

다중셀 무선 전송 채널 환경 변화에 따른 적응 비트레이트 스트리밍 기반 3차원 포인트 클라우드 전송 특성 연구

박소민, 최민지, 유철우*
명지대학교

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

A Study on the Characteristics of 3D Point Cloud Transmission Based on Adaptive Bitrate Streaming in Multicell Wireless Systems

Somin Park, Minji Choi, Cheolwoo You*
Myongji University

요약

본 논문에서는 3차원 포인트 클라우드의 실시간 저지연 스트리밍을 위해 2차원 영상 서비스에서 효율적으로 사용되는 ABR(Adaptive Bitrate Streaming)를 적용하는 방안을 연구한다. 이를 위해 다중셀 환경의 이동 통신 시스템 환경을 반영한 시뮬레이터, 즉 System-Level Simulator(SLS)를 제작하여 다양한 위치의 사용자들의 무선 전송 환경 특성을 구현하고, 다운샘플링과 MPEG V-PCC(Video-based Point Cloud Compression)를 사용하여 서로 다른 해상도의 3차원 포인트 클라우드 영상을 생성한다. 이를 활용하여, ABR 기법을 적용하여 실시간으로 변화하는 무선 전송 채널에 적합한 다양한 해상도의 3차원 포인트 클라우드 파일을 전송할 때, 서로 다른 무선 전송 환경의 사용자별 송신 파일 해상도와 수신 성능을 분석하고, 이를 기반으로 최적화가 필요한 부분을 파악한다.

I. 서론

기존 2차원 스트리밍에서는 끊김 없는 서비스를 지원하기 위해 ABR(Adaptive Bitrate Streaming) 방식이 널리 사용되고 있다. 이는 송수신자 간 네트워크 상황에 맞는 해상도의 영상을 전송하는 방식으로, 네트워크 환경이 좋을 경우 고해상도의 영상을 전송하고 네트워크 환경이 나쁠 경우 낮은 해상도의 영상을 전송한다. ABR 알고리즘을 적용하기 위해서는 여러 해상도의 영상이 서버에 준비되어야 하며 영상들의 시간, 해상도 등의 정보가 저장된 매니페스트(Manifest) 파일이 있어야 한다. 현재 3차원 포인트 클라우드 스트리밍에는 호환성 문제로 ABR 알고리즘의 즉각적 적용이 어렵기 때문에 다양한 커스터마이징이 필요한 상태이다.

본 논문에서는 3차원 포인트 클라우드 스트리밍에 ABR 적용 시 발생하는 전송 특성을 살펴보기 위해, 다중셀 이동 통신 시스템 환경을 반영한 시뮬레이터, 즉 System-Level Simulator(SLS)를 제작하고 결과를 분석한다. 이를 위해 서로 다른 해상도의 3차원 포인트 클라우드 영상을 생성하고 이에 맞는 'Modulation and Coding Scheme(MCS)'을 선택하여 무선 전송 환경 변화에 따라 적절히 전송하는 실험을 진행한다.

II. 본론

서로 다른 해상도의 3차원 포인트 클라우드 영상을 생성하기 위해 다운샘플링과 압축 기법을 적용하였다. 실험 데이터는 Soldier 시퀀스 데이터[1]를 이용했으며 균일 다운샘플링을 적용하고, 압축은 MPEG의 V-PCC(Video-based Point Cloud Compression)를 이용하였다. 다운샘플링의 Step size는 3으로 하여 포인트 3개마다





	R1	R2	R3	R4
압축률	G40 A50	G30 A40	G20 A30	G10 A20
해상도				
Bitrate	2.1 Mbps	4.6 Mbps	12.7 Mbps	46.6 Mbps

그림 1. 사용된 다양한 해상도의 3D Point Cloud 영상

하나씩 샘플링이 되도록 하였다. V-PCC는 압축률을 조절하는 파라미터인 Quantization Parameter(QP) 값 중 Attribute QP와 Geometry QP를 달리하여 압축하였다. Geometry QP(G)는 10, 20, 30, 40으로, Attribute QP(A)는 20, 30, 40, 50으로 실험을 진행하였다. 해당 과정을 통해 얻어진 포인트 클라우드 영상의 해상도와 데이터 전송 속도(Bitrate)는 그림 1과 같다. 각 파일의 해상도는 R1→R2→R3→R4 순서로 높아진다.

본 논문에서는 이동 통신 시스템의 다중셀 환경하에서 시간에 따라 변하는 무선 전송 환경을 구현하기 위해 SLS를 제작하였다. 19개의 매크로 셀(Macro Cell)로 이루어진 환경을 가정하였으며, 셀 간 거리는 1.5km이다. Pathloss 모델과 기지국의 안테나 패턴은 3GPP TR 36.931[2]를 참고하였다. 한 셀은 3섹터로 나누어져 있고, 각 섹터에서는 70-degree sectored beam을 이용한다고 가정한다. 셀 간 Shadowing correlation은 0.5이며 Shadowing auto-correlation은 0.9로 설정하였다. 해당 SLS의 스케줄링을 포함한 각종 동작들의 최소 단위는 Slot이며, 한 Slot 길이는 1msec로 설정하였다. 기타 주요 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 무선 전송 환경 시뮬레이터 파라미터

One Slot Duration	1 ms
Inter-site Distance (ISD)	1500 m
Tx Power Density	43 dBm
Noise Power Density	-174 dBm/Hz
BS Noise Figure	10 dB
Carrier Frequency	2 GHz
System Bandwidth	20 MHz
Shadowing Standard Deviation	8 dB
Penetration Loss	10 dB
BS Antenna Gain	17 dB
BS Cable Loss	2 dB
UE Speed	10 km/h
Maximum Doppler Shift	18.5 Hz

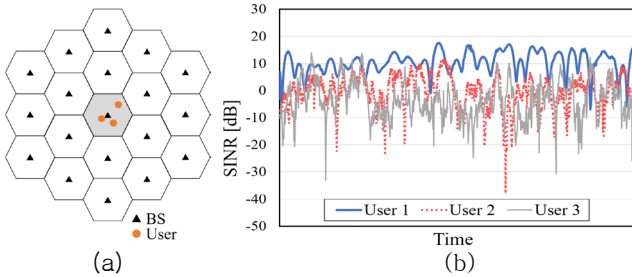


그림 2. (a) 19-셀 환경 및 사용자 위치 (b) Instant SINR

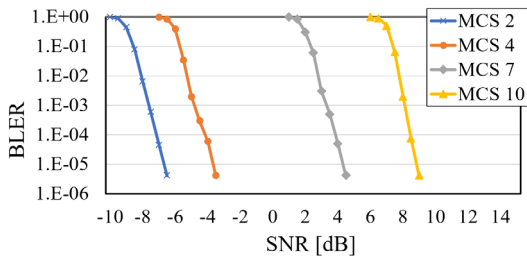


그림 3. 본 실험에서 사용하는 MCS 들의 BLER 그래프

기지국으로부터의 거리가 100m(User1), 400m(User2), 700m(User3) 만큼 떨어져 위치한 사용자별 무선 전송 환경을 살펴보았다. 그림 2 의 (a)는 셀 환경과 사용자의 위치를 나타내었고 (b)는 각 사용자의 Instant SINR 을 시간에 따라 나타내었다. 기지국과 사용자 간의 거리가 가까울수록 주변 기지국에 의한 간섭 신호의 크기가 줄어들어 더 큰 세기의 신호를 수신함을 확인할 수 있다.

실험에서는 3GPP TS 38.214[3]의 Table 5.5.2.1-4 에 나타난 MCS 값 중 그림 1 에 기술된 데이터 전송 속도를 충족하기 위해 2, 4, 7, 10 을 선택하였다. 즉, MCS 2, 4, 7, 10 에 각각 R1, R2, R3, R4 를 대응시켰으며, 예로써 MCS 2 가 선택되었다면 R1 을 전송하는 방식으로 진행하였다. 수신 성능 판정을 위해 [4]에 주어진 AWGN 환경에서 측정된 BLER (Block Error Rate) 그래프를 사용하였는데, 본 실험에서 사용하는 MCS 에 해당하는 BLER 그래프를 그림 3 에 도시하였다. 매 Slot 마다 사용자가 기지국에 Instant SINR 값을 전송하여 무선 전송 환경 상태를 보고하면 기지국에서는 수신한 Instant SINR 값을 가지고 Target BLER(본 논문에서는 10^{-3})을 만족하는 MCS 를 선택하여 영상을 전송한다. 이때 사용자의 무선 전송 환경 보고에 대한 지연은 없다고 가정하였으며, 기지국이 MCS 를 선택하고 전송하여 사용자가 수신할 때까지는 Two Slot 만큼 지연된다고 가정하였다. 사용자가 전송 신호를 받았을 때 해당 신호의 오류 여부를 MCS 별로 정리한 실험 결과는 표 2 와 같다.

표2. MCS별 선택 비율과 블록 오류 비율 (BLER)

		MCS 2	MCS 4	MCS 7	MCS 10
User1	Selection rate	0.5%	3.2%	19.6%	76.6%
	BLER	0%	0%	0%	0%
User2	Selection rate	21.7%	39.5%	33.7%	5.0%
	BLER	44.2%	2.5%	0.3%	0%
User3	Selection rate	45.0%	33.9%	15.7%	5.3%
	BLER	45.3%	5.3%	0.6%	0%

표 2 를 살펴보면, 기지국과 가까이 위치한 User 1 의 경우 좋은 무선 전송 환경으로 인해 MCS 10 이 주로 선택되어 가장 높은 해상도인 R4 를 수신하였다. 셀의 중간 지점에 위치한 User 2 는 MCS 4 와 7 이 유사한 비율로 선택되어 R2, R3 를 주로 전송 받았다. 셀의 가장자리에 위치한 User 3 은 열악한 무선 전송 환경 때문에 MCS 2 와 4 가 주로 선택되어 낮은 해상도인 R1, R2 위주의 영상을 수신하였다. MCS 선택부터 영상 전송 및 수신까지의 Two Slot 지연으로 인해 간섭 영향이 큰 User 2 와 User 3 의 경우 MCS 2 가 선택되었을 때 수신 신호의 오류가 40% 정도 발생하는 것을 알 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 2 차원 영상 서비스에서 사용되는 ABR 알고리즘을 3 차원 포인트 클라우드의 실시간 저지연 스트리밍 서비스에 적용하기 위한 연구를 진행하였다. 이를 위해 서로 다른 해상도의 영상을 생성하고, 다중 셀 무선 전송 환경 하의 영향을 관측하기 위한 SLS 를 제작하였다. 실험을 통해 셀 내 다양한 위치에 있는 사용자의 무선 전송 환경을 모니터링하고 이에 적합한 해상도의 영상을 전달해주는 실험을 진행하였으며, 이를 통해 3 차원 포인트 클라우드 실시간 스트리밍에 대한 ABR 알고리즘의 적용 가능성 및 향후 최적화가 필요한 다양한 요소들을 확인할 수 있었다. 추가적으로, 실시간 스트리밍 영상의 QoE(Quality of Experience)는 일반적인 데이터 송수신의 QoS(Quality Of Service)와는 다소 차이가 있을 수 있으므로 이를 고려한 전송 방식 연구도 필요하다고 판단된다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

- [1] Eugene d'Eon, Bob Harrison, Taos Myers, and Philip A. Chou, "8i Voxelized Full Bodies - A Voxelized Point Cloud Dataset," ISO/IEC JTC1/SC29 Joint WG11/WG1 (MPEG/JPEG) input document WG11M40059/WG1M74006, Geneva, January 2017
- [2] 3GPP TSG RAN, "E-UTRA Radio Frequency requirements for LTE Pico Node B (Release 17)," 3GPP TR 36.931, V17.0.0, Mar. 2022
- [3] 3GPP TSG RAN, "5G; NR; Physical layer procedures for data (Release 15)", 3GPP TS 38.214, V15.3.0, Oct. 2018
- [4] Khan, J., Jacob, L. "Investigation of 5G NR physical layer enablers for URLLC: a simulation study". Sādhanā 48, 77 (2023).