

視点と法線を組み合わせた任意視点映像の生成法

源田 大輔 向川 康博 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

mukaigaw@ieee.org

あらまし

本稿では、多視点映像から高品質な任意視点映像を生成する方法について述べる。視体積交差法により獲得した3次元形状（ボクセルデータ）に対して、各カメラで観測される画素値の線形和により色を決定する。ここで、各カメラに対する重みの決定法としては、物体表面上の法線に基づいて算出する方法や、映像を生成する視点に基づいて算出する方法が従来提案されている。これに対し、本稿では、生成映像の画質を向上させるために、視点と法線の両方を考慮して重みを算出する方法を提案する。実際に、8台のカメラを用いて舞踊動作を撮影し、任意視点映像の生成を行なうことで提案手法の有効性を確認した。

Image Generation Using Multiple Cameras based on Viewpoint and Surface Normal

Daisuke GENDA, Yasuhiro MUKAIGAWA, Takeshi SHAKUNAGA

Department of Information Technology, Faculty of Engineering,

Okayama University

3-1-1 Tsushima-naka, Okayama, 700-8530, JAPAN

mukaigaw@ieee.org

Abstract

In this paper, we present a method for generating images from any viewpoints using multiple cameras. The 3d human shape is reconstructed by the volume intersection method and expressed as a set of voxels. Our method calculates the voxel color by a linear combination of the colors observed from multiple cameras. The weights of the linear combination are calculated based on both the viewpoint and the surface normal. In the experiment, we took images of a traditional dance motion using eight cameras, and generated images by the proposed method with changing viewpoints arbitrarily. Comparing with the previous methods, we confirmed that the quality was improved.

1 はじめに

近年、文化遺産の保護を目的としたデジタルコンテンツ化の研究が盛んに行なわれている [1, 2]。日本には、仏像や建造物、陶磁器のような有形文

化財だけでなく、伝統舞踊や能、匠の技等の無形文化財が各地に存在している。しかし、多くの無形文化財は後継者不足等の理由から失われつつあるのが現状であるため、無形文化財デジタル化の重要性が増している。

人物の動作情報を獲得する方法として、モーションキャプチャシステムが広く用いられており、マーカを用いる光学式、磁気センサを用いる磁気式ともに精度良く人物動作を獲得できることが知られている。獲得したデータは、CGの動作情報としての利用、人物動作解析や新たな動作の生成等への応用が考えられる。

しかし、伝統舞踊のコンテンツ化を考えた場合、人物の動作情報のみならず、身に付けている衣装や装飾品等の見え情報も伝統舞踊の一部として重要な情報と考えられる。また、伝統舞踊をコンテンツ化し、自由な視点からの見え情報を再現できれば、ユーザが見たい仮想視点からの伝統舞踊映像を自由にデジタルコンテンツとして利用可能であり、教育や科学的分析等の応用が考えられる。そのため、多数のカメラを用いて人物を多方向から同時に撮影する多視点カメラシステムを用いた研究が活発になされている [3, 4]。

任意視点映像を生成するには、対象の3次元形状を復元し、その表面にテクスチャを貼り付ける方法が広く用いられている。この方法では、撮影画像からテクスチャを獲得する必要があるが、一般に各カメラの画像間で対応点の観測色は異なるため、各カメラで観測された複数の色から一つの色を決定する必要がある。この決定方法は、主に物体表面上の法線に基づく方法 [5] や、映像を生成する視点に基づく方法 [6, 7, 8] に大別することができる。法線に基づく方法は、ボクセル毎に色を獲得するカメラが異なるため、対象の表面にざらつきが生じる。一方、視点に基づく方法は、テクスチャを獲得する際に真横からの見えを無理に引きのばしてしまうことがあり、輪郭部の画質が低下しやすい。

そこで、本研究では、任意視点映像を生成する際に、獲得した3次元形状の表面に貼り付けるテクスチャの画質を向上させることを目的とする。3次元形状は、視体積交差法を用いてボクセルの集合として獲得するものとし、本研究では扱わない。生成映像の画質を向上させるために、視点と法線の両方を考慮して映像を生成する手法を提案する。この手法は、撮影画像から無理にテクスチャを引きのばしてしまうことがなく、撮影時の照明環境を反映できるため高品質な映像を生成することができる。

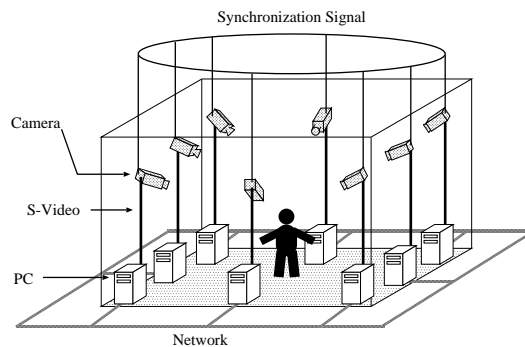


図 1: 多視点カメラシステム

2 多視点映像からの3次元形状復元

2.1 多視点カメラシステム

本研究で用いる多視点カメラシステムを図1に示す。対象を洩れなく撮影するために、観測範囲を取り囲むように複数のカメラを設置する。この時、カメラからの映像を取り込むPCを各カメラ毎に用意する。各PC間はネットワークで接続され、獲得した情報を共有できる。また、各カメラに同期信号を入力することで各カメラでの撮影時刻を揃え、各PCに撮影開始トリガを送信することで、各カメラ間での撮影時刻の同期を実現する。各カメラはあらかじめ校正されているものとする。

2.2 人物形状の復元

多視点映像から対象の3次元形状を復元する代表的な手法として、ステレオ法が挙げられる。この手法は、画像間の正確な対応づけができれば高精度に3次元形状を復元することができるが、画像のテクスチャ等を用いて正確に対応づけを求めるとは容易ではなく、不安定になりやすい。

そこで、本研究では、視体積交差法を用いてボクセル集合として対象の3次元形状を復元する。視体積交差法は、対象のシルエット画像から得られる多角錐の共通部分である Visual Hull [9] を対象形状として復元するものである。この手法は、画像間の対応づけ問題が不要であること、対象のシルエットのみに依存するという利点を持つため、比較的安定に3次元形状を復元することができる。

しかし、視体積交差法で得られる Visual Hull は、対象の真の形状に外接する近似空間であるという問題がある。この問題に対して、表面の光学的な情報に基づいて詳細な 3 次元形状を獲得する手法 [10, 11] 等が提案されている。しかし、凹面を除けば、実際には十分な数のカメラを用いることで真の物体形状に近い空間を得ることができるので、本研究では、Visual Hull を獲得することで対象形状とみなす。

3 多視点映像からの任意視点映像生成

3.1 問題設定

2 章で述べた手法により対象の 3 次元形状を復元することができる。従って、仮想視点を与えることで、各ボクセルの画像中への射影位置が算出できる。更に、各表面ボクセルに対して色を決定することで任意視点映像を生成することができる。

表面ボクセルが各カメラで観測されているとすれば、各カメラでのボクセル観測色は理想的には全て同じ色になると考えられる。しかし、オクルージョン、鏡面反射、カメラの個体差、復元された形状の誤差等により、実際に、各カメラで観測される色は異なる。本研究では、各カメラで観測された複数の色からボクセルに着色する色を決めることを目的とする。

以後の文章で使用する記号を以下のように定義する。

- 表面ボクセル : s_i
- 表面ボクセル s_i の単位法線ベクトル : N_{s_i}
- 仮想視点 : eye
- 撮影カメラ : C_j ($1 \leq j \leq p$)
- カメラ C_j での表面ボクセル s_i の観測色 : I_{C_j, s_i}
- カメラ C_j のレンズ中心から表面ボクセル s_i への向きの単位ベクトル : $V_{C_j \rightarrow s_i}$
- 仮想視点 eye から表面ボクセル s_i への向きの単位ベクトル : $V_{eye \rightarrow s_i}$

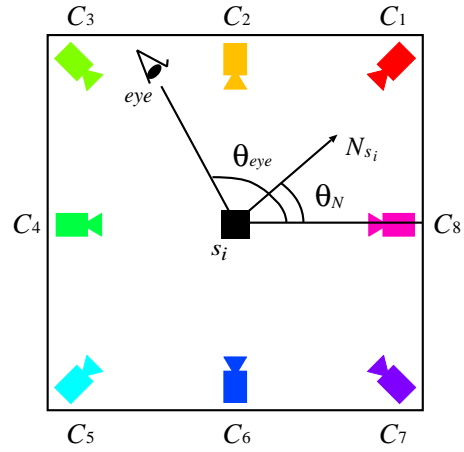


図 2: 設定条件

本研究では、問題を簡単化するために、撮影システムを上から見たときの 2 次元平面で考える。また、 p 台のカメラが対象を取り囲むように、ほぼ均等に配置されているものとする。例として、カメラ台数が 8 台である場合の配置を図 2 に示す。このように考えることで、法線方向は絶対角 θ_N で、仮想視点位置は絶対角 θ_{eye} で表現することができる。もちろん、高さ方向を考慮することで、3 次元へ拡張することも容易である。

3.2 線形和による表面ボクセル色の決定

本研究では、表面ボクセル s_i に着色すべき色 I_{s_i} を各カメラでのボクセル観測色 I_{C_j, s_i} の線形和として決定する。各カメラ C_j に対する重み係数 w_j は、次式のように求めるものとする。

$$w_j = v_{C_j \rightarrow s_i} \cdot f(N_{s_i}, V_{C_j \rightarrow s_i}, V_{eye \rightarrow s_i}) \quad (1)$$

ここで、 $v_{C_j \rightarrow s_i}$ はカメラ C_j からボクセル s_i が見えるか見えないかを表す変数とする。

$$v_{C_j \rightarrow s_i} = \begin{cases} 1 & : s_i \text{ is visible from } C_j. \\ 0 & : s_i \text{ is invisible from } C_j. \end{cases} \quad (2)$$

すなわち、ボクセル s_i の単位法線ベクトル N_{s_i} とカメラ C_j からボクセル s_i への向きの単位ベクトル $V_{C_j \rightarrow s_i}$ との間に $N_{s_i} \cdot V_{C_j \rightarrow s_i} < 0$ が成り立つか否かを調べることで、カメラ C_j とボクセル s_i を結ぶ線分上に他のボクセルが存在するか否かを調べることによって $v_{C_j \rightarrow s_i}$ の値は容易に求めることができる。

また, f は各ボクセルの法線ベクトル, 撮影カメラ位置, 仮想視点位置から決まる関数である. 各カメラの重みの総和が 1 となるように正規化すると, 表面ボクセル s_i の色 I_{s_i} は, 次式のように算出される.

$$I_{s_i} = \sum_{j=1}^p \frac{w_j}{\sum w} \cdot I_{C_j, s_i} \quad (3)$$

ただし, $\sum w = 0$ の場合はどのカメラからも見えないので対象外とし, すべての $v_{C_j \rightarrow s_i}$ を 1 とした後で説明する視点依存型を用いる.

3.3 従来の重み係数算出法

各カメラの重み係数 w_j を決める際には, 関数 f をどのようにして決めるかを考える必要がある. 従来から, 主に法線に基づいて各カメラの重み係数を算出する方法と, 視点に基づいて各カメラの重み係数を算出する方法が提案されている. 以下詳しく述べる.

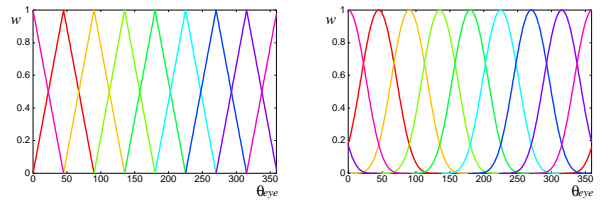
3.3.1 法線依存型算出法

法線に基づく算出法は, テクスチャを獲得する際に面積が大きい方が情報量が多いという原理に基づいている. すなわち, 法線方向に近いカメラを用いることで最も面積の大きなテクスチャを獲得することができる. この方法は, 法線だけで各カメラの重みが決まり, 仮想視点には無関係であるため, 法線依存型と呼ぶ.

$$f(N_{s_i}, V_{C_j \rightarrow s_i}, V_{eye \rightarrow s_i}) = \begin{cases} 1 & : \text{if } N_{s_i} \cdot V_{C_j \rightarrow s_i} \text{ is the smallest.} \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中に, N_{s_i} は現れるが, $V_{eye \rightarrow s_i}$ は現れない. このことからこの手法は仮想視点に無関係であることがわかる.

法線依存型は, レンダリングのためのテクスチャが仮想視点に関わらず常に一定であるためハードウェアレンダリングとの親和性がよく, リアルタイムでの映像生成に向いている. また, 細かい模様が潰れにくいという利点もある. しかし, 物体表面上の各点ごとに色を獲得するカメラが異なるため, 対象の表面にざらつきが生じる [5]. また, 実



(a) 線形内挿 (b) 内積のべき乗 ($m = 5$)

図 3: 各カメラの重み (視点依存型)

際のカメラと同じ視点の映像を生成しても, 同じ映像を再現できない等の欠点がある.

3.3.2 視点依存型算出法

視点に基づく算出法は, 仮想視点に近い撮影カメラから色を獲得する方がテクスチャの変形を抑えることができるという原理に基づいている. また, 撮影時の照明環境を生成画像に生かすことができるという利点もある. この方法は, 仮想視点だけで各カメラの重みが決まり, 法線には無関係であるため, 視点依存型と呼ぶ.

仮想視点に近いカメラほど重みを大きく, 離れるに従って重みを小さくするための一つの方法として, 線形内挿 [12, 13] が考えられる. 稲本と斎藤 [8] は, 仮想視点をはさむ 2 台のカメラの画素値の線形内挿で色を決定している. ここで, 2 台のカメラをそれぞれ C_l, C_r とすれば, 関数 f は次式で与えられる.

$$f(N_{s_i}, V_{C_j \rightarrow s_i}, V_{eye \rightarrow s_i}) = \begin{cases} \alpha & : C_l \\ 1 - \alpha & : C_r \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

ここで, α は仮想視点を決めるパラメータであり, $0 \leq \alpha \leq 1$ である. 例として, 図 2 に示すようにボクセル s_i を取り囲むように 8 台のカメラを均等に配置したときの各カメラの重み w_j を図 3(a) に示す.

また, 高井と松山 [6] は, 仮想視点に近いカメラの重みを大きくした各カメラの画素値の線形和で色を決定するために, 次式のように $V_{C_j \rightarrow s_i}$ と $V_{eye \rightarrow s_i}$ の内積のべき乗に基づいた重み算出法を提案している.

$$f(N_{s_i}, V_{C_j \rightarrow s_i}, V_{eye \rightarrow s_i}) = (V_{C_j \rightarrow s_i} \cdot V_{eye \rightarrow s_i})^m \quad (6)$$

ここで、 m は各カメラの重みを調節するパラメータであり、高井と松山は経験的に $m = 5$ として用いている。また、図 2 の条件下での各カメラの重み w_j を図 3(b) に示す。式 (6) 中に、 $V_{eye \rightarrow s_i}$ は現れるが、 N_{s_i} は現れない。このことからこの手法は法線に無関係であることがわかる。

視点依存型は、オクルージョンがなければ隣接するボクセルの重みが同じため、対象の表面がざらつかない。また、仮想視点が撮影カメラ位置と同じ場合は、撮影した映像を完全に再現することができ、カメラの台数が増える毎に生成画像の質が向上し、3次元形状の誤差もある程度は許容できるという利点がある。しかし、画像生成に必要とするメモリ量が多く、リアルタイム処理には向かない。また、ほとんど真横からの見えを無理に引きのばしてしまうことがあり、生成映像の主に輪郭部の画質が低下しやすいという欠点がある。

3.4 視点・法線依存型算出法

前節までで法線依存型、視点依存型のそれぞれの重み算出法を述べた。法線依存型の欠点は、視点を無視していることであり、そのため撮影時の照明環境を反映した写実性の高い映像を生成できない。一方、視点依存型の欠点は、法線を無視していることであり、そのため真横からの見えを無理に引きのばしてしまうことがあり、生成映像の主に輪郭部の画質が低下する原因となっている。

本研究では、無形文化財のコンテンツ化を目的としているため、リアルタイム性や記憶容量より生成映像の品質の高さが要求される。法線依存型は、面積の大きなテクスチャを獲得できるため細かい模様が潰れにくいという利点がある。視点依存型は、撮影時の照明環境を反映した写実性の高い映像を生成できるという利点がある。そこで、本研究では、視点と法線の両方を考慮した視点・法線依存型を提案する。視点と法線の両方を考慮することで、従来法の長所を併せ持つ統一的な枠組で物体の表面色を算出できる。視点・法線依存型では、各カメラの重み係数を算出するための関数 f は次式のように表される。

$$f(N_{s_i}, V_{C_j \rightarrow s_i}, V_{eye \rightarrow s_i}) = f_{eye}(V_{eye \rightarrow s_i}, V_{C_j \rightarrow s_i}) \times f_N(N_{s_i}, V_{C_j \rightarrow s_i}) \quad (7)$$

ここで、関数 f_{eye} は仮想視点からボクセルへの

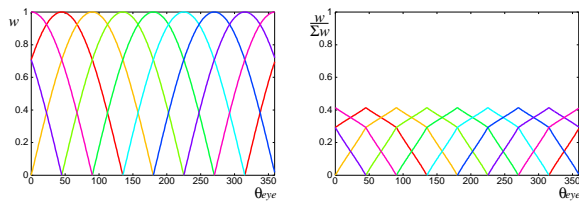
向きのベクトルと、各カメラからボクセルへの向きのベクトルのなす角が小さいほど値が大きくなる関数である。また、関数 f_N はボクセルの法線ベクトルと各カメラからボクセルへの向きのベクトルのなす角が大きいほど値が大きくなる関数である。 f_{eye}, f_N はそれぞれ線形内挿や、ボクセルを中心とした微小面の面積比を用いて決める方法が考えられる。線形内挿では、式 (5) のように、2台のカメラの色の和としてボクセルの色を決める。このため、それぞれのカメラでのボクセル観測色が大きく異なる場合は、生成画像がピンボケしたり、生成された色がにごりやすい。また、それぞれのカメラで対応点が異なる場合には、テクスチャが重なって見える等の問題がある。一方、ボクセルを中心とした微小面の面積比を用いた方法では、微小面の面積比は内積に等しいため、内積を用いて各カメラの重みを算出できる。この場合も複数のカメラでのボクセル観測色の和でボクセルの色を決定するため、線形内挿と同様に、ピンボケ等の問題が発生する。これは、内積が比較的緩やかに変化する関数であることに起因している。そこで、視点・法線依存型による関数 f_{eye}, f_N は内積のべき乗を用いて、次式のように算出するものとする。

$$f_{eye} = (V_{eye \rightarrow s_i} \cdot V_{C_j \rightarrow s_i})^m \quad (8)$$

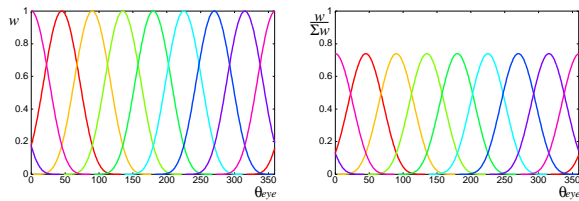
$$f_N = (-N_{s_i} \cdot V_{C_j \rightarrow s_i})^n \quad (9)$$

ここで、指数 m, n をどのように決定するかという問題がある。図 2 に示すようにボクセル s_i を取り囲むように 8 台のカメラを 45° 間隔で均等に配置したときの、 m の変化に伴う各カメラの重み算出結果を図 4 に示す。左が w_j の値であり、右が重みの総和が 1 となるように正規化した値である。 $m = 1$ のときは、微小面の面積比に一致し、ピンボケが起こりやすい。 m を大きくすることで、各カメラが影響を及ぼす範囲が狭くなる。 $m = 20$ とすると、1台のカメラを用いてボクセルの色を生成することが多くなるが、カメラの切り替わりで大きく色が変化するため不自然な生成画像となる。このことから、各カメラの間隔が 45° のときはおよそ $m = 5$ とすることで滑らかな画像を生成できると考えられる。また、 m, n は、カメラ間の角度差に強く依存し、カメラが密に配置されている場合は大きく、疎に配置されている場合は小さくする必要がある。

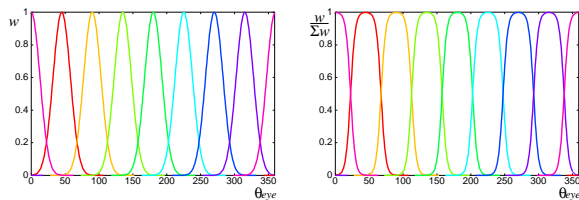
視点・法線依存型では、視点と法線を統一的な



(a) $m = 1$



(b) $m = 5$



(c) $m = 20$

図 4: 各カメラの重み (視点依存型: 内積のべき乗)

枠組で扱っているため、式 (9) において、 $n = 0$ とすることで高井と松山の手法 (式 (6)) と等しくなる。 n を大きくすることで、各カメラの重みを決める際の法線の影響が大きくなる。一方、 $m = 0$ とすることで、視点には依存しなくなるため、予め、着色するテクスチャを決めることができる。

視点・法線依存型は、仮想視点が撮影カメラ位置と同じ場合でも撮影映像を完全に再現することはできないが、そのようなケースはまれであり、撮影カメラ位置から少し離れた仮想視点において、生成画像の品質が向上する。これは、法線を考慮することでテクスチャの無理な引きのばしが行なわれないことによる。

図 5~8 に図 2 の条件下でのそれぞれの手法による各カメラの重み w_j を示す。 $m = 5, n = 5$ として重みを算出している。左のグラフは、 θ_{eye}, θ_N が変化したときにカメラ 4 の重み w_4 がどのように変化するかを表している。右のマップは、 θ_{eye}, θ_N が変化したときにボクセル s_i に着色される色を図 2 において各カメラに与えた色の線形和として表している。なお、 $|\theta_{eye} - \theta_N| > 90^\circ$ のときは、仮想

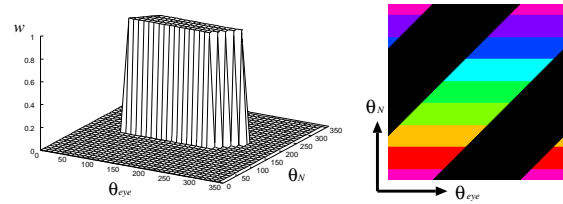


図 5: 法線依存型

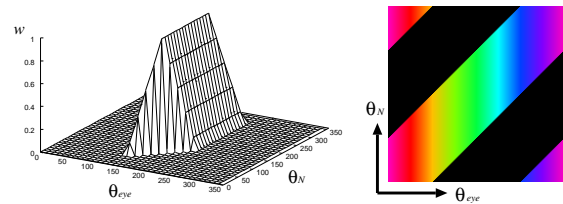


図 6: 視点依存型 (線形内挿)

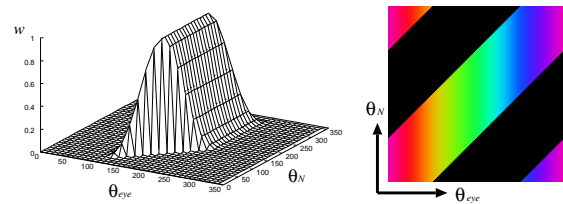


図 7: 視点依存型 (内積のべき乗)

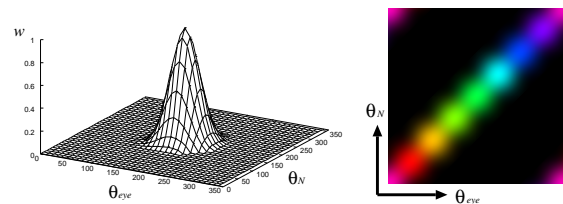


図 8: 視点・法線依存型 (提案手法)

視点からボクセルを観測することができないため全てのカメラの重み w が 0 となり、ボクセルへの着色は視点依存型を用いる。図から法線依存型は、 θ_N のみで重みが決まり、 θ_{eye} には無関係であることがわかる。視点依存型は、 θ_{eye} のみで重みが決まり、 θ_N には無関係であることがわかる。一方、提案手法である視点・法線依存型は、 θ_{eye}, θ_N の両方を考慮して重みを決定していることがわかる。

4 実験

4.1 撮影環境

舞踊動作を獲得するために、8台のカメラ（SONY製 DXC-200A）と、それぞれのカメラからの映像を取り込むための8台のPC（AthlonXP 2200+, Memory 1.5GB 搭載）で構成される多視点カメラシステムを構築した。各PC間は100Base-TXのネットワークによって接続した。本システムの観測範囲を部屋の中心付近の $2m \times 2m \times 2m$ の空間とし、観測空間を取り囲むようにカメラを設置した。各カメラで得られる画像は 640×480 (pixel) RGB各8ビットのカラー画像で、画像中の1画素が対応する空間中での大きさが、観測範囲の中心付近で約0.5cmとなることから、ボクセルの辺の大きさを0.5cmとした。なお、シルエット画像の抽出を容易に行なうために部屋の背景は緑色に統一した。

4.2 荒舞への適用

無形文化財コンテンツ化の一環として、荒舞を題材として任意視点映像の生成を行なった。対象とした荒舞は、動きが速く、髪や衣装が激しく動くという特徴がある。

仮想視点は設置したカメラとほぼ同じ高さの2mとし、対象を取り囲む円上に設定した。視点依存型、及び視点・法線依存型で用いるパラメータは $m = 5, n = 5$ とした。図9に時刻 $t = 10$ において得られた入力画像を示す。図10, 図11に各手法を用いて画像を生成した結果を示す。左から順に、それぞれ法線依存型、視点依存型（内積のべき乗）、視点・法線依存型による生成結果を示す。また、中段には生成画像の四角で囲んだ部分を拡大した結果を示す。下段には、各ボクセルの色がどのカメラを用いて生成されたのかを図2において各カメラに与えた色を用いて示す。

法線依存型では、対象の表面で色の変化が激しく、カメラの選択によっては明らかに間違っただけの色をレンダリングしている。視点依存型では、画質は向上しているといえるものの、輪郭部の画素が黒くなっている。提案手法である視点・法線依存型では、輪郭部の画質が明らかに改善され、画像全体の質が向上していることが確認できる。

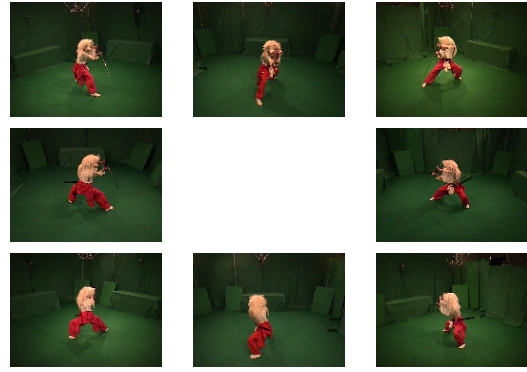


図 9: 入力画像 ($t = 10$)

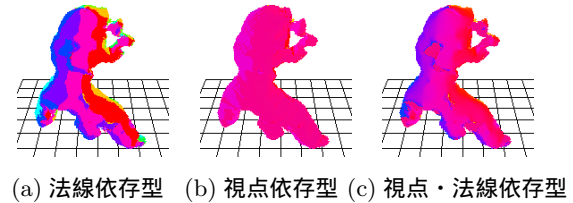
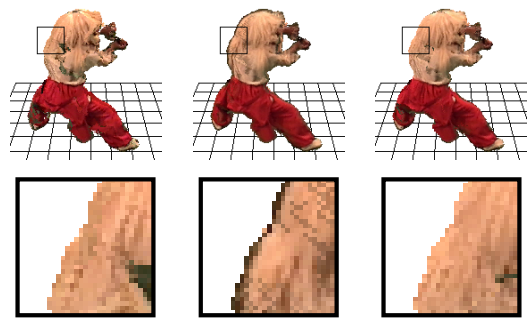


図 10: 画像生成結果 ($t = 10, \theta_{eye} = 0^\circ$)

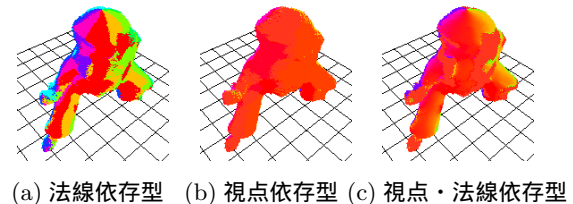
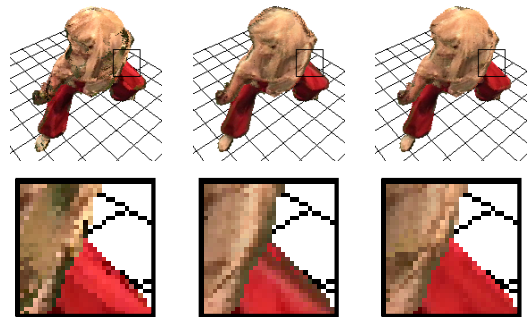


図 11: 画像生成結果 ($t = 244, \theta_{eye} = 50^\circ$)

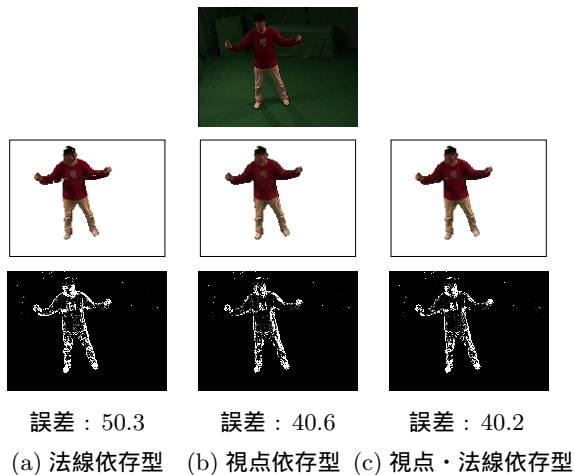


図 12: 性能評価の結果

4.3 性能評価

提案手法による画像生成の有効性を確認するために、実際の撮影画像と生成画像を比較することで評価を行なった。評価に用いたカメラは、画像生成に用いた 8 台のカメラとは別に設置し、そのカメラ位置を仮想視点とする画像を生成した。

結果を図 12 に示す。左から順に、それぞれ法線依存型、視点依存型（内積のべき乗）、視点・法線依存型による結果である。上段には新たに設置したカメラで得られた撮影画像を示し、中段にはそれぞれの手法による画像生成結果を示す。また、下段には撮影画像と生成画像の人物領域部分の差分結果を示し、RGB 値の 2 乗平均平方根誤差を示す。結果から、提案手法である視点・法線依存型は、法線依存型に比べて誤差が少なく、視点依存型と比べても誤差の大きい輪郭部の画質が改善していることが確認できる。

5 まとめ

本研究では、多視点映像から高品質な任意視点映像を生成する方法を提案した。視体積交差法により獲得した 3 次元形状を表すボクセルに対して、各カメラでの画素値の線形和として色を決定した。各カメラの重みは、映像を生成する視点と物体表面上の法線の両方を考慮して算出した。

提案手法の有効性を確認するために、比較的動きの速い荒舞を対象とした実験を行ない、従来法に比べて、提案手法による生成映像の品質の向上を確認した。今後の課題として、生成映像に映された対象の動作解析および、その結果に基づいた

映像の編集などが挙げられる。

本研究は、科学技術振興事業団 CREST 池内プロジェクトの援助を受けて行なった。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なった。

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] 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.
- [3] T. Kanade, P. Rander and P. J. Narayanan: “Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes”, IEEE MultiMedia, Vol.4, No.1, pp.34-47, 1997.
- [4] 北原格, 大田友一: “大規模空間を対象とした自由視点映像生成のための 3 次元形状表現手法”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.177-184, 2002.
- [5] T. Takai and T. Matsuyama: “Interactive Viewer for 3D Video”, Proc. Fourth International Workshop on Cooperative Distributed Vision, pp.475-494, 2001.
- [6] 高井勇志, 松山隆司: “3 次元ビデオ映像の高精細表示アルゴリズムと編集システム”, 映像情報メディア学会誌, Vol.56, No.4, pp.593-602, 2002.
- [7] H. Saito, S. Baba, M. Kimura, S. Vedula and T. Kanade: “Appearance-Based Virtual View Generation of Temporally-Varying Events from Multi-Camera Images in the 3D Room”, Proc. Second International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'99), pp.516-525, 1999.
- [8] 稲本奈穂, 斎藤英雄: “サッカーシーンにおける自由視点映像生成のための視点内挿法”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.4, pp.513-520, 2002.
- [9] A. Laurentini: “The Visual Hull Concept for Silhouette-Based Image Understanding”, IEEE Trans. PAMI, Vol.16, No.2, pp.150-162, 1994.
- [10] K. N. Kutulakos and S. M. Seitz: “A Theory of Shape by Space Carving”, Proc. ICCV'99, pp.307-314, 1999.
- [11] 延原章平, 和田俊和, 松山隆司: “弾性メッシュモデルを用いた多視点画像からの高精度 3 次元形状復元”, 情報処理学会論文誌 コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.43, No.SIG11(CVIM5), pp.53-63, 2002.
- [12] S. M. Seitz and C. R. Dyer: “View Morphing”, Proc. SIGGRAPH'96, pp.21-30, 1996.
- [13] S. E. Chen and L. Williams: “View Interpolation for Image Synthesis”, Proc. SIGGRAPH'93, pp.279-288, 1993.