

平成22年度「革新的な三次元映像による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発」

課題オ「超臨場感コミュニケーションシステム」

課題オ-4「『どこでも高度医療』実現のためのボリュームベース遠隔触覚協働環境構築の研究開発」 の開発成果について

1. 施策の目標

・超高精細映像技術、立体映像・音響技術、触覚等を含んだ五感情報伝達技術等の進展により超臨場感システムの実用化が見込まれる。本研究開発では、高度コミュニケーションシステムである遠隔医療システムの実現(2020年度以降)に資する要素技術を提供する。

2. 研究開発の背景

・近年医療において、患者の負担や動物愛護の観点から、臨床経験と動物実験に代わる手術訓練手法としてVRシミュレータを用いる外科手術訓練への期待が高まっている。また、患者の身体的負担が軽い低侵襲手術は高度な技術を要し、従来の上級医による対面の指導では効率的な技術習得が困難となっており、多人数による遠隔協働・低侵襲手術訓練システムの実現が望まれている。

3. 研究開発の概要と期待される効果

・『どこでも高度医療』実現のためのボリュームベース遠隔触覚協働環境は、主に、多地点遠隔触覚協働の手術訓練の技術と 非一様柔軟物モデリング・シミュレーション技術と ボリュームデータの可視化と解析の技術に大別(下図)される技術で成り立つ。

パラメータ同期交信型のボリュームモデルベースの臨場感通信を確立し、コンピュータ支援型の遠隔触覚協働環境下での低侵襲手術訓練システムが開発される。従来は熟練医が直接、研修医の手を取って指導する、1対1が基本であった面談手術訓練が、遠隔触覚協働環境では、一人の熟練医が遠隔の複数の研修医に同時に手術訓練を行う環境が実現される。

生体や臓器等の変形特性が非一様な柔軟物を対象とし、複数人の操作による、対象の非一様な変形特性を忠実に表す、物理ベースかつオンラインリメッシュ型のボリュームベース非一様柔軟物モデリング・シミュレーション技術が開発される。

新しいボリューム・グラフィックス技術と超高解像度タイルド・ディスプレイによる、遠隔・多地点・多人数インタラクションに適した、人体内部の立体構造「可視化技術」が開発される。また、手術シミュレーションにおける剥離や大変形の解析に適した医用ボリューム・データの「解析技術」が開発される。

多地点遠隔触覚協働環境 構築の技術

多地点間のパラメータ同期交信型のボリュームモデルベース臨場感触覚通信を確立。



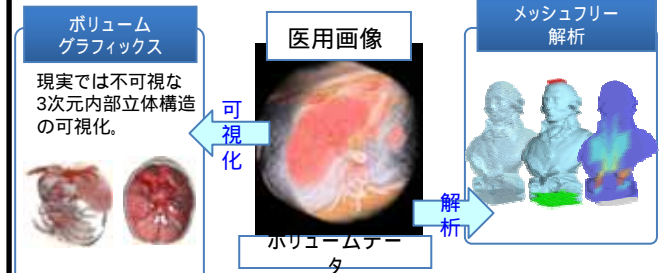
非一様柔軟物モデリング・ シミュレーション技術

- ・ 非一様柔軟物モデリング技術を開発。
- ・ 物理ベースかつオンラインリメッシュ型のボリュームベースシミュレーション技術を開発。



ボリュームデータの 可視化と解析の技術

、の技術と連携し、医用データやシミュレーション結果の可視化と解析を行う。



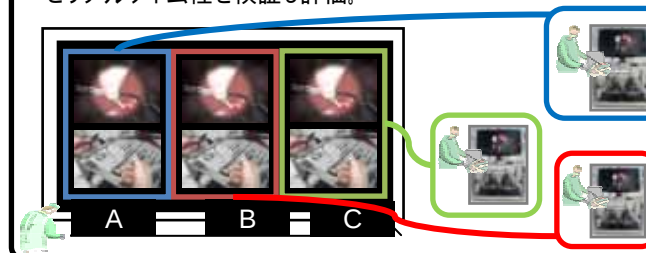
低侵襲手術シミュレータを用いる 遠隔手術訓練の設計・実験・検証

シミュレーションベースの手術訓練方法を設計し、医学的見地から操作性、品質、対話性、リアルタイム性等を評価・検証する。



低侵襲手術シミュレータ構築と仮想力覚 情報高速通信の研究開発

オンラインリメッシュ型のインタラクティブ柔軟物シミュレーションのプロトタイプの高速度手法を実装した3地点の遠隔触覚協働実験において、実際の反力提示の品質、対話性とリアルタイム性を検証し評価。



4. 研究開発の期間及び体制

平成21年度～平成22年度(2年間)
NICT委託研究(学校法人立命館 立命館大学、滋賀医科大学、株式会社アイネット)

多地点遠隔触覚協働環境構築の技術

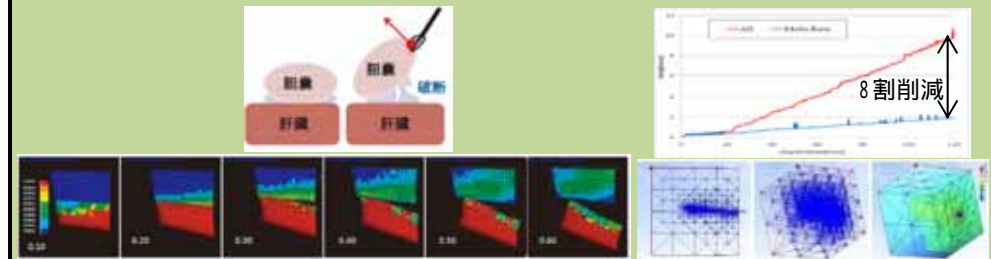
多地点遠隔触覚協働環境構築の技術



- A 遠隔多地点・多人数インタラクションの同時性を共有する技術
- B 胆肝剥離手術・穿刺手術の低侵襲腹腔下訓練シミュレータ

胆肝剥離手術・穿刺手術の低侵襲腹腔下訓練シミュレータ

- のシミュレーション技術に加えて、実時間で計算可能な剥離・摩擦モデルを開発、インタラクティブな穿刺・剥離シミュレーションを実現。
- 外科医による評価を実施。

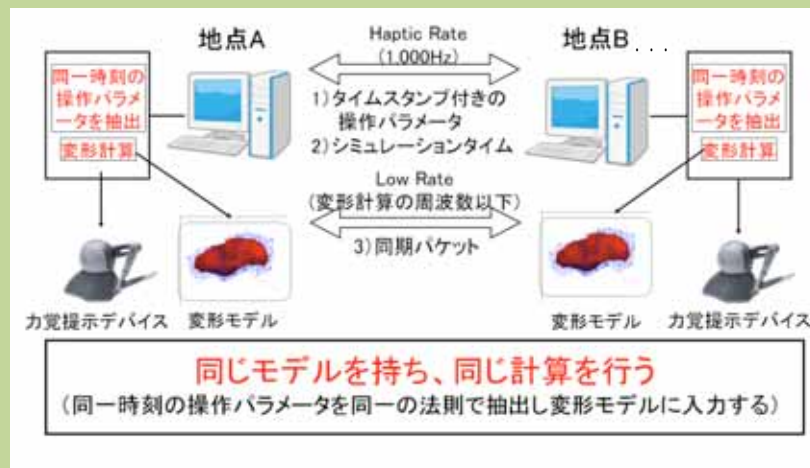


剥離シミュレーション

穿刺シミュレーション

遠隔多地点・多人数インタラクションの同時性を共有する技術

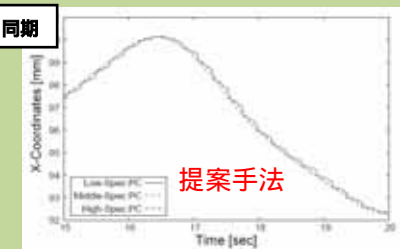
- 柔軟物の変形情報はデータ量が多く、低遅延・高レートでの通信に課題。また遠隔多地点インタラクションでは、各地点の計算機のスペックの違いにより同時性の共有が困難。
- 省パラメータ・P2P方式の遠隔触覚共有手法を開発。さらに、シミュレーションタイム差に基づいて、低周期に同期パケットを交信することにより、各地点の同時性を共有。



遠隔多地点・多人数インタラクションの同時性の共有手法

非同期

同期



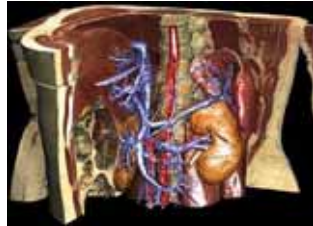
実験結果

非一様柔軟物モデリング・シミュレーション技術

非一様柔軟物モデリング・シミュレーション技術



計測(MR装置等)



非一様柔軟物モデル

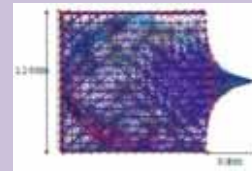


シミュレーション

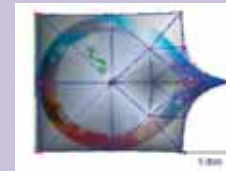
- A 非一様柔軟物モデリング技術
- B 連続体力学に基づくオンラインリメッシュ型非線形変形モデル
- C GPGPUによる大規模並列計算技術

連続体力学に基づくオンラインリメッシュ型非線形変形モデル

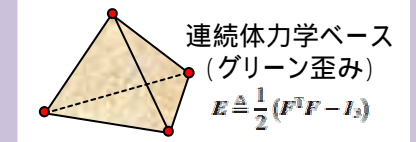
- 手術シミュレーションにおいては、幾何学的な非線形性が無視できない大きな変形が発生する。さらに柔軟物に触れた際の力覚提示を行うには、高い更新レートで物理ベース変形シミュレーションを行う必要があり、計算コストが課題。
- 連続体力学ベースかつ非線形に対応し、適応的四面体格子表現に基づくオンラインリメッシュ型変形モデルを開発。



高解像度モデル



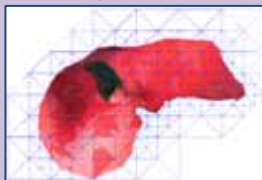
オンラインリメッシュ



連続体力学ベースの
非線形変形モデル

非一様柔軟物モデリング技術

- 生体や臓器等は多様な形状を有し、物性が非一様。
- 対象物体の表面形状および内部の非一様性に対して、適応的に四面体格子を生成する手法を世界で始めて開発。
- 加えて、剥離手術における、動的に表出する切断面などを、オンラインで適応的に生成するサーフェスモデリング手法を開発。



表面形状および内部の非一様性に対して適応的な四面体格子表現



オンライン
サーフェスモデリング

GPGPUによる大規模並列計算技術

- 近年のGPU性能の大幅な向上。
- オンラインリメッシュ型変形モデルのGPGPUによる大規模並列計算手法を開発。試験的実装。
- 質点ばねダンパモデルの場合CPUに対して20倍程度、連続体力学ベース非線形変形モデルの場合CPUに対して40倍程度の高速化を実現。



大規模並列計算機

P0	...	Pn-1	Pn	Pn+1	...	Pmax
index		index	index	index		index
counter		counter	counter	counter		counter
n1		n1	n1	n1		n1
length		length	length	length		length
n2		n2	n2	n2		n2
length		length	length	length		length
:		:	:	:		:
nmax		nmax	nmax	nmax		nmax
length		length	length	length		length

GPGPUおよびオンラインリメッシュに適したデータ構造

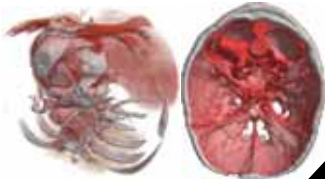
ボリュームデータの可視化と解析の技術

ボリュームデータの可視化と解析技術

、の技術と連携し、医用データやシミュレーション結果の可視化と解析を行う。

ボリュームグラフィックス

現実では不可視な3次元内部立体構造の可視化。

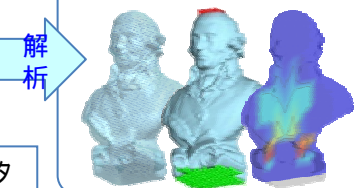


医用画像

可視化

ボリュームデータ

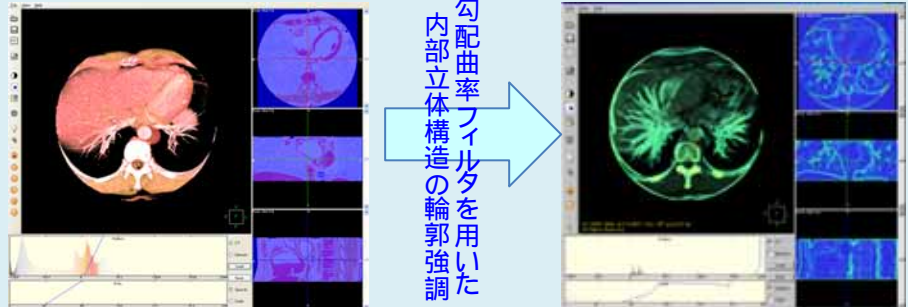
メッシュフリー解析



- A 剥離・大変形に適したメッシュフリー解析
- B 3次元内部立体構造の可視化技術
- C 高速性と超高解像度を両立させたボリュームグラフィックス

3次元・内部立体構造の可視化技術

- 医用データにおいて、人体内部の見える部位や3次元的な立体構造を可視化することが重要。
- 新開発の勾配曲率フィルタを利用した、人体内部の立体構造の強調可視化を実現。

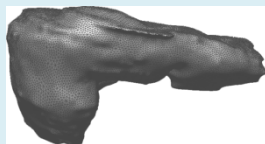


剥離・大変形に適したメッシュフリー解析

- CTやMRI等の医用データに基づく変形シミュレーションや応力解析の技術が必要。
- 本年度は、肝臓データに対して、剥離・大変形に適したメッシュフリー構造解析技術による、応力解析を実現。



CTデータ



肝臓の抽出



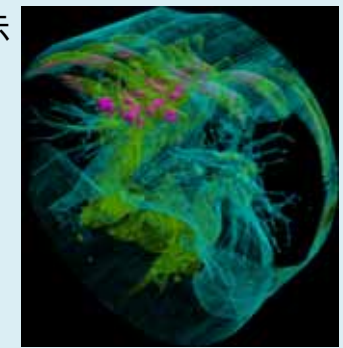
応力解析結果

高速性と高品質を両立させたボリュームグラフィックス

- 開発中の「粒子ベース等値面レンダリング」は、複雑な内部立体構造の立体感に優れた可視化が可能。
- タイルド・ディスプレイを用いた超高解像度可視化を計画中。
 - 遠隔・多地点の分散データ同時表示
 - 多人数でのインタラクション



KGT: <http://www.kgt.co.jp/feature/xk/>
(協力・京都大学)



粒子ベース等値面レンダリング

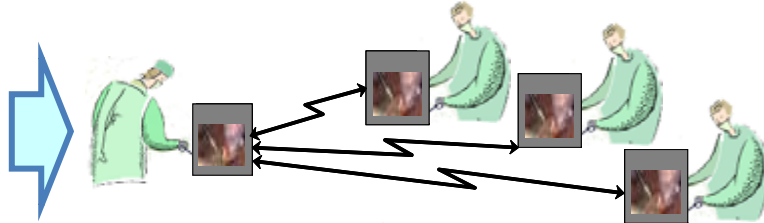
低侵襲手術シミュレータを用いる遠隔手術訓練の設計・実験・検証

低侵襲手術シミュレータを用いる 遠隔手術訓練の設計・実験・検証

シミュレーションベースの手術訓練方法を設計し、医学的見地から操作性、品質、対話性、リアルタイム性等を評価・検証する。



単独操作の
手術シミュレータ



1対多・遠隔手術訓練

- A 市販の手術シミュレータの技術動向利用状況調査
- B 腹腔鏡シミュレータプロトタイプの実験と初期評価

市販の手術シミュレータの技術動向利用状況調査



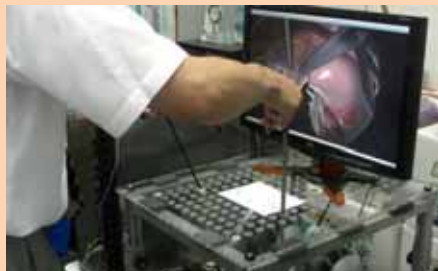
- 教育活用が不十分
- 設置台数が少ない
- 医師不足から教育に十分な時間がとれない
- 市販シミュレータは単独動作のみ



LapMentorによる胆嚢摘出術の訓練風景

低価格で効率のよい集団教育に適したシステムが必要

単体動作実験



腹腔鏡シミュレータプロトタイプの実験と初期評価

教師・学生用2台構成システムの動作実験



教師側



学生側

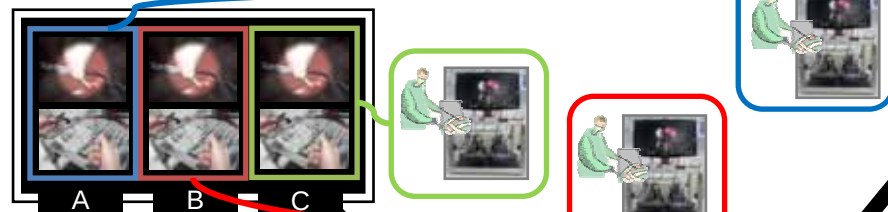
術者手元映像

- 腹腔鏡シミュレータプロトタイプを作成し、外科医による評価を行った。
- 改善点を総括し、必要性が高く短期に修正可能な点について改良
- 1対多を想定した、2台構成、3台構成のシステム化とその評価を行った。
- 未だ手術訓練に有効であるかの評価を行える段階ではないが、その有効性は十分に期待でき、それに向けての多岐にわたる改善点が必要

低侵襲手術シミュレータ構築と仮想力覚情報高速通信の研究開発

低侵襲手術シミュレータ構築と 仮想力覚情報高速通信の研究開発

オンラインリメッシュ型のインタラクティブ柔軟物シミュレーションのプロトタイプ的高速化手法を実装した3地点の遠隔触覚協働実験において、実際の反力提示の品質、対話性とリアルタイム性を検証し評価。



A 商用手術シミュレータの現状調査
B 低侵襲手術シミュレータの構築

商用手術シミュレータの現状調査

- 商用の腹腔鏡下手術シミュレータに関して、現状の開発状況を調査・把握を行い、本開発システムの優位性や有効性の検討を行った。



LapV



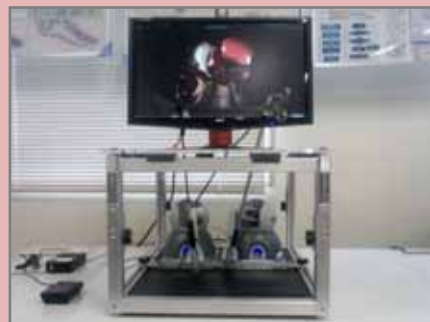
LapMentor

- SIMENDO Laparoscopy simulator (SIMENDO社)
- LapVR surgical simulator (Immersion社)
- LapMentor (Simbionix 社)
- SEP (SimSurgery 社)
- ProMIS (Haptica 社)
- など

低侵襲手術シミュレータの構築



描画の高品質化



シミュレータのプロトタイプ



作業台のプロトタイプ

- 低侵襲手術シミュレータ構築
 - ◆ 描画シミュレーションの高品質化
 - ◆ 干渉および反力シミュレーションの高精度化
 - ◆ 作業台プロトタイプのハード設計・開発
- 「超臨場感」の実現に向けての基礎部分のプロトタイプ開発

1. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	報道発表	展示会	標準化提案
「どこでも高度医療」実現のためのボリュームベース遠隔触覚協働環境構築の研究開発	4	0	17	116	0	1	0

(1) 表彰・受賞

1. MPR国際会議「Modeling of Finger Resonance Vibration for Distinction of Textures in a Single Image」およびAsia Simulation Conference「A Novel Color Independent Components based SIFT Descriptor」でBest Posterを受賞。
2. IEEE ROBIO国際会議「Two-Phased Force and Coordinates Controller for a Pair of 2-DOF Soft Fingers」でBest Paper賞のファイナリスト。
3. 「異仕様計算機で構成された多地点遠隔触覚協働環境における柔軟物変形操作のための同期手法」で日本バーチャルリアリティ学会学術奨励賞を受賞。

2. 研究成果発表会等の開催について

(1) MPR国際会議(京都)を主催 (共催: 北京大学および九州大学)

パターン認識とロボティクスジョイントワークショップMPR(Machine Perception and Robotics) Joint Workshopは、日中コンピュータビジョン&ロボティクス分野の研究活動の展開を図る目的で、2005年より、国際的に顕著な活動を続けている。北京大と立命館大と九州大学が中心となり、年1回開催している。

(2) Asia Simulation Conference 2009 (滋賀)を開催

(共催: 理化学研究所、立命館大学情報理工学部、他)

Asia Simulation Conferenceは、シミュレーション技術を包括的に扱う国際会議としてはアジアで最大規模かつ最も権威のあるものである。2009年の会議が10月7～9日の3日間、立命館大学びわこ・さつキャンパスで開催され、医用シミュレーションなどに関する8件の特別講演と141件の論文発表があった。この会議を本NICTプロジェクトのメンバが正副の実行委員長を務めて開催し、日本、タイ、中国、韓国、フランス、ドイツ、他5カ国の研究者の連携を深めた。

