

# 学 位 論 文 の 要 旨

## 環境構造を利用したカメラ放射歪の自動補正技術の研究 Automatic correction method for radial distortion of cameras using environment structures

氏 名 鹿貫 悠多 印

本研究は広角レンズのカメラに多く見られる画像の放射歪を、撮影される環境が持つ特徴的な構造を利用して、完全自動で補正する技術に関するものである。一般に、放射歪みを補正するには専用のキャリブレーションパターンを撮影し、その画像が正しい形状になるように補正するが、環境に特徴的な構造がある場合には、これが正しくなるように補正することで、実環境で画像を撮影しながら同時に歪みの補正が行える可能性がある。本研究では人工物には直線を構成するエッジが多いという特徴を用いて補正を行い、この可能性を示す。広角のカメラが人工物が多い環境で使用され、かつ完全自動の歪み補正が望まれる典型的な用途として、ドライブレコーダーやドライバーの運転支援に用いられるカメラが挙げられる。本研究のアルゴリズム自体はこの用途のみに限る訳ではないが、具体的な応用の例として主にこれらの用途を想定して処理を構成する。

論文ではまず、2章で一般的な広角カメラのレンズ歪のモデルについて述べるとともに、本論文で扱う歪モデルの定義を行い、画像の歪補正を行うための基本的な方法について述べる。

3章ではこれまでに行われてきた歪補正の研究について述べる。歪補正は大きく分けて、それ専用のキャリブレーションパターンを用いる手法と用いない手法の2種類に分類される。最初にキャリブレーションパターンを用いる手法について説明し、その後本論文と同様に環境構造物を利用した特殊なキャリブレーションパターンを用いない手法について説明する。これらの手法の欠点、特にドライブレコーダーなどの車載カメラのレンズ歪を補正する際に発生する問題を指摘し、本研究の位置づけを明確にする。

4章では本論文が提案する、輝度勾配方向ヒストグラムのエントロピーを用いた歪パラメータの自動推定手法について述べる。はじめに画像の歪の大きさと輝度勾配方向ヒストグラムのエントロピーの関係について述べ、その後画像の歪が最小となる歪パラメータの探索方法を示す。また、歪の含まれない画像に対して人為的に歪を加え、その時の輝度勾配方向ヒストグラムのエントロピーの変化を求める実験の結果を示し、提案手法で使用している仮定の正当性を確認する。

5章では提案手法を歪画像に対し適用し、その実験結果について述べる。はじめに人為的に歪を付加した画像に対し提案手法を用いて歪パラメータの推定を行い、提案手法の基本的な歪パラメータの推定能力について考察する。次に、実際の車載カメラから得られた歪画像に対して歪パラメータの推定を行い提案手法の有効性を示すとともに、提案手法が有効となる条件について述べる。

6章では提案手法の演算を高速化する手法について議論する。高速化は、一つは探索すべき歪パラメータの次元数を削減すること、もう一つは輝度勾配方向ヒストグラムの作成方法を工夫することによって達成される。歪パラメータの数を削減することで大幅な高速化が期待されるが、当然のことながら歪画像の高精度な補正を困難にする。そこで市販の複数の車載カメラに対して歪パラメータの次元を削減した時の影響を調査し、実用的には1つのパラメータで十分それら放射歪を補正できることを示す。また輝度勾配ヒストグラムの作成においては、実際に画像を変形せずに、その座標変換のヤコビ行列を用いて歪画像から直接輝度勾配を計算する手法を適用する。これら2種類の高速化手法により、実用上十分な補正精度を保ったまま高速で処理を実行できることを示す。

以上により、たとえばドライブナビゲータのように人工的な構造物が存在する環境で使用されるカメラにおいて、完全自動で放射歪みの補正を行う手法の提案および性能の検証を行った。

This research is about technologies by which radial distortions of wide-angle cameras are corrected in fully automatic way utilizing structures that man-made objects have. It is conventional way to use a target having special patterns in order to correct the radial distortions, but if the environment has special structures, it would be possible to utilize those structures for the correction. In this research, we develop such a method utilizing the fact that images of man-made objects contain a lot of edges. Cameras for driving recorders or driving assistant devices are used in such an environment, because road scenes contain many man-made objects. In addition, full automatic compensation of radial distortions is needed for such devices, because it is not realistic to ask the users of the devices to execute the calibration by themselves. Though these applications are not the only target of this research, we evaluated performance of the developed algorithms using mainly road scenes.

In chapter two of the thesis, we investigate distortions of wide-angle cameras, define a model of the distortions, and discuss the basic strategies to correct the distortions.

In chapter three, we present survey of the existing method for the radial distortion correction. These methods are roughly divided into two categories, methods using

calibration patterns and ones not using them. We discuss methods with patterns first, and then ones without patterns. We point out disadvantages of these existing methods, especially when using them for drive assistance devices, and based on this discussion, make clear the position of the proposed method.

In chapter four, we propose a new method for radial distortion correction, which fully automatically estimates distortion parameters. The method utilizes entropy of image intensity gradient histogram. We state first the relation between level of the distortion and value of the entropy of the histogram, and then an algorithm to search for the minimum of the distortion level. Correctness of the distortion index computed from the histogram entropy is verified by comparing the index value and the distortion level, using artificially distorted images.

In chapter five, effectiveness of the proposed method is proved by correcting distorted images using the method. We use artificially distorted images first to evaluate the basic ability of the method, and then, we use real distorted images to see the performance of the method under real situations. We also discuss the conditions where the proposed method presents the best performance.

In chapter six, we discuss the speeding up methods of the computation. One strategy for speeding up is to reduce the number of the distortion parameters, and the other one is to improve computation method for the image intensity gradient histogram. It is clear that the reduction of the parameter number greatly contribute to reduce the computation cost, but it is also obvious that it affects preciseness of the distortion model. We investigate image distortions of several driving recorders in the market, and conclude one parameter model is enough for their distortions. For the histogram computation, we speed it up by computing the histogram directly from the distorted images without warping them. Combining these two modifications, we show the improved scheme provides a practical distortion correction performance, keeping light computation cost.

Based upon the discussions in the above chapters, it is concluded that a fully automatic correction method for radial distortions of wide-angle cameras has been proposed. The experiments have shown that the method has both good performance and light computation cost for practical applications.