

論文内容の要旨

博士論文題目

Light Transport Acquisition via Selective Light Path Measurement
(光線選択計測法による光伝播獲得)

氏 名 岩口 堯史

(論文内容の要旨)

(1、200字程度)

シーンを制御された光源により照明し、カメラで計測するアクティブ計測は、コンピュータビジョンの分野では一般的な技術である。従来のアクティブ計測はシーンにおける理想的な光伝播、つまり、照明に対する理想的な応答が前提とされてきたが、実際の光伝播はシーンの幾何と光の振る舞いに依存するため、相互反射や散乱などの想定外の光伝播の影響を受けて結果が悪化する。この問題を解決するため、本研究では光源からイメージセンサに至るまでの光路に着目する。従来のイメージングではカメラは露光中に様々な方向から1つのピクセルに到達した全ての光線を積分するため、それぞれの光路の情報が失われてしまい、光路ごとの光伝播を復元することは不可能である。

本研究では想定されるタスクにおいて必要な光伝播を獲得するため、光路に基づいて選択的に光伝播を獲得する手法を提案する。イメージセンサにおいて積分される前の光伝播を計測するため、複数の光路からの光伝播が同時に計測されないようにするため、照明とカメラの露光を制御し、特定の光路の光線を選択的に計測する。本論文は以下の6章から構成されている。

まず、第1章では本研究の背景と方針、および、当該分野における貢献について述べている。

第2章では、光伝播の基礎的な理論について述べ、第3章では関連研究を示すことで本研究の貢献を述べている。

第4章では、光学トモグラフィトモグラフィにおける光伝播獲得手法を提案する。ここでは、拡散表面物体と定義する物体の内部計測に取り組む。具体的には、拡散表面物体内の光路モデルを提案し、それぞれの光路に関する光伝播を獲得す

るための光学系および計測手法を提案する。また、獲得される光伝播の解析から、計測データは物体内部全体を再構成するためには不十分になり得ることを示し、この問題を解決するために数値最適化に基づく内部再構成手法を提案している。シミュレーション環境と実環境での実験を行い、光学系の設計や散乱現象が内部計測に与える影響などを検証している。

第5章では、プロジェクタ・カメラシステムにおいて伝播距離に応じた光伝播獲得手法を提案する。具体的には、走査型プロジェクタとローリングシャッターカメラからなる計測系において、プロジェクタの縦方向の走査とローリングシャッターを、開始タイミングをずらしながら同期することで、時間ずれに比例する距離だけ離れた照明行と露光行の間の光伝播を獲得する。実環境での実験では光伝播解析、ライティング、直接光・大域項分離、血管の可視化、および、表面下散乱の獲得など、複数の応用を示している。

第6章では、本論文を総括するとともに、今後の展望について述べている。

(論文審査結果の要旨)

本論文では、コンピュータビジョンの分野に用いられてきたアクティブ計測における一般的な課題である光伝播獲得において、広く利用可能な光路に基づく計測手法を提案している。本研究の特徴は、光伝播の光路の幾何に着目し、所望の光路の光伝播のみを選択的に計測する点であり、従来の撮影後の後処理では分離が困難であった反射・散乱等の光学現象を分離することが可能である。本論文では、光学トモグラフィのための光伝播計測とプロジェクタ・カメラ系における光伝播計測という 2 つの問題設定について取り組んでおり、実環境実験を行っている。本論文の主張は、以下の 2 点に要約される。

1. 光学トモグラフィにおいて、表面拡散物体における光路モデルを仮定し、モデルに基づいた光伝播計測手法を提案している。提案手法では光路の端点を特定するための光学系が設計され、また、物体を全周から計測することにより物体を様々な方向から横断する光伝播を獲得する。獲得される光伝播の解析では、計測データは内部断面全体を再構成するために不十分であることが示されるが、この問題に対処するため、光の吸収に関する物理的制約を考慮した内部再構成手法を提案している。シミュレーション実験では、提案手法の有効性、光学系の構成が計測率に与える影響、および内部における散乱が内部計測に与える影響を評価している。さらに、実環境実験においても提案手法の有効性を示している。

2. プロジェクタ・カメラ系において、光伝播をシーン中における伝播距離ごとに獲得する手法を提案している。提案手法ではラスタスキャン型プロジェクタの縦方向の走査と、ローリングシャッター式カメラの露光行を特定のオフセットを持たせながら同期して撮影する。ハードウェア的な同期を用いた本手法では、1 回の撮影により縦方向に特定の距離を飛行する光伝播を画像として効率的に獲得することが可能である。さらに、縦ラインを投影することによりカメラ平面において特定の伝播距離の光伝播を獲得する手法も提案している。実環境実験では、相互反射や散乱等の光学現象の解析、皮膚下の静脈の可視化、

表面下散乱プロファイルの獲得とコンピュータグラフィックスへの利用等、幅広い応用が示されている。

以上述べたように、本論文では、2つの異なる問題設定について光伝播獲得手法を提案し、実験を通して有効性を検証するとともに、具体的な応用も示されている。

本研究は、コンピュータビジョン分野において、学術面での貢献を認めることができる。本論文の主要部分に相当する内容に関しては、学術論文誌に論文が掲載されるとともに、国際会議等においても公表されている。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値ある物と認める。