

IEEE 802.16m 시스템에서 HARQ 피드백 정보를 이용한 ARQ 프로토콜 성능 개선

준희원 이종민*, 종신회원 홍대형*, 소재우*

Performance Improvement of ARQ Protocol using HARQ Feedback Information in IEEE 802.16m Systems

Jongmin Lee* Associate Member, Daehyoung Hong*, Jaewoo So* Lifelong Members

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.16m 시스템에서 HARQ 피드백 정보를 이용한 ARQ 프로토콜 (HARQ and ARQ interactions)을 사용할 때 HARQ 피드백 오류가 성능에 미치는 영향을 분석한다. 또한, HARQ 피드백 오류를 고려한 새로운 HARQ and ARQ interactions 기법을 제안한다. HARQ and ARQ interactions 기법은 ARQ 피드백 메시지를 대신하여 HARQ 피드백 정보를 사용하여 재전송 시간을 단축함으로써 시스템 throughput을 증가시킨다. 그러나 HARQ 피드백 메시지에 오류가 발생하는 경우 성능 열화가 발생 할 수 있다. 특히, HARQ 피드백 오류 중 Local NAK 오류가 발생 시 ARQ 블록의 유실로 인한 성능 열화가 심각하다. 본 논문에서는 HARQ Local NAK 오류를 고려하고 채널상태에 적응적으로 동작하는 HARQ and ARQ interactions 기법을 제안한다. 모의실험을 통해 제안한 기법 사용 시 throughput 및 delay 성능 향상을 확인하였고, 이를 정량적으로 분석하였다.

Key Words : ARQ, IEEE 802.16m, interactions, HARQ residual error, Local NAK

ABSTRACT

In this paper, the effects of HARQ feedback error are evaluated in IEEE 802.16m system when the HARQ and ARQ interactions that utilize the HARQ feedback information is used. Also, the HARQ and ARQ interaction scheme considering HARQ feedback errors are proposed. The HARQ and ARQ interaction scheme improve the system throughput by using the HARQ feedback information instead of the ARQ feedback message, which reduce retransmission time. However, errors in the HARQ feedback information generate severe performance degradation. Especially, the local NAK errors between HARQ feedback error critically degrade the performance, because the local NAK errors lead the loss of ARQ blocks. We propose a channel state-based schemes for HARQ and ARQ interactions to mitigate the throughput degradation due to HARQ feedback errors. Simulation results show that the proposed scheme improves the throughput and the delay performance.

1. 서 론

이동통신 무선 채널 환경에서 신뢰성 있는 데이터

전송을 위한 대표적인 오류 제어 기법으로 ARQ (Automatic Repeat reQuest) 기법과 FEC (Forward Error Correction) 기법이 있다. ARQ는 송신측이 데

* 본 연구는 2010년 삼성전자 DMC 연구소의 지원을 받았습니다.

* 서강대학교 전자공학과 ({hiro718, dhong, jwso,}@sogang.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-10-493, 접수일자 : 2010년 10월 15일, 최종논문접수일자 : 2010년 12월 6일

이더를 전송 후 수신측으로부터 수신 성공 여부를 피드백 받은 후 수신 실패한 데이터에 대해 재전송을 수행하는 기법이다. 그리고 FEC는 채널 코딩을 사용하여 오류 정정을 하는 기법이다. HARQ (Hybrid ARQ)는 물리 계층에서 동작하는 ARQ 기법으로 오류가 발생 한 데이터를 기존 ARQ 보다 빠르게 재전송 할 수 있지만 복잡도가 높다.

일반적인 이동통신 시스템에서 HARQ는 물리 계층에서, ARQ는 데이터링크 계층에서 서로 독립적으로 동작한다^[1,2]. 차세대 이동통신 시스템인 IEEE 802.16m 시스템에서는 데이터링크 계층에서의 오류 제어를 위해 ARQ 프로토콜을 사용하고, PHY 계층의 오류제어를 위해 HARQ 프로토콜을 사용한다^[3]. HARQ와 ARQ를 동시에 사용하는 경우 ARQ 프로토콜은 HARQ단에서 처리하지 못하는 오류 (HARQ residual error)를 처리하는 역할을 한다. 이 경우 HARQ와 ARQ의 피드백 메시지 기능이 중복된다. HARQ단에서 수신 성공한 데이터는 ARQ단에서도 수신 성공하게 되고, HARQ단에서 수신 실패한 데이터는 ARQ단에서도 수신 실패하기 때문이다. 이러한 특성을 이용하여 HARQ 피드백 메시지를 ARQ 피드백 메시지로 대신하여 사용하는 기법이 제안 되었다^[4]. IEEE 802.16m 시스템에서는 이를 HARQ and ARQ interactions이라고 한다^[3].

HARQ and ARQ interactions 기법을 사용함으로써 ARQ 피드백 메시지 수를 줄일 수 있고, 오류가 발생한 ARQ 블록을 빠르게 재전송 할 수 있어 ARQ 블록 전송에 걸리는 delay가 감소한다.^[4] Delay 감소를 통해 데이터 throughput 향상을 얻을 수 있다^{[5][6]}. 반면에 HARQ 피드백 메시지를 이용해 ARQ 피드백 메시지 기능을 대신하여 사용함으로써 HARQ 피드백 메시지에 오류가 발생하면 문제가 발생 할 수 있다. 수신 성공한 ARQ 블록의 중복 전송이나 수신 실패한 ARQ 블록이 유실될 수 있어 성능 저하를 가져온다. 따라서 ARQ 프로토콜의 성능 저하를 방지하기 위해 HARQ and ARQ interactions 기법에 HARQ 피드백 메시지 오류를 고려하여야 한다.

IEEE 802.16m 시스템에서 HARQ 피드백 메시지 오류를 고려한 HARQ and ARQ interactions 기법으로 여러 방안이 제시되었다^{[7][11]}. 기존 연구 [7]에서는 타이머를 사용하여 수신 실패한 ARQ 블록이 일정 시간동안 전송되지 않으면 HARQ 피드백 메시지 오류로 판단한다. 또 다른 연구에서는 HARQ단에서 오류가 발생한 HARQ 패킷이 재전송되지 않고 새로운 패킷이 전송되면 HARQ 피드백 메시지 오류로 판단한

다^{[8]-[10]}. HARQ ACK 피드백을 받은 ARQ 블록의 전송 성공 판단은 HARQ 피드백 메시지 오류 발생을 고려해 일정시간 경과 후 성공으로 판단한다^{[7][9][11]}. 그러나 기존 연구에서는 구체적인 적용 방안이나 성능 분석결과에 대한 논의가 부족하다.

본 논문에서는 첫째, 기존 HARQ and ARQ interactions 기법의 구체적인 동작을 위한 파라미터 설정 값을 제시하고, 성능을 평가한다. 둘째, 채널 상태 기반의 HARQ and ARQ interactions 기법을 제시하고, 종래의 기법과 성능을 비교한다. 본 논문은 다음과 같이 구성하였다. II장에서는 가정하고 있는 시스템 모델 및 HARQ and ARQ interactions 기법 사용 시 예상되는 문제에 대해 설명한다. III장에서는 HARQ 피드백 오류를 고려한 HARQ and ARQ interactions 기법의 기존 알고리즘을 설명하고 구체적 적용 방안 제시 및 새로운 알고리즘을 제안한다. 그리고 IV장에서는 모의실험을 통해 성능을 도출하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델 및 문제 구체화

본 논문에서는 IEEE 802.16m 시스템에서 ARQ 프로토콜을 사용하여 데이터를 전송하는 경우를 고려한다. PHY 계층에서는 HARQ 프로토콜을 사용하고, ARQ 프로토콜은 HARQ 피드백 메시지를 이용한 HARQ and ARQ interactions 기법을 사용한다. 그림 1은 논문에서 고려하는 HARQ and ARQ interactions 기법의 동작 과정을 보여준다.

HARQ and ARQ interactions 기법에서 사용하는 internal 피드백 메시지는 Local ACK 메시지와 Local

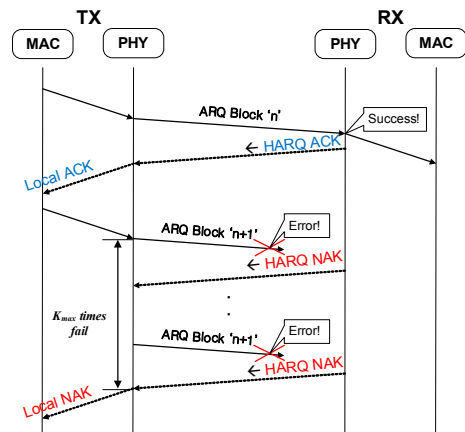


그림 1. HARQ and ARQ interactions

NAK 메시지 두 가지가 있다. Local ACK 메시지는 송신측의 HARQ단에서 HARQ ACK 피드백 메시지를 수신하면 ARQ단으로 전송하는 internal 피드백 메시지이다. 그리고 Local NAK 메시지는 HARQ 최대 전송 횟수까지 전송 실패 후 HARQ NAK 피드백 메시지를 수신하면 ARQ단으로 전송하는 internal 피드백 메시지이다.

HARQ and ARQ interactions 사용 시 ARQ 블록의 전송 성공 여부 확인은 HARQ 피드백 메시지에 의존한다. 따라서 HARQ 피드백 메시지가 전송 중 오류가 발생(ACK → NAK 또는 NAK → ACK) 하거나 송신측의 HARQ단에서 Local ACK 메시지를 보냈으나 송신측의 ARQ단에서 Local NAK 메시지로 인식하는 경우(또는 반대의 경우)가 발생하면 문제가 될 수 있다. 이와 같은 상황이 발생 하는 경우를 False alarm이라고 한다.

그림 2는 False alarm이 일어나는 상황과 이 때 발생할 수 있는 문제를 보여준다. 수신측의 HARQ단에서 보낸 ACK 메시지를 송신측의 ARQ단에서 Local NAK 메시지로 인식하는 경우(Local ACK 오류) 수신 성공한 ARQ 블록을 재전송하는 문제가 발생한다. 그리고 수신측의 HARQ단에서 보낸 NAK 메시지를 Local ACK 메시지로 인식하는 경우(Local NAK 오

류) 오류 발생한 ARQ 블록이 재전송되지 않아 ARQ 블록이 유실되는 문제가 발생한다. 또한, 재전송하지 않은 ARQ 블록이외에 송신측과 수신측 ARQ window의 동기가 어긋나 다수의 ARQ 블록이 유실될 수 있다.

III. HARQ and ARQ interactions 기법

HARQ and ARQ interactions 기법에서 Local NAK 오류 해결을 위해서는 첫째, 송신측의 ARQ단에서 Local NAK 오류를 인식하여 오류 발생 ARQ 블록의 재전송이 가능해야 한다. 둘째, Local ACK 메시지 (즉, HARQ ACK 메시지)를 신뢰할 수 없으므로 Local ACK 메시지에 추가로 ARQ 블록을 전송 성공으로 간주 할 수 있는 조건이 필요하다.

3.1 IEEE 802.16m에서의 HARQ and ARQ interactions 기법

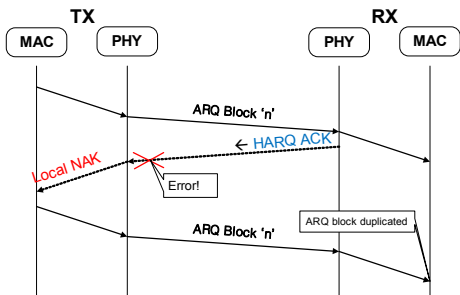
IEEE 802.16m 표준은 Local ACK 메시지를 사용하지 않고 Local NAK 메시지만 사용하는 HARQ and ARQ interactions 방법을 사용하고 있다^[3]. Local NAK 오류의 발생은 ARQ_ERROR_DETECTION_TIMEOUT (AEDT) 타이머를 이용하여 수신측의 ARQ단에서 인식 할 수 있다. 본 논문은 AEDT 타이머 값을 Local NAK 메시지에 의한 재전송을 고려하여 다음과 같이 제안한다.

$$T_{error} = d_{TX} + \alpha_{reTx}^A + d_{TX} + \alpha_{Tx}^H + d_{RX} + (\alpha_{FB}^H - d_{RX}) = 2d_{TX} + \alpha_{reTx}^A + \alpha_{Tx}^H + \alpha_{FB}^H \quad (1)$$

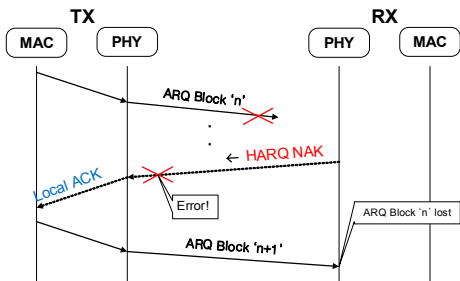
여기서 d_{TX} 및 d_{RX} 는 각각 송신측과 수신측의 MAC - PHY delay를 의미한다. α_{Tx}^H 값은 HARQ 전송 과정에 의한 delay이고, α_{FB}^H 는 ARQ 블록 'n+1' 전송 후 ARQ 블록 'n'을 HARQ 전송 오류로 판단 할 때까지의 시간이다. α_{reTx}^A 는 송신측이 오류 발생한 ARQ 블록에 대해 Local NAK 메시지를 받고 다시 재전송할 때까지 걸리는 시간을 의미 한다. 각 파라미터를 그림 3에 표시하였다. ARQ 블록의 전송 성공 여부는 ARQ 피드백 메시지를 통해서만 이루어진다.

3.2 Timer를 사용하는 기법

두 개의 타이머를 사용하여 Local NAK 오류를 인식하고, Local ACK 메시지를 수신 하였을 때 ARQ window의 전진 시기를 결정하는 방안이다^[7]. Local



(a) HARQ ACK → Local NAK (Local ACK 오류)



(b) HARQ NAK → Local ACK (Local NAK 오류)

그림 2. False Alarm 시나리오

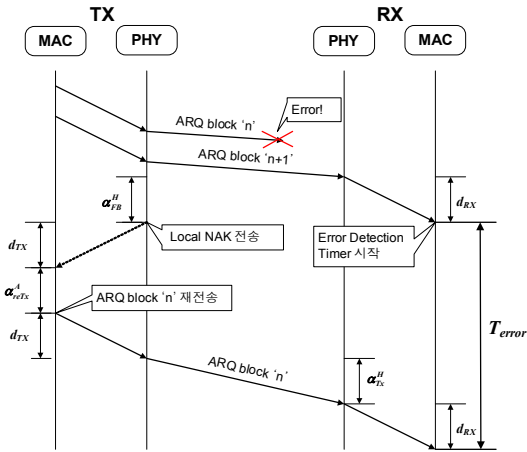


그림 3. AEDT 타이머 설정 방안

NAK 오류의 인식은 3.1절에서와 동일하게 AEDT 타이머를 사용하여 인식한다.

송신측의 ARQ단은 Local ACK 메시지를 수신 하면 해당 ARQ 블록에 대하여 타이머를 시작 한다. Local NAK 오류가 발생하여 수신측의 ARQ단에서 재전송을 요청할 수 있으므로 송신측의 ARQ단에서는 타이머 시간 동안 기다린 후 해당 ARQ 블록을 전송 성공으로 판단한다. 본 논문은 타이머 값으로 다음과 같이 설정하는 것을 제안한다.

$$T_{wait} = T_{error} + d_{FB} + \beta \quad (2)$$

여기서 T_{error} 는 수신측의 ARQ단에서 Local NAK 오류 인식을 위해 사용하는 타이머 값이고 d_{FB} 는 수신측의 ARQ단에서 전송한 ARQ 피드백 메시지를 송신측의 ARQ단에서 수신 할 때까지 걸리는 시간을 의미한다. β 값은 송신측의 ARQ단에서 Local ACK 메시지를 수신하는 시간과 수신측의 ARQ단에서 AEDT 타이머가 동작하는 시간차를 고려하여 설정해야 한다.

3.3 제안하는 채널 상태 기반의 적응적 기법

본 논문에서 제안하는 HARQ and ARQ interactions 기법은 송신측의 ARQ단에서 Local ACK 메시지 수신 시 동작하는 타이머(= T_{wait}) 값을 채널 상태에 따라 적응적으로 설정하는 기법이다. 채널 상태는 HARQ 피드백 메시지를 받는 시점의 SNR값을 이용하여 판단한다. 채널 상태가 좋은 경우 Local ACK 메시지 수신 후 바로 해당 ARQ 블록의 전송 성공으로 인식하고, 채널 상태가 상대적으로 안 좋은 경우에는 $T_{wait} + \delta$ 시간만큼 기다린 후 전송 성공으로 판단한

다. Local ACK 메시지 수신 후 대기 시간을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{T}_{wait} = \begin{cases} 0, & SNR_{cur} \geq SNR_{th} \\ T_{wait} + \delta, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

여기서 SNR_{cur} 은 HARQ ACK를 받았을 때의 SNR 값을 의미하고, SNR_{th} 는 타이머 값 설정을 위한 SNR 기준 값이다. δ 값은 아래 그림 4의 ①번 시점과 ②번 시점의 시간차로써, Local ACK 수신 후 T_{wait} 타이머가 동작할 때까지의 시간이다. 수신측의 ARQ단에서 ARQ 블록 'n'에 대하여 AEDT 타이머는 ARQ 블록 'n' 보다 큰 SN(Sequence Number)값을 갖는 ARQ 블록을 수신 하였을 때 동작한다. AEDT 타이머의 동작 시점을 알 수 없으므로 T_{wait} 값은 매 순간 다르게 적용하여야 한다. 즉, δ 값은 항상 달라진다.

제안 기법에서 T_{wait} 타이머는 ARQ 블록 'n' 보다 큰 SN값을 갖는 ARQ 블록에 대해 신뢰성 있는 Local ACK 메시지를 수신 할 때 시작 한다. 일례로 그림 4의 ①번 시점은 ARQ 블록 'n'에 대한 Local ACK를 수신한 시간이다. 하지만 SNR값이 기준 값 이하이므로 바로 전송 성공으로 판단하지 않는다. ②번 시점은 ARQ 블록 'n+1'에 대한 Local ACK를 수신한 시간으로써, 수신측 ARQ단에서 ARQ 블록 'n'에 대한 AEDT 타이머가 동작을 시작한다고 볼 수 있다. 이때, SNR이 기준 값 이상이므로 ARQ block 'n+1'의 전송 성공으로 판단한다. 그리고 ARQ 블록 'n'에 대한 T_{wait} 타이머가 시작된다.

SNR_{cur} 값은 단말의 CQI 정보를 이용한다. 단말은 주기적으로 채널 상태정보를 기지국으로 전송한다. 이때 전송 주기는 2^p frame 단위이며 p는 2bit값을 갖는다. 즉, 단말은 1,2,4,8 frame 단위로 기지국에 현재 채널 상태를 보고한다. MAC-PHY간의 delay를 고려하여 기지국은 각 ARQ 연결 마다 이전 frame에 대한 채널상태정보를 저장해야 한다. CQICH을 통해 보고되는 채널 상태 정보는 한 frame전의 채널 상태 정보이다. 하지만 Local ACK를 수신 하는 시점에서는

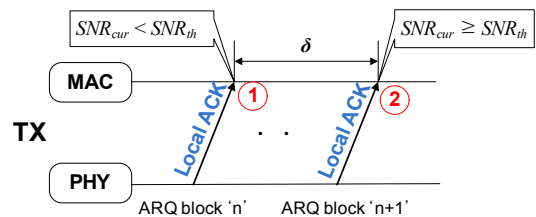


그림 4. 채널 적응적 타이머 설정 방안 동작 설명

Local ACK가 생성된 시점의 채널 상태 정보를 알 수 있다.

SNR_{cur} 의 값이 기준 값 이상이더라도 Local NAK 오류는 발생 할 수 있다. 또한, CQI정보의 오차에 의해 Local NAK 오류를 해결 못 할 수도 있다. Local NAK 오류 발생 시 문제가 되는 것은 송신측 및 수신측 ARQ window의 동기가 어긋나는 현상이다. 따라서 Local NAK 오류가 발생했을 때 해당 ARQ블록만 유실되도록 하기 위해 수신측 ARQ단에 다음과 같은 동작이 필요하다. 송신측 ARQ단에서 오류 발생 ARQ 블록을 재전송하지 않고 수신측 ARQ window 범위 밖의 ARQ 블록을 전송하였다면 Local NAK 오류에 의해 송신측에서는 오류 발생한 ARQ 블록을 전송 성공으로 판단했다고 볼 수 있다. 이때, 수신측의 ARQ 단에서는 오류 발생한 ARQ 블록을 제거하고 송신측의 ARQ단에서 전송하는 ARQ 블록으로 ARQ window를 업데이트하여 ARQ window의 동기가 어긋나는 현상을 방지할 수 있다.

기준 SNR값 이상에서 발생하는 Local NAK 오류의 경우 해당 ARQ 블록은 유실되지만 허용 가능한 오류율 이하로 SNR_{th} 값을 적절히 설정하면 Local NAK 오류를 고려하면서 Local ACK 사용 시의 이득을 얻을 수 있다. Local NAK 오류의 인식 방법은 IEEE 802.16m 표준에 정의된 AEDT 타이머를 사용하여 인식한다.

IV. 성능 분석

모의실험을 구성하여 Local NAK 오류 발생을 고려한 기존 HARQ and ARQ interactions 방법과 제안하는 방법의 성능을 도출하여 비교 분석한다. 기본적인 IEEE 802.16m ARQ operation 상에서 제안하는 HARQ and ARQ interactions 기법을 적용하였을 때의 성능을 도출하여 IEEE 802.16m에서 지원하는 HARQ and ARQ interactions 결과 및 Timer 사용하는 방안의 결과와 비교 분석한다.

4.1 모의실험 환경 및 성능 분석 지표

본 논문에서는 성능 도출을 위해 다음과 같은 모의실험 환경을 구성하였다. IEEE 802.16m 시스템에서 송신측의 MAC계층부터 수신측의 MAC계층까지 IEEE 802.16m ARQ 프로토콜을 통해 데이터가 전송되는 과정을 모의실험으로 구현하였다. 모의실험에 사용된 주요 파라미터를 표 1에 나타내었다. Rayleigh fading을 적용하여 채널을 모델링 하였고, HARQ는

표 1. 시뮬레이션 주요 파라미터

Parameters	Value
ARQ_SN_MODULUS	1024
ARQ_WINDOW_SIZE	256
ARQ_BLOCK_LIFETIME	250 frames
ARQ_RX_PURGE_TIMEOUT	240 frames
ARQ_SYNC_LOSS_TIMEOUT	300 frames
ARQ_ERROR_DETECTION_TIMEOUT	35 frames
ARQ_FEEDBACK_POLL_RETRY_TIMEOUT	40 frames
T_{wait}	60 frames
HARQ 최대 전송횟수	4 times
HARQ 채널 수	5
한 frame에 전송하는 ARQ 블록 수	5
Frame 주기	5 ms
ARQ 블록의 size	120 bytes
MAC-PHY 간 processing delay	10 frames

chase combining을 사용한다고 가정하였다. HARQ 패킷은 QPSK 1/2을 사용하여 전송하고 오류는 $PER(SNR_{Comb,dB})$ 로 계산하였다. 여기서 $PER(\cdot)$ 은 SNR에 대응하는 packet error rate이고, HARQ 패킷 m 번째 전송 시 $SNR_{Comb,dB}$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있다¹²⁾.

$$SNR_{Comb,dB} = 10\log_{10}\left(\sum_{i=1}^m SNR_{i,linear}\right) \quad (4)$$

HARQ 피드백 채널의 오류율은 QPSK 1/2을 기준 모델로 하였고 $PER(SNR_{cur})$ 를 적용하였다. 단, HARQ 피드백 오류가 평균 SNR값 0dB~10dB 범위에서 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 의 확률로 발생하도록 하기 위해 PER 값의 상한은 0.05로 설정하였다^{8,13)}.

성능 분석 지표로 throughput, 평균 delay, 평균 ARQ 피드백 메시지의 수와 ARQ block discarded ratio를 도출하였다. Throughput은 수신측의 ARQ단에서 성공적으로 수신하여 상위 계층으로 전송되는 데이터를 총 모의실험 수행시간으로 나누어 도출하였다. N_s 는 총 수신 성공 ARQ 블록 수, b_i 는 i 번째 수신 성공 ARQ 블록의 데이터 size를 의미한다. T_f 는 frame 주기, N_f 은 모의실험을 수행한 총 frame 수이다.

$$R = \frac{1}{T_f N_f} \sum_{i=1}^{N_s} b_i \quad (5)$$

평균 delay는 ARQ 블록이 송신측의 ARQ단에서 전송된 시간과 수신측의 ARQ단에서 수신 성공한 시간차의 평균이다. $t_{Rx,ARQ}$ 는 수신측의 ARQ단에서 수신 성공한 시간이고 $t_{Tx,ARQ}$ 는 송신측에서 전송한 시간이다.

$$\bar{D} = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} (t_{Rx,ARQ} - t_{Tx,ARQ}) \quad (6)$$

평균 ARQ 피드백 메시지 수는 ARQ 블록 1000개를 전송할 때 평균적으로 발생하는 ARQ 피드백 메시지 수로 도출하였다. 마지막으로 discarded ratio는 수신측의 ARQ단에서 수신한 전체 ARQ 블록 중에서 Discard된 ARQ 블록의 비율을 의미한다.

4.2 성능 분석 결과

먼저 HARQ 피드백 오류가 발생할 때 HARQ and ARQ interactions 기법에 주는 영향을 도출하였다. IEEE 802.16m 표준 ARQ (=No interactions)를 사용할 때와 Local NAK 메시지와 Local ACK 메시지를 모두 사용하는 HARQ and ARQ interactions 기법

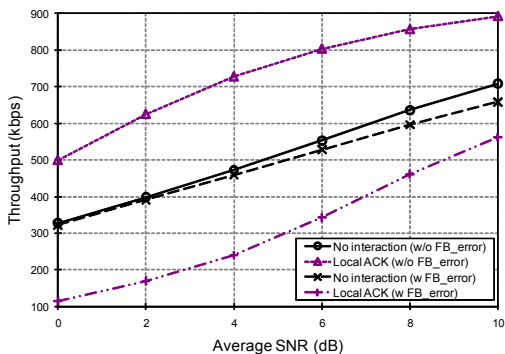
(=Local ACK)의 성능을 HARQ 피드백 오류가 있는 경우와 없는 경우로 나누어 성능을 도출하였다. 평균 SNR에 따른 throughput과 discarded ratio를 도출하였고 그 결과는 그림 5의 (a), (b)와 같다.

HARQ 피드백 오류가 발생하면 Local ACK의 경우 throughput 성능에 심각한 열화가 발생하였다. Throughput 결과를 보면 평균 SNR값에 따라 약 37.1~76.9% 감소하였고 이는 discard되는 ARQ 블록의 비율과 같다. 반면에 No interactions의 경우 throughput 감소폭이 적는데 HARQ 피드백 오류가 단지 ARQ 블록 오류율을 증가시키는 영향만 주기 때문이다. No interactions의 경우 HARQ 피드백 오류가 발생하여도 discarded ratio에는 큰 변화가 없다. 이때 발생하는 discarded ARQ 블록은 ARQ_BLOCK_LIFETIME까지 전송 후에도 전송 실패한 ARQ 블록이다.

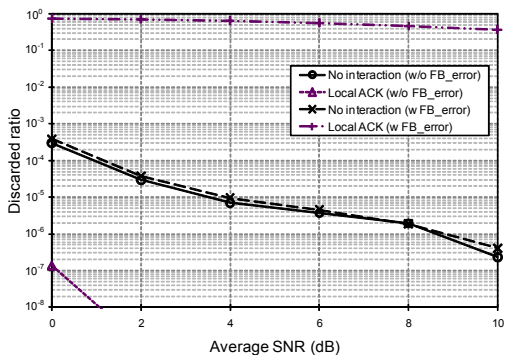
Local ACK의 성능 열화가 큰 것은 HARQ 피드백 오류가 발생할 때 해당 ARQ 블록의 전송 실패만 발생하는 것이 아님을 의미한다. HARQ 피드백 오류가 발생하면 송신측이 관리하는 ARQ window와 수신측이 관리하는 ARQ window의 동기가 깨지는 ARQ_SYNC_LOSS 현상이 발생하게 되고 전송 실패로 discard되는 ARQ 블록이 많아진다. 즉, HARQ and ARQ interactions 기법에 HARQ 피드백 오류를 반드시 고려해야 한다.

다음으로 HARQ 피드백 오류를 고려하였을 때 각각의 HARQ and ARQ interactions 기법들의 성능을 도출하였다. 그림 6은 각각의 기법들에 대한 성능도출 결과를 나타낸다. 먼저 throughput 성능을 보면 채널 상태에 따라 타이머 값을 적용하는 방안(=Channel)의 성능이 가장 높았고, No interactions 대비 약 20~34% 성능 향상을 보인다. 다음으로 IEEE 802.16m 표준에서 지원하는 HARQ and ARQ interactions 기법(=Local NAK), No interactions 순으로 나타남을 확인 할 수 있다. Local NAK의 경우 No interactions 대비 약 3.2~12.5% 성능 향상을 나타냈고 이는 Local NAK 메시지 사용에 따른 이득이다. Timer의 경우 가장 낮은 성능을 보였는데 Local NAK 오류를 다 해결 하지 못하고 discarded ARQ 블록이 대량으로 발생하였기 때문이다.

Discarded ratio를 보면 Local NAK의 경우에 가장 낮고 다음으로 Channel, No interactions순으로 낮게 나타났다. Timer의 경우에는 약 3.3~35.3% 발생하였는데 이는 설정한 T_{wait} 값 이후에 ARQ 피드백 메시지를 수신했음을 의미한다. T_{wait} 을 길게 하면

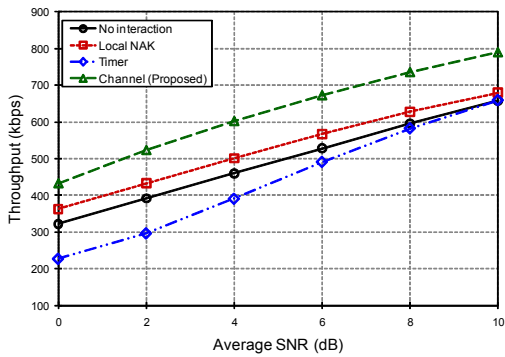


(a) Throughput

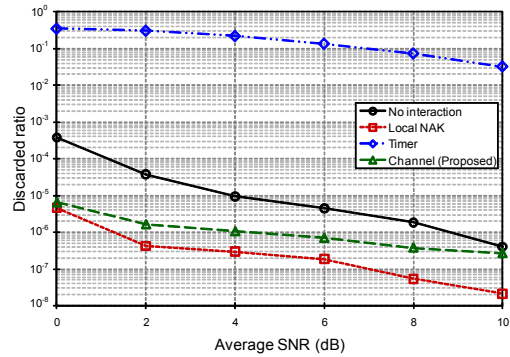


(b) Discarded ratio

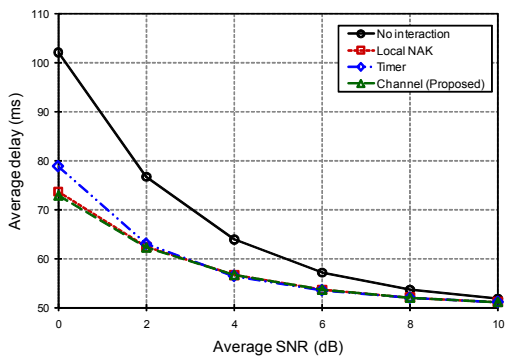
그림 5. HARQ 피드백 오류의 영향



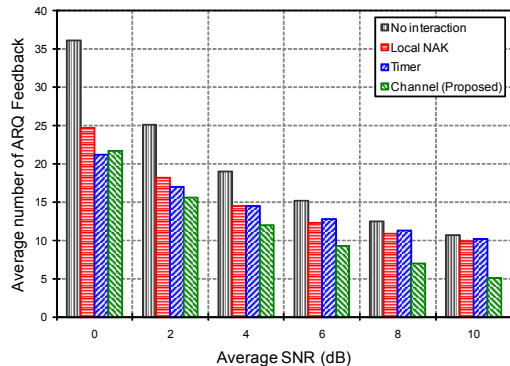
(a) Throughput



(b) Discarded ratio



(c) Average delay



(d) 평균 ARQ 피드백 메시지 수

그림 6. HARQ and ARQ interactions 기법 성능 비교

discarded ratio는 줄어들지만, Local NAK만 사용하는 경우와 동일하게 된다. Timer에서 T_{wait} 값은 Channel의 경우와 동일한 값으로 적용하였다. Local NAK과 No interactions의 차이는 Local NAK 메시지 사용 유무에 따른 결과이다. Local NAK 메시지 사용 시 오류 발생한 ARQ 블록의 빠른 재전송이 가능해 사용하지 않는 경우보다 여러 번 재전송할 수 있어서 discarded ARQ 블록도 줄어든다. Channel과 Local NAK의 차이는 SNR_{th} 이상에서 발생하는 Local NAK 오류에 의한 결과이다. Local NAK 오류가 발생하여도 ARQ window의 동기가 깨지지 않도록 하였기 때문에 해당 ARQ 블록만 discard 된다. SNR_{th} 값을 높이면 Local NAK과의 차이는 줄어든다.

평균 delay는 HARQ and ARQ interactions 기법들의 성능이 No interactions보다 좋은 성능을 보였다. Local NAK 메시지 사용으로 오류 발생 ARQ 블록을 빠르게 재전송하기 때문이다. 평균 ARQ 피드백 메시지 수는 기본적으로 HARQ and ARQ interactions 기법을 사용하는 경우가 적게 발생한다. Local NAK 메

시지로 ARQ 피드백 메시지를 대체하기 때문이다. 평균 SNR이 증가함에 따라 차이가 줄어들는데 오류 발생 이외에 ARQ window 전진을 위해 일정량의 ARQ 피드백 메시지가 필요하기 때문이다. Channel의 경우 평균 SNR이 높으면 Local ACK를 받고 T_{wait} 만큼 기다리지 않는 ARQ 블록이 증가하므로 ARQ 피드백 메시지 수도 감소한다.

추가로 성능 비교를 위해 각 HARQ and ARQ interactions 기법들을 평균 SNR이 2일 때를 기준으로 ARQ window size에 따라 throughput을 도출하였다. 그 결과는 그림 7과 같다. 제안하는 Channel 기법이 모든 ARQ window size에서 가장 좋은 성능을 나타냈다. 이를 통해 HARQ and ARQ interactions 기법을 사용함에 따라 ARQ window size의 이득이 발생할 수 있다. 상대적으로 더 작은 ARQ window size를 사용하면서 HARQ and ARQ interactions 기법을 사용하지 않는 것과 동일한 성능을 얻을 수 있다.

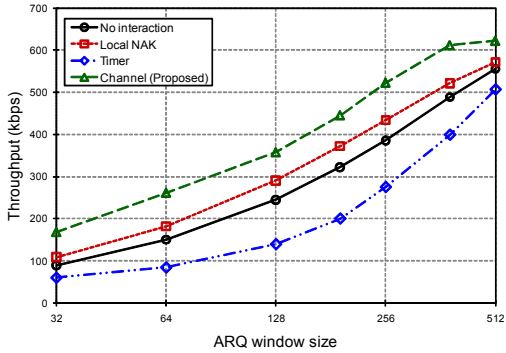


그림 7. ARQ window size의 영향

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.16m 시스템에서 HARQ and ARQ interaction 기법을 사용하는 경우에 대하여 연구를 수행하였다. 먼저 HARQ and ARQ interactions 기법 사용 시 HARQ 피드백 메시지 오류가 발생하는 경우의 성능을 도출하여 HARQ 피드백 메시지 오류의 영향을 분석 하였다. 또한, HARQ 피드백 메시지 오류 발생 시 문제가 될 수 있는 Local NAK 오류를 고려한 HARQ and ARQ interactions 기법을 제안하고 기존 방안들과 성능을 비교 분석 하였다.

HARQ 피드백 오류가 없는 경우 HARQ and ARQ interactions 기법이 우수한 성능을 보이지만, HARQ 피드백 메시지 오류가 발생함에 따라 성능 열화가 커지는 것을 확인하였다. 특히 discarded ARQ 블록이 많이 증가하는 것을 확인하였다. 즉, HARQ and ARQ interactions 기법 사용 시 HARQ 피드백 오류를 반드시 고려해주어야 한다.

Local NAK 오류를 고려하는 HARQ and ARQ interactions를 사용함에 따라 구현 복잡도는 증가하지만 성능 향상을 확인하였다. 채널 상태에 적응적으로 타이머를 설정하는 방안은 Local NAK 오류를 고려 하면서, Local ACK 사용으로 인한 장점도 얻을 수 있으므로 가장 좋은 성능을 보였다. 연구 결과를 통해 HARQ and ARQ interactions 기법을 사용함으로써 약전계에서 성능 향상이 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] IEEE 802.16e-2009 Std., "IEEE standard for local and metropolitan area networks-Part 16: Air interface for fixed broadband wireless

access systems," 2009.

[2] 3GPP TS 36.300 V10.0.0, "E-UTRA and E-UTRAN; overall description; Stage2," June 2010.

[3] IEEE 802.16m/D4 Std., "IEEE standard for local and metropolitan area networks part 16: Air interface for broadband wireless access systems," 2010.

[4] D. Kim, Y. Choi, S. Jin, K. Han, S. Choi, "CL-ARQ: Efficient ARQ for two-layer retransmission schemes," in *proc. of ACM IWCMC*, pp. 61-66, Aug. 2007.

[5] M. Mathis, J. Semke, and J. Mahdavi, "The Macroscopic Behavior of the TCP Congestion Avoidance Algorithm," *Computer Communication Review, ACM SIGCOMM*, Vol.27, No.3, pp.67-82, July 1997.

[6] J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, J. Kurose, "Modeling TCP Throughput: A Simple Model and its Empirical Validation," in *Proc. ACM SIGCOMM*, pp. 303-314, May 1998.

[7] Shashikant Maheshwari, Adrian Boariu and Andrea Baccicola, "ARQ/HARQ inter-working to reduce the ARQ feedback overhead : IEEE C802.16m-08/1142," Sep. 2008.

[8] Xiangying Yang et al., "ARQ and HARQ inter-working for IEEE 802.16m system : IEEE C802.16m-08/1053r1," Sep. 2008.

[9] Yair Bourlas, Lei Wang, Erik Colban and Ken Stanwood, "NACK based ARQ Over HARQ in IEEE 802.16m : IEEE C802.16m-08/1038r2," Sep. 2008.

[10] Mo-Han Fong et al., "Proposal for IEEE 802.16m ARQ protocol : IEEE C802.16m-08/1060," Sep. 2008.

[11] Sungkyung Kim, Sungcheol Chang, KwangjaeLim, Chulsik Yoon, "ARQ Operation for IEEE 802.16m : IEEE C802.16m-08/1120r1," Sep. 2009.

[12] Nortel Networks, "Nortel Networks' Reference Simulation Methodology for the Performance Evaluation of OFDM/WCDMA in UTRAN : 3GPP TSG-RAN1 R1-030518," May 2003.

[13] Nortel Networks, "Proposal for IEEE 802.16m ARQ Protocol : IEEE C802.16m-08/1060," Sep. 2008.

이 종 민 (Jongmin Lee)

준회원



2009년 2월 서강대학교 전자공학과
2009년 3월~현재 서강대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> ARQ 프로토콜, 이동통신공학

소 재 우 (Jaewoo So)

중신회원



1997년 연세대학교 전자공학과
1999년 KAIST 전기공학과 석사
2002년 KAIST 전기공학과 박사
2001년~2005년 아이피원, 책임 연구원 / 수석 연구원
2005년~2007년 삼성전자, 책임 연구원

2007년~2008년 Stanford University, Electrical Engineering, Postdoctoral Fellow

2008년~현재 서강대학교 전자공학과 조교수

<관심분야> 무선자원관리, 다중접속프로토콜, 계층간 교차설계, 통신프로토콜 최적화

홍 대 형 (Deahyoung Hong)

중신회원



1977년 서울대학교 전자공학과
1982년 State University of New York at Stony Brook, Electrical Engineering 석사
1982년 State University of New York at Stony Brook, Electrical Engineering 박사

1977년~1981년 공군 사관학교 교수부

1986년~1992년 (미)Motorola 연구소, Senior Staff Research Engineer

1992년~현재 서강대학교 전자공학과 정교수

<관심분야> 무선통신 시스템, 무선망 설계 및 성능 분석, 무선망 운용 및 제어기술