

Improved Real-time Video Conferencing System with Memory Buffer Control Management

Woo Jong Yoo[†] · Sang Hyong Kim^{††}

ABSTRACT

The limitation of real-time video conferencing system is that the delay of network and buffering and the transmission of user information are not efficiently performed between systems, so real-time performance is not guaranteed completely. In order to overcome this problem, the study on the extension of the network infrastructure and the jitter delay is actively carried out, but the study on the buffering delay is insufficient. In this paper, we propose a frame-rate control buffer management (FRCB) scheme to solve the problem caused by buffering delay. The FRCB is used to prevent overflow and underflow of the buffer by adopting the two-stage buffer threshold of Fast-play THreshold (FTH) and Slow-play THreshold (STH). Therefore, it showed better performance than jitter buffer even under high CPU load, and showed that it is suitable for high quality real time video conferencing.

Keywords : Conferencing System, Buffer Management, Frame Rate Control

메모리 버퍼 제어 관리 기능을 갖춘 향상된 실시간 영상회의 시스템

유 우 종[†] · 김 상 형^{††}

요 약

실시간 영상회의 시스템의 한계는 네트워크 및 버퍼링의 지연과 사용자 정보의 전달이 시스템 간에 효율적으로 이루어지지 않고 있어 실시간성이 완벽하게 보장되지 않고 있는 것이다. 이를 극복하기 위해 네트워크 인프라의 확장과 지터 지연에 대한 연구는 활발하게 진행되고 있지만, 버퍼링 지연에 따른 연구는 미흡한 상황이다. 본 논문에서는 버퍼링 지연으로 발생하는 문제를 해결하기 위해 프레임율 제어 버퍼(Frame-Rate Control Buffer) 관리 기법을 제안하고자 한다. FRCB는 FTH (Fast-play THreshold)와 STH (Slow-play THreshold)의 2 단계 버퍼 임계값을 채택하여 버퍼의 오버플로우 및 언더플로우를 방지하는데 사용된다. 따라서, CPU 부하가 높은 상황에서도 지터 버퍼 보다 우수한 성능을 보여 고품질의 실시간 영상회의에 적합함을 보였다.

키워드 : 영상회의, 버퍼관리, 프레임율 제어

1. 서 론

최근 네트워크 환경의 지속적인 발전으로 VOD (Video On Demand), 화상 회의(Video Conference)와 같이 실시간으로 처리되는 서비스가 상용화되면서 사용자들의 수요가 증가하고 있다[1-5].

영상회의 시스템에 사용되는 버퍼관리 기법은 재생되는 영상의 실시간성을 보장해 주어야 하므로 자연스런 영상의

재생과 실시간성의 보장은 버퍼 크기와 밀접한 관계가 있다. 버퍼의 크기가 큰 경우에는 버퍼의 헤드(head)와 테일(tail)에 있는 타임 스탬프(time stamp) 간의 차이가 발생하여 실시간 영상회의에 적합하지 않으며, 버퍼의 크기가 작은 경우에는 네트워크 지연-변동(delay-jitter)으로 인해 빈번한 버퍼 언더플로우(underflow)가 발생하여 재생되는 영상의 품질이 떨어지게 된다. 네트워크 지연 전송으로 CPU 자원을 최대한 사용할 수 없는 상황에서도 실시간성을 보장할 수 있는 적절한 버퍼관리 기법이 필요하게 되었다. 또한, 주문형 비디오(Video on Demand) 서비스와는 달리 지연에 민감하여 양단간 지연(End-to-End delay)이 성능에 큰 영향을 미친다[6-7]. 네트워크 지연에 따른 지연-변동에 적응하기 위한 버퍼관리 기법에 비해 버퍼 지연에 따른 연구는 미

※ 이 논문은 2015년도 대전보건대학교 교내연구비 지원에 의한 논문임.

† 종신회원 : 대전보건대학교 컴퓨터정보과 교수

†† 준 회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 조빙교수

Manuscript Received : December 15, 2016

Accepted : January 11, 2017

* Corresponding Author : Sang Hyong Kim(kims@cnu.ac.kr)

흡한 편이다[8-12].

본 논문에서는 영상과 음성의 압축에 MPEG-4와 MP3 코덱을 사용하는 고품질 영상회의 과정에서 과도한 CPU 폭주나 타이밍 손실 등의 원인으로 수신측 버퍼에 정해진 시간에 재생되지 못한 데이터가 누적되고 이러한 높은 버퍼 수위(buffer level)가 지연에 영향을 미치는 점을 고려하여 영상의 재생 속도 제어를 통한 버퍼 수위를 조절하고 버퍼 지연을 줄이는 버퍼관리 기법을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 제2장에서는 실시간 고품질 영상회의 시스템의 개요 및 구성, 제3장에서는 제안된 버퍼관리 기법에 대해 알아보고, 제4장에서 제안한 버퍼 관리 기법을 이용한 실험 환경 및 결과에 대해서 언급하며, 마지막으로 제5장에서는 결론을 맺는다.

2. 실시간 고품질 영상회의 시스템

2.1 영상회의 시스템 개요

본 논문의 영상회의 시스템은 인코딩/디코딩 관리 부분과 네트워크 관리 부분으로 구성되어 있다. Fig. 1은 본 논문에서 구현된 영상회의 시스템을 도식화한 것이다.

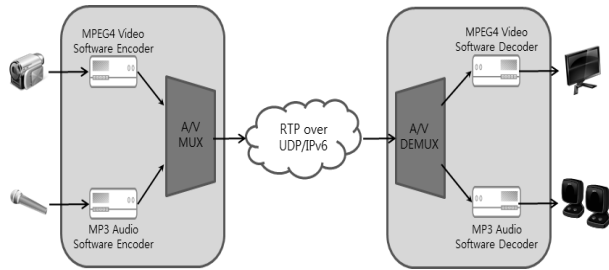


Fig. 1. Video Conferencing System

인코딩 관리부에서의 영상은 Microsoft MPEG-4 비디오 코덱, 음성은 MPEG layer-3 코덱으로 각각 압축되어 A/V MUX (Audio/Video Multiplexer)로 전달되며, 비디오/오디오 스트림을 하나의 스트림으로 만들어 네트워크 관리부로 전송하는 역할을 수행한다.

네트워크 관리부에서는 A/V MUX로부터 전달된 데이터에 RTP 헤더를 추가하여 전송하는 역할과 네트워크를 통해 들어온 RTP 패킷에서 데이터만 분리하여 디코딩 관리부로 넘겨주는 역할을 수행한다.

디코딩 관리부에서는 전송받은 하나의 스트림을 A/V DEMUX (Audio/Video Demultiplexer)에서 비디오/오디오 스트림으로 분리하여 디코딩된 영상은 Video Renderer를 통해 재생되며, 음성은 사운드 카드를 통해 스피커로 재생된다.

2.2 영상회의 시스템의 구성

RTP 데이터의 송·수신에 사용되는 소켓은 별개의 스레드로 동작하며, DirectShow의 필터로 구현된 캡처와 재생 모듈 간에 공유 버퍼를 사용한다. 전체적인 제어는 사용자

인터페이스에서 담당하게 되며, 영상회의 시스템의 컨테이너 역할을 한다. 현재 회의에 참여하고 있는 사람의 영상을 보여주며 영상과 음성의 개별적인 재생/중지와 볼륨 제어를 제공한다. RTCP는 현재 사용하고 있는 대역폭과 오류 횟수 등의 네트워크 관련 정보를 보여주는 역할을 한다. 구현된 영상회의의 구성요소와 상호 관계는 Fig. 2와 같은 구조를 가진다.

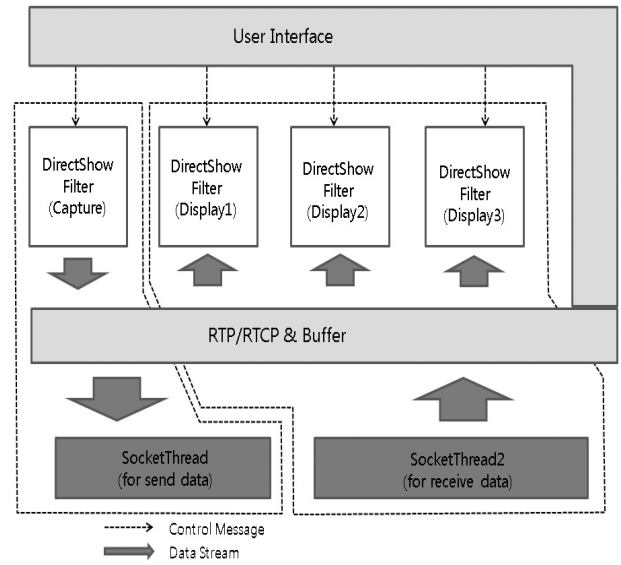


Fig. 2. Component of Video Conferencing System

영상회의 시스템의 송·수신부에서는 영상과 음성을 캡처하여 네트워크로 전송하는 필터 그래프로 구성되어 있으며 Fig. 3과 같다.

송신부에서는 영상의 경우 320×240 픽셀의 해상도로 초당 30프레임으로 캡처되며, 음성의 경우 56Kbps로 인코딩된다. 영상 카메라 또는 사운드카드 드라이버와 코덱들은 DirectShow 기술에 의해 필터로서 제공되고 있으며, 필터들 사이의 버퍼 협상이나 스트림 제어를 위한 인터페이스도 제공해 준다. Video/Audio Tee에서 분리된 데이터 스트림에 RTP 헤더가 덧붙여지고 IPv6 소켓에 의해 네트워크로 전송된다.

수신부에서는 네트워크를 통해 전송된 RTP 패킷들은 응용 계층에서 각 소스별로 구분되고 하나의 소스마다 필터 그래프가 생성되어 영상과 음성을 재생하게 된다. 필터 그래프가 제공하는 미디어 컨트롤 인터페이스를 사용해서 각각의 사용자의 화면과 음성에 대한 제어가 가능하다.

3. 프레임율 제어 버퍼 관리 기법

고품질의 실시간 영상회의에서는 버퍼의 용량과 실시간성과의 상관관계를 고려하여 영상의 재생 속도를 조절하여 실시간성을 보장하는 FRCB (Frame-Rate Control Buffer)가 필요하다. 이러한 재생 속도 제어 기능을 적용하여 실시간 영상회의 시스템에 적합한 버퍼 관리 기법을 고안하였다.

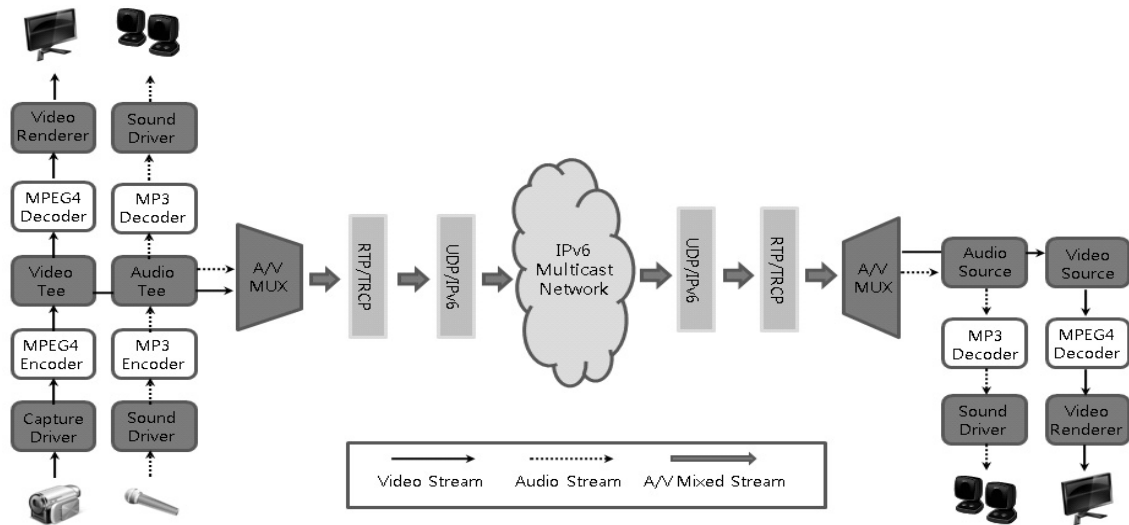


Fig. 3. Filter Graph of Transmitter/Receiver

3.1 제안된 버퍼 관리 기법

고정된 크기의 큰 버퍼를 이용하여 버퍼의 오버플로우를 방지한다. CPU 자원을 최대한 사용하여 프레임들을 처리하지 못할 경우에는 너무 많은 프레임들이 버퍼에 쌓이게 되고 이를 순차적으로 재생할 경우에는 실시간성을 보장할 수 없으므로 재생 프레임율을 변경하거나 프레임을 skip하는 방법으로 해결할 수 있다. 이러한 방법은 영상 패킷의 타입 특성에 따라 선택하게 되며, MPEG-4의 경우에 프레임을 skip하는 방법을 사용하면 I-frame이 skip된 경우에는 영상의 복원에 큰 영향을 미쳐 영상이 깨지는 현상이 발생하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 프레임 재생 시간을 조절하는 방법으로 실시간성을 보장하고자 한다.

3.2 프레임율 제어 버퍼 관리 알고리즘

본 논문에서 제안한 버퍼 관리 알고리즘에서는 화상의 재생을 위해 프레임율 제어를 FTH (Fast-play THreshold)와 STH (Slow-play THreshold)의 두 단계로 적용한다.

만약, 500ms 이상의 영상 데이터가 버퍼에 쌓이면 FTH를 넘어서게 되고 이 시점에서 영상의 재생 속도를 빠르게 하여 버퍼의 수준을 FTH까지 낮추어 재생 속도를 다시 원래의 속도로 설정한다. 이러한 버퍼관리 기법을 적용한 영상회의 시스템은 CPU에 과중한 부하가 걸려 있을 때에도 평균 500ms의 지연을 가지도록 하여 버퍼 오버플로우가 발생하는 상황도 미연에 방지할 수 있다.

STH는 네트워크의 지연 또는 데이터의 손실이 지속되어 버퍼 언더플로우가 발생하는 현상을 방지하기 위해 사용되며 버퍼의 수준이 STH 이하로 떨어지게 되면 영상의 재생 속도를 느리게 하여 버퍼 언더플로우로 인한 영상의 끊김 현상을 미연에 방지하는 역할을 한다.

Fig. 4는 본 논문에서 제안하는 버퍼관리 알고리즘을 도식화한 것이다. 네트워크로부터 전달되는 화상의 프레임들은 버퍼에 쌓이게 되고 버퍼의 수준에 따라 프레임이 재생

되는 속도가 각각 다르게 적용되어 화상 디코더로 전달된다. 버퍼의 수준에 따라 각각 적용된 프레임의 재생 속도는 재생 속도가 변경되었을 때 가장 자연스러운 화상을 재생하는 속도로 채택하였다.

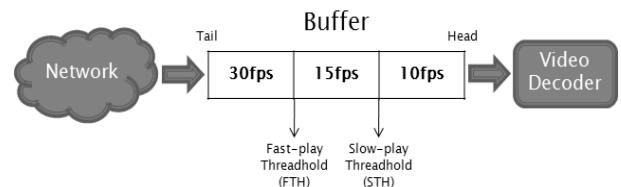


Fig. 4. FRCB Buffer Structure

Algorithm 1은 FRCB 알고리즘을 의사 코드로 나타낸 것이다. 이 알고리즘에서는 버퍼에 존재하는 데이터 수준에 따라 FTH보다 높으면 프레임율을 조정하여 빠른 속도로 재생하도록 하고, FTH와 STH에 존재하면 프레임율을 조정하여 정상적인 속도로 재생되게 한다. 마지막으로, STH보다 낮으면 느린 속도로 재생되게 한다. 프레임율은 미디어 타입을 설정하는 부분에서 프레임의 시작과 종료를 설정하는데 사용되며, 이전 프레임의 종료 시간으로 재설정된다.

Algorithm 1. Pseudocode of FRCB

```

1: if (nRead + FTH < nWrite)
2:     nFrameRate=30fps;
3: else if (nRead + STH < nWrite)
4:     nFrameRate=15fps;
5:     else nFrameRate=10fps;
6: LONGLONG rtStartTime = m_rtSampleTime;
7: m_rtSampleTime += nFrameRate;
8: pms → SetTime(&rtStartTime, &m_rtSampleTime);
    
```

4. 실험 환경 및 결과 분석

4.1 실험 환경 구성

본 논문의 영상회의 시스템은 Fig. 5와 같은 환경으로 구성되어진다. 실험에는 사용자 5명의 영상 데이터를 멀티캐스트를 통해 송·수신이 가능하도록 구성하였으며, 사용자 수에 따른 시스템 자원의 사용량과 제안된 영상회의 시스템의 구조 및 버퍼관리 기법의 성능이 우수함을 보인다.

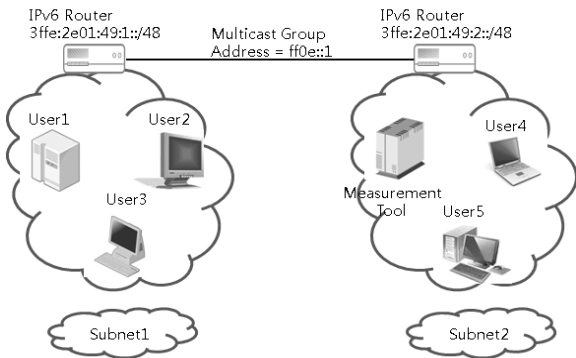


Fig. 5. Experimental Environment

4.2 실험 결과 분석

영상회의에 참여하는 사용자 수에 따른 시스템 자원 사용량과 하나의 수신 모듈에 대해 시간에 따른 버퍼 수준의 변화에 대하여 제안된 방법이 우수함을 보인다.

Fig. 6은 영상회의에 참여하는 사용자 수에 따른 CPU 점유율의 변화를 측정된 것이다. 상대방의 화상을 수신만 할 경우와 자신의 화상을 캡처하여 회의 참여자에게 전송하는 경우로 나누어 측정하였으며, 화상의 캡처 및 인코딩에 기본적으로 40% 정도 CPU 점유율이 필요하고 다자간 화상회의의 경우에 CPU 자원의 대부분을 점유하고 있는 것을 알 수 있다. 자신의 화상은 전송하지 않고 수신만을 할 경우에는 하나의 수신 모듈당 약 10% 정도의 CPU 점유율을 사용하며 이로서 화상 인코딩에 더 많은 CPU 자원이 필요하다는 사실을 알 수 있다.

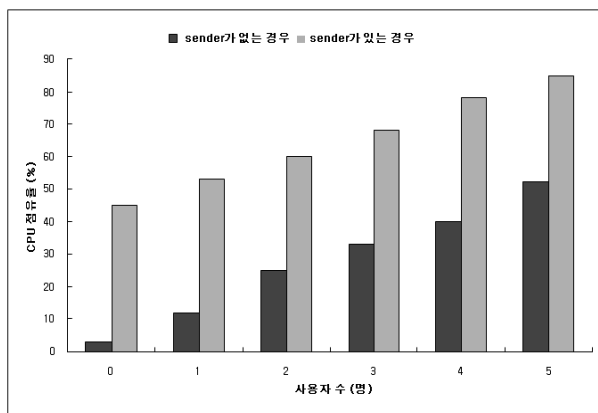


Fig. 6. CPU Occupancy Rate

Fig. 7은 영상회의에 참여하는 사용자 수에 따른 메모리 사용량의 변화를 측정된 것이다. 사용자의 수가 증가함에 따라 거의 일정 수준의 메모리를 추가로 사용하며 그 수치는 약 30MB 정도로 대부분 수신측 버퍼로 사용되는 공간이다. 수신측 버퍼는 충분히 많은 양을 설정하였으며 이는 일반적인 컴퓨터들의 메모리 용량을 고려해보았을 때 6~7명 정도의 수신 모듈을 수용 가능 하도록 하는 수치이다.

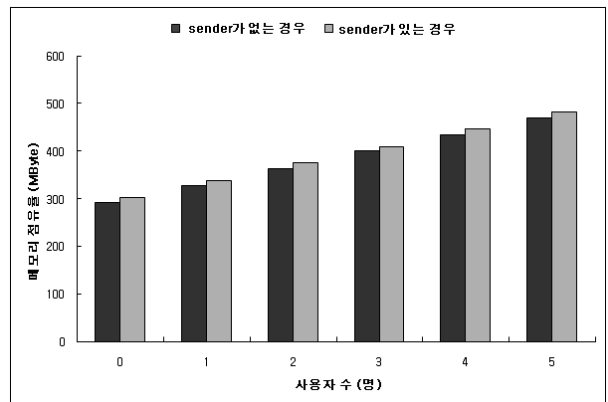


Fig. 7. Memory Occupancy Rate

Fig. 8은 FTH만을 버퍼의 15프레임 위치에 설정한 경우에 시간에 따른 버퍼 수위의 변화를 나타낸 결과이다. 버퍼의 수위가 15프레임 이상일 경우 재생 속도를 빠르게 하여 평균 버퍼의 수위를 낮추고 있음을 알 수 있다. 그러나 네트워크의 지연 또는 데이터의 손실로 인해 버퍼의 수위는 자연히 조금씩 낮아지다 일정 주기로 버퍼 언더플로우가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

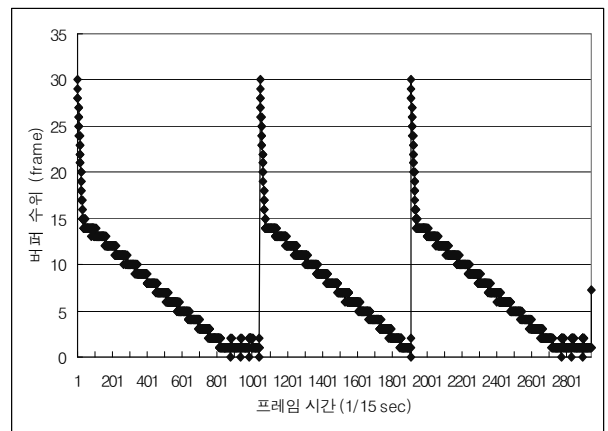


Fig. 8. Buffer Level Variation-FTH

Fig. 9는 STH만을 수신측 버퍼의 5프레임 위치에 설정한 경우에 시간에 따른 버퍼 수위의 변화를 나타낸 결과이다. 위에서 언급한 FTH만을 설정한 결과와는 달리 STH 아래로 버퍼의 수위가 떨어지지 않아 언더플로우가 발생하지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 버퍼의 수위가

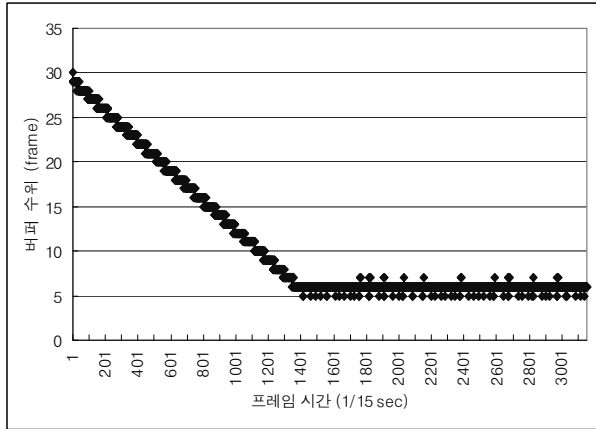


Fig. 9. Buffer Level Variation-STH

최고 수치에서 STH까지 떨어지는데 오랜 시간이 걸리고 이는 평균 버퍼 수위를 높게 만들어 양단간 지연을 증가시키는 효과가 있다.

Fig. 10은 본 논문에서 제안한 FRCB의 성능 평가를 위하여 지터 버퍼, FRCB-FTH, FRCB-STH, FRCB를 적용했을 경우에 CPU 점유율 60%에서 버퍼 수위의 분포를 나타낸 것이다. 버퍼 수준의 최대치(max), 75%, 25%, 최소치(min)를 표현하는데 최대치와 최소치는 수직선으로, 75%와 25% 구간의 버퍼 수위는 막대그래프로 표현하였다. 또한, 막대의 길이는 버퍼 수준의 분산(variance)을 나타낸다. 첫 번째로 지터 버퍼에 대한 두 개의 그래프 JB 60, JB 100은 각각 CPU 점유율 60%와 100%에서 측정된 것으로, JB 60은 막대의 위치가 12~24프레임으로 가장 넓은 분포를 나타내며 평균 버퍼 수위도 높았다. JB 100에서는 막대의 위치가 22~29프레임으로 상당히 높은 분포를 보임을 알 수 있다. 따라서, 지터 버퍼에 대한 그래프는 지연 지터값이 크고 평균 버퍼 수준도 높아 실시간성에 적합하지 않음을 보여 준다. 다음으로 FRCB-FTH에 대한 결과를 보여주는 그래프들에서는 버퍼 수준이 3~11프레임으로 비교적 낮은 분포를 보이지만 언더플로우가 발생할 수 있는 단점

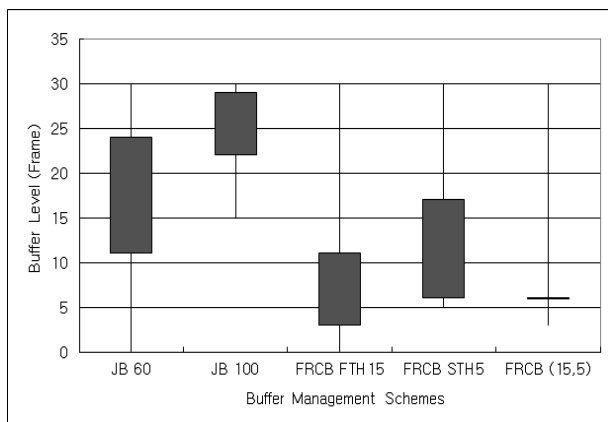


Fig. 10. Comparison of Buffer-level Distribution

이 있다. 반면에 FRCB-STH만 적용하면 언더플로우는 발생하지 않지만 분포가 6~17프레임으로 비교적 높고 CPU가 과부하되어 오버플로우가 발생할 수 있다. 마지막으로 FRCB FTH STH에서는 버퍼 언더플로우와 오버플로우가 발생하지 않고 막대의 위치가 6프레임으로 고른 버퍼 수준을 보였다.

Fig. 11은 CPU의 부하에 따른 FRCB의 버퍼 수준을 비교한 그래프이다. CPU의 부하가 각각 15%, 45%, 75%, 100%일 경우에 실험 결과를 보여준다. FRCB가 CPU 15%와 45%일 경우에는 버퍼 수준의 분포가 6프레임 수준에서 분포를 이루지만, CPU 75%와 100%에서는 버퍼 수준이 6~14프레임 정도까지 변동폭이 커지고 평균 버퍼 수준도 높아졌음을 알 수 있다. 하지만 기존의 지터 버퍼에 비해서는 상당히 낮은 버퍼 수준을 나타내며, 이러한 결과를 바탕으로 평균 버퍼 수위가 낮아 실시간성에 유리하고 또한 CPU의 부하가 높은 상황에서도 비교적 양호한 버퍼 수위를 보이는 FRCB가 가장 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

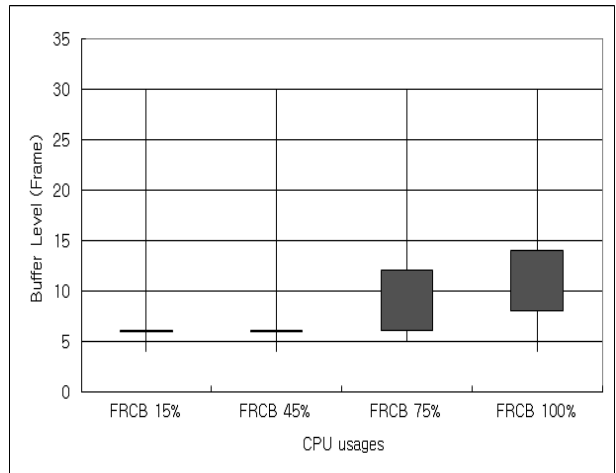


Fig. 11. Comparison of Buffer-level Distribution-FRCB

5. 결론

일반적인 영상회의 시스템은 실시간성을 요구하기 때문에 지연에 민감하고 양단간 지연이 시스템의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이러한 지연 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 FRCB를 제안하여 가능한 재생되는 화면의 끊어짐을 방지하면서 버퍼 지연을 극복하고 실시간성을 유지할 수 있음을 보이고자 하였다.

FRCB FTH STH를 적용하여 버퍼의 오버플로우와 언더플로우를 방지하기 위한 threshold로 각각 사용하였다. 실험을 통하여 낮은 버퍼 수준이 유지되고 버퍼 오버플로우와 언더플로우가 발생하지 않도록 하는 최적의 FTH, STH 값을 찾아내고자 하였다.

실험 결과를 통해 알아 본 바와 같이 FRCB를 적용하면 다자간 고품질 영상회의 시스템과 같이 높은 CPU 성능을 요구하는 분야에서도 버퍼 지연을 극복하고 실시간성을 유지할 수 있다는 것을 확인하였다.

References

- [1] K. K. Nayfeh and N. J. Sarhan, "A Scalable Solution for Interactive Near Video-on-Demand," *IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.26, No.10, pp.1907-1916, 2016.
- [2] F. Benevenuto, A. Pereira, T. Rodrigues, V. Almeida, J. Almeida, and M. Gonçalves, "Characterization and analysis of user profiles in online video sharing systems," *Journal of Information and Data Management*, Vol. 1, No. 2, pp. 261-276, 2010.
- [3] X. Wang, Z. Zhong, and Y. Zhao, "DeRe: A Buffer Saving and Controllable Video-on-Demand Broadcasting Scheme for Heterogeneous Receivers," *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol.62, No.1, pp.69-81, 2016.
- [4] J. Xu and B. W. Wah, "Delay-Aware Loss-Concealment Strategies for Real-Time Video Conferencing," in *Proceedings of 2011 IEEE International Symposium on Multimedia*, pp.27-34, 2011.
- [5] F. B. Carreiro, R. Moraes, J. Fonseca, and F. Vasques, "Real-time communication in unconstrained shared ethernet networks: the virtual token-passing approach," in *Proceedings of 2005 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, Vol.1, pp.425-432, Sept., 2005.
- [6] J. -C. Bolot, "End-to-End Packet Delay and Loss Behavior in the Internet," in *Proceedings of ACM SIGCOMM Conference 1993*, Vol.23, No.4, pp.289-298, 1993.
- [7] J. W. Park, S. Han, and J. W. Kim, "End-to-end monitoring service for multicast-based high-quality real-time media delivery," in *Proceedings of 3rd IEEE/IFIP Workshop on End-to-End Monitoring Techniques and Services*, pp.142-151, 2005.
- [8] F. P. Zhang, O. W. W. Yang, and B. Cheng, "Performance Evaluation of Jitter management Algorithms," in *Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp.1011-1016, 2001.
- [9] M. K. Ishak, G. Herrmann, and M. Pearson, "Reducing delay and jitter for real-time control communication in Ethernet," in *Proceedings of 15th International Conference on Advanced Communication Technology*, pp.162-168, Jan. 2013.
- [10] A. Mejia, J. Flich, J. Duato, S.-A. Reinemo, and T. Skeie, "Boosting Ethernet Performance by segment-based Routing," in *Proceedings of the Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing*, pp.55-62, 2007.
- [11] L. Repele, R. Muradore, D. Quaglia and P. Fiorine, "Improving Performance of Networked Control Systems by Using Adaptive Buffering," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.61, No.9, pp.4847-4856, 2014.
- [12] N. Tiwari, "Behavioral analysis of the Playout Buffer of VoIP Based Applications from client perspective," in *Proceedings of 2014 5th International Conference on Computer and Communication Technology*, pp.279-284, 2014.

유 우 종



e-mail : wjyoo@hit.ac.kr

1987년 충남대학교 계산통계학과(이학사)

1990년 충남대학교 계산통계학과(이학석사)

2001년 충남대학교 전산학과(이학박사)

1987년~1993년 한국전자통신연구원
선임연구원

1993년~현 재 대전보건대학교 컴퓨터정보과 교수

관심분야: 멀티미디어 응용, 실시간 미디어처리, 병렬처리, VOD

김 상 형



e-mail : kims@cnu.ac.kr

1997년 한밭대학교 전자계산학과(공학사)

2002년 충남대학교 전산학과(이학석사)

2003년~현 재 충남대학교 전산학과
박사수료

2014년~현 재 충남대학교 컴퓨터공학과
초빙교수

관심분야: 멀티미디어 응용, 실시간 미디어처리, VOD