

IEEE 802.11e U-APSD 환경에서 에너지 효율 향상을 위한 적응적인 스트리밍 시스템 (Adaptive Streaming System for Improving Energy Efficiency over IEEE 802.11e U-APSD)

이 성 희 [†] 정 광 수 ^{**}
(Sunghee Lee) (Kwangsue Chung)

요약 무선 네트워크 환경에서 단말기의 에너지 효율은 멀티미디어 스트리밍 서비스의 연속적인 이용을 위한 중요한 고려사항이다. 본 논문에서는 멀티미디어 스트리밍 서비스를 이용하는 무선 단말기의 에너지 효율을 향상시키기 위해서 IEEE 802.11e의 U-APSD(Unscheduled Automatic Power Save Delivery) 환경에서 동작하는 스트리밍 시스템인 BACASS(Buffer-Aware and Content-Aware Streaming System)를 제안하였다. BACASS는 SVC로 인코딩된 영상을 이용하는 네트워크 인지형 스트리밍 시스템을 기반으로, PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)과 클라이언트 버퍼 정보를 이용해서 U-APSD의 DP(Doze Period)를 유도함으로써 에너지 효율을 향상시킨다. 시뮬레이션 결과를 통해서 제안하는 BACASS가 단말기의 에너지 효율을 향상시킴을 보였다.

키워드 : 스트리밍, SVC, 전송률 조절, 에너지 효율

Abstract In wireless network, energy efficiency is an important design consideration for continuous multi-media streaming service. This paper proposes a new streaming system, called BACASS (Buffer-Aware and Content-Aware Streaming System) that working on the 802.11e U-APSD (Unscheduled Automatic Power Save). The BACASS leads the DP (Doze Period) of U-APSD for improving energy efficiency by utilizing the PSNR based on content-aware and client buffer occupancy that is hinged on a network-aware streaming system using SVC. The simulation results demonstrate the effectiveness of the proposed streaming system.

Key words : Streaming, SVC, Rate Control, Energy Efficiency

1. 서론

최근 무선 네트워크 환경에서 멀티미디어 스트리밍 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 하지만 무선 단말기는 제한된 배터리 특성 때문에 연속적인 스트리밍 서비스를 제공하기 어렵다. 따라서 무선 네트워크 환경에서 연속적인 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서는 단말기의 에너지 효율이 고려되어야 한다[1]. 또한, 무선 네트워크는 변화가 심하고 제한된 대역폭 특성을 가진다. 이와 같은 특성은 네트워크 혼잡의 원인이 된다. 따라서 네트워크 상태 변화에 따라 효율적으로 멀티미디어 스트림의 전송률을 조절하는 기법이 필요하다.

무선랜 환경에서 다양한 멀티미디어 데이터를 고속으로 전송하는 응용서비스가 증가함에 따라, 이러한 서비스를 지원할 수 있는 무선 QoS(Quality of Service) MAC(Media Access Control) 기술이 IEEE 802.11e에서 표준화 되었다. 또한 IEEE 802.11e에서는 무선 단말기의 에너지 효율을 향상시키기 위해 파워 절약 메커니즘인 U-APSD(Unscheduled Automatic Power Saving Deliver)를 확장 표준으로 정의하였다[2]. U-APSD는 무선 단말기가 수신할 데이터가 없을 경우에 DP(Doze Period)로 동작하여 단말기가 최소한의 파워만을 소비하게 한다. 하지만 연속적으로 데이터를 수신해야 하는 스트리밍 서비스는 DP로 동작하기 어려운 문제점이 있다. 또한, 네트워크 혼잡 제어 측면에서, 대역폭 변화와 서로 다른 클라이언트들의 가용대역폭에 적응적으로 전송률을 조절하기 위해 SVC(Scalable Video Coding)를 이용한 네트워크 인지형 전송률 제어 시스템이 연구되고 있다. 그러나 기존 시스템들은 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)과 같은 콘텐츠 특성 및 제한된 배터리 지속시간과 같은 단말기의 특성을 고려하지 않는다. 그림 1은 SVC 비트스트림의 결합형 확장성을 고려할 때 PSNR과 SVC 비트스트림의 비트율이 비례하지 않음을 보여준다. 이를 통해 PSNR의 고려 없이 네트워크의 가

· 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전라기술인력양성사업과 지식경제부의 전라기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임

· 이 논문은 2010 한국컴퓨터종합학술대회에서 'IEEE 802.11e U-APSD 환경에서 에너지 효율 향상을 위한 적응적인 스트리밍 시스템의 제속'으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 광운대학교 전자통신공학부
shlee@adams.kw.ac.kr

^{**} 종신회원 : 광운대학교 전자통신공학부 교수
kchung@kw.ac.kr

논문접수 : 2010년 8월 6일

심사완료 : 2010년 9월 14일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제11호(2010.11)

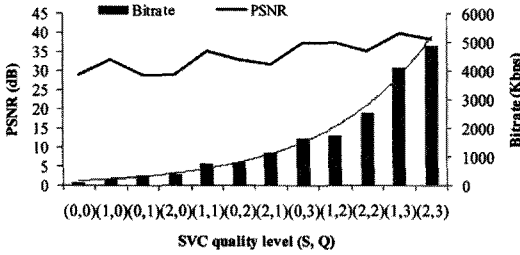


그림 1 SVC로 부호화된 영상의 시간-SNR 계층 별 PSNR 및 비트율

용대역폭에 가장 근접한 비트율을 가지는 비트스트림을 전송하는 것은 불필요한 비트스트림을 전송함을 알 수 있다.

본 논문에서는 무선 네트워크 환경에서 스트리밍 서비스를 받는 단말기의 에너지 효율을 향상시키기 위해 IEEE 802.11e U-APSD 환경에서 동작하는 새로운 스트리밍 시스템 BACASS(Buffer-Aware and Content-Aware Streaming System)를 제안한다. 제안하는 스트리밍 시스템은 영상의 PSNR 정보를 이용해서 네트워크에 효율적으로 전송률을 조절하고 단말기의 버퍼 정보를 이용해서 DP 동작을 유도함으로써 에너지 효율을 향상시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존 연구 및 U-APSD 메커니즘에 대해서 알아보고, 3장에서는 제안하는 스트리밍 시스템의 구조 및 에너지 효율을 향상시키기 위한 알고리즘을 상세히 기술하였다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해서 제안하는 시스템의 성능을 평가하였으며, 5장에서 결론을 맺었다.

2. 관련연구

멀티미디어 스트리밍 서비스의 QoS를 향상시키기 위해 다양한 전송률 조절 기법들이 연구되어 왔다. NCAR (Network and Client-Aware Rate Control) 기법은 네트워크의 혼잡 상태와 클라이언트 버퍼 상태에 따라 전송률을 조절함으로써 네트워크의 혼잡을 제어하고 클라이언트 버퍼의 오버플로우와 언더플로우 현상을 방지하였다[3]. 하지만 이 기법은 단말기의 제한된 배터리 특성을 고려하지 않아 스트리밍 서비스의 연속적인 재생을 보장하기 어렵다. 스트리밍 비디오 재생을 위해 소비되는 에너지를 절약하기 위해서, Agrawal 등은 [4]에서 비트스트림의 I, P, 그리고 B 프레임을 선택적으로 폐기함으로써 에너지를 절약하는 기법을 제안하였지만, 비디오의 품질을 감소시키는 문제점이 있다. 비디오의 품질을 보장하면서 에너지 효율을 향상시키기 위해서 [5]에서는 콘텐츠의 PSNR과 왜곡 정보를 이용해서 불필요

한 비트스트림의 전송을 줄임으로써 에너지를 절약하는 기법을 제안하였다. 하지만 이러한 기법들은 비트스트림을 디코딩하는데 소비되는 에너지의 절약에만 초점이 맞추어져 있다.

본 논문에서는 단말기가 무선 통신을 위해 소비하는 에너지를 줄이기 위해 IEEE 802.11e 확장 표준에서 정의한 U-APSD 메커니즘을 이용해서 에너지 효율을 향상시켰다.

2.1 U-APSD(Unscheduled Automatic Power Save Delivery) 메커니즘

그림 2는 U-APSD의 동작을 보여준다. 단말기가 트리거 프레임으로 불리는 업링크 데이터 또는 널 프레임을 AP에게 전송하면 U-SP(Unscheduled Service Period)가 시작된다. U-SP가 시작되면 AP는 이전 DP 동안 버퍼링되어 있던 다운링크 프레임을 단말기에게 전송하기 시작한다. 하나의 U-SP가 끝날 때 AP는 데이터 프레임의 EOSP(End Of Service Period) 필드를 1로 설정하고, 아직 버퍼에 전송할 데이터가 남아 있다면 MAC 헤더에 있는 프레임 제어 필드의 MoreData 필드를 1로 설정하여 데이터 프레임을 전송한다. 단말기는 EOSP와 MoreData 필드가 1로 설정된 데이터를 수신하면 트리거 프레임을 AP에게 전송하여 다시 U-SP를 시작한다. 반면에, EOSP 필드가 1로 설정되고 MoreData 필드가 0인 데이터를 수신하면 단말기는 DP로 동작한다.

U-APSD는 단말기가 수신할 데이터가 없을 경우 DP로 동작함으로써 무선통신에 사용되는 에너지 소비를 줄일 수가 있다. 하지만 스트리밍 서비스는 연속적으로 데이터를 수신해야 하기 때문에 DP로 동작하기 어려운 특징이 있다.

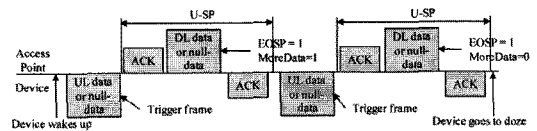


그림 2 U-APSD의 동작

3. 에너지 효율 향상을 위한 콘텐츠 인지형 스트리밍 시스템

그림 3은 BACASS의 전체 구조를 나타낸다. 서버는 네트워크와 콘텐츠 정보를 이용해서 영상의 품질을 최대한 보장하면서 네트워크의 혼잡을 제어한다. 또한 서버는 영상의 재생에 필요한 데이터보다 더 많은 데이터를 전송하도록 동작한다. 이 동작을 오버 버퍼링 기능으로 정의한다. 클라이언트는 통신을 위해서 사용되는 에

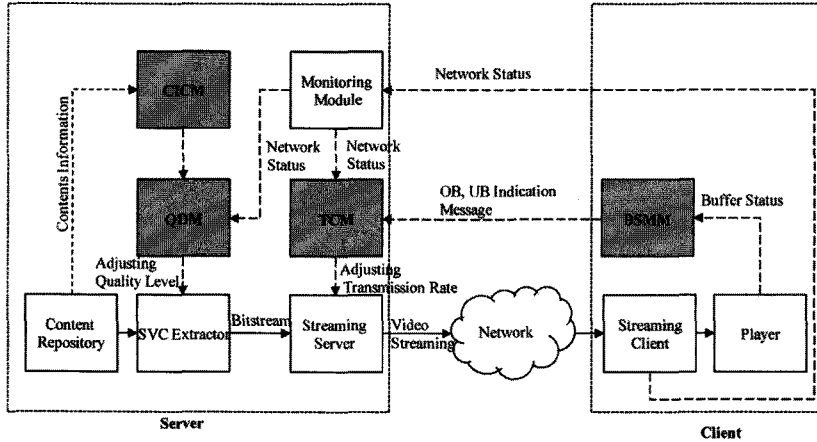


그림 3 BACASS의 전체 구조

너지의 소비를 줄이기 위해 버퍼의 정보를 이용한다. 이를 위해 BACASS는 다음과 같은 모듈을 가진다.

- CIMM(Content Information Management Module): SVC 비트스트림의 품질 등급별 PSNR과 비트율 정보로 구성된 콘텐츠 정보데이터를 관리한다.
- QDM(Quality Decision Module): 네트워크의 상태와 PSNR정보에 따라 SVC 비트스트림의 품질 등급을 결정한다.
- TCM(Transmission Control Module): 네트워크와 클라이언트의 상태에 따라 비트스트림의 전송률을 조절하며 전송의 정지 및 시작 동작을 제어한다.
- BSMM(Buffer Status Monitoring Module): 버퍼의 상태를 모니터링한다. 버퍼의 길이가 임계 값을 넘게 되면 *OB Ind*(Over Buffer Indication). 또는 *UB Ind*(Under Buffer Indication). 메시지를 서버에게 전송한다.

3.1 서버의 콘텐츠 인지형 조절 기법

서버는 네트워크의 QoS향상과 오버 버퍼링 기능을 유도하기 위해 콘텐츠 인지형 전송률 조절 기법을 이용한다. 콘텐츠 인지형 전송률 조절 기법은 가용대역폭에 적용적으로 전송률을 조절하기 위해 SVC 비트스트림의 품질 등급을 조절하는 방법과 비트스트림의 전송률을 제어하는 방법을 사용한다.

네트워크 상태가 호전됨에 따라, TCM은 TFRC(TCP-Friendly Rate Control) 수식[6]을 이용해서 측정된 가용대역폭(R_{ABW})에 맞추어 비트스트림의 전송률을 조절한다. QDM은 네트워크 상태정보를 기반으로 새롭게 측정된 가용대역폭과 가장 가까운 비트율 값을 가지는 SVC 비트스트림의 품질등급(Q_{NEW})을 계산한다. 그림 4와 같이, 만약 Q_{NEW} 의 PSNR($PSNR_{NEW}$)이 현재 품질등급(Q_{CUR})의 PSNR($PSNR_{CUR}$)보다 크다면, Q_{NEW} 가

```

Network status is getting better:

Adjust the transmission rate according to  $R_{ABW}$ 
Calculate  $Q_{NEW}$  based on  $R_{ABW}$ 

if ( $PSNR_{NEW} > PSNR_{CUR}$ ) {
    Use  $Q_{NEW}$  as a quality level of SVC bitstream
} else if ( $PSNR_{NEW} \leq PSNR_{CUR}$ ) {
    Use  $Q_{CUR}$  as a quality level of SVC bitstream
}

Network status is getting worse:

Adjust the transmission rate according to  $R_{ABW}$ 
Calculate  $Q_{NEW}$  based on  $R_{ABW}$ 

if ( $PSNR_{NEW} > PSNR_{NEW-1}$ ) {
    Use  $Q_{NEW}$  as a quality level of SVC bitstream
} else if ( $PSNR_{NEW} \leq PSNR_{NEW-1}$ ) {
    Use  $Q_{NEW-1}$  as a quality level of SVC bitstream
}
    
```

그림 4 콘텐츠 인지형 전송률 조절 기법

멀티미디어 스트리밍을 위한 SVC 비트스트림의 품질등급으로 사용된다. 만약 $PSNR_{NEW}$ 가 $PSNR_{CUR}$ 보다 작다면, Q_{CUR} 이 SVC 비트스트림의 품질등급으로 사용된다. 이를 통해서 제안하는 콘텐츠 인지형 전송률 조절 기법은 클라이언트가 영상의 재생에 필요한 것보다 더 많은 비트스트림을 전송한다. 반면에, 네트워크 상태가 악화됨에 따라 TCM은 비트스트림의 전송률을 이전과 같이 R_{ABW} 에 맞추어 조절하고, QDM은 Q_{NEW} 를 R_{ABW} 를 기반으로 계산한다. 만약 $PSNR_{NEW}$ 가 Q_{NEW} 의 한 단계 아래의 품질등급의 PSNR 보다 크다면, Q_{NEW} 가 멀티미디어 스트리밍을 위한 SVC 비트스트림의 품질등급으로 사용된다. 만약 $PSNR_{NEW}$ 가 Q_{NEW} 의 한 단계 아래의 품질등급의 PSNR 보다 작거나 같다면, QDM은 Q_{NEW} 의 한 단계 아래의 품질 등급을 SVC 비트스트림

의 품질등급으로 사용된다.

3.2 클라이언트의 에너지 효율 향상 기법

802.11e U-APSD 환경에서 에너지 효율을 향상시키기 위해, 클라이언트는 버퍼의 상태에 따라 DP로 동작하는 기법을 사용한다. BACASS가 사용하는 버퍼 모델은 그림 5와 같다. 버퍼 모델에서 $Total_B$ 는 버퍼의 크기, $qlenc$ 는 현재 버퍼의 길이, $R_{RX}(t)$ 는 단말기의 수신률, $R_{PLAY}(t)$ 는 영상의 재생율, $qmax_{th}$ 는 최대 임계 값 $qmin_{th}$ 는 최소 임계 값을 나타낸다.

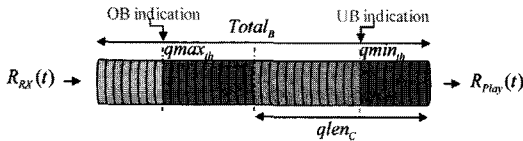


그림 5 BACASS 클라이언트의 버퍼 모델

BSMM은 DP를 유도하기 위해서 버퍼의 상태를 모니터링하며, 버퍼의 오버 플로우와 언더 플로우를 인지하기 위해서 $qmax_{th}$ 와 $qmin_{th}$ 를 결정한다. 그림 6과 같이, 만약 $qlenc$ 가 $qmax_{th}$ 보다 크다면 BSMM은 이를 인지하고 *OB Ind.* 메시지를 서버에게 전송한다. 서버는 *OB Ind.* 메시지를 수신하게 되면 ACK를 클라이언트에게 전송하고 멀티미디어 스트리밍을 일시적으로 중단한다. ACK를 수신한 후 클라이언트는 더 이상 수신할 데이터가 없기 때문에 DP로 동작하게 된다. 만약 $qlenc$ 가 $qmin_{th}$ 보다 작다면 클라이언트는 *UB Ind.* 메시지를 서버에게 전송한다. 서버는 *UB Ind.* 메시지를 수신하면 멀티미디어 스트리밍을 다시 시작한다. 이때, 클라이언트는 *UB Indi.* 메시지를 전송한 후에 다시 DP로 동작하기 때문에 비트스트림을 수신하기 전까지 *UB Indi.* 메시지를 전송한다.

버퍼의 길이가 증가하는 상황에서, 클라이언트 버퍼의 언더플로우를 방지하기 위해 $qmax_{th}$ 를 다음 수식과 같이 정의한다.

```

if ( qlenc ≥ qmax_th and U-SP ) {
    Send OB Ind. to server
    Until receive ACK from server
    Wait ACK
    if(ACK arrive)
        go to DP
}

if(qlenc ≤ qmin_th and DP) {
    Until get bitstreams from server
    Send UB Ind. to server
}

```

그림 6 클라이언트의 에너지 효율 향상 기법

$$qmax_{th} = Total_B - \int_0^{RTT} (R_{RX}(t) - R_{play}(t)) dt \quad (1)$$

여기서, $R_{RX}(t)$ 는 $R_{PLAY}(t)$ 보다 크다고 가정한다. 반면에, 시스템이 DP 모드로 동작하고 있을 때, 클라이언트 버퍼의 언더플로우를 방지하기 위한 $qmin_{th}$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$qmin_{th} = \int_0^{RTT} R_{play}(t) dt \quad (2)$$

이와 같이, 제안하는 스트리밍 시스템은 단말기의 오버 버퍼링 기능을 유도하여 DP로 동작하게 함으로써 에너지 효율을 향상시켰다.

4. 시뮬레이션 결과

4.1 시뮬레이션 환경

본 장에서는 제안하는 시스템인 BACASS의 성능을 평가하기 위해, NS-2를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험을 위해서 표 1과 같이 JSVM(Joint Scalable Video Model)을 이용해서 Soccer-704x576-30-orig-02-yuv 비디오 클립을 SVC 계층으로 인코딩하여 이용하였다. 또한, BACASS의 성능을 보이기 위해, 가용대역폭에 가장 근접한 SVC 비트스트림을 전송하는 기존의 전송률 조절 시스템(Rate Control System: RC) [7]과 비교하여 실험을 진행하였다. 그림 7은 실험에 사용된 네트워크 환경이다. 라우터 R1과 R2의 링크는 2Mbps와 10ms의 지연을 가지며 2개의 TCP 플로우와 1개의 비디오 스트림이 공유하고 있다. 비디오 스트림을 위해 RTP가 사용 되었고 피드백 메시지로 RTCP를 사용하였다.

BACASS의 성능 평가를 위해 시뮬레이션은 100초 동안 진행되었다. 비디오 서버는 0초부터 비디오 스트림의 전송을 시작한다. 10초에 첫 번째 TCP 플로우가 유

표 1 시험 SVC 비트스트림의 특성

Quality Level Index	Frame Rate	Spatial Level	SNR Level	Bitrate (kbps)	Y-PSNR (dB)
0	30	0	0	42.3	28.94
2	30	0	1	121.5	29.0712
5	30	0	2	389.33	33.0605
7	30	0	3	846	37.3583
1	30	1	0	89.26	33.0036
4	30	1	1	278.3	35.1407
8	30	1	2	1,168	37.2391
10	30	1	3	1,665	39.7496
3	30	2	0	137.76	28.9403
6	30	2	1	555	31.7077
9	30	2	2	1,365.30	34.9665
11	30	2	3	1,800	38.2712

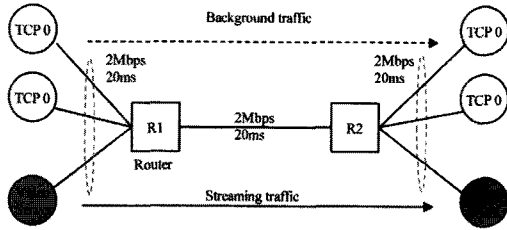


그림 7 네트워크 환경

입되어 비디오 스트림과 대역폭을 공유하다가 80초에 종료되고 두 번째 TCP 플로우는 20초에 시작해서 90초에 종료된다.

4.2 PSNR 및 보장 되는 DP 시간 변화

그림 8을 통해서 제안하는 시스템인 BACASS가 PSNR의 감소 없이 기존 RC 시스템보다 작은 비트율을 가지는 SVC 비트스트림을 전송함으로써, 멀티미디어 스트리밍 품질을 보장하면서 효율적으로 네트워크를 사용하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 9에서는 BACASS가 기존 RC 시스템보다 낮은 품질등급(Quality Level: QL)을 사용하기 때문에, 클라이언트가 비디오 재생을 위해서 요구하는 것보다 더 많은 비트스트림을 전송하는 것을 확인할 수 있다. 이 오버 버퍼링 기능으로 인해 BACASS는 기존 RC 시스템보다 더 많은 비디오 재생 시간을 보장하며 이 시간 동안 DP로 동작함으로써 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

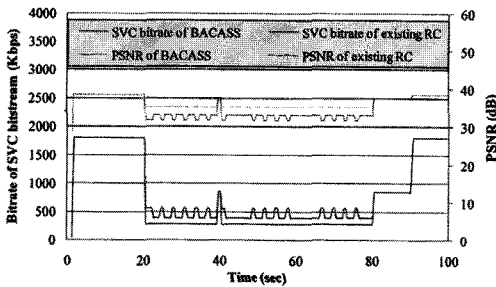


그림 8 SVC 비트스트림의 비트율 및 PSNR 비교

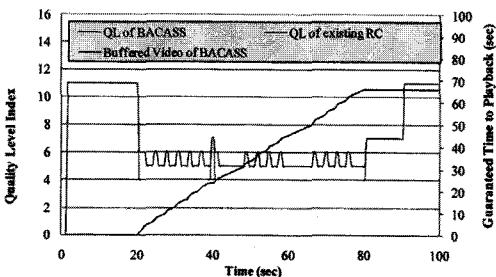


그림 9 SVC 비트스트림의 품질 등급 차이에 따라 보장하는 비디오 재생 시간

4. 결론

스트리밍 서비스를 제공받는 무선 단말기의 에너지 소비는, 연속적인 스트림의 재생과 같은 QoE에 영향을 주는 중요한 파라미터이다. 본 논문에서는 802.11e U-APSD환경에서, 스트리밍 서비스 중에 DP를 유도함으로써 에너지 효율을 향상시키는 새로운 스트리밍 시스템인 BACASS를 제안했다. 제안하는 시스템은 네트워크 상태뿐만 아니라 콘텐츠의 PSNR에 적응적으로 전송률을 조절함으로써 네트워크의 효율을 향상시키고 비디오 재생에 필요한 데이터 보다 많은 데이터를 전송한다. 이 오버버퍼링 기능을 통해 스트리밍 서버는 일시적으로 스트림의 전송을 중단하여 DP를 유도하였다. 시뮬레이션 결과는 BACASS가 현재의 비디오 품질의 감소 없이 적응적으로 전송률을 조절함을 보이고 단말기의 제한된 배터리로 기존 시스템보다 더 오랜 시간 스트리밍 서비스를 이용할 수 있음을 보였다.

참고 문헌

- [1] P. Havinga, and G. Smit, "Energy-Efficient Wireless Networking for Multimedia Applications," *Journal of Wireless Communications and Mobile Computing*, vol.1, no.2, pp.165-184, April 2001.
- [2] "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical(PHY) Layer Specification,; Amendment 8: Medium Access Control(MAC) Quality of Service Enhancements," 2005.
- [3] J. Koo, and K. Chung, "A Novel Rate Control for Improving the QoE of Multimedia Streaming Service in the Internet Congestion," *Journal of KIISE : Computer Systems and Theory*, vol.5, no.36, pp.492-504, December 2009. (in Korean)
- [4] P. Agrawal, J. Chen, S. Kishore, P. Ramanathan, and K. Sivalingam, "Battery Power Sensitive Video Processing in Wireless Networks," *Proc of IEEE Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, vol.1, pp.116-120, September 1998.
- [5] S. Lee, J. Koo and K. Chung, "Content-Aware Rate Control Scheme to Improve the Energy Efficiency in Mobile IPTV service," *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol.10, no.5, pp.52-58, May 2010.
- [6] M.Handley, S.Floyd, J.Padhye and J.Widmer, "TCP Friendly Rate Control(TFRC): Protocol Specification," *RFC 5348*.
- [7] DT. Nguyen and J. Ostermann, "Congestion Control for Scalable Video Streaming Using the Scalability Extension of H.264/AVC," *IEEE Journal of Selected Topic in Signal Processing*, vol.1, no.2, pp.246-253, August 2007.