

生野潤\*, 井上優良\*\*

(\*大分工業高等専門学校専攻科電気電子情報工学専攻, \*\*大分工業高等専門学校情報工学科)

## 1. 緒言

Virtual Reality(VR)体験で広く用いられるHead-Mounted Display(HMD)では, 没入感の維持に不可欠な高フレームレート(fps)の確保が課題である. この課題に対し, 人間の視覚特性を利用して描画負荷を軽減する中心窩レンダリング(Foveated Rendering, FR)が有力な解決策となる.

本研究は, 移動物体を注視している際に有効視野が狭まる特性に着目し, これを利用したFRの最適化が目的である. 本実験では, Variable Rate Shading(VRS) [1]技術をFRに応用した手法を提案し, フレームレートと知覚品質に与える影響を定量的に評価し, 本手法の有効性を検討することを目的とする.

## 2. 実験方法

本実験では, VRSを用いて中心窩領域を画面中心に固定しつつ周辺視野のシェーディングレートを段階的に低下させた5つのレベルを設定した(図1). シェーディングレートはポリゴンの色や陰影の計算をどの範囲でまとめて計算するかを示すレートであり, 1x1は画素単位で計算し, 4x4では一つの計算結果を周辺16ピクセルにまとめて反映させる分コストが低下する. 各レベルについてfpsを測定し, Bonferroni法で補正を行ったt検定でレベル間の有意差を評価した. また, 知覚品質については, FovVideoVDP [2]を用いて知覚品質スコアであるJOD (Just Objectionable Difference) 値を算出した. 実験環境はUnity Technologies が公開している「shading-rate-demo」と, GPUにNVIDIA GeForce RTX 3060を使用し, 1920x1080解像度のモニター上で構築した.

## 3. 実験結果と考察

実験の結果, 本手法は4x4レート領域を拡大させることで, fpsを向上させることを示した(表1,3). 最も顕著なパフォーマンス向上はLevel 1からLevel 2への変更時に見られ, 約52fpsの増加が確認できる. 表3より, レベル1と各レベルとの比較では全て有意差があることがわかり, 本手法はパフォーマンスを有意に向上させることを示した. 知覚品質において, 各レベルのJOD値は, 全て8.16以上と高い水準にある(表2). これは, 理想的な品質(10 JOD)からの品質低下は比較的小さく, 単体で見た場合に深刻な画質劣化とは知覚されないことを示している. 加えて各レベル間の差は非常に小さく, 最も品質が高いレベル2と最も低いレベル4の差は約0.075に過ぎない. この差は, 大多数の観察者はレベル間の品質の違いを識別できない可能性が高いことを示している. したがって, レベル2から5の間には, 知覚的な品質差は非常に小さいと言える.

## 4. 結言

本実験は, FRの最適化がレンダリングパフォーマンスに与える影響と, それに伴う知覚品質の変化を定量的に評価することを目的として実施した. 分析の結果, FRを適用しない場合と比較して, FRを適用した各レベルではfpsが統計的に有意に向上した. 一方で, 知覚品質を評価するJOD値は, FRを適用した全てのレベルにおいて8.16

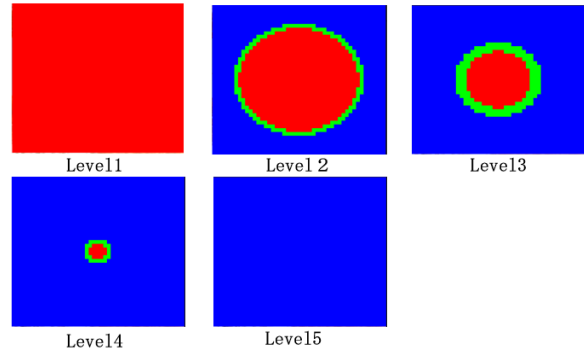


図1 シェーディングレート領域(青 4x4, 緑 2x2, 赤 1x1)  
表1 フレームレート測定結果      表2 JOD値測定結果

Level	Frame rate (fps)	Level	JOD
Level 1	162.09 ± 7.98	Level 2	8.2409
Level 2	214.07 ± 13.11	Level 3	8.2288
Level 3	239.76 ± 19.99	Level 4	8.1660
Level 4	253.29 ± 18.42	Level 5	8.2400
Level 5	249.29 ± 20.01		

表3 レベル間の有意差

Comparison	$p_{fps}$
Level 1 vs Level 2	< 0.001
Level 1 vs Level 3	< 0.001
Level 1 vs Level 4	< 0.001
Level 1 vs Level 5	< 0.001
Level 2 vs Level 3	< 0.001
Level 2 vs Level 4	< 0.001
Level 2 vs Level 5	< 0.001
Level 3 vs Level 4	< 0.001
Level 3 vs Level 5	< 0.001
Level 4 vs Level 5	0.011

以上と高い水準を維持した. これにより, パフォーマンスの向上と知覚品質の間に相関関係が見られなかったことがわかる. 以上のことから, VRSによるFRは今後の研究においてパフォーマンスの向上と知覚品質の両方の面で有効であることを示した. 今後は, 本手法を用いて移動物体を注視している際に視野が狭くなる可能性を検証し, FRのさらなる最適化を行う.

## 5. 参考文献

- [1] NVIDIA Developer Blog: “NVIDIA Variable Rate Shading Demonstrated in Autodesk VRED”  
<https://developer.nvidia.com/blog/nvidia-variable-rate-shading-demonstrated-in-autodesk-vred/>. (参照 2025-08-21).
- [2] R. K. Mantiuk, et al. “Fovvideovdp: A visible difference predictor for wide field-of-view video,” ACM Transactions on Graphics (TOG), vol. 40, no. 4, pp. 1–19, 2021.