

指先による仮想能動触を利用した触力覚インタラクション技術に関する研究開発 (082102006)

Haptic Interaction Using Virtual Active Touch with a Fingertip

研究代表者

昆陽 雅司 東北大学

Masashi Konyo Tohoku University

研究期間 平成 20 年度～平成 22 年度

概要

触覚インタフェース Vib-Touch はポインティングデバイスを操作する指先に振動刺激を加えることで、画面中のオブジェクトと触力覚インタラクション可能な仮想能動触を実現する。特に、従来解明されていなかった皮膚刺激が誘発する力覚の錯覚(疑似力覚)を利用することによって、単なる手触りではない実用的な触覚メディアを実現した。また、Vib-Touch インタフェースを手軽に利用するための触力覚提示法の体系化を行った。

Abstract

Vib-Touch is a tactile interface that realizes virtual haptic interaction with objects in a monitor by applying vibrotactile stimuli on a fingertip operating a pointing-stick. Especially, we intended to create a practical tactile media that represent not only tactile texture feelings but also an illusionary force-like feeling (pseudo-haptics) induced by cutaneous stimuli, which are not clarified in the conventional studies. We also systematize the vibration-based haptic representing methods to use the Vib-Touch interface easily for everyone.

1. まえがき

本研究では、触覚メディアの普及のブレークスルーとなる基盤技術として、大規模なデバイスを必要としない仮想能動触を利用した皮膚感覚インタフェースと、皮膚感覚刺激によって疑似力覚を提示する技術確立し、従来の普及可能なハードウェアと有用なコンテンツの不足の問題を解決するための基盤技術を提案する。これらの技術は、触知覚の能動性に着目したポインティングスティック型インタフェースと、触運動に伴うヒト指腹部の変形を詳細に解析することによって実現される。

具体的には、研究開発目標である、1) 携帯可能なユビキタス触覚インタフェース Vib-Touch の開発、2) 仮想能動触を実現するための基盤技術の開発、3) 皮膚感覚提示による力覚代行感覚の提示、4) 触覚コンテンツの実装、5) 皮膚感覚提示によるインタラクション技術の開発、6) Vib-Touch インタフェースのための触力覚提示法の体系化・データベース化、について研究開発を実施した。

2. 研究内容及び成果

2. 1 触覚インタフェース Vib-Touch の開発

本研究は、触力覚情報を携帯情報端末上で手軽に利用するための新しいインタフェース Vib-Touch を提案する。ここで言う触力覚情報とは、ツルツル、ザラザラといったテクスチャ感だけでなく、オブジェクトを動かしたり、立体的な形状に触れたりするといった、力覚的なインタラクションの感覚を含んでいる。このような情報を提示することで、携帯情報端末の直感的な操作や、画面内のキャラクターと触れ合うといった新しいコンテンツの実現を目指している。

本研究では、1) 仮想能動触、2) 疑似力覚提示 という 2 つの新しいコンセプトを提案した。

第 1 のコンセプトは、いかに携帯情報端末上で触運動を行うかという問題に対する提案である。触覚は本来、ヒトの能動的な触運動を介して得られる知覚情報である。しかし、携帯情報端末にタッチパネルを搭載した場合、小さな画面中のオブジェクトを、相対的に大きな指先で触れるという行為は窮屈であり、操作者が十分な没入感を得るこ



図 1: 提案するコンセプト



図 2: 試作したインタフェース

とは困難である。そこで、筆者らは、ポインティングスティック型入力装置に触覚提示機能を搭載し、画面中表示されたカーソルを指先と見立てて間接的に触知行為を行う「仮想能動触 (Virtual Active Touch)」のコンセプトを提案した。図 1 に携帯電話で仮想能動触を実装したときの概念図を示す。ポインティングスティックに加えられた力入力に応じて画面上のカーソルを操作し、カーソルが触れたオブジェクトの触覚情報が指先にフィードバックされる。

第 2 のコンセプトは、いかに携帯情報端末で力覚的な情報を提示するかという問題に対する提案である。通常、多自由度の力覚を提示するためには、複数のアクチュエータと複雑な機構が必要になる。本研究では、実際の力を使わずに、皮膚に提示する振動刺激だけで、擬似的な力覚を提示する方法を提案した。これは、本来ヒトが対象物に対して運動を働かかけたときに生じる皮膚感覚を、人工的に合成提示することで、逆にヒトにその力覚や運動情報を知覚させるというものである。提示可能な疑似力覚については、2.3 節で述べる。

試作した Vib-Touch インタフェースについて述べる。外見を図 2 に示す。プロトタイプは両手持ち型の携帯端末を想定した。中央部に 4.3 インチ、解像度 800×480 の液晶モニタを搭載した。右側に触覚提示機能付きポインティングスティックを搭載した。ポインティングスティックは、小型の 3 軸力覚センサを利用したものや、ゲーム機などに利用される 2 軸平面スライド型ジョイスティック

などを利用した。振動子には、超音波振動子、ボイスコイル、骨伝導スピーカ等を実験し、総合的に検討した結果、小型のボイスコイルアクチュエータを用いることとした。

2. 2 仮想能動触を実現するための基礎技術の開発

ポインティングデバイスを介した仮想能動触によって、実際に手を動かして触運動を行ったときと同様に触感が得られることをテクスチャ感と摩擦感について実証し、ポインティングスティックへの入力から仮想触運動への最適な変換方法について提案を行った。

テクスチャ感(粗さ感)に関しては、図7で示す検証実験装置によって、ポインティングデバイスを利用した仮想能動触で感じられることを、心理物理実験によって実験し、仮想能動触が実際の触運動をともなった場合と同程度の粗さ弁別能力を有することを実証した。この際、ポインティングスティックの力入力と、仮想空間内のカーソル移動速度の変換ゲインの調整が粗さ感に影響を及ぼすこと、および、その変換ゲインを実験により最適化する手法を提案した(図8)。また、仮想能動触時の提示画像が、携帯電話のような小さな画面で表示された場合でも、カーソル速度変換ゲインを調整することで、提示画像の大きさに依らず同じテクスチャ感が得られることを示した。

2. 3 振動刺激を用いた疑似力覚の提示

本研究開発では、皮膚刺激を用いた疑似力覚提示の基盤技術に大きな成果を得ることができた。開発した疑似力覚の提示手法の概要は以下のとおりである。

- ・ **摩擦感** (モノを動かす際の摩擦力、強く押しつけた際の摩擦力の表現)
- ・ **立体形状感** (モノをなぞった際の大きく隆起した形状の表現)
- ・ **慣性・粘性感** (モノを振り回した際の、慣性力、粘性力の表現)

まず、摩擦感を利用した疑似力覚提示に関しては、摩擦感のリアリティ向上のために、摩擦運動時の指先の皮膚変形の詳細な観察およびモデリングを行った。また、皮膚内の触覚受容器の活動を推定するために指腹部有限要素モデルを利用した固着・滑り現象の受容過程の解析を行った。この受容過程の解析に基づき、振動刺激による摩擦感提示手法を開発した。固着・滑り遷移直後に高周波振動によって特定の触覚受容器を刺激してその活動を制御することにより、疑似的な摩擦感を提示した。提示される摩擦感は連続的に滑らかなに変化させることが可能であり、これを利用して滑らかな立体形状を提示することにも成功した。

また、慣性・粘性感の提示法は、慣性・粘性などを独立して明確に制御することに成功した。具体的には、手の速度、加速度が変化した際に、慣性や粘性が皮膚変形にどのような影響を及ぼすかをモデリングし、その際の皮膚変形の代わりに、振動刺激を与えて、慣性力や粘性力を錯覚させるという手法である。本物の力覚提示装置と皮膚刺激を組み合わせた実験装置を用いて、心理物理実験をおこなった結果、本手法の有効性が定量的に示された。

2. 4 触覚コンテンツ例の実装と体系化

本研究開発では、誰でも気軽に触覚メディアをできるように、Vib-Touchにおける基本的な操作と運動の分類を行い、その運動を表現するための疑似力覚提示手法をプログラム API として体系的にまとめた。これら疑似力覚は剛性、慣性、粘性、摩擦係数等の機械パラメータによって連続的に調整可能であるため、波形レベルの微調整が不要であり、直感的に触感をデザインすることが可能である。



図3: ルービックキューブとのインタラクション

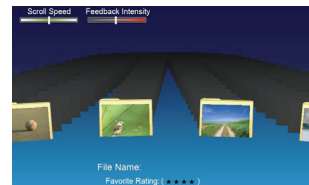


図4: カバーフロー型画像ビュー

この API を利用して、疑似力覚提示や Vib-Touch ならではのメリットを活かすコンテンツ例を実装した。例えば、音量が大きくなるほど摩擦が大きくなるボリュームコントローラや、2 種類の重さの異なるボールを持って振り回したときの重さの違いを体感するアプリケーション、半球状の立体形状を撫でるアプリケーションなどである。

また、仮想空間内で動的に活動するオブジェクト・キャラクタとのインタラクションを例示するコンテンツとして、ルービックキューブ(図3)とカバーフロー型画像ビュー(図4)を開発した。このようなインタラクティブなコンテンツにおいて、疑似力覚を提示する効果として、臨場感の向上、状況の把握性の向上、操作速度の向上などが確認された。

3. むすび

本研究で開発した疑似力覚提示は、触運動に対して振動を加えることができれば、原理的には、ポインティングスティック型のインタフェースだけでなく、タッチパネルなど他の機構にも適用可能である。本研究の成果は将来、ユビキタス端末による五感通信のための触覚チャンネルの実現と、触覚コンテンツの創造、構築に役立つと期待される。

【誌上発表リスト】

- [1] S. Tsuchiya, et al., "Virtual Active Touch II: Vibrotactile Representation of Friction and a New Approach to Surface Shape Display," Proc. IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.3184-3189 (2009 年 9 月 27 日)
- [2] S. Okamoto, et al., "Vibrotactile Stimuli Applied to Finger Pads as Biases for Perceived Inertial and Viscous Loads," IEEE Trans. on Haptics, Vol. 4, No. 4, pp.307-315 (2011 年 7 月 21 日)
- [3] S. Okamoto, et al., "Virtual Active Touch: Perception of Virtual Gratings Wavelength through Pointing-Stick Interface," IEEE Trans. on Haptics, Vol. 5, No. 1, pp. 85-93 (2012 年 3 月 9 日)

【申請特許リスト】

- [1] 昆陽雅司、岡本正吾、田所諭、力覚提示装置、日本、2009 年 2 月 1 日

【受賞リスト】

- [1] 土屋翔 他、インタシオン 2010 インタラクティブ発表賞 2010 年 3 月 2 日
- [2] 岡本正吾 他、第 16 回ロボティクスシンポジウム優秀論文、2011 年 3 月 14 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.rm.is.tohoku.ac.jp/index.php?SCOPE>