

UI デザインを考慮したタッピングモデルを用いたタップ座標補正

Improving Input Accuracy of Smartphones with a Tap Model considering UI Design

谷堯尚 *2 山田誠二 *1*2*3
Takahisa TANI Seiji YAMADA

*1 国立情報学研究所 *2 総合研究大学院大学 *3 東京工業大学
National Institute of Informatics The Graduate University for Advanced Studies Tokyo Institute of Technology

In recent years, devices that use touch panels as interfaces, such as smart phones and tablet PCs, have spread. These devices have many advantages. For example, operating the panel can be done more intuitively in comparison with using conventional physical buttons, and the devices are quite more flexible than those that use a traditional fixed UI. However, mistakes frequently occur when inputting with a touch panel because the buttons have no physical boundaries and users cannot get tactile feedback with their fingers because the panels never change physically. Thus, the input accuracy of touch-panel devices is lower than that of devices with physical buttons. There are studies on improving input accuracy. Most of them use language models for typing natural language or probabilistic models to describe the errors made when users tap their fingers. However, these models are not practical, and the experiments are preliminary. Thus, in this paper, we propose a more practical model for improving input accuracy, in which the relative relationships between a target object and neighbor object that might influence error making when touching the target are tested. We consider that our model can describe important properties for designing various UIs depending on practical applications. We then make a plan to conduct experiments in order to build our model in a calibrated way and discuss our evaluation of the model.

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレット PC など、インターフェイスとしてタッチパネルを利用したデバイスが普及し、仮想エージェントを実装するデバイスとしても多く利用されている。タッチパネルによる操作は従来の機械的なボタンによる操作に比べ直感的に行えることや、UI デザインの自由度が高いことなど多くの利点がある [8]。

一方、タッチパネルはタップ対象（ボタン、キー、アイコンなど）が物理的に区切られていないため境界が曖昧であり、意図と異なる入力が行われやすい。また、入力時に機械的な変化を伴わない、すなわち機械的フィードバックがないため、ユーザ自身が与えた入力を確認する手段が、従来の機械的ボタン入力に比べ乏しい。これらの理由により、入力精度が低下することが知られている。更に、機械的な抵抗を伴わず入力されるため、意図せず入力される場合もある。特にスマートフォンは画面領域が狭いため必然的に UI も小さくなり、隣のボタンが押されたと認識される fat finger 問題 [10] も発生しやすくなるため、入力精度の低下が顕著である。

この問題の典型的なアプリケーションの 1 つとして、図 1 のような、ソフトウェアキーボードを用いた入力が挙げられる。ソフトウェアキーボードは、狭い領域に数多くのキーを配置する必要があり、必然的に個々のキーが小さくなるため、fat finger 問題が発生する代表的な事例である。

この問題は、ポインティング操作の精度低下の一種と言える。今後デバイスの進歩によりタッチパネル以外の入力デバイスが普及することが予想されるが、ダイレクトマニピュレーションを用いた電子機器の普及が進むことで、ポインティング操作はより重要性を増すと考えられ、その精度向上は重要な課題である。



図 1: スマートフォンのソフトウェアキーボードの例

これらの研究は、主に以下の 2 種類の手法を用いている。第一は言語モデルを用いる手法 [1, 4] で、利用言語の情報を用いて、入力された文字列パターンから次に入力される文字を確率的に予測するものである。第二はタップモデルを用いる手法 [2, 6] で、画面上に表示したタップ対象に対し、ユーザが実際にタップする座標の差、すなわちタップ誤差をモデル化し、平面的に補正するものである。また、上記 2 種類の手法を組み合わせる研究も行われている [3, 5, 9]。

アプリケーションを限定せず入力精度の向上を目指す研究も行われている [7, 11]。この場合、言語以外を入力することもあるため、言語モデルを用いる手法は基本的に採用できない。また、Web ページのような千差万別な UI 形状を対象とするため、ソフトウェアキーボードのようなキー配置が既知であることを前提として得られたモデルは適用できない。そのためこれらの研究は、画面上のタップ位置によってタップする際の指の角度が変化し誤差の量が変化することや、指とパネルの接触面の特性がユーザの認識とは異なっているなどの理由から生じる、ユーザが意図したタップ位置とデバイスに入力されるタップ位置の差をモデル化し、タップ位置の補正を行う。本研究で

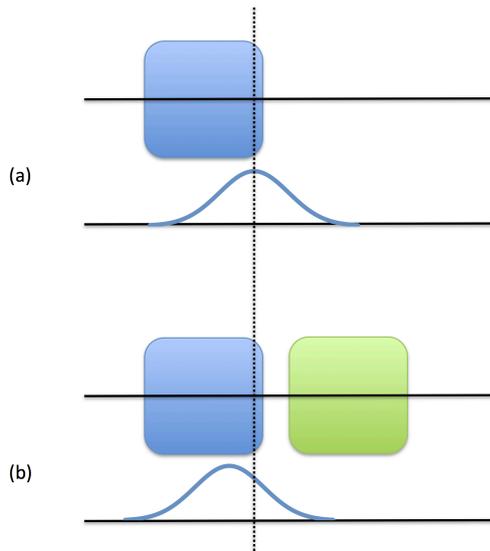


図 2: タップ対象とタップ位置

は、このような要因によるタップ位置の誤差を「キネマティックエラー (e_k)」と呼ぶことにする。

本研究では、より認知的な要因によってもタップ位置に誤差が生じることを提案する。例えば、目標とするタップ対象の周囲に他のタップ対象がある場合、他のタップ対象が反応しないよう、目標とするタップ対象の範囲のうち、他のタップ対象から遠い位置をタップしようとするのが予想される。あるいは、タップ対象の色や形の違いによってタップ対象の大きさを錯覚することで、中心を誤って認識し、タップ位置がズレる可能性がある。仮想エージェントは特に、擬人化や視覚効果のために色やサイズが多様で、タップ対象が格子状に配置されない場合も多い。そのため、タップモデルはソフトウェアキーボードなどに比べ、より複雑になると考えられる。本研究ではこのような要因によるタップ座標の誤差「認知的なエラー e_k 」を提案する。この中でも特に、周辺のタップ対象の有無がタップ特性に与える影響を解析、モデル化し、入力精度向上、およびエージェントとのインタラクションの円滑化を目指す。

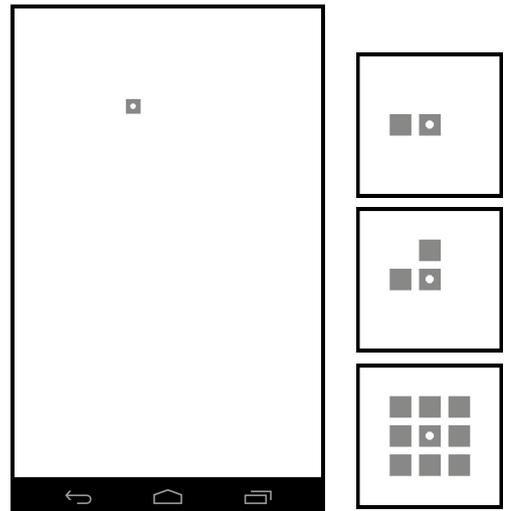
2. タップ位置補正による入力精度向上

2.1 インターフェイス形状によるタップモデルへの影響

タッチパネルを用いた入力にはタップ、ドラッグ、フリック、ピンチなど様々な操作が用いられるが、本研究ではタップのみを考える。

図 2 において、青い四角形をタップ対象とする。先行研究 [3, 12] によると、人間のキネマティックな要因により、手のホームポジションからの移動距離を小さくする方向に移動する。そのため、右手で操作する場合、青線のような分布を持つ (図 2(a))。

しかし、実環境でのタップにおいては、インターフェイスの形状によりタップ位置が変化することが予想される。すなわち、タップ対象の近傍に別のオブジェクト (緑の四角形) が存在する場合、ユーザはそれが誤反応しないよう意識するため、タップ位置は緑の四角形から遠ざかるように移動すると考えられる (図 2(b))。他にも、タップ対象の色や形状、大きさなどにより、タップモデルが変化することがある。



(a) 目的のマーカのみ表示

(b) 周辺マーカの例

図 3: タスク画面

2.2 エラーモデル

本研究では、目標とするタップ位置に対し、キネマティックエラーと認知的エラーが線形和で加わるものと仮定する。すなわち、タップにおいて人間が意図したタップ座標 $p_c = (x_c, y_c)$ とシステムが認識するタップ座標 $p_s = (x_s, y_s)$ の間にはしばしばエラー $e = (x_e, y_e)$ が $p_c = p_s + e$ に従って混入する。

先行研究で指摘されているキネマティックエラー e_k は、ユーザの手の形状 h やタップ位置 p_s の影響を受ける。

$$e_k = f(h, p_s)$$

この関数 f は p_c, p_s, h から回帰により得る。

本研究では更に、インターフェイスの形状によりエラー e_c が生じると考える。すなわち

$$e = e_k + e_c^T$$

e_c はタップ位置周辺のタップ対象の配置により決定される。

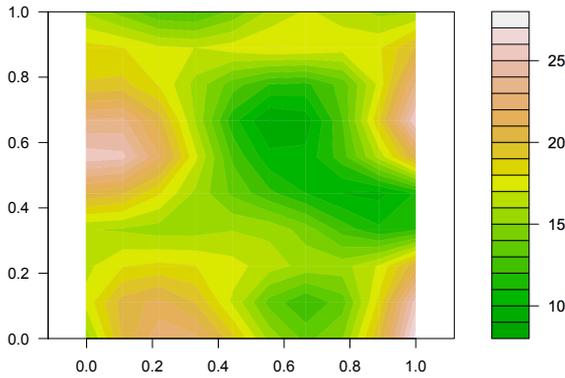
3. 実験

3.1 実験方法

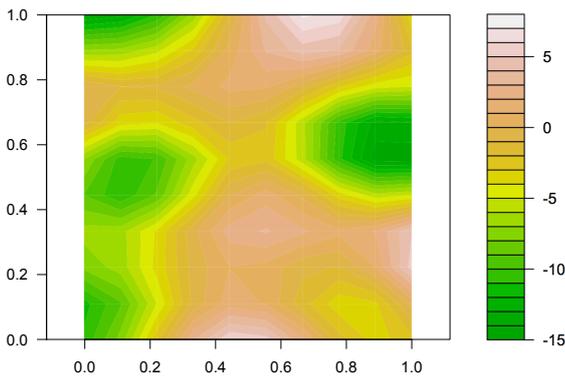
エラーモデル e_c の獲得、及びそのモデルを用いて補正した場合の入力精度評価を行う。

参加者にタッチパネル上に表示されるマーカをタップするタスクを与える。図 3 にタスク画面を示す。ランダムで、図 3(a) のように目的のマーカ (目標マーカ) のみを表示、または図 3(b) のように、周辺にマーカ (周辺マーカ) を 1 個 ~ 8 個表示する。ここで、中心に黒い印のある灰色の四角形が目標マーカ、無印の灰色の四角形が周辺マーカである。周辺マーカは目標マーカに対して相対的に 8 箇所を定義し、各位置の表示の有無を切り替えることで、計 256 パターンの中からランダムで 1 パターンが表示される。目標マーカあるいはその近傍一定領域内をタップすると、表示されているマーカは全て消え、別の位置に次のマーカが表示される。参加者には周辺マーカをタップするとペナルティがあることを教示する。マーカのサイズは $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ 、マーカ間の距離は 1mm である。

利き手の人差し指でタップし、もう一方の手でデバイスを保持する。参加者は全員右利きであったため、左手でデバイス



(a) 水平方向のエラー



(b) 垂直方向のエラー

図 4: タップ位置とキネマティックエラーの関係

を保持し右手で操作した。マーカは 1 参加者に対し 1000 回表示する。制限時間は設けない。タップのパラメータ(時刻, 座標, 面積, 推定圧力, 他)を記録し, 考察する。

デバイスは Nexus 4(株) Google, 画面サイズ 4.7 inch, 画面解像度 1280 pixel × 768 pixel) を使用する。

3.2 評価方法

3.2.1 インターフェイス形状に対するタップ位置のエラー

マーカの中心を意図タップ座標とする。目標マーカのみを表示させた時の e を e_k とする。周辺マーカを表示させた時の e から e_k を除いたものを e_c とする。 e_k および e_c のそれぞれに対しガウスプロセス回帰 (GPR) によりモデルを構築する。ただし, GPR は入力値に対する出力の平均と分散が出力されるが, 本研究では平均値のみを扱う。 e_k の独立変数はシステムの出力するタップ座標, e_c の独立変数は周辺マーカのパターンである。

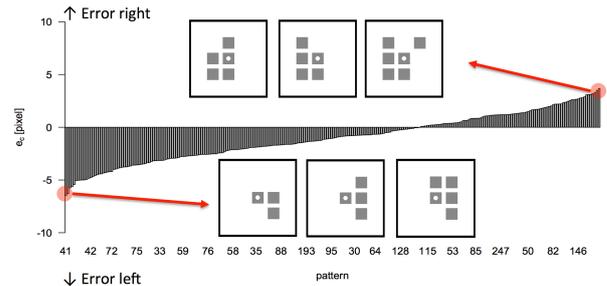
3.2.2 入力補正精度の評価

提案手法によって得られたタップモデルを用いて入力データを補正し, 入力精度の評価を行う。比較対象は, 無補正及び e_k のみのモデルとする。

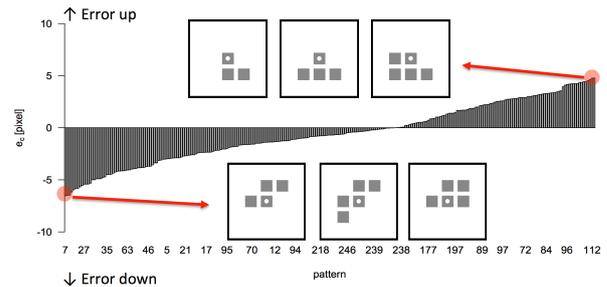
3.3 実験結果

3.3.1 エラーモデル

図 4 に, 目標マーカのみを表示した時のエラーモデル, すなわちキネマティックエラー e_k のモデルを示す。平面はタッチパネル上の座標であり, 色は各点におけるエラーの量を pixel 単位で表している。4(a) は水平方向の誤差 (右が正), 4(b) は垂直方向の誤差 (下が正) を表す。全体として右方向, すなわ



(a) 水平方向のエラー



(b) 垂直方向のエラー

図 5: マーカの表示位置と認知的なエラーの関係

表 1: タップの成功率

モデル	表示するマーカ	
	目標マーカのみ	目標マーカ+周辺マーカ
無補正	39.3%	45.6%
e_k	70.8%	73.6%
$e_k + e_c$ (GPR)	-	74.7%
$e_k + e_c$ (平均)	-	75.5%

ち操作する手の方向にタップ位置が移動し, 画面左側, すなわち操作する手から遠い位置ではエラーが大きいことがわかる。これは先行研究と同じ傾向である。

図 5 に, 周辺マーカを表示した時のエラーモデル, すなわち認知的エラー e_c のモデルを示す。横軸は周辺マーカのパターン, 縦軸はエラーの量を表している。5(a) は水平方向の誤差 (右が正), 5(b) は垂直方向の誤差 (上が正) を表す。また, 4 方向に対するエラーが大きい 3 パターンを表示する。

3.3.2 入力補正

表 1 に, 各条件におけるタップの成功率を示す。ただし, 無補正は得られたデータのタップ座標が目標マーカ内である割合, モデルを用いた補正は 10-fold cross validation による平均値である。また, $e_k + e_c$ (平均) は, e_c のモデル構築に GPR を用いず, 観測されたエラーをパターン別に平均した値をモデルとして扱い補正に用いた結果を表す。

3.4 考察

3.4.1 得られたエラーモデル

キネマティックエラーについて, 操作する手の方向にタップ位置が移動し, 操作する手から遠い位置ではエラーが大きいことがわかる。これは先行研究と同じ傾向である。

認知的なエラーについて, 追加のマーカが左にあるとタッ

ブ位置は右に移動し、マークが右下にあると上に、右にあると左下に移動することがわかる。これらの結果は、追加のマークを避ける方向にタップ位置が移動するという予想を裏付けている。

3.4.2 タップ精度

無補正の場合、周辺マークが表示された場合の方が、目標マークのみ表示された場合より、成功率が高いことがわかった。実験参加者に対するヒアリングでは、周辺マークがある方が上手くタップ出来たという回答が複数あり、これと一致したと言える。これは、周辺マークを表示することで慎重にタップしようとする効果の他、目標マークだけ表示した場合、マークが指で隠れてしまうのに対し、周辺マークを表示することにより目印となる効果があると考えられる。

目標マークのみ表示した場合において、キネマティックエラーモデルにより入力座標の補正を行った結果、入力精度は31.5ポイント向上した。これは先行研究と似た傾向であるが、より大幅に精度を向上することに成功しており、キネマティックエラーモデルによる入力補正は十分に機能していると言える。先行研究と精度が異なる理由として、操作姿勢の違いが考えられる。先行研究ではデバイスを両手で横長に保持し、両親指で操作しているのに対し、本研究では片手で縦長に保持し、もう一方の手の人差し指で操作している。よって精度について単に先行研究と比較することは出来ない。

一方、周辺マークを1つ表示した場合、同じモデルを用いて入力座標の補正を行った結果、入力精度の向上は28.0ポイントに留まった。これは補正に使用したモデルが人間の行動特性を十分に表せていないことが原因と考えられる。

キネマティックエラーモデルと認知的エラーモデルを組み合わせた場合、キネマティックエラーモデルのみ用いた場合に比べ1.1ポイント向上した (t -test, $t = 26.89, p < 0.05$)。更にモデルとして平均値を用いた場合、キネマティックエラーモデルのみ用いた場合に比べ1.9ポイント向上した (t -test, $t = 5.51, p < 0.01$)。これにより、両モデルを用いることで、実用的な状況における入力座標の推定において、より高い精度を実現できることが示された。モデルとして平均値を用いた場合に精度が向上したことは、回帰においてオーバーフィッティングしたことに相当すると言える。しかし、パターンに対する回帰であるため、オーバーフィッティングしていても十分適用可能であると考えられるため、十分有用な結果である。

4. まとめ

本研究では、タッチパネルにおける入力の精度向上、及びタッチパネルを用いた仮想エージェントとのインタラクションの円滑化のため、タップ座標の誤差に新たな概念を導入した。その中で、インターフェイス形状を考慮したタップモデルを検討した。実験の結果、インターフェイス形状の違いによりタップ位置が変化することが示された。更に、インターフェイス形状を考慮したモデルを用いることで、入力精度が向上することが示唆された。今後更に解析を行い、より複雑なインターフェイス形状に対する考察や、さらなる入力精度の向上を目指す。

参考文献

[1] Khaldoun Al Faraj, Mustapha Mojahid, and Nadine Vigouroux. Bigkey: A virtual keyboard for mobile devices. In *Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction. Part III: Ubiquitous and Intelligent Interaction*, pp. 3–10, 2009.

- [2] Leah Findlater and Jacob Wobbrock. Personalized input: improving ten-finger touchscreen typing through automatic adaptation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'12*, pp. 815–824, 2012.
- [3] Mayank Goel, Alex Jansen, Travis Mandel, Shwetak N. Patel, and Jacob O. Wobbrock. Contexttype: using hand posture information to improve mobile touch screen text entry. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'13*, pp. 2795–2798, 2013.
- [4] Joshua Goodman, Gina Venolia, Keith Steury, and Chauncey Parker. Language modeling for soft keyboards. In *Proceedings of the 7th international conference on Intelligent user interfaces, IUI'02*, pp. 194–195, 2002.
- [5] Asela Gunawardana, Tim Paek, and Christopher Meek. Usability guided key-target resizing for soft keyboards. In *Proceedings of the 15th international conference on Intelligent user interfaces, IUI'10*, pp. 111–118, 2010.
- [6] Johan Himberg, Jonna Häkkinä, Petri Kangas, and Jani Mäntyjärvi. On-line personalization of a touch screen based keyboard. In *Proceedings of the 8th international conference on Intelligent user interfaces, IUI'03*, pp. 77–84, 2003.
- [7] Christian Holz and Patrick Baudisch. Understanding touch. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'11*, pp. 2501–2510, 2011.
- [8] J A Pickering. Touch-sensitive screens: the technologies and their application. *Int. J. Man-Mach. Stud.*, Vol. 25, No. 3, pp. 249–269, September 1986.
- [9] Dmitry Rudchenko, Tim Paek, and Eric Badger. Text text revolution: a game that improves text entry on mobile touchscreen keyboards. In *Proceedings of the 9th international conference on Pervasive computing, Pervasive'11*, pp. 206–213, 2011.
- [10] Katie A. Siek, Yvonne Rogers, and Kay H. Connelly. Fat finger worries: how older and younger users physically interact with pdas. In *Proceedings of the 2005 IFIP TC13 international conference on Human-Computer Interaction, INTERACT'05*, pp. 267–280, 2005.
- [11] Daryl Weir, Simon Rogers, Roderick Murray-Smith, and Markus Löchtefeld. A user-specific machine learning approach for improving touch accuracy on mobile devices. In *Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology, UIST'12*, pp. 465–476, 2012.
- [12] 萩谷俊幸, 上向俊晃, 加藤恒夫. 確率モデルに基づくキーボード入力方式. 第74回全国大会講演論文集, 第2012巻, pp. 13–15, mar 2012.