

## 拡張現実空間における実影の認識に基づく仮想物体の影付け Shadowing of virtual objects based on recognition of real shadows in an AR space

岸本 佳樹\*  
Yoshiki Kishimoto

高井 昌彰†  
Yoshiaki Takai

飯田 勝吉†  
Katsuyoshi Iida

高井 那美‡  
Nami Takai

### 1. はじめに

拡張現実(AR)における光学的整合性とは、ある光源環境に置かれた実物体と矛盾しない仮想物体の陰影付けを意味し、AR で表現される仮想物体の視覚的な存在感やリアリティに大きな影響を及ぼす要因である。

例えば、現実世界における光学的現象の一つである「影」は光源がある限りどんな不透明物体にも生じるものであり、我々が視覚的に認識する世界で影を落とさない物体は存在し得ない。逆に、仮想物体が影を落とすならば、現実の中にその仮想物体が存在しているものと容易に認識し得る。

一般に光源環境を間接的に推定する方法として、既知形状の物体が現実環境に落とす影を利用する方法[1]や、物体が自分自身に落とす影を利用する方法[2]がある。AR においては、現実世界の光源環境をカメラ画像からリアルタイムで把握し、これを仮想物体に直ちに反映させ、光源位置等の動的変化に追従した描画を行う必要がある。

本研究では、Unity/Vuforia をプラットフォームとして、既知形状の物体の影認識による光源位置推定のもと、実物体と AR 表示される仮想物体のそれぞれの影の整合性のある映り込みを表現する AR システムを開発する。

### 2. システムの概要と設計

#### 2.1 システムの概要

本システムの概要を図 1 に示す。実物体に当たったライトを動かすとリアルタイムで AR 表示した仮想物体の影も動く。さらに、(a)のように実物体の表面に仮想物体の影を落とし、反対に仮想物体の表面にも、(b)に示すように実物体の影が描画される。

仮想世界と現実世界の両方で共有される実物体としては、既知形状の単純な直方体を用いることとする。また実光源には、実物体の全体を照らすことができ、実影が明瞭に生成される十分な明るさを有するスポットライト(LED ライト)を用い、実物体の中心に向かって照射する。

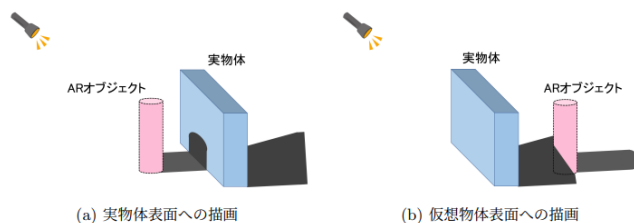


図 1 システムの概要

\* 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

#### 2.2 システムの基本設計

影に関して現実と仮想が融合したシステムにおいては、影を作り出す実光源の 3 次元位置を具体的に求めることが必須となる。ここで実物体の形状が既知であれば、実光源が生成した影と実物体の位置関係から光源の位置を推定することができる。本システムでは、光の直進性を利用し実物体とその影から光源位置推定を行い、それをもとに仮想物体の仮想影を作り出す仮想光源を配置する。

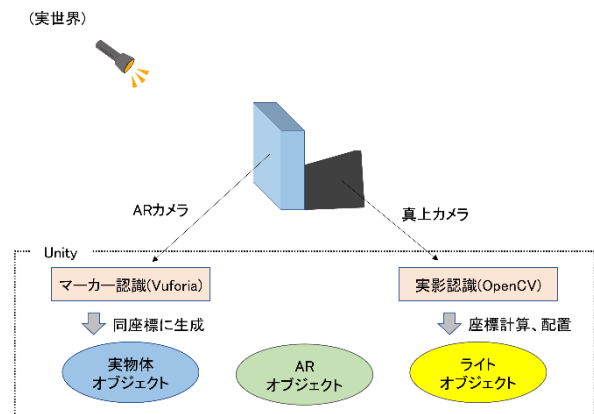


図 2 システム処理の流れ

システム処理のおおまかな流れを図 2 に示す。本システムは、ゲームエンジンである Unity をプラットフォームとし、AR 開発用のライブラリである Vuforia を用いてマーカ認識と仮想物体の表示を行う。PC に接続された AR カメラで実物体表面に描かれた AR マーカーを認識すると、同座標位置に実物体と同型かつ同スケールの透明なオブジェクト(実物体オブジェクト)を配置する。また、同時に AR 表示される仮想物体(AR オブジェクト)を配置する。

実光源と同じように振る舞う仮想光源を配置する処理は、画像処理ライブラリである OpenCV を用いた実影の認識によって実現する。実物体の中心に向かってライトを当て、真上カメラで捉えた実影と実物体オブジェクトの位置関係から仮想光源の位置と方向を計算して実光源に一致させ、Unity 内にライトオブジェクトを配置する。

### 3. ライトオブジェクトの配置

#### 3.1 実影の画像認識

真上カメラで実物体とその実影を撮影し、OpenCV の画像認識を用いて実影を抽出する。初めに初期化作業として実物体の中心を検出する。次に Canny 法を用いてカメラ画像から実物体と影領域のエッジを抽出した後、コーナー検出関数を用いて影領域の角を検出すると、図 3 に示す結果が得られる。このとき、同時に検出される実物体のエッジ部分のコーナーを除外するため、実物体の中心座標を用い

て各コーナーまでの距離を求め、影領域の角に対応する 2 点 (図 3 の青い点) のみを抽出する。

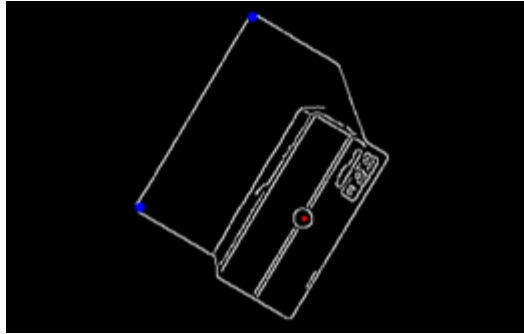


図 3 影領域の角検出

### 3.2 実光源の推定と仮想光源の配置

#### 3.2.1 実物体オブジェクトの角との対応付け

実影認識で検出した影座標 2 点を Unity 内 3 次元座標に変換した後、3 次元空間において影座標と各実物体オブジェクト上部の角座標 4 点との距離をそれぞれ計算し、最も距離が近いもの同士をペアとする。このとき実物体オブジェクトの中心から遠い点からペア決定を行うことで、2 点が同じ角を選択してしまう衝突を回避できる。

#### 3.2.2 3 次元座標の計算

図 4 に示すように、影領域の角と実物体の角を結ぶ 2 つの直線を考え、それらの交点に光源が存在するものと推定する。しかし実際には、ある大きさを持ったスポットライトで形成される影の観測から厳密に交点が求まるとは限らず、3 次元空間上の 2 直線がねじれの位置にあるのが一般的である。そのため、2 直線間の距離が最短になる 2 直線上の点を求め、その 2 点を結ぶ線分の中点座標にライトオブジェクトを配置し、実物体オブジェクト中心へ向ける。

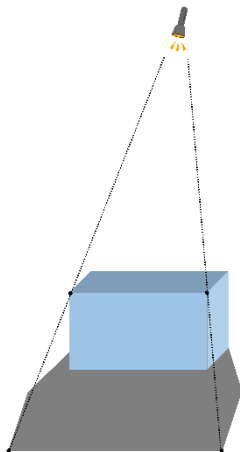


図 4 光源位置の推定

### 4. AR オブジェクトが落とす仮想影の描画

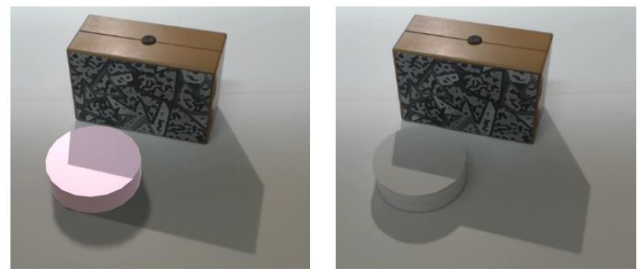
実物体と実環境に AR オブジェクトの仮想影を落とす機能は、仮想影のみをレンダリングするシェーダ[3]をオブジェクトに適用して実装する。しかし、Unity 内のスポットライトによって生成される影はこのシェーダを用いて描画することはできず、ディレクショナルライト (並行光源)

が生成する影の描画のみに対応している。そのため、本システムにおける AR オブジェクトが落とす仮想影の描画にはディレクショナルライトを用いている。実光源はスポットライトであることから、動作結果に見られる実影と仮想影のわずかな差異はこの光源タイプの選択に起因している。

## 5. 動作結果

### 5.1 仮想物体表面への実物体の影の描画

図 5 に仮想物体 (円柱) 表面へ実物体 (直方体) の影を落とす様子を示す。(a) は仮想物体を置いた場合、(b) は仮想物体と同形状の実物体を置いた場合である。円柱表面に描画された影を比較すると、前述の光源タイプの問題はあるものの、円柱の上面に落ちる仮想影と実影の形状・位置はほぼ一致していることが確認できる。



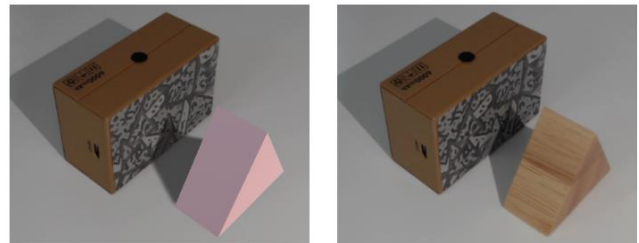
(a) 仮想影を含む場合

(b) 実際の影の様子

図 5 仮想物体表面への影描画と現実との比較

### 5.2 実物体表面への仮想物体の影の描画

図 6 に実物体表面へ仮想物体 (三角柱) の影を落とす様子を示す。(a)、(b) を比較すると描画位置にわずかな差異が見られるが、仮想影の描画処理は問題なく実現できている。



(a) 仮想影を含む場合

(b) 実際の影の様子

図 6 実物体表面への影描画と現実との比較

## 6. おわりに

本稿では、実物体と仮想物体が生成する影の整合性のある相互の映り込みを表現する AR システムの Unity/Vuforia での実装について述べた。面光源によって形成される半影を含むソフトな影表現や、数や種類に依らない光源位置推定方法の検討は今後の課題である。

### 参考文献

- [1] I. Sato, Y. Sato and K. Ikeuchi, "Illumination from shadows", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.25, No.3, pp.290-300, (2003)
- [2] 高井勇志, 牧 淳人, 松山隆司, "スケルトンキューブを用いた光環境推定", 画像の認識・理解シンポジウム講演論文集, Vol.2, pp.241-246, (2004)
- [3] おもちゃラボ, 【AR Foundation】モデルに影をつける <https://nn-hokuson.hatenablog.com/entry/2020/08/04/201753>