

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 14 日現在

機関番号：34304

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500231

研究課題名(和文)多眼光線空間カメラを用いたデジカメ画像処理技術の研究

研究課題名(英文)A study of digital camera image processing based on light field model

研究代表者

蚊野 浩(KANO, Hiroshi)

京都産業大学・コンピュータ理工学部・教授

研究者番号：60582351

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円、(間接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：光線空間カメラは、レンズへの入射光を分解した多数の光線をデジタルデータとして記録し、それに対する一種の画像処理によって写真画像を生成するカメラである。本研究では、第一に光線空間カメラの機能・構成を従来カメラと比較することで、これを容易に理解できる表現を導いた。第二に、光線空間カメラの課題である最終画像の画素数が非常に小さくなることを解決するために、光線空間カメラの特性を利用した超解像処理を考案し、ある程度の高画素化を実現した。

研究成果の概要(英文)：A light field camera decomposes the incident light into light rays and records them as digital data. The data are digitally processed to obtain various photographic images. In this research, firstly, the function and structure of the light field camera are illustrated in comparison with the conventional digital camera so that it is easy to understand the characteristics. Secondly, in order to resolve the problem that the resolution of the images generated by the light field camera is very low, a super resolution technique utilizing the characteristics of the light field camera, is introduced and a certain level of resolution enhancement is achieved.

研究分野：画像処理、コンピュータビジョン、画像入力技術

科研費の分科・細目：情報学、知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像処理 デジタルカメラ 光線空間 ライトフィールドカメラ 超解像処理

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初(2011年前後)のデジタルカメラは、写真撮影機能においてフィルム写真を完全に代替していた。しかしながら、レンズが生成する光像を忠実に再現する装置であるという意味においては、デジタルカメラも従来のフィルムカメラと変わることが無かった。

このような状況に対して、その数年前から、米国の研究者を中心としてコンピュータショナルフォトグラフィ(CP)と呼ばれる研究分野が注目を集めていた。CPは、レンズ系に特別な工夫を加えて、画像センサ面に中間的な光像を生成する。そして、画像センサが中間的な光像をデジタルデータに変換する。この中間表現に、一種のデジタル画像処理を加えることで最終画像を得る。最終画像は、一般的な写真画像ではあるが、一つの間表現に加える画像処理を変えることで、写真画像の性質に大きな変化を与えることや、通常のレンズ系では困難な写真撮影を可能にした。

CPの代表的な手法として、ライトフィールドカメラと符号化撮影が知られていた。ライトフィールドカメラは、カメラに入射する光を光線に分解して記録する。これまでに知られているライトフィールドカメラは、通常の画像センサを用いるが、その画素が記録するものは、一本の光線である。画像センサの画素数分の光線を記録し、その光線情報に対する一種の画像処理によって、ピント位置が異なる写真画像を生成することなどが可能である。本研究はこのようなライトフィールドカメラに関するものである。なお、研究課題名では「光線空間カメラ」という用語を用いたが、今日では「ライトフィールドカメラ」という用語が一般的であるので、本報告書ではこちらを用いる。また、符号化撮影は研究対象ではない。

## 2. 研究の目的

ライトフィールドカメラは、レンズの動きをデジタル処理によってシミュレーションするカメラであるとも言える。通常のレンズ交換式デジタルカメラは、一つのカメラボディに、各種のレンズを装着することで、さまざまな写真画像を撮り分けることができる。また絞りの位置を変えることで被写界深度を変化させることができる。ライトフィールドカメラは、これをデジタル処理によって実現する。しかし、ライトフィールドカメラには、最終画像の解像度が非常に小さいという問題があり、実用的には不十分な性能である。本研究の目標は、このようなライトフィールドカメラの実用性を画期的に進歩させることである。そして、本研究の期間内に、次の3つの項目を達成することを目的とした。

(1) 従来研究として提案されているライトフィールドカメラの機能を、通常のデジタルカ

メラと容易に比較できるように記述・説明することが第一の目的である。例えば、ライトフィールドカメラで被写界深度が深い写真画像を生成できるのであれば、その画像の性質を、通常のデジタルカメラで撮影した同程度の被写界深度の画像と定量的に比較できるようにしたいと考えた。

(2) ライトフィールドカメラの主たる課題は、通常のデジタルカメラと比較して、最終写真画像の解像度が非常に小さいことである。この課題を軽減するために、(1)の研究で明らかにするライトフィールドカメラの性質を利用して、画像の実質的な解像度を高める超解像処理を実現することが第二の目的である。

(3) ライトフィールドカメラの実用性を高めるためには、魅力的な写真画像を生成することが重要である。従来技術として提案されているものにリフォーカス機能があるが、これがキラーアプリケーションであるとは言えない。本研究の提案書では、ライトフィールドカメラを手持ちで回転移動させながら撮影した多数のライトフィールド画像から、被写界深度が極端に浅い写真画像を生成することを、達成すべき魅力的な最終写真画像の例として挙げた。

## 3. 研究の方法

(1) ライトフィールドカメラの機能・構成を明らかにするための研究

ライトフィールドカメラの機能を検証するために、一眼レフカメラを移動ステージで縦横に正確に移動させながら画像入力する実験装置(図1)を開発し、予備実験を行った。

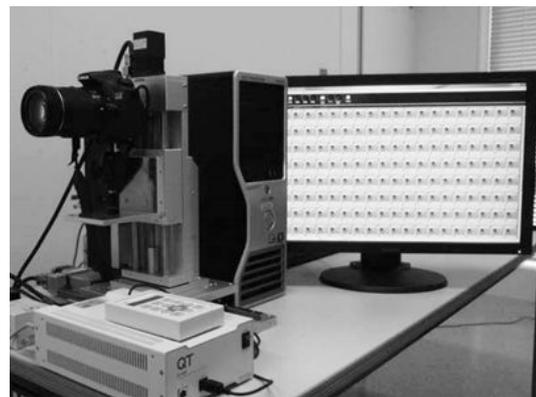


図1 ライトフィールドカメラの機能検証装置

さらに詳細な研究を進めるためには、精密なライトフィールドカメラが必要であった。研究期間中に購入可能なライトフィールドカメラとして図2に示す2つの製品が存在した。これらの製品は、そのもとになった研究論文が公開されている。そこで、これらのライトフィールドカメラを購入し、その機能・構成を詳細に調査・解析した。図2右は

Lytro 社の製品（以下、Lytro）左は Raytrix 社の製品である。



図2 調査・解析した2台のライトフィールドカメラ

(2) ライトフィールドカメラ画像の超解像処理による高画素化。

図2右のカメラ（Lytro）の出力ファイルを詳細に分析・解析した結果、そのデータを研究者自身で自在に処理することが可能になった。Lytro を、ライトフィールドを取得する測定装置として用いることが可能になり、このデータを用いて超解像処理などの研究を進めた。

(3) ライトフィールドカメラの実用性を高める魅力的な写真画像の生成

Lytro の出力データを用いた超解像処理の延長として、被写界深度が極端に浅い画像の生成など、魅力的な写真画像の生成を試みる計画であった。

#### 4. 研究成果

(1) ライトフィールドカメラの機能を通常のデジタルカメラと容易に比較できる記述・説明を得る研究

図3に本研究で考案したライトフィールドカメラの動作・機能を説明する図の一つを示す。このような図を利用することで、通常のデジタルカメラと比較しながら、ライトフィールドカメラの動作・機能を容易に理解できるようにした。例えば、通常のカメライメージングでは主レンズに対して撮像面を前後に移動させることで撮影距離（ピント位置）を変化させる。一方、ライトフィールドカメラは、光線を記録した画素を適切に選択し、それらを演算することでピント位置が異なる写真画像を生成することができる。ライトフィールドカメラのこの機能をリフォーカスと呼ぶが、図3を用いることで、リフォーカスを実現する画素の適切な選択と計算が、計算上の撮像面（仮想撮像面）で交わる光線に対応した画素を選択し、それらを加算平均することであることを、容易に理解することができる。

カメラの機能・性能を表現する用語に、絞り、F 値、被写界深度などがある。通常デジタルカメラでは、レンズを絞ることでF 値が大きくなり、被写界深度を深めることができ、画像のSNは劣化する。図3の表現を用

いることで、ライトフィールドカメラの絞り、F 値、被写界深度を容易に計算することが可能である。

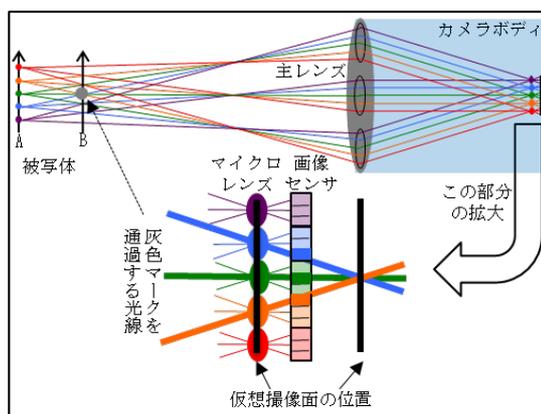


図3 ライトフィールドカメラの動作・機能の理解を補助する説明図

(2) ライトフィールドカメラ画像の超解像処理による高解像度化に関する研究

市販されているライトフィールドカメラである Lytro を用い、その最終画像を高解像度化する研究を行った。Lytro で取得する生データ（ライトフィールド）は、被写体を不規則にずれた位置で標本化した多数の低解像度画像と解釈することができる。このような低解像度画像群から1枚の高解像度画像を生成するために、図4のように画像センサの画素が取得する光線束を仮想撮像面に投影した後、光線束に対応した点拡がり関数を用いて画像復元することで、高解像度画像を得る手法を提案した。

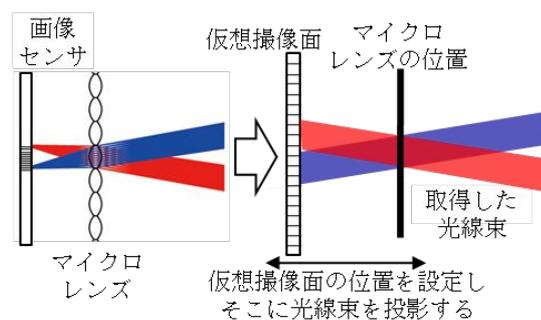
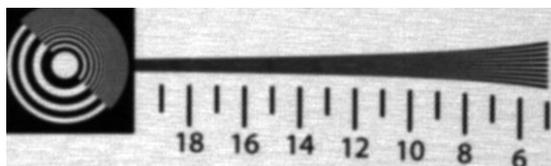


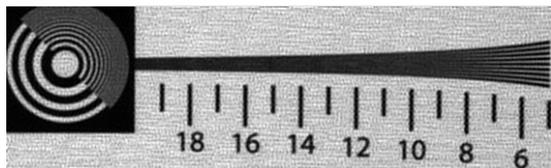
図4 光線束の仮想撮像面への投影

提案手法の効果を、シミュレーションと実画像で検証した。図5に、その効果を示す画像の一例を示す。これらは、解像度チャート IS012233の一部を Lytro で撮影した実写データから生成した画像の一部である。(a)は光線束を仮想投影面に投影して生成した画像、(b)は重なりを持って投影された光線束の像を提案手法で高解像度化した画像、(c)は参考のために Lytro 社のアプリケーションソフトウェアが生成する画像を示した。(a)の画像に対して(b)の画像は約 14%の高解像度を達成した。また、(c)の画像に対しては約 24%

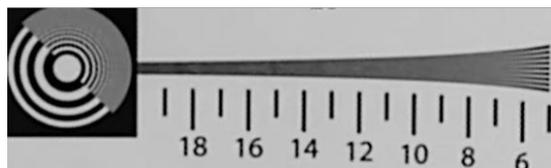
の高解像度化を達成した。



(a) 光線束を仮想撮像面に投影した画像



(b) 光線束の投影像を超解像処理で高画素化した画像



(c) LFCのアプリが生成した画像

図5 提案手法による高解像度化の効果

(3) ライトフィールドカメラの実用性を高めるための魅力的な機能の開発。例えば、ライトフィールドカメラを手持ちで回転移動させながら撮影した複数枚のライトフィールド画像から、被写界深度が非常に浅い画像を生成するなどの機能の開発。

この機能については、未着手の状態の研究期間が終了した。

#### (4) その他の成果

ライトフィールド画像処理は計算負荷が高い。それを高速化するために、GPU (Graphics Processing Unit) による並列処理プログラムを開発した。本研究には NVIDIA 社の GPU Tesla C2075 を搭載した HP Z800 を用いた。Tesla C2075 は基本プロセッサを 448 個搭載した並列プロセッサであり、HP Z800 の CPU は Intel Xeon 2.27GHz である。ライトフィールドから 1080×1080 画素のリフォーカス画像を生成する処理に GPU による並列処理を適用したところ、CPU 単独での処理は 40.29 秒、GPU を用いた並列処理では 0.54 秒となり、約 74 倍の高速化を達成した。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

蚊野浩:「デジタルカメラと最新画像処理技術 コンピュータショナルフォトグラフィ」, 画像電子学会誌, 連載技術解説, 査読無, 2014 年 9 月号(予定).

蚊野浩:「Computational Photography と未来のデジタルカメラ -Lytro の動作原理とアルゴリズム-」, 光アライアンス, 査読無, Vol.24, No.7, pp.1-6, 2013 年.

蚊野浩:「光技術とコンピュータ技術の融合によるデジタルカメラの進化」, 光技術コンタクト, 査読無, Vol. 51, No.1, pp.3-8, 2013 年.

蚊野浩:「Lytro 徹底解剖 光線情報を使って焦点自在に ハードもソフトも独自の塊」, 日経エレクトロニクス, 査読無, 2012 年 8 月 20 日号, pp.44-47, 2012 年.

〔学会発表〕(計 5 件)

蚊野浩:「Lytro の動作原理とアルゴリズム」, 日本オプトメカトロニクス協会, デジタル・イメージング技術部会, 201301 講演会, 2013 年 6 月 3 日, 機械振興会館.

蚊野浩:「コンピュータショナルフォトグラフィ -ライトフィールドカメラ Lytro の動作原理とアルゴリズム-」, 日本学術振興会 光エレクトロニクス第 130 委員会「光の日」公開シンポジウム講演予稿集, pp.1-6, 2013 年 3 月 8 日, 東海大学.

蚊野浩:「ライトフィールドカメラ Lytro の動作原理とアルゴリズム」, 第 128 回微小光学研究会, Vol.31, No.1, pp.17-22, 2013 年 3 月 7 日, 東海大学.

蚊野浩:「MAP 型超解像処理における復元誤差を考慮したライトフィールドカメラ画像の高画素化」, 第 15 回画像の認識理解シンポジウム, IS3-20, 2012 年 8 月 8 日, 福岡国際会議場.

蚊野浩, 中島弘喜:「超解像処理によるライトフィールドカメラ画像の高画素化」, 第 18 回画像センシングシンポジウム, IS3-08, 2012 年 6 月 7 日, パシフィコ横浜.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cc.kyoto-su.ac.jp/~kano/study.html>

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

蚊野 浩 (KANO, Hiroshi)

京都産業大学・コンピュータ理工学部・教授

研究者番号: 60582351