

ストロークジェスチャとタップの組合せによる 角型スマートウォッチ向けの文字入力手法

尾崎 尚人^{1,†1} 本多 信吾^{1,†2} 田中 敏光^{1,a)} 秋田 光平¹ 佐川 雄二¹

受付日 2017年11月6日, 採録日 2018年5月10日

概要: 角型スマートウォッチを対象として, ストロークジェスチャとタップを用いた, 初心者が使いやすく画面占有率の低い文字入力手法を開発した. この手法では, 50音表の行と段をこの順に指定することで平仮名1文字を入力する. 行は画面の四隅のいずれかから始めるストロークジェスチャで指定する. このとき, 画面の縁にはジェスチャを始める位置とジェスチャの形が表示される. 表示はユーザの指の位置により変化するので, 指示に従って指を動かせば, ジェスチャを覚えていなくても行を指定することができる. 段はタップで指定する. タップ可能な位置は画面の四隅と四辺の midpoint の計8カ所である. 行が選ばれるとその行に属する平仮名がタップ位置に表示されるので, そこから1文字を選択する. このように, 画面の表示に従うことで, 初心者でも容易に文字を入力することができる. 初心者を対象とした実験では, 使い始めから25文字を平均14.6CPMの速度で, 100文字入力した段階では18.2CPMで入力できることが示された. 熟練すれば60CPMでの入力も可能である. 入力インタフェースの画面占有率は, 熟練者用の3mm幅のガイドで37%となっている.

キーワード: スマートウォッチ, 文字入力, ストロークジェスチャ, 行段方式, 動的入力ガイド

A Character Input Method for a Rectangular Smartwatch by Combination of Stroke Gesture and Tap

NAOTO OZAKI^{1,†1} SHINGO HONDA^{1,†2} TOSHIMITSU TANAKA^{1,a)} KOHEI AKITA¹ YUJI SAGAWA¹

Received: November 6, 2017, Accepted: May 10, 2018

Abstract: In our method, a user firstly selects a column of the table of the Japanese syllabary with a stroke gesture that starts from one of the four corners of the rectangular screen. At this time, the input guide is displayed around the screen. Since start positions and shapes of the gestures are illustrated on the guide, a user can enter a gesture according to it. The guide is updated following to the fingertip position. A user can select each column by moving his/her finger toward the name of the column shown on the guide, even if he/she do not memorize its gesture. After that the characters that are members of the column under selecting are displayed around the screen. The user can select one of them by a tap. By relying on the guide, everyone can easily input characters. In the experiment targeting beginners, it was shown that users can enter first 25 characters at a speed of 14.6 CPM in average. When they entered 100 characters, the speed upped to 18.2 CPM. If skilled, input over 60 CPM is possible. The screen occupancy of the input interface is 37% when the 3 mm width guide is chosen.

Keywords: smartwatch, character input, stroke gesture, 2 step method, active input guide

¹ 名城大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Meijo University,
Nagoya, Aichi 468-8502, Japan

^{†1} 現在, 村田機械

^{†2} 現在, コーワメックス

^{a)} toshitnk@meijo-u.ac.jp

1. はじめに

フリックやマルチタップ入力では20~25個のキーを使うが, それらをスマートウォッチの小さな画面に表示すると, キーの間隔が狭くなりすぎてファットフィンガー問

題 [1] (キーの間隔に対して指が大きすぎるために、押すつもりのないキーを誤って押してしまうという問題) が発生する。さらにキーボードが画面の多くを占有するため、文字を表示できる範囲がわずかしか残らない。音声入力を使えばキーボードは不要だが、端末に向かって明瞭に話す必要があるため、周囲の人に聞かれてしまう。また、音声コマンドのみによる文の修正には手間がかかる。このため、メールや SMS の入力手段としては実用的ではない。

本研究では、画面の占有率が低い文字入力手法を開発する。画面の中央を広く表示に使うために、画面の角から始めるストロークジェスチャとタップにより文字を選択する。スマートウォッチはスマートフォンやタブレットと併用されることが多いが、この場合には、スマートウォッチはもっぱら短い文の入力に使われると予想される。このため、使用頻度も低くなる。そこで、速度より理解しやすさを優先し、練習せずに使うことができるシステムを目指す。

2. 関連研究

キーが小さくなるとタッチミスが増えるので、キーボードの占有面積を減らすには、キーの数を減らす必要がある。FlickKey Mini Keyboard [2] や Flit Keyboar [3] では、1 個のキーに 9 個の文字を割り当てることで、キーの数を減らしている。ただし、8 方向のフリックで 1 文字を選択することになるため、一般的なフリック方式より正確な指の動きが求められる。

ZoomBoard [4] は QWERTY 配列のキーボードを使うが、タップ操作で段階的に拡大することで、文字選択時に表示するキーの数を減らしている。これを発展させた手法として、指が触れた周囲をポップアップで拡大表示してその中の文字を指の移動で選択する ZShift [5] やフリックで選択する Flicky [6] などがある。指先の移動量に応じて拡大率を変える手法 [7] も検討されている。

縮小表示された QWERTY キーボードの上でキーを結ぶジェスチャを行い、その指の動きから単語を推定する方法 [8] もある。この手法は英語を対象としており、辞書を用いて指の動きから英単語を推定する。このため、指の位置が正確でなくても、ジェスチャが区別できれば単語を入力できる。ただし、この手法を日本語に対応させるには、日本語の専用辞書を作る必要がある。

Shuttle Board [9] では、行を指定する 10 個のキーと段を指定する 5 個のキーを画面に表示し、タップした位置と離れた位置の組合せで平仮名 1 文字を入力する。複数のひらがなを連続して入力することも可能である。ただし、15 個のキーを同時に画面に表示する必要があるため、各キーが小さくなり、入力エラー率が 10% を超えている。

上記のいずれの方法でも、キーボードが画面の半分以上を占有する。スマートウォッチの小さな画面では、そもそも表示できる文字数は少ないのだが、それが半分以下に

減ってしまう。

TouchOne Keyboard [10] は画面の周囲に配置した 8 つのキーを使う 1 ラインキーボード [11] である。同様の手法に Minimum Keyboard [12] がある。これらの手法では、1 つのキーに 3 個または 4 個のアルファベットを割り当てることでキーの数を減らしている。このため、1 つのキーを押しただけでは文字が定まらない。そこで、キーを連続して押し、そのパターンから、辞書を用いて英単語を推定する。このキーボードは英語専用であり、ローマ字の辞書は用意されていない。辞書に載っていない語は、タッチ&ムーブで 1 文字ずつアルファベットを入力していく必要がある。

5-TILES Keyboard [13] も 1 つのキーに 5~6 個のアルファベットを割り当てるが、この方法では、横に並んだ 5 つのキーのどれかにタッチし、そのまま指をスライドさせて目的のキーの上で離すことで、アルファベット 1 文字を指定する。この手法は 5 個のキーしか使わないため画面占有率は低いのだが、画面の横幅を 5 等分してキーを並べる必要があるため、スマートウォッチではキーの幅が 5mm 程度となってしまふ。松浦らの論文 [14] にはキーを 7mm 角以上にすることが望ましいと書かれているが、これを下回っているため、キーの押し間違いが増加する。

一方、手書き文字入力ではキーボードは不要となる。スマートフォンやタブレットでは Google 手書き入力 [15] や 7notes [16] が使われている。スマートウォッチ向けにも Analog Keyboard [17] が開発されている。ただし、スマートウォッチでは 1 文字分しかない入力領域に連続して文字を書き込むため、文字の終わりの判定が難しい。

この問題は一筆書きに限定することで解決できる。EdgeWrite [18] では矩形入力領域の辺と対角線を使う一筆書きでアルファベットを入力する。この手法をカタカナに適用する研究 [19] も行われている。これらの手法のジェスチャは文字の字体に似せて設計されているので、文字の知識である程度は推測することができる。しかし、b や d の丸の部分が左右に往復する動きになるなどの字形の変更があり、n は大文字を、h は小文字を念頭にジェスチャを行うなどの使い分け分けが求められるため、手書き文字入力のように学習なしで使えるわけではない。

3. 提案手法

提案手法では、1 文字を 1 回のストロークジェスチャと 1 回のタップで指定する。また、画面に指の動きにつれて変わるガイドを表示し、入力を補助する。以下に手法の詳細を述べる。

3.1 ジェスチャとタップ

画面の四隅のいずれかからジェスチャを開始する。図 1 (a) に示すように、ストレート、カーブ、リターンの 3 種類のジェスチャを使う。画面を 4 分割し、ジェス

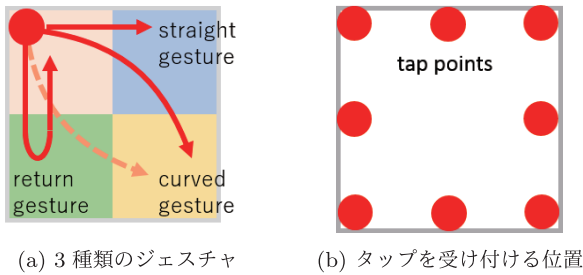


図 1 提案手法の入力操作
Fig. 1 User operations available on the system.

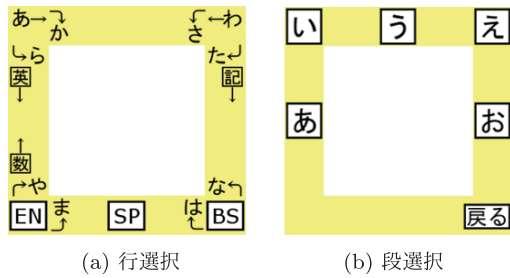


図 2 ひらがな入力
Fig. 2 Hiragana mode.

チャを開始した頂点を含む区画に辺で接する区画まで指先を移動して離すと、ストレートジェスチャが行われたと判定する。また、元の区画に戻ってから指を離せばリターンジェスチャ、対角の区画まで指先を移動して離すとカーブジェスチャと判定する。右回りと左回りは通過する区画で区別する。ジェスチャの総数は 24 (= 3 種類 × 2 方向 × 4 頂点) となる。タップは、図 1(b) に示すように、画面の 4 頂点と各辺の中点の合計 8 カ所で行うものとする。

3.2 平仮名入力

50 音表の行と段をこの順に指定することで 1 文字を入力する。行の選択はジェスチャで行う。図 2(a) は平仮名入力を始めるときの入力画面である。黄色の部分部分が入力ガイドで、各行の名前がジェスチャを開始する頂点に書かれている。図に示すように、“か行” から “ら行” にはカーブジェスチャを、“あ行” と “わ行” には上辺のストレートジェスチャを割り当てている。長音符と句読点は “記” と書かれた右側下向きのジェスチャで選択する。使用頻度の高い Enter (EN), Space (SP), Backspace (BS) は下辺 3 カ所のタップで入力する。仮名漢字変換は Space で行う。

段選択はタップで行う。図 2(b) は “あ行” を選んだ後の入力画面である。タップ可能な 8 カ所のうち左から時計回りに、“あ段” から “お段” の文字が表示される。そのどれかをタップすると、書かれた文字が入力される。また、右下のタップで行選択に戻ることができる。

段を選択すると、清音 1 文字が入力され、行選択に戻る。このとき、入力した文字に濁音/半濁音/小文字がある場合には、一定時間 (デフォルトは 1.5 秒間)、タップした場

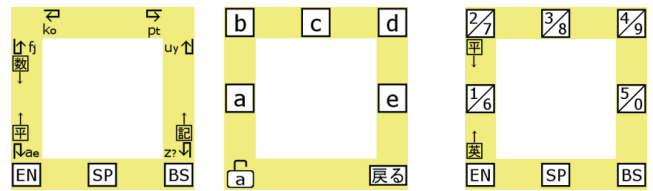


図 3 英字入力
Fig. 3 Alphabet mode.
図 4 数字入力
Fig. 4 Numeric mode.

所に水色の四角が表示される。これをタップすると、入力した文字が濁音/半濁音/小文字が変わる。複数の変化先がある場合 (“は” から “ば” と “ぱ”, など) は、押すたびに切り替わる。この変換は循環動作するため、続けて押せば元の清音に戻すことができる。水色の四角が表示されている状態でも、段選択のジェスチャは支障なく行える。また、ジェスチャを始めると、水色の四角は消える。

3.3 英字入力

平仮名と同様に 2 段階で入力する。アルファベットを語順に 5 文字ずつに分け、それぞれを 1 つのグループとする。第 6 グループには z のほかに、ピリオド、カンマ、感嘆符、疑問符を割り当てる。グループはリターンジェスチャで選択する。図 3 左側に示すように、左下から時計回りに 6 つのグループを割り当てている。グループを選択すると、そこに属するアルファベットが表示されるので、タップで 1 文字を選択する。大文字に変える場合には同じ場所を続けてタップする。また、画面左下の鍵マークをタップすることで、Caps Lock 状態にすることができる。

3.4 数字入力

連続して入力しやすいように、タップ操作のみで数字を指定する。図 4 に数字入力のガイドを示す。ここで、入力したい数字の場所を 1 回タップすると、前半の 1~5 が、一定時間 (デフォルトは 1.5 秒) 内に同じ場所をタップすると、後半の 6~0 が入力される。

以上をまとめると、本研究では図 5 に示すジェスチャで、英数平仮名を入力できる。入力モードの切替えは左辺の上向き/下向きのストレートジェスチャで行う。平仮名、英字、数字の間を相互に移動することができる。

3.5 動的ガイド

入力を補助するために、指の位置に応じて画面の表示を変える機能を実装している。この動作を “か行” を入力する場合を例として解説する。図 6 の左上は初期状態の画面である。左上隅に “か” と書かれているので、この場所がジェスチャの開始位置だと分かる。指を動かす方向が矢印で示されているので、これに従い、指を右に動かすと、表示が図 6 の右上に変わる。ここでは、右に進むと “あ行”、さらに進むと “か行” となることが示されている。指が右

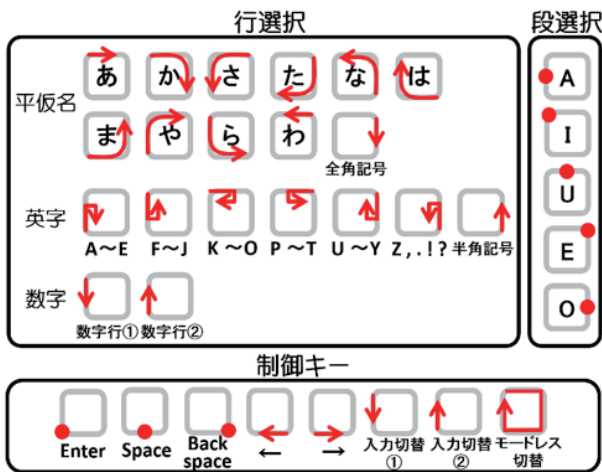


図 5 提案手法のジェスチャー一覧
Fig. 5 Assignment of gestures.

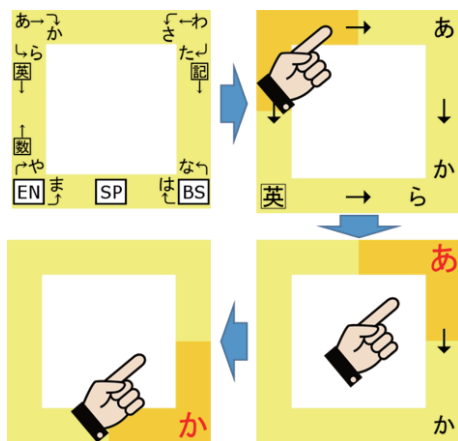


図 6 か行を入力するときの動的ガイドの表示変化
Fig. 6 Change in display of the active guide when selecting Ka-group of Hiragana.

上の区画に入ると、図 6 右下の表示に変わる。“あ”が赤字となっているのは、ここで指を離すと“あ行”が入力できることを示している。“か行”を入力したいので、矢印に従って指を下に動かす。画面右下の区画まで指が進むと、図 6 左下の表示となる。この状態では、“か”が赤字で示される。

このように、現在の状態や次に指を動かす方向が明確に示されるため、指を早く離しすぎたり、余分に動かして間違った行を選んでしまったりするミスが減らすことができる。また、ガイドの表示に従うことで、ジェスチャをまったく覚えていなくても、行を選択することができる。

指の動きにつれて変化するガイドは EdgeWrite にも実装されている [20]。この手法の初期画面には、入力領域の四隅にその位置からジェスチャを始める文字が表示されるので、その中から入力したい文字を探すことで、開始位置が分かる。そこを指でタッチすると文字の位置が変わる。ユーザは角に表示された文字の中から入力したい文字を見つけて、その角まで指を移動する。これを繰り返すことで

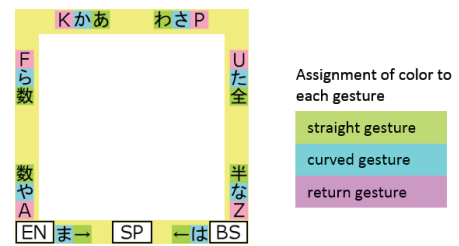


図 7 熟練者用の幅狭ガイド
Fig. 7 Narrow guide for experts.

ジェスチャを入力できる。しかし、表示されるのは開始位置や次に指を動かす位置で、文字を入力するために必要なジェスチャの形が示されるわけではない。このため、ユーザは 1 ストローク入力するたびに文字を探して次に指を進める方向を決めなければならない。

本研究の初期状態のガイドには、文字でストロークを始める位置が、矢印でストロークの形が示されている。このため、文字を見つければ、最後まで指の動かし方が分かる。角に触れると、そこからストロークを始める文字のそれぞれが、その終了位置に表示される。このため、初期画面でストロークの形を見落としても、文字が書かれた場所まで画面の縁に沿って指を動かせば入力できる。このように、本研究のガイドでは最後まで指の動きを見通せる点が大きな違いである。

指の動きを見通せることは、指で画面が隠される問題（オクルージョン問題）の解消にも役立つ。ストロークを行う前は指が画面から離れているので、開始位置を見つけるときにはオクルージョンは発生しない。画面をタッチすると画面の一部が指で隠されるが、矢印の形から離す位置を理解していれば問題なくストロークを入力できる。指に触れてから離す位置を探す場合でも、指が動き始めてから離すまではずっと目標の位置に文字が表示されているので、指の動きにつれてオクルージョンが解消されることが期待できる。また、指が目標に達したことはガイドの色の変化でも示される。色が変わるのは画面の縁の 1/4 の領域なので、すべてが隠されることは少ない。

3.6 幅狭ガイドとモードレス入力

ジェスチャの動きには 3 パターンしかないため、少し使うだけで動かし方を覚えることができる。しかし、ジェスチャの開始位置をすべて覚えるには時間がかかる。図 7 はこのような状態で使うガイドである。ジェスチャの種別を色で示すことで、幅 3mm のガイドに平仮名の行と英数字のグループの両方を表示している。図 5 に示したように、提案手法では平仮名と英数字に異なるジェスチャを割り当てているため、分けなくても区別できる。モードに分けているのは、(1) ガイドに矢印付きで表示するために同時に入力できる文字数を減らす、(2) 動的ガイドをシンプルにする、(3) ジェスチャの重複を減らして誤操作を防ぐ、ため

である。慣れてくればガイドを使わなくなり、また、誤入力も減るので、慣れた人向けにモードレス入力を用意している。

4. 占有面積の比較

本研究では、文字入力ソフトが表示に使う面積を占有面積とする。ただし、ポップアップウィンドウのような、入力の途中で一時的に表示されるものは面積には含めない。これは、1文字を入力する途中で他の作業をすることはないので、画面が隠されても支障はないと考えるためである。

提案手法と既存手法で、入力時に占有する面積を比較した。結果を表1に示す。実行可能なソフトは、スマートウォッチ ZenWatch2 (画面サイズ 1.63 インチ) に表示した画面をキャプチャし、画素数から割合を求めた。そのほかは参考文献に示された値を掲載している。定義に従い、操作途中に一時的に表示されるウィンドウや入力領域は含めていない。占有率は 5-TILES が最も低く、提案手法がそれに次いでいる。

5. 入力速度の評価

5.1 初見者の入力速度

スマートウォッチでは1度に表示できる文字数が少ないので、もっぱら短い文の入力に使われると考えられる。利用時間も短くなるので、入力手法の理解が容易で、練習せずに使えることが望ましい。そこで、本研究の手法に初めて触れる者 10 名 (大学生 6 名と社会人 4 名、平均年齢 22 歳) を対象に入力速度を調べる実験を行った。

初めに、図と動画を使って、5分間でシステムの操作方法やガイドの見方を説明した。このとき、実験では単語をできる限り正しく入力するように指示した。その後、Sony SmartWatch3 (画面サイズ 1.6 インチ) を利き腕ではない方に装着し、椅子に座った状態で腕を水平に上げ、課題に取り組んでもらった。事前にはいっさいの練習を行わないので、課題で初めてシステムを操作することになる。

課題で使う単語は、国立国語研究所の現代日本語書き言葉均衡コーパス (BCCWJ) の頻度リスト [22] から選択した。まず、数詞・助数詞を除いた名詞で、平仮名で 4, 5, 6 文字となる単語を、頻度が高い順にそれぞれ 100 個ずつ抽出する。次に、平仮名が同じになる単語を統合する (頻度は合計する)。それぞれのリストから頻度が上位の 50 単語を選ぶ。この 150 単語を実験参加者ごとにランダムな順に並べなおし、先頭から 5 語ずつ分けて、1 回分の課題とした。

課題が始まると、スマートウォッチの画面の上部に単語が平仮名で表示される。実験参加者が入力した文字はその下に下線付きで表示される。1 単語の入力が終わったら、Enter を押す。これで入力が確定し、次の単語が表示される。5 単語入力すると 1 回の課題が終了する。3 分の休

表 1 画面占有率

Table 1 Screen occupancy.

手法名	表示に使う割合
Google 日本語入力 (flick) [21]	90%
Flit Keyboard [3]	62%
TouchOne Keyboard [10]	61%
ZoomBoard [4], ZShift [5], Flickey [6], Shuttle Board [9]	50%
5-TILES Keyboard [13]	30%
提案手法 (幅狭ガイド)	37%

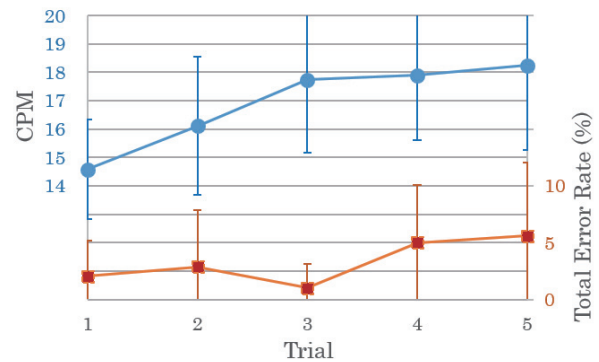


図 8 初心者の平均入力速度とエラー率

Fig. 8 Average of beginners' input speed and input error.

息を挟んで課題を 5 回行い、課題ごとに入力速度を CPM (Characters Per Minute, 1 分間あたりの入力文字数) で求めた。図 8 の青線は 10 名の入力速度の平均を示している。最初の課題では 14.6 CPM であったが、5 回目には 18.2 CPM に向上している。ただし、3 回目からの変化は小さい。また、標準偏差はどの回でも同じような値となっている。

図 8 の赤線は課題ごとのエラー率 TER (Total Error Rate [23], 課題の文字数に対する修正済みも含む誤って入力した文字数の割合) の平均である。TER は 1~3 回目の課題では 3% 以下だが、4 回目には 5% まで増加している。しかし、4 回目以降の課題で入力速度が低下していないことから、操作に慣れたことで指を速く動かすようになり、そのためにエラーが増えたと解釈できる。これらのことから、初めて提案システムを利用する人でも、100 文字の入力で操作に慣れることができたと考えられる。この実験では、課題の総文字数 1,249 に対して 46 文字で誤入力が発生したが、そのうちの 41 文字は単語を確定する前に修正されている。入力誤りの発生回数が少ないため、TER の標準偏差は大きくなっている。

5.2 入力速度の変化

実験に参加した初心者 1 名に引き続き 1 カ月間システムを使用してもらい、入力速度の変化を調べた。この実験では、5.1 節に示した実験課題に、(1) 1 課題を 10 単語とする、(2) 出題元の単語を 450 語 (4, 5, 6 文字の単語を各

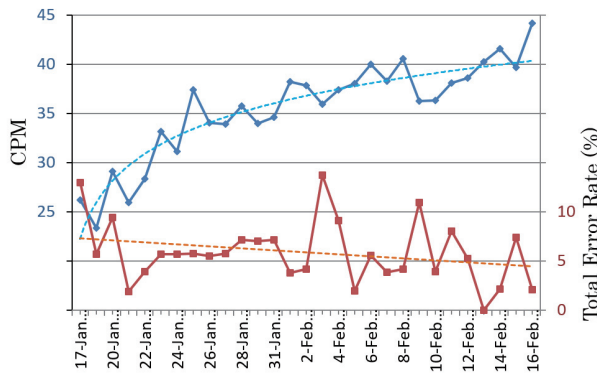


図 9 1 カ月間の実験における速度とエラー率の変化

Fig. 9 Change in input speed and error rate for one month.

150 語) に増やす, 変更を加えた課題を 1 日 1 回行う. スマートウォッチの利用形態を考慮して, 1 日の入力文字数を平均 50 文字と少なくしている. 課題以外はシステムに触らない. 課題は実験参加者の都合がつく時間に行った.

結果を図 9 に示す. 図中の水色の破線は CPM の計測値を Excel の関数を使って対数近似したものである. 橙色の破線は TER を直線近似したものである. 実験開始時には 26.2 CPM だったが, 1 カ月後には 44.1 CPM を記録している. この速度だと, 短い文なら 1 分以内に入力を終えることができる. 1 カ月経過した時点でも速度は上昇傾向にある. この間に 29 回 (1 月 18 日と 29 日は課題を休んだため) の課題を行い, 合計で 42 分 14 秒間システムを使用した. 初心者実験の分を加えても, 総使用時間は 60 分に達していない. エラー率 TER は日により大きく変動しているが, 全体としては減少傾向にあり, 1 カ月後には平均で 5% を下回っている. 2 月 5 日以降の 12 日間では修正されなかった誤入力は合計 3 文字しか発生していない.

5.3 熟練者の入力速度

比較のため, 5.1 節に示した実験課題を熟練者 1 名に対して 2 セット行った. 結果を表 2 に示す. セット 1 の 4 回目を除き, 60 CPM 前後の値が出ている. 合計 10 回の課題の平均速度は 60.9 CPM, 標準偏差は 3.96 CPM だった. この結果は, システムに慣れれば平仮名 1 文字を 1 秒で入力できることを示している.

5.4 5-TILES との比較

5-TILES はスマートフォン用の文字入力手法として開発されたが, スマートウォッチ (Android Wear) にも対応している [24]. この手法では, 画面の下端に 5 つの正方形のボタンが横一列に並んで表示される. ボタンには, 左から順に 5 文字ずつ英字が割り当てられている [25]. どれかのボタンをタッチすることで, ボタンに書かれた文字のグループを選択し, その場で離すか, 別のボタンの位置まで指先を移動してから離すことで, グループ内の 1 文字を

表 2 熟練者の入力速度
Table 2 Input speed of expert.

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
セット 1	65.21	63.24	60.38	51.98	64.78
セット 2	60.98	58.40	60.18	57.88	65.57

選択する. 離す位置は各ボタンに書かれた英字の並びに従う. 入力したい文字が左から 2 番目に書かれていれば, 左から 2 番目のボタンまで移動する. u と z のみ上への移動で選択する. この手法では, 触れる位置と離す位置の組合せで 1 文字が選択される. 待機状態の画面には 5 つのボタンしか表示されないため占有面積は小さくなるが, 横一列にボタンを並べるため, 1 つのボタンの幅は画面の横幅の 1/5 以下となる. スマートウォッチでは 1 つのキーの幅は 5 mm 程度になる.

本研究では, 画面の占有率が低く, かつ, 初心者でも使いやすい文字入力システムの開発を目標としている. 表 1 に示したとおり画面占有率は 5-TILES Keyboard の方が低い. 上で述べたように決められたボタンの上で指を離す必要があるため, 画面の小さなスマートウォッチでは入力ミスが増えると考えられる. そこで, 使用面での評価を行うため, 5-TILES と提案手法で入力速度と誤入力率を比較した. 本研究では日本語の入力を目的として手法を開発しているため, 平仮名の入力を課題として比較を行った.

実験参加者には両手法を十分に練習してもらい, 手法に慣れた後に実験を始める. 計測実験では「ん」を除く平仮名清音 45 文字をそれぞれ 1 回ずつ入力する. この実験では, 2 つの手法で同じ文字を入力する必要がある. 5.1 節の実験のように単語を入力単位とすると, 単語を覚えることで, 後に実験する手法の方が有利になることが懸念される. また, 入力を誤った場合には修正することになるが, 連続して数文字入力する場合, 間違いに気がつかずに入力を続けてしまうと, 修正のコストが高くなる. このため, 1 文字を単位として入力を行う. 5-TILES ではローマ字で入力するため, 濁音まで含めると覚えなければならないアルファベットが増え, 学習に時間がかかる. 最小限の学習ですむように, 清音のみを対象とした.

実験は次の手順で行う. 最初に操作方法を確認する目的で平仮名 45 文字を 50 音順に入力する課題を 2 回行う. 実験が始まると, 平仮名が 1 文字ずつ画面に表示されるので, その下に文字を入力する. 入力が正しいと, 次の平仮名が表示される. 間違った場合には入力が受け付けられないので, 正しい文字を入れ直す. 最初の平仮名が表示された時刻と最後の平仮名の入力を終えた時刻の差を入力時間とする. 平仮名 45 文字を提示する順序は, 計測ごとにランダムに変更する.

同一日に提案手法と 5-TILES の入力時間を 1 回ずつ計測するが, 先に行う手法の影響を避けるために, 最低 1 時

表 3 5-tiles との比較

Table 3 Comparison to 5-TILES.

	提案手法		5-TILES	
	速度 [CPM]	誤入力率	速度 [CPM]	誤入力率
A	36.50 (1.86)	0.0% (0.0%)	26.89 (0.99)	3.1% (2.3%)
B	28.16 (1.39)	1.8% (2.2%)	23.68 (2.94)	10.4% (2.9%)
C	33.66 (1.62)	0.9% (1.8%)	21.31 (2.95)	8.7% (1.2%)
D	28.39 (1.19)	0.9% (1.1%)	18.06 (1.22)	8.7% (2.1%)
E	28.54 (1.52)	0.0% (0.0%)	21.24 (1.92)	8.0% (2.4%)

間は間を空ける。この計測実験を延べ5日間行う。入力手法の順番は実験日ごとにランダムに変える。

男子大学生5名に対して行った実験の結果を表3に示す。速度の欄は5回の入力の平均速度をCPMで表示している。カッコ内の数字は標準偏差である。この実験では正しく入力されるまで修正を行うため、誤入力率はCorrected Error Rateで評価している。いずれの被験者でも提案手法の入力速度が勝っている。被験者別にMann-WhitneyのU検定を行ったが、棄却率5%で提案手法が有意に速いと判定されている。また、実験参加者5名のグループに対して表3の速度を標本として行ったU検定でも、棄却率5%で提案手法が速いと判定されている。

この理由として、5-TILESはローマ字入力なので平仮名1文字あたり2回のストロークを必要とするが、提案手法は1ストロークと1タップで1文字を入力できることが考えられる。また、5-TILESの誤入力の多さも速度が上がらない原因となっている。5名の平均では、提案手法の誤入力率が0.9%であるのに対して、5-TILESでは7.4%となっている。誤入力が多いのは、キーが指先に隠れるほど小さいためにタッチ位置や離す位置がずれてしまうためだと考えられる。

5.5 既存手法との比較

参考文献から既存手法の入力速度と誤入力率を調べた。表4の数値のうち、後に*が付いたものは著者がグラフから読み取った値である。そのほかは文献に書かれた値である。字種の欄は評価実験の単語が英字であるか仮名であるかを示している。ZoomBoardとZShiftは複数の文献を引用しているが、文献により実験方法が異なるため、数値に差が生じている。また、提案手法の‘1カ月実験終3日’の行は5.1節の実験の最後の3日間の平均値を示している。

誤入力率については、提案手法が最も低く、ZoomBoardと日本語EdgeWriteに近い値になっている。残りの手法の誤入力率は10%を超えている。これらの手法はタップとフリックまたはスライドで文字を指定するため、画面が小さなスマートウォッチでは位置決めが難しかったのだと推測される。

表中の斜体の数字は英単語のWPMを平仮名のCPMに換算した値である。文献[6]に「標準化のためにWPMで

表 4 既存手法の入力速度と誤入力率

Table 4 Input speed and error rate of existing methods.

手法名	字種	WPM	CPM	誤入力率	出典
フリック	かな		90.7	11*%	[9]
ZoomBoard	英字	7.6	<i>21.2</i>		[4]
	英字	8.7	<i>24.3</i>	5.34%	[6]
	英字	7.8	<i>21.8</i>	6.4%	[5]
ZShift	英字	10.1	<i>28.2</i>	9.25%	[6]
	英字	7.2	<i>20.1</i>	12.6%	[5]
Flickey	英字	9.4	<i>26.2</i>	10.01%	[6]
日本語 EdgeWrite					
	熟練者	かな	32.26	7*%	[19]
提案手法					
	初心者5回目	かな	18.2	5.58%	
	1カ月実験終3日	かな	41.8	3.86%	

は5文字を1ワードして扱う」と書かれているので、これに従ってアルファベットのCPMに換算し、さらに、平仮名1文字のローマ字入力に要するアルファベットを1.79文字^{*1}と仮定して、平仮名のCPMに換算している。

提案手法の初心者の速度は他の手法より20~30%低くなっているが、この差には実験前の練習の有無や実験で入力する文字数の違いによる影響も含まれていると考えられる。提案手法の初心者の速度は平均で7分35秒利用したときの値だが、文献ごとに実験時間が異なり、また、計測前に数分間の練習を設けている場合もあるため、同じ利用時間での比較とはなっていない。1名だけの結果ではあるが、5.2節に示した1カ月実験の最後は41.8CPMとなっており、60分未満の利用でこの速度に達しているため、比較手法と同じ使用時間で計測を行えば、差は小さくなるかもしれない。表4に掲載した手法はどれも画面の半分以上を占有するので、画面に表示できる文字数は提案手法より少なくなる。使い勝手の点では、表示文字数が多く、誤入力が少ない方が良いので、総合的に考えれば提案手法の速度差は許容されると考えている。

6. まとめ

本研究では、角型スマートウォッチ用の文字入力手法を開発した。提案手法はストロークジェスチャで文字を指定するが、ジェスチャの開始位置と指の動きが画面の縁に描かれており、動的ガイドにより指の動きに合わせて次に動かす方法が示されるので、ジェスチャを覚えなくても使うことができる。実験では、まったくの初心者でも100字の入力で使い方に慣れ、平均18.2CPMで入力することができた。長期実験では、1日1分程度のごく短い使用で、1カ月後には44.1CPMで入力できるようになった。また、提

*1 母音、小文字の“ゃ、ゅ、ょ、っ”，長音符はアルファベット1文字で、他の平仮名はアルファベット2文字で入力するとして、WEBサイト[26]に掲載されている244万文字の平仮名出現頻度表の頻度を重みとして平均を求めた。

案手法の幅狭ガイドでは、画面の63%を文字の表示に使うことができ、既存の多くの手法より画面占有率が低い。今後は、使いやすさの向上と画面占有率の低下を目指して、評価実験の結果に基づいてジェスチャの見直しやガイドの変更を行う。

謝辞 本研究はJSPS科研費JP16K00286の助成を受けています。

参考文献

- [1] Siek, K., Rogers, Y. and Connelly, K.: Fat finger worries: How older and younger users physically interact with PDAs, *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, pp.267–280 (2005).
- [2] FlickKey Mini, available from (http://www.flickkey.com/FlickKey_Mini.html) (accessed 2017-01-16).
- [3] Flit Keyboard, available from (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.locnet.flitkeyboard&hl=ja>) (accessed 2017-02-12).
- [4] Oney, S., Harrison, C., Ogan, A. and Wiese, J.: A Diminutive QWERTY Soft Keyboard Using Iterative Zooming for Ultra-Small Devices, *Proc. ACM CHI'13*, pp.2799–2802 (2013).
- [5] Leiva, L., Sahami, A., Catala, A., Henza, N. and Schmodt, A.: Text Entry on Tiny QWERTY Soft Keyboards, *Proc. CHI'15*, pp.669–678 (2015).
- [6] 石井 晃, 箱田博之, 志築文太郎, 田中二郎: Flickey: 超小型タッチパネル端末におけるフリック操作を活用したQWERTYキーボード, 研究報告HCI, Vol.2015-HCI-164, No.6, pp.1–8 (2015).
- [7] 原 清貴, 梅澤 猛, 大澤範高: 腕時計型端末におけるズーム・スクロールを用いたタッチ入力, インタラクション2014 論文集, pp.317–320 (2014).
- [8] Gboard, available from (<https://blog.google/products/search/gboard-search-gifs-emojis-keyboard/>) (accessed 2017-02-12).
- [9] 下岡純也, 山名早人: スマートウォッチにおけるタップ動作の少ない仮名文字入力手法, *DEIM Forum 2017 I3-2* (2017).
- [10] TouchOneKeyboard, available from (<http://www.touchone.net>) (accessed 2017-01-14).
- [11] Li, F., Guy, R., Yatani, K. and Truong, K.: The 1line keyboard: a QWERTY layout in a single line, *Proc. ACM UIST'11*, pp.461–470 (2011).
- [12] Minimum Keyboard, available from (<http://minuum.com/minuum-on-smartwatch>) (accessed 2017-02-12).
- [13] 5-TILES, available from (<http://fivetiles.com>) (accessed 2017-02-12).
- [14] 松浦吉祐, 郷健太郎: 小型タッチ画面における片手親指の操作特性, 電子情報通信学会技術研究報告, IE2006-217, pp.61–66 (2007).
- [15] Google 手書き入力, 入手先 (<https://www.google.com/intl/ja/inputtools/services/features/handwriting.html>) (参照 2017-02-12).
- [16] 7notes, available from (<http://product.metamoji.com/7notes.top/>) (accessed 2017-02-12).
- [17] The Analog Keyboard Project, available from (<https://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/projects/analogkeyboard>) (accessed 2017-02-12).
- [18] Wobbrock, J., Myers, B. and Kembel, J.: EdgeWrite: A Stylus-Based Text Entry Method Designed for High Accuracy and Stability of Motion, *Proc. ACM UIST'03*, pp.61–70 (2003).
- [19] 松村 駿, 木下雄一朗, 郷健太郎: 日本語 EdgeWrite のスマートウォッチへの実装と評価, 第20回電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, p.9 (2015).
- [20] Martin, B., and Isokoski, P.: EdgeWrite with integrated corner sequence help, *Proc. ACM CHI'08*, pp.583–592 (2008).
- [21] Google 日本語入力, 入手先 (<https://www.google.co.jp/ime/>) (参照 2017-02-12).
- [22] 国立国語研究所コーパス開発センター: 『現代日本語書き言葉均衡コーパス』語彙表短単位語彙表データ, 入手先 (<http://pj.ninjal.ac.jp/corpus.center/bccwj/freq-list.html>) (参照 2017-01-16).
- [23] Soukoreff, R.W. and MacKenzie, I.S.: Metrics for text entry research: An evaluation of MSD and KSPC, and a new unified error metric, *Proc. ACM CHI'03*, pp.113–120 (2003).
- [24] Wear 5-TILES – 30% Launch Promo, available from (<https://play.google.com/store/apps/details?id=etaoi.com.wearplusbmobile>) (accessed 2018-03-07).
- [25] 5-Tiles Keyboard Targets Wearables To Hunt The Post-Querty Holy Grail, available from (<https://beta.techcrunch.com/2014/05/24/5-tiles-keyboard/>) (accessed 2018-03-07).
- [26] 雑記/えもじならべあそび, 入手先 (http://d.hatena.ne.jp/maple_magician/20101011/1286787571) (accessed 2018-03-07).



尾崎 尚人

1992年生。2015年名城大学理工学部情報工学科卒業。2017年3月同大学院理工学研究科情報工学専攻修了。現在は村田機械株式会社犬山事業所に勤務。



本多 信吾

1993年生。2015年3月名城大学理工学部情報工学科卒業。現在は株式会社コーワメックスに勤務。



田中 敏光 (正会員)

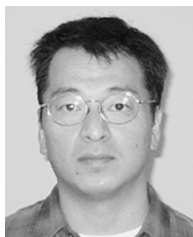
1984年名古屋大学情報工学専攻修了。工学博士。1984年NTT入社。1994年名古屋大学大型計算機センター助教授。2000年名城大学理工学部情報科学科(現情報工学科)教授, 現在に至る。電子情報通信学会, モバイル学会

各会員。



秋田 光平

2017年3月名城大学理工学部情報工学科卒業。現在、名城大学理工学研究科情報工学専攻に所属。タブレットやスマートフォンの文字入力手法の研究に従事。モバイル学会会員。



佐川 雄二 (正会員)

1987年名古屋大学大学院情報工学専攻前期課程修了。1992年名古屋大学大学院情報工学専攻後期課程単位取得退学。工学博士。1992年名古屋大学助手、同講師を経て、2000年名城大学理工学部講師、2008年同教授、現在に至る。自然言語処理の研究・教育に従事。電気学会会員。