

モーショントラッキング機能付き VR 環境の移動可能範囲の可視化

A Visualization Method of Movable Area in Virtual Reality Environment with Motion Tracking

情報工学専攻 土師 好栄
Yoshie DOSHI

あらまし

本研究では、モーショントラッキング機能付き VR 体験中のユーザに、自然な形でユーザの移動可能範囲を認識させることを目的とする。実験システムでは、現実の境界提示手段で考えられる要素から、5種類の境界提示パターンの実装をおこない、この組み合わせによって VR 環境での境界提示手段を 27 通り用意し、どのパターンが最も適切かどうかを調査した。

システム実験とユーザアンケートに基づく考察の結果から、ユーザが接近警告範囲にいる間、壁表示、効果音、コントローラの振動の、視覚・聴覚・触覚の 3 覚を併用して提示するパターンが移動可能範囲の認識に最も適した可視化手段であるとわかった。また、この調査結果を反映し、移動可能範囲可視化システムを実装した。今後の課題として、システムを同時に体験する複数のユーザ同士の衝突回避機能の実装と、ユーザとの距離に応じて徐々に境界を表示するパターンの調査が挙げられる。

キーワード: バーチャルリアリティ (VR), モーショントラッキング, VIVE, 可視化

1 序論

VR 元年と呼ばれた 2016 年以来、様々な企業が仮想現実感 (Virtual Reality, VR) 向けのヘッドマウントディスプレイ (Head Mount Display, HMD) を開発し、市場に投入した。また、仮想空間へ自分を投影する技術やシステムも同様に開発されており、その 1 つとして人や物の動きをデジタル化するモーションキャプチャシステムが挙げられる。中央大学情報工学科には、2017 年にモーションキャプチャシステムと VR 環境を併用したシステムとして、CAVE 室 HMD 型 VR システムが導入された。

モーショントラッキング機能付き VR 環境には、モーショントラッキング可能範囲が存在する。ユーザがこの範囲外に出ると、システムはユーザの動きを感知でき

ないため、十分な没入感を伴う VR 体験を提供できない可能性がある。また、VR 体験中のユーザは現実空間のトラッキングカメラや壁などの障害物に衝突する可能性があり、危険である。しかし、ユーザが現実空間のトラッキング可能範囲を把握するのは困難である。

モーショントラッキング機能付き VR 環境の仮想空間内に現実空間のトラッキング可能範囲を提示できれば、ユーザのトラッキング範囲内における安定した VR 体験を支援し、また障害物に衝突する事故を未然に防止できると考えられる。

本研究では、モーショントラッキング機能付き VR 体験中のユーザに、自然な形でユーザの移動可能範囲を認識させることを目的とする。また、VR 体験中のユーザにとって自然な移動可能範囲の認知手段を調査し、ユーザにその範囲を知らせるシステムを構築することを目標とする。移動可能範囲の認知手段の調査にはユーザアンケートを実施する。

2 仮想現実感の概要

バーチャルリアリティ (Virtual Reality, VR) とは、コンピュータグラフィックス (Computer Graphics, CG) を応用した技術の 1 つで、人々はコンピュータが作り出す仮想現実世界で様々な体験ができる [1]。

3 課題とシステム要件

ユーザがモーショントラッキング可能範囲外に出ると、システムはユーザの動きを感知できないため、十分な没入感を伴う VR 体験を提供できない可能性がある。また、VR 体験中のユーザは現実空間のトラッキングカメラや壁などの障害物に衝突する可能性がある。以降、モーショントラッキング可能範囲を移動可能範囲と呼び、VR 環境の移動可能範囲内外がわかるものを境界と呼ぶこととする。モーショントラッキング付き VR 体験を提供するシステムは、ユーザを移動可能範囲に留めることで、安全で円滑な体験をユーザに用意できると考えられる。

CAVE 室 HMD 型 VR システムを利用する場合、ユーザが安全に VR 環境の移動可能範囲に留まるためには、仮想空間に境界を提示する手段が適していると考えられる。

4 実験システム

4.1 概要

システムは、モーションキャプチャデバイスと HMD、および VR 環境を用いて開発する。そのため、CAVE 室 HMD 型 VR システムを使用する。ユーザの姿勢や動作、空間の制限を受けることなく常時映像データを提示できるディスプレイである HMD として、モーションキャプチャ用のリジッドボディを搭載した HTC 社 VIVE Pro[2] を使用する。ユーザの入力デバイスとして、VIVE 用コントローラを使用する。VR 空間の構築には、専用プラグインの利用によって VIVE Pro や CAVE 室 HMD 型 VR システムでの VR の開発が容易な Unity[3] を使用する。

4.2 システムの状態遷移図

本システムでは、VR 環境の移動可能範囲内外を示す境界を提示し、その後境界に対するアンケートを表示する。システムの状態遷移図を図 1 に示す。

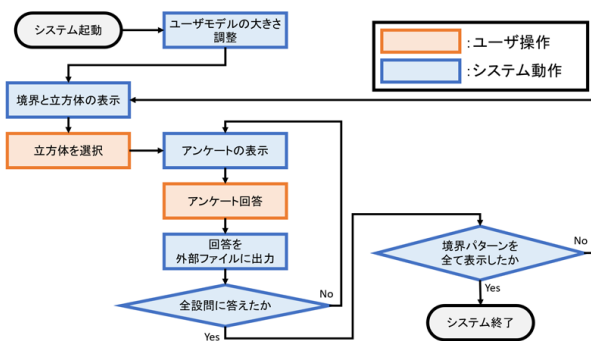


図 1: システムの状態遷移図

4.3 境界の種類と調査パターン

本システムで実装する手段は以下の 5 種類である。

- VR 環境内の領域の色による境界提示
- VR 環境内の線による境界提示
- VR 環境内の壁による境界提示
- HMD 付属のヘッドフォンからの効果音による境界提示
- ユーザの持つコントローラからの振動による境界提示

視覚に影響を与える境界提示手段については、常に境界を表示するパターンと、ユーザが接近警告範囲にいる場合にのみ境界を表示するパターンの 2 通りとする。また、効果音による境界提示と振動による境界は、ユーザが接近警告範囲にいる場合にのみ提示する。視覚に影響を与える境界提示手段と、聴覚に影響を与える境界提示手段、触覚に影響を与える境界提示手段は、それぞれ併用することでさらなるわかりやすさを追求する。したがって、調査するパターンは表 1 の 27 通りとする。

表 1: 調査する境界提示手段のパターン

番号	提示手段	タイミング	効果音	振動
1	領域	常に	なし	なし
2	領域	常に	あり	なし
3	領域	常に	なし	あり
4	領域	常に	あり	あり
5	領域	接近時のみ	なし	なし
6	領域	接近時のみ	あり	なし
7	領域	接近時のみ	なし	あり
8	領域	接近時のみ	あり	あり
9	線	常に	なし	なし
10	線	常に	あり	なし
11	線	常に	なし	あり
12	線	常に	あり	あり
13	線	接近時のみ	なし	なし
14	線	接近時のみ	あり	なし
15	線	接近時のみ	なし	あり
16	線	接近時のみ	あり	あり
17	壁	常に	なし	なし
18	壁	常に	あり	なし
19	壁	常に	なし	あり
20	壁	常に	あり	あり
21	壁	接近時のみ	なし	なし
22	壁	接近時のみ	あり	なし
23	壁	接近時のみ	なし	あり
24	壁	接近時のみ	あり	あり
25	なし	—	あり	なし
26	なし	—	なし	あり
27	なし	—	あり	あり

5 実装結果

図 2 に移動可能範囲を線で提示する様子を、図 3 に領域で提示する様子を、図 4 に壁で提示する様子を示す。

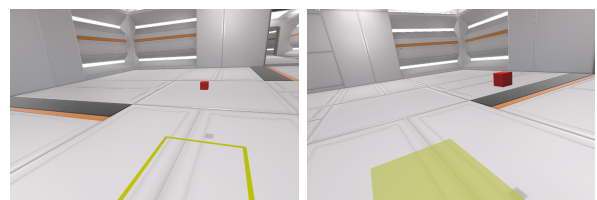


図 2: 移動可能範囲 (線) 図 3: 移動可能範囲 (領域)

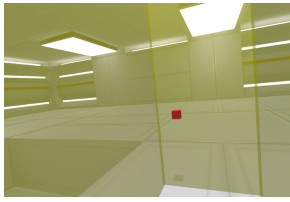


図 4: 移動可能範囲 (壁)

6 評価実験と考察

6.1 アンケート

有効な移動可能範囲の認知手段を調査するため、ユーザ実験及びユーザアンケートを実施した。20代の男女13名(男性7名, 女性6名)であった。表1の27パターンに対し、システム内アンケートを五段階評価によりおこなった。五段階評価は値が大きいほど高評価とした。設問内容は以下の通りである。

- 設問 1) ユーザの移動可能範囲を認識できたか。
- 設問 2) ユーザの移動可能範囲はわかりやすかったか。
- 設問 3) VR空間内への没入感はどうだったか。
- 設問 4) 現実世界の障害物に衝突する可能性への恐怖はなかったか。
- 設問 5) 境界から圧迫感を感じなかったか。
- 設問 6) VR空間内の境界に違和感や異物感はなかったか。
- 設問 7) 境界を知らせる手段として適切だと感じたか。

6.2 考察

6.2.1 アンケート結果の平均値

各パターンの設問7の結果の平均値を求めて考察する。効果音なしかつコントローラの振動なしの場合をFF, 効果音ありかつ振動なしの場合をTF, 効果音なしかつ振動ありの場合をFT, 効果音ありかつ振動ありの場合をTTと表す。

表 2: 設問7の結果の平均値

	領域		線	
	常に	接近	常に	接近
FF	2.46	3.38	3.00	2.38
TF	3.62	3.77	3.54	3.31
FT	3.31	4.00	3.15	3.46
TT	3.62	4.23	3.77	4.15
平均	3.25	3.85	3.37	3.33

	壁		なし	平均
	常に	接近		
FF	1.46	3.38	—	2.68
TF	1.85	4.38	1.77	3.18
FT	1.62	4.08	2.00	3.09
TT	1.69	4.46	2.08	3.43
平均	1.65	4.08	1.95	3.07

ユーザがより境界を知らせる手段として適切だと感じた手段のうち、最も高評価を得たのは、接近時のみ

壁を提示し効果音とコントローラのどちらも併用するパターンであった。また、続いて接近時のみ壁を提示し効果音のみ併用するパターンと、接近時のみ領域を提示し効果音とコントローラのどちらも併用するパターンも高評価であった。常に壁を提示するパターンは、効果音やコントローラの振動の有無にかかわらず低評価であった。効果音やコントローラの振動を用いない場合、範囲、線、壁の種類に関わらず低評価であった。境界提示タイミングは、壁の場合は特に、常に提示するよりも接近時に提示する方がきわめて高評価であった。また、効果音とコントローラの振動に関しては、両方併用する方が高評価であった。したがって、境界を知らせる手段として適切なパターンは、接近時のみ壁か領域を提示し効果音とコントローラの振動をどちらも併用する手段だといえる。

6.2.2 相関分析

アンケート結果の平均値から、設問1から6までと、設問7の相関関係について考察する。

表 3: 設問1から6までと設問7の相関関係

	設問 1	設問 2	設問 3
領域, 常に	0.96	0.86	0.63
領域, 接近	0.93	0.88	0.98
線, 常に	0.74	0.81	0.96
線, 接近	0.97	0.99	-0.84
壁, 常に	0.00	0.00	0.08
壁, 接近	0.94	0.81	0.86
常に	-0.77	-0.78	0.95
接近	0.86	0.81	-0.35
FF	-0.25	-0.19	0.58
TF	0.41	0.32	0.08
FT	0.20	0.17	0.32
TT	0.33	0.25	0.33

	設問 4	設問 5	設問 6
領域, 常に	0.85	-0.96	0.96
領域, 接近	0.99	0.14	-0.22
線, 常に	0.99	0.18	0.32
線, 接近	1.00	0.42	0.51
壁, 常に	0.59	-0.39	-0.80
壁, 接近	0.65	0.96	0.81
常に	-0.70	0.90	0.90
接近	0.89	-0.42	-0.41
FF	-0.28	0.47	0.65
TF	0.23	0.16	0.14
FT	0.04	0.30	0.25
TT	0.09	0.39	0.41

領域を常に提示するパターンでは、設問1, 2, 4, 6で強い正の相関が、設問5で強い負の相関が見られた。このパターンでは、移動可能範囲の認識やわかりやすさ、障害物への恐怖のなさ、違和感のなさが総合評価に波及したと考えられる。また、VR空間での領域提示

が圧迫感に関与し、低評価につながったと考えられる。

領域を接近時に提示するパターンでは、設問 1, 2, 3, 4 で強い正の相関が見られた。このパターンでは、ユーザが接近警告範囲に近づくまで境界は仮想空間に影響を及ぼさないため、移動可能範囲の認識やわかりやすさ、没入感の維持、障害物への恐怖のなさが総合評価に波及したと考えられる。

線を常に提示するパターンでは、設問 1, 2, 3, 4 で強い正の相関が見られた。このパターンでは、地面に提示された線は比較的視界に入りやすく仮想空間に影響を及ぼしにくいことと、常に提示されているため任意に境界を視認できることから、移動可能範囲の認識やわかりやすさ、没入感の維持、障害物への恐怖のなさが総合評価に波及したと考えられる。

線を接近時に提示するパターンでは、設問 1, 2, 4 で強い正の相関が、設問 3 で強い負の相関が見られた。境界として用いる線は、壁や範囲による境界と比べて没入感を損ねにくいという特徴がある。しかし、その視認のしにくさに加えて接近時にのみ提示することで、移動可能範囲の認識のしにくさやわかりにくさ、障害物への恐怖に影響すると考えられる。

壁を常に提示するパターンでは、設問 4 で正の相関が、設問 6 で強い負の相関が見られた。特徴は衝突の恐怖のなさや VR 空間での境界の違和感だといえる。

壁を接近時に提示するパターンでは、設問 1, 2, 3, 5, 6 で強い正の相関が、設問 4 で正の相関が見られた。全ての設問で比較的強い正の相関が現れたことから、ユーザが移動可能範囲を認識するための手段として非常に適切だといえる。

領域、線、壁のみを提示するパターンでは、設問 3, 5, 6 で正の相関が見られた。これらのパターンでは、何らかの方法で没入感を維持し、境界が及ぼす圧迫感や違和感を減少させる必要があると考える。

効果音を使用するパターン、コントローラの振動を使用するパターン、両方とも使用するパターンでは、特徴的な相関は見られなかった。

6.2.3 移動可能範囲の認識に適した可視化手段

アンケート結果平均値の考察と相関分析より、ユーザが移動可能範囲に接近している間壁を提示するパターンが適しているといえる。また、効果音とコント

ローラの振動の有無に関して、両方を併用の方が高評価であった。したがって、ユーザが接近警告範囲にいる間、壁、効果音、コントローラの振動を併用して提示するパターンが移動可能範囲の認識に最も適した可視化手段であるといえる。

7 移動可能範囲可視化システム

調査結果を反映した移動可能範囲可視化システムでは、ユーザが移動可能範囲に接近している間壁を提示する手段を実装した。移動可能範囲可視化システムを利用してコンテンツを開発する際、Unity により、提示する壁の色や透過率、効果音やコントローラの振動を簡単に変更できる。

8 結論

本研究では、モーショントラッキング機能付き VR 体験中のユーザに、自然な形でユーザの移動可能範囲を認識させることを目的とした。目的を達成するため、VR 体験中のユーザが違和感を覚えないような移動可能範囲の認知手段を調査し、ユーザに移動可能範囲を知らせるシステムを構築した。実験と考察の結果、ユーザが接近警告範囲にいる間、壁、効果音、コントローラの振動を併用して提示するパターンが移動可能範囲の認識に最も適した可視化手段であるとわかった。また、調査結果を反映した移動可能範囲可視化システムを実装した。今後の課題として、複数のユーザ同士の衝突回避機能の実装と、ユーザとの距離に応じて徐々に境界を表示するパターンの調査が挙げられる。

謝辞

本研究を通じ、懇切丁寧な御指導、御鞭撻、及び多くの御支援を賜りました、中央大学理工学部情報工学科 牧野光則教授に深く感謝致します。また同僚として御協力いただいた同輩諸氏、アンケートにご協力いただいた方々に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 館すすむ, 佐藤誠, 廣瀬通孝: “バーチャルリアリティ学”, 日本バーチャルリアリティ学会, 2011.
- [2] VIVE Enterprise: “VIVE Pro”, <https://enterprise.vive.com/jp/product/vive-pro/> (最終アクセス 2020 年 2 月 13 日)
- [3] Unity: “Unity”, <https://unity.com/ja> (最終アクセス 2020 年 2 月 13 日)