

IEEE 802.11n에서 전송속도 조절기법의 성능 향상을 위한 Coherence Time 예측 방식

정희원 여창연*, 최문환**, 준회원 김병진**, 종신회원 최성현**

Coherence Time Estimation for Performance Improvement of IEEE 802.11n Link Adaptation

Changyeon Yeo*, Munhwan Choi** *Regular Members*,
Byoungjin Kim** *Associate Member*, Sunghyun Choi** *Lifelong Member*

요약

IEEE 802.11n 표준은 새로운 방식의 전송속도 조절기법(Link adaptation)을 위한 기반을 제공한다. 802.11n에서 채널의 변화로부터 최대한의 이득을 얻기 위해, 한 단말은 다른 단말에게 Modulation and Coding Scheme (MCS) 피드백을 요청할 수 있다. 그러나 무선 채널의 상태는 시간에 따라 변한다. MCS 피드백 요청으로부터 피드백 받은 정보의 적용까지 걸린 시간이 특정 값보다 커지면 그 사이의 채널 상태 변화로 인해 피드백 받은 정보는 쓸모없어지게 된다. 단말이 무선채널 상태의 변화 정도를 추정할 수 있다면 전송속도 조절기법의 정확도를 개선할 수 있다. 이 논문은 크게 두 항목에 초점을 맞추고 있다. 첫째, NS-2 시뮬레이션을 통해 802.11n에서 coherence time이 MCS 피드백 기반 전송속도 조절기법의 성능에 어떤 영향을 미치는지 분석한다. 둘째로, 이 논문은 전송속도 조절기법의 성능에 큰 영향을 주는 채널의 coherence time을 추정하는 효율적인 방법을 제시한다. Allan variance 정보 통계를 활용하여 단말은 수신 링크의 coherence time을 추정할 수 있다. 추정한 coherence time을 피드백 기반의 Link adaptation에 적용할 경우 기존의 기법보다 더 나은 성능을 얻을 수 있다.

Key Words : IEEE 802.11n WLAN, Feedback-based, Link adaptation, Coherence time, Online estimation.

ABSTRACT

IEEE 802.11n standard provides a framework for new link adaptation. A station can request that another station provide a Modulation and Coding Scheme (MCS) feedback, to fully exploit channel variations on a link. However, if the time elapsed between MCS feedback request and the data frame transmission using the MCS feedback becomes bigger, the previously received feedback information may be obsolete. In that case, the effectiveness of the feedback-based link adaptation is compromised. If a station can estimate how fast the channel quality to the target station changes, it can improve accuracy of the link adaptation. The contribution of this paper is twofold. First, through a thorough NS-2 simulation, we show how the coherence time affects the performance of the MCS feedback based link adaptation of 802.11n networks. Second, this paper proposes an effective algorithm for coherence time estimation. Using Allan variance information statistic, a station estimates the coherence time of the receiving link. A proposed link adaptation scheme considering the coherence time can provide better performance.

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-(C1090-1111-0004))
* 삼성전자 무선사업부 (cyeeo@mwnl.snu.ac.kr),
** 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (mhchoi@mwnl.snu.ac.kr, bjkim@mwnl.snu.ac.kr, schoi@snu.ac.kr)
논문번호 : KICS2010-06-268, 접수일자 : 2010년 06월 11일, 최종논문접수일자 : 2011년 2월 28일

I. 서론

IEEE 802.11^[1] 무선랜(Wireless Local Area Network) 시스템은 큰 발전을 거쳐 오늘날 널리 쓰이게 된 무선 통신기술이다. 무선랜 기술의 발전에서 중요한 목표 중 하나는 시스템 성능을 극대화하는 것이다. IEEE 801.11n^[2]은 801.11a/b/g 등 기존의 표준과 비교하여 네트워크 성능을 크게 개선하는 것을 목표로 삼고 있다. 보다 구체적으로, 802.11n은 600 Mbps의 최대 물리(PHY) 계층 전송속도와 100 Mbps의 user throughput을 제공하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 최대 4X4 MIMO (Multi-input Multi-output) 기술, 5/6 Coding rate, Channel bonding, Short guard interval 등 네트워크 성능을 향상시킬 수 있는 몇 가지 물리 계층의 특징을 제공한다. 또한 801.11n은 Frame aggregation, Compressed Block Acknowledgement (ACK), Modulation and Coding Scheme (MCS) 피드백을 이용한 Link adaptation 등 새로운 Medium Access Control (MAC) 계층의 특성도 제공하고 있다.

802.11n 표준에서 제공하고 있는 MCS 피드백 기반의 전송속도 조절기법(Link adaptation)은 다음과 같다. 한 단말은 채널 상태를 정확하게 파악하여 전송 이득을 얻기 위해 다른 단말에게 MCS 피드백을 요청할 수 있다. MCS 피드백 요청은 MCS Feedback (MFB) request를 통해 이루어진다. MCS 피드백 요청을 받은 단말은 자신과 피드백을 요청한 단말 사이의 채널 상태를 측정, 평가하여 적합한 MCS를 결정한다. 선택된 MCS는 MFB response를 통해 송신 단말에 전송되고, 송신 단말은 MFB response의 MCS 정보를 적용하여 데이터 프레임을 전송한다. MFB request와 MFB response 정보는 802.11n MAC header의 HT Control 필드를 통해 교환된다.

Automatic Rate Fallback (ARF)^[3], Adaptive Multi Rate Retry (AMRR)^[4], SampleRate^[5] 등 open-loop 기반의 Link adaptation과 비교하여, MCS 피드백 기반의 Link adaptation은 채널 상태를 보다 효과적으로 평가할 수 있다. 또한 MCS 피드백 기반의 Closed-loop Link adaptation은 채널 fading에 의한 영향과 충돌에 의한 영향을 구별할 수 있기 때문에 프레임 충돌로 인해 발생하는 불필요한 MCS 하향조정을 피할 수 있다. 하지만 MCS 피드백 기반의 Link adaptation 기술은 채널이 시간에 따라 느리게 변화하는 경우에만 효과적으로 작동한다. 다시 말해서, MCS 피드백 요청으로부터 피드백 받은 정보의 적용까지 걸린 시간이

특정 시간을 넘어서는 경우, 그 사이의 채널 상태 변화로 인해 피드백 받은 정보는 쓸모없어지게 된다.

일반적으로 802.11 네트워크에서는 단말의 이동성이 비교적 제한된 환경을 가정한다. 하지만 802.11 무선랜 기기의 가격이 저렴해지고 휴대성이 증진됨에 따라 높은 이동성(mobility)에 대한 수요가 증가하고 있다. 더욱 중요한 것은 802.11 단말이 움직이지 않는다고 하더라도 주위 환경 변화가 채널 변화를 유발할 수 있다는 점이다. 따라서 상대적으로 높은 이동성을 갖는 환경에서 802.11 Link adaptation의 성능을 연구할 필요가 있다.

본 논문에서는 coherence time이 Link adaptation에 미치는 영향과 Link adaptation의 성능 개선을 위해 coherence time을 이용하는 방법을 다룬다. 또한, coherence time을 실시간으로 추정하는 기법을 제안한다. 나아가, 제안한 기법을 Link adaptation에 적용할 경우 더 나은 성능을 얻을 수 있음을 시뮬레이션을 통해 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Link adaptation 기술과 관련된 연구에 대해 살펴보고, 3장에서는 coherence time이 802.11n Link adaptation의 성능에 어떤 영향을 미치는지에 대해 확인한다. 4장에서는 802.11n 시스템에서 coherence time 추정을 위한 online algorithm을 제안하고 coherence time 추정을 이용한 Link adaptation에 대해 다룬다. 마지막으로 5장에서 논의의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

Link adaptation 프로토콜은 modulation 방식과 coding rate을 현재 채널 상태에 맞게 조절하는 방식이다. 송신/수신 단말이나 주위환경에 이동성이 있을 때 채널 상태는 시간에 따라 변하고 그 결과 채널 fading이 발생하게 된다. Link adaptation 프로토콜은 fading이 발생하는 채널 환경에서 modulation 방식과 coding rate을 적응적으로 조절하여 최적의 성능을 얻고자 하는 방식이다.

Link adaptation 프로토콜은 Loss-triggered Link adaptation과 SNR-triggered Link adaptation으로 분류된다. Loss-triggered link adaptation에서는 송신 단말이 Acknowledgement (ACK) timeout등의 MAC 계층 정보를 이용하여 현재의 채널 상태를 평가한다. 예를 들어 데이터 프레임이 몇 차례 성공적으로 전송되면 MCS 수준을 상향조정하고, 데이터 프레임의 전송이 실패하면 채널 상태가 좋지 못하다고 판단하여

MCS 수준을 하향조정한다. ARF, AMRR, SampleRate 등이 바로 Loss-triggered Link adaptation의 예이다. Loss-triggered Link adaptation은 구현이 단순하다는 장점을 가지는 반면, fast fading 채널 환경에서 채널 변화를 빠르게 반영할 수 없다는 단점을 가진다. 이와 더불어 전송실패가 발생했을 때 그것이 채널 fading에 의한 실패인지 혹은 프레임 충돌로 인한 실패인지를 구별할 수 없다는 점에서 한계를 가진다. Collision Aware Rate Adaptation (CARA)^[10]에서는 Request-to-Send (RTS) 프레임과 Clear-to-Send (CTS) 프레임의 교환 방식을 추가적으로 적용하여 채널 fading으로 인한 실패와 프레임 충돌로 인한 실패를 구별한다. 하지만 이 방식 역시 채널의 변화를 빠르게 반영할 수 없다는 점에서 한계를 갖는다.

반면에 SNR-triggered Link adaptation에서는 수신 단말이 Signal-to-Noise-Ratio (SNR) 정보를 이용하여 적절한 MCS를 선택하고, 선택된 MCS 정보 혹은 수신한 SNR 정보 자체를 피드백을 통해 송신 단말에 알려준다. 이 과정은 채널 상태에 대한 피드백 정보 request, 피드백 정보 response, 피드백 정보 적용, acknowledgment로 구성된 4 단계로 이루어진다 (four-way handshake). Receiver-Based AutoRate (RBAR)^[6]과 Opportunistic Auto Rate (OAR)^[7] 등이 SNR-triggered Link adaptation의 대표적인 예이다. 채널 정보에 대한 피드백 전송이 필요한 이유를 두 가지로 생각해볼 수 있다. 첫째, 채널이 항상 대칭적 (symmetric)인 것은 아니다. 지형적인 특성과 주위 환경에 의해 하나의 링크와 반대 방향의 링크는 다른 특성을 가질 수 있다. 둘째, 송신 단말의 전송 파워 및 reception capability는 수신 단말의 그것과 다를 수 있다. 따라서 수신 단말에서 MCS가 선택된 후 그 결과가 송신 단말로 피드백 되어야 한다.

일반적으로 SNR-triggered Link adaptation 기법은 Loss-triggered Link adaptation보다 채널 변화에 더 빠르게 대응한다. SNR-triggered Link adaptation에서는 채널 상태를 수신 단말이 직접 평가하고 그 결과를 바탕으로 송신 단말이 MCS를 조정하기 때문이다. 하지만 이동성이 높은 환경에서는 coherence time이 상대적으로 작아지므로 Link adaptation의 성능이 저하될 수밖에 없다. 따라서 coherence time이 시스템 성능에 미치는 영향에 대해 자세히 분석할 필요가 있다.

III. 802.11 Link Adaptation에 대한 Coherence Time의 영향

수신 단말에 의해 피드백 된 MCS 정보를 이용하여 송신 단말이 데이터 프레임을 전송한다. 채널의 이동성이 증가하여 coherence time이 줄어들면 채널을 평가할 때의 채널 상태와 데이터를 전송할 때의 채널 상태가 달라질 확률이 높다. 이는 MCS 선택에 오류를 야기하며 채널을 효율적으로 사용하지 못하게 한다. 이 장에서는 NS-2^[11] 시뮬레이션을 통해 coherence time이 MCS 피드백 기반의 Link adaptation에 미치는 영향을 확인한다.

시뮬레이션 환경은 표 1에서 설명된 것과 같이 구성된다. 802.11n PHY 모델과 Rayleigh Fading 채널 모델을 사용한다. 802.11n은 다양한 MCS를 지원하지만 이 논문에서는 필수로 지정된 MCS만을 사용한다. 전송 방식으로는 그림 1과 같이 Transmission Opportunity (TXOP)을 사용하는 802.11n Aggregated MPDU (A-MPDU) 방식과 Block ACK 전송 방식을 사용한다. 또한, 송신 단말과 수신 단말이 one-to-one 통신을 하는 환경을 가정한다.

그림 1은 MCS 피드백 기반 Link adaptation의 동작을 구체적으로 나타낸다. MCS 피드백을 받기 위한

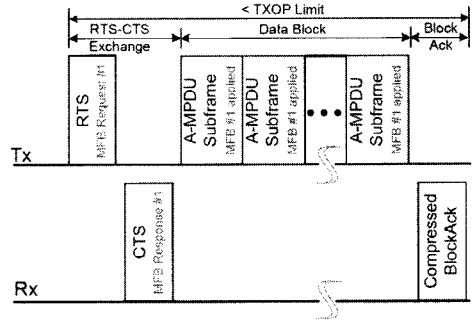


그림 1. 802.11n A-MPDU 전송과 MCS 피드백.

표 1. 시뮬레이션 환경

PHY	IEEE 802.11n PHY
Transmission Scheme	IEEE 802.11n A-MPDU transmission - Block ACK
Channel Model	Rayleigh Fading Model
MSDU Size	1508 Bytes
Simulation Runtime	60 Seconds

MFB request와 MFB response는 RTS와 CTS 프레임을 통해 교환된다. RTS/CTS 프레임 교환을 통해 MCS가 설정되며, 하나의 TXOP 구간 내에서는 동일한 MCS를 이용한다. 복수 개의 데이터 프레임들이 A-MPDU로 aggregate하여 연속적으로 전송된다. 전송되는 A-MPDU 프레임의 크기는 TXOP 구간의 크기와 관련이 있다. A-MPDU를 통해 데이터 프레임들의 전송이 끝난 다음 수신 단말은 BlockAck 프레임으로 전송하여 데이터 프레임들의 전송 성공 여부를 송신 단말에게 알려준다.

그림 2와 그림 3은 위와 같은 시뮬레이션 환경에서 이동성의 변화에 따른 Link adaptation 성능을 측정할 결과이다. 그림 2는 송신 단말과 수신 단말사이의 거리를 변화시키면서 성능을 측정한 그래프로서, 이를 통해 이동성이 증가할수록 성능 저하가 발생함을 확인할 수 있다. 이와 같은 성능저하는 이동성이 증가함에 따라 MCS 피드백 정보의 채널 상태와 실제 데이터 전송 시의 채널 상태 사이의 time correlation이 작아졌기 때문에 발생한다. 이동성이 높은 환경에서는 MCS 피드백 정보를 교환하는 과정 자체가 성능을 감소시키는 overhead가 되기 때문에 피드백 된 MCS 정보가 오히려 성능을 감소시킬 수 있다.

그림 3은 TXOP 구간의 길이 변화에 따른 성능의 변화를 측정한 그래프이다. TXOP 구간의 길이가 길어질수록 RTS/CTS/BlockAck 프레임이 만들어 낸 overhead가 상대적으로 감소하여 성능이 향상될 수 있다. 하지만 TXOP 구간의 길이가 증가함에 따라 TXOP 뒷부분의 채널 상태와 선택된 MCS 사이의 time correlation이 작아져서 손실이 발생한다. 따라서 fading 환경에서는 그림 3의 결과와 같이 TXOP 구간의 길이가 길어짐에 따라 성능이 증가하다가 특정한

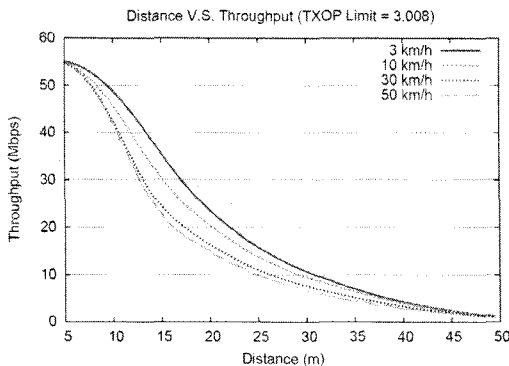


그림 2. Distance vs. throughput (TXOP Limit: 3.008 msec).

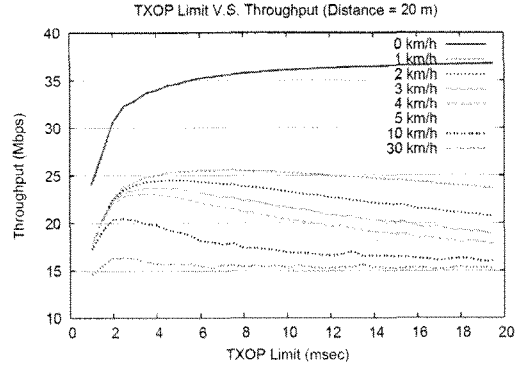


그림 3. TXOP Limit vs. throughput (Distance: 20 m).

TXOP 구간의 길이 값이 낮을 지나면 성능이 떨어지기 시작한다. 단말이 채널의 이동성 정도를 추정할 수 있다면 적절한 TXOP 구간의 크기를 설정하여 성능을 극대화할 수 있다.

IV. Coherence Time 추정

이 장에서는 coherence time을 추정하는 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 새롭게 제안하는 기법이 타당함을 보인다. 더불어 coherence time 추정기법을 이용한 Link adaptation의 성능을 평가한다.

4.1. Coherence time의 의미

Coherence time은 채널 impulse response가 변하지 않는 통계적 시간 간격을 의미하며, 서로 다른 시간에서 채널 response 값의 유사성 정도를 수량화한 값이다. Coherence time과 Doppler spread는 아래의 수식과 같이 서로 반비례 관계를 가진다^[8].

$$T_C \propto \frac{1}{f_m}, \quad f_m = \frac{\nu_m}{\lambda} \quad (1)$$

이때 T_C , f_m , ν_m , λ 는 각각 coherence time, Doppler spread, Doppler velocity, Carrier wavelength를 의미한다.

Coherence time은 아래의 수식과 같이 auto-covariance function이 0.5보다 큰 조건을 만족하는 최대 τ 시간으로 정의된다.

$$R_X(\tau) = \frac{E[(X_t - \mu_X)(X_{t+\tau} - \mu_X)]}{\sigma^2} > 0.5 \quad (2)$$

이때 $R_X(\tau)$ 는 시간 간격 τ 에 대한 auto-covariance function을 의미하며, $X_{t+\tau}$, X_t 는 각각 시간 $t+\tau$, t 에서의 sample 값을, μ_X , σ 는 각각 sample 값들의 평균과 표준편차를 의미한다.

Rayleigh fading 채널을 가정하면, coherence time은 다음의 근사식으로 나타낼 수 있다^[8].

$$T_C \approx \frac{9}{16\pi f_m} \quad (3)$$

4.2. IEEE 802.11 네트워크에서의 Coherence time 추정

수식 (2)를 통해서 알 수 있듯이, coherence time은 auto-covariance 함수를 통해 정의된다. Ergodic한 채널 환경을 가정하면, auto-covariance 함수는 시간에 대한 주기적인 sample 값들을 통해 쉽게 계산할 수 있다. 하지만 802.11 시스템에서 채널 상태를 나타내는 SNR 값은 프레임이 실제로 수신할 때에만 얻을 수 있다. 이처럼 제한적으로 추출된 샘플은 지속적이지도 않고 주기적이지도 않으므로, 샘플 사이의 간격은 균일하지 않다. Coherence time을 추정하기 위해서는 SNR sample 값들과 sample들의 간격에 대한 통계 값을 수집하고 분석할 필요가 있다.

본 논문에서는 Allan variance sample 방식을 이용한다. Two-sample variance로 불리기도 하는 Allan variance는 수식 (4)와 같이 두 sample 값의 차이를 제공한 다음 이를 2로 나눈 값으로 정의된다.

$$\sigma^2(\tau) = \frac{1}{2} (X_{t+\tau} - X_t)^2 \quad (4)$$

$\sigma^2(\tau)$ 은 두 개의 측정된 sample 사이의 시간 간격 τ 에 따른 Allan variance를 의미하며, X_t 는 시간 t 에서의 sample 값을 의미한다.

Allan variance의 평균은 다음과 같은 전개를 통해 variance와 auto-covariance 함수에 대한 간단한 식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} E[\sigma_X^2(\tau)] &= \frac{E[X_{t+\tau}^2] + E[X_t^2] - 2E[X_{t+\tau}X_t]}{2} \\ &= \sigma^2 + \mu_X^2 - E[X_{t+\tau}X_t] \\ &= \sigma^2(1 - R_X(\tau)) \end{aligned} \quad (5)$$

수식 (2)와 (5)를 통해, coherence time의 정의를 Allan variance의 평균이 $0.5\sigma^2$ 인 지점의 τ 값으로 나타낼 수 있다.

4.3. Coherence time 추정을 위한 online method

Coherence time 추정은 미리 수집된 sample 값을 그림 4와 같이 two-tuple Allan variance sample ($\tau, \sigma^2(\tau)$) 값들로 변환하는 것에서부터 시작한다. 그런 다음 그림 5와 같이 미리 정의된 평균 구간의 크기에 따라 각 구간에서의 Allan variance의 평균을 구한다. 이렇게 구해진 평균 Allan variance 그래프와 sample들의 variance를 비교하여 coherence time을 추정한다.

Coherence time 추정은 실시간으로 이루어져야 하고, 추정 결과는 이동성 변화에 대해 빠르게 적용되어야 한다. 따라서 Allan variance와 sample variance의 평균은 다음과 같이 Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)의 방식으로 계산된다.

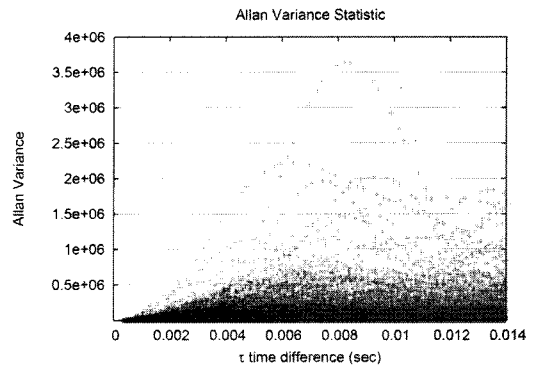


그림 4. Coherence time 추정 (STEP 1).

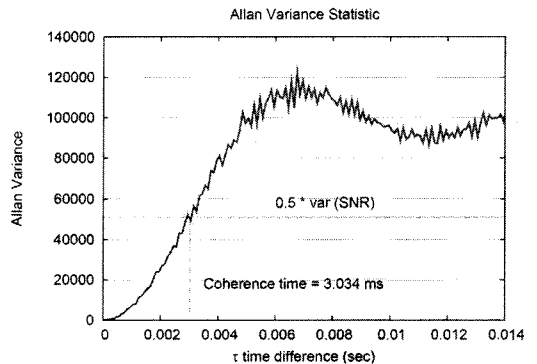


그림 5. Coherence time 추정 (STEP 2).

$$Y(n) = \alpha X(n) + (1 - \alpha) Y(n - 1) \quad (6)$$

$X(n)$ 은 n번째의 incoming sample 값을 의미하고, $Y(n)$ 은 n번째 sample이 도착할 때까지의 incoming sample들의 평균값을 의미한다. α 는 EWMA 필터 계수로 0과 1사이에서 정의된다. α 값이 클수록, 평균값에 빠르게 수렴할 수 있지만 이동성 변화를 빠르게 따라갈 수 없는 문제가 발생한다.

4.4. 시뮬레이션을 통한 성능 평가

NS-2 시뮬레이터를 통해 coherence time 추정 기법의 성능을 검증한다. 본 실험에서는 평균 구간의 크기를 0.1 msec로 가정하였다.

첫 번째 시뮬레이션은 송신 단말과 수신 단말이 one-to-one 통신을 하는 환경에서 이동성의 변화를 가정한다. 시간에 따른 이동성의 변화양상은 표 2와 같다. 그림 6은 송신 단말과 수신 단말 각각에서 추정된 coherence time과 expected coherence time 값을 시간에 따라 나타낸 것이다. 여기서 Expected coherence time 값은 수식 (3)으로부터 계산된다. 그림 6를 통해 coherence time 추정 기법이 예상대로 동작함을 확인할 수 있다.

다음 시뮬레이션은 그림 7과 같이 단말이 이동함에 따라 path loss가 변하는 환경을 가정한다. 이 시뮬레

표 2. 채널 이동성 세팅

시뮬레이션 시간	이동성 (속도)
0 ~ 25 sec	10 km/h
25 ~ 45 sec	20 km/h
45 ~ 65 sec	5 km/h
65 ~ 85 sec	30 km/h
85 ~ 105 sec	3 km/h

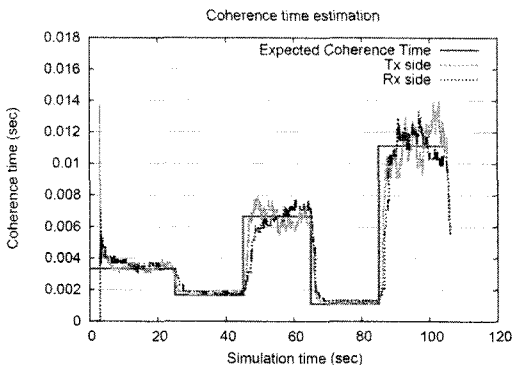


그림 6. Coherence time 추정.

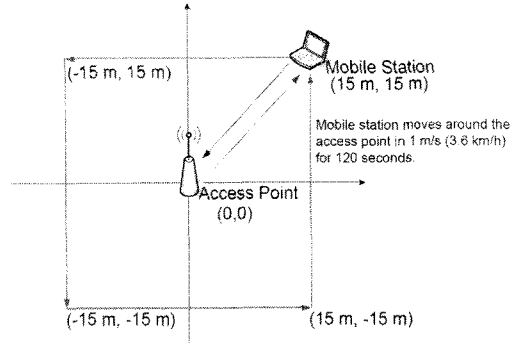


그림 7. 움직이는 단말을 포함한 topology.

이션에서는 path loss가 변하는 환경에서 coherence time을 추정하는 과정을 보여준다. 단말은 Access Point (AP) 주위를 1 m/s의 속도로 움직이며 데이터를 주고받는다. 단말이 이동함에 따라 단말과 AP 사이의 거리가 변하기 때문에, 이동성에 따른 채널 fading뿐만 아니라 path loss 값 자체가 크게 변한다. 그림 8을 통해 SNR 값의 급격한 변화를 확인할 수 있다. Coherence time 추정은 이러한 path loss의 급격

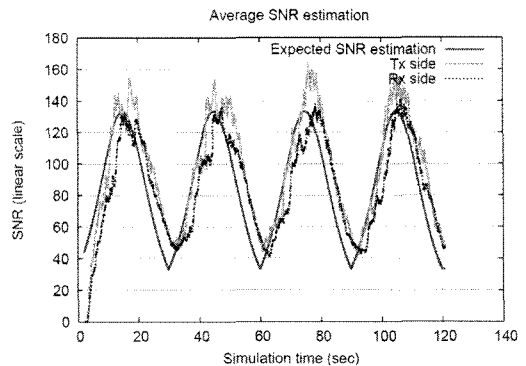


그림 8. 단말이 움직이는 환경에서의 평균 SNR 추정.

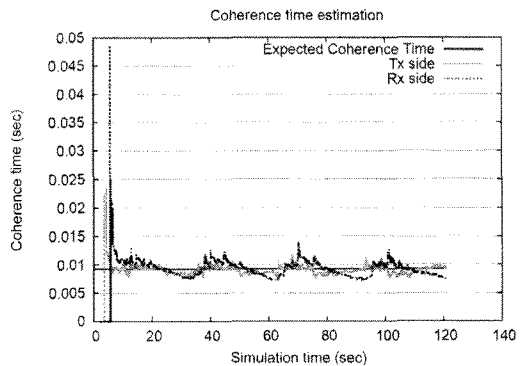


그림 9. 단말이 움직이는 환경에서의 coherence time 추정.

한 변화에 영향을 받지 않아야 한다. 다시 말해서, path loss가 급격하게 변하는 환경에서도 coherence time을 정확하게 추정할 수 있어야 한다. 그림 9는 추정된 coherence time 값을 나타내는 그래프로서, 이를 통해 단말이 실제로 움직이는 환경에서도 추정 에러가 크지 않음을 확인할 수 있다.

4.5 Link adaptation에 대한 적용

논문에서 제안한 coherence time 추정기법을 Link adaptation에 적용하여 성능을 평가한다. 비교 대상이 되는 Link adaptation 프로토콜은 Loss-triggered Link adaptation 중 하나인 ARF와 MCS 피드백 기반의 Link adaptation이다. ARF에서 송신단은 연속 10번 전송 성공 시 MCS를 한 단계 올리고 연속 2번 실패 시 MCS를 한 단계 내린다. ARF의 동작을 위해서는 A-MPDU의 성공과 실패를 판단하는 기준이 필요하다. 이 시뮬레이션에서는 하나의 A-MPDU에 속한 여러 서브프레임 중 절반 이상이 성공했을 때 A-MPDU가 전송 성공한 것으로 가정한다.

그림 10은 Doppler velocity 변화에 따른 각 Link adaptation의 throughput을 나타낸 그래프이다. Proposed 기법은 MCS 피드백 기반의 Link adaptation을 이용하되, coherence time이 특정 threshold보다 작을 때(즉, doppler velocity가 특정 threshold 보다 클 때)는 Link adaptation 기법을 이용하지 않고 고정된 MCS (예를 들어, 52 Mbps)를 이용한다. Coherence time이 특정 threshold보다 작을 때는 MCS 피드백이 쓸모없어지기 때문에 피드백 없이 고정된 MCS를 이용함으로써 더 좋은 throughput 성능을 보이게 된다. 또한, coherence time을 이용하여 적응적으로 MCS 피드백을 하는 기법은 loss를 기반으로 MCS를 결정하는 ARF보다 더 높은 throughput

값을 갖는다.

V. 결 론

이 논문에서 우리는 채널의 이동성이 증가함에 따라 MCS 피드백 기반의 Link adaptation 기법의 성능이 제한되는 것을 보았다. 논문에서 새롭게 제안된 coherence time 추정 기법을 통해 무선 단말은 실제 채널의 이동성 정도를 실시간으로 정확하게 추정할 수 있다. Coherence time 추정기법을 Link adaptation에 적용할 경우 기존의 Link adaptation 기법보다 높은 throughput 성능을 얻게 된다. 또한 제안된 기법을 통해 추정된 채널 이동성 정보를 활용하여 다양한 환경에서 성능 향상을 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.11, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications*, IEEE Std. 802.11-2007, Jun. 2007.
- [2] IEEE 802.11n, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Enhancements for Higher Throughput*, supplement to IEEE Std. 802.11, Oct. 2009.
- [3] A. Kamerman and L. Monteban, "WaveLAN-II: a high-performance Wireless LAN for the Unlicensed Band," *Bell Labs Technical Journal*, vol.2, no.3, pp.118-133, Aug. 1997.
- [4] M. Lacey, M. H. Manshaei, and T. Turletti, "IEEE 802.11 Rate Adaptation: A Practical Approach," in *Proc. ACM MSWiM'04*, Venezia, Italy, Oct. 2004.
- [5] J. C. Bicket, "Bit-rate selection in wireless networks," M.S. Thesis, MIT, Feb. 2005.
- [6] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A rate-adaptive MAC protocol for multi-hop wireless networks," in *Proc. ACM MobiCom'01*, Rome, Italy, Jul. 2001.
- [7] B. Sadeghi, V. Kanodia, A. Sabharwal, and E. Knightly, "Opportunistic Media Access for Multirate Ad Hoc Networks," in *Proc. ACM MobiCom'02*, Atlanta, Georgia, USA, Sep. 2002.

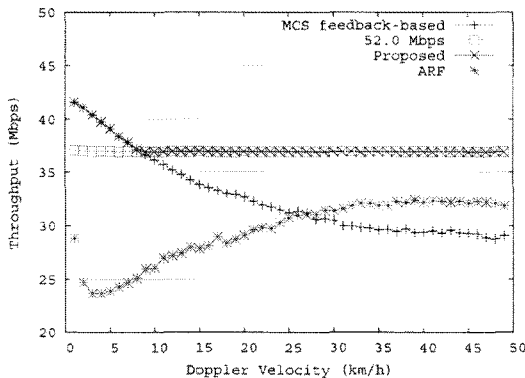


그림 10. Link adaptation 성능 비교

