

論文内容の要旨

博士論文題目 Estimation of Upper Limb Motion Based on Skin
Deformation Measured with a Distance Sensor Array
(距離センサアレイを用いて計測した皮膚形状変化に基づく
上肢の動作推定)

氏 名 趙 崇貴

(論文内容の要旨)

上肢動作は我々の日常生活と深い関わりを持つ。我々は上肢を用いることにより、様々な日常物体の把持・操作を実現している。これまでに様々な上肢動作推定手法が開発され、VRやロボットアプリケーションの入力インタフェースや、医療福祉、スポーツ、工業分野における動作計測に応用されている。上肢動作推定においては、画像情報や慣性・磁気情報、生体信号などが入力信号として広く用いられている。特に生体信号に基づく手法は、前腕や上腕に装着したウェアラブルセンサのみを用いて推定可能なことから、様々な計測環境における利用が期待されている。

我々は上肢動作推定の入力信号として、動作時に皮膚表面に生じる形状変化情報に着目した。皮膚形状変化は上肢の動作に関与する筋肉の動きのみではなく、連動して動く骨、腱の動きによっても生じる。特に、表面筋電位のような既存の生体信号では計測が困難な深層筋の活動を連動して動く骨、腱の運動から取得することが可能である。そのため、皮膚形状変化を用いることにより、表層筋のみではなく深層筋の活動に関与する様々な動作を推定可能であると考えられる。

本論文では、皮膚形状変化に基づく上肢の動作推定手法を提案する。はじめに、前腕と上腕の全周における皮膚形状変化を計測すべく、計測部位ごとに適した距離センサアレイを開発する。次に、様々なアプリケーションに対応すべく、動作認識と姿勢推定の2種類の手法を開発する。動作認識手法では、前腕における皮膚形状変化に基づいて深層筋の活動に関与する動作を含む7種類の手の動作を分類する。姿勢推定手法では、前腕における皮膚形状変化に基づいて前腕、手、指の3次元姿勢を推定する。また、上腕における皮膚形状変化に基づいて、前腕の姿勢を推定する。

手の動作の認識実験では、前腕形状に基づき表層筋のみではなく深層筋の活動に関与する動作を含む7種類の動作を分類可能であることを確認した。上肢の姿勢推定実験では、前腕形状に基づき、各関節を独立に動かす単一動作のみではなく、より複雑な日常生活動作においても、前腕、手、指の姿勢を連続的に推定可能であることを確認した。また、上腕形状変化に基づき、肘の屈曲・伸展と前腕の回内・回外が同時に変化する複合的な動作においても、前腕の姿勢を連続的に推定可能であることを確認した。実験を通して、様々な動作の認識、推定を実現したことから、上肢動作推定における皮膚形状変化の有用性を確認した。

(論文審査結果の要旨)

本研究は、生体信号に基づく上肢動作推定手法の入力情報として、皮膚形状変化の利用を提案している。その中で皮膚形状変化の計測システム、計測された情報に基づく動作の推定手法を開発し、実験においてその有用性を検証している。本論文の主な成果は、以下に要約される。

1. 上肢動作推定の入力信号として、既存の生体信号ではなく皮膚形状変化に着目した点に提案性がある。筋肉のみでなく骨や腱の運動情報が含まれる皮膚形状変化を用いることにより、様々な上肢の動作推定が可能であることを示している。
2. 距離センサアレイを用いた皮膚形状変化の計測システムを考案した点に提案性がある。様々なユーザーに対応可能な距離センサアレイを開発し、前腕もしくは上腕における皮膚形状を計測し、動作推定の入力として用いている点に独創性がある。また、提案された計測システムを用いることにより、皮膚に直接のみではなく、衣類を通して皮膚形状変化を計測可能である点についても、既存の生体信号と比較して、有用性がある。
3. 皮膚形状変化に基づいて、動作認識手法のみではなく連続的な姿勢推定手法についても実現した点に新規性がある。生体信号に基づく手法の多くは、動作の認識にとどまっているが、皮膚形状変化を用いることにより、連続的な姿勢の推定も可能であることを示した点に独創性がある。また、筋肉のみではなく、連動する骨や腱の運動情報が取得可能な特徴を生かし、計測部位から遠位の身体部位の動作を推定可能なことを示したことに、有用性がある。

以上のように、本論文は皮膚形状変化の計測システムと計測された情報に基づく上肢動作推定手法を提案するとともに、その有用性を確認し、ロボティクスおよびヒューマンマシンインタフェース研究の進歩に貢献している。よって本論文は、博士(工学)の学位論文としての価値があるものと認める。