

초고해상도 멀티미디어 서비스를 위한 클라우드 기반 적응형 스트리밍 시스템 설계 및 구현*

문중배, 조정현, 장중현
한국전자통신연구원 그린컴퓨팅연구부
e-mail:{jbmooon, junghcho, jangjh}@etri.re.kr

Design and Implementation of Cloud based Adaptive Streaming System for High Resolution Multimedia Service

Jongbae Moon, Junghyun Cho, Jonghyun Jang
Dept. of Green Computing Research, ETRI

요 약

최근 Full-HD보다 4배에서 16배 이상 선명한 초고화질 멀티미디어 영상을 볼 수 있는 UHD TV가 인기를 끌고 있다. 또한 휴대용 단말의 카메라를 이용하여 UHD 영상을 촬영하고 저장하고 있다. 그러나 이러한 초고화질 멀티미디어 영상을 스트리밍하고 재생하기에는 저사양 PC 단말이나 모바일 단말은 자원부족으로 서비스를 제대로 받을 수 없다. 본 논문에서는 클라우드 기반의 초고화질 멀티미디어 스트리밍 서비스 장치를 이용하여 저사양의 단말에서도 고품질 멀티미디어 스트리밍 서비스를 제공하기 위하여 클라우드 가상 데스크탑 서비스 기술을 이용하여 해결한다. 또한, 본 논문에서는 클라이언트 단말과의 네트워크 환경을 고려하여 다양한 비트율을 가진 영상으로 서비스를 제공함으로써 사용자에게 높은 QoE(Quality of Experience)를 제공하는 것을 보여준다.

1. 서론

최근에 사실감과 현장감을 제공하기 위하여, Full-HD가 제공하는 화질보다 4배에서 16배 이상 선명한 초고화질 멀티미디어 영상을 볼 수 있는 UHD(Ultra High Definition) TV가 인기를 끌고 있다.

UHD는 Full-HD의 해상도인 1902 X 1080보다 4배 높은 해상도를 갖는 4K(3840 X 2160 또는 4096 X 2160)와 16배 높은 해상도를 갖는 8K(7680 X 4320)으로 분류될 수 있다. Full-HD 보다 4배에서 16배 이상의 높은 해상도를 갖는 만큼 데이터양도 4배에서 16배 이상 높은 초고해상도(UHD) 멀티미디어 영상을 압축하지 않고 네트워크를 통해 전송하기 위해서는 큰 대역폭이 필요하게 된다. 8K-UHD 비디오를 기존 H.264/AVC를 이용하여 압축하여도 약 123 ~ 686Mbps로 여전히 대용량의 데이터이므로 UHD 서비스를 실현하기 위해서는 보다 높은 압축률의 부호화 기술이 요구된다.

이에 따라 MPEG에서는 차세대 비디오 부호화 기술인 HEVC(High Efficiency Video Coding)/H.265 기술을 표준

으로 발표하였다. 하지만 HEVC/H.265 부호화 방법은 압축률을 높여 초고해상도 멀티미디어 영상을 효율적으로 압축할 수 는 있지만, 컴퓨팅 자원과 시간이 많이 소요되며 역부호화 하는 데에도 많은 리소스가 소모되는 단점이 있다. 따라서, 모바일 단말과 같은 저사양 단말에서 역부호화를 수행하기에는 단말의 특성상 어려운 점이 있다. 또한, 모바일 단말은 제공되는 전원에 비해 에너지 소모가 많으며 네트워크 대역폭도 크지 않다. 따라서, 저사양의 단말이나 네트워크 대역폭이 크지 않은 환경의 단말을 위하여 클라우드의 가상화 서버에서 초고화질 멀티미디어 영상을 구동한 후 렌더링하여 나온 화면만을 단말로 전송하는 가상 데스크탑 기술을 절실하게 대두된다.

본 논문에서는 저사양 모바일 단말에서도 초고해상도 화질을 가지는 멀티미디어 서비스를 위해 가상 데스크탑 기술을 이용하여 해결한다. 또한 초고해상도 멀티미디어 소스와 가상 데스크탑 서버의 네트워크 환경과 사용자와 가상 데스크탑 서버와의 네트워크 환경이 다르기 때문에 사용자에게 높은 QoE를 제공하기 위해서는 네트워크 환경에 적응할 수 있도록 구현한다.

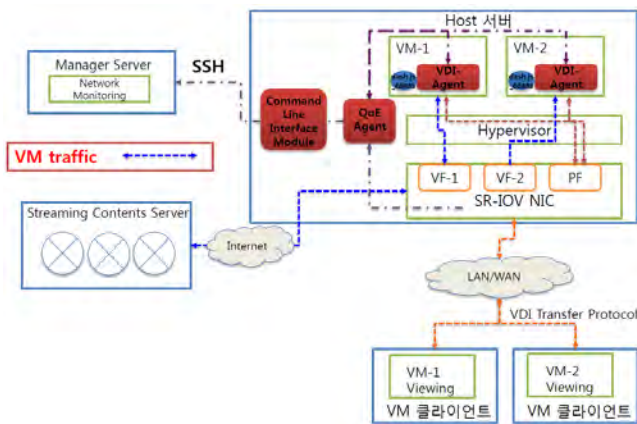
* 본 연구는 미래창조과학부 '범부처 Giga KOREA 사업'의 일환으로 수행하였음.

2. 관련연구

일반적으로 멀티미디어 서비스 시스템에는 그리드(Grid)와 같은 환경을 구축하여 멀티미디어 처리를 고성능 컴퓨팅(HPC, High Performance Computing) 환경에서 빠르게 처리하여 서비스를 제공하는 환경[1]이나 유튜브와 같이 자주 사용되는 멀티미디어 소스를 사용자 단말과 가까운 서버에 복사해 두어 서비스 지연을 최소화하는 CDN(Content Delivery Network) 환경[2], 단말간에 멀티미디어 처리를 분산하여 서비스를 하는 Skype 또는 PPlive, Coolstream 등의 P2P 방식 등이 있다. 하지만 클라우드 기반의 멀티미디어 서비스는 아직 활성화 되지 않은 상태이며 가상 데스크탑 서비스를 이용한 스트리밍 서비스는 없다.

3. 시스템 설계 및 구현

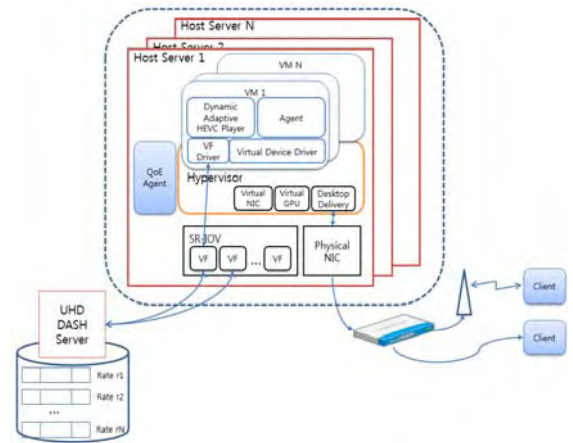
본 논문에서 제안하는 적응형 초고해상도 멀티미디어 스트리밍 시스템은 <그림 1>과 같이 크게 가상화 호스트 서버와 관리서버, 스트리밍 콘텐츠 서버, 가상 데스크탑 클라이언트로 구성되어 있다. 본 논문에서는 클라우드 가상 데스크탑 서비스를 구축하기 위해서 서버는 오픈소스 하이퍼바이저인 KVM 기반으로 구축하였다.



<그림 1> 클라우드 기반 적응형 초고해상도 스트리밍 시스템 구성도

가상화 호스트 서버는 사용자 네트워크와 멀티미디어 저장소와의 네트워크의 상태를 모니터링 하여 사용자 요청에 따라 제공될 멀티미디어 소스의 품질을 조절하는 서비스 품질 조절 모듈(QoE Agent)과 품질이 조절된 초고해상도 멀티미디어 소스를 수신하고 수신된 멀티미디어 소스를 실행하는 가상머신 (Virtual Machine), 가상머신의 화면을 전송하는 부분으로 구성되어 있다. 가상 머신에는 품질 조절 모듈로부터 명령을 받아 QoE 에 따른 멀티미디어 소스를 수신하도록 하는 VDI Agent가 수행된다.

서비스 품질 조절 모듈은 사용자의 서비스 요청에 해당하는 멀티미디어 소스를 사용자 단말에 연결되는 네트워크를 통해 끊김 없이 전송할 수 있도록 사용자 단말과 연결되는 네트워크의 상태에 따라 사용자 요청에 따른 멀티미디어 소스의 다양한 비트율을 선택하여 품질을 조절할 수 있다. 서비스 품질 조절 모듈은 멀티미디어 소스를 제공하는 초고화질 소스 제공 장치가 네트워크에 따라 스트리밍 화질을 조절할 수 있는 DASH(Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)기반의 초고화질(Ultra High Definition; UHD) 멀티미디어 제공 서버일 경우 초고화질 멀티미디어 제공 서버에 연결되는 네트워크의 대역폭을 동적으로 조절할지 여부를 판단할 수 있다. 이 때, 서비스 품질 조절 모듈은 초고화질 멀티미디어 제공 서버에 연결된 네트워크 품질이 사용자 단말에 연결된 네트워크 품질보다 떨어지는 경우, <그림 3>과 같이 SR-IOV (Single Root Input/Output Virtualization) 기술을 기반으로 대역폭을 동적으로 조절하여 초고화질 멀티미디어 제공 서버에 상응하는 네트워크 품질을 높일 수 있다. SR-IOV 기술은 네트워크 장치 가상화하여 하나의 네트워크 장치를 64개의 물리적인 장치로 보이도록 VF(Virtual Function) 기능을 제공하는 기술이다. SR-IOV 기술을 이용하려면 서버에서 IOMMU 기술을 지원하도록 설정해야 한다.



<그림 3> SR-IOV를 이용하여 DASH 서버와의 네트워크 대역폭을 동적으로 조절 가능

서비스 품질 조절 모듈은 가상머신의 VDI Agent에 명령을 보내어 대역폭을 동적으로 변경하도록 하는데, 본 논문에서는 리눅스 기반 가상머신을 이용하여 tc 명령어를 이용하여 대역폭을 동적으로 변경하도록 한다. 또한, WAN 환경에서는 리눅스 기반 가상화 서버의 TCP 혼잡방지 알고리즘 (TCP Congestion Algorithm)에 따라 사용자 단말과의 스트리밍 성능이 달라질 수 있다. 리눅스의

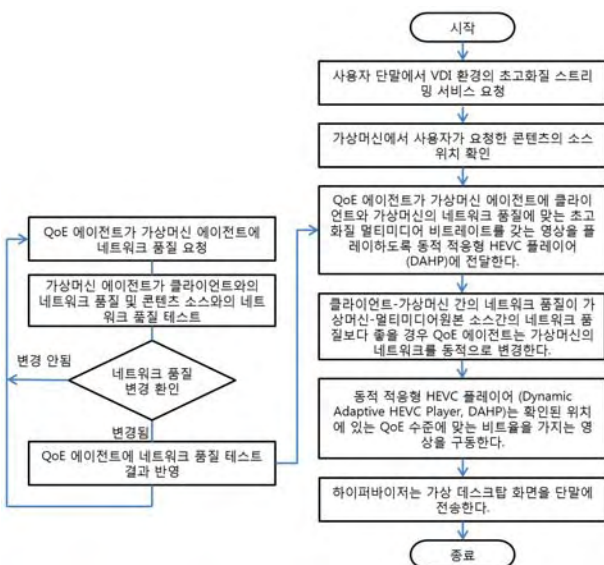
기본 TCP 혼잡 방지 알고리즘은 cubic 알고리즘이며, 다른 알고리즘으로서는 reno와 bic, highspeed, illinois, westwood 등이 있다.

가상머신은 저사양 단말을 사용하는 사용자에게 초고해상도 멀티미디어 서비스를 제공해 주는 기능을 하며, 호스트 서버의 서비스 품질 조절 모듈에 QoE 값을 요청하여 다양한 품질 중 품질에 적당한 멀티미디어 소스를 요청할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 초고해상도 멀티미디어 스트리밍 시스템에서는 초고해상도 멀티미디어 소스 제공 장치에 초고화질 카메라일 경우에 초고화질 카메라로부터 수신되는 멀티미디어 소스의 원본 영상에 대한 복수 개의 비트율을 적용하여 복수 개의 멀티미디어 파일들로 인코딩하여 저장할 수 있도록 한다.

가상머신의 화면을 인코딩하는 인코딩 모듈은 사용자의 단말에서 구동할 수 있는 코덱을 이용하여 고해상도 멀티미디어를 실행하는 화면 이미지를 인코딩할 수 있다. 이때, 가상머신은 동적 적응형 HEVC 플레이어(Dynamic Adaptive HEVC Play, DAHP)를 이용하여 품질이 조절된 멀티미디어 소스를 실행할 수 있다.

<그림 3>는 본 논문에서 제안하는 초고화질 멀티미디어 스트리밍 서비스 흐름도이다. 사용자의 단말로부터 서비스 요청을 수신하는 하면 사용자 단말에 연결된 네트워크의 상태를 모니터링 하여 사용자의 요청에 따라 제공될 멀티미디어 소스의 품질을 조절한다.



<그림 3> QoE 제공을 위한 적응형 스트리밍 서비스 흐름도

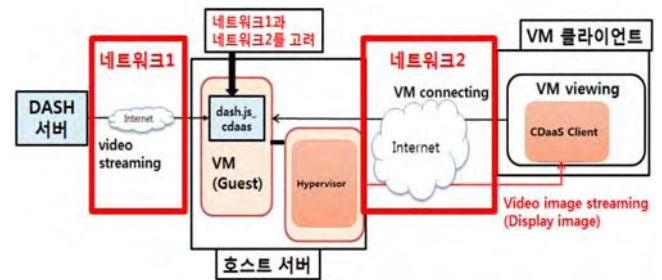
사용자에게 보다 나은 QoE를 제공하기 위하여 서비스 품질 조절모듈은 <그림 4>에서 보는 것과 같이 네트워크

1과 네트워크 2의 네트워크 상태를 모니터링하여 비교한다. 본 논문에서는 네트워크 성능 측정하기 위해 RTT (Round Trip Time)를 측정하여 아래와 같이 가중 평균을 내어 사용하였다. 샘플RTT를 측정하는 방법은 TCP Header의 SEQ와 ACK number를 이용하여 다음과 같이 측정하였다.

$$SRTT = (1-a)SRTT + a\text{샘플RTT}, (a = 0.125) \quad \text{<식 1>}$$

$$(\text{샘플RTT} = \text{패킷 ACK 도착시간} - \text{패킷 송신 시간})$$

이 값을 기반으로 네트워크 1과 네트워크 2의 네트워크 품질을 고려하여 서비스 품질 조절 모듈은 가상머신의 VDI Agent에 명령을 보내어 초고해상도 멀티미디어 소스의 비트율을 변경하여 수신하도록 한다. 이 때 DAHP는 다음 <식 2>를 이용하여 <그림 5>와 같은 알고리즘을 이용하여 비트율을 동적으로 변경한다.



<그림 4> QoE 제공을 위한 네트워크 성능 측정

$$DR_NET1 = \frac{lastRequest.mediaDuration}{downloadTime} \times DRSF -$$

$$DR_NET2 = \frac{currentThroughput}{averageThroughput} \times DRSF \quad \text{<식 2>}$$

(DRSF는 Download Safty Ratio Factor로 경험치로 관리자가 정할 수 있도록 한다.)

```

if (DR_NET1 < 4.0 || DR_NET2 < 1.0) {
    // Quality Down
} else {
    // Quality Up
}
    
```

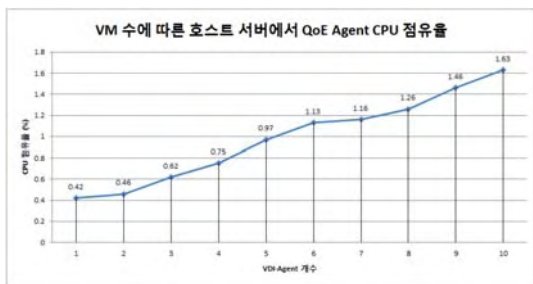
<그림 5> DAHP가 사용하는 품질 조절 알고리즘

4. 실험 및 평가

본 논문에서 제안하는 시스템을 실험하기 위해서 다음과 같은 환경을 구성하여 테스트 하였다.

가상화 호스트 서버는 Intel Xeon E5-2650 2.4GHz CPU, 128GB RAM, Chelsio SR-IOV 10Gbps NIC 등의 사양을 가진다. 가상화 호스트 서버에는 CentOS 6.5 운영 체제를 설치하였고, 가상화 솔루션으로는 KVM + QEMU 를 설치하였다. 가상머신은 10개를 만들어 CentOS 6.5를 설치하였다.

우선 호스트 서버에서 구동되는 서비스 품질 관리 모듈이 얼마나 부하를 일으키는 지 테스트 하였다. 이 모듈은 가상화 서버에서 구동되기 때문에 부하가 많으면 서비스에 영향을 미치기 때문에 중요한 요소가 된다. 테스트 결과는 <그림 6>과 같다. 10개의 가상머신을 구동했을 경우 1.2% 정도 증가하였고, 64개의 가상머신일 경우 약 8%하여 가상머신 1개당 약 0.12% 정도 소모되는 것을 볼 수 있었다.



<그림 6> 품질관리 모듈의 부하

다음은 WAN 환경에서 스트리밍 서비스의 질을 위한 제어가 제대로 되는 지 실험하였다. 가상머신은 <그림 5>에서 사용한 알고리즘이 추가된 dash.js 클라이언트를 사용하였다. 멀티미디어 소스가 있는 MPEG-DASH 서버에는 하나의 초고해상도 멀티미디어 소스에 대하여 최소 품질 비트레이트 234Kbps로부터 최대 품질 비트레이트 4,817Kbps를 가지는 20개의 데이터 셋을 만들었다. 그리고 사용자 단말과 호스트 서버간의 네트워크2 구간은 40Mbps 대역폭을 가지며 error rate 1%, delay 20ms로 설정된 WAN 환경으로 구성하였다.

| | 일반 Ethernet 환경 | | WAN 환경 | |
|------------|----------------|------------|---------------|-----------|
| | dash.js_cdaas | 기존의 DASH | dash.js_cdaas | 기존의 DASH |
| 누적 RTT 실험1 | 6.442 ms | 32.119 ms | 0.973 ms | 20.789 ms |
| 누적 RTT 실험2 | 10.292 ms | 10.750 ms | 3.487 ms | 1.081 ms |
| 누적 RTT 실험3 | 19.744 ms | 27.481 ms | 5.425 ms | 8.230 ms |
| 누적 RTT 실험4 | 13.270 ms | 13.691 ms | 15.377 ms | 10.667 ms |
| 누적 RTT 실험5 | 4.465 ms | 30.108 ms | 10.874 ms | 4.9962 ms |
| 평균 누적 RTT | 10.843 ms | 22.8298 ms | 7.2272 ms | 9.1526 ms |

<그림 7> WAN 환경에서 적응형 스트리밍 제어

실험결과는 <그림 7>과 같다. LAN환경과 WAN 환경에서 모두 기존 dash.js에서 제공하는 것보다 나은 결과를

보여주고 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 SRTT 방법이 효율적이라는 것을 보여준다.



<그림 8 > 가상머신에서 DAHP를 실행하여 초고해상도 영상을 스트리밍하는 그림

<그림 8>은 가상머신에서 DAHP를 이용하여 초고해상도 멀티미디어 스트리밍 서비스를 받는 모습을 보여준다.

5. 결론

본 논문에서는 저사양 모바일 단말에서도 초고해상도 멀티미디어 서비스를 받을 수 있는 클라우드 기반 적응형 멀티미디어 스트리밍 시스템을 제안하였다. 초고화질 멀티미디어 소스를 제공하는 MPEG-DASH 서버와 가상화 서버간의 네트워크와 사용자 단말과 가상화 호스트간의 네트워크의 트래픽이 다르기 때문에 사용자에게 품질 좋은 서비스를 제공하기 위해서 서비스 품질 조절모듈과 가상머신에서 네트워크 대역폭을 동적으로 조절하는 VDI Agent와 네트워크 품질에 따른 다양한 비트율을 선택하여 멀티미디어를 수신하여 구동하는 DAHP를 구현하였다. 또한 기존 dash.js에서 제공하는 RTT방법을 수정한 SRTT 방법을 제공하여 사용자에게 더 나은 QoE를 제공하는 시스템을 구현하였다.

참고문헌

[1] B. Aljaber, T. Jacobs, K. Nadiminti, and R. Buyya, "Multimedia on global grids: A case study in distributed ray tracing," Malays. J. Comput. Sci., vol. 20, no. 1, pp. 1 - 11, June 2007
 [2] Youtube, <http://youtube.com>
 [3] Skype, <http://www.skype.com>