

拡張現実感を用いた仮想物理空間に関する基礎研究

北海道科学大学 ○大江亮介, 北海道科学大学 川上敬

要 旨

マーカ型の拡張現実感を用いて仮想物理空間を構築し, 物理シミュレーション結果をカメラ画像に重畳表示するシステムを提案する. マーカの検出は拡張現実感ライブラリ ArUco を用いる. 各マーカの位置および姿勢情報を用いて仮想物理空間上にオブジェクトを生成し, 物理エンジン PhysX による物理シミュレーションを行う.

1. 緒 言

拡張現実感 (Augmented Reality : AR) は, 現実風景に CG (Computer Graphics) を重ねて表示する技術である. 近年話題となっている仮想現実 (Virtual Reality : VR) が CG のみの仮想世界を構築するのに対して, AR では現実世界に仮想的な情報を付加するといった用途で多く用いられている. また AR では環境を視認する必要があるため, シースルー方式のヘッドマウントディスプレイを除けば, カメラ等によって風景画像を取得して表示する必要がある.

現在利用されている AR の方式は, 主にロケーションベース AR とビジョンベース AR に大別される. ロケーションベース AR では, GPS 等により得られる位置情報, 電子コンパスや加速度センサにより得られる方位や姿勢情報を用いて CG データの表示を行う. 一方のビジョンベース AR では, 取得されたカメラ画像を用いて CG データの表示を行う. ビジョンベース AR には, マーカと呼ばれる目印を利用するマーカ AR と, マーカを必要としないマーカレス AR がある.

ビジョンベース AR はユーザの意思によって引き起こされた状況変化が CG データの表示に影響を与えるため, 現在主流となっている CG の重畳表示だけでなくとどまらず, CG が表現する仮想オブジェクトとのインタラクションも可能となる. 高瀬ら[1]は, 触覚刺激を生じるグローブを用い, 仮想キャラクターの動作状態を触覚的にフィードバックするシステムを提案している. また沖見ら[2]は, 理科実験の学習シミュレーション環境の構築を目的とし, AR を用いた滑車配置実験のための学習支援システムを提案している. ここでは, マーカを移動させることで滑車の構成を変化させている.

本研究では, マーカ型の AR 技術を利用した, 直観的に操作可能な仮想物理空間の構築を目的とする. マーカ AR は印刷されたマーカを必要とするのに対して, PTAM[3]等のマーカレス AR ではカメラ画像以外を必要としない. ただし本研究で目的とするシステムでは, 複数の座標情報を高精度で認識する必要があるため, 安定性の高いマーカ AR を用いることとした. 本稿ではその初期段階として, 基準となる地面, 重力および仮想オブジェクトの生成が可能な試験的システムを構築し, その操作感について報告を行う.

2. 三次元 CG の座標変換

2.1 オブジェクトの状態表現

CG オブジェクトは一般的に, ポリゴンメッシュと呼ばれ

る幾何図形の集合で表現される. 一方, 物理的挙動をシミュレーションすることを考慮すると, 運動計算を行うためのオブジェクトは閉じた構造となっている必要がある. 閉じたオブジェクトの重心が座標系の原点にある状態を基準状態とすると, オブジェクトの状態は 4 行 4 列の行列で表現でき, その状態 T は式(1)で表される.

$$T = \begin{bmatrix} M & r^t \\ \theta & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここに, M はオブジェクトの姿勢を表す 3 行 3 列の回転行列, r はオブジェクトの重心位置を表す 3 次元ベクトル, θ は全ての要素が 0 の 3 次元ベクトルである.

2.2 座標系の変換

2 つのオブジェクト 1, 2 の状態がそれぞれ T_1, T_2 であるとす. このとき, オブジェクト 1 の状態を基準とする新たな座標系を考える. この座標系では, オブジェクト 1 の重心は原点にあり, かつ回転していない状態となる. この新たな座標系におけるオブジェクト 2 の状態 T_2' は式(2)で表される.

$$T_2' = T_1^{-1} T_2 \quad (2)$$

ここに, T_1^{-1} は T_1 の逆行列である.

3. マーカ AR を用いた仮想物理システム

3.1 システム構成

図 1 に, 本研究で提案するシステムの外観を示す. 本システムでは, マーカ AR ライブラリとして ArUco[4]を用いる. ArUco は画像処理ライブラリである OpenCV をベースにしているため, モバイルデバイスを含めた様々な環境でのクロスプラットフォーム開発が容易であり, かつ今後カメラ画像を加工・処理する必要が生じた際の拡張性が高い. OpenCV を用いて取得されたカメラ画像に対して, ArUco を用いてマーカの検出を行う.

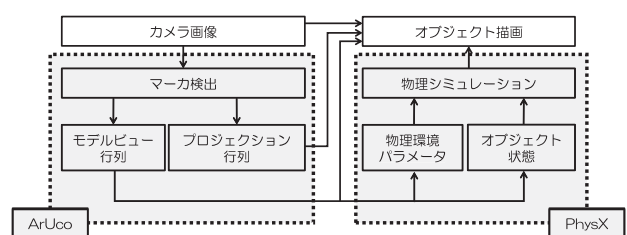


図.1 提案システムの構成

検出されたマーカ情報は、物理エンジン PhysX によって構築された仮想物理空間の環境パラメータ、およびオブジェクトの状態を決定するために用いられる。物理シミュレーションを行うことによりオブジェクトの状態が変化した場合、その運動結果をカメラ画像に重畳してディスプレイに表示する。

3.2 マーカ情報を用いた仮想物理環境

ArUco により検出されたマーカはそれぞれ、カメラの位置を原点とする座標系における状態を持つ。この状態を持つオブジェクトを直接作成して PhysX で物理シミュレーションを行うことも可能であるが、その場合重力の方向が不明であり、かつカメラが移動した際にオブジェクトの状態をカメラ画像に重畳して表示することが難しくなる。

そこで、特定のマーカを基準マーカとして扱い、基準マーカに対する相対的な状態をオブジェクトの状態として物理シミュレーションを行うこととした。すなわち、モデルビュー行列により得られる基準マーカの状態を T_b 、あるマーカの状態を T_m とすると、そのマーカ情報を用いて作成されるオブジェクトの初期状態 T_i は式(3)で表される。

$$T_i = T_b^{-1} T_m \quad (3)$$

これにより、カメラが移動した際にも物理シミュレーションにより状態変化したオブジェクトの状態を正しく表示することが可能となる。

ArUco では、図 2 に示すようにマーカに垂直な方向は z 軸となるよう座標系が設定されている。そのため、PhysX における地面として $z=0$ の高さに xy 平面を作成し、重力を表すベクトルは $(0, 0, -9.8)$ とした。ただし、重力方向を意図的に設定する用途を考慮して、重力用マーカを検出したときにはそのマーカの座標系の z 軸を用いて重力ベクトルを決定することとした。

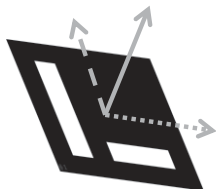


図2 ArUco におけるマーカ座標系：点線が x 軸，破線が y 軸，実線が z 軸

4. 提案システムの操作感の検証実験

提案システムが適切に動作するか、および利用した際の操作感がどのようなものであるかについて検証実験を行った。実験には CPU 周波数が 3.0GHz の Pentium Dual-Core G3220 の計算機および 640×480 のカメラ画像を 30fps のフレームレートで取得可能な Web カメラを用いた。この環境において、提案システムは 30fps での処理が可能であった。

操作感の検証として、基準平面の鉛直下向きが重力方向となる設定 (条件 1) ，および基準平面と重力方向が垂直でない設定 (条件 2) の 2 つについて実験を行った。図 3 は条件 1 において、2 つのマーカ情報から立方体を作成した結果である。ただし、矢印形のオブジェクトは重力方向を示すため

のものであり、他のオブジェクトと干渉しない。図 3 左は物理シミュレーション開始直前のマーカの状態を表し、図 3 右は物理シミュレーションを行い、一定時間が経過した後のオブジェクトの移動履歴を表している。図 3 より、机面を地面とする立方体の物理シミュレーションが実現できていることがわかる。ただし、複数のマーカを同時に扱えない点や、マーカの表面を Web カメラに向けなければならない点は利便性を損なうものであり、改善の余地がある。

図 4 は条件 2 において、傾いた基準面を生成して球を作成した結果である。基準面はあくまでも仮想物理空間における xy 平面であるため、物理シミュレーションとしては地面が傾いているのではなく、重力方向が斜めになっている状況を表している。ただしシミュレーション結果をカメラ画像に重畳表示する際には、あたかも斜面上を球が弾みながら転がり落ちているようなシミュレーションが実現できている。

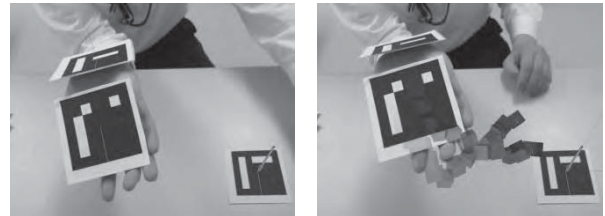


図3 水平面への立方体の落下

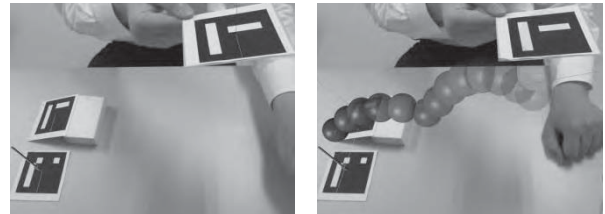


図4 傾斜面への球の落下

5. 結 言

本研究では、マーカ AR を用いて仮想物理環境を構築し、シミュレーション結果をカメラ画像に重畳表示するシステムを提案した。システムはマーカ検出、および物理シミュレーションにおいて良好な結果を得た。一方、マーカ位置にオブジェクトを生成する単純な方法では操作が困難であり、今後はオブジェクト生成に関する操作を改善する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 高瀬裕史, 姜長安, 澤田秀之 : 拡張現実空間における触感覚呈示による仮想キャラクターとのインタラクションシステム, 情報処理学会, 83-90 (2011).
- 2) 沖見圭洋, 松原行宏 : 拡張現実型マーカを用いた滑車配置実験のための学習支援システム, 日本教育工学会論文誌, 37(2), 107-116 (2013).
- 3) Klein, G., Murray, D. : Parallel tracking and mapping for small AR workspaces, 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 225-234 (2007).
- 4) Garrido-Jurado, S. et al. : Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion, *Pattern Recognition*, 47(6), 2280-2292 (2014).