

VR환경에서 HMD를 활용한 콘텐츠 개발 및 실시간 렌더링 기술과 노멀맵핑 기법에 관한 연구

백도흠 책임연구원, 김호태 수석연구원*, 전석윤 수석연구원*, 이승욱 수석연구원*

에이에스티홀딩스, *에이에스티홀딩스, *에이에스티홀딩스, *LIG넥스원

dh.baek@astkorea.net, *ht.kim@astkorea.net, *sy.jeon@astkorea.net,

*seungwook.lee@lignex1.com.

A Study on the Content Development and Real-Time Rendering Techniques and Normal Mapping Techniques Using HMD in VR Environment

Baek Do Heum, Kim Ho Tae*, Lee Seung Wook*

AST HOLDINGS., *AST HOLDINGS., *LIG NEX1.

요 약

본 논문은 가상현실(VR) 환경에서 HMD(Head Mounted Display)를 활용한 콘텐츠 개발 과정과 그에 수반되는 실시간 렌더링 기술, 그리고 3D객체에 노멀맵핑(Normal Mapping)기법을 적용한 최적화 효과를 분석한다. 특히 실시간 렌더링 기술과 3D객체 최적화 기법인 노멀 맵핑(Normal Mapping)을 적용한 사례를 중심으로 콘텐츠 성능 개선 효과를 검증하였다. 실험 결과, 노멀 맵핑 기법을 적용한 콘텐츠는 초당 프레임율(FPS)이 약 18% 향상되고, 지연시간(Latency)은 약 12% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 사용자 몰입도 향상 및 실사용 환경에서의 콘텐츠 효율성을 높이는 데 기여할 수 있다. 본 연구는 이러한 기술들이 VR 콘텐츠 개발에 미치는 영향을 고찰하고 향후 개발 방향을 제시하고자 한다.

키워드 : 가상현실, HMD, 렌더링, 노멀맵핑, 초당 프레임율.

Keyword : VR(Virtual Reality), VR, Head Mounted Display, Rendering, Normal Mapping, Frame rate.

ABSTRACT

This paper analyzes the content development process using head mounted display (HMD) in a virtual reality (VR) environment, the accompanying real-time rendering technology, and the optimization effect of applying the normal mapping technique to 3D objects. In particular, the effect of improving content performance was verified by focusing on the case of applying real-time rendering technology and normal mapping, a 3D object optimization technique. As a result of the experiment, it was found that the frame rate per second (FPS) of content applied with the normal mapping technique improved by about 18% and the latency decreased by about 12%. This can contribute to improving user immersion and increasing content efficiency in an actual use environment. This study aims to examine the impact of these technologies on VR content development and suggest future development directions.

I. 서론

가상현실(VR)은 사용자에게 몰입감 있는 인터랙티브한 경험을 제공하는 차세대 미디어 기술로 부상하고 있으며, 교육, 의료, 게임, 군사 등 다양한 분야에서 실용화가 확대되고 있다[1]. 이 중에서도 HMD(Head Mounted Display)는 사용자의 시야를 물리적으로 차단하고 가상의 3D 공간을 실시간으로 렌더링하여 제공하는 장치로, 몰입형 콘텐츠 구현의 핵심 도구로 인식되고 있다[2].

그러나 HMD 기반 VR 콘텐츠는 고해상도와 빠른 반응성을 요구하기 때문에, 개발 과정에서 실시간 렌더링 기술과 그래픽 최적화 기법이 필수적이다. 본 논문은 이러한 기술적 배경을 바탕으로 실시간 렌더링 최적화 및 3D 객체에 노멀 맵핑 기법을 적용하여 콘텐츠 성능을 향상시킨 사례를 제시하고 그 결과를 분석하고자 한다.

II. 본론

2.1. HMD 기술 개요

HMD(Head Mounted Display)는 디스플레이 모듈, 위치 추적 센서, 음향

시스템 등으로 구성되며, 사용자의 머리 움직임에 따라 시점을 조정하는 기술이 핵심이다. 대표적인 기기로는 Oculus Quest, HTC Vive, PlayStation VR 등이 있으며, 이들은 다양한 렌더링 기술과 연동되어 가상공간 내 현실감을 높인다[1], [2].

2.2. VR 콘텐츠 개발 주요 요소

VR 콘텐츠 개발에는 다음과 같은 요소가 필수적으로 고려되어야 한다[3].

- 몰입감(Immersion): 사용자가 현실과 유사하게 느낄 수 있는 환경 구성
- 상호작용성(Interactivity): 사용자의 제스처, 시선, 음성 등 입력 방식과의 반응
- UI/UX 디자인: 2D 화면과 달리 3D 공간에서의 인터페이스 설계 필요

2.3. 실시간 렌더링 기술 적용

VR 콘텐츠는 초당 90~120프레임의 렌더링 성능이 요구되며, 이는 사용자의 멀미를 방지하기 위해 지연시간을 20ms 이하로 유지해야 함을 의미한다. [4]. 이에따라 Unity, Unreal Engine 등에서는 LOD(Level of Detail), 프러스트럼 컬링(Frustum Culling), 포워드 렌더링, Foveated Rendering

등의 기술을 통합적으로 사용하고 있다[3], [4].

2.4. 노멀 맵핑 기법 적용 연구

노멀 맵핑(Normal Mapping)은 고해상도 표면 디테일을 텍스처 기반으로 구현하여 낮은 폴리곤 수의 모델에서도 고급 시각효과를 제공할 수 있는 기법이다[5]. 이를 통해 시스템 연산 부담을 줄이면서 실감나는 그래픽을 구현할 수 있다.

2.4. 실험 및 결과(Experiment & Result)

2.4.1. 실험 구성

항목	내용
HMD 기기	Oculus Quest2
개발 엔진	Unity
비교 대상	노멀 맵 적용군 vs 비적용군
측정 항목	초당 프레임(FPS), 평균 Latency(ms)

2.4.2. 성능 비교 결과

구분	평균 FPS	평균 Latency(ms)
노멀 맵 미적용	76.2	24.5
노멀 맵 적용	90	21.6

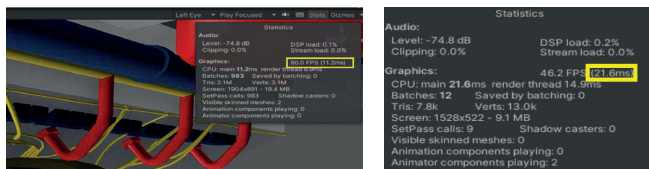


그림 1 평균 FPS & 평균 Latency 측정결과

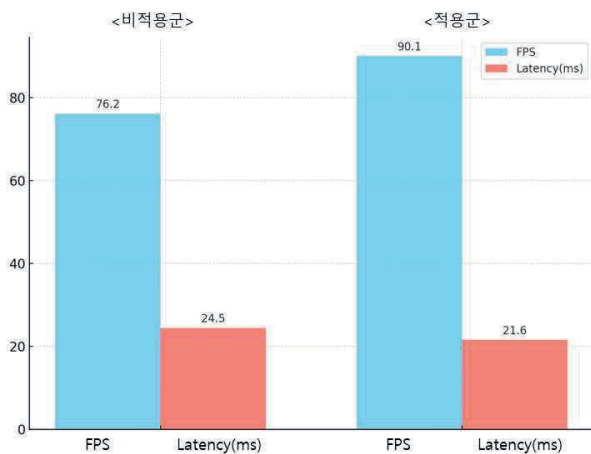


그림 2 노멀맵 적용, 비적용 비교 그래프

※실험 결과, FPS는 약 18% 향상, 지연시간은 약 12% 감소한 것으로 나타났으며, 이는 사용자 몰입도 증가 및 피로감 감소로 이어진다[6].

III. 결론

본 연구는 가상현실(VR) 환경에서 HMD(Head Mounted Display)를 기반으로 하는 콘텐츠 개발에 있어 실시간 렌더링 기술과 3D 객체 최적화 기법의 역할을 분석하고, 특히 노멀 맵핑(Normal Mapping) 기법의 적용 비교분석을 중심으로 성능 개선 효과를 실험적으로 검증하였다. 그 결과, 노멀 맵핑을 적용함으로써, 시스템의 연산 부담을 크게 줄이면서도 시각적으로 고해상도의 그래픽 품질을 유지할 수 있음을 확인하였다. 이러한 접근은 특히

폴리곤 수가 많은 복잡한 3D 모델이 필요한 VR 콘텐츠에서 효과적으로 작동하며, 저사양 환경에서도 고품질 콘텐츠를 효율적으로 운용할 수 있는 가능성을 제시한다.

또한 실험을 통해 초당 프레임(FPS)이 평균 18% 향상되고, 지연시간(Latency)이 약 12% 감소함으로써, 콘텐츠의 실시간 반응성과 몰입도가 모두 향상되었다. 이는 사용자의 피로도를 낮추고, 장시간 사용 시 발생할 수 있는 멀미나 몰입 저하 현상을 방지하는데 긍정적인 영향을 미친다. 특히 교육, 의료, 국방, 산업 시뮬레이션 분야와 같이 고정밀의 상호작용이 요구되는 응용 환경에서는 본 연구에서 검증된 기술적 접근이 실질적인 성능 개선과 사용자 경험 향상에 기여할 수 있다.

향후 VR 콘텐츠 개발에서는 단순한 시각적 사실감 이상의 사용자 중심 인터랙션 설계가 핵심 요소로 부각될 것으로 보인다. 예를 들어, 사용자의 시선 추적, 제스처 인식, 생체신호 피드백 등을 실시간으로 처리하고 적응적으로 반응하는 콘텐츠 구조가 필요하다. 이러한 사용자 반응 기반 렌더링 구조는 AI 기반 실시간 분석 기술과 자연스럽게 융합될 것이며, 이를 통해 콘텐츠는 더욱 개인화되고 반응성이 높은 형태로 진화할 것이다. 또한 클라우드 기반 렌더링 기술의 도입은 VR 콘텐츠의 하드웨어 의존성을 낮추고, 모바일 또는 웨어러블 장치에서도 고품질 콘텐츠를 스트리밍할 수 있는 가능성을 열어줄 것이다. 특히 5G 및 향후 6G 네트워크와의 결합은 초저지연 환경을 가능하게 하며, 사용자와 서버 간의 상호작용을 보다 매끄럽게 연결함으로써 몰입도를 더욱 높이는 환경을 구현할 수 있다.

결론적으로, 본 연구에서 제시한 실시간 렌더링 최적화와 노멀 맵핑 기법은 현재 VR 콘텐츠 개발의 기술적 병목을 해결하는 데 실용적인 해법이 될 수 있으며, 이러한 기법을 기반으로 한 콘텐츠 개발은 미래 XR 기술의 기반을 형성하는 핵심 전략 중 하나가 될 것이다. 앞으로는 기술뿐만 아니라 사용자 경험(UX), 심리적 반응, 인지과학 기반 설계 등 다학제적 접근이 융합된 콘텐츠 개발 전략이 필요할 것으로 전망된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 산업통산자원부 2023년 민·군기술이전사업 연구과제[VR 기반의 유도탄 및 수중탄 과학화 정비교육체계 구현]로 수행되었음.(No. 23-SN-CV-05)

참 고 문 헌

- [1] Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). Virtual Reality Technology (2nd ed.). Wiley-IEEE Press.
- [2] LaValle, S. M. (2017). Virtual Reality. Cambridge University Press.
- [3] Unity Technologies. (2022). Unity Manual: XR Development.
- [4] Epic Games. (2022). Unreal Engine Documentation: VR Best Practices.
- [5] Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Presence Journal, 6(6), 603-616.
- [6] Oculus VR. (2021). Oculus Developer Guide.