

仮想と現実の相互作用を実現する AR 紙相撲対戦システム

福山裕幸^{†1} 飯田勝吉^{†2} 高井昌彰^{†2}

概要：拡張現実において、実物体の動作を検知して仮想物体に影響を与えることで現実から仮想世界への干渉が生じる。また、仮想世界の動作に応じて実物体に整合性のとれた物理的フィードバックを起こすことで、仮想から現実世界への干渉が表現される。本研究では、身近な対戦ゲームの一つである「紙相撲」に着目し、仮想と現実の2体の力士が土俵上で組み合って対戦するAR紙相撲システムを開発した。仮想の力士から紙の力士への干渉を実現するため、六方格子状に並べた電磁石を土俵下に設置するとともに、紙の力士の足元に微小な永久磁石を装着し、それらの反発力を応用する。また、土俵上の紙の力士はその自然特徴点によって画像認識され、オクルージョン処理された仮想力士が土俵撮影画像に重畳描画される。

キーワード：AR, 拡張現実感, インタラクション, 紙相撲, Arduino, 電磁石

AR Kami-Sumo System with the Interaction between Real and Virtual Entity

HIROYUKI FUKUYAMA^{†1} KATSUYOSHI IIDA^{†2}
YOSHIAKI TAKAI^{†2}

1. はじめに

1.1 背景

拡張現実感(AR)とは現実世界の対象にデジタル情報を実時間で付加することで人が知覚する環境を拡張する技術であり、教育やスポーツ、エンターテインメント、観光、広告など様々な分野で利用されている。MarketsandMarkets社が2018年初頭に発表したリサーチ[1]によると、ARの市場規模は2016年で推計23億9000万ドルであるのに対し、2023年には613億ドルまで成長すると予測されており、今後一層広範な分野でのAR技術の活用が見込まれる。

1.2 本研究の目的

ARにおいて、実物体の動作のセンシングに基づいて現実から仮想世界への干渉を表現し、また仮想世界の動作に応じて何らかの仕組みを媒介として実物体の変化を誘導することで、仮想から現実世界への干渉を表現することができる。これらの仮想と現実の双方向の作用を実時間で同時に行うことで、仮想世界との新たなインタラクションの可能性が期待できる。

本研究では「紙相撲」に着目し、物理的な土俵の下に置かれた電磁石アレイを用いて、仮想の紙相撲力士と現実の紙相撲力士が土俵上で組み合って対戦し、相互に作用を及ぼすことのできるAR紙相撲システムを開発する。

2. 仮想から現実への干渉

仮想から現実への干渉を実現するためには、現実世界へ物理的に影響を及ぼすことのできる装置が必要となる。先行研究等で使用されている装置の例としては、ワイヤーと磁石を組み合わせた装置[2]や、振動と熱電素子を用いたグローブ[3]がある。

本稿では紙相撲での現実の力士を「実力士」、仮想の力士を「仮想力士」と呼ぶ。本研究では図1に示す電磁石アレイを紙相撲の土俵の下に設置し、実力士の足元に微小な永久磁石を装着することにより、磁石の反発力を用いて仮想から現実への干渉を実現する。

電磁石アレイは土俵内部に視覚的に隠すことができるため、力の作用方向には制約があるものの、土俵上の実力士の動作への物理的な干渉を自然に表現することができる。



図1 電磁石アレイ

^{†1} 北海道大学大学院情報科学研究科
Graduate school of Information Science and Technology, Hokkaido University.

^{†2} 北海道大学情報基盤センター
Information Initiative Center, Hokkaido University

3. AR 紙相撲システムの全体構成

3.1 AR 紙相撲対戦

本システムを用いた実力士と仮想力士の紙相撲対戦のイメージを図2に示す。また、実際にシステムを利用した際のイメージを図3に示す。仮想力士の操作プレイヤーは、土俵を叩くようにマウスボタンをクリックすることで仮想力士を動かし、実力士の操作プレイヤーは、通常の紙相撲対戦と同様に、実際に土俵を指で叩いて振動を起こして実力士を動かす。土俵に向けられたカメラを介してビデオシーンスルーで土俵を見ることで、実力士と仮想力士の組み合った紙相撲の対戦の様子がみられる。

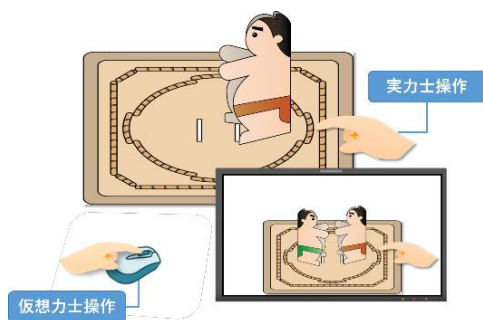


図2 AR 紙相撲システムでの対戦イメージ

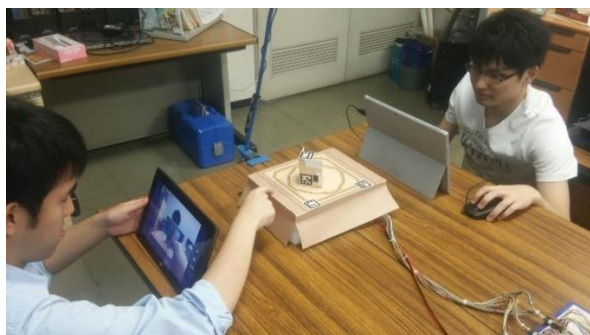


図3 実際のシステム利用イメージ

3.2 マーカを用いたプロトタイプ

土俵と実力士の認識にARマーカを用いた場合の実力士の認識・干渉及び仮想力士描画における処理の流れを図4に示す[4,5]。初期化処理の後、マーカ検出、実力士の座標位置決定、電磁石の動作決定、仮想力士の座標位置決定、AR重畳表示といった一連の処理を毎フレーム行う。

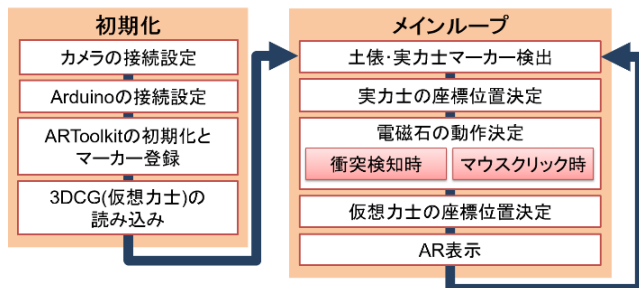


図4 マーカを用いた場合のシステムの流れ

また、本プロトタイプシステムを形成する主なハードウェア構成を図5に示す。実力士の土俵上の位置認識と仮想力士の重畳表示のため、プレイヤー視点の側面カメラの他に、土俵真上に天井カメラを配置している。システムの簡単化のため、土俵盤面の振動センサーは用いていない。

紙相撲対戦場の美観を損ねるARマーカを使用せずに、対象物（土俵と実力士）の自然特徴点を1台のカメラで認識することも可能である。本システムへの自然特徴点認識の導入については第5章で述べる。

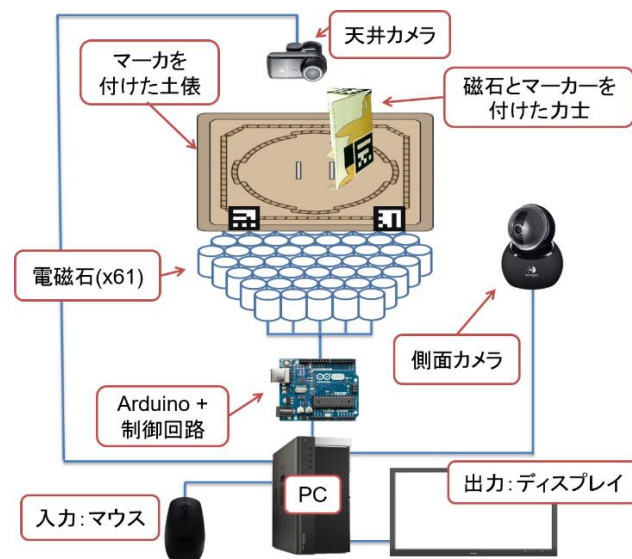


図5 マーカを用いた場合のシステム構成

4. AR 紙相撲システムの実装

4.1 磁力による干渉のための基盤

4.1.1 電磁石アレイ

鉄芯として直径5φの鉄製ボルトを利用し、巻き数300回（0.32φエナメル線、6層、コイル長30mm、1.2Ω）の電磁石を作成した。電磁石は平板上に18mm間隔で正六格子状に計61個配置され、電磁石アレイ（図1）を形成する。

4.1.2 電磁石の制御

電磁石アレイをPCから制御するインタフェースとして、ワンボードマイコンであるArduino UNO R3を用いた。Arduinoのデジタル出力ポートの6bitをデコードし61個の電磁石から任意の1つを選択し、MOS-FET 2SK4017を介して電磁石に流れる電流を制御する。パルス幅変調により、磁力を連続的に制御することができる。なお電磁石が発生する磁界の方向は予め固定されており、実力士の足元に固定された永久磁石との反発力のみを利用する。

電磁石の制御回路をできるだけ簡単化するため、同時に稼働できる電磁石の個数は1つに限定されている。そのため、複数の電磁石を動作させる場合には、図6のように画像認識のフレームレートに合わせて時分割で動作させる。

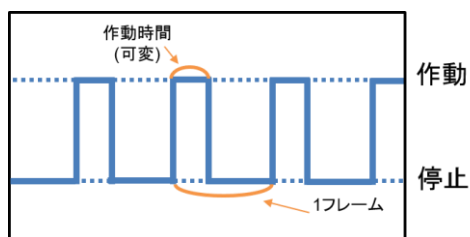


図6 フレーム時間ごとの電磁石の作動

正六角格子の電磁石アレイ上における個々の電磁石の動作は、図7に示すような4パターンで走査制御される。矢印方向に一段ずつ走査し、実力士の存在領域（足元の永久磁石近傍の一定範囲内）の電磁石だけを順に作動させる。基本的な走査パターンを4つに分けることで、実力士の意図しない移動や回転を防ぐ効果を実現している。

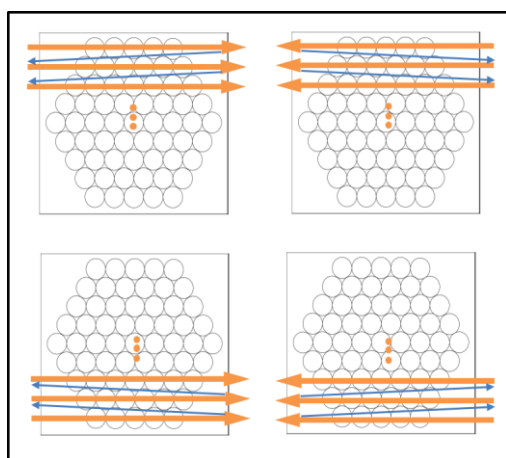


図7 電磁石の動作パターン

4.1.3 実力士と土俵

実力士は図8のように高さ74mmの厚紙を2つ折りにし、下部を内側に折り曲げて固定したものを使用した。実力士の足元には磁石(5φ)を2個装着している。実力士の表面にはARマーカを5個(左右両側面と上部)設けている。また、土俵(図9)は、通常の紙相撲と同様に、厚紙製の箱であるが、電磁石アレイを内包しており、土俵上面にリファレンス用のARマーカを有する。

土俵を物理的に叩いて盤面を振動させることに加え、無通電時の電磁石の鉄心に永久磁石が吸引されないようにするため、土俵と電磁石アレイの間に適度な隙間を設ける。

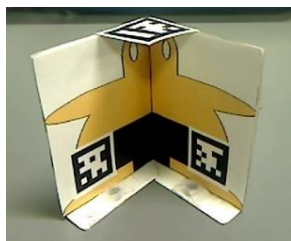


図8 マーカ付きの実力士

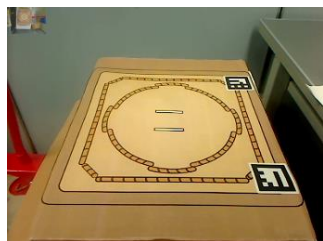


図9 土俵

4.2 力士の振る舞いの制御と重畳描画

4.2.1 実力士の位置情報取得

天井カメラの画像から土俵と実力士のマーカを認識し、実力士の土俵平面上の正確な位置情報を推定する。この情報をもとに、仮想力士が実力士と同じ形状を有しているという前提で、システムは土俵上の仮想力士と実力士の位置関係を構築し、力士同士の衝突判定を行う。

4.2.2 実力士への干渉と仮想力士の動作

マウスクリックを検知した場合、土俵上のクリック位置（仮想的に指で叩く場所）と仮想力士との相対的な位置関係から、仮想力士の配置座標に仮想的な振動による微小変移を加え、仮想力士の位置や向き、傾きを変化させる。同時に、実力士の近傍の電磁石を動作させ、実力士にも振動伝播の影響を与える。

実力士と仮想力士の座標が重なった場合、衝突を表現するために、実力士の近傍の電磁石を動作させて実力士に影響を与える一方、仮想力士には衝突点と仮想力士の重心の位置関係をもとに移動・回転等の変移を加える。

4.2.3 オクルージョン処理の実装

側面カメラの画像に対して、仮想力士を重畳表示する。その際、力士の位置関係によっては、単純な重畳描画では整合性がとれず、不自然になる場合がある(図10)。そのため実力士の側面のマーカを基準にして仮想力士を部分的にマスクすることにより、実力士によるオクルージョン処理を実現している(図11)。実力士の形状は単純な矩形に限らず、任意形状でのオクルージョン処理が可能である。



図10 オクルージョン処理なし

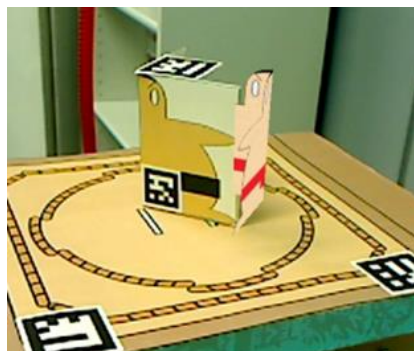


図11 オクルージョン処理あり

5. AR 紙相撲対戦のリアリティの向上

前章で述べたプロトタイプシステムの実装では以下に述べるいくつかの問題点があり、紙相撲対戦のリアリティを向上させるための改善が必要である。

5.1 自然特徴点認識の導入

AR マーカを用いた対象(実力士と土俵盤面)の認識は実装を容易に行うことができるが、実際の対戦プレイにおいては美観を損なう問題点がある。そこで改めて自然特徴点認識を導入し、マーカレスなシステムを実現した。図 12 にシステムの構成図を示す。また新たに作成した実力士と土俵の例を図 13 に示す。

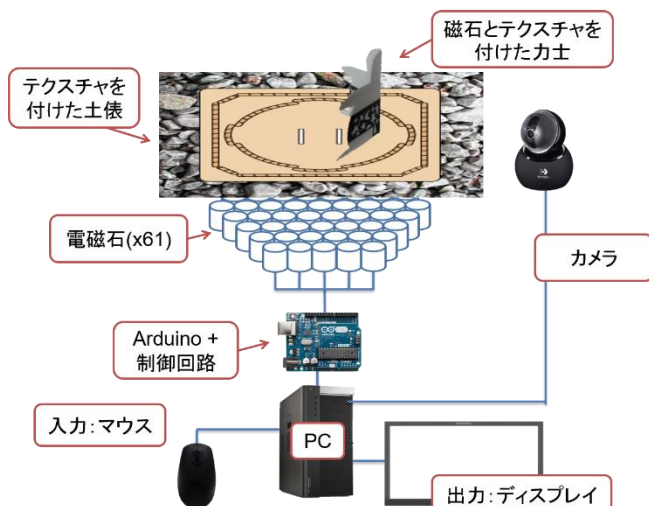


図 12 マーカレスのシステム構成図

本システムで使用する AR ライブラリに関しては、紙相撲の特性上、対象物体の細かな移動や回転、振動が多く起こるため、ロバスト性が高いことに加え、リアルタイム処理を可能とする処理の速さが求められる。プロトタイプシステムで使用していた ARToolkit でも自然特徴点認識は可能ではあるが、リアリティを向上させる要求要件を満たすため Vuforia を採用し、実力士のまわし部分に施したテクスチャ及び土俵周りのイラストを認識させることで実力士と土俵を検出する。

ただし、カメラに映る実力士の表裏が入れ替わる際など、カメラ位置から対象表面のテクスチャが不連続に変化して見える場合に認識が途切れる現象が生じる。これは、紙相撲における認識対象が薄い紙を二つ折りした板からなる物体であることに起因している。そのため、認識が途切れる直前の実力士の位置及び移動ベクトルから次の位置を推定する手法を併用する[6]。

土俵上で組み合う仮想力士と実力士の様子を図 14 に示す。土俵に写りこむ仮想力士の影など、土俵を囲む光源環境を考慮した光学的整合性には改善の余地があるが、視覚的なリアリティを向上した紙相撲対戦の描画が実現されている。



図 13 マーカレスの実力士と土俵

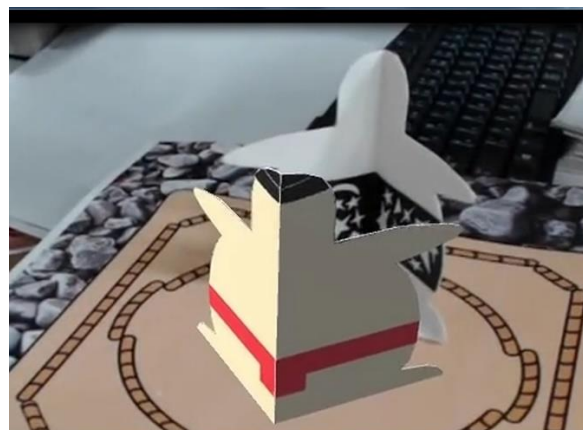


図 14 土俵上で組み合う仮想力士と実力士

5.2 物理エンジンの導入

プロトタイプシステムにおける仮想力士の動きは、処理時間の制約から、単純化されたルールベースで実装されているが、インタラクションにおけるリアリティをさらに向上させるためには物理エンジンを用いた正確な物理計算が必要である。そこで NVIDIA 社の PhysX を使用し、入力に対する仮想力士の動作及び力士同士の衝突時の動きに物理計算を適用している。重力加速度も考慮しているため、力士のより自然な動きの表現が可能である。

5.3 Arduino 処理の非同期化

プロトタイプの実装ではカメラのフレームレート単位でプログラムと Arduino の同期処理を行っていたため、4.1 節図 6 に示すように電磁石の作動に関して待ち時間が長くなる問題点があった。そこで Arduino での処理を切り離して非同期的に処理することで電磁石の作動処理を効率化した。

ただしこの非同期化によって、力士の衝突時に電磁石を動作させる命令信号が Arduino に連続してホスト PC から送られて来るため、信号を処理しきれず Arduino のキューに溜まる問題が生じ、リアルタイム処理に支障を来す場合がある。制御系の処理能力に応じて、命令信号の送出レートを適応的に調整する制御が必要である。

5.4 電磁石の動作範囲の適正化

前節で述べた制御系の非同期化によって新たに生じた問題を解決するもう一つの方法として、電磁石の動作範囲を適正化し、動作させる電磁石を絞りこむことが考えられる。プロトタイプシステムでの電磁石の動作範囲は実力士の不規則な移動を考慮して広めに設定されており、そのため Arduino に送る命令信号も多くなり、非同期化によってキューの滞留を引き起こす可能性を生じている。そこで、動作範囲を狭め、実力士の磁石の直下に位置する電磁石だけをピンポイントで動作させることで、命令信号の送出を最小限に抑えることができる。

ただし、電磁石の動作範囲を狭めすぎると実力士の移動が不安定になり、物理計算に基づいて、狙った方向へと連続的に移動させることが難しくなる。処理能力の制約内で最適化が必要である。

5.5 土俵を叩く仮想の手の描画

プロトタイプシステムでの仮想力士の動作はマウスクリックによるが、単純なマウスカーソルではカメラ画像に写る土俵盤面上での手の位置がわかりづらい問題がある。そこで、図 15 のモニタ画面に示されるように、仮想力士の動きを操作する「仮想手」を同時に描画することで、AR 紙相撲対戦のリアリティとユーザビリティを向上させる。



図 15 AR 紙相撲対戦の実演

6. まとめと今後の課題

身近な対戦ゲームの一つである紙相撲に着目し、仮想と現実の 2 体の力士が土俵上で組み合せて対戦する AR 紙相撲システムの実現手法について述べた。仮想の力士から紙の力士への干渉を実現するため、電磁石アレイを土俵下に設置するとともに、紙の力士の足元に永久磁石を装着し、それらの反発力を応用する。また、土俵上の紙の力士はその自然特徴点によって画像認識され、オクルージョン処理された仮想力士が土俵撮影画像に重畳描画される。

システムの単純化のため、土俵の物理的振動を検出する振動センサー等を設けていないことにより、実力士の操作

プレイヤーが土俵を指で叩いた際の振動が仮想力士に直接影響を与えることはないが、実力士との衝突時の仮想力士の振る舞いに物理エンジンを導入することで、紙相撲対戦のリアリティを向上させている。

電磁石アレイの動作の効率化、自然特徴点認識の更なる高精度化に加え、遠隔地のプレイヤーとのネットワーク対戦を可能とする通信機能のシステム実装を予定している。また、対戦ゲーム型のエンターテインメントシステムとしての総合的な評価実験は今後の課題である。

参考文献

- [1] MarketsandMarkets : “Augmented Reality Market by Offering (Hardware (Sensor, Displays & Projectors, Cameras), and Software), Device Type (Head-Mounted, Head-Up, Handheld), Application (Enterprise, Consumer, Commercial, Automotive) and Geography - Global forecast to 2023”
- [2] 青木, 三武, 浅野, 栗山, 遠山, 長谷川, 佐藤: “実世界で存在感を持つバーチャルクリーチャの実現 Kobito -Virtual Brownies-”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.2, pp.313-322 (2006)
- [3] vivoxie : Powerclaw
<https://vivoxie.com/en/powerclaw>
- [4] 福山, 飯田, 高井: “仮想と現実の相互作用を有する AR 紙相撲システム”, 第 16 回情報科学技術フォーラム FIT2017, J-030, vol.3, pp.407-408 (2017)
- [5] 福山, 飯田, 高井: “仮想と現実のインタラクションを実現する AR 紙相撲システム”, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2Y-04, vol.4, pp.153-154 (2018)
- [6] 福山, 飯田, 高井: “自然特徴点を用いた AR 紙相撲システム”, 平成 30 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, no.70 (2018)