

# Leap Motionを用いたウェアラブル端末向け かな入力方式の提案

飯田 天馬<sup>1,a)</sup> 丸山 一貴<sup>1,b)</sup>

**概要:**近年、ウェアラブル端末の普及が進んでいるが、これらの入力手段には依然として制限や制約が存在する。小型スクリーン上でのタッチパネル入力はオクルージョンやファットフィンガー問題により精度が低下し、音声入力も騒音環境では利用が難しい。このような背景から、非接触かつ非音声による新たな入力方式の研究が進んでいる。そこで、本研究では、スマートフォンで一般的なテンキー形式のフリック入力をLeap Motionによる手指検出に適用し、指先が移動した軌跡から入力内容を推定する方式を設計した。操作感向上のためタップ音・フリック音のフィードバックを実装し、複数考えられる入力内容から妥当性が高いものを推定するために形態素解析 (MeCab + Neologd) を導入した。初期段階の予備実験として短単語入力を対象に入力速度・誤タップ率を計測し、主観的評価についてアンケートを実施した。

## 1. 背景

近年、情報通信技術の進展に伴い、ウェアラブル端末の普及が進んでいる。ウェアラブル端末とは、スマートウォッチやスマートグラスなど身につけて使用するコンピュータデバイスの総称である。これらの端末は常時装着したまま利用でき、小型で軽量であるというメリットがある。一方で、キーボードや大型タッチパネルの搭載が難しいため、特に文字入力や選択操作のインタラクションが依然として課題になっている。

従来のスマートフォンやタブレットではタッチパネル入力が主流であり、指先による直接操作が直感的であるため広く普及した。しかし、ウェアラブル端末は画面サイズが小さいため、入力精度や操作性に問題が生じやすい。特に、指が画面を覆ってしまうオクルージョン問題や、指が太いため誤って隣接するキーを押してしまうファットフィンガー問題は、ユーザ体験を大きく損なう要因となっている。これらの問題は小型端末特有の制約であり、従来の入力方式をそのまま適用することが困難であることを示している。

音声入力はこれらの問題を回避する有力な手段として注目されてきた。音声認識技術は近年大きく進歩し、スマートフォンやスマートスピーカーで広く利用されている。しかし、電車や街頭などの騒音環境では認識精度が低下する。



図 1 Leap Motion の使用イメージ [1]

また、公共空間での音声入力はプライバシーの観点から利用がためられる場合も多い。さらに、発話が困難な状況や、周囲に配慮が必要な場面では音声入力は適さない。こうした背景から、非接触かつ非音声による入力方式への需要が高まっている。

Leap Motion Controller 2 (以下、Leap Motion という。) は、赤外線カメラを用いて手指の位置や動きを高精度に検出するデバイスである。ジェスチャー入力や 3D 操作の可能性を広げるデバイスであり、廉価で入手可能で持ち運びも容易である。さらに、非接触で操作できるため、衛生面や操作環境の制約が少なく、非音声での入力方式の実現に適している。従来、Leap Motion は図 1 のように卓上設置型で利用されることが多く、卓上固定カメラによる手指追跡は高精度であるものの、ユーザの活動範囲を制限し、モバイル用途や屋外利用には適さないという課題があった。

本研究では、図 2 のように腰付近に Leap Motion を備

<sup>1</sup> 明星大学 情報学部 情報学科

<sup>a)</sup> 22j5013@stu.meisei-u.ac.jp

<sup>b)</sup> kazutaka@acm.org

えたデバイスを用いて空間上の手指のフリック動作を検知し、その動きから入力を予測することで、非接触かつ非音声でかな入力を支援するシステムを提案する。入力については、物理的なフィードバックがないため音によるフィードバックを行う。目的は、Leap Motion を用いた空間ジェスチャにより、ウェアラブル端末環境における実用的な入力方式としての有効性を検証することである。

## 2. 関連研究

鳥山ら [2] は、腕時計型ウェアラブル端末における透明キートップ日本語入力キーボード「InvisibleFlick」を提案した。これは、スマートウォッチで発生するオクルージョン問題の解決を目的とするものであり、既存手法と比較した結果、平均文字入力速度とエラー率において有意な差が確認された。本研究とはフリックキーボードを用いたかな入力を想定している点で類似しているが、直接画面に入力を行う点で異なる。

豊田ら [3] は、SHARK<sup>2</sup>の手法を日本語入力に用いられる 12 キー配列に応用し、単語の子音のみを一筆書きでなぞることで入力する「KanaShark」を提案した。経路形状から単語を確率的に推定するため、操作の曖昧さを許容しつつ高速な入力を可能としている。KanaShark は学習効果が顕著であり、フリック入力手法より有意に高速かつ少ない誤入力での入力が可能であることが示された。一方で、初期学習コストの高さが課題として示された。本研究とは、ウェアラブルデバイスに対する日本語の 12 キー配列での入力を想定している点で類似しているが、空中で入力を行わないという点で異なる。

林ら [4] は、眼鏡型ウェアラブル端末向けに、視界に含まれる物体から単語を予測し文章を提案する入力支援システムを提案した。音声入力に頼らず視覚を活用した新しい UI の可能性を示した。本研究とは入力予測を行う点で類似しているが、ユーザが文字入力を行わない点で異なる。

Krasner[5]らは、空中キーボードのキーの押下時や移動時に音による聴覚フィードバックを行うことで触覚情報を置き換える「Musikeys」を提案した。クリック音による押下・解放の提示で入力性能の改善が確認され、音によるキー移動や保持状態の提示にが触覚情報の代替として認識されることが示された。本研究も触覚情報を聴覚フィードバックによって置き換える。

Polsinelliら [6] は、Leap Motion を頭部に装着し、Raspberry Pi 4 を中心とするシングルボードコンピュータと小型のモバイル電源を組み合わせることで、完全に携帯可能なシステムを構築した。これにより、外部電源に依存せず、軽量かつ独立した動作が可能となり、屋外環境においても自然な手指追跡を実現可能となっている。さらに、異なる照明条件下でのロバスト性、CPU 使用率、温度管理、消費電力、フレームレートなどを詳細に評価し、携帯型システ



図 2 本研究の入力中のイメージ



図 3 入力時の入力文字列の決定

ムとしての安定性を実証している。特に、赤外線センサを用いた Leap Motion の特性により、照明環境の変動に対しても比較的安定した性能を維持できることが確認された。本研究とは Leap Motion のモバイル用途を想定している点で類似している。

## 3. 提案手法

本研究では、スマートフォンで一般的に使用されているテンキー形式のフリック入力を想定し、Leap Motion を用いて手指の位置情報を取得する。操作感を高めるためにタップ音やフリック音が再生され、入力結果は音声によってフィードバックされる。入力推定には形態素解析を利用し、推定された文字列を端末に送信することでリアルタイム入力を可能にする。これにより、学習コストが低く、既存のスマートフォンユーザにとって馴染みやすい入力方式を提供することができると考えた。入力中のイメージを図 2 に示す。

本研究の提案手法では、空中で入力を行うことを想定している。従来の物理キーボードでは、キーの押下や解放に伴う触覚フィードバックが入力精度を支えているが、空中キーボードではこの触覚情報が欠落しているため、別の情報でこれを置き換える必要がある。本研究では、これを聴覚へのフィードバックによって行う。

手指の情報を取得するシステムは、Ultraleap 社が提供しているハンドトラッキング用の開発キット Leap Motion SDK の C 言語ベースの API である LeapC と、これを Python から利用できるようにするオープンソースのライブラリ LeapC-Python-Bindings を使用した。手指の検出には、samples フォルダ内の visualiser スクリプトを改変したものを使用した。入力に対するフィードバックとして、タップ開始、フリック、タップ終了時のそれぞれで

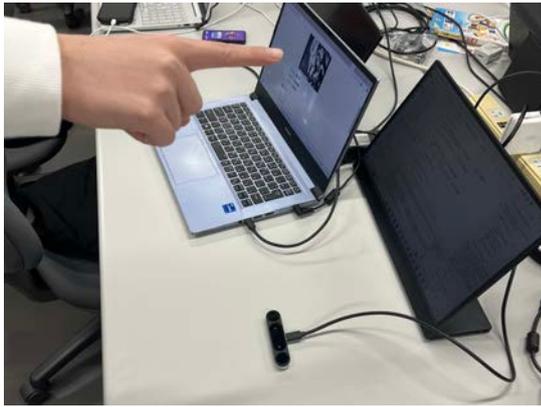


図 4 予備実験の様子

pygame で wav ファイルを再生することで音によるフィードバックを実装した。また、フリック方向ごとに異なる音が再生されるようにした。

手指の動きから想定されるひらがなの文字列の候補を複数生成し、それらに対して形態素解析をすることで、どの候補が最も妥当かの推定を行った。形態素解析には、オープンソースである Mecab の ipadic と Neologd 辞書を使用した。推定した文字列が辞書内にある文字と完全一致しているか、複合語になっているか、部分的に一致している文字列があるか、を調べそれぞれの文字列に対しスコアリングをした。一致した文字列の長さも影響するようにした。そして、最もスコアの高い文字列を最優先候補とした。入力例のひとつを図 3 に示す。赤い丸はタップ、赤い矢印はフリック、青い矢印は手の移動経路である。入力は左から順に「あした」、「たひま」、「まり」となり、この中で最も文字列のスコアが高い「あした」の位置のキーボードに決定される。

#### 4. 予備実験

音のフィードバックを含む入力システムと単語レベルの入力予測システムの確認のため、予備実験を実施した。

##### 4.1 実験内容

予備実験には、3人(男性3名、いずれも右利き、平均年齢 21.6 歳)の大学生が参加した。3人の被験者は普段は親指で入力を行っており、普段からテンキー形式のフリック入力を使用していた。

予備実験では、卓上に図 4 のように Leap Motion を置き、3人の被験者に対して画面にランダムに表示された 4~6 文字程度の単語を Leap Motion から 50cm 程度上で入力を人差し指でやるよう指定し、5 回分の入力速度と誤タップ率を記録した。この距離は、屋外で使用する際の最大限の位置として想定している。システムの理解のため、5 分の練習時間を設けた。操作感や学習コスト、利用意欲について 5 段階のリッカート尺度でアンケートを実施した。ア

表 1 予備実験アンケート項目

1.	システムの仕様は理解しやすかったか
2.	安心感をもって入力を行うことができたか
3.	入力システムは学習しやすかったか
4.	慣れれば使いやすかったか

表 2 実験結果

被験者	総タップ数	CPM	EPC
A	25	10.91	0.08
B	28	9.49	0.07
C	27	12.63	0.34
D(著者)	27	36.15	0.07

表 3 正しく文字が表示されなかった例

被験者	入力課題	生成された文字列
A	からあげ	からかけ
B	のりもの	のにももの
C	きょうしつ	しょくきぬ

ンケート内容は表 1 に示す。

また、本システムを継続的に利用している著者(被験者 D)についても、同一条件で入力課題を実施した。著者は長期の利用経験があり、予備実験の被験者 3 名と比較して入力動作に習熟していると考えられる。

##### 4.2 実験結果

予備実験の結果を表 2 に示す。被験者 3 名の平均入力速度は 11CPM(Character Per Minute)、平均誤タップ率(Errors Per Char)は約 16%であった。被験者 D(著者)の入力速度は 0.45CPM、誤タップ率は 7%となり、被験者 3 名の平均値と比較して、特に入力速度で長期の利用で大幅な上昇が見込まれることがわかった。CPM を比較したグラフを 5、EPC を比較したグラフを 6 に示す。

アンケートの結果として、「システムの仕様は理解しやすかったか」という問に対して、全員が「そう思う」と答えた一方で、「安心感をもって入力を行うことができたか」という問いに対して、2人があまり「そう思わない」と回答した。「入力システムは学習しやすかったか」と「慣れれば使いやすかったか」という問は、どちらも「ややそう思う」が最も多い回答となった。また、自由記述欄にて、「どの子音を入力しているかわからなかった」という回答があった。

##### 4.3 考察

表 2 から、本システムが長期のトレーニング期間を経ることで被験者 D 程度の入力性能を達成できると考える。タップ位置からの子音の検知については課題が残った。今回の予備実験において入力予測が誤っていた部分の大半は子音に関わるものであり、母音に比べて子音の推定が想定より不安定であることが確認された。

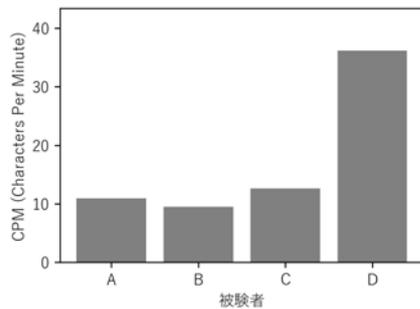


図 5 CPM

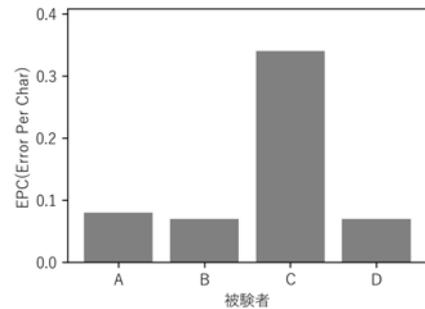


図 6 EPC

正しく文字が入力されなかったものの一部を表 3 に示す。表 3 に示すように、被験者 A と B の生成文字列は「からあげ→からかげ」「のりもの→のにももの」といった形で、いずれも 2 文字ずつからなる単語の組み合わせに誤りが集中していた。形態素解析を行った際に、候補文字列との 1 単語で完全一致するものを探し、次に複合語かどうかを判定しているが、「から」と「かげ」は不自然であり、文字のつながりを正しく扱えていない可能性があるため改善が必要である。また、タップ位置のわずかなずれが子音系列の判定に直接影響し、結果として近接する子音への置換が生じた可能性を示唆している。

被験者 C の結果「きょうしつ→しょくきぬ」は、他の二人と比較して誤りの程度が大きく、単語全体の構造が大きく崩れている。被験者 C は手指の全体的な動きが小さく、入力時のダイナミックな軌跡が十分に得られなかったことが原因と考えられる。動きが小さい場合、座標の変化が限定されるため、システム側で子音系列を推定する際の情報が不足し、誤りが累積的に拡大する傾向がある。このことは、隣接する子音が正しい可能性を考慮した辞書データの活用が必要であることを示している。

以上より、本予備実験では子音推定に関しては入力動作の個人差が大きく影響することが明らかとなった。特に、手指の動きが小さいユーザに対しては誤りが顕著に現れるが、ユーザ自身の継続的な訓練を行うことで入力習熟が進み、誤り率を低減できる可能性がある。

アンケートの回答より、「仕様は理解しやすかった」と全員が回答していることから、システムの設計意図や操作方法自体は明確に伝わっていると考えられる。その一方で、「安心感をもって入力できたか」に否定的な回答があるため、操作の理解と実際の使用感には差があることが示唆された。また、「学習しやすい」「慣れれば使いやすい」という設問で「ややそう思う」が最多であることから、直感的な操作性は一定程度あるが、習熟が必要な設計であることを意味していると考えられる。

## 5. まとめと課題

本研究では、ウェアラブル端末における入力課題を背景

に、Leap Motion を用いた非接触・非音声のかな入力方式を提案した。実験では、単語入力を対象に入力速度と誤タップ率を測定し、アンケートを実施した。その結果、フリック操作自体は高い精度で検知できる一方、子音の推定において誤りが多く発生することが確認された。特に、被験者 A と B では、タップ位置の微小なずれが誤りの要因となった可能性が示唆された。

今後の課題としては、子音推定の位置ズレと入力の動きが小さい人向けの設計がある。子音推定に関しては、微小なズレが緩和されれば長期的な訓練を行うことで誤りを減らし、安定した入力が可能になると考えられる。動きが小さい人向けの設計に関しては、手の角度に応じた子音選択を用いることで対応を考えている。最後に、屋外や移動中など多様な環境での利用を想定し、安定した入力性能を確保するための検証も必要である。

## 参考文献

- [1] RobotShop inc., RobotShop, 入手先 <<https://jp.robotshop.com/products/ultra-leap-motion-controller-2>>(参照 2025/12/18).
- [2] 鳥山 らいか, 宮下 芳明, “InvisibleFlick: 小型タッチスクリーン端末におけるキートップが透明な日本語入力キーボード”, 情報処理学会研究報告 ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol.2019-HCI-182, pp.1-8, 2019.
- [3] 豊田 真吾, 日下部 完, 坂本 大介, “KanaShark: SHARK<sup>2</sup>に基づく日本語ジェスチャ入力手法の検討”, WISS 2025, 2025.
- [4] 林 健太郎, 入江 英嗣, 坂井 修一, “単語予測と文章予測によるスマートグラス向けサジェストシステム”, WISS 2019, 2019.
- [5] Alexander Krasner, Joseph Gabbard, “MusiKeys: Exploring Haptic-to-Auditory Sensory Substitution to Improve Mid-Air Text-Entry”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.30, pp.2247-2256, 2024.
- [6] Matteo Polsinelli, Alessandro Di Matteo, Daniele Lozzi, Enrico Mattei, Filippo Mignosi, Lorenzo Nazzicone, Vincenzo Stornelli, Giuseppe Placidi, “Portable Head-Mounted System for Mobile Forearm Tracking”, Sensors 2024, Vol.24, pp.2227-2242, 2024.