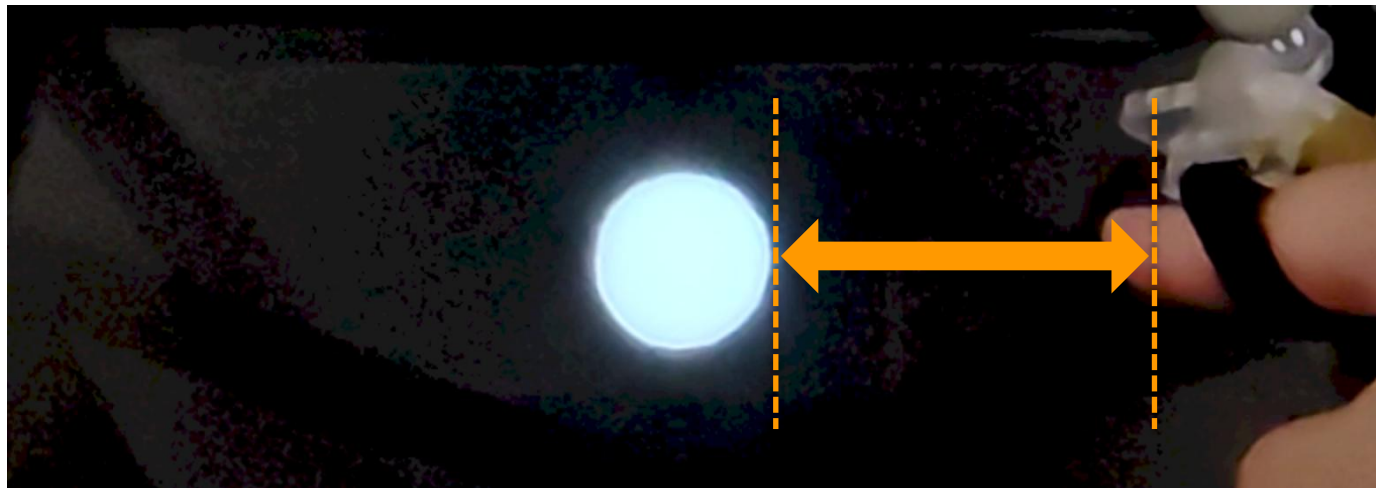




空中像を手指で弾く際の当たり判定距離と 接近速度に関する評価

菅野芙月，小湊咲，小泉直也 電気通信大学

■ 空中像とは

- 光学素子によって空中に結像した実像
- 裸眼で観察でき、
手指で直接触れることができる



■ 空中像には実体がない

- 触覚がないため、ユーザは視覚情報をもとに接触を判断する



手指と空中像の位置が一致していなくても、
空中像を「自分で触れて動かした」と感じる可能性がある

提案

空中像を違和感なく操作できる当たり判定距離を明らかにする

■ 違和感がない

- 空中像と手指の関係が知覚的に整合し自分で円を弾いたと感じられる状態

■ 当たり判定距離

- 円が動き出す際の、円の右端から指の中心までの距離

弾く前



弾く瞬間



弾いた後



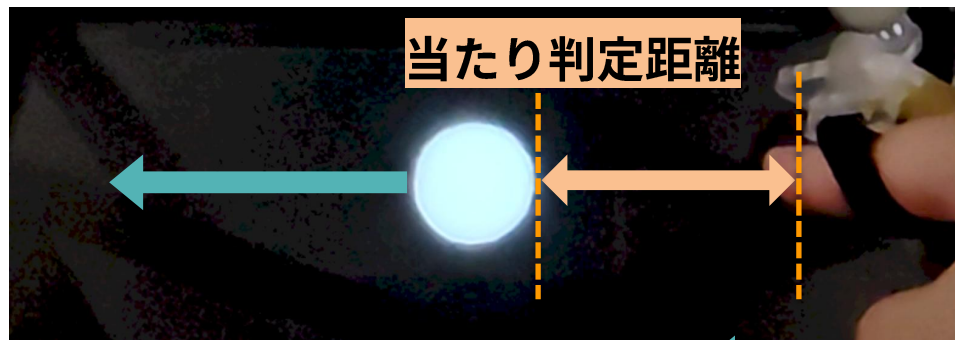
リサーチクエスチョン

■ RQ1: 適切な当たり判定は手指の速度で変化するのか

- ▶ 手指の接近速度に応じて、当たり判定を動的に設定すべきか

■ RQ2: ユーザがどの奥行位置で操作するのか

- ▶ 結像面より奥の範囲もセンシングすべきか

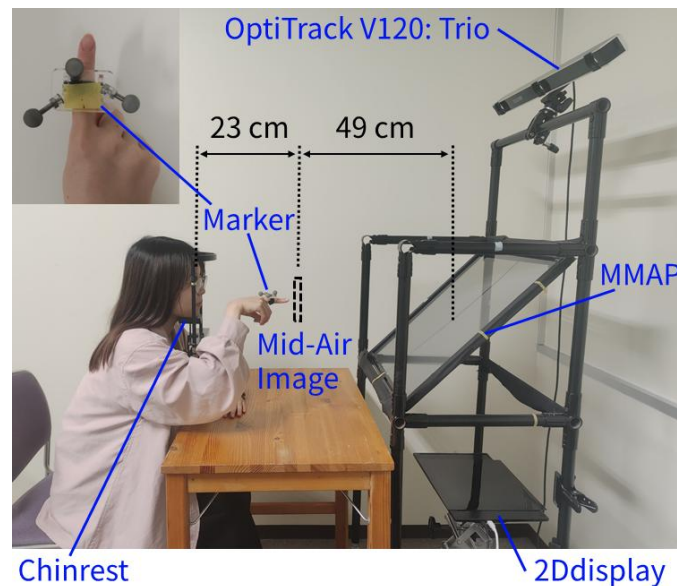
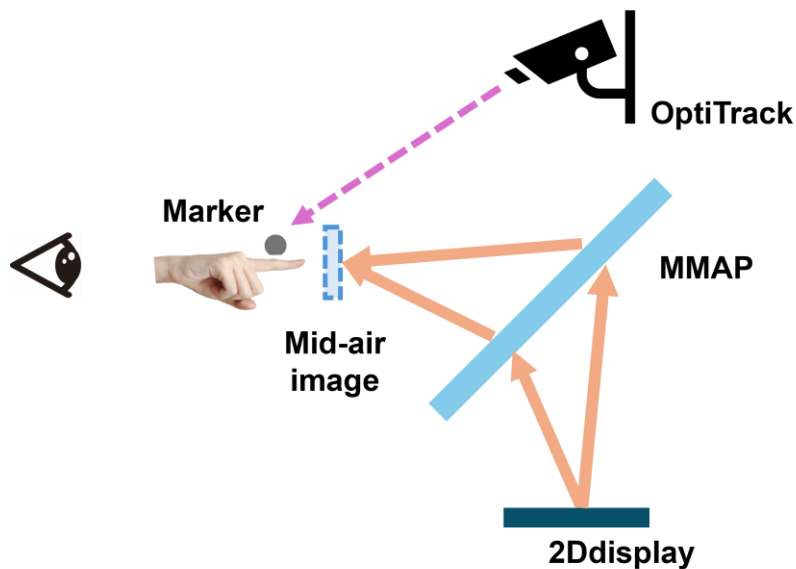


結像面



手指の接近速度

- 空中像の提示：2Dディスプレイ・MMAFを用いて提示
- 指先の位置計測：OptiTrack V120: Trioで指先のマーカを検出
- ソフトウェア：Unityを用いて円を表示・当たり判定を制御



実験設計

- 参加者：男性8名・女性4名（全員正常視力・右利き）
- 空中像の円を指で弾いてもらう
 - 指の接近速度は4条件
(0.1m/s, 0.2m/s, 0.3m/s, 0.4m/s)



- 速度条件ごとに，違和感のない当たり判定距離の上限・下限を求める
 - 円を繰り返し弾き，整合 or 不整合 を回答してもらう
 - ▶ 整合：自分の指が円に当たって弾いたと感じられた
 - ▶ 不整合：円が勝手に動いた・ずれて見えた
 - 上下法に従って当たり判定距離を変化させていく
 - 上限：下降系列において，非整合(遠すぎる)→整合になった点
 - 下限：上昇系列において，非整合(近すぎる)→整合になった点

結果1：当たり判定距離と接近速度の関係

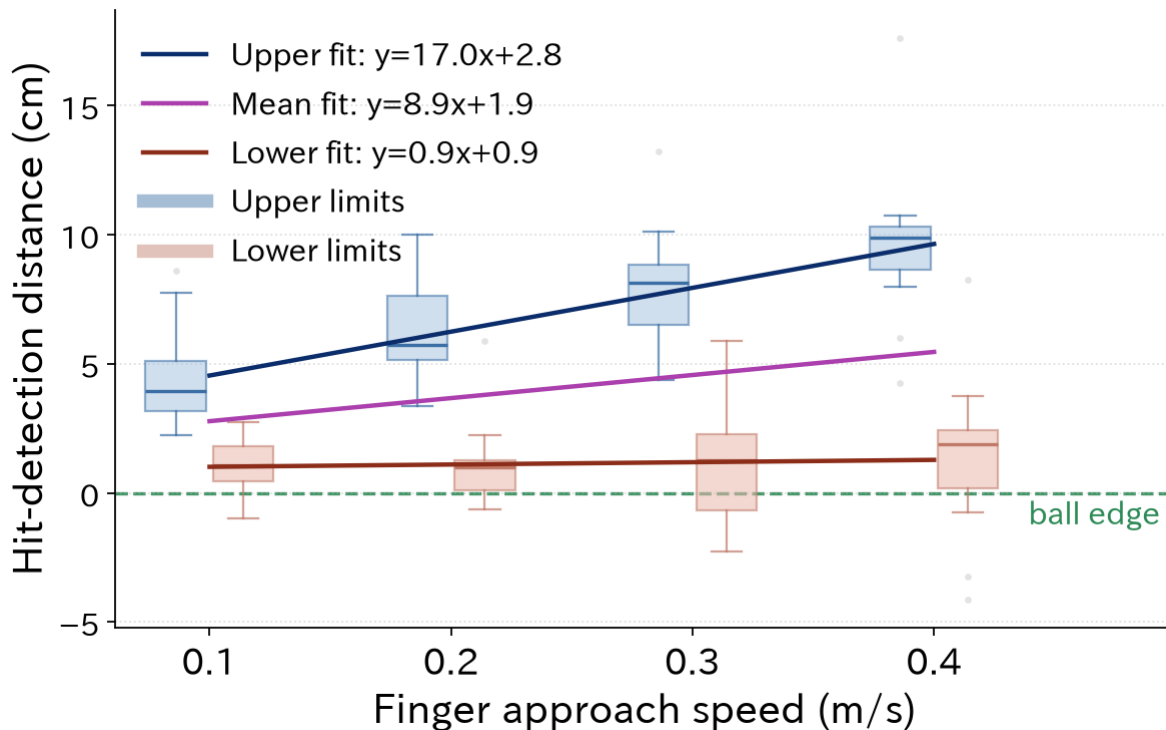
8

■ 上限

- 接近速度に対して
ほぼ線形に増加

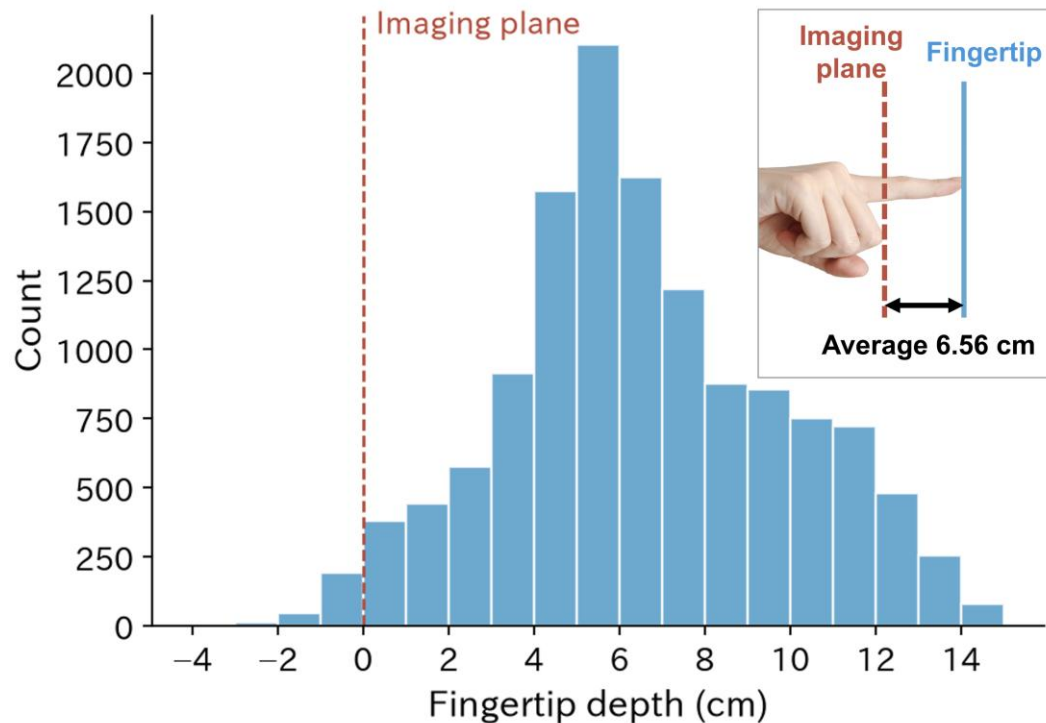
■ 下限

- 概ね1 cm程度で一定



結果2：奥行方向の操作位置

- 全試行の平均：
結像面から奥に6.56cm
 - 中央値：6.18 cm
 - SD：3.28 cm
- ほとんどの試行で
結像面より奥に
指を入れて操作していた



■ 当たり判定距離の上限が接近速度とともに増加した理由

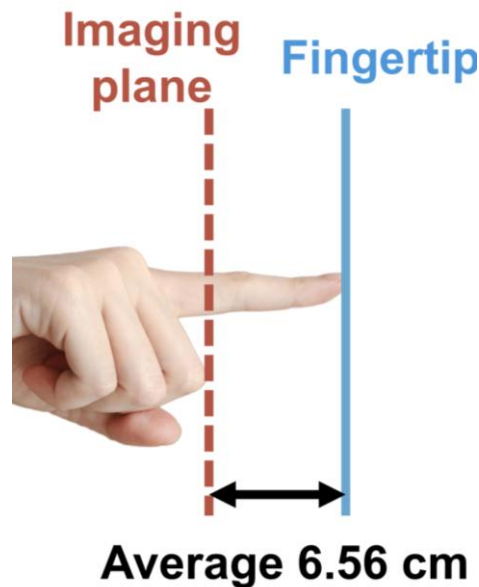
- 回帰直線の傾き：時間換算で170 ms

→ 円が動き出したことを認識し、指を静止させるのに要する時間が影響しているのではないか

■ 操作位置が結像面より奥であった理由

- 実験参加者の第二関節から指先までの長さ：平均で約5.0 cm

→ 第二関節～指の根元辺りを結像面に当てて操作しようとしていたのではないか



まとめ

■ 方法

- 空中像の円を弾く動作を対象に、当たり判定距離を上下法で測定

■ 結論

- RQ1：適切な当たり判定は手指の接近速度で変化する
- RQ2：ユーザは結像面より奥で操作する

■ 今後の課題

- 上下・奥行方向に弾く場合
- 陰影やテクスチャによって、奥行き手がかりや見た目の重さが付与される場合
 - ➡ 異なる結果になる可能性