

隠消現実感における半隠消表示法の改良

Improvement of Half-DR Expression in Diminished Reality

吉岡 奨悟¹⁾, 森 尚平¹⁾, 柴田 史久¹⁾, 木村 朝子¹⁾, 田村 秀行²⁾

Shogo Yoshioka, Shohei Mori, Fumihisa Shibata, Asako Kimura, and Hideyuki Tamura

1) 立命館大学大学院 情報理工学研究科

2) 立命館大学 総合科学技術研究機構

(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要: 現実世界に存在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透過させる隠消現実感において、我々は物体を半透明に表示する手法を半隠消表示 (Half-DR) 法と名付け、研究を行ってきた。Half-DR では、半透明物体の実時間処理、そして、実在する物体を透明に見せるという 2 点が課題として挙げられる。先行研究では、これらの課題解決のため、物体を半透明に見せる要因を分析し、3 次元モデルを用いて描画する方法を提案した。しかし、この描画方法では与えられたパラメータに対して一定の表現しか提示できず、体験者の視点位置に応じて背景が変化した場合に、それに応じた表現ができなかった。本稿で提案するのはその改良方法である。具体的には、従来の除去対象の光学的特性の変更に加え、カメラ座標系での物体の面の向きに応じた透過度の付与、背景に応じた色情報の付与、そして、時間的変化に応じた半透明化によって、上記の課題の解決を図った。

キーワード: 隠消現実感, 複合現実感, 半隠消表示, 実時間処理

1. はじめに

Diminished Reality (DR) は、実在する物体を隠蔽・消去・透過させる技術であり、複合現実感 (Mixed Reality; MR) の実利用とともに、DR 技術への期待も高まっている。我々は、この技術分野に対して「隠消現実感」という日本語を充て、従来研究を調査し体系的な整理を行ってきた[1]。DR は、体験者視点から除去対象によって隠される光景 (隠背景) を観測し、観測結果をモデルに則して体験者視点に変換及び投影することで実現する。

視覚的な DR においては、実世界に存在する物体を見かけ上、消し去ることが目的であるが、完全には消さず、意図的に少し残すことによって物体を半透明にする表現も考えられる。このような、「物体が消えているが、ぼんやりとそこに存在を感じられる表現」を、我々は「半隠消表示 (Half-Diminished Reality; Half-DR)」と名付け、研究を行ってきた。例えばこういった Half-DR 表現は完全に物体を除去した場合に、体験者がその物体に気付かず衝突してしまう危険性を回避することに役立てられる。さらに、DR において光学的不整合の問題から完全には消すことができない場合に、Half-DR 表現を採用することでその不整合による違和感を軽減するといった利用法も考えられる。

透過技術に関する関連研究として、除去対象を透視することで、除去対象によって遮蔽されている隠背景を可視化

する研究例は存在する[2, 3]。これらが比較的単純なアルファブレンディングを採用しているのに対して、[4]では、さらにワイヤフレームやグリッド等を導入することによる見せ方の改善がある。ただし、これらはいずれも隠背景の情報を見せることに主眼を置いた研究であり、DR によって消し去る物体の見せ方に関する研究ではない。

このことを受けて、我々は除去対象の透過表現に着目し、その表現方法について、考案と検討を重ねてきた。本稿ではそれら先行研究において考案された手法を改良し、また、より体験者に「物体が半透明になった」と感じられる表現を新たに取り入れた手法の提案を行う。また、提案した手法が有効に機能するかどうか、MR 空間にて確認し、その結果と考察を述べる。

2. 先行研究

前述した文献においては、遮蔽している物体の表現方法に関しては考察・分析が十分になされていない。また、これらの文献においては、透明物体の表現方法として単純なアルファブレンディングを用いた手法が採用されている。しかし、アルファブレンディングを用いた単純な透明表現では、透明な物体が在るというよりも、除去対象の画像が透明になって貼り付けてある様な印象を受ける。これは、アルファブレンディングを用いた場合には、除去対象の 3

次元形状が考慮されず、均一な透明度で提示されるためだと考えられる。そのため、アルファブレンディングを用いた透明化では、「除去した物体がその場に残っている」という印象を与える表現を実現することができず、Half-DRの表現手法としては適さない。

このことから我々は除去対象の透過表現に着目し、Half-DRにおける一般的かつ有効な表現方法に関して、その検討と実装に取り組んだ[5]。実世界の半透明物体や数ある映像作品から、半透明化後も存在を感じられる表現についての模索と検討を行うことから始め、その結果、半透明表現においては、以下の要素が重要であると結論付けた。

- ・半透明化後の除去対象の立体感
- ・半透明化後の除去対象の隠背景の可視化方法

また前述の通り、アルファブレンディングを用いた単純な透明表現では存在感を与える結果を得られない。更に、物理法則に従った透明表現法も、ガラスなどの実在する透明物体の特性に基づいた表現であるため、実物体を半透明化したようには見えない。そこで我々は、物体が半透明化する架空の物質である「半隠消物質 (Half-Diminished Matter; Half-Matter)」で構成されていると考えた、半隠消表示モデルを考案した。光学的性質を物体表面の反射のみに限定することにより、実時間で物体の存在感を得られる透明表現を実現した。

その後は Half-DR における透明表現をより一般的な表現とするための検討を行った[6]。隠背景や反射等の光学的条件の変化によって、半透明化後の除去対象の透明感が変化し、シーンに応じて一定の視認性が得られる表現が必要であると考え、反射成分を透明度として採用することでその実現に取り組んだ。さらに、半透明化後も体験者視点が移動することによって、除去対象や除去対象を通して見た背景の見え方が変化することで、除去対象を知覚できる表現とすることも重要であると考えたが、具体的な実現には至っていなかった。

ここまでの話をまとめると、これら[5, 6]における表現では、物体の3次元形状や材質を考慮することによって、存在感を得られる表現を実現している。しかしこの表現手法では、以下の問題点が挙げられる。

- ・あらかじめ決められたパラメータを与えることによる一定の表現しか実現できない
- ・体験者の視点位置やシーンが変化した場合に、それに合った表現ができない

本稿ではこれら従来の表現方法における問題点を改良し、加えて、除去対象の状態が変化する動的表現を取り入れることで、より半透明化後も物体の存在を感じられる表現を考案する。

3. 提案手法

前述の通り、半透明化後も物体の存在を感じられる表現の模索と検討を行った結果、半透明化後の除去対象の立体

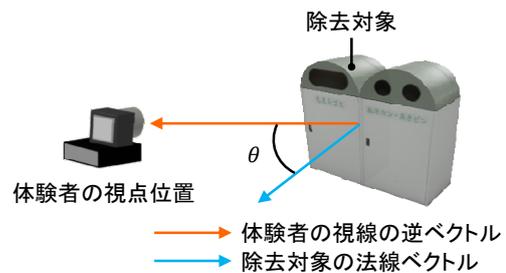


図1 視線ベクトルと除去対象の面の法線ベクトルが成す角のイメージ図

感、そして、その除去対象の隠背景の表現、これらが半透明化後の除去対象の存在を感じられる表現を実現する上で重要な要素だと考えられる。本稿では、これまでに行ってきた静的な描画方法の改良を行うことに加え、体験者に、目の前にある実物体が半透明になったという印象を与えるために、除去対象が不透明から半透明へ時間的に変化する動的表現を新たに取り入れた。具体的には、以下に列挙する処理を実装する。

- ・除去対象の面の向きや体験者の視点位置に応じて透明度を更新する処理
- ・ハイライトの付与
- ・入力フレーム毎の隠背景への色調補正
- ・除去対象の状態が時間的に変化する状態変化の過程

これらの処理により、半透明化後の除去対象が持つ立体感及び除去対象の視認性の向上を図った。以降、これら各改良点の詳細について述べる。

3.1 面の向きと体験者の視点位置に応じた透明度の変更

前述の通り、アルファブレンディングを用いた半透明化では、半透明化後も除去対象の3次元形状を把握でき、立体感を与えられる表現を実現できない。このことから、立体感を与える表現を実現するためには、単純なアルファブレンディングではなく、除去対象の3次元形状に依った表現が必要である。

そのため本稿では、除去対象の面の向きと体験者の視点位置に応じて透明度を変更する表現を取り入れる。体験者の視線ベクトルと除去対象の面の法線ベクトルの成す角 θ (図1)を用い、式(1)に従って除去対象に透明度 α を付与することで、陰影に依らず3次元形状を示すことができ、除去後も体験者に存在感を与える表現とする。

$$\alpha = 1 - \text{abs}(\cos \theta) \quad (1)$$

$$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$$

3.2 ハイライト

3.1節で述べた、除去対象の面の向きによる透明度の変更によって、除去対象の立体感を与える表現を実現できた。これに加え、実環境を考慮した光学的条件を設定する。除去対象に生じる細かなハイライトを付与することによって、体験者視点が変化した場合にもより半透明化後の除去対象の細かな3次元形状を把握でき、体験者に対してより半

透明化後の除去対象の立体感を与えられる表現となる。

3.3 背景の色調補正

前述の通り、Half-DRにおいては、体験者に半透明化後も物体がそこに在ることを知覚させる表現である必要がある。そのため、物体の透明度によっては半透明化後の物体が見えなくなり、知覚が困難となってしまうことが考えられる。過去の研究[5, 6]においても、背景によって、半透明化後の除去対象の視認性が変動することを挙げており、シーンに応じて、半透明化後の除去対象の視認性を向上することが必要だと考えられる。

これを受けて、本稿では除去対象の半透明化後に見える隠背景の復元結果に対して色調を変更する処理を取り入れる。DRにおいては、除去対象領域に重畳する隠背景の色調が、周囲の色調との違いによって生じる光学的不整合により除去対象領域が知覚されることが問題として取り上げられている。これを逆にとり、隠背景の復元結果の色調を意図的に変化させれば、体験者に除去対象領域を知覚させやすい表現となる。今回の実装では一例として、式(2)に示すガンマ補正を用いて復元した隠背景の明るさを変化させた。隠背景の平均的な明るさに応じて補正值 γ を変更することで、背景に依らず視認性を向上する。

$$I_{out}(x, y) = 255 \times \left(\frac{I_{in}(x, y)}{255} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (2)$$

3.4 透明度の時間的変化

ここまでは、半透明化した除去対象の立体感や除去対象とその領域の視認性を向上させる表現など、すべて半透明化後の除去対象に視点を置いた表現である。本節で述べる内容は半透明化前の除去対象に視点を置いた表現である。

物体の半透明化においては、半透明化後も物体の3次元特徴を把握できることが必要だと考える。なぜなら半透明化後の物体を見ただけでは、体験者はその物体が元々半透明の物体であると認識し、実世界に存在する半透明物体と認識してしまうため「実物体を半透明化した」という印象を与えられなくなってしまう、と考えられるからである。そのため、物体の半透明化においては、除去対象の半透明化前の状態を一度体験者に見せる必要があると考える。

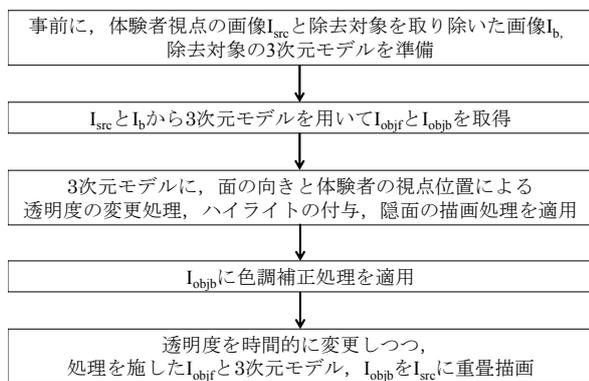


図2 処理フロー

そこで本論文では、先行研究から新たに、実物体が不透明から半透明へ時間的に状態が変化する表現を取り入れる。この表現によって、体験者に半透明化前の除去対象本来の姿を認識させ、その物体が不透明から半透明へ変化する過程を提示する。これにより、体験者は透明化する前の姿かたちを把握しているため、半透明化後の状態を視認した際に、元の状態と無意識に比較する。これによって体験者に「実物体が半透明になった」という印象を与えることができると思う。

4. 実装と実験

MR空間において、前章で述べた提案手法を取り入れ、実物体の半透明表示を実装する。本稿においては、除去対象は1つとし、幾何形状が既知であり、体験者カメラと除去対象の間に遮蔽物体は存在しないものとする。また、撮影時における照明条件の変化はないものとする。

Half-DR処理はDR処理への追加処理である。そのため、何らかの方法によってDR処理が実現可能であるとする。今回の実装では、シーン中に除去対象を設置して撮影した画像 I_{src} と除去対象を物理的に取り除き I_{src} と同期して撮影した画像 I_b のペアを画像シーケンスとして用意した。つまり、 I_{src} の除去対象領域にあたる隠背景を重畳表示することでDR処理を行う。

4.1 実装

処理フローを図2に示す。また、それに準じた処理のイメージ図を図3に示す。まず、体験者視点の画像 I_{src} と除去対象を取り除いた画像 I_b のそれぞれに対して、除去対象の3次元モデルを用いてマスキング処理を行い、除去対象の画像 I_{objf} とその隠背景 I_{objb} を取得しておく。 I_{objb} を用いることで、前述の通りDR処理を行うものとし、 I_{objf} の透明度を変更することで、3.4節にて述べた除去対象が半透明化していく状態変化の過程を表現する。除去対象の描画に I_{objf} を用い、事前撮影した画像をテクスチャマッピングした3次元モデルを利用しないのは、除去対象の半透明化開始前後で光学的不整合による違和感を生じさせないためである。

半透明化した除去対象の描画処理は以下の手順で行う。まず、除去対象の透明度は、体験者の視点位置及び除去対象の幾何モデルを入力として3.1節にて述べた方法で付与

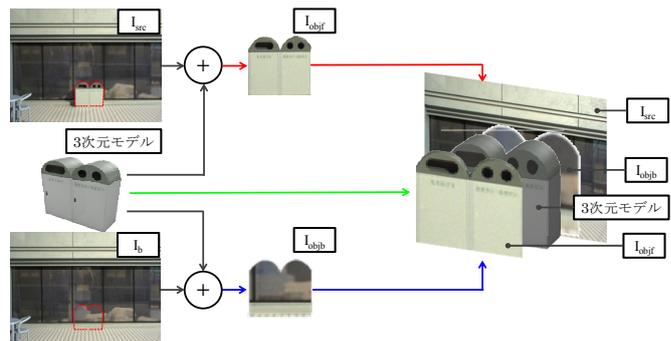


図3 処理のイメージ

する。次に除去対象へ 3.2 節で説明した半透明化後の物体に生じるハイライトの付与を行う。ハイライトの付与については先行研究[6]に倣い、リフレクションマッピングで表現する。これは、鏡面球を用いることで事前に周囲の背景をテクスチャとして撮影しておくことで実現する。3次元の物体を半透明化した際には隠面が見えている状態が自然であると考えられるため、3次元モデルは隠面消去せずに描画する。続いて、前述した手法で取得した画像 I_{obj} に色調補正処理を施すことで、半透明化後の除去対象の視認性の向上を図る。

このようにして生成した画像群を、前後関係が正しくなるよう I_{obj} , 3次元モデル, I_{obj} の順で I_{src} に重畳描画する。

4.2 実験

実装した内容が MR 空間で有効に機能するかの確認を行う。実物体が半透明に変化する過程を実現できており、除去後も物体の存在を知覚できる表現であるかを、除去対象が単純なもの（ゴミ箱）と複雑なもの（車）、それぞれを用いて確認した。併せて、背景に応じた処理が実現できているかを確認するために、それぞれの除去対象に関して、単純な背景と複雑な背景のそれぞれで確認を行った。尚、照明条件やシーン中の物体の配置を制御しやすいよう、撮影は 1/12 スケールのミニチュアセットを用いて行った。

4.3 結果と考察

単純な除去対象に対して、それぞれのシーンにて、提案手法を適用した結果を図 4 に示す。また、複雑な除去対象に対して、同様にそれぞれのシーンにて提案手法を適用した結果を図 5 に示す。

実装結果より、面の向きによる透明度の変化が適用され、ハイライトが付与されていることにより、半透明化後も除去対象の形状を知覚できる表現となっていることを確認した。また背景に応じた視認性の向上が実現できていることが確認できる。そして除去対象の状態が不透明から半透

明へ変化する、状態変化の過程を実現できており、さらに体験者視点が変わった際にも、それに応じて除去対象の見え方が変化する表現を実現できていることが確認できる。

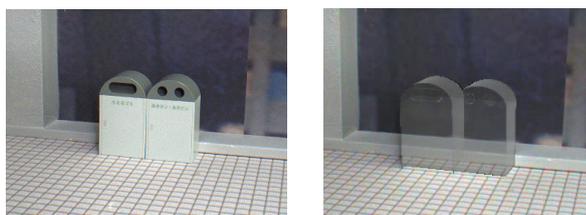
5. むすび

本稿では、実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透過させる隠消現実感 (DR) における、意図的に物体を消さずに少し残すことによって半透明にする Half-DR に関する研究に取り組んだ。先行研究での表現手法に改良を施し、体験者に実物体が半透明に変化したような印象を与える新たな表現手法の提案を行った。そして、この手法を実装し、複数の除去対象と背景それぞれの場合において提案手法が有効に機能することを確認した。

謝辞 本研究の一部は、科研費・基盤研究 (S) 「複合現実型情報空間の表現力基盤強化と体系化」による。

参考文献

- [1] 森他：“隠消現実感の技術的枠組みと諸問題～現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について～”，日本 VR 学会論文誌，Vol. 16, No. 2, pp. 239 - 250, 2011.
- [2] 武政他：“定点カメラ映像を用いた歩行者のための屋外型複合現実感システム”，PRMU, Vol. 103, No. 585, pp. 1 - 6, 2004.
- [3] P. Barnum *et al.*: “Dynamic seethroughs: synthesizing hidden views of moving objects,” Proc. ISMAR, pp. 111 - 114, 2009.
- [4] T. Tsuda *et al.*: “Visualization methods for outdoor see-through vision,” IEICE Trans. *Information & Systems*, Vol. E89 - D, No. 6, 2006.
- [5] 古志他：“隠消現実感における半隠消表示モデルに関する考察”，第 16 回日本 VR 学会大会論文集，14D - 2, pp. 322 - 325, 2011.
- [6] A. Takahashi *et al.*: “Definition and implementation of Half-DR: Semi-Transparent representation of visually diminished objects existing in real world,” KJMR 2012



(a) 単純な背景の場合の I_{src} (b) (a)に提案手法を適用した結果

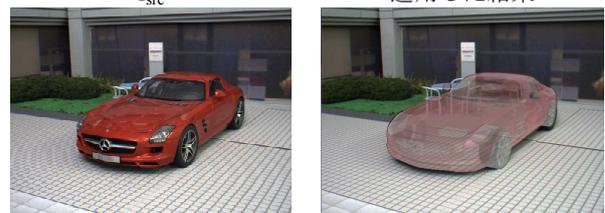


(c) 複雑な背景の場合の I_{src} (d) (c)に提案手法を適用した結果

図 4 単純な除去対象を用いて、提案手法を適用した結果



(a) 単純な背景の場合の I_{src} (b) (a)に提案手法を適用した結果



(c) 複雑な背景の場合の I_{src} (d) (c)に提案手法を適用した結果

図 5 複雑な除去対象を用いて、提案手法を適用した結果