

口周辺の形状変化による状況認識手法

山下 将平^{1,a)} 寺田 努^{1,2,b)} 塚本 昌彦^{1,c)}

概要: ウェアラブルセンサは状況の変化に応じたサービスの提供を可能にする。状況の変化に関して口周辺の動作に着目すると、感情や咀嚼といった様々な情報が含まれており、これらを認識することで感情の記録や、咀嚼カウントによる肥満防止など、新たなコンテキストウェアサービスが提供できる。そこで本研究では、日常生活での利用を想定し、安価な付け髭型デバイスを用いた、口周辺の形状変化によるコンテキスト認識手法を提案する。髭は口周辺に自然に存在するものであり、付け髭型デバイスは日常的に使わない特殊なデバイスのようにユーザの見た目を損なわない。また、マスク型のようなデバイスとは異なり、口をデバイスが覆っていないので飲食時に着脱する必要が無く、表情を隠すこともない。付け髭型デバイスには伸縮に伴い電気抵抗値が変化する導電布を用い、それを口周辺に装着することで口周辺動作を認識する。提案手法の評価のために5種類の発話母音の認識、及び6種類の日常動作を区別する実験を10人の被験者に対して行った結果、発話母音は平均61%、日常動作認識は平均76%の認識率が得られた。

1. はじめに

近年、センサを用いた生活支援に関する技術が注目を集め、ウェアラブルデバイスの普及が急速に進みつつある[1]。ウェアラブルコンピューティング環境は、装着した各種センサからユーザの行動や状況(コンテキスト)を認識(アウェア)することに適しており、コンテキストに基づいたサービス提供を可能にする。例えば、ライフログはユーザの日常生活におけるコンテキストのログを蓄積し、そのログを利用したサービスを提供する。このように、ウェアラブルデバイスを用いた生活支援の実現には、コンテキストを認識する技術が必要不可欠である。このようなコンテキストを認識する、またはそれに基づくサービスの提供を行うシステムのことを、コンテキストウェアシステムと呼ぶ。既存研究では、コンテキストウェアシステムに用いられるユーザの行動認識手法として、加速度センサ[2]やジャイロセンサ[3]、温度センサ[4]、脈波センサ[5]、筋電センサ[6]、フォトリフレクタ[7,8]、マイク[9]等のセンサを体に装着する方法が提案されている。しかし、これらのデバイスの中に口周辺の動きについて記録しているもの

は少ない。口周辺の動きによって得られる情報の例を挙げると、表情筋に現れる感情、食事時の咀嚼、会話の内容等が存在する。これらの情報を取得することができれば、表情から日々の生活の充足度を測る、咀嚼回数から肥満防止を促す、会話内容から自動的に予定を記録するサービス等が実現でき、既存のコンテキスト認識手法とは異なる利用方法が考えられる。

そこで本研究では、日常生活での利用を想定し、安価な付け髭型デバイスを用いた、口周辺の形状変化によるコンテキスト認識手法を提案する。髭は口周辺に自然に存在するものであり、付け髭型デバイスは特殊なデバイスのようにユーザの見た目を損なわない。また、マスク型のようなデバイスとは異なり、口をデバイスが覆っていないので飲食時に着脱する必要が無く、表情を隠すこともない。提案デバイスには導電布を用いた。導電布は伸縮性を持ち、伸縮によって抵抗値が変化するという特性がある。また、導電布は他のセンサと比較して、薄型で肌に固定しやすく、付け髭と併せて使用することができる。提案デバイスを用いた評価では、発話母音の認識、及び6種類の口周辺情報に関する日常動作(笑顔、咀嚼、飲み物を飲む、ため息、会話、静止状態)の認識を10人の被験者に対して行った結果、母音認識は平均61%、動作認識は76%の認識率であった。

本論文は以下のように構成されている。2章で本研究に関連する研究について述べ、3章ではシステム設計について説明する。4章で実装について述べ、5章で評価実験を行い、6章で評価実験に対する考察をする。最後に7章で

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,
Hyogo 567-8501, Japan

² 科学技術振興機構さきがけ
Japan Science and Technology Agency, PRESTO,
Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan

a) s.yamashita@stu.kobe-u.ac.jp

b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

c) tuka@kobe-u.ac.jp

本論文のまとめを述べる。

2. 関連研究

2.1 コンテキストウェアシステム

コンテキスト認識手法として、設置型のカメラを用いた画像認識による手法がある [14]。この研究では、設置されたカメラが撮影した写真と同時に、RFID タグが装着されたユーザのプロファイルや周辺情報を記録するシステムを提案している。こういった設置型のカメラを用いる手法では、カメラを複数設置する必要があるため設備が大掛かりになる。また、環境ごとにキャリブレーションを行う必要が出てくるため、常にユーザのコンテキストを認識することは難しい。

一方、ウェアラブルコンピューティング環境では、センサをユーザ自身に装着してセンシングを行うことでコンテキストの認識が可能になるため、ユーザ周囲の計測環境を整える必要がないという利点がある。これまでに、様々なセンサを身体に装着してコンテキストの認識が行われている。村尾らは、加速度センサを用い、姿勢や運動、ジェスチャをクラス分けして、それぞれに適した認識手法を適用させることで、運動とジェスチャが連続している場合でも、ジェスチャ認識を可能にしている [15]。小林らは、においセンサと加速度センサを組み合わせたコンテキストウェアシステムを提案している [10]。加速度センサだけでは認識困難な周囲の状況を、においセンサの特性を利用することで認識して、食事、トイレといった行動をそれぞれ 94%、97%の精度で認識した。また、加速度センサと組み合わせて詳細なコンテキスト認識を行い、においセンサが加速度センサに対して補助的に利用可能であることを示した。椿らは導電布を用いて身体各部の周径変化を測定することでユーザの行動を認識するシステムを提案している [11]。導電布が伸縮によって抵抗値を変化させることを利用して、腹部の周径変化から動作を推定し、9種類のコンテキストにおいて平均 96.0%の認識率を示した。

このように、コンテキストウェアに関する研究は様々なセンサを用いて行われており、体の各部位に装着することでユーザの行動を認識している。しかし、これらの研究の中でウェアラブル環境において口周辺にセンサを装着し、口周辺の動きを取得することで行動認識を行っているものは、筆者の知る限り存在しない。口周辺情報の認識を行うことで既存のコンテキストウェアシステムに存在しない新たなコンテキスト認識ができると考える。

2.2 顔に表れる情報の取得に関する研究

ウェアラブルコンピューティング環境において、顔にセンサを装着することでコンテキストを認識する研究が行われている。顔には目や鼻、耳、口等の感覚器官が備わっており、それらから視線や呼吸、発話等を検出することで、

表情やストレスレベル、睡眠段階等の認識を可能にしている。安福らは、眼鏡に温度センサを搭載し、鼻の皮膚表面温度を測定することで、ストレスを評価できるシステムを提案している [4]。この手法では、ウェアラブルカメラで撮影している映像にストレスを受けた場面をタグ付けして、ストレスを感じた場面の振り返りを容易にするアプリケーションを実装している。松井らは、アイマスクにフォトリフレクタを搭載し、眼球運動を測定することで睡眠段階を評価するシステムを提案している [8]。日常利用を考慮してアイマスクを用いて測定しているため、従来の手法よりも睡眠時に違和感がなく、デバイスの製作コストが少ないことが述べられている。これらの研究は日常生活での利用を想定しており、眼鏡やアイマスク等、日常生活で使用する物にシステムを統合することで、長時間利用においても負担がかからないという利点がある。

また、顔の中でも特に口に注目した研究も行われている。Cheng-Yuan Li らは加速度センサを搭載した義歯を用いることで口に関する動作 (咳や咀嚼、飲食、発話) の認識を行うシステムを提案している [13]。このシステムは義歯を用いているため、使用できるユーザが限られている。また、使用する場合には外部のデバイスと義歯を導線で接続する必要がある。甲斐らの研究ではカメラによって口の形を認識し、発話状態の判定を行うシステムを提案している [12]。基準画像を被験者本人のものとした場合の発話検出率は 91.42%であった。カメラで撮影した顔から口唇領域を抽出し、あらかじめ撮影していたユーザの基準画像と比較することで発話状態を判定している。しかし、この方法では顔の前に常にカメラを設置する必要があり、またユーザや周りの環境によって基準画像を変える必要がある。このように、顔に関するコンテキストウェアの研究は数多く行われている。その中でも日常利用を考慮した研究は数多くあるが、口周辺の動きを認識する研究においてはウェアラブルコンピューティング環境での使用には適していないものがほとんどである。導電布を用いた口髭型のデバイスを実装することで日常生活に順応したコンテキストウェアサービスが実現できると考える。

3. 提案手法

本研究では、導電布で構成されたデバイスを口周辺に装着し、口の動きによる導電布の抵抗値の変化からユーザのコンテキストを認識する手法を提案する。

3.1 システム要件

カメラはユーザの動きを高精度に認識できるが、位置が固定されており、常時利用は難しい。また、筋電センサは口周辺の筋肉の動きを検出できるが、高価なハードウェアが必要であり、デバイスの大きさの問題から日常的な使用には向いていない。これらの既存のセンサの問題点に加え、

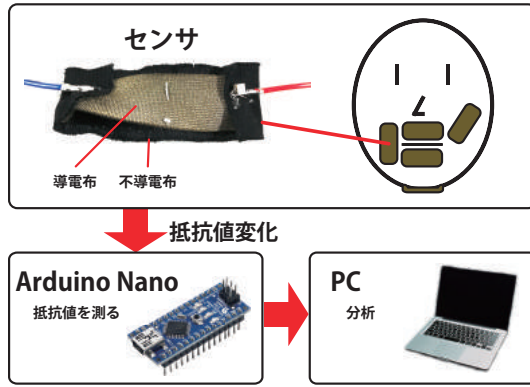


図 1 システム構成

関連研究で述べたように、装着して見た目を損なわない社会性や、日常生活が制限されない装着性を考慮し、システム要件を以下に示す。

- 日常生活動作の認識が可能である。
- デバイスによって日常生活が制限されない。
- デバイスを装着しても見た目を損なわない。
- デバイスが安価である。

そこで本研究では、導電布を用いて、口周辺に装着されていても違和感のない口髭型のデバイスを作製し、口の動きに伴う導電布の抵抗値の変化からユーザのコンテキストを認識する。

3.2 システム設計

システム要件を満たすために、提案システムでは伸縮性をもつ導電布を用いる。導電布は薄く、柔軟性があるため、口周辺のあらゆる箇所に装着可能であり、ユーザの日常生活動作を制限しない。また、導電布は伸縮により電気抵抗値が変化する特性をもっているため、装着箇所の動きに伴う導電布の伸縮により電気抵抗値が変化し、装着箇所の動きを測定できる。さらに、デバイスを口髭型にすることで、デバイス装着時の見た目を考慮でき、導電布は安価であるため、デバイスの製作コストが少ない。システム構成図を図 1 に示す。

3.3 行動認識手法

本研究ではコンテキスト認識のために導電布をセンサとしてその抵抗値の変化を利用するが、得られた値をそのまま使うのではなく、挙動を効率的に把握するために特徴量抽出と呼ばれる処理を行う。得られたセンサデータから 2 つの特徴量 (センサデータの平均値 μ , 分散値 σ^2) を抽出する。ウィンドウサイズを n サンプル、得られるセンサデータを $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ とすると、平均値 μ と分散値 σ^2 は以下の式のように表される。

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

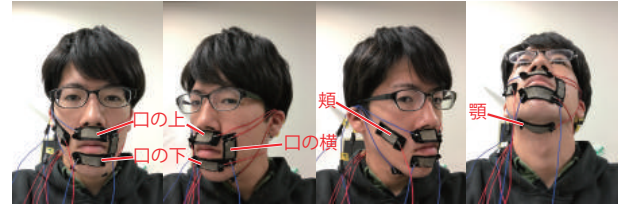


図 2 デバイス装着図

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu - x_i)^2 \quad (2)$$

これら 2 つの特徴量 (μ, σ^2) は、それぞれスケールが異なり対等に扱うことができないため、次々に従い正規化し、2 次元の特徴量 $Z(T) = (z_1(T), z_2(T))$ (平均 0, 分散 1) を得る。ここで、 M および S は $X(T) = (x_1(T), x_2(T))$ の各成分の平均および標準偏差である。 T は時刻を表す。

$$Z(T) = \frac{X(T) - M}{S} \quad (3)$$

認識方法には Random Forest という決定木を作成するアルゴリズムを用いた。与えられた学習データの特徴量を用いて決定木を作成する。本研究では、上記の認識方法をデータマイニングツール WEKA [16] を用いて行う。WEKA は Waikato 大学を中心に開発されているデータマイニングツールであり、提案手法では分類器として Random Forest を用い、交差検証を行った。交差検証とは、統計学において標本データを分割して、その一部をテストデータ、残りを学習データとする検証方法である。今回、交差検証の中の K-分割交差検証 (K-fold cross-validation) を用いた。K-分割交差検証とは、標本群を K 個に分割し、そのうちの 1 つをテストデータ、残りの K-1 個を学習データとし評価を行う。K 個に分割された標本群をそれぞれテストデータとして、K 回交差検証を行い、そうして得られた K 回の結果を平均して 1 つの推定を得る。

4. 実装

3 章のシステム要件に基づいて、口周辺に装着可能な口髭型デバイスのプロトタイプを実装した。実装したデバイスを図 2 に示す。導電布はナイロンに銀メッキを施した Shieldex Trading 社の MedTex180 を使用した。導電布の状態を図 3 に示す。提案手法では導電布を測定箇所に貼り付けて使用するが、肌と導電布が触れていると抵抗値に揺らぎが生じることが先行研究 [11] でわかっているため、肌と導電布の間に導電性のない伸縮性のある通常の布を挟んだ。導電布と Arduino につながる導線の接続方法は、事前調査で金属端子を直接導電布に縫い付けると、縫い目が解けて導電布との接触が不安定になることがわかったので、肌と導電布の間に挟んだ通常の布を金属端子と導電布の間に挟み、導電糸で縫い付けた。導電布の抵抗値を測定し PC へ送信するためのマイコンは Arduino Nano である。

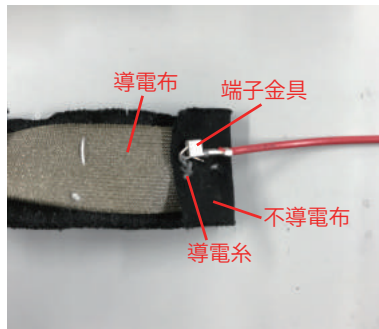


図 3 導電布周辺の状態

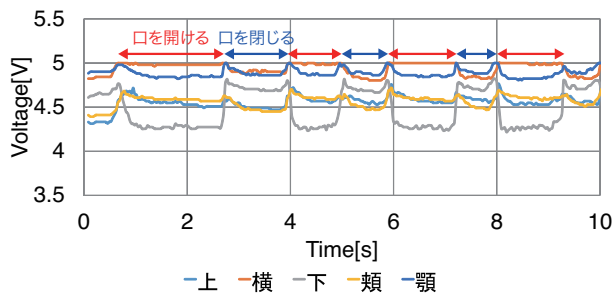


図 4 装着した導電布による電圧値の変化

PC 上の認識ソフトウェアの開発は Processing [18] を使用して行った。提案システムでは、デバイスを口周辺に装着し、常時 Arduino で抵抗値を測定し、PC へと送信することで、測定箇所の動きを測定する。

口周辺動作測定デバイスを装着して、出力される抵抗値の変化を調査した。装着箇所は、口の上、下、横、頬、顎の 5 箇所 (図 2) とした。デバイスに使用した導電布のサイズはそれぞれ、口の上、下には $5.5\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ 、横、頬には $5.0\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ 、顎には $6.0\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ とした。また、デバイスは導電布の裏側に貼り付けられた両面テープによって肌と固定されている。被験者は 1 名で、筆者のみである。

デバイスを装着した状態で口を大きく開ける、口を閉じるを繰り返したときのセンサデータの変化を図 4 に示す。図 4 より、口の動きによって各導電布の抵抗値がそれぞれ特徴的に変化することが確認できた。

5. 評価実験

本章では、母音発話動作及び 6 種類の日常動作を、提案システムにより認識できるかを確認するために評価実験を行った。

5.1 評価する動作

1 つ目に、母音発話動作について評価実験を行った。日常生活をする上で発話動作は頻繁に行われるものであり、これを認識することで日々の会話情報の記録や、入力インターフェースとしての利用ができると考える。今回は、発話の中でも特に口の形のみで判断できる母音 5 種類の発話

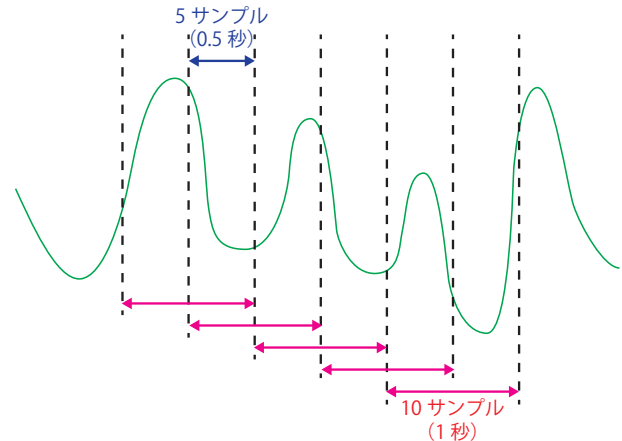


図 5 特徴量の算出方法

動作について評価した。2 つ目に 6 種類の日常動作について評価実験を行った。口の機能として、感情の表現や、飲食、発話等がある。これらを認識することで日々の生活における感情や、食事を行った時間、会話情報等を記録することが可能であり、ライフログにおける利用ができると考える。今回はこれらの中でも口周辺の動きに表れる 6 種類の動作 (笑顔になる、咀嚼する、飲み物を飲む、ため息をつく、会話する、静止状態) について評価した。

5.2 実験方法

実験では被験者の口周辺にデバイスを装着し、母音発話及び 6 種類の動作を行い、口周辺の動きから被験者の発話母音及び動作を推定した。センサデータ取得のサンプリング周波数は 10 Hz とし、特徴量計算のためのウィンドウサイズは 10 サンプル (1 秒) とした。図 5 のようにウィンドウは 5 サンプル ($1/2$ ウィンドウ) ずつ移動させ、5 つのセンサデータから平均値と分散値、計 10 個の特徴量を抽出した。1 つのコンテキストごとに 20 秒間の測定を 3 回ずつ行い、特徴量セットを抽出した。得られた特徴量セットに対して、Random Forest を用い、認識率を求めた。被験者は 20 代男性 10 名であった。

5.3 実験結果

提案手法の被験者 10 人における認識率の結果である confusion matrix に対して、それぞれのセルの和を求めたものを表 1、2 の confusion matrix に示す。表 1 が発話母音、表 2 がコンテキストの認識結果である。confusion matrix とは、コンテキストによって正しく認識された数を示す分類表であり、各セルはコンテキストの出力回数を示している。対角線上の行と列に示されたラベルが一致しているセルが正しく認識を行えたときのものである。実験で行った母音発話では最大 76%、最小 43%、平均 61% の認識率が得られ、6 種類の日常動作認識では最大 93%、最小 58%、平均 76% の認識率が得られた。

表 1 被験者全員の母音発話の confusion matrix

		Prediction					Recall
		1	2	3	4	5	
Actual Activities	1 = a	611	231	122	142	64	0.52
	2 = i	241	585	176	117	50	0.50
	3 = u	77	194	744	56	99	0.64
	4 = e	153	78	61	736	142	0.63
	5 = o	34	46	85	123	882	0.75
Precision		0.55	0.52	0.63	0.63	0.71	0.61

表 2 被験者全員の日常動作認識の confusion matrix

		Prediction						Recall
		1	2	3	4	5	6	
Actual Activities	1 = chew	1060	48	41	13	8	0	0.91
	2 = conv.	6	709	174	125	127	29	0.61
	3 = drink	20	111	813	113	94	19	0.69
	4 = sigh	29	91	73	877	79	21	0.75
	5 = smile	12	77	86	74	900	21	0.77
	6 = static	0	18	13	122	23	994	0.85
Precision		0.94	0.67	0.68	0.66	0.73	0.92	0.76

6. 考察

6.1 実験における認識率に関する検討

今回の実験における認識率について検討する．10 人の被験者の平均認識率は表 1, 2 より，発話母音認識で 61%，動作認識で 76%であった．

表 1 より，発話母音認識は各母音において正確に認識できている数が一番多い結果になった．例えば，「あ」を発話した時，正確に認識できている回数は 611 回であり，他の母音として認識されている回数は全て 611 回より少ない．母音それぞれで考えた場合，「お」の 75%が一番認識率が高く，「い」の 50%が一番認識率が低い結果となった．「あ」と「い」は互いに誤認識している回数が多かったが，これは両者の発話時における口の形に大きな違いがないためであると考えられる．

表 2 より，動作認識も発話母音認識と同様に各行動において正確に認識されている数が一番多い．特に咀嚼に関しては認識率が一番高く，91%であった．認識率が高い理由として，咀嚼は他の動作に比べて試行回数を重ねても動きに違いが出にくいことが挙げられる．一方，会話の認識率は 6 種の動作の中でも一番低い 61%という結果であった．各試行毎に会話の内容や話し方が変わったことによって，認識率が低くなったことが考えられる．従って，動作認識においては会話をコンテキストから除外することで認識率が上がると考える．また，咀嚼をしている時に一瞬だけ会話をしていると誤認識されるような，連続的な動作の間に



図 6 実装したデバイスの使用例



図 7 デバイス装着位置による付け髭の変化

入る誤認識は除外するという処理を行うことで認識率を上げることが可能だと考える．

発話母音認識と動作認識両方の認識率低下の理由として，装着方法が挙げられる．提案手法では，実装したデバイスを両面テープによって肌に装着しており，装着位置が安定しにくい問題がある．ある被験者は両面テープが肌から剥がれやすく，実験の途中で両面テープを張り替えることになった．また，デバイスと両面テープの固定も不安定であり，デバイスから両面テープが剥がれてしまうことが多くの被験者で確認された．両面テープの貼り直しを行うことで装着位置が若干変化し，導電布の形が変わることで抵抗値が変化した．この装着方法の問題が認識率低下の原因であると考えられる．今回用いた両面テープは伸縮性がないため，導電布の伸縮性を低下させないために必要最低限の面積に貼り付けた．これが両面テープの剥がれやすい原因であるため，今回用いた両面テープとは異なる，伸縮性があるテープを導電布全体に貼り付けることでデバイスの装着強度を上げ，認識率を向上させられると考える．また，今回の提案デバイスではセンサに導電布を用いたが，導電

布と同様に導電性と伸縮性を持つ導電ゴムのような、異なるセンサを用いることで両面テープ自体を使用する必要がなくなり、装着方法の問題は解決できると考える。

6.2 付け髭型デバイスへの利用

今回、センサが露出したままで実験を行ったが、3章で述べたとおり、日常利用を考慮して付け髭型のデバイスとして利用するための例を図6に示す。付け髭を5つのセンサ全てが隠れるように装着することで、装着者の見た目を損なわない状態で日常的に利用することが可能だと考える。また、装着部位数を変化させることによって付け髭の種類も変更が可能である。例えば、口の上のみにセンサを装着することで、図7左上のような形の小さな髭を装着するだけでセンサを隠すことができる。今後の課題として、付け髭の種類に伴うセンサ数の変化と、認識精度の関係について調査する必要がある。

7. まとめ

本研究では、口周辺動作に注目し、口周辺の動きからユーザの行動を認識するシステムを設計、実装した。口周辺動作測定デバイスには、ユーザの行動を制限したり、見た目を損ねたりする可能性が少ない導電布を用いた。用いた導電布は伸縮によって電気抵抗値が変化する特性をもち、抵抗値の変化を測定することで口周辺の動作を測定できる。口周辺5箇所に装着した導電布の抵抗値変化から母音発話について平均61%の認識率が得られた。また、6つの日常生活動作(笑顔, 咀嚼, 飲み物を飲む, ため息, 会話, 静止状態)については平均76%の認識率が得られた。

今後の課題としては、装着方法や装着位置を変えることによる認識率の変化の調査や、導電布以外の素材によってもコンテキストを認識できるかの調査が挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR16E1)およびJST さきがけ(JPMJPR15D4)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 矢野経済研究所, <https://www.yano.co.jp/press/press.php/001535>.
- [2] 河本あかり, 井上喜雄, 芝田京子, 石立康洋: 2組の3軸加速度センサを用いたウェアラブルモーションセンサシステムの開発, 日本機械学会中国四国支部総会・講演会講演論文集, Vol. 2010, No. 48, pp. 173–174 (Feb. 2010).
- [3] 小堀訓成, 出口大輔, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬 洋: MEMS ジャイロセンサと単眼カメラを利用した高精度で頑健な姿勢推定, 計測自動制御学会論文集, Vol. 47, No. 10, pp. 442–449 (Oct. 2011).
- [4] H. Yasufuku, T. Terada, and M. Tsukamoto: A Lifelog System for Detecting Psychological Stress with Glasses-equipped Temperature Sensors, *Proc. of the 7th Augmented Human International Conference (AH 2016)*, pp. 8:1–8:8 (Feb. 2016).
- [5] 森屋彰久, 鈴木琢治, 大内一成, 亀山研一: 脈波情報を用い

- た睡眠状態推定とその応用, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 10, No. 2, pp. 207–214 (May 2008).
- [6] 渡辺一彦, 山口泰彦, 後藤田章人, 岡田和樹, 三上紗季, 菱川龍樹: 超小型ウェアラブル筋電図測定システムを用いた無拘束終日咬筋筋活動解析, 日本顎口腔機能学会雑誌, Vol. 19, No. 2, pp. 125–136 (Jan. 2014).
 - [7] K. Fukumoto, T. Terada, and M. Tsukamoto: A Smile/Laughter Recognition Mechanism for Smile-based Life Logging, *Proc. of the 4th Augmented Human Conference 2013 (AH 2013)*, pp. 213–220 (Mar. 2013).
 - [8] 松井 駿, 寺田 努, 塚本昌彦, 赤外線フォトリフレクタを用いた眼球運動計測による睡眠状態認識手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2016) 論文集, pp. 858?–865 (7 July 2016).
 - [9] 矢高真一, 田中宏平, 寺田 努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: ウェアラブルコンピューティングのための状況依存音声情報提示手法, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No. 12, pp. 2384–2395 (Dec. 2010).
 - [10] 小林泰貴, 寺田 努, 塚本昌彦: においに基づくコンテキストウェアシステム, コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会論文誌) インタラクティブソフトウェア特集, Vol. 29, No. 4, pp. 324–334 (Dec. 2012).
 - [11] K. Tsubaki, T. Terada, and M. Tsukamoto: An Activity Recognition Method by Measuring Circumference of Body Parts, *Proc. of the 7th Augmented Human International Conference 2016 (AH 2016)*, pp. 13:1–13:7 (Feb. 2016).
 - [12] 甲斐寛規, 宮崎大輔, 古川 亮, 青山正人, 日浦慎作, 浅田尚紀: 口唇領域の抽出と認識による発話検出, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), p. 1–8 (May 2011).
 - [13] C. Li, Y. Chen, W. Chen, P. Huang, and H. Chu: Sensor-Embedded Teeth for Oral Activity Recognition, *Proc. of the 10th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2006)*, pp. 41–44 (Sep. 2013).
 - [14] 何 書勉, 木俣 豊, 河合由起子, 田中克己: コンテキストウェアなユーザ・環境駆動型コピキタスカメラの提案, 電子情報通信学会技術研究報告 データ工学研究会, Vol. 106, No. 149, pp. 197–202 (July 2006).
 - [15] 村尾和哉, 寺田 努: 加速度センサの定常性判定による動作認識手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 6, pp. 1968–1979 (June 2011).
 - [16] WEKA, <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.
 - [17] I. Witten, E. Frank, and M. Hall: Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques, *Morgan Kaufmann* (Jan. 2011).
 - [18] Processing, <https://processing.org/>.