

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：32675

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25880019

研究課題名(和文) 拡張光線情報を用いた3次元ディスプレイの体系的記述とホログラフィ計算手法

研究課題名(英文) Systematic Analysis of 3D Display and Computation of Hologram with Augmented Light Field

研究代表者

小池 崇文 (KOIKE, Takafumi)

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：30530399

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：ホログラフィ方式を含む3次元ディスプレイの体系的記法の構築とそれに基づくホログラフィの計算方法の研究を行った。本研究では、光を電磁場などの物理的な場と同様に捉える考え方であり、かつ、光を記述する関数でもあるライトフィールドをさらに拡張した拡張ライトフィールドの概念を用いることで、ほとんどの3次元ディスプレイを体系的に理解する事と、3次元映像生成に必要な計算を可能にした。

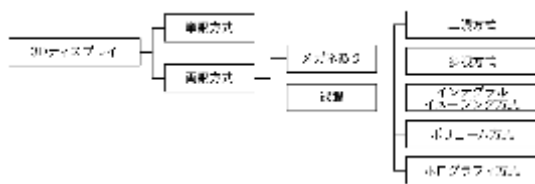
研究成果の概要(英文)：We studied systematic analysis of 3D display and a computation method of computer generated hologram with augmented light field. In this study, we use augmented light field to systematically understand 3D display and calculation methods to generate 3D image. Augmented light field is a extend idea of light field, which is a concept and a function to treat light such as physical field like electromagnetic field. We have enabled to understand 3D display systematically and allow the necessary calculations in 3D image generation.

研究分野：実世界指向メディア

キーワード：光線情報処理 ライトフィールド ホログラフィ 3次元ディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

(1) 3次元ディスプレイには色々な方式があり、その方式分類方法も多数提案されている。例えば、下図に示すような分類が考えられる。この分類は、映像生成の観点と、現在のディスプレイハードウェアの技術動向に則した分類で、特定の製品との対応関係も明確な分りやすく一般的な分類である。図中で「裸眼」と書かれているのはメガネなどの特殊な装置を人間が装着すること無く、立体知覚可能な映像を提示する方式全般を指す。裸眼方式は、全部で5つの方式に細分化されるが、この中で、上4つは幾何光学の範囲の技術を用いている。ホログラフィのみが波動光学の技術を用いている点で、他者とは大きく異なっている。

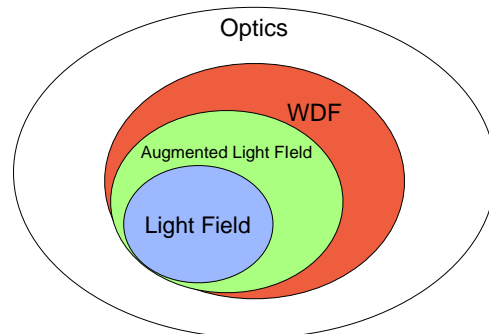


(2) ライトフィールド (光線情報, Light Field, 以下 LF) は、光を電磁場などの物理的な場と同様に捉える考え方であり、かつ、光を記述する関数でもある。一般に、ライトフィールドは、光の射出位置2次元と射出方向2次元を合わせた4次元の情報空間で表したものである。報告者は、コンピュータ・グラフィックス (以下 CG) 分野で使われていた LF のフレームワークに点像分布関数を導入することで、3次元ディスプレイを体系的に理解し、記述する方法を提案している (小池, 苗村, 三次元画像コンファレンス 2007)。また、実際に、二眼方式、多眼方式、インテグラルイメージング方式、ボリューム方式の4方式の3次元ディスプレイの LF の特性に関して解析を行っている (Koike et al., IEEE 3DTV Conference 2010)。一方、ホログラフィは究極の3次元ディスプレイとして研究が進められているが、理論面では、波動光学での一般的な手法であるフーリエ変換を多用した計算手法に留まっており、CGでの様々な高速で高画質な映像生成技術をそのまま適用することが出来ず、ホログラフィで写実的3次元映像の表示は難しい状況である。一般に、ホログラフィは Wigner 分布関数 (Wigner Distribution Function) で定式化される。Wigner 分布関数は元々量子力学で導入された関数であるが、Lohmann らによってホログラフィを記述する道具としても使われている (Lohmann et al., SPIE 2002)。近年は光線情報を拡張し、回折と干渉を取り扱える拡張光線情報 (Augmented Light Field 以下 ALF) の研究が行われている (Se Baek et al., arXiv:0907.1545 2009) が、ホログラフィデータ生成への直接への適用は行われていない。さらに、LF は多視点映像と

等価なため、様々な CG のレンダリング技術が適用できるが、ホログラフィは積分範囲に無限大が現れるため、情報処理の観点からは非常に扱いにくい特徴もある。

2. 研究の目的

(1) ALF を拡張し、ホログラフィ方式を含む3次元ディスプレイの体系的記法を構築するのが第一の目的である。先に述べたように、裸眼3次元ディスプレイには数多くの方式が存在する。一般的な多視点方式やインテグラルイメージング方式は、幾何光学の範囲の技術であるため、LF の枠組みで記述可能である。一方で、立体映像技術の最終ゴールであると呼ばれているホログラフィ方式は波動光学の範囲の技術であり、既存の LF の枠組みで記述は出来ない。そのため、両者の3次元ディスプレイで3次元映像表示に用いるデータ生成方法は大きく異なり、共通に使える技術は存在しない。ALF を用いることによって、両者を表示共通の枠組みで取り扱えるようにする。下図は、光学の観点から、各理論体系の適用範囲をイメージで表したものであり、LF に足りない部分を WDF から導入したものが ALF である。



(2) 構築理論に基づき、ホログラフィを表示するための光学素子 (超小型液晶パネルなど) が表示する回折パターンを生成する計算アルゴリズムを開発するのが第二の目的である。超小型の液晶パネルは、一種の回折格子であるため、回折格子のパターンを生成すれば良い。ホログラフィでは表示物体から光学素子に到着する波面を回折理論に従って計算する。この計算には、通常フーリエ変換を多数回実施する必要があるが、重い計算処理のため、高速に計算することが難しい。また、3次元映像として表示するオブジェクトを点光源に分解する等、様々な処理が必要で、複雑な計算が必要である。ALF は LF をベースにしているため、様々なコンピュータグラフィックス (以下 CG) の計算アルゴリズムが適用可能なため、高速に高画質な写実的な映像の生成が可能となる。

3. 研究の方法

(1) 理論構築

拡張光線情報 (Augmented Light Field, 以下 ALF) を用いることで、ホログラフィ方式を

含む3次元ディスプレイの体系的記法を構築する。続いて、ALFを用いてホログラフィを効率的かつ高画質に生成する計算アルゴリズムを検討する。さらに、アルゴリズム検証のために、ホログラフィ計算ソフトウェアのプロトタイプとして実装し、提案アルゴリズムを用いたホログラフィデータの作成を行う。

(2) 実験環境と方法

現在の3次元ディスプレイは、各方式に利点・欠点があるため、複数の方式を実験装置とすることで、理論の正しさを実験で確かめる。具体的には、解像度の高いメガネ方式、運動視差が表現可能な多視点方式裸眼3次元ディスプレイ、本研究の対象でもある、ホログラフィ方式3次元ディスプレイの3方式を実験環境とする。提案アルゴリズムの正しさは、ホログラフィ像の見え方シミュレーションを行い、実際に3次元ディスプレイ上で3次元映像を確認する。

また、実写映像への適用可能性を確認するため、LFカメラを用いて、静止画の実写光線情報(Light Field, 以下 LF)を取得し、そのLFのホログラフィデータへの変換処理実験を行う。また、動画でのLF取得と変換処理実験を実施する。更に、実際の提案アルゴリズムで作成したデータをホログラフィ方式3次元ディスプレイに表示し、写実的なホログラフィ映像が表示できていることの確認を行う。

4. 研究成果

(1) 理論

ホログラフィ方式を含む3次元ディスプレイの体系的記法の構築を行った。3次元ディスプレイは、構成デバイスや立体知覚の方法などに多数の種類がある。そのため、3次元ディスプレイの分類方法は、今までに多数提案されているが、論理的に分類する手法の確率はなされていなかった。本研究では、光の出射位置と出射方向を表すライトフィールド(4次元光線情報)の概念を用いることで、ほとんどの3次元ディスプレイを統一的に理解する事を可能にした。具体的には、3次元ディスプレイの定性的な違いは、ライトフィールドの再現性能の違いとして、解析した。又、点像分布関数を用いることで、3次元ディスプレイの定量化も可能となり、異なる方式間の比較評価も可能となった。

ライトフィールドは幾何光学の範囲で成立する概念であり、コヒーレント光や回折光を取り扱うことが出来ない。そのため、そのままではホログラフィ方式の3次元ディスプレイを取り扱うことが出来ない。そこで、ライトフィールドの概念を拡張し、位相を取り扱えるようにすることで、ホログラフィ方式も取り扱えるような方法を検討した。

(2) 実験環境の構築

ライトフィールドディスプレイ

ホログラフィ方式の3次元映像表示装置を構築した。本装置は、小型の反射型液晶パネルとレーザー光から構成される。小型の反射型液晶はLCOS(Liquid crystal on silicon)を用いたもので、回折格子の役割をする。4K2Kサイズのものを用いた。LCOSは通常、プロジェクタに内蔵の表示デバイスとして利用されている。ホログラフィデータをこの反射型液晶に表示することで、ホログラムとして作用し、実際の3次元ホログラフィ映像を表示することが可能である。本実験装置を用いることで、既存のホログラフィデータ計算方式と提案方式の両方で生成したホログラフィデータを実際に表示し、視覚的に比較検討できるようになった。

また、LFを表示する、ライトフィールドディスプレイの構築も行った。こちらは、広義の3次元ディスプレイ全般にあたり、a) シャッターメガネとプロジェクタの組合せのメガネ方式3次元ディスプレイ、b) 4K液晶ディスプレイの上に斜めレンチキュラを挿入した裸眼方式3次元ディスプレイ、c) 4K2K解像度の小型反射型液晶パネルとカラーフィルター付き透過型液晶パネルを組み合わせたフルカラーホログラフィ方式3次元ディスプレイ、の3種類のライトフィールドディスプレイの実験環境を構築した。

ライトフィールドカメラ

実写LFの撮影環境の構築を行った。撮影するカメラは、一般にライトフィールドカメラ(以下、LFカメラ)と呼ばれ、通常のカメラレンズとCMOSなどの撮像センサの間にマイクロレンズアレイを挿入したカメラである。静止画の撮影にはLytro社のLFカメラを用い、動画の撮影にはPC制御可能な動画撮影カメラにレンズアレイを挿入したLFカメラを用いる実験環境を構築した。

(3) 実験

撮影した実写LFからホログラフィデータを実際に生成し、アルゴリズムの妥当性やロバスト性の確認を行った。また、メガネ方式3次元ディスプレイに加え、裸眼方式3次元ディスプレイも用いて、3次元映像の見え方の確認と検証を実施した。裸眼方式3次元ディスプレイでは、メガネ方式3次元ディスプレイに比べて解像度は落ちるが、運動視差が再現されるため、両方の3次元ディスプレイを用いた方が、より正確な3次元映像評価が可能となった。さらに、ホログラフィ方式3次元ディスプレイ用のホログラフィデータを生成し、実際にホログラフィ方式3次元ディスプレイで表示させることで、アルゴリズムの正しさの最終検証を行った。

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

Takafumi KOIKE, Analysis and Implementations of 4D Light Field Display, The 15th International Meeting on Information Display (IMID 2015), 2015/08, Daegu (South Korea).

Takafumi KOIKE, Analysis and Implementations of 4D Light Field Display, The 14th International Meeting on Information Display (IMID 2014), 2014/08/29, Daegu (South Korea).

6 . 研究組織

(1)研究代表者

小池 崇文 (KOIKE, Takafumi)

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：30530399