Vol.2019-HCI-185 No.25
Vol.2019-UBI-64 No.25
2019/12/11

スマートフォンにおける押下圧による タップの拡張のための予備調査

池田　凌[1,a)]　漆山　裕太[2,b)]　志築　文太郎[3,c)]

概要：スマートフォンにおける限られた入力語彙を拡張するために，我々は押下圧によるタップの複数種類への拡張手法を提案する．提案手法はタップ時にスマートフォン搭載感圧センサから取得される最大の押下圧をタップの強さとし，その強さをもとにタップを 3 種類以上に拡張する．本研究では提案手法の実装に先立ち，スマートフォンにおいてユーザがタップの強さを調節可能な精度を明らかにするための予備実験を行った．システムが取得可能な押下圧の範囲を線形に 2-6 分割したうちのある一領域に対してタップの強さを調節する分割タスクでは，2 分割においては 98.1%，6 分割においては 54.0%のタスク成功率であった．

1. はじめに

タッチスクリーンはスマートフォンにおいて主要な入出力インタフェースであり，ユーザは指を用いて直接タッチすることによって入力できる．しかし，タッチスクリーンにおける入力はタッチ位置およびその時系列の情報のみを用いるため，キーボードやタッチパッドを主な入力インタフェースとする標準的なラップトップコンピュータと比較して入力語彙が限られる．

限られた入力語彙を拡張するために，Heo ら [1] はスマートフォン内蔵加速度センサを用いてタップの強さを推定し，タップを強いタップと弱いタップに区別することによって入力語彙の拡張を行った．しかし，スマートフォンにおいてタップの強さを用いた 3 種類以上へのタップの拡張は行われていない．

そこで我々は，スマートフォンにおける押下圧によるタップの複数種類への拡張手法を提案する．提案手法はタップ時（つまりタッチダウンからタッチアップまで）にスマートフォン搭載感圧センサから取得される最大の押下圧をタップの強さとし，その強さをもとにタップを 3 種類以上に拡張する．タップの強さとはユーザが画面にタッチしてから離すまでの短い時間におけるタッチの強さ（つまりタッチの瞬間の強さ）である．そのため，iPhone の 3D Touch や押下圧を用いた研究 [2-8, 10] のような画面の長押しの間にタッチの強さを調節する操作とは異なる．タップの強さの調節は画面にタッチしたのちにユーザが意図的にタッチの強さを変えることができない一方で，長押しの間にタッチの強さを調節する操作よりも高速な実行が可能である．

我々は提案手法の実装に先立ち，スマートフォンにおいてユーザがタップの強さを調節可能な精度を明らかにするための予備実験を行った．本稿ではその結果を報告する．

[1] 筑波大学情報メディア創成学類
[2] 筑波大学コンピュータサイエンス専攻
[3] 筑波大学システム情報系
[a)] ikeda@iplab.cs.tsukuba.ac.jp
[b)] urushiyama@iplab.cs.tsukuba.ac.jp
[c)] shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

2. 関連研究

提案手法はタップ時の最大の押下圧をタップの強さとし，それをもとにスマートフォンにおけるタッチ入力語彙の拡張を行うことを目的とする．そのため，本節では，押下圧を用いたスマートフォンの操作手法，タッチ入力語彙の拡張手法およびタップの強さに関する研究から本研究を位置づける．

2.1 押下圧を用いたスマートフォンの操作手法

押下圧を用いた様々なスマートフォンの操作手法が提案されてきた．Brewster ら [2] は押下圧を高めることによって大文字を入力可能なキーボードを提案した．Zhong ら [3] は押下圧の調節により文字を入力可能な 1 次元キーボードを提案した．Corsten ら [4] は押下圧を用いることによって，省スペースかつ高速な値選択を可能とするピッカーを提案した．Suzuki ら [5] および Miyaki ら [6] はそれぞれ独立に押下圧を用いることによって片手操作のためのズームイン，ズームアウト手法を提案した．Corsten ら [7] は

© 2019 Information Processing Society of Japan

押下圧により移動するカーソルを用いた片手操作手法を提案し，押下圧を高めることにより，親指から離れた位置にあるターゲットの選択を可能にした．八箇ら [8] はカーソルを用いた片手操作において，押下圧を用いることによりタップ，スワイプ，ドラッグおよびダブルタップのような様々なシングルタッチジェスチャの実行を可能にした．Apple 社はタッチの押下圧を取得する機能である 3D Touch を開発した．これによりユーザはホームスクリーンのアプリアイコンをタッチしたのち押下圧を高めることによりメニューの表示を行うことや，URL に対してタッチしたのち押下圧を高めることによりリンク先のウェブページのプレビューを表示することができる．

これらの手法では，ユーザは画面の長押しの間に押下圧を調節する．一方，我々の提案手法では，ユーザは画面にタッチする瞬間の押下圧を調節する．

2.2 タッチ入力語彙の拡張手法

HCI 研究分野において，様々なタッチ入力語彙の拡張手法が提案されてきた．タッチ位置に加え，タッチに付随する情報としてタッチの面積 [9]，圧力 [10]，せん断力 [11]，タッチ面と指のなす角度 [12] およびタッチ時に発生する音 [13] を利用する入力語彙の拡張手法がある．

タッチした体の部位を識別することにより入力語彙の拡張を行った手法もある． Gil ら [14] はスマートウォッチにタッチする指の接触面積から親指，人差し指および中指を識別することによってタッチした指の種類に応じた操作を可能にした．Le ら [15] は画面にタッチした際の接触面積を用いて指によるタッチと手のひらによるタッチを識別することによって手のひらによるタッチを新たなジェスチャとして利用した．池松ら [16] は静電容量方式のタッチ面において，電気的特性の差異から指によるタッチと爪によるタッチを識別することにより入力語彙の拡張を行った．

偶発的に発生しにくい，意図的な動作を用いることによって入力語彙の拡張を行った手法も提案されている．Roth ら [17] はタッチパネルのベゼルからのスワイプ，Kubo ら [18] はベゼルからベゼルへのスワイプを新たなジェスチャとして入力語彙の拡張に利用した．Heo ら [19] は離れた点における短時間の連続的なタップを，Oakley ら [20] は 2 本の指の同時，または連続的なタップを入力語彙の拡張に利用した．池松ら [21] は通常のタッチ入力が指を画面に対して動かすことによって操作を行うのに対し，デバイスの画面を指に向けて動かしタッチする動作を新たなジェスチャとして提案した．八箇ら [22] はユーザが画面上のターゲットをスワイプする際に，スワイプの終端の位置がターゲットの外側になることを実験より明らかにした上で，終端がターゲット内となるスワイプを入力語彙の拡張に利用した．

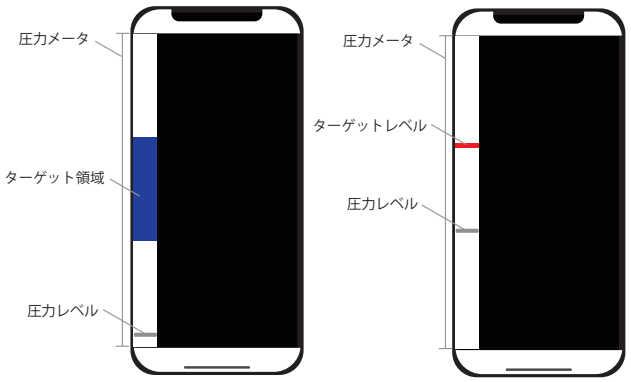


図 1 分割タスク（左）および連続タスク（右）の実験アプリケーション画面．両タスク共通の圧力メータおよび圧力レベルに加え，分割タスクではターゲット領域，連続タスクではターゲットレベルから構成される．

我々の提案手法は，タップに付随する押下圧を用いて入力語彙の拡張を行う．

2.3 タップの強さ

タップの強さに関する研究として，Heo ら [1] はスマートフォン内蔵加速度センサを用いてタップの強さを推定することにより強いタップと弱いタップとを区別し，実験にてユーザが強いタップと弱いタップとの 2 種類のタップを 90%の精度にて調節できることを示した．しかし，3 種類以上へのタップの拡張については言及されていない．我々の提案手法はスマートフォンにおいて，タップの強さによりタップを 3 種類以上に拡張することを目的とする．Pedersen ら [23] はテーブルトップインタフェースにおいて，タップ時に発生する音波を用いてタップの強さを推定することにより，ユーザが 2 種類のタップを 99%，6 種類のタップを 58%の精度にて調節可能であることを示した．本研究では，スマートフォン上においてユーザがタップの強さを調節可能な精度を調査する．

3. 実験

我々は実験参加者がスマートフォンにおいてタップの強さを調節可能な精度を調査するための実験を行った．

3.1 実験参加者

我々は，研究室内の 8 名（22-23 歳，平均年齢 22.6 歳，全員男性，全員右利き）がボランティアとして実験に参加した．参加者は全員日常的にスマートフォンを使用していた．

3.2 実験機器

実験に用いるスマートフォンとして，我々は iPhone XS（5.8 インチ，iOS 13.1.3）を使用した．押下圧の取得には

© 2019 Information Processing Society of Japan

UITouch クラスの force プロパティを使用した．force プロパティは 0 から $\frac{400}{60} \simeq 6.67$ の範囲の 400 段階の値（$\frac{1}{60}$ 間隔）を返す．force プロパティはタッチイベントに付随して取得される．タッチイベントはタッチ面への接触状態が変化した際に発生し，その頻度は 1 秒あたり最大で約 60 回である．

3.3 タスク

実験では 2 つのタスクを行った．1 つは，取得可能な押下圧の範囲を線形に 2-6 分割したうちのある一領域に対して実験参加者がタップの強さを調節する分割タスク，もう 1 つは取得可能な押下圧の範囲内のある特定の押下圧に対して実験参加者がタップの強さを調節する連続タスクである．以下ではそれらの内容を述べる．

3.3.1 分割タスク

分割タスクに用いられる実験アプリケーション画面は圧力メータ，圧力レベルおよびターゲット領域から構成される（図 1 左）．圧力メータはシステムが取得可能な押下圧と対応しており，圧力メータの上端が最大値の 6.67，下端が最小値の 0 である．圧力レベルは実験参加者のタップの強さを表しており，タップ時の最大の押下圧に応じて位置が上下する．ターゲット領域は線形に n 分割された圧力メータ内の一領域に青色に表示される．

実験参加者は圧力レベルがターゲット領域に入るようにタップの強さを調節する．実験参加者がタスクに成功するとターゲット領域が緑色に，失敗すると圧力レベルが達した領域が赤色に変化する．ターゲット領域は分割された各領域にランダムな順に 10 回ずつ表示される．ターゲット領域に対して圧力レベルが入るようにタップすることを 1 試行とし，n 分割時に各領域 10 回ずつ試行を行うことを 1 セッションとした．実験参加者は $n = 2, 3, \ldots, 6$ 分割に対してそれぞれ 1 回ずつセッションを行った．したがって，実験参加者は分割タスクにおいて $(2+3+\ldots+6$ 分割$) \times 10$ 回 $= 200$ 回 の試行を行った．

3.3.2 連続タスク

連続タスクに用いられる実験アプリケーション画面は分割タスクと同様の圧力メータ，圧力レベルに加え，ターゲットレベルから構成される（図 1 右）．ターゲットレベルは取得可能な押下圧の範囲内において，等間隔に 100 段階（つまり force プロパティの値に換算して $\frac{6.67}{100}$ =0.067 間隔）の位置にランダムな順に 1 回ずつ表示される．実験参加者はターゲットレベルに圧力レベルが近づくように，タップ時の押下圧を調節する．

3.4 手順

実験中，参加者には着席してもらい，スマートフォンを右手にて把持し，把持した手の親指にてタップを行うよう

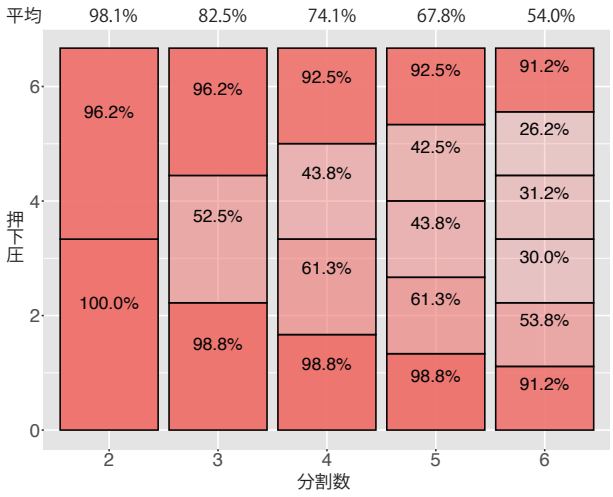


図 2 分割タスクの各分割数および各領域に対するタスク成功率．グラフ外の確率は各分割数に対するタスク成功率，グラフ内の確率は各領域に対するタスク成功率を表す．

指示した．また実験参加者のタップしやすい位置にてタップをし，できる限り正確にタスクを行うように指示した．実験参加者がタップではなく，長押しによって押下圧を調節することがないように，画面に触れたのちできる限り早く指を離すように伝えた．

まず，我々は参加者にタップの強さによって圧力レベルが変化することを確認してもらうために，実験参加者に最大 3 分間の練習時間を設けた．練習では図 1 に示した画面のうち，圧力メータと圧力レベルのみが表示され，実験参加者には自由にタップを行ってもらった．タスクの順序効果を取り除くために，我々は実験参加者を分割タスクを先に行う群と連続タスクを先に行う群との 2 群に分け，実験を行った．分割タスクの分割数の順序は全参加者 2–6 分割の昇順とした．分割タスクと連続タスクの間に 5 分間の休憩を設けた．実験は 1 人あたり約 25 分かかった．

4. 結果と考察

本節では分割タスクおよび連続タスクの結果および考察を述べる．

4.1 分割タスク

分割数および各領域に対する実験参加者全体の平均タスク成功率を図 2 に示す．グラフ外の上部の確率は分割数に対する実験参加者全体の平均タスク成功率を示しており，グラフ内の確率はある分割数における各領域に対する平均タスク成功率を示している．各領域の透明度はその領域の平均タスク成功率と対応しており，成功率が高いほど濃く表現されている．

分割数に対する平均タスク成功率について，分割数が増えるほど平均タスク成功率は下がり，2–6 分割の成功率は順に 98.1%，82.5%，74.1%，67.8%および 54.0%となった．

© 2019 Information Processing Society of Japan

Vol.2019-HCI-185 No.25
Vol.2019-UBI-64 No.25
2019/12/11

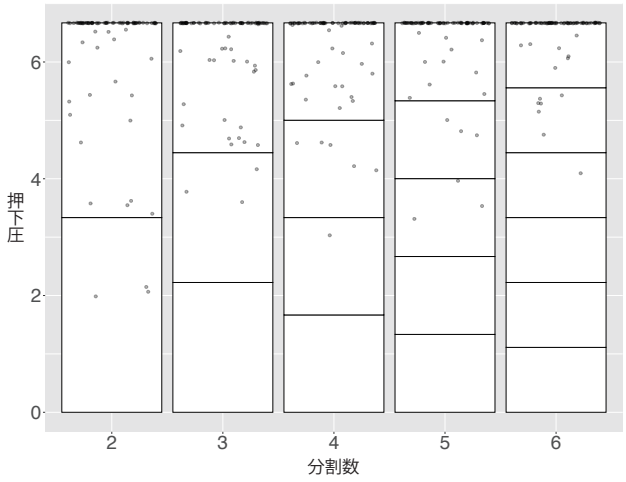


図 3 最上部のターゲット領域に対するタップの強さの分布.

独立変数を分割数，従属変数を各分割数に対する各実験参加者の平均タスク成功率としてフリードマン検定を行った結果，有意差が存在した（$\chi^2(4) = 31.3, p < 0.01$）．Holm 法を用いたウィルコクソンの符号順位検定による事後多重比較を行った結果，4 分割および 5 分割間を除く全ての分割数の組み合わせに対して有意差が存在した（$p < 0.01$）．

全体として，ある分割数における各領域の平均タスク成功率は均等ではなく，全分割数において最上部および最下部の領域の成功率が 90%を超えた一方で，分割の中心側の領域の成功率はこれらと比較して低かった．図 3 が示すように，最上部のターゲット領域に対して行われたタップの強さの多くがシステムの取得可能な押下圧の最大となる傾向があり，その割合は 74.8%であった．これはシステムの取得可能な押下圧の最大を超える強さにてタップした際に，取得可能な押下圧の最大値がタップの強さとして記録されるためであり，ゆえに最上部のターゲット領域に対するタスク成功率が高かったと考えられる．また最下部の領域においては実験参加者が可能な限り弱いタップを行うことによりタスクに成功できるため，平均タスク成功率が高かったと考えられる．また分割の最上部と 6 分割時の下から 4 段目を除き，3–6 分割時の n 段目よりも $n+1$ 段目の成功率が低い傾向が見られた．

4.2 連続タスク

ターゲットレベルに対する実験参加者全体のタップの強さの誤差の分布を図 4 に示す．誤差の値が正であることは圧力レベルがターゲットレベルを上回ったことを，負であることは下回ったことを表す．図の右上の赤い線はシステムの取得可能な押下圧の上限があることからそれ以上誤差が広がらない誤差の上限を表す．

ターゲットレベルが最大に近い場合，誤差のばらつきは他のターゲットレベルと比較して小かった．これは分割タスクの最上部のターゲット領域の場合と同様，多くの実験参加者がシステムの取得可能な押下圧の上限以上の強さにてタップしたことにより誤差のばらつきが小さくなったためであると考えられる．特に最大のターゲットレベルにおいては，全実験参加者の誤差が 0 であり，全実験参加者がシステムの取得可能な押下圧以上の強さにてタップを行ったことがわかる．また，赤い線より上側の領域および最大のターゲットレベル付近のターゲットレベルを除いた場合において，ターゲットレベルが最小に近い場合はばらつきが小さく，ターゲットレベルが大きいほど誤差のばらつきが大きい傾向にあった．

5. 議論

実験参加者は 98.1%の精度にて 2 種類のタップの強さを調節可能であることから，Heo ら [1] と同様，タップの強さを用いた 2 種類のタップによる入力語彙の拡張を実用的に使用できると考えられる．3 分割において，中央の領域の精度は 52.5%と低く，また 4 分割においても最上部および最下部の領域を除く領域において精度が低いことから，3 種類以上のタップの強さをユーザが調節することによる入力語彙の拡張は現在の実装においては実用的でない．しかし，この結果はシステムが取得可能な押下圧を線形に分割した場合のものであり，分割を非線形にすることで精度が向上する可能性がある．例えば 3 分割においては単純に中央の領域の範囲を広げることにより精度向上が期待できる．また 4 分割以上においては，分割タスクおよび連続タスクの結果から，最上部および最下部の領域の範囲を狭め，上側の領域ほど範囲を広げることによって精度が向上すると考えられる．したがって，今後はこの結果をもとに最適な分割方法を設計する予定である．

6. 今後の課題

本研究では実験機器として iPhone XS を使用し，UITouch クラスの force プロパティを用いて画面へのタップの強さを取得した．ただし，Apple 社は 3D Touch の感圧特性を公開していない．そのため，現状では同じ強さのタップを画面上の異なる位置にて行った際に force プロパティが返す値が異なる可能性がある．したがって今後これらの感圧特性を調査する必要がある．

提案手法の現在の実装では Pedersen ら [23] がタップの強さとしてタップの際に発生する音波の最大の振幅を用いたことと同様に，タップの強さとしてタッチダウンからタッチアップまでに取得される押下圧の最大値を用いている．一方，Heo ら [1] は実験により，タップの強さとしてタップの際の加速度の最大値よりも擬似的な力積を用いた場合により強いタップと弱いタップを区別できることを明らかにした．提案手法においても，感圧センサから得られる押下圧の値を時間について積分して求められる力積を

© 2019 Information Processing Society of Japan

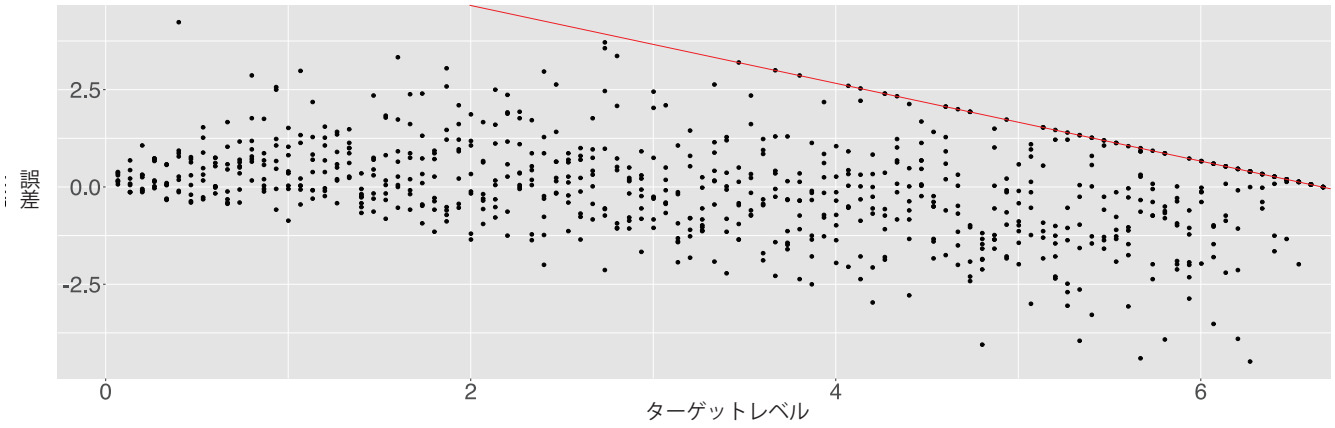


図 4　ターゲットレベルに対する実験参加者全体のタップの強さの誤差の分布.

タップの強さとして用いることにより，ユーザがタップの強さを調節しやすくなる可能性がある．したがって最大値を用いた場合および力積を用いた場合の精度について比較実験を行うことによりどちらがタップの強さとして最適であるかを調査する必要がある．

また，提案手法には日常的なタップと比べ，アプリケーションの設計においていくつかの懸念事項がある．まず，提案手法においてユーザは日常的なタップと比較してより強い力を加える必要があるため，疲労しやすい可能性がある．したがって，提案手法の使用におけるユーザの疲労度の調査を行う必要がある．また，ユーザがターゲットに対して強くタップする際，タップの位置がずれることにより選択の精度が低くなる可能性がある．さらに，タップの位置によってタップの強さの調節のしやすさが異なる可能性がある．したがって様々なサイズおよび位置のターゲットに対して提案手法を用いることが可能か調査する必要がある．さらに，本研究ではユーザは着座した状態にてタップを行ったが，スマートフォンは立位，臥位および歩行時のような様々な状況にて使用される．そのため，このような状況下においてユーザが提案手法を使用可能か調査する必要がある．

7. アプリケーション例

本節では，提案手法のアプリケーション例を示す．

7.1 ソフトウェアキーボードの拡張

スマートフォンにおける QWERTY 配列のソフトウェアキーボードでは，ユーザは大文字を入力するためにシフトキーを押したのち，目的の文字キーをタップする．また，数字や記号の入力のために，専用のキーボードへの切り替えを必要とする．これに対し，提案手法を用いることにより，1 つのキーへの異なる段階の強さのタップに小文字，大文字，数字や特殊文字の入力を割り当てることができる．これにより，追加のキーのタップやキーボードの切り替えを必要とせず，様々な文字が混ざった文章を瞬時に入力可能とする．

7.2 アプリアイコンに対するショートカット

スマートフォンのアプリケーションに対する操作は通常，ホーム画面に配置されたアイコンをタップし，アプリケーションを起動したのちに目的の操作を行う．これに対し，提案手法を用いることにより，アプリアイコンに対する異なる段階の強さのタップをアプリケーションに対する操作のショートカットとすることができる．例えばカメラアプリケーションでは，起動したのちビデオ，ポートレートおよびスローモーション撮影のような撮影モードを切り替える必要があるが，提案手法を用いて特定の撮影モードでの起動を異なる段階の強さのタップに割り当てることにより，1 回のタップにより指定の撮影モードにてアプリケーションを起動することができる．

7.3 文字列選択のためのショートカット

スマートフォンにおいて，ウェブページやメールの本文の文字列の選択では，選択したい文字列上またはその付近にてロングタップをすることにより単語単位の選択が行われ，同時に表示されるキャレットをドラッグし指定の位置まで動かすことにより対象の文字列の選択が行われる．これに対し，提案手法を用いることにより，文字列の単語単位の選択，行単位の選択および文字列の全選択を異なる段階の強さのタップにショートカットとして割り当てることができる．これにより行単位の選択および全選択を 1 回のタップにて実行できると同時に，提案手法はロングタップよりも高速に文字列の選択を開始することができる．

8. おわりに

我々はスマートフォンにおけるタッチ入力語彙の拡張のために，押下圧によるタップの複数種類への拡張手法を提案した．提案手法はユーザのタップ時にスマートフォン搭

© 2019 Information Processing Society of Japan

載感圧センサから取得される最大の押下圧をタップの強さとし，その強さをもとにタップを 3 種類以上に拡張する．

提案手法の実装に先立ち，スマートフォンにおいてユーザがタップの強さを調節可能な精度を明らかにするための予備実験を行った結果，ユーザは 2 種類のタップを 98.1% の精度にて調節可能であった．3 種類以上においては分割の上端と下端の領域を除く中心側の領域の精度が低く，3 種類以上のタップをユーザが調節することによる入力語彙の拡張はシステムの取得可能な押下圧の範囲を線形に分割する実装においては実用的でないと考えられる．

しかし，分割の上端および下端の精度が高いことや上側の領域ほど精度が徐々に低くなることから分割方法を非線形にすることによって精度が向上する可能性がある．したがって，今後は実験の結果をもとに最適な分割方法を設計する予定である．

参考文献

[1] Heo, S. and Lee, G.: ForceTap: Extending the Input Vocabulary of Mobile Touch Screens by Adding Tap Gestures, *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 113–122 (online), DOI: 10.1145/2037373.2037393 (2011).

[2] Brewster, S. A. and Hughes, M.: Pressure-Based Text Entry for Mobile Devices, *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 9:1–9:4 (online), DOI: 10.1145/1613858.1613870 (2009).

[3] Zhong, M., Yu, C., Wang, Q., Xu, X. and Shi, Y.: ForceBoard: Subtle Text Entry Leveraging Pressure, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 528:1–528:10 (online), DOI: 10.1145/3173574.3174102 (2018).

[4] Corsten, C., Voelker, S., Link, A. and Borchers, J.: Use the Force Picker, Luke: Space-Efficient Value Input on Force-Sensitive Mobile Touchscreens, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 661:1–661:12 (online), DOI: 10.1145/3173574.3174235 (2018).

[5] Suzuki, K., Sakamoto, R., Sakamoto, D. and Ono, T.: Pressure-Sensitive Zooming-Out Interfaces for One-Handed Mobile Interaction, *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 30:1–30:8 (online), DOI: 10.1145/3229434.3229446 (2018).

[6] Miyaki, T. and Rekimoto, J.: GraspZoom: Zooming and Scrolling Control Model for Single-Handed Mobile Interaction, *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 11:1–11:4 (online), DOI: 10.1145/1613858.1613872 (2009).

[7] Corsten, C., Lahaye, M., Borchers, J. and Voelker, S.: ForceRay: Extending Thumb Reach via Force Input Stabilizes Device Grip for Mobile Touch Input, *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, New York, NY, USA, ACM, pp. 212:1–212:12 (online), DOI: 10.1145/3290605.3300442 (2019).

[8] Hakka, K., Isomoto, T. and Shizuki, B.: One-Handed Interaction Technique for Single-Touch Gesture Input on Large Smartphones, *Symposium on Spatial User Interaction*, SUI '19, New York, NY, USA, ACM, pp. 21:1–21:2 (online), DOI: 10.1145/3357251.3358750 (2019).

[9] Boring, S., Ledo, D., Chen, X. A., Marquardt, N., Tang, A. and Greenberg, S.: The Fat Thumb: Using the Thumb's Contact Size for Single-Handed Mobile Interaction, *Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 39–48 (online), DOI: 10.1145/2371574.2371582 (2012).

[10] Heo, S. and Lee, G.: ForceDrag: Using Pressure As a Touch Input Modifier, *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference*, OzCHI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 204–207 (online), DOI: 10.1145/2414536.2414572 (2012).

[11] Harrison, C. and Hudson, S.: Using Shear As a Supplemental Two-Dimensional Input Channel for Rich Touchscreen Interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 3149–3152 (online), DOI: 10.1145/2207676.2208730 (2012).

[12] Xiao, R., Schwarz, J. and Harrison, C.: Estimating 3D Finger Angle on Commodity Touchscreens, *Proceedings of the 2015 International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces*, ITS '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 47–50 (online), DOI: 10.1145/2817721.2817737 (2015).

[13] Harrison, C., Schwarz, J. and Hudson, S. E.: TapSense: Enhancing Finger Interaction on Touch Surfaces, *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 627–636 (online), DOI: 10.1145/2047196.2047279 (2011).

[14] Gil, H., Lee, D., Im, S. and Oakley, I.: TriTap: Identifying Finger Touches on Smartwatches, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, ACM, pp. 3879–3890 (online), DOI: 10.1145/3025453.3025561 (2017).

[15] Le, H. V., Kosch, T., Bader, P., Mayer, S. and Henze, N.: PalmTouch: Using the Palm As an Additional Input Modality on Commodity Smartphones, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 360:1–360:13 (online), DOI: 10.1145/3173574.3173934 (2018).

[16] 池松　香，山中祥太：ScraTouch: 静電容量方式タッチサーフェスにおける手指の爪を使用したタッチ入力拡張技法，第 27 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ論文集，日本ソフトウェア科学会，pp. 85–90 (2019).

[17] Roth, V. and Turner, T.: Bezel Swipe: Conflict-Free Scrolling and Multiple Selection on Mobile Touch Screen Devices, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 1523–1526 (online), DOI: 10.1145/1518701.1518933 (2009).

[18] Kubo, Y., Shizuki, B. and Tanaka, J.: B2B-Swipe:

© 2019 Information Processing Society of Japan

Swipe Gesture for Rectangular Smartwatches from a Bezel to a Bezel, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 3852–3856 (online), DOI: 10.1145/2858036.2858216 (2016).

[19] Heo, S., Gu, J. and Lee, G.: Expanding Touch Input Vocabulary by Using Consecutive Distant Taps, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 2597–2606 (online), DOI: 10.1145/2556288.2557234 (2014).

[20] Oakley, I., Lee, D., Islam, M. R. and Esteves, A.: Beats: Tapping Gestures for Smart Watches, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 1237–1246 (online), DOI: 10.1145/2702123.2702226 (2015).

[21] 池松　香，山中祥太，坪内孝太，椎尾一郎：CopernicanTouch：タッチサーフェスを指へ向けて接触させる動作を用いたタッチ入力拡張手法，第 26 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ論文集，日本ソフトウェア科学会，pp. 67–72 (2018).

[22] 八箇恭平，礒本俊弥，川口航平，志築文太郎：ターゲット内に両端が存在するスワイプジェスチャ，第 27 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ論文集，日本ソフトウェア科学会，pp. 61–66 (2019).

[23] Pedersen, E. W. and Hornbæk, K.: Expressive Touch: Studying Tapping Force on Tabletops, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 421–430 (online), DOI: 10.1145/2556288.2557019 (2014).

© 2019 Information Processing Society of Japan