

「どこでも高度医療」実現のための超臨場感コミュニケーション技術の研究開発 (111707007)
Ultra-Realistic Communication Technology R&D
Towards “Advanced Medical Care Anywhere at Any time”

研究代表者

田中 弘美 立命館大学
 Hiromi T. Tanaka Ritsumeikan University

研究分担者

田中 覚[†] 陳 延偉[†] 島田 伸敬[†] 平井 慎一[†] 野方 誠[†] 李 周浩[†] 来見 良誠^{††} 森川 茂廣^{††} 小森 優^{††}
 田川 和義[†] 長谷川 恭子[†]
 Satoshi Tanaka[†] Yen-Wei Chen[†] Nobutaka Shimada[†] Makoto Nokata[†] Joo-Ho Lee[†]
 Yoshimasa Kurumi^{††} Shigehiro Morikawa^{††} Masaru Komori^{††}
 Kazuyoshi Tagawa[†] kyouko Hasegawa[†]

立命館大学[†] 滋賀医科大学^{††}
 Ritsumeikan University[†] Shiga University of Medical Science^{††}

研究期間 平成 23 年度～平成 25 年度

概要

「どこでも高度医療」実現のための超臨場感コミュニケーション技術基盤を構築するために、1) 生体や臓器等の連続体力学ベース非一様柔軟物シミュレーションを構築する、2) 生体内部をマイクロ体内ロボットやMR画像を用いて獲得した実測データから、臓器の力学特性を自動獲得する非一様柔軟物の力学モデリング法を確立する、3) 複雑な変形や位相変化による非構造格子状ボリュームデータの透視と可視化を確立する、4) 遠隔多地点で実世界の時間的整合性を保証する超臨場感・遠隔触覚協働環境を確立する、5) これらを用いて、遠隔多地点の複数人を同時/平行に“手を添えて”対面指導が可能な、多様な形態の「一対多」遠隔協働型低侵襲手術訓練・プランニング・リハーサルシステムを構築する、技術について研究開発する。

1. まえがき

急速に社会の高齢化が進む一方で、医師不足、医師の偏在が問題となっている。診療はもとより、無医村地区でも病院と同じ高度医療を保てる医療技術と社会医療システムの必要性が認識され、「全国どこに暮らしていても質の高い専門医療が受けられる」医療環境の実現は緊急の課題となっている。そこで本研究開発では、遠隔多地点間で、1)実世界の「触感(ハプティクス)」と立体視覚と「透視」を提供する 超臨場感ハプティックコミュニケーションの基盤技術を開発 し、2)それらの基盤技術に基づいて、遠隔触覚協働(仮想)環境を構築 し、3)実世界の物理に忠実なVR手術シミュレータを用いた、多様な形態の“手を添えて対面指導が可能な”遠隔協働型低侵襲手術訓練・プランニング・リハーサルを実現する、さらに、4)遠隔多地点(>=3)の医療機関の研修医を対象とする遠隔低侵襲手術訓練へ導入し、システムの実用化と普及への途を拓き、外科手術教育の効率化を図ることを目的とする。(図1参照)

2. 研究開発内容及び成果

上記の研究目的を達成するために、Iをメインテーマとし、以下の4つのサブテーマを並行して研究開発した。

- I. 「一対多」遠隔協働型低侵襲手術訓練システム構築
- II. 軟組織ボリュームモデリングと手術シミュレーション
- III. 軟組織ボリュームデータの「透視」とリアルタイム可視化
- IV. 生体内情報に基づく3次元ボリューム生体モデリング
- V. 一般専用回線およびインターネット回線を用いるパラメータ通信型ボリュームベース遠隔触覚協働環境構築の研究開発



図1 研究の概要

以下に、各テーマの研究内容と成果を述べる。

I. 一対多遠隔協働型低侵襲手術訓練システム構築

熟練医が遠隔の複数の研修医に低侵襲手術手技を、一斉配信と複数研修医の同時モニタリングにより、「1対多」「対面指導」を実現する方法と、必要に応じて「一対多」から「一対一」の「面談指導」に切り替える、遠隔多地点協働型低侵襲VR手術訓練仮想環境を構築し、県内3機関(滋賀医科大学、国立滋賀病院、立命館大学)間で評価実験を行った(図2)。その結果、操作に対する反力と提示される映像の応答時間や分解能は訓練用途と

しては支障がないことが確認された。また、通信による応答遅延も、手技訓練としては支障のない範囲であったが、時折提示映像と差異が生じた。



図2 評価実験

II. 軟組織ボリュームモデリングと手術シミュレーション

表面および内部の非一様性に適応的なモデリングおよび異方性をもつ弾性膜のモデリングおよび漿膜の剝離シミュレーションを実現した。多様な解剖構造を表現するために、術野周辺の血管などの管腔構造組織をモジュール化し、交換可能な機能を持たせた。また、GPUを用いたオンラインリメッシュ法の高速化により、CPUに対して100倍以上の速度向上を実現した。

III. 軟組織ボリュームデータの「透視」とリアルタイム可視化

CTやMRIの画像から変形を計算する手法を考案するとともに、マイクロフォースセンサと布地触覚センサを開発した。変形と力の計測結果から力学的な変形特性を推定する手法を確立するとともに、有限要素法による生体組織の変形計算を実現した。

遠隔多地点の計算機群が協働動作する手術シミュレータのために、仮想手術のビジュアル解析に適した遠隔可視化機能を実現した。シミュレータにネットワーク接続された任意の計算サーバに仮想手術中の臓器形状や応力分布のデータを転送し、精密なボリューム/サーフェスレンダリングを行えるようにした。さらに、新開発の確率的ポイントレンダリングにより、従来手法より精密な半透明透視レンダリングを実現した。

IV. 生体内情報に基づく3次元ボリューム生体モデリング

CTやMRIの画像から変形を計算する手法を考案するとともに、マイクロフォースセンサと布地触覚センサを開発した。変形と力の計測結果から力学的な変形特性を推定する手法を確立するとともに、有限要素法による生体組織の変形計算を実現した。また、生体内情報に基づく3次元ボリューム生体モデリングのための生体物理パラメータの計測を行うことを目的に、①生体臓器を加振して生体物理パラメータの計測を計測するための、生体臓器に直接接触して加振力を与える「体内ロボット」を製作した。体内の計測部位まで移動し、姿勢を定め、加振するため腹腔内で目標の方向、距離に移動可能かつ、治療デバイスを格納できる形状を考案し、モデルを製作して磁場印加で動作を検証した。②腹腔内での加振力の発生装置として、複数のコイルを用いて外部から体内ロボットに磁場を印加する、3次元加振力発生システムを開発した。③体内ロボットに搭載できる臓器硬さなどの生体情報計測方法として、ポリフッ化ビニリデン(PVDF)を用いた触覚センサによる硬さ計測機能を体内ロボットに搭載した。

V. 一般専用回線およびインターネット回線を用いるパラメータ交信型ボリュームベース遠隔触覚協働環境構築の研究開発

ネットワークの時間遅延及びパケット損失の問題を解決するために、シミュレーション世界での時間の進み具合を示すシミュレーションタイムを加えた操作パラメータを

各地点が互いに交信し、自地点と他地点のシミュレーションタイム差の比較により各地点の計算機の性能を自動推定し、必要に応じて局所領域の同期処理を実施する手法を採用した遠隔触覚協働環境を構築した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

Iでは、時折生じる提示映像の遅れに対して、原因を究明し改良作業は続ける。IIでは、他の症例や、より多くの異形バリエーションへの展開を図る。開発した軟組織シミュレーション手法を発展させ、非圧縮性および材料非線形性を考慮可能な手法とする。IIIでは、計測装置の小型化を図るとともに、手術のプランニングやリハーサルへ発展させる。実現した遠隔可視化と精密半透明可視化のソフトウェアを、手術シミュレータ本体と合わせて幅広いユーザに提供する。IVでは、臓器に直接接触して計測を行うことができることから、治療診断の低侵襲化を加速することが期待できる。Vでは、シミュレータの完成度を高め、臨床実習に用い、熟練医が効率的に医学生、研修医の指導を行えるようにする。ネットワーク部分も含めて、シミュレータの完成度を高め、臨床実習に用い、熟練医が効率的に医学生、研修医の指導を行えるようにする。以上を改良し1-2年後の実用化を目指す。

4. むすび

遠隔視触覚協働仮想環境技術に基づいて、腹腔鏡VR手術シミュレータをネットワークで結び、遠隔多地点間での手術手技の教示、訓練が可能なシステムを構築した。さらに、3地点以上の多地点での同時教示、協働作業に基づく訓練も可能にした。このシステムを用いて、東近江総合医療センター、滋賀医科大学、立命館大学の間での遠隔シミュレーション実験を行い、その動作を確認した。本成果は、遠隔地間での手術手技訓練システムを比較的低コストで実現できる可能性を示し、外科医不足の解消の一助としての医学生、研修医訓練や地域医療での医師生涯教育に活用できるものと期待される。

【誌上発表リスト】

- [1] Z.Wang, L.Wang, V. A. Ho, S. Morikawa, and S. Hirai, A 3-D Nonhomogeneous FE Model of Human Fingertip Based on MRI Measurements, IEEE Trans.on Instrumentation and Measurement, Vol.61, No.12, pp.3147-3157, Dec., 2012
- [2] S.Tanaka, K.Hasegawa, Y.Shimokubo, T.Kaneko, T. Kawamura, S.Nakata, S.Ojima, N.Sakamoto, H.T.Tanaka, K.Koyamada, "Particle-Based Transparent Rendering of Implicit Surfaces and its Application to Fused Visualization", Proc. EuroVis2012, pp.25-29 (short paper), Vienna (Austria), June, 5-8, 2012.
- [3] 白石確, 野方誠, "体腔移動ロボットに搭載する薬物送達機能" ライフサポート学会誌 Vol.24 No.4 pp178-184 2012/12/30

【申請特許リスト】

- [1] 田川和義, 田中弘美: 「非線形変形計算システム及び手術シミュレータ」, 日本, 2014/2/20
- [2] 田川和義, 田中弘美: 「周辺組織付臓器モデル生成装置及び周辺組織付臓器モデル生成方法」, 日本, 2014/5/2
- [3] 田川和義, 田中弘美: 「遠隔地点間変形シミュレーションシステム及び変形シミュレーション装置」, 日本, 2014/5/23

【受賞リスト】

- [1] A. Sugiyama, K Hasegawa, S. Nakata, S. Tanaka, Asia Simulation Conference 2012, Best Paper Award, "Semi-transparent and Fused Visualization of Tetrahedral Simulation Volume Data" 2012/10/30

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.cv.ci.ritsumei.ac.jp/haptic/>