

# 3次元ビデオ映像のためのデータ圧縮法

木村 雅之, 和田 俊和, 松山 隆司  
京都大学大学院情報学研究科

概要 物体の3次元形状情報を持つ映像メディアである「3次元ビデオ映像」は膨大なデータ量を持つため、データ圧縮が必要である。また、一方で視体積交差法とマーチング・キューブ法から生成される運動物体の形状は精度が粗く、また冗長である。このような問題を解決するための手段がメッシュの構成要素を可能な限り削減する「メッシュの簡略化」である。従来の簡略化アルゴリズムにおいては元のメッシュに与えられた情報をいかに保存するかが重要であったが、3次元ビデオ映像においては生成されるテクスチャが撮影された画像をどれだけ忠実に再現するかも大きな問題である。そこで我々は従来用いられている幾何形状の変化の評価だけでなく、生成されるテクスチャの精度も評価する新たな簡略化アルゴリズムを提案する。

## Data Compression Method for 3D-Video Movie

Masayuki KIMURA, Toshikazu WADA, Takashi MATSUYAMA  
Graduate School of Informatics, Kyoto University

abstract 3D-Video contents consist of huge amount of data. and the surface patches of the object data obtained by volume intersection and marching-cubes method are rough and redundant. The roughness degrades mapped textures, and the redundancy slows down its rendering. These problems can be solved by surface patch compression in terms of "Mesh Simplification". In the ordinary simplification method, the most important thing is how to preserve information given to the original mesh, but our problem is quite different. Simplification should be conducted so that mapped textures coincide with observed images. So we propose the new mesh simplification method that evaluate not only shape distortion and also accuracy of mapped texture, and we show the result of simplification.

## 1 はじめに

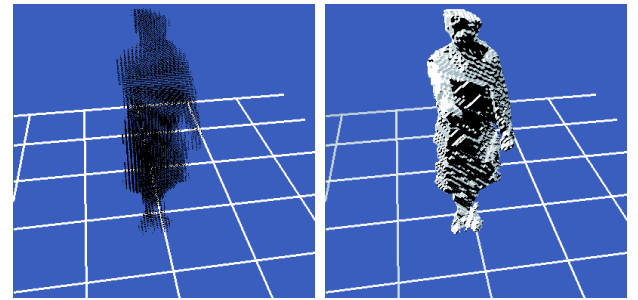
映像情報処理技術の発達に伴い、実写映像を用いた映像合成技術が実用化されつつある。その中でも特に「実写画像からの3次元データの復元」という手法は、任意のカメラパラメータで映像を生成でき、なおかつ様々な映像効果を加えることができる優れた手法である。このようにして獲得される3次元データを元にして構成される新しい映像メディアが3次元ビデオ映像というものである。3次元ビデオ映像の具体的な応用例としては伝統芸能のデジタルアーカイブ化や、任意視点からの映像作成といったものが考えられる。ところが3次元ビデオ映像はそのデータ量が膨大なものになり、データ圧縮の必要性、特に映像品質をできるだけ保ちつつデータ量を削減する必要性が生じてくる。本研究ではこのような要請を満足する3次元ビデオ映像のデータ圧縮法について検討する。

## 2 3次元ビデオ映像

まず3次元ビデオ映像のコンテンツの獲得方法について述べる。3次元ビデオ映像の各フレームは運動物体の形状およびテクスチャの情報と、背景情報からなっており、運動物体の形状などの情報は以下の方法で獲得している。(図1参照)

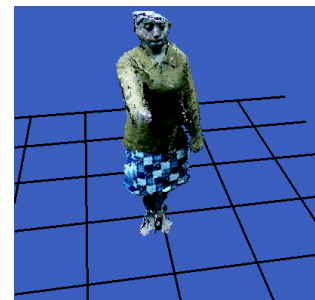
1. 多視点から同期撮影された画像から撮影対象のシルエットを抽出し、視体積交差法を用いて対象の3次元形状を復元する。[1]
2. 得られた形状データに対して離散マーチングキューブ法[2]を用いてメッシュ構造を獲得する。
3. 得られたメッシュの各面に対して撮影画像群から表面テクスチャを作成する。

ところが、このようにして獲得されたデータはその量が非常に膨大なものになってしまう。このためデータ圧縮の必要性が生じてくる。また、獲得されたデータは精度が粗く、かつ冗長度が高いという問題がある。この問題は視体積交差法が本質的に物体の真の形状を獲得できないことと、マーチングキューブ法が決められたパターンにしたがって機械的に面を配置してしまうことによって生じるものである。メッシュの精度の粗さは生成されるテクス



(a) volume data

(b) surface patch



(c) texture mapped mesh

図 1: 3次元ビデオフレーム

チャの質の低下の原因となり、冗長なデータは描画速度の低下の原因となる。このためデータ圧縮の際にはデータ量の削減とともに、これらの問題について何らかの解決策があるような方法を用いるのが望ましいと考えられる。

## 3 データ圧縮のアプローチ

一般的な動画の圧縮のアプローチには大きく分けて

1. 時間軸方向の冗長性を利用する方法
2. 個々のフレームのデータを圧縮する方法

の二つが考えられる。前者は動画圧縮の標準形式である MPEG のように、連続するフレーム間の関係を利用してデータ量を減らす方法である。一方後者は個々のフレームを構成するデータをそれぞれ削減していく方法である。3次元ビデオ映像の各フレームはメッシュモデルで表現されているために、

メッシュを構成する辺や面の数を少なくしていく簡略化によってこの処理は実現できる。この際問題になるのが簡略化したメッシュモデルが元のそれとどれだけ類似しているかである。これについては多くの方法がすでに提案されている。本研究では前者の時間軸方向の冗長性は利用せず、個々のフレームに簡略化処理を行うことでデータ圧縮の実現を目指す。これはメッシュの簡略化操作の過程でデータの精度の改善と、なおかつメッシュの辺の数が減ることによって描画速度の改善が見込まれるからである。

## 4 メッシュの簡略化

メッシュの簡略化自体はすでにコンピュータ・グラフィックスの分野で広く研究されており、様々なアルゴリズムが提案されている。この際に基本となっている考え方は「元のメッシュに与えられている幾何形状や面の法線、あるいは表面テクスチャなどの情報をいかに損なわないように簡略化を進めるか」というものである。しかし3次元ビデオの各フレームに対してこのような既存のメッシュ簡略化アルゴリズムを用いるのは適当ではない。なぜなら先述のとおり3次元ビデオフレームのテクスチャ情報は生成されたメッシュに撮影画像を投影することで獲得されるため、その映像的価値を高めるには「生成されるテクスチャが元の撮影画像をどれだけ忠実に反映しているか」を簡略化の際にあわせて評価する必要があるからである。言い換えるならば3次元ビデオ映像のデータ圧縮は元のメッシュに与えられた情報を損なわず、かつ生成されるテクスチャが撮影画像に忠実であるようなメッシュを構成する様な簡略化処理によって実現される。

## 5 簡略化の方法

メッシュの簡略化の際にメッシュに加える基本的な操作は、Edge Collapseと呼ばれる図2のような操作である。

これはメッシュのある辺を縮退させ、一つの頂点にする操作である。メッシュのどの辺にこの操作を行い、新しくできる頂点の位置をどこにするかを決定するために、次の二つの評価基準を設ける。

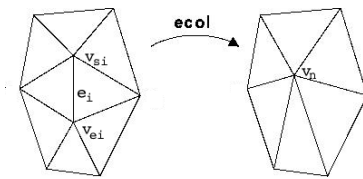


図 2: Edge Collapse

### 5.1 評価基準その1: 簡略化に伴う幾何形状の変化

これはメッシュのある辺に着目した際に、その辺の近傍面と簡略化後の頂点位置との距離の平方和を評価値に用いる Quadric Error Metric という手法 [3],[4] を用いて評価する。この手法は計算が簡素化されている上に簡略化後のメッシュの品質も高いので有効な手法である。

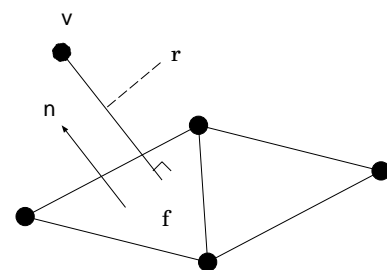


図 3: Quadric Error Metric

メッシュ中の任意の面  $f$  について、 $f$  を含む平面と、ある点  $\mathbf{v}$  との距離の平方を  $Q^f(\mathbf{v})$  とする。メッシュの各頂点  $\mathbf{v}$  について、これを要素に持つ面の  $Q^f(\mathbf{v})$  をその面積で重みづけしてたし合わせたものを新たに  $Q^v(\mathbf{v})$  として定義する。すなわち、

$$Q^v(\mathbf{v}) = \sum_{f \ni v} \text{area}(f) \cdot Q^f(\mathbf{v}) \quad (1)$$

さらに辺  $e$  について、 $Q^e(\mathbf{v}) = Q^{vs}(\mathbf{v}) + Q^{ve}(\mathbf{v})$  という値を定義する。この  $Q^e(\mathbf{v})$  を最小化する  $\mathbf{v}$  が、辺  $e$  に対して Edge Collapse を適用した際の新しい頂点  $v_n$  の位置になる。簡略化の際にはメッシュのすべての辺について  $Q^e(\mathbf{v})$  を求め、それが最小になる辺が Edge Collapse 操作の対象になる。

## 5.2 評価基準その2：テクスチャ情報の利用

テクスチャの状態を判断する基準として各撮影画像から生成されるテクスチャ間の画素値の幅を利用するものとする。これが小さいほど生成されるテクスチャは元の撮影画像を忠実に反映している、すなわち良いテクスチャである。実際の評価は注目している辺に対して Edge Collapse を適用し、変形した面に対して画素値の分散を求め、その総和を評価値とする。

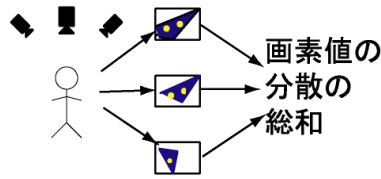


図 4: テクスチャの評価

## 5.3 簡略化アルゴリズム

以上のような評価値を用いて以下のように簡略化を進める。

1. メッシュの各辺に対して簡略化に伴う幾何形状の変化の大きさ  $Q(e)$  を求める。
2. 幾何形状の変化が小さいと判断されたいくつかの辺 (本研究では 12 に固定) に対してテクスチャの評価を行い、評価値  $\sigma^2(e)$  を求める。
3. 1. 2. で得られた評価値を最小値が 0, 最大値が 100 になるようにそれぞれ規格化し、以下の式を用いて統合評価値を求める。

$$m(e) = (1 - w) \cdot Q(e) + w \cdot \sigma^2(e) \quad (2)$$

$w$  は重みづけを行うパラメータで、 $0 < w < 1$  を満たす。

4.  $m(e)$  が最小となる辺に Edge Collapse 操作を適用し、メッシュを簡略化する。
5. 所望の回数だけ 1. から 4. を繰り返す。

## 6 結果とその評価

### 6.1 評価方法

簡略化処理の結果を評価するための評価量として、簡略化後のメッシュに対してマッピングされたテクスチャを撮影画像側に逆投影し、得られた画像と対応する撮影画像の正規化相互相関を求める。これはマッピングされたテクスチャが元の撮影画像とどれだけ類似しているかを表し、これによってテクスチャマッピングの精度が数値的に評価可能となる。正規化相互相関は以下のようにして求められる。

投影されたテクスチャの点  $(x, y)$  における画素値を  $I_a(x, y)$ 、対応する撮影画像の同じ点の画素値を  $I_b(x, y)$  とする。正規化相互相関  $c$  は、

$$c = \frac{\sum_x \sum_y I_a(x, y) I_b(x, y)}{|I_a| |I_b|} \quad (3)$$

ただし、

$$|I| = \left\{ \sum_x \sum_y \{I(x, y)\}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

である。

### 6.2 実験結果

実験に使用したフレームは面の数が 2524, 辺の数が 3786, 頂点の数が 1264 のメッシュと、7 台のカメラから撮影された画像によって生成されたテクスチャを持つ。重みづけパラメータ  $w$  の値を

1.  $w = 0$
2.  $w = 0.5$
3.  $w = 1$

としてそれぞれの方法で簡略化を行った。  $w = 0$  の場合は従来の幾何形状のみを評価する手法と同一である。それぞれの方法で簡略化を行った際の正規化相互相関の平均値の推移をグラフにしたものが図 5 である。また、実際に簡略化を行った結果を図 6 に記す。

グラフを見ても分かるようにいずれの手法でも簡略化にともない正規化相互相関は低下していくが、従来の幾何形状のみを評価した簡略化手法よりも本研究の手法の方がその低下の度合いは小さい。これ

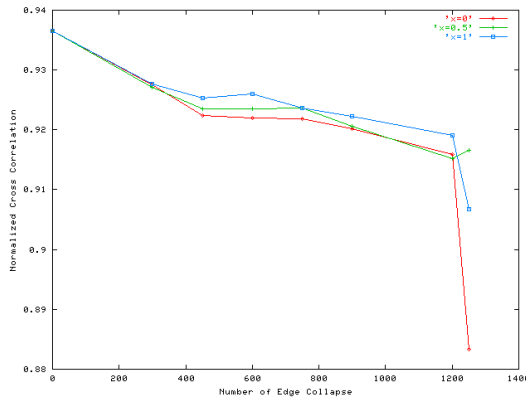
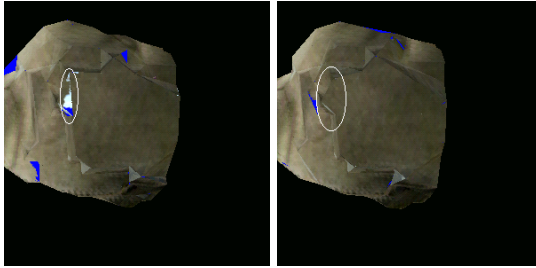


図 5: 正規化相互相関の推移



(a) 従来の手法 ( $w=0$ )      (b) 新しい手法 ( $w=1$ )

図 6: 簡略化の例

は本研究で用いた手法が従来の手法に比べて簡略化に伴うテクスチャ情報の劣化を抑えることができていることを示している。これにより「生成されるテクスチャを撮影画像により忠実にする」という当初の目標が達成されたと考えることができる。

## 7 まとめ

本論文では 3次元ビデオのためのデータ圧縮と題して幾何形状の変化とテクスチャの精度をあわせて評価する簡略化アルゴリズムを提案し、生成されるテクスチャの質の向上にいくらかの効果があることが分かった。今後はアルゴリズムの高速化や、簡略化後のメッシュの形状決定の際にテクスチャの評価を反映させることなどに取り組む予定である。

## 参考文献

- [1] Toshikazu Wada, Xiaojun Wu, Shogo To-lai, Takashi Matsuyama. Homography Based Parallel Volume Intersection: Toward Real-Time Volume Reconstruction Using Active Camera. *CAMP2000 Computer Architectures for Machine Perception Proceedings*(2000), 331-339.
- [2] 剣持 雪子, 小谷 一孔, 井宮 淳. 点の連結性を考慮したマーチング・キューブ法 電気通信情報学会技術研究報告 (*PRMU98-218*)(1999), 197-204.
- [3] Garland, M., and Heckbert, P. Surface simplification using quadric error metrics. *Computer Graphics (SIGGRAPH '97 Proceedings)*(1997), 209-216.
- [4] Hoppe, H. New Quadric Metric for Simplifying Meshes with Appearance Attributes. *IEEE visualization '99 Proceedings*(1999), 59-66.