Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.52, NO.5, May 2015 http://dx.doi.org/10.5573/ieie.2015.52.5.003
ISSN 2287-5026(Print) / ISSN 2288-159X(Online)

논문 2015-52-5-1

서비스 특성을 고려한 다 계층 재전송 방식 선택

(Selection of Cross-layered Retransmission Schemes based on Service Characteristics)

고 광 춘*, 김 재 현**

(Kwang-Chun Go and Jae-Hyun Kim©)

요 약

기존의 무선통신시스템에서는 무선채널에서의 데이터 전송 성능 향상을 위해 시스템 각 계층의 특성에 적합한 재전송 방식을 사용한다. 이때 재전송 방식은 해당 계층에서 독립적으로 동작하며, 무선통신시스템의 종단 간 성능에는 관계없이 각 계층별로 정해진 파라미터에 의해 동작하게 된다. 이와 같은 파라미터는 무선통신시스템의 종단 간 성능을 고려하지 않기 때문에 한정된 무선채널자원 및 네트워크 자원을 효율적으로 활용하기 위한 최적의 시스템 파라미터를 설계하기 어렵다. 따라서 각 서비스 별로 정해진 종단 간 QoS(Quality of Service) 요구사항을 만족시키기에 적합한 재전송 방식의 파라미터를 설계하기 위해서는 무선통신시스템의 종단 간 성능 분석이 필요하다. 본 논문에서는 다 계층 재전송 방식을 사용하는 무선통신시스템의 종단 간 성능을 수학적으로 분석하고, 모의실험을 통해 MAC(Medium Access Control) 계층과 전송계층에서 데이터 전송 성능을 도출한다. 또한 성능평가 결과를 바탕으로 사용자에게 제공되는 각 서비스 클래스의 특성에 적합한 재전송 방식과 파라미터 값을 설정하도록 한다. 모의실험 결과, HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest)와 AMC(Adaptive Modulation and Coding)를 결합한 방식의 경우 지연에 민감한 서비스에 유리하며, ARQ(Automatic Repeat reQuest)와 AMC를 결합한 방식은 평균 전송지연시간에 영향을 받지 않는 서비스에 유리하다. 또한 TCP(Transmission Control Protocol)는 지연에 민감하지 않은 서비스에서만 사용 가능하다.

Abstract

The wireless communication system adopts an appropriate retransmission scheme on each system protocol layer to improve reliability of data transmission. In each system protocol layer, the retransmission scheme operates in independently other layers and operates based on the parameters without reference to end-to-end performance of wireless communication system. For this reason, it is difficult to design the optimal system parameters that satisfy the QoS requirements for each service class. Thus, the performance analysis of wireless communication system is needed to design the optimal system parameters according to the end-to-end QoS requirements for each service class. In this paper, we derive the mathematical model to formulate the end-to-end performance of wireless communication system. We also evaluate the performance at the MAC and transport layers in terms of average spectral efficiency and average transmission delay. Based on the results of performance evaluations, we design the optimal system parameters according to the QoS requirements of service classes. From the results, the HARQ combined with AMC is appropriate for the delay-sensitive service and the ARQ combined with AMC is appropriate for a service that is insensitive to transmission delay. Also, the TCP can be applied for the delay-insensitive service only.

Keywords: Cross-layer, Retransmission, End-to-end performance

* 학생회원, ** 정회원, 아주대학교 전자공학과
(Ajou University)
© Corresponding Author(E-mail: jkim@ajou.ac.kr)
※ 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2014R1A2A2A01002321)
※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.
Received ; January 2, 2015 Revised ; April 10, 2015 Accepted ; April 15, 2015

Ⅰ. 서 론

최근 무선 이동통신의 적용 범위가 확대됨에 따라 제공되는 서비스의 종류와 사용자가 요구하는 서비스 품질에 대한 요구사항이 증가하고 있다. 사용자의 서비스 품질에 대한 요구사항은 각 서비스 클래스 별 특징에 따라 다르며, ITU(International Telecommunication Union)에서는 표 1과 같이 각 서비스 클래스 별로 QoS(Quality Of Service)를 보장해 주기 위한 종단 간의 패킷 손실률과 전송 지연 시간의 요구 사항을 정의하였다[1]. 최근 연구에서는 사용자의 QoS 요구사항을 충족시키기 위해 무선채널에서 데이터의 전송 효율성과 전송 신뢰성을 향상시키는 방법들이 제안되었다[2-5]. 제안된 방식들 중 다 계층 재전송 방식은 무선채널에서 데이터 전송 성능을 향상시킬 수 있는 방법으로 주목받고 있으며, WiMAX(Worldwide interoperability for Microwave Access) 및 LTE(Long Term Evolution)와 같은 무선통신시스템에 적용될 수 있다.

다 계층 재전송 방식에는 HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest)와 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기법을 결합하여 사용하는 방식과 ARQ (Automatic Repeat reQuest)와 AMC 기법을 결합하여 사용하는 방식이 있다[4~5]. [4]에서는 HARQ와 AMC 기법이 결합된 경우 HARQ의 종류, 패킷의 크기, 그리고 채널 상황에 따른 무선채널에서의 전송 성능에 대한 분석을 수행하여 제안한 방식의 성능 향상을 검증하였다. [5]에서는 ARQ와 AMC 기법이 결합된 경우 평균 대역효율성과 PER(Packet Error Rate)을 분석하여 ARQ 방식만을 사용하는 경우와 비교하여 향상된 성능을 증명하였다. 하지만 기존의 연구에서는 제안된 다 계층 재전송 방식이 무선 통신시스템의 종단 간 성능에 미치는 영향에 대해 분석되지 않았으며, 다 계층 재전송 방식이 각 서비스 클래스에 적합한지 분석되지 않았다. 각 서비스 클래스에 적합하지 않은 다 계층 재전송 방식과 파라미터가 사용될 경우, 무선통신시스템은 사용자의 QoS 요구사항을 보장해 줄 수 없게 된다. 따라서 서비스 특성에 따라 최적의 재전송 방식과 파라미터를 설정하기 위해 다 계층 재전송 방식이 사용되는 무선 통신시스템의 종단 간 성능 분석이 필요하다. 본 논문에서는 무선통신시스템의 종단 간 성능분석을 수행하고, 분석된 결과를 바탕으로 각 서비스 클래스에 QoS가 보장되도록 재전송 방식과 파라미터 값을 선택하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ 장에서 본 논문에서 사용한 시스템 모델에 대해 설명하고, Ⅲ 장에서 수학적인 성능 분석 모델을 제시한다. Ⅳ 장에서는 시스템 모델과 성능 분석 모델 기반으로 성능 평가를 수행하여, 각 다 계층 재전송 방식 별 성능을 도출한다. Ⅴ 장에서는 성능 평가 결과를 기반으로 서비스 특성에 따른 선택 가능한 다 계층 재전송 기법 및 파라미터를 제시한다. 마지막으로, Ⅵ 장에서 결론을 맺도록 한다.

Ⅱ. 시스템 모델

본 장에서는 다 계층 재전송 방식을 사용하는 무선통신시스템의 성능 분석 시 사용된 시스템 구조와 채널 모델에 대하여 설명한다.

시스템 계층 구조는 PHY 계층과 MAC 계층, 그리고 전송계층을 고려하며, 사용자 단말은 Access 망과 Core 망을 통해 서버와 연결된다. 패킷 전송 시 발생하는 지연 성분으로 계층내 처리지연시간과 계층간 처리지연시간을 고려하며, 각각 1 ms와 3ms 로 가정한다[6]. 계층별 재전송 방식은 PHY 계층에서 HARQ type Ⅱ가 사용되며, MAC 계층에서는 Stop-and-Wait ARQ가, 전송 계층에서는 TCP(Transmission Control Protocol) Reno가 사용된다.

무선 채널모델은 성능 분석의 용이함을 위해 Rayleigh 페이딩 채널모델을 사용하며, 수신단말에서 느끼는 무선채널의 신호품질을 SNR(Signal to Noise Ratio)로 정의할 때 사용된다. Rayleigh 페이딩 채널에서 SNR의 분포확률은 수식 (1)과 같이 구할 수 있다.

표 1. 서비스 별 QoS 요구 사항
Table 1. QoS requirements of each service class.

	타깃 패킷 손실률	패킷 전송 지연 시간
Conversational Voice	< 3%	< 150msec preferred < 400msec limit
Voice messaging	< 3%	< 1sec
Videophone	< 1%	< 150msec preferred < 200msec limit
Video	< 1%	< 10sec
Interactive games	Zero	< 200msec

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

이때, $\bar{\gamma}$는 수신 측에서 측정된 SNR의 평균값이다. 본 논문에서는 성능분석의 용이함을 위해 다음과 같이 몇 가지 가정을 한다. 첫째, 수신 측에서 측정된 채널 상태 정보는 완벽하다. 둘째, 오류 검출은 순환중복검사에 의해 완벽하게 수행된다. 셋째, 채널 상태는 수신 측에서 측정된 SNR에 의해 정해진다.

Ⅲ. 성능 분석 모델

본 장에서는 다 계층 재전송 방식을 사용하는 경우 무선통신 시스템의 성능 평가를 위해 MAC 계층에서 평균 대역효율성과 전송 계층에서 평균 전송지연시간을 분석하도록 한다.

1. 평균 대역효율성

재전송 방식에서 i번째 전송시도에서의 평균 대역효율성은 MCS 레벨 n이 선택될 확률을 이용하여 수식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\overline{SE^{(i)}}=\sum_{n=1}^{N}R_nP^{(i)}(n), \quad (2)$$

이때, $\overline{SE^{(i)}}$는 i번째 전송시도에서의 평균 대역효율성이며, R_n은 MCS 레벨 n에서의 심볼당 정보비트의 수를, $P^{(i)}(n)$은 i번째 전송시도에서 MCS 레벨 n이 선택될 확률을 나타낸다. 각 전송시도에서의 평균 PER과 평균 대역효율성을 알 경우, 수식 (3)과 같이 한 패킷이 전송될 때 최대 전송 횟수까지 고려하여 평균 대역효율성을 구할 수 있다.

$$\overline{SE_{overall}}=\sum_{i=1}^{N_t}p_i\cdot\overline{SE^{(i)}}, \quad (3)$$

여기서 $\overline{S_{overall}}$은 패킷의 최대전송횟수 N_t번까지 모두 고려된 평균 대역효율성이며, p_i는 i번째 전송이 일어날 확률로 다음과 같이 평균 PER을 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} &p_1=1 \\ &p_i=\overline{PER}^{i-1}(1-\overline{PER}), \quad i=2,...,N_t. \end{aligned} \quad (4)$$

표 2. 파라미터 값
Table 2. Performance evaluation parameters.

Parameter	Value
TCP/IP Packet size	1500 bytes
PHY, MAC Packet payload size	1000bits
$a_d^{(2)}$, $a_d^{(3)}$	2, 5
$d_f^{(2)}$, $d_f^{(3)}$	7, 12
변조방식	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM

위 수식에서 평균 PER은 재전송 방식에 따라 구할 수 있다.

2. 평균 전송지연시간

MAC 계층에서 패킷의 평균 전송지연시간은 패킷당 평균 전송횟수를 이용하여 수식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$D_{trans}=D_{oneway}+RTT\cdot(\overline{N}-1), \quad (5)$$

이때, D_{trans}와 D_{oneway}는 각각 평균 전송지연시간과 단방향 패킷 지연을 의미한다. 또한 RTT(Round Trip Time)는 패킷의 왕복시간을, $\overline{N}$은 평균 전송 횟수를 위미한다. 패킷의 평균 전송 횟수는 평균 PER을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다[7].

$$\overline{N}=\left(1-\overline{PER}^{N_t}\right)/(1-\overline{PER}), \quad (6)$$

TCP 세그먼트의 평균 전송 지연시간은 TCP 세그먼트의 오류율과 백본 네트워크에서의 지연시간, 그리고 MAC 계층에서의 평균 전송지연시간을 이용하여 구할 수 있다. TCP 세그먼트는 N_S개의 MAC 프레임으로 나뉜다고 가정하면, 수식 (7)과 같이 TCP 세그먼트 오류율을 구할 수 있다.

$$P_T=1-(1-P_{drop})^N, \quad (7)$$

이때, N_S은 하나의 TCP 패킷이 조각화 되는 MAC 프레임 수이며, P_{drop}은 하나의 MAC 프레임이 HARQ 또는 ARQ 동작 이후에도 오류로부터 복구되지 못할 확률이며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{drop\,HARQ}=PER^{(N_t)}, \quad (8)$$

$$P_{drop\,ARQ}=PER^{N_t}, \quad (9)$$

Ⅳ. 모의실험

본 논문에서는 다 계층 재전송 방식에 따른 무선 통신 시스템의 종단 간 성능평가를 위해 모의실험을 수행하였으며, 모의실험을 위해 WiMAX 시스템을 기반으로 Ⅱ장에서 소개된 시스템 모델을 구성하였다. 모의실험에서 사용한 파라미터 값은 표 2의 값을 참조하였다[4~5, 8]. 또한 성능평가의 용이함을 위해 IP 백본망에서 100ms의 패킷 전송지연이 발생함을 가정하였다[9]. 본 장에서는 모의실험을 통해 채널상태에 따른 평균 대역효율성과 전송계층에서의 평균 전송지연시간에 대한 성능평가를 수행하였다.

1. 평균 대역효율성

무선채널에서 패킷 전송 성능평가를 위해 평균 대역효율성을 살펴보도록 한다. 그림 1은 HARQ와 AMC를 함께 사용하는 경우 무선채널 상태에 따른 평균 대역효율성의 변화를 나타낸다. 최대전송횟수가 증가할수록 평균 대역효율성이 증가하며, 최대전송횟수가 1에서 2로 증가할 때 최대 0.32bits/symbol만큼 증가하였으며, 최대전송횟수가 2에서 3으로 증가할 때 최대 0.21bits/symbol만큼 증가하였다. 이는 최대전송횟수가 증가함에 따라 패킷의 타깃 PER도 증가하기 때문이다.

그림 2는 ARQ와 AMC를 함께 사용하는 경우 무선채널 상태에 따른 평균 대역효율성의 변화를 나타낸다. HARQ의 경우와 같은 이유로 최대전송횟수가 증가할수록 평균 대역효율성도 증가하였으며, 최대전송횟수가 1에서 2로 증가할 때 평균 대역효율성은 최대 0.29bits/symbol만큼 증가하였고 최대전송횟수가 2에서 3으로 증가할 때 평균 대역효율성은 최대 0.12bits/symbol만큼 증가하였다.

그림 1과 그림 2의 결과로부터 최대전송횟수가 2 이하인 경우 평균 대역효율성 측면에서 위의 두 가지 다계층 재전송 방식간의 성능차이는 없었으며, 최대전송횟수가 3인 경우 HARQ를 사용할 때 ARQ를 사용할 때보다 평균 대역효율성이 약 0.06bits/symbol 높게 나타났다. 이는 재전송 횟수가 증가할수록 오류가 발생된 패킷을 재전송된 패킷의 복호화에 다시 사용하는 HARQ가 ARQ에 비해 패킷의 오류를 복구할 확률이

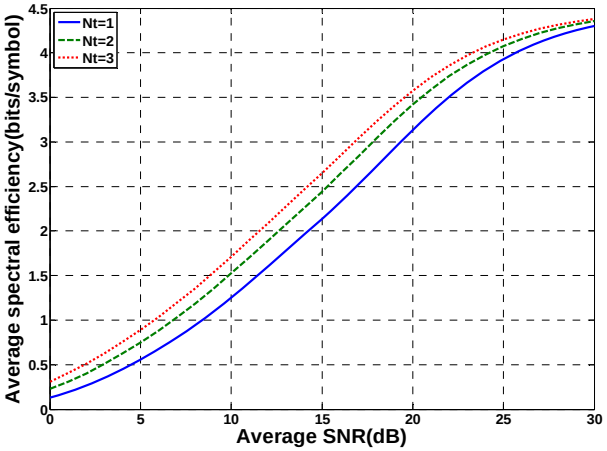

그림 1. HARQ의 N_t 별 평균 대역효율성
Fig. 1. Average spectral efficiency for HARQ according to the number of transmissions.

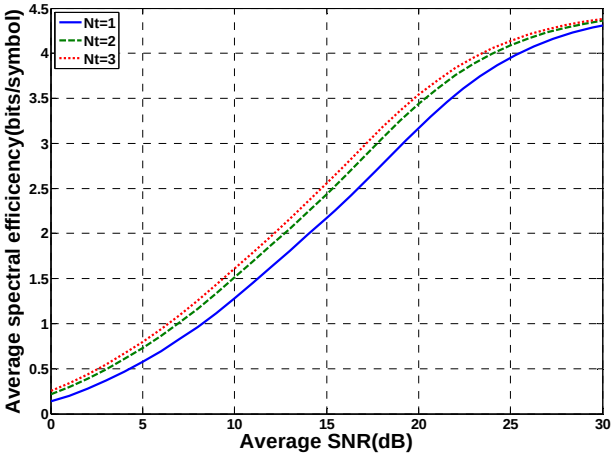

그림 2. ARQ의 N_t 별 평균 대역효율성
Fig. 2. Average spectral efficiency for ARQ according to the number of transmissions.

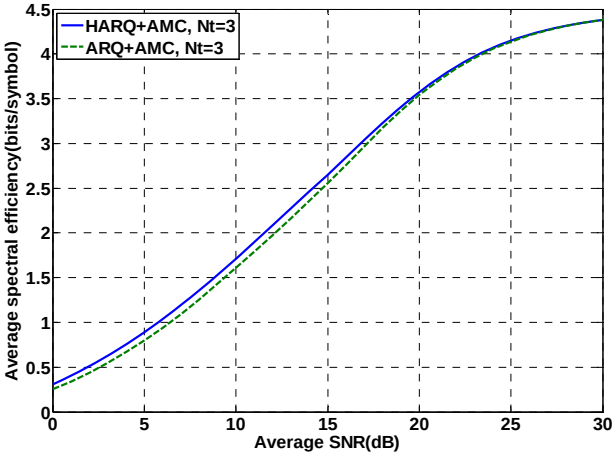

그림 3. 재전송 방식에 따른 평균 대역효율성
Fig. 3. Average spectral efficiency according to retransmission schemes.

높기 때문이다.

그림 3은 재전송 방식에 따른 평균 대역효율성의 차이를 나타낸 것이다. HARQ와 AMC가 결합됐을 때, 평균 대역효율성이 ARQ와 AMC가 결합됐을 때와 비교하여, 최대 0.1 bits/symbol 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

위 결과들로부터 최대전송횟수가 3 이상인 경우 평균 대역효율성 측면에서 HARQ와 AMC를 함께 사용하는 다 계층 재전송 방식을 사용하는 것이 유리하다. 또한 최대전송횟수가 증가할수록 HARQ에서 재전송되는 패킷의 결합이득으로 인해 평균 대역효율성이 ARQ에 비해 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

2 평균 전송지연시간

패킷의 평균 전송지연시간은 사용자의 QoS를 결정하는 중요한 성능 지표 중 하나이다. 평균 전송지연시간을 구하기 위해 그림 4에서 MAC 프레임의 평균 전송횟수를 구하였다. MAC 프레임의 평균 전송횟수는 재전송 방식에 상관없이 1과 3사이에서 나타났다. 이로부터 MAC 프레임은 평균 3번의 전송 안에 수신측에 성공적으로 전달됨을 알 수 있다.

무선채널구간에서 단 방향 패킷 지연시간은 계층내/계층간 처리지연시간과 시스템 계층 구조를 사용하여 구할 수 있다. PHY 계층과 MAC 계층에서 단 방향 패킷 지연시간은 각각 6ms, 14ms이다. TCP 세그먼트의 평균 전송지연시간은 평균전송횟수와 단 방향 패킷 지연시간, 그리고 백본망에서의 지연시간을 고려하여 그

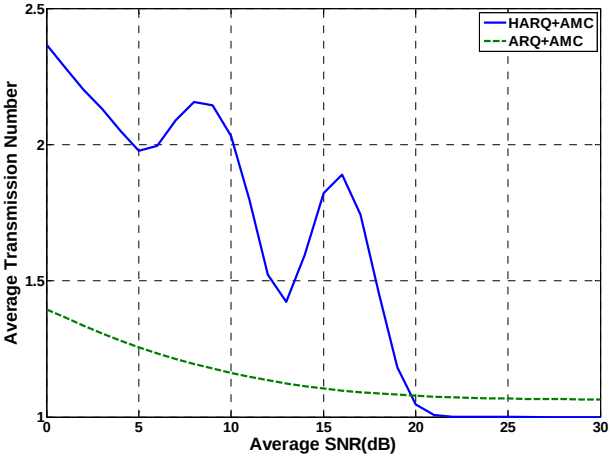

그림 4. MAC 프레임 평균 전송횟수
Fig. 4. The number of transmissions of MAC frame.

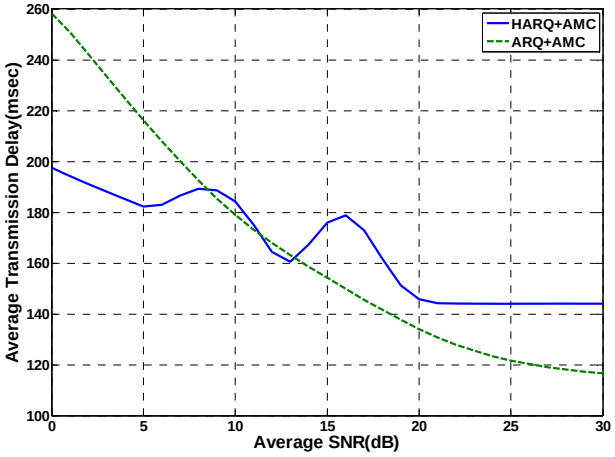

그림 5. TCP 세그먼트의 평균 전송지연시간
Fig. 5. Average transmission delay of TCP segment.

표 3. 서비스 클래스 별 재전송 방식 및 최대전송횟수
Table 3. Retransmission schemes and maximum number of transmissions for each service class.

	HARQ	ARQ	TCP	N_t for HARQ	N_t for ARQ
Conversational voice	○	X	X	3	-
Videophone	○	X	X	3	-
Interactive games	○	○	X	4	3
Voice messaging	○	○	○	4	3
Video	○	○	○	4	3

림 5와 같이 구할 수 있다. 이때 HARQ의 HARQ DL ACK delay offset 값은 1 프레임으로 설정하였다[10]. 성능평가 결과, 모든 무선채널 환경에서 ARQ를 사용할 때 TCP 패킷의 평균 전송지연시간이 가장 크게 나타났다. 그 이유는 ARQ를 사용할 때 평균 전송횟수와 단 방향 패킷 지연시간이 HARQ를 사용하는 경우와 비교하여 크기 때문이다.

Ⅴ. 서비스 특성에 따른 재전송 방식 선택

패킷 전송 시, 타깃 패킷 손실률을 만족시키기 위한 방법으로 패킷 당 최대전송횟수를 증가시키거나 채널 상황에 따라 MCS 레벨을 바꿔주는 것이 가능하다. 하지만 패킷 손실률을 위해 최대전송횟수를 증가시킬 경

우 패킷의 평균 전송지연시간이 전송 지연 상한 값을 초과할 수 있다. 따라서 타깃 패킷 손실률과 전송 지연 상한 값을 모두 만족시키는 범위 내에서 최적의 파라미터 값을 설정하여야 한다.

본 절에서는 모의실험에서 수행된 성능 평가 결과를 이용하여 서비스 클래스 별 QoS 요구사항을 만족시키기에 적합한 재전송 방식과 파라미터 값을 선택한다. 다음의 표 3은 서비스 클래스 별 사용될 수 있는 재전송 방식과 최적의 파라미터 값을 나타낸다. 이때, 사용 가능한 재전송 방식은 1번의 재전송이 발생할 경우 패킷의 평균 전송지연시간이 전송지연 상한 값을 만족시키는지 여부에 따라 결정하였으며, 최대전송횟수는 전송 지연 상한 값을 만족하는 범위 내에서 최대값을 구한 것이다. 그 결과 지연에 민감한 음성 서비스와 영상전화의 경우 재전송 방식은 HARQ만을 사용할 수 있으며, 최대전송횟수는 150msec의 전송 지연 상한 값 내에서 최대 3까지 선택할 수 있다. 쌍방향 게임의 경우 HARQ와 ARQ를 사용할 수 있으며, 최대전송횟수는 HARQ에서 4, ARQ에서 3까지 선택할 수 있다[11]. 지연에 민감하지 않은 음성 메시지와 비디오 서비스의 경우 HARQ와 ARQ, TCP 모두 사용 가능하며, 최대전송횟수는 HARQ에서 4, ARQ에서 3까지 선택할 수 있다. 위 결과로부터 TCP는 다른 재전송 방식에 비해 RTT와 단방향 패킷 지연시간이 약 10배 이상 크게 나타나 음성 메시지나 비디오 등 지연에 민감하지 않은 서비스에서만 사용 가능함을 알 수 있다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 다 계층 재전송 방식을 사용하는 무선통신시스템의 종단 간 성능에 대해 수학적인 분석 모델을 제시하였으며, 분석된 모델의 성능평가를 위해 모의실험을 수행하였다. 또한 모의실험 결과를 이용하여 서비스 클래스 별 QoS 요구사항을 만족하는 재전송 방식과 파라미터 값을 제안하였다.

모의실험 결과, 음성 서비스나 영상전화와 같은 지연에 민감한 서비스는 최대전송횟수가 3인 HARQ를 사용하는 것이 좋으며, 비디오 및 쌍방향 게임의 경우 HARQ와 ARQ를 모두 사용할 수 있으나 높은 처리율을 요구하는 서비스이므로 HARQ를 사용하는 것이 ARQ에 비해 유리하다. TCP는 지연에 민감하지 않은 음성 메시지나 Best-Effort 데이터 서비스에서만 사용할 수 있다.

본 논문에서 분석된 내용은 실제 무선통신시스템의 분석에 사용될 수 있으며, 성능평가 결과를 통해 서비스 클래스 별 QoS 요구사항을 만족하도록 선택한 재전송 방식과 파라미터 값은 무선통신시스템 설계 시 가이드라인으로 활용할 수 있을 것이다.

REFERENCES

[1] ITU-T Recommendation G.1010, “End-user multimedia QoS categories,” 2001.

[2] W. S. Park, C. K. Cho, J. H. Kim, and S. H. Kim, “An Efficient Constellation Rearrangement for HARQ with 64QAM,” Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 48, no. 6, pp. 14-21, June 2011.

[3] M. E. An, H. L. Kang, N. and N. M. Kim, “A Cooperative ARQ Strategy in Ad-hoc Cognitive Relays for Mobile Multimedia Communication,” Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 48, no. 3, pp. 28-35, Mar. 2011.

[4] 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/ACM QShine'06*, Waterloo, ON, Canada, vol.191, pp.1-9, Aug. 2006.

[5] 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.

[6] 3GPP TSG-RAN WG2 #58, “LTE Performance verification – U-plane and C-plane latencies”, R2-071810(2007-05).

[7] 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.

[8] J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, and J. Kurose, “Modeling TCP Throughput: A Simple Model and its Empirical Validation,” in proceeding of *ACM SIGCOMM* 1988.

[9] H. Lin and S. K. Das, “Performance Study of Link Layer and MAC Protocols to Support TCP in 3G CDMA System,” *IEEE Trans. Mobile*

Computing, Vol.4, No.5, pp.489-501, Sep. 2005.
[10] IEEE Std. 802.16e-2005, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broad-band Wireless Access System, Feb. 2006.
[11] WiMAX Forum, Version 2.1, "WiMAX System Evaluation Methodology," 2008.

저 자 소 개

고 광 춘(학생회원)
2008년 아주대학교 전자공학부 공학사 졸업.
2010년 아주대학교 전자공학과 석사 졸업.
2010년～현재 아주대학교 전자공학과 박사과정.
<주관심분야 : 무선통신망 QoS, 다 계층 성능 최적화, 군 통신 네트워크 등>

김 재 현(정회원)
1987년～1996년 한양대학교 전산과 학사 및 석/박사 졸업
1997년～1998년 미국 UCLA 전기전자과 박사 후 연수
1998년～2003년 Bell Labs, NJ, USA, 연구원
2003년～현재 아주대학교 전자공학부 교수
<주관심분야> QoE/QoS, 무선 MAC 프로토콜, IEEE 802.11/15, B5G 통신 시스템, 국방 전술네트워크, 위성시스템 등