

氏 名	くろ だ よし ひろ 黒 田 嘉 宏
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 155 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	情 報 学 研 究 科 社 会 情 報 学 専 攻
学位論文題目	A Study on Virtual Reality based Palpation Simulator (バーチャルリアリティ技術に基づく触診シミュレータの研究)

論文調査委員	(主 査) 教 授 吉 原 博 幸	教 授 石 田 亨	教 授 松 田 哲 也
--------	----------------------	-----------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、医療における触診の仮想環境構築を目的とした触診シミュレーションフレームワークを提案し、大半の触診で生じる軟組織間の接触をシミュレーションする手法や摩擦提示手法について述べたものであり、7章から成っている。

第1章は序論で、近年の動物愛護運動や患者人権尊重の高まりにより触診の訓練環境が減少していること、また、触力覚VR技術を用いることで新たな触診環境の実現が期待されることについて述べ、本研究の目的とアプローチを概説している。次に既存技術の問題点を分析して、直接触診と間接触診のシミュレーション環境を構築可能とするシミュレーションフレームワークを提案し、フレームワーク実現のため本論文で提案する新規的な要素技術を概説している。

第2章は本論文の背景と既存研究が述べられている。最初に、触診における物理現象と知覚について整理し、その特徴について述べている。次に課題解決に用いる医用VR技術、触力覚VR技術、ソフトウェア環境の背景と既存手法を調査し、従来の技術、環境では大半の触診においてシミュレーション環境を提供することが困難であることを述べている。

第3章は提案する触診シミュレーションフレームワーク、およびフレームワークをソフトウェアとして具現化したシミュレーションライブラリMVL:Medical Virtual reality simulation Libraryについて全体的な設計を行っている。触診シミュレーションを行うための要求仕様を整理し、触診で生じうる物理現象を実時間で高精度にシミュレートすることを目的とした力学計算フレームワークを考案している。提案フレームワークは指先と軟組織のインタラクション、軟組織間のインタラクションを考慮した軟組織変形、摩擦シミュレーションを可能とし、対象組織を直接的、間接的に触診する場合において硬化位置の特定が可能な触診環境を提供する。各手法の詳細は4・5章において述べられる。

第4章では、間接触診環境の実現に必須となる、軟組織の硬さを間接的に触知可能な軟組織接触シミュレーション環境を構築している。従来、弾性接触問題として扱われ理論解が得られていない課題に対して、仮変形で算出される仮の接触力に基づいて接触領域の変位量を決定することで、臓器形状に対して対話的な操作を可能とし、力学特性を反映した接触変形の算出を可能としている。シミュレーション実験の結果、直接触れていない臓器モデルの硬さの違いが仮想指の反力値に現れることが示されている。また、被験者実験の結果により、直接触れていない臓器モデルの硬さの違いをヒトが識別可能であることが確認されている。

第5章では、間接触診時のような軟組織の接触環境において安定的に摩擦力を提示可能なシミュレーション環境の構築を行っている。間接触診において硬化病変の位置特定において重要な形状の間接知覚と摩擦力との関連性に着目し、軟組織の接触環境において安定して摩擦力を提示可能な手法が提案されている。まず、シミュレーション実験により、提案モデルにより軟組織の接触環境において垂直抗力に比例した動摩擦力が提示されることを確認している。次に被験者実験により、摩擦力和形状の間接知覚との関連が確認されている。最後に、前立腺触診シミュレータを構築し泌尿器科医師より試用評価を受け、提案手法を実装した間接触診シミュレータにおいて臓器モデルの硬化位置が識別されることが示されている。

第6章では、4章と5章で述べた提案手法を3章で設計したライブラリに実装した結果を述べ、ライブラリを用いてシミュレーションを行う。

ュレーションフレームワークの評価を行っている。計算時間を評価した結果、ライブラリを用いて詳細な臓器オブジェクトに対して反力や変形の実時間処理が可能であることが示されている。ライブラリを用いて直接触診および間接触診のシュミレーター構築を試みた実験では、ライブラリが提供する API のみで触診シュミレーション環境を記述可能であることが確認されている。

第7章は結論で、本論文のまとめと今後の展望が述べられている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、近年減少傾向にある触診訓練環境を触力覚 VR 技術を用いて実現することを目的とし、指と軟組織、軟組織と軟組織のインタラクションの記述、軟組織の力学変形シミュレーションと反力提示、および、それらをまとめた触診シュミレーションフレームワークについて述べたものであり、得られた成果は以下のとおりである。

- 1) 理論解が得られていない弾性接触問題に対して、力学特性を反映した接触変形の算出法を提案し、臓器形状に対して対話的な操作が可能な軟組織の接触シミュレーションを実現している。構築環境によって、直接触れていない臓器モデルの硬さを間接的に知覚可能なシミュレーションを実現している。
- 2) 従来の摩擦モデルは軟組織接触環境において安定的に摩擦力を提示できなかったのに対し、ずり方向の力・変位関係式の更新により、安定的に垂直抗力に比例した摩擦力を提示する手法を提案している。実験の結果、摩擦力と形状の間接知覚の関連性がみられ、間接触診シミュレーションにおいて硬化部位の識別が可能であることが確認されている。
- 3) これらの手法を統合してシミュレーションライブラリ MVL を開発し、詳細な臓器オブジェクトを対象とした触診において実時間での変形・反力算出を可能としている。また、硬化位置の特定が可能な直接触診、間接触診シュミレータの構築を試みた結果、MVL が提供する API のみで各シュミレータの構築が可能であることが確認されている。

以上、本論文は触診シュミレータ開発で課題とされてきた、軟組織の接触を伴う間接触診を含む触診シュミレーション環境を実現するものである。これら VR 技術の開発は、現実と同等の環境の構築を目的とすると共に、現実では実施困難な環境を作り出す有効な手段であり、学術的な意義は非常に高いといえる。従って、本論文は学術的にも実用性の上でも極めて有意義であると言える。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成17年2月22日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。