

修士論文

モバイル端末の照度センサでの 明暗変化を用いた ハンドジェスチャインターフェースの検討

Hand Gesture Interface Using Light-dark Change in
the Illuminance Sensor of a Mobile Terminal

同志社大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻
博士前期課程 2013年度 129番

本谷 陽

指導教授 三木 光範教授

2015年1月22日

Abstract

In this paper, we investigate a hand gesture interface using light-dark changes in the illuminance sensor built into smartphones and tablet terminal. By recognizing a Hand gesture from changes of the acquired illuminance values with a decision tree learning, we realize a intuitive operation by hand gesture on a mobile terminal. Many studies on hand gesture recognition using mobile terminal have been conducted and realized in different ways. However, most of them are using camera images which need a large amount of computational effort for image analysis to recognize the gestures. In addition, there is a need to consider the privacy if we use the camera images. By using the light-dark changes in illuminance sensor instead of the camera images, the hand gestures is recognized with a small amount of computational effort and more light-weight application operated by hand gestures can be realized. Also, it is unnecessary to consider the privacy. We conducted a experiment and confirmed that it was possible to recognize the five hand gestures on average 95% of recognition rate. Moreover, we confirmed the versatility to unknown users and unknown illuminance environment.

目 次

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | 序論 | 1 |
| 2 | ハンドジェスチャインタフェース | 2 |
| 3 | モバイル端末の照度センサでの明暗変化を用いたハンドジェスチャインタフェース | 3 |
| 3.1 | モバイル端末の照度センサでの明暗変化を用いたハンドジェスチャインタフェースの 基本概念 | 3 |
| 3.2 | ハンドジェスチャの種類 | 3 |
| 3.3 | ハンドジェスチャ認識アルゴリズム | 3 |
| 3.4 | 特徴抽出およびハンドジェスチャの分類 | 4 |
| 4 | ハンドジェスチャ認識精度検証 | 6 |
| 4.1 | 実験概要 | 6 |
| 4.2 | 実験に用いる内蔵照度センサの性能検証 | 6 |
| 4.3 | 実験結果 | 7 |
| 4.4 | 考察 | 7 |
| 5 | ユーザビリティ評価 | 9 |
| 5.1 | 実験概要 | 9 |
| 5.2 | 実験に用いるアプリケーション | 9 |
| 5.3 | 実験結果および考察 | 10 |
| 6 | 提案インターフェースの実利用を想定した考察 | 11 |
| 7 | 結論 | 12 |

1 序論

近年，直感的な操作が可能である NUI (Natural User Interface) が注目を集めている。NUI は，直感的な動作での操作が可能なユーザインタフェースであり，タッチ操作や音声操作といった人間にとつてより自然な動作を用いたコンピュータとのインタラクションを実現する。また NUI の中でも特に，ジェスチャインタフェースに関する研究は広く行われており，多くの研究者が様々なジェスチャ認識手法を提案している¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。Kinect⁵⁾や Leap Motion⁶⁾などに代表されるジェスチャ認識可能なデバイスの開発および商用化も進み，インタラクションをより容易かつ自然なものにしようとする試みが活発に行われている。ジェスチャ認識の技術は，エンターテイメント分野や医療分野などの様々な分野において積極的に活用されている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。

一方，モバイル端末の普及に伴い，これら端末のセンサ情報を活用した研究が増えている。スマートフォンやタブレット端末には，近接センサや加速度センサ，および地軸センサなど多種多様なセンサが組み込まれており，これらセンサは，ユーザの行動推定や屋内位置推定など様々な研究に活用されている。また現在では，運動時の消費エネルギーを計測するアプリケーションや GPS 機能を用いたナビゲーション，端末の傾きに応じて画面を自動的に回転させる機能など，多種多様なサービスが実現されている。

モバイル端末を用いた研究においても，ジェスチャインタフェースに関する研究が行われている。その中でも，手の動きを認識するハンドジェスチャインタフェースに関する研究が広く行われており，モバイル端末の RGB カメラを用いてハンドジェスチャを認識する手法¹⁰⁾，マイク等を用いて机を擦るジェスチャを認識する手法¹¹⁾など，様々な認識手法が提案されている。しかしながら，これら手法は，モバイル端末以外に追加のデバイスを必要とするために導入コストが高くなる，または，カメラ画像を用いてジェスチャ認識を行うために計算量が多くなる，といった問題点が挙げられる。

本論文では，モバイル端末に内蔵された照度センサ（以下，内蔵照度センサと称す）での明暗変化を用いたハンドジェスチャインタフェース Hand Gesture Interface using Light-dark changes in a Illuminance sensor (HGI/LI) を提案し，HGI/LI のハンドジェスチャ認識精度を検証する。また，被験者実験を行い，HGI/LI のユーザビリティを評価する。

本論文の構成を以下に示す。第 2 章では，ハンドジェスチャインタフェースに関する先行研究について述べる。第 3 章では，HGI/LI で実現するジェスチャや認識アルゴリズムについて述べる。第 4 章では，HGI/LI のハンドジェスチャ認識精度について検証し，ユーザや照度環境に対する汎用性を評価する。第 5 章では，被験者実験を行い，HGI/LI のユーザビリティを評価する。第 6 章では，HGI/LI の実利用を想定した考察を行う。最後に第 7 章で本論文のまとめおよび今後の課題について言及する。

2 ハンドジェスチャインタフェース

近年，モバイル端末を用いたハンドジェスチャインタフェースに関する研究が活発に行われている。SideSwipe¹⁰⁾では，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，端末の上だけでなく周囲のハンドジェスチャの認識を実現する。

Surface Link¹¹⁾は，スマートフォンに内蔵された加速度センサ，振動モータ，スピーカおよび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および交換を実現する。しかし，これらの研究は，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の装置が必要となり，システムの導入コストが高い。そのため，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にもよるが，モバイル端末のみで完結する手法が望まれる。

本論文で提案する HGI/LI は，ハンドジェスチャを認識するために，単体のモバイル端末のみを用いる。そのため，上記関連研究に比べ，導入コストを抑えることができる。

Song¹²⁾らは，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，画像を解析する際に必要な計算量が多く，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。

HGI/LI は，内蔵照度センサを用い，少ない計算量でのハンドジェスチャの認識を行う。これにより，より軽量なアプリケーションが実現可能となる。また，カメラ画像を用いた手法とは異なり，プライバシーについても考慮する必要がなくなる。次章より，HGI/LI の基本概念およびハンドジェスチャ認識アルゴリズムについて説明する。

3 モバイル端末の照度センサでの明暗変化を用いたハンドジェスチャインタフェース

3.1 モバイル端末の照度センサでの明暗変化を用いたハンドジェスチャインタフェースの基本概念

スマートフォンやタブレット端末には、近接センサおよび加速度センサなどの多種多様なセンサが組み込まれている。照度センサもまた、端末のディスプレイ輝度の調節を目的に、モバイル端末に内蔵されている。本研究では、この内蔵照度センサを用いて照度情報を取得し、照度値の変化からハンドジェスチャを検知および認識するハンドジェスチャインタフェース、HGI/LIを提案する。

3.2 ハンドジェスチャの種類

HGI/LIは、Hide ジェスチャ、Roll ジェスチャ、Up ジェスチャ、Down ジェスチャ、および Slash ジェスチャの5つのハンドジェスチャの認識を実現する。各ハンドジェスチャの図を Fig. 1 - 5 に示す。

Roll ジェスチャは、内蔵照度センサの上で手を一回転させる動作である。また、Slash ジェスチャは、手を水平方向に移動させる動作である。これらのジェスチャは、ウィンドウやモードの切り替え、および水平方向のスワイプとしての利用に適していると考えられる。

Up ジェスチャは、手を押し出しながら上げる動作である。また、Down ジェスチャは、手を下げながら手前に引く動作である。これらのジェスチャは、操作対象の設定値を上げるもしくは下げる、または垂直方向のスワイプとしての利用に適していると考えられる。

Hide ジェスチャは、照度センサを手で隠す動作である。他のジェスチャに比べて照度値の振幅が大きく、照度値がほぼ0となる。モードの切り替えや On/Off のスイッチなどに利用できると考えられる。

3.3 ハンドジェスチャ認識アルゴリズム

本節では、HGI/LIのハンドジェスチャ認識アルゴリズムについて述べる。ハンドジェスチャ認識アルゴリズムを以下に示した後、各ステップについて説明する。

- (1) 内蔵照度センサ上での照度変化を検知し、照度値を取得する
- (2) 閾値以上の照度変化が生じた場合、その地点から再び照度値が元の照度値にて安定するまでのデータセットを検出する
- (3) 検出したデータセットを操作モード切り替え用ジェスチャまたは外乱に分類する
- (4) モード切り替え用ジェスチャに分類された場合は操作モードに移行してステップ(5)に進み、外乱に分類された場合はステップ(1)に戻る
- (5) ステップ(1)同様、内蔵照度センサ上での照度変化を検知し、照度値を取得する

- (6) ステップ(2)同様，閾値以上の照度変化が生じた場合，その地点から再び照度値が元の照度値にて安定するまでのデータセットを検出する
- (7) 分類モデルに基づき，検出したデータセットを分類する
- (8) 操作モード切り替え用ジェスチャに分類された場合は操作モードから抜けてステップ(1)に戻り，その他ジェスチャに分類された場合は割り当てられた操作を実行する
- (9) モード切り替え用ジェスチャを認識するまでステップ(5)-(8)を繰り返す

HGI/LI はまず，内蔵照度センサ上での照度変化を検知し，照度値を取得する．照度値を取得する際，照明の点灯光度を一定に保っている場合であってもセンサの取得値にゆらぎが生じるが，予備実験の結果から閾値を設定することで対応する．照度値の変化幅が閾値以下である場合は，照明の点灯光度が一定に保たれ，かつハンドジェスチャが行われていない状態であると判断する．また，照度値の変化幅が閾値以上である場合，その地点から照度値が再び一定に保たれるまでのデータセットを検出する．検出したデータセットから特徴を抽出し，抽出した特徴および事前に機械学習によって得た分類モデルを用いて，ハンドジェスチャの認識を行う．なお，特徴抽出およびハンドジェスチャの分類の詳細については，次節で述べる．

ステップ(3)(8)およびステップ(9)について述べる．照度センサの明暗変化を用いてハンドジェスチャ認識を行う場合，他の手法同様，外乱について検討する必要がある．照度センサは，端末の傾きによる明暗の変化を検知し，また人や資料の影などによる影響も受ける．本インターフェースでは，ハンドジェスチャ認識の精度を上げるために，操作モードを用意した．操作モードは，ステップ(5)からステップ(9)にあたる．操作モード切り替え用ジェスチャを用いて操作モードに入った後，その他のハンドジェスチャによる操作を可能とする．なお，本研究では，操作モード切り替え用ジェスチャとして Hide ジェスチャを採用する．Hide ジェスチャによる操作を行際，照度値の波の振幅が大きく，照度値がほぼ 0 となるため，その他ジェスチャだけでなく外乱との分類も可能であると考えられる．

本インターフェースでは，光環境の変化についても考慮する必要がある．光環境の変化は，ユーザが光環境の異なる部屋に移動した場合，または調光可能な照明を使用している環境において照明の点灯光度を変更した場合に生じる．なお，ここでの光環境とは，照度環境を指す．これは，照度値の変化幅が一定時間以上閾値以下で安定した場合に，その時点で検知しようとしていたデータセットをリセットし，ステップ(2)の場合はステップ(1)，ステップ(6)の場合はステップ(5)に戻ることで対応できる．

3.4 特徴抽出およびハンドジェスチャの分類

ハンドジェスチャによる操作が実行されると，内蔵照度センサの取得値が変化し，照度値の波が生じる．この波をジェスチャとして検知し，特徴を抽出する．

HGI/LI では，照度値の波の数，および下記の式(3.1)-(3.3)に示す D , S , T_t の計 4 種類の特徴を抽出する．

$$D = \frac{A}{I} \quad (3.1)$$

$$S = \left| \frac{A}{T_s} \right| - \frac{A}{T_e} \quad (3.2)$$

$$T_t = T_s + T_e \quad (3.3)$$

A : 振幅, I : 現在の照度環境 [lx]

T_s : 波の開始地点から最深地点までの時間 [ms]

T_e : 波の最深地点から終了地点までの時間 [ms]

抽出した特徴を用いてハンドジェスチャの分類を行う。分類には、決定木学習を用いる。決定木は、根ノード、分割ノードおよび葉ノードによって構成される。根ノードから分類を開始し、それぞれの分割ノードは、学習結果に基づいて入力値を子ノードの一つに振り分け、これを葉ノードまで繰り返すことで分類を行う。

決定木学習は、分類精度の高い手法ではないが、人間にも理解しやすく、可読性に優れているという特徴を持っており、最も広く利用されている学習手法のひとつである。また、他の手法と比較して分類する際に必要な計算量が少なく、分類速度が速いという特徴がある。本研究では、前述した4つの特徴に基づいた浅い決定木を用いてハンドジェスチャを分類することで、より少ない計算量でのハンドジェスチャ認識を実現する。HGI/LIは、バッテリー制限のあるモバイル端末に有効なインターフェースである。

4 ハンドジェスチャ認識精度検証

4.1 実験概要

HGI/LI のハンドジェスチャ認識精度について、検証実験を行った。実験環境を Fig. 6、実験風景を Fig. 7 に示す。実験は、LED 照明 9 灯の中央の照明の直下に机を設置し、机上面にモバイル端末を置いて実験を行った。照明器具の設置間隔は、一般的なオフィスと同じ 1.8 m である。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後、実験を行った。

実験では、第 3 章に示した 5 つ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 1000 lx, 700 lx, 500 lx, および 300 lx に変更して実験を行った。これを計 10 回繰り返す。つまり、 $7(\text{被験者数}) \times 5(\text{ジェスチャの種類}) \times 10(\text{繰り返し回数}) \times 4(\text{照度パターン数}) = 1400$ 個のデータを集め、精度検証の評価に用いる。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た。

また、認識精度検証実験を行うにあたり、予備実験として、実験に使用するモバイル端末の内蔵照度センサの性能検証実験を行った。実験に用いる使用端末とその内蔵照度センサの性能について次節で述べた後、認識精度検証実験の結果を示す。

4.2 実験に用いる内蔵照度センサの性能検証

本節では、ハンドジェスチャの認識精度検証実験に用いるモバイル端末の性能を調査するために行った、内蔵照度センサの性能検証実験について述べる。内蔵照度センサの性能検証実験は、内蔵照度センサの取得値と照度計を用いて計測した照度値を比較する実験、および内蔵照度センサの反応性能を評価する実験を行った。なお、本研究ではモバイル端末として、タブレット端末である Nexus 7 (2012 年モデル) を用いた。

内蔵照度センサの取得値と照度計の測定値の比較実験について述べる。本実験は、照度計およびモバイル端末を机上面に設置し、直上の照明を 1 灯だけ点灯して行った。実験に用いた照明器具は、256 段階での調光が可能であり、この各段階における明るさを内蔵照度センサおよび照度計を用いて計測した。計測には、照度計として ANA-F11 (東京光電製: JIS C 1609-2 に準拠) を用い、内蔵照度センサの出力値は、タブレット端末に対して著者が作成したアプリケーションにより取得した。

内蔵照度センサの取得値と照度計の測定値の比較を Fig. 8 に示す。横軸は照度計の計測値、縦軸は内蔵照度センサの取得値を示している。なお、結果を見やすくするために、Fig. 8 はプロット数を減らして示している。実験の結果、内蔵照度センサの取得値は、照度計の測定値と比べて大きな値ではあったが、照度計の測定値との間に線形性が確認できた。

内蔵照度センサの反応性能検証実験について述べる。本実験では、内蔵照度センサが照度値を取得する時間の間隔および正しい値に収束するまでにかかる時間について検証した。前述した内蔵照度センサの取得値と照度計の測定値の比較実験と同様に、照度計およびモバイル端末を机上面に設置し、直上の照明を 1 灯だけ点灯して実験を行った。

実験では、まず照明を一定の光度で点灯し、後に照明の点灯光度を上げることで、調光信号を照明

に送信した時点から，内蔵照度センサの取得値が一定値に収束するまでの時間を測定した．点灯光度は，照明の最大点灯光度の 30%から 90%に上げた．また，正確な照度変化を測定するため，Panasonic 社製の NaPiCa 照度センサ¹³⁾での測定も同時に行った．なお本センサは，約 1.2 ms 間隔で照度値の取得が可能である．

実験結果を，Fig. 9 に示す．横軸は調光信号を照明に送信した時刻からの経過時間，縦軸は内蔵照度センサの取得値を示している．実験の結果，内蔵照度センサは約 50 ms 間隔での照度情報の取得が可能であり，調光信号を照明に送信してから照度値が一定値に収束するまでには，約 200 ms の時間を要することがわかった．次節では，この内蔵照度センサを用いて行ったハンドジェスチャの認識精度検証実験の結果を示す．

4.3 実験結果

評価は，全被験者のデータを用いた Leave-one-out Cross Validation (LOOCV) による評価，被験者ごとのデータを用いた LOOCV による評価，Leave-one-subject-out Cross Validation (LOSOCV) による評価，および Leave-one-illuminance-out Cross Validation (LOIOCV) による評価の 4 つのパターンで行う．

被験者ごとのデータを用いた LOOCV は，テストデータおよび訓練データの両方を一人の被験者のデータのみで構成し，被験者ごとの分類精度を評価する．LOSOCV は，被験者ごとにデータを分割し，ある被験者 1 人のデータをテストデータ，その他の被験者のデータを訓練データとする．LOSOCV による評価を行うことで，未知のユーザに対する汎用性を評価する．LOIOCV は，照度環境ごとにデータを分割し，ひとつの照度環境におけるデータをテストデータ，その他照度環境におけるデータを訓練データとする．LOIOCV による評価を行うことで，未知の照度環境に対する汎用性を評価する．

全被験者のデータを用いた LOOCV の結果を Table 1，その他の結果を Table 2 に示す．Table 1 は，全てのハンドジェスチャの認識率を混同行列で示している．また，Table 2 における Per User は，被験者ごとのデータを用いた場合の LOOCV の結果を指す．

Table 1 より，HGI/LI が高い認識率でハンドジェスチャを認識していることがわかる．本研究では，4 つの特徴に基づく浅い決定木のみを用いて分類したが，平均で 95.3%と高い正確性を示し，それぞれのジェスチャにおいても全て 93.6%以上の精度を示している．また，Table 2 より，全ジェスチャにおいて，Per User は 91.8%以上，LOSOCV は 90%以上，および LOIOCV は 94.3%以上の高い精度でジェスチャを分類していることがわかる．

4.4 考察

本実験で集めた 1400 個のデータを用いて作成した決定木を Fig. 10 に示し，HGI/LI においてハンドジェスチャ認識精度が下がる原因について述べる．実験の結果，被験者 1 名のみ，Hide ジェスチャの認識率が低かった．これは，ジェスチャを行う際に，ジェスチャの実行速度が速い，もしくは指を開いているためだと考えられる．本研究で用いているタブレット端末は，前述のとおり，正しい値に収束するまでに約 200 ms の時間を要する．また，Fig. 10 より，Hide ジェスチャとその他ジェスチャの分類は，D によって行われていることがわかる．そのため，ジェスチャの実行速度が速く，照度値

が下がりきる前にジェスチャを終えた場合，その他のジェスチャと誤認識する場合があると考えられる。指を開いている場合も同様に，照度値が下がりきらず，誤認識に繋がる場合があると考えられる。

Table 1 より，Up ジェスチャおよび Down ジェスチャを Slash ジェスチャであると誤認識する確率が，その他の誤認識率と比較して高いことがわかる。また Fig. 10 より，HGI/LIにおいて，Up ジェスチャおよび Down ジェスチャと Slash ジェスチャの分類は，その大部分が T_t によって行われていることが確認できる。そのため，これは Up ジェスチャもしくは Down ジェスチャの実行速度が速いのために生じた誤認識だと考えられる。一方，Slash ジェスチャを Up ジェスチャおよび Down ジェスチャと誤認識する場合も確認した。これは，Slash ジェスチャを丁寧に行いすぎることによって，ジェスチャ速度が遅くなつたためだと考えられる。

HGI/LI におけるハンドジェスチャ認識の未知のユーザに対する汎用性について述べる。本実験では，未知のユーザに対する汎用性を評価するために LOSOCV を行った。LOSOCV の結果，全ジェスチャにおいて，被験者ごとのデータを用いた LOOCV の結果よりも認識率が低かったが，平均 94.3% と高い正確性を示している。この結果から，HGI/LI は未知のユーザに対する高い汎用性があると考えられる。しかしながら，LOSOCV は，被験者の人数分にデータを分割し，本実験ではテストデータを変更しながら 7 回評価を行い，その平均を結果として示しているが，その 7 回の内の特定の 1 回の認識率，つまりある特定の被験者のデータをテストデータとした場合の認識率が，全ジェスチャの平均で 80.5% と低かった。特に，Slash ジェスチャの認識率が低く，60.0% しかなかった。

一方，同被験者のみのデータを用いた LOOCV の結果は，全ジェスチャの平均で 95.0%，Slash ジェスチャの認識率も 95.0% であった。これは，オンライン学習を用いることで解決できる。LOOCV では良い結果を示していることから，学習データに実際のユーザのデータを含めることで，高い認識率が確保できると考えられる。

また LOIOCV の結果，平均 96.4% と高い正確性を示していることから，HGI/LI を使用する環境の照度値が，本実験で用意した照度環境と異なる場合であっても，300 lx から 1000 lx の間であれば HGI/LI でのハンドジェスチャによる操作が可能であると考えられる。

5 ユーザビリティ評価

5.1 実験概要

本章では、22～24歳の学生8名に対して被験者実験を行い、HGI/LIにおける各ジェスチャのユーザビリティを評価する。また、実験後に被験者に対してアンケートおよびインタビューを行い、HGI/LIの現状および応用例等について検討する。

本実験ではまず、被験者に対して約5分間のデモンストレーションを行った。そして、実際に被験者にHGI/LIを利用してもらい、それぞれのジェスチャに対する主観的なアンケートおよびインタビューを行った。アンケートは5段階リッカート尺度で構成されており、各ジェスチャの容易性に対する評価を行った。実験環境は、前章の精度検証実験と同じである。照度環境は700 lxとした。実験風景をFig. 11に示す。なお、実験で使用するアプリケーションの詳細は次節にて述べる。

5.2 実験に用いるアプリケーション

ユーザビリティ評価を行うため、HGI/LIを実装し、ジェスチャの分類結果をPCのディスプレイに表示するアプリケーションを作成した。本節では、作成したアプリケーションにおけるジェスチャの分類方法について述べる。

本アプリケーションにおいて、Hideジェスチャを操作モード切り替え用ジェスチャに採用した。そのため、アプリケーションを作成する前に、Hideジェスチャとその他外乱との分類を行うための予備実験を行った。予備実験は、Fig 6に示す実験環境で行った。

予備実験ではまず、3人の被験者に協力してもらい、ジェスチャ認識に影響を与える外乱データを集めた。本実験では、以下の動作を行った際に生じる照度変化を外乱データとして集めた。

- タブレットのディスプレイを覗き込む動作
- その場で起立し着席する動作
- 離席する動作
- 着席する動作
- 机の横を通り過ぎる動作
- 紙をタブレットの上を通過させる動作
- タブレットを傾ける動作

動作速度を変化させながら上記動作を5回ずつ、3人の被験者に繰り返してもらった。つまり、3(被験者数)×7(動作の種類)×5(繰り返し回数)=105個のデータ集めた。そして、前章で集めた照度環境700 lxにおけるHideジェスチャのデータとこの外乱データを用いて学習を行い、決定木を作成した。

本アプリケーションでは、この決定木を用いて、操作モード切り替え用ジェスチャとその他外乱データを分類する。また、作成したアプリケーションでの各ジェスチャの分類は、前章の実験で示した1400個のデータを基に作成した決定木を用いて行う。

5.3 実験結果および考察

実験の結果、単一の内蔵照度センサのみを用いて5種類のジェスチャを認識することに対して興味を示した被験者が多かった。また、HGI/LIを触り始めたばかりの時点では、誤認識を繰り返す被験者もいたが、一旦 HGI/LI の仕組みを学習すると、スムーズにジェスチャを行えるようになった。チュートリアルを用意すれば、HGI/LI は多くのユーザに利用可能なインターフェースだと考えられる。

次に、各ジェスチャの容易性に関するアンケート結果を Fig. 12 に示す。Fig. 12 より、Hide ジェスチャおよび Slash ジェスチャは高い評価を得ているのに対して、その他3種類のジェスチャの評価は4未満であることがわかる。Up ジェスチャおよび Down ジェスチャに関しては、肘、手首、および指を同時に動かすことが少し大変である、手を引いたり手を押し出すといった奥行きのある動作が大変だと感じる、といった意見があった。Roll ジェスチャに関しては、インターラクションタイムが長い、左右だけでなく上下の動きを含む動作は面倒であるという意見があった。また Roll ジェスチャは、手で円を描きながら内蔵照度センサの上を 1.5 回往復する動作であり、照度値の波の数を用いて、その他ジェスチャと分類分けされている。そのため、ユーザの手が内蔵照度センサの上を 3 回通りすぎなければ、その他ジェスチャと誤認識し、これを難易度が高い、と感じた被験者が複数人いた。今後、これらの意見を踏まえて、HGI/LI を利用した具体的なアプリケーションを作成し、操作対象が同じであるその他インターフェースと比較した実験を行った上で、再度ユーザビリティを評価する必要があると考える。

また、PC やモバイル端末内のアプリケーションを操作するために、ジェスチャ操作は不要であり、タッチ操作やその他既存のインターフェースを使いたいという意見があった。しかし一方で、手が汚れているもしくは濡れているなど、端末に触れたくない状況では、PC やモバイル端末内のアプリケーションもジェスチャで行いたいという意見があった。これは、HGI/LI に限らずその他ジェスチャ操作可能なインターフェースに言えるが、ユーザが置かれている状況によっては、HGI/LI を利用したい場合が存在することがわかる。

他には、モバイル端末の内蔵照度センサではなく、NaPiCa 照度センサなどを何かに埋め込み、その上でジェスチャを認識することで、省スペース化できるのではないかという意見があった。本研究では、近年急速に普及しているモバイル端末に内蔵されたセンサを用いることで、導入コストが不要になると想え、HGI/LI を提案した。しかしながら、上記意見のように HGI/LI を応用することで、利用シーンが更に拡大すると考えられる。また、NaPiCa 照度センサは小型且つ安価であるため、コストを抑えることが可能であり、単一ではなく複数の照度センサを用いることで、たとえば Slash ジェスチャの場合ジェスチャがどちら向きに行われているか、その方向を認識することができ、HGI/LI の様々な応用が期待できる。

6 提案インターフェースの実利用を想定した考察

ハンドジェスチャの精度検証実験の結果、5種類のハンドジェスチャを高い精度で認識することができた。しかし、提案インターフェースの実現可能性は、照度センサの照度値取得速度によって大きく変化する。照度センサの照度値取得速度は、端末の機種に依存し¹⁴⁾、機種によってはHGI/LIを実現できない場合がある。また、モバイル端末の照度センサは画面輝度の調節が目的であるため、今後性能が向上するとは限らない。今後開発されるスマートフォンやタブレット端末も含めて、提案インターフェースを実現できる機種とそうでない機種に分類する必要がある。

また、照度環境によって認識精度は変化すると考えられる。本研究では、照明の直下にモバイル端末を設置して実験を行い、高い認識精度を示したが、照明との距離および角度によってジェスチャの認識精度がどう変化するか検討する必要がある。内蔵照度センサによっては、照明との位置関係によってセンサの感度も異なる¹⁴⁾ため、各機種の内蔵照度センサの性能評価を行った後、提案インターフェースの制限について検証する必要がある。

7 結論

本研究では、モバイル端末に内蔵された照度センサでの明暗変化を用いたハンドジェスチャインタフェース HGI/LI について検討した。ジェスチャインタフェースに関する研究では、赤外線カメラや深度センサを用いてジェスチャを認識する場合が多い。しかし、これらのインターフェースは、専用のデバイスが必要とする。HGI/LI は、近年急速に普及しているモバイル端末に内蔵された照度センサを用いるため、導入コストを抑えることができる。また、モバイル端末に内蔵された RGB カメラを用いてハンドジェスチャを認識する研究も行われているが、HGI/LI は、照度センサでの明暗変化を用い、浅い決定木のみで分類することで計算量を削減し、より軽量なアプリケーションを実現する。また、HGI/LI ではプライバシーについて考慮する必要がない。ハンドジェスチャ認識の精度検証実験の結果、全ジェスチャにおいて 93.6% 以上の高い認識率で認識できることがわかった。照度情報から 4 種類の特徴に基づいた浅い決定木を用いて、5 つのハンドジェスチャが分類できることを確認した。

謝辞

本研究を遂行するにあたり，多大なる御指導そして御協力を頂きました，同志社大学理工学部の三木光範教授に心より感謝致します．また，貴重な御指摘，御助言を頂きました，同志社大学理工学部の間博人助教に心より感謝致します．

本研究を実施および本論文の執筆にあたり，多大な御協力を頂きました，知的システムデザイン研究室の市川燿氏に心より感謝致します．

快適な研究生活を送るために様々な御助力を頂きました，正木羊子氏に心より感謝致します．

最後に，本研究を実施するにあたり，理解と献身的な協力を頂きました両親，友人に感謝致します．

参考文献

- 1) Shotton J. and Fitzgibbon A. W. and Cook M. and Sharp T. and Finocchio M. and Moore R. and Kipman A. and Blake A. , "Real-time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images , "Commun. ACM 56 , vol.1 , pp.116-124 , 2013
- 2) Cohn G. and Morris D. and Pate S. and Tan D. , "Humantenna: Using the Body as an Antenna for Real-time Whole-body Interaction," , "In Proc CHI 2012 , pp.1901-1919
- 3) Gupta S. and Morris D. and Patel S. and Tan D. , "Soundwave: Using the Dopper Effect of Sense Gestures , "In Proc CHI 2012 , vol.1 , no.1322 , pp.1911-1914
- 4) Harrison C. and Tan D. and Morris D., "Skinput: Appropriating the Body as an Input Surface, "In Proc CHI 2010, pp.456-462
- 5) Shotton J. and Fitzgibbon A. and Cook M. et al, "Real-time human pose recogniition in parts from single depth images, "In Proc CVPR 2011, pp.189-192
- 6) Leap Motion, <https://www.leapmotion.com/>
- 7) Lee J. and Olwal A. and Ishii H. and Boulanger C., "SpaceTop: Integrating 2D and Spatial 3D Interactions in a See-through Desktop Environment, "In Proc CHI 2013, pp.189-192
- 8) Taylor S. and Keskin C. and Hilliges O. and Izadi S. and Helmes J., "Type-hover-swipe in 96 Bytes: A Motion Sensing Mechanical Keyboard, "In Proc CHI 2014, pp.1695-1704
- 9) Juan W. and Helman S. and Yael E. and Michael G. and Craig F. and Mark S. and Jon H., "A Real-Time Hand Gesture Interfece for Medical Visualization Applications, "Applications of Soft Computing, pp.153-162
- 10) Zhao C. and Chen K. and Aumi M. T. I. and Patel S. and Reynolds M. S., "SideSwipe : Detecting in-air Gestures Around Mobile Devices Using Actual GSM Signals, "In Proc UIST 2014, pp.527-534
- 11) Goel M. and Lee B. and Aumi I. T. Md. and Patel S. and Borriello G. and Hibino S. and Begole J., "SurfaceLink: Using Inertial and Acoustic Sensing to Enable Multi-device Interaction on a Surface, "In Proc CHI 2014, pp.1387-1396
- 12) Song J. and Sörös Gábor and Pece F. and Fanello S. R. and Izadi S. and Keskin C. and Hilliges O., "In-air Gestures Around Unmodified Mobile Devices, "In Proc UIST 2014, pp.319-329
- 13) Panasonic:照度センサ NaPiCa, http://www3.panasonic.biz/ac/download/control/\sensor/illuminance/catalog/bltn_jpn_ams.pdf.

- 14) Miki M. and Kuwajima S. and Ikegami H. and Matsushita S. and Azuma Y. and Aida Hiroto.,
"An Intelligent Lighting System using a Smartphone as an Illuminance Sensor," In Proc ICAI
2014, pp.548-554

付 図

| | | |
|----|---|---|
| 1 | Slash gesture | 1 |
| 2 | Roll gesture | 1 |
| 3 | Up gesture | 2 |
| 4 | Down gesture | 2 |
| 5 | Hide gesture | 3 |
| 6 | Experimental environment | 3 |
| 7 | Experimental situation on recognition accuracy | 4 |
| 8 | Comparison of illuminance values mesured by mobile terminal and illuminance metor | 4 |
| 9 | Reaction performance of built-in illuminance sensor | 5 |
| 10 | Dicision tree of 1400 data collected in the experiment | 5 |
| 11 | Experimental situation on usability evaluation | 6 |
| 12 | Evaluation for easiness of each gesture | 6 |

付 表

| | | |
|---|--|---|
| 1 | Confusion matrix for 5 recognized gestures (LOOCV) | 7 |
| 2 | Results Per User, LOSOCV, and LOIOCV | 7 |

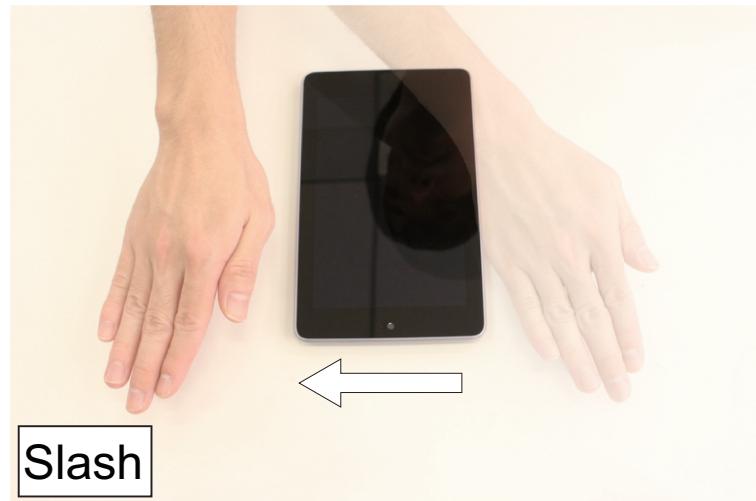


Fig. 1 Slash gesture

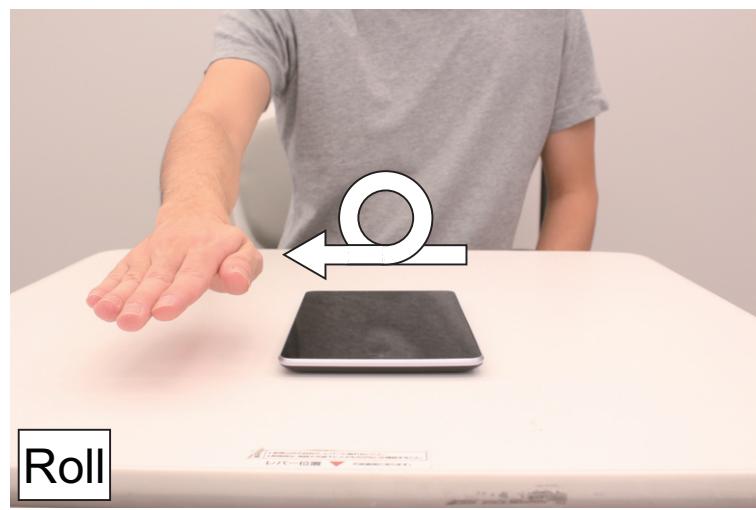


Fig. 2 Roll gesture

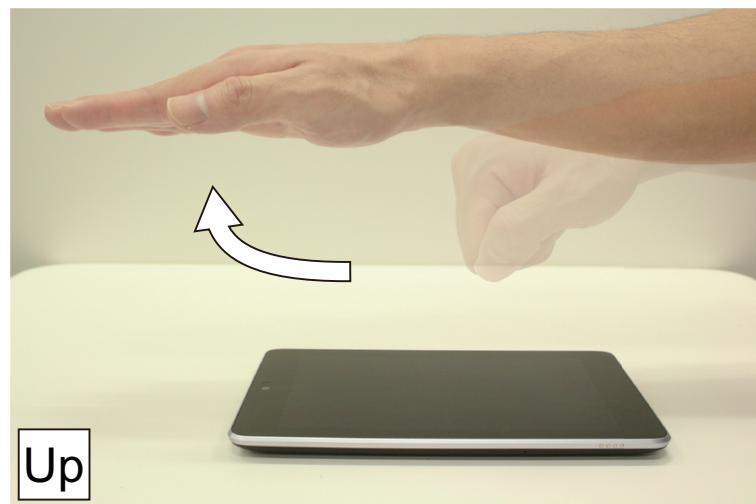


Fig. 3 Up gesture

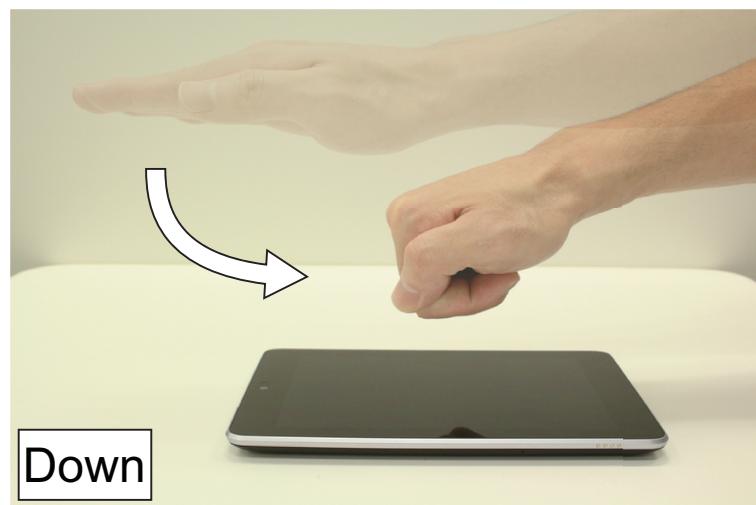


Fig. 4 Down gesture



Fig. 5 Hide gesture

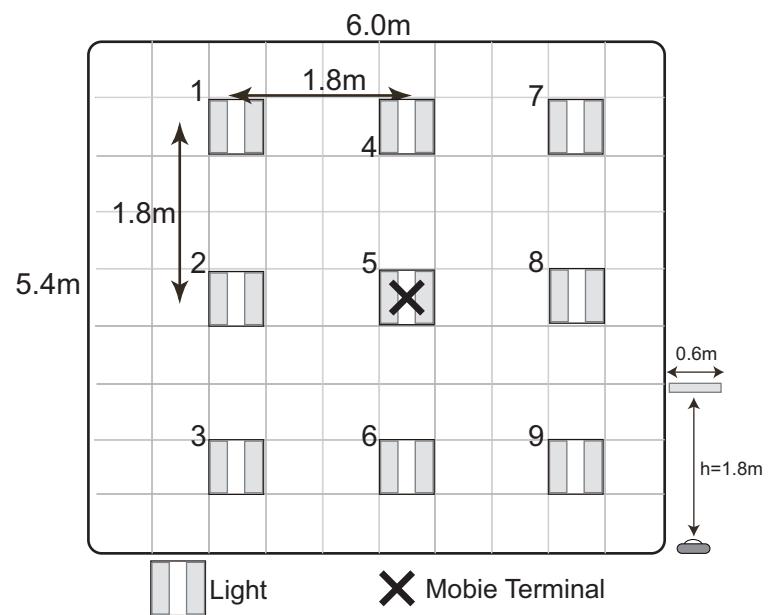


Fig. 6 Experimental environment



Fig. 7 Experimental situation on recognition accuracy

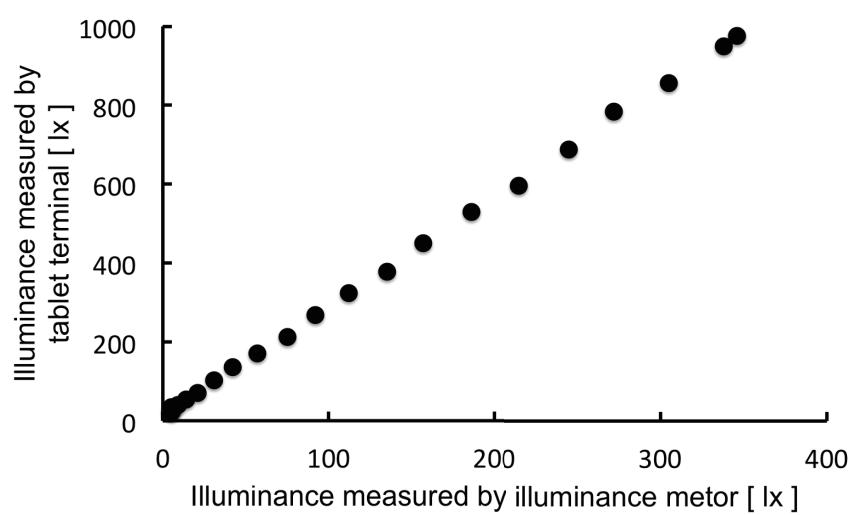


Fig. 8 Comparison of illuminance values measured by mobile terminal and illuminance meter

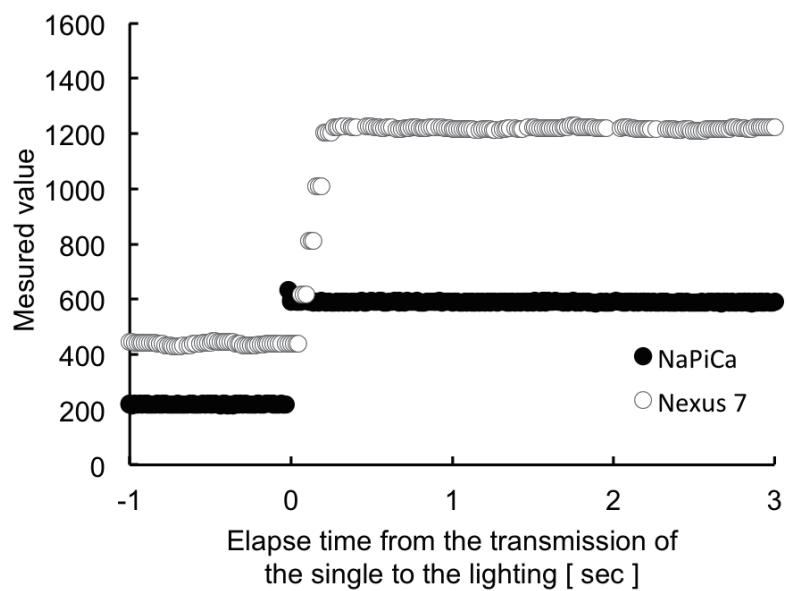


Fig. 9 Reaction performance of built-in illuminance sensor

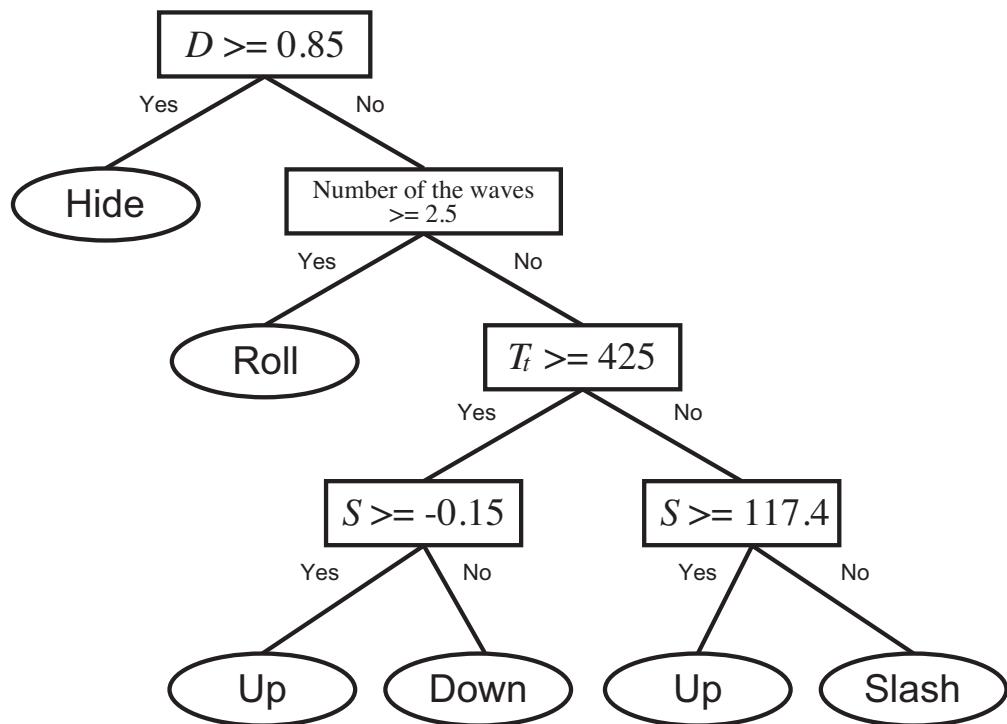


Fig. 10 Dicision tree of 1400 data collected in the experiment



Fig. 11 Experimental situation on usability evaluation

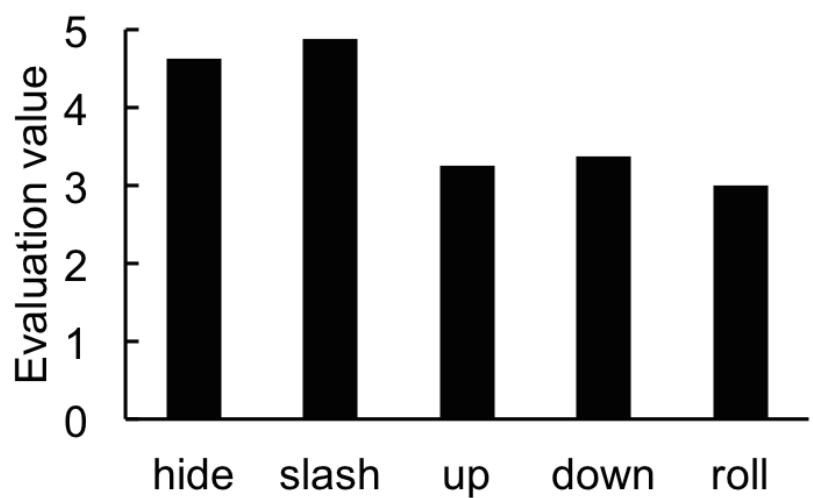


Fig. 12 Evaluation for easiness of each gesture

Table 1 Confusion matrix for 5 recognized gestures (LOOCV)

| | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hide | 96.8% | 0% | 2.1% | 1.1% | 0% |
| Roll | 0% | 95.4% | 2.9% | 1.4% | 0.4% |
| Up | 0.7% | 0% | 94.3% | 0.4% | 4.6% |
| Down | 1.4% | 0% | 1.4% | 93.6% | 3.6% |
| Slash | 0% | 0% | 3.2% | 0.4% | 96.4% |

Table 2 Results Per User, LOSOCV, and LOIOCV

| | Hide | Roll | Up | Down | Slash | Average |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Per User | 97.5% | 98.6% | 91.8% | 98.2% | 96.4% | 96.5% |
| LOSOCV | 95.4% | 96.1% | 90.0% | 96.8% | 91.8% | 94.0% |
| LOIOCV | 96.1% | 98.2% | 94.3% | 97.9% | 95.4% | 96.4% |