

導電布二次元通信とマルチチャンネル FM を用いた 触覚インタラクションシステムの研究

A study on tactile interaction system using textile-based 2-D communication and
multi-channel FM transmission

義本 卓叶 (環境浸透型エレクトロニクス研究室)
(指導教員 野田 聡人 准教授)

1. はじめに

VR などの仮想体験での没入感を高めるためには、より多くの知覚を再現することが重要である。触覚に関しては、現在は手持ちのコントローラなど局所的な提示に留まっているが、より広範囲に提示できることが望まれる。また、図 1 に示すような、触覚センサと触覚アクチュエータを組み合わせた触覚共有が実現すれば、遠隔操作ロボットの精度向上や新たなコミュニケーションなどの可能性が広がる。

広範囲に触覚を再現するにあたって多数のアクチュエータやセンサを分散配置する必要があるが、それらを個別の配線で接続すると断線の危険や体動の妨げになりうる。一方で無線接続ではバッテリーの管理や通信の遅延が課題となる。これらの課題に対し、導電性の布を伝送路として用い、ソフトウェア無線(SDR)を用いたマルチチャンネルの周波数変調(FM)通信で制御する触覚提示システムが提案されている[1, 2]。本研究では、同様の導電布を伝送路として、マルチチャンネル FM を用いた触覚センシングシステムを提案し、インタラクティブな触覚共有の実現可能性を示す。

2. 導電布を用いた触覚提示・センサシステム

触覚センサシステム及び触覚提示システムの全体像を図 2(a)に示す。触覚センサシステムに分散配置されている触覚センサは、導電布を介して電力供給を受けており、圧電素子で検出した触覚波形を FM 変調して導電布に送出する。分布している触覚センサはそれぞれ変調するキャリア周波数が異なるため、周波数分割多重通信によって個別に触覚波形を伝送できる。導電布上のマルチチャンネル FM 波は 1 度 PC に接続された SDR で受信して復調し、触覚提示システムに向けて再度変調、送信する。この際、PC と SDR 上のデジタル領域で触覚波形を編集することができ、検出した触覚よりも強調された触覚提示や、遅延の挿入などが可能となる。分布しているアクチュエータも同様に、それぞれ復調するキャリア周波数が個別に設定されており、触覚センサとアクチュエータは 1 対 1 で対応する。

3. 触覚共有システムの検証

図 2(a)に示すように、触覚センサシステムのセンサ TX#2 にファンクションジェネレータ (FG) の正弦波 V_1 を入力する。

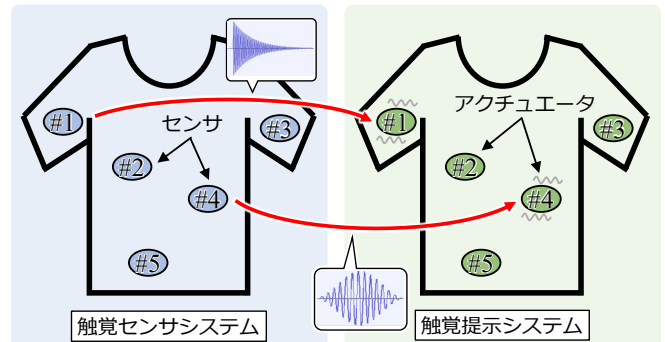
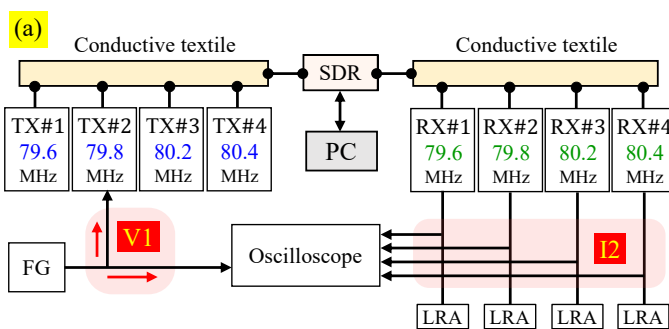


図 1: 触覚共有システムの概要。導電布上に複数の触覚センサ・アクチュエータが分布しており、センサへの入力を受けて対応するアクチュエータが振動する。

正弦波の周波数は 10 Hz から 100 kHz に対数的に変化させる。触覚提示システムの 4 台のアクチュエータの復調出力電流 I_2 をそれぞれ測定し、 I_2/V_1 をボード線図にプロットして周波数特性を測る。結果は、センサ TX#2 に対応しているアクチュエータ RX#2 と、それ以外のアクチュエータで、触覚に用いられる周波数帯で十分な利得差を確保できることを確認した。また、SDR と PC による波形編集について、例として所望波に遮断周波数 1kHz のローパスフィルタ(LPF)をかける実験を行った。SDR による LPF は、アナログの LPF では実現が難しい急峻なフィルタ特性も実装できる。図に示すように、編集を加えていない所望波と異なる周波数特性を実現することができた。

4. おわりに

本研究では、マルチチャンネル FM を用いた触覚共有を提案し、触覚センサシステムの実装と、FM 伝送の周波数特性を確認した。高い利得差が得られることから、実用的な触覚共有デバイスとしての応用が期待される。

参考文献

- [1] A. Noda, "Multi-channel FM transmission of vibrotactile signals on 2-D communication textile," IEICE ComEX, 2022.
- [2] T. Yoshimoto and A. Noda, "Multi-Carrier FM Transmitter for Distributed Vibrators on Conductive Textile," IEICE ComEX, 2025.

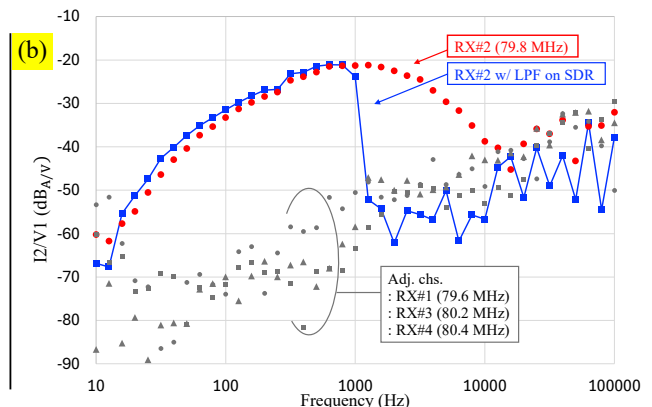


図 2: (a)触覚共有システム及び測定系の全体図。触覚センサシステムに入力する FG の電圧 V_1 と、触覚提示システムの復調出力電流 I_2 を測定してボード線図にプロットする。(b)測定した利得の周波数特性。触覚に用いる数百 Hz の帯域において、所望チャンネルと他の近傍チャンネルで十分な利得差を確保できていることがわかる。