

提示力への振動付加による バーチャル物体操作システムのリアリティ向上とその評価

A construction and a evaluation of realistic virtual object operation system
by adding vibration to feedback force.

池田有冬¹⁾, 長谷川晶一¹⁾

Yuto Ikeda and Shoichi Hasegawa

1) 電気通信大学大学院 知能機械工学専攻

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, { ikeda, hase } @hi.mce.uec.ac.jp)

Abstract : We propose a method that displays force adding vibration to normal force by haptic interface. This method can present stiff object and friction vibration. In real world, objects vibrate when they tapped. And, during slip between finger and object, vibration occurs. By reproducing these components in a system for virtual object operation, it can present stiff object and stick-slip friction. We develop such a system, and evaluate its operability.

Key Words: *haptic, stiffness, friction, vibration, interaction.*

1. 背景

力を感じながらバーチャル物体の操作を行う, 力覚インタラクションはこれまで多くの研究がなされてきた. 力覚インタラクションは力を感じることで, 触っている物体の硬さや摩擦などを感じることができるため操作性が良いという利点がある. 従来之力覚インタラクションでは, 硬い物体の提示が難しく, 実世界の物体と比べると柔らかい物体しか提示出来ていなかったり, 摩擦の表現は出来ているが, すべり感の提示は考えられていなかったりした.

そこで本研究は, 高剛性, 摩擦, すべりを提示することができる力覚インタラクション環境を構築し, バーチャル物体の把持操作を容易にすることを目的としている.

2. 提案システム

本研究で提案するシステムでは, 物体の固有振動を再現することで高剛性の物体を提示し, Stick-Slip 現象を再現することでリアルなすべりを提示する.

2.1 物体の固有振動再現

2.1.1 提案手法

指が物体に触れた時に起こる物体の固有振動を再現することによって高い剛性が表現できることが知られている [1]. 本研究では固有振動を再現した振動を抗力に付加し, 提示する. これにより物体の固有振動を再現し, 高い剛性の表現をする.

固有振動を再現する振動は式 (1) としてモデル化する. 接触から t だけ時間が経過したとき, 振動による提示力の変

化 $Q(t)$ を, 振幅係数を A_q , 衝突速度を $v(t)$, 減衰係数を B_q , 固有振動の角速度を ω_q とし,

$$Q(t) = A_q v e^{-B_q t} \sin(\omega_q t) \quad (1)$$

とする. A, B, ω の値は物体毎に定めるパラメータであり, それぞれの値を変化させることによって異なった固有振動を提示する [2].

物体に触れ, 力覚インターフェースのグリップに物体からの抗力が働いたとき, 式 (1) で求めた振動を抗力に付加する. 振動と抗力の合力をユーザに提示することで物体の弾性と物体に触れたときに起きる固有振動を同時に提示することができる.

2.1.2 評価

被験者にはバネ係数をある値に固定し, 振動を付加したものを標準刺激, 振動を提示していないときのバネ係数を比較刺激として提示した. 被験者にはバーチャル空間の床をタッピングすることで, 標準刺激, 比較刺激の硬さを知覚させ, 比較刺激のバネ係数を調節し, 標準刺激で感じた硬さと同じ硬さにするように指示した.

標準刺激バネ係数を $0.5N/mm, 1N/mm, 2N/mm$ の 3 つとし, それぞれに振動 A, B を付加させた. このとき振動 A, 振動 B はそれぞれアルミ, 木を想定したパラメータに設定した (表 1).

その結果, 被験者すべてが標準刺激のバネ係数よりも高い値に調節した (図.1). これより振動を提示することで振動を提示しない時よりも硬く知覚することがわかる. また被験者によっては振動提示による硬さ知覚にそれほど大き

表 1: 提示した振動のパラメータ

	振幅係数 A	減衰係数 B	角速度 ω
振動 A(アルミ)	-110	100	300
振動 B(木)	-45	60	100

な変化を見せなかったものもあり、この知覚には個人差があると考えられる。

また実験時の侵入量、接触時のポイントの速度と被験者が調節したバネ係数の関係を図.2 にプロットした。侵入量が多く、接触時のポイントの速度が速いとバネ係数を低く調節する傾向があることがわかった。侵入量が多くなるとバネ係数による弾性をメインの手掛かりとしていると考えられる。

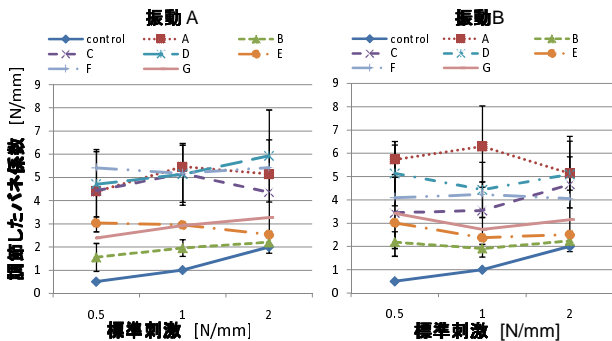


図 1: 硬さ表現の評価実験結果

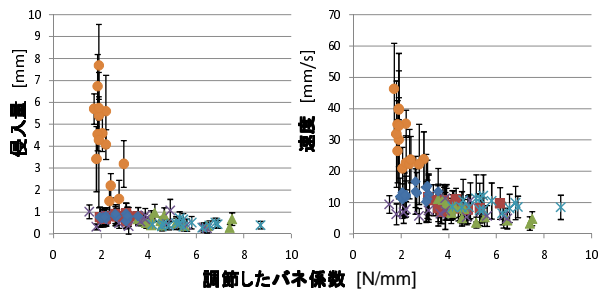


図 2: 叩き方と硬さ知覚との関係

2.2 摩擦振動の再現

2.2.1 提案手法

実世界において、指で物体をなぞるとき Stick-Slip 現象が起きる [3]。この現象は個体同士がすべりあうときに、固着 (Stick) とすべり (Slip) の 2 状態間で遷移を繰り返すことによって発生する。

従来の摩擦表現である proxy 法ではこの Stick-Slip 現象は考えられていない。そのためリアルな摩擦感、すべり感を感じることができない。そこで指をモデル化することにより Stick-Slip 現象が発生する摩擦感提示を行う。

手と指はバネとダンパが並列につながった剛体だとして考えられる。これを力覚インタフェースを用いた力覚インタラクションで考えると、インタフェースのグリップを握る

と手とグリップが拘束されるのでひとつの「手」と考えられる。そこでバーチャル世界でのポイントを指と考え、グリップとポイントとの間でバネとダンパが並列につながったモデルと考える。これにより、力覚インタラクション環境下において、Stick-Slip 現象をモデル化することができる。

2.2.2 評価

バーチャル世界において proxy 法、提案手法で床を触り比べ、操作者への提示力をプロットした (図.3)。proxy 法では静止摩擦から動摩擦への切り替わりが見えるが、動摩擦において一定の力しか働いていないためすべりの提示が出来ていないことがわかる。提案手法においては静止摩擦から動摩擦へ切り替わった時に振動が提示されている。これにより Stick-Slip 現象が再現出来ていることがわかる。

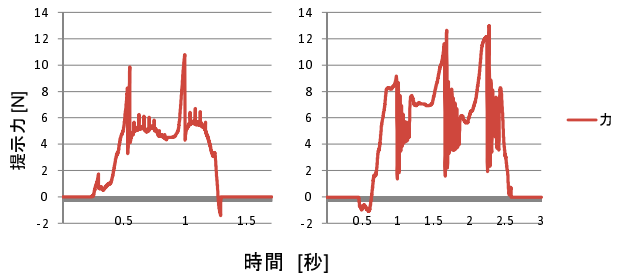


図 3: 摩擦表現の結果 (提案手法)

3. 結論

振動を付加した抗力による高剛性物体の表現と Stick-Slip 現象のモデル化によるすべり感の提示を行う、3 次元物体操作システムの構築を行った。また抗力に対して振動を付加したときの硬さ知覚の評価実験において、実験中のバーチャル床への侵入量、接触時のポイントの速度と調節したバネ係数との関係を示した。侵入量が多く、接触時のポイントの速度が速いとバネ係数を低く調節することがわかり、バネ係数による弾性をメインの手掛かりとしていると考えられる。

今後、従来手法と提案手法とで物体操作タスクによる比較実験を行う。

参考文献

- [1] P. Wellman and R. D. Howe. "Towards Realistic Display in Virtual Environments.", Proc. of the ASME Dynamic Systems and Control Division, vol. 57, pp 713-718, 1995.
- [2] A.M. Okamura, M.R. Cutkosky, and J.T. Dennerlein, "RealityBased Models for Vibration Feedback in Virtual Environments, ", IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 6, No. 3, pp. 245-252, 2001.
- [3] 山田浩史, 昆陽雅司, 岡本正吾, 田所諭, "Stick-Slip 現象に基づく振動刺激を用いた摩擦感呈示法", Proceedings of the 2008 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2008.