

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：34406

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18080

研究課題名（和文）複数の有彩色照明下におけるカラーラインを用いた照明推定

研究課題名（英文）Illuminant Estimation Under Multiple Colored Lighting Using Color Lines

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） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：複数の有彩色照明下のシーンに対する単一画像のみを用いた色恒常性の再現を目的とし、カラーラインを用いた照明色推定および推定した照明色を用いた被照明色マップの推定、照明光分離のフレームワークなどを提案し、有効性を示した。本研究成果は、コンピュータビジョンやCGの分野に対して大きく貢献するものである。

不鮮明なX線画像を用いた非破壊検査に有効な可視化システムを構築した。このシステムでは可視化する対象をユーザが選択できるため、発見しづらい微弱な特徴や未知の特徴を捉えることができる。本研究成果は、X線を用いた非破壊検査や医用画像診断に対して大きく貢献するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複数の有彩色照明下のシーンに対し、単一の画像のみで色恒常性再現を実現する手法は、ほとんど提案されていない。本研究成果は、コンピュータビジョンのロバスト性向上に資する内容であり、社会的意義が大きい。また、これまでの灰色仮説に基づくアプローチと全く異なるカラーラインを用いた推定手法は、既存手法との組み合わせによる精度向上も望め、学術的にも意義がある。

X線を用いた非破壊検査は日常的な点検作業に有用であり、その作業時間短縮および精度向上可能な本研究成果は大きな社会的意義を持つ。また、ユーザが選択的に可視化対象を選択できることで、対象を限定せず未知の特徴の検出にも利用でき、学術的な意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：We have proposed and demonstrated the effectiveness of a framework for estimating illumination color using color lines, estimating illuminated color maps using the estimated illumination color, and intrinsic image decomposition. The results of our research will make a significant contribution to the fields of computer vision and computer graphics. We have proposed A visualization system effective for nondestructive inspection for faint X-ray images. The system allows the user to select the target of visualization, and thus can capture faint or unknown features that are difficult to detect. The results of this research will a significant contribute to nondestructive inspection and medical imaging using X-rays.

研究分野：画像処理

キーワード：カラーライン 照明色推定 照明光分離 有彩色照明 可視化 X線画像 非破壊検査 CNN

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) 照明色推定

有彩色照明下のシーンに対する色恒常性再現はロボットビジョンにおいて重要となり、その前段階として照明色推定が提案されていた。これまで複数の有彩色照明下のシーンに対して、一枚の画像から照明色を推定できる手法は少なかった。また、提案されている手法は灰色仮説に基づく画像の平均を利用したアプローチが多いため、既存手法の組み合わせによる精度向上が困難であった。

予備実験から、局所領域内の画素値が RGB 空間中に描くカラーラインの交点はそのシーンの照明色と一致する仮説が得られた。カラーラインは、反射率の等しい領域内において本来一点に集中すべき画素値分布が、照明の影響で広がることで直線を形成する。カラーラインは照明成分の影響で形成されるため、この直線上に照明色が存在するのではないかという発想が、この仮説のベースとなっている。

カラーラインを用いた照明色推定は、既存の灰色仮説に基づくアプローチと異なるため、組み合わせることで照明色推定精度の向上が見込めると考えた。また、カラーラインを用いた照明色推定を、深層学習へ組み込むことも視野に入れ、特性を分析すべきであると考えた。

#### (2) 照明光分離

陰影を含む照明光成分を分離して反射率成分を抽出することは、シミュレーションやリライティング、ロボットビジョンなどで利用できる。既存の有彩色照明が照らす複雑な環境下での照明光分離では入力画像の他に補助情報が必要となる。動画像などへの適用を考えると、単一の入力画像のみから照明光分離を実現できる手法が望まれると考えた。

#### (3) X線画像の可視化

工業製品の非破壊検査に X 線画像が利用されているが、金属で覆われている場合は低コントラストで不鮮明な画像となり熟練工でも検査が困難であったため、高ダイナミックレンジの X 線画像に対して有効な可視化が望まれていた。また、X 線フィルムにはノイズや検査に不要な部品などが写りこんでいるため、検査対象のみを可視化できるのが望ましい。著者らが調査する限り、これまで提案されている手法には対象を限定した専用の可視化が多く、高ダイナミックレンジの X 線画像に対して有効かつ対象に合わせて調整可能な可視化は提案されていなかった。

### 2. 研究の目的

#### (1) 照明色推定

複数の有彩色照明に照らされたシーンにおいて、単一の画像から照明色を推定することを目的とし、カラーラインを用いた新たなアプローチを確立する。また、特性の異なる既存手法と組み合わせることで精度向上、複数の有彩色照明下での色恒常性再現を目的とした画像内の各画素に対する被照明色の推定、深層学習への応用を目的とした特徴分析についても検討する。

#### (2) 照明光分離

複雑な照明環境下のシーンに対する単一の画像からの照明光分離を目的とし、入力画像のみから算出した補助情報を用いて照明構成成分を推定し、照明光分離を実現するフレームワークを構築する。

#### (3) X線画像の可視化

不鮮明な X 線画像からユーザが望む情報のみを可視化することを目的とし、画像内の特徴を選択的に可視化できるフレームワークを構築する。本研究では、画像内の周波数に着目して特徴を選別する。空間的な選別をしないため、意図しない領域においても対象として定めた特徴を検出できる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 照明色推定

スーパーピクセルにより分割した局所領域ごとにカラーラインを算出して交点を求め、照明数分のクラスにクラスタリングし、各クラスにおいて最も交点数の多い RGB 空間中のボクセルの中心を照明色とした。クラスタリングには多様体学習を利用した K-means を利用した。既存の単色のデータセットと作成した 2 色のデータセットに対して適用し精度を確認した。作成した CG による 2 色のデータセットは、図 1 に示すとおり、中央に置いた被写体を左右の有彩色照明が照らすように撮影し、左右に置かれたカラーチャートの無彩色領域の色を正解の照明色とした。

また、各画素の被照明色を格納した被照明色マップは、照明色推定後、各局所領域のカラーラインと照明色の距離に応じてその場を照らしている可能性の高い照明色を割り当てることで推

定する．深層学習への応用では， $16 \times 16$  に分割した各ブロック内の RGB 平均とカラーラインの方向ベクトルを入力とする CNN により，単色または 2 色の照明色を推定するフレームワークを構築した．



図 1 CG 画像データセット．上段は入力画像，下段は上段の画像の照明光成分である．

### (2) 照明光分離

単一の画像から，疎な被照明色マップと深度マップ，照度マップを推定し，それらを組み合わせることで照明光成分を推定し，原画像から取り除くことで反射率成分を抽出した．疎な被照明色マップの推定は GrayPixels または (1) の提案手法を用い，深度マップは Boosting monocular depth estimation により推定し，照度マップは Max-RGB とそれを拡張した LIME 内の照度推定手法の結果を組み合わせることで推定した．また，深度マップの構造情報に基づき疎な被照明色マップの色を伸ばし，推定した照度と合わせることで照明光成分を算出した．

### (3) X 線画像の可視化

X 線画像を周波数帯域ごとに分解し，可視化したい対象の周波数特性に合わせて強調することで，可視化を実現した．また，画像内の特定領域を指定することで，その領域内の周波数特性を基に画像の可視化を強調または抑制する仕組みを構築した．ユーザは強調したい特徴のある領域を強調サンプル領域として指定し，抑制したいノイズのある領域を抑制サンプル領域として指定することで，可視化したい対象のみを強調できる．

## 4. 研究成果

### (1) 照明色推定

単色照明に対する精度を比較したものを表 1 に，2 色の照明に対する精度を比較したものを表 2 に示す．なお，精度は RGB 空間中の角度誤差で評価している．カラーラインを用いた照明色推定である Ours(Isomap+kmeans)では，深層学習を利用しない手法の中では精度が高いことが読み取れる．また，CNN にカラーライン特徴を取り入れた Ours(CNN)は，単色照明においては既存手法に負けているが，複数色照明に対応しており，高い精度で照明色が推定できていることが分かる．それぞれ，いくつかの国際会議や英語論文誌にて発表しており，国際的に認められている．

表 1 単色照明に対する照明色推定精度の比較．Best25 と Worst25 は，それぞれ上位 25%，下位 25%の平均である．

Method	Mean	Median	Trimean	Best25	Worst25
Shades of Gray	4.03	2.88	3.19	0.70	9.27
Gray Pixels	4.11	2.73	2.94	<b>0.64</b>	10.02
CNN	<b>2.83</b>	<b>2.02</b>	<b>2.26</b>	<u>0.67</u>	<b>6.33</b>
<b>Ours(Isomap+kmeans)</b>	3.76	2.82	3.04	0.94	8.09
<b>Ours(CNN)</b>	<u>3.33</u>	<u>2.31</u>	<u>2.57</u>	0.85	<u>7.55</u>

表 2 複数色照明 (2 色) に対する照明色推定精度の比較 Best25 と Worst25 は，それぞれ上位 25%，下位 25%の平均である．

Method	Mean	Median	Trimean	Best25	Worst25
Gray Pixels	13.50	12.79	13.01	6.37	21.81
<b>Ours(Isomap+kmeans)</b>	12.37	11.86	11.90	6.24	19.89
<b>Ours(CNN)</b>	<b>6.16</b>	<b>5.56</b>	<b>5.76</b>	<b>2.89</b>	<b>10.31</b>

### (2) 照明光分離

照明光分離の結果を図 2 に示す．現時点では，照度推定精度が低い．陰影を推定後，分離後に最も画像の微分値が平坦化するよう最適化するなどの改善が必要であると考えられる．本手法はシーン内の照明状態をある程度再現できており，アルゴリズムを煮詰めることで，より有用な照明光分離手法へ発展すると考える．本研究成果は，国際会議 EUSIPCO2022 にて発表予定である．

り，国際的に認められている．

また，Blender により作成したシミュレーション画像で構成されるデータセットは，これまでにないデータセットであり，今後，本分野において精度検証する際に有用である．

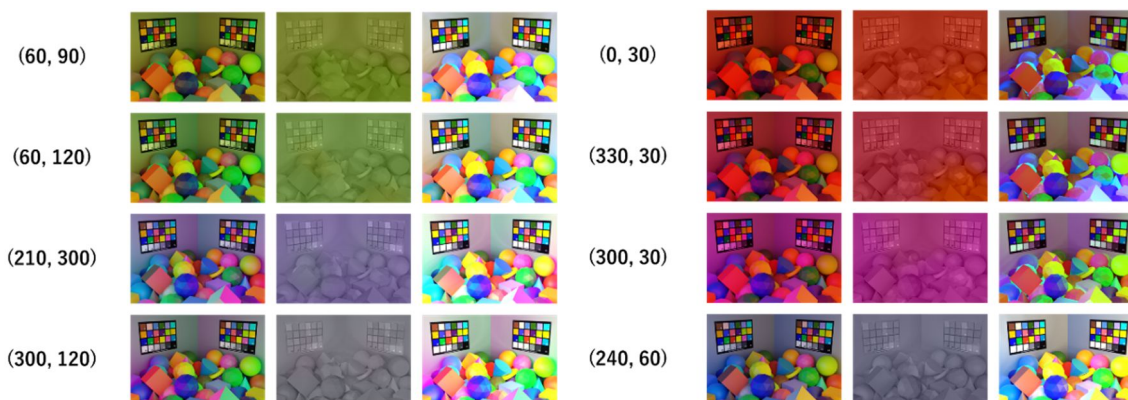


図 2 照明光分離の結果例．左から左右から照らす照明色の色相，入力画像，推定した照明光成分，分離した反射率成分である．

### (3) X 線画像の可視化

X 線画像の可視化効果について，図 2 に示す．比較として一般的によく用いられる可視化手法である CLAHE の結果も載せている．提案手法では，X 線画像内の微弱で不鮮明な特徴を可視化できていることがわかる．また，選択的可視化では，不鮮明な特徴を可視化した上で，検査に不要なノイズを抑制できていることがわかる．

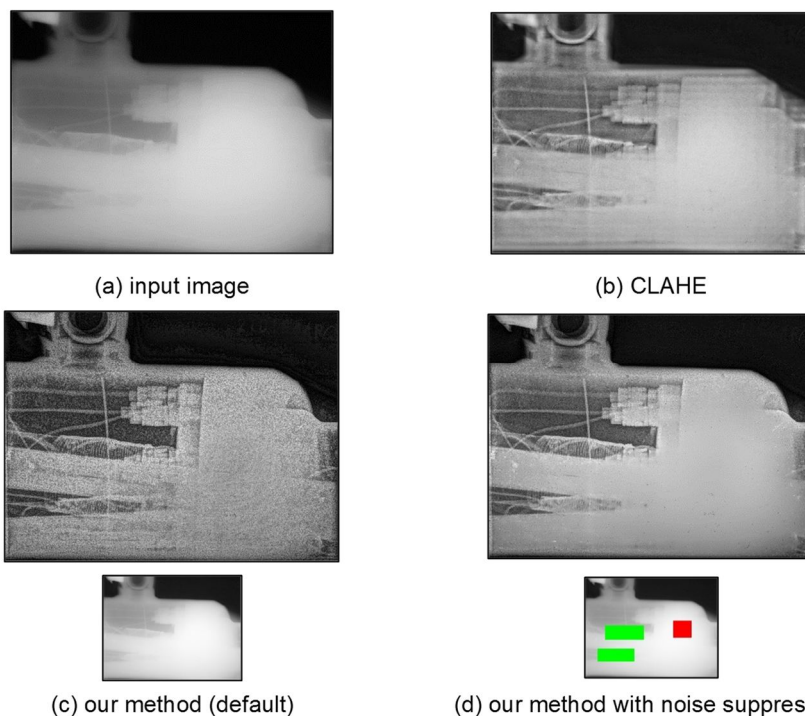


図 3 X 線画像の可視化および選択的可視化の効果．(d)が選択的可視化の結果であり，下図の緑の領域が強調対象，赤の領域が抑制対象の領域を表している．

### < 引用文献 >

Z. Li and J. Chen, "Superpixel segmentation using linear spectral clustering," in Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol.07-12-June-2015, pp.1356-1363, 2015.

J. B. Tenenbaum, V. De Silva, and J. C. Langford, "A global geometric framework for non-linear dimensionality reduction," science, vol. 290, no. 5500, pp. 2319-2323, 2000.

K. F. Yang, S. B. Gao, and Y. J. Li, "Efficient illuminant estimation for color constancy using grey pixels," CVPR, 2015.

S. M. H. Miangoleh, S. Dille, L. Mai, S. Paris, and Y. Aksoy, "Boosting monocular depth estimation models to high-resolution via content-adaptive multi-resolution merging," CVPR, 2021.

X. Guo, Y. Li, and H. Ling, "LIME: Low-light Image Enhancement via Illumination Map Estimation," IEEE Trans. Image Process, vol.26, no.2, pp.982-993, Feb. 2017.

G. D. Finlayson and E. Trezzi, "Shades of gray and colour constancy," in Color and Imaging Conference. Society for Imaging Science and Technology, vol.2004, pp.37-41, 2004.

S. Bianco, C. Cusano, and R. Schettini, "Single and multiple illuminant estimation using convolutional neural networks," CoRR, vol.abs/1508.00998, 2015.

S. M. Pizer, E. P. Amburn, J. D. Austin, et al. "Adaptive Histogram Equalization and Its Variations, " Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol.39, pp.355-368, 1987.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Dan Van Bui, Akira Kanda, Yoshiki Kobayashi, Yoshiko Sakata, Yumiko Kono, Yoshiyuki Kamakura, Takao Jinno, Yasutaka Yun, Kensuke Suzuki, Shunsuke Sawada, Mikiya Asako, Akihiko Nakamura, David Dombrowicz, Keita Utsunomiya, Tanigawa Noboru, Koichi Tomoda and Hiroshi Iwai	4. 巻 9(7)
2. 論文標題 A Novel Approach for Investigating Upper Airway Hyperresponsiveness Using Micro-CT in Eosinophilic Upper Airway Inflammation such as Allergic Rhinitis Model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biomolecules	6. 最初と最後の頁 pp.252-263
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/biom9070252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Quan Xiu Ho, Takao Jinno, Yusuke Uchimi and Shigeru Kuriyama	4. 巻 E105-D(10)
2. 論文標題 Estimation of Multiple Illuminant Colors Using Color Line Features	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 pp.-
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Quan Xiu Ho, Yusuke Uchimi, Takao Jinno, Shigeru Kuriyama
2. 発表標題 Learning-based Color Estimation of Lighting with Color Lines
3. 学会等名 International Conference on Advanced Informatics: Concept Theory and Applications (ICAICTA 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Suzuki, Kakeru Hara, Takao Jinno, Naohiro Hozumi, Yoshihisa Nagoya, Kimihiro Iwasaki
2. 発表標題 Selective visualization for X-ray Inspection of Power Transmission Cable Joints
3. 学会等名 CIGRE-AORC Technical Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Quan Xiu Ho, Yusuke Uchimi, Takao Jinno and Shigeru Kuriyama
2. 発表標題 Evaluation of Estimation Method for Multiple Illuminant Colors using Color Lines
3. 学会等名 5th International Conference on Advanced Informatics, Concepts, Theory, and Applications (ICAICTA) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kakeru Hara, Hiromitsu Isobe and Takao Jinno
2. 発表標題 Intrinsic Image Decomposition Under Multiple Colored Lighting Conditions Using a Single Image
3. 学会等名 EUSIPCO Proceedings, 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関