

배타적 논리합 기반 비디오 스트리밍을 위한 전송 기법

이정민¹ · 김유신² · 류종열³ · 반태원^{4*}

A Transmission Scheme For Video Streaming Based On Exclusive OR

Jeong-Min Lee¹ · Yu-Sin Kim² · Jong Yeol Ryu³ · Tae-Won Ban^{4*}

¹Undergraduate student, Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 53064 Korea

²Graduate student, Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 53064 Korea

³Assistant Professor, Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 53064 Korea

^{4*}Associate Professor, Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 53064 Korea

요 약

본 논문에서는 수신단 캐시를 활용하여 비디오 스트리밍의 전송 효율을 개선할 수 있는 배타적 논리합 기반 비디오 스트리밍(XC: eXclusive OR-based Cast)을 위한 전송 기법을 제안한다. 두 클라이언트가 동시에 동일한 비디오를 요청하는 경우에만 단일 채널로 비디오 데이터를 전송할 수 있는 기존 멀티캐스트(MC: Multicast) 방식과 달리, 제안 방식은 두 클라이언트들이 서로 다른 비디오를 요청하는 경우에도 각 클라이언트의 캐시 정보에 따라 단일 채널로 비디오를 전송할 수 있다. 다양한 시뮬레이션을 통해서 제안된 XC를 위한 전송 기법의 성능을 스트리밍 효율성 측면에서 분석하고, 기존 방식과 비교한다. 시뮬레이션 결과를 통해, 제안 방식은 기존 방식 대비 스트리밍 효율성을 약 21%까지 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a video transmission scheme for exclusive OR based video streaming (XC) that can improve the efficiency of video streaming by using receivers' caches and coding of video data. Contrary to conventional streaming schemes such as multicast where video contents can be transmitted on single channel only when two clients request the same video, the proposed streaming scheme can transmit video contents on single channel conditionally according to the status of the clients' caches even though two clients request different video contents. We analyze the performance of the proposed transmission for XC in terms of the streaming efficiency through extensive computer simulations and compare it with a conventional scheme. Simulation results show that the proposed scheme can enhance the streaming efficiency by 21%, compared with the conventional scheme.

키워드: 비디오 스트리밍, 브로드캐스트, 멀티캐스트, 유니캐스트, 배타적논리합

Keywords: Video streaming, Broadcast, Multicast, Unicast, Exclusive OR (XOR)

Received 3 August 2020, Revised 15 August 2020, Accepted 25 August 2020

* Corresponding Author Tae-Won Ban(E-mail:twban35@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9177)

Associate Professor, Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 53064 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.10.1312>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

최근 유튜브와 넷플릭스와 같이 다양한 플랫폼에서 멀티미디어 콘텐츠를 제공하는 OTT (Over The Top) 서비스의 대중화로 비디오 스트리밍을 위한 인터넷 트래픽이 급격히 증가하고 있다[1,2]. 대부분의 비디오 스트리밍 서비스는 점대점 방식인 유니캐스트 (Unicast: UC) 전송 방식을 주로 사용하며 UC 방식은 스트리밍 수요에 비례하여 많은 네트워크 대역폭을 요구한다. 따라서, 다수의 클라이언트들이 동일한 비디오를 요청하면 요청 비디오 콘텐츠를 단일 채널로 동시에 전송함으로써 전송 효율을 높이는 멀티캐스트 (Multicast: MC) 방식과 함께 캐시를 사용함으로써 스트리밍 서비스의 효율성을 개선하기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다[3-9]. 클라이언트에 탑재된 캐시를 활용하여 스트리밍에 필요한 대역폭을 줄이기 위한 기술들이 제안되었다[3, 4]. 클라이언트와 스트리밍 서버 양쪽에 탑재된 캐시를 활용한 대역폭 절감 기술도 제안되었다[5]. 부호화 기반 데이터 스트리밍 시스템에서 부호화와 전송 지연 간의 관련성에 대해 연구하고 새로운 캐싱 기술이 제안되었다[6]. 최근에는 다양한 부호화 기법 중에서 부호화와 복호화 과정이 간단하고 높은 압축률을 가지는 배타적 논리합(XOR: eXclusive OR)을 이용한 데이터 전송 기법이 많은 관심을 받고 있다[7,8]. 임의의 비트열 A에 대한 배타적 논리합 연산의 항등원과 역원은 각각 0과 A이며, XOR은 교환 법칙과 결합 법칙을 만족한다. 이러한 XOR 연산의 특징을 활용하여 비디오 스트리밍의 효율성을 개선할 수 있는 새로운 개념이 제안되었으며, 서로 다른 두 비디오 콘텐츠를 XOR 부호화하여 두 클라이언트들에게 하나의 채널을 이용하여 전송함으로써 전송 효율을 개선할 수 있었다[9]. 그러나, 클라이언트가 두 개인 제한된 환경에서만 XOR 부호화가 지원되었고 클라이언트들의 비디오 선호도에 대한 수학적 모델링과 다양한 캐시 업데이트 알고리즘이 고려되지 않았다. 본 논문에서는 세 개 이상의 복수의 클라이언트가 존재하는 일반적인 환경을 고려한다. 그리고, 각 클라이언트들이 Zipf 분포 기반의 비디오 선호도를 가지는 환경에서 XOR 기반 비디오 스트리밍(XC: eXclusive OR-based Cast)을 지원하기 위한 새로운 전송 기법을 제안한다. 제안된 새로운 전송 기법의 성능을 FIFO (first in first out), LRU (least recently used), 그리고 LFU

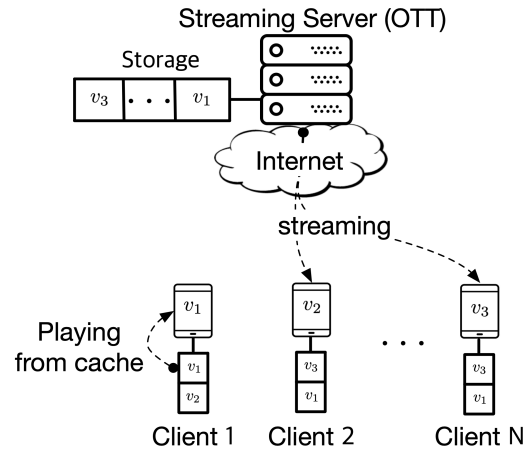


Fig. 1 The architecture of a video streaming system.

(least frequently used)와 같이 널리 이용되는 다양한 캐시 업데이트 알고리즘을 고려하여 스트리밍 효율성 측면에서 분석하고 이를 XC없이 UC와 MC만을 지원하는 기존 방식의 성능과 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 XC를 이용한 비디오 스트리밍 시스템의 기본적인 구조에 대해 설명하고, III장에서는 XC를 위해 본 논문에서 제안하는 새로운 전송 기법을 설명한다. IV장에서는 제안된 XC용 전송 기법의 성능을 분석하고 기존 스트리밍 방식의 성능과 다양한 캐시 업데이트 기술을 고려하면서 비교하였다. 마지막으로, V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

그림 1은 하나의 스트리밍 서버와 N 개의 클라이언트들로 구성된 비디오 스트리밍 시스템을 나타낸다. 서버는 V 개의 비디오 파일을 저장하고 있으며, 각 클라이언트들은 $C(C < V)$ 개의 비디오 파일을 저장할 수 있는 캐시를 보유하고 있다. 모든 비디오 파일의 크기는 동일하고, 모든 클라이언트들은 동일 시점에 서버로 비디오 전송을 요청하는 것으로 가정한다. 전체 V 개의 비디오 중에서 $v(1 \leq v \leq V)$ 번째 인기 있는 비디오의 상대적 선호도는 다음과 같이 Zipf 분포를 따른다.

$$f_v = \frac{1/v^\alpha}{\sum_{n=1}^V (1/n^\alpha)}, 1 \leq v \leq V. \quad (1)$$

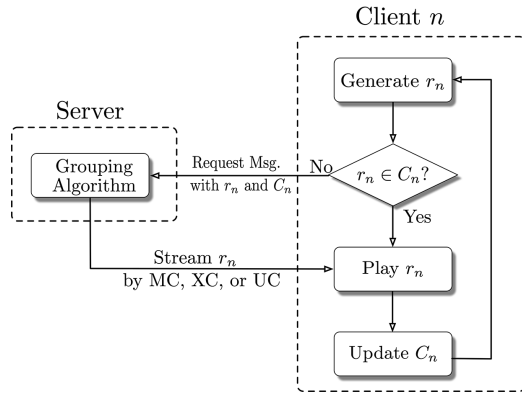


Fig. 2 The proposed transmission scheme for video streaming using XC.

여기서, $\sum_{v=1}^V f_v = 1$ 이며, α 는 Zipf 분포의 특성을 나타내는 상수이다. 각 클라이언트 n 은 V 개의 비디오 파일 중에서 서버로 전송을 요청할 비디오 파일 인덱스 r_n 을 식 (1)에서 주어진 Zipf 분포에 따라서 생성한다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 XC를 활용한 비디오 스트리밍의 절차를 보여준다. 비디오 r_n 이 자신의 캐시 c_n 에 저장되어 있는지를 확인한다. 만약 $r_n \in c_n$ 이면, 서버와의 별도 통신 채널 설정 없이 캐시에 저장된 파일을 자체적으로 (Localcast: LC) 재생한다. $r_n \notin c_n$ 이면, 클라이언트는 r_n 과 c_n 정보와 함께 스트리밍 요청 메시지를 스트리밍 서버로 전송한다. 클라이언트들로부터 스트리밍 요청 메시지를 수신한 서버는 그룹핑 알고리즘을 통해서 각 클라이언트들을 MC, XC, 그리고 UC의 세 개의 그룹으로 분류하여 각 클라이언트들이 요청한 비디오 파일을 스트리밍한다. 클라이언트 n 은 r_n 의 재생이 종료된 후 캐시 C_n 을 업데이트 하며 FIFO, LRU, 그리고 LFU 등 세 개의 캐시 업데이트 알고리즘을 고려한다 [10,11]. 먼저, FIFO는 c_n 에 저장된 비디오 중에서 가장 먼저 저장된 비디오를 r_n 으로 대체하는 방식이다. LRU는 c_n 에 저장된 비디오 중에서 가장 오랫동안 사용되지 않은 비디오를 r_n 으로 대체하며, LFU는 재생 빈도가 가장 낮은 비디오를 r_n 으로 대체한다.

III. XC를 지원하기 위한 새로운 전송 기법

그림 2에서 보듯이, 스트리밍 서버는 요청 메시지를 전송한 클라이언트들을 MC, UC, 그리고 XC의 세 가지 스트리밍 방식에 따라 분류하는 그룹핑 알고리즘을 수행한다. 제안 알고리즘은 기존 스트리밍 방식 중에서 전송 효율성이 높은 MC에 가장 높은 우선순위를 부여하며, 전송 자원의 효율성이 가장 낮은 UC에 가장 낮은 우선순위를 부여한다. $N_s = \{1, 2, \dots, N\}$ 이라고 정의할 때, 스트리밍 서버로 요청 메시지를 전송한 전체 클라이언트들은 $S = \{n | r_n \notin c_n, n \in N_s\}$ 로 주어진다. 먼저, 제안 알고리즘은 우선순위가 가장 높은 MC 방식으로 스트리밍할 클라이언트들을 선별한다. S 에 포함된 클라이언트들 중에서 MC 방식으로 스트리밍할 클라이언트들의 집합 G_{MC} 는 다음과 같이 얻어진다.

$$G_{MC} = \{n \mid |\{i | r_i = r_n, i \in S\}| \geq 2, n \in S\}. \quad (2)$$

여기서, $|\cdot|$ 는 집합에 포함된 원소의 개수를 나타낸다. G_{MC} 에 포함된 클라이언트들을 MC 방식으로 스트리밍하기 위해서 필요한 전송 채널의 수 K_{MC} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K_{MC} = |\lceil r_n, n \in G_{MC} \rceil|. \quad (3)$$

여기서, $\lceil \cdot \rceil$ 는 중복 원소들을 제거한 집합을 나타낸다. 제안된 알고리즘은 MC 다음으로 높은 우선순위를 가지는 XC 방식으로 스트리밍할 클라이언트들을 선별한다. 임의의 클라이언트 i 와 j 가 함께 XC 방식으로 비디오를 스트리밍 받기 위해서는 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$r_j \in c_i \text{ and } r_i \in c_j. \quad (4)$$

S 에서 G_{MC} 로 분류된 클라이언트들을 제외한 $(S - G_{MC})$ 를 구하고, $(S - G_{MC})$ 에 속한 각 클라이언트 i 에 대하여 다음과 같이 XC 조건을 만족하는 상대 클라이언트들을 구하여 $X(i)$ 로 정의한다.

$$X(i) = \{i\} + \{j | r_j \in c_i, r_i \in c_j, j \in (S - G_{MC})\}. \quad (5)$$

여기서, 수식의 편의성을 위하여 임의의 두 집합 A 와 B 에 대하여 $A + B$ 와 $A - B$ 는 두 집합의 합집합

과 차집합으로 각각 정의한다. $X(i)$ 를 원소의 개수에 따라서 오름차순으로 배열하고 이를 다음과 같이 $X(\hat{i})$ 로 다시 정의한다.

$$|X(\hat{i})| \leq |X(\widehat{i+1})|. \quad (6)$$

클라이언트 \hat{i} 가 $|X(\hat{i})|=1$ 을 만족하면 UC 방식으로 스트리밍되고, $|X(\hat{i})| \geq 2$ 를 만족하면 XC 방식으로 스트리밍 된다. $|X(\hat{i})| \geq 2$ 를 만족하는 클라이언트들은 서로 다른 XC 그룹에 중복으로 포함되므로, 이러한 중복 분류 문제를 해결할 필요가 있다. 제안 방식에서는, 아래 식과 같이 $X(\hat{i})$ 에서 $X(\widehat{1})$ 부터 $X(\widehat{i-1})$ 까지의 합집합을 제거하여 $H(\hat{i})$ 로 정의한다.

$$H(\hat{i}) = X(\hat{i}) - \sum_{j=1}^{\widehat{i-1}} X(\hat{j}). \quad (7)$$

$|H(\hat{i})| \geq 2$ 이면, $H(\hat{i})$ 에 속한 클라이언트들은 XC 방식으로 스트리밍되고, $|H(\hat{i})|=1$ 이면 클라이언트 \hat{i} 은 UC 방식으로 스트리밍 된다. 마지막으로, $|H(\hat{i})|=0$ 이면, 클라이언트 \hat{i} 는 앞서 다른 클라이언트와 이미 XC 스트리밍 그룹으로 분류되었음을 의미한다. 따라서, G_{XC} 는 다음과 같이 구해진다.

$$G_{XC} = \sum_{\hat{i}, |H(\hat{i})| \geq 2, \hat{i} \in (S - G_{MC})} X(\hat{i}). \quad (8)$$

G_{XC} 에 포함된 클라이언트들을 XC 방식으로 스트리밍 하기 위해서 필요한 전송 채널의 수 K_{XC} 는 $|H(\hat{i})| \geq 2$ 를 만족하는 \hat{i} 의 개수와 같으므로, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K_{XC} = \quad (9)$$

$$|\{\hat{i} \mid |H(\hat{i})| \geq 2, \hat{i} \in (S - G_{MC})\}|.$$

마지막으로, UC 방식으로 스트리밍할 클라이언트 그룹 G_{UC} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G_{UC} = S - G_{MC} - G_{XC}. \quad (10)$$

그리고, UC 기반 스트리밍을 위해 필요한 채널 수 K_{UC} 는 다음과 같다.

$$K_{UC} = |G_{UC}|. \quad (11)$$

IV. 성능 분석

스트리밍 알고리즘의 효율성 지수 η 를 다음과 같이 정의한다.

$$\eta = \frac{\text{전송 채널 수의 총합}}{\text{클라이언트의 수 } (N)}. \quad (12)$$

η 값이 낮을수록 적은 전송 채널로 비디오 스트리밍을 할 수 있으므로 효율성이 높음을 의미한다. Xcast 방식의 효율성 η^{prop} 은 다음과 같이 계산된다.

$$\eta^{\text{prop}} = \frac{K_{MC} + K_{XC} + K_{UC}}{N}. \quad (13)$$

반면에, 기존 스트리밍 방식은 XC를 지원하지 않으므로, G_{XC} 에 포함된 클라이언트들을 UC 방식으로 스트리밍하여야 한다. 따라서, 기존 스트리밍 방식의 효율성 η^{conv} 은 다음과 같다.

$$\eta^{\text{conv}} = \frac{K_{MC} + |S - G_{MC}|}{N}. \quad (14)$$

그리고, 제안 방식의 성능 개선 정도를 정량적으로 분석하기 위하여, 기존 방식 대비 제안 방식의 성능 향상률 ρ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\rho = \frac{\eta^{\text{conv}} - \eta^{\text{prop}}}{\eta^{\text{conv}}}. \quad (15)$$

식 (15)에 식 (13)과 (14)를 대입하면, 식 (15)는 다음과 같이 계산된다.

$$\rho = \frac{|S - G_{MC}| - K_{XC} - K_{UC}}{K_{MC} + |S - G_{MC}|}. \quad (16)$$

식 (13) ~ (15)를 다양한 환경변수들에 대하여 평균하기 위하여 Monte-Carlo 기반의 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 각 클라이언트는 10,000개의 비디오 전송을 요청하며, 각 요청 비디오는 Zipf 분포로 만든 각기 다른 선호도를 가진다. 각 비디오 전송 요청 시에 클라이언트들은 자신의 캐시 상태를 확인하여 서버로 비디오 요청 메시지 전송 여부를 결정하고, 서버는 클라이언트들로부터 전송 받은 비디오 전송 요청 메시지를 이용하여 클라이언트들을 UC, MC, 또는 XC 그룹으로 분류하는 그룹핑 알고리즘을 수행한다. 그림 3은 다양한 클라이언

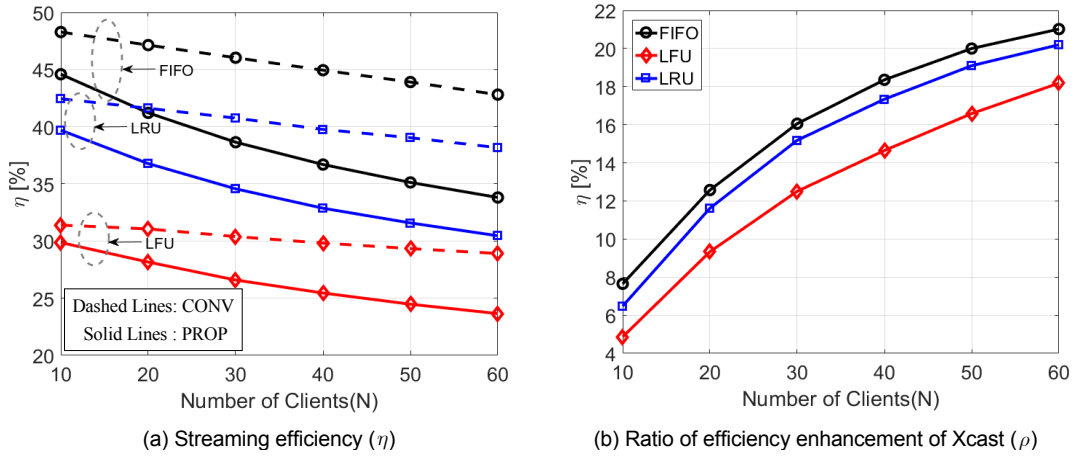


Fig. 3 Streaming efficiency (η) and ratio of efficiency enhancement of Xcast (ρ) for various numbers of clients (N). $V=100, C=20, \alpha=1$.

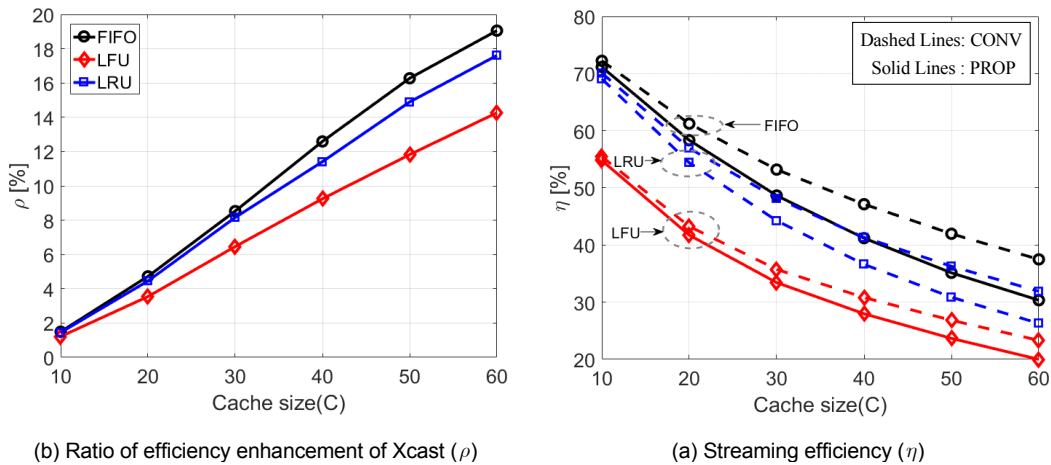


Fig. 4 Streaming efficiency (η) and ratio of efficiency enhancement of Xcast (ρ) for various numbers of clients (C). $V=100, N=20, \alpha=1$.

트들의 수에 따른 기존 방식과 제안 방식의 스트리밍 효율성 (η)와 기존 스트리밍 방식 대비 제안된 스트리밍 방식의 성능 향상률 (ρ)을 나타낸다. 비디오 개수 (V), 캐시 크기 (C), 그리고 Zipf분포 파라미터 (α)는 각각 100, 20, 1이며, 클라이언트들의 개수 (N)는 10부터 60 까지 변한다. 그림 3-(a)는 식 (13)과 (14)에 정의된 제안 방식과 기존 방식의 스트리밍 효율성 η^{PROP} 와 η^{CONV} 를 나타낸다. 제안 방식과 기존 방식 모두 LFU가 가장 높은 스트리밍 효율성을 나타내며, FIFO가 가장 낮은 스트리밍 효율성을 나타낸다. 그리고, 스트리밍 방식과 캐

시 업데이트 방식에 관계없이 클라이언트 수가 증가할 수록 스트리밍 효율성이 높아짐을 확인할 수 있다. 그림 3-(b)는 식 (15)에서 정의한 기존 방식 대비 제안 방식의 성능 향상률 ρ 를 나타낸다. 기존 방식 대비 제안 방식은 FIFO, LRU, LFU 순으로 높은 성능 향상률을 보여준다. 그리고, 클라이언트 수가 증가할수록 ρ 값이 증가함을 확인할 수 있다. 구체적으로, $N=60$ 이고 FIFO 기반 캐시 업데이트 방식을 사용할 때 제안 방식은 기존 스트리밍 대비 약 21% 적은 전송 채널을 필요로 한다. 그림 4는 다양한 캐시 사이즈에 따른 η 와 ρ 의 변화 추이를 보

여준다. $V=100, N=20, \alpha=1$ 이고, C 는 5에서 30까지 변한다. 그림 3에서와 동일하게 제안 방식과 기존 방식 모두 LFU가 가장 높은 스트리밍 효율성을 나타내며, FIFO가 가장 낮은 스트리밍 효율성을 나타낸다. 기존 방식 대비 제안 방식은 FIFO, LRU, LFU 순으로 높은 성능 향상을 보여주며 캐시 사이즈가 증가할수록 ρ 값이 증가한다.

V. 결론

본 논문은 XOR 부호화를 이용한 비디오 스트리밍 방식을 연구하였으며, 많은 클라이언트들이 존재하는 환경에서 스트리밍 효율성을 높이면서 클라이언트들을 효율적으로 분류할 수 있는 전송 기법을 제안하였다. 복수의 클라이언트가 동일 비디오를 요청할 경우에만 MC 방식으로 스트리밍할 수 있는 기존 방식과 달리, 제안 방식은 복수의 클라이언트들이 서로 다른 비디오를 요청하는 경우에도 캐시 상태에 따라서 단일 채널로 스트리밍함으로써 전송 자원을 절약할 수 있다. 다양한 시뮬레이션 결과에 따르면, 제안 방식은 캐시 업데이트 방식에 관계없이 기존 방식 대비 높은 스트리밍 효율성을 나타내었다. 100개의 비디오 파일과 60명의 클라이언트가 존재하고 FIFO 기반 캐시 업데이트 방식을 사용할 때 제안 방식은 기존 스트리밍 대비 약 21% 낮은 전송 자원을 필요로 함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(Ministry of Education) (No. 2020R111A3061195, Development Of Wired and Wireless Integrated Multimedia-Streaming System Using Exclusive OR-based Coding).

REFERENCES

- [1] K. Sun, H. Zhang, Y. Gao, and D. Wu, "Delay-aware fountain codes for video streaming with optimal sampling strategy," in *Journal of Communications and Networks*, vol. 21, no. 4, pp. 339-352, Aug. 2019.
- [2] D. Wu, Y. T. Hou, W. Zhu, Y.-Q. Zhang, and J. M. Peha, "Streaming video over the Internet: approaches and directions," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 11, no. 3, pp. 282-300, Mar. 2001.
- [3] L. Zhang, M. Xiao, G. Wu, and S. Li, "Efficient scheduling and power allocation for D2D-assisted wireless caching networks," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 64, no. 6, pp. 2438-2452, Jun. 2016.
- [4] M. A. Maddah-Ali and U. Niesen, "Decentralized coded caching attains order-optimal memory-rate tradeoff" in *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 23, no. 4, pp. 1029-1040, Aug. 2015.
- [5] M. A. Maddah-Ali and U. Niesen, "Fundamental limits of caching," in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 60, no. 5, pp. 2856-2867, May. 2014.
- [6] U. Niesen and M. A. Maddah-Ali, "Coded caching for delay-sensitive content," *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, London, pp. 5559-5564, 2015.
- [7] S. Athanasiadou, M. Gatzianas, L. Georgiadis, and L. Tassioulas, "Stable XOR-Based Policies for the Broadcast Erasure Channel With Feedback," in *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 24, no. 1, pp. 476-491, Feb. 2016.
- [8] X. Wang, M. Chen, T. Taleb, A. Ksentini, and V. C. M. Leung, "Cache in the air: exploiting content caching and delivery techniques for 5G systems," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 131-139, Feb. 2014.
- [9] Y. S. Kim, M. W. Jeong, J. M. Shin, J. Y. Ryu, and T. W. Ban, "Adaptive Video Streaming System Using Receiver Caching," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 7, pp. 837-844, Jul. 2019.
- [10] G. Hasslinger, J. Heikkinen, K. Ntougias, F. Hasslinger, and O. Hohlfeld, "Optimum caching versus LRU and LFU: Comparison and combined limited look-ahead strategies," *2018 16th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt)*, Shanghai, pp. 1-6, 2018.
- [11] Tanwir, G. Hendratoro, and A. Affandi, "Early result from adaptive combination of LRU, LFU and FIFO to improve cache server performance in telecommunication network," *2015 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, Surabaya, pp. 429-432, 2015.
- [1] K. Sun, H. Zhang, Y. Gao, and D. Wu, "Delay-aware fountain codes for video streaming with optimal sampling



이정민(Jeong-Min Lee)

2018년 3월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과
※관심분야: 이동통신, 머신러닝, 영상처리



김유신(Yu-Sin Kim)

2016년 3월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 학사과정
※관심분야: 이동통신, 머신러닝, 영상처리



류종열(Jong Yeol Ryu)

2008년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 학사
2010년 2월 KAIST 전기및전자공학과 석사
2014년 2월 KAIST 전기및전자공학과 박사
2014년 4월~2016년 8월 싱가포르기술디자인대학교 박사후 연구원
2016년 9월~국립경상대학교 정보통신공학과 조교수
※관심분야: 보안 통신 시스템, 차세대 이동통신 시스템, 사용자 릴레이 통신 등



반태원(Tae-Won Ban)

1998년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
2000년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
2010년 2월 KAIST 전기및전자공학과 박사
2000년 2월~2012년 8월 KT 네트워크부문
2012년 9월~현재 경상대학교 정보통신공학과 부교수
※관심분야: 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유, 차세대 이동통신 시스템