

審査の結果の要旨

氏 名 星 貴 之

本論文は、自己形状を計測する柔軟シートという新規な形態の計測デバイスを提案し、そのデバイス構造と立体再構成の問題を整理して計測手法の一部を確立したものである。様々な立体の表面に沿うことができる柔軟な布の特性に着目し、布と同様な柔軟性をもちながら、分布センサによって立体再構成が可能な網目状構造のデバイスを提案した。そして網目を構成する単位要素に加速度および磁場のセンサを分布し、重力と地磁気の計測値からデバイスの自己形状を計測するアルゴリズムと計測可能条件、計測精度を論じた。それらは理論および数値シミュレーションによって解析され、最終的にはプロトタイプを試作することによって実験的な検証が行われた。提案された計測装置は、遮蔽の影響を受けない汎用の形状計測法、衣服として装着することによって人間の姿勢・行動を計測するウェアラブルデバイス、ヒューマンインタフェース、ハプティクスなど幅広い応用が可能であることが論じられている。このような本論文は以下の5章から構成される。

第1章の序論においては、自己の形状をリアルタイムで計測する布状デバイスという新規な概念が提案され、従来の3次元形状計測法を概観しながら本論文の研究の位置づけを明確化している。このようなデバイスを実現する近年の技術的背景が整理され、提案デバイスの応用分野が展望されている。

第2章では、そのような計測を可能にする布状デバイスの構成原理が論じられている。布の柔軟性が、縦糸と横糸の角度変化を許容する織物特有の構造に起因することを指摘し、同様な性質を保持する網目状デバイスを提案している。具体的には長さが不変なリンクを網目状に結合した構造が、全体としては伸縮性をもつシートを構成できることを指摘し、そのような網目構造を本論文の計測シートの基本構造とすることが述べられている。柔軟性をもつ網目構造の幾何学が整理され、網目の構造と計測の自由度の関係が論じられている。さらにこのような網目構造の各リンクに、その姿勢を計測するセンサが分布することによって網目構造全体の3次元構造が推定できることを指摘し、本論文における立体再構成の問題設定を定義している。リンクが加速度運動する場合や、近傍に磁場源が存在する場合には、歪んだ重力場、磁場の中でリンクの姿勢が観測される。それらのデータから、個々のリンクの長さ・形状が不変であることを用いて網目の全体形状を再構成することが本論文で取り組んだ問題である。理想条件、すなわち重力場と磁場が歪んでいない状態においては良設定問題として3次元形状推定が可能であるが、この理想条件を逸脱する場合の計測性能を評価することが以下の章での主要テーマとなる。

第3章では、重力と地磁気の方角を同時計測できるセンサ素子がリンクに配置されていることを前提とし、センサの加速度や磁場ノイズが小さい場合の3次元形状再構成アルゴリズムが論じられている。計測の冗長性が整理され、加速度と磁場のノイズが立体復元に与える影響について数値解析での検証が行われている。

精度よく立体再構成が可能な条件が整理され、実時間で実行可能な再構成アルゴリズムが提案されている。それらの結果が小規模な試作デバイスによって実験的に検証されている。

第4章では、搭載される分布センサの計測自由度が制限されている場合の再構成方法が検討されている。具体的には重力方向のみを検出可能な3軸加速度センサを仮定し、そのセンサ出力から3次元形状を再構成する。この場合、単一のリンクの姿勢は決定できないが、複数リンクの集合体としての網目の全体形状は多くの場合に決定可能である。ここでは再構成が可能になる立体形状のクラスが、理論および数値解析によって明確にされており、再構成可能な条件下での形状推定アルゴリズムが示されている。この推定においても実試作デバイスによる実験的検証が行われている。

第5章は結論であり、成果の総括がおこなわれている。

以上、要するに、本論文は自己形状を計測する柔軟シート状デバイスの基本原理を提案し、その計測能力を理論的、実験的に検証したものである。その成果は計測工学をはじめ実世界情報学、ロボティクス、ヒューマンインタフェース工学まで幅広い分野に貢献する成果であると判断される。よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。