

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00254

研究課題名（和文）視覚特性に基づく夜間景観画像の高忠実度再現

研究課題名（英文）High-fidelity reproduction of night townscape images based on visual characteristics

研究代表者

西 省吾（Nishi, Shogo）

大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授

研究者番号：70411478

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では画像の見えモデルを利用して夜間景観画像を視覚特性に基づき再現することを目指した。また画像の見えモデルに高精度なシーン画像を与えることも高い忠実度再現に寄与すると考え、低照度環境下での分光情報獲得手法の構築についても取り組んだ。低照度環境下ではHDRイメージングが画像取得に関して適していると考えられる。視覚特性に基づく画像再現では従来手法の不具合を改善し、夜間景観に限定せずに多数のHDR画像に対して画像再現を行った。得られた画像はシーンの明るさごとに分類し主観評価実験を行い、良好な評価を得ることができた。実シーンに対しても高忠実度で夜間景観画像を再現することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低照度環境下での分光情報の獲得手法を確立すること、またダイナミックレンジの観点、ならびに照度レベルによる視覚系の応答特性の変化という生理的観点からも、従来の昼光環境下での計測と再現に比べ、困難な課題に取り組む点において意義があったと考えられる。本課題への取り組みにより夜間景観の形成・整備の一助となる手法を示したが、低照度環境下での色覚シミュレーションへの応用が可能であるため、薄明視や暗所視環境下における安全性シミュレーションへの応用も考えられる。また見えの予測モデルの構築により、オンライン商取引やデジタルアーカイブ、遠隔医療などの実社会への貢献も期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this project, we aimed to reproduce nighttime landscape images based on visual characteristics using an image visibility model. In addition, we also developed a method for acquiring spectral information under low-light conditions, because we believe that providing high-fidelity scene images to the visibility model contributes to high-fidelity reproduction. HDR imaging is considered to be suitable for image acquisition in low-light environments. In image reproduction based on visual characteristics, we improved the defects of conventional methods and performed image reproduction for a large number of HDR images, not limited to night townscapes. The obtained images were classified according to the brightness of the scene and subjectively evaluated, and good evaluations were obtained. The night townscape images could be reproduced with high fidelity for real scenes.

研究分野：色彩工学

キーワード：低照度環境 視覚特性 画像再現 分光情報

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年では昼夜を問わず都市活動が営まれている。それゆえ、夜間景観も都市景観を形成する重要な一面と考えられる。屋外照明は単に照度や輝度という機能的な面だけでなく、いかに周辺の環境と馴染ませるか、つまり色彩の観点からも景観整備について検証することが重要であると考えられる。照明の心理的影響や視覚的効果に関する報告や、輝度画像を用いた夜間景観の明るさ感の評価に関する報告等は確認できるが、任意の分光分布設計が可能な LED 照明が普及したにも関わらず、夜間景観の色彩の評価に関する報告は殆ど見当たらない。特にシーンの分光分布の画像再現や観測者が知覚する見えの再現等に関する報告は皆無であった。

そこで夜間景観の計測とその解析結果を利用した映像表示において、1. 低照度環境下における分光画像計測の問題、2. 知覚する明るさや色の見えとカメラ出力との違い、これらを解決すべき課題として取り組んだ。

2. 研究の目的

本課題では夜間景観の分光分布を高精度で取得するために、低照度環境下での画像計測手法の構築を目的とした。また低照度環境の夜間景観画像では、明暗比の再現精度が見えの忠実度に大きく影響する。これは明所視や薄明視などの人間の生理的な特性も考慮した再現にならねばならない。よって、視覚系の応答モデルを考慮することで明るさ感覚や色恒常性など視覚特性に基づく画像再現を行うことも目的とした。

3. 研究の方法

まず低照度環境下での画像計測のために、スペクトルカメラとデジタル一眼レフカメラを併用することを考えた。シーンの分光分布を正確に取得するには分光放射輝度計が一般的に使用されるが、シーン中の非常に限定された領域のみの計測となり、シーン全体の分光分布計測は不可能である。一方でスペクトルカメラはシーン全体の分光分布情報を記録することが可能であり、そのデータから三刺激値 XYZ を算出することでカメラ出力は人間の目視感とほぼ等価となる。デジタル一眼カメラにより得られた画像の RGB 値は撮影機器に依存した色空間の値であり、色彩分析を行う際にはデバイス非依存の色彩値で処理を行うことが望ましい。それゆえ、デジタル一眼レフカメラのカメラ出力とスペクトルカメラの三刺激値から回帰分析によって高精度にシーン情報を獲得することとした。また帯域フィルタを使用する画像計測法や、近年のスマートフォンの飛躍的な普及を踏まえ、スマートフォンカメラを用いた計測にも取り組んだ。

つぎに低照度環境下における画像再現の手法について検討した。夜間景観の評価は高精度に推定された分光分布情報を用いて行うことも可能であるが、その分光分布情報が観測者に如何に知覚されるか、つまり、人にどのように見えるか、という点が重要であると考えた。それゆえ、色知覚モデルの構築を行い、見えの予測シミュレーションを行う。CIECAM02 を始めとする色の予測モデルや、写真や CG 分野で培われてきたトーンマッピング手法を応用し、夜間景観の見えの再現に適したモデルを構築する。

4. 研究成果

シーンの分光情報を獲得するために、まず画像計測手法について取り組んだ。スペクトルカメラとデジタル一眼レフカメラを用いてカラーサンプルを多数撮影した。スペクトルカメラで取得された分光情報を XYZ 表色系を通して均等色空間 $L^*a^*b^*$ に変換した。この処理により得られた $L^*a^*b^*$ 値を目的変数に、デジタル一眼レフカメラの RGB 値を説明変数として重回帰分析を実行することで変換式を導き出した。また、帯域フィルタの分光透過率分布とカメラの分光感度に基づいてシーン情報を獲得する手法についても検討した。そのためにカメラの分光感度や帯域フィルタの分光透過率分布を取得する手法を構築した。ここではスマートフォンカメラを使用した。複数枚の帯域フィルタから2枚組み合わせるときのカメラの総合分光感度を求め、撮影に適したフィルタを選択する手法を検討した。これらの手法により得られたスマートフォンカメラの分光感度と総合分光感度を図 1 に示す。当初はこれらの手法により得られた画像を解析したが低照度環境下では期待した成果は得られなかった。ただしこれらの手法を分光反射率を推定するようなタスクへ応用した際には概ね良好な結果を得ることができた。

つぎに画像の見えモデルを利用して視覚特性に基づく画像再現手法を検討した。視覚特性に基づく再現には色の見えを予測するモデルが適していると考えた。CIECAM02 をはじめとして、このようなモデルは幾つかあるが iCAM06 に基づいて夜間景観画像のモデルを構築することとした。従来手法では adaptive white 並びに adaptive luminance に基づいてトーン圧縮を行うが、いくつかの環境下では出力画像が不自然な見えになることを確認した。そこで、シーンの特徴を反映させた輝度分布画像を Guided フィルタを用いて生成し、この輝度分布画像に基づいてトーン圧縮を行う手法を構築した (手法 1)。一方、adaptive white 並びに adaptive luminance を利用しない、単純な網膜応答に基づいたトーン圧縮手法も試みた (手法 2)。実験では 40 枚の HDR

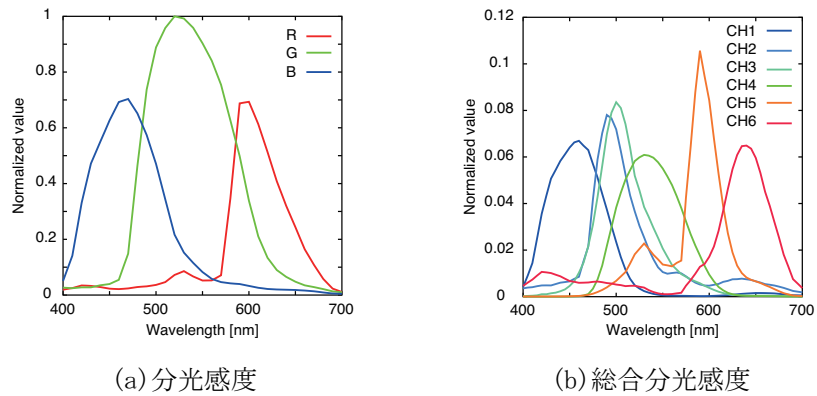


図1 獲得したスマートフォンカメラの分光感度と総合分光感度

シーン画像[1]を3手法（従来手法，手法1，手法2）に基づいて階調制御をおこなった。それらの結果の一例を図2に示す。ここでは従来手法の問題点であった不自然な明るさを解決するために、夜間景観画像に限定することなく一般的なシーン画像も対象とした。多くの画像において手法1または手法2の再現性は優れており、不自然な見えが解消されていることが確認できた。さらに昼間、夜間、屋内など明るさごとに分類し、9名の被験者に対して主観評価実験を行なった。手法1並びに手法2のどちらの手法でも強い光源または逆光を含むシーンでは特に評価が優れる結果となった。この結果より、提案手法の有用性を示すことができた。



図2 実験結果

また実シーンに対して提案手法の有用性も検証した。ここではデジタル一眼レフカメラを撮影機材として採用した。シーン画像の獲得には低照度環境下での撮影を考慮してHDRイメージングを採用した。従来手法に比べ空の明るさが自然な見えになっていることが確認できる。

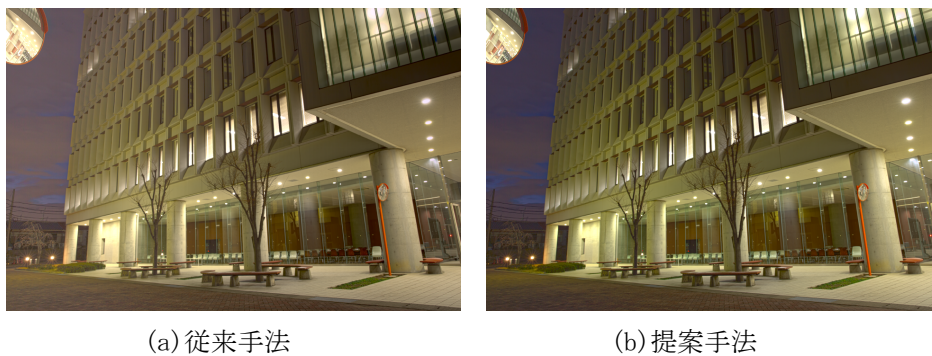


図3 実シーンでの低照度環境の実験結果

[1] The HDR Photographic Survey: <http://markfairchild.org/HDR.html>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shoji Tominaga, Shogo Nishi, Ryo Ohtera	4. 巻 21
2. 論文標題 Measurement and Estimation of Spectral Sensitivity Functions for Mobile Phone Camera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s21154985	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Shogo Nishi, Motonori Doi, Akira Kimachi
2. 発表標題 Improvement of the multispectral measurement system for digital archiving of art paintings
3. 学会等名 25th Congress of the International Commission for Optics（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shoji Tominaga, Shogo Nishi, Ryo Ohtera
2. 発表標題 Estimating spectral sensitivities of a smartphone camera
3. 学会等名 Electronic Imaging 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shogo NISHI, Takuto KANOZAKA
2. 発表標題 Improving the Appearance of HDR Images Based on Visual Characteristics
3. 学会等名 AIC 2019 Midterm Meeting: Color and Landscape（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片野坂拓人, 西省吾
2. 発表標題 視覚特性に基づいた夜間シーンの見えの改善
3. 学会等名 第35回センシングフォーラム 計測部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片野坂拓人, 西省吾
2. 発表標題 視覚特性に基づいた景観画像の階調制御
3. 学会等名 平成30 年度日本色彩学会関西支部大会
4. 発表年 2018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
連携研究者	来海 暁 (Kimachi Akira) (30312987)	大阪電気通信大学・情報通信工学部・教授 (34412)	
連携研究者	土居 元紀 (Doi Motonori) (00304155)	大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授 (34412)	

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
---------	---------