

# 인터넷상의 가변 비디오 스트림을 위한 효율적인 스무딩 알고리즘

곽준원<sup>0</sup> 이면재 송하윤 박도순

홍익대학교 컴퓨터공학과

{jwkwak<sup>0</sup>, mjlee, song, dspark}@cs.hongik.ac.kr

## An Effective Smoothing Algorithm of VBR Video Stream over Internet

Joon-Won Kwak<sup>0</sup>, Myoun-Jae Lee, Ha Yoon Song, Do-Soon Park

Dept. of Computer Engineering, Hongik University

### 요 약

인터넷 기술이 발전함에 따라서 인터넷을 통한 서비스에 대한 관심이 증가되고 있다. 특히 멀티미디어 서비스인 경우 QoS(Quality of Service)를 보장해야 한다. 그런데 제한된 대역폭 내에서 전송량이 급격히 증가하는 경우 네트워크 자원의 이용도와 서비스의 품질에 큰 영향을 준다. 이에 스무딩 기법은 가변 비트율(VBR: Variable Bit Rate)을 가진 비디오 스트림(Stream)을 전송할 때 네트워크 자원의 이용도와 서비스의 품질 저하를 막기 위해 전송률(Transmission rate)을 일정하게 유지시키는 기법으로 서버와 네트워크 사이의 중간노드에서 수행된다. 본 논문에서 스무딩 알고리즘을 프레임 단위로 처리할 경우 해당자원의 과부하가 발생하므로 이를 개선한 스무딩 알고리즘을 제안하고, 기존 스무딩 알고리즘의 시간 복잡도와 성능을 중심으로 비교 분석하였다.

### 1. 서 론

인터넷 기술과 멀티미디어 기술이 발전함에 따라서 많은 응용분야들이 나타나게 되었는데, 예를 들어 VOD(Video On Demand), 비디오 텔레컨퍼런스, 원격교육, 가상현실, 원격진료 등의 시스템들이 있다[1].

그러나 이러한 시스템들은 제한된 대역폭 내에서 품질이 좋은 서비스를 제공해야 한다. 또한 멀티미디어 서비스를 이용하는 사용자 수가 인터넷 통신망의 성능향상 속도보다 빠른 속도로 증가하고 있어서, 네트워크의 혼잡(Congestion), 지연(Delay), 지터(Jitter)와 패킷손실(Packet loss) 등은 실시간 멀티미디어 서비스를 제공하는 데에 걸림돌이 된다.

이러한 문제들을 해결하기 위한 스무딩 기법은 압축된 가변 비트율을 가진 비디오 스트림으로 인한 네트워크 자원의 이용도와 서비스의 품질 저하를 막기 위해 전송률을 일정하게 유지시키는 기법으로 서버 그리고 네트워크 사이의 중간노드에서 수행된다. 또한 스무딩 기법은 실행 위치에 따라 여러 가지 장단점을 가진다.

본 논문에서는 기존 스무딩 알고리즘을 프레임단위로 처리할 경우 해당자원의 과부하가 발생하므로 이를 개선한 스무딩 알고리즘을 제안하고 시간 복잡도와 성능을 비교 분석하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구를 소개하고, 3장에서는 MPEG의 특성을 설명하고, 4장에서는 제안한 스무딩 알고리즘을 기술하고, 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 기술하였다.

### 2. 관련연구

비디오 스트림의 스무딩 기법은 네트워크상의 변동(지연과 지터)등에 기인하는 네트워크 자원의 부족으로 비디오 스트림을 지속적으로 재현하기 어려울 때 전송량의 조절을 통해 클라이언트에서 끊김이 없는 부드러운 영상을 보여주기 위한 기법이다.

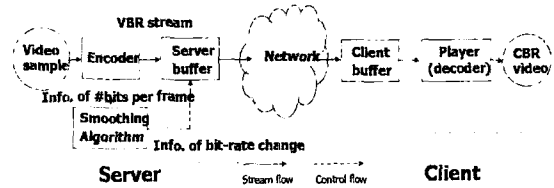
#### 2.1 스무딩 기법

네트워크 변동에 대비하기 위한 비디오 스트림의 스무딩 기법은 알고리즘을 실행하는 위치에 따라 두 가지로 분류된다.

##### 2.1.1 서버에서 스무딩 알고리즘을 실행하는 방법

서버에서의 스무딩 알고리즘 실행은 [그림 1]에 개요가 나타난다[2].

비디오 스트림은 부호화기(Encoder)를 통해 압축된 가변 비트율을 가진 비디오 스트림으로 서버 버퍼에 임시 저장된다.

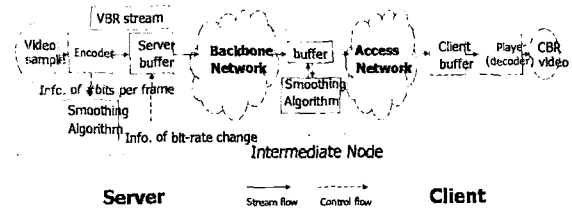


[그림 1] 서버에서의 스무딩 알고리즘 실행

이때 스무딩 알고리즘은 서버 버퍼에 저장된 비디오 스트림을 일정한 전송률로 네트워크로 보내는 역할을 한다. 이 방법은 서버와 네트워크 사이에는 전송률이 일정하지만 네트워크와 클라이언트 사이에는 일정한 전송률을 보장할 수 없다. 또 다른 문제점은 서버를 이용하는 클라이언트의 수가 증가할수록, 서버의 부하는 클라이언트의 수에 따라서 증가하므로 QoS를 보장할 수 없다.

##### 2.1.2 중간노드에서 스무딩 알고리즘을 실행하는 방법

네트워크 사이의 중간노드에서의 스무딩 알고리즘 실행은 [그림 2]에 개요가 나타난다[3].



[그림 2] 네트워크 사이의 중간노드에서 스무딩 알고리즘 실행

이 방법은 두개 이상의 네트워크가 존재할 경우 서버와 클라이언트에 가까운 네트워크 사이의 중간노드에서 스무딩 알고리즘을 실행한다. 서버와 중간노드의 전송률이 일정하기 때문에 백본 네트워크(Backbone Network)의 전송 속도가 불안정하더라도 클라이언트에서 가장 가까운 중간노드에서 다시 전송률을 일정하게 유지시키는 방법이다. 클라이언트의 버퍼는 단순히

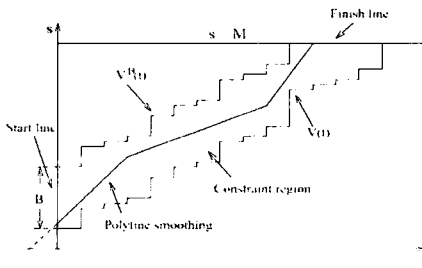
중간노드를 거쳐서 온 패킷을 잠시 저장했다가 플레이어(Player)로 보내는 임시 기억장소의 역할을 수행한다. 그러나 서버에서 스무딩 알고리즘을 실행한 경우와 동일하게 스무딩 알고리즘을 실행하는 중간노드의 부하는 증가된다.

2.2 스무딩 알고리즘

초창기 인터넷에서는 크기가 작은 텍스트 파일의 패킷을 주고받았지만, 최근에 멀티미디어 서비스가 제공된 후 크기가 큰 멀티미디어 파일의 패킷을 전송하게 되었다. 대용량 멀티미디어 파일을 인터넷 환경에서 전송할 때 파일에서 전송률 변화가 심해지면서 패킷 지연과 혼잡을 발생하게 된다. 따라서 스무딩 기법은 네트워크상의 지연과 지터로 인해 발생하는 비디오 스트림을 계속적으로 재현하기 어려울 때 전송량의 조절을 통해 클라이언트에서 끊김 없이 부드러운 영상을 보여주기 위한 네트워크 자원의 재조정 기법이다.

2.2.1 스무딩 알고리즘의 원리

[그림 3]은 스무딩 알고리즘의 원리에 대한 설명이다[4].



[그림 3] 버퍼의 오버플로우와 언더플로우

이 그래프에서 X축은 시간 즉 프레임의 수를 의미하고 Y축은 각 프레임의 누적된 비트의 수를 의미한다. V(t)는 서버에서 클라이언트로 최소한 정지되지 않은 비디오 스트림을 유지시키는 경계선이다. 반대로 V<sup>B</sup>(t)는 서버에서 클라이언트로 오는 비디오 스트림이 버퍼의 크기가 초과되어서 프레임이 분실되지 않게 유지시키는 경계선이다. S는 한 비디오 스트림의 총 비트수이다. B는 스무딩 알고리즘이 제어하는 버퍼의 크기이다. 제한 영역(Constraint region)은 V(t)와 V<sup>B</sup>(t)사이 에 있는 영역으로 전송률은 이 제한 영역 안에서 변화된다.

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

$$V^B(t) = V(t) + b \dots\dots\dots(2)$$

$$V(t) \leq \sum_{i=0}^t c_i \leq V^B(t) \dots\dots\dots(3)$$

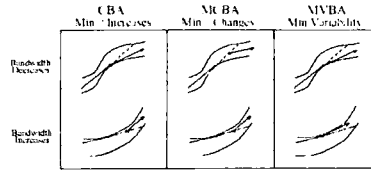
식(1)은 f<sub>i</sub>는 i번째 프레임의 크기이다. 따라서 V(t)는 0부터 i 번째까지의 누적된 프레임 크기로 언더플로우(Underflow) 경계선을 의미한다. 식(2)에서 V<sup>B</sup>(t)는 V(t)에 버퍼 크기를 더한 값으로 오버플로우(Overflow) 경계선을 의미한다. 그리고 식(3)의 C<sub>i</sub>는 i 번째의 전송률로 오버플로우와 언더플로우가 발생하지 않는 영역을 의미한다.

2.2.2 기존 스무딩 알고리즘

기존 스무딩 알고리즘은 CBA, MCBA 그리고 MVBA로 분류된다[2]. [그림 4]는 기존 스무딩 알고리즘의 아이디어를 보여준다.

- 1) CBA(Critical Bandwidth Allocation)  
대역폭이 감소할 경우 전송률의 변경 횟수를 최소화하고 대역폭이 증가할 경우 전송률의 증가를 최소화하는 알고리즘이다 [5].
- 2) MCBA(Minimum Changes Bandwidth Allocation)  
대역폭이 감소 또는 증가할 경우 전송률의 변경 횟수를 최소화하는 알고리즘이다[6].
- 3) MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation)  
대역폭이 감소할 경우 전송률의 감소를 최소화하며 대역폭이

증가할 경우 전송률의 증가를 최소화하는 알고리즘이다[7].



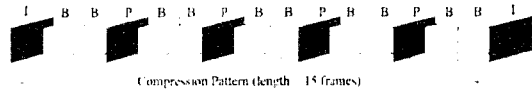
[그림 4] 기존 스무딩 알고리즘

3. MPEG의 특성

인터넷을 통해 전송되는 영상은 국제표준화기구(ISO)에서 공인한 MPEG(Moving Picture Experts Group)의 압축 코덱(Codec)을 이용하여 전송된다. 이 압축 코덱은 부호화기(Encoder)와 복호화기(Decoder)로 나누고 MPEG의 프레임은 I 프레임, P 프레임, 그리고 B 프레임으로 분류된다.

- 1) I 프레임 (Intra-coded frame)  
이전 또는 이후의 다른 프레임과는 관계없이 독립적으로 하나의 프레임으로 부호화된다.
- 2) P 프레임 (Predictive-coded frame)  
이전 프레임을 참조하여 서로 다른 차이 값을 부호화하는 프레임이다. 움직임이 있는 물체인 경우 이전의 프레임에 있는 물체의 모양에는 큰 변화 없이 옆으로 이동하는 경우가 대부분이므로, 이전의 프레임과 현재의 프레임의 차이가 매우 적은 것을 이용한 방식이다.
- 3) B 프레임 (Bidirectional-coded frame)  
이전과 이후 프레임을 참조하여 서로 다른 차이 값을 부호화하는 프레임이다. 그러므로 I 프레임과 P 프레임으로 이루어진 압축방식보다 B 프레임을 첨가하여 부호화한 압축방식이 더 높은 압축률을 얻을 수 있다.

MPEG은 프레임간에 계층적 상관 관계를 가진다. P 프레임은 이전의 I 또는 이전의 P 프레임을 사용해서 재생된다. 또한 B 프레임은 이전과 이후의 P 또는 B 프레임을 사용해서 재생된다. 반면 I 프레임은 다른 프레임과 독립적으로 재생이 가능하다. 연속되는 프레임들을 I 프레임으로 구분하여 나타낸 구조를 GOP(Group of Pictures)라 한다. MPEG의 GOP 패턴은 기본적으로 IBBPBBPBBPBBPBB의 형태를 가지며 [그림 5]와 같다[8].



[그림 5] MPEG의 GOP 패턴

4. 제안한 MVBAG 알고리즘

본 논문에서 대상으로 한 스무딩 알고리즘은 가변 비트율을 가진 비디오 스트림을 일정한 전송률로 클라이언트에게 전송하여 네트워크 자원환경의 변동이 일어나더라도 클라이언트측에서는 부드러운 영상을 보여주기 위한 기법이다. 그리고 기존의 스무딩 알고리즘들 중 MVBA의 알고리즘을 사용하여 GOP 단위로 스무딩을 수행하는 MVBAG (Minimum Variability Bandwidth Allocation of GOP)을 제시한다.

4.1 MVBAG 알고리즘

[표 1]은 이러한 MPEG의 특성을 이용하여 프레임 단위로 스무딩을 처리하지 않고 GOP단위로 처리할 수 있도록 보완하여 시간 복잡도를 낮춘 MVBAG알고리즘이다.  
M는 한 스트림의 총 GOP의 개수, K는 k 번째의 GOP를 의미한다. 그리고 G<sub>k</sub>는 k 번째 GOP 비트의 수이고 V(k)는 0부터 k 번째 GOP까지 누적된 비트의 수이다. R<sub>under</sub>는 k 번째까지 언더플로우의 전송률 중에서 제일 큰 전송률이다. R<sub>over</sub>는 k 번째까지 오버플로우의 전송률 중에서 제일 작은 전송률이다. R<sub>under</sub>와 R<sub>over</sub>의 초기값은 각각 0과 제일 큰 값으로 정함

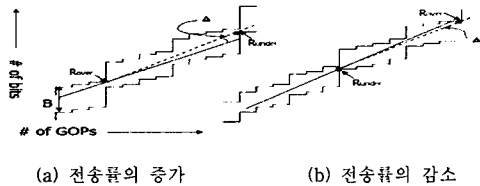
```

k=0; V(0) = 0; Runder = 0; Rover = MAX;
while ( k < M )
    k = k + 1
    V(k) = V(k - 1) + Gk
    Runder = max { V(k) / k, Runder }
    Rover = min { (V(k) + B) / k, Rover }
    if ( Runder > Rover )
        Change_slope();
end while
Change_slope()
{
    --change the slope into the new slope
    in constraint region
}
    
```

[표 1] MVBAG 알고리즘

다. 제안 영역에 벗어난 경우, 즉  $R_{under}$ 가  $R_{over}$ 보다 큰 경우에 전송률을 증가 또는 감소시키는 함수인  $Change\_slope()$ 를 호출한다.

[그림 6]은  $Change\_slope()$ 함수의 전송률 변화를 보여준다. [그림 6]의 (a)는  $R_{under}$ 의 (k+n) 번째 GOP와  $R_{over}$ 의 k 번째 GOP를 비교하여 차이만큼 전송률을 증가시킨다. [그림 6]의 (b)는  $R_{over}$ 의 k 번째 GOP와  $R_{under}$ 의 (k+n) 번째 GOP를 비교하여 차이만큼 전송률을 감소시킨다. 그 다음으로  $R_{under}$ 와  $R_{over}$ 의 값은 각각 초기값인 0과 제일 큰 값으로 정한다. 즉 전송률의 변화 시점(a)의  $R_{over}$ 와 (b)의  $R_{under}$ 부터 다시 시작해서 전송률을 감소 또는 증가시키는 수행을 제안 영역에서 GOP의 개수가 M일 때까지 반복한다.



[그림 6] Change\_slope() 함수

4.2 MVBAG 시간 복잡도

기존의 스무딩 알고리즘과 MVBAG 알고리즘의 복잡도 비교는 [표2]와 같다[2].

N는 한 비디오 스트림에서 총 프레임의 개수이고, M는 프레임의 집합인 GOP의 총 개수이다. 일반적으로 15개 프레임의 집합을 하나의 GOP로 정의한다. MPEG에서 N=15M이다. 따라서 MVBAG 알고리즘의 시간 복잡도는 O(M)이다.

알고리즘	복잡도
CBA	$O(N) < CBA < O(N \log N)$
MCBA	$O(N \log N)$
MVBA	$O(N)$
MVBAG	$O(M)$

[표 2] 알고리즘의 복잡도 비교

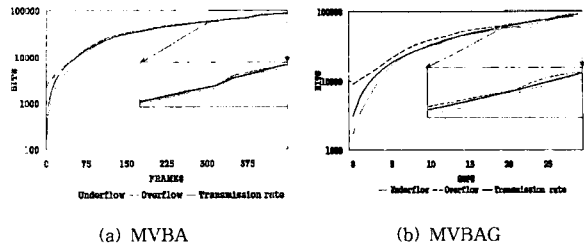
5. 실험 결과

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 '슈라기공원'의 MPEG 엔코딩에 관한 파라미터 값은 [표3]과 같다.

파라미터	값
압축패턴	IBBPBBPBBPBBPBB
프레임 / GOP	15
프레임 크기	352×240 (pixel)
프레임 주기	30 (frames/sec)
프레임의 총 갯수	70,000 frame

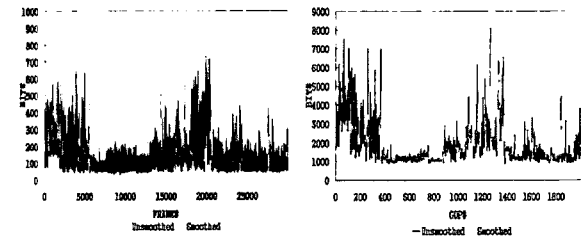
[표 3] 시뮬레이션을 위한 파라미터 값

[그림 7]에서 X축은 (a)인 프레임(MVBA) 또는 (b)인



[그림 7] 언더플로우, 오버플로우 그리고 전송률

GOP(MVBAG)의 수를 의미한다. 그리고 Y축은 비트수의 로그 스케일을 나타낸다. 언더플로우와 오버플로우 안에서 전송률 변화가 이루어짐을 나타낸다. 즉, QoS가 보장된다는 의미이다.



[그림 8] 언스무딩과 스무딩

[그림 8]은 [그림 7]과 같이 X축은 각각 프레임과 GOP를 의미하고 Y축은 비트의 수를 의미한다. 그리고 스무딩을 한 비디오 스트림과 스무딩을 하지 않은 비디오 스트림의 전송률 비교이다. (b)가 전송률의 변화폭이 크지만 프레임단위로 통일한 후 저고치와 분산을 해 본 결과 수치가 비슷하다. 그러므로 제한된 대역폭내에서 MVBAG는 전송률의 변화폭은 비슷하지만 시간 복잡도는 낮추었음을 보인다.

6. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 MPEG의 특성을 고려한 MVBAG 알고리즘을 제안했다. 제안된 요점은 기존 스무딩 알고리즘에서 프레임 단위가 아닌 GOP 단위로 수행하므로 알고리즘 시간 복잡도를 낮추었다.

향후 인터넷 환경에서 제안된 스무딩 알고리즘을 바탕으로 다양한 멀티미디어 데이터를 사용한 시뮬레이션을 수행하여 성능을 비교 분석할 예정이며, 이를 효율적으로 처리하기 위한 버퍼크기 및 구조에 대해 연구할 예정이다.

참고문헌

[1] Bobby Vandalore, Wu-chi Feng, Raj Jain, Sonia Fahmy, "A Survey of Application Layer Techniques for Adaptive Streaming of Multimedia", Journal of Real Time Systems(Special Issue on Adaptive Multimedia), January 2000.  
 [2] J. Zhang and J. Hui, "Performance Evaluation of smoothing Algorithms for Transmitting Pre-recorded VBR video" Computer Communications, vol. 21, pp. 375-389, April 1998.  
 [3] P. Hiran, J. Le Boudec & F. Worm "Network calculus applied to optimal multimedia smoothing" in INFOCOM 2001.  
 [4] J. Zhang and J. Hui, "Applying traffic smoothing techniques for quality of service control in VBR video transmissions." Computer Communications, pp375-389, April 1998.  
 [5] W. Feng and S. Sechrest, "Smoothing and buffering for delivery of pre-recorded compressed video", in Proceedings of ISET/SPIE Symp. on Multimedia Computing and Networking, pp. 234-242, February 1995.  
 [6] W. Feng, F. Jahani, and S. Sechrest, "Optimal buffering for the delivery of compressed pre-recorded video", in Proceedings of the IASTED/ISMM International Conference on Networks, January 1995.  
 [7] J. D. Salehi, Z. L. Zhang, J. F. Kurose, and D. Towsley, "Supporting stored video: Reducing rate variability and end-to-end resource requirements through optimal smoothing", in Proceedings of ACM SIGMETRICS, pp. 222-231, May 1996.  
 [8] D. Le Gall, "MPEG: A video compression standard for multimedia applications", Communications of the ACM, vol.34, pp.47-58, April 1991.