

異性能計算機で構成された遠隔触覚協働環境のための 柔軟物体の変形同期手法の検討

備藤 達郎†

田川 和義††

田中 弘美†††

†立命館大学情報理工学部

††立命館大学グローバル・イノベーション研究機構

†††立命館大学大学院理工学研究科

1 はじめに

近年、コンピュータの高性能化やネットワークの高速化、触覚デバイスの実用化により遠隔地点間で触覚を共有するハプティックコミュニケーションに関する研究が進められている [1]。さらに最近では、遠隔地にいる複数ユーザーが触覚を伴った協働作業を行う遠隔触覚協働環境の研究が盛んに行われている。我々は遠隔多地点間で複数ユーザーが仮想柔軟物体との力覚インタラクションを行う、遠隔触覚協働環境の構築を行っている。従来手法 [2] では、1) 各地点で同一の対象柔軟物の変形モデルを持ち、2) 各地点での操作パラメータのみを交信し、3) 各地点で同一のシミュレーションを行うことで、変形および触覚の同時性の共有を行っていた。しかし、各地点の計算機の性能が互いに異なる場合、各地点間の変形計算の時間刻みが不一致となり、結果として同一の変形の結果を得ることができない問題点があった。そこで本稿では、各地点での柔軟物体の変形同期を低通信コストで実現する手法を検討する。

対象の変形挙動と反力を高品質に高速に生成し、その結果を操作者にハプティックレートで視触覚呈示する。触覚呈示及び対象柔軟物体へのインタラクションはハプティックデバイス PHANTOM[4] を用いて、ペン型インタフェースを操作して仮想空間内の物体の任意の点を引っ張る/押し込むことができ、各地点で互いに力覚を感じることができる。

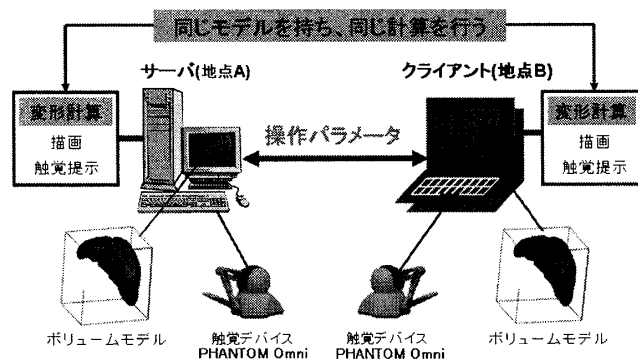


図 1: システム概要

2 従来手法

従来のシステムは図 1 に示すように、P2P ネットワークにより遠隔地点間を結び、各地点で同一の変形を伴う柔軟なボリュームモデルを持ち、操作パラメータを送受信することで触覚通信を実現し、これらのパラメータに応じて対象モデルの変形シミュレーションを行う。対象柔軟物体を、内部構造の静的な複雑さに応じた適応的四面体ボリュームモデルとして表現し、各地点では、他地点から受信した時刻スタンプに基づいて、同時刻の操作パラメータを組み合わせて入力とし、変形の複雑さに応じて格子構造を動的に修正するオンライン・リメッシュ型の物理ベース軟組織シミュレーション [3] により

3 提案手法

第 1 章で述べたように、従来手法では各地点で異なる性能を持ったコンピュータを使用する環境では、同一の変形結果を得ることはできなかった。この問題を解決するために、操作パラメータに加えて、その操作によって大きく変形した箇所の変形情報を交信し、その情報を基に各地点の柔軟物体の変形同期を取る手法を提案する。我々の手法では、対象柔軟物を四面体要素で構成し、変形の大きさに応じてこの四面体をオンラインで再帰的に二分分割する手法を採用している。これらの四面体は二分木階層構造として表現することができ、図 2 に示すように、変形が生じるとその箇所の四面体が分割され、木に新しくノードが追加される。提案手法では、分割が生じて生成された木のリーフノードの四面体の 4 頂点の座標を互いが交信し、対象柔軟物体へのインタラクションで変形が起こった箇所を共有することで、各地点での変形のズレを解消し、各地点での変形の同期を行う。

A Study of Synchronization Method for Adaptive Deformation Mesh Model in Haptic Collaborative Virtual Environment with Different Performance Computers

†Tatsuro Bito ††Kazuyoshi Tagawa †††Hiromi Tanaka

†College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

††Ritsumeikan Global Innovation Research Organization, Ritsumeikan University

†††Graduate School of Science and Technology, Ritsumeikan University

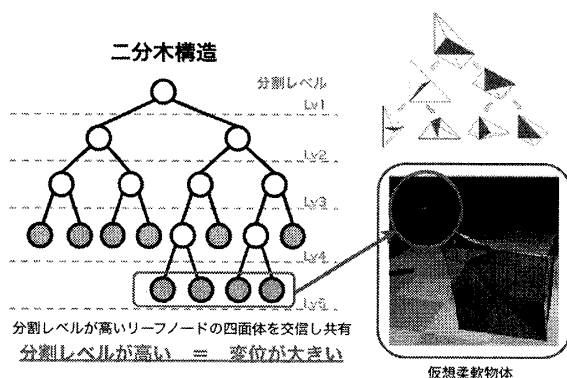


図 2: 提案手法

4 提案手法の評価実験

提案手法の有効性を検証するために、従来手法と提案手法の各地点での柔軟物体の変位を比較する評価実験を行った。実験環境は性能が異なる 2 台のコンピュータ (Server, Client) で実験を行い (表 1), 対象となる柔軟物体のモデルは 1 辺が 128mm の立方体モデルを用いて、「2 人のユーザが柔軟物体を引っ張り合う」タスクを想定し, Server では立方体の左側面中央, Client では立方体の右側面中央を把持し, 立方体の X 軸方向に対して互いに異なる周波数の正弦波状 (振幅:45mm) の強制変位を与えた場合の, 四面体要素の頂点座標の 3 次元座標の 2 乗和平方根 [mm] を計測した。

表 1: 実験環境

	CPU	OS	Memory
Server	Intel(R) Xeon E5450 3.00GHz	CentOS 5.3	16GB
Client	Intel(R) Pentium D 3.20GHz	CentOS 5.3	2GB

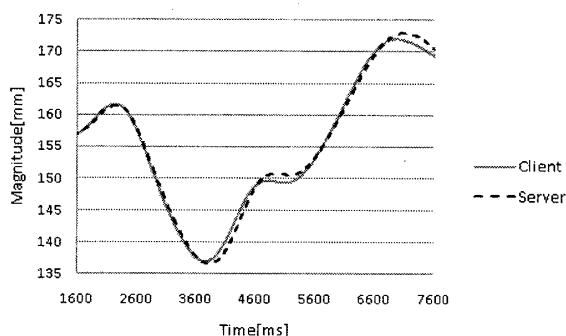


図 3: 従来手法の実験結果

図 3 と図 4 はそれぞれ、従来手法と提案手法の実験結果を示しており、図の二つの曲線は Server と Client 各立方体モデルの上面中央の四面体要素の頂点の 3 次元座標の変位を計測した結果を示している。図 3 と図 4 を比較すると、従来手法 (図 3) では各地点で変形のズレ

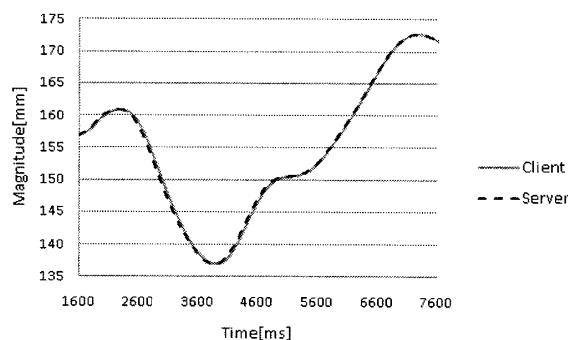


図 4: 提案手法の実験結果

が生じていたが、提案手法 (図 4) では各地点での変形のズレが解消され、各地点での変形を一致させることができた。

5 まとめ

本稿では、遠隔触覚協働環境における異なる性能を持ったコンピュータを使用する環境では各地点で同一の変形結果を得ることはできないという問題を解決するために、送信する情報を操作パラメータだけでなく、その操作によって変形が生じた箇所の情報を送信し各地点での柔軟物体の変形同期を低通信コストで実現する手法について検討を行った。今後の課題として、遠隔触覚協働環境における課題である通信遅延やパケットロスへの対応等があげられる。

参考文献

- [1] I.Goncharenko, M.Svinin, S.Matsumoto, Y.Masui, Y.kanou, and S.Hosoe: Cooperative Control with Haptic Visualization in Shared Virtual Environment. Proc. IEEE 8th International Conference Information Visualisation, pp.533-538 (2004).
- [2] Takahide Tanaka, Satoshi Yamaguchi, Lee Jooho, Nobutaka Shimada, and Hiromi T. Tanaka: Toward Volume-Based Haptic Collaborative Virtual Environment with Realistic Sensation. Proc. 2nd International Symposium on Universal Communication(ISUC2008), pp.268-273 (2008).
- [3] 高間康文, 辻野圭則, 堀洋介, 田中弘美: 柔軟物体の適応的四面体ボリュームメッシュのオンラインリメッシュ法. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.13, No.1, pp.69-78 (2008).
- [4] PHANTOMTM, SensAble Technologies, Inc., <http://www.sensable.com>