

内蔵照度センサによるハンドジェスチャ認識を用いた モバイルアプリケーションの検討

山下 大輔^{1,a)} 間 博人^{1,b)} 松井 健人^{2,c)} 三木 光範^{1,d)}

概要：近年，コンピュータの直感的な操作としてジェスチャ認識に注目が集まっている．専用のジェスチャ認識デバイスのみでなく，モバイル端末を用いたジェスチャ認識の研究も行われている．しかし，追加デバイスが必要であったり，カメラを用いることで消費電力やプライバシーの問題が発生するなどの課題点がある．本研究では，モバイル端末内蔵の照度センサを用いてハンドジェスチャ認識する手法を提案する．端末表面の明暗変化を取得してハンドジェスチャ認識を行う．モバイル端末内蔵の照度センサを用いることで，追加のデバイスを必要とせず，消費電力やプライバシーも考慮したハンドジェスチャ認識を実現した．提案手法における認識精度の検証を行い，正確なハンドジェスチャ認識が可能であることを確かめた．また，提案手法を用いたモバイルアプリケーションの実装を行い，ユーザビリティ評価実験を行った．作業効率や視線の動きなどの指標からタッチ操作と比較したハンドジェスチャ操作の有効性を検証した．想定した状況下において，ハンドジェスチャ操作は有効である．

1. はじめに

近年，コンピュータの直感的な操作を可能にする NUI (Natural User Interface) の研究に注目が集まっている．その中でも，人間の身振りや手振りなどのジェスチャ認識に関する研究が多く，様々なジェスチャ認識手法 [1][2][3][4][5] がある．また，専用のジェスチャ認識デバイスの商用化も進んでおり，例として，Kinect や Leap Motion などがある．ジェスチャ認識は，人とコンピュータとのインタラクションをより自然で直感的なものにする．ジェスチャ認識は操作の幅が広いことや，機器と直接接触なしで操作可能なことから，様々な分野において活用が見込まれ期待が高まっている [6][7][8]．しかし，ジェスチャ認識を行うためには特殊な機材や技術が必要である．

一方，スマートフォンやタブレット端末を中心にモバイル端末の普及が進んでいる．モバイル端末は，身近なコンピュータ機器として様々な状況において活用が可能である．ジェスチャ認識においても，モバイル端末を活用する

研究があり，特殊なジェスチャ認識専用デバイスを用いることなくジェスチャ認識を実現する．しかし，モバイル端末を用いたジェスチャ認識にも課題がある．

モバイル端末を用いたジェスチャ認識における課題を解決する手法を提案する．モバイル端末の多くは多種多様なセンサを内蔵しており，周辺環境の様々な情報を取得可能である．本研究では，モバイル端末内蔵の照度センサを用いてハンドジェスチャを認識する手法を提案する．モバイル端末内蔵の照度センサを，内蔵照度センサと称する．内蔵照度センサから得た照度情報をもとに，手の動きを分類し識別する．モバイル端末に内蔵したセンサを用いることで，ハンドジェスチャ認識をモバイル端末 1 台のみで実現する．

モバイル端末を用いることで，様々なアプリケーションを利用可能である．提案手法を用いて，ハンドジェスチャ操作に対応したアプリケーションを作成することが可能であり，多くのアプリケーションに応用できる．また，内蔵照度センサによるハンドジェスチャ認識を可能とすることで，モバイル端末の限られたバッテリーのなかで継続的な利用を実現する．モバイル端末は，タッチ操作やボタン操作によって利用することが多いが，ハンドジェスチャ操作に対応したアプリケーションを作成することで，操作性の向上を図る．

¹ 同志社大学理工学部，京都府
Department of Science and Engineering, Doshisha Univ,
1-3 Tataramiyakodani, Kyotanabe-shi Kyoto, 610-0394
Japan

² 同志社大学大学院，京都府
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha Univ.

a) dyamashita@mikilab.doshisha.ac.jp

b) haida@mail.doshisha.ac.jp

c) kmatsui@mikilab.doshisha.ac.jp

d) mmiki@mail.doshisha.ac.jp

2. 関連研究

ジェスチャ認識に関する研究の中でも、モバイル端末を対象とし、特殊なジェスチャ認識デバイスを用いることなく利用可能なジェスチャ認識手法を提案する研究が増加している．Side Swipe[9]では、モバイル端末に内蔵されているカメラを利用しジェスチャ認識を行う．カメラを用いて取得した情報に対して画像処理を行うことで6種類のジェスチャを認識可能とした．ジェスチャ認識を用いることでスマートフォンや腕時計型ウェアラブルデバイスといった入力装置の小さい端末の操作性を拡張した．しかし、カメラを継続的に用いることは消費電力に大きく影響を与え、電力の限られるモバイル端末においては課題点といえる．また、カメラ画像を取得し続けることからプライバシーの問題も発生する．

Surface Link[10]は、モバイル端末内蔵の加速度センサ、振動モータ、スピーカに外部マイクを追加で使うことでジェスチャ認識を行う．この手法を用いることで、机の上に置かれた複数台の端末間の情報共有をジェスチャ操作によって可能とした．しかし、追加デバイスとして外部マイクを必要とすることや、複数台の端末を使用することにより特定の状況においてのみの活用となることが課題である．モバイル端末におけるハンドジェスチャ認識の課題点を踏まえて、本研究では消費電力やプライバシーの問題を考慮し、モバイル端末1台のみで実現可能なジェスチャ認識手法を提案する．

3. 内蔵照度センサによるハンドジェスチャ認識手法の提案

3.1 ハンドジェスチャ認識の概要

本研究では、内蔵照度センサを用いてハンドジェスチャを認識する手法を提案する．提案手法では、内蔵照度センサから得た照度情報を利用する．照度は、明るさを示す指標であり単位は lx である．内蔵照度センサは、モバイル端末表面の明るさを取得し、主に周辺の光環境に合わせて画面の明るさを調節する目的で用いる．内蔵照度センサを用いて、手を動かした際に生じる照度変化を検知しハンドジェスチャを認識を行う．照度変化の違いから、複数のハンドジェスチャを識別が可能である．提案手法を用いる際には、モバイル端末を平面な机の上に置くものとし、置いた状態のモバイル端末の上で操作を行う．

ハンドジェスチャ認識を行うにあたり、モバイル端末は内蔵照度センサにより照度取得を続ける．ユーザは、机の上に置かれているモバイル端末に手をかざすようにしてハンドジェスチャを行う．モバイル端末は内蔵照度センサにより照度を取得しており、照度変化を検知するとハンドジェスチャのデータセットとして記録をはじめめる．照度が

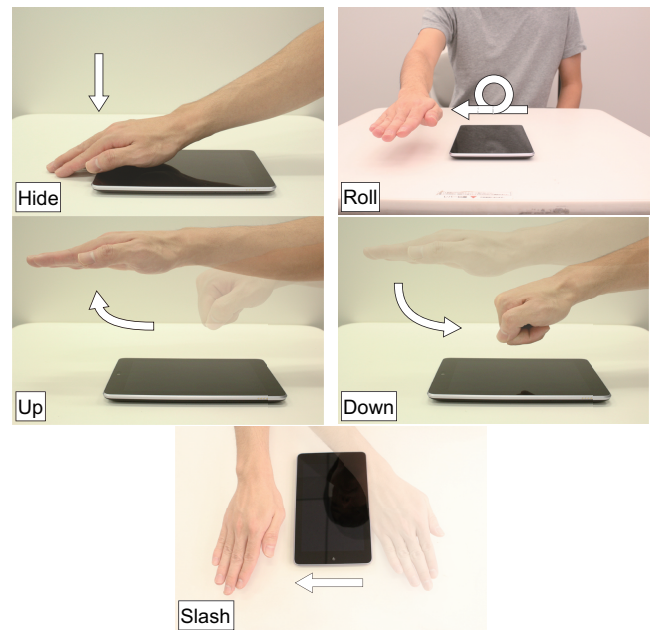


図 1 5種類のハンドジェスチャ

変化を続けている間は照度を記録し続け、照度が一定に収束するまでを一回のハンドジェスチャとして記録する．記録したデータセットを提案するアルゴリズムを用いて複数のハンドジェスチャに分類する．照度変化を検知してから、照度が収束し分類の一回のハンドジェスチャ認識の流れとなる．本システムで認識および分類可能なハンドジェスチャは以下の5種類であり、手の動きのイメージを図1に示す．

- HIDE : 照度センサ部分を手で覆う動作
- ROLL : 手を一回転させる動作
- UP : 手を手前から奥に振り上げる動作
- DOWN : 手を奥から手前に振り下げる動作
- SLASH : 手を横にスライドさせる動作

3.2 ハンドジェスチャによる照度変化

5種類のハンドジェスチャは、それぞれ照度変化に特徴がある．各ハンドジェスチャにおける照度変化の例をグラフとして図2に示す．ハンドジェスチャごとの照度変化の特徴から分類を行う．ハンドジェスチャを分類するにあたり、訓練データとして1種類のハンドジェスチャにつき280のデータを用意した．訓練データの中には、7人の対象者、4パターンの照明環境のデータを含む．合計1400の訓練データの中から、各ハンドジェスチャにおける特徴を抽出した．抽出した特徴を以下の式1, 2, 3に示す．

$$D = A/I \quad (1)$$

$$S = A/T_s - A/T_e \quad (2)$$

$$T = T_s + T_e \quad (3)$$

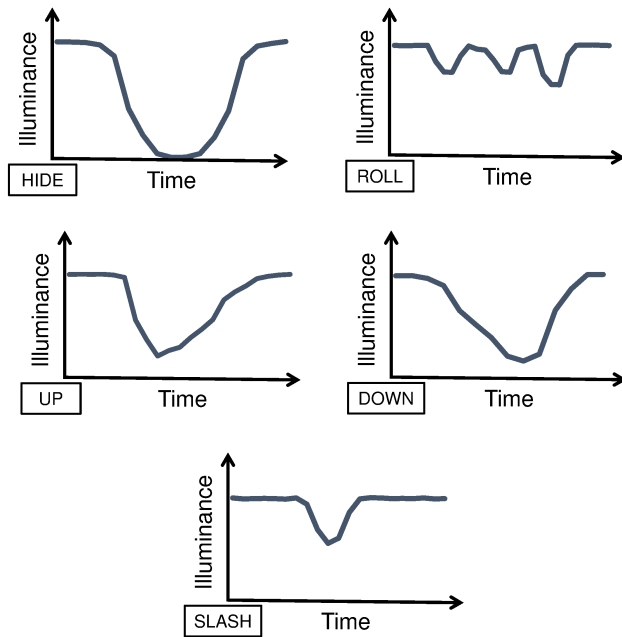


図 2 5 種類のハンドジェスチャの照度変化の例

A : 照度の変化量, I : 現在照度 [lx]

T_s : 照度変化を表す波が最深部に達するまでの時間 [ms]

T_e : 照度変化を表す波が最深部に達してからの時間 [ms]

式 1, 2, 3 と, 照度変化を示す波の数をもとに決定木を用いてハンドジェスチャの分類を行う. 式 1 はハンドジェスチャによる照度変化の波の深さを示し, HIDE のハンドジェスチャを認識に用いる. ROLL のハンドジェスチャは, 照度変化を表す波の数を用いて認識する. また式 2, 式 3 は, ハンドジェスチャによる照度変化の傾きと時間を示しており, UP, DOWN, SLASH のハンドジェスチャの分類に用いる.

3.3 ハンドジェスチャ認識精度の検証

提案したアルゴリズムにおけるハンドジェスチャ認識精度の検証を行った. 訓練データとした合計 1400 のデータに対して, 一個抜き交差検証を行った. 1 つのデータを抜き出してテストデータとし, 残りのデータを訓練データとして, ハンドジェスチャを正しく分類可能であるか確かめる. すべてのデータに対して一個抜き交差検証を行った結果を表 1 に示す. 表 1 から, 平均 95.4 % で 5 種類のハンドジェスチャを分類している. 検証結果から, 提案したハンドジェスチャ分類手法は, 訓練データに存在しない未知のデータに対して有効である.

未知のデータに対する有効性の検証と同様に, 未知のユーザに対する有効性の検証を行った. 同一の対象者のデータを抜き出してテストデータとし, 残りの人のデータを訓練データとして分類を行った. 対象者 7 人のデータそ

表 1 未知のデータに対する認識精度の検証結果

	Hide	Roll	Up	Down	Slash
Hide	96.8 %	0.0 %	2.1 %	1.1 %	0.0 %
Roll	0.0 %	95.4 %	2.9 %	1.4 %	0.4 %
Up	0.7 %	0.0 %	94.3 %	0.4 %	4.6 %
Down	1.4 %	0.0 %	1.4 %	93.6 %	3.6 %
Slash	0.0 %	0.0 %	3.2 %	0.4 %	96.4 %

表 2 未知のユーザに対する認識精度の検証結果

Hide	Roll	Up	Down	Slash
95.4 %	96.1 %	90.1 %	96.8 %	91.8 %

表 3 未知の照明環境に対する認識精度の検証結果

Hide	Roll	Up	Down	Slash
96.1 %	98.2 %	94.3 %	97.9 %	95.4 %

れぞれに対して検証を行った結果を表 2 に示す. 表 2 より平均 94.3 % でハンドジェスチャを分類している. 検証結果から, 提案手法は未知のユーザに対して有効である.

また, 未知の照明環境に対する有効性の検証を行った. 照明環境は 4 パターンであり, 端末表面がそれぞれ 300 lx , 500 lx , 700 lx , 1000 lx となる環境である. 同一の照明環境のデータを抜き出してテストデータとし, 残りの照明環境のデータを訓練データとして分類を行った. 4 パターンのデータそれぞれに対して検証を行った結果を表 3 に示す. 表 3 より平均 94.3 % と高い認識率で分類可能であった. 提案手法は, 未知の照明環境に対して有効である.

4. ハンドジェスチャ認識を用いたモバイルアプリケーション

4.1 モバイルアプリケーションへの応用

提案したハンドジェスチャ認識アルゴリズムを用いてハンドジェスチャ操作に対応したモバイルアプリケーションのプロトタイプを実装した. 提案手法で認識可能なハンドジェスチャは 5 種類である. 各ハンドジェスチャは手の動きや照度変化の特徴から, 応用例が考えられる. HIDE のハンドジェスチャは, 最も照度変化が大きく区別が付きやすいため, アプリケーション内の重要な操作に割り当てることが有効であると予想する. ROLL のハンドジェスチャは, 手の動きが多くユーザの負担が大きいと考えられるため頻繁に行う動作には向いていない. UP と DOWN のハンドジェスチャは, 互いに対照的な手の動きをし, 上下の動きを行うためアプリケーション内での上下の移動や, 対照的な操作において活用が期待できる. SLASH のハンドジェスチャは, 比較的簡単な手の動きで横にスライドする動作であることから, アプリケーション内で頻繁に使われる操作, また横の動きをイメージする操作に用いることが有効である.

実際にハンドジェスチャによる操作が有効な状況として、タッチ操作を行うことが容易ではない状況や画面の確認が不要である状況を想定する。また、タッチ操作とハンドジェスチャ操作を併用することも有効であると予想する。そこで、タッチ操作が容易でない状況を想定した Web ブラウザ、画面確認が不要である状況を想定した音楽プレイヤー、タッチ操作とハンドジェスチャ操作の併用したシューティングゲームの 3 種類のアプリケーションのプロトタイプを実装した。

4.2 Web ブラウザ

ハンドジェスチャ操作に対応した Web ブラウザは、手が汚れている、濡れている、または手袋をはめているなどしてタッチ操作が容易に行えない状況を想定し作成した。Web ブラウザにおけるハンドジェスチャとアプリケーション操作の対応付けは以下のように設定した。

- HIDE : 拡大
- ROLL : 縮小
- UP : 下にスクロール
- DOWN : 上にスクロール
- SLASH : 横スクロール (左右)

ハンドジェスチャ操作に対応した Web ブラウザはブラウジングが目的ではなく、1 つの Web ページを閲覧しながら作業を行うことを想定している。想定した状況において活用できるよう、ハンドジェスチャに対応する操作は、次の Web ページへのリンクを選択し移動するようなものではなく、拡大や縮小、スクロールといったものに設定した。例えば、料理をする際に Web ブラウザを用いてレシピを確認したいが手が汚れているといった状況において活用が期待できる。

4.3 音楽プレイヤー

ハンドジェスチャ操作に対応した音楽プレイヤーは、画面の確認が不要なアプリケーションを利用する状況においてタッチ操作ではなくハンドジェスチャ操作を用いることによって操作性の向上を見込んで作成した。音楽プレイヤーにおけるハンドジェスチャとアプリケーション操作の対応付けは以下のように設定した。

- HIDE : 停止
- ROLL : 頭出し再生
- UP : 次の曲を再生
- DOWN : 前の曲を再生
- SLASH : 再生/一時停止

音楽プレイヤーを利用するにあたって必要最低限の基本的な操作をハンドジェスチャ操作に割り当てた。音楽プレイ



図 3 実験風景

ヤは音を聴くことが目的のアプリケーションであり、音が鳴る、止まる、変わるという結果により操作のフィードバックが可能である。画面の確認が必須でない状況において、ハンドジェスチャ操作を用いて画面の確認を行わずに操作が可能であれば、操作性の向上が予想できる。また、ハンドジェスチャ操作の対応付けも頻繁に行う可能性の高い再生と一時停止には簡単な動作である SLASH を割り当て、対照的な操作を UP と DOWN に割り当てるなどした。

4.4 シューティングゲーム

ハンドジェスチャ操作に対応したシューティングゲームは、タッチ操作かハンドジェスチャ操作の片方を用いるのではなく、両方を用いることでタッチ操作と違った印象を与える目的で作成した。シューティングゲームにおけるハンドジェスチャは HIDE の 1 種類のみとした。タッチ操作とハンドジェスチャ操作の両方を用いるにあたり操作を簡単にし、ハンドジェスチャの認識率の向上を図るためである。HIDE のハンドジェスチャはシューティングゲームにおける拡張機能として設定した。タッチ操作やボタン操作のように指を動かすだけでなく、手振りが加わることで、ユーザに与える印象の変化を確かめる。

5. ユーザビリティ評価実験

5.1 実験環境と実験機器

3 種類のハンドジェスチャ操作に対応したモバイルアプリケーションについてユーザビリティ評価実験を行った。被験者は 20 代の大学生 6 名であり、実験に用いたモバイル端末は Nexus 7 である。実験は、照明が 15 灯ある部屋で行い、一つの照明の直下の机の上にモバイル端末を設置した。また、モバイル端末の表面が 750 lx になるように調光した。被験者は座った姿勢で机の上に置かれたモバイル端末を操作した。実験風景を図 3 に示す。

実験は、アプリケーションをタッチ操作で利用した場合とハンドジェスチャ操作で利用した場合を比較する。被験者 6 名のうち 3 名は先にタッチ操作でアプリケーション



図 4 Web ブラウザ利用実験に用いた道具

を利用し、次にハンドジェスチャ操作を用いた。残りの 3 名は先にハンドジェスチャ操作でアプリケーションを利用し、次にタッチ操作を用いた。先にハンドジェスチャ操作を行った被験者を Group A、先にタッチ操作を行った被験者を Group B とする。被験者は利用実験を行い、各アプリケーションのユーザビリティ評価としてアンケートに回答した。

音楽プレイヤーを用いた実験においては、被験者の凝視点のトラッキングを行った。凝視点のトラッキングには、Tobii Grass Pro 2 を用いた。視界とは、視界カメラで撮影された縦 1080 px、横 1920 px の平面画像とし、凝視点の移動距離とは、その平面画像内での動きをピクセル単位で表したものとする。

5.2 Web ブラウザを用いた実験

実験概要

ハンドジェスチャ操作に対応した Web ブラウザの利用実験を行った。まず基本的な検証として、被験者はハンドジェスチャ操作を用いて特定の Web ページを閲覧した。また、手に物を持った状態においてハンドジェスチャ操作が可能であるか、操作性にどのような変化があるか検証した。被験者は、操作を行う方の手にペットボトルを持ってハンドジェスチャを行い、Web ページを閲覧した。実験におけるユーザビリティ評価はアンケートを用いて行った。

タッチ操作が容易に行えない状況におけるハンドジェスチャ操作の有効性の検証を行った。実験は、軍手をした状態で Web ブラウザを用いて作業内容を確認するような状況を想定した検証実験である。図 4 のような赤色、緑色、青色の 3 色のブロックを 6 つずつと、1 から 12 の番号の枠が書かれた紙を 1 枚用意した。実験を行うにあたり、「赤色のブロックを 1 番の枠の中に置いてください」といったブロックの色と移動先の枠の番号の指示を掲載した Web ページを用意した。被験者は Web ブラウザを操作して作業内容の指示を確認する。作業内容の指示を確認すると指

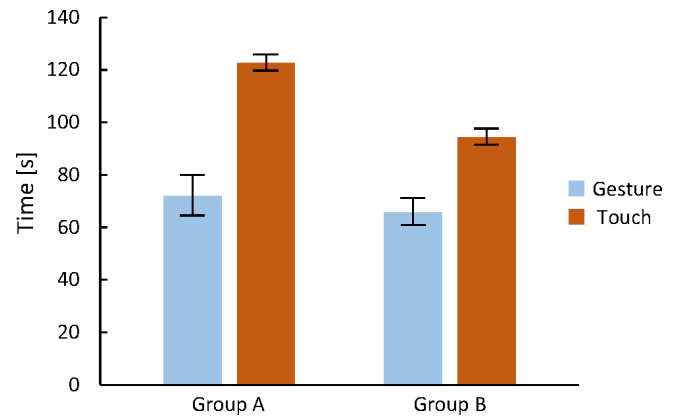


図 5 Web ブラウザ利用実験における作業時間の平均

示に従い作業を行う。また、ブロックに触れる際には両手に軍手を装着するものとした。軍手は特殊なものではなく、装着した状態ではタッチ操作を行うことはできない。一連の動作を何度も繰り返して 12 個の枠すべてにブロックが置かれると実験終了とした。実験は、ハンドジェスチャ操作とタッチ操作の 2 通り行い、作業にかかった時間を計測した。

実験結果

ハンドジェスチャ操作に対応した Web ブラウザを用いた実験において、軍手を使用した作業を想定した実験にかかった時間の平均と標準偏差を図 5 に示す。図 5 から Group A、Group B のどちらも、タッチ操作を用いて作業を行った場合に比べてハンドジェスチャ操作を用いて作業を行った場合の方が作業にかかった時間が短いことがわかる。タッチ操作と比較して Group A は約 41 %、Group B は約 30 % 時間を短縮した。

ハンドジェスチャ操作に対応した Web ブラウザの利用におけるアンケートを行った。アンケートの結果、6 名全員がアプリケーションを思ったとおりに操作可能、または大体思ったとおりに操作可能であったと回答した。また各ハンドジェスチャ操作とアプリケーションの挙動の対応付けについては、UP、DOWN、SLASH の動作において、とても直感的、または直感的と回答があった。HIDE の動作においては、直感的、またはどちらとも言えないという回答となり、ROLL の動作に対しては、あまり直感的でないという意見もあった。手に物を持った状態におけるハンドジェスチャ操作に関しては、あまり操作できなかったという意見や操作性が低下したという意見があった。

ハンドジェスチャ操作に対応した Web ブラウザをまた使いたいのかという質問に対しては、5 名の被験者がまた使いたいと回答しており、タッチ操作が行えないような状況において有効であるという意見が多くあった。有効と考えられる利用状況を質問したところ、料理中、工事現場、風呂あがりなどが挙がり、タッチ操作が容易に行えない状況

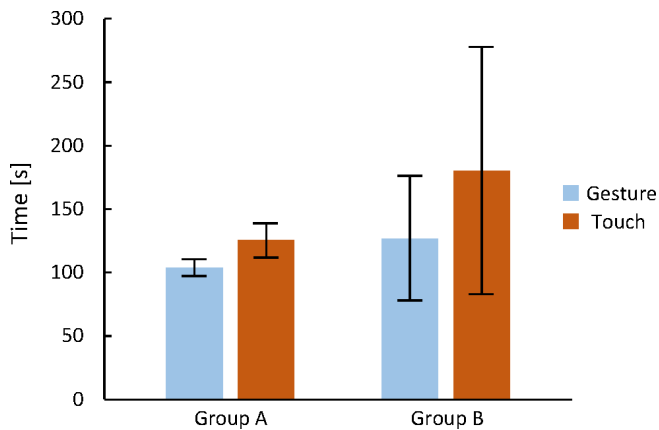


図 6 音楽プレイヤー利用実験における作業時間の平均

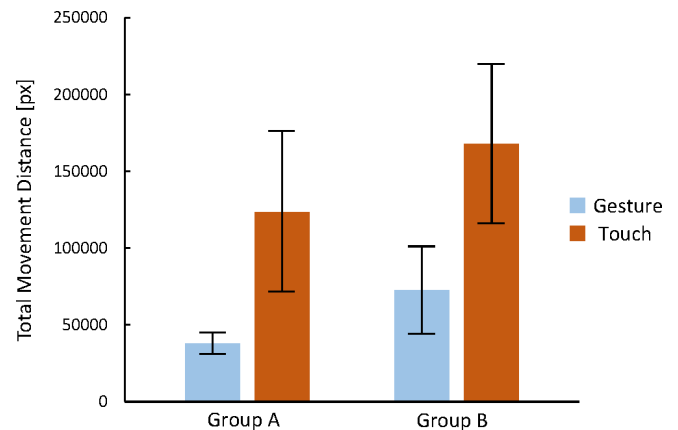


図 7 凝視点の総移動距離の平均

においては、ハンドジェスチャ操作が有効と考える被験者が多くいた。そのほかの意見として、実験内の作業効率が向上し有効だと感じたという意見やハンドジェスチャ操作そのものが楽しいという意見があった。一方、Web ブラウザを覗きこむなどすると誤認識を起こして使いづらいなどの不満の意見もあった。

5.3 音楽プレイヤーを用いた実験

実験概要

ハンドジェスチャ操作可能な音楽プレイヤーの実験として、被験者はまずハンドジェスチャ操作を用いてアプリケーションを利用した。実験のユーザビリティ評価はアンケートを用いて行った。次に、ハンドジェスチャ操作を用いることで画面の確認を行わずにアプリケーションを利用可能であるか、また、画面の確認を行わない場合に操作性にどのような変化があるか検証を行った。実験内容は、被験者が PC 画面に表示された文章を読み、文章の中でアプリケーションの操作指示を見つければ操作を行うというものである。操作方法は、タッチ操作とハンドジェスチャ操作の 2 通り行った。最後まで文章を読み、指示された操作をすべて終了するまでにかかった時間と、実験中の凝視点の動きを計測した。

実験結果

音楽プレイヤーの利用実験の結果として、実験終了までにかかった時間の平均を図 6 に、凝視点の総移動距離の平均を図 7 に示す。総移動距離とは、20 ms ごとの凝視点の距離の和である。

図 6 より、Group A、Group B とともにハンドジェスチャ操作を用いた場合に文章を読み終わるまでにかかった時間が短くなった。タッチ操作と比較して Group A は約 17 %、Group B は約 30 % 時間を短縮した。個人差はあるが、すべての被験者がハンドジェスチャ操作を用いた場合に作業時間を短縮した。これは図 7 からわかるように、ハンドジェスチャ操作を用いた場合の凝視点の移動距離、すなわ

ち視線の動きが小さいためであると考えられる。凝視点の総移動距離は、タッチ操作の場合と比較して Group A は約 69 %、Group B は約 57 % 小さくなった。

タッチ操作と比較してハンドジェスチャ操作を用いてアプリケーションを利用した際に、特に凝視点の移動距離が小さくなった者を被験者 A、あまり操作方法による差がなかった者を被験者 B とする。被験者 A の視界に対する凝視点の平面画像プロットを図 8 に、被験者 B の視界に対する凝視点の平面画像プロットを図 9 に示す。プロットする凝視点は、実験開始から 30 s までの 20 ms ごとの凝視点である。

図 8 から、被験者 A の場合はハンドジェスチャ操作を用いてアプリケーションを利用している際に凝視点がほとんど動いていないことがわかる。つまりは、アプリケーションを操作する際に視線を動かしていないことになる。また図 9 から、被験者 B においてもタッチ操作を用いてアプリケーションを利用している場合と比較すると、ハンドジェスチャ操作を用いた際に凝視点の動きの幅が狭くなっていることがわかる。ハンドジェスチャ操作を用いることで、凝視点の動き、すなわち視線の動きを抑えた。

ハンドジェスチャ操作に対応した音楽プレイヤーの利用におけるアンケートを行った。6 名中 5 名はハンドジェスチャを用いて思った通りに操作可能、または大体思ったおりに操作可能であったと回答した。また、ハンドジェスチャとアプリケーションの挙動の対応付けに関しては、Web ブラウザの場合と違い、被験者全体の意見が別れた。直感的であったと回答した被験者が存在するなかで、進む、戻るといった処理が行われることに関して、UP の動作と DOWN の動作が逆のイメージであるという意見や、SLASH の動作のほうが進むというイメージで使いやすいという意見もあった。

画面の確認を行わずにハンドジェスチャを用いてアプリケーションを操作した際の評価として被験者 6 名全員が操作可能であったと回答し、4 名が操作性は変化しなかったと回答した。また、利用状況の案としてテレビなど他の機

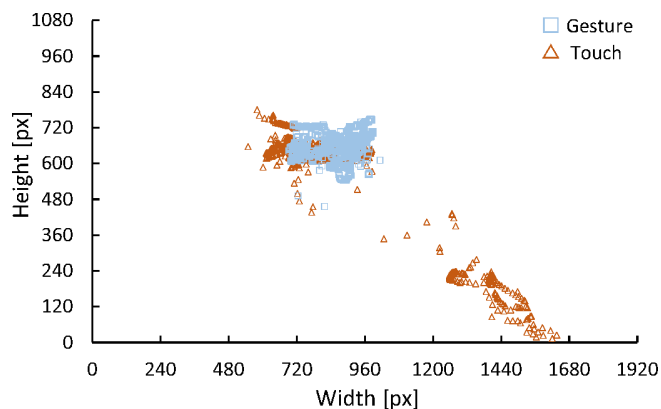


図 8 被験者 A の凝視点プロット

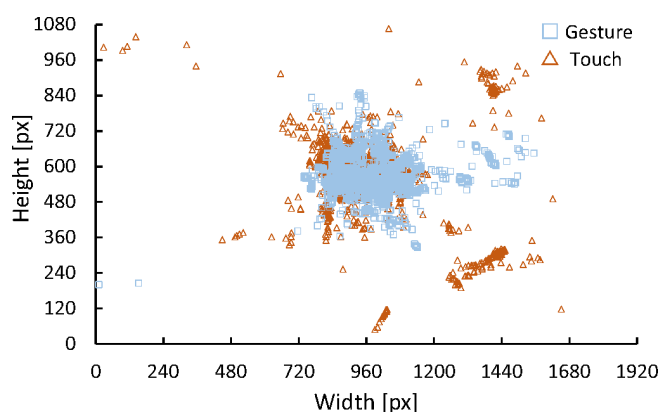


図 9 被験者 B の凝視点プロット

器を操作するリモコンのような使い方をすれば、その機器に着目しながら操作が行えて良いのではないかという意見があった。そのほかの意見として、端末に触れたり端末の位置を確認する必要がないことで、他の作業を行いながら操作が容易に行えて良いという意見や、端末を確認せずに操作を行うことに想像以上に違和感がなくて良かったという意見があった。

5.4 シューティングゲームを用いた実験

実験概要

ハンドジェスチャ操作を用いて追加操作が可能なシューティングゲームの利用におけるアンケートを行った。被験者は、まずタッチ操作のみでシューティングゲームを利用した。タッチ操作とハンドジェスチャ操作の両方を用いて同じようにアプリケーションを利用した。被験者はアプリケーションを利用した後で、ユーザビリティ評価としてアンケートに回答した。

実験結果

ハンドジェスチャ操作に対して、被験者 6 名全員が正確、またはほぼ正確に認識されたと回答した。すべての被験者がタッチ操作のみを用いた場合と比較して、ハンドジェスチャ操作を含めた 2 種類の操作方法を用いることに好感を

持ち、被験者 6 名中 5 名がゲームが面白くなったと回答した。この 2 つの操作方法を併用するアプリケーションをまた使いたいという意見も多く、ハンドジェスチャ操作は新鮮で楽しいという意見があった。

また、2 つの操作方法を併用することについて、タッチ操作だけではすべての機能を割り当てられない場合に追加機能としてハンドジェスチャ操作を割り当てると良いという意見があった。例えば、タッチ操作でアプリケーションを利用しているときのスクリーンショットなどである。そのほかの意見として、ハンドジェスチャ操作可能なゲームを行うのは初めてで驚いたという意見や、実際に手を動かすというアクションがあって面白かったという意見があった。一方、ハンドジェスチャ認識にかかる少しの時間が不満だったという意見や、面白いが必要ではないという意見もあった。

5.5 考察

モバイルアプリケーションを用いたユーザビリティ評価実験の結果、ハンドジェスチャ操作の有効性を確認した。まず、軍手を装着した状態での Web ブラウザを用いた実験において、ハンドジェスチャ操作を用いることで作業効率が向上し、作業時間を短縮した。多くの被験者がアンケートを通じてハンドジェスチャ操作が有効であるという意思を示していることから、タッチ操作が容易に行えない状況においてハンドジェスチャ操作は有効であるといえる。実験では、軍手を装着するという特定の状況を試したが、手が濡れている、汚れているなど、様々な要因でタッチ操作が容易に行えない状況においてもハンドジェスチャ操作は有効に活用できると予想できる。しかし、手に物を持っている状況における検証を行ったところ、操作性に不満を抱く被験者が多く、ハンドジェスチャ操作は手に物を持った状態では容易ではない。

音楽プレイヤーを用いた実験においては、ハンドジェスチャ操作を用いることで、画面の確認を行わずにアプリケーションの操作が可能であることを確認した。実験にかかった時間および被験者の凝視点の動きを計測した。結果として、凝視点の動き、すなわち視線の動きを抑え、作業時間を短縮した。このことから、画面の確認が不要な場合において、ハンドジェスチャ操作を用いることで操作性を向上し、作業効率の向上につながるという。アンケート結果からも、ハンドジェスチャ操作を用いることで、画面の確認なしでアプリケーションの操作が可能であり、操作性の変化も少ないことがわかる。

シューティングゲームを用いた実験からは、タッチ操作のみでなく、ハンドジェスチャ操作を同時に併用することによって、ユーザに新鮮な印象を与えた。また、被験者の意見の中にはアプリケーションの操作性を向上させるような活用例もあり、モバイルアプリケーションにおけるハン

ドジェスチャ操作の可能性が広がった。

実験全体として、ユーザの評価を得るためには、ハンドジェスチャとアプリケーションの挙動の対応付けが大切であることがわかった。特に、特定の方向をイメージする動作については、直感的と感じる動きの個人差を考慮する必要性を感じた。この問題は、ハンドジェスチャとアプリケーションの挙動の対応付けをユーザが変更できるようなシステム設計を行うことで解決可能である。実験から、誤認識やハンドジェスチャの種類などの課題点はあるが、想定した状況においてハンドジェスチャ操作は有効といえる。

6. 結論と今後の展望

モバイル端末内蔵の照度センサを用いたハンドジェスチャ認識手法を提案した。専用のジェスチャ認識デバイスや追加デバイスを必要とせず、カメラ画像による画像認識を用いた手法と比較して、消費電力の問題やプライバシーの問題も考慮したハンドジェスチャ認識手法である。提案手法は、照度情報から5種類のハンドジェスチャを決定木を用いて分類する。この手法において、未知のデータ、未知のユーザ、未知の照明環境に対する認識精度の検証を行い、有効性を確認した。

提案手法を用いたハンドジェスチャ操作に対応したアプリケーションとしてWebブラウザ、音楽プレイヤー、シューティングゲームを実装した。それぞれ、タッチ操作が容易に行えない状況、画面の確認が不要な状況、タッチ操作とハンドジェスチャ操作を併用して用いる状況を想定し実験を行った。各アプリケーションにおいて、想定した状況における有効性を確認した。実験結果から、ハンドジェスチャ操作を用いることによる操作性の向上や作業効率向上の可能性を確認した。

今後の展望として、アプリケーションの改良が必要である。被験者実験のアンケート結果から、ハンドジェスチャ操作に対応付けるアプリケーションの挙動を変更することによって評価を改善可能と予想できる。また、ハンドジェスチャ認識アルゴリズムの改良がある。提案手法は、1400の訓練データを用いた決定木によるハンドジェスチャの分類を行っている。訓練データを増加することや、利用したユーザの照度変化のデータを訓練データに組み込み学習することなど、アルゴリズムの変更することによってハンドジェスチャ認識率の向上が予想できる。

また、現状では考慮されていない外乱についても、様々な状況における外乱のサンプルデータを収集し対策を考えたい。モバイル端末の側を横切る動作、ハンドジェスチャ以外のユーザの手の動作、立ったり座ったりの動作などを考慮してデータの収集を行い、ハンドジェスチャのみを正確に認識するアルゴリズムを実現したい。そのほかにも、複数の端末を用いたハンドジェスチャ認識の活用など、様々な方針で研究を進めたいと考える。

参考文献

- [1] Sharp, T., Keskin, C., Robertson, D., Taylor, J., Shotton, J., Kim, D., Rhemann, C., Leichter, I., Vinnikov, A., Wei, Y., Freedman, D., Kohli, P., Krupka, E., Fitzgibbon, A. and Izadi, S.: Accurate, Robust, and Flexible Real-time Hand Tracking, CHI (2015).
- [2] Sridhar, S., Feit, A. M., Theobalt, C. and Oulasvirta, A.: Investigating the Dexterity of Multi-Finger Input for Mid-Air Text Entry, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 3643–3652 (2015).
- [3] Song, J., Pece, F., Sörös, G., Koelle, M. and Hilliges, O.: Joint Estimation of 3D Hand Position and Gestures from Monocular Video for Mobile Interaction, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 3657–3660 (2015).
- [4] Haque, F., Nancel, M. and Vogel, D.: Myopoint: Pointing and Clicking Using Forearm Mounted Electromyography and Inertial Motion Sensors, *CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (2015).
- [5] Gupta, S., Morris, D., Patel, S. and Tan, D.: SoundWave: Using the Doppler Effect to Sense Gestures, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 1911–1914 (2012).
- [6] Wachs, J., Stern, H., Edan, Y., Gillam, M., Feied, C., Smith, M. and Handler, J.: A Real-Time Hand Gesture Interface for Medical Visualization Applications, *Applications of Soft Computing* (Tiwari, A., Roy, R., Knowles, J., Avineri, E. and Dahal, K., eds.), Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol. 36, Springer Berlin Heidelberg, pp. 153–162 (2006).
- [7] Lee, J., Olwal, A., Ishii, H. and Boulanger, C.: SpaceTop: Integrating 2D and Spatial 3D Interactions in a See-through Desktop Environment, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 189–192 (2013).
- [8] Taylor, S., Keskin, C., Hilliges, O., Izadi, S. and Helmes, J.: TypeHoverSwipe in 96 Bytes: A Motion Sensing Mechanical Keyboard, ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems 2014 (Best Paper Award) (2014).
- [9] Zhao, C., Chen, K.-Y., Aumi, M. T. I., Patel, S. and Reynolds, M. S.: SideSwipe: Detecting In-air Gestures Around Mobile Devices Using Actual GSM Signal, *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 527–534 (2014).
- [10] Goel, M., Lee, B., Islam Aumi, M. T., Patel, S., Borriello, G., Hibino, S. and Begole, B.: SurfaceLink: Using Inertial and Acoustic Sensing to Enable Multi-device Interaction on a Surface, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 1387–1396 (2014).
- [11] Shotton, J., Fitzgibbon, A., Cook, M., Sharp, T., Finocchio, M., Moore, R., Kipman, A. and Blake, A.: Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images, *Machine Learning for Computer Vision* (Cipolla, R., Battiato, S. and Farinella, G. M., eds.), Studies in Computational Intelligence, Vol. 411, Springer Berlin Heidelberg, pp. 119–135 (2013).