基礎論文

EarTouch: 耳の入力インタフェース化

菊地 高史[*1] 正井 克俊[*1] 杉本 麻樹[*1]

Bruce H. Thomas[*2] 杉浦 裕太[*1]

EarTouch: Turning the Ear into an Input Surface

Takashi Kikuchi[*1], Katsutoshi Masai[*1], Maki Sugimoto[*1], Bruce H. Thomas[*2] and Yuta Sugiura[*1]

Abstract --- In this paper, we propose EarTouch, a new sensing technology for ear-based input for controlling applications by slightly pulling the ear and detecting the deformation by an enhanced earphone device. It is envisioned that EarTouch will enable control of applications such as music players, navigation systems, and calendars as an "eyes-free" interface. As for the operation of EarTouch, the shape deformation of the ear is measured by optical sensors. Deformation of the skin caused by touching the ear with the fingers is recognized by attaching optical sensors to the earphone and measuring the distance from the earphone to the skin inside the ear. EarTouch supports recognition of multiple gestures by applying a support vector machine (SVM). EarTouch was validated through a set of user studies.

Keywords: Earphone, Skin Deformation and Photo Reflective Sensor

1 はじめに

イヤフォンによって，人々は音楽を色々な場面で聴くことやスマートフォンを，端末本体を操作することなく，通話や地図アプリケーションの操作ができるようになった．これらの例が示すように，イヤフォンの使用方法は多様化している．従来イヤフォンはモバイル端末と配線で結ばれていた状態で利用されていた．その後，Bluetooth 等でイヤフォンが無線化され，モバイル端末とは独立して使用することが可能となった．近年は，Apple AirPod の様に，左右のイヤフォン自体にそれぞれ無線装置が組み込まれたものも登場している．その結果，左右のイヤフォン間ですら配線でつながっている必要はなくなり，使うときの煩わしさは減っている．この事に加え，イヤフォンの小型化が進んでいる．そのため，人々は長い時間日常生活でイヤフォンを身に付けることができるようになり，今後も日常で重要となる情報のやり取りがよりイヤフォンを通して行われるようになると考えられる．

イヤフォンは音を出力する装置であり，その操作は現在モバイルデバイスを通して行うことが多い．一方，イヤフォンとは独立しているモバイルデバイスを使う手間があるシーンも存在する．その場合は，これまではイヤフォンのコードに埋め込まれたスイッチなどで操作する．一方で，イヤフォンが小型で配線レスになると，スイッチによる手法とは違う新しい入力手法が必要である．

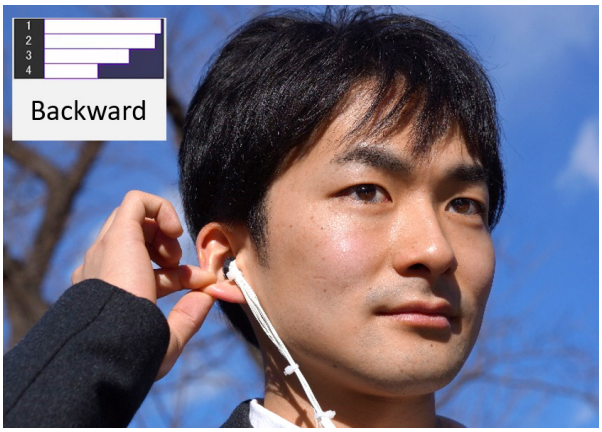

図 1 EarTouch: イヤフォン型デバイスを用いて，耳を引っ張った方向を認識する．

Figure 1: Concept of EarTouch: The earphone device recognizes the input made by the user pulling the ear

代表例として音声による操作が挙げられる．音声によるコマンド入力は強力な手法であるが，一方でノイズが多い環境や，ユーザが声を出せない環境での利用は難しい．また，その他にも，イヤフォン自体にタッチセンサをつけることも考えられるが，小型であるため，入力方法の種類は限られる．Apple AirPod は，タッチセンサによって単純なタップジェスチャを認識することを可能にしているが，複雑な入力に関しては新たな手法があると考えられる．

*1 慶應義塾大学
*2 南オーストラリア大学
*1 Keio University
*2 University of South Australia

そこで我々は，イヤフォンとしては従来のサイズを保ちつつ，イヤフォンとワンパッケージになり，多様な入力を実現する方法として耳自体を入力面として利用する方法を提案する（図 1）．この方法では，イヤフォンにいくつかの光センサを装着する．耳の皮膚変形を光センサで計測することで，耳全体の変形を推定する．本手法で利用する光センサは反射型の光センサであり，これは赤外光を発光して，その反射光の強度を取得することで対象物の距離を計測できるセンサである．これをイヤフォンに装着して耳内の皮膚までの距離を複数点で計測すると変形形状が取得できる．取得したセンサデータを用いて，SVM によりジェスチャ識別をする．これで耳を上下左右に軽く引っ張るようなジェスチャが認識できる．

この方法を用いて，耳を入力インタフェースにする利点はいくつかある．まず耳は柔らかく変形し，触れている指に自然な触覚的フィードバックを返す．さらに耳自体の触覚受容器を通して自己運動がユーザにフィードバックされるため，ユーザは直感的な入力が可能となる．また，耳は人間が自然に触れる部位であり，入力していることが相手から気付かれないという利点もある．また，髪や帽子で耳が覆われてしまっていても入力できる手法である．

スポーツでの利用シーンとしての EarTouch の利用を考える．一般人から一流スポーツ選手まで多くの者がスポーツトレーニング中や試合前などにイヤフォンを利用している．特にトレーニング時に音楽を聴く行為は，聴いている者を奮い立たせたり落ち着かせたりとメンタル面で大きな役割がある．EarTouch は，このようなスポーツトレーニング中でも，運動の中断や視線を端末に向けることもなく情報端末操作が可能となると考えている．また，スポーツプレイ中での情報提示や他者とコミュニケーションを目的とした無線式のイヤフォンが近年登場している[1]．そのような端末操作においても，例えば会話タイミングの指示やボリュームなどの調整に EarTouch の入力手法を活用できるだろう．超人スポーツが普及した未来においてはウェアラブルな音声端末を装着して高度でリアルタイムな情報戦がやり取りさせることが予想されるため，そのようなシーンでも EarTouch のような入力手法は寄与すると考える．

2 関連研究

2.1 耳によるインタラクション

イヤフォンに対して機能を付加して，人間の行動計測や操作方法を拡張する試みがいくつか提案されている．Cord Input はイヤフォンの紐部分をねじったりひっぱったりするような操作で入力する方法である[17]．また松村らは，イヤフォンに反射型の光センサを装着し，左右どちらの耳にイヤフォンを装着しているか認識し，適切に左右の耳に音を提供するシステムを開発した[10]．また真鍋らは，イヤフォンに電極を装着し，目の移動などを計測することで，これを入力操作として利用する方法を提案している[8]．earable はイヤフォンの内部に光センサを埋め込み，鼓膜とイヤフォンの距離を計測することで，表情や，咀嚼状態を計測することに成功している[2]．他にも，超音波周波数を利用し，イヤフォンの着脱を認識する手法も提案されている [6]．本研究は，これらの研究と異なり，イヤフォンの外観は損なわずに，人間の耳の皮膚に着目してこれを明示的な入力インタフェースとして利用する．

耳周辺のジェスチャもしくは，耳に直接触れることでのインタラクション手法も提案されている．FreeDigiter は，耳から少し離れた場所での空中ジェスチャを計測する手法である[11]．みみスイッチは，光センサを用いて外耳の状態を測定することで表情を推定している[21]．また，EarPut は，耳の裏側にセンサを装着することで，指で耳の縁を触れた時のインタラクションを計測するデバイスである[7]．このうち [11][7] は計測装置が大きく，また帽子や 髪が耳に覆いかぶさると誤動作が生じる可能性がある．これに対し本研究では，光学センサアレイをイヤフォン筐体外周部に設置することで，大きなセンサアレイを装着することなく，同様のジェスチャを検出することができる．また、 [21] は目や下の動きに注目しているのに対し，本研究では耳の動きの検出に着眼している．

2.2 皮膚を入力としたインタフェース

人間の皮膚を入力インタフェースとして利用する方法は多く提案されている．中妻らは，手の甲を入力インタフェースとして利用する方法を考案した[13]．彼らが開発したリストバンド型のデバイスには光センサがアレイ状に設置されており，手の甲を触れている指先の位置を認識する．SenSkin では光センサが複数装着したバンド型のデバイスである[14]．これをユーザの腕に巻き付けるとことで前腕部の皮膚変形を計測できる．ユーザはつ

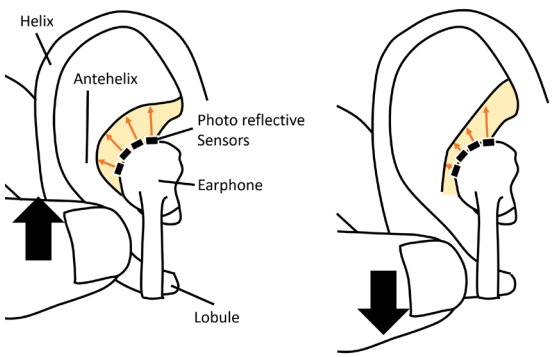

図 2 計測原理

Figure 2: Principle of proposed method

ねるや押すなどの前腕部上で生じるジェスチャ入力ができる. また Harrison らは, 皮膚面に伝搬する振動を計測して, 皮膚へのタップ操作を認識できるシステムを開発した[4]. Weigel らは, 伸縮可能で皮膚に馴染むフィルム型センサシートを開発した[18]. さらに Weigel らは, 前腕部の皮膚表面を利用したモバイルデバイス向けのインタラクションデザインをしている[19].

顔面の動作計測は人間の日常の状態を知る上で重要である. 小泉らは, 光センサを用いて顎の動作を計測している[5]. 正井らは, 光センサを眼鏡のフレームに複数配置し, 皮膚と眼鏡のフレームの距離を計測できるデバイスを開発した. 正井らはこの装置によって人間がどのような表情をしているのかを認識できるシステムを提案している[9]. 中村らは, 光センサを用いて眉間の変形を計測し, 情報操作に応用している[12]. これらの研究と比較して我々は皮膚の中でも耳の部位に着目している点で異なる.

耳を引っ張ることでユーザ行動を誘導するデバイスも開発されている[3]. このデバイスは, ユーザの耳を左側と後ろ側をクリップで引っ張り, ユーザを指定の位置まで誘導している. また, 顔を用いたジェスチャによる HMD 操作に関する研究も行われている[16]. この研究では, 耳もジェスチャ領域と定められており, 外部カメラとマーカーが用いられ, 認識を行っている. これらの研究と比較し, 本手法では, より小型なデバイスを用いて行う点で異なる.

3 EarTouch

3.1 計測原理

本研究は, 耳の変形を, イヤフォンに装着された4つの光センサによって取得する(図 1). この光センサは, 反射型光センサと呼ばれ, 赤外 LED とフォトトランジスタが一体化したものであり, 一般的にはセンサと物体の距離を計測する目的で利用されている. イヤフォンにこの光センサを埋め込み, イヤフォンから耳の皮膚までの距離を計測する. ユーザが指で耳に触れて変形を加えると耳に力が加わり耳内部の皮膚も変形をする. この結果, イヤフォンから皮膚までの距離が変化するため, いくつかの光センサで触ったことを認識することができる.

3.2 デバイス

我々は複数の光センサを, Sony 社製のイヤフォンに装着した装置を作成した(図 3). イヤフォンの周囲には光センサを4個配置した. 本稿では片方のイヤフォンのみに装着したが, 左右に配置することによって左右両方の入力が可能となる. 光センサとしては, コーデンシ社製 SG-105 を利用した. このセンサは, 小型(2.7×3.2×1.4mm)であり, イヤフォンに搭載するのに適している. 光センサは, マイクロコントローラ(Arduino Pro Mini, 3.3V)に接続され, XBee を通じてデータが PC(プロセッサ:Intel Core i7-4770, メモリ:8GB)に送信される. 将来的には, イヤフォン内部に搭載し, BlueTooth 接続を行うことにより, 余分な配線を減らし, さらなる小型化が可能となると考えられる.

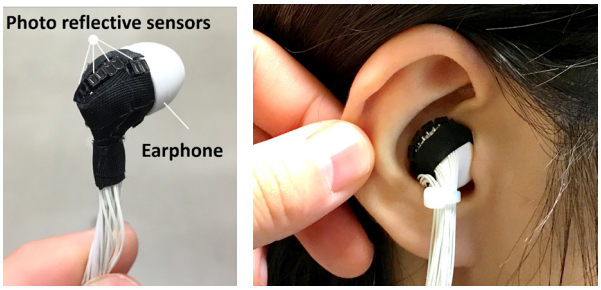

図 3 デバイス構成(左)と装着した際の様子(右)

Figure 3: EarTouch device (left) and sensor layout when inserted in ear (right)

3.3 方向ジェスチャの認識

システムは取得したセンサデータを利用してジェスチャ認識をする. ジェスチャ認識として教師あり機械学習の 1 つである Support Vector Machine (SVM)を利用した. また実装には PSVM: Support Vector Machine for Processing (PSVM) ライブラリを使用した[13].

まず, 方向 4 方向(上下左右)に耳を引っ張った際と入力なし時のデータセットを用意した. EarTouch デバイスを装着したユーザが, 耳を上下左右に軽く引っ張った際のセンサデータを取得し, 学習用データを蓄積した. SVM に適用する前にセンサデータを IIR フィルタにて正規化した. 学習後は同様のジェスチャを入力することで, 耳たぶを上下左右に引っ張るジェスチャが認識可

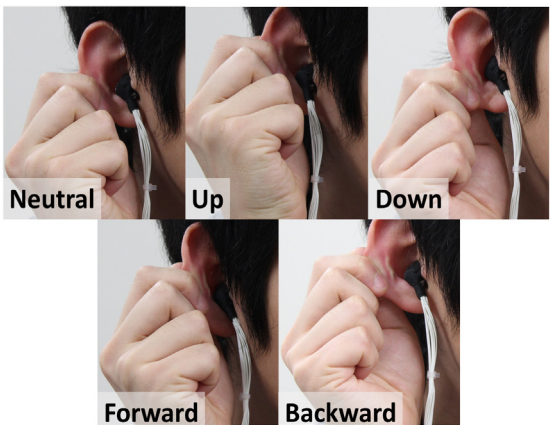

図 4 5 種類の方向ベクトル

Figure 4: Five directional gestures

図 5 5 種類の記号ジェスチャ

Figure 5: Five symbolic gestures

能となる(図 4).

また, PSVM は, 確率として結果を出力する. そのため, 確率をもとに各方向ジェスチャの重み付けを行った. これにより, 上下左右 4 種類の基本方向ジェスチャだけでなく, 二次元平面上でどの方向に動かしているか識別することが可能となる.

3.4 記号ジェスチャの認識

方向ジェスチャを基に, ユーザはより複雑なジェスチャを入力することが可能である. 耳をどの方向にどの程度引っ張ったかという情報を, 方向ジェスチャから計算する. 方向ジェスチャを時系列に取得することにより, EarTouch システムが耳の動きの軌跡を二次元点群として算出する. これにより, 記号ジェスチャを入力することができる.

我々は, SVM と$1Unistroke Recognizer を用いて, 記号ジェスチャの認識を実装した[20]. まず, SVM を用いて, 耳がどの方向に引っ張られたかを認識する(3.3 章で記述). 引っ張った方向の単位ベクトルを取得し, 以前の二次元点に足し合わせていくことで, 耳の動きの軌跡情報を作成する. "Neutral"状態(図 4 参照)がある一定期間続いた場合, システムがジェスチャ終了とみなし, すべての二次元点を軌跡情報として$1 Recognizer に入力する. 軌跡情報を用いることにより, センサデータを時系列に捉えることができ, 入力可能なジェスチャの種類を増やすことが可能となる.

我々は, プロトタイプとして, 図 5 に示す「直線」「v 字」「不等号記号」「四角」「階段」の五種類の記号ジェスチャの識別を行った.

4 評価実験

4.1 実験 1:方向ジェスチャの認識

ジェスチャの識別精度を計測するためユーザ実験を行った. 実験に用いた方向ジェスチャを図 4 に示した. 被験者には, 耳を軽くつかんだ状態を"Neutral"とし, 上下左右指定した方向に引っ張るように指示した. この実験を座っているとき, 歩いているときの 2 種類の姿勢で行った. 歩いている姿勢での実験は, 室内で行った. 引っ張る方向を支持し, 被験者は室内を歩きまわり, 指示されたタイミングでその方向に耳を引っ張ってもらいデータを集めた. 歩くスピード, 方向は被験者に, 任意に決めてもらったが, 同じ場所で足踏みすることは禁止とした.

実験を行う前に操作の練習を行った. 練習工程では, 被験者に図 4 に示した 5 つの状態を各 1 回ずつ試して貰った. 耳を引っ張る強さは任意で, EarTouch デバイスの装着方法は, 我々からは位置の指定などは行わず, 被験者が日常でイヤフォンを装着した際と同じように装着して貰った. 練習工程が終了した後, 実験データを

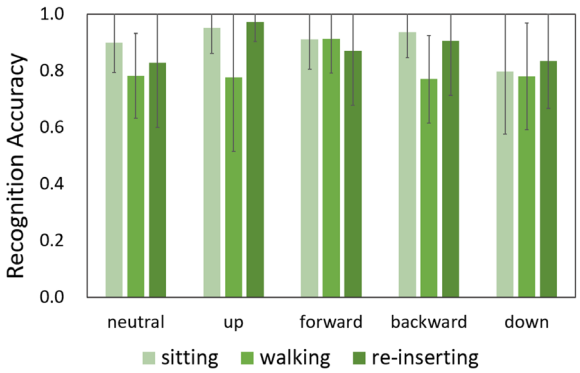

図 6 実験 1 および実験 2 の認識精度実験の結果

Figure 6: Recognition accuracy of user studies 1 & 2

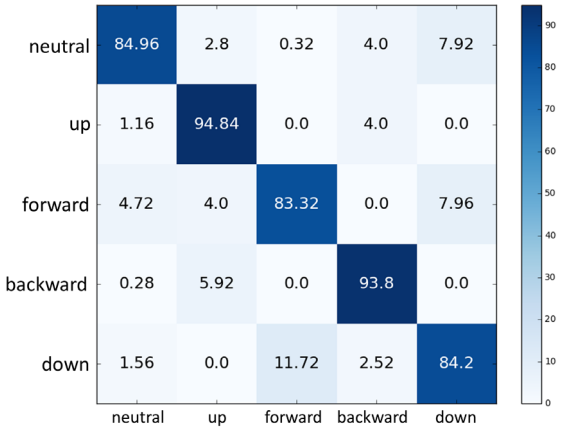

図 7 実験 1 における座った状態の識別精度の混同行列

Figure 7: Confusion matrix of recognition accuracy when sitting

取得した. 実験データの取得では, ユーザに各状態を 5 秒間続けて貰った. センサのサンプリングレートを 30fps と設定し, 5 秒間の中の中央 100 フレーム分を学習データとした. 5 つすべての状態を 5 秒ずつ行うことを 1 回の試行と定め, 五回行い, 合計 5000 個のセンサデータを取得した(5 方向×100 フレーム×5 試行×2 姿勢＝5000 センサデータ). 2 種類の姿勢を行う順番は被験者毎にランダムに設定した.

被験者は, 20 代の男性 6 人と女性 2 人で, 5 分割交差検証を行った. センサデータのうち, 4 試行分のデータを学習用データセットとし, 残りの 1 試行分のデータをテストデータセットとした. この学習データセットを用いて, 学習した. この際, 線形カーネルを用いた. 学習は, ユーザ毎に行った. これは, ユーザ毎に耳の形が異なるためセンサの値が異なるからである.

方向ジェスチャの認識実験結果を図 7 に示す. 座っている姿勢での平均識別精度は 89.56%(標準偏差 5.24)であり, 歩いている姿勢での平均識別精度は 80.78%(標準偏差 12.16)であった. 座っている姿勢と比べ, 歩いている姿勢で精度が低くなった要因としては, neutral 状態の識別率の低下が挙げられる. これは, 歩

いている状態では，振動により被験者が無意識に引っ張っていると考えられる．

また，再装着した際の識別結果は，平均識別精度は88.21%（標準偏差 11.86）であった（図 6 と図 7 参照）．この結果より，使用するたびに学習する必要はなく，一度学習することで使用することができると考えられる．また，ユーザが普段イヤフォンを装着する向き，位置はあまり変動しないと考えられる．

4.2 実験 2：再装着時の方向ジェスチャ認識

EarTouch デバイスを再装着した際の方向ジェスチャの識別精度を計測するためユーザ実験を行った．実験手順は実験 1 と同じことを行ったが，1 試行毎にデバイスをはずし，再度装着するように指示した．被験者は，実験 1 の時と同じ 20 代の男性 6 人と女性 2 人で，5 分割交差検証を行った．実験 1 と同様に 4 試行分のデータを学習用データセットとし，残りの 1 試行分のデータをテストデータセットとした．

再装着した際の識別結果は，平均識別精度は88.21%（標準偏差 11.86）であった．この結果より，再装着した際に再度学習する必要がないことが分かる．また，ユーザが普段イヤフォンを装着する向き，位置はあまり変動しないと考えられる．被験者の中には，実験 1 よりも識別結果の高い被験者もいた．そのような被験者の共通の特徴として，実験 1 中にイヤフォンが外れることが多かった点が挙げられる．この問題は，作成したデバイスの配線の重みによるものだと考えられる．そのため，将来的に，光センサをイヤフォンに内蔵することで解決すると考えられる．

4.3 実験 3：記号ジェスチャの認識

被験者に耳を用いて，図 5 に示した 5 つの記号ジェスチャを入力してもらった際の識別精度を測定した．被験者には，ディスプレイの前に座ってもらい，画面に表示されたジェスチャと同じジェスチャ（図 5）を入力してもらった．被験者の入力している軌跡を表示する視覚補助ありと表示しない補助なしの 2 つの条件で行った．実験の前に，被験者には数分間の練習時間を与えた．しかし，このときに認識結果を被験者には提示しなかった．この実験の前に，各方向 100 フレームずつ取得し（サンプリングフレームは 30fps）で学習を行った．被験者は，実験 1 と同じ被験者 8 人で行った．

記号ジェスチャの認識実験結果を図 8 に示す．実験全体において，平均識別精度は 77.43%（標準偏差 10.83）であった．視覚補助がない場合（平均識別精度：79.43%，標準偏差：12.95）の方が，視覚補助がある場合（平均識別精度：75.43%，標準偏差：8.77）よりも識別精度が高かった．この理由としては，視覚補助がある場合では，被験者ができるだけ綺麗に入力が行うために何度も行ったり来たりを繰り返して，入力を複雑にしていたためであると考えられる．

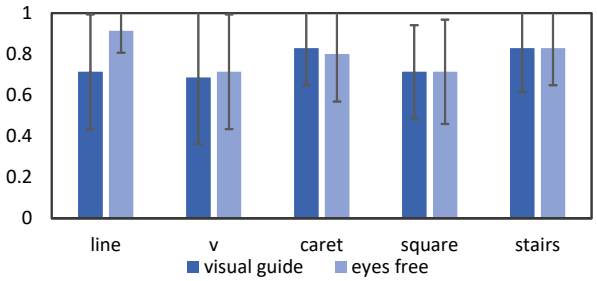

図 8 記号ジェスチャの認識精度結果

Fig 8: Recognition accuracy of symbolic gestures

5 制限と今後の課題

実験後，誤検出の要因について調べた．この実験を通して，被験者が話していると話していないときには，誤認識率に大きな変動は見られなかった．このことから，小さな顔表情の変化による影響は少ないと考えられる．これは，耳が顔のパーツの中で，表情変化や話しているときに大きく動くパーツではないことが挙げられる．

しかし，ユーザが走る，ジャンプなどの大きな動きをしているときに，誤検出の頻度が高くなった．これは，イヤフォン本体が大きな動きによってずれてしまったことが原因だと考えられる．加速度センサなど他のセンサを利用し，ユーザの状態を推定することで，誤検出の頻度を下げることができると考えられる．また，4 章で記載したように，今回の実験では，学習には 100 フレーム分のデータしか用いていない．我々は，少ない学習データでも十分にジェスチャを認識することを示したが，学習データを増やすことで，誤検出の頻度を下げることも可能だと考えられる．そのため．今後の課題として，学習データを増やした際の識別精度も測定する．

製品化を見越した今後の課題として，光センサを用いているため，従来の無線イヤフォンと比べて電力を消費すると考えられる．電力消費は無線デバイスにおいて重要な要素である．そのため，今後の課題としては，光センサの LED の電源を ON/OFF 切り替えて使うことで省電力化を検討する．4 つあるセンサのうち，1 つのみを使い，ジェスチャの始まりを検知し，残りのセンサの電源を入れるような方法などを考えている．また，従来の無線イヤフォンとの消費電力を比較する実験を将来的に行う．

さらにはモバイル端末との連携を進めることで現実的な利用を目指した実装を行う．具体的には，イヤフォンからはセンサデータを端末に伝送し，計算コストの必要とする機械学習部分については端末側で行うことを考えている．

6 おわりに

本稿では，イヤフォンを従来のサイズを保ちつつ，多

様な入力を実現する方法として耳自体を入力面として利用する方法を提案した．この方法は，イヤフォンとは別に独立した入力端末を用意する必要はない．耳を引っ張った際の耳の変形をイヤフォンに配置した光センサで取得する．本研究では，5つの方向ジェスチャを，機械学習を用いて認識した．さらに，方向ジェスチャを用いて，記号ジェスチャの入力も可能とした．ユーザ実験を通して，方向ジェスチャ・記号ジェスチャともに認識することができることを示した．

本研究は，人間の皮膚面を入力インタフェースとして拡張して利用するものであり，アイフリーで入力できる本手法は，日常生活だけでなく，スポーツ中の情報端末操作などで利用できると考える．

謝辞

本研究は，日本学術振興会科研費（課題番号 JP26700017, JP16H01741）の助成を受けたものである．

参考文献

[1] BONX. https://bonx.co/ja/

[2] earable. http://www.earable.jp/

[3] Yuichiro Kojima, Yuki Hashimoto, Shogo Fukushima, and Hiroyuki Kajimoto. 2009. Pull-navi: a novel tactile navigation interface by pulling the ears. In ACM SIGGRAPH 2009 Emerging Technologies (SIGGRAPH '09). ACM, Article 19, 1 pages. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/1597956.1597975

[4] Chris Harrison, Desney Tan, and Dan Morris. 2010. Skinput: appropriating the body as an input surface. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10). ACM, 453-462. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/1753326.1753394

[5] Naoya Koizumi, Hidekazu Tanaka, Yuji Uema, and Masahiko Inami. 2011. Chewing jockey: augmented food texture by using sound based on the cross-modal effect. In Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '11), ACM, Article 21 , 4 pages. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/2071423.2071449

[6] Gierad Laput, Xiang 'Anthony' Chen, and Chris Harrison. 2016. SweepSense: Ad Hoc Configuration Sensing Using Reflected Swept-Frequency Ultrasonics. In Proceedings of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '16). ACM, 332-335. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2856767.2856812

[7] Roman Lissermann, Jochen Huber, Aristotelis Hadjakos, and Max Mühlhäuser. 2014. EarPut: augmenting ear-worn devices for ear-based interaction. In Proceedings of the 26th Australian Computer-Human Interaction Conference on Designing Futures: the Future of Design (OzCHI '14). ACM, 300-307. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/2468356.2468592

[8] Hiroyuki Manabe and Masaaki Fukumoto. 2006. Full-time wearable headphone-type gaze detector. In CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '06). ACM, 1073-1078. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/1125451.1125655

[9] Katsutoshi Masai, Yuta Sugiura, Masa Ogata, Kai Kunze, Masahiko Inami, and Maki Sugimoto. 2016. Facial Expression Recognition in Daily Life by Embedded Photo Reflective Sensors on Smart Eyewear. In Proceedings of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '16). ACM, 317-326. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/2856767.2856770

[10] Kohei Matsumura, Daisuke Sakamoto, Masahiko Inami, and Takeo Igarashi. 2012. Universal earphones: earphones with automatic side and shared use detection. In Proceedings of the 2012 ACM international conference on Intelligent User Interfaces (IUI '12). ACM, 305-306. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/2166966.2167025

[11] Christian Metzger, Matt Anderson, and Thad Starner. 2004. FreeDigiter: a contact-free device for gesture control, In Proceedings of the 8th International Symposium on Wearable Computers (ISWC '04). IEEE, 18-21. DOI=10.1109/ISWC.2004.23

[12] Hiromi Nakamura and Homei Miyashita. 2010. Control of augmented reality information volume by glabellar fader. In Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference (AH '10). ACM, Article 20, 3 pages. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/1785455.1785475

[13] Kei Nakatsuma, Hiroyuki Shinoda, Yasutoshi Makino, Katsunari Sato, and Takashi Maeno. 2011. Touch interface on back of the hand. In ACM SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies (SIGGRAPH '11). ACM, Article 19 , 1 pages. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/2048259.2048278

[14] Masa Ogata, Yuta Sugiura, Yasutoshi Makino, Masahiko Inami, and Michita Imai. 2013. SenSkin: adapting skin as a soft interface. In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '13). ACM, 539-544. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2501988.2502039

[15] PSVM: Support Vector Machines for Processing. http://makematics.com/code/psvm/

[16] Marcos Serrano, Barrett M. Ens, and Pourang P. Irani. 2014. Exploring the use of hand-to-face input for interacting with head-worn displays. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14). ACM, 3181-3190. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/2556288.2556984

[17] Julia Schwarz, Chris Harrison, Scott Hudson, and Jennifer Mankoff. 2010. Cord input: an intuitive, high-accuracy, multi-degree-of-freedom input method for mobile devices. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10). ACM, 1657-1660. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/1753326.1753573

[18] Martin Weigel, Vikram Mehta, and Jürgen Steimle. 2014. More than touch: understanding how people use skin as an input surface for mobile computing. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14). ACM, 179-188. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/2556288.2557239

[19] Martin Weigel, Tong Lu, Gilles Bailly, Antti Oulasvirta, Carmel Majidi, and Jürgen Steimle. 2015. iSkin: Flexible, Stretchable and Visually Customizable On-Body Touch Sensors for Mobile Computing. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15). ACM, 2991-3000. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702391

[20] Jacob O. Wobbrock, Andrew D. Wilson, and Yang Li. 2007. Gestures without libraries, toolkits or training: a $1 recognizer for user interface prototypes. In Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '07). ACM, 159-168. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/1294211.1294238

[21] 谷口和弘,西川 敦,小林英津子,宮崎文夫,佐久間一郎: みみスイッチ:外耳の動きを入力情報とする常時装用型入力装置,インタラクション 2010 予稿集,pp.243‐246 (2010).

（2017 年 6 月 11 日受付）

[著者紹介]

菊地 高史（非会員）

2016 年慶應義塾大学大学院理工学研究科修了．現在は，キヤノン株式会社．

正井 克俊（学生会員）

2015 年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修士課程修了．同年，慶應義塾大学理工学研究科研究員．

杉本 麻樹（正会員）

2006 年電気通信大学大学院電気通信学研究科博士後期課程機械制御工学専攻修了．博士（工学）．電気通信大学電気通信学部知能機械工学科特任助教，慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科特別研究講師などを経て，現在，慶應義塾大学理工学部情報工学科准教授．インタラクティブシステムのための光センサを用いた計測技術の研究に従事．

Bruce H. Thomas（非会員）

フリンダース大学で博士号を取得．現在は南オーストラリア大学教授．ウェアラブルコンピューティングラボのディレクター．ウェアラブルコンピュータ，ユーザインタフェース，VR&AR，テーブルトップディスプレイインタフェースの研究に従事．

杉浦 裕太（正会員）

2013 年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科博士課程修了．博士（メディアデザイン学）．日本学術振興会特別研究員（PD），慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科特任助教，国立研究開発法人産業技術総合研究所人間情報研究部門デジタルヒューマン研究グループ産総研特別研究員を経て現在，慶應義塾大学理工学部情報工学科助教．ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究に従事．