

氏名（本籍） ^さ ^{とう} ^{しゅん} ^{いち} 佐藤俊一（東京都）
学位の種類 博士（工学）
学位記番号 甲第 891 号
学位授与の日付 平成 27 年 9 月 30 日
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目 **新しい撮像光学系による高解像度・広被写界
深度画像の取得に関する研究**

論文審査委員 （主査）教授 浜本 隆之
教授 岩村 恵市 教授 長谷川幹雄
教授 半谷精一郎 教授 村口 正弘
国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 准教授 児玉 和也

論文内容の要旨

本論文では、高解像度・広被写界深度画像を取得できる撮像手法を提案し、撮像システムの試作と評価実験、およびシミュレーションによりその有効性を示す。まず、単一撮像センサーの解像度以上に高解像度化するために、被写体距離に依存せずサブピクセル情報を取得する最適多眼カメラ配置と、奥行推定できない領域での画像合成エラーを防止する手法を論じ、試作した撮像システムで有効性を示す。次に、被写界深度を拡大する Wavefront coding に関して、PSF を変形させることと、像面での PSF 変化が小さくなるように撮像面を傾斜させることの 2 つの手法を論じ、シミュレーションと光学実験により有効性を示す。最後に全体の総括と今後の課題を述べる。本方式は、最適多眼カメラ配置と Wavefront coding での PSF を変形することで高解像度・広被写界深度画像を取得できる、新しい撮像方式である。

論文審査の結果の要旨

近年、表示システムが、Full-HD から Quad-HD へ、さらには SHV (Super High Vision) へと大画面化、高解像度化しているが、それに合わせて撮像システムも Quad-HD カメラ、SHV カメラへ向けた開発が増えてきている。また、セキュリティ、監視カメラの応用においても、1 台で広範囲エリアを監視するニーズの高まりにより、焦点合わせ、ズームが不要な監視カメラの高解像度化が進んでいる。しかし、通常の単眼カメラでは、高解像度化していくと、光の波長 (約 $0.5\mu\text{m}$) やレンズの F 値 (開口率) の制約のために、被写界深度がより狭くなるという問題が生じる。このために、Quad-HD や SHV の撮像システムは、高解像度であるために、被写界深度が狭くなり、実用上、焦点合せやカメラワークが難しいという問題が生じる。さらに、従来の単眼カメラでは、撮像センサの画素サイズを光の波長以下にすることは難しいため、画素数を増やすためにはセンササイズを大きくする必要があった。それに伴い、撮像レンズも大きくなり、カメラ自体が大型化するという問題があった。また、奥行きのある被写体に対しては、焦点はずれの領域が生じ、撮像センサの画素数を十分に活かすことができないという問題があった。このような問題は、従来の単眼カメラでは十分に対応することができないため、高解像度・広被写界深度画像を取得できる、新しい視点からの問題解決が望まれている。

本学位論文では、このような背景の下、複数のカメラを使用して高解像度画像を生成する多眼撮像技術と意図的にぼけを加えて撮像した中間画像に対して、光学系の PSF (Point Spread Function ; 点拡がり関数) を用いて画像復元を行うことで被写界深度を拡大させる Wavefront Coding (WFC) について検討している。具体的には、被写体距離によらず多眼合成画像を高解像度化可能な多眼カメラの画素配置、および視差推定の誤りを検出し、オクルージョン領域においては基準カメラの画像で補完することにより、二重像の発生による画質劣化を防止する手法を提案し、実証実験によりその性能を確認することを第一の目的としている。さらに、凹凸レンズにより発生するコマ収差 (三次位相変化) を位相マスクの代わりに利用する WFC を用いて、基準 PSF を変形させた複数 PSF による画像復元、および PSF 変化が小さくなるように撮像面を傾斜させる二つの手法を提案し、それらの有効性をシミュレーションと実証実験により明らかにすることを第二の目的としている。本学位論文は、以下の九つの章で構成される。

第 1 章では、研究背景と目的、および本論文の構成について述べている。

第 2 章では、先ず、高解像度・広被写界深度画像の撮像技術の調査結果について考察している。また、これまでに発表された、単眼から多眼までのカメラ構成、画像取得の手法等、各種撮像技術に基づくカメラについて紹介している。

第 3 章では、多眼カメラの高解像度化の手法について考察している。多眼の各手法について説明し、それぞれの方式の問題点を整理し、解決すべき課題について述べている。

第 4 章では、従来の多眼カメラの問題点を明らかにした上で、多眼カメラ配置および視差推定エラー処理手法を提案している。まず、サブピクセル精度の画素の位置合わせ

のために、多眼カメラの構成、および相対的な画素配置を工夫し、視差推定エラーを考慮した奥行きに基づく高解像度画像生成アルゴリズムを提案している。次に、視差を算出できなかった領域、あるいは誤った視差を算出した領域に関して、基準カメラ（Bayer）による単眼画像を4K拡大した映像をそのまま出力する手法について説明している。

第5章では、Quad-HD多眼カメラシステム構成の詳細について述べている。予め多眼カメラの各画素位置を半画素シフトの関係になるよう機構的に調整することにより、単純なブロックマッチング計算だけで、高解像度画像の生成を行なっている。その後、本多眼カメラシステムを用いた実験において、テストチャートを用いて定量的に評価した結果を示している。さらに、奥行き推定できない領域での画像合成エラーを防止できた結果についても示している。

第6章では、Wavefront Coding (WFC) による被写界深度拡大手法について詳細な説明を行なっている。従来のコマ収差を用いた手法では、所望の三次位相変化以外の位相変化が発生し、復元画像が劣化すること、単一PSFによる固定再構成フィルタ演算では、画像ボケ等の特有な歪みが発生する、という課題があることを述べている。

第7章では、コマ収差を用いたWFCの課題を踏まえた上で、像面内でのPSFの空間的な変化を低減させる二つの提案手法について述べている。すわなち、像面上のPSFを補正し、複数のPSFを用いて画像を復元する手法、および撮像面を傾斜させることにより像面上のPSFの変化を小さくする手法について詳細な説明を行なっている。

第8章では、二つの提案手法による復元画像の評価結果について述べている。それぞれの提案手法の有効性を確認するために、実際のレンズで構成可能な撮影レンズ光学系をCode Vでシミュレーションしている。このシミュレーションにより求めた中間画像およびPSFを用いて、復元した画像の解像度評価を行なっている。また、実際のレンズで組み立てた光学実験装置を用いて撮影した中間画像を、シミュレーションで計算したPSFで復元し、その解像度を評価している。

第9章では、本論文の主たる成果をまとめるとともに、本研究により明らかになった今後の検討事項を取り上げ、総括を行っている。

以上のように、本学位論文では、大画面で高精細な画像の取得を目指した撮像技術での、撮像における実用的な問題点を明らかにした上で、高解像度・広被写界深度画像を取得することが可能な新しい撮像光学系を提案し、評価実験によりその有効性を示している。提案の撮像光学系は、単に高解像度画像を撮像するだけでなく、奥行きのある被写体に対しても撮像距離や焦点外れにかかわらず高解像度な画像を得るのに適したものであり、今後のさらなる発展が期待される。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分に価値あるものと認められる。