

LensTouch: スマートグラスのレンズ面を使った入力手法

川崎 竜也* 真鍋 宏幸*

概要. スマートグラスは、ユーザに拡張現実 (AR) を体験させるだけでなく、大画面での映画や動画の観賞などを可能にさせるデバイスである。主な入力手法として、眼鏡のフレームでのタッチ入力や音声入力、ハンドジェスチャ入力などがあるが、いずれも入力の制限や入力速度の遅さなどの問題がある。この問題に対し本論文では、レンズ面でタッチ入力を行うことでスマートグラスへの入力語彙を増やす LensTouch を提案する。抵抗膜方式のタッチパッドとスマートグラスを組み合わせることで実装を行った。評価実験から、ユーザは設定に応じて素早く正確にターゲットを選択できることがわかった。次に、テキスト入力、音楽プレーヤ、ゲームの3つのアプリケーションの作成を行った。テキスト入力における入力速度とエラー率は 5.54WPM と 15.3% であり、残りの2つのアプリケーションにおいても、ユーザから肯定的な感想が得られたことから、提案手法の有用性を確認することができた。

1 はじめに

現在、Google Glass や Hololens, XREAL Air などのスマートグラスと呼ばれる光学シースルーなディスプレイを備えた眼鏡型デバイスが発売されている。スマートフォンのような携帯型のディスプレイやテレビのような固定型のディスプレイとは異なり、スマートグラスはユーザの労力を必要とせず常に利用可能な視聴覚体験の機会をユーザに提供する。スマートグラスを装着することで、大画面で映画を見たり、ゲームをプレイすることが可能である。さらに、Hololens のような周囲の物理環境の情報を取得できるスマートグラスでは、テーブルや棚などの実際の物体の上や周囲に“ホログラム”を表示させることもできる。現状のスマートグラスに使用されている標準的な入力手法は、デバイスによって異なっており、例えば、Google Glass では眼鏡のフレームでタッチ入力を行うことができる。Hololens にはハンドトラッキングやアイトラッキングなどの機能が備わっているため、空中でのハンドジェスチャや、仮想オブジェクトへのタッチ、音声コマンドなどによる入力手法が可能である。スマートグラス自体に入力機能は備わっておらず、PC やスマートフォンなどの外部デバイスを入力デバイスとして使用する XREAL Air のようなスマートグラスもある。これらのスマートグラスに使用されている標準的な入力手法には、入力の制限や入力速度の遅さなどの課題がある。例えば Google Glass の眼鏡のフレームでのタッチ入力では、1次元の入力しかできないため入力語彙がとても少ない。アイトラッキング機能を使用した視線入力では、ジェスチャ入力やマルチタッチのようなインタラクションに拡張することが困難

である。ハンドトラッキング機能を使用したハンドジェスチャ入力では、使用する上でユーザの周囲にある程度スペースが必要であり、使用環境に制限がある。

これらの問題を解決するため、スマートグラスのレンズ面を使った入力手法である LensTouch を提案する。なお、本研究の一部は UIST2023 においてデモ発表予定 [8] であり、本論文では、そこに含まれていない実装や実験の詳細について報告する。

2 関連研究

2.1 スマートグラスの標準機能を用いた入力機能の拡張

スマートグラスの入力機能を拡張するために、様々な研究が試みられてきた。Chun らはスマートグラスのフレームをタッチパッドとして使用することで、1次元の一筆書きでのテキスト入力を実現した [14]。ほかにも、スマートグラスのブリッジに赤外線カメラを下向きに固定し、手と顔のジェスチャによって入力を行う研究 [13] もある。これらの研究は、ジェスチャ入力によってテキスト入力やスワイプ操作、電話をかけるなど様々な入力が可能である。しかし、ジェスチャ入力にはユーザが複数のジェスチャを覚えなければならぬ問題がある。[13] では 21 個ものジェスチャが用意されており、誰でもすぐに使うということは難しい。

スマートグラスでの標準的な入力手法として視線入力があり、視線を使ってテキスト入力を行う研究が存在する [2, 10]。視線入力は、ハンズフリーな入力が可能であるが、ミダスタッチ問題を回避する必要がある [3]。

2.2 外部デバイスを用いた入力機能の拡張

ジェスチャや視線入力以外にも、コントローラやスマートウォッチなどの外部デバイスを入力デバイスとして用いることで、スマートグラスやVRHMDの入力機能の拡張を行った研究が存在する。例えば、スマートグラスを装着しながら、手元のコントローラでの入力と音声入力の両方を用いてテキストを編集する研究 [4] や、スマートウォッチや手首に装着したセンサでテキスト入力を行う研究などがある [1, 12]。ほかにも、VRHMDを装着しながら人差し指に取り付けた指輪の向きの情報を取得しテキスト入力を行う研究 [6] などがある。このようにスマートグラスやVRHMDを装着しながら外部デバイスで入力を行うことで、現状の標準的な入力手法の問題点を解決することができる。例えばPalmType[12]では、Google Glassの眼鏡のフレームによるタッチ入力の問題点の1次元の入力しかできない点を、手首に装着したセンサを使って手のひらで入力を行うことにより解決している。しかし、これらの研究のように外部デバイスを用いた入力手法は、入力をする前にセンサやデバイスを体に取り付ける必要があったり、コントローラを持つことで手が塞がってしまう。LensTouchでは、スマートグラスのレンズ面で入力を行うため、すぐに入力を始めることが可能であり、外部デバイスによって手が塞がることもない。

2.3 VRHMD への入力デバイスの組み込み

入力手法に関する研究には、元々デバイスに備わっているセンサを使って行うものや、外部デバイスを使うもののほかに、スマートグラスやVRHMD本体に新たな入力デバイスを組み込む方法も取り組まれている。例えば、HMK[7]は、VRHMDの左右の側面に取り付けた分割型のキーボードでテキスト入力を行う研究である。ユーザは、VRHMDを装着した状態で実際にQWERTY配列のキーボードを使ってテキスト入力ができる。しかし、ユーザはテキスト入力を行うキーボードを直接見ることができないため、タッチタイピングが可能な熟練ユーザしか使用することができない。

FaceTouch[5]は、VRHMDの前面に配置されたタッチパッドを使用する。ユーザは、ディスプレイ上の視覚的な補助を受けながらタッチ入力やテキスト入力を行うことができる。このデバイスでタッチ入力を行う場合、ユーザは自身の指を見ることができない。そのため、表示されているオブジェクトを選択する際には、まずタッチパッド表面上のおよその位置に指を置き、次に選択したいオブジェクトの位置まで指を移動する必要がある。LensTouchは、FaceTouchをベースとし、VRHMDをスマートグラスに置き換えたものである。

2.4 目から近い位置でのタッチ入力手法

Blurry Touch Finger[9]は、クリップでスマートフォンにレンズを装着しただけの簡易型HMD(俗称はEasyVR)におけるタッチ入力の研究である。通常のHMDと違い、EasyVRではディスプレイの周囲を覆うカバーがないため、ユーザはディスプレイ(スマートフォン)に直接触れることができる。これをタッチ入力として用いることができるが、指が目とディスプレイの間に置かれるためユーザは対象物を視認できない、また指が目と近接しているため指がぼやけて見えてしまう、という課題がある。これらの課題に対し [9] では、ユーザは逆の目を使うことでタッチする対象のオブジェクトを見ることができると、そしてある程度の大きさのオブジェクトであれば正確な入力が可能であることを示した。LensTouchにおいても、目からの距離が近いスマートグラスのレンズ面を入力面としている。そのため指が目から近すぎることで指がぼやけて見えてしまう懸念点が存在する。しかし、この研究のように指がぼやけている状態であっても入力ができる可能性がある。

3 LensTouch

本論文においてスマートグラスのレンズ面とは、スマートグラスの外側の表面のことを指す。レンズ面の表面は、タッチ入力のための有力な候補であるにもかかわらず、光学シースルーの眼鏡型ディスプレイではあまり研究されていない。その主な理由として、指が目から近すぎるため正確なタッチ入力が難しい点や、タッチ入力によってレンズ面が汚れてしまう点などが挙げられる。前者については、[9]や[5]で示されているように、キャリブレーションや入力の確定方法などの実装上の工夫により正確なタッチ入力を実現できる可能性がある。また、スマートグラスの多くは映像のコントラストを向上させるために暗いレンズを採用しているため、指が触れることでレンズ面が汚れてしまう後者の課題については、あまり問題にはならないと考えられる。これらのアイデアに基づき、本論文ではスマートグラスのレンズ面をタッチして入力を行うLensTouchを提案する。FaceTouch[5]と似ているが、FaceTouchではVRHMDの前面にタッチパッドを設置しており、ユーザは入力する自身の指を直接見ることができない。一方でLensTouchは、光学シースルーなスマートグラスのレンズ面にタッチ入力を行うため、ユーザは指がレンズ面に触れる前から自身の指を直接見ることができる。自身の指を直接見ながらターゲットや仮想オブジェクトをタッチすることができるため、FaceTouchと比較して正確で素早い入力が期待できる。また、スマートグラスに表示された仮想オブジェクトだけでなく、ユーザの周囲にある物理

オブジェクトを選択する際にも適用できると考えられる。さらに、LensTouchはタッチによる入力であるため、タッチジェスチャやマルチタッチなど、既存の様々なタッチインタラクションと組み合わせることもできる。左右両方のレンズ面を使うことで、入力語彙を増やすことも可能である。このように、LensTouchはスマートグラスへの効果的な入力手法として期待することができる。

3.1 実装

XREAL Air¹は市販されているスマートグラスの1つであり、PCやスマートフォンなどと接続することで、接続した画面を空中に表示することができる。そのレンズ面に、35mm×42mmの1.8インチ透明抵抗膜方式タッチパッドを紫外線硬化樹脂で左右のレンズ面にそれぞれ1枚貼り付け、LensTouchの実装を行った(図1)。XREAL Airのレンズ面は比較的平らであり、レンズ面に指でタッチしてもタッチパッドが取り付けられていることに関する違和感はあまり感じられない。ユーザは、ディスプレイを通して指の動きとディスプレイ上の映像の両方を見ることができる。実際にユーザがレンズ面にタッチした際のユーザの視点は図2のようであり、接近した指はぼやけて見える。タッチパッドの出力はArduinoでタッチ座標に変換され、シリアル通信でPCに送られる。スマートグラス自体はPCに接続され、そのPCの画面がスマートグラスから4mの距離に130インチサイズ相当で表示される。

ユーザごと、あるいは同一ユーザであってもデバイスの装着具合が変わり、目とディスプレイおよびレンズ面の相対的な位置関係に変化が生じると、スクリーン位置とタッチ位置の関係も変化する。そのため、使用前にタッチしたい座標と実際にタッチした座標の差を較正することが必要となる。これを実現するために、左上、左下、右上、右下、中央の5点をタッチすることによる簡単なキャリブレーションの実装を行った。

レンズ面での入力に関する研究があまりされていない理由のひとつに、指が触れることでレンズ面が汚れてしまう点が考えられた。しかし、実際にLensTouchを使用したユーザからは指紋の汚れにより画面が見えづらいなどの指摘は得られなかった。

4 実験

提案手法の懸念点として、指がぼやけて見える、タッチパッドが小さすぎて正確なポインティングができないことなどが挙げられる。そこで、20代の被験者5人を対象に、提案手法のポインティング性能を評価する実験を行った。

各被験者はまず、実験前に左右どちらのレンズ面



図1. 2枚のタッチパッドを取り付けたスマートグラス。

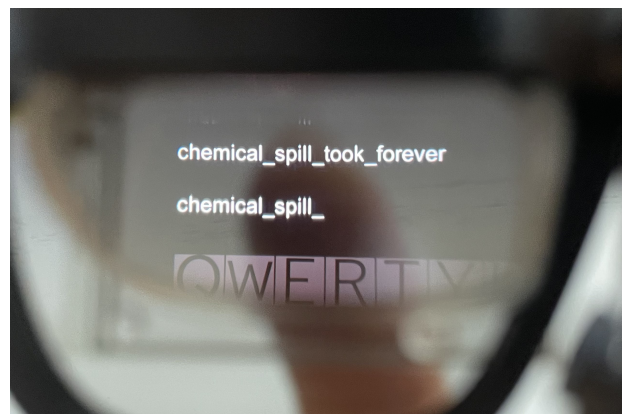


図2. タッチした際のユーザの視点。

を使用するか選択した。次にキャリブレーションを行い、その後15分程度ポインティングの練習を行った。実験では、各被験者が異なる数のターゲットを用いて3つのポインティングタスクを行う。ポインティングタスクのターゲットの数はそれぞれ9個(3x3)、21個(3x7)、45個(5x9)の3種類である(図3)。図3からわかるように、ターゲットの数を増やすと、ターゲットのサイズは小さくなる。例えば、9個のターゲットの場合、ターゲットの幅は4メートルの距離で770ミリ相当、45個の場合、260ミリ相当となる。ターゲットは大きく見えるように感じられるが、タッチパッド上の幅は、9個のターゲットの場合で10.8mm、45個のターゲットで3.6mmに相当する。上記のタッチパッド上のサイズは、タッチパッド全体をユーザの入力範囲として使用する場合の値であるが、キャリブレーションによって被験者それぞれの入力可能範囲はタッチパッドの一部に制限されるため、実際のタッチパッド上のサイズは上記よりもさらに小さくなる。タッチする対象のターゲットは赤く表示されており、ユーザがレンズ面にタッチ

¹ <https://www.xreal.com/jp/air/>

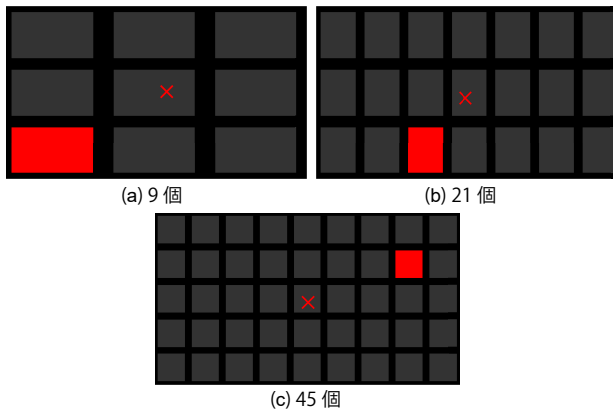


図 3. ターゲットの数.

すると、タッチ位置は図3のように×印で表示される。タッチ位置と赤く表示されているターゲットの位置が重なると、ターゲットの色は赤から青に変わる。ターゲットが表示される位置は図3のように固定であるが、次に選択すべきターゲットの順番はランダムである。被験者が指でタッチパッドにタッチした際の選択座標の確定方法として、「リリース」と「タッチ」の2つがある。両者の違いは座標を確定するタイミングである。リリース法では、タッチパッドから指を離れたタイミングでの座標を取得し、それを選択座標とする。タッチ法では、指がレンズ面に触れた瞬間の座標を選択座標とする。なお、今回は確定のタイミングを意識させるためにタッチ法の実装・テストを行ったが、実際の場面ではリリース法でほとんどのケースをカバーできる。5人の被験者それぞれは9個、21個、45個のターゲットの数の順番で実験を行った。ターゲットの数が9個であれば9回タッチした時点で9個のターゲットの実験は終了となる。実験の際には、ターゲットへのタッチの成功の判定や、ターゲットが赤くなってからタッチが終了するまでの時間を測定した。

4.1 実験結果

図4に各確定方法の平均タッチ成功率を示す。リリース法は最初のタッチでターゲットを外してしまったとしても指を動かし選択座標を修正することができるため、成功率が高くなる。実際、全ての場合でリリース法はタッチ法よりもタッチ成功率が高い。

特に45個のターゲットでは、タッチ法の成功率が約30%であるのに対し、リリース法では約90%であった。

図5に、タッチすべきターゲットが表示されてからタッチするまでの平均時間を示す。タッチ法はリリース法よりもタッチをするまでの時間が短く、素早い選択が可能である。また、リリース法はターゲットの数が増加しサイズが小さくなるにつれてタッチに時間がかかるようになっている。

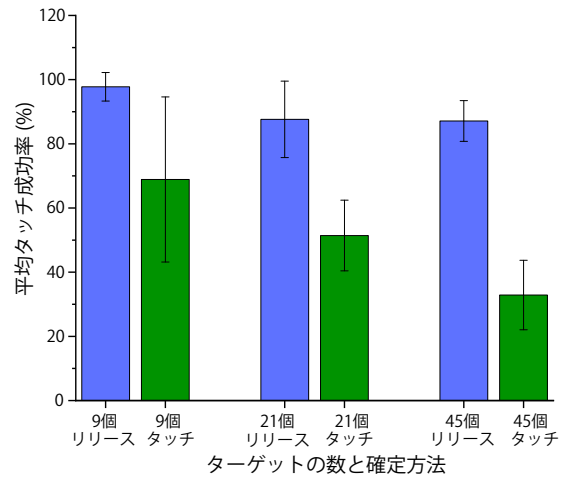


図 4. 平均タッチ成功率.

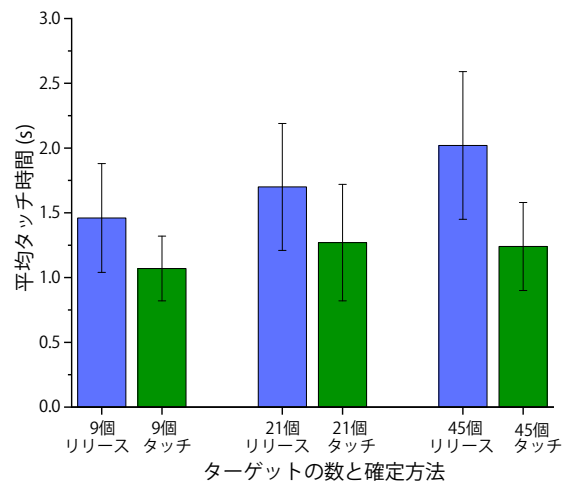


図 5. 平均タッチ時間.

5 アプリケーション

LensTouchは、タッチによるオブジェクトの選択やジェスチャなどを用いて様々なアプリケーションに適用することができる。アプリケーションによってLensTouchに要求される速度や精度が異なるため、アプリケーションに合わせて適切な設定を適用する必要がある。そこで、要求される速度や精度が異なる3つのアプリケーション（テキスト入力、音楽プレーヤ、ゲーム）の実装を行い、提案手法の有用性の検証を行った。

5.1 テキスト入力

テキスト入力のアプリケーションでは、スピードよりも正確さが重要である。ユーザは図6のように表示された仮想QWERTYキーボードで入力を行う。

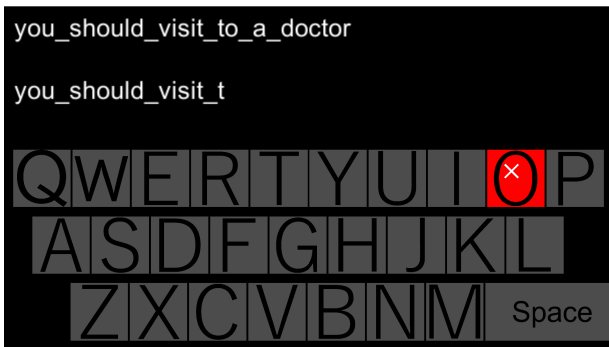


図 6. テキスト入力アプリケーション.

正確さが重要であるため入力の確定方法はリリース法で行い、指をキーに重ねるとそのキーは赤くなり、指を離すとそのキーが入力される。入力した文字を削除する際には、入力に使用していないレンズ面にタッチすることで、テキストを削除する。その際にタッチする位置はどこでもよく、位置によって機能が変わることはない。今回実装したテキスト入力のアプリケーションの評価を行うため、20代の5人の被験者を対象に WPM とエラー率を測定した。測定をする際、被験者は15分程度練習を行った後に、1文につき16～43文字で構成される5文を入力した。入力する文章は、図6のように全て英文である。なお WPM は、例文の文字列を5文字（スペースを含む）で1ワードとみなして、次式で算出する [11].

$$WPM = \frac{\text{例文の文字数}}{5 \text{ 文字}} \times \frac{60 \text{ 秒}}{\text{入力完了時間 (秒)}} \quad (1)$$

また、間違えて入力した文字を含めた入力文字数に対する、削除した入力数の割合をエラー率として次式で算出する。

$$\text{エラー率 (\%)} = \frac{\text{削除の入力数}}{\text{入力文字数}} \times 100 \quad (2)$$

測定の結果、5人の被験者の入力速度は平均で5.54WPM、エラー率は15.3%であった。

5.2 音楽プレーヤ

音楽プレーヤはボタンの数が少ないため、素早いボタンの選択が可能である。音楽プレーヤは図7(a)のように再生と巻き戻し、早送り、+と-の音量ボタンの5つのボタンで実装した。この音楽プレーヤはボタンの数が少なく、1つ1つのボタンも大きいため、入力の確定方法はタッチ法で行った。ユーザは再生ボタンや音量ボタンに触れるだけで音楽プレーヤを操作でき、スマートグラスを装着したまま音楽を楽しむことができる。実際に使用したユーザからは「じっくりと指とボタンを合わせる必要がないため

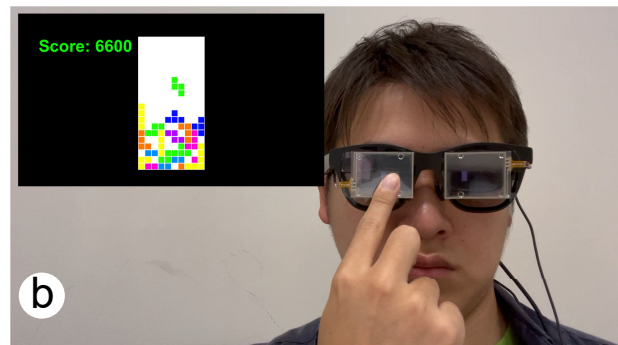
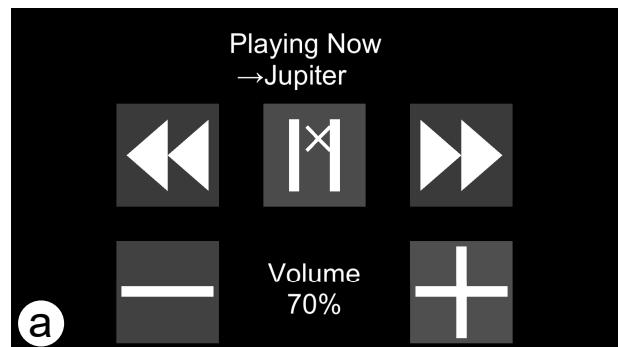


図 7. 2つのアプリケーション。(a) 音楽プレーヤ。(b) ゲーム.

操作しやすい」という感想が得られた。また、音量ボタンは連続で押すことが多く、それによりスマートグラスがずれてしまったり鼻パッドが押されることによる多少の痛みなども予想されるが、問題なく連続で押すことが可能であった。

5.3 ゲーム

左右両方のレンズを使い、素早い入力が必要な例として、「テトリス」を図7(b)のように実装した。図7(b)は実際にゲームをプレイしているユーザの図であり、左上の画像がユーザがスマートグラスを通して見えているゲームの画面である。テトリスの基本的な操作には、ブロックの左右の移動と回転、下へ落ちるスピードを上げるの4つがある。一方のレンズ面の左右をタッチすると、ブロックが左右に動く。もう一方のレンズ面の上半分をタッチするとブロックが右に90度回転し、下半分をタッチするとブロックが下に移動するスピードが上がる。実際に使用したユーザからは、「今までにない感覚と操作感で面白い」という肯定的な感想を得ることができた。一方で、「レンズ内での右と左の境界線が分からなくなる」というコメントがあった。ユーザからの視点では、レンズの(1つのレンズ内での)左右の境界は不明瞭であり、レンズの右半分をタッチしたつもりが実際にはレンズの左半分をタッチしていたというミスがプレイ中に発生していた。また、「左右

のレンズで異なる操作をするため操作のミスが起りやすい」という問題点も指摘された。

6 議論

LensTouch は、関連研究で挙げた FaceTouch[5] の VRHMD をスマートグラスに置き換えたものである。両者の違いとして、タッチ入力の際にユーザの指が直接見えるか見えないかという点がある。その影響の1つに、タッチパッドに指を置く位置の違いがある。指が見える LensTouch では、最初のタッチで選択したいオブジェクトの近くに指を置くことができる。一方、FaceTouch のように指が見えない場合には、およその位置に最初に指を置くことになる。そのため指が直接見える方が素早い入力が期待される。一方で、今回の実装で使ったタッチパッドのようにとても小さい入力面では、最初に指を置く位置は入力速度にあまり関係がない可能性もある。今後、指が見える状態と見えない状態でのタッチ入力の違いについて明らかにしていく必要がある。

静電容量方式ではなく抵抗膜方式のタッチパッドを使用しているため、現在の実装では1つのタッチパッドに対してシングルタッチしかサポートしていない。マルチタッチの実装が可能な静電容量方式のタッチパッドで実装ができれば、デザインスペースをさらに広げることができる。その具体例として、スマートグラスを装着したまま、ディスプレイに表示されている地図をピンチイン/アウトジェスチャにより拡大縮小したり、2本の指で上下にスライドすることで上下に画面をスクロールしたりできる。このように普段スマートフォンなどで行っている作業をスマートグラス上で同様に行うことが可能となる。今回スマートグラスのレンズ面のサイズに合った小さいサイズの静電容量方式のタッチパッドが見つけれなかったため、抵抗膜方式のタッチパッドを採用したが、今後はレンズ面のサイズに合った静電容量方式のタッチパッドの作成を行っていききたい。また、抵抗膜方式のタッチパッドでは、タッチが検出されるためにある程度の押下圧が必要となる。それに伴い、実験では誤入力や入力時間の遅延が見られた。静電容量方式のタッチパッドに切り替えることで、それらの課題の改善も見込まれる。

今回使用した XREAL Air は、PC やスマートフォンの画面をディスプレイに表示させることができるが、アイトラッキングやハンドトラッキングの機能は備わっていない。一方 Hololens にはアイトラッキングやハンドトラッキングの機能が備わっているため、視線入力やハンドジェスチャ入力が可能である。この Hololens に LensTouch を実装できれば、タッチ入力と視線入力またはハンドジェスチャ入力を組み合わせたインタラクションが可能となる。しかし、Hololens はレンズ面が曲面になっているため、今回と同じ実装方法でタッチパッドを取り付け

ることはできない。そのため、Hololens に実装するためには、曲面に対応するタッチパッドの実装方法などを検討をする必要がある。

本論文の実装では、スマートグラスに表示されている PC の画面のオブジェクトを選択している。今後のインタラクションの拡張として、ユーザの選択できる範囲を表示されている画面だけではなく、ユーザ周囲の環境のオブジェクトにまで拡張することが考えられる。具体的な実装方法としてスマートグラスにカメラを取り付け、ユーザの周囲にある物理オブジェクトを認識する。そしてユーザがスマートグラスを装着した状態で物理オブジェクトをレンズ面でタッチすることで、物理オブジェクトの選択ができる。このように物理オブジェクトの選択が可能になることで、周辺環境を利用したゲームやインタラクションを実現することもできる。

7 まとめ

本論文では、スマートグラスのレンズ面を使ったタッチ入力技術である LensTouch を提案し、レンズ面に抵抗膜方式のタッチパッドを取り付けることで実装を行った。指がレンズ面から離れた座標を選択座標とするリリース法と、指がレンズ面に着地した座標を選択座標とするタッチ法の2つのタッチ確定方法を実装し、評価実験を行った。3種類のポインティングタスクを用いて評価実験を行った結果、ユーザはターゲットの数やタッチの確定方法に応じて、ターゲットを素早く、または正確に選択できた。次に、入力に対する要求条件の異なる3つのアプリケーション（テキスト入力、音楽プレーヤ、ゲーム）の実装を行った。テキスト入力アプリケーションを用いて、入力速度 5.54WPM、エラー率 15.3% でテキスト入力を行うことができた。また、音楽プレーヤ、ゲームを実際に利用したユーザからは、肯定的な感想を得ることができた。

参考文献

- [1] S. Ahn, S. Heo, and G. Lee. Typing on a Smartwatch for Smart Glasses. In *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, ISS '17*, p. 201–209, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [2] S. Ahn and G. Lee. Gaze-Assisted Typing for Smart Glasses. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '19*, p. 857–869, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [3] C. Elmadjian and C. H. Morimoto. GazeBar: Exploiting the Midas Touch in Gaze Interaction. In *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*,

- CHI EA '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [4] D. Ghosh, P. S. Foong, S. Zhao, C. Liu, N. Janaka, and V. Erusu. EYEditor: Towards On-the-Go Heads-Up Text Editing Using Voice and Manual Input. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, p. 1–13, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [5] J. Gugenheimer, D. Dobbstein, C. Winkler, G. Haas, and E. Rukzio. FaceTouch: Enabling Touch Interaction in Display Fixed UIs for Mobile Virtual Reality. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, p. 49–60, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [6] A. Gupta, C. Ji, H.-S. Yeo, A. Quigley, and D. Vogel. RotoSwipe: Word-Gesture Typing Using a Ring. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, p. 1–12, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [7] W. Hutama, H. Harashima, H. Ishikawa, and H. Manabe. HMK: Head-Mounted-Keyboard for Text Input in Virtual or Augmented Reality. In *Adjunct Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '21 Adjunct, p. 115–117, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [8] T. Kawasaki and H. Manabe. LensTouch: Touch Input on Lens Surfaces of Smart Glasses. In *Adjunct Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '23 Adjunct, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [9] Y. R. Kim, S. Park, and G. J. Kim. “Blurry Touch Finger”: Touch-Based Interaction for Mobile Virtual Reality with Clip-on Lenses. *Applied Sciences*, 10(21), 2020.
- [10] X. Lu, D. Yu, H.-N. Liang, and J. Goncalves. IText: Hands-Free Text Entry on an Imaginary Keyboard for Augmented Reality Systems. In *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '21, p. 815–825, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [11] R. W. Soukoreff and I. S. MacKenzie. Metrics for Text Entry Research: An Evaluation of MSD and KSPC, and a New Unified Error Metric. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, p. 113–120, New York, NY, USA, 2003. Association for Computing Machinery.
- [12] C.-Y. Wang, W.-C. Chu, P.-T. Chiu, M.-C. Hsiu, Y.-H. Chiang, and M. Y. Chen. PalmType: Using Palms as Keyboards for Smart Glasses. In *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '15, p. 153–160, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [13] Y. Weng, C. Yu, Y. Shi, Y. Zhao, Y. Yan, and Y. Shi. FaceSight: Enabling Hand-to-Face Gesture Interaction on AR Glasses with a Downward-Facing Camera Vision. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [14] C. Yu, K. Sun, M. Zhong, X. Li, P. Zhao, and Y. Shi. One-Dimensional Handwriting: Inputting Letters and Words on Smart Glasses. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, p. 71–82, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.