

スペースカービング法へのシルエット制約の導入

加門 優治 山根 亮 尺長 健

岡山大学 工学部 情報工学科
〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1

E-mail: {kamon,ryo,shaku}@chino.it.okayama-u.ac.jp

あらまし: 従来のスペースカービング法では, 物体表面に複数の反射特性が混在する場合や, 局所的な形状や模様の複雑さ, ノイズなどが存在する場合, ボクセルの過剰な除去が生じることがあった. 特に画像枚数が少ない環境では, その影響が大きい. この問題を軽減するために, 本稿では, シルエット制約を導入することにより, 光学的整合性と幾何的整合性の両者を満足するスペースカービング法を提案する.

A Space Carving Method Constrained by Multiple Silhouettes

Yuji Kamon, Ryo Yamane and Takeshi Shakunaga

Department of Information Technology, Faculty of Engineering, Okayama University
3-1-1 Tsushima-naka, Okayama, 700-8530, JAPAN

Abstract: It is known that space carving provides an efficient method for shape reconstruction when multiple images are taken for a target object. It reconstructs a shape by carving voxels from an initial shape according to photometric inconsistency. Although it works when a sufficient number of images are available, it doesn't work well for a small image set, when the shape is too complex, or when a lot of noise is included in the image set. In order to reduce such noise effects, this paper proposes a novel carving method with taking account of the multiple silhouettes constraints. This method enables a collaboration of photometric and geometric constraints for fine shape reconstruction.

1 はじめに

近年, コンピュータビジョン技術による文化遺産のデジタル保存に関する研究 [1] が盛んに行われている. 中でも伝統舞踊については, 人から人へと伝承される過程で変化し, また廃れる可能性があるため, 見え情報に関する研究 [2] や, 動作情報に関する研究 [3] が広く行われている.

このうち見え情報は, 実画像に基づく仮想視点画像の生成により記録, 再現できる. 源田ら [2] は, 仮想視点位置と対象の表面法線に基づき形状を着色し, 射影することで仮想視点画像を生成している. この研究では, 形状として visual hull [4] を用いているが, より誤差の小さな形状復元法を利用することで画質を向上できると考えられる.

一方, 形状復元法としては, Kutulakos と Seitz

の提案するスペースカービング (space carving) 法 [5] がある. これは, 撮影画像の色情報が対象物体の反射特性に従うという性質を利用している. この方法による復元形状は反射特性を反映している点で visual hull より優れており, 明瞭な仮想視点画像の生成を期待できる.

スペースカービング法では, 撮影画像の色情報と物体の反射特性との光学的不整合性 (photo-inconsistency) を規準として形状が復元される. この枠組において, 光学的不整合性の改良による復元形状の改善 [6] が行われているが, 非一様な反射特性を持つ対象や画像解像度に問題を含む実画像を対象とした場合では限界がある. 従って, 他の制約を導入する必要があると考えられる.

本稿では, 初期形状を visual hull としてスパー

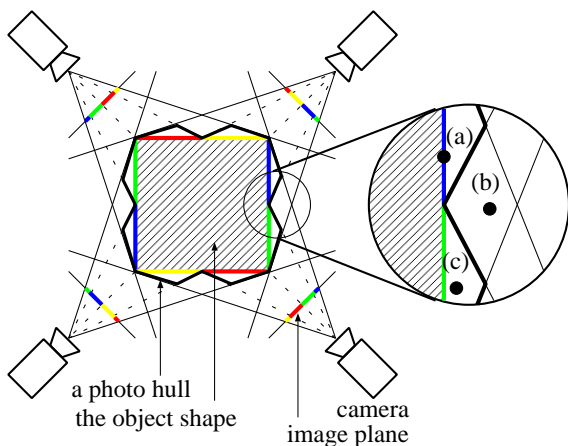


図 1: 完全拡散反射物体における photo hull の例

スカーピング法を適用することを前提として、シルエット制約を有効に利用した形状復元法を検討する。

2 スペースカーピング法

2.1 概要

スペースカーピング法は、物体表面の観測色が物体の反射特性によって定まることを利用した形状復元法である。ここでは、対象物体が複数の方向より撮影されているとし、この方法の概要を述べる。

物体表面上の点が画像で観測される時、その観測色は物体の反射特性により定まる。従って、ある点が空間中に存在すると仮定したとき、各画像による観測色が物体の反射特性に整合しなければ、仮定した点は物体表面上に存在しないことになる。例えば、図 1 において、対象物体の反射特性として完全拡散反射を仮定すれば、物体表面上の点 (a) の観測色は全て同じであるため物体の反射特性に整合する。一方、点 (b) のような物体表面上にない点では、観測色は各画像で異なるため、物体の反射特性に整合しない。

この原理を用い、対象の物体形状を含む初期形状から物体の反射特性に整合しない点を逐次除去することで形状を復元できる。復元形状は photo hull [5] と呼ばれ、原理的には物体形状を含む形状であり、反射特性に整合する点と、3次元空間においてそれらに囲まれる点から構成される。ここで、

図 1 の点 (c) で示されるような、物体表面上にない点のうち偶然にも観測色が物体の反射特性に整合するものは除去できないため、photo hull に含まれる。

以下、本稿では、形状をボクセル (小立方体) の集合として表現する。従って、点の逐次除去はボクセルの逐次除去に相当する。

2.2 光学的不整合性

ボクセル X が対象物体の反射特性に整合するかどうかを判定するためには、不整合性 $f_C(X)$ を定める必要がある。これは、光学的情報に基づいて定義されるため、本稿では光学的不整合性 (photo-inconsistency) と呼ぶ。ここで、 C はボクセルを観測する画像の集合である。

従来より様々な光学的不整合性が提案されている [5, 6]。ここでは、ランバートモデルに基づき、ボクセル観測色の標準偏差 σ を用いた式 (1) を光学的不整合性として用いる。

$$f_C(X) = \sigma \quad (1)$$

ランバートモデルでは、物体表面の観測色は視点位置に依存せず一定である。従って、光学的不整合性は、観測色が一定であるときに小さな値を、観測色が一定でないときに大きな値をとればよい。ボクセル観測色の標準偏差はこの性質を満たし、最も整合するボクセルに対し最小値 0 をとる。

2.3 ボクセルの除去条件

スペースカーピング法では、ボクセルの除去を光学的不整合性 $f_C(X)$ と閾値 t とを比較することで行う。ここで、除去条件は式 (2) で示される。

$$f_C(X) \geq t \quad (2)$$

2.4 閾値の設定

物体表面に、光学的不整合性が高い部分と低い部分が混在する場合、閾値の設定が容易でないという問題が生じる。これは、物体に複数の反射特性が混在することや、部分的な形状や模様複雑さ、ノイズなどを原因とする。光学的不整合性が高い部分を小さな誤差で復元するためには閾値を

高くしなければならず，光学的不整合性が低い部分を小さな誤差で復元するためには閾値を低くしなければならぬが，式 (2) に従えばこれらは両立できない．

2.5 初期形状の設定

スペースカービング法の初期形状としては対象の物体形状を含む形状を用いる必要がある．例えば，物体形状を含む球や円筒などを初期形状とすることができる．しかし，計算量は除去するボクセルの数に依存するため，初期形状に含まれるボクセルの数が少ないほど効率的である．このような条件を満たす形状として visual hull が考えられる．visual hull には，コップの窪みなど凹である形状は復元されず，また曲面などは正確に復元されないという問題がある．しかし，物体形状を含むという条件を満たし，また，物体形状に近いことから，これを初期形状とすることでスペースカービング法の計算量を軽減できる．

2.6 ボクセルの逐次除去

スペースカービング法における形状復元は，式 (2) を満たすボクセルを初期形状より逐次除去することで行われる．従って，閾値を t と設定したときの復元形状 \mathcal{V}_t は式 (3) で示される．

$$\begin{aligned} \mathcal{V}_t^0 &= \mathcal{V}_{\text{init}} \\ \mathcal{V}_t^n &= \mathcal{V}_t^{n-1} - \mathcal{D}_{\mathcal{V}_t^{n-1}} \\ \mathcal{V}_t &= \mathcal{V}_t^\infty \end{aligned} \quad (3)$$

ここで $\mathcal{V}_{\text{init}}$ は対象の物体形状を含む初期形状である．また， \mathcal{V}_t^n は，逐次処理の第 n 段階での形状を示す．さらに， $\mathcal{D}_{\mathcal{V}_t^n}$ は， \mathcal{V}_t^n に含まれる式 (2) を満たすボクセルの部分集合であり，式 (4) で示される．

$$\mathcal{D}_{\mathcal{V}_t^n} \subset \{X \in \mathcal{V}_t^n \mid f_C(X) \geq t\} \quad (4)$$

3 シルエット制約の導入

3.1 シルエット制約

シルエットは 2 つの意味で復元形状を制約する．第 1 の制約は，シルエット外領域に対応する逆射

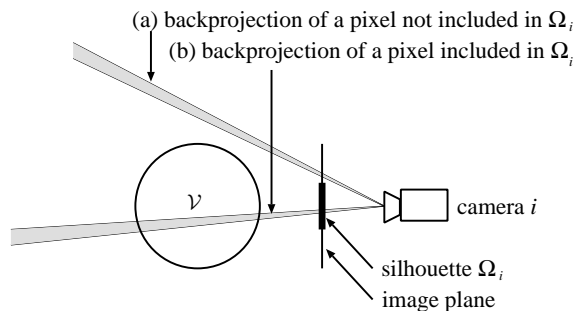


図 2: シルエット制約

影空間に復元形状 \mathcal{V} が存在してはならないという制約である．例えば，図 2 では，シルエット外画素の逆射影空間 (a) に復元形状 \mathcal{V} が存在してはならない．この制約を満たす形状である visual hull を初期形状とすれば，スペースカービング法による復元形状は常にこの制約を満たす．

第 2 の制約は，シルエット内領域に対応する逆射影空間に復元形状が存在しなければならないという制約である．例えば，図 2 では，シルエット内画素の逆射影空間 (b) に復元形状 \mathcal{V} が存在しなければならない．この制約は式 (5) で表せる．

$$x \in \Omega_i \Rightarrow \mathcal{X}_i(x) \cap \mathcal{V} \neq \emptyset \quad (5)$$

ここで， Ω_i は画像 i のシルエット領域を示す．また， $\mathcal{X}_i(x)$ は，式 (6) に示すように，画素 x の逆射影空間である．

$$\mathcal{X}_i(x) = \{X \mid x_i(X) = x\} \quad (6)$$

また， $x_i(X)$ はボクセル X の画像 i への射影である．この制約は，初期形状を visual hull とした場合にも，ボクセルの除去過程で満たされなくなる可能性がある．

本稿では，式 (5) が全てのシルエット内画素に対し成り立つ復元形状を，シルエット制約を満たす復元形状と定義する．以下，スペースカービング法によってシルエット制約を満たし，かつ物体形状に近い形状を復元することを目指す．

3.2 シルエット制約を満たす条件

スペースカービング法では，閾値によって異なる形状が復元される．光学的不整合性 $f_C(X)$ がボクセル X を観測する画像集合 \mathcal{C} の拡大に対し単調

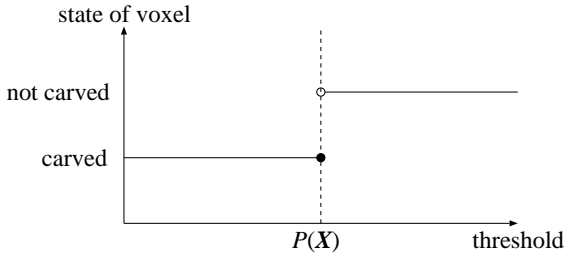


図 3: ボクセル X の状態変化と $P(X)$

な関数である場合、式 (7) に示すように、閾値を小さくすることにより復元形状は単調に縮小する。

$$t_1 < t_2 \Rightarrow \mathcal{V}_{t_1} \subset \mathcal{V}_{t_2} \quad (7)$$

ここで、 t_1, t_2 は閾値である。また、3.5 節で述べるボクセルの逐次除去を行えば、非単調な光学的不整合性 $f_c(X)$ においても式 (7) が成り立つ。式 (7) が成り立てば、図 3 に示すように、ボクセル X の状態は単調に変化する。

いま、 $P(X)$ を式 (8) で定義する。

$$P(X) = \max \{t \mid X \notin \mathcal{V}_t\} \quad (8)$$

このとき、図 3 に示すように、ボクセル X が復元形状 \mathcal{V}_t に含まれるか否かは、閾値 t が $t > P(X)$ を満たすか否かによって決まる。

次に、画像 i の画素 x に関する逆射影空間 $\mathcal{X}_i(x)$ と前述の $P(X)$ を用いて、 $b_i(x)$ を式 (9) と定義する。

$$b_i(x) = \min_{X \in \mathcal{X}_i(x)} P(X) \quad (9)$$

このとき、閾値 t が $t > b_i(x)$ であれば、図 4 に示すように、画素 x の逆射影空間 $\mathcal{X}_i(x)$ にボクセルが存在することになり、式 (5) が成り立つ。

復元形状 \mathcal{V}_t がシルエット制約を満たすには、全てのシルエット内画素 x において $t > b_i(x)$ が満たされればよい。従って、全てのシルエット内画素における $b_i(x)$ の最大値を式 (10) に示される b_{\max} とすると、閾値 t が式 (11) を満たす場合、復元形状 \mathcal{V}_t はシルエット制約を満たすことになる。

$$b_{\max} = \max_i \max_{x \in \Omega_i} b_i(x) \quad (10)$$

$$t > b_{\max} \quad (11)$$

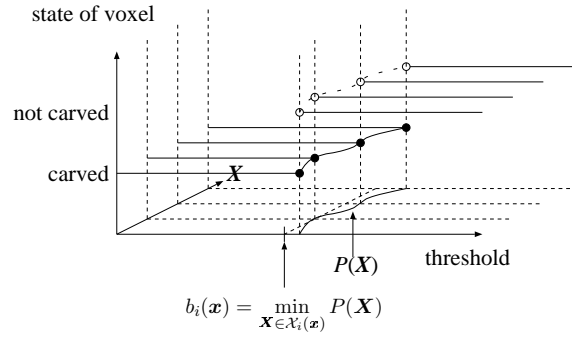


図 4: ボクセル $X (\in \mathcal{X}_i(x))$ の状態変化と $b_i(x)$

3.3 ボクセルの除去条件の再定義

3.2 の議論より、閾値 t を大きくすることで、従来のスペースカーピング法においてもシルエット制約を満たすようにできることが示された。一方、2.4 節で述べたように、大きな閾値を与えることで良好な形状が復元できるとは限らない。

そこで、光学的不整合性 $f_c(X)$ を補正項 $\tau(X) (\geq 0)$ により修正し、シルエット制約と、光学的に整合しないボクセルの除去を両立させることを目指す。補正項 $\tau(X)$ を加えた除去条件は式 (12) である。

$$f_c(X) - \tau(X) \geq t \quad (12)$$

これは、 $\tau(X) = 0$ とすれば従来のスペースカーピング法におけるボクセル除去条件 (式 (2)) と一致する。

除去条件の再定義 (式 (12)) に従った場合でも、3.2 節と同様の議論が成り立つ。ボクセルの除去条件を式 (12) とした場合の復元形状を \mathcal{V}'_t とすれば、式 (13)(14)(15) が成り立つ。

$$P'(X) = \max \{t \mid X \notin \mathcal{V}'_t\} \quad (13)$$

$$b'_i(x) = \min_{X \in \mathcal{X}_i(x)} P'(X) \quad (14)$$

$$b'_{\max} = \max_i \max_{x \in \Omega_i} b'_i(x) \quad (15)$$

これより、式 (16) を満たすことで復元形状 \mathcal{V}'_t はシルエット制約を満たせることがわかる。

$$t > b'_{\max} \quad (16)$$

$\tau(X)$ を大きくすればボクセルを保護する効果があり、 $P'(X)$ は小さくなる。その結果、 $b'_i(x)$ は小さくなり、 b'_{\max} も小さくなる。

3.4 補正項 $\tau(\mathbf{X})$ の決定法

3.4.1 補正項によるボクセルの保護

補正項 $\tau(\mathbf{X})$ は 2 つの条件を満たす必要がある。1 つ目の条件は、補正項 $\tau(\mathbf{X})$ によりシルエット制約を満たす形状 \mathcal{V}_i' を復元することである。2 つ目の条件は、ボクセルを過剰に保護しないことである。

ボクセルの除去条件として式 (2) を用いた場合、与えられる閾値 t が $t \leq b_{\max}$ であれば、復元形状 \mathcal{V}_i はシルエット制約を満たさない。一方、ボクセルの除去条件として式 (12) を用いた場合には、与えられる閾値 t に対し $b'_{\max} < t$ となるように補正項 $\tau(\mathbf{X})$ を設定することで、シルエット制約を満たす形状 \mathcal{V}_i' を復元できる。

本稿では、 $b'_{\max} \leq 0$ となるように、すなわち全てのシルエット内画素に対して $b'_i(\mathbf{x}) \leq 0$ となるように補正項 $\tau(\mathbf{X})$ を設定する。これは、用いる光学的不整合性である式 (1) が、最も整合するボクセルに対し 0 となることから、閾値 t が $t > 0$ と設定されるためである。

$b'_{\max} \leq 0$ を満たすために、補正項 $\tau(\mathbf{X})$ に十分大きな値、例えば $\tau(\mathbf{X}) = b_{\max}$ を与えることが考えられるが、この場合、全てのボクセルが除去されなくなる。このようなボクセルの過剰保護を防ぐために、保護対象となるボクセルを物体表面に位置するものに限定できればよいが、物体表面は未知であるため、これも難しい。そこで、保護すべきでないボクセルを過剰に保護しないように、補正項 $\tau(\mathbf{X})$ に可能な限り小さな値を与え、必要最小限の保護を行うという方針を取る。

3.4.2 補正項の算出

3.4.1 節で述べた方針に基づいて、シルエット制約項 $\tau(\mathbf{X})$ を $P(\mathbf{X})$ から算出する。

ボクセルの除去条件を式 (12) とし、 $\tau(\mathbf{X})$ に何らかの値を与えれば、 $P'(\mathbf{X}), b'_i(\mathbf{x})$ が求まる。このとき、補正項 $\tau(\mathbf{X})$ がボクセルに依存せず一定であれば、式 (12) よりボクセルの除去条件は式 (17) と表せる。

$$f_C(\mathbf{X}) \leq t + \tau(\mathbf{X}) = t' \quad (17)$$

これは式 (2) と同義である。よって、式 (18) が成

り立つ。

$$P'(\mathbf{X}) = P(\mathbf{X}) - \tau(\mathbf{X}) \quad (18)$$

一方、補正項 $\tau(\mathbf{X})$ がボクセル毎に異なれば式 (18) は必ずしも成り立たない。これは、補正項 $\tau(\mathbf{X})$ を用いるか否かでボクセルの除去順序が変化し、可視条件も変化するためである。しかし、シルエット制約を満たすように補正項 $\tau(\mathbf{X})$ を定めれば、可視条件は多くのボクセルで変化しないと考えられる。そこで、この考え方に基づき計算可能な式を導出する。

まず、式 (14) および式 (18) より、 $b'_i(\mathbf{x})$ は式 (19) となる。

$$\begin{aligned} b'_i(\mathbf{x}) &= \min_{\mathbf{X} \in \mathcal{X}_i(\mathbf{x})} P'(\mathbf{X}) \\ &= \min_{\mathbf{X} \in \mathcal{X}_i(\mathbf{x})} \{P(\mathbf{X}) - \tau(\mathbf{X})\} \end{aligned} \quad (19)$$

一方、式 (9) より、式 (20) が成り立つ。

$$\min_{\mathbf{X} \in \mathcal{X}_i(\mathbf{x})} \{P(\mathbf{X}) - b_i(\mathbf{x})\} = 0 \quad (20)$$

ここで式 (19) と式 (20) を比較すると、 $b'_i(\mathbf{x}) \leq 0$ とするには補正項 $\tau(\mathbf{X})$ が $\tau(\mathbf{X}) \geq b_i(\mathbf{x}_i(\mathbf{X}))$ であればよいことがわかる。また、全ての画像に対してこの条件を満たすには $\tau(\mathbf{X}) \geq \max_i b_i(\mathbf{x}_i(\mathbf{X}))$ であればよいことがわかる。一方、ボクセルを過剰に保護しないためには、この条件を満たす最小値が望ましいと考えられることから、本稿では式 (21) により $\tau(\mathbf{X})$ を定める。

$$\begin{aligned} \tau(\mathbf{X}) &= \max_i b_i(\mathbf{x}_i(\mathbf{X})) \\ &= \max_i \min_{\mathbf{Y} \in \mathcal{X}_i(\mathbf{x}_i(\mathbf{X}))} P(\mathbf{Y}) \end{aligned} \quad (21)$$

3.5 復元形状の列挙

$P(\mathbf{X})$ を算出するには、スペースカービング法に様々な閾値を与えて形状を復元しなければならない。そこで、閾値を大きくしたときの復元形状を閾値を小さくしたときの復元形状を求める際の初期形状とすることで、効率的に形状を復元する。この復元形状列 $\mathcal{V}_{t_1}, \mathcal{V}_{t_2}, \dots$ は式 (22) と表せる。

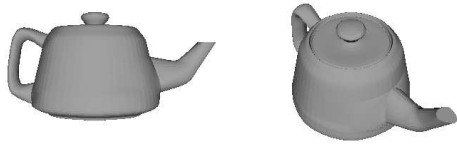


図 5: 対象物体の形状



図 7: 対象物体の visual hull

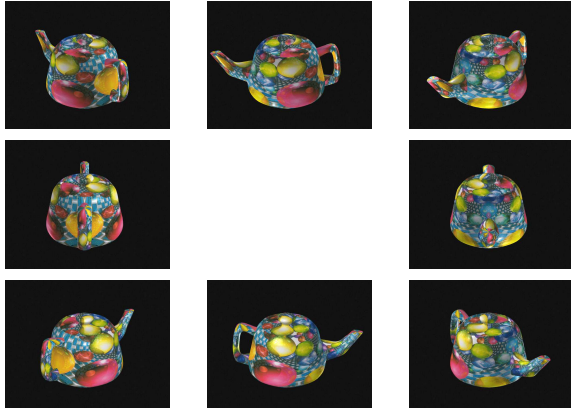


図 6: シミュレーション用撮影画像の一部



図 8: 提案法による復元形状 (閾値 1)

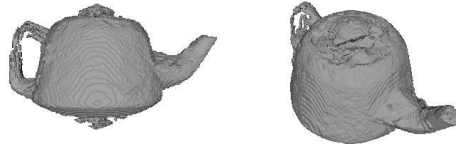


図 9: 従来法による復元形状 (閾値 70)

$$\begin{aligned}
 t_0 &= \infty \\
 \mathcal{V}_{t_0} &= \mathcal{V}_{\text{init}} \\
 t_m &= \max \{f_C(\mathbf{X}) | \mathbf{X} \in \mathcal{V}_{t_{m-1}}\} \\
 \mathcal{V}_{t_m}^0 &= \mathcal{V}_{t_{m-1}} \\
 \mathcal{V}_{t_m}^n &= \mathcal{V}_{t_m}^{n-1} - \mathcal{D}_{\mathcal{V}_{t_m}^{n-1}} \\
 \mathcal{V}_{t_m} &= \mathcal{V}_{t_m}^\infty
 \end{aligned} \quad (22)$$

4 シミュレーション実験

4.1 実験環境

提案法の性能を評価するためにシミュレーション実験を行った。対象物体は複数の反射特性が混在するティーポットである。対象物体の形状を図 5 に示す。これにテクスチャをマッピングし、さらに照明を仮想的に設置し、周囲 8 段階、高さ 2 段階から対象物体を撮影した。さらに、撮影画像に $\sigma = 4$ のガウシアンノイズを付加した。作成した撮影画像を図 6 に示す。解像度は 640×480 である。

形状復元に必要な射影行列には撮影画像の生成に用いた射影行列を用いるため、射影誤差は存在しない。

4.2 形状復元実験

撮影画像よりシルエット抽出を行い、視体積交差法により visual hull を算出した。visual hull を図 7 に示す。この visual hull は 592,628 のボクセルにより構成される。また、全長(取っ手から注ぎ口まで)は 173 ボクセルである。

次に、提案法により形状を復元した。復元形状を図 8 に示す。これは、532,458 のボクセルから構成される。さらに、従来法により形状を復元した。復元形状を図 9 に示す。これは、547,179 のボクセルから構成される。ただし、従来法とはシルエット制約を用いないスペースカービング法である。

従来法では、取っ手部分に位置するボクセルが過剰に除去され、形状が崩れている。一方、底部分を見ると、初期形状から大きく変化しておらず、十分なボクセルの除去がなされていない。一方、提案法では、取っ手においてもボクセルの過剰な除去が発生していない。また、蓋や底において光学的に整合しないボクセルが除去され、良好な形状が復元されていることがわかる。



従来法 (閾値 70) 提案法 (閾値 1)

図 10: シルエット制約を満たさない画素 (灰色)

4.3 シルエットに基づく評価

復元形状をシルエット画像に射影し、シルエット制約が満たされていない領域を抽出した。結果を図 10 に示す。従来法では、灰色で示される画素においてシルエット制約が満たされない。しかし、提案法では灰色で示される領域がなく、全ての画素でシルエット制約が満たされることがわかる。

16 画像全てのシルエットに対し同様の実験を行った結果、シルエット制約を満たさない画素の総数は、提案法で 7 画素、従来法で 7187 画素であった。この結果から、提案法によりシルエット制約をほぼ満たす形状が復元されていることが確認できる。

4.4 真値との比較に基づく評価

真表面上の各点と復元形状表面との距離を誤差とし、復元形状の評価に利用する。平均誤差を図 11 に示す。これは、閾値を間隔 1 で変化させ形状を復元し、それぞれ平均誤差を算出したものである。ここで、提案法では閾値 0 以下、従来法では閾値 54 以下とした場合、大半のボクセルが除去され、評価不能になるため図には表示していない。誤差の単位はボクセルの 1 辺の長さである。

提案手法において全体の平均誤差が最も小さくなる閾値は 1 であり、平均誤差は 0.92 である。一方、従来法において全体の平均誤差が最も小さくなる閾値は 70 であり、平均誤差は 1.28 である。これより、数値的にも提案法により良好な形状が復元されたといえる。

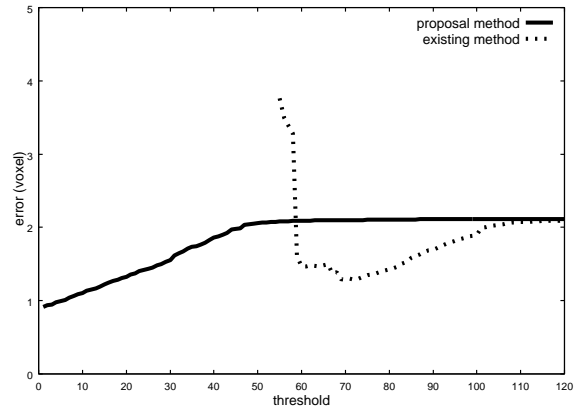


図 11: 形状誤差の比較

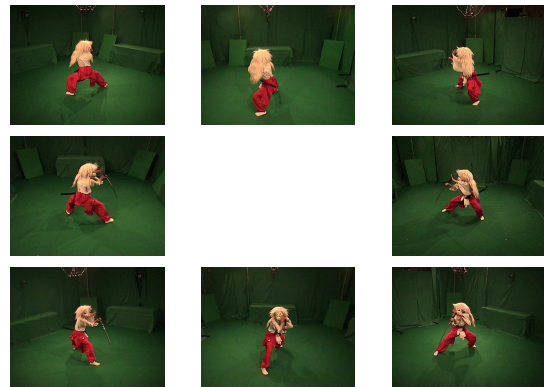


図 12: 撮影画像

5 実画像による実験

5.1 実験環境

実環境における提案手法の有効性を確認するために実験を行った。対象は「荒舞」と呼ばれる伝統舞踊を踊る人物である。撮影画像は図 12 に示される 8 枚で、解像度は 640×480 pixels のインターレース画像である。形状を表現する要素であるボクセルは 1 辺 10mm の立方体とし、ボクセル空間サイズは $2m \times 2m \times 2m$ とした。

5.2 仮想視点画像生成実験

提案法および従来法による形状復元の準備として、視体積交差法により visual hull を算出した。装飾品である刀と鞘は、シルエットとして抽出できなかつたため visual hull には含まれていない。ま

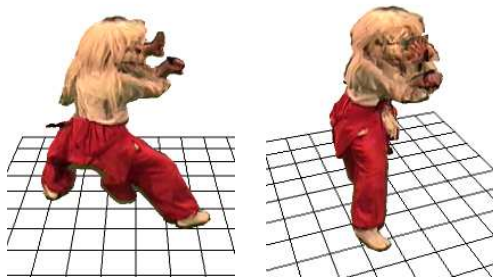


図 13: 仮想視点画像 (視体積交差法)

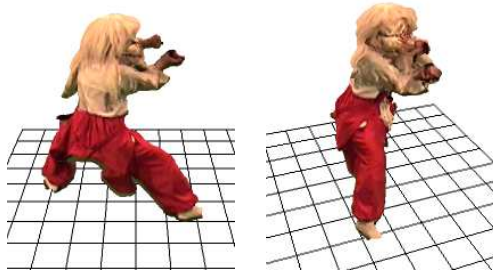


図 14: 仮想視点画像 (従来法)

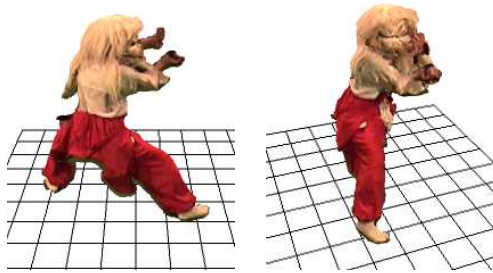


図 15: 仮想視点画像 (提案法)

た、提案法と従来法により形状を復元した。両復元法による形状はほぼ同数のボクセルにより構成される。さらに、源田ら [2] が提案している方法を用いて図 13,14,15 に示す仮想視点画像を生成した。

形状復元法を視体積交差法とした場合、不明瞭かつ不鮮明な画像が生成されている。例えば、背景画素の色を用いて形状を着色してしまうため、頭部などに、黒い領域が生じている。また、顔領域では不自然な画像が生成されている一方、形状復元法を従来法とした場合、光学的に整合しないボクセルが除去されるため、明瞭かつ鮮明な画像が生成されている。特に、頭部の黒い領域が消え、また顔においても精度の高い画像が生成されている。しかし、左手や、右足の先が消えてしまうため、不自然な生成画像となっている。形状復元法を提案法とした場合では、従来法と同様に明瞭かつ鮮明

な画像が生成されている。さらに、左手や右足の先が残り、自然な画像が生成できている。

以上より、実画像を用いた場合でも、提案法によって良好な形状が復元でき、また提案法による復元形状を仮想視点画像生成に応用することで、従来より明瞭かつ鮮明な画像を生成できることが確認できた。

6 まとめ

スペースカービング法にシルエット制約を導入することで、物体表面に光学的不整合性の高い領域と低い領域が混在する対象において復元形状が改善することを示した。今後の課題としては、計算量の軽減と、補正項 $\tau(X)$ の算出法の改良が挙げられる。

本研究は、科学技術振興機構 CREST 池内プロジェクトの援助を受けて行った。また、実験に使用した舞踊の撮影は、株式会社わらび座の協力を受けて行った。

参考文献

- [1] 池内克史, 倉爪亮, 西野恒, 佐川立昌, 大石岳史, 高瀬裕, “The great buddha project – 大規模文化遺産のデジタルコンテンツ化 –,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.7, no.1, pp.103–114, 2002.
- [2] 源田大輔, 向川康博, 尺長健, “視点と法線を組み合わせた任意視点映像の生成法,” 情報処理学会研究報告 CVIM 137-7, pp.53–60, 2003.
- [3] 湯川崇, 海賀孝明, 長瀬一男, 玉本英夫, “舞踊符による身体動作記述システム,” 情報処理学会論文誌, vol.41, no.10, pp.2873–2880, 2000.
- [4] A. Laurentini, “The visual hull concept for silhouette-based image understanding,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.16, no.2, pp.150–162, 1994.
- [5] K.N. Kutulakos and S.M. Seitz, “A theory of shape by space carving,” International Journal of Computer Vision, vol.38, no.3, pp.199–218, 2000.
- [6] G.G. Slabaugh, W.B. Culbertson, T. Malzbender, M.R. Stevens and R.W. Schafer, “Methods for volumetric reconstruction of visual scenes,” International Journal of Computer Vision, vol.57, no.3, pp.179–199, 2004.