

[研究助成 (A)]

ワイヤメッシュ回路と深層学習の融合による
シート型触覚インターフェースの開発

2221015



研究代表者

秋田工業高等専門学校
創造システム工学科
電気・電子・情報系

講 師

佐 藤 貴 紀

[研究の目的]

ヒトが身に着けることによって失った・衰えた身体能力を再生・補助するウェアラブルロボットの開発は、介護やリハビリテーションの必要な高齢者や障がい者の自活や社会復帰を促進し、少子高齢化による人手不足、要介護者の増加による介護者不足の両問題を一挙に解決し得る重要な課題である。日常的に着用可能で個人で所有可能なウェアラブルロボットの実現のためには、生体親和性の高い柔軟・軽量の素材で構成され、安全性とメンテナンス性のために比較的単純な構造であることが望ましい。本研究では、機械的構造を持たない次世代の動力として期待されているソフトセンシングアクチュエータに着眼した。ソフトセンシングアクチュエータとは柔軟・軽量のシート状の圧電素材で、触覚センサ機能とアクチュエータ機能を併せ持つソフトマテリアルである（図1）。理論的に

はシート面上のあらゆる部位にセンサ・アクチュエータ機能が偏在していることから、シート材のみでロボットを構成することが可能である。

本構想の問題は、ソフトセンシングアクチュエータのシート面上に偏在する機能を空間分解して計測・制御する技術が未だ存在しないことである。現状のソフトセンシングアクチュエータはシート全体を1つのセンサ・アクチュエータとした利用しかされておらず、シート面上に偏在する機能を活用しきれていない。

本研究では特にセンサ機能について、シート面内を空間分解して多チャンネル計測する手法と、多チャンネル計測値から応力分布を推定するシステムの検討を目的とする。

[研究の内容、成果]

1. ワイヤメッシュ回路による多チャンネル計測

通常のソフトセンシングアクチュエータでは、シート面全体を電極で挟み込む構造をしていることから、面上のどの位置を刺激しても面全体で1chの計測となる。本研究では、ワイヤメッシュ回路を用いたシート面内の多チャンネル計測を検討した。ワイヤメッシュ回路とは計測試料を縦横のワイヤ状電極で挟み込む構造で、縦横のワイヤの組合せを切り替えながら計測することで、各メッシュ交点位置における値の計測が期待できる。

測定対象として高分子圧電素子であるピエゾ

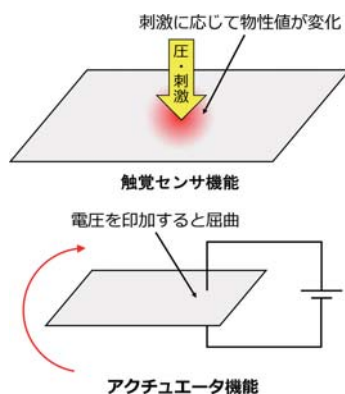


図1 ソフトセンシングアクチュエータの概略図

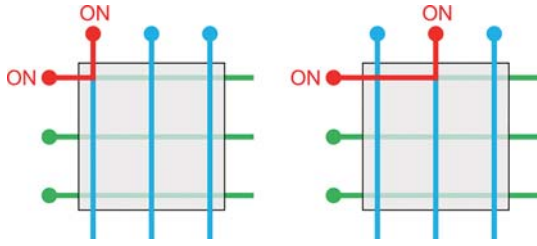


図2 ワイヤメッシュ回路の概略図

フィルムシート (20 μm 厚, 5 cm $\times$ 5 cm, 電極なし) を, ワイヤ状電極として銅テープ (1 cm 幅) を使用した。ワイヤメッシュ電極間の計測にはマルチファンクション I/O デバイス (USB-6229-BNC, National Instruments) を使用し, 電極間の電圧の経時変化を計測した。

ワイヤメッシュ電極によって任意の位置の計測が可能であることを検証するために, 1 $\times$ 1 ch の電極構造での計測を行った。シート形状が変形しない条件下で刺激 (硬い台上で圧力を印可) した場合は, 刺激位置にかかわらず計測信号に変化は見られなかった。一方, 形状変形を伴う刺激 (柔らかいスポンジ上で圧力を印可, 曲げ等) の場合には計測信号に変化が見られたが, 刺激に対して再現性のある信号変化は得られなかった。

2. 深層学習による分布推定シミュレーション

ワイヤメッシュ回路の計測値からメッシュ交点部位の値を推定可能であることを検証するために, 図3に示す2 $\times$ 2 ch のワイヤメッシュ回路で抵抗値計測を行った場合のシミュレーションを行った。

ワイヤメッシュ回路で計測される4 ch の抵

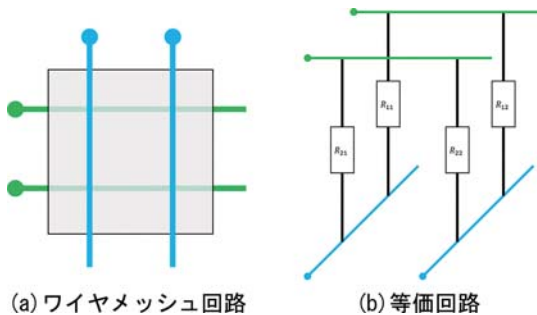
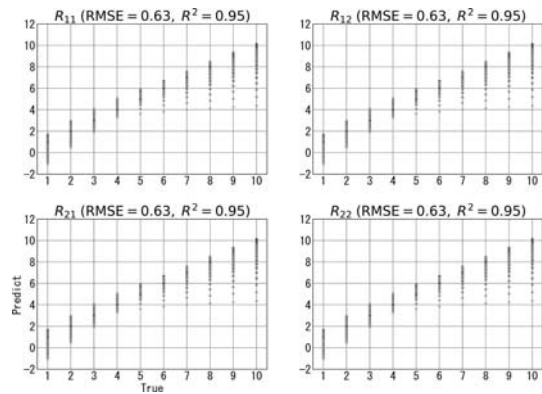


図3 部位抵抗による等価回路

抗値ベクトル $\mathbf{Z}$ は, 4つのメッシュ交点部位抵抗値ベクトル $\mathbf{R}$ の合成抵抗である。刺激に応じて $\mathbf{R}$ が変化すると仮定して, $\mathbf{R}$ と $\mathbf{Z}$ のシミュレーションデータセットを作成した。計測値 $\mathbf{Z}$ から部位抵抗値 $\mathbf{R}$ の推定には, 一般線形モデル (GLM: General Linear Model) と多層パーセプトロン (MLP: Multi-Layer Perceptron) を使用し, 推定精度を比較した。

図4, 5に訓練データにおける GLM と MLP の推定結果を, 図6に両手法の推定誤差 (RMSE: Root Mean Squared Error) の比較を示す。図4, 5より, GLM の推定では真値から大きく外れる推定結果があるのに対して, MLP ではどのデータセットでも高精度に推定できていることが分かる。また, 図6に示すように, 推定誤差の平均も分散も MLP の方が顕著に小さかった。

線形モデルである GLM での推定誤差が大き



(横軸：真値, 縦軸：推定値, 赤丸：真値)

図4 GLM の推定結果 (訓練データ)

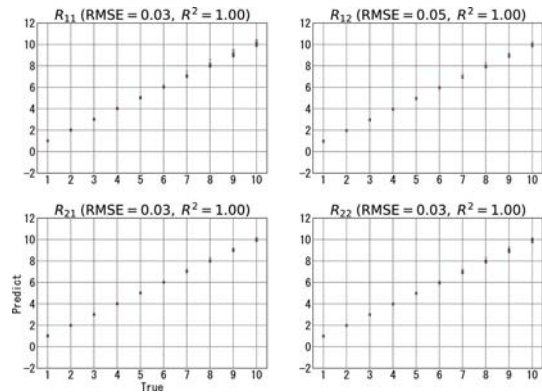


図5 MLP の推定結果 (訓練データ)

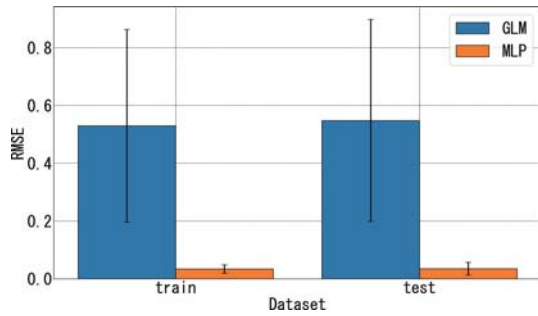


図6 GLM, MLP の推定誤差の比較

いことから、計測値 Z と部位抵抗値 R の関係性は非線形であることがわかるが、MLP を用いることで非線形モデルも高精度に推定可能であることが確認できた。

[今後の研究の方向性, 課題]

piezofilmシートに対して1×1 chのワイヤメッシュ回路による電圧計測を行ったところ、再現性のある計測方法・計測条件を同定することができなかった。今後は、シート面の法線方向への感度がより高いシート材の検討、抵抗値・静電容量等の別の物性値特性計測等により、引き続きワイヤメッシュ回路による計測方法・計測条件の確立を目指す。

ワイヤメッシュ回路による抵抗値計測を想定したシミュレーションによって、MLPを用いることで非線形な関係にある計測値と部位値も高精度にモデル化可能であることが示唆された。今回は単純な抵抗としてシミュレーションを行ったが、今後は実際の測定試料のデータシートをもとにしたシミュレーションを行うことで、最適なシート材・計測手法・計測条件の検討や、シミュレーションデータによる訓練データの拡張の検討を行う予定である。