

네트워크 대역폭의 효율적인 사용을 위한 비디오 데이터 전송 알고리즘

Video Data Transfer Algorithms for Efficient Use of Network Bandwidth

이면재¹

MyounJae Lee¹

요약

비디오 데이터는 저장 공간과 효율적인 네트워크 전송을 위해서 가변 비트율(VBR:Variable Bit Rate) 형태로 저장된다. 스무딩 기법은 가변 비트율로 저장된 비디오 데이터에 대한 클라이언트의 요청이 있는 경우 QoS를 보장하는 고정 비트율(CBR:Constant Bit Rate)로 변환하는 전송 계획을 세우는 것이다. 이러한 스무딩 알고리즘은 목적에 따라 CBA, MCBA, MVBA 등이 있다. 이 방법들은 각각 전송률 증가횟수, 전송률 변화횟수, 전송률 변화량의 최소화를 고려하고 있으며 모두 서버의 여분의 대역폭 크기를 고려하고 있지 않다. 이를 개선하기 위해, 본 연구에서는 전송률 증가가 요구되는 경우 최소로 증가하고 전송률 감소가 요구되는 경우 최대로 감소하여 여분의 대역폭을 최대로 하는 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 첫째 CBA, MCBA, MVBA 스무딩 알고리즘의 목적인 전송률 변화 횟수, 침투 전송률, 전송률 변화량으로 비교한다. 둘째, 제안 알고리즘의 우수성을 증명하기 위해 평균 전송률 요소로 성능을 평가한다. 평가 결과 제안 알고리즘은 평균 전송률이 가장 낮은 전송 계획을 세움으로써, 서버의 한정된 네트워크 자원의 효율적인 사용에 도움을 준다.

핵심어 : 스무딩, 가변 비트율, 전송 계획, 버스트

Abstract

Video data is stored in the form of variable bit rates (VBR) for storage space and efficient network transmission. The smoothing scheme is to establish a transmission plan that converts to a constant bit rate (CBR) that guarantees QoS when a client requests for video data stored at a variable bit rate. Smoothing techniques allow video servers to request video data stored at variable bit rates from clients, which can reduce bursts by sending video data requested at constant bit rates (CBR) in client buffers based on information about the requested video data and client buffer size. These smoothing algorithms are CBA, MCBA, MVBA, etc. for different purposes. Each of these methods considers minimization of the number of increase in transmission rate, number of change in transmission rate, and amount of change in transmission rate, and all of them do not take into account the extra bandwidth of the server.

In order to improve this, in this study, we propose an algorithm that maximizes the extra bandwidth by increasing the transmission rate to the minimum when it is required and decreasing it to the maximum when the transmission rate is decreased.

¹ Division of Computer Engineering, Baekseok University, Cheonan, Korea [Professor]
e-mail: davidlee@bu.ac.kr

* 이 논문은 2021학년도 백석대학교 학술연구비 지원을 받아 작성되었음

Received(January 5, 2021), Review Result(1st: January 26, 2021), Accepted(February 5, 2021), Published(February 28, 2021)



© 2021 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

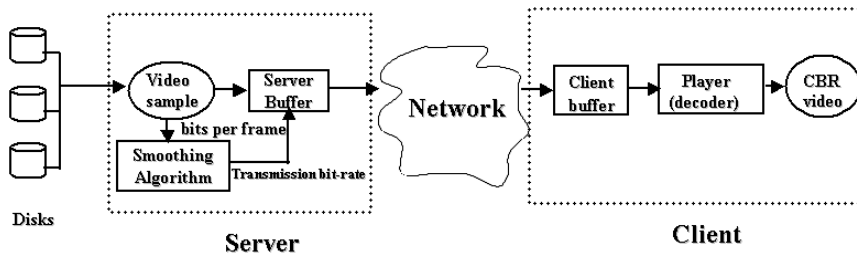
In order to evaluate the performance, first, the purpose of the CBA, MCBA, and MVBA smoothing algorithms is compared with the number of rate changes, peak rate, and rate change. Second, in order to prove the superiority of the proposed algorithm, the performance is evaluated with an average transmission rate factor. The evaluation results suggestion algorithm helps efficient use of the server's finite network resources by establishing a transport plan with the lowest average transmission rate.

Keyword : Smoothing, VBR, Transmission Plan, Burst

1. 서론

서버에 저장된 비디오 데이터는 저장 공간과 네트워크 사용의 효율을 위해 압축되어 저장된다. 이러한 압축 방식에는 고정 비트율(CBR:Constant Bit Rate) 방식과 가변 비트율(VBR:Variable Bit Rate) 방법 [1]이 있다. 고정 비트율 방법은 프레임 크기, 프레임을 구성하는 비트 수가 동일한 방식으로 저장공간의 낭비가 발생할수 있다. 가변 비트율 방식은 프레임의 크기가 일정하지 않는 방법으로 서버에서 프레임 크기 그대로 전송하는 경우에는 전송률을 급격히 증가시켜야 되는 현상이 발생될 수 있다 [2-5]. 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 기법의 아키텍처이다 [5][15]. 이 아키텍처는 3단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 클라이언트가 비디오 스트림을 서버에게 요청하는 단계이다. 이후 두 번째 단계에서 서버는 요청된 비디오를 검색하여 프레임을 구성하는 비트수에 대한 정보를 스무딩 알고리즘에게 전달한다. 세 번째 단계에서 스무딩 알고리즘은 전달받은 프레임을 구성하는 비트수와 버퍼크기를 바탕으로 언더플로우와 오버플로우가 발생되지 않는 전송률을 계획하여 이 전송률로 해당 프레임을 클라이언트에게 전송한다.



[그림 1] 스무딩 아키텍처

[Fig. 1] Smoothing Architecture

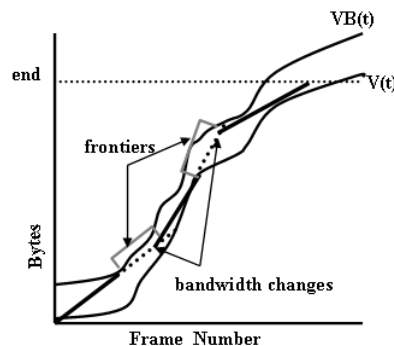
대표적인 스무딩 알고리즘에는 전송률 증가 회수를 최소화하는 CBA(Critical Bandwidth Allocation) [6-8]와 전송률 변화 횟수를 최소화하는 MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [9], 전송률 변화량을 최소화하는 MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) [10-11]이 있다.

제안 알고리즘은 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 자신에게 할당되어야 하는 전송률의 크기를 적게 한다. 이렇게 함으로써 제한된 대역폭을 갖는 서버가 보다 많은 클라이언트를 서비스 할 수 있도록 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. 스무딩 기법

스무딩 기법은 가변 비트율로 저장된 비디오를 서버에서 전송할 때 급격한 전송률 증가를 막기 위해 일련의 고정 비트율로 전송하는 계획을 세우는 것이다. [그림 2]는 스무딩 기법의 원리 [5][12][15] 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.



[그림 2] 스무딩 기법의 원리

[Fig. 2] Principal of Smoothing algorithm

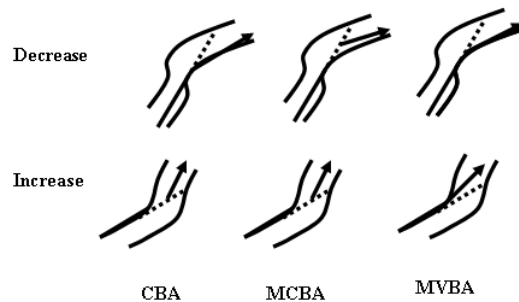
$$V(t) = \sum_{i=0}^k f_i \quad \text{식(1)}$$

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

서버가 언더플로우 경계선보다 낮은 전송률로 프레임들을 전송하면 클라이언트 버퍼에서 언더

플로우가 발생된다. 식(2) [5][12]는 오버플로우 경계선을 나타내는 $VB(t)$ 로써 서버에서 이 전송률보다 큰 전송률로 프레임을 보내면 클라이언트에서 오버플로우가 발생된다. 따라서, QoS를 보장하기 위해서, 서버에서는 언더플로우 경계선과 오버플로우 경계선 사이의 전송률로 각 프레임을 전송해야 한다. 연장 구간(frontier)은 현재 런(run)의 전송률이 되게 한 프레임부터 이 전송률로 비디오 데이터를 계속 보내어 언더플로우 또는 오버플로우 경계선과 만나는 프레임까지의 구간이다. 이 연장 구간은 다음 런의 시작 프레임을 결정할 때 사용되는데, 런은 동일한 전송률로 보낼 수 있는 프레임들의 구간이다.

CBA(Critical Bandwidth Allocation) [6-8]와 MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [9] 알고리즘의 목적은 전송률 증가 횟수와 변화 횟수의 최소화이다. 특히 전송률 변화 횟수의 최소화는 전송률 할당에 관한 오버헤드와 대역폭 확보 경우의 수가 감소될 수 있다 [13]. CBA 알고리즘 [6-8]에서 현재 런의 전송률로 비디오 데이터를 계속 전송하여 오버플로우가 발생된다면 다음 런의 전송률을 감소시켜야 하는데, 이때에는 연장 구간의 첫번째 프레임을 다음 런의 시작 프레임으로 설정한다. 그리고 현재 런의 전송률로 비디오 데이터를 계속 전송하면 언더플로우가 발생되어 다음 런의 전송률을 증가시켜야 하는 경우에는 연장 구간에 속한 프레임들 중에서 가능한 한 가장 멀리 진행 할 수 있는 프레임을 검색하여 이 프레임을 새로운 전송률로 보내는 구간의 첫번째 프레임으로 설정한다. 이러한 과정을 통해 CBA 알고리즘은 전송률 증가 횟수를 최소화한다. CBA 알고리즘은 다음 런의 전송률이 증가되어야 할 때에만 멀리 진행할 수 있는 프레임을 검색해서 전송률 증가 횟수를 최소로 하지만, MCBA 알고리즘 [9]은 다음 런의 전송률이 감소되는 경우에도 가장 멀리 갈 수 있는 프레임을 검색하여 전송률 증가와 감소 횟수를 최소화하여 전송률 변화 횟수를 최소화한다. 그러므로 MCBA 알고리즘의 전송률 변화 횟수는 CBA 알고리즘보다 감소 될 수 있으나 다음 런의 전송률 감소가 필요할 때에도 가장 멀리 진행할 수 있는 프레임을 검색하므로 계산 시간은 CBA 알고리즘보다 오래 소요될 수 있다. [그림 3]은 CBA, MCBA, MVBA 알고리즘의 전송률 변화 과정을 보여준다.



[그림 3] CBA, MCBA, MVBA 스무딩 알고리즘
 [Fig. 3] CBA, MCBA, MVBA Smoothing Algorithm

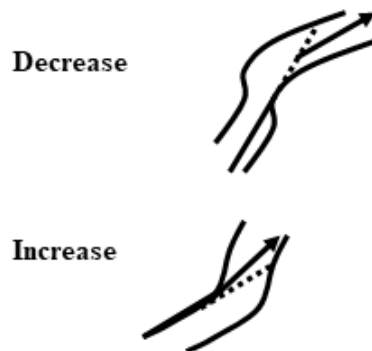
MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) 알고리즘 [11-12]은 전송률 변화량을 줄이는 목적으로 개발되었다. 비디오 서버와 클라이언트 사이에 있는 네트워크의 자원들은 비디오 스트림을 보내기 위해 전송률을 예약한다. 이때 이전 전송률보다 증가량의 차이가 큰 전송률을 요구하면 서버 또는 서버와 클라이언트 사이에 있는 네트워크 자원들은 제공할 수 있는 전송률이 제한되었기 때문에 요구된 전송률을 예약 못할 수도 있다. 그래서 이전 전송률 보다 전송률의 증가 차이가 완만하게 비디오 스트림에 대한 전송 계획을 세우는 것이 좋다 [2][13]. MVBA 알고리즘 [11-12]에서는 다음 런의 전송률의 변화(증가, 감소)가 필요한 경우 다음 런의 시작 프레임을 연장 구간의 시작 프레임으로 설정한다 [11]. 이러한 특징으로 인해, MVBA 알고리즘의 전송률 변화량은 다른 스무딩 알고리즘에 비해 최소이나, 전송률 변화 횟수는 CBA, MCBA 알고리즘보다 증가될 수 있다 [13].

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 여분의 대역폭 예약에 용이성을 제공한다. [그림 4]는 제안된 알고리즘의 전송률 변화 과정을 보여준다.

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



[그림 4] 제안된 알고리즘

[Fig. 4] the proposed Smoothing Algorithm

4. 실험 결과

실험에 사용된 비디오 데이터들은 MPEG-2로 저장된 비디오 소스들로 프레임 정보들은 다운로드 하였다 [14]. [표 1]은 MPEG-2로 저장된 비디오 소스들의 파라미터들이고 [15], 단위는 KB이다. 그리고 Length는 비디오 재생 시간, Ave.Size는 전체 비디오 스트림에서 프레임을 구성하는 바이트 수의 평균, Max Frame Size와 Min Frame Size는 프레임 당 바이트 수가 가장 큰 값과 작은 값이다. Std.Dev는 프레임간의 크기 즉 프레임들의 바이트수에 대한 표준편차로서 이 값이 크면 인접하는 프레임간의 크기 차이가 심함을 의미한다. 1993 Final Four는 프레임 크기에 대한 표준편차가 가장 큰 비디오 소스이고 세미나는 프레임 당 바이트 수의 변화가 아주 적은 비디오 소스이다.

[표 1] MPEG 비디오 소스의 파라미터들

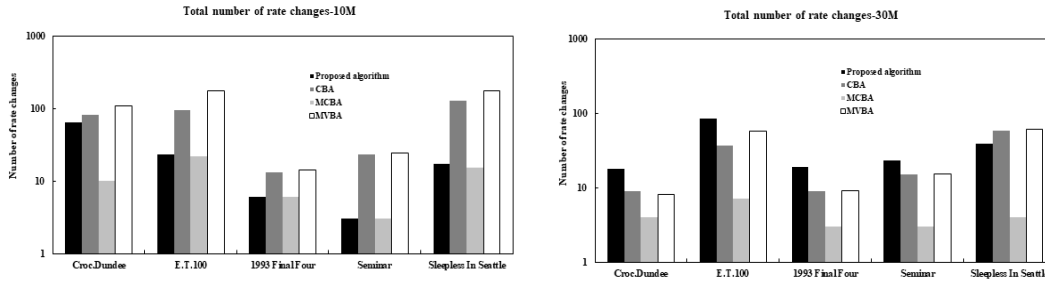
[Table 1] MPEG Video Parameters

Video Clip Name	Length(min)	Ave. Size(KB)	Max Frame Size(KB)	Min Frame Size(KB)	Std.Dev(KB)
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
Sleepless In Seattle	101	2.28	10.905	6.984	0.673
1993 Final Four	41	3.95	28.872	2.504	4.041

제안 알고리즘의 성능 평가는 먼저 기존 스무딩 알고리즘의 평가요소인 전송률 변화 횟수, 첨두 전송률, 전송률 변화량을 먼저 비교하였다. 이후에 평균 전송률을 비교하였다. 클라이언트 버퍼 크기는 10MB와 30MB로 설정하였다.

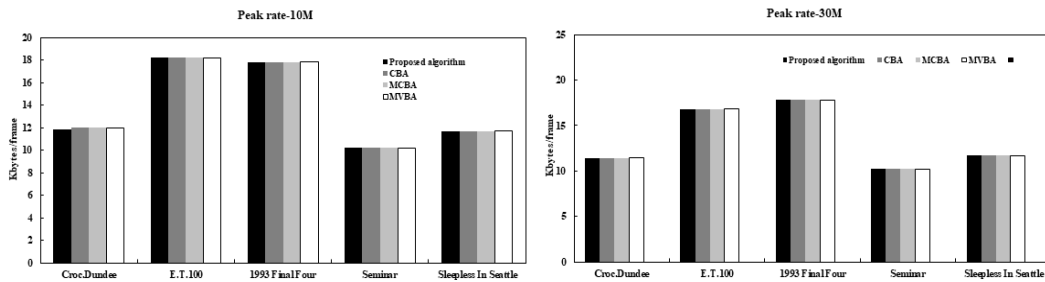
[그림 5]는 전송률 변화 횟수 비교이다. 전송률 변화 횟수의 최소화가 목적인 MCBA알고리즘의 전송률 변화 횟수가 가장 적다. 제안 알고리즘의 전송률 변화 횟수는 MVBA알고리즘보다는 적고 MCBA 알고리즘보다는 많다. 이는 전송률이 증가되는 경우 MVBA 알고리즘과 동일하게 전송률이 변화되고 전송률이 증가되는 경우 MCBA알고리즘과 유사한 방법으로 전송률이 변화되기 때문이다. MCBA알고리즘에서는 연장 구간에서 현재 전송률로 가장 많은 프레임을 보낼수 있는 프레임을 검색하고, 제안 알고리즘에서는 연장구간에서 전송률 감소량을 최대로 하는 프레임을 검색하는 것이 다르다.

[그림 6]은 첨두 전송률 비교이다. 첨두 전송률은 스무딩 알고리즘의 결과로 나온 전송계획에서 가장 큰 값을 갖는 전송률이다. 프레임을 구성하는 바이트 수의 표준 편차가 심한 E.T 100과 1993 Final Four 비디오 소스에서 실험에 사용된 알고리즘의 첨두 전송률이 모두 높다. 이것은 갑자기 프레임을 구성하는 바이트 수가 큰 프레임들이 많이 나타났기 때문이다. 실험에 사용된 알고리즘 모두 첨두 전송률이 동일함을 보인다.



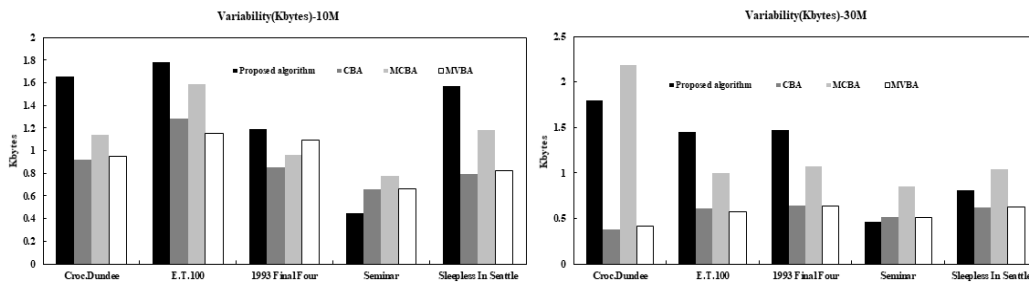
[그림 5] 전송률 변화 횟수 비교

[Fig. 5] Comparison on the number of change in transmission rate



[그림 6] 첨두 전송률 비교

[Fig. 6] Comparison on the peak rate in transmission rate



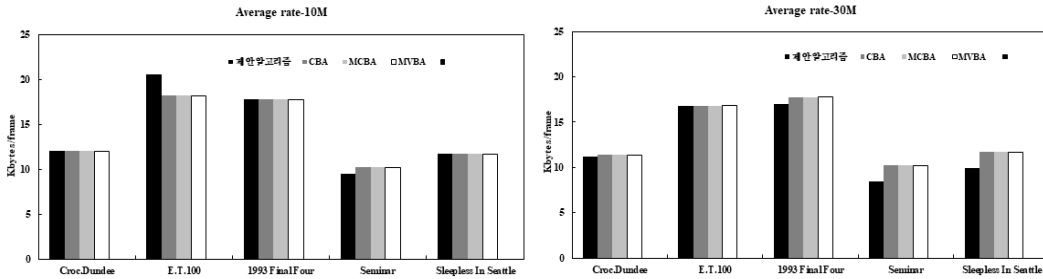
[그림 7] 전송률 변화량 비교

[Fig. 7] Comparison on the variability in transmission rate

[그림 7]은 전송률 변화량 비교이다. 전송률 변화량이 적을수록 현재 점유한 전송률과 유사한 양의 전송률을 사용하므로 대역폭 예약에 유리하다. 프레임을 구성하는 바이트 수의 표준 편차가 심한 E.T 100과 1993 Final Four 비디오 소스의 전송률 변화가 크다. 제안 알고리즘의 전송률 변화가 Seminar 비디오 소스를 제외하고 다른 알고리즘보다 높다. 이것은 전송률 증가가 요구되는 경우 증가량을 최소화하는 프레임을 다음런의 시작프레임으로 설정하지만 전송률이 증가되는 경우에 전송

를 감소량을 최대로 하는 프레임은 다음 런의 시작 프레임으로 검색하는데, 전송률 증가와 감소가 반복되어 많은 경우가 많이 발생했기 때문이다.

[그림 8]은 평균 전송률 변화량 비교이다. 이 값은 전송 계획에 사용된 전송률들의 합을 전송률 변화 횟수로 나눈 값이다. 평균 전송률이 낮을수록 서버에서는 여분의 네트워크 대역폭이 많아지기 때문에 보다 많은 클라이언트를 서비스 할수 있다. 제안 알고리즘의 평균 전송률이 가장 낮는데 이는 전송률이 증가되는 경우 전송률이 가장 적게 증가되는 전송률을 갖고 전송률이 감소되는 경우 전송률이 가장 많이 감소되는 전송률을 갖는 전송 계획을 세우기 때문이다.



[그림 8] 평균 전송률 비교

[Fig. 8] Comparison on the average rate in transmission rate

5. 결론 및 추후 연구방향

스무딩 알고리즘은 가변 비트율로 저장된 서버의 비디오 데이터들을 고정 비트율로 변환하여 클라이언트에 전송할 수 있도록 계획하는 것이다. 이 스무딩 알고리즘에서는 전송률 증가 횟수를 최소화하는 CBA 알고리즘, 전송률 증가와 감소 횟수 모두를 최소화 하는 MCBA 알고리즘, 전송률 변화량을 최소로 하는 MVBA 알고리즘 등이 있다.

본 논문에서는 전송률 증가시에는 최소의 증가량을 갖으며 감소시에는 최대로 감소하는 스무딩 알고리즘을 제안하였다. 이는 평균적으로 사용되는 전송률을 적게 사용함으로써 서버에서 보다 많은 클라이언트를 서비스 하는데 도움을 준다.

제안 알고리즘의 성능 평가를 위해 먼저 기존 스무딩 알고리즘의 평가요소인 전송률 변화횟수, 첨두 전송률, 전송률 변화량으로 비교하였다. 비교 결과 제안 알고리즘의 전송률 변화 횟수는 MCBA 알고리즘보다 크고 MVBA보다는 적었고, 첨두 전송률은 동일하였다. 전송률 변화량 비교에서는 대체적으로 다른 알고리즘보다 컸다. 그리고, 제안 알고리즘의 우수성을 증명하기 위해 평균 전송률을 비교하였는데 평균 전송률은 가장 낮은 결과를 보였다.

추후에는 다양한 버퍼크기와 비디오 데이터로 성능을 평가할 예정이다.

References

- [1] D. Le Gall, "MPEG: A video compression standard for multimedia applications", *Communications of the ACM*, vol. 34, issue. 4, April 1991, pp. 47-58, doi: 10.1145/103085.103090.
- [2] W. Feng, "Rate-constrained bandwidth smoothing for the delivery of stored video", *Multimedia Networking and Computing 1997*, January 24, 1997, San Jose, CA, United States, pp. 316-327, doi: 10.1117/12.264304.
- [3] R. Chang, M. C. Chen, J. M. Ho, M. T. Ko, "Schedulable Region for VBR Media Transmission with Optimal Resource Allocation and Utilization", *Information Sciences*, vol. 141, Issues. 1-2, March 2002, pp. 61-79, doi: 10.1016/S0020-0255(01)00191-8.
- [4] W. Feng, F. Jahanian, S. Sechrest, "An optimal bandwidth allocation strategy for the delivery of compressed prerecorded video", *Multimedia Systems*, vol. 5, issue 5, September 1997, pp. 297-309, doi: 10.1007/s005300050062.
- [5] M. J. Lee, J. Y. Lee, D. S. Park, "An Efficient Smoothing Algorithm for Video Transmission at Variable Bit Rate", *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, vol. 11, no. 7, July 2004, pp. 1009-1022, doi: 10.3745/KIPSTC.2004.11.7.1009.
- [6] W. Feng, S. Sechrest, "Critical bandwidth allocation for the delivery of compressed video", *Computer Communications*, vol. 18, no. 10, October 1995, pp. 709-717, doi: 10.1016/0140-3664(95)98484-M.
- [7] W. Feng, S. Sechrest, "Smoothing and buffering for delivery of prerecorded compressed video", *Multimedia Computing and Networking 1995*, March 14, 1995, San Jose, CA, United States, pp. 234-242, doi: 10.1117/12.206049.
- [8] J. M. McManus, K. W. Ross, "Video-on-demand over ATM: constant-rate transmission and transport", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 14, issue 6, August 1996, pp. 1087-1098, doi: 10.1109/49.508280.
- [9] J. Zhang, J. Hui, "Applying traffic smoothing techniques for quality of service control in VBR video transmissions", *Computer Communications*, vol. 21, issue. 4, April 1998, pp. 375-389, doi: 10.1016/S0140-3664(97)00170-9.
- [10] J. Zhang, J. Y. Hui, "Traffic characteristics and smoothness criteria in VBR video traffic smoothing", *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, June 3-6, 1997, Ottawa, ON, Canada, pp. 3-11, doi: 10.1109/MMCS.1997.609511.
- [11] P. Thiran, J. Y. L. Boudec, F. Worm, "Network calculus applied to optimal multimedia smoothing", *IEEE Annual Joint Conference: INFOCOM, IEEE Computer and Communications Societies*, April 22-26, 2001, Anchorage, AK, USA, pp. 1474-1483, doi: 10.1109/INFOCOM.2001.916643.
- [12] H. C. Chao, C. L. Hung, Y. C. Chang, J. L. Chen, "Efficient changes and variability bandwidth allocation for VBR media streams", *International Conference on Distributed Computing Systems Workshop*, April 16-19, 2001, Mesa, AZ, USA, pp. 179-185, doi: 10.1109/CDCS.2001.918719.
- [13] J. D. Salehi, Z. L. Zhang, J. Kurose, D. Towsley, "Supporting stored video: reducing rate variability and end-to-end resource requirements through optimal smoothing", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol.

- 6, issue. 4, August 1998, pp. 397-410, doi: 10.1109/90.720873.
- [14] W. Feng, J. Rexford. "Performance evaluation of smoothing algorithms for transmitting prerecorded variable-bit-rate video", IEEE Transactions on Multimedia, vol. 1, issue 3, September 1999, pp. 302-312, doi: 10.1109/6046.784468.
- [15] J. H. Lim, K. C. Bang, "An Efficient Transmission Plan for Multimedia Data Transmission", Journal of Digital Contents Society, vol. 8, no. 1, March 2007, pp. 9-15.