

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650077

研究課題名(和文) 画像の生成と理解のための実世界光源のモデリング

研究課題名(英文) Modeling real-world light sources for image synthesis and understanding

研究代表者

岡部 孝弘 (OKABE, Takahiro)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：00396904

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、実世界光源の放射強度分布を計測するための画像ベースの手法を開発した。LEDのような大きさの無視できる光源については、拡散反射板を光源の周囲で動かしながら撮影した画像を手掛かりにして、放射強度の角度分布を効率的に計測する手法を提案した。蛍光灯のような一定の大きさを持つ光源については、液晶パネルと拡散反射板からなる装置において、液晶パネルの透過率を動的に制御することで、4次元ライトフィールドを密にかつ効率的に計測する手法を提案した。また、獲得した実世界光源のモデルを用いて、写実的な画像生成や正確な反射率推定を実現した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have developed an image-based technique for acquiring radiant intensity distributions of real-world light sources. For point light sources such as LEDs, we proposed a method for measuring the angular distributions efficiently by using the images of a diffuse board moving around a point light source. For area light sources such as fluorescent bulbs, we proposed a method for measuring the 4D distributions by using a pair of a programmable LC panel and a diffuse board. Our proposed method dynamically controls the transmittance of LC panel, and acquires the 4D light field of an area light source densely and efficiently. In addition, we achieved photorealistic image synthesis and accurate reflectance recovery by using the acquired models of real-world light sources.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン コンピュータグラフィックス コンピュータシヨナルフォトグラフィ

1. 研究開始当初の背景

写実的画像生成や実世界センシングに対するニーズの高まりから、コンピュータビジョンの研究、特に、画像から実物体・実シーンの幾何学的・光学的モデルを獲得するイメージベースドモデリングの研究が活発に行われている。これらの研究では、従来、画像が無限遠光源(平面波)や点光源(球面波)などの理想的な光源の下で撮影されたと仮定して、画像を解析することが多かった。ところが、実世界光源は、一般に、被写体から有限距離に存在し、かつ、指向性を有することから、このような理想的な光源とは異なる性質を持つ。そこで、実世界光源とは如何なるものか、その性質を明らかにしたいというのが、本研究の直接の動機である。

これまでに、イメージベースドモデリングにおいて、実物体の形状・反射特性のモデリングのみならず、光源のモデリングに関する研究も行われてきた。しかしながら、従来研究は、入射強度分布、つまり、シーン中のある点に様々な方向から入射する光の強さを計測・推定するものであり、実世界光源からの放射強度分布のモデリングに関する研究はほとんど行われていない。

2. 研究の目的

本研究では、これまでほとんど研究されて来なかった、画像に基づいて光源のモデルを獲得する技術の研究・開発を行う。具体的には、LED や蛍光灯などの実世界光源からの放射強度分布(より厳密にはプレノプティック関数)の獲得を目指す。特に、(1)LED のような大きさの無視できる光源の放射強度分布のモデリング、および、(2)蛍光灯のような一定の大きさを持つ光源の放射強度分布のモデリングに取り組む。また、獲得した実世界光源のモデルに基づく画像生成や画像理解などの応用にも取り組む。

3. 研究の方法

プレノプティック関数は、一般に、7 次元(空間 3 次元、方向 2 次元、波長 1 次元、時間 1 次元)の関数であるが、本研究では、媒体などによる吸収や散乱が無く、マルチバンドカメラなどによる多波長の同時計測が可能で、かつ、時間変動が無いと仮定して、4 次元(またはそれ以下の次元)のプレノプティック関数を考える。実世界光源からの放射強度分布のモデリングのためには、このプレノプティック関数を広範囲で、かつ、密に計測(サンプリング)する必要がある。

上記のように、本研究では、(1)LED のような大きさの無視できる光源の放射強度分布のモデリング、および、(2)蛍光灯のような一定の大きさを持つ光源の放射強度分布のモデリングに取り組む。

前者では、発光体が微小であり、そのサイズを無限小と仮定できる。このとき、プレノプティック関数は 2 次元(光源から見たときの方向のみ)の関数となり、光源のモデリングは放射強度の角度分布の計測に帰着する。一方後者では、発光体のサイズが有限であり、無限小光源とみなすことが出来ない。このときプレノプティック関数は 4 次元となり、光源のモデリングは 4 次元ライトフィールドの計測に帰着する。

従来、実世界光源の放射強度分布は、ゴニオフォトメータを用いて計測されてきた。この手法は、光源の周囲でセンサを動かして放射強度を直接計測するものであるが、一度に一方向しか計測できないために、全方向の分布を計測するのに膨大な時間を要するという問題があった。特に、4 次元ライトフィールドを広範囲で密に計測することはほとんど不可能であった。

そこで本研究では、一度に多数の方向の放射強度を同時に計測することのできる画像ベースの手法を研究・開発する。具体的には、拡散反射板や液晶パネルなどを用いて、効率良く計測する手法を提案する。

4. 研究成果

(1)2 次元分布のモデリング

拡散反射板を用いた計測

LED 光源や白熱電球のような大きさの無視できる光源の放射強度分布(角度分布)の獲得手法を提案した。具体的には、図 1 に示すように、拡散反射板・半球面鏡・マーカからなるサンプリングボードを光源の周囲で動かしながら画像を撮影して、半球面鏡上のハイライトの位置を手掛かりにして光源の位置を、拡散反射板上の明るさを手掛かりにして放射強度の角度分布を推定した。

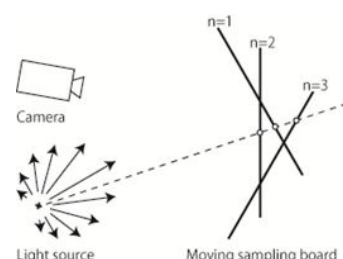


図 1: 拡散反射板を用いた計測

実画像・合成画像を用いた実験を行い，提案手法の有効性を確認した．計測した角度分布を図2に示す．図2上の砲弾型LEDが強い指向性を持つことが分かる．一方，図2下の白熱電球は，指向性は弱いものの，フィラメントの構造やガラスの不均一さに起因する局所的なムラがあることが分かる．

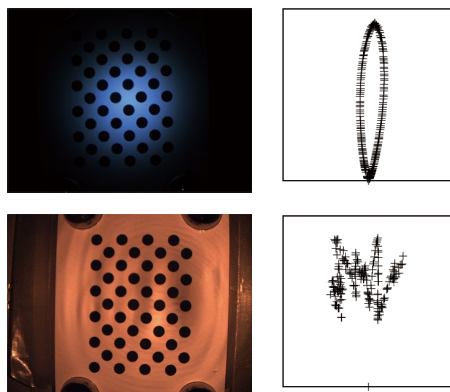


図2：微小光源の放射強度分布

カメラの光学的特性の同時推定

上記の手法を研究・開発している過程で，拡散反射板上で観察される明るさが，光源の放射強度だけでなく，カメラの光学的特性にも依存するという問題が明らかになった．

そこで，光源の放射強度のみならず，カメラ応答や周辺減光などのカメラの光学的特性も同時に推定する手法を提案した．具体的には，カメラ応答関数と周辺減光関数を基底関数の線形結合で表現して，拡散反射板で観察される明るさを手掛かりにして，これらの結合係数と光源の放射強度分布を同時に推定した．

実画像・合成画像を用いた実験を行い，提案手法の有効性を確認した．光学的特性が未知のカメラで撮影された画像を入力として，光源の放射強度分布だけでなく，カメラ応答関数と周辺減光を同時に推定できることを示した．

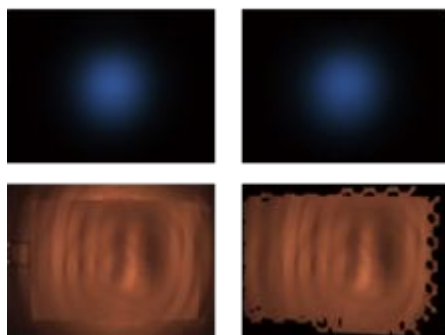


図3：画像生成への応用（2次元）

画像生成への応用

上記の提案手法を用いて獲得した放射強

度分布を画像生成に応用した．図3に，砲弾型LED（上）と白熱電球（下）で照らされたシーンの実際の画像（左）と合成画像（右）を示す．放射強度の指向性や局所的なムラを，高周波数成分までうまく再現出来ていることが分かる．

画像理解への応用

上記の提案手法を用いて獲得した放射強度分布を画像理解に応用した．具体的には，形状が既知のシーンを仮定して，シーンの反射率（テクスチャ）の推定を行った．図4に示すように，点光源を仮定した従来手法（右下）では，実光源の強度分布の指向性のために，シーンのテクスチャをうまく推定できないのに対して，放射強度のモデリングを行う提案手法（左下）では，テクスチャをうまく推定できていることが分かる．

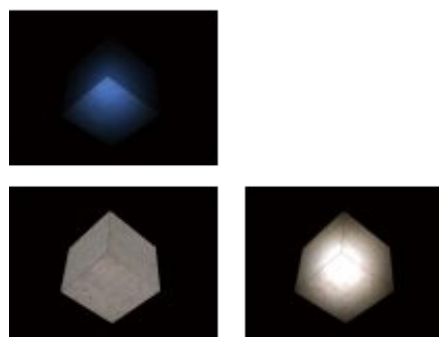


図4：テクスチャの推定

(2)4次元分布のモデリング

液晶パネルを用いた計測

蛍光灯のような一定の大きさを持つ光源の放射強度分布（4次元ライトフィールド）の獲得手法を提案した．具体的には，図5に示すように，液晶パネルと拡散反射板からなる装置を用いて，光源から放たれた光が液晶パネルを透過して拡散反射板に入射するときに，その反射光の明るさを手掛かりにして4次元ライトフィールドを求めた．



図5：4次元ライトフィールド計測装置

提案手法では，液晶パネルの透過率を計算機で動的に制御することにより，計測時間を

一定に保ったままで SN 比を大幅に改善できる技術として知られる多重化センシングに基づいて計測を行う。具体的には、液晶パネルの単一領域の透過率を 1 にするのではなく、図 6 のようにして、 S 行列で定義される複数領域の透過率を 1 として計測を行い、その結果を S 行列の逆行列を用いて復号する。この結果、提案手法は、4 次元ライトフィールドを密に、かつ、効率的に獲得することが可能になる。

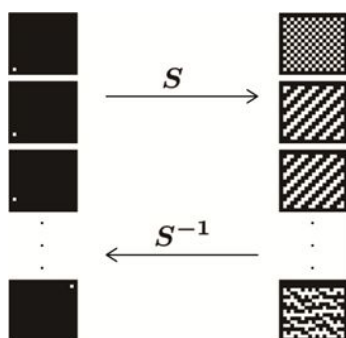


図 6：多重化センシング

実画像を用いた実験を行い、多重化センシングに基づく提案手法の有効性を確認した。図 7 左が単一領域の透過率を 1 とする計測手法で得られる画像、図 7 右が提案手法で得られる画像である。多重化センシングを用いることで、ノイズ（左の図で顕著に見られるザラツキ）を大幅に抑えられることが分かる。

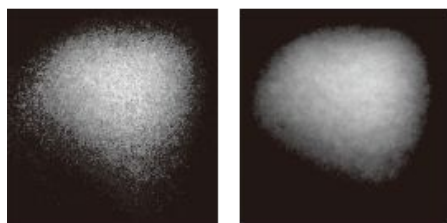


図 7：多重化センシングの効果

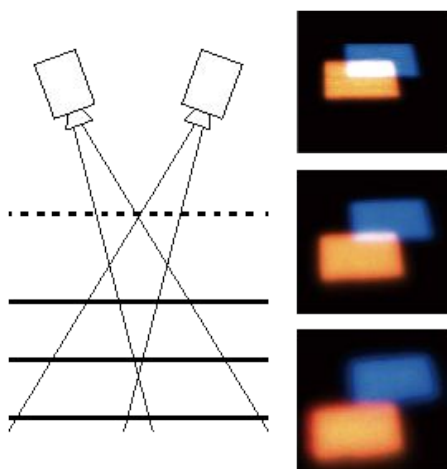


図 8：画像生成への応用（4次元）

画像生成への応用

上記の提案手法を用いて獲得した 4 次元ライトフィールドを画像生成に応用した。図 8 に、2 台のプロジェクタを光源としたときに、光線が交差する様子を再現した結果を示す。4 次元ライトフィールドを獲得することで、このような複雑な光源環境の画像生成が可能になることが分かる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕(計 4 件)

(1) 中村 基裕, 岡部 孝弘, フィルタの動的制御による実世界光源の 4 次元ライトフィールドの獲得, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 2014-CVIM-192(17), pp.1-6, 2014 年 5 月 15 日, 大阪.

(2) 中村 基裕, 岡部 孝弘, 液晶パネルを用いた実世界光源の 4 次元ライトフィールドの獲得, 情報処理学会第 76 回全国大会, 2ZC-8, 2014 年 3 月 11 日, 東京.

(3) 河村拓哉, 岡部孝弘, 佐藤洋一, カメラの光学的校正を伴う光源放射強度分布の獲得, 2014-CVIM-191(5), pp.1-8, 2014 年 3 月 3 日, 東京.

(4) 河村拓哉, 岡部孝弘, 佐藤洋一, 拡散反射板を用いた光源の放射輝度分布の計測, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 2013-CVIM-186(7), pp.1-5, 2013 年 3 月 14 日, 大阪.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.pluto.ai.kyutech.ac.jp/~okabe/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡部 孝弘 (OKABE, Takahiro)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：00396904

(2) 研究分担者

佐藤 洋一 (SATO, Yoichi)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：70302627