

論文の内容の要旨

論文題目 視覚特性を利用した複合現実感(MR)環境における透明視表現手法

氏名 吹上 大樹

複合現実感(Mixed Reality, MR)とは、現実世界に対して位置や見た目などの整合性を保ちながら実時間で仮想物体を重ねて表示する技術である。MR 環境下では、頭部装着型ディスプレイ等を使うことで任意の方向を眺めることができ、高い臨場感を得ることが可能となる。しかし、任意の屋外環境などで MR を使用するにはまだ課題が多く存在している。例えば、現実風景中の遮蔽物の奥に仮想物体があるように見せるためには、遮蔽物の輪郭を正確に切り抜いて前景領域を抽出するという遮蔽処理を行う必要がある。しかしながら、特に屋外環境では茂みや樹木等の複雑な輪郭を持つ遮蔽物が至る所に存在するため、遮蔽処理を実時間で完全な形で行うことは非常に難しい。このような環境下で得られた精度の低い前景情報をそのままマスクとして用いてしまうと、しばしば仮想物体が遮蔽物付近で唐突に消失してしまったかのような違和感の高い結果が生じてしまう (図 1)。

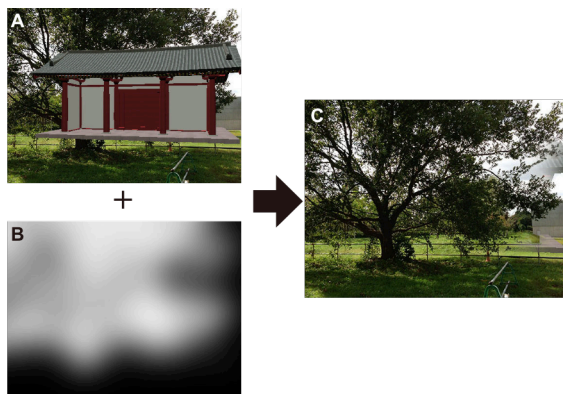


図 1. 曖昧な前景情報による遮蔽処理.



図 2. 透明視表現による遮蔽処理.

そこで本論文では、前景情報の曖昧性に対してより頑健な手法として、仮想物体が遮蔽領域の奥に透けて見えるような透明視表現を提案する(図 2)。透明視表現が実現できれば、木の葉や枝の隙間を正確に検出して切り抜くことなく、仮想物体を正しい奥行き順序で表示することが可能となる。また、仮想物体の大部分が遮蔽されてしまうような環境でも、見せたいコンテンツをユーザーに伝えることが可能になるという利点もある。

透明視表現を実現する上で解決すべき課題が 2 つ存在している。1 つは、半透明に表示した仮想物体の視認性が合成する現実シーンに大きく依存してしまうという問題である。もう 1 つは、仮想物体を半透明に表示してもそれが必ずしも現実シーン中の前景領域の奥に見えるわけではないという問題である。本論文ではこれら 2 つの課題を解決するために、人の視覚系の特性を考慮したブレンディング方法を開発し、透明視表現に用いる。

・視認性に基づく半透明描画手法の開発 (第 2 章)

任意環境で安定して透明視表現を行うには、仮想物体を合成する現実シーンによらず常に一定の

視認性で表示できることが望ましい。しかし、仮想物体と現実シーンの混合比を一定にしても半透明に呈示された物体の視認性は背後の色やテクスチャに大きく依存してしまう（図3左列）。

第2章ではこの課題の解決のために、主に画像圧縮ノイズ等の視認性を評価するために開発されてきた視認性予測モデルを活用した。この視認性予測モデルでは、元画像と歪み画像を入力としてそれぞれに対する脳の神経応答をシミュレートし、その応答の差分を歪みの視認性の大きさとして出力する。神経応答のシミュレーションは、脳の初期視覚野の計算モデルに基づいて行われる。提案手法では、2つの入力画像が「仮想物体をブレンドする前の画像」と「仮想物体をブレンドした後の画像」に置き換えられ、仮想物体の視認性はこれらの画像に対する神経応答の差分として与えられる。

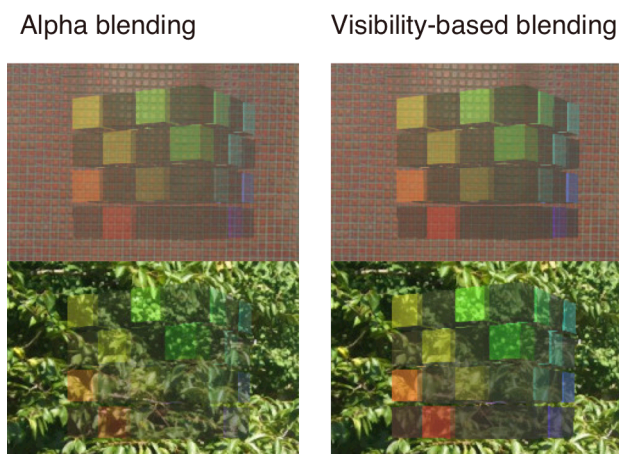


図3. 従来手法(左)と提案手法(右)の比較。

本研究ではまず、視認性予測モデルを実時間動作に適した形に改良を施した。そして、この視認性予測モデルを用い、visibility-based blending というブレンディング手法を提案した。Visibility-based blending では、仮想物体の視認性が予め定められた任意のレベルに近づくよう、仮想物体の画素値の重み(アルファ値)がピクセル毎に最適化される。これにより、異なる現実シーンでも、一定かつ一様な視認性で仮想物体をブレンディングすることが可能となった（図3右列）。

・透明視知覚時の奥行き順序知覚モデルの推定（第3章）



図4. 半透明描画の例。

単純に半透明に表示しても、仮想物体は現実シーン中の遮蔽物(前景領域)の奥に見えるとは限らない(図4)。

この原因は、人の透明視知覚の種類を現象学的に分類する「コントラスト極性ルール」によって説明することができる。コントラスト極性ルールによると、知覚される透明視の種類は2つのエッジが交差する”x-junction”のまわりの輝度変化の方向(コントラスト極性)によって決まるとされている(図5)。例えば、コントラスト極性が一方のエッジでのみ反転する場合、片方の面が常に手前に存在しているように見える(unique transparency, 図5A)。一方、コントラスト極性が両方のエッジで保たれる時は、どの面が手前に見えるかは不定となる(bistable transparency, 図5B)。なお、コントラスト極性が両方のエッジで反転する時は透明視知覚が成立しない(図5C)。本論文では、仮想物体を単純に半透明描画した場合、しばしば仮想物体が常に手前に見えるような unique transparency が生じる輝度パターンがつけられることが、想定した奥行き知覚を阻害する要因であると考えた。

こうした unique transparency が生じるような状況を避けるため、本論文では bistable transparency が生じるブレンディング式を用いて仮想物体を現実シーンに合成するというアプローチをとった。コントラスト極性ルールによると、bistable transparency では「どの面が手前に知覚されるか」は単に不定であるとされていた。しかしこ

のことは、「いずれの面も等確率で手前に知覚され得る」ということを必ずしも意味する訳ではなく、x-junction 周りの各領域の輝度の大きさにより実際の見え方がある程度左右される。仮想物体が前景領域の奥に見える可能性を最大限大きくするためには、こうした bistable transparency 図形を見た時の奥行き順序知覚を予測できることが望ましい。

そこでまず第3章では、心理物理学的な実験を行うことで、x-junction まわりの輝度が与えられた時に「一方の面が手前に知覚される確率」が得られるような知覚モデルを推定した。実験では、図6のような2つの円が重なったような bistable transparency 図形を刺激として用いた。4つの領域 a,b,p,q の輝度の組み合わせが異なる計 562 個の刺激に対して「左の円が奥に見えたか手前に見えたか」を被験者に問い、得られた回答から各刺激について「左の円が手前に見えた確率」を求めた。

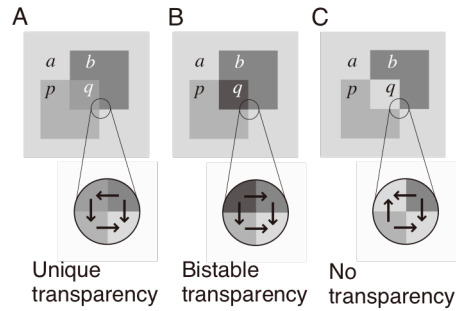


図5. コントラスト極性ルールによる透明視知覚の分類

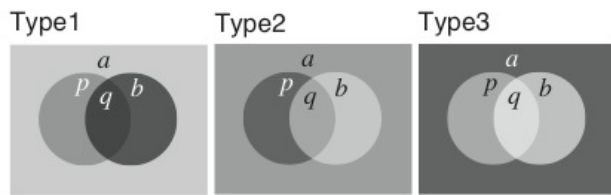


図6. 実験に用いた bistable transparency 図形の例。

Bistable transparency 図形はエッジのコントラスト極性により3タイプに分類可能。

解析の結果、図7のように「共有領域 q に対するコントラストの差の知覚量 ρ 」を説明変数とした場合に「左の円(面 pq)が手前に見えた確率」をよく予測できることがわかった。すなわち、「隣り合う領域同士のコントラストが知覚的に小さい程、それらを含む面が手前に見えやすい」という奥行き順序知覚モデルを見いだすことができた。

・透明視知覚を利用した遮蔽矛盾解消手法の開発 (第4章)

第4章では、第3章で推定した奥行き順序知覚モデルに基づき、仮想物体が現実風景中の前景よりも奥に見えるようブレンディングを行う bistable-transparency blending を提案した。bistable transparency blending では、図8のように合成後に必ず bistable transparency 図形がつけられるような2つの式(multiplicative blending 式と inversed-multiplicative blending

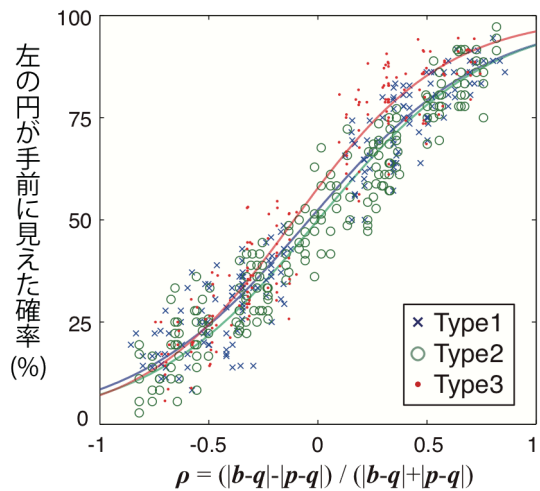


図7. 「共有領域 q に対するコントラストの差の知覚量 ρ 」を説明変数としたときの予測結果。

式)を用いる。また、奥行き順序知覚モデルに従い、仮想物体の領域(pq)が前景領域(bq)の奥に見える確率が 50%以上に保たれるようにブレンド式の式やパラメータを自動的に決定する。

Bistable-transparency blending の具体的な流れは以下の通りである。まず入力として、現実シーン画像中の前景領域の明るさ (I_f)、背景領域の明るさ (I_b)、仮想物体の明るさ (I_v)が必要となる。その後、 I_f と I_b の大きさを比較し、 $I_b > I_f$ なら **multiplicative blending** 式を使ってブレンドを行う。 $I_b < I_f$ なら **inversed-multiplicative blending** 式を用いてブレンドする。その後、合成後の仮想物体の透明度を「仮想物体が奥に見える確率」が 50%以上となるよう調節し最終的なブレンド結果を得る。

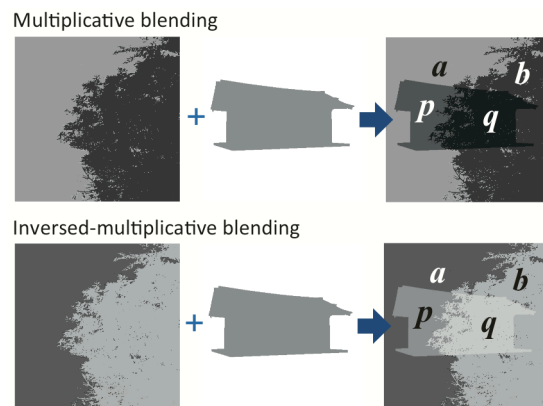


図 8. Multiplicative blending 式と inversed-multiplicative blending 式によるブレンドの例。

実際の現実シーン画像に **bistable-transparency blending** を適用する際には、画素毎にある大きさの平均窓をおき、この窓内の平均値として I_f 、 I_b 、 I_v を計算し、画素毎にブレンド式やパラメータを求めてブレンドを行う。このとき、各画素が前景である確率を示す前景確率分布画像を入力画像として与え、これを重みとして I_f 、 I_b の推定値を計算する。なお、**Bistable-transparency blending** では前景と背景のおおよその明るさが得られればよいので、この前景確率分布は必ずしも正確である必要はない。

提案手法を MR シーンに適用した実験結果の例を図 9(中列)に示す。実験では、**bistable-transparency blending** は前景-背景境界付近の画素に対してのみ適用し、前景内部の画素については **visibility-based blending** で仮想物体の半透明描画を行った。用いた現実風景画像と前景確率分布画像は図 8 左列に示した。**Bistable-transparency blending** を適用すると、前景情報が比較的曖昧にしか得られない状況下でも奥行き知覚の改善を図ることができる。さらに、ユーザーテストを行うこと

で、**bistable-transparency blending** を適用した場合に、適用しなかったとき(図 9 右列)に比べ仮想物体がより奥に見えるやすくなることも確かめられた。

提案手法を用いた透明視表現により、現状では実時間での遮蔽処理が困難な任意の屋外環境等で MR 空間を構築することが容易になると考えられる。

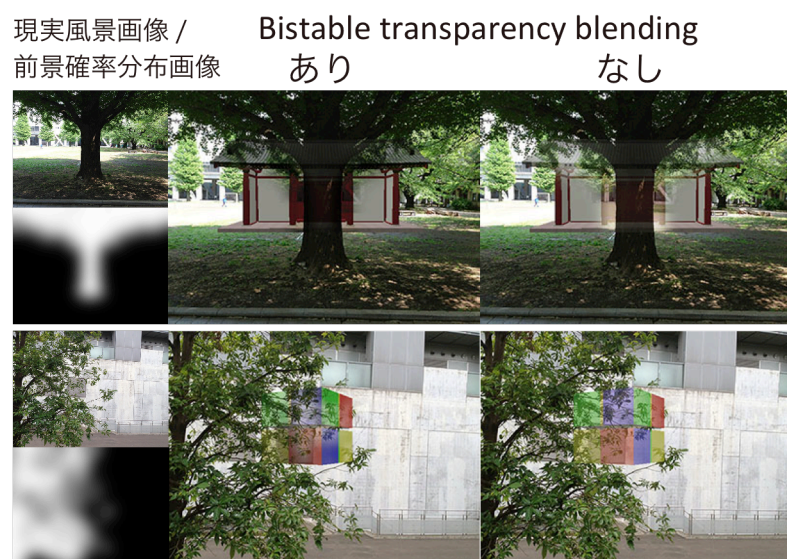


図 9. 提案手法を適用した結果と適用しなかった場合の比較。