

コンテキストに応じたスマートウォッチ・スマートフォン併用時のUIの検討

久保 勇貴^{1,a)} 高田 峻介^{1,b)} 志築 文太郎² 高橋 伸²

概要: スマートウォッチおよびスマートフォン（以降、両端末）を見ながら操作している、スマートフォンのみを操作しているなど、コンテキストが異なれば、ユーザにとって適切な画面レイアウトもしくは操作方法などが異なることが予想される。そこで、本研究では各コンテキストにおいて適切な画面レイアウトおよび操作方法、フィードバック（以降、UI）を調査した。また、調査結果に基づき、コンテキストに応じてUIを変化させるアプリケーション例を作成した。さらに、本研究では、両端末に内蔵された加速度センサを用いたコンテキスト識別手法を実装し、その識別手法の精度評価実験を行った。

1. はじめに

スマートウォッチの普及に伴い、スマートウォッチおよびスマートフォン（以降、両端末）を同時に持つ場面が見られるようになった。両端末を持っている状況を活かし、それらを同時に使用するクロスデバイスインタラクション [2] も提案されている。[2] では、スマートウォッチを機能キャンバスとする、スマートウォッチの画面をクリップボードとするなどの、クロスデバイスインタラクションが示されている。ただし、これらのインタラクションは両端末を同時に用いる。一方、腕を上げて端末を操作している、両端末を操作していないなどの、端末の利用状況（以降、コンテキスト）を識別できれば、各コンテキストに適切な画面レイアウトおよび操作方法、フィードバック（以降、UI）を提供でき、クロスデバイスインタラクションの利便性を向上できると考えられる。

本研究では、まず各コンテキストにおいて適切なUIを調査し、これらの調査に基づき、コンテキストに応じて適切なUIを提供するアプリケーション例を示す。また、スマートウォッチおよびスマートフォンに内蔵された加速度センサの値（以降、単にセンサ値）を用いて、図 1 に示す多くのコンテキストを識別することを試みた。識別の際には、静止状態もしくは歩行状態の2つの動作状態も合わせ

て識別する。

本稿では、各コンテキストにおいて適切なUIの調査、コンテキストに応じてUIを変化させるアプリケーション例、コンテキスト識別手法の実装、および識別精度の評価実験を示す。

2. 関連研究

クロスデバイスインタラクション、端末内蔵センサを用いたコンテキスト識別、およびコンテキストに適した操作手法は数多く研究されている。

2.1 クロスデバイスインタラクション

スマートウォッチおよびスマートフォンを組み合わせたクロスデバイスインタラクションとして、Duet [2] は、スマートウォッチを機能キャンバスとする、逐次的に両端末をタップし通知設定を変更する、スマートウォッチの画面をクリップボードとするなどの両端末を組み合わせたものを示した。その他の端末を使ったクロスデバイスインタラクションとして、複数のタブレット [13]、複数のスマートフォンおよびタブレット [11]、およびペンとタブレット [7] を用いたものがある。これらの研究に対し、本研究は、スマートウォッチおよびスマートフォンを用いたクロスデバイスインタラクションにおいてコンテキストに応じてUIを適切に切り替えユーザに提供する。

2.2 端末内蔵センサを用いたコンテキスト識別

本研究と同様に、端末に内蔵されたセンサを用いたものもある。例えば、スマートフォン [1], [4], [14]、スマートウォッチ [10]、および両端末 [8], [9], [16] を用いてコンテ

¹ 筑波大学大学院システム情報工学研究科
Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

² 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University
of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

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

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

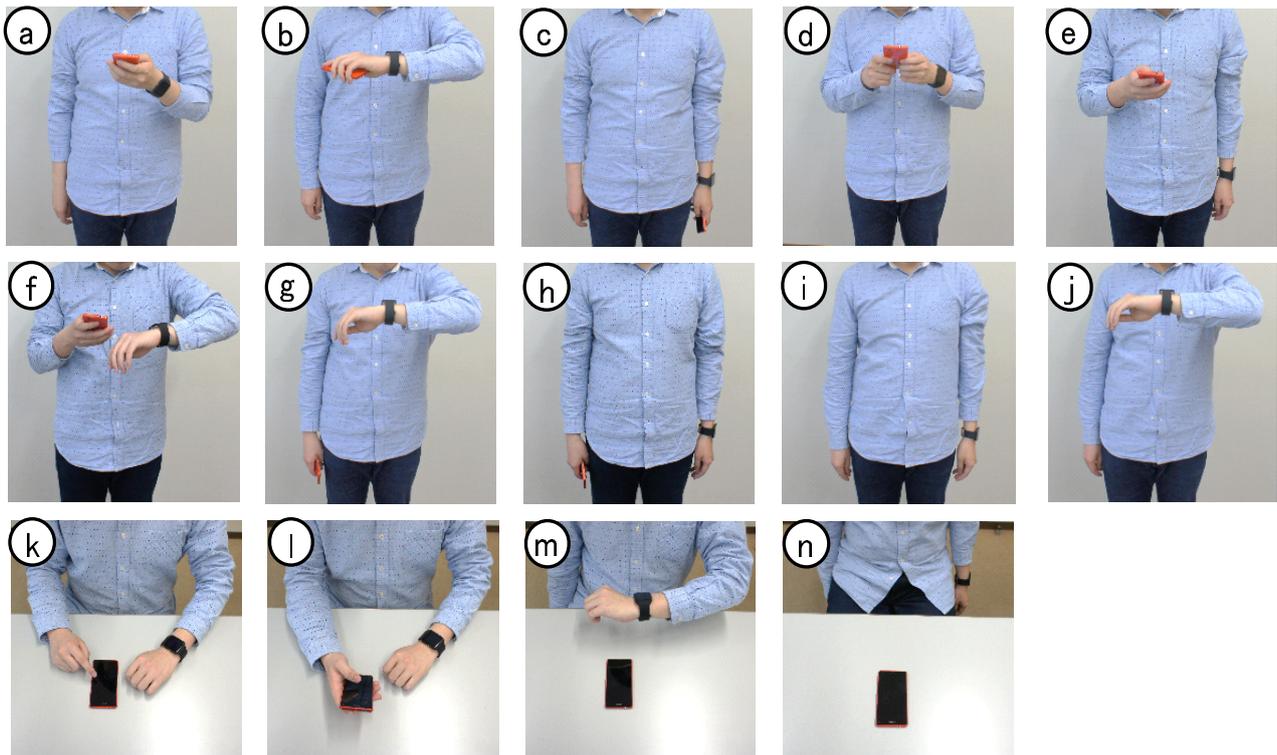


図 1 識別するコンテキスト一覧. a-j は静止および歩行状態, k-n は静止状態を識別.

キスト識別を行った研究がある. 両端末を用いた例として, Mo-Bi [8] は両手に取り付けた 2 つのスマートウォッチおよびスマートフォンに内蔵されたジャイロセンサを用いて, 9 種類の把持状態の識別を行った. 田邊ら [16] は携帯端末および手首に装着したウェアラブル端末の加速度センサを用いて, 3 種類の所持状態の識別を行った. 本研究では, 把持状態, 腕状態, および動作状態を組み合わせた 24 のコンテキストの識別を両端末のセンサ値を用いた機械学習により行う.

2.3 コンテキストに適した操作手法

識別したコンテキストに適した操作手法を提供する研究はいくつかある. 例えば, Yang ら [12] のシステムは, 腕に取り付けた EMG センサによって手形状の識別を行い, 手形状に応じてスマートウォッチの設定を変更する. iGrasp [3] は, タブレット背面に取り付けたタッチセンサを用いて識別した把持状態に応じてキーボードレイアウトを変更する. Hinckley ら [6] のシステムは, 傾きセンサを用いてモバイル端末の画面レイアウトを切り替える. 山本ら [15] は手首および足首に装着した加速度センサを用いて, ウェアラブル端末上のメニュー選択を行う手法を提案した. また, 山本らはユーザの置かれた環境に応じて入力手法を切り替えている. 本研究は, まず両端末のセンサ値を用いてコンテキストを識別する. そして, 識別したコンテキストに応じた適切な UI をユーザに提供する.



図 2 スマートフォンの把持状態および腕状態. (a) 把持状態. (b) 腕状態.

3. コンテキストに応じたクロスデバイスインタラクション

本研究は, コンテキストに応じた両端末の操作方法, 画面レイアウトおよびフィードバックを提供する. 例えば, 両端末を同時に見ている状態からスマートウォッチを取り付けた手を下げた場合にスマートフォンにスマートウォッチの画面を表示する, 両端末を同時に用いる場合には振動などのフィードバックを 1 つの端末のみに与えるなどにより, クロスデバイスインタラクションの利便性を向上させる.

3.1 コンテキストの種類

本研究において識別するコンテキストを図 1 に示す. 前

表 1 静止状態におけるコンテキスト。
 把持状態

腕状態	左腕	左手	両手		右手		ポケット	机に置く
			腕を上げる	腕を下げる	腕を上げる	腕を下げる		
腕を上げる		(a)	(d)	(f)	(g)	(j)	(m)	
腕を下げる		(c)	N/A	(e)	(h)	(i)	(n)	
机に置く		(a)	N/A	(l)	(g)	--	(k)	
スマートウォッチを見る		(b)	N/A	(f)	(g)	(j)	(m)	

提として、ユーザはスマートウォッチを左手首に取り付けるものとする。これらの内、a-j は歩行状態でも生じうる。したがって、これらが歩行状態において生じた場合、それぞれを別のコンテキストとする（以降、a'-j'）。なお、k-n についてはユーザは着座しているため静止状態のみ生じる。

これらのコンテキストは、スマートフォンの状態（把持状態）、およびユーザの腕の状態（腕状態）により整理される。把持状態には図 2a に示す日常的に発生し得る、右手把持、左手把持、両手把持の端末を把持している状態、およびポケットに入れているおよび机に置いているという端末を把持していない状態を含む計 5 状態とした。また、腕状態は図 2b に示す 4 状態とした。腕を上げる、腕を下げる、および机などに置くという 3 状態に加えて、左腕についてはスマートウォッチを見るために腕を上げている状態も腕状態とした。

把持状態および腕状態とコンテキストの関係を表 1 および表 2 に示す。今回、右腕の状態識別はスマートフォンを右手把持していない場合識別できないため、右手把持時のみ行うものとした。また、左手にスマートフォンを把持せずに左腕を上げる状態は、全てスマートウォッチを見る状態とした。なぜなら、スマートフォン未把持時に左腕を上げる動作は、コーヒーを飲むなどの日常動作も考えられるが、クロスデバイスインタラクションの操作においては、スマートウォッチを操作もしくは視認するための前動作および後動作と考えられるためである。それに加えて、類似したコンテキストに関しては同一なものを見なした。同一なコンテキストが複数、表 1, 2 にあるのはこれらの理由のためである。把持状態が両手把持の場合、両手を上げつつ左腕のみ下げる、スマートウォッチを見ることは日常動作に見られないため、識別を行わなかった。把持状態がポケットの場合においては、直立姿勢のみを想定したため、今回スマートフォンをポケットに入れたまま左腕を机に置くコンテキスト（表 1）の識別を行わなかった。このため、両端末を活用することによって識別できるコンテキストは表 1 および表 2 に示すものとした。

表 2 歩行状態におけるコンテキスト。
 把持状態

腕状態	左腕	左手	両手		右手		ポケット
			腕を上げる	腕を下げる	腕を上げる	腕を下げる	
腕を上げる		(a')	(d')	(f')	(g')	(j')	
腕を下げる		(c')	N/A	(e')	(h')	(i')	
スマートウォッチを見る		(b)	N/A	(f')	(g')	(j')	

3.2 コンテキストに応じた適切な UI

スマートウォッチおよびスマートフォンを用いる際のコンテキストに応じた UI に関してまとめたものを表 3 に示す。対象とした UI は右手、左手、および両手にてスマートフォンが操作可能かどうか、スマートウォッチおよびスマートフォンの画面を見ることが可能か、左手首を回転させることが可能か、スマートウォッチへタッチ操作可能かの計 7 個とした。表 3 中 Δ^1 は、a のコンテキストにおいて、右手の状態を識別できないため、スマートフォンを左手把持したまま右手人差し指による操作も可能であることを考慮し、 Δ とした（両手把持の場合は d と見なす）。表 3 中 Δ^2 は、スマートフォンによる複雑なタッチ操作はできないが、タップであれば可能であるため、 Δ とした。

3.3 コンテキストに基づく UI の優先度

コンテキストに応じた適切な UI より、各コンテキストにおいて優先的に用いる操作方法、レイアウト、フィードバックおよびディスプレイをまとめた。これを表 4 に示す。

4. アプリケーション例

コンテキストに応じたクロスデバイスインタラクションのアプリケーション例として、地図、ミラーリングおよび通知アプリケーションを述べる。

4.1 地図アプリケーション

コンテキストに適したレイアウトおよび操作方法を提供する地図アプリケーションを示す（図 3）。

Duet [2] において、スマートウォッチの画面をサブディスプレイとして利用するスマートウォッチ-スマートフォン間のクロスデバイスインタラクションが提案されている。我々は自動的にコンテキストに適した UI をユーザに提供する地図アプリケーションを提案する。図 3a は両手を上げている際（コンテキスト：f）の地図アプリケーションの UI である。このとき、ユーザはスマートフォンにて地図を閲覧でき、かつ目的地設定後、画面の転送ボタンを押すことにより、スマートウォッチ上にて目的地周辺の地図を表示することができる。スマートウォッチのみを見て

表 3 コンテキストに適した UI.

コンテキスト	右手操作	左手操作	両手操作	左手首回転	フォンを見られる	ウォッチを見られる	ウォッチ操作
a	△ ¹	○	×	×	○	×	×
b	×	△ ²	×	○	×	○	○
c	×	△ ²	×	○	×	×	×
d	○	○	○	×	○	×	×
e	○	×	×	○	○	×	×
f	○	×	×	○	○	○	×
g	△ ²	×	×	○	×	○	×
h	△ ²	×	×	○	×	×	×
i	×	×	×	○	×	×	×
j	×	×	×	○	×	○	○
k	○	○	○	×	○	○	○
l	○	×	×	×	○	○	×
m	×	×	×	○	○	○	○
n	×	×	×	○	○	×	×

表 4 コンテキストに応じた UI の優先度.

コンテキスト	主操作	補助操作	主ディスプレイ	補助ディスプレイ	主フィードバック	補助フィードバック
a	左手操作	右手操作	スマートフォン	-	スマートフォン	スマートウォッチ
b	左手首回転	左手操作 (タップ) ウォッチ操作	スマートウォッチ	-	スマートウォッチ	スマートフォン
c	左手首回転	左手操作 (タップ) ウォッチ操作	-	-	スマートウォッチ	-
d	両手操作	-	スマートフォン	-	スマートフォン	-
e	右手操作	左手首回転	スマートフォン	-	スマートフォン	-
f	右手操作	左手首回転	スマートフォン	スマートウォッチ	スマートフォン	スマートウォッチ
g	左手首回転	右手操作 (タップ)	スマートウォッチ	-	スマートフォン	スマートウォッチ
h	左手首回転	右手操作 (タップ)	-	-	スマートウォッチ	-
i	左手首回転	-	-	-	スマートウォッチ	-
j	左手首回転	ウォッチ操作	スマートウォッチ	-	スマートウォッチ	-
k	左手操作	右手操作	スマートフォン	スマートウォッチ	スマートフォン	スマートウォッチ
l	左手操作	-	スマートフォン	スマートウォッチ	スマートフォン	スマートウォッチ
m	左手首回転	-	スマートウォッチ	スマートフォン	スマートウォッチ	スマートフォン
n	左手首回転	-	スマートフォン	-	スマートフォン	スマートウォッチ

いる場合 (コンテキスト: g, i, j, i', j'), 図 3b に示すように, 設定した目的地までの距離と方向を見ることができる. これは, 歩行時でも問題なく見ることができる情報量とした. スマートフォンを把持し, スマートウォッチを見ることができない場合 (コンテキスト: a, e) においては, スマートウォッチの画面がスマートフォン上にミラーリングされ, 地図を確認しつつ目的地までの距離および方向を知ることができる. また, このとき右手にてスマートフォンを把持している際 (コンテキスト: e) には, 左手首を回転させることにより地図のズームインおよびズームアウトを行うことができる.

4.2 ミラーリングアプリケーション

スマートウォッチとスマートフォンの画面を同時に見ながら操作する場面がある (例: 図 4a に示されるように, 撮影した住所の写真をスマートウォッチに表示し, その住所

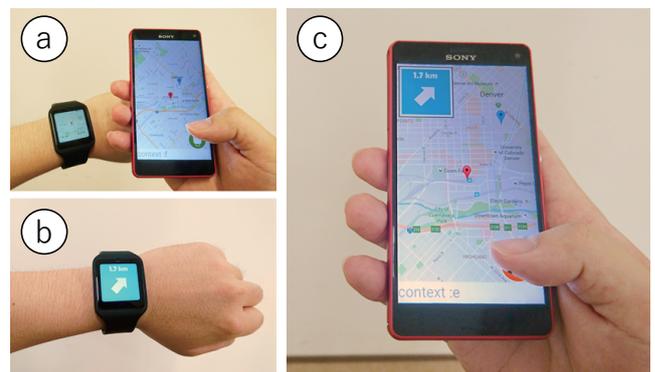


図 3 地図アプリケーション. (a) 両端末を見ながら行う際の UI. (b) スマートウォッチのみを見る際の UI. (c) スマートフォンのみを見る際の UI.

をテキストにてスマートフォン上に入力). さらに, このような場面にて写真を別のものに切り替える場合, スマートフォンを把持した手にてスマートウォッチを操作する

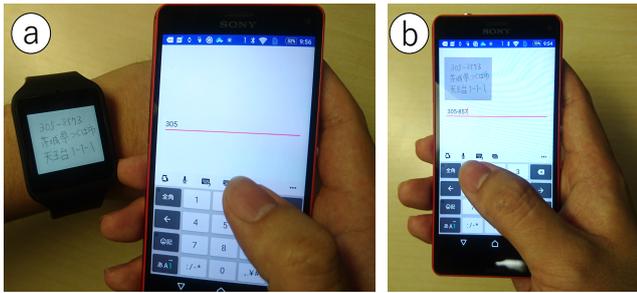


図 4 ミラーリングアプリケーション。

必要がある。また、このとき両腕を上げた状態での作業となるため、疲れた場合腕を下げてしまい作業を行えなくなる。そこで、スマートウォッチを取り付けた手を下げた場合、図 4b に示すようにスマートフォンの画面上部にスマートウォッチの画面を転送（ミラーリング）する。スマートフォンの画面上部は指が届きにくく、操作に用いられることが少ないため、画面上部をミラーリングの表示に用いることとした。画像の切り替えには、スマートウォッチを装着した手首を回転させる動作を用いることにより、スマートフォンを把持した手による操作を不要とした。

4.3 通知アプリケーション

コンテキストに応じて通知先の端末を割り当てるアプリケーションを提案する。また、本アプリケーションでは画面による通知とともに振動による通知が必要かどうかコンテキストに応じて変更する。その割り当てを表 5 に示す。

まず、スマートフォン操作時（コンテキスト：a, d, e）には通知先をスマートフォンとし、かつ振動の伴わない通知を行う。これは、画面閲覧時には振動がなくとも通知に気付くためである。また、スマートフォン未操作時かつ把持している際（コンテキスト：c, h）には、通知先をスマートフォンとし、かつ振動の伴う通知を行いユーザが気付くようにした。通知先をスマートフォンとした理由は、スマートウォッチよりもスマートフォンに通知した方がそのまま対応できるためである。スマートウォッチを見ている場合（コンテキスト：b, g, j, m）には、スマートウォッチを通知先とし、かつ振動を伴わない通知を行う。これは、画面閲覧時には振動がなくとも通知に気付くためである。スマートフォンが手元がない場合（コンテキスト：i, n）および両端末とも見られる場合（コンテキスト：f, k, l）には、通知先をスマートウォッチとし、かつ振動を伴う通知を行う。手元がない場合は、端末を手にとる手間がないよう、スマートウォッチを通知先とし、通知に気づかせるために振動させる。両端末とも見られる場合には、スマートフォン操作を阻害しないよう、通知先をスマートウォッチとした。また、通知に気付かせるためにスマートウォッチを振動させる。

表 5 通知の割り当て。

コンテキスト	通知先および振動の有無
a, d, e	スマートフォン（振動なし）
c, h	スマートフォン（振動あり）
b, g, j, m	スマートウォッチ（振動なし）
f, i, k, l, n	スマートウォッチ（振動あり）

5. コンテキスト識別手法

コンテキスト識別手法の実装を述べる。

5.1 使用端末および仕様

我々は今回、実装のためにスマートウォッチとして SONY SmartWatch 3 SWR50 (Android Wear 1.3.0, 画面サイズ：1.6 インチ, 解像度：320 px × 320 px) を、スマートフォンとして SONY Xperia Z3 Compact S0-02G を用いた。両端末間の通信には Bluetooth を用いた。両端末に内蔵されている 3 軸加速度センサからセンサ値を 20 Hz のサンプリングレートにて取得した。

5.2 コンテキスト識別

両端末から得られるセンサ値を入力とした機械学習を用いてコンテキストを識別する。まず、主に把持状態および腕状態の識別に用いるために、得られるセンサ値をそれぞれスマートウォッチを $a_{wx}(t)$, $a_{wy}(t)$, $a_{wz}(t)$, スマートフォンを $a_{mx}(t)$, $a_{my}(t)$, $a_{mz}(t)$ とし、端末ごとのセンサ値の 2 乗和 $a_w(t)$, $a_m(t)$ を求める。 $a_w(t)$, $a_m(t)$ は式 (1), (2) を用いて求める。2 乗和とすることにより、加速度の方向を考えずにどれほど端末が動いていたかのみを考えられるようにした。また、 $a_w(t)$, $a_m(t)$ の差 $a_d(t)$ も求める。 $a_d(t)$ は式 (3) より求めた。 $a_d(t)$ を導入した理由は、両端末が同期しているかどうかを差を用いて表すことにより、どちらの手に端末を把持しているかを区別できると考えたためである。

$$a_w(t) = a_{wx}(t)^2 + a_{wy}(t)^2 + a_{wz}(t)^2 \quad (1)$$

$$a_m(t) = a_{mx}(t)^2 + a_{my}(t)^2 + a_{mz}(t)^2 \quad (2)$$

$$a_d(t) = a_w(t) - a_m(t) \quad (3)$$

動作状態の識別を行うために上記に加えて、 $a_w(t)$, $a_m(t)$, および $a_d(t)$ のデータを一定区間取得し FFT により周波数解析を行うこととした。このとき、FFT のウィンドウサイズを 32 とした（結果から得られるパワースペクトルの周波数範囲は 0 Hz ~ 5 Hz であり、その解像度は 0.31 Hz となる）。FFT は静止状態および歩行状態を区別するために導入した。また、このウィンドウサイズにおけるスマートウォッチおよびスマートフォンの x, y, z 軸方向の加速度の平均値 $m_{wx}(t)$, $m_{wy}(t)$, $m_{wz}(t)$, $m_{mx}(t)$, $m_{my}(t)$, $m_{mz}(t)$ および $a_w(t)$, $a_m(t)$, および $a_d(t)$ のウィンドウに

における平均値 $m_w(t)$, $m_m(t)$, $m_d(t)$ も求めた。

コンテキストを識別するための機械学習器として機械学習ライブラリ Weka が提供する J48 を用いた。機械学習に用いた特徴量は、 $m_{wx}(t)$, $m_{wy}(t)$, $m_{wz}(t)$, $m_{mx}(t)$, $m_{my}(t)$, $m_{mz}(t)$, $m_w(t)$, $m_m(t)$, $m_d(t)$ の 9 個, $a_w(t)$, $a_m(t)$, および $a_d(t)$ のウィンドウデータの FFT のパワースペクトル 48 個, $a_w(t)$, $a_m(t)$, および $a_d(t)$ の FFT におけるそれぞれの最大パワースペクトルおよびその最大パワースペクトル周波数 6 個の計 63 個である。

6. コンテキスト識別精度評価実験

我々のコンテキスト識別手法の精度評価として、学習データの基本的な特性を見るために交差検定、実験協力者自身のデータを学習データとする per-user classifiers, テストデータとする実験協力者のデータを除く全実験協力者のデータを学習データとする general classifier, および学習データ量の識別精度への影響調査の 4 つの評価を行った。

6.1 実験協力者

研究室内の大学生および大学院生を含む 12 人 (21-24 歳, 平均年齢 22.3 歳, 全て男性) を実験協力者として実験を行った。実験協力者のスマートフォンの使用歴は 0-96 カ月 (平均 50.25 カ月) であり, 1 人の実験協力者を除き, 右利きであった。また, スマートウォッチの使用歴がある実験協力者は 4 人であり, その使用歴は 1-12 カ月であった (平均 6 カ月)。

6.2 実験内容

実験協力者に各コンテキストを行ってもらい, そのときの両端末のセンサ値を取得する実験を行った。まず, 実験協力者にスマートウォッチを左手首に取り付けるよう指示した。その後, 図 1 を見せながら, スマートフォンに表示される指示に従ってこちらが合図するまで約 10 秒間, 図 1 に示すコンテキストを行ってもらった (すなわち, 把持状態, 腕状態および動作状態をとってもらった)。なお, 歩行状態の場合, 床に記した目印の間 (直線 10m) を歩きながらそのコンテキストを行うよう指示した。さらに, スマートフォンが操作可能なコンテキストの場合, タップおよびスワイプにて画像閲覧アプリケーションを操作しながらコンテキストを行うよう指示した。なお, その操作頻度は 1 秒に 1 回程度となるよう指示した。各コンテキストを行ったとき, 間違っただけコンテキストを行った場合は再度そのコンテキストを行ってもらい, 正しくコンテキストを行った時のデータを取得するようにした。

本実験では 1 コンテキストを行うことを 1 試行とし, ランダムな順序にて提示された 24 種類のコンテキストを行うことを 1 セッションとした。実験協力者には 4 セッション行ってもらい, 2 セッション終了時に 5 分間の休憩を取

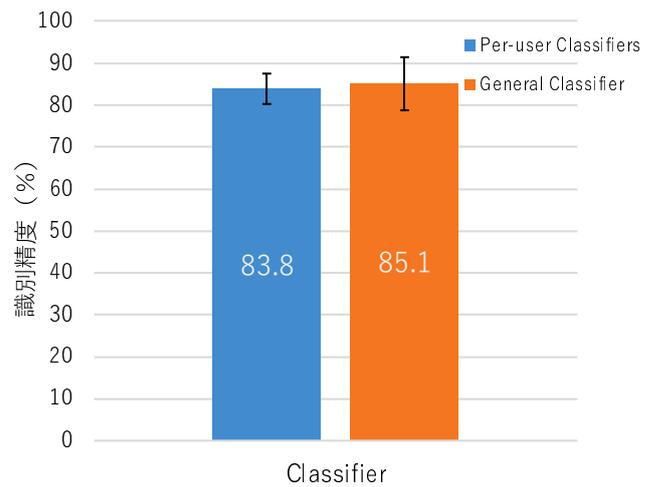


図 5 識別精度。

てもらった。各コンテキスト実施時に, センサ値を 100 フレーム分取得した。このタスクによって得られるデータ数は, 115,200 フレーム (12 人 \times 4 セッション \times 24 試行 \times 100 フレーム) となる。なお 1 人当たりの実験の所要時間は約 60 分であった。

6.3 結果および考察

交差検定, per-user classifier, general classifier および学習データ量の識別精度への影響の評価の結果および考察を示す。交差検定には Weka Machine Learning Toolkit [5] を用いて行った。

6.3.1 交差検定

一般的な識別性能を評価するために, 全データである 115,200 フレームを用いて 10-fold 交差検定を行い評価を行った。結果, 識別精度は 99.3% となった。これは, 今回重複したデータを含むウィンドウを用いて特徴量の生成を行ったために, データの重複の影響によりこの識別精度になったと考えられる。そのため, 各個人のデータを用いた際のデータおよび異なる個人のデータを用いた際のデータを用いた際の識別精度も評価を行う。

6.3.2 Per-user Classifiers

各被験者のデータごとに 4-fold 交差検定を行い, 各個人のデータを用いた際の識別精度を評価した。結果, 24 コンテキストの平均識別精度は 83.8% (SD = 3.6) であった。結果を図 5 に示す。図 5 のエラーバーは各被験者の識別率の標準偏差を表す。

6.3.3 General Classifier

異なる個人のデータを学習データとした際の識別精度を評価した。各実験協力者のデータをテストデータとし, それ以外の全てのデータを学習データとした際の識別精度の評価を行った (すなわち, 12-fold 交差検定)。

結果, 図 5) に示すように 24 コンテキストの平均識別精度は 85.1% (SD = 6.4) となった。図 5 における General

表 6 General classifier における識別結果の混同行列.

		Predicted Contexts																									
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	a'	b'	c'	d'	e'	f'	g'	h'	i'	j'		
Actual Contexts	a	74.4			25.0																						
	b		97.8																								
	c			84.5						15.2																	
	d	43.7			48.0		0.2						8.1														
	e					98.5					0.2																
	f						84.3	2.1					10.1														
	g				6.3			81.7			5.7			6.3													
	h								93.9	0.6					5.5												
	i			9.6		8.3			2.1	77.1	2.1																
	j				0.4			10.6		6.2	75.6																7.1
	k						2.1					89.4	0.1	8.4													
	l						9.0						91.0														
	m											2.1		97.9													
	n														100.0												
a'	0.4			0.1											49.4	1.6		48.6									
b'	0.2	0.9													1.9	95.8		1.2									
c'			2.8						0.2								93.7								3.3		
d'	1.0			0.3											35.3	0.1		55.1		8.3							
e'					0.1														99.9								
f'						0.3							0.6							99.1							
g'											0.9		4.1							4.6			88.7				
h'								0.5						6.2										90.9	2.4		
i'									0.6									8.0	4.2		0.1	3.2	83.7				
j'							0.1		0.2	0.7									3.3			1.5	1.9	92.4			

Classifier のエラーバーは各個人のデータをテストデータとした際の識別精度の標準偏差を表す。この結果は、per-user classifier よりも 1.4%高い結果となった。したがって、本識別手法は異なるユーザのデータを学習データとしても精度が変化しないために、コンテキスト識別手法としての実用可能性があることを示している。

また、識別結果の混同行列を表 6 に示す。表 6 より、a, d, a', および d' の識別精度が低いことが分かる。

6.3.4 学習データ量

図 1 に示すコンテキストを精度よく識別するためには学習データがどれほど必要か評価するために、学習データ量を変えコンテキストの識別精度の評価を行った。結果を図 6 に示す。図 6 のエラーバーは各学習データ量において識別精度を 12 回評価した際の標準偏差を表す。各学習データ量において、12 回ランダムにデータを選択しそれらを学習データとし、識別精度を求めた。結果、5 人分のデータ (48,000 フレーム) を学習データとした以降は識別精度の上昇がみられなかった。したがって、十分な識別精度にてコンテキストを識別するには 5 人分の学習データがあれば良いと考えられる。

7. 議論および今後の課題

今回識別したコンテキスト以外にもコンテキストは存在する。例えば、スマートウォッチを取り外し机に置く場合および、寝転がりながら操作を行う場合がある。また、ポケットがなくスマートフォンをカバンに入れる場合もある。今後はこのような他のコンテキストも含めた識別も行う必要がある。その他にも、鞆を持つ、コーヒーカップを

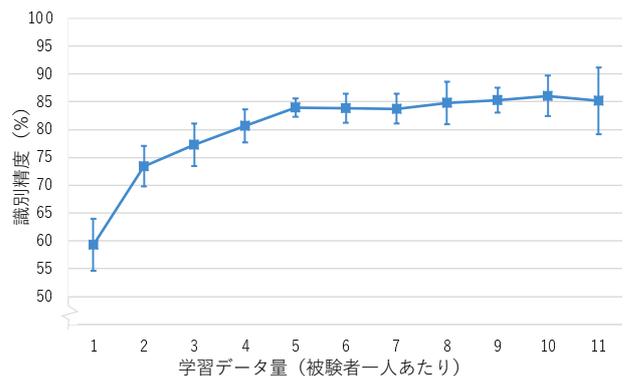


図 6 学習データ量の識別精度への影響。

持つなどの日常動作も識別できるか調査し、それぞれの場面に応じた UI の検討を今後行う。

今回の識別精度評価実験では、学習データを収集した環境と識別する環境が同一であるという想定にて行った。ただし、実際の使用場面は様々なものが想定される。今後、場所、椅子および机の変更などを行い、他の環境の影響も考慮した追加実験を行う予定である。

表 6 より、a と d および a' と d' が互いに誤って識別されている。これについては、d' は a' の状態に右手をスマートフォンに添える状態であるため、コンテキスト間の差が乏しく誤りが発生したと考えられる。今後、ジャイロセンサのデータも用いて機械学習を行い、識別精度の改善を行う。

今回我々が実装したコンテキスト識別手法では、スマートフォンを右手に把持しない場合、右の腕状態の識別ができない。この問題の解決策として、Mo-Bi [8] と同様に両手にスマートウォッチを取り付けることが考えられる。今

後、ウェアラブル端末はより普及し複数の端末を取り付けるユーザが多くなると予想される。センサを内蔵した端末を両手に取り付けることが自然となれば、この解決策が現実的になると考えられる。

8. まとめ

本研究は、各コンテキストにおいて適切な UI を調査し、各コンテキストにおける UI の優先度をまとめた。まとめた UI を利用し、コンテキストに応じて適切な UI を提供するアプリケーション例として、地図、ミラーリング、および通知アプリケーションの実装を行った。また、スマートウォッチおよびスマートフォンの加速度センサの値を用いた機械学習によるコンテキスト識別手法を実装し、その識別精度を評価した。結果、per-user classifiers において 83.8%、general classifier において 85.1%の精度にて各コンテキストが識別可能であることが示された。

今後は、コンテキストに応じて適切な UI を提供するクロスデバイスインタラクションのアプリケーション例の実装および実装したアプリケーション例を実装にユーザに使用してもらい、その使用感の調査を実施する。

参考文献

- [1] Brajdic, A. and Harle, R.: Walk Detection and Step Counting on Unconstrained Smartphones, *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 225–234 (online), DOI: 10.1145/2493432.2493449 (2013).
- [2] Chen, X. A., Grossman, T., Wigdor, D. J. and Fitzmaurice, G.: Duet: Exploring Joint Interactions on a Smart Phone and a Smart Watch, *Proceedings of the 32nd SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 159–168 (online), DOI: 10.1145/2556288.2556955 (2014).
- [3] Cheng, L.-P., Liang, H.-S., Wu, C.-Y. and Chen, M. Y.: iGrasp: Grasp-based Adaptive Keyboard for Mobile Devices, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 3037–3046 (online), DOI: 10.1145/2470654.2481422 (2013).
- [4] Darbar, R. and Samanta, D.: SurfaceSense: Smartphone Can Recognize Where It Is Kept, *Proceedings of the 7th International Conference on HCI, IndiaHCI 2015*, IndiaHCI'15, New York, NY, USA, ACM, pp. 39–46 (online), DOI: 10.1145/2835966.2835971 (2015).
- [5] Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P. and Witten, I. H.: The WEKA Data Mining Software: An Update, *SIGKDD Explorations Newsletter*, Vol. 11, No. 1, pp. 10–18 (online), DOI: 10.1145/1656274.1656278 (2009).
- [6] Hinckley, K., Pierce, J., Sinclair, M. and Horvitz, E.: Sensing Techniques for Mobile Interaction, *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '00, New York, NY, USA, ACM, pp. 91–100 (online), DOI: 10.1145/354401.354417 (2000).
- [7] Hinckley, K., Yatani, K., Pahud, M., Coddington, N., Rodenhouse, J., Wilson, A., Benko, H. and Buxton, B.: Pen + Touch = New Tools, *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 27–36 (online), DOI: 10.1145/1866029.1866036 (2010).
- [8] Kim, H.-J., Cha, S., Park, R. C., Nam, T.-J., Lee, W. and Lee, G.: Mo-Bi: Contextual Mobile Interfaces Through Bimanual Posture Sensing with Wrist-Worn Devices, *Proceedings of HCI Korea*, HCIK '16, South Korea, Hanbit Media, Inc., pp. 94–99 (online), DOI: 10.17210/hcik.2016.01.94 (2016).
- [9] Lee, S., Kim, Y., Ahn, D., Ha, R., Lee, K. and Cha, H.: Non-obstructive Room-level Locating System in Home Environments using Activity Fingerprints from Smart-watch, *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 939–950 (online), DOI: 10.1145/2750858.2804272 (2015).
- [10] Ranjan, J. and Whitehouse, K.: Object Hallmarks: Identifying Object Users using Wearable Wrist Sensors, *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 51–61 (online), DOI: 10.1145/2750858.2804263 (2015).
- [11] Skov, M. B., Kjeldskov, J., Paay, J., Jensen, H. P. and Olsen, M. P.: Investigating Cross-Device Interaction Techniques: A Case of Card Playing on Handhelds and Tablets, *Proceedings of the Annual Meeting of the Australian Special Interest Group for Computer Human Interaction*, OzCHI '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 446–454 (online), DOI: 10.1145/2838739.2838763 (2015).
- [12] Yang, Y., Chae, S., Shim, J. and Han, T.-D.: EMG Sensor-based Two-Hand Smart Watch Interaction, *Adjunct Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '15 Adjunct, New York, NY, USA, ACM, pp. 73–74 (online), DOI: 10.1145/2815585.2815724 (2015).
- [13] Yoon, D., Hinckley, K., Benko, H., Guimbretière, F., Irani, P., Pahud, M. and Gavrilu, M.: Sensing Tablet Grasp + Micro-mobility for Active Reading, *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 477–487 (online), DOI: 10.1145/2807442.2807510 (2015).
- [14] 大内一成, 土井美和子: 携帯電話搭載センサによるリアルタイム生活行動認識システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 7, pp. 1675–1686 (2012).
- [15] 山本哲也, 寺田努, 塚本昌彦: ウェアラブルコンピューティングのための手足を使った状況依存ジェスチャ入力手法, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 14, No. 2, pp. 17–23 (2012).
- [16] 田邊和彦, 渡邊 光, 村尾和哉, 望月祐洋, 西尾信彦: 手首装着型端末と連携させた携帯端末所持状態判定手法の提案, 情報処理学会研究報告. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム], pp. 1–7 (2015).