

# IoT 환경에서 서버 대역폭과 네트워크 트래픽을 고려한 스무딩 알고리즘

이면재\*

백석대학교 컴퓨터공학부 교수

## Smoothing Algorithm Considering Server Bandwidth and Network Traffic in IoT Environments

MyounJae Lee\*

Professor, Division of Computer Engineering, BaekSeok University

**요약** 스무딩은 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 고정 비트율로 변환하는 전송 계획이다. [6,7]의 연구에서는 전송률 증가가 요구되는 되는 경우에 증가량이 가장 적은 프레임은 새로운 전송률 구간의 시작 프레임으로 설정하고, 전송률 감소가 요구되는 경우에 감소량이 가장 큰 프레임을 새로운 구간의 시작 프레임으로 설정하는 스무딩 알고리즘을 제안하고 네트워크 트래픽이 고려되지 않는 환경에서 성능을 평가하였다. 본 논문에서는 [6,7]의 스무딩 알고리즘을 네트워크 트래픽을 고려한 환경에서 E.T 90 비디오 데이터로 512KB부터 32MB까지 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량으로 적응적인 CBA 알고리즘과 성능을 평가한다. 비교 결과, [6,7]의 스무딩 알고리즘은 최소 재생률 비교에서 우수함을 보였다.

**주제어** : IoT, 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 constant bit rate. In the study of [6-7], when a data rate increase is required, the frame with the smallest increase is set as the start frame of the next transmission rate section, when a data rate decrease is required, the frame with the largest decrease is set as the start frame of the next transmission rate section, And the smoothing algorithm was proposed and performance was evaluated in an environment where network traffic is not considered. In this paper, the smoothing algorithm of [6-7] evaluates the adaptive CBA algorithm and performance with minimum frame rate, average frame rate, and frame rate variation from 512KB to 32MB with E.T 90 video data in an environment that considers network traffic. As a result of comparison, the smoothing algorithm of [6-7] showed superiority in the comparison of the minimum refresh rate.

**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 1월 9일 수정일 2022년 2월 15일 심사완료일 2022년 2월 17일

### 1. 서론

서버에 저장되는 비디오 데이터들은 압축되어 저장된다. 이러한 압축 방법에는 프레임을 구성하는 바이트의 수가 일정한 고정 비트율(CBR:Constant Bit Rate)과 프레임을 구성하는 바이트 수가 다른 가변 비트율(VBR:Variable Bit Rate) 방법 [1-4]이 있다.

가변 비트율로 저장된 비디오 데이터의 경우 서버에서 프레임을 구성하는 바이트 수를 그대로 전송하는 경우 전송률을 심하게 증가시켜야 되는 경우가 발생할 수 있다 [2-5]. 이를 예방하기 위해서는 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 고정 비트율로 변환시키는 전송 계획이 요구된다. 이 전송 계획을 스무딩[2,5]이라고 한다.

이 스무딩을 위한 알고리즘에는 전송률 증가횟수를 최소화하는 CBA(Critical Bandwidth Allocation) [8-10], 전송률 증가 횟수와 감소 횟수 모두를 최소화하는 MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [11,15], 전송률 변화량을 최소화하는 MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) [13-15]이 있다.

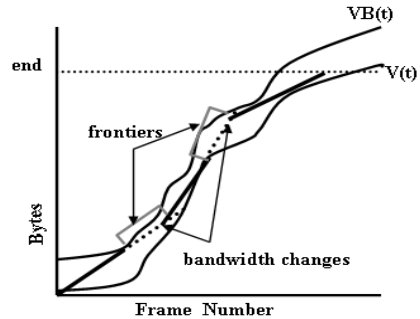
이 알고리즘들에서는 전송률 변화로 인한 통신 오버헤드를 줄이거나 전송률 증가량을 적게 하여 전송률 예약의 용이성을 제공하는 것이 목적이다. 모두 서버에서 제공될 수 있는 여분의 네트워크 트래픽을 고려하지 않았다. [6,7] 연구에서는 서버에서의 여분의 대역폭을 최대화하기 위해서 전송률 증가가 요구되는 경우에는 전송률 증가량을 최소로 하고 감소가 요구되는 경우에는 전송률 감소량을 최대로 하는 스무딩 알고리즘을 제안하고 네트워크 트래픽을 고려하지 않는 환경에서 전송률 변화 횟수, 첨두 전송률, 전송률 변화량, 평균 재생률 등을 비교하였다 이 연구에 대한 후속 연구로 본 연구에서는 네트워크 트래픽을 고려하는 환경에서 [6,7] 스무딩 알고리즘의 성능을 평가한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 스무딩 알고리즘을 설명하고, 3장에서는 네트워크 트래픽을 고려한 환경에서 [6,7] 알고리즘을 기술한다. 4장에서는 네트워크 트래픽을 고려한 환경에서 [6,7] 알고리즘과 CBA 알고리즘과의 성능을 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량으로 평가한다. 그리고 5장에서는 결론 및 추후 연구 방향을 논한다.

### 2. 스무딩 알고리즘

스무딩은 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 고정

비트율로 변환하는 전송 계획이다. [그림 1]은 스무딩 기법의 원리 [5,13,16,17] 이다. X축은 프레임 즉 시간, Y축은 프레임을 구성하는 크기들의 합이다. b는 클라이언트 버퍼의 크기,  $f_i$ 는 프레임  $i$ 의 바이트 수이다. 식 (1) [13]은 언더플로우 경계선을 나타내는  $V(t)$ 로써 프레임들의 누적된 바이트 수이다. 이 경계선보다 낮게 프레임들을 전송하는 경우 언더플로우가 발생된다.



[Fig. 1] Principal of Smoothing algorithm

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

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

$VB(t)$ 는 오버플로우 경계선으로 언더플로우 경계선 값에 버퍼 크기, 즉 버퍼에서 수용할 수 있는 바이트수를 합한 것이다. 이 경계선보다 높은 전송률로 프레임을 보내는 경우 클라이언트에서는 오버플로우가 발생된다.

런(Run)은 동일한 전송률로 보낼 수 있는 프레임들의 구간이며 연장구간(frontier)은 런을 구성하는 마지막 프레임부터 이 전송률로 보내는 경우 QoS를 보장하는 프레임까지의 구간을 말한다.

CBA(Critical Bandwidth Allocation) [8,9,10] 알고리즘은 전송률 증가 횟수를 가장 적게 하기 위한 것으로 전송률의 감소가 요구되는 경우 연장 구간의 첫번째 프레임을 다음 런의 시작 프레임으로 설정한다. 전송률 증가가 요구되는 때에는 연장 구간에 속한 프레임들 중에서 동일한 전송률로 가장 많은 프레임을 전송할 수 있는 프레임을 새로운 런의 시작 프레임으로 설정한다.

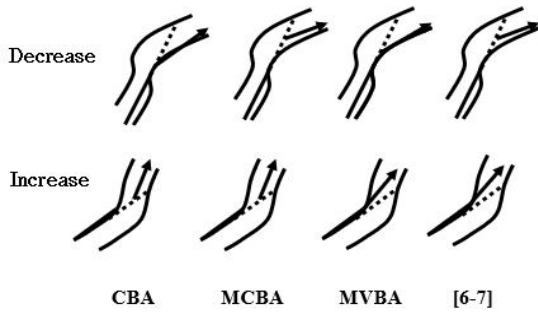
MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [11,15] 알고리즘에서는 전송률 증가 또는 감소가 요구되는 경우 모두에서 연장 구간에서 동일한 전송률로 가장 많은 프레임들을 전송할 수 있는 프레임을 다음 런의

시작 프레임으로 설정한다. 이러한 과정으로 전송률 변화 횟수를 가장 적게 만든다.

MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) 알고리즘[13-15]는 전송률 변화량을 최소화하는 목적으로 전송률 변화가 요구되는 경우 연장 구간의 첫 번째 프레임을 새로운 런의 시작 프레임으로 설정한다.

[6,7]에서 제안된 알고리즘에서는 전송률 증가가 요구되는 경우에는 MVBA 알고리즘에서와 같이 새로운 런의 시작 프레임을 설정하고 전송률 감소가 요구되는 경우에는 연장구간에서 가장 많이 감소되는 전송률로 전송될 수 있는 프레임을 연장구간의 시작 프레임으로 설정한다. 이러한 전송률 계획은 서버에서 여분의 대역폭을 최대로 갖게 하는데 도움을 준다.

[그림 2]는 CBA, MCBA, MVBA, [6,7]알고리즘의 전송률 변화과정을 보여준다.



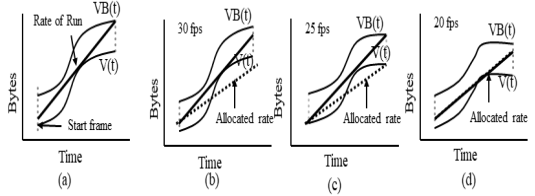
[Fig. 2] CBA, MCBA, MVBA, [6,7] algorithm

### 3. 네트워크 트래픽이 고려되는 환경에서의 스무딩 알고리즘

네트워크 트래픽이 고려되는 환경에서 클라이언트에서 요청한 비디오 데이터를 전송하는 경우에는 스무딩 알고리즘에서 계산된 전송률이 서버에서 할당해준 네트워크 트래픽보다 작은 경우가 발생할 수 있다. 이 경우에는 서버에서 계획된 전송률로 프레임들을 전송할 수 없으므로 스무딩 알고리즘에서 계산된 전송률이 서버에서 할당된 전송률을 만족시킬 때까지 프레임들을 폐기시켜야 한다. [그림 3]은 이 과정을 보여준다[17,18].

[그림 3] (a)에서 스무딩 알고리즘을 사용하여 전송 계획을 세우고 이때 서버에서 할당된 전송률(Allocated rate)이 스무딩 알고리즘에서 계산된 전송률(Run of Rate)보다 작은 경우가 발생되면(그림 3) (b) 한 개의

프레임을 폐기시킨다. [그림 3] (c)에서와 같이 5개의 프레임을 폐기시킨 경우에도 서버에서 할당된 전송률을 만족시키지 못한 경우에는 지속적으로 프레임을 폐기시킨다. 결과적으로 [그림 3] (d)에서와 같이 10개의 프레임을 폐기시켜서 스무딩 알고리즘에서 계산된 전송률이 서버에서 할당된 전송률을 만족시키는 경우 이 전송률로 서버에서 클라이언트에게 전송한다.



[Fig. 3] Smoothing Algorithms Considering Network Traffic

## 4. 성능 평가

실험에 사용된 비디오 데이터는 MPEG-2로 저장된 비디오 소스의 프레임 정보들은 [16]에서 다운로드 하였다. <표 1>은 실험에 사용된 E.T.90 비디오 데이터를 보여주며 단위는 KB이다. Length는 비디오 재생 시간, Ave는 평균 프레임 크기의 평균, Max와 Min은 프레임 당 바이트 수가 가장 큰 값과 작은 값이다. Std는 프레임 크기의 표준편차이다.

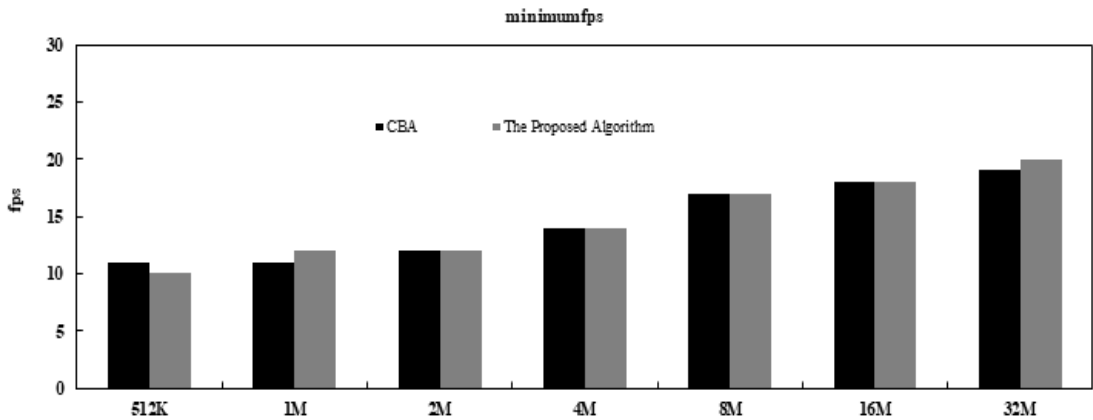
<Table 1> MPEG Video Parameters

Name	Length	Ave	Max	Min	Std.
E.T.90	94	5.97	19.43	1.233	4.31

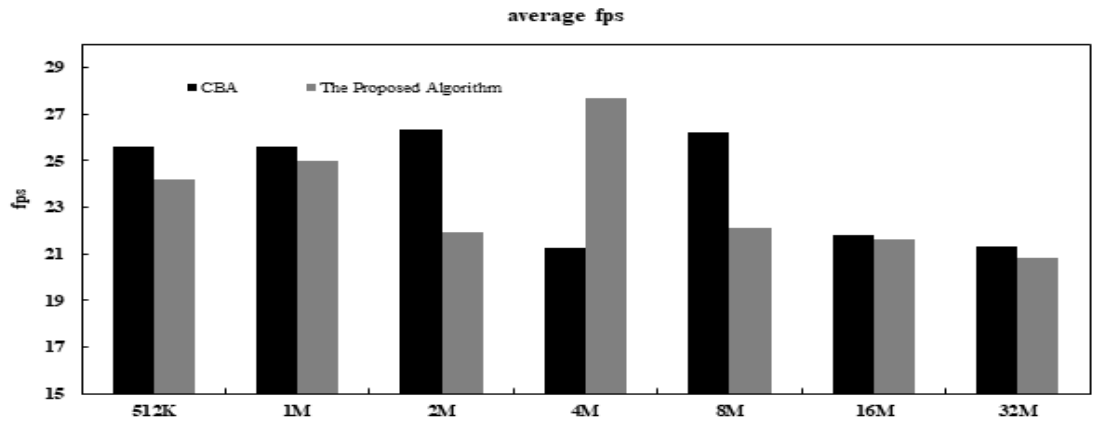
[6,7] 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 네트워크 트래픽이 고려된 환경에서의 CBA 알고리즘[17,18]과 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량을 비교하였다.

서버에서 클라이언트에게 할당된 네트워크 트래픽은 사용된 비디오 소스를 구성하는 프레임들의 평균 바이트 수의 70%로 설정한다[15,16]. 클라이언트의 버퍼 크기는 512KB부터 32MB까지 다양하게 설정한다.

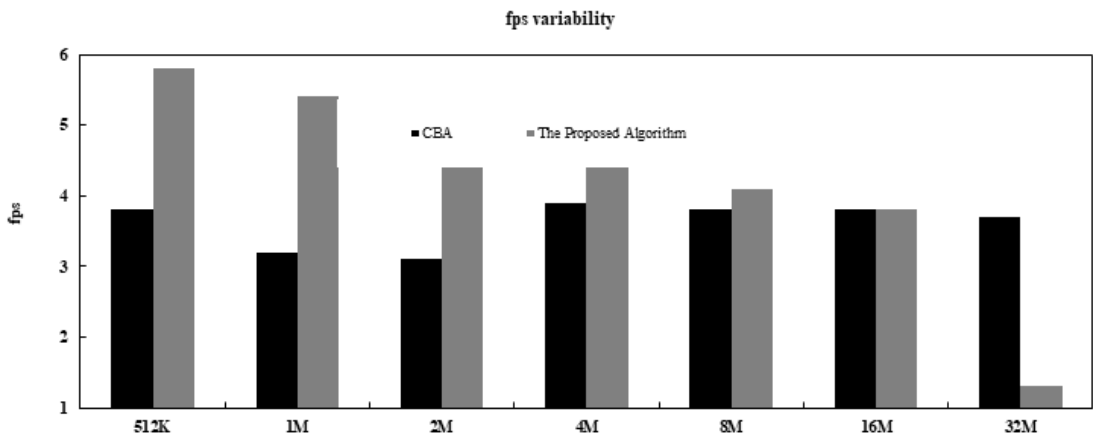
[그림 4]는 최소 재생률을 비교한 결과이다. 두 알고리즘 모두에서 버퍼 크기가 커질수록 최소 재생률이 커짐을 알 수 있다. 이는 버퍼 크기가 커질수록 버퍼에 저장할 바이트 수가 커지므로 급격하게 높은 전송률이 요구



[Fig. 4] Minimum FPS



[Fig. 5] Average FPS



[Fig. 6] FPS Variability

되지 않기 때문이다. 버퍼 크기가 512KB인 경우 [6,7] 알고리즘에서의 최소 재생률이 CBA보다 적는데 이는 CBA 알고리즘에서보다 높은 전송률이 요구되는 구간이 발생했기 때문이다. 버퍼 크기가 32MB인 경우 [6,7] 알고리즘의 최소 재생률이 CBA 알고리즘에서의 최소 재생률보다 큰데, 이는 전송률 감소가 요구되는 경우 CBA 알고리즘에서다 프레임이 적게 폐기시켜도 서버에서 할당된 전송률을 만족시키기 때문이다.

[그림 5]는 평균 재생률을 비교한 결과이다. 이 값이 높을수록 클라이언트에서는 높은 화질의 비디오를 시청할 수 있다. [6,7] 알고리즘의 평균 재생률이 버퍼 크기가 512KB부터 4MB까지에서 CBA 알고리즘보다 낮다. 그러나, 버퍼 크기가 8MB, 16MB, 32MB인 경우에 [6,7] 알고리즘의 평균 재생률이 CBA 알고리즘 보다 높다. 따라서 [6,7] 알고리즘에서는 버퍼 크기가 클수록 CBA 알고리즘보다 폐기되는 프레임 개수가 적어짐을 알 수 있다.

[그림 6]은 재생률 변화량을 비교한 결과이다. 이 값이 커질수록 클라이언트에서는 재생률의 변화가 커진다. 결과적으로 편한 비디오 시청에 방해가 될 수 있다.

두 알고리즘 모두에서 버퍼 크기가 커질수록 재생률 변화량이 작아짐을 알 수 있다. 이는 버퍼 크기가 커질수록 버퍼에 저장할 프레임을 구성하는 바이트 수가 커지므로 완만하게 전송률을 변화시킬 수 있었기 때문이다.

[6,7] 알고리즘에서의 재생률 변화량이 버퍼 크기가 512KB부터 8MB까지에서 CBA 알고리즘에서보다 크고 8MB와 16MB에서는 작음을 보여주고 있다.

## 5. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 네트워크 트래픽이 고려된 환경에서 [6,7]에서 제안된 스무딩 알고리즘과 CBA 알고리즘에서의 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량을 비교하였다. 사용된 비디오 데이터는 E.T.90 비디오 데이터이며 버퍼 크기는 512KB부터 32M까지 다양하게 설정하였다.

비교 결과, 최소 재생률은 버퍼 크기가 512KB인 경우를 제외하고 CBA 알고리즘보다 같거나 높음을 확인하였다. 평균 재생률 비교에서는 CBA 알고리즘에서보다 낮았고 재생률 변화량 또한 버퍼 크기가 32MB를 제외하고 컸다. 따라서 네트워크 트래픽을 고려한 경우 [6,7]에서 제안된 스무딩 알고리즘은 시청자에게 보다 높은 최소 재생률로 제공하려는 경우에 유익하다.

추후에는 네트워크 트래픽을 고려한 환경에서 다양한

비디오 데이터와 네트워크 트래픽으로 [6,7] 알고리즘에 대한 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.Secrest, "An Optimal Bandwidth Allocation Strategy for the Delivery of Compressed Preencoded Video", ACM/Springer-Verlag Multimedia Systems, Vol. 5, No. 5, pp.297-309, Sept 1997.
- [5] M.J.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] M.J.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] M.J.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. Secrest, "Critical Bandwidth Allocation for the Delivery of Compressed Pre-recorded Video", Computer Communications, Vol18, 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.

이 면 재(MyounJae Lee)

[종신회원]



■ 2009년 3월 ~ 현재 : 백석대학교  
컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

사물인터넷, 게임, MPEG