

氏 名	がんぼると うーがんばんやる GANBOLD UUGANBAYAR
本籍（国籍）	モンゴル国
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	理工博 第5号
学位授与年月日	令和4年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	理工学研究科デザイン・メディア工学専攻
学位論文 題目	Study on Evolutionary Approach for Fast Horizon Detection and Tracking in Images (画像における高速水平線検出と追跡のための進化的アプローチに関する研究)
学位審査委員	主査 准教授 明石 卓也 副査 教授 今野 晃市 副査 教授 田中 隆充

論文内容の要旨

In this research, horizon line detection and tracking using an evolutionary method in images are addressed. Due to the rapid development of computer vision and the increase in camera resolution, information from cameras is used to solve various problems, such as object detection, recognition, and tracking. Videos captured by optical systems are valuable for autonomous surface vehicles to perceive surrounding information for obstacle detection, remote control, and estimation of spatial orientation. Video processing in maritime scenarios is quite challenging because of random camera shaking caused by waves and the processing time of high-resolution images. A horizon line on maritime images is used to address the above challenges. For example, it is used for the following purposes: estimation of the spatial orientation of a camera/ship and image registration, which aligns consecutive frames into a one-coordinate system for object detection and object tracking. On the other hand, the performance of state-of-the-art horizon line detection methods is still limited in terms of both speed and accuracy. The focus of this thesis is to produce a fast and accurate method of horizon line detection.

We searched for and analyzed state-of-art methods in horizon line detection to achieve this goal. Then, we proposed our novel method that

efficiently integrates existing methods' advantages. We formulated the horizon detection problem as a global optimization problem, and optimization is done by a genetic algorithm (GA). The GA provides fast optimization utilizing fewer combinations of parameters compared to exhaustive search. Simple GA requires the generation of an initial population for each frame of a sequence, and it is time-consuming. Therefore, we used evolutionary video processing (EVP). The EVP generates the initial population once at the initial frame of a sequence and inherits a population of the last generation into an initial generation of the next frame. As a result, the EVP improved optimization accuracy and reduced processing time. In an EVP, a fitness function is used to guide the simulation toward an optimal solution, and it evaluates the goodness of each individual. Therefore, designing the fitness function is very important for quick convergence on an appropriate solution, and it has a significant impact on computational time. The fitness function should precisely evaluate how to fit a given solution and should be fast to compute. Therefore, we also introduced a fast estimation of global and local feature estimations for the fast evaluation of fitness function. In addition, we adopted a coarse-to-fine approach to meet real-time processing requirements.

The local feature-based extract the horizon candidates using the edge information and use consecutive filtering to find the final solution. A limitation of these methods is that if the candidates cannot be extracted from edge information in the previous stage, they are not considered in the next stage, even though these candidates are survival candidates in the filtering of the next stages. Unlike these methods, our method is a heuristic optimization method, and local and global features are concurrently utilized to evaluate each candidate. The proposed method does not extract edge information from multi-scale images, and even for blurred input images, it can detect the horizon line.

On the other hand, the existing global feature-based methods used a global feature as an optimization criterion to optimize the horizon line parameters. These methods are not dependent on edge information, and they can detect the horizon line on blurred and noisy images. But these methods require computational cost because they calculate the global feature for all candidates, and they use exhaustive search to optimize the parameters. Thus, we created a probability map of the horizon line in the pre-processing stage and used it as a global feature factor in the fitness function of the coarse optimization. In coarse optimization, local and global features are

concurrently utilized to evaluate each candidate. In the fine-tuning step, the global feature factor effects were weaker than those of the local feature factor for the optimization because the position of the horizon line was roughly determined in the coarse optimization. Therefore, we assumed only the local feature factor in the fine optimization for fast evaluation of fitness function.

We verified the performance of the proposed method using the Singapore Maritime Dataset (SMD) and Buoy-Dataset (BD), which are publicly available. We compared the performance of the proposed method with state-of-the-art methods, which used the same datasets. The experimental results indicated that the proposed method could detect the horizon line more accurately than the compared methods. In particular, the median positional error and median orientation error of the proposed method were relatively smaller than those of all the compared methods in all datasets. The processing speed of our method was approximately 20fps for high-resolution images.

Additionally, we improved and tested the proposed method on two datasets. Those are detection of the horizon line in road images and detection of borderline detection for mowing machines. The experimental results show that the proposed method, which is based on a genetic algorithm, can be used for other prominent line detection problems.

論文審査結果の要旨

本論文は、遺伝的アルゴリズム (GA) に基づく進化的動画像処理手法 (EVP) を用いた水平線検出手法を提案している。水平線検出は、カメラの向きの推定、連続するフレームの位置合わせ、物体の探索領域の制限など、多くの目的の海上画像処理に役立つ。一方で、既存の水平線検出方法は、エッジ抽出に基づいている。したがって、精度を確保するためにそれらは異なるフィルタサイズでフィルタリングされた複数の画像を使用する必要があり、処理時間が長くなる。また、これらの方法はブラー (ぼかし) に対してロバストではない。本論文では、水平線検出問題をグローバル最適化問題として定式化することにより、エッジ情報から候補を抽出せずに水平線を検出する手法を提案している。画像平面上の水平線を二つのパラメータで表し、それを GA による最適化を利用して検出している。精度の向上のため、適応度関数において、水平線のローカルおよびグローバルな特徴を利用している。処理速度の向上のため、最適化処理は、粗い検出から詳細な検出へ処理を移行するといった戦略を用いることによって高速化されている。その結果、高解像度の海上画像で水平線を 1 動画フレーム当たり約 50 ミリ秒で検出が可能と

なっている。実験結果は、提案手法が他の手法に比べて高い精度を達成できることを示している。また、提案手法の応用の可能性の調査として、道路画像の地平線検出や草刈り跡の境界線検出問題に適用し、提案手法が他の境界線検出問題に適用できる可能性を示している。提案手法は、新規性が高く、精度および処理速度ともに優れており、このような実用的な手法は他に類を見ない。

本論文の構成は以下の通りである。

第 1 章は序論であり、この研究の背景や取り組む問題、水平線検出の問題点、提案手法といった概要が記述されている。最後に、本論文の構成を説明している。

第 2 章では、水平線検出の関連研究のまとめとして、水平線検出および GA の関連研究について記述されている。

第 3 章では、本論文のメインテーマである高い解像度の画像から水平線を高速に検出する手法を説明している。水平線検出問題を大域的最適化問題として定式化し、最適化は GA によって実行されている。GA は、全数検索と比較して、パラメータの組み合わせを少なくして高速最適化を実現する手法である。一般的な simple GA では、ビデオシーケンスのフレームごとに初期個体集団を生成する必要があり、処理時間を要する。そのため、EVP を使用した。EVP は、ビデオシーケンスの最初のフレームで初期個体集団を生成し、最後の世代の個体集団を次のフレームの初期世代として継承する。その結果、最適化の精度が向上し、処理時間を短縮している。また、精度向上のために、ローカル特徴量に加え、グローバル特徴も導入している。さらに、リアルタイム処理のために、coarse to fine 法（粗い探索から詳細な探索へ移行する手法）を採用した。実験結果では、GA のみを利用しグローバル特徴や coarse to fine 法を利用しない手法や、先行研究の手法に比べ、正確に水平線を検出できることを示している。処理速度は、高解像度画像（1920×1080 画素）に対し、約 20fps を達成しており、高速処理を可能としている。

第 4 章では、第 3 章で説明した手法のアプリケーションとして、低解像度の問題への利用について取り組んでいる。低解像度の問題としては、地平線の検出と草刈り跡の境界線の検出問題を挙げている。これらの問題では、実用性を考慮し、低解像度の画像を対象としている。そのため、第 3 章で説明した、グローバルおよびローカル特徴や coarse to fine 法は使用せずに有効性を検証している。

道路画像の地平線検出については、魚眼カメラを用いて取得されたデータセットでテストされており、解像度は低い。実験結果では、約 30fps を達成しており、道路画像においても提案手法が応用可能であることを示している。

草刈り跡境界線検出については、局所テクスチャベースの特徴として GLCM (grey level co-occurrence matrix) 特徴量に基づいて、刈り取られた草と刈り取られていない草の間の境界線を見つける手法を提案している。実験では、k 近傍法によるクラス分類手法と比較して、精度が良いことを示している。

第 5 章では、結論と今後の課題について述べている。これまでの章で述べてきた境界線検出に関する提案手法の有効性と有用性について述べ、これらの手法の

将来性を検討，分析している。

以上，本論文は遺伝的アルゴリズムに基づく水平線検出手法を新規に提案し，その有効性，有用性，応用性を示したものであり，メディア工学分野やコンピュータビジョンの発展に寄与するところが大きい。

よって，本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

原著論文名（1編を記載）

Uuganbayar Ganbold, Junya Sato, and Takuya Akashi. "Coarse-to-Fine Evolutionary Method for Fast Horizon Detection in Maritime Images." IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.104, No.12, pp.2226-2236, 2021/12