

## フラットディスプレイの面上に生じる影に対する裸眼での隠消現実

森英綺† 高井昌彰‡  
 北海道大学 北海道大学  
 大学院情報科学† 情報基盤センター‡

飯田勝吉‡ 高井那美\*  
 北海道大学 北海道情報大学\*  
 情報基盤センター‡ 経営情報学部

## 1 はじめに

拡張現実(Augmented Reality: AR)が現実世界に仮想のオブジェクトを重畳表示するのに対し、隠消現実(Diminished Reality: DR)は実物体を視覚的に消し去ることを目標とする技術である。例えば、カメラ映像に写り込む実物体の影(以下、実物体の影を実影と言う)を認識し、実影領域の画素値を調整することによって、実影が存在していない映像に変換する。

カメラに映った実影をビデオディスプレイの映像を通して視覚的に消去する隠消現実技術は既に様々な用途で活用されている[1, 2]。しかし、ユーザが裸眼のままの状態でも実影を消去することができれば、カメラ映像を介するよりも自然な隠消現実感を得ることが可能であると考えられる。本研究では、身近なトレーシングペーパーとフラットディスプレイを用い、水平なディスプレイ画面上に置かれた実物体の実影に対する裸眼での隠消現実システムを開発し、その動作を検証する。

## 2 隠消現実システムの概要

## 2.1 基本的アプローチ

本システムの概要を図1に示す。本システムの基本的なアプローチは、ARの一手法であるプロジェクションマッピングを対象物の背面から適用し、対象物(実影)の視覚的なアピアランスを変化させるものである[3]。

はじめに、水平に置かれたフラットディスプレイの画面上に、画面と同サイズの無色半透明のトレーシングペーパーを敷き、その上に実物体(エッジ部分が直線の直方体形状の実物体を想定)を置く。このトレーシングペーパー上に実物体の実影が明瞭に形成されるよう、適切な照度の点光源を斜め上方に配置する(図1(a))。

次に、この実影が裸眼で認識できないように変化させるため、ディスプレイ上の実影の位置を正確に特定し、実影の形状と同じ形をしたテキストチャ(以下、このテキストチャを負の影と言う)をフラットディスプレイに表示することによって実影を打ち消す(図1(b))。

本システムのアプローチにおいて、実影の隠消現実を視覚的に高いクオリティで達成するための最も重要な要件は以下の2点である。

- 要件1. 実影に対して幾何学的な位置のずれが可能な限り小さくなるように負の影をディスプレイに重畳表示すること
- 要件2. 実影と負の影を重畳表示した際に、実影周辺との色味の違いが可能な限り小さくなるように負の影の色を調整すること

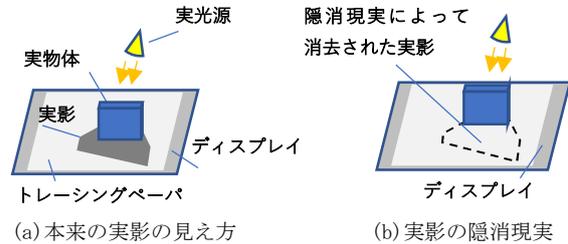


図1 システムの概要

## 2.2 システムの構成・設計

本システムではWebカメラ(Logicool C920 PRO)及びフラットディスプレイ(Dell P2419H)を各1台用いる。このカメラはシステムが実影位置取得と負の影生成を行うためのものであり、隠消現実感を得るユーザは裸眼で直接対象物を見る。カメラとディスプレイはPCに接続され、システムによって制御される。トレーシングペーパーにはSAKAEテクニカルペーパーSTP-A3K-45を用いる。

負の影をフラットディスプレイ上の適切な位置に表示するにあたって、カメラ画像から得られる座標(以下、カメラ座標と言う)と、フラットディスプレイ上の座標(以下、スクリーン座標と言う)の二つの座標空間の対応関係を求める必要がある。この対応関係をカメラ座標からスクリーン座標への射影変換行列を求めることで取得する。

カメラ撮影された実影領域の輪郭線を点列として取得し、スクリーン座標に射影変換する。この点列のスクリーン座標を基に実影領域のポリゴンパッチを形成し、全体にスムーズシェーディングを施した後、これを負の影テキストチャとしてフラットディスプレイに描画する。

実影の隠消現実感を裸眼のユーザに知覚させるためには、実影と負の影が重畳表示されている領域(以下、重畳領域と言う)と、背景のみが表示されているディスプレイ上の領域(以下、背景領域と言う)との視覚的な色合いが同一になり、重畳領域と背景領域の境界が視覚的に目立たないように負の影のシェーディングを調整する必要がある。そのため、負の影を構成するポリゴンパッチの輪郭線の頂点それぞれについて、RGBの各値を変化させ、重畳領域と背景領域の色が最も近い色になるように負の影の色を調整を行う。

## 3 システムの実装

## 3.1 射影変換行列の取得

一般に射影変換前と射影変換後のそれぞれについて対応する4頂点の座標を求めることで射影変換行列を求めることができる。本システムでは、チェスボード画像を表示しているフラットディスプレイの画面をWebカメラで撮影することでチェスボード画像の4隅の対応点の座標を取得し、これをOpenCVのGetPerspectiveTransform関数に与えることで、必要な射影変換行列Hを得る。

Diminished reality with naked eyes for the real shadow casted on the flat display surface

†Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

‡Information Initiative Center, Hokkaido University

\*Hokkaido Information University

### 3.2 実影の領域検出

図 2 に実影領域の輪郭抽出処理の流れを示す。はじめに、実光源を配置する前にディスプレイ上の実物体を環境光だけで撮影する。このカメラ画像を二値化することで実物体領域のみを抽出した二値画像 (図 2(c)) を取得する。

次に、点光源を実物体の斜め上方に設置して生じた実影を撮影し、輝度値分布を考慮した二値化処理の後、モルフォロジー変換 (オープニング処理) を用いたノイズ除去を行うことで図 2(b) が得られる。図 2(b) と (c) の差分から、実影領域のみを抽出した図 2(d) が得られる。

最後に、図 2(d) に対して OpenCV の FindContours 関数を適用することで実影の輪郭線上に並ぶ点列 (図 2(e) の赤色部分) を得る。この点列から選ばれた代表点を頂点として三角形ポリゴンパッチを構成し、ディスプレイに表示される負の影テクスチャを生成する。

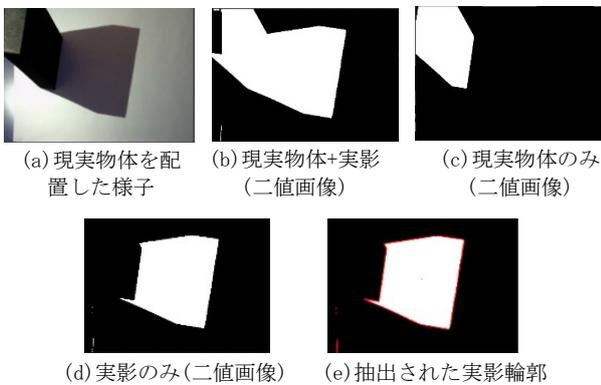


図 2 実影領域の取得

### 3.3 負の影色の調整

負の影色の調整処理の流れを図 3 に示す。はじめに実影に負の影が重畳表示されている様子を撮影した後、負の影を形成するポリゴンパッチの頂点ごとに、その近傍の重畳領域と背景領域の RGB 値 (0~255) の平均を取得し、それぞれの差分の絶対値を計算する。ここで終了条件を満たしていれば処理を終了する。それ以外であれば、差分をもとに RGB 値を更新した負の影をディスプレイに表示して撮影を行い、終了条件を満たすまで同様の処理を繰り返す。負の影の頂点ごとに、終了条件を満たした時点での RGB 値を最適解として選択する。

差分の絶対値 2 未満を終了条件とした場合、繰り返し回数は平均約 13 回である。この収束に至る過程を図 4 に示す (縦軸: 差の絶対値の対数)。全頂点数 25 のポリゴンパッチにおいて、負の影色の調整に要する時間は約 2 分である (使用 PC: OMEN by HP 25L GT15)。ただしこの所要時間には撮影の度に Web カメラを安定させるための待ち時間 (撮影 1 回あたり 7 秒) が含まれている。

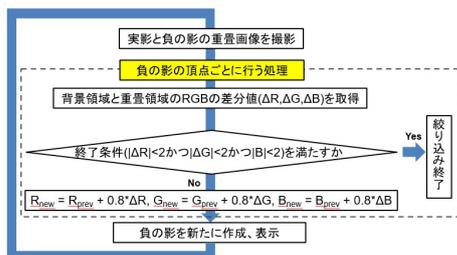


図 3 負の影色の調整処理の流れ

ΔR, ΔG, ΔB の収束の様子



図 4 RGB の差分値の収束例 (終了条件: 閾値 2)

## 4 動作検証

水平に置かれたフラットディスプレイ上に 2 個の実物体 (直方体形状) を配置し、斜め上方から実際に点光源を照射した環境で、その一方の実物体の実影だけを消去した結果を図 5 に示す。左下の実物体にはディスプレイから負の影を表示していないため、実光源によるはっきりした実影が見られる。一方、中央の黒い実物体に対しては負の影をディスプレイから重畳表示しているため、本来現れるべき実影が消去されたように知覚され、実影の隠消現実感が実現できていることがわかる。

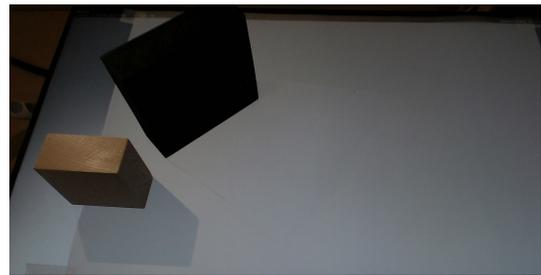


図 5 実物体の実影の隠消現実の結果 (中央の黒い直方体の影のみを消去)

## 5 おわりに

トレーシングペーパー敷いたフラットディスプレイを用い、実物体の影に負の影テクスチャを背面から重畳表示することで、裸眼での影の隠消現実感を与えるシステムを構築し、実際に実影を隠消できることを実験的に示した。負の影色の調整処理の高速化、実時間での実物体の形状変化やユーザ視点位置変化に追従できる隠消現実感の実現は今後の課題である。

## 参考文献

- [1] P. Barnum, Y. Sheikh, A. Datta and T. Kanade, "Dynamic seethroughs: Synthesizing hidden views of moving objects," *Proc. IEEE Int'l Symp. Mixed and Augmented Reality (ISMAR2009)*, pp. 111-114, 2009.
- [2] 森 尚平, 一川 良介, 柴田 史久, 木村 朝子, 田村 秀行: "隠消現実感の技術的枠組みと諸問題", *日本バーチャリアリティ学会論文誌*, vol. 16, no. 2, pp. 239-250, 2011
- [3] 森 英綺, 高井 昌彰, 飯田 勝吉, 高井 那美: "フラットディスプレイを用いた裸眼での影の隠消現実", *令和 5 年度情報処理北海道シンポジウム Info-Hokkaido2023*, no. 38, pp. 153-154, 2023