

タッチ操作の挙動に基づく ユーザプロファイル推定手法の提案

平部 裕子^{1,a)} 津田 麻衣¹ 荒川 豊¹ 安本 慶一¹

概要：

本論文では、スマートフォンにおけるタッチ操作の挙動を1つのセンサとしてとらえ、その挙動からユーザプロファイルの1つである「スマートフォンを操作しているユーザの手と指（以降、操作形態）」を識別する手法を提案する。食事中や喫煙中は、利き手と反対の手でスマートフォンを操作するユーザも多いため、操作形態がわかることによって、こうした従来の加速度センサなどからでは識別しづらいコンテキストを識別できる可能性がある。提案手法は、タッチ操作の操作領域とスワイプ時の弧の向きを分析し、これらの組み合わせから、利き手情報も含め、7つの操作形態を識別可能である。

YUKO HIRABE^{1,a)} MAI TSUDA¹ YUTAKA ARAKAWA¹ KEIICHI YASUMOTO¹

1. はじめに

近年、スマートフォンという、常時インターネットに接続され、かつ、様々なセンサーを搭載した小型端末が普及したことにより、ユーザのコンテキストに応じて適切なサービスを提供するコンテキストウェアサービスが現実のものになるようとしている。コンテキストウェアサービスを実現するためには、ユーザの複雑なコンテキストをサービスを提供する側のシステムが適切に理解することが必要不可欠である。ここで、コンテキストとは、大きく、A) 資源コンテキスト（情報資源の分類、属性など）、B) 状況コンテキスト（利用者の環境、場所、時間など）、C) 利用者コンテキスト（利用者の属性、意図、目的など）[1] という3種類に分類することができる。

まず、A) 資源コンテキストとは、ユーザに対してではなく、情報資源に対して付与される属性である。例えば、位置に応じて提供される情報であれば、その情報に対して配信エリアという情報や、有効な配信期間、配信対象ユーザなどが必要である。

次に、B) 状況コンテキストとは、位置情報など、ユーザが置かれている状況を表す情報である。GPS (Global Positioning System) および GPS を搭載したスマートフォ

ンの普及により、位置情報は簡単に利用可能なコンテキストとなっている。そして、これらのコンテキストA)、B)を組み合わせてることにより、位置に応じた情報が配信されるようなコンテキストウェアサービスが構築可能となる。

一方、本論文で対象とするコンテキストは、ユーザ自身に関する情報である C) 利用者コンテキストである。利用者コンテキストは、さらに C)-1 外的コンテキスト、C)-2 内的コンテキスト、C)-3 固有コンテキストに分類できる。C)-1 外的コンテキストはユーザの身体的な状態を示すもので、例えば、歩く・走る・座る、などの「動作情報」を加速度センサを用いて認識する研究 [2] が多く行われている。また、C)-2 内的コンテキストは興味や感情といったユーザの内面的な状態を指し、その情報は定性的で曖昧であることが多い。しかも、B) の影響で変化するため、推定が困難とされている。C)-3 は、一般的にユーザプロファイルといった変化しないコンテキストのことを指す。例えば、性別、年齢、居住地、大学、身長、既往歴、趣味など、さまざまな情報が考えられる。これらのコンテキストは、プライバシー問題と表裏一体であるが、よりウェアネスの高いサービスを提供するためには、非常に重要な情報となる。現に、Google 広告では、過去の検索履歴などから C)-3 を可能な限り推定し、その推定に基づいて、広告（情報）配信先の最適化が行われている。

このようなコンテキストの中で、筆者らは、スマートフォンのみで、C)-2 および C)-3 のコンテキストを推定す

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology
8916-5, Takayama, Ikoma, Nara 630-0192, Japan
^{a)} hirabe.yuko.ho2@is.naist.jp

る手法を検討している。スマートフォンに搭載されている代表的なセンサーとしては、加速度センサ、ジャイロセンサ、GPS、照度センサ、などがある。しかし、これらを駆使しても、C)-2 内的なコンテキストや C)-3 固有コンテキストの推定は困難であるため、筆者らは、ユーザのタッチ操作の挙動、を新しいセンサと捉え、その変化を分析することで、これまで困難だったこれらのコンテキストを推定できないかと考えている。タッチ操作は、センサではなく入力インターフェースなので、これまでセンサとして利用した研究はない。さらに、Android OS の設計理念上、他のアプリケーション上での操作を横取りすることは不可能である。しかしながら、これまでの研究で、Android 上でのタッチ操作をアプリケーションに依らずすべて取得・分析可能なツール TouchAnalyzer[3] を開発済みである。

今回このツールを利用して取得したタッチ操作のログから、特に C)-3 のコンテキストの 1 つである、「スマートフォンを操作しているユーザの手と指」という固有コンテキストを識別できないか試みる。「スマートフォンを操作しているユーザの手と指」とは、スマートフォンを日頃操作しているユーザの手と指のことである。また、今回識別する「指」とは、スマートフォンの操作で最も良く使われているであろう、親指と人差し指のことである。C)-1 における外的コンテキストの 1 つとして、食事中か否か、というコンテキストがある。これを判別するために、小型の匂いセンサを用いる研究 [4] や首に圧電素子を取り付ける研究 [5] などがある。これらの研究では、スマートフォン以外のセンサが必要となる。これに対して、もしスマートフォンを操作している時のユーザの手と指の認識が可能である場合、B) 状況コンテキストと組み合わせることで、時間や場所から食事中と思われる状況で、スマートフォンを操作しているユーザの手と反対の手を使用している場合は食事中である可能性が高いと判断できる。これは、食事以外にも、喫煙の判定にも利用できる。

また、近年スマートフォンの大型化が顕著であり、片手では操作しにくくなっている。しかしながら、アプリケーションのユーザインターフェース (UI: User Interface) は小型のスマートフォンでも大型でも同じであるため、スマートフォンを操作しているユーザの手や指によっては利用しやすいアプリケーションも存在する。これに対して、例えば日本語文字入力アプリである ATOK では、キーボードの表示位置や表示サイズを自由に変更できるようになっている^{*1}。これもスマートフォンを操作している時のユーザの手やサイズといった C)-3 固有コンテキストがわかれば、自動的に適した位置やサイズに変形させることも可能である。

さらに、スマートフォンの高機能化が進むと同時に、高

齢者向けの携帯端末もスマートフォン化が進んでおり、アプリケーション全体の UI のユニバーサルデザイン化が求められている。現在も、ユーザのスキルに応じて、UI を変更できる機種が発売されているが、通常モードと簡単モードという 2 つの切り替えのみである。今後、ユーザの多様性が増すことを考えると、スマートフォンを操作している時のユーザの手や指、ユーザの操作スキルといったユーザ固有のコンテキストを識別し、それに応じて多段階に UI が切り替わるようなコンテキストアウェア UI への発展も期待できる。

スマートフォンを操作しているユーザの手と指の識別アルゴリズムを確立するにあたり、スマートフォンの操作形態を観察し、7 種類のものに分類する。分類は、どちらの手でスマートフォンを支えているか、どの指で操作しているかという観点で行う。ただし、操作の指に関しては、親指がそれ以外の指という 2 種類の分類とする。そして、これらの操作形態を識別するために、X 軸方向のタッチ頻度、Y 軸方向のタッチ頻度、スワイプの軌跡の曲がり具合、という 3 つの指標を導入する。そして、それぞれの結果の組み合わせから、操作形態を絞り込み、最終的に 7 種類の操作形態を識別する。

以降、第 2 章において関連研究について説明し、第 3 章において筆者らが開発した Android 用のタッチ操作ロギングツールについて説明する。第 4 章において、詳細なアルゴリズムを説明し、第 5 章で総括する。

2. 関連研究

タッチ操作ではないが、ユーザが Web ページのどのボタンや部分がクリックされやすいかという情報を可視化し、ユーザの興味や注目度を分析する商用システムは多く存在する。代表的なものに ClickTale^{*2}があげられる。これは、Web ページにスクリプトを埋め込むことで、マウス操作を追跡し、追跡結果を録画する等の機能を持ち、ClickTale を用いて集めた情報を基に、ユーザの関心のあるコンテンツやユーザが良く見ていた場所をヒートマップで表現している。また、スマートフォン向けの ClickTale Touch も提供されており、スマートフォンアプリにおいても同様に使用できる。しかしながら、ClickTale では、サービス提供者が自らアプリ及びサイト内にスクリプトを埋め込む必要があり、それ以外のアプリケーションではユーザのタッチ操作を取得し分析することはできない。つまり、本研究で行いたいアプリケーションを横断してのユーザのタッチ操作の挙動を利用したコンテキストの取得は不可能である。

TouchLogger[6] や Touchalytics[7] という類似した名前の研究があるが、これはタッチ操作そのものを取得するのではなく、タッチ操作で入力するソフトウェアキーボード

^{*1} http://www.justsystems.com/jp/users/atok/android/1_5_8/01fset.html#01fset_keyboardsize

^{*2} <http://www.clicktale.com/products/clicktale-touch>

のキー入力を推定するというセキュリティ分野の研究であり、ソフトウェアキーボードの各キーを押した場合の加速度センサの変化を分析するのみに留まっている。

3. TouchAnalyzer について

我々が開発したシステム TouchAnalyzer (図1)は、開発システムが PC 上で動作し、スマートフォンが USB 経由で接続される構成である。TouchAnalyzer は Android SDK の platform-tools に含まれる、Android Debug Bridge (以下 adb と記載) と python を用いて実現する。TouchAnalyzer は、まず、タッチ操作のログを取得する。Android では、Linux と同様に /dev/input などのデバイスログにタッチイベントに関するデータが出力される。そこで、TouchAnalyzer は、まず /dev/input などのデバイスログに出力されるタッチイベントログを、adb ツールからシェルコマンドを発行しデバイスログを取得する。また同時に、foreground (ユーザが操作している) のアプリケーションのログを取得する。しかしながら、機種によってタッチイベントの出力先や時刻フォーマットが異なる。また、実際に出力されるログデータは一見では人間にとって理解しがたい。そこで、TouchAnalyzer はこれら全ての機種依存の違いを吸収し、スマートフォンを操作する多くのユーザが一般的によく行う挙動 (シングルタッチ・マルチタッチ、シングルスワイプ・マルチスワイプ、ピンチイン・ピンチアウトそしてローテート) を認識する。そして、識別した各タッチ操作の挙動において識別した挙動ごとの頻度と平均速度といった統計的な情報を計算し、タッチ操作の挙動をリアルタイムに可視化する。可視化する際は、取得した x, y 座標を用いて、タッチした場所を点として描画する。さらにアプリケーションごとの色分けをしてどのアプリケーションでどのようなタッチ操作が行われたのかを表現する。また、タッチした指と画面との接地面積の大きさから、描画する円の大きさを変化させている。

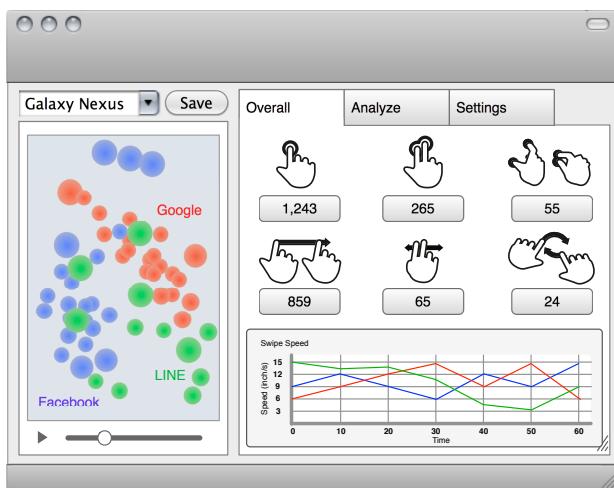


図1 TouchAnalyzer

4. タッチ操作の挙動に基づくユーザの利き手コンテキストの取得方法の提案

4.1 本論文でのコンテキストの定義

ユーザのコンテキストとは、資源コンテキスト (情報資源の分類、属性など)、状況コンテキスト (利用者の環境、場所、時間など)、利用者コンテキスト (利用者の属性、意図、目的など) の大きく 3 つに分類される。本研究では、以上に述べたユーザコンテキストの中でも、特に利用者コンテキストの推定を研究の対象とする。利用者コンテキストには、利用者の属性、意図、目的などがあり、これらは外的コンテキストと内的コンテキストに分けられる。外的コンテキストはユーザの属性、状態を示すもので、例えば、歩く・走る・座る、などの「動作情報」を加速度センサを用いて認識する研究が多く行われている。また、内的コンテキストはユーザの感情といったもので、推定することが難しいとされている。本研究では、スマートフォン上のタッチ操作を利用して得られる利用者コンテキストに着目する。スマートフォン上のタッチ操作を分析することで得られる利用者コンテキストには、ユーザの感情や個性、操作スキル、姿勢、同時に何をしているか、といったものが想定される。今回はその中でも最も基本的なコンテキストである「スマートフォンを操作しているユーザの手と指」を対象とする。

4.2 スマートフォンを操作しているユーザの手と指の判別アルゴリズム

スマートフォン上のタッチ操作の挙動を用いて、スマートフォンを操作しているユーザの手と指を判別するアルゴリズムに関して示す。

4.2.1 スマートフォンの操作形態のタイプ

スマートフォンの操作形態は、以下に示す 3 種類に大別できる。

- タイプ1) スマートフォンを支える手の親指で操作
- タイプ2) スマートフォンを片手で支え、もう一方の手の人差し指で操作
- タイプ3) 支える手の親指ともう一方の手の人差し指の両方で操作

更に、タイプ1) とタイプ2) に関しては、支える手と操作する手の組み合わせによって、図 4-1 (ref:touchtype) 示すように、それぞれ 2 種類に細分化できる。タイプ3) は、支える手と操作する手の組み合わせに加え、両手操作が加わるため、3 種類に細分化される。本論文では、ここに示した計 7 種類の操作形態を識別することを目標とする。

4.2.2 スマートフォンのタッチ頻度・スワイプの軌跡から分かる情報について

操作形態のタイプを識別する手法として、本論文では、

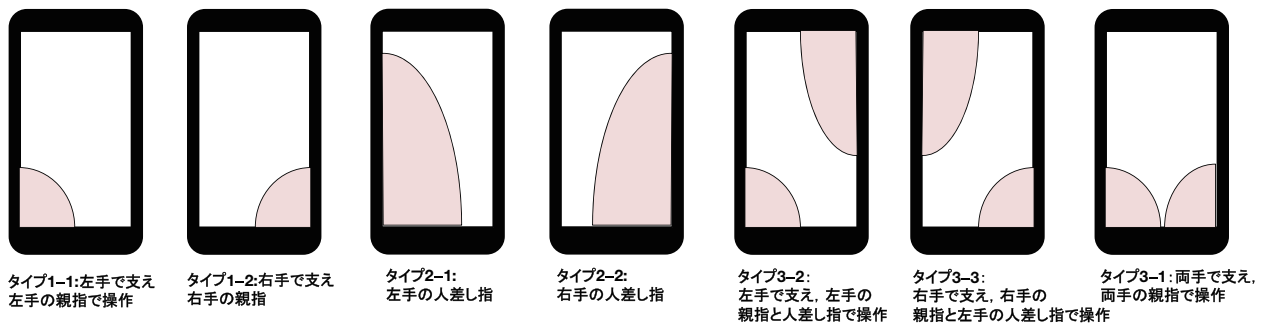


図2 タッチ操作の操作形態とタッチ領域の関係

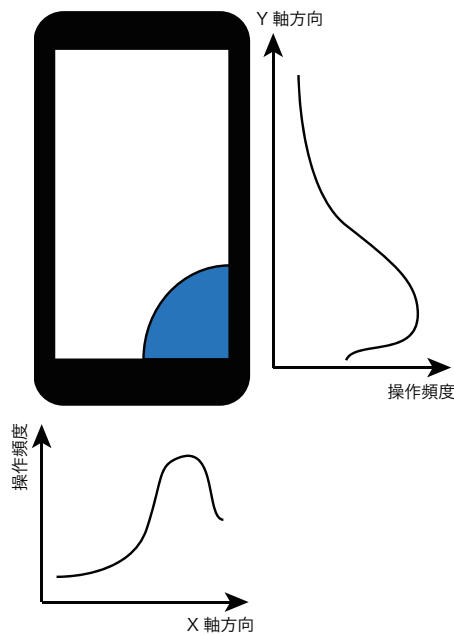


図3 タッチ領域と頻度グラフの関係

次に、B) では、B-1) y 軸の極値が1つの場合、極値の y 軸の画面縦幅の3分の1以下であれば、親指で操作している事がわかる(図7)。また、B-2) y 軸の極値が2つ以上で緩やかな変化をする場合、人差し指で操作している事がわかる(図8)。

そして最後に、C) では、C-1) スワイプの曲がる方向が左に曲っている場合は、右手の人差し指で操作しているこ

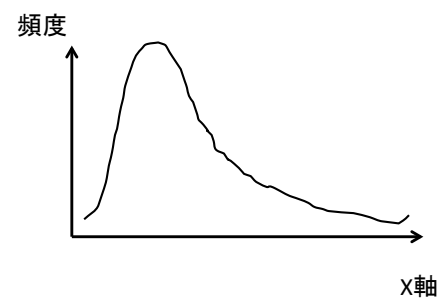


図4 x 軸に対する頻度グラフ(左手の指で操作)

画面を細かい領域に分割し、タッチ頻度の多い領域を検出する。タッチ頻度を X 軸方向と Y 軸方向に分けて分析すると、図3のような頻度グラフがそれぞれに対して得られる。

提案手法では、この頻度グラフの特徴を利用するとともに、スワイプの軌跡の円弧の向きを識別に利用する。以降、A) x 軸に対する頻度グラフ、B) y 軸に対する頻度グラフ、C) スワイプの軌跡の曲がる方向から推定可能な情報について説明する。

A)の中で分かる情報を用いて、A-1) x 軸の最高頻度(以下極値と述べる)が1つの場合と A-2) x 軸の最高頻度(以下極値と述べる)が2つの場合で分けられる。A-1)の情報から、1つの指で操作していることが分かる。ここで A-1)の時、A-1-1)極値の x 座標が画面横幅の2分の1以下であれば、左手の指で操作している事がわかる(図4)。また、A-1-2)極値の x 座標が画面横幅の2分の1以上であれば、右手で操作している事がわかる(図5)。一方で A-2)の時、極値が2つの場合は、両方の手の指で操作している事がわかる(図6)。

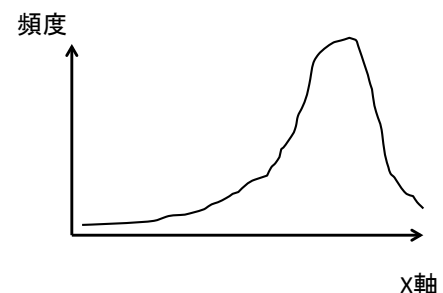


図5 x 軸に対する頻度グラフ(右手の指で操作)

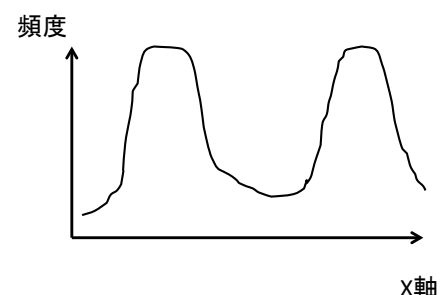


図6 x 軸に対する頻度グラフ(両手の指で操作)

とが分かる．一方で，C-2) スワイプの曲がる方向が右に曲っている場合は，左手の人差し指で操作している事がわかる．以上の情報を組み合わせる事により，スマートフォンを操作しているユーザの手と指を識別する．

4.2.3 スマートフォンを操作しているユーザの手と指の判別アルゴリズムのフローチャート

A) x 軸に対する頻度グラフ，B) y 軸に対する頻度グラフ，C) スワイプの軌跡の曲がる方向の情報を利用して，スマートフォンを操作しているユーザの手と指の識別アルゴリズムを作成した．フローチャートを図 9 に示す．

ここでフローチャートのグレーの部分では，A-1) か A-2) を判定している．また，フローチャートの赤い部分では，B-1) か B-2) を判定している．更に，フローチャートのオレンジの部分では，C-1) か C-2) であるかを判定している．そして，フローチャートの青い部分は，A-1-1) か A-1-2) を判定している．

これらの判定を複合的に行うことで，我々が定義した 7 つのタイプを識別を行っている．

まず，タイプ 1-1) 左手で支え左手の親指で操作している事を判別するには，1 つの指で操作し，親指で操作している．そして，左手の指で操作している，という情報が必要である．そこで，フローチャートのグレーの部分で A-1) で 1 つの指で操作していることを判別し，フローチャートの赤い部分で B-1) 親指で操作している事を判別する．そして，フローチャートの青い部分で A-1-1) 左手の指で操

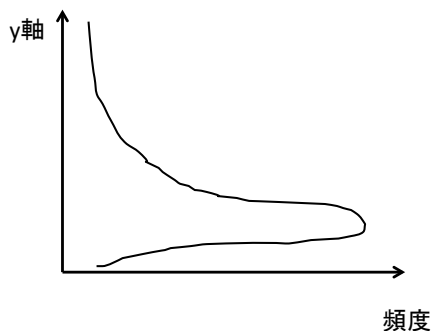


図 7 y 軸に対する頻度グラフ (親指で操作)

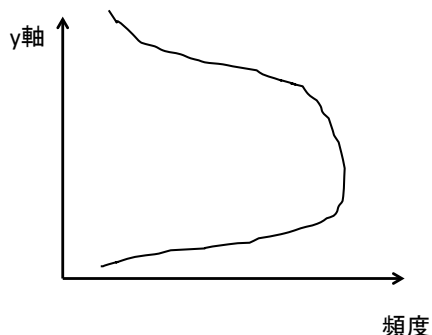


図 8 y 軸に対する頻度グラフ (人差し指で操作)

作している事を判別する．しかしこの時，フローチャートの青い部分で「No」と判別されれば，A-1-2) 右手の指で操作していると判定され，タイプ 1-2) 右手で支え右手の親指で操作している事を識別する．

また，タイプ 2-1) 右手で支え，左手の人差し指で操作している事を判別するには，1 つの指で操作し，人差し指で操作している．そして，左手の指で操作している，という情報が必要である．これらの情報を得るため，フローチャートのグレーの部分で A-1) で 1 つの指で操作していることを判別し，フローチャートの赤い部分で B-1) 人差し指で操作している事を判別する．そして，フローチャートのオレンジの部分で C-1) 右手の人差し指で操作していることを判別する．更にここで，フローチャートのオレンジの部分で「No」と判定されれば，C-2) 左手の人差し指で操作していると判定する．

そして，タイプ 3-1) を識別するには，フローチャートのグレーの部分で A-2) で両手の指で操作していることを判別し，フローチャートの赤い部分で B-2) 人差し指で操作している事を判断する．タイプ 3-2) を識別するには，フローチャートのグレーの部分で A-2) で両手の指で操作していることを判別し，フローチャートの赤い部分で B-1) 親指で操作している事を判定する．そして，フローチャートのオレンジの部分で C-2) 左手の人差し指で操作していると識別する．またこの時，フローチャートのオレンジの部分で「Yes」と判定された場合は，C-1) 右手の人差し指で操作していると判定する．

5. おわりに

本研究では，更なるコンテキストウェアなサービスやアプリケーションを提案する上で重要なコンテキストとなり得る，「スマートフォンを操作する手と指」の識別アルゴリズムの提案を行った．「スマートフォンを操作する手と指」の識別アルゴリズムを提案するため，スマートフォンの挙動を取得し，取得したタッチ操作のデータをから，タッチ操作の頻度とスワイプの軌跡が曲がる方向を用いて「スマートフォンを操作する手と指」を識別することを提案した．スマートフォンのユーザのタッチ操作の挙動を取得するには，我々が開発した TouchAnalyzer を利用する．また，識別アルゴリズムを提案するため，我々はスマートフォンの操作形態を観察した．その結果，7 つの操作形態があることがわかった．これら 7 つのタイプを識別するため，本論文では，画面を細かい領域に分割し，タッチ頻度の多い領域を検出する．そして，画面内における x 軸 (画面の横)，y 軸 (画面の縦) に対する頻度グラフとスワイプの軌跡の曲がる方向を用いて，スマートフォンを操作しているユーザの手と指を識別する手法を提案した．今後は，実際にこれらのアルゴリズムを実装し，どのようなデバイス，あるいはアプリケーションでも識別可能かどうかを評価し

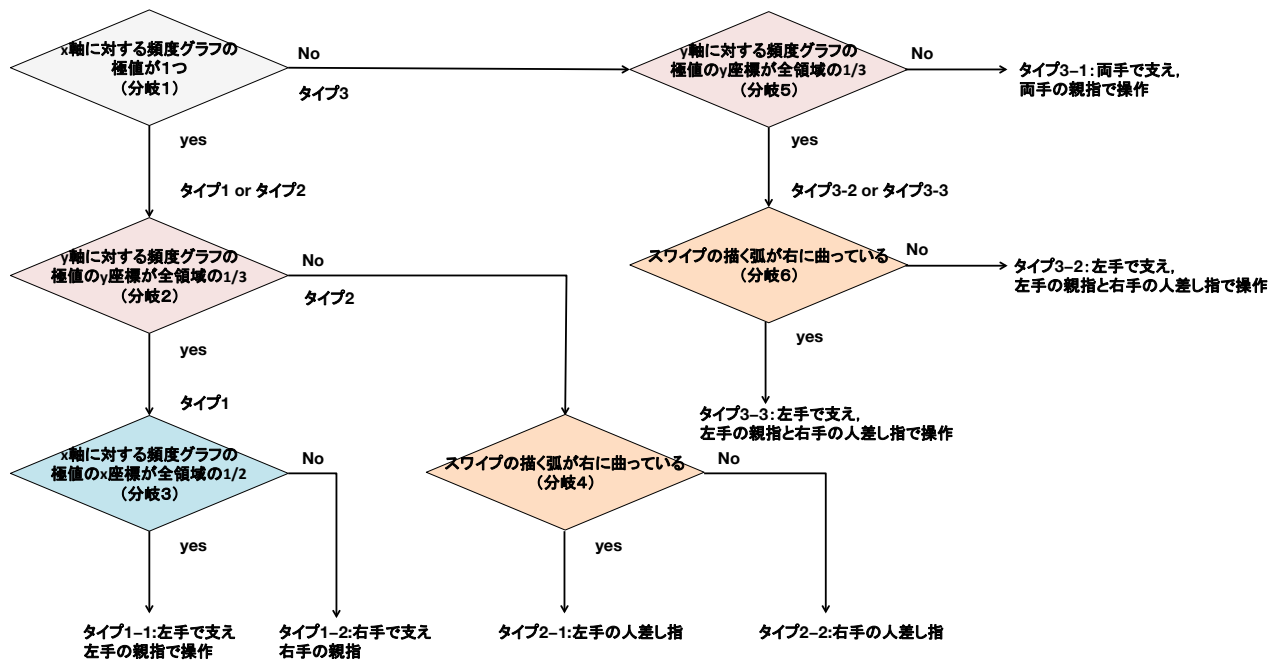


図 9 スマートフォンを操作しているユーザの手と指の識別アルゴリズムのフローチャート

ていく予定である。

参考文献

- [1] 藤井章博：ユビキタスネット社会のコンテキストウェア
ネス技術研究の動向と課題，科学技術動向， No.77, pp.
18-25 (2007).
- [2] Kawaguchi, N., Ogawa, N., Iwasaki, Y., Kaji, K., Terada,
T., Murao, K., Inoue, S., Kawahara, Y., Sumi, Y. and
Nishio, N.: HASC Challenge: gathering large scale human
activity corpus for the real-world activity understandings,
*Proceedings of the 2nd Augmented Human International
Conference*, ACM, p.27 (2011).
- [3] Hirabe, Y., Arakawa, Y. and Yasumoto, K.: Logging All
the Touch Operations on Android, *The 7th International
Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Net-
working (ICMU 2014)*, pp. 93-94 (2014).
- [4] 小林泰貴，寺田努，塚本昌彦：においに基づく状況認識の
実現に向けて，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]， No.9, pp. 1-7 (2010).
- [5] Cheng, J., Zhou, B., Kunze, K., Rheinländer, C. C., Wille,
S., Wehn, N., Weppner, J. and Lukowicz, P.: Activity
recognition and nutrition monitoring in every day sit-
uations with a textile capacitive neckband, *Proceedings
of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiqui-
tous computing adjunct publication*, ACM, pp. 155-158
(2013).
- [6] Cai, L. and Chen, H.: TouchLogger: inferring keystrokes
on touch screen from smartphone motion, *Proceedings of
the 6th USENIX conference on Hot topics in security*,
USENIX Association, pp. 9-9 (2011).
- [7] Frank, M., Biedert, R., Ma, E., Martinovic, I. and Song,
D.: Touchalytics: On the applicability of touchscreen in-
put as a behavioral biometric for continuous authentica-
tion (2012).