

令和元年6月20日現在

機関番号：34504

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00290

研究課題名(和文)スマートチョーカー：頸部装着型生体・生活情報常時モニタリングシステムの開発

研究課題名(英文) Smark Chokers: Development of Wearable Monitoring System from Neck

研究代表者

井村 誠孝 (Imura, Masataka)

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号：50343273

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、頸部からの生体情報センシングを非侵襲的に実現し、加えて頸部の感覚を通じた情報提示を行えるチョーカー型デバイスの開発を行った。  
音声信号を咽頭部に密着させたマイクロフォンによって取得し、気導音と骨導音の計測に基づいた骨伝達関数の推定により、骨伝達関数を考慮した音声信号処理を実施した。機械学習により音声信号から嚥下物の量的推定を行った。心血管系の計測のために、光電容積脈波と容量性結合による計測を実施した。情報提示のために、振動触覚提示、空気噴流による力触覚同時提示、MR(Magnetorheological)流体を利用した抵抗生成による力覚提示、および温冷感提示をを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超高齢社会における社会システムの持続性のためには、健康長寿の確立が重要であり、未病を改善し病気の予防につなげていくことが必要である。日常的に装着可能な生体センシングシステムにより、定期的な検診では検出できない生体の異常を把握することが可能になる。本研究では従来は定量が困難であった飲食物の量的把握手法を構築した。またセンシングのみならず五感を通じた情報の提示により、自身の生体情報を言葉によらず継続的に知ることができ、生活習慣の改善に役立てられると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a choker device that non-invasively realizes biological information sensing from the neck and can also present information through the various senses of the neck.

The audio signals were acquired by a microphone attached to the pharynx. The bone transfer function was estimated based on the measurement of air conduction sound and bone conduction sound, then was applied to audio signal processing. We made quantitative estimation of swallowing amount from audio signal by machine learning. For measurement of cardiovascular system, we measured by photoplethysmogram and capacitive coupling. For information presentation, we have realized haptic devices based on vibrotactile presentation, force-tactile simultaneous presentation with air jet, force presentation by generating resistance using MR (Magnetorheological) fluid, and thermal sensation presentation.

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：生体計測 信号処理 感覚ディスプレイ 力触覚提示

## 1. 研究開始当初の背景

近年、情報機器による日常生活のサポートが広まりを見せている。スマートフォンの普及に伴って、スマートフォンとの連携を前提とした手首に装着する腕時計型デバイスが登場し、歩数などに基づく活動量や心拍数などの生理情報が計測可能となっている。また衣類に計測装置を一体化させ、心拍などの情報を取得するスマートシャツも、国内では NTT と東レの共同開発、国外ではアパレルメーカーのラルフローレン等から発表されている。しかしながら、手首では取得できる情報に限界があり、また衣類の場合は、衣類は日常的に複数枚を交換して使うという性質上、全ての衣類への搭載が必要となり、常時モニタリングの面では必ずしも実用的とは言えない。

これらの問題点を解消し、豊富な生体情報を取得できる部位として、本研究では頸部に着目する。頸部をセンシングすることにより、従来の日常生活モニタリング手法では得ることのできなかった生体情報および生活情報、具体的には摂食や呼吸に関する情報を継続的に取得することを実現可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、生体・生活情報モニタリングを可能とする頸部装着型デバイスの構築のために必要となる、生体情報を抽出できるセンシングおよび信号処理技術を開発することである。またセンシングするのみならず、頸部への力触覚および温冷覚を介した情報提示を実現することで、言語によらない自身の生体情報提示やストレスの緩和を目指す。

## 3. 研究の方法

本研究は大きく分けて、各種生体情報の頸部からのセンシングと、頸部への情報提示から構成される。

センシングにあたっては、音声信号を咽頭部に密着させたマイクロフォンによって取得した、嚙下音や発話音をセンシングする際には、音が気導ではなく骨導であることによって生じる音声信号の変調が信号処理に影響を与える。気導音と骨導音の計測に基づき、骨伝達関数を推定することにより、骨伝達関数を考慮した音声信号処理を実施した。計測された音声信号の処理は、音声信号の種類に合わせた特徴量抽出、主成分分析による次元圧縮、サポートベクターマシンによる教師あり学習により実施した。加えて深層学習の適用について検討を行った。心血管系の生理情報解析のために、過去の研究成果である足底からの心血管系計測技術を応用し、光電容積脈波と容量性結合による計測とそのデータ解析を実施した。

情報提示のためには、力触覚(ハプティクス)および温冷感を利用するデバイスを複数構築した。振動触覚提示、空気噴流による力触覚同時提示、MR(Magnetorheological)流体を利用した抵抗生成による力覚提示を実現した。

## 4. 研究成果

### (1) 嚙下音に基づく飲水量推定

嚙下音は甲状軟骨の表面にマイクロフォンを接触させて計測する。計測された嚙下音は A/D 変換(サンプリング周波数 44.1kHz, 量子化ビット数 16)を通して PC に入力する。

嚙下音に対する音声信号処理として、平滑化、線形予測分析、フーリエ変換、ウェーブレット変換を施し、得られた結果から一度の嚙下での摂取水分量を反映する特徴量を抽出する。次に、主成分分析(PCA)によって特徴量の低次元化を行う。更に、摂取した水分量の真値が既知である嚙下音信号の特徴量を学習用データとして用い、サポートベクトルマシン(SVM)によって摂取水分量を推定するための識別器を決定する。

摂取した水分量が未知である嚙下音に対して、決定した識別器を用いて水分量を推定し、推定値を積算することによって摂取した総水分量を推定する。

3 名の実験参加者に対して、一度に嚙下が容易に行える容量 5mL, 10mL, 15mL の水を嚙下した際の嚙下音を各 50 回計測した。前節で述べた音声信号処理によって 160 個の特徴量を抽出し、PCA によって元の情報量の 90%以上を保持する 15 個の特徴量に縮約した。縮約した特徴量を用いて、SVM によって 5mL, 10mL, 15mL の嚙下音を分類するための識別器を決定した。SVM のカーネル関数としてはラジアル基底関数(RBF)を用いた。識別器の決定は実験参加者ごとに行い、一つ抜き交差法によって未知データに対する汎用性が最も高いと予測されるパラメータを選択した。決定した識別器を用いて未知データに対する飲水量の推定を行った結果、各実験参加者で 70.0%, 66.7%, 96.7%の精度で嚙下量を推定することができた。

また連続的嚙下音からの総飲水量推定を行ったところ、50mL の水の嚙下では標準偏差 11.3mL, 100mL の水の嚙下では標準偏差 16.9mL の精度で推定可能であった。

### (2) 骨導伝達関数の導出

音声信号処理の際に、生体組織の伝達による音声信号の変化をキャンセルすることで、一般的

な音声信号処理との親和性が向上する．本研究では，骨導伝達関数の導出を計測に基づいて行った．

音声信号は，物音が少ない室内にて，気導音はコンデンサマイクロホン，骨導音は骨伝導イヤホンマイクを使用して録音した．両音声の同期をとるため，オーディオインターフェイスに接続したステレオマイクアンプの左右のチャンネルに気導音と骨導音を入力した．録音対象は日本語 5 母音の気導音と骨導音とした．

実験協力者 1 名の気導音と骨導音の同時録音を 10 回行い，得た音声に対してフーリエ変換を行う．母音毎に各周波数のパワーの平均値を求め，気導音と骨導音のスペクトル比から骨導伝達関数を導出した．骨導伝達関数の周波数特性は母音によって異なるが，全骨導伝達関数で 0-500Hz 区間を弱める共通の特徴を持つため，平均した骨導伝達関数を音声信号処理に使用した．

マイクのゲインの影響を調整するため，自己聴取音に含まれる骨導音の適切な比率を推定した．実験協力者 10 名の気導音と骨導音を同時録音し，話者自身がスライダーで音声混合比を操作した合成音と自己聴取音を比較する実験を行った．実験結果の平均値から，気導音 65%，骨導音 35%の比率が自己聴取音に含まれる骨導音の適切な比率であった．

### (3) 頸部への力触覚提示のためのデバイス構築

力触覚提示は，非言語的に情報を伝達する手段として有用である．本研究では，複数の手法により力触覚提示を実現する手法を構築し，その実証実験を行った．

#### 周期的な変動を付与した空気噴流による力触覚の同時提示

空気噴流を用いることで，力覚と触覚の両方を単一の手法で提示可能な力触覚提示デバイスの構築を行った．力覚と触覚の同時提示は，空気噴流の強度に周期的な変動を付与することにより実現する．周期的な変動の付与は，開口部を備えた円板を空気噴出口の至近で回転させることによる物理的な遮蔽で行う．

主観的評価実験により，本デバイスでは「人の感覚」「対象物の材質感」「力覚」が提示できる可能性があることが示された．具体的には，噴出口から指までの距離によって，受ける印象が異なる傾向が見られることがわかった．「人の感覚」に分類される感想は，至近距離にのみ見られるが，これは遠方になる程，刺激範囲が広がる．外部からの刺激を人の感覚であると認知するためには，点に近い刺激の方がよいためであろうと推測される．また遠方になると圧や風といった感想のみが得られるが，これは高周波成分が減衰し時間的変化が小さくなるためと考えられる．主観評価実験では，周波数域によっても受ける印象が異なることが示唆された．

#### MR 流体を用いた手首関節剛性制御による抵抗力提示デバイス

本研究では，抵抗力を提示することを目的とし，抵抗力提示デバイスの開発を行った．開発するデバイスは使用時のユーザへのストレスを抑制するため，軽量かつ応答性の高いものである必要がある．抵抗力とは，運動が外的要因によって阻害されたときに生じるものであり，頸部の動作を制限することで力覚を提示する．提案するデバイスでは，運動の際の回転中心部分に近い位置にデバイスを装着することで，慣性モーメントの増加を最小限に抑えることが可能な点と，力が加わった際の関節の曲がりにくさを関節の回転運動の制限によって再現することで，抵抗力を提示可能な点に着目し，剛性が任意に制御可能な MR(Magnetorheological) 流体を用いて，軽量の非接地型抵抗力提示デバイスを開発した．

MR 流体を充填したゴムチューブ(以下 MR チューブと呼称)を取り付けたデバイスを手首に装着し，MR チューブ内の磁束密度を増大させることで MR 流体の粘性を増加させ，手首関節の回転運動に対して剪断応力を発揮することで手首の運動と逆の方向に抵抗感提示を行った．磁束密度を制御する方法として，磁束密度の距離による減衰を利用し，永久磁石を移動させることで MR チューブとの距離を増減させ，印加する磁束密度を制御した．

評価実験では，試作デバイスの磁束密度制御機構の性能の確認を行い，制御可能であることを確かめた．また，抵抗感を提示する MR チューブの曲げ剛性を制御できているかどうかを確認するための実験を行い，磁束密度の印加に対して剛性が変化していることが分かった．主観実験においては，試作デバイスを実際に使用してもらい，デバイスの提示状態を答えさせた．実験協力者全員からチャンスレベルを上回る正答率が得られ，2 状態の提示ならば抵抗感を実感できることが分かった．

#### 腱振動刺激による運動錯覚と物体接触感覚との相互作用

腱への振動刺激の提示により実際は体が動いていないにも関わらず体が動いたように感じる現象は，運動錯覚と呼ばれ，ハプティクスデバイスへの応用が研究されている．運動錯覚により非運動状態のユーザに対して深部感覚の提示が可能なため，運動感覚の補完ができる．また，運動錯覚発生時に外界物体に体が接していると，運動錯覚と外界物体からの刺激との相互作用により，錯覚の変質が生じることが確認されている．よって運動錯覚を用いたハプティクスデバイスは他刺激との相互作用により多様な錯覚を非運動状態のユーザに提示可能なことが期待される．しかし，運動錯覚と他刺激との相互作用による錯覚の内容とその生起条件は明確でない．本研究では，運動錯覚と他刺激との相互作用より生じる錯覚の内容と生起条件の明確化を目的とする．

実験の結果，接触させる物体が手背側と手掌側で MP 関節の屈曲する速度感覚が，通常の屈曲

運動錯覚と比較して、手背側にある場合は速く、手掌側では遅く感じるという結果が得られた。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. 谿 雄祐, 藤原 大志, 竹本 敦, 飛谷 謙介, 井村 誠孝, 長田 典子, テクスチャの印象における視触覚情報統合様式に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, 23, 2018, 115-118
2. Junki Kawaguchi, Shunsuke Yoshimoto, Masataka Imura, Osamu Oshiro, Finger Joint Angle Estimation from Electrical Contact Resistance, Electronics and Communications in Japan, 査読有, 100, 2017, 35-44
3. 加藤 雄樹, 吉元 俊輔, 井村 誠孝, 山下 新吾, 小椋 敏彦, 大城 理, 循環動態解析のための非侵襲圧脈波・血流同時計測に関する基礎的研究, 生体医工学, 査読有, 54, 2016, 66-75

### 〔学会発表〕(計 12 件)

1. 與野 航, 山崎 陽一, 井村 誠孝, 腱振動刺激による運動錯覚と物体接触感覚との相互作用の調査, 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会, 2019
2. 佐藤 正章, 井村 誠孝, CG生成手法が有する写実的表現能力に対するディープラーニングを用いた定量評価手法の特性調査, 第63回システム制御情報学会研究発表講演会, 2019
3. 船引 大輝, 山崎 陽一, 井村 誠孝, MR流体を用いた手首関節剛性制御による抵抗力提示デバイス, 第63回システム制御情報学会研究発表講演会, 2019
4. 嶋田 智稀, 井村 誠孝, 音声の自己聴取音化によるものまね練習支援, 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会, 2019
5. 酒匂 大輝, 山崎 陽一, 井村 誠孝, 周期的な変動を付与した空気噴流による力触覚の同時提示, 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2018
6. 船引 大輝, 山崎 陽一, 井村 誠孝, MR流体を用いた関節剛性可変機構による力覚提示, 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2018
7. 東川 拓矢, 山崎 陽一, 井村 誠孝, 短時間フーリエ変換を用いた振動によるなぞり感覚提示, 電子情報通信学会総合大会, 2018
8. 土田 健登, 山崎 陽一, 井村 誠孝, 振動スピーカーによる触覚刺激を用いた卓球の打撃感提示, 電子情報通信学会総合大会, 2018
9. Masaaki Sato, Masataka Imura, Method for Quantitative Evaluation of the Realism of CG Images Using Deep Learning, ACM SIGGRAPH Asia 2017 Posters, 2017
10. Masataka Imura, Hiroki Nakafuji, Shunsuke Yoshimoto, Osamu Oshiro, Estimation Method of Amount of Swallowed Water from Swallowing Sounds, 8th International Workshop on Biosignal Interpretation, 2016
11. 井村 誠孝, 中藤 寛己, 吉元 俊輔, 大城 理, チョーカー型マイクによる飲水量の日常モニタリング, 第21回日本顔学会大会, 2016
12. 井村 誠孝, 凝着モデルに基づく指腹部と対象物表面との接触シミュレーション, 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2016

### 〔図書〕(計 1 件)

1. 浦西 友樹, 青砥 隆仁, 井村 誠孝, 大倉 史生, 金谷 一郎, 小枝 正直, 中島 悠太, 藤本 雄一郎, 山口 明彦, 山本 豪志朗, マイナビ出版, 画像処理・機械学習プログラミング OpenCV3 対応, 176, 2017

### 〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

### 〔その他〕

ホームページ等: <http://imura-lab.org/>

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。