

アクティブ骨導音センシングを用いた次世代ユーザインタフェース技術の研究開発 (162103009) Next Generation User Interfaces Based on Active Bone-Conducted Sound Sensing

研究代表者

竹村憲太郎 東海大学

Kentaro Takemura Tokai University

研究分担者

池田篤俊[†]

Atsutoshi Ikeda[†]

[†]近畿大学

[†]Kindai University

研究期間 平成 28 年度～平成 30 年度

概要

本研究課題では、骨に能動的にした振動を用いて計測を行うアクティブ骨導音センシングで MP 関節や手首、肘などで複数及び複雑な関節角度の推定を実現した。また、関節角度や手形状の推定以外では、指先接触力や把持力の推定に取り組み、力の推定に対しても提案手法が適用できることを示した。リング型や腕時計型の計測装置で推定ができることから、触感等を阻害することなく計測することが可能で、日常的に利用が可能な技術となっている。

1. まえがき

本研究の目的は、骨に能動的にした振動を用いて計測を行うアクティブ骨導音センシング技術を発展させ、次世代ユーザインタフェース技術として「どこでもマルチタッチ」、及び「どこでも感圧センシング」、「どこでも触覚フィードバック」を実現することである。これまでの研究では、能動的にした振動が関節角度に依存して変化することを発見し、その現象を用いた関節角度推定技術に取り組み成果を挙げてきたが、推定対象が単関節の 1 自由度に限定されるなどユーザインタフェースとして利用するには制限が多いことが問題であった。そこで本研究では、アクティブ骨導音センシングを発展させ、複数関節の角度、及び手形状、指先接触力、把持力の推定を実現すると共に、触覚フィードバックの呈示が可能であることを示した。また、下肢に対しても手法を適用し、足関節の角度推定など応用範囲を広げた。振動の伝播を利用したセンシングであることから、計測部位から離れた箇所にデバイスの装着が可能であり、日常生活を阻害しない常時装着型インタフェースとしての発展が期待できる。

2. 研究開発内容及び成果

2.1 周波数特徴量を用いたアクティブ骨導音センシング
これまでの研究では、1 自由度の関節角度に推定対象が限定されていたが、ユーザインタフェースとして応用範囲を広げるため、手法の改良を行った。従来は、正弦波の振動を身体にしていたが、本研究では特徴量を増やすため、800 Hz 以上の周波数帯で変化するスイープ信号へと変更した。これによりされた振動は、手等に分布する機械受容器で触知覚されない。正弦波の時は、振幅変化を特徴量として関節角度の推定を行っていたが、振動をスイープ信号と変更したことで、パワースペクトル密度や線形予測符号によって算出されたスペクトル包絡等の特徴量を推定に用いることが可能となった。推定には、機械学習手法を積極的に採用し、サポートベクトル回帰や XGBoost 等を用いて推定を行った。以下、提案手法を用いて推定を実現した関節角度、及び手形状、指先接触力、把持力、下肢の関節角度について述べる。

2.2 複数・複雑な関節の角度推定

これまで 1 自由度の関節角度の推定に限定されていた手法を、手首・肘関節などにセンサ・アクチュエータをそれぞれ配置することで、複数の関節角度が同時に推定可能であることを確認した。また 2 軸性の関節として、示指の MP 関節や手首の掌屈・背屈と橈屈・尺屈の推定に取り組み、図 1(a)に示すように角度推定を実現した。また、後述する操縦インタフェースとして利用する際、複数の関節角度を用いると腕の長さ等の個人パラメータが必要となることから、手先位置(x, y 座標)を直接推定する手法も提案し、有効性を示した。

2.3 手形状識別

手指を用いたインタフェースを実現する場合、手指に含まれる関節すべての角度を推定することは困難である。そこで、手首に装着したリストバンド型のデバイスを用いて能動的な振動の及び伝播振動の計測を行った。図 1(b)のように識別を行ったところ、5 形状では約 98%、7 形状では約 90%の精度で識別を実現した。

2.4 指先接触力推定

これまでの研究で、示指の MP 関節の伸展時と屈曲時で伝播振動の変化傾向が異なることが確認していた。この要因は、伸展時と屈曲時に必要とされる力の変化に起因するものと考えられることから、外部から力が加わった際も、同様に伝播する振動に変化が生じると予想していた。そこで、指先が接触した際に生じる 3 軸の指先接触力を、アクティブ骨導音センシングを用いて図 1(c)のように推定した。研究開発目標として定めた平均誤差 ± 1 N 以内の推定を達成すると共に、クリック感等のフィードバックも同時に呈示出来ることを確認した。

2.4 把持力推定

指先接触力では外部との接触によって生じる変化を捉えたが、内力の変化によっても伝播振動に変化が生じると考え、把持力の推定に取り組んだ。図 1(d)のように把持力の計

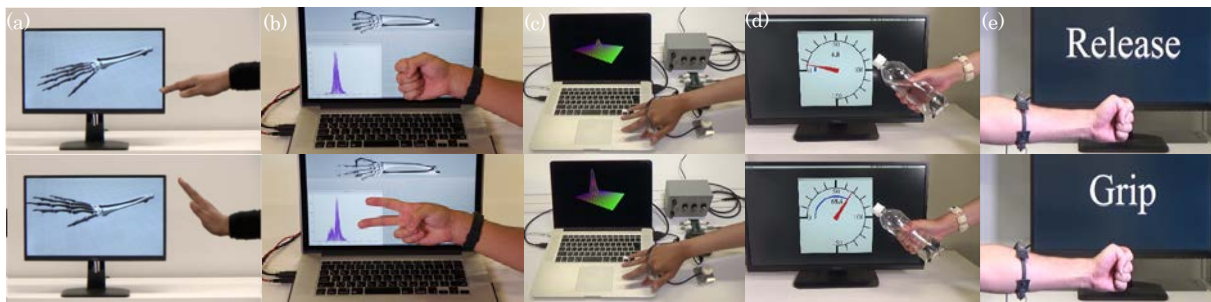


図1 アクティブ骨導音センシングを用いた推定結果
 ((a)手首関節、(b)手形状、(c)指先接触力、(d)把持力、(e)力の発揮・解放)

測が可能であり、評価実験を行ったところ、平均±4 N 程度の誤差で計測が可能である。

また、ユーザインタフェースの観点から汎化性能の向上について検討を行ったが、身体を伝播する振動は個人パラメータに依存するところが大きく、高精度な計測を実現するには個人ごとの学習が必要不可欠であった。そこで、柔軟材料で計測デバイスを製作し、デバイスの伸張を振動で計測する手法にも取り組んだ。簡易なシステムとなるが、閾値を1つ調整することで、個人ごとの学習を行わずに力の発揮と解放を図1(e)のように識別することを実現した。

2.5 触覚フィードバック

能動的に振動を入力することで計測を行うアクティブ骨導音センシングでは、振動の知覚が懸念されるが、800 Hz 程度よりも高い周波数になると、手等に分布している機械受容器で観測することは難しく、触知覚されないことが分かっている。これに基づきセンシング用に入力する振動の周波数を設定してきたが、一方で敢えて知覚可能な振動をフィードバックとして入力することも可能である。また、複数のアクチュエータを用いるとファントムセンセーションによって任意の位置に振動を提示することも可能である。そこでファントムセンセーションと同時に関節角度推定を行ったところ、関節角度は10度以下の精度で推定が可能であることを確認した。また、本提案手法が有効なアプリケーションとして、ロボットの遠隔操縦インタフェースの実装を行い、双腕ロボットである Baxter のエンドエフェクタの位置制御を行い、実現可能性を確認した。

2.6 足関節角度推定

手指から肩までを主な推定対象として取り組んできたが、能動的に入力した振動が変化するのは上肢に限定したことではない。そこで、下肢に対しても同様にアクティブ骨導音センシングを適用し、足の関節角度の推定についても実現可能性を確認した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

インタフェースとしての基礎技術を3年間取り組んできたことから、今後は応用分野に着手し、波及効果創出に向けて努める。本研究では、応用例の一つとしてロボットの遠隔操縦インタフェースの実装を行ったが、研究開発を通して確認された特徴や精度などを踏まえて、その他のアプリケーションへと研究成果を展開する予定である。近年 VR、MR、AR に加えて SR と言葉が生まれ、リアリティを高める技術開発が求められている。本研究の成果はこれら XR に必要な技術となっており、視覚情報の提示と合わせながら利用するとともに、振動提示パターンの種類を増やすことで、SR 技術としての価値も高めていきたい。

例えば、リハビリテーションがその一例であり、角度推定と触覚フィードバックを提供できる本研究成果と相性が良いと考えている。

4. むすび

本研究では、アクティブ骨導音センシングを用いた次世代インタフェース技術に取り組み、身体を伝播する振動を手掛かりに、関節角度、及び手形状、手先位置、指先接触力、把持力、足関節の推定を実現した。従来は、1自由度の関節角度に推定対象が限定されていたが、振動を用いて複数の関節や力の推定を実現しており、インタフェースとしての応用範囲を大きく拡大させることができた。

応用例としては、ロボットの遠隔操縦インタフェースへの展開を試み、実現可能性を確認すると共に問題点を整理することができた。今後は、リハビリなどの分野で展開していく予定である。

【誌上发表リスト】

[1] 加藤寛之、竹村憲太郎、“能動的振動入力による手形状識別”、計測自動制御学会論文集、Vol.54、No.1、pp.62-68、(2018年1月)

[2]池田 篤俊、小杉 真一、田中 康仁、“骨導音センシングシステムを用いた足関節の振動伝搬解析”、臨床バイオメカニクス、Vol. 39、pp. 247-251、(2018年10月1日)

【査読付き口頭発表論文リスト】

[1]Nobuhiro Funato, and Kentaro Takemura, “Estimating three-axis contact force for fingertip by emitting vibration actively,” in Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.406-411.(2017年12月6日)

[2]Atsutoshi Ikeda, Shinichi Kosugi, and Yasuhiro Tanaka, “Propagating Vibration Analysis of Leg Towards Ankle Joint Angle Estimation,” in Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces: Companion, pp. 11-12, (2019年3月18日)

【その他の誌上发表リスト】

[1] 竹村憲太郎、装着型デバイスに向けたヒューマンセンシング（視線計測技術とアクティブ骨導音センシング）、日本設計工学会誌、Vol.53、No.11、pp.795-801、(2018年11月5日)

【受賞リスト】

[1] 加藤寛之、竹村憲太郎、第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2016 優秀講演賞、“能動的振動入力による触覚フィードバック可能な手形状推定”、2016年12月18日

【本研究開発課題を掲載したウェブページ】

<https://takemura-lab.org/>
<http://srl.mec.kindai.ac.jp/>