

身体的制約を利用した困難なマルチタッチレイアウトの提案

井上美奈^{†1} 栗原一貴^{†1}

概要: 本研究ではスマートフォンやタブレットなどの端末において、マルチタッチを利用することで身体的制約によりあえて操作困難になるインタラクションというものを議論する。具体的には、「1人だと同時タッチの完遂が困難なボタンの配置」の提案を行う。10個のボタンの配置として、2人以上なら自明に簡単であるが、1人でタッチする際の難易度の異なる「順湾曲配置」、「直線配置」、「逆湾曲配置」の比較検証を行い、これらを情報システムの同時使用ユーザ数の簡易認証に応用したり、身体を利用した1人用パズルコンテンツとして応用したりするシナリオを示す。

1. はじめに

マルチタッチ技術の発展により、スマートフォンやタブレット端末、トラックパッドなどでのマルチタッチジェスチャが主流となっている。昨今のマルチタッチジェスチャは2, 3本指にとどまらず、例えばAppleのMulti-Touchトラックパッドでは4本指でのスワイプジェスチャがサポートされている。またiPhone, iPad, iPod touchではAssistiveTouch[1]機能において5本指のジェスチャ入力をカスタマイズすることができる。

しかし一般的なスマートフォンやタブレットなどに搭載されるタッチスクリーン性能が向上する一方で、マルチタッチ技術はディスプレイ上の座標のポインティングやタッチジェスチャ認識以外の用途ではほとんど使われていない。福地の解説論文[2]によると、マルチタッチ技術はすでに広く使われておりこれを有効活用するアプリケーションの開発競争のフェーズにあること、またマルチタッチ入力をどう有効活用していくかの指針がほとんど確立されていない状態であることが示唆されている。

本研究では、マルチタッチ操作に着目し、あえて操作困難となるインタラクションについて検討する。具体的には狭いディスプレイ領域上で多くの点への同時タッチを要求することでユーザに身体的な制限を生じさせ、操作性が極めて悪くなることを積極的に利用した「1人だと同時タッチの完遂が困難なボタンの配置」を3通り提案する。また、提案したレイアウト3種類についてそれぞれのボタン配置とボタンの形状による難易度への影響について検証し、得られた結果と考察をもとにこのレイアウトを用いた新しいマルチタッチの応用先を例示する。

2. 関連研究・関連事例

2.1 認証への利用

マルチタッチを用いることでモバイル認証の安全性を高める方法が検討されている。

TouchIn[3]は1本または複数の指でタッチスクリーンに描画された曲線の幾何学的特性と生理学的特性に基づいてユーザの認証を行う。これによりユーザは認証の際にタッチスクリーンを見ることなくスクリーン上の任意の領域に描画することができ、使用性とショルダーサーフィンやスマッジ攻撃[4]からの堅牢性を同時に高めている。またYunpengらの研究[5]ではマルチタッチジェスチャでの認証に手の形状と動作特性を組み合わせることで認証精度とユーザエクスペリエンスの低下という行動ベースの認証で生じやすい問題を克服し、信頼性の高い認証方法を実現している。

Weizhiらの研究[6][7]によるとグラフィカルパスワードベースの認証システムにおけるマルチタッチの利用により、セキュリティと使用性の両面でシングルタッチのグラフィカルパスワードを一般的に強化できることが示されている。

喜多らの研究[8]では連続した入力の間隔差を用いるリズム認証にマルチタッチを取り入れることで認証に用いる特徴量が増え、これを有効活用することによる認証精度の向上が示されている。

これらの利用法は既存の認証方法やタッチジェスチャにマルチタッチを取り入れることで入力空間の拡張や操作性の向上を実現している。本研究の新規性はジェスチャの多様化や利便性の向上ではなく、タッチ領域のレイアウトによりユーザの指を固定させることにある。

2.2 入力方式への利用

スマートフォンの日本語入力方式へのマルチタッチ操作の利用も検討されているが、視認性や操作性においてデメリットが目立ち、有効活用がなされているとは言い難い。

君岡らの研究[9]では画面の左右に楕円状に配置されたボタンを左手親指で子音、右手親指で母音と2点のマルチタッチで行う入力ボタンレイアウトを提案しているが、10種提示する必要のある子音のボタンが小さかったり、入力

^{†1} 津田塾大学情報科学科

の視覚フィードバックが指で隠れて見えなかったりといった要因から入力速度、入力ミス割合どちらにおいても提案手法の有効性は示されなかった。

平山らの研究[10]ではフローメニューにタブレット PC には5本指、スマートフォンには3本指のマルチタッチフリックを導入し入力時間と誤入力数についての検証を行っている。スマートフォンは利用可能な指の本数を減らしているにも関わらずメニューの項目数を増やした際の誤入力数の増加がタブレット PC と比較して著しく、運用にはタッチパネル面積の狭さが課題になっている。

2.3 ゲームへの利用

本研究のコンセプトにもっとも近い利用例として、指の拘束を使ったゲームがある。Android 用アプリ「指でツイスターゲーム」[11]や iOS 用アプリ「YubiSTAR」[12]などはツイスターという、複数人で指示板に示された手または足をシート上に配置された円印に置いていき倒れないようにバランスをとる全身を使ったゲームを、スマートフォン上でできるように再現した指を用いて遊ぶアプリである。マルチタッチでお互いの指同士の動きが制限されることを利用している点で本研究と共通しているが、これらのアプリで配置されているボタンはどちらもマトリクス状に並んでいる。本研究では難易度の異なる3種類の新たなレイアウトパターンにより、実用的な用途に応用できることを示す。

3. レイアウトパターンの提案と実装

3.1 配置の設計

1人だと同時タッチの完遂が困難なボタンのレイアウトとして、段階的に異なる難易度になることを意図した3種類を図1のように提案する。配置の形状から、それぞれ(a)順湾曲配置、(b)直線配置、(c)逆湾曲配置と呼ぶ。

ユーザはこれらの配置に対して、提示された10個のボタン全てを一度にまとめてタッチするよう試みる。例えば、ボタン全てを瞬間的に押す必要はなく、ひとつずつタッチを確かめながら押下していき、同時にボタンにタッチしている指が合計で10本に到達すれば同時タッチ完遂となる。一度タッチしても指がずれてボタンタッチ領域から外れると、その分は合計から引かれ、その指は一度画面から離してタッチし直す必要がある。



図1 提案するタッチレイアウト



図2 逆湾曲配置を2人でタッチする様子

これら3種類のレイアウトは、いずれも2名あるいはより多数のユーザが同時に取り組めば、デバイスを挟んで対面し押下を分担することで容易に10点すべてのタッチ完遂が可能であると想定した(図2)。

3.1.1 順湾曲配置

順湾曲配置は、端末を横向きに置いたとき、左右両側から手を丸めながらタッチすることで10点同時タッチが比較的容易に可能であると想定した配置である。ただし実装する際のサイズやユーザの手の大きさなどによって難易度に影響を受けると思われる。

3.1.2 直線配置

順湾曲配置が手のそれぞれの指の長さに合わせて緩やかにボタン配置のカーブをかけているのに対し、直線配置は指の長さを無視して一直線状に並んでいる。そのため、順湾曲配置と同じアプローチでタッチしようとした場合、比較的指の固定が難しいと想定される。また、直線ごとに左手、右手を割り振らず、両手の指を組み合わせる方法も考える。

3.1.3 逆湾曲配置

逆湾曲配置は順湾曲配置と逆方向にカーブをかけているため、同様のアプローチでは指の固定がかなり困難であると想定される。片手内で指の並べ順を入れ替えたり、両手指を混合させたりなどの工夫が必要になると考える。

3.2 ボタン形状の設計

入力を難しくするためにはボタンを小さくすることが考えられるが、ユーザの手の大きさによっては難易度に差を出すことができず、全てのレイアウトで同時タッチの完遂ができないということになりかねない。そこで、ボタンの大きさはユーザによって個別に設定ができることとした。しかし、ボタンを円形のまま拡大すると、ボタン領域内でタッチできる座標に選択の余地が生じる。すると片手5本指によるタッチを想定している上下それぞれ5つのボタン群について、5つの円の中心をつないだ曲線の曲率よりも低い曲率の曲線上でタッチすることが可能になるため、指と指との間の窮屈さが緩和され、タッチ完遂難易度が下がってしまう可能性がある。そこで、ボタンの拡大機能を実装する場合、ボタンの形状を円形でなく楕円形にすること

で各レイアウトのタッチ完遂難易度を保ったままユーザの指のサイズに合わせたボタンサイズ変更ができるのではないかと考えた。各配置においてタッチ完遂できる5指の押下座標をつないだ曲線のうち、最も低曲率のものを最低曲率許容曲線と定義する。3種類の配置における最低曲率許容曲線を図3に示す。(2)の円形ボタンの最低曲率許容曲線(青色)が(1)の元の逆湾曲配置の最低曲率許容曲線(橙色)と比べて図4で示すように緩やかになっているのに比べ、(1)の元の逆湾曲配置と(3)の楕円形ボタンの最低曲率許容曲線はほぼ一致している。

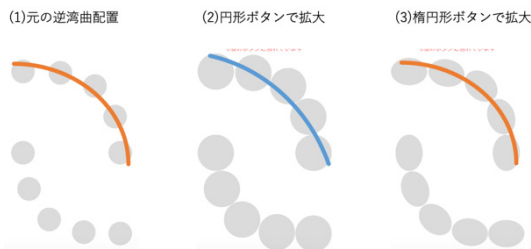


図3 円形ボタンと楕円形ボタンの拡大図比較



図4 図3における最低曲率許容曲線の差

3.3 実装の詳細

以上の設計に基づき、スマートフォン、タブレット、およびマルチタッチ可能なディスプレイを持つPCにおいてクロスプラットフォームで動作する、Unityを用いたプロトタイプを開発した。

実装の方針として、本研究では入力を難しくするインターフェースを目指すため、タッチ判定の基準を厳しく設定した。例えば、ボタンクリックイベントとしてPointerEnterイベントを使うと一度ボタンを押下し、押下したままタッチ領域外に指がずれたとしても、そのまま指を領域内にスライドさせれば再びタッチ判定は成功する。この判定をより厳しくするため、PointerDownイベントを使用することで一度指がタッチ領域外にずれてしまった場合、一旦その指は画面から離してから、領域内にタッチし直さなければならないようにした。

4. 実験

4.1 実験方法

提案した3種類のレイアウトとボタン形状の違いによるタッチ完遂難易度を検証するため、実験を行なった。実験に用いたスマートフォンはGoogle Pixel 4(縦144.78mm

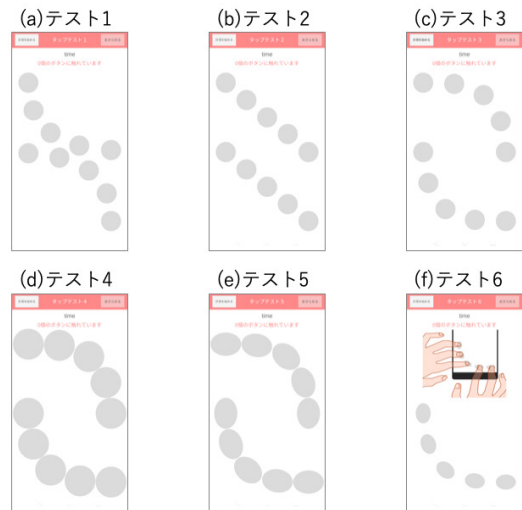


図5 実験に用いたテスト画面

×幅68.8mm)である。

実験は図5に示した6種類のテストで構成されている。テスト1, テスト2, テスト3ではレイアウトによる難易度の比較, テスト4, テスト5ではボタンサイズを大きくした場合のボタン形状による難易度の変化の検証, テスト6では逆湾曲配置を2名でデバイスを挟んで対面し押下を分担した際の一人分の押下の可否を検証する。それぞれのテストでは被験者に提示されたボタン全てを1人で一度にまとめてタッチするよう試みてもらい、同時タッチ完遂までにかかった時間を測定する。各テストにおいて被験者は時間測定前に同時タッチする方法を考え練習する時間が十分に与えられるものとする。測定開始後の挑戦時間は300秒を上限とし、完遂できなかった場合はかかった時間を300秒として記録する。またテスト終了後、被験者に各テストについての主観的な難易度を10件法で、体験したインタラクションについての感想を自由に記述させた。被験者は20代女性8名である。

4.2 実験結果と考察

テスト1からテスト6の同時タッチ完遂時間の平均値と標準偏差を表1に、主観的な難易度の平均値と標準偏差を表2に示す。

表1 タッチ完遂時間の平均値(秒)と標準偏差(秒)

	平均	標準偏差 (SD)
テスト1	115.000	97.971
テスト2	178.875	122.606
テスト3	264.125	87.136
テスト4	190.125	147.091
テスト5	191.625	149.607
テスト6	5.250	1.488

表 2 主観的難易度の平均値と標準偏差

	平均	標準偏差(SD)
テスト1	5.875	1.553
テスト2	7.375	2.774
テスト3	9.375	0.916
テスト4	6.625	3.543
テスト5	7.250	3.655
テスト6	1.500	0.926

4.2.1 レイアウトによる難易度の比較

テスト 1, テスト 2, テスト 3 の計測時間の差と, 主観的難易度の差をそれぞれ図 6, 図 7 に示す.

テスト 1, テスト 2, テスト 3 のタッチ完遂時間を Friedman 検定で分析したところ, 有意差が見られた ($p < 0.01$). さらに Conover の方法により多重検定したところ, テスト 1 とテスト 3 の間に有意差が見られた ($p < 0.05$). これにより, 逆湾曲配置は順湾曲配置よりも難しいことが示された. 主観的難易度も同様に Friedman 検定を行ったところ有意差が見られた ($p < 0.01$). 続けて Conover の方法による多重検定により分析するとテスト 1 とテスト 3 の間に有意差が見られた ($p < 0.01$). 自由記述の感想では直線配置, 逆湾曲配置で難儀し途中で諦めなくなったという回答がいくつか見られた.

本実験より, 提案する 3 種類のレイアウトによって, タッチ完遂に要する時間を変化させることができる可能性が示唆された. とくに逆湾曲配置は 1 人では同時タッチが難しく, 今回の制限時間である 300 秒の間にタッチを完遂できた被験者の割合は 25%であった. なお直線配置は順湾曲配置, 逆湾曲配置に比べて個人差が大きい. 今回は 300 秒を上限としたが, より長い時間で実験すると異なる結果が得られるかもしれない.

4.2.2 ボタン形状による難易度の変化の検証

テスト 4, テスト 5, の計測時間の差と, 主観的難易度の差をそれぞれ図 8, 図 9 に示す.

テスト 4, テスト 5 のタッチ完遂時間を Wilcoxon の符号付き順位検定したところ, 有意差は見られなかった ($p = 0.465$). 主観的難易度も同様に Wilcoxon の符号付き順位検定したところ有意差は見られなかった ($p = 0.138$).

本実験より, 楕円のボタンを導入することで曲率を変更し, 難易度を高める方向に調整することの有効性は現時点では示すことができなかった. 詳しくこのデータを見ると, すぐにテスト 3 を完遂できる人はテスト 4, テスト 5 を同程度の時間で突破しており, 完遂できない人はテスト 4, テスト 5 とともに制限時間を過ぎて諦めていた. より多様

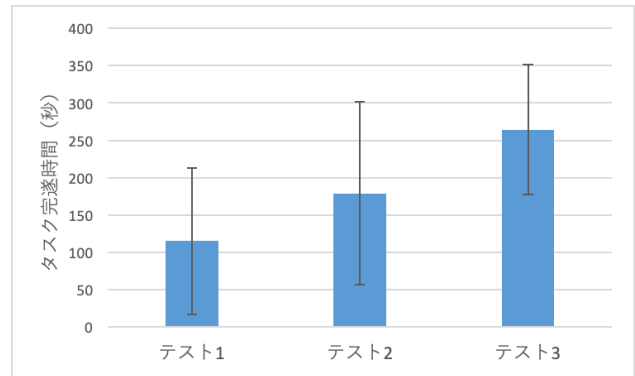


図 6 レイアウトの違いによる計測時間の差

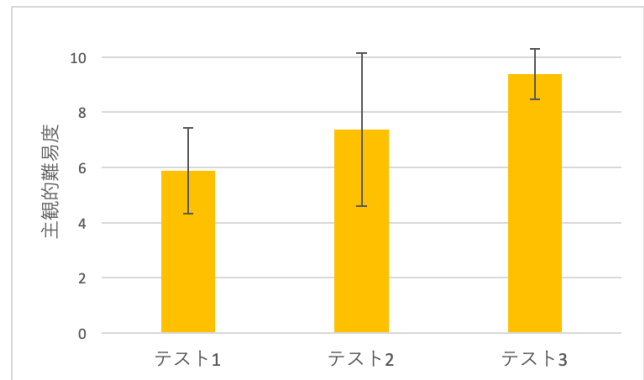


図 7 レイアウトの違いによる主観的難易度の差

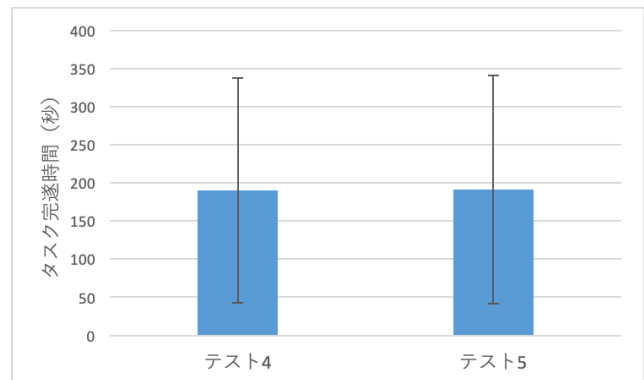


図 8 ボタン形状の違いによる計測時間の差

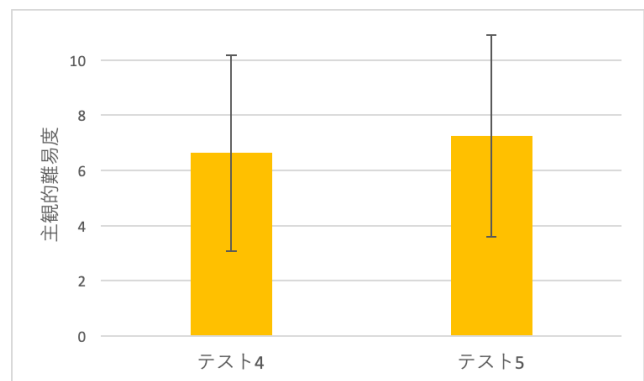


図 9 ボタン形状の違いによる主観的難易度の差

にパラメータを調整した検証が今後の課題である.

4.2.3 2人でタッチすることを想定した場合の検証

テスト 6 は, テスト 3 (逆湾曲配置) と同座標のレイア

ウトで、楕円ボタンを導入することによる難易度を高める調整を試みたものである。これについて2人で分担してタッチすることを想定し、その1人分であるボタン5つを被験者1名で全てタッチするまでにかかった時間を調べた(図5f)。テスト6の完遂するまでにかかった時間の平均値は5.250秒、標準偏差は1.488秒、主観的難易度の平均は1.500、標準偏差は0.926である。テスト3の完遂時間平均値264.125秒、標準偏差87.136秒、主観的難易度平均値9.375、標準偏差0.916に比べてテスト6は明らかに難易度が低く、短時間で全員がタッチ完遂に成功していることがわかる。

本実験より、逆湾曲配置は1人ではタッチ完遂が困難で、2人ではタッチ完遂が容易な状況を実現できることが示された。

5. 応用例

実験結果に基づき、提案手法の応用シナリオを例示する。

5.1 情報システムの同時使用ユーザ数を認証する

実験により逆湾曲配置は1人によるタッチの完遂が困難であることが示された。これにより、タッチ完遂を指定の時間以内に行うよう制限することにより、2人以上であれば十分間に合い、かつ1人ではタッチが難しい状況を作ることが可能である。図10は、実験におけるテスト3(逆湾曲配置)とテスト6(逆湾曲配置の一人担当部分)において、各経過時間におけるタッチ完遂累計者の割合をプロットしたものである。これに基づけば、たとえば40秒以内のタッチ完遂を課すことによりそれが実現できるだろう。

この仕組みは、情報システムの簡易な同時使用ユーザ数認証手法として応用可能である。すなわち、複数ユーザでの使用を想定した情報システムやサービスにおいて、初期画面および一定時間ごとに提案レイアウトを表示しタッチを要求することで、単独のユーザでの使用を制限することが可能となるだろう。

そのような利用シーンとして、たとえば子ども単独での情報機器使用を制限したい場合や、2名以上での参加を原則とするゲームの開始時に参加人数確認を行う場合が挙げられる。

本手法は指紋認証デバイスや顔認証のためのカメラデバイスを問わずに、マルチタッチデバイスのみで実現可能な人数認証手法であり、普及が容易である点が特徴である。

5.2 身体を用いたパズルコンテンツ

提案した3種類のレイアウトにおいて、タッチ完遂の困難さにある程度段階を設けられることが示されたので、1人でのタッチ完遂を目指すパズルコンテンツとして応用可能であろう。順湾曲配置を低レベル、逆湾曲配置を高レベルとすることや、制限時間を設けることによりタッチ完遂

確率を制御することでレベルデザインを行うことが可能であろう。これは関連事例で述べた「指でツイスターゲーム」[11]や「YubiSTAR」[12]と類似のものであるが、これらが2人用であることに對し、本提案は1人用である点が異なる。

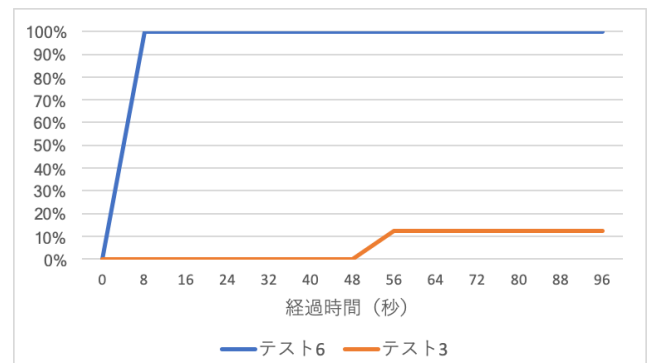


図10 経過時間とタッチ完遂累計者数の割合

6. 議論

6.1 ハードウェアの性能による制約

本稿で提案したレイアウトは10点マルチタッチが問題なく実行できることが前提になっている。しかし、マルチタッチデバイスの性能は機種によって差があり、我々のインフォーマルな実験では、検出が可能であっても10点の継続的タッチ検出が不安定なハードウェアが散見された。今後のマルチタッチ検出技術の向上を期待するとともに、このような精度の必ずしも高くないハードウェアでも活用可能なタッチ検出アルゴリズムの検討を今後の課題とした。

6.2 タッチ継続困難性の探求

マルチタッチ操作における困難なインタラクションとして、本研究ではタッチの完遂の困難さに注目した。一方で、タッチの継続の困難さの探求という方向性も興味深い。これが実現すれば、長時間のスマートフォン使用習慣を改善するため、困難なタッチの継続可能期間のみスマートフォンを使用可能にする、といったシステムへの応用もできるだろう。これは今後の課題である。

6.3 厳密性

本提案は1人でのタッチ完遂が困難なボタン配置を検討した。しかしこれは、たとえば脚の指などの手以外の身体部位の使用や、スマートフォン用ペンデバイスの使用などにより1人でのタッチ完遂難易度が軽減できてしまう可能性が想定される。したがって応用先としてはタッチ完遂の厳密な困難性を前提にするのではない、エンタテインメント用途などの非シリアスなものがふさわしいと考えられる。

7. おわりに

本研究ではマルチタッチ操作を使うことで発生する身体

的制約によりあえて同時押下困難なボタンレイアウトを提案し、その有効性を議論した。またこれを利用した実用的な用途の応用例を示した。今後も、マルチタッチを利用することの困難さを逆手に取った活用法についての可能性を探っていきたい。

参考文献

- [1] Apple, <https://support.apple.com/ja-jp/HT202658>.
- [2] 福地健太郎：マルチタッチ技術の研究動向，コンピュータソフトウェア，Vol.28 No.2 (May 2011), pp.55-62.
- [3] J. Sun, R. Zhang, J. Zhang and Y. Zhang : TouchIn: Sightless two-factor authentication on multi-touch mobile devices, 2014 IEEE Conference on Communications and Network Security (2014), pp. 436-444.
- [4] Aviv, A.J., Gibson, K., Mossop, E., Blaze, M., Smith, J.M. : Smudge attacks on smartphone touch screens., In: Proceedings of the 4th USENIX conference on Offensive technologies, WOOT'10 (2010), pp.1-7.
- [5] Y. Song, Z. Cai, Z. Zhang : Multi-touch Authentication Using Hand Geometry and Behavioral Information, 2017 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP) (2017), pp.357-372.
- [6] Yuxin Meng, Wenjuan Li, Lam-For Kwok : Enhancing Click-Draw Based Graphical Passwords Using Multi-Touch on Mobile Phones, IFIP Advances in Information and Communication Technology 405 (July 2013).
- [7] Weizhi Meng, Wenjuan Li, Lam-For Kwok, Kim-Kwang Raymond Choo : Towards enhancing click-draw based graphical passwords using multi-touch behaviours on smartphones, Computers & Security Vol.65 (March 2017), pp.213-229.
- [8] 喜多義弘, 神里麗葉, 朴 美娘, 岡崎直宣：マルチタッチ操作を利用したリズム認証方式の検討, 情報処理学会研究報告 Vol.2014-UBI-41 No.19 (2014).
- [9] 君岡銀兵, 志築文太郎, 田中二郎：マルチタッチを利用した携帯端末用日本語入力方式とその評価, 情報処理学会研究報告 Vol.2010-HCI-138 (2020).
- [10] 平山健一, 小枝正直：スマートデバイスにおける不特定入力領域フローメニューとマルチタッチフリックを用いた入力方式の提案, 第74回全国大会講演論文集 2012 卷 1 号 (2012), pp.73-74.
- [11] kinoya, (2013), <https://apkpure.com/jp/%E6%8C%87%E3%81%A7%E3%83%84%E3%82%A4%E3%82%B9%E3%82%BF%E3%83%BC%E3%82%B2%E3%83%BC%E3%83%A0/com.ketaikakaku.twister>
- [12] CINCOCCO Inc., (2014), <https://apps.apple.com/jp/app/yubistar/id523591824>