

# 拡張現実感のための視点依存テクスチャ・ジオメトリに 基づく仮想化実物体の輪郭形状の修復

宇野 祐介<sup>†</sup> 中島 悠太<sup>†</sup> 河合 紀彦<sup>†</sup> 佐藤 智和<sup>†</sup> 横矢 直和<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: †{yusuke-u,n-yuta,norihi-k,tomoka-s,yokoya}@is.naist.jp

**あらまし** 拡張現実感技術を利用して、スマートフォン等で実空間を撮影した映像上で家具や家電のような実物体を仮想的に配置可能なアプリケーションが一般に利用され始めている。本報告では、マルチビューステレオ等に代表される三次元復元手法を用いて生成した三次元モデルをこのようなアプリケーションで利用することを前提に、形状の推定誤差に起因する輪郭の膨張や欠損などの不整合を低減する手法を提案する。具体的には、視点依存ジオメトリを用いて三次元モデルを視点に依存して膨張させることにより三次元モデルの欠損を補完し、前景抽出で得られた前景領域のみを視点依存テクスチャにより三次元モデルにテクスチャマッピングすることで膨張領域を修復する。実験では、仮想化実物体を実時間で合成する拡張現実感システムを試作し、これを用いて提案手法の有効性を示す。

**キーワード** 拡張現実感, 仮想化実物体, 自由視点画像, 視点依存テクスチャ, 視点依存ジオメトリ

## Silhouette Correction of Virtualized Real Objects Using View-dependent Texture and Geometry for Augmented Reality

Yusuke UNO<sup>†</sup>, Yuta NAKASHIMA<sup>†</sup>, Norihiko KAWAI<sup>†</sup>, Tomokazu SATO<sup>†</sup>,

and Naokazu YOKOYA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology (NAIST)

Takayama-cho 8916-5, Ikoma-shi, Nara, 630-0192 Japan

E-mail: †{yusuke-u,n-yuta,norihi-k,tomoka-s,yokoya}@is.naist.jp

**Abstract** Emerging applications of augmented reality (AR) technology enable us to arrange a real object such as a piece of furniture or a home appliance virtually on a mobile device such as a smartphone capturing a real environment. Such applications require a virtualized real object to generate arbitrary viewpoint images of the real object, and a three-dimensional (3D) model generated by a 3D reconstruction technique, e.g., multi-view stereo, is applicable. However, the generated arbitrary viewpoint images suffer from visual artifacts of small shrinkage and expansion contours of the virtualized real object due to the error of 3D reconstruction. This report proposes a view-dependent geometry- and texture-based method for these visual artifacts. In our proposed method, the view-dependent geometry technique expands the 3D model depending on the viewpoint to reduce the shrinkage, while the view-dependent texture technique reduces excessive expansion using textures in which the real object regions are extracted. We have implemented a prototype AR system and have experimentally demonstrated that the proposed method can successfully reduce the visual artifacts.

**Key words** augmented reality, virtualized real object, free-viewpoint image generation, view-dependent texture, view-dependent geometry

### 1. はじめに

スマートフォン等の携帯端末において、実空間を撮影した映像上に家具や家電などの実物体を仮想的に配置する拡張現実感

(Augmented Reality; AR) アプリケーションが一般に利用され始めている。このようなアプリケーションでは、仮想化された実物体(仮想化実物体)の任意の視点における見えを再現する必要があり、多くの場合、設計図等に基づいて人手で作成さ



(a) 入力に用いた画像の 1 フレーム (b) 生成された三次元モデル

図 1: CPMVS [2] で生成された三次元モデルの例



(a) 合成結果 (b) 輪郭の膨張領域 (c) 輪郭の欠損領域

図 2: 視点依存テクスチャを適用した例

れるテクスチャ付きの三次元モデルが利用されている。一方、コンピュータビジョンの分野においては、図 1(a) に示すような実物体を撮影した画像群から、自動で図 1(b) のような三次元モデルを生成することで、人手によるモデリング作業を介さずにユーザ自身による実物体の仮想化を実現する手法が提案されている [1] [2] [3]。このような手法によりユーザ自身が所持する物体を仮想化することで、AR アプリケーションでの利用が可能となる。しかし、自動で生成される三次元モデルには、推定誤差に起因する形状の凸凹やテクスチャの不整合が生じる (図 1(b) 参照)。

テクスチャの不整合は、仮想視点に依存した適切なテクスチャを選択的に用いる視点依存テクスチャ [4] を利用することで低減することができる。ただし、視点依存テクスチャを用いて自由視点画像を生成した場合においては、仮想化実物体の輪郭上において、図 2 に示すような不自然な形状の膨張や欠損が生じることが多い。本研究ではこのような領域を、以下のように定義する。

- **膨張領域**

自由視点画像上の仮想化実物体の輪郭周辺に膨らみが生じ、入力画像の背景領域がテクスチャマッピングされている領域 (図 2(b))。

- **欠損領域**

自由視点画像上の仮想化実物体の輪郭周辺にへこみが生じ、入力画像の前景領域がテクスチャマッピングされていない領域 (図 2(c))。

これらの問題に対して、提案手法では視点依存テクスチャに加えて、仮想視点に依存して三次元モデルを変形する視点依存ジオメトリを併用し、仮想視点における仮想化実物体の輪郭を広げることで欠損領域を補完し、さらに前景抽出した撮影画像群から視点位置に応じたテクスチャを選択して前景領域のみをテクスチャとして利用することで、膨張領域を修復する。

## 2. 関連研究

一般的な AR アプリケーションにおいて、仮想物体の提示は幾何形状が不変の三次元モデルを用いるモデルベースドレンダリングにより実現されている [5]。このような AR アプリケーションにおいて、重畳対象として実物体を利用するためには、対象物体の三次元形状が必要である。三次元形状の推定をユーザ自身がスマートフォン等で手軽に行うことを想定した場合には、カメラにより取得可能な実環境画像による三次元復元手法である、マルチビューステレオ法 [1] [2] や視体積交差法 [3] 等の利用が考えられる。Furukawa ら [1] は、多数の画像を入力として Photo-consistency を高めることで、密な三次元復元を行う手法を提案し、ソースコードとともに公開した。ただし、テクスチャが少ない箇所では画像間での対応が付き、生成モデルに欠損が生じる。これに対して、Jancosek ら [2] は、推定された奥行きが疎な点群に対しても面を貼り付けて密な三次元復元を行い、欠損の少ないモデルを生成できる手法を提案した。しかし、この手法においてもテクスチャの少ない箇所では形状の推定精度が必ずしも良くない。視体積交差法 [3] は、シルエットを実空間に投影した視体積の中に対象物体が含まれるというシルエット制約に基づき、視体積領域の積である Visual hull を対象の幾何形状として推定する。この手法では、欠損のない三次元モデルを生成できる一方、へこんだ形状が生成できない。以上をまとめると、これまで提案されてきた画像に基づく三次元復元手法では、欠損が生じたり形状の推定精度が悪いため、推定結果をモデルベースドレンダリングに基づく AR にそのまま用いることは難しい。また、視点位置に依存しないテクスチャを用いるため、提示する仮想化実物体の写実性が低い。

一方で、イメージベースドレンダリングに基づく AR アプリケーション [6] [7] が提案されている。これらの手法は、実環境を撮影した画像の変形・合成により自由視点画像を生成するため、写実的な表現が可能である。南谷ら [6] は、変型ビルボードを幾何形状に用いたイメージベースドレンダリングによって、遠隔地の人物との協調作業システムを提案した。また、稲本ら [7] は、事前に多視点カメラから撮影したサッカーシーンに対して自然特徴点の対応付けによるモーフィングで自由視点画像を生成し、高さ方向を考慮したフィールドと平行な平面に選手の画像をレンダリングすることで実環境画像に選手を重畳する手法を提案した。しかし、これらイメージベースドレンダリングに基づく AR では、単純な幾何形状を用いた画像変形を行うため視点の移動に制約があり、視点移動が大きい AR アプリケーションにおいては、自由視点画像上の仮想化実物体に幾何学的な歪みが生じる場合がある。

これらの問題に対して、モデルベースとイメージベースのハイブリッドな方法により仮想化実物体を実環境に重畳することで、視点移動の制約が少ない高品位な自由視点画像を生成する手法が提案されている。Prince ら [8] は、複数のビデオカメラから人物を撮影し、ユーザの視点位置の近傍のカメラによる Visual hull と Photo-consistency を計算した上で、任意視点での拡張現実画像の生成を実現している。しかし、視体積交

差法に基づいた三次元モデルを利用するため、対象形状が限定される。一方、仮想化現実 (Virtual Reality) の分野において、Debevec ら [4] は、事前に生成した簡易形状の三次元モデルに対して、実環境の画像から仮想視点に近い見え方の画像を選択してテクスチャマッピングを行う視点依存テクスチャ法を提案した。これにより、三次元モデルの詳細な形状をテクスチャとして表現できるが、形状とテクスチャの輪郭を厳密に位置合わせする必要がある。また、伊吹ら [9] は視点依存テクスチャ・ジオメトリの併用に基づく手法を提案した。この手法は、三次元モデルの時間的・空間的な連続性とテクスチャの幾何学的・光学的な連続性を考慮した、三次元モデルの生成とテクスチャの選択を行うことで、自由視点画像上に生じる違和感の低減を実現した。これらの手法は、実環境中におけるシーン全体の自由視点画像を生成するため、家具などの単一物体のみを仮想化して重畳する AR にそのまま用いることは難しい。本研究では、重畳対象を単一、もしくは複数の物体とし、高品位な仮想化実物体の提示を目指してハイブリッドな手法を用いるとともに、AR 特有の問題となる実環境画像と仮想化実物体の境界における膨張と欠損を修復する。

### 3. 視点依存テクスチャ・ジオメトリに基づく仮想化実物体の輪郭形状の修復

提案手法は図 3 の概要に示すように、オフライン処理 (A) とオンライン処理 (B) から構成される。オフライン処理では、仮想化の対象となる実物体 (対象物体) を含む画像のデータセット  $D'$  を入力とし、視点依存テクスチャで必要となるカメラの内部・外部パラメータを推定する (A-1) とともに、既存手法を用いて対象物体の三次元モデル  $M$  を生成する (A-2)。また、視点依存ジオメトリにより生成された三次元モデルにおけるテクスチャの不整合を低減するため、データセット  $D'$  中の画像内の対象物体領域を前景として抽出し (A-3)、抽出された前景のみをテクスチャとして用いる。オンライン処理では、仮想化実物体の実環境画像への重畳、および視点依存ジオメトリ・テクスチャ適用のために必要となるカメラの外部パラメータを推定し (B-1)、視点依存ジオメトリにより三次元モデル  $M$  を基に、視点に依存した三次元モデル  $M_E$  を生成する (B-2)。さらに、 $M_E$  に対してテクスチャマッピングする画像を視点依存テクスチャ法に基づいて選択し (B-3)、自由視点画像を生成した後に実環境画像に重畳する (B-4)、(B-5)。以降、各処理について述べる。

#### 3.1 オフライン処理

**画像からの内部・外部パラメータの推定 (A-1) :** 提案手法では、三次元復元に基づく三次元モデルの構築、及び視点依存テクスチャの適用に際して、画像データセット  $D'$  に含まれる画像  $I'_k$  ( $k = 1, 2, \dots, |D'|$ , ただし  $|D'|$  は  $D'$  に含まれる画像数) を撮影したカメラ  $C_k$  の内部・外部パラメータを利用する。本研究では、これらのパラメータを VisualSFM [10] 等の Structure from Motion 法により推定する。また、画像のレンズ歪みを補正し、補正後の画像  $I_k$  からなる画像データセット  $D = \{I_k | k = 1, 2, \dots, |D|\}$  を生成する。

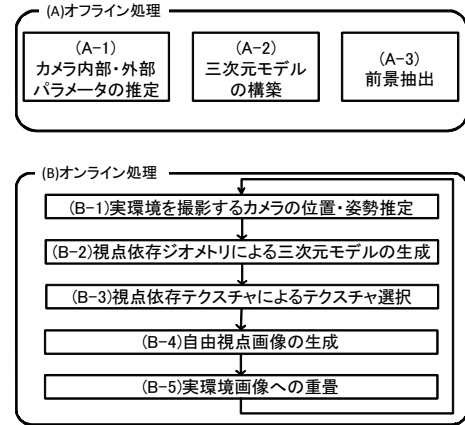


図 3: 提案手法の流れ

**三次元モデルの構築 (A-2) :** 視点依存ジオメトリなどの処理の基となる対象物体の三次元モデル  $M$  を、画像データセット  $D'$  と推定されたカメラの内部・外部パラメータから構築する。これには、CMVS [1] や CMPMVS [2] 等のマルチビューステレオを利用する。

**前景抽出 (A-3) :** 後述する手順 (B-2) で用いる視点依存ジオメトリにより変形された三次元モデルは、欠損領域の修復のために三次元モデル  $M$  を膨張させたものとなり、画像中の対象物体ではない領域がテクスチャとして適用される可能性がある。そこで、 $I_k \in D$  中の対象物体の領域を前景領域、それ以外の領域を背景領域として前景抽出を行い、(B-3) では前景領域のみによるテクスチャマッピングを行う。前景抽出には GrabCut [11] 等の手法が利用可能である。

#### 3.2 オンライン処理

##### 実環境を撮影するカメラの位置・姿勢推定 (B-1) :

本研究では、AR での利用を想定し、実環境を撮影したカメラ  $C_E$  から得られる実環境画像  $I_E$  に対して、提案手法により生成した仮想化実物体の自由視点画像を重畳する。これには、カメラ  $C_E$  の外部パラメータの実時間推定が必要となる。本研究では、ARToolKit [12] 等を用いて外部パラメータを推定する。なお、カメラ  $C_E$  の内部パラメータは Zhang [13] の手法等により事前に算出する。

##### 視点依存ジオメトリによる三次元モデルの生成 (B-2) :

三次元モデル  $M_E$  には形状復元の誤差が含まれるため、生成された自由視点画像の輪郭に膨張や欠損が生じる。ここでは、欠損領域の修復を目的として、視点依存ジオメトリにより基となる三次元モデル  $M$  のカメラ  $C_E$  上における輪郭に対応する部分を膨張させることで  $C_E$  に依存した三次元モデル  $M_E$  を構築する。

提案手法ではまず、カメラ  $C_E$  により撮影された実環境画像  $I_E$  に対する三次元モデルの奥行き画像を生成する。基となるモデル  $M$  に対する奥行き画像は、図 4(a) に示すように、画像  $I_E$  上において、モデル  $M$  が投影される画素の集合  $\Omega$  上で定義される。本稿では  $n \in \Omega$  における奥行き値を  $d_n$  と表記する。次に、奥行き画像に対して次式で示す変換処理を適用する。

$$d'_n = \frac{1}{|A_n \cap \Omega|} \sum_{n' \in A_n \cap \Omega} d_{n'} - \alpha r_n \quad (1)$$

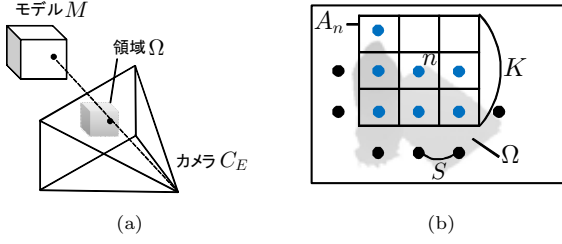


図 4: (a) カメラ  $C_E$  における画素  $n$  に対応する光線とモデル  $M$  の交差、及び (b) 奥行き画像に対する変換処理

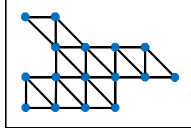


図 5: 三角形パッチの構成例

図 4(b) に示すように、 $A_n$  は処理の高速化のために間隔  $S$  でサンプリングされた画像  $I_E$  上の画素  $n$  を中心とした  $K \times K$  の正方形領域に含まれる画素の集合であり、変換後の奥行き値  $d'_n$  は  $A_n$  中に領域  $\Omega$  が含まれる全ての注目画素 ( $n \in \Omega' = \{n' \mid |A_{n'} \cap \Omega| > 0\}$ ) に対して算出する。また、 $r_n$  は画素  $n$  と領域  $A_n \cap \Omega$  内の画素の最短距離であり、 $I_E$  上の画素  $n$  の座標を  $(u_n, v_n)$  とすると、次式により与えられる。

$$r_n = \min_{n' \in A_n \cap \Omega} \sqrt{(u_n - u_{n'})^2 + (v_n - v_{n'})^2} \quad (2)$$

また、 $\alpha$  は事前に決定されるパラメータである。(1) の第一項は、奥行き値の平滑化処理であり、第二項は、三次元モデルの膨張部分に  $C_E$  の  $Z$  軸方向の傾きを与える。

続いて、画素  $n \in \Omega'$  に対応する  $I_E$  上の座標  $(u_n, v_n)$  と算出された  $d'_n$  から、 $C_E$  の内部パラメータ、および外部パラメータを用いて、世界座標系における対応する三次元点  $\mathbf{P}_n = (x_n, y_n, z_n)$  を求める。図 5 に示すように、これらの三次元点を頂点とする三角形パッチを構成することで、変形後のモデル  $M_E$  を構築する。上記手順により得られる  $M_E$  は、元のモデル  $M$  の輪郭にあたる部分を膨張したものとなる。

**視点依存テクスチャによるテクスチャ選択 (B-3):** 視点依存テクスチャでは画像データセット  $D$  内の画像  $I_k$  に対して、図 6 に示すような、パッチとカメラ  $C_E$ 、及び  $I_k$  を撮影したカメラ  $C_k$  の位置関係から、そのパッチのテクスチャとしての適切さを、2 つのベクトルのなす角  $\theta_k$  に対応する単純類似度により算出する。さらに、図 7 に示すような場合において、遮蔽された領域をテクスチャとして選択する可能性があるため、 $\cos \theta_k$  が大きなものからそのパッチの可視判定を行い、最初に可視と判定された画像  $I_k$  を利用するテクスチャとして選択する。単純類似度は、パッチの重心を  $\mathbf{m}$ 、カメラ  $C_E$ 、 $C_k$  の位置を  $\mathbf{t}_E$ 、 $\mathbf{t}_k$  として、次式により算出する。

$$\cos \theta_k = \frac{(\mathbf{m} - \mathbf{t}_E) \cdot (\mathbf{m} - \mathbf{t}_k)}{\|\mathbf{m} - \mathbf{t}_E\| \|\mathbf{m} - \mathbf{t}_k\|} \quad (3)$$

可視判定では、パッチを構成する頂点  $\mathbf{P}_n$  を  $I_k$  に投影し、対応する画素の座標  $(u_n, v_n)$  を求める。さらに視点依存ジオメトリにより得られた三次元モデル  $M_E$  の  $C_k$  における奥行き画像

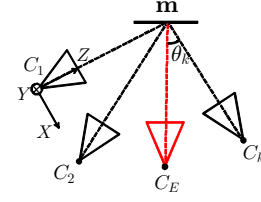


図 6: カメラ  $C_E$  に対する画像  $I_k$  の選択基準

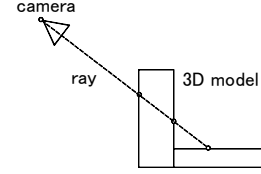


図 7: 遮蔽されたパッチへのテクスチャマッピングが起こりうる状況

表 1: 実験に用いた機器の仕様

項目	詳細
CPU	Intel Corei7-2600K 3.40GHz
メモリ	RAM 8.0GB
GPU	NVIDIA GeForce GTX 560 Ti
カメラ	横 640 画素 縦 480 画素, 30fps

表 2: 実験のパラメータ

視点依存ジオメトリで用いる 実環境画像のサイズ	横 720 画素 縦 480 画素
サンプリング間隔 $S$	4 画素
フィルタサイズ $K$	9
パラメータ $\alpha$	8

を生成し、 $(u_n, v_n)$  での奥行き値  $d_{k,n}$  を求める。 $M_E$  による自己遮蔽が生じる場合、奥行き値  $d_{k,n}$  は  $C_k$  のカメラ座標系における頂点  $\mathbf{P}_n$  の  $Z$  座標  $z_n$  以下になることから、パッチを構成するすべての  $\mathbf{P}_n$  について  $d_{k,n} \geq z_n$ 、かつすべての頂点がカメラ  $C_k$  の視野錐体内に含まれるときパッチは可視であるものと判定する。

**自由視点画像の生成と実環境画像への重畳 (B-4, B-5):** パッチ毎に選択されたテクスチャを用いて、カメラ  $C_E$  における自由視点画像を生成する。実環境画像への重畳では、自由視点画像において、前景領域がテクスチャとしてマッピングされた画素のみを重畳する。

## 4. 実験

ここでは、表 1 に示す PC 上に AR システムを実装し、(i) 手法 [2] により生成した三次元モデルを用いたモデルベースの手法、(ii) 視点依存テクスチャ [4] のみを適用した手法、(iii) 提案手法を比較することにより、提案手法の有効性を実験的に示す。実空間を撮影するカメラの位置・姿勢は、ARToolKit [12] により取得した。表 2 に本実験で用いた提案手法のパラメータの設定を示す。



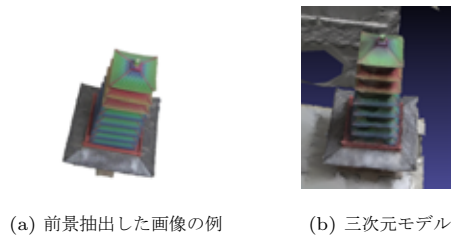


図 8: 塔の模型の入力

#### 4.1 オフライン処理の詳細

本実験では、図 1 に示すような、ペットボトルと本を撮影した画像データセット (DS1), 及び図 8 に示すような、塔の模型を撮影した画像データセット (DS2) を用いて比較を行った。DS1 は 1950×1308 画素の画像 24 枚で、DS2 は 1920×1080 画素の画像 40 枚から構成される。データセット中の画像のカメラ内部パラメータ (焦点距離・光学中心・レンズ歪み係数) とカメラ外部パラメータ (位置・姿勢) は VisualSFM [10] を用いて算出した。また、三次元モデルは画像データセットと求めたカメラパラメータから CMPMVS [2] を用いて生成した。三次元モデル生成の結果、DS1 と DS2 に対して生成された三次元モデルのパッチ数はそれぞれ 36,051, 及び 22,182 となった。画像の前景抽出には、GrabCut [11] を用い、対象物体の領域に対して前景ラベルを、それ以外の領域に対して背景ラベルを付与した。

#### 4.2 実験結果

DS1 に対して提案手法を適用し、実環境画像へ重畳した結果を図 9 に示す。同図は、図 2 と同一の視点からのレンダリング結果であり、これらの比較から膨張領域と欠損領域が修復されていることが分かる。DS1 に対して、従来手法 (i), (ii), 提案手法 (iii) を用いた結果を図 10 に、DS2 に対する結果を図 11 に示す。図 10 の上段に示す、元の三次元モデルを用いた (i) の結果では、本の文字等のテクスチャが不鮮明となっているが、同図中段、下段に示す手法 (ii) と (iii) では視点依存テクスチャを用いることで、テクスチャが鮮明になっている。同図 (ii) と (iii) から、(ii) の結果で観測されるテクスチャの背景領域の映り込みが、提案手法を用いることで解消されていることが分かる。同様に、複雑な形状を持つ DS2 に対する結果 (図 11) においても、視点依存テクスチャによるテクスチャの鮮明化、及び実シーンと仮想化実物体の輪郭修復効果が確認できる。ただし、図 10 の右端の結果画像では、2 つの仮想化実物体の間に歪みが生じており、これは視点依存ジオメトリにおける奥行き値の平滑化に起因する。また、図 11 の右端の結果画像では、塔の輪郭周辺に前景領域が誤ってあらわれている。これは平滑化処理時の膨張によるものと思われる。なお、フレームレートは DS1, DS2 ともに平均 4.0fps であった。提案手法の処理速度は、重畳される仮想化実物体の画像上での大きさに強く依存し、入力に用いる三次元モデルのパッチ数による処理時間の大きな変化はなかった。



図 9: 提案手法による膨張領域と欠損領域の修復

## 5. まとめ

本研究では、視点依存テクスチャ・ジオメトリによる仮想化実物体の自由視点画像上での輪郭形状の修復手法を提案した。提案手法では、自由視点画像上で三次元モデルにおける輪郭に対応する部分を膨張させることにより、形状の欠損の影響を低減させている。さらに、テクスチャとして用いられる画像の前景領域を事前に抽出し、視点依存テクスチャとして生成した三次元モデルに適用する際に、前景領域のみを用いることで、自由視点画像上での膨張領域を修復する。実験では、従来手法と比較することで、膨張領域と欠損領域の修復が可能であることを確認した。今後の課題として、物体間に生じるテクスチャの歪みや誤った前景領域のテクスチャマッピングが低減されるような、奥行き値の変換処理の改良に取り組む。また、現行の実装では AR のためにはフレームレートが不十分であるため、GPU による高速化を行う。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金 (基盤研究 (A), No.23240024) 及び NAIST 先端的研究連携事業による。

## 文 献

- [1] Y. Furukawa, B. Curless, S. M. Seitz, and R. Szeliski: "Towards internet-scale multi-view stereo," Proc. 2010 IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1434-1441, 2010.
- [2] M. Jancosek, and T. Pajdla: "Multi-view reconstruction preserving weakly-supported surfaces," Proc. 2011 IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.3121-3128, 2011.
- [3] H. Baker: "Three-dimensional modeling," Proc. Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, Vol.2, pp.649-655, 1977.
- [4] P. Debevec, Y. Yu, and G. Borshukov: "Efficient view-dependent image-based rendering with texture-mapping," Proc. 9th Eurographics Workshop on Rendering, 13 pages, 1998.
- [5] R. Azuma: "A survey of augmented reality," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.6, No.4, pp.355-385, 1997.
- [6] 南谷真哉, 北原格, 亀田能成, 大田友一: "変型ビルボードを用いた人物像の提示による複合現実感卓上作業の遠隔共有," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.13, No.3, pp.363-373, 2008.
- [7] 稲本奈徳, 斎藤英雄: "多視点スポーツ映像からの自由視点映像合成と提示," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J88-D-II, No.8, pp.1693-1701, 2005.
- [8] S. Prince, A. D. Cheok, F. Farbiz, T. Williamson, N. Johnson, M. Billinghurst, and H. Kato: "3D Live: Real time

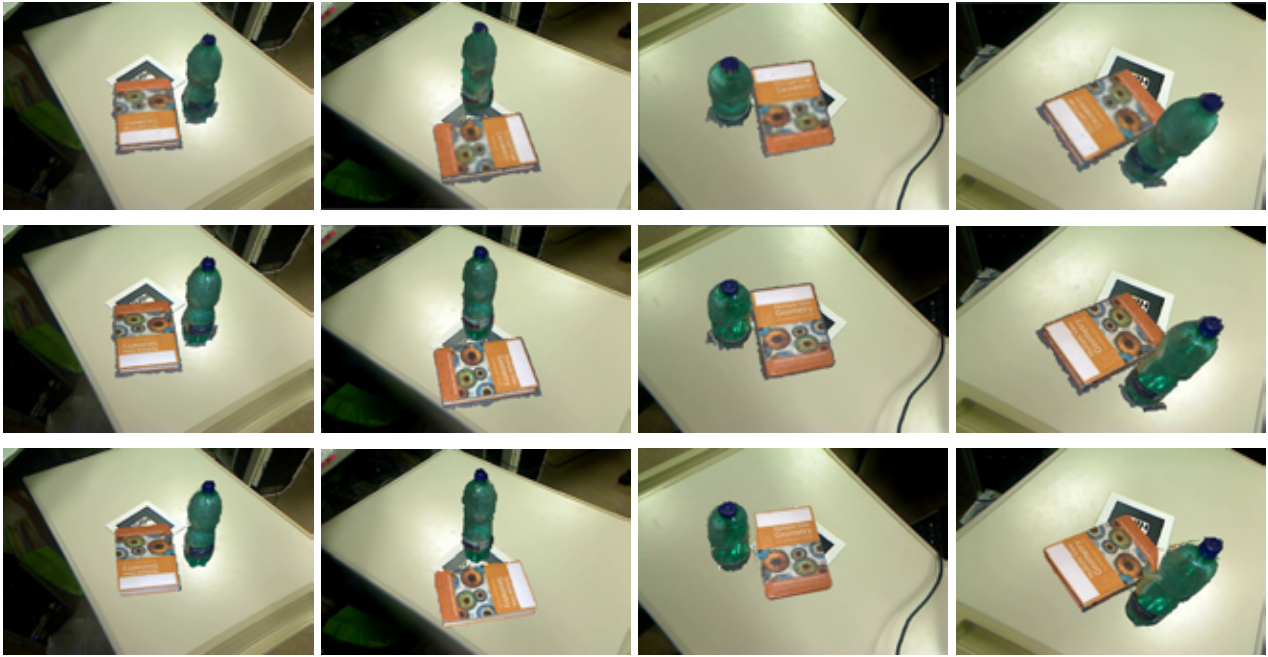


図 10: 図 1 に示したモデルを用いた AR 合成結果

(上段 : (i) CPMVMS [2] による合成結果, 中段 : (ii) 視点依存テクスチャ [4], 下段 : (iii) 提案手法の結果)

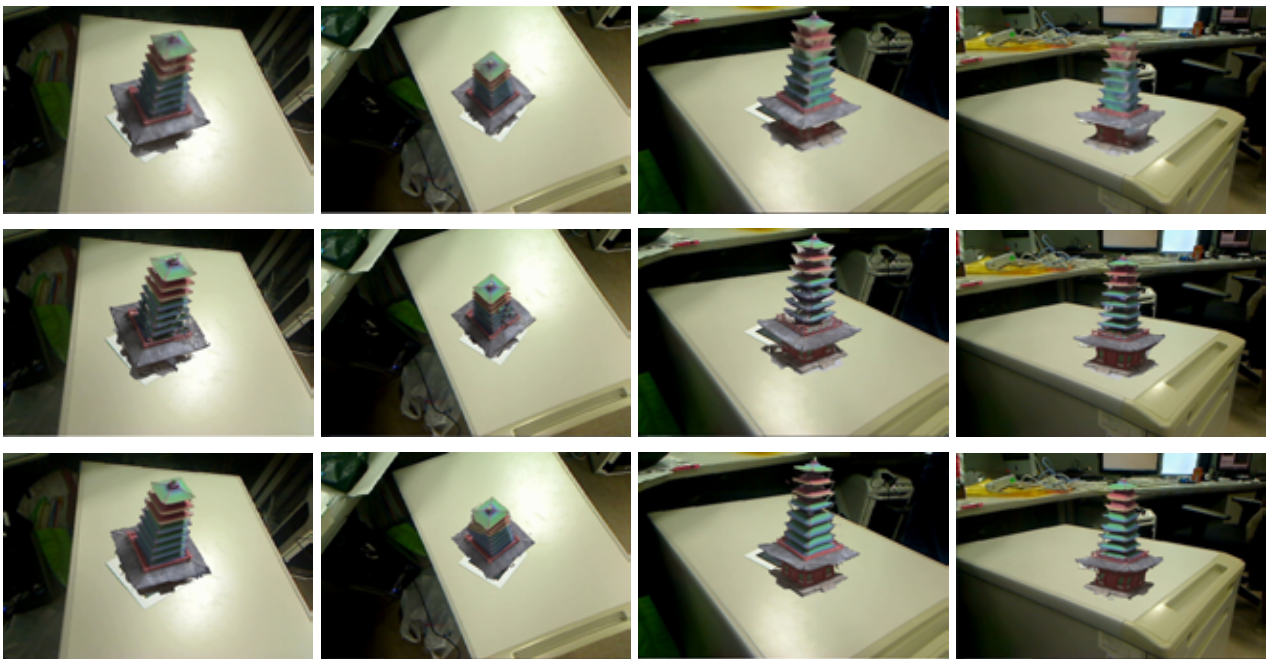


図 11: 図 8 に示したモデルを用いた AR 合成結果

(上段 : (i) CPMVMS [2] による合成結果, 中段 : (ii) 視点依存テクスチャ [4], 下段 : (iii) 提案手法の結果)

captured content for mixed reality,” Proc. 2002 IEEE and ACM Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '02), pp.7-13, 2002.

- [9] 伊吹拓也, 佐藤智和, 松下康之, 横矢直和: “視点位置に依存して変形する三次元メッシュモデルを利用した自由視点画像生成における違和感の低減,” 電子情報通信学会 技術研究報告, PRMU2009-307, 2010.
- [10] <http://www.cs.washington.edu/homes/ccwu/vsfm/>
- [11] C. Rother, V. Kolmogorov, and A. Blake: “GrabCut: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts,”

ACM Trans. on Graphics (SIGGRAPH '04), Vol.23, pp.309-314, 2004.

- [12] H. Kato, and M. Billinghurst: “Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system,” Proc. 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, pp.85-94, 1999.
- [13] Z. Zhang: “A flexible new technique for camera calibration,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.11, pp.1330-1334, 2000.