

BubbleOne: スマートウォッチ向け日本語曖昧入力 インターフェースの試作と評価

戸羽 遼太郎^{†1,a)} 加藤 恒夫^{†1} 田村 晃裕^{†1}

概要: スマートウォッチ向けの日本語入力インターフェースとして、小さなタッチスクリーンを効率よく活かしたかな入力のインターフェースは多数提案されているが、かな漢字変換まで含めたインターフェース設計は数少ない。我々は最近、少ないタッチ操作で漢字かな交じり文の入力を可能にする手法として、円環状に配置された12種類の行先頭キーをなぞるグライド操作と、母音を確定しないまま入力を進め変換処理により一気に漢字かな交じり文を推定する曖昧入力を組み合わせた BubbleGlide を提案したが、評価実験により、グライド操作中のオクルージョン問題や候補選択操作と誤入力の修正操作に多くの時間が費やされることが分かった。そこで本研究では、これらの問題点に対してグライド操作の代わりにタッチ操作を曖昧入力と組み合わせる BubbleOne を提案する。BubbleOne は、オクルージョン問題を軽減することができ、変換候補の上位2候補を常に画面中央に表示することで比較的変換精度の高い単語単位もしくは短い文節単位での変換を促し、誤入力をして曖昧入力中に1文字単位での修正操作を可能にする。20日間の連続評価実験を行ったところ、BubbleGlide と比較して文字入力速度を約1.1倍に改善するとともに、さらなる改善に向けた課題が得られた。

1. はじめに

スマートウォッチにおける文字入力は音声入力主流であるが、公共の場所や人混みなどでは使いにくい。タッチ操作による入力インターフェースも期待されている。スマートウォッチにおける日本語入力には、狭いタッチスクリーンにおける効率のよいかな入力手法と、かな漢字変換機能が必要になる。これまで、アルファベットの倍以上の種類があるかな文字を小さなタッチスクリーンで効率よく入力する手法として、ShuttleBoard[1], HARI キーボード [2], QuadKey[3], SliT[4] などが提案され、我々も BubbleFlick[5] と BubbleSlide[6] を提案してきた。しかし、これらはかな文字入力にとどまっておらず、漢字かな交じり文の入力までは考慮されていない。かな文字入力からかな漢字変換まで含めると、入力効率の高いインターフェース設計は変化する可能性がある。

我々はこれまでに円環型キーレイアウトをベースに小さな画面上のタッチ操作を簡略化し、漢字かな交じり文の入力を実現する方法として日本語曖昧入力ジェスチャーキーボードである BubbleGlide[7] を提案した。ここでの曖昧入力とは、文字入力の際に母音を確定せずに入力を進め、母音情報の曖昧な入力から漢字かな交じり文を一気に推定し

入力を行うことを指す。BubbleGlide は曖昧入力に加え、キーボードをなぞるグライド操作により1ストロークで単語や単文節の入力が可能で、入力時のキーストローク数が少ないことが特徴である。しかし、20日間に及ぶ習熟度を確保するための評価実験では、グライド操作中のオクルージョン問題や誤入力をしてしまうとグライド操作中に修正できずに一度に複数の誤字が生じるため、余計な修正操作を必要としてしまう課題が見つかった。

そこで本研究では、曖昧入力とタップ操作を組み合わせた日本語曖昧入力キーボードである BubbleOne を作成した。円環状のキーレイアウトに配置された各行の先頭文字キーを選択するたびに曖昧入力による変換を行い、曖昧入力途中で誤入力をした場合でも変換前の曖昧な入力状態のまま適宜修正を行うことができる。また、BubbleGlide の評価実験で使用頻度の高かった変換結果の上位2候補を画面上に常に表示し、候補選択の操作性の改善を図った。性能評価のために、東條らが提案した BubbleSlide にかな漢字変換機能を追加したものを比較対象に加え、BubbleGlide と同様の比較実験を行った。本稿では、分析結果に基づいた現状の入力性能と今後の課題について報告する。

^{†1} 現在、同志社大学

^{a)} ctwd0145@mail4.doshisha.ac.jp

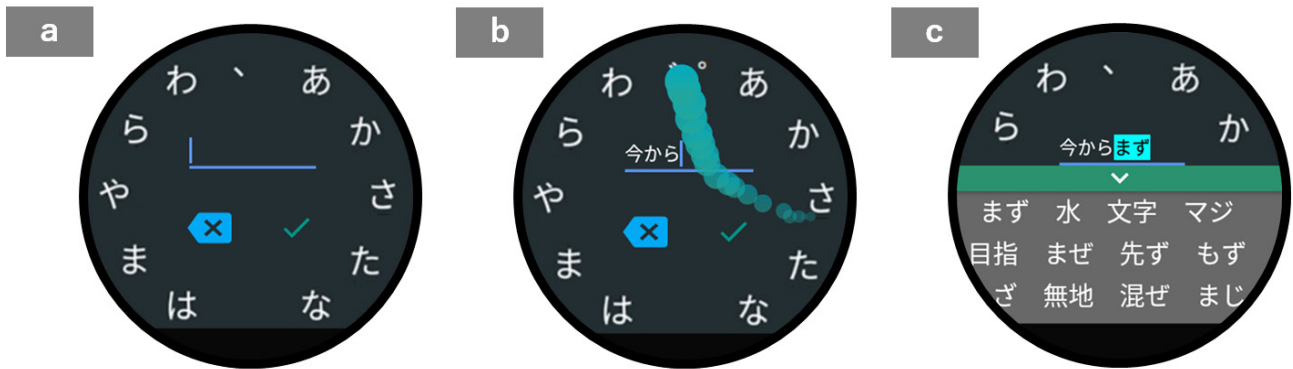


図 1 BubbleGlide a) 初期画面 b) 「さ→濁点」の順になぞる様子
c) 入力「ま→さ→濁点」に対する変換結果と候補ビュー (実物大)

2. 関連研究

2.1 スマートウォッチ向け日本語かな入力方式

かな文字はアルファベットと比べて文字種が倍近いため、タッチ領域の狭いスマートウォッチにおけるかな文字入力ではキーレイアウトや入力操作を工夫する必要がある。秋田ら [4] は画面辺縁部に 2 つの子音を割り当てたキーを配置し、スライド操作と 2 回のタップ操作でかなを指定し入力するキーボードを提案した。はじめにスライドインでキーの選択を行うため、キートップのキーの画面占有率が低く、文字入力時の各キーサイズも広く確保され低い誤入力率を実現している。安福らが提案した QuadKey[3] は 4 つのキーのみのキーレイアウトで、隣接キーを用いた 2 段階のスライド操作により 1 ストロークで 1 文字を入力を可能とした。キーの数を大幅に減らすことで、操作を行う指が他の操作対象を隠すオクルージョン問題やファットフィンガー問題 [9] を解消している。齋藤らが提案した HARI キーボード [2] は、円環状に子音キーを配置したキーレイアウトで、子音キーを指定し画面中央へ指をスライドさせると子音キーが母音キーに切り替わり、目的の母音キーへ再度スライドさせることでかなを入力できる。

東條らは円環状に行の先頭文字のキーを配置し、キーをタップすると放射上に当該行の文字が表示され、目的の文字の方向へフリックすることで文字を入力する BubbleFlick[5] を提案した。1 フリックですべての文字を入力できるが、文字毎にフリック方向が異なることが、直感的な分かりやすさに欠けるという課題が明らかになった。そこで、東條らは改良を行い、各キーを画面中央へスライドさせた距離に応じて母音を確定し入力を行う BubbleSlide[6] を提案した。どのキーからも中央方向への距離で母音を確定させられるため、直感的操作で文字を入力できる。しかし、これらのかな入力インターフェースはかな漢字変換まで考慮したインターフェース設計ではなかった。

2.2 曖昧入力キーボード

曖昧入力とは 1 つのキーに複数の文字を割り当て、キー入力時に厳密に文字を確定させず曖昧なまま入力を進め、文字情報が曖昧な入力から目的の文字列を推定する入力手法である。曖昧入力は候補数が大幅に増加することから、日本語ではあんないジョーズ [8] のような特定のドメインにおける辞書引き用の入力インターフェースに用いられた。入力に用いるキーの数を減らすことができるため、スマートウォッチ向けの曖昧入力をを用いたアルファベット入力インターフェースがいくつか提案されている。Komniousら [10] は 1 つのキーに 3 つから 5 つのアルファベットを割り当て、矩形画面に 6 つの大きなキーを配置したタッチ式の曖昧入力キーボードを提案した。評価実験では文字入力速度が平均 8.1[word/min] を示し、短い文章での入力であればシンプルな操作で入力できるため、スマートウォッチを含めた小型ディスプレイ端末に適していると報告している。TouchOneKeyboard[11] は 1 つのキーに 3 つあるいは 4 つのアルファベットを割り当て、計 8 つのキーを画面の外周上に配置したタッチ式曖昧入力キーボードである。WrisText[12] は同様に、1 つのキーに 4 つあるいは 5 つのアルファベットを割り当て、計 6 つのキーを画面外周上に配置した曖昧入力キーボードで、時計をつけた腕だけで入力できるよう、時計の傾きを用いてキー入力が行われる。Optimal-T9[13] は 9 つのキーに複数のアルファベットを割り振る際、入力速度が速く、誤り率が低くなるような最適なキーレイアウトを実現している。これらは統計的な辞書を用いて文字列を推定しながら入力を行い、少ないキー操作で英語を単語単位で入力できる。しかし、日本語の場合は英文のように分かち書きされておらず、曖昧入力でも文章を入力する場合にどの単位で入力するのか、濁点や小文字の変換をどうするかなど、実現する上でいくつか課題がある。



図 2 BubbleOne a) 初期画面 b) 「わたし」とタップした後
c) 「わたし」に対する変換候補の一覧 (実物大)

3. スマートウォッチ向け日本語曖昧入力キーボードの作成と改良

3.1 BubbleGlide

これまでの取り組みとして、我々は入力対象を漢字かな交じり文とし、かな漢字変換を考慮した入力効率の高いスマートウォッチ向け日本語曖昧入力キーボードである BubbleGlide (図 1) を作成した。BubbleGlide は狭いタッチ領域内で複雑なタッチ操作を減らすことを目的に、入力方式として曖昧入力とグライド操作を採用する。曖昧入力により母音を確定させるためのスライド操作やマルチタップ操作を省略し、キーボードをなぞるグライド操作と組み合わせることで 1 ストロークで単文節の入力まで可能にする。かな漢字変換用 N-gram に前処理を行い、変換前のかな文字をすべて各行の先頭文字に置き換えることで、変換処理自体は曖昧入力を考慮せず、確率言語モデルに基づく形態素の系列に対する生起確率の計算から変換結果が直接出力される。変換辞書は約 1 億件のウェブページから抽出したテキストから算出した出現頻度 1000 以上の形態素 N-gram[14] を用いた。スマートウォッチはストレージの容量・RAM の制約が強く、サイズの大きい辞書を用いた場合に動作が重くなることから、1-gram, 2-gram のみを用いて変換辞書を構築した。語彙のサイズは 10 万語で、メモリ上の辞書サイズは約 12MB であった。変換処理は直前に確定した語は参照せず、現在入力中の文字列情報のみを用いて変換を行う。予測変換機能は実装していない。キーレイアウトは、キー配置を直感的に把握するために、円環状に行の先頭文字キーを時計回りに配置した BubbleSlide のキーレイアウトを継承する。

BubbleGlide の性能と操作性を検証するため Google 日本語入力を比較対象として評価実験を実施した。Google 日本語入力は図 3 に示すとおり、スマートフォンの日本語文字入力で一般的なテンキーフリックかな入力を採用している (以降 KeypadFlick と呼ぶ)。実験結果から、両インターフェースの間に誤入力率の差は見られなかった。20 日間の

使用後のインタビューと分析結果を交え、BubbleGlide について以下の問題点が挙げられた。

- (1) グライド操作中に誤入力をした場合に途中で修正できず、グライド操作後に的外れな候補が提示される。そのため、複数文字の修正を余儀なくされる。
- (2) 文節単位で入力し、提示される変換候補欄に目的の候補が無い場合、ユーザは単語あるいは短い文節に分割して再入力する必要がある。その際、候補の確認にも時間を要する。
- (3) グライド操作はキーボード上に常に指をつけて操作するため、頻繁にオクルージョン問題が発生してしまう。

3.2 BubbleOne

本研究では曖昧入力を用いた入力インターフェースの文字入力効率を改善するため BubbleGlide の問題点を改修し、機能を改良することで新たに BubbleOne (図 2) を作成した。BubbleOne の曖昧入力機能は BubbleGlide の実装を再利用している。BubbleGlide から BubbleOne で大きく変化した改良箇所を以下に示す。

- (1) キー操作をグライド操作からタップ操作にすることで、オクルージョン問題を解決し、1 文字 1 タップの操作で入力が可能となる。このとき、各行の先頭文字キーやバックスペースキーが押されて入力文字列が変化するたびに曖昧入力による変換候補が提示される。誤入力をした場合でも適宜バックスペースキーを使用すれば、変換前の曖昧な状態でも修正が可能となる。
- (2) BubbleOne ではキー入力やバックスペースで入力文字列が変化するたびに曖昧入力による変換処理を実行する。タップ操作はグライド操作に比べてキーストロークの間隔が短く、頻繁に変換処理が行われる。そこで、高頻度での変換処理に対応するため、非同期処理にて随時変換結果を更新するようにした。
- (3) 変換後の候補提示に関して、BubbleGlide はグライド操作直後に変換候補の一覧を画面下半分に表示していたが、BubbleOne では画面中央にあるバックスペース

キーの直下に常に変換結果の上位2候補を提示し、それ以降の候補は画面最下部のキーを上方向にフリックすることで確認できるようにした。これにより、使用頻度の高い単語や助詞などの上位候補で出力される語は候補一覧を見ずにすばやく選択できるようになり、変換候補欄で所望の候補を探す時間を短縮できる。

- (4) キーレイアウトは BubbleGlide とほとんど同じだが、タップ操作を行う BubbleOne では各キーの輪郭を薄く表示している。またタップ時に振動によるフィードバックが動作し、きちんとタップできていることをユーザが把握できるようにしている。

4. 評価実験

4.1 実験概要

BubbleOne の習熟後の入力性能と操作性を検証するために BubbleGlide と同様の評価実験を実施した。比較対象として、BubbleGlide、KeypadFlick に加えて、東條らが作成した BubbleSlide にかな漢字変換機能を追加実装したものを加えた計3つのインターフェースを用意した。BubbleSlide のかな漢字変換機能は BubbleGlide と同じものを搭載しており、辞書は前処理を行っていないものを使用している。同じ実験協力者が複数のインターフェースを使用すると SkillTransfer[15] が起こる可能性があるため、実験協力者を4つのインターフェースのうちの1つを割り当てて評価を行った。実験期間は各インターフェースへの習熟曲線を明らかにすることを目的に20日間とし、毎日自宅等の集中できる環境で指定のインターフェースで日替わりの短文セットを入力してもらった。

4.2 実験協力者

実験協力者は大学生27名（男性：22名、女性：5名）である。年齢は19～27歳、スマートフォンの使用歴は3～11年であった。実験協力者の内、26名がテンキーフリック入力、2名がトグル入力、1名が QWERTY ローマ字入力を普段利用していた。実験参加者の内、スマートウォッチをこれまでに使用したことがある人が7名おり、使用歴は1週間～2年間であったが、全員がスマートウォッチで文字入力キーボードを使用したことがなかった。KeypadFlick を使用する実験協力者は、テンキーフリック入力を使用していない人に割り振った。

4.3 使用したデバイス

スマートウォッチは Moto360 2nd Gen を使用した。Moto360 2nd Gen の解像度は 263[ppi]、画面の直径は 1.37 インチ（約 3.48[cm]）である。また、内部ストレージは 4GB で、RAM が 512MB である。



図 3 KeypadFlick 左) 初期画面 右) 「な」をタッチした場合

4.4 評価文セット

BubbleGlide の評価実験 [7] で使用したのと同じ 20 日間の日替わり文セットを使用した。文セットの各文は複数の文節で構成され、1セットの文字を足し合わせると、すべての仮名が1回以上登場し、1セットの合計文字数は漢字仮名交じりで約 210 文字である。実験協力者が参照する用紙には、1セットごとに1日分の短文が漢字かな交じりで印刷されており、漢字には振り仮名が振られている。また、短文の順番が結果に影響を与える可能性があるため、実験協力者毎に文セット内の短文をランダムに並べ替えた。

4.5 評価指標

性能評価指標は文字入力速度 (CPM, char/min) と誤入力率 (EPC, error/char)、文字平均キーストローク数 (KSPC, keystrokes/char) とした。計測は全文まとめて、デバイス内で自動的に行うようにした。インターフェースの起動と同時に計測を開始し、入力の確定が押された時点で計測を終了する。各指標を計算する際、1つの漢字を1文字として計算を行った。また、ユーザビリティの主観評価を取得するため、実験終了後には SUS (System Usability Scale[16]、5段階評価) とインターフェースの使用感についてのアンケートを実施した。

4.6 実験の手順

BubbleOne を使用する実験協力者を6名、BubbleGlide を使用する実験協力者を10名、BubbleSlide を使用する実験協力者を9名、KeypadFlick を使用する実験協力者を2名に分けて評価した。実験開始時には、実験の説明とインターフェースの使用法の説明を行い、用意した練習用の短文を5文入力する練習フェーズを実施した。そして、実験協力者には文字入力タスクに集中できる環境で、日毎に用意した短文のセットを指定のインターフェースで入力してもらった。文字入力タスクをする際、実験協力者にはできるだけ正確に評価文セットの文字を入力するよう指示した。最終日の短文セットの入力後には、WEB上で主観評価とアンケートに回答してもらった。また、本実験ではインターフェースの本来の入力性能を比較評価するため、KeypadFlick に標準搭載された予測変換などの機能を使用できる状態で実験を行った。

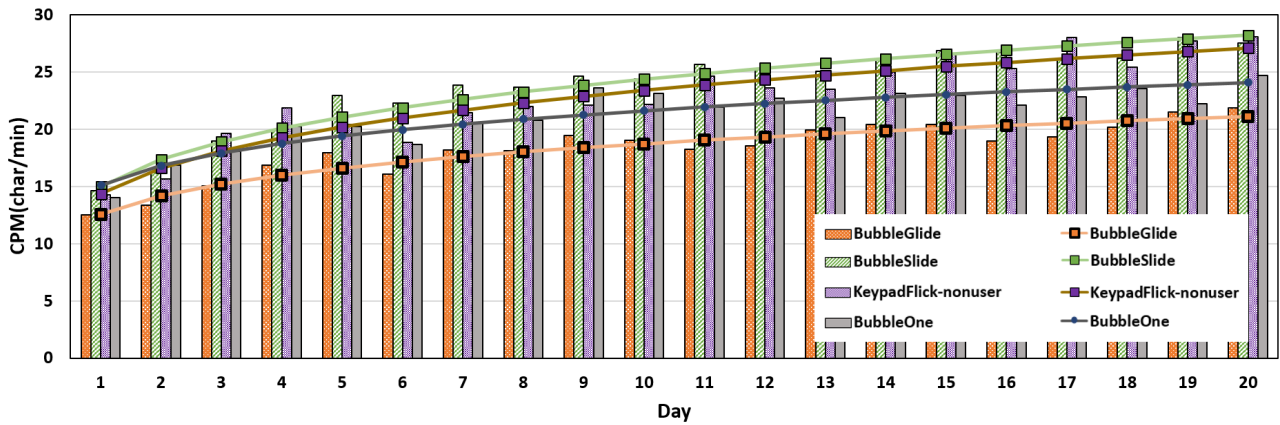


図 4 4 種類のインターフェースにより 20 日間の漢字かな交じり平均文字入力速度とその回帰曲線

表 1 各インターフェースにおける回帰曲線から算出した 10 日おきの平均 CPM, 20 日間の平均 KSPC, 最終 5 日間の平均誤入力率, 平均 SUS スコア

インターフェース	平均 CPM(char/min)			平均 KSPC (keystrokes/char)	平均誤入力率 (error/char, %)	平均 SUS スコア
	1 日目	10 日目	20 日目			
BubbleSlide	15.0	24.4	28.2	2.24	18.9	64.6
KeypadFlick	14.3	23.4	27.1	1.98	12.4	63.8
BubbleOne	15.1	21.6	24.1	2.41	19.3	68.8
BubbleGlide	12.6	18.7	21.1	1.17	23.8	67.5

5. 評価結果

5.1 文字入力速度

各インターフェースにおける実験協力者毎の 20 日間の文字入力速度の推移を図 4 に示す。図中の回帰曲線のモデル式を式 (1) に示す。ここで t は日数, b_0, b_1 は係数である。

$$y = b_0 t^{b_1} \quad (1)$$

回帰曲線から, BubbleOne を使用した実験協力者全体の平均文字入力速度は, 1 日目が 15.1[char/min], 20 日目が 24.1[char/min] であった。習熟の観点では, 1 日目から 20 日目までの間に 1 分間に約 1.6 倍多くの文字を入力できるようになった。図 4 を見ると, BubbleOne は BubbleGlide と比較して約 1.1 倍文字入力速度が向上していたが, KeypadFlick と BubbleSlide と比べると遅い結果となった。習熟による変化をみるために算出した 1 日目から 10 日間ごとの回帰直線の平均値を表 1 に示す。他インターフェースの 20 日間での改善幅は BubbleSlide が約 1.9 倍, KeypadFlick が 1.9 倍, BubbleGlide が 1.7 倍であった。

5.2 文字平均キーストローク数

各インターフェースにおける 20 日間の文字入力中の文字平均キーストローク数を分析した結果を表 1 に示す。キーストローク数は各かな文字キー操作に加えて, バックスペースキーや濁点・半濁点キーの操作も含まれており, 誤入力の修正時の操作もカウントされている。BubbleOne は他インターフェースにはない変換候補を表示させるキー

操作を含んでいることから, 全インターフェースの中で最も高いキーストローク数であった。実験協力者の少ない KeypadFlick を除く 3 つのインターフェース間の統計的な差を検証するために, 対応のない一要因の分散分析を行った。その結果, 平均値間に統計的に有意な差が確認でき ($F(2,22)=95.25, p < .01$), Tukey の HSD 検定による多重比較の結果, BubbleGlide の文字平均キーストローク数は他インターフェースと比べて有意に低いことが確認でき, BubbleOne と BubbleSlide の間には有意な差は確認できなかった。

5.3 平均誤入力率

各インターフェースにおける 20 日間の文字入力中の平均誤入力率を表 1 に示す。表 1 から BubbleGlide が誤入力率が最も高く, 次いで BubbleOne が高いという結果になった。操作の習熟が進んだ最終 5 日間の誤入力率を算出したところ, BubbleSlide は 17.5 %, KeypadFlick は 12.4 %, BubbleOne は 16.3 %, BubbleGlide は 19.8 % であった。表 1 の誤入力率に対して, 実験協力者の少ない KeypadFlick を除く 3 つのインターフェース間で平均誤入力率における統計的な差を検証するために, 対応のない一要因の分散分析を行った。その結果, 平均値間に統計的に有意な差が認められなかった ($F(2,22)=1.51, p > .05$)。

5.4 候補選択と修正操作に関する検証

BubbleOne と BubbleGlide における候補選択と修正操

作の検証を行った。候補選択時間に関して、BubbleOneでは変換結果の上位2候補をキーボード上に常に表示させることで、候補一覧画面(図2-C)の表示回数を減らし候補選択操作の時間短縮を図った。BubbleGlideとBubbleOneで候補一覧画面の表示時間を計測したところ、1文を入力する際にBubbleGlideでは平均17.2秒、BubbleOneでは平均10.4秒であり、候補選択操作の時間短縮が確認できた。候補選択時の平均文字列長は、BubbleOneが2.52文字、BubbleGlideが2.63文字であり、実験協力者は比較的短い文字数に区切って曖昧入力状態から変換していたことが分かった。また、1文を入力する際に行う平均変換回数はBubbleOneが5.96回、BubbleGlideが7.28回であった。平均変換回数には差がみられたが、これは誤入力に伴う入力のし直しが大きく影響していると考えられる。誤入力をした際の平均修正文字列長を計算したところ、BubbleOneは2.08文字、BubbleGlideは2.14文字と両インターフェース間に差は見られず、実験協力者は約2文字程度の誤入力をした後に修正操作を行っていたことが分かった。

5.5 ユーザビリティ評価

20日間の実験終了後に、実験協力者には使用したインターフェースについてSUSのアンケートに回答してもらった。インターフェースごとのSUSの平均点を表1に示す。表1からBubbleOneは全インターフェースの中で最も平均スコアが高いことが確認できた。インターフェース間の平均SUSスコアに統計的な差があるか検証するために、対応のない一要因の分散分析を行った。その結果、平均値間に統計的な有意差が確認が認められなかった($F(2,19)=.103, p>.05$)。

アンケートではインターフェースの使用感や改善点についての自由記述欄を設け、実験協力者から様々な意見を頂いた。BubbleOneを使用した実験協力者からの回答で良かった点として挙げられたのは、タップ操作が単純で慣れるまでに時間がかからない、慣れれば直感的に操作できるといった、シンプルなタップ操作に対する評価が多かった。一方で、改善点として挙げられたものとして、目的の候補がない場合に入力が進まず1文字ずつ再入力が必要、スムーズに変換できそうか意識する必要がある、変換結果が瞬時に出てこないなどの意見が挙げられた。主に変換処理に対する意見が多くを占めたが、上記の問題が解消できればかなり使いやすいという期待の意見も散見された。

6. おわりに

本研究では、BubbleGlideの改良版として円環型キーレイアウトをベースに曖昧入力とタップ操作を組み合わせたスマートウォッチ向け日本語曖昧入力キーボードであるBubbleOneを作成した。誤入力をした際に、変換前の曖昧な状態でも適宜誤字の修正が可能で、キートップに常

に変換結果の上位2候補を表示させることで、候補選択の操作性の改善を図った。習熟を確認するための20日間の評価実験ではBubbleOneはBubbleGlideと比べて文字入力速度が約1.1倍向上していた。実験協力者からインターフェースにおける使用感を伺い、インターフェースのシンプルなタップ操作が受け入れられた一方で、変換処理に関しては、目的の語が変換結果内にはない場合や、変換処理の小さなタイムラグがユーザに不満をもたらす原因となっていたことが明らかになった。今後の方針として、曖昧入力の変換処理部の改善を図り、スマートウォッチに限らず様々なデバイスでの入力インターフェースに応用したいと考えている。

参考文献

- [1] 下岡, 山名.: 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).
- [2] 齋藤, 奥, 佐川.: HARI キーボード: 超小型タッチパネル端末向け日本語入力キーボード, インタラクション 2016 論文集, pp701-703 (2016).
- [3] 安福, 中村.: QuadKey: キーの数を4つにしたスマートウォッチ向けかな文字入力方式, 情報処理学会論文誌. Vol. 60, no.8, p.1403-1412(2019).
- [4] 秋田, 田中, 佐川.: 画面占有率の低いスマートウォッチ向け文字入力手法 *SliT*, ヒューマンインターフェース学会論文誌. Vol.21, No.1 pp131-p140(2019).
- [5] Tojo, T., Kato, T., and Yamamoto, S.: *BubbleFlick: Investigating effective interface for Japanese text entry on smartwatches*, Proc. of MobileHCI' 18, No.44(2018).
- [6] 東條, 加藤, 山本.: *BubbleSlide*: スマートウォッチ向け円環型日本語かな入力インターフェース, 情報処理学会論文誌 vol. 60, no. 11, pp.2075-2084(2019).
- [7] 戸羽, 加藤, 田村.: グライド操作を用いたスマートウォッチ向け日本語曖昧入力キーボードの試作, ヒューマンインターフェースサイバーコロキウム, 1F4-4 (2020).
- [8] 東田, 奥, 村上.: *PB* 電話機を用いた自動電話番号案内システムの開発と評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol.396-D, No.10, pp.2249-2261(2013).
- [9] Siek, K.A., Rogers, Y., and Connelly, K.H.: *Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs*, INTERACT2005, pp.267-280(2005).
- [10] Komminos, A., and Dunlop, M.: *Text Input on a Smart-Watch*, IEEE Pervasive Computing, Vol.13, No.14, pp.50-58(2014).
- [11] TouchOneKeyboard: <https://www.f6s.com/touchonekeyboard/>, (2020.12.17).
- [12] Gong, J., Xu, Z., Q. Guo, Q., Seyed, T., Chen, X.A., Bi, X., and Yang, X.: *WrisText: One-handed text entry on smartwatch using wrist gestures*, Proc. of CHI' 18, pp.181-194(2018).
- [13] Qin, R., Zhu, S., Lin, Y., Ko, Y., and Bi, X.: *Optimal-T9: An Optimized T9-like Keyboard for Small Touchscreen Devices*, Proc. of ISS' 18, pp.137-146(2018).
- [14] N-gram コーパス - 日本語ウェブコーパス 2010, <http://www.s-yata.jp/corpus/nwc2010/ngrams/>, (2020.12.17).
- [15] Poulton, E.C., and Freeman, P.R.: *Unwanted asymmetrical transfer effects with balances experimental designs*, Psychological Bulletin, Vol.66, No.1, pp.1-8,(1966).
- [16] Brooke, J.: *SUS: A quick and dirty usability scale*, Usability Evaluation in Industry, pp.189-194,(1996).