

学位被授与者氏名	楊 英 (YANG YING)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 6 6 号
学位授与年月日	2022年3月20日
論文題目	Research on stereo matching of sea surface images for long-distance 3D image measurement
論文題目 (英訳または和訳)	遠距離三次元計測のための海面画像のステレオマッチングに関する研究
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 盧 存偉 同審査委員 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 近木祐一郎 同審査委員 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 宋 宇 同審査委員 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 江口 啓
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	<p>津波は破壊的な自然災害である。現在の津波計測・到達予測システムは、限られた数の地震計や波浪計を使って地震波や海面の高さを測定し、津波の発生の有無、発生場所、発生時間、海岸に到達する規模などを予測するものがある。しかし、限られた数の計測機器を使用するため、大きな予測誤差が生じる可能性がある。この問題を解決するために、本論文ではステレオ視に基づく遠距離津波画像計測システムを提案する。</p> <p>提案システムは、海岸にカメラを設置し、4~20km の遠方海面をリアルタイムで撮影し、画像処理により津波発生の有無を判定し、津波発生の場合ではその到着時間と規模を予測する。提案システムでは、4~20 km 遠距離の海面を 24 時間撮影すること、雨や雪などの悪天候下での画像計測、ステレオマッピング、海面高さの算出、津波発生の有無の判定方法、到達時間と規模の推定方法など、多くの研究課題がある。</p> <p>本論文では、ステレオマッチングについて研究する。ステレオマッチングは下記の 2 つの要件を満たす必要がある：1) 精度要件：海面高度を正確に測定する能力、2) 速度要件：海面高度の測定を迅速に完成すること。しかし、遠距離の海面画像には「視差範囲が大きい」、「異なる波の特徴の相違が少ない」、「海面の非剛体変換」などの特徴があり、ステレオマッチングが困難である。</p> <p>本論文では、上記の問題を解決するために、下記の 3 つの側面からアプローチする：(1)特徴ベクトルとデジジョンツリーによる疎なマッチングを行い、高速度を目指す。(2)リーニングコストボリュームとセミグローバル法による密なマッチングを行い、高精度を目指す。(3)ニューラルネットワークによる視差マップの生成方法を提案し、マッチング波の数を確保する。</p> <p>また、視差範囲が大きい問題を解決するために、視差 <math>d</math> と <math>y</math> 座標の関係を定式化する。異なる波の特徴が少ない問題を解決するために、海面画像の特徴マップを生成するために、non-end to end ネットワーク構造を構築する。非剛体変換の問題を解決するために、海の波を区別するための特徴ベクトルを確立し、いくつかの決定論的特徴に敏感に判断し、いくつかの不確実な特徴を無視することで、波をマッチングするためのデジジョンツリーを構築する。</p> <p>本論文は以下の通り 5 章より構成されている。</p> <p>第 1 章では、津波計測の背景と本研究の目的を紹介する。</p> <p>第 2 章では、波の特徴点の検出、記述、マッチング策略の選択という標準的なマッチングパイプラインに基づく、改良型ステレオマッチング手法を紹介する。各ステップは、遠距離の海面画像の特徴に適応するようにうまく設計されています。</p> <p>第 3 章では、ニューラルネットワークを用いたステレオマッチングのための、学習データセットの作成、ネットワークの構築、ネットワークによる疎なマッチングの方法を紹介する。この章では、特徴ベースのステレオマッチング手法とニューラルネットワークを用いた手法の比較実験を行っている。</p> <p>第 4 章では、提案手法の実験結果を示す。実験では、2 つの撮影地点から 3 つの期間内に撮影された海面画像を用いて行い、提案手法の有効性を検証する。</p>

論文内容の要旨 (英文)	<p>第5章では、この論文をまとめ、今後の課題について述べる。</p> <p>Tsunamis are some of the most destructive natural disasters. Some proposed tsunami measurement and arrival prediction systems use a limited number of instruments, then judge the occurrence of the tsunami, forecast its arrival time, location and scale. Since there are a limited number of measurement instruments, there is a possibility that large prediction errors will occur. In order to solve this problem, a long-distance tsunami measurement system based on the binocular stereo vision principle is proposed in this paper.</p> <p>The proposed system installs two cameras on the coast, takes long-distant image of sea surfaces about 4 ~ 20 km real-time, determines the tsunamis and predicts the arrival time and scale of a tsunami by image processing. In our project, there are many research subjects such as 24-hour image capture for long-distance sea surface of 4 ~ 20 km, image measurement in bad weather such as rain and snow, stereo mapping for binocular stereo vision, calculation of sea level height, method of determining the presence or absence of tsunami, and how to estimate the arrival time.</p> <p>In this paper, we will focus on the stereo matching method. To achieve tsunami measurement, stereo matching needs to meet two requirements: 1) high precision to accurately perceive sea surface anomalies, 2) fast to achieve rapid perception of sea surface anomalies. However, long distance sea surface images have three main features: 1) large disparity range, 2) lacking feature points, 3) non-rigid transformation, they make stereo matching difficult.</p> <p>To realize stereo matching of this system, it is accomplished from three aspects: (1) Sparse matching by feature vector and decision tree for high speed; (2) Dense matching using leaning cost volume and semi global method for high accuracy; (3) Feature map generation by neural network to secure the number of matching waves.</p> <p>In addition, to solve the time and space consumption problem caused by large disparity range, we formulate the relationship between disparity <math>d</math> and the <math>y</math> coordinate. To solve the problem of non-rigid transformation, a feature vector is established to distinguish sea wave from each other and a decision tree is built to matching waves by making judgement sensitive to some deterministic features and ignoring some uncertain features. A non-end to end network structure is built to generate feature map of sea surface image to solve the problem of lacking feature points.</p> <p>The outline of this thesis is as follows.</p> <p>Chapter 1 presents the background of tsunami measurement and the purpose of this work.</p> <p>Chapter 2 introduces the improved stereo matching method based on standard matching pipeline of feature point detection, description and matching strategy selection. Each step is well designed to adapt to long-distance sea surface images' characteristics.</p> <p>Chapter 3 presents the stereo matching by neural network including the making of training data set, the establishment of non-end to end network as well as feature map generation by the network. The experiments to compare the traditional methods and the network are also conducted.</p> <p>Chapter 4 presents the experiment results of the proposed method; the experiment was conducted on sea surface images taken within three periods from two sites to verify the efficiency of our method.</p> <p>Chapter 5 summarizes this thesis.</p>
論文審査結果	<p>審査の結果</p> <p>この論文は津波の三次元画像計測における4~20Kmの遠距離撮影画像の対応付け(ステレオマッチング)問題について、理論的及び実験的な側面から研究を進めている。日本は地震・津波被害の多い国であり、「現時点で、地震予知(警報につながるほど確度の高い地震予測)を行うのは非常に困難である」(日本地震学会の立場より)ので、この研究は津波が発生した場合にそれをいち早く発見し規模を計測することを目指し、実用性を持っていると判断される。</p> <p>現在、津波の計測手段としては「地震津波観測網」、「GPS波浪計」などがあげられる。しかし、これらの既存手法では計測範囲や計測精度、設置及び維持費用などの</p>

	<p>問題が残っている。本学では海岸に設置する二台のカメラを用い、4~20Km 範囲の海面を撮影し、津波の発生と規模を計測する手法を提案した。上記の提案手法を実現するために、二台のカメラより撮影された二枚の画像から同じ画素を探す、いわゆる、対応付け問題の解決は必要不可欠である。遠距離撮影画像の対応付け問題を解決するために、この論文では波の特徴ベクトルに基づく従来の対応付け手法とディープラーニング解析に基づく対応付け手法を提案した。</p> <p>具体的には、まず、数秒の処理時間しか必要としない、特徴ベクトルとデシジョンツリーによる疎な対応付け手法を提案し、津波計測の高速性を確保した。また、海面の三次元的な形状を再現するために、リーニングコストボリュームとセミグローバル法による密な対応付け手法を提案した。尚、従来の対応付け手法との比較のために、ディープラーニングによる対応付け手法も提案し、95%の対応付け精度が得られた。</p> <p>この論文は全5章より構成されている。第1章では、研究の背景と既存の手法について説明し、三次元画像処理技術を用いた津波計測の考え方を述べ、研究の目的を説明する。第2章では、従来の画像処理手法の改良に基づく対応付け手法を紹介する。まず、疎な対応付け手法を紹介し、その後、密な対応付け手法を紹介する。第3章では、ディープラーニングに基づく対応付け手法を紹介する。まずシステムの構成を説明し、その後実験について述べる。第4章では、実験及び結果の考察を説明する。まず実験環境を紹介し、その後疎な対応付け手法の実験結果と考察、密な対応付け手法の実験結果と考察について述べる。第5章では、この論文をまとめ、今後の課題について述べる。</p> <p>これらのことより、提案手法には有用性があると判断された。</p> <p>本研究の成果として、学術論文が2編（内第一著者2編）、国際会議6編（内第一著者4編）となっている。これらの結果には、本研究の新規性、有用性、ならびに、実用性が認められる。以上の理由により、審査委員会は提出論文が学位論文の内容として適合すると判定した。</p> <p>学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることが判明した。</p> <p>以上の結果から、学位審査委員会はこの論文が博士（工学）の学位に適格であると判定した。</p>
<p>主な研究業績</p>	<p>参考論文 11 編1冊</p> <p>学術論文:2 編, 第一著者 2 編</p> <p>1 “A Stereo Matching Method for 3D Image Measurement of Long-Distance Sea Surface”, Journal of Marine Science and Engineering (JMSE), 1-21, 1281, Volume 9, Issue 11, (2021) Authors: <u>Ying Yang</u>, Cunwei Lu.</p> <p>2 “Long-distance sea wave extraction method based on improved Otsu algorithm”, Artificial Life Robotics 304–311, Volume 24, Issue 3, (2019) Authors: <u>Ying Yang</u>, Cunwei Lu.</p> <p>国際会議論文:6 編, 第一著者 4 編</p> <p>1 “Method of Sea Wave Matching Based on Convolutional Neural Network -- A comparison with feature vector matching method”, 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics, GS3-5, Beppu, Japan, Jan. 2020 Authors: <u>Ying Yang</u>, Chenhao Chen, Cunwei Lu.</p> <p>2 “Long distance sea surface images fast sparse matching by integrated feature vector”, Proc. of the Seventh Asia International Symposium on Mechatronics, E21, vol 589, Springer, Singapore, 2019</p>

Authors: Ying Yang, Cunwei Lu, Chenhao Chen.

3 “Research on stereo matching methods for long distance sea surface image”, 2019 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST), ID 125, pp.101-104, Luang Prabang, Lao PDR, 2019

Authors: Ying Yang, Cunwei Lu, Chenhao Chen.

4 “Method of Sea Wave Matching Based on Siamese Network”, Proc. of the Seventh Asia International Symposium on Mechatronics, E25, Vol 589, Springer, Singapore, 2019

Authors: Chenhao Chen, Cunwei Lu, Ying Yang.

5 “Method of Sea Wave Extraction and Matching from Images Based on Convolutional Neural Network”, 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST), ID 131, pp.105-108, Luang Prabang, Lao PDR, 2019

Authors: Chenhao Chen, Cunwei Lu, Ying Yang.

6 “Long distance sea wave extraction method based on improved Otsu algorithm”, 23<sup>rd</sup> International Symposium on Artificial Life and Robotics, OS7-4. Beppu, Japan, Jan. 2018

Authors: Ying Yang, Cunwei Lu.

国内会議論文: 3 編, 第一著者 2 編

1 “ブロック分割二値化手法に基づく遠距離撮影画像の波抽出”, 2020 年度電気・情報関係学会九

支部連合大会, 04-2A-09, Sept. 2020

Authors: 陳志鵬, 楊英, 盧存偉

2 “Long distance sea wave extraction method by improved block Otsu algorithm”, The 70<sup>th</sup> Joint

Conference of Electrical, Electronics and information Engineers in Kyushu, 13-1A-05, Sept. 2017

Authors: Ying Yang, Cunwei Lu.

3 “Improved Mean Shift Algorithm for Long Distance Sea Wave Tracking”, Proceedings of the IEICE

General Conference 2017 電子情報通信学会 2017 年総合大会講演論文集 D-11-41, Mar. 2017.

Authors: Ying Yang, Cu Wei. Lu, Lei Yan, Tsujino Kazuhiro.