



応援動作の同期伝搬による一体感向上手法の メタバースサービス適用検討

Enhancing the Sense of Unity in Metaverse Service through Virtual Audiences Synchronized with User Actions

大城和可菜¹⁾, 片岡春乃¹⁾, 萩山直紀¹⁾, 南部優太¹⁾, 吉成萌夏¹⁾, 幸島匡宏¹⁾, 山本隆二¹⁾

Wakana OSHIRO, Haruno KATAOKA, Naoki HAGIYAMA, Yuta NAMBU, Moeka YOSHINARI,

Masahiro KOHJIMA, and Ryuji YAMAMOTO

1) NTT 株式会社 人間情報研究所 (〒 239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1, wakana.ooshiro@ntt.com)

概要: オンライン音楽ライブ鑑賞は、オフライン参加の場合と比較して一体感が課題である。筆者らはこれまでにユーザの応援動作に同期する NPC 観客生成手法を提案し、ユーザが感じる NPC 観客との一体感が向上することを確認している。本研究ではこの NPC 同期手法を実際のメタバースサービスシステムに適用し、ボタントップによる応援かつ汎用的な演出・会場というシンプルな構成における一体感を評価する実験を行った。実験の結果、一体感について有意差は見られず、その要因としてユーザビリティの問題や同期パラメータの設定、同期に対する受容性の違いが示唆された。

キーワード: NPC 観客, 同期モデル, 音楽ライブ, メタバース

1. はじめに

音楽ライブにおいて一体感は重要な要素である。近年音楽ライブはオフライン開催のみならずインターネットを介したオンライン開催が増えていることから、オンライン音楽ライブにおいて一体感を向上させる様々な手法が提案されている。対象とする一体感として、演者との一体感や観客との一体感などバリエーションはあるが、本研究では Non Player Character (NPC) 観客との一体感向上を目的とする。

先行研究では、バーチャル空間での音楽ライブ鑑賞における観客エンゲージメント向上を目的として、NPC 観客を用いた技術が提案されており、一体感や共在感覚などのユーザの心理評価結果が報告されている [1, 2]。また、筆者らはこれまでにオンライン音楽ライブにおいてユーザが感じる NPC 観客との一体感を高めることを目的とし、ユーザの応援行動に同期した応援行動をする NPC 観客生成手法 (以降、NPC 同期手法) を提案した [3]。この NPC 同期手法を用いて NPC 観客とともにバーチャル空間で音楽ライブを体験するシステムを作成しており、ユーザ実験を実施した結果、一体感が向上することを確認している。

しかし、これらの先行研究では、HMD での視聴や VR コントローラを用いた環境での評価となっており、応援行動の自由度の高さや会場の作り・演出の観点で理想的な空間での検証である。実際のサービスに活用する上ではコストの観点からシンプルな構成でも一体感向上の効果が見込めることが望ましい。

このため本稿では、ボタントップによる応援かつ汎用的な演出・会場というシンプルな構成に対して先行研究 [3] で

提案した NPC 同期手法を組み込んだ場合の一体感向上効果について調査することを目的とする。実際にメタバースサービスとして運用されているシステムに対して NPC 同期手法を組み込む上での検討と、ユーザ実験により一体感を評価した結果を報告する。また、アンケート評価の結果から、ユーザが感じる NPC 観客との一体感向上効果は見られず、その要因としてユーザビリティの問題や同期パラメータの設定、同期に対する受容性の違いが示唆された点について考察を述べる。

2. NPC 同期手法のシステム適用

先行研究 [3] で提案した NPC 同期手法を、ボタントップによる応援かつ汎用的な演出・会場というシンプルな構成に対して適用させる上での検討事項について説明する。

2.1 NPC 同期手法

我々が先行研究 [3] で提案した NPC 同期手法は、ユーザのペンライトなどのデバイス操作を入力として、一定の時間間隔ごとにユーザの位相 (リズムの進み具合を定める変数) を決定し、NPC 観客の位相を蔵本モデル [4, 5] と呼ばれる微分方程式により逐次決定することで NPC 観客の各時刻の応援動作を定めるものである。

各時刻 t におけるユーザの位相を $\phi(t)$ または単に ϕ と書く。ユーザの位相は、映像やセンシング機能を持つデバイスで観測された値から決定される。NPC 観客動作の計算タイミングである時刻 t ごとに、直近のユーザのデバイス操作履歴を用いて現在時刻 t_s から将来時刻 t_e までのユーザ位相 $\{\phi(t)\}_{t=t_s}^{t_e}$ を推定する。

次に、バーチャル空間に配置する N 人の NPC 観客の動きを生成することを考える。第 i 番目の NPC 観客の位相を $\theta_i(t)$ または θ_i と書き、全 NPC 観客の位相をまとめて $\theta = \{\theta_i\}_{i=1}^N$ と書く。ユーザの位相から影響を受ける NPC 観客の集合を Γ 、第 i 番目の NPC 観客が力を受ける NPC 観客の集合を Ω_i として、以下の非線形微分方程式で NPC 観客モデルを定義する。

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \begin{cases} w_i - K_i^u(t) \sin(\theta_i - \phi) - \sum_{j \in \Omega_i} K_{ij}^v(t) \sin(\theta_i - \theta_j) & (\text{if } i \in \Gamma) \\ w_i - \sum_{j \in \Omega_i} K_{ij}^v(t) \sin(\theta_i - \theta_j) & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (1)$$

ただし、 w_i は i 番目 NPC 観客の自然振動数、 $K_i^u(t)$ は時刻 t におけるユーザと i 番目 NPC 観客の結合強度、 $K_{ij}^v(t)$ は i 番目 NPC 観客と j 番目 NPC 観客間に伝わる力の結合強度を表すパラメータ (関数) である。

式 (1) を用いて NPC 観客の位相を得ることで、ユーザの位相 (応援動作) によって NPC 観客の位相 (応援動作) が変わる・同期することが表現できる。

2.2 システム実装

先行研究 [3] では VR コントローラを用いてユーザの腕を振る動作を取得し、この動作情報をもとにユーザ位相を推定した。そして、各時刻の NPC 観客の位相を先述の式 (1) で計算し、ペンライトの動きとして反映することで、ユーザのペンライトを振る応援動作が NPC 観客の動作として徐々に同期していく体験ができる音楽ライブシステムを作成した。本研究では、VR コントローラを用いずにボタンのタップによる応援行動かつ汎用的な演出・会場に対して、NPC 同期手法を適用する。

今回作成したシステムの画面を図 1 に示す。画面左下のボタンを押すことでユーザアバタがペンライトを横に振るモーションを 1 回実行するようになっている。このためタップの頻度に応じてモーションの速度が 5 段階で変化する設計とした。具体的には、1 回のモーションが完了するまでの間に、タップが 0 回実行された場合はモーション速度が 1 段階下がり、タップが 1 回実行された場合は速度維持、タップが 2 回以上実行された場合に、モーション速度が 1 段階上がるようになっている。また、NPC 観客の動作については、ユーザのタップタイミングからある時刻におけるユーザのモーション位置 (位相) を算出し、式 (1) に基づいて NPC 観客のモーション再生位置 (位相) を変更することで実装した。

ユーザの応援動作から影響を受ける NPC 観客はユーザの周囲の近い範囲に限定し、結合強度はアバタ同士の距離と曲の展開に応じて変更するように設定した。これにより、ユーザの応援動作に応じてユーザに近い NPC 観客から遠い観客に徐々に動作が同期していく様子を作り出し、曲の始まりやサビなどの盛り上がるシーンにおいて同期するようになっている。結合強度のパラメータについては著者 5 名で確認し、同期伝搬していることが伝わるような設定とし



図 1: 実験システム画面。観客中央がユーザアバタで、その他のアバタは全て NPC 観客である。スクリーンに音楽ライブ映像コンテンツが再生され、ユーザは左下のボタンをタップすることで応援モーションを実行できる。

た。また、NPC 観客の人数や配置は、システムの負荷やコストを鑑みて 60 名とし、ユーザの応援動作が NPC に同期していくことがユーザに伝わることを考慮して決定した。

3. 実験

バーチャル空間での音楽ライブにおいて、ボタンタップによる応援かつ汎用的な演出・会場というシンプルな構成に対して、NPC 同期手法が一体感に与える影響を調べるため、ベースライン条件 (Baseline) と NPC 同期手法条件 (Synchronization) の 2 条件でユーザ実験を実施した。体験時のシステム画面は図 1 に示したものと同様である。

3.1 実験環境

体験時の実験参加者の様子を図 2 に示す。実験は会議室の中をパーティションで区切り、参加者が他者の目を気にすることなく体験できる環境で実施した。実験参加者は椅子に座り、タブレットを用いて音楽ライブを体験する。音声はヘッドホンで再生し、視聴時の画面との距離やタブレット位置についてはボタンをタップしながら視聴できる位置となるように参加者が調整した。使用したコンテンツはバーチャルアーティストによる収録済みの音楽ライブ映像で、ライブ時間が約 10 分で 2 曲と MC から構成される。

3.2 実験参加者

実験参加者は 11 名で年齢が 20 代から 40 代であった。この 11 名のうち、実験コンテンツとして使用した男性バーチャルアーティストのファンが 7 名、他の Vtuber のファンが 4 名であった。実験参加者募集時に好きなアーティストを尋ねた際に、アーティスト名を挙げていた人を本稿ではファンと定義する。また、分析対象の 11 名のうち、女性は 8 名、男性は 3 名であった。

3.3 実験手順

実験参加者はベースライン条件と NPC 同期手法条件の 2 条件で音楽ライブを体験した。実験順序は実験参加者間でランダムになるように設計したが、実験運用時の誤りにより、ベースライン条件・NPC 同期手法条件の順で実施した参加者は 2 名、NPC 同期手法条件・ベースライン条件の



図 2: 実験の様子。実験参加者は椅子に座りタブレットを用いてシステムを体験する。音はヘッドホンで再生される。視聴時の画面との距離は参加者それぞれがボタンをタップしながら視聴ができる位置とした。

順で実施した参加者は 9 名となった。ベースライン条件では、ユーザ以外の NPC 観客はランダムに手を振る動作をしている。NPC 同期手法条件では 2.2 節で説明したように、ユーザの応援行動であるタップのタイミングに応じて NPC 観客の動作が徐々に同期するようになっている。

実験参加者は音楽ライブ体験前にシステムの説明を受け、ボタンを押すことで応援モーションが実行されること、自由に応援行動をするように教示を受けた。音楽ライブ体験中は心電とタップ行動のデータを取得し、各条件の音楽ライブ体験前後にアンケートによる評価を実施した。

3.4 評価指標

ベースライン条件と NPC 同期手法条件それぞれについて NPC 観客との一体感を評価するため、Inclusion of Other in the Self (IOS) スケール [6] による 7 段階評価と、詳細な一体感を評価するための設問による 7 段階リッカート評価を実施した。詳細な一体感を評価するために用いた設問を以下に示す。

- Q1. ライブ会場内の観客と一緒にイベントに参加したような感覚があった。
- Q2. 多くの観客が同時に参加しているような感覚があった。
- Q3. ライブ会場の観客と身体でコミュニケーションをとっていたような感覚があった。
- Q4. 多くの観客と一緒にアーティストを応援していたような感覚があった。
- Q5. ライブ会場内の観客が一体となっていた感覚があった。
- Q6. 自身もライブ会場内の観客と一体となっていた感覚があった。

前半 4 つが yakura らの論文 [1] でも用いられている共在感覚 (sense of co-presence) の指標であり、後半 2 つは詳細な一体感を知るために筆者らが独自に作成した指標であ

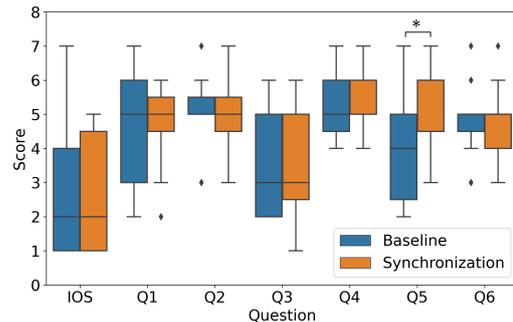


図 3: 一体感のアンケート評価結果。箱ひげ図から外れた位置にある点は外れ値を示している。対応ありの t 検定の結果、「Q5. ライブ会場内の観客が一体となっていた感覚があった。」のみ、ベースライン条件（同期なし）と NPC 同期手法条件で有意差がみられた (*: $p < 0.05$)。

る。また、一体感以外の観点の評価として、Self Assessment Manikin (SAM) による情動評価・満足度・システム利用意向・行為主体感・好ましい条件とその理由・改善点と所感（自由記述）についても調査したが、本稿では一体感に関わる部分の結果に絞って報告する。

3.5 結果

IOS スケールならびに文章による詳細な一体感の評価結果を図 3 に示す。箱ひげ図から外れた位置にある点は外れ値を示している。対応ありの t 検定の結果、「Q5. ライブ会場内の観客が一体となっていた感覚があった。」の項目のみ NPC 同期手法条件が有意に高かった ($p < 0.05$)。

4. 考察

IOS スケールの結果から NPC 同期手法で一体感が高まる効果は見られなかった。この要因として、ユーザビリティの問題・同期パラメータの設定・同期に対する受容性の違いが考えられる。

まずユーザビリティの観点について、アクションボタンの押下から手を振るモーションへの反映のアルゴリズムが一体感に影響を及ぼした可能性がある。自由記述によるシステムの改善点で、ボタン押下からアクション反映までのラグを挙げている参加者が 11 名中 5 名おり、「ボタンを押した時のアバターの手を振る動きがタイミングが良くわからなくて 2 回目の時のサビでアバターが揃っているのに自分だけずれてしまったように感じた。」とコメントがあった。このことから、ユーザアバターの操作性の問題により NPC アバターの動作同期を維持し続けることが困難であった可能性がある。また、先行研究 [3] の VR コントローラを用いた自由な応援動作に対して、今回は画面上のアクションボタンのタップによる応援動作表現であり制約があった。音楽聴取の場における身体動作を伴うコミュニケーションは現実社会でも多数観測されており、集団での音楽聴取時にも重要な役割を担っていると考えられるため [7]、今回の応援行動がタップのみに限られていることで、身体動作の制約

によって一体感が阻害された可能性がある。

次に、同期パラメータの設定について、NPC 観客同士は一体となっていたものの、NPC 観客の応援動作がユーザの応援動作に同期していることが伝わっていなかったと考えられる。詳細な一体感評価において、「Q5. ライブ会場内の観客が一体となった感覚があった。」については有意差があり、「Q3. ライブ会場の観客と身体でコミュニケーションをとっていたような感覚があった。」「Q6. 自身もライブ会場内の観客と一体となっていた感覚があった。」については有意差がみられなかった。このため、NPC 観客がユーザの応援動作に同期していることをより感じやすくさせるように同期パラメータを最適化することで、一体感が向上する可能性がある。また、ユーザの応援行動に NPC の動作が即時に同期するように設定することも可能であるが、関連研究によるとユーザ動作の完全な複製は好まれない [1]。したがって、ユーザ動作の単なる複製とならずに、かつユーザを起点として応援動作の同期が徐々に NPC に伝わっていくことをユーザが感じられる最適なパラメータを設定することで、ユーザ自身も NPC 観客と一体となる感覚が得られ、全体的な一体感が向上する可能性がある。

NPC 観客の動作が同期することに関して、本実験の自由記述によるコメントから、ユーザごとに受容性の違いがある可能性が示唆された。同期に対して肯定的に回答した参加者と、否定的に回答した参加者のコメントの抜粋を以下に紹介する。

肯定的なコメントの抜粋

- サビの部分などで周りのアバターと一緒にタイミングで手を振ることができたため一体感が上がったように感じました。
- サビ等の部分で他のアバターが手の振りを合わせるような動きをしていて、合わせたいと思った。

否定的なコメントの抜粋

- 周囲の観客の動きが一定で人間味がなく作られたものと感じた。
- アバタ (自分以外) の動きがそろって見えて気持ち悪さを感じた。

ユーザの嗜好に応じて、NPC の動作同期を活用した一体感提示手法がそもそも適していない可能性があり、適しているユーザの特徴については追加の調査が必要である。関連研究でも NPC と共に視聴する音楽ライブ体験において、NPC の応援動作の同期がない方が親しみやすいと述べている実験参加者がいたことが指摘されている [2]。

本実験のリミテーションについて、実験結果の検討においては実験順序のランダム性が保たれていない点に注意が必要である。実験運用上の誤りにより、11 名中 9 名が NPC 同期手法条件、ベースライン条件の順番で実験を実施しているため、順序性が影響した可能性を考慮して結果を解釈する必要がある。2 回目の条件で一体感が高まっていた参加者は 11 名中 7 名であり、2 回目に体験した人が多いベースラ

イン条件で一体感が高く評価されやすかった可能性がある。また、曲のジャンルやファンダムの属性によっても NPC 同期による一体感の感じ方が変わる可能性があるため、本実験は単一コンテンツによる結果である点は注意が必要である。

5. むすび

本研究ではオンラインでの音楽ライブ鑑賞においてユーザが感じる観客との一体感を高めることを目的とし、先行研究 [3] で提案した NPC 同期手法を、ボタンタップによる応援かつ汎用的な演出・会場というシンプルな構成に対して適用した。ユーザ実験により一体感評価を実施した結果、同期する NPC 観客生成手法によって一体感が高まる効果は見られず、その要因としてユーザビリティの問題や同期パラメータの設定、ユーザの同期に対する受容性の違いが示唆された。本研究がオンラインライブ体験における一体感創出の参考となることを期待している。

謝辞 MetaMe チームメンバーには多大な協力をいただきました。心から感謝いたします。

参考文献

- [1] Hiromu Yakura and Masataka Goto. Enhancing participation experience in VR live concerts by improving motions of virtual audience avatars. In *International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 555–565, 2020.
- [2] Takehiro Ishinuki and Issei Fujishiro. Synthesis of enthusiastic collective audience NPCs in VR live concerts. In *2024 International Conference on Cyberworlds (CW)*, pp. 33–40, 2024.
- [3] Wakana Oshiro, Masahiro Kohjima, Haruno Kataoka, Masanori Yokoyama, Yuta Nambu, Motohiro Makiguchi, Rika Mochizuki, and Ryuji Yamamoto. Evaluation of virtual audience synchronized with cheering motion of the user's light stick during music concerts. In *HCI International 2024 Posters*, pp. 332–340, 2024.
- [4] Yoshiki Kuramoto. Self-entrainment of a population of coupled non-linear oscillators. In *International Symposium on Mathematical Problems in Theoretical Physics*, pp. 420–422, 1975.
- [5] Yoshiki Kuramoto. *Chemical oscillations, waves, and turbulence*. Springer-Verlag, 1984.
- [6] Arthur Aron, Elaine N Aron, and Danny Smollan. Inclusion of other in the self scale and the structure of interpersonal closeness. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 63, No. 4, p. 596, 1992.
- [7] 寺澤洋子, 星-芝玲子, 柴山拓郎, 大村英史, 古川聖, 牧野昭二, 岡ノ谷一夫. 身体機能の統合による音楽情動コミュニケーションモデル. *認知科学*, Vol. 20, No. 1, pp. 112–129, 2013.