

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 張 超

本論文は、「Study on Performance Improvement of Amplitude-Modulated Continuous-Wave Laser Scanner（振幅変調連続光レーザスキャナの性能向上に関する研究）」と題し6章よりなり、英文で執筆されている。現在、インダストリー4.0の台頭と共に、スマートファクトリーの重要性が高まっており、検査装置として3次元計測器が注目されている。スマートファクトリーの実現のためには、高精細で信頼性が高く、あらゆる場面に適用できる3次元計測器が必要である。本論文では振幅変調連続光(AMCW)3次元レーザスキャナを対象とし、そのデータ劣化及びデータ損失、縦横の空間分解能の制限等の課題を検討し、その性能の新しい改善手法についての研究成果をまとめたものである。

第1章は序論であり、3次元レーザスキャナの重要性と、さらなる性能改善の必要性が説明されており、本研究の目的と論文の構成を明らかにしている。

第2章では、種々の方式の3次元計測器のこれまでの研究がまとめられており、その中で3次元レーザスキャナ、特にAMCW 3次元レーザスキャナがスマートファクトリーでの応用に有望であることが説明されている。

第3章では、AMCW 3次元レーザスキャナの測距不確定性およびそれに付随する問題と、その新しい改善手法についての研究成果がまとめられている。AMCW 3次元レーザスキャナは振幅変調の周波数を高めることで高い分解能が可能であるが、それに反比例して測距不確定性が大きくなる。これに対し、高い周波数と低い周波数の2周波数で振幅変調をかける方式を提案し、高い分解能と小さい測距不確定性の両立に成功している。さらに、この方式に付随する折り返し雑音と位相不連続についての問題はデータ処理にて対処できることを示している。

第4章では、AMCW 3次元レーザスキャナにおけるデータ劣化やデータ損失の問題と、その新しい改善手法についての研究成果がまとめられている。AMCW 3次元レーザスキャナでは、コヒーレントなレーザ光と、粗さを有する測定物表面からの反射・散乱光との干渉によりスペックルが発生して受信パワーが極端に低減する場合があります、データ劣化やデータ損失を招き得る。また、鏡面反

射等により受信器が飽和することでもデータ損失が発生する。これに対し本研究では、スペックルの偏波依存性に着目し、高速偏波スクランブリング手法を導入することでスペックルを低減することを提案しており、大きな改善を実証している。さらに、新たな知見として、スペックルの偏波依存性から被測定物の素材の分類の可能性を発見している。また、飽和の問題についても、光電セラミックスを用いた偏波無依存高速可変光減衰器を光検出器の前に実装することで解決できることを示している。

第5章では、AMCW 3次元レーザスキャナにおける横方向および縦方向の空間分解能の新しい向上手法についての研究成果がまとめられている。レーザスキャナは一般的にコリメート光が用いられており、スキャナの出射口でのビーム径は cm から mm オーダであり、それ以下の物体表面の詳細な特徴を評価することができない。この課題に対し、本研究では、2つの解決策を提案している。第一は集光光学系の導入で、焦点におけるビーム径は $100\mu\text{m}$ 以下にでき、焦点深度は数 cm 程度で、焦点外れにある3次元点群の歪みはデータ処理で補正できる。第二の提案はベッセルビーム光学系の導入で、新しく提案したビームフォーミング構成により m 級の伝搬距離を持つベッセルビームを生成することに成功し、AMCW 方式3次元レーザスキャナと組み合わせられることを実証している。

第6章は総括であり、本研究の成果をまとめるとともに、今後の課題を展望している。

以上のように本論文は、AMCW 3次元レーザスキャナの測距不確定性の問題を新しく提案した2周波数振幅変調法とデータ処理により解決し、さらにデータ劣化やデータ損失の問題を高速偏波スクランブリング手法の導入により大きく改善するとともに、新しく集光光学系およびベッセルビーム光学系を取り入れることで空間分解能を向上できることを示したものであり、インダストリー4.0で不可欠な高精細3次元光計測の発展に貢献するところ大である。

よって本論文は博士（学術）の学位請求論文として合格と認められる。