OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Shape from Scattering : Shape Estimation Based on Light Transport Analysis in Translucent Objects
Author(s)	井下, 智加
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52025
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (井下 智加)

論文題名	Shape from Scattering: Shape Estimation Based on Light Transport Analysis in Translucent Objects (光伝播の解析に基づく半透明物体の形状推定に関する研究)

論文内容の要旨

The acquisition of object shapes has various industrial applications, such as the visual inspection of industrial products, reverse engineering of free-form products, and modeling of object shapes in computer graphics. A variety of measurement methods have been proposed to obtain object shapes with high accuracy for any material. However, it remains difficult to measure the shape of translucent objects reliably because scattering and transmitted light in the media degrades the observation. To solve this problem, we propose shape from scattering to estimate the shapes of translucent objects from the observed scattering itself.

We aim to model the relationship between the object shape and scattering in a simple model. While the actual scattering effect is a complicated phenomenon, scattering can be approximated by making assumptions of the target material. In this thesis, we first sample and analyze light transport in a real scene to select an appropriate scattering model for shape estimation. Light transport is described by an eight-dimensional BSSRDF that completely represents light transports with the directions and positions of incident and outgoing light. Although it is difficult to sample an eight-dimensional BSSRDF because illuminations and observations are required from every direction, we sample the high-dimensional BSSRDF using a polyhedral mirror system to place multiple virtual cameras and projectors. We also analyze the sampled BSSRDF by the visualization of low-dimensional sliced data and decompose the sampled BSSRDF into basic directional components. From the analysis of the BSSRDF, we summarize empirical characteristics of light scattering inside a real translucent medium.

From the analysis of the BSSRDF, we propose shape estimation methods for optically thin and optically thick translucent objects. Scattering in an optically thin translucent object is characterized by light attenuation along the refracted light. Refracted light is relatively easily modeled because it corresponds to single scattering, which is a one-bounce collision of light with a particle in a medium. Hence, we can determine the shape of an object from the observed intensity of single scattering and its attenuation, and develop a solution method that simultaneously determines scattering parameters and the shape according to energy minimization. Scattering in an optically thick translucent object distributes around the incident point and loses its directionality. Such distributed scattering can be approximated as convolution with a blurring kernel. We extend this observation in our experimental setting, and obtain the shape of a target object without the effect of scattering using deconvolution. We demonstrate the effectiveness of our proposed approach in extensive experiments using synthetic and real data.

Scattering has been regarded as a nuisance and eliminated employing various approaches in the field of computer vision. In contrast, our shape from scattering framework is a novel shape estimation framework that uses the scattering effect as a cue for the object shape.

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　井下　智加　）	
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主 査　教授	八木　康史
	副 査　教授	増澤　利光
	副 査　教授	竹村　治雄
	副 査　教授	向川　康博

論文審査の結果の要旨

提出された論文では、半透明物体で生じる散乱現象を利用して形状を計測する手法を述べている。これまで、コンピュータビジョン分野において、物体の形状推定には主に反射光が利用されており、散乱光は悪影響を及ぼす余計な現象とみなされることが多かった。それに対して、本研究で提案されている手法は、散乱光を手がかりとして形状を推定しようという新しい試みである。本論文では以下に述べる三つの成果を述べている。

第一の成果として、多面体鏡にカメラとプロジェクタを組み合わせたデバイスを用いて、様々な半透明物体内部で生じる光の伝播を高次元の BSSRDF (Bidirectional Scattering Surface Reflectance Distribution Function) として詳細に計測・可視化する方法を明らかにした。また、物体表面から出射する散乱光を、方向に依存する成分と依存しない成分に分解して解析することで、光学的に薄い半透明物体と濃い半透明物体では、散乱光の伝播特性が大きく異なることを示し、複雑な散乱光を近似するモデル設計の指針を明らかにした。

第二の成果として、光学的に薄い半透明物体を対象として、単一散乱の減衰に基づいて形状を推定する手法を提案している。プロジェクタから高周波パターンを照明することで単一散乱成分を抽出し、この強度が光路長に応じて指数関数的に減衰することを利用して、カメラから見た物体表面の各位置における高さと散乱光強度を対応付け、半透明物体の形状を推定する方法を明らかにした。

第三の成果として、光学的に濃い半透明物体を対象として、多重散乱の広がりに基づいて形状を推定する手法を提案している。多重散乱によって、物体表面が滑らかに見える過程は、法線分布と散乱フィルタの畳み込みによって近似できることを利用し、従来の照度差ステレオ法と逆畳み込み演算を組み合わせることで、法線方向を推定する方法を明らかにした。さらに、プロジェクタを用いて散乱光の広がりを実際に計測することで、不均一な散乱特性を持つ物体にも適用できることを実験により示している。

以上の一連の研究成果は、「Shape from Scattering」と名付けられ、体系的にまとめられている。これまで、モデル化が難しいことから、情報源として活用されてこなかった散乱光が形状推定に利用できることを示した点において、コンピュータビジョン分野における光学現象の解析技術の向上に大きく貢献するものと考えられる。光学解析技術の進展に重要な成果を挙げた研究として、情報科学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。