

# 해양 통신 네트워크에서 안정적 통신을 위한 HARQ-ARQ interaction 기법의 성능 평가

손재광\*, 이성로\*, 소재우°

## Performance Evaluation of a HARQ-ARQ Interaction Scheme for Reliable Communications in Marine Communication Networks

Jaekwang Son\*, Seong Ro Lee\*, Jaewoo So°

### 요약

해양 산업과 IT기술의 융합으로 해양 네트워크 시스템에 적용하기 위한 여러 가지 무선통신 기술들이 논의됨에 따라, 본 논문에서는 선박 간의 안정적인 통신을 위한 HARQ-ARQ interaction 기법을 제안하고, 모의실험을 통해 성능을 평가하였다. HARQ-ARQ interaction 기법에서 선박은 HARQ 피드백으로 ARQ 피드백을 대체함으로써, ARQ 블록의 재전송 시간을 단축시킨다. 그러나 HARQ 피드백 오류로 인하여 HARQ-ARQ interaction 기법에서 성능 열화가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문은 HARQ-ARQ interaction 기법을 사용할 때 HARQ 피드백 메시지의 오류가 미치는 영향을 고려한다. 모의실험을 통하여 해양 네트워크 시스템에서 HARQ-ARQ interaction 기법을 사용함으로써 지연 성능을 향상시키는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Automatic repeat request (ARQ), Hybrid-ARQ (HARQ), Marine network systems

### ABSTRACT

As the wireless communication technologies are being studied for application to marine communication networks in a fusion of marine industries and IT technology, this paper proposes a HARQ-ARQ interaction scheme for reliable communication between the smart ships. Moreover, this paper evaluates the performance of the HARQ-ARQ interaction schemes through the computer simulation. In the HARQ-ARQ interaction scheme for marine network systems, as a HARQ acknowledgement is implicitly utilized as an ARQ acknowledgement. Hence, the HARQ-ARQ interaction scheme can reduce the packet delay. However, the HARQ-ARQ interaction scheme has problems caused by the error of HARQ feedback messages. Hence, this paper considers the effect of error of HARQ feedback messages on the performance of the HARQ-ARQ interaction scheme, in marine network systems. The simulation results show that the HARQ-ARQ interaction scheme can improve the delay performance of the ships in the marine network systems.

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구 결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0401-14-1009). 그리고 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A2A2A01012059).

♦ First Author : Department of Electronic Engineering, Sogang University, jkson@sogang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Sogang University, jwso@sogang.ac.kr, 종신회원

\* Mokpo National University Department of Information & Electronics Engineering, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-10-402, Received October 8, 2014; Revised November 17, 2014; Accepted November 17, 2014

## I. 서 론

최근 IT기술은 다양한 분야와 접목되고 있으며, 특히 조선기술과 IT기술의 접목은 높은 부가가치를 창출해 낼 수 있을 것으로 예상된다. 기존의 해양 네트워크는 선박과 위성간의 위성통신이 주를 이루었으며, 또한 해양에서의 트래픽 수요를 충족시키기 위한 선박과 육지간의 연구가 진행되었다. 또한 선박과 선박간의 일대일 통신이 가능한 스마트 선박에 대한 연구가 진행 중에 있다. 스마트 선박을 통하여 타 스마트 선박의 위치 정보, 해양 정보, 선박의 상태 및 항해 정보, 긴급 정보 등과 같이 다양한 정보의 송수신 및 관리가 가능해 질 것이다<sup>1,2</sup>.

기지국이 존재하지 않는 해양 네트워크 시스템의 특성 상, 스마트 선박 간의 일대일 통신은 먼 거리와 나쁜 채널 환경에서도 데이터를 안정적으로 전달하는 것이 매우 중요하다. 스마트 선박 간의 거리가 멀거나, 기후가 나쁠 경우 스마트 선박의 수신 신호의 신호 대 잡음비가 낮아져 데이터의 전송 실패율이 높아지게 된다. 따라서 해양 네트워크 시스템에서는 낮은 신호 대 잡음비에도 안정적으로 데이터를 전송하기 위한 기법이 필요하다<sup>3</sup>. 본 논문에서는 스마트 선박 간의 안정적인 통신을 위하여 HARQ-ARQ interaction 기법을 사용한다.

ARQ(Automatic Repeat reQuest) 프로토콜은 무선 통신 시스템에서 사용되는 대표적인 데이터 오류 제어 기법으로, 송신기가 데이터를 전송한 후 수신기로부터 전송한 데이터의 수신 상태를 확인하고 오류가 발생한 데이터에 대해 재전송을 수행하는 기법이다. HARQ(Hybrid ARQ) 프로토콜은 ARQ 프로토콜과 비교하여 송신기에서 오류가 발생한 데이터의 수신 상태를 수신기로부터 확인한 후 재전송을 한다는 점에서 동일하지만 세 가지 측면에서 차이점이 있다. 첫째, 일반적으로 ARQ 프로토콜은 medium access control(MAC) 계층에서, HARQ 프로토콜은 물리계층에서 동작한다<sup>4</sup>. 이 때문에 HARQ 프로토콜은 ARQ 프로토콜에 비해 동일한 데이터에 대한 재전송이 빠르다. 둘째, HARQ 프로토콜은 ARQ 프로토콜과 달리 오류정정이 가능하다. 셋째, HARQ 프로토콜은 이전 전송에서 오류가 발생한 데이터를 이용하기 때문에 재전송이 진행 될수록 오류 발생 확률이 감소한다. 무선통신 시스템에서 HARQ 프로토콜은 필수적으로 동작하며, ARQ 프로토콜은 데이터 트래픽과 채널 등의 특성에 따라 필요시 사용된다. 이러한 경우 ARQ 프로토콜은 HARQ 프로토콜과 독립적으로 동

작하며, HARQ 프로토콜이 처리하지 못하는 오류를 처리하는 역할을 수행 하게 된다. 따라서 환경적인 특성으로 오류율이 높은 해양 네트워크 시스템에서는 HARQ 프로토콜과 ARQ 프로토콜을 동시에 사용하여 성능 향상을 기대할 수 있다.

스마트 선박에서 ARQ 프로토콜과 HARQ 프로토콜이 독립적으로 동작할 때 두 가지 문제점이 발생할 수 있다. 첫째, 동일한 데이터의 수신 여부에 대해 ARQ 프로토콜과 HARQ 프로토콜의 피드백 메시지가 중복된다. 둘째, 송신기에서 ARQ 프로토콜과 HARQ 프로토콜의 피드백 메시지의 수신 시점이 다르기 때문에, 동일한 데이터의 수신 여부에 대한 두 프로토콜의 인지 시점 간에 차이가 발생한다. 이 때문에 송신 스마트 선박의 MAC 계층에서 수신 실패한 ARQ 블록의 재전송이 늦어지고, 수신 성공한 ARQ 블록의 인지가 늦어져, ARQ sliding window의 전진이 늦어진다.

위의 두 가지 문제점을 보완하기 위해 ARQ 피드백 메시지를 대신하여 HARQ 피드백 정보를 사용하는 HARQ-ARQ interaction 기법이 등장하였다<sup>5,6</sup>. HARQ-ARQ interaction 기법을 사용하면 두 가지 측면에서 성능 향상 효과가 발생한다. 첫째, internal ACK 메시지의 사용으로 ARQ sliding window의 전진이 빨라져 수율 성능이 향상된다<sup>7,8</sup>. 둘째, internal NAK 메시지의 사용으로 수신 실패한 ARQ 블록에 대하여 빠르게 재전송이 이루어져 지연 성능이 향상된다<sup>8</sup>.

HARQ-ARQ interaction 기법에 관한 기존 연구로 수학적 분석과 성능 측정이 진행되었다<sup>5-9</sup>. 기존 연구 [5]에서는 HARQ 피드백 메시지를 ARQ 피드백 메시지로 이용하는 CL(Cross-Layer) ARQ를 제안하였다. 이때 CL-ARQ는 HARQ-ARQ interaction 기법과 동일하다. 그러나 이 연구에서는 HARQ 피드백 메시지의 오류를 고려하지 않아 HARQ-ARQ interaction 기법의 문제점을 분석하지 못하였다. 기존 연구 [6]에서는 ARQ 프로토콜과 HARQ 프로토콜이 동시에 동작할 때 HARQ-ARQ interaction 기법의 전송지연을 분석하였다. 하지만 internal ACK 메시지의 오류로 인하여 발생하는 ARQ 블록 손실을 고려하지 않았기 때문에 internal ACK 메시지 사용 시의 성능을 정확하게 분석하지 못하였다. 기존 연구 [7-9]에서는 ARQ 프로토콜이 동작할 때 지연 성능을 분석하였다. 하지만 HARQ 프로토콜의 동작을 반영하지 않았다.

본 연구에서는 해양 네트워크 환경에서 스마트 선박이 HARQ-ARQ interaction 기법을 사용할 때,

HARQ 피드백 메시지의 오류를 고려하여 ARQ 블록 transmission 지연, resequencing 지연, ARQ 블록 유실율을 모의실험을 통하여 측정하고 internal ACK 메시지와 internal NAK 메시지가 성능에 미치는 효과를 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 HARQ-ARQ interaction 기법에 대해 설명하고, HARQ-ARQ interaction 기법을 사용할 때의 이점과 문제점을 설명한다. III장에서는 모의실험에서 사용하는 시스템 모델에 대해 설명한다. IV장에서는 HARQ-ARQ interaction 기법의 모의실험 결과를 통해 각 성능을 도출하고 분석한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. HARQ-ARQ interaction 기법

해양 네트워크 시스템에서 스마트 선박의 데이터 오류 제어 기법으로 MAC 계층에서는 ARQ 프로토콜이, 물리계층에서는 HARQ 프로토콜이 독립적으로 동작한다. 두 프로토콜이 함께 동작하면 송신 스마트 선박은 동일한 데이터의 수신 여부를 각 프로토콜의 피드백 메시지를 통해 각 계층에서 독립적으로 수신한다. 이러한 동작으로 ARQ 프로토콜과 HARQ 프로토콜을 모두 사용하는 시스템에서는 두 가지 문제점이 발생한다. 첫째, 수신기에서는 동일한 데이터의 피드백을 중복 전송한다. 둘째, 송신기에서는 동일한 데이터의 전송 성공 여부를 항상 MAC 계층보다 물리계층이 빠르게 인지한다. 이 두 가지 문제점을 해결하기 위한 기법이 HARQ-ARQ interaction 기법이다<sup>5,6</sup>.

HARQ-ARQ interaction 기법은 HARQ 피드백 메시지 정보를 기반으로 송신기의 물리계층이 송신기의 MAC 계층에 internal 메시지를 전달함으로써 특정 ARQ 블록의 전송 성공 여부를 알리는 기법이다. HARQ-ARQ interaction 기법에서 사용하는 internal 메시지는 HARQ 피드백 메시지 정보에 기반하므로 internal ACK 메시지와 internal NAK 메시지 두 가지이다. Internal ACK 메시지는 송신기의 물리계층에서 HARQ ACK 메시지를 수신할 경우 해당 ARQ 블록의 수신 성공을 송신기의 MAC 계층에 알리기 위해 사용하는 메시지이다. 그리고 internal NAK 메시지는 송신기의 물리계층에서 HARQ 패킷의 최대 전송횟수만큼 연속적으로 HARQ NAK 메시지를 수신할 경우, 해당 ARQ 블록의 수신 실패를 송신기의 MAC 계층에 알리기 위해 사용하는 메시지이다.

HARQ-ARQ interaction 기법을 사용할 경우

internal 메시지는 ARQ 피드백 메시지보다 항상 빠르게 송신기의 MAC 계층에 수신된다. 따라서 송신기의 MAC 계층에서는 internal 메시지 정보를 기반으로 ARQ 프로토콜의 동작을 수행하게 된다.

HARQ-ARQ interaction 기법을 사용하면 사용하지 않을 때에 비해 두 가지 성능 개선 효과가 발생한다. 첫째, internal ACK 메시지를 사용함으로써 송신 스마트 선박의 MAC 계층이 ARQ 블록의 수신 성공을 빠르게 인지하기 때문에 internal ACK 메시지를 사용하지 않을 때에 비해 동일한 시간 동안 더 많은 데이터 블록을 전송할 수 있다<sup>10,11</sup>. 둘째, internal NAK 메시지를 사용함으로써, internal NAK 메시지를 사용하지 않을 때에 비해 전송 실패한 ARQ 블록을 더 빨리 재전송할 수 있다.

하지만 HARQ-ARQ interaction 기법은 HARQ 피드백 메시지에 의존함으로써 발생하는 문제점이 있다. HARQ 피드백 메시지에 오류가 발생하면 송신 스마트 선박의 물리계층에서는 HARQ ACK 메시지가 HARQ NAK 메시지로, HARQ NAK 메시지는 HARQ ACK 메시지로 잘못 인지하는 오경보가 발생한다. 따라서 HARQ-ARQ interaction 기법을 사용할 때, HARQ 피드백 메시지 오류가 발생하면 잘못된 HARQ 피드백 메시지 정보를 기반으로 한 internal 메시지가 송신 스마트 선박의 MAC 계층에 전달된다. HARQ-ARQ interaction 기법의 문제점은 HARQ 피드백 메시지의 종류에 따라 두 가지로 분류된다<sup>12</sup>. 첫째, HARQ NAK 메시지의 오류가 발생하면 ARQ 블록 손실 현상이 나타난다. HARQ NAK 메시지에 오류가 발생하면 송신 스마트 선박의 물리계층에서는 HARQ ACK 메시지를 수신하고, 송신 스마트 선박의 MAC 계층으로 internal ACK 메시지를 전달한다. 송신 스마트 선박의 MAC 계층은 수신한 피드백 정보를 기반으로 ARQ sliding window를 전진시킨다. 오류가 발생한 ARQ 블록을 수신 성공한 것으로 오인하기 때문에 전송 실패 한 ARQ 블록의 재전송이 이루어지지 않는다. 둘째, HARQ ACK 메시지의 오류가 발생하면 ARQ 블록 중복 전송 현상이 나타난다. HARQ ACK 메시지에 오류가 발생하면 송신 스마트 선박의 물리계층에서는 HARQ NAK 메시지를 수신하고, 스마트 선박의 물리계층은 송신 스마트 선박의 MAC 계층으로 internal NAK 메시지를 전달한다. 송신 스마트 선박의 MAC 계층은 이미 전송 성공한 ARQ 블록을 전송 실패로 인식하기 때문에 해당 ARQ 블록을 재전송한다. 그림 1은 HARQ-ARQ interaction 기법을 사용할 때, HARQ 피드백 메시지의 오류로 인하여

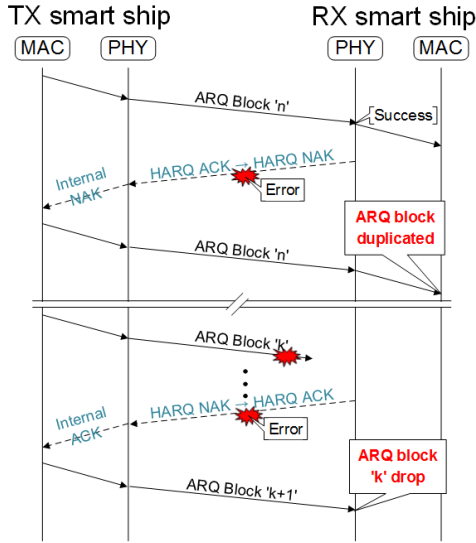


그림 1. HARQ-ARQ interaction 기법의 오경보 시나리오  
Fig. 1. False alarm scenario in HARQ-ARQ interaction scheme

잘못된 internal 메시지가 송신 스마트 선박의 MAC 계층에 전달되는 오경보 상황을 보여준다.

### III. 시스템 모델

본 장에서는 HARQ-ARQ interaction 기법의 지연 성능을 분석하기 위한 시스템 모델에 대해 설명한다.

HARQ 프로토콜은 해양 네트워크 시스템의 물리 계층에서 데이터 오류 제어의 역할을 수행한다. 사용되는 HARQ 프로토콜의 종류는 chase combining HARQ이다. HARQ 패키지의 최대 전송횟수는  $K_{max}$ 로 제한된다. 송신 스마트 선박의 물리계층은 한 프레임 동안 하나의 HARQ 패키지를 전송하며, 그에 따른 HARQ 피드백 메시지를 동일 frame에서 수신한다고 가정한다. 또한 HARQ 패키지과 HARQ 피드백 메시지의 변조 방식은 각각 QPSK 1/2와 QPSK 1/12로 가정한다. 그리고 dB 스케일에서 HARQ 패키지의  $k$  번째 전송 시 수신 신호 대 잡음비는 아래와 같이 나타낸다 [13,14].

$$\gamma(\alpha, k) = 10 \log_{10}(k\alpha^2) \quad (1)$$

이 때  $\alpha$ 는 HARQ 패키지의 첫 번째 전송 시 수신 신호 세기를 의미한다. 수신 신호 세기는 레일리 분포를 따르며 각 프레임 마다 독립적이다. 모의실험의 편의를 위하여 잡음 신호 세기의 크기를 1로 가정하므로

선형 스케일에서의 HARQ 패키지의 첫 번째 전송 시 수신 신호 대 잡음비는  $\alpha^2$ 이 된다. 이때의 HARQ 패키지의  $k$  번째 전송 시 오류율은 아래와 같이 나타낸다.

$$p(\alpha, k) = PER[\gamma(\alpha, k)] \quad (2)$$

이 때  $PER(x)$ 는 수신 신호 대 잡음비의 값  $x$ 에 따른 패키지 오류율을 의미하며, MCS(Modulation and Coding Scheme) level에 따라 오류율이 결정된다.

본 연구에서 ARQ 프로토콜은 해양 네트워크 시스템의 MAC 계층에서 데이터 오류 제어 동작을 수행한다. 사용되는 ARQ 프로토콜의 종류는 selective-repeat ARQ이다. 또한 하나의 HARQ 패키지에 넣을 수 있는 ARQ 블록의 수는 하나로 가정한다. 본 연구의 시스템 모델에서는 데이터 트래픽 모델을 항상 전송할 데이터가 존재하는 full-buffer 트래픽 모델로 가정한다. 그러므로 수신 스마트 선박의 MAC 계층에서 ARQ 피드백 메시지의 전송은 IEEE 802.16m 시스템을 참고하여 error detection timer가 동작한 이후의 타이머가 만료되는  $t_E$ 가 되는 시점에 이루어지는 것으로 가정한다[4]. 그리고 시스템의 MAC 계층과 물리 계층 간 처리 지연이 존재하며, 이 값은  $t_{proc}$ 로 설정한다. 마지막으로 송신 스마트 선박의 MAC 계층 내 ARQ 버퍼 내 대기 시간이  $t_B$  이상 될 경우 해당 ARQ 블록은 유실되는 것으로 가정하므로, ARQ 블록의 재전송 횟수는  $t_B$ 에 의해 제한된다.

본 연구에서 internal 메시지의 사용에 따른 기법의 구분을 위하여, internal 메시지를 사용하지 않는 기법을 no interaction 기법으로 정의한다. 즉, no interaction 기법은 일반적인 ARQ 프로토콜과 HARQ 프로토콜이 동시에 독립적으로 동작하는 기법이다. 또한, Internal NAK 메시지만 사용하는 기법을 single interaction 기법으로 정의한다. 마지막으로, internal ACK 메시지와 internal NAK 메시지를 모두 사용하는 기법을 full interaction 기법으로 정의한다.

송·수신 스마트 선박 간 채널의 효율을 높이기 위해 m-channel interlaced HARQ를 사용한다. M-channel interlaced HARQ에서 동시에 전송되는 HARQ 패키지의 수는 ARQ 블록의 재전송 지연과 동일 수로 정하여 채널의 효율을 최대화하도록 한다. 이 때, 한 번에 보내지는  $m$  개의 ARQ 블록들을 하나의 블록 세트로 정한다. Internal 메시지를 사용하지 않는 no interaction 기법의 경우 ARQ 블록의 재전송 지연은  $2t_{proc} + t_E + 2t_{proc}$ 로 나타낼 수 있다. 이는 송신

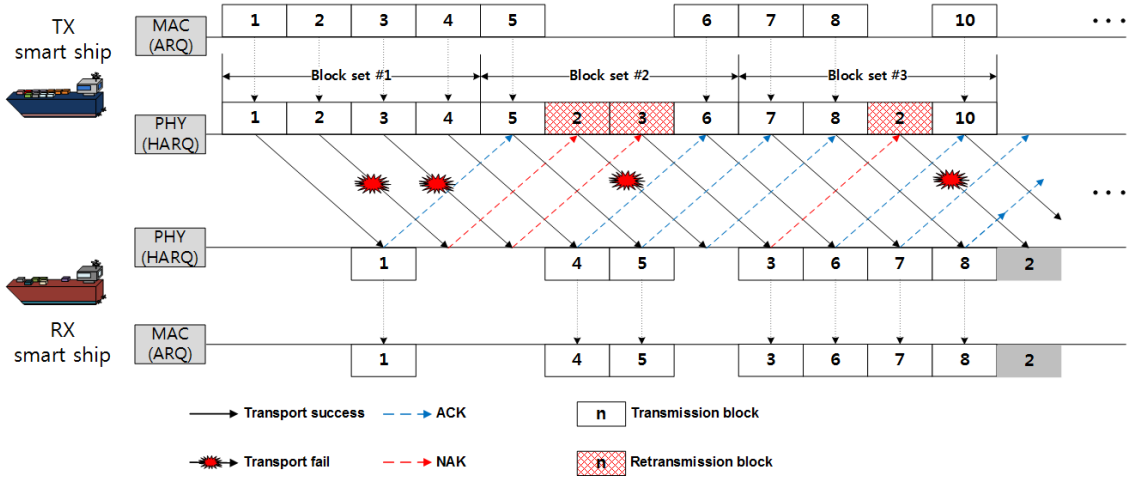


그림 2. M-channel interleaced HARQ를 적용한 HARQ-ARQ interaction 기법  
 Fig. 2. HARQ-ARQ interaction scheme with the m-channel interleaced HARQ

스마트 선박의 MAC 계층이 ARQ 블록을 전송한 이후부터 수신 스마트 선박의 MAC 계층으로부터 error detection timer의 동작을 통해 ARQ 피드백 메시지를 수신하기까지의 지연을 고려한 것이다. Single interaction 기법과 full interaction 기법의 경우 ARQ 블록의 재전송 지연은  $2t_{proc} + 2K_{max}t_{prop}$  으로 나타낼 수 있다. 이는 송신 스마트 선박의 MAC 계층이 ARQ 블록을 전송한 이후부터 송신 스마트 선박의 물리계층으로부터 internal ACK 메시지를 전달받기까지의 지연을 고려한 것이다. 즉, HARQ-ARQ interaction 기법별 재전송 지연은 블록 세트의 크기  $m$  과 같으며, 수식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$m = \begin{cases} 2t_{proc} + t_E + 2t_{prop} & , \text{if no interaction} \\ 2t_{proc} + 2K_{max}t_{prop} & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

그림 2는 m-channel interleaced HARQ를 적용한 HARQ-ARQ interaction 기법의 예시를 나타낸 것이다. SN(Sequence Number)가 2인 ARQ 블록은 첫 번째 전송에서 블록 세트 내 두 번째로 전송되지만 전송에 실패하여 다음 블록 세트에서 동일한 전송 순서로 재전송 한다. SN이 2인 ARQ 블록이 연속적으로 최대 전송 횟수인  $K_{max}$  번 전송 실패 하면, 송신 스마트 선박의 물리 계층은 송신 스마트 선박의 MAC 계층으로 internal NAK 메시지를 전송하여 ARQ 블록의 전송 실패를 알린다.

#### IV. 모의실험 결과

본 장에서는 모의실험을 수행하여 HARQ 피드백 메시지의 오류 발생을 고려하여 no interaction, single interaction, full interaction 기법의 성능을 도출하여 비교 분석한다.

모의실험에 사용된 주요 파라미터를 표 1에 나타내었다. 레일리 페이딩을 적용하여 채널을 모델링 하였고, HARQ는 chase combining을 사용한다고 가정하였다. HARQ 패킷은 QPSK 1/2, HARQ 피드백 채널의 오류율은 QPSK 1/12을 모델로 하였다.

성능 분석 지표로 ARQ 블록 전송 지연, resequencing 지연, ARQ 블록 유실율을 도출하였다. ARQ 블록 전송 지연은 ARQ 블록이 송신 스마트 선박의 MAC 계층에서 수신 스마트 선박의 MAC 계층까지 전송 되는 데 걸리는 지연이며, resequencing 지연은 수신 스마트 선박의 MAC 계층에서 상위 계층으

표 1. 모의실험 주요 파라미터  
 Table 1. Simulation parameters

Parameters	Value
ARQ window size	1024
ARQ block life timer	250 frames
ARQ error detection timer	20 frames
TX-RX propagation delay	1 frame
MAC-PHY processing delay	6 frames
Frame length	5 ms
The maximal retransmission number of HARQ packet	4

로 전달되기 위해 버퍼에 대기하는 시간이다. 이 때, 수신 스마트 선박의 MAC 계층에 대기하는 ARQ 블록들은 블록 세트 단위로 상위 계층으로 전달된다. 따라서 블록 세트 내의 수신 실패 한 블록이 성공적으로 수신 되어야만 해당 블록 세트의 ARQ 블록들이 상위 계층으로 전달 될 수 있다. ARQ 블록 유실율은 ARQ 블록이 수신 스마트 선박으로 전송이 되지 않고 유실된 ARQ 블록의 비율이다. 모의실험의 각 성능지표 결과는 평균 수신 신호 대 잡음비를 0 dB에서 10 dB 까지 2 dB씩 증가시키면서 도출하였다.

각 기법 별 transmission 지연의 모의실험 결과를 도출하여 그림 3에 도시하였다. 그래프가 아래쪽에 위치할수록 ARQ 블록 전송 지연이 작기 때문에 성능이 좋은 것을 의미한다. 세 기법 모두 수신 신호 대 잡음비가 증가 할수록 ARQ 블록 전송 지연이 작아지는 경향을 보였다. Single interaction 기법은 no interaction 기법에 비해 4 dB에서 약 23%의 성능 향상이 나타난 것을 확인 할 수 있다. 이는 internal NAK 메시지의 사용에 따른 ARQ 블록의 재전송 지연이 짧아짐으로 인해 생긴 성능 향상 효과이다. 또한 full interaction 기법은 single interaction 기법에 비해 4 dB에서 약 2.5%의 성능 향상이 나타난 것을 확인 할 수 있다. 이는 internal ACK 메시지의 사용에 따라 sliding window의 전진이 빨라짐으로 인해 생기는 성능 향상 효과이다.

각 기법 별 resequencing 지연의 모의실험 결과를 도출하여 그림 4에 도시하였다. ARQ 블록 전송 지연과 마찬가지로 그래프가 아래쪽에 위치할수록 지연이 작기 때문에 성능이 좋은 것을 의미한다. 세 기법 모

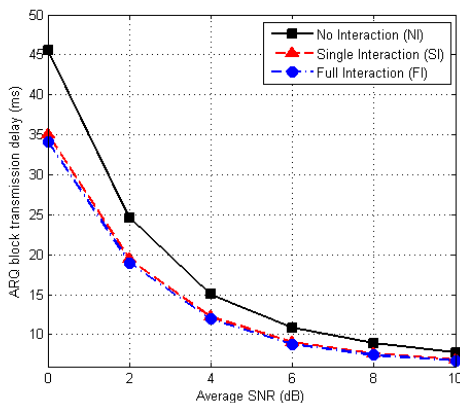


그림 3. HARQ-ARQ interaction 기법의 ARQ 블록 전송 지연  
Fig. 3. The transmission delay of HARQ-ARQ interaction schemes

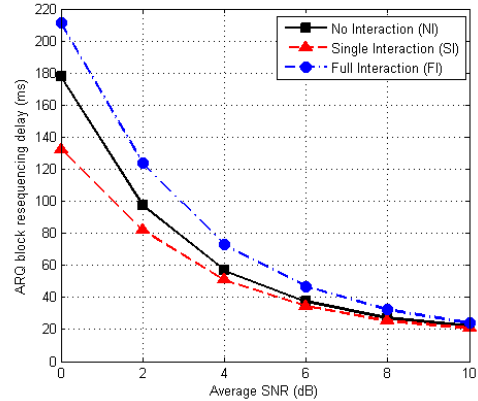


그림 4. HARQ-ARQ interaction 기법의 resequencing 지연  
Fig. 4. The resequencing delay of HARQ-ARQ interaction schemes

두 신호 대 잡음비가 증가함에 따라 resequencing 지연이 작아지는 경향을 보였다. Single interaction 기법은 no interaction 기법에 비해 4 dB에서 약 11.9%의 성능 향상이 나타난 것을 확인 할 수 있다. 이는 블록 세트 내의 수신 성공하지 못한 ARQ 블록이 internal NAK 메시지의 사용으로 빠르게 재전송 되어 internal NAK 메시지를 사용하지 않을 경우보다 빠르게 블록 세트가 완성되어 상위 계층으로 전달 될 수 있기 때문이다. 반면, full interaction 기법은 single interaction 기법에 비해 4 dB에서 약 30.2%의 성능 열화가 나타난 것을 확인 할 수 있다. 이는 HARQ NAK 메시지에 오류가 발생하여 송신 스마트 선박의 물리계층이 송신 스마트 선박의 MAC 계층으로 internal ACK 메시지를 전달함으로써, 전송 실패 한 ARQ 블록에 대

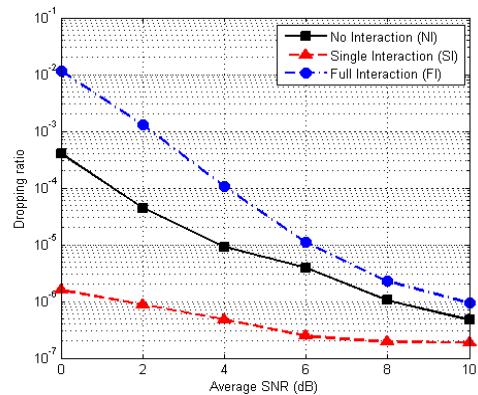


그림 5. HARQ-ARQ interaction 기법의 ARQ 블록 소실율  
Fig. 5. The ARQ block dropping ratio of HARQ-ARQ interaction schemes

하여 전송 성공으로 인지하여 재전송이 이루어지지 않아 해당 ARQ 블록이 유실되기 때문에 발생하는 성능 열화이다.

각 기법 별 ARQ 블록 유실율의 모의실험 결과를 그림 5에 도시하였다. 그래프가 아래쪽에 위치할수록 ARQ 블록 유실율이 작은 것을 의미한다. Full interaction 기법의 유실율이 타 기법에 비해 ARQ 블록 유실율이 매우 큰 것은 internal ACK 메시지를 사용함으로써 HARQ NAK 메시지에 오류가 발생하는 경우에 대하여 더욱 취약해지기 때문이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 해양 네트워크 시스템에서 스마트 선박의 HARQ-ARQ interaction 기법을 제안하고, 3 가지 지표에 따라 성능을 측정하였다. 먼저 HARQ-ARQ interaction 기법 사용 시 ARQ 블록 전송 지연의 성능을 도출하여 internal ACK 메시지와 internal NAK 메시지가 전송 지연에 미치는 영향을 측정하였다. 또한, resequencing 지연의 성능을 도출하여 internal ACK 메시지가 resequencing 지연에 미치는 영향을 측정하였다.

ARQ 블록 전송 지연의 경우 internal ACK 메시지와 internal NAK 메시지 모두 성능 향상에 영향을 미치기 때문에 full interaction, single interaction, no interaction 순의 지연 성능을 보였다. 특히, internal NAK 메시지가 ARQ 블록 전송 지연 성능에 큰 영향을 미치고, internal ACK 메시지는 비교적 작은 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있었다.

Resequencing 지연의 경우 internal NAK 메시지는 성능 향상에 영향을 미치는 반면, internal ACK 메시지는 성능을 열화 시켰다. 따라서 single interaction, no interaction, full interaction 순의 지연 성능을 보였다. 이는 HARQ NAK 메시지에 오류가 발생하는 경우 전송 실패 한 ARQ 블록에 대해 재전송이 이루어지지 않아 해당 ARQ 블록이 유실되기 때문에 발생하는 성능 열화이다.

마지막으로 ARQ 블록 유실율에서는 internal 메시지를 사용하면 유실율이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 HARQ 피드백 메시지에 오류가 발생하는 경우 잘못된 오류가 발생했음에도 불구하고, 잘못 된 피드백 메시지를 빠르게 수신하기 때문에 발생한다. HARQ 피드백 오류가 없는 경우 ARQ 블록 유실이 발생하지 않기 때문에 full interaction 기법이 우수한 성능을 보이지만, HARQ 피드백 오류가 발생함에 따

라 각 기법의 성능 열화가 발생한다. 즉, HARQ-ARQ interaction 기법 사용 시 HARQ 피드백 오류를 받드시 고려해야 한다.

연구 결과를 통해 해양 네트워크 시스템에서 스마트 선박이 HARQ-ARQ interaction 기법을 사용함으로써 약전계에서 성능 향상이 가능함을 확인하였다.

## References

- [1] W. Tcha, G. Lee, Y. Nam, S. R. Lee, M. A. Jeong, and J. So, "A resource allocation scheme in spatial multiplexing marine communication systems considering channel characteristics," *J. KICS*, vol. 39, no. 7, pp. 528-537, Jul. 2013.
- [2] Y. Kim, S. R. Lee, and J. So, "Utility function-based scheduling in a multi-hop network with coordinated multi-point transmission," *J. KICS*, vol. 39, no. 7, pp. 538-545, Jul. 2013.
- [3] K. Cho, C. Yun, Y. K. Lim, and C. G. Kang, "A MAC protocol for integrated service in the multi-hop ad-hoc maritime communication network," *J. KICS*, vol. 38, no. 7, pp. 603-611, Jul. 2013.
- [4] IEEE 802.16m-2010 Std., "IEEE Standard for local and metropolitan area networks-part 16: Air interface for broadband wireless access systems," Feb. 2010.
- [5] D. Kim, Y. Choi, S. Jin, K. Han, and S. Choi, "A MAC/PHY cross-layer design for efficient ARQ protocols," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 12, pp. 909-911, Dec. 2008.
- [6] C. H. Chuang and P. Lin, "Performance study for HARQ-ARQ interaction of LTE," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 10, no. 11, pp. 1459-1469, Nov. 2009.
- [7] A. Sayenko, H. Martikaine, and A. Puchko, "Performance comparison of HARQ and ARQ mechanism in IEEE 802.16 networks," in *Proc. IEEE ACM*, pp. 414-416, Oct. 2008.
- [8] W. Luo, K. Balachandran, S. Nanda, and K. K. Chang, "Delay analysis of elective-repeat ARQ with applications to link adaptation in wireless packet data systems," *IEEE Trans.*

*Wirel. Commun.*, vol. 4, no. 3, pp. 1017-1029, May 2005.

- [9] Z. Rosberg and N. Shacham, "Resequencing delay and buffer occupancy under the selective-repeat ARQ," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 35, no. 1, pp. 166-173, Jan. 1989.
- [10] J. Mathis, J. Semke, and J. Mahdavi, "The macroscopic behavior of the TCP congestion avoidance algorithm," *Computer Commun. Rev., ACM SIGCOMM*, vol. 27, no. 3, pp. 67-82, Jul. 1997.
- [11] J. Padhye, V. Firou, D. Towsley, and J. Kurose, "Modeling TCP throughput: a simple model and its empirical validation," in *Proc. ACM SIGCOMM*, pp. 303-314, May 1998.
- [12] J. Lee, D. Hong, and J. So, "Performance improvement of ARQ protocol using HARQ feedback information in IEEE 802.16m systems," *J. KICS*, vol. 35, no. 12, pp. 1136-1144, Dec. 2010.
- [13] D. Kim, B. C. Jung, H. Lee, D. K. Sung, and H. Yoon, "Optimal modulation and coding scheme selection in cellular networks with hybrid-ARQ error control," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 7, no. 12, pp. 5195-5201, Dec. 2008.

**손재광 (Jaekwang Son)**



2013년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사  
 2013년 3월~현재 : 서강대학교 전자공학과 석사과정  
 <관심분야> ARQ 프로토콜, 이동통신시스템

**이성로 (Seong Ro Lee)**



1987년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학사  
 1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사  
 1996년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사  
 1997년 9월~현재 : 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템

**소재우 (Jaewoo So)**



1997년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사  
 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 2002년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사  
 2001년~2005년 : 아이피원, 책임연구원 / 수석연구원

2005년~2007년 : 삼성전자, 책임연구원  
 2007년~2008년 : Stanford University, 전기공학과 박사후연구원  
 2008년~현재 : 서강대학교 전자공학과 부교수  
 <관심분야> 무선자원관리, 소형셀/멀티셀, 다중안테나시스템, 인지무선통신, 방송통신융합