

振動アクチュエータを用いた物体のなぞり感覚呈示のための 振動波形合成

足立 万耶^{†1} 井上 美里^{†1} 橋本 渉^{†1}

概要: マイクロフォンで音として記録し、ソレノイド型振動アクチュエータで再生することで、身近な触感を再現する手法が提案されている。しかし、再生時の触感は、あくまで記録時の触感でしかない。再生時にユーザの動作を反映させるためには、動作に対応した波形を合成する必要がある。本研究ではなぞり動作時における波形合成の一手法を提案する。

A Vibration Waveform Synthesize for Generating Rubbing Sensation by Using Tactile Transducers

Maya ADACHI^{†1} Misato INOUE^{†1} Wataru HASHIMOTO^{†1}

Abstract: A simple method, which is composed of microphones to record as sounds and transducers based on solenoids to playback sounds, have been proposed to reproduce vibrotactile stimuli. However vibrotactile stimuli during playback are just only generated by recorded data. It is necessary to synthesize the waveform corresponding to the user's motion in order to reflect the behavior of him/her during playback. In this study, we propose a method of vibration waveform synthesis that is used for when the user traces surfaces.

1. はじめに

音響信号による振動情報から触感を再生する試みがある。振動を音として録音し、ソレノイド内蔵型のトランスデューサによって音信号を再生することで、録音時の振動を再現するものである。収録された振動は、必ずしも正確に振動を再現するものではない。たとえばコイル型アクチュエータは必ずしも入力信号の波形に即して振動するわけではない[1]が、この録音・再生方式は自然な触感の再現を簡易な方法で実現できることが知られており[2]、触感伝送キットとしても製品化されている。

このような記録再生型の情報提示における一つの問題点は、再生時の触感はあくまで記録時のものでしかなく、再生時と記録時の動作が一致しなければ違和感を生む、ということである。記録時に動作が伴わない、いわゆる受動触に相当する感覚の再現の場合は、再生時にじっとしていればよいだろう。しかし、動きの伴う能動触の場合は、動作を一致させるのが難しい。

そこで、再生時の能動的動作を記録時の動作に一致させて再現する手法が提案されている。たとえば、ラケットによる打撃感を再現するために、モーション検出により打撃タイミングを一致させる取り組みがある[3]。また、身体動作の速度に応じてインパルス列を生じさせ、物体によって異なるインパルス応答を積み込むことで、触感を生成して

いる例もある[4]。

本研究ではなぞり動作に注目し、実際の動作速度に応じて振動周波数や振幅を変化させ、本来の触感に近い振動を呈示することを目的とし、なぞり速度による音響信号の波形分析を試みる。

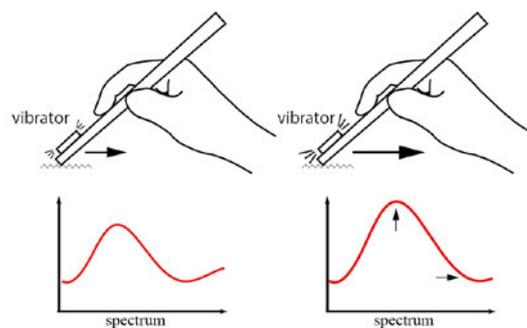


図 1 波形合成の概念図

Figure 1 A concept of waveform synthesize

2. なぞり速度による振動周波数の変化

なぞり速度が速い場合、その振動に基づく音響信号の周波数も高くなることは容易に想像ができる。また、振幅にも影響があることが予想される。ここでは、いくつかの素材を用意し、なぞる速度によって周波数がどのようにに変化するかを検証する。

物体をなぞるとき振動を波形として測定するために、

^{†1} 大阪工業大学 情報科学部
Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

本研究では棒を介したなぞり動作を取り上げる。ここでは振動を音響信号として取得しやすいように中空の棒を使用した。プラスチック製ボールペンの柄に小型ピンマイクを取り付け、その音をレコーダ (SONY ICD-SX1000) に 44.1kHz で記録する。

素材の例として、周期的な凹凸のある紙製の書籍ハードカバーを2種 (素材A, 素材B) 使用した。素材表面でなぞるとき、速度がおおむね一定になるようにメトロノームでタイミングをとった。素材と記録された音響波形を図2, 図3に示す。表記されている速度はあくまで目安である。また波形は周期波形として安定しているところを選んでいる。

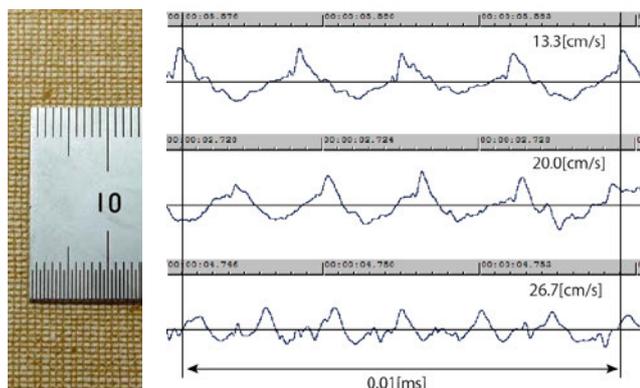


図2 素材Aと表面なぞり時の音響波形

Figure 2 Surface material A and waveforms of its rubbing sounds

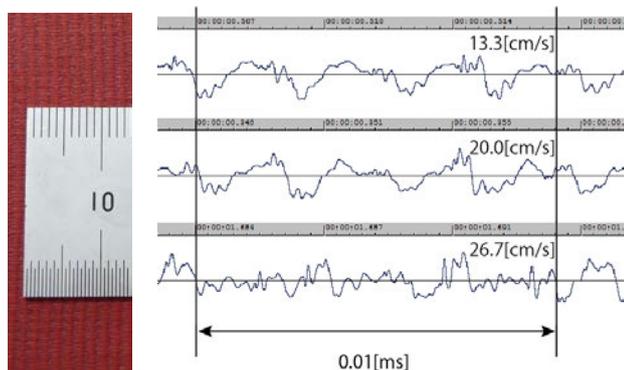


図3 素材Bと表面なぞり時の音響波形

Figure 3 Surface material B and waveforms of its rubbing sounds

図2, 図3のいずれの素材においても、素材特有の音響波形が観察されていることがわかる。また、なぞる速度が速くなると、その周期が小さくなることがわかった。この特徴を周波数軸上で確認するため、素材をなぞったときの音響波形のパワースペクトルを図4, 図5に示す。いずれの素材の場合においても、なぞる速度が増えることにより、スペクトルのピークが右にシフトしていることがわかる。

この傾向は、他の周期的な凹凸形状を持つ素材をなぞった時にも観察することができた。

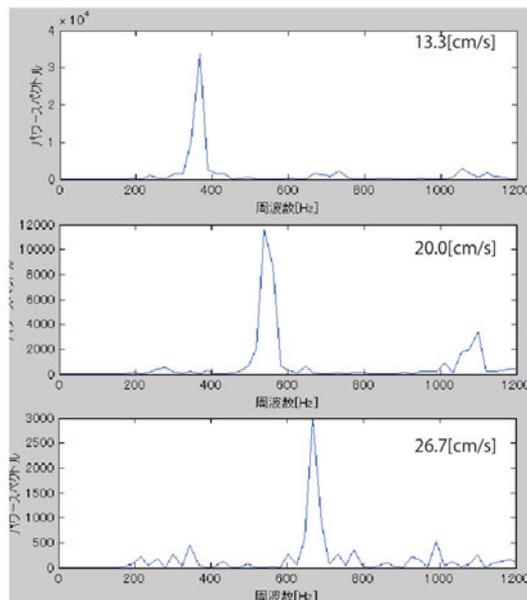


図4 素材Aのなぞり音のスペクトル

Figure 4 Power spectrum of rubbing sounds of material A

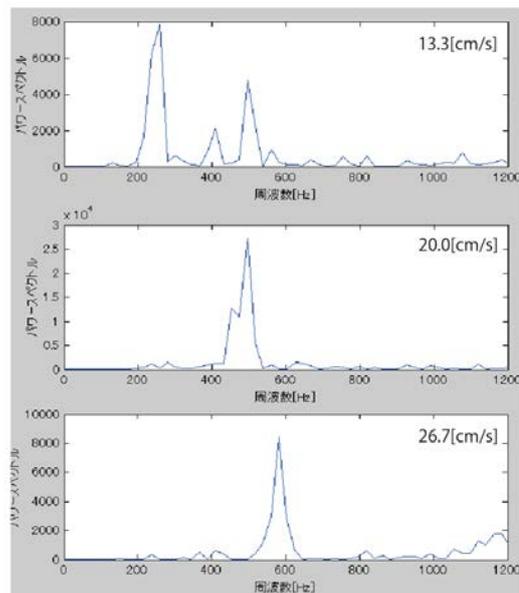


図5 素材Bのなぞり音のスペクトル

Figure 5 Power spectrum of rubbing sounds of material B

一方、コピー用紙や金網入りガラスの不連続な凹凸面をなぞった場合、素材特有の音響波形は観測されなかった。金網入りガラスの凹凸面をなぞった時の音響波形のパワースペクトルを図6に示す。周期的な凹凸のある素材のような、スペクトルのシフトは観察できなかった。1.5[kHz]までの周波数領域におけるパワースペクトルは、速度に応じて大きくなる傾向にあった。

以上のことから、周期的な凹凸を持つ形状の場合は、時間波形の特徴をうまくとらえ、スペクトルのピーク周波数を左右に動かすことにより、ある程度の波形の再現が可能ではないかと考えられる。また、周期的な凹凸を持たない素材の場合は、素材特有の音響波形が観察されないため、再現することは困難である。ただし、低周波領域のパワースペクトルの強弱との相関があるものと考えられる。

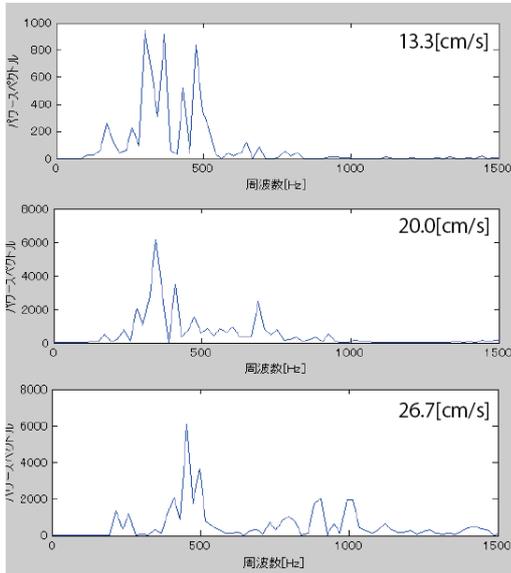


図 6 網入りガラス（凹凸面側）のなぞり音のスペクトル
Figure 6 Power spectrum of rubbing sounds of wired glass (uneven surface side)

3. 波形再生環境

指の位置となぞり動作をキャプチャするために LeapMotion を用い、コイル型アクチュエータを取り付けた棒を握って操作する。具体的な操作環境を図 7 に示す。

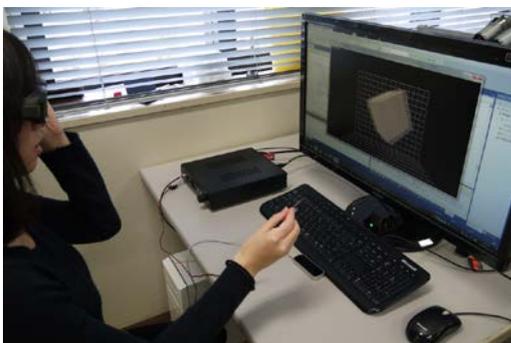


図 7 動作検出と合成波形再生環境
Figure 7 The equipment of motion detection and playback the synthesized waveform

素材へのなぞり音を取得したときに使用した素材に、コイル型アクチュエータとしてフォースリアクタ (Alps 社製)

を取り付けている。録音された音声は、アンブレユニット (ラステームシステムズ社製 HDA-524-BK) を介して、フォースリアクタに出力される。LeapMotion では、棒の位置や速度を検出する。現時点では、移動速度に応じて音響波形の振幅の増減に対応させている。

4. おわりに

実験の結果、なぞる速度が速くなるほど振動音声のスペクトルも高周波にピークがくることが確認された。今回の結果をもとに振動のフィードバックを変化させることで、より現実に近いなぞり感覚の呈示が行えるのではないかと推測できる。本研究では素材を数種類使用したが、他の素材でもどのようにピークが変異していくかを確認し、各素材に合わせて振動音声に変化を与える必要がある。

参考文献

- 1) 暦本純一: Traxion: 仮想力覚提示デバイス, WISS2013
- 2) K. Minamizawa, Y. Kakehi, M. Nakatani, S. Mihara, and S. Tachi: TECHTILE toolkit: a prototyping tool for designing haptic media, In Proceedings of SIGGRAPH Emerging Technologies, pp.22(2012)
- 3) 水品友佑, フェルナンドチャリス, 南澤孝太, 舘暉: Interactive Instant Replay:身体運動にカップリングされた映像と触覚提示によるスポーツ体験共有システム, 日本 VR 学会, pp.298-299 (2014)
- 4) 花光宣尚, 武田港, 南澤孝太, 稲見昌彦, 舘暉: 身体動作に基づく振動触覚提示モデルの検討, 日本 VR 学会, pp.392-393(2013)