

[研究助成 (C)]

音響センシングを用いたスポーツウェアの
スマートデバイス化手法の確立

Establishment of smart device method for sportswear using acoustic sensing



2217001

研究代表者
(助成受領時：
共同研究者

慶應義塾大学 理工学部 特別研究員 PD
筑波大学 理工情報生命学院 博士後期課程)
筑波大学 システム情報系 教授

雨 坂 宇 宙
志 築 文 太 郎

[研究の目的]

筋力トレーニング（以降、筋トレ）は一人でできる運動であり、多くの嗜好者がいる。筋トレ時のモチベーションの維持やトレーニングの効率的な管理のために、筋トレ時にユーザを支援する機能が求められる。これまで、いくつかの研究にて筋トレの自動記録、筋トレ時などを想定したジェスチャ認識による周辺機器の操作、フィードバックによる適切なトレーニングの支援などが実現されてきた。我々は、これらの機能を同一の素子で実現する手法として、 piezo素子を用いた筋トレ支援システム（図1）を提案した。piezo素子は電圧を印加することで振動する圧電効果によって、スピーカとしての利用が可能となる。また、振動を電圧に変換する逆圧電効果によってマイクとしての利用も可能となる。提案システムの3つの機能の内、音声・振動フィードバックはpiezo素子の本来の利用用途であり、実現は可能であると考えられ

る。一方で、トレーニング記録とタッチジェスチャ認識に関する調査は詳しく行われておらず、piezo素子による実現可能性を明らかにすることが本研究の目的である。

[研究の内容、成果]

piezo素子で利用可能なセンシング手法である音響センシングは、物体や身体にマイクとスピーカを配置し、音波を測定信号として伝播させ、その応答を解析することにより状態を推定するアクティブ音響センシングと、何らかのアクションで発生する音を解析することにより、そのアクションを推定するパッシブ音響センシングに分かれる。提案システムでは、アクティブ音響センシングを用いてトレーニング記録を行い、パッシブ音響センシングを用いてタッチジェスチャ認識を行う。以下に各研究の内容および成果をまとめた。

研究1：アクティブ音響センシングを用いたトレーニング記録

本研究では、自宅でも手軽に可能なダンベルを用いた筋トレに着目した。ユーザの前腕にpiezo素子で作製したスピーカ・マイクを装着し、スピーカより超音波信号を再生することで、超音波信号が人体内部を伝播する。この伝播した信号をマイクから取得する。この時、ダンベル運動によって、前腕部の筋収縮が発生すると、

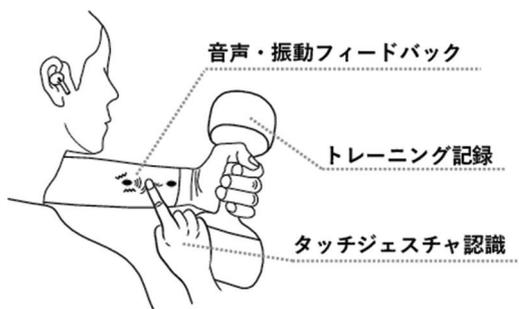


図1 システムの利用イメージ

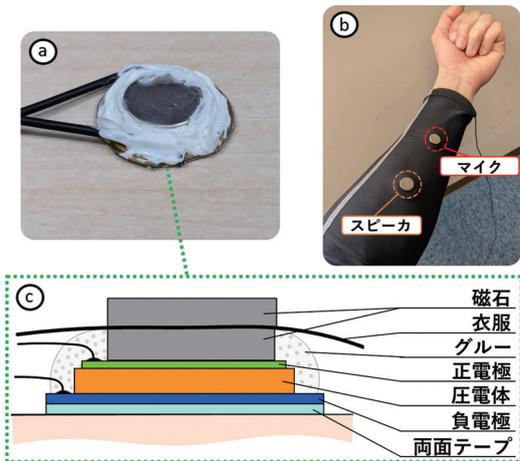


図2 実験デバイスと装着方法。a: 実験デバイス, b: デバイス装着時, c: 実験デバイスの詳細構造



図3 測定するダンベル運動

伝播する超音波信号の信号経路や伝播特性が変化するため、マイクで得られる信号も変化する。この変化パターンを解析することで、種目・試行回数・把持重量の推定を行う。

実験参加者には、スピーカの機能を有したデバイスとマイク機能を有したデバイス（図2a, c）を図2bのように前腕部に装着してもらった。この状態で、図3に示す10種類のダンベル運動を4種類の重量で10試行ずつ行ってもらった。この実験を5名の参加者で行った。得られたデータを用いて、種目推定、試行回数推定、把持重量推定を行った。

各推定の結果を表1にまとめた。種目推定では、勾配ブースティング決定木を学習モデルとし、種目をラベルとするクラス分類を行った。実験の結果、種目推定の認識率は平均61.1%であることがわかった。試行回数推定では、特定波形との相関値の推移を計算し、運動の繰り返し動作によって生じる極大値と極小値のペアを1試行として回数推定を行った。実験の結果、

表1 実験参加者ごとの種目認識・試行回数推定・重量推定の結果

参加者	種目認識[%]	試行回数推定[%]	重量推定[kg]
P1	59.8	88.1	±0.77
P2	76.6	91.0	±0.79
P3	56.5	99.9	±0.74
P4	56.1	88.0	±0.74
P5	55.6	95.5	±0.73
平均	61.1	92.5	±0.75

試行回数推定精度は平均92.5%であることがわかった。把持重量推定では、サポートベクタ回帰を学習モデルとし、把持重量の回帰モデルを作成し、重量推定を行った。実験の結果、把持重量推定の推定誤差は±0.75 kgであった。

研究2：パッシブ音響センシングを用いたタッチジェスチャ認識

本研究では、市販の衣服へのタッチジェスチャ認識実験を行った。 piezo素子を装着した衣服の周辺で、衣服上を押す・なぞるなどの動作を行うと衣擦れ音が発生する。衣擦れ音の音量や周波数特性は動作によって異なるため、得られた衣擦れ音を解析することでユーザが行った衣服上の動作を認識することが可能となる。

実験参加者には、図4に示す着脱可能なマイクとスピーカを衣服に装着してもらった。実験は4種類の異なる衣服の前腕部でのタッチジェスチャ認識実験、シャツのボタン部分でのタッチジェスチャ認識実験、ズボンのポケット部分でのタッチジェスチャ認識実験を行った。前腕部タッチジェスチャ認識実験では、図5に示す

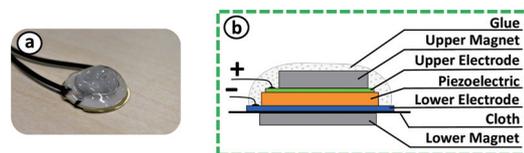


図4 実験デバイス。a: 実装デバイス, b: 装着構造

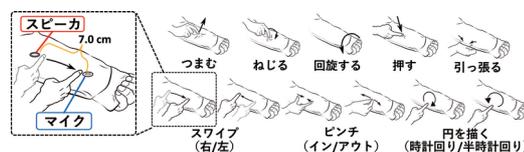


図5 前腕部タッチジェスチャ

12種類のタッチジェスチャを行ってもらった。この実験を各衣服にて12名ずつの参加者で行った。実験の結果を図6にまとめた。実験全体の認識率は平均83.9%であった。認識率向上のために、誤認識率の高いタッチジェスチャを省略し、認識するジェスチャを5種類に絞った所、全体の認識率は95.8%に向上した。また、全ての衣服で95%程度の認識率が得られることを確認した(図7)。ボタン部分とポケット部分のタッチジェスチャ認識実験では、それぞれの部分で図8に示す5種類のジェスチャを行ってもらった。これらの実験を5名の参加者で行った。実験の結果を図9にまとめた。各部位のジェスチャ認識率の平均はそれぞれ89.2%と92.6%であった。

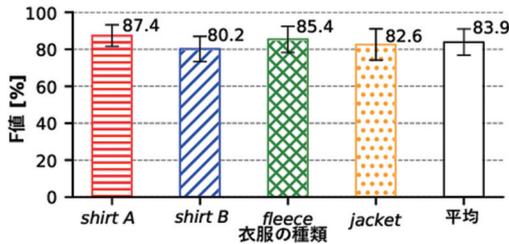


図6 前腕部タッチジェスチャ認識実験の結果 (12種のジェスチャ)

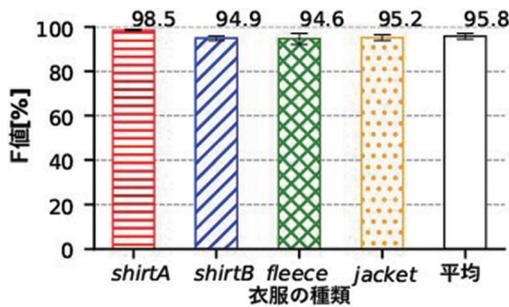


図7 前腕部タッチジェスチャ認識実験の結果 (5種のジェスチャ)

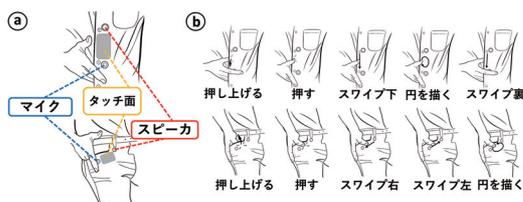


図8 ボタン部分およびポケット部分タッチジェスチャ

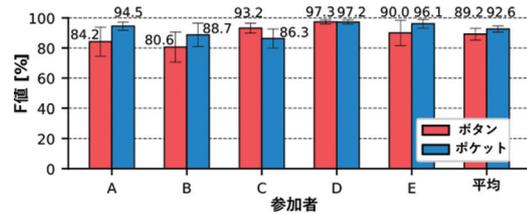


図9 ボタン部分/ポケット部分のタッチジェスチャ認識実験の結果

[今後の課題]

研究1では、認識種目と把持重量の推定精度が十分ではなく、今後の改良が必要である。利用する機械学習モデルや特徴量の再考を進める予定である。また、実験参加者の人数を更に増やし、提案システムの性能を精査する必要がある。

研究2では、スポーツウェアでのタッチジェスチャ認識実験を行う必要がある。また、スポーツ時にはタッチジェスチャ以外にも動作や環境音によるノイズが発生すると考えられる。そのようなジェスチャ以外に発生する音とタッチジェスチャ時の音を区別するシステム改良が必要である。

[成果の発表, 論文など]

〈論文誌〉

1. Takashi Amesaka, Hiroki Watanabe, Masanori Sugimoto, Buntarou Shizuki: Gesture Recognition Method Using Acoustic Sensing on Usual Garment, Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, Vol. 6, No. 2, Article 41, 2022.

UBI研究会国際会議発表奨励賞 受賞

〈査読無し国内論文〉

1. 雨坂宇宙, 渡邊拓貴, 杉本雅則, 志築文太郎: ビエゾ素子を用いた筋力トレーニング支援システムのための基礎検討, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO 2022) 論文集, pp.1610-1617, 2022.

優秀論文賞・優秀プレゼンテーション賞 受賞