

# 双方向触覚インタラクションのための振動インテンシティ変調を用いたハウリング抑制

Vibration Feedback Suppression Using Intensity Modulation for Bidirectional Haptic Interaction

○学 山口公輔（東北大） 正 昆陽雅司（東北大）  
正 田所諭（東北大）

Kosuke YAMAGUCHI, Tohoku University

Masashi KONYO, Tohoku University, konyo@rm.is.tohoku.ac.jp

Satoshi TADOKORO, Tohoku University

In addition to audio and video, bidirectional vibrotactile interaction enables highly immersive communication. However, there is a concern of howling due to signal loopback caused by coupling vibration sensors and actuators. To solve this problem, we propose to apply the ISM(Intensity Segment Modulation), which can modulate the frequency while maintaining the tactile sensation of vibration, to suppress the positive feedback by modulating the vibration frequency. We verified our method by using a bilateral tactile interaction device that transmits vibrations to the other party based on sensed vibrations. We confirmed that while the unprocessed transmission of the measured vibration caused signal feedback and loopback, the proposed method clearly suppressed them.

**Key Words:** Haptic Interaction, Bidirectional Communication, Vibration Feedback

## 1 緒言

人はこれまで、離れた場所でも直接コミュニケーションをとる手段を創り上げてきた。例えば、電話は音声による双方向のインタラクションである。また、2020年以降のCOVID-19の蔓延に伴いオンライン会議が広まっているが、これは音声と映像を双方向に通信する技術である。その他に、オンラインのVR空間でのコミュニケーションも実現している。

一方、音声や映像だけではなく、体感として振動を遠隔地に伝達する技術に注目が集まっている。例えば、リモートロボットでの操縦感覚を伝えるために高周波振動が利用されている [1][2]。また、振動の入出力を可能にして双方向通信を行うシステムとして、「公衆触覚伝話 [3]」が提案されている。これは、同じ机を共有し対面している相手が作業しているような振動を机から感じることができる双方向型視聴触覚メディアである。

振動を用いて双方向通信を行うためには、デバイスに振動測定用のセンサと振動提示用のバイブレータが必要になるが、これらを同時に利用すると、振動のハウリングやループバックが深刻な問題となる。本研究では、実時間での触覚の双方向インタラクションで生じる振動ハウリングやループバックを解消する手段として、ヒトが知覚する振動インテンシティに基づく周波数変調によってポジティブフィードバックを抑制することを提案する。本稿では、提案する抑制手法が機能することを簡単な双方向実験装置を用いて検証する。

## 2 提案手法

### 2.1 ハウリングとループバック

音声の双方向通信ではハウリングは一般的な問題である。マイクへの入力はアンプを通して増幅しながらスピーカに出力され、それをマイクが拾うループによりハウリングが生じる。音声においてはイコライザで固有周波数近辺の感度を下げることが対策となる。触覚振動でも同様のメカニズムにより、ハウリングが生じるが、弾性体上にセンサとバイブレータが設置される場合、弾性体の固有振動により、入出力がカップリングされることからハウリングおよびループバックはより深刻な問題となる。固有振動が存在する限り、その周波数帯域をバンドパスフィルタで削減しても完全に抑制することは困難である。

### 2.2 Intensity Segment Modulation

筆者らは振動の触感を維持して振動のキャリア周波数を変調する技術として Intensity Segment Modulation(ISM) という変

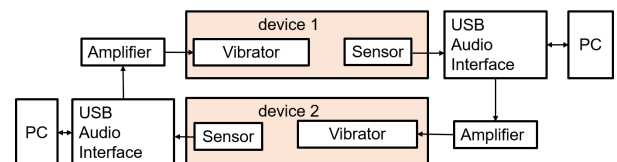


Fig.1: Block diagram of Bidirectional tactile interaction system

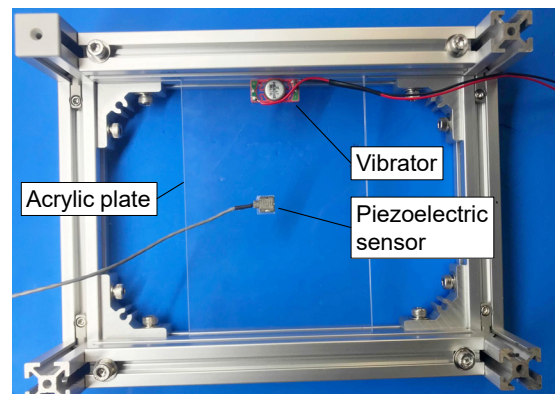


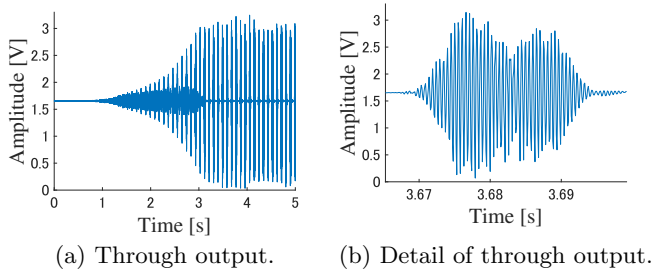
Fig.2: Device

換手法を提案している [4]。ISM はヒトの高周波振動の知覚に着目した変換手法である。高周波振動をセグメントに分割し、セグメント毎に振動の知覚強度を維持した変換を行うことで、振動の強度と変動を維持しつつ任意の周波数に変調を行う。ハウリングは固有周波数近辺の周波数帯域で頻繁に起こる問題であるため、ISM を用いて固有周波数を避けた振動を提示することで解決できると期待される。

## 3 実験

### 3.1 デバイスとシステム

本実験ではセンサで計測した振動をそのまま伝達する方法 (Through output) と ISM で処理してフィードバックする方法の 2 種類で計測を行う。双方向触覚インタラクションのシステム



**Fig.3:** Vibration howling measured by the piezoelectric sensor.

の概要を図1に表す。デバイスは図2であり、アクリル板のサイズは縦150 mm、横100 mm、厚さ2 mmである。板の中央に圧電式振動センサ（トーキン社、VS-BV203）を取り付け振動を計測する。計測されたセンサ値はUSB オーディオインタフェース（Roland社、OCTA-CAPTURE）を介してPCに送られる。PCは入力された信号に規定の処理を行い、USB オーディオインタフェース、アンプ（S.M.S.L社、SA-36A PRO）を介してパイプレータ（Tectonic elements, Audio Exciter TEAX09C005-8）に出力される。これを2セット作成する。片方で測定された振動はもう片方のデバイスのパイプレータに送られる。振動伝達用のパイプレータはセンサ上側へ65 mm離れた位置に取り付けられている。また、片方のデバイスには初期の振動を与えるためのパイプレータをセンサから右側へ40 mm離れた位置に取り付けた。

### 3.2 実験方法

まず最初に触覚振動の双方向インタラクションを行った際に振動ハウリングが起きるか検証を行う。ハウリングはセンサへの入力がなく、定常状態でも発生する現象である。まず、Through outputでセンサの入力ゲインを増加させたときにハウリングが生じることを確認する。その後、同じ条件で信号の処理手法をISMに変更したときに挙動がどうなるか検証する。ISMでは変換後のキャリア周波数を任意に決定することが可能である。今回の実験では200 Hzのキャリア周波数の振動に変換して実験を行った。

次にループバックについて検証を行う。ループバックを発生させるため、初期振動としてインパルス入力を与えた。Through output法とISMでどのように結果が変化するか確認する。

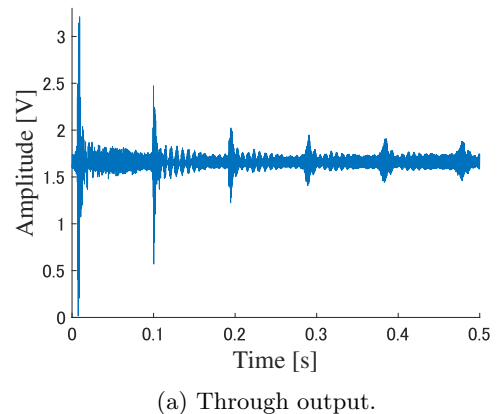
### 3.3 実験結果

計測した振動をそのまま伝達するThrough outputの条件で実験を行った場合、センサのゲインを10 dBまで上げると振動のハウリングが生じた。この時の振動センサの測定値を図3(a)に示す。このグラフを拡大した一部を図3(b)に示す。同じ条件下でISM処理を施して双方向通信を行った場合は振動ハウリングは確認されなかった。また、センサのゲインを最大である20 dBまで増加させてもハウリングは起きなかった。

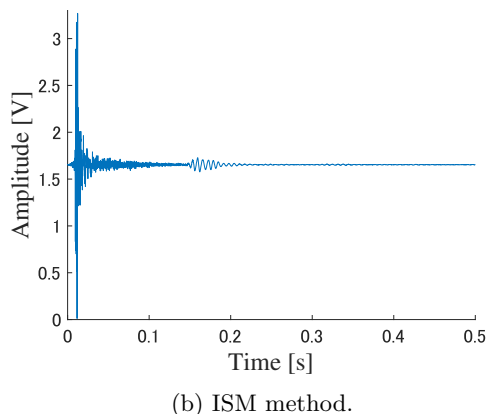
次に初期振動としてインパルス波形を与えたときの挙動を振動センサで測定した結果を図4に示す。センサゲインを増加させるとハウリングが増強し発散するためセンサゲインは8 dBとした。振動の最初のピークは初期振動として与えたインパルス波形である。図4(a)はThrough outputの結果であり、初期振動が減衰しながら複数回生じている。これが振動のループバックである。一方、ISMではループバックが1度のみ確認できるがThrough outputと比べて軽減されていることが分かる。ループバックでの振動はISMにより変調されており、200 Hzの振動になっている。

## 4 考察

ハウリングやループバックはデバイスの固有周波数で起こりやすい現象である。デバイスにインパルス振動を与えたとき、固有周波数で振動は伝播するためハウリングやループバックが起きたと考えられる。ISMではキャリア周波数を変えることが可能である。そのため、固有周波数を避けた振動にすることで対策になることが確認された。



(a) Through output.



(b) ISM method.

**Fig.4:** Vibration loopback measured by the piezoelectric sensor.

ISMにより振動ハウリングは解決されたが、ループバックは完全には解決されていない。ISMでは提示波形のキャリア周波数が固定されているため、センサで計測した振動から、ISMのキャリア周波数成分を除去するフィルタにより、さらにループバックの対策が可能であると考えられる。このようなフィルタ処理により、振動子が励起する振動はループバックはさせずに、環境で生じた振動を伝達できると期待される。

## 5 結論

本研究では、触覚振動の双方向インタラクションのためのデバイスを試作し、計測した振動をそのまま一方のデバイスに提示した場合に振動ハウリングやループバックが生じることを確認した。また、センサで計測した信号にISM処理を行い伝達することでハウリングは起こらなくなり、ループバックを軽減できることが確認された。この結果は、キャリア周波数を変調するISMが振動ハウリングの対策として有効であることを示している。

## 参考文献

- [1] H. Takenouchi, N. Cao, H. Nagano, M. Konyo, and S. Tadokoro, "Extracting haptic information from high-frequency vibratory signals measured on a remote robot to transmit collisions with environments," Proc. IEEE/SICE Int. Symp. Syst. Integr. (SII), pp. 968-973, 2017.
- [2] J. K. Koehn and K. J. Kuchenbecker, "Surgeons and non-surgeons prefer haptic feedback of instrument vibrations during robotic surgery," Surgical Endoscopy, pp. 1-14, 2014.
- [3] 早川裕彦, 大脇理智, 石川琢也, 南澤孝太, 田中由浩, 駒崎掲, 鎌本優, 渡邊淳司, "高実在感を伴う遠隔コミュニケーションのための双方向型視聴触覚メディア「公衆触覚伝話」の提案," 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.25, No.4, pp.412-421, 2020.
- [4] 山口公輔, 昆陽雅司, 田所論, "振動インテンシティ時分割法に基づく高周波振動の感覚等価変換," 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 605-608, 2020.