

# IEEE 802.11b DCF 무선랜 환경에서 휴지 기간과 전송 오버헤드를 고려한 가용대역폭 측정 방법

정희원 구혜림\*, 하상용\*\*, 류기열\*\*\*, 종신회원 노병희\*\*\*\*°

## Available Bandwidth Measurement Method Considering Idle Period and Transmission Overheads in IEEE 802.11b DCF Wireless LANs

Hyelim Koo\*, Sangyong Ha\*\*, Ki-Yeol Ryu\*\*\* *Regular Members*,  
Byeong-hee Roh\*\*\*\*° *Lifelong Member*

### 요약

IEEE 802.11 DCF 모드는 QoS 제공 기능을 포함하고 있지 않으므로, 무선랜에서 실시간 멀티미디어 서비스들을 제공하는 것이 어렵다. 본 논문에서는 IEEE 802.11b DCF 환경에서 실시간 멀티미디어 서비스 제공의 기반이 되는 가용대역폭 측정을 위한 효과적인 방법을 제안한다. 제안 방법은 매 측정 기간마다 총 채널 휴지 시간과 충돌 확률을 측정한다. 그리고 이들 측정값들과 전송과정에서의 MAC과 PHY 계층에서의 오버헤드를 고려하여, 가용대역폭을 측정한다. 실험은 OPNET을 사용하여 수행되었으며, 실험 결과는 제안 방법에서 측정한 가용대역폭이 기존의 방법들 보다 더 정확한 결과값을 제공함을 보여준다.

**Key Words** : Available Bandwidth Estimation, IEEE 802.11b, DCF, MAC/PHY overhead, OPNET

### ABSTRACT

The lack of QoS (Quality of Service) support functionalities in IEEE 802.11 DCF mode makes it difficult to provide real-time multimedia services in WLANs. In this paper, we propose an effective available bandwidth measurement method in IEEE 802.11b DCF environments. The proposed method measures the total channel idle time and the collision probability during each measurement period. Then, the available bandwidth is calculated by considering those measured information and the transmission overheads at MAC and PHY layers. The performances of the proposed method are evaluated using OPNET simulator. The simulation results show that the proposed method provides more exact results than existing comparable schemes.

### 1. 서론

IEEE 802.11 무선랜의 보급화에 따라, 무선랜 환경에서도 인터넷전화 (VoIP)와 같은 실시간 스트리밍 서비스 제공에 대한 요구가 증가하고 있다. IEEE

802.11 기반 무선 네트워크 기술의 급속한 발전으로 인하여 공간의 제약 없이 무선 네트워크 서비스를 제공하는 것이 가능해졌다. 하지만 IEEE 802.11 표준은 실시간과 비실시간 트래픽 간의 서비스 차별화를 제공하지 않기 때문에 멀티미디어 서비스의 서비스 품질

\* 본 연구는 아주대학교의 교내연구비 지원으로 수행되었음.

\* 아주대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 (milkystar@ajou.ac.kr), \*\* 한국정보화진흥원 (yong@nia.or.kr)

\*\*\* 아주대학교 정보컴퓨터공학부 (kryu@ajou.ac.kr), \*\*\*\* 아주대학교 정보통신전문대학원 (bhroh@ajou.ac.kr), (° : 교신저자)  
논문번호 : KICS2011-03-159, 접수일자 : 2011년 3월 25일, 최종논문접수일자 : 2011년 6월 23일

질을 보장하지 않는다. 이를 극복하기 위한 방법으로 IEEE 802.11e 표준이 제시되었다. 802.11e는 트래픽의 특성에 따라 클래스를 나누고 CW(Contention Window), IFS(Inter frame space), 그리고 TXOP (Transmission Opportunity Period) 와 같은 서로 다른 값을 가진 변수의 제어를 통해 클래스 별로 차별화된 서비스를 제공해 주는 서비스이다<sup>[1]</sup>. 하지만 이 표준에서 제공하는 서비스 차별화 역시 네트워크의 혼잡이 발생하지 않은 경우에만 가능하다. 그러나 대부분의 IEEE 802.11 무선랜들은 분산 경쟁-기반의 채널 접근 방식인 DCF (Distributed Coordination Function)<sup>[2]</sup>을 사용하므로, 실시간 서비스를 제공하는 데에 한계를 보인다. 무선랜 채널에서 가용대역폭의 측정은 실시간 서비스와 같이 대역폭에 제한에 받는 서비스의 품질 보장을 위한 기반이 된다. 정확한 가용대역폭의 측정을 통하여, 연결수락제어와 자원관리등과 같은 QoS 기능들을 효과적으로 수행 가능하다.

많은 가용 대역폭 측정을 위한 방법들이 제안되었으며, 이들 방법들은 크게 능동 프로브 패킷 방식, 수학적 모델을 통한 방식, 그리고 수동 측정 방식의 3가지로 크게 구분할 수 있다. 능동 프로브 패킷 방식들<sup>[3-5]</sup>에서는 다양한 전송물로 프로브 패킷을 네트워크를 통하여 전송하고, 수신 노드에서 이들의 수신 상태를 측정하여 가용대역폭을 측정한다. 이들 방법들은 프로브 패킷을 부가적으로 망에 유입시킴으로써 기존 연결들의 성능 저하를 야기할 수 있다. 수학적 모델에 기반을 둔 방법들<sup>[6,7]</sup>에서는 기존 연결들에 영향을 주지 않으면서 가용대역폭의 정확한 산출을 가능하게 한다. 그러나 이 방법들은 토폴로지에 의존하게 되는 한계를 갖고 있으며, 계산량의 복잡성에 의하여 실시간 적용에 적절하지 못할 수 있다. 수동 측정 방식들<sup>[8-11]</sup>에서는 일정 주기로 무선 채널 사용량을 관측하여, 기존 연결들에 영향을 주지 않고 가용대역폭을 산출해 낸다. 기존의 방법들은 MAC에서의 동작만 고려하고 있고, MAC 과 PHY에서의 전송 오버헤드에 대하여는 고려하지 않고 있어서 정확한 산출값을 제공하는데 한계를 갖고 있다.

본 논문에서는 수동 측정 방법으로서 IEEE 802.11b DCF 환경에서 가용대역폭을 산출하기 위한 효과적인 방법을 제안한다. 제안 방법은 매 측정 기간마다 총 채널 휴지 시간과 충돌 확률을 측정한다. 그리고 이들 측정값들과 전송과정에서의 MAC과 PHY 계층에서의 오버헤드를 고려하여, 가용대역폭을 산출해 낸다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 본 논

문에서 제안하는 방법의 배경이 되는 내용들을 기술하고, 제3장에서는 제안방법을 설명하고, 제4장에서는 실험결과를 보인다. 그리고 제5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 배경

### 2.1 IEEE 802.11 DCF MAC 개요

DCF (Distributed Coordination Function)는 IEEE 802.11 무선랜에서 가장 기본적으로 사용되는 MAC 방식이다<sup>[1]</sup>. DCF는 여러 단말들의 경쟁적인 접근을 제어하기 위하여 분산 랜덤 접근 방식인 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Congestion Avoidance)를 기반으로 하고 있다. 그림 1은 IEEE 802.11에서 정의된 기본적인 MAC 시간 다이어그램을 보여준다.

전송할 프레임이 준비된 무선 단말은 무선 채널이 사용 중인지의 여부를 감시한다. 만약에 채널이 사용 중이면, 채널이 휴지상태가 될 때까지 기다린다. 채널의 휴지상태가 감지되면, DIFS (DCF InterFrame Space)라고 불리는 시간 동안 대기후, 최소와 최대 경쟁 윈도우 값인 CWmin 와 CWmax 사이에서 임의로 선택한 백오프 (backoff) 시간만큼 추가로 대기한다. 여러 단말이 경쟁시에는 먼저 백오프 시간이 만료된 단말이 채널을 점유하여 프레임 전송하게 된다. 프레임을 성공적으로 수신한 단말이 이에 대한 응답으로 전송한 ACK 프레임을 수신하면서 한 사이클이 완료된다. 이후에는 동일한 과정이 반복된다.

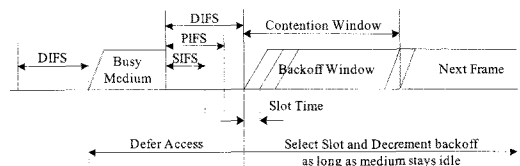


그림 1. IEEE 802.11 DCF의 기본 접근 모드

### 2.2 MAC 기반의 가용 대역폭 산출 방법들

일반적으로 두 이웃 노드간의 가용 대역폭은 네트워크상의 지속적인 흐름을 방해하지 않고 전송될 수 있는 최대 처리량으로 정의된다<sup>[8]</sup>. 여기에서는 서론에서 언급한 기존의 여러 가용대역폭 측정 방법들 중에서 수동 측정 방법들인 AAC (Adaptive Admission Control)<sup>[8]</sup>, ABE (Available Bandwidth Estimation)<sup>[9]</sup>, cPEAB (cognitive Passive Estimation of Available Bandwidth)<sup>[10]</sup>에 대하여 기술한다.

AAC는 캐리어 감지 도메인에서 모든 노드들이 측

정한 가용 대역폭들 중에서 가장 작은 것을 서비스 가능한 대역폭 (가용대역폭)으로 정의한다. 가용 대역폭을 측정하기 위해서는 각 노드들이 각 측정 시간 동안 활동 시간을 독립적으로 측정한다. 측정된 활동 시간을 토대로 매체 휴지시간이 쉽게 유도된다.  $T_i^s$ 와  $T_i^r$ 는 각각 송신기와 수신기의 채널 휴지시간이라 할 때, 가용대역폭은 다음과 같이 계산된다<sup>8,10)</sup>.

$$AB_{AAC} = \min\left\{\frac{T_i^s}{T}, \frac{T_i^r}{T}\right\} \times C \quad (1)$$

여기에서  $C$ 는 채널 용량을 나타낸다. AAC는 채널 조건에 의한 비트 에러나 다른 노드의 간섭으로 인한 충돌로 인해 발생하는 재전송을 고려하지 않는다. 이러한 이유로, 식 (1)은 가용 대역폭의 상한으로 여겨진다<sup>9)</sup>.

$ABE^{10)}$ 는 AAC에서의 휴지시간을 포함하여 충돌 확률, 백오프 메커니즘에서의 대역폭 소모를 고려한다. ABE는 휴지시간을 주어진 측정 시간 동안 어떤 프레임도 방출하지 않거나, 매체가 사용되지 않은 전체 시간을 나타낸다. 충돌 확률을 측정하기 위하여 ABE는 라우팅 프로토콜에 의한 Hello 메커니즘을 사용한다. 즉, 일정기간 동안 전송한 Hello 패킷에 대한 충돌 확률인  $P_c$ 를 측정한다. 이로부터, 가용대역폭은 다음과 같이 구해진다.

$$AB_{ABE} = (1 - \bar{K}) \times (1 - P_c) \times \frac{T_i^s}{T} \times \frac{T_i^r}{T} \times C \quad (2)$$

여기에서  $\bar{K}$ 는 충돌이 일어났을 때 백오프 메커니즘에 의해 소모되는 대역폭 비율을 나타낸다.  $T(m)$ 을 크기가  $m$ 인 프레임을 연속적으로 전송하는데 걸리는 시간이라 하면,  $\bar{K}$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\bar{K} = \frac{t_{DIFS} + \bar{t}_{bo}}{T(m)} \quad (3)$$

이때,  $t_{DIFS}$ 와  $\bar{t}_{bo}$ 는 DIFS 시간과 평균 백오프 시간을 나타낸다.

$cPEAB^{10)}$ 은 ACK 프레임에 의한 추가적인 오버헤드를 고려한다.  $t_{ACK}$ 를 ACK 프레임 전송에 걸리는 시간이라 하면, 가용대역폭은 다음과 같이 계산된다.

$$AB_{cPEAB} = \left(1 - \frac{t_{DIFS} + \bar{t}_{bo}}{T}\right) \times \left(1 - \frac{t_{ACK}}{T}\right) \times (1 - P_c) \times \frac{T_i}{T} \times C \quad (4)$$

### III. 휴지 기간과 전송 오버헤드를 고려한 가용대역폭 산출 방법

#### 3.1 IEEE 802.11의 프레임 전송 오버헤드

그림 2는 IEEE 802.11 MAC에서의 PDU (MPDU) 들인 데이터 프레임과 ACK 제어 프레임의 형식을 보여준다. 데이터 프레임은 그림 2 (a)에 보인 바와 같이 MAC 헤더, 가변길이의 페이로드인 프레임 바디와 오류 검출을 위한 CRC (Cyclic Redundancy Code)로 이루어진다. 그림 2 (b)에서와 같이 ACK 프레임은 MAC 헤더와 CRC로만 구성된다.

이러한 프레임들의 크기를 비트 단위로 하여 표 1에 나타내었다. 표 1의 데이터 프레임에서의  $l$ 은 가변 길이를 갖는 페이로드의 크기를 의미한다. 변수들은 뒤 절에서 수식의 전개에 사용된다.

IEEE 802.11b는 물리계층에서 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)를 기본적으로 사용하며, 2.4GHz 대역의 ISM 밴드에서 1, 2, 5.5 와 11 Mbps 전송률을 지원한다. IEEE 802.11b 물리계층에서의 전송 단위인 PPDU는 long/short preamble, 헤더, 그리고 MPDU로 구성된다. IEEE 802.11b에서 preamble 과 헤더는 1Mbps의 고정된 전송률로 전송되며, 반면에 MPDU 부분은 전송 단말 (또는 액세스 포인트)에서 1, 2, 5.5 또는 11 Mbps중에서 결정된 전송률로 전송된다. 이러한 IEEE 802.11b DSSS의 물리계층 특

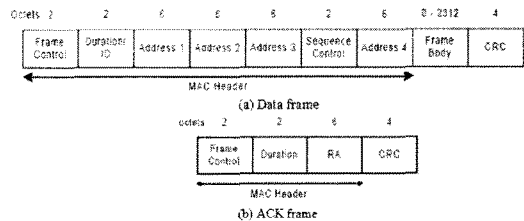


그림 2. IEEE 802.11 MAC 프레임 형식

표 1. MAC 프레임 크기 (bits)

프레임 형식	프레임 크기 (bits)	변수명
Data	224+l	$L_{DATA}(l)$
ACK	112	$L_{ACK}$

성을 표 2에 나타내었다. 표 2에서 변수들은 뒤 절에서 수식의 전개에 사용된다. IEEE 802.11a OFDM 물리계층의 특성들은 [12]에 잘 기술되어 있다.

표 2. IEEE 802.11b DSSS PHY 특성

특성요소	값	변수
Slot Time	20 $\mu$ sec	$t_{slot}$
SIFS Duration	10 $\mu$ sec	$t_{SIFS}$
DIFS Duration	50 $\mu$ sec	$t_{DIFS}$
Min. backoff window size	31 slots	$CW_{min}$
Max backoff window size	1023 slots	$CW_{max}$
PLCP Overhead Duration	192 $\mu$ sec for long preamble 96 $\mu$ sec for short preamble	$t_{PLCPpreamble} + t_{PLCPheader}$

### 3.2 가용대역폭 산출 방법

그림 3에 보인 바와 같이, IEEE 802.11 DCF 환경에서 하나의 프레임이 성공적으로 전송되는데 걸리는 시간을 한 사이클로 정의하기로 한다. 한 사이클에는 DIFS소요시간( $t_{DIFS}$ ), 평균 백오프 시간( $\bar{t}_{bo}$ ), 데이터 프레임 전송 소요 시간( $t_{DATA}$ ), 그리고 이에 대한 ACK 프레임 전송 소요시간( $t_{ACK}$ )들이 포함된다.

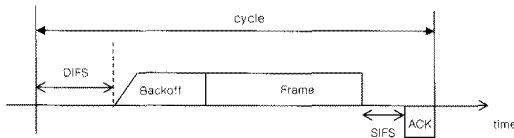


그림 3. 프레임 전송 사이클

이로부터, 한 사이클에 소요되는 시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{cycle} = t_{DIFS} + \bar{t}_{bo} + t_{DATA} + t_{SIFS} + t_{ACK} \quad (5)$$

여기에서  $t_{DIFS}$ 와  $t_{SIFS}$ 에 대한 시간은 표 2에 나타내어 있다. ACK 와 데이터 프레임의 전송시간들인  $t_{ACK}$  와  $t_{DIFS}$ 는 표 1과 표 2에 나타낸 시간 값과 오버헤드들을 고려하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{t}_{bo} = t_{PLCPpreamble} + t_{PCLheader} + \frac{L_{type}}{PhyRate} \quad (6)$$

여기에서,  $PhyRate$ 는 물리 매체의 전송 속도이고, type은 ACK, 또는 DATA 를 지칭한다. 또한,  $\bar{t}_{bo}$ 는 평균 백오프 윈도우 사이즈로서,  $MaxRetry$ 와  $P_c$ 를 각각 최대 재전송 회수와 재전송메시지의 충돌 확률이라 정의할 때 다음과 같이 구해진다.

$$\bar{t}_{bo} = t_{slot} \times \sum_{k=0}^{MaxRetry} P_c^k (1 - P_c) \frac{\min(CW_{max}, 2^k CW_{min}) - 1}{2} \quad (7)$$

시간을  $\Delta$ 의 일정한 시간 간격으로 구분되어 있다고 가정한다.  $\Delta$ 는 측정을 위한 기본 시간 단위가 된다. 편의상,  $\Delta$ 시간 간격의 끝에서 모든 전송이 성공적으로 완료되거나 전송 실패의 판단이 완료되는 것으로 가정한다. 이  $\Delta$ 시간구간 동안 채널이 사용되지 않은 시간을  $T_i$ 로 정의하기로 한다. 이때,  $T_i$ 에는 프레임 전송에 적용되는 사이클 동안의 채널이 사용되지 않은 시간은 제외된다. 이로부터,  $T_i$ 동안 전송 가능한 최대 프레임의 수는 다음과 같이 구해진다.

$$N_{max} = \left\lfloor \frac{T_i}{t_{cycle}} \right\rfloor \quad (8)$$

여기에서  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 를 넘지 않는 최대 정수를 의미한다.

전송 에러나 충돌이 없는 이상적인 채널 상태에서는 주어진 휴지시간 ( $T_i$ ) 동안에는 최대  $N_{max}$  개의 프레임 전송이 성공적으로 전송 가능하다. 이로부터, 가용대역폭의 상한값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$AP_{proposed}^{Upper} = N_{max} \times Message\ Payload \quad (9)$$

여기에서  $Message\ Payload$ 는 모든 오버헤드들을 제외한 전송 메시지의 크기를 의미한다. 전송 에러나 충돌에 의하여 실제로 전송 가능한 프레임의 수는 감소하게 된다.

백오프 이후의 메시지 전송 과정에서도 충돌에 의한 재전송으로 인하여 대역폭이 소모될 수 있다. 이러한 재전송에 의하여 소모되는 평균 시간은 다음과 같이 구해진다.

$$t_{L,DATA\ Retry} = \sum_{k=1}^{Max\ Retry} t_{retry,k} \cdot P_c^k \cdot (1 - P_c) \quad (10)$$

여기에서,  $t_{retry,k}$ 는 데이터 프레임이 연속적으로  $k$

번 충돌이 발생하여 재전송하게 될 때, 소모되는 평균 시간으로서 다음과 같다.

$$t_{retry,k} = k \cdot (T_{DATA} + t_{ACKTIMEOUT}) + \sum_{l=1}^k \min(2^{l-1} \cdot \overline{t_{bo}}, CW_{max} \cdot t_{slot}) \quad (11)$$

여기에서  $t_{ACKTIMEOUT}$ 은 프레임 전송 후 ACK를 수신하지 못하여 재전송에 소요되는 시간을 의미한다. 즉,  $t_{ACKTIMEOUT} = t_{SIFS} + t_{ACK}$ .

이로부터, 충돌에 의한 재전송 등을 고려하여,  $T_i$  동안 실제로 전송 가능한 평균 프레임의 수는 다음과 같이 구해진다.

$$N_{avg} = \frac{T_i}{t_{cycle} + t_{i,DATA}Retry} \quad (12)$$

실제 채널환경에서는 전송 에러나 충돌이 발생하게 되고, 이에 따라 전송 가능한 프레임의 수는 식 (8)이 아닌 식 (12)에 의한 식으로 표현되어야 한다. 이로부터, 실제 환경에서의 가용대역폭은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$AP_{proposed}^{avg} = N_{avg} \times MessagePayload \quad (13)$$

#### IV. 실험 결과

제안 방법의 성능을 보이기 위하여 OPNET<sup>[13]</sup> 네트워킹 시뮬레이터를 사용하였다. 물리 계층은 표 2에 보인 특징을 갖는 IEEE 802.11b DSSS를 적용하였고, 채널 용량은 2Mbps로 설정하였다. 제안 방법을 기존의 무선랜 가용대역폭 측정 방법들인 AAC<sup>[8]</sup>, ABE<sup>[9]</sup>, 그리고 cPEAB<sup>[10]</sup>과 비교하였다. 측정을 위한 주기 ( $\Delta$ )는 1초로 설정하였다.

실험 시나리오는 그림 4에 나타내었다. 1개의 AP

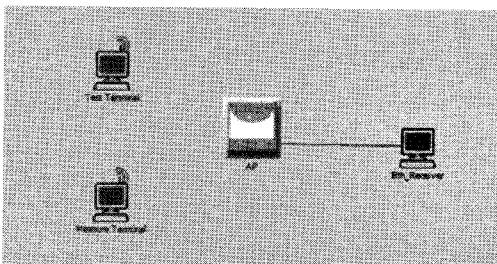


그림 4. 실험 시나리오

에 무선 단말(station)들이 동일한 전송 범위 안에 있다. 한 단말(test terminal)이 CBR (Constant Bit Rate)로 AP를 통하여 유선에 연결된 단말(Eth\_Receiver)에게 프레임 전송하고, 다른 단말(measure terminal)에서 무선랜의 가용 대역폭을 측정하도록 하였다. 실험은 AP의 전송 범위내에 2개의 단말을 사용해 실험하였다.

제안 방법과 비교 방법들에서 구한 가용대역폭은 그림 4의 환경에 대하여 구한 실제 대역폭과 비교하였다. 실제 대역폭을 구하는 방법은 다음과 같다. 테스트 단말은 일정한 시간 간격으로 동일한 크기를 갖는 프레임들을 전송하고, 각 프레임들의 전송 지연시간, 지터, 손실을 측정한다. 이러한 상황에서 가용대역폭 측정 단말에서는 CBR 전송율을 1 Kbps에서 부터 100bps씩 증가시키면서 프레임을 AP로 전송하도록 하였다. 이때, 테스트 단말의 프레임 전송 지연, 지터, 손실 측정값이 WiMAX 포럼<sup>[14]</sup>에서 정의한 실시간 스트리밍 서비스의 QoS 레벨을 초과하게 되기 바로 직전의 측정단말의 CBR값을 실제 가용대역폭으로 정하였다. WiMAX 포럼에서는 실시간 스트리밍 서비스에 대한 QoS 요구사항으로 지연시간은 55ms보다 적고, 지터는 20ms보다 적고, 손실률은 0.5%보다 적어야 한다고 제시하고 있다. 즉, 실제 가용대역폭은 전송이 발생하는 상황에서 다른 단말이 자신은 물론 기존의 다른 전송단말들의 QoS 수준을 만족시키면서 전송 가능한 대역폭을 의미하게 된다.

측정한 가용대역폭 외에 비교를 위해 다음과 같은 두 가지 성능 척도를 정의하기로 한다.

$$Absolute\ Difference = |AB_{real} - AB_{estimate}| \quad (14)$$

$$Error\ Rate = \frac{|AB_{real} - AB_{estimate}|}{AB_{real}} \times 100(\%) \quad (15)$$

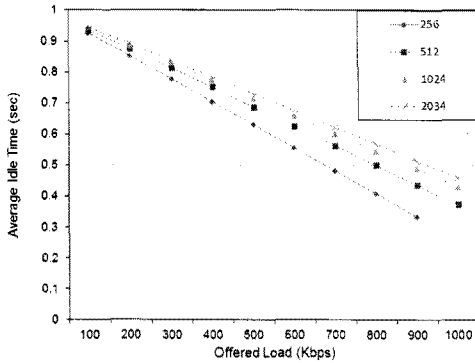
여기에서  $AB_{real}$ 은 실제 가용 대역폭을 나타내며,  $AB_{estimate}$ 는 각각의 방법에 의해 측정된 가용 대역폭을 나타낸다.

실험 결과 비교를 위하여, 그림 4에서 Test Terminal로부터 발생되는 MAC 페이로드 크기를 256, 512, 1024, 2034 바이트로 고정시킨 경우들에 대하여, CBR 트래픽 발생률을 100Kbps에서부터 1Mbps까지 100Kbps씩 증가시키고, Measure Terminal에서 각각의 경우들에 대하여 가용 대역폭을 측정하도록 하였다.

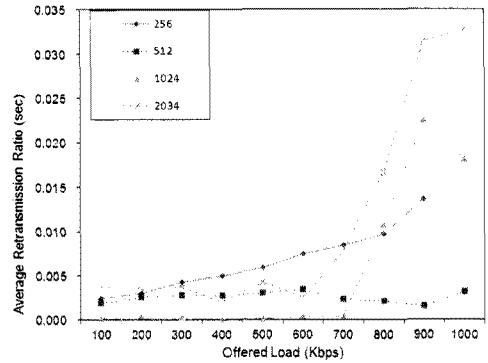
MAC 페이로드 크기를 고정된 이유는 CBR 전송에 있어서 동일한 전송률인 경우에도 프레임의 크기와 이에 따라 프레임간 전송 시간 간격이 달라지므로, 이러한 효과를 보기 위함이다. 그림 5(a)에 보인 바와 같이 MAC 페이로드의 크기가 커짐에 따라, 프레임간 전송 시간 간격이 커지고, 이에 따라 휴지시간( $T_i$ )의 크기가 커지게 됨을 볼 수 있다. 또한, 트래픽 발생을

이 증가할수록 휴지시간의 크기는 작아짐을 함께 확인할 수 있다. 그림 5(b)에는 각 경우에 대한 재전송 확률을 나타내었다. 정도의 차이는 있으나, 트래픽 발생률이 클수록, MAC 페이로드의 크기가 작을수록 재전송 확률이 큰 특징을 보여준다.

그림 6에는 각 방식들간에 측정된 가용대역폭을 실제 가용대역폭을 비교하여 나타내었다. 그림 6에서

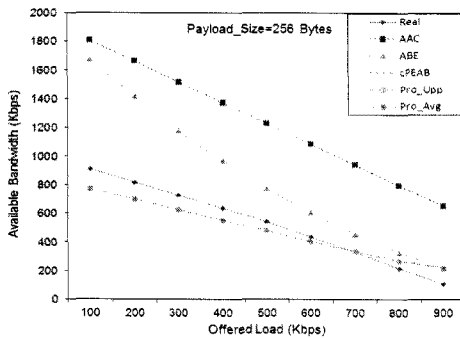


(a) 평균 휴지 시간

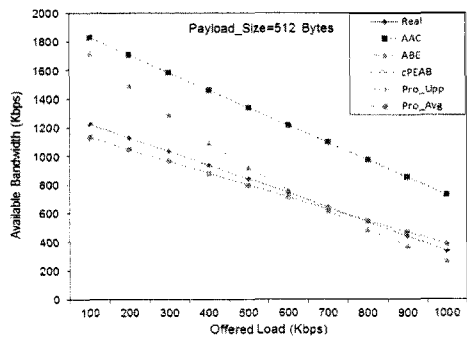


(b) 평균 재전송 확률

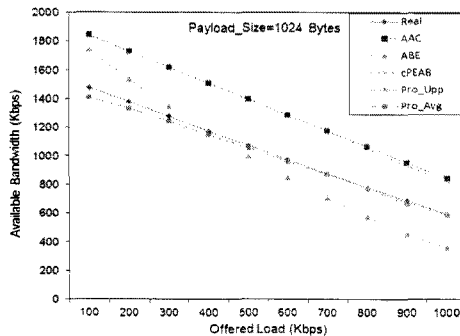
그림 5. 부하에 따른 전송 특성



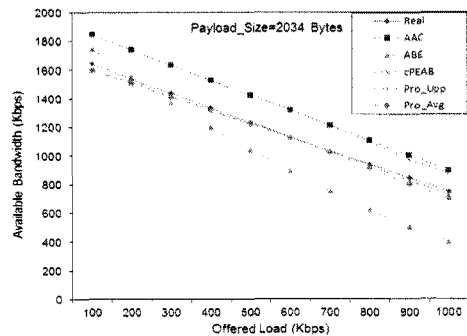
(a) 256 Byte



(b) 512 Byte



(c) 1024 Byte



(d) 2034 Byte

그림 6. MAC Payload 변화에 따른 측정 가용대역폭 산출 결과

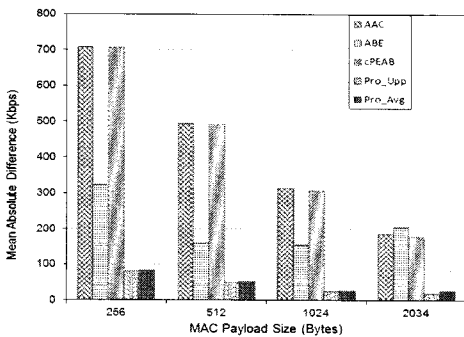
Real은 앞서 기술한 방식으로 구한 실제 가용대역폭을 나타내고, Pro\_Upp는 제안하는 식(9)을 통하여 산출한 가용대역폭의 상한값을 의미하고, Pro\_Avg는 제안하는 식 (13)을 통하여 산출한 재전송확률 등의 채널 상태를 고려한 가용대역폭값을 의미한다. 그림 6은 각각의 방식들에 대한 가용 대역폭 측정 실험을 수행한 결과이다. AAC과 cPEAB은 실제 가용 대역폭에 비하여 과대하게 산출되는 경향이 있으며, ABE의 경우는 전송 트래픽양이 적은 경우에는 과대 산출하나, 전송 트래픽의 양이 커짐에 따라 과소 산출하는 경향을 보여준다.

반면에, 제안 방법은 실제 가용 대역폭에 근접한 결과를 보여준다. 특히, 제안 방법은 실제 가용대역폭에 근접하나 이보다 작은 측정값을 보여줌을 볼 수 있다. 이것은 제안 방법이 무선 자원 할당 제어에 매우 유용하게 사용되어 질 수 있음을 나타내 준다. 즉, 실제 가용대역폭보다 크게 산출되는 경우는 트래픽을 과도하게 수용함으로써 혼잡을 유발할 수 있다. 반면에 가용대역폭보다 매우 작게 산출하는 경우는 트래픽을 매우 적게 수용하여 혼잡은 피할 수 있으나, 대역폭 사용의 낭비를 유발하게 된다. 제안 방법은 실제 가용대

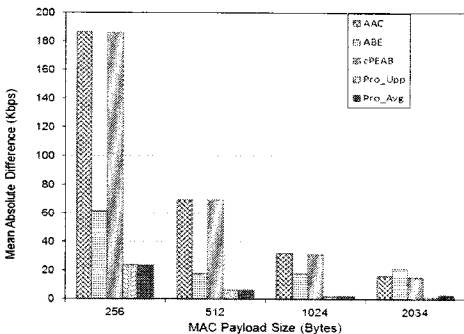
역폭에 근접하면서 매우 작게 산출되는 경향을 보여 혼잡을 회피하면서, 대역폭 사용의 극대화 효과를 얻을 수 있다.

그림 7은 그림 6의 결과로부터 구해진 MAC 페이로드 크기에 따른 성능 척도값들의 평균값들을 보여 준다. 기존 방법들에 비하여 제안방법이 모든 경우에 대하여 실제 가용 대역폭과의 차이가 매우 작고 우수한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

그림 8은 그림 4의 실험환경에서 단말(Test Terminal)의 수를 변화시킬때의 측정가용대역폭 산출 결과를 보여주고 있다. 이때, MAC 페이로드는 1024 바이트로 고정하였으며, Offered Load는 300 Kbps로 하였다. 즉, 모든 단말(Test Terminal)들로 부터의 트래픽 양의 합이 300 Kbps가 되도록, 각 단말들의 CBR 트래픽 발생률을 균등하게 분할하였다. 노드의 수가 증가할수록 동일한 offered load 환경에서도 충돌확률이 커지게 되므로 실제 가용 대역폭(real)은 감소하게 된다. 그림 8의 실험 결과에서 볼 수 있듯이, 본 논문에서 제안한 방법은 노드의 충돌 확률을 고려함에 따라, 노드 수의 변화에도 안정적으로 가용대역폭을 측정 가능함을 볼 수 있다.



(a) Absolute Difference (in Kbps)



(b) Error Rate (%)

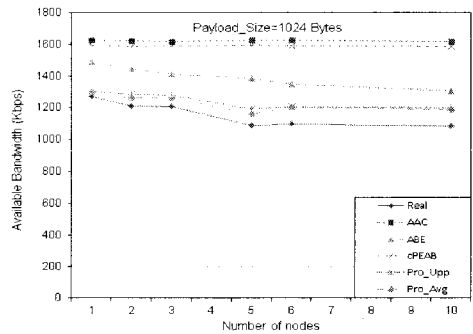


그림 8. 노드수 변화에 따른 측정가용대역폭 산출 결과 (Offered load = 300 Kbps)

### V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11b DCF 무선랜 환경에서 가용대역폭 산출을 위한 효과적인 방법을 제안하였다. 제안 방법은 일정한 주기의 매 측정 기간마다 채널 휴지 시간과 충돌 확률을 측정하고, 전송과정에서의 MAC과 PHY 계층에서의 오버헤드를 고려하여 전송 가능한 프레임의 수를 기반으로 가용대역폭을 산출하였다. 제안 방법을 기존의 대표적인 수동 측정 기반의 가용대역폭 산출 방법들과 비교하였으며, 제안

그림 7. 성능 척도 비교

방법이 이들 기존 방법들에 비하여 매우 정확한 가용대역폭을 산출함을 보였다.

가용대역폭의 산출은 실시간 멀티미디어 서비스의 품질보장을 위한 플로우 관리와 연결수락제어 방식들의 운용에 필수적으로 요구되는 기능이다. 제안 방법은 실제 가용대역폭에 근접하나 이보다 작은 측정값을 산출함으로써, 무선랜 자원 할당 제어에서 혼잡 (congestion) 회피와 대역폭 사용의 극대화를 동시에 얻을 수 있다. 본 논문에서는 DSSS를 사용하는 IEEE 802.11b DCF 환경에서의 가용 대역폭 측정에 초점을 맞추었으나, OFDM을 사용하는 [12]에서 제시한 PHY 오버헤드만을 고려하여 본 논문의 방법으로 쉽게 확장 가능하다. 또한, 본 논문은 가용대역폭 측정에 초점이 맞추어졌으나, 제안 방법을 확장하여 무선랜에서 실시간 멀티미디어 서비스의 품질 보장 방법을 효과적으로 도출 가능하다. 이러한 제어 방법 도출을 위한 추가 연구가 요구된다.

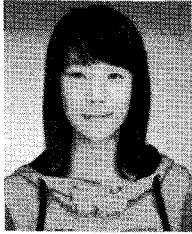
### 참 고 문 헌

- [1] Y. Xiao, H. Li, and S. Choi, "Protection and gaurantee for voice and video traffic in IEEE 802.11e wireless LANs", In Proceeding of IEEE INFOCOM'04, Hong Kong, March 2004.
- [2] IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 2007
- [3] V. J. Riberio, R. H. Riedi, R. G. Baraniuk, J. Navratil, and L. Cottrell, "pathChirp: Efficient Available Bandwidth Estimation for Network Paths," Passive and Active Measurements (PAM) Conference'2003, Apr. 2003
- [4] M. Jain and C. Dovrolis, "Pathload: a Measurement Tool for End-to-End Available Bandwidth," Passive and Active Measurements (PAM) Conference'2004, Mar. 2002
- [5] N. Hu and P. Steenkiste, "Evaluation and Characterization of Available Bandwidth Probing Techniques," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.21, No.6, August 2003.
- [6] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.18, No.3, 2000, pp.535-547.
- [7] D. Wu, and R. Negi, "Effective Capacity: a Wireless Link Model for Support of Quality of Service," IEEE Tr. Wireless Communications, Vol.2, No.4, 2003, pp.630-643.
- [8] R. de. Renesse, V. Friderikos, and A.H. Aghvami, "Cross-layer cooperation for accurate admission control decisions in mobile ad hoc networks," IET Communications, Vol.1, No.4, Apr. 2007, pp.577-586.
- [9] C. Sarr, C. Chaudet, G. Chelius, and I.G. Lassous, "Bandwidth Estimation for IEEE 802.11-based Ad hoc Networks," IEEE Tr. Mobile Computing, Vol.7, No.10, 2008, pp. 1228-1241.
- [10] S. Tursunova, K. Inoyatov, and Y. Kim, "Cognitive Passive Estimation of Available Bandwidth (cPEAB) in Overlapped IEEE 802.11 WiFi WLANs," IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS)' 2010
- [11] H. Park, B. Roh, "Accurate Passive Bandwidth Estimation (APBE) in IEEE 802.11 Wireless LANs," IEEE CUTE'2010, Dec. 2010
- [12] D. Qiao, S. Choi, K. G. Shin, "Goodput Analysis and Link Adaptation for IEEE 802.11a Wireless LANs," IEEE Tr. Mobile Computing, Vol.1, No.4, pp.278-292, Oct./Dec. 2002
- [13] OPNET, <http://www.opnet.com>
- [14] AT&T, Lucent, Posdata and Telsima, "Revised Release 1.5 QoS Requirements," WiMAX Forum SPWG, Aug. 2006



구혜림 (Hyelim Koo)

정회원



2008년 아주대학교 정보컴퓨터 공학부 (공학사)

2008년-현재 아주대학교 일반 대학원 컴퓨터공학과 석·박사통합과정

<관심분야> 멀티미디어 네트워크 및 응용, 무선 네트워크

QoS 및 트래픽 엔지니어링, 미래인터넷, CCN (Contents Centric Networking), 네트워크 보안, 국방전술 네트워크 등

류기열 (Ki-Yeol Ryu)

정회원



1985년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학사)

1987년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)

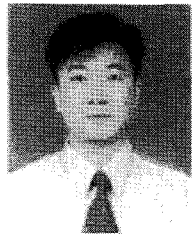
1992년 한국과학기술원 전산학과(공학박사)

1993년-1994년 동경대 전산학과 연구원

1994년~현재 아주대학교 정보컴퓨터공학부 부교수  
<관심분야> 유비쿼터스 컴퓨팅, 서비스 지향 컴퓨팅, 컴포넌트 모델 및 프레임 워크, 객체지향 프로그래밍 언어, 분산 오브젝트 시스템, RFID 시스템 등

하상용 (Sang-yong Ha)

정회원



1987년 한양대학교 전자공학과(학사)

2003년 한국과학기술원 공학부(공학석사)

2011년 아주대학교 정보통신전문대학원 (공학박사)

1987년~1995년 대우통신(주)

1995년~현재 한국정보화진흥원 네트워크기획부 부장  
<관심분야> 차세대통신망, 멀티미디어 응용, IPTV QoS/QoE, 미래인터넷, M2M 등

노병희 (Byeong-hee Roh)

종신회원



1987년 한양대학교 전자공학과(공학사)

1989년 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)

1998년 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학박사)

1989년~1994년 한국통신 통신망 연구소

1998년~2000년 삼성전자  
2000년~현재 아주대학교 정보통신전문대학원 교수  
2005년 Stony Brook University 방문교수  
<관심분야> 멀티미디어 네트워크 및 응용, 유무선 네트워크 QoS 및 트래픽 엔지니어링, 유비쿼터스 센서 네트워크(RFID/USN), 인터넷 보안, 국방전술통신네트워크 등