



複数の音源対象を持つコンテンツの視聴における 視線に応じた振動触覚提示手法

Gaze-based Vibrotactile Feedback for Viewing Content with Multiple Sound Targets

金井美桜¹⁾, 藤田和之¹⁾, 村上聡¹⁾, 齋藤五大¹⁾, 北村喜文¹⁾

Mio KANAI, Kazuyuki FUJITA, Akira MURAKAMI, Godai SAITO, and Yoshifumi KITAMURA

1) 東北大学 電気通信研究所 (〒 980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1, kanai.mio.t4@dc.tohoku.ac.jp)

概要: 視聴覚コンテンツに振動触覚を同期させて提示することで視聴体験の質が高まることが知られているが、コンテンツ内に振動源が複数存在する場合はあまり想定されてこなかった。本研究では、視聴者の注視位置に基づき複数の振動源に対応した振動振幅を動的に制御する手法を提案する。複数楽器を同時に演奏するコンテンツを用いたユーザ実験の結果、本手法がコンテンツ視聴時の没入感や主観的な触覚感度を高めることが示唆された。

キーワード: マルチモーダル, カクテルパーティ効果, 振動触覚

1. はじめに

視聴覚コンテンツの体験において、コンテンツに連動した振動フィードバックが用いられることが多い。特に、スマートフォンやゲームコントローラの多くは振動子を搭載しており、ゲームや動画などの視聴覚コンテンツに連動した振動フィードバックが身近に利用可能である。視聴覚情報に同期した振動フィードバックは、映像や音楽コンテンツの視聴 [1, 2, 3], ゲーム [4], スポーツ観戦 [5] における体験の質の向上に加え、VR 環境内の会話場面における話者の説得力, 共存感, リーダーシップ向上 [6] などの効果もあることが知られており、エンタテインメントに留まらない幅広い分野への応用が期待される。

振動フィードバックは、一般に視聴覚コンテンツに含まれる特定の対象 (本稿では振動源と呼ぶ) の動きや音に対応付けられるが、この振動源の数は、多くの場合単一であることが前提とされ、複数の振動源を同時に扱うことはあまり想定されていない。しかし、実際の視聴覚コンテンツの中には、例えばオーケストラの映像や複数人での会話場面の映像、マルチプレイヤーでの格闘ゲームなど、振動源が画面内に複数存在するものもある。さらに、最近普及しつつある VR ゴーグル向けの動画・ゲームコンテンツでは、広視野にわたることから 1 つのコンテンツ内に多数の振動源が含まれる傾向があることに加え、視聴者の視野内に必ずしも振動源が存在するとは限らない。このため、従来の単一の振動源を前提とする振動フィードバック提示では、前述のような体験の質の効果が十分に得られない可能性がある。以上のことから、複数の振動源が同時多発的に存在する場面に対応した触覚フィードバック提示方法について新たに考える必要がある。

そこで本研究では、視聴者の視線情報を用い、複数の振

動源に対する選択的提示を実現する振動フィードバック提示手法を提案する。この手法は、カクテルパーティ効果 (周囲から複数の音が聞こえてくる状況においても、注意を向けた特定の音を他の音から区別し、選択的に聴取できる人の能力 [7] のことを言う) の発生に視線方向が関連していること [8] に着想を得ており、視線を向けた対象に対応する振動フィードバックが得られることで、視聴者が振動触覚を選択的に知覚でき、ひいてはコンテンツ視聴体験の質を高められると考えた。本研究では特に、複数楽器による合奏を想定した VR 環境内での視聴覚コンテンツを対象とし、各振動源の位置と視聴者の注視位置との距離に基づいて振動フィードバックの強度を決定する 2 つの手法 (注視位置からの距離に基づき各振動源の振動振幅を重みづけて混合する手法、注視位置からの距離が最も近い振動源の振動のみを提示する手法) を実装した。これらを用いた際の視聴者の主観的な触覚感度や視聴体験の質について、ベースライン手法 (全ての振動源の振動振幅を等量で混合する手法) と比較するユーザスタディ (N=12) を実施した。その結果、注視位置からの距離が最も近い振動源の振動のみを提示する手法では、ベースライン手法よりも主観的な触覚感度や没入感が高いことがわかった。本稿では、実験結果を基に提案手法の有効性と課題について議論し、今後の応用可能性について考察する。

2. 提案手法

2.1 概要

本研究では、視聴者の視線情報に基づき、複数の振動源が存在する視聴覚コンテンツにおける振動を選択的に提示可能な振動フィードバック手法を提案する。この手法では、単一の振動デバイスを視聴者が把持し、視聴者が注視して

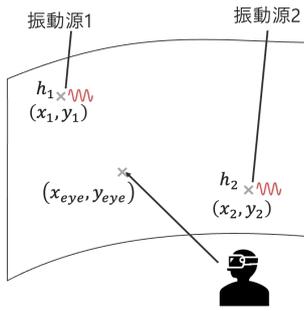


図 1: 想定する状況

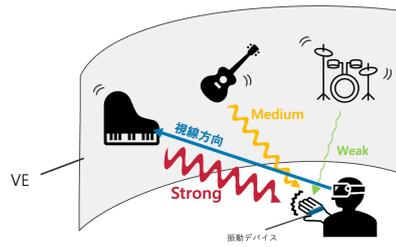


図 2: 重みづけ手法

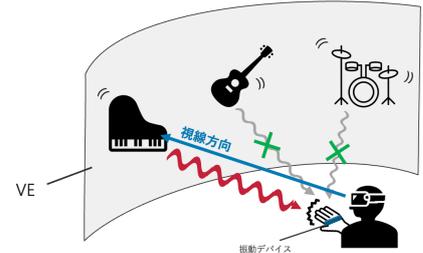


図 3: 最小距離手法

いる振動源に対応する振動振幅をより大きく提示する。これにより、聴覚において人の注視対象に対応する音を選択的に聴取できる [8] ことを鑑みると、振動触覚においても、複数の振動源から所望のものを選択的に知覚できているように感じられると期待され、これにより、主観的な触覚感度やコンテンツ視聴体験の質を向上させられるのではないかと考える。以降では、この考え方に基づく 2 種類の提案手法の設計と実装について述べる。

2.2 システム設計

提案手法として、手法 1: 注視位置からの距離に基づき各振動源の振動振幅を重みづけて混合する手法（**重みづけ手法**）と、手法 2: 注視位置からの距離が最も近い振動源の振動のみを提示する手法（**最小距離手法**）の 2 つを検討する。想定する状況として、図 1 に示すように、特定の表示領域内に複数の振動源 h_i が配置されており、そのとき視聴者の注視位置 (x_{eye}, y_{eye}) に応じて、視聴者へ提示する振動振幅 H をどのように決定するかを考える。

2.2.1 手法 1: 重みづけ手法

1 つ目の手法では、各振動源について、その位置と注視位置との距離が遠いほど振動が小さく、近いほど振動が大きくなるように振幅の重みづけを行い、それらを足し合わせる (図 2)。具体的には、各振動源の振動波形 h_i をそれぞれ、注視位置と振動源との距離 $dis_i = \sqrt{(x_{eye} - x_i)^2 + (y_{eye} - y_i)^2}$ に基づいた指数関数によって以下のように重み付けし、その各波形を足し合わせた波形 H を視聴者へ提示する振動波形とする。

$$H = \sum_{i=0}^n h_i \exp(-dis_i) \quad (1)$$

h_i : 提示される各振動の波形

dis_i : 注視位置から各振動源までの距離

2.2.2 手法 2: 最小距離手法

2 つ目の手法では、注視位置との距離が最も近い振動源の振動のみを提示する (図 3)。以下のように、注視位置との距離 $dis_i = \sqrt{(x_{eye} - x_i)^2 + (y_{eye} - y_i)^2}$ が最も近い振動源の波形を選択し提示する (H)。

$$i^* = \arg \min_i dis_i \quad (2)$$

$$H = h_{i^*}$$

2.3 実装

振動の提示には、応答速度が高く (1 ms 以下) 広帯域な振動表現が可能な振動子 HAPTIC Reactor Hybrid Tough Type (アルプスアルパイン株式会社製) ¹ を使用した。本実験では、wav 形式の音声データを再生することで得られるアナログ音声信号を外部入力とし、ステレオ D 級アンプを介して振動子を駆動する構成とした。視聴者の視線情報を取得するために、VR ヘッドセット Meta Quest Pro に内蔵されたアイトラッカを用いた。制御ソフトウェアには Unity (Ver.2022.3.37f1) を使用し、前節のアルゴリズムにより算出された振幅の値を元に、各振動源の wav ファイルに対して重みづけ・選択処理を行った。

3. ユーザスタディ

視線に基づいた重みづけが人の振動知覚に及ぼす影響の評価、及び、重みづけされた振動の提示がユーザ体験に及ぼす影響を調査することを目的とし、ユーザスタディを実施した。比較する手法は以下の 3 手法とした。

- 重み付け手法 (2.2.1 節)
- 最小距離手法 (2.2.2 節)
- 等量手法 (全ての振動源に対応する振動振幅を等量で混合するベースライン条件)

3.1 参加者

本実験には、研究室内の学生 12 名が参加し、平均年齢は 22.1 歳 (SD=1.04 歳) であった。参加者のうち男性は 8 名、女性は 4 名であった。

3.2 実験環境

本実験では、図 4 に示すように、ピアノ、ドラム、ベースの 3 つの楽器オブジェクトをバーチャル環境内に配置した。実験での試行中、これら 3 つの楽器の演奏音が同時に流れ、それぞれの演奏音の振幅に同期して楽器オブジェクトの大きさがリアルタイムに変化する視覚フィードバックが提供される。演奏音は、音楽生成 AI サービスである AIVA² を使い、各楽器ごとにジャンルや雰囲気などのパラメータを設定して生成した。これを 1 つの楽器あたり 6 種類生成し、ランダムに用いた。楽器オブジェクトは、視聴者の視点か

¹<https://go.alpsalpine.jp/1/506151/2020-11-19/3hqmy8>

²<https://www.aiva.ai/>



図 4: 参加者に提示したバーチャル環境

ら 5 m の距離に、2 m の間隔で配置された。実験に用いた Quest Pro の水平視野角は 106 度であり、3 つの楽器オブジェクトを同時に視野内に収めることができない配置であった。参加者は椅子に着座し、頭部の回転によって自由に視野を変更することができた。

3.3 実験計画

3.3.1 タスク

実験では、参加者はまず、3 つの楽器の演奏コンテンツを 60 秒間視聴する。参加者には、自由にバーチャル環境内を見て良いこと、その上で、3 つの楽器オブジェクトのそれぞれを任意のタイミング・順番で注視することを教示した。また、コンテンツの視聴後に、3 つの楽器のいずれかの演奏の印象・感想を尋ねることをあらかじめ参加者に伝えた。視聴後、参加者には 5 つの質問（表 1）について、7 段階リッカート尺度のアンケートに回答してもらう。その後、ランダムに選ばれた楽器の演奏についての印象・感想、および、その試行での体験について口頭で自由に述べてもらった。コンテンツの視聴は 3 つの条件を 2 回ずつ繰り返し、合計 6 試行実施した。条件の提示順は、参加者ごとにカウンターバランスを取った。6 試行すべてが終了した後、条件ごとの違いや好みに関する追加のインタビューを行った。

3.4 結果

図 5 に、アンケート Q1-Q5 のスコアの結果を示す。視線に基づいた振動強調がユーザ体験に与える影響を評価するため、5 つの質問項目について 7 段階リッカート尺度を用いて評価を行った。各参加者のスコアは 2 回の試行の平均値を使用し、データが欠損した参加者 P5 の「重みづけ条件」の 1 回分の試行については、該当データを除外して分析を行った。条件間の比較には Wilcoxon の符号順位検定を使用し、Bonferroni 補正を行った。解析の結果、Q2: 触覚感度では、「最小距離条件」が「等量条件」よりも有意に高いスコアが得られた ($p < 0.05$)。また、Q4: 没入感に関しても、「最小距離条件」が「等量条件」と比較して有意に高いスコアが得られた ($p < 0.05$)。その他の質問項目では、手法間に有意差は見られなかった。試行後のインタビューにおいて、それぞれの手法での体験について尋ねたところ、振動が視線に基づいて動的に変化していたことに気づいた参加者は 4 名のみであり、その他の参加者は 3 つの手法の体験

表 1: アンケート内容

質問項目	質問内容 (1: 全く当てはまらない - 7: 非常に当てはまる)
Q1 (選択的聴取)	複数の音源が聞こえる状況で、特定の音を選んで聞くことができた
Q2 (触覚感度)	体験中の触覚感度 (提示された振動を自身が正確・きめ細やかに感じ取れた度合い) を自己評価してください (1: 非常に低い - 7: 非常に高い)
Q3 (臨場感)	実際にその場にいるような感覚があった
Q4 (没入感)	このコンテンツの視聴に没頭できた
Q5 (楽しさ)	このコンテンツの視聴は楽しかった

にあまり違いを感じていなかったことが分かった。

3.5 考察

「最小距離条件」において、主観的な触覚感度が「等量条件」よりも高かったことから、視線に基づき振動源を切替えながら提示する手法が、触覚感度の向上に寄与する可能性が示された。一方で、「重み付け条件」と「等量条件」の間には差が見られなかった。これは、最も注視位置に近い振動源以外の振動がノイズとして作用し、このことが、自身が注意を向けた振動を適切に知覚できたという感覚を損なわせていた可能性が考えられる。嗅覚に関して類似の実験を実施した先行研究 [9] では、注意外の弱い匂いが背景臭として働き、むしろ主観的な嗅覚感度が高まったことが報告されており、本実験はこれとは整合しない結果であった。

没入感については、「最小距離条件」が「等量条件」よりも高いスコアが得られ、この結果は、視線に基づく振動フィードバックがコンテンツの没入感を高める可能性を示している。視覚的注意と触覚刺激が連動することで、感覚モダリティ間の整合性が高まり、没入感の向上につながったと考えられる。なお、「重み付け条件」と「等量条件」の間に差が見られなかった理由は、前述の触覚感度の結果と同様に、注視していない振動源の振動が悪影響を及ぼした可能性がある。

また、このような視聴体験の差があったにもかかわらず、大半の参加者が振動の動的な変化に気づかなかったことも特筆すべき点である。この結果は、視聴者が提案手法が適用されていることやその仕組みを知らなくとも、視聴体験の向上に寄与できる可能性がある。今後、振動の動的な変化に気づいたかどうかに応じて視聴者の知覚や体験がどのように異なるか、詳しく調査したい。

4. 結論

本研究では、複数の振動源を含むコンテンツの視聴を対象とし、視線に基づいた振動フィードバック提示手法を提案し、重み付け手法と最小距離手法の 2 種類を設計・実装

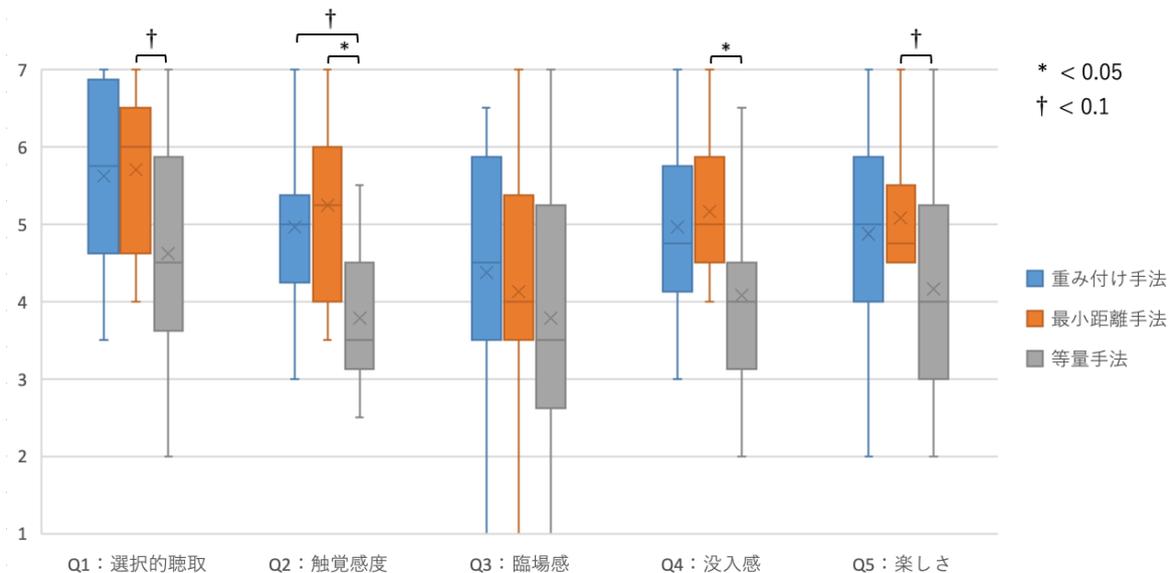


図 5: アンケート結果

した。ユーザスタディの結果、最小距離手法が、全ての振動源の振幅を等量で混合するベースライン手法や重み付け手法と比べ、主観的な触覚感度やコンテンツ視聴の没入感を高めることがわかり、提案手法の有効性が示唆された。今後の課題として、提案手法に関する事前知識の有無による視聴体験の違いの調査や、複数の振動源を持つ異なるコンテンツ（例：複数人の会話場面）や異なる視聴デバイスでの調査などが挙げられる。

謝辞 本研究の推進においてアルプスアルパイン株式会社様より多大なご助力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Järveläinen, H. and Larrieux, E.: Vibrotactile feedback enhances perceived arousal and listening experience in music (2023).
- [2] TARA, I., OKAMOTO, S., AKIYAMA, Y. and OZEKI, H.: Timing of Vibratory Stimuli to the Upper Body for Enhancing Fear and Excitement of Audio-visual Content, Vol. 22, pp. 105–113, 10.5057/ijae.IJAE-D-22-00024 (2023).
- [3] ur Réhman, S., Khan, M. S. L., Li, L. and Li, H.: Vibrotactile TV for immersive experience, pp. 1–4, 10.1109/APSIPA.2014.7041631 (2014).
- [4] Singhal, T. and Schneider, O.: Juicy Haptic Design: Vibrotactile Embellishments Can Improve Player Experience in Games, , 10.1145/3411764.3445463 (2021).
- [5] Peng, S.: Excitement Projector: Augmenting Excitement-Perception and Arousal through Bio-signal-based Haptic Feedback in Remote-Sport Watching, *Extended Abstracts of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, , 10.1145/3491101.3519619 (2022).
- [6] Saint-Aubert, J., Argelaguet, F., Mace, M., Pacchierotti, C., Amedi, A. and Lecuyer, A.: Persuasive Vibrations: Effects of Speech-Based Vibrations on Persuasion, Leadership, and Co-Presence During Verbal Communication in VR , pp. 552–560, 10.1109/VR55154.2023.00070 (2023).
- [7] Bronkhorst, A. W.: The cocktail party phenomenon: A review of research on speech intelligibility in multiple-talker conditions, *Acta acustica united with acustica*, Vol. 86, No. 1, pp. 117–128 (2000).
- [8] Best, V., Boyd, A. D. and Sen, K.: An Effect of Gaze Direction in Cocktail Party Listening, Vol. 27, p. 23312165231152356, 10.1177/23312165231152356 (2023). PMID: 36691678.
- [9] Zou, S., Hu, X., Ban, Y. and Warisawa, S.: Simulating Olfactory Cocktail Party Effect in VR: A Multi-odor Display Approach Based on Attention, pp. 474–482, 10.1109/VR51125.2022.00067 (2022).