

# IoT 환경에서 가용 전송률을 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 압축되어 저장된 비디오 데이터에 대해 동일한 전송률로 보낼 수 있는 프레임들의 구간으로 구성되는 전송 계획을 세우는 것을 말한다. 스무딩 알고리즘은 전송률 변화 횟수, 전송률 증가 횟수, 전송률 증가량을 최소화하기 위해 다양한 알고리즘들이 연구되어졌다. 본 연구는 서버 대역폭이 제한적인 환경에서 서버에서 확보할 여분의 대역폭의 크기를 최대화하기 위하여 전송률의 증가가 요구되는 경우에는 전송률 증가량을 최소화하고 전송률 감소가 요구되는 경우에는 전송률 증가량을 최대화하는 스무딩 알고리즘에 대한 성능 평가이다. 서버에서 이용할 수 있는 가용전송률과 버퍼 크기를 다양하게 설정하고 재생률 변화횟수, 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량으로 평가한다. 비교 결과, 제안 알고리즘은 평균 재생률, 재생률 변화량에서 우수함을 보였다.

**주제어** : 사물인터넷, 스무딩, 가변비트율, 적응형 비디오 전송, 파열

**Abstract** Smoothing is to creating a transmission plan consisting of sections of frames that can be sent at the same transmission rate for compressed and stored video data. Various algorithms have been studied for the smoothing to minimize the number of transmission rate changes, the number of transmission rate changes, and the amount of transmission rate increase. This study evaluates the performance of a smoothing algorithm that minimizes the increase in transmission rates and maximizes the increase in transmission rates when the transmission rate is required to maximize the excess bandwidth to be secured by the server in an environment with limited server bandwidth. The available transmission rates and buffer sizes available in the server are set in various ways and evaluated by the number of fps changes, the minimum fps, the average fps, and fps variability. As a result of the comparison, the proposed algorithm showed excellent average fps and fps variability.

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

\*본 논문은 2023학년도 백석대학교 학술연구비 지원을 받아 작성되었음

\*교신저자 : 이면재(davidlee@bu.ac.kr)

접수일 2023년 01월 18일

수정일 2023년 2월 26일

심사완료일 2023년 3월 4일

### 1. 서론

디스크 공간은 효율적으로 저장되어야 한다. 특히 비디오 데이터와 같이 크기가 큰 데이터의 경우 저장공간의 효율적 사용을 위해 압축되어 저장된다. 저장 방법에는 프레임을 구성하는 바이트 수에 따라 일정하지 다른 지에 따라 고정 비트율(CBR:Constant Bit Rate)과 가변비트율(VBR:Variable Bit Rate) 방법 [1-4]으로 구분된다.

프레임을 구성하는 바이트 수가 일정하지 않게 저장된 가변 비트율 비디오 데이터를 서버에서 전송하려는 경우에는 이전 프레임에 비해 크기가 큰 프레임을 전송하려는 경우가 발생될수 있다. 이때에는 클라이언트 전송에 요구되는 전송률이 갑자기 커질 수 있다[2-5] 문제를 버스트(Burst)라고 한다. 이 버스트 문제를 예방하기 위해서 서버에서는 프레임을 구성하는 바이트 수가 일정한 고정 비트율로 변환해서 보내야 한다. 이 계획을 스무딩 [2,5]이라고 한다.

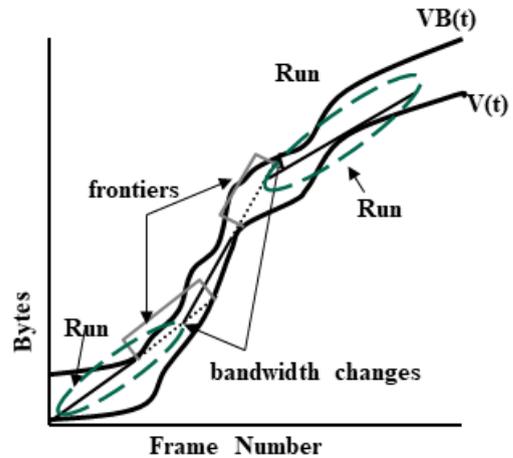
이 변환 계획을 세우기 위한 스무딩 알고리즘에는 CBA(Critical Bandwidth Allocation) [8-10], (Minimum Change Bandwidth Allocation) [11,15], MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) [13-15]등이 있다. CBA 알고리즘은 전송률 증가 횟수의 최소화, MCBA 알고리즘은 전송률 변화 횟수 최소화 MVBA 알고리즘에서는 전송률 변화량 최소화를 목적으로 한다.

CBA, MCBA, MVBA 알고리즘들에서는 서버에서 이용가능한 전송률, 즉 가용 전송률의 크기를 최적화하는 것에 관심이 적었다[6,7,]. [6,7]의 연구에서는 서버에서 보유하는 대역폭의 크기를 최대로 하기 위하여 전송률의 증가가 요구되는 경우에는 증가량을 최소화하고 전송률의 감소가 요구되는 경우에는 감소량을 최대로 하는 스무딩 알고리즘을 제안하였다. [19]에서는 다양한 비디오 데이터를 가지고 가용전송률의 크기를 1로 고정하여 [6,7]의 알고리즘과 CBA 알고리즘에 대한 성능을 평가하였다. 본 연구는 [19]의 후속 연구로 가용 전송률을 다양하게 설정하여 적응형 CBA 알고리즘과 [6,7]의 알고리즘의 성능을 평가한다.

### 2. 스무딩 알고리즘

스무딩은 프레임당 바이트 수가 다른 비디오 데이터를 일정한 크기를 갖는 비디오 데이터가 되도록 계획을 세

우는 것을 말한다. 스무딩 기법은 프레임 번호, 프레임들의 누적된 바이트 수(b), 언더플로우 경계선(V(t)), 오버플로우 경계선(VB(t))로 구성된다 [5,13,16,17]. [그림 1][4,5-7]은 이를 나타낸다. 클라이언트 버퍼 크기는 b 이고,  $f_i$ 는  $i$  번째 프레임의 바이트 수이다. 언더플로우 경계선 V(t) [13]는 0번째 프레임부터 t번째 프레임까지의 바이트 수의 합이다. 이 값보다 낮게 전송 계획을 세우는 경우 클라이언트에서는 언더플로우가 발생된다.



[Fig. 1] Principal of Smoothing algorithm

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

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

VB(t)는 t번째 프레임의 언더플로우 경계선 값에 버퍼 크기를 더한 값이다. 이 경계선보다 높게 비디오 데이터를 전송하려는 경우 오버플로우가 발생된다. 서버에서는 언더플로우 경계선과 오버플로우 경계선 중간 영역으로 전송계획을 세워야 한다.

스무딩 알고리즘에서 세운 전송계획은 동일한 고정 비트율로 전송할 수 있는 구간으로 구성된다. 이와같이 같은 전송률로 전송할 수 있는 연속적인 프레임들의 구간을 런(Run)이라고 한다. 연장구간(frontier)은 런의 마지막 프레임부터 이 전송률로 프레임들을 계속 보내는 경우 언더플로우 또는 오버플로우가 발생되지 않고 Qos를 보장하는 구간을 말한다.

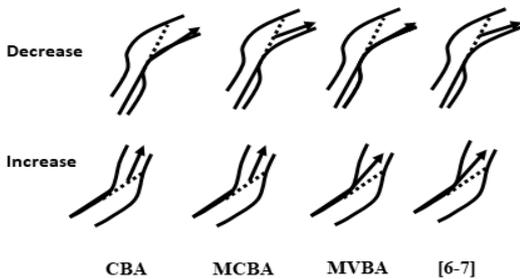
CBA(Critical Bandwidth Allocation) [8,9,10] 알고리즘은 전송률 증가 횟수의 최소화가 목적이다. 이를 위해 전송률 증가가 요구되는 경우에는 연장구간에서 새로

은 전송률로 가장 많은 프레임 전송할 수 있는 프레임을 검색하여 검색된 프레임 이전까지를 런으로 구성한다. 전송률의 감소가 요구되는 경우 연장구간 이전 프레임까지를 런으로 구성한다.

MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [11,15] 알고리즘에서는 전송률 감소 횟수와 감소 횟수 모두를 최소화하여 전송률 변화 횟수를 최소화한다. 전송률 변화가 요구되는 경우 연장구간에 속한 프레임들중에서 새로운 전송률로 가장 많은 프레임들을 전송할 수 있는 프레임을 검색하여 이 프레임 이전까지를 런으로 구성한다.

MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) 알고리즘[13-15]은 전송률 변화량을 최소화할 목적으로 한다. 이를 위해 연장구간에 속한 프레임들 중에서 전송률 변화량이 가장 적은 첫 번째 프레임을 새로운 전송률로 보낼수 있는 프레임으로 설정한다.

[6,7,19] 알고리즘에서는 서버에 있는 여분의 대역폭의 크기를 최대화하기 위하여 전송률 증가가 요구되는 경우에는 MVBA 알고리즘에서와 같이 런을 구성한다[19]. 전송률 감소가 요구되는 경우 연장구간에 속한 프레임들 중에서 전송률의 감소가 가장 큰 전송률로 전송할 수 있는 프레임을 검색하여 이 프레임 이전까지를 런으로 구성한다. 이렇게 함으로써 서버의 여분 대역폭 최대화에 도움을 준다. [그림 2]는 CBA, MCBA, MVBA, [6,7,19,20] 알고리즘의 전송률 변화과정[19]을 보여준다.



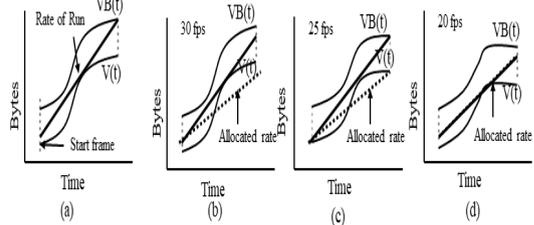
[Fig. 2] CBA, MCBA, MVBA, [6,7] algorithm

### 3. 가용 전송률이 고려되는 환경에서의 스무딩 알고리즘

클라이언트에서 요청한 비디오 데이터를 네트워크 트래픽이 고려되는 환경에서 전송하려는 경우에는 스무딩

알고리즘의 전송 계획이 서버에서 할당된 전송률 즉 가용전송률을 만족시켜야 한다. 만약 스무딩 알고리즘에서 세운 런의 전송률이 가용전송률을 만족시키지 못한 경우에는 가용 전송률을 만족시킬 때까지 런에 속한 프레임을 폐기시켜야 한다[17,19]. 재생률은 30fps로 가정한다.

[그림 3] (a)에서와 같이 런의 전송률이 가용전송률보다 큰 경우가 발생하는 경우 [그림 3](b)에서와 같이 1개의 프레임을 폐기시켜서 29fps로 만든다. [그림 3](b)과정을 반복하여 25fps가 된 경우 즉 5개의 프레임을 폐기하였음에도 스무딩 알고리즘에서 세운 전송률이 가용 전송률보다 큰 경우가 발생하는 더 많은 프레임을 폐기시켜야 한다([그림 3] (c)). [그림 3](c)과정을 런의 전송률이 가용 전송률보다 작거나 같을 때까지 반복 수행한다. [그림 3](d)에서와 같이 20 fps, 즉 10개의 프레임을 폐기시켰을 경우 런의 전송률이 가용 전송률보다 작게 되어 서버에서는 이 전송률로 클라이언트에게 전송한다.



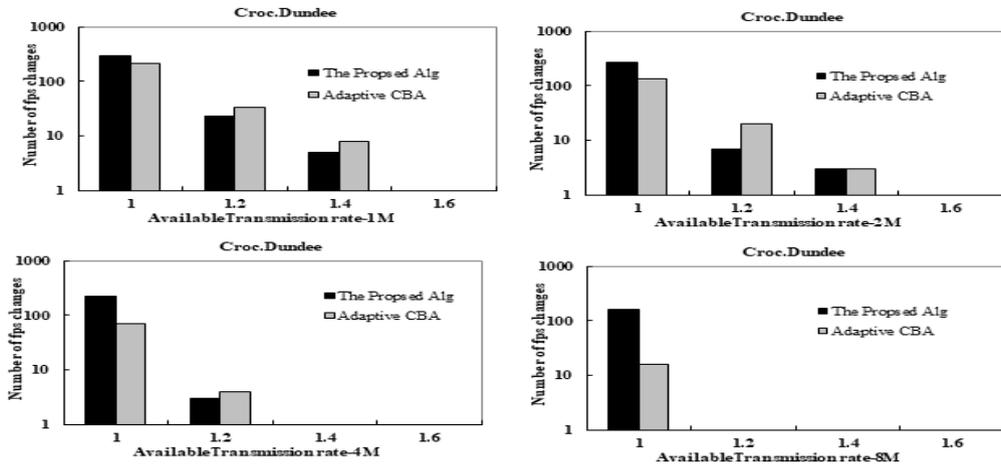
[Fig. 3] Smoothing Algorithms Considering Network Traffic

### 4. 성능 평가

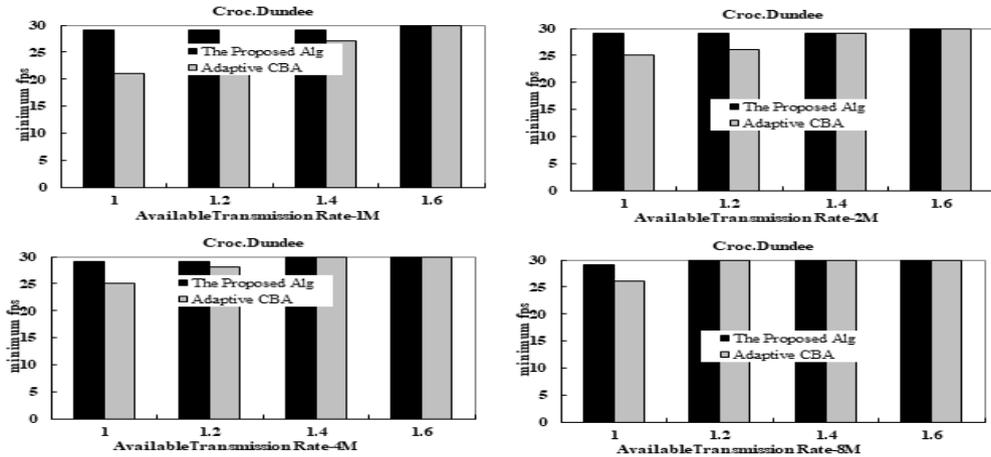
가용 전송률과 클라이언트의 버퍼 크기를 1MB부터 8MB로 다양하게 설정하여 CBA 알고리즘과 [6,7,19]알고리즘의 성능을 비교한다. 실험에 사용된 컴퓨터는 Intel 3.9GHz, 메모리 용량은 8GB이다.

논문에서 사용된 비디오 데이터는 Crocodile Dundee 비디오 데이터로서 재생 시간은 94KB, 프레임을 구성하는 바이트 수의 평균은 2.59KB, 비디오 데이터를 구성하는 프레임들 중에서 바이트 수의 최댓값은 18.98KB, 최소는 1.233KB이다. 프레임을 구성하는 바이트 수의 표준편차는 2.281KB이다.

가용 전송률의 크기는 해당 비디오 소스의 평균 프레임 바이트 수의\*30의 1배부터 1.6배까지로 설정한다. 가용전송률의 크기를 변화시킨 것은 본 연구에 사용된 스무딩 알고리즘이 가용전송률에 따라 성능 평가 요소에



[Fig. 4] Comparison of fps changes



[Fig. 5] Comparison of minimum fps

영향을 끼치는 정도를 살피기 위함이다.

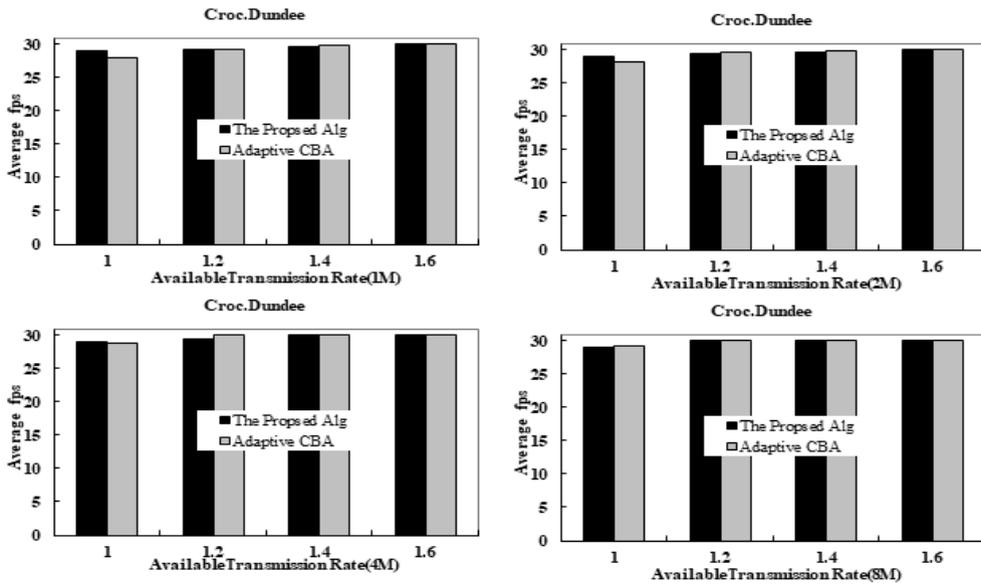
가용 전송률이 고려된 환경에서의 CBA 알고리즘 [17,18]과 [6,7,19] 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 최대 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량을 비교한다.

[그림 4]는 재생률 변화 횟수를 비교한 결과이다. 가용 전송률의 크기와 버퍼 크기가 커질수록 재생률 변화 횟수는 적어진다. 이는 가용 전송률이 커질수록 런에서 폐기되는 프레임의 개수가 적어져서 완만하게 전송 계획을 세울 수 있기 때문이다. 제안 알고리즘의 재생률 변화량이 가용전송률이 1배인 경우에는 더 큰데, 이는 전송률 증가가 요구되는 경우 증가량이 적은 전송률을 설정하기 때문에 런 간의 전송률의 크기 차이가 많이 발생했기 때

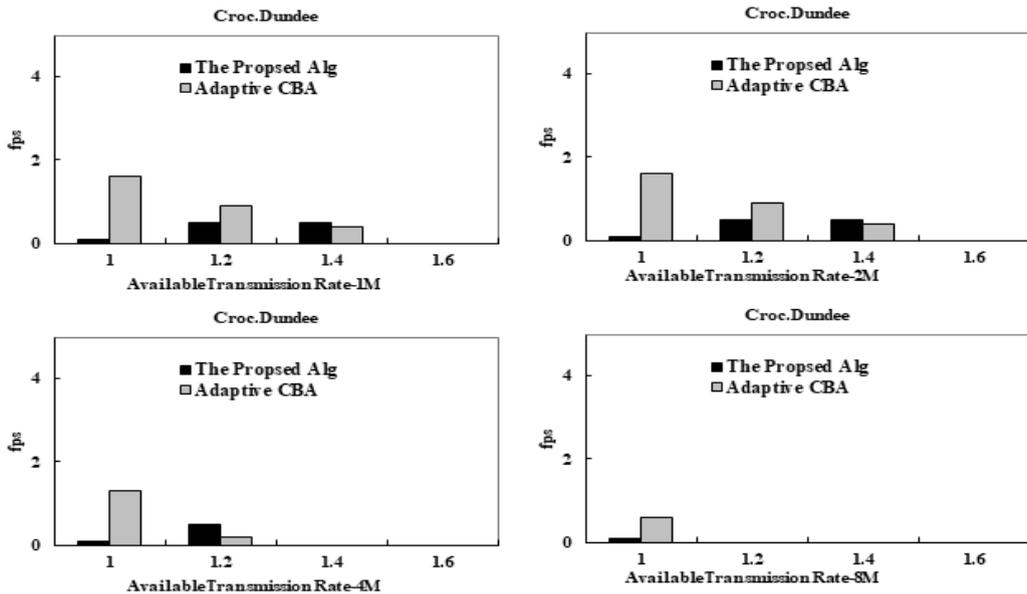
문이다.

[그림 5]는 최소 재생률을 비교한 결과이다. 가용 전송률이 커질수록 재생률 변화 횟수 비교에서와 같이 최소 재생률이 높아진다. 이는 가장 큰 전송률이 요구되는 런에서 가용전송률이 클수록 폐기되는 프레임들의 개수가 적어지기 때문이다. 가용 전송률이 1.6인 경우 두 알고리즘 모두에서 최소 재생률이 30fps이다. 이는 가용 전송률이 런의 전송률보다 충분히 커서 한 개의 프레임도 폐기할 필요가 없었기 때문이다.

[그림 6]은 평균 재생률을 비교한 결과이다. 버퍼 크기와 가용 전송률이 커질수록 프레임을 적게 폐기시켜도 런의 전송률이 가용전송률을 만족할 가능성이 높아지기 때문에 평균 재생률이 높아진다.



[Fig. 6] Comparison of average fps



[Fig. 7] Comparison of fps variability

[그림 7]은 재생률 변화량을 비교한 결과이다. 버퍼 크기와 가용전송률이 커질수록 프레임이 적게 폐기시켜도 런의 전송률이 가용전송률을 만족할 가능성이 높아진다. 또한 전송률을 급격하게 변화시킬 필요가 없기 때문에 재생률 변화량은 작아진다. 실험에 사용된 가용전송률과 버퍼크기에서 제안 알고리즘의 재생률 변화량이 CBA알

고리즘 보다 낮다. 이는 전송률 증가가 요구되는 경우에 증가량이 적은 전송률을 갖게되고, 전송률이 감소가 요구되는 경우에 감소량이 가장 커질수 있는 전송계획을 세우기 때문이다. 즉 전송률 변화가 요구되는 경우에 될수록 전송률이 낮은 전송계획을 세우기 때문이다.

## 5. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 [6.7]에서 제안한 알고리즘을 네트워크 트래픽이 고려되는 환경에서 성능을 평가한 [19]의 후속 연구이다. 실험에 사용된 비디오 데이터는 Croc Dundee 비디오 데이터를 사용하였고 버퍼 크기는 1MB, 2MB, 4MB, 8MB로 설정하였다. 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량으로 [6.7.19]의 알고리즘과 CBA 알고리즘을 비교하였다.

연구 결과, 재생률 변화 횟수는 버퍼 크기가 1MB인 경우에는 제안 알고리즘에서 급격한 전송률이 요구되는 경우가 있어서 CBA 알고리즘보다 많았다. 그러나 버퍼 크기가 커질수록 제안 알고리즘의 재생률 변화량이 CBA 알고리즘에서보다 작았다.

최소 재생률과 재생률 변화량을 비교한 결과에서는 제안 알고리즘이 모든 버퍼크기와 가용전송률에서 높거나 같았다.

평균재생률과 재생률 변화량은 버퍼 크기와 비디오 데이터에 따라서 일부에서는 제안 알고리즘이 우수하고 일부에서는 CBA알고리즘이 우수함을 보였다.

추후에는 비디오 데이터를 전송하는 중간에 가용 전송률을 변화시켜도 효율적인 전송계획을 세우는 스무딩 알고리즘에 관한 연구를 진행할 예정이다.

## 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.Sechrest, "An Optimal Bandwidth Allocation Strategy for the Delivery of Compressed Prerecorded 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. Sechrest, "Critical Bandwidth Allocation for the Delivery of Compressed Prerecorded 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, 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 prerecorded 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] 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.

- [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)

[종신회원]



- 2009년 3월 ~ 현재 : 백석대학교  
컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

사물인터넷, 게임, MPEG