

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00285

研究課題名(和文) 触覚情報の記録・提示が可能なアクティブ骨導音センシング

研究課題名(英文) Active bone-conducted sound sensing for sensing and providing tactile perception

研究代表者

竹村 憲太郎 (Takemura, Kentaro)

東海大学・情報理工学部・准教授

研究者番号：30435440

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、能動的振動入力による関節角度推定手法である「アクティブ骨導音センシング」を、人の触知覚特性を考慮し、知覚・非知覚な振動を入力することで、触覚フィードバックや指先の接触推定が可能な手法へと発展させた。ユーザの関節角度に同期して、開閉が可能なロボットグリップを開発し、指先のセンサが物体の把持を検知した際に、触覚フィードバックの提示が可能である。また、伝播振動の変化から、関節角度のみでなく、指先の接触・離脱判定を実現した。

研究成果の概要(英文)：In our previous research, we have proposed the active bone-conducted sound sensing which can estimate a joint angle. Therefore, we extended it to provide the haptic feedback and identify touch and release of a fingertip using an unnoticeable and a perceptible vibration in this study. We developed the robot gripper which a force sensor is installed in, and when the gripper touches an object, haptic feedback can be provided. Additionally, we succeeded to identify touch and release of the fingertip using the variation of the propagated vibration.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：ウェアラブルインタフェース 骨導音 振動

1. 研究開始当初の背景

近年、音や振動を用いた計測技術の研究が積極的に行われており、皮膚を伝達する振動をセンシングすることで、前腕部を指でタップした際の接触位置の推定や、アクティブなセンシングとして、音の伝達から物体認識を行う手法などが提案されている。このような背景の中、我々も能動的に音・振動を骨に入力することで、関節角度を推定する「アクティブ骨導音センシング」を実現している。アクティブ骨導音センシングは、関節の屈曲に伴う振動の変化を用いて関節角度を推定する手法となっている。研究開発当初、入力には一般的なスピーカを用いていたが、効率よく骨に振動を入力するため、振動デバイスを採用した。しかしながら、振動へと変更したことで、人が振動で不快に感じてはならないため、人の振動知覚を考慮することが必要となった。人の振動知覚については、パチニ小体など4種類の機械受容器の周波数に対する感度が報告されており、感度が低く知覚できない周波数帯を用いることで、不快に感じることなく関節の角度推定を実現してきた。

2. 研究の目的

本研究では光ファイバや加速度計を利用する他の関節角度推定手法との差別化を図るため、人間の知覚特性を利用し、知覚可能な周波数帯と非知覚な周波数帯を併用することで、触覚フィードバック・触覚センシングが可能な手法へと拡張を目指す。

3. 研究の方法

本研究課題では、以下に示す4つの課題について取り組む。

(1) アクティブ骨導音センシングと触覚フィードバックの融合

これまでの研究では、触知覚されない周波数帯の振動を用いて関節角度の推定を行ってきたが、知覚可能な周波数帯を混合した振動を用いて関節角度を推定する。

(2) 複数関節角度の同時推定

これまでのアクティブ骨導音センシングでは、振動の振幅変化を用いて、1つの関節を対象に角度推定を行ってきたため、複数関節の推定は困難であった。そこで、触知覚できない周波数帯の振動を複数用いて、複数関節を同時に推定する。

(3) アクティブ骨導音センシングと触覚センシングの融合

指先の触覚情報として振動変化を計測し、指先の状態推定に応じた、フィードバック振動を提示する。

(4) 触覚フィードバックを伴う装着型インタフェース

拡張現実感やロボット・グリッパなどを対象に接触などの触覚を提示し、操作感を向

上させる。

4. 研究成果

(1) アクティブ骨導音センシングと触覚フィードバックの融合

これまでの研究で、関節角度推定の入力振動は1000Hzに周波数を限定してきたが、必ずしも1000Hzが最適な周波数とは言えない場合があった。そこで、実験協力者ごとに最適な入力周波数の推定に取り組んだ。推定には、900Hzから3000Hzのスweep信号を入力し、指関節屈曲時の、パワースペクトルを観測することで、増加傾向が最も線形的である周波数を入力振動に採用した。図1は、1000Hzと最適周波数を入力した際の、関節角度推定結果の誤差を比較したものであるが、最適周波数を求めた場合の方が、推定精度が高いことが分かる。

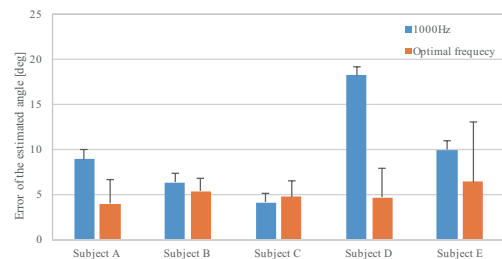


図1. 入力振動の周波数によるMP関節角度の推定精度

また、触覚フィードバックとの融合を行うため、最適周波数に200Hzの正弦波を合成し入力を行った。フィードバックの有無に応じてモデルを切り替えることで、図2に示すように、触覚フィードバックを入力した際も推定誤差はほとんど変化なく、安定した推定が実現できていることが確認できる。

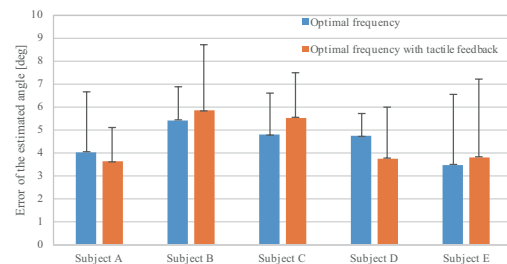


図2. 触覚フィードバックの有無によるMP関節角度の推定精度

(2) 複数関節角度の同時推定

常時装着可能なデバイスとして、指輪・腕時計併用と腕時計型の計測デバイスを開発し、比較を行った。これらから得られる特徴量を比較すると、手形状の変化によって腕時計型の方が、特徴量に大きな変化が生じることが確認された。

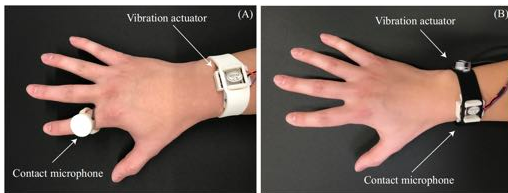


図 3. 手形状推定デバイス

(A: 指輪・腕時計併用型、B: 腕時計型)

先行研究でも、手形状の推定は行っていたが、入力振動をホワイトノイズから、スイープ信号に変更することで、特徴量の検出を容易にし、識別手形状数の向上を試みた。これまでは3種類の識別にとどまっていたが、デバイスと識別手法の改善により、図4に示すように7種類まで安定した識別が可能となった。

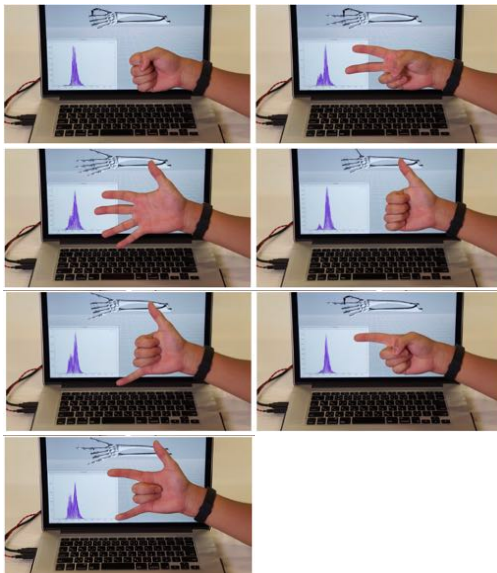


図 4. 手形状識別結果

(3) アクティブ骨導音センシングと触覚センシングの融合

アクティブ骨導音センシングでは、主に関節角度の推定に取り組んできたが、本研究課題では、指先からの情報取得についても検討した。手首から能動的に振動を入力していることから、指先の接触・離脱に応じて伝播する振動に変化が生じる。これを利用し、指先の接触離脱判定を行った。識別器には、サポートベクターマシンを用いた。実験条件としては、(実験 A) 人差し指の接触、非接触の2クラス判定、(実験 B) 指の接触、非接触の2クラス判定、(実験 C) 各指の接触、非接触の6クラス判定を行ったところ、それぞれ図5(A)、(B)、(C)に示すような結果となった。図中のグラフは、特徴量(最大値と平均値)とデータ圧縮率(非圧縮から1/100まで)の違いを示している。

指先の接触離脱については、90%を超える精度で判定が実現されているが、接触している指が、どの指かを特定すると認識率が80%を

下回っていることが分かる。現在は、1組のアクチュエータとセンサで認識を行っているが、複数のセンサ・アクチュエータの利用によって改善が期待される。

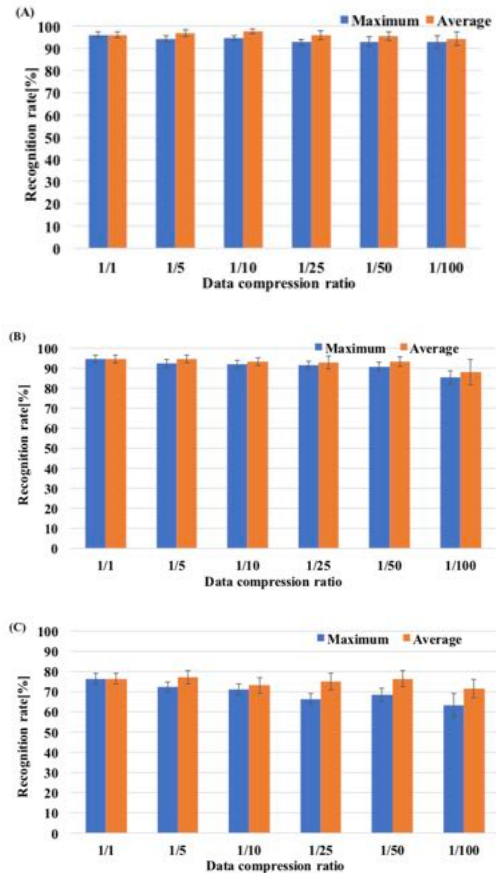


図 5. 指先接触・離脱判定の精度

(4) 触覚フィードバックを伴う装着型インタフェース

ロボットグリッパの指先に圧力センサであるFSRを装着し、グリッパの指先に接触が生じた際に触覚可能な振動でフィードバックを行う。図6は、実際にアクティブ骨導音センシングにて関節角度を推定し、グリッパの開閉をコントロールしている様子である。グリッパが、本に接触した瞬間に入力している波形が歪んでいることが確認できるが、これは推定用の正弦波に加えて、触覚可能な振動を合成して入力しているからである。これによってユーザは、ロボットグリッパの指先をコントロールすると共に、指先の触覚をフィードバックとして受け取ることができている。軽量のインタフェースで、グリッパの制御とフィードバックが実現できていることから、ロボットの遠隔操縦や仮想空間用のインタフェースとして応用が期待できる成果となっている。

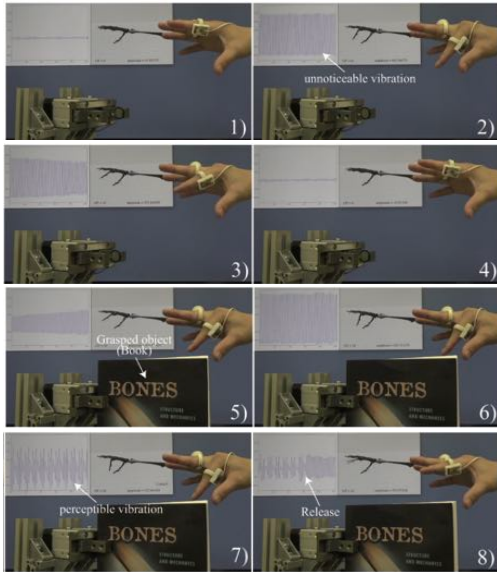


図 6. 触覚フィードバックが可能な
アクティブ骨導音センシング

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① 加藤寛之、竹村憲太郎、能動的振動入力による手形状推定、計測自動制御学会論文集、Vol. 54、No. 1、2018、pp. 62-68、<https://doi.org/10.9746/sicetr.54.62>、査読有

〔学会発表〕 (計 15 件)

- ① Nobuhiro Funato et al., “Estimating three-axis contact force for fingertip by emitting vibration actively,” The 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 406-411.2017.
- ② 栗原慎太郎 他、“アクティブ骨導音センシングを用いたサポートベクトル回帰による二軸性関節の角度推定”、第 18 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、2017.
- ③ 船戸恒宏 他、“能動的振動入力による 3 軸指先接触力推定”、第 18 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、2017.
- ④ 加藤寛之 他、“能動的振動入力を用いた指先接触離脱判定”、第 18 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、2017.
- ⑤ Nobuhiro Funato et al., “Grip Force Estimating by Emitting Vibration,” The 30th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, 2017.
- ⑥ 船戸恒宏 他、“能動的振動入力による把持力推定”、第 35 回日本ロボット学会学術講演会、2017.
- ⑦ 加藤寛之 他、“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”、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、2016.
- ⑧ 栗原慎太郎 他、“ファントムセンセーションが可能な能動的振動入力による関節角度推定”、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、2016.
- ⑨ Nobuhiro Funato et al., “Estimating Contact Force of Fingertip and Providing Tactile Feedback Simultaneously,” The 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, 2016.
- ⑩ Hiroyuki Kato et al., “Hand pose estimation based on active bone-conducted sound sensing,” The 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, 2016.
- ⑪ 竹村憲太郎 他、“アクティブ骨導音センシングを用いた下肢単関節及び上肢複数関節の角度推定”、第 34 回日本ロボット学会学術講演会、2016.
- ⑫ 高瀬悠太 他、“能動的な振動入力による把持物体推定”、ロボティクスメカトロニクス講演会 2016、2016.

- ⑬ 船戸恒宏 他、“アクティブ骨導音センシングを用いた指先接触力推定 ”、ロボティクスメカトロニクス講演会 2016、2016.
- ⑭ Yuya Okawa et al., “Haptic-enabled Active Bone-Conducted Sound Sensing,” The 28th ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 2015.
- ⑮ 大川裕也 他、“アクティブ骨導音センシングによる把持制御と把持状態フィードバック”、ロボティクスメカトロニクス講演会 2015、2015.

[その他]

<http://takemura-lab.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹村 憲太郎 (TAKEMURA, Kentaro)
東海大学・情報理工学部・准教授
研究者番号：30435440

(2) 研究分担者

上田 悦子 (UEDA, Etsuko)
大阪工業大学・ロボティクス&デザイン工学部・教授
研究者番号：90370529