



# 手首一周型ディスプレイ装着時の常時視認可能な 情報表示位置の動的推定手法

谷田 佑貴<sup>\*1</sup> 小枝 功次郎<sup>\*2</sup> 藤波 香織<sup>\*3</sup>

## A study on visible position estimation on a wrist-worn device for continuous information notification

Yuki Tanida<sup>\*1</sup>, Kojiro Koeda<sup>\*2</sup> and Kaori Fujinami<sup>\*3</sup>

**Abstract** - Various types of displays (flexible, stretchable, etc.) have been developed. It is expected that we will attach these displays on a body. This advantage is that we can acquire information in real time and the range of screen increase. However, it may be difficult to acquire information depending on user posture and action, because the range of the displays is wide. I proposed the method to estimate visible position by using 12 acceleration sensors. I made a prototype system and evaluate method to estimate visible position by use this. As a result of evaluation experiment, lighting rates of the most suitable position and visible position are 90.4% and 46.5%. We know that precision of visible position estimate improves 0.114 and 4 acceleration sensors can be reduced by adding new characteristic. In the future study, I will display in the Two-dimension, improve of the estimate method, and reduce the number of acceleration sensors.

**Keywords:** wearable, flexible display, machine learning.

### 1. はじめに

近年、フレキシブルディスプレイと呼ばれる伸縮や曲折が可能な柔軟なディスプレイが開発され、注目を集めている。ウェアラブル端末へのフレキシブルディスプレイの利用により、腕や服に身につけることで、保持場所に困らず持ち運びに優れるという利点が生じる。既に製品として、曲面ディスプレイを用いたスマートフォン[1]は実用化、ディスプレイを直接腕に巻くことが可能なスマートフォン[2]やフレキシブルディスプレイを用いたウェアラブルデバイス[3]も続々と開発されている。現在、手首装着型のデバイスとして、スマートウォッチが実用化されているが、画面範囲が小さいために情報の閲覧が困難であり、操作性に優れないといった問題が考えられる。一方、上述のフレキシブルディスプレイで可能になる「手首一周型ディスプレイ」は、画面範囲が拡大する。しかし、画面範囲の拡大に応じて情報の表示位置が多様になるため、ユーザが情報を視認できないという問題が生じる可能性がある。従来の通知デバイスにおける通知手法は、振動を用いて一度通知を行うことで、ユーザに情報取得を促す。しかし、この方法ではキーボード操作や読書といったユーザの動作中に振動が発生すると、情

報を取得する（画面を見る）ために手首の動作を必要とする場合がある。したがって、情報を取得するために、振動時の動作を中断する必要がある。そのため、情報取得時に行っていた主作業の効率が低下する[4]

そこで、本研究では手首一周型ディスプレイを搭載した手首装着型デバイスにおいて、情報通知による作業効率低下の低減するために、常に視認可能な位置に情報表示することを目指す。そのため、前腕状態に対応した視認可能位置の推定を行う。本研究の独創的な点は、通知時のユーザの腕の状態から視認可能位置推定を行うことである。視認可能位置推定には、デバイスと一体化可能な加速度センサを利用する。本来、動きの加速度の測定を目的とした加速度センサを用いて、どのように静止状態の視認可能位置推定を行うかが課題となる。

### 2. 関連研究

情報をユーザに通知する際の情報提示手法は非常に重要な要素となる。手首装着型デバイスにおける情報表示手法として、様々な手法が提案されている。Lyons らは、6 個のディスプレイを連結し、手首周りをディスプレイで覆うことのできるデバイス Facet を提案している[5]。しかし、情報の表示位置は装着者自身が任意で設定するため、姿勢によっては腕の動作を伴わなければ情報取得を行えない場合がある。それに対し、Burstyn らは、前腕と上腕に装着した慣性センサからユーザの姿勢を認識し、姿勢に応じて情報表示位置の制御を行う手首装着型姿勢感知ディスプレイ (PAD : Pose-Aware Display) を提案している[6]。ユーザの姿勢に応じた情報表示位置制御によっ

\*1: 東京農工大学大学院工学府 産業技術専攻

\*2: 東京農工大学大学院工学府 情報工学専攻

\*3: 東京農工大学大学院工学府 先端情報科学部門

\*1: Management of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*2: Department of Computer and Information Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*3: Department of Computer and Information Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

て、情報を表示した際にユーザが情報を認知するまでの時間（認知時間）が従来の腕時計型デバイスよりも短いという結果を得ている。しかし、PADはセンサを前腕と上腕の2箇所を設置する必要がある。

また、Jang や Dominio らはユーザの正面に設置されたカメラを用いて運動モデルを作成し、腕の状態認識を行っている[7][8]。これらの手法では、情報表示を行うデバイス以外の箇所にセンサを設置する必要がある。また、1990年代から、画面回転を用いてコンテンツを通知する手法が提案され[9]、今日では自動的に画面回転が行われている。Cheng らは、携帯の内カメラで顔の向きを検出し、画面回転を行う手法を提案している[10]。しかし、カメラに顔が写らない場合も多々あり、またプライバシーの問題があることが指摘されているため、動きが大きい腕にカメラを内蔵する手法は実用的でない。本研究では、デバイスとセンサを一体化することで、デバイス以外の箇所へのセンサ装着が不必要になる。

### 3. システム概要

#### 3.1 システム設計

本システムは、手首一周型ディスプレイを搭載した手首装着型デバイスの使用を前提とする。デバイスからの通知に対してユーザは通知時の作業を中断し、手首をひねるといった腕の動作を行うことなく情報を視認可能位置に表示するシステムを目指す。そのために、ユーザの視野内にデバイスがある場合、情報表示位置を動的に変化させ、常にユーザの視野内に表示を行う。また、ユーザの視認可能位置を推定する際に利用するセンサは、デバイスと一体化可能なものを利用する。腕の動作中に動作に応じて情報表示位置を変化させると、かえってユーザの情報取得を阻害すると考えられる。したがって、本システムはユーザの腕が静止している状態での表示を行うことを想定する。

#### 3.2 システム構成

本システムでは、視認可能位置を推定する際に使用するセンサとして加速度センサと、LEDが等間隔で並べられているLEDテープ[11]から構成される。表示位置推定を行う際に、取り付けるセンサ数が少ないとセンサの取り付ける位置により推定精度に差が生じることが考えられる。したがって、本システムではセンサの位置によって推定精度に影響を与えないように加速度センサを手首周りに可能な限り密に取り付けることとした。また、将来的に手首に取り付けるセンサの数は削減していく予定である。LEDテープには、LEDを点灯させることでディスプレイ上の文字表示の代替機能として用いている。また、文字表示による表示の向きは考慮せず、表示の際の基準となる点の推定を行う。将来的に、基準点ではなく、

実際に文字や図などの表示を考慮した表示方向の推定や動作中の表示を行うことも想定している。

#### 3.3 プロトタイプシステム実装

本研究では、3.1節で述べた要件を基にプロトタイプシステムの実装を行った。本システムの入出力部には、12個の加速度センサと10個のLEDが等間隔で並べられたLEDテープを用いている。本システムは、加速度センサより取得したセンサ値から視認可能な位置を推定し、推定された位置にあるLEDが点灯する。視認可能位置の推定では、機械学習により構築した点灯位置推定器から視認可能位置推定を行う。本システムの構成を図1に示す。

加速度センサは50Hzでセンサ値を取得し、Arduinoを介してPCに送信する。取得したセンサ値の10サンプル分のセンサ値の平均値を用いて視認可能なLEDのIDを推定する。LEDのIDは、LEDテープ装着の基準点である手首外側尺骨凸部分を始点として1~10の整数値が割り当てられている。加速度センサの装着位置とそれぞれのセンサ番号の関係図を図2に示す。推定結果の位置にあるLEDの点滅信号をArduinoに送信し、LEDの点灯を行う。なお、後述のように視認可能位置は予め、加速度信号（姿勢値）と視認可能LEDの関係表すモデルを機械学習により構築したものを利用する。

本システムで用いた加速度センサは、センサ1つにつきアナログ入力ピンが3つ必要である。しかし、通常のArduinoの入力ピンは5つなため、Mux Shield[12]を用いてアナログ入力ピンを48ピンまで拡張した。

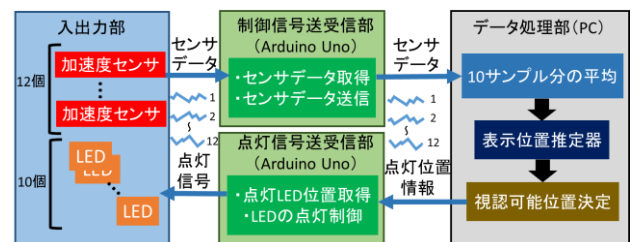


図1 システム構成図

Fig. 1 System configuration.

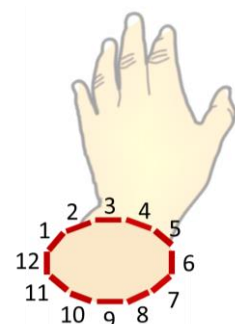


図2 センサ配置図

Fig. 2 The position of 12 Accelerometers.

### 3.4 点灯位置推定器の作成

視認可能位置の推定機能の実現には、データマイニングツールである Weka[12]を使用した。12 個の加速度センサからそれぞれ 3 軸分のデータを取得し、36 次元の特徴ベクトルとして点灯位置推定器に入力として与え、点灯位置（クラス 1～クラス 10 のうち 1 つ）を推定する。クラスはそれぞれ 10 個ある LED の ID（位置）を示している。本システムでは、一度姿勢を認識し、姿勢に応じた最適点灯位置の LED を点灯させるという手法を用いていない。本システムでは静止状態での推定を想定しているが、静止状態では腕の高さが異なる場合でも加速度センサ値は同じとなるため、姿勢認識の精度は非常に低くなり、その精度が視認可能位置の推定結果に大きな影響を与えるため、本システムでは直接点灯位置の推定を行う。

点灯位置推定器を機械学習により構築するにあたり必要なラベルつきデータの取得は以下のように行った。5人（男性3人，女性2人，20代）の被験者に，以下のI～IVの4つの高さで日常生活中に行う動作をそれぞれ数種類行ってもらい，被験者に各動作中の前腕状態を維持してもらい，状態維持後1秒間の加速度センサ値を50Hzで取得する。スマートフォン画面の縦横回転機能における判定は，0.5秒以上の姿勢維持で行われているため[14]，センサ値取得時間を2倍の1秒とした。10個のLEDは常に異なる色で点灯させ，被験者にはセンサ値の取得と同時に動作終了時の前腕状態を保ってもらい，最も視認性の高い（見やすい）LEDの位置（色）について被験者に口頭で尋ねる。なお，被験者は全員右利きで，腕時計をはめる左手にデバイスを装着した。収集した学習データを用いて，分類モデルの選定を行う。分類モデルの選定には，SVM (Support Vector Machine)，Random Forest，Native Bayes，Multilayer Perceptron，J48，最近傍法の5種類を用い，各分類モデルで1人抜き交差検定 (Leave-One-Subject-Out Cross Validation: LOSO-CV) を行った。SVMの分類精度が最も高かったため (0.40)，後の評価実験ではSVMを用いた。

また, 表 1 に SVM を用いた各状態 I~IV ごとの LO SO - CV 平均混同行列を求めた結果を示す. 表 1 を見ると, LED 4 と LED 7 の場合の分類推定結果の精度の低さが見

られる。また、LED 1, LED 2, LED 8, LED 9 に分類される場合が 1 回も発生していない。

- I. 腕がひざ付近にある状態 … 5 種類  
読書（本，新聞），スマートフォン操作，  
タブレットを保持（縦，横）
- II. 腕がテーブル上にある状態 … 6 種類  
キーボード操作，テーブル上に手を置く，  
テーブルに肘をつく，テーブル上のコップをもつ，  
お皿をもつ（上から，下から）
- III. 腕が胸の辺りにある状態 … 5 種類  
読書（本，新聞），スマートフォン操作，  
タブレットを保持（縦，横）
- IV. 腕が目線よりも高い位置にある状態 … 2 種類  
高い位置の物を取ろうとする，つり革につかまる

#### 4. 評価実験

## 4.1 実験概要

視認可能位置推定の正確性と表示位置の妥当性を評価する実験を行う。9名の被験者（男性5名、女性4名）に対し、実際にシステムを使用し、評価実験を行った。9名のうち、3.4節で行った学習データ収集と同一人物2名が含まれている（男性1名、女性1名）。3.4節で述べた、学習データ収集と同じ動作を5回ずつ行ってもらった。また、加速度センサ値の取得は学習データ収集と同様に50Hzで行う。腕の静止時点よりセンサ値の取得を開始し、3.4節にて述べた視認可能位置推定器を利用し、視認可能位置（1つのLEDの位置）を推定する。そして、推定結果に対応した位置にあるLEDを図3右に示すように赤色に点灯させる。点灯後、被験者は点灯したLEDの位置が視認可能な位置であるか否か、最適な位置であるか否かを4段階で主観評価する。評価する際の評価基準を以下に示す。4段階評価のうち、1)と2)を「視認には不十分な位置への表示」、3)と4)を「視認可能な位置への表示」と集約し、「最適位置への表示」は4)のみとした。

- 1) 視認不可能
- 2) 十分な点灯位置（点灯は見えるが視認しづらい）
- 3) 十分視認可能な点灯位置（ただし、最適位置ではない）
- 4) 最適な点灯位置

### 1 SVM による 1 人抜き交差検定結果[%]

Table 1 The result of Leave-One-Subject-Out Cross-Validation based on SVM classifier[%].

[illegible]

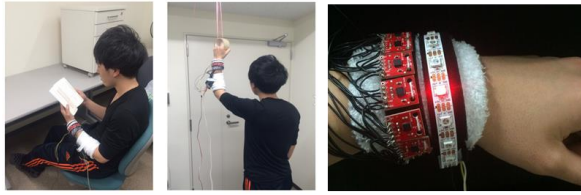


図3 評価実験の様子とLED点灯時

Fig. 3 Evaluation experiment, and LED lighting.

## 4.2 実験結果

### 4.2.1 視認可能位置への点灯精度

視認可能位置にあるLEDの点灯精度の結果を表2に示す。全体を通して、視認可能位置のLED点灯精度は90.4% (732/810) であり、そのうち最適位置のLED点灯精度は46.5% (377/810 回) である。また、4段階評価を点数として評価点とした。評価点平均を見ると、全状態での評価点平均が3.4であることから、視認可能な位置への点灯を行えていることが分かる。状態別に結果を見てみると、視認可能位置にあるLEDの点灯精度が最も高い場合は状態III (95.6%) であり、点灯精度が最も低い場合は状態IV (76.7%) であった。最適位置にあるLEDの点灯精度が最も高い状態は状態I であり、最も精度が低いのはIV であった。

表2 視認可能位置への点灯精度 (被験者9人)

Table 2 Lighting Precision to visible position(9 person).

状態 (試行回数)	視認可能位置 点灯精度	最適位置 点灯精度	評価点 平均
I (225)	94.2%	53.3%	3.5
II (270)	87.4%	44.1%	3.3
III (225)	95.6%	48.9%	3.4
IV (90)	76.7%	31.1%	3.0
統合 (810)	90.4%	46.5%	3.4

### 4.2.2 点灯位置と最適位置との差

本節では、実際に点灯したLEDの位置と最適位置との差を扱う。各個人の点灯位置と最適位置との差、最適位置の差とその割合を図4に示す。最適位置との差とは、図5に示すように点灯したLEDの位置と最適位置にあるLEDの位置とのLEDの個数の差分である。負の数は、点灯したLEDの位置が最適位置より手首の内側に点灯された場合であり、正の数は点灯したLEDの位置が最適位置より手首の外側に点灯されたことを表す。手首の内側とは、手のひらが見える状態を想定し、その場合に点灯位置が最適位置よりも右側に表示された場合、手首の外側とは点灯位置が最適位置よりも左側に表示された場合のことを表す。被験者9名の結果を見ると、LEDが手首の内側に点灯された割合が45.5%であり、手首の外側に点灯された割合は54.5%であった。また、手首の内側に点灯された場合の最適位置との最大差はLED3個分であり、手首の外側に点灯された場合の最適位置との最大差はLED7個分であった。また、状態ごとに見てみると、状

態I の場合のみ点灯位置が最適位置よりも手首の内側であることが多く、状態II~IV の場合は手首の外側に点灯することが多いことが分かる。

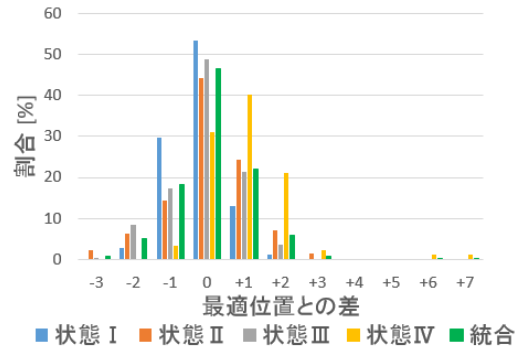


図4 最適位置との差と割合

Fig. 4 Histogram of the gap between the known “best” position and a system’s output.



図5 +-の決定指標

Fig. 5 Definition of “+” and “-” positions.

## 5. 考察

### 5.1 視認可能位置への点灯精度

視認可能位置にあるLEDの点灯精度は90.4%であり、そのうち最適位置のLED点灯精度は46.5%であった。この結果から、被験者にとって視認可能ではあるが、必ずしも最適ではない位置に表示したことが分かる。また、状態別で精度を見ると、視認可能位置にあるLEDの点灯精度が最も高い場合は状態III (95.6%) であり、最も精度が低い場合は状態IV (76.7%) であった。状態IVは、腕が目線よりも高い位置にある状態である。本システムでは、視認可能位置を推定する際に加速度センサのセンサ値を使用しているが、静止状態を想定しているため、動作による力の成分は考慮せず、重力加速度のみを用いて推定を行っている。したがって、動作を行っていない状態では、加速度センサの重力加速度を用いて手首の角度・前腕の向きが同じ状態で高さ (目線とデバイスとの角度) が異なる場合、適した視認可能位置の推定を行えていないことが考えられる。これは、手首の角度・前腕の状態が同じ状態で高さが異なると、高さによって最適な視認可能位置が変化するが、加速度センサのセンサ値は類似するので誤った推定を行っていることが考えられる。

## 5.2 点灯位置と最適位置との差

図4の最適位置との差の統合部分を見ると、最適位置との差分の絶対値が1であった割合は75.5%(327/433回)であった。この結果より、最適位置ではないが、十分に視認可能な位置にあるLEDの点灯を行えていることが分かる。しかし、点灯したLEDが最適位置よりも手首の外側に表示された場合の差が、+6個分であった場合が1回、+7個分の差であった場合が1回発生している。これは、ある被験者の状態IVの場合で発生した。発生した際の視認可能位置の推定結果を見ると、どちらもLED1に推定されていた。しかし、3.4節で述べたように、LED1に分類される場合は発生しない。したがって、作成した視認可能位置推定器が誤った位置の推定を行っていることが分かる。この被験者は被験者9名のうち最も手首周りの長さが短く、状態IVは最も動作種類が少ないため、学習データのデータ数は少ない。そのため、推定結果が誤った位置であったことが考えられる。

## 5.3 手首周りの長さの個人差の影響

個人ごとの視認可能位置への点灯精度と最適位置への点灯精度をみたところ、最も精度の低い状態が異なるという個人差が見られた。また、手首周りの長さの上位4名は点灯位置が最適位置より手首の内側である傾向に対し、下位4名は点灯位置が最適位置より手首の外側であるという傾向であった。したがって、視認可能位置推定に影響を与える手首周りの長さの下限、上限が存在する可能性が考えられる。

## 5.4 特徴量の再検討

評価実験の際には、12個の加速度センサから得られるセンサ値を利用し、視認可能位置推定を行った。特徴量には、12個の加速度センサの各軸から得られる36次元を利用している。そこで、平均、分散、最大値、最小値、値域幅(最大値-最小値)、X軸/Y軸、X軸/Z軸、Y軸/Z軸の8つの新たな特徴量を利用し、精度の向上を行った。

12個の加速度センサから得られる各軸のセンサ値に加え、上述の特徴量を加えた合計132次元の特徴量を利用した。特徴量追加前の各軸のみを用いた36次元の場合と10分割交差検定を用いて比較を行ったところ、表3に示すように36次元の特徴量を利用した場合のF値は0.753、132次元の場合では0.867であり、0.114の精度向上が見られた。しかし、特徴量数が増えると計算量が増し、処理時間も増す。また、特徴量数が多すぎることで、かえって精度が落ちることがある。そのため、フィルターアルゴリズムであるIGE(Information Gain Evaluation)を用い、有用な特徴量の選択を行った。特徴量選択を行ったのちに、132次元の特徴量からそれぞれの特徴量の推定精度への貢献度の良いものから順に1つずつ加えていったところ、図5に示すように19以上からF値の変化

が少なくなっていることが観察された。特徴量を19次元に削減し、再度検証をおこなったところ、F値は0.800という結果が得られた。各加速度センサから取得した36次元の場合よりも、特徴量数を17次元削減したにもかかわらず、0.047の精度向上が見られた。

表3 精度比較

Table 3 Performance metrics with different feature sets.

特徴量数[個]	適合率	再現率	F値
36 (特徴量追加前)	0.76	0.756	0.753
132 (特徴量追加後)	0.868	0.867	0.867
19 (特徴量選定後)	0.802	0.801	0.800

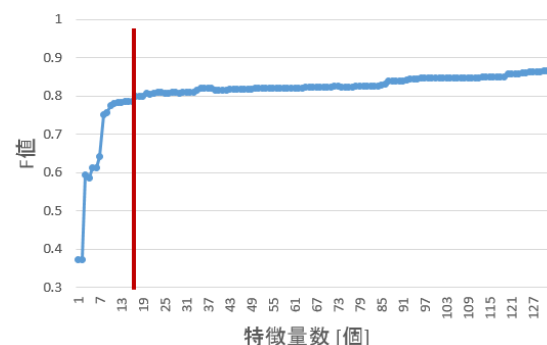


図5 IGEにおける特徴量の個数ごとのF値の変化

Fig. 5 The F-score every number of characteristics by IGE.

また、特徴量選択を行い削減した特徴量を加速度センサごとに見ると、特徴量数の偏りと貢献度の差が見られた。そのため、加速度センサの装着位置が視認可能位置推定精度に影響することが分かる。ここで、視認可能位置推定精度に影響がない加速度センサの有無を調べた。特徴量選択を行った際のIGEアルゴリズムでは、それぞれの特徴量の推定精度への貢献度が数値化される。加速度センサごとの貢献度を合計し、最も貢献度の合計が低い加速度センサから特徴量を全て取り除き、精度の変化を調査した。その結果、表4に示すようにF値を保ちつつ、4個の加速度センサ(図2の1,3,4,6)の削減が可能である。

表4 加速度センサ削減とその精度

Table 4 The relationship between the number of accelerometers and F-score.

加速度センサ数 [個] (削減した加速度センサ位置)	F値
12	0.801
11 (6)	0.8
10 (3,6)	0.8
9 (3,4,6)	0.801
8 (1,3,4,6)	0.801
7 (1,2,3,4,6)	0.787
6 (1,2,3,4,5,6)	0.765
5 (1,2,3,4,5,6,12)	0.761
4 (1,2,3,4,5,6,10,11,12)	0.761
3 (1,2,3,4,5,6,10,11,12)	0.741
2 (1,2,3,4,5,6,7,10,11,12)	0.739
1 (1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12)	0.585

## 6. 課題

### 6.1 視認可能位置推定精度向上

4.2.1節で述べたように、最適位置への点灯精度は47%であった。しかし、5.2節で述べたように、最適位置ではなかった場合、実際の点灯位置と最適位置との差分の絶対値が1であった割合は75.5%であることから、点灯位置の大きな誤りが少ない代わりに、小さな誤差が多いことが分かる。そのため、本研究で構築した視認可能位置推定では不十分であると考えられる。したがって、新たな特徴量の追加や学習データの追加による精度向上が必要である。

### 6.2 加速度センサ数削減

本システムでは、加速度センサを12個使用している。現実的に加速度センサを12個使用するには、デバイスの規模が大きくなるため、可能な限り加速度センサ数の削減を行いたい。5.3節で行った特徴量選択における貢献度を見たところ、貢献度の順位は隣り合う加速度センサの同じ特徴量が連続していることがあった。そのため、隣り合うセンサの間の位置にセンサを取り付けることで精度向上のための特徴量が得られる可能性が考えられる。そのため、連続した2つの加速度センサの間の位置に加速度センサを1つ装着した際の、視認可能位置推定精度を調査し、同等もしくはより良い精度が得られれば加速度センサ数の削減が可能である。また、少数の加速度センサ値から手首上の他の位置にある加速度センサ値の補間が可能であれば、加速度センサ数を削減することが可能である。現在、手首上の角度から加速度センサ値を算出する補間手法の検証を行っている。

### 6.1 推定結果の妥当性検証

評価実験の結果、90.4%の精度で視認可能な位置、46.5%の精度で被験者にとって最適な位置のLEDの点灯を行っていることが確認できた。しかし、学習データ収集実験や評価実験の際に、被験者からは実験で使用したLEDとLEDの間が最適位置であったという意見もあった。そのため、LEDをより密に配置して推定クラスの粒度を上げ、視認可能位置推定結果の妥当性を検証することが必要である。

## 7. おわりに

本研究では、12個の加速度センサと10個のLEDを手首周りに取り付け、手首装着型デバイスにおける視認可能な情報表示位置の動的推定および検証を行った。9人の被験者が、日常生活で行う動作を18種類行い、点灯したLEDが視認可能な位置であるか否かを評価した。その結果、90.4%の精度で視認可能な位置、46.5%の精度で被験者にとって最適な位置のLEDの点灯を行うことが可能

であった。また、視認可能位置推定精度の向上、加速度センサ数の削減やLEDをより密に設置することによる推定結果の妥当性検証やといった課題が明らかとなった。

## 謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金ならびに文部科学省特別経費「持続可能社会に向けた知的情報空間技術の創出」によるものである。

## 参考文献

- [1] G Flex, [http://www.lg.com/jp/mobile-phones/promotion/G\\_Flex\\_LGL23/index.html](http://www.lg.com/jp/mobile-phones/promotion/G_Flex_LGL23/index.html), 2016/07/10 閲覧
- [2] 週間アスキー, 今度こそ成功するか? 腕に巻けるスマホ「Blu」資金調達を再開, <http://weekly.ascii.jp/element/000/000/343/343901/>, 2016/06/29 閲覧.
- [3] deep 2 black, Plastic Logic がウェアラブル端末を試作, フレキシブル有機 EL ディスプレーでウェアラブル端末を試作, <http://deep2black.blog7.fc2.com/blog-entry-1115.html>, 2016/06/29 閲覧
- [4] Marshall, J. et al. "Mobile interaction does not exist.", CHI 2013, pp.2069–2078.
- [5] Kent, L. et al. "Facet: A Multi-Segment Wrist Worn System", UIST 2012, pp.123-129.
- [6] Jesse, B. et al. "DisplaySkin: Exploring Pose-Aware Displays on a Flexible Electrophoretic Wristband", TEI 2015, pp.165-172.
- [7] Sujin, J. et al. "Gesture Analyzer: Visual Analytics for Pattern Analysis of Mid-Air Hand Gesture", SUI '14, pp.30-39.
- [8] Fabio, D. et al. "Hand gesture recognition with depth data", ARTEMIS '13, pp.9-16.
- [9] Teicher, M. Orientation-sensitive display system. 1993.
- [10] Cheng, L. et al. "iRotate: automatic screen rotation based on face orientation", CHI 2012, pp.2203–2210.
- [11] SWITCHSCIENCE, フルカラーシリアル LED テープ, <https://www.switch-science.com/catalog/1399/>.
- [12] Sparkfun, Mux Shield II, <https://www.sparkfun.com/products/11723>.
- [13] "Weka 3- Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java", <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.
- [14] Hinckley, K. et al. "Sensor synaesthesia: touch in motion, and motion in touch", CHI 2012, pp.801–810.