

# IoT 환경에서 첨두 전송률 이용률을 고려한 스무딩 알고리즘

이면재\*  
백석대학교 컴퓨터공학부 교수

## Smoothing Algorithm Considering Peak Rate Utilization in IoT Environment

MyounJae Lee\*  
Professor, Division of Computer Engineering, BaekSeok University

**요약** 비디오 서버에 저장된 비디오 데이터를 유한한 버퍼 크기를 가진 많은 클라이언트에게 전송하기 위해 데이터 전송률 변경 횟수, 첨두 전송률, 전송률 변화량과 같은 요소를 고려한 전송 계획이 필요하다. 이러한 전송 계획을 스무딩 알고리즘이라고 하며 CBA, MCBA, MVBA 등이 있다. 본 연구에서는 첨두 전송률 이용률을 감소시키기 위한 알고리즘을 제안하고 제안된 알고리즘의 성능을 평가한다. 평가 요소에는 전송률 변화 횟수, 첨두 전송률, 전송률 변화량, 버퍼 이용률, 평균 전송률, 첨두 전송률 이용률을 사용한다. 평가 결과, 제안된 알고리즘은 MVBA 알고리즘보다 낮은 버퍼 활용률과 평균 전송률, 첨두 전송률 이용률을 보인다.

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

**Abstract** The transmission of video data stored on a video server to a large number of clients with finite buffer sizes requires a transmission plan that considers factors such as the number of rate changes, peak rate, and the amount of rate variability. Such transmission plans are referred to as smoothing algorithms, examples of which include CBA, MCBA, and MVBA. This study proposes an algorithm to reduce the utilization of the peak rate and evaluates the performance of the proposed algorithm. The evaluation factors include the number of rate changes, peak rate, rate variability, buffer utilization, average rate, and peak rate utilization. The evaluation results show that the proposed algorithm exhibits lower buffer utilization, average rate, and peak rate utilization compared to the MVBA algorithm.

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

### 1. 서론

비디오 데이터는 압축 공간 효율성을 위해 가변 비트율 방법으로 저장된다. 이 비디오 데이터의 크기를 서버로부터 그대로 전송되면 갑자기 큰 전송률이 요구되는 버스트가 발생할 수 있다[1-5].

스무딩 알고리즘은 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 고정 비트율로 전송할 수 있도록 전송 계획을 세워서 급격하게 요구되는 전송률 증가 문제를 해결하기 위한 것이다[2][5].

스무딩 알고리즘에는 대표적으로 3가지가 있다. CBA (Critical Bandwidth Allocation) [6-8], MCBA (Minimum

본 논문은 2024학년도 백석대학교 학술연구비 지원을 받아 작성되었음

\*교신저자 : 이면재(davidlee@bu.ac.kr)

접수일 2024년 07월 01일 수정일 2024년 07월 18일 심사완료일 2024년 08월 09일

Change Bandwidth Allocation) [9], 그리고 MVBA (Minimum Variability Bandwidth Allocation) [10-11]이다.

CBA 알고리즘[6-8]은 전송 속도 증가 횟수를 최소화하는 것을 목표로 한다. MCBA 알고리즘[9]은 전송 속도 변경 횟수를 최소화하는 데 초점을 둔다. 반면에 MVBA 알고리즘[10-11]은 전송률의 변화량을 최소화하는 것을 목표로 한다.

제안 알고리즘은 새로운 전송률로 설정해야 하는 경우에 최소 전송률로 설정하여 버퍼 이용률을 최소화하는 동시에 다른 클라이언트들에 대역폭 예약의 용이성을 향상시킨다.

이 논문의 구조는 제2장에서 스무딩 알고리즘을 설명하고 제3장에서 제안된 알고리즘을 설명한다. 제4장에서는 제안된 알고리즘의 성능을 전송률 변화 횟수, 전송률 변화량, 침투 전송률, 침투 전송률 이용률, 평균 전송률 등의 평가 요소로 MVBA 스무딩 알고리즘과 비교하여 평가하고 분석한다. 마지막으로, 제5장에서 결론을 논의하고 추후 연구 방향을 논한다.

## 2. 스무딩 알고리즘

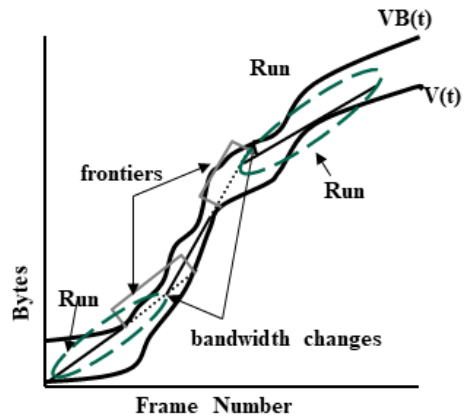
비디오 데이터는 프레임당 바이트 수가 다른 비디오 데이터를 일정한 크기를 갖는 비디오 데이터가 되도록 전송 계획을 세우는 것을 말한다.

비디오 데이터에 대한 전송 계획을 세우기 위해서는 프레임을 구성하는 바이트 수와 버퍼 크기가 필요하다. 프레임들을 구성하는 누적된 바이트 수는 언더플로우 경계선(V(t))으로 나타나며 식(1)은 이를 나타낸다. 오버플로우 경계선은 언더플로우 경계선의 값에 클라이언트의 버퍼크기(b)를 더한 값이다[5,13,16,17]. [그림 1][4, 5-7]은 스무딩 기법의 원리를 나타낸다.  $f_i$ 는  $i$  번째 프레임의 바이트 수이다. 언더플로우 경계선 V(t) [13]은 0번째 프레임부터 t번째 프레임까지의 바이트 수의 합이다. 전송 계획에서 세워진 전송률이 언더플로우 경계선 보다 낮은 경우 언더플로우가 발생된다.

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

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

오버플로우 경계선 VB(t)는 t번째 프레임의 언더플로우



[Fig. 1] Principal of Smoothing algorithm

우 경계선 값에 클라이언트 버퍼 크기를 더한 값이다. 스무딩 알고리즘을 수행 후 생성된 전송 계획이 이 경계선 보다 높ی 비디오 데이터를 전송하려는 경우 클라이언트에서는 오버플로우가 발생된다. 따라서, 서버에서는 이 두 경계선 사이의 영역으로 전송 계획을 세워야 한다.

스무딩 알고리즘의 전송 계획은 다수의 프레임들을 1개의 전송률로 보낼 수 있는데 이 구간을 런(Run)이라고 한다. 연장구간(frontier)은 동일한 전송률로 보낼 수 있는 마지막 프레임부터 이 전송률로 프레임들을 연속으로 전송하는 경우 QoS를 보장하는 프레임들의 구간을 말한다.

이러한 원리를 바탕으로 CBA[8,9,10], MCBA[11,15], MVBA([10-11] [12-15]) 알고리즘 등 다양한 스무딩 알고리즘이 개발되어져 왔다.

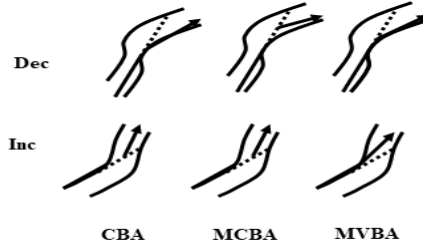
CBA 알고리즘[8,9,10]은 전송률 증가 횟수를 최소화하는 것을 목표로 전송률 증가가 요구되는 경우 연장구간에서 새로운 전송률로 가장 많은 프레임을 전송할 수 있는 프레임을 검색하여 검색된 프레임 이전까지를 런으로 구성한다. 이렇게 함으로써 전송률이 증가 되는 경우 가장 많은 프레임들을 1개의 전송률로 전송한다. 현재 전송률로 보내는 경우 오버플로우가 발생되어 새로운 런에서 전송률의 감소가 요구되는 경우 연장구간 이전 프레임까지를 런으로 구성한다.

전송률 변화 횟수를 최소화하기 위한 MCBA([11,15]) 알고리즘에서는 전송률 감소와 증가가 요구되는 경우 모두에서 연장구간에 속한 프레임들 중에서 새로운 전송률로 가장 많은 프레임들을 전송할 수 있는 프레임을 검색하여 이 프레임 이전까지를 런으로 구성한다.

전송률 변화량의 최소화를 목표로 하는 MVBA 알고리즘[13-15]에서는 연장 구간에 속한 프레임들 중에서

전송률 변화량이 가장 적은 첫 번째 프레임을 새로운 전송률로 보낼수 있는 프레임으로 설정한다.

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



[Fig. 2] CBA, MCBA, MVBA Algorithm

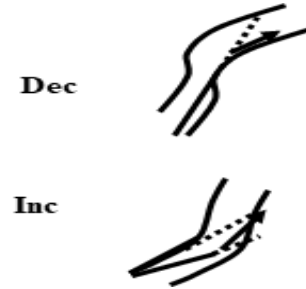
### 3. 제안 스무딩 알고리즘

MVBA 알고리즘에서는 전송률 증가가 요구되는 경우에는 현재 구간의 시작 프레임부터 검색된 프레임까지의 최소 전송률로 구간의 전송률을 설정한다. CBA 알고리즘에서는 전송률 증가가 요구되는 경우 전송률 증가 횟수를 최소화하기 위하여 새로운 전송률로 가장 많은 프레임을 전송할 수 있는 프레임을 새로운 구간의 시작 프레임으로 설정한다. 이 과정에서 서버의 여분의 대역폭을 많이 사용할 수 있다. MCBA 알고리즘에서는 전송률 증가 요구되는 경우와 전송률 감소가 요구되는 경우 모두에서 전송률 변화 횟수를 최소화하기 위하여 새로운 전송률로 가장 많은 프레임을 전송할 수 있는 프레임을 새로운 구간의 시작 프레임으로 설정한다.

제안 알고리즘은 전송률 증가 또는 감소가 요구되는 두 경우 모두에서 검색된 프레임까지의 QoS를 보장하는 전송률 중에서 최소 전송률을 해당 구간의 전송률로 설정한다.

제안 알고리즘의 경우 전송률이 증가되는 경우에는 MVBA 알고리즘의 전송률 증가와 동일하게 연장 구간의 첫 번째 프레임을 다음 런의 시작 프레임으로 설정하여 전송률 증가량을 최소화한다. 전송률이 감소되는 경우에는 QoS를 보장하는 전송률들 중에서 최소 전송률까지를 현재 구간의 마지막 프레임으로 설정한다. 이렇게 함으로써 전송률 증가량을 최소화하고 전송률 감소가 요구되는 경우에도 전송률 감소량이 가장 적은 전송계획을 세운다. 이렇게 함으로써 런마다 적은 전송률을 갖도록 한다. 비디오 프레임들을 모두 전송하는 경우 새로운 전송률을 할당해야 하는 경우 가장 작은 전송률로 보내려는

장점이 있다. 또한 평균 전송률도 낮아질 수 있는 장점이 있다. [그림 3]은 제안 알고리즘을 보여준다.



[Fig. 3] The Proposed Smoothing Algorithm

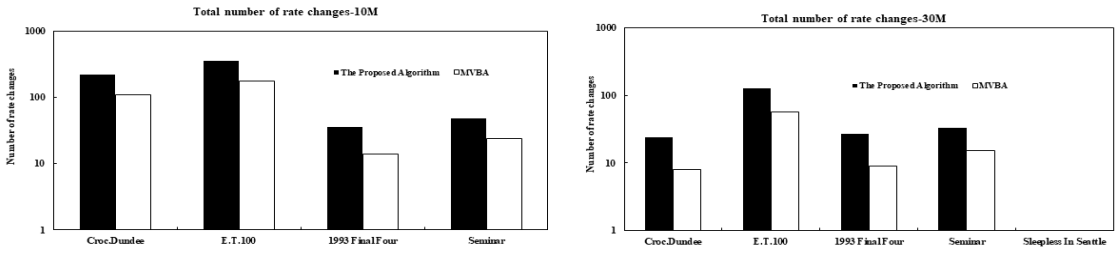
### 4. 성능 평가

연구에 사용된 비디오 데이터들은 MPEG-2로 저장되었으며 프레임을 구성하는 바이트 수가 저장되어 있다 [14]. [표 1]은 MPEG-2로 저장된 비디오 소스들의 파라미터들이고[17], 단위는 KB이다. Length는 비디오 재생 시간으로 단위는 분이다. Ave는 프레임을 구성하는 바이트 수의 평균, Max와 Min는 프레임 당 바이트 수가 가장 큰 값과 작은 값이다. Std.Dev는 프레임을 구성하는 바이트 수의 표준 편차로서 이 값이 클수록 프레임을 구성하는 바이트 수의 변화가 심하다. 이 크기에 대한 단위는 KB이다. 버퍼 크기를 10MB와 30MB로 설정하여 MVBA 알고리즘과 제안 알고리즘의 성능을 비교한다. 실험에 사용된 컴퓨터는 Intel 3.9GHz, 메모리 용량은 8GB이다.

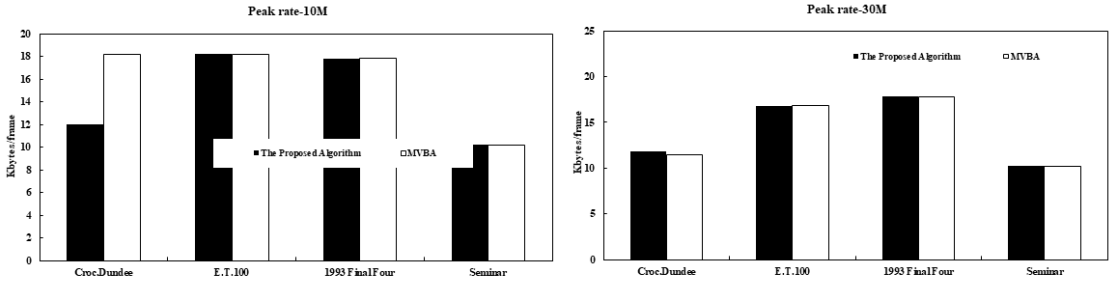
1993 Final Four는 프레임 당 바이트 수의 변화가 가장 심한 비디오 소스이고 세미나는 프레임 당 바이트 수의 변화가 아주 적은 비디오 소스이다. 제안 알고리즘의 성능 평가를 위해 전송률 변화 횟수, 침투 전송률, 전송률 변화량, 평균 전송률, 버퍼 이용률, 평균 전송률, 침투 전송률 이용률을 비교하였다. 클라이언트 버퍼 크기는 10MB와 30MB로 설정하였다.

<Table 1> MPEG Video Parameters

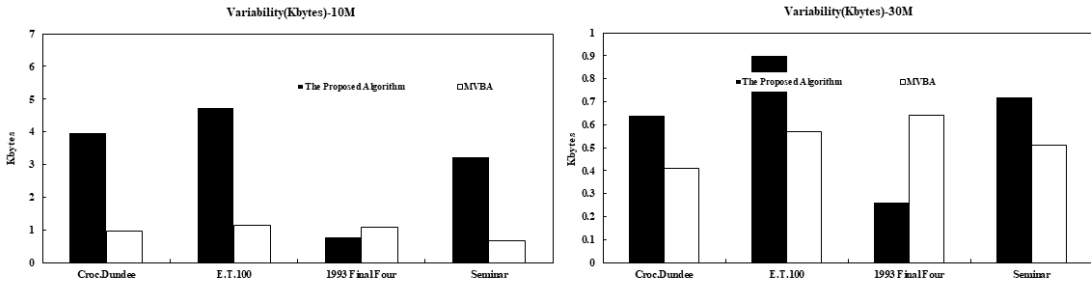
Name	Length	Ave	Max	Min	Std.Dev
Crocodile Dundee	94	2.59	18.98	1.233	2.281
E.T.100	110	2.17	19.49	2.278	2.513
Seminar	63	2.07	10.71	7.012	0.578
1993 Final Four	41	3.95	28.872	2.504	4.041



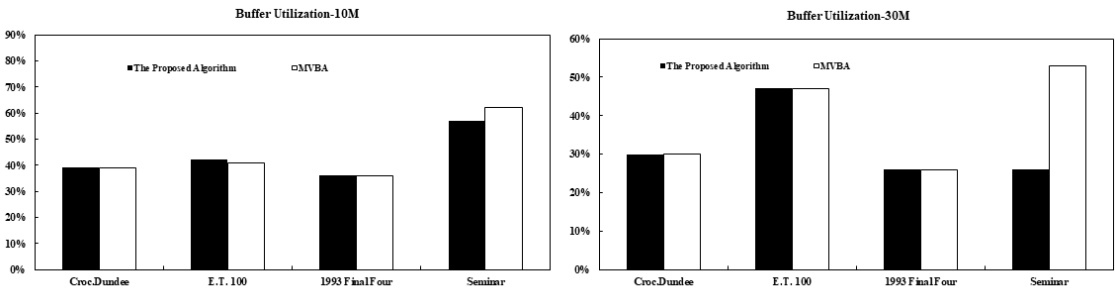
[Fig. 4] Comparison of the number of rate changes



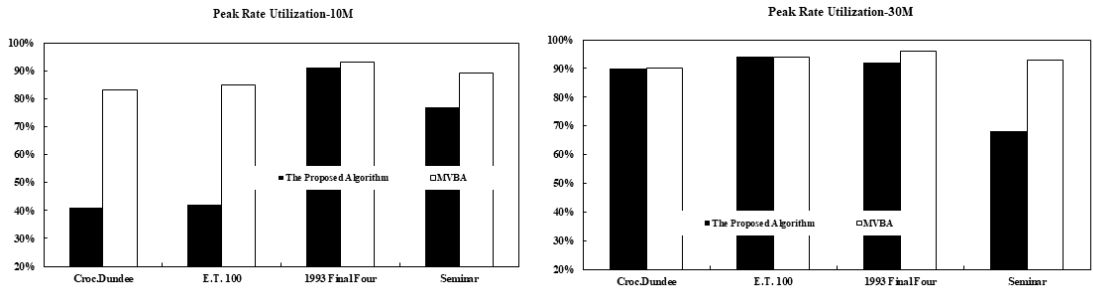
[Fig. 5] Comparison of the peak rate



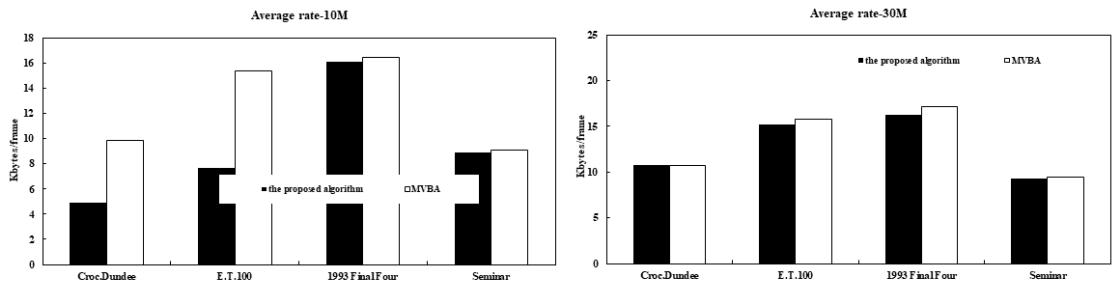
[Fig. 6] Comparison of the rate variability



[Fig. 7] Comparison of buffer utilization



[Fig. 8] Comparison of peak rate utilization



[Fig. 9] Comparison of average rate

[그림 4]는 전송률 변화 횟수 비교이다. 제안 알고리즘은 전송률 감소가 요구되는 경우에 검색된 프레임까지 QoS를 보장하는 전송률들 중에서 가장 작은 전송률로 설정하기 때문에 MVBA 알고리즘보다 전송률 변화 횟수가 많다.

[그림 5]는 침두 전송률 비교이다. 침두 전송률은 스무딩 알고리즘을 수행해서 나온 전송률들 중에서 가장 큰 값이다. Croc Dundee 비디오 데이터에서 버퍼 크기가 30M인 경우를 제외하고 제안 알고리즘의 침두 전송률이 낮다. 이 경우에는 지속적으로 낮은 전송률로 설정되다가 전송률의 변화가 큰 구간에서 갑자기 높은 전송률이 요구되었기 때문이다.

[그림 6]은 전송률 변화량을 비교한 결과이다. 전송률 변화량은 데이터를 구성하는 프레임 당 바이트수의 편차가 완만할수록 작아진다. 제안 알고리즘의 경우 전송률 변화량의 최소화가 목적인 MVBA 알고리즘보다 큰 경우가 많이 발생한다. 이는 제안 알고리즘에서 전송률 변화가 필요한 경우에 언더플로우가 발생되지 않을 최소의 전송률로 전송 계획을 세우다가 프레임 당 바이트 수가 큰 구간에서 높은 전송률을 갖는 전송 계획을 세웠기 때문이다.

[그림 7]은 버퍼 이용률 비교이다. 제안 알고리즘의 버퍼 이용률이 1993 Final Four 비디오 데이터에서 낮고 다른 비디오 데이터에서 높다.

[그림 8]은 침두 전송률 이용률 비교이다. 제안 알고리즘의 침두 전송률 이용률이 버퍼 크기가 10MB, 30MB인 경우 모든 비디오 데이터에서 낮다. 이는 런의 시작 프레임부터 검색된 프레임까지 QoS를 갖는 전송률들 중에서 가장 낮은 전송률로 런의 전송률을 설정하기 때문에 런 단위로 서버에서 전송하는 비디오 데이터 양이 MVBA 알고리즘에서보다 적기 때문이다.

[그림 9]는 평균 전송률을 비교한 결과이다. 이 값은 스무딩 알고리즘의 결과로 계산된 전송률들의 합을 전송률 변화 횟수로 나눈 값이다. 평균 전송률이 낮을수록 서버에서 요구되는 전송률이 감소되기 때문에 더 많은 비디오 데이터를 서비스 할 수 있다. 제안 알고리즘의 평균 전송률이 낮는데 이는 전송률이 변화되는 경우 모든 경우에서 검색된 프레임까지 QoS를 만족하는 전송률들 중에서 가장 낮은 전송률로 해당 구간의 전송률을 설정하기 때문이다.

## 5. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 평균 전송률과 침두 전송률 이용률을 줄일 수 있는 스무딩 알고리즘을 제안하였다. 실험에 사

용된 비디오 데이터는 Croc Dundee, E.T.100, Final Four 비디오 데이터를 사용하였고 버퍼 크기는 10MB, 30MB로 설정하였다. 제안 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 MVBA 알고리즘과 전송률 변화 횟수, 첨두 전송률, 전송률 변화량, 버퍼 이용률, 첨두 전송률 이용률, 평균 전송률을 비교하였다.

연구 결과, 전송률 변화 횟수와 전송률 변화량은 MVBA 알고리즘보다 많았고 첨두 전송률은 유사한 결과를 보였다. 그러나, 첨두 전송률 이용률과 평균 전송률 비교에서는 우수함을 보였다.

추후에는 제안 알고리즘을 다양한 비디오 데이터와 여러 스무딩 알고리즘과 비교 분석할 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.

이 면 재(MyounJae Lee)

[종신회원]



■ 2009년 3월 ~ 현재 : 백석대학교  
컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

사물인터넷, 게임, MPEG