

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21680012

研究課題名（和文） 力触知覚の特性に基づいた階層的なシミュレーションによる質感と接触状態の提示

研究課題名（英文） Presentation of material feeling and presentation of contact states by hierarchical simulation based on characteristics of haptic perception

研究代表者

長谷川 晶一（HASEGAWA SHOITI）

東京工業大学・精密工学研究所・准教授

研究者番号：10323833

研究成果の概要（和文）：

人の力触知覚の特性に合わせた階層的なシミュレーション手法の研究を進めると共に、振動提示を統合し、物体形状・動特性と共に、質感と接触状態を提示する力触覚 VR 環境を構築することを目指した。接触位置に応じた振動生成により、材質パラメータ(ヤング率・減衰定数)に応じた振動の提示を実現した。また、動力学特性を正確に提示する階層的なシミュレーション、6自由度力覚ポインタを用いた階層的なシミュレーションを実現した。振動による質感提示とシミュレーションの統合と接触状態の提示は今後の課題として残った。

研究成果の概要（英文）：

Researching hierarchical simulation method which corresponds to human force and tactile perception and integrating vibration presentation, this research aim to create haptic virtual environment which present feel of material and contact state with object shape and dynamics. Simulating vibration corresponds to the contact position, vibration presentation regarding material parameters (Young's modulus, damping coefficient) and contact position is achieved. In addition, hierarchical simulation with exact dynamics computation or 6 DOF haptic pointers are achieved. Integration of presentation of material feel into hierarchical simulation and presentation of contact state remain as future works.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2010年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2011年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2012年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
年度			0
総計	17,500,000	5,250,000	22,750,000

研究分野：総合領域

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：バーチャルリアリティ、力触覚

1. 研究開始当初の背景

力触覚は視覚と比すればまだまだ手付かずの領域が多い。例えば、物体を叩いたときに

生じる固有振動から材質を知覚することや、滑りによる振動からテクスチャや運動を知覚することが知られているが、その機序は解

明されていない。このため、振動による質感提示は記録・再生に基づくものがほとんどであり、シミュレーションにより振動波形を求める振動触覚レンダリングを行うものは少ない。指-物体間の摩擦振動の提示、物体運動に基づいた音響の生成、固定物体の固有振動の力覚提示は提案されているが、力触覚 VR 環境に必要な、物体運動に基づく振動の発生と伝達のレンダリングを行うものはない。力覚による物体の形状と動特性の提示が、VR 環境での操作感や作業効率を向上することが知られている。これに、振動による質感と接触状態の提示を付加した力触覚 VR 環境は、物体の質感を対象とする CAD や手術などの高度な力触覚が必要な作業のシミュレーションへの応用が期待される。

2. 研究の目的

力覚インタフェースによる物体形状と物体の動特性の提示には、操作に対する応答が速いシミュレーション(~1kHz)が必要であり、更新頻度の低いグラフィクス用のシミュレータをそのまま利用することはできない。提案者は、小規模な VR 世界のための更新の高速なシミュレータと、VR 世界全体と力覚ポインタ近傍で処理を分けて近傍領域のみを高速に更新する階層的な手法を提案してきた。

本研究では、人の力触覚の特性に合わせた階層的なシミュレーション手法の研究を進めると共に、振動提示を統合し、物体形状・動特性と共に、質感と接触状態を提示する力触覚 VR 環境を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、階層的なシミュレーション手法に、振動の生成と伝播の計算と提示を統合し、物体形状・動特性と共に、質感と接触状態を提示する力触覚 VR 環境を構築した。

実験では力覚と振動の提示には力覚インタフェース SPIDAR を用いた。振動は提示力を変化させて提示した。VR 世界全体をシミュレーションする低速更新のシミュレータとしては、速度で記述された拘束条件を LCP ソルバで解き拘束力を求める物理エンジン Springhead を用いた。

また振動波形のどのような成分が質感に影響をあたえるのかを調べるために、実物体を敲いた際の振動波形を記録、分析、加工し、質感提示に必要な成分の解明を目指した。

振動波形は、試料を固定して敲き、レーザー変位計を用いて変位を計測した。振動の提示はボイスコイルと SPIDAR を用いて行った。提示力は変位に比例させた。

4. 研究成果

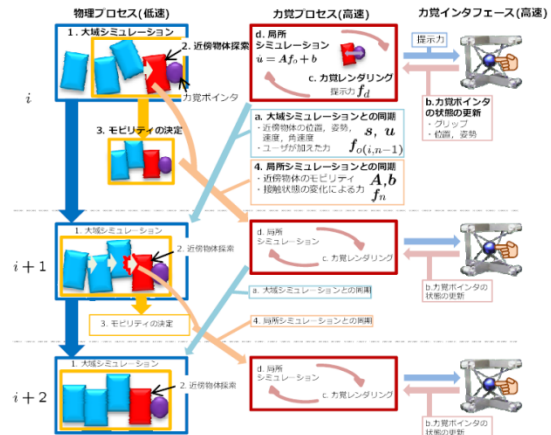


図1 提案した局所シミュレーション

力触覚提示インタフェースで安定な形状提示と振動提示を行うためには、物体位置・形状の提示を 1kHz 程度、波形の提示を 2kHz 程度以上で行わなければならない。階層的なシミュレーションでは、VR 世界全体を 20Hz ~50Hz 程度の低速更新とし、力覚ポインタ周辺のみを 1kHz 程度の高速更新でシミュレーションし、操作対象物体のモビリティを低速更新側で求めておき、これを高速更新側で用いることで、VR 世界全体の影響を考慮した局所シミュレーションを行う手法を提案した(図1)。

これにより、物体の運動と動力学特性の正確な提示を実現した(雑誌論文②)。また、階層的なシミュレーション手法において、形状を持つ力覚ポインタを用い、トルクを含む6自由度の力覚提示を行う手法を提案した(雑誌論文①)。

また、振動については、力覚インタフェースを用いた心理物理実験により、硬さ知覚への振動と提示力計算のパネ係数の両方が寄与し(図2)、速度が小さく侵入量が小さい場合には振動の寄与が大きくなる可能性が示唆された(図3)(学会発表⑤)。

実物体を敲いた際の振動の計測では、周波数成分に着目した。実物体を敲いた際の振動をレーザー変位計で計測し、周波数フィルタを施したあとボイスコイルによって指先に振動を提示した。その結果、ピーク周波数以外の周波数帯のみを提示した際にも何らかの振動を感じることができたが、ピーク周波数のみと、ピーク以外を含めた振動の比較では材質感の違いを見つけることができなかった。一方材質により接触直後の変位量と振動の振幅の比が異なることが分かった。そこで、力覚インタフェース SPIDAR を用いて、撃力と振動の比を変えて提示したところ、材質感に影響があった。今後条件を統制した実験を行う。

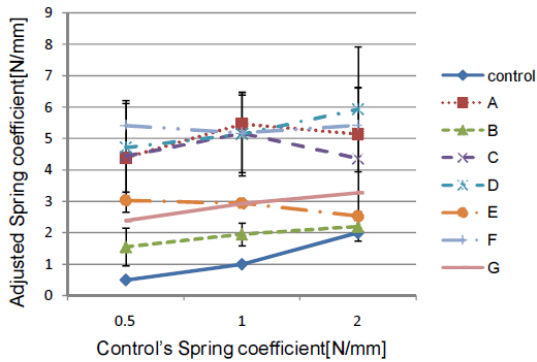


図2 調整法により、振動無しのパネ係数を振動有りと同じ硬さに調整させた。振動は300Hzとした。

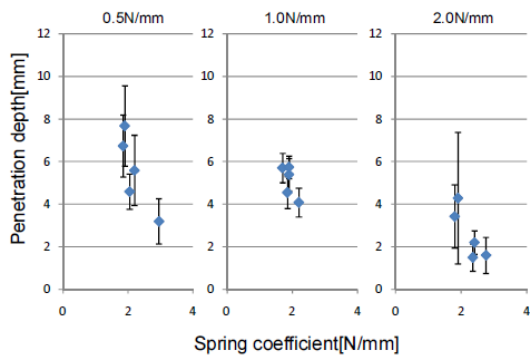


図3 被験者Bの侵入量と調整値の関係。侵入量が小さい時ほど硬く調整している。振動はアルミニウム片を参考に設定した300Hzの減衰振動。

さらに、物体を敲いた際に生じる振動を有限要素法とモード解析によりシミュレーションし、打撃位置に応じた振動をリアルタイムに計算し提示する手法を提案した(学会発表①)。振動のシミュレーションに用いる高いステイフネスを力覚レンダリングにも用いと不安定になること、提示面に振動による変位を加えて力覚レンダリングを行うと振動の振幅は小さいため、提示力としては閾値以下になってしまうことなどの問題を発見した。これらを解決するレンダリング手法として、振動による力は形状の力覚レンダリングとは別に計算し、力を加算して提示する手法を考案した(図4)。モード解析を行い、1kHzの提示力更新で提示可能な300Hz程度までのモードをシミュレーションした。接触時のポイントの速度に応じた撃力が接触位置に加わったと考え、撃力を3頂点に分配しこれを各モードについての撃力に変換して加えることで、接触位置に応じた振動をリアルタイムに計算する(図5)。これにより材質(ヤング率・レイリー減衰定数)と打撃位置に応じた振動提示を実現できた。

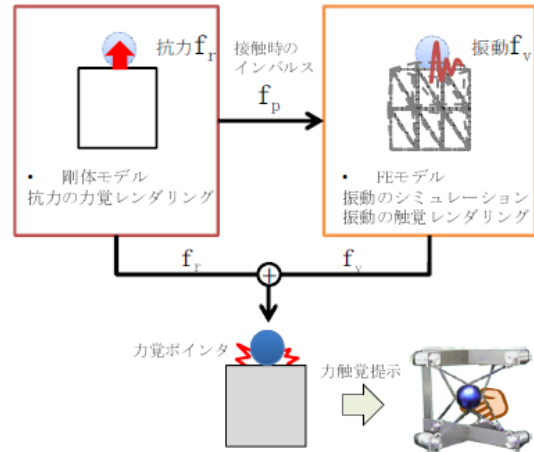


図1 振動力触覚提示のシステム構成

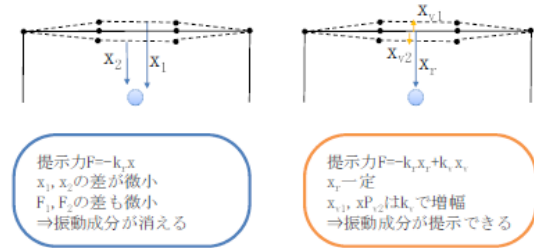


図4 形状と振動の力覚レンダリング

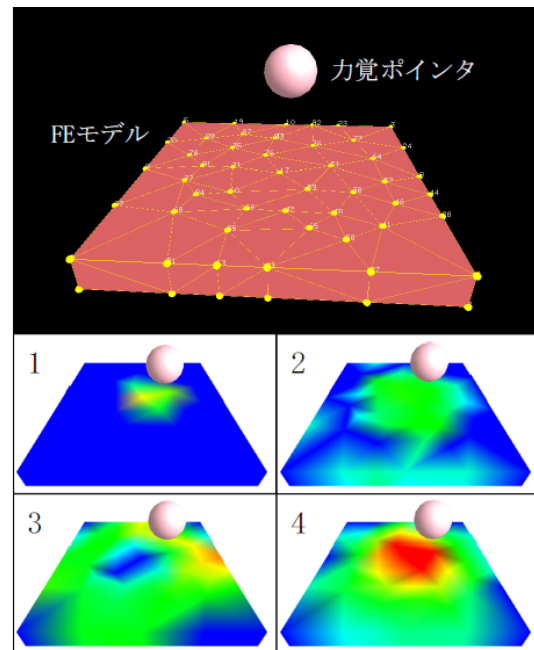


図5 有限要素法とモード解析に基づく接触時の振動のリアルタイム計算、色は歪を表す。

当初は、接触により発生する振動が物体を伝播し、力覚ポインタに伝わる過程をシミュレーションし、ポインタが接触する物体と他の物体の接触状態を表現することを目指していたが、振動の伝播のシミュレーションと提示は今後の課題となった。また、今後、摩擦に起因する振動の再現によるテクスチャ

の再現も行い、振動による質感提示を含む力覚 VR 環境の実現を進めたい。

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)

- ① 須佐 育弥、長谷川 晶一、6 自由度力覚レンダリングのための中間表現、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、査読有、Vol. 17、No. 1、2012、pp. 45-57
<http://haselab.net/intra/paperDB/uploads/pdf-xtf717sb.pdf>
- ② 須佐 育弥、大内 政義、岩下克、佐藤 誠、長谷川 晶一、局所的な高速物理シミュレーションによる高解像度力覚提示の実現、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、査読有、Vol. 14、No. 4、2009、pp. 463-471
<http://haselab.net/files/paperDB/uploads/pdf-elq6owl2.pdf>
- ③ 青木 孝文、三武 裕玄、長谷川 晶一、佐藤 誠、ワイヤによる皮膚感覚刺激を用いた指先装着型接触感提示デバイス、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、査読有、Vol. 14、No. 3、2009、pp. 421-428
<http://haselab.net/files/paperDB/uploads/pdf-nxhpd266.pdf>

[学会発表] (計 6 件)

- ① 須佐 育弥、三武 裕玄、長谷川 晶一、佐藤 誠、有限要素法による振動シミュレーションに基づいた力触覚レンダリング、信学技報、Vol. 112、No. 483、2013. 3. 13-14、沖縄
- ② Ikumi Susa、Makoto Sato、Shoichi Hasegawa、Multi-Rate Multi-Range Dynamic Simulation for Haptic Interaction、Proc. of the World Haptics Conference 2011、2011. 6. 21-24、Istanbul (Turkey)
- ③ Shogo Matsunaga、Shoichi Hasegawa、A method for global elastic-plastic deformation for haptic interaction、JVRC09-Joint Virtual Reality Conference of EGVE-ICAT-EuroVR Demonstration Program、2009. 12. 7-9、Lyon (France)
- ④ Ikumi Susa、Yuto Ikeda、Shoichi Hasegawa、Perception-based High Definition Haptic Rendering、JVRC09-Joint Virtual Reality Conference of EGVE-ICAT-EuroVR Demonstration Program、2009. 12. 7-9、Lyon (France)
- ⑤ Yuto Ikeda、Shoichi Hasegawa、Short

Paper: Characteristics of Perception of Stiffness by Varied Tapping Velocity and Penetration in Using Event-Based Haptic、Joint Virtual Reality Conference EGVE-ICAT-EURO VR、2009. 12、Lyon (France)

- ⑥ Takafumi Aoki、Hironori Mitake、Danial Keoki、Shoichi Hasegawa、Makoto Sato、Wearable Haptic Device to Present Contact Sensation Based on Cutaneous Sensation Using Thin Wires、5th Advances in Computer Entertainment Technology Conference、2009. 10. 29-31、Athens (Greece)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷川 晶一 (HASEGAWA SHOITI)
東京工業大学・精密工学研究所・准教授
研究者番号：10323833

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし