



# VR 空間での香りの弁別感創出のための選択的注意の設計

Designing Selective Attention for Creating a Sense of Odor Discrimination in VR

伊藤孝紘<sup>1)</sup>, 胡献引<sup>1)</sup>, 伴祐樹<sup>1)</sup>, 割澤伸一<sup>1)</sup>

Takahiro ITO, Xianyin HU, Yuki BAN, and Shin'ichi WARISAWA

1) 東京大学 (〒 277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, tito@s.h.k.u-tokyo.ac.jp)

**概要:** VR における臨場感, 没入感を高めるために様々な香り提示手法が提案されている. 複数の香りを同時に提示したいという要望があるが, 人間は複数の香りをまとめて認識するため弁別が難しい. これまでの研究で, 視線に基づいて選択的注意を作り出すことで, VR 空間で自身から等距離にある複数香りの弁別感が向上することが明らかになっている. 本研究では香り源が自身から異なる距離に配置された状況に対応するため, 距離に基づいた香り提示強度をベースに, 視線による注意によって香り提示強度を変更するシステムを開発し, 評価実験を通してその有効性を確かめた.

**キーワード:** 嗅覚ディスプレイ, 選択的注意

## 1. はじめに

Virtual Reality (VR) における臨場感, 没入感を高めるために多感覚提示が用いられている. その中でも嗅覚ディスプレイは, 実際において物質を提示して嗅覚受容器と結合させることによって感覚を生起させるため, 視覚聴覚ディスプレイに比べて実装が難しく, 様々な香り提示手法が提案されている [1, 2].

VR における臨場感は没入感によって定まる [3, 4]. 没入感は現実再現性の向上と, 知覚の解像度の向上によって定まるが, 香り提示において没入感は, 近いものは強く, 遠いものは弱いといった距離に基づいた提示による現実再現性の向上と, 混ざった香りの中から特定の香りを知覚できるといった弁別感によって知覚の解像度が向上することで達成される.

提案されている手法では, 1つの空間で1つの香りを提示することが一般的となっている. しかし, 人間は普段複数の香りに囲まれて生活しているため, 1つの空間で複数の香りを同時に提示したいという要望もある. ユーザとの距離に基づいた複数香り提示によって現実再現性を向上する手法が提案されている [2] が, 人間は混ざった香りを分析する能力が低く, 複数の香りをまとめて知覚すると示唆されている [5, 6] ため, 香りを弁別することができず, 知覚の解像度が向上しないことで臨場感が損なわれる恐れがある.

この問題を解決するため, 我々は選択的注意に着目した. 選択的注意とは, 多様な刺激がある環境で注目している特定の刺激を弁別し, 他の注意を向けていない刺激を排除する能力のことであり, 聴覚や視覚では働くことが明らかになっている [7, 8]. 一方嗅覚においては, マウスでは訓練により選択的注意が働くことが明らかになっているが, 人間については確認されていない [9]. 同時に提示される複数の

香りを弁別し, 知覚の解像度を向上させるためには, 選択的注意を作り出す必要があると考える.

本研究では, 距離に基づいた提示による現実再現性向上と, 選択的注意を模した提示による知覚の解像度向上を組み合わせる手法を提案し, 参加者を募っての実験を通して提案手法により複数の香りが同時に存在する VR 空間の臨場感を高めることができるかを検証した.

## 2. 関連研究

VR において多様な感覚を提示するために, 様々な香り提示手法が提案されている.

1つの香りを提示する手法として, Tsai らは, バーチャルな香りを表す視覚刺激の提示の色や強度, 方向を操作する手法を提案し, 香り強度の知覚や方向判断が視覚的なバーチャルな香りの強度や方向に影響される可能性を示した [1]. また, Nakamoto らは数値流体力学によって動的な香りの空間分布が可能となった嗅覚ディスプレイを開発した [10].

複数の香りを同時に提示する手法として, Bahreman らは VR 空間内のユーザと香り源との相対距離に基づいてユーザが嗅ぐ香りの組み合わせを動的に推定して提示するデバイスを開発し, VR 空間内の香りを正確に特定する能力を向上させた [2]. 我々の研究では, 視線による注意によって複数香り提示強度を変化させる手法を提案している [11] が, ユーザと香り源との距離が等しい場合の検証のみ行われており, 距離が異なる場合については扱われていない.

## 3. 提案手法

先行研究では, 距離に基づいた香り提示, 選択的注意を模した香り提示がそれぞれ行われてきたが, 本研究では, 複数の香りが同時に存在する VR 空間の臨場感を高めるために, 距離に基づいた香り提示手法と, 選択的注意を模した



(a) 注目していない場合 (b) 注目している場合

図 1: 選択的注意を模した香り提示手法

香り提示手法を組み合わせる手法を提案する。

本手法では、ユーザがどの香りオブジェクトにも注目をしていない場合、ユーザから香りオブジェクトまでの距離が近いものは強く、遠いものは弱いといった距離に基づいて設定された強度で全ての香りを提示する (図 1a)。一方で、ユーザがある特定の香りオブジェクトに注目していることを検知した場合、注目しているものの提示強度を強め、注目していないものの提示強度を弱める (図 1b)。このように距離に基づいた複数の香り提示強度を注意によって動的に変化させることで、現実再現性を高めるとともに知覚の解像度を向上させ、臨場感を高めることが期待される。

#### 4. 実験

本実験では、提示する香り強度を設計する際に距離または選択的注意を単体で考慮する場合に比べて、提案手法が複数香り混在時の VR 空間の臨場感を向上させられるかを検証した。

##### 4.1 実験参加者

本実験は 8 名 (男性 7 名, 女性 1 名, 平均年齢  $21.50 \pm 0.25$  歳) の実験参加者に対して、被験者内計画で行われた。実験参加者はいずれも嗅覚に異常がないことを確かめた。

##### 4.2 実験システム

実験には視線計測可能な HMD (Tobii HTC VIVE) と Aroma Shooter<sup>®</sup> (Aromajoin) を用いた。Aroma Shooter<sup>®</sup> は香料を固形化し気体として噴射するため、香りの残存が少ない。また、最大 6 種類の香りを独立して 0-100 % で強度制御できるため、瞬時に香りを切り替えることができる。先行研究 [11] に従い、Aroma Shooter<sup>®</sup> は実験参加者の鼻から噴出口までの距離が 15cm 程になる位置に、首にかける携帯型スタンドを用いて設置された。実験は匂いの残留を防ぐために、広く、風通しの良い部屋で行われた。Aroma Shooter<sup>®</sup> の射出音が聞こえるのを防ぐとともに、環境を統制するために、実験参加者はノイズキャンセリングヘッドホン (SONY WH-1000XM4) を装着した (図 2)。

VR 空間は、複数の香りが置いてある部屋を Unity3D で作成した。香りは嗅ぎ分けが可能なオレンジ、バラ、ミントの 3 種類を選択した。香りのオブジェクトはユーザカメラから約 1.4 m, 約 2.5 m, 約 4.0 m の位置に置かれた。VR 空間内でユーザのアバタは表示されない (図 3)。



図 2: 現実の実験環境



図 3: 香り提示中の VR 環境

##### 4.3 実験条件

Weak, Medium, Strong, Very strong の 4 段階の香り提示強度を設定し、ユーザと香りオブジェクトの距離が近いものから Strong, Medium, Weak を割り当てた。設定方法については 4.4 にて後述する。視線による注意によって提示強度を変更する条件は以下の 4 条件である。

- i) 視線にかかわらず距離に基づいた一定の提示強度 (distance-only) .
- ii) 距離にかかわらず視線の先の提示強度を Strong にし、他を Weak にする (gaze-only) .
- iii) 視線の先を距離に基づいた提示強度から 1 段階上げる (mixed-up) .
- iv) 視線の先を距離に基づいた提示強度から 1 段階上げ、他を 1 段階下げる (mixed-up & down) .

各条件において、距離に基づく提示強度と注意による提示強度の変更の組み合わせを表 1 に示す。

条件 i) では現実再現性の向上のみを図るのに対し、条件 ii) では知覚の解像度の向上のみを図る。条件 iii) では現実再現性に重みを置き、知覚の解像度の向上も図るのに対し、条件 iv) では、知覚の解像度向上に重みを置き、現実再現性の向上も図る。

先行研究 [11] に従い、視線計測の誤認識による不要な香りの提示を防ぐとともに、視線計測から噴出までの遅延に気づかれないために、視線による注意が 500ms 以上継続している場合に香り提示強度を変更した。

表 1: 距離に基づく提示強度と注意による提示強度の変更

	注意	なし			近いもの			...
	距離	近い	遠い	近い	遠い	近い	遠い	...
条件	i	S	M	W	S	M	W	...
	ii	S	M	W	S	W	W	...
	iii	S	M	W	VS	M	W	...
	iv	S	M	W	VS	W	N	...

VS: Very strong, S: strong, M: Medium,  
W: Weak, N: no oder

表 2: Aroma Shooter の提示強度

LMS	香り提示強度		
	オレンジ	バラ	ミント
Weak (10 %)	7 %	4 %	4 %
Medium (17 %)	17 %	15 %	10 %
Strong (32 %)	49 %	71 %	27 %
Very strong (56 %)	100 %	100 %	69 %

#### 4.4 香り提示強度の設計

香りの種類によって人が知覚する強度とそれに対応する濃度が異なるため、各香りについて複数のユーザの平均提示濃度をあらかじめ決め、知覚レベルを統一する必要がある。提示された香りの強さに対する個人の知覚強度を測定するために、Labeled Magnitude Scale (LMS) を採用した [12]。4 段階の提示強度は以下のように決定した。

- 4 つの基準値を提示し、各参加者の知覚強度を LMS で取得する。
- 提示した濃度と取得した知覚強度の対数値をとり、線形回帰を行う。
- Weak, Medium, Strong, Very strong の平均提示濃度を逆算する。

参加者 6 名のデータを用いて、提示強度を表 2 のように設定した。オレンジとバラについては、Very strong の値が 100 % を超えたため、100 % とした。

#### 4.5 実験手順

実験中参加者は、VR 空間内で 30 秒間香りを提示され、その条件についてのアンケートに回答することを 1 セットとし、合計 4 セットを行なった。

香り提示中は、3 種類の香りオブジェクトを見るように指示されると共に、少なくとも 1 回以上各香りオブジェクトを見るようにも指示された。また、Aroma Shooter の香りの届く範囲を統一するために、なるべく首を動かさずに、目線だけでオブジェクトを見るよう指示された。

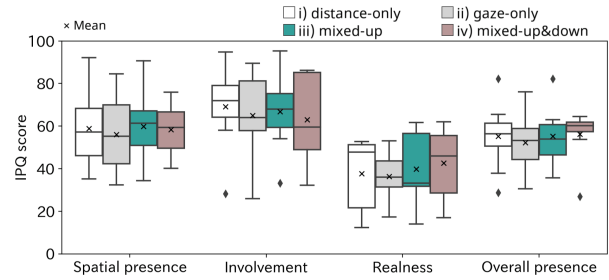


図 4: IPQ

実験参加者は実験を開始する前に香り提示時の VR 環境の確認をし、アンケートの回答練習を行った。アンケートの内容は事前に伝えられた。

各セットでは呼吸のタイミングに関係なく香り提示を受けることができるように、香りは連続的に噴出させた。また、嗅覚の順応は香りにもよるが、30-40 秒後に起こることが多いため、順応を防ぐために香り提示時間を 30 秒に設定し、順応から回復するためにアンケート時間は 60 秒以上とした [13]。また、順序効果を避けるため、実験参加者ごとに香りオブジェクトの配置はランダム化され、条件 i)–iv) の提示順もランダム化された。

#### 4.6 評価方法

アンケートは Igroup Presence Questionnaire (IPQ) [14] と先行研究 [11] で用いられていた体験の主観的評価を問う質問、口頭質問からなる。IPQ は VR 空間での臨場感を測る評価尺度である。先行研究で用いられていた質問は以下の 4 つである。

- Intuitiveness: このような香り空間での体験は直観的 (全くその通りでない – 全くその通り)
- Olfactory Valance: 香りの提示に対する体験は快か、不快か (不快 – 快)
- Enjoyment: 仮想空間の全体に対する体験は楽しい (全くその通りでない – 全くその通り)
- Self-rated olfactory sensitivity: 自分の主観的な嗅覚能力 (鋭さ) を自己評価 (鈍い – 鋭い)

口頭質問では、自分の主観的な嗅覚能力 (鋭さ) の自己評価の回答理由について述べた。また、口頭質問中はノイズキャンセリングヘッドホンを外すように指示された。質問は全て VR 空間内で行われ、Visual Analog Scale (VAS) を用いて、0–100 のスケールで評価を行った。

#### 4.7 結果

実験結果を図 4, 図 5 に示す。各条件の体験を比較するために、フリードマン検定を行った。検定の結果として、Enjoyment のみ有意差が出た ( $\chi^2 = 10.32, p = 0.016$ ) ため、下位検定としてウィルコクソンの符号順位和検定を行った。BH 補正の下、Enjoyment に対してウィルコクソンの符号順位和検定を行った結果、全ての条件で有意な差はなかった。臨場感を示す Overall Presence では条件 iv) (mixed-up & down) の中央値が最大となった。また、体験の主観的評価では全ての質問において、条件 iv) の中央値が最大となった。



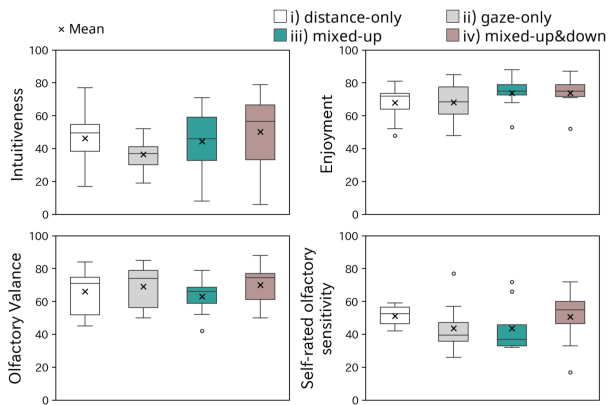


図 5: 体験の主観的評価

## 5. 考察

有意差は確認されなかったものの、実験結果の傾向から、距離に基づいた香り提示による現実再現性向上と、弁別感創出に基づいた香り提示による知覚の解像度向上が同時に達成されることによって VR 体験の臨場感が高まることが示唆された。自分の主観的な嗅覚能力(鋭さ)を自己評価の回答理由では、「条件 ii) (gaze-only) に比べて条件 iv) (mixed-up & down) の方が一番遠いオブジェクトの香りを感じにくいことが、現実での体験と近いため直感的だ」という回答があったことから、距離に基づいた提示と弁別感創出に基づいた提示のバランスが重要だと推察できる。

一方、より精緻に提案手法の効果を検証していく上での課題もある。実験参加者は少なくとも 1 回以上は各香りオブジェクトを見るように指示されたが、全てのオブジェクトを見ていない参加者も存在した。そのため、実験参加者が香り提示を体験できずに、正当な評価が出来ていない可能性が考えられる。香りを提示する時間を伸ばし、香りオブジェクトを見回させるように工夫を行い、今後検証を行う。

## 6. おわりに

本研究では、複数の香りが同時に存在する VR 空間での臨場感を向上させるために、距離に基づいた香り提示手法と、選択的注意を模した香り提示手法を組み合わせる手法を提案した。参加者を募り評価実験を行ったところ、視線の先の香り提示強度を距離に基づいた提示強度から 1 段階上げ、他を 1 段階下げることによって体験の臨場感が高まることが示唆された。

今回の実験では、ユーザと香りオブジェクトとの距離が動的に変化しない場合の検証を行った。しかし、現実空間においては、人が空間を動き回る、もしくは香り源が移動することにより、両者の距離が動的に変化する場合が多い。そのため今後は、より現実再現性が高い、ユーザと香りオブジェクトとの距離が動的に変化する場合について、距離に基づいた香り提示強度に選択的注意を模した香り提示強度変更を組み込むシステムの設計、開発を行い、評価実験を通してその有効性を検証する。

## 参考文献

- [1] Shou-En Tsai, et al. Does virtual odor representation influence the perception of olfactory intensity and directionality in vr? In *2021 IEEE VR*, pp. 279–285. IEEE, 2021.
- [2] Alireza Bahremand, et al. The smell engine: A system for artificial odor synthesis in virtual environments. In *2022 IEEE VR*, pp. 241–249. IEEE, 2022.
- [3] Mel Slater. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 364, No. 1535, pp. 3549–3557, 2009.
- [4] Richard T Skarbez. *Plausibility illusion in virtual environments*. PhD thesis, The University of North Carolina at Chapel Hill, 2016.
- [5] David G Laing and GW Francis. The capacity of humans to identify odors in mixtures. *Physiology & behavior*, Vol. 46, No. 5, pp. 809–814, 1989.
- [6] 岡勇輝. 混合臭の受容メカニズム. におい・かおり環境学会誌, Vol. 36, No. 3, pp. 129–131, 2005.
- [7] E Colin Cherry. Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *The Journal of the acoustical society of America*, Vol. 25, No. 5, pp. 975–979, 1953.
- [8] Daniel J Simons and Christopher F Chabris. Gorillas in our midst: Sustained inattention blindness for dynamic events. *perception*, Vol. 28, No. 9, pp. 1059–1074, 1999.
- [9] Dan Rokni, et al. An olfactory cocktail party: figure-ground segregation of odorants in rodents. *Nature neuroscience*, Vol. 17, No. 9, pp. 1225–1232, 2014.
- [10] Takamichi Nakamoto, et al. Virtual environment with smell using wearable olfactory display and computational fluid dynamics simulation. In *2020 IEEE VR*, pp. 713–720. IEEE, 2020.
- [11] Shangyin Zou, et al. Simulating olfactory cocktail party effect in vr: A multi-odor display approach based on attention. In *2022 IEEE VR*, pp. 474–482. IEEE, 2022.
- [12] Barry G Green, et al. Evaluating the ‘labeled magnitude scale’ for measuring sensations of taste and smell. *Chemical senses*, Vol. 21, No. 3, pp. 323–334, 1996.
- [13] R Pellegrino, et al. Habituation and adaptation to odors in humans. *Physiology & behavior*, Vol. 177, pp. 13–19, 2017.
- [14] Thomas Schubert, et al. The experience of presence: Factor analytic insights. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, Vol. 10, No. 3, pp. 266–281, 2001.