

요구대역 측정을 통한 네트워크 적응형 스트리밍 설계 및 구현

정회원 손승철*, 이형옥*,곽용완*, 준회원 양현종*, 종신회원 남지승*

Design and Implementation of Network Adaptive Streaming through Needed Bandwidth Estimation

Seung-Chul Son*, Hyung-Ok Lee*, Yong Wan Kwag* *Regular Members,*
Hyun-Jong Yang* *Associate Member,* Ji-Seung Nam* *Lifelong Member*

요약

현재의 인터넷은 최선형 서비스를 지향하고 있기 때문에 비트 량이 많은 고품질 미디어의 스트리밍을 실현하기 위해서는 수시로 변화하는 네트워크 상황을 극복하기 위한 기법이 요구된다. 본 논문에서는 네트워크가 미디어의 요구 대역폭을 허용하는지를 신속히 판단하는 기법과 이를 통해 QoS를 제어하는 기법을 설계 및 구현한다. 요구대역 허용여부 판단은 상대적인 한 방향 전송지연(ROWD: Relative One-Way Delay)의 추세를 이용하며, QoS 제어는 SVC(Scalable Video Coding)중 실시간 적응이 용이한 시간적 부호화 부분만을 도입한다. 스트리밍 서버는 미디어를 몇 개의 비트율로 실시간 레벨화한 후 최상위 레벨부터 전송을 시작하고 클라이언트로부터 ROWD에 대한 추세를 주기적으로 보고받는다. ‘증가추세’를 보고 받았을 경우에만 현재의 레벨이 가용대역폭을 초과하고 있다고 판단하고 하향조정을 실시한다. 상향조정을 위해서는 목표 레벨과 현재 레벨간 차분의 탐지 패킷을 이용하는데 이때, 탐지 패킷의 ROWD에 대하여 ‘증가없음’을 보고 받았을 경우에만 상향조정이 이루어진다. FTTH 환경에서의 실험은 제안 시스템이 가용 대역폭의 변화에 빠르게 적응하는 과정을 보여주며 서비스 품질 또한 향상시켜줌을 보여준다.

Key Words : Bandwidth Estimation, Adaptive, Streaming, One-Way-Delay, Frame Rate Control

ABSTRACT

Since the internet is intend to be the best effort service, the system that stream a large amount of high quality medias need a techniques to overcome the network status for implementation. In this paper, we design and implement a method that estimate quickly whether network permits the needed bandwidth of media and a method that control QoS through that. Presented system uses Relative One-Way Delay(ROWD) trend in the case of the former, and leverages temporal encoding among Scalable Video Coding(SVC) that is apt to apply real time comparatively in the case of the latter. The streaming server classifies the medias by real time to several rates and begins transmission from top-level and is reported ROWD trend periodically from the client. In case of the server reported only 'Increase Trend', the sever decides that the current media exceeds the available bandwidth and downgrades the next media level. The system uses probe packet of difference quantity of the target level and the present level for upgrading the media level. In case of the server reported only 'No Increase Trend' by the ROWD trend response of the probe packet from client, the media level is upgraded. The experiment result in a fiber to the home(FTTH) environment shows progress that proposed system adapts faster in change of available bandwidth and shows that quality of service also improves.

* 본 연구는 대한민국 지식경제부 ITTA(Institute for Information Technology Advancement)의 대학정보통신연구협의회 ITRC (Information Technology Research Center)의 지원으로 수행되었습니다. (ITTA-2009-(C1090-0903-0011))

* 전남대학교 컴퓨터공학과 멀티미디어 데이터통신 연구실 (rodem94@empal.com)

논문번호 : KICS2009-10-477, 접수일자 : 2009년 10월 22일, 최종논문접수일자 : 2010년 3월 5일

I. 서 론

급속한 네트워크의 발전과 멀티미디어에 대한 수요의 증가는 고품질 미디어 스트리밍 서비스 연구부분에 있어 큰 도전과제가 되고 있다. 과거에는 높은 대역폭을 지원하는 광대역 통합연구 개발망(KOREN: KOREa advanced REsearch Network)과 같은 연구망을 중심으로 대부분의 연구가 이루어 졌지만²⁻⁴⁾, 현재에는 그 연구를 토대로 실질적인 시범서비스에 적용하여 그 유용성을 검증하고 있으며 또한 선도 기술에 대해서는 국가적인 차원의 광가입자 및 기가(Giga) 실험 망을 구축하고 이를 활용하여 다양한 연구와 시험 및 시범서비스를 진행하고 있다. 가까운 미래에는 ISP(Internet Service Provider)에 의해 범용 인터넷을 통한 실시간 고품질 및 다차원을 지원하는 방송, VoD(Video On Demand), 화상회의 등의 서비스가 상용화 될 것으로 전망된다. 그러나 IP(Internet Protocol)기반 미디어 스트리밍은 최선형 서비스(best-effort service)를 지향하고 있기 때문에 높은 대역폭을 요구하는 미디어에 대해서는 서비스 품질(QoS: Quality of Service)을 보장하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 이를 실현하기 위해서는 미디어 압축 기술부분 뿐만 아니라 네트워크 및 시스템 부분에서도 해결해야할 문제점들이 여전히 남아 있다.

인터넷 환경에서 미디어 스트리밍 서비스와 관련된 기존의 연구들은 비디오 압축, 응용계층에서의 QoS 제어, 미디어 분배 서버의 배치, 스트리밍 서버 정책, 미디어의 동기화, 미디어 스트리밍 프로토콜 등의 범주로 나눌 수 있다¹⁾. 이중 응용계층에서의 QoS 제어 기법은 네트워크 하위 계층의 변경이나 QoS 지원 없이도 단말에서의 구현만을 요구한다는 점에서 적용상의 이점을 갖는다. 본 논문에서는 응용계층에서의 미디어 요구대역 허용여부 타진 기법 및 QoS 제어 기법에 기반을 둔 네트워크 적응형 스트리밍 시스템을 설계 및 구현한다. 스트리밍 서버는 SVC(Scalable Video Coding)⁵⁾등을 이용하여 변화하는 네트워크 상황을 고려한 실시간 레벨 부호화를 통해 QoS 제어를 실현한다. 예컨대, 송신하고자 하는 미디어의 비트율이 25Mbps일 경우 이 미디어는 3Mbps, 10Mbps, 17Mbps, 25Mbps등의 비트율 레벨로 실시간 부호화될 수 있다. SVC를 완전히 도입할 경우 실시간성을 보장하기 힘들기 때문에 제안하는 시스템에서는 SVC의 시간적 부호화(Temporal encoding) 부분만을 도입한다. 시간적 부호화란 MPEG 또는 H.264 비디오에서 프레임 유형(I, P, B)의 중요도에 따라 프레임을 폐

기함으로서 전송률을 조절한다는 의미이다.

QoS 제어와 동시에 수행되는 미디어 요구대역 허용 여부 측정은 조정된 특정 비트율로 미디어를 전송할 경우 네트워크 손실의 가능성이 있는지를 빠르게 타진하는데 그 목적이 있다. 그 방법을 단계별로 요약하면, 1. 수신측에 도착한 미디어 패킷 또는 탐지 패킷 간의 시간 간격을 수집 하는 단계, 2. 수집된 시간 간격에 기초하여 패킷과 연관된 단방향 지연의 증가추세를 검사하는 단계, 3. 단방향 증가추세를 스트리밍 서버로 보고하는 단계이다. 스트리밍 서버는 보고된 단방향 지연의 증가 추세를 토대로 미디어의 비트율을 조정하게 된다. 네트워크에 적응하여 하향 조정된 미디어는 프레임 율이 다소 떨어질 수는 있지만, 네트워크 혼잡으로 인한 무질서한 손실을 줄임으로서 사용자의 서비스 경험(QoE: Quality of Experience)⁶⁾은 향상될 것이다. 또한 제안하는 시스템에서 탐지패킷의 유료부하는 원 미디어의 중복패킷이 사용된다. 이는 탐지 패킷이 원 미디어를 간섭하여 발생할 수 있는 네트워크의 손실을 최소화하기 위한 방법이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 요구대역폭 기반 적응형 스트리밍의 개요 와 두 가지 핵심 기법 즉, 미디어 요구대역 허용여부 측정 방법 및 프레임률 제어 기법을 설명한다. 3장에서는 적응형 스트리밍 시스템의 레벨 상/하향 동작 절차에 대하여 자세히 기술한다. 4장에서 관련 연구에 대하여 언급하고 5장에서는 테스트베드를 통한 실험 결과를 제시한 후 6장에서 결론을 맺는다.

II. 요구대역폭 기반 적응형 스트리밍

2.1 시스템 개요

인터넷 환경은 기본적으로 아주 간단한 QoS와 최선형(Best effort) 서비스만을 제공하기 때문에 네트워크에서의 혼잡 손실과 변화하는 지연을 극복하기 위한 방법이 요구된다. 하위계층의 네트워크 장비를 수정하는 등의 방법이 해결책이 될 수 있으나 이는 상당한 비용을 초래할 것이다. 제안하는 시스템은 하위 계층의 네트워크를 수정하지 않고 응용계층에서 QoS 제어 기법을 구현함으로써 QoE의 향상을 꾀하는데 그 목적이 있다. 그림 1은 제안하는 미디어의 요구 대역폭 기반 네트워크 적응형 시스템의 서버/클라이언트 구조와 동작 형태를 보여준다. 그래프로 표현된 부분 중 실선은 변화하는 가용 대역폭을 의미하고 적색, 청색, 녹색 사각형은 각각 I, P, B 프레임의 의미이다. 그래프의 세로축은 가용 대역폭에 따라 조정된 미디

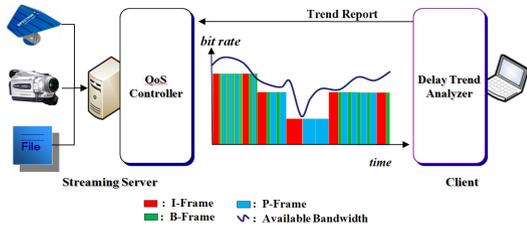


그림 1. 시스템 구조도

어의 비트율을 나타내고 가로축은 시간을 의미한다. 변화하는 네트워크 대역폭에 따라 스트리밍 서버의 QoS 제어기는 원래의 미디어를 각 대역폭에 적합한 프레임률로 변환시켜 전송한다. 이때 실시간 프레임률 변환은 SVC의 시간적 부호화(Temporal encoding) 부분을 도입하여 MPEG 또는 H.264 비디오 데이터의 프레임 중 B프레임, P프레임 순으로 폐기하는 방법을 이용한다. 다시 말해, 프레임률이 조정된 미디어는 네트워크 상황이 좋지 못할 경우 발생하는 무질서한 손실보다는 네트워크 상황이 미리 예측된 질서 있는 의도적 손실이 된다. 따라서 프레임률이 다소 떨어지더라도 무질서한 손실에서 기인하는 좋지 않은 수신 품질보다는 시청자의 욕구를 충족 시켜줄 수 있을 것이다.

스트리밍 서버는 원 미디어를 실은 패킷뿐만 아니라 주기적인 탐지 패킷을 각 클라이언트에게 전송한다. 탐지 패킷의 용도는 미디어의 비트율을 높였을 경우 네트워크가 해당 비트율을 허용하는지의 여부를 판단하기 위함이다. 클라이언트는 일정 개수만큼 원 미디어 패킷과 탐지 패킷을 각각 수집하고 상대적인 한 방향 전송지연(ROWD: Relative One-Way Delay)의 추세를 분석하여 서버에 보고한다. ROWD의 추세 결과에 따라 스트리밍 서버는 미디어의 비트율을 네트워크에 적응하여 전송하게 된다. 예를 들면, 원 미디어를 실은 패킷의 ROWD가 ‘증가추세’인 경우, 이는 현재의 가용 대역폭이 요구대역을 초과함을 의미한다. 이 경우 스트리밍 서버는 미디어의 프레임률을 하향 조정하게 되며 반대로 ROWD가 ‘증가없음’인 경우 현재의 프레임률을 유지하게 된다.

2.2 요구대역 허용여부 측정방법

기존의 네트워크 상태 측정 방법은 시간당 발생하는 네트워크 손실의 누적평균을 이용하는 방법과 네트워크 가용 대역폭을 측정하기 위하여 부가적인 측정용 트래픽을 이용하는 방법이 있다.^[10-14] 이러한 방법들은 측정 시간이 많이 소요된다는 단점이 있으며 전자의 경우 시간적인 단점뿐만 아니라 정확한 가용

대역폭의 측정을 기대할 수 없으며, 후자의 경우 어느 정도 정확한 네트워크 가용 대역폭을 측정할 수는 있으나 부가적인 측정용 트래픽이 원 미디어를 간섭할 수 있다. 대체적으로 이러한 방법들은 미디어를 전송하기 위해 필요한 대역폭 이외에 불필요한 전체 가용 대역폭을 측정하는데 많은 시간을 소비한다. 때문에 본 시스템에 그대로 적용할 경우 많은 문제를 초래할 수 있다.

그림 2는 요구대역에 따른 전송지연 추세를 개념화한 그림이다. 도시한 바와 같이 송신측은 전송주기(T)에 따라 패킷(p₁, p₂, p₃)을 수신측으로 전송한다. 이때, 수신측은 각 패킷을 전송하는데 따른 상대적인 단방향 지연(d₁, d₂, d₃) 이후에 패킷을 수신한다. 수신측에서 보면, 미디어의 프레임률에 의해 확산된 비트율이 요구대역(NB)으로 주어졌을 때 네트워크의 가용대역폭(A)에 따라 상대적인 단방향 전송지연의 추세가 변화되는 현상을 볼 수 있다. 첫 번째는 요구대역이 실제 가용대역폭보다 큰 경우(NB>A)의 단방향 지연의 추세를 나타내고, 두 번째는 요구대역이 가용대역폭보다 작은 경우(NB<=A)의 단방향 지연의 추세를 나타낸다. 그림 2의 두 수신측을 비교해 보면, 요구대역이 가용대역폭보다 큰 경우에 단방향 지연의 추세가 증가하고 있음을 알 수 있다. 아래 그림 3은 가용 대역폭(A)이 3Mbps 이고 요구 대역폭(NB)이 각각 5Mbps(그림 3.(a)), 2.5Mbps(그림 3.(b))일 경우의 ROWD의 추세를 실측한 예이다. 요구 대역폭이 가용 대역폭을 초과할 경우 ‘증가추세’를 보이고 반대로 요

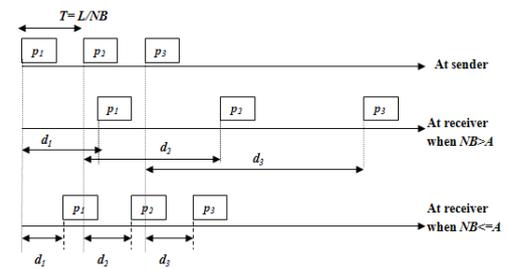


그림 2. 전송지연 추세 개념도

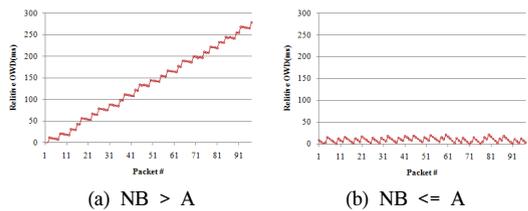


그림 3. 증가추세 측정 예시

구 대역폭이 가용 대역폭 미만일 경우 ‘증가없음’이 나타나고 있다. 그래프를 부분적으로 보면 판단이 흐려지지만 전체적으로 보았을 때 두 그래프 모두 성향이 두드러짐을 확인할 수 있다.

2.2.1 증가추세 분석 과정

그림 3을 통해 살펴본 결과 증가성향을 육안으로 확인하는 것은 어려운 일이 아니다. 제안하는 시스템에서는 ROWD의 증가추세를 기계적으로 분석하기 위해 세 가지 단계를 거친다. 먼저 수신한 패킷의 헤더로부터 패킷 출발시점의 차이 즉, ROWD를 수집한다. 수집된 ROWD는 추세 분석의 확실성을 보장하기 위해 중간 값으로 필터링 된다. 마지막으로 식(1)의 패킷 쌍 방식 비교 테스트(PCT: Pair-wise Comparison Test)^[14]를 이용하여 ‘증가추세’ 또는 ‘증가없음’을 결정한다. 식(1)에서 K 는 측정을 위해 송신 측이 전송한 패킷의 개수 이고 d 는 패킷간의 상대적 단방향 지연 즉, ROWD를 나타낸다. $I(d_j > d_{j-1})$ 는 현재의 ROWD가 이전의 ROWD보다 증가 하였는지의 진리값(0 or 1)이다.

$$PCT = \frac{\sum_{j=2}^K I(d_j > d_{j-1})}{K-1} \quad 0 \leq PCT \leq 1 \quad (1)$$

그림 4는 요구대역폭이 가용 대역폭을 초과한 경우, K 가 100일 때의 증가추세(그림 4.(a))와 10개의 필터 그룹으로 나누어 중간 값 필터링을 수행하였을 때의 증가추세(그림 4.(b)) 결과이다. 중간값 필터를 통과하지 않은 경우 부분적으로 ROWD가 감소하는 성향이 있으나 필터링을 수행한 후의 ROWD는 전구간이 확실한 증가추세를 보이고 있다. 이러한 필터링 결과 값은 PCT의 확실성을 보장해 준다. 식 (1)에서 알 수 있듯이 PCT는 현재의 ROWD(d_j)가 이전의 ROWD(d_{j-1})보다 증가 하였는지의 진리값(0 or 1)의 합을 반영한다. PCT가 1에 가까울수록 ‘증가추세’가 두드러지고 0에 가까울 경우 ‘증가없음’이 나타난다.

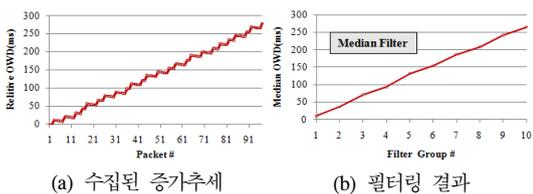


그림 4. 중간값 필터링 결과

다. 제안하는 시스템에서는 ‘증가추세’ 판단의 기준을 위해 $pct_threshold$ 라는 임계값을 사용한다. 즉, PCT의 결과 값이 $pct_threshold$ 보다 클 경우 ‘증가추세’이고 $pct_threshold$ 보다 작을 경우 ‘증가없음’이 됨을 의미한다. $pct_threshold$ 는 0과 1의 사이 값으로 설정할 수 있다.

2.2.2 버퍼링 정책에 따른 증가추세

네트워크 장비의 버퍼링 정책에 의해 여러 가지 형태의 ROWD가 나타날 수 있다. 버퍼링 정책은 크게 두 가지로 분류 할 수 있는데, 버퍼제한(Buffer Limiting)과 버퍼적용(Buffer Shaping)이 그것이다. 버퍼 적응정책은 버퍼 크기를 충분히 크게 설정하여 일정수준의 비트율을 초과하여 들어오는 트래픽에 대해서는 버퍼링을 수행한다. 이 경우 전송지연의 증가는 필연적일 것이다. 이와는 달리 버퍼 제한정책에서는 일정수준의 비트율을 초과하여 들어오는 트래픽은 폐기된다. 앞 절에서 언급한 증가추세 측정 기법은 버퍼 적응정책에 기반을 둔 것으로서 이 경우 ROWD는 비교적 정확히 측정된다. 하지만 그림 5에서와 같이 네트워크 장비가 버퍼제한정책을 사용할 경우 패킷이 손실되었음에도 불구하고 클라이언트는 ROWD의 측정 결과를 ‘증가없음’으로 보고할 것이며 이러한 ROWD의 측정은 무의미하다 할 수 있다. 제안하는 시스템에서는 손실이 발생한 패킷의 지연을 무한대와 같은 충분히 큰 수로 설정한 후 PCT 테스트를 수행하여 증가추세 측정의 확실성을 보장한다.

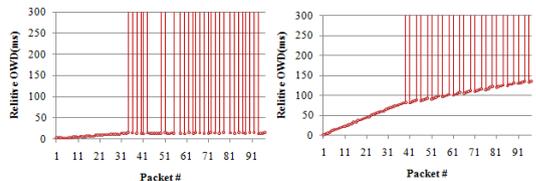


그림 5. 버퍼제한정책에 따른 ROWD 예시

2.3 프레임율 제어기법

제안하는 시스템에서 스트리밍 서버는 SVC(Scalable Video Coding)등을 이용하여 변화하는 네트워크 상황을 고려한 실시간 레벨 부호화를 통해 QoS 제어를 실현한다.

그림 6은 이러한 레벨 부호화의 결과를 보여준다. 송신하고자 하는 미디어의 비트율이 25Mbps일 경우가 미디어는 3Mbps, 10Mbps, 17Mbps, 25Mbps등의 비트율 레벨로 실시간 부호화 될 수 있다. SVC를 완전히 도입할 경우 실시간성을 보장하기 어렵기 때문

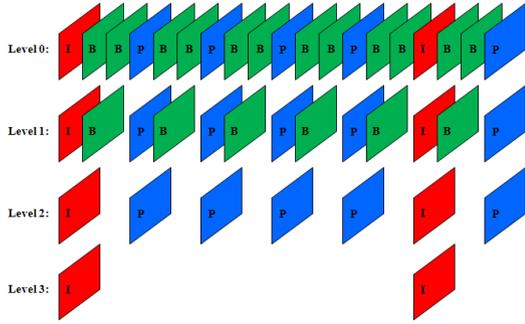


그림 6. SVC 시간적 레벨 부호화

에 제안하는 시스템에서는 SVC의 시간적 부호화 (Temporal encoding) 부분만을 도입한다. 시간적 부호화란 MPEG 또는 H.264 비디오에서 프레임 유형(I, P, B)의 중요도에 따라 프레임을 폐기함으로써 전송률을 조절한다는 의미이다⁶⁾.

제안하는 시스템에서 전송 컨테이너는 HDTV의 전송 표준으로 채택된 MPEG-2 TS(Transport Stream)를 사용한다. 이는 압축된 오디오나 비디오 스트림뿐만 아니라 필요에 따라 사용자 데이터를 다중화 하여 전송에 적합하도록 포장된 비트 스트림이다. 전송을 위한 스트림이기 때문에 전송 시 발생할 수 있는 오류에 대비하여 188 바이트의 짧고 고정된 길이의 패킷으로 구성된다¹⁵⁻¹⁷⁾. 파일, 카메라, TV 수신기, 네트워크 등에서 획득된 MPEG-2 TS 패킷은 네트워크의 상태에 따라 전송 및 폐기가 결정된다. 그림 7은 이러한 TS

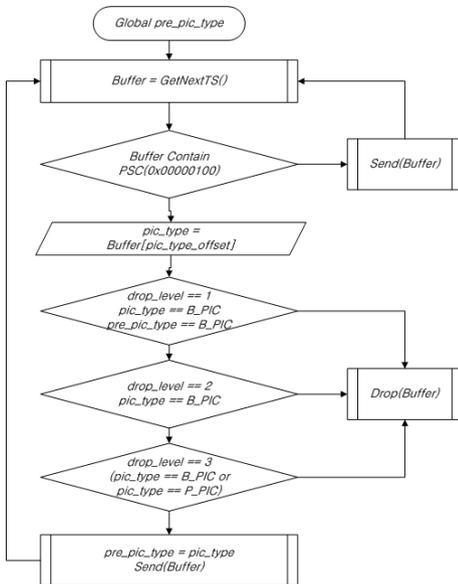


그림 7. 실시간 레벨 부호화 순서도

패킷의 전송 및 폐기를 결정하는 모듈의 순서도이다. *drop_level*은 네트워크 가용 대역폭에 따라 결정된 부호화 레벨이다. 먼저 전송 및 폐기를 결정할 TS 패킷에서 PSC(Picture Start Code: 0x00000100)가 있는 경우 이를 획득하고 어떤 형식의 프레임(I, B, P)을 신고 있는지 판단하여 *drop_level*이 1일 경우 연속된 B 프레임 쌍 중 하나를 폐기하고, 2일 경우 모든 B 프레임을 폐기한다. *drop_level*이 3일 경우 B, P 프레임을 폐기하여 I 프레임만 전송되도록 조정한다. 전역변수로 선언된 *pre_pic_type*은 이전 검사과정에 TS 패킷이 신고 있는 프레임의 형식이다. HD급 비디오의 경우 하나의 프레임은 수십에서 수천 개의 TS로 패킷타이징 되므로 그 개수만큼 전송 또는 폐기의 결정이 동일하게 적용된다. 예컨대, 하나의 프레임이 수백 개의 TS로 패킷타이징 되었다면 그 수백 개의 TS 패킷 중 부분은 전송되고 부분은 폐기 되는 경우는 있을 수 없다는 의미이다.

III. 적응형 스트리밍의 상하향 동작 절차

3.1 레벨 맵(Level Map)

앞서 언급한대로 제안하는 시스템은 조정된 특정 비트율로 미디어를 전송할 경우 네트워크 손실의 가능성이 있는지를 빠르게 타진하는데 그 목적이 있다. 따라서 스트리밍 서버는 각 레벨로 부호화된 미디어의 요구 대역을 실시간으로 판단하여 유지 관리해 줄 필요가 있는데, 본 논문에서는 이러한 각 레벨별 요구 대역 정보를 레벨 맵(Level Map)이라고 이름 한다. 그림 8은 레벨 맵의 생성과정을 보여준다. 실시간으로 획득된 미디어의 각 레벨별 요구대역은 미래를 예측할 수 없기 때문에 과거의 데이터에 기반을 둔 이동평

$$\begin{aligned}
 s_I &= \alpha \cdot s_I + (1 - \alpha) \cdot s_{I_{new}} & v &= n \cdot s \\
 s_P &= \alpha \cdot s_P + (1 - \alpha) \cdot s_{P_{new}} & v_I &= n_I \cdot s_I \\
 s_B &= \alpha \cdot s_B + (1 - \alpha) \cdot s_{B_{new}} & v_P &= n_P \cdot s_P \\
 & & v_B &= n_B \cdot s_B
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_3 &= v_I \\
 l_2 &= v_I + v_P \\
 l_1 &= v_I + v_P + v_B / 2 \\
 l_0 &= v_I + v_P + v_B
 \end{aligned}$$

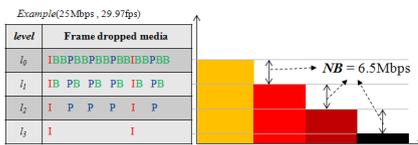


그림 8. 레벨 맵 생성 과정 및 예시

균을 이용한다. 각 레벨(l)의 초당 비트량(v)은 각 프레임의 사이즈(s)와 초당 개수(n)에 의해 결정되며 결과적으로 각 레벨(l)에 해당하는 값이 실제 네트워크 상의 요구 대역이 된다. 이러한 레벨 맵은 다음 절에 설명할 레벨 상하향 조정과정에서 미디어 요구 대역을 측정하기 위한 중요한 정보가 된다.

3.2 레벨 하향 조정

먼저 스트리밍 서버는 전송할 미디어 데이터를 MTU(Maximum Transit Unit)를 초과하지 않은 크기로 패킷타이징 하고 ROWD 추세 분석을 위한 헤더를 추가하여 클라이언트에게 전송한다. MTU가 1500 바이트일 경우 MPEG-2 TS 패킷 7개가 하나로 패킷타이징 되며, 헤더에는 시간정보 및 순서정보가 포함된다(그림 9).

그림 10.(a)는 레벨 하향 조정 과정을 보여준다. 클라이언트는 수신된 패킷의 헤더로부터 패킷의 출발 시간 및 순서정보를 추출하여 앞서 설명한 ROWD 증가 추세 분석 과정을 통해 현재의 미디어 비트율이 가용 대역폭을 초과하는지 여부를 실시간으로 타진한다.

Data Type	Time Stamp	Sequence Number				
Payload size = $\left\lceil \frac{MTU}{188} \right\rceil \times 188$						
Example						
ORG PRB	MICROSEC				#	
188	188	188	188	188	188	188

그림 9. 전송 패킷

현재의 비트율이 가용 대역폭을 초과하지 않는 경우 *DATA_AVAILABLE*을, 초과 할 경우 *DATA_INCREASE*를 서버로 보고한다. 서버가 *DATA_AVAILABLE*을 보고 받았을 경우 해당 클라이언트의 레벨을 유지하고 *DATA_INCREASE*를 보고 받았을 경우 현재의 비트율이 네트워크 가용 대역폭을 초과하고 있다고 판단하여 레벨을 하향 조정한다.

3.3 레벨 상향 조정

앞서 설명한 레벨 하향 조정과 동시에 수행되는 레벨 상향 조정은 원 미디어에 가용 대역폭 측정용 탐지 패킷을 더하여 수행된다. 이때 측정용 탐지 패킷이 원 미디어를 간섭하는 현상을 최소화하기 위해 원 미디어의 중복 패킷을 측정용 패킷의 유료부하로 사용한다. 그림 10.(b)는 이러한 레벨 상향 조정 과정을 보여 주고 있다. 스트리밍 서버는 유지관리 하고 있는 레벨 맵을 통하여 레벨이 하향 조정되어 서비스를 받고 있는 클라이언트에 대해 레벨을 상향 조정 했을 경우의 요구 대역 허용 여부를 측정한다. 요구 대역은 측정용 탐지 패킷의 전송률($l_{current} - l_{current-1}$)을 의미한다. 그림 8의 아래 그림을 예로 설명하자면, 어떤 시점에 l_2 의 레벨로 스트리밍을 수행 하고 있는 경우, 서버는 레벨 상향 조정을 위해 $l_2 - l_1$ 의 비트율 즉, 6.5Mbps의 NB로 탐지 패킷을 발생하여 클라이언트로 전송한다. 클라이언트는 ROWD 추세를 분석하여 서버에 보고하게 되는데, *PROBE_AVAILABLE* 일 경우 가용 대역폭에 여유가 생겼음을 의미하여 레벨을 상향 조정하게 되고 *PROBE_INCREASE*일 경우 현재의 레벨을 유지하게 된다.

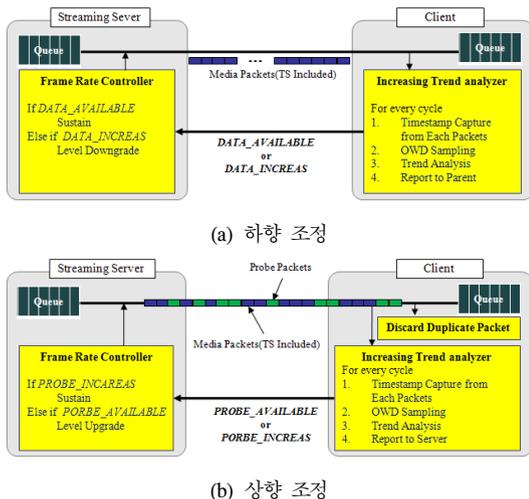


그림 10. 레벨 조정 과정

IV. 테스트베드 실험 결과

4.1 테스트베드의 구성

클라이언트에서의 수신품질을 확인하기 위해 광가입자 망을 이용한 테스트베드 환경을 구성하였다.(그림 11) 테스트베드는 100Mbps를 지원하는 스트리밍 서버, 클라이언트, 배경 트래픽 생성기 각각 1개씩으로 구성된다. 스트리밍 서버로부터 송출되는 테스트용 미디어는 MPEG-2 TS 형식의 HD급 영상을 사용 하였다. 1920×1080의 해상도, 29.97fps, 25Mbps등의 특성을 갖는다. 실시간 레벨 부호화는 4단계로 진행되도록 설정 하였으며, 각 레벨(l_1, l_2, l_3, l_4)의 비트율은 25Mbps, 19Mbps, 8Mbps, 4Mbps 이다. 데이터 전송단위는 1500 바이트로 이더넷 프레임 크기를 반영하였다. 레벨 상향 조정을 위한 탐지 트래픽의 전송 주

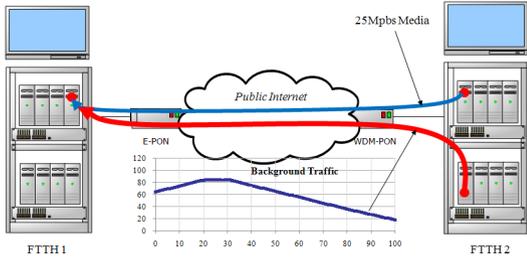
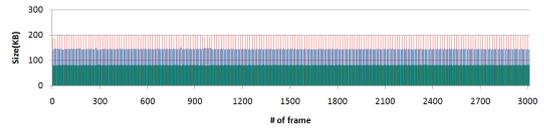


그림 11. 테스트 베드

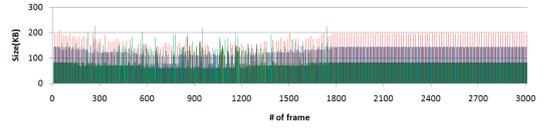
기는 3초이며, 한번 탐지 트래픽을 전송할 때 탐지 패킷의 개수는 $100(=10 \times 10)$ 개를 기본 값으로 설정 하였는데 이는 중간 값 필터링을 할 경우 10개의 그룹으로 필터링 된다. *pct_threshold*는 0.2로 설정하였고 그 외에 추가적인 임계값으로 *down_continuity_count*와 *up_continuity_count*를 두었다. *down_continuity_count*는 클라이언트가 이 숫자만큼 연속하여 *DATA_INCREASE*를 보고할 경우에만 레벨을 하향 조정한다는 의미이며, *up_continuity_count*는 클라이언트가 *PROBE_AVAILABLE*을 이 숫자만큼 연속하여 보고할 경우에만 레벨을 상향 조정 한다는 의미이다. *down_continuity_count*와 *up_continuity_count* 값은 각각 2와 4로 설정 하였다. 이렇게 레벨 상향 조정의 임계값을 하향 조정 임계값 보다 크게 설정한 이유는 빈번한 레벨 조정을 피해 네트워크 가용 대역폭이 확실한 경우에만 상향 조정하기 위함이다. 실험은 100초간 진행 되었으며, 배경 트래픽 시나리오는 65Mbps를 출발하여 초당 1Mbps씩 증가하고 20초 후 85Mbps에서 10초간 지속된다. 30초 후부터 100초까지는 1Mbps씩 지속적으로 감소된다. 이러한 배경 트래픽이 스트리밍 서버와 클라이언트간의 네트워크 가용 대역폭을 채울 때 적응형 스트리밍과 비적응형 스트리밍의 수신품질을 비교 하였다.

4.2 실험 결과

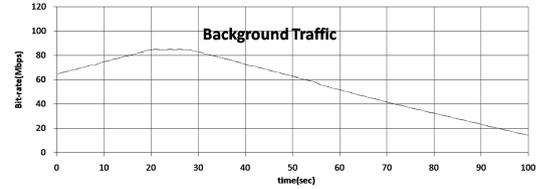
그림 12는 일반적인 비적응형 스트리밍 대하여 송신 및 수신 품질을 비교한 결과이다. 그림 12.(a)는 스트리밍 서버에서 송신되기 직전의 프레임크기 및 순서를 나타내며 그림 12.(b)는 클라이언트에 수신된 직후의 프레임 크기 및 순서를 나타낸다. 프레임의 종류 즉 I, P, B 프레임은 각각 적색, 청색, 녹색으로 표시 하였다. 그림 12.(c)는 유입된 배경 트래픽이다. 가용 대역폭이 배경 트래픽에 의해 원 미디어의 요구 대역폭인 25Mbps를 초과하지 못하는 구간에서 수신된 프레임의 순서와 크기가 크게 왜곡되고 있음을 알 수 있다. 이는 수신 품질이 현저하게 떨어짐을 의미한다. 그 구간은 배경 트래픽이 75Mbps 이상인 10~40초 구



(a) 송신 프레임



(b) 수신 프레임



(c) 배경 트래픽

그림 12. 비적응형 스트리밍 수신 품질

간이기 때문에 이론상 40초 이후부터 미디어가 회복 되어야 하지만 실험 결과에서 원 미디어가 완전히 회복되는 구간은 약 55~60초 사이가 된다. 이는 배경 트래픽의 전송률이 75Mbps 이하로 떨어졌다 하더라도 이전에 보내진 배경 트래픽이 중간 네트워크 장비에 버퍼링 되어 수신측으로 전송 되고 있음을 의미한다.

그림 13은 본 논문에서 제안하는 적응형 스트리밍 대하여 송신 및 수신 품질을 비교한 결과이다. 비적응형 스트리밍과 마찬가지로 그림 13.(a)는 스트리밍 서버에서 송신되기 직전의 프레임크기 및 순서를 나타내며 그림 13.(b)는 클라이언트에 수신된 직후의 프레임 크기 및 순서를 나타낸다. 그림 13.(c)는 유입된 배경 트래픽과 조정된 미디어가 사용하고 있는 대역폭이다. 배경 트래픽이 75Mbps를 초과하는 시점으로부터 약 2초 후인 12초에 레벨이 하향 조정된 후 단계별로 하향 조정되어 배경 트래픽이 85Mbps로 유지되기 시작되는 23초부터는 최하위 레벨까지 하향 조정 되고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 네트워크 상황에 따른 질서 있는 프레임 폐기 기법을 이용할 경우 프레임 률은 다소 떨어지지만 완전한 프레임의 수신율을 높임으로서 송수시간 프레임 왜곡을 낮추고 화질을 현저히 향상 시킬 수 있음을 예측할 수 있다. 이론상 85Mbps의 배경 트래픽이 유입되면 15Mbps의 대역폭이 가용 대역폭이기 때문에 조정된 미디어의 레벨은 I_3 에서 유지되어야 하지만 비적응형 스트리밍 부분에서 설명한 중간 네트워크 장비의 버퍼링 정책에 의해 실제 실험상에서는 I_3 과 I_4 를 왕래하는 경우가 발생할

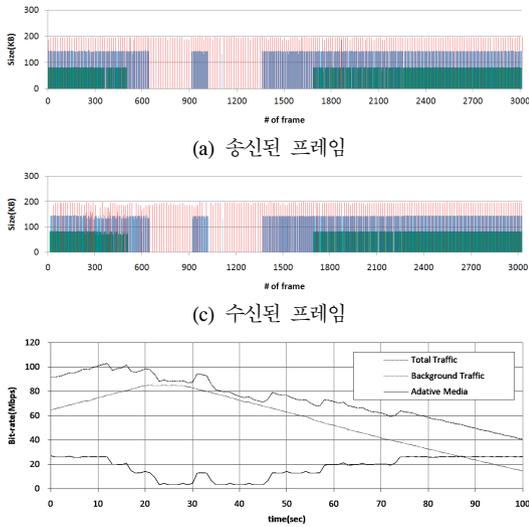


그림 13. 적응형 스트리밍 수신 품질

수 있다. 배경 트래픽의 유입이 지속적으로 감소되는 구간에서 레벨 상향 단계는 하향 단계보다는 느리게 조정되는데 이는 *up_continuity_count*를 *down_continuity_count*보다 두 배로 하여 가용 대역폭이 확실한 경우에만 레벨 상향 조정이 이루어지도록 설정하였기 때문이다.

V. 관련 연구

일반적으로 고품질의 영상은 압축하였다 하더라도 정보량이 크고 이를 전달하기 위한 인터넷은 가용 대역폭이 시간에 따라 변한다는 특징을 갖는다. 때문에 고품질의 미디어를 인터넷 망을 통해 전송하는 연구들은 주로 기가 망이나 고대역폭을 지원하는 실험 망을 통해 이루어졌다. 이러한 망을 통해 [2]에서는 압축하지 않은 615Mbps 이상의 고화질 비디오를 스트리밍 하는 시스템을 구축, 시험 하였고 KAIST에서는 HDV 캡코더를 이용한 MPEG-2 TS 기반 실시간 HDV 전송 시스템을 구축하였다³⁾. 획득된 영상의 효과적인 전송을 위해 RTSP(Real-time Transmission Streaming Protocol)^[18], RTP(Realtime Transmission Protocol)^[19]와 같은 다양한 프로토콜과 기법들이 제안되고 있지만, 설계하는 시스템에 실시간이라는 특성이 포함될 경우 고화질 비디오 스트리밍 서비스의 구현은 여전히 난제로 남는다. 이를 극복하기 위해 범용 인터넷 환경을 고려한 전통적인 비디오 스트리밍에서 계층형 비디오 부호화 기법인 SVC(Scalable Video

Coding)^[5], MDC(Multiple Description Coding)^[7,8] 등의 방식을 도입하여 이질적인 환경을 갖는 범용 인터넷 망에서의 적응적인 비디오 전송 시스템에 대한 연구도 진행되고 있다. 특히 SVC는 2003년 ISO/IEC MPEG의 MPEG-21에서 표준화를 시작하여, 현재 ITU-T VCEG와 공동 작업으로 JVT에서 MPEG-4 Part 10 AVC(H.264)로 표준화가 진행 중이다^{5,6)}. 이러한 방식들은 인터넷 환경에 따라 전송하는 비디오의 품질을 효율적으로 차별화하겠다는 측면에서 상당한 가치가 있으나 비디오가 미리 계층적으로 부호화되어야 한다는 전제가 있다. 이러한 전제조건하에 [4]에서는 계층형으로 미리 인코딩된 미디어를 유무선 네트워크 상태에 따라 스트리밍 하는 시스템을 구현하였다.

가용대역폭 측정의 연구 분야는 크게 단일-홉 갭 (Single Hop Gap) 모델 기법과 자가 혼잡 유발 (Self-Induced Congestion) 기법으로 나눌 수 있다. IGI(Initial Gap Increasing)/PTR(Packet Transmission Rate)^[10]과 같은 단일-홉 갭 모델 기법은 먼저 네트워크를 병목 링크의 단일 홉으로 축소하여 모델링 한 다음 패킷 쌍을 일정한 간격으로 전송했을 때, 수신측에 도착하는 패킷의 시간 간격을 분석하여 가용 대역폭을 측정하는 방법이다. 이러한 기법은 적은 수의 패킷을 이용하기 때문에 가용 대역폭을 빠르게 찾을 수 있으며 측정용 패킷 또한 크기가 작아서 네트워크에 부하를 주지 않는다는 장점이 있다. 하지만 실제 네트워크처럼 다중 홉 기반에 다수의 병목 링크와 혼잡 링크가 동시에 존재하고 배경 트래픽도 여러 링크에서 유입될 경우 가용 대역폭 측정의 정확도는 상당히 떨어지게 된다. 자가 혼잡 유발의 대표적인 기법에는 TOPP(Train of Packet Pair)^[12], pathChirp^[13], Pathload^[14] 등이 있다. 이러한 기법들은 패킷의 전송량을 증가시켜 가면서 패킷의 전송 속도보다 수신 측에서 관찰되는 속도가 큐잉에 의해서 작아지는 순간을 분석하여 측정하는 기법이다. 이러한 기법은 측정 패킷 자체의 지연을 통해서 가용 대역폭을 측정하기 때문에 병목 링크나 혼잡 링크의 위치에 관계없이 가용 대역폭을 찾을 수 있는 장점이 있으며, 실제 네트워크 상황에 적합한 모델이라 할 수 있다. 하지만 측정용 패킷 자체가 혼잡을 유발 할 수 있으며 측정을 위해 상당한 시간을 소비한다.

VI. 결 론

본 논문에서는 미디어의 요구대역을 네트워크가 허

용하는지를 빠르게 타진하고 그 결과를 통해 미디어를 네트워크에 적응시키는 스트리밍 시스템을 설계 및 구현하였다. 제안하는 시스템에서 사용된 요구대역 측정 기법과 실시간 프레임률 제어 기법은 향후 인터넷 망에서의 고품질 미디어 스트리밍 서비스에 적용될 수 있을 것이며, 사용자 QoE의 향상에 기여할 것으로 기대된다. 특히 요구대역 측정 기법은 네트워크가 비트율을 보장하는지를 신속히 판단할 수 있기 때문에 화상회의나 방송 등 실시간 특성을 갖는 응용에 대해 적용상의 이점을 제공할 것이다. 제안하는 시스템에서는 응용계층상에 요구대역 측정용 헤더를 추가하였지만 RTP와 같은 프로토콜을 이용하거나 MPEG-2 TS의 NIT(Network Information Table)등의 정보를 이용하여 표준과 확장성을 제공해 줄 수 있으며^[15], 또한 제안 시스템은 전형적인 C/S 모델뿐만 아니라 오버레이 네트워크 모델^[20-22]에도 적용이 가능한데, 이는 본문에서 설명한 레벨 맵(Level Map)이 오버레이 멀티캐스트상의 모든 클라이언트에서 작동될 수 있기 때문이다.

참 고 문 헌

[1] D. Wu. et. Al., "Streaming video over the Internet: approaches and directions," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.11, No.3, Mar. 2001.

[2] C. Perkins, L. Gharai, T. Lehman and A. Mankin, "Experiments with Delivery of HDTV over IP Networks," In Proc. 12th International Packet Video Workshop, Pittsburgh, April. 2002.

[3] J Lee and K Chon, "High-Definition Digital Video Over IP: System Design, Experiments and Applications," In Proc. APAN Network Research Workshop 2004, Cairns, Australia, July. 2004.

[4] J Kim and J Shin, "Dynamic network adaptation framework employing layered relative priority index for adaptive video delivery," In Proc. IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia, Dec. 2002.

[5] ISO/IEC 21000-7:2004, Information Technology - Multimedia Framework - Part 7: Digital Item Adaptation. 2004.

[6] "Joint Scalable Video Model JSVM-5", Joint

Video Team JVT-R202, JVT 18th meeting, Bangkok, Thailand, Jan, 2006.

[7] V.K. Goyal, J. Kovacevic, R. Arean, and M. Vetterli, "Multiple description transform coding of images," In Proc. International Conference on Image Processing, Vol.1, pp.674 - 678, 1998.

[8] V.K. Goyal, "Multiple Description Coding: Compression Meets the Network," IEEE Signal Processing Magazine, Vol.18, No.5, pp.74 - 94, Sept. 2001.

[9] DSL Forum TR-126, "Triple-play Services Quality of Experience(QoE) Requirements", 13 December 2006.

[10] N. Hu, and P. Steenkiste, "Evaluation and characterization of available bandwidth probing techniques," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.21, No.6, pp.879-894, August 2003.

[11] M. Jain, and C. Dovrolis, "End-to-end available bandwidth: measurements methodology, dynamics, and relation with TCP throughput," In Proc. ACM SIGCOMM 2002, pp. 295-308, August. 2002.

[12] B. Melander, M. Bjorkman and P. Gunningberg, "A New End-to-End Probing and Analysis Method for Estimating Bandwidth Bottlenecks," IEEE Global Internet Symposium, 2000.

[13] V. Ribeiro, R. Riedi, R. Baraniuk, J. Navratil, and L. Cottrell, "pathChirp: Efficient Available Bandwidth Estimation for Network Paths," Passive and Active Measurements(PAM) workshop, 2003.

[14] M. Jain, C. Dovrolis, "Pathload: A Measurement Tool for End-to-End Available Bandwidth," Proc. of Passive and Active Measurements (PAM) Workshop, 2002.

[15] ISO 13818-1:2000, "Information technology: Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems," 2000.

[16] HDV Format, <http://www.hdv-info.org/>.

[17] Internet HDTV, <http://www.washington.edu/hdtv/>

[18] H. Schulzrinne, A. Rao and R. Lanphier, "Real Time Streaming Protocol(RTSP)", RFC 2326, April 1998.

[19] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick and V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC 3550, July 2003

[20] Y. Chu, S. Rao, S. Seshan, H. Zhang, "A case for end system multicast," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, Oct. 2002.

[21] B. Zhang, S. Jamin, L. Zhang. "Host Multicast: A Framework for Delivering Multicast To End Users," In Proceedings of INFOCOM, 2002.

[22] S. Banerjee, B. Bhattacharjee, C. Kommareddy, "Scalable Application Layer Multicast," ACM SIGcomm'02, Pittsburgh, PA, August. 2002.

곽 용 완 (Yong Wan Kwag)

정회원



1999년 2월 조선대학교 컴퓨터 공학과 학사
2004년 2월 전남대학교 컴퓨터 공학과 석사
2006년~현재 전남대학교 전자 컴퓨터공학과 박사과정
현재 그리드인터넷 방송연구센터 연구원

<관심분야> 인터넷방송, 컴퓨터네트워크, 라우팅

손 승 철 (Seung-Chul Son)

정회원



2002년 2월 전남대학교 컴퓨터 공학과
2003년~2004년 (주) 금영 음향 연구소
2005년~2007년 전남대학교 컴퓨터공학과 석사
2007년~현재 전남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

2008년~현재 한국전자통신연구원 위촉연구원
<관심분야> 컴퓨터 네트워크, 통신 프로토콜

양 현 종 (Hyun-Jong Yang)

준회원



2008년~현재 전남대학교 전자 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> 컴퓨터 네트워크, 통신 프로토콜

이 형 옥 (Hyung-Ok Lee)

정회원



2008년 2월 전남대학교, 컴퓨터 정보통신공학과(공학석사)
2008년~현재 전남대학교 전자 컴퓨터공학부(박사과정)
<관심분야> 컴퓨터 네트워크, 통신 프로토콜

남 지 승 (Ji-Seung Nam)

종신회원



1992년 Univ. of Arizona, 전자공학과(공학박사)
1992년~1995년 한국전자통신 연구소 선임연구원
1999년~2001년 전남대학교 정보통신특성화 센터장
2001년~현재 전남대학교 인터넷창업보육 센터장

1995년~현재 전남대학교 컴퓨터공학과 교수
<관심분야> 통신 프로토콜, 인터넷 실시간서비스, 라우팅