

仮想物体の部分遮蔽と鏡面への映りこみを実現する拡張現実システムの開発 Development of an AR system that realizes multiple mirror reflections and partial occlusion

安達 正規* 高井 昌彰† 飯田 勝吉† 高井 那美‡
Masaki Adachi Yoshiaki Takai Katsuyoshi Iida Nami Takai

1. はじめに

拡張現実 (AR) における仮想オブジェクトの現実感向上のためには、幾何学的整合性、時間的整合性、物理的整合性、光学的整合性を常に保つ必要がある。

一般に鏡などの反射現象を生じる物体が実世界に配置されている場合には、表示される仮想オブジェクトの鏡面への映り込みを表現する重畳描画によって光学的整合性を保つ必要がある[1]。また鏡に遮蔽物となる物体が映り込んでいる場合には、遮蔽物と仮想オブジェクトの位置関係に応じて映り込みを制御する必要があり、さらに鏡の配置が動く場合には、映り込みを遅延なく追従させる必要もある。

本研究では、Unity/Vuforia をプラットフォームとして、複数の鏡面で多重の反射がおこる実空間における仮想オブジェクトの光学的整合性の実現を目的に、表示される仮想オブジェクトの遮蔽物によるオクルージョンを考慮した鏡面への映り込み処理を行う AR システムを開発する。

2. システムの概要

図1に本システムの全体構成を示す。前提条件として、使用する鏡 (平面及び球面) と遮蔽物の形状は既知であるものとする。複数の鏡の配置場所の認識のため、個々の鏡の枠または台座に AR マーカを取り付けるものとする。また、遮蔽物は事前に 3D スキャンを行い、遮蔽物を立体マーカとして認識することで遮蔽物の位置推定を行う。AR カメラを用いて仮想オブジェクトに対応するマーカと鏡に取り付けたマーカ及び遮蔽物の立体マーカを撮影することでこれらの位置関係を認識し、仮想オブジェクトの鏡面への映り込み処理を行う。

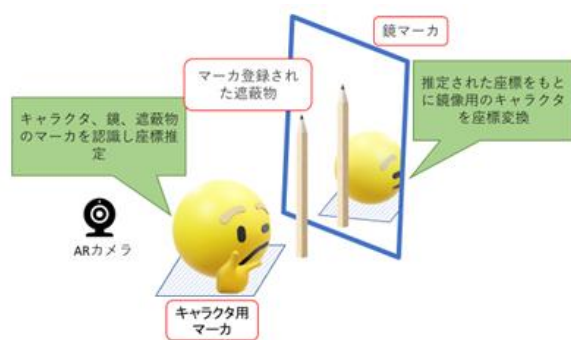


図1 システム全体の構成

* 北海道大学大学院情報科学院 Graduate School of Info. Sci. Technology, Hokkaido University

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

‡ 北海道情報大学経営情報学部 Hokkaido Information University

本システムの開発プラットフォームとしてゲームエンジンである Unity を使用し、Unity で提供されている AR 開発ライブラリである Vuforia を用いて複数の AR マーカの認識を行い、仮想オブジェクトの描画を行う。

3. システムの実装

3.1 鏡像を生成する座標変換の手法

本システムでは、複製された仮想オブジェクトを鏡面に対して面対称な座標に移動させ、元のオブジェクトと鏡合わせとなる角度に変換することで鏡面に映り込む仮想オブジェクトを表現する。

初めに、複製された仮想オブジェクトを映り込ませる鏡に対して元のオブジェクトと鏡面対称になる座標を算出する。面対称な座標の導出には AR マーカによって取得された仮想オブジェクトと鏡面の座標及びその法線ベクトルを使用する。

座標変換を行った後、複製された仮想オブジェクトを元の仮想オブジェクトに対して鏡合わせとなる向きに変換する。向きを変換する処理には、Unity 内で定義されているオブジェクトを指定された座標に向かせる Lookat 関数を用いた。Lookat 関数の第 1 引数はオブジェクトが向く座標、第 2 引数は回転の基準となる上方向ベクトルである。オブジェクトが向く座標と上方向ベクトルは元オブジェクトの Z 及び Y 方向に単位距離移動した座標を求めた後、元オブジェクトと同様に座標変換することで求められる。

複数の鏡で多重反射が起こる場合には、以上述べた座標変換の処理を予め定められた反射回数まで繰り返す。

3.2 枠に対する見切れ処理

鏡に対する適切な映り込みを表現するためには、鏡面の内部にのみ仮想オブジェクトを表示させる必要がある。鏡像として映り込む仮想オブジェクトを鏡の枠によって見切れる処理 (クリッピング) を施さなければならない。

本システムではこの見切れ処理の実装に Shader の機能であるステンシルバッファを用いた。ステンシルバッファを用いることで、ピクセルごとに割り当てられた整数値に応じて描画の判別を行うことができる。鏡に取り付けられた AR マーカの座標を用いて鏡面と同じ大きさの仮想オブジェクトを表示させ、その仮想オブジェクトが表示されている領域内のバッファの値を変更することで、鏡像として映り込む仮想オブジェクトを鏡面の内部にのみ表示させることができる。

3.3 オクルージョン処理

仮想オブジェクトをカメラ画像に重畳表示すると、実世界の物体の手前に表示されてしまうため、実物体と仮想物体との前後関係に矛盾を生じてしまう場合がある。一般に仮想物体の手前に存在する実物体によって仮想物体の一部を切り取るように表示させるオクルージョン処理を施すこ

とでこの問題を解決できる。本研究においては、遮蔽物となる実物体と仮想オブジェクトの前後関係を把握するだけでなく、鏡面に映り込んだ遮蔽物と鏡像として表示させる仮想オブジェクトの前後関係も考慮したオクルージョン処理を行う必要がある。

本システムでは、遮蔽物に予め 3D スキャンを行い、立体マーカーとして登録することで、仮想オブジェクト及び鏡との位置関係を取得している。例えば遮蔽物がドーナツ状の形状の場合、仮想オブジェクトをくり抜く描画機能を持った透明な仮想オブジェクトを事前に遮蔽物と同形状で定義し、これを重畳表示させることでオクルージョン処理を行う。さらに、透明な仮想オブジェクトを鏡面対称な座標に変換することで鏡像として映り込んだ遮蔽物に対してもオクルージョン処理を行う。

4. 実行結果

4.1 鏡をハの字に配置した場合

図 2 に 2 枚の鏡をハの字に配置した様子を示す。仮想サイコロの描画結果(a)からわかるように、2 枚の鏡が相互反射することで鏡の内部にもう一方の鏡が映り込む場合でも、実物のオブジェクトを用いた結果(b)と比較して鏡像の位置・方向に違和感のない AR 描画が実現できている。また、鏡の位置・角度の動的な変化に対しても、4.4 で述べるように滑らかに鏡像を追従させることが可能である。

ただし、(a)の左の鏡に映るオブジェクトの鏡像が、実物の鏡像に比べて明るく描画されており、実際の光源環境を考慮した陰影付けに問題が残る。



(a) 仮想のサイコロ

(b) 実物のサイコロ

図 2 2 枚の鏡をハの字に配置した場合の実行結果

4.2 合わせ鏡となるように配置した場合

図 3 に 2 枚の鏡を並行に配置することで相互反射の回数を増加した場合の様子を示す。仮想オブジェクトの複製及び座標変換の処理回数を増やすことで、鏡の奥に向かって複数回反射する鏡像の位置・方向を違和感なく再現できている。AR カメラに直接映り込まない 2 枚目の鏡の位置認識



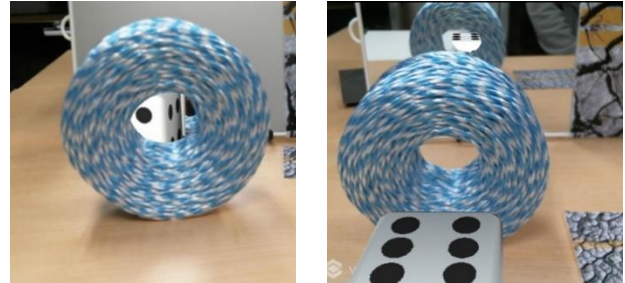
(a) 仮想のサイコロ

(b) 実物のサイコロ

図 3 2 枚の鏡を並行に合わせ場合の実行結果

は、対面の鏡に映り込んだ 2 枚目の鏡のマーカを左右反転させて認識することで実現している。

実物の鏡像(b)と比較して仮想オブジェクトの鏡像(a)の陰影付けの様子を見ると、反射を繰り返して映り込みが小さくなくても実物の鏡像に比べ明暗の変化が少なく、鮮明で単調な描画になっている。実際の光源環境の考慮に加え、AR カメラの被写界深度の影響も加味する必要がある。



(a)

(b)

図 4 遮蔽物を配置した場合の実行結果

4.3 遮蔽物を配置した場合

図 4 に遮蔽物を配置した様子を示す。(a)に示すように、仮想オブジェクト(サイコロ)が遮蔽物より奥に配置されている場合に、遮蔽物のドーナツ状の形状に応じたオクルージョン処理が実現されている。また(b)に示すように、仮想オブジェクトが遮蔽物より手前に置かれている場合には、鏡像となる仮想オブジェクトが鏡に映った遮蔽物によって切り取られている。

4.4 動作速度

以上示した図 2~図 4 の鏡像を AR 描画した場合、Unity 上での動作スピードは Intel Xeon W-2104 を搭載した PC において 60fps であり、十分なリアルタイム性を実現できている。一方 Unity における反射表現であるキューブマップを用いて毎フレームテクスチャを生成する方法で仮想鏡を実装した場合には、同じ動作環境におけるフレームレートは 15fps である。本システムにおける座標変換を用いた反射表現は AR の時間的整合性の観点でも優れていることがわかる。

5. まとめ

Unity/Vuforia をプラットフォームとして、複数の鏡による相互反射が生じる場での AR オブジェクトの違和感のない映り込み描画処理を高い追従性で実現した。また遮蔽物となる実物体に対して鏡面との位置関係を考慮した適切なオクルージョン処理を実現した。

今後の課題として、多様な光源環境での仮想オブジェクトの AR 描画の質を向上させるために、鏡面を考慮したシェーディングや影付けなどの光学的処理、AR カメラの特性に応じた鏡像の被写界深度処理などが挙げられる。

参考文献

- [1] 浦西友樹, 眞鍋佳嗣, 千原國宏 “立体マーカーを用いた拡張現実感環境における仮想物体の床平面に対する映り込みの実時間表現”, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, vol.17, no.4, pp.477-486, (2012)