

IoT 환경에서 네트워크 대역폭을 고려한 스무딩 알고리즘의 성능 평가

이면재*

백석대학교 컴퓨터공학부 교수

Performance Evaluation of Smoothing Algorithm Considering Network Bandwidth in IoT Environment

MyounJae Lee*

Professor, Division of Computer Engineering, BaekSeok University

요약 스무딩은 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 고정 비트율로 변환하는 전송 계획이다. 스무딩을 위한 알고리즘에는 전송률 증가횟수의 최소화를 목적으로 하는 CBA, 전송률 변화 횟수를 최소화하는 MCBA, 전송률 변화량을 최소화하는 MVBA 알고리즘등이 있다. 본 연구는 서버에서 보다 많은 대역폭을 확보하기 위해 전송률 증가(감소)가 요구되는 경우에는 전송률 증가량(감소량)을 최소화(최대화)하는 스무딩 알고리즘을 제안한 연구의 후속 연구로 다양한 비디오 데이터와 버퍼크기, 성능 평가 요소로 제안 알고리즘을 CBA 알고리즘과 비교 분석한다. 사용된 평가요소는 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량, 폐기되는 프레임 갯수로 비교하였다. 비교 결과, 제안 알고리즘은 재생률 변화 횟수와 폐기되는 프레임 개수 비교에서 우수함을 보였다.

주제어 : 사물인터넷, 스무딩, 가변 비트율, 적응적 비디오 전송, 버스트

Abstract Smoothing is a transmission plan that converts video data stored at a variable bit rate into a fixed bit rate. Algorithms for smoothing include CBA, which aims to minimize the number of transmission rate increases, MCBA, which minimizes the number of transmission rate changes, and MVBA algorithms that minimize the amount of transmission rate change. This paper compares the proposed algorithm with the CBA algorithm with various video data, buffer size, and performance evaluation factors as a follow-up to the proposed smoothing algorithm that minimizes (maximizes) the transmission rate increase (decrease) when the server requires more bandwidth. The evaluation factors used were compared with the number of changes in the fps rate, the minimum fps, the average fps, fps variability, and the number of frames to be discarded. As a result of the comparison, the proposed algorithm showed superiority in comparing the number of fps rate changes and the number of frames discarded.

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

*본 논문은 2022학년도 백석대학교 학술연구비 지원을 받아 작성되었음

*교신저자 : 이면재(davidlee@bu.ac.kr)

접수일 2022년 5월 16일

수정일 2022년 7월 2일

심사완료일 2022년 7월 4일

1. 서론

비디오 데이터는 디스크 공간의 효율적인 사용을 위해 압축되어 저장된다. 사용되는 압축 방법에는 프레임을 구성하는 바이트 수가 동일하게 압축되는 한 고정 비트율(CBR:Constant Bit Rate)과 프레임 구성하는 바이트 수가 다른 가변 비트율(VBR:Variable Bit Rate) 방법 [1-4]이 있다.

특히, 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 서버에서 그대로 전송하려는 경우 이전 프레임의 바이트 수와 전송하려는 프레임의 바이트 수가 크게 달라질 수 있다. 이때에는 네트워크 전송에 요구되는 전송률을 급격하게 증가시켜야 되는 버스트 현상이 발생할 수 있다[2-5]. 이 문제가 발생되지 않게 하기 위해서는 바이트 수가 일정하지 않는 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 바이트 수가 일정한 고정 비트율 형태로 변환해야 한다. 이 변환 계획을 세우는 것을 스무딩[2,5]이라고 한다.

대표적인 스무딩 알고리즘에는 전송률의 증가 횟수를 최소화하는 CBA(Critical Bandwidth Allocation) [8-10], 전송률 변화 횟수를 최소화하는 MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [11,15], 전송률 변화량을 최소화하는 MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) [13-15]이 있다.

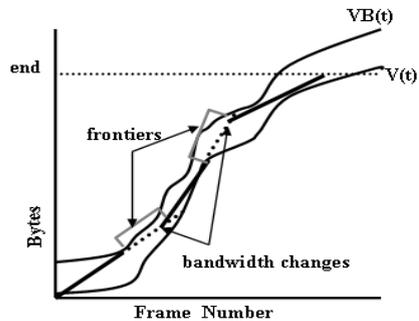
이 알고리즘들에서는 서버에서 클라이언트들에게 제공될 수 있는 여분의 대역폭의 크기를 고려하지 않았다 [6,7]. 즉 서버에서 보유한 네트워크 대역폭이 클수록 보다 많은 클라이언트들에게 동영상 서비스를 제공할 수 있다. 이를 위해 [6,7]의 연구에서는 전송률의 증가(감소)가 필요한 경우에는 증가량(감소량)을 최소(최대)로 하는 스무딩 알고리즘을 제안하고 네트워크 트래픽을 고려하지 않는 환경에서 전송률 변화횟수, 침투 전송률, 전송률 변화량, 평균 재생률 등을 비교하였다. [19] 연구에서는 네트워크 트래픽을 고려하는 환경에서 E.T 90 비디오 데이터를 사용하여 스무딩 알고리즘의 성능을 평가하였다. 본 연구는 [6,7,19]의 후속 연구로 다양한 비디오 데이터와 버퍼 크기로 [6,7]의 스무딩 알고리즘을 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 스무딩을 위한 알고리즘을 기술하고, 3장에서는 네트워크 트래픽을 고려한 환경에서 [6,7] 알고리즘을 기술한다. 4장에서는 네트워크 트래픽을 고려한 환경에서 [6,7] 알고리즘과 CBA 알고리즘과의 성능을 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량, 폐기

되는 프레임들의 개수로 평가한다. 그리고 5장에서는 결론 및 추후 연구 방향을 기술한다.

2. 스무딩 알고리즘

스무딩은 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 고정 비트율로 변환하는 전송 계획이다. [그림 1]은 스무딩 기법의 원리 [5,13,16,17]로서 X축은 프레임 번호 즉 시간을 나타낸다. Y축은 프레임 구성하는 바이트 수의 누적된 값이다. b 는 클라이언트 버퍼의 크기를 의미하고, f_i 는 i 번째 프레임의 바이트 수이다. 식(1) [13]은 언더플로우 경계선으로 프레임들의 누적된 바이트 수이다. 해당 프레임에서 이 경계선보다 낮은 전송률로 프레임을 전송하는 경우 언더플로우가 발생된다.



[Fig. 1] Principal of Smoothing algorithm

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

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

$VB(t)$ 는 t 번째 프레임의 언더플로우 경계선 값에 버퍼 크기를 더한 값으로, 이 경계선보다 높은 전송률로 프레임을 보내는 경우 클라이언트에서는 오버플로우가 발생된다. 서버에서는 언더플로우와 오버플로우가 발생되지 않도록 전송 계획을 세워야 한다.

가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 고정 비트율로 변환하는 것이 스무딩 알고리즘인데 이때 동일한 고정 비트율의 구간을 런(Run)이라고 한다. 런을 구성하는 마지막 프레임부터 이 전송률로 보내는 경우 QoS를 보장하는 프레임까지의 구간을 연장구간(frontier)라고 한다. 이 연장구간에서 스무딩 알고리즘의 목적에 적합한 프레

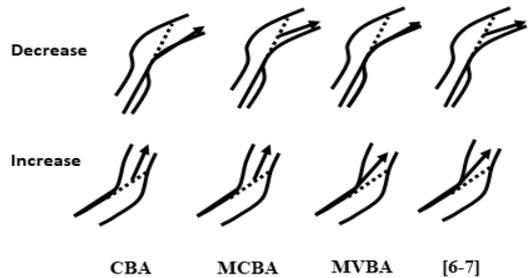
임을 검색하여 새로운 런의 시작 프레임으로 설정한다.

전송률 증가 횟수의 최소화가 목적인 CBA(Critical Bandwidth Allocation) [8,9,10] 알고리즘에서는 전송률의 감소가 요구되는 경우 연장 구간의 첫번째 프레임을 새로운 런의 시작 프레임으로 설정한다. 전송률 증가가 요구되는 경우에는 연장 구간에 속한 프레임들 중에서 동일한 전송률로 가장 많은 프레임을 전송할 수 있는 프레임을 새로운 런의 시작 프레임으로 설정하여 증가된 전송률로 많은 프레임을 전송할 수 있도록 한다.

전송률 증가 횟수의 최소화가 목적인 MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [11,15] 알고리즘에서는 전송률 변화가 요구되는 경우 연장 구간에서 동일한 전송률로 가장 많은 프레임들을 전송할 수 있는 프레임은 다음 런의 시작 프레임으로 설정한다.

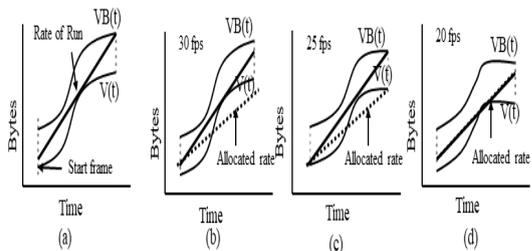
전송률 변화량을 최소화하는 MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) 알고리즘[13-15]에서는 전송률 증가가 요구되거나 전송률 감소가 요구되는 경우 모두에서 연장 구간의 첫 번째 프레임을 새로운 런의 시작 프레임으로 설정한다.

[6,7] 알고리즘에서는 전송률 증가가 요구되는 경우에는 MVBA 알고리즘에서와 같이 새로운 런의 시작 프레임을 설정한다. 전송률 감소가 요구되는 경우 연장구간에서 전송률의 감소가 가장 큰 전송률로 전송할 수 있는 프레임을 연장구간의 시작 프레임으로 설정한다. 이 계획은 현재 클라이언트에서 필수로 적은 전송률을 사용함으로써 서버의 대역폭 확보에 도움을 준다. [그림 2]는 CBA, MCBA, MVBA, [6,7] 알고리즘의 전송률 변화과정을 보여준다.



[Fig. 2] CBA, MCBA, MVBA, [6,7] algorithm

스무딩 알고리즘의 전송 계획에서 세운 전송률(Run of Rate)이 서버에서 할당된 전송률(Allocated rate)보다 작은 경우가 발생된다(그림 3) (a). 서버에서 할당된 전송률을 만족시키기 위해 한 개의 프레임을 폐기시킨다(그림 3) (a). 이 과정을 반복하여 5개의 프레임을 폐기시킨 경우에도 서버에서 할당된 전송률을 만족시키지 못한 경우에는 더 많은 프레임을 폐기시킨다(그림 3) (c). 서버에서 세운 전송률이 할당된 전송률을 만족시킬 때까지 프레임을 계속 폐기하는 과정을 반복한다. 10개의 프레임을 폐기시킨 결과 스무딩 알고리즘에서 계산된 전송률이 서버에서 할당된 전송률을 만족시키는 경우 이 전송률로 서버에서는 클라이언트에게 프레임들을 전송한다.



[Fig. 3] Smoothing Algorithms Considering Network Traffic

3. 네트워크 트래픽이 고려되는 환경에서의 스무딩 알고리즘

클라이언트에서 요청한 비디오 데이터를 네트워크 트래픽이 고려되는 환경에서 전송하려는 경우에는 스무딩 알고리즘에서 계획된 전송률과 서버에서 할당된 전송률의 크기를 먼저 비교한다.

스무딩 알고리즘의 전송 계획에서의 전송률이 서버의 네트워크 트래픽보다 작은 경우에는 서버에서 할당된 전송률을 만족시킬 때까지 프레임들을 폐기시켜야 한다. [그림 3]은 이 과정을 보여준다[17,18]. 프레임은 30fps로 가정한다.

4. 성능 평가

다양한 비디오 데이터와 버퍼 크기를 가지고 [6,7,19] 알고리즘의 성능을 평가한다. 본 연구에서는 [6,7,19]의 알고리즘을 제안 알고리즘으로 명칭한다. 사용된 비디오 데이터는 MPEG-2로 저장된 비디오 소스의 프레임 정보들 [16]에서 다운로드 하였다. <표 1>은 연구에 사용된 비디오 데이터들의 정보를 보여준다. 단위는 KB로서

Length는 플레이 시간으로 E.T100이 100분으로 가장 크다. Ave는 평균 프레임 바이트 수로 1993 Final Four 비디오 데이터가 값이 가장 크고 Seminar가 가장 적다. Max와 Min은 비디오 데이터를 구성하는 프레임들 중에서 바이트 수가 가장 큰 값과 작은 값이다. 1993 Final Four가 가장 크고 Seminar가 가장 적다. Std는 프레임을 구성하는 바이트 수의 표준편차로서 1993 Final Four가 가장 프레임을 구성하는 바이트 수의 변화가 가장 크고 Seminar가 가장 적다.

<Table 1> MPEG Video Parameters

Name	Length	Ave	Max	Min	Std.
Crocodile Dundee	94	2.59	18.98	1.233	2.281
ET100	110	2.17	19.49	2.278	2.513
Seminar	63	2.07	10.71	7.012	0.578
1993 Final Four	41	3.95	28.872	2.504	4.041

가용 전송률 즉 클라이언트에서 사용가능한 네트워크 대역폭은 해당 비디오 소스의 평균 프레임 바이트 수*30으로 설정한다[15,16]. 30을 곱한 이유는 30 fps를 기본 값으로 하기 때문이다. 클라이언트의 버퍼크기는 512KB부터 32MB로 정한다.

네트워크 트래픽이 고려된 환경에서의 CBA 알고리즘 [17,18]과 [6,7,19] 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 재생률 변화 횟수, 화질이 가장 낮은 상태의 재생률인 최소 재생률, 재생률의 평균을 나타내는 평균 재생률, 화질의 차이를 나타내는 재생률 변화량, 재생률 증가량, 감소량, 폐기되는 프레임 개수로 비교한다.

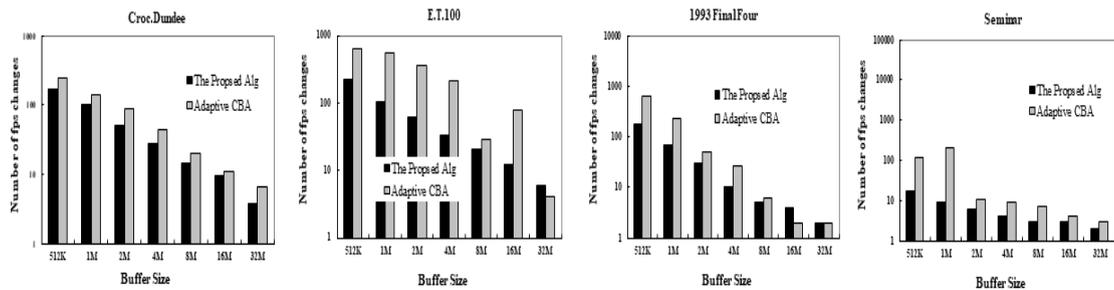
[그림 4]는 재생률 변화 횟수 비교이다. 재생률 변화 횟수가 클수록 클라이언트에서는 많은 재생률 변화로 일정한 화질의 비디오를 시청하는 것이 어려울수 있다. 재생률 변화 횟수는 버퍼 크기가 클수록 적어지는데, 이는

버퍼 크기가 커질수록 버퍼에 저장할 바이트 수가 커지므로 급격하게 높은 전송률이 요구되지 않기 때문이다. 제안 알고리즘의 재생률 변화횟수는 1993 Final Four 비디오 데이터 16MB와 E.T 100 비디오 데이터 32MB를 제외하고 CBA알고리즘에서보다 적다.

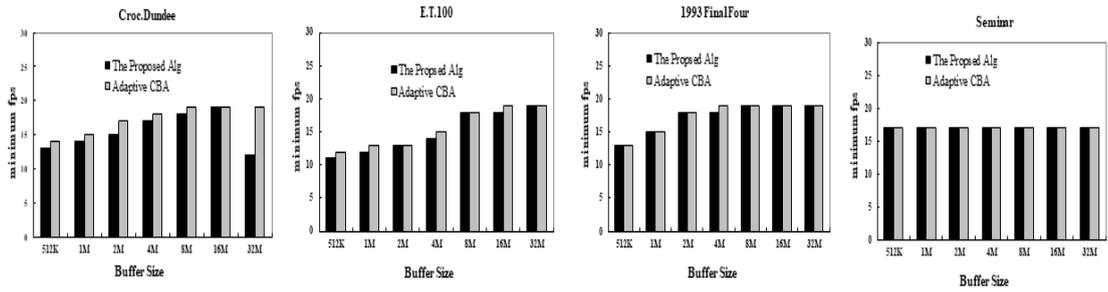
[그림 5]는 최소 재생률 비교이다. 제안 알고리즘의 최소 재생률이 비디오 데이터를 구성하는 프레임 바이트수의 표준편차가 적은 세미나 비디오 데이터에서는 비슷하지만 다른 비디오 데이터에서는 CBA알고리즘에서보다 크다. 이는 제안 알고리즘의 경우 전송률이 급격히 감소되었다가 전송률이 증가되는 경우 증가가 가장 적은 프레임을 새로운 런의 시작 프레임으로 선택했지만 이 전송률 자체도 CBA 알고리즘에서보다 더 큰 전송률이 요구되었기 때문이다.

[그림 6]은 평균 재생률 비교이다. 두 알고리즘 모두에서 버퍼 크기가 커질수록 평균 재생률이 작아진다. 이는 버퍼크기가 커질수록 스무딩 알고리즘에서 계산된 런의 크기가 커져서 서버에서 할당된 대역폭을 스무딩 알고리즘에서 계산된 전송률을 만족시키지 못하는 경우 버퍼크기가 작은 경우보다 많은 프레임들이 폐기되어야 하기 때문이다.

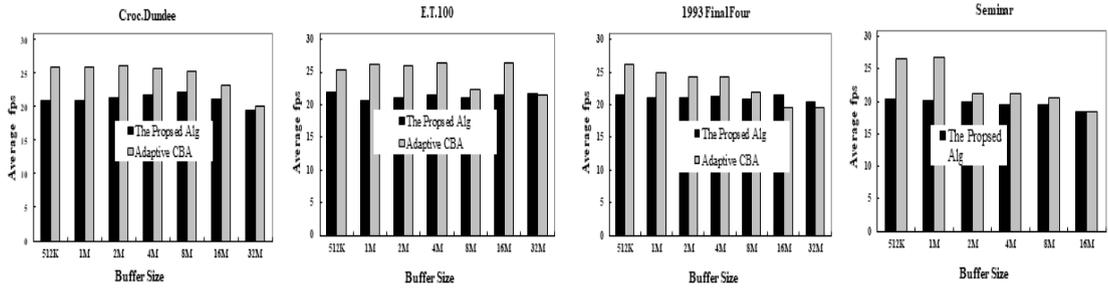
[그림 7]은 재생률 변화량 비교이다. 일반적으로 모두 버퍼크기가 커질수록 안전한 전송률을 갖게 되어 재생률 변화량이 작아질 것으로 예상된다. 그러나, CBA 알고리즘의 경우 전송률 증가가 요구되는 경우 연장구간에서 가장 많은 프레임을 보낼 수 있는 프레임을 새로운 구간의 시작프레임으로 설정하는데 이때 급격하게 높은 전송률이 요구될 수 있다. 이와같이 제안 알고리즘의 경우에도 새로운 런의 시작 프레임을 설정하는데 급격하게 높은 전송률이 요구되는 경우가 발생되어 버퍼 크기가 커져도 재생률 변화량이 감소되지 않는 경우가 발생되었다.



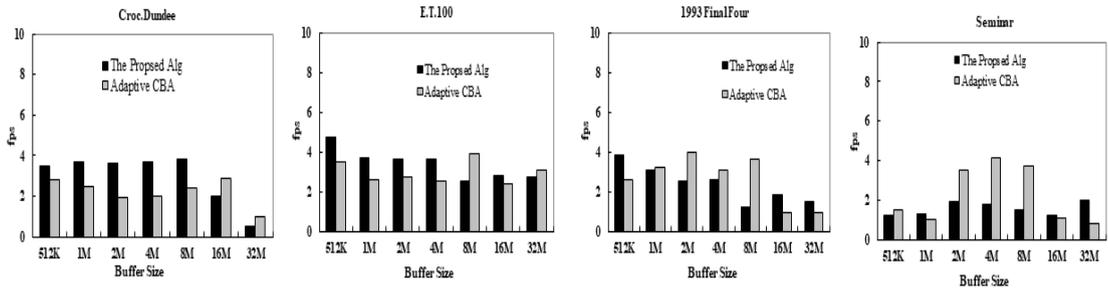
[Fig. 4] Comparison of the number of fps changes



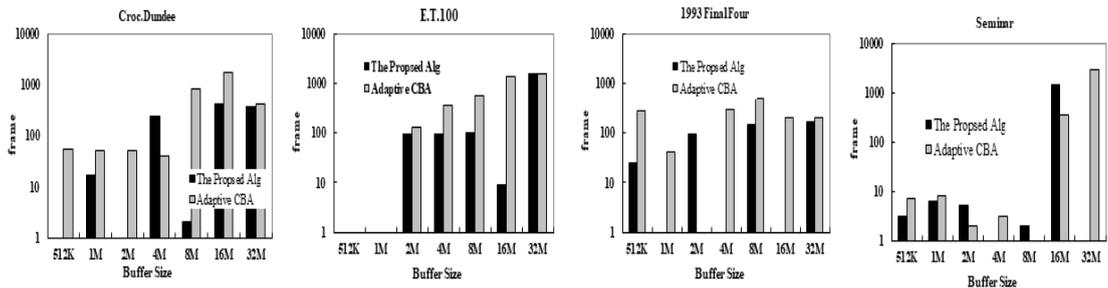
[Fig. 5] Comparison of minimum fps



[Fig. 6] Comparison of Average fps



[Fig. 7] Comparison of fps variability



[Fig. 8] Comparison of the number of discarded frames

[그림 8]은 서버에서 할당된 대역폭을 만족시키기 위해 스무딩 알고리즘에서 폐기되는 프레임 개수 비교이다. 이 개수가 적을수록 클라이언트에서는 더 많은 비디오 프레임을 시청할 수 있다. Seminar 16MB를 제외하고 제안 알고리즘의 폐기되는 프레임 개수가 CBA 알고리즘에서 보다 적다. 이는 전송률 증가가 요구되는 경우 전송률 증가를 가장 적은 전송률을 갖게 하고 전송률의 감소가 요구되는 경우에는 가장 감소량이 큰 전송률을 설정하기 때문이다. 즉 가능한 작은 전송률로 전송하려는 전송 계획의 특징 때문이다. Seminar 비디오 데이터의 경우 프레임을 구성하는 바이트 수의 편차가 가장 적어서 CBA 알고리즘에서 계산된 전송률이 제안 알고리즘에서보다 적은 전송률로 계산되어 적게 프레임을 폐기시켰기 때문이다.

5. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 [6.7]에서 제안한 알고리즘을 네트워크 트래픽이 고려되는 환경에서 성능을 평가한 [19]의 후속 연구로 다양한 비디오 데이터와 버퍼크기를 가지고 성능을 평가하였다.

4개의 비디오 데이터를 사용하였고 버퍼 크기는 512KB부터 32MB로 설정하였다. 성능평가 요소로는 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량, 폐기되는 프레임 개수를 비교 분석하였다.

분석 결과, 재생률 변화 횟수는 실험에 사용된 모든 비디오 데이터와 버퍼크기에서 제안 알고리즘이 우수하였다. 최소 재생률은 CBA 알고리즘보다 같거나 낮았으며 평균 재생률은 CBA 알고리즘에서보다 낮았다. 재생률 변화량은 버퍼 크기와 비디오 데이터에 따라서 일부에서는 제안 알고리즘이 우수하고 일부에서는 CBA 알고리즘이 우수함을 보였다.

폐기되는 프레임 개수 비교에서도 제안 알고리즘이 우수하였다. 따라서 제안 알고리즘의 경우 재생률 변화가 적고 클라이언트에서 될수록 많은 프레임을 시청하려는 경우에 적합하다.

추후에는 네트워크 트래픽을 고려한 환경에서 제안 알고리즘을 실시간 비디오 전송에 적용하여 성능 평가를 진행할 예정이다.

REFERENCES

- [1] D. Le Gall, "MPEG: A video compression standard for multimedia applications", Communications of the ACM, Vol.34, 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.3020, 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), pp.1-79, 2002.
- [4] W.Feng, F.Jahanian, S.Sechrest, "An Optimal Bandwidth Allocation Strategy for the Delivery of Compressed Prerecoded 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, 7(2), pp.47-53, 2021.
- [8] W. Feng, S. Sechrest, "Critical Bandwidth Allocation for the Delivery of Compressed Prerecoded Video", Computer Communications, Vol.18, No.10, pp.709-717, 1995.
- [9] W. Feng, et. al., "Smoothing and buffering for delivery of prerecorded compressed video", in Proc. of ISET/SPIE Symp. on Multimedia Comp. and Networking, 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, 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, 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, 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, pp.222-231, 1996.
- [16] W. Feng and J. Rexford. "Performance evaluation of smoothing algorithms for transmitting prerecorded VBR video", IEEE Trans. on Multimedia, pp.302-312, 1999.
- [17] Wu-chi Feng, Ming Liu, "Critical Bandwidth Allocation Technique for Stored Video Delivery Across Best-Effort Network", pp.25, (OSU- CISRC-8/98-TR32) 1998.
- [18] 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,2001.
- [19] MyounJae Lee, "Smoothing Algorithm Considering Server Bandwidth and Network", Journal of Internet of Things and Convergence, Vol.8, No.1, pp.53-58, 2022.

이 면 재(MyounJae Lee)

[중신회원]



■ 2009년 3월 ~ 현재 : 백석대학교
컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

사물인터넷, 게임, MPEG