

令和 3 年 5 月 17 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11397

研究課題名(和文)医療応用のための人体プロジェクションマッピングシステムの開発

研究課題名(英文)A Human Body Projection Mapping System for Medical Applications

研究代表者

金田 和文(Kaneda, Kazufumi)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：30185946

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：外科手術支援のために、CT等によって得られた人体内部構造情報を体表面へプロジェクションマッピングするシステムの開発を行った。本システムの特徴は、プロジェクタの設置位置・姿勢をマーカーレスで自動検出し、投影方向の制約を受けずに血管位置などの人体内部構造情報を体表面へプロジェクションマッピングすることができる。小型カメラとポータブルプロジェクタを用いてカメラ・プロジェクタ装置を構成し、ラップトップ型コンピュータに開発した手法を組み込んでプロトタイプシステムを構築した。そして、人体腹部モデルを用いてシステムの動作確認とプロジェクタの位置・投影方向の推定精度の検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

形成外科における穿通枝皮弁による乳房再建手術の際に、患者の深下腹壁動脈とそれから分岐した穿通枝の位置を把握するために、3次元血管造影法であるCTアンギオグラフィから得られた血管の位置情報を患者の体表面に投影するシステムの開発が切望されている。コンピュータグラフィックスとコンピュータビジョンを組み合わせることでバーチャルリアリティ技術を応用することにより、これを実現する手術支援システムを開発する。さらに、形成外科での穿通枝皮弁による乳房再建手術だけでなく、投影する人体内部構造情報を変更することにより外科手術全般において手術支援システムとして活用することができる。

研究成果の概要(英文)：For surgical support, we have developed a system that project-maps the internal structure information of the human body obtained by CT etc. to the body surface. The feature of this system is that it can automatically detect the installation position and pose of the projector without any markers, and can project-map the internal structure information on the human body such as the position of blood vessels to the body surface without being restricted by the projection direction. A camera-projector system was constructed using a small camera and a portable projector, and a prototype system was constructed by incorporating with the developed methods into a laptop computer. Then, using the human abdominal model, we confirmed the operation of the system and verified the estimation accuracy of the position and projection direction of the projector.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：コンピュータグラフィックス プロジェクションマッピング 医療応用 ポリウムレンダリング バーチャルリアリティ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

CTやMRI等によって得られた人体内部の情報を、診断だけでなく外科手術を行う際にも活用し、医療技術の高度化をさらに推進することが求められている。特に、形成外科における穿通枝皮弁による乳房再建手術の際に、患者の深下腹壁動脈とそれから分岐した穿通枝の位置を把握するために、3次元血管造影法であるCTアンギオグラフィから得られた血管の位置情報を患者の体表面に投影するシステムの開発が切望されている。コンピュータグラフィックスとコンピュータビジョンを組み合わせてバーチャルリアリティ技術を応用することにより、これを実現する手術支援システムを開発する。

2. 研究の目的

本研究課題では、プロジェクタの設置位置をマーカーレスで自動検出し、投影方向の制約を受けずに、血管位置などの人体内部構造情報を体表面へプロジェクションマッピングするシステムの開発を行う。

さらに、プロジェクタを眼鏡型シースルーヘッドマウントディスプレイ(HMD)に置き換え、HMDに付属したカメラを用いることにより、さまざまな方向からリアルタイムで手術前の患者の人体内部構造を観察することができるシステムへの拡張を検討する。

3. 研究の方法

開発するシステムは次の特徴をもつ。

(1) マーカーレスでプロジェクションマッピングすることができる。これを実現するために、臍と体側のシルエットを用いて人体・カメラ間の位置・方向関係を自動的に算出する。人体とプロジェクタの位置関係と方向を取得するために、プロジェクタにカメラを併設し、そのカメラ画像からカメラ位置と光軸方向を算出する(図1参照)。

(2) 投影方向の制約を受けずに、人体内部構造情報を体表面へプロジェクションマッピングすることができる。これを実現するために、実空間での人体・プロジェクタの位置・方向関係を仮想空間に再現して投影画像を作成する。投影画像は、コンピュータ内の仮想空間において人体ボリュームデータから抽出した血管などの内部構造をボリュームレンダリングにより描画する。ここで、仮想空間での血管位置を体表面に移動させることにより、プロジェクタの位置や方向が移動した場合でも、人体真上から体表面に投影したときの位置からずれることを防ぐ。

(3) シースルーHMDを用いたARシステムへの拡張性を考慮したシステムとする。本プロジェクションマッピングシステムは、投影位置や投影方向に制約を受けない。そのため、プロジェクタを眼鏡型シースルーHMDに置き換え、処理の高速化をはかり、リアルタイムで人体を観察しながら内部構造情報を重畳して表示し、医療応用のためのARシステムに拡張することができる。さらに、形成外科での穿通枝皮弁による乳房再建手術だけでなく、投影する人体内部構造情報を変更することにより外科手術全般において手術支援システムとして活用することができる。

システムの処理の流れを図2に示す。本システムは(1)~(5)の要素技術から構成される。

(1) 臍と体側シルエットラインを用いたカメラ位置・光軸方向の自動検出

しきい値処理やエッジ検出フィルタなどの画像処理を用いて、カメラ画像から臍と体側シルエットラインを検出する。臍や体側シルエットは画像処理により比較的容易に検出することができる特徴である。

カメラ位置と光軸方向を求めるために、コンピュータグラフィックス手法を用いて、仮のカメラ位置と光軸方向を設定し人体ボリュームデータの画像作成を行う。実空間でのカメラ位置・光軸方向が仮想カメラと一致していれば、臍や体側シルエットラインは実写画像と同じ位置となる(図4参照)。この考え方に基づいて、最適化問題を解いて、仮想カメラ位置・光軸方向を求める。

(2) カメラ位置・光軸方向からプロジェクタ位置・投影方向への変換

プロジェクタとカメラの両者間の位置・方向は、ステレオビジョンの原理を応用することによって求める。すなわち、プロジェクタからキャリブレーションターゲットを投影し、これをカメ

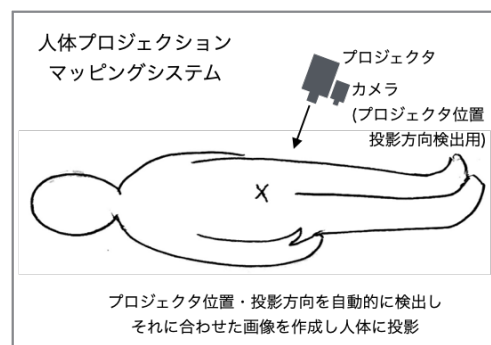


図1 プロジェクタ-カメラ システム

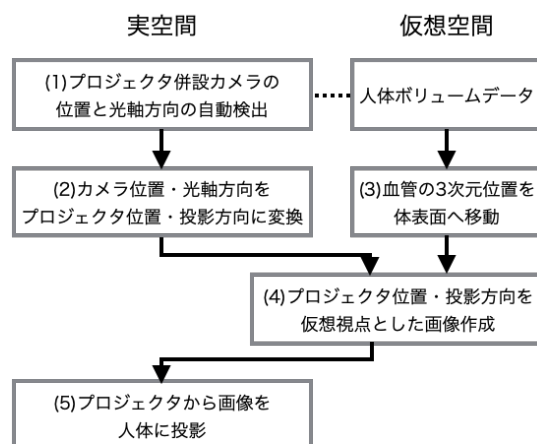


図2 処理の流れ

ラで撮影する。ターゲットの対応点を検出することにより、プロジェクタ・カメラ間の変換を表わす並進と回転の変換行列を求めることができる。この変換行列を用いることによりカメラ位置・光軸方向をプロジェクタ位置・投影方向に変換する。

(3) 人体ボリュームデータの血管 3 次元位置を体表面へ移動

人体ボリュームデータの血管（深下腹壁動脈や穿通枝）の 3 次元データを抽出し、腹部体表面に移動したボリュームデータを作成する。これは、プロジェクタの設置位置や投影方向に関わらず、体表面に投影された血管位置が、人体真上から体表面に投影したときと同じ位置に表示されるようにするためである。血管の抽出は医師が行うが、体表面への移動は自動化する。

(4) プロジェクタ位置・投影方向を仮想視点とした画像作成

前項で求めたプロジェクタの位置・投影方向に基づいて、血管等のボリュームデータをボリュームレンダリングすることにより投影画像を生成する。

(5) 前項で作成した投影画像をプロジェクタから人体に投影する。

4. 研究成果

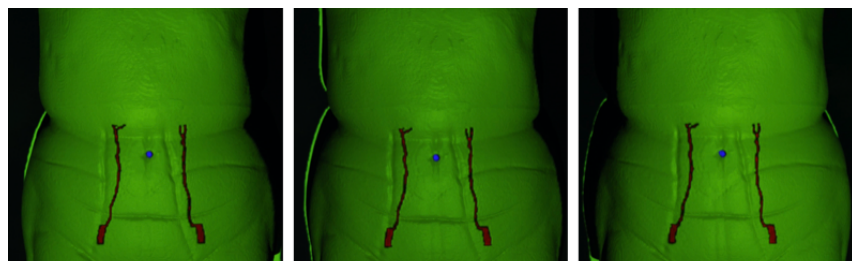
医療応用のための体表面へのプロジェクションマッピングシステムを開発するために、前述の要素技術を完成させた。すなわち、(1) 臍と体側シルエットラインを用いたカメラ位置・光軸方向の自動検出：しきい値処理やエッジ検出フィルタなどの画像処理を用いて、カメラ画像から臍と体側シルエットラインを検出する手法を開発した。最適化問題を解くために遺伝的アルゴリズムを用いた。さらに、高速化を目指して粒子群最適化手法を用いたカメラ位置・光軸方向の自動検出手法に改良を行った。(2) カメラ位置・光軸方向からプロジェクタ位置・投影方向への変換：プロジェクタとカメラの両者間の位置・方向を、ステレオビジョンの原理を応用することによって算出した。(3) 人体ボリュームデータの血管 3 次元位置を体表面へ移動：プロジェクタの設置位置や投影方向に関わらず、体表面に投影された血管位置が人体真上から体表面に投影したときと同じ位置に表示されるようにするため、人体ボリュームデータから抽出された血管等の 3 次元データを、腹部体表面に移動したボリュームデータを自動的に作成する手法を開発した。(4) プロジェクタ位置・投影方向を仮想視点とした画像作成：プロジェクタの位置・投影方向に基づいて、血管等のボリュームデータを高速にボリュームレンダリングすることにより投影画像を生成する手法を開発した。

そして、Wi-Fi 接続小型カメラと LED ポータブルプロジェクタを用いてカメラ・プロジェクタ装置を構成し、開発した要素技術をラップトップ型コンピュータに組み込んでプロトタイプシステムを構築した。そして、3D プリンタで出力された 1/2 スケールの人体腹部モデルを用いてシステムの動作確認とプロジェクタの位置・投影方向の推定精度の検証を行った（図 3 参照）。また、投影方向を変えた場合でも、体表面に投影された血管位置が変化しないことを確認し、開発した各要素技術と構築したシステムが計画通り動作していることを確認した（図 4 参照）。

さらに、プロジェクタによる体表面への映像投影だけでなく、映像表示デバイスとしてシースルー型 HMD を導入して人体を観察しながら内部構造情報を重畳して表示することができる AR システムへの拡張を試みた。



図3 人体腹部モデルを用いた実験



(a) 8° to the left side (b) The sagittal axis (c) 10° to the right side

図4 異なる方向からの血管のプロジェクションマッピング

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 圓山有利子, 橋本航太, Bisser Raytchev, 金田和文, 檜垣徹, 曾束 洋平, 西本聡
2. 発表標題 人体プロジェクションマッピングシステムにおける粒子群最適化法を用いたカメラ位置・姿勢推定
3. 学会等名 画像電子学会 第295回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本航太, 金田和文, 玉木徹, Bisser Raytchev
2. 発表標題 AR グラスを用いた手術支援システムのための高速ボリュームレンダリングに関する研究
3. 学会等名 2020年度(第71回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryo Fukuhara, Kazufumi Kaneda, Toru Tamaki, Bisser Raytchev, Toru Higaki, Soh Nishimoto, Yohei Sotsuka
2. 発表標題 A Projection Mapping System onto a Human Body for Medical Applications
3. 学会等名 EUROGRAPHICS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福原涼, 金田和文, 玉木徹, Bisser Raytchev, 檜垣徹, 西本聡, 曾束洋平
2. 発表標題 医療応用のための人体プロジェクションマッピングシステム
3. 学会等名 平成30年度(第69回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	檜垣 徹 (Higaki Toru) (80611334)	広島大学・医系科学研究科(医)・共同研究講座准教授 (15401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------