ハンドリダイレクションを用いた広範囲のキャンバスへのVRドローイング体験

小川 郡平 * 藤田 和之 * 高嶋 和毅 * 北村 喜文 *

概要. 筆記や描画（ドローイング）は，バーチャルリアリティ (VR) 空間内での知的・創造的活動における重要なタスクの一つである．しかし，VR 空間内でのドローイングでは物理的な支持を与えることが精度や疲労の面で望ましいとされているが，このための物理面（壁やタブレットなど）の広さにより実質的なワークスペースの広さが制限されてしまうという課題がある．この課題に対し，我々はヘッドマウントディスプレイ (HMD) 内に提示されるユーザの手の位置を視覚的にずらして提示すること（リダイレクション）によりユーザの手の動きを誘導することで，限られた面積の物理面を用いながらも大きなドローイングを可能にする手法を提案する．本デモンストレーションでは，書き初めを題材として，視覚的な手の移動量に倍率をかける方法と，VR 環境全体を離散的にスライドさせる方法を組み合わせることで，ユーザは VR 空間内で大きな面積のドローイング体験を行うことができる．

1 はじめに

近年，バーチャルリアリティ (VR) 技術はゲーム等のエンタメ目的にとどまらず，従来オフィス等で行われてきた知的作業を VR 空間内で行う，いわゆる VR ワークスペースへの応用が注目されている．VR ワークスペースは，VR 空間内にユーザの好みの広さ・レイアウトで作業空間を構築できることが最大の強みである一方で，その構築自由度は物理空間内の制約に左右される場合がある．特に筆記や描画（以下，ドローイング）といったタスクでは，インタラクション精度や疲労の面から物理的支持を与えることが望ましい [1] が，そのための物理面（壁やタブレットなど）の広さにより実質的なワークスペースの広さが制限され，VR を用いるメリットが十分に生かされない．

これに対し，ユーザに気づかれない範囲でユーザの位置や方向をずらした映像をヘッドマウントディスプレイ (HMD) に提示し，ユーザの身体動作を錯覚させる，リダイレクションと呼ばれる方法論 [4] を用いることを考える．同様の考え方をドローイングにも適用し，ユーザの手の動きを錯覚・誘導させれば，物理面の狭さという物理的課題を解決することができると期待される．しかし，これまでの手の動きに対するリダイレクション（ハンドリダイレクション）では，空中でのインタラクションの検討が主であり [3]，触覚を伴う動作としてはオブジェクトへの到達運動 [2] 等のプリミティブな動作しか検討されておらず，ドローイングのような物理面上での複雑な手の動きを伴うタスクは検討されてこなかった．

そこで本研究では，ドローイング時のような物理面上で指をスライドさせる動きにフォーカスし，この動作にリダイレクションを適用することを検討する．このために本研究では，歩行動作におけるリダイレクション手法の分類 [7] にならい，連続的手法と，離散的手法の 2 種類を検討する（図 1）．連続的手法では，ユーザの手が物理面に触れている場合に手の移動量に倍率をかけて VR 空間内で提示することで，物理的な手の移動量を小さくする．離散的手法では，ユーザの手が物理面の境界付近に達したらタスクを一時的に中断し，再びドローイングが可能になるように手の位置をリセットする．本デモンストレーションでは，このコンセプトの実証例として，書き初めを題材とし，限られた面積の物理面（タブレット）にもかかわらず連続的手法により大きな文字を書くことができるだけでなく，1 文字ごとに VR 環境全体をスライドさせる離散的手法により実質的に無限の数の文字を書くことができる体験を提供する．

2 関連研究

VR 空間内の動作を錯覚させるリダイレクションは，特に歩行動作における検討例が多く (Redirected Walking [5])，そのアプローチは気づかれない程度にユーザの動作を徐々にずらして提示する連続的手法 (e.g., [6]) と，特定の条件をトリガとして断続的にユーザの動作をずらす離散的手法 (e.g., [8]) の 2 つに大別することができる [7]．本研究のように手の動きに対してリダイレクションを適用した試みとしては，空中で手を動かす際に視覚的に手の移動量を拡大・縮小して VR 空間内で提示するハンドリダ

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 東北大学

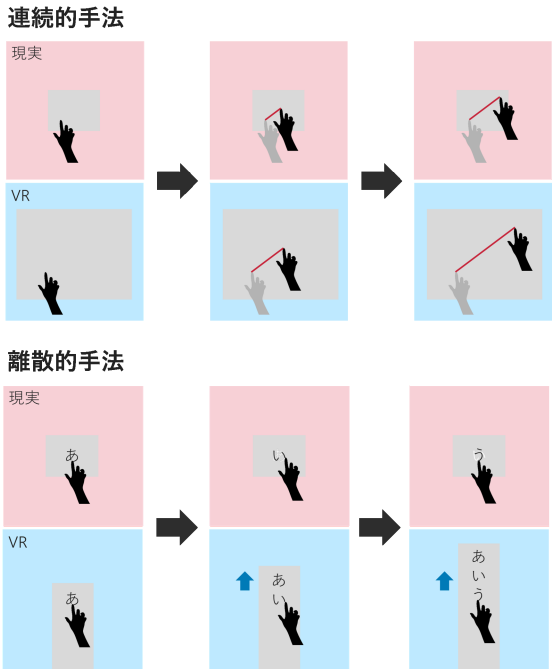

図 1．本研究のアイデア．連続的手法では，物理面上での手の移動量に倍率をかけて VR 空間内で提示する．離散的手法では，特定のタイミングで VR 空間自体を一定量だけスライドさせることで，VR 空間内で継続してドローイングを可能にする．

イレクション (e.g., [3]) のほか，これと触覚提示を組み合わせてオブジェクトの個数 [2] や形状 [9] を錯覚させるリターゲティング手法などがある．これらの手法は VR 体験における物理的制約を解消するアプローチとして有望であるが，本研究で対象とするような物理面上で複雑に手をスライドさせるような動作や，瞬間的に大きな操作を加える離散的インタラクションは検討されていない．

3　デモシステム

本デモンストレーションでは，前述のドローイング時における連続的･離散的リダイレクション手法の適用例として，書き初めを題材とし，単一の限られた面積のタブレット上でのインタラクションであるにもかかわらず VR 空間内ではそれよりも広い範囲の筆記を可能にするシステムを実装した．本デモシステムの主要な構成要素は，VR 映像提示のための HMD (HTC VIVE PRO 2) およびタッチ入力検出のためのペンタブレット (Wacom Cintiq 13 HD) である．今回使用したタブレットでは，ペンがタブレットに触れている間だけではなく，近接している状態（画面から 5 mm 以内）でもその位置をトラッキングすることができる．また，ソフトウェアの実装には Unity (2021.3.17f1) を用いた．

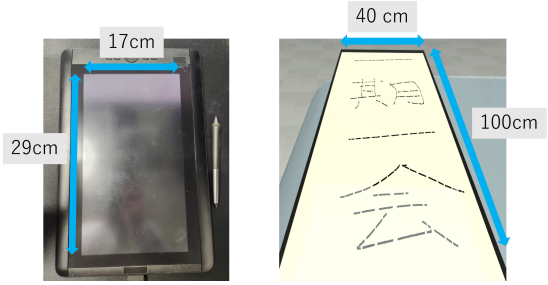

図 2．ユーザが実際に手を動かすタブレットと，VR 空間内のキャンバスのサイズ比較．

システムの動作は次のとおりである．ユーザはペンをタブレット上で動かして文字を書く．ペン先がタブレットに接触または近接している間，VR 空間内ではペンの動き (i.e., ユーザの手の動き) が水平方向に一定の倍率だけ拡大されて提示される．ペンがタブレットに触れている場合は，VR 空間内のキャンバスにその軌跡が表示され，現実よりも大きな文字で筆記を行うことができる（連続的手法）．手の動きの拡大される倍率 g は，現実のタブレットの横幅 w_r と VR 空間内のキャンバスの横幅 w_v を用いて，

$$g = \frac{w_v}{w_r} \tag{1}$$

で決定される．ユーザが文字を書き終え，一定時間が経過することでシステムは VR 環境全体を筆記の方向とは逆 (i.e., 上方向) にスライドさせることで，次の文字の描画を可能にする（離散的手法）．スライドさせる量は，リセット間に描かれた軌跡の上下方向の長さに依存して決定する．

図 2 に，使用するタブレットと VR 空間内での筆記例を示す．連続的手法により，実際の筆記の大きさの約 4 倍（縦横約 2 倍ずつ．倍率をさらに大きくすることも可能）の大きさの文字を VR 空間内で書くことができ，さらに離散的手法を繰り返し用いることで，上下方向には実質的に無限個の文字を書くことができる．

4　おわりに

本稿では，物理面上での手の動きに対してリダイレクションを適用することで，限られた物理面にもかかわらず大きな面積のドローイングを実現する手法を提案した．今後は，本システムを利用した際のユーザの知覚特性（視覚操作の気づかれやすさ，許容度など）やタスクパフォーマンスへの影響（ドローイング精度，タスク時間など）を評価するための実験を行う予定である．

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (19KK0258) および JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム (JPMJSP2114) の補助を受けた．

参考文献

[1] R. Arora, R. H. Kazi, F. Anderson, T. Grossman, K. Singh, and G. Fitzmaurice. Experimental Evaluation of Sketching on Surfaces in VR. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2017.

[2] M. Azmandian, M. Hancock, H. Benko, E. Ofek, and A. D. Wilson. Haptic Retargeting. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2016.

[3] J. Hartfill, J. Gabel, L. Kruse, S. Schmidt, K. Riebandt, S. Kühn, and F. Steinicke. Analysis of Detection Thresholds for Hand Redirection during Mid-Air Interactions in Virtual Reality. In *Proceedings of the 27th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 2021.

[4] N. C. Nilsson, T. Peck, G. Bruder, E. Hodgson, S. Serafin, M. Whitton, F. Steinicke, and E. S. Rosenberg. 15 Years of Research on Redirected Walking in Immersive Virtual Environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 38(2):44–56, 2018.

[5] S. Razzaque, Z. Kohn, and M. C. Whitton. Redirected Walking. In *Proceedings of Eurographics*, pp. 289–294, 2001.

[6] F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz, and M. Lappe. Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(1):17–27, 2010.

[7] E. A. Suma, G. Bruder, F. Steinicke, D. M. Krum, and M. Bolas. A taxonomy for deploying redirection techniques in immersive virtual environments. In *2012 IEEE Virtual Reality (VR)*, 2012.

[8] B. Williams, G. Narasimham, B. Rump, T. P. McNamara, T. H. Carr, J. Rieser, and B. Bodenheimer. Exploring large virtual environments with an HMD when physical space is limited. In *Proceedings of the 4th symposium on Applied perception in graphics and visualization*, 2007.

[9] Y. Zhao and S. Follmer. A Functional Optimization Based Approach for Continuous 3D Retargeted Touch of Arbitrary, Complex Boundaries in Haptic Virtual Reality. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2018.

未来ビジョン

視覚と触覚を組み合わせることによる相乗効果（視覚操作の感度の低下，没入度の向上など）が先行研究により示されつつあるものの，それらの多くが歩行や手の到達運動といったプリミティブな動作を対象としていた．その一方で，ドローイングのような複雑なタスクにおいてリダイレクション手法を効果的に用いるうえでは，検討すべき要素がいくつもある．連続的手法であれば，視覚操作の知覚に影響を与えうる要素として，ストロークの長さや方向，インタラクション方法（指／ペン），物理面の材質などが考えられるだろう．離散的手法においても，ドローイングタスクをなるべく妨げないようなリセットのタイミングやリセット時のインタラクション方法などを検討していく必要がある．我々はこれらの要因について，一つ一つ実験によってその影響を確認し，それらを整理して効果的にリダイレクションを用いるためのガイドラインとしてまとめることで，実社会に適用可能な VR ドローイング手法として確立させることを目指している．

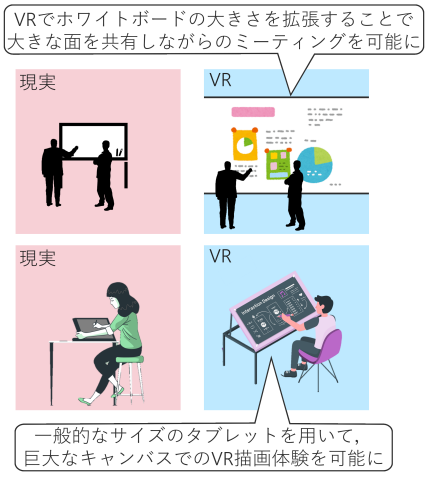

図 3．将来的な本研究の実社会への応用例．