

# IoT 환경에서 네트워크 자원의 효율적인 사용을 위한 스무딩 알고리즘의 성능평가

이면재

백석대학교 컴퓨터공학부 교수

## Performance Evaluation of Smoothing Algorithm for Efficient Use of Network Resources in IoT environments

MyounJae Lee

Professor, Division of Computer Engineering, BaekSeok University

**요약** IoT(Internet of Things) 환경에서 한정된 대역폭을 갖는 서버에서 저장된 비디오 데이터를 많은 클라이언트들에게 전송하기 위해서는 전송률 변화 횟수, 첨두 전송률, 전송률 변화량 등의 요소를 고려하여 전송 계획을 세워야 한다. 이 전송 계획을 스무딩이라고 하며 전송률 증가 횟수를 최소화하는 CBA, 전송률 변화횟수를 최소화하는 MCBA, 전송률 변화량을 최소화하기 위한 MVBA 등이 있다. 본 연구에서는 평균 전송률을 최소화하기 위해 제안된 알고리즘 [16]에 대한 성능을 평가하기 위해, 제안된 알고리즘과 기존 스무딩 알고리즘들에서의 첨두 전송률, 전송률 변화횟수, 전송률 증가횟수, 전송률 변화량, 첨두 전송률 이용률, 평균 전송률을 다양한 비디오 데이터와 버퍼 크기로 비교한다. 평가 결과 제안 알고리즘은 평균 전송률이 가장 낮은 전송 계획을 세움으로써, 서버의 한정된 네트워크 자원의 효율적인 사용에 도움을 준다.

**주제어** : IoT, 스무딩, 가변 비트율, 전송 계획, 버스트

**Abstract** In order to transmit video data stored in servers with limited bandwidth in IoT environments to many clients, a transmission plan must be established by considering factors such as the number of transmission rate changes, peak transmission rate, and transmission rate changes. This transmission plan is called smoothing, and includes CBA that minimizes the number of transmission rate increases, MCBA that minimizes the number of transmission rate changes, and MVBA to minimize the transmission rate changes. In this work, to evaluate the performance of the proposed algorithm[16], we compare the proposed algorithm with the existing smoothing algorithms with the peak rate, the number of transmission rate changes, the rate increase, the peak rate utilization, and the average transmission rate with various video data and buffer sizes.

The evaluation results show that the proposed algorithm helps to efficiently use the server's finite network resources by establishing a transport plan with the lowest average transfer rate.

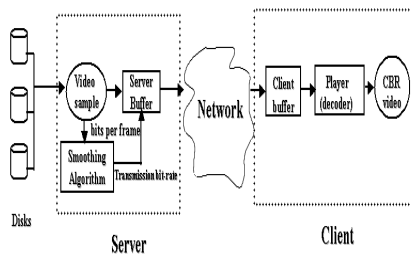
**Key Words** : ToT, Smoothing, VBR, Transmission Plan, Burst

### 1. 서론

비디오 서버 데이터는 저장 공간의 효율적 사용을 위해 압축되어 저장된다. 이러한 압축방법에는 시간당 출력되는 데이터 즉 프레임의 크기가 동일한 고정 비트율(CBR:Constant Bit Rate) 방식과 시간당 출력되는 데이터의 크기가 다른 가변 비트율(VBR:Variable Bit Rate) 방법 [1]이 있다. 고정비트율 방법은 데이터 저장을 많이 필요로 하는 곳에는 충분한 크기를 갖지 못하고 데이터가 필요없는 빈 공간에는 과도한 크기로 할당될 수 있기 때문에 비효율적이다. 가변 비트율 방식은 단위 비트 당 할당하는 용량을 효율적으로 조절할 수 있다. 많은 데이터를 요구하는 경우 많은 비트를 할당하고, 적은 데이터를 요구하는 경우 적은 비트를 할당하는 방식이다.

가변 비트율 방법으로 저장된 비디오 데이터를 서버에서 저장된 프레임 크기를 그대로 전송하는 경우 전송률을 급격히 증가시켜야 되는 현상이 발생할 수 있다 [2-5]. 이 현상을 방지하기 위해서는 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 고정 비트율로 전송할수 있는 전송 계획을 세워야 한다. 스무딩 기법은 이러한 급격한 전송률 증가 문제를 해결하기 위해 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터를 고정 비트율로 전송할수 있게 전송 계획을 세우는 것이다 [2][5].

[그림 1]은 스무딩 기법을 보여준다[5][15][16]. 스무딩 기법은 클라이언트, 서버로 구성된다. 먼저, 클라이언트에서 비디오 스트림을 서버에게 요청하면, 서버는 요청된 비디오를 검색하여 스무딩 알고리즘을 수행한다. 이후 서버에서는 세워진 전송 계획대로 클라이언트에게 비디오 데이터를 전송한다.



[Fig. 1] Smoothing Architecture

스무딩 알고리즘에는 목적에 따라 CBA(Critical Bandwidth Allocation) [6-8]와 MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [9], MVBA(Minimum

Variability Bandwidth Allocation) [10-11]이 있다.

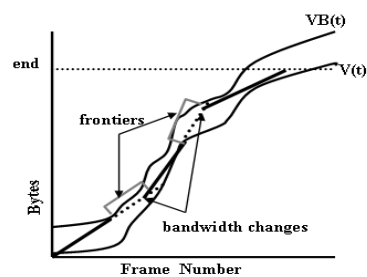
CBA(Critical Bandwidth Allocation) [6-8] 알고리즘에서는 전송률 증가 횟수를 최소화하고 MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [9] 알고리즘은 전송률 변화횟수를 최소화하고 MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) [10-11]알고리즘에서는 전송률 변화량을 최소화한다. 이 알고리즘들은 서버의 여분의 대역폭 크기를 고려하고 있지 않다.

제안 알고리즘[16]은 대역폭 예약의 용이성을 제공하여 다른 클라이언트들이 보다 쉽게 네트워크 접속을 용이하게 하는데 도움을 준다. 이를 위해 제안 알고리즘은 전송률 증가량을 최소화하고 전송률 감소량을 최대화 하여 될수록 자신이 사용하는 전송률을 적게 사용하도록 한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 다양한 스무딩 알고리즘을 설명하고, 3장에서는 제안 알고리즘을 기술한다. 4장에서는 제안 알고리즘과 CBA, MCBA, MVBA 스무딩 알고리즘과의 성능을 전송률 변화횟수, 전송률 증가량등으로 평가하고 이를 분석한다. 그리고 5장에서는 결론 및 추후 연구 방향을 논한다.

### 2. 본론

스무딩 기법은 가변 비트율 방식의 비디오 데이터를 고정 비트율로 전송할수 있도록 계획을 세우는 것이다. [그림 2]는 스무딩 기법의 원리 [5][12][15-16] 이다. X축은 시간, Y축은 누적된 바이트의 수이다.  $b$ 는 클라이언트 버퍼의 크기,  $f_i$ 는 프레임  $i$ 의 바이트 수이다. 식(1) [12]은 언더플로우 경계선을 나타내는  $V(t)$ 로써 프레임들의 누적된 바이트 수이다.



[Fig. 2] Principal of Smoothing algorithm

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

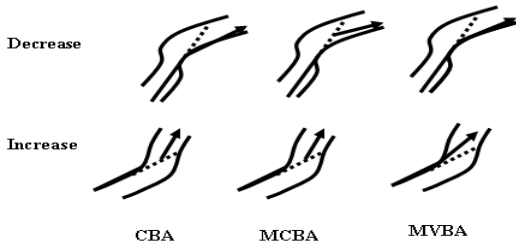
$$VB(t) = b + \sum_{i=0}^k f_i \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

서버에서는 V(t) 즉 언더플로우 경계선보다 높고 오버플로우 경계선을 나타내는 VB(t)보다 낮은 전송률로 프레임들을 보내야 한다.

연장 구간(frontier)은 현재 런(run)의 전송률이 되게 한 프레임부터 이 전송률로 프레임들을 계속 보내는 경우 언더플로우 또는 오버플로우 경계선과 만나는 프레임까지의 구간이다. 이 연장 구간은 다음 런의 시작 프레임을 결정할 때 사용된다

CBA(Critical Bandwidth Allocation) [6-8] 알고리즘의 목적은 전송률 증가횟수의 최소화이다. CBA 알고리즘 [6-8]에서는 다음 런에서 전송률의 감소가 요구되는 경우 연장 구간의 첫번째 프레임을 다음 런의 시작 프레임으로 설정한다. 다음 런에서 현재 전송률 보다 증가되는 전송률이 요구되는 경우 연장 구간에 속한 프레임들 중에서 가능한 한 가장 많은 프레임을 전송할수 있는 프레임을 검색하여 이 프레임을 새로운 런의 시작 프레임으로 설정한다. 이 과정으로 전송률 증가 횟수를 최소화한다.

MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [9] 알고리즘의 목적은 전송률 변화 횟수의 최소화이다. 전송률 변화 횟수가 적을수록 전송률 예약에 요구되는 오버헤드가 감소될수 있다[13]. MCBA 알고리즘 [9]은 전송률 증가가 요구되는 경우에 CBA 알고리즘의 전송률 증가가 요구되는 경우에서와 동일하고 다음 런의 전송률이 감소되는 경우에도 연장 구간에서 가장 많은 프레임을 보낼수 있는 프레임을 검색하여 다음 런의 시작 프레임으로 설정한다. [그림 3]은 CBA, MCBA, MVBA 알고리즘의 전송률 변화 과정을 보여준다[16].



[Fig. 3] CBA, MCBA, MVBA Smoothing Algorithm

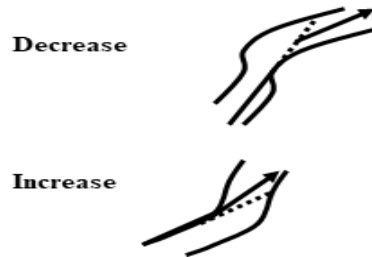
MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) 알고리즘 [11-12]의 목적은 전송률 변화량을 최소화하는 것이다. 완만한 전송률 변화량을 갖는 대역폭을 할당하게 함으로써 한정된 네트워크 자원 예약에 도움을 줄 수 있다[2][13]. MVBA 알고리즘 [11-12]에서는 다음 런의 전송률의 변화가 요구되는 경우 다음 런의 시작 프레임을 연장 구간의 시작 프레임으로 설정한다 [11].

### 3. 제안 알고리즘

CBA, MCBA 스무딩 알고리즘의 경우 전송률 증가 구간의 크기를 최대화하여 전송률 증가로 인한 대역폭 예약이 어려울 수 있다. 또한 전송률 감소시에 감소량이 작게 감소되어 다른 클라이언트가 여분의 대역폭 사용을 어렵게 할 수 있다.

제안 알고리즘은 전송률 증가량을 최소화하고 감소량을 최대화하여 현재 요청된 비디오 데이터에 사용되는 대역폭을 최대한 줄임으로써 여분의 대역폭 예약에 용이성을 제공한다. [그림 4]는 제안된 알고리즘의 전송률 변화 과정을 보여준다[16].

제안 알고리즘[16]의 경우 전송률이 증가되는 경우에는 MVBA 알고리즘의 전송률 증가와 동일하게 설정하여 전송률 증가량을 최소화한다. 전송률이 감소되는 경우에는 연장 구간에서 감소량을 최대로 하는 프레임을 검색하여 검색된 프레임을 다음 런의 시작프레임으로 설정한다. 이렇게 함으로써 전송률 증가량을 최소화하고 전송률 감소량을 최대로 하는 전송 계획을 얻는다.



[Fig. 4] The proposed Smoothing Algorithm

### 4. 시험환경 및 시험 결과

실험에 사용된 비디오 데이터들은 MPEG-2로 저장된 비디오 소스들로 프레임 정보들은 다운로드 하였다 [14].

〈표 1〉은 MPEG-2로 저장된 비디오 소스들의 파라미터 들이고 [15-16], 단위는 KB이다. 그리고 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.
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

알고리즘의 성능 평가는 먼저 기존 스무딩 알고리즘의 평가요소인 전송률 변화 횟수, 첨두 전송률, 전송률 변화량, 평균 전송률, 버퍼 이용률, 첨두 전송률 이용률을 비교하였다. 버퍼 이용률은 낮을수록 다른 비디오 데이터들에 대한 서비스가 용이하며, 첨두 전송률 이용률은 할당된 첨두 전송률에 대한 현재 런의 전송률의 백분율을 나타내는 값으로서 높을수록 불필요하게 첨두 전송률이

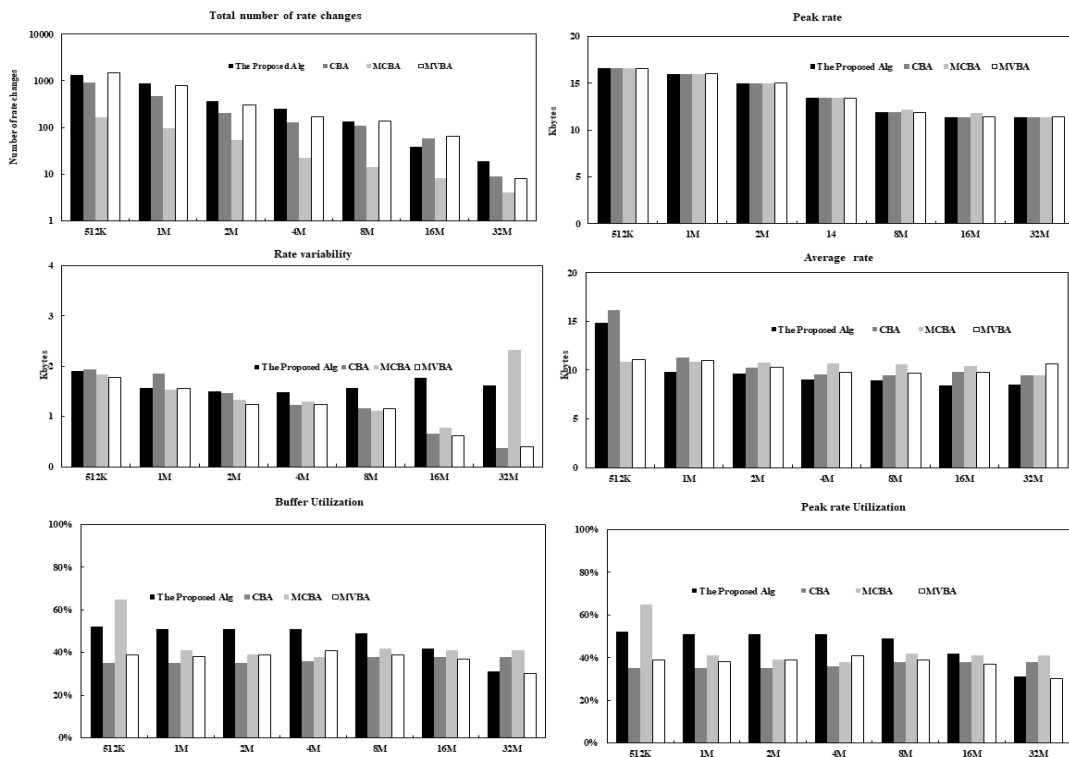
할당되지 않음을 의미한다.

[그림 5]는 Crocodile Dundee 비디오 데이터에 대한 실험결과를 보여준다. 전송률 변화 횟수(Total number of rate changes)의 경우 제안 알고리즘은 16MB를 제외하고 다른 스무딩 알고리즘보다 큰데 이는 전송률 증가시에는 MVBA 알고리즘과 같고, 전송률이 감소되는 경우에 가장 많이 전송률이 감소될수 있는 프레임을 검색하여 다음 런의 시작프레임으로 설정하기 때문이다.

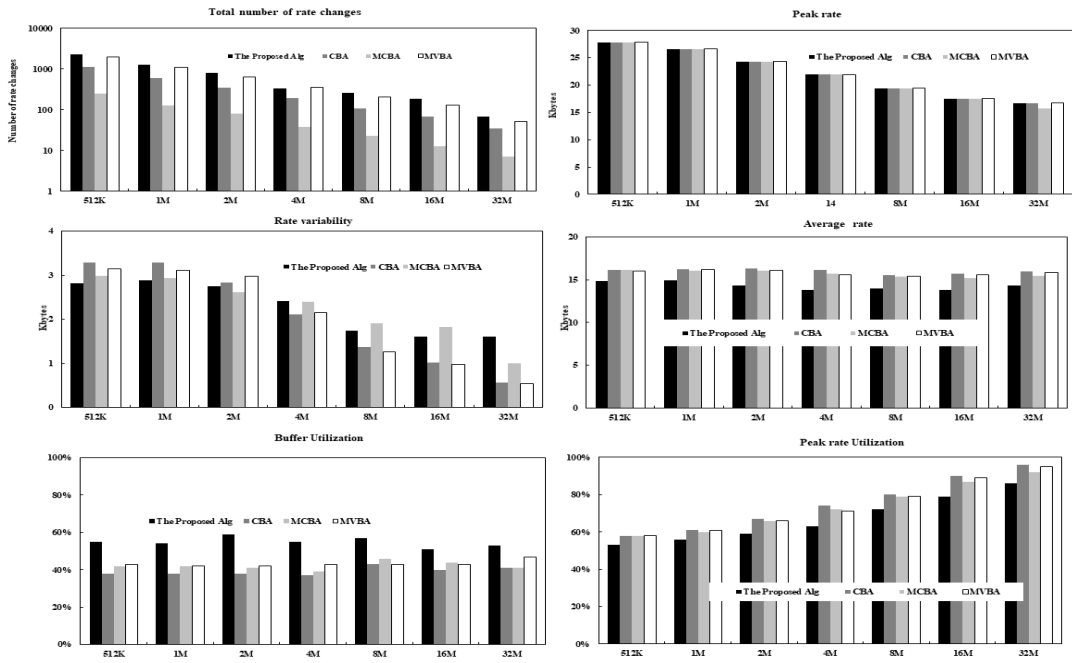
첨두 전송률(Peak rate)의 경우 모든 알고리즘이 큰 차이를 보이지 않는데, 모든 알고리즘에서 언더플로우 경계선과 오버플로우 경계선을 중심으로 전송률을 설정하기 때문이다.

전송률 변화량(Rate variability)의 경우 제안 알고리즘은 버퍼 크기가 4M보다 큰 경우부터 다른 알고리즘에 비해 전송률 변화량이 크다. 이는 전송률 증가가 요구되는 경우 가장 적게 증가하고 감소하는 경우 가장 크게 감소되는 특징 때문이다.

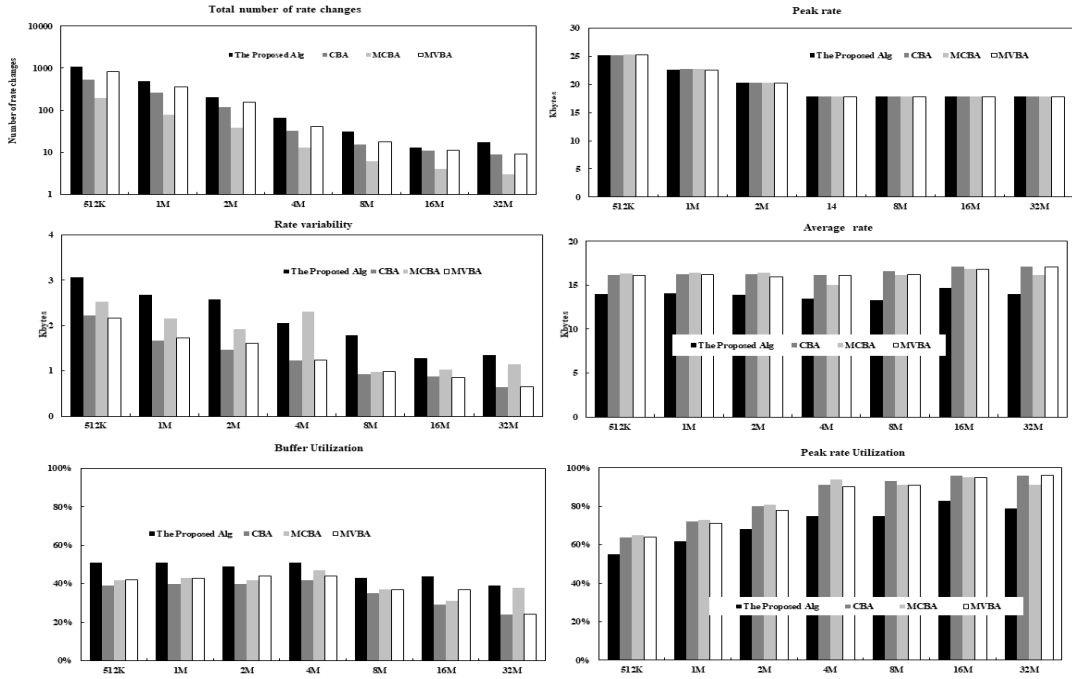
평균 전송률(Average rate)의 경우 제안 알고리즘이 가장 적다. 이는 전송률의 변화가 요구되는 경우에 현재 런에 전송률의 크기를 적게 할당되게 하기 때문이다.



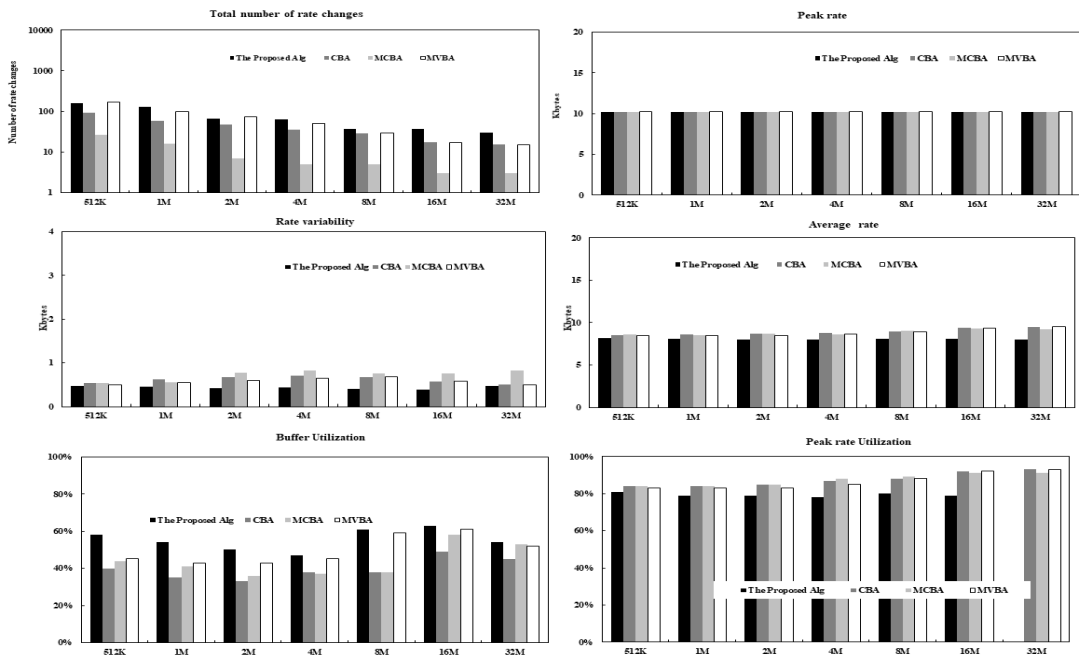
[Fig. 5] Crocodile Dundee



[Fig. 6] E.T.100



[Fig. 7] 1993 Final Four



[Fig. 8] Seminar

버퍼 이용률(Buffer utilization)은 모든 알고리즘에서 40%에서 60%의 이용률을 갖는다.

첨두 전송률 이용률(Peak rate utilization)은 35%에서 70%사이의 이용률을 갖는다. 제안 알고리즘의 첨두 전송률 이용률이 대체적으로 높는데, 이는 전송률 증가가 요구되는 경우가 다른 알고리즘에 많았기 때문이다.

[그림 6]은 ET100 비디오 데이터에 대한 실험결과를 보여준다. 전송률 변화 횟수와 첨두 전송률, 전송률 변화량 모두 Crocodile Dundee 비디오 데이터에서와 같이 버퍼가 클수록 적어진다. 버퍼가 클수록 클라이언트 버퍼에 비디오 데이터를 구성하는 프레임들을 많이 저장할 수 있기 때문이다. 평균전송률은 다른 스무딩 알고리즘과 비교하여 가장 작음을 보여주고 있다. 버퍼 이용률은 다른 알고리즘에 비해 높다.

[그림 7]은 프레임을 구성하는 프레임의 바이트 수의 편차가 가장 큰 Final Four 비디오 데이터에 대한 실험결과를 보여준다. 전송률 변화 횟수와 첨두 전송률, 전송률 변화량 모두 Crocodile Dundee 비디오 데이터, E.T100 비디오 데이터에서와 같이 버퍼가 클수록 적어진다. 평균 전송률은 Crocodile Dundee 비디오 데이터, E.T100 비디오 데이터에서와 같이 다른 스무딩 알고리즘과 비교하여 가장 작음을 보여주고 있다. 버퍼 이용률은 다른 알고리즘에 비해 높다. 버퍼 이용률과 첨두 전

송률 이용률 모두 다른 비디오 데이터에서와 동일한 패턴을 보이고 있다.

[그림 8]은 프레임을 구성하는 바이트 수간의 편차가 가장 적은 Seminar 비디오 데이터의 실험 결과를 보여 준다. 전송률 변화 횟수와 첨두 전송률, 전송률 변화량 모두 Crocodile Dundee 비디오 데이터, E.T100 비디오 데이터에서와 같이 버퍼가 클수록 적어진다. 특히 전송률 변화량이 다른 비디오 데이터에 비해 특히 낮는데, 이는 프레임을 구성하는 바이트수의 편차가 가장 적기 때문에 완만하게 전송률을 변화시킬 수 있기 때문이다.

평균 전송률은 Crocodile Dundee 비디오 데이터, E.T100 비디오 데이터에서와 같이 다른 스무딩 알고리즘과 비교하여 가장 작음을 보여주고 있다

## 5. 결론 및 추후 연구방향

본 논문에서는 본 연구에서는 할당된 대역폭에 사용되는 전송률을 최소화하기 위해 제안된 알고리즘[16]을 Croc Dundee, E.T.100, Seminar, Final Four 비디오 데이터를 사용하여 CBA, MCBA, MVBA 스무딩 알고리즘과 성능을 평가하였다. 사용된 버퍼 크기는 512KB부터 32MB까지 다양하게 설정하였다. 평가요소는 전송률

변화횟수, 침투 전송률, 전송률 변화량, 평균 전송률, 버퍼 이용률, 침투 전송률 이용률로 비교하였다.

비교 결과, 제안 알고리즘의 전송률 변화 횟수와 전송률 변화량은 다른 스무딩 알고리즘에 비해 높았지만 평균 전송률은 실험에 사용된 모든 버퍼크기와 비디오 데이터에서 가장 낮았다.

추후에는 네트워크 트래픽을 고려한 환경에서 제안 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.61-79, 2002.
- [4] W.Feng, F.Jahanian, S.Secrest, "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, 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] W. Feng, S. Secrest, "Critical Bandwidth Allocation for the Delivery of Compressed Pre-recorded Video", Computer Communications, Vol.18, No.10, pp.709-717, 1995.
- [7] 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, pp.234-242, 1995.
- [8] J. McManus and K.Ross, "Video on demand over ATM: Constant-rate Transmission and Transport", in proc.of ACM SIGMETRICS, pp.222-231, 1996.
- [9] J. Zhang and J. Hui. "Applying traffic smoothing techniques for quality of service control in VBR video transmissions", Computer Communications, pp.375-389, 1998.
- [10] 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.
- [11] P. Thiran, et. al., "Network calculus applied to optimal multimedia smoothing", Proceedings IEEE INFOCOM 2001, pp.1474-1483, 2001.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] W. Feng and J. Rexford. "Performance evaluation of smoothing algorithms for transmitting pre-recorded VBR video", IEEE Trans. on Multimedia, pp.302-312, 1999.
- [15] Jae-Hwan Lim, Kee-Chun, Bang, "An Efficient Transmission Plan for Multimedia Data Transmission", Journal of Digital Contents Society, Vol.8, No.1, pp.9-15, 2007.
- [16] 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.

### 이 면 재(MyounJae Lee)

[종신회원]



- 2006년 2월 : 홍익대학교 전자계산학과 이학박사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 컴퓨터 공학부교수

<관심분야>

사물인터넷, 게임, MPEG