

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：15101  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2020～2022  
課題番号：20K11887  
研究課題名（和文）ライトフィールドカメラのオクルージョンを考慮した4次元空間マッチングモデルの構築  
  
研究課題名（英文）Construction of a 4D matching model considering occlusion for a light field camera  
  
研究代表者  
三柴 数（Mishiba, Kazu）  
  
鳥取大学・工学研究科・准教授  
  
研究者番号：40609038  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題の目的は、4次元空間においてオクルージョンを考慮したライトフィールドカメラにおけるマッチングモデルを構築し、その性質を明らかにすることであった。最終的に本研究で得られた視差推定モデルは、オクルージョンを直接的には考慮せず、二つの4次元データ群を扱うことで間接的に考慮した設計となった。具体的には、オクルージョンを考慮せずに高速にマッチングを行い、その出力に対して4次元データに対する新たな重み付き中央値フィルタアルゴリズムを適用することで最終的な推定結果を得るものである。本研究で得られたモデルに基づき、二つの4次元データ群を扱う、より高性能なモデルの開発が期待される。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果の学術的意義は、ライトフィールドカメラにおける新たなマッチングモデルを構築し、その性能を明らかにしたことである。この成果は、ライトフィールド画像を含む多次元の画像処理研究における基盤となることが期待できる。  
研究成果の社会的意義は、この成果が高品質なVR/AR体験の実現や自動運転車の安全性向上など、生活を豊かにする様々な応用に繋がる可能性があることである。視差の正確な推定は、画像の立体的な情報を正確に把握し、それを用いてより自然な視覚体験を提供するために不可欠である。この研究の成果が、それらの実現の一部となることが期待される。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research project was to construct a matching model in a light-field camera that takes occlusion into account in 4D space and to clarify its properties. Finally, the disparity estimation model obtained in this study was designed not to take occlusion into account directly, but to take it into account indirectly by handling two 4D data sets. Specifically, the final estimation results were obtained by performing a fast matching without considering occlusion and applying a new weighted median filter algorithm for the 4D data to the output. Based on the model obtained in this study, it is expected that a higher-performance model that handles two sets of 4D data will be developed.

研究分野：画像処理

キーワード：ライトフィールド 奥行き推定 視差推定

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

空間を行き交う光の強度と方向の情報であるライトフィールド(LF)を記録するマイクロレンズ型 LF カメラは、小型でありながらも単一カメラに比べはるかに豊富な空間情報を取得できる。そのため LF カメラを用いることで、工業から医療に至るまで多岐に渡る画像処理応用の性能が飛躍的に向上することが期待されている。

LF カメラで撮影された画像は、複数台のカメラを間隔が短い格子状に並べたマルチビューカメラで撮影された画像群と等価とみなせる。LF 画像処理は、この複数枚の画像間で同一の場所を写した画素位置を見つける「マッチング」を前処理として行うことで空間情報を得る。マッチングに失敗すると後段の処理の性能が極端に低下するため、マッチングを高い精度で行うことが LF 画像処理の中心的課題となっている。

一般にカメラ間の画素マッチングは、カメラ座標に配置された複数のカメラ間において各カメラの画像座標の対応関係を求めるものである。古くから研究されてきたステレオカメラに対するマッチングでは、想定する視差(画素位置のずれ)は数画素~数十画素であるのに対し、LF カメラでは 1 画素以下のサブピクセル~数画素と極めて短い。これにより生じるマッチングの困難さを解消するために、LF 特有のマッチング研究が進められ、視差が極めて短い問題は解決されつつある。一方で、ある視点では見えている物体(被遮蔽物体)が、より手前にある物体(加遮蔽物体)に遮蔽され他の視点では見えない、いわゆるオクルージョンに対するマッチングの頑健性はいまだに低い。近年登場した深層学習を用いた高精度マッチング手法も、オクルージョン領域では精度の低下が免れない。オクルージョン領域周辺は物体境界であることが多く、物体境界は人の視覚やコンピュータにおける物体認識などにおいて重要な役割がある。そのためオクルージョン領域周辺では特に高いマッチング精度が求められるにも関わらず、それを実現する方法は未だ見つかっていない。その理由は膨大な視点数(例えば民生用 LF カメラの Lytro では 81 視点相当)に対してオクルージョンを考慮した有効なモデルを考案するのが困難なためである。

### 2. 研究の目的

上記の研究背景を踏まえ、本研究は 4 次元空間においてオクルージョンを考慮したライトフィールドカメラにおけるマッチングモデルを構築し、その性質を明らかにすることを目的とした。ここで、4 次元空間とは、画像空間×視点空間を表しており、視点空間とは LF 画像における視点位置を表している。従来が 2 次元画像空間上で処理を行っていることにに対し、これを 4 次元に拡張して考える点が大きく異なる。

### 3. 研究の方法

#### (1) マッチングモデルの構築と性能評価

明示的にオクルージョンを考慮した方法を 1 から構築することは困難であるため、まずはオクルージョンを考慮しないマッチングモデルを構築することとした。マッチングモデルにはいくつかの方法が候補に挙げられた。例えばフィルタリング、最適化問題から導かれる変換、線形近似などの写像を直列または並列的に組み合わせる方法である。いくつかの方法を検討した結果、テイラー展開を用いた線形近似によりマッチング問題を解く方法を提案し、本研究のマッチングモデルの基礎として用いることとした。性能評価では、シミュレーションおよび実画像データセットを用いて、マッチング精度・計算コストを評価した。

#### (2) 推定精度改善処理の実現

構築したマッチングモデルの推定精度は、他の方法と比べてやや性能が劣ることが分かった。一方で他の方法と比べ非常に高速に動作するという利点があることも分かった。高速に動作する利点を活かしながらマッチング性能を改善するために、このモデルで得られた視差推定結果に対し、高速に動作する修正処理を適用することとした。LF 画像は 4 次元データであり、一般にこのようなデータに対して高速に動作する修正方法が存在しなかった。そこで、4 次元データに対する新たな重み付き中央値フィルタアルゴリズムを構築した。このアルゴリズムは高速に動作し、また視差修正について効果的に働くことが確認された。

#### (3) 重み付き中央値フィルタの性能評価

マッチング後の推定結果の修正処理に、4 次元データに対する重み付き中央値フィルタを用いた場合の、パラメータと結果の関係が明らかにはなっていなかった。そこで、これを明らかにする実験を進めた。特に、フィルタサイズが結果に大きな影響を及ぼすことが示唆され、これについて重点的に調査を行った。

### 4. 研究成果

本研究の成果は大きく分けて以下の 2 点である。

- (1) 高速に動作するマッチングモデルの構築
- (2) 高速に動作する視差修正方法の確立

詳細は以下の通りである。

#### ( 1 ) 高速に動作するマッチングモデルの構築

本研究で新たに提案されたテイラー展開を用いた線形近似によりマッチング問題を解く方法は、従来の他の方法と比べ高速に動作した。また、従来の方法のほとんどは、LF 画像の中央の視点に相当する画像に対する視差の推定に特化しているが、この方法は特定の視点に依存することなく全 LF 画像に対して高速に推定が可能であった。一方で、このモデル単体でのマッチング性能は他の手法に比べ低いことが分かった。マッチング性能の低さは、後処理による視差修正方法により解決された。この修正方法の具体的成果については( 2 )で述べる。構築したマッチングモデル自体は明示的にオクルージョンを考慮していないが、視差修正方法である重み付き中央値フィルタによる処理が、間接的にオクルージョンを考慮することで、処理全体としてオクルージョンを考慮した高速に動作するマッチングモデルが構築できた。

#### ( 2 ) 高速に動作する視差修正方法の確立

視差の修正を行うために、高速に動作する重み付き中央値フィルタを新たに開発した。既存の視差修正方法は、2次元データに対する処理が用いられている一方で、今回開発された手法は4次元データに対して処理が可能である。すなわち、通常2次元の画像空間に対してフィルタリングを行うことに対し、提案法は空間×視点で構成される4次元LF画像空間に対してフィルタリングを行う。フィルタのサイズは処理結果に影響を与えるが、実験の結果、視点方向のサイズを大きくすることが、修正に非常に有効であることが示された。今回開発されたフィルタは単にLF視差推定の修正に用いられるだけでなく、幅広い応用が可能なものである。2次元の画像に対するフィルタは多く提案されているが、多次元、多チャンネル、高ビットデータに対しても高速に処理が可能な重み付き中央値フィルタは存在しなかった。今回開発されたフィルタは、そのようなデータに対しても適用可能で高速に動作することが示されており、視差推定以外にも様々な分野への応用が期待できる。

本研究の成果の一つである重み付き中央値フィルタについてその成果を広く利用してもらうために、フィルタを実装したソースコードを以下のURLで公開し、誰でも利用可能とした：  
<https://github.com/KazuMishiba/Fast-Guided-Median-Filter>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Mishiba Kazu	4. 巻 32
2. 論文標題 Fast Guided Median Filter	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Image Processing	6. 最初と最後の頁 737 ~ 749
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TIP.2022.3232916	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 三柴数
2. 発表標題 重み付き中央値フィルタの高速化と応用
3. 学会等名 電子情報通信学会 信号処理研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------