

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제24권 제6호, 2019년 11월 (JBE Vol. 24, No. 6, November 2019)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2019.24.6.948>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

MMT 프로토콜 기반의 360도 VR 비디오 전송을 위한 개선된 QER 선택 알고리즘

김 아 영^{a)}, 안 은 빈^{a)}, 서 광 덕^{a)†}

An Advanced QER Selection Algorithm Based on MMT Protocol for 360-Degree VR Video Streaming

A-young Kim^{a)}, Eun-bin An^{a)}, and Kwang-deok Seo^{a)†}

요 약

360도 VR(Virtual Reality) 비디오 서비스에 대한 관심이 증가함에 따라서 대용량의 VR 비디오 데이터를 압축하여 전송하기 위한 기술이 빠르게 발전하고 있다. QER(Quality Emphasized Region) 기반의 전송 기법은 360도 VR 영상을 영역별로 나누고 차별화된 화질의 영상으로 전송함으로써 몰입감을 유지하고 대역폭의 낭비를 줄이는 뷰포트 적응적 360도 비디오 스트리밍 시스템(Viewport-Adaptive 360-Degree Video Streaming System)의 일종으로 개발되었다. 사용자 시점에 해당하는 특정 QER을 선택하기 위해서는 QEC(Quality Emphasis Center) 거리 계산 과정과 QER 전환을 요청하는 시그널링 과정이 필요하다. QEC 거리계산은 QER의 개수만큼 계산을 반복하기 때문에 클라이언트에게 높은 계산 복잡도를 요구한다. 또한 QER 전환 요청을 위한 시그널링 메시지의 전송 주기는 효율적 대역폭 사용과 원활한 QER 전환 사이에서 서로 절충적인(trade off) 관계를 갖는다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 MMT 프로토콜 기반의 개선된 QER 선택 알고리즘을 제안한다. 개선된 QER 선택 알고리즘은 미리 준비된 QER_ID_MAP을 사용하여 시스템 계산 복잡도를 줄이는 동시에, 시그널링 주기를 적응적으로 수정하여 네트워크의 부담을 최소화하고 적시에 적절하게 QER 변환이 가능하도록 제안된 방법이다.

Abstract

As interests in 360-degree VR (Virtual Reality) video services enormously grow, compression and streaming technologies for VR video data have been rapidly developed. Quality Emphasized Region (QER) based streaming scheme has been developed as a kind of viewport-adaptive 360-degree video streaming technology for maintaining immersive experience and reducing bandwidth waste. For selecting a QER corresponding to the user's gaze coordinate, QER-based streaming scheme requires the calculation of Quality Emphasis Center (QEC) distance and signaling message delivery for requesting QER switching. QEC distance calculations require high computational complexity because of repeated calculations as many times as the number of QERs. Furthermore, the signaling message interval results in a trade-off relationship between efficient bandwidth usage and flexible QER switching. In this paper, we propose an improved QER selection algorithm based on MMT protocol to solve this problem. The proposed algorithm could achieve computational complexity reduction by using preprocessed QER_ID_MAP. Also, flexible QER switching could be achieved, as well as efficient bandwidth utilization by an adaptive adjustment of the signaling interval.

Keyword : Video Streaming, Virtual Reality (VR), Quality Emphasize Region(QER), Viewport adaptive streaming, MPEG media transport (MMT)

Copyright © 2016 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

1. 서론

실감형(Immersive) 미디어를 보다 높은 화질로 소비하려는 소비자들의 요구가 커짐에 따라서 실감형 미디어의 압축 및 전송 기술이 빠르게 발전하고 있다. 이러한 흐름에 따라 ISO MPEG에서는 실감형 미디어에 대한 차세대 프로젝트로 MPEG-I를 총 2단계(Phase)와 8개의 부(Part)로 정의하여 표준화를 진행하고 있다. 360도 VR 비디오 서비스는 기존의 영상 서비스와는 달리 압축 및 전송을 위해서 스티칭(Stitching), 프로젝션(Projection) 등의 추가적인 기법이 요구되고, 한 장면을 서비스하기 위해 뷰포트(Viewport)가 아닌 영역도 전송해야 하기 때문에 매우 큰 채널 용량을 요구한다. 그러므로 프로젝션된 VR 비디오를 종래의 기술 그대로 활용하여 전송했던 초기 연구 단계에서는 실질적인 뷰포트 영역을 고화질로 소비하기 위하여 전체 영상을 고화질로 전송했기 때문에 자원의 낭비가 초래되었다. 즉 소비자의 4K 화질 경험을 위해서는 전체 VR 비디오의 해상도가 최소한 10K 이상으로 서비스되어야 한다. 따라서 뷰포트에 해당하는 영역을 고화질로 전송하고, 나머지 영역을 상대적인 저화질로 전송하는 뷰포트 적응적 전송(Viewport Adaptive Streaming) 기법이 제안되었다^[1]. 또한, 이 기법의 일종으로 타일 기반 전송기법^{[2][3]}과 QER(Quality Emphasized Region) 기반 전송 기법^[4]이 추가적으로 연구되고 있다.

QER 기반 전송 기법은 다수의 QER 영상을 미리 준비하고, 사용자의 뷰포트 영역에 가장 적합한 QER을 전송하는 기법이다^[4]. 각 QER은 강조된 화질의 중심좌표인 QEC(Quality Emphasis Center)를 통해 구분할 수 있고, QEC에

가까울수록 고화질로 부호화된다. 또한 서버는 대역폭 상황을 고려하여, 각 QER을 두 가지 종류의 스트림으로 준비한다. 사용자가 현재 시청하고 있는 뷰포트 영역과 가장 근접한 QER을 선택하고 전송하기 위해서는 각 QER과 시점 좌표 사이의 거리 계산이 필요하다. 이러한 계산 과정은 높은 계산 복잡도를 요구하기 때문에 클라이언트에 많은 부담을 준다. 또한 주기적으로 QER 전환을 위한 시점 정보를 송수신해야 하는데, 이러한 시점 정보 송수신 주기는 효율적인 대역폭 사용과 원활한 QER 전환에 영향을 미친다. 예를 들어, 요청 주기가 짧을 경우 사용자의 시점에 알맞은 QER 전환이 빠르게 이루어지지만, 잦은 요청으로 인하여 네트워크 대역폭의 낭비가 초래하게 된다. 반면에 이 주기가 너무 긴 경우에는 QER 전환이 알맞게 이루어지지 않아 낮은 화질로 영상을 소비하는 시간이 길어질 수 있고, 소비자의 실감 경험을 저해하는 요소가 될 수 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 MMT 프로토콜 기반의 개선된 QER 선택 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘을 활용하여 그림 1과 같이 MMT(MPEG Media Transport) 기반의 360도 VR 비디오 전송을 위한 시스템을 구성하였다. 서버는 QER 기반 전송 기법을 채

a) 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부(Division of Computer and Telecommunications Engineering, Yonsei University)

✉ Corresponding Author : 서광덕(Kwang-deok Seo)

E-mail: kdseo@yonsei.ac.kr

Tel: +82-33-760-2788

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5823-2857>

※ 이 논문의 연구 결과 중 일부는 한국방송·미디어공학회 “2019년 하계 학술대회”에서 발표한 바 있음.

※ This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(NRF-2018R1D1A1B07047065).

· Manuscript received July 29; Revised October 21; Accepted October 21.

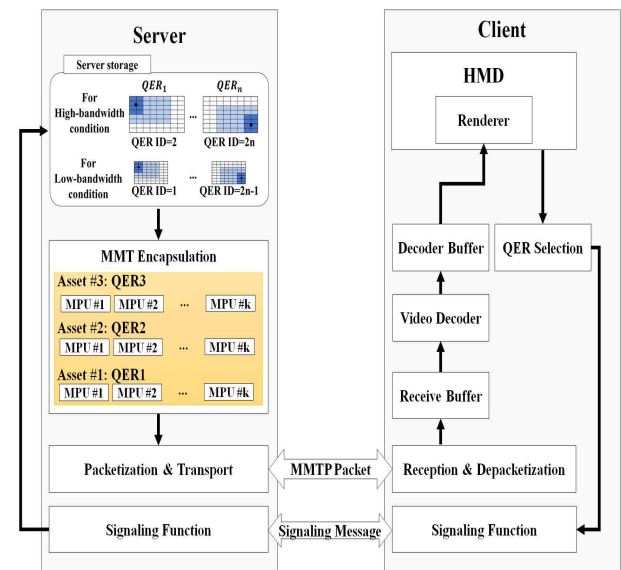


그림 1. MMT 기반의 360도 VR 비디오 전송을 위한 시스템 구성도

Fig. 1. The architecture of the 360-degree VR video streaming system based on MMT

택하여 360도 VR 비디오를 전송한다. MMT 프로토콜로 전송하기 위해 MMT의 데이터 구조에 적합하도록 캡슐화(Encapsulation) 과정을 거친다. 캡슐화된 데이터들은 이중망을 통해 한 개 이상의 클라이언트로 전송되며, 클라이언트는 이를 HMD(Head-mounted Display)에 렌더링한다. MMT^{[5][6]} 기술은 IP기반 전송 프로토콜로서, 실시간 및 저지연 미디어 전송에 적합하여 360도 VR 비디오와 같은 실감형 미디어를 전송하기 위해 활용된다^[7]. 그림 1은 360도 VR 비디오 전송을 위한 MMT 데이터 모델의 활용을 보여준다. 본 논문에서는 하나의 360도 VR 비디오 스트림을 하나의 독립적인 MMT 패키지(Package)로 포장하고, 이 패키지에 포함되는 각각의 애셋(Asset)마다 특정 QER을 포함하도록 구현하였다. 각각의 애셋은 VR 비디오를 압축한 특정 길이의 비트스트림을 캡슐화한 MPU(Media Processing Unit)들로 구성된다.

II. 개선된 QER 선택 알고리즘

본 논문에서는 기존의 QER 선택 알고리즘과 대비하여 개선된 QER 선택 알고리즘을 제안한다. 기존의 알고리즘^[4]과 제안하는 알고리즘의 차이는 그림 2에 도식화되어 있다. QER 선택 알고리즘은 적합한 QER을 결정하고 해당 QER을 요청하는 과정 까지를 의미하며, 크게 2단계로 구분할 수 있다. 첫 번째 단계는 QEC 거리 계산 단계로, HMD로부터 수신한 사용자의 시점 좌표 정보와 각 QER 사이의 QEC 거리 계산을 통해 적합한 QER을 특정한다. 두 번째 단계는 시그널링 메시지 전송 단계로, 시그널링 메시지를 주어진 주기마다 송수신하여 적절한 QER로의 전환을 요청한다.

1. QEC 거리 계산

사용자 시점 좌표에 알맞은 QER을 선택하기 위해서, 그림 3과 같이 QEC와 사용자 시점 좌표 (ϕ_n, θ_n) 간의 구체

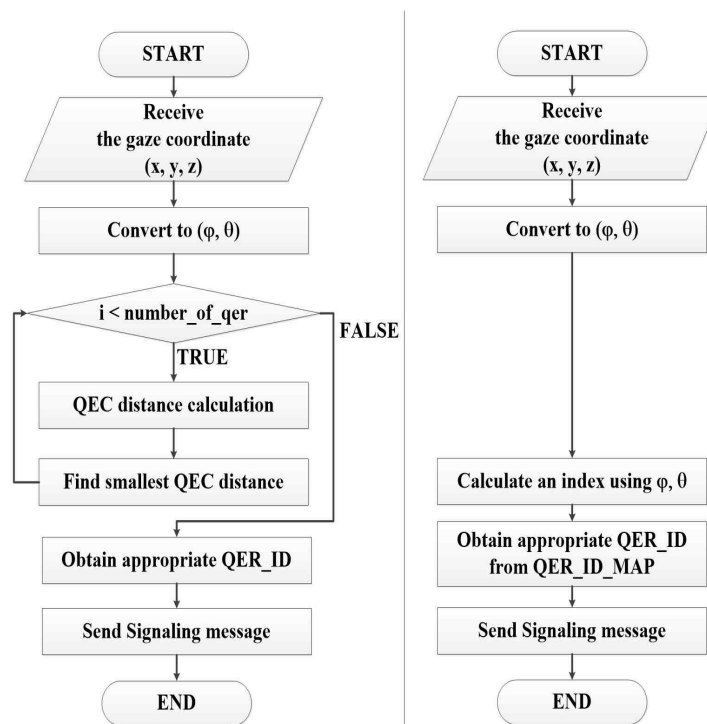


그림 2. 기존의 QER 선택 알고리즘과 개선된 QER 알고리즘의 차이: 기존의 QER 선택 알고리즘의 흐름도(좌), 개선된 QER 선택 알고리즘의 흐름도(우)
 Fig. 2. Algorithmic difference between the conventional QER selection algorithm and the proposed one: Flowchart of the conventional QER selection algorithm (left), Flowchart of the proposed QER selection algorithm (right)

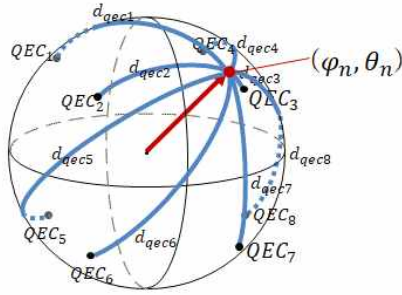


그림 3. 사용자 시점 좌표와 각 QEC간의 구체 표면상 거리
Fig. 3. The orthodromic distance between each QEC and gaze coordinate

표면상 거리(Orthodromic distance) 계산(이하, QEC 거리 계산)이 필요하다. QEC 거리 계산을 위하여 식(1)을 사용하였다.

기존의 방식은 매 순간마다 k 개의 QER에 대하여 k 번의 QEC 거리 계산을 하고, 이 중 가장 작은 값을 가지는 QER이 선택된다. 이 방식은 QER을 선택할 때마다 k 번의 반복적인 계산을 요구하게 된다. 즉, QER 거리 계산의 횟수는 k 에 대하여 선형적으로 비례하기 때문에 $O(k)$ 의 계산 복잡도를 가진다. 결과적으로 QER의 개수가 증가할수록 클라이언트의 자원 낭비가 불가피하다.

제안하는 알고리즘은 불필요한 계산과 자원 낭비를 줄이기 위해 QER_ID_MAP을 사용한다. QER_ID_MAP은 구체 표면상의 좌표의 전체 범위에 대하여, 각 좌표마다 가장 적절하다고 판단된 QER ID값을 저장하고 있으며, 이 QER ID값은 구체 표면상의 좌표들과 k 개의 QEC에 대하여 미리 QEC 거리 계산을 진행하여 구한다. 또한 각 구체 표면상의 좌표를 인덱스 값으로 활용하여 QER ID 정보를 저장하기 때문에, 클라이언트는 360도 VR 영상을 재생하는 동안 복잡한 QEC 거리 계산을 k 번 반복하지 않고 1번의 인덱싱 계산을 통해 사용자 시점에 적합한 QER을 선택할 수 있다. 즉, 제안된 방법은 QER의 개수와 관계없이 저장된 QER ID 값을 찾기 위한 계산만을 요구하기 때문에 $O(1)$ 의 계산 복잡도를 가지게 된다. 이는 클라이언트 디바이스의 계산

복잡도가 줄어들었음을 의미하며, 또한 반복적인 연산이 없으므로 불필요한 계산 양을 줄일 수 있다. 이러한 QER_ID_MAP은 xml, 셰이더(Shader), 텍스트 등 다양한 형식으로 구현될 수 있으며, 초기 통신을 통해 서버로부터 전달받거나 클라이언트에 내장되어 있을 수 있다.

2. 시그널링 메시지 전송

적합한 QER을 특정하고 해당 QER로 전환하는 과정에서, QER 요청 주기는 QER의 유연한 전환과 효율적인 대역폭 활용에 영향을 미친다. 요청 주기가 짧은 경우에는 시그널링 메시지의 전송 횟수가 증가하므로 대역폭 사용량이 증가하게 되지만, QER의 전환은 보다 유연하게 일어나게 된다. 반면, 요청 주기가 긴 경우에는 대역폭 사용량이 감소하지만, 적절한 시기에 QER의 전환이 이루어지지 못할 수 있다. 하지만 제안하는 알고리즘은 적은 량의 시그널링 메시지 전송에도 불구하고 유연한 QER 전환을 이룰 수 있다.

기존의 알고리즘은 DASH(Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)의 세그먼트 길이나 MMT의 MPU 길이와 같은 특정 주기로 QER 전환을 요청한다. DASH 세그먼트의 경우, 한 개의 세그먼트가 전부 소비되기 전까지 QER 전환이 이루어 질 수 없다. 반면에 MPU를 사용할 경우에는 소비되는 중간에 QER이 요청되어도 QER 전환 및 전송이 가능하다. 제안된 알고리즘에서는 이러한 MMT의 데이터 구조 특성을 활용하여 고정된 시간이 아닌 QER이 변화된 시점에 곧바로 QER 전환을 요청하도록 하였다. 또한 QER 전환 요청을 위한 시그널링 메시지에 QER을 식별하기 위한 필드를 생성하였다. 이를 통해 서버는 MMT 시그널링 메시지를 통해 대역폭 상황을 판단하여 전달할 QER의 품질을 선택할 수 있다.

그림 4는 제안된 알고리즘의 작동 시나리오이다. 클라이언트가 HMD로부터 사용자 시점 좌표 (x, y, z) 를 받아오면 이를 구체상의 좌표 (ϕ, θ) 로 변환하고, 이를 활용하여 QER_ID_MAP에서 적절한 QER_ID 값을 취득한다. 이후

$$d_{qec\ k} = r \cdot \arctan \frac{\sqrt{\cos^2 \theta_2 \sin^2(\Delta \phi) + (\cos \theta_1 \sin \theta_2 - \sin \theta_1 \cos \theta_2 \cos(\Delta \phi))^2}}{\sin \theta_1 \sin \theta_2 + \cos \theta_1 \cos \theta_2 \cos(\Delta \phi)} \quad (1)$$

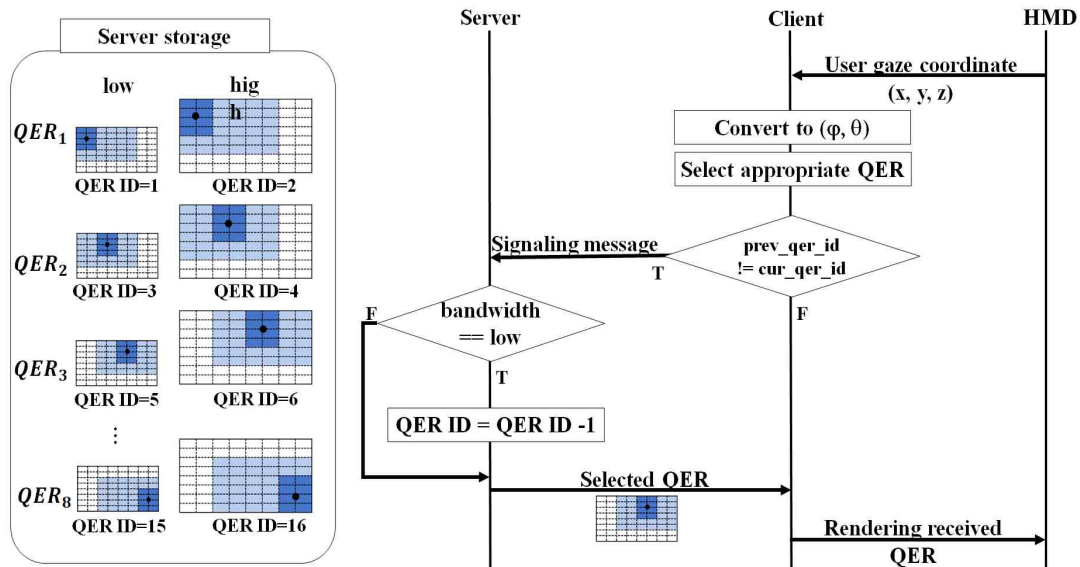


그림 4. 제안하는 알고리즘을 활용한 시그널링 메시지 전송 시나리오

Fig. 4. Delivery scenario of the signaling messages in the proposed algorithm

현재 재생중인 QER_ID와 비교하여 QER_ID값에 변동이 생긴 경우 QER 전환 요청 시그널링 메시지를 전송한다. 이때 시그널링 메시지의 QER_ID값을 (QER_ID x 2)으로 저장하게 되는데, 이는 서버에서 네트워크 상황을 판단하여 대역폭 상황이 나쁜 경우 전달받은 QER_ID값에서 1을, 좋은 경우에는 0을 차감하여 적절한 품질의 QER을 전송하기 위함이다.

III. 실험 및 결과

제안된 알고리즘의 성능을 검증하기 위한 실험을 수행하기 위해서 HMD 단말 장비로 Oculus Rift DK2를 사용하였다. 360도 VR 영상 송수신 시스템을 구축하기 위해 CPU로는 Intel i7-6700K, GPU로는 NVIDIA GeForce GTX 1080, 네트워크 카드로는 Intel® Ethernet Converged Network Adapter X540-T2의 사양을 갖춘 두 대의 컴퓨터를 케이블을 통해 직접 연결하여 포트 당 데이터 비율이 최대 10Gbps인 실험 환경을 구축하였다. 이러한 실험 환경에서 제안하는 알고리즘의 계산 복잡도 감소를 검증하기 위한 실험과 시그널링 메시지를 적응적으로 전송함으로써 유연한 QER

전환이 이루어졌는지를 검증하는 실험을 수행하였다.

1. QEC 거리 계산

QEC 거리 계산 복잡도가 클라이언트에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 사용자의 시점 좌표를 취득하는 시점으로부터 적합한 QER이 선택되기까지 걸리는 시간을 측정하여 그림 5에 도식화하였다. 본 실험은 동일한 HMD 움직임 데이터 셋(Data set)에 대하여 기존의 방식과 제안하는 방식을 각각 적용하여 수행하였다. 사용자 시점 좌표와 QEC의 거리를 계산하여 최소값을 찾는 기존의 방법은 적합한 QER의 ID값을 취득하기까지 소요되는 시간이 약 8μs~50μs인 반면, 미리 계산된 QER_ID_MAP을 활용하는 제안된 방법의 경우, 적합한 QER의 ID 값을 얻기까지 대략 1μs~2μs가 소요됨을 확인하였다.

2. 시그널링 메시지 전송

시그널링 메시지 전송 주기의 조절에 따라 적절한 QER 전환과 효율적인 대역폭 사용을 확인하는 실험을 수행하였다. 그림 6-(1)부터 6-(3)은 사용자의 시점이 위치하여 전송

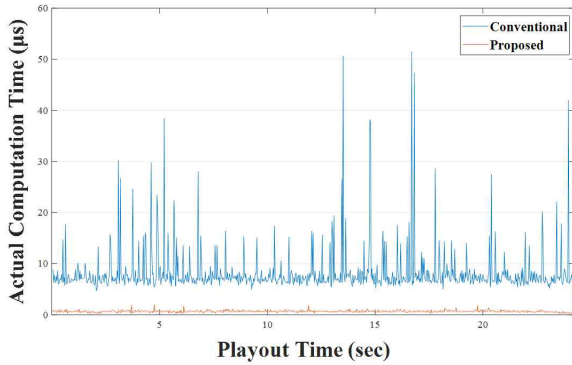


그림 5. 적절한 QER을 구하기까지 소요되는 계산시간
Fig. 5. Elapsed computation time for obtaining appropriate QER

이 기대되는 QER(Appropriate QER) ID 값과 실제로 전송 받고 있는 QER(Actual received QER) ID 값의 일치 여부를

도식화하였다. 그림 6-(4)는 각 실험에서 전송된 시그널링 메시지의 총 개수를 표시한다. 그림 6-(1)은 기존의 알고리즘에서 가장 효율적인 세그먼트 길이라고 제시한 주기인 2 초마다 시그널링 메시지를 전송한 경우이다. 이 경우 사용자의 잦은 움직임으로 인하여 QER의 변화가 주기 이내에 빈번하게 일어나게 되면 서버는 마지막 QER 전환 이외의 다른 QER 전환을 요청하지 못한다. 이로 인해 사용자는 실험의 전체 재생 시간의 절반 이상을 적합한 QER과는 다른 QER을 수신하게 된다. 반면에 그림 6-(2)에서는 시그널링 메시지의 주기를 단축시켜 적시에 적절한 QER로 전환되는 상황을 나타낸다. 이 경우에 비디오의 프레임율(Frame rate)이 30fps임을 고려하여 주기를 33ms로 설정하였고, 사용자의 시점이 위치하여 전송이 기대되는 QER과 실제로 전송받고 있는 QER이 거의 동일함을 확인할 수 있

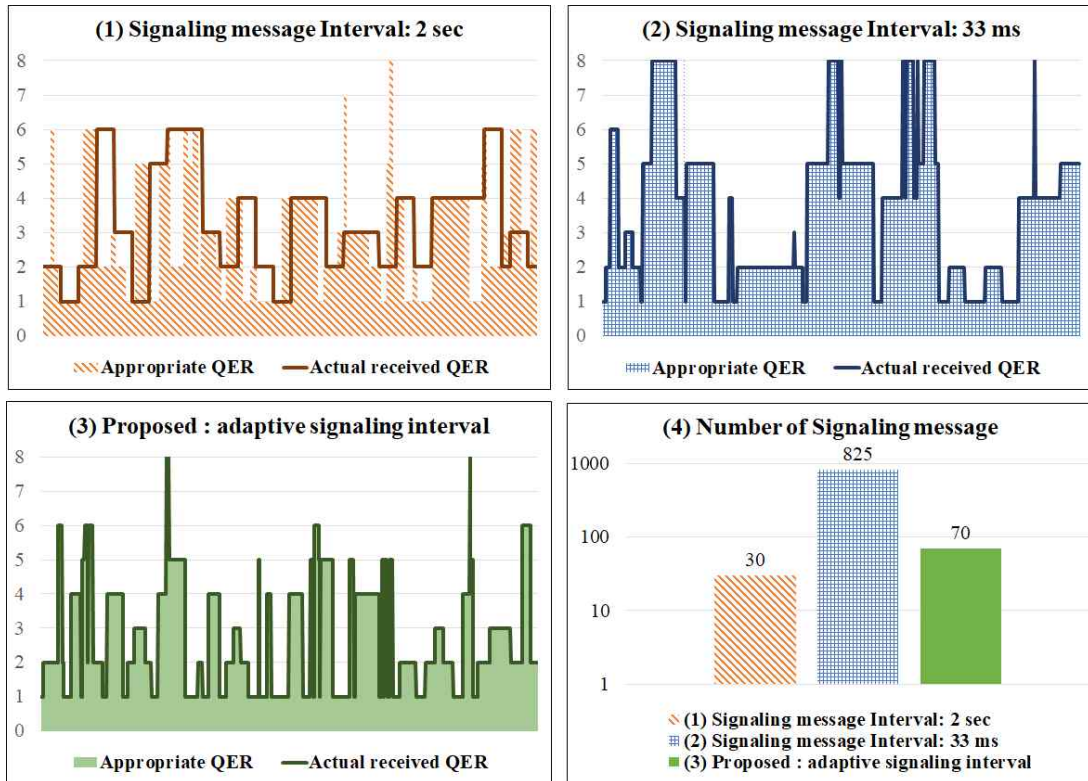


그림 6. 사용자의 시점에 대응하여 전송이 기대되는 QER(Appropriate QER) ID값과 실제로 전송받고 있는 QER(Actual received QER) ID 값의 일치 여부: (1) 시그널링 메시지의 전송 주기가 2초로 고정된 경우, (2) 시그널링 메시지의 전송 주기가 33ms로 고정된 경우, (3) 제안하는 알고리즘을 사용하여 적응적으로 시그널링 메시지를 전송하는 경우, (4) (1)~(3)에서 실제로 전송된 시그널링 메시지의 개수

Fig. 6. Coincidence between the most appropriate QER ID corresponding to user gaze coordinate and actual received QER ID: (1) Signaling interval is fixed at 2sec, (2) Signaling interval is fixed at 33ms, (3) Proposed: adaptive signaling interval, (4) Number of Signaling message

다. 그러나 그림 6-(4)에 나타나 있듯이 상대적으로 매우 빈번한 825회의 시그널링 메시지 전송이 발생하였으며, 이는 결과적으로 대역폭 낭비를 초래한다.

제안된 알고리즘은 QER이 바뀌는 시점에 시그널링 메시지를 전송하여 적시에 적절한 QER로 전환되도록 설계하였으며, 그림 6-(3)에서 그 결과를 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 그림 6-(4)를 통해 제안된 알고리즘에 의한 실험에서 전송된 시그널링 메시지 개수는 70개로써 상대적으로 적은 양을 전송하기 때문에 대역폭 관리 측면에서 개선된 성능을 얻을 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 HMD 단말기 사용자의 시점에 해당하는 QER을 선택하기 위해 불필요하게 발생하는 계산 양을 줄이고, 적시에 적절한 QER 전환과 동시에 과도한 시그널링 메시지 전송으로 인한 대역폭 낭비를 해결하고자 MMT 프로토콜 기반의 개선된 QER 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 각 좌표에서 가장 가까운 QEC 거리를 미리 계산하고 적합한 QER의 ID 값을 미리 저장해 놓은 QER_ID_MAP을 활용함으로써 클라이언트 디바이스에서 계산 복잡도를 줄일 수 있었다. 또한 QER 전환 요청을 적응적으로 실시하여 적은 개수의 시그널링 메시지를 전송하면서도 유연한 QER 전환이 가능하였다. 제안된 알고리

즘의 성능을 검증하기 위하여 MMT 기반의 360도 VR 비디오 전송 시스템을 구현하였고, 이 시스템을 기반으로 계산 복잡도 측면과 유연한 QER 전환 성능 측면에서 제안된 알고리즘의 성능을 확인하였다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] K. K. Sreedhar, A. Aminlou, M. M. Hannuksela, and M. Gabbouj, "Viewport-Adaptive Encoding and Streaming of 360-Degree Video for Virtual Reality Applications", 2016 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), San Jose, CA, pp. 583-586, 2016.
- [2] A. Zare, A. Aminlou, M. M. Hannuksela, and M. Gabbouj, "HEVC-compliant Tile-based Streaming of Panoramic Video for Virtual Reality Applications", 24th ACM international conference on Multimedia (MM), Amsterdam, pp. 601-605, 2016.
- [3] C. Concolato et al., "Adaptive Streaming of HEVC Tiled Videos Using MPEG-DASH", in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 28, no. 8, pp. 1981-1992, Aug. 2018.
- [4] X. Corbillon, G. Simon, A. Devlic and J. Chakareski, "Viewport-adaptive navigable 360-degree video delivery", 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, pp. 1-7, 2017.
- [5] ISO/IEC 23008-1:2017 (Second edition), "High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments - MPEG-H Part 1: MPEG Media Transport (MMT)", 2017.
- [6] T. Jung, H. Lee, and K. Seo, "Overview on MPEG MMT Technology and Its Application to Hybrid Media Delivery over Heterogeneous Networks", Pacific Rim Conference on Multimedia, pp. 660 - 669, 2015.
- [7] Y. Hu, S. Xie, Y. Xu and J. Sun, "Dynamic VR live streaming over MMT," 2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), Cagliari, pp. 1-4, 2017.

저 자 소 개



김 아 영

- 2016년 2월 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 학사
- 2016년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전산학과 석박통합과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-3793-1365>
- 주관심분야 : 영상통신, 실시간 스트리밍, 360/VR 영상

저 자 소 개



안 은 빈

- 2016년 8월 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 학사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전산학과 석박통합과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-7681-4682>
- 주관심분야 : 영상처리, 영상통신, 360/VR 영상



서 광 덕

- 1996년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 학사
- 1998년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 석사
- 2002년 8월 : KAIST 전기 및 전자공학과 박사
- 2002년 8월 ~ 2005년 2월 : LG전자 단말연구소 선임연구원
- 2012년 9월 ~ 2013년 8월 : Courtesy Professor, Univ. of Florida, USA
- 2005년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-5823-2857>
- 주관심분야 : 영상부호화, 영상통신, 디지털 방송, 멀티미디어 통신시스템