

## HMD 의 이동 속도에 따른 뷰포트 예측 정확도 변화 분석

안은빈, 김아영, 서광덕  
연세대학교 미래캠퍼스 소프트웨어학부  
kdseo@yonsei.ac.kr

Analysis of accuracy change in viewport prediction  
according to the moving velocity of HMD

Eun-Bin An A-young Kim Kwang-Deok Seo  
Division of Software, Yonsei University MIRAE Campus

## 요 약

뷰포트 예측은 360° VR(Virtual Reality) 영상 전송에서 사용자의 안정적인 콘텐츠 몰입을 위해 고안된 기법이다. 하지만 뷰포트 예측 모델의 정확도는 예측에 활용되는 데이터 또는 네트워크 상황에 따라 변동될 수 있다. 특히 사용자의 움직임은 뷰포트 예측 성능에 직접적인 영향을 주기 때문에 사용자의 움직임에 대한 정밀한 분석이 중요하다. 본 논문에서는 뷰포트 적응적 전송의 효율적인 개선을 위하여 HMD(Head-Mounted Display)의 속도가 뷰포트 예측에 미치는 영향을 분석한다.

## 1. 서론

최근 메타버스(Metaverse)의 부상과 더불어 몰입감 높은 가상현실에 대한 기대가 높아지고 있다. 특히 360° VR 영상은 현재 많은 OTT(Over-The-Top) 서비스와 미디어 플랫폼에서 제작 및 제공되면서 불과 지난 몇 년 사이에 친숙한 콘텐츠로 자리잡고 있다. 하지만 기존의 영상에 비해 매우 큰 용량을 가지는 360° VR 영상은 여전히 저장 및 전송을 하기에 어려움이 많다. 특히 자신의 주변을 360° 영상으로 다른 사람들에게 공유하고자 하는 많은 사람들의 기대와는 달리 360° VR 영상의 실시간 전송은 여전히 해결하기 어려운 문제이다.

뷰포트 적응적 전송은 사용자가 360° VR 영상의 부분만을 소비하는 특징을 고려하여 뷰포트에 해당하는 영역을 고품질로, 그 외의 영역을 저품질로 전달하는 방법으로써 효율적으로 대역폭을 절약하며 360° VR 영상 전송을 가능하게 하였다[1, 2, 3]. 그러나 네트워크의 지연을 비롯한 단대단 지연에 해당하는

MTP(Motion-to-Photon)를 고려할 때, 사용자의 몰입을 방해하지 않도록 사용자의 움직임으로 인해 변경되는 뷰포트 영역을 신속하게 전송하는 것은 무리가 있다[4]. 따라서 뷰포트 예측을 통해 사용자가 바라볼 미래의 뷰포트를 미리 준비하고 전달함으로써 몰입감 저하를 방지할 수 있다[5, 6]. 하지만 사용자의 움직임, 즉 HMD 속도가 빠를수록 예측의 정확도가 낮아지기 때문에 HMD 속도에 따른 뷰포트 예측 에러의 변화를 분석하여 뷰포트 예측 모델의 신뢰성을 높이고 뷰포트 적응적 전송을 개선할 수 있다.

본 논문에서는 HMD 의 속도에 따른 뷰포트 예측 정확도의 변화와 얼마나 먼 미래를 예측하는지(이하 예측 길이)에 따른 예측 정확도의 변화를 분석함으로써 최종적으로 사용자의 몰입감을 더욱 향상하는 개선된 뷰포트 적응적 전송에 대하여 논의한다.

## 2. 선형 회귀를 통한 뷰포트 예측

뷰포트 예측은 예측에 활용되는 데이터에 따라 콘텐츠 어그노스틱(Content-agnostic), 콘텐츠 어웨어(Content-aware) 예측 기법으로 분류할 수 있다[7]. 특히 센서로부터 전달받은 HMD 의 움직임 정보를 토대로 뷰포트를 예측하는 콘텐츠 어그노스틱 예측 기법은 예측 정확도가 다소 떨어지지만 실시간 전송 상황에서 유용하게 활용할 수 있다.

선형회귀 분석은 가장 직관적이고 간단하게 예측 모델을 만들 수 있는 방법이다. 뷰포트 예측을 위해 사용자의 과거 움직임을 학습한 선형 회귀 분석 기반의 예측 모델을 생성한다. 식 1 은 현재로부터 예측 길이 이후에 이동할 거리를 예측하기 위하여 사용한 다중선형회귀분석식이다.

$$Y = \alpha + \beta X_1 + \gamma X_2 + \dots + \epsilon \quad (1)$$

이때, 종속변수  $Y$  는 미래의 이동거리를 의미하며, 독립변수  $X$  에는 순간적인 속도와 가속도를 이용했다. 또한  $\alpha, \beta, \gamma$  는 회귀계수를 의미하며,  $\epsilon$  는 신호 측정 잡음이다.

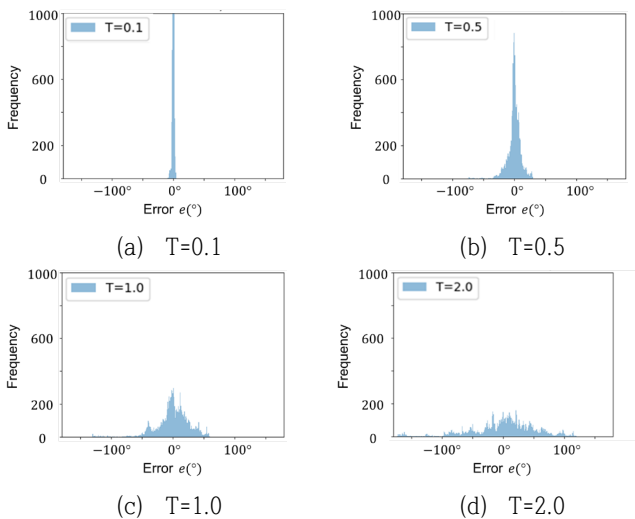


그림 1. 예측 길이에 따른 예측 에러 히스토그램

뷰포트 예측 모델의 성능을 분석하기 위하여 실제 움직인 이동거리와 예측된 이동거리의 차이  $e$  를 계산하고, 이를 시각화하기 위하여 예측 길이  $T$  가 0.1 초, 0.5 초, 1 초, 2 초인 경우 각각을 그림 1-(a), (b), (c), (d)에 히스토그램으로 표현하였다. 예측 길이가 길어질수록 예측 에러의 분포가 넓어지고 예측된 위치의 신뢰가 낮아진다.

## 3. 속도에 따른 뷰포트 예측 에러

속도에 따른 뷰포트 예측을 분석하기 위하여 미리 측정한 사용자의 움직임에 대하여 센서의 측정 주기를 조정함으로써 1.5 배(x1.5), 2 배(x2.0) 속도의 데이터를 생성하였으며, 예측길이  $T$  는 0.5 초로 설정하였다.

그림 2 는 HMD 회전 정보 중 요우(Yaw)의 측정값과 예측된 요우의 경로를 보여주며, 그림 2-(a)와 (b)는 각각 속도 x1.0 과 x2.0 에 대하여 출력한 결과이다. 두 결과의 비교를 통해 예측 HMD 의 속도가 빠를수록 예측의 정확도가 낮아지는 것을 직관적으로 확인할 수 있다.

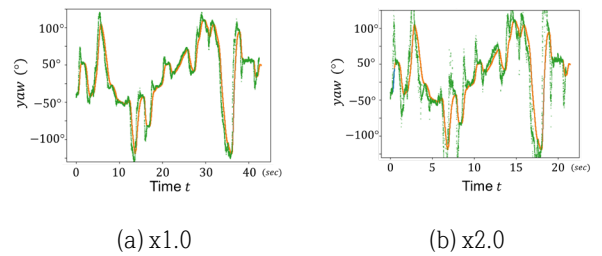


그림 2. 속도에 따른 선형회귀 기반의 뷰포트 예측 결과 (Yaw)

HMD 속도에 따라 뷰포트 예측 오류 분포가 어떻게 변하는지 확인하기 위하여 HMD 속도 변화에 따른 뷰포트 예측 에러의 확률밀도함수를 그림 3에 표현했다.

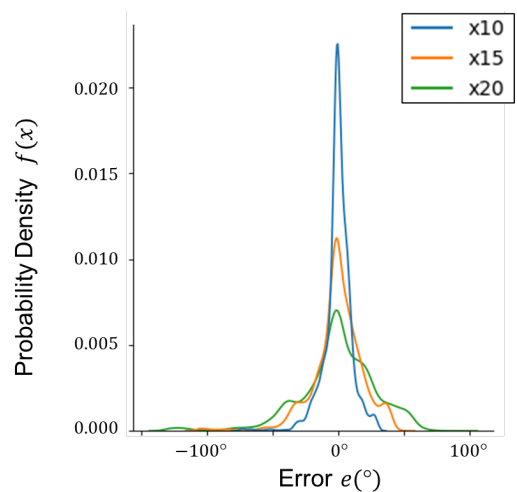


그림 3. HMD 속도에 따른 예측 에러 확률밀도함수

그림 3 을 통해 뷰포트 예측의 정확도는 HMD 속도에 큰 영향을 받는 것을 확인할 수 있으며, 표 1 에 제시된 각 분포의 평균 및 분산을 통해 수치적으로 얼마만큼의 변화가 발생하는지

확인할 수 있다.

	x1.0	x1.5	x2.0
평균	-0.14°	-0.25°	-0.16°
표준편차	11.03°	19.64°	29.35°

표 1. HMD 속도에 따른 예측 에러 평균 및 분산

모든 에러 분포의 평균은 0°에 근접하지만, x1.0 에 비하여 x1.5 와 x2.0 의 표준편차가 8.61°, 18.32°만큼 더 크기 때문에 속도가 빠를수록 보다 크고 많은 예측 오류가 발생할 수 있음을 확인할 수 있다. HMD 속도에 따른 예측 오류의 표준편차를 이용하여 뷰포트 예측 에러의 범위를 특정할 수 있다. 최종적으로 뷰포트 예측 에러의 허용범위를 지정함으로써 속도에 따라 추가적으로 전송할 영역을 조정할 수 있다. 즉, HMD 속도가 빨라질수록 예측된 위치의 에러가 커질 수 있기 때문에 그림 4 에서와 같이 HMD 속도에 적응적으로 반응하는 개선된 뷰포트 적응적 전송을 고려할 수 있다. 예측된 위치  $\hat{P}_{n+1}$ 에서 예측 에러로 추정되는 범위  $e$  를 이용하여 파란 점선에 해당하는 영역을 전송함으로써 사용자의 몰입을 유지할 수 있다.

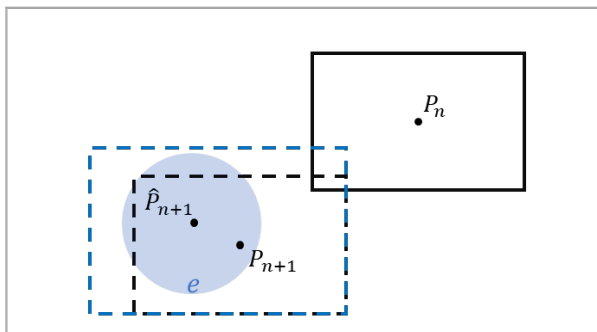


그림 4. 뷰포트 예측 에러 허용 범위의 활용

#### 4. 결론

본 논문에서는 HMD 속도에 따른 예측 정확도 분석을 진행하고, 이를 활용하여 개선된 뷰포트 적응적 전송을 고려했다. 하지만, 전송 환경에서 발생할 수 있는 오류를 고려한 추가적인 연구가 필요하다. 더불어 추가된 조건과 데이터를 통해 더욱 정밀한 분석을 수행할 필요가 있다. 추후 HMD 속도에 적응적으로 반응하는 뷰포트 예측 기법에 대하여 연구하고자 한다.

#### 참 고 문 헌

[1] T. Nasrabadi, A. Mahzari, J. D. Beshay, R. Prakash, "Adaptive 360-Degree Video Streaming using Scalable Video Coding", Proceedings of the 2017 ACM on Multimedia Conference - MM '17, pp. 1689-1697, 2017.

[2] Z. Xu, X. Zhang, K. Zhang, Z. Guo, "Probabilistic viewport adaptive streaming for 360-degree videos", 2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp. 1-5, 2018.

[3] M. Hosseini, V. Swaminathan, "Adaptive 360 VR video streaming: Divide and conquer", 2016 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), pp. 107-110, 2016.

[4] P. Lincoln, A. Blate, M. Singh, T. Whitted, A. State, A. Lastra, et al., "From motion to photons in 80 microseconds: Towards minimal latency for virtual and augmented reality", IEEE transactions on visualization and computer graphics, vol. 22, no. 4, pp. 1367-1376, 2016.

[5] S. Petrangeli, G. Simon, V. Swaminathan, "Trajectory-based viewport prediction for 360-degree virtual reality videos", 2018 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR), pp. 157-160, 2018.

[6] X. Feng, W. Li, S. Wei, "LiveROI: region of interest analysis for viewport prediction in live mobile virtual reality streaming", Proceedings of the 12th ACM Multimedia Systems Conference, pp. 132-145, 2021.

[7] Yaqoob, T. Bi, G.-M. Muntean, "A Survey on Adaptive 360° Video Streaming: Solutions, Challenges and Opportunities", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 4, pp. 2801-2838, 2020.