

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：34406

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26730088

研究課題名(和文)ハイダイナミックレンジカメラを用いた既存の車載カメラシステムの高性能化

研究課題名(英文)In-vehicle camera system using high dynamic range camera

研究代表者

神納 貴生 (Jinno, Takao)

大阪工業大学・情報科学部・講師

研究者番号：10636070

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：明暗差の激しいシーンにおいても精度良く人検出するために、白飛び黒潰れしないHDRカメラを利用したシステム構築を目指して調査し、人の見えに沿ったシステムの有効性を示した。人の見えに関し、有彩色照明に対する人の色見え再現システムを構築した。これにより照明デザインが容易となる。イルミネーションのように照明の色が激しく変化する環境下において、安定的に物体を追跡するシステムを構築した。複数色の照明が照らす環境下で撮影された1枚の画像から照明色を安定的に推定するシステムを構築した。スマホにコードを表示してカメラに向けて動かすことで、コードとジェスチャ情報を読み取れるインタラクションシステムを実現した。

研究成果の概要(英文)：For human detection against high dynamic range scenes, we proposed the new system with HDR camera. It contributes to the development of in-vehicle camera technology. We proposed color reproduction system for vivid color LDR illuminants. It makes illumination design easier. We proposed robust object tracking system against illuminant color changes. Even in difficult situations (e.g. color illumination stage) it can robustly track objects. We proposed estimation of multiple illuminant colors using color lines of single image. It contributes to the development of computer vision field. We proposed interaction system which can read both code and gesture information. It can contribute to the realization of a new interaction system.

研究分野：画像処理

キーワード：ハイダイナミックレンジ画像 トーンマッピング 色見え再現 物体追跡 照明光推定 ビジュアルコード インタラクションシステム

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 人物や障害物の検出技術は、カメラのダイナミックレンジやビット長による制限を大きく受ける。ハイダイナミックレンジ(HDR)カメラを用いることで、これまで困難だった環境下での物体検出および物体識別のブレイクスルーを期待できる。

既存のシステムを活用する場合、HDR 動画像に対してダイナミックレンジ圧縮やビット削減を適用する必要がある。本稿ではそれらの処理をまとめてトーンマッピングと呼ぶ。

予備実験から、トーンマッピングにおいて、HDR 画像内の特徴を強調することで物体検出精度が従来画像を用いた結果に対して向上するシーンと反対に強調することで低下するシーンが存在することがわかった。そこで、シーンに対して適切なトーンマッピングについて分析する必要が生じた。

(2) LED カラー照明を利用した色彩演出が盛んである。近年は、ユーザが光源の色を自在に指定できる環境が提供されており、色彩演出の効果をモニターや紙面上で把握し設計に役立てるシステムが必要となる。

照明を含む高コントラストシーンに適する HDR 画像を用いた人の色見えの再現を目的とした手法として iCAM06 が提案されているが、高輝度かつ高彩色の光源が含まれる HDR 画像の場合には、光源やその周囲に色褪せが生じてしまう。

(3) レジャー施設や街なかのイルミネーションなど、色彩が激しく頻繁に変化するような環境下で撮影された画像では、色変化によって追跡対象やその周辺の色特徴が大きく変化するため、監視カメラなどで物体を追跡するのが困難になる。環境変化に頑健な物体追跡手法がこれまでに多数提案されているが、彩度の高い照明の色相が頻繁に変化する環境下における物体追跡はほとんど検討されていない。

(4) コンピュータビジョンの研究において、物体追跡や画像検索を始めとする色情報が重要な特徴量となる研究は多く、未知の照明特性を推定することは重要な課題とされてきた。照明色が推定できれば、色かぶりした画像のホワイトバランス調整や色の正規化が行え、多くの色情報を利用する手法の精度向上が期待できる。

照明色推定には様々なアプローチが取られてきたが、高彩度照明を対象とした研究は少なく、また複数色の照明に対してはほとんど研究されていない。複数照明の推定に動画を入力とした手法があるが、カラーLEDの普及に伴い、照明色が時々刻々と変化する演出も増加しており時間変化を考慮する必要性が高まっている。

(5) パターン化されたコードを介した画像センサ通信は既に様々な方式が提案されているが、動作を伴うインタラクションと組み合わせ、滑らかで連続的なインタラクションに適した手法は存在しない。

その理由には、コード自体を動かした場合に発生する複数のブレや残像の除去が困難であること、既存のコードのボケや手ぶれの除去手法も意図的に振られる手の速い動きには対応できないこと、複数のブレや残像が生じた撮影画像からの高精度かつ高速な情報読み取りに撮影デバイスの追加や改造などのアプローチが必要となることが挙げられる。

## 2. 研究の目的

(1) HDR 画像とトーンマッピングを用いた人検出の高性能化を目的とし、HDR 画像を用いた人検出の基礎フレームワークを構築する。また、トーンマッピングには様々な種類が存在し、それぞれで検出に用いる特徴量が変化して検出精度に影響するため、本研究では各トーンマッピングの検出精度の評価と問題点を調査する。

(2) 本研究は、有彩色照明を含むシーンで撮影された HDR 画像の光源色を含めた色情報を、人の視覚特性を考慮して LDR 画像上で表現することを目的とする。そのために、カラーアピランスモデルにおける局所順応輝度マップの生成方法を見直し、光源とその周囲の局所領域に注視した場合の色や明るさの変化を 1 枚の画像上に統合して表現する方法を提案する。

(3) 色彩が激しく頻繁に変化するような環境下において、同型異色の物体をロバストに追跡する手法の確立を目的とする。本研究では、画像中から推定した光源色を基に状況に応じて特徴量を使い分けることで、有彩色光源による色変化に対しても頑健な物体追跡を実現する。

(4) 本研究では、特性が未知の複数照明に照らされた 1 枚の画像から照明色を推定することを目的とする。1 枚の画像から照明環境を推定できれば、例えば、色彩豊かに演出されたイルミネーション付近で撮影する場合など、光源色が時間変化するシーン下でも有用であり、対象が動きを有するシーンなどの幅広い応用が可能となる。

(5) スマートフォンに表示されたコードを用いた直感的なジェスチャ操作を提供できる情報伝達機構の実現を目的とする。本研究では、送信機側システム(スマートフォンへのコード表示など)および受信機側システム(Web カメラの各フレームに対するコードの検出、読み取り、ジェスチャ認識など)を構築し、その有効性を検証する。

### 3. 研究の方法

(1) HDR 画像と従来画像のそれぞれに対する効果や精度を比較したいため、人検出用のデータセットを作成した。このデータセットは、適正露光とその $\pm 2$  段の露光画像のセットから成る。HDR 画像は三枚の露光画像を統合することで生成し、従来画像には適正露光画像を利用した。

このデータセットの従来画像のみで学習し、従来画像 (LDR)、大域処理のトーンマッピングを適用した画像 (GTM)、局所処理により詳細を強調するトーンマッピングを適用した画像 (LTM)、HDR 画像からカメラ撮影モデルを利用して生成した最適な露光画像 (VCM) に対する精度を比較した。

(2) 従来法 iCAM06 ①では、人の眼の順応でも対応できない高コントラストなシーンでは色褪せが生じる。そこで、順応状態を制御する局所順応輝度マップを制御することで、光源やその周囲の局所領域に注視した場合の色や明るさの変化を 1 枚の画像上に統合して表現できるよう拡張した。

また、色の再現性と明るさの分布の再現性の間にはトレードオフの関係があることが分析を通して分かったため、これらをユーザが調整できる機構も実現した。

人の見えを領域ごとに混在させるため、明確な主観評価基準の設定は困難である。本研究では、色彩の再現性を圧縮後の画素値と本来の色を保存した HDR 画像の画素値との色差で評価し、それと同時にハロや擬似輪郭、および勾配の反転などの好ましくないアーティファクトなどの影響を主観で評価した。

(3) 既存手法 Gray pixels ②は、1 枚の画像内から無彩色領域を検出し、照明色を推定できる。本研究では、Gray pixels により画像から推定した光源色を基に、色特徴量とエッジ特徴量の二つを状況に合わせて使い分けることで、有彩色光源による色変化に対しても頑健な物体追跡を実現する。

(4) 画像には、局所領域内の画素値を RGB 空間上にプロットすると直線を描くという Color line ③と呼ばれる特徴が存在する。局所領域内において物体色が変わらない場合に通常は 1 点に集中するが、照明の影響により分散し、その影響が直線状の分布として現れるというものである。

本研究では、この Color line (直線) が照明色を通るという仮定を基に、照明色を推定する。具体的には画像を局所領域ごとに分け、各領域で Color line を算出し、それらの交点を照明色とする。この仮定は予備実験により、一定の条件下で成り立つことが分かっている。

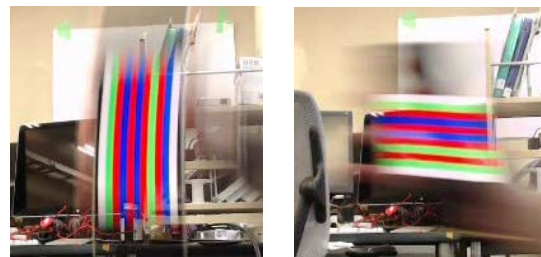
本研究では、従来の画像データセットでの性能評価とは別に、複数の有彩色光源下で撮影された画像データセットでも性能を評価

する。

(5) 縦幅の短い 2 次元コードを、動き方向に対して垂直に回転させて表示することで、残像による混色を防げる。またこのとき、残像は綺麗に伸びて流線状に写る。本研究では、これを流線コード (図 1) と呼び、スマートフォン (送信側) に表示するコードとして利用する。

読み取りは、スマートフォンをカメラと正対させながら上下左右に振って動かす (以後、手振り動作とする) ことで、コードに埋め込まれた情報と手振り動作の方向を同時に伝達する。

被験者や背景、伝達情報量などを変化させ、手振り動作の個人差やシステムを導入できる環境のリミテーション、安定に伝達可能な情報量を分析した。また、それらを基に本手法の有効性を検証した。



(a) 縦振り (b) 横振り

図 1 流線コード

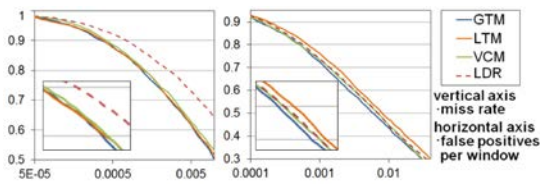
### 4. 研究成果

(1) HDR 画像と従来画像との性能を比較するために、双方に対応付けたデータセットを作成した。なお、このようなデータセットは、国内外で存在せず、データセット自体も有用である。

従来画像を用いてベーシックな HOG 特徴量を学習した分類器に対して、従来画像 (LDR)、大域処理と局所処理を切り替え可能な Reinhard らの手法により HDR 画像をトーンマッピングした画像 (大域: GTM) (局所: LTM)、カメラ撮影モデルにより HDR 画像から作成した最適な露光画像 (VCM) をそれぞれ入力にした人検出の精度を比較し分析した。

結果のデータ分布に違いが見られたため、夜間シーンと昼間シーンに分けてまとめた結果を図 2 に示す。分析の結果、夜間シーンにおいては人物の輪郭以外の情報が排除されやすく、むしろそれらの情報を強調しない方が精度は良くなることが分かった。一方で、昼間シーンを含め、白飛びや過露光領域では GTM の結果が最も良いことが分かった。本結果は、国際会議でも発表し、国際的にも評価されている。

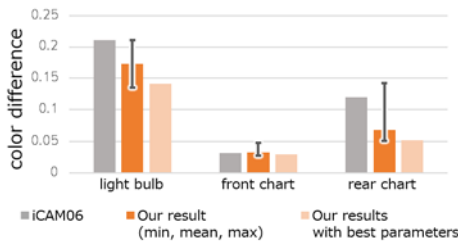
今後は、俯瞰画像だけでなく、実際に車載カメラ位置からの視点のデータセットを作成し、試す必要がある。



(a) 夜間シーン (b) 昼間シーン  
図2 人検出結果



(a) 赤色照明シーン



(b) 照明, 明部, 暗部での色差 (赤色照明)  
図3 実験シーンに対する性能評価



(a) iCAM06 (b) Reinhard2012



(c) Ours (d) Ours ( $\alpha=0.2$ )

図4 自然画像への適用結果

(2) 有彩色照明下のシーンで構成されたデータセットはこれまで国内外で存在しないため, 図3(a)に示すような実験シーンをHDR画像で撮影し, 分光放射輝度計で測定したデータセットを作成した.

提案法と従来法 iCAM06 との比較を図3(b)に示す. ただし, 紙面のスペース上, 赤色照明シーンに対するもののみ示す. 結果から, 特に照明部分や暗部といったこれまで色再現が困難であった領域において大きな改善が見られた.

自然画像に対する効果を分析するために, 様々なHDR画像データセットに対して適応した. 図4はその一例である. 提案法は高輝度領域の色を保持したまま暗部の見えを調整する機構が備えられていることが分かる.

本研究は, 和論文1本, 国際会議2本, 国

内学会2本で成果を報告しており, 国内外で高い評価を得ている.

今後は, 照明光分離手法などを取り入れ, より厳密な制御を実現するとともに, 材質によって調整可能にするなどの発展が考えられる.

(3) 照明色の色相が激しく変化するデータセットは存在しないため, 図5に示すように色相が激しく変化の中で同型異色の物体をお手玉する動画を照明の彩度を変えて複数撮影した.

実験では, いずれかの物体を指定し, 動画を通してどれだけ追跡できたかをパーセントで表し評価した. 比較したのは, 従来法としてHOG特徴量やCN特徴量を利用したもの(表1), 推定した照明色で色補正した従来法, 色補正しHOG特徴量とCN特徴量を組み合わせた提案手法(表2)である.

結果から, CN特徴量は照明の彩度が高い場合に物体追跡精度が極端に低下するが, 色補正の適用や提案手法のようにHOG特徴量と組み合わせることで精度低下を抑え, ロバストに物体を追跡できることが分かる.

今後は, より高彩度のシーンに対する高精度化や追跡物体色と照明色の関係を利用した高精度化などが考えられる.



図5 物体追跡シーン例

表1 従来法の実験結果 (照明色彩度別)

彩度	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	平均
HOG	53%	88%	74%	75%	46%	67%
CN	99%	100%	83%	56%	24%	72%

表2 色補正結果と提案法 (照明色彩度別)

彩度	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	平均
HOG	59%	78%	60%	62%	60%	64%
CN	100%	96%	98%	79%	38%	82%
提案法	99%	99%	99%	91%	42%	86%

(4) これまで1枚の画像から複数の光源色を推定する手法は国内外でほとんど存在しない. 著者等が知る限り, Gray pixelsのみである. そのため, 本研究の意義は大きい.

まず, 提案法の有効性を示すため, 従来の単色照明に対するデータセットに対して照明色推定し, 色差(角度誤差)により評価した(表3). 提案手法は既存手法の中でも高精度を実現できていることが分かる.

複数色の照明下で撮影されたデータセットは国内外にあまり存在しないため, 当てる照明の色の組み合わせや撮影する物体の材



質などを変えてデータセットを作成した。

作成したデータセットに対して、照明色推定を適用した結果が表 4 となる。唯一の従来法である Gray pixels に対してすべての指標で勝っていることが分かった。本手法は、1枚の画像からロバストに照明色推定できるため、照明光分離やロボットビジョンの分野において大きなブレイクスルーを生み出すと考えられる。

今後の課題としては、高速化、照明光推定への発展、照明光分離手法との組み合わせなどが挙げられる。

表 3 単色照明に対する色差 (角度誤差)

	mean	median	trimean	max
Gray World	6.80	5.45	5.77	31.23
White Patch	4.78	3.19	3.53	26.83
SoG	4.03	2.88	3.19	23.55
1st GE	4.39	3.00	3.28	26.87
2nd GE	4.36	3.00	3.21	26.47
Gray pixels	3.96	2.78	2.92	25.68
Ours	3.76	2.82	3.04	24.48

表 4 複数色照明に対する色差 (角度誤差)

	mean	median	trimean	max
Gray pixels	14.52	13.18	13.55	35.75
Ours	12.37	11.86	11.90	30.62

(5) これまでビジュアルコード自体を素早く動かし、コードの読み取りとジェスチャ認識を同時に行うシステムは、ほとんど提案されていない。本システムは、例えば、ユーザごとにそれぞれジェスチャ認識できるシステムなどインタラクションシステムとしての利用が期待できる。

本研究では、Web カメラとコードとの距離 (撮影距離)、伝達情報量の限界について、また背景や外環境による影響などについても調査した。

結果をまとめると、本システムでは撮影距離は 30-90cm 程度、伝達情報量は 7-15bit 程度、上下左右の 4 方向のジェスチャであれば 15fps でおおよそ 90%以上の精度で読み取りが可能だと言うことが分かった。当時最新の既存手法④では、3bit 程度の情報を 11fps で送信して 93%程度の精度であるため、本システムが世界的に見て有用であることが分かる。

今後は、識別するジェスチャをより複雑なものに替えていくことが考えられる。本手法はコードの残像を読み取るため、サブフレーム精度でジェスチャを認識できる可能性を秘めている。

<引用文献>

- ① J. Kuang, G.M. Jhonson, M.D. Fairchild, "iCAM06: A refined image appearance model for HDR image rendering," Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol.18, Issue.5, pp.406-414, Oct. 2007.
- ② K.F. Yang, S.B. Gao, & Y. J. Li, "Efficient Illuminant Estimation for Color Constancy Using Grey Pixels," The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 2254-2263, 2015.
- ③ I. Omer, & M. Werman, "Color lines: image specific color representation," IEEE CVPR, Jun. 2014.
- ④ L. Calvet, P. Gurdjos, C. Griwodz, & S. Gasparini, "Detection and Accurate Localization of Circular Fiducials Under Highly Challenging Conditions," IEEE CVPR, pp.562-570, Jun. 2016.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 久保雄登, 神納貴生, 栗山繁, "有彩色照明シーンの色情報を考慮したダイナミックレンジ圧縮," IEICE 信学論 (D), 査読有, Vol. J100-D, No. 3, pp.394-403, Mar. 2017.
- ② 増田翔平, 神納貴生, 栗山繁, "流線コード: カラーパターンに残像を用いた情報伝達," IEICE 信学論 (D), 査読有, Vol. J100-D, No. 2, pp.142-149, Feb. 2017.
- ③ S. Kumuro, S. Kuriyama, & T. Jinno, "Mimetic Code Using Successive Additive Color Mixture," IEICE Trans. Inf. & Syst., 査読有, Vol. E98-D, No. 1, pp.98-102, Jan. 2015.
- ④ 松岡諒, 神納貴生, 奥田正浩, "HDR 画像生成のためのノイズの低減を考慮した多重露光画像統合法," IEICE 信学論 (A), 査読有, Vol. J97-A, No. 3, pp.209-220, Mar. 2014.

[学会発表] (計 7 件)

- ① 内海友輔, 神納貴生, 栗山繁, "Colorlines に基づく単画像からの光源推定," 電子情報通信学会 SIP シンポジウム, Nov. 2017.

- ② Y.Uchimi, T.Jinno, & S.Kuriyama, “Estimation of multiple illuminant colors using color lines of single image,” International Conference on Advanced Informatics, Concepts, Theory, and Applications (ICAICTA), 査読有, Aug. 2017.
- ③ Y.Kubo, T.Jinno, & S.Kuriyama, “Color restoration of lighting scenes with locally adapted HDR images,” IEEE ICAICTA 2015, 査読有, Aug. 2015.
- ④ T.Miyoshi, T.Jinno, & S.Kuriyama, “Human Detection using HDR Images,” The International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2015, 査読有, Jun. 2015.
- ⑤ Y.Kubo, T.Jinno, & S.Kuriyama, “Image reproduction for vivid colored lighting scenes,” Association Internationale de la Couleur (AIC) 2015, 査読有, May. 2015.
- ⑥ 久保雄登, 神納貴生, 栗山繁, “カラー照明による色彩演出の色印象再現,” 照明学会 ヤングウェーブフォーラム, Mar. 2015.
- ⑦ 久保雄登, 神納貴生, 栗山繁, “局所順応に基づくカラー照明下シーンの色見え再現,” Visual Computing/グラフィクスとCAD 合同シンポジウム, Jun. 2014.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

[http://research-db.oit.ac.jp/html/100001078\\_ja.html](http://research-db.oit.ac.jp/html/100001078_ja.html)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

神納 貴生 (JINNO, Takao)

大阪工業大学・情報科学部・講師

研究者番号 : 10636070