

背面に触感を付与した携帯情報端末における タッチ精度の評価

久野祐輝^{1,a)} 大江龍人¹ 深津佳智² 志築文太郎³ 田中二郎³

概要: タッチパネルを搭載した携帯情報端末をユーザが把持する際には、端末の背面にユーザの指が接触する。このことから、我々は端末の背面に触感を付与することによって端末の入力精度が向上すると考えた。そこで、端末の背面に触感を付与する方法を複数選定した。その上で被験者実験を行うことにより、それぞれが入力精度に対して与える効果を評価した。

キーワード: 携帯情報端末, アイズフリー, 片手入力, 精度, 触感

Evaluation of Effects of Textures Attached to Mobile Devices on Touch Accuracy

YUKI KUNO^{1,a)} TATSUHITO OE¹ YOSHITOMO FUKATSU² BUNTAROU SHIZUKI³ JIRO TANAKA³

Abstract: When a user holds a mobile device which has a touchscreen, his/her fingers contact on the behind of the device. For this reason, input accuracy would be enhanced by attaching a texture to the back of the device. We tested some patterns of textures, and evaluated touch accuracy with each texture.

Keywords: Mobile Device, Eyes-Free, One-Handed Input, Accuracy, Texture

1. 序論

現在の携帯情報端末には、その入力装置としてタッチパネルが搭載されたものが多い。このタッチパネルを用いてユーザが入力を行う際、“アイズフリー”での正確な入力は困難である。その原因として、現在のタッチパネルの多くは、物理ボタンが提供する様な、入力の手がかりとなる触覚フィードバックが存在しないことが挙げられる。Yatani [1] らは、この触覚フィードバックの欠如は、ユー

ザに視覚的な注意を必要とすることを示している。

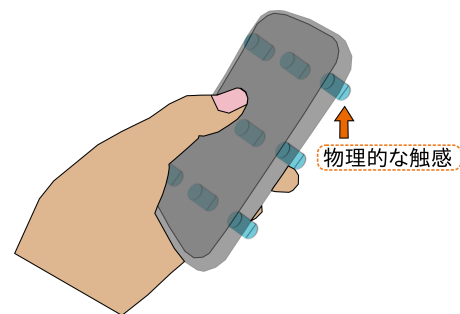


図 1 背面に物理的触感を付与した携帯情報端末。

Fig. 1 A mobile device attached physical texture on the back side.

我々は携帯情報端末をアイズフリーに「片手入力」する際の精度向上を目的とする。ここで、片手入力に着目した理由は、ユーザの大部分は片手を用いた携帯情報端末の入

¹ 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

² 筑波大学情報学群情報メディア創成学類

College of Media, Arts, Science and Technology, School of Informatics, University of Tsukuba

³ 筑波大学システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

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

力を望んでいる為である [2]。我々はこの研究目的を達成するために、図 1 に示す様に端末背面に物理的な触感を付与する。端末背面は指が接触する場所であり、そこにわずかながらでも物理的な触感を付与すれば、大掛かりな専用ハードウェアを追加せずともタッチパネルにおける触覚フィードバックの欠如を埋め合わせ、タッチ精度を低コストで向上させることが可能であると我々は考える。この考えのもと、背面に触感を付与した端末と付与していない端末をそれぞれ実装し、片手入力時のタッチ精度を比較する評価実験を行った。本稿では、この実験結果と、それを受けた触覚付与の考察をそれぞれ述べる。

2. 関連研究

本研究は、携帯情報端末背面に物理的な触感を付与することにより、ユーザがアイズフリーに片手入力する際のタッチ精度を低コストで向上させることを目的とする。この研究に関連するものとして、「モバイル環境においてアイズフリーな入力を実現する研究」及び「タッチパネルに触感を付与する研究」が挙げられる。

2.1 モバイル環境においてアイズフリーな入力を実現する研究

アイズフリーな入力を携帯情報端末のみを用いて実現することを目的とした研究がなされている。Bonner ら [3] は、マルチタッチフィンガージェスチャ入力と音声フィードバックを用いた、アイズフリーな文字入力システム No-Look Notes を示した。また、Kane ら [4] の Slide Rule も同様に、マルチタッチと音声フィードバックを用いたアイズフリーな入力システムである。さらに、Fray ら [5] の BrailleTouch は両手によるマルチタッチを用いた、アイズフリーな点字入力システムである。

携帯情報端末を用いずに、空間に対してアイズフリーな入力を行う研究もなされている。Gustafson ら [6] が示した Imaginary Phone は、彼らの先行研究である Imaginary Interfaces [7] を拡張した、iPhone のショートカットを掌にてアイズフリーに操作するシステムである。また Mujibiya ら [8] は、平面上において Qwerty キーボードのタッチタイピングを可能にする Anywhere Touchtyping を示した。

これらの研究ではアイズフリーな入力を実現するための入力手法を新たに提案し、ソフトウェアとして実装している。このアプローチは追加のハードウェアを必要としないため、導入コストを低く抑えることが可能である。一方我々の研究では、同様の目的を実現するために、携帯情報端末に物理的な触感を付与するのみであるシンプルな実装であるため、導入コストを低く抑え、かつ現在一般的である入力手法に広く適応可能である利点を有する。

2.2 タッチパネルに触感を付与する研究

タッチパネルの触覚フィードバックの欠如を埋め合わせるために、物理的な触感を付与する研究が示されてきた。Fukumoto [9] は、タッチパネルにボタンを押す感触を付与するために、携帯情報端末に透明なウレタンゲルを張り付けた。また、Yu ら [10] は導電性ゴムのボタンをタッチパネル面に貼り付けることにより、タッチパネル面の操作領域を拡張させた。

これらの研究はユーザにタッチパネルを操作した際の「感覚」を提示するために触感を付与している。それに対して、我々の研究ではアイズフリーな入力を目的としており、ユーザの「入力精度」を向上させるために触感を付与する。

3. 実験の設計

本研究は、触感を付与することにより、アイズフリー時の片手入力精度を向上することを目的としている。その調査を行うために、我々は背面に様々な触感を付与した携帯情報端末（以降、端末）を用いてタッチ精度を計測した。本節では、まず実験の大まかな条件を述べる。さらに、触感を付与した端末の条件、及び、具体的な実験タスクを述べる。

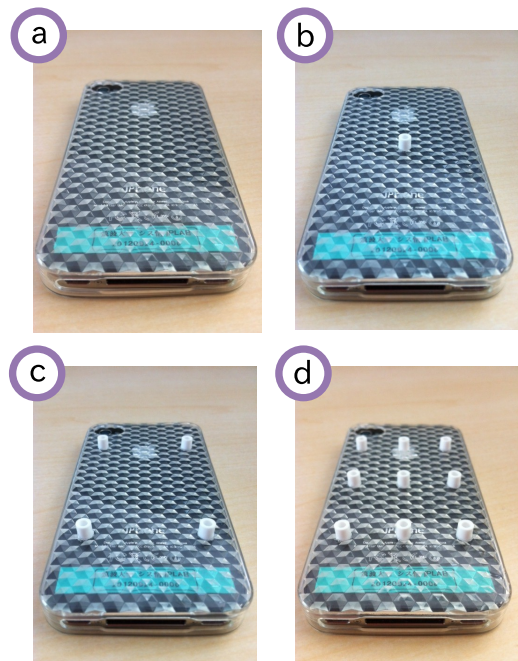


図 2 触感条件. それぞれ, a) 触感無し, b) 中央に触感, c) 四隅に触感, d) 格子状に触感を配置したもの.

Fig. 2 Texture conditions. Each condition is, a) no texture, b) a texture on the center, c) textures on the four corners, and d) textures on latticed pattern positions.

3.1 実験条件

図 2 に示す様に端末 (Apple 社 iPhone 4S) の背面に触

感を付与し（以降、触感条件）、それぞれの触感条件ごとのタッチ精度を計測した。実験に参加した被験者は12人の大学生及び大学院生であり、彼らは全員右利きであった。実験をアイズフリーでの入力を想定する実験とするために、被験者が端末画面を見ることを防ぐよう設計した。具体的には、被験者には、図3に示す様に着席し、端末の画面が見えないように端末を把持した手を机の下に位置させるように依頼した。なお、端末の持ち方については縦方向片手把持を維持する範囲においては自由とした。タスク終了後、被験者にはアンケートに答えて貰った。

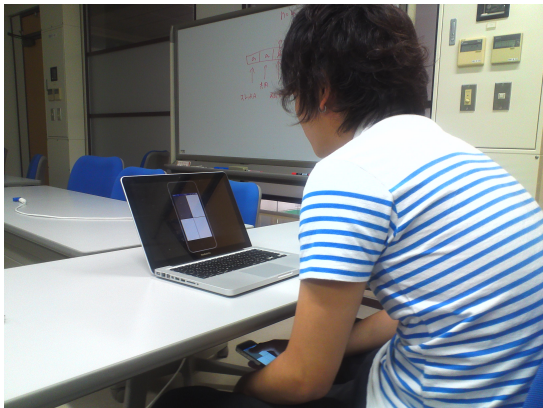


図3 実際に実験を行っている様子。
Fig. 3 A situation of the experiment.

にタッチする。

- (2) タッチを行うごとに、その成否に関わらず分割条件とターゲットの位置がランダムに変化する。被験者はその都度該当位置をタッチする。
- (3) 1~2の行程を繰り返す。

なお、タスクを行う順番、すなわち実験を行う際の触感条件の選定順に関しては、被験者の中で同じになるものが出ないようにランダム化した。

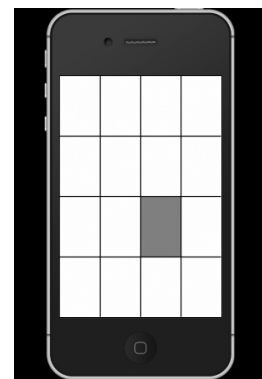


図4 端末画面例。
Fig. 4 An example of a device's display with a target.

3.2 触感条件

触感条件として、図2の様に a) 触感無し（無し条件）、b) 中央に触感（中央条件）、c) 四隅に触感（四隅条件）、d) 格子状に触感を配置したもの（格子条件）、の4通りを用意した。これらの触感は円筒形状の白色ビーズ（直径、高さ共に5mm）をiPhone 4S用のカバーに接着剤によって固着することによって付与されている。これらの触感条件すべての場合において、被験者は次節に示すタスクを行った。

3.3 タスク

図3に示す様に、PC（Apple社 MacBook Pro、画面サイズ13インチ）の画面には端末の画面を模した図が表示される。また図4に示す様に端末の画面は格子状に、2×2、3×3、4×4、5×5のいずれかに分割される（以降、分割条件）。さらに分割された領域中には、灰色に色づけされた領域（以降、ターゲット）がある。

分割条件と触感条件との位置関係を図5に示す。図5中の●は「中央条件の触感」、×は「四隅条件の触感」、□は「格子条件の触感」をそれぞれ示す。この分割条件と触感条件の基、以下に示すタスクを各被験者は行う。

- (1) それぞれの触感条件ごとに、PCに表示されるターゲットに対応した端末画面上の位置を、被験者は見ず

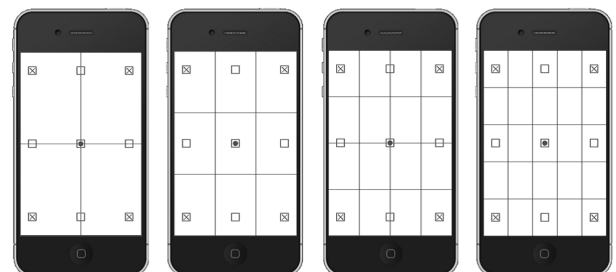


図5 分割条件と触感条件との位置関係。
Fig. 5 Relationship between split conditions and texture conditions.

各被験者はそれぞれの触感条件、分割条件ごとに25回タッチを行った。触感条件が4通り、分割条件も4通りであるため、それぞれの被験者は計400回タッチを行った。なお、実験の所要時間は被験者一人あたり30分程度であった。

4. 結果

実験で得られたデータから、タッチ精度を求めた。なお、ここでのタッチ精度は、指定したターゲットのタッチに成功した回数を全タッチ数で除した百分率である。

4.1 測定結果

触感条件毎のタッチ精度を図6に示す。対応のある一元配置分散分析を行ったところ、触感条件間に有意差は認められなかった。Bonferroniの多重比較を行ったところ、触感条件が中央条件の方が、無し条件よりもタッチ精度が高いという有意傾向があった ($p = .089$)。

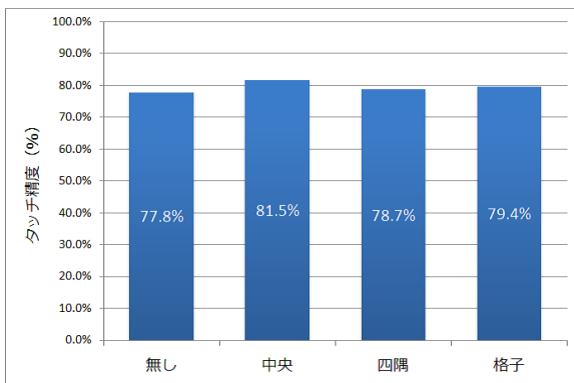


図6 触感条件毎のタッチ精度.

Fig. 6 Touch accuracy per texture condition.

また、各分割条件における、触感条件毎のタッチ精度をそれぞれ図7~10に示す。分割条件毎に対応のある一元配置分散分析を行ったところ、 3×3 の分割条件において、触感条件間に有意差が認められた ($F_{3,33} = 4.964, p = .006 < .05$)。なお、その他の 2×2 ($F_{3,33} = 1.427, p = .252$), 4×4 ($F_{3,33} = 1.430, p = .252$), 5×5 ($F_{3,33} = 0.222, p = .881$)の分割条件では、有意差は認められなかった。この 3×3 の分割条件においてBonferroniの多重比較を行ったところ、触感条件が中央条件の方が、その他3つの触感条件(無し, 四隅, 格子)よりも有意にタッチ精度が高かった ($p < .05$)。なお、 4×4 の分割条件において、触感条件が格子条件の方が、無し条件よりもタッチ精度が高いという有意傾向があった ($p = .050$)。

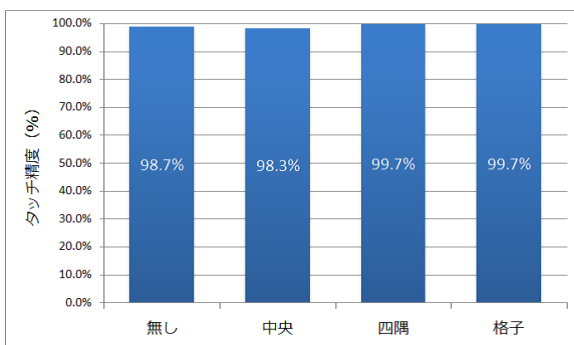


図7 2×2 分割条件における触感条件毎のタッチ精度.

Fig. 7 Touch accuracy per texture condition where split condition is 2×2 .

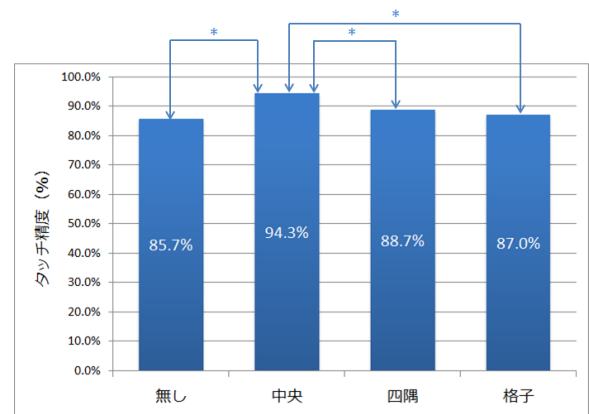


図8 3×3 分割条件における触感条件毎のタッチ精度.

Fig. 8 Touch accuracy per texture condition where split condition is 3×3 .

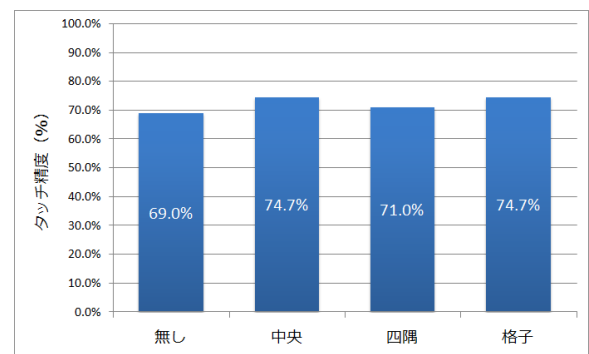


図9 4×4 分割条件における触感条件毎のタッチ精度.

Fig. 9 Touch accuracy per texture condition where split condition is 4×4 .

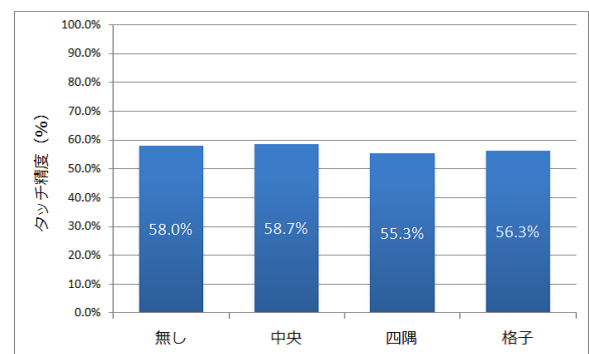


図10 5×5 分割条件における触感条件毎のタッチ精度.

Fig. 10 Touch accuracy per texture condition where split condition is 5×5 .

表 1 アンケート結果 [人]

Table 1 Results of questionnaire [number of persons].

	触感のパターン			
	無し	中央	四隅	格子
入力しやすい	0	5	4	3
入力しにくい	7	0	0	5

各分割条件において、触感条件毎のターゲットのタッチ精度をそれぞれ図 11~14 に示す。なお、これらの図において、触感条件が無し条件の図にはターゲット毎のタッチ精度および全体のタッチ精度 (%) を示した。また、その他 3 つの触感条件 (中央, 四隅, 格子) の図には触感条件が無し条件の場合とのタッチ精度の差 (%) を示した。さらに、触感条件が無し条件の図においては、グレースケールによりタッチ精度が高い領域を明るく、低い領域を暗く示した。その他 3 つの触感条件においては、差が正の場合に青、負の場合に赤に色付けを行い、絶対値が大きいほど不透明度を高く示した。なお、図 5 と同様に、付与した触感の位置も示した。

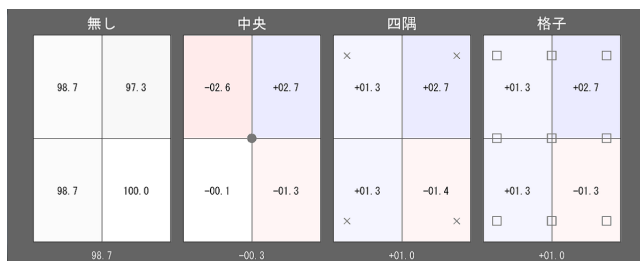


図 11 2 × 2 分割条件における触感毎の、各ターゲットのタッチ精度。

Fig. 11 Touch accuracy per texture condition on each target where split condition is 2 × 2.

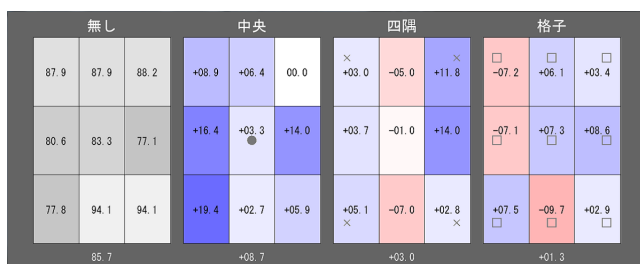


図 12 3 × 3 分割条件における触感毎の、各ターゲットのタッチ精度。

Fig. 12 Touch accuracy per texture condition on each target where split condition is 3 × 3.

4.2 アンケート結果

アンケートにおいて被験者が最も入力しやすいと答えた触感及び最も入力しにくいと答えた触感の集計結果を表 1 に示す。

5. 考察

今回の実験においては、触感条件が中央の条件の際、タッチ精度の向上に関して最も良い結果を示した。これは、図 6 からは触感条件間にタッチ精度の有意差は見られなかったものの中央条件の方が無し条件よりもタッチ精度が高い有意傾向があったこと、さらに、3 つの分割条件 (3 × 3, 4 × 4, 5 × 5) において、触感条件が中央条件の時に最も高いタッチ精度を示した (図 8~10) ことによる。

なお、分割条件が 2 × 2 条件の場合、すべての触感条件において 98% 以上のタッチ精度を示した (図 7)。よって、2 × 2 条件の様にボタンを縦横 2 個ずつ合計 4 個配置する場合には、片手かつアイズフリーな入力が可能であることも分かった。

また、分割条件が 3 × 3 条件の場合、触感条件が中央条件の方が、その他の触感条件 (無し, 四隅, 格子) よりも有意にタッチ精度が高く、その精度が 94.3% を示した (図 8)。よって、3 × 3 条件の様にボタンを縦横 3 個ずつ合計 9 個配置し、端末の中央に触感を付与することにより、前述のボタンを 4 個配置した際に近い精度で、片手かつアイズフリーな入力が可能であることが分かった。



図 13 4 × 4 分割条件における触感毎の、各ターゲットのタッチ精度。

Fig. 13 Touch accuracy per texture condition on each target where split condition is 4 × 4.



図 14 5 × 5 分割条件における触感毎の、各ターゲットのタッチ精度。

Fig. 14 Touch accuracy per texture condition on each target where split condition is 5 × 5.

触感条件に有意差が認められた 3×3 の分割条件においてタッチ位置をより詳細に分析した図 12 から、左中央、右中央、左下の領域におけるタッチ精度が、触感条件が無し条件のタッチ精度と比べて大きく向上することが分かった（左中央：+16.4%，右中央：+14.0%，左下：+19.4%）。さらに詳細な分析結果として、これらのターゲットをタッチした際のタッチ位置の分布を図 15 に示す。なお、この図において、青い点が指定されたターゲットのタッチに成功した際のタッチ位置、赤い点が失敗した際のタッチ位置を示す。また、図 5 と同様に、付与した触感の位置を示した。この図を見ると、触感条件が無し時と比べて中央時の方が、タッチ位置の上下方向へのばらつきが少ないことが分かる。一方で、四隅、格子時には、無し時と同程度のばらつきが見られる。このばらつきに関して、アンケートにおいては、最も入力しにくい触感として「格子」と答えた理由として、「触感の数が多すぎるので混乱する、または、どの触感に触ってよいか分からない」（2 名）という意見、及び「持った際に違和感がある」（2 名）という意見が得られた。よって、触感が多すぎることで、ユーザが触感をタッチの手がかりとする際の混乱を招き、タッチ精度の向上を妨げている可能性がある。

反対に、アンケートにおいて最も入力しやすい触感として「格子」と答えた理由として、「触感のパターンが指を引っ掛ける位置となり、持ちかえをやりやすい」（1 名）、「背面と表面の指を合わせるようにタッチを行うことによって意図した位置をタッチできる」（1 名）という意見が得られた。この様に、触感を上手く利用できたと感じた被験者もいた。このことは、最も多くの触感を付与した格子が入力しやすい触感パターン（3 名）、入力しにくい触感パターン（5 名）の双方において多くの票を集めたことにも表れている。

同様に、図 14 の触感条件が格子時のタッチ精度を見ると、無し時よりも 1.7% 低いタッチ精度となった。今回、我々は、格子の触感の位置を 5×5 分割条件時の 9 つの領域（1 行 1 列目、1 行 3 列目、1 行 5 列目、2 行 1 列目、2 行 3 列目、2 行 5 列目、3 行 1 列目、3 行 3 列目、3 行 5 列目）の中心とした。このことから、これらの 9 つの領域において無し時よりも格子時の方が、タッチ精度が向上することを期待していた。実際は、1 行 1 列目（+33.3%）、1 行 5 列目（+8.3%）、3 行 3 列目（+8.3%）、5 行 3 列目（+16.7%）における精度が向上したものの、1 行 3 列目における精度に変化がなく、3 行 1 列目（-8.3%）、3 行 5 列目（-8.3%）、5 行 1 列目（-25.0%）、5 行 5 列目（-16.7%）における精度が低下した。この点に関してアンケートからは、「格子はすべての触感に触れることができない」（1 名）、「人差し指付近の触感が手掛かりとなった」（1 名）という意見が得られた。比較的に人差し指で触れやすかった 1 行目及び中心（3 行 3 列）に付与した触感がタッチ精度を向上させ、比較

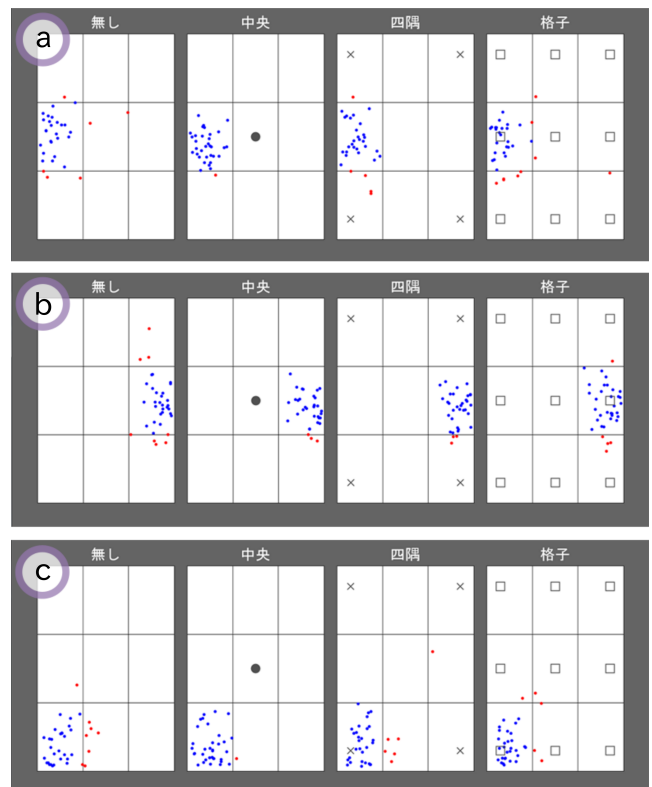


図 15 3×3 分割条件におけるタッチ点の分布。a) 左中央がターゲットの時の分布、b) 右中央がターゲットの時の分布、c) 左下がターゲットの時の分布。

Fig. 15 The distribution of touched points where split condition is 3×3 .

的に触れにくい 5 行目に付与した触感は精度を向上させることができなかつたと考えられる。ユーザが指で触れやすい位置にある触感は、ユーザのタッチ時の手掛かりとなりやすく、精度の向上につながる可能性が高いと考えられる。

一方で、「格子時に、上列に人差し指、中列に中指、下列に薬指を当てた」（1 名）という意見が得られた。そのため、被験者がどの指でどのように触感に触れているか調べると、被験者が上手く触感を利用できているのか、どの位置の触感が触れやすいのかが分かると考えられる。

触感の大きさや固さについての意見としてアンケートにおいて、「触感を柔らかくしてほしい」（1 名）、「触感の固さに違いがあった場合どうなるか気になった」（1 名）、「触感が大きすぎるので、普段の利用においては使いづらいと感じた」（1 名）という意見が得られた。今回の実験において我々は、触感付与による入力精度への影響が大きく表れるように、あえて大きめの固い触感を使用した。実用を考えた際の触感の形状、大きさ、及び固さについては、今後、さらに検討が必要である。

その他アンケートからは、「最初の数回は触感のパターンの位置を画面に表示し、意識させるとよいと思う」（1 名）、「触感のパターンと画面の位置関係を把握しておくとう入力度が上がると思う」（1 名）、「触感が画面のどの位置と対応

するのかわれることがあった」(1名),「慣れの影響があると思われるので,エラーフィードバックがあれば高い入力精度を出せると思う」(1名)という意見が得られた。この意見は,今回の実験では練習タスクを設けず,かつ,異なる分割条件のターゲットを無作為順で被験者に提示したことによると考えられる。この実験設計は,触感を付与した端末を,特定アプリケーションのGUIに依存せず,普遍的に利用することを想定したものであった。しかしながら上の意見から,触感を十分に覚えられれば,分割条件が 3×3 より細かい条件においてもタップ精度が向上する可能性がある。今後は,この効果をより詳細に調べるために,練習タスクを設けるとともに,練習効果が現れるような実験を行うことを考えている。

6. 結論

我々は携帯情報端末をアイズフリーに片手入力した際の精度向上を目的とし,携帯情報端末背面に物理的な触感を付与させ,その効果を調べた。具体的には4種類の触感条件(無し,中央,四隅,格子)に則した端末を作成し,4種類の画面分割条件(2×2 , 3×3 , 4×4 , 5×5)において,片手入力時のタッチ精度を比較する評価実験を行った。

実験の結果,分割条件が 2×2 の場合,すべての触感条件において98%以上のタッチ精度が得られた。また,分割条件が 3×3 の場合,触感条件が中央の際に94.3%のタッチ精度が得られたのに加えて,他の触感条件(無し,四隅,格子)よりも有意に高いタッチ精度を示した。つまり,ボタンを縦横2個ずつ合計4個配置した際,及び,ボタンを縦横3個ずつ合計9個配置し,端末の中央に触感を付与した際に片手かつアイズフリーな入力が可能となることが示唆された。

一方で,アンケートにおいて,過大な触感がユーザの混乱を招き,タッチ精度の向上を妨げる可能性があること,ユーザは,触れにくい位置にある触感をタッチの手掛かりとすることができない可能性があることが示唆された。

今後は,触感の形状,大きさ,固さについてさらに検討する予定である。具体的には,被験者の中に今回使った触感よりも柔らかい触感を望む者や触感の固さを変えて試してみたいという者がいたため,より柔らかい触感を含めた複数の触感を用いて実験を行うことを考えている。また,触感条件や分割条件の慣れによる練習効果が出る実験設計でも被験者実験を行う予定である。

参考文献

[1] Yatani, K. and Truong, K. N.: SemFeel: a user interface with semantic tactile feedback for mobile touch-screen devices, in *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '09, pp. 111–120, New York, NY, USA (2009), ACM.

[2] Karlson, A. K. and Bederson, B. B.: Understanding

Single-Handed Mobile Device Interaction, Technical report, Department of Computer Science, University of Maryland (2006).

[3] Bonner, M. N., Brudvik, J. T., Abowd, G. D. and Edwards, W. K.: No-look notes: accessible eyes-free multi-touch text entry, in *Proceedings of the 8th international conference on Pervasive Computing*, Pervasive'10, pp. 409–426, Berlin, Heidelberg (2010), Springer-Verlag.

[4] Kane, S. K., Bigham, J. P. and Wobbrock, J. O.: Slide rule: making mobile touch screens accessible to blind people using multi-touch interaction techniques, in *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, Assets '08, pp. 73–80, New York, NY, USA (2008), ACM.

[5] Frey, B., Southern, C. and Romero, M.: Brailletouch: mobile texting for the visually impaired, in *Proceedings of the 6th international conference on Universal access in human-computer interaction: context diversity - Volume Part III*, UAHCI'11, pp. 19–25, Berlin, Heidelberg (2011), Springer-Verlag.

[6] Gustafson, S., Holz, C. and Baudisch, P.: Imaginary phone: learning imaginary interfaces by transferring spatial memory from a familiar device, in *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '11, pp. 283–292, New York, NY, USA (2011), ACM.

[7] Gustafson, S., Bierwirth, D. and Baudisch, P.: Imaginary interfaces: spatial interaction with empty hands and without visual feedback, in *Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '10, pp. 3–12, New York, NY, USA (2010), ACM.

[8] Mujibiya, A., Miyaki, T. and Rekimoto, J.: Anywhere touchtyping: text input on arbitrary surface using depth sensing, in *Adjunct proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '10, pp. 443–444, New York, NY, USA (2010), ACM.

[9] FUKUMOTO, M.: PuyoSheet and PuyoDots: simple techniques for adding "button-push" feeling to touch panels, in *Proceedings of the 27th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, CHI EA '09, pp. 3925–3930, New York, NY, USA (2009), ACM.

[10] Yu, N.-H., Tsai, S.-S., Hsiao, I.-C., Tsai, D.-J., Lee, M.-H., Chen, M. Y. and Hung, Y.-P.: Clip-on gadgets: expanding multi-touch interaction area with unpowered tactile controls, in *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '11, pp. 367–372, New York, NY, USA (2011), ACM.