

ふりがな	おのでりょうじ
氏名	小野寺 良二
学位	博士（工学）
学位記番号	新大院博（工）第283号
学位授与の日付	平成 20年 3月 24日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
博士論文名	複数の並進加速度計を用いた多自由度運動センサに関する研究

論文審査委員	主査	教授	三村宣治
	副査	教授	岡田徳次
	副査	教授	山本正信
	副査	教授	大河正志
	副査	准教授	横山 誠

#### 博士論文の要旨

近年、様々な分野でロボットが利用され始めているが、ロボットが安全かつ効果的に活動するためには自己状況認識、環境適応などが必要であり、これらはセンサ情報に基づくものである。特に移動ロボットでは3次元空間内での運動計測が必要不可欠となる。また、スポーツなどの分野では、人の種々運動状態を計測し、それに基づく指導が行われており、この分野でも運動計測が重要である。上記ロボットや人の運動は、3次元空間での複雑な運動であるため、並進・回転それぞれ3自由度（合計6自由度）の運動を同時に計測する必要がある。本研究は、このような運動体の6自由度運動を同時に計測するセンサの開発と応用に関する研究である。

従来、上記のような物体の6自由度運動を同時に計測する手法としては、航空機などで使用されている慣性航法装置（加速度センサ＋角速度ジャイロスコープ）があるが、大型で重く小型ロボットや人の運動計測には利用困難であった。また、近年コリオリ力などを利用した小型の振動ジャイロスコープを用いた手法が開発されているが、ドリフトが大きい、計測精度が不十分およびキャリブレーションが容易でないなどの問題が残っている。

本研究では、複数の加速度センサ情報を統合することにより物体の6自由度運動を計測する手法について研究を行った。このような手法の基本原理は他の研究者らによって提案されていたが、計測値が時間と共に急速に発散するという未解決の問題点があり実用には到っていない。本研究では、まずこの出力の発散問題に関し理論解析を行い、その原因がセンサ方程式中に現れる非線形他軸間干渉項によることを明らかにした。また、その解析結果に基づき非線形他軸間干渉項が生じにくいセンサ配置とその影響を低減する信号処理法を開発し、その効果を数値シミュレーションおよび実験により確認した。

また、従来、多自由度の運動センサでは他軸間干渉を全く考慮せず信号処理がなされていたが、本研究では複雑な運動体の計測において他軸間干渉が重大な問題となることを実験的に示した。従来の多自

由度運動センサでは、高精度のキャリブレーションを行うこと自体が困難で、複雑な運動で発生する他軸間干渉が完全には取り除かれていない。本研究では、提案したセンサシステムの特徴を生かし、高精度にかつ簡便に他軸間干渉を考慮した6軸同時キャリブレーション手法を提案した。これについて数値シミュレーションと実験により各軸のゲイン誤差および他軸間干渉を1%以下に低減できることを確認した。この結果は、従来ほとんど考慮されていない新しい知見であり、実用上も重要である。

さらに本研究では、提案したセンサの応用例として、車両の運動計測を行った。従来の慣性航法装置では、計測した角速度を積分することで姿勢角を算出しているため、積分によるドリフトが発生し姿勢計測には限界があった。それに対し、提案したセンサでは重力成分を計測できることに着目し、車両の運動特性を考慮したカルマンフィルタと組み合わせることで、複雑な運動を行う車両の姿勢をドリフトなしに安定に推定する手法を提案した。この提案手法を用いた実車走行実験によりその効果を確認した。

多自由度の複雑な運動では、センサの取り付け位置が運動の中心（瞬間回転中心）とは限らないが、車両や人のより詳細な運動解析ではその運動の中心が重要となる場合がある。提案したシステムでは、並進と回転がどちらも加速度という同じ次元で計測できるため、運動体の瞬間回転中心、瞬間回転半径なども同時出力が可能である。したがって、得られた成果は、車両や人のより詳細な運動解析にも寄与すると期待できる。

#### 審査結果の要旨

提出された論文に対する公開論文発表会を平成20年2月20日実施し、発表会終了後、5人の審査員による論文審査を行った。

本研究論文は、本分野についての歴史的経緯・背景を良く調査・整理し問題点を明確にしている。その従来の問題点を理論的に解明し、実験的にも確認している。その結果に基づき6自由度の運動センサの新しい構築法を提案し、定量的な評価を通してその有効性を明らかにしている。さらに、他軸間干渉という新しい問題点についても言及し、その解決法を明らかにしており、得られた知見の独創性・新規性が認められる。また、ロボット、車両および人などの複雑な運動解析という実用上の発展に寄与するところも大きいと判断される。さらに、本論文の内容の一部は、6編の和文誌、1編の英文誌と3件の国際会議に発表されており、得た知見の独創性・新規性を認められるに至っている。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。