

6G 몰입형 미디어 서비스를 위한 최적 MCS 선택 기법에 관한 연구

박소민, 최민지, 곽희주, 유철우*
명지대학교

thalsi@mju.ac.kr, choiminji@mju.ac.kr, wopelt8@mju.ac.kr, *cwyoo@mju.ac.kr

A Study on Optimal MCS Selection Scheme for 6G Immersive Media Services

Somin Park, Minji Choi, Heejoo Kwak, Cheolwoo You*
Myongji University

요약

본 논문은 6G의 주요 콘텐츠로 대용량 몰입형 미디어 서비스를 주목하고 이를 위한 최적의 MCS 선택 기법을 연구하였다. 기준의 MCS 선택 기법은 셀 처리량을 우선시하여 고정된 블록 오류율(block error rate, BLER)을 기준으로 MCS를 선택한다. 6G 몰입형 미디어 서비스는 다양한 사용자의 체감 품질(quality of experience, QoE)을 요구하므로, 단순히 셀 처리량뿐만 아니라 안정적인 서비스 제공이 필수적이며 이는 사용자 서비스에 맞추어 조절될 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 셀 처리량과 전송 성공률을 높이는 MCS 선택 기법을 연구하고 이를 사용자 서비스에 맞게 전환하는 방식을 제안한다. 제안 기법을 통해 시스템 성능은 물론 사용자의 체감 품질을 높일 수 있음을 시스템 레벨 시뮬레이터를 통하여 검증하였다.

I. 서론

6G의 초고속, 초저지연, 초연결 특성을 기반으로, 메타버스, 디지털 트윈, 확장현실 콘텐츠 등 다양한 몰입형 미디어 서비스가 주목받고 있다. 이러한 서비스는 실시간성과 대용량 데이터 전송이라는 특성을 가지며, 동시에 다양한 사용자 체감 품질(Quality of Experience, QoE) 수준을 만족시켜야 한다 [1]. 일반적으로 높은 처리량은 QoE를 향상시킬 수 있지만, 과도한 공격적 전송 설정은 성공률 저하로 이어져 패킷 손실과 재전송을 증가시키고, 이로 인해 실시간 서비스의 지연 및 품질 저하가 발생하여 오히려 QoE를 크게 저하시킬 수 있다. 따라서 QoE를 효과적으로 보장하기 위해서는 전송 성공률과 처리량 간의 균형 잡힌 설계 전략이 필수적이다. 기존 시스템의 MCS 선택 방식은 처리량을 우선시하고 고정된 블록 오류율(Block error rate, BLER) 기준에 기반하기 때문에, 서비스 유형별로 상이한 QoE 요구를 유연하게 만족시키는 데 한계가 있다.

본 논문에서는 서비스 특성과 채널 상태를 반영하여 적절한 MCS 선택 방식을 전환하고, 선택된 방식 내에서는 사용자 이동 속도와 ACK/NACK 피드백 정보를 기반으로 MCS 선택 임계값을 동적으로 조정함으로써 QoE를 최적화하는 기법을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서는 서비스 유형을 처리량 중심 서비스와 성공률 중심 서비스로 구분하고, 각 유형에 적합한 MCS 전송 기법을 선택한다. 또한 안정적인 서비스 제공을 위해서는 단순한 MCS 선택 기법의 전환뿐만 아니라, 사용자의 채널 상태를 동적으로 반영하는 것이 필요하다. 채널 상태는 사용자의 이동 속도에 따라 달라지며, 이는 도플러 천이에 의해 변동성이 결정된다. 제안 기법에서는

도플러 천이를 고려하여, 고속 이동 사용자의 경우 보다 보수적인 기준으로 MCS를 선택함으로써 패킷 손실 가능성을 줄인다.

MCS 선택 방식은 총 세 가지 방식 중 하나를 선택하도록 설계하였다. 이는 고정된 MCS 선택 기준을 사용하는 기존 방식과, MCS 선택 임계값을 서로 다른 변수에 따라 조정하는 두 가지 제안 방식으로 구성된다.

1. Outer loop adaptation of respective MCS selection threshold (OL-ARMST)

제안 방식인 OL-ARMST는 사용자 이동속도에 따른 도플러 천이를 이용하여 조정 값을 계산하고 ACK/NACK 피드백에 따라 기존 MCS 선택 임계값에 가감하며 MCS 선택 기준을 변경하는 기법이다.

OL-ARMST는 도플러 천이에 대한 조정 Δ_d 와 피드백에 대한 조정 Δ_f 이 적용된다. Δ_d 는 연결 초반에 MCS 선택 임계값에 한 번만 더하고, ACK 이 도달하면 Δ_d 를 빼고 NACK 이 도달하면 Δ_f 이 더하여 임계값을 조정한다. 각 조정 값은 다음 식과 같다.

$$\Delta_d = \alpha \cdot \log_{10}(\beta + d), \quad (1)$$

$$\Delta_f = \begin{cases} k \cdot \log_{10}(\gamma + d), & t \leq T_{tr}, \\ 0.1 \cdot k \cdot \log_{10}(\gamma + d), & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

식에 나타난 d 는 도플러 천이를 의미하며 T_{tr} 는 훈련 기간으로 해당 시점 이후로 Δ_f 값의 크기를 줄여 MCS 선택 기준이 수렴되도록 유도하였다. α 와 k 는 Δ_d 와 Δ_f 의 크기를 결정하며 β 와 γ 는 도플러 천이가 0Hz 일 때 적용되는 조정 값을 결정한다. β 와 γ 가 1 이면 Δ_d 와 Δ_f 가 0 이 되며, β 가 1 보다 작으면 Δ_d 가 음수가 되어 사용자가 정지 상태일 때는 공격적으로 MCS 선택하게

표 1. $OL - ARMST_{thr}$ 와 $OL - ARMST_{suc}$ 의 변수 조합

	T_{tr}	α	β	k	γ
$OL - ARMST_{thr}$	0	0.5	0.5	0	-
$OL - ARMST_{suc}$	500	0.5	0.5	0.01	2

된다. γ 가 1 보다 작을 경우 피드백 기반 조정이 반대 방향으로 작동할 수 있으므로, 예기치 않은 동작을 방지하기 위해 γ 는 1 이상으로 설정된다. β 와 γ 가 1보다 클 경우 조정 값이 양수로 유지되어 도플러 천이가 0Hz 인 경우에도 MCS 선택 임계값이 보수적으로 유지되도록 한다. 위 식은 여러 가지 도플러 천이로 네트워크 환경을 구현하여 상황별 최고의 처리량을 갖는 BLER 을 도출하고, 도플러 천이와 BLER 의 추세선을 반영하여 도출하였다.

실험을 통해 표 1 과 같이 공격적인 MCS 선택 방식의 $OL - ARMST_{thr}$ 와 보수적인 MCS 선택 방식인 $OL - ARMST_{suc}$ 변수 조합을 도출하였다.

2. Application-aware mode switching (AAMS)

AAMS 는 사용자의 서비스 유형과 이동 속도에 따른 MCS 선택 기법 전환 방식이며 처리량 중심 서비스일 경우 $AAMS_{thr}$ 를, 성공률 중심 서비스일 경우 $AAMS_{suc}$ 을 선택한다. 기준의 고정 BLER 을 사용하는 기법을 *Conventional* 이라고 할 때 각 상황별 선택하는 MCS 선택 기법은 다음과 같다.

$$AAMS_{thr} = \begin{cases} \text{Conventional}, & d < 100, \\ \text{OL} - ARMST_{thr}, & d \geq 100, \end{cases} \quad (3)$$

$$AAMS_{suc} = \begin{cases} \text{OL} - ARMST_{suc}, & d < 100, \\ \text{OL} - ARMST_{thr}, & d \geq 100. \end{cases} \quad (4)$$

도플러 천이가 100 일 때를 기준으로 사용자 이동속도를 고속과 저속으로 구분하였다. 처리량이 중요한 서비스의 경우 저속일 때는 환경이 안정적이므로 기존 기법을 사용하고, 고속일 때는 MCS 선택 기준을 보수적으로 설정하고 피드백 정보는 반영하지 않는다. 성공률이 중요한 서비스의 경우 전반적으로 MCS 선택 임계값을 보수적으로 설정하지만 고속 이동의 경우 피드백을 반영하여 성공률을 높인다.

시스템 레벨 시뮬레이터를 3GPP 표준 [2]에 따라 제작하고 사용자의 위치를 셀 중앙, 중간 지점, 셀 가장자리로 분류하고 각 확률을 30%, 50%, 20%으로 설정하였다. 사용자의 이동속도는 0 km/h (stationary), 3 km/h (pedestrian), 15 km/h (micromobility), 60 km/h (public transport), 150 km/h (high-speed trains)로 설정하였다. 그리고 표 2 와 같이 시나리오를 uniform, urban, large-scale data user 로 설정하고 처리량과 성공률을 계산하였다. 그림 1 에서 나타난 것처럼 각 서비스에 따라 목표 성능이 개선된 것을 볼 수 있다. 여러 시나리오에서 결과를 비교함으로써 사용자 이동 속도 분포에 따라 성능 차이는 있지만 모든 경우에서 목표 성능이 개선됨을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 6G 시대의 주요 서비스로 몰입형 미디어 서비스를 주목하여 대용량 미디어 데이터 제공을 위한 적응형 MCS 선택 기법을 연구하였다. 셀 처리량 극대화를 고려할 뿐만 아니라 실시간 대용량 미디어 데이터 전송을 위한 재전송 안정성을 보장하는 새로운

표 2. 시나리오별 이동 속도 분포

	Uniform	Urban	Large-scale data user
0km/h	20%	30%	40%
3 km/h	20%	30%	0%
15 km/h	20%	10%	0%
60km/h	20%	20%	30%
150km/h	20%	10%	30%

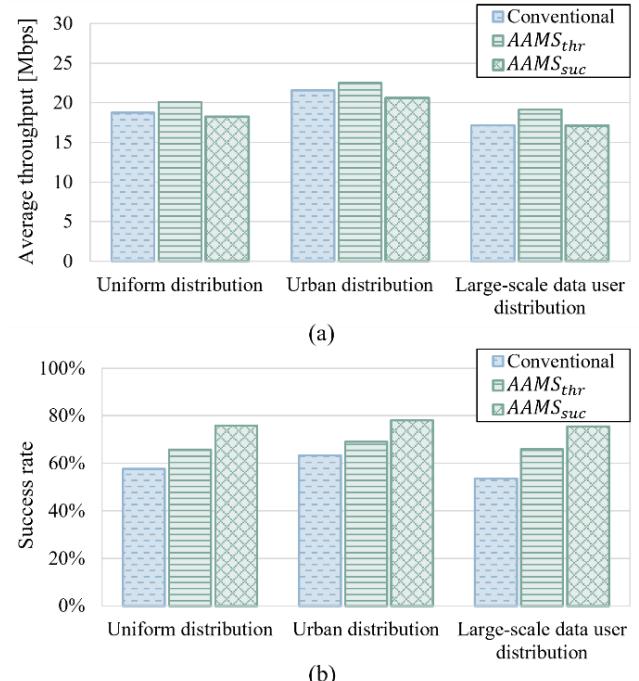


그림 1. 시나리오별 AAMS 와 기존 기법의 (a) 처리량과 (b) 성공률 비교

MCS 선택 방식을 제안하였다. 제안 방식은 사용자의 네트워크 환경과 각 MCS 레벨별 피드백 정보를 이용하여 MCS 선택 기준을 적응적으로 조정한다. 다양한 QoE 요구 사항을 해결하기 위해 서비스 유형과 사용자 이동성을 기반으로 한 MCS 선택을 위한 모드 전환 방식을 도입하여 최적화된 MCS 선택 방식을 설계하였으며, 실험을 통해 목표 성능에 도달하였음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00335012). 또한, 이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2023-00229330, 스트리밍 3 차원 디지털미디어 서비스 기술).

참 고 문 헌

- [1] P. S. Rufino Henrique and R. Prasad, "The road for 6g multimedia applications," in 2020 23rd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2020, pp. 1–6.
- [2] "5G; NR; Physical layer procedures for data (Release 18)," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification TS 38.214 V18.4.0, Sep. 2024.