

AR型カードゲームのための 再帰性反射材を用いた空間的解像度の向上の検討

濱口 裕基^{1,a)} 阿部 亨^{2,1} 菅沼 拓夫^{2,1}

概要：現実空間で人と実物体がインタラクションするようなARゲームなどでは、ARによる情報投影の際の時間的・空間的解像度が不十分であることから、それらを違和感なく楽しむには課題が存在する。本研究では、カードゲームを対象とし、光学透過型HMDを用いたARにより、上記の課題を解決しつつ各種情報をカードへ投影する、AR型カードゲームを提案する。本発表では、特に空間的解像度の向上に注目し、外部センサを用いたセンサフュージョン手法の提案と、再帰性反射材を用いたARカードによるシステムの精度向上のため、初期実装でのプロトタイプを用いた評価実験から、本提案の効果をデモンストレーションする。

1. はじめに

現実空間で人がモノに触れて移動させながら行うような、実物体とインタラクションする状況において、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）型のARが注目されている。しかしながら、人と実物体とが相互作用するインタラクティブ型のゲームなどでは、ARによる情報投影の際の空間的・時間的解像度が不十分であることから、それらを違和感なく楽しむには課題が存在する。

本研究では、インタラクティブ型のゲームとして「カードゲーム」に着目する。カードゲームは、物理的なカードを、机上の共有スペースである場に置く、場から取る、またはプレイヤー間で交換するなど、実物体のカードとプレイヤーとのインタラクションが多発する特徴を持つゲームであることから、ARを適用したカードゲームの実現を目指す。しかしながら、前述した空間的・時間的解像度不足の課題がより顕著に現れ、手持ちのカードへの高精度かつリアルタイムな映像投影が困難となって、ゲームを違和感なく楽しむには課題が存在する。提案手法では、光学透過型HMDに追加のセンサを用いたARにより、前述の課題を解決しつつ各種情報をカードへ投影する。本発表では、特に空間的解像度の改善に注目し、複数センサを用いたセンサフュージョンと、再帰性反射材を利用したARカードによるシステムの精度向上のための検討を行う。

本研究の貢献としては、HMDを用いたインタラクションシステムの精度向上が見込まれる。本研究成果は工場で行われる細かな組み立て作業の支援など、ARによる手元での作業に対する支援にも適用可能である。さらに、エンターテインメント分野における貢献として、「カードの絵柄が動く機能」や「ババ抜きで前ターン自分が引かれたカードを自らだけ確認できるマーキング機能」など、ARを適応することで従来では不可能な機能を実現し、ゲーム性やエンタメ性を拡張した新たなカードゲームを提供できる[1]。

本発表では、初期実装でのプロトタイプを用いた評価実験から、本提案の効果についてデモンストレーションする。

2. 関連研究と課題

2.1 関連研究

本研究は光学透過型HMDを用いたAR型カードゲームを対象とする。特に、プレイヤー間でのカードのインタラクションが頻繁に発生するババ抜き（Old Maid）に注目する。また、ゲームにおける対戦相手とは対面で競うことを想定する。

カードゲームの研究例として、海野ら[2]は、VR環境において実カードを用いたVRカードゲーム（ババ抜き）を提案している。実物体のカードを用いることで、VR空間においても現実世界と同様の操作感でゲームをプレイすることを可能にし、デジタルよりもアナログゲームをプレイしているような感覚が強くなることを示している。しかし、海野らは、実カードの位置姿勢のトラッキングが十分正確におこなえていないことも課題として挙げている。実カードとバーチャルカードに時間的・空間的なズレが発生

¹ 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

² 東北大学サイバーサイエンスセンター
Cyberscience Center, Tohoku University

a) yuki.hamaguchi.r7@dc.tohoku.ac.jp

した場合、VR空間においては大きな違和感が感じられない一方で、現実空間においては大きな違和感を与え、没入感低下につながる。よって、現在、ARをカードゲームに応用する既存の研究や開発は、光学透過型HMDを利用したものでなく、ズレが生じにくいテーブルトップやディスプレイ上でのAR表示が主流となっている[1][3][4][5]。

ARマーカの認識により位置推定を行う研究例を紹介する[6][7][8]。中里ら[6]は、再帰性反射材からなる不可視マーカを赤外線カメラで撮影することにより、ARにおける位置と姿勢の推定手法を提案している。これは、ウェアラブル型ARシステムの屋内での位置・姿勢計測において、従来の手法では必要な設置物のコストや景観を損ねるという課題に対し、再帰性反射材を用いた不可視マーカを利用することにより、景観を損ねることなくユーザの位置・姿勢を推定する手法を提案するものである。また、堀江ら[7]は、錯視の性質を利用した錯視ARマーカを定義し、錯視利用の長方形型ARマーカと従来の正方形型マーカの認識距離・範囲を測定と比較を行った結果、長方形型ARマーカのほうが長距離・広範囲に認識でき、錯視を利用したARマーカの有効性を示している。これらの研究におけるARマーカはすべて壁や天井に添付され、観測者が動いている状況である。

2.2 関連研究における課題

AR型カードゲームのババ抜きでは、常にカードを手で持ちながら操作するため、実現における技術的な課題として空間的解像度と時間的解像度の2つの課題がより顕著となる。本発表では、空間的解像度の課題に注目して議論する。そこで、以上の関連研究をもとに本研究で対象とする課題を以下のように整理する。

● 空間的解像度の課題

ゲーム中にカード、プレイヤー自身がともに動いてしまうため、投影される映像と手で持っているカードとの間に空間的なズレが顕著に生じ、ゲームへの没入感が低下してしまう。これは、手でカードを持つことで生じる角度により、カード上のマーカのトラッキングの精度が低下することで、カード上へのグラフィックの正確な位置合わせが困難になることに起因する。

また、本研究ではババ抜きにおいてカード操作時に生じる主なインタラクション動作を以下の5つにモデル化し、動作時のシステム精度向上を図る[2][9][10]。

- (1) 他の対戦者にカードを差し出す
- (2) 他の対戦者にカードが引かれる
- (3) 他の対戦者のカードを引く
- (4) 場にカード捨てる
- (5) 手札のカードをシャッフルする

3. 提案

3.1 再帰性反射材を用いたARカードの設計

本研究では、2.2節で述べた空間的解像度における課題を解決するため、光学透過型HMDに内蔵されたセンサと、追加の赤外線カメラを用い、カード上の再帰性反射材からなるARマーカをトラッキングして、カード上にトランプの絵柄をリアルタイムにAR表示させるAR型カードゲームを提案する。

再帰性反射材には、入射光が広い照射角に渡り、ほとんど光源方向へ沿って反射する性質がある。この性質を活用し、ARマーカは再帰性反射材を用いて作成する。赤外線をARマーカに照射し、その反射光を赤外線カメラ(センサ)で検知することで、カード上のARマーカを正確にとらえることができる。

提案するAR型カードゲームで使用するARカードの構成について3つの段階を想定している。

(F1) 既存マーカ+再帰性反射材

ARカードに既存マーカと再帰性反射材マーカを印字する。光学透過型HMDに内蔵のセンサによりカードの絵柄データ、赤外線カメラによりカードまでの距離データを取得可能にする。

(F2) 既存マーカ+再帰性反射材パターン

ARカードに既存マーカとパターン化した再帰性反射材マーカを印字する。再帰性反射材パターンには絵柄データが1対1対応する。光学透過型HMDに内蔵のセンサと赤外線カメラとともにカードの絵柄データを取得可能にする。

(F3) 再帰性反射材パターン

ARカードにパターン化した再帰性反射材マーカを印字する。マーカは不可視のためカードの見た目は白紙となっている。赤外線カメラによりパターンに1対1対応する絵柄データを取得可能にする。

提案するARカードの構成を図1に示す。図1の左側は(F1)のカードデザイン、図1の右側は(F2)のカードデザインを想定している。本発表では、(F1)についての提案をする。また、カードサイズの比率はポーカーサイズ(63×89mm)を採用した。

ARカード上に印刷し、光学透過型HMDの内蔵センサで認識するARマーカを図2に示す。また、これまでの研究[11]よりARマーカの形状は長方形型を採用している。図2のようにARマーカのトラッキング特徴量を増加させることや、コントラストの強化、非対称なデザイン設計により、既存AR SDKにおけるマーカの認識精度を向上させた[12]。

■ 再帰性反射材

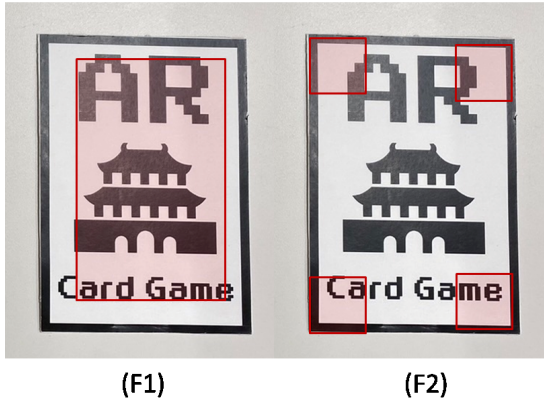


図 1 再帰性反射材を用いた AR カード

抽出された特徴

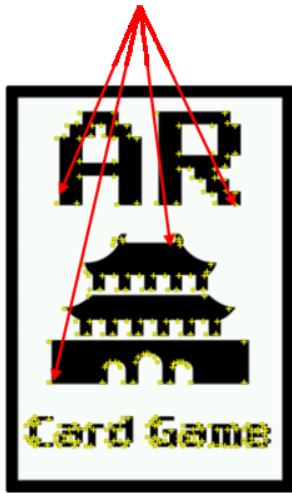


図 2 AR マーカー

3.2 AR 型カードゲームの設計

本研究では、現実空間で扱える本物の紙（実物体のカード）に対して、再帰性反射材を用いた AR マーカーを印刷したものを AR カードとして AR 型カードゲームに用いる。実物体のカードを利用する理由として、カードゲームにおける物質性を維持し、インタラクションにおけるリアルな感覚を保持するためである。

光学透過型 HMD に内蔵のセンサにおける AR カードの認識について以下に述べる。4 マーカーの AR カードに関して、映像投影時に 1 枚のカード上の複数の AR マーカーへの投影されることを防ぐため、4 つのマーカーに対して優先順位（図 3）を設定した。複数のカードを手で持つとき、一般に扇形状にして持つことからカード上部の優先度が下部よりも高くなっている。また、フレームレート向上のために、レンダリング解像度とテクスチャ品質を低下させている。

優先順位

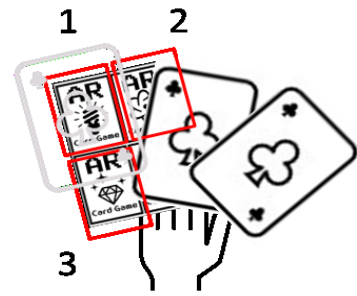


図 3 映像投影の優先順位

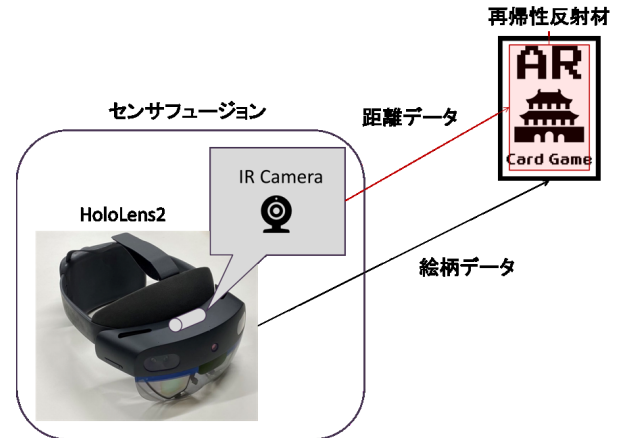


図 4 AR カードの推定システム

3.3 カード推定手法

(F1) について、提案するカードを推定するためのシステムの概要を図 4、図 5 に示す。手で持つ AR カードに対して、ユーザーは赤外光を照射し、反射光を赤外線カメラで読み取ることでカメラから AR カードまでの距離データを取得する。また、光学透過型 HMD に内蔵のセンサでは AR マーカーから絵柄データを取得し、カードに表示する絵柄を決定する。得られる距離データをもとにして光学透過型 HMD を通してカードに映像投影を行うことで、従来よりも空間的なズレが低減可能である。この際、HMD (HoloLens2) から AR カードまでのベクトル (\vec{d}) を、HoloLens2 から ToF センサまでのベクトル (\vec{a}) と ToF センサにより取得する AR カードまで距離 (k)、ToF センサから AR カードまでの基底ベクトル (\vec{e}) を用いて以下のように表現する。

$$\vec{d} = \vec{a} + k\vec{e} \quad (1)$$

4. 実装

本発表における実装・実験環境は以下のように構成した。

- AR カード 2 枚
 - 1 マーカー

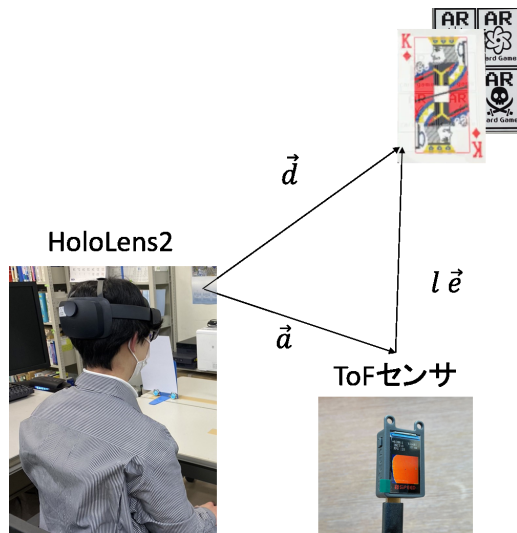
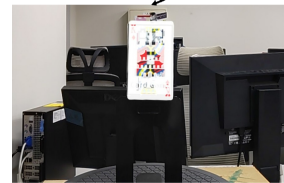
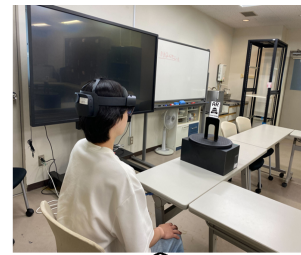


図 5 AR カードの位置推定



認識できている状態



認識できていない状態

図 7 測定の様子



ARカード

RR-ARカード

図 6 使用するカードセット

- 4 マーカー
- RR-AR カード 2 枚
 - 再帰性反射材製 1 マーカー
 - 再帰性反射材製 4 マーカー
- Microsoft HoloLens2
- MaixSense-A010 (ToF センサ)
- Unity 2021.3.27f1
- Visual Studio 2022
- ライブラリ
 - Vuforia 10.15.4
 - Mixed Reality Toolkit 2.8.3

本実験では、3D 開発環境として Unity, AR SDK として Vuforia[12] を使用する。本実験で使用するカードを図 6 に示す。再帰性反射材をカード全体に添付した AR カードを RR-AR カードと呼称する。AR カード, RR-AR カードのマーカーの形状とサイズは、ともに長方形型の 4cm を採用した。

5. 実験

5.1 概要

光学透過型 HMD である HoloLens2[13] を用いて、AR カードの性能評価を行う。本発表では、カードが傾いた際の認識に注目し、カードと HoloLens2 を 3 次元的に角度

表 1 AR カードの認識角度限界

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
1 マーカー	87.8°	-83.1°	170.9°
4 マーカー	80.5°	-77.7°	158.2°

表 2 RR-AR カードの認識角度限界

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
1 マーカー	78.9°	-79.3°	158.2°
4 マーカー	78.0°	-76.9°	154.9°

をつけた際に絵柄が認識可能かについて定量的な評価を行う。また、3.3 節で提案した (F1) のシステムの評価については、実装が完了次第、実験を行ってその効果を示す予定である。

本実験では、再帰性反射材を使用した AR カードの評価実験のため、予備実験として AR カードと RR-AR カード (図 6) について測定を行った。カード 1 枚に 4 つの AR マーカーを印刷したカードと、1 つの AR マーカーを印刷したカードを用意した。時計回りを正として、時計回り (ϕ_1) と反時計回り (ϕ_2) に対して AR カードをそれぞれの動かし、認識可能角度を 10 回測定したのから平均値を算出した。また、AR カードが確認できる範囲を算出した ($\phi_3 = \phi_1 - \phi_2$)。測定の様子を図 7 に示す。AR マーカーが見えている際はカードを表示し、AR マーカーが見えなくなると AR カード前にパネルを表示するようにプログラムした。

5.2 実験結果

実験結果を表 1, 表 2 に示す。表 1, 表 2 より、1 マーカー、4 マーカーともに RR-AR カードよりも AR カードの方が認識可能角度が大きいたことが確認できた。また、AR カードと RR-AR カードのいずれも 4 マーカーよりも 1 マーカーのカードの方が ϕ_3 が大きくなっていた。

5.3 考察

結果より、RR-AR カードの方が AR カードよりも認識限界角度が小さいことが確認できた。これは再帰性反射材を利用することで、マーカーの白黒のコントラストが弱まり、認識の精度が低下したと考えられる。また、1 マーカーの方が 4 マーカーよりも認識可能な角度が大きいことが確認できた。これはマーカーサイズが大きいこと、特徴点の認識が 4 マーカーの時よりも容易になるからであると考えられる。また、 ϕ_1 と ϕ_2 の大きさで差が生じているのは、測定基準がずれていたことが考えられる。

よって、今後は再帰性反射材を AR カードに適用する場合、カード全体に使用するのではなく、部分的に使用する必要があると考える。また、モデル化したインタラクション動作に合わせた評価が必要となる。

6. おわりに

本研究は、インタラクション中の物体（カード）に対し、HMD を用いた映像投影の精度を向上させることを目的とする。空間的・時間的解像度の不足により、手持ちのカードへの高精度かつリアルタイムな映像投影が困難となる課題に対し、空間的解像度の改善に着目し、センサフュージョンと再帰性反射材を用いた AR カードによる高精度な映像投影手法を提案した。実験を通して、再帰性反射材を全体に用いた AR カードでは空間的解像度が不十分であることが確認できた。

今後は、再帰性反射材を用いる部分の考察と、HoloLens2 と赤外線カメラのセンサフュージョンによる認識システムの実装を行う予定である。また、そのシステムにおいて、既存の AR カードと新たな RR-AR カードの空間的解像度の評価を行うことを検討している。

参考文献

- [1] 明神聖子, 佐藤新, 島田伸敬: AR のユーザ別提示情報調整機能を活かしたカードゲームシステム, 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), Vol.2012-EC-23, No.9, pp.1-9 (2012).
- [2] 海野貴智, 橋本, 直: VR カードゲームのための実カード型インタフェースの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2019 論文集, Vol.2019, pp.200-206, (2019).
- [3] H. Okada and T. Matsuse.: Application and evaluation of augmented reality user interface to a card game "Scopa", *SICE Annual Conference 2011.*, pp.2127-2130, (2011).
- [4] H. Okada and H. Arakawa.: Application and evaluation of augmented reality user interface to a card game "Mate", *2008 SICE Annual Conference, Chofu* pp. 3237-3240, (2008).
- [5] 酒井聡, 青木孝文, 若生一広, 阿部晃一, 三瓶仁寛, 菅原道晴: 動的なスクリーン「Addressable Screen」の研究開発 (2), 日本デザイン学会研究発表大会概要集, Vol.63, pp.74, (2016).
- [6] 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和: ウェアラブル拡張現実感のための不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定 (「複合現実感 3」特集), 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.3, pp.295-304, (2017).
- [7] D. Horie and R. Katsuma.: Recognizing AR markers using optical illusion markers and a low-cost camera, *Proc. 2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, pp.1-7, (2017).
- [8] 能田雄規, 河野恭之: 不可視マーカを用いた実世界物体の認識, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.12, pp.2889-2893, (2009).
- [9] 大川恭平, and 中村喜宏: VR 環境における実物体のカードを用いたタンジブルインタフェースの評価, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol.2018-CVIM-210, No.16, pp.1-6 (2018).
- [10] 渡邊栄治: ババ抜きにおける対戦者の動作の分析 (第 2 報), 電子情報通信学会技術研究報告; 信学技報, Vol.116, No.229, pp.19-24, (2016).
- [11] 濱口裕基, 阿部亨, 菅沼拓夫: AR 型カードゲームにおける AR カードの基本設計, 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), Vol.2023-DPS-195, No.26, pp.1-8, (2023).
- [12] PTC: Vuforia Enterprise Augmented Reality (AR) Software(online), available from <https://www.ptc.com/ja/products/vuforia> (accessed 2023-12-20).
- [13] Microsoft: Microsoft HoloLens — ビジネスを支援する Mixed Reality テクノロジー (オンライン), 入手先 <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens> (参照 2023-12-20).