プロジェクタ・カメラシステムによる トランプゲームの拡張環境の構築

田中　希武[†]　　村田　哲史[‡]　　藤波　香織[‡]

本稿では，トランプゲームのエンターテイメント性とコミュニケーション性の向上を目的とした，プロジェクタ・カメラシステムによる拡張環境の構築について述べる．まず，12 人に数種類のトランプゲームを実際に行ってもらい，そこで得た拡張に対する要望から必要な機能を定めた．カード認識機能では，上部に設置したカメラでカードを撮影し，“場”に出ているカードのマークと数字を識別する．また，手の出現する位置からプレイヤーを特定する機能，プロジェクタを用いたエフェクト投影機能を実装した．これらの機能を組み込んだプロトタイプを用いて神経衰弱を拡張し，ユーザ評価やカード認識精度の評価を行った．その結果，実環境での認識が可能であることや，エンターテイメント性，コミュニケーション性の向上が確認できた．

Augmented Environments for Playing Cards with a Projector-Camera System

NOZOMU TANAKA[†]　　SATOSHI MURATA[‡]　　KAORI FUJINAMI[‡]

In this paper, we present augmented environments for playing cards with a projector-camera system to add playfulness and communication for game. First, to confirm requirements for the system, subjects were asked to fill out questionnaires after playing a few usual playing cards. Then, we implemented a recognition method for cards and a player. For recognition of cards, we utilized a camera above the table and recognized all cards with an accuracy of 96%. A player is also recognized by the camera from the direction when the hand appears over the table. Finally, we implemented an augmentation for the Pelmanism game (Shinkei-Suijaku), and then tested for precision criterion and subjects' impression. The results showed the potential for an actual environment, and also improvement of playfulness and communication among players.

1. はじめに

トランプは世界中で古くから親しまれ，子供から大人まで誰でも遊べるポピュラーなカードゲームである．多種のゲームが存在するため，ゲームを通じたコミュニケーションツールとしても用いられており，家族で行う遊びの中で最も人気があるという調査報告もある[1]．また，トランプの持つ教育への効果を主張する書籍もある[2]．これは，カードの多様性や手先を使った様々な動作，ゲームに勝ちたいという欲求が幼児教育に効果的だと述べている．以上の理由からトランプは多くの利点を持つ多目的ツールであると言える．

本研究は，このように多くの側面を持つトランプに着目し，拡張現実感技術と組み合わせることで，さらにエンターテイメント性やコミュニケーション性を高めることを目的とする．本稿では，その実現方法として，プロジェクタ・カメラシステムを用いたトランプ拡張システムを提案する．

以降，2 節で関連研究を述べ，3 節では本研究の目指すトランプの拡張方針を述べる．また，4 節ではその実現方法について説明し，実装したプロトタイプを 5 節で紹介する．6 節ではカード認識精度の評価について，7 節ではユーザ評価を含む実環境でのシステム評価を述べる．8 節で本稿のまとめを記す．

2. 関連研究

岩田らは，プロジェクタ・カメラシステムを用いて日本の伝統的な遊びである囲碁の拡張を行った[3]．また，緒方らはビリヤードの台に情報を投影し，初級者向けショット練習支援システムを実現した[4]．テーブルトップ環境でゲームの拡張を行う研究の中でも，これらの研究は従来どおりの道具を用いることで，ゲーム本来の醍醐味を損なわないこと，作業空間への情報の重畳表示に着目した点で，本研究と共通している．

トランプと ICT 技術を組み合わせた研究としては，山邉らがトランプゲームの一種であるポーカーの緊迫感をバイオフィードバックとして通知するシステムを

† 東京農工大学工学部情報工学科
‡ 東京農工大学工学府情報工学専攻
†, ‡ Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

提案している[5]．また，Chi らはデジタルボードゲームで数多くのインタフェースを利用できる点に着目し，心拍数などの生理的な情報やジェスチャ認識を取り入れたゲームの研究の一例として，山邉らと同様にポーカーゲームの拡張を行っている[6]．これらの研究とは，デジタル情報の付加によるトランプの拡張方針を提案している点で共通する．

また，Floerkemeier らはトランプに RFID タグを取り付け，戦略的なアドバイスやスコアリングを行うことでトランプゲームを拡張するシステムを提案している[7]．本研究では，カメラを用いることで，付加物のない既存のトランプを利用できる手法の提案を行う．

3. トランプゲームの拡張方針

トランプゲームの拡張に対するユーザ要求を把握するため，事前調査として 12 名の被験者に 4 種類のトランプゲーム（神経衰弱，七並べ，ババ抜き，大貧民）を行ってもらい，拡張に対する意見を集めた．以下にその一部を示す．

- *プレイする順番を自動で決めてほしい*
- *誰の順番か表示してほしい*
- *正解・不正解を教えてほしい*
- *ヒントを表示してほしい*
- *視覚的に面白い映像がほしい*
- *BGM があるといい*

プレイする順番や誰の順番であるかの表示，正解・不正解の通知には，トランプカードの認識が必要となる．また，ヒントの表示にはカードの認識によるゲーム状況の把握だけでなく，プレイヤーの特定が必要である．さらに視覚的，聴覚的な情報を求める意見は，光や音を用いることの必要性を示している．事前調査で得たこれらの拡張を実現するためには，大まかに分けて以下の 3 つの機能が必要であることが分かった．

- トランプカードの認識
- 行動中のプレイヤーの特定
- 光や音を用いたエフェクト

これらの機能を利用することで，トランプゲームでの面倒なスコアリングの自動化や，実力差を吸収するヒントの掲示，よりエンターテイメント性を高めるプレイヤーへのフィードバックを行うことが可能となる．したがって，本研究では以上の 3 つの機能を実装する．

4. トランプゲーム拡張の実現方法

4.1 システムの概要

3 節で述べたトランプゲームの拡張を実現するため，本研究では机上にカードを並べて行うゲーム（神経衰弱，七並べなど）を対象とし，プロジェクタ・カメラシステムを用いた拡張環境を提案する（図 1）．このシステムでは，カメラで机上のトランプの状態を認識し，プロジェクタによる視覚的なフィードバック，スピーカによる聴覚的なフィードバックを行う．

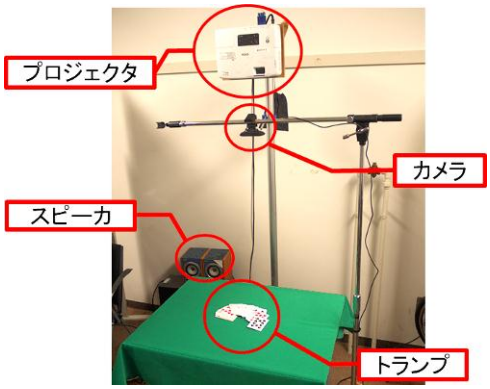

図1 トランプ拡張システム構成図

前述したとおり，トランプに RFID タグを取り付けてカード認識を行う研究がある[7]．しかし，RFID タグを利用すると，1) RFID リーダ上でしかカードを認識できない，2) カードの操作に影響が出る可能性がある，3) コストがかかる，などの欠点がある．これらの制限により伝統的なトランプのスタイルが失われ，本来のエンターテイメント性を損なう可能性がある．さらに，高コストで導入も容易ではない．

また，カメラと不可視マーカを用いて物体の認識を行う研究もある[8]．この技術を用いればカメラの撮影範囲でマーカ認識が可能で，カードの操作にも影響がない．しかし，マーカを印刷したトランプが必要となり，既存のものを利用できないという欠点を持つ．

以上の理由から，本研究では比較的導入が容易なカメラを選択し，画像処理によるカード認識手法を用いて RFID や不可視マーカ利用時の欠点を克服する．

情報の表示手段は，エンターテイメント性の拡張という目的を達成するため，表示する情報とトランプカードの距離が近く直感的なものが望ましい．テーブルトップディスプレイを用いたゲームの拡張を行う研究もあるが[6]，実環境へと導入することが難しく，ゲームを行える場が限定されてしまう．ヘッドマウントディスプレイは装着物による操作性低下の可能性があり，装着者への負担も大きい．したがって，情報の表示位置，比較的導入が容易である点，プレイヤーへの影響が小さい点からプロジェクタを選択した．

4.2 トランプカードの認識機能

3 節で述べた調査実施の際に，ゲーム中の“場”の

状態についても観察した．その結果，トランプカードの認識に必要な条件を以下のとおり定めた．

- すべてのカードを一度に認識できること
- 平面上でのカードの回転に対応できること
- 裏向きのカードに対応できること
- カードの重なりに対応できること

まず，全カードを認識するためには，54 枚（スペード，クローバー，ハート，ダイヤ×各 13 枚，ジョーカー×2 枚）を並べられる範囲で認識できる必要がある．さらに裏向きの状態が重要なゲーム（神経衰弱，フリーセルなど）や，カードが重なるシーンがあるゲーム（ソリティア，大貧民など）もあり，これらの要件を満たすことが望ましい．

しかし，上記の要件の中で，カードの重なりだけは人ですら認識できない状態があり，コンピュータが認識すべき状態を定義する必要がある．そこで，本研究ではまずトランプカードの重なりがないことを前提とした認識を試みた．しかし，それでもプレイヤーが無意識に重ねることが起こりえる．そこで，ユーザがシステムの認識過程に自然に歩み寄るための仕組みとして，トランプを認識した場合にはフィードバックを行うこととした．トランプ認識処理の流れを図 2 に示し，以降で各プロセスについて説明を行う．

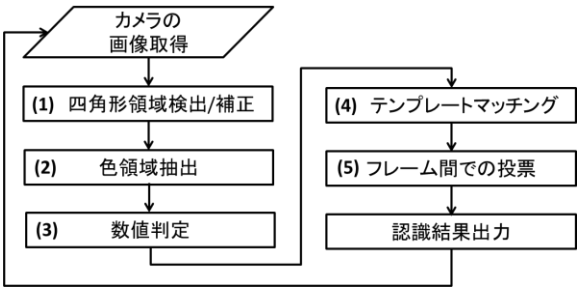

図2 トランプ認識のプロセス

(1) 四角形領域抽出／補正

机上全体を撮影できる位置に設置したカメラから画像を取得し，画像内の物体の輪郭へ外接四角形を描く．この時，トランプの大きさは一定であるため，輪郭，各辺の長さを用いてトランプ以外の物体を大まかに取り除ける．次に，射影変換を用いて，四角形領域を長方形へと変換する．この処理を行うことで，カメラから得た画像の微妙な歪みを補正できる．以上の処理により，カメラで得た画像からすべてのトランプの領域を切り出し，各領域に対して(2)から(5)の処理を施す．

(2) 色領域抽出

処理(1)により，事前に取得したすべてのトランプのテンプレートとマッチングを行うことでカードの種類特定が可能となる．しかし，全種類のカードに対してテンプレートマッチングを行う場合，計算コストが膨大になる．そこで，我々は青，赤，黒の 3 色の面積を用いて抽出した四角形領域を大まかに分類することでマッチング回数を削減し，処理(3)と組み合わせることでリアルタイムでも利用可能な認識手法を考案した．まず青色抽出で J，Q，K を，次に赤領域抽出でハートとダイヤの 1～10 を分けることで，スペードとクローバーの 1～10 とジョーカーが残る．J，Q，K と，ジョーカー，スペードの A はテンプレートマッチングで取り除き，残りの 1～10 は処理(3)を行う．

(3) 数値判定

トランプの絵柄には共通点が数多く含まれる．特に，各カードのマークの並び方は多くのトランプにおいて共通である．そこで，本研究ではマークの位置をノードとする木構造を形成し，マッチングを行わずにその座標を順にチェックしていくことで数値を判定する手法を提案する．これにより，さらにマッチング回数を削減できる．図 3 に数値判定に用いる木構造を示す．

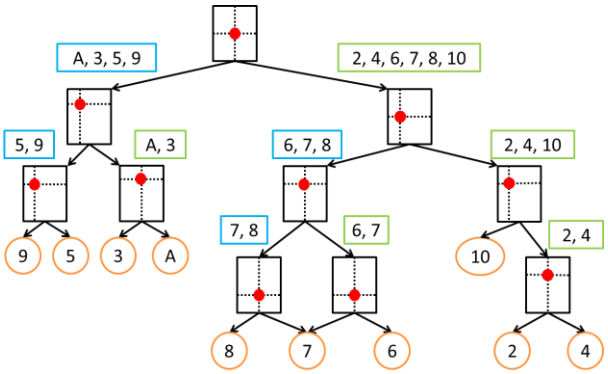

図3 木構造による 1~10 の数値判定

図 3 中の各ノード（長方形）に描かれている丸は，木構造を辿る際に確認を行う座標であり，各カードに存在するマークの位置を表している．トランプのマークの位置には対称性があるため，本手法であれば切り出したトランプの上下の向きが未確認であっても 1～10 までの数値の特定が可能である．

(4) テンプレートマッチング

1～10 までの各数値のスペードとクローバーの判別，ハートとダイヤの判別はテンプレートマッチングで行う．処理(2)，(3)を行うことで，54 種類すべての認識に 4000 回以上必要なマッチング回数を約 90%削減することが可能になった．

(5) フレーム間での投票

ゲーム中には，トランプ以外のものがカメラに映る可能性がある．例えば，プレイヤーの手は何度も場に

出現することが想定されるが，手がトランプを遮ることや，手自体を四角形領域として抽出する可能性がある．そこで，プレイヤーの手などは常に静止しているものではないと仮定し，フレームごとに認識したトランプの投票を行うこととした．各トランプに値を持たせ，認識した場合に+1，しなかった場合に-1 を加算する．0～5 までの値のうち 2 以下はノイズとして排除することで，トランプの認識精度を維持したまま，それ以外の物体による誤認識の可能性を排除した．

4.3 プレイヤーの特定機能

プレイヤーの特定もトランプ認識と同じカメラで行う．そこで，一度始まればトランプゲームの最中にプレイヤーの位置が変わることはないと仮定し，机に対する人の位置関係に着目した（図 4）．

(1) 登録フェーズ

ゲームの開始時にすべてのプレイヤーの手を机上に乗せた状態で撮影を行う．その画像から肌色領域を抽出し，一定以上の面積のものを手とする．認識した手の重心を計算し，位置を記録する（図 4 中の G_1~G_4）．

(2) 特定フェーズ

プレイ中の撮影範囲に手が現れた瞬間，手の重心（図 4 中の G_x）を各プレイヤーの位置と比較し，一番近いプレイヤーの手（図 4 中の G_1）であると判定する．撮影している領域の外に手が出るまで，そのプレイヤーの操作であるとする．

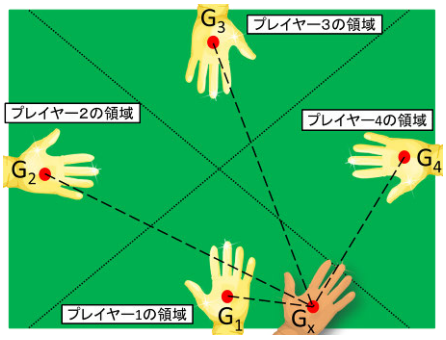

図4 プレイヤー特定機能

4.4 エフェクト付加機能

事前調査で拡張トランプゲームに求められているエフェクト機能には，エンターテイメント性を求めたものが数多く存在した．そのため，視覚的なエンターテイメント性の向上や，重なりに対応していないシステムを許容してもらうことを目的とした認識結果フィードバックを実現する必要があると考え，次の 2 つの機能を実装した．

(1) 光の枠のエフェクト

認識したトランプの枠に沿って光の線が回るエフェクトを作成した（図 5）．認識した各トランプより一回り大きな四角形の枠を描き，その上に明るい色を描画することで実装した．この機能により，プレイヤーがトランプを操作した際に，トランプの認識状態を通知する．4 節で述べたように，プレイヤーに意識させずに重なりのない状態で置くことを促す目的がある．

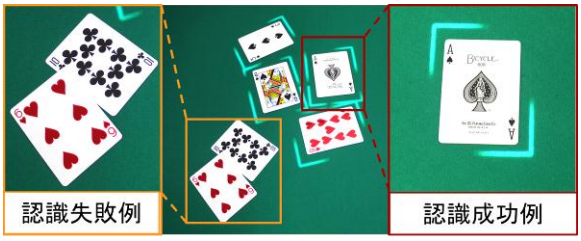

図5 光の枠のエフェクト

(2) スポットライトエフェクト

事前調査での意見を参考に，場に出ていたトランプが取り除かれた場合，スポットライトのように楕円状の背景が現れるエフェクトを作成した．カードの 4 頂点を記録しておき，トランプが存在した位置に収まる楕円を描いている．多くのカードを使う場合では，ゲームの進行と共に背景が完成していく．

4.5 プロトタイプシステムの実装

実装したプロトタイプシステムについて，ハードウェアの仕様を表 1 に示す．開発言語は C++，IDE に Microsoft Visual Studio 2010 を使用した．画像処理ライブラリとして OpenCV2.3 を，エフェクトの作成には DX ライブラリを利用した．また，認識対象のトランプには世界最大の売り上げを誇る The U.S. Playing Card Company の BICYCLE RIDER BACK を選択した．

表1 使用機器の仕様

使用機器	性能
PC	Windows7 32bit, Core i3 3.07GHz, 4GB RAM
プロジェクタ	3000lm, XGA(1024×768)
カメラ	Quad-VGA(1280×960), 15fps

5. トランプカード認識精度の評価実験

5.1 実験概要

プロジェクタの光の影響を受けない理想環境でトランプ認識精度と処理時間を計測し．カード認識アルゴリズムの基礎評価を行った．精度評価では，54 種類のカードをカメラで撮影している机上に各 100 回ずつランダムな位置と角度で投げ入れ，認識に成功した割合を調べた．なお，試行中に投げ入れたトランプが机上に乗らない場合や，裏返った場合は再度行うものと

した．また，各カードの平均処理時間を調べるため，54 種類すべてのカードを並べて認識させ，1 フレームごとの平均処理時間を調べた．さらに，2 節(3)を行わないため，アルゴリズム上で認識が最も速い J，Q，K と，2 節(3)のノードが最も深くテンプレートマッチングの回数も多いため最も遅いスペード 8 について，1 枚を場に出した場合の処理時間を測定した．

5.2 実験結果

実験結果を表 2 に示す．合計 5400 回の試行のうち，正しく認識にできたのは 5191 回であった．最も認識精度が低かったのはスペードの 10 の 76%であり，スペードの 8 と誤認識してしまっていることが確認できた．その他のカードはすべてが 90%以上の認識精度となり，全体として平均 96%以上の精度で 54 種類のカード認識を行うことができた．また，54 種類を同時に認識した場合の 1 フレームあたりの平均処理時間は 935ms であった．J，Q，K の 1 フレームあたりの平均処理時間は 33ms，スペードの 8 は 34ms であり，大きな差は見られなかった．

5.3 考察

2 節で述べたアルゴリズムを辿ることにより，スペードの 10 に誤認識が多かった原因は認識処理の手順(3)であることが分かった．スペードの 10 は他のカードに比べ模様の間隔が狭く，四角形抽出時の微小なずれにより，木構造上の数値判定での誤判定を引き起こしていた．そこで，数値判定で 8 という結果が出た場合には，テンプレートマッチングの際に 10 のカードとも比較を行い精度の改善を試みた．スペードの 8 と 10 について再度 100 回の評価試行を行ったところ，認識精度はそれぞれ 95%と 98%となり，スペードの 10 をスペードの 8 と誤認識した回数は 0 となった．また，54 枚を同時に認識した場合と，1 枚だけを認識した場合の平均処理時間の比較から，2 節(1)で述べた四角形抽出/補正に最も時間がかかることが分かる．

6. アプリケーション評価実験

6.1 実験概要

実際にゲーム拡張を行った場合のユーザ評価を行うため，前述したエフェクトや，プレイヤー判定の応用である勝敗判定機能を搭載した拡張神経衰弱ゲームを実装した．プレイヤーが正解した場合や勝者発表時には音によるエフェクトも用いている．

被験者は 11 名であり，4 人/3 人/4 人の 3 グループに分かれて拡張したゲームを実施した．その後，本システムによるエンターテイメント性やコミュニケーション性の向上の有無などを評価するアンケートを行った（表 3）．アンケートは 5 段階の Likert スケールであり，5 が「非常に良い」，3 が「どちらとも言えない」，1 が「非常に悪い」とした．なお，質問 7 は 3 段階であり，5 段階評価の 5，3，1 に対応する．

表3 神経衰弱アプリケーション評価アンケート

番号	質問項目
1	トランプ認識の速さについて
2	トランプ認識の精度について
3	プレイヤーの認識機能について
4	光の枠のエフェクト機能について
5	スポットライトエフェクト機能について
6	普通のトランプゲームと比較した楽しさ
7	普通のトランプゲームと比較した操作性
8	普通のトランプゲームと比較した コミュニケーション活性度

また，プロジェクタの影響や，ユーザがいる状態での実環境における認識精度を評価するため，プレイヤーがカードをめくった回数，カードを認識しなかった場合に置きなおした回数，誤認識の回数をそれぞれ目視で数えた．プレイヤーがカードをめくったが認識しない場合には，再度置きなおすよう指示した．置きなおした回数については，一度カードをめくり，置き直したが認識せず，再び置きなおした場合は 2 回とカウントした．ここで，誤認識とは正解している状況で正解と認識されない回数と，正解していない状況で正解と判断される回数の合計である．以上の定義に基づき，認識率および誤認識率を求めた．

6.2 実験結果

アンケートによるユーザ評価の結果を図 6 に示す．

表2 トランプ認識実験結果（単位：正解率）

	A	2	3	4	5	6	7	8	9	10	J	Q	K
Spades	0.99	0.98	0.92	0.97	0.94	0.99	0.99	0.97	0.98	0.76	0.97	0.95	0.96
Clubs	0.97	0.93	0.91	0.94	0.98	0.99	0.97	0.95	0.98	0.99	0.96	0.96	0.97
Hearts	0.97	0.92	0.96	0.95	0.94	1.00	0.96	0.96	0.96	0.95	0.96	0.96	0.95
Diamonds	1.00	0.99	0.98	0.99	0.96	0.95	0.99	0.95	0.98	0.98	0.97	0.98	0.95
Jokers	0.94	0.99											

認識の速さや精度には，概ね不満はないという結果が得られた．さらに，プレイヤーの特定（質問 3）や，エンターテイメント性の付加（質問 6）という項目で高い評価が得られた．

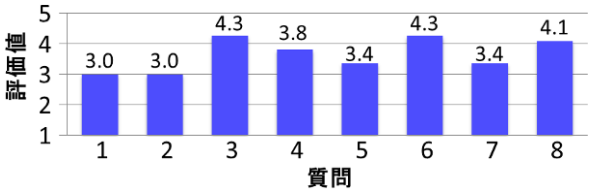

図6 アンケート結果

3 回のゲーム中で，2 節(1)で述べた四角形抽出によるカード検出を行った回数は 449 回，そのうち成功した回数は 348 回であり，検出率は 78%であった．また，その後の識別処理の誤認識回数は 17 であった．検出したカードを誤認識する確率は 10%であり，全体としての認識率は 70%となった．

表4 認識実験結果

グループ	めくり回数	置き直し回数	誤認識
1	106	48	5
2	132	38	6
3	110	15	6

7. 考察

実環境でのユーザ評価を通じて，プレイヤーの存在による環境光の変化や，それによるカード認識精度の低下，プロジェクタの光を用いたエフェクト自身に認識が阻害されることなどを確認した．しかし，アンケートでは認識の速さと精度について概ね不満はないという結果を得た．これは，ユーザが視覚フィードバックを通じてシステムの認識過程へと歩み寄り，システムの性能を許容したことの現れと考えられる．しかし，正しい認識結果を得られなければ，ゲーム中のヒント提示や正確な得点計算などの拡張を行うことは難しい．様々な拡張を可能にするため，実環境でも速さと精度が低下しないように改善する必要がある．この問題は，カメラ付近に光源を設置しプレイヤーの影ができにくくすること，周囲の明るさに合わせた動的な閾値決めを導入することで解決できると考えられる．また，トランプとの重なりがない位置にエフェクトを投影する方法も必要である．

一方で，本研究の目的であるトランプゲームの拡張によるエンターテイメント性の向上や，コミュニケーション性の向上という観点においては，ユーザから良好な評価を得ることができた．

8. おわりに

本稿では，カメラとプロジェクタを用いたトランプゲームの拡張システムを提案した．事前調査で得られたトランプの拡張方針に基づき，カード認識機能，プレイヤー特定機能，エフェクト付加機能を実装した．カード認識機能は，理想環境での実験評価の結果，机上投げ入れた重なりのないトランプを 96%の精度で認識できた．また，トランプゲームの拡張例として神経衰弱を選択し，実環境での認識精度調査やアンケートによるユーザ評価を行った．その結果，カード認識精度は 70%に低下したが，ユーザ評価では既存のトランプゲームと比べたエンターテイメント性，コミュニケーション性の向上について高い評価を得られた．

今後の展望として，実力差をなくすためのヒントの表示機能や，更にエンターテイメント性を高めるためのエフェクト機能などの新たな拡張機能の追加や，重なりを含む状態でのカードの認識が挙げられる．実際のトランプゲームには，カードが重なる状況が多く存在するため，それを考慮した認識手法の導入が今後の大きな課題となる．現状では，直線の垂直な交わりを検出しトランプの角に記された数字やマークを認識する方法を検討する予定である．

参 考 文 献

1) 株式会社バンダイ：＜バンダイ子どもアンケートレポート Vol.125＞『家族揃ってする遊びは何ですか？』，(2006).
2) 大野啓子：トランプ遊びで子どもの知能はグングン伸びる，(2008).
3) Takahiro Iwata, et al.: Traditional games meet ICT: a case study on go game augmentation, *In Proc. TEI '10,* pp. 237-240 (2010).
4) 緒方祐介，他：プロジェクタ・カメラシステムを用いたビリヤードの初級者向けショット練習支援，情報処理学会研究報告[音楽情報科学], pp. 17-23 (2007).
5) Tetsuo Yamabe, et al.: Biofeedback Training with EmoPoker: Controlling Emotional Arousal for Better Poker Play, *In Proc. BioS-Play '10.*
6) Chi Tai Dang, Elisabeth André: Surface-poker: multimodality in tabletop games, *In Proc. ITS '10,* pp. 251-252 (2010).
7) Christian Floerkermeier, Friedemann Mattern: Smart Playing Cards - Enhancing the Gaming Experience with RFID, *In Proc. PerGames '06,* pp. 27-36 (2006).
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).