JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 26, No. 7: 1091~1097, Jul. 2022

배타적 논리합 기반 비디오 스트리밍 시스템의 구현

이정민[1] · 반태원[2*]

Implementation of Exclusive OR-Based Video Streaming System

Jeong-Min Lee[1] · Tae-Won Ban[2*]

[1]Graduate student, Department of Information Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 53064 Korea
[2*]Professor, Department of Intelligent Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 53064 Korea

요 약

본 논문에서는 배타적 논리합 연산을 활용한 비디오 스트리밍 기술인 eXclusive OR-based Cast(XC) 시스템을 구현하고, 근거리무선망 환경에서 다양한 성능지표들을 측정한다. 또한, 기존 연구들이 제한적 환경에서 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석한 반면, 본 연구에서는 다양한 실질적인 비디오 스트리밍 환경들을 고려하여 XC 시스템의 성능 개선 정도를 확인한다. 이를 위해서 클라이언트들이 서버로 전송하는 STR_REQ_MSG (SRM)와 스트리밍 서버가 클라이언트들을 제어하기 위한 STR_CON_MSG (SCM)와 같은 새로운 제어 메시지들을 제안하고 이들을 활용하여 프로토콜을 설계하였다. 구현한 XC 시스템을 활용한 다양한 성능 측정 결과에 따르면, XC 스트리밍 시스템은 기존 스트리밍 시스템 대비 네트워크 대역폭 소모량을 평균적으로 8.6% 그리고 최대 약 25%까지 줄일 수 있다. 또한, 스트리밍 서비스의 중단 확률은 약 76%까지 낮아진다.

ABSTRACT

In this paper, we implement the eXclusive OR-based Cast (XC) system that is a video streaming system using exclusive OR operations, and measure various performance metrics in wireless local area network (WLAN) environments. In addition, we investigate the performance improvement of the XC system considering various practical video streaming environments, while conventional studies analyzed the performance of XC through computer simulations in limited environments. To this end, we propose new control messages such as STR_REQ_MSG (SRM) that clients transmit to a video streaming server and STR_CON_MSG (SCM) that is used for the video streaming server to control the clients, and develop a new protocol by using the new control messages. According to the various measurement results using the implemented XC system, XC video streaming system can reduce the consumption of network bandwidth by 8.6% on average and up to 25% compared to the conventional video streaming system. In addition, the outage probability can be also reduced up to 76%.

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

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

Received 20 May 2022, **Revised** 2 June 2022, **Accepted** 7 June 2022

*** Corresponding Author** Tae-Won Ban(E-mail:twban35@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9177)
Professor, Department of Intelligent Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 53064 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.7.1091 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. 서 론

최근 무선 접속기기의 증가와 다양한 멀티미디어 콘텐츠 서비스를 제공하는 OTT (Over-The-Top) 서비의 급속한 성장으로 인터넷을 통한 비디오 스트리밍 트래픽이 급격히 증가하고 있다 [1, 2]. 대부분의 스트리밍 서비스는 데이터를 점대점 (point-to-point) 방식으로 전송하는 유니캐스트(Unicast: UC) 기술을 이용한다. UC 방식은 데이터 전송의 신뢰성을 담보할 수 있지만, 스트리밍 수요에 비례하여 많은 네트워크 대역폭이 요구된다. 반면, 멀티캐스트(Multicast: MC) 방식은 다수의 클라이언트에게 동일한 데이터를 단일 연결로 전송함으로써 네트워크 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있지만, 서로 다른 클라이언트들이 동일한 데이터를 동시에 요구할 때에만 활용 가능하므로 전체적인 네트워크 대역폭의 절감 효과는 크지 않다. 따라서, 멀티미디어 데이터 전송 효율을 향상시키기 위한 다양한 기술들이 연구되고 있으며 저장장치를 캐시로 활용하여 멀티미디어 전송 효율성을 높이기 위한 기술들이 제안되었다 [3-6]. 먼저, 무선 네트워크에서 클라이언트들에게 서비스한 멀티미디어 데이터를 캐시에 저장한 후 클라이언트들이 캐시에 저장된 멀티미디어를 요청할 경우 활용함으로써 전체적인 네트워크 효율성을 높일 수 있는 기술이 제안되었다 [3]. 또한, 단일 저장 장치를 활용하여 복수의 클라이언트들을 대상으로 캐싱 서비스를 제공하는 기술이 제안되었으며 [4], 수신단에 탑재된 저장장치를 이용한 수신단 캐싱 기술도 제안되었다 [5,6]. 로컬 캐싱 이득과 글로벌 캐싱 이득을 동시에 얻기 위한 연구도 진행되었다 [7].

반면에, 암호화와 복호화 과정이 간단하여 통신 시스템 암호화와 압축 등에 널리 활용되던 배타적 논리합 (exclusive OR: XOR)을 이용한 다양한 데이터 전송 기법도 많이 제안되었다 [8-11]. 가상 청크라는 새로운 개념을 활용한 데이터 압축 기술 [8]과 데이터 압축기의 오류를 최소화 하는 연구가 진행되었다 [9]. XOR 연산의 특징을 활용하여 비디오 스트리밍의 효율성을 개선할 수 있는 새로운 개념인 배타적 논리합 기반 비디오 스트리밍(XC: eXclusive OR-based Cast)이 제안되었다 [10]. 이는 다수의 클라이언트들이 서로 다른 비디오 선호도를 가지는 일반적인 환경에서 두 명 이상의 클라이언트들을 XC로 서비스할 수 있는 기술로 확장되었다 [11]. 기존연구에서는 모든 클라이언트들에게 같은 크기의 비디오 데이터를 스트리밍할 수 있으며, 모든 비디오 스트리밍의 시작 시점이 동일한 제한된 환경만을 고려하였다. 본 논문에서는 XC 기반 비디오 스트리밍 시스템을 개선하여 기존 연구의 문제점을 해결하고 실제 상용 네트워크상에서 테스트베드 형태로 구현한다. 구현된 테스트베드 시스템의 성능을 측정하여 XC 기반 비디오 스트리밍 시스템의 네트워크 자원 절감 효과도 규명한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서 XC를 이용한 비디오 스트리밍 시스템을 위한 테스트베드의 기본적인 구조와 비디오 스트리밍 방식에 대하여 설명한다. Ⅲ장에서는 구현된 테스트베드를 이용하여 XC 전송 기법의 성능을 측정하고 기존 스트리밍 방식과 비교한다. 마지막으로, Ⅳ장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

Ⅱ. XC 스트리밍 시스템

그림 1은 XC 기반의 비디오 스트리밍 시스템의 테스트베드 구조를 보여준다. 구현 시스템은 스트리밍 서버와 N개의 클라이언트들 그리고 라우터로 구성된다. 서버는 V개의 비디오 파일을 저장하고 있으며, 각 클라이언트는 비디오 파일을 $C(C< V)$개 저장할 수 있는 캐시를 가지고 있다. 각 비디오의 상대적 선호는 Zipf 분포를 따르며 $v(1 \leq v \leq V)$번째 인기 있는 비디오의 상대적 선호는 아래와 같이 주어진다.

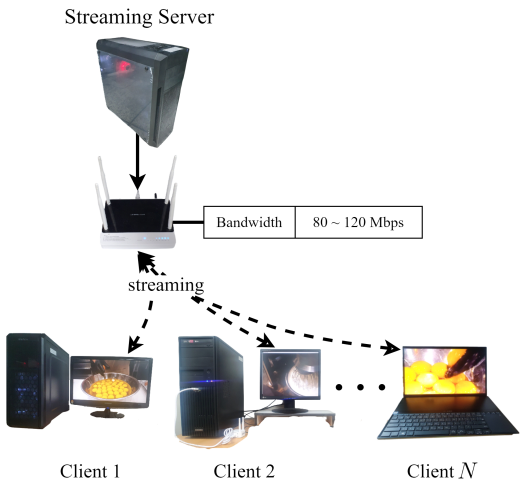


Fig. 1 The architecture of the testbed for a video streaming system using XC

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

식 (1)에서 α는 Zipf 분포 파라미터이며 $\alpha=0$이면 uniform 분포가 된다. 클라이언트들은 무선근거리통신망 (Wireless Local Area Network: WLAN)으로 라우터와 연결되며, 서버는 유선 이더넷으로 라우터와 연결된다. WLAN은 IEEE802.11n 시스템을 사용하며, 대역폭은 40MHz 이고 최대 전송속도는 300Mbps 이다. 유선 이더넷은 IEEE802.3 100Base-T 규격을 지원하며 최대 전송 속도는 100Mbps이다.

테스트베드에서 사용하는 모든 비디오의 파일 형식은 낮은 용량으로도 비교적 높은 품질을 보장하고 인터넷을 통한 스트리밍에 널리 이용되고 있는 mp4이다 [12, 13]. mp4 파일은 ftyp, moov, mdat라는 3개의 박스로 구성되며 헤더로 불리는 ftyp와 moov에 오류가 있을 경우 정상적 재생이 불가능하다. 따라서, 헤더는 데이터 전송의 신뢰성 보장을 위해서 재전송이 지원되는 TCP (Transmission Control Protocol)로 전송되며, mdat는 실시간 전송을 위해서 데이터 전송의 신뢰성이 보장되지 않는 UDP(User Datagram Protocol)로 전송된다. 본 논문에서는 기존의 스트리밍 시스템에서는 지원되지 않는 새로운 XC 기반 스트리밍 기술을 구현하기 위해서 두 개의 새로운 제어 메시지를 정의한다. STR_REQ_MSG (SRM)는 각 클라이언트가 스트리밍 서버로 비디오 스트리밍을 요청하기 위해서 전송하는 메시지이며, 표 1에서 보는 바와 같이 클라이언트가 요청하는 비디오 정보를 나타내는 r_n과 클라이언트가 캐싱하고 있는 비디오들의 정보를 나타내는 C_n으로 구성된다.

Table. 1 Information elements of STR_REQ_MSG transmitted by client n

Field	Data Type	Value
Request Video	string	r_n
Caching Video	list	C_n

그리고, STR_CON_MSG (SCM)는 서버가 클라이언트들의 스트리밍을 제어하기 위해 전송하는 제어 메시지이며, 표 2와 같이 Type, Addr, Data_Size, Num_of_Enc _Video, XC_Group, Start_Indices의 6개의 정보로 구성된다. Type은 스트리밍 방식을 나타내며, Addr은 IP와 포트 정보가 결합된 튜플이다. $Addr_n$은 클라이언트 n의 주소이고 $Addr_{XC}$는 XC용 주소를 의미한다.

Table. 2 Information elements of STR_CON_MSG

Fields	Data Type	Value
Type	string	UC or XC
Addr	tuple	$Addr_n$ or $Addr_{XC}$
Data_Info	tuple	(data_size, num_of _packets)
Enc_Videos	list	$[r_i \mid i \in G_{XC}]$
Num_of_Enc_Videos	int	$\mid G_{XC} \mid$
Start_Indices	list	$[P_{r_i} \mid i \in G_{XC}]$

Data_Info는 스트리밍할 데이터의 바이트와 패킷의 개수를 각각 나타내는 data_size와 num_of_packets으로 구성된 튜플이다. 클라이언트 n의 Type이 XC일 때, 클라이언트 n과 같이 XC 스트리밍으로 데이터를 수신하는 클라이언트들의 모임을 G_{XC}라고 정의한다. Enc_Videos는 클라이언트 n의 Type이 XC일 때, G_{XC}에 포함된 클라이언트들이 요청한 비디오들의 집합을 나타내며 이들은 모두 XOR로 인코딩된다. Type이 UC이면 G_{XC}는 공집합이 된다. Num_of_Enc_Videos는 r_n과 같이 배타적 논리합으로 인코딩된 비디오의 개수를 나타내며, $\mid G_{XC} \mid$으로 구해진다. Start_Indices는 Enc_Videos에 포함된 각각의 비디오 데이터의 인코딩 시작 시점에 대한 바이트 단위의 정보인 P_j을 포함하고 있다. P_j의 최소값은 비디오 j의 헤더 부분인 ftyp과 moov의 길이이며, 최대 값은 비디오 j의 ftyp, moov, 그리고 mdat의 합과 같다.

그림 2는 위에서 정의한 SRM과 SCM을 이용하여 구현한 XC 스트리밍 시스템의 동작 순서도를 나타낸다. 먼저, 임의의 클라이언트 n은 스트리밍 서비스 제어 메시지 전송을 위한 TCP 연결을 서버와 설정한다. 식 (1)에서 정의한 Zipf 분포에 따라서 스트리밍 받을 비디오 r_n을 생성한다. 만약 $r_n \in C_n$이면, 클라이언트 n은 서버로 SRM을 전송하지 않고 자신의 캐시에 저장된 r_n을 자체적으로 재생하며 이를 Local Cast (LC)라고 한다. $r_n \notin C_n$이면, 서버로 SRM을 전송한다. 클라이언트 n으로부터 SRM 메시지를 수신한 서버는 현재 전송 중인 다른 클라이언트들을 포함하여 XC 가능 여부 및 XC 그

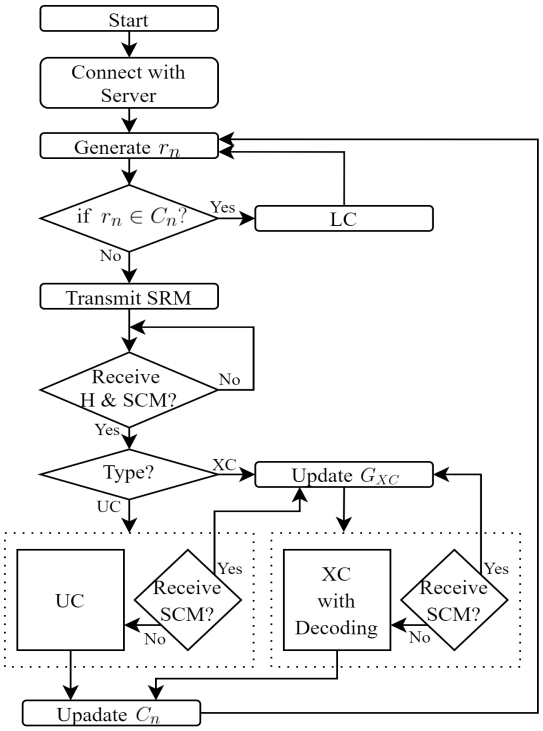


Fig. 2 Flowchart for clients in the XC streaming system

룹 생성을 위한 알고리즘을 실행하여 클라이언트 n의 스트리밍을 위한 Type을 결정하고 이를 포함한 SCM을 생성한다 [10, 11]. 이때, 클라이언트 n의 스트리밍 Type이 UC로 결정되면 클라이언트 n에게만 헤더와 SCM을 전송하며, Type이 XC로 결정되면 클라이언트 n과 같이 XC 스트리밍 서비스를 수신할 G_{XC}에 속한 모든 클라이언트들에게 SCM을 전송한다. 헤더와 SCM은 초기에 설정한 TCP 연결을 통해서 전송된다. SCM 전송 후 서버는 스트리밍을 위한 UDP 연결을 생성한다. Type이 UC이면 r_n을 UDP로 스트리밍하는 반면, Type이 XC인 경우에는 Enc_Videos에 포함된 모든 비디오들을 배타적 논리합으로 인코딩 후 $Addr_{XC}$로 스트리밍한다. 만약, 클라이언트 n이 UC로 스트리밍 서비스를 수신하는 동안 다른 클라이언트와의 XC가 가능한 경우에 서버는 네트워크 효율성 향상을 위해서 클라이언트 n으로 SCM을 전송하여 Type을 UC에서 XC로 변경할 수 있다. 또한, 클라이언트 n이 XC로 스트리밍 서비스를 수신하는 동안 G_{XC}의 구성이 변경되는 경우 서버는 역시 해당 클라이언트들에게 SCM을 전송하여 배타적 논리합 인코딩 정보의 변경을 통보하며, 해당 클라이언트들은 SCM을 통해서 수신한 비디오 데이터의 디코딩을 수행한다. 스트리밍 도중에 새로운 SCM이 수신되면 기존의 UDP 연결을 끊고 새로운 XC를 위해 G_{XC}에 기반의 새로운 UDP 연결을 생성한다. 이를 위해서 각 클라이언트들은 비디오 스트리밍 수신 프로세스와 제어 메시지 수신 프로세스를 동시에 수행하며 그림 2에서 점선 사각형으로 표시되어 있다. 반면에, XC에서 UC로 변경이 필요한 경우에는 별도의 절차 없이 기존의 XC용 멀티캐스트 연결로 서비스를 완료한다.

클라이언트 n은 r_n의 스트리밍이 종료되면 r_n을 first-in-first-out (FIFO) 정책에 따라서 자신의 캐시인 C_n에 업데이트하고 새로운 비디오 스트리밍 절차를 진행한다.

Ⅲ. 성능 분석

이 장에서는 Ⅱ장에서 구현한 시스템을 이용하여 XC 스트리밍 방식의 성능을 실제 환경에서 측정하고, 기존 스트리밍 방식의 성능과 비교한다. V와 N은 각각 전체 스트리밍 비디오의 개수와 클라이언트들의 개수를 나타내며, 본 논문에서는 각각 100과 30으로 설정하였다. 성능 측정을 위해서 사용한 100개의 스트리밍용 비디오들은 high definition (HD)와 full high definition (FHD) 두 종류로 구성되어 있으며, 초당 프레임율은 30으로 모두 동일하며 재생 시간은 300초 또는 700초이다. 표 3은 스트리밍용 비디오들의 세부 구성 정보를 나타낸다.

Table. 3 Parameters of streaming videos

Type	Resolution	Frame rate [fps]	Play time [sec]	Number
HD	1280*720	30	300	25
			700	25
FHD	1920*1080		300	25
			700	25

모든 클라이언트들은 C개의 비디오를 저장할 수 있는 캐시를 보유하고 있다. Zipf 분포 파라미터 α는 1로 가정하였다. 성능 측정을 위한 실험은 20,000초 동안 진행되었으며 초기 시스템의 불안정성을 고려하여 초기의 5000초 동안의 데이터는 성능 분석에 포함하지 않았다.

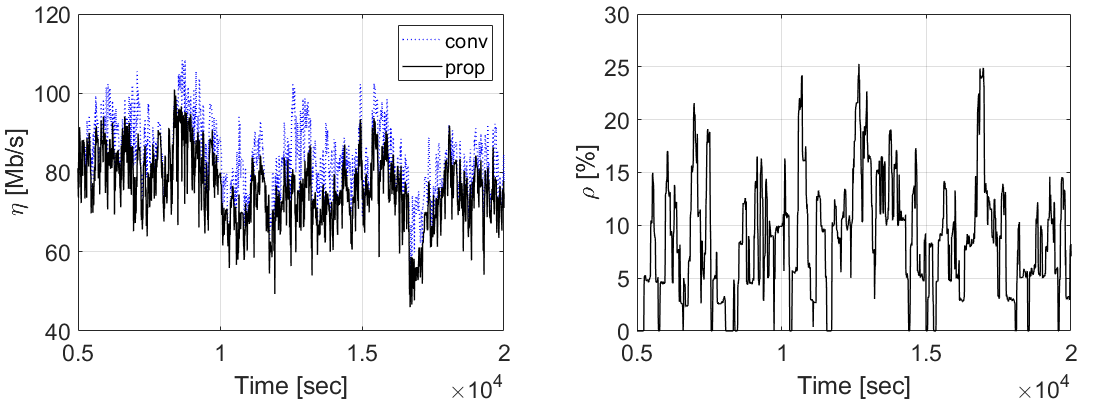
10초마다 서버에서 전송한 총 데이터량을 이용하여 데이터 전송률 η를 기록하였으며, η_{prop}와 η_{conv}는 각각 XC 스트리밍 방식과 기존 스트리밍 방식의 데이터 전송률을 나타낸다. 데이터 전송률이 낮을수록 동일한 비디오 스트리밍을 낮은 네트워크 대역폭으로 제공할 수 있음을 나타내며, 기존 스트리밍 방식 대비 제안된 XC 스트리밍 방식의 성능 향상률 ρ를 식 (2)와 같이 정의한다.

$$\rho = \frac{\eta_{\text{conv}} - \eta_{\text{prop}}}{\eta_{\text{conv}}} \tag{2}$$

그림 3은 5,000초부터 20,000초까지 측정한 XC 스트리밍 방식과 기존 스트리밍 방식의 데이터 전송률과 XC 스트리밍 방식의 기존 방식 대비 성능 향상률을 나타낸다. 그림 3-(a)에서 XC 스트리밍 방식은 기존 스트리밍 방식보다 항상 낮은 데이터 전송률을 나타내며 네트워크 대역폭 절감 효과를 확인할 수 있다. 그림 3-(b)는 식 (2)에서 정의한 기존 방식 대비 XC 스트리밍 방식의 성능 향상률 ρ를 나타낸다. XC 스트리밍 방식은 기존 방식 대비 최대 약 25% 네트워크 대역폭을 절감할 수 있으며 평균적으로 약 8.6%의 네트워크 대역폭 절감 효과를 보여준다. 그림 4-(a)는 식 (3)에서 정의된 두 스트리밍 방식에 대한 데이터 전송률의 cumulative distribution function (CDF)를 나타낸다.

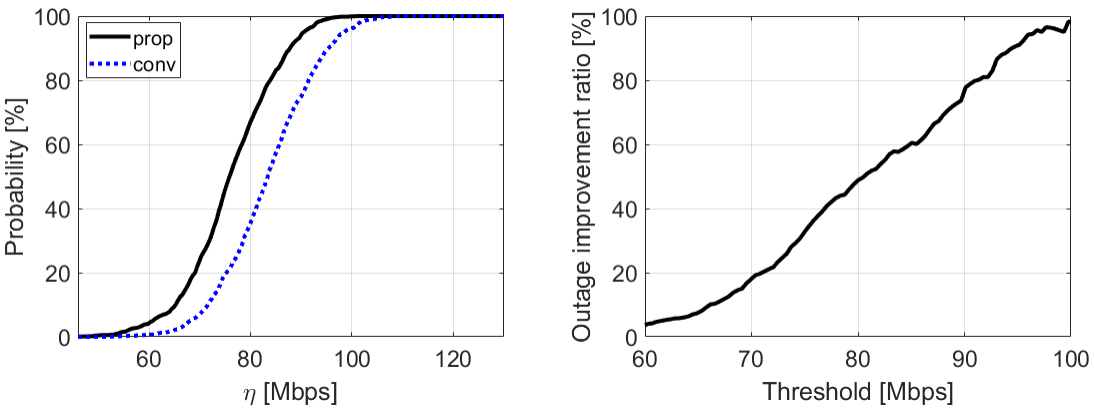
$$F_{\text{prop}}(\eta) = \Pr[\eta_{\text{prop}} < \eta], \quad F_{\text{conv}}(\eta) = \Pr[\eta_{\text{conv}} < \eta] \tag{3}$$

XC 스트리밍 방식은 기존 방식보다 항상 낮은 데이터



(a) Data rates (b) Performance improvement ratio of the XC streaming scheme

Fig. 3 Data rates of the XC and conventional streaming schemes and performance improvement of the XC streaming scheme compared to the conventional streaming scheme. $V = 100$, $N = 30$, $C = 10$, $\alpha = 1$.



(a) CDF of data rates (b) Outage improvement ratio of the XC streaming scheme

Fig. 4 CDF of data rates for two streaming schemes and outage improvement ratio of the XC streaming scheme compared to the conventional scheme. $V = 100$, $N = 30$, $C = 10$, $\alpha = 1$.

전송률을 보인다. 구체적으로, XC 스트리밍 방식과 기존 방식은 50%의 확률로 각각 75Mbps와 84Mpbs의 데이터 전송률을 나타내며, XC 스트리밍 방식이 약 11% 낮은 데이터 전송률을 보여준다. 만약 스트리밍 서비스가 진행되는 동안 데이터 전송률이 네트워크의 용량을 초과할 경우 스트리밍 서비스에 아웃티지(outage) 상황이 발생할 수 있다. 네트워크 용량을 Γ라고 할 때, 두 방식의 아웃티지 확률은 식 (4)와 같이 계산될 수 있다.

$$P_{\text{prop}}^{\text{out}}(\Gamma) = \Pr[\eta_{\text{prop}} > \Gamma] = 1 - F_{\text{prop}}(\Gamma) \quad (4)$$

$$P_{\text{conv}}^{\text{out}}(\Gamma) = \Pr[\eta_{\text{conv}} > \Gamma] = 1 - F_{\text{conv}}(\Gamma)$$

그리고, 기존 방식 대비 XC 방식의 아웃티지 확률 개선율은 $\left(P_{\text{conv}}^{\text{out}}(\Gamma) - P_{\text{prop}}^{\text{out}}(\Gamma)\right) / P_{\text{conv}}^{\text{out}}(\Gamma)$로 계산될 수 있으며, 그림 4-(b)에서 보여진다. 그림 4-(b)에서 네트워크 용량이 90Mbps일 경우, XC 스트리밍 방식과 기존 방식의 아웃티지 확률이 각각 6%와 25%이며, XC 스트리밍 방식이 기존 방식의 아웃티지 확률을 약 76% 낮출 수 있음을 보여준다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 배타적 논리합을 이용한 비디오 스트리밍 기술인 XC 시스템을 구현하여 그 실현 가능성을 검증하였다. 기존의 이론적 연구와 달리 구현한 XC 시스템은 복수의 클라이언트들이 임의의 시점에 다양한 비디오 컨텐츠를 수신할 수 있는 일반적인 상황을 지원한다. 그리고, 컴퓨터 시뮬레이션 대신 구현한 XC 시스템을 이용하여 WLAN 환경에서 비디오 스트리밍의 성능을 측정하고 이를 기존 비디오 스트리밍 시스템과 비교하여 성능 향상률을 분석하였다. 성능 측정 결과에 따르면, XC 시스템은 기존 방식 대비 소비하는 네트워크 대역폭을 평균적으로는 8.6%, 최대 약 25%까지 줄일 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(Ministry of Education) (No. 2020R1I1A3061195).

REFERENCES

[1] Cisco, “Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic ForecastUpdate, 2018 – 2023,” Cisco, Technical Report C11-741490-01, 2020.

[2] J. H. Jahng and S. K. Park, “Mobile Traffic Trends,” *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 34, no. 3, pp. 106-113, Jun. 2019.

[3] P. Yang, N. Zhang, S. Zhang, L. Yu, J. Zhang, and X. Shen, “Content Popularity Prediction Towards Location-Aware Mobile Edge Caching,” *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 21, no. 4, pp. 915-929, Apr. 2019.

[4] N. Golrezaei, K. Shanmugam, A. G. Dimakis, A. F. Molisch, and G. Caire, “Wireless video content delivery through coded distributed caching,” in *Proceeding IEEE International Conference on Communications*, Ottawa: ON, Canada, 2012

[5] T. W. Ban, S. H. Kim, J. Y. Ryu, and W. S. Lee, “Performance analysis of private multimedia caching network based on wireless local area network,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 8, pp. 1486-1491, Aug. 2017.

[6] N. Golrezaei, P. Mansourifard, A. F. Molisch, and A. G. Dimakis, “Base-station assisted device-to-device communications for high-throughput wireless video networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 13, no. 7, pp. 3665-3676, Jul. 2014.

[7] L. Zheng, Z. Wang, Q. Yan, Q. Chen, and X. Tang, "On the coded caching based wireless video transmission scheme," in *2016 IEEE/CIC International Conference on Communications in China*, Chengdu, China, pp. 1-6, 2016.

[8] D. Zhao, J. Yin, K. Qiao, and I. Raicu, “Virtual chunks: On supporting random accesses to scientific data in compressible storage systems,” in *2014 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Washington: DC, USA, pp. 231-240, 2014.

[9] S. Di and F. Cappello, "Optimization of Error-Bounded Lossy Compression for Hard-to-Compress HPC Data,"

IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 29, no. 1, pp. 129-143, Jan. 2018.

[10] 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.

[11] J. M. Lee, Y. S. Kim, J. Y. Ryu, and T. W. Ban, "A Transmission Scheme For Video Streaming Based on Exclusive OR," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 24, no. 10, pp. 1312-1318, Oct. 2020.

[12] F. Nikolaus, D. Stefan, and I. Jochen, "Adaptive progressive download based on the MPEG-4 file format," *Jornal of Zhejiang University-SCIENCE A*, vol. 7, pp. 106-111, Apr. 2006.

[13] M. A. R. Mustafa, M. M. Elahi, M. A. Hossain, and M. M. Islam, "Comparative performance analysis of MPEG4, FLV and 3GP multimedia file formats using wireless network parameters," in *2010 13th International Conference on Computer and Information Technology*, Dhaka, Bangladesh, pp. 306-311, 2010.

이정민(Jeong-Min Lee)

2021년 8월 경상대학교 정보통신공학과 학사
2021년 9월 ~ 현재 경상국립대학교 정보통신공학과 석사과정
※관심분야 : 이동통신, 머신러닝, 영상처리

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 경상국립대학교 지능형통신공학과 교수
※관심분야 : 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유, 차세대 이동통신 시스템