

수신단 캐싱을 활용한 적응형 비디오 스트리밍 시스템

김유신¹ · 정무웅² · 신재민¹ · 류종열³ · 반태원^{3*}

Adaptive Video Streaming System Using Receiver Caching

Yu-Sin Kim¹ · Moo-Woong Jeong² · Jae Min Shin¹ · Jong Yeol Ryu³ · Tae-Won Ban^{3*}

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

²Ph.D. student, Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 53064 Korea

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

요 약

최근, 비디오 스트리밍에 대한 수요가 급증함에 따라서 무선 자원의 효율성을 높일 수 있는 스트리밍 기법에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 무선 네트워크에서 수신단 캐싱 기능을 활용하여 비디오 스트리밍의 전송 효율을 획기적으로 개선할 수 있는 적응형 비디오 스트리밍 기법을 제안한다. 두 클라이언트가 동시에 동일한 비디오를 요청하는 경우에만 브로드캐스팅 기법으로 비디오 데이터를 전송할 수 있는 기존 방식과 달리, 제안 방식은 두 클라이언트들이 서로 다른 비디오를 요청하는 경우에도 각 클라이언트의 캐싱 정보가 특정 조건을 만족하면 브로드캐스트 기법으로 비디오를 전송할 수 있다. 본 논문에서는, 수학적 분석을 통하여 제안 방식의 평균 전송 시간을 분석하고 그 근사치를 제시한다. 또한, 다양한 시뮬레이션을 통하여 수학적 분석의 정확성을 검증한다. 수학적 분석과 시뮬레이션 결과에 따르면, 제안 방식은 기존 방식 대비 평균 전송 시간을 획기적으로 감소시킬 수 있다.

ABSTRACT

As the demand for video streaming has been rapidly increasing recently, video streaming schemes for increasing the efficiency of radio resource has attracted a lot of attention. In this paper, we propose an adaptive video streaming scheme to enhance the efficiency of video streaming by using receivers' caching capability. The proposed streaming scheme can transmit video data on a broadcast basis even when two clients request different video data, only if specific conditions satisfied, while existing schemes can only transmit video data on a broadcast basis only when two clients request the same video data. In this paper, we mathematically derive the average transmission time of the proposed scheme and the approximation of the average transmission time. The accuracy of the mathematical analysis is verified by simulations. Mathematical analysis and simulation results show that the proposed scheme can significantly reduce the average transmission time, compared to the existing scheme.

키워드 : 비디오 스트리밍, 브로드캐스트, 멀티캐스트, 유니캐스트, XOR 코딩

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

Received 3 June 2019, Revised 4 June 2019, Accepted 12 June 2019

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

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

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.7.837>

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 비디오 스트리밍을 지원하는 다양한 플랫폼이 활성화되면서 비디오 스트리밍 트래픽이 급격히 증가하고 있으며, 2022년에는 전세계 인터넷 트래픽의 82%를 차지할 것으로 예상된다 [1,2]. 비디오 스트리밍 서비스는 점대점 방식의 유니캐스트 (Unicast: UC) 전송 방식을 주로 사용하고 있지만, 파일 요청이 증가함에 따라서 전송 시간이 길어지고 많은 대역폭을 요구한다. 브로드캐스트 (Broadcast: BC) 전송 방식은 한 번에 다수의 클라이언트들에게 데이터를 동시에 전송함으로써 전송 효율을 높일 수 있지만, 수신 클라이언트들이 요청한 데이터들이 모두 같아야 되는 매우 한정적인 조건에서만 동작한다 [3]. 따라서, 비디오 트래픽을 효율적으로 수용하기 위해서 통신 네트워크의 전송 용량을 높이기 위한 기술 개발과 함께 비디오 스트리밍의 효율성을 개선할 수 있는 다양한 방법들에 대한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다 [4-17]. 통신 시스템의 암호화 등에 널리 활용되고 있는 배타적 논리합 (Exclusive OR: XOR) 연산은 계산과정과 본래의 데이터로 복구하는 것이 간단하면서 효율적인 압축률을 가지고 있다 [4,5]. 이러한 특성을 활용하여 무선 통신 시스템에서 오류 패킷의 재전송 시 XOR 코딩을 이용함으로써 전송 효율성을 개선할 수 있는 기법들이 제안되었다 [6-8].

본 논문에서는 XOR 코딩을 활용하여 비디오 스트리밍의 전송 효율성을 획기적으로 개선할 수 있는 시스템에 대하여 연구한다. 이러한 XOR 코딩을 비디오 스트리밍 서비스에 접목하기 위해서는, 각 클라이언트들이 사전에 저장된 비디오 데이터를 활용하여 XOR 코딩된 데이터를 복구하여야 하므로 수신 캐싱 기술이 필수불가결하다. 캐싱 기술은 비디오 스트리밍 서비스의 품질 개선을 위하여 연구되었다 [9-14]. 캐싱은 스트리밍 서버와 클라이언트 중간에 캐싱 서버를 배치하는 송신단 캐싱 [9,10]과 수신 클라이언트의 저장 공간에 비디오 데이터를 저장하는 수신단 캐싱으로 구분될 수 있다 [11-14]. 논문 [15]은 수신 캐싱 기술을 이용하여 서버에 저장되어 있는 모든 비디오의 패킷 일부를 각 클라이언트들에게 미리 분배하고, XOR 코딩을 이용하여 다수의 클라이언트들에게 비디오 파일을 동시에 전송하는 방식에 대하여 연구하였지만, 모든 클라이언트들이 서로 다른 파일을 요청하는 경우만을 고려하였다. 비디오 스

트리밍은 일부 인기 있는 파일에 집중되기 때문에 현실적으로 모든 클라이언트들이 서로 다른 비디오를 요청할 확률은 낮다.

따라서 본 논문에서는 무선 네트워크에서 수신 캐싱 기능과 XOR 코딩을 활용하여 비디오 스트리밍의 전송 효율을 획기적으로 개선할 수 있는 적응형 비디오 스트리밍 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 클라이언트들의 수신단 캐싱 정보를 활용하여 클라이언트들이 서로 다른 비디오의 스트리밍을 요청하는 경우에도 특정 조건을 만족할 경우에는 XOR 코딩 기반의 브로드캐스트 (Exclusive OR-based broadcast: XBC) 기법으로 데이터를 전송할 뿐만 아니라, 기존의 UC와 BC도 동시에 활용하는 적응형 비디오 스트리밍 시스템이다. 수학적 해석을 통하여 평균 전송 시간을 분석하고 이에 대한 근사치들을 제시하였으며, 다양한 시뮬레이션들을 통해서 수학적 해석의 정확성을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 수신 캐싱 기반 무선 근거리 통신망에서 XOR 코딩 기반 비디오 스트리밍 시스템에 대하여 설명한다. 3장에서는 조건에 따라서 전송 방식을 다르게 선택하는 적응형 비디오 스트리밍 프로토콜에 대하여 설명하고, 각 전송 방식의 확률을 수학적으로 구하고 이를 이용하여 제안 방식의 평균 전송 시간을 수학적 해석을 통하여 분석한다. 그리고 평균 전송 시간에 대한 근사치 또한 제시한다. 4장에서는 앞서 제시된 평균 전송 시간에 대한 근사치의 정확성을 보이고, 제안된 적응형 비디오 스트리밍 시스템의 성능을 평균 전송 시간 측면에서 분석하고 기존 비디오 스트리밍 시스템의 성능과 비교하였다. 마지막으로, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. XOR 코딩 기반 비디오 스트리밍 시스템

본 논문에서는 수신 캐싱 기반 무선 근거리 통신망 (Wireless local area network: WLAN) 기반 비디오 스트리밍 네트워크를 고려한다 [11]. 근거리 통신망내의 스트리밍 서버는 사용자들의 선호도가 높은 비디오 파일을 선택적으로 저장한다. 클라이언트들로부터 비디오s 전송 요청을 수신한 캐싱 서버는 해당 비디오의 캐싱 여부를 먼저 확인한다. 해당 비디오가 캐싱 서버의 저장 장치에 캐싱되어 있는 경우 직접 클라이언트에게 비디오

오를 전송하며, 그렇지 않은 경우 외부의 비디오 서버로 요청 메시지를 전달하여 클라이언트가 정상적으로 비디오 스트리밍 서비스를 받을 수 있도록 한다. 본 논문에서는 [11]에서와 달리, 각 클라이언트들은 저장 장치에 자신이 수신한 비디오 파일을 저장하여 수신단 캐싱 기능을 수행한다. 본 논문에서 제안하는 스트리밍 시스템은 각 클라이언트에 저장되어 있는 파일의 정보를 바탕으로 다수의 클라이언트들에게 XOR 인코딩된 파일을 브로드캐스트 (XBC)하여 전송하는 데이터의 양을 줄임으로써 전송 효율성을 높일 수 있다. 예를 들어, 두 클라이언트 1과 2는 비디오 파일 B와 A를 각자의 저장 장치에 저장하고 있으며, 캐싱 서버에 비디오 파일 A와 B의 스트리밍을 요청하는 경우를 고려해보자. 이 경우, 캐싱 서버는 각각의 클라이언트에 UC로 비디오를 전송하지 않고, 비디오 파일 A와 B를 XOR하여 $A \oplus B$ 를 XBC로 전송한다. 클라이언트 1은 식 (1)과 같이 수신한 $A \oplus B$ 와 자신이 저장하고 있는 파일 B를 XOR하여 파일 A를 복구하고, 클라이언트 2도 유사하게 파일 B를 복구할 수 있다.

$$(A \oplus B) \oplus B = A \oplus (B \oplus B) = A \oplus 0 = A \quad (1)$$

III. 적응형 비디오 스트리밍 프로토콜

그림 1은 본 논문에서 제안하는 수신단 캐싱 기반 적응형 스트리밍 프로토콜의 흐름도를 나타낸다. 제안 방식의 성능 검증을 위하여 간단하게 2개의 클라이언트를 가정하고 있지만, 제안 방식은 3개 이상의 클라이언트들이 존재하는 경우에도 동일하게 적용될 수 있다. 캐싱 서버는 V 개의 비디오 파일을 캐싱하고 있으며, 클라이언트 1과 2는 모두 C 개의 비디오 파일을 캐싱하고 있으며, $V > C$ 를 만족한다. 각 클라이언트 $n \in \{1, 2\}$ 이 저장 장치에 캐싱하고 있는 비디오 파일의 집합과 캐싱 서버로 스트리밍을 요청하는 비디오 파일을 각각 cv_n 과 rv_n 이라고 정의한다. 각 클라이언트들은 자신이 저장하고 있지 않은 비디오 파일의 스트리밍을 캐싱 서버로 요청하므로 $rv_n \notin cv_n$ 을 만족한다고 가정한다. 만약 $rv_1 = rv_2$ 이면, 두 클라이언트가 스트리밍을 요청한 파일이 동일하므로 BC로 비디오를 스트리밍 한다. $rv_1 \neq$

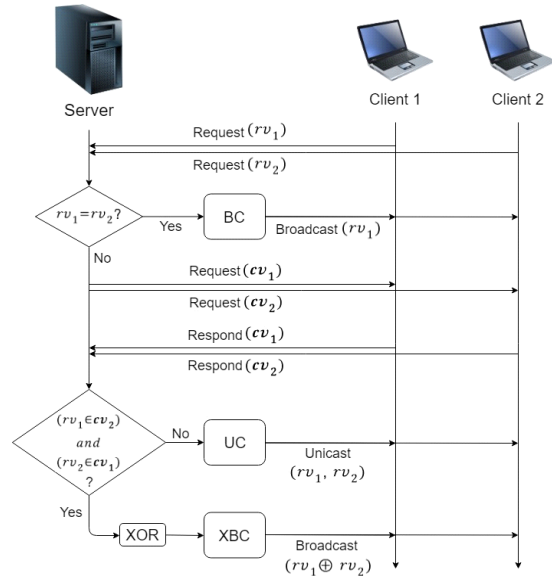


Fig. 1 Flow chart of proposed adaptive video streaming protocol.

rv_2 이면, 캐싱 서버는 각 클라이언트가 캐싱하고 있는 비디오 파일의 집합 cv_n 의 전송을 요청하고 클라이언트들은 cv_n 을 캐싱 서버로 전송한다. 클라이언트 1번의 저장 공간에 클라이언트 2번이 스트리밍을 요청하는 파일 (rv_2)을 저장하고 있고 클라이언트 2번의 저장 공간에 클라이언트 1번이 스트리밍을 요청하는 파일 (rv_1)을 저장하고 있으면 캐싱 서버는 XBC로 스트리밍한다. 즉, 캐싱 서버가 XBC로 스트리밍할 수 있는 조건은 다음과 같다.

$$(rv_1 \neq rv_2) \text{ and } (rv_1 \in cv_2 \text{ and } rv_2 \in cv_1) \quad (2)$$

마지막으로, 캐싱 서버가 UC로 비디오를 스트리밍하는 조건은 다음과 같이 정의된다.

$$(rv_1 \neq rv_2) \text{ and } (rv_1 \notin cv_2 \text{ or } rv_2 \notin cv_1) \quad (3)$$

클라이언트들이 각 비디오 파일을 균일 분포(uniform distribution)로 저장하고 있다고 가정하면, 캐싱 서버가 두 클라이언트에게 BC로 비디오를 스트리밍 하는 확률 p_{BC} 는 식 (4)와 같이 계산되고,

$$p_{BC} = \Pr[rv_1 = rv_2] = \frac{V}{V^2} = \frac{1}{V} \quad (4)$$

두 클라이언트들이 XBC로 동시에 스트리밍을 받을 확률 p_{XBC} 는 식 (5)와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} p_{XBC} &= \Pr[rv_1 \neq rv_2 \text{ and} \\ &\quad rv_1 \in \mathbf{cv}_2 \text{ and } rv_2 \in \mathbf{cv}_1] \\ &= (1 - \Pr[rv_1 = rv_2]) \times \Pr[rv_1 \in \mathbf{cv}_2] \\ &\quad \times \Pr[rv_2 \in \mathbf{cv}_1] \\ &= \left(1 - \frac{1}{V}\right) \times \left(\frac{C}{V-1}\right) \times \left(\frac{C}{V-1}\right) \\ &= \frac{C^2}{V(V-1)} \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 두 번째 등호는 각 사건이 상호 독립이고 $rv_n \notin \mathbf{cv}_n$ 이므로 성립한다. 캐싱 서버가 두 클라이언트들에게 UC로 비디오를 스트리밍할 확률 p_{UC} 는 식 (6)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} p_{UC} &= \Pr[rv_1 \neq rv_2 \text{ and} \\ &\quad (rv_1 \notin \mathbf{cv}_2 \text{ or } rv_2 \notin \mathbf{cv}_1)] \\ &= (1 - \Pr[rv_1 = rv_2]) \\ &\quad \times (1 - \Pr[rv_1 \in \mathbf{cv}_2 \text{ and } rv_2 \in \mathbf{cv}_1]) \\ &= \frac{V-1}{V} \times \left(1 - \left(\frac{C}{V-1}\right)^2\right) \\ &= \frac{(V+C-1)(V-C-1)}{V(V-1)} \end{aligned} \quad (6)$$

세 가지의 서로 다른 스트리밍 방식의 효율성을 비디오 파일의 전송 시간 측면에서 평가하기 위하여 다음과 같이 특정 비디오 파일의 스트리밍에 필요한 시간 t_v 를 다음과 같이 정의한다.

$$t_v = \begin{cases} T_p[s], & R \leq r \\ \frac{R[MB/s] \times T_p[s]}{r[MB/s]}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

여기서, $r[MB/s]$ 은 채널이 지원 가능한 최대 전송 속도를 나타내며, $R[MB/s]$ 은 파일 사이즈가 $F[MB]$ 이고 총 재생 시간이 $T_p[s]$ 인 동영상을 원활히 재생하기 위하여 필요한 최소 전송 속도를 나타내며, $F = R \times T_p$ 가 항상 성립된다. 일반적인 파일 전송과 달리 비디오 스트리밍의 특성상 채널에서 R 이상의 데이터 전송 속도가 지원되더라도 비디오를 시청하기 위해서 T_p 의 시간이 필요하며, 채널의 데이터 전송 속도가 R 보다 작은 경우 버퍼링으로 인해 총 재생 시간은 T_p 보다 커지게 된다. BC, UC, 그리고 XBC를 통해서 비디오를 스트리밍 할 경우의 총 소요 시간은 각각 다음과 같이 결정될 수 있다.

$$t_{BC} = t_v \quad (8)$$

$$t_{UC} = 2t_v \quad (9)$$

$$t_{XBC} = t_v + 2t_{proc} \quad (10)$$

여기서, t_{proc} 는 XOR 인코딩을 위하여 필요한 처리 시간을 나타낸다. 식 (10)의 경우, 서버 측에서 XOR 인코딩을 한 후 클라이언트 측에서 XOR 디코딩을 해야 하므로 2번의 t_{proc} 가 소요된다.

마지막으로, 식 (4)~(6)과 (8)~(10)을 이용하여 본 논문에서 제안하는 적응형 비디오 스트리밍에 소요되는 평균 시간을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tau_{avg}^{Prop} &= \sum_{i \in \{UC, BC, XBC\}} t_i p_i \\ &= t_{UC} p_{UC} + t_{BC} p_{BC} + t_{XBC} p_{XBC} \\ &= \left(\frac{1}{V} + \frac{2(V+C-1)(V-C-1) + C^2}{V(V-1)}\right) t_v \\ &\quad + \frac{2C^2}{V(V-1)} t_{proc} \\ &= \left(2 - \frac{1}{V} - \frac{C^2}{V(V-1)}\right) t_v + \frac{2C^2}{V(V-1)} t_{proc} \end{aligned} \quad (11)$$

일반적으로 $V \gg 1$ 이며 $V^2 \gg V$ 이므로, 식 (11)은 식 (12)와 같이 근사화 될 수 있다.

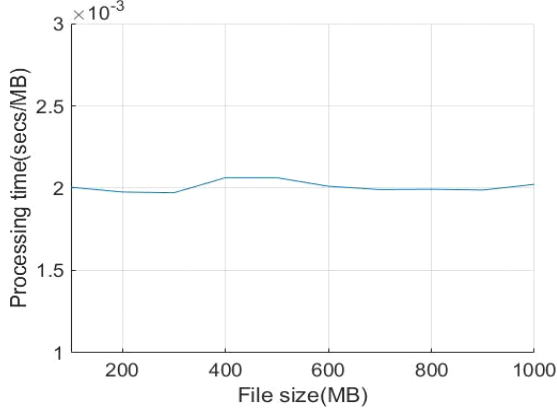


Fig. 2 Processing time of XOR encodings for various file sizes.

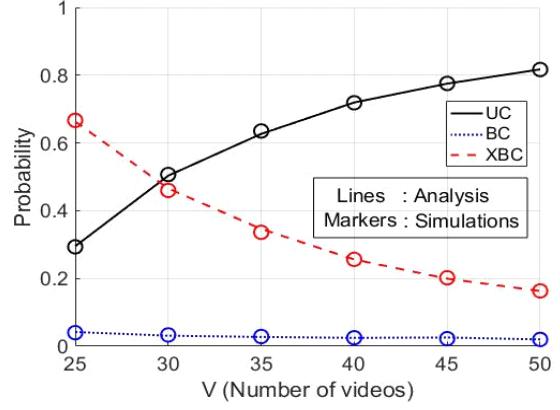


Fig. 3 Analysis and simulation of probabilities p_{UC} , p_{UC} , p_{XBC} for various values of V . $r = 100$, $C = 20$

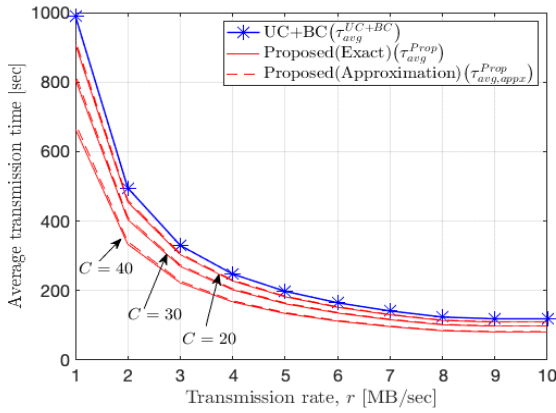


Fig. 4 Average transmission time of the proposed adaptive streaming scheme for various values of r . $F = 500\text{MB}$, $T_p = 60\text{s}$, $V = 50$, $C = 20, 30$, or 40

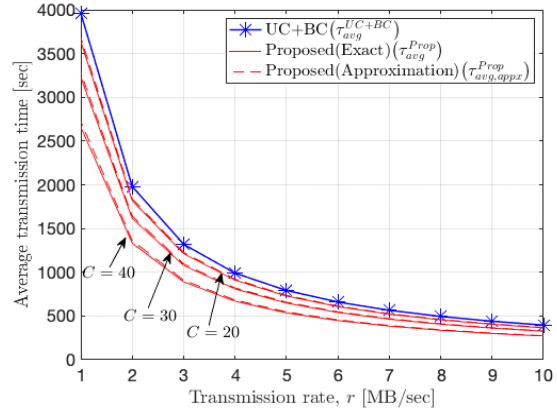


Fig. 5 Average transmission time of the proposed adaptive streaming scheme for various values of r . $F = 2000\text{MB}$, $T_p = 60\text{s}$, $V = 50$, $C = 20, 30$, or 40

$$\begin{aligned} \tau_{\text{avg}}^{\text{Prop}} &\approx \left(2 - \left(\frac{C}{V}\right)^2\right)t_v + 2\left(\frac{C}{V}\right)^2 t_{\text{proc}} \\ &= (2 - \rho^2)t_v + 2\rho^2 t_{\text{proc}} \\ &= \tau_{\text{avg,appx}}^{\text{Prop}} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 ρ 는 $\frac{C}{V}$ 로 정의되며, 제안 방식의 평균 전송 시간은 근사적으로 C 와 V 의 비율인 ρ 에 의해서 결정됨을 확인할 수 있다.

반면에, XBC없이 비디오를 스트리밍 할 경우에는 $rv_1 = rv_2$ 이면 BC를 통해서 $rv_1 \neq rv_2$ 이면 UC를 통해서 서비스가 제공되므로 평균 전송 시간 $\tau_{\text{avg}}^{\text{UC+BC}}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\tau_{\text{avg}}^{\text{UC+BC}} = \left(\frac{1}{V}\right)t_v + \left(\frac{V-1}{V}\right) \times 2t_v = \left(\frac{2V-1}{V}\right)t_v \quad (13)$$

IV. 성능 분석 결과

XBC를 통해서 비디오를 스트리밍하기 위해서는 XOR 인코딩과 디코딩을 위한 추가적인 처리 시간 $2t_{proc}$ 이 소요된다. 그림 2는 다양한 비디오 파일의 XOR 인코딩에 소요되는 단위 사이즈 [MB]당 시간을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, t_{proc} 는 근사적으로 2ms/MB로 주어지며 성능 분석 시에 $t_{proc} = 0.002 [s/MB]$ 로 가정하였다. 그림 3은 식 (4)~(6)에서 구한 p_{BC} , p_{XBC} , 그리고 p_{UC} 의 수학적 결과와 Monte-Carlo 시뮬레이션 결과를 보여준다. r 과 C 는 각각 100과 20이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 수학적 분석 결과들이 시뮬레이션 결과와 정확하게 일치함을 알 수 있다. 그리고, V 가 증가할수록 XBC 조건을 만족할 확률은 V^2 에 반비례하여 줄어드는 반면 UC 확률은 오히려 증가하는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 $F = 500MB$, $T_p = 60s$, $V = 50$, $C = 20, 30$, or 40으로 주어질 때, 본 논문에서 제안하는 적응형 방식과 UC와 BC만을 이용하는 두 가지 방식의 비디오 스트리밍 평균 전송 시간을 보여준다. 먼저, 식 (12)에서 얻어진 제안 방식의 평균 전송 시간에 대한 근사치 $T_{avg,appx}^{Prop}$ 가 정확한 수치들과 거의 일치함을 알 수 있다. 두 방식 모두 채널의 전송 속도 r 이 증가할수록 버퍼링의 감소로 평균 전송 시간이 감소함을 알 수 있다. 본 논문에서 제안하는 적응형 스트리밍 방식은 모든 C 와 r 값에 대하여 UC와 BC를 이용하는 방식 대비 낮은 평균 전송 시간을 보여준다. 그리고 제안 방식에서 C 값이 증가할수록 클라이언트들이 많은 비디오를 캐싱 할 수 있으므로 XBC의 확률이 증가하여 전체적인 평균 전송 시간이 감소함을 확인할 수 있다.

그림 5는 $F = 2000MB$, $T_p = 60s$, $V = 50$, $C = 20, 30$, or 40로 주어질 때 평균 전송 시간을 나타낸다. T_p 가 60초로 일정한 상황에서 F 가 2000MB로 증가한 것은 비디오의 화질 또는 해상도가 높아서 버퍼링 없이 원활한 스트리밍을 위해 필요한 데이터 속도 R 이 증가했음을 나타내며, 그림 4 대비 모든 평균 전송 시간이 증가하였다. 제안 방식의 평균 전송 시간에 대한 근사치들은 정확한 값들과 일치하며, C 값이 커질수록 평균 전송 시간은 감소함을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 근거리 캐싱 네트워크에서 XOR 코딩 기반 코딩을 활용하여 비디오 스트리밍의 효율성을 획기적으로 개선할 수 있는 적응형 비디오 스트리밍 기법을 연구하였다. 클라이언트들이 동일한 비디오를 요청하는 경우에만 BC 전송 기법을 활용하는 기존 방식과 달리, 제안 기법에서는 서로 다른 비디오를 요청하는 경우에도 XOR 코딩을 활용하여 BC로 비디오를 스트리밍 할 수 있다. 수학적 분석을 통하여 제안 방식의 평균 전송 시간을 유도하였고 그 근사치를 구하였다. 다양한 시뮬레이션을 통하여 수학적 해석의 정확도를 검증하였고, 제안 방식의 성능을 기존 방식과 비교하였다. 구체적으로, $V = 50$, $C = 40$, $r = 10 [MB/s]$ 일 때 60초길이의 2GB 크기의 비디오 파일을 스트리밍 할 경우 제안 방식의 평균 전송 시간이 UC와 BC만을 사용하는 방법 대비 약 32% 감소함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No.2015- 0-00820, A research on a novel communication system using storage as wireless communication resource).

REFERENCES

- [1] Cisco, Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017-2022, Whitepaper, 2018. [Internet]. Available : <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>
- [2] 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.

- [3] P. Yadav, "Advanced Looping Broadcast Proxy Re-Encryption in Cloud computing," *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, vol. 2, no. 2, pp. 35-41, Jun. 2016.
- [4] M. A. F. Al-Husainy, "A Novel Encryption Method for Image Security," *International Journal of Security and Its Applications*, vol. 6, no. 1, pp. 1-8, Jan. 2012.
- [5] L. C. Han, and N. M. Mahyuddin, "An Implement of Caesar Cipher and XOR Encryption Technique in a Secure Wireless Communication," in *Proceeding 2014 2nd International Conference on Electronic Design*, pp. 111-116, Aug. 2014.
- [6] L. Georgiadis L. Tassiulas, "Broadcast Erasure Channel with Feedback - Capacity and Algorithms," in *Proceeding 5th Workshop on Network Coding, Theory, and Applications*, pp. 54-61, Jun. 2009.
- [7] S. Athanasiadou, M. Gatzianas, L. Georgiadis, and L. Tassiulas, "XOR-based Coding for the 3-user Broadcast Erasure Channel with Feedback," in *Proceeding 10th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks*, pp. 417-424, May. 2012.
- [8] S. W. Choi, J. Kim, and Y. K. Kim, "Efficient Broadcast Scheme Based on Ergodic Index Coding," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 40, no. 8, pp. 1500-1506, Aug. 2015.
- [9] 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, Canada*, Jun. 2012.
- [10] X. Wang, M. Chen, T. Taleb, A. Ksentini, and V. Leung, "Cache in the air: exploiting content caching and delivery techniques for 5G systems," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 131-139, Feb. 2014.
- [11] 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.
- [12] N. Golrezaei, A. G. Dimakis, and A. F. Molisch, "Wireless device-to-device communications with distributed Caching," in *Proceeding IEEE International Symposium on Information Theory*, Jul. 2012.
- [13] 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.
- [14] L. Zhang, M. Xiao, G. Wu, and S. Li, "Efficient scheduling and power allocation for D2D-assisted wireless caching networks," *IEEE Transactions Communications*, vol. 64, no. 6, pp. 2438-2452, Jun. 2016.
- [15] J. Kim, G. Caire, and A. F. Molisch, "Quality-aware streaming and scheduling for device-to-device video delivery," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 24, no. 4, pp. 2319-2331, Aug. 2016.
- [16] L. Zheng, Z. Wang, Q. Yan, Q. Chen, and X. Tang, "On the Coded Caching Based Wireless Video Transmission Scheme," in *Proceeding 2016 IEEE/CIC International Conference on Communications in China*, Jul. 2016.
- [17] M. W. Jeong, J. Y. Ryu, S. H. Kim, W. S. Lee, and T. W. Ban, "Channel Sorting Based Transmission Scheme For D2D Caching Networks," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 11, pp. 1511-1517, Nov. 2018.



김유신(Yu-Sin Kim)

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



정무웅(Moo-Woong Jeong)

2014년 2월 경상대학교 정보통신공학과 학사
2014년 3월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 석·박사 통합과정
※관심분야 : 이동통신, MIMO, D2D



신재민(Jae-Min Shin)

2014년 3월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 학사과정
※관심분야 : 이동통신, 사물 인터넷, 영상처리, 머신러닝



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 전기전자공학과 박사
2009년 6월 ~ 2010년 10월 KT 연구 엔지니어
2011년 2월 ~ 2012년 8월 KT Project Manager
2012년 9월 ~ 2016년 8월 경상대학교 정보통신공학과 조교수
2016년 9월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 부교수
※관심분야 : 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유, 차세대 이동통신 시스템