



AR 技術を用いたデバイス基準の拡張 UI との インタラクションにおける触覚提示部位の予備的検討

Preliminary Experiment for Haptic Feedback Position in Interaction
with Device Based Augmented UI Using AR

小林優人¹⁾, 諸星一行¹⁾

Masato Kobayashi and Ikkou Morohoshi

1) 株式会社メルカリ (〒 106-6118 東京都港区六本木 6-10-1 六本木ヒルズ森タワー 18F, kmasato, ikkou@mercari.com)

概要: 近年, デバイスの表示領域・操作領域を AR を用いて拡張する研究が行われている. 一方で, AR オブジェクトに対して触覚提示を行う研究も盛んに行われている. しかし, デバイスが基準となる AR システムにおいては, 外部に触覚提示装置を用意せずともデバイス側で触覚提示を行うだけで十分な体験が可能であると考えた. 本稿では, AR を用いたデバイスの表示領域拡張における触覚提示部位の検討に関する予備的実験の結果について報告する.

キーワード: 触覚提示, 拡張現実, 複合現実, ウェアラブルデバイス

1. はじめに

何もない空間上に文字や図形, キャラクターなどを表示する AR 技術は SF 世界には欠かせない表現の一つである. しかし今や AR は一般的な技術となり誰でも気軽に開発・体験することのできる技術となった. 特に昨今では試着などのシミュレーションや道案内, ゲーム, 教育など AR は様々な方面で活用されている. また, AR は単に CG を現実空間に重畳するだけでなく既存のデバイスの機能拡張のためにも用いられている. 例えば, スマートフォンやスマートウォッチに代表されるウェアブルデバイスは携帯するという特性上, ディスプレイサイズの大規模化には限度があるため, 一度に提示できる情報量には限りがある. このような課題に対して AR 技術を用いて, ディスプレイの表示領域を拡大・拡張する研究が行われている [1][2]. 本稿ではこれらのようなデバイスの位置や姿勢に依存した AR を”デバイス基準の AR”と呼び, デバイス基準の AR とのインタラクションに焦点を当てる.

しばし, AR オブジェクトやバーチャル空間上のオブジェクトとのインタラクションにおいて, 触覚情報の欠如は問題となる. これらの問題に対して触覚提示デバイスを用いて触覚情報を補い, 操作性, 没入感を向上させる研究は数多く行われている. しかし, これらの提案のようにものに触れた際に触覚が生じる指先や手全体に触覚提示を行うのは自然なアイデアであるが, 同時にデバイスを装着することによる装着部位の感覚や可動域が制限される問題が生じる. 本研究で焦点を当てているデバイス基準の AR においても同様の問題の発生が考えられる. それに対し我々は, スマートフォンやスマートウォッチなど, すでに把持ないしは装着しているデバイスが基準となる AR オブジェクトと

のインタラクションにおいては, デバイス側で触覚提示を行うことで触覚フィードバックとして十分に機能すると考える. 本稿で焦点を当てているデバイス基準の AR はデバイスに依存・帰属したものであり, ユーザにとって AR もデバイスの一部と認識されると考えられるからである. つまり, デバイス側の触覚提示は AR と独立したのではなく, AR オブジェクトが受けた触覚刺激をデバイスを介してユーザに伝わった触覚であると解釈することができる. そのため, 指先に触覚提示デバイスを装着せずとも, デバイス側で触覚提示を行うことで十分な触覚フィードバックになると考えられる. 我々はデバイス基準の AR とのインタラクションにおける触覚提示部位に関して, 2つの仮説を立てた.

1. デバイス側の触覚提示は指先への触覚提示と同程度の触覚的手がかりとして機能し, AR オブジェクトに対する操作の正確性は向上する.
2. デバイス側の触覚提示は AR オブジェクトに対して指先への触覚提示時と同程度の使いやすさを持つ.

本稿では, これら 2つの仮説の真偽を確かめるため, デバイス基準の AR とのインタラクションにおける触覚提示部位の違いが操作の正確性・使いやすさに与える影響を調査した. 本稿ではスマートフォンベースのデバイス基準 AR システムの提案, 及びそのシステムを用いた実験結果について報告する.

2. 関連研究

バーチャル物体に触れた感覚を触覚提示デバイスを用いて指先に提示する研究は数多く存在する. Buchman らや Seo らは振動子が指や手全体に付けられた手袋を用いて AR

オブジェクトに触れた際に触覚フィードバックを行なった [3][4]。また, Schorr らは指先に皮膚変形を発生させるデバイスを作成し, バーチャルオブジェクトの質量や摩擦剛性を指先に提示した [5]。しかし, これらの研究のように指先に触覚提示デバイスを装着することは, 装置同士の干渉による可動範囲の制限や装着による違和感が生じる問題がある。このような装着型デバイスに対して, Monnai らは空中超音波触覚ディスプレイを用いることで, 空中像に触れた感覚を指や手に触覚提示する非装着型システムの提案を行なった。 [6]

3. 提案

AR やバーチャル空間のオブジェクトとのインタラクションにおいて, しばし触覚情報の欠如が問題になる。多くの研究では指先に触覚提示装置を装着することで触覚情報の補完を行っている。しかし, 触覚提示装置の装着はユーザにとって労力を要したり, 操作性の低下が懸念されるため現実的な解決策ではないといえる。この問題に対して我々は, デバイス基準の AR とのインタラクションにおいては基準となっているデバイス側で触覚提示を行うことで, 指先や手に触覚提示デバイスを付ける必要は無くなると考える。本研究で扱うデバイス基準の AR はユーザにとって AR オブジェクトもデバイスの一部として考えることができる。つまり, AR オブジェクトが指などから受けた触覚的刺激がデバイスに伝搬し, その結果としてデバイスから触覚提示が行われたと解釈するのは自然である。故に, デバイス基準 AR においては触覚デバイスを指先に装着する必要はなく, すでに把持ないしは装着しているデバイス側に触覚提示を行なっても十分な体験になると我々は考える。

4. 実験

4.1 実験概要

本研究では 1 章で立てた仮説を検証するため, AR オブジェクトとのインタラクションにおける触覚提示部位の違いが操作性に与える影響について調査する実験を行なった。本研究ではスマートフォンの横に AR で表示したテンキーを拡張 UI として使用し, ユーザが AR テンキーを入力したのと同時に触覚提示を行なった。図 1 被験者は右手にスマートフォンを把持し, 右手の人差し指を用いて AR テンキーの入力を行なった。スマートフォンの画面には 5 桁ランダムな数字が表示されており, 被験者は AR テンキーを用いて左から順に表示された数字の入力を行なった。その際, 1 文字のキー入力にかかった時間, 及びその正答を記録し各条件間の評価に用いた。また, 全試行終了後に図 6 示すアンケートに対して 5 段階で回答を行なった。

4.2 実験システム

実験では AR-HMD として North Star(Leap Motion.inc.)を用いた(図 2)。HMD の上部には Leap Motion(Leap Motion.inc.) が取り付けられており, 手の位置や向きをトラッキングすることができる。また, 現実上の手と Leap Mo-



図 1: 実験の様子。被験者はスマートフォンに表示された数字を AR テンキーを用いて入力する。押されたボタンは青色から赤色に変化する。

tion で認識されたコンピュータ上の手の位置は一致しており, AR オブジェクトと自然なインタラクションが可能である。スマートフォンには AR マーカが取り付けられており, AR-HMD の額付近に取り付けられた web カメラでマーカの位置や向きを取得しスマートフォンの姿勢の取得を行なった。このシステムと AR-HMD を用いることで, スマートフォンに追従する AR テンキーを実現した。ユーザは触覚条件に応じて図 3 のように振動子 (Force Reactor Type L, ALPS Inc.) を装着した。また, コンピュータから出力された触覚振動波形は Techtile Tool kit [7] を介して振動子に入力された。本実験では触覚振動波形として約 0.2sec の減衰正弦波を用いた。



図 2: North Star (AR-HMD)。上部には Leap Motion と web カメラが装着されている

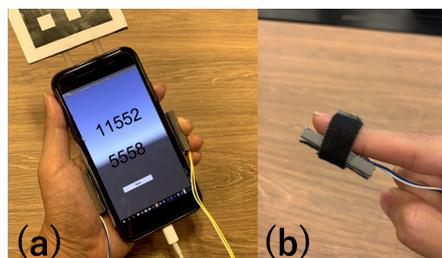


図 3: (a) スマートフォンを把持する手に接するように振動子が取り付けられている (b) 指先に振動子が取り付けられている

4.3 実験条件・手順

社内の公募で集った 12 名の被験者 (男性 8 名, 女性 4 名, 21-35 歳) で実験を行なった。実験では触覚提示条件として,

キー入力の際に触覚が何も生じない”Nothing”条件，スマートフォンを把持している手のひらに触覚を感じる”Palm”条件，キー入力を行なった指先に触覚を感じる”Finger”条件の3つの条件で実験を行なった。実験ではスマートフォンの画面に表示された1-9までの数字で構成される5桁のランダムな数字をARテンキーを用いて左から順に入力するタスクを行なった。その際、入力された文字は5桁の数字の下に表示され、被験者は入力した数字を常に確認することができた。また、数字が誤って入力された場合も入力された数字がそのまま表示された。5桁数字の入力後はすぐさま新たな5桁が表示され、被験者は5桁の数字入力を連続して6回行なった。5桁の数字を6回入力し終わるまでを1試行とし、被験者は3つの条件ごとに合計3試行行なった。

被験者は最初の試行の前にシステムの操作に慣れる3分程度の練習を行なった後、本番の実験を行なった。また、慣れによる上達の影響を避けるため実験条件は被験者ごとにランダムな順序で行なった。

4.4 実験結果

まずはじめに、二度打ちによる誤入力、トラッキングが外れてしまうなどのトラブルにより生じた不適切なデータは5%水準のスミルノフ・グラブス検定を行い除外した。データの除外によって、Nothing条件は325サンプル、Palm条件は317サンプル、Finger条件は329サンプルとなった。本稿ではこれらを実験データとして扱った。

図4に触覚提示条件ごとの正答率の結果を示す。Kruskal-Wallis検定を行なった結果、各条件間に有意差は確認されなかった($p > .05$)。図5に触覚提示条件ごとのキー入力にかかった時間を示す。一元配置分散分析を行なった結果、各条件間に有意差は確認されなかった($p > .05$)。この2つの結果から本実験タスクは触覚の有無、及び触覚提示部位の違いに寄らず実行できることがわかった。

全タスク終了後に行なったアンケート結果を図6に示す。「入力のし易さ」においてFriedman検定を行なった結果、主効果が確認された($p = .002$)。各条件間でBonferroni/Dunn検定による多重比較を行なった結果、Nothing-Palm間で有意差が確認された($p = .019$)。また、Nothing-Finger間においても有意差が確認された($p = .002$)。Nothing条件の評価が一番低いことから提示部位によらず触覚があったほうが主観的に入力し易く感じたことがわかる。

「触覚のわかりやすさ」においてWilcoxonの符号付順位検定を行なった結果、各条件間で有意差は確認されなかった($p > .05$)。この結果から、触覚提示のわかりやすさに関してはスマートフォンを把持している手のひらと指先の間には大きな差がないことがわかった。

「提示された触覚の好み」においてWilcoxonの符号付順位検定を行なった結果、各条件間で有意差は確認されなかった($p > .05$)。しかし、多くの被験者は指先への触覚提示の方が好む傾向にあることがわかった。

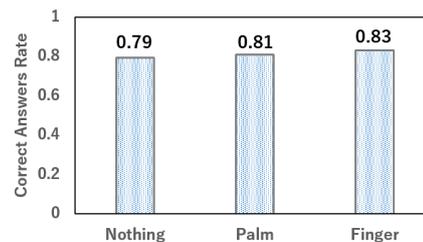


図4: 触覚提示条件ごとのキー入力の正答率

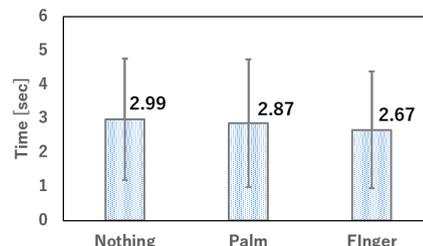


図5: 触覚提示条件ごとのキー入力にかかった時間

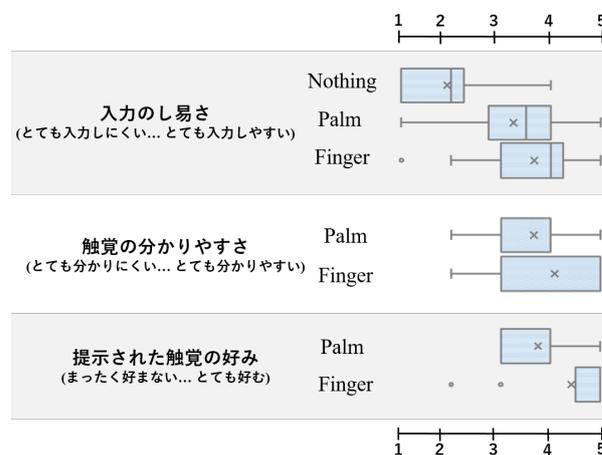


図6: 各アンケート項目の回答結果。×印は平均値を表す。

4.5 考察

図4の結果より、触覚の有無、提示部位の違いによって正答率は大きく変化しなかった。また、テンキーを入力するという単純なタスクにおいて、どの条件も正答率が8割程度と低くなった原因として本システムの操作の難しさが考えられる。今回の実験で初めてLeap Motionによるハンドトラッキングを体験した被験者が多数を占めており、操作に苦戦してた被験者が数名いた。

当初我々は、触覚フィードバックがキー入力時の手がかりとして機能し、触覚がない条件と比べてキーとの接触時間が短くなると考えたが、図5の結果からは実験条件の違いによる差は確認されなかった。この原因として、キー押し込み時にキーの色が赤色に変わる視覚情報が被験者にとって触覚以上の手がかりになったためであると考えられる。しかし、数名の被験者からは触覚提示があることでキー入力を受け付けられたタイミングがわかり易かったというコメントがあった。また、実験後行なったアンケート結果からも触覚提示がある方が主観的に入力し易かったことがわかる。このことから触覚提示はAR表示されたUIとのインタラ

クションにおいて重要な要素であり、ユーザの使用性に影響を与えるといえる。

図6の結果より「入力のし易さ」、「触覚のわかりやすさ」、「提示された触覚の好み」のどの項目においても Palm 条件と Finger 条件の間に大きな差は確認されなかった。このことから本実験で用いたボタンを押した際に生じる単純な振動触覚提示においてはデバイスを把持する手のひらへの触覚提示でも十分であることがわかる。

5. 結論

本研究では、スマートフォンやスマートウォッチなど、デバイスの画面や UI を拡張する AR 技術を”デバイス基準の AR”と定義した。AR オブジェクトとのインタラクションにおいては、オブジェクトに触れる指や手に触覚フィードバックを行うのが一般的であるが、我々はデバイス基準の AR ではデバイス側で触覚提示を行うだけでも触覚フィードバックが十分に機能すると考えた。本稿ではデバイス基準の AR における触覚提示部位の違いが操作性に及ぼす影響に関して 2 つの仮説を立てた。

これら 2 つの仮説の真偽を確かめるべく、スマートフォンの横にテンキーを AR で重畳させたデバイス基準の AR システムを用意し、Nothing 条件、Palm 条件、Finger 条件の 3 つの触覚提示条件で実験を行なった。結果として、これら 3 つの条件において正答率、キー入力にかかる時間について大きな差は無かった。特に今回の実験結果からは触覚の有無により、AR オブジェクトの操作の正確性の向上は確認されなかった。そのため今回得られた結果からは、仮説 1 を立証することはできなかった。しかし、実験後行なったアンケートの結果からは”Palm”条件と”Finger”条件の間に有意差は確認されず、デバイス基準の AR においてデバイスを把持している手のひらへの触覚提示は AR オブジェクトに触れる指先への触覚提示と同程度の使用性があることがわかった。よって仮説 2 は正しかったと考えられる。

本稿ではデバイス基準の AR における触覚提示部位の予備的検討として、デバイスを把持している手のひらと AR オブジェクトに触れる指先への触覚提示の比較実験を行なった。今後は、今回得られた結果がデバイス基準の AR に由来するものであるか確かめる実験を行う。

参考文献

- [1] Erwan Normand and Michael J McGuffin. Enlarging a smartphone with ar to create a handheld vesad (virtually extended screen-aligned display). In *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp. 123–133. IEEE, 2018.
- [2] Jens Grubert, Matthias Heinisch, Aaron Quigley, and Dieter Schmalstieg. Multif: Multi fidelity interaction with displays on and around the body. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3933–3942. ACM, 2015.
- [3] Volkert Buchmann, Stephen Violich, Mark Billingham, and Andy Cockburn. Fingertips: gesture based direct manipulation in augmented reality. In *Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia*, pp. 212–221. ACM, 2004.
- [4] Byung-Kuk Seo, Junyeoung Choi, Jae-Hyek Han, Hanhoon Park, and Jong-Il Park. One-handed interaction with augmented virtual objects on mobile devices. In *Proceedings of The 7th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry*, p. 8. ACM, 2008.
- [5] Samuel B Schorr and Allison M Okamura. Fingertip tactile devices for virtual object manipulation and exploration. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3115–3119. ACM, 2017.
- [6] Yasuaki Monnai, Keisuke Hasegawa, Masahiro Fujiwara, Kazuma Yoshino, Seki Inoue, and Hiroyuki Shinoda. Haptomime: mid-air haptic interaction with a floating virtual screen. In *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 663–667. ACM, 2014.
- [7] Kouta Minamizawa, Yasuaki Kakehi, Masashi Nakatani, Soichiro Mihara, and Susumu Tachi. Techtile toolkit. In *IEEE Haptics Symposium*, 2012.