

# フレキシブル触覚呈示システムのための導電布上でのマルチチャンネル FM 伝送の研究

1240175 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)



図 1: 実験系の全体図

## 1. はじめに

現在実用化されている VR や AR においては、視覚と聴覚及び局所的な触覚 (手持ちのデバイスやヘッドマウントディスプレイ周辺) の再現に留まっている。より直感的な体験を実現する為には、全身に触覚刺激を与えられることが望まれる。全身に触覚刺激を自在に与えられるシステムの開発にあたり、複数の振動デバイスに対する個別の振動制御や配線方法が課題である。これらの課題に対し、二次元導電布上に複数のデバイスを配置し、ソフトウェア無線 (SDR) で生成した多チャンネルの FM 波を用いて制御する手法が提案されている [1]。

一方実用に向けた未解決の課題として、(1) 波形の送信時に無視できない強度のスプリアスが複数発生していること、(2) 任意波形を任意のタイミングで送信できないことが挙げられる [1]。先行研究で示された GNU Radio Companion (GRC) [2] フローグラフによる実装では、実行前に指定した振動波形を繰り返し送信する機能に限定される。VR 等に応用する場合、映像コンテンツとの同期やユーザ入力への応答として、任意のタイミングで任意の波形を送信する機能が必要である。

## 2. スプリアスの抑制

本研究で用いた実験系の全体図を図 1 に示す。ソフトウェア上で中心周波数 80.0MHz に +200kHz, +400kHz のオフセットを掛けて振動波形を送信した場合のスペクトラムを図 2(上) に示す。所望波の他に多数のスプリアスが生じており、大きいものは所望波との差が 15dB 程度の強度になっている。オフセット周波数を微小に変化させてスプリアスの変化を観測したところ、原因は SDR 出力段の非線形性による相互変調と推測された。これは出力強度を下げることで大幅に抑制できる。出力を 40dB 下げて送信した場合のスペクトラムを図 2(下) に示す。DC 成分は LO Leakage に起因するもので本実験系では抑制が難しいが、DC 成分を除くすべてのスプリアスがノイズフロア以下に低減していることがわかる。

## 3. ユーザ入力をトリガとする任意波形送信

先行研究及び本紙 2 節で振動波形の生成に用いた開発環境 GRC は、GUI で作成したフローグラフから GNU Radio ライブラリを利用する Python スクリプトを自動生成する。自動生成されるスクリプトは、予め作成した Wav ファイル形式の振動波形を連続的に繰り返し送信するもので、VR 機器と組み合わせて映像や操作と同調した触覚呈示にそのまま利用できない。

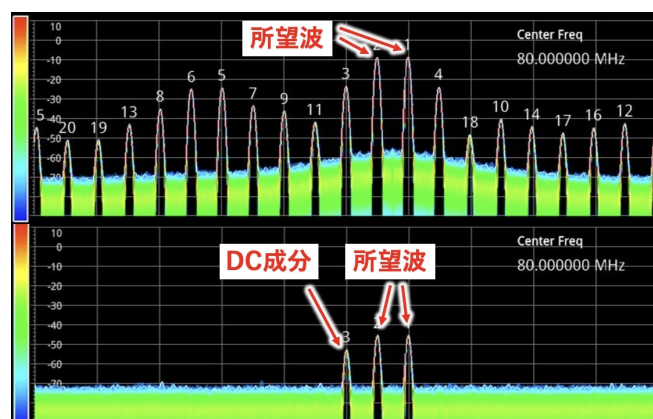


図 2: デフォルトの出力 (上) と 40dB 下げた場合 (下) のスペクトラム

そこで自動生成されたスクリプトを編集することで、ユーザ入力 (現段階ではキー入力) に応じて所望の FM 波形を即座に送信する機能を実装した。インターフェースの改変により、チャンネル数や振動周波数の変更も自在に可能である。

## 4. 小型コンピュータでの実行方法の検討

運動を伴うコンテンツに利用する場合、据え置き機器とケーブルで接続されていると障害になる。その為身体に取り付けられる大きさの小型コンピュータで動作させられることが望まれるが、3 節で提案したプログラムは処理負荷が大きく現実的ではない。処理負荷が大きくなる要因の大部分は周波数オフセット処理によるものである。そこで周波数オフセットを掛けずに中心周波数を変更することで任意の周波数帯に振動波形を送信する機能を実装したプログラムを作成した。このプログラムでは同時に複数チャンネルに送信することはできないが、タイミングをずらせば複数のチャンネルの触覚刺激波形を制御可能である。完全に同時でなければならない場合を除いては、擬似的に多チャンネル送信を実現できる。このプログラムを RaspberryPi 4 で実行したところ問題なく動作する程度の処理負荷に抑えられており、系全体を身体に取り付けて動作するシステムの実現が期待できる。

## 5. おわりに

本研究では、SDR を用いた触覚刺激波形送信に係る課題の解決手法について提案した。配置する振動デバイスの数や同時に送信するチャンネル数など、実用化に向けての調査が必要である。原理的な可能性のみ示唆されていた触覚刺激手法であるが、本研究で得た成果により SDR と多チャンネル FM 伝送を用いた実用的な触覚フィードバックシステムの実現が期待できる。

## 参考文献

- [1] 野田聡人, “導電布伝送路上でのアナログ波形の多チャンネル同時送信”, 信学技報, vol.122, no.277, pp.19–22, 2022
- [2] “GNU Radio - The Free & Open Source Radio Ecosystem”, <https://www.gnuradio.org/>