



安全な「歩き VR」を支援する空間切り替え 制御機構の設計と実装

Design and implementation of space switching control mechanism to support safe walking

小沢健悟¹⁾, 小川剛史²⁾

Kengo OZAWA and Takefumi OGAWA

1) 東京大学 学際情報学府 (〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, k.ozawa@ogawa-lab.org)

2) 東京大学情報基盤センター (〒113-8658 東京都文京区弥生 2-11-16, ogawa@nc.u-tokyo.ac.jp)

概要: 屋外で HMD を装着し VR 空間を歩き回るためには、安全性を確保することが重要である。提案システムでは、ステレオカメラから得られる深度情報と RGB 情報をもとに複数の空間を作成し、ユーザからの距離に応じて、提示する空間を変更することにより、VR 空間での活動の楽しさを損ねることなく安全な歩行を実現することを目的とする。本稿では、HMD を装着しながら屋外を歩行するシナリオを用意しシステムの動作検証を行う。

キーワード: VR, RGBD カメラ, ロコモーション

1. はじめに

VIVE Focus¹⁾や Oculus Quest²⁾など PC を必要とせず、慣性計測装置 (Inertial Measurement Unit, IMU) や Visual SLAM 技術を用いた自己位置推定によって 6 自由度 (Degree of Freedom, DoF) の移動に対応したスタンドアロン型のヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display, HMD) が注目されている。スタンドアロン型 HMD では、これまで利用範囲の制約となっていたケーブルやトラッキング領域から利用者を解放し、室内から屋外へと利用範囲を拡張することで新たな VR 体験が可能となる。等身大の広大な VR 空間を実際に体験するためには、VR 空間に対応した同等のスケールの現実空間が必要となり、現実空間の任意の場所で VR 体験を提供するためには、現実空間の構造や実際に現実空間を歩いている人などによる移動の制約や危険を回避しなければならない。スタンドアロン型 HMD の多くには、フロントカメラが搭載されており、周囲の環境を撮影して状況を認識することも可能ではあるが、日常的に HMD を装着して街中を活動するようになると、近年の世界的な社会問題となっている「歩きスマホ」と同様に「歩き VR」による危険が生じると考えられる。

本研究では、日常生活の中で常に HMD を装着して VR 空間を体験できるようにするための VR 空間提示手法について検討している[1]。これにより、例えば仕事に周囲の余分な視覚的情報を排除することで集中しやすい作業環境を提供したり、見慣れた街の風景を宇宙や海底といった刺激的な景色へと書き換えることでエンターテインメント性の高い演出を可能にしたりでき、人々の日常生活を豊かで便利にできる場面が多く存在すると考えている。

本稿では、「歩き VR」による危険を回避するための VR 空間提示に関する検討を行う。具体的には、現実空間、現実空間の形状を反映させた空間、VR 空間を融合した MR (Mixed Reality) 空間を構築し、利用者からの距離に応じて視覚的融合比率を変更することで、表示する空間を視覚的に切り替え、安全な歩行を支援する。以下では、提案手法の詳細と実装ならびに具体的な利用シナリオに基づいた動作検証実験について述べる。

2. 関連研究

2.1 等身大の VR 空間での歩行に関する研究

HeadLight[2]は、頭部搭載型プロジェクタから周囲の床や壁、家具などに映像を投影し、広視野な没入空間を提

¹ <https://enterprise.vive.com/jp/vivefocus/>

² <https://www.oculus.com/quest/>

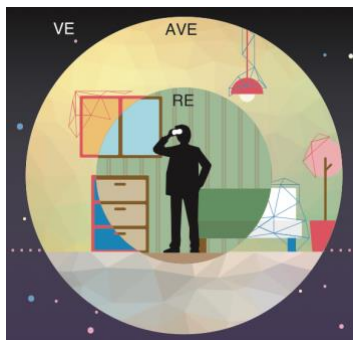


図 1: 提案手法の概念図

示している。室内空間の幾何形状を計測し、各面の形状に応じた映像を投影するだけでなく、ユーザ視点からは1枚の大きなスクリーンに映像が投影されているかのように室内の凹凸をキャンセルした映像投影や、壁や柱などで遮蔽された裏側の映像を投影した透視モードなどを実現している。

VRoamer[3]は、HMD に搭載された RGBD カメラとバックパック PC を用いて事前に周囲環境の形状取得行わず手続的に VR 空間を生成する手法を提案し、概念実証としてダンジョンゲームを作成している。深度情報を元に壁や床、障害物の位置を反映した VR 空間を生成し、深度情報が得られない範囲の VR 空間の手前ではドアを表示し、プレイヤーの歩行に合わせて次の空間を生成することにより、連続的に VR 空間が広がっているように見せている。また、障害物として人が立っている場所には VR 空間では杭が立ち、現実空間の状況に合わせて動的に VR 空間を変化させることでプレイヤーと人の衝突を回避できる。

本研究で扱う VR 空間は現実世界と同じスケールを持ち、移動スケールも現実と同等である。VR 空間の提示は、HMD で視覚情報を提示する。

2.2 距離に応じて現実情報を HMD に表示する研究

RealityCheck[4]では、3次元再構築された室内環境を既存 VR アプリケーションにブレンドする手法を提案している。これは事前に現実空間中における活動領域を設定する従来のプレイエリアとは違い動的に周囲の情報を HMD に表示することで、障害物回避や近接者との会話体験の向上、現実物体の操作に役立てており、全室内環境を投影する方法や壁以外を投影する方法、近くの物体を投影する方法など複数の投影手法を実装している。遠藤らは、HMD 装着者とその近接者を物理的な距離だけでなく近接者の向きや社会的な関係性も考慮した上で、HMD 装着者への近接情報の通知の方法を設計している[5]。

本研究では、HMD に RGBD カメラを搭載し、距離情報を元に HMD へ投影する映像を切り替える。

2.3 現実空間の三次元モデル構築に関する研究

RealitySkins[6]では、室内環境を事前に計測しその形状に合わせた複数種類の三次元環境を自動生成することで安全に歩き回れ、バーチャル物体に触れられる VR 空間を体験できる。三次元環境の自動生成は制約充足問題が用いられており、室内の平面検出、間取りの推定、物体の占有

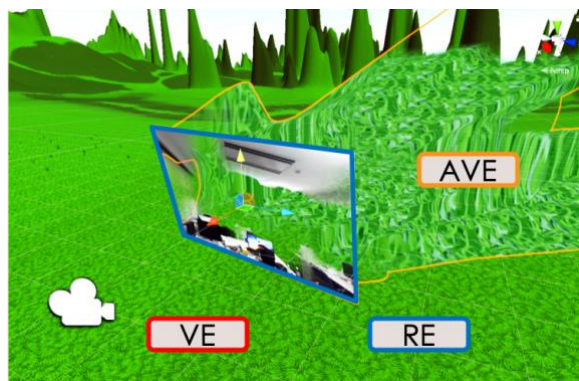


図 2: Unity の Editor 上での実装画面のキャプチャ

領域の特徴ベクトル算出の順に計算される。

Remixed Reality[7]は、部屋の形状を RGBD カメラで計測・三次元再構築することで、室内での様々な操作を可能にしている。具体的には、物体の形状を変更する操作、テクスチャ情報などの見たい目を変更する操作、RGBD カメラによる記録映像の停止やループといった操作、レポートや視点移動といった操作などが挙げられる。

本研究では、任意の場所でリアルタイムに現実環境を再現するために、一人称視点からの深度映像を元に現実の立体形状を模したメッシュを生成する。

3. 提案手法

3.1 概要

本研究では、等身大の広大な VR 空間を、空間構造の異なる現実空間に居ながらにして、自由かつ安全に歩いて体験できるよう、現実空間、現実空間の形状を反映させた空間、VR 空間の3つの異なる空間を融合した MR 空間を構築し、ユーザの移動に応じ複数の空間を切り替える提示手法を提案する。

3.2 コンセプト

ユーザが歩き VR 中に物体との衝突を回避するためには、その物体の距離や大きさ、移動速度などを認知する必要があると考える。認知は HMD による視覚提示で行い、危険度に応じて表示手法を変化させる。危険度は、ユーザとの距離、人や自転車、街路樹などといった物体の種類などにより変化し、危険度の高い物体ほど現実空間に即した映像で表示されるべきであり、危険度が低くなるにつれ現実空間との乖離が許容される。本研究により提案する MR 空間は、ユーザの周囲に存在する物体の危険度に応じて現実空間と VR 空間の視覚的融合比率を決定し、ユーザに対して様々な空間を同時に提示するといった特徴を持つ。

本手法により構成される MR 空間は、現実空間の映像を映し出す空間(Real Environment, RE)、現実の形状を VR 空間に反映させた空間(Augmented Virtuality Environment, AVE)、そしてバーチャル空間を映し出す空間(Virtual Environment, VE)の3つの空間から成り立つ。図1に提案手法の概念図を示す。本研究において ARE(Augmented Reality Environment)のような空間は定義せず、あくまで RE, AVE, VE という3つの空間のみを定義する。またユーザ

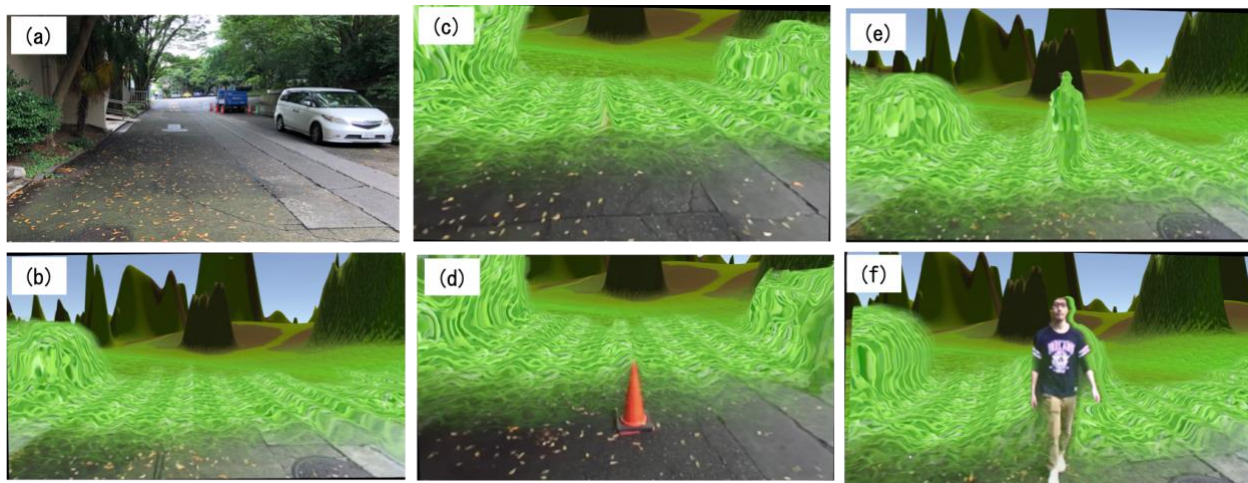


図 3: 実験のキャプチャ

から RE と AVE までの距離と AVE と VE までの距離を動的に変化させることにより MR 空間は様々な空間構成を実現し、ユーザ毎、ユースケース毎に柔軟に対応できる。また、各空間の境界は漸次的に切り替わる設計とすることでシームレスに空間が移り変わるように見せる。

3.3 実装

本稿では、RE、AVE 及び VE の実装を行なった。実装はステレオカメラによるビデオシースルーHMD を用いて行い、ステレオカメラにより算出される深度情報から各空間の透明度を決定する。ここでユーザから RE と AVE の境界領域までの距離を d_1 、AVE と VE までの距離を d_2 、RE と AVE の境界領域の幅を w_1 、AVE と VE の境界領域の幅を w_2 、RE の透明度、AVE の透明度、VE の透明度をそれぞれ α_{re} 、 α_{ave} 、 α_{ve} として、ユーザからの距離 x [m] を用いて以下の式のように定義する。

$$\alpha_{re} = \begin{cases} 1 & (0 \leq x < d_1) \\ 3 \left(\frac{x-d_1}{w_1} \right)^2 - 2 \left(\frac{x-d_1}{w_1} \right)^3 & (d_1 \leq x \leq d_1 + w_1) \\ 0 & (d_1 + w_1 < x) \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha_{ave} = \begin{cases} 0 & (0 \leq x < d_1) \\ 1 - 3 \left(\frac{x-d_1}{w_1} \right)^2 + 2 \left(\frac{x-d_1}{w_1} \right)^3 & (d_1 \leq x \leq d_1 + w_1) \\ 1 & (d_1 + w_1 < x < d_2) \\ 3 \left(\frac{x-d_2}{w_2} \right)^2 - 2 \left(\frac{x-d_2}{w_2} \right)^3 & (d_2 \leq x \leq d_2 + w_2) \\ 0 & (d_2 + w_2 < x) \end{cases} \quad (2)$$

$$\alpha_{ve} = \begin{cases} 0 & (0 \leq x < d_2) \\ 1 - 3 \left(\frac{x-d_2}{w_2} \right)^2 + 2 \left(\frac{x-d_2}{w_2} \right)^3 & (d_2 \leq x \leq d_2 + w_2) \\ 1 & (d_2 + w_2 < x) \end{cases} \quad (3)$$

これらの式により RE、AVE、VE の透明度を徐々に変化させることで、3つの空間がシームレスに繋がりユーザが歩行する上で違和感のない空間提示を行う。

図 2 に Unity における RE・AVE・VE が表示された実装画面を示す。RE はステレオカメラにより取得された映像を 2D の平面に投影し、AVE は深度情報をもとに形状変化させたメッシュに対して、VR 空間で使用されるテクスチャを使用した。RE、AVE はともに右目用、左目用の 2 種

類用意する。本稿にて VE は草のテクスチャを持つ山の風景を使用するため、AVE においても草のテクスチャを使用する。

3.4 実装

以下の機器を用いてプロトタイプを実装した。

- ZED mini & ZED SDK 2.7
- Oculus Rift S
- GALLERIA GCF1070GF
 - CPU : Intel(R)Core(TM) i7-8750H
 - メモリ : 16GB
 - GPU : NVIDIA GeForce GTX 1070
- Unity 2018.2.17f1

映像情報の取得や視差による深度推定には ZED mini (ステレオカメラ) を使用した。Oculus Rift S により 6DoF の体験が可能である。実装したシステムでは、カメラのフレームレートは 60fps、UnityEngine におけるのフレームレートは平均 70fps であり、遅延は平均 100ms であった。

4. 検証実験

検証実験では、RE・AVE・VE の 3つの空間をユーザの周囲に配置し直進歩行中に障害物が存在した場合、形状を AVE で、実際の色を RE で知覚できることを確認する。ここでは障害物がカラーコーンのような静的な物体の場合と歩行中の人物のような動的な物体の 2 パターンのシナリオを想定し、検証する。また本実験では、 $d_1 = 2$ 、 $d_2 = 7$ 、 $w_1 = 2$ 、 $w_2 = 2$ と設定した。つまりユーザからの距離が 2m までの領域は RE、2m から 4m は RE と AVE の境界領域、4m から 7m は AVE、7m から 9m は AVE の VE 境界領域、9m 以上では VE と設定した。また、VE では大自然を模した山々と平原のシーンを用意した。

4.1 結果

実験中のキャプチャを図 3 に示す。図 3(a) は実験を行なった屋外環境の様子である。図 3(b) はユーザに HMD で提示する映像であり、ユーザの足元の地面といった近距離にある物体は RE として表示され、AVE では現実環境の形状を反映したメッシュに VE で使用されるテクスチャを適用

され、奥に VE が広がっている様子が描かれている。図 3(c), (d)と図 3(e), (f)ではそれぞれ、静的な障害物としてカラーコーンを置いた際の試行、動的な障害物として人物を歩かせた際の試行をキャプチャしたものである。図 3(c)では AVE にカラーコーンの形状が表示され、図 3(d)ではカラーコーンの現実映像がはっきり表示され、障害物として知覚することができた。また動的な障害物においても同様に、図 3(e)では人物の形状が AVE で、図 3(f)ではその現実映像が表示され、動いている物体でも障害物として知覚することができた。

4.2 考察

AVE に障害物を表示させる際、人物よりカラーコーンの方が背景との模様の変化が曖昧で、実際のカラーコーンの形状が知覚しづらかった。この原因として、障害物の大きさと深度推定精度が挙げられ、障害物との距離とその周囲の背景部分との距離差分がカラーコーンの方が人物より小さく、視差による深度推定の精度が下がってしまったと考えられる。

5. むすび

本研究では、日常的に HMD を装着する際に課題になると考えられる「歩き VR」の危険性に対して、ユーザからの距離に応じて提示する空間を視覚的に切り替える手法を提案し、システムを開発した。

本稿では、提案手法が想定シナリオ下での動作検証実験を行なったが、任意の VR 空間での活動をしている際の歩行、ユーザが安心して歩けるための空間比率や空間形状、ユーザの嗜好する空間比率などに注目し実験を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 19H04150 の研究助成

によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 小沢健悟, 小川剛史: MR 空間における歩行の安全性を考慮した空間切り替え制御手法に関する一検討, VR 学研報, Vol. 24, No. CS-1, CSVC2019-3, pp. 13-18, 2019.
- [2] Kasahara, S.: Headlight: Egocentric Visual Augmentation by Wearable Wide Projector, Proc. of ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies, ACM, pp. 10, 2018.
- [3] Lung-Pan, C., Eyal, O., Christian, H., and Wilson, A. D.: VRoamer: Generating On-The-Fly VR Experiences While Walking inside Large, Unknown Real-World Building Environments, Proc. of IEEE Virtual Reality, 2019.
- [4] Hartmann, J., Holz, C., Ofek, E., and Wilson, A. D.: RealityCheck: Blending Virtual Environments with Situated Physical Reality, Proc. of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, pp. 347, 2019.
- [5] 遠藤勇, 工藤義礎, Tony Tang, 高嶋和毅, 北村喜文: HMD 装着者の近接者に関わるウェアネスの向上についての検討, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 22E-4, 2018.
- [6] Shapira, L., and Freedman, D.: Reality Skins: Creating Immersive and Tactile Virtual Environments, Proc. of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), IEEE, pp. 115-124, 2016.
- [7] Lindlbauer, D., and Wilson, A. D.: Remixed Reality: Manipulating Space and Time in Augmented Reality, Proc. of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, pp. 129, 2018.