

次世代のゲーム体験を実現する麻雀インタラクション

加藤 拓也¹ 中野 雄太¹ 堤 日向¹ 長谷川 達人^{1,a)}

概要: 本研究では、対面麻雀のエンターテインメント性と利便性を向上させ、次世代のゲーム体験を実現することを目的として、先行研究で開発した Projection Mahjong の改良を行う。Projection Mahjong はプロジェクションマッピングとサウンド、物体検出によって、対面麻雀にアプリ麻雀の「演出」と「自動点数計算」を導入したシステムである。先行研究では点数確定後の演出しか実装されていなかったため、高得点が出なかった場合に演出が見られず、エンターテインメント性を感じにくいことや、誤検出によりスムーズなプレイに影響を及ぼすという問題があった。本研究では対局中の演出やリーチ判定の追加によってエンターテインメント性を向上させ、検出モデルの変更や機能の追加によって利便性を向上させ、次世代のゲーム体験を実現する。8 人の被験者を対象に 3 種類 (対面麻雀, アプリ麻雀, Projection Mahjong) の環境で麻雀を行う実験を実施した結果、提案手法では盛り上がりや視覚や聴覚を使って楽しむといったエンターテインメント性を他の手法より向上させることが確認し、対面麻雀と同等以上の利便性と対面の利点を享受できることを確認した。

1. はじめに

近年、コロナウイルス感染拡大によって、自宅で行うことができる娯楽が注目されている。M リーグという麻雀の大会や動画配信サービスでの麻雀の解説動画の配信などが行われている影響もあり、麻雀への人気は加速している。実際に 2020 年から 2021 年にかけて、麻雀参加人口は 50 万人増加している [1]。また、実際の牌を用いた麻雀 (対面麻雀) だけでなく、スマートフォンを用いてオンラインで麻雀ができるアプリ (アプリ麻雀) も普及している。アプリ麻雀と対面麻雀にはそれぞれ以下のような利点が存在する。

- アプリ麻雀
 - 点数計算が自動で行われる。
 - 離れた人とも対戦ができる。
 - 演出が用意されている。
 - 局数や風などの情報が分かりやすい。
 - 初心者向けのサポート機能がある。
(鳴きタイミングや上がり牌の提示など)
- 対面麻雀
 - 知人らとコミュニケーションを取りながら楽しめる。
 - 牌以外の情報からも心理戦を楽しめる。
 - 観戦しやすい。
 - 牌に触れるリアルな体験ができる。

- アプリ麻雀と比較して視力への影響が少ない。

このようにアプリ麻雀は初心者でもわかりやすいシステムや対局中の演出などが特徴である。対面麻雀は相手の表情や仕草から相手の手を予測することができるなど様々な情報を活用して麻雀を楽しめる点や、プレイヤー同士でコミュニケーションをとったり、実際の牌に触れる体験ができたりするなどゲーム内容以外の要素も楽しめるという特徴がある。また、対面であることで周りから試合の様子を観戦しやすく、周りの人も麻雀を楽しむことができる。しかし、麻雀の点数計算は非常に複雑 [2] で、点数計算を知っている人でも役の種類によっては計算に手間がかかることがある。特に初心者は役や点数計算の複雑さがハードルとなり、対面麻雀を敬遠する要因になっていると考えられる。また、アプリ麻雀と比較して、演出のような視覚的なアプローチや SE(sound effect), BGM(background music) などの聴覚的なアプローチは存在しないため、瞬間的な盛り上がりという観点で、アプリ麻雀に劣る部分も否めない。

これらの課題解決図った研究事例がいくつかある。望月ら [3] はブラックライトを用いたスマートフォンにおける麻雀点数自動計算ツールを開発している。牌にブラックライト用のインクで牌の種類を印字したシールを貼り、ブラックライトを用いて印字した文字を読み取り、点数の自動計算を行っている。松井ら [4] はテンプレートマッチングを用いて点数の自動計算を行うシステムを開発している。上がった際の手牌をスマートフォンのカメラで撮影し、フィルタによるエッジ抽出やノイズ除去を使用して、手牌領域

¹ 福井大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, University of Fukui
^{a)} t-hase@u-fukui.ac.jp

のマスクを生成する。その輪郭から手牌領域を検出することによって、手牌領域の画像を取得する。取得した手牌領域に対して、テンプレートマッチングを行い、牌の認識を行う。牌の認識後、手牌以外の情報を手動で入力し、点数計算を自動で行う。いずれも点数計算のみを行うシステムであり、演出や対局中のアプローチが追加されたシステムや深層学習を用いたシステムは提案されていない。

株式会社アカツキライブエンターテインメント [5] はプロジェクションマッピングと赤外線センサを組み合わせたダーツを開発している。ダーツが的に当たった瞬間を赤外線センサで検知し、プロジェクションマッピングで演出を行っている。また、ソニー PCL 株式会社の HapticFloor[5] を用いることで衝撃を感じられる。神部ら [6] はアナログセンサとプロジェクションマッピングを用いた人形遊び拡張システムの開発を行っている。測距センサ、圧力センサ、タクトスイッチをドールハウス内に配置し、センサの読み取った値に応じて映像を投影する。高崎ら [7] はプロジェクションマッピングを用いていけばなをよりインタラクティブにするシステムを開発している。二次元 LiDAR と深度カメラを使用し、いけばなと通路に光の演出を投影している。小栗ら [8] はプロジェクションマッピングを用いた、茶会に「おもてなし」を追加する演出手法を提案している。測域センサとプロジェクターを内蔵した行燈を作成することによって、畳面に演出の投影を行っている。いずれもセンサを使ったシステムであり、深層学習を用いたシステムは提案されていない。また、いずれも麻雀以外にプロジェクションマッピングを応用しており、麻雀に対して応用したシステムは提案されていない。

我々の先行研究 [9] ではアプリ麻雀と対面麻雀の利点を組み合わせて新しいゲーム体験を提供するシステム、新たに Projection Mahjong を開発した。物体検出とプロジェクションマッピングを組み合わせることで、対面麻雀に対して、アプリ麻雀の利点である「点数自動計算」と「演出」を提供した。しかし、先行研究のシステムは点数表示の際のみ映像による演出が行われており、満貫以上でないと演出を見ることができないため、高得点で上がることができなかった場合に演出による利点を享受できない。その結果、提案手法によるエンターテインメント性向上を確認できなかった。また、トリガー検出部において誤検出が多発したことにより、スムーズなプレイに影響を与えていた。

以上を踏まえ、本研究では Projection Mahjong に対局中の映像演出やリーチ判定による音楽及び映像の変更を追加し、次世代のゲーム体験を実現するシステムを開発する。また、先行研究で実運用での問題点を解消し、スムーズなプレイを実現する。本研究は対面麻雀のエンターテインメント性と利便性を向上させ、次世代のゲーム体験を実現することを目的とする。表 1 に対面麻雀、先行研究、提案手法の要素比較を示す。

表 1 各手法の要素比較

要素	対面麻雀	先行研究	提案手法
牌に触れる体験	○	○	○
自風表示	×	○	○
対局中の BGM	×	○	○
自動点数計算	×	○	○
満貫以上の演出	×	○	○
投影の自動補正	×	×	○
局数・本場表示	×	×	○
対局中の演出	×	×	○
リーチ判定	×	×	○
本場計算	×	×	○

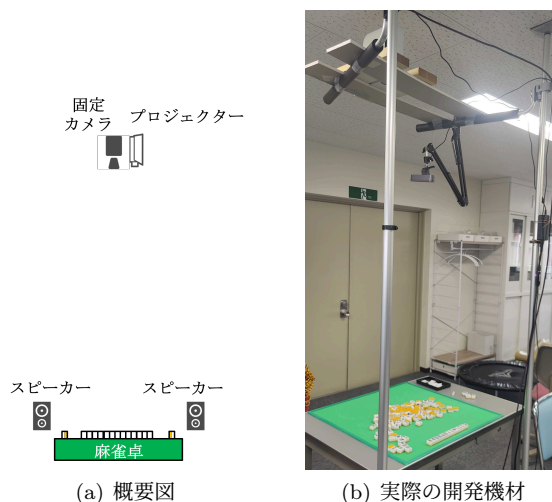


図 1 想定環境

2. 提案手法

2.1 開発環境

先行研究 [9] で提案したシステム Projection Mahjong は卓全体を撮影するカメラと演出の投影を行うプロジェクター、演出のサウンドを再生するスピーカーで構成される。プロジェクターの投影範囲とカメラの画角が卓上全体をカバーできるように図 1 のような環境で開発する。図 1(a) のように、プロジェクターとカメラを麻雀卓の真上に設置し、サウンドを流せるスピーカーを用意する。実際の開発環境では、図 1(b) のようにプロジェクターにスピーカーが搭載されているものを使用して開発し、プロジェクターの投影が鮮明に映るように投影範囲の縦幅と卓領域の縦幅が重なるように設置する。本研究では先行研究と同じ環境で開発を行う。

2.2 先行研究

先行研究では、事前に設定した投影変換によって、出力画像を変換して出力する。前処理として、麻雀卓の検出を行い、カメラで取得する映像の台形補正を行う。

対局中は BGM を再生し、プレイヤーの右前に配置されているトリガー領域の検出 (知トリガー検出) を行う。ト

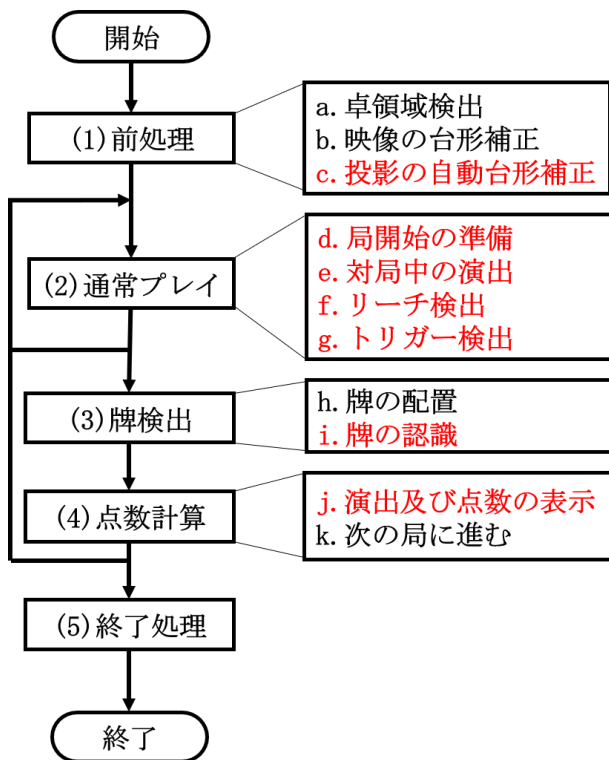


図 2 システム処理の流れ

リガー検出には YOLACT[10] を用い、検出した物体が裏牌である場合にプレイヤーが上がったと判定する。

プレイヤーが上がった際に、プレイヤーの前に手牌、鳴き牌、上がり牌、ドラ牌を置く位置をプロジェクションマッピングで提示し、指定の位置に置かれた牌を YOLACT によって読み取る。読み取りの際は検出した牌とその位置をアイコンによって表示し、上がり牌を検出したタイミングで、点数計算に使用する画像の読み取り、牌検出を行う。

検出した牌の情報から mahjong*1によって、点数の計算を行う。上がり点数に応じて、プロジェクションマッピングやスピーカーから発生させる音を使用して演出を行い、計算した点数を投影する。これを親が一周するまで行い、親が一周したタイミングで終了処理を行う。

2.3 追加システム

図 2 は Projection Mahjong の処理フローであり、そのうち赤字部分が今回追加・変更を行った処理である。本研究で開発した Projection Mahjong の追加機能について、次節以降で詳細を説明する。

2.3.1 前処理

c. 投影の自動台形補正

先行研究では事前に設定した値を用いて、プロジェクターに投影する画像の台形補正を行っていた。しかし、カメラとプロジェクターは同一のデバイスではないた

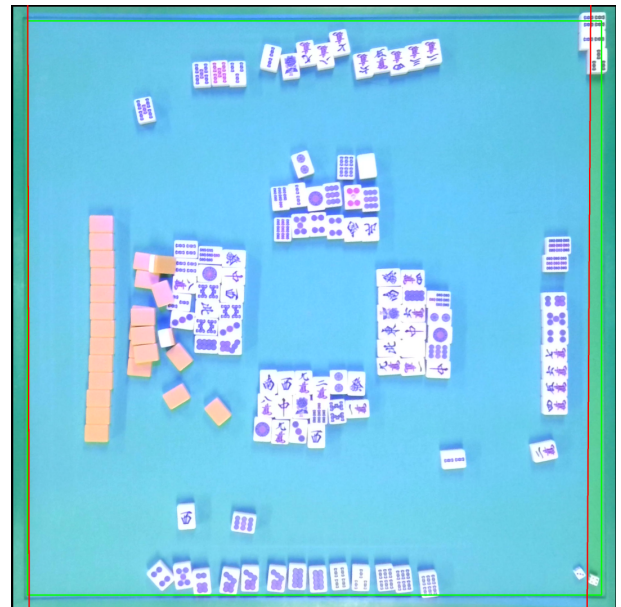


図 3 投影の自動補正

め、プロジェクターの位置やカメラの位置が変化すると、投影位置及び物体検出に用いる画像領域がずれてしまうことが想定される。そこで、(b) で取得した何も投影していない画像に対して台形補正を行った画像(投影前画像)を利用して、以下の手順で投影する画像を自動で台形補正する。以下の処理は OpenCV*2に搭載されている API を用いて実装する。

- (1) 投影変換後の座標を卓領域より少し小さくなるように仮設定する。
- (2) 図 3 のように $(B,G,R)=(255,0,0)$ で卓領域を投影し、カメラで取得した画像に台形補正を行った画像(投影後画像)を取得する。
- (3) 投影前画像と投影後画像の B 成分の差分が 50 以上の領域を抽出する。
- (4) カーネルサイズ 3×3 の収縮、膨張処理を 3 回、膨張、収縮処理を 10 回行い、小さなノイズを除去と、抽出できなかった部分の穴埋めする。
- (5) 輪郭を周囲の長さ $\times 0.02$ の精度で近似した領域判定により、投影領域を取得する。
- (6) 投影領域と卓領域を構成する 4 点の x 座標を比較し、それぞれ卓領域の方が外側であれば、その点の変換後の座標を 8pt 外側に、内側であれば 1pt 内側に変更する。
- (7) キー入力またはは 4 点の x 座標の差の合計が 15pt 未満になるまで、(2)~(6) の処理を繰り返す。

2.3.2 通常プレイ

d. 局開始の準備

先行研究は親が 1 周回った時点で終了処理を行っていた。しかし、麻雀では半荘といった親が 2 周回るルー

*1 mahjong: 麻雀点数計算ライブラリ <https://github.com/MahjongRepository/mahjong>

*2 OpenCV: 画像処理ライブラリ <https://opencv.org/>

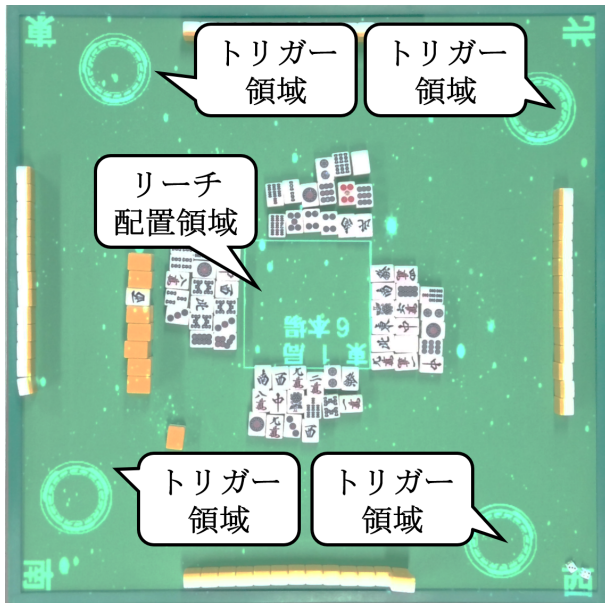


図 4 対局中の演出

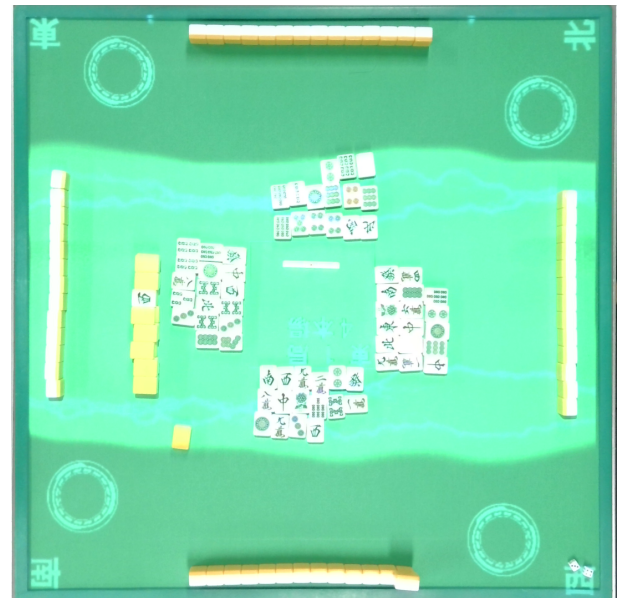


図 5 リーチ演出

ルも存在している。また、東風戦でも点数次第で南入という2周目に突入する場合がある。これらに対応するため、システム上で終了を行わず、準備の際にpキーを入力することによって、終了処理を行う。

e. 対局中の演出

図4のように、プレイ中は卓全体とトリガー領域に動画の投影、自風と場風、局数及び本場数、リーチ配置領域の投影を行う。対局中は13種類の映像とBGMのセットからランダムで選択されたものを再生する。先行研究では、BGMとして和風のBGMに統一していたが、本研究では映像に合わせた様々な種類のBGMを採用する。

f. リーチ検出

本研究では分類モデルによるリーチ検出を追加する。中央のリーチ検出領域でリーチ棒の検出を行う。リーチの誤検出を防止するため、リーチが5回連続で検出された場合に、図5のようにリーチ演出を再生し、BGMを変更する。ここで、取得するカメラ映像は30fpsである。変更するBGMは種類によって異なる。リーチ演出後は映像が2倍の速度で再生される。リーチ判定は一度のみ行い、2回目以降はリーチ演出及び演出の変更は行わない。リーチ領域に外側に河を置くことによって、点数表示などの表示が牌と重ならないように設計している。

g. トリガー検出

カメラから取得した画像からそれぞれのプレイヤーのトリガー領域を切り出し、トリガー検出を行う。それぞれのプレイヤーの右側に投影されている領域が各プレイヤーのトリガー領域である。トリガー検出を行い、裏牌があると判定された場合、次の手順に移行する。

先行研究ではトリガー検出にYOLACTを用いて裏牌の検出を行っていたが、手を裏牌と判定するような誤検出が多発し、スムーズなプレイに影響を与えていた。そこでトリガー検出を2値分類モデルに変更することで、誤検出の防止及び検出時間の短縮を行う。

また、流局の場合は、qキーを入力することで自風を変更せずに戻り、pキーを入力することで自風を変更して、dの処理に戻る。

2.3.3 牌検出

i. 牌の認識

先行研究では、海底摸月や嶺上開花、イッパツのような偶然役に対応していなかった。しかし、偶然役の中でも「イッパツ」は出現率が高い。そこで、ドラ表示牌をすべて横にすることで、「イッパツ」の判定を行う。また、牌の認識時に表示したアイコンを牌として検出することを防ぐため、検出に使用する画像を取得する際にアイコンを非表示にする。

2.3.4 点数計算

j. 演出および点数の表示

先行研究では本場を考慮した点数計算を行っていなかった。本研究では、システム上で本場数をカウントし、点数計算に本場計算を追加する。

3. 分類モデル

3.1 概要

トリガー検出及びリーチ検出では、ResNet18[11]を用いた。トリガー検出では裏牌の有無、リーチ検出ではリーチ棒の有無を判定する2値分類モデルを使用する。それぞれImageNet[12]で事前学習済みのResNet18を実際の環境で撮影したデータを用いてファインチューニングした。最

適化手法として学習率の初期値を 0.001 とした Adam[13], 損失関数として CrossEntropyLoss を使用した. 学習時には torchvision^{*3} の transform を用いて, 以下のデータ拡張を行い, 20epoch の学習を行った.

- RandomHorizontalFlip : 50%の確率で左右反転
- RandomVerticalFlip : 50%の確率で上下反転
- RandomRotation : $-15^\circ \sim 15^\circ$ でランダムに回転
- ColorJitter : 明るさ, コントラストをランダムに変更 (全て変動幅 0.5)

トリガー検出には学習用データ 555 枚, 検証用データ 113 枚使用し, リーチ検出には学習用データ 464 枚, 検証用データ 160 枚を使用して学習を行った.

3.2 トリガー検出精度

トリガー検出について, 先行研究で用いた YOLACT による検出と提案手法で用いた ResNet18 による認識精度を比較した. 精度比較のため, 裏牌が写った画像 100 枚と手や表牌, 立てた牌等が写った画像 150 枚の計 250 枚の画像を用意し, それらに対してトリガー検出を行った.

表 2 にトリガー領域の検出成功回数を示す. 表より, 先行研究の YOLACT では裏牌以外で複数回誤検出を行っており, 裏牌以外の検出成功率は約 91%となっている. 一方で, 提案手法では裏牌, 裏牌以外ともにすべてのテストデータに対して正しい検出を行っており, 誤検出によるスムーズなプレイへの影響を軽減できたと考えられる.

4. 実験

本システムを利用することによる有効性を明らかにすべく, 以下の 3 点を実験により評価した.

- 本システムによりエンターテイメント性は向上するか
- 本システムにより麻雀の利便性は向上するか
- 対面麻雀の利点が損なわれていないか

4.1 比較環境

実験は以下の 3 つの環境で麻雀を行い, 対照実験を行うことで, 提案手法の有効性を評価した.

- (1) 通常通り対面麻雀を行う.
- (2) スマートフォンを用いてアプリ麻雀を行う.
- (3) 本システムを利用しながら対面麻雀を行う.

4.2 実験方法

21~27 歳の男性 8 人を 2 グループに分け, 実験で設定した 3 つの環境で 4 人麻雀の東風戦を行ってもらい, 対局終了後にアンケートに回答する形式で行った. いずれの環境でも, 対局する 4 人に向き合いながら対局してもらった. A グループは対面麻雀, アプリ麻雀, 提案手法の順, B グ

表 2 トリガーの検出成功回数

画像の種類	出現数 [回]	先行研究 [回]	提案手法 [回]
裏牌	100	99(99.0%)	100(100.0%)
裏牌以外	150	137(91.2%)	150(100.0%)
合計	250	236(94.4%)	250(100.0%)

表 3 評価項目

評価項目	指標
(a) 盛り上がったか	10 段階評価
(b) 視覚や聴覚などを使って楽しめたか	10 段階評価
(c) スムーズにプレイできたか	10 段階評価
(d) ツールは使いやすかったか	10 段階評価
(e) また同じ環境で遊びたいか	10 段階評価
(f) コミュニケーションは取れたか	10 段階評価
(g) 相手の表情などの情報を活用できたか	10 段階評価

ループは提案手法, 対面麻雀, アプリ麻雀の順に実施してもらい, 環境ごとに 30 分以上のクールタイムを設けて実験を行った. また, 実験中に観測者 1 名がストップウォッチで計測した点数計算に要する時間を定量評価の指標として採用した.

4.3 評価項目

実験ではいくつかの評価項目について, 実験中の記録と終了後のアンケートによって記録した. アンケートで記録した評価項目を表 3 に示す.

(a) 盛り上がったかは (1: 盛り上がらなかった, 10: 盛り上がった) の 10 段階評価である. これによって, エンターテイメント性の向上に与える影響を明らかにする. (b) 視覚や聴覚などを使って楽しめたかは (1: 楽しめなかった, 10: 楽しめた) の 10 段階評価である. これによって, エンターテイメント性の向上に与える影響を明らかにする. (c) スムーズにプレイできたかは (1: スムーズにプレイできなかった, 10: スムーズにプレイできた) の 10 段階評価である. これによって, 麻雀の利便性向上に与える影響を明らかにする. (d) ツールは使いやすかったかは (1: 使いにくかった, 10: 使いやすかった) の 10 段階評価である. これによって, アプリ麻雀と比較した利便性を比較する. 対面麻雀の場合はツールを使用していないため, この質問は除外している. (e) また同じ環境で遊びたいかは (1: 遊びたくない, 10: 遊びたい) の 10 段階評価である. これによって, エンターテイメント性の向上や利便性の向上などを総合したゲーム体験の拡張に与える影響を明らかにする. (f) コミュニケーションは取れたかは (1: 取れなかった, 10: 取れた) の 10 段階評価である. これによって, 対面麻雀の利点が損なわれていないかを明らかにする. (g) 相手の表情などの情報を活用できたかは (1: 活用できなかった, 10: 活用できた) の 10 段階評価である. これによって, 対面麻雀の利点が損なわれていないかを明らかにする. これらアンケート結果を提案手法と対面麻雀, 提案手法とアプリ麻雀

*3 Pytorch: python の深層学習ライブラリ <https://pytorch.org/>

それぞれに対して、有意水準 5%の対応のある t 検定による有意差検定を行った。また、表 3 の評価項目に加え、以下のユーザーを分類するための情報もアンケートに記入してもらった。

- 性別
- 年齢
- 対面麻雀とアプリ麻雀はどちらが好きか
- 点数計算はできるか
- 卓に点数計算できる人はいるか
- 麻雀歴
- 最終的な順位

点数計算ができるかは以下の項目から選択してもらった。

- 点数計算ができる
- 翻数、符数は分かるが、計算ができない
- 翻数は分かるが、符数は分からない
- 役は分かるが、計算ができない
- 役もわからない

点数計算の時間測定

点数計算の時間はそれぞれ以下の時間を点数計算の時間として、測定を行った。

(1) 対面麻雀

ロンもしくはツモの宣言後から、点数が確定するまで

(2) アプリ麻雀

点数計算はすぐに行われるため、0 秒とする。

(3) 提案手法

トリガー領域での牌の検出から、演出が開始するまで

4.4 結果・考察

4.4.1 点数計算時間

実験で計測した各グループの点数計算時間を表 4, 5 に示す。ここで、提案手法はトリガー検出から演出が始まるまでの時間と、上がり牌が認識されてから演出が始まるまでの時間を示す。

表より、対面麻雀を行った場合において点数計算時間の平均は A グループが 32.00 秒、B グループが 13.83 秒であった。A グループでは B グループと比較して点数計算時間のばらつきが大きいことが確認できた。この原因として、上がり形が複雑な場合は役の確認に時間がかかってしまうことが考えられる。また、上がった人が点数計算に慣れている場合はテンパイしたタイミングでどの役で上がれるかを把握しており、素早く点数計算ができたことが考えられる。B グループでは A グループと比較して点数計算時間のばらつきが小さいことが確認できた。この原因として、点数計算に慣れている人がグループ内におり、上がり形も複雑でなかったことが考えられる。

一方で提案手法における点数計算時間の平均は A グループが 28.44 秒、B グループが 33.76 秒であった。A グループでは B グループと比較して時間のばらつきが小さく、平

表 4 A グループの点数計算時間

	対面麻雀 [s]	提案手法 [s] (トリガー認識から)	提案手法 [s] (物体検出時間)
1 回目	5.06	24.92	3.66
2 回目	59.69	23.23	3.45
3 回目	36.84	37.17	3.62
4 回目	13.35	-	-
5 回目	45.05	-	-
平均	32.00	28.44	3.58

表 5 B グループの点数計算時間

	対面麻雀 [s]	提案手法 [s] (トリガー認識から)	提案手法 [s] (物体検出時間)
1 回目	9.10	44.42	3.57
2 回目	15.80	16.60	3.50
3 回目	17.86	22.71	3.52
4 回目	12.54	51.33	3.51
平均	13.83	33.76	3.53

均を比較すると提案手法の方が短い時間で点数計算できていることが確認できた。これは A グループでは牌認識における誤認識による認識のやり直しが発生しておらず、スムーズに点数計算を行えたためだと考えられる。B グループでは A グループと比較してばらつきが大きい。この原因として、誤検出によるやり直しが発生していたためだと考えられる。

この結果から、複雑な形に対する点数計算を行う際は、提案手法を用いた方が素早く点数計算を行えることが考えられる。しかし、これは認識のやり直しが発生してしまうと、提案手法の点数計算時間が増加することが想定されるため、認識精度の向上を行う必要がある。また、一度で認識を成功した場合でも、表示されたアイコンを見ながらプレイヤーが正しい検出か判断を行っていた。検出精度を向上させることで更に点数計算時間を減少させ、簡単な形に対して対面麻雀に匹敵する時間で点数計算できることが考えられる。また、今回はどちらのグループも点数計算ができる被験者が参加しており、すべての被験者が半年以上の麻雀経験があった。そのため、点数計算ができる人がいない場合にはより有効なシステムとなることが考えられる。

4.4.2 エンターテインメント性の向上に対する考察

実験で計測した環境ごとの盛り上がったかの結果を図 6 の (a) に示す。図より提案手法の盛り上がりの評価が一番高いことが確認できた。これは対局中の演出やリーチ演出が盛り上がりに影響したことが考えられる。実際に BGM や演出の種類が多いことで楽しかったという感想がアンケートに記入されていた。また、アプリ麻雀に関しては盛り上がりに対する評価のばらつきが大きいことが確認できた。この原因として、B グループのアプリ麻雀では長時間東風戦が続いており、下位でも意外な逆転があるなど、試合内容が A グループと比べてより楽しみやすいものであ

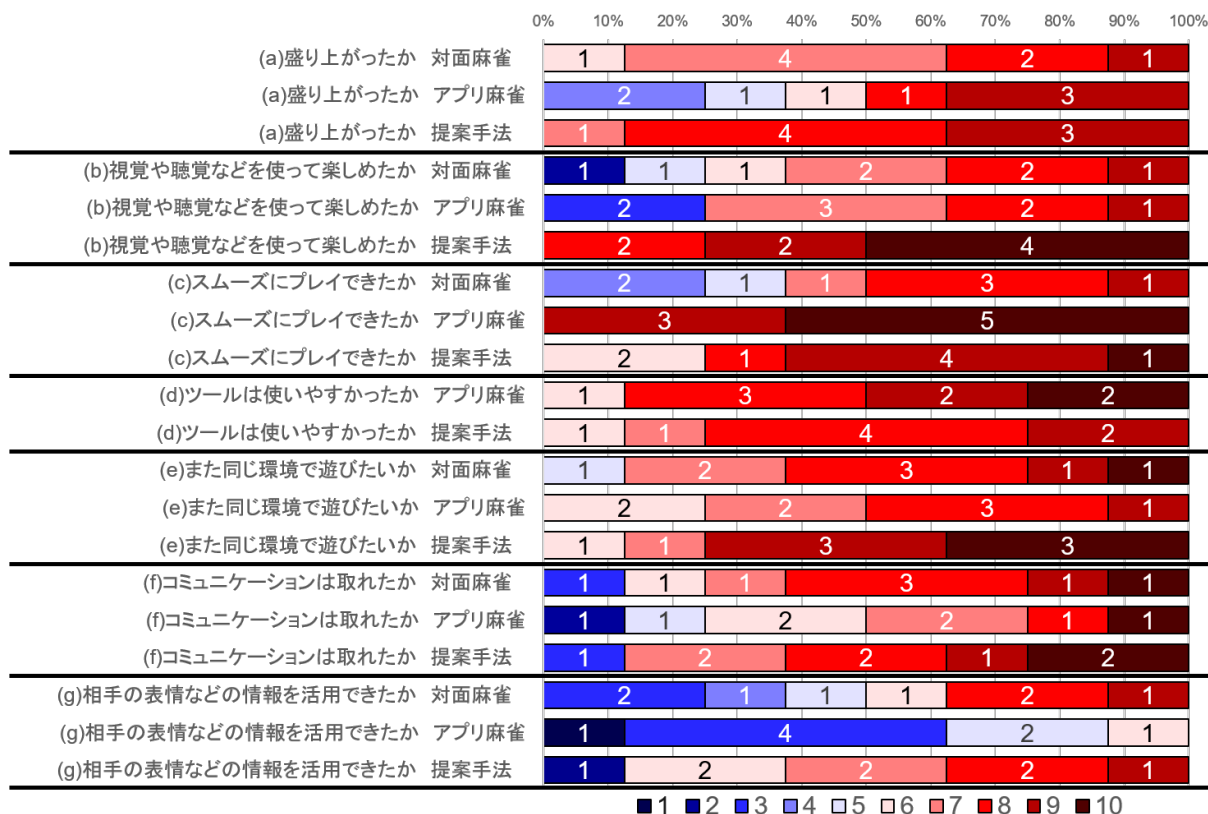


図 6 アンケート結果

たことが考えられる。提案手法と対面麻雀，提案手法とアプリ麻雀の p 値はそれぞれ 0.021, 0.170 となり，対面麻雀に対して有意差があることが確認できた。そのため，提案手法によって対面麻雀のエンターテインメント性を向上させることができたと考えられる。

実験で計測した環境ごとの視覚や聴覚などを使って楽しめたかの結果を図 6 の (b) に示す。図より他の手法と比較して，提案手法は視覚や聴覚で麻雀を楽しめたことが確認できた。これは，局ごとに卓上の映像や様々なジャンルの BGM が変化することによって，局ごとに違った雰囲気を感じる事ができたためだと考えられる。また，リーチによって派手な演出と BGM の変更があることで，より雰囲気の変化を感じることができ，楽しめたと考えられる。提案手法と対面麻雀，提案手法とアプリ麻雀の p 値はそれぞれ 0.032, 0.009 となり，対面麻雀及びアプリ麻雀に対して有意差があることが確認できた。そのため，視覚や聴覚によるエンターテインメント性向上ができたと考えられる。

4.4.3 利便性向上に対する考察

実験で計測した環境ごとのスムーズにプレイできたかの結果を図 6 の (c) に示す。図より他の手法と比較して，アプリ麻雀がスムーズにプレイできたことが確認できた。この原因として，アプリ麻雀では点数計算がすぐ完了することや，牌を並べたり，取ったりする手間が発生しないため，スムーズにプレイできたと考えられる。対面麻雀と提案手

法を比較すると提案手法の方がスムーズにプレイできたことが確認できた。これは点数計算を自動で行ってくれることで，役を確認する手間が減少したことや，先行研究で発生していたトリガー検出の誤検出が一度も発生せず，対局中はシステムがプレイに悪影響を及ぼさなかったためだと考えられる。しかし，点数計算では時間がかかっており，アプリ麻雀ほどスムーズにプレイできなかったことが考えられる。提案手法と対面麻雀，提案手法とアプリ麻雀の p 値はそれぞれ 0.096, 0.073 となり，対面麻雀及びアプリ麻雀に対して有意差が確認できなかった。そのため，スムーズなプレイについて許容できる範囲であると考えられる。しかし，アプリ麻雀と比較するとスムーズにプレイできていないので，認識精度を向上させ，よりスムーズなプレイができるようにする必要があると考えられる。

実験で計測した環境ごとのツールは使いやすかったかの結果を図 6 の (d) に示す。図より提案手法と比較して，アプリ麻雀のツールが使いやすいことが確認できた。この原因として，アプリ麻雀では手元のスマートフォンにより簡単に操作できることや提案手法のキー入力，認識のための牌配置の手間が影響していると考えられる。しかし，提案手法も 8 や 9 の高い評価が多く，p 値も 0.405 で有意差が確認できなかったため，アプリ麻雀に迫る使いやすさであると考えられる。しかし，アプリ麻雀と比較して，事前に操作方法の説明が必要なので，投影した領域の説明などの

情報提示を追加することで、より使いやすいシステムにできると考えられる。

4.4.4 対面麻雀の利点に対する考察

実験で計測した環境ごとのコミュニケーションは取れたかの結果を図 6 の (f) に示す。図よりアプリ麻雀と比較して、対面麻雀と提案手法でコミュニケーションが取れたことが確認できた。これはアプリ麻雀のように小さな画面に集中してプレイしなくても良く、顔を合わせることで話しやすかったことが考えられる。また、対面麻雀と比較して提案手法の方が良い結果であることが確認できた。これは、対局中の演出によってコミュニケーションがとりやすい雰囲気になったことが考えられる。しかし、提案手法と対面麻雀、提案手法とアプリ麻雀の p 値はそれぞれ 0.401, 0.138 となり、対面麻雀及びアプリ麻雀に対して有意差が確認できなかった。そのため、追加したアプリの要素が対面麻雀の利点を妨害しなかったことが考えられる。

実験で計測した環境ごとの相手の表情などの卓以外の情報を活用できたかの結果を図 6 の (g) に示す。図よりアプリ麻雀と比較して、対面麻雀と提案手法が卓以外の情報を活用できたことが確認できた。これはアプリ麻雀のように小さな画面に集中してプレイしなくてよいためだと考えられる。また、対面麻雀と比較しても卓以外の情報を活用できたという回答が多かった。これは、演出や BGM により、話しやすい雰囲気ができ、相手の表情などを確認しやすかったことや表情が出やすかったことなどが考えられる。提案手法と対面麻雀、提案手法とアプリ麻雀の p 値はそれぞれ 0.175, 0.003 となり、アプリ麻雀に対して有意差があることが確認できた。

このように対面麻雀の利点を向上させつつ、アプリ麻雀のエンターテインメント性を追加できたことが確認できた。

4.4.5 全体的な結果に対する考察

実験で計測した環境ごとのまた同じ環境で遊びたいかの結果を図 6 の (e) に示す。図より他の手法と比較して、提案手法が多く被験者に好まれていたことが確認できた。これは全ての被験者が、アプリ麻雀よりも対面麻雀の方が好きであることに加えて、対局中の演出や種類が豊富になったことによって、対局をより楽しむことができたためだと考えられる。また、スムーズさで高い評価をもらったことから、先行研究より誤検出によるストレスが減少したことも考えられる。

5. おわりに

本研究では先行研究で提案した Projection Mahjong に対局中の演出を追加し、利便性の問題点を改善したシステムを開発した。本システムを使用することで、対面麻雀の利点を保持しながら、利便性を少し向上させ、エンターテインメント性をアプリ麻雀や対面麻雀よりも向上させることが確認できた。

一方で、牌の認識精度向上に関する改良は行っておらず、牌の認識において誤検出や手間が発生している。そのため、学習データを増やしたり、条件や複数時系列を使用したりすることで精度向上を行う必要があると考えられる。また、イッパツ以外の偶然役や河を考慮したチョンボなどの判定ができないという改良点がある。今後は河の牌や山の認識を行うことでこのような判定も検討していく。さらに、三麻に対応するなど更なる機能の追加も検討していく。

謝辞 本研究の一部は、福井大学研究ファームの助成によるものである。ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] 麻雀ウォッチ編集部: 「レジャー白書 2022」麻雀人口 450 万人で前年比 50 万人増 「観る雀」から入った層の増加が要因か (2023). <https://mj-news.net/news/20230216198392>.
- [2] Li, J., Koyamada, S., Ye, Q., Liu, G., Wang, C., Yang, R., Zhao, L., Qin, T., Liu, T.-Y. and Hon, H.-W.: Sphx: Mastering Mahjong with Deep Reinforcement Learning (2020).
- [3] 望月克俊, 本山淳, 清原良三: "ブラックライトを用いたスマートフォンにおける麻雀得点計算支援ツール", No. 14 (2012).
- [4] 松井雪治, 澤野弘明, 水野慎士: スマートフォンを用いた麻雀自動得点計算システムの提案, マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, Vol. 2013, pp. 2145–2150 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1050855522107809280>) (2013).
- [5] SonyPCLInc.: Haptics でできること (2019). <https://www.sonypcl.jp/solution/haptics.html>.
- [6] 神部真音: 人形遊びを拡張するインタラクティブ遊具の開発, Vol. 2021, No. 1, pp. 725–726 (2021).
- [7] 高崎真由美, 朝倉麻友, 水野慎士: いけばなを題材としたデジタルコンテンツ「霧中幻花」と「バーチャルいけばな」の制作, No. 33 (2021).
- [8] 小栗真弥, 水野慎士, 浦田真由, 遠藤守, 安田孝美: インタラクティブプロジェクトマッピングを用いた伝統的茶会における“おもてなし”の演出, 情報処理学会論文誌, Vol. 61, No. 12, pp. 1960–1968 (2020).
- [9] 加藤拓也, 中野雄太, 堤日向, 長谷川達人: 現実世界のゲーム体験を拡張する麻雀インタラクション案, マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2023 (2023).
- [10] Bolya, D., Zhou, C., Xiao, F. and Lee, Y. J.: YOLACT: Real-time Instance Segmentation (2019).
- [11] He, K., Zhang, X., Ren, S. and Sun, J.: Deep Residual Learning for Image Recognition, 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 770–778 (online), DOI: 10.1109/CVPR.2016.90 (2016).
- [12] J.Deng, W.Dong, R.: ImageNet: A Large-Scale Hierarchical Image Database, In CVPR09 (2009).
- [13] P.Kingma, J.: Adam: A Method for Stochastic Optimization, *arXiv preprint arXiv* (2014).