

네트워크 트래픽을 고려한 환경에서 첨두 전송률 이용률을 최소화한 스무딩 알고리즘의 성능 평가

이면재*

백석대학교 컴퓨터공학부 교수

Performance Evaluation of a Smoothing Algorithm Minimizing Peak Transmission Rate Utilization in a Network Traffic-Aware Environment

MyounJae Lee*

Professor, Division of Computer Engineering, BaekSeok University

요약 스무딩은 압축된 비디오 데이터를 일정한 전송률로 보낼 수 있도록 프레임 구간을 설정하는 전송 계획을 수립하는 과정이다. 스무딩 알고리즘은 전송률 변화 횟수, 전송률 증가 횟수, 그리고 전송률 변화량을 최소화하기 위해 다양한 방식이 연구되어 왔다. 본 연구에서는 서버의 대역폭이 제한된 환경에서 여분의 대역폭을 최대한 확보할 수 있도록, 전송률 변경이 필요한 경우 최소 전송률을 적용하는 스무딩 알고리즘의 성능을 네트워크 트래픽이 고려된 환경에서 분석한다. 이를 위해 다양한 비디오 데이터를 사용하여 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량 등의 지표로 성능을 평가한다. 실험 결과, 제안된 알고리즘은 평균 재생률과 최대 재생률 측면에서 우수한 성능을 보이는 것으로 나타났다.

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

Abstract Smoothing is the process of establishing a transmission plan that sets frame intervals to ensure that compressed video data is sent at a constant transmission rate. Various methods have been studied in smoothing algorithms to minimize the number of transmission rate changes, the number of transmission rate increases, and the amount of transmission rate variation. This study analyzes the performance of a smoothing algorithm that applies the minimum transmission rate when a rate change is required, in order to maximize the available extra bandwidth in a bandwidth-limited server environment, considering network traffic conditions. To evaluate performance, various video data are used, and metrics such as the number of fps changes, minimum fps, average fps, and fps variations are analyzed. Experimental results show that the proposed algorithm demonstrates superior performance in terms of average fps and maximum fps.

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

*본 논문은 2025학년도 백석대학교 학술연구비 지원을 받아 작성되었음

*교신저자 : 이면재(davidlee@bu.ac.kr)

접수일 2025년 03월 12일 수정일 2025년 04월 02일 심사완료일 2025년 04월 10일

1. 서론

디스크 공간은 효율적으로 저장되어야 한다. 특히 비디오 데이터와 같이 크기가 큰 데이터의 경우 저장 공간의 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([1-5])으로 구분된다.

프레임을 구성하는 바이트 수가 일정하지 않게 저장된 가변 비트율 비디오 데이터를 서버에서 전송하려는 경우에는 이전 프레임에 비해 크기가 큰 프레임을 전송하려는 경우가 발생될 수 있다. 이때에는 클라이언트 전송에 요구되는 전송률이 갑자기 커질 수 있다[1-5]. 이 문제를 버스트(Burst)라고 한다. 이를 예방하기 위해서 서버에서는 프레임을 구성하는 바이트 수가 일정한 고정 비트율로 변환해서 보내야 한다. 이 계획을 스무딩[1-5]이라고 한다.

이 변환 계획을 세우기 위한 스무딩 알고리즘에는 CBA(Critical Bandwidth Allocation) [5-6,8], MCBA (Minimum Change Bandwidth Allocation) [4], MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) [10-12,15]등이 있다. CBA 알고리즘은 전송률 증가 횟수의 최소화, MCBA 알고리즘은 전송률 변화 횟수 최소화 MVBA 알고리즘에서는 전송률 변화량 최소화를 목적으로 한다.

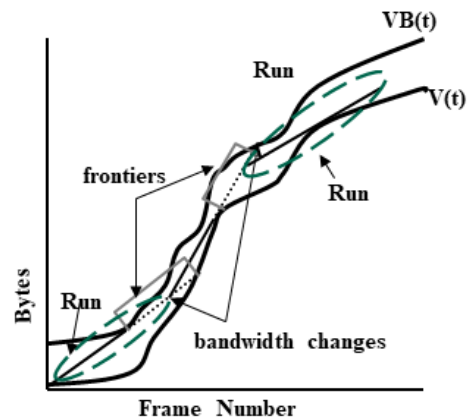
CBA, MCBA, MVBA 알고리즘들에서는 전송률 변화 횟수, 전송률 증가 횟수, 전송률 증가량을 목적으로 개발되었고 서버의 여분의 대역폭을 최대화하여 보다 많은 클라이언트들이 비디오 데이터를 서비스 하는 것에 대한 연구는 부족하였다. 이를 개선하기 위해, 연구[18]에서는 새로운 전송률을 설정해야 하는 상황에서 가능한 최소한의 전송률을 적용하여 다른 클라이언트들이 대역폭을 보다 효율적으로 예약할 수 있는 스무딩 알고리즘을 제안하였다. 연구[19]에서는 네트워크 트래픽이 고려되지 않는 환경에서 다양한 비디오 데이터를 가지고 첨두 전송률, 전송률 변화량, 전송률 변화 횟수 등의 요소로 [18]에서 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였다.

본 연구는 [18-19]의 후속 연구로 네트워크 트래픽이 고려된 환경에서 CBA 알고리즘과 [18]에서 제안된 알고리즘의 성능을 평가한다. 다만 언급된 스무딩 알고리즘은 지연(Latency)이 없는 환경에서 구현 가능한 제약사항을 갖는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 스무딩 알고리즘을 설명하고 3장에서는 네트워크 트래픽이 고려된 환경에서 스무딩 알고리즘의 동작 원리를 기술한다. 그리고 4장에서는 제안된 알고리즘[18-19]과 CBA 알고리즘을 네트워크 트래픽이 고려된 환경에 적용하여 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 최대 재생률, 평균 재생률 등의 요소로 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 추후 연구 방향을 논한다.

2. 스무딩 알고리즘

스무딩은 프레임당 바이트 수가 다른 비디오 데이터를 일정한 크기를 갖는 비디오 데이터가 되도록 계획을 세우는 것을 말한다. 스무딩 기법은 프레임 번호, 프레임들의 누적된 바이트 수(b), 언더플로우 경계선($V(t)$), 오버플로우 경계선($VB(t)$)로 구성된다. [Fig. 1]은 이를 나타낸다([1-19]). 클라이언트 버퍼 크기는 b_i 이고, f_i 는 i 번째 프레임의 바이트 수이다. 언더플로우 경계선 $V(t)$ [1-19]는 0번째 프레임부터 t 번째 프레임까지의 바이트 수의 합이다. 이 값보다 낮게 전송 계획을 세우는 경우 클라이언트에서는 언더플로우가 발생된다. QoS를 만족하기 위해서는 언더플로우 경계선과 오버플로우 경계선 영역내에서 전송 계획을 세워야 한다. 동일한 전송률로 보낼 수 있는 프레임들의 구간을 런(Run)이라고 하며 이러한 전송률로 새로운 런의 첫번째 프레임부터 프레임들을 지속적으로 보내는 경우 언더플로우나 오버플로우가 발생하는 프레임 직전까지의 구간을 연장구간(frontier)라고 한다.



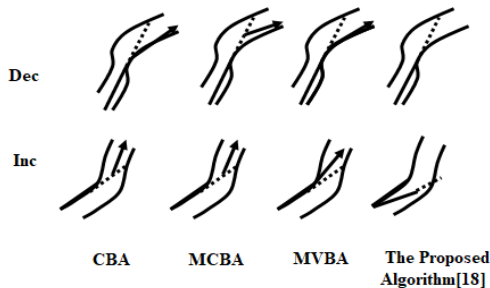
[Fig. 1] Principal of Smoothing algorithm

CBA(Critical Bandwidth Allocation) [5-6, 8] 알고리즘에서는 전송률 증가가 요구되는 경우에는 새로운 전송률로 가장 많은 프레임을 전송할 수 있는 프레임을 새로운 구간의 전송률로 설정한다. 이 과정으로 전송률 증가 횟수를 최소화한다.

MCBA(Minimum Change Bandwidth Allocation) [4,15] 알고리즘에서는 전송률 변화 횟수 즉 전송률의 감소가 요구되거나 전송률의 증가가 요구되는 경우 모두에서 새로운 구간에서 새로운 전송률로 가장 많은 프레임을 전송할 수 있는 프레임을 새로운 구간의 시작 프레임으로 설정하여 전송률 변화 횟수를 최소화한다.

MVBA(Minimum Variability Bandwidth Allocation) 알고리즘[10-12, 15]은 전송률의 변화 폭을 최소화하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 연장 구간 내의 프레임 중에서 전송률 변동이 가장 적은 첫 번째 프레임을 새로운 전송률로 전송할 프레임으로 선정한다.

제안된 [18] 알고리즘에서는 서버의 가용 대역폭을 최대한 확보하기 위해, 전송률 증가와 감소가 필요한 모든 경우에서 QoS를 보장하는 전송률들 중에서 최소의 전송률로 런의 전송률을 설정한다. 이렇게 함으로써 네트워크 트래픽이 고려되지 않는 환경에서는 침투 전송률 이용률을 낮추어서 다른 클라이언트가 서버에 보다 쉽게 대역폭을 확보할 수 있도록 도움을 제공한다. 네트워크 트래픽이 고려된 환경에서는 최소 전송률로 런의 전송률을 설정하기 때문에 최대 전송률과 평균 재생률을 높이도록 한다. [Fig. 2]는 CBA, MCBA, MVBA 및 [18] 알고리즘이 전송률을 조정하는 과정을 보여준다[16,18,19].



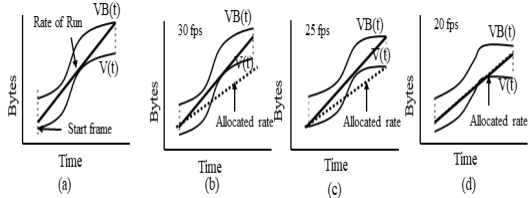
[Fig. 2] CBA, MCBA, MVBA, [18] algorithm

3. 네트워크 트래픽이 고려되는 환경에서의 스무딩 알고리즘

네트워크 트래픽을 고려하여 클라이언트가 요청한 비

디오 데이터를 전송할 때, 스무딩 알고리즘의 수행 결과로 세워진 전송 계획은 서버나 네트워크 장비에서 제공되는 대역폭 즉 가용 전송률을 만족시켜야 한다. 만약 설정된 런의 전송률이 가용 전송률을 초과할 경우 해당 전송률을 맞추기 위해 런에 포함된 일부 프레임을 제거해야 한다[20].

[Fig. 3]은 이 과정을 보여준다. 재생 속도는 30 fps로 가정한다. [Fig. 3] (a)에서처럼 런의 전송률이 가용 전송률을 초과하는 경우, 프레임을 하나 삭제하여 재생 속도를 29 fps로 조정한다([Fig. 3] (b)). 이러한 과정을 반복하여 [Fig. 3] (c)에서와 같이 25 fps까지 낮춤에도 불구하고 여전히 전송률이 가용 전송률을 초과하면 더 많은 프레임을 제거해야 한다. 이러한 프레임 폐기 과정은 런의 전송률이 가용 전송률 이하가 될 때까지 계속 진행된다. 최종적으로, [Fig. 3] (d)에서와 같이 프레임을 10개 삭제하여 20 fps로 줄였을 때 런의 전송률이 가용 전송률보다 작거나 같으면 서버에서는 해당 전송률로 비디오 데이터를 클라이언트에 전송한다.



[Fig. 3] Smoothing Algorithms Considering Network Traffic

4. 성능 평가

본 연구에서는 서버에서 할당 가능한 가용 전송률을 비디오 데이터를 구성하는 프레임들의 바이트 수의 평균의 70%로 설정한다[20-21]. 클라이언트 버퍼 크기는 10MB와 30MB로 설정한다[9].

네트워크 트래픽이 고려된 환경에서 CBA 알고리즘을 적용한 연구[20-21]와 [18]에서 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 최대 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량을 비교한다.

〈표 1〉은 성능 평가를 위해 사용된 비디오 데이터들로 [18-19] 연구에서 사용된 비디오 데이터들과 동일하다. 단위는 KB이며, Length는 재생 시간을 의미하며, E.T100이 100분으로 가장 길다. Ave는 평균 프레임 바이트 수로 1993 Final Four 비디오 데이터가 가장 높은

값을 가지며, Seminar는 가장 낮은 값을 보인다. Max와 Min은 비디오 프레임들중에서 가장 큰 바이트 수와 가장 작은 바이트 수를 나타내며, 1993 Final Four의 Max 값이 가장 크고, Seminar의 Max 값이 가장 작다. Std는 프레임 바이트 수의 표준편차를 의미하며, 1993 Final Four가 가장 큰 변동 폭을 보이며, Seminar가 가장 작은 변동 폭을 가진다.

<Table 1> MPEG Video Parameters

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

<표 2>는 재생률 변화 횟수를 비교한 결과이다. 버퍼 크기가 커질수록 두 알고리즘 모두에서 재생률 변화 횟수는 적어진다. 이는 버퍼 크기가 클수록 전송률을 완만하게 변화시킬 수 있어서 네트워크 트래픽을 만족시키기 위해 폐기되는 프레임 개수가 적어지기 때문이다. 제안된 알고리즘은 버퍼 크기가 10MB인 경우 1993 Final Four 비디오 데이터를 제외하고 CBA 알고리즘을 적용한 경우에서보다 재생률 변화 횟수가 적다. 1993 Final Four의 경우 프레임당 바이트 수의 크기의 차이가 커서 CBA 알고리즘을 적용한 경우에서보다 급격하게 높은 전송률이 요구되는 구간이 많았기 때문이다. 버퍼 크기가 30MB인 경우 제안 알고리즘의 재생률 변화 횟수는 E.T. 100 비디오 데이터를 제외하고 CBA 알고리즘을 적용한 경우에서보다 많음을 보여준다. 이 결과를 기반으로, 버퍼 크기가 작은 10MB인 환경에서 제안 알고리즘이 CBA보다 더 오랜 시간동안 재생률의 변화없이 대부분의 비디오를 시청할 수 있음을 알 수 있다.

<Table 2> Comparison of the number of fps changes

Title	10MB		30MB	
	Proposed Algorithm	CBA	Proposed Algorithm	CBA
Croc.Dundee	20	22	7	2
E.T.100	24	24	6	6
1993 Final Four	6	3	3	2
Seminar	3	5	3	3

<표 3>은 최소 재생률을 비교한 결과이다. 최소 재생률이 높을수록 시청자가 끊김 없이 비디오를 감상할 가

능성이 커지고 화질 저하도 감소된다. 두 알고리즘 모두에서 버퍼 크기가 커질수록 완만한 전송률을 세울수 있어서 최소 재생률이 커진다. Seminar 비디오 데이터를 제외하고 거의 모든 비디오 데이터에서 제안 알고리즘의 최소 재생률이 CBA 알고리즘에서보다 적다. 결과적으로 제안 알고리즘으로 비디오 데이터를 서비스하는 경우 시청자는 끊김이 많은 영상을 시청하게 된다.

<Table 3> Comparison of minimum fps

Title	10MB		30MB	
	Proposed Algorithm	CBA	Proposed Algorithm	CBA
Croc.Dundee	12	14	12	19
E.T.100	12	13	14	14
1993 Final Four	13	19	19	19
Seminar	17	17	17	17

<표 4>는 최대 재생률을 비교한 결과이다. 최대 재생률은 높을수록 더 원활한 재생 환경을 제공하는 중요한 성능 지표이다. 즉, 값이 클수록 시청 경험이 더 향상되며, 버퍼링이 적고 안정적인 스트리밍이 가능하다. 버퍼 크기가 10MB와 30MB인 경우 모두 제안 알고리즘이 우수한 성능을 보였다. 이는 제안 알고리즘이 프레임당 바이트 수가 적은 구간에서 최소의 전송률을 설정하여서 네트워크 트래픽을 만족시키기 위해 폐기되는 프레임 개수가 CBA 알고리즘에서보다 적었기 때문이다.

<Table 4> Comparison of maximum fps

Title	10MB		30MB	
	Proposed Algorithm	CBA	Proposed Algorithm	CBA
Croc.Dundee	30	27	27	21
E.T.100	30	25	29	23
1993 Final Four	30	22	29	21
Seminar	29	21	29	19

<표 5>는 평균 재생률을 비교한 결과이다. 평균 재생률이 높을수록 시청자는 평균적으로 자연스럽게 부드러운 영상을 시청할 수 있으며 빠른 화면 전환이 많은 액션 장면이나 게임 영상에서는 끊김이 적은 영상을 시청할 수 있다. 제안 알고리즘이 CBA 알고리즘보다 높은 평균 재생률을 보인다. 이는 QoS를 만족하는 전송률들 중에서 최소 전송률로 런의 전송률을 설정하기 때문에 당연히 폐기되는 프레임 개수도 적어지기 때문이다. 버퍼 크기가 30MB로 커져도 제안 알고리즘의 평균 재생률은

CBA 알고리즘보다 우수하므로 제안 알고리즘은 버퍼 크기가 크고 평균적으로 높은 재생률로 시청하려는 클라이언트에게 적합하다. 따라서 제안 알고리즘이 스트리밍 서비스에서 더 나은 사용자 경험을 제공할 가능성이 높음을 알 수 있다.

〈Table 5〉 Comparison of average fps

Title	10MB		30MB	
	Proposed Algorithm	CBA	Proposed Algorithm	CBA
Croc.Dundee	22.2	19.3	21.4	20
E.T.100	21.1	18.7	21.7	18.2
1993 Final Four	21.3	20	22.3	19.5
Seminar	22	19	22	18

〈표 6〉은 재생률 변화량을 비교한 결과이다. 재생률 변화량이 적을수록 일정한 품질의 영상을 시청자는 시청할 수 있다. 모든 항목에서 제안 알고리즘이 CBA 알고리즘에서 보다 재생률 변화량이 더 크다. 이는 제안 알고리즘의 재생률 변화 횟수가 CBA 알고리즘보다 적었지만, 각 런에서의 전송률 차이는 오히려 CBA 알고리즘보다 더 크게 나타났기 때문이다.

〈Table 6〉 Comparison of fps variability

Title	10MB		30MB	
	Proposed Algorithm	CBA	Proposed Algorithm	CBA
Croc.Dundee	6.5	3.1	5.3	1
E.T.100	5.9	2.8	5.3	2.7
1993 Final Four	5.7	1.3	4.7	0.9
Seminar	5.1	1.4	5.1	0.8

5. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 [18]에서 제안한 알고리즘을 네트워크 트래픽이 고려되는 환경에서 성능을 평가하였다. 4개의 비디오 데이터를 사용하였고 버퍼 크기는 10MB, 30MB로 설정하고 CBA 알고리즘과 [18]에서 제안된 알고리즘을 재생률 변화 횟수, 최소 재생률, 평균 재생률, 재생률 변화량으로 비교하였다.

연구 결과, 재생률 변화 횟수와 재생률 변화량은 [18]에서 제안된 알고리즘이 컸고 최대 재생률과 평균 재생률은 [18]에서 제안된 알고리즘이 높았다.

따라서 [18]에서 제안된 알고리즘을 네트워크 트래픽

이 고려된 상황에서는 평균적으로 높은 재생률을 시청하려는 클라이언트에게 적합할 수 있다. 추후에는 다양한 가용 전송률과 버퍼 크기에서 [18]에서 제안된 알고리즘의 성능을 평가할 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.Secrest, "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. Secrest, "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] MyounJae Lee, "Smoothing Algorithm Considering Peak Rate Utilization in IoT Environment", Journal of KIOTS, Vol.10, No.3, pp.21-26, 2024.
- [19] MyounJae Lee, "Performance Evaluation of a Smoothing Algorithm Considering Peak Rate Utilization in IoT Environment", Journal of KIOTS, Vol.11, pp. 29-35, 2025.
- [20] 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.
- [21] 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.

이 면 재(MyounJae Lee)

[종신회원]



■ 2009년 3월 ~ 현재 : 백석대학교
컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

사물인터넷, 게임, MPEG