

深度カメラによる立体形状変化の追跡とそのAR応用

玉木 和鷹†

高井 昌彰‡

飯田 勝吉‡

高井 那美*

北海道大学

北海道大学

北海道大学

北海道情報大学*

大学院情報科学院†

情報基盤センター‡

情報基盤センター‡

経営情報学部

1 はじめに

拡張現実 (AR) において仮想物体の实在感向上を考える際、4つの整合性、すなわち幾何学的整合性、光学的整合性、時間的整合性、物理的整合性が重視される。一般コンシューマー向けARコンテンツでは対象物そのものが変形しないことを前提とすることが多いが、対象物の変形過程を含めて取り扱う場合でも、これらの整合性は常に保たれなければならない。

本研究では、近年急速に市場普及した安価な深度カメラを用い、対象物の局所的な形状変化を実時間で追跡する手法を構築する。また、その応用となるARシステムとして、化石発掘アプリケーションを開発する。このアプリケーションは、対象物として紙粘土などの柔らかい実物体を取り上げ、これにユーザが掘削などの作用を及ぼすことで、仮想の化石を掘り出すアプリケーションである。

2 関連する技術

2.1 ボクセルデータ

ボクセルデータは立体形状のモデリング手法の一つである。空間を立方体で格子状に分割し、それらの立方体 (ボクセル) ごとに密度等の属性を格納することで任意立体形状を表現する。

2.2 マーチングキューブ法

マーチングキューブ法はボクセルデータをポリゴンデータに変換するアルゴリズムの一つであり、医療ボリュームデータセットからの表面再構成などに利用されている[1]。

マーチングキューブ法でポリゴンデータを生成する際、各ボクセルのボクセル値が設定した閾値を超えるかどうかで各ボクセルの状態を判断する。この場合、各ボクセルは2通りの状態をもつため、最隣接8ボクセルは256通りの状態を有する。このそれぞれの場合に対し、表面を近似するポリゴンパッチを形成することで、

ボクセル空間全体のポリゴンデータを高速に生成することができる。また、ポリゴンパッチ生成の際、ボクセル値に応じてポリゴンの頂点の座標値を変位させることで、より実際の形状に近いポリゴンパッチの生成が可能となる。

3 システムの概要と設計

3.1 基本的アプローチ

立体形状の実時間変化を追跡するため、本システムでは深度カメラを用いる。深度カメラにより、AR表示に必要な色情報と空間の奥行き情報を同時に取得することができる。

対象物の立体形状のデータはボクセル形式と点群 (3次元座標値をもつ点の集合) を組み合わせ保存する。その際、各ボクセルにはそのボクセル値のほか、そのボクセルに属する各点の座標値を保存する。

形状変化追跡のアプローチは以下の通りである。最初にデータを保存するための空のボクセル空間を作成する。その後、実世界にて、ユーザが対象物の形状を変化させる。その様子を深度カメラで撮影し、システム内で点群に変換する。この点群データをもとに、データ保存用の点群に対して点の追加と点の座標値の更新を行い、ボクセルデータを更新する[2]。

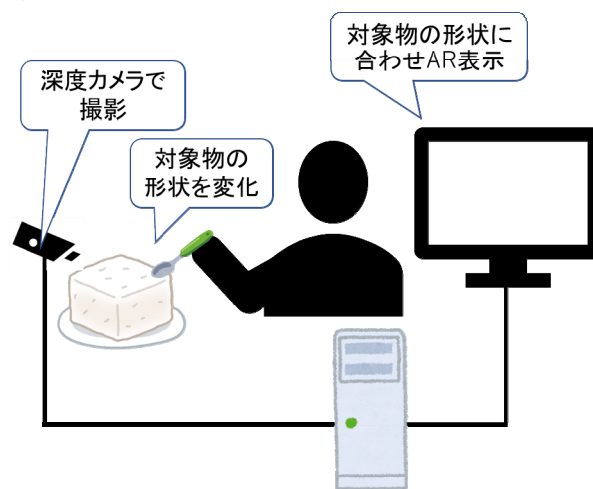


図1. システムの動作イメージ

3D deformable shape tracking by a depth camera and its AR application

†Graduate school of Info. Sci. Technology, Hokkaido University

‡Information Initiative Center, Hokkaido University

*Hokkaido Information University

システムの動作イメージを図1に示す。ユーザは対象物をえぐり取るなどして、形状を変化させ、同時にこの様子を深度カメラで撮影する。システムは対象物の立体形状変化を追跡し、形状データを更新するとともに、変化した対象形状との整合性が保たれたAR表示を行う。

3.2 システムの設計

システムの処理の流れを図2に示す。最初に、対象物の形状データを保存するための空のボクセル空間を作成する。その後、深度カメラの撮影フレームごとに次の操作を繰り返す。

まず深度カメラから深度画像を取得し、そのデータを点群データに変換する。次にその点群データを形状データに反映した後、形状データをポリゴン化し、AR表示を行う。

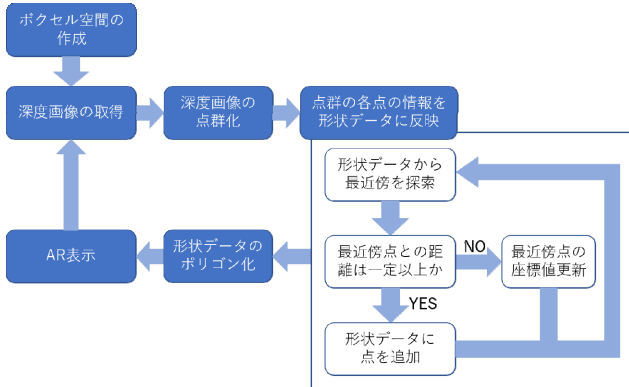


図2. システムの処理の流れ

以上の基本設計のもと、システム実現には、次節で述べる5つの構成要素機能（対象物の位置と姿勢の認識、形状データの保存、形状データの更新、ボクセルデータのポリゴン化、オクルージョン処理）が必要である。

4. システムの実装

4.1 対象物の位置と姿勢の認識

対象物の位置と姿勢の認識には画像マーカを用いる。対象物の足下部分にマーカを配置し、これから対象物の基本的な位置と姿勢を定める。このマーカ認識にはVuforiaを使用する。

4.2 形状データの保存

形状変化を追跡する対象物の形状データはボクセル形式で保存する。マーカ周辺の空間を、マーカ中心を原点とするボクセル空間と見なし、各ボクセルにそのボクセル内に存在する点の座標を保存する。

また、ボクセル空間をマーチングキューブ法でポリゴン化するため、各ボクセルのボクセル値も保存する。この際のボクセル値にはボクセル内の点の数（密度）を基準とした値を用いる。

以上の実現のため、形状データ保存用のボクセル空間はリスト構造の3次元配列で実装する。また、各ボクセルのボクセル値を保存する配列は浮動小数点型の1次元配列を用いる。

4.3 形状データの更新

はじめに深度カメラから取得した深度画像を点群に変換し、それら点群の各点について、次の操作を行う。

1. その点が属するボクセルを求める。
2. 求めたボクセルとその隣接ボクセルから、最近傍点を求める。
3. 最近傍点とその点と一定距離内にある場合、最近傍点の座標値を書き換える。
4. 最近傍点と一定距離内になければ、その点を新たな点として追加する。

深度カメラには、Intel RealSense D435（解像度640×480、30fps）を用いた。

4.4 形状データのポリゴン化

ARの描画処理は全てUnityで行うが、Unityでは点群データを直接扱うことができない。そのため、点群データからボクセルデータを保存しておき、そのボクセルデータをUnityで扱えるポリゴンデータに変換する。この変換には前述のマーチングキューブ法を用いる。

4.5 オクルージョン処理

発掘される化石をAR表示するためには、対象物の外部に露出している化石部分のみを描画する必要がある。そこで深度カメラのカラー画像をそのまま表示した後、ポリゴン化された対象物の形状データを描画する際、その画素値は使用せず、ポリゴンが描画されるべき画素位置だけを一時保存する。その後化石モデルを描画する際に、先に保存した画素位置よりも手前にくる化石モデルの画素のみを描画する。これにより化石モデルの対象物によるオクルージョンが実現される。

5 まとめ

深度カメラを用い、実物体の局所的な形状変化を追跡する手法を構築し、その応用として仮想の化石を発掘するARアプリケーションを作成した。今後の課題としては、仮想の化石に触れた際の力覚フィードバックなどが挙げられる。

参考文献

- [1] P. Bourke, "Polygonising a scalar field", <http://paulbourke.net/geometry/polygonise/>
- [2] 玉木和鷹, 高井昌彰, 飯田勝吉: "深度カメラを用いたAR化石発掘アプリケーション", 第19回情報科学技術フォーラムFIT2020, I-028, (2020)