

3 指を用いたタッチパネル入力の評価と考察について

井上育美^{†1} 棟方渚^{†1} Rafal Rzepka^{†1} 荒木健治^{†1}

近年スマートフォンの普及に伴い、携帯端末の文字入力はタッチパネル上に表示されるソフトキーボードが主流となりつつある。しかし、その精度や速度、打ちやすさなどは改善の余地がある。その要因の一つとして、現在の入力手法の多くが主に1指を用いて特定の狭い入力領域をタップすることにあると考えられる。そこで、3指の認識と各指の圧力を用いたタップおよびフリック入力を用いる実験環境を構築し、精度を向上させることを目的としたユーザ評価を試みた。具体的には各指の動作に仮名文字を割り当てるマッピングを行うため、ユーザの打ちやすい指の動きについて検証を行った。本稿では、被験者実験により3指の認識精度と各指の組み合わせによる正答率の評価、使用感アンケートによる印象調査およびそれらの相関について考察を述べる。

1. はじめに

古今、入力インタフェースとして様々な入力装置とその入力システムが開発されてきた。入力インタフェースとは、コンピュータなどの機器と人間をつなぐいわば仲介役であり、ユーザにもたらす影響は大きい。

しかしその入力方法は対応する機器により大きく異なり、現在いずれの機器における入力方法もそれぞれ利点・欠点があり、またユーザ評価が必要となるため、絶対的な評価が行えるものばかりではなく、最も良い入力インタフェースというものを決定することは難しい。

ここで、現在五割以上のシェア[1]を占めるスマートフォン[a]における入力に着目すると、いくつかの特徴が挙げられる。利点としては、先に述べたスマートフォン自体の現在の普及率とその増加傾向[5]、および携帯性のよさなどである。問題点としては、力覚フィードバックのないことや、ボタンが小さく押し分けが難しい[2]ことからの誤入力が多いこと、それから生じる著しい視覚的制限などである。

特に視覚的制限が問題であることは「歩きスマホ」[3]「ながらスマホ」[4]という単語が社会問題となっていること、視覚障害者がスマートフォンを使うことが困難であることなどからもわかる。

そこで本稿では、スマートフォンにおけるタッチパネル入力[b]に着目し、タッチパネル端末での3指を用いた入力方法の精度について評価、考察を行った。また、その評価のための環境として、アンドロイド OS における入力システムを実装、実験を行った。

2. 関連研究

本章では本研究に関連するタッチパネルを用いた文字入力や入力インタフェースの問題についての研究を述べる。

(1) フィードバックについて

近年のスマートフォンの普及率の増加は著しい。しかし、携帯端末での主力となりつつあるタッチパネル入力

にはいくつかの問題点が挙げられる。ひとつは、タッチパネル入力ではフィードバックが少ないことである。顕著なのは同じく携帯端末であるガラケー[c]やキーボードなどにある力覚フィードバックが無いことである。その解決のために、則枝真ら[5]はパネル駆動型力覚提示タッチパネルを提案している。しかしこの手法は特殊なタッチパネルを必要とするハードウェアの側面が一般的な普及を妨げている。また、青木ら[6]の提案する障害者向けのかな文字入力手法 Drag&Flick では、音声フィードバックを用いて視覚障害者に入力を認識させているが、この音声フィードバックは時間がかかる上、入力になれるための補助的な意味合いでしか使用されていない。

(2) 視覚制限について

一章で述べた視覚制限について、青木ら[6]は8方向のドラッグ操作とフリック操作のみで仮名文字入力を提案している。また、ストローク開始前のシングルタップの有無を区別することにより入力の種類を二倍に増やしている。このシングルタップでの切り替えは本研究にも「押し込み」として類似する点が見られる。他にも、深津ら[7]は、青木らの研究に対し、音声フィードバックに頼った設計では会議中などに携帯端末を堂々と使うことができない、街中を歩いているときに前方に注意を向けなければ危ないといった理由で端末画面を十分に見ることができないであろう状況を挙げ、状況的制約がある場面でのアイズフリー入力 No-look Flick を提案している。

(3) 入力領域の狭さについて

フィードバックの少なさに加え、スマートフォンの入力領域狭さ、ボタンの小ささも誤入力の大きな要因である。親指と箱田・深津ら[8]は No-look Flick のキー配置は予備実験に基づくとはいえ、入力にキーを用いる操作自体がユーザに画面の正確な位置のタッチを要求してしまうことを問題視し、アイズフリーな入力においては、画面の正確な位置のタッチを必要としないジェスチャ操作の方が入力精度向上のために有効であると主張し

^{†1} 北海道大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

a) smart phone ここではタッチパネルを用いた入力を主体とする携帯端末を指す。

b) デンキー型フリック入力、及びキーボード型ローマ字入力など。

c) ガラケー フィーチャーフォン、ガラパゴス携帯電話など。ここではタッチパネルを用いない携帯端末を指す。

ている。その設計は2指を用いたタッチ位置に依存しないジェスチャ操作である。しかしこの設計は、1本目の指を離さず2本目の操作を行うなど、指の構造的に打ちにくい文字があることや、操作姿勢そのものの困難さが指摘されている。

本研究ではこれらの関連・先行研究を踏まえ、3本の指によるタッチ開始点に依存しづらいタップ入力方法の設計、実験環境の実装、実験、評価および考察を行った。

3. 設計方針

本提案の目的は以下の通りである。

- 3本の指を用いた入力
 負担を複数の指に分散させるため、また指自体の移動を減らし、入力速度を上げるためにスマートフォンを片手で持っても自由に動かせる3本の指を入力に用いる。
- 仮名文字入力可能なパターン数の設定
 ローマ字入力を想定し、今回は子音10通りをタップで実現する。
- タッチ開始点に依存しづらい設計
 文字入力の前にユーザごと3指の入力領域を認識、領域設定を行い、指の識別を行う。

ここで用語として、動作指、指ナンバー、指圧について説明する。本実験では、3本の指の組み合わせで入力を行うが、その時使用する人差し指、中指、薬指を2,3,4として、入力に用いた指を「動作指」とする。また、判定に用いた入力の組み合わせを「指ナンバー」とする。種類は【2】【3】【4】【2,3】【2,4】の5通りで、数字は動作指である。また、本実験では、子音10通りを3本の指で表すために、指を強く押しこむ(Strong)および軽くタッチする(Weak)二通りのタップ方法をとっており、これを「指圧」とする。

これを踏まえ、本実験では入力の記号として子音を用い、その対応表を表1のように設定した。

表1 入力表

子音	指ナンバー	指圧
あ行	2	Weak
か行	3	Weak
さ行	4	Weak
た行	2,3	Weak
な行	2,4	Weak
は行	2	Strong
ま行	3	Strong
や行	4	Strong
ら行	2,3	Strong
わ行	2,4	Strong

4. 評価実験

4.1 被験者

被験者は大学生および大学院生22~25歳7名である。

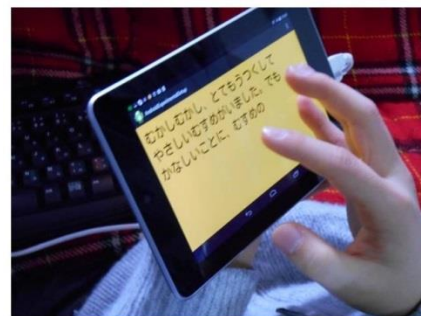
表2に被験者の一覧を示す。なお、全員が右利きであり、性別は男性が1、女性が2、携帯は現在使用している携帯端末でありスマートフォンが1、ガラケーが2、使用期間はフリック入力の使用期間(ヶ月)である。

表2 被験者

識別記号	性別	携帯	使用期間
A	2	1	48
B	1	1	24
C	1	1	3
D	2	1	30
E	2	2	0
F	2	1	36
G	1	1	0

4.2 使用環境

今回の実験のために環境として仮名文字入力システムを用意した。システム実装はAndroidOSで行い、実機はNexus7(Android4.2)である。入力領域は各実機のタッチパネル全域。出力領域は入力領域と同じであるが、文字の上でアクションをおこなっても、出力文字に影響はない。この環境下で表1の子音表に従いタップを行うと、画面上に文字が表示される。また、タップだけを連続して行うのではなく、普段タッチパネルで使用されるフリックなどの動作を母音やバックスペース入力として含むことで、タップ入力の実験であることを意識させないよう実験を行った。また入力姿勢はユーザに任せた。一例として入力画面を図A、入力姿勢を図Bに示す。



図A 入力画面



図B 入力姿勢

4.3 実験手順

1. 実験同意書, 実験調査票の記入
2. 使い方の説明
 入力方法の説明書を順にたどりながら, 実験機器をもたず手元でアクションを行った.
3. 練習時間(10分)
4. 本実験
 5文1セットの短文を4種類60文字程度の長文を1種類, 計193文字程度の入力を行った.
5. 自由アンケート

5. 実験結果

5.1 測定結果

7人の被験者について, ユーザ及び子音ごとのエラー率を表3に示す. なお, 指ナンバーXで表示される子音がAであるとするとき, エラー回数 E_x をAが表示されるまでに別の子音を押した回数とする. また, 入力文全体でのXを押す最小回数, つまり入力文でのAの出現回数を N_x としたとき, 指ナンバーXのタップエラー率(Tap Error Rate)を以下のように定義した. 以降, TER表記した場合にはエラー率を指すこととする.

$$TER_x = \frac{E_x}{N_x}$$

表1 ユーザおよび子音ごとのエラー率(TER)

指ナンバー	Chara	TER(エラー回数/出現回数)							平均
		A	B	C	D	E	F	G	
2	あ	1.222	0.407	0.481	0.407	0.815	1.346	0.741	0.771
3	か	2.333	0.333	0.848	0.273	0.767	1.034	0.800	0.914
4	さ	0.300	0.500	0.300	0.450	0.737	1.471	0.579	0.600
2,3	た	1.500	0.525	0.650	0.350	0.242	1.063	0.727	0.725
2,4	な	2.167	0.583	0.417	0.333	1.778	0.286	1.000	0.945
2	は	2.813	0.688	0.500	0.250	0.333	0.533	0.333	0.789
3	ま	3.000	0.800	1.200	0.300	2.111	2.143	0.111	1.354
4	や	1.600	1.400	1.200	0.600	0.700	0.444	0.300	0.899
2,3	ら	2.214	0.286	0.214	0.500	0.750	2.417	0.833	1.011
2,4	わ	4.909	0.455	0.818	0.545	0.500	1.100	0.400	1.270
	平均	1.959	0.528	0.632	0.378	0.736	1.177	0.638	0.862
	min	0.300	0.286	0.214	0.250	0.242	0.286	0.111	0.600
	MAX	4.909	1.400	1.200	0.600	2.111	2.417	1.000	1.354

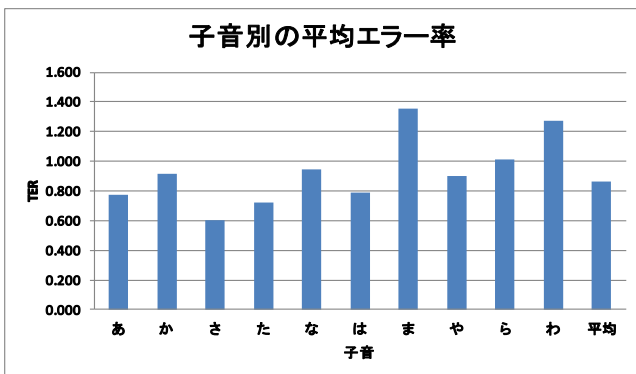


図1 子音別の平均エラー率

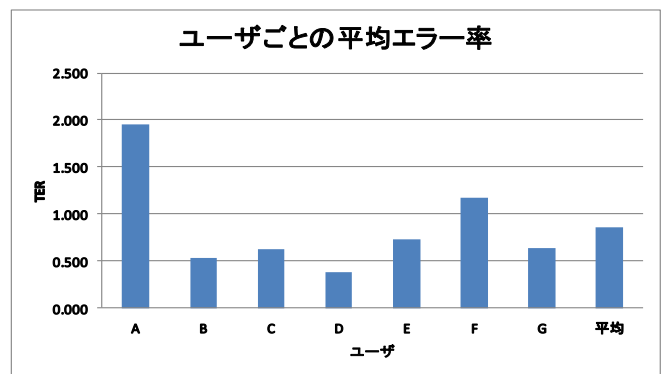


図2 ユーザごとの平均エラー率

また, 子音別の平均エラー率を図1に, ユーザごとの平均エラー率を図2に, 指および指圧によるエラー率を図3に示した. ここで図2より, 便宜上 $TER=0.7$ を基準に, エラー率の高かったユーザ A,E,F をユーザ群 A(平均 $TER \geq 0.7$), 低かったユーザ B,C,D,G をユーザ群 B(平均 $TER < 0.7$) として分類した. なお, ユーザごとのフリック入力の使用歴は, この分類に比例していない.

更にこの分類において, 表2および表3のデータをユーザ群Aを赤色背景, ユーザ群Bを青色背景で示した. また, 各ユーザの最大値MAXを黒太字, 最小値minを赤で示し, 子音別, 指の本数別, 動作指別にグラフ結果をまとめた. ユーザ群Aの子音別エラー率を図4に, ユーザ群Bの子音別エラー率を図5に, ユーザごとの最大/最小エラー率を図6に, ユーザ群Aの指の本数によるエラー率を図7に, ユーザ群Bの指の本数によるエラー率を図8に, ユーザ群Aの動作指によるエラー率を図9に, ユーザ群Bの動作指によるエラー率を図10に示した.

5.1 アンケート結果

自由アンケート結果について, ユーザのコメントを分類し, 本評価実験評価に関わる部分「入力について」と, 評価システムを入力インタフェースとして使った時の印象「実験環境について」, その他実験を通して全体感想を「その他」を抜粋し, 表4アンケート結果としてまとめた.

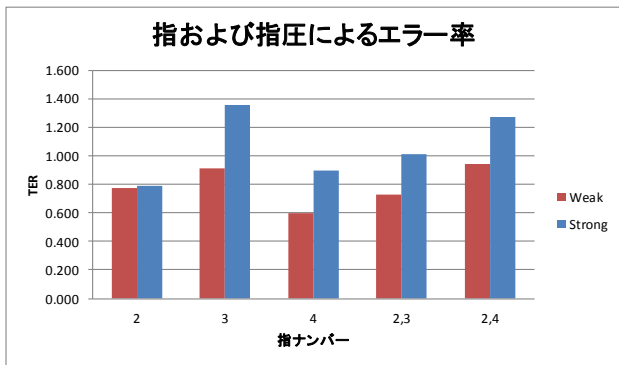


図 3 指および指圧によるエラー率

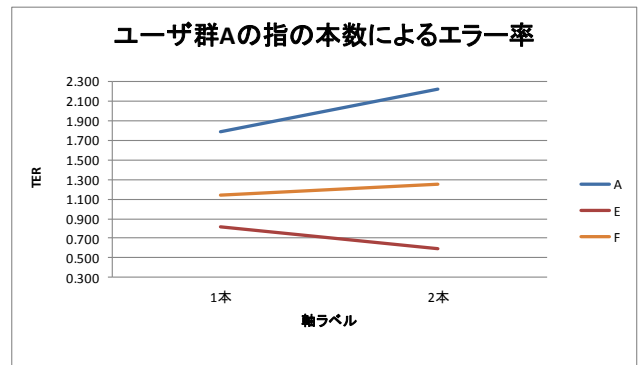


図 7 ユーザ群 A の指の本数によるエラー率

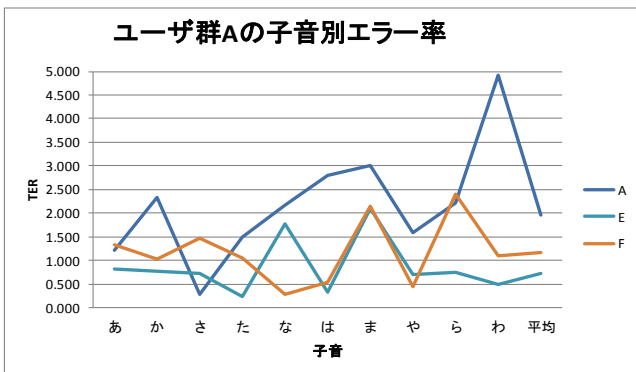


図 4 ユーザ群 A の子音別エラー率

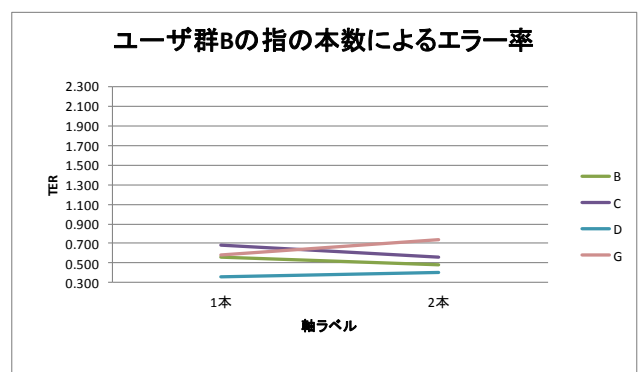


図 8 ユーザ群 B の指の本数によるエラー率

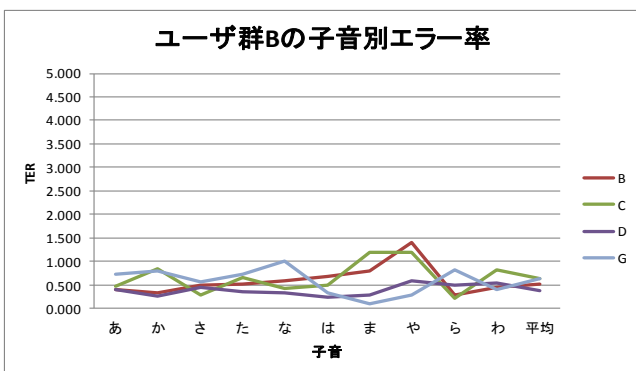


図 5 ユーザ群 B の子音別エラー率

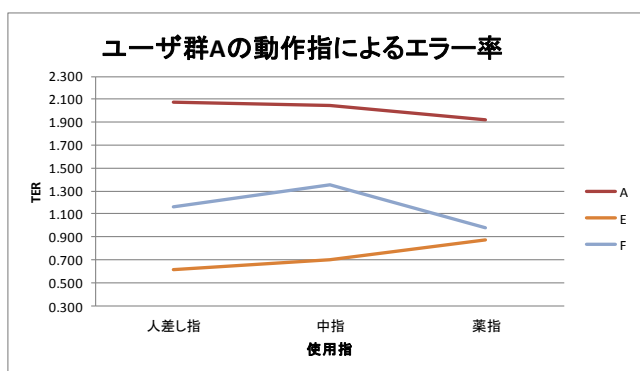


図 9 ユーザ群 A の動作指によるエラー率)

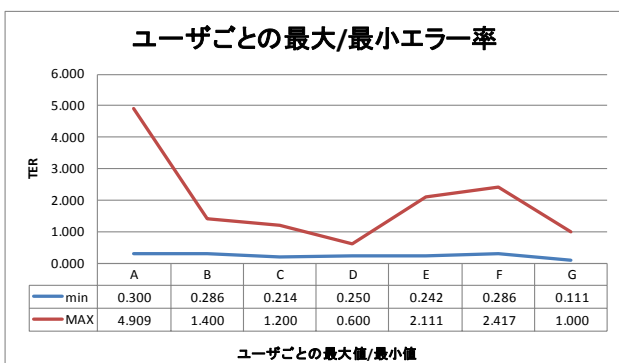


図 6 ユーザごとの最大/最小エラー率

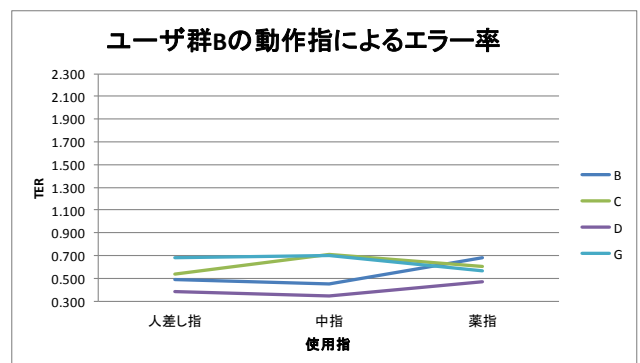


図 10 ユーザ群 B の動作指によるエラー率

表4 アンケート結果

自由項目/使用感アンケートの詳細は以下の通り 横に数字があるものは複数人回答		
■入力について	■実験環境について	■その他
・運指表がわかりやすいものにすれば操作が早くなる	・このシステムの問題でないところで多々引っかけたのが惜しい(機械の反応悪い)	・フリックが嫌い
・な、ま、や、ら行が覚えにくかった	・低速なデバイスでも動くようにシェイプアップするとよい	・指が疲れるけど打つの自体は楽しかった
・な、ま、や行をど忘れする回数が多い	・システムの動作が遅い	・もっとタッチが反応するようになったらまたやりたい
・入力の法則は覚えやすかった	・反応遅延のために誤入力が増えている	・見なくても間違えにくい
・BSをおそうとして三指上フリックをしてしまうことが多かった(逆はなかった)	・精度と入力の時間の誤差をよくすれば画面を見なくても入力できる	・全体を通しておもしろい実験
・「強く押す」というより、指の角度を意識するようにしたら、精度が上がった	・入力処理中なのか、入力できていないのかわからない	
・他の画面上でも入力可能にしてほしい	・使用実機自体が重い(動作が遅い)	
・片手で持ちながら打てない	・とにかく反応が悪い	

6. 考察

6.1 平均エラー率

TER が高い、つまり精度が悪いのは指ナンバー **【3】** の指圧 Strong の「ま」。次いで **【2,4】** Strong の「わ」である。TER が低い、つまり制度が良いのは **【4】** Weak の「さ」次いで **【2,3】** Weak の「た」である。全体的に、指圧を強くした Strong の方が精度が悪いことがわかる。これは、指圧判定の閾値を定数化したため、「押しこむ」程度がユーザごとに違ったためだと考えられる。

6.2 ユーザ群ごとのエラー率

表3から、Gを除くユーザ6名は指圧 Strong の入力で最大値がでている。特に「や」(**【2,3】** Strong)は B,C,G の3名で最大値であり、もっとも精度が悪い。更に、図6よりユーザごとの最大値/最小値に関しては、最低値の幅は0.11~0.3とさほど大きくないが最大値は0.25~4.91とユーザ間の差が非常に大きい。また、ユーザ群AはTER最大値がいずれも2.1以上、ユーザ群Bは1.4以下である。更に、図4,5から、ユーザ群AはTER最大値以外にも、子音ごとにTERが大きく異なり、対してユーザ群BはTER0.3~1.5までの間に収まり、大きな変動はない。

このことから、TERの低いユーザ群は子音による精度差が小さく、どの動作指、指圧においても同程度の精度を保つことがわかり、また、TERの高いユーザ群は精度のよい子音はユーザ群Bとかわらない精度であるが、子音によりその精度が大きく変動する傾向にあることがわかる。なお、TER最小値と最大値の差は、Dが最も小さく0.350、Aが最も大きく4.609である。

以降、子音を更に分解し、動作指や指圧についての考察を行った。

6.3 指圧および指ナンバーによるエラー率

図3において、指ナンバーと指圧ごとのTERを見ると、同じ指ナンバーの場合、全てStrongのほうがWeakよりもTERが高いことがわかる。また、いずれの指圧においても1本の指の場合、**【3】**が最もTERが高く、2本の指の場合、

【2,4】の組み合わせが最も高い。更に、指ごとでは**【4】**は1本では精度がよいが、**【2】**との組み合わせの動きは精度が下がり、**【3】**は1本で動かす精度は悪いが、**【2】**との組み合わせで精度が向上することがわかる。また、本実験では指ナンバー5通りの組み合わせのみで評価を行ったが、今後、3本の指で実現可能な6通り全ての精度を比較するため、**【3,4】**を加えて評価を行うことが必要である。

6.4 動作指に依存したエラー率

図7,8からは精度が動作指にどの程度依存しているかがわかる。図7よりユーザ群Aについて見ると、動作指の本数が1本の時、2本の時のTER差が大きく、対して図8よりユーザ群Bでは、TER差が小さいことがわかる。これは、先に述べた子音別のエラー率(図4,5)においてユーザ群A,BでTER差にはっきりとした差がみられたことと関係すると考えられる。

ただし、ここで注目すべきは、動作指によるエラー率(図9,10)ではユーザ群A,Bではっきりとした差がみられないことである。この結果からみられるパターンは2通りあり、一つ目は、精度が動作指に依存しているパターンである。図9よりFは**【3】**の精度が悪いため、表3より子音別にみても**【3】**を使用する「ら」や「ま」の精度が極端に悪い。ここからユーザ群AのFはユーザ群Bに比べて動作指に精度が依存していることがわかる。

しかし、図6でTER最大値と最小値の差が最も大きいA,Eと、差が小さいユーザ群Bについて着目したときに、図9,10より、動作指による差はどちらもあまり変わらないことがわかる。特に、A(ユーザ群A)とB,C(ユーザ群B)ではAの方が動作指による精度の差がなく(図9)、動作指が2本の精度が極端に悪い(図7)ことなどから、精度は本数には依存するが動作指には依存しないパターンがあると考えられる。

つまり、精度は、動作指を動かすことの得手不得手に依存する以外にも、特定の組み合わせのみが苦手なユーザもいるということである。

6.5 アンケート

入力については、「な、ま、や、ら」の覚えづらさを指摘するユーザが複数いた。これは、動作指が2本であったり、表5に示す仮名別試行回数からみて、「あ〜た」に比べ「な」「ま」「や」「ら」の出現回数が少ないことから、実験中に指ナンバーを覚える機会が少なかったことが理由として挙げられる。もっと入力数を増やし、およそ各子音の試行回数が同程度とすれば、「な」「ら」の覚えにくさは改善されるのではないかと考えられる。また、この覚えづらさが6.1~6.4の考察で述べた「ま」や「や」などのTERの高さの原因の可能性がある。そのため、覚えやすさの改善とともに、TER精度も上がるのではないかと考えられる。なお、表5について試行回数がユーザによって違うのは、ユーザによって完成した文にミスがあったためである。

また、このことに加え「運指表がわかりやすければ操作が早くなる」「入力法則が覚えやすかった」とあるように、入力方法を覚えることができるかどうかで入力速度や入力精度が向上するのではないかと考えられる。

また、実験環境については、使用実機自体の動作の遅さが非常に多く指摘された。タブレット端末はバックグラウンドで様々なプログラムが動くため、システムを低速デバイスでも動くようシェイプアップすべきという指摘もあり、今後はアルゴリズムの改善と、使用実機を変えることで大きな精度向上が見込まれる。

最後に、実験全体についての感想は、おもしろい、楽しいという印象をもつユーザが多く、精度が向上すればまたシステムを使用したいという意見もみられた。

表5 仮名別試行回数

	試行回数								
	A	B	C	D	E	F	G	平均	
あ	27	27	27	27	27	26	27	188	
か	33	33	33	33	30	29	30	221	
さ	20	20	20	20	19	17	19	135	
た	40	40	40	40	33	32	33	258	
な	12	12	12	12	9	7	9	73	
は	16	16	16	16	15	15	15	109	
ま	10	10	10	10	9	7	9	65	
や	10	10	10	10	10	9	10	69	
ら	14	14	14	14	12	12	12	92	
わ	11	11	11	11	10	10	10	74	
平均	193	193	193	193	174	164	174	1284	

7. まとめと今後の課題

本稿では、タッチパネル端末における入力方法のため、3本の指によるタッチ開始点に依存しづらいタップ入力方法の設計、実験環境の実装、実験、評価および考察を行った。具体的には、3本の指を日本語仮名の子音10通りの入力として使用する場合を想定し、アンドロイド端末での実験環境を実装、実際の入力を通してエラー率を評価し、その精度はなにに依存するか、どのように改善すれば精度が改善するかの考察を行った。

今後の課題として、本実験では指ナンバー5通りの組み

合わせのみで評価を行ったが、3本の指で実現可能な6通り全ての精度を比較するため、【3,4】を加えて評価を行う。また、入力方法の覚えやすさが精度にかかわることから覚えやすい配列、覚えやすい操作方法の説明、子音と指ナンバーとの対応(マッピング)を考える。また、本実験では入力領域をユーザごとに補正し判定しているが、その補正の精度向上で、領域によるミスを改善することができると考えられる。更に、本稿ではタップ入力のみでの評価考察を行ったが、実際の仮名入力では、母音の選択、バックスペース、文字の確定、記号(句読点など)、特殊文字(小文字濁点など)も必要である。今回の実験ではこれらをフリック入力を実現しており、本稿では言及しないが、フリック入力の精度と仮名文字50音自体の精度は今回エラー率とは一致しなかったため、今後3指の文字入力を実現するため、今回同様にこれらの入力精度も評価考察を行い、仮名入力自体の評価につなげてゆく。

参考文献

- 1) 平成26年3月実施調査結果：消費動向調査(2014/05/01取得)
<http://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/2014/201403shouhi.html>
- 2) 総務省「平成25年度版通信白書」(2014/05/01取得)
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h25/html/nc243110.html>
- 3) アメリカ合衆国ニュージャージー州フォートリー、歩きスマホを禁止する歩きスマホ規制条例成立(2012)(2014/05/01取得)
http://www.news-postseven.com/archives/20130428_184515.html
- 4) NTTドコモ、歩きスマホによる事故を抑制するため「歩きスマホ防止機能」を提供(2013年12月5日)(2014/05/01取得)
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2013/12/03_00.html
- 5) 則枝真, & 佐藤誠. (2012). パネル駆動型力覚提示タッチパネルとその力覚制御手法の提案. *Interaction..*
- 6) 青木良輔, 橋本遼, 瀬古俊一, 片岡泰之, 井原雅行, 渡辺昌洋, 小林透: Drag&Flick: タッチスクリーンを用いた視覚障がい者向け文字入力方式, *インタラクシオン* 2013, pp.72-79, 一般社団法人情報処理学会(2013).
- 7) 深津佳智, 志築文太郎, 田中二郎: No-look Flick: 携帯情報端末のタッチパネルにおけるアイズフリーな片手かな文字入力システム, 第20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, *WISS2012*, pp.133-138, 日本ソフトウェア科学会(2012).
- 8) 箱田博之, 深津佳智, 志築文太郎, 田中二郎, タッチパネル端末における2本指を用いたアイズフリーかな文字入力手法, *情報処理学会研究報告, IPSJ SIG Technical Report, Vol.2013-HCI-154 No.6.*

【正誤表】

Vol. 2014-EC-32 No. 13

本論中の用語を以下のように変更する.

誤：動作指 正：使用指

(2 ページ目, 3. 設計方針, 14, 17, 19 行目/4 ページ目, 5.1 測定結果, 右側上から 11, 16 行目/5 ページ目, 6.2 ユーザ群ごとのエラー率, 12, 18 行目/6.4 動作指に依存したエラー率, タイトルおよび 1, 2, 8, 11, 14, 18, 20, 22, 24 行目/6 ページ目, 6.5 アンケート, 2 行目)

誤：指ナンバー 正：動作指

(2 ページ目, 3. 設計方針, 14, 18 行目/4 ページ目, 5.1 測定結果, 2, 6 行目/5 ページ目, 6.1 平均エラー率, 1 行目/6.3 指圧および指ナンバーによるエラー率, タイトルおよび 1, 2 行目, 右側上から 5 行目/6 ページ目, 6.5 アンケート, 上から 5 行目/7.まとめと今後の課題, 左側上から 9 行目, 右側上から 4 行目)

2 ページ目

表 1 入力表

誤：

子音	指ナンバー	指圧
あ行	2	Weak
か行	3	Weak
さ行	4	Weak
た行	2,3	Weak
な行	2,4	Weak
は行	2	Strong
ま行	3	Strong
や行	4	Strong
ら行	2,3	Strong
わ行	2,4	Strong

正：

子音	動作指	指圧
あ行	[2]	Weak
か行	[3]	Weak
さ行	[4]	Weak
た行	[2,3]	Weak
な行	[2,4]	Weak
は行	[2]	Strong
ま行	[3]	Strong
や行	[4]	Strong
ら行	[2,3]	Strong
わ行	[2,4]	Strong

3 ページ目

表 2

誤：

指ナンバー	Chara	A	
2	あ	1.222	0
3	か	2.333	0
4	さ	0.300	0
2,3	た	1.500	0
2,4	な	2.167	0
2	は	2.813	0
3	ま	3.000	0
4	や	1.600	1
2,3	ら	2.214	0
2,4	わ	4.909	0
	平均	1.959	0
	min	0.300	0
	MAX	4.909	1

正：

動作指	Chara	A	
[2]	あ	1.222	0
[3]	か	2.333	0
[4]	さ	0.300	0
[2,3]	た	1.500	0
[2,4]	な	2.167	0
[2]	は	2.813	0
[3]	ま	3.000	0
[4]	や	1.600	1
[2,3]	ら	2.214	0
[2,4]	わ	4.909	0
	平均	1.959	0
	min	0.300	0
	MAX	4.909	1

5.1 測定結果 上から 6 行目から 9 行目

誤：指ナンバーXのタップエラー率(Tap Error Rate)を以下のように定義した。以降、TER表記した場合にはエラー率を指すこととする。

$$TER_X = \frac{E_X}{N_X}$$

正：動作指Xのタップエラー率(Tap Error Rate)を式(1)のように定義した。以降、TER表記した場合にはエラー率を指すこととする。

$$TER_X = \frac{E_X}{N_X} \quad (1)$$

4 ページ目

図9 タイトル

誤：ユーザ群Aの動作指によるエラー率

正：ユーザ群Aの使用指によるエラー率

図10 タイトル

誤：ユーザ群Bの動作指によるエラー率

正：ユーザ群Bの使用指によるエラー率

5 ページ目

本論の「6. 考察」において出現する表現を以下のように変更する

誤：精度が悪い 正：精度が低い

(6.1 平均エラー率, 1,5 行目/6.2 ユーザ群ごとのエラー率, 3 行目/6.3 指圧および指ナンバーによるエラー率, 右側上から 3 行目/6.4 動作指に依存したエラー率, 12, 13, 21 行目)

誤：精度がよい 正：精度が高い

(6.3 指圧および指ナンバーによるエラー率, 右側上から 2 行目)

6.1 平均エラー率 (上から 1 行目から 16 行目)

誤：TERが高い, つまり精度が悪いのは指ナンバー【3】の指圧 Strong の「ま」。次いで【2, 4】Strong の「わ」である。TERが低い, つまり制度が良いのは【4】Weak の「さ」次いで【2, 3】Weak の「た」である。

正：TERが高い, つまり精度が低いのは動作指【3】の指圧 Strong の「ま」(TER=1.35)である。次いで【2, 4】Strong の「わ」(TER=1.27)である。TERが低い, つまり精度が高いのは【4】Weak の「さ」(TER=0.6), 次いで【2, 3】Weak の「た」(TER=0.73)である。全体的に, 指圧を強くした Strong の方が精度が低いことがわかる。

6 ページ目

7. まとめと今後の課題の 8 行目の後に以下の 2 文を加える

精度に影響する要因として, 使用指への依存と, 指の組み合わせである動作指への依存それぞれのパターンがあることがわかった。また, 1本では使用指3の精度が低く, 4の精度が高いことがわかった。