

적응형 비디오 전송에서 첨두 전송률 이용률을 최소화한 스무딩 알고리즘의 성능 평가

이면재*

백석대학교 컴퓨터공학부 교수

Performance Evaluation of a Smoothing Algorithm Minimizing Peak Transmission Rate Utilization in Adaptive Video Transmission

MyounJae Lee*

Professor, Division of Computer Engineering, BaekSeok University

요약 적응형 비디오 전송은 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터들을 서버와 클라이언트의 네트워크 상황에 따라 전송 계획을 동적으로 조정하는 방법이다. 이 방법은 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터들을 고정 비트율로 변환시키는 과정과 네트워크의 이용 가능한 전송률을 만족시킬 때까지 프레임들을 폐기시키는 과정으로 구성된다. 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터들을 고정 비트율로 변환시키는 과정을 스무딩이라고 하며 전송률 변화 횟수, 전송률 증가 횟수, 전송률 변화량을 최소화하기 위해 다양한 알고리즘들이 연구되어져 왔다. 본 연구는 네트워크 서버의 대역폭을 효율적으로 사용하기 위해 첨두 전송률 이용률을 최소화하는 제안된 알고리즘을 적응형 비디오 전송 방법에 적용하여 성능을 평가한다. 성능 평가를 위해 기존의 CBA(Critical Bandwidth Allocation) 알고리즘과 제안 알고리즘을 다양한 가용 전송률 크기에 대해 최소 재생률, 평균 재생률, 최대 재생률, 재생률 변화량을 비교한다. 실험 결과, 제안된 스무딩 알고리즘은 제한된 네트워크 환경에서도 높은 최소 재생률, 평균 재생률 최대 재생률이 우수한 스트리밍 환경을 제공한다.

주제어 : 사물인터넷, 스무딩, 가변비트율, 적응형 비디오 전송, 버스트

Abstract Adaptive video transmission is a method that dynamically adjusts the transmission plan of video data stored with variable bit rates based on the network conditions between the server and the client. This method consists of two main processes: converting video data with variable bit rates into a constant bit rate (a process known as smoothing), and discarding frames until the available network transmission rate is satisfied. Smoothing aims to minimize the number of transmission rate changes, the number of rate increases, and the magnitude of rate variation. Various algorithms have been studied to optimize this process. This study evaluates the performance of the proposed algorithm, which minimizes peak transmission rate utilization, by applying it to adaptive video transmission in order to efficiently utilize the network server's bandwidth. For performance evaluation, the proposed algorithm is compared with the existing CBA (Critical Bandwidth Allocation) algorithm under various available transmission rates in terms of minimum fps, average fps, maximum fps, and fps variation. The experimental results demonstrate that the proposed smoothing algorithm can provide an excellent streaming experience even in constrained network environments, with high minimum, average, and maximum fps.

Key Words : IoT, Smoothing, VBR, Adaptive Video Transmission, Burst

*본 논문은 2025학년도 백석대학교 학술연구비 지원을 받아 작성되었음

*교신저자 : 이면재(davidlee@bu.ac.kr)

접수일 2025년 05월 01일 수정일 2025년 05월 29일 심사완료일 2025년 06월 09일

1. 서론

사용자들의 보다 좋은 화질 요구와 영상 콘텐츠를 제작하기 위한 하드웨어 기술과 네트워크 기술의 발전으로 영상 콘텐츠의 용량이 급속하게 증가되고 있다. 이 용량의 증가와 더불어 다양한 네트워크 환경으로 인해 비디오 스트리밍 기술의 중요성은 더욱 커지고 있다.

이러한 비디오 데이터는 효율적인 저장과 전송을 위해 압축되어 저장된다.

비디오 데이터를 저장하는 방식은 프레임당 바이트 수가 일정한지의 여부에 따라 고정 비트율(CBR: Constant Bit Rate)과 가변 비트율(VBR: Variable Bit Rate)로 나눌 수 있다. 특히 가변 비트율 방식은 프레임마다 크기가 달라지므로, 서버에서 해당 데이터를 전송할 때 이전보다 용량이 큰 프레임이 나타나 전송 부하가 순간적으로 증가할 수 있다. 이것을 버스트(Burst)라고 한다[1-5]. 이를 예방하기 위해서 서버에서는 프레임을 구성하는 바이트 수가 일정한 고정 비트율로 변환해서 보내야 한다. 이 계획을 스무딩(Smoothing)[1-5]이라고 한다.

스무딩 알고리즘을 적용하기 위한 환경에는 네트워크 트래픽 즉 가용 전송률을 고려하지 않는 경우와 네트워크 트래픽을 고려하는 경우로 구분될 수 있다. 네트워크 트래픽을 고려하지 않는 환경에서는 서버에서 세운 전송 계획대로 네트워크 트래픽이 확보되는 것을 말한다. 이 경우에는 서버에서 세운 전송 계획대로 클라이언트에게 전송하면 된다. 네트워크 트래픽이 고려된 환경에서는 서버에서 전송 계획을 세운 후 이 전송 계획에서 요구되는 전송률이 네트워크 트래픽을 만족하면 전송 계획대로 클라이언트에게 전송하고 그렇지 않는 경우에는 네트워크 트래픽을 만족시킬 때까지 프레임들을 폐기한다. 이러한 과정을 적응형 비디오 전송(Adaptive Video Transmission)이라고 한다.

적응형 비디오 전송[17,19,20]은 전송 계획을 세우는 과정과 프레임을 폐기하는 과정으로 구성된다. 전송 계획을 수립하기 위한 것을 스무딩 알고리즘이라고 하며 이를 위한 알고리즘에는 대표적으로 CBA(Critical Bandwidth Allocation) [5-6,8], MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [4], 그리고 MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) [10-12,15] 등이 있다. CBA 알고리즘은 전송률 증가 횟수를 줄이는 데 중점을 두고 있으며, MCBA 알고리즘은 전송률이 변경되는 빈도를 최소화하는 데 목적을 두고 있다. MVBA 알고리즘에서는 전송률의 변화량 자체를 줄이는 것을 지향한다.

이러한 알고리즘들은 주로 전송률 변화의 빈도, 증가

횟수 및 변화량을 줄이는 측면에 초점을 맞추어 설계되었으며, 서버의 대역폭을 효율적으로 활용하여 더 많은 클라이언트에게 안정적인 비디오 서비스를 제공하는 측면은 상대적으로 간과되었다. 이러한 한계를 보완하기 위해 연구 [18]에서는 전송률 설정이 필요한 시점에 QoS(Quality of Service)를 만족하는 전송률들 중에서 가장 낮은 수준의 전송률을 적용함으로써, 다른 클라이언트들이 대역폭을 보다 효율적으로 활용할 수 있도록 하는 스무딩 알고리즘을 제안하였다.

이어서 연구 [19]에서는 네트워크 트래픽이 고려되지 않은 조건하에서 다양한 비디오 데이터를 이용해 [18]에서 제시된 알고리즘의 성능을 침투 전송률, 전송률 변화량 및 변화 횟수 등의 지표를 기반으로 평가하였다. 연구 [21]에서는 네트워크 트래픽이 고려된 환경에서 네트워크 트래픽 즉 가용 전송률의 크기를 고정시킨 상황에서 다양한 비디오 데이터를 이용하여 [18]에서 제안된 스무딩 알고리즘과 CBA 알고리즘의 성능을 평가하였다.

본 연구는 이전 연구 [18-19, 21]들을 확장하여, 다양한 네트워크 트래픽 환경에서 [18]에서 제안된 알고리즘과 CBA 알고리즘을 비교 평가하는 것을 목표로 한다. 단, 기존의 스무딩 알고리즘들은 일반적으로 지연이 없는 환경에서만 적용 가능하다는 제한점을 가진다. 또한 네트워크에서 데이터를 가능한 한 최선을 다해 전송하지만, 전송 품질이나 보장을 제공하지 않는 방식인 Best-effort 서비스 환경으로 제한된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 적응형 비디오 전송 방법에 대해 설명하고, 제3장에서는 제안된 스무딩 알고리즘([18-19])과 CBA 알고리즘을 해당 환경에 적용하여 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 최대 재생률, 평균 재생률 등의 성능 지표를 통해 평가를 수행한다. 마지막으로 제4장에서는 연구 결과를 바탕으로 결론을 제시하고 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

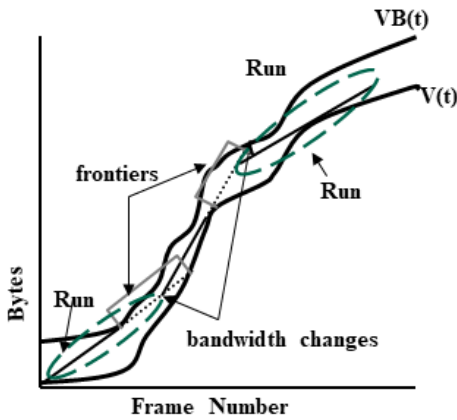
2. 적응형 비디오 전송

Best-effort 서비스는 간단하고 효율적이지만, 신뢰성이 필요한 서비스에는 적합하지 않다. 따라서, 웹 페이지나 이메일처럼 지연이나 손실을 감수할 수 있는 서비스에 주로 사용된다. 비디오 데이터 전송에서 Best-effort 서비스는 기본적인 IP 기반 전송을 뜻하며, 패킷 손실이나 지연에 대해 보장 없이 전송된다. 이를 위한 기술에는 데이터를 미리 받아 놓고 끊김을 방지하는 버퍼링, 네트

워크 상태에 따라 화질을 감소시키는 적응형 전송 방법, 사용자에게 약간의 지연을 감수하게 하는 지연 허용 등을 통해 사용자 경험을 개선한다. 본 연구는 버퍼링과 네트워크 상태에 따라 화질을 감소시키는 방법을 사용한다.

비디오 데이터를 Best-effort 서비스 형태로 전송하기 위한 적응형 비디오 전송 방법은 2가지 단계로 구성된다.

첫 번째 단계는 비디오 데이터에 대한 전송 계획을 세우는 것이다. 이것을 스무딩 알고리즘이라고 한다. 스무딩은 프레임당 바이트 수가 다른 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 일정한 크기를 갖는 비디오 데이터가 되도록 계획을 세우는 것을 말한다.



[Fig. 1] Principal of Smoothing algorithm

스무딩 기법은 i 번째 프레임의 바이트 수를 나타내는 f_i , i 번째 프레임까지의 누적된 프레임들의 양을 표현하는 언더플로우 경계선($V(t)$), 오버플로우 경계선($VB(t)$)를 주요 요소로 구성한다. [Fig. 1]은 이러한 관계를 보여준다[1-21]. 클라이언트 측 버퍼 용량은 b 이다. 언더플로우 경계선 $V(t)$ [1-21]는 0번부터 t 번째 프레임까지의 누적 바이트 총량으로 정의된다. 만약 전송 계획이 이 경계선보다 낮게 설정되면, 클라이언트에서는 언더플로우 현상이 발생할 수 있다. 품질(QoS)을 보장하기 위해서는 이 언더플로우 경계와 오버플로우 경계 사이의 영역 내에서 전송이 이루어져야 한다. 일정한 전송률로 연속적으로 보낼 수 있는 프레임 구간을 런(Run)이라 하며, 해당 런의 전송률로 이후 프레임을 계속 전송할 경우, 언더플로우나 오버플로우가 발생하기 직전까지의 프레임 구간을 연장구간(frontier)이라 부른다.

$$V(t) = \sum_{i=0}^k f_i \tag{1}$$

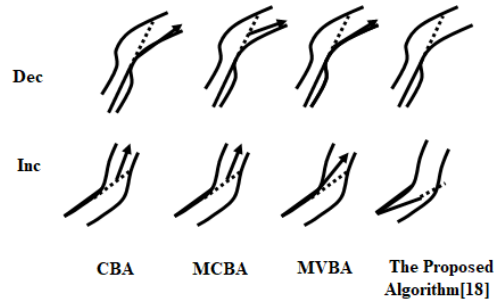
$$VB(t) = b + \sum_{i=0}^k f_i \tag{2}$$

언더플로우 경계선과 오버플로우 경계선 영역을 만족하면서 비디오 데이터들을 전송하기 위해 다양한 알고리즘이 연구되어 졌다. CBA 알고리즘 [5-6, 8]은 전송률의 상승이 필요한 상황에서, 가능한 많은 프레임은 새로운 전송률로 보낼 수 있는 지점을 찾아 해당 프레임부터 전송률을 조정한다. 이를 통해 전송률이 변경되는 빈도를 줄이는 것이 핵심이다.

MCBA 알고리즘[4,15]은 전송률이 증가하거나 감소하는 모든 상황에서, 새로운 전송률로 전송 가능한 프레임 수가 가장 많은 프레임을 새로운 런의 시작 지점으로 선택하여, 전송률 조정 횟수를 최소화한다는 특징을 갖는다.

MVBA[10-12,15] 알고리즘은 전송률의 변화 폭 자체를 최소화하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 연장 구간에 있는 프레임들 중 전송률 변화가 가장 적은 첫 번째 프레임을 기준으로 새로운 전송률을 설정한다.

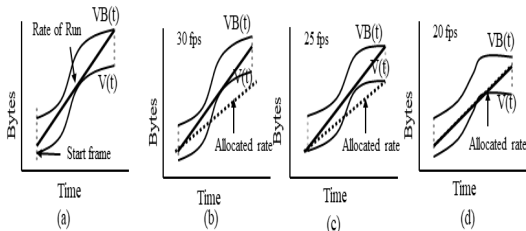
제안된 알고리즘[18]에서는 서버의 대역폭 사용 효율을 높이기 위해, 전송률의 증가 또는 감소가 필요한 모든 경우에 있어 QoS 기준을 만족하는 최소한의 전송률을 런의 전송률로 설정한다. 이 접근은 네트워크 트래픽이 고려되지 않는 환경에서는 침투 전송률을 낮춰 다른 사용자들이 서버 자원을 좀 더 수월하게 이용할 수 있도록 돕는다. 반면, 네트워크 트래픽을 고려하는 환경에서는 최소 전송률을 런의 전송률로 설정하는 방법이 오히려 평균 재생률과 최대 전송률을 높이는 결과를 얻을 수 있다. [Fig. 2]는 CBA, MCBA, MVBA 그리고 제안된 [18] 알고리즘이 어떻게 전송률을 조정하는지를 시각적으로 보여준다[16,18,19,21].



[Fig. 2] CBA, MCBA, MVBA, [18] algorithm

적용형 비디오 전송 방법의 두 번째 단계는 스무딩 알고리즘의 전송 계획이 네트워크 트래픽 즉 가용 전송률을 만족하는지 판단하는 과정이다. 스무딩 알고리즘의 전송 계획이 가용 전송률을 만족시키는 경우 전송 계획 그대로 전송한다. 만약 스무딩 알고리즘의 전송 계획이 가용 전송률을 만족시키지 않는 경우에는 가용 전송률을 만족시킬 때까지 런에 포함된 프레임들을 제거한다[20,21].

[Fig. 3]은 이와 같은 절차를 단계적으로 나타낸다 [17,20,21]. 기본 재생 속도는 초당 30 프레임(fps)으로 설정되어 있다. 먼저, [그림 3] (a)에서 확인할 수 있듯이 런의 전송률이 현재 사용할 수 있는 가용 전송률을 초과할 경우, 하나의 프레임들을 제거하여 재생 속도를 29 fps로 낮춘다([그림 3] (b)). 이 조정을 반복하여, 예를 들어 [그림 3] (c)에서처럼 재생 속도를 25 fps까지 줄였음에도 여전히 전송률이 가용 전송률 초과한다면, 추가적인 프레임 삭제가 필요하다. 이러한 프레임 제거 과정은 런의 전송률이 허용 가능한 범위 내로 들어올 때까지 지속된다. 결과적으로, [Fig. 3] (d)에서는 총 10개의 프레임이 삭제되어 재생 속도가 20 fps로 감소하고, 이때의 전송률이 가용 전송률 보다 같거나 낮아지면 서버는 해당 전송률로 비디오 데이터를 클라이언트에 전송하게 된다.



[Fig. 3] Smoothing Algorithms Considering Network Traffic

3. 성능 평가

본 연구에서는 서버에서 할당 가능한 가용 전송률이 성능 평가 요소에 미치는 영향을 살펴보기 위해 버퍼크기를 5MB[17,20]로 고정하고 가용 전송률을 비디오 데이터를 구성하는 프레임들의 바이트 수의 평균의 40%(0.4)부터 160%(1.6)로 설정한다.

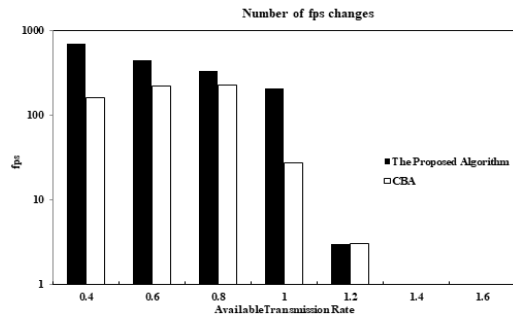
네트워크 트래픽이 고려된 환경에서 CBA 알고리즘을 적용한 연구[20-21]와 [18]에서 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 최대 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량을 비교한다.

<Table 1>은 성능 평가를 위해 사용된 비디오 데이터로 [18-19] 연구에서 사용된 비디오 데이터들의 일부를 사용한다. 단위는 KB이며, Length는 재생 시간을 의미한다. Ave는 평균 프레임 바이트 수이며 Max와 Min은 비디오 프레임들 중에서 가장 큰 바이트 수와 가장 작은 바이트 수를 나타낸다. Std는 프레임 바이트 수의 표준편차이다.

<Table 1> MPEG Video Parameters

Name	Length	Ave	Max	Min	Std
Croc.Dundee	94	2.59	18.98	1.233	2.281

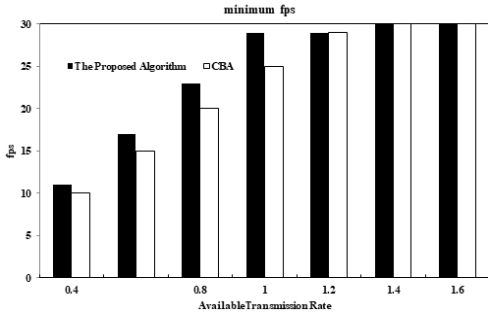
[Fig. 4]는 재생률 변화 횟수를 비교한 결과이다. 가용 전송률의 클수록 두 알고리즘 모두에서 가용 전송률을 만족시키기 위해 폐기되는 프레임 개수가 적어지기 때문에 재생률 변화 횟수는 적어진다. 제안 알고리즘의 재생률 변화 횟수는 가용 전송률이 적은 경우에 훨씬 많은데 이는 제안 알고리즘에서 전송률 변화가 요구되는 경우 런의 크기를 고려하지 않고 QoS를 만족하는 범위 내의 전송률들 중에서 가장 크기가 적은 런의 전송률을 런의 전송률로 설정하기 때문이다.



[Fig. 4] Comparison of the number of fps changes

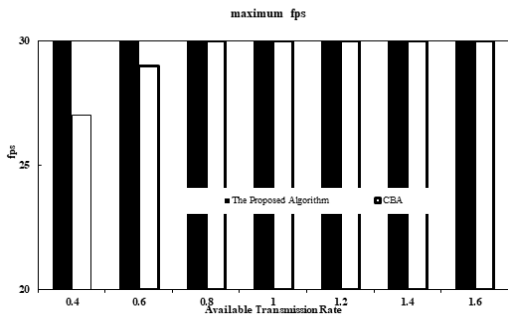
[Fig. 5]는 최소 재생률을 비교한 결과이다. 최소 재생률이 높다는 것은 시청자가 영상 시청 중 끊김을 경험할 가능성이 적고, 전반적인 화질 유지에도 긍정적인 영향을 준다는 뜻이다. 두 가지 알고리즘 모두 가용 전송률의 크기가 증가할수록 폐기되는 프레임 개수가 적어져서 최소 재생률이 향상되는 경향을 보인다. 제안 알고리즘의 최소 재생률이 CBA 알고리즘보다 높다. 이는 제안 알고리즘에서는 전송률의 변화가 요구되는 경우 모두에서 QoS를 만족하는 전송률들 중에서 가장 낮은 전송률을 설정하므로 CBA 알고리즘보다 폐기되는 프레임의 개수

가 적어지기 때문이다. 결과적으로 제안 알고리즘으로 비디오 데이터를 서비스하는 경우 시청자는 끊김이 적은 영상을 시청하게 된다.



[Fig. 5] Comparison of minimum fps

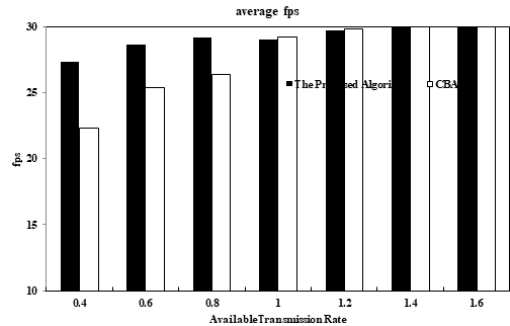
[Fig. 6]은 최대 재생률을 비교한 결과이다. 최대 재생률이 높을수록 사용자에게 더욱 부드럽고 쾌적한 재생 환경을 제공할 수 있으며, 이는 스트리밍 성능을 판단하는 주요 지표 중 하나로 간주된다. 최대 재생률은 두 알고리즘 모두에서 가용 전송률의 크기가 클수록 폐기되는 프레임들이 적어져서 커진다. 제안 알고리즘의 경우 전송률 증가나 감소가 요구되는 경우 모두 QoS를 만족하는 전송률들 중에서 최소의 전송률로 설정하기 때문에 가용전송률이 가장 적은 0.4인 경우에도 재생률이 30인 경우가 발생된다.



[Fig. 6] Comparison of maximum fps

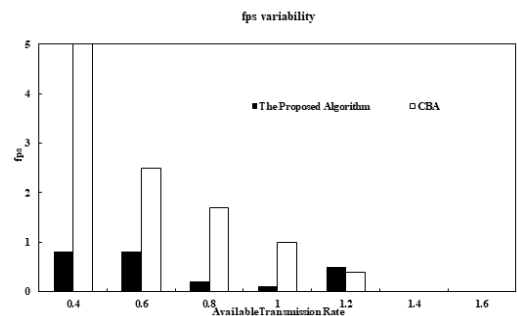
[Fig. 7]은 평균 재생률을 비교한 결과이다. 평균 재생률이 높다는 것은 전반적으로 영상이 부드럽고 안정적으로 재생된다는 것을 의미한다. 특히 빠른 장면 전환이 자주 등장하는 액션 영상이나 게임 콘텐츠에서는 끊김 없이 자연스러운 시청 경험을 제공하는 데 중요한 역할을 한다. 제안된 알고리즘은 CBA 알고리즘에 비해 평균 재

생률이 더 높게 나타난다. 이는 QoS 조건을 만족하는 여러 전송률 중 가장 낮은 값을 선택해 각 룰에 적용함으로써, 불필요하게 버려지는 프레임 수가 줄어들기 때문이다. 제안된 알고리즘은 전반적으로 높은 재생률을 유지하기 때문에, 안정적인 시청 환경을 원하는 클라이언트에게 적합하다. 따라서 스트리밍 서비스에 적용할 경우, 제안된 방식이 사용자에게 더 향상된 시청 경험을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.



[Fig. 7] Comparison of average fps

[Fig. 8]은 재생률 변화량을 비교한 결과이다. 재생률 변화량이 적을수록 일정한 품질의 영상을 시청자는 시청할 수 있다. 모든 항목에서 제안 알고리즘이 CBA 알고리즘에서 보다 재생률 변화량이 더 적다. 이는 제안 알고리즘의 재생률 변화 횟수가 CBA 알고리즘보다 많았지만, 각 룰의 전송률 차이는 오히려 CBA 알고리즘보다 작게 나타났기 때문이다.



[Fig. 8] Comparison of fps variability

4. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 [18]에서 제안된 알고리즘을 다양한 네트워크 트래픽 환경에서 재생률 변화 횟수, 최소 재생률,

평균 재생률, 재생률 변화량 등으로 CBA 알고리즘과 성능을 평가하였다. 1개의 비디오 데이터를 사용하였고 가용 전송률의 크기를 0.4에서 1.6배까지 다양하게 설정하고 버퍼 크기는 5MB로 고정하였다.

실험 결과, [18]에서 제안된 알고리즘은 재생률의 변화 횟수는 더 컸지만, 최소 재생률 최대 재생률 평균 재생률 모두에서 더 우수한 성능을 보였다. 이러한 특성으로 인해, 제안된 알고리즘[18]은 네트워크 트래픽이 변수로 작용하는 환경에서도 높은 품질의 재생률을 원하는 사용자에게 적합할 수 있다. 향후에는 다양한 전송률 조건과 버퍼 용량을 고려한 상황에서 해당 알고리즘의 성능을 추가적으로 분석할 계획이다.

REFERENCES

- [1] D. Le Gall, "MPEG: A video compression standard for multimedia applications", *Communications of the ACM*, Vol.34, No.4, April, pp.47-58, 1991.
- [2] W.Feng, "Rate-constrained bandwidth smoothing for the delivery of stored video", in *SPIE Multimedia Networking and Computing*, Vol.30, No.20, pp.316-327, 1997.
- [3] Ray-I chang, Meng-Chang Chen, Jan-Ming Ho and Ming-Tat Ko, "Schedulable Region for VBR Media Transmission with Optimal Resource Allocation and Utilization", *infsci(1~2)*, Vol.141, No.1-2, pp.61-79, 2002.
- [4] W.Feng, F.Jahanian, S.Sechest, "An Optimal Bandwidth Allocation Strategy for the Delivery of Compressed Pre-recorded Video", *ACM/Springer-Verlag Multimedia Systems*, Vol.5, No. 5, pp.297-309, Sept 1997.
- [5] MyounJae Lee, et.al, "An Efficient Smoothing Algorithm for Video Transmission at Variable Bit Rate", *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, Vol.11, No.7, pp.1009-1022, 2004.
- [6] MyounJae Lee, "Video Data Transfer Algorithms for Efficient Use of Network Bandwidth", *Journal of Next-generation Convergence Information Services Technology*, Vol.10, No.1, pp.11-20, 2021.
- [7] MyounJae Lee, "Performance Evaluation of Smoothing Algorithm for Efficient Use of Network Resources in IoT environments", *Journal of The Korea Internet of Things Society*, Vo.7, No.2, pp.47-53, 2021.
- [8] W. Feng, S. Sechest, "Critical Bandwidth Allocation for the Delivery of Compressed Pre-recorded Video", *Computer Communications*, Vol.18, No.10, pp.709-717, 1995.
- [9] W. Feng, et. al., "Smoothing and buffering for delivery of pre-recorded compressed video", in *Proc. of ISET/SPIE Symp. on Multimedia Comp. and Networking*, Vol.18, No.10, pp.234-242, 1995.
- [10] J. McManus and K.Ross, "Video on demand over ATM:Constant-rate Transmission and Transport", in *proc.of ACM SIGMETRICS*, Vol.14, No.6, pp.222-231, May 1996.
- [11] J. Zhang and J. Hui, "Applying traffic smoothing techniques for quality of service control in VBR video transmissions", *Computer Communications*, Vol.21, No.4, pp.375-389, 1998.
- [12] J. Zhang and J. Y. Hui, "Traffic Characteristics and Smoothness Criteria in VBR Video Traffic Smoothing", in *Proc. of the ICMC and Systems*, Vol.1, pp.3-11, 1997.
- [13] P. Thiran, et. al., "Network calculus applied to optimal multimedia smoothing", *Proceedings IEEE INFOCOM 2001*, Vol.3, pp.1474-1483, 2001.
- [14] Han-Chieh Chao, C.L.Hung, "Efficient Changes and Variability Bandwidth Allocation for VBR Media Streams", *IEEE International Conference on Communications. Conference Proceedings*, Vol.12, pp. 179-185, 2001.
- [15] J.D. Salehi, et. al., "Supporting stored video: Reducing rate variability and end-to-end resource requirements through optimal smoothing", in *Proc. of ACM SIGMETRICS*, Vol.6, No.4, pp.222-231, 1996.
- [16] W. Feng and J. Rexford, "Performance evaluation of smoothing algorithms for transmitting pre-recorded VBR video", *IEEE Trans. on Multimedia*, Vol.14, No.6, pp.302-312, 1999.
- [17] Wu-chi Feng, Ming Liu, "Critical Bandwidth Allocation Technique for Stored Video Delivery Across Best-Effort Network", Vol.18, No.5, pp.25, (OSU-CISRC-8/98-TR32) 1998.
- [18] MyounJae Lee, "Smoothing Algorithm Considering Peak Rate Utilization in IoT Environment", *Journal of KIOTS*, Vol.10, No.3, pp.21-26, 2024.
- [19] MyounJae Lee, "Performance Evaluation of a Smoothing Algorithm Considering Peak Rate Utilization in IoT Environment", *Journal of KIOTS*, Vol.11, No.1, pp. 29-35, 2025.
- [20] Wu-chi Feng, Ming Liu, "Extending critical bandwidth allocation Techniques for stored video delivery across best-effort networks", *International Journal of COMMUNICATION SYSTEMS Int.J.Commun.sust*, Vol.14, No.10, pp.925-940, 2001.
- [21] MyounJae Lee, "Performance Evaluation of a Smoothing Algorithm Minimizing Peak Transmission Rate Utilization in a Network Traffic-Aware Environment", *Journal of KIOTS*, Vol.11, No.2, pp. 121-126, 2025.

이 면 재(MyounJae Lee)

[종신회원]



■ 2009년 3월 ~ 현재 : 백석대학교
컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

사물인터넷, 게임, MPEG