



視覚と触覚の異種感覚併用提示による動作教示手法の提案

Multisensory-Compatible Motion Instruction Method Using Visual and Tactile Stimuli

湯川光¹⁾, 菅田成人¹⁾, 池尻周杜¹⁾, 平田仁²⁾, 南澤孝太³⁾, 田中由浩^{1,4)}

Hikari YUKAWA, Naruhito SUGATA, Chikato IKEJIRI, Hitoshi HIRATA, Kouta Minamizawa and Yoshihiro TANAKA

1) 名古屋工業大学 (〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所, yukawa.hikari@nitech.ac.jp, {n.sugata.929, c.ikejiri.592}@stn.nitech.ac.jp, yoshihiro.tanaka@nitech.ac.jp,)

2) 名古屋大学 (〒 466-8550 名古屋市昭和区鶴舞 65, h-hirata@med.nagoya-u.ac.jp)

3) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, kouta@kmd.keio.ac.jp)

4) 稲盛科学研究機構 (〒 600-8411 京都市下京区烏丸通四条下ル水銀屋町 620 番地 COCON 烏丸 7F)

概要: 即時的な身体・認知能力の拡張は、高いスキルの発揮に加え、能力の拡張による自己効力感の向上や行動モチベーションの創出など認知的・行動的な変容を生起する可能性を有する。本研究では、感覚刺激を用いて操作者の主体感を保持しながら、即時的な技能の模倣を可能とする動作教示手法を提案する。本稿では、認知作業負荷を下げ効果的な動作教示を行うことを目的に、異なるモダリティの感覚刺激を併用する動作教示システムを開発し、システム使用時の現象から提案システムにおける各感覚刺激の特性と、応用可能性を考察した。

キーワード: 動作教示, 感覚刺激, 身体拡張

1. はじめに

心身の状態が多様化する現代において、年齢や障害など自身が持つ制約から解放され、なりたい自分を実現するための手段が開発されている。例えば、アバターロボットや人間拡張技術を介した身体能力の拡張 [1,2] や、バーチャルリアリティを活用した認知能力の拡張 [3] など、様々な観点から取り組みがなされてきた。本研究では身体的技能に着目し、感覚刺激を用いて動作を教示することで、使用者の主体感を保ちながらも、即時的に運動・認知能力を拡張しうるシステムを提案する。生産年齢人口が減少する中で、技能の伝承は喫緊の課題であり動作を教示可能な技能学習に対する需要は高い。また、主体感を伴う即時的な自身の身体・認知能力の拡張は、自己効力感の向上、運動意欲の創出に資することが期待され、高齢者のフレイル予防 [4]、幼少期の教育 [5] にも活用できる可能性を有する。

ナビゲーションや技能学習の分野では感覚刺激を活用した動作教示手法が提案されているが、複数の身体部位や情報を使用する複雑な技能を教示する場合、認知負荷が高くなり即時的に提示情報を運動へ反映することは困難である。また、機械的、電気的に製作者の意図した動作を強制的に生起させる場合、即時的に動作を模倣できる可能性を有するが、主体感を伴わないため学習効果が低減することに加え自己効力感に寄与し難い。

認知負荷を低減し即時的な動作模倣を可能にするために、我々のシステムでは異なるモダリティの感覚刺激を用いて動作を教示する。認知神経科学の分野では、同一モダリティ

よりも異なるモダリティの情報を処理する場合の方が干渉が少なくなることが知られている [6]。この知見を踏まえ、異なる身体部位または種類の情報を異なるモダリティで表現することで、同一モダリティよりも、刺激を混同しづらく低い認知負荷で効果的に動作教示を行えると考えた。本稿では、異種感覚刺激を併用するシステムの例として、左右の手の動作情報を視覚刺激および触覚刺激で教示する感覚提示手法を提案する。さらにシステム使用時の現象から、提案システムにおける各感覚刺激の特性を考察するとともに、本システムが活用可能な応用事例を示す。

2. システム

2.1 提案システムの概要

認知負荷が低く容易な動作模倣・学習を可能にするシステムとして、異種の感覚刺激を併用し、身体または使用する道具から提示する手法を提案する。また、モダリティの特性の違いを活用することで、効果的な動作教示が可能になると考える。例えば、視覚は空間的に情報を提示することが可能であるため、事前に動作情報を与えるなど予測に活用できる可能性がある。一方触覚は時間的な差異を検知しやすい刺激であり [7]、例えば Tactile Suppression [8] のように、自身の運動と整合すると触覚刺激が感じづらく手本と自身の動作のズレを強調できる可能性がある。また、運動に対応する部位に直接提示できるため、運動への反映が容易になる可能性がある。このようにモダリティの特性を活かすことで役割を分担でき、効果的な動作教示につながると思われる。

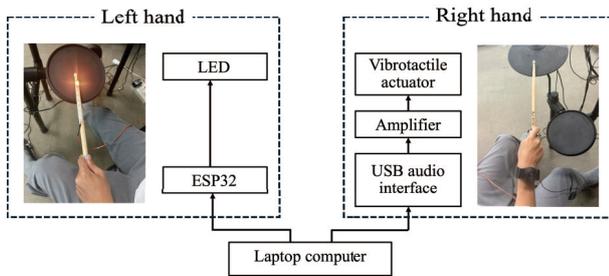


図 1: ドラム演奏を対象とした動作指示システム

2.2 ドラム演奏指示システム

本稿ではプロトタイプとして、ドラム演奏の 8 ビートを教示するシステムを作成した。8 ビートはドラム演奏の基礎的なリズムであり、1 小節に右手は 4 拍、左手は 1 拍叩く。そこで感覚情報の特性を考慮し、リズムを常時刻み、スピードのズレを手本と照合する左手には振動刺激を、適切なタイミングが重要となる右手には、予測情報を含んだ視覚刺激を使用した。

提示システムは図 1 に示される構成である。あらかじめ記録した演奏データからタイミングを抽出し Python を用いて感覚刺激を提示する。触覚刺激提示側は、PC からオーディオインタフェース (Sound Blaster PLAY! 3, Creative)、アンプ (AP05mk2, Fostex) を介して、右手首に装着した振動子 (ACTUATOR 639893, Foster Electric Company) から振動 (200Hz の正弦波) が提示される。視覚刺激提示側は、PC からマイコン (ESP32-DevKitC, Espressif System) を介してテープ LED で光が提示される。ドラムスティックに貼付した 8 つの LED は、手元側から先端に向けて流れるように順に光り (各 90ms)、先端の LED が光った時が適切なタイミングとなるように提示される。

3. 提案システムにおける各感覚刺激の特性

提案システムを使用してドラム演奏した際に生じた現象から、各感覚刺激の利点・欠点を考察する。視覚刺激は予測情報を含んでいるため次動作の準備が可能となり、タイミングが重要となる左手の作業に有用だった。しかし、右手の情報に同様の刺激を用いた場合、連続的に提示されるため処理が追いつかないという問題が生じた。一定速度以上の動作では、どのようなモダリティを用いても提示された刺激に基づいて運動を調整することは困難であるため、知覚・認知の限界値を調査する必要がある。

触覚刺激では、仮説通り振動と打撃のタイミングが一致

すると振動を小さく感じる現象が確認された。ただし、システムに慣れていない段階では、振動を感じづらくなることでリズムがわからなくなり、正しいリズムで演奏していたにもかかわらず、自ら演奏を止めてしまうという問題が生じた。この問題は、学習の初期段階では強制的に動作を生起するデバイスの併用など、運動の積極的なサポートによって解決する可能性がある。

また、聴覚刺激も感覚刺激として活用できる可能性がある。聴覚刺激は触覚刺激と同様に、時間的なズレを知覚しやすいモダリティであり [7]、リズムを提示することに利点を有する。さらに、耳への提示を行うため触覚刺激よりも自身の動作と混同しづらい。ただし、複数の刺激を同時に提示する場合、それぞれの身体部位に提示可能な触覚刺激よりも情報の分離が難しくなることが予想される。特に 3 つ以上の刺激を用いる場合、その影響は顕著であると予想される。

4. 想定される応用事例

今回は異種感覚刺激を提示する動作指示手法の一例として、ドラム演奏を対象に異なる身体部位の動作情報を提示するシステムを作成した。しかし我々の提案する動作指示システムは、ドラム演奏のように定型の運動を繰り返す技能に限定されるものではない。例えば、楽器演奏やタイピングのような両手の独立した操作や、製造や料理のような連携した操作 (左手で物体の固定や調整、右手で加工など) など左右の手を使用する多くの技能への応用が考えられる。さらに、手以外の部位を使用する場合には、目の届く手の動きは視覚刺激で、足の動作は触覚刺激で提示するなど身体部位によって感覚刺激を選定することもできる。

また、同一身体部位に対して異なる情報を同時に与える場合にも活用できる。例えば、筆記の技能は動作と力加減を同時に調整する必要があり、それらを異なるモダリティの刺激で与えることで情報を混同しづらくなるを考える。さらに、同時に認識できる感覚刺激の個数については検証する必要があるが、身体の複数箇所に複数情報を与えることができれば、応用の幅が大きく広がる。

5. おわりに

本研究では、認知負荷が低く容易な動作模倣・学習を可能にするシステムの実現を目的に、異なるモダリティの感覚刺激を併用する動作指示システムを提案した。ドラム演奏を対象とし視覚刺激と触覚刺激を併用するシステムを作成し演奏を行ったところ、今回のシステム構成においては視覚刺激は予測が必要となる動作、触覚刺激は時間的なズレの検知が重要となる動作に有用であることが示唆された。今後の研究では、演奏のパフォーマンスおよび認知負荷を評価し、提案システムの有効性を検証する [9]。また、異なる身体部位の動作だけではなく、異なる情報 (位置と力など) の表現によって多様な技能への応用を目指す。

謝辞 本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業 Cyber-

netic being プロジェクト (JPMJMS2013), 科研費 若手研究 (24K20816), 稲盛科学研究機構フェローシップの支援を受けて実施された。

参考文献

- [1] Takeuchi, K., Yamazaki, Y., and Yoshifuji, K.: Avatar Work: Telework for Disabled People Unable to Go Outside by Using Avatar Robots. In Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI '20), pp. 53–60, 2020.
- [2] Umezawa, K., Suzuki, Y., Ganesh, G., and Yoichi Miyazaki: Bodily ownership of an independent supernumerary limb, *Sci Rep* 12, 2339, 2022.
- [3] Yee, N., and Bailenson, J.: The Proteus Effect: The effect of transformed self-representation on behavior, *Human Communication Research*, 33(3), pp. 271–290, 2007
- [4] Franks, D., Barblett, L. and Kirk, G. : Teachers Understanding of the Major Sources of Self-efficacy in Early Childhood, *Early Childhood Educ J*, 2023.
- [5] Sugimoto, T., Arai, H., and Sakurai, T. : An update on cognitive frailty: Its definition, impact, associated factors and underlying mechanisms, and interventions, *Geriatrics and Gerontology International*, 22(2), pp. 99–109, 2021.
- [6] Occelli, V., Spence, C. and Zampini, M.: Audiotactile interactions in temporal perception, *Psychon Bull Rev* 18, pp. 429–454, 2011.
- [7] Alais, D., Morrone, C., Burr, D.: Separate attentional resources for vision and audition, *Proc Biol Sci*. 273(1592), 2006.
- [8] Juravle, G., Binsted, G. and Spence, C.: Tactile suppression in goal-directed movement, *Psychon Bull Rev* 24, pp. 1060–1076, 2017.
- [9] 菅田成人, 湯川光, 池尻周杜, 平田仁, 田中由浩: 動作指示手法における異種感覚刺激提示の有効性の検証, *日本バーチャルリアリティ学会第 29 回大会論文集*, 2024.(in press)