

# ユーザの顔の向きに基づいた スマートウォッチ画面点灯時間の最適化手法

三縄 香織<sup>1,a)</sup> 中村 拓人<sup>1,b)</sup> 志築 文太郎<sup>2,c)</sup>

**概要:** スマートウォッチは画面が点灯してから数秒程度で自動的に消灯するため、ユーザの使用状況に応じて画面の点灯時間を調整できないという問題がある。この問題を解決するため、ユーザが画面を見ているかどうかをスマートウォッチが判定し、使用している間画面を消灯させないようにするシステムを開発した。本システムは使用者の頭部と腕の姿勢をスマートウォッチと眼鏡型デバイスの内蔵センサにて推定している。

## 1. はじめに

スマートウォッチは、他のモバイル端末と連携し通知を知らせるウェアラブルデバイスとして普及してきている。また、運動時における心拍数や脈拍および睡眠時の体の動きの記録を行う機能や、買い物の支払い機能を搭載するものも現れてきており、常日頃装着されるものとなっている。

スマートウォッチには電力消費を抑えるためになるべく画面の点灯時間を短くするという工夫が為されている。特にスマートウォッチには加速度センサやジャイロセンサなど多数のセンサが搭載されており、ユーザの動きを常に測定し続けている。これによって、スマートウォッチは基本的には画面を消灯しておき、スマートウォッチのボタンや画面に直接触れる動作以外にスマートウォッチを装着している腕を顔の前に移動する動作や、手首を捻る動作を認識することによって、ユーザが素早く画面を点灯させることができるようにしている。また、画面点灯後ユーザが何も操作を行わなかった場合数秒程度でスマートウォッチは画面を自動的に消灯する。

ただし、この自動消灯機能のため、ストップウォッチやカウンタのような長時間断続的に操作を行うアプリケーションでは、表示内容を見ている最中に画面が消灯する恐れがある。この場合、消灯した画面を点灯させるための操作が生じるためアプリケーションを操作するまでにラグが生じる。また、受信した通知を読んでいる最中に短時間で画面が消灯すると、電車の中で身動きが取れない状態のよ

うに再度画面を点灯させることが難しい状況では通知の内容を満足に読み取ることができない。ユーザがスマートウォッチを使用していない状況では画面を暗くし時計のみ表示させることができる機種も存在するが、ユーザの使用状況に応じて画面の点灯時間を調整することは未だ難しいという問題がある。そこで我々はユーザがスマートウォッチを見ている間、画面の点灯状態を維持する機能をスマートウォッチに搭載するべきであると考えた。

これに対し、スマートフォンにおける先行例として、Samsung 社の Galaxy シリーズに搭載されている SmartStay [1] という機能がある。この機能はスマートフォンのインカメラを用いてユーザの視線を追跡することによって、ユーザがスマートフォンの画面を見ている間画面の点灯を継続する。しかし、カメラを使用することによるプライバシーへの懸念、および、暗所での利用が困難であるなどの課題がある。

本研究の目的はユーザがスマートウォッチを見ている間、画面の点灯状態を維持するシステムを実現することである。そのためのアプローチとして、頭部とスマートウォッチが装着されている手首のそれぞれにて加速度センサとジャイロセンサの値を用いて各部位の姿勢を推定することで、ユーザが画面を見ている姿勢を取っているかどうかを判定する。

## 2. 関連研究

関連研究として、ユーザの手や腕の姿勢を推定する手法および頭部の姿勢を推定する手法を紹介する。

<sup>1</sup> 筑波大学コンピュータサイエンス専攻

<sup>2</sup> 筑波大学システム情報系

a) minawa@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

b) nakamura@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

c) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

## 2.1 手や腕の姿勢を推定手法

これまでに、スマートウォッチを用いてユーザの手や腕の姿勢を推定する手法が複数提案されている。Shen [5] は、人間の関節の構造を考慮した上でスマートウォッチに搭載された加速度センサからの値に対し隠れマルコフモデルを適用し、ユーザの3次元の腕の姿勢を推定する手法を提案している。Zhangら [3] は、スマートウォッチに搭載された光学式心拍センサからの信号を分析することにより10種類のハンドジェスチャを90.55%の精度にて識別した。Laputら [4] は、スマートウォッチに搭載された加速度センサのサンプリングレートを4kHzに上げることにより腕の振動による生体音響データを取得可能にし、これによってハンドジェスチャや手に把持している物体の分類を可能とした。

これらの先行手法に対し、我々はユーザがスマートウォッチを見ているかどうかを判定することに焦点を当てており、(具体的には手や腕の姿勢ではなく)スマートウォッチの画面がユーザの視線方向に向いているかを推定する。

## 2.2 頭部の姿勢推定手法

ユーザの頭部の姿勢を推定する手法に関する研究が複数なされている。田中ら [6] は、ラップトップコンピュータやスマートフォンを用いるユーザの猫背の矯正を促すことを目的として、ユーザの頭部の姿勢を監視するシステムを開発した。このシステムでは、ラップトップコンピュータにおいては、ディスプレイの前面カメラを用いてユーザの顔検出を行い、ディスプレイとユーザの顔の距離を推定している。また、スマートフォンにおいては、スマートグラス(JINS MEME<sup>\*1</sup>)を用いて加速度センサにより頭部の傾きを推定している。犬飼ら [7] は、胴体に取り付けた深度センサによりユーザの顎下を撮影し、取得した3次元点群データから顎の重心位置と頭部姿勢を推定する手法を提案している。この手法の利点として頭部にセンサを取り付ける必要がない。Newmanら [8] は、2台のカメラを用いてユーザの顔の3次元モデルを生成し、顔認識、頭部の姿勢推定、および視線推定をリアルタイムにて行なう手法を提案している。

これらの先行研究に対して、我々はユーザのプライバシーの懸念や暗所での利用を考慮してカメラを用いない頭部姿勢推定手法を用いる。

## 3. 提案手法

本節にてユーザがスマートウォッチの画面を見ているか判定する姿勢推定のアルゴリズムとシステム構成を説明する。

## 3.1 姿勢推定のアルゴリズム

本アルゴリズムでは姿勢推定にスマートウォッチの3軸加速度センサを、また頭部に装着したデバイスの3軸加速度センサと3軸ジャイロセンサを用いる。なお後者については本研究での実装ではJINS社のJINS MEMEを使用した。JINS MEMEは眼鏡型のウェアラブルデバイスであり、鼻あておよびブリッジに眼電位センサ、つるの先端に加速度センサとジャイロセンサが搭載されている。

以下、スマートウォッチとJINS MEMEのセンサ値からユーザの姿勢を推定するアルゴリズムについて説明する。

1. スマートウォッチの3軸加速度センサの値  $(x, y, z)$  から、スマートウォッチの画面に垂直なベクトルの傾きの角度  $\beta$  を式 (1), (2) にて計算する。

$$\alpha = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z} \quad (1)$$

$$\beta = \tan^{-1} \alpha \quad (2)$$

2. JINS MEMEの加速度センサとジャイロセンサから取得可能な頭部の加速度  $x_j, y_j, z_j$  と姿勢角  $\varphi_j, \theta_j, \psi_j$  の値から眼鏡のレンズ面に垂直なベクトルの正規化ベクトル  $\mathbf{v}_{hy}$  を式 (3), 傾きの角度  $\gamma$  を式 (4) とする。

$$\mathbf{v}_{hy} = \frac{|y_j|}{\sqrt{x_j^2 + y_j^2 + z_j^2}} \quad (3)$$

$$\gamma = \theta_j \quad (4)$$

3. 式 (1) - (4) から求めた2つのベクトルの内積  $i$  を式 (5) にて計算する。

$$i = |\mathbf{v}_{hy}| \cos(\beta + \gamma + \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

4. 式 (5) から求めたベクトルの内積値と頭部の向きによってスマートウォッチ画面の点灯を継続するかを推定する。

なお、推定に用いる値は経験則に基づき閾値を定めた。

## 3.2 システム構成

システム構成を図1に示す。JINS MEMEとスマートウォッチをBluetoothにて同じスマートフォンに接続する。スマートウォッチのセンサデータはAndroidのDataApiを介して、JINS MEMEのセンサデータはJINS MEME SDKを介してスマートフォンに送信される。3.1節のアルゴリズムの処理をスマートフォンにて行い、計算結果がスマートウォッチにAndroidのDataApiを介して送信される。スマートウォッチは受信した計算結果を基に画面の点灯維持もしくは消灯を行う。

## 4. 実験

提案システムの使用感を測る主観調査を目的とした実験を行った。本節では実験に用いたプロトタイプアプリ

<sup>\*1</sup> <https://jins-meme.com/ja/> 2019年12月12日閲覧。

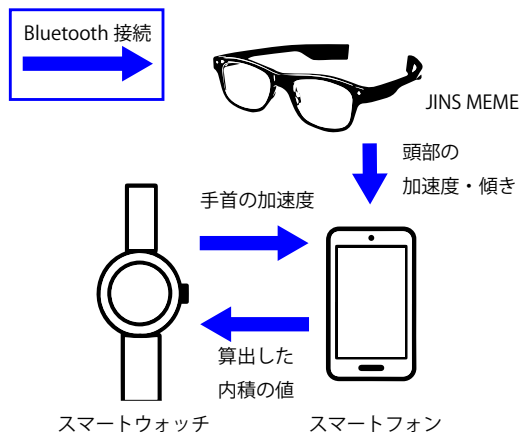


図 1: システム構成.

ケーション, および, 実験の設計, 実験のタスク, 手順について説明する.

#### 4.1 プロトタイプ

我々は提案システムのプロトタイプとしてスマートウォッチ向けのアプリケーションおよびスマートフォン向けのアプリケーションを作成した. 本プロトタイプでは, スマートウォッチの画面点灯を直接制御することができないため, 疑似的に点灯状態を保つときはアプリケーションの背景を白く, 消灯状態にするときは背景を黒くするようにした. なお, スマートウォッチの加速度センサ, JINS MEME の加速度センサおよびジャイロセンサの全ての値が一定時間変化しない場合, 点灯状態を保つ判定値になっていても自動的に背景を黒くする. また, スマートフォンに届いた通知をスマートウォッチ上にテキストにて表示する機能を搭載した. この機能はスマートフォンに届いた最新の通知を取得し, 通知が発生したアプリケーション, 通知のタイトルと内容の詳細をテキストとしてスマートウォッチに送信する.

#### 4.2 設計

実験ではスマートウォッチに Moto360 Sport (Android Wear 2.2), 頭部の姿勢を推定するデバイスとして JINS MEME ES, スマートフォンに Xperia Z5 Compact (Android 7.1.1) を使用した.

実験参加者は, 研究室に所属する大学生・大学院生の 8 名 (P1-P8) であり, 平均年齢 22.9 歳 (標準偏差 0.60) であった. 実験参加者の中でスマートウォッチや腕時計を普段使用しているのは 1 名 (P4) であった.

本実験では, スマートウォッチに元から備わっている通知機能を用いた場合 (従来手法) と, 本プロトタイプを用いた場合 (提案手法) との 2 条件下においてタスクを行って貰った.

#### 4.3 タスク

タスクはスマートウォッチに送信された通知を読み, 内容に沿った質問に答えるものである. 実験監督者は通知をランダムな間隔 (1 つの内容につき約 60-180 秒) で送信する. 通知はセッション毎に送信する短文を 1-2 個, 長文を 1-2 個決定し送信順を定めた.

通知の内容はスマートウォッチの液晶に収まる文章量を短文 (図 2), スクロールして読む必要がある文章量を長文 (図 3) と定義して, それぞれ 6 種類作成した (表 1). 短文は Slack を用いたチャットによる会話文, Twitter を用いた短い投稿文を想定して作成した. 長文はミーティングのリマインダや会社説明会の案内のような学生生活で受信することを想定したメールの文章を作成した. なお文章の送信者および受信者, 本文中に登場する名前や会社は架空のものである.

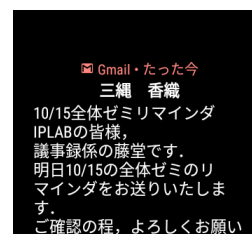


(a) 従来手法による通知表示画面.

```
com.Slack
(2) #random
.WakeupNotification, (2)
#random: 大矢一花:
@test 資料の送付は以下の住所にお願いします
茨城県銚田市上沢3-1-8
```

(b) プロトタイプによる通知表示画面.

図 2: 各手法における通知表示画 (短文).



(a) 従来手法による通知表示画面.

```
com.google.android.gm
三縄 香織
10/15全体ゼミリマインダ
IPLABの皆様,
議事録係の藤堂です.
明日10/15の全体ゼミのリマインダをお送りいたします.
ご確認の程, よろしくお願ひ致します.
```

(b) プロトタイプによる通知表示画面.

図 3: 各手法における通知表示画面 (長文).

実験参加者は 1 回の通知ごとにスマートウォッチに送られた通知の内容を読み, スマートウォッチとペアリングしているスマートフォンにて Google フォームに記載された質問に回答する. 例として, 表 1 の最上段に示した通知文に対する設問を図 4 に示す. 実験参加者には, 従来手法を用いている際画面が消灯した場合には画面をタッチしたり腕を動かしたりして再度点灯させてもよいこと, 提案手法のタスクの際, 従来手法の通知画面は使用せず, アプリケーション画面に表示された通知のテキストを見て回答すること, 質問に回答する前に通知を削除したりプロトタイプ of アプリケーションを閉じた場合はその旨を申告する (この場合には実験監督者が通知を再送する) よう指示した.

表 1: 実験に使用した通知として表示させた文章. Slack はスラッシュを区切りに 1 文ずつ送信した. 長文についてはタイトルのみ記述している.

文章の長さ	アプリ	内容
短文	Twitter	松沢武治 今日 3A402 で授業するみたいです.
		沼田若奈 今日は広島県で行われる第 145 回教育システム学会全国大会にて登壇発表をします.
		松沢武治 授業が終わったら研究棟の 2 階で合流しましょう
	Slack	倉田仁:資料の送付は以下の住所にお願いいたします 茨城県銚田市上沢 3-1-8.
長文	メール	村木拓也:16:45 になりました, 小テストの未提出者 (宮本定吉 17486435, 柳瀬有里 19864357, 江川采司春 15669634) の催促をお願いします. /増田紗千花:江川さんの提出を確認しました
		大友博満:ポスターの仮案を作りました/ 服部玲:もう少しタイトルの文字を大きくしましょう/ 大矢一花:有賀美久さんが当日のシフトを 15 時~にしてほしいそうです/ 大友博満:@服部玲 了解しました/ 服部玲:下段 2 つの写真の大きさを揃えて下さい. 本文との余白を空けるようにしましょう/ 小池晴彦:@大矢一花 本多天音さんの 14 時からのシフトと入れ替えます/ 服部玲:@大友博満 修正が完了したら私へのメンションを付けて送信してください
		10 月 15 日 全体ゼミリマインダ 会社説明会の詳細について [PET2019] 投稿報告 【ご確認】10 月 2 日面接の件 配達予定案内 振込明細の送付について

#### 4.4 実験手順

実験参加者を提案手法を先に行うグループと従来手法を先に行うグループに分け, 実験参加者がひとつの手法を用いてタスクを実行し Google フォームに用意された質問に全て答えるまでを 1 セッションとした. タスクに先だって各実験参加者に実験の内容を説明した. その後, タスクを遂行する間, 実験参加者には, 椅子に座りスマートウォッチに通知が届くまでの間, 作業机の上に広げられたパズル (38 cm × 53 cm, 500 ピース, エポック社) を組み立てるよう指示した (図 5). タスク終了後, 実験参加者にはアンケートを記入してもらった. アンケートには NASA Task Load Index (NASA-TLX) [10], System Usability Scale (SUS) [11] を用い, さらに使用感, コメントを自由記述形式にて記入させた. セッション間に 5 分以上の休憩を挟ん



図 4: 回答画面の一例.

だ. 計 2 セッションの所要時間は約 55 分であった.



図 5: 実験の様子.

## 5. 実験結果

本節では実験結果として, アンケートによる NASA-TLX スコア, SUS スコアの定量的評価および実験参加者からのコメントを報告する. また, 従来手法の画面点灯によるバッテリー消費量, 通知を読み取るタスクの手法間比較を報告する.

### 5.1 主観評価

#### 5.1.1 NASA-TLX

実験参加者毎の NASA-TLX スコアおよび各項目における手法毎の NASA-TLX スコアの平均を図 6, 7 に示す. 知覚的および知覚的要求のみ従来手法が高く, 他項目は提案手法が高い結果となった. t 検定の結果, 有意差は見られなかった ( $p = 0.465134 > 0.05$ ).

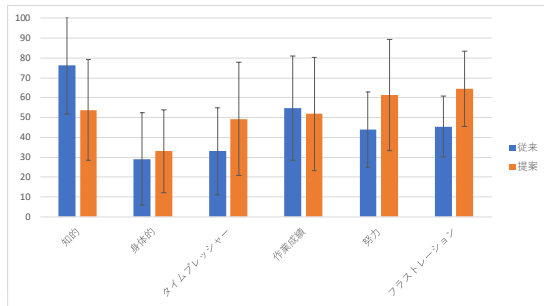


図 6: 各項目における手法毎の NASA-TLX スコアの平均。

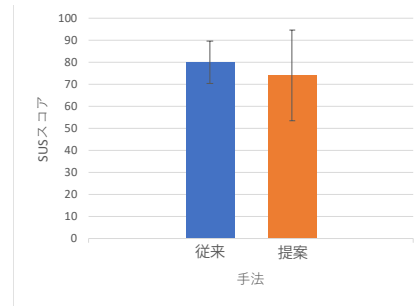


図 9: 手法毎の SUS スコアの平均。

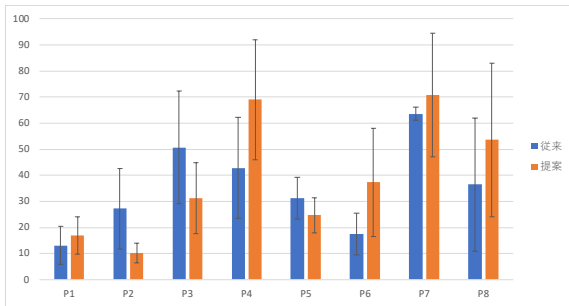


図 7: 実験参加者毎の NASA-TLX スコアの平均。

### 5.1.2 SUS

実験参加者毎の SUS スコアおよび手法毎の平均 SUS スコアを図 8, 9 に示す。従来手法の平均 SUS スコアは 80.0, 提案手法は 74.1 となった。t 検定の結果, 有意差は見られなかった ( $p = 0.419706 > 0.05$ )。また, 実験参加者毎のスコアから, 普段からスマートウォッチを使用していると答えた参加者 P4 は従来手法に対する評価が高いことが分かった。

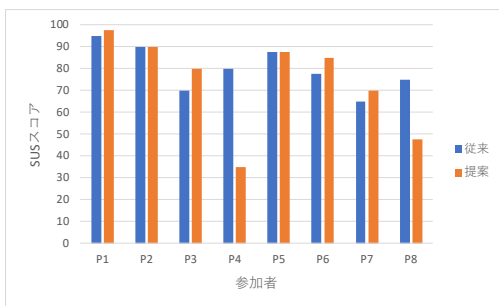


図 8: 各実験参加者の手法毎の SUS スコアの平均。

### 5.1.3 コメント

アンケートにて, 楽にタスクを行えたと回答したのは提案手法が 5 名, 従来手法が 3 名であった。また, システムを今後使いたいと回答したのは提案手法が 5 名, 従来手法が 3 名であった。以下, 実験参加者からのコメントを表 2, 3 に示す。

## 5.2 定量評価

実験から得られた, 従来手法における画面点灯による

表 2: 提案手法に対する実験参加者からのコメント (一部抜粋)。

内容	回答者	コメント
タスクのこなしやすさ	P1	表示の切り替わりが一定時間で行われないため楽にタスクを行えた。
	P4	不具合により通知を確認できないことがあり操作に手間取った。
	P7	見るだけでよいので楽だった。
使用感	P2	普段から眼鏡をかけているため提案手法で眼鏡をかけることは気にならなかった。
	P3	見ている時表示されるのは UI として良い設計であると感じた。
システムについて	P3	(スマートウォッチのみを用いて) 視線の検出ができれば眼鏡をつけなくても良くなるのではないかと感じた。
	P6	通知を受け取るタスク自体は改善されていないと感じた。

バッテリー消費と通知を読み取るタスクの手法間比較について述べる。

### 5.2.1 従来手法における画面点灯によるバッテリー消費

各実験参加者による従来手法におけるスマートウォッチ画面の点灯回数は平均 10.8 回であった。また, スマートウォッチ画面の点灯時間は平均 475.6 秒であった。従来手法の実験時間は平均 19 分であったため, 従来手法でスマートウォッチが点灯していた状態は 41.7% である。

### 5.2.2 通知を読み取るタスクの手法間比較

Google フォームによる設問への総回答時間は従来手法が平均 2 分 28 秒, 提案手法が 5 分 52 秒であった。また, 正答率は従来手法が 95.4%, 提案手法が 75% となった。

## 6. 議論と今後の課題

得られた実験結果に対する議論, 提案アルゴリズムの応用例, および今回のシステムにおける問題点を述べる。

表 3: 従来手法に対する実験参加者からのコメント (一部抜粋).

内容	回答者	コメント
タスクのこなしやすさ	P3	一定時間で画面が暗くなるのが気になった.
	P6	通知が来て閲覧するまでの過程がスムーズにできたように感じた.
使用感	P1	服従デバイスが不要なためこちらを使いたい.
	P4	普段使用しているスマートウォッチと同様の操作で通知を確認できた.
	P6	従来手法の方がたまっていくタスクを管理しやすいと感じた.
システムについて	P5	普段スマートウォッチを使用していないため操作にとまどった.

## 6.1 議論

提案手法にて楽にタスクを行うことができ、今後使用したいと答えた実験参加者が多かったものの、NASA-TLXスコアおよびSUSスコアの結果から従来手法の方が優れていると言える。これは、実験参加者のコメントにて述べられていたことを取り上げると、実験参加者はスマートウォッチを見ている間画面が点灯し続けているというメリットを感じることができた一方で、頭部の姿勢を推定する追加デバイスが必要であったこと、通知の読みやすさにおいては改善されていないことを主張していたためと考えられる。また、普段からスマートウォッチを使用している実験参加者は自らのスマートウォッチのUIに慣れており、提案手法へのメリットを感じることができなかつたと述べていた。加えて、通知が届かない状態が続いたこと、通知をテキストとしてアプリケーションに表示できなかったことが原因となり、設問への回答時間や正答率においても従来手法の方が成績が良い結果となった。このことから、プロトタイプアプリケーションを改善する必要があると考えられる。

## 6.2 提案アルゴリズムの応用

今回開発したアルゴリズムは画面点灯維持を判定すること以外への応用が可能である。例えば、ユーザの姿勢に応じて通知の受信をフィードバックする機能の切り替えや通知の詳細の表示非表示の切り替えを自動的に行う機能が考えられる。移動中や会議中など通知が来てもユーザがスマートウォッチを見られない状況においては、スマートウォッチが通知を受信したことを知らせる音やバイブレーションはユーザや周りの環境に影響を及ぼす。また、従来手法では通知を見ていない状態においても通知の内容が表示されてしまう。一方、提案アルゴリズムにより、ユーザ

が通知を見られる状態か否かをスマートウォッチが判定できる。すなわち、見られる状態であれば即座に表示し、そうでない場合にはユーザが再び通知が見られる状態になった際にまとめて表示する。ただし、これを実現するためには、提案アルゴリズムに加え頭部の姿勢と手首の姿勢をより詳細に推定する必要がある。

## 6.3 今後の課題

実験には、既存のサービスを用いて通知を送信しており、短時間に複数の通知が届いた際の短縮表示（複数の通知が同時に届いた際に送信内容が省略される状態）に提案手法が対応していなかったことで、実験中にて受信できない状態が発生したため、実験結果に影響が出たことが考えられる。今後プロトタイプにおいて、通知取得方法を改善し、通知表示画面を使用しているスマートウォッチの元来の通知表示画面のUIに近づける必要がある。

また、本システムではJINS MEMEを用いて頭部の姿勢を推定していたが、追加デバイスがあることにより、使いにくいと考える実験参加者がいることが分かった。このため、今後は加速度センサおよびジャイロセンサを搭載したアタッチメントを普段ユーザが使用している眼鏡やアクセサリにつけられるようにするといった汎用性を高めるアプローチや、スマートウォッチのみを用いてユーザの頭部の姿勢を推定するシステムを検討する。

## 7. おわりに

本稿では、カメラを用いずに、センサのみを使ってスマートウォッチを見ている姿勢であることを推定するアルゴリズムにより点灯を維持するシステムのプロトタイプを開発した。ユーザがスマートウォッチを見ているかを推定するシステムの使用感を測る主観調査を目的として、ユーザにスマートウォッチに届いた通知を読み取らせる実験の結果を報告した。実験にて得られた結果から、ユーザの提案手法への関心は得られたものの通知を正確かつ迅速に読み取ることは難しいことが分かった。今後はシステム中の通知を取得する方法を改善し、本来のスマートウォッチの通知表示画面の操作方法を基にシステムにおける通知の表示方法を検討する。また、通知表示以外のアプリケーションにおいて提案システムを用いた場合の性能調査および主観調査を行うことを考えている。

## 参考文献

- [1] Samsung: What is the Smart Stay feature on my Samsung Galaxy Note??, <https://www.samsung.com/za/support/mobile-devices/what-is-the-smart-stay-feature-on-my-samsung-galaxy-note2/>. 2019年12月7日閲覧.
- [2] Shen, S.: Arm Posture Tracking Using a Smartwatch, *Proceedings of on MobiSys 2016 PhD Forum*, Ph.D. Fo-

- rum '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 9–10 (online), DOI: 10.1145/2930056.2933324 (2016).
- [3] Zhang, Y., Gu, T., Luo, C., Kostakos, V. and Seneviratne, A.: FinDroidHR: Smartwatch Gesture Input with Optical Heart rate Monitor, *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 2, No. 1, pp. 56:1–56:42 (online), DOI: 10.1145/3191788 (2018).
- [4] Laput, G., Xiao, R. and Harrison, C.: ViBand: High-Fidelity Bio-Acoustic Sensing Using Commodity Smartwatch Accelerometers, *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 321–333 (online), DOI: 10.1145/2984511.2984582 (2016).
- [5] Shen, S., Wang, H. and Roy Choudhury, R.: I Am a Smartwatch and I Can Track My User's Arm, *Proceedings of the 14th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, MobiSys '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 85–96 (online), DOI: 10.1145/2906388.2906407 (2016).
- [6] Tanaka, K., Ishimaru, S., Kise, K., Kunze, K. and Inami, M.: Nekoze!: Monitoring and Detecting Head Posture While Working with Laptop and Mobile Phone, *Proceedings of the 9th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, PervasiveHealth '15, Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, pp. 237–240 (online), available from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2826165.2826203> (2015).
- [7] 犬飼和真, 富永登夢, 土方嘉徳, 酒田信親: 顎下三次元点群データからの頭部姿勢推定手法, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 21, No. 4, pp. 605–612 (オンライン), DOI: 10.18974/tvrsj.21.4.605 (2016).
- [8] Newman, R., Matsumoto, Y., Rougeaux, S. and Zelinsky, A.: Real-Time Stereo Tracking for Head Pose and Gaze Estimation, *Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition 2000*, FG '00, Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, pp. 122– (online), available from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=795661.796173> (2000).
- [9] Kubo, Y., Takada, R., Shizuki, B. and Takahashi, S.: Exploring Context-Aware User Interfaces for Smartphone-Smartwatch Cross-Device Interaction, *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 1, No. 3, pp. 69:1–69:21 (online), DOI: 10.1145/3130934 (2017).
- [10] Hart, S. G. and Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, *Human Mental Workload*, Vol. 52, North-Holland, pp. 139 – 183 (1988).
- [11] Brooke, J.: SUS : A Quick and Dirty Usability Scale, *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194 (1996).