

スマートフォンの周辺でのジェスチャによる入力手法

加藤 花歩^{1,a)} 松村 耕平^{2,b)} 杉浦 裕太^{1,c)}

概要: スマートフォンによるエンタテインメントが広く浸透しているが、その入力手法の多くはタッチ操作に依存している。本研究では、スマートフォンとのインタラクションを拡張する目的で、スマートフォンの周辺でのジェスチャ入力手法を提案し、それをエンタテインメントのための操作方法として活用することを考える。ジェスチャはスマートフォン側面に装着された測距センサアレイによって認識される。取得したジェスチャごとの測距センサ値は画像データに変換される。各画像に対し Histogram of Oriented Gradients (HOG) を用いた特徴量抽出を行い、Support Vector Machine (SVM) で学習する。ユーザーごとに精度を検証した結果、平均 92.9 % の精度でジェスチャの識別をすることができた。

キーワード: 入出力装置, 機械学習, センサ

1. はじめに

スマートフォンは、我々の日常生活において身近な存在である。スマートフォンはインターネット検索やカメラなど、日常において利用頻度の高い様々な役割を担っている。一方で、その入力手法は主に画面タッチ操作に依存している。画面タッチ操作は直接的で使いやすいが、特定の状況においては困難な場面や不十分な場面がある。画面タッチ操作が困難である場面としては、例えば、食材や油で汚れているユーザーの手では画面を直接触ることができない。また、手袋を身につけた状態では画面を操作しにくい。画面をスクロールや拡大する際に、指が表示コンテンツを遮蔽してしまうこともある。画面タッチ操作が不十分な場面としては、例えば、RPG などのゲームにおけるゲームキャラクターのモーションと実際の操作が大きく異なることで、臨場感が薄れてしまう。また、エンタテインメントコンテンツを共有する時に、「掴む」や「投げる」などの、各エンタテインメントに適した操作で共有することができない。複数人でコンテンツに対し操作をしたい時、画面タッチ操作では操作可能範囲が狭く煩雑になってしまうことも考えられる。

これらの課題解決を目指した手法は数多く提案されており、画面タッチ操作によらない入力を実現するデバイスも開発されている。rafre[14]では、スマートフォンの画面



図 1 スマートフォンの周辺でのジェスチャ入力の様子

上部に設置した近接センサを用いてレシピ検索アプリの利用時にジェスチャによる入力を実現している。AQUOS PHONE ZETA SH-06E[16]では、画面上で動く指先を感知しブラウザを操作できる。このように画面付近に取り付けたセンサで簡単なジェスチャを識別し、特定のアプリケーションを操作することが可能である。これらはスマートフォン上面での空中ジェスチャに着目したものであるが、本研究では、机上に置かれたスマートフォンの周辺を利用したジェスチャ入力に着目する。このようなジェスチャは、Matsumura[9]らが提案しており、複数人での多様なインタラクションを実現できることが分かっている。周辺でのジェスチャ識別方法としては、Butler[1]らが提案する測距センサを利用した手法があるが、この研究は指接触位置の計測に留まっており、ジェスチャ識別についての検討が不十分である。

本研究では、スマートフォンの周辺でのジェスチャ入力手法を提案し、それをエンタテインメントのための操作方

¹ 慶應義塾大学

² 立命館大学

a) kaho_0128@keio.jp

b) matsumur@acm.org

c) sugiura@keio.jp

法として活用することを考える(図1)。ジェスチャはスマートフォン側面に装着された測距センサアレイによって認識される。取得したジェスチャごとの測距センサ値は画像データに変換される。各画像に対し Histogram of Oriented Gradients (以下, HOG) を用いた特徴量抽出を行い, Support Vector Machine (以下, SVM) で学習する。ユーザごとに精度を検証した結果, 平均 92.9 % の精度でジェスチャの識別をすることができた。

2. 関連研究

2.1 スマートフォンの周辺での入力

スマートフォンの周辺での入力はこれまで数多く提案されている。その中でも, スマートフォンの背面を用いた操作手法がある。Matsushima らはスマートフォンの背面にプッシュボタンと鏡を取り付け, 鏡に反射するプッシュボタンの動作をカメラで捉え, 画像認識技術で識別する入力手法を提案した [10]。Heo らはスマートフォンの背面とスマートフォンケースの間に複数の圧力センサを組み込み, 背面での圧力を計測することでスマートフォンの操作を実現した [2]。また, Miyaki らは同様にスマートフォンの背面に圧力センサを一つ組み込み, 圧力センサに対し小さなジェスチャを組み合わせることで複数の操作を提案した [11]。Lv らはスマートフォンの背面カメラで撮影した映像から指の輪郭を検出し, 指のジェスチャ識別を行うシステムを開発した [8]。しかし, 背面での入力は目で確認しながら入力を行うことができないため, 操作方法に慣れるまでは誤入力起きる可能性があると考えられる。

また, スマートフォンの周辺を用いた操作手法も提案されている。Hwang らは磁石の組み込まれたコントローラから発せられる磁界の追跡によるコントローラの動作検出システムを開発した [3]。このシステムは入力にコントローラが必要であり, 持ち運んで使われることの多いスマートフォンに対する利便性が低い。Matsumura は画面外で行われるユーザー定義のジェスチャを調査した。複数の状況で共通に使用されるジェスチャとコンテンツに依存するジェスチャの2種類のジェスチャがあることを発見した [9]。

Matsumura らの研究 [9] で示されるような, スマートフォンの周辺でのジェスチャを利用した入力手法として測距センサを利用するものも提案されている。Butler らはスマートフォンの側面に組み込んだ測距センサによる画面外でのタップ検出システムを開発した [1]。また, Kratz らはスマートフォンの側面に上向きに組み込んだ測距センサによる画面上部でのジェスチャ検出システムを開発した [6]。しかし, スマートフォン上部の空間がジェスチャ入力に用いられるため, ジェスチャ時に画面を遮られてしまう。

本研究では, Matsumura の研究 [9] と Butler らの研究 [1] を参考にし, スマートフォン側面でのジェスチャ入

力に着目する。提案手法では画面を遮ることがなく, ユーザはコンテンツに集中できる。また, 多様なジェスチャによる入力を行えることが本研究の貢献である。これを利用して, エンタテインメントコンテンツに合わせたスマートフォンの操作方法を提案する。

2.2 距離センサによる身体動作計測

測距センサや反射型光センサを用いて身体動作計測を行う研究は数多く存在する。Yamashita らは HMD フレームに反射型光センサを設置し頬までの距離を計測することで, 頬の皮膚形状の変化を識別し, 頬をインタフェースとするジェスチャ入力を実現している [15]。Kikuchi らはイヤフォンに反射型光センサを設置し, イヤフォンから耳までの距離を計測することで, 耳の形状変化を識別している [4]。識別した耳の形状を入力とすることでアイフリーでの操作を可能としている。Miyata らは測距センサを組み込んだバンド型デバイスを対象物に取り付け, 対象物を握っている手の姿勢推定を行った。測距センサからの距離パラメータをもとに, 手のエッジ検出を行い, 手の 3D 形状を復元している [12]。Lim らはスマートウォッチの片側面に測距センサを組み込み, 手の甲における指の位置検出を行なった [7]。指に反射した赤外光の強度を感知することで, 測距センサと指の距離を計測している。Nakatsuma らは測距センサと圧電センサを組み込んだバンド型デバイスを作成し, 測距センサによる 2 次元位置検出と圧電センサで検出された摩擦音の違いを利用して, 手の甲における入力を実現した [13]。

本研究では, 測距センサをスマートフォンの側面に設置することで, スマートフォンの周辺でのジェスチャによるユーザの指とセンサの間の距離変化を計測し, ジェスチャ推定をする。

2.3 時系列ジェスチャ識別手法

HCI 分野では時間で変化するジェスチャ (以下, 時系列ジェスチャ) に対する推定手法について多くの検討がされてきた。その多くは, 時々刻々と変化するデータに対してフーリエ解析を行い, そのデータを学習することによって推定を試みであったが, 近年では, データを画像情報に変換後に学習することによって前処理にかかる計算コスト削減を目指した手法も多く提案されている。

菊井らは反射型光センサを組み込んだ眼鏡型デバイスによる表情識別に対し, 機械学習を利用することでユーザの学習コストの削減を提案している [5]。デバイスより取得した時系列センサデータからなる画像に対し, Convolutional Neural Network を用いた機械学習を行っている。吉永らはハンドスナップ動作による入力手法を提案している [17]。RGB-D カメラで撮影された時系列映像データに対し HOG 特徴量を抽出する。抽出された HOG 特徴

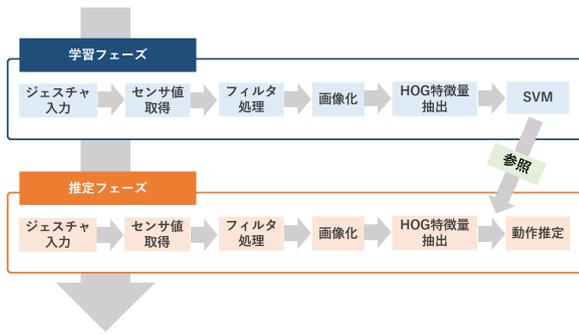


図 2 ジェスチャ識別手法

量に対して Random Forest による手形状識別が行われる。福井らはハンドジェスチャによる入力手法を提案している [18]。反射型光センサを組み込んだリストバンド型のデバイスを開発し、ハンドジェスチャ時の手首の凹凸変化を計測している。計測された時系列センサデータは画像データに変換され、HOG 特徴量を抽出して SVM で学習することでジェスチャを識別する。

今回は福井らの推定手法 [18] を参考にジェスチャ識別を試みる。この手法の中で導入される HOG 特徴量を用いた識別は、変形や位置ずれに対しロバストである。また、ジェスチャの操作位置や開始タイミングがそれぞれで異なる際に有効である。

3. 提案手法

3.1 システムの概要

本研究では、スマートフォンの周辺に取り付けた測距センサで周辺の変化を読み取り、ジェスチャを識別した。今回使用した測距センサは赤外線 LED と PSD (Position Sensitive Detector) によって構成される。このセンサは赤外光を照射し、物体に反射した光を受光できる。反射地点までの距離は反射光の入射位置をもとに三角測量の原理で計算される。これにより、センサからセンサの正面に存在する物体表面までの距離を計測できる。

ユーザがスマートフォンの周辺で指を使ったジェスチャを行うと、センサが計測したユーザの指までの距離に対応する電圧値がセンサ値として得られる。取得された時系列でのセンサ値は画像データに変換される。画像データの HOG 特徴量を抽出し、SVM で学習することでジェスチャ検出・識別をする (図 2)。

3.2 センサデバイス

スマートフォンは HUAWEI 社製 P10 lite を想定し、その背面に 3D プリンターで作成したケース (133 mm × 56 mm × 20 mm) を取り付けた。ケースの周囲には測距センサを配置した (図 3)。測距センサは sharp 社製 GP2Y0E02A (18.9 mm × 8.0 mm × 5.2 mm) を用いた。測距センサの計測可能距離はセンサを基準として 4

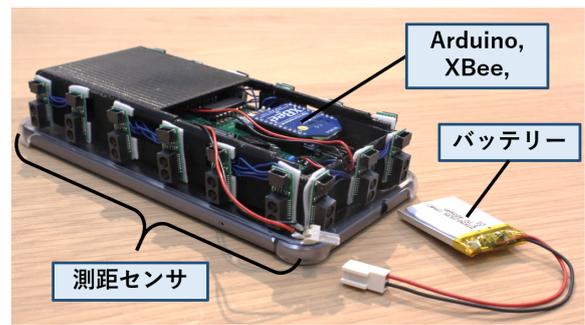


図 3 デバイスの様子

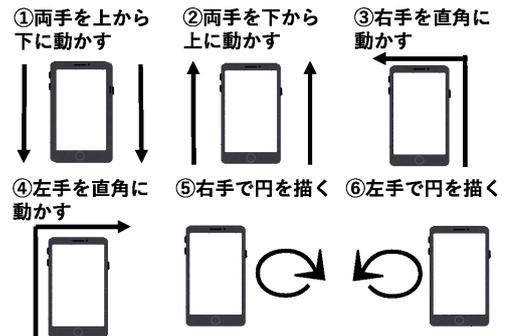


図 4 ジェスチャー一覧

cm から 50 cm までである。測距センサは左右の側面に 6 個、上面に 3 個で合計 15 個の測距センサを約 16 mm 間隔で取り付けた。ケースの内部にはマイクロコントローラ (Arduino Pro Mini) と無線モジュール (XBee)、バッテリー (LiPo, 3.3 V) が収納されている。各測距センサはマルチプレクサを経由してマイクロコントローラと繋がっており、センサ値は XBee 経由でコンピュータにシリアル送信される。今回は python を用いてジェスチャ検出・識別の一連のシステムを実装する。本システムでは 25 [fps] ごとにセンサ値を更新する。

3.3 ジェスチャデザイン

本研究では、スマートフォンの入力方法として 6 種類のジェスチャを提案する。Matsumura[9] らの研究を参考にこれらのジェスチャを設計した。ジェスチャは図 4 の 6 種類である。ジェスチャは人差し指のみを用いて行い、片手でジェスチャをするものと両手でジェスチャをするものが存在する。

3.4 学習データの取得と識別

本研究では、センサの時系列データを画像に変換し HOG 特徴量を取得した後、SVM で学習することでジェスチャを識別する。まず初めに、システムはジェスチャが入力されたかどうか判定する。開始タイミングはセンサ値の合計値が閾値を超えた時である。ジェスチャの開始判定がされるとデータの取得が開始される。

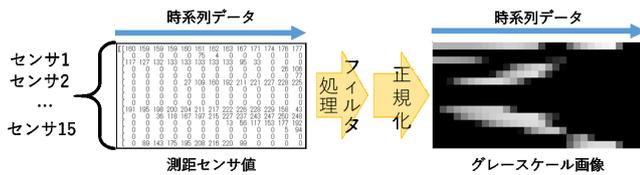


図 5 画像化されたセンサデータの例

今回使用した測距センサでは計測可能距離内に対象物が存在しない場合、値が揺らいでしまうことがある。この影響を軽減するために、メディアンフィルタを採用し、センサごとに直近の6フレームにおける中央値を各々のセンサ値とする処理を行う。センサ値のノイズを低減するため、以下のRCフィルタを採用しジェスチャの立ち上がりをなめらかにする。

$$y_i = ax_i + (1 - a)y_{i-1} \quad (1)$$

(ただし、a: フィルタ値, x: 取得データ, y: 時系列データフレーム, i: フレーム番号とする)

また測距センサへの外乱光の影響を考慮し、閾値処理を行う。測距センサの計測可能距離を考慮してセンサ値の下限と上限を設定し、全てのセンサ値がこの範囲に収まるようにする。センサ値を取得した後、最大値を255、最小値を0とする正規化を行うことで、センサ値をグレースケールの画像に変換する(図5)。正規化処理は以下の式の通りである。

$$Y = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \times 255 \quad (2)$$

(ただし、Y: 正規化値, X: 取得データ, X_{max} : 最大値, X_{min} : 最小値とする)

変換された画像は縦にそれぞれの測距センサの値を並べ、横に時系列で変化したデータを並べたものである。全ジェスチャのセンサデータに対してこの画像に変換する処理を行う。各画像からHOG特徴量を抽出し、抽出した特徴量をSVMでクラス分類することでジェスチャを識別する。HOGのパラメータは、セルサイズを5 [px] × 5 [px]、ブロックサイズを3セル × 3セルとし、パラメータに合わせて適宜元の画像を拡大縮小する。また、勾配方向は9方向、ブロックストライドはセルサイズと同じである。

4. 実験

4.1 実験環境

以下、実験の実施環境を示す。

- CPU: Intel(R) Core(TM) i7-5600U CPU 2.60GHz
- メモリ: 8.00GB
- OS: Windows 10 Professional

4.2 フレーム数決定実験

スマートフォンの操作を行う上でジェスチャは最低限の動作で識別される方が利便性が高い。そこで、ジェスチャ

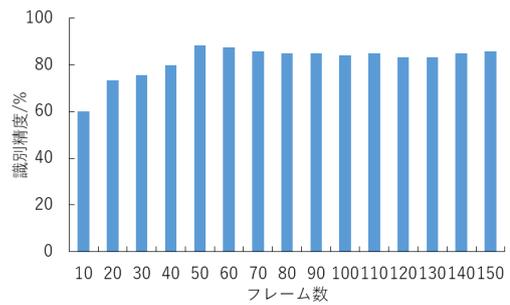


図 6 フレーム数と識別精度

表 1 実験における各パラメータ

実験協力者	10人
各ジェスチャの試行回数	20回
ジェスチャ種類	6種類
画像の拡大率	縦、横ともに2倍
画像サイズ	縦 30 [px] × 横 100 [px]
HOG 特徴量の次元数	5832次元
精度検証方法	10分割交差検証

の要する最小フレーム数を検証するために様々なフレーム数における識別精度を評価した。

各ジェスチャについて25 [fps]のフレームレートで150フレームのデータを20個ずつ取得し、全120個のデータに対して識別精度を求めた。取得した画像は10フレーム～150フレームの間で10フレーム刻みでカットした。結果を図6に示す。50フレームの時が最も識別精度が高くなり、60フレーム以上では識別精度に大きな差は見られなかった。

4.3 ジェスチャ識別精度評価実験

実験には22歳から25歳(平均23.4歳, SD: 1.17歳)までの男女10名(男性7名, 女性3名)の実験協力者が参加した。実験協力者はすべて右利きであり、実験中スマートフォンは机の上に常に置いていた。

実験協力者には図4の6種類のジェスチャを行ってもらった。実験協力者には各ジェスチャについてあらかじめ説明し、1, 2回ジェスチャの確認をしてもらった。また、センサの計測可能距離は4cmから50cmのため、センサから少なくとも4cm離れた位置でジェスチャを行ってもらった。各ジェスチャは20回ずつ行われ、合計120回のジェスチャを行った。識別に利用したパラメータは表1のとおりである。取得したデータは6種のジェスチャ × 20回 × 10人 = 1200個となった。

実験結果を図7に示す。学習はユーザごとに行った。各ユーザのジェスチャ識別精度は平均92.9%であった。

結果より、「両手を下から上に動かす」を「両手を上から下に動かす」と混同していることが多い。この2つのジェスチャにはどちらもスマートフォンの両側面で行うという共通点がある。閾値判定が正常に動作しない場合、ジェス

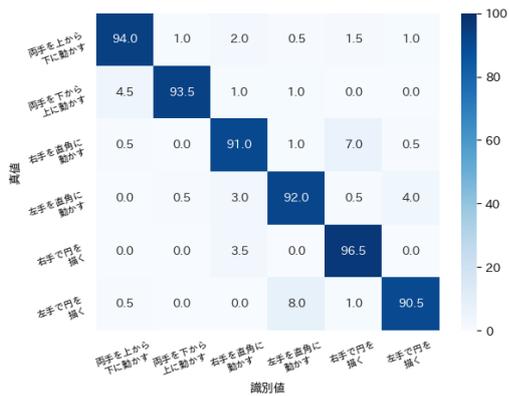


図 7 精度評価実験結果 (%)

表 2 各ジェスチャによるアプリケーションの操作

ジェスチャ名	アプリケーションにおける操作
両手を上から下に動かす	下にスクロール
両手を下から上に動かす	上にスクロール
右手を直角に動かす	拡大する
左手を直角に動かす	縮小する
右手で円を描く	次のページに移動する
左手で円を描く	前のページに移動する

チャの一部のみが切り出された画像が生成される。この2つのジェスチャはジェスチャを行う空間が同じであるため、一部分のみ切り出された画像は類似してしまったと考えられる。このような混同はこの組み合わせだけには限らない。「右手を直角に動かす」と「右手で円を描く」、「左手を直角に動かす」と「左手で円を描く」の2組の間でも、それぞれ互いに誤識別しあう回数が増えている。

また、ユーザごとの識別実験では、フレーム数決定実験を参考にジェスチャのフレーム数を50フレームに設定した。本システムのフレームレートが25 [fps]であることを踏まえると、ジェスチャは2秒間で行われることになる。多くのユーザは実際に2秒以内でジェスチャを完了でき、高い精度でジェスチャを識別できた。一方でジェスチャに2秒以上要するユーザがいることを実験中に確認した。これらのユーザの識別精度は2秒以内でジェスチャを完了するユーザの識別精度に比べて低くなる傾向が見られた。

5. アプリケーション例

本システムを利用したデモアプリケーションを作成した。デモアプリケーションはpythonで実装され、PC上で実行される。PCの画面をスマートフォン端末の画面上にミラーリングしている(図8)。実施環境は第5章と同様である。今回作成したデモアプリケーションでは疑似ウェブブラウジングを体験することができる。今回提案した6種類のジェスチャに対応する機能は表2の通りである。

6. 制約と課題

本研究では、スマートフォンの側面に測距センサを設置



(a) ジェスチャ前 (b) ジェスチャ後 (c) アプリケーション画面

図 8 アプリケーション例

することで、スマートフォンの周辺でのジェスチャを識別した。今回使用した測距センサは赤外光を照射し、その反射光の入射角度からセンサと物体間の距離測定を行っている。そのため、太陽光などの赤外線の影響を受けると識別精度が低下する恐れがある。今後の課題として、太陽光が識別精度に影響を与えないようなフィルタシステムを組み込みたい。

加えて、測距センサの計測可能距離は4 cm から50 cm までであり、デバイスから4 cm 以内の領域ではジェスチャを検出できない。また、デバイスから50 cm 以内の領域まで検出できるため、デバイス周囲にジェスチャを行う指以外の物体が存在すると誤識別してしまう恐れがある。

デバイスには合計15個の測距センサを装着したが、多くの電力を必要とし連続駆動可能時間が1日に満たない。消費電力を抑えるにはセンサを減らすことが考えられる。装着するセンサ数による識別精度の変化を検証し、高い識別精度を維持できる最小のセンサ数について調査したい。

今回のシステムではジェスチャのフレーム数を50としたが、実際のジェスチャ実行時間はユーザによって異なるため、ジェスチャの要するフレーム数にも個人差がある。フレーム数はジェスチャの識別精度に影響を与えるため、最適でないフレーム数で識別を行うと精度が低下してしまう。今後、学習データを作成する前に各ユーザにとって最適なフレーム数を決定するシステムを提案したい。

また、本論文ではMatsumura[9]らの研究を参考にスマートフォン入力のための6種類のジェスチャを提案した。しかし、ユーザによっては実際の入力方法としてこれらのジェスチャが使いにくい恐れがある。これに対し、各ユーザがジェスチャをカスタマイズできるシステムを開発することでユーザビリティの高い操作方法を提案できると考えられる。

7. おわりに

本研究ではスマートフォンの入力として、スマートフォ

ンの周辺でのジェスチャを提案した。提案手法では、スマートフォンの周辺で入力を行うため、画面を隠すことなくダイナミックに操作できる。測距センサレイはスマートフォンの側面に装着され、ジェスチャ時のユーザの指までの距離を計測する。取得された時系列でのセンサ値は画像データに変換される。画像データから HOG 特徴量を抽出し SVM で学習することで、ジェスチャ識別を行った。ユーザごとに精度検証実験を行ったところ、平均 92.9% の精度でジェスチャを識別することができた。

今後は、消費電力を最小限に抑えたセンサ配置の実現やユーザごとのジェスチャ時間の設定、ユーザ定義型ジェスチャの導入などを行う。

謝辞 本研究は JST AIP-PRISM JPMJCR18Y2 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] Butler, A., Izadi, S. and Hodges, S.: SideSight: Multi-"Touch" Interaction Around Small Devices, *Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '08, New York, NY, USA, ACM, pp. 201–204 (online), DOI: 10.1145/1449715.1449746 (2008).
- [2] Heo, S. and Lee, G.: Force Gestures: Augmented Touch Screen Gestures Using Normal and Tangential Force, *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 1909–1914 (online), DOI: 10.1145/1979742.1979895 (2011).
- [3] Hwang, S., Ahn, M. and Wohn, K.-y.: MagGetz: Customizable Passive Tangible Controllers on and Around Conventional Mobile Devices, *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 411–416 (online), DOI: 10.1145/2501988.2501991 (2013).
- [4] Kikuchi, T., Sugiura, Y., Masai, K., Sugimoto, M. and Thomas, B. H.: EarTouch: Turning the Ear into an Input Surface, *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '17, New York, NY, USA, ACM, pp. 27:1–27:6 (online), DOI: 10.1145/3098279.3098538 (2017).
- [5] Kikui, K., Itoh, Y., Yamada, M., Sugiura, Y. and Sugimoto, M.: Intra-/Inter-user Adaptation Framework for Wearable Gesture Sensing Device, *Proceedings of the 2018 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 21–24 (online), DOI: 10.1145/3267242.3267256 (2018).
- [6] Kratz, S. and Rohs, M.: HoverFlow: Expanding the Design Space of Around-device Interaction, *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 4:1–4:8 (online), DOI: 10.1145/1613858.1613864 (2009).
- [7] Lim, S.-C., Shin, J., Kim, S.-C. and Park, J.: Expansion of Smartwatch Touch Interface from Touchscreen to Around Device Interface Using Infrared Line Image Sensors, *Sensors*, Vol. 15, No. 7, pp. 16642–16653 (online), DOI: 10.3390/s150716642 (2015).
- [8] Lv, Z., Halawani, A., Lal Khan, M. S., Réhman, S. U. and Li, H.: Finger in Air: Touch-less Interaction on Smartphone, *Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, MUM '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 16:1–16:4 (online), DOI: 10.1145/2541831.2541833 (2013).
- [9] Matsumura, K.: Studying User-Defined Gestures Toward Off the Screen Interactions, *Proceedings of the 2015 International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces*, ITS '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 295–300 (online), DOI: 10.1145/2817721.2823496 (2015).
- [10] Matsushima, N., Yamada, W. and Manabe, H.: Attaching Objects to Smartphones Back Side for a Modular Interface, *UIST* (2017).
- [11] Miyaki, T. and Rekimoto, J.: GraspZoom: Zooming and Scrolling Control Model for Single-handed Mobile Interaction, *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 11:1–11:4 (online), DOI: 10.1145/1613858.1613872 (2009).
- [12] Miyata, N., Honoki, T., Maeda, Y., Endo, Y., Tada, M. and Sugiura, Y.: Wrap & Sense: Grasp Capture by a Band Sensor, *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16 Adjunct, New York, NY, USA, ACM, pp. 87–89 (online), DOI: 10.1145/2984751.2985713 (2016).
- [13] Nakatsuma, K., Shinoda, H., Makino, Y., Sato, K. and Maeno, T.: Touch Interface on Back of the Hand, *ACM SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 19:1–19:1 (online), DOI: 10.1145/2048259.2048278 (2011).
- [14] rafre: rafre 使い方ガイド「アプリを使ってみよう」, 京セラ (オンライン), 入手先 (<https://www.kyocera.co.jp/prdct/telecom/consumer/lineup/kyv40/guide/index11.html>) (参照 2018-12-30).
- [15] Yamashita, K., Kikuchi, T., Masai, K., Sugimoto, M., Thomas, B. H. and Sugiura, Y.: CheekInput: Turning Your Cheek into an Input Surface by Embedded Optical Sensors on a Head-mounted Display, *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '17, New York, NY, USA, ACM, pp. 19:1–19:8 (online), DOI: 10.1145/3139131.3139146 (2017).
- [16] シャープ: AQUOS PHONE ZETA SH-06E, シャープ (online), available from (<http://www.sharp.co.jp/products/sh06e/service04.htm>) (accessed 2018-12-30).
- [17] 吉永智明, 寺田卓馬, 赤地雅史, 古郡弘滋, 古賀昌史: Random Forest を用いた手形状推定と手の動きを考慮したハンドスナップジェスチャ認識, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol. 2013, No. 19, pp. 1–6 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/170000077948/>) (2013).
- [18] 福井 類, 沖芝俊祐, 唐澤宏之, 割澤伸一: ウェアラブルディスプレイのための手首凹凸計測による手指の動的運動認識, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol. 2017, pp. 2A2–L02 (オンライン), DOI: 10.1299/jsmermd.2017.2A2-L02 (2017).