Title	Computational Photography based on 8-D Reflectance Field
Author(s)	Tagawa, Seiichi
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27478
rights	
Note	

氏名	田川　聖一（たがわ　せいいち）
博士の専攻分野の名称	博　士（情報科学）
学位記番号	第　２５８４５　号
学位授与年月日	平成25年３月25日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 情報科学研究科コンピュータサイエンス専攻
学位論文名	Computational Photography based on 8-D Reflectance Field （8次元リフレクタンスフィールドに基づくコンピュテーショナルフォトグラフィに関する研究）
論文審査委員	（主査） 教　授　八木　康史 （副査） 教　授　楠本　真二　　教　授　竹村　治雄　　准教授　向川　康博

論文内容の要旨

The appearance of an object depends on its reflectance. Here, appearances depend on the reflectance, illumination, and observation. Of the three factors that control appearance, reflectance is the most difficult to deal with. An eight-dimensional reflectance field can completely represent an appearance consisting of the reflectances of objects, illumination, observation, and interreflections between objects. However, because of the high dimensionality, 8-D reflectance fields have not been developed.

To realize practical use of an 8-D reflectance field, I have designed a measuring system, a computing framework, and a rapid measurement method for a 4-D reflectance field and applied them practically.

In designing the system, one of the important issues is how to uniformly deal with the rays in a scene. Ideally, many projectors and cameras should be placed spherically around the target scene. However, such a system is infeasible. So, I developed a polyhedral mirror named the turtleback reflector, exploiting characteristics of an ellipsoid and geodesic domes that are approximately regular polyhedrons. Combining the turtleback reflector with a projector and camera, many virtual projectors and cameras can be placed uniformly but sparsely on a hemisphere. Doing this makes it possible to measure entire 8-D reflectance fields.

Next, I solved the problem of there being no computing framework for 8-D reflectance fields. I have proposed a framework for imaging with 8-D reflectance fields that unifies various individual computational photography techniques. Here, I show the formulations of three computational photography techniques in my framework and the computational result using my system with the turtleback reflector.

Another problem is the measuring time of reflectance fields. Measuring time is very long even for a 4-D reflectance field because although the light reflected in various directions can be captured at the same time, we cannot simply illuminate the scene in various directions to acquire reflected light for each illumination. Accordingly, I have developed a method for rapidly measuring reflectance properties in 4-D reflectance fields. This method exploits the dichromatic reflection to analyze the angular period of each illumination direction, which makes it possible to separate the reflected light for each illumination. This adaptive method acquires reflectance properties rapidly.

Finally, I show the usefulness of 8-D reflectance fields. Although few techniques have been proposed that use 8-D reflectance fields, this does not mean the applications are useless. I propose a useful application, the hemispherical confocal imaging. This technique can capture only a particular depth clearly, only when the measuring system provides 4-D illumination and observation in various directions on a hemisphere around the target.

In this research I have established the fundamental techniques for practical 8-D reflectance field imaging by designing a measuring system, rapid measurement technique, method of computation, and novel computational photography techniques.

論文審査の結果の要旨

提出された論文では、８次元リフレクタンスフィールドと呼ばれる、物体への光の入射と反射の関係を詳細に表現する情報を用いることで、その対象とする物体の見え方を解析・画像化する技術に関して述べられている。ここで提案されている手法は、物体の見え方を８次元の情報として記録することによる利点を示している。

第一に、８次元の計測について議論し、次元性を重視した計測装置を実現している。従来の研究では、次元数よりも解像度を重視する手法が大勢であったため、８次元を計測することに関する議論がなされてこなかった。本論文において提案されている計測装置設計では、８次元を計測するためには球面上に均等にプロジェクタとカメラが配置される必要があることを述べ、その数学的な解決のため、正多面体から生成されるジオデシックドームと呼ばれるより面数の多い多面体と球面上に配置するために有用な２つの焦点を持つ楕円体の性質を利用した設計法を提案している。また、設計通りの装置を開発できることを示すために実機を作成し、さまざまな実験に用いられている。これにより、８次元リフレクタンスフィールドの計測を可能とした。

第二に、８次元リフレクタンスフィールドを用いることでさまざまな従来手法が単一の式で表現できる、統一的枠組みを提案することにより、８次元リフレクタンスフィールドの有用性を述べている。さまざまな撮影手法において、照明や観測の方法が空間中を通過する光線を制御することにより、照明による物体の見え方やレンズなどによるフォーカスの変化が画像中に再現されていることを明らかにし、それらを統一的に表現することに成功している。また、実際に提案装置を用いて提案枠組み上で定式化された手法を実装することで８次元リフレクタンスフィールドと枠組みの有用性を確認している。

第三に、８次元リフレクタンスフィールドの応用例を示すことでその必要性を述べている。８次元全体を計測しようとしたときに解像度が低くなるトレードオフに言及し、半球状の広範囲に多数の計測点を持つことにより得られる利点を示している。提案されている半球状共焦点撮影(Hemispherical Confocal Imaging)では、空間中の任意平面に高周波パターン投影を行い、その照明下での反射光を多視点解析している。これらの解析的撮影手法により、従来の共焦点撮影より鮮明な画像が得られることを示している。

以上の研究成果により、８次元リフレクタンスフィールドが今後さまざまな場面で利用されることを期待させるに足る有用性、必要性及び将来性について十分に示せていると判断できる。よって、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。