

擬似的三次元コピーの生成とインタラクションの実現方法

上原 悠永^{1,a)} 水野 慎士^{1,b)}

概要: 本論文では三次元物体をコピーして複製を制作することを擬似的に体験するとともに, そのコピー物体とのインタラクションを行うことができる CG システムを提案する. システムは, ユーザがスクリーン上に配置した三次元物体を上方からスキャンして三次元形状と色の情報を取得する. そしてスクリーン上から物体を取り除くと, システムはスキャンデータに基づいて三次元物体の CG 映像を生成してスクリーンに表示する. このときシステムはユーザの視点の位置を認識して運動視差立体視による三次元 CG を生成する. そのため, 取り除いた三次元物体のコピーがそのままスクリーン上に存在しているような三次元 CG 映像を様々な位置から観察することができる. そしてシステムは, 静止している物体だけでなく, 動いている物体に対してもデータのスキャンと三次元 CG アニメーションの生成が可能である. 生成した三次元 CG アニメーションは静止物のコピー物体と同様に様々な位置から観察することができる. さらにユーザが三次元 CG のコピー物体に手を近づけることで, コピー物体の変形や色塗りなどの操作を対話的に行うことができる.

A Method of Creating Virtual Photo Copies and Interaction with them

UEHARA YUTO^{1,a)} MIZUNO SHINJI^{1,b)}

1. はじめに

近年のコンピュータ技術や映像技術の発達により, 現実世界を三次元データとして記録することや, それらのデータを用いて現実世界を三次元 CG 映像で再現することなどが可能となった. 例えばレーザスキャナを用いて遺跡や文化財の三次元形状を取得してデジタル保存する研究 [1][2] や, 複数ビデオによる多視点映像やモーションキャプチャを用いて舞踊データを保存する研究 [3][4] などが報告されている. 一般大衆向けの 3D カメラ/ビデオも開発されており, 家族の思い出などを三次元映像として記録したり, 3D 写真プリントを作成することもできる. さらに最近では 3D プリンタ技術の進化と普及が進んでおり, 実世界を三次元的に記録したり映像で確認するだけでなく, 実際の物として作り出すことも可能となった. このように現実世界の三次元データの取得とそのデータの様々な提示方法に関する

技術が進歩することでその活用範囲が大きく広がるとともに, 三次元データとのインタラクションは重要なトピックとなってきた.

このような背景の中, 本研究では現実世界の三次元物体の記録と映像提示, そしてインタラクションを実現する CG システムを提案する. このシステムでは, ユーザが三次元物体をテーブルトップスクリーン上にセットすると, システムは物体を上方から瞬時にスキャンして物体の三次元形状と色を取得する. そして物体を取り除くと, システムはスキャンデータに基づいて三次元物体の CG を生成してテーブルトップスクリーンに表示する. このときシステムはユーザの視点位置を認識して運動視差立体視による三次元 CG を生成する. そのため, ユーザは取り除いた三次元物体がそのまま立体映像として残っているように感じ, それを様々な位置から観察することができる. すなわち, 現実世界の三次元物体をコピーしてその場でコピー物体を制作することを擬似的に体験できる CG システムである. そして, このシステムでは静止した三次元物体だけではなく, 動きのある三次元物体のデータ取得と提示も可能である. さらにユーザが三次元 CG のコピー物体に手を近づけ

¹ 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科
Graduate School of Business Administration
and Computer Science, Aichi Institute of Technology
1247, Yachigusa, Yakusa-cho, Toyota 470-0392, Japan

a) ue.to120@gmail.com

b) s.mizuno@aitech.ac.jp

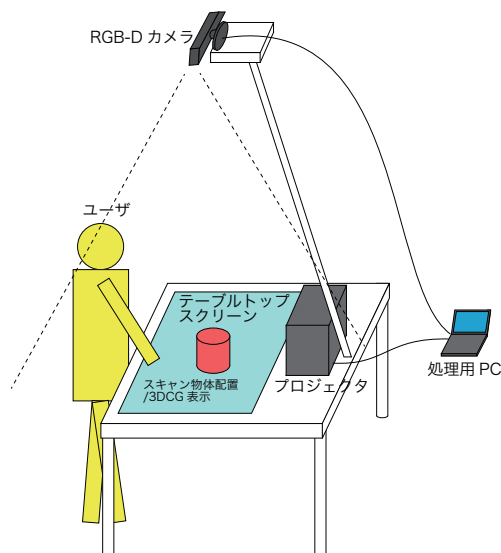


図 1 システム概要

ることで、変形や色塗りなどのコピー物体とのインタラクションを行うことができる。

本論文では、データ取得方法、映像生成手法、インタラクションの実現方法、実験と考察について述べる、

2. 提案システムの概要

2.1 構成

提案システムはテーブルトップスクリーン、処理用 PC、プロジェクタ、そしてスクリーン上方に設置された RGB-D カメラで構成される。図 1 にシステム構成を示す。

システムはスキャンモードとディスプレイモードを切り替えて動作する。システムがスキャンモードの場合は、システム上部の RGB-D カメラを用いて、ユーザがスクリーン上に配置した三次元物体の色データと深度データを取得する。提案システムでは、スキャン対象が動きのある三次元物体の場合でも各データを時系列データとして連続的に取得することで対応可能である。そして取得したデータに基づいて物体の三次元データを生成する。

スクリーン上から三次元物体を取り除くとシステムはディスプレイモードとなり、スキャンした物体の三次元データを CG としてスクリーン上に表示する。このとき、システムは RGB-D カメラの情報を用いてユーザの視点位置を追跡する。そしてユーザの視点位置の移動に応じて三次元 CG をリアルタイムで更新していく。これにより、ユーザはテーブルの周りを動き回りながら様々な位置から物体の三次元 CG を観察することが可能である。そして、後述する運動視差立体視の原理により、三次元 CG 物体がまるでその場所にあるように立体感を感じながら観察できる。動きのある物体の場合には、動いている物体の三次元 CG アニメーションを様々な位置から観察することが可能である。

コピー物体とはいくつかの方法でインタラクションが可

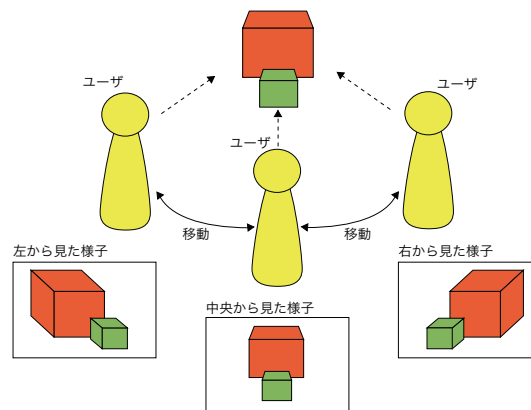


図 2 運動視差の概要

能である。ユーザがコピー物体に手を近づけた場合には、RGB-D カメラの情報を用いてその位置を認識して、手とコピー物体との接触判定を行う。そして手がコピー物体に接触していると判定した場合には、コピー物体を変形させたり効果音を再生したりする。これによりユーザは擬似的にコピー物体にふれることが可能である。また、コピー物体の色を変化させることで、擬似的に色塗りを行うことも可能である。

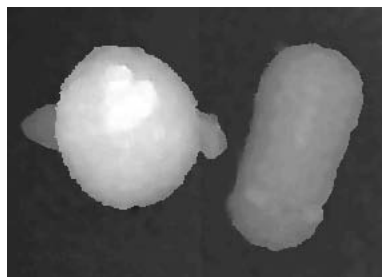
2.2 運動視差立体視の概要とシステムへの適用

提案システムでは、CG 物体がテーブル上に実際に存在しているようにユーザに感じさせる。そのため、テーブル上に投影した映像を様々な位置から立体的に観察できる必要がある。これは運動視差立体視の原理を用いて実現している。運動視差とは、立体物を観察するときに観察者または立体物が移動することで生じる見え方の変化である。図 2 に示すように、運動視差では観察者の移動に伴って今まで見えなかった部分が見えるようになったり、近くの物体が遠くの物体に比べて見え方が大きく変化する。Rogers らの研究では、運動視差のみで三次元形状と奥行きに関する十分な情報が得られることを示している [5]。そのため、ユーザの視点に合わせて映像を変化させて運動視差を再現することで立体視を実現することが可能である。このような運動視差立体視では、専用のディスプレイやメガネ等ではなく、ホログラフィックのように CG で表示された物体が実際にその場に存在するような感覚となる。そして運動視差立体視を利用した応用研究もいくつか報告されている [6][7][8]。

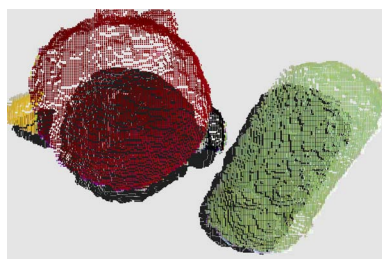
本研究でも、CG 物体の表示には運動視差立体視の原理を用いている。スキャンした物体がテーブルトップにそのまま残っているような三次元 CG 映像を生成するためには、CG 空間の座標系と投影方法を適切に設定するとともに、ユーザの視点を追跡しながら視点に応じた CG を逐次生成してテーブルトップに投影する必要がある。



(a) 色データ



(b) 深度データ



(c) 三次元点群データの CG 表示

図 3 Kinect で取得した色データと深度データ, および三次元 CG

3. データの取得と映像生成

3.1 三次元物体のデータ取得

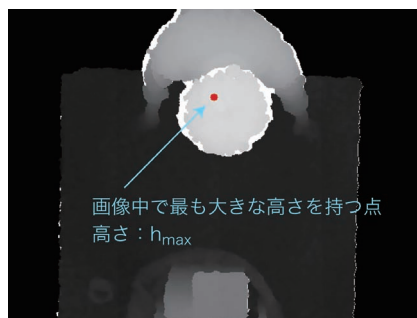
本研究では RGB-D カメラとして Microsoft Kinect を用いており, システムのスクリーン上方に設置している. スキャンモードでは, Kinect はスクリーンに置いたコピー対象三次元物体 (図 3(a)) をスキャンして, その物体の色データおよび深度データを取得する (図 3(b)). 動きのある三次元物体に対しては色データと深度データを時系列データとして連続的に取得する. そして, 取得したデータから色情報を持つ三次元点群データを生成する (図 3(c)). また $x-z$ 平面上に配置した三角形メッシュ平面の各頂点の y 座標を深度データに基づいて変化させることで, 三次元物体の形状を表現する三角形メッシュデータを生成する. 第 2 章で述べたように, 提案システムでは CG 生成のための仮想空間の座標を実空間の座標と一致させている. そのため, 三次元点群データや三角形メッシュデータは三次元物体が置いてあったスクリーン上の場所にそのまま配置される.

3.2 視点位置の推定

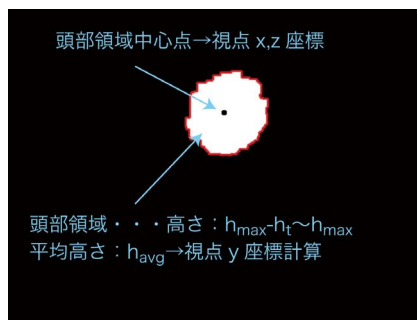
ディスプレイモードでは, スクリーン上方に設置した



(a) ユーザとシステムの位置関係



(b) 深度データから最も大きな高さの値を取得



(c) 頭部領域の抽出と視点座標決定

図 4 Kinect 深度データに基づくユーザ視点位置の推定

Kinect はユーザの視点位置の追跡のために用いる. 図 4 にユーザ視点位置の決定の様子を示す. ユーザはスクリーンの周囲で映像を観察するため, ユーザの頭部は Kinect から見て最も高い点となる (図 4(a)). そこで, スクリーン上方から取得した深度データの中で最も大きな高さ h_{max} を求めて (図 4(b)), h_{max} との差がしきい値 h_t 以下の高さを持つ領域をユーザの頭部として抽出する. そして頭部領域の高さの平均値 h_{avg} を求めてから, 頭頂部から目までの高さの差 e を考慮して $(h_{avg} - e)$ を視点の y 座標とする. そして頭部領域の中心を x, z 座標としてユーザの視点位置を決定する (図 4(c)). なお, h_t の値および e の値は実験的にそれぞれ 150(mm), 50(mm) としている.

3.3 運動視差を考慮した映像生成

図 5 に提案システムでの映像生成の概要を示す. 提案システムでは, 運動視差立体視を用いてテーブルトップに三次元 CG が存在するように感じさせるため, 実空間と CG 空間の座標系を一致させている. そして, テーブルに配置

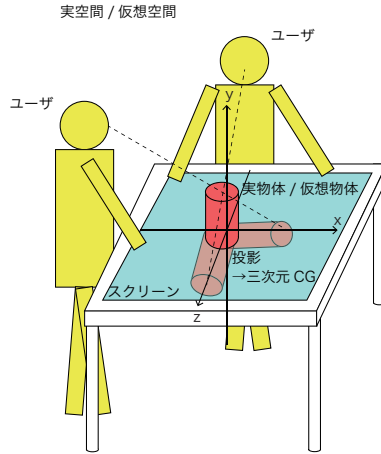


図 5 運動視差立体視に対応した三次元 CG 生成

した物体、テーブルトップスクリーン、ユーザ視点をそれぞれ、物体をスキャンして得られた三次元データ、CG 生成用投影面、CG 生成用視点に対応させてから CG 映像を生成して、テーブルトップスクリーンに映し出す。生成された映像を正面から観察した場合、映像が歪んで表示されている場合がある。しかし、ユーザ視点からテーブルトップに映し出された映像を観察した場合には、物体がテーブルトップに配置されているような CG 映像となる。そして、ユーザの位置の移動に応じて CG 映像を逐次更新することで運動視差が再現されるため、まるで物体がテーブルトップに存在するように立体感を感じながら、三次元 CG を様々な位置から観察することが可能となる。

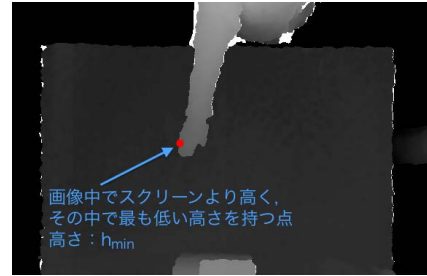
4. インタラクション

4.1 手の位置の取得

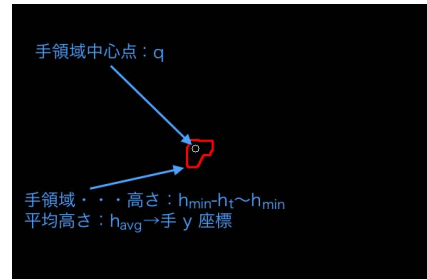
提案システムでは、表示した三次元 CG を触れるなど、手によるインタラクションを行うことができる。そのため、ユーザの手の位置を三次元的に取得する必要がある。ユーザの手の位置の推定には、視点位置の推定と同様にスクリーン上部に設置した Kinect を用いる。図 6 にユーザの手の位置の決定の様子を示す。ユーザがコピー物体を観察しながら手を差し出した場合、手の位置はスクリーン面よりも上にある物体の中で最も低い位置となる (図 6(a)). そこで、スクリーン上方から取得した深度データの中で、スクリーン面よりも高い値 h_{ts} 以上高い位置にある領域の中での最下点 h_{min} を求める (図 6(b)). その後、求めた高さ h_{min} と、 h_{min} との差がしきい値 h_t 以下の高さを持つ点をユーザの手領域として抽出する (図 6(c)). そして、頭部領域と同じ手法で手の中心座標 q を決定する。 h_{ts} の値および h_t の値は実験的にそれぞれ 200(mm), 100(mm) としている。なお、現時点では操作は片手のみに対応している。



(a) ユーザとシステムの位置関係



(b) スクリーンより高い値のうち、最も低い高さの値を取得



(c) 手の領域の抽出と視点座標決定

図 6 Kinect 深度データに基づくユーザの手の位置の推定

4.2 様々なインタラクション

手の中心座標 q が決定すると、手の中心座標に仮想的な半径 r の球を配置する。そして、手の中心座標 q とコピー物体を構成する各頂点の座標 p との距離を調べることで接触判定を行う。すなわち、 $|p - q| < r$ の場合、手とコピー物体に接触があったと判定し、コピー物体の頂点座標 p を点 p' へと移動させる。点 p' は以下の式により決定する。

$$p' = q + r \frac{p - q}{|p - q|}$$

この処理により、ユーザがコピー物体に対して手を近づけることでコピー物体の頂点座標が移動し、擬似的にコピー物体を手で触れて変形させたような表現が可能となる (図 7)。

さらに、提案システムではユーザは手を使ってコピー物体にインクで仮想的に色塗りをを行うことができる。まず、コピー物体の変形と同様の方法で、手とコピー物体との接触判定を行う。接触があった場合、コピー物体の頂点座標 p が持つ色の RGB データ c_p を変化させることで、コピー物体の色塗りを実現する。仮想インクの色はシステム中で予め定めておき、RGB データを c_q とする。このとき、色

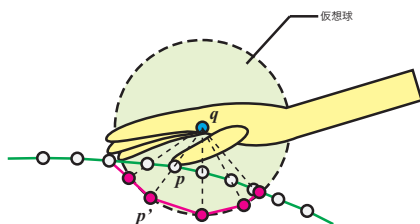


図 7 仮想球との接触判定に基づく頂点移動と変形表現



図 8 提案システムの外観

データ c_p の変化は以下の式で表すことができる。

$$c_p = (1 - a)c_p + ac_q$$

なお、 $a(0 < a < 1)$ は色塗りの濃さを表すパラメータである。この処理により、ユーザがコピー物体に触れ続けると、コピー物体の頂点の色 c_p があらかじめ設定しておいた色 c_q に徐々に近づいていく。そして使用する色を変更しながら重ね塗りを行うことで、ユーザは様々な色を作り出して色塗りを行うことが可能である。

5. 実験と考察

5.1 実験

提案システムを実装して実験を行った。使用した機材は MacBookPro(Core i7, 2.7GHz), Kinect, 超単焦点プロジェクタで、スクリーンの大きさは $1220 \times 725(\text{mm})$ となっている。Kinect はスクリーン直上の $1800(\text{mm})$ の位置に設置して、 $640 \times 480(\text{画素})$ で色データおよび深度データを取得する。データの取得および三次元 CG の表示は $30(\text{フレーム/秒})$ で行う。図 8 にシステムを設置した様子を示す。

実験結果を図 9 に示す。初めにシステムをスキャンモードにして、ユーザはスキャンしたい三次元物体をスクリーン上に配置する (図 9(a))。物体の大きさは、テーブル上に配置可能でユーザが実際に観察できる高さであれば特に制限はない。スキャンは瞬時に終わり、自動的にディスプレイモードに移行する。そして物体をスクリーンから取り除

くと、ユーザの位置からはコピー物体がそのまま残像のように残っているような三次元 CG 映像を観察することができた (図 9(b))。その後ユーザが移動すると、ユーザの視点位置を推定しながらリアルタイムで三次元 CG を更新することで、コピー物体の三次元 CG 映像を様々な位置から観察することができ、運動視差の効果によってコピー物体がまるでそこに存在するような立体感を得られることも確認した (図 9(c)(d))。三次元 CG は三次元点群データまたは三角形メッシュデータに基づいて生成され、表示方法はいつでも切り替えることができる (図 9(e)(f))。

図 10 に人間をコピーした例を示す。提案システムを用いることで、スクリーン上に寝転んだ人間のコピー物体を生成することができた。さらに運動視差による立体視の適用により、人間のコピー物体が実際にその場に寝転がっているように観察することができた。このように比較的大きな物体であってもコピーおよび観察が可能であることを確認した。

図 11 にコピー物体を手で仮想的に触って変形させる例を示す。ユーザが表示されているコピー物体に手を近づけると、手の位置付近に表示されている点群が移動して、コピー物体を対話的に変形できることを確認した。効果音も付加することで、触感はないものの視覚と聴覚の効果によってコピー物体に触っているような雰囲気が得られた。

ユーザが手を使ってコピー物体に色塗りをした例を図 12 に示す。ユーザがコピー物体に手を近づけると、手の位置付近に表示されている点群の色が変化して、コピー物体を対話的に着色できることを確認した。現在、仮想インクとしては赤、青、緑を用意しており、重ね塗りを行うことで様々な色に着色することができた。

動きのある三次元物体に対する時系列データの取得と映像生成の例を図 13 に示す。現状は最大 4 秒 (120 フレーム) のデータ取得と映像生成が可能である。そしてユーザは動きのある三次元物体の三次元 CG アニメーション映像を物体がそこに存在しているような感覚で様々な方向から観察することができた。

5.2 考察

提案システムでは、スクリーン上方の 1 台の Kinect で物体の三次元スキャンとユーザの視点位置および手の位置の推定を行った。物体のスキャンについては、三次元物体の大まかな形状および立体感を得るには十分な品質のデータが得られた。ただし、深度データの画素数は 640×480 画素であり、詳細形状を再現することはできない。また、上方からのスキャンのみのため、側面は死角となりデータが生成されない。これらの問題を解決する方法の一つとして、複数台の Kinect の使用などが挙げられる。

また、視点位置や手の位置の推定については、Kinect の測定範囲内に入っている場合は、テーブル周囲のどの位置

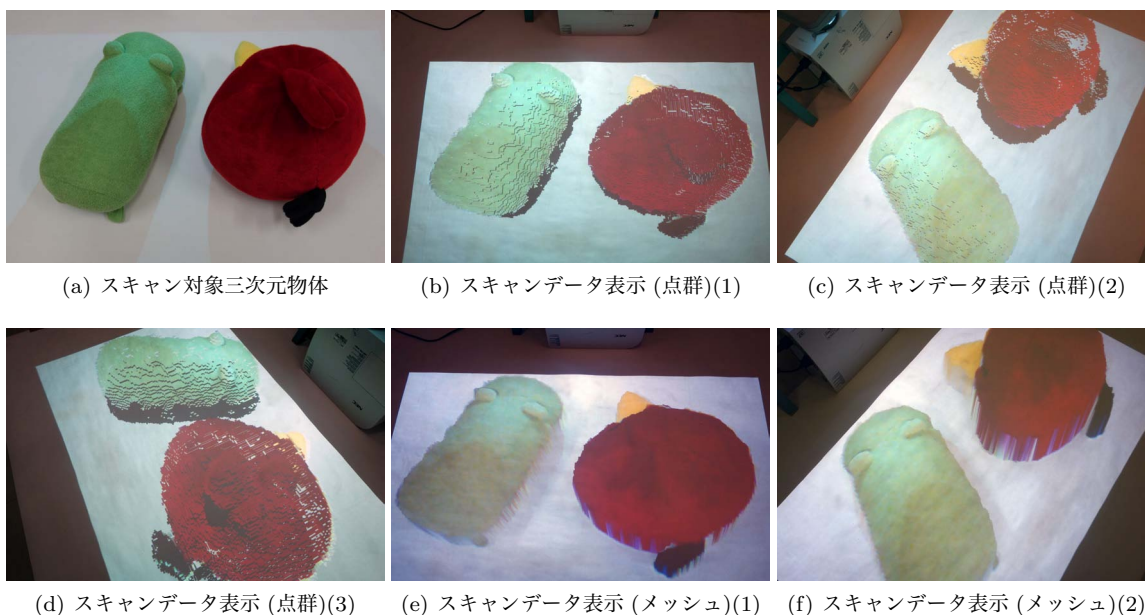


図 9 三次元物体のスキャンとコピー物体表示の実験例 (1)

であつてもかなり安定した値となつており、精度についても生成される映像やインタラクションに関しては問題はなかった。ただし、ユーザが背中を曲げるような姿勢を取ると背中が頭として誤認識される場合があつた。

コピー物体とのインタラクションでは、手の位置に配置した1つの球とコピー物体を構成する各点との接触判定しか行っていない。そのため、コピー物体の細かい変形や色塗りを行うことができなかった。この問題を解決するために、新たに手の形状を認識させて、コピー物体との接触判定を手の形状に合わせて行うなどの工夫が必要であると考えられる。

6. まとめ

本研究では現実世界の三次元物体の記録と映像提示を行う新しいCGシステムを提案した。提案システムを用いることで、任意の三次元物体を動作を含めて瞬時にコピーして、三次元映像として再現しながら任意の位置から立体感を感じながら観察することが可能となった。またコピー物体を手で仮想的に触れて変形させる、着色するなどの対話的な操作も可能となった。現在は提案システムを科学館の展示物として使用したり、教育やエンターテインメントの分野で活用することを検討している。

今後の課題としては、高精細のRGB-Dカメラを複数台使用することで正確で死角の少ない三次元形状の擬似的複製を行うことや、より安定した視点位置の推定、表示物体の移動などのインタラクションの実現、提案手法を拡張した遠隔コミュニケーションなどが挙げられる。

なお、本研究の一部はJSPS科研費 26330420, 25280131の助成を受けた。

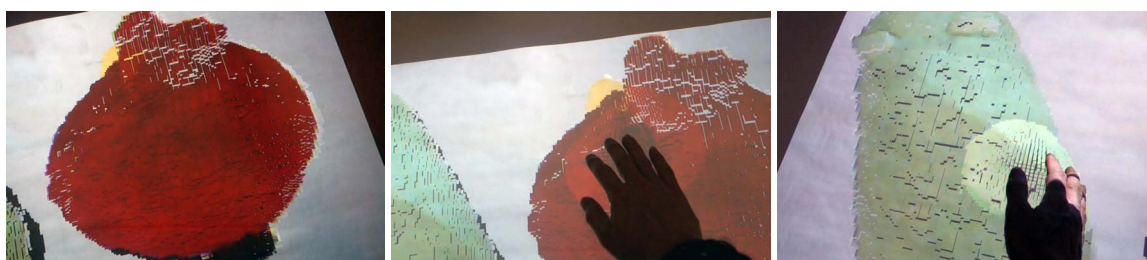
参考文献

- [1] 大石岳史, 増田智仁, 倉爪亮, 池内 克史: 改創建期奈良大仏及び大仏殿のデジタル復元, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 429-436 (2005).
- [2] 西村正三, 原健司, 本本啓介, 松田浩: 3D レーザ・デジタル画像を用いた軍艦島計測と損傷図作成 -3D 点群のレンダリング・ひび割れ描画支援システム-, 日本写真測量学会誌・写真測量とリモートセンシング, Vol. 51, No. 1, pp. 46-53 (2012).
- [3] 徐建鋒, 山崎俊彦, 相澤清晴: 極座標表現を用いた形状特徴ベクトルによる3次元ビデオのセグメンテーション, 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. 47, SIG.10(CVIM.15), pp. 208-217 (2006).
- [4] 吉村ミツ, 甲斐民子, 黒宮明, 横山清子, 八村広三郎: 赤外線追跡装置による日本舞踊動作の解析, 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理 J87-D-II(3), pp. 779-788 (2004).
- [5] Rogers, B. J., Graham, M.: Motion Parallax as an Independent Cue for Depth Perception, *Perception*, No. 8, pp. 125-134 (1979).
- [6] 原田一馬, 菅野祐介, 佐藤洋一: 運動視差を用いたマルチタッチインタラクション, *Interaction 2012 論文集*, pp. 795-800 (2012).
- [7] 玉井康之, 末永剛, 栗田雄一, 松本吉央, 小笠原司: 運動視差提示による実画像3次元ディスプレイの提案, 第25回日本ロボット学会学術講演会論文集, 1H-12 (2007).
- [8] 塚田真未, 川島卓也, 水野慎士: 運動視差を用いた立体視CGシステムの構築と科学館での活用の検討, 情報処理学会研究報告, デジタルコンテンツクリエーション, 2013-DCC-4, No. 3, 6 pages (2013).



(a) スキャン対象三次元物体 (b) スキャンデータ表示 (メッシュ)(1) (c) スキャンデータ表示 (メッシュ)(2)

図 10 三次元物体のスキャンとコピー物体表示の実験例 (2)



(a) コピー物体 (b) 手による変形例 (1) (c) 手による変形例 (2)

図 11 コピー物体を手で仮想的に触って対話的に変形させる実験例



(a) コピー物体 (b) 手による色塗り (c) 色塗り後のコピー物体

図 12 コピー物体を手で仮想的に触って対話的に色塗りを行う実験例

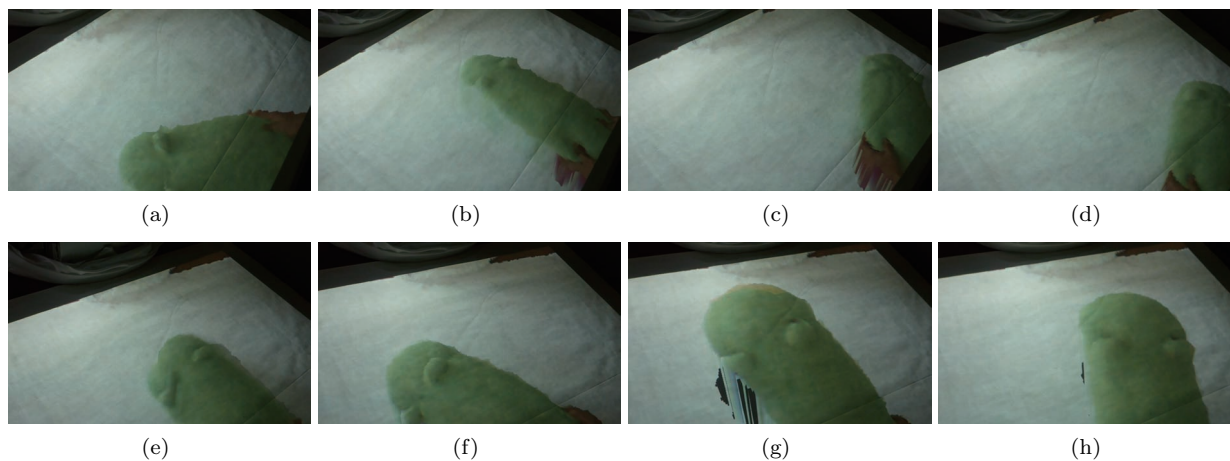


図 13 動作する三次元物体のスキャンと表示の実験例 (動作はアルファベット順)