

Traffic-Oriented Stream Scheduling for 5G-based D2D Streaming Services

Chong-Deuk Lee*

*Professor, Div. of Electronic Engineering, Jeonbuk National University, Jeonbuk, Korea

[Abstract]

As 5G mobile communication services gradually expand in P2P (peer-to-peer) or D2D (device-to-device) applications, traffic-oriented stream control such as YouTube streaming is emerging as an important technology. In D2D communication, the type of data stream most frequently transmitted by users is a video stream, which has the characteristics of a large-capacity transport stream. In a D2D communication environment, this type of stream not only provides a cause of traffic congestion, but also degrades the quality of service between D2D User Equipments (DUEs). In this paper, we propose a Traffic-Oriented Stream Scheduling (TOSS) scheme to minimize the interruption of dynamic media streams such as video streams and to optimize streaming service quality. The proposed scheme schedules the media stream by analyzing the characteristics of the media stream and the traffic type in the bandwidth of 3.5 GHz and 28 GHz under the 5G gNB environment. We examine the performance of the proposed scheme through simulation, and the simulation results show that the proposed scheme has better performance than other comparative methods.

▶ **Key words:** Video streaming, Stream, D2D Communication, Traffic, Media

[요 약]

5G 이동통신 서비스가 점차 확대되어감에 따라 P2P 또는 D2D 응용에서 유튜브 비디오 스트리밍과 같은 트래픽 지향의 스트림 제어가 중요한 기술로 떠오르고 있다. 특히 D2D 통신에서 사용자들이 가장 많이 전송하는 데이터 스트림의 타입은 비디오 스트림이며, 이것은 대용량의 전송 스트림의 특징을 가지고 있다. D2D 통신환경에서 이런 종류의 스트림은 트래픽 혼잡의 원인을 제공할 뿐만 아니라 또한 DUE들 간의 서비스 품질을 저하시킨다. 본 논문에서는 비디오 스트림과 같은 동적 미디어 스트림의 끊김현상을 최소화하고 스트리밍 서비스 품질을 최적화하기 위해 TOSS 기법을 제안한다. 제안된 기법은 5G gNB 환경하의 3.5GHz와 28GHz의 대역폭상에서 미디어 스트림의 특성과 트래픽 타입을 분석하여 미디어 스트림을 스케줄링한다. 우리는 시뮬레이션을 통하여 제안된 기법의 성능을 알아보고, 시뮬레이션 결과는 제안된 기법이 다른 비교 기법들에 비해서 성능이 보다 우수함을 보인다.

▶ **주제어:** 비디오 스트리밍, 스트림, D2D통신, 트래픽, 미디어

-
- First Author: Chong-Deuk Lee, Corresponding Author: Chong-Deuk Lee
 - *Chong-Deuk Lee (cdlee1008@jbnu.ac.kr), Div. of Electronic Engineering, Jeonbuk National University
 - Received: 2022. 09. 19, Revised: 2022. 10. 18, Accepted: 2022. 10. 18.

I. Introduction

5G (5th generation)는 4차 산업 혁명 기술에 있어서 인공지능, IoT (Internet of Things), 지능형 로봇 기술 등과 함께 중요한 기술이 되고 있으며, 이것은 다양한 서비스와 서로 다른 디바이스들을 연결하고 융합해 주는 중요한 통신 기술이다. 4G LTE 모바일 기술이 짧은 기간에 우리 인간의 생활을 변화시킨 것처럼, 5G 기술 또한 인류 생활에 많은 변화를 가져오고 있다.

5G는 eMBB(enhanced mobile broadband), URLLC(ultra-reliable and low latency communication), mMTC(massive machine type communication)의 3가지 기술 개발을 지향하고 있으며, 이 중에서 URLLC에 기반을 둔 D2D 스트리밍은 매력적인 통신 서비스 메커니즘이다[1-3]. 4G LTE 이동통신 시대에서 D2D 스트리밍 기술은 사용자들로부터 많은 인기를 얻었으며, 5G 시대에서도 D2D 스트리밍은 사용자들로부터 많은 인기를 얻을 것으로 예상하고 있다. 그러나 5G에서 고품질의 미디어 서비스와 끊임없는 서비스를 보장하기 위해서는 대용량의 트래픽 스트림과 active 스트림을 효과적으로 제어하고 관리해야 한다. 이와 같은 대용량의 트래픽 스트림과 active 스트림은 고품질 D2D 스트리밍 서비스에 걸림돌이 되고 있으며, 이것은 서비스 품질에도 영향을 미친다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 vo. et al. [4]는 비디오 세그먼트들에게 각기 다른 인코딩을 적용하여 미디어들을 스트리밍하는 기법을 제안하였다. 이 기법은 5G 네트워크상에서 비디오 세그먼트들을 효과적으로 스트리밍하기 위한 알고리즘이며, 높은 비디오 스트리밍의 성능을 제공하기 위하여 ORA(Optimal Rate Allocation) 알고리즘을 적용하였다. Ubaid et al. [5]는 5G 초고밀도 네트워크(Ultra Dense Networks)에서 D2D 스트리밍을 위한 CSA(Chunk Selection Algorithm)를 제안하였다. 이 기법은 D2D통신상에서 멀티미디어 프레임들을 효과적으로 공유하기 위한 알고리즘이다. Kim et al. [6]은 D2D 통신에서 고품질 스트리밍 스케줄링을 위해 MWIS(Max-Weighted Independent Set) 알고리즘을 제안하였다. 이 기법에서 D2D스케줄링은 CSP(centralized scheduling principle)와 DSP(distributed scheduling principle)의 2가지 원리에 기반을 두고 있으며, CSP는 MWIS 에 기반을 두고 있다. 그리고 DSP는 FlashLinQ의 LSP(Link Scheduling Principle)에 기반을 두고 있다. 이 기법에서 MWIS와 FlashLinQ의 scheduling의 목적은 스트리밍의 서비스 품질을 향상시키기 위한 것이다. 그러나

이 기법들은 채널 대역폭을 안정적으로 유지해 주고, 서비스 품질을 향상시키는 장점을 제공하지만, 여전히 대용량의 트래픽 스트림과 active 스트림으로 인한 고통을 겪는다. 이러한 이유는 주변의 이종 채널과 각기 다른 여러 UE(User Equipment)들이 D2D 스트리밍의 채널을 공격하기 때문이다.

5G 환경에서 미디어 스트림은 각기 다른 타입을 가지고 있으며, 표1은 미디어 스트림에 따른 트래픽 스트림 타입들을 보여주고 있다 [7].

Table 1. Traffic Stream Category[7]

Media type	Downstream traffic (2021 Q1)
Video streaming	48.9%
Social networking	19.3%
Web	13.1%
Messaging	6.7%
Gaming	4.3%
Market place	4.1%
File sharing	1.3%
Cloud	1.1%
VPN and Security	0.9%
Audio	0.2%

표1에서 보듯이 미디어 트래픽 스트림들 중에서 비디오 스트리밍이 49%, social networking이 19%, web이 13%, 그리고 나머지의 트래픽 스트림들로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이처럼 미디어 트래픽 스트림은 D2D 스트리밍 서비스의 장애물이며, 우리는 이러한 문제를 해결하기 위하여 대역폭 할당상태에 따라 트래픽 스트림을 융통성있게 제어하기 위한 TOSS 기법을 제안한다. 제안된 기법은 트래픽 혼잡과 스트리밍의 지연을 방지하기 위하여 비디오 스트림과 같은 동적 스트림에 대해서는 active stream-scheduling 알고리즘을 적용하며, 그리고 이미지 및 텍스트와 같은 정적 스트림에 대해서는 Non-active stream scheduling 알고리즘을 적용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구를 기술하며, 3장에서는 제안된 기법을 구성하기 위한 시스템 모델을 제시한다. 그리고 4장에서는 제안된 기법의 성능을 알아보기 위한 시뮬레이션 결과에 대해서 기술하며, 결론으로 결론에 대해서 기술한다.

II. Related works

5G 셀룰러 네트워크 환경에서 표1에서와 같은 트래픽 스트림 문제를 해결하고 고품질의 D2D 스트리밍 서비스

를 제공하기 위한 여러 연구들이 제안되었으며, Dehghan et al. [9]는 미디어 콘텐츠를 효과적으로 스트리밍하기 위하여 CSCA(Content Sharing-based Caching Algorithm)을 제안하였다 [8, 9]. 이 알고리즘은 콘텐츠 서비스의 성능을 향상시키기 위하여 네트워크 에지에 캐시 기능을 적용하였으며, 제공된 알고리즘은 백홀 링크에서의 혼잡을 줄이는 장점을 제공하지만 active traffic stream의 경우 지연시간이 길어지는 문제점을 가지고 있다. Golrezaei et al. [10]는 DUE간의 콘텐츠 스트리밍을 위해 content caching algorithm을 제안하였으며, 이 알고리즘은 D2D통신을 통해서 캐시된 콘텐츠를 스트리밍하는 기법이다. 그러나 이 기법은 콘텐츠 스트림의 특성을 고려하지 않기 때문에 지터 지연 및 낮은 처리율과 같은 문제점이 있다.

현재 D2D 통신 환경에서 인기있는 스트리밍 서비스 기법 중의 하나는 FlashLinQ 기법이다 [11, 12]. 이 기법은 가장 잘 알려진 D2D 스케줄링 프로토콜로서 이 기법은 우선순위를 이용하여 D2D 링크들을 스케줄한다. 이 기법에서 높은 우선순위는 간섭으로부터 고통을 비교적 적게 받게 되며, 반대로 비교적 낮은 우선순위는 여러 오버헤드를 경험하게 된다. 이 기법은 active stream 오버헤드로 인하여 고품질의 미디어 서비스에 제한적이며, 이로 인하여 D2D 주문형 비디오 스트리밍(On-Demand Video Streaming) 서비스에는 적합하지 않는 문제점이 있다. 그리고 Bethanabhotla et al.[13]은 NUM (Network Utility Maximization) 기반의 스트리밍 알고리즘을 제안하였으며, 이 기법은 다중 사용자(Multi-Users)와 helpers들을 가진 무선 네트워크 환경에서 VoD (Video on Demand) 스트리밍을 위한 스케줄링 정책으로써 이 기법은 VoD 서비스 사용자들에게 고품질의 비디오 스트리밍에 초점을 맞추고 있다. 그러나 이 기법 또한 무선 네트워크상에서 표1에서와 같은 active media traffic 타입을 고려하지 않음으로써 고품질 미디어 스트리밍에 제한적인 문제를 가지고 있다.

최근에 5G환경에서 D2D 통신과 비디오 스트리밍의 성능 향상을 위한 딥러닝 기반의 여러 연구들이 제안되고 있다 [14-15]. Dong et al. [16]은 D2D 통신에서 short video streaming 서비스를 위해 심층 강화학습 기반의 적응형 클러스터링 (Deep Reinforcement Learning-based Adaptive Clustering) 알고리즘을 제안하였으며, 이 기법은 심층 강화 학습 기법을 이용하여 클러스터 헤드를 제어한다. 또한 이 알고리즘은

PIBK-means (Physical-Interest Bisecting K-means) 알고리즘을 이용하여 short video들을 스트리밍한다. Lee [17]은 5G multi-zone 환경에서 여러 DUE들의 트래픽들이 링크 대역폭을 서로 먼저 접근하려고 경쟁할 때 이를 해결하기 위한 STIC(Self-detecting Traffic Interference Control) 알고리즘을 제안하였다. 이 기법은 링크 대역폭에서 트래픽으로 인한 병목을 효과적으로 제어하는 장점과 트래픽 간섭을 체계적으로 제어하고 관리하는 장점을 제공한다.

기존의 스트리밍 서비스 기술과 딥러닝 기술을 비교할 때 딥러닝 기술은 기존 머신러닝과 유사한 특징들을 가지고 있지만 이것은 몇 개의 심층 신경망으로 구성되어 있는 것이 하나의 차이점이다. 이처럼 딥러닝 기술은 D2D 통신 분야에도 중요한 영향을 미칠 것으로 기대되며, 향후 이 분야에 대한 연구가 점차로 확대될 것으로 예상된다.

III. System model

1. Background

5G의 gNB하에서 D2D 스트리밍은 대용량 트래픽 스트림 전송에 따른 지연 시간을 줄이고 자원 재활용을 향상시킬 수 있는 중요한 기법이다[18, 19]. gNB에서 CUE (Cellular User Equipment)와 DUE, DUE와 DUE간의 링크상태와 대역폭의 특성은 서로 다르며, 업스트림 및 다운스트림의 특성도 서로 다르다. D2D 스트리밍을 위한 트래픽 스트림은 크게 비디오 스트리밍과 같은 active 형 스트림과 텍스트 이미지와 같은 Non-active 형 스트림으로 분류된다.

active 형 스트림은 동적 특성을 가진 스트림이며, Non-active 형 스트림은 정적 특성을 가진 스트림이다. 표 1에서 본바와 같이 끊김 현상 및 저품질의 스트리밍 서비스는 주로 유튜브와 같은 비디오 스트리밍이기 때문에 본 논문에서는 active 스트림 스케줄링에 대해서만 다루며, Non-active 스트림은 생략한다. active 형 스트림은 ASS (Active Stream Scheduler)가 스케줄링하며, 그림1은 DUE1과 DUE2간의 D2D 스트리밍을 위한 ASS 구조이다.

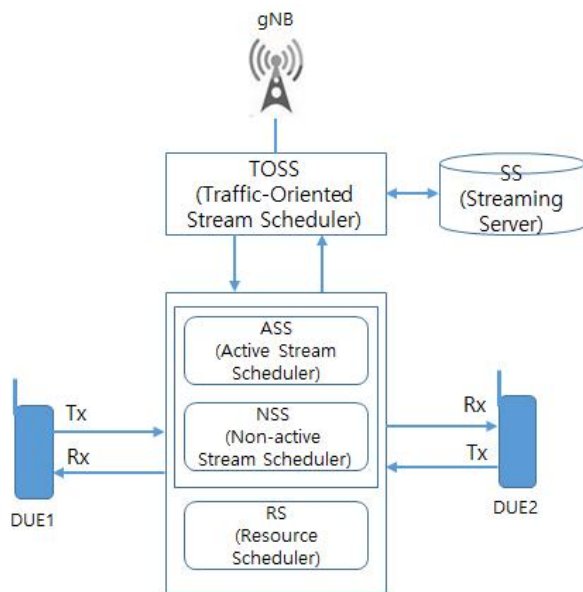


Fig. 1. ASS structure for D2D streaming

그림1에서 TOSS와 ASS는 다음과 같은 기능을 수행한다.

첫째, DUE1이 특정 미디어 스트림에 대한 스트리밍을 요청하면 TOSS는 대응되는 미디어 스트림이 SS에 있는지 없는지를 체크한다. 만일 요청된 미디어 스트림이 SS에 존재하면, TOSS는 ASS를 미디어 스트림이 active형인지 Non-active형인지를 모니터링한다. 이러한 목적은 TOSS가 대용량의 트래픽 스트림을 미리 프리패칭(prefetching)하여 active형으로 인한 대기지연을 줄이고 처리율을 향상시키기 위한 것이다. 이러한 과정이 성공적으로 완료된 후에는 ASS는 DUE2에게 요청된 미디어 스트림을 스트리밍하게 되며, 그리고 난 후 DUE2는 자신의 로컬 캐시에 스트리밍된 미디어 스트림 정보와 네트워크 자원상태를 저장하게 된다. 그러나 프리패칭된 원본 트래픽 스트림이 스케줄되지 않으면, non-scheduling으로 인한 스트리밍 오버헤드가 발생하기 때문에 이러한 문제를 해결하기 TOSS는 가장 심각한 active형 스트림들에 대해서 중요도 및 참조빈도를 적용하여 원본 트래픽 스트림을 재스케줄한다. 이러한 과정은 DUE2에서 DUE1의 링크에도 같은 방법으로 적용된다.

2. Stream resource scheduling

스트림 자원 스케줄링 프로토콜은 미디어 스트림의 특성, 접근 빈도, 중요도, 그리고 채널 대역폭 등과 같은 자원 상태를 주기적으로 모니터링한다. TOSS는 대용량의 active형 스트림들에 대하여 자원 재활용율(recycle rate)을 향상시키기 위하여 프리패칭 정책을 수행하며, 다른 미

디어 스트림들은 TOSS와 ASS와의 상호작용을 통해서 스트리밍을 수행한다. 이처럼 TOSS와 ASS간의 상호작용은 DUE1과 DUE2간의 사용자의 요청 지연을 줄이며 또한 고품질의 스트리밍 서비스를 제공하기 위한 정책이다.

그림1에서 보듯이, DUE1과 DUE2, 역으로 DUE2와 DUE1 사이의 대역폭 할당은 RS에 의해 스케줄되며, RS는 디바이스들 간의 링크 대역폭을 모니터링하여 네트워크 자원을 스케줄한다. 여기서 RS는 미디어 특성과 채널 대역폭 상태를 분석하여 DUE들에게 자원을 할당하며, active형 스트림들에 대한 자원 할당을 결정한다. 만일 스케줄되지 않은 active형 스트림이 네트워크 자원을 할당 받으면 자원 낭비의 문제가 발생하며, 재스케줄로 인한 스트리밍 지연이 발생한다.

표1에서 보듯이 트래픽 스트림은 미디어 특성에 따라 active형이 서로 다르며, 본 논문에서는 미디어 특성에 따라 active형 스트림을 $S1 < S2 < S3 < S4 < S5 < S6 < S7$ 로 분류한다. 이러한 active형 스트림 분류는 표1의 Traffic stream category에 근거하며, 여기서 S1은 Audio, VPN, and security, S2는 File sharing과 Cloud, S3는 Gaming과 Market place, S4는 Messaging, S5는 Web, S6는 Social networking, 그리고 S7는 Video streaming이다.

이와 같이 분류된 스트림들은 링크 대역폭 할당을 위해 물리적 자원 공간을 할당받게 되며, 분할된 작은 공간에 할당 받은 스트림들이 저장되게 된다. 이처럼 분류된 active형 스트림은 자원 재활용을 자유롭게 해주어 자원 낭비를 줄이는 장점을 제공하게 된다.

3. Weight-based stream scheduling

스트림 가중치는 채널 대역폭, DUE들의 로컬 캐시의 capacity, 그리고 미디어 특성과 같은 파라미터에 의해 결정되며, 본 논문에서는 이들 파라미터를 고려하여 스트림의 가중치를 결정한다. 스트림의 가중치는 표1의 active 스트림의 타입에 기반을 두며, active의 수준에 따라 S1에서 S7까지 스트림이 스케줄된다. 예를 들어 DUE1에서 DUE2로의 스트리밍을 수행할 때 트래픽 스트림의 active 수준이 매우 높은 heavy traffic이거나 대용량의 트래픽이면, ASS는 채널 대역폭의 재활용률과 스트리밍의 품질을 높이기 위하여 스트림들에 대해서 가중치를 적용한다. 스트림에 부여되는 가중치는 active 수준에 의해 결정되며, 가중치 결정은 식(1)과 같이 정의된다.

$$\text{정의1. } \omega = S \times (\alpha \times \beta) + (1 - \beta) \times \theta \quad (1)$$

여기서 S 는 S_1 에서 S_7 까지의 트래픽 스트림들에 대한 중요도이며, 트래픽의 중요도에 따라 스트림의 우선순위가 서로 다르게 할당된다. α 는 현재의 미디어 타입과 미디어 특성들 간의 상관관계이며, β 는 미디어 스트림들에 대한 할당율이다. 그리고 θ 는 D2D-Tx와 D2D-Rx사이의 트래픽 스트림들에 대한 혼잡률 임계치이다.

일반적으로 미디어 스트림의 경우 텍스트와 이미지 객체는 비디오 스트림에 비해서 상관도가 떨어지며, 이에 반해서 비디오 스트림의 프레임 객체들은 프레임들 간의 연속성으로 인하여 높은 상관도를 가진다. 연속성을 가진 비디오 스트림들 제어는 상관도와 가중치에 의해 영향을 받으며, 이에 기반한 스트림 제어 S_c 는 식(2)와 같이 정의된다.

$$\text{정의2. } S_c = \frac{1}{S \times (\alpha \times \beta) + \theta \times (1 - \beta)} \quad (2)$$

scheduling weight는 스트림들에 대한 중요도, 상관관계, 할당율, 그리고 active degree에 의해 커다란 영향을 받게 된다.

4. Active type-based stream scheduling

D2D 스트리밍은 미디어 특성, 대역폭 제약, 그리고 CUE와 DUE의 자원 공유와 같은 성능 파라미터들에 의해 영향을 받으며, 이 절에서는 고품질의 스트리밍서비스를 위한 active형 스트림 스케줄링에 대해서 기술한다.

4.1 Traffic stream scheduling

D2D통신에서 트래픽 스트림이 active형인지 또는 non-active형인지에 대한 스케줄링은 전송지연과 오류율에 중요한 영향을 미치며, 이들 스트림의 스케줄링에 따라 스트리밍의 품질도 많은 영향을 받는다. 따라서 트래픽 스트림들에 대한 active형을 고려하여 스트림 오류를 측정하는 프로세스는 매우 중요하며, n 개의 트래픽 스트림들 중에서 t 개의 active형 스트림을 탐지하기 위한 확률 $P(n, a)$ 는 식(3)과 같이 정의된다.

$$\text{정의3. } P(n, a) = \binom{a}{n} \times l_t^n \times (1 - l_b)^{n-a} \quad (3)$$

여기서 $P(n, a)$ 은 active형 스트림 탐지 확률이며, n 은 모든 트래픽 스트림이다. l 은 active형 스트림의 length이며, t 는 active형 스트림의 burst time이다.

로컬 캐시에 active형 스트림이 연속적으로 캐시되면 burst로 인한 패킷 오류가 발생하며, 이때 패킷 오류는 playback 지연을 야기한다. 따라서 active형 스트림이 원본 영상의 손실과 지연을 최소화하기 위해서는 식(4)와 같은 조건1을 만족해야 한다.

$$\text{조건1. } \sum_{a=0}^{n-k} P(n, a) \geq (1 - l_a)^n \quad (4)$$

식(4)와 같은 조건이 만족되면 스트리밍의 신뢰성은 확보되며, active형 스트림 스케줄링으로 인한 트래픽 지연은 감소하게 된다. 따라서 이러한 연산은 D2D에서 사용자들의 요청을 빠르게 지원하게 되며, active 스트림으로 인한 오버헤드는 최소화된다.

4.2 Stream queue scheduling

스트림 스케줄링을 위한 로컬 큐에는 가중치에 따라 사용자 요청과 스트림들이 서로 다르게 할당되며, 가장 높은 가중치를 가진 요청이 가장 높은 우선순위를 가진다. 가중치 스케줄링에 따라 사용자 요청과 트래픽 스트림들은 S_1 에서 S_7 까지 분류되며, 분류된 스트림들이 로컬 큐에 할당된다. 분류과정에서 트래픽 스트림들은 타임-스탬프가 부여되며, 부여된 스트림은 사상 함수 f 에 의해 원본 스트림이 스케줄링 버전으로 변환된다. 스트림들은 사상함수 f 에 의해 우선순위가 할당되며, 스트림을 스케줄링하기 위한 사상 함수는 식(5)와 같이 정의된다.

$$\text{정의5. } f: v \rightarrow v' \quad (5)$$

여기서 v 는 원본 버전이고, v' 는 스케줄 버전이다.

사상함수 f 는 heavy stream을 light stream으로 변환시키는 기능을 수행하며, 그림2는 DUE1과 DUE2사이의 스트림을 사상하고 요청을 처리하는 과정이다.

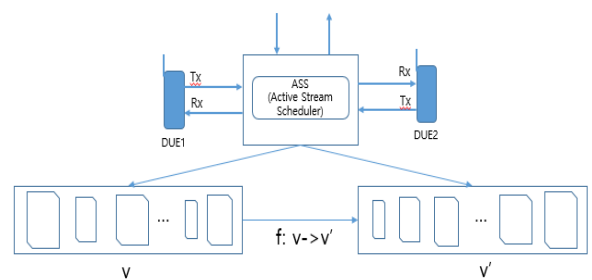


Fig. 2. Stream Mapping Procedure

그림2의 ASS에서 사상함수 f 가 할당된 시간 내에 heavy stream을 light stream으로 변환하지 못하면 트래픽 스트림들은 재스케줄되며 이 과정에서 heavy stream은 가장 낮은 우선순위로 전환된다. 이와 같은 과정을 반복하여 트래픽 스트림들은 버퍼 큐에 스케줄링되며, 스케줄된 light stream들은 높은 우선순위를 갖는다. 그러나 이 과정을 위반하면, ASS는 트래픽 혼잡을 겪게 되며, 결과적으로 스트리밍 프로세스는 heavy stream으로

로 인한 불능상태를 겪게 된다. 이러한 불능상태를 방지하기 위하여 ASS는 트래픽 타입, D2D-Tx, 그리고 D2D-Rx를 주기적으로 모니터링하여 버퍼 큐를 스케줄링하며, 버퍼 큐는 큐 스케줄링을 위해 트래픽 스트림들을 패킷화한다. 패킷화된 트래픽 스트림들은 D2D-Tx와 D2D-Rx 간의 거리기반 우선순위에 따라 우선순위가 가장 높은 트래픽 스트림들을 가장 먼저 스트리밍 서비스하고, 이후에 우선순위가 높은 순으로 트래픽 스트림들을 순차적으로 서비스하며, 우선순위 결정을 위한 DUE1과 DUE2사이의 거리는 식(6)과 같이 정의된다.

$$\text{정의6. } d_{DUE_1 - DUE_2} = \sqrt{d_{DUE_1}^2 + d_{DUE_2}^2 - 2d_{DUE_1}d_{DUE_2}\cos\theta} \quad (6)$$

여기서 $d_{DUE_1 - DUE_2}$ 는 DUE1과 DUE2사이의 거리이다.

큐 스케줄링은 DUE1과 DUE2사이의 거리이외에도 gNB상의 CUE (cellular user equipment)에 의해 영향을 받으며, 특히 CUE와 DUE쌍이 같은 링크 자원을 공유할 때 심각한 자원간섭의 영향을 받는다. 이러한 문제를 최소화하기 위해 CUE와 DUE, 그리고 D2D-Tx와 D2D-Rx사이의 AWGN (Additive White Gaussian Noise)을 고려하여 스트리밍을 수행하며, 스트리밍을 위한 큐 스케줄링은 식(7)과 같이 정의된다.

$$\text{정의7. } Q_{str} = (FC_{D2D-Tx} \sqrt{P_{D2D-Tx} d^{-\alpha} T_{D2D-Tx}} + FC_{D2D-Rx} \sqrt{P_{D2D-Rx} d^{-\alpha} T_{D2D-Rx}}) \times AW + N_o \quad (7)$$

여기서 Q_{str} 는 스트림 큐이며, FC_{D2D-Tx} 는 DUE1에서 DUE2로의 페이딩 계수이다. 그리고 FC_{D2D-Rx} 는 DUE2에서 DUE1으로의 페이딩 계수이다. P_{D2D-Tx} 는 DUE1에서 DUE2로의 전송 파워이며, P_{D2D-Rx} 는 DUE2에서 DUE1으로의 전송파워이다. T_{D2D-Tx} 는 DUE1에서 DUE2로의 신호강도이고, T_{D2D-Rx} 는 DUE2에서 DUE1으로의 신호강도이다. d 는 DUE1과 DUE2사이의 거리이며, α 는 경로 손실이다. 그리고 N_o 는 AWGN이며, AW 는 active형기반의 스트림 가중치이다. 스트림 큐가 스케줄링 된 후에는 각 스트림들에 대한 D2D-Tx와 D2D-Rx사이의 SINR이 결정되며, D2D-Tx와 D2D-Rx에 대한 각각의 SINR은 식(8), 식(9)와 같이 정의된다.

$$\text{정의8. } SINR_{D2D-Tx} = \frac{d^{-\alpha}}{|FC_{D2D-Tx}|^2 P_{D2D-Tx} T_{D2D-Tx}} + N_o \quad (8)$$

$$\text{정의9. } SINR_{D2D-Rx} = \frac{d^{-\alpha}}{|FC_{D2D-Rx}|^2 P_{D2D-Rx} T_{D2D-Rx}} + N_o \quad (9)$$

이와 같이 정의된 스트림 큐 스케줄링은 gNB와 CUE 및 DUE 간의 다중 협력 통신을 위한 기틀을 제공하고, 스트림의 간섭을 효과적으로 제어하고 관리하는 장점을 제공한다.

4.3 Stream error scheduling

스트림 큐가 스케줄링 된 후에는 D2D-Tx와 D2D-Rx사이에 active 스트림들에 대한 오류가 측정되며, 스트림 오류는 D2D 스트리밍 성능에 중요한 영향을 미친다. 스트림 오류는 D2D-Tx와 D2D-Rx사이에서 heavy stream이 light stream으로 사상되지 않을 때 심하게 발생하며, D2D-Tx와 D2D-Rx간의 스트림 오류 척도 S_e 는 식(10)과 같이 정의된다.

$$\text{정의10. } S_e = \frac{\theta \times SINR}{\sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{AS_j}{AS_j + NAS_j}} \times (1 - \beta) \quad (10)$$

여기서 AS 는 active 스트림이며, NAS 는 non-active 스트림이다.

따라서 식(10)이 반영되어 active 스트림들에 대한 오류를 탐지할 수 있으며, 이 과정을 통해서 5G 기반의 D2D 스트리밍의 최적화가 수행됨을 알 수 있다.

IV. Performance analysis

1. Simulation background

제안된 기법은 3.5GHz에서 280MHz의 대역폭을 할당하여 트래픽을 스트리밍하며, 28GHz에서 2400MHz의 대역폭을 할당하여 고용량 미디어 트래픽을 스트리밍하도록 설정하였다. 고용량 미디어 스트리밍을 위해 기본 동영상 비트율은 100Mbps로 설정하였으며, 최대 10GB가 넘지 않도록 설정하였다. 그리고 S1에서 S7까지의 최대 미디어 세그먼트 크기는 1.5GB이내로 설정하였으며, 미디어 세그먼트 프레임은 최대 50개로 설정하였다. DUE는 생성된 커버리지 셀 안에 70개를 임의로 배치하여 D2D 통신이 수행하

도록 하였으며, 이 중에서 7개의 DUE 쌍을 임의로 설정하였다. 스트림 데이터는 DUE상에서 S1에서 S7까지 6000개의 스트림 데이터를 임의로 설정하였으며, 설정된 7개의 DUE 쌍에 대해서 평균 PSNR(peak signal-to-noise ratio)와 SRR(stream error rate)을 측정하여 성능을 분석하였다.

2. Network condition

네트워크 상태에 따라 DUE 간의 스트리밍의 성능을 알아보기 위해 5G 셀룰러 언더레이 모델에 기반을 두고 시뮬레이션을 수행하였으며, 그림3의 ASS는 DUE간의 전송 상태에 따라 active 스트림 패킷 성공과 손실을 표현하고 있다. 그림3에서 “1”은 패킷이 성공적으로 전송된 상태를 나타내며, “0”은 패킷 손실이 발생함을 나타낸다.

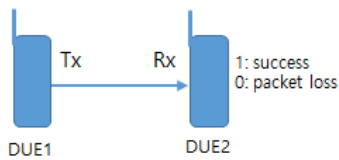


Fig. 3. Streaming Model between DUE1 and DUE2

본 논문에서는 미디어 타입과 특성들을 고려하여 미디어들 간의 상관관계를 스트리밍 모델에 반영하였으며, 비트율에 따라 미디어 스트림 대역폭을 서로 다르게 설정하여 성능을 분석하였다. 그리고 수행된 셀 커버리지는 250mX250m cell area 상의 DUE pair 중에서 7개의 DUE pair를 선정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

3. PSNR

이 절에서는 S1에서 S7까지의 active 스트림들에 대한 PSNR의 성능을 알아보기 위하여 7개의 DUE 쌍에서 성능을 분석하였다. <표2>는 S1에서 S7까지의 active 스트림들에 대해서 제안된 기법의 TOSS와 Non-TOSS를 적용한 평균 PSNR이다. <표2>에서 보듯이 제안된 기법은 현재의 네트워크 자원과 조건을 잘 활용하고 있음을 알 수 있으며, 또한 active 스트림 및 프레임 객체들에 매우 융통적임을 알 수 있다. 이것은 미디어 객체들에 대한 중요도 및 할당률이 각기 다를 때와 오류 지연으로 인한 클라이언트 재전송 스케줄링이 수행될 때 스트림 트래픽의 원인을 미리 제거하여 보다 나은 미디어 전송품질이 보장되기 때문이다.

Table 2. Average PSNR

Scheme	TOSS	Non-TOSS
PSNR	10.97	34.75

그림4는 active 스트림을 포함한 6000개의 미디어 세그먼트들에 대해서 $\beta(0 \leq \beta < 1)$ 를 적용한 평균 PSNR이다.

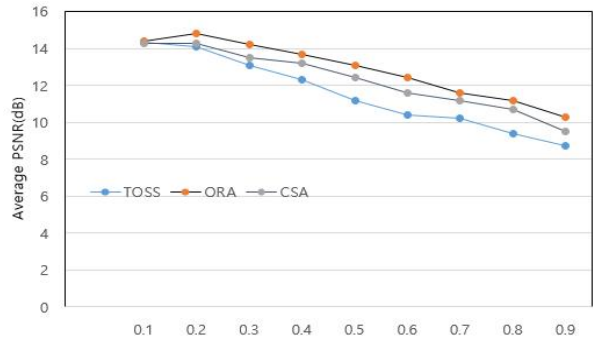


Fig. 4. Average PSNR

그림4에서 보듯이 평균 PSNR은 β 를 적용했을 때 ORA 기법과 CSA기법보다 성능이 보다 우수함을 알 수 있다. 따라서 제안된 기법이 ORA기법과 CSA기법보다 성능이 다소 높게 나타난 점은 미디어 세그먼트와 active 스트림들에 대해서 스트림 자원 스케줄링을 적용한 결과이며, ASS에 의해 트래픽 간섭으로 인한 혼잡을 미리 방지했기 때문이다.

4. Stream error rate

active 스트림들에 대한 혼잡률 임계치 θ 가 다르다면 스트림 오류 제어율 또한 달라지게 된다. 이 절에서는 혼잡률 임계치 θ 를 변화시켜 스트림 오류제어에 따른 성능을 분석한다. 스트림 오류율은 혼잡률 임계치 θ 와 미디어 스트림 할당율 β 에 영향을 받으며, β 가 1에 근접할수록 스트림 오류제어 성능은 향상된다. 그림5는 혼잡률 임계치 θ 에 따른 ASECR(average stream error control rate)이다.



Fig. 5. ASECR

그림5에서 보듯이 ASECR은 미디어 세그먼트들에 대해서 혼잡을 임계치 θ 를 반영한 결과이며, 이것은 혼잡을 임계치 θ 를 반영하지 않은 ORA기법과 CSA기법에 비해서 성능이 보다 우수함을 알 수 있다. 따라서 스트림 오류율은 스트림 자원 스케줄링과 active형 스트림 스케줄링에 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며, 이것은 결과적으로 D2D 스트리밍 서비스를 효과적으로 제공할 뿐만 아니라 자원을 능동적으로 할당하고 스케줄링할 수 있음을 의미한다.

V. Conclusions

최근에 5G D2D 통신하에서 고용량의 스트림 세그먼트를 스트리밍하기 위한 여러 기법들이 제안되었다. 본 논문에서는 5G D2D 통신하에서 스트림 혼잡 원인을 제어하여 스트림의 끊김현상을 최소화하고 스트리밍 품질을 최적화하기 위한 TOSS기법을 제안하였다. 제안된 기법은 S1에서 S7까지 분류된 트래픽 스트림들에 대해서 ASS 트래픽 스케줄러를 적용하여 미디어 스트림들을 분류하였으며, 분류된 스트림들에 대해서 스케줄링을 수행하였다. 또한 고용량의 active형 스트림들에 대해서 자원 재활용을 향상시키기 위한 자원 스케줄링과 비트 오류율에 따른 고품질의 스트리밍 서비스를 보장하기 위하여 스트림 트래픽 스케줄링을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 기법은 Non-TOSS일 때 PSNR의 성능이 보다 우수함을 알 수 있었으며, ORA기법과 CSA기법에 비해서 평균 PSNR과 ASECR의 성능이 보다 우수함을 알 수 있었다. 향후 연구로는 5G 응용 도메인에서 고용량의 active 스트림을 서비스하기 위한 시스템 개발과 딥 러닝 알고리즘을 적용하여 사용자 맞춤형 스트리밍 서비스를 수행하기 위한 연구를 수행하고자 한다.

REFERENCES

- [1] D. Prerna, R. Tekchandani, and N. Kumar, "Device-to-Device Content Caching Techniques in 5G: A Taxonomy, Solutions, and Challenges," *Computer Communications*, vol. 153, pp. 48-84, 2020.
- [2] M. Zink, R. Sitaraman, and K. Nahrstedt, "Scalable 360° Video Stream Delivery: Challenges, Solutions, and Opportunities," *Proceedings of IEEE*, vol. 107, no. 4, pp. 639-650, 2019.
- [3] J. Ruan and D. Xie, "A survey on QoE-oriented VR Video Streaming: Some Research Issues and Challenges," *Electronics*, vol. 10, no. 17, 2021.
- [4] N. S. Vo, Q. Duong, H. D. Tuan, A. Kortun, "Optimal Video Streaming in Dense 5G Networks with D2D Communications," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1-15, 2017.
- [5] A. Ubaid, E. Halima, "Multimedia Streaming using D2D in 5G Ultra Dense Networks," 2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 2018, pp. 1-6, DOI: 10.1109/CCNC.2018.8319230
- [6] J.H. Kim, C. Giuseppe, F. M. Andreas, "Quality-Aware Streaming and Scheduling for Device-to-Device Video Delivery," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 24, no. 4, pp. 2319-2331, 2016.
- [7] The Global Internet Phenomena Report, www.sandvine.com>download-mobile-internet-phenomena-report-2021
- [8] E. A. Mohamed, M. A. Ammar, "A Survey on Multimedia over 5G Networks for D2D Communication based WiFi Direct Technology," 54th Annual conference on Statistics, Computer Science and Operation Research, pp. 161-174, 2019.
- [9] M. Dehghan, et al., "On the Complexity of Optimal Routing and Content Caching in Heterogeneous Networks," in *Proc. IEEE Conference on Computer and Communications*, Apr. 2015, pp. 936-944.
- [10] N. Golrezaei, P. Mansourifard, A. Molisch, A. Dimakis, "Base Station Assisted Device-to-Device Communications for High Throughput Wireless Video Networks," *IEEE Transaction on Wireless Communications*, vol. 13, no. 7, pp. 3665-3676, Jul. 2014.
- [11] X. Wu, S. Tavildar, S. Shakkottai, T. Richardson, J. Li, R. Laroia, and A. Jovicic, "FlashLinQ: A Synchronous Distributed Scheduler for Peer-to-Peer Ad Hoc Networks," in *Proc. Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*, Monticello, IL, USA, October 2010.
- [12] X. Wu, S. Tavildar, S. Shakkottai, T. Richardson, J. Li, R. Laroia, and A. Jovicic, "FlashLinQ: A Synchronous Distributed Scheduler for Peer-to-Peer Ad Hoc Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 21, no. 4, pp. 1215-1228, 2013.
- [13] D. Bethanabhotla, G. Caire, and M. J. Neely, "Adaptive Video Streaming for Wireless Networks With Multiple Users and Helpers," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 63, no. 1, pp. 268-285, 2015.
- [14] A. Ahmed, A. O. Osama, E. Hamada, S. M. Usama, "Deep Learning-Based Relay Selection In D2D Millimeter Wave Communications," 2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS2019), pp. 1-5, 2019.
- [15] M. Achraf, J. Wael, A. Wessa, E. Halima, "Deep Reinforcement Learning-based Data Transmission for D2D Communications," 2018 14th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2018. DOI: 10.1109/WiMOB.2018.8589114
- [16] W. Dong, Z. Li, X. Chen, "Deep Reinforcement Learning-based

- Adaptive Clustering Approach in Short Video Sharing through D2D Communication,” 2021 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/SustainCom), pp. 745-752, 2021.
- [17] C. D. Lee, “Self-detecting Traffic Interference Control for Multi-Zone Services under 5G-based Cellular Networks,” *Sensors*, vol. 21, no. 7, pp.1-16, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21072409>
- [18] M. M. Babu, R. P. Sam, P. C. Reddy, “A3C Based Dynamic BitRate for Video Streaming in 5G Edge Assisted D2D Communication using H.266 with Conv-DBN,” *International Journal of Engineering Trends and Technology(IJETT)*, vol. 70, no. 1, pp. 93-107, 2022.
- [19] S. E. Ullah, K. T. Kim, A. Manzoor, L. U. Khan, S. M. A. Kazmi, C. S. Hong, “Quality Adaptation and Resource Allocation for Scalable Video in D2D Communication Networks,” *IEEE Access*, vol. 8, no. 5, pp. 48060-48072, 2020.

Authors



Chong-Deuk Lee got his B.S., M.S., and Ph.D. in 1983, 1989, and 1998, respectively, at the Department of Computer Science, Chonbuk National University, Korea. He is currently a Professor with the Division of

Electronic Engineering, Chonbuk National University, Korea. He served as a visiting scholar for one year from 2014 to 2015 at San Diego State University in U.S.A. His research interests include 4G LTE, 5G Mobile Communications, wireless sensor network, wireless ad hoc network, multimedia streaming, 6G communications and intelligent multimedia communications. He got a best paper award in KITCS and ICDPM.