

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700117

研究課題名(和文) 遠隔協働のための柔軟物の高品質可触化

研究課題名(英文) High quality haptic interaction with a soft body for remote collaboration

研究代表者

黒田 嘉宏 (KURODA, Yoshihiro)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号：30402837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：医療分野では、安全で効率的な訓練環境の実現が急務となっている。本研究では、触知覚的に高品質な遠隔協働環境の実現を目指し、伝送遅延や計算遅延を補償する柔軟物の可触化手法を開発した。まず、柔軟物変形の計算遅延に対して、幾何学的非線形性に基づく変形を逆剛性マトリクスの逐次更新により力覚提示可能とする手法を開発した。結果、従来は困難であった200節点以上の物体に対して実時間処理が可能であることがわかった。また、生体信号処理と機械学習により、実際の運動よりも早く筋活動を取得し、運動推定が可能であることを確認した。本課題により柔軟物操作に伴う計算遅延と伝送遅延を補償する遠隔協働環境の基盤技術が確立された。

研究成果の概要(英文)：In medicine, safe and efficient training environment is required. This study aimed at the establishment of remote collaborative environment with high quality haptic interaction, and achieved the technologies to compensate transfer and computation delays at the situation of haptic interaction with a soft body. Real-time calculation method for geometrically non-linear deformation has been developed. The method allows us to interact with an object which has more than 200 nodes at video rate, 30Hz. The conventional method was difficult to perform large deformation with force feedback. Both biomedical signal processing and machine learning allowed movement estimation in prior to the actual motion with surface EMG signals. This project established the fundamental technologies of remote collaborative environment with a soft body by developing the methods to compensate delays induced by high calculation and data transfer in a soft body manipulation.

研究分野：医療情報学

科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：可触化 計算力学 生体信号処理 機械学習 有限要素法

1. 研究開始当初の背景

医療分野では、医療技術の高度・多様化の一方、動物愛護や医療事故防止の観点から医師の訓練機会が減少しており、訓練環境の充実が急務となっている。一方、遠隔で複数人が協働して訓練する遠隔協働システムでは、伝送遅延が生じるほか、臓器などの柔軟物を対象とすることにより計算負荷が高く、計算遅延が生じるため、力触覚の感覚において違和感が生じることが報告されている。

2. 研究の目的

本研究では、“触知覚的”に高品質な遠隔協働環境の実現を目指し、伝送遅延や計算遅延を補償する柔軟物の可触化手法を確立する。具体的には、生体信号処理によって、実際の運動よりも早く筋活動を取得し、運動推定することにより、伝送遅延を補償する技術を開発する。また、操作の連続性を考慮することにより、大変形において柔軟物に現れるひずみの非線形性を考慮した実時間シミュレーション技術を開発し、計算負荷の大きさによって生じる応答の遅延(計算遅延)を低減する。

3. 研究の方法

(1) 非線形柔軟物力学計算法の開発を行った。

幾何学的非線形性に基づく変形を力覚提示可能としながらも実時間処理するための方法を考案した。具体的には、共回転手法に基づいて変形を大回転と微小変形に分解し、逆剛性マトリクスを回転量の大きい要素に対して優先的に更新する方法を逐次的に実行する逆剛性マトリクス直接回転法を開発した。本手法では、Sherman-Morrison-Woodbury (SMW) 手法により逆剛性マトリクスの直接更新を行うことにより、毎回モデル全体を更新する場合に比べて、少ない計算量で効率的にモデル更新可能な方法を実現した。(図1)

(2) 生体計測システムの構築、および運動推定プログラムの開発を行った。

生体計測としては、4chの表面筋電図(sEMG)を計測し、1kHzでサンプリング可能な有線および無線筋電計測システムを構築し、尺側手根屈筋や総指伸筋など手首の回内・回外の運動を計測し、実時間での信号処理が可能なソフトウェアを開発した。

運動推定としては、sEMG信号に筋の単収縮応答を畳込むことで得られる疑似張力および手首関節角度・角速度を入力とし、微小時間後の手首関節角度を推定する機械学習モデル(多層パーセプトロン)を再帰的に適用することで、50ms後の関節角度を事前推定する運動推定手法を開発した。(図2)

また、本課題を進めるなかで、運動制御の知見と統計に基づくことにより、sEMGの信号立ち上がりロボストに検出するアルゴリズムを開発した。

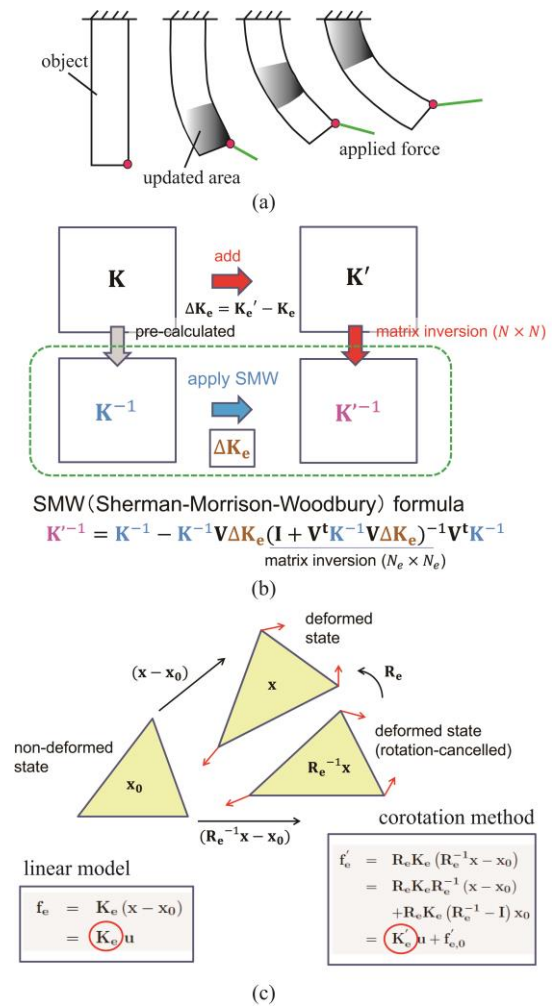


図1：非線形柔軟物力学計算法

(a) 操作の連続性により、回転量の大きい要素から要素剛性マトリクスを逐次更新

(b) 逆剛性マトリクスの直接部分更新による計算の効率化

(c) 変形を大回転と微小変形に分離し、非回転座標系において微小変形理論の適用

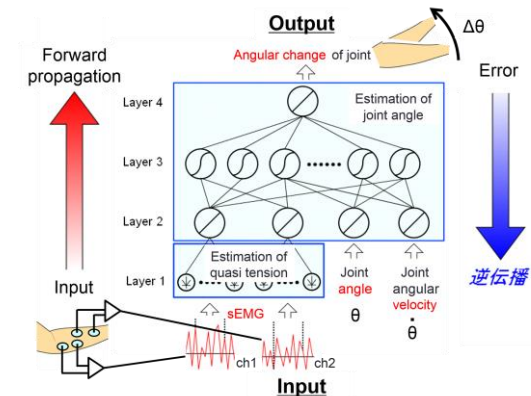


図2：機械学習モデルによる手首関節の事前運動推定モデル

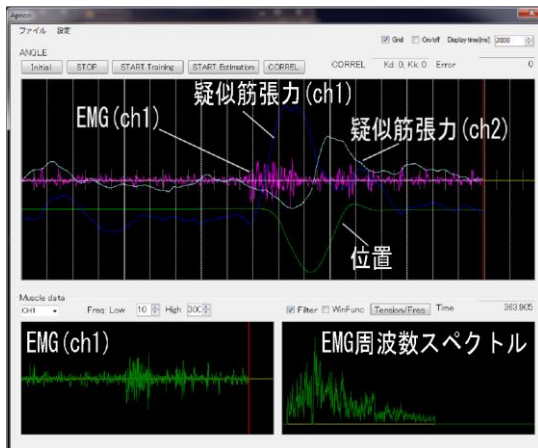


図3：構築した生体計測・処理システム

4. 研究成果

(1) 大変形物体の実時間反力計算を実現。実験の結果、200 節点以上の物体に対して、従来の全体更新では 30Hz 以上の更新が困難であったのに対して、提案手法では可能となることがわかった。図4は様々な質点数の柔軟物体における要素更新数と計算時間を示す。1回あたりの更新要素数を抑えることにより、大変形においても少ない計算時間で変形計算が可能である。また、図5は、シミュレーションの様子を表す。提案手法を適用時には、右下図のように大変形時の不自然な体積膨張が生じないことが分かる。

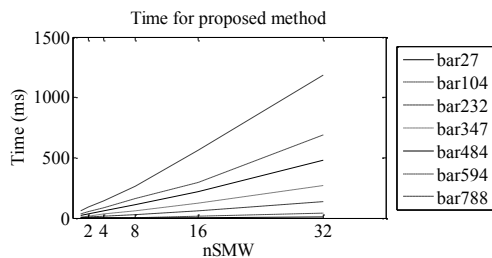


図4：提案手法において1ステップあたりに要する計算時間を表す。各プロットは、ある質点数をもつ柔軟物モデルの結果を示す。横軸は、一度に更新する要素数。

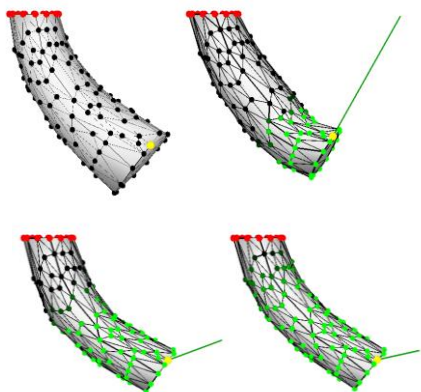


図5：要素剛性マトリクスの逐次更新による、変形の違い。左上図は、線形モデルにより不

自然な体積増加（膨張）がみられる。提案手法では、自然な変形が得られた（右下図）。

(2) sEMG を用いた運動事前推定を実現。提案する立ち上がり検出法に基づく sEMG の信号処理結果を図6に示す。上部の筋活動の信号の部分で運動が検出できていることが分かる。次に、構築したシステムを用いて計測を行った結果、実際の運動に先行して筋活動に基づく運動推定結果が得られることが確認された。最後に、遠隔地を想定した遅延環境における運動推定に基づく力覚提示システムを使用している様子を示す。

以上により、伝送遅延や計算遅延の補償技術を実現し、高品質な柔軟物遠隔可触化環境を実現するための基盤技術を確立した。

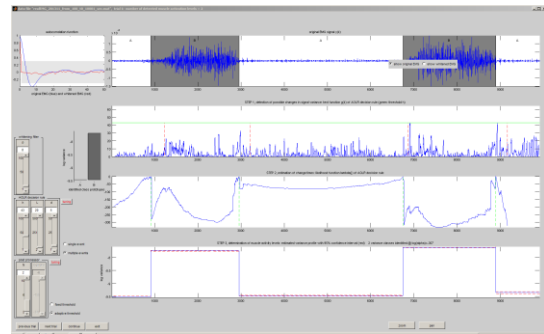
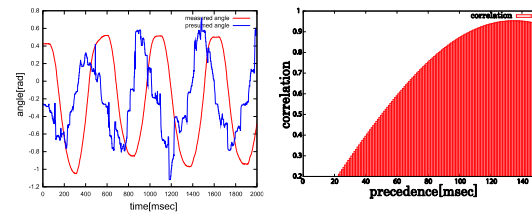


図6：立ち上がり検出法にもとづく sEMG 処理の結果



(a) (b)

図7：運動の事前推定の結果。

(a) 計測位置よりも一定時間前に運動が推定されていることが分かる。

(b) 時間差の相互相関結果



図8：遅延環境における運動推定に基づく力覚提示システムの様子

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

黒田 嘉宏, 浦西 友樹, 井村 誠孝, 大城 理; 力覚提示指向の大変形有限要素法シミュレーション: 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.18, No.4, pp. 497 - 506, 2013.

K. Yoshida, H. Kinoshita, Y. Kuroda, O. Oshiro, T. Matsuda: Analysis of laparoscopic dissection skill by instrument tip force measurement. Surg Endosc, Vol.27, No.6, pp.2193-2200, 2013.

黒田 嘉宏, 森口 裕樹, 滝内 秀和, 井村 誠孝, 山本 新吾, 大城 理: 加速度センサによる斜視内視鏡の回転量推定. VR 医学, Vol.10, No.1, pp.1-10, 2012.

[学会発表] (計 9 件)

Y. Kuroda, Y. Uranishi, M. Imura, O. Oshiro, H. Takemura; Large Deformation with Haptic Interaction by Stepwise Rotation Update of Finite Element Model: Proceedings of Computer Assisted Radiology and Surgery 2014, June 26, Fukuoka/JAPAN, 2014. (To appear)

Y. Kuroda, I. Nisky, M. Imura, Y. Uranishi, A. M. Okamura, O. Oshiro: Novel Algorithm for Real-Time Onset Detection of Surface Electromyography in Step-Tracking Wrist Movements. 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2013), pp.2056-2059, July 3-7, Osaka/Japan, 2013.

Y. Kuroda, Y. Shigeta, M. Imura, Y. Uranishi, O. Oshiro; Haptic Glove Using Compression - induced Friction Torque: ASME Dynamic Systems and Control Conference, DSCC2013 - 3866, Oct 22, Palo Alto/USA, 2013.

C. Sichtung, Y. Kuroda, K. Kiyokawa, H. Takemura, Adaptive Method for Robust Onset Detection in Surface-Electromyography Signals, 生体医用画像研究会 第1回若手発表会, pp.15, 吹田 (2014/03/15).

黒田 嘉宏, 浦西 友樹, 井村 誠孝, 大城 理; 大変形有限要素法における反力提示: 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, 18 - HDC11, pp.13 - 16, さいたま (2013 / 11 / 08).

黒田 嘉宏, 浦西 友樹, 井村 誠孝, 大城 理; 力覚提示指向の大変形有限要素法: 日本バーチャルリアリティ学会大会, pp.679 - 682, 大阪, (2013 / 09 / 20).

黒田 嘉宏: AR 手術ナビゲーションとハプティクス技術の融合と展開: 第13回日本VR医学会学術大会, 寝屋川 (2013 / 08 / 31). (招待講演)

Y. Kuroda, T. Tanaka, M. Imura, O. Oshiro: Prior Estimation of Motion Using Recursive Perceptron with sEMG: A Case of Wrist Angle. 34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2012), pp. 5270-5273, Aug 28-Sep 1, San Diego/USA, 2012.

黒田 嘉宏, I. Nisky, 田中 岳, 浦西友樹, 井村誠孝, A. M. Okamura, 大城 理: 表面筋電図を用いた運動予測に基づく力覚提示に関する研究. 第9回日本バーチャルリアリティ学会力触覚の提示と計算研究会, pp. 11-14, 大阪 (2012/11/15) .

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ime.cmc.osaka-u.ac.jp/~ykuroda/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒田 嘉宏 (KURODA, Yoshihiro)
大阪大学・サイバーメディアセンター・
准教授
研究者番号 : 30402837