

携帯端末における画面押し込み圧力を用いた 多値離散値入力の可能性検証

荻野 貴大^{1,a)} 高田 哲司^{1,b)}

概要：本稿では，携帯端末での入力操作における圧力の応用可能性について検証した．圧力の強弱による入力手段やインターフェースは既存の研究や製品ベースでも提案されているが，何種の離散値を圧力を通じて入力可能かについては検証がなされていない．そこで本研究では，Apple 社製 iPhone 7 を対象にプロトタイプシステムを実装し，被験者による評価実験を行ったのでその結果を報告する．また圧力を通じた離散値入力の応用についても議論する．

Exploring Possibilities to input Discrete Values through a Pressure in a Mobile Phone

TAKAHIRO OGINO^{1,a)} TETSUJI TAKADA^{1,b)}

Abstract: In this paper, we report on an exploration the possibility of input operation by a pressure at a mobile terminal. Although there are some systems and interfaces that make use of a pressure as an input scheme on mobile terminals, they have used the scheme in order to input just two or three discrete values. It means that it has not been explored how many discrete values can be input through a pressure. To get an answer the question, we developed a prototype mobile application for Apple iPhone 7, and conducted an evaluation study with subjects using the prototype app. We got a result that the input scheme has reasonable operation time, but successful input rate would not be enough for a use in a practical application. We also discuss about an application that uses more discrete values through a pressure.

1. はじめに

2015年，Apple社のiPhone 6s/6s Plusにて3D Touch[1]という機能が搭載された．これは携帯端末のディスプレイをユーザが押し込むことにより，その押し込み圧力を値として取得し，アプリケーション（以降，アプリと略記する）側で利用することを可能にした技術である．つまり，携帯端末のユーザがアプリ側に値を入力する手段が1つ増えたことになる．

しかし，その利用状況を調査すると，著者の知る範囲において，その応用方法は以下の2つに限定されている．

(a) 2値または3値の値入力としての利用

(b) 連続値としての利用

項目(a)の利用方法は，2値の場合が（圧力がある/ない^{*1}）の2値入力手段であり，3値の場合は（圧力がない^{*1}/圧力が弱い/圧力が強い）の値入力としての利用方法である．Apple社が開発者向けに提示している“Quick Actions”と呼ばれるユーザインターフェースは，2値による利用方法の1事例であり，同じく“Peek and Pop”というユーザインターフェースは，3値による利用方法の一例であると考えられる[1]．また項目(b)の連続値としての利用方法は，主に絵の描画手法の応用として用いられており，圧力値が色の濃さや線の太さに反映されている．

ここでわかることは，3値以上の値入力を圧力を通じて行っている事例がないという点である．上記項目(a)の3値入力の例は，3値のうちの1つが「圧力なし」であるた

¹ 電気通信大学
The University of Electro-Communications

a) takahiro.ogino@uec.ac.jp

b) zetaka@computer.org

^{*1} 「圧力がない」と言及しているが，画面に指がタッチしているので厳密には微弱な圧力がかかっている．

め、圧力の値を用いた値の入力としては「強弱」の2値である。よって、「強, 中, 弱, 圧力なし*1」というように、圧力による4値入力には使用されていない。そこで本研究では「4値以上の離散値を圧力を用いて入力することも可能である」と想定し、プロトタイプシステムを実装してその検証を行った。上述の通り、2値や3値の入力が可能なことは明白である。これに対して本研究では、以下の2つの命題に対する評価を行い、上述の仮説を検証する。

- 何種類の離散値が圧力を通じて入力可能か？
- 各条件における入力精度と入力時間

2. 関連研究

圧力を入力値として使用するシステムはいくつか提案されている。しかし、その活用方法は我々の知る限り「二値の圧力」と「状況把握」のどちらかに限定されている。これらの具体的な関連研究について以下に紹介する。

- 2値の圧力（強/弱）

論文 [5] では、3本指による入力方法において「指圧」として画面を「軽くタッチ」と「強く押し込む」の2値入りに圧力を利用している。論文 [4] では、個人認証における秘密情報の入力に2値の圧力値を利用している。各キーにはそれぞれ2つのシンボルが割り当てられており、どちらのシンボルをシステムに入力するかを指示する方法として圧力が用いられている。Krombholzらが提案する個人認証システム“forcePIN” [2] も同様に暗証番号入力に2値の圧力値を追加したものである。つまり秘密情報は暗証番号の各数字に圧力値が追加されて「0971」→「(0弱)(9強)(7弱)(1強)」といった値になる。

Kimらはタブレットシステムにおける個人認証に圧力を応用する方法を提案している [3]。“Pressure-Grid” というシステムでは、画面を加圧することによる指形状の変化を画像認識し、圧力値として取得、その値を両手から取得し、X-Y座標とすることで格子状に配置された複数のオブジェクト群から特定のオブジェクトを指し示す方法を提案している。これにより、第三者による覗き見攻撃から入力値の特定を困難にしている。

- 端末の持ち方 (把持状況) 取得

論文 [7] では、携帯端末の持ち方を推定するため端末側に複数の圧力センサーを装着し、その推定を行うシステムを提案している。論文 [6] では、把持ジェスチャを用いた個人認証システムを提案している。この研究でも端末の持ち方を秘密情報として個人認証を行うため、携帯端末の側面に圧力センサーアレイを装着し、携帯端末の把持ジェスチャを取得している。

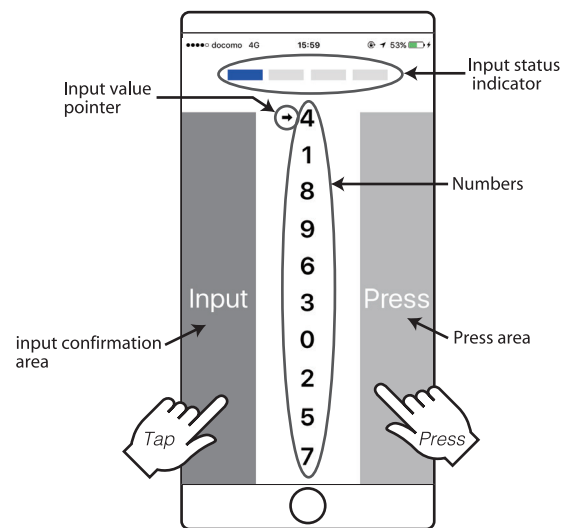


図 1 評価用プロトタイプシステムの画面スナップショット
Fig. 1 Screen Snapshot of Prototype System

3. 評価用システム

本研究では前章で述べた仮説を検証するため、プロトタイプシステムを実装し、被験者による評価実験を実施した。本章では、評価実験のために実装したプロトタイプシステムについて述べる。

プロトタイプシステムは Apple 社の iPhone 7 を動作端末として想定し、iOS アプリとして実装した。図 1 は実装したプロトタイプシステムのユーザインタフェース画面である。ユーザインタフェース画面の詳細について、以下に説明する。

画面中央に入力値となる数字が縦方向に表示されており、その左側にインジケータを右向き矢印として表示している。ユーザが携帯端末の画面を押し込むと、その圧力値に応じてインジケータが上下に動き、各値を指し示すことのできる仕組みとなっている。インジケータの位置は、圧力がない場合、最上位の数値の位置になり、圧力値が最大の時に最下位の数値の位置となる。なお画面中央にある入力候補の数字の並び順は、入力試行毎にランダム化される。

画面上部の4つの四角形は入力状況を示している。本アプリは4桁数字を入力する操作を想定しており、各四角形がその4桁数字の各桁を表している。また各四角形の色で各桁の入力状況が把握できるようにしている。青が現在入力中の桁であり、黒が入力済みの桁、グレーが未入力を示している。図1の場合は、1桁目の数値を入力中であることを示している。

数値の入力は「1つの数値」を以下の2段階の操作で行う。つまり4桁数値の場合は、以下の操作を4回繰り返すことになる。

Step 1: 画面を押し込み、インジケータが入力したい値を指し示すようにする

```

int func(float pressVal){
    int dval = 0;
    dval = (int)floorf(pressVal * 10.0);
    if (dval > 9) { dval = 9; }
    return dval;
}

```

図 2 圧力値の離散値化処理

Fig. 2 Process to get a Discrete Value from a Pressure Value

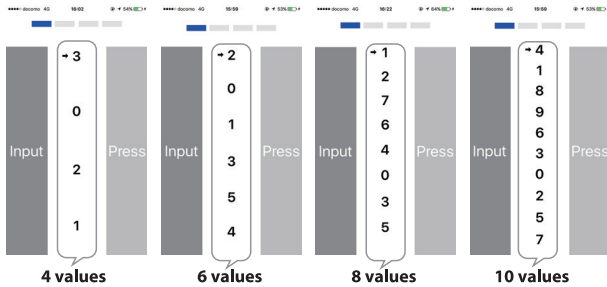


図 3 入力離散値に応じた入力画面

Fig. 3 User Interface according to discrete values

Step 2: 入力値を確定する

画面右側の“Press”と書かれたグレーの領域は、圧力入力のためのインタフェースである。この領域で画面を押し込み、圧力値をアプリ側に入力する。一方、画面左側の“Input”と書かれたグレーの領域は、入力値を確定するためのボタンである。領域をタップすることで入力値が確定する。入力値はタップ時にインジケータが指し示していた数値となる。なお本システムでは、誤入力した値を削除し、再度入力する手段は提供していない。

なお端末側から取得できる圧力値を離散値化する処理は図 2 に書かれている通りである。pressVal は、端末から取得された圧力値で値域は (0.0 ~ 1.0) の連続値である。これに対して出力値となる dval は、整数の離散値で (0...9) の 10 値となる。

4. 評価実験

前章にて説明した評価用システムを用いて被験者による評価実験を行った。本章ではその評価方法と、評価結果について述べる。

4.1 評価方法

本実験では、何種類の離散値を圧力を通じて入力可能かを検証するため、4, 6, 8, 10 種の 4 条件の離散値数を設けて被験者実験を行った。したがって実験システムの入力画面は、各条件に応じて図 3 のようになった。なお、この 4 条件の評価実験実施順は被験者毎にランダム化して行った。

各被験者は、前述の条件毎に以下の手順で入力操作を実施した。

- (1) 入力する 4 桁数字を取得する
- (2) 入力操作を 30 回繰り返す

表 1 入力精度の結果

Table 1 Successful Input Rate (Ave., Min., Max.)

	合計成功率	最大成功率	最小成功率
4 values	78.0	86.7	70.0
6 values	60.7	70.0	50.0
8 values	57.3	70.0	46.7
10 values	54.0	73.3	30.0

(数値はすべて percentage (%))

表 2 入力時間にかかわる統計値

Table 2 Statistical Values about Input Operation Time

	平均値	標準偏差	最小値	最大値	中央値
4 values	4.09	1.29	1.94	9.62	3.98
6 values	5.59	2.12	2.09	13.51	5.09
8 values	6.90	3.11	2.09	19.17	6.40
10 values	6.84	1.98	3.83	11.68	6.64

(数値の単位はすべて秒 (second))

入力操作では、入力成否と入力された数値、ならびに入力時間を測定した。なお入力する 4 桁数値は、システムがランダムに生成した値を用いた。したがって、入力試行のたびに異なる 4 桁数値を入力させたのではなく、1 つの 4 桁数値を 30 回繰り返し入力させた。ただし、入力画面における数値の並びは入力試行のたびにランダム化されており、同一の数値を繰り返し入力する操作でも、入力操作は毎回異なる操作になる。被験者は 20 代男性 4 名と 40 代男性 1 名の合計 5 名である。20 代男性の 4 名は、大学研究室所属の学生である。また、被験者全員がスマートフォンの利用者であった。

4.2 評価結果

評価実験の結果について述べる。表 1 は、入力精度に関する実験結果である。

「合計成功率」は、被験者 5 名による 150 回の入力試行のうち、入力に成功した回数を割合として示したものである。一方、最大成功率と最小成功率は、被験者ごとに入力成功率を算出し、その中で最良の成功率を「最大成功率」、最悪の成功率「最小成功率」として示している。

この結果から、4 値以上の離散値を圧力を通じて入力することは不可能ではないと言える。また被験者にもよるが、10 値の離散値入力でも 7 割は入力に成功するということが明らかになった。一方、最小成功率を見ると、4, 6 値の場合は 5 割以上 (2 回に 1 回) は入力に成功する一方で、8, 10 値の場合は 5 割を下回る入力成功率となった。したがって 4 値以外の入力方法は、誰もが容易に入力可能な方法とは言い難いことが明らかになったと言える。

表 2 は、入力時間に関する評価結果を示したものである。各数値は、4 桁数値の入力に成功した全試行を対象として算出したものであり、単位は秒である。

この結果から、4 桁数字の入力にかかる操作時間は、平

均、中央値とともに 10 値の条件でも 7 秒以内に行えることが明らかになった。また操作時間の最小値 (=最短入力時間) はすべての条件において 4 秒未満であり、操作時間が圧力による離散値入力を疑問視する一因にはならないことが明らかになった。

5. 考察

まずはじめに、実験結果について考察する。入力時間については、現実的な時間内で 4 桁数字を入力できることが明らかである。したがって、操作時間を理由に「本入力手法は非現実的」ということにはならないと考える。ただし、場合によっては入力操作が 20 秒前後におよぶこともあるため、入力操作が短時間で完了する必要がある操作には向かないとも言える。

次に入力精度についてだが、4 値の条件をのぞくと、被験者によっては 50% 以下しか入力に成功しないことが明らかになった。このことから、本手法は実用性に難があると言わざるを得ない。ただし、これには改善の余地があると考えている。その理由は 3 点ある。

1 つは、圧力入力という新たな操作方法に被験者が慣れていない点である。この操作に被験者が慣れてくれば、入力成功率は改善する可能性があると考えている。2 つめの理由は、圧力値の離散化処理に改良の余地が残されている点である。携帯端末の画面を押し込む形での圧力入力は、操作者が一定の圧力を加えているつもりでも、時間とともに圧力値が揺れることがわかっている。この揺れ幅と離散化処理の境界値の設定によっては、出力となる離散値が 2 つの値を行ったりきたりすることになり、入力値が安定せず、誤入力を誘発することになる。これを抑制するため、離散化処理を改良する必要がある。3 つめの理由は、評価用システムの操作に 2 つの問題が内在していた点である。1 つめの問題は、誤入力を修正する手段を提供していなかった点である。誤入力の修正が可能となれば、入力成功率が改善することは確実であろう。2 つめの問題は、入力値確定のために画面をタップする操作が、結果的に誤入力を発生させていた点である。画面をタップする操作が結果的に圧力値に変動を生み、操作者の意図しない数値で入力を確定してしまう事象が発生していた。そのため入力値を確定する別の方法を考案・実装する必要がある。

今後は上記の問題点を改良し、入力精度の向上を可能にする入力方法の実現を試みる。

5.1 応用例

圧力を通じた多値離散値の入力における応用例について議論する。

1 つめの応用例としては、キーボードの代替手法が考えられる。携帯端末のキーボードには問題があることが明らかになっており、様々な代替入力手法が考えられている。

入力可能な値の種類数に限界があるため、汎用的とはいえないものの、その可能性は評価実験で示されたと言える。またキーボードの配置や細かな操作は不要であり操作が単純化されるという利点はあると考えている。

2 つめの応用例としては、入力値の 3 次元化である。iPhone における圧力入力機能の名称が“3D Touch”であるように、携帯端末の画面を 2 次元に見立てた上で奥行き方向の値として圧力を用いることにより (x,y,z) の値を入力することが可能になる。仮に各次元において 4 値の入力が可能だとすると、計 64 個の値入力が可能となる。新たな入力方法の可能性として探求する余地があると考えている。

3 つめの応用例は、Non-look 入力や片手入力への応用である。今回の評価実験では、視覚情報によるフィードバックを与えながら入力操作を行った。しかしながら前述の通り、操作方法自体は「画面を押し込む」という単純な操作であるため、片手入力や画面を見ずに入力する Non-look 入力も可能であると考えられる。片手入力のためには入力値確定のための方法を再検討する必要がある。また片手入力と Non-look 入力の双方においても、現在の圧力値がどの値なのかを操作者にフィードバックする仕組みが必要であろう。この方法として携帯端末の振動機能を利用する方法が提案されているが(参考文献 [2], [4])、2 値ではなく多値の場合はどのようなフィードバックが良いか検討していく必要がある。

最後の応用例は「Low-visibility Interaction」の一手法である。2 章で「覗き見攻撃」への対策として、圧力入力による個人認証の手法が Kim らによって提案されていた(論文 [3])。Krombholz らによる forcePIN[2] も同様の効果を主張している。これは一例にすぎないが、入力操作が視認困難な方法で行えることが望ましい場合の一入力手法として可能性があると考えている。

6. おわりに

本研究では、携帯端末において利用可能になった画面を押し込む方法による圧力入力を多値離散値の入力に応用することについて基礎検証を行った。圧力入力を利用するユーザインタフェースが提案されているが、それは「2 値または 3 値の入力」か「連続値」のどちらかでの利用がなく、3 値以上の離散値を入力とする手法としては用いられていない。

そこで本研究では 4 値以上の多値離散値を圧力を通じて入力する可能性について評価用プロトタイプシステムを実装し、被験者による評価実験を実施した。その結果、10 値からなる 4 桁数字を圧力を通じて入力するのにかかる時間は平均で 6.84 秒となり、7 秒以内に入力ができることを明らかにした。しかし、入力精度は被験者によって大きく異なり、10 値の 4 桁数字で入力成功率が 73.3~30.0% と大きく揺らぐ結果となった。これゆえ、現実のシステムにお

ける入力手段としては、適用範囲が限定的にならざるをえない、という結果となった。しかしながら、一定の条件下では現実的にも利用可能性があると見込める結果も出ており、その応用例について議論を行った。

今後の課題は以下の3点である。1) より多くの被験者による対象システムの再評価 2) 入力精度を向上させる仕組みの考案と実装・評価 3) 応用例の節で述べた、実用システムへの適用と評価

謝辞 本研究における評価実験に被験者として協力頂いた学生諸氏に感謝する。

参考文献

- [1] Apple, Take Advantage of 3D Touch (online), available from (<https://developer.apple.com/ios/3d-touch/>) (accessed 2016.12.20).
- [2] Krombholz, K., Hupperich, T. and Holz, T.: Use the Force: Evaluating Force-Sensitive Authentication for Mobile Devices, *Symposium on Usable Privacy and Security (SOUPS'16)*, p.207-219, (2016).
- [3] Kim, D., Dunphy, P., Briggs, P., Hook, J., Nicholson, J., Nicholson, J., and Oliver, P.: Multi-Touch Authentication on Tabletops, *In Proc. of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*, pp.1093-1102, (2010).
- [4] 東山侑真, 岡村真吾, 矢内直人, 藤原融: タッチパネル端末の特性を利用した覗き見攻撃耐性をもつ個人認証手法, コンピュータセキュリティシンポジウム 2014, pp.1023-1028, (2014).
- [5] 井上育美, 棟方渚, Rafal Rzepka, 荒木健治: 3指を用いたタッチパネル入力の評価と考察について, 研究報告エンターテインメントコンピューティング (2014-EC-32), 情報処理学会, pp.1-6, (2014).
- [6] 飛世速光, 村尾和哉, 寺田努, 磯俊樹, 塚本昌彦, 堀越力: 圧力センサを用いた把持ジェスチャによる携帯端末の個人認証特性評価, 研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2014-HCI-156, pp.1-8, (2014).
- [7] 池上秀, 高橋伸, 田中二郎: 持ち方に応じた操作を可能にする携帯端末向け入力システム, 3ZA-6, 第75回情報処理学会全国大会, pp.71-72, (2013).