

# 다 계층 재전송 방식 성능 분석을 통한 서비스별 QoS 보장 기법

준회원 고 광 춘\*, 정회원 이 현 진\*, 종신회원 김 재 현\*, 정회원 추 상 민\*\*

## QoS Guarantee for Service Classes based on Performance Analysis of Cross-Layer Retransmission Scheme

Kwang-Chun Go\* *Associate Member*, Hyun-Jin Lee\* *Regular Member*,  
Jae-Hyun Kim\* *Lifelong Member*, Sang-Min Choo\*\* *Regular Member*

### 요 약

무선통신 시스템에서 사용자에게 제공되는 서비스의 품질을 향상시키기 위하여 계층별로 재전송 알고리즘이 사용되고 있다. 그러나 계층별 재전송 알고리즘은 독립적으로 동작하여 시스템의 비효율성을 야기할 수 있으며, 불필요한 재전송에 의한 서비스 품질의 감소를 발생시킬 수 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 다 계층 재전송 방식 주목받고 있다. 하지만 다 계층 재전송 방식을 무선통신 시스템에 적용하기 위해서는 다 계층 재전송 방식의 성능이 서비스 클래스의 QoS 요구사항을 만족하는지 검증되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 다 계층 재전송 방식의 성능을 분석하기 위한 수학적 모델을 제안하며, 제안된 분석 모델을 이용하여 서비스 별 재전송 알고리즘 및 최적의 파라미터를 도출하고자 한다. 제안한 수학적 분석 모델은 채널 특성을 고려한 MCS 레벨을 선택하며 HARQ와 ARQ를 결합했을 때 성능 분석이 용이하고 패킷 전송 지연의 분석이 가능하다. 분석 모델의 활용을 위하여 WiMAX 시스템을 고려하여 지연에 민감한 서비스에 적합한 재전송 방식 및 재전송 파라미터를 도출한다. 또한 본 논문은 LTE, WLAN과 같은 무선통신 시스템에서 재전송 방식을 최적화 하는데 활용 가능하다. 성능분석 결과, 지연 및 주파수 효율성을 고려한 경우 음성서비스는 HARQ만을 사용하는 것이 유리하며 최대전송횟수가 3 이하로 제한되어야 하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 비디오와 쌍방향 게임의 경우 HARQ와 ARQ 모두 사용할 수 있으나 최대전송횟수가 3 이상인 경우 HARQ를 사용하는 것이 유리하다.

**Key Words** : Retransmission, Cross-Layer, AMC scheme, Spectral efficiency, Transmission delay

### ABSTRACT

In wireless communication system, a variety of retransmission algorithms are used in order to improve the quality of service of users. But the system may be inefficient because retransmission algorithms operate independently with other layers. Also, the quality of service can be degraded due to the unnecessary retransmission of packets. To solve these problems, the study on the cross-layer retransmission schemes have been widely performed. However, in order to apply cross-layer retransmission schemes to wireless communication system, whether the performance of cross-layer retransmission schemes meets QoS requirements of each service

\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업[2009-F-043-01, 사용자 중심 이동성 제어를 통한 중단 없는 이동성 제공 기술 개발]과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업[IITA-2009-C1090-0902-0003]의 일환으로 수행하였음.

\* 아주대학교 전자공학과 무선 인터넷 연구실(light3754, l33hyun, and jkim}@ajou.ac.kr),

\*\* LG전자 MC연구소 4G 개발실(choosm@gmail.com)

논문번호 : KICS2009-09-433, 접수일자 : 2009년 9월 24일, 최종논문접수일자 : 2010년 1월 19일

class has to be verified. Thus, this paper proposes the mathematical model for analyzing the performance of the cross-layer retransmission schemes and derives both the suitable retransmission scheme and the optimal retransmission parameter on each service class. The proposed mathematical model selects the MCS level based on channel state information and The performance analysis is comparatively easy in case that HARQ, ARQ, and AMC schemes are combined. The proposed mathematical model also enables the analysis of the packet transmission delay. To utilize the analytical model, this paper derives the suitable retransmission scheme and the optimal retransmission parameter for delay sensitive services in WiMAX system. Also, the proposed analytical model can be used to analyze the performance of wireless communication system such as LTE and WLAN.

## I. 서 론

최근 무선이동통신 사용자의 증가에 따라 다양한 서비스의 요구뿐만 아니라 높은 수준의 서비스 품질에 대한 요구가 증가하고 있다. 표 1은 ITU에서 제안한 서비스 클래스 별 QoS 요구사항을 나타낸 것이다<sup>[1]</sup>. 이러한 QoS 요구사항은 전송 지연, 전송 속도, 전송 신뢰도에 의해 결정된다. 하지만 무선채널에서의 채널 감쇠로 인해 전송 속도뿐만 아니라 전송 신뢰도가 감소할 수 있으며, 이로 인해 전송 지연이 증가할 수 있다. 따라서 무선통신 시스템에서 처리율과 전송의 신뢰성을 높이는 것은 매우 큰 연구 이슈로 주목 받고 있다.

최근 연구에서는 무선 채널을 통한 데이터 전송 효율성을 높이기 위한 방안으로 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기법을 제안하였다<sup>[2]</sup>. AMC 기법은 채널 상황에 따라 변조방식과 부호화율 레벨을 정의하여 처리율을 향상시킬 뿐만 아니라 채널 에러에 관한 신뢰성도 향상시킨다. 하지만 AMC 기법만을 사용할 경우 패킷 손실로 인한 전송 신뢰성 감소를 극복하기 어렵다. 따라서 최근 연구에서 재전송 방식과 AMC 기법을 결합하여 사용하는 다 계층 재전송 방식이 제안되었다<sup>[3],[4]</sup>. 최근 연구에서 제안된 다 계층 재전송 방식은 재전송만을 사용하는 경우에 비해 평균 대역효율성을 채널 상황에 따라 극대화함으로써 전송 효율을 향상시켰다. 또한 성능 분석 시, 실제 무선통신 시스템의 성능에 가장 적합한 수학적 분석 모델을 제시하기 위

해 성능 분석 시 필요한 가정 사항을 실제 무선통신 환경과 유사하게 하여 분석의 신뢰도를 높였다. 기존에 제안된 다 계층 재전송 방식 중, HARQ와 AMC 기법을 결합하여 사용하는 경우 HARQ의 종류와 패킷의 크기, 그리고 채널 상황에 따른 평균 대역 효율성의 변화에 대한 성능 분석을 수행하여 제안된 방식의 우수성을 검증하였다<sup>[3]</sup>. 또한 ARQ와 AMC 기법을 함께 사용하는 연구도 활발히 진행되어 왔다<sup>[4]</sup>. [4]에서는 ARQ만을 사용하는 경우와 ARQ와 AMC 기법을 함께 사용하는 경우의 성능을 수학적으로 모델링하고, 성능 평가 시, 평균 대역 효율성과 PER을 사용하여 제안된 다 계층 재전송 방식의 향상된 성능을 검증하였다<sup>[4]</sup>. 하지만 기존의 연구에서는 제안된 다 계층 재전송 방식이 각 서비스 클래스에 적합한지 분석되지 않았다. 각 서비스 클래스에 적합하지 않은 다 계층 재전송 방식이 사용될 경우, 무선통신 시스템은 사용자의 QoS를 보장해 줄 수 없게 된다. 따라서 서비스 특성에 따라 최적의 재전송 방식과 파라미터를 설정하기 위해, 기존에 제안된 다 계층 재전송 방식 별 성능 평가가 필요하다. 본 논문에서는 다 계층 재전송 방식의 종류에 따른 평균 대역효율성과 전송 지연 시간의 변화에 대한 분석을 수행하여 서비스 특성에 따라 적합한 재전송 방식과 파라미터 값을 제안한다.

## II. 시스템 모델

### 2.1 시스템 구조

그림 1은 시스템의 계층 구조와 계층간 지연 성분을 나타낸다. 이때 지연 성분은 표 2의 값과 같이 표준문서를 참조하였다<sup>[5]</sup>. 그림 1과 같이 PHY 계층에서 HARQ가 수행되며, MAC 계층에서는 ARQ가 수행된다. HARQ는 HARQ 패킷 단위로 전송을 하며, ARQ는 MAC PDU(Packet Data Unit) 단위로 전송을 한다. 성능 분석의 용이함을 위해 하나의 MAC PDU는 하나의 HARQ 패킷으로 매핑된다고

표 1. 서비스 별 QoS 요구 사항

	타겟 패킷 손실률	$D_{trans}$
Voice	< 2%	< 50msec
Video	< 1%	< 300msec
Interactive games	0%	< 100msec

표 2. 지연 성분의 종류

지연 성분	시간 (msec)
Processing delay(intra-layer)	1
Processing delay(inter-layer)	3
Transmission Time Interval(TTI)	5

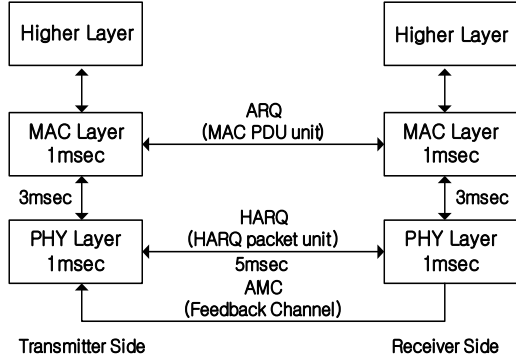


그림 1. 시스템 계층 구조

가정하였다. 또한 PHY 계층에서의 재전송 방식으로는 HARQ Type II를, MAC 계층에서의 재전송 방식으로는 Stop-and-Wait ARQ를 각각 사용하는 것을 가정하였다.

### 2.2 무선 채널 모델

본 논문에서는 분석의 용이함을 위해 Rayleigh 채널 모델을 사용하며, 다음과 같은 수식을 통해 SNR의 분포 확률을 구할 수 있다.

$$p_{\gamma}(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}} \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right), \quad (1)$$

여기서  $\bar{\gamma}$ 는 수신 측에서 측정된 SNR의 평균 값이다. 본 논문에서는 성능분석의 용이함을 위해 다음과 같이 몇 가지 가정을 한다. 첫째, 수신 측에서 측정된 채널 상태 정보는 완벽하며, 송신 측으로 오류와 지연 없이 피드백 채널을 통해 전달된다. 둘째, 오류 검출은 순환중복검사에 의해 완벽하게 수행된다. 셋째, 채널 상태는 수신 측에서 측정된 SNR에 의해 정해진다.

### 2.3 시스템 모델링

본 논문에서는 수신 측에서 측정되는 SNR을 MCS 레벨 선택을 위한 기준으로 한다. 이번 단락에서는 시스템의 패킷 손실률을 통해 각 MCS 레벨

이 선택되기 위한 SNR의 경계 값을 구해본다.

주어진 채널 상황에서 MCS 레벨을 선택하기 위해서는 타겟 PER(Packet Error Rate)을 만족해야 한다. 이때 타겟 PER은 시스템 별로 정해진 최대전송횟수와 타겟 패킷 손실률에 의해 수식 (2)와 같이 구해진다.

$$P^{N_t} \leq P_{loss} \rightarrow P \leq P_{loss}^{1/N_t} = P_{target}, \quad (2)$$

여기서  $P$ 는 평균 PER이고,  $N_t$ 는 최대전송횟수이며,  $P_{loss}$ 는 타겟 패킷 손실률,  $P_{target}$ 은 타겟 PER을 나타낸다.

#### 2.3.1 HARQ와 AMC가 결합된 경우의 MCS 레벨 선택

다음은 AMC와 결합된 재전송 방식에 따라 MCS 레벨 선택 과정을 각각 설명하였다. 가장 먼저 HARQ와 AMC가 결합된 경우 MCS 레벨은 타겟 BER을 이용하여 선택한다. 다음 수식은 타겟 BER을 이용하여  $i$ 번째 전송에서 MCS 레벨  $n$ 이 선택되기 위한 최소 SNR 값을 구하는 식이다.

$$\gamma_n^{(i)} = \frac{1}{b_n} \ln\left(\frac{a_n}{BER_{target}^{(i)}}\right), \quad i = 1, 2, \dots, N_t \quad (3)$$

이때,  $\gamma_n^{(i)}$ 는  $i$ 번째 전송에서 MCS 레벨  $n$ 이 선택되기 위한 SNR의 최소값이다.  $a_n$ 과  $b_n$ 은 MCS 레벨에 따른 상수 값으로, 시뮬레이션을 통해 실제 값과 비교해가며 근사값을 얻을 수 있다<sup>[4]</sup>. 또한  $BER_{target}^{(i)}$ 은  $i$ 번째 전송에서의 타겟 BER이며 HARQ를 사용하는 경우 초기 전송에서 패킷의 타겟 BER은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$BER_{target}^{(1)} = 1 - (1 - P_{target})^{1/L}. \quad (4)$$

HARQ가 사용되는 경우 재전송된 패킷의 복호화는 초기전송에서 오류가 검출된 동일한 패킷과 결합하여 오류로부터 복구를 시도한다. 따라서 패킷이 재전송된 경우 다음과 같이 타겟 BER(Bit Error Rate)을 구하도록 한다.

수신기가 경관정 비터비 복호 알고리즘을 사용하는 길쌈부호를 사용하는 경우 수식 (5)와 같이 PER의 상한 값  $P_{upper}$ 를 사용할 수 있다. 다음의 분석

된 수식 (5)~(7)은 [2, (8)~(13)]을 참고하였다.

$$PER^{(i)} = 1 - (1 - P_u^{(i)})^L \equiv P_{upper}, \quad (5)$$

$$i = 2, \dots, N_i$$

여기서  $i$ 는  $2 \sim N_i$ 의 값을 갖는 전송 차수이고,  $PER^{(i)}$ 는  $i$ 번째 전송 이후의 PER이며,  $P_u^{(i)}$ 는  $i$ 번째 패킷 전송 이후 복호화 과정에서 처음으로 비트 오류가 발생할 경우, 이때 비트에 오류가 발생될 확률을 의미한다.  $P_u^{(i)}$ 는 수식 (6)에 의해 구할 수 있다<sup>6)</sup>.

$$P_u^{(i)} = \sum_{d=d_f^{(i)}}^{\infty} a_d^{(i)} \times p_d^{(i)} \approx a_d^{(i)} \cdot 2^{d_f^{(i)}} \cdot (\rho^{(i)})^{d_f^{(i)}/2} \quad (6)$$

이때,  $d_f$ 는 길쌈 부호의 자유거리,  $a_d$ 는 자유거리  $d$ 에서의 총 오류 발생 횟수를,  $p_d$ 는 자유거리  $d$ 에서의 오류 발생 확률이며,  $\rho^{(i)}$ 는  $i$ 번째 전송에서의 비트 오류율을 나타낸다. 위 수식 (6)의 결과를 수식 (5)에 대입하면  $i$ 번째 전송에서의 PER을 구할 수 있다. 여기서  $PER^{(i)}$ 를  $i$ 번째 전송에서의  $P_{target}$ 으로,  $\rho^{(i)}$ 를  $i$ 번째 전송에서의  $BER_{target}$ 으로 바꿔주면, 수식 (7)과 같이 재전송에서의 타겟 BER을 구할 수 있다.

$$BER_{target}^{(i)} = \left[ \frac{1 - (1 - P_{target})^{1/L}}{a_{d_f}^{(i)} \cdot 2^{d_f^{(i)}}} \right]^{2/d_f^{(i)}} \quad (7)$$

### 2.3.2 ARQ와 AMC가 결합된 경우의 MCS 레벨 선택

ARQ의 경우 패킷을 재전송 하였을 때의 PER은 이전에 전송된 동일한 패킷의 PER과 독립적으로 결정된다. 따라서 이전 전송과 동일한 타겟 PER 값을 만족하도록 MCS 레벨을 선택한다. 그러므로 각 전송시도에서의 타겟 PER 값은 수식 (2)를 통해 구할 수 있다. 수식 (2)를 통해 구한 타겟 PER 값을 이용하여 다음과 같이  $i$ 번째 전송에서 MCS 레벨  $n$ 이 선택되기 위한 최소 SNR 값을 구할 수 있다.

$$\gamma_n^{(i)} = \frac{1}{g_n} \ln \left( \frac{a_n}{PER_{target}^{(i)}} \right), \quad (8)$$

여기서  $a_n$ 과  $g_n$ 은 MCS 레벨에 따른 상수 값으로, 시뮬레이션을 통해 실제 측정된 PER 값과 비교하여 실험적으로 얻을 수 있다<sup>4)</sup>.

### 2.3.3 HARQ와 ARQ, AMC가 결합된 경우의 MCS 레벨 선택

HARQ와 ARQ가 모두 사용되는 경우, 무선 채널을 통한 실제 패킷의 전송은 HARQ에 의해 수행되며 HARQ의 수행 완료 뒤에도 오류로부터 복구되지 못한 패킷은 ARQ에 의해 HARQ의 동작을 반복 수행하게 된다. 따라서 MCS 레벨의 선택은 HARQ만을 사용하는 경우와 같은 방법으로 이루어진다.

## III. 성능 분석 모델

본 장에서는 각각의 재전송 방법과 AMC를 결합하여 사용하는 경우 시스템의 성능분석을 위해 평균 대역 효율성과 전송 지연 시간을 살펴보도록 한다.

### 3.1 평균 대역효율성

$i$ 번째 전송시도에서의 평균 대역효율성은 다음 수식과 같이 구할 수 있다.

$$\overline{S^{(i)}} = \sum_{n=1}^N R_n \Pr^{(i)}(n) \quad (9)$$

이때,  $\overline{S^{(i)}}$ 는  $i$ 번째 전송시도에서의 평균 대역효율성이며,  $R_n$ 은 MCS 레벨  $n$ 에서의 심볼당 정보비트의 수를,  $\Pr^{(i)}(n)$ 은  $i$ 번째 전송시도에서 MCS 레벨  $n$ 이 선택될 확률을 나타낸다. 각 전송시도에서의 평균 PER과 평균 대역 효율성을 알 경우, 수식 (10)과 같이 한 패킷이 전송될 때 최대 전송 횟수까지 고려하여 평균 대역 효율성을 구할 수 있다.

$$\overline{S_{overall}} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \overline{S^{(i)}}, \quad (10)$$

여기서  $\overline{S_{overall}}$ 은 패킷의 최대 전송 횟수  $N_i$ 번까지 모두 고려된 평균 대역 효율성이며,  $P_i$ 는  $i$ 번째 전송이 일어날 확률로 다음과 같이 평균 PER을 이용하여 구할 수 있다.

$$P_1 = 1$$

$$P_i = \overline{PER}^{i-1} (1 - \overline{PER}), i = 2, \dots, N_t \quad (11)$$

위 수식에서 평균 PER은 다음과 같이 HARQ와 ARQ에서 각각 다른 방법으로 구할 수 있다.

### 3.1.1 HARQ에서의 평균 PER 계산

HARQ의 평균 PER 계산은 [2, 수식 (17)-(23)]을 이용하도록 한다. 수식 (12)는  $i$ 번째 전송 이후에도 오류가 복구되지 못할 확률이다.

$$P\{F_{n_1, \dots, n_t}^{(i)}(\gamma^{(1)}, \dots, \gamma^{(i)})\},$$

$$i = 1, 2, \dots, N_t \quad (12)$$

여기서  $n_1, \dots, n_t$ 는 각 전송에서 사용된 MCS 레벨이며,  $\gamma^{(1)}, \dots, \gamma^{(i)}$ 는 각 전송에서 수신 측에서 측정된 SNR 값이다. 위 수식 (12)를 이용하여 다음과 같이  $N_t$ 번 전송 이후 패킷의 PER은 각 전송시도에서의 PER 값들의 결합 확률로 구할 수 있다.

$$PER_{n_1, \dots, n_{N_t}}(\gamma^{(1)}, \dots, \gamma^{(N_t)})$$

$$= P\left\{F_{n_1}^{(1)}(\gamma^{(1)}), F_{n_1, n_2}^{(2)}(\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}), \dots, F_{n_1, n_2, \dots, n_{N_t}}^{(N_t)}(\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}, \dots, \gamma^{(N_t)})\right\}. \quad (13)$$

위의 수식에서 각 전송마다 선택 가능한 모든 MCS 레벨을 고려하면 평균 PER을 구할 수 있다.

$$\overline{PER} = \sum_{n_1=1}^N \sum_{n_2=1}^N \dots \sum_{n_{N_t}=1}^N \int_{\gamma_{n_1}^{(1)}}^{\gamma_{n_1+1}^{(1)}} \int_{\gamma_{n_2}^{(2)}}^{\gamma_{n_2+1}^{(2)}} \dots \int_{\gamma_{n_{N_t}}^{(N_t)}}^{\gamma_{n_{N_t}+1}^{(N_t)}} PER_{n_1, \dots, n_{N_t}}(\gamma^{(1)}, \dots, \gamma^{(N_t)}) p(\gamma^{(1)}) \dots p(\gamma^{(N_t)}) d\gamma^{(1)} \dots d\gamma^{(N_t)} \quad (14)$$

하지만 위의 수식에서 각 전송에서의 결합 확률을 계산하는 것은 어려우므로 최악의 경우를 포함하는 상한 경계 값으로 대체한다<sup>[10]</sup>.

$$\prod_{i=1}^{N_t} P\{F_{n_1 n_2, \dots, n_i}^{(i)}(\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}, \dots, \gamma^{(i)})\}$$

$$\leq P\{F_{n_1 n_2, \dots, n_i}^{(N_t)}(\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}, \dots, \gamma^{(N_t)})\}. \quad (15)$$

위의 상한 경계 값을 구하기 위해 앞의 수식 (5)와 (6)을 이용한다.

$$P\{F_{n_1, n_2, \dots, n_{N_t}}^{(N_t)}(\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}, \dots, \gamma^{(N_t)})\}$$

$$\approx 1 - \left\{1 - P_u^{(N_t)}[\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}, \dots, \gamma^{(N_t)}]\right\}^L, \quad (16)$$

$$P_u^{(N_t)}[\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}, \dots, \gamma^{(N_t)}] \approx a_{d_f}^{(N_t)} \cdot 2^{d_f^{(N_t)}} \cdot \left(BER_{n_1, \dots, n_{N_t}}^{(N_t)}(\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}, \dots, \gamma^{(N_t)})\right)^{d_f^{(N_t)}/2}, \quad (17)$$

이때,  $BER_{n_1, \dots, n_{N_t}}^{(N_t)}(\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}, \dots, \gamma^{(N_t)})$ 은  $N_t$ 번째 전송이 완료된 후의 BER이며, 이는  $N_t$ 번의 전송에서 전송된 전체 비트 중 오류가 발생된 비트의 비율로 근사할 수 있다.

$$BER_{n_1, \dots, n_{N_t}}^{(N_t)}(\gamma^{(1)}, \dots, \gamma^{(N_t)}) \approx \frac{\sum_{i=1}^{N_t} L_i \cdot BER_{n_i}^{(i)}(\gamma^{(i)})}{\sum_{i=1}^{N_t} L_i} \quad (18)$$

### 3.1.2 ARQ에서의 PER 계산

Rayleigh 채널 모델을 가정하면 다음과 같이 MCS 레벨  $n$ 이 선택될 확률을 구할 수 있다<sup>[4]</sup>.

$$\Pr(n) = \int_{\gamma_n}^{\gamma_{n+1}} p_r(\gamma) d\gamma$$

$$= \exp\left(-\frac{\gamma_n}{\bar{\gamma}}\right) - \exp\left(-\frac{\gamma_{n+1}}{\bar{\gamma}}\right), \quad (19)$$

여기서  $p_r(\gamma)$ 는 SNR의 Rayleigh 채널 모델이며,  $\bar{\gamma}$ 는 평균 SNR이다. 앞의 수식 (1)과 (19)를 이용하면 다음과 같이  $\overline{PER}_n$ 을 구할 수 있다.

$$\overline{PER}_n = \frac{1}{\Pr(n)} \int_{\gamma_n}^{\gamma_{n+1}} PER_n(\gamma) \cdot p_r(\gamma) d\gamma$$

$$= \frac{1}{\Pr(n)} \int_{\gamma_n}^{\gamma_{n+1}} a_n \exp(-b_n \gamma) \cdot \frac{1}{\gamma} \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right) d\gamma \quad (20)$$

$$= \frac{1}{\Pr(n)} \cdot \frac{a_n}{\bar{\gamma}} \cdot \frac{1}{c_n} (\exp(-c_n \gamma_{n+1})),$$

$$\text{이때, } c_n = \frac{1}{\bar{\gamma}} + g_n$$

수식 (19), (20)을 이용하여, 총 전송된 패킷의 수와 오류가 발생한 패킷의 수의 비율로 평균 PER을 구할 수 있다<sup>[4]</sup>.

$$\overline{PER} = \frac{\sum_{n=1}^N R_n \Pr(n) \overline{PER}_n}{\sum_{n=1}^N R_n \Pr(n)}, \quad (21)$$

이때,  $N$ 은 AMC의 가장 높은 MCS 레벨이며,  $R_n$ 은 MCS 레벨  $n$ 에서 심볼당 전송되는 정보 비트의 수이다.

### 3.1.3 HARQ+ARQ에서의 PER 계산

HARQ와 ARQ가 함께 사용될 경우 ARQ는 HARQ의 동작이 완료된 뒤 패킷의 오류가 복구되지 않은 경우에만 동작하게 된다. 또한 ARQ의 동작으로 인해 패킷은 HARQ의 동작 과정을 반복 수행하게 된다. 따라서 MAC 계층에서의 PER은 HARQ에 의해 패킷이  $N_t$ 번 전송된 후에도 오류로부터 복구되지 못할 확률과 같으며, 수식 (22)와 같이 구할 수 있다.

$$PER_{MAC} = P^{(N_t)}, \quad (22)$$

이때,  $PER_{MAC}$ 은 MAC PDU가 ARQ에 의해 한 번 전송됐을 때 오류가 발생할 확률이며,  $P^{(N_t)}$ 는 HARQ가 동작을 완료한 뒤에도 패킷에 오류가 남아있을 확률이다.

### 3.2 평균 전송지연시간

패킷의 평균 전송 지연 시간을 구하기 위해서는 패킷당 평균 전송 횟수를 알아야 한다. 수식 (23)은 패킷의 PER과 최대 전송 횟수를 이용하여 패킷당 평균 전송 횟수  $\overline{N}$ 을 구한 것이다<sup>9)</sup>.

$$\overline{N} = \frac{1 - PER^{N_t}}{1 - PER}. \quad (23)$$

패킷당 평균 전송 횟수와 표 2의 각 지연 성분 값을 이용하여 구한 one way delay와 RTT을 이용하여 패킷의 평균 전송 지연 시간을 구할 수 있다.

$$D_{trans} = D_{oneway} + RTT \cdot \overline{N}, \quad (24)$$

이때,  $D_{trans}$ 와  $D_{oneway}$ 는 각각 평균 전송 지연 시간과 one-way delay를 의미한다.

## IV. 모의실험

모의실험을 위해 구현된 시스템은 앞의 III장에서 소개된 모델을 기반으로 구성하였다. 구성된 시스템 모델은 무선통신 시스템에서 사용되는 다 계층 재전송 방식 별로 평균 대역효율성과 전송지연시간에 대한 비교 분석을 수행하는데 사용하였다. 다음 표 3은 모의실험에서 사용한 파라미터 값을 나타낸다 [3],[4],[10].

표 3. 지연 성분의 종류

Parameter		Value
$a_d^{(2)}, a_d^{(3)}$		2, 5
$d_d^{(2)}, d_f^{(3)}$		7, 12
$a_n, b_n$ (HARQ)	level 1(BPSK)	1.1369, 7.5556
	level 2(QPSK)	0.3351, 3.2543
	level 3(QPSK)	0.2197, 1.5244
	level 4(16QAM)	0.2081, 0.6250
	level 5(16QAM)	0.1936, 0.3484
	level 6(64QAM)	0.1887, 0.0871
$a_n, g_n$ (ARQ)	level 1(BPSK)	273.8229, 6.8932
	level 2(QPSK)	86.0514, 2.9598
	level 3(QPSK)	65.6181, 1.3883
	level 4(16QAM)	52.257, 0.5701
	level 5(16QAM)	52.7987, 0.3156
	level 6(64QAM)	33.45, 0.075

### 4.1 평균 대역효율성

무선통신 시스템의 성능평가를 위해 다 계층 재전송 방식에 따른 평균 대역효율성을 살펴보도록 한다. 그림 2는 HARQ에서  $N_t$ 에 따른 평균 대역 효율성의 변화를 나타내고 있다.  $N_t$ 가 증가할수록 평균 대역 효율성이 증가하며, 특히  $N_t=2$ 인 경우  $N_t=1$ 일 때보다 평균 SNR이 17dB에서 약 0.32bits/symbol만큼 증가하였으며,  $N_t=3$ 인 경우  $N_t=2$ 일 때보다 평균 SNR이 15dB에서 약 0.21bits/symbol 만큼 증가하였다. 이는 수식 (2)에서 알 수 있듯이,  $N_t$ 가 증가함에 따라 타깃 PER도 점차 증가하기 때문이다.

그림 3은 ARQ와 AMC를 같이 사용할 경우  $N_t$ 를 각각 1, 2, 3으로 설정하여 SNR에 따른 평균 대역 효율성의 변화를 나타낸 것이다. 평균 대역 효율성은  $N_t$ 가 증가함에 따라 함께 증가하는 것을 알

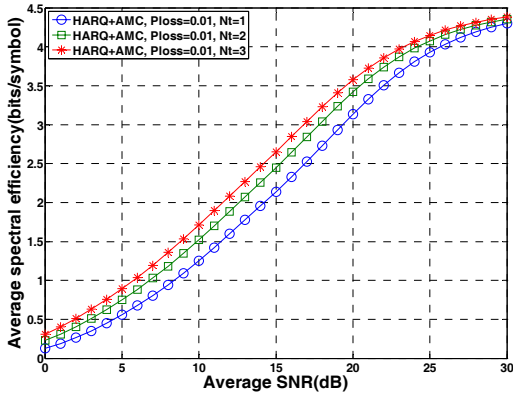


그림 2. HARQ의  $N_t$  별 평균 대역효율성

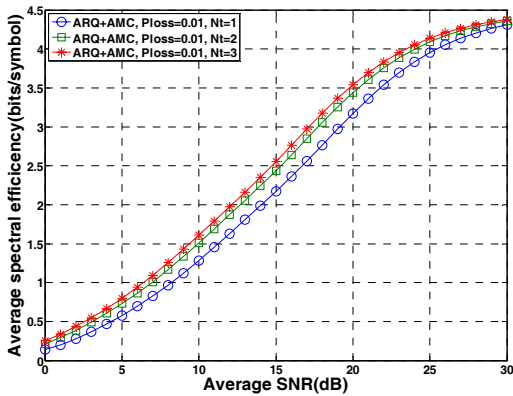


그림 3. ARQ의  $N_t$  별 평균 대역효율성

수 있다. 특히  $N_t$ 가 1에서 2로 증가할 경우, 평균 대역 효율성은 평균 SNR 18dB에서 약 0.29 bits/symbol만큼 증가하였고,  $N_t$ 가 2에서 3으로 증가할 때에는 평균 SNR 17dB에서 약 0.12 bits/symbol만큼 증가하였다. 이는 앞의 HARQ와 마찬가지로  $N_t$ 가 증가함에 따라 타깃 PER도 점차 증가하기 때문이다.

그림 2와 그림 3의 결과로부터 다 계층 재전송 방식을 사용할 경우  $N_t$ 를 변화시켜 QoS 요구조건을 만족하도록 평균 대역효율성을 극대화할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 그림 2와 그림 3의 결과로부터  $N_t$ 가 2이하인 경우 HARQ와 ARQ의 평균 대역 효율성은 비슷한 수준으로 측정되었으며,  $N_t$ 가 3일 때에는 HARQ의 평균 대역 효율성이 ARQ에 비해 약 0.06bits/symbol 높게 나타났다. 이는 재전송 횟수가 증가할수록 오류가 발생된 패킷을 재전송된 패킷의 복호화에 다시 사용하는

HARQ가 그렇지 않은 ARQ에 비해 유리하기 때문이다. 따라서  $N_t=3$  이상일 경우에 평균 대역 효율성 측면에서 HARQ가 ARQ에 비해 더 좋은 성능을 제공한다는 것을 알 수 있다. 또한 HARQ와 ARQ를 함께 사용하는 경우 HARQ만을 사용하는 경우와 성능이 거의 유사하게 나타났다. 이는 HARQ와 ARQ를 함께 사용하는 경우 HARQ만을 사용하는 경우와 비교하여 평균 대역효율성 측면에서 이득이 없음을 의미한다. 이 이유는 다음 절에서 설명될 평균 전송 횟수에서 알 수 있듯이 패킷이 평균적으로 2번의 전송 시도 안에 성공적으로 수신 측에 전달되기 때문이다.

그림 4는 재전송 방식에 따른 평균 대역 효율성의 차이를 평균 SNR에 따라 나타낸 것이다. 그림 4로부터 HARQ와 ARQ를 모두 사용할 경우, 평균 대역 효율성은 HARQ와 정확히 일치한다. 이 이유는 ARQ에 의한 재전송에서 패킷 전송 시에 사용되는 MCS 레벨의 선택을 HARQ와 같은 과정에 의해 결정되기 때문이다. 또한 HARQ를 사용하는 경우 ARQ를 사용하는 경우보다 평균 대역효율성 측면에서 유리한 것을 알 수 있으며, 이는 HARQ에서 재전송된 패킷을 복호화 할 때 결합 이득이 존재하기 때문이다.

위의 결과들로부터  $N_t$ 가 3 이상인 경우 평균 대역 효율성 측면에서 HARQ가 ARQ에 비해 더 좋은 성능을 보이며, HARQ와 ARQ를 모두 사용하는 경우 HARQ만을 사용하는 경우의 평균 대역 효율성과 같은 성능을 보였다. 이로부터 HARQ와 ARQ, AMC 기법을 함께 사용하는 경우 HARQ와 AMC를 함께 사용하는 경우와 비교하여 평균 대역 효율성 측면에서 추가적인 이득이 발생하지 않는다

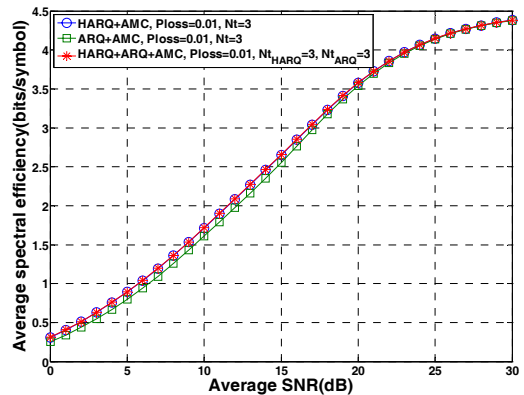


그림 4. 재전송 방식에 따른 평균 대역효율성

는 것을 알 수 있다.

4.2 평균 전송지연시간

패킷의 평균 전송지연시간은 RTT와  $D_{oneway}$ , 그리고 평균 전송횟수를 통해 계산할 수 있다. 본 논문에서는 WiMAX 시스템을 기반으로 전송 지연 시간 성능분석을 수행하였으며, WiMAX 시스템의 RTT와  $D_{oneway}$ 는 그림 1과 표 2를 이용하여 표 4과 같이 구할 수 있다. 계산된 RTT와 평균 전송횟수를 이용하여 BS와 단말기의 MAC 계층 간 평균 전송지연시간을 구하였다. 이때 타깃 패킷 손실률은 0.02이며,  $N_t$ 는 모든 재전송 방식에서 동일하게 3으로 설정하였다. 또한 HARQ의 HARQ DL ACK delay offset 값을 1 프레임으로 설정하였다<sup>[11]</sup>.

그림 5는 재전송 방식에 따른 패킷당 평균 전송 횟수를 나타낸 것이다. 재전송 방식에 상관없이 평균 전송 횟수는 1과 2 사이에서 나타났으며, 이로부터 대부분의 패킷이 2번의 전송 안에 수신측에 성공적으로 전달됨을 알 수 있다.

그림 6은 SNR에 따른 평균 전송 지연 시간을 나타낸다. 이로부터 MAC 계층간 평균 전송 지연 시간은 HARQ와 HARQ+ARQ가 거의 유사한 값을 가지는 것을 알 수 있으며, 이는 HARQ+ARQ를 사용할 경우 평균 전송 횟수가 2 이하로 ARQ가 거의 동작하지 않기 때문이다. 또한 ARQ를 사용할 때 전송 지연 시간이 평균적으로 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 HARQ를 사용할 경우

표 4. 재전송 방식 별 RTT 및 one way delay

	RTT(msec)	$D_{oneway}$ (msec)
HARQ	16	11
ARQ	34	19

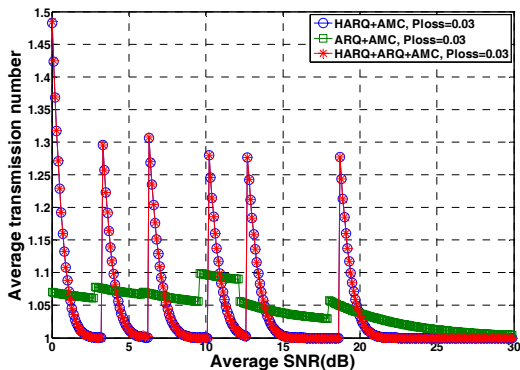


그림 5. 평균 전송 횟수

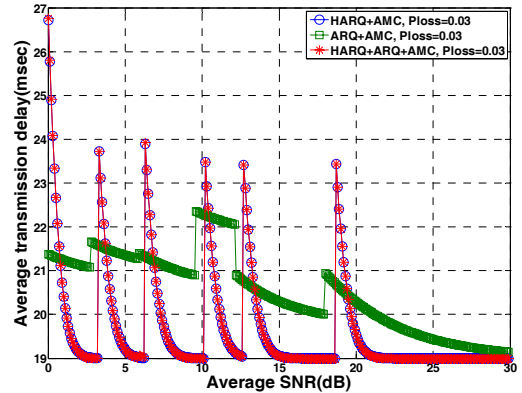


그림 6. 평균 전송지연시간

패킷의 재전송을 요청하는데 걸리는 시간이 ARQ에 비해 작기 때문이다. 따라서 HARQ를 사용할 경우 전송 지연 시간 측면에서 가장 유리하며, ARQ를 사용할 경우 가장 느린 전송이 보장된다.

V. 서비스 특성에 따른 재전송 방식 선택

패킷 전송 시, 타깃 패킷 손실률을 만족시키기 위한 방법으로 재전송 횟수의 증가를 생각할 수 있다. 또한, AMC 기법을 사용하여 채널 상황에 따라 MCS 레벨을 바꿔주는 방법도 가능하다. 하지만 패킷 손실률을 위해 재전송 횟수를 계속 증가시킬 경우 전송 지연 상한 값을 넘어설 수 있다. 따라서 타깃 패킷 손실률과 전송 지연 상한 값을 모두 만족시키는 범위 내에서 최적의 파라미터 값을 설정하여야 한다.

본 절에서는 모의실험에서 분석된 재전송 방식 별 RTT와  $D_{oneway}$ 를 이용하여 서비스 클래스 별 사용될 수 있는 재전송 방식과 파라미터 값을 선택 하도록 한다. 다음의 표 5는 서비스 별 사용될 수 있는 재전송 방식과 최적의 파라미터 값을 나타낸다. 표 5에서 사용 가능한 재전송 방식은 1번의 재전송이 발생할 경우, 전송 지연 시간이 전송 지연 상한 값을 만족시키는지 여부에 따라 결정되었으며, 최대 전송 횟수는 전송 지연 상한 값을 만족하는 최대값을 구한 것이다. 음성 서비스에서는 HARQ만을 사용할 수 있으며, HARQ의  $N_{tHARQ}$ 는 50msec의 전송 지연 상한 값 내에서 3까지 선택될 수 있었다. 비디오와 쌍방향 게임에서는 HARQ와 ARQ 모두 사용할 수 있으며,  $N_{tHARQ}$ 는 최대 4까지 선택 가능하며  $N_{tARQ}$ 는 최대 3까지 선택 가능하다<sup>[12]</sup>.



표 5. 서비스 종류에 따른 재전송 방식 및 최대전송횟수

	HARQ	ARQ	$N_{LHARQ}$	$N_{LARQ}$
Voice	O	X	3	-
Video	O	O	4	3
Interactive games	O	O	4	3

그러나 비디오와 쌍방향 게임의 경우 높은 처리율을 요구하므로 그림 2와 그림 3으로부터 최대 전송 횟수가 3이상에서는 HARQ를 사용하는 것이 유리함을 알 수 있다.

### VI. 결 론

본 논문에서는 다 계층 재전송 방식을 사용하는 무선통신 시스템의 성능을 분석하였다. 또한 분석된 평균 대역효율성과 전송 지연 시간을 이용하여 지연에 민감한 서비스에 적합한 재전송 방식과 파라미터 값을 도출하였다.

모의실험 결과, 음성 서비스에는  $N_r$ 가 3인 HARQ를 사용하는 것이 좋으며, 비디오와 쌍방향 게임의 경우 HARQ와 ARQ 모두 사용 가능하나 높은 처리율을 요구하는 서비스 이므로  $N_r$ 가 3 이상인 경우 HARQ를 사용하는 것이 좀 더 유리함을 알 수 있었다. 본 논문에서 분석된 내용은 실제 무선통신 시스템의 분석에 사용될 수 있을 것이며, 분석 결과를 바탕으로 도출된 서비스 클래스 특성에 적합한 재전송 방식과 파라미터 값은 무선통신 시스템 설계 시 가이드라인으로 활용될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] ITU-T Recommendation G.1010, "End-user multimedia QoS categories," 2001.  
 [2] D.L.Goeckel, "Adaptive coding for time-varying channels using outdated fading estimates," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.47, pp.844 - 855, June 1999.  
 [3] D.Wu and S.Ci, "Cross-Layer Combination of Hybrid ARQ with Adaptive Modulation and Coding for QoS Provisioning in Wireless Data Networks," in *IEEE/ACMQShine '06*, Waterloo, ON, Canada, Vol.191, pp.1-9, Aug.2006.  
 [4] Q. Liu, S. Zhou, and G. Giannakis, "Cross-layer

Combining of Adaptive Modulation and Coding with Truncated ARQ over Wireless Links," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.3, pp.1746 - 1755, Sept. 2004.  
 [5] 3GPP TSG-RAN WG2 #58, "LTE Performance verification - U-plane and C-plane latencies", R2-071810 (2007-05).  
 [6] J. Proakis, *Digital Communications*, New York: McGraw-Hill, 1995.  
 [7] M. S. Alouimi and A. J. Goldsmith, "Adaptive modulation over Nakagami fading channels," *Kluwer J. Wireless Commun.*, Vol.13, no.1 - 2, pp.119 - 143, May 2000.  
 [8] S. Kallel and D. Haccoun, "Generalized Type II Hybrid ARQ Scheme Using Punctured Convolutional Coding," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.38, pp.1938 - 1946, Nov.1990.  
 [9] Q. Li, and M. Schaar, "Providing Adaptive QoS to Layered Video Over Wireless Local Area Networks Through Real-Time Retry Limit Adaptation," *IEEE Trans. on Multimedia*, Vol.6, No.2, April, 2004.  
 [10] D. Haccoun and G. Begin, "High-Rate Punctured Convolutional Codes for Viterbi and Sequential Decoding", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.37, pp.1113 - 1125, Nov.1989.  
 [11] IEEE Std 802.16e-2005, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broad-band Wireless Access Systems, Feb. 2006.  
 [12] WiMAX Forum, Version 2.1, "WiMAX System Evaluation Methodology," 2008.

고 광 춘 (Kwang-Chun Go)

준회원



2008년 아주대학교 전자공학부  
 2008년~현재 아주대학교 전자  
 공학과 석사과정  
 <관심분야> 무선망 QoS, Relay  
 network, Wibro 등

이 현 진 (Hyun-Jin Lee)

정회원



2004년 아주대학교 전자공학부  
2004년~현재 아주대학교 전자  
공학부 석/박사 통합과정  
2004년 삼성 휴먼테크 논문대  
상 동상 수상  
<관심분야> IEEE 802.11e  
WLAN, Wibro, 무선망

QoS, Handover 등

추 상 민 (Sang-Min Choo)

정회원



2006년 아주대학교 전자공학부  
2008년 아주대학교 전자공학과  
석사  
2008년~현재 LG전자 MC연  
구소 4G 개발실  
<관심분야> MAC 프로토콜,  
재전송 프로토콜 등

김 재 현 (Jae-Hyun Kim)

종신회원



1987년~1996년 한양대학교 전  
산과 학사 및 석/박사 졸업  
1997년~1998년 미국UCLA 전  
기전자과 박사 후 연수  
1998년~2003년 Bell Labs,  
Performance Modeling and  
QoS Management Group,  
연구원

2003년~현재 아주대학교 전자공학부 부교수.

<관심분야> 무선인터넷 QoS, MAC 프로토콜,  
IEEE 802.11/15/16/20, 3GPP, 국방 전술네트워  
크 등