

가상화 서비스의 QoS 보장을 위한 네트워크 적응적인 전송 구조 설계

김수정 · 주광성 · 정광수*

Design of Network-adaptive Transmission Architecture for Guaranteeing the Quality of Virtualization Service

Sujeong Kim · Kwangsung Ju · Kwangsue Chung*

School of Electronics Engineering Kwangwoon University 447-1 Wolgye-Dong, Nowon-Ku Seoul, Korea, 139-701

요 약

가상화 서비스는 데이터의 생성, 저장, 폐기 등의 모든 과정과 연산을 서버에서 처리하며, 클라이언트에게 스트리밍 미디어 형태로 전송한다. 따라서, 클라이언트는 단말의 타입에 구애받지 않고 기존 데스크톱 환경과 동일한 환경을 이용할 수 있다. 이러한 가상화 서비스의 사용자 체감 품질을 만족시키기 위해서는 영상 품질 이외에도 재생연속성과 재생지연한계를 고려해야 한다. 본 논문에서는 가상화 서비스의 QoS를 보장하기 위한 네트워크 상황에 적응적인 가상화 콘텐츠 전송 구조를 제안한다. 제안하는 가상화 콘텐츠 전송 구조는 네트워크의 가용 대역폭을 고려한 전송률 조절 기능과 송신 버퍼 상태를 고려한 콘텐츠 비트율 조절 기능이 있으며, 각 기능을 통해 가상화 콘텐츠의 재생지연한계와 가상화 콘텐츠의 재생 연속성을 보장한다. 실험을 통해 제안하는 가상화 콘텐츠 전송 구조가 패킷 손실률과 전송 지연 등의 측면에서 성능이 향상되는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

Virtualization service processes all operation including the data creation, storing, and disposal in a server and transmits processed data as the streaming media form. Therefore, client can use the same environment as the traditional desktop environment without considering the type of device. Virtualization service should consider not only the video quality but also the delay bounds and continuity of video playback for improving the user perceived Quality of Service(QoS) of streaming service. In this paper, we propose a network-adaptive transmission architecture that focuses on guaranteeing QoS requirements for virtualization service. In order to provide those, the proposed architecture have the transmission rate adaptation function based on available bandwidth and the content bit-rate control function based on sender buffer state. Through each function, proposed architecture guarantee the delay bounds and continuity of virtualization contents playback. The simulation results show that proposed network-adaptive transmission architecture provides a improve performance of throughput and transmission delay.

키워드 : 가상화 서비스, QoS, 지연 한계 보장, 전송률 조절

Key word : virtualization service, QoS, delay bound, rate control

접수일자 : 2013. 05. 13 심사완료일자 : 2013. 06. 10 게재확정일자 : 2013. 06. 21

* **Corresponding Author** Kwangsue Chung(E-mail:kchung@kw.ac.kr, Tel:+82-02-940-5134)

School of Electronics Engineering Kwangwoon University 447-1 Wolgye-Dong, Nowon-Ku Seoul, Korea, 139-701

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.7.1618>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 급변하고 있는 비즈니스 환경의 변화로 인해 유연성과 빠른 대응성이 부각되면서 가상화 기술이 주목받고 있다. 가상화 기술은 1960년대 후반 가상 메모리에서 시작되어 메인 프레임에서 일반적으로 사용되어 왔으나 도입 비용이 비싸고 한정된 사용 환경으로 일부 사용처에서 제한적으로 사용되어 왔다. 이후 많은 영역에서 가상화의 기술이 단계적으로 시장에 선보이고 있으며, 최근에는 그리드 컴퓨팅 및 유틸리티 컴퓨팅에 이르기까지 효율적인 컴퓨팅 인프라스트럭처를 구성하는 실제 구현 기술로 발전되고 있다 [1].

대표적인 가상화 서비스는 데스크탑 가상화 서비스 (Virtual Desktop Infrastructure)와 클라우드 게이밍 (Cloud Gaming) 서비스가 있다. 데스크탑 가상화 서비스는 사용자 단말이 서버의 가상 데스크탑에 원격으로 접속하여 운영체제 및 어플리케이션을 이용하는 서비스이며, 클라우드 게이밍 서비스는 높은 그래픽 처리 능력을 요구하는 게임을 스마트폰, 태블릿 PC 등 저 사양의 이동 단말에게 제공하는 서비스이다. 가상화 서비스는 데이터의 생성, 저장, 폐기 등의 모든 과정과 연산을 서버에서 처리하며, 단말의 타입에 구애받지 않고 기존 데스크톱 환경과 동일한 체감 환경을 이용할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 가상화 서비스는 대용량의 데이터가 사용자에게 최소한의 전송지연을 유지하도록 전달해야 하는 특징을 가지고 있다.

기존의 가상화 서비스 품질 향상을 위한 기술들은 가상화 콘텐츠의 화질을 향상시키고 지연을 감소시키기 위해서 응용 계층에서 렌더링 및 압축 기술을 개선하는 방향으로 연구되어 왔다 [2-3]. 그러나 기존의 가상화 콘텐츠의 전송 구조들은 UDP, RTP, 또는 TCP를 이용하여 스트리밍 미디어 형태로 클라이언트에게 전송한다. UDP는 네트워크의 혼잡을 제어하는 메커니즘이 없고 신뢰성을 보장하지 않기 때문에 네트워크의 붕괴를 초래할 수 있으며 패킷손실에 의해 가상화 콘텐츠 품질을 감소시킬 수 있다. TCP는 현재 인터넷에서 가장 많이 사용되는 프로토콜로 신뢰적인 품질을 보장하지만 재전송 메커니즘에 의한 지연과 혼잡을 해결하기 위한 급격한 전송률 저하 문제로 인해서 가상화 콘텐츠 품질이 감소할 수 있다는 문제를 가진다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 가

상화 서버에서 생성되는 가상화 콘텐츠의 품질을 보장하기 위한 네트워크 상황에 적응적인 가상화 콘텐츠 전송 구조를 제안한다. 제안하는 가상화 콘텐츠 전송 구조는 네트워크 혼잡에 따른 패킷 손실 및 지연을 최소화하기 위한 가용대역폭 기반의 전송률 조절 모듈, 가상화 서비스가 요구하는 지연을 만족시키기 위한 송신 버퍼 상태 기반의 콘텐츠 비트율 조절 모듈로 구성된다. 실험을 통해 제안하는 가상화 콘텐츠 전송 구조가 가상화 콘텐츠를 위해 사용되는 대역폭을 효율적으로 활용할 수 있으며, 경쟁 프로토콜과 친화적인 전송률 조절 알고리즘을 통해서 네트워크 안정성을 보장하는 것을 확인하였다. 또한, 가상화 콘텐츠가 요구하는 지연을 만족시키고, 가상화 콘텐츠의 품질 또한 향상시키는 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 가상화 콘텐츠의 전송 프로토콜 및 전송 지연을 최소화하기 위한 연구들을 기술하였고, III장에서는 제안하는 가상화 콘텐츠 전송 구조에 대하여 기술하였다. IV장에서는 시뮬레이터를 이용하여 제안한 가상화 콘텐츠 전송구조의 성능을 검증하였으며, 마지막 V장에서는 결론을 맺었다.

II. 관련 연구

2.1. 전송 프로토콜

혼잡제어 메커니즘을 가지지 않는 UDP를 가상화 콘텐츠 전송 프로토콜로 사용할 경우 네트워크 혼잡상황에 의한 패킷 손실과 전송 지연이 발생하여 서비스 품질을 저하시키는 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 혼잡제어 메커니즘을 적용한 멀티미디어 전송 프로토콜에 대한 연구가 진행되었으며, 스트림의 전송률을 네트워크의 가용대역폭에 적합하도록 조절함으로써 혼잡상황 발생을 감소시키게 된다.

기존의 대표적인 전송 프로토콜인 TCP는 Additive Increase Multiplicative Decrease (AIMD)를 혼잡 제어 알고리즘으로 사용한다. AIMD는 패킷 손실이 발생하기 전까지 지속적으로 전송률을 증가시키다가 패킷 손실이 발생하면 네트워크에 혼잡이 발생했다고 판단하여 윈도우 크기를 반으로 감소시킨다. 이와 같은 혼잡 제어 기법은 전송률의 변화폭이 크고, 패킷 손실이 발

생하면 네트워크 혼잡 상태를 인지하여 전송률을 조절하기 때문에, 연속적인 패킷 손실이 발생했을 경우 급격하게 전송률을 감소하여 네트워크 효율이 떨어지게 되며, 패킷 손실로 인해 비디오 화질의 열화를 발생시킨다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 TCP 전송률 모델링 공식을 이용한 TCP-Friendly Rate Control (TFRC) 기법이 제안되었다 [4]. TFRC는 식 (1)과 같이 패킷의 크기(Packet Size), 패킷 손실율(p), 종단간 지연(RTT), 재전송 타임아웃(RTO)을 이용하여 전송률(T)을 계산하는 모델링 공식을 제안하였으며, TFRC 기법은 이러한 공식을 이용하여 비디오 스트림의 전송률을 조절하게 된다.

$$T = \frac{Packet\ Size}{RTT \sqrt{\frac{2p}{3} + tRTO \left(3 \sqrt{\frac{3p}{8}} \right) p(1 + 32p^2)}} \quad (1)$$

TFRC는 네트워크 변화에 적응적이고 전송률의 변화를 줄여 스트리밍 서비스에 적합한 장점을 보이지만 지속적으로 변화하는 네트워크 환경에 빠르게 대응하지 못하는 단점을 가진다.

2.2. 전송 지연 최소화를 위한 기법

가상화 서비스는 대용량의 데이터가 사용자에게 최소한의 전송지연을 유지하도록 전달해야 하는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징을 만족시키기 위하여 전송지연을 감소시키기 위한 다양한 기법이 제안되었다. 대표적인 기법으로 콘텐츠 품질과 전송률의 차이에 의해 발생하는 송신버퍼에서의 대기시간을 감소시키기 위한 Adaptive Send-buffer Tuning 기법, TCP의 재전송등에 의한 지연을 감소시키기 위한 지연 예측 기반의 전송 기법 등이 있다.

Adaptive Send-buffer Tuning 기법은 응용 레벨에서 발생하는 지연을 방지하기 위한 기법이다 [5]. Adaptive Send-buffer Tuning 기법은 TCP의 Slow Start 구간에서 콘텐츠의 품질과 전송률의 차이에 의해서 데이터가 송신버퍼에서 대기하는 시간을 감소시키기 위해서 그림 1과 같이 응용 레벨에서 혼잡윈도우(Cwnd)의 크기에 맞도록 콘텐츠의 품질을 조절한다.

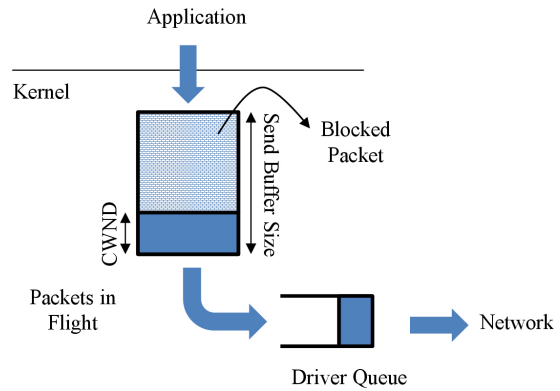


그림 1. Adaptive Send-buffer Tuning 기법 [5]
Fig. 1 Adaptive Send-buffer Tuning scheme [5]

지연 예측 기반의 전송 기법은 TCP의 Slow Start 구간에서 콘텐츠 품질과 전송률 차이에 의해서 발생하는 지연과, 패킷이 손실되었을 때 재전송 때문에 생기는 지연 그리고 재전송 이후 Congestion Avoidance로 변경되면서 발생하는 지연을 감소시키기 위해서 발생하는 지연을 확률적 모델로 구성하고, 이를 기반으로 프레임률을 조절함으로써 지연을 감소시켰다 [6].

III. 가상화 콘텐츠 품질 보장을 위한 전송 구조

3.1. 전송 지연 최소화를 위한 기법

본 절에서는 가상화 콘텐츠의 품질을 보장하기 위한 전송 구조를 제안한다. 네트워크를 통해서 전송되는 가상화 콘텐츠의 품질을 보장하기 위해서는 네트워크 혼잡에 의한 지연 및 패킷 손실 감소를 위한 네트워크 적응적 전송률 제어 기법이 필요하며, 콘텐츠 타입에 따라 요구되는 지연시간이 다르기 때문에 사용자가 이용하는 콘텐츠가 바뀔 때 마다 콘텐츠가 요구하는 지연을 보장해 주기 위해 송신 버퍼상태를 기반으로 콘텐츠 비트율을 조절하는 기법이 필요하다. 그림 2는 제안하는 가상화 콘텐츠 전송 구조를 나타낸다.

제안하는 가상화 콘텐츠 품질 보장을 위한 전송 구조에서 서버는 단대단 지연, 가용대역폭, 송수신 버퍼상태를 측정하는 Network Monitoring 모듈, 사용자가 이용하는 콘텐츠의 변화를 모니터링 하는 Application

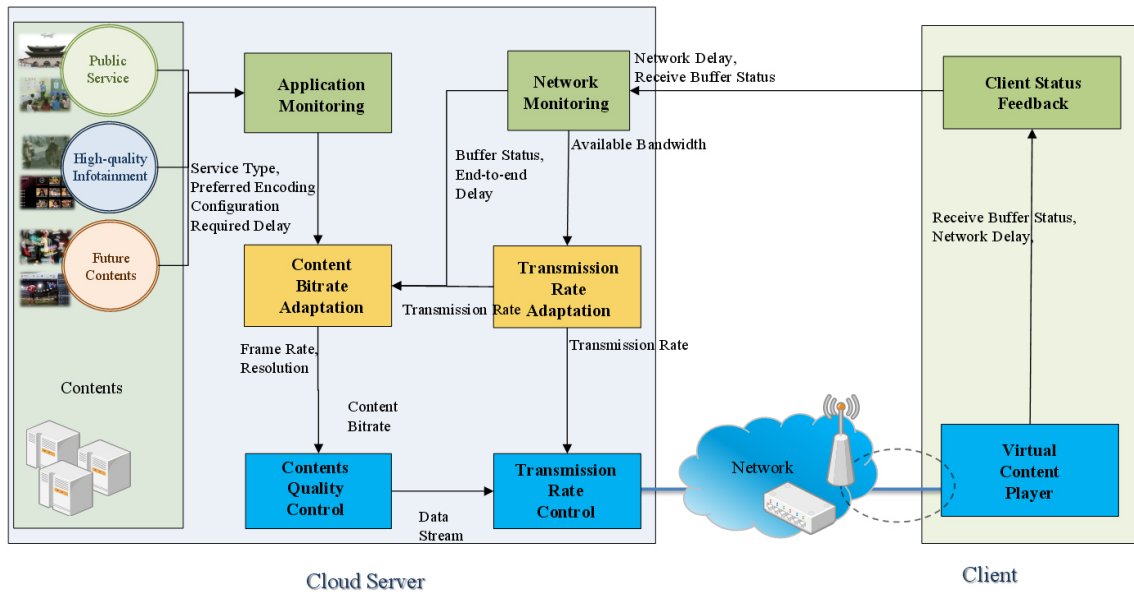


그림 2. 가상화 콘텐츠 품질 보장을 위한 전송 구조
 Fig. 2 Transmission architecture for guaranteeing the quality of virtualization service

Monitoring 모듈, 네트워크의 가용대역폭을 기반으로 전송률을 결정하는 Transmission Rate Adaptation 모듈, 전송률과 현재 사용자가 이용하는 콘텐츠가 요구하는 지연 그리고 현재 단대단 지연 상태를 기반으로 콘텐츠의 비트율을 결정하는 Content Bitrate Adaptation 모듈로 구성된다. 클라이언트는 가상화 콘텐츠를 화면에 표시하는 Virtual Content Player, 단말의 타입 및 상태 정보를 수집하는 Network Monitoring 모듈로 구성된다.

네트워크 적응적인 전송률 조절을 위한 시스템은 Network Monitoring 모듈에서 네트워크의 가용대역폭을 측정하고 측정된 가용대역폭을 기반으로 Transmission Rate Adaptation 모듈에서 가상화 콘텐츠의 전송률을 결정한다. 그리고 Transmission Quality Control 모듈에서 전송률을 변경한다. 콘텐츠 타입에 따라 요구하는 지연을 만족시키기 위하여 Application Monitoring 모듈에서는 콘텐츠의 변화에 따라 요구되는 지연한계 값을 Content Bitrate Adaptation 모듈에 전달한다. Content Bitrate Adaptation 모듈은 Network Monitor 모듈에서 전달받은 현재의 단대단 지연과 송신 버퍼 상태, 그리고 Application Monitoring에서 전달받은 요구지연

한계 값을 비교해서 현재의 단대단 지연을 요구지연한 계 값 내로 조절하기 위해서 콘텐츠의 비트율을 적응적으로 조절한다.

3.2. 가상화 콘텐츠 품질 보장을 위한 적응적 전송 알고리즘

스트리밍의 전송률 제어 방법들에 있어서 단순히 가용대역폭에 따라 전송률을 조절하는 것 보다 다른 트래픽에 친화적으로 전송률을 조절하여 부드러운 재생 품질을 보장하는 것이 좋다. 스트리밍을 고려하지 않은 서비스의 종단간 혼잡제어 모듈은 가용대역폭을 파악하고 혼잡상황을 감시하여 데이터 전송률을 조절한다. 그러나, 이러한 전송률 변화는 클라이언트에서 수신하는 데이터의 변화를 야기시켜 잦은 영상의 품질 변화를 발생시키거나 변화를 수용하여 부드럽게 재생할 수 있도록 많은 버퍼를 요구한다. 그러나 많은 버퍼를 사용하는 방법은 수신버퍼에서 지연을 야기시키기 때문에 가상화 콘텐츠의 응답성을 저하시킨다. 따라서, 가상화 서비스의 품질을 보장하기 위해서는 네트워크에 친화적으로 데이터를 전송해야 하며 전송률의 변화를 고려하여 콘텐츠의 품질 변화를 감소시켜야 한다. 위와 같은

문제점을 해결하기 위하여 제안하는 가상화 콘텐츠 전송 구조에서는 네트워크의 혼잡을 제어하면서 TCP의 전송률 변화의 폭을 줄이기 위해 혼잡제어 알고리즘인 Additive Increase Heuristic Decrease (AIHD)를 사용한다 [7].

AIHD는 TCP의 Additive Increase/Multiplicative Decrease(AIMD) 방법과 비교하여 동일 혼잡상황에 대해서 낮은 전송률 변화를 보인다. AIHD의 전송률 증가(Increase: I)는 식 (2)를 따르며, 감소(Decrease: D)는 식 (3)을 따른다.

$$I: R_n = R_c + \left(\frac{\text{Packet size}}{RTT} \right) \times U_f \quad (2)$$

$$D: R_n = \beta \times R_t + (1 - \beta) R_c; \quad 0 < \beta < 1 \quad (3)$$

R_c 는 현재 서버가 전송하는 전송률, R_n 은 증가와 감소 동작을 통해 결정되는 새로운 전송률, R_t 는 TCP 모델을 기반으로 현재 시점에서 피드백 정보를 통해 예측되는 가용대역폭, β 는 AIHD 알고리즘의 파라미터, 피드백 정보의 간격에 따른 업데이트 가중치 $U_f = \Delta T / RTT$ 이다. AIHD의 전송률 증가와 감소의 동작은 그림 3과 같이 동작한다.

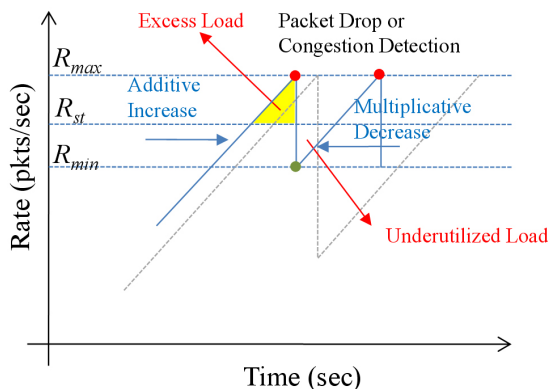


그림 3. AIHD 기법의 전송률 변화
Fig. 3 Transmission rate variation in AIHD scheme

AIHD 알고리즘의 전송률 증가는 보통 R_{min} 부터 최대 지속 전송률(Maximum Sustainable Rate)인 R_{st} 를 지나 증가한다. 그리고, 패킷 유실, 혼잡 상황 인지를 통

해 R_{max} 로부터 R_{min} 로 휴리스틱하게 전송률을 감소시킨다. 스트리밍 서버가 전송률 변화 없이 안정된 상태로 전송률을 전송하기 위해서는 현재 전송률 R 이 R_{st} 을 초과하는 데이터량(Excess Load)과 R 이 R_{st} 보다 낮은 구간의 이용하지 못하는 데이터량(Underutilized Load)이 같아야 한다. 따라서, 최대 지속 전송률은 식 (4)를 만족해야 한다. 또한 본 논문에서 제안한 AIHD 알고리즘인 식 (3)을 이용하여 식 (5)와 같이 정의 할 수 있다.

$$R_{st} > \frac{R_{min} + R_{max}}{2} \quad (4)$$

$$R_{st} > R_{max} - \beta \times \left(\frac{R_{max} - R_t}{2} \right) \quad (5)$$

그리고, AIMD보다 전송률 변화를 줄이기 위해서는 $R_{st}(AIHD) > R_{st}(AIMD)$ 를 만족시켜야 하므로 식 (6)과 같은 조건을 충족 시켜야 한다.

$$\frac{R_{max}}{4} > \beta \times \left(\frac{R_{max} - R_t}{2} \right) \quad (6)$$

일반적으로 $R_{max} > R_t$ 를 만족시키므로, 식 (6)을 만족시키기 위해서는 식 (7)을 충족해야 한다. 따라서, β 는 0.5 보다 커야 한다.

3.3. 요구지연 한계보장을 위한 콘텐츠 비트율 조절 알고리즘

가상화 콘텐츠는 음성과 영상을 실시간으로 주고 받는 서비스로 지연에 민감한 특성을 가진다. 따라서 가상화 콘텐츠의 품질을 보장하기 위해서는 가상화 콘텐츠의 요구지연 한계, 가상화 콘텐츠의 재생 연속성 및 지연한계를 보장해야 한다.

위와 같은 요구사항을 만족시키기 위하여 제안하는 전송 구조에서는 송신버퍼 상태를 고려한 콘텐츠 비트율 조절 알고리즘을 사용하였다 [8]. 콘텐츠 비트율 조절 알고리즘은 네트워크와 송신 버퍼 그리고 수신버퍼에서 발생하는 지연을 고려하여 전송률을 조절함으로써 가상화 콘텐츠가 요구하는 요구지연 한계를 보장한다. 그림 4는 콘텐츠 비트율 조절 알고리즘을 나타낸다.

```

while(1) {
  if(receive feedback from client){
    calculate  $B_{avail}$ ;
     $D_{TX\_lim} = D_{require} - D_{NET}$ ;
    if( $buf_{server} > 0$ ) {
       $R_T = R_T + R_{require}$ ;
      if( $R_T > B_{avail}$ )
         $R_T = B_{avail}$ ;
    }
    if( $Q_{require} \neq 0$ )
       $Q_n = Q_{require}$ ;
  }
  if( $D_{TX} > D_{TX\_lim}$ ) {
    if( $Q_n == Q_1$ ) {
      selective frame drop;
      continue;
    }
     $Q_n = Q_{n-1}$ ;
  }
  else if( $D_{TX} == 0$ )
     $Q_n = Q_{n+1}$ ;
}

```

그림 4. 지연한계 보장을 위한 알고리즘 [8]
 Fig. 4 Algorithm for guaranteeing the delay bounds [8]

B_{avail} 은 네트워크의 가용대역폭, $D_{require}$ 는 가상화 콘텐츠의 요구 지연, D_{NET} 은 종단간 전송 지연, buf_{server} 는 송신버퍼의 양, R_T 는 서버의 전송률, $R_{require}$ 는 클라이언트가 요구하는 전송률, $Q_{require}$ 는 클라이언트가 요구하는 품질 등급, Q_n 은 현재의 비디오 품질 등급, Q_1 은 가장 낮은 비디오 품질 등급, Q_{n-1} 은 현재보다 한 단계 낮은 비디오 품질 등급, Q_{n+1} 은 현재보다 한 단계 높은 비디오 품질 등급을 나타낸다.

서버는 Network Monitor 모듈을 통해 가용대역폭을 측정하고, 가상화 콘텐츠의 요구 지연과 종단간 전송 지연을 이용하여 송신버퍼의 지연한계를 설정한다. 만약, 네트워크 혼잡으로 인해 송신버퍼에서 발생한 지연이 한계 값을 넘어가면 송신버퍼에 유입되는 데이터의 양을 감소시키기 위해서 비디오 품질을 한 단계 감소시킨다. 반면 송신버퍼에 데이터가 존재하지 않으면 네트워크 상태가 좋다고 판단하여 비디오 품질을 향상시킨다. 또한 서버는 클라이언트의 버퍼 언더플로우를 방지하기 위해서 클라이언트로부터 수신한 요구 전송률 및 비디오 품질을 기반으로 전송률 및 비디오 품질을 조절한다.

IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

제안하는 가상화 콘텐츠 품질 향상을 위한 적응적 전송 구조의 성능을 평가하기 위해 Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)의 NS-2 (Network Simulator)를 이용하여 다양한 시험을 수행하였다 [9]. 제안하는 가상화 콘텐츠 품질 보장을 위한 적응적 전송 구조의 성능을 평가하기 위해 그림 5과 같이 시험 네트워크 환경을 구성하였다.

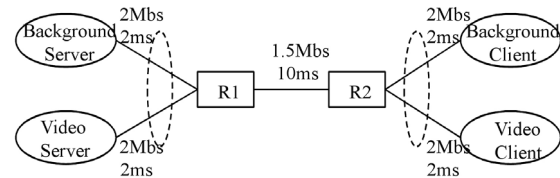


그림 5. 시뮬레이션 환경
 Fig. 5 Simulation environment

Virtual Contents Server는 제한한 전송 구조를 기반으로 콘텐츠를 Virtual Content Client에게 전송한다. 또한, 네트워크의 혼잡 트래픽 유입을 위해서 Virtual Contents Server와 병목 구간을 공유하는 Background Server에서는 UDP 트래픽을 Background Client에게 전송한다. 네트워크의 병목구간은 1.5Mbps의 대역폭과 10ms의 지연을 가지며 UDP, TCP 그리고 TFRC 프로토콜과 성능을 비교하였다. 네트워크 혼잡 상황에서의 패킷 손실률을 보이기 위해서 총 100초 동안 시뮬레이

션을 진행하고 30초에서 60초 사이에 혼잡 구간을 형성하여 TFRC를 사용하는 콘텐츠 전송 구조와 성능을 비교하였다. 그림 6은 혼잡 상황에서 발생하는 패킷 손실률을 나타낸다. 그림 6에서의 실선은 제안한 전송 구조의 패킷 손실률을 나타내며 점선은 TFRC를 사용하는 콘텐츠 전송 구조의 패킷 손실률을 나타낸다.

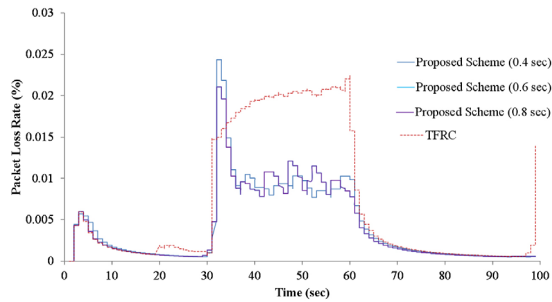


그림 6. TFRC와 제안한 전송 구조의 패킷 손실률의 변화
Fig. 6 Packet loss rate comparison between TFRC and proposed architecture

TFRC를 사용하는 콘텐츠 전송 구조는 멀티미디어 스트리밍을 위해 제한된 프로토콜로 전송률 변화를 줄이기 위해서 패킷 손실 이벤트율(Packet Loss Event Rate)을 기반으로 전송률을 계산해서 전송을 한다. 따라서, TFRC로 콘텐츠를 전송할 경우 콘텐츠 품질의 변화가 적다는 장점이 있지만, 네트워크 혼잡상황에 빠르게 적응을 하지 못해서 많은 패킷 손실을 발생시키는 단점이 있다. 이에 반해서 제안하는 전송 구조는 TFRC에서 사용하는 TCP 모델링 기법을 사용하기 때문에 혼잡 발생 초기에는 많은 패킷 손실을 보이지만 현재 전송률을 기반으로 전송률을 감소시키기 때문에 TFRC를 사용하는 콘텐츠 전송 구조보다 적은 패킷 손실을 발생시키는 것을 볼 수 있다. 또한, 제안하는 전송 구조가 요구지연 한계 값이 달라져도 TFRC를 사용하는 콘텐츠 전송 구조 보다 좋은 혼잡제어 성능을 가지는 것을 확인 할 수 있다.

그림 7은 제안하는 전송 구조와 TCP를 사용하는 콘텐츠 전송 구조의 전송률 변화를 나타낸다. TCP는 전송 초기에 Slow Start 알고리즘에 의해서 전송률을 급격히 향상시키고 패킷 손실이 발생하면 전송률을 급격히 떨어뜨리기 때문에 전송률의 변화 폭이 상당히 큰 것을 확인 할 수 있다. 또한, 하나의 패킷 손실에도 전송률을

감소시키기 때문에 혼잡 트래픽이 유입되기 이전에도 빈번한 전송률의 감소 현상이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이에 반해서 제안하는 전송 구조는 네트워크의 혼잡이 없을 때는 거의 일정한 전송률을 유지하는 것을 확인 할 수 있다. 경쟁 트래픽이 유입되는 30초에서 60초 구간의 경우에서 TCP를 사용하는 콘텐츠 전송 구조는 빈번한 패킷 손실의 발생으로 인해서 전송률의 변화가 심한 것을 볼 수 있으며 제안하는 전송 구조는 네트워크 혼잡 제어를 위해서 전송률이 감소하지만 전송률의 변화가 적은 것을 확인 할 수 있다.

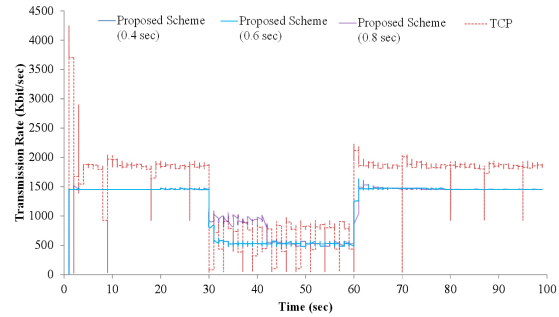


그림 7. 제안한 전송 구조와 TCP의 전송률 변화
Fig. 7 Transmission rate comparison between TFRC and proposed architecture

그림 8은 제안하는 전송 구조와 TCP를 사용하는 콘텐츠 전송 구조의 콘텐츠 비트율의 변화를 나타낸다. TCP를 사용하는 콘텐츠 전송 구조는 TCP의 전송률에 맞춰서 콘텐츠의 품질을 조절할 경우 잦은 빈도로 패킷 손실이 발생하며, 이에 따른 전송률 조절로 인해 콘텐츠 품질의 변화 폭도 큰 것을 확인 할 수 있다. 그러나 제안하는 전송 구조는 네트워크 상태 변화가 없을 때는 콘텐츠의 품질 변화가 거의 없는 것을 확인 할 수 있다. 그래프 상에서 제안한 전송 구조에서 일부 구간에서 전송률의 변화가 없어도 콘텐츠의 품질이 변하는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 현상은 제안하는 전송 구조가 네트워크의 가용대역폭뿐만 아니라, 콘텐츠가 요구하는 지연을 만족시키기 위해서 단대단 지연을 기반으로 콘텐츠의 비트율을 조절하기 때문에 발생하게 된다.

그림 9는 요구지연에 따른 단대단 지연 성능을 측정 한 결과이다. TFRC로 콘텐츠를 전송했을 경우 전송 초기에 Slow Start 메커니즘에 의해서 전송 지연이 증가하

다가, 경쟁 트래픽이 유입되는 30에서 60초 구간에서는 혼잡제어 기능으로 인해 지연이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 실험 결과를 통해서 TFRC를 사용하는 콘텐츠 전송 구조는 콘텐츠의 타입에 상관없이 0.6에서 0.8초의 단대단 지연을 발생시키는 것을 확인할 수 있다. UDP를 전송 프로토콜로 사용할 경우에는 혼잡 제어 메커니즘이 없기 때문에 네트워크 혼잡 상황에서도 단대단 지연이 매우 낮은 것을 확인할 수 있지만, 많은 패킷 손실을 발생시키는 단점을 가진다. 앞선 두 구조와 다르게, 제안하는 전송 구조는 콘텐츠가 요구하는 지연한계 값에 맞춰서 전송률을 조절하기 때문에 네트워크 혼잡에 상관없이 거의 일정한 단대단 지연을 보이는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 네트워크가 혼잡하지 않을 때는 더 높은 품질의 콘텐츠를 전송할 수 있으며 네트워크가 혼잡할 경우에는 콘텐츠 품질을 감소시킴으로써 지연한계를 보장할 수 있다.

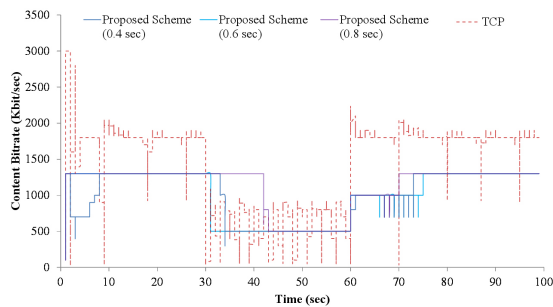


그림 8. 제안한 전송 구조와 TCP의 콘텐츠 비트율의 변화
Fig. 8 Content bit-rate comparison between TCP and proposed architecture

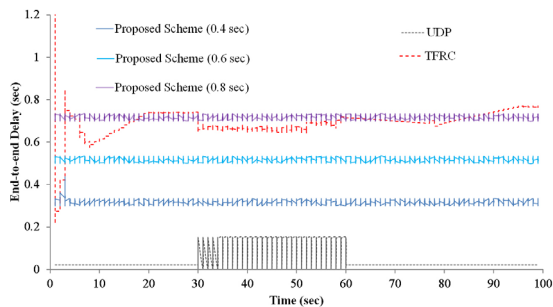


그림 9. UDP, TFRC, 그리고 제안한 전송 구조의 단대단 지연 성능 비교
Fig. 9 End-to-end delay comparison using UDP, TFRC, and proposed architecture

V. 결론

본 논문에서는 사용자에게 효율적으로 가상화 서비스를 전송하기 위한 네트워크 적응적인 가상화 콘텐츠 전송 구조를 제안하였다. 네트워크 적응적인 가상화 콘텐츠 전송 구조는 네트워크 혼잡에 의해서 발생하는 지연 및 패킷 손실을 감소 시켜서 서비스의 응답성 및 이미지 화질을 개선하였으며, 다양한 콘텐츠를 이용하는 가상화 서비스 특성을 고려하여 콘텐츠 타입에 따른 요구지연을 만족시키기 위한 적응적인 콘텐츠 비트율 결정 기법을 제안하였다. 이를 위해서 본 논문에서는 네트워크 적응적인 가상화 콘텐츠 전송 구조에 필요한 Network Monitoring, Application Monitoring, Transmission Rate Control, 그리고 Content Bitrate Control 모듈의 특징과 구조를 정의하였으며, 각각의 세부 모듈의 기능을 상세히 설계 하였다.

시뮬레이션을 통해서 제안하는 전송 구조가 네트워크 측면에서는 가상화 콘텐츠를 위해 사용되는 대역폭을 효율적으로 활용할 수 있으며 경쟁 프로토콜과 친화적인 전송률 조절 알고리즘을 통해서 네트워크 안정성을 보장하는 것을 보였다. 또한, 서비스 측면에서 가상화 콘텐츠의 전송 지연을 감소 시키고 네트워크 상태 및 서비스 특성에 따라 적응적으로 지연 및 고품질의 화면을 제공하는 전송 알고리즘을 제공함으로써 실제 사용자가 느끼는 서비스 품질 또한 향상시키는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 전략기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

REFERENCES

- [1] T. Hobfeld, R. Schartz, M. Varela, and C. Timmerer, "Challenges of QoE Management for Cloud Applications," IEEE Communications Magazine, vol. 50, issue. 4, pp. 28-36, Apr. 2012.

- [2] P. Simoens, F. Turk, B. Dhoedt, and P. Demeester, "Remote Display Solutions for Mobile Cloud Computing," *Transactions of Computer*, vol. 44, issue. 8, pp. 46-53, Aug. 2011.
- [3] M. Tan and X. Su, "Media Cloud: When Media Revolution Meets Rise of Cloud Computing," in *Proceeding of the IEEE 6th International Symposium on Service Oriented System Engineering*, California: CA, pp. 251-261, 2011.
- [4] S. Floyd, M. Handley, J. Padhye, and J. Windmer, "Equation-based Congestion Control for Unicast Applications," in *Proceeding of the ACM SIGCOMM'00*, New York: NY, pp. 43-56, 2000.
- [5] A. Goel, C. Krasic, and J. Walpole, "Low-latency Adaptive Streaming over TCP," *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, vol. 4, issue. 3, Aug. 2008.
- [6] Y. Xiong, M. Wu, and W. Jia, "Delay Prediction for Real-Time Video Adaptive Transmission over TCP," *Journal of Multimedia*, vol. 5, no. 3, pp. 216-223, Jun. 2010.
- [7] Jahon Koo and Kwangsue Chung, "Adaptive Rate Control for Guaranteeing the Delay Bounds of Streaming Service," *Journal of KIISE : Information Networking*, vol. 37, no. 6, pp. 483-488, Dec. 2010.
- [8] Ukheon Jeong and Kwangsue Chung, "Adaptive Rate Control Scheme for Guaranteeing the Delay Bounds of Interactive Multimedia Service," in *Proceeding of the KCC 2012*, pp. 404-406, 2012.
- [9] NS-2 Simulator. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.



김수정(Sujeong Kim)

1997년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 공학사
 2007년 3월~ 광운대학교 전자통신공학과 석박통합과정
 ※관심분야 : 스트리밍 서비스, QoS, QoE, 무선 네트워크



주광성(Kwangsung Ju)

2010년 광운대학교 전자통신공학과 학사
 2010년 ~ 현재: 광운대학교 전자통신공학과 석박통합과정
 ※관심분야 : Ad-hoc 네트워크, 스트리밍 서비스, QoS, 무선 네트워크



정광수(Kwangsue Chung)

1981년 2월 한양대학교 전자 공학과
 1983년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1991년 2월 미국 University of Florida 전기공학과 박사
 1983년 3월~1993년 2월 한국 전자통신연구원 선임연구원
 1993년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 교수
 ※관심분야 : 인터넷 QoS, 유무선 비디오 스트리밍, 센서 네트워크