

논문 2012-49TC-3-6

# 채널 결합 기반 대용량 방송서비스를 위한 유효 대역폭 추정 알고리즘에 대한 연구

( A Study on Effective Bandwidth Algorithms for Mass Broadcasting  
Service with Channel Bonding )

용 기 택\*, 신 현 철\*, 이 동 열\*, 유 응 식\*\*, 최 동 준\*\*, 이 채 우\*

( Kitak Yong, Hyunchul shin, Dongyul Lee, Woongsik You, Dongjoon Choi, and Chaewoo Lee )

## 요 약

현재 HFC(Hybrid Fiber Coaxial) 망에서 UHD(Ultra High Definition) 콘텐츠와 같은 대용량 방송콘텐츠 전송을 위한 대표적인 전송기술로, 다수의 채널을 결합시켜 논리적인 하나의 광대역 채널로 변경하여 데이터를 병렬 전송하는 방법이 대두되고 있다. 하지만 채널 결합을 통해 콘텐츠를 전송하는 시스템의 경우 하나의 콘텐츠 전송을 위해서 다수의 채널을 결합하기 때문에 채널 자원의 부족이 예상된다. 따라서 결합된 채널을 효율적으로 사용할 수 있는 기술이 필요하다. 본 논문에서는 결합된 채널의 효율적인 대역폭 사용을 위하여 세 가지 방식의 VBR(Variable Bit Rate) 대역폭 추정 알고리즘을 분석하였다. 세 가지의 유효 대역폭 추정 방식은 Guerin이 제안한 가우시안 근사를 통한 유효 대역폭 추정, Lee가 제안한 비디오 프레임 특성을 기반으로 한 유효 대역폭 추정과 Nagarajan이 제안한 가우시안 트래픽을 기반으로 한 유효 대역폭 추정 알고리즘이다. 또한, 이들을 분석하여 대용량 방송 시스템으로의 적용가능성을 평가하였다. 성능 분석을 위한 시뮬레이션은 OPNET 시뮬레이터를 사용하였고, 성능 분석의 정확성을 위해 실제 HD 방송 트래픽을 분석하여 대용량 방송 트래픽을 생성하였다.

## Abstract

A parallel transmitting system with channel bonding method have been proposed to transmit mass content such as UHD(Ultra High Definition) in HFC(Hybrid Fiber Coaxial) networks. However, this system may lead to channel resource problem because the system needs many channels to transmit mass content. In this paper, we analyze three effective bandwidth approximation algorithms to use the bonding channel efficiently. These algorithms are the effective bandwidth of Gaussian approximation method algorithm proposed by Guerin, the effective bandwidth based on statistics of video frames proposed by Lee and the effective bandwidth based on Gaussian traffic proposed by Nagarajan. We also evaluate compatibility of algorithms to the mass broadcasting service. OPNET simulator is used to evaluate the performance of the algorithms. For accuracy of simulation, we make mass source from real HD broadcasting stream.

**Keywords** : UHD, VBR, Effective Bandwidth, Channel Bonding, HFC

## I. 서 론

세계 주요 국가에서 HDTV(High Definition TV) 방송이 서비스되고 있으며, 미국, 일본, 독일, 영국 등 다수의 선진 국가들은 HDTV 이후의 방송 서비스를 위한 준비를 진행하고 있다. HDTV 이후의 차세대 방송은 UHDTV(Ultra High Definition TV)와 같이 가정에서 70mm 영화 수준의 화질(비디오 해상도 3840×2160, HD

\* 정회원, 아주대학교 전자공학과  
(School of Electrical and Computer Engineering,  
Ajou University)

\*\* 정회원, 한국전자통신연구원  
(ETRI)

※ 본 연구는 방송통신위원회의 방송통신기술개발사업  
[11921-02001, 무안경 다시점 3D지원 UHDTV 방송  
기술 개발]의 연구결과로 수행되었음.

접수일자: 2011년7월6일, 수정완료일: 2012년3월19일

화면 4배 또는 7680×4320, HD 화면 16배)과 다채널(~22.2채널) 음질로 극장 급의 초고품질의 대용량 방송 콘텐츠를 제공함으로써 소비자의 품질 욕구를 만족시킬 수 있는 초고품질의 방송서비스를 목표로 한다<sup>[1]</sup>.

초고품질의 대용량 방송서비스에 필요한 관련 기술은 크게 콘텐츠 획득 기술, 부·복호화 및 시스템 기술, 송수신 기술, 콘텐츠 재생 및 저장 기술, 디스플레이 기술 등으로 나눌 수 있다<sup>[2]</sup>. 국내에서는 다양한 방송통신망을 통한 대용량 방송서비스를 실시하기 위하여 공통적으로 요구되는 대용량 방송콘텐츠 부·복호화 기술 및 시스템 기술의 국내의 표준화에 중점을 두고 있다. 특히 FTTH(Fiber To The Home), HFC(Hybrid Fiber Coaxial), 위성, 지상파 등의 방송통신망 중 대용량 방송서비스 도입시기가 가장 빠를 것으로 예상되는 FTTH 망 및 HFC 망 기반의 전송기술에 대한 표준안을 우선적으로 개발하는 것에 중점을 두고 있다<sup>[2]</sup>.

4K(3840×2160)와 8K(7680×4320)의 해상도를 갖는 대용량 비디오 신호(YUV 4:2:2, 픽셀 당 10비트, 30 fps 기준)를 MPEG-2로 압축하는 경우에 각각 80Mbps와 310Mbps이상의 전송 속도가 요구된다<sup>[3]</sup>. 여기에 다채널 오디오 신호와 데이터까지 포함하면 훨씬 더 높은 전송 속도가 요구된다. 현재 HFC 망은 채널당 최대 38.8Mbps 정도의 전송 속도로 방송콘텐츠를 전송하고 있다. 따라서 대용량 방송콘텐츠를 현재의 부호화 기술을 이용하여 단일 채널로 전송하는 것이 불가능 할 뿐만 아니라 대용량 방송서비스를 위한 전체 주파수 자원이 부족하게 되는 문제가 존재한다. 따라서 자원이 한정된 HFC 망을 이용하여 대용량 데이터를 효율적으로 전송하기 위해서는 고효율 대용량 전송 방식에 관한 연구가 반드시 이루어져야 한다.

최근 대용량의 방송콘텐츠를 HFC 망의 매체를 통해 전송하기 위한 방법으로 채널 결합(Channel Bonding)에 기반을 둔 전송 기술이 주목 받고 있다<sup>[4]</sup>. 이러한 채널 결합 기반의 전송 기술은 기존의 채널대역을 유지하면서 다수개의 채널을 단일의 논리적인 채널로 만드는 전송 기술로 이미 HFC 망에서는 양방향 데이터 전송서비스를 위해서 DOCSIS 3.0(Data Over Cable Service Interface Specification 3.0) 규격<sup>[5]</sup>의 핵심기술로 사용되고 있다. 그러나 HFC 망에서의 방송서비스와 데이터 전송서비스는 서로 호환되지 않아 DOCSIS 3.0 규격을 방송서비스에 그대로 적용할 수 없다. 따라서 채널 결합 기술을 방송서비스에 적용하기 위해서는 방송서비스

전송을 위한 새로운 전송 방식에 관한 연구가 필요하다. 또한 기존의 HFC 망 기반 방송서비스는 방송콘텐츠를 CBR(Constant Bit Rate) 콘텐츠로 전송하기 때문에 VBR(Variable Bit Rate) 콘텐츠 전송에 비해서 전송 대역의 효율적 사용 측면에서 불리할 수 있다. 따라서 채널 사용의 효율을 높일 수 있는 VBR 콘텐츠 전송에 대한 연구가 필요하다.

VBR 콘텐츠 전송은 일정한 전송 속도로 전송되는 CBR 콘텐츠 전송과 달리 트래픽에 따라 전송 속도의 변화가 심하다. 따라서 VBR 콘텐츠 전송을 위해서 콘텐츠의 트래픽 특성에 대한 분석이 필요하다. 또한 처리율이 중요한 데이터 전송과는 달리 서비스 품질 보장(QoS)이 중요한 방송 전송의 경우 지연, 지터, 패킷 손실률이 중요한 성능 평가 기준이 된다<sup>[6]</sup>. 따라서 VBR 콘텐츠 전송을 위해 QoS 요구 조건을 만족시키는 정확한 대역 관리가 필요하다. 대역 관리를 위한 가장 보편적인 알고리즘 방식은 유효 대역폭 추정 알고리즘<sup>[7~10]</sup>이 있다. 본 논문에서는 대용량 방송서비스를 위한 QoS 요구조건을 만족하면서 VBR 콘텐츠 전송에 필요한 대역폭을 추정하는 유효 대역폭 추정 알고리즘에 대하여 연구한다.

이를 위해, 본 논문에서는 채널 결합 기반 대용량 방송서비스를 위한 기존 VBR 비디오 트래픽의 효과적인 유효 대역폭 추정 알고리즘을 조사하고, 그 성능을 분석함으로써 대용량 방송서비스를 위한 적합성을 평가하였다. 성능 평가를 위해 OPNET 시뮬레이터를 사용하였고, 성능 평가의 정확성을 위해서 기존의 HD 방송 트래픽을 분석하여 대용량 방송 트래픽을 구현하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 HFC 망의 전송 방식 및 유효 대역폭 추정에 기반이 되는 승인제어 방법에 대하여 살펴보고, III장에서 효율적인 채널 사용을 위한 유효 대역폭 추정 알고리즘에 대하여 기술한다. IV장에서 시뮬레이션을 통하여 알고리즘의 성능을 평가하고 분석하며, V장에서 논문을 정리한다.

## II. 관련 연구

본 장에서는 HFC 망 기반 대용량 방송서비스에서 VBR 트래픽 전송의 유효 대역폭 추정 연구를 위해 필요한 기술들에 대하여 설명한다. 본 장의 1절에서는 유효 대역폭 추정을 위해 방송 트래픽으로 사용되는 MPEG-2 TS(Transport Stream) 트래픽 특성을 설명한

다. 2절에서는 승인제어 알고리즘에 대하여 소개하여 대용량 방송서비스를 위한 유효 대역폭 추정 필요성 및 효율성을 설명한다.

### 1. MPEG-2 트래픽 특성

MPEG-2는 MPEG(Moving Picture Expert Group)이 비디오 및 오디오의 저장뿐만 아니라 방송 미디어로의 적용을 고려하여 표준화한 비디오 및 오디오 부호화 시스템에 대한 표준이다. 현재 MPEG-2 표준은 디지털 위성방송, 디지털 유선방송 등의 디지털 방송을 위한 오디오와 비디오의 부호화 및 전송을 위해 쓰이고 있다. MPEG-2 표준의 가장 큰 특징으로는 데이터 유실이 많은 전송 환경에도 적합한 전송 스트림(TS: Transport Stream)이 정의되어 있다는 것이며, 현재 HFC 망 기반의 방송서비스에서는 188Byte의 고정 패킷 길이를 갖는 MPEG-2 TS 포맷을 이용하여 방송콘텐츠를 전송하고 있다.

방송의 주된 트래픽인 MPEG 비디오 트래픽의 구조는 주기적인 GOP(Group Of Pictures) 패턴을 가지며, 한 GOP 내에서는 I, B, P-프레임 세 가지 타입의 프레임 구조를 갖고 일정한 순서로 반복된다. I-프레임은 프레임 내의 상관관계를 이용하여 압축하며, P-프레임은 프레임 내의 상관관계 및 이전 I-프레임 또는 P-프레임과의 상관관계를 이용하여 압축한다. 또한 B-프레임은 프레임 내의 상관관계, 이전과 이후 I-프레임 및 P-프레임과의 상관관계를 이용하여 압축한다. 따라서 B, P, I-프레임 순으로 높은 압축 효율을 보이며 트래픽은 프레임에 따라 전송 속도가 변하는 VBR 형태를 보인다.

MPEG 비디오 트래픽은 MPEG 압축 방식의 특성으로 인해 여러 가지 통계적 트래픽 특성을 갖는다. MPEG 비디오 트래픽의 통계적 특성에 대한 상당한 연구가 진행되었는데 연구에 따르면 VBR 트래픽에는 자기 유사성(self-similarity) 특성과 LRD(Long Range Dependency) 특성 등이 있다는 것을 확인할 수 있다<sup>[11][12]</sup>. 자기 유사성은 다중화의 정도와 관계없이 트래픽이 항상 불규칙적인 발생 분포를 나타내는 특성이며, LRD 특성은 트래픽의 시간단위의 상관관계가 오랜 기간 지속되는 특성을 의미한다.

대용량의 방송콘텐츠의 VBR 콘텐츠 전송을 위해서는 MPEG 비디오 트래픽 특성에 대한 연구가 필수적이며, VBR로 전송되는 트래픽으로부터 효과적인 대역폭 관리를 위해 승인제어 알고리즘 중 방송서비스에

적합한 유효 대역폭 추정 알고리즘에 대한 연구가 요구된다.

### 2. 승인제어 알고리즘과 유효 대역폭

본 절에서는 결합된 광대역 채널의 효율적인 사용을 위한 효과적인 VBR 트래픽 대역폭 추정 알고리즘인 유효 대역폭 알고리즘에 대해 살펴본다. 유효 대역폭 알고리즘은 입력요청을 하는 트래픽의 대역폭을 추정하여 효율적으로 승인제어하기 위하여 개발되었다.

승인제어 알고리즘은 크게 연결 요청이 필요한 트래픽의 특성을 미리 안다고 가정한 파라미터 기반 알고리즘과, 실시간 트래픽 측정으로부터 트래픽 특성을 추정하는 측정 기반 알고리즘으로 분류할 수 있다<sup>[13][14]</sup>. 파라미터 기반 알고리즘은 트래픽의 특성을 기준으로 트래픽에 요구되는 대역폭을 계산하여 현재 이용 가능한 대역폭과 비교하여 승인제어를 하는 방식이며, 측정 기반 알고리즘은 실시간 측정을 통해 현재 트래픽 특성을 파악하고 기존에 수락한 트래픽의 특성을 기준으로 새로운 트래픽의 승인여부를 결정하는 방식이다. 따라서 요청된 트래픽 특성을 알고 있는 대용량 방송서비스에서는 파라미터 기반 승인제어 알고리즘을 적용하는 것이 적합하다.

파라미터 기반 승인제어 알고리즘은 비통계적 알고리즘과 통계적 알고리즘으로 구분할 수 있다. 비통계적 알고리즘은 승인제어가 필요한 트래픽의 최대 전송 속도로 대역폭을 고정 할당하는 방법으로 QoS 측면에서는 가장 좋은 알고리즘이다. 그러나 이 알고리즘은 비디오 트래픽과 같이 평균 전송 속도와 최대 전송 속도의 차이가 매우 큰 트래픽에서 채널사용의 효율성이 매우 낮아지는 단점이 있다. 반면에 통계적 알고리즘은 평균 전송 속도와 최대 전송 속도 사이의 적절한 값으로 승인제어하고 실제 서비스는 트래픽 본래의 VBR로 서비스하는 방법으로 통계적 다중화 이득의 장점을 갖는다. 그림 1은 통계적 다중화 이득의 한 예를 나타낸다.

통계적 알고리즘은 통계적 다중화 이득으로 인해 채널사용의 효율성을 높일 수 있지만, 승인제어에 필요한 효율적인 대역폭을 추정하는 과정이 복잡하다. 또한 모든 트래픽에 대한 공통적인 솔루션을 찾는 것이 어려운 단점이 있다. 하지만 본 연구에서는 대용량 방송서비스만을 가정하기 때문에 여러 종류의 트래픽에 대한 고려 없이 단일 VBR 트래픽에 대한 대역폭을 추정함으로써 솔루션을 찾을 수 있다. 이러한 본 연구의 특성으로 본

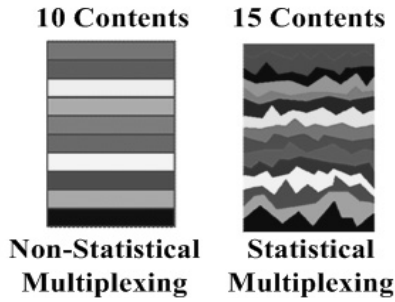


그림 1. 비통계적 다중화와 통계적 다중화의 예  
Fig. 1. Example of non-statistical multiplexing and statistical multiplexing.

논문에서는 채널사용의 효율성을 위해 통계적 승인제어 알고리즘만을 고려한다.

통계적 승인제어 알고리즘의 대표적인 방법으로 유효 대역폭 추정 알고리즘이 있다. 유효 대역폭 추정 알고리즘은 트래픽의 최대 전송 속도와 평균 전송 속도 사이에서 효율적인 대역폭을 추정하는 방법으로, 통계적 다중화 이득으로 인한 채널사용의 효율성 향상 및 요구되는 QoS 보장 등의 장점을 갖는다. 본 논문에서는 Guerin<sup>[7]</sup>, Lee<sup>[8]</sup>, Nagarajan<sup>[10]</sup>이 제안한 세 가지 방식의 유효 대역폭 추정 알고리즘을 살펴보고 그 성능을 분석하여 대용량 방송서비스를 위한 유효 대역폭 추정 알고리즘으로서의 적합성을 평가한다.

### III. 유효 대역폭 추정 알고리즘

#### 1. 가우시안 근사를 통한 유효 대역폭

본 절에서는 Guerin이 제안한 유효 대역폭 추정 알고리즘<sup>[7]</sup>에 대하여 살펴본다. 이 알고리즘은 가우시안 근사(Gaussian Approximation)로 불리며, 알고리즘의 간결함과 정확한 성능으로 대표적인 유효 대역폭 추정 알고리즘 중 하나이다. 이 알고리즘은 독립적인 많은 개수의 VBR 트래픽을 중첩시키면 중첩된 트래픽의 분포가 가우시안 분포를 따르는 특성을 이용하여 유효 대역폭을 계산하였다. 이와 같은 특성은 임의의 서로 독립적인 확률분포에서 추출된 변수의 합은 확률분포의 종류와 상관없이 가우시안 분포를 따른다는 중심 극한 정리(Central Limit Theorem)에 기반하고 있다.

위 알고리즘에서 사용된 시스템 모델은 그림 2와 같다. VBR 트래픽은  $N$ 개의 Markov On-Off 소스로 가정하였고, 수신된 트래픽은  $C_g$ 의 전송 속도로 서비스되며, 서비스되지 못하는 트래픽은 모두 손실로 간주하

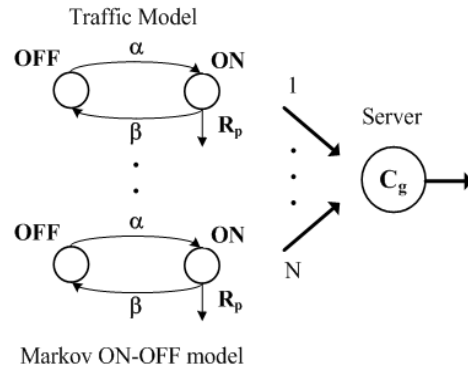


그림 2. 가우시안 근사의 시스템 모델  
Fig. 2. System model of Gaussian approximation.

였다. Markov On-Off 소스는 On 상태와 Off 상태를 갖고, 트래픽은 On 상태에서  $R_p$ 의 크기를 갖는 고정 전송 속도로 생성된다. 그림 2에서  $\alpha$ 는 Off에서 On 상태로의 천이 확률이며,  $\beta$ 는 On에서 Off 상태로의 천이 확률을 나타낸다.

만약 Markov On-Off 모델이 On 상태에 있을 확률을  $p$ 라 하면,  $p = \alpha / (\alpha + \beta)$ 로 쉽게 계산될 수 있다. 확률  $p$ 로부터  $N$ 개의 Markov On-Off 소스에서  $k$ 개의 소스가 On 상태에 있을 확률  $p_k$ 는 이항분포의 특성을 띄며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_k = \binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k} \quad (1)$$

수식 (1)의 평균  $\mu_b$ 와 표준편차  $\sigma_b$ 는 다음과 같이 쉽게 계산 가능하다.

$$\mu_b = pN, \quad \sigma_b = \sqrt{Np(1-p)} \quad (2)$$

이항분포의 평균  $\mu_b$ 와 표준편차  $\sigma_b$ 로부터  $N$ 개의 소스가 중첩된 트래픽의 평균 속도  $\mu_b R_p$ 와 표준편차  $\sigma_b R_p$ 는 다음 수식과 같이 쉽게 유도된다.

$$\mu_b R_p = pNR_p \quad (3)$$

$$\sigma_b R_p = \sqrt{Np(1-p)} R_p \quad (4)$$

따라서  $N$ 개의 소스가 중첩된 트래픽은 중심 극한 정리에 의해 그림 3과 같이 평균 속도  $\mu_b R_p$ 와 표준편차  $\sigma_b R_p$ 를 갖는 가우시안 분포 특성의 트래픽으로 표현될 수 있다.

$$C_g = \mu_b R_p + K_1 \sigma_b R_p \tag{5}$$

트래픽의 확률분포를 안다면 요구되는 손실 확률이  $\epsilon$  이하인 영역을 계산할 수 있으며, 이 영역에서의 전송 속도의 최대값을 유효 대역폭  $C_g$ 으로 간주할 수 있다. 가우시안 근사로부터 손실 확률에 따른 유효 대역폭  $C_g$ 는 평균 속도  $\mu_b R_p$ 와 표준편차  $\sigma_b R_p$ 로부터 아래의 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_1 = \sqrt{2 \ln(1/\epsilon) - \ln(2\pi)} \tag{6}$$

이 때  $K_1$ 은 목표 손실 확률  $\epsilon$ 에 관한 상수로 가우시안 분포로부터 유도된다<sup>[7]</sup>.

위 알고리즘의 저자는 VBR 트래픽을 Markov On-Off 소스에서 생성하여 유효 대역폭을 계산하였다. 하지만 만약 임의의 VBR 트래픽이 주어진다면 VBR 트래픽의 평균과 표준편차의 특성을 파악하여, 이 알고리즘으로부터 트래픽의 유효 대역폭을 계산할 수 있다.

이 알고리즘은 일반적인 VBR 트래픽을 가정하였기 때문에 다양한 트래픽에 대하여 적용이 가능한 장점이 있어 여러 연구<sup>[15-16]</sup>에서 이 방법을 사용하여 VBR 트래픽의 유효 대역폭을 계산하고 있다. 하지만 트래픽이 LRD 특성을 갖는 멀티미디어 트래픽과 같은 경우에는 다수의 VBR 트래픽 스트림이 중첩되어도 트래픽이 가우시안 분포를 따르지 않아, 이 알고리즘으로 정확하게 대역폭을 추정하기에는 어려움이 존재한다. 일반적으로 멀티미디어 트래픽은 LRD 특성이 있기 때문에 정확한 예측을 위해서는 멀티미디어 트래픽 특성을 고려한 효과적인 대역폭 추정 알고리즘이 요구된다. 다음 절에서는 멀티미디어 트래픽인 MPEG 비디오 트래픽을 위한 유효 대역폭 추정 알고리즘에 대하여 살펴본다.

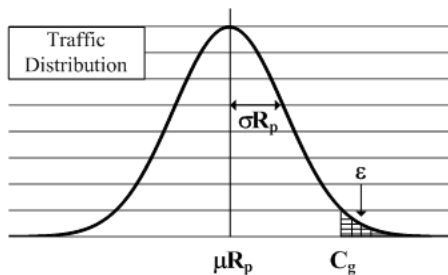


그림 3. 중첩된 트래픽의 가우시안 근사  
Fig. 3. Gaussian approximation of aggregated traffic.

## 2. 비디오 프레임 특성 기반 유효 대역폭

본 절에서는 Lee가 제안한 유효 대역폭 추정 알고리즘<sup>[8]</sup>에 대하여 살펴본다. 이 알고리즘은 멀티미디어 트래픽인 MPEG 비디오 트래픽이 다수개가 중첩되어 전송되는 경우에 MPEG 비디오 트래픽의 특성을 고려하여 유효 대역폭을 예측하는 알고리즘이다.

MPEG 비디오 트래픽은 프레임 타입에 따라 각각 I, B, P-프레임으로 분류되며, 각 프레임은 서로 다른 트래픽 분포 특성을 보인다. 특히, I-프레임은 매 GOP의 시작구간에서 발생하고, B, P-프레임에 비해 수배 이상의 데이터 크기를 갖는 특성이 있다. 이와 같은 특성을 고려하여 이 알고리즘에서는 그림 4와 같이 서로 다른 트래픽 소스들의 I-프레임 시작위치를 달리하여 통계적 다중화 이득을 최대화한다. 일반적으로 I-프레임의 크기에 대한 분포 특성은 가우시안 분포 특성을 가지며 B,P-프레임 트래픽은 프레임 간에 LRD 특성을 보인다<sup>[17-18]</sup>. 이 알고리즘에서는 이러한 프레임 분포 특성을 기반으로 중첩된 I-프레임과 중첩된 B-프레임과 P-프레임의 유효 대역폭을 각각 구하여 합산하는 방식을 사용한다.

이 알고리즘에서 사용된 시스템 모델은 그림 5와 같다. 우리는  $N$ 개의 MPEG VBR 비디오 트래픽이 단일 버퍼와 서버로 구성된 시스템의 입력으로 들어온다고 가정한다. 이때 버퍼의 용량을  $B$ , 서버는 고정 전송 속

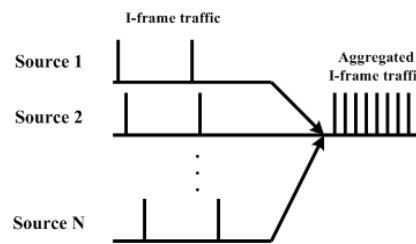


그림 4. 겹치지 않게 중첩된 I-프레임  
Fig. 4. Diagram of asynchronously aggregated I-frame traffic.

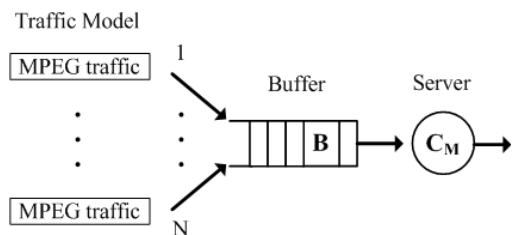


그림 5. 중첩된 MPEG 비디오 트래픽의 시스템 모델  
Fig. 5. System model of Aggregated MPEG video traffic.

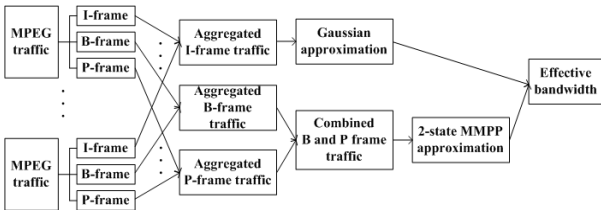


그림 6. 비디오 프레임 기반 유효 대역폭 분석 과정  
Fig. 6. Process of video frame based effective bandwidth.

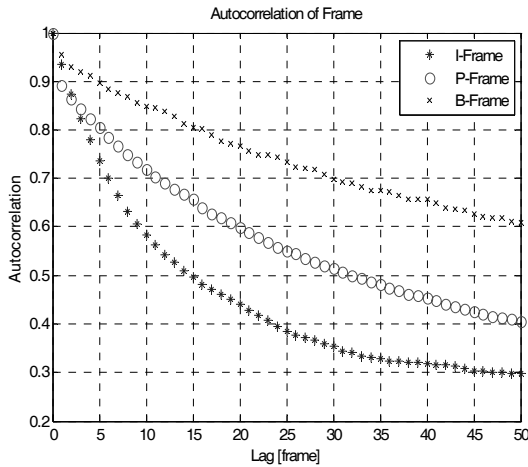


그림 7. I, B, P-프레임의 자기상관함수  
Fig. 7. Autocorrelation functions of I, B, P-frames.

도  $C_M$ 으로 패킷을 서비스한다고 가정한다.

이러한 시스템 모델에서 MPEG 비디오 트래픽의 프레임 별 유효 대역폭 추정 과정은 그림 6과 같다. 우선  $N$ 개의 MPEG 비디오 트래픽에 대하여 프레임 별로 앞에서 설명한 방식으로 중첩시킨다. 중첩된 I-프레임은 가우시안 근사 방법으로 유효 대역폭을 예측하며, 중첩된 B, P-프레임은 하나의 2-상태 MMPP(Markov Modulated Poisson Process) 모델로 변환하여 유효 대역폭을 계산한다.

먼저 I-프레임 트래픽의 유효 대역폭 계산 방식은 다음과 같다. 중첩된 I-프레임 트래픽은 프레임 트래픽의 가우시안 분포 특성과 프레임간의 상관관계가 매우 적은 특성을 갖는다. 이러한 특성으로 인해 중첩된 I-프레임의 유효 대역폭  $C_I$ 는 기존의 가우시안 근사 방법으로 계산이 가능하며 다음 수식과 같이 정리 될 수 있다.

$$C_I = \mu_I + K_2 \sigma_I \tag{7}$$

$$K_2 = \sqrt{2 \ln(1/\epsilon) - \ln(2\pi)} \tag{8}$$

여기서  $\mu_I$ 와  $\sigma_I$ 는 중첩된 I-프레임 트래픽의 평균과 표준편차를 나타내며,  $K_2$ 는 손실 확률  $\epsilon$ 에 따른 상수이다.

이전에 발생한 트래픽과의 상관관계가 적은 I-프레임 트래픽과 달리, B 및 P-프레임의 트래픽은 이전 발생한 트래픽과 높은 상관관계를 가진다. 그림 7은 상관관계를 확인하기 위한 예로 영화 주라기 공원 1의 MPEG 비디오 트래픽<sup>[19]</sup> 프레임 별 자기상관함수를 나타낸다. I-프레임 트래픽과 비교하여 B 및 P-프레임의 트래픽은 상당한 시간 이후에도 비교적 높은 상관관계를 갖는 LRD 특성을 보인다. 이러한 LRD 특성을 갖는 중첩된 B 및 P-프레임은 2-상태 MMPP로 모델링이 가능하며<sup>[8]</sup>, 중첩된 B 및 P-프레임 트래픽을 모델링하기 위한 2-상태 MMPP 모델은 그림 8과 같다.

2-상태 MMPP 모델 방법은 다음과 같다. 2-상태 MMPP 모델은 High 상태와 Low 상태의 두 상태를 갖고, 각각의 상태에서  $\lambda_{high}$ 와  $\lambda_{low}$ 의 고정 전송 속도로 트래픽을 생성한다. High 상태에서 Low 상태, Low 상태에서 High 상태로의 천이 확률은 각각  $r_{high}$ ,  $r_{low}$ 의 확률로 이루어진다. 각 상태에서의 전송 속도  $\lambda_{high}$ ,  $\lambda_{low}$ 와 천이 확률  $r_{high}$ ,  $r_{low}$ 는 Heffes의 매칭기법을 이용하여 아래와 같이 구할 수 있다<sup>[20]</sup>.

$$\lambda_{high} = \mu_{BP} + \sqrt{\sigma_2/\eta} \tag{9}$$

$$\lambda_{low} = \mu_{BP} - \sqrt{\sigma_2/\eta} \tag{10}$$

$$r_{high} = \frac{\ln(1/R(1))}{(1+\eta)} \tag{11}$$

$$r_{low} = \frac{\eta \ln(1/R(1))}{(1+\eta)} \tag{12}$$

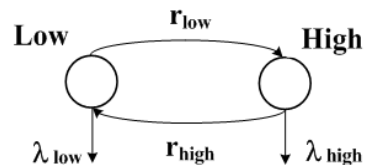


그림 8. 중첩된 B, P-프레임 트래픽의 2-State MMPP 모델

Fig. 8. 2-State MMPP model of aggregated B-frame and P-frame.

이 때,  $\mu_{BP}$ 는 중첩된 B 및 P-프레임 트래픽의 평균 전송 속도이며,  $\sigma_2$ 는 중첩된 B 및 P-프레임의 2차 중심 모멘트이다.  $R(1)$ 은 중첩된 B 및 P-프레임의 Lag 1 자기상관함수이며, 현재 프레임과 다음 프레임의 상관 관계를 의미한다. 수식의 간편화를 위해  $\eta$ 는 중첩된 B 및 P-프레임의 2차 중심 모멘트  $\sigma_2$ 와 3차 중심 모멘트  $\sigma_3$ 를 정리한 상수로 다음과 같이 주어진다.

$$\eta = 1 + \frac{\delta}{2}(\delta - \sqrt{4 + \delta^2}) \quad (13)$$

$$\delta = \frac{\sigma_3}{\sigma_2^{3/2}} \quad (14)$$

$\mu_{BP}$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $R(1)$ 은  $N$ 개의 MPEG 비디오 트래픽 특성으로부터 아래 수식과 같이 쉽게 얻을 수 있다<sup>[8]</sup>.

$$\mu_{BP} = \sum_{i=1}^N (\mu_{B,i} + \mu_{P,i}) \quad (15)$$

$$\sigma_2 = \sum_{i=1}^N (\sigma_{2B,i} + \sigma_{2P,i}) \quad (16)$$

$$\sigma_3 = \sum_{i=1}^N (\sigma_{3B,i} + \sigma_{3P,i}) \quad (17)$$

$$R(1) = \sum_{i=1}^N \{(\sigma_{2B,i} R_{B,i}(1)) + (\sigma_{2P,i} R_{P,i}(1))\} / \sigma_2 \quad (18)$$

여기서  $\mu_{B,i}$ 와  $\mu_{P,i}$ 는 각각  $N$ 개의 MPEG 비디오 트래픽에서  $i$ 번째 MPEG 비디오의 B-프레임 트래픽과 P-프레임 트래픽의 평균 전송 속도를 의미한다.  $\sigma_{2P,i}$ 와  $\sigma_{2B,i}$ 는 각각  $i$ 번째 B-프레임과 P-프레임 트래픽의 2차 중심 모멘트이며,  $\sigma_{3B,i}$ 와  $\sigma_{3P,i}$ 는 각각  $i$ 번째 B-프레임과 P-프레임 트래픽의 3차 중심 모멘트이다. 또한  $R_{B,i}(1)$ 와  $R_{P,i}(1)$ 는 각각  $i$ 번째 B-프레임과 P-프레임에서의 Lag 1 자기상관함수이다.

위의 결과로부터 중첩된 B 및 P-프레임 트래픽은 2-상태 MMPP 모델로 트래픽 모델링하고, 2-상태 MMPP 모델에서 생성된 트래픽으로부터 유효 대역폭  $C_{BP}$ 를 계산한다. 그림 5와 같은 시스템에서 중첩된 B 및 P-프레임 트래픽은  $B$ 의 크기를 갖는 버퍼와  $C_{BP}$ 의 전송 속도를 갖는 서버로 서비스된다. 따라서 패킷 손실 확률이  $\epsilon$ 이하인 유효 대역폭  $C_{BP}$ 는 다음의 수식

과 같이 정리될 수 있다<sup>[8]</sup>.

$$C_{BP} = (\lambda_{high} - \lambda_{low}) \frac{y - B + \sqrt{(y - B) + 4B\rho y}}{2y} + \lambda_{low} \quad (19)$$

$$y = \ln(1/\epsilon)(1 - \rho)(\lambda_{high} - \lambda_{low}) / r_{low} \quad (20)$$

$$\rho = \frac{r_{low}}{r_{high} + r_{low}} \quad (21)$$

여기서  $y$ 는 수식의 간략화를 위한 상수이며,  $\rho$ 는 High와 Low의 2가지 상태 중에서 Low 상태에 있을 확률이다.

결과적으로, 그림 5의 시스템 모델에서 패킷 손실 확률이  $\epsilon$ 이하인 유효 대역폭  $C_M$ 은 수식 (7)로부터 얻어진 중첩된 I-프레임 트래픽의 유효 대역폭  $C_I$ 와 수식 (19)로부터 얻어진 중첩된 B-프레임과 P-프레임의 유효 대역폭  $C_{BP}$ 의 합으로 계산된다.

$$C_M = C_I + C_{BP} \quad (22)$$

본 절의 알고리즘은 MPEG 비디오 트래픽을 사용하여 MPEG 트래픽 특성이 반영된 유효 대역폭을 추정하였다. 따라서 MPEG 비디오 트래픽을 사용하는 대용량 방송시스템에서 이 알고리즘을 통한 유효 대역폭 추정이 타 알고리즘의 유효 대역폭 추정보다 더 정확한 결과를 제시할 수 있다. 이 절의 알고리즘은 1 절의 가우시안 근사를 통한 알고리즘과 마찬가지로 다수개의 트래픽이 중첩되어야만 보다 정확한 유효 대역폭을 추정할 수 있다. 이러한 특성은 소수개의 트래픽이 서비스되는 경우에서 유효 대역폭의 부정확성을 야기한다. 따라서 다음 절에서는 소수개의 트래픽 서비스를 위한 유효 대역폭을 계산하기 위하여, MPEG 비디오 트래픽 특성의 단일 트래픽에 대한 유효 대역폭 추정 알고리즘을 분석한다.

### 3. 가우시안 트래픽 기반 유효 대역폭

본 절에서는 Nagarajan이 제안한 유효 대역폭 추정 알고리즘<sup>[10]</sup>에 대하여 살펴본다. 이 알고리즘은 버스트 구간에서의 손실 확률에 기반을 두어 트래픽의 유효 대역폭을 계산하는 알고리즘이다. 이 알고리즘에서는 버스트 구간과 비 버스트 구간이 주기적으로 반복되고 다음 버스트 구간이 시작되는 시점에서는 버퍼가 비워져

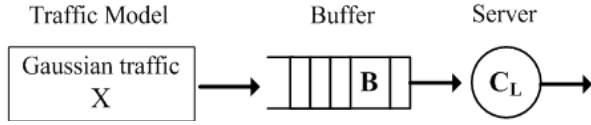


그림 9. 가우시안 트래픽의 시스템 모델  
Fig. 9. System model of Gaussian traffic.

있다고 가정한다. 위와 같은 특성의 이 알고리즘은 버스트한 I-프레임이 주기적으로 반복되는 MPEG 비디오 트래픽의 GOP 특성을 효과적으로 반영하여, MPEG 비디오 트래픽을 위한 유효 대역폭 추정 알고리즘으로 제안되었다.

만약 트래픽 소스가 일정한 시간마다 가우시안 분포 특성을 갖는 트래픽을 생성한다면, 버스트 구간에서 발생한 트래픽의 양이 시스템 전송용량을 초과할 확률을 쉽게 도출할 수 있고, 이로부터 일정 손실 확률을 보장하는 유효 대역폭을 쉽게 계산할 수 있다. 유효 대역폭 계산을 위한 시스템 모델은 그림 9와 같다. 입력 소스  $X$ 는 일정 시간마다 평균이  $\mu$ 이고 분산  $\sigma^2$ 인 가우시안 분포의 패킷 크기를 갖는 트래픽을 생성하고, 트래픽은  $B$  용량의 버퍼를 통과하여  $C_L$ 의 고정 전송 속도로 서비스된다.

입력 소스  $X$ 로부터  $n$  시간에서 생성된 버스트 트래픽을  $\{x(n)\}$ 라 하자. 만약  $s$  시간 동안의 버스트 구간에서 오버플로가 발생한다면 오버플로가 발생하는 상황은 아래의 수식을 만족하는 경우라 할 수 있다.

$$\{x(1)+\dots+x(s) > sC_L + B\} \quad (23)$$

위의 가정으로부터  $\epsilon$ 이하의 패킷 손실 확률  $P_r$ 을 갖기 위해서는 대역폭  $C_L$ 과 버퍼 용량  $B$ 는 아래의 수식을 만족해야한다.

$$P_r\{x(1)+\dots+x(s) > sC_L + B\} < \epsilon \quad (24)$$

$\{x(n)\}$ 가 정상(Stationary) 가우시안 소스라 가정하면,  $\{x(n)\}_{n=1}^s$ 으로부터 얻어지는 표본 평균  $\overline{X}_s$  역시 중심 극한 정리에 의해 가우시안 랜덤 변수이다. 여기서,  $\{x(n)\}_{n=1}^s$ 의 표본 평균  $\overline{X}_s$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$\overline{X}_s = \frac{1}{s} \{x(1)+\dots+x(s)\} \quad (25)$$

이 때,  $\overline{X}_s$ 의 평균은  $\mu$ 이고 분산은  $\gamma_s/s$ 이다. 여기서  $\gamma_s$ 는 버스트 구간 트래픽의 분산을 자기공분산

$$\gamma_s = \sum_{|\tau| < s} \left(1 - \frac{|\tau|}{s}\right) c_{2x}(\tau) \quad (26)$$

$c_{2x}$ 의 함으로 표현한 함수이며,  $\tau$ 는 쉬프트 되는 시간을 나타낸다.

일반적으로 비디오 트래픽은 LRD 특성을 가지며, LRD 특성을 갖는 트래픽의 자기공분산은 다음과 같이 멱함수의 형태를 보인다고 알려져 있다<sup>[10]</sup>.

$$c_{2x}(\tau) \approx \kappa |\tau|^{-m} \quad (27)$$

여기서,  $\kappa$ 와  $m$ 은 각각  $\kappa \neq 0$ ,  $0 < m < 1$  범위에서의 상수 값을 갖는다.

기존의 가우시안 트래픽에서 LRD 특성을 반영하기 위하여 수식(27)을 수식(26)에 대입하면 LRD 특성이 반영된  $\gamma_s$ 를 다음과 같이 구할 수 있다<sup>[10]</sup>.

$$\gamma_s = \frac{2\kappa}{(1-m)(2-\kappa)} s^{1-m} \quad (28)$$

또한 수식 (24)는 수식(25)로부터 아래와 같이 다시 정리 될 수 있다.

$$P_r\left\{\overline{X}_s > C_L + \frac{B}{s}\right\} < \epsilon \quad (29)$$

가우시안 분포의 특성으로부터 평균  $\mu$ 와 분산  $\sigma^2$ 을 갖는 가우시안 랜덤 변수  $X$ 가 상수  $a$ 보다 클 확률의 상한을 아래와 같이 정의한다.

$$P_r\{X > a\} \leq \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{(a-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad a \geq \mu \quad (30)$$

따라서 가우시안 랜덤 변수  $\overline{X}_s$ 가  $\epsilon$ 이하의 패킷 손실 확률을 만족하려면 확률 이론의 상한으로부터 다음의 수식과 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$\frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\left(C_L + \frac{B}{s} - \mu\right)^2}{\frac{2}{s}\gamma_s}\right) \leq \epsilon \quad (31)$$

수식 (31)을  $C_L$ 에 관하여 정리하면 버퍼 사이즈가  $B$ 인 상황에서 패킷 손실 확률이  $\epsilon$ 이하인 유효 대역폭을 구할 수 있으며, 유효 대역폭  $C_L$ 은 다음과 같다.



$$C_L = \sqrt{\frac{2}{s} \gamma_s \left( \ln\left(\frac{1}{2}\right) - \ln(\epsilon) \right)} + \mu - \frac{B}{s} \quad (32)$$

이 알고리즘은 중첩된 트래픽의 유효 대역폭이 아닌 단일 스트림의 유효 대역폭을 계산한다는 점에서 앞서 설명한 알고리즘들과 차이를 갖는다. 또한 전체 시계열 관점에서가 아닌 버스트 구간에서의 손실 확률로 유효 대역폭을 계산하였기 때문에 전체적인 관점에서는 더 낮은 손실 확률을 보여줄 것으로 예상된다.

### IV. 성능 분석

본 장에서는 III 장에서 기술한 세 가지의 유효 대역폭 추정 알고리즘을 HFC 망 기반 대용량 방송 시스템에 적용하여 알고리즘의 성능 분석 및 평가를 수행한다. 본 장의 1 절에서 시뮬레이션 환경에 대하여 설명하고, 2 절에서 알고리즘의 성능 분석 및 평가를 수행한다.

#### 1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션에서 HFC 망 기반 대용량 방송 시스템은 그림 10과 같이 개략적으로 구성된다. 스트림 분배기는 헤드엔드 내에 구성되며, 다수의 대용량 방송콘텐츠를 HFC 망 채널로 분배하는 역할을 담당한다. 다수의 대용량 방송콘텐츠가 분배기에 들어오면, 스트림 분배기는 QoS 요구사항을 만족하도록 각 콘텐츠마다 채널을 할당하고, 각 채널은 일정한 전송 속도로 콘텐츠를 서비스한다. HFC 망을 통하여 전송된 콘텐츠는 셋톱박스의 스트림 디코더로 전송되어 패킷들의 재 정렬 후 콘텐츠별 TS로 출력된다.

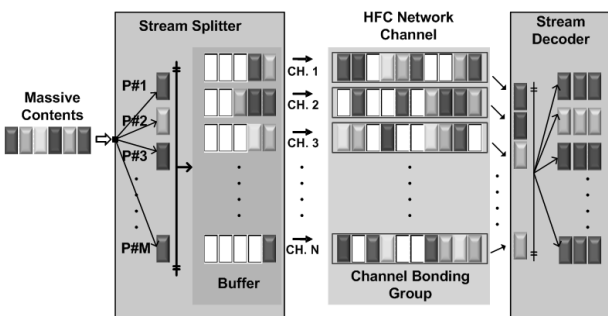


그림 10. HFC 망에서의 채널 결합을 통한 대용량 방송 시스템  
Fig. 10. Broadcasting system for massive broadcasting contents with channel bonding in HFC networks.

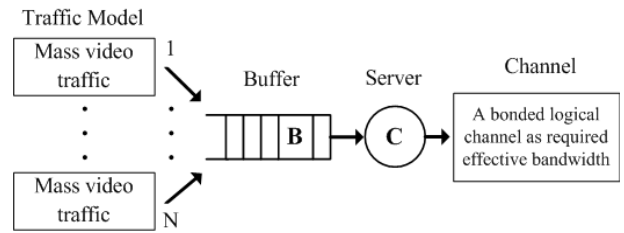


그림 11. 시뮬레이션을 위해서 단순화된 모델  
Fig. 11. Simplified Model for Simulation.

본 연구에서는 유효 대역폭 추정 알고리즘들의 성능 평가를 위하여, 그림 10의 대용량 방송 시스템은 그림 11의 모델과 같이 HFC 망을 다수의 채널이 결합되어 하나의 논리적 채널을 갖는 시스템 모델로 단순화하였다.

성능 평가는 다음과 같이 진행된다. 우선 두 번째 알고리즘인 비디오 프레임 특성 기반 유효 대역폭 추정 알고리즘의 가정을 만족시키기 위해서, 다수개의 입력 트래픽의 I-프레임이 겹치지 않도록 중첩시킨다. 중첩된 트래픽 특성을 각 알고리즘에 적용하여 트래픽의 유효 대역폭을 계산한다. 각 알고리즘의 시뮬레이션에서는 그림 11과 같이 중첩된 트래픽을 QoS 파라미터로부터 구한 버퍼 크기와 계산된 유효 대역폭의 전송 용량을 갖는 서버로 서비스하여 패킷 손실률을 측정한다. 측정된 패킷 손실률을 기반으로 알고리즘의 성능을 평가한다.

시뮬레이션에서는 2010년 8월 15일 방송된 SBS 인기 가요 HD 방송의 TS를 분석하여 각 프레임 크기를 4배 키운 TS 트레이스 파일을 대용량 방송 트래픽으로 사용하였다. 제작된 대용량 방송 트래픽 특성으로 평균 전송 속도와 최대 전송 속도는 각각 약 18Mbps, 80Mbps의 값을 갖고, 2차 중심 모멘트 및 3차 중심 모멘트는 각각 약  $1.23 \times 10^{14}$ ,  $1.63 \times 10^{21}$ 이며 Lag 1 자기상관함수  $R(1)$ 은 0.8707의 값을 갖는다. 제작된 대용량 방송 트래픽을 중첩시킨 트래픽 특성은 표 1과 같다. 표 1은 제작된 대용량 방송 트래픽을 1~11개 중첩시킨 경우로, 다수의 트래픽을 중첩시킬수록 평균 전송 속도는 선형적으로 증가하는 반면에 중첩된 트래픽 개수 당 최대 전송 속도는 통계적 다중화 이득으로 인해 감소하는 것을 확인할 수 있다.

시뮬레이션은 OPNET 시뮬레이터를 사용하고, 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값은 표 2와 같다. 성능 평가를 위한 시나리오는 크게 두 가지로, 시나리오 1에서

표 1. 중첩된 대용량 방송 트래픽 특성  
Table 1. Characteristic of aggregated high-capacity traffic.

Aggregated sources	Avg. rate (Mbps)	Peak rate (Mbps)	Averaged peak rate for single source (Mbps/sources)
1	18.1698	80.2414	80.2414
3	54.5094	112.9895	37.6631
5	90.8491	157.7996	31.5592
7	127.1887	194.3445	27.7635
9	163.5284	246.2654	27.3628
11	199.8680	283.8136	25.8012

표 2. 시뮬레이션 파라미터  
Table 2. Simulation Parameters.

Items	Value	
Aggregated sources	5	9
Buffer size (packets)	1400~1500	4850~5450
Packet loss ratio	$10^{-6} \sim 10^{-4}$	

는 대용량 방송 트래픽이 5개가 중첩되었을 경우의 알고리즘에 따른 성능 평가를 수행하고, 시나리오 2에서는 위와 동일한 트래픽이 9개가 중첩되었을 경우에서의 알고리즘에 따른 성능 평가를 수행한다.

ITU-T Y.1541에서는 IPTV를 위한 QoS 요구조건으로 패킷 손실률을  $10^{-5}$  이하로, 전송 지연을 100ms 이하로 규정하고 있다<sup>[6]</sup>. 현재 대용량 방송서비스를 위한 QoS 표준이 정해지지 않았기 때문에, 시뮬레이션에서는 ITU-T Y.1541의 요구조건을 고려하여 패킷 손실률이  $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 인 범위에서 성능을 측정하였다.

시뮬레이션에서는 지연 발생이 버퍼에서만 일어난다고 가정하고, 버퍼 용량을 초과하여 들어오는 패킷을 손실로 간주하였다. 시뮬레이션에서는 버퍼 지연만을 고려하였기 때문에 전송 지연 등을 고려하여 IPTV를 위한 전송 지연의 반인 50ms를 넘지 않는 버퍼의 크기를 가정하였다. 버퍼의 크기는 TS 패킷 단위이며 1400 패킷인 경우에는 1400개의 TS 패킷이 저장 가능함을 의미한다.

시나리오 1, 2에서 중첩된 트래픽의 유효 대역폭은 표 1로부터 각각 평균 전송 속도와 최대 전송 속도 사이인 약 91~157Mbps사이와 약 163~246Mbps사이에 존재하게 된다. 따라서 전송 지연이 50ms이하인 값을 제공하기 위해서는 버퍼 크기가 각각 약 5200 패킷과 약 7100 이하의 값이어야 한다. 본 연구에서는 이를 위해, 시나리오 1에서는 1400~1500 패킷의 버퍼 크기를 가정하고, 시나리오 2에서는 4850~5450 패킷의 버퍼

크기를 가정하여 시뮬레이션 한다.

2. 성능 분석

본 절에서는 앞에서 언급한 세 가지 유효 대역폭 추정 알고리즘에 대한 성능을 평가한다. 성능 평가는 앞서 언급한 두 가지 시나리오로 이루어지며, 아래와 같은 과정을 통해 수행된다. 우선 평균 전송 속도와 최대 전송 속도 범위 내의 전송 속도로 중첩된 실제 트래픽을 서비스하여, 버퍼 크기와 서비스 전송 속도에 따른 실제 패킷 손실률을 측정한다. 그리고 측정된 패킷 손실률과 시뮬레이션에 적용된 버퍼 크기를 각 알고리즘의 수식에 대입하여 유효 대역폭을 계산하고 이상적인 유효대역폭과 비교 분석한다.

시나리오 1은 5개의 대용량 방송 트래픽이 중첩된 경우에서의 각 알고리즘에 대한 성능 평가다. 시나리오 1에서의 전송 속도에 따른 패킷 손실률은 그림 12와 같다. 사용된 실제 입력 트래픽이 약  $2 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-5}$ 의 패킷 손실률을 갖기 위해 버퍼 크기가 1500 패킷인 경우 최대 전송 속도 대비 81~85%의 전송 대역폭을 필요로 하였다. 또한 버퍼 크기가 1450 패킷인 경우 최대 전송 속도 대비 85~89%, 버퍼 크기가 1400 패킷인 경우 최대 전송 속도 대비 89~93%의 전송 대역폭을 필요로 하는 것을 확인할 수 있다. 버퍼 크기가 클수록 동일한 패킷 손실률을 갖기 위해 더 적은 대역폭을 필요로 하는 것을 확인할 수 있으며, 전송 대역폭에 따른 패킷 손실률이 일정한 구간 내에서 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다.

버퍼 크기가 1400 패킷인 경우에서 측정된 패킷 손실

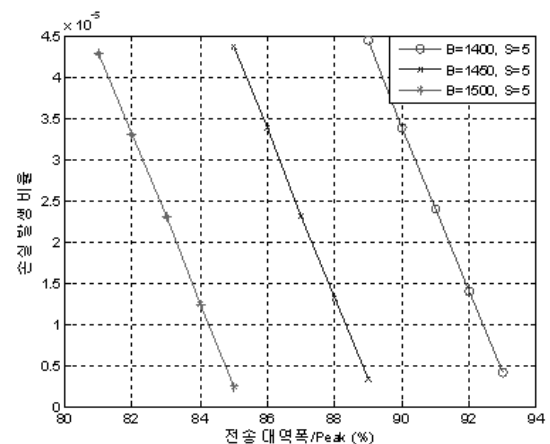


그림 12. 전송 속도에 따른 트래픽 손실 비율, S=5  
Fig. 12. Loss ratio as a transmission bandwidth, S=5.

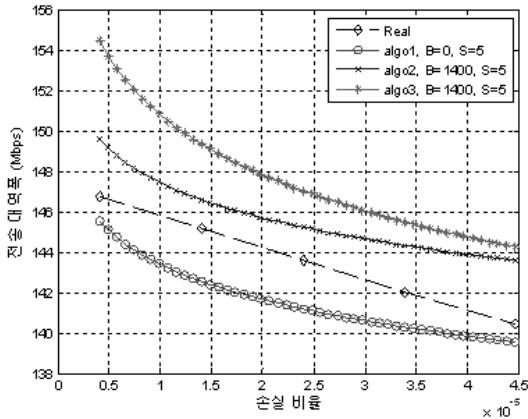


그림 13. 손실 비율에 따른 전송 대역폭, B=1400  
Fig. 13. Transmission bandwidth as a loss ratio, B=1400.

를 각 알고리즘에 대입하여 유효 대역폭을 구하였을 때 실제 서비스에 필요한 대역폭과 비교한 결과는 그림 13과 같다. 주어진 패킷 손실률을 발생하는 실제 전송 대역폭과 비교하여 가우시안 근사를 통한 유효 대역폭 추정 알고리즘(알고리즘 1)은 실제 전송 대역폭보다 낮은 대역폭을 산출한 것을 볼 수 있다. 이것은 실제로 허용한 패킷 손실보다 더 많은 손실을 발생하는 대역폭을 산출한 것을 의미하며, 그 이유는 MPEG-2 스트림과 같은 멀티미디어 트래픽은 LRD 특성에 의해 다수의 스트림이 중첩되어도 가우시안 분포와는 많은 차이를 가지기 때문이다. 비디오 프레임 특성 기반 유효 대역폭(알고리즘 2)과 가우시안 트래픽 기반 유효 대역폭(알고리즘 3)은 실제 전송 대역폭보다 큰 대역폭을 산출하였으며, 이는 허용한 패킷 손실률보다 더 낮은 패킷 손실률을 가지는 대역폭을 산출한 것을 의미한다. 하지만 알고리즘 3은 실제 전송 대역폭과 알고리즘 2에 비해 비교적 높은 대역폭을 산출하였다. 알고리즘 3의 위와 같은 결과는 버스트 구간만의 패킷 손실률로 대역폭을 결정하는 알고리즘 3의 특성 때문에 전체적인 관점에서는 실제 손실보다 낮은 패킷 손실을 발생하도록 만들기 때문이다.

그림 14와 그림 15는 각각 버퍼의 크기가 1450, 1500 패킷인 경우에서 측정된 패킷 손실률을 각 알고리즘에 대입하여 유효 대역폭을 구하였을 때 실제 서비스에 필요한 대역폭과 비교한 결과이다. 버퍼가 증가할수록 패킷 손실률에 따른 실제 전송 대역폭이 감소한 모습을 확인할 수 있으며, 버퍼 크기를 고려하지 않는 알고리즘 1을 제외한 알고리즘 2와 알고리즘 3의 유효 대역

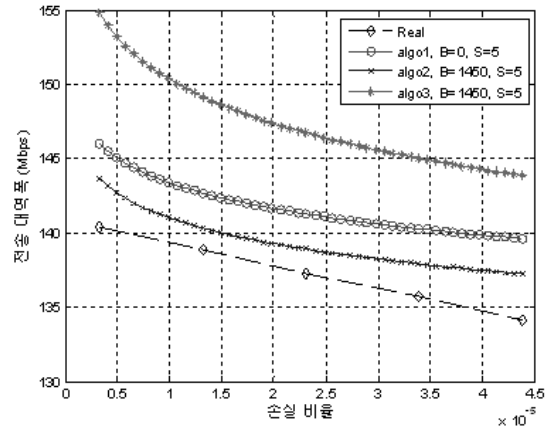


그림 14. 손실 비율에 따른 전송 대역폭, B=1450  
Fig. 14. Transmission Bandwidth as a Loss ratio B=1450.

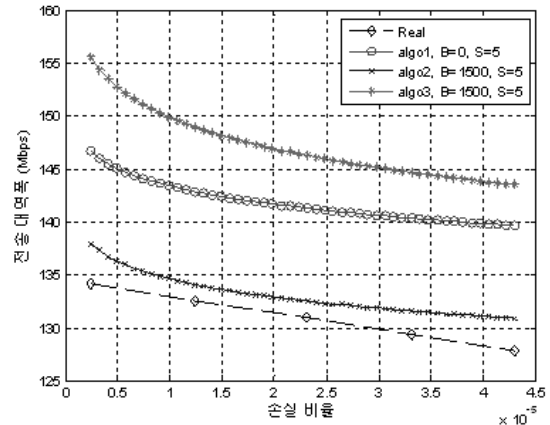


그림 15. 손실 비율에 따른 전송 대역폭, B=1500  
Fig. 15. Transmission bandwidth as a loss ratio B=1500.

폭 또한 모두 낮아진 것을 확인할 수 있다. 알고리즘 2의 유효 대역폭은 실제 전송 대역폭을 따라서 감소하는 모습을 보이고 있으며, 알고리즘 3의 유효 대역폭은 버퍼 크기의 변화에 따라 대역폭이 감소하였지만 실제 전송 대역폭과는 큰 차이를 보인다. 이로부터 버퍼 크기가 1450, 1500 패킷인 경우에도 알고리즘 2가 가장 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

시나리오 2는 9개의 대용량 방송 트래픽이 중첩된 경우에서의 각 알고리즘에 대한 성능 평가다. 시나리오 2에서의 전송 속도에 따른 패킷 손실률은 그림 16과 같다. 사용된 실제 입력 트래픽이 약  $2 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ 의 패킷 손실률을 갖기 위해 버퍼 크기가 5450 패킷인 경우 최대 전송 속도 대비 83~84.5%의 전송 대역폭을 필요로 하였다. 또한 버퍼 크기가 5150 패킷인 경우 최대 전송 속도 대비 86~89%, 버퍼 크기가 4850 패킷인 경우

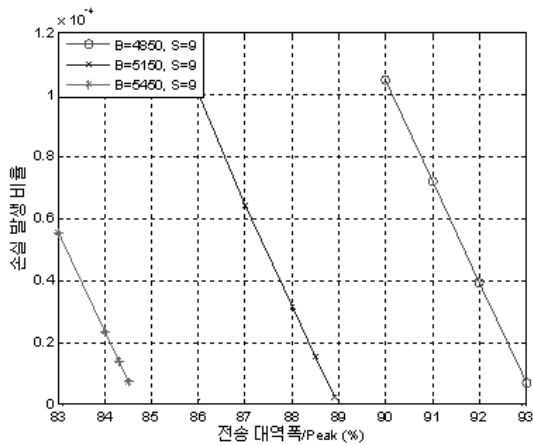


그림 16. 전송률에 따른 트래픽 손실 비율, S=9  
Fig. 16. Loss ratio as a transmission bandwidth, S=9.

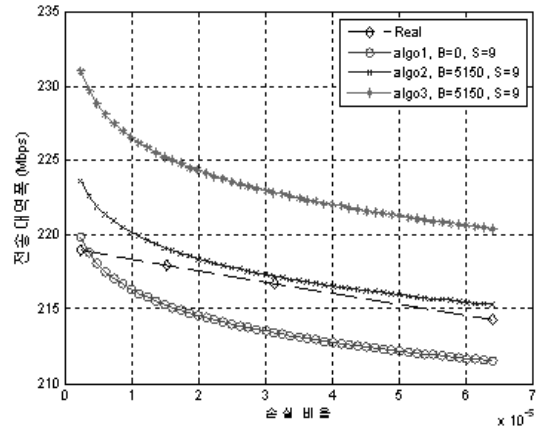


그림 18. 손실 비율에 따른 전송 대역폭, B=5150  
Fig. 18. Transmission bandwidth as a loss ratio, B=5150.

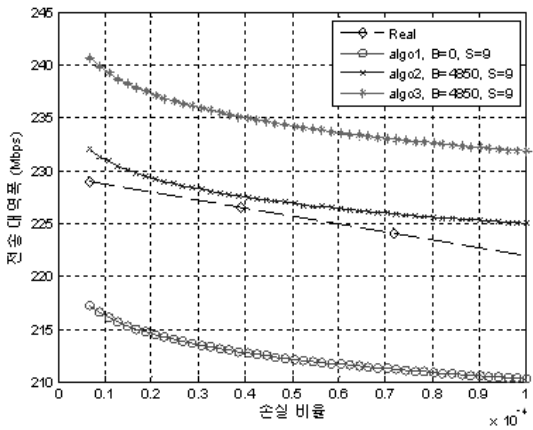


그림 17. 손실 비율에 따른 전송 대역폭, B=4850  
Fig. 17. Transmission bandwidth as a loss ratio, B=4850.

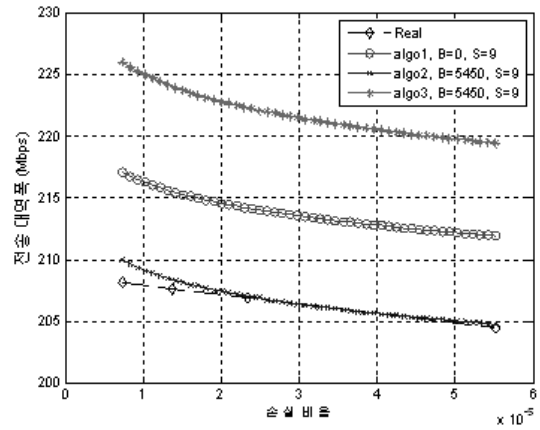


그림 19. 손실 비율에 따른 전송 대역폭, B=5450  
Fig. 19. Transmission bandwidth as a loss ratio, B=5450.

최대 전송 속도 대비 90~93%의 전송 대역폭을 필요로 하는 것을 확인할 수 있다. 시나리오 1에서의 결과와 같이 버퍼 크기가 클수록 동일한 패킷 손실률을 갖기 위해 더 적은 대역폭을 필요로 하는 것을 확인할 수 있고, 전송 대역폭에 따른 패킷 손실률이 선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다.

버퍼 사이즈가 4850 패킷인 경우에서 측정된 패킷 손실률을 각 알고리즘에 대입하여 유효 대역폭을 구하였을 때 실제 서비스에 필요한 대역폭과 비교한 결과는 그림 17과 같다. 중첩된 5개 대용량 방송 트래픽과 비교하여 9개의 대용량 방송 트래픽이 중첩된 경우가 더 높은 대역폭을 필요로 하는 것을 알 수 있으며, 중첩된 5개 대용량 방송 트래픽과 동일하게 최대 전송 속도 대비 90~93%의 전송 대역폭에서는 알고리즘 1이 실제 전송에 필요한 대역폭보다 낮은 대역폭을 산출하는 것

을 확인할 수 있고 알고리즘 2의 유효 대역폭이 실제로 요구되는 대역폭과 가장 근접한 대역폭 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그림 18과 그림 19에서는 버퍼 크기가 5150 패킷인 경우와 5450 패킷인 경우의 결과를 나타낸다. 버퍼 크기 증가로 인한 효과가 5개의 대용량 방송 트래픽이 중첩되었을 때와 유사하게 나타나는 결과를 확인할 수 있다.

성능 평가로부터 알고리즘 1은 다른 알고리즘들과는 달리 실제트래픽의 손실비율을 보장하기 위해 필요한 대역폭보다 적은 유효대역폭을 계산할 수 있어 QoS에 적합하지 않다. 알고리즘 3은 지나치게 높은 대역폭을 산출하여 전송 대역 사용 측면에서 효율성이 떨어진다. 모든 경우에서 알고리즘 2의 유효 대역폭 측정이 실제로 요구되는 대역폭에 가장 근접한 대역폭 값을 계산하는 것을 알 수 있다. 이로부터 알고리즘 2와 같이 MPEG-2

특성을 고려한 유효대역폭 추정방식이 대용량 방송 서비스에 가장 적합하다는 것을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

현재 채널당 38.8Mbps의 대역폭을 갖는 HFC 망에서는 약 80~320Mbps의 전송 속도가 필요할 것으로 예상되는 대용량 방송콘텐츠를 단일 채널로 전송하는 것이 불가능하다. 대용량 방송콘텐츠의 전송을 위해 단위 채널당 전송 용량을 늘리는 방법도 개발되고 있지만 기존의 기반 네트워크의 변경 없이 다수의 채널을 결합시켜 논리적인 하나의 광대역 채널로 변경하여 데이터를 병렬 전송하는 채널 결합 방식이 각광받고 있다. 이러한 채널 결합을 이용한 전송 방식은 하나의 대용량 방송콘텐츠를 전송하기 위하여 다수의 채널을 결합하기 때문에 채널 자원의 부족이 예상되기 때문에, 결합된 채널의 효율적인 전송 대역 사용이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 기존의 VBR 트래픽 대역폭 추정 알고리즘들에 대해 살펴보고 그 성능을 분석하여 채널 결합 기반 대용량 방송 서비스로의 적합성을 평가하였다.

중첩되는 트래픽의 개수와 버퍼 크기를 달리하여 총 6가지의 경우에서 모두 알고리즘 2가 실제 전송에 필요한 대역폭과 가장 유사한 결과를 보여주었고, 모든 환경에서 주어진 손실 비율보다 낮은 손실 비율을 가지는 유효 대역폭을 산출하였다. 알고리즘 3 역시 모든 환경에서 주어진 손실 비율보다 낮은 손실 비율을 보여주었지만 알고리즘 2에 비하여 실제 전송에 필요한 대역폭보다 매우 높은 대역폭을 산출하는 결과를 보여주었다. 알고리즘 1은 특성상 멀티미디어 트래픽인 MPEG-2 스트림에 대한 효과적인 대역폭 추정이 어렵다는 결과를 보여주었다. 성능 평가 결과를 고려하였을 때 대용량 방송서비스를 위해서는 알고리즘 2의 유효 대역폭 추정 방법이 가장 적절하다. 향후 연구과제로는 추정된 유효 대역폭에 따라 동적으로 채널을 결합하는 MAC 프로토콜 및 결합된 채널 사이에 적절하게 자원을 할당 하는 연구가 필요할 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

[1] 정세운, 조숙희, 이응돈, 김성훈, 최진수, 홍진우, "UHDTV 기술현황과 전망," 전자공학회지, 제36권, 제4호, pp. 427-435, 2009년 4월

- [2] "UHDTV Roadmap", ICT Standardization Roadmap 2010
- [3] 정세운, 조숙희, 김성훈, 이응돈, 서정일, 강경옥, 박상규, 최진수, "UHDTV 서비스 기술 특허 동향 분석," 제24권, 제1호, 2009년 2월
- [4] Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.0, MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification, CM-SP-MULPI v3.0-I08-080522, Cable Television Laboratories, Inc., MAY, 2008.
- [5] 조창연, 허준, 김준태, "초 고화질 텔레비전 방송을 위한 차세대 오픈 케이블 방식에 대한 연구," 방송 공학회논문지, 제14권, 제2호, pp. 228-237, 2009년 3월
- [6] ITU-T Y.1541, "Network Performance objectives for IP-based services"
- [7] R. Guerin, H. Ahmadi and Nagsineh "Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks", IEEE J. Select. Area Commun, Vol. SAC-9, pp.968-981. Sep. 1991.
- [8] C.B. Lee, "Connection admission control for video traffic using modified equivalent capacity", IEEE Globecom'95, pp.427-431, Nov 1995.
- [9] 하경봉, 이창범, 박래홍, "수정된 equivalent capacity를 이용한 VBR MPEG 비디오 트래픽의 등가대역폭 계산방법," 전자공학회논문지-A, 제33권, 제10호, pp. 1982-1989, 1996년 10월
- [10] K. Nagarajan, "A new resource allocation scheme for Gaussian traffic sources", IEEE ICASSP 2000, pp.2609-2612, June 2000.
- [11] W. Willinger, D. V. Wilson and E. Leland, "On the Self-Similarity Nature of Ethernet Traffic", IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 2, pp. 1-15, Jan., 1994.
- [12] M. S. Taqqu, W. Willinger, J. Beran and R. Sherman, "Long-Range Dependency in Variable-Bit-Rate Video Traffic", IEEE Trans. on Communication, Vol. 43, pp. 1566-1579, Mar., 1995.
- [13] Yuxing Tian, "A Survey on Connection Admission Control in ATM Networks", proceedings of DePaul CTI Research Symposium, November 1999.
- [14] J.R. Ohm, "Multimedia communication technology: representation, transmission and identification of multimedia signals", Springer, 2004.
- [15] P. Kvackaj and I. Baronak, "Evaluation of Three CAC Methods: Gaussian Approximation Method, Method of Effective Bandwidth and Diffusion

- Approximation method”, *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 57, No. 6, pp.360-364, 2006.
- [16] A. Davy, D. Botvich, and B. Jennings, “Empirical effective bandwidth estimation for IPTV admission control,” in *Proc. of 10th IEEE/IFIP International Conference on Management of Multimedia and Mobile Networks and Services (MMNS)*, Berlin/Heidelberg, 2007, vol. LNCS 4787/2007, pp. 125-137, Springer.
- [17] M. Dai, “A unified traffic model for mpeg-4 and h.264 video traces”, *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol 11, Issue 5, pp.1010-1023. Aug 2009.
- [18] H. Koumaras, “Analysis of H.264 video encoded traffic”, *INC 2005*, Samos Island, Greece, July 2005.
- [19] Telecommunications Networks Group, Technical University of Berlin, “MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation”, [www.tkn.tu-berlin.de/research/trace/trace.html](http://www.tkn.tu-berlin.de/research/trace/trace.html) site last accessed 31/05/2011
- [20] H. Heffes and D. M. Lucantoni, “A Markov modulated characterization of packetized voice and data traffic and related statistical multiplexer performance”, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-4, pp. 856-868, Sep. 1986

저 자 소 개



용 기 택(정회원)  
 2008년 아주대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2011년 아주대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2011년 3월~현재 Fortis 연구원.

<주관심분야 : WSN, RFID, Traffic Engineering>

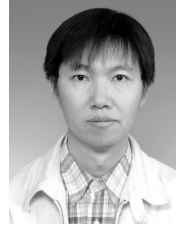


유 응 식(정회원)  
 1997년 충남대학교 컴퓨터공학과  
 학사 졸업.  
 2000년 충남대학교 컴퓨터공학과  
 석사 졸업.  
 2000년 4월~현재 한국전자통신  
 연구원 선임연구원

<주관심분야: 3DTV/UHDTV 전송시스템,  
 DOCSIS 프로토콜, 하이브리드 방송 등>



신 현 철(정회원)  
 2009년 아주대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2012년 아주대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 <주관심분야 : UHDTV 전송시스  
 템, Wireless sensor network>



최 동 준(정회원)  
 1991년 포항공과대학교 전자전기  
 공학과 학사 졸업.  
 1993년 포항공과대학교 전자전기  
 공학과 석사 졸업.  
 1993년 2월~현재 한국전자통신  
 연구원 팀장

<주관심분야: 디지털 방송시스템, DOCSIS프로토  
 콜, 하이브리드 방송등>



이 동 열(정회원)  
 2008년 아주대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2008년 3월~현재 아주대학교  
 전자공학과 석박사통합  
 과정.

<주관심분야 : Game theory를 사용한 네트워크  
 분석>



이 채 우(정회원)-교신저자  
 1985년 서울대학교 제어계측  
 학사 졸업.  
 1988년 한국과학기술원  
 전자공학과 석사 졸업.  
 1995년 University of Iowa 박사  
 졸업.

1985년 1월~1985년 12월 (주)금성통신 연구원.  
 1988년 9월~1999년 3월 한국통신 선임연구원.  
 1999년 3월~2001년 9월 Lucent Technologies  
 Korea 이사.  
 2001년 9월~2002년 2월 한양대학교 겸임교수  
 2002년 3월~현재 아주대학교 전자공학과  
 부교수.

<주관심분야 : 광대역 통신망, Ubiquitous  
 networking, Traffic Engineering>