

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H04104

研究課題名（和文）能動的音響計測に基づくハンズフリー/アイズフリーインタフェース

研究課題名（英文）Hands-free/eyes-free interfaces based on active acoustic sensing

研究代表者

志築 文太郎（Shizuki, Buntarou）

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：20323280

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 30,300,000円

研究成果の概要（和文）：代表者がこれまでに見いだした「能動的な音響計測による把持状態認識」は、物体がどのように触られているのか（すなわち把持状態）を、物体を様々な周波数で振動させその響き具合を見ることによって簡単に認識できるというシンプルかつ強力な基本原理である。本研究ではこの基本原理が人体（＝形状が変化する）の状態検出に使えることを明らかにした。また、検出した状態の変化をジェスチャとして情報機器のハンズフリー/アイズフリー操作に応用できることを確かめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「能動的な音響計測による把持状態認識」は、物体がどのように触られているのか（すなわち把持状態）を、物体を様々な周波数で振動させその響き具合を見ることによって簡単に認識できるというシンプルかつ強力な基本原理である。本研究では、これまで境界条件の変化に着目し固い物体（＝形状が変化しない）における把持状態を検出対象としていた基本原理の応用範囲を、形状の変化に着目し人間などの柔らかい物（＝形状が変化する）の状態検出に広げられることを明らかにした。また、身振り手振りに基づくジェスチャは、情報機器のハンズフリー/アイズフリー操作に使えるため、その新たな検出方法を示した点においても本研究成果は有用である。

研究成果の概要（英文）：Our sensing method, called Active Acoustic Sensing, can recognize how an object is touched, including grasped, by vibrating the object at various frequencies and observing its response. This research shows that the sensing method can be used to recognize the states of the human body whose shape changes. This research also shows that the change in the detected states can be used as gestures for the hands-free / eyes-free interaction of information equipment.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：ジェスチャ入力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

代表者がこれまでに見いだした「能動的な音響計測による把持状態認識」は、物体がどのように触られているのか(すなわち把持状態)を、物体を様々な周波数で振動させその響き具合を見ることによって簡単に認識できるというシンプルかつ強力な基本原理である。

2. 研究の目的

本研究提案では、これまで境界条件の変化に着目し固い物体(=形状が変化しない)における把持状態を検出対象としていた基本原理の応用範囲を、形状の変化に着目し人間などの柔らかい物(=形状が変化する)の状態検出に広げられるかを探る。また、検出した状態の変化をジェスチャとして情報機器のハンズフリー/アイズフリー操作に応用できるかどうかを探る。

3. 研究の方法

上記の目的のために、無線振動スピーカ・無線マイクを制作する。また、人体の一部である手腕足および頭部の状態の検出を試み、ハンズフリー/アイズフリー操作に応用できるかどうかを探る。また、情報機器への操作が正しく行われたことを見ずに確認できればハンズフリー/アイズフリー操作の効果が増す。この目的に触覚フィードバックは有望なので、ハンズフリー/アイズフリー操作のための触覚フィードバックの設計も行う。

4. 研究成果

4.1. 主要な研究成果

手腕足状態の検出

手腕足状態の状態や曲げ角度の検出を試みた。また、体表面上のジェスチャの認識を試み、またその性能評価を行った。特に、これまでは機械学習アルゴリズムとしてサポートベクターマシンのみを使って来たが、これら以外の機械学習アルゴリズムを組み合わせ使い、また、認識に用いるデータとしてこれまではある瞬間の音響信号を用いてきたが、今回はある一定期間の音響信号を用いることによって、ジェスチャの認識精度を向上させることができた。なお、操作が行われている間の音響信号を自動的に抽出するためのアルゴリズムも新規に開発した(図1)。

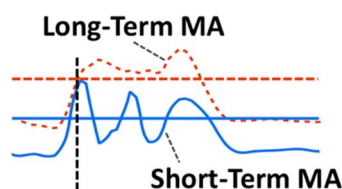


図1 音響信号の自動検出(MA:移動平均)

ハンズフリー/アイズフリー操作のための触覚フィードバックの設計

開発者が狙った触覚を自動生成するためのアルゴリズムを開発するとともに、その提示性能を評価した。様々な触覚フィードバックを検討した上で、特に多様な触覚フィードバックを使用者に提示することを目的として、ファントムセンセーションを用いた触覚フィード



図2 振動提示装置(手首と指)

バックを設計した。すなわち、複数箇所に取り付けられた振動提示装置の振動強度を連続的

に変えることによって、方角提示が可能な触覚フィードバックが行えるという特徴を有する。なお、本研究では、まず、手・指におけるファントムセンセーションとして認識可能な振動を調査した後に、この研究開発を行った。また、本研究で用いた振動提示装置（図2）は、能動的な音響計測と同じ種類とすることができるため、将来的にはこれら認識に用いるための装置と、触覚フィードバックを提示するために用いる装置とを統合することにより装置全体をコンパクトにできる可能性がある。

能動的インタラクションに基づく状態認識

能動的に対象物に作用することにより対象物の状態の認識が行えることを明らかにした。すなわち、図3左に示される腕時計型デバイス（M5StickC）を装着した人が物に触れる際の音や手の動きをデバイスから取得することにより「接触した物の識別」（図3中）と「把持した物体の容量の認識」（図3右）が行える。デバイスからは、手周囲の音響信号、および加速度信号、角速度信号を取得し、これらのデータを機械学習に与えることによって認識を行う。



図3 能動的インタラクションに基づく状態認識

4.2. その他の成果

また、上記の研究成果に加えて、下記の研究成果・開発成果も挙げた。

汎用的な把持状態認識ソフトウェアの作成

これまで用いてきた把持状態認識ソフトウェアをオペレーティングシステム(OS)に非依存のソフトウェアライブラリを用いて実装し直した。これによって、把持状態認識ソフトウェアをクロスプラットフォーム対応にした。また、実装し直した把持状態認識ソフトウェアの性能を確かめるための実験として、従来同様に、固い物体の把持状態の認識が行えることも確かめた（図4）。

アプリケーションの作成

基本原理の応用可能性を探るために、アプリケーションの開発を継続的に行い、ノートパソコン用アプリケーションおよびスマートフォン用アプリケーションを開発した。



図4 クロスプラットフォーム版把持状態認識ソフトウェア

4.3. まとめ

結果として、研究計画段階に予定していた研究項目が多く達成された。特に、研究計画段階では想定していなかった機械学習アルゴリズムおよび音響処理アルゴリズムに基づいた認識方法が開発できたことは大きい。さらに、応用先のアプリケーションなど、当初想定していなかった研究成果・開発成果を本研究のアイデアに基づいて数多く挙げることもできた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Takashi Amesaka, Hiroki Watanabe, Masanori Sugimoto, and Buntarou Shizuki	4. 巻 13
2. 論文標題 Gesture Recognition Method Using Acoustic Sensing on Usual Garment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 高倉礼, 鈴木健介, 國分晴利, 志築文太郎	4. 巻 -
2. 論文標題 能動的音響計測に基づくスタイラスの把持状態識別手法の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第29回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ予稿集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 日高拓真, 志築文太郎	4. 巻 -
2. 論文標題 通知としてファントムセンセーションを提示するデバイスの試作	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第29回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ予稿集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 西川宜利, 日高拓真, 志築文太郎	4. 巻 -
2. 論文標題 ハンドジェスチャ学習のための電氣的筋肉刺激を与えるグローブ型デバイスの試作	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第29回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ予稿集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Takayama, Yuu Ichikawa, Buntarou Shizuki, Ikkaku Kawaguchi, and Shin Takahashi	4. 巻 -
2. 論文標題 User-based Mid-air Hand Gesture Set for Spreadsheet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CHI 2021 symposia on Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection	6. 最初と最後の頁 122-128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takuma Hidaka, Yusuke Sei, and Buntarou Shizuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Pilot Study on Notification Using Phantom Sensation on Hand	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CHI 2021 symposia on Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection	6. 最初と最後の頁 157-159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 日高拓真, 清佑輔, 志築文太郎	4. 巻 -
2. 論文標題 手・指におけるファントムセンセーションを用いた通知のための事前実験設計	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 インタラクション2021論文集	6. 最初と最後の頁 607-611
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高山雄太, 市川佑, 志築文太郎, 川口一画, 高橋伸	4. 巻 2021-HCI-191
2. 論文標題 表計算ソフト向けのユーザ定義の空中ハンドジェスチャ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 市川佑, 志築文太郎, 高橋伸	4. 巻 2021-HCI-189
2. 論文標題 GUI操作における膝入力の応用可能性の調査	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 清佑輔, 船越南斗, 志築文太郎	4. 巻 -
2. 論文標題 スマートフォン背面の人差し指を用いた片手操作向け入力拡張手法の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第28回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Katsuya Hommaru and Jiro Tanaka	4. 巻 -
2. 論文標題 Walking Support for Visually Impaired Using AR/MR and Virtual Braille Block	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 22nd International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2020)	6. 最初と最後の頁 336-354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Sei, Minto Funakoshi, and Buntarou Shizuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Expanding Input Vocabulary Using Index Finger on and Above Back of Smartphone	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CHI 2020 symposia on Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小口雄斗, 志築文太郎, 高橋伸	4. 巻 -
2. 論文標題 物を叩いたり振ったりした際の音と手の動きを用いた物体識別及び内容量認識	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 インタラクシオン2020論文集	6. 最初と最後の頁 951-954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 池田凌, 漆山裕太, 志築文太郎	4. 巻 2019-HCI-185
2. 論文標題 スマートフォンにおける押下圧によるタップの拡張のための予備調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shotaro Agatsuma, Shin Takahashi, and Satoshi Saga	4. 巻 -
2. 論文標題 Vibrotactile Signal Generation with GAN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 26th International Display Workshops (IDW '19)	6. 最初と最後の頁 20-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuki Kubo, Yuto Koguchi, Buntarou Shizuki, Shin Takahashi, and Otmar Hilliges	4. 巻 -
2. 論文標題 AudioTouch: Minimally Invasive Sensing of Micro-Gestures via Active Bio-Acoustic Sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 21st International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '19)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 漆山裕太, 高倉礼, 鈴木翔大, 志築文太郎, 高橋伸	4. 巻 2019-HCI-184
2. 論文標題 異なる手形状に対する周波数応答の予備調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirobumi Tomita, Shotaro Agatsuma, Ruiyun Wang, Shin Takahashi, Satoshi Saga, and Hiroyuki Kajimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 An Investigation of Figure Recognition with Electrostatic Tactile Display	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 21st International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2019)	6. 最初と最後の頁 363-372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 我妻正太郎, 黒木詢也, 嵯峨智, 高橋伸	4. 巻 -
2. 論文標題 振動触覚ディスプレイのためのDCGANを用いた振動生成	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 富田洋文, 嵯峨智, 梶本裕之, 高橋伸	4. 巻 -
2. 論文標題 静電気力を用いた触図ディスプレイにおける図形認識度の向上	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kyohei Hakka, Toshiyuki Ando, Buntarou Shizuki, and Shin Takahashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Pressure-Based One-Handed Interaction Technique for Large Smartphones Using Cursor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CHI 2019 symposia on Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yutaro Suzuki, Kodai Sekimori, Buntarou Shizuki, and Shin Takahashi	4. 巻 1
2. 論文標題 Touch Sensing on the Forearm Using the Electrical Impedance Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirobumi Tomita, Shin Takahashi, Satoshi Saga, Simona Vasilache, and Hiroyuki Kajimoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Toward the Modeling of Tactile Sensation on Electrostatic Tactile Display	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of International Display Workshops 2018	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小口雄斗, 志築文太郎, 高橋伸	4. 巻 3
2. 論文標題 容器を振る際の音を用いた容量識別手法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会第81回全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 363-364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件）

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高橋 伸 (Takahashi Shin) (00272691)	筑波大学・システム情報系・准教授 (12102)	
研究分担者	嵯峨 智 (Saga Satoshi) (10451535)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授 (17401)	
研究分担者	田中 二郎 (Tanaka Jiro) (20251043)	早稲田大学・理工学術院(情報生産システム研究科・センター)・教授(任期付) (32689)	
研究分担者	VASILACHE SIMONA (Vasilache Simona) (30606934)	筑波大学・システム情報系・助教 (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------