



触覚提示技術の応用シナリオの体系化に向けた予備的検討

宇治土公 雄介¹⁾, 森崎 汰雄¹⁾

Yusuke UJITOKO and Tao MORISAKI

1) NTT 株式会社 (〒 243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3 - 1, {yusuke.ujitoko, taomorisaki}@gmail.com)

概要: 触覚提示技術は、医療や教育など、様々な分野への応用の可能性を秘めている。触覚提示技術の応用シナリオを理解することは、提示技術の研究開発の方向性を定める上で重要である。しかし、その応用シナリオは体系的に整理されていない。このギャップを埋めるため、本研究では応用シナリオを整理することを最終目的とする。触覚提示技術に関する研究者は、技術の特性を理解しているため、妥当な応用シナリオを断片的ではあっても文書化している可能性が高いと考えられる。そこで、研究論文から応用シナリオに関連する記述を収集することを考えた。まず、応用シナリオが記述されている文献についてそのタイプごとに特性を整理した。次に、今後応用シナリオを抽出する対象として有効と考えられる文献タイプを選定し、そのタイプの文献を収集した。今後は収集文献に基づき、応用シナリオを抽出する。

キーワード: 触覚提示、アプリケーション、VR

1. はじめに

筋や腱の深部感覚受容器、皮膚内の機械受容器を刺激することで触感を人に提示する触覚提示技術は、盛んに研究開発が進められている [1]。これらの提示技術により、即時的な情報提示やリアルな質感の提示機能が実装可能である [2]。こうした機能は、スマートフォンによる通知やゲームにおけるリアリティのある体験提供といった応用シナリオで広く利用されているが、医療 [3] や教育 [4] など、より幅広い領域での応用可能性がある。触覚提示技術がどのように応用可能であるかを理解することは、今後の研究開発の方向性を定める上で重要である。

本研究では、既存文献に記述された触覚提示技術の応用シナリオを分析し、それらに共通する要素の抽出を最終目的とする。触覚提示技術の研究者は、各々の研究論文において応用シナリオを個別に提案しているが、それらは断片的である。研究者は触覚提示技術の能力と特性を理解しており、現実的な応用シナリオを記述していると考えられるため、それらを収集・分析することで、実現可能性のある応用シナリオを体系的に整理できる可能性がある。しかしながら、現時点では応用シナリオのリスト化や体系的な整理は行われていない。既存のサーベイ論文において触覚提示技術の応用シナリオが紹介されている例もあるが、それらの多くは自動車分野 [5, 6] などの特定ドメインに限定されており、また限られた例を単に列挙するに留まり、体系的な整理は行われていない [7, 8]。

触覚提示技術の応用シナリオの整理という最終目的に向けて、本報告では応用シナリオを記述している既存文献の種類を分析し、本研究で今後、応用シナリオ抽出の情報源とする文献のタイプを選定した。そして当該タイプの文献

を収集した。

2. 応用シナリオの記述がある既存文献の分析

本研究では、応用シナリオの記述がある既存文献を以下の 3 つのタイプに分類した。これらのタイプは、応用シナリオの抽出に関連する特性において相違がある。

- **[タイプ 1]** 特定の触覚提示技術に関する研究論文
- **[タイプ 2]** 特定ドメインにおける触覚提示技術のレビュー論文
- **[タイプ 3]** (特定ドメインに限定されない) 触覚提示技術の広範なレビュー論文

結論として、応用シナリオに関する記述を抽出するために使用する文献として、タイプ 3 の文献を選定した。以下、各文献タイプの特性を紹介し、この選定の根拠を述べる。

選定にあたって考慮したのは、文献タイプに応じた 2 つの特性、すなわち「応用シナリオの網羅性」と「応用シナリオの抽出難易度」である。応用シナリオの網羅性については、多くの既存文献が特定技術あるいは特定ドメインに焦点を当てていることが多い [5, 7]。こうした焦点化された文献は、個別技術やドメインに関する深い理解を得る上では有益であるが、研究者や開発者が応用可能性を俯瞰するためには、より広範なドメイン網羅性が望ましい。

もう一つの重要な特性は、応用シナリオの抽出難易度である。文献は自然言語で記述されているため、自動抽出は困難であり、手動抽出が必要となる。手動抽出の難易度は文献タイプによって異なり、抽出可能性の観点からその難易度が過度に高くないことが求められる。

2.1 [タイプ 1] 特定の触覚提示技術に関する研究論文

網羅性および抽出難易度の 2 つの観点から検討した結果、本研究ではタイプ 1 の論文を応用シナリオの抽出・整理の主たる情報源として用いないこととした。タイプ 1 の論文は、特定の触覚提示技術を紹介するものであり、通常、その技術に特化した応用シナリオを、アブストラクト・序論・議論・結論などのセクションにおいて提示している。

まず、網羅性の観点では、一報ごとの応用シナリオの網羅性は低い。各論文には、当該技術に直接関係するシナリオしか記述されておらず、そのため個々の論文に記載されたシナリオは限定的である。次に、抽出難易度の観点では、タイプ 1 の論文は自然言語による記述の多様性が極めて高いため、応用シナリオの自動抽出が困難である。自動抽出が難しいだけでなく、膨大な件数のために手動による分析も現実的ではない。

2.2 [タイプ 2] 特定ドメインにおける触覚ディスプレイ技術のレビュー論文

タイプ 2 に該当する、特定ドメイン（例：自動車分野 [5, 6]、教育分野 [4] など）に関する触覚提示技術のレビュー論文についても、応用シナリオの抽出・整理の主たる情報源として用いないこととした。

網羅性の観点では、各論文は特定のドメインにおいて一定の網羅性を持っているものの、我々の補足調査により、多くの論文が医療分野など特定の少数ドメインに偏っていることが明らかになった。そのため、全体としての網羅性には限界があると判断した。

抽出難易度の観点でも、自然言語表現の多様性により、自動的な抽出は困難である。また、数百件以上の関連レビューが存在するため、手動による包括的な分析も現実的ではない。

以上より、タイプ 2 の論文は特定のドメインにおける深い洞察を提供する可能性がある一方で、本研究の目的には適さないと判断した。

2.3 [タイプ 3] (特定の領域に限定されない) 触覚提示技術の広範なレビュー論文

本研究では、タイプ 3 に分類される、特定領域に依存しない触覚ディスプレイ技術に関する広範なレビュー論文やチュートリアル論文 [7, 8] を、応用シナリオ抽出の情報源として使用することとした。

網羅性の観点では、これらの論文は特定ドメインに限定されていないため、一報ごとの網羅性が他のタイプよりも高く、論文群としての網羅性も高くなると期待される。

抽出難易度の観点では、他のタイプと同様に自然言語表現の多様性はあるものの、このタイプに該当する論文数は比較的少なく、手動での分析が現実的となり、応用シナリオを整理するための情報源として最適であると判断した。

3. タイプ 3 の文献の収集

タイプ 3 に該当する広範なレビュー論文の収集を、PRISMA のフロー [9] に従って行った。PRISMA フローダイアグラムを図 1 に示す。

3.1 収集方法

関連する可能性のある論文を網羅的に収集するため、Semantic Scholar と PubMed をデータベースとして用いた。これらのデータベースは検索 API を提供しており、学術論文の検索と取得が可能である。

検索条件として、論文タイトルに ("survey" OR "review" OR "tutorial") を含み、タイトルまたはアブストラクトに ("haptic feedback" OR "tactile feedback" OR "haptic interface" OR "tactile interface" OR "haptic interfaces" OR "tactile interfaces" OR "haptic presentation" OR "tactile presentation" OR "haptic display" OR "tactile display" OR "haptic displays" OR "tactile displays" OR "haptic rendering" OR "tactile rendering") のいずれかを含むものを対象とした。この検索は 2024 年 4 月から 10 月にかけて実施され、合計 429 件の論文が得られた。

3.1.1 適格基準

論文の本研究の目的に対する適格を判断するため、以下の基準を設けた。第一に、論文の種類として、査読付きジャーナル論文もしくは学会予稿に分類されるレビュー論文のみを対象とし、学位論文や書籍は除外した。また、英語で書かれた論文のみを対象とした。第二に、ドメイン特化でないレビューであることを条件とした。たとえば、自動車分野など特定の領域に限定されたレビュー論文は対象外とした。第三に、複数の応用シナリオに関する具体的な記述が含まれていることを条件とした。単に複数のシナリオが存在することを示唆する記述があるだけでは不十分であり、各シナリオが具体的に説明されていることを基準とした。

3.1.2 スクリーニング手順

まず重複していた 68 件を除去した。その後、残りの 371 件について、2 段階に分けたスクリーニングを行った。第一段階では、全てのタイトルとアブストラクトを確認し、前述の適格基準を満たさないものを除外した。その結果、310 件が除外され、残りの 61 件について本文の取得を行った。次に、全文が入手できた 49 件について再度スクリーニングを行い、本文に基づき適格基準を満たすかを調べた。その結果、7 件のレビュー論文が適格と判断された。

さらに、これら 7 件のレビュー論文に引用されている文献を追加調査し、最終的に合計 29 件の適格なレビュー論文を集めた [10, 11, 2, 12, 13, 14, 15, 16, 8, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35]。ジャーナル論文が最も多く、次いで学会予稿、米陸軍研究所のレポートが続いた。出版年は 1997 年から現在に至るまで分布しており、近年の文献がやや多い傾向にある。

4. おわりに

触覚提示技術の応用シナリオの整理に向けて、まず応用シナリオの記載がある文献タイプを整理し、特定ドメインに限定されない広範な触覚提示技術のレビュー論文を収集した。今後は、収集した論文から応用シナリオを抽出し分析を進める。

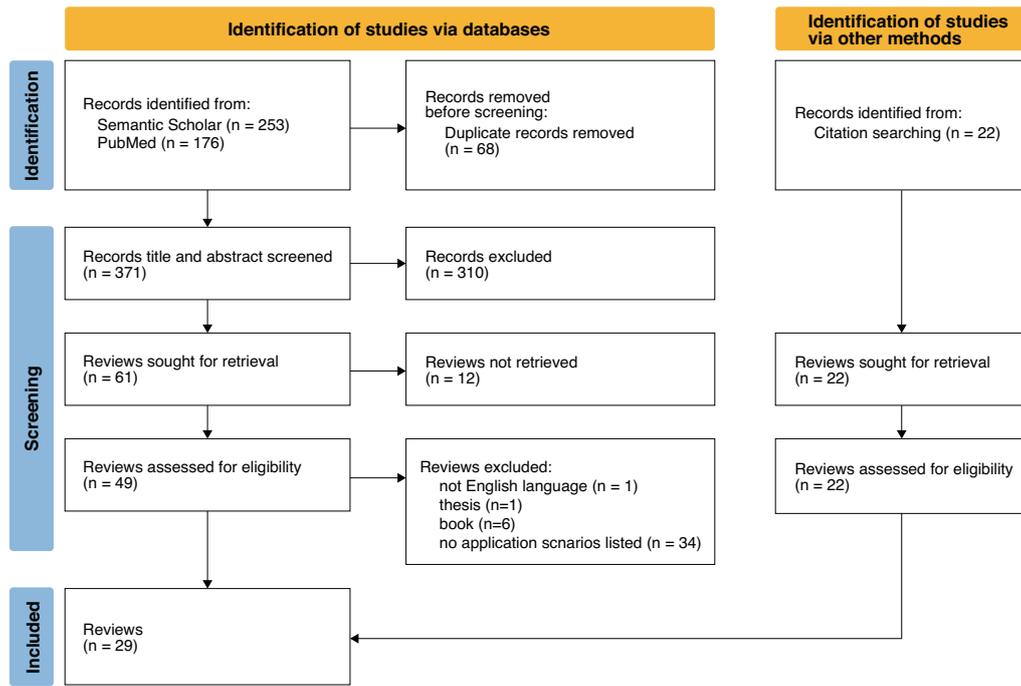


図 1: PRISMA flow diagram showing the stages of identification, screening, and inclusion of our systematic search.

参考文献

- [1] Thorsten A Kern, Christian Hatzfeld, and Alireza Abbasimoshaei. *Engineering Haptic Devices*. Springer Nature, 2023.
- [2] Heather Culbertson, Samuel B Schorr, and Allison M Okamura. Haptics: The present and future of artificial touch sensation. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 385–409, 2018.
- [3] Iلمان Shazhaev, Dimitry Mihaylov, and Abdulla Shafeeg. A review of haptic technology applications in healthcare. *Open Journal of Applied Sciences*, Vol. 13, No. 2, pp. 163–174, 2023.
- [4] Muhammad Fouad, Tamer Mansour, and Tamer Nabil. Use of haptic devices in education: A review. *Suez Canal Engineering, Energy and Environmental Science*, Vol. 1, No. 1, pp. 18–22, 2023.
- [5] Yoren Gaffary and Anatole Lécuyer. The use of haptic and tactile information in the car to improve driving safety: A review of current technologies. *Frontiers in ICT*, Vol. 5, p. 5, 2018.
- [6] Sebastiaan M Petermeijer, David A Abbink, Mark Mulder, and Joost CF De Winter. The effect of haptic support systems on driver performance: A literature survey. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 8, No. 4, pp. 467–479, 2015.
- [7] Mandayam A Srinivasan. Haptic interfaces: Hardware, software and human performance¹. *Human-computer Interaction and Virtual Environments*, Vol. 3320, p. 103, 1995.
- [8] Vincent Hayward, Oliver R Astley, Manuel Cruz-Hernandez, Danny Grant, and Gabriel Robles-De-La-Torre. Haptic interfaces and devices. *Sensor Review*, Vol. 24, No. 1, pp. 16–29, 2004.
- [9] Matthew J Page, Joanne E McKenzie, Patrick M Bossuyt, Isabelle Boutron, Tammy C Hoffmann, Cynthia D Mulrow, Larissa Shamseer, Jennifer M Tetzlaff, Elie A Akl, Sue E Brennan, et al. The prisma 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, Vol. 372, , 2021.
- [10] Carlos Bermejo and Pan Hui. A survey on haptic technologies for mobile augmented reality. *ACM Computing Surveys*, Vol. 54, No. 9, pp. 1–35, 2021.
- [11] Vasilios G Chouvardas, Amalia N Miliou, and Miltiadis K Hatalis. Tactile display applications: A state of the art survey. In *Proceedings of the 2nd Balkan Conference in Informatics*, pp. 290–303, 2005.
- [12] Ekta N. Chavan and Dinesh V. Rojatkhar. State of art of haptic technology. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, Vol. 4, No. 1, pp. 118–124, 2017.
- [13] Abdulmotaleb El Saddik. The potential of haptics technologies. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, Vol. 10, No. 1, pp. 10–17, 2007.

- [14] Melika Emami, Amirhossein Bayat, Rahim Tafazolli, and Atta Quddus. A survey on haptics: Communication, sensing and feedback. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2024.
- [15] Gerhard P Fettweis. The tactile internet: Applications and challenges. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, Vol. 9, No. 1, pp. 64–70, 2014.
- [16] Felix G Hamza-Lup, Kyle Bergeron, and Daniel Newton. Haptic systems in user interfaces: state of the art survey. In *Proceedings of the 2019 ACM Southeast Conference*, pp. 141–148, 2019.
- [17] Oliver Holland, Eckehard Steinbach, R Venkatesha Prasad, Qian Liu, Zaher Dawy, Adnan Aijaz, Nikolaos Pappas, Kishor Chandra, Vijay S Rao, Sharief Oteafy, et al. The iee 1918.1 “tactile internet” standards working group and its standards. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 107, No. 2, pp. 256–279, 2019.
- [18] Subhankar Karmakar, Anindita Kesh, and Manivannan Muniyandi. Thermal illusions for thermal displays: a review. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 17, p. 1278894, 2023.
- [19] Panagiotis Kourtesis, Ferran Argelaguet, Sebastian Vizcay, Maud Marchal, and Claudio Pachierotti. Electrotactile feedback applications for hand and arm interactions: A systematic review, meta-analysis, and future directions. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 15, No. 3, pp. 479–496, 2022.
- [20] A Naveen Kumar and B Jyoti Ohri. Haptic system its constituents and application in advanced technology. In *Proceedings of 1st National Power & Energy System Conference*, Vol. 2, p. 3, 2014.
- [21] Anatole Lécuyer. Simulating haptic feedback using vision: A survey of research and applications of pseudo-haptic feedback. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 18, No. 1, pp. 39–53, 2009.
- [22] Víctor Rodrigo Mercado, Maud Marchal, and Anatole Lécuyer. “haptics on-demand”: A survey on encountered-type haptic displays. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 14, No. 3, pp. 449–464, 2021.
- [23] Kimberly Myles and Mary S Binseel. *The tactile modality: A review of tactile sensitivity and human tactile interfaces*. Army Research Laboratory, 2007.
- [24] Ismo Rakkolainen, Euan Freeman, Antti Sand, Roope Raisamo, and Stephen Brewster. A survey of mid-air ultrasound haptics and its applications. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 14, No. 1, pp. 2–19, 2020.
- [25] Ismo Rakkolainen, Antti Sand, and Roope Raisamo. A survey of mid-air ultrasonic tactile feedback. In *2019 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM)*, pp. 94–944. IEEE, 2019.
- [26] Bhagyesh Khushal Rane and Yamini Ulhas Sutar. A review paper on haptic technology applications. *International Journal of Advance Research, Ideas, and Innovations in Technology*, pp. 480–482, 2019.
- [27] Mr Shanmugam, Kanagaraj Venusamy, S Subin, S Srivatsan, and Naresh Kumar. A comprehensive review of haptic gloves: Advances, challenges, and future directions. In *Proceedings of 2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems*, pp. 227–233. IEEE, 2023.
- [28] Peter B Shull and Dana D Damian. Haptic wearables as sensory replacement, sensory augmentation and trainer—a review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, Vol. 12, pp. 1–13, 2015.
- [29] M Sreelakshmi and TD Subash. Haptic technology: A comprehensive review on its applications and future prospects. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 4, No. 2, pp. 4182–4187, 2017.
- [30] Mandayam A Srinivasan and Cagatay Basdogan. Haptics in virtual environments: Taxonomy, research status, and challenges. *Computers & Graphics*, Vol. 21, No. 4, pp. 393–404, 1997.
- [31] Anthony Talvas, Maud Marchal, and Anatole Lécuyer. A survey on bimanual haptic interaction. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 7, No. 3, pp. 285–300, 2014.
- [32] Lennart Thurfjell, John McLaughlin, Johan Mattsson, and Piet Lammertse. Haptic interaction with virtual objects: the technology and some applications. *Industrial Robot: An International Journal*, Vol. 29, No. 3, pp. 210–215, 2002.
- [33] BD Varalakshmi, J Thriveni, KR Venugopal, and LM Patnaik. Haptics: state of the art survey. *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 9, No. 5, p. 234, 2012.
- [34] Kume Yuichiro. Evolution of information displays through tactile sensation in human interfaces: A historic review. In *Proceedings of the International Display Workshops*, p. 1221, 2023.
- [35] Ziliang Zhou, Yicheng Yang, Jimbiao Liu, Jia Zeng, Xiaoxin Wang, and Honghai Liu. Electrotactile perception properties and its applications: A review. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 15, No. 3, pp. 464–478, 2022.