

壁材見本の展示を目的とする遭遇型 VR システムの提案

山口瞬^{†1} 塩野入央空^{†1} 中村拓人^{†1†2} 梶本裕之^{†1}

概要：近年、VR 体験を利用した商品や製作物のショールームが増えてきている。しかし現在の VR ショールームにおいてはものの材質感提示を行う仕組みはまだ導入されていない。本研究は材質感が重要になる要素の一つである壁材を VR 上で展示することを目的とし、遭遇型の触覚提示によって材質感提示を切り替える手法を提案する。本稿では手法の提案に加え、システムにおいて必要な触覚装置の設計と、それに伴う予備実験について報告する。

Proposal of an encounter type VR system aimed at exhibiting wall material samples

SHUN YAMAGUCHI^{†1} HIROTAKA SHIONOIRI^{†1} TAKUTO NAKAMURA^{†1†2}
HIROYUKI KAJIMOTO^{†1}

Abstract: In recent years, showroom of products and merchandises using the VR experience are increasing. However, presentation of the materials in the VR showroom is not yet achieved. In this research, we aim to exhibit wall material in VR environment, and propose a material feeling presentation method that can switch the tactile sense using encounter type haptic display. This paper also reports design of the haptic display and results of preliminary experiments.

1. はじめに

近年、VR 体験を利用した商品や製作物の展示が増えてきている。例えば 2016 年に Audi が自動車の VR ショールームを発表し[1]、同 2016 年に IKEA がキッチンの VR 体験が可能なアプリケーションを Steam で配信した[2]。また、住宅展示場を VR 空間で行うシステムも開発され、すでに実用化されている[3]。このような展示において、商品の質感までも含めた展示を行うためには、視覚以外のフィードバックが必要になる。商品の質感の中でも特に重要なのは手で実際に触った際に感じる触感であると考えられる。しかし現在の VR ショールームに VR 空間上のものの手触りを忠実に表現できる仕組みは未だ実装されていない。この大きな理由は、現在の触覚提示装置が実物の触感を再現するほどの能力を持っていないことであると考えられる。

そこで本研究では、特定の商品展示を目的とし、その商品を実際に触覚提示に使用することにより、実物の触感を再現する VR コンテンツを提案する。特に今回は壁紙や板材といった建材の展示を目的とした VR システムを提案する。

VR 体験における触覚提示の方法はいくつか提案されている。例えば専用のグローブを用いた装着型の触覚ディスプレイによって触感を生成する方法がある[4]。この方法は前述のように、現実の物体の触感を完全に再生することは現時点では難しい。これに対して、手掌部で触る対象物を

実際に用意する手法は遭遇型と呼ばれている[5]。この手法は VR 体験の内容に対応した現実の物体を実際に用意しなければならないが、実物を触らせるため、実際の接触に伴う触覚を提示できるためリアルな触感を提示するには適切な方法である。今回提案する VR システムは商品の展示に用途が限定されているため、提示に必要な実物を全て用意することができる。したがって今回は遭遇型の触覚提示手法を採用した。

遭遇型の触覚提示は近年盛んに研究されており[6]、実際の物体を人間の手[7]やロボットアーム[8][9][10]、ドローン[11]などを用いて動かす方法も提案されている。これらの手法は形状や柔らかさの提示に使用されているが、筆者らの知る限りこれまでに提示する物体表面の材質感を切り替えるために用いるものはなかった。(改行)

今回提案する VR システムでは、遭遇型 VR システムを提示物体の表面材質の動的切り替えという用途で使用する。これにより、複数の異なる建材を人の手を介さず切り替えられるようになる。

本稿で提案するシステムは、数種類ある建材のうち体験者が選択した 1 つを VR 空間中の部屋に提示する。体験者が手を伸ばすと、装置は VR 空間上に提示されている建材を体験者の手の位置へと移動させる(図 1)。建材を変更すると HMD に表示される建材の見た目も変化し、実際に触れる建材も移動によって切り替わる。

^{†1} 電気通信大学
The University of Electro-Communications

^{†2} 日本学術振興会 特別研究員
JSPS Research Fellow

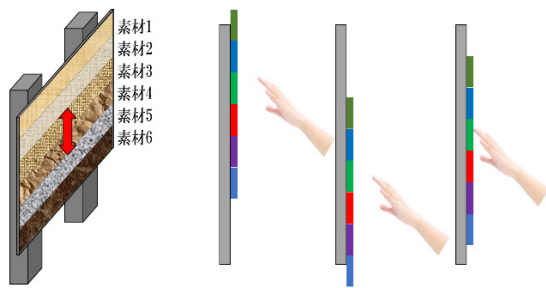


図 1 提案手法の概図

Figure 1 Outline of the proposed method

本稿では、今回開発する VR システムに用いる触覚提示装置の仕組みおよび設計に要した予備実験について報告する。

2. 提案手法

2.1 触覚提示装置

本研究は建材の展示という使用目的に限定し、板の上下運動に限定した簡潔な装置を遭遇型 VR システムに使用する。図 2 は、後述の予備実験の結果も踏まえて製作した触覚提示装置の全体図である。



図 2 建材用触覚提示装置

Figure 2 Haptic presentation device for wall materials

装置で駆動する板は厚さ 4mm×縦 800mm×横 900mm のラワンベニヤを使用した。この板に幅 20cm の短冊状の建材を 4 種貼付し、建材の触覚提示を行う。

この板をストローク長 1050mm の単軸ロボット (YAMAHA, FLIP-X シリーズ T9H)に取り付け、板が 1 軸方向に平行移動するようにした。

2.2 センサとソフトウェア

VR 空間の表示には HMD (Vive, HTC) を用いた。また、

体験者の手の位置を VR 空間に適切に反映するため、体験時には Vive tracker (99HALM005-00, HTC) を右手の甲に装着してもらった。Vive tracker の手への固定には両面マジックテープを使用し、図 3 のように手に巻き付けるかたちで固定した。



図 3 Vive tracker

Figure 3 Vive Tracker

VR 空間の描画および制御は Unity で行う。また、単軸ロボットの動作は PC からのシリアル通信で制御を行い、Vive Tracker で取得した体験者の手の位置に応じて板を適切な位置に動かす。

3. 予備実験

触覚提示装置を製作するにあたって、3 つの予備実験を行った。

3.1 実験装置

実験の際は安全性を考慮し、事前に製作した手動の装置を使用した。装置の全体図を図 4 に示す。

この装置は、単軸ロボットの代わりに全長 1960mm の重荷重用リニアガイド (ミスミ, C-SX2R28-1960) 2 本を使用して板を固定しており、1 軸方向の平行移動が可能である。実験時は実験者が装置の横に立ち、被験者の手の位置を目測して板を動かした(図 5)。



図 4 実験用の触覚提示装置

Figure 4 Haptic presentation device for experiments



図 5 装置動作の様子

Figure 5 How the device is moved by experimenter

3.2 実験 1 壁に手を触れるときの手の速度計測

本実験は、人が壁に手を触れようとするとき、手を動かしてから壁に触れるまでどれぐらいの時間がかかるのかを計測することを目的に行った。これにより、装置が板を体験者の手の位置に動かす際にかけられる時間を具体的に把握することができる。

被験者には **Vive tracker** のみを装着した状態で壁の近くに立ってもらい、合図のブザーが鳴ったと同時に壁に触れてもらった。時間計測は **Unity** 上で行い、ブザーを鳴らしてから **Vive Tracker** が現実の壁に触れる位置に到達するまでの時間を記録した。

実験は気を付けの状態から始める場合（条件 1）と、手を挙げて壁に触れる直前の状態から始める場合（条件 2）の 2 種類の実験条件で行った。

被験者は 11 名（男性 6 名、21～27 歳）、条件 1、条件 2 の順で 1 条件ごとに 3 回ずつ、計 6 回の計測を行った。

3.3 実験 2 壁に手を触れるときの手の挙動計測

本実験は、人が壁に触れるとき手をどのように動かすかを計測し、手が動く範囲や縦横どちらに動きやすいかを把握することを目的に行った。

被験者には **HMD** と **Vive tracker** を装着した状態で、**VR** 上の壁に 30 秒間触れてもらった。自然に触ったときの挙動を計測するため、被験者には「壁の質感を確かめるように触る」以外の指示を行わず、自由に触ってもらった。

本実験では前述の実験装置を使用し、触覚提示を行いながら計測を行った。

被験者は 5 名（男性 3 名、21～25 歳）、1 人につき 3 回計測を行った。

3.4 実験 3 **VR** ショールームに触覚が与える影響の調査

本実験は、**VR** ショールームに触覚提示を導入したとき、視覚情報と触覚情報の一致および不一致がユーザーに違和感を与えるかどうかを調査するために行った。

実験 2 と同様に、被験者には **HMD** と **Vive tracker** を装着した状態で **VR** 上の壁に十分な時間触ってもらった。その後体験の自然さについて 7 段階のリッカートスケール（1: とても不自然、7: とても自然）で回答してもらった。

触覚提示にはベニヤ板（木）とアルミ板（金属）の 2 種類、**VR** 空間で表示される壁の種類も木と金属の 2 種類それぞれ用意し、視覚条件と触覚条件の組み合わせを変えて計 4 つの実験条件を設定した。

被験者は 11 名（男性 6 名、21～27 歳）で、実験の順番はランダムであった。

4. 実験結果と考察

4.1 実験 1 の結果、考察

被験者全員分の平均所要時間を図 6 に示す。

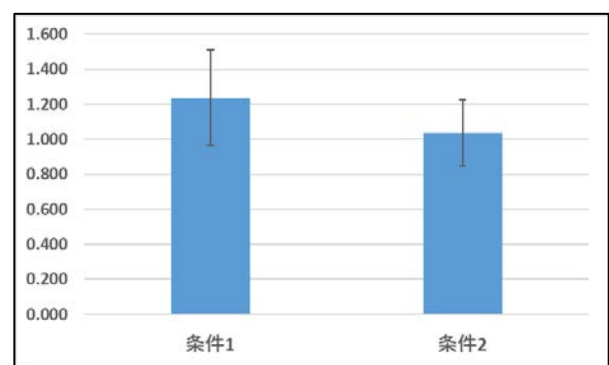


図 6 壁に触れるまでの所要時間

Figure 6 Time required touching the wall

壁に触れるまでの所要時間は、条件 1 のとき平均 1.24 秒（標準偏差 0.27）、条件 2 のとき平均 1.04 秒（標準偏差 0.19）かかっていた。また **t** 検定の結果では、条件 1 と条件 2 の

間に有意差は見られなかった ($p=.098$)。以上の結果より、人が壁の前に立った状態から壁に触れるまでには姿勢に関わらず1秒かかるとして今後単軸ロボットの制御を行っていく。

4.2 実験2の結果, 考察

図7, 図8はある被験者2名が最初に壁に手を伸ばしてから時間切れになるまでのUnity上での手の座標をプロットしたものである。

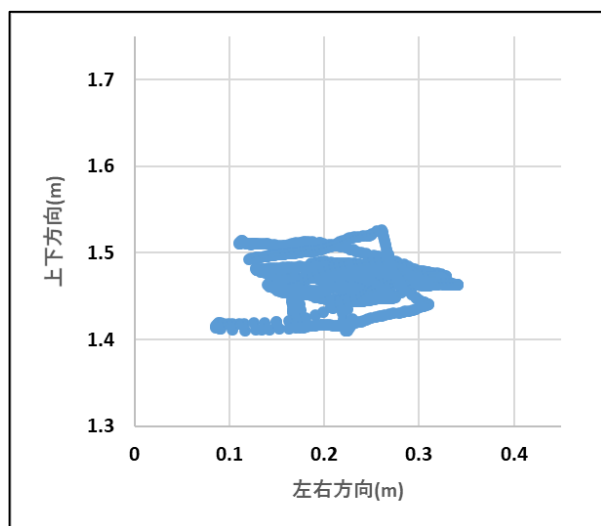


図7 被験者Aの手の軌跡
Figure 7 The trajectory of subject A's hand

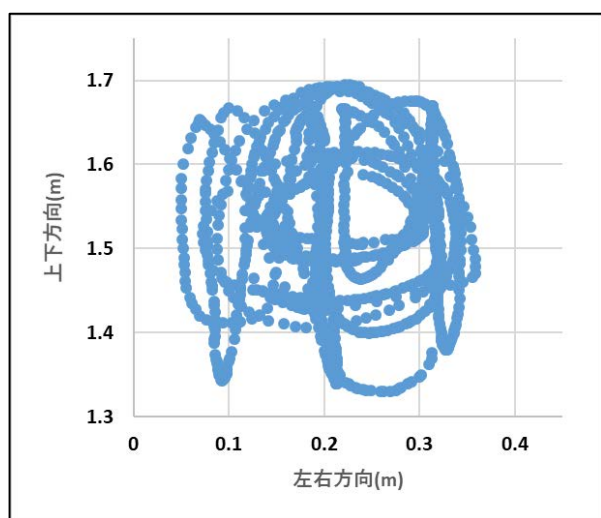


図8 被験者Bの手の軌跡
Figure 8 The trajectory of subject B's hand

実験2の結果は、上下方向によく動く人、左右方向によく動く人、円を描くように手を動かす人、狭い範囲を集中的に触る人というように被験者ごとに触る範囲や位置、動き方の傾向が大きく異なっていた。そのため、人が壁に触れるときどのように手が動きやすいか、という一般的な傾

向は今回の結果からは判定できなかった。本研究で提案した手法は板を1軸方向に動かす関係上、全ての触り方に対応することは困難であるので、今回の提案手法では壁の触り方を事前に指定する必要があると考えられる。

4.3 実験3の結果, 考察

被験者のアンケートの結果を図9に示す。なお、実験条件は「視覚で提示した材質/触覚で提示した材質」の書式で記載されている。

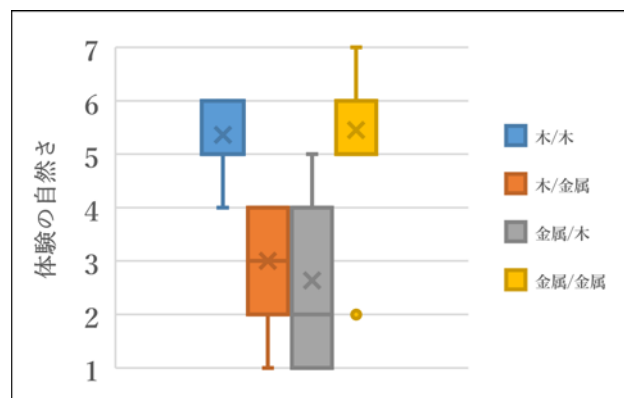


図9 アンケート結果
Figure 9 Questionnaire results

11人中9人の被験者が視覚で提示した材質と触覚で提示した材質が一致したときの方が、不一致であるときより自然だと感じていた。Friedman検定の結果、木/木と木/金属 ($p=.016$)、木/金属と金属/金属 ($p=.008$)、金属/木と木/木 ($p=.023$)、金属/木と金属/金属 ($p=.010$) の間で有意差が確認された。

以上の結果から、VR空間に表示する壁と同じ材質を触覚提示に使用することが体験の自然さに貢献するものであることが確認された。

5. まとめと今後の展望

本稿では、建材の展示という目的でVR体験を用いた展示を行うために、遭遇型の触覚提示を行うシステムを提案し、提案手法に基づいた装置を製作した。また、それに先立つ予備実験を通して、設計に必要なデータを収集した。

今後は予備実験で得た結果をもとに単軸ロボットの制御プログラムを製作し、触覚提示装置を完成させていく。また、装置の性能評価測定および本システムの体験に関する主観評価実験を行っていく。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 15H05923 (新学術領域研究「多元質感知」) の助成を受けた。

参考文献

- [1] "Audi Dealers Will Soon Sell Cars Using Virtual Reality - VRScout". <https://vrscout.com/news/audi-dealers-sell-cars-using-virtual-reality>.
- [2] "IKEA Launches Pilot Virtual Reality (VR) Kitchen Experience for HTC Vive on Steam - IKEA". http://www.ikea.com/us/en/about_ikea/newsitem/040516_Virtual-Reality.
- [3] "バーチャル住宅展示場作成システム 「ALTA for VR」". https://www.cstnet.co.jp/archi/products/alta_vr/.
- [4] Jonathan Blake and Hakan B. Gurocak, "Haptic Glove With MR Brakes for Virtual Reality", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics Vol. 14, pp. 606-615, 2009
- [5] Brent Edward Insko, "Passive Haptics Significantly Enhances Virtual Environments", doctoral dissertation of the University of North Carolina at Chapel Hill, 2001
- [6] Susumu Tachi, Taro Maeda, Ryokichi Hirata and Hiroshi Hoshino, "A CONSTRUCTION METHOD OF VIRTUAL HAPTIC SPACE", ICAT'94(4th International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence), pp. 131-138, 1994
- [7] Lung-Pan Cheng, Thijs Roumen, Hannes Rantzsch, Sven Köhler, Patrick Schmidt, Robert Kovacs, Johannes Jasper, Jonas Kemper, and Patrick Baudisch, "TurkDeck: Physical Virtual Reality Based on People", UIST'15 Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology, pp. 417-426, 2015
- [8] Emanuel Vonach, Clemens Gatterer, Hannes Kaufmann, "VRRobot: Robot Actuated Props in an Infinite Virtual Environment", IEEE Virtual Reality (VR), pp. 74-83, 2017
- [9] Yasuyoshi Yokokohji, Ralph L. Hollis, and Takeo Kanade, "What You Can See is What You Can Feel - Development of a Visual/Haptic Interface to Virtual Environment", VRAIS '96, pp. 46-54, 1996
- [10] Bruno Araujo, Ricardo Jota, Varun Perumal, Jia Xian Yao, Karan Singh, Daniel Wigdor, "Snake Charmer: Physically Enabling Virtual Objects", TEI 2016, pp. 218-226, 2016
- [11] Kotaro Yamaguchi, Ginga Kato, Yoshihiro Kuroda, Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura, "A Non-grounded and Encountered-type Haptic Display Using a Drone", SUI '16, pp. 43-46, 2016