

타일 기반 360° 비디오 스트리밍 시스템에 적합한 MEC Caching 기법에 대한 연구

최민지, 박소민, 유철우*
명지대학교

choiminji@mju.ac.kr, thalsi@mju.ac.kr, *cwyoo@mju.ac.kr

Research on MEC Caching Techniques Suitable for Tile-Based 360° Video Streaming Systems

Minji Choi, Somin Park, Cheolwoo You*
Myongji University

요약

본 논문에서는 타일 기반 360° 비디오 스트리밍 시스템에 적합한 MEC(Mobile Edge Computing) 캐싱(Caching) 기법에 대해 연구한다. 일반적으로 메모리가 많지 않은 MEC에서는 적절한 캐싱 알고리즘의 사용과 이를 위한 효율적인 캐시 용량 설정이 중요하다. 타일 기반 360° 비디오 스트리밍 시스템 상의 MEC 캐싱 기법의 성능 분석을 위해, 기존의 대표적 캐싱 알고리즘인 LRU(Least Recently Used)와 LFU(Least Frequently Used)를 사용할 때의 캐시 적중률을 평가하였다. 실험 결과, 매 시점 고해상도 타일 1개가 요청된다고 가정할 때 LRU를 사용할 경우 20개 이상의 타일을 캐싱할 수 있는 캐시 크기로 70% 이상의 캐시 적중률을 가질 수 있었으며, 이에 비해 LFU는 상대적으로 매우 낮은 캐시 적중률을 가지므로 타일 기반 360° 비디오 캐싱에는 적합하지 않음을 알 수 있었다.

I. Introduction

VR 기기를 통해 360° 영상 시청 시 사용자가 실제로 시청하는 FoV(Field of View)는 영상의 일부이므로, 사용자에게 보이지 않는 부분에 대한 리소스를 절약하기 위해 비디오를 여러 타일로 나누는 타일링(Tiling) 개념을 사용한 적응적 360° 비디오 스트리밍이 중요한 기술로 대두되고 있다[1]. 특히, 360° 비디오는 일반 비디오보다 용량이 크므로 스트리밍 성능 개선을 위해 네트워크 대기 시간과 백홀(Backhaul) 트래픽 감소 등의 장점을 가지는 MEC(Mobile Edge Computing)를 이용한 360° 비디오 스트리밍에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 그러나 MEC는 저장 공간이 제한적이기 때문에 최적 MEC 캐시 크기에 대한 연구가 매우 중요하다.

본 논문에서는 사용자가 시청할 360° 비디오 타일의 일부를 MEC 서버에 저장하는 시스템을 구축한 후, 캐시 크기에 따른 MEC 캐싱 알고리즘의 성능을 평가한다. 대표적 캐싱 알고리즘들인 LRU(Least Recently Used)와 LFU(Least Frequently Used)를 사용하였으며, 이 두 알고리즘들은 캐시가 가득 찼을 경우 각각 가장 오랫동안 사용되지 않은 데이터와 가장 사용 빈도가 적은 데이터부터 삭제하고 새로운 데이터를 캐싱한다.

II. System Model

그림 1은 본 논문에서 고려하는 MEC 캐싱을 활용하는 타일기반 360° 비디오 스트리밍 시스템 구조이다.

서버는 원본 비디오를 타일링하고 다양한 해상도의 MPD(Media Presentation Description) 파일을 생성한다. 타일링은 하나의 비디오를 여러 타일로 조각내는 기술인데, 이를 통해 각 타일을 서로 다른 해상도로 독립적인 인코딩을 할 수 있다. VR 기기 등과 같은 클라이언트들은 시청할 타일을 요청하여 MEC 또는 서버로부터 타일을 받는다. 클라이언트가 요청한 타일이 MEC 캐시에 존재하면 Hit 이고, 존재하지 않아서 비디오 서버로부터 해당 타일을 받아와야 하면 Miss 이다. 모든 요청 종료 후 캐시 적중률(Cache Hit Rate)은 총 Cache Hit 수를 전체 요청 수로 나누어 계산한다. MEC는 Cache Replacement Manager를 통해 캐시된 타일을 교체하는데, 본 논문에서는 클라이언트 요청 타일들에 해당하는 고해상도 파일을 캐싱한다고 가정한다.

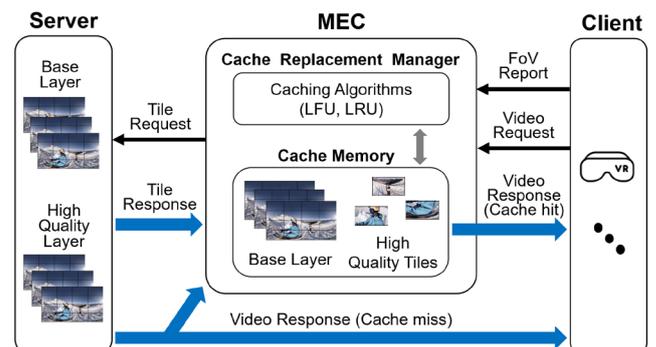


그림 1. MEC 캐싱과 타일기반 360° Video Streaming 개념도

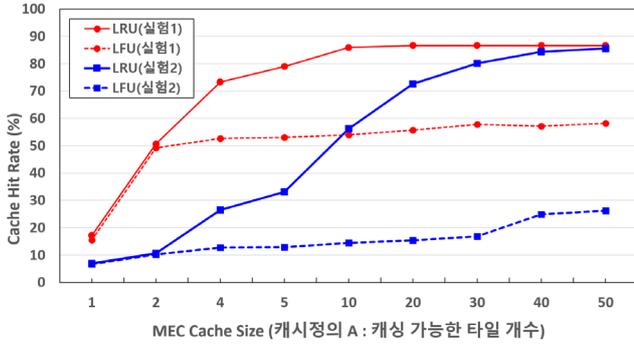


그림 2. MEC 캐시 크기에 따른 캐시 적중률 (캐시정의 A)

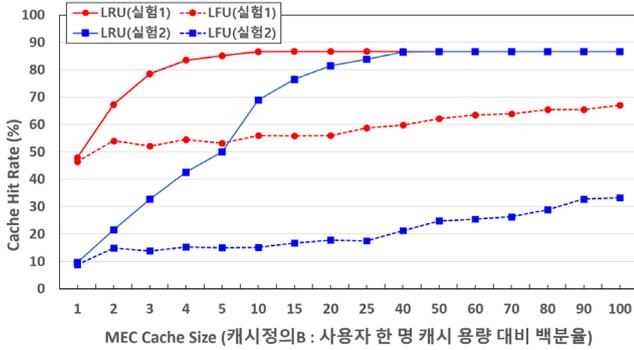


그림 3. MEC 캐시 크기에 따른 캐시 적중률 (캐시정의 B)

III. Simulation Results

본 논문에서는 “VR 기기를 사용한 360° 비디오 시청 기록 데이터셋”[3] 중 “Conan360-Sandwich”를 사용하였으며, 3D 공간의 쿼터니언 (Quaternion) 값을 타일 Id 로 변환하는 데이터 전처리를 진행하였다. 원본 비디오를 ffmpeg 을 사용하여 타일링과 MPEG DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) SRD (Spatial Relationship Description)형식의 MPD 생성을 수행하였다. 해당 비디오의 총 길이는 2 분 44 초이고, 각 세그먼트 (Segment)는 1 초의 길이를 가진다. 그리고 4x4 타일링을 통해 세그먼트당 16 개의 타일을 가진다.

실험 1 은 사용자 모두가 동일한 시간에 시청을 시작하고, 실험 2 는 각 사용자마다 0~5 초 사이의 무작위 지연을 가진 후 시청을 시작한다고 가정하였다. 두 경우 모두 1 초 주기로 FoV 에 해당하는 고해상도의 타일 1 개를 각 시청자들이 요청한다고 가정한다.

캐시정의 A 는 평균 타일 사이즈를 기반으로 캐시 크기를 정의한 기준이다. 예로써, 캐시 사이즈 5 는 MEC 가 대략 5 개의 타일을 캐싱할 수 있는 메모리를 가지고 있다는 것을 의미한다. 캐시정의 B 는 사용자 한 명이 전체 비디오를 시청할 때 요청하게 되는 캐시 용량을 기준으로 정의하였는데, 캐시 사이즈 100%는 사용자 한 명이 하나의 비디오를 전부 시청할 때의 요청하게 되는 FoV 에 해당하는 고해상도 타일들을 모두 캐싱할 수 있는 크기를 의미한다.

그림 2 와 그림 3 의 실험 1 의 경우, 모든 사용자가 동일한 시간에 동일한 세그먼트에 대한 타일 요청을 보내기 때문에 작은 캐시 사이즈로도 좋은 캐시 적중률을 가진다. 이와 같은 경우, 각 시점에 있어서 다양한 사용자의 각 타일에 대한 시청 빈도수가 캐시 적중률에 중요한 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다. 그림 2 의 실험 1 을 살펴보면, 해당 데이터셋의 4x4 타일링 기준 4~6 개를 초과한 타일을 MEC 에 캐싱할 수 있는 경우 성능 향상이 더 이상 두드러지지 않는다는

것이 관찰된다. 결론적으로 매 시점 사용자의 대다수는 평균 5 개 정도의 타일을 시청하고 있다고 판단되어진다.

그림 2 의 실험 2 를 보면, 48 명의 사용자가 시청할 때에 LRU 알고리즘을 사용할 경우 MEC 에 캐싱할 수 있는 타일 수가 20 개 이상만 되면 70% 이상의 캐시 적중률을 가질 수 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 3 의 실험 2 의 관점에 따르면, LRU 를 사용할 경우 한 명의 사용자가 요청하는 타일의 10% 이상을 MEC 가 캐싱할 수 있으면 70% 이상의 캐시 적중률을 가질 수 있음을 알 수 있다.

실험 1 과 실험 2 의 모든 경우에 있어서 LRU 는 LFU 보다 좋은 성능을 보여주었다. 특히, LRU 의 경우 캐시 사이즈가 증가함에 따라 빠른 속도로 성능이 향상되어 Cache hit rate 의 성능 한계점 (Saturation)에 도달했지만, LFU 는 성능 개선 정도가 크지 않았으며 동시에 성능 한계점도 높지 않았다. 즉, 동일한 MEC 의 캐시 크기에 대해 LRU 대비 LFU 가 상대적으로 매우 낮은 캐시 적중률을 가져 타일 기반 360° 비디오 캐싱에는 적합하지 않음을 알 수 있다.

한편, 캐시 사이즈가 특정 정도의 이상이 되면 LRU 의 경우 캐시 적중률의 변화가 없어진다. 즉, 알고리즘에 따른 최적 캐시 사이즈를 결정하는데 있어서, 캐시 적중률의 변화가 거의 없어지는 지점의 캐시 사이즈를 찾는 것과 이를 최소화하는 것이 매우 중요할 것이다.

IV. Conclusions

본 논문에서는 타일 기반 360° 비디오 스트리밍 시스템을 위한 적절한 MEC 캐싱 기법에 대해 연구를 수행하였다. 이를 위하여, 비디오 서버는 360° 비디오를 타일링하여 전송하고, 비디오 시청 중에 사용자가 요청하는 FoV 에 해당하는 고해상도 타일들을 MEC 에 캐싱하는 시스템 구조를 고려하였다. LRU 를 사용할 경우 20 개 이상의 타일을 캐싱할 수 있는 캐시 사이즈를 가지면 70% 이상의 캐시 적중률을 가졌으며, 적정 사이즈 이상의 캐시 사이즈를 가지면 성능 향상이 미비한 것을 확인하였다. 이는 캐시 크기에 대한 최적화가 가능하다는 것을 의미한다. 끝으로, LFU 경우 상대적으로 매우 낮은 캐시 적중률을 가지므로 타일 기반 360° 비디오 캐싱에는 적합하지 않다고 판단된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2023-00229330, 스트리밍 3 차원 디지털미디어 서비스 기술)

참고 문헌

- [1] Yaqoob, A., Bi, T., Muntean, G. M. "A survey on adaptive 360 video streaming: Solutions, challenges and opportunities." IEEE Communications Surveys & Tutorials 22.4 (2020): 2801-2838.
- [2] Kumar, S., Bhagat, L., Jin, J. "Multi-neural network based tiled 360° video caching with Mobile Edge Computing." Journal of Network and Computer Applications 201 (2022): 103342.
- [3] Wu, C., Tan, Z., Wang, Z., Yang, S. "A dataset for exploring user behaviors in VR spherical video streaming." Proceedings of the 8th ACM on Multimedia Systems Conference. 2017.