

学位被授与者氏名	孫 可 (Ke Sun)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 3 0 号
学位授与年月日	平成 2 4 年 3 月 2 0 日
論文題目	パターン光投影に基づく三次元画像計測に関する研究
論文題目 (英訳または和訳)	Research of 3-D image measurement based on pattern projection techniques
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 赤木 文男 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 西田 茂人 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 大山 和宏
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>物体の表面形状や寸法を非接触かつ短時間で取得できるので、三次元画像計測は近年産業界、医療、セキュリティ等分野に幅広く研究されている。三次元画像計測技術はステレオ視のような受動型手法とパターン光投影計測のような能動型手法に大別できる。本研究では特徴のない物体や、輪郭だけでなく特徴のない部分も計測できるパターン光投影計測について研究を行う。</p> <p>従来の強度変調パターン光投影計測技術は表面色強度分布が簡単な物体に対して、一回のパターン光投影と一回のパターン光画像撮影による計測ができるが、表面色強度分布が複雑な物体に対しては、物体の表面色分布の影響を削除するために投影パターン光画像と別にもう一枚補正用の全照明画像が必要となる。すなわち、一回の投影と二回の撮影が必要である。このため、非静止物体の計測は困難である。</p> <p>この問題を解決するために、本研究では強度変調パターン光投影計測技術に基づき、表面色強度分布が複雑な物体に対しても、一回の投影と一回撮影、即ち 1 枚の観測パターン光画像だけ用いた三次元画像計測手法を提案する。具体には、パターン光画像から補正用の全照明画像を生成し、生成した全照明画像を用いてパターン光画像の補正を行い、三次元画像計測を実現する。</p> <p>本論文は 5 章より構成されている。</p> <p>第 1 章では、本研究の背景を説明し、既存の三次元画像計測の手法の特徴と問題点を解析し、本研究の目的を明らかにする。</p> <p>第 2 章では、強度変調パターン光投影に基づく三次元画像計測技術の基本方法を説明し、特に表面色強度分布が複雑な物体の計測に必要な、投影パターン光画像と全照明画像を用いた縞強度の割り算補正方法を説明し、割り算補正の問題点を洗い出す。</p> <p>第 3 章では、提案手法の原理を説明する。具体には、カラーシステム、観測パターン画像の領域分割、強度補正用全照明画像の生成、パターン光画像の強度補正、観測パターン縞の検出などについて述べる。</p> <p>第 4 章では、提案手法の有効性を証明するための実験方法、実験結果及び実験結果に対する考察を述べる。</p> <p>第 5 章では、本研究の提案方法及び実験結果を総括し、今後の課題について言及する。</p>
論文内容の要旨 (英文)	<p>Three-dimensional (3D) image measurement has recently become a widely researched topic in areas such as industry, medicine, and security, because such measurement allows for the rapid and contact-free examination of the surface properties and dimensions of various objects. 3D image measurement methods can be divided into two major types: passive methods, such as stereo vision; and active methods, such as pattern projection. This study focuses on measurement method based on the intensity-modulated pattern projection technique, which can be used to measure objects without distinguishing characteristics, and parts not only contours but also without distinguishing characteristics.</p> <p>Existing measurement techniques based on the intensity-modulated pattern projection allow for prepared objects with a simple distribution of color on their surface to be measured with a single projection of a light pattern and a single capture</p>

of the reflection pattern image. However, if the distribution of color on an object's surface is complex, an additional full-illumination image must be taken separately from the projected pattern image in order to eliminate the influence of the surface color distribution. In other words, one pattern projection and two image captures must be performed, which is difficult when measuring a moving object.

To resolve this problem, in this study we propose a 3D image measurement method based on the intensity-modulated pattern projection, which requires a single pattern projection and a single image capture, and that can be applied even to objects with a complex distribution of surface color. More specifically, in the proposed method, a full-illumination image is generated from the pattern image and subsequently used to correct the latter, thus allowing for 3D image measurement to be performed.

This paper consists of five sections.

In Section 1, the background of this research is explained, the characteristics of the 3D image measurement method and the associated problems are examined, and the goals of this research are outlined.

Section 2 presents the fundamentals of the 3D image measurement method based on intensity-modulated pattern projection technique. Moreover, a method for division correction of stripe intensity is also explained which utilizes the projected pattern image and the full-illumination image, because that method is essential in measuring objects with a complex distribution of surface color intensity. The problems regarding division correction are also clarified in this section.

Section 3 explains the principle behind the proposed method, specifically the color system, the division of the observed pattern image into domains, the generation of full-illumination image for intensity correction, the intensity correction of the pattern images and the detection of stripe patterns.

The experimental method used for verifying the effectiveness of the proposed technique is presented in Section 4 together with the experimental results and a discussion.

Finally, Section 5 presents a summary of the method proposed in this study as well as of the experimental results, and outlines issues to be addressed in future research.

論文審査結果

本論文では、三次元画像計測技術の実用化のための理論方法の改良について研究を行っている。三次元画像計測は能動法と受動法に大別することができる。二台のカメラを用いたステレオ視のような受動計測法は物体の輪郭等の計測に相応しいが、物体表面全体の形状計測や、特に特徴のない物体の表面計測には困難である。一方、パターン光投影計測のような能動計測法は特徴のない物体の表面計測ができるが、計測には複数回のパターン光を計測物体に投影する必要があるため、計測に時間がかかるだけでなく、非静止物体の計測は困難である。

これまでの研究では、計測時間の短縮と計測精度の向上のため、最適強度変調パターン光投影計測方法が提案された。パターン光を投影する際に撮影した観測パターン画像と、パターン光を投影せずに撮影した全照明画像の二枚画像に基づき、物体の三次元情報を算出する。一回の投影と二回の撮影で三次元計測ができるが、二回の撮影が必要なので、非静止物体の計測は依然として困難である。

一回のパターン光投影と撮影で三次元計測を実現することが本研究の目的である。

この目的を実現するために、本研究は写真撮影せずに、画像解析の手法を用いて観測パターン画像から全照明画像を生成する技術を提案している。具体的には、まず独自のIHC（強度、色相、彩度）カラーシステムを提案し、次に独自の領域分割手法を用いて、観測パターン画像を縞領域と非縞領域に分割する。その後、色相空間を幾つかのサブ空間に分割し、観測パターン画像を各色相サブ空間において幾つかのサブ画像に分割する。また、彩度ノルマ基準を提案し、各サブ画像に対し、彩度ノルマ基準に満たした非縞領域の画素を用い縞領域の画素を補間し、参考画像を生成する。最後に、各色相空間で生成した参考画像を統合し、全照明画像を生成する。一回だけ撮影した観測パターン画像と生成した全照明画像を用いて三次元計測を実現する。

また、パターン光投影計測技術における縞検出精度を向上するために、本論文では周

	<p>波数解析に基づくND-LPF解析手法を提案し、ND-LPFを用いた観測パターン画像の強度補正手法を提案している。</p> <p>これらの提案手法は本研究の三次元画像計測システムに実装されている。様々な色を持つ物体や、非静止物体の計測実験結果は、提案手法の有効性を証明している。このように本研究の内容は、他の研究者によって報告されていない多くの研究成果を含んでおり、学位論文として十分な価値があると認められる。</p> <p>論文の構成は次のようである。第1章では、既存の三次元画像計測の手法の特徴と問題点を解析し、本研究の目的を明らかにする。第2章では、強度変調パターン光投影計測技術の基本方法を説明し、観測パターン画像と全照明画像を用いた縞強度の補正方法を説明し、問題点を洗い出す。第3章では、提案手法の原理を説明する。具体的には、カラーシステム、観測パターン画像の領域分割、強度補正用全照明画像の生成、観測パターン画像の強度補正、縞の検出などについて述べる。第4章では、検証実験の方法、結果及び考察を述べる。第5章では、研究の総括と今後の課題について述べる。</p> <p>本研究の成果として、学術論文が3編（第一著者2編）、国際会議5編（内第一著者3編）となっている。これらの結果には、本研究の新規性と有用性が認められる。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 8編1冊</p> <p>査読論文：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Ke Sun</u>, Cunwei Lu: A High-speed 3D Image Measurement Method, Artificial Life and Robotics , Vol.16, No.4, pp. 526-528, 2012 2. <u>Ke Sun</u>, Cunwei Lu: A Three-dimensional Shape Measurement Method Requiring only a single Observation Image Based on Pattern Projection Technique, IEEJ Transaction on Electronics, Information and System, Vol. 131, No. 12, pp.2224-2225, 2011 3. 盧存偉, 上塘広也, <u>孫可</u>, 辻野和広, 長元気: 立体カメラ: 全自動三次元画像計測システムの開発と応用, 電気学会論文誌C, Vol.131, No. 2, pp.320-328 , 2011 <p>国際会議：</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. <u>Ke Sun</u>, H Kamitomo, Cunwei Lu : A High-speed 3-D Image Measurement Method, International Symposium on Artificial Life and Robotics AROB 16th symposium, No. OS13-1, pp. 36, 2011 5. Yundi Yao, Yao Xu, <u>Ke Sun</u>, Cunwei Lu: An Optimal Analysis Method of Image Intensity for 3D Shape Measurement, Proce. Of tht third International Workshop on Image Analysis (IWIA 2010), pp.39-44, 2010 6. Yao Xu, Yundi Yao, <u>Ke Sun</u>, Cunwei Lu: The Improvement of Intensity Modulation Projection Pattern for 3D Image Measurement, Proce. Of tht third International Workshop on Image Analysis (IWIA 2010), pp.51-58, 2010 7. <u>Ke Sun</u>, Cunwei Lu: Stripe Extraction Technique of Projection Pattern for 3D Shape Measurement Based on Fourier Transform, The 19th Intelligent System Symposium FAN 2009 in Aizu-Wakamatsu, No. E1-2, pp. 75-78, 2009

- | | |
|--|--|
| | 8. <u>Ke Sun</u> , Cunwei Lu: Stripes Extraction Technique of Projection Pattern in Frequency Domain for 3D Shape Measurement Based Pattern Projection Technique, 2009 International Conference on Optical Instrument and Technology(OIT'09), No. 7513-126, 2009 |
|--|--|