東海大学紀要情報通信学部
vol.6,No2,2013,pp.31-36

論文

ソフトウェアキーボードの文字入力パフォーマンス向上のための2次元打鍵分布調査

柳井 勇馬[*1], 辛島 光彦[*2]

Research on two dimensional touched position distributions of the touch screen QWERTY keyboard

by

Yuma YANAI[*1] and Mitsuhiko KARASHIMA[*2]

(received on September 30, 2013 & accepted on February 6, 2014)

Abstract

This research explored the characteristics on two dimensional touched position distributions in each key of a touch screen QWERTY keyboard through the experiment. The results of the experiment revealed that the mistyping ratio was more than 5% and it suggested the necessity of an approach for key input performance improvement. The results also revealed that the center of distribution of the key touched position tended to be positioned in the low part of the key regardless of keys and the mistyping concentrated under the bottom of the key area. A new approach that the key input performance could be improved by using these characteristics of key touched position and mistyping was proposed.

Keywords: *Software keyboard, Touch panel, Touch Screen, touched position distributions*
キーワード:ソフトウェアキーボード,タッチパネル,タッチスクリーン,2 次元打鍵分布

1. はじめに

第二のパソコンとして普及しているタブレットPCでは一般的にタッチパネル上にハードウェアキーボードと同様のQWERTY配列でソフトウェアキーボードを表示し,長文に対応した文字入力を可能としている.しかしディスプレイ部と文字入力部が一つの画面に収まっているタブレットPCのソフトウェアキーボードでは,ハードウェアキーボードにおいて用意されているキーの凹凸やホームポジションの突起などの物理的フィードバックを持ちえないため,ブラインドタッチを行うことが困難とされている.そのためソフトウェアキーボードにおける文字入力時の打鍵速度や打鍵精度などの打鍵パフォーマンスは,ハードウェアキーボードの打鍵パフォーマンスと比較して約2/3ほどに低下している(Sears[1]).この打鍵パフォーマンスを向上させるためにタブレットPCのソフトウェアキーボードに関する研究では,打鍵時に発生させるフィードバックの研究として,聴覚フィードバックの研究(Ercan[2])や触覚フィードバックの研究(Hoggan[3])が行われている.また視覚フィードバックに着目して新しいキーレイアウト(Jeong[4])や打鍵補助のためポップアップメニュー(郷[5])が提案されている.

これらの従来研究のほとんどはハードウェアキーボードにおける文字入力時の打鍵特性や,研究者の仮説に基づき行われたものであり,ソフトウェアキーボードにおける文字入力時の打鍵特性を考慮して行われたものではない.山田[6]らは,キー配置が描写されていないソフトウェアキーボードをブラインドタッチさせた際の打鍵位置などの打鍵特性を取得しこの打鍵特性に基づいた学習機能を有した個人用のソフトウェアキーボードの提案をし,打鍵速度と打鍵精度が向上することを示している.このようにソフトウェアキーボードの打鍵特性に基づく新たなツールやレイアウトを提案することにより,打鍵時のパフォーマンスが向上する可能性が期待される.

ところで一般的にソフトウェアキーボードは物理的フィードバックが存在せず視覚情報のみで文字入力が行われる.そのため誤打による誤入力が発生しやすく,そこから誤字を削除して改めて正しい文字を入力するという手間が生じ,結果的に全体的なパフォーマンスの低下に繋がることが考えられる.このことから,文字入力確定前に打鍵を修正できるツールやレイアウトは誤打を防ぐという観点からパフォーマンスの向上に有用であると期待される.この文字入力確定前に打鍵を修正するためには打鍵時の打鍵位置情報が一つの重要な情報となると考えられる.

打鍵位置情報の調査については,Findlater[7]らにより,ハードウェアキーボードにおいてブラインドタッチを可能とする被験者を対象としたQWERTY配列のキーボードにおいてディスプレイ上にキーボードを表示せず,ユーザの持つ内在的な打鍵能力と入力判定のための視覚フィードバックのみで文字入力を行った

*1 情報通信学研究科情報通信学専攻 修士課程
Graduate School of Information and Telecommunication Engineering, Course of Information and Telecommunication Engineering, Master's Program
*2 情報通信学部経営システム工学科 教授
School of Information and Telecommunication Engineering, Department of Management Engineering, Professor

場合の打鍵分布データの調査研究が挙げられる.しかし,Findlater[7]や山田[6]の研究ではブラインドタッチを可能とするハードウェアキーボードの熟練者を対象としており,実際には多いと考えられるハードウェアキーボードにおいてブラインドタッチが出来ない使用者を対象として,ソフトウェアキーボードにおける打鍵位置情報の調査を行っている研究はほとんどない.

そこで本研究ではアルファベットの文字入力時における,QWERTY配列のソフトウェアキーボードのパフォーマンスを向上させるための新たなアプローチの提案に有用な打鍵位置情報を取得するために,QWERTY配列のハードウェアキーボードでブラインドタッチが出来ない被験者を対象としたタブレットPCのQWERTY配列のソフトウェアキーボードを用いた文字入力実験を行い,各キーに対する打鍵位置情報を取得する.さらに得られた打鍵位置情報より各キーの打鍵位置分布を求め,打鍵の集中点や偏り,誤打範囲など分析し,打鍵特性を打鍵位置分布から明らかにする.

2. 実験方法

2.1 被験者

右利きの大学生 12 名（M±SD=21.9±1.4 歳）が被験者として実験に参加した.被験者は日常的にハードウェアキーボードを使用するもののブライドタッチは出来ない程度の熟練度で,またタブレット PC の QWERTY 配列のソフトウェアキーボードの使用経験がある者を選出した.

2.2 実験作業

被験者にはディスプレイ上部に表示される文字列を,下部のキーボードを用いて可能な限り早く正確に打鍵する文字入力作業を行わせた.文字入力作業中の制約として誤入力をしてしまったと思われる場合では削除キーを用いて消去し改めて打ち直すなどの修正はせず,次の文字から打鍵することとした.これは誤打の打鍵位置情報も取得するためである.

作業課題として表示する文字列は,アルファベット 26 文字をそれぞれ 6 回,計 156 文字をランダムに並べ替えた文字列で,これを全て入力することを１タスクとして,被験者には計５タスクの文字入力作業を行わせた.

2.3 実験手順

被験者に実験の説明を行い参加の同意を得たあと,アプリに慣れるために 1 タスク分の文字入力作業を練習として行わせた.練習後,質問等がなければ本実験として 5 タスク分の文字入力作業を行わせた.本実験での 5 タスクの順序はどの被験者にも同じ順序で行わせた.また練習と本実験の合間,及び各タスク間には１分間の休憩を挟んだ.

2.4 実験環境

実験環境は被験者の座高(sh)から差尺(D)を求め,VDT作業推奨基準[8] に照らし合わせ,座面高を設定した.またタブレットPC作業面高さは70.0cmとした.

タブレットPCはディスプレイサイズ10.1インチワイド（1280×800）,静電気式タッチ方式のアンドロイドOSヴァージョン3.2を搭載したIconia Tab A500を使用し,指の疲労の影響を抑えるため画面に5度の傾斜を付けた.またQWERTY配列のソフトウェアキーボード及び実験作業はJava によるアプリを自作した.アプリでは,タブレットPCのディスプレイ上部に作業課題である文字列が表示され,下部にはQWERTY配列のソフトウェアキーボードが表示され,このキーボードを介して被験者に打鍵による文字入力を行わせた.キーボードのキーサイズは一般的なハードウェアキーボードの指の触れる平面上のキーサイズである1.35cm^{2}に設定した.Fig.1に実験に使用したソフトウェアキーボードを示す.

またこのアプリでは指が画面に触れた点のx,y座標を抽出することができ,これにより文字入力時の打鍵位置情報の取得が可能となっている.表示文字列はキーボードの打鍵操作に対応しており,キーボードをタッチすると文字列の左から順に文字が白く塗り潰され入力する文字の進行状況のみをフィードバックするが,文字入力の正否はフィードバックしない.

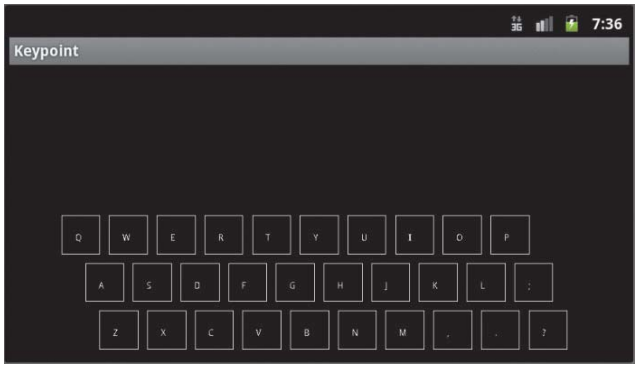


Fig.1 Experimental software keyboard

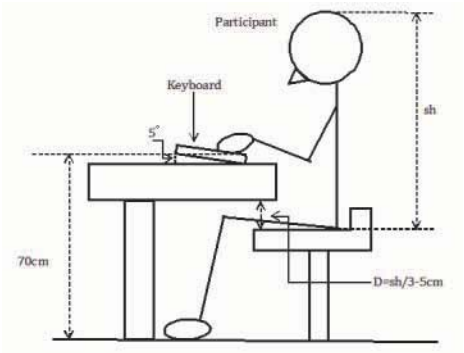


Fig.2 Experimental layout

2.5 測定項目

実験では打鍵時の打鍵ポイントのx,y座標が測定される.なお本実験では,Fig.1のディスプレイの左上隅を原点,上端部をx軸,左端部をy軸とし,右方向,下方向をそれぞれ+方向として打鍵ポイントのx,y座標を求めた.この座標を各キーの中心及び境界座標と照らし合わせ,その打鍵による入力文字の正否や目標キーとの位置関係の解析を行う.なお本実験の被験者はブラインドタッチが完全に出来ないということから,被験者は入力するキーを視覚的に確認しながら打鍵を行っているということになり,そのため目標キーから2文字以上離れたキーを打鍵している場合は,意図的な打鍵ではないとみなして,打鍵データから取り除くこととした.

またタブレットPCのディスプレイにカメラを取り付け,実験中の打鍵状況を録画する.

3. 実験結果

打鍵位置情報を基に全打鍵数に対する誤打数（誤打率）を求めたところ,5.98%であった.

またFig.3に各キーについて打鍵位置情報を基に,打鍵データの99%を網羅する範囲（以下打鍵分布範囲）をマハラノビス汎距離を用いた 99%確率楕円をソフトウェアキーボード上に描写したものを示す.

この図が示す打鍵分布範囲の視覚的特徴として,y方向と比較しx方向の分布の広がりは見られた.また打鍵データの中心座標はキーの中心座標の下に位置していることが示唆された.次に全てのキーの打鍵分布範囲の中心座標と目標キーの中心座標について,目標キーをブロック因子とした対応のある一元配置分散分析を行った.その結果,打鍵分布範囲の中心座標は目標キーの中心座標よりも右方向,かつ下方向に,有意な差が示された（x 方向：$F(1,25)=10.21$, $p<0.01$, y 方向：$F(1,25)=1673.53$, $p<0.01$）.

そこで各キーの違いを細かく検討すべく打鍵分布範囲の中心座標と目標キーの中心座標の偏差について,目標キー間の比較を一元配置分散分析を用いて行った.その結果,打鍵分布範囲と目標キーの偏差ではx,y方向共にキー間で有意な差が示された

（x 方向： $F(25,8309)=24.89$, $p<0.01$,
y 方向： $F(25,8309)=10.51$, $p<0.01$）.

これらの分散分析結果からキー間に相違はあるものの,共通の打鍵特性として,打鍵分布範囲は目標キーに対して右方向,かつ下方向に偏っている特性が示された.

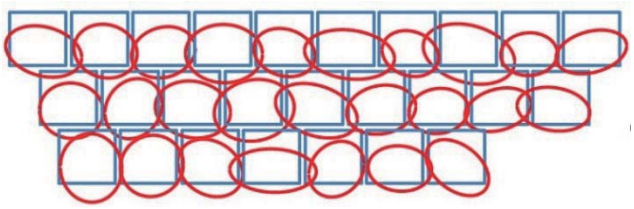


Fig.3 99% confidence ellipses of two dimensional touched position on the software keyboard

4. 考察

4.1 実験結果の考察

本研究ではタブレットPCのタッチパネルのソフトウェアキーボードのブラインドタッチが出来ない被験者に文字入力作業を課した際の各キーの打鍵データを収集し,打鍵位置情報を取得し分析した.その結果,99%確率楕円の打鍵分布範囲の視覚的特徴と打鍵データの中心座標とキーの中心座標の統計的関係から,キーの中心を狙って打鍵した場合はキーによらず打鍵はx方向では右方向に,y方向では下方向に集中する傾向が見られた.

またx方向に打鍵分布範囲が広がっているという視覚的特徴について,全てのキーの打鍵分布範囲の

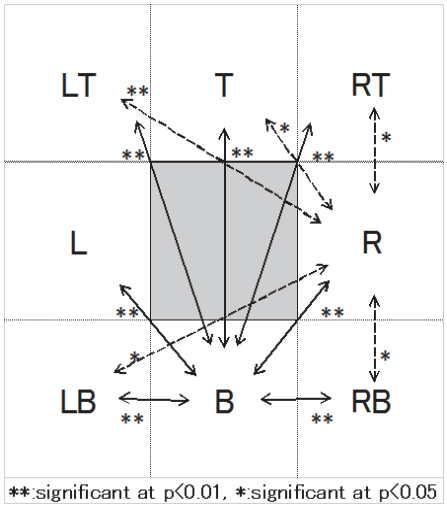


Fig.4 The eight mistyping areas and the results of the multiple comparison

99%確率楕円のx方向の範囲とy方向の範囲をキーをブロック因子とした対応のある一元分散分析を用いて比較検討した.その結果,両方向の間に有意な差が示され（$F(1,25)=335.35$, $p<0.01$）,y方向と比べx方向に広がっているということが示され視覚的特徴が統計的にも裏付けられた.

ところで前述のように誤打率は 5.98%であることから,ハードウェアキーボードの誤打率(3.40%)(郷[9])と比較し必ずしも許容できるものではない.打鍵分布範囲の多くが目標キーではない他のキーと重複する部分が存在し(26 文字中 24 文字),この一部の打鍵ポイントが他のキーに重複していることが誤打に繋がっている可能性が考えられる.そこで各キーの誤打特性について詳細に検討する.目標キーの外側を左上,上,右上,左,右,左下,下,右下の8方向の空間に分割し,全打鍵数に対する各空間の誤打数の割合（誤打率）について目標キーをブロック因子とし空間を要因とする対応のある一元配置分散分析を行った.なお8空間は目標キーの持つ四点の頂点座標から,四方へキーの外側に引かれた境界線により分割された空間と定めた.分散分析の結果,空間による誤打率は

有意に異なることが示された（$F(7,175)=51.05$, $p<0.01$）.また Fig.4 に示すように,空間間の誤打率の相違について Tukey の多重比較を行ったところ,下方向と全ての方向の空間間と（例（LT-B：$t=14.897>q(8,175;0.01)/\sqrt{2}$））,右方向にもいくつかの方向との空間間に有意な差が見られ（例（LT-R：$t=3.7355>q(8,175;0.01)/\sqrt{2}$））,下方向と右方向の誤打率が他の方向と比較し有意に高いことが示された.このことから誤打特性としてキーによらずキーの下部,右部に外れて打鍵し誤打する傾向が示唆された.

さらに各キーの打鍵分布のうちのキー内の打鍵特性について検討する.目標キーの内側を4つの空間に分割し,キー内の全打鍵数に対する各空間内の打鍵数の割合（打鍵率）について目標キーをブロック因子とし空間を要因とする対応のある一元配置分散分析を行った.なお4空間は目標キーの持つ中心座標から,四方に引かれた境界線により左上,右上,左下,右下に分割された空間と定めた.その結果,空間による打鍵率は有意に異なることが示された（$F(3,75)=157.83$, $p<0.01$）.Fig.5 に示すように,空間間の打鍵率の相違について Tukey の多重比較を行ったところ,Fig.5 に示すように右下方向と全ての方向の空間間（例（RB-RT：$t=17.82>q(8,175;0.01)/\sqrt{2}$））,及び左下方向と全ての方向の空間間に有意な差が現れ（例（LB-RT:$t=11.82>q(8,175;0.01)/\sqrt{2}$））,下方向の打鍵率が上方向と比較し有意に高いことが示された.このことからキー内の打鍵特性としてキーによらずキーの下部を打鍵する傾向が示唆された.

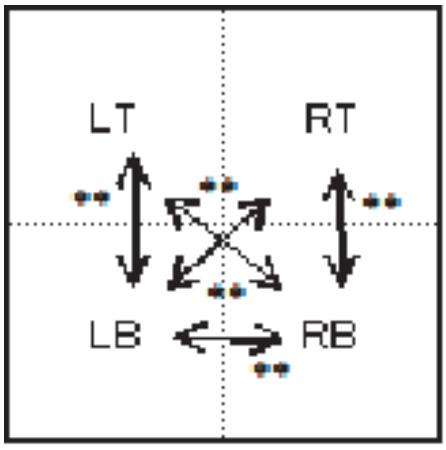


Fig.5 The four correct touching areas and the results of the multiple comparison

これらの誤打及びキーの内側の打鍵特性に関する分析結果の共通項として下方向を有意に打鍵する特性が見られたが,この打鍵特性は Niels[10]らが行ったスマートフォンなどの片手操作で扱う携帯端末を対象とした打鍵特性の取得実験でも同じ傾向が示されている.この特性は,ブラインドタッチが出来ない被験者が入力するキーを視認してから打鍵動作を行う際,その視認の程度が慣れ等で確実でなくなると,指先をキーの中心に合わせる形で打鍵するつもりで,実際には指先ではなく指の腹で打鍵するので,キーの下部をタッチしてしまうのではないかと推測される.このソフトウェアキーボードに見られる各キーの下部を打鍵する傾向を修正し誤打率を改善するアプローチとして例えば指先で打鍵させるような工夫やツールを検討することも考えられる.しかしハードウェアキーボードは各キーを指の腹で打鍵することを前提に設計されており,ソフトウェアキーボードにおいてのみ指先で打鍵するような特殊な打鍵スタイルをユーザに強いることは現実的ではないと思われる.そこで本研究ではユーザの打鍵スタイルを変更することなく,誤打率を改善するアプローチを検討する.

4.2 提案ツール

本実験から,ブラインドタッチの出来ないユーザはタブレット PC のソフトウェアキーボードにおいてキーによらずキー下部を集中して打鍵しているという打鍵特性が示唆された.打鍵分布範囲はキーごとに変わるものの左右と下に隣接しているキーを含む場合が多く,このことが誤打につながっていると思われる.目標キーを視認しながら打鍵している状況にも関わらず誤打が発生してしまうのは,各キー同士の間隔やキーボードのサイズに対する慣れの発生により,目標キーの視認が確実ではなくなり,指先をキーの中心に合わせる形で打鍵するつもりで,実際には指先ではなく指の腹で打鍵し,キーの下部をタッチしてしまうためだと推測される.このような状況においてハードウェアキーボードの場合はキーの凹凸などの触覚フィードバックから打鍵位置のずれをユーザが知覚し,指をずらすことでキーを押しこむ前に正しいキーを押すことが可能となるが,ソフトウェアキーボードの場合はそれらの物理的フィードバックがないため,ユーザが誤打の可能性の知覚と,正しいキーの選択をできず,誤打を防ぐことが困難になっていると考えられる.

前述のように目標キーの下部を中心に打鍵してしまうことに起因した誤打による誤入力を打鍵スタイルの変更によって解消することは現実的ではない.そこで打鍵スタイルを変更せず誤打による誤入力を解消するには,ハードウェアキーボードに備わっている触覚フィードバックのように誤打の可能性をユーザが知覚し,目標キーを選択できるような視覚フィードバックをソフトウェアキーボードに付加し,ユーザが誤打の可能性を知覚し,その知覚に基づいて目標キーを選択し打鍵出来るようなツールが有効であると考えられる.

ソフトウェアキーボードにおける誤打の可能性をユーザに知覚させる打鍵に対する視覚フィードバック及び目標キーの打鍵を可能とするツールとして以下のようなツールを提案する.

提案ツールは,本実験から得た打鍵特性の1つである各キーの持つ 99%確率楕円（打鍵分布範囲）を各キーの目標キーとして打鍵される可能性のある範囲と設定し,目標キーの外を打鍵した場合でもそのキーの 99%確率楕円内を打鍵した場合ならばそのキーを打鍵している可能性が高いものとしてユーザにそ

の旨を視覚フィードバックとして通知し,目標キーの打鍵を可能とする.

ところでFig.3に示すように,打鍵ポイントがあるキーの外でそのキーの 99%確率楕円内を打鍵しているケースの多くは,他のキーそのものと重複したり,他のキーの 99%確率楕円と重複している.これらの場合,目標キーを一意に推定できず他のキーも目標キーで有り得る可能性があることから,打鍵ポイントから見た目標キーと成り得る候補のキーの方向にそのキーをポップアップ表示し,その方向にフリックすることで目標キーを選択することを可能としている（Fig.6）.なお目標キー候補の推定とそのポップアップ表示の詳細は後述する.

この手法は郷 [5]らが提案した触れた領域内に存在するキーの全てを候補として円形のメニューで表示させ任意の文字の方向にフリックするという文字入力から文字決定までにワンクッションを置く事で誤打率を低下させるという手法に似ている.しかしこの手法ではキーを正確に打鍵しない限りポップアップメニューが表示されフリック入力を行わなければならず打鍵のテンポが崩れ打鍵速度の低下に繋がってしまう可能性があるが,本研究で提案する手法では打鍵特性に基づいた 99%確率楕円の打鍵分布範囲を各キーに持たせることで打鍵のテンポを極力崩さず誤打の修正を可能としているので,打鍵速度低下への影響も少ないであろうと期待出来る.

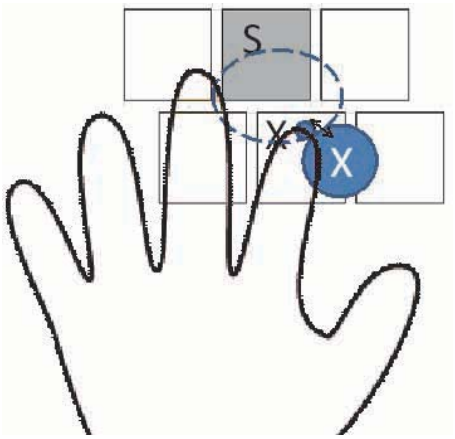


Fig.6 The example of the proposed pop-up key system

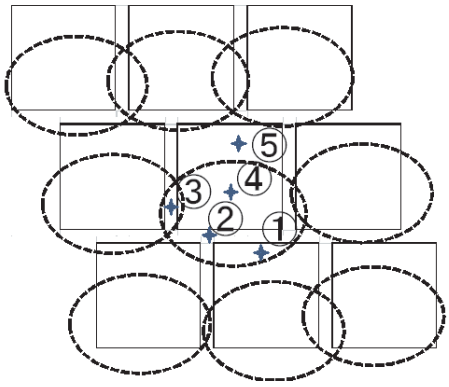


Fig.7 The relation between rule's number and touched area

ツールにおける目標キー候補の推定とそのポップアップ表示法の詳細については Fig.7 のように主に以下の5つの状況下が存在し,その状況に合わせた目標キー候補の推定とポップアップ表示を行っていく.

①打鍵ポイントがあるキーの打鍵分布範囲に入っているものの,他の打鍵分布範囲に入っていないキー上にある場合は,打鍵分布範囲内にあるキーを第1候補とみなし,他の打鍵分布範囲に入っていないキーを他の選択候補としてポップアップで表示する.

②打鍵ポイントがある 1 つのキーの打鍵分布範囲に入っているもののいずれのキー上にもない場合,打鍵分布範囲内にあるキーを第1候補とみなし,他の選択候補のポップアップ表示はしない.

③ 打鍵ポイントがある2つ以上のキーの打鍵分布範囲に入っているもののいずれのキー上にもない場合,打鍵分布範囲内にあるキーのうち,打鍵分布範囲の中心からの打鍵ポイントまでのマハラノビス汎距離が一番小さいキーが打鍵されているキーである確率が一番高いことから,そのキーを第1候補とみなし,それ以外のキーを選択候補としてポップアップ表示する.

④打鍵ポイントがある 1 つのキーの打鍵分布範囲に入っており,かつそのキーにある場合は,従来のキーボードと同様に打鍵されたキーを第1候補とみなし,他の選択候補のポップアップ表示はしない.

⑤打鍵ポイントがいずれのキーの打鍵分布範囲にも入らず,あるキー上にある場合も,従来のキーボードと同様に打鍵されたキーを第1候補とみなし,他の選択候補のポップアップ表示はしない.

本提案ツールでは各キーの 99%確率楕円は表示しないので,ユーザが視認出来るキーボードは従来の QWERTY 配列のキーボードと同様であり,ユーザの打鍵スタイルに影響を与えないと期待される.

また本ツールにおける打鍵ポイントの判定に用いられた各キーの打鍵分布範囲は各キーの打鍵ポイントの 99%のデータを網羅していることから,ポップアップ表示による選択候補を全く選ばずに第1候補のみをそのまま選択したとしても,従来のキーボードで発生する多くの誤打を防止し,目標キーを打鍵できると期待される.本実験で得られた従来のキーボードによる打鍵ポイントを,本ツールを適用したキーボードを用いて打鍵し,第1候補のみを選択して得られるキーに換算すると,本実験で得られた全ての誤打は目標キーに修正され,誤打率 5.98%は 0.0%となる.一方でポップアップ表示された他の選択候補のキーが目標キーであった場合,フリック入力が発生するため打鍵テンポを崩す恐れが存在する.

以上のように提案ツールは概ねソフトウェアキーボードの打鍵パフォーマンスを向上させることが期待されるが,打鍵パフォーマンスを低下させる懸念も若干存在する.今後の課題として従来のソフトウ

ェアキーボードと提案ツールを組み込んだソフトウェアキーボードのパフォーマンス比較実験を行い，提案ツールの有効性の検証をしていく必要がある．

5. まとめ

本研究では，アルファベットの文字入力時におけるQWERTY配列のソフトウェアキーボードのパフォーマンスを向上させるための新たなアプローチの提案に有用な打鍵位置情報を取得することを目的とし，QWERTY 配列のハードウェアキーボードでブラインドタッチが出来ない被験者を対象にタブレット PC のQWERTY配列のソフトウェアキーボードを用いて文字入力実験を行い，各キーに対する打鍵位置情報を取得した．取得した打鍵位置情報から全てのキーにおいてキー下部を集中して打鍵しているという打鍵特性が示された．また誤打率は 5.98％であり，ハードウェアキーボードの誤打率(3.40%)(郷 [9])と比較し必ずしも許容できるものではないことが示唆された．各キーの 99％確率楕円（打鍵分布範囲）を求めると，打鍵分布範囲はキーごとに変わるものの左右と下に隣接しているキーを含む場合が多く，このことが誤打につながっていると思われた．そこで各キーの持つ打鍵分布範囲を各キーの目標キーとして打鍵される可能性のある範囲と設定し，目標キーの外を打鍵した場合でもそのキーの 99%確率楕円内を打鍵した場合ならばそのキーを打鍵している可能性が高いものとしてユーザにその旨を視覚フィードバックとして通知し，目標キーの打鍵を可能とするツールを提案した．

提案ツールは概ねソフトウェアキーボードの打鍵パフォーマンスを向上させることが期待されるが，打鍵パフォーマンスを低下させる懸念も若干存在することが示され，今後の課題として従来のソフトウェアキーボードと提案ツールを組み込んだソフトウェアキーボードのパフォーマンス比較実験を行い，提案ツールの有効性の検証をしていく予定である．

参考文献

1) Sears, A., Revis, D., Swatski. J., Crittenden, R. and Shneiderman, B. Investigating touchscreen typing: The effect of keyboard size on typing speed. Behaviour and Information Technology, Vol. 12, No. 1 pp 17-22, 1993

2) M. E. Altinsoy and S. Merchel, "Audiotactile Feedback Design for Touch Screens," Proc. Int'l Workshop Haptic and Audio Interaction Design, M. E. Altinsoy, U. Jekosch, and S. Brewster, eds., pp 136-144, 2009.

3) Hoggan, E., Brewster, S. A. and Johnston, J. Investigating the Effectiveness of Tactile Feedback for Mobile Touchscreens, In: Proceeding of the Twenty-Sixth Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems April 5-10, 2008, Florence, Italy, pp 1573-1582, 2008.

4) Jeong Min KIM, keita ISHSBASHI, Koichi IWANAGA. The effect of invisible touch sensitive area on target acquisition. 人間工学, Vol. 48, Supplement, pp 188-189, 2012.

5) K. Go and L. Tsurumi. Arranging Touch Screen Software Keyboard Split-keys based on Contact Surface. In Proceedings of the 28th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems, CHI EA 10, NY, USA, ACM. pp 3805 3810, 2010.

6) Haruki Yamada, Jun-ichi Kushida, Satoshi Hratuka, Cooper, Eric. Key Layout Design Technique Using Keying Frequency Informaiton for Software Keyboard Development. ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集(CD-ROM), p 2011, 2011.

7) Leah Findlater, Jacob O. Wobbrock, Daniel Wigdor: Typing on flat glass: examining ten-finger expert typing patterns on touch surfaces. CHI 2011: 2453-2462

8) 辛島光彦, and 平沢尚毅. "身長を用いたノートパソコンの快適なディスプレイ高さ算出方法の提案." 人間工学, Vol. 37, No. 1 pp 41-50, 2001.

) Go, Kentaro, and Yuki Endo. "CATKey: customizable and adaptable touchscreen keyboard with bubble cursor-like visual feedback." Human-Computer Interaction INTERACT 2007. Springer Berlin Heidelberg, pp 493-496, 2007.

10) N. Henze, E. Rukzio, and S. Boll. Observational and experimental investigation of typing behaviour using virtual keyboards on mobile devices. In Proc. CHI2012, pp 2659-2668, 2012.