

令和 2 年 5 月 19 日現在

機関番号：32644

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K19825

研究課題名（和文）体導音を用いた身体情報センシング

研究課題名（英文）Bio-Acoustic Sensing using Body-Conducted Sound

研究代表者

竹村 憲太郎（TAKEMURA, KENTARO）

東海大学・情報理工学部・教授

研究者番号：30435440

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、生体内部の音源で発生する振動（体導音）を用いた受動的な音響センシング（Bio-Acoustic Sensing）にて、姿勢推定に取り組んだ。頭部付近への能動的な振動入力には聴覚に影響を与えるため従来のアクティブ音響センシングを用いた推定手法の利用が難しかったが、生体内部にある音源を採用した音響センシングによって、この問題を解決した。また、内力に変化が生じた際も、関節角度を安定して推定することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来のウェアラブルセンサによる身体情報の推定は、動作によって生じる加速度、角加速度、振動等の動作推定、行動推定が主流であった。そのため、静的（動きの少ない）状態では、姿勢等の情報を取得することは困難であった。これに対して本研究課題で挑んだ体導音を用いた身体情報センシングは、頭部付近での計測ができることに加えて、静的な状態においても発生する音源を採用していることから、判別可能な姿勢や応用範囲が広がることから学術的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed the method for estimating head pose based on bio-acoustic sensing, which uses body-conducted sound generated in the inner body. It has been difficult to emit a vibration around the head because the vibration can be perceived with audibility. But we have solved this problem by using body-conducted sound. Additionally, we proposed the method for estimating a joint angle considering the variance of muscular internal force.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：振動

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、ジェスチャや動作に伴って発生する振動を用いたユーザインタフェースの研究が盛んに行われている。これに対して、我々は静的な姿勢や力を対象とした推定に取り組んできた。静的な対象の場合は、振動が発生しないため、能動的に音や振動を身体に入力するアクティブ骨導音センシングを提案し、関節角度、手形状、力の推定を実現している。アクティブ骨導音センシングでは、手指や前腕部を測定対象として研究を行ってきたが、全身を測定対象とした場合、頭部周辺への振動入力には聴覚への影響が懸念される。入力振動を超音波に変更した場合も、骨伝導で知覚することが報告されており、入力振動の周波数帯を変更しても対応が難しい。そのため、聴覚を考慮した新たな計測手法が必要である。

(2) また、伝播振動の変化を用いた手法は、関節角度だけでなく力の推定も可能である。これは言い換えると、高精度な関節角度の推定を実現するには、内力の変化を考慮する必要がある。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、生体内部の音源で発生している音・振動(体導音)を用いた受動的な音響センシング(Bio-Acoustic Sensing)にて、姿勢、関節角度などの身体情報を得ることを目的とする。能動的に入力した振動が姿勢に伴い変化すると同様に、体内で発生した振動も、姿勢に伴い変化すると考えられる。そこで、新たな音・振動源として心拍や血流、呼吸などによって発生する体導音を採用する。体導音は、一般に健康を測る指標として多く用いられてきたが、本研究では、体導音を用いた受動的な音響センシングによる頭部姿勢の推定を実現する。

(2) 身体を伝播する振動は、身体の姿勢及び内力の影響を受け、変化する。しかしながら、関節角度推定において、内力の変化はこれまで考慮されてこなかった。そこで、本研究では内力変化を考慮した関節角度推定を実現する。

3. 研究の方法

(1) 体導音を用いた頭部姿勢推定手法

我々は、これまでの研究で能動的に振動を入力するアクティブ音響センシングを提案し、伝播振動の振幅スペクトルを特徴量とした推定を実現している。そこで、体導音についても周波数成分に注目する。体導音の計測方法は、体内を伝播している心拍などを例に考え、電子聴診器等にも採用されているコンタクトマイクを体表、特に振動が伝播しやすい骨に接触させ、観測を行う。頭部姿勢推定用のデバイスとして、図1に示すネックバンド型の計測デバイスを製作した。デバイスは、コンタクトマイク(CM-01B, TE Connectivity, Schaffhausen, CH)と3Dプリンタで作成したマウンタ、バンドで構成されており、コンタクトマイクが頸椎に接触するように装着する。動作による振動が発生しない静止した状態の姿勢を推定対象としていることから、データ取得中は頭部の姿勢を維持した。取得した体導音を、短時間フーリエ変換(以下、STFT)によって振幅スペクトルに変換する。取得した体導音は、アンプで40dB増幅し、ハミング窓適用後にSTFTを用いて振幅スペクトルを算出する。算出した振幅スペクトルをサポートベクターマシン(以下、SVM)の特徴量として採用し、頭部姿勢の分類を行う。SVMのカーネルには、Radial Basis Function(以下、RBF)カーネルを採用した。



図1 頭部姿勢推定用

ネックマウント型センシングデバイス

(2) 内力変化を考慮した関節角度推定手法

内力を考慮した計測技術を確立するため、1000~3600 Hzのスweep信号(1周期 50msec)を入力した。伝播振動は、サンプリング周波数 163.84 kHzで計測し、アンプを用いて40 dBの増幅を行うと共に、1000~10000 Hzのバンドパスフィルタを適用した。フレーム長 50 msecの振動からパワースペクトルを算出し、XGBoostに入力して、推定を行った。関節角度の真値は、モーションキャプチャ(OptiTrack, OptiTrack Inc., OR, US)を用いて取得し、肘の屈曲に必要な内力は図2のように分銅を把持することで調整した。

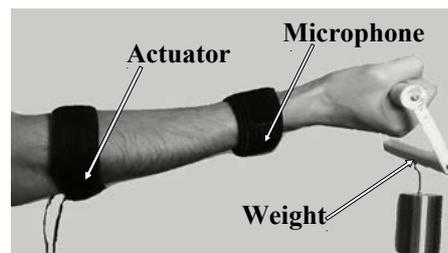


図2 肘関節角度推定のシステム構成

4. 研究成果

(1) 頭部姿勢推定の結果

取得した体導音を解析したところ、40Hz 未満の振幅スペクトルで姿勢に伴う変化が観測された。そこで、SVM への入力は、8Hz~40Hz (0.5Hz 間隔) の振幅スペクトルとし、64 次元である。図 3 に示すように、水平方向 5 クラスと、前・左右・上下の 5 クラスに対する分類を行ったところ、推定結果は図 4 に示すように、体導音を用いて頭部姿勢の識別が可能であることを確認した。また、実験協力者 5 名に対して評価実験を行ったところ、識別精度の混同行列は図 5 に示す通りであり、水平方向の精度は約 87.7%、水平方向と垂直方向が混在する場合の精度は、平均 89.2%であった。

垂直方向を含む場合の方が、識別精度が良いことは、頭部の姿勢が大きく異なるためと理解できる。また、左右の区別は難しいと予想していたが、大きな問題もなく識別が可能であることが確認できた。姿勢は左右対称でも体導音の伝播経路は対象ではないため、識別を可能にしていると推測している。聴覚への影響の少ない計測技術として利用が可能であることは言うまでもないが、能動的な振動入力が不要であることから、省電力化が可能であり、ウェアラブルインタフェースとしての利点もある。

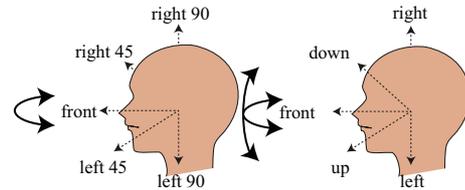


図 3 頭部の推定姿勢
(左：水平のみ、右：水平・垂直混合)



図 4 頭部姿勢推定の様子

| Actual class \ Predicted class | left90 | left45 | front | right45 | right90 |
|--------------------------------|--------|--------|-------|---------|---------|
| left90 | 85.8 | 1.9 | 1.2 | 0.5 | 10.7 |
| left45 | 1.9 | 92.2 | 3.4 | 2.3 | 0.2 |
| front | 0.9 | 2.3 | 91.2 | 4.2 | 1.5 |
| right45 | 0.1 | 2.3 | 4.6 | 90.0 | 3.0 |
| right90 | 7.5 | 2.1 | 0.7 | 8.3 | 81.4 |

| Actual class \ Predicted class | front | right | left | up | down |
|--------------------------------|-------|-------|------|------|------|
| front | 92.7 | 4.9 | 0.0 | 2.4 | 0.0 |
| right | 7.2 | 82.7 | 5.4 | 2.0 | 2.6 |
| left | 3.2 | 8.0 | 87.3 | 0.0 | 1.5 |
| up | 3.0 | 1.0 | 0.4 | 91.6 | 4.0 |
| down | 1.0 | 0.2 | 2.3 | 3.2 | 93.3 |

図 5 識別結果の混同行列

(左：水平のみ、右：水平・垂直混合)

(2) 関節角度推定の推定結果

実験協力者 5 名に対し、分銅を用いて屈曲に必要な内力を変化させ、関節角度を推定する実験を行った。実験協力者の肘関節が進展した状態を 0 deg と定義する。また、重量は 0 g から 250 g 刻みで増やし、1000 g まで変化させた。肘関節の屈曲伸張動作を約 25 秒間繰り返し、肘関節の角度データと振動データを取得した。

まず、内力の変化を考慮する必要性の有無を確認するため、0 g の重量で学習した XGBoost を用いて、推定を行ったところ図 6 に示すように、重量が増える毎に誤差が増加した。先行研究では内力の変化を考慮していないことを問題点として指摘したが、この結果から内力変化への対応が重要であることが確認できた。

続いてすべての重量のデータで共通の推定器(統合モデル)を作成した場合と、それぞれの重量で個別の推定器(最適モデル)を作成した場合の性能差を評価した。図 7 は、それぞれのモデルを用いた際の推定誤差である。各重量に合わせて学習した最適モデルを使用した場合の方が予想通り、性能は良く約 2.6 deg の誤差で推定できている。しかし、統合モデルを使用した際も、それほど大きな誤差とはならず、約 3.2 deg の誤差である。統合モデルでは 750 g のみ誤差が大きくなっているが、この原因は、3 個の分銅を用いて実験を行ったため、分銅による微小なノイズが発生していることが原因であると考えている。

図 8 は、屈曲伸張動作を繰り返し行った際の真値と推定結果であるが、大きな遅れなく推定することができており、インタフェースとしての利用が可能であることが確認できた。

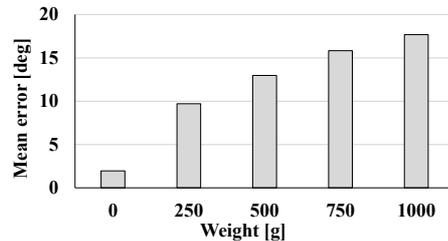


図 6 関節角度の推定誤差

(内力変化の考慮無し)

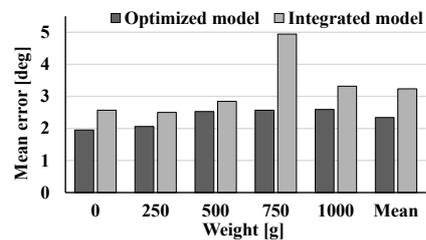


図 7 最適モデルと統合モデルの性能比較

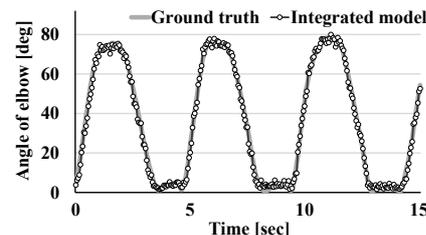


図 8 真値と推定値の比較結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ryo Kamoshida and Kentaro Takemura |
| 2. 発表標題 Head pose classification by using body-conducted sound |
| 3. 学会等名 The 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology Adjunct Proceedings (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鴨志田亮, 竹村憲太郎 |
| 2. 発表標題 体導音を用いた頭部姿勢識別 |
| 3. 学会等名 第19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 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 御子貝真一, 竹村憲太郎 |
| 2. 発表標題 アクティブ音響センシングを用いたチューブの接触位置推定 |
| 3. 学会等名 第20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 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 チャンドラシリ カズミ, 竹村憲太郎 |
| 2. 発表標題 アクティブ音響センシングを用いた空気圧アクチュエータの形状推定 |
| 3. 学会等名 第20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 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔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 | 上田 悦子 (Etsuko Ueda) (90379529) | 大阪工業大学・ロボティクス&デザイン工学部・教授 (34406) | |