

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500146

研究課題名(和文) アクティブ骨導音センシングを用いた常時装着型手入力インタフェース

研究課題名(英文) Wearable User Interfaces based on Active Bone-Conducted Sound Sensing

研究代表者

竹村 憲太郎 (Takemura, Kentaro)

東海大学・情報理工学部・講師

研究者番号：30435440

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、指関節角度の推定が可能なアクティブ骨導音センシングを提案した。センシングシステムは、振動アクチュエータとマイクロフォンからなる指輪型デバイスを開発した。指関節角度推定は人間が知覚できない振動を用いることで実現した。さらに、ホワイトノイズを入力することで、3種類の手形状を高い精度で認識することができた。我々は、シミュレーション環境にてグリッパの制御が可能なロボットインタフェースシステムを実装し、実験を通して提案手法によってロボットの制御が可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we propose active bone-conducted sound sensing for estimating the joint angle of the finger. The sensing systems, which consists of an oscillatory actuator and a contact microphone, are developed as ring-type devices. The joint angle of finger is estimated using an unnoticeable vibration. Additionally, white noise is input for estimating hand poses, and three hand poses are estimated using support vector machine. We implemented a robot interface system which can control gripper in a simulation. We confirmed that the robot could be controlled using proposed system through experiments.

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、骨導音等の体内を伝達する振動をインタフェースに利用する研究が盛んに行われている。皮膚や骨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推定を実現する研究や、手指のタップ位置推定を骨導音のセンシングを用いて実現し、モバイル機器の入力インタフェースとしての利用を提案している研究がある。人体を入力インタフェースとして、直接利用することは小型・軽量化が期待できる。また、骨導音は体内を伝達することから、ユーザの負担にならない箇所に計測点を設置することが可能で、常時装着の観点から大変有効である。しかしながら、その利用は一般にタップ入力に限定されるため、本研究は骨導音を利用した新しい入力インタフェースの実現を目指す。

研究代表者らは先行研究において、関節角度が伝達する骨導音に影響を与えることを発見し、能動的に入力した骨導音の変化からタップ位置推定と併用可能な肘関節角度推定を実現した。しかしながら、その利用は肘関節の推定に限定されており、複雑な構造を持つ手指等の関節角度推定には至っていない。そこで、本研究では手指を対象とした関節角度推定を目指すという着想に至った。また、インタラクティブな操作を実現するには手動作による入力が必要不可欠であり、操作インタフェースとしての応用を目指すに至った。

2. 研究の目的

本研究は、アクチュエータから能動的に輸入された骨導音（アクティブ骨導音）を用いて、手指の関節角度、接触状態を推定し、常時装着可能な手入力インタフェースを実現することを目的とする。グローブ型センサでは常時装着が困難であるため、アクティブ骨導音センシングを導入し、指根元や手首付近から入力した骨導音を用いて手指関節角度推定を行う。また、手形状認識を行い入力インタフェースへ応用する。

3. 研究の方法

本研究では、以下に示す4つの課題について取り組み、手指における関節角度推定および手形状認識を実現する。

(1) アクティブ骨導音の伝搬解析

手指を対象として関節角度推定を行うため、センシングデバイスを指に合わせ、設計・製作を行う。また、手指には、触覚・圧覚等を感知する受容器が多くあることはよく知られており、これらに影響を与えない入力信号・入力方法の検討し、手指関節推定に適切な入力信号を決定する。

(2) アクティブ骨導音の指関節角度推定

骨導音の伝搬解析結果を用いて、骨導音の入力および抽出方法を確立し、示指の関節を対象とした関節角度推定を行う。

(3) アクティブ骨導音による手形状推定

手指関節角度推定では、示指を推定対象として取り組んでいるが、インタフェースとして利用を考えた場合には、手の姿勢またはジェスチャが必要となる。そこで、能動的に入力した振動から関節角度ではなく手形状推定に取り組む。

(4) アクティブ骨導音を用いた入力インタフェース

関節角度推定および手形状推定が直感的インタフェースとして有効であるか検討を行う為、ロボット用インタフェースとしての応用を行う。

4. 研究成果

(1) アクティブ骨導音の伝搬解析

①指輪型センシングデバイス

先行研究では、一般に利用されるスピーカおよびマイクロフォンを利用し、骨導音センシングを実現してきたが、入力および検出をより容易に行うため、センシングデバイスを図1に示すように改良した。入力には、振動アクチュエータを採用し、センサには電子聴診器等にも利用されるコンタクトマイクを採用した。アクチュエータの位置は、中手骨などに配置することも検討したが、デバイスでの装着の容易さ等の観点からそれぞれ指輪型として利用することが適切であると考へ、測定対象の指にセンサを配置し、その隣の指にアクチュエータを配置する構成となっている。

②関節角度推定用振動の周波数

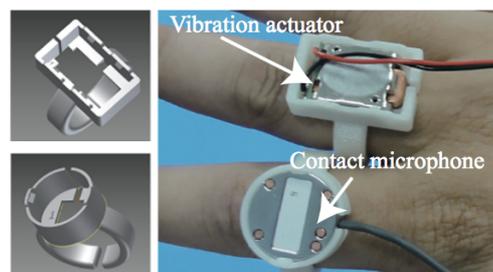


図1. 指輪型手指関節角度推定デバイス

関節角度の推定に使用する振動（以下、推定用振動）は、指の触覚受容体で感知できない振動でなければならない。関連研究によると、人間の指に触覚受容体は複数存在するが、おおよそ 800[Hz] までの周波数振動しか知覚できないことが報告されている。そこで、提案システムでも同様に検証を行うため、2000[Hz] の正弦波の周波数を徐々におとしながら、振動が知覚できた周波数を記録した。その結果は、図2に示す通りであり、各指で 700[Hz] 以下の正弦波を知覚することが確認できた。そこで、推定用振動は 1000[Hz] 以降とし、2000[Hz] まで周波数を 200[Hz] ごと

に、示指 MP 関節角度（屈曲時）と振幅の関係記録した。結果は図3に示すように、高周波な振動になるにつれ、振幅と関節角度の関係が線形とならない場合があり、1000[Hz] から 1200[Hz] が推定用周波数として適していることが確認できた。また、図4は示指の MP 関節の伸展時の振幅の変化を記録したものであるが、伸展時には線形近似モデルが当てはまらないことが確認できた。これは、屈曲時と伸展時では筋肉の状態が異なり、骨同士の接触状態が異なることが影響していると推測できる。

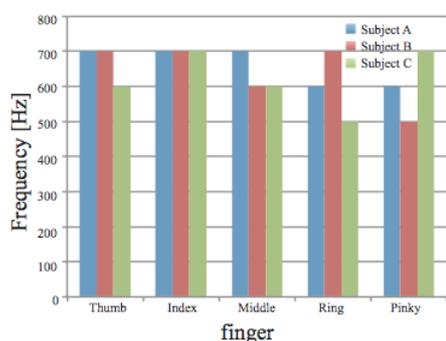


図2. 知覚振動周波数

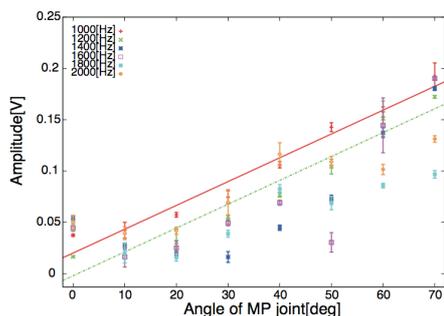


図3. 屈曲時の関節角度と振幅の関係

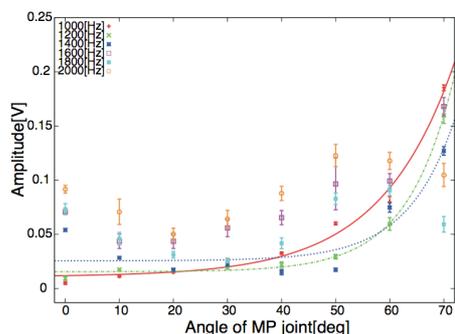


図4. 伸展時の関節角度と振幅の関係

(2) アクティブ骨導音の指関節角度推定

関節角度の推定に用いる推定用振動の周波数は 1000[Hz]と固定し、バンドパスフィルタを用いて外部からのノイズを抑えた。伸展時は、線形近似が適用できないことから、推定対象は屈曲時のみとした。線形近似モデルが適用できる周波数は、個人や装着状態などから異なるため、事前に調整を行う必要があるが、事前に調整を行うことで容易にキャリブレーションが可能である。キャリブレーションは、図5に示すように、MP 関節0度と70度の2つの姿勢時の振幅を計測することで行う。得られた振幅から線形近似を行い、角度推定を行った結果は図6に示す通りである。被験者3名左右の指で実験を行ったところ、推定は約10度程度の誤差で実現できることが確認できた。また、推定用周波数に知覚可能な周波数 200[Hz]を混合して加えた場合も推定モデルを切り替えることで、推定精度が著しく低下することなく、関節角度を推定することが可能であった。

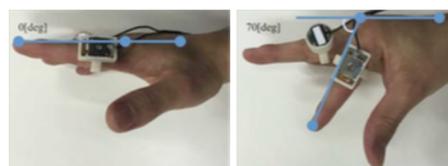


図5. キャリブレーション姿勢

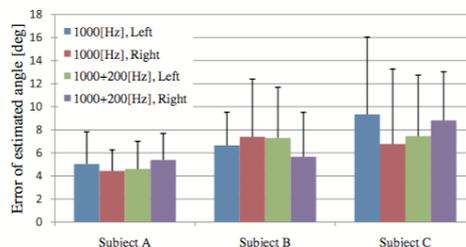


図6. MP 関節角度推定精度

(3) アクティブ骨導音による手形状推定

アクティブ骨導音による手形状推定では、図7に示すように手首にアクチュエータ、示指にセンサを装着する。また、認識対象とする手形状は、グー、チョキ及びパーとした。関節角度推定には、特定周波数の正弦波の振動を入力してきたが、手形状推定を行う場合は、推定に用いる振動は、すべての周波数で同じ強度となるホワイトノイズを採用した。図8はジェスチャごとにホワイトノイズを入力し、コンタクトマイクで計測したデータをスペクトル解析したものである。図8のように

ジェスチャごとにパワースペクトル密度に変化が見られ、手形状によって伝搬する周波数帯に変化が現れることが確認できた。

手形状推定は、パワースペクトル密度から10[Hz]毎にその区間の最大値を特徴量として取り出し、0[Hz]から2500[Hz]までの250次元のデータを特徴量として用いる。この特徴量を用いて、SVMで手形状の認識を行ったところ、図9のように被験者4名に対して平均95%を超える精度で認識できることが確認できた。

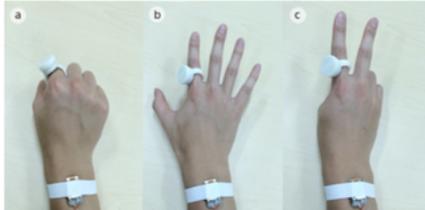


図7. 認識対象手形状

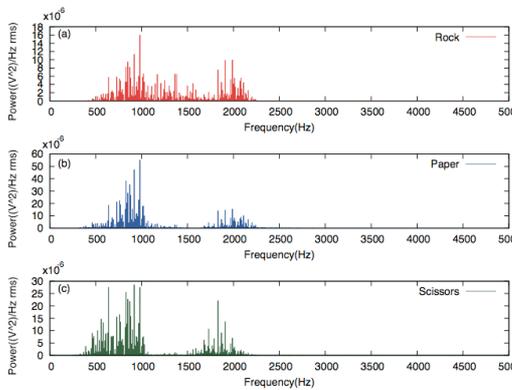


図8. 手形状ごとの
パワースペクトル密度

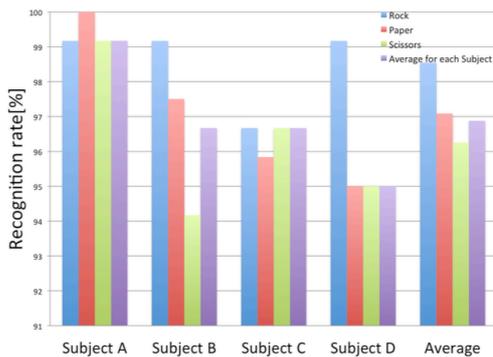


図9. 手形状認識結果

(4) アクティブ骨導音を用いた入力インタフェース

関節角度推定結果をロボットグリッパのインタフェースとして応用するため、物理シミュレーション環境にグリッパを作成した。推定した関節角度をグリッパの開閉に対応づけて操作を行った。図10に示すように推定された関節角度に合わせて、グリッパが開閉されており、アクティブ骨導音センシング

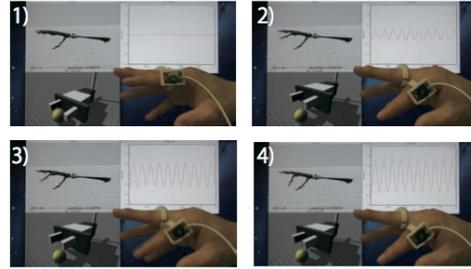


図10. 仮想グリッパのコントロール

を直感的な入力インタフェースとして活用することの実現可能性を確認することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

① 竹村憲太郎、伊藤晃大、高松淳、小笠原司、“常時装着型ロボットインタフェースのためのアクティブ骨導音センシング”、日本ロボット学会誌、Vol. 30、pp. 745-751、2012、査読有

〔学会発表〕(計4件)

① 大川裕也、竹村憲太郎、“触覚フィードバックが可能な骨導音センシング”ロボティクスメカトロニクス講演会2014、2014年5月28日、(富山県・富山市)

② 加藤寛之、竹村憲太郎、“アクティブ骨導音センシングを用いた手形状推定”、第32回日本ロボット学会学術講演会、2014年9月6日、(九州・福岡市)

③ 竹村憲太郎、小笠原司、“アクティブ骨導音センシングによるMP関節角度推定”、第30回日本ロボット学会学術講演会、2012年9月19日、(北海道・札幌市)

④ Kentaro Takemura, “Wearable sensing system for human-computer interaction,” International Workshop on Human Modeling and Enhancement 2013, (千葉・野田市)

〔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・講師

研究者番号：30435440

(2) 研究分担者

上田 悦子 (UEDA, Etsuko)

奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：90370529