

モバイル端末のアプリケーション利用時における 内蔵照度センサを用いたハンドジェスチャ認識手法の提案

山下 大輔^{1,a)} 間 博人^{2,b)} 山本 泰士^{1,c)} 本田 雄亮^{1,d)} 三木 光範^{2,e)}

受付日 2017年4月21日, 採録日 2017年11月7日

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機器のみでなく, モバイル端末を用いたジェスチャ認識の研究がある. しかし, 追加機器が必要であることや, 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がある. 本論文では, 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, 追加の機器を必要とせず, 消費電力やプライバシーを考慮したハンドジェスチャ認識を実現した. 本論文で提案するハンドジェスチャ認識は, 訓練データを用いた学習によって行う. 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を可能であることを確かめた. また, 提案手法を用いた具体的なアプリケーション例をあげることで, 提案手法の応用可能性を示す. タッチ操作が容易ではない状況や画面の確認が不要な状況において有効に活用可能なハンドジェスチャ操作対応のアプリケーションを実現した.

キーワード: モバイル端末, 照度センサ, ジェスチャ認識, アプリケーション

Hand Gesture Recognition Using Illuminance Sensor Built in Mobile Device

DAISUKE YAMASHITA^{1,a)} HIROTO AIDA^{2,b)} TAISHI YAMAMOTO^{1,c)} YUSUKE HONDA^{1,d)}
MITSUNORI MIKI^{2,e)}

Received: April 21, 2017, Accepted: November 7, 2017

Abstract: Recently, gesture recognition for intuitive operation has attracted interest. There are gesture recognition studies using mobile devices as well as dedicated devices. The studies with mobile devices, however, have a requirement for additional instruments or issues such as the power consumption and the privacy using a camera. In this paper, we propose a new method to hand gesture recognition using an illuminance sensor built in mobile device. The illuminance sensor allow the gesture recognition not to require dedicated equipments and to consider the power consumption and privacy issues. We verified the recognition accuracy in the proposed method given unknown data, users, and lighting environments to confirm effectiveness. Furthermore, we implemented a web browser and a music player as applications supporting hand gesture operations using the proposed method and presented effectiveness in situations such as which do not allow a user to operate with touch and where a user can operate without confirm the screen.

Keywords: mobile device, illuminance sensor, gesture, application

¹ 同志社大学大学院
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto 610-0394, Japan

² 同志社大学理工学部
Department of Science and Engineering, Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto 610-0394, Japan

a) dyamashita@mikilab.doshisha.ac.jp

b) haida@mail.doshisha.ac.jp

c) tyamamoto@mikilab.doshisha.ac.jp

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.

d) yhonda@mikilab.doshisha.ac.jp

e) mmiki@mail.doshisha.ac.jp

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、機器と直接接点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]。

ジェスチャ認識専用機器の発達のみでなく、スマートフォンやタブレット端末といったモバイル端末を用いたジェスチャ認識にも注目が集まっている。モバイル端末は、現在普及が進んでおり身近なコンピュータ機器といえる。ジェスチャ認識において、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おける既存手法では、モバイル端末以外の追加デバイスが必要あることや消費電力を考慮する必要があるなどの課題がある。

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。提案手法では、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。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、端末にかざした手の動きを分類して識別する。モバイル端末に内蔵する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容易であり、多様な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、一般的にタッチ操作やボタン操作によって利用するが、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。

本論文の意義は以下の 2 点にまとめられる。

- (1) 内蔵照度センサから取得した照度情報を用いたハンドジェスチャ認識手法を提案し、精度検証を行う。
- (2) 想定状況において活用可能な 2 種類のアプリケーション例を示し、ハンドジェスチャ操作の応用可能性を示す。

本論文の構成を以下に示す。まず次章で、本論文において想定するハンドジェスチャ認識によるモバイル端末のアプリケーション操作が有効に活用可能な状況について述べる。3 章で関連研究について述べ、4 章で内蔵照度センサから取得した照度情報を用いたハンドジェスチャ認識手法を提案する。5 章で実験端末内蔵照度センサの性能を確認し、

6 章でハンドジェスチャ認識精度を検証する。7 章で提案手法に対応したアプリケーション例をあげ、2 章で述べる想定状況における応用可能性について示し、最後に 8 章で結論を述べる。

2. 想定する利用状況

本章では、本論文で提案するハンドジェスチャ認識手法が想定する利用状況について示す。提案手法によるハンドジェスチャ操作は、タッチ操作が容易に行えない状況とモバイル端末の利用において画面の確認が不要な状況を想定する。

2.1 タッチ操作が容易に行えない状況

タッチ操作が容易に行えない状況とは、何らかの理由で画面に触れることが望ましくない、またはタッチ操作に障害をきたす状況である。たとえば、手が濡れている、手が汚れているといった状態で、タッチ操作を行えば誤作動を起こす可能性がある。また、モバイル端末が汚れる、壊れる危険性があるといった理由から、ユーザが端末に触れることを望まない場合もある。そのほかにも、手袋または軍手を装着している場合、特殊な素材で作られたものでなければ装着した状態でタッチ操作を行うことは容易ではない。本論文で提案するハンドジェスチャ認識手法は、タッチ操作が容易に行えない状況において端末に直接触れることのない操作を可能にする。

2.2 画面の確認が不要な状況

モバイル端末の利用において画面の確認が不要な状況とは、画面を確認することなくアプリケーション操作が可能な状況である。モバイル端末のアプリケーションのなかには、音楽プレイヤーやテレビなどの別端末を遠隔操作するアプリケーションがある。これらのアプリケーションは、操作ユーザインタフェースをモバイル端末の画面上で構築するが、本来の目的を達成するために画面の確認は必須でない。たとえば、モバイル端末で音楽プレイヤーを利用している場合、再生や停止などの単純な動作を行うために画面を確認することが手間となる状況が予想できる。提案手法を用いて、画面を確認することなく単純なハンドジェスチャのみでアプリケーション操作を可能とし、操作性の向上を図る。

3. モバイル端末による既存のジェスチャ認識

ジェスチャ認識に関する研究の中で、モバイル端末を用いたジェスチャ認識手法の研究が増加している。SideSwipe [9] は、4 本のアンテナを搭載した回路基板をスマートフォンの裏側に取り付け、GSM 信号を用いてハンドジェスチャを検知および認識する。これにより、端末画面上だけでなく端末周囲のハンドジェスチャ認識を実現する。また、

SurfaceLink [10] は、スマートフォンに内蔵する加速度センサ、振動モータ、スピーカおよび外部マイクを用いてジェスチャを認識する。これにより、同机上面に存在する複数デバイス間の情報の共有を実現する。しかし、Sidewipe および SurfaceLink は、ハンドジェスチャを認識するためにモバイル端末以外に追加デバイスが必要となる。そのため、追加デバイスが高価である場合はシステムの導入コストが高くなる。また、各手法において実現できるジェスチャの種類や精度および用途は異なるが、汎用製品化したモバイル端末を用いる利点を考慮するとモバイル端末のみで完結する手法が望ましい。

Song ら [11] は、スマートフォンに内蔵された RGB カメラを用いてジェスチャの認識を行い、タッチ操作と組み合わせることで、モバイル端末でのインタラクションを拡張している。ランダムフォレストをベースとしたアルゴリズムを用いて、頑健なジェスチャ認識を実現している。しかし、カメラ画像を用いてハンドジェスチャを認識する場合、モバイル端末のバッテリー持続時間を考慮する必要がある。また、カメラ画像を使用する際は、プライバシーについて考慮する必要がある。

Low ら [12] は、スマートフォン内蔵のカメラとフラッシュ機能を用いて、カメラがとらえる画像の明るさからジェスチャ認識を行っている。この手法においてユーザはスマートフォンの発光部分を指で抑えてジェスチャを実行する。また、Manabe [13] のフォトリフレクタを利用する手法がある。フォトリフレクタは、一般的に赤外線近接センサとしてモバイル端末に内蔵する。この手法では、フォトリフレクタを用いて複数の指でのタッチ、スワイプといったマルチタッチジェスチャを強化する可能性を示している。どちらの手法も端末に触れて行うジェスチャ認識を実現、または強化する研究である。これに対し、本論文では端末に触れずに行うジェスチャ操作が必要となる状況を想定する。

本論文で提案する照度情報を用いた手法は、ハンドジェスチャを認識するために、単一のモバイル端末のみを用いる。また提案手法で利用する内蔵照度センサは、主に画面の自動輝度調整用に搭載するため常時利用を想定している。したがって、センシングにおいて消費電力への影響が小さい手法といえる。本論文では、端末に触れずに行うハンドジェスチャ認識を実現し、想定状況における応用可能性を示す。

4. 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

4.1 照度情報を用いたハンドジェスチャ認識の概要

本論文では、内蔵照度センサを用いたハンドジェスチャ認識手法を提案する。提案手法では、内蔵照度センサから得た照度情報を用いる。照度は、明るさを示す指標であり

単位はルクス (lx) である。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てハンドジェスチャ認識を行う。ハンドジェスチャ実行時における照度変化の特徴から複数のハンドジェスチャを分類可能である。

提案手法を用いる際には、モバイル端末を平坦な机の上に置く。机の上に置いたモバイル端末に手をかざすようにハンドジェスチャを行うことで内蔵照度センサ部分に影が生じる。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、閾値以上の照度変化を検知すると照度の記録を開始する。照度変化が続いている間は記録を継続し、照度変化が閾値以下の状態で一定時間続くと記録を終了する。閾値とは、ハンドジェスチャ開始の照度低下およびハンドジェスチャ終了後の照度収束を判定する照度変化量の基準である。また、照度変化が閾値以下の状態であることを確認する時間を照度収束確認時間とする。記録した連続する照度値のデータセットが1回のハンドジェスチャを表す。記録したデータセットに対して提案手法を適応し、複数のハンドジェスチャを分類する。照度変化を検知してから、照度が収束して分類するまでが1回のハンドジェスチャ認識の流れとなる。

提案手法では、モバイル端末内蔵の照度センサのみを用いてハンドジェスチャ認識を行うことで、省電力かつ外部デバイスを必要としないハンドジェスチャ認識を実現する。しかし、単一の照度センサからは一次元の連続する照度値しか取得できず、抽出可能な特徴量は限られている。本論文では、ハンドジェスチャ実行時の照度情報から、照度変化を表す波の深さ、照度変化を表す波の傾き、ジェスチャの実行時間、照度変化を表す波の数の4種類の特徴に着目する。それぞれの特徴量に対して影響のあるハンドジェスチャを選定することで、精度の高いハンドジェスチャ認識を行う。提案手法で認識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1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

一次元の連続する照度値からは、手が動く方向の判断が容易ではない。例として、SLASHのような手を横にスライドさせる動作では、左右どちらから手を動かしたとしても同じ照度変化を示す。したがって、手の動く方向によって複数のハンドジェスチャを分類できない場合がある。また、照度変化を表す波の数は照度センサの上を手が通過する回数によって変化する。例として、ROLLは手を回転させることで照度センサの上を手が複数回通過する。照度センサの上を手が通過する回数の増加によりさらに多くのハンドジェスチャを認識可能であるが、本論文ではROLLの



図 1 5 種類のハンドジェスチャ
Fig. 1 Five kinds of hand gestures.

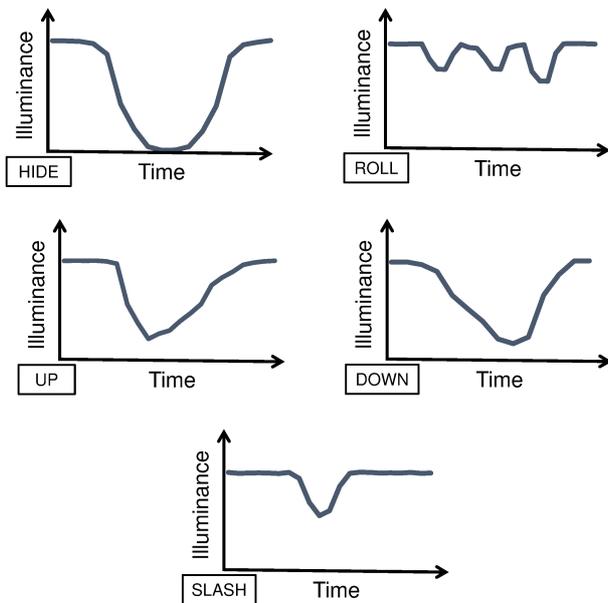


図 2 5 種類のハンドジェスチャの照度変化の例
Fig. 2 Illuminance change by hand gestures.

1 種類のみとする。手の通過回数を正しく検知するために、ハンドジェスチャは指を閉じた状態で行うことが望ましい。

本論文で提案する照度情報によるハンドジェスチャ認識は、決定木学習を用いる。決定木作成にあたり、ハンドジェスチャ実行時の照度変化を示すデータセットを訓練データとして収集した。次節で、訓練データから抽出した照度変化の特徴について述べる。

4.2 ハンドジェスチャによる照度変化

提案手法で認識する 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。HIDE は、照度

センサを手で覆う動作であるため照度変化の幅に特徴がある。ROLL は、手を 1 回転することで照度センサ上を複数回往復するため照度変化を表す波の数に特徴がある。UP と DOWN は、前後に対象的な手の動きをし、腕の影響から照度変化を表す波の傾きも対象的になる。SLASH は、手を水平方向に動かす単純な動作であることから、ジェスチャの実行時間が短くなる。

本論文で提案する内蔵照度センサによるハンドジェスチャ認識は決定木学習を用いる。5 種類のハンドジェスチャ実行時の照度変化をデータセットとして収集して学習する。決定木学習に用いる特徴量は、照度変化を表す波の深さ D 、照度変化を表す波の傾き S 、ジェスチャの実行時間 T 、照度変化を表す波の数 W の 4 種類である。それぞれの算出式を以下に示す。

$$D = A/I \tag{1}$$

$$S = A/T_s - A/T_e \tag{2}$$

$$T = T_s + T_e \tag{3}$$

$$W = \sum_{t=1}^T y_t \tag{4}$$

$$y_t = \begin{cases} 1 & (l_t - l_{t-1} < 0, l_{t+1} - l_t \geq 0) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

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]

l_t : 時間 t における照度値 [lx] (ただし、 $0 \leq t \leq T$)

5. モバイル端末内蔵照度センサの性能

本章では、検証実験に用いるモバイル端末内蔵照度センサの性能について述べる。本論文で述べる検証実験では、モバイル端末として Nexus 7 (2012 年モデル) を用いる。Nexus 7 に内蔵する照度センサの性能について、照度分解能および時間分解能を確認した。まず、照度分解能の確認として内蔵照度センサおよび照度計による照度計測を行った。255 段階で調光可能な照明を用いて机上面を 0lx から 1,000lx に調光し、照度を計測する。照度計は、ANA-F11 (東京光電製: JIS C 1609-2 に準拠) を用いる。内蔵照度センサから取得した値と照度計で計測した照度を図 3 に示す。

図 3 より、Nexus 7 の内蔵照度センサは、実際の照度と線形関係にある。また、図 3 より、Nexus 7 は高い照度分解能を持っており細かく照度を取得可能である。

実験端末である Nexus 7 に内蔵する照度センサの時間分解能を確認する。内蔵照度センサによる値の取得を 10 秒間行い、照度取得間隔を計測した。照度取得間隔の平均と標準偏差を表 1 に示す。表 1 より、Nexus 7 の内蔵照度

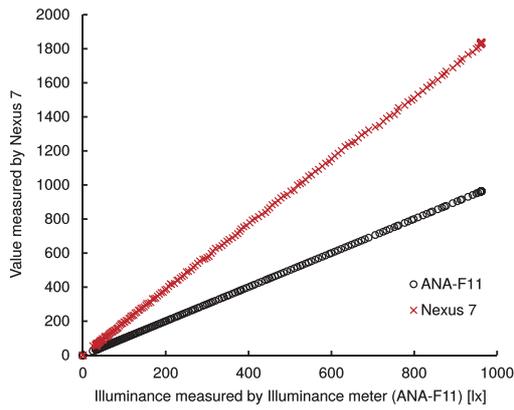


図 3 内蔵照度センサおよび照度計で取得した照度
 Fig. 3 Comparison of illuminance values measured by mobile device and illuminance meter.

表 1 内蔵照度センサの照度取得間隔

Table 1 Illuminance acquisition interval of mobile device.

Average	SD
87.9 ms	40.5 ms

センサは平均 87.9 ms の間隔で照度取得が可能である。

6. ハンドジェスチャ認識精度の検証

6.1 実験概要

ハンドジェスチャ認識を行う決定木学習について訓練データを収集し、ハンドジェスチャ認識精度の検証を行った。また、ハンドジェスチャ認識の開始終了条件における閾値と照度収束確認時間がハンドジェスチャ認識精度に与える影響を検証した。実験に用いたモバイル端末は Nexus 7 である。実験は、LED 照明 9 灯の中央の照明直下に机を設置し、机上面にモバイル端末を置いて実験を行った。実験環境を図 4 に、実験風景を図 5 に示す。被験者は、23~24 歳の学生 7 名とした。実験を行う前に、それぞれのジェスチャについて約 5 分間のレクチャを被験者に対して行った。

訓練データ収集において被験者は、5 種類のジェスチャを実行する。また、照度環境を 4 パターン用意し、机上面の照度を 300 lx, 500 lx, 700 lx, および 1,000 lx に変更して実験を行った。7 名の被験者が 4 パターンの照明環境で 5 種類のハンドジェスチャを 10 回ずつ繰り返すことで合計 1,400 のデータを収集した。なお、学習や疲労によるデータの偏りが生じないように、それぞれのジェスチャをランダムに指示し、照度環境をランダムに変更して実験を行った。

6.2 ハンドジェスチャ認識精度検証

提案手法におけるハンドジェスチャ認識精度の検証を行う。検証を行うにあたり、ハンドジェスチャ開始終了条件における閾値を現在照度の 5%、照度収束確認時間を 800 ミリ秒とした。訓練データとする合計 1,400 のデータに対

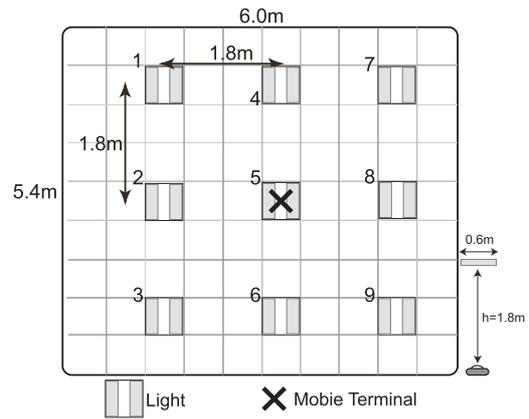


図 4 実験環境

Fig. 4 Experimental environment.



図 5 実験風景

Fig. 5 Experimental situation on the recognition accuracy.

表 2 未知のデータに対する認識精度の検証結果

Table 2 Result of leave-one-out cross-validation.

	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%

して、1 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、各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 1 個抜き交差検証を行った結果を表 2 に示す。表 2 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 名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% でハンドジェスチャを分類していることが分かる。検証結果から、提案手法は未知のユーザに対して有

表 3 未知のユーザに対する認識精度の検証結果

Table 3 Result of leave-one-user-out cross-validation.

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

表 4 未知の照明環境に対する認識精度の検証結果

Table 4 Result of leave-one-illuminance-out cross-validation.

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

表 5 閾値および照度収束確認時間ごとの 1 個抜き交差検証結果

Table 5 Result of leave-one-out cross-validation by threshold and illuminance convergence completed time. [%]

		Illuminance convergence completed time [ms]							
		300	400	500	600	700	800	900	1,000
Threshold [%]	3	88.9	92.4	94.4	94.8	95.2	94.9	94.7	94.7
	4	88.5	92.3	93.9	94.5	94.5	94.4	94.2	94.2
	5	87.4	91.8	93.4	94.3	94.6	95.4	95.4	95.4
	6	86.5	90.3	92.5	92.8	93.5	94.9	95.4	95.4
	7	84.2	88.8	91.2	91.6	92.8	94.1	95.1	95.1
	8	83.1	87.5	90.2	91.4	92.3	93.7	94.7	94.7

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 300lx, 500lx, 700lx, 1,000lx 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 4 に示す。表 4 より平均 96.4% と高い認識率で分類可能であったことが分かる。提案手法は、未知の照明環境に対して有効である。

6.3 閾値および照度収束確認時間の検証

ハンドジェスチャ認識の開始終了条件における閾値と照度収束確認時間がハンドジェスチャ認識精度に与える影響について検証する。閾値および照度収束確認時間を変更した場合における 1 個抜き交差検証結果の平均を表 5 に示す。表 5 における閾値は、現在照度に対する照度の変化幅を示す。表 5 から、認識精度が最も高く、照度収束確認時間が小さい組合せは、閾値が現在照度の 5%、照度収束確認時間が 800 ミリ秒であり、1 個抜き交差検証による認識精度は平均 95.4% となる。

表 5 から、閾値を大きく設定すると細かい照度変化を取得することができず、認識精度が低下することが分かる。また、照度収束確認時間を大きく設定すると認識精度が高くなるが上限がある。表 5 では、すべての閾値において照度収束時間が 900 ミリ秒を超えると認識精度は変化しない。表 5 において、閾値が 3% および 4% の場合に、照度収束確認時間が 700 ミリ秒を超えると認識精度が低下して

いる。これは、照度収束確認時間の増加にともない、ハンドジェスチャ実行時以外で閾値以上の照度変化が含まれ、誤認識したことが原因である。したがって、閾値はハンドジェスチャ実行時以外の照度変化を検知しない範囲で小さく設定するほど認識精度が高くなる。照度収束確認時間は、大きく設定するほど認識精度が高まり、小さく設定するほどハンドジェスチャ認識にかかる時間が短くなる。

7. アプリケーションへの応用

2 章で述べた想定状況において活用可能な 2 種類のアプリケーションについて述べる。アプリケーションは、Web ブラウザと音楽プレイヤーであり、想定状況における提案手法の活用例を示す。

7.1 Web ブラウザ

提案手法によるハンドジェスチャ認識を用いて操作可能な Web ブラウザは、タッチ操作が容易に行えない状況において活用することを目的としている。手が汚れている、手が濡れている、または手袋を装着しているなどの理由でタッチ操作が容易に行えない状況においてタッチ操作の代わりにハンドジェスチャ操作を用いる。ハンドジェスチャ操作が可能な Web ブラウザの活用例として料理中のレシピ閲覧が想定できる。モバイル端末の基本操作はタッチ操作であり、手が汚れている、手が濡れている場合が多い料理中には望ましくない。ハンドジェスチャ操作対応の Web ブラウザを用いることで、端末に触れることなくレシピを閲覧することが可能になり、想定状況における操作性の向上が期待できる。ハンドジェスチャ操作対応の Web ブラウザを実装するにあたり、UP や DOWN の動作を上下スクロールに割り当てるなど、ハンドジェスチャ動作の方向性を活かした割り当てを行うことで直感的な操作を可能にする。そのほかにも、拡大、縮小などの基本的な操作を割り当てることで、合計 5 種類の単純な操作を端末に触れることなく実行可能である。

7.2 音楽プレイヤー

提案手法に対応した音楽プレイヤーは、ハンドジェスチャ操作を可能とすることで画面の確認を不要とし、操作性の向上を図る。音楽プレイヤーは、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、変わるといった結果によって操作のフィードバックが可能である。モバイル端末における一般的な音楽プレイヤーは操作のために画面の確認が必要であるが、基本的な操作をハンドジェスチャに対応することで画面の確認が不要となる。音楽プレイヤーは、他の作業を行いながら並行して利用することが想定できる。画面の確認が不要となることで、他の作業を行うなかでも容易にアプリケーション操作が可能である。また、ユーザによって再生や停止、曲送りなどの基本操作のなか

でも頻繁に実行する操作を、SLASHのようなハンドジェスチャ実行時間が短く簡単に実行可能な動作に割り当てることでさらに操作性の向上が可能である。

8. 結論

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。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、プライバシーの問題を考慮したハンドジェスチャ認識手法である。モバイル端末は、画面の自動輝度調整を目的として照度センサを内蔵し、照度センサは常時動作することを想定するため消費電力への影響が小さい。したがって提案手法は、既存の手法における課題を解決するハンドジェスチャ認識手法である。

モバイル端末内蔵の照度センサから得た照度情報をもとにハンドジェスチャを認識する手法について考案し、検証した。5種類のハンドジェスチャについて、訓練データを用いた学習により作成した決定木によって分類する。手を動かした際の照度変化を示すデータセットから抽出した、照度変化を表す波の深さ、傾き、数、そしてハンドジェスチャの実行時間が分類する際の特徴となる。合計1,400の訓練データを収集して決定木作成のための学習を行い、ハンドジェスチャ認識精度の検証を行った。未知のデータ、未知のユーザ、未知の照明環境に対してそれぞれ交差検証を行い認識精度を確かめた。結果として、未知のデータに対して平均95.4%、未知のユーザに対して平均94.3%、未知の照明環境に対して平均96.4%であった。この結果から、訓練データにないユーザや照明環境においても有効に活用可能なハンドジェスチャ認識手法である。

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の例としてWebブラウザ、音楽プレイヤーについて応用可能性を示した。Webブラウザはタッチ操作が容易に行えない状況、音楽プレイヤーは画面の確認が不要な状況を想定している。各アプリケーションにおいて、想定状況における活用について述べ、提案手法の応用例を提示した。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アプリケーション利用時の作業効率向上の可能性を示した。

提案手法は、訓練データを収集した室内環境において有効に活用可能である。今後は、照明を消灯した照度が極端に低い環境や、太陽光の影響から照度が極端に高くなる環境において検証を行う。また、ハンドジェスチャ操作以外の照度変化を誤認識する可能性があるため、モバイル端末内蔵の近接センサを用いて対策を行う。モバイル端末内蔵の近接センサは、通話時に顔が画面に触れることによるタッチスクリーンの誤操作防止を目的とし、物体が近づいているかどうかを判別可能である。提案手法によるハンドジェスチャ操作は、いずれも一度は端末付近に手を近づけ

る動作であるため、近接センサを用いてハンドジェスチャ操作時に手が近づいたことを検知できる。近接センサが手の近づきを検知した場合の照度変化のみをハンドジェスチャ操作によるものとして分類することで、ハンドジェスチャ操作以外の照度変化による誤認識を防ぐことが可能である。

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 '15* (2015).
- [2] Sridhar, S., Feit, A.M., Theobalt, C. and Oulasvirta, A.: Investigating the Dexterity of Multi-Finger Input for Mid-Air Text Entry, *Proc. 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, New York, NY, USA, pp.3643–3652, ACM (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, *Proc. 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, New York, NY, USA, pp.3657–3660, ACM (2015).
- [4] Haque, F., Nancel, M. and Vogel, D.: Myopoint: Pointing and Clicking Using Forearm Mounted Electromyography and Inertial Motion Sensors, *Proc. 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15* (2015).
- [5] Gupta, S., Morris, D., Patel, S. and Tan, D.: SoundWave: Using the Doppler Effect to Sense Gestures, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12*, New York, NY, USA, pp.1911–1914, ACM (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, pp.153–162, Springer Berlin Heidelberg (2006).
- [7] Lee, J., Olwal, A., Ishii, H. and Boulanger, C.: SpaceTop: Integrating 2D and Spatial 3D Interactions in a See-through Desktop Environment, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '13*, New York, NY, USA, pp.189–192, ACM (2013).
- [8] Taylor, S., Keskin, C., Hilliges, O., Izadi, S. and Helves, J.: Type-hover-swipe in 96 Bytes: A Motion Sensing Mechanical Keyboard, *Proc. 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, New York, NY, USA, pp.1695–1704, ACM (online), DOI: 10.1145/2556288.2557030 (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, *Proc. 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '14*, New York, NY, USA, pp.527–534, ACM (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, *Proc. SIGCHI Conference on*

Human Factors in Computing Systems, CHI '14, New York, NY, USA, pp.1387-1396, ACM (2014).

- [11] Song, J., Sörös, G., Pece, F., Fanello, S.R., Izadi, S., Keskin, C. and Hilliges, O.: In-air Gestures Around Unmodified Mobile Devices, *Proc. 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '14*, New York, NY, USA, pp.319-329, ACM (online), DOI: 10.1145/2642918.2647373 (2014).
- [12] Low, S., Sugiura, Y., Lo, D. and Inami, M.: Pressure Detection on Mobile Phone by Camera and Flash, *Proc. 5th Augmented Human International Conference, AH '14*, New York, NY, USA, pp.11:1-11:4, ACM (online), DOI: 10.1145/2582051.2582062 (2014).
- [13] Manabe, H.: Multi-touch Gesture Recognition by Single Photoreflector, *Proc. Adjunct Publication of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '13 Adjunct*, New York, NY, USA, pp.15-16, ACM (online), DOI: 10.1145/2508468.2514933 (2013).



山下 大輔 (学生会員)

2016年同志社大学理工学部インテリジェント情報工学科卒業。同年同志社大学大学院理工学研究科修士課程入学。モバイル端末における照度センサを用いたハンドジェスチャ認識手法の研究に従事。



間 博人 (正会員)

博士(政策・メディア)。同志社大学理工学部インテリジェント情報工学科助教。センサネットワーク、ユビキタスコンピューティング、通信プロトコル等の研究に従事。電子情報通信学会、ACM各会員。



山本 泰士

2017年同志社大学理工学部インテリジェント情報工学科卒業。同年同志社大学大学院理工学研究科修士課程入学。拡張現実を用いた紙の触感を持つ電子書籍閲覧システムの研究に従事。



本田 雄亮 (学生会員)

2017年同志社大学理工学部インテリジェント情報工学科卒業。同年同志社大学大学院理工学研究科修士課程入学。照明を用いたセンサネットワークにおける新たな時刻同期手法の研究に従事。



三木 光範 (正会員)

工学博士。同志社大学理工学部教授。研究分野はシステム工学、最適化、並列処理等。最近は並列処理と最適化を組み合わせた技術をオフィス照明の分野に展開し、知的照明システムを研究・開発している。IEEE, 人工知能学会, システム制御情報学会, 日本機械学会, 計算工学会等各会員。超並列計算研究会代表。経済産業省産業技術審議委員等歴任。知的オフィス環境コンソーシアム会長。