

「高精細・立体・臨場感コンテンツ技術の研究開発」

(財) NHKエンジニアリングサービス 小林 希一

Kiichi Kobayashi

1. 研究開発の概要

本研究開発は、立体物の実写映像を基に、その電子映像部品（立体映像部品）を作成し、コンテンツ制作に利用することを目的としたもので、次の2つの研究開発課題から成っている。

ア. 「物体を立体映像情報として部品化する技術」

イ. 「部品化した立体映像データと実写映像を合成するコンテンツ制作技術」

上記課題のア. は立体物の高精細実写映像からその形状データ（奥行き情報）、テクスチャデータ、表面反射パラメータ等を抽出し、データ量を高度に圧縮して立体映像部品を作成する技術であり、イ. は圧縮された立体映像部品データから高精細でリアリティの高い映像を再構成し、実写映像と合成して臨場感のあるコンテンツを制作する技術である。

2. 研究開発の内容

2-1 研究開発の背景

衛星および地上放送のデジタル化、ネットワークやパッケージ系を介しての映像情報サービスの普及など、デジタルマルチメディアが急速に進展する中、そのサービスの内容、即ち、コンテンツの量

的不足が大きな問題とされ、コンテンツを効率的かつ安価に制作、処理、流通させるための技術が極めて重要になってきている。

例えば、パーソナルコンピュータ上で実写に基いた立体映像部品とカメラの実写映像を違和感なく合成することができれば、誰もがどこでも自在にリアルなコンテンツを制作することができるようになる。また、大道具や小道具を必要とせず、制作スタジオも不要になって、コンテンツ制作のコストは著しく軽減される。

このような技術はゲームソフトやテレショッピング用のコンテンツの高画質化、制作の効率化、低コスト化につながり、極めて広範囲の応用が期待できる。また、将来的にはコンテンツ制作における新たな映像表現手法の開拓につながることも期待できる。

2-2 研究開発の目標と内容

本研究開発の目標と具体的な研究内容を表1に示した。表1に示したように、立体映像部品作成に当たっては、立体物の高精細な形状データ、被写体の物体色のテクスチャ、さらに、表面反射パラメータなど、高精細でリアルな映像を再構成するのに必要な各種データを被写体の実写映像から抽出する技術が

表1 研究開発の目標と内容

課題と目標	具体的開発内容
課題 ア. 物体を立体映像情報として部品化する技術 目標： 立体物の実写映像から、あたかも立体的な電子部品部品のように取り扱える立体像部品を作成する技術の開発	<ul style="list-style-type: none">立体映像部品作成のための撮像手法と高精細形状計測技術の開発被写体撮像時の照明条件を排除したテクスチャと表面反射パラメータの取得高精細サーフェイスモデル作成技術の開発立体映像部品データを数MB程度にまで高圧縮・符号化する技術の開発立体映像部品のデータ構造・記述法等の提案
課題 イ. 部品化した立体物映像データと実写映像を合成するコンテンツ制作技術 目標： 立体映像部品と実写映像を合成し、誰もが容易な操作により、臨場感の高いコンテンツを自在に制作できる技術の開発	<ul style="list-style-type: none">立体映像部品から実写と同程度に高精細（1,000×2,000画素程度）で、任意の照明下で自然な色調やコントラストを持つ映像を再構成する技術の開発立体映像部品から再構成した映像と実写映像をリアルに合成する技術の開発

第一の具体的な研究内容であり、次に、それらのデータを基に立体映像部品をモデル化し、高圧縮符号化してデータベース化する技術が第二の内容である。

また、立体映像部品と実写映像を合成する技術に関しては、立体映像部品から任意の視点、任意の照明下での高精細な映像を再構成する技術が第一の研究内容であり、この再構成された映像とカメラの実写映像を違和感少なく合成する技術が第二の内容となっている。

3. 研究開発実績

本研究開発は平成10年度を初年度とする5か年計画で進めている。13年度は表1の具体的開発内容に関してこれまで構築してきた要素技術について、実用上の問題点の解決に努め、その有効性、有用性を向上することを課題として研究開発を進めた。

1) 形状計測法の改良

本研究開発では、立体物の形状計測法として連続フレーム画像を用いた多視点画像マッチング法を提案し、実験検証により高精細な形状計測の可能性を確認した[1, 2]。この多視点画像マッチング法は、高精細な形状計測が可能であるが、一方、例えば狭隘部のように、回転時に画像上の画素の移動量が小さな部分については計測が困難となり、また、当初案では視点が拘束され、計測のオクルージョン領域が増すという欠点があった。

この問題の解決法として、まず、ズームアップ画像を用いて狭隘部を計測することとし、これに必要な2画像間のズーム比を精密に推定する手法を開発した[3]。また、オクルージョン領域の低減に向けては、カメラレンズの投影モデルの透視投影化を図り、計測時の視点の拘束が著しく緩和され、水平方向にずらした画素での計測が可能となった[4]。

今年度はカメラおよびテーブルキャリブレーションを高精密化し、形状計測の精度を向上して多視点画像の計測結果を正確にマージし、オクルージョン領域の少ない計測技術として有効性を向上した。

2) カメラおよびテーブルキャリブレーション

前年度、Zhang[5]の方法に基づいてカメラキャリブレーションシステムを構築した。この手法は従来のTsaiの方法よりもロバストではあるが、多視点画像での計測結果や異なるズーム比での計測結果を正確にマージするには精度的にも実行上も問題があり、今年度これをさらに改良することとした。

Zhang は、3D空間の点とこれを投影した2D画像

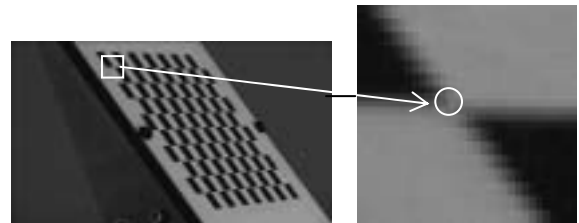
上の点との対応関係を Homography H で表し、その列要素が回転マトリックスの要素で表され、それらが直交関係にあることからカメラの内部パラメータ A の拘束条件を規定し、これからカメラの外部パラメータマトリックス (R, t) を求めている。ここで R は回転マトリックス、 t は平行移動マトリックスである。実際にはテストパネル上の特徴点 M_{ij} (座標が既知) の2D画像上へ投影点と、特徴点の実画像上の位置 m_{ij} との誤差(1)式を最小化するパラメータを一挙に求めている。

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \|m_{ij} - \hat{m}(A, k_1, k_2, R_i, t_i, M_{ij})\|^2 \quad (1)$$

ここで、 N は画像数、 M は特徴点数、 k_1 、 k_2 はレンズの歪み係数である。

上記 Zhang の方法を調査検討した結果、特徴点の抽出法とパラメータ初期化に問題点があることが明らかとなり、今年度その改良に努めた。

特徴点検出の自動化に当っては、まず、テストパネルを $x-y$ 平面とするワールド座標系を考え、その画像上4隅の特徴点座標をウィンドウ (9×9画素) で取り込む。次にそのウィンドウ内に Harris Corner detector [6] を適用し特徴点の正確な x 、 y 座標値を自動検出し、この3Dおよび2D座標値の対応関係から Homography H を求める。さらにこの H を用いて他の特徴点の2D画像上への投影座標値を求め、これに再度 Harris Corner detector を適用し全特徴点の座標の正確な値を求めることとした。このようにして求めた特徴点の一例を図1に示す。



(a) テストパネル画像 (回転角 290°) (b) 拡大図 (縦横 15倍)

図1 特徴点検出の一例

次に、Zhang は Levenberg-Marquardt 法を2次元に拡張して(1)式を解いているが、この方法は、初期値設定が極めて重要で、Zhang の手法では解が安定に求まらない場合があることが明らかとなった。

本研究開発では、3D空間から2D画像上への投影モデルを Heikkila のモデル[7]に変更して(2)式を解くこととし、併せて初期値設定に工夫を施した。

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \|m_{ij} - \hat{m}(A, k_2, k_4, p_x, p_y, k_6, R_i, t_i, M_{ij})\|^2 \quad (2)$$

Heikkila のモデルはレンズの半径方向の歪み係数

(k) を6次まで考慮し、x、y方向の歪み (p_x 、 p_y) を取り入れていることに特徴がある。

パラメータの初期値に関しては、焦点距離はテストパネル上の全特徴点を用いた Homography の計算から求まる値を用い、回転マトリックスおよび平行移動ベクトルは Homography および内部パラメータから求めるが、回転マトリックスについてはこれを回転軸ベクトルとその長さ（回転角に対応）に変換して(2)式を解くこととした。これにより回転に関するパラメータ数が9個から3個になり、安定に解が得られるようになった。なお、歪み係数については、特徴点が画像上へ投影される点と、実画像上の点とから歪み方程式を解いて初期値を求めた。上記改良により得られたカメラのキャリブレーション結果の一例を表2に示す。なお、表2の結果では画像中の画素の平均位置誤差は (0.3316, 0.4703) 画素、標準偏差は (0.2464, 0.3121) 画素である。

表2 カメラキャリブレーション結果例

パラメータ	キャリブレーション結果 (テストパネル画像 5° 毎 29 枚)
fx, fy	69.0505029295, 67.6352197265 (mm)
Cx, Cy	954.6758423, 533.6851807 (pixel)
S	0.0121277 (89.30517 deg.)
k2	-0.3703631
k4	1444.8585205
k6	-213496.0156250
p1	0.0050200
p2	-0.0098040

8~120mmズームレンズのHDTVハンディカメラ (S社製)

fx, fy: focal length; Cx, Cy: principal center;

S: skewness;

k2, k4, k6: 2nd, 4th, 6th order distortion coefficients;

一方、ロータリーテーブルのキャリブレーションについては、特徴点の3D座標を求めることなく、回転マトリックスのみから回転軸ベクトルとそれがXOZ面を通る点の座標値を抽出する新たな方法を考案した。これにより求めたロータリーテーブルの回転軸データの一例を表3に示した。

上記キャリブレーションの高精度化により、任意視点からの計測結果を良好にマージすることが可能となったが、一輪挿しの前後左右の4方向からの計測結果をマージした例を図2に示した。同心円状に見えるのは一輪挿しの上中下部の計測結果を同時に示したためである。

さらに、カメラを上下方向に移動し、ズーム比を変えて計測した結果をマージした例を図3に示した。

表3 ロータリーテーブルの回転軸のデータ例

パラメータ	キャリブレーション結果 (テストパネル画像 5° 毎 29 枚)
a_x	0.004879
a_y	0.999859
a_z	0.016090
M_x	-0.3703631
M_y	1444.8585205

a_x, a_y, a_z : normalized rotation axis vector

M_x, M_y : x, y coordinate axis on XOZ plane

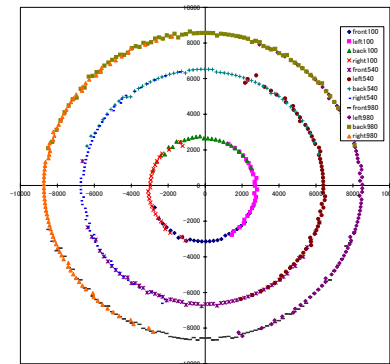


図2 前後左右からの計測結果のマージ例

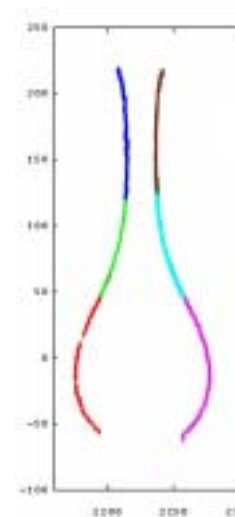


図3 カメラの高さおよびズーム比を変えて計測した結果のマージ例

- 計測時のズーム比 (キャリブレーション値)
- 上: 119.8288mm
- 中: 同上
- 下: 84.731mm

これにより多視点画像マッチング法を用いて、異なった視点、異なったズーム比で形状計測した結果を良好にマージすることが可能となった。

3) 照明条件を排除したテクスチャの取得法

立体映像部品が任意の照明条件下の映像として再構成されるためには被写体撮像時の照明条件を排除

したテクスチャの取得と表面反射パラメータの抽出が不可欠であり、大きな課題とされていた。

本研究開発では、各画素の連続フレーム画像上で信号レベルの変化から表面反射パラメータを一挙に求め、拡散反射成分と鏡面反射成分を分離する新たな手法を開発したが[9]、これまでは点光源1灯であり、陰影部では困難であった。今年度はこれを点光源2灯に発展させ、良好な結果を得た。

図4は点光源2灯を用いた場合の幾何光学系で、原点が被写体表面上に1点を、 n はそのノルム方向を、 L_1 、 L_2 は光源方向を、 V は視線（カメラ）方向を表している。

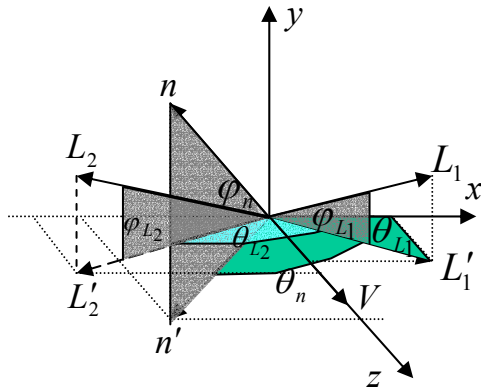


図4 点光源2灯の場合の幾何光学系

点光源2灯の場合、Torrance-Sparrowの反射モデルを用いた反射光強度は(3)式で表される。

$$I = I_d + I_s = K_d \sum_{i=1}^2 (L_i \cdot N) + K_s \sum_{i=1}^2 \exp(-\alpha_i^2 / \sigma^2) \quad (3)$$

ここで I_d 、 K_d は拡散反射成分の強度および反射率であり、 I_s 、 K_s は鏡面反射成分のそれである。また、 α は光源方向と視線方向の2分線、 σ は表面粗さを表す。(3)式は次の(4)、(5)式に書き直せる。

$$I_d = A \sin \theta + B \cos \theta + C \quad (4)$$

$$I_s = D_1 \exp\left(-\left(\frac{E_1 - \theta}{F}\right)^2\right) + D_2 \exp\left(-\left(\frac{E_2 - \theta}{F}\right)^2\right) \quad (5)$$

ここで単一光源の場合[9]と同様、Levenberg-Marquardt法により次の(6)式を解き、各パラメータを一挙に求める。

$$E = \sum_k W_k (I(\theta_k; A, B, C, D_1, E_1, D_2, E_2, F) - I_k)^2 \quad (6)$$

上式では新たに重み係数 W を導入し、計算の安定化を図った。また、光源に依存しないテクスチャは拡散反射率マップ (Albedo map) は(6)式を解いて得られる拡散反射成分 I_d を用い、次式から得られる。

$$K_d = \frac{I_d}{L_1 \cdot N + L_2 \cdot N} \quad (7)$$

上記手法により得られた実験結果を図5に示した。

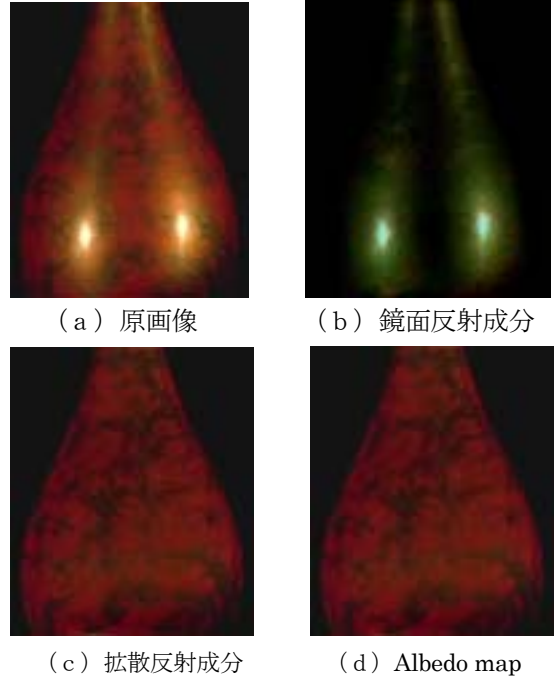


図5 反射成分分離結果

これにより撮像時の照明条件を排除したテクスチャデータを良好かつ安定に取得できるようになった。

4) ポリゴンデータ作成技術

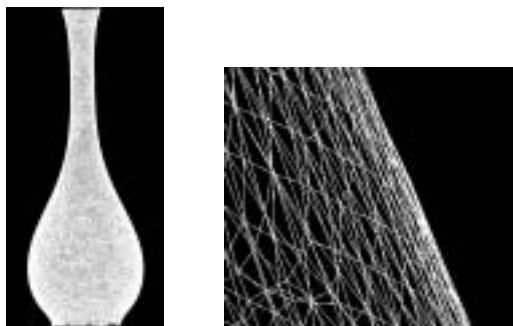
複雑な形状、あるいは表面の凹凸が複雑な被写体の場合、その形状計測結果としての3次元点群データからポリゴンデータを作成するのが極めて困難であると同時に、高精細なモデリングを行う場合には所要メモリが膨大となることも問題であった。

本研究開発では前年度、ボクセルを用いての2段階のポリゴンデータ作成法を考案し、プログラムの作成と実験・検証を進めた。しかしながら、2次ポリゴンデータに1次ポリゴンデータの頂点データが残る問題点が生じた。本年度は上記問題点の克服に試行錯誤を重ねたが、結果的に現時点ではマーチングトライアングルス (MT) 法を改良して作成するのが最適と判断し、プログラムの作成と実験検証を行い、良好な結果が得られた。

マーチングトライアングルス法はサーフェイススペースでのポリゴン化手法で、仮想曲面上にシード三角形を作成し、この三角形に隣接するように次々と三角形を生成して行くが、本プログラムの特長は、点群データから仮想曲面を推定するのに3次元K-L

展開を用い、さらにその固有値の特性を利用して、形状の輪郭と穴の判定を行っていることである。

本プログラムでのポリゴンデータの生成結果を図6に示す。なお、ポリゴン数は327,179である。



(a) 全体形状 (b) 拡大図

図6 ポリゴンデータ作成結果例

5) 映像再構成および実写映像との合成技術

立体映像部品から任意の視点、照明条件下の画像を再構成し、実写映像と合成するには、仮想空間内のカメラ位置、照明データを考慮してレンダリングする必要がある。また、用途によってはポリゴン数のLOD (Level of Detail) を考慮し、少数のポリゴン数で高品質の画像を再構成することが求められる。今年度はこれらの要素技術の構築を進めた。

図7にカメラトラッキング用のソフトウェアを用いて動画から静止特徴点を自動抽出し、カメラパスを求めるとともに背景画像を投影し、オブジェクトを配置してレンダリングする実験例を示した。



(a) 特徴点抽出 (b) カメラパス計算



図7 画像レンダリングの実験例

(c) 仮想空間への投影 (d) オブジェクト配置

また、仮想空間内の照明データの取得についても検討を進めた。現在、魚眼レンズ付デジタルカメラで撮影した全天周画像を球面に投影し、これを複数の面光源で近似することにより、仮想空間の大域照明モデルを得てレンダリングに供し、シェーディングやシャドウの発生を行っている。

4. まとめ

平成13年度は関連要素技術の実用上の問題点をクリアすることに重点をおいて研究開発を進めた。そして、多視点画像マッチング法、照明条件を排除したテクスチャの取得、形状計測結果の3次元点群データからのポリゴンデータの作成法等について有効性を向上することができた。また、立体映像部品と実写映像の合成についても実験検証を進め、リアリティ向上のための技術構築を進めた。なお、今年度は一部機材の導入を図ってディスク内データのリアルタイム表示を可能とした。

(参考文献)

- [1]小林他, “高精細立体映像部品作成のための多視点画像マッチング法”, 2000年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システム2, D-11-132, p.132
- [2]中西他, “多視点画像マッチング法を用いた立体物の形状計測”, 情報処理学会研究報告, グラフィックスとCAD99-1, pp.1
- [3]張他, “位相相関性を用いた画像間のズーム比の推定法”, 2000年電子情報通信学会情報・システム研究会大会講演論文集 D-11-47, P.157
- [4]中西他, “多視点画像マッチング法による形状計測の改善”, 2000年電子情報通信学会情報・システム研究会大会講演論文集 D-11-58, P.168
- [5]Z. Zhang, “A Flexible New Technology for Camera Calibration”, Technical Report, MSR-TR-98-17, Microsoft Research, Microsoft Corporation, (1998)
- [7]J. Heikkila and O. Silven, “A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction”, CVPR97, pp.1106-1112.
- [8]C. Harris and M. Stephens, “A combined corner and edge detector”, The fourth Alvey vision conference, pp.147-151, 1988
- [9]張他, “The Separation of Reflection Components from Image Sequence”, 2001年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システム2, D-12-69, p.236

研究者一覧

所 属	氏 名
財団法人 NHKエンジニアリングサービス	
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	小林 希一
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	張 暁華
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	中西 良成
先端技術開発部	山口 孝一
マルチメディア開発部	長谷川 健
マルチメディア開発部	野尻 裕司
マルチメディア開発部	鹿喰 善明

研究委員会委員

所 属	氏 名
財団法人 NHKエンジニアリングサービス	
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	小林 希一
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	張 暁華
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	中西 良成
先端技術開発部	山口 孝一
マルチメディア開発部	長谷川 健
マルチメディア開発部	野尻 裕司
マルチメディア開発部	鹿喰 善明
NHK放送技術研究所	
(マルチメディアサービス)	下田 茂
(マルチメディアサービス)	井上 誠喜
(マルチメディアサービス)	三ツ峰秀樹
株式会社 エイ・ティ・アール	
知能映像通信研究所第三研究室	蓼沼 眞
三洋電機株式会社	
ハイパーメディア研究所	
ヒューマンインターフェース研究部	江見 哲一
東京工業大学	
情報理工学研究科計算工学専攻	中嶋 正之
精密工学研究所	齋藤 豪