A307

全方位型表示システムを使った 3次元ビデオ映像提示システムの開発

坂本 尚久[○] ((株)ケイ・ジー・ティー), 高井 勇志 (京都大学), 小山田 耕二 (京都大学)
松山 隆司 (京都大学), 吉川 慈人 ((株)ケイ・ジー・ティー)

Development of 3D Video Display System Using Omnidirectional Display

Naohisa SAKAMOTO, Takeshi TAKAI, Koji KOYAMADA,
Takashi MATSUYAMA, Yoshihito KIKKAWA

ABSTRACT

In this paper, we describe the development of a 3D video imaging system for an omnidirectional display in which many people can visualize the same image from different viewpoints at the same time. In order to display such images, in a high quality manner, it is necessary to reduce the discontinuity between adjacent patches during the texture mapping process of reconstructed geometrical shape. To overcome this problem, a view-dependent texture mapping has been used. Such method is only effective for a traditional 2D display. To overcome this limitation, we have developed a view-independent voxel coloring for an omnidirectional display by using multi-viewpoint video images. In this technique, accurate visibility determination is done in order to diminish the influence of specular reflection, which is the main obstacle for viewpoint independence. We used 12 sets of 300 time-varying frames, each set corresponding to a specific viewpoint, to verify the effectiveness of our approach.

Keywords: 3D Video, Voxel Coloring, View-independent, Omnidirectional display

1. はじめに

3次元ビデオ映像¹⁾は多視点ビデオ映像から実空間における物体の運動を3次的に記録する映像メディアであり、娯楽、教育、意匠などさまざまな分野での応用が期待できる。

また、最近では、3次元表示装置の研究が進み、特殊な装置を身につけることなく、3次元データを立体映像として見ることができる表示装置が実用化され始めている。3次元ビデオ映像をこのような3次元表示装置を用いて表示することで、複数人が同時に立体映像を観察することができ、また、同じ空間を共有できるため、これまで経験することがなかった臨場感を得られることが期待できる。

本論文では、3次元表示装置のなかでも、複数人があらゆる方向から同時に観察することが可能な全方位型表示装置の利用を前提とし、表示視点に依存しないテクスチャ表現法である視点非依存型ボクセルカラーリング法を提案する。以下、2章では、3次元ビデオ映像の生成における物体のテクスチャ表現法について述べる。また、3章では、ボクセルカラーリングについて述べ、その問題点を指摘する。次に、4章では、本論文で提案する視点非依存型ボクセルカラーリング法について述べる。そして、5章では、提案手法を12視点の映像データから再構成されるボクセルデータに対して適用した実験結果を示す。最後に、6章にまとめを書く。

2. 3次元ビデオ映像

3次元ビデオ映像では、物体を撮影した多視点映像データから視体積交差法²⁾を利用し物体の3次元形状データを取得する。視体積交差法とは、撮影画像から物体領域を抽出した複数のシレット画像を元の3次元空間に逆投影し、それぞれの視体積の交差部分を求めることにより、物体の3次元形状データを求める手法である。このとき、得られるデータはボクセルデータである。このボクセルデータに対して、離散 Marching Cube 法³⁾を用いて三角形ポリゴンモデルを生成する。そして、物体を構成する各ポリゴンに対して、その法線ベクトルとカメラの光軸ベクトルから適する画像領域をマッピングする。このとき、隣接ポリゴン間において生じる可能性のある不整合を軽減するため、表示視点情報を利用した視点依存型テクスチャマッピング法⁴⁾が用いられる。

想定される視点が1つであるようなディスプレイで表示する場合、視点依存型テクスチャマッピング法は非常に有効な手法である。しかし、我々は想定される視点が複数存在する全方位型表示システムでの提示を前提としている。そのため、従来のような表示視点の情報を利用する視点依存型テクスチャマッピング法を利用することができず、視点非依存型のテクスチャ表現を行う必要がある。また、「隣接ポリゴン間において生じる可能性のある不整合」に関しては、物体表面反射のうち鏡面反射成分の影響が大きいと考えられる。視点に依存しないテクスチャマッピングを行った場合、隣接するポリゴン間において異なるカメラ画像からテクスチャとなる画像がマッピングされる可能性がある。このとき、物体の鏡面反射成分の影響が大きな場合には、隣接ポリゴンの境界において不整合が生じる。視点に依存せず、なおかつ高精度なテクスチャ表現を行うためには、視点移動にともなう見えの変化の主な原因である鏡面反射成分の影響を軽減する必要がある。

3. ボクセルカラーリング

我々は実時間での処理を目指しているため、ボクセルデータから三角形ポリゴンモデルを生成せず、直接ボクセルデータに対して処理を行う。

ボクセルデータを扱った3次元形状復元手法としては、Seitzら⁵⁾によって提案されたVoxel Coloring法(VC法)がある。これは、物体をすべて包含するようなボクセル空間を定義し、Color Consistencyという性質を利用し、物体を構成するボクセルとそれ以外のボクセルとに区別していく手法である。Color Consistencyとは、物体を構成するボクセルは、それが投影される画像上では同じ色を表すという性質である。また、Cullbertsonら⁶⁾は、VC法では限定されていたカメラ配置を任意にし、Z-bufferを応用したitem buffer (Fig. 1)を用いたボクセルの可視判定を行うことで、精度の良い3次元形状復元が行えるGeneralized Voxel Coloring法(GVC法)を提案している。

これらの手法は、Color Consistencyが成立しているという前

Fig. 1 item buffer

Fig. 2 visibility error

提で、各ボクセルに対してカラーリングが行われる。しかし、Color Consistencyは、対象とする物体の表面で起こる反射が拡散反射で近似できる場合にのみ有効である。そのため、鏡面反射の影響が見られる物体では、正確なカラーリングを行うことができない。

これに対し、飯山ら⁷⁾は物体を構成する各ボクセルに対して、提案する反射モデルに基づく反射特性の計算を行い、鏡面反射も考慮に入れたカラーリングを行っている。しかし、ボクセルの可視判定において、他のボクセルによるオクルージョンに対しては考慮されていないため、単純な凸包物体にしか適用できない。また、GVC法においてはitem bufferを用いることでオクルージョンを考慮したボクセルの可視判定を行っているが、画像に投影したボクセルのfootprintがいくつかのピクセル領域を占有する場合、謝った可視判定を行うことがある (Fig. 2)。

4. 視点非依存型ボクセルカラーリング

4.1 ボクセルの可視判定

GVC法におけるitem bufferでは、ボクセルのfootprintの大きさにより可視判定にエラーが生じる可能性がある。このようなエラーを回避するため、ボクセルのfootprintを考慮に入れたitem buffer (Fig. 3)を用いて厳密な可視判定を行う。footprintに対応したitem bufferは以下のように生成される。ただし、こ

Fig. 3 item buffer (footprint)

のとき、処理の対象となるのは、物体表面上のボクセルのみである。

- Step1. ボクセルの8頂点を item buffer に投影する。
 Step2. 8頂点の投影点からなる閉領域(footprint)を計算する。
 Step3. 計算した footprint にカメラからボクセル重心まで距離とボクセル ID を保存する。このとき、他のボクセルの footprint と重なる領域については、距離が小さい方のボクセルを優先し保存する。
 Step4. Step1 から Step3 の処理をすべてのボクセルに対して行う。
 Step5. Step4 の結果、ボクセルの footprint を形成する8個の投影点のうち、すべての頂点が他のボクセルの footprint に隠されているば、そのボクセルは不可視とし、その他は可視とする。

4.2 カラーリング

前節で述べた item buffer をすべての視点において生成することで、処理対象ボクセルがどの視点の画像から見えているのかを判定することができる。ここでは、可視ボクセルに対してどのようにしてカラーリングを行うかについて述べる。

カラーリングの対象となるボクセルは、可視と判定される画像に対してその重心が投影され、対応するピクセル値をカラーリングの候補色とする。従来では、このような候補色に対して平均値を計算することにより、カラーリングを行っていた。これは物体表面での反射が拡散反射のみで近似できる場合に良好な結果が得られる。しかし、鏡面反射の影響が大きな物体では、平均値を用いてカラーリングをした場合、本来の色(物体色)に比べ光源色の影響が強く現れてしまう。

鏡面反射成分は常に加算の対象であり、物体の表面反射は拡散反射成分と鏡面反射成分の線形和で表すことができるとする二色性反射モデル⁸⁾に従えば、候補色のうち輝度値が最小となるものを物体色とみなすことができる。ただし、これは、物体と光源が固定されており、視点のみが移動する場合に限る。本研究では、多視点映像データを用いており、任意のフレームにおいて物体は固定されているとみなすことができ、また光源も固定されているため、前述の条件を満たす。したがって、このような最小輝度値となる色を、対象とするボクセルの色とする。

Fig. 4 Coloring a voxel

5. 実験と考察

5.1 カラーリング結果

実験では、Fig. 5 で示す環境において撮影された12視点分の映像データに対して、視体積交差法により生成される形状データを対象とした。生成されるボクセルデータの格子間隔は1cmである。また、カメラ画像の解像度は、640×480[pix]である。カラーリングに要した時間をTable 1にまとめる。

Fig. 6-(a)には、各ボクセルに対して候補色の平均値を用いてカラーリングを行った結果を示す。Fig. 6-(b)には、提案手法である候補色の最小輝度値を用いてカラーリングを行った結果を示す。Fig. 6-(a)では、衣服や肌の部分において光源色が影響し、実際よりも薄くカラーリングされている。これに対し、Fig. 6-(b)では、光源色の影響が軽減され、鮮明にカラーリングされており、より物体色に近いカラーリングが施されていることがわかる。

さらに、生成されるボクセルデータの格子間隔を再分割することにより、ボクセル空間の解像度を上げ、テクスチャ精度の向上を試みた。平均値でのカラーリング結果をFig. 7-(a)に、最小輝度値でのカラーリング結果をFig. 7-(b)に示す。Fig. 6に比べ、より顔の表情などが鮮明化され、解像度が向上していることがわかる。Fig. 6のときと同様に、Fig. 7-(a)に比べ、Fig. 7-(b)のほうが鮮明なカラーリングが施されているがわかる。

しかし、Fig. 6, Fig. 7の結果から、平均値でカラーリングしたものよりも、最小輝度値でカラーリングしたものは、ノイズの影響を受けやすいことがわかる。このノイズは、必ずしも物体を構成しているとは言えないボクセルに対して、カラーリングする場合に生じると考えられる。このようなボクセルは、ある視点において、背景上に投影される可能性があり、カラーリングの際に外れ値としてこの影響を受けやすいためである。

Table 1 Process time (CPU: Intel Xeon 2.4GHz - dual)

	1cm ボクセル	0.5cm ボクセル
平均値	1.86 [sec]	8.45 [sec]
最小輝度値	1.84 [sec]	8.45 [sec]

Fig. 5 Camera system

Fig. 6 Result (voxel size : 1.0 cm)

Fig. 7 Result (voxel size : 0.5 cm)

5.2 全方位型表示装置での表示結果

300 フレーム分の多視点映像データから復元される形状データに対して、提案する視点非依存型テクスチャ表現法を適用した。そして、その結果を Actuality Systems 社製全方位型表示装置 Perspecta[®] で連続的に表示した結果を Fig. 8 に示す。

6. まとめ

本論文では、全方位表示型装置の利用を前提として、視点非依存型ボクセルカラーリング法を提案した。そして、提案手法を 3 次元ビデオ映像に適用し、全方位型表示装置 Perspecta[®] の表示を行った。

実験では、視点依存性の主な原因である鏡面反射成分の影響が軽減され、従来法に比べ光の影響が取り除かれた、より物体

Fig. 8 3D Video on Perspecta

色に近いカラーリングが確認できた。また、その結果を Perspecta に表示することにより、3 次元ビデオ映像を複数人が同時にあらゆる方向から観察することが可能となった。

今後は、ボクセルの可視判定部分においてハードウェアグラフィックスアクセラレーションを利用することによりさらなる処理の高速化をはかる予定である。また、ノイズの効率的な削除法を検討し、カラーリング精度の向上をはかる予定である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(A)13308017 の補助を受けて行った。

参考文献

- 1) 松山 隆司, 高井 勇志, ウ 小軍, 延原 章平: 3 次元ビデオ映像の撮影・編集・表示, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.4, pp.521-532, 2002.
- 2) ウ 小軍, 和田 俊和, 東海 彰吾, 松山 隆司: 平面間透視投影を用いた並列視体積交差法, 情報処理学会 CVIM 研究会論文誌, Vol.42, No.SIG 6(CVIM 2), pp.33-43, 2001.
- 3) 剣持 雪子, 小谷 一孔, 井宮 淳: 点の連続性を考慮したマーチング・キューブ法, 信学技法, PRMU98-218, pp.197-204, 1999.
- 4) 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論文誌, Vol.58, No.4, pp.593-602, 2002.
- 5) S. Seitz and C. Dyer: Photorealistic Scene Reconstruction by Voxel Coloring, *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1067-1073, 1997.
- 6) W.B. Cullbertson, T. Malzbender, and G. Slabaugh: Generalized Voxel Coloring, *Proceedings of the ICCV Workshop, Vision Algorithms Theory and Practice*, pp.100-115, 1999.
- 7) 飯山 将晃, 青木 啓史, 亀田 能成, 美濃 導彦: 未知光源環境での物体形状と反射特性のボクセル独立な再構成法, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.12, pp.3185-3193, 2001.
- 8) S.A. Shafer: Using color to separate reflection components, *Color Research and Application*, Vol.10, pp.210-218, 1985.
- 9) Actuality Systems: <http://www.actuality-systems.com/>