

身体的コミュニケーションにおけるリズム同調を促進する インタラクティブ音楽演奏システム

中川友貴^{†1} 楠見茉耶^{†2} 前田佳史^{†1} 服部託夢^{†2} 中田一紀^{†1}

概要: 身体的コミュニケーションを伴うスポーツトレーニングやリハビリテーションでは、相互インタラクションを介してパートナー間の同調傾向を高めることでより高い効果が得られることが期待される。そこで本研究では、複数の奏者が協調的に演奏することで同調度を高めることを目的とした、ウェアラブルセンサーと無線通信モジュールを組み合わせたインタラクティブな音楽演奏システムを提案する。提案システムでは、学習者となる奏者が教示信号にトップダウン的に引き込まれるのではなく、パートナー間の協調的な演奏により互いのジェスチャーを手がかりとしてボトムアップ的に音楽を奏することでリズム同調を高める。それぞれの奏者は、身体性コミュニケーションを介してリズムを同期させるように演奏する。このときリズムが同期したイベントの割合によって同調度を評価して、視覚的・聴覚的情報としてリアルタイムに提示することで、奏者間のリズム同調を効果的に促進されることを示した。

An Interactive Music Performance System for Enhancing Rhythmic Synchrony in Embodied Communication

YUKI NAKAGAWA^{†1} MAYA KUSUMI^{†2} YOSHIFUMI MAEDA^{†1}
TAKUMU HATTORI^{†2} KAZUKI NAKADA^{†1}

Abstract: In sports training and rehabilitation with embodied communication, it is expected that their effects can be increased with increasing synchrony between partners through mutual interaction. In this study, we propose an interactive music performance system equipped with wearable sensors and wireless communication modules, in which multiple players cooperatively playing music games together for increasing their synchrony. In our system, a player as a trainee is never forced to be synchronized with any teaching signal in a top-down manner, and the players become in synchronization with each other through collaborative music performance and synchronous rhythm can be generated in a bottom-up manner. Each player makes efforts to adjust the timing of the sounds of the music through their embodied communication. The rhythmic synchrony is evaluated as the ratio of the number of synchronized events to the cumulative events, and the degree of the rhythmic synchrony is reflected in visual and auditory information presented on a computer in real-time, enhancing the rhythmic synchrony among the players effectively.

1. はじめに

「息があっている」、「呼吸をあわせる」、「阿吽の呼吸」と表現されるように、人と人とが協調的タスクを遂行する際にはシンクロニー(同調)が高まることが知られている。親しい家族や友人間のように、心理的距離の近さから心理的同調が高まり、その結果として身体的同調が生じることは、ボディシンクロニー(姿勢反響)として知られている[1]。このときの身体的同調は、話し方や表情のパターン、相槌のタイミング、呼吸のリズム、さらには心臓の鼓動といった行動レベルから細胞活動レベルに至るまで広い階層にわたり観測される。会話を伴う対人コミュニケーションにおいては、話者間の同調傾向が高まり発話の生起時間や生起頻度、発話形態が類似してくる[2]。また、身体的同調

から心理的同調が誘発されることが示されている。たとえば、リズム同調の効果により幼児間において類似度や親密度が高まることが示されている[3]。また、親子間における同調は、社会的・情動的・認知的発達を促すための重要な鍵であることが示唆されている[4]。さらに、リズム同調は、体の動きや音声を伴う身体的コミュニケーションにおいて、情報伝達効率を向上することが示されている[5]。このようなリズム同調は、引き込み現象(エントレインメント)(図1)として知られており、ダイナミカルシステムアプローチにより非線形物理学の観点からも研究されている[6]-[8]。

これらのことは、身体的同調、特にリズム同調を高めることは、スポーツトレーニングやリハビリテーションのように、身体的コミュニケーションを伴う訓練の効果を向上するうえで望ましいものであることを示唆している。関連研究において、運動覚同調インタラクションのための装着型運動覚入出力デバイスが提案されている[9]。この研究は運動感覚を体性感覚経路で同調させるインタラクションにより、運動感覚を教示者と学習者間で共有することを目的

^{†1} 広島市立大学
Hiroshima City University

^{†2} 広島工業大学
Hiroshima Institute of Technology

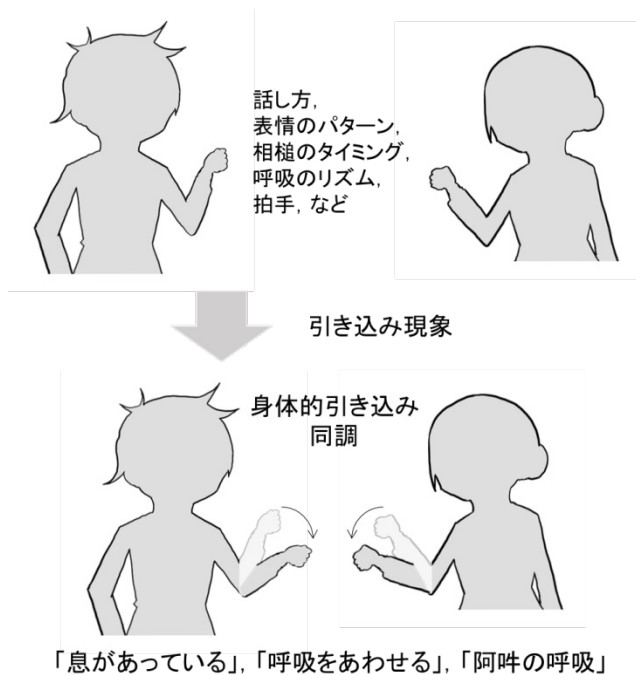


図 1 身体的コミュニケーションにおけるリズム同調 (引き込み現象). 話し方, 表情のパターン, 相槌や拍手のタイミング, 呼吸のリズムのように, 行動レベルから細胞活動のレベルに至るまで, 幅広い階層で観測される現象.

Figure 1 Rhythmic Synchrony (Entrainment) in Embodied Communication.

としたものであり, 同調度そのものは明示的に定義も評価もされていない. また, コミュニケーションにおける同調傾向を評価するために多様な同調度が定義されておりそれらを測定するための手法も多く提案されている[10]-[15].

しかし, それらの同調度を実時間で計算しシステムに反映させて学習者に提示するようなものはほとんどない. そこで本研究では, 楽しみながら身体的同調を高める訓練をすることでパートナー間の心理的同調を促し, 身体的コミュニケーションを向上させるためのインタラクティブな音楽演奏システムを提案する.

2. デザインコンセプト

本システムのコンセプトは, ヒトが強制されたリズムに合わせるのではなく, ヒトとヒト間のボディシンクロニーを明らかにすることである. 本研究では「息があっている」「呼吸をあわせる」といったボディシンクロニーを客観的に評価するために, PC によりリズムを提示せずに, 行動のフィードバックのみ行う. ここで, 行動のフィードバックとは, 任意の端末を振る行為による入力の結果を特定の順番で設定した音の高さで提示することである. たとえば, 鍵盤を押下すると音が鳴ると同様に, 任意の音階を提

示することで現在の入力が完了したことを確認させて, 次の入力を可能とする. 一方, PC によるリズムを提示せずにリズムを強制することなく複数の奏者で協奏することで, ヒト-ヒト間のインタラクションによるリズム同調を必然的に高めることができると考える. つまり, 互いの身振り手振りを確認しながらまるでジャズのセッションのようにボトムアップ的に音楽を奏でることを狙える. また, 単にリズムを合わせるのみでなく, 演奏中に次々に音階を変化させることで, 協調して1つの楽曲を演奏することによる一体感の創出も狙う.

3. システム構成

ここでは, 提案する演奏システム全体の構成と演奏方法, システムのセッティング方法, さらに同期判定および同調度の算出方法について説明する.

3.1 システム全体の構成

図2にシステム全体の構成を示す. Player: A と Player: B は各々加速度センサーを搭載したウェアラブルデバイス (Accelerometer Devise) を手首に装着する. ウェアラブルデバイスは, Arduino 互換機能を持つ無線通信モジュールである ESP-WROOM-02 を搭載した ESPr Developer ボードと 9 自由度慣性センサーシールドを組み合わせたものである. ウェアラブルデバイスの加速度センサーから得られたデータは, OSC (Open Sound Control) Protocol による UDP 通信によって Wi-Fi Router を通してホスト PC に送信される. PC 側ではオープンソースプログラミング言語である Processing を用いて, デバイスからのデータを受信し Sound (音) と Visual (画面表示) の処理を行う. Sound と Visual によって, 同調度に関する情報がフィードバックされる. 再生される音は, 予めテキストデータに定義しておき, 行動確定時に順番に再生される.

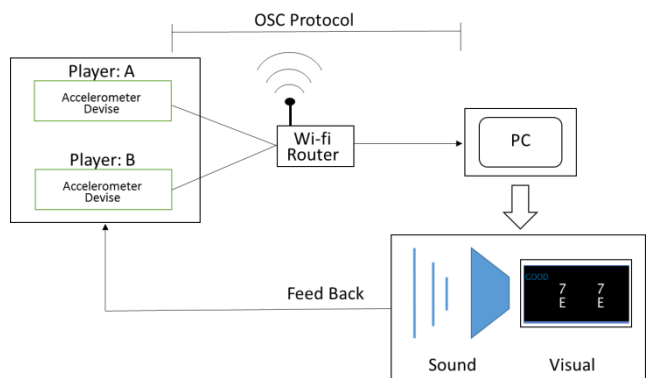


図 2 提案システム全体の構成
Figure 2 The configuration of the proposed system.

3.2 プレイ（演奏）方法

まず準備として加速度センサーを搭載したウェアラブルデバイス (Accelerometer Device) を手首に装着する。次に、行動を確定するために加速度検出の閾値を決める。PC上でゲームを起動後、Player: A, Player: Bの順にデバイスを振り、加速度の最大値を取得する。取得した加速度の最大値の半分を閾値とし、これを超えると行動（振った）とする。

演奏は、図3に示すようにお互いの腕の動作（ジェスチャー）を手がかりとしてタイミングを合わせてデバイスを振る。各奏者は相互に同調度を高めるように、協奏して音を鳴らしていく。

ただし、Player: A, Player: B両方の行動が終了後に次の音階へ進めるようにした。これより、一方が先に進みすぎて現在の音階が示されているのかが判別しにくくなることを防ぎ、同じ音階を同時に鳴らすという行動をとりやすくすることで、同調することに集中できるようにした。

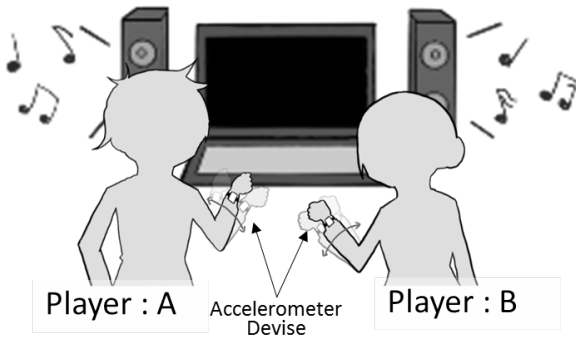


図3 提案システムの概念図

Figure 3 Conceptual illustration of the proposed system.

3.3 同期判定および同調度の算出方法

ここで、同期判定および同調度の算出方法について説明する。

図4は、同期の判定方法を示したものである。図中の横線は経過時間を示しており、Player: A, Player: Bのそれぞれがウェアラブルデバイスを振り、行動が確定したタイミングを縦棒線で示す。縦棒線の時刻をそれぞれ t_{An} , t_{Bn} とし、 t_{An} , t_{Bn} の差を Δt_n とする。n はイベント番号を表す。この、 Δt_n が 100ms 未満であれば「SUCCESS」と判定し、100 ms 以上であれば「MISS」と判定する。

また、同調度は「同期イベント数/累積イベント数」として算出する。ここで、同期イベント数とはある時刻までの「SUCCESS」数である。同調度は、リアルタイムに更新され PC の画面に表示される。演奏終了後には、トータルでの同調度をスコアとして提示する。

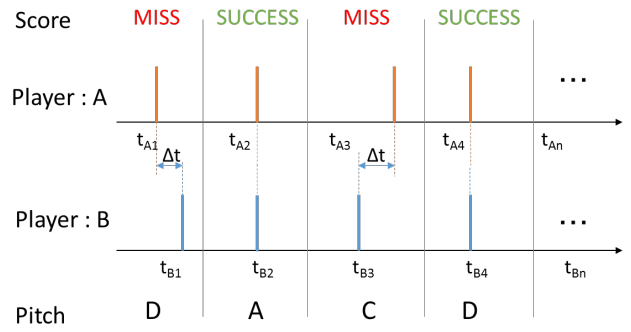


図4 同期判定

Figure 4 Detection of Synchronized Events.

4. 実演結果

演奏中（図5）の加速度波形と判定結果の一例を図6に示す。図6の縦破線は各音階の区切りを示す。ここでは、MISSの例として、Player: Bの1回目と6回目が、Player: Aと同じタイミングで波形が出ているにもかかわらず「MISS」となっている場合について示している。これは、Player: Bの波形が閾値を超えていないため、2回入力していることを示している。つまり、位相がずれている状態を表している。このように、演奏後に、それぞれの加速度の波形から同期の位相の状態を確認することができた。

ESPr Developer ボードで OSC による UDP 通信する際の送信間隔を 1ms に設定したところ、Processing での描画速度を 60 fps と高速にしてもなめらかな波形が得られた。

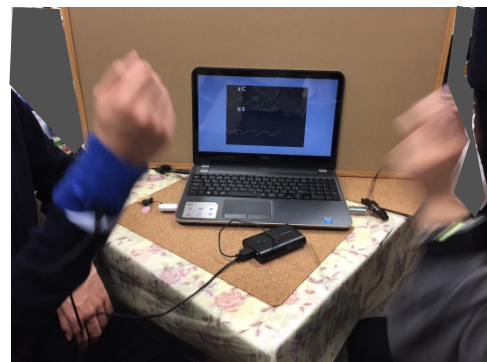


図5 演奏中の様子

Figure 5 Music Performance.

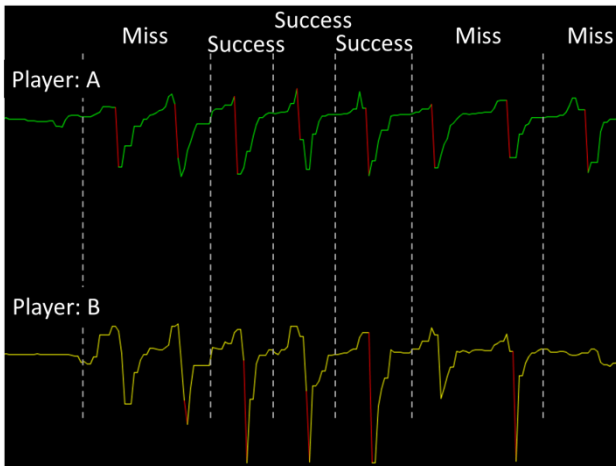


図6 演奏中の加速度センサーからの波形
Figure 6 Waveforms of Acceleration Data.

5. まとめとこれからの展望

本研究では、複数の奏者が協調的に音楽を奏することで同調度を高めることを目的としたインタラクティブな音楽演奏システムを提案した。提案システムでは、学習者となる奏者が教示信号にトップダウン的に引き込まれるのではなく、奏者間の協奏により互いのジェスチャーを手がかりとしてボトムアップ的にリズムを生成することで同調度を高める。また、実時間で同調度を評価しシステムの動作に反映させるために、複数の奏者の演奏が同期したイベント数に着目したシンプルで高速な評価アルゴリズムを実装している。同調度はスコアとして視覚情報により提示されるとともに聴覚情報（音階）としてフィードバックされるものの、身振り手振りを直接的な手がかりとすることで、身体性インタラクションを妨げないようにしている。

今回は、行動レベルでの同期イベントに着目して同調度を定義し評価したが、将来的には生体信号の時系列を信号解析することにより同調度を評価してシステムにフィードバックすることも検討している。さまざまな階層にわたる同調度をシステムの動作に効果的に反映することで、奏者間の身体的コミュニケーションをより向上することが期待できる。また、これからの研究として、人体近傍通信技術であるボディエリアネットワークを導入しシステムを構成するウェアラブルデバイスのバリエーションを増やすことで、異なる楽器での演奏のようなマルチモーダルな身体的同調を高めるシステムを構築したい。そのために、加速度センサーから得られた情報だけでなく筋電信号により演奏することも考えている。さらに、個人（奏者）間の身体的同調だけでなく個人の協調運動を訓練するためのシステムを構築し、スポーツトレーニングやリハビリテーションに応用したいと考えている。

謝辞 本研究は、文部科学省大学間連携共同教育推進事業「臨床情報工学に卓越した地域の先進医療をチームで担う人材育成」臨床情報工学プログラムにおける学生の自主的な取り組みから発展したものであり、その支援に対して、ここに関係各位に深く感謝する。また、研究を進めるうえでの貴重なご示唆ご助言をいただいた広島市立大学情報科学部医用情報科学科の福田浩士先生に心から感謝する。

参考文献

- 1) Morris, D.: *Manwatching*, Elsevier (1977) 藤田統 訳: マンウォッチング 人間の行動学, 小学館 (1980)
- 2) 大坊郁夫: しぐさのコミュニケーション: 人は親しみをどう伝えあうか セレクション社会心理学 14, サイエンス社 (1998)
- 3) Rabinowitch, T. C. and Knafo-Noam, A.: Synchronous Rhythmic Interaction Enhances Children's Perceived Similarity and Closeness Towards Each Other, *PLoS One*, Vol. 10, No. 4, e0120878 (2015)
- 4) Leclère, C., Viaux, S., Avril, M., Achard, C., Chetouani, M., Missonnier, S., and Cohen, D.: Why Synchrony Matters During Mother-Child Interactions: A Systematic Review, *PLoS One*, Vol. 9, No. 12, e113571 (2014)
- 5) Gill, S. P.: Rhythmic Synchrony and Mediated Interaction: Towards a Framework of Rhythm in Embodied Interaction, *AI & Society*, Vol. 27, No. 1, pp. 111-127 (2012)
- 6) Haken, H.: *Synergetics: An Introduction Nonequilibrium Phase Transitions and Self-organization in Physics, Chemistry and Biology*. Springer Series in Synergetics (1978)
- 7) Kelso, J. A. S.: *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*, MIT Press (1995)
- 8) 渡辺富夫: 身体的コミュニケーションにおける引き込みと身体性 ~心が通う身体的コミュニケーションシステム E-COSMIC の開発を通して~. *ベビーサイエンス*, Vol. 2, pp. 4-12 (2003)
- 9) Nishida, J. and Suzuki, K.: bioSync: Wearable Haptic I/O Device for Synchronous Kinesthetic Interaction, *Proc. of IEEE Virtual Reality*, pp. 243-244 (2016)
- 10) Schmidt, R. C., Morr, S., Fitzpatrick, P., and Richardson, M. J.: Measuring the Dynamics of Interactional Synchrony, *Journal of Nonverbal Behavior*, Vol. 36, No. 4, pp. 263-279 (2012)
- 11) Delaherche, E., Chetouani, M., Mahdhaoui, A., Saint-Georges, C., Viaux, S., and Cohen, D.: Interpersonal Synchrony: A Survey of Evaluation Methods across Disciplines, *IEEE Trans. on Affective Computing*, Vol. 3, No. 3, pp. 349-365 (2012)
- 12) 宮崎陽平, 伊藤雄一, 藤原健, 高嶋和毅, 尾上孝雄: SenseChair による会話者間の同調傾向検出, *情報処理学会 インタラクション 2015 論文集*, pp. 47-53 (2015)
- 13) Chu, W. S., Zeng, J., De la Torre, F., Cohn, J. F., and Messinger, D. S.: Unsupervised Synchrony Discovery in Human Interaction, *Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 3146-3154 (2015).
- 14) Watanabe, K.: Teaching as a Dynamic Phenomenon with Interpersonal Interactions, *Mind, Brain, and Education*, Vol. 7, No. 2, pp. 91-100 (2013)
- 15) 續毅海, 伊藤雄一, 藤原健, 高嶋和毅, 尾上孝雄: 演奏者の重心移動を用いた演奏連携度と演奏に対する評価, *ヒューマンインタフェース学会研究会研究報告集*, Vol. 18, No. 5, pp. 15-18 (2016)