$ を、式(4)の $\mathcal{R}_{DM}$ に置き換えることによって推定される。図2は異なる分布マッチング方式のレート損失を示す。シーケンスは、1%から99%の異なる出力分布PA(1)についてシェーピングされている。

EMPDMのレート損失は、すべての出力分布に対して他のシェーピング方法のレート損失よりもはるかに低いことが見て取れる。さらに、 $Y_0 = 1 - Y_1$ という制約の下で、レート損失はPA(1)=50%に関して対称である。マッチングレートとレート損失の対称性は、同じレート損失で2つの調光レベルを可能にするDMベースの調光器を設計する上で重要である。

[0034] ここで、EMPDMコードブックにすべてのCPが含まれている場合、ルックアップテーブル (Look up tables: LUTs) を使用してEMPDMを実装することは困難であるように思われる。さらに、非RLL VLCシステムではちらつきが根本的な問題であるため、論理1または0の長いフリーランを持つ整形シーケンスは避ける必要がある。そこで、開示技術の以降の説明では、EMPDMを最適化して、VLCベースのRoIシグナリングアプリケーションと互換性を持たせる。

[0035] [4p-EMPDM調光器とその実装方法]

RoIシグナリングアプリケーションのために、2つの調光レベル Y_0 と Y_1 をサポートする4p-EMPDM調光器を提案する。ここで、 Y_0 と Y_1 はそれぞれ、低レートストリームの論理0と論理1のための調光器の典型出力分布である。

$1 \leq m < n$ として、 C_m が C_{m-1} より何倍大きいかを見るため、次式を計算する。

[数14]

$$\frac{|C_m|}{|C_{m-1}|} = \binom{n}{m} / \binom{n}{m-1} = \frac{(n-m+1)}{m} \quad \dots (11)$$

[0036] <例> $n=100$ の場合、 C_{25} は C_{20} より452.5倍大きく、 C_{15} より957293倍大きい。つまり、 $C_{15} \ll C_{20} \ll C_{25}$ である。

[0037] 式(11)によれば、EMPDMコードブックの不均一シーケンスのほとんどは、 $TC(\gamma_m)$ と主要なCP $\{\gamma_{m-1}, \gamma_{m+1}\}$ を持つ。なお、 l は小さな正の値である。

図3に、MPDMと、EMPDMのいくつかの例について、レート損失を示す。EMPDMの例は、コードブックがTCと、2つの先頭CPを持つ場合(2p-EMPDM)、4つの先頭CPを持つ場合(4p-EMPDM)、そしてすべてのCPを持つ場合(EMPDM)である。

4p-EMPDMはEMPDMのコンパクトバージョンであり、VLCアプリケーションでちらつきを軽減する目的で、ラン・レングスを意識した符号語(ラン・レングスの最大値を所定の値に抑えた符号語)のみを生成する。矢印31は低レベル調光(論理0)の、矢印32は高レベル調光(論理1)の、経験的なシェーピング範囲を示している。

[0038] $PA(1)=50\%$ 前後のギャップは、低レート信号の論理0と論理1の状態検出が不明確にならないように設けた。VLCアプリケーションのラン・レングスを意識したシェーピング範囲(ランレングス意識レンジ)は囲み斜線でマークされている。図2のEMPDMと図3の4p-EMPDMとを見比べると、4p-EMPDMのレート損失はEMPDMと同等であることがわかる。特に、低レベル調光では $PA(1)<45\%$ の範囲で、高レベル調光では $PA(1)>55\%$ の範囲で、遜色がない。

[0039] 一方、2p-EMPDMのレート損失は、コードブックに3番目と4番目のCPを含め

ないことのペナルティとして、増加する。非RLL VLCシステムで、符号語は、論理1と論理0の出現割合に大きな差が生じないように整形する必要がある。2つの調光レベルを50%付近（例えば $Y_0=41\%$ 、 $Y_1=59\%$ ）とすれば、論理1と論理0の出現割合にはあまり差がないはずである。したがって、最も低いレート損失とDCバランスが、4p-EMPDM調光器の制約されたシェーピング範囲を決定するための2つの基準となる。実験的評価を行い、2つのラン・レングスを意識した整形範囲を決定した。 $37\% < PA(1) < 45\%$ と、 $55\% < PA(1) < 63\%$ である（図3を参照）。

[0040] 図4に、図1の4p-EMPDM調光器11の詳細機能ブロック図と、コードブック構造を示す。4p-EMPDM調光器は、[バイナリ拡張MPDM(EMPDM)]の項で説明したように、タイプ $PA(1)=50\%$ に関する対称性を通じて、同じレート損失で2つの調光レベルをサポートする。

低レベル4p-EMPDM調光部41と高レベル4p-EMPDM調光部42は、調光レベル Y_0 、 Y_1 から定まる m に従ってそれぞれ、コンポジションペア (C_{m-1}, C_{m+1}) （ただし $l=\{1, 2, 3, 4\}$ ）のコードブックと、典型コンポジション (C_m) のコードブックを利用し、そのレート損失はCCDMよりも小さい。

[0041] 図5は、従来のMPDM、EMPDM、および4p-EMPDMのコードブック構造を示している。4p-EMPDMは、典型コンポジション γ_m と4つのコンポジションペア $\{\gamma_{m-1}, \gamma_{m+1}\}$ （ $l=\{1, 2, 3, 4\}$ ）を備えた、EMPDMのコンパクト版である。EMPDMがMPDMのコードブックの拡張であるというのは、[バイナリ拡張MPDM(EMPDM)]の項で説明した通り、そのコンポジションのコードブックには2のべき乗制約がないためである。4p-EMPDMのコードブックは二分木構造を持ち、隣接するコンポジションでコードブックを共有する。また、4p-EMPDMのコードブックは、TCの他に4つのCPのみを含む。残りのCPのコードブックのサイズは、前記4つのCPのコードブックのサイズと比較して重要でないからである。

[0042] (7)と(8)から、2レベル4p-EMPDM調光器の出力シーケンスの総数は次のようになる。

[数15]

$$\begin{aligned} Z_{4p-EMPDM} &= 2 \cdot \left[2 \cdot \sum_{l=1}^{N_{pairs}=4} |C_{m+l}| + |C_m| \right]_2 \dots (12) \\ &= 2 \cdot \left[2 \cdot \sum_{l=1}^{N_{pairs}=4} \binom{n}{m-l} + \binom{n}{m} \right]_2 \end{aligned}$$

ただし、

[数16]

$$[\dots]_2$$

は、端数処理して最も近い2の累乗とする関数を表す。

[0043] 図6に4p-EMPDMの二分木構造を示す。サブセットペアを識別するプレフィックスを決定するため、ハフマンコードが使用される。最初の p_1 ビット（1ビットまたは2ビット）はプレフィックスに用いる。次のビット（ペイロードの先頭ビット）は、サブセットペア内の共有サブセットを選択する。なお、本明細書では、プレフィックスとペイロードの先頭ビットをまとめて「選択符号」と称することがある。

[0044] 共有サブセットには2種類ある。

(i) シェアド・典型一ペアワイズ・サブセット

TCのコードブックが、ペアを成すコンポジション要素のコードブックと共有される。例えば、 (C_m, C_{m-1}) と (C_m, C_{m+1}) を備えたサブセットである。

(ii) シェアド・ペアワイズ・サブセット

コードブックが、2個のペアを成すコンポジション要素間で共有される。例えば、 (C_{m-1}, C_{m-2}) , (C_{m+1}, C_{m+2}) , $(C_{m-2}, C_{m-3}, C_{m-4})$, および $(C_{m+2}, C_{m+3}, C_{m+4})$ を備えたサブセットである。リーフノードの各サブセットにより、残りの k_1 ビットペイロードを整形シーケンスに1対1マッピングするため、m-out-of-n符号に基づくバイナリCCDMが適用される。

[0045] [OCC送信機]

ここで、図1と図18を用いて、開示技術のOCC送信機とその動作について説明する。

OCC送信機1は、調光器11（4p-EMPDM調光器）、FEC符号部12（組織的polar符号部）、OOK変調部13、LED14を備える。

あらかじめ2つの調光レベル Y_0 、 Y_1 を定め、調光レベル Y_0 では $m=Y_0n$ 、調光レベル Y_1 では $m=Y_1n$ として、 C_m と、 C_{m-1} と C_{m+1} のペア（ $l=1, 2, 3, 4$ ）とからm-out-of-n符号化のコードブックを作成する。

調光器11に、低レート信号 v と、高レート信号 μ が入力される（ステップS1801、S1802）。

調光器11は、低レート信号と高レート信号に基づき、コードブックを用いて高レート信号をm-out-of-n符号で変換して重畳信号を出力する（ステップS1803）。

FEC符号化部12は、例えば組織的ポーラー符号で重畳信号を符号化し、FEC符号を出力する（ステップS1804）。

OOK変調器13は、FEC符号を変調してLED14を駆動し、OCC信号を出力する（ステップS1805）。

[0046] [OCC受信機]

続いて、図1と図19を用いて、開示技術のOCC受信機とその動作について説明する。

OCC受信機2は、低速カメラ21、高速カメラ22、RoI特定部23、OOK復調部24、FEC復号部25（組織的polar復号部）、逆調光器26（4p-EMPDM逆調光器）を備える。

低速カメラ21でカメラ視野全体を撮影し、RoI特定部23に出力する（ステップS1901）。

RoI特定部23は、カメラ視野から低レート信号を検出する（ステップS1902）。

RoI特定部23は、検出した低レート信号から、視野中のRoIを特定し（ス

テップS 1 9 0 3)、RoI情報を高速カメラ2 2に出力する。

高速カメラ2 2は、RoI情報に基づき、撮影信号（カメラ視野）からRoI部分を切り出してRoI撮影信号を出力する（ステップS 1 9 0 4）。

OOK復調部2 4は、RoI撮影信号を復調し、FEC符号を出力する（ステップS 1 9 0 5）。

FEC復号部2 5は、FEC符号から、重畳信号を復号する（ステップS 1 9 0 6）。

逆調光器2 6は、調光器1 1と同様に生成したm-out-of-n符号化コードブックを用いて、重畳信号から高レート信号を復号する（ステップS 1 9 0 7）。

[0047] 4p-EMPDM調光器のコードブック構築と、その二分木構造の構築の詳細は、次の通りである。

1: 2つの所望の調光レベルを生成する出力分布 Y_0 , Y_1 を求める。

2: 各調光レベルの典型コンポジション γ_m を求める。低レベル調光の場合は $m = Y_0 \cdot n$ 、高レベル調光の場合は $m = Y_1 \cdot n$ 。低レート信号 v が調光レベルを決定する。

3: 制約 $\{\gamma_{m-l}, \gamma_{m+l}\} = 2\{\gamma_m\}$ （ただし $l > 0$ ）を満たす、すべてのCPを求める。

4: コンポジションペア (C_{m-l}, C_{m+l}) のうち大きい方に含まれる、選択されていないシーケンスを削除する。この削除後のシーケンス数は $|(C_{m-l}, C_{m+l})| = 2 \cdot \min(|C_{m-l}|, |C_{m+l}|)$ となる。ただし $l = \{1, 2, 3, 4\}$ 。

5: 主たるコードブックを、TCと4つのCPに限定する。コードブック中のシーケンスの総数は下記式で与えられる。

[数17]

$$N_{pairs} = 4 \sum_{l=1} (C_{m-l}, C_{m+l}) + C_m$$

6: TCと4つのCPを、コードブックのシーケンス数に応じて降順にソートする

。

7:シーケンスの総数を、シーケンス総数を超えない最も近い2のべき乗 (2^k) の値に丸める。ここで、 k は調光器の入力ビット数である。

8:シーケンス総数が 2^k 個のコードブックを、大きさを変えて分割してサブセットのペアに割り当てる。例えば、シェアド・典型一ペアワイズ・サブセットに 2 の k_i 乗個を、シェアド・ペアワイズ・サブセットに 2 の k_{i+1} 乗個を割り当てる (図5、図6を参照)。

9:サブセットのペアを識別するため、 p_i ビットをプレフィックスビットとして予約する。プレフィックスビットの次のビットは、ペア内のサブセットを識別するために使用される。

(i) シェアド・典型一ペアワイズ・サブセットの場合: $p_i=1$

(i i) シェアド・ペアワイズ・サブセットの場合: $p_i=2$

10:m-out-of-nコードを使用して、 k_i ビットペイロードを、各サブセット内のシェイプされたシーケンスにマップする。

[0048] [実験的最適化]

本節では実験的評価により4p-EMPDM調光器の整形レベルを最適化する方法を示す。このシステムは、RoIシグナリングアプリケーションの低レート通信の、論理0レベルと論理1レベルを表す2つの調光レベルをサポートする。調光器が出力分布PA(1)を変えるたびに、LEDの調光レベルはその変化を反映する。低速カメラベースの受信機は、調光レベルを検出することにより、RoIを識別する低レートストリームをデコードする。

[0049] 実験的最適化では、調光器の最適な整形レベルを見つけるための3つの基準がある。

(1) レート損失が、最も低いこと。

(2) 出力分布が、非RLL VLCのラン・レングスを意識した範囲内であること (図3を参照)。

(3) 対応する調光レベルが、低速カメラベースの受信機で容易に検出・復調できること。

[0050] 図7に、提案した送信機と受信機の、デジタル信号処理(Digital Signal Processing: DSP)の流れと実験装置を示す。

図8と図9に、低速RoIシグナリングー高速OCC実証システムを示す。

図17に、低レート実験システムと高レート実験システムの設定をまとめた。

低レートのRoI信号受信機には、調光レベルを検出し、低レートのビットストリームをデコードする、30fpsの低速グローバルシャッターカメラ (LS global-shutter camera) を使用した。SSDミニストレージ付きアトモス・ショーン7は、ビデオキャプチャおよび監視デバイス (Video monitor) として機能する。低電力LEDを備えたVLC送信機 (Transmitter) は、受信機から1.7 m、2.9 m、および4.2 mの距離に配置される。

[0051] 一方で、10000 fps、露出50 μ sで動作する高速カメラ受信機 (HS camera/OCC Receiver) を使用する。高速カメラによって撮影された画像は、フィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA) に送って処理する。また、提案した方法の性能を評価するために、OCCチャネル上に高速OCCシステムのシミュレーションシステムを構築した。

[0052] ノイズが画質にどのように影響するかは、文献で広く研究されている。一般に、ノイズの影響はイメージングシステムによって異なる。OCCシステムでは、ノイズはガウス分布としてモデル化される。主なノイズ源は、読み出し回路によって発生する熱ノイズと、背景照明によるショットノイズである。ショットノイズの分散値は、受信したピクセルの面積と受信した光強度に比例する。電荷結合素子/相補型金属酸化物半導体 (CCD/CMOS) カメラのピクセルノイズは、1シンボルあたり1ビットの前提で、次のように近似できる。

[数18]

$$\text{pixel } E_b/N_0 \approx \frac{a^2 \theta}{\alpha \theta a + \beta} \quad \cdots (13)$$

ここで、 N_0 はノイズ密度、 E_b はビットエネルギー、 $\theta = T_e/T$ はカメラの露光

時間とビット間隔の比率、 a はマークとスペースの振幅、 α と β フィッティングパラメータである。

非特許文献1で実験的に推定した $\alpha=0.01529$ と $\beta=0.1973$ を用いて、pixel E_b/N_0 を計算した。また、露光時間の長いカメラは、高周波信号を減衰させるローパスフィルターと考えることができる。そのため、露光時間を調整するとpixel E_b/N_0 に大きく影響する。

[0053] 図10に示した通り、CMOSカメラの露光時間によってpixel E_b/N_0 は変化する。しかし T_e が $4500\mu s$ を超えると、1.7 m、2.9 m、4.2 mの各距離で、pixel E_b/N_0 は約39.7dBで飽和する。20 kHzのTx クロックレートでは、128ビットフレームの平均輝度が、低速カメラで完全に感知されるには6.4 ms必要である。そこで、4p-EMPDM調光器の最適なシェーピングレベルを見つけるため、 $T_e=6400\mu s$ に設定する。このとき、pixel E_b/N_0 は39.74 dBである。

[0054] 図11は、ノイズが50%調光シンボルの強度 I と領域 A にどのように影響するかを示す。強度分散 $|\max I - \min I|$ として14.5、領域分散 $|\max A - \min A|$ として10を得た。低レートのビットストリームを復調するためのしきい値範囲を決定するクラス内分散として、50%調光レベルでの分散を採用した。

[0055] 従来のOCCシステムは、強度のしきい値との比較によってLEDのオンとオフの状態を決定する。しきい値を決定するため、VLC送信機で $30\% < PA(1) < 70\%$ の、4p-EMPDM調光器で整形された10万個のシンボルを送信した。

図12は、論理0は $Y_0=30\%$ 、論理1は $Y_1=70\%$ として調光器で整形された受信シンボルを示す。論理0/論理1判定のしきい値を決定するには強度情報のみが利用される。

カメラセンサーの露光時間は $T_e=6400\mu s$ である。カメラベースの受信機は、VLC送信機から4.2 m離れた場所に配置した。 $Y_1=70\%$ の調光器で整形されたシンボルのピクセル強度は大きく変化しないことがわかる。受信機は、異なるコンポジションで整形されたシンボルについてピクセル領域の違いのみを検出できる。

[0056] 一方、 $Y_0=30\%$ の調光器で整形されたシンボルでは、強度のばらつきがか

なり大きい。その理由は、70%に近い調光レベルでは、ピクセル強度が飽和に達するためである。VPPMはこの調光レベルで最高の性能を示すことが確認された（非特許文献1）。

この発見は、ピクセル強度に加えて、受信信号のピクセル領域がデータの復調に有用であることを明らかにした。したがって、我々の低速カメラベースの受信機は、データの復調としきい値の決定に、キャプチャされた信号の強度と領域情報を使用する。

[0057] 具体的には、低いしきい値と高いしきい値の間の範囲であるしきい値範囲を決定するために、低いしきい値、中央しきい値、高いしきい値を使用する。ノイズ効果によるクラス内分散値が、レンジの幅を決める。しきい値範囲は、近接した調光レベルを検出する際のあいまいさを避けるために定義される。中心しきい値は次の式（14）となる。

[数19]

$$Y = s.X + b \quad \cdots (14)$$

ここで、sとbはそれぞれしきい値線の勾配とy切片を表し、次の式（15）、（16）を使用して計算できる。

[数20]

$$s = \frac{\min \mathcal{A} - \max \mathcal{A}}{\max \mathcal{I} - \min \mathcal{I}} \quad \cdots (15)$$

[数21]

$$b = Y - s.X = \max \mathcal{A} - s.\min \mathcal{I} \quad \cdots (16)$$

ここで、AとIは、それぞれキャプチャされたピクセルの領域（幅×高さ）と平均強度を表す。

[0058] しきい値の高い線と低い線は、直線方程式を使用して決定できる。

[数22]

$$Y = s.X + b_h$$

[数23]

$$Y = s.X + b_l$$

ただし、 b_h と b_l は、式(14)の中心しきい値の上下にある最も遠い点の座標を置き換えることによって決定される。

[0059] 任意の点(X_i, Y_i)が中心しきい値の上か下かを確認するには、その点の座標(X_i, Y_i)をしきい値線方程式(14)に挿入する。そして、 Y_i を $s.X+b$ と比較する。

もし $Y_i < s.X+b$ ならば、点は線の下にある。そうでなくて $Y_i > s.X+b$ ならば、点はしきい値より上にある。

[0060] 図13に、強度領域しきい値による二クラス分類を示す。カメラは、4p-EMPDM調光器で整形された調光シンボルを撮影する。典型整形割合は、論理0について $Y_0=41\%$ 、論理1について $Y_1=59\%$ である。

キャプチャされたピクセルの強度と領域の両方が、強度－領域しきい値を決定するために使用される。カメラセンサーの露光時間は $T_e=6400\mu s$ である。カメラベースの受信機は、VLC送信機から4.2 m離れた場所に配置される。強度－領域しきい値を使用すると、典型整形レベルは50%に近くなる。具体的には、30%から41%が論理0、70%から59%が論理1である。

この結果、調光器のレート損失は0.031から0.0165に減少し(図3)、これはマッチングレートが提案された領域－強度しきい値と共に増加することを意味する。

[0061] 図14は、 $Y_0=41\%$ 、 $Y_1=59\%$ の4p-EMPDMおよびEMPDM調光器のコードブックサイズを示している。これらの最適な出力分布は、低レートの論理レベルを決定するために強度－領域しきい値を使用して、実験的に決定された。TCと4つのCPにコードブックの大部分が属するため、4p-EMPDM調光器のコードブックサイズは、EMPDM調光器の90.88%であることがわかる。 $PA(1)=[37\%, 45\%]$ と $PA(1)=[55\%, 63\%]$ のレンジでは、4p-EMPDM調光器のレート損失はEMPDM調光器のそれと同等である(図3)。「4p-EMPDM調光器とその実装方法」の項

で説明した通り、4p-EMPDM調光器は、論理0と論理1の比率に大きな差がないシーケンスのみを生成する。したがって、他のバイナリ分布マッチング手法と比較して、4p-EMPDMは、その出力シーケンスのラン・レングスが、ちらつきが緩和されるように制約されているため、非RLL VLCシステムに適している。

[0062] 図15に、4p-EMPDM調光器とFEC符号化のオーバーヘッドを示す。符号化オーバーヘッドは冗長ビット数と情報ビット数の比率であり、パーセントで表すことができる。4p-EMPDMのオーバーヘッドは4.16%、SPE(FEC)のオーバーヘッドは28%である。

[0063] 組織的FECエンコーダは、非組織的FECエンコーダと比較して、4p-EMPDM調光器の出力確率分布をよりよく保存するが、組織的FECエンコーダのジェネレータおよびパリティ行列に対する論理演算は、通常、調光器の符号語の出力分布を変更する。そこで、モンテカルロシミュレーションでLPSの出力シーケンスの出力分布を調べた。図16は、4p-EMPDM調光器によって整形され、LPSアーキテクチャに従ったSPEによって符号化された10万個の情報語の出力確率分布を示している。SPEは調光器の出力分布をわずかに $PA(1)=50\%$ に近づけることが分かる。

RoIシグナリングアプリケーションの場合、低レートロジックレベルは2つの調光レベルから作成される。したがって、低速カメラベースの受信機で識別されるために、2つの調光レベルに対応するLPSシンボルの出力分布は重複してはならない。

[0064] [プログラム、記録媒体]

上述の各種の処理は、図20に示すコンピュータ2000の記録部2020に、上記方法の各ステップを実行させるプログラムを読み込ませ、制御部2010、入力部2030、出力部2040、表示部2050などに動作させることで実施できる。

[0065] 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、半導体メモリ等どのようなものでもよい。

[0066] 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る構成としてもよい。

[0067] 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、自己の記憶装置に格納する。そして、処理の実行時、このコンピュータは、自己の記録媒体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行形態として、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く、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) 型のサービスによって、上述の処理を実行する構成としてもよい。なお、本形態におけるプログラムには、電子計算機による処理の用に供する情報であってプログラムに準ずるもの（コンピュータに対する直接の指令ではないがコンピュータの処理を規定する性質を有するデータ等）を含むものとする。

[0068] また、この形態では、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、本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。

符号の説明

- [0069] 1 OCC送信機
- 1 1 調光器
 - 1 2 FEC符号化部
 - 1 3 00K変調部
 - 1 4 LED
 - 1 5 記憶部
- 2 OCC受信機
- 2 1 低速カメラ
 - 2 2 高速カメラ
 - 2 3 RoI特定部
 - 2 4 00K復調部
 - 2 5 FEC復号部
 - 2 6 逆調光器
 - 2 7 記憶部
- 2 0 0 0 コンピュータ
- 2 0 1 0 制御部
 - 2 0 2 0 記録部
 - 2 0 3 0 入力部
 - 2 0 4 0 出力部
 - 2 0 5 0 表示部

請求の範囲

[請求項1] 低レート信号と高レート信号が重畳されたOCC信号を生成するOCC送信機であって、

低レート信号に基づいて高レート信号をm-out-of-n符号化により変換し、所望の2つの調光レベルを与える重畳信号を生成する調光器と、

前記調光器の出力した信号を光信号に変換するオン・オフ・キーイング変調部と、を含み、

前記調光器は、前記2つの調光レベルをそれぞれ Y_0 、 Y_1 とし、調光レベル Y_0 では $m = Y_0 n$ 、調光レベル Y_1 では $m = Y_1 n$ として、前記高レート信号をm-out-of-n符号化で変換してnビット信号を出力するものであり、

nビット中にm個の論理1または論理0を有するビットシーケンスの集合を C_m として、前記m-out-of-n符号化のコードブックは、 C_m と、 C_{m-l} と C_{m+l} のペア（ l は、 $m < n/2$ のとき最大で m 、 $m > n/2$ のとき最大で $n-m$ の自然数）とを用いて生成したものである

OCC送信機。

[請求項2] 低レート信号と高レート信号が重畳されたOCC信号を生成するOCC送信機であって、

低レート信号に基づいて高レート信号をm-out-of-n符号化により変換し、所望の2つの調光レベルを与える重畳信号を生成する調光器と、

前記調光器の出力した信号を光信号に変換するオン・オフ・キーイング変調部と、を含み、

前記調光器は、前記2つの調光レベルをそれぞれ Y_0 、 Y_1 とし、調光レベル Y_0 では $m = Y_0 n$ 、調光レベル Y_1 では $m = Y_1 n$ として、前記高レート信号をm-out-of-n符号化で変換してnビット信号を出力するものであり、

n ビット中に m 個の論理 1 または論理 0 を有するビットシーケンスの集合を C_m として、前記 m -out-of- n 符号化のコードブックは、 C_m と、 C_{m-1} と C_{m+1} のペア ($l = 1, 2, 3, 4$) とを用いて生成したものである

OCC送信機。

[請求項3]

請求項 2 に記載のOCC送信機であって、

前記コードブックは、 C_m と C_{m-1} と C_{m+1} から一つのコードブック CB_0 、 C_{m-1} と C_{m-2} から一つのコードブック CB_{100} 、 C_{m+1} と C_{m+2} から一つのコードブック CB_{101} 、 C_{m-2} と C_{m-3} と C_{m-4} から一つのコードブック CB_{110} 、 C_{m+2} と C_{m+3} と C_{m+4} から一つのコードブック CB_{111} として作成したものである、

OCC送信機。

[請求項4]

請求項 3 に記載のOCC送信機であって、

前記高レート信号は前記コードブックを選択するための選択符号を持ち、

前記調光器は、前記選択符号が 0 のとき前記コードブック CB_0 を選択し、100 のとき前記コードブック CB_{100} を選択し、101 のとき前記コードブック CB_{101} を選択し、110 のとき前記コードブック CB_{110} を選択し、111 のとき前記コードブック CB_{111} を選択する、

OCC送信機。

[請求項5]

請求項 1 に記載のOCC送信機が生成したOCC信号を受信して低レート信号と高レート信号を復号するOCC受信機であって、

低速カメラと、

RoI特定部と、

高速カメラと、

OOK復調部と、

逆調光器と、を含み、

前記RoI特定部は、前記低速カメラから前記低レート信号を得てRoI

を特定し、

前記高速カメラは、カメラ視野の中から前記RoIを切り出してRoI撮影信号を出力し、

前記OOK復調部は、前記RoI撮影信号から前記重畳信号を取得し、

前記逆調光器は、前記コードブックを用いて前記重畳信号から前記高レート信号を復号する

OCC受信機。

[請求項6]

低レート信号と高レート信号が重畳され、2つの調光レベルを有するOCC信号を生成する方法であって、

n ビット中に m 個の論理1を有するビットシーケンスの集合を C_m として、調光器が C_m と、 C_{m-1} と C_{m+1} のペア（ 1 は、 $m < n/2$ のとき最大で m 、 $m > n/2$ のとき最大で $n-m$ の自然数）とを用いて m -out-of- n 符号化のコードブックを生成するステップと、

前記調光器が、前記2つの調光レベルを Y_0 、 Y_1 とし、調光レベル Y_0 では $m = Y_0 n$ 、調光レベル Y_1 では $m = Y_1 n$ として、 k ビット信号を m -out-of- n 符号化で変換して重畳信号を生成するステップと、

オン・オフ・キーイング変調部が、前記調光器の出力する信号を光信号に変換するステップと、

を含むOCC信号生成方法。

[請求項7]

請求項6に記載のOCC信号生成方法で生成したOCC信号を受信して高レート信号を復号するOCC信号受信方法であって、

低速カメラがOCC信号を撮影して低レート信号を出力するステップと、

RoI特定部が、前記低レート信号からRoIを特定するステップと、

高速カメラが、カメラ視野の中から前記RoIを切り出してRoI撮影信号を出力するステップと、

OOK復調部が、前記RoI撮影信号を復調し、前記重畳信号を取得する

ステップと、

逆調光器が、前記コードブックを用いて前記重畳信号から前記高レート信号を復号するステップと、

を含むOCC信号受信方法。

[請求項8] 請求項 1 から 4 のいずれかに記載のOCC送信機としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

[請求項9] 請求項 5 に記載のOCC受信機としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

[図1]

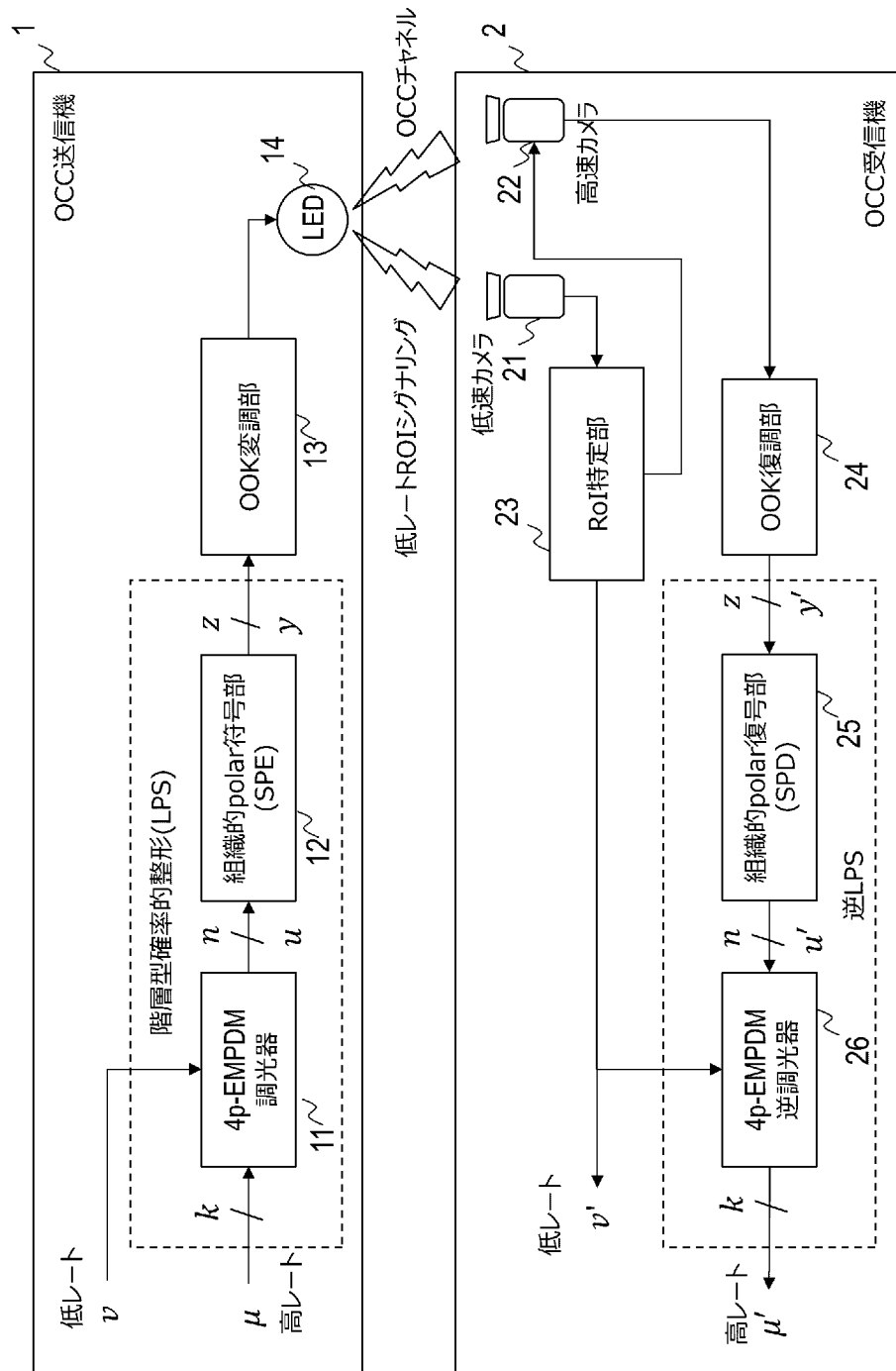


図 1

[図2]

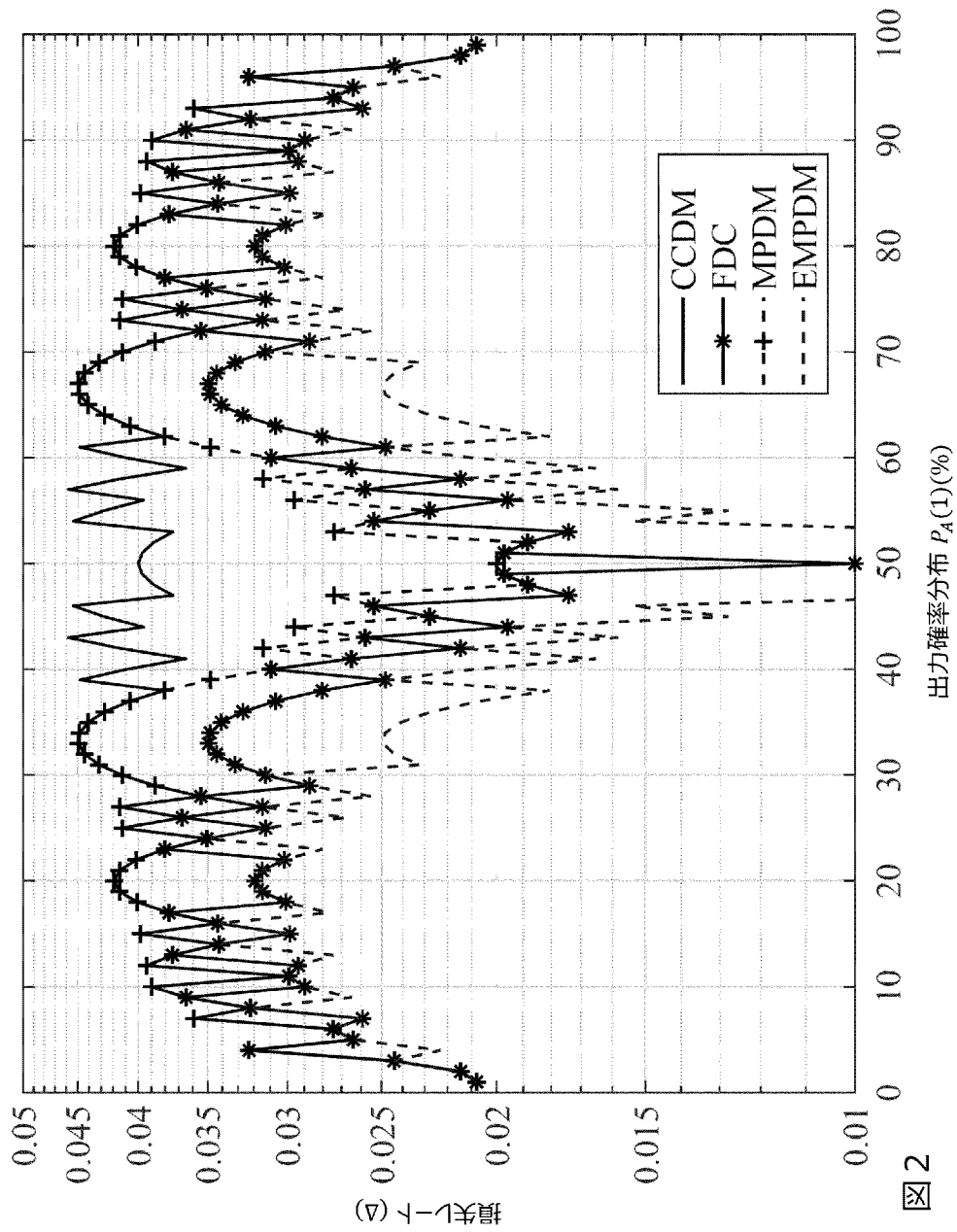


図2

[図3]

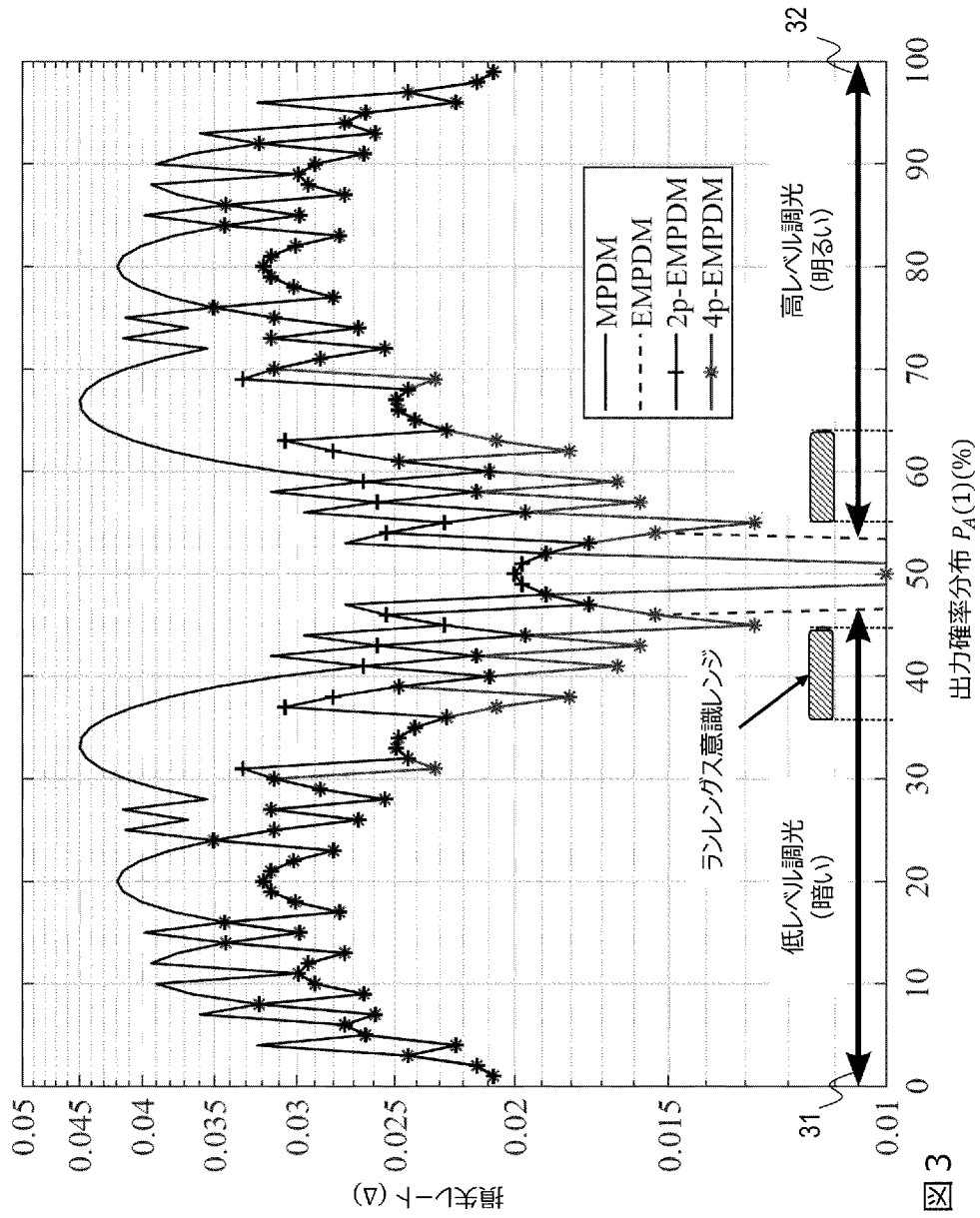


図3

[図4]

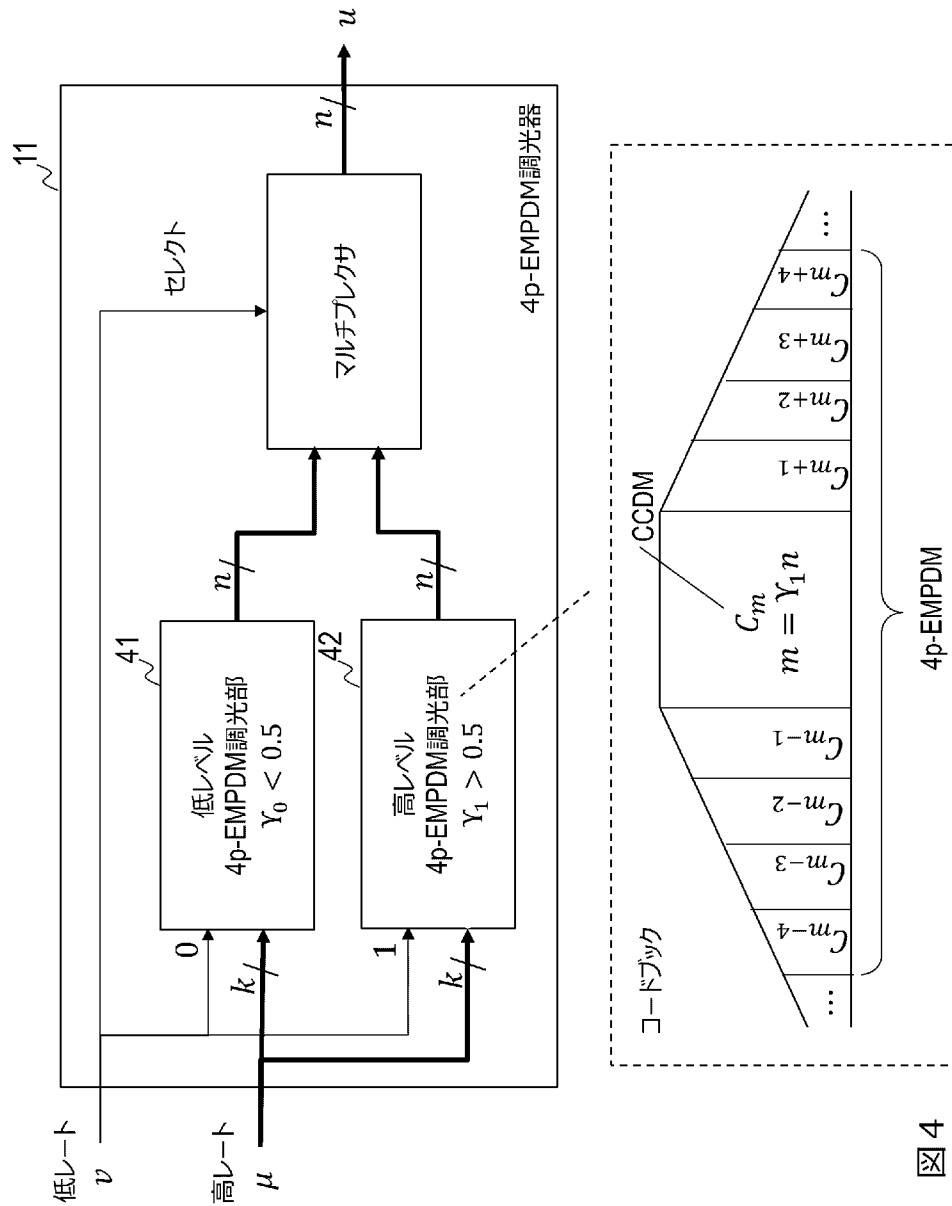


図 4

[図5]

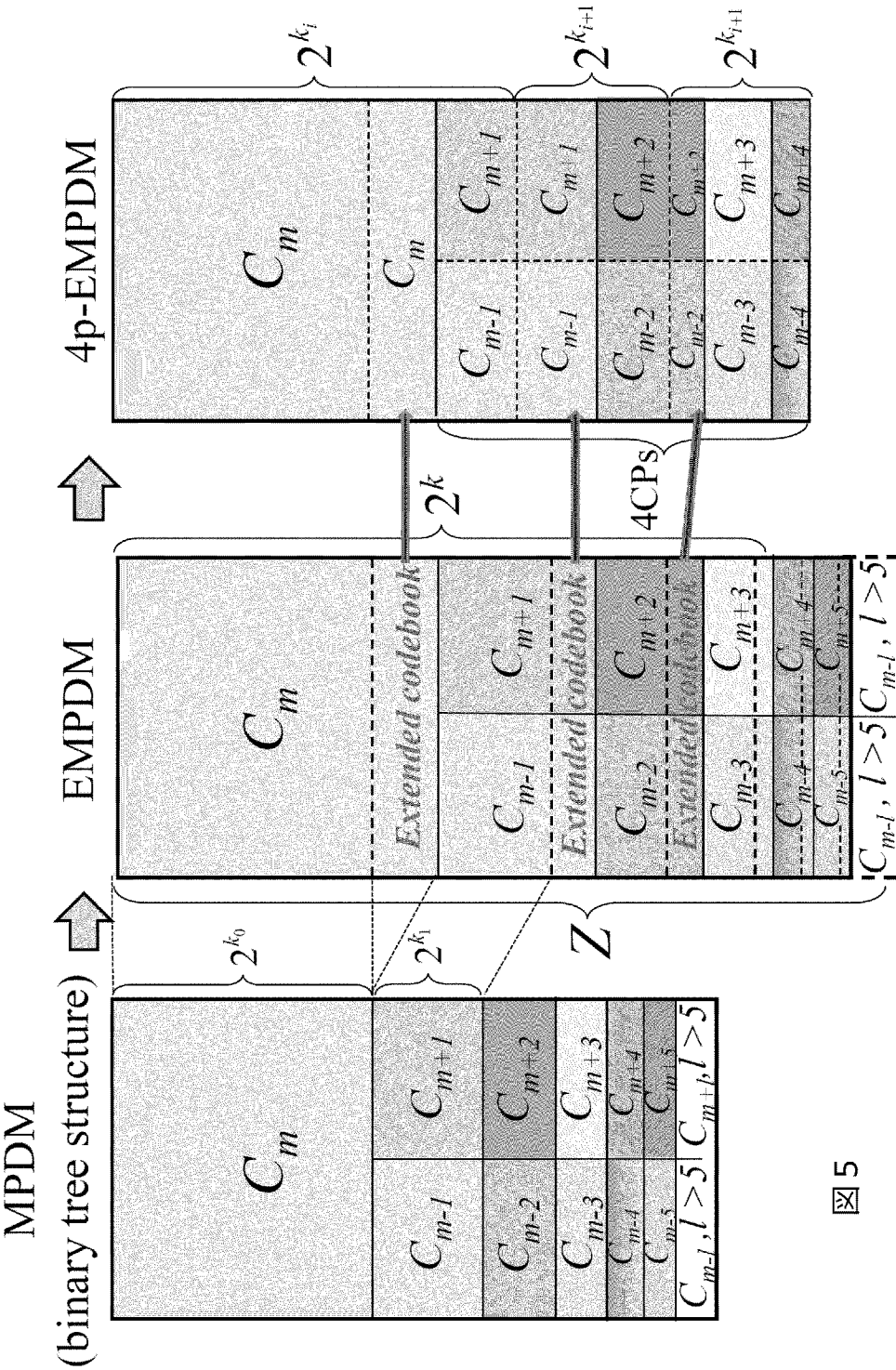


図 5

[図6]

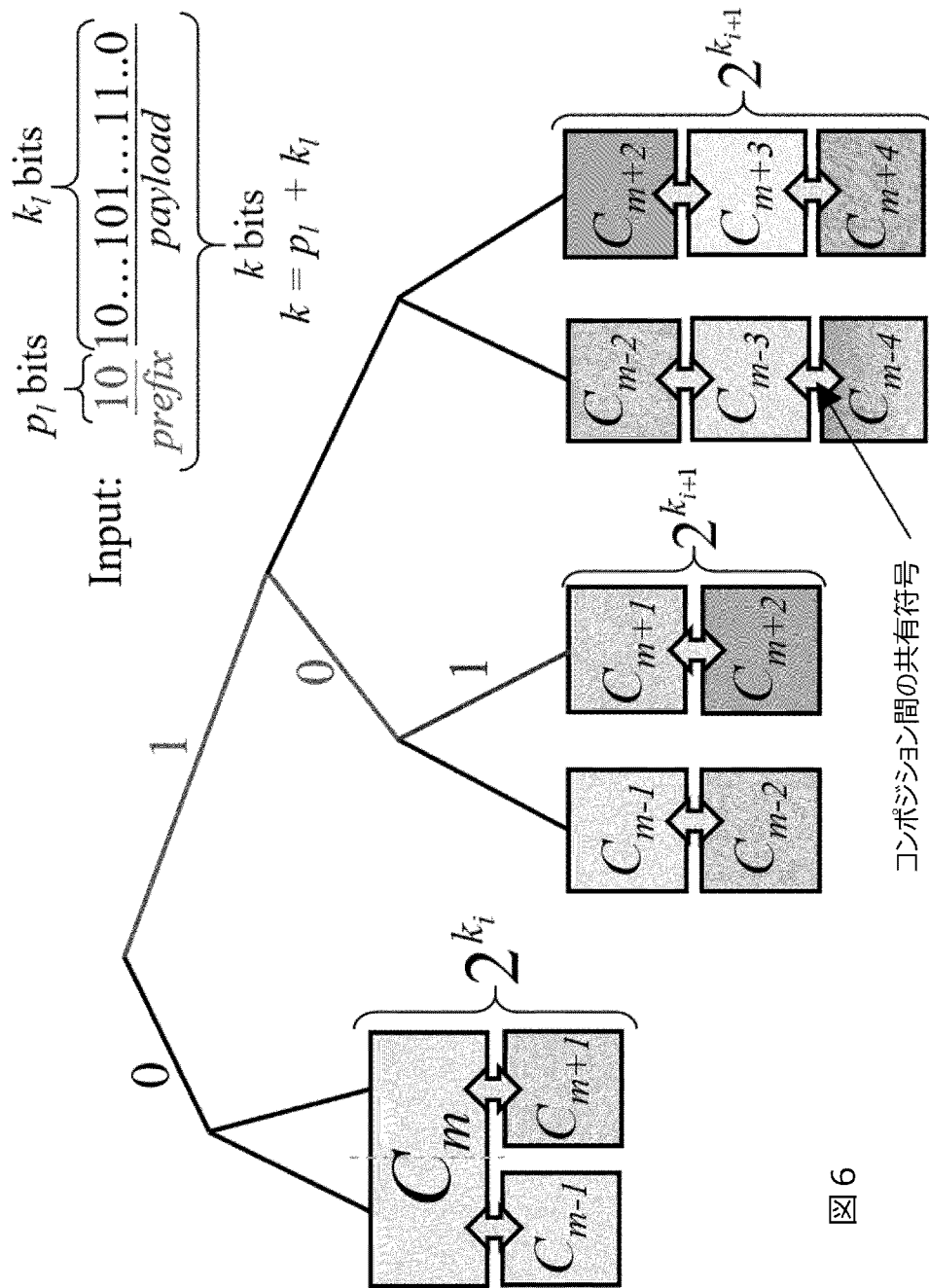
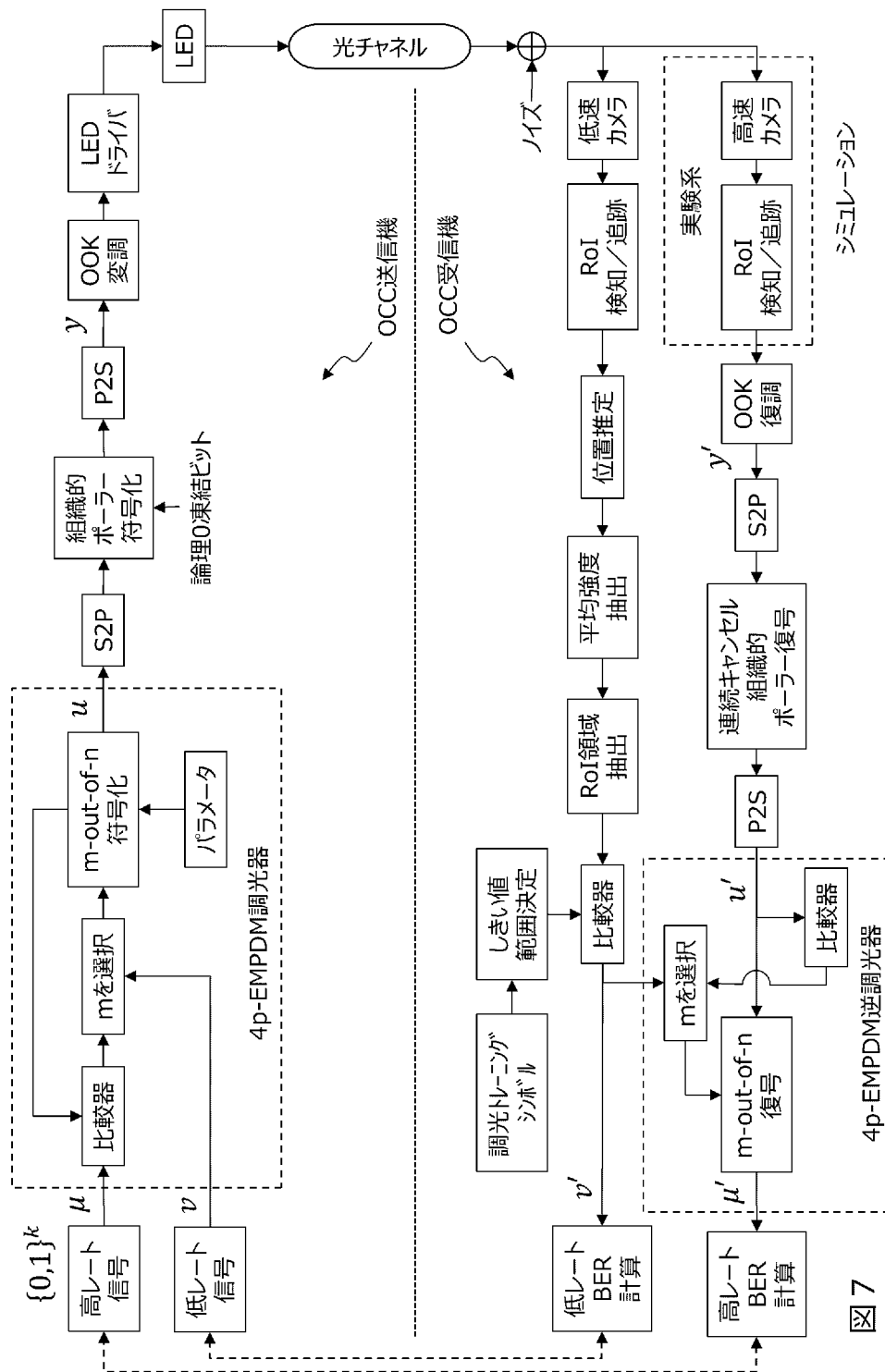
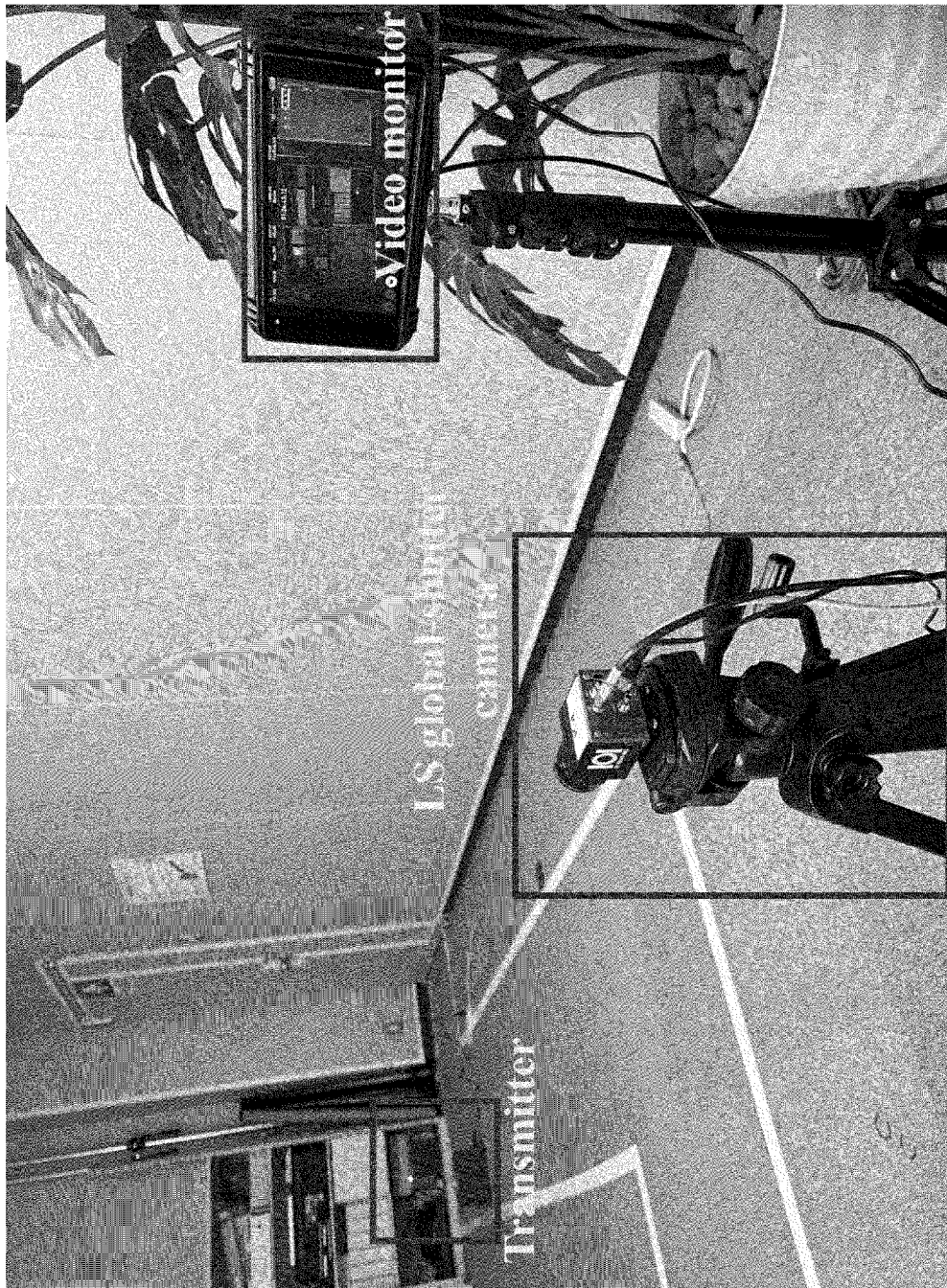


図 6

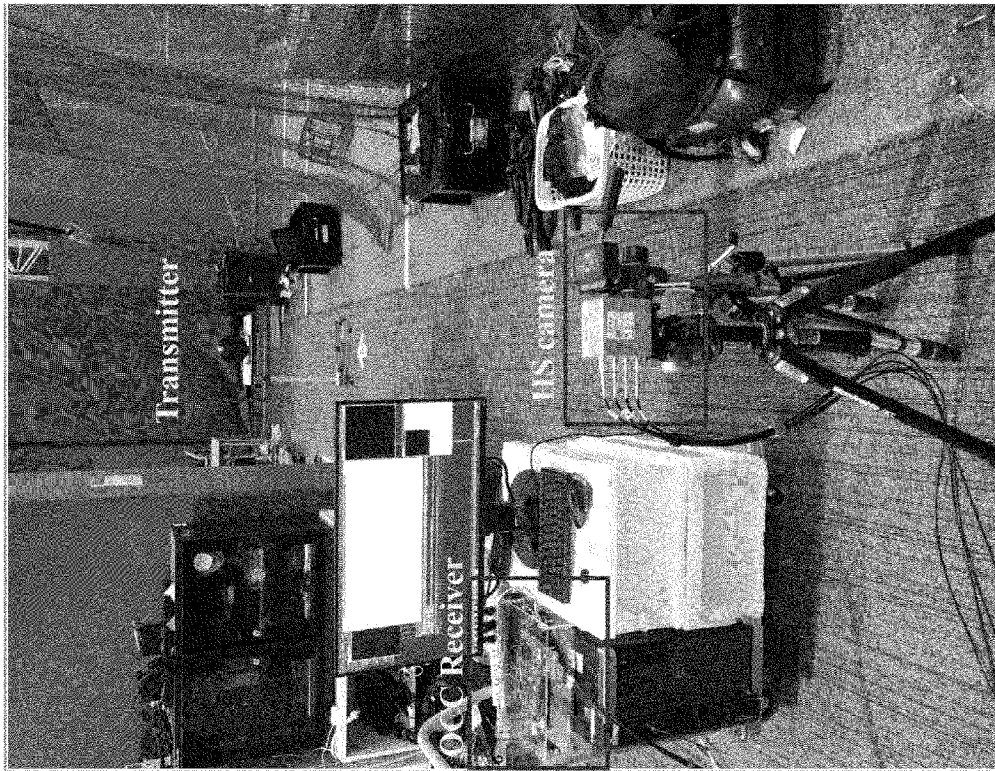
[図7]



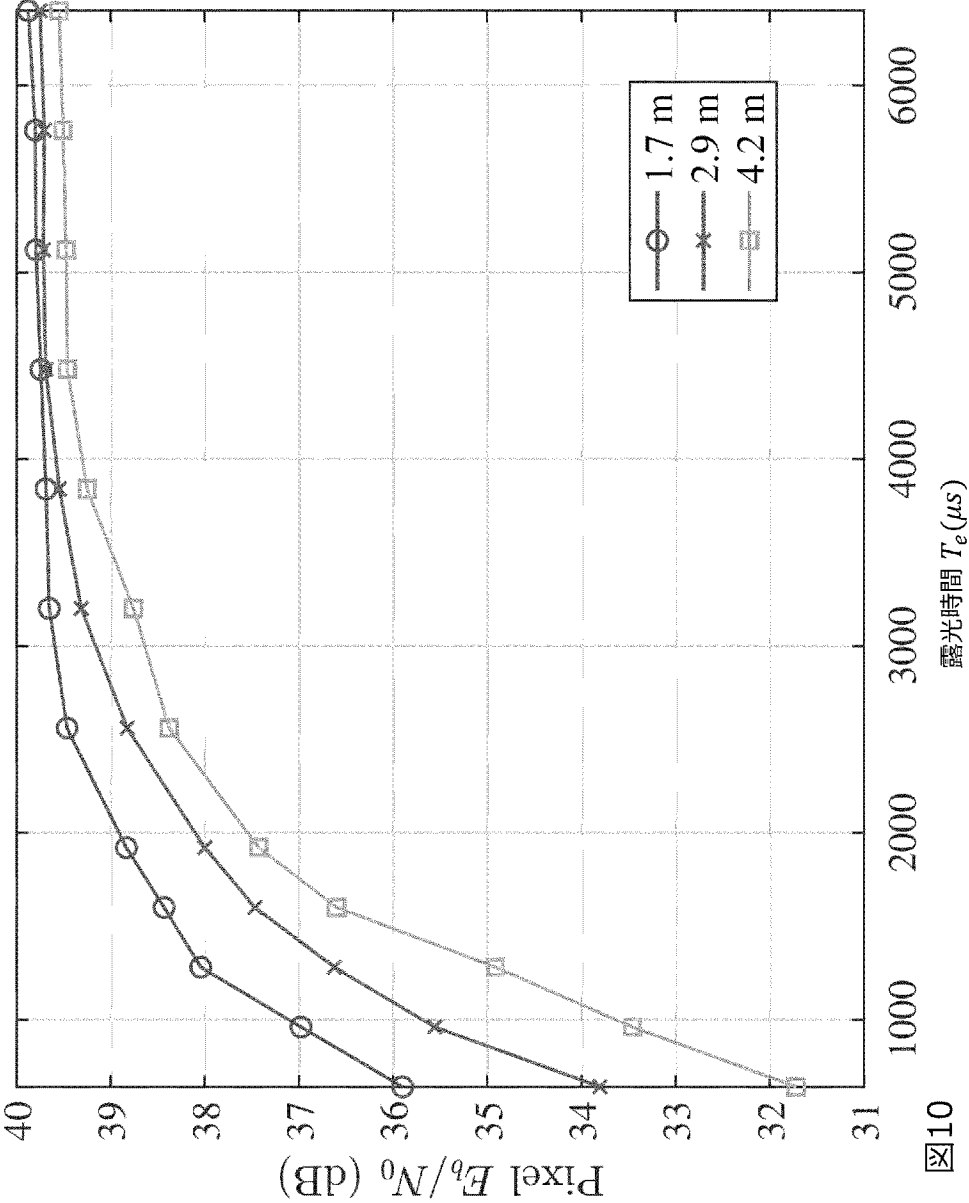
[図8]



[図9]



[図10]



[図11]

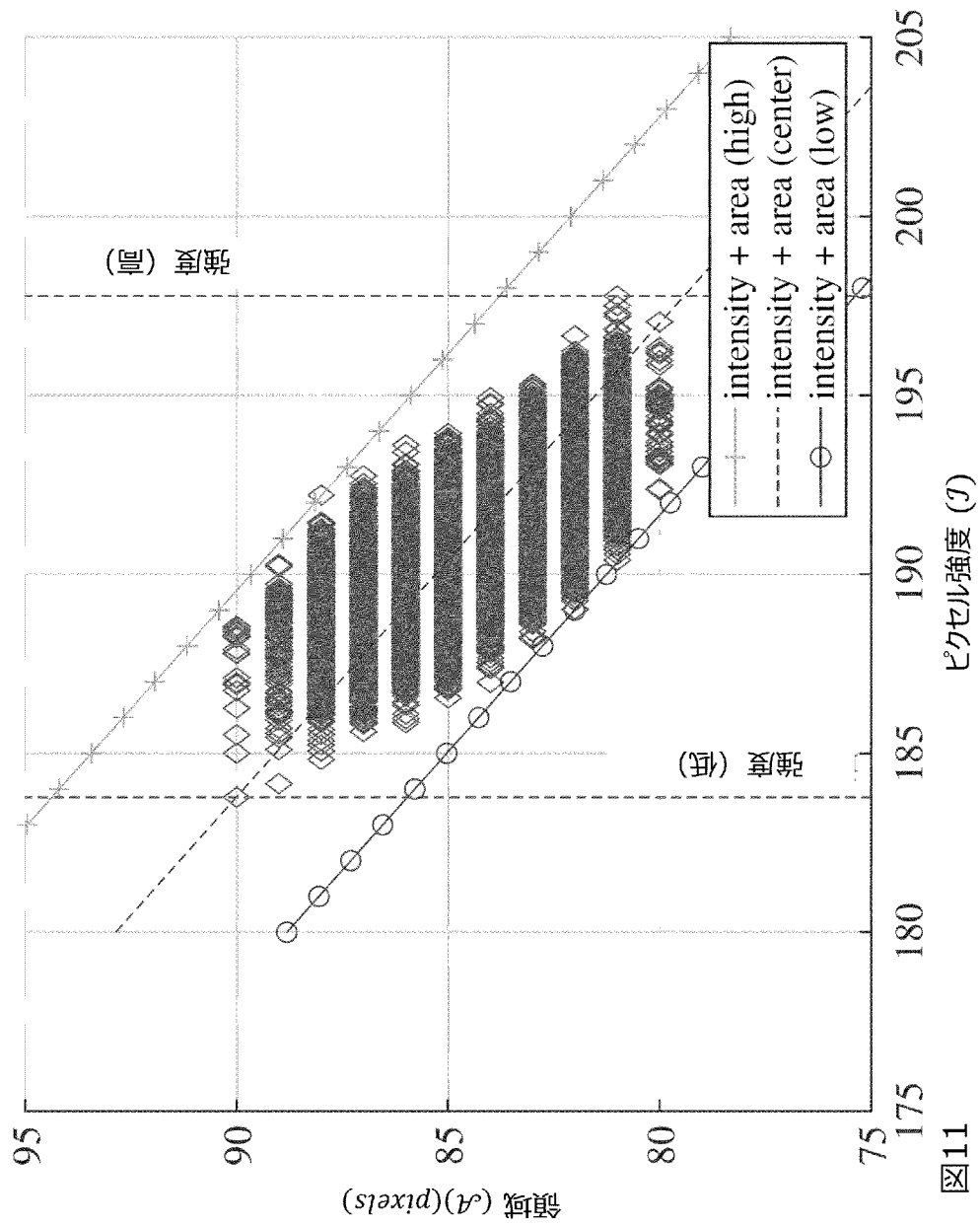


図11

[図12]

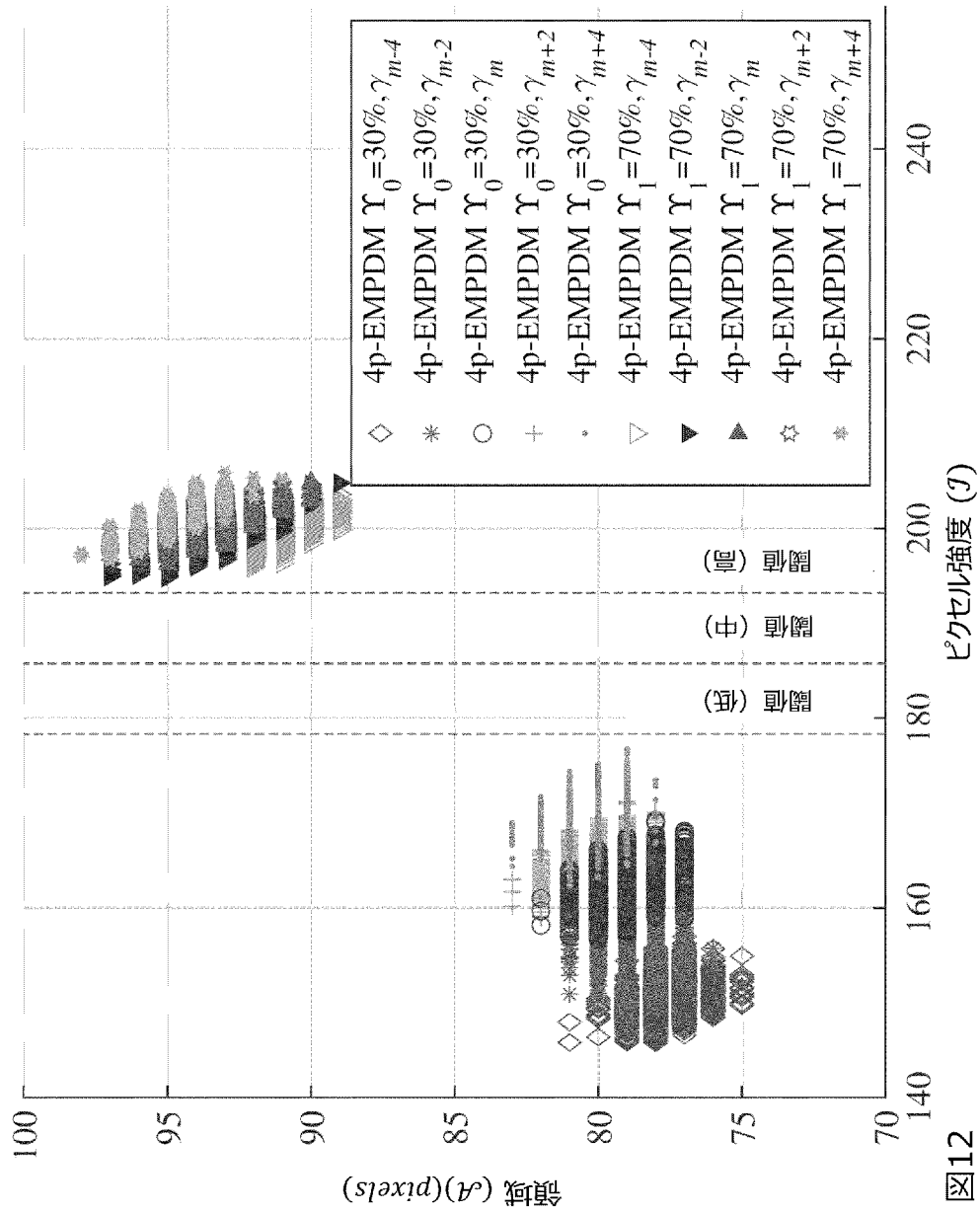


図12

[図13]

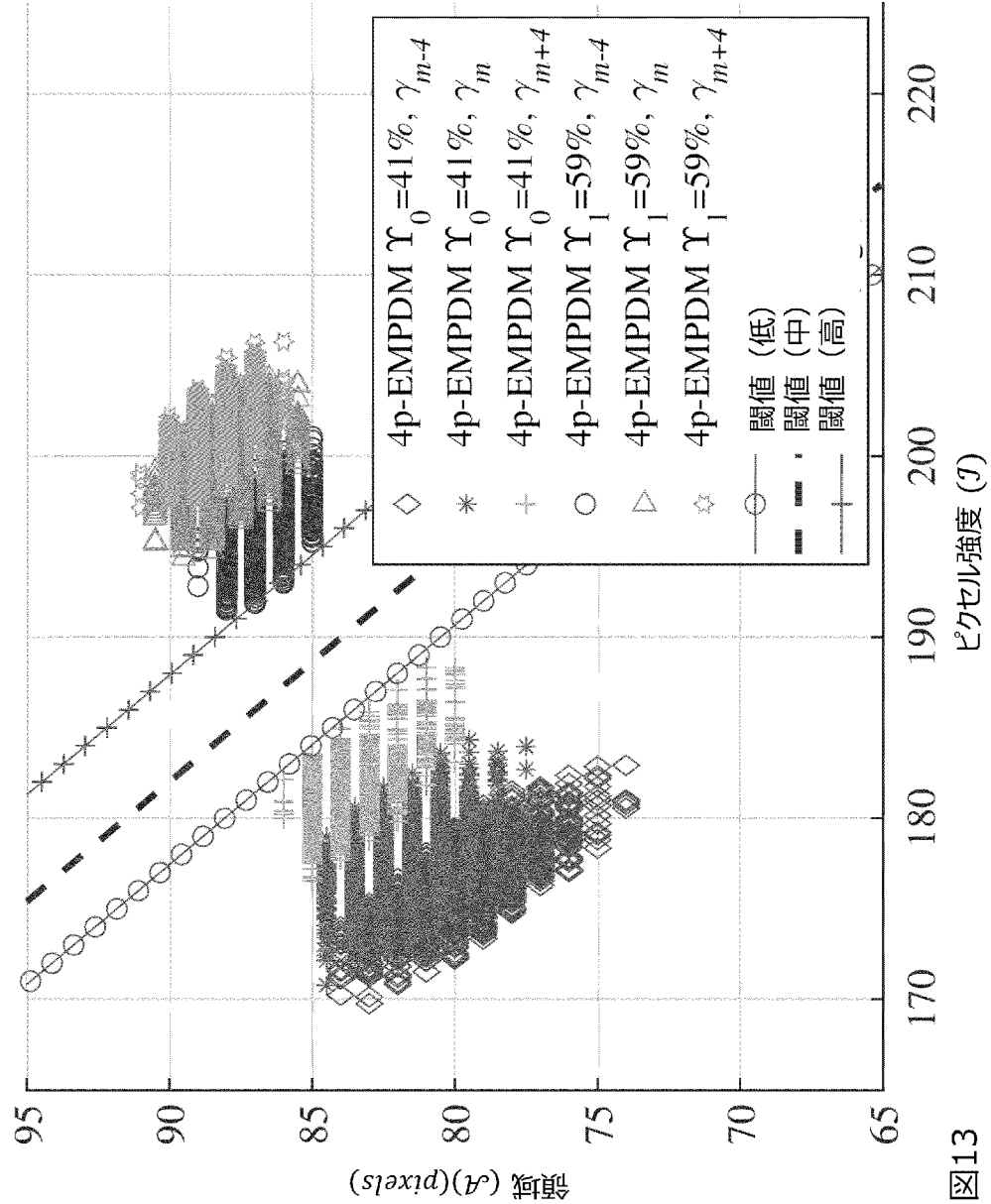


図13

[図14]

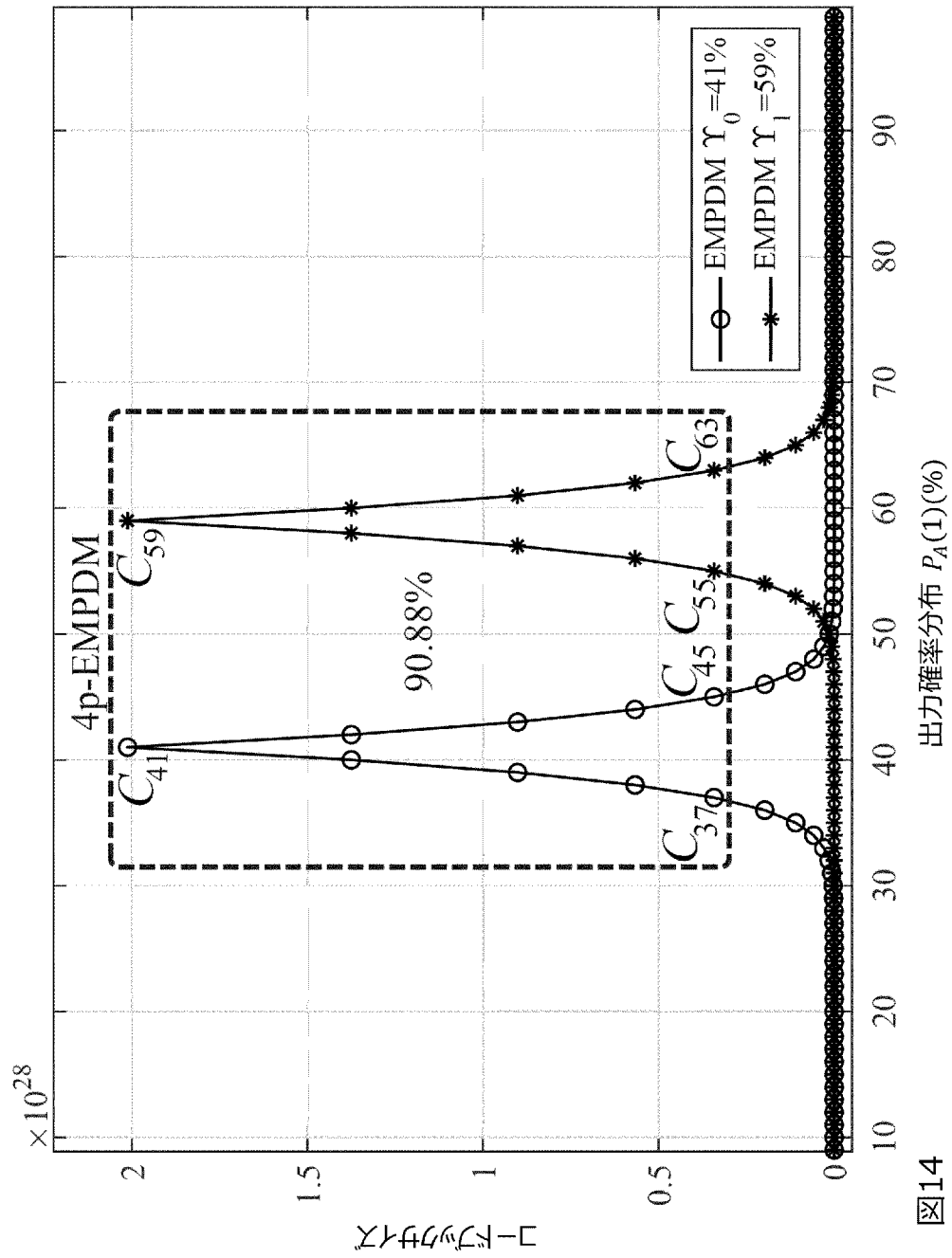
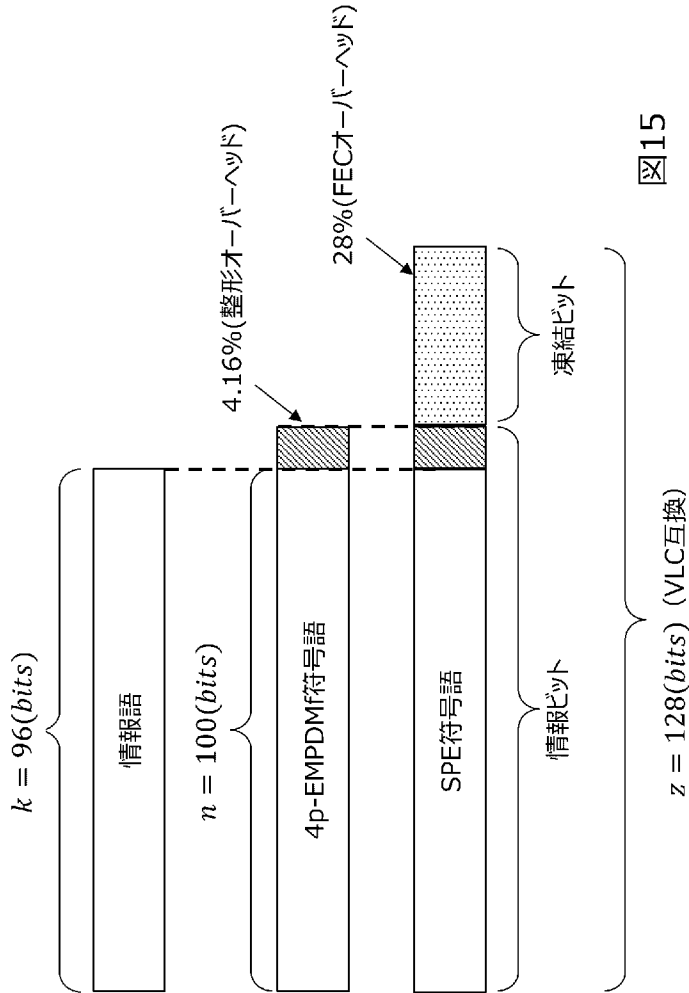


図14

[図15]



[図16]

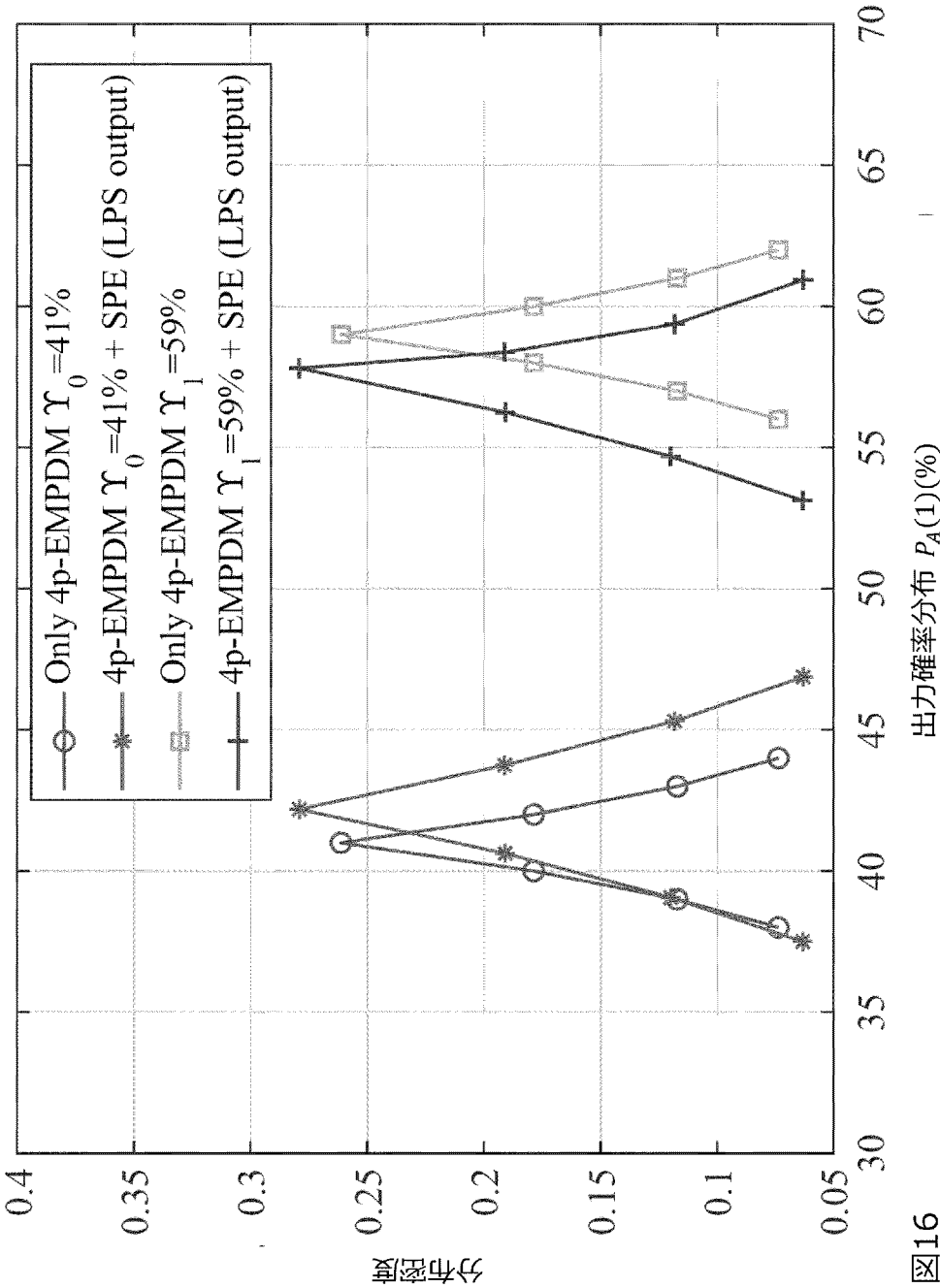


図16

[図17]

Table 1: 実験のセットアップ

パラメータ	送信機	情報/値
LED		
LEDドライバ	Cree XLamp White LED XMLEZW	
Txクロックレート	5V PWM調光コントローラー	
	10kHz	
低速カメラ型受信機		
撮影と蓄積	Atomos Shogun 7	
カメラ型式	Victoream 2KSDI-Mini	
イメージセンサ	Sony Pregius IMX265	
フレームレート	30 fps	
レンズ	LM12JC5MC	
焦点距離	12mm	
シャッター	Global	
露光時間	640 μ s – 6400 μ s	
距離	1.7m, 2.9m, 4.2m	
高速カメラ型受信機		
カメラ型式	Optronis CP80-3-M-540	
フレームレート	1000 fps	
露光時間	50 μ s	

図17

[図18]

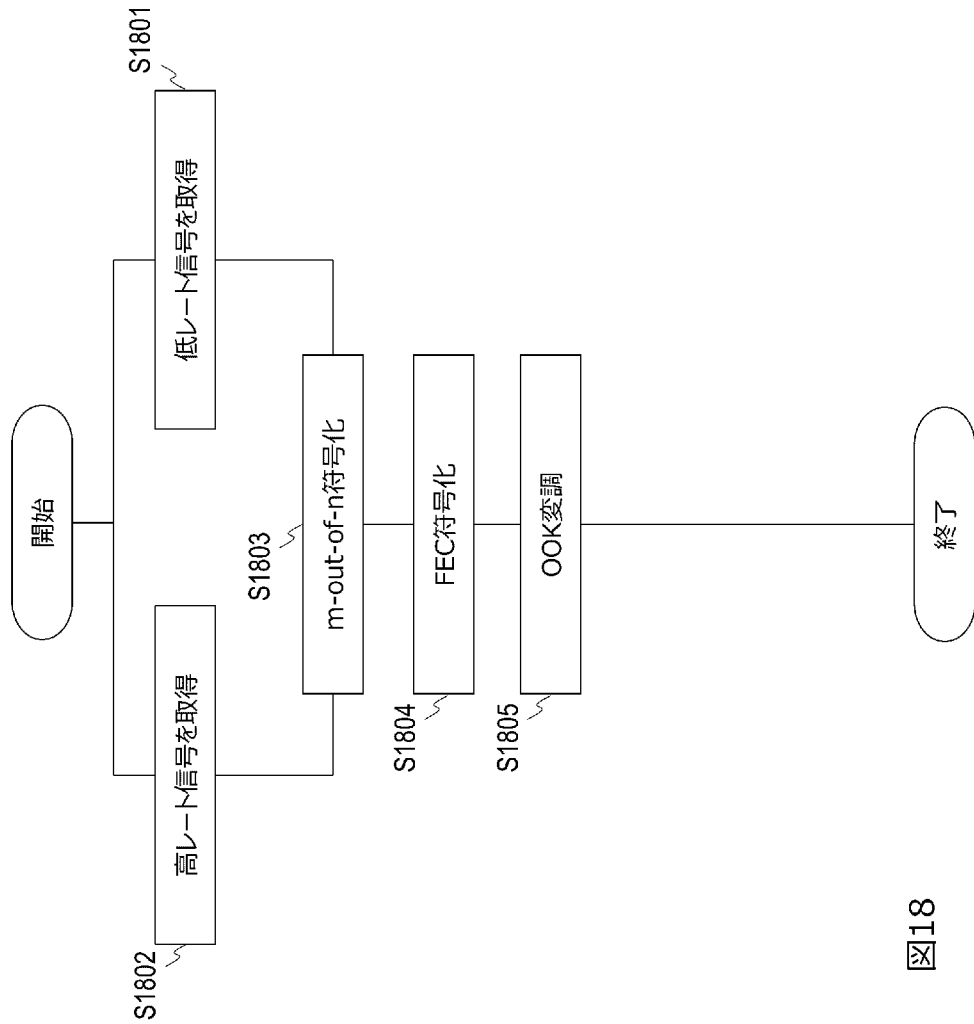


図18

[図19]

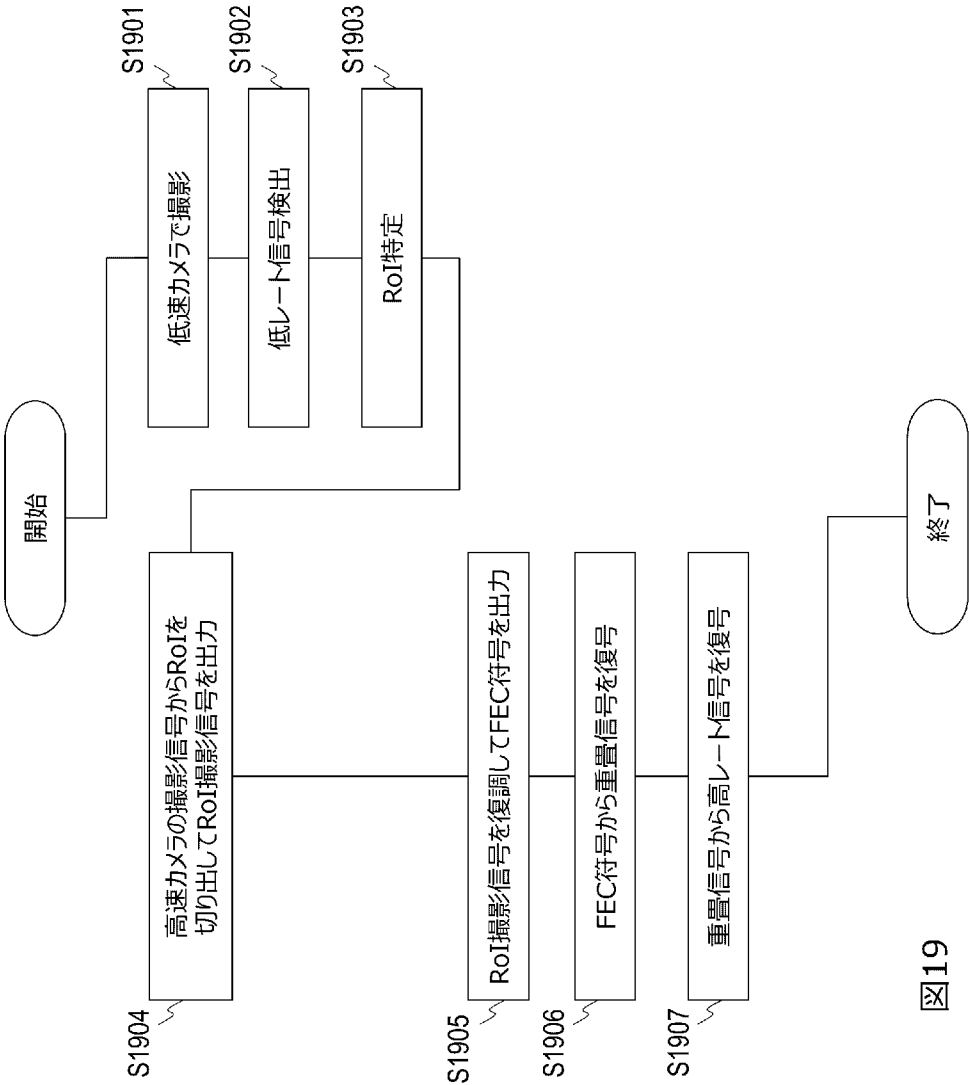


図19

[図20]

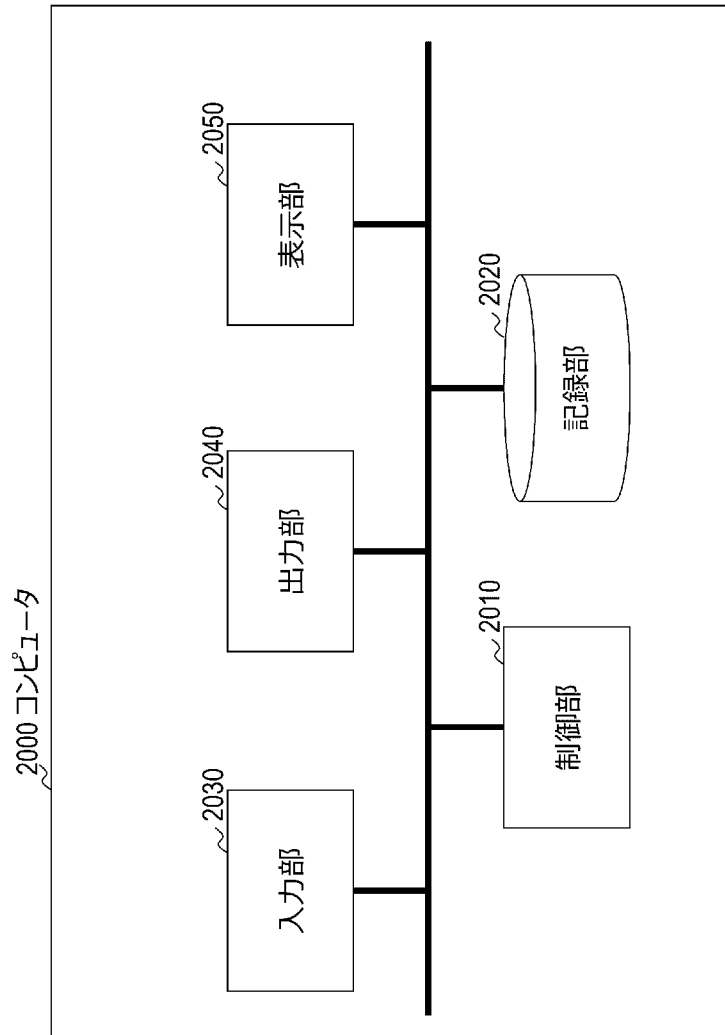


図20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/030127

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H04B 10/516**(2013.01)i; **H04B 10/114**(2013.01)i

FI: H04B10/516; H04B10/114

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B10/516; H04B10/114

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	NGUYEN, P. D. et al. Distribution Matching for Dimming Control in Visible-Light Region-of-Interest Signaling. PHOTONICS JOURNAL. February 2023, vol. 15, no. 1	2-4, 8
A	chapter II-IV, fig. 1, 6-9	1, 5-7, 9
A	NGUYEN, D. P. et al. A Probabilistic Shaping Approach for Optical Region-of-Interest Signaling. PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS. March 2022, vol. 34, no. 6, pp. 309-312 entire text, all drawings	1-9
A	THIEU, M. D. et al. Optical-RoI-Signaling for Vehicular Communications. IEEE Access. June 2019, vol. 7, pp. 69873-69891, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2019.2918338 entire text, all drawings	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 October 2023

Date of mailing of the international search report

14 November 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H04B 10/516(2013.01)i; H04B 10/114(2013.01)i FI: H04B10/516; H04B10/114										
B. 調査を行った分野										
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H04B10/516; H04B10/114										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年									
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X	NGUYEN, P. D. et al., Distribution Matching for Dimming Control in Visible-Light Region-of-Interest Signaling, PHOTONICS JOURNAL, 2023.02, VOL. 15, NO. 1	2-4, 8								
A	第II-IV章、図1、6-9	1, 5-7, 9								
A	NGUYEN, D. P. et al., A Probabilistic Shaping Approach for Optical Region-of-Interest Signaling, PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, 2022.03, VOL. 34, NO. 6, pages 309-312 全文, 全図	1-9								
A	THIEU, M. D. et al., Optical-ROI-Signaling for Vehicular Communications, IEEE Access, 2019.06, VOLUME 7, pages 69873-69891, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2019.2918338 全文, 全図	1-9								
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 30.10.2023		国際調査報告の発送日 14.11.2023								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 対馬 英明 5K 1211 電話番号 03-3581-1101 内線 3556								