

수신자 피드백을 이용한 IEEE 802.11e 기반 무선랜에서의 전송속도 조절기에 관한 연구

정하경, 권태경, 최양희

서울대학교

hkjung@mmlab.snu.ac.kr, tk@snu.ac.kr, yhchoi@snu.ac.kr

A Rate Adaptation Mechanism Using Receiver Feedback for IEEE 802.11e Wireless LANs

Hakyung Jung, Taekyoung Kwon, Yanghee Choi

Seoul National Univ.

요 약

IEEE 802.11e EDCA의 음성 카테고리 중의 줄어드는 경쟁 윈도우 크기는 경쟁 단말의 수가 적을 때에도 프레임 충돌의 확률을 크게 증가시키며, 이는 구현상의 용이함으로 인해 802.11 시장에서 가장 널리 구현되어 사용되고 있는 ARF 기법이 오동작하는 원인이 된다. 한편 RTS/CTS 프레임 전송 용을 사용하여 프레임 충돌을 인지하도록 설계된 기존의 전송속도 조절기는 EDCA 음성 카테고리에서 사용될 VoIP 응용의 경우 프레임 크기가 작기 때문에 802.11e 음성 카테고리에서 사용하기에는 적절치 않다. 본 논문에서는 수신 단말에서 전송 실패의 원인을 판단하여 수신 단말에 피드백을 보냄으로써 음성 카테고리의 높은 프레임 충돌 확률을 해결하는 전송속도 조절기를 제안한다. ns2 시뮬레이터를 이용한 성능평가 결과, 제안하는 기법은 기존 기법보다 나은 성능을 보이는 것으로 나타났다.

1. 서론

IEEE 802.11의 PHY 계층 규격은 다양한 modulation 기법과 coding 기법의 조합을 통해 복수개의 전송속도(transmission rate)를 지원하고 있다[1]. 하지만, 표준 규격에는 통신 환경에 따라 전송속도를 어떻게 결정할지는 규정하고 있지 않기 때문에 효율적인 전송속도를 결정하기 위한 다양한 전송속도 조절(rate adaptation) 기법들이 연구되어왔다. 이들 중 구현상의 용이함으로 인해 ARF(Automatic Rate Fallback) 기법이 802.11 시장에서 가장 널리 구현되어 사용되고 있는 상황이다.

한편, IEEE 802.11 MAC 계층의 QoS 지원 강화를 위해서 2005년 IEEE 802.11e가 표준화되었다[2]. 802.11e에는 HCF(hybrid coordination function)라는 새로운 MAC 계층 기능이 추가되었다. HCF는 EDCA(enhanced distributed channel access)라 불리는 경쟁(contention) 기반 채널 접근 기법과 HCCA(HCF-controlled channel access)라 불리는 폴링(polling) 기반 채널 접근 방법 두 가지를 모두 지원한다. 본 논문에서는 이 중 EDCA를 사용하는 경우에 한하여 논의한다.

서로 다른 우선순위를 가진 트래픽 간의 채널 접근 기회를 차별화하기 위해서 802.11e EDCA는 파라미터에 서로 다른 값을 할당한다. 예를 들어 가장 높은 우선순위를 할당해야 하는 음성 트래픽(voice traffic)의 경우 다른 트래픽과 비교하여 가장 작은 범위의 경쟁 윈도우(contention window)를 갖도록 하여 채널 접근 확률을 높여준다. 하지만, 이렇게 작아진 경쟁 윈도우 크기는 경쟁 단말의 수가 비교적 적을 때에도 프레임

충돌 확률을 급격히 증가시키는 역효과를 발생시키게 된다[3].

일반적으로 전송속도 조절기는 약화된 채널 상황으로 인한 채널 에러로 프레임 전송이 실패한 경우에는 좀 더 견고한 modulation과 coding 기법을 사용하는 낮은 전송속도로 하향하여 다음 프레임 전송이 성공하도록 해야 한다. 반면, 프레임 충돌로 인한 전송 실패 시에는 전송속도를 낮출 이유가 없으며, 낮출 경우에는 오히려 프레임 전송 시간이 연장되어 프레임 충돌 확률이 다시 높아지는 악순환에 빠지게 된다. 따라서 전송 실패의 원인인 프레임 충돌과 신호 약세를 구별하지 못하는 전송속도 조절기법은 프레임 충돌이 빈번히 발생하는 환경에서는 좋은 성능을 낼 수 없게 된다.

불행히도 RTS/CTS 프레임 교환을 이용하여 프레임 충돌과 신호 약세를 구별하는 기능을 가진 기존의 전송속도 조절기법은[4] 802.11e 음성 카테고리(voice category)에서 사용될 프레임 크기가 작은 VoIP 응용에는 오버헤드가 커서 사용하기에 적절치 않으며, 이에 따라 경험적 방법(heuristics)을 이용하여 RTS/CTS 프레임 교환 없이 프레임 충돌을 인지하기 위한 전송속도 조절기법이 제안된바 있다[5]. 하지만 이 기법도 파라미터 설정의 어려움으로 인해 실제 운용의 어려움이 예상된다.

본 논문에서는 수신 단말에서 프레임 전송 실패의 원인을 판단하여 송신 단말에 피드백을 제공함으로써 적절한 전송속도를 선택하도록 돕는 새로운 전송속도 조절기를 제안한다. 새로운 기법에서는, 수신 단말은 수신 신호 세기(Received Signal Strength, RSS)를 기준으로 프레임

충돌과 신호 약세를 구별해내며, 전송 실패가 신호 약세로 판단되는 경우에는 Negative ACK (NACK) 프레임의 송신 단말에 전송하고, 채널 에러가 원인인 경우에는 기존 802.11에서와 같이 ACK프레임을 전송하지 않음으로써 타임아웃을 유발한다. 이를 통해 송신단말은 전송 실패의 원인을 정확히 식별하여 효율적인 전송속도를 선택할 수 있게 된다.

본 논문은 이하 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 관련 연구가 소개되며, 3장에서 제안하는 기법의 동작 과정을 설명한다. 4장에서 시뮬레이션을 통해 관련 기법과의 성능 차이를 비교하며, 5장에서 맺는다.

2. 배경

2.1. IEEE 802.11e

IEEE 802.11e EDCA는 기존 프로토콜의 DCF를 기반으로 우선순위 접근(prioritized access)이 가능하도록 설계되었다. EDCA는 서로 다른 트래픽의 우선순위를 4개의 전송 큐에 할당하며, 각 전송 큐는 background, best effort, video와 voice의 4개의 접근 카테고리(access category, AC)에 대응된다. EDCA 우선순위 메커니즘의 기본 아이디어는 각 접근 카테고리에서 서로 다른 파라미터 값을 사용하는 것이다. 즉, DCF의 DIFS, CWmin, CWmax 대신 AIFS[AC], CWmin[AC], CWmax[AC]를 사용한다. 우선순위가 높은 AC에 작은 AIFS, CW값을 적용하면 주어진 상황에서 높은 우선순위의 AC가 채널 경쟁에서 이길 가능성이 높아지게 된다.

Access category	CWmin	CWmax
AC_BK	aCWmin	aCWmax
AC_BE	aCWmin	aCWmax
AC_VI	aCWmin/2	aCWmin
AC_VO	aCWmin/4	aCWmin/2

표 1. CWmin과 CWmax의 EDCA 기본 세팅

표 1에 나타난 바와 같이 음성 카테고리(AC_VO)의 경우 타 카테고리에 비해 경쟁 윈도우(CW)의 크기가 몹시 작게 설정되어있다. 이에 따라 경쟁 단말이 존재할 경우 프레임 충돌 확률이 크게 증가하며[3], 이러한 프레임 충돌 확률의 증가는 ARF와 같이 전송 실패의 원인이 프레임 충돌인지 약화된 채널 상황인지 구별하지 못하는 기법들의 전송속도 조절 메커니즘을 오동작하게 하는 원인이 된다[5].

2.2. 관련 연구

ARF는[6] 현재 시장에서 가장 많이 구현되어 있는 전송속도 조절기이지만, 802.11e에 적용될 경우 비효율적인 성능을 보이게 된다. ARF는 ACK프레임의 수신 기록을 추적함으로써 전송속도를 결정한다. 2회 연속으로 ACK프레임이 손실되는 경우 채널 상황이 약화된 것으로 간주하고 전송속도를 한 단계 하향 조절한다 (fallback). ACK프레임이 10회 연속으로 성공적으로 전송된 경우 채널 상황이 양호한 것으로 간주하여 전송속도를 한 단계 상향하는 것을 시도한다 (probation). 하지만, 상향된 전송속도의 시도가 실패하는 경우 바로 원래의 전송속도로 복귀한

다. 이러한 ARF의 동작은 전송실패의 원인이 약화된 채널 상태에 기인한다고 가정하는 것이지만, 실제로 전송실패는 다른 단말에서 전송한 프레임과의 충돌(collision)에 의해서도 발생할 수 있다. 따라서 프레임 충돌이 빈번히 일어날 수 있는 환경에서는 ARF는 프레임 충돌을 신호 약세로 오인하여 전송속도를 정상적으로 결정할 수 없게 된다. 프레임 충돌로 인한 전송 실패인 경우 단말은 전송속도를 줄일 필요가 없으며, 전송속도를 줄이는 경우 프레임전송시간을 증가시켜 오히려 프레임 충돌 확률이 증가되는 악순환에 빠지게 된다.

이러한 ARF의 단점을 극복하기 위해서 CARA, S-ARF 등 프레임 충돌과 신호 약세를 구별할 수 있는 전송속도 조절기들이 제안되어왔다. CARA는 전송 실패가 발생했을 때 RTS/CTS 프레임 교환을 실시함으로써 프레임 충돌을 인지한다[4]. 일반적으로 RTS/CTS 프레임은 DATA프레임에 비해 크기가 작기 때문에 DATA프레임에 비해 적은 프레임 충돌 확률로 전송에 성공할 수 있으며, 이후 채널을 선점하여 DATA프레임을 전송하기 때문에 이 때 발생하는 전송 실패는 프레임 충돌이 아닌 신호 약세 때문인 것으로 간주할 수 있다. 하지만, VoIP의 음성 프레임의 경우 프레임 크기가 작아 이러한 가정이 성립하지 않으므로 802.11e의 전송속도 조절기 문제를 해결하는데 적합하지 않다. S-ARF는 802.11e에서 프레임 충돌과 신호 약세를 구별하기 위해 제안된 속도조절기로서, ARF의 전송 실패 카운터를 경험적인 방법 (heuristics)으로 개선한 것이다[5]. ARF의 경우 1회 전송 실패가 바로 채널 에러로 인한 것으로 간주되지만, S-ARF의 경우 연속적으로 T_{limit} 회 전송이 실패한 경우에만 채널 에러로 인한 전송 실패로 인정한다. 이를 통해 RTS/CTS프레임 교환 없이도 프레임 충돌과 신호 약세를 구별해낼 수 있지만 T_{limit} 파라미터 값이 주어진 환경에 맞게 동적으로 설정되어야하는 단점이 있으며, 프레임 충돌을 수신 단말의 도움 없이 송신 단말에서 유추하는 방법이기 때문에 본질적으로 정확한 예측에 한계가 있다.

3. 수신자 피드백을 이용한 전송속도 조절기 (RARF)

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 수신자 피드백을 이용한 전송속도 조절기(RARF: Rate Adaptation using Receiver Feedback)의 동작 과정을 설명한다.

프레임 전송 실패의 원인이 충돌인지 채널 에러인지를 판별하는 작업은 실제로는 송신자가 아닌 프레임 수신에 이루어지는 수신자에서 정확하게 수행될 수 있으며, 본 논문에서는 수신신호강도 (Received Signal Strength, RSS)를 기준으로 추론하는 기법을 사용하였다. 수신신호강도는 수신신호(signal)와 간섭(interference)의 총합을 일컫는다. 일반적으로 수신자에서 프레임 충돌이 일어난 경우 일반적인 신호 감쇄(attenuation)를 겪은 경우보다 훨씬 높은 수신신호강도를 보이게 된다. 따라서 프레임 수신에 실패했을 때의 수신신호강도를 조사하여 컷오프(cutoff) 값보다 큰 경우에는 프레임 충돌에 의한 것으로, 반대로 작은 경우에는 채널 상황이 안 좋은 때문인 것으로 추정이 가능하다. 수신신

호강도를 기준으로 이와 같은 추정 기법을 실측한 연구에 따르면 프레임 충돌의 90%를 감지할 수 있으며, 프레임 충돌이 아닌 것을 프레임 충돌로 오인하는 경우는 2%에 불과하였다[7].

제안하는 기법에서는 위와 같이 수신신호강도를 이용하여 수신자에서 프레임 전송 실패의 원인을 판별한 후, 판별된 결과를 오버헤드 없는 방식으로 송신자에게 피드백을 보낸다. 수신자에서 피드백을 보내는 메커니즘은 표 2에 정리되어있다. 전송 실패가 프레임 충돌로 판단되는 경우 수신자는 기존 802.11 표준에서와 같이 ACK 프레임을 전송하지 않으므로, 송신자에게 프레임 전송이 실패했음을 간접적으로 알린다. 반면, 전송 실패가 채널 상황의 악화로 판단되는 경우에 수신자는 NACK 프레임을 송신자에게 전송함으로써 명시적으로 프레임 전송이 실패했음을 알린다. NACK 프레임의 전송은 DATA (혹은 RTS) 프레임의 전송시에 NAV 값 설정을 통해 채널이 확보된 시간 내에 전송되므로 ACK 타임아웃과 비교하여 추가적인 오버헤드를 일으키지 않는다. 또한, 802.11 표준은 ACK 타임아웃이 발생했을 때 전송 실패의 원인이 프레임 충돌인 것으로 간주하여 경쟁 윈도우의 크기를 두 배로 늘리게 되며, 따라서 ACK 타임아웃의 원인이 프레임 충돌이 아닌 악화된 채널 상태인 경우 불필요한 경쟁 윈도우의 증가로 성능 저하를 가져오게 된다. 하지만, 제안하는 기법에서는 프레임 전송 실패로 인한 전송 실패인 경우에만 ACK 타임아웃이 발생하므로 802.11 표준의 경쟁 윈도우 크기의 조절 과정의 기본 가정에 보다 충실하게 되는 부가적인 장점을 갖게 된다.

```

if 전송 실패가 프레임 충돌인 경우 then
    { 기존 802.11과 동일: ACK 프레임을 전송하지 않음 }
else 전송 실패가 채널 에러인 경우 then
    { NACK 프레임을 전송 }
    
```

표 2. 수신자에서의 피드백 알고리즘

NACK 프레임 전송과 ACK 타임아웃을 이용한 수신자 측의 위와 같은 피드백을 이용하여, 송신자에서는 ARF 기법의 동작을 기반으로 표 3과 같이 전송속도를 결정한다. 먼저, ACK 타임아웃이 발생한 경우에는 프레임 충돌에 의한 전송 실패이므로 전송속도 조절기는 전송 속도를 낮춰야할 이유가 없다. 따라서 ARF의 연속 실패 카운트에 변화를 주지 않는다. 반면, NACK 프레임을 수신한 경우에는 채널 에러로 인한 전송 실패이므로 ARF의 연속 실패 카운트를 증가시키고, 카운트가 임계값인 10에 도달한 경우 전송속도를 한 단계 낮춘다. 그 외의 동작과정은 ARF와 동일하다.

```

if ACK 타임아웃이 발생한 경우 then
    { ARF의 연속 실패 카운트에 변화없음 }
else NACK 프레임을 수신한 경우 then
    { ARF의 연속 실패 카운트를 증가,
      카운트가 10회 이상인 경우 데이터 레이트 감소 }
    
```

표 3. 수신자의 피드백을 이용한 송신자에서의 전송속도 조절기

4. 성능평가

본 장에서는 제안하는 기법의 성능을 ns-2 시뮬레이터를 사용하여 검증하였으며, ns-2용 802.11e 확장 모듈이 사용되었다[8].

4.1. 실험 환경

시뮬레이션 환경은 단말들이 실내에서 Orinoco 802.11b PC 카드를 사용하는 환경을 재현하였다. 각 단말은 15 dBm의 파워로 전송하며, 프레임 에러율을 측정하기 위하여 Intersil에서 제공하는 다양한 코딩 기법에 대한 실험적인 BER대 SNR 곡선을 사용하였다[9]. 채널 모델로는 실내 환경을 재현하기 위해 경로 손실 지수 (path loss exponent) 4를 적용한 shadowing 모델을 사용하였다. 각 단말은 200초 동안 프레임을 전송하도록 하였으며, 마지막 100초 동안의 결과만을 측정하여 사용하였다. 이러한 전송은 20회 반복되었으며, 이를 평균한 값을 사용하였다.

제안하는 기법의 성능 평가를 위하여 ARF 기법, S-ARF 기법 (T_{limit} 값으로 2와 4를 각각 사용하여, S-ARF(2), S-ARF(4)로 표기)을 함께 구현하여 제안하는 기법과 함께 검증하였으며, 누적 시스템 처리량 (aggregate system throughput)을 기준으로 각각의 성능을 비교하였다.

4.2 실험 결과

먼저 제안하는 기법이 프레임 충돌을 얼마나 효과적으로 처리하는지를 알아보기 위하여 별형 토폴로지(star topology)에서 성능을 비교하였다. 이 시나리오에서는 단말들의 개수를 변경해가며 단말을 AP를 중심으로 10m¹ 지름의 원주 위에 등간격으로 배치하였으며, 단말은 항상 보낼 프레임을 큐에 가지고 있는 포화 트래픽(saturated traffic) 상황을 가정하였다. 프레임 크기는 일반적인 VoIP 프레임의 크기인 160 bytes로 하였다.

그림 1은 경쟁 단말의 개수가 증가함에 따른 누적 처리량의 추이를

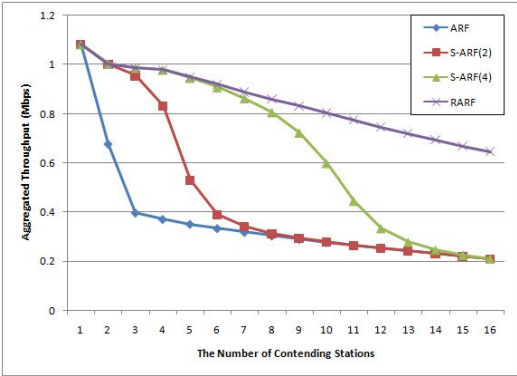


그림 1. 제안하는 기법과 경쟁 기법의 경쟁 단말수의 변화에 따른 누적 처리량 비교. 별형 토폴로지에서 포화된 트래픽 환경을 가정하였음.

1) 10m는 항상 가장 높은 전송 속도(11Mbps)로 전송하기에 충분한 가까운 거리이다.

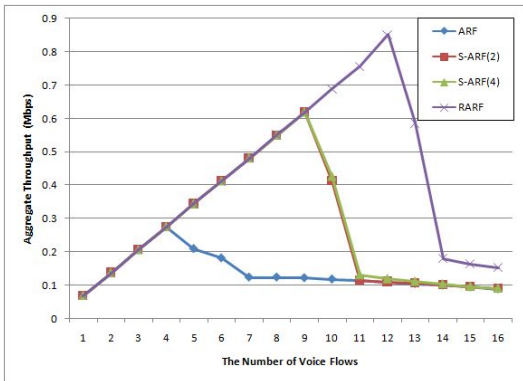


그림 2. 제안하는 기법과 경쟁 기법의 Voice플로우 수의 변화에 따른 누적처리량 비교. 별형 토폴로지에서 CBR트래픽을 사용하였으며, 배경 트래픽으로 4개의 음성 플로우를 두었음.

나타낸다. 전체적으로 경쟁 단말의 개수 증가가 프레임 충돌 확률을 높임으로써 모든 기법의 누적 처리량이 점차 감소하는 추세를 나타낸다. ARF 기법의 경우 경쟁 단말의 개수가 적을 때도 (2~3개) 프레임 충돌을 신호 약세와 적절히 구별하지 못하고 누적 처리량이 급격히 감소하게 됨을 알 수 있다. S-ARF 기법은 연속적으로 T_{limit} 회 이상 ACK 타임아웃에 의한 전송 실패가 일어났을 때만 이를 프레임 충돌에 의한 전송 실패로 간주하기 때문에 ARF 기법보다는 경쟁 단말의 개수가 많을 때에도 나은 성능을 보인다. 하지만, 경쟁 단말의 개수가 10개 이상으로 늘어나게 되면 T_{limit} 값이 2일 때와 4일 때 모두 성능이 저하됨을 알 수 있다. 즉, S-ARF 기법의 성능은 파라미터 T_{limit} 에 민감하게 반응하며, 경쟁 단말의 개수에 맞춰 설정할 필요가 있음을 알 수 있으나, 순간적인 경쟁 단말의 수를 알아내는 것은 현실적인 어려움이 있다. 마지막으로 제안하는 기법(RARF)은 경쟁 단말의 개수에 관계없이 다른 경쟁 기법보다 높은 누적 처리량을 달성하고 있으며, 이를 통해 적절한 전송 속도를 선택하고 있음을 알 수 있다.

다음으로 음성과 영상 플로우가 혼재하는 상황에서 성능을 비교해본다. 앞 실험과 같은 별형 토폴로지에서 4개의 단말이 AP로 영상 플로우를 전송하여 배경 트래픽(background traffic)을 형성하였으며, AP 주위에 등간격으로 배치된 음성 플로우 단말의 개수를 변경시켜가며 이들의 누적 처리량을 측정하였다. 음성 플로우는 160 bytes 크기의 64Kbps CBR 트래픽을, 영상 플로우는 1000 bytes 크기의 500Kbps CBR 트래픽을 생성하여 사용하였다.

그림 2는 제안하는 기법(RARF)의 성능이 경쟁 기법들의 성능보다 음성 플로우의 개수에 상관없이 우월함을 보여준다. 앞 실험과 마찬가지로 ARF 기법은 전송 실패의 원인이 충돌인지 신호 약세인지를 판별하는 메커니즘이 전혀 없기 때문에 가장 낮은 누적 처리량을 보였다. S-ARF 기법은 ARF 기법보다는 많은 음성 플로우에 대해서 정상적인 전송 속도 조절 성능을 보였으나 근본적으로 프레임 충돌과 신호 약세를 가려내는 메커니즘 없이 경험(heuristics)에 의존한 알고리즘의 한계

로 인해 경쟁 단말의 개수가 9개를 넘어서면 전송 속도 조절기가 오작동하게 된다. 반면 RARF는 수신 단말에서 프레임 충돌 감지를 통해 피드백을 송신 단말에 제공함으로써 효율적으로 전송 속도를 조절하여 경쟁 단말의 개수가 많을 때에도 높은 누적 처리량을 달성하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 802.11e EDCA의 음성 카테고리에서 전송속도 조절기가 오동작하는 문제를 해결하기 위해서, 수신자에서 전송 실패의 원인을 판단하여 ACK 타임아웃과 NACK 프레임 전송을 이용한 피드백을 송신자에 제공하는 메커니즘을 사용하는 새로운 전송속도 조절기를 제안하였다. 시뮬레이션을 통한 성능평가 결과, 제안하는 기법은 기존 기법인 ARF와 S-ARF보다 효과적으로 프레임 충돌을 감지하여 적절한 전송속도를 선택하는 것으로 나타났다. 향후 과제로는 제안하는 기법을 적용한 단말과 ARF 등 타 기법을 적용한 단말이 공존하는 환경에서의 성능을 평가해보는 것을 계획하고 있다.

참고 문헌

- [1] IEEE Computer Society. 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, June 1997.
- [2] IEEE Computer Society. 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements (802.11e), Nov. 2005.
- [3] Qiang Ni, "Performance analysis and enhancements for IEEE 802.11e wireless networks," in IEEE Network, Vol. 19, pp 21-27, 2005.
- [4] J. Kim, S. Kim, S. Choi, and D. Qiao, "CARA: Collision-aware Rate Adaptation for IEEE 802.11 WLANs," in Proc. IEEE INFOCOM, 2006.
- [5] Hakyung Jung, Taekyoung Kwon, Yanghee Choi, "A Scalable Rate Adaptation Mechanism for IEEE 802.11e Wireless LANs," in Proc. International Conference on Future Generation Communication and Networking (FGCN) 2007.
- [6] A. Kamerman and L. Monteban, "WaveLAN/sup R/-II: a high performance wireless LAN for the unlicensed band," Bell Labs Technical Journal, vol. 2, pp. 118-133, 1997.
- [7] Shravan R, Arunesh M, Dheeraj A., Sharad S., Suman B., "Diagnosing Wireless Packet Losses in 802.11: Separating Collision from Weak Signal," in Proc. INFOCOM 2008.
- [8] Technical Report, S. Wietholter, M. Emmelmann, C. Hoene, A. Wolisz, "TKN EDCA Model for ns-2," Telecommunication Networks Group, Technische Universität Berlin, June 2006.
- [9] "HFA3861B: Direct Sequence Spread Spectrum Baseband Processor," January 2000.

이 연구를 위해 연구장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대학교 컴퓨터연구소에 감사드립니다.