

# 적응 무선 멀티캐스트 전송과 차단 하이브리드 자동 재전송 기법의 계층간 결합

준희원 도 탄 타이\*, 박 재 철\*, 종신회원 김 윤 희\*, 송 익 호\*\*

## Cross-Layer Combining of Adaptive Wireless Multicast Transmission with Truncated HARQ

Tan Tai Do\*, Jae Cheol Park\* Associate Members,  
Yun Hee Kim\*, Iickho Song\*\* Lifelong Members

### 요 약

이 논문에서는 무선 멀티캐스트 전송에서 서비스가 요구하는 품질을 만족시키면서 주파수 효율을 높이는 적응 변조부호화 기법과 (adaptive modulation and coding: AMC) 차단 하이브리드 자동 재전송 (truncated hybrid automatic repeat request: HARQ) 기법의 계층간 결합 방식을 제안한다. 제안 방식은 공통 채널로 데이터를 다수의 수신자에게 전달하는 멀티캐스트 전송에서 서비스가 요구하는 최대 지연 시간을 만족하도록 재전송 횟수를 제한할 때 모든 수신자가 목표 패킷오류율 품질을 만족하는 적응변조부호화 기법의 선택 기준을 제공한다. 성능 유도 결과 제안한 계층간 결합 방식은 재전송과 부호 결합을 허용함으로써 기존의 적응변조부호화 기법보다 주파수 효율을 증가시킬 뿐 아니라, 신호대잡음비가 비교적 큰 환경에서는 유니캐스트 기반의 계층간 결합 방식보다 성능이 우수함을 보인다.

**Key Words** : Cross-layer design, Adaptive modulation and coding, Multicast, Truncated HARQ

### ABSTRACT

This paper proposes a cross-layer design combining adaptive modulation and coding (AMC) with truncated hybrid automatic repeat request (HARQ) for wireless multicast transmission, in order to increase the spectral efficiency while meeting the target quality-of-service (QoS). In the design, we provide the selection criterion of AMC so as to satisfy the target packet error rate (PER) of all users when the multicast data is received through the common channel and the number of retransmission is limited by the delay constraint of the service. The analytically derived results show that the cross-layer design using HARQ provides a better spectral efficiency than the AMC without HARQ by allowing retransmission and code combining. It is also observed that the design for multicast outperforms that for unicast in the mid to high signal-to-noise ratio region.

### I. 서 론

최근 멀티미디어 서비스를 효율적으로 제공하기

위해 셀룰러 및 무선 인터넷 시스템에 동일 콘텐츠를 여러 수신자에게 동시에 전달하는 멀티캐스트 전송 방식이 도입되고 있다<sup>[1]-[3]</sup>. 도입 초기에는 멀

※ 이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원과 (KRF-2008-314-D00311) 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원으로 (IITA-2009-C1090-0902-0010) 수행된 연구 결과입니다.

\* 경희대학교 전자전파공학과 (dotantaimailbox@yahoo.com, jcpark@khu.ac.kr, yheekim@khu.ac.kr)

\*\* 한국과학기술원 전자전산학과 (i.song@ieee.org)

논문번호 KICS2009-03-106, 접수일자 : 2009년 03월 11일, 최종논문접수일자 : 2009년 08월 12일

터캐스트를 무선 망에서 지원할 수 있도록 주로 무선 프로토콜 설계를 연구하였으나, 최근에는 신뢰성 있고 효율적인 전송을 위해 물리 계층 성능 향상 기법과<sup>[4],[5]</sup> 두 계층 이상을 고려한 계층간 최적화 방법이 연구되고 있다<sup>[2],[6]</sup>.

무선 채널의 페이딩에 의한 성능 저하를 극복하기 위한 물리 계층 성능 향상 기법으로 기존 셀룰러 시스템에서는 적응 전송보다 다양성 방식을 채택하고 있다<sup>[1]</sup>. 이는 기존 물리 채널 구조로 수신자 그룹의 모든 채널 품질정보를 기지국으로 귀환하기 어렵고 그룹 내의 일부 사용자가 이동성이 크면 적응 전송을 적용하기 어렵기 때문이다. 한편, 이동성이 적은 무선 랜에서는 효율적인 귀환 정보 전달 방식과 함께 적응 멀티캐스트 전송 기법이 제안되고 있으며<sup>[2]</sup>, 차세대 휴대 인터넷 및 셀룰러 시스템에서도 귀환 채널을 추가로 설계하여 적응 멀티캐스트 전송을 적용하려는 시도가 진행되고 있다.

이 논문에서는 멀티캐스트 서비스 품질을 만족시키면서 주파수 효율을 높일 수 있도록 물리 계층의 적응변조부호화(Adaptive modulation and coding: AMC)<sup>[7]</sup> 상위 계층의 차단 하이브리드 자동재전송 기법을(Hybrid automatic repeat request: HARQ)<sup>[8]</sup> 결합한 적응 전송 기법을 제안한다. 즉, 유니캐스트에서 설계된 계층간 결합 기법<sup>[9],[10]</sup> 멀티캐스트 전송 모형으로 확장 적용하고 이에 따른 변조및부호화 기법을 선택하는 기준과 성능 분석 결과를 제공할 것이다.

이후의 논문 구성은 다음과 같다. II장에서 멀티캐스트 전송 시스템 모형을 제시하고, III장에서 적응변조부호화과 차단 하이브리드 자동재전송 기법의 계층간 설계 방법을 제안한다. IV장은 제안하는 방법의 주파수 효율을 이론적으로 얻고, V장에서 그 결과를 보인다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모형

고려하는 시스템은 그림 1에서 보인 바와 같이 기지국이  $K$  사용자로 구성된 멀티캐스트 그룹에 공통 데이터를 공통 채널로 전송한다. 제안하는 멀티캐스트 전송을 위한 계층간 결합 방식의 시스템 모형은 그림 2와 같다. 제안 시스템은 AMC가 가능하도록 데이터를 전송하지 않은 경우를 포함하여 전송률이  $R_m$  bps/Hz,  $m=0,1,\dots,M$ 인 (여기서,  $R_0=0$ ) 서로 다른  $M+1$  변조및부호화 기법을 제공한다. 특정 멀티캐스트 데이터 패킷에 대한 변조및부호화

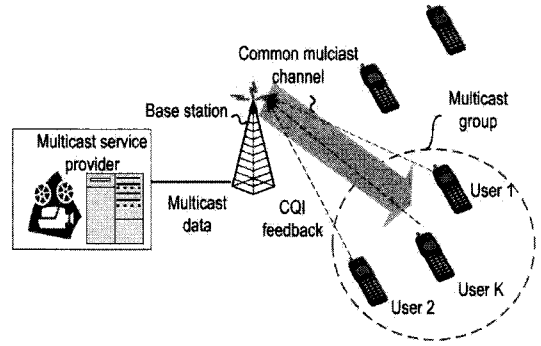


그림 1.  $K$  사용자로 구성된 멀티캐스트 그룹이 있는 셀룰러 시스템

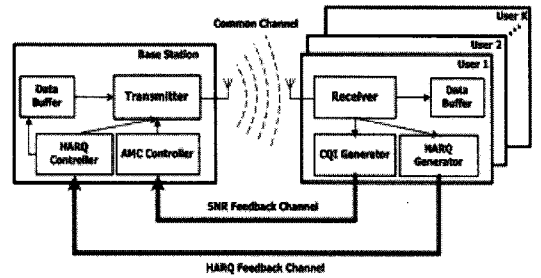


그림 2. 계층간 결합을 적용한 적응 멀티캐스트 전송 방식의 송수신 모형

기법을 결정하기 위해 각 단말은 수신 신호대잡음비  $\gamma_k$ 를 추정하고 귀환 채널로 기지국에 전달한다. 기지국은 멀티캐스트 그룹의 수신 신호대잡음비 벡터  $\gamma=[\gamma_1 \ \gamma_2 \ \dots \ \gamma_K]$ 의 최솟값을 기준으로 III장의 선택 기준에 따라 변조및부호화 기법을 선택한다.

기지국은 CRC (cyclic redundancy check)를 포함한 멀티캐스트 패킷 데이터를 채널품질에 의해 결정된 변조및부호화 기법에 따라 채널 부호화와 변조를 수행한 뒤 전송한다. 이 때, 동일 패킷 전송 및 Chase 결합을 수행하는 HARQ-I를 적용할 경우 채널 부호화기는 선택된 부호율에 해당하는 부호어만을 생성하며, 패리티 점진 증가와 부호 결합을 수행하는 HARQ-II를 적용할 경우 재전송을 고려하여 채널 부호화기는 가장 낮은 부호율의 부호어를 생성하고 저장하며 초기 전송에서는 생성된 부호어의 일부만을 전송한다.

각 사용자의 수신기는 위상동기 복조와 채널 복호로 수신 데이터 패킷을 복원한다. CRC 검사를 통해 수신 패킷에 오류가 있음이 판정되면 HARQ 생성기가 이 정보를 피드백 채널로 송신기에 통보한다. 기지국은 멀티캐스트 그룹 내의 사용자 가운

데 적어도 한 사용자가 재전송을 요청할 경우, HARQ-I를 적용할 경우 원래 보낸 부호어를 다시 선택하고 HARQ-II를 적용할 경우 부호어의 일부를 선택하여 변조 후 전송한다. 재전송은 모든 사용자가 데이터를 모두 오류 없이 수신하거나, 재전송 횟수가 최대값  $N_{max}$ 가 될 때까지 계속된다.

### III. 계층간 결합 설계

제안하는 AMC와 HARQ를 결합한 적응 멀티캐스트 전송 방식은 멀티미디어 서비스 품질을 만족하도록 설계한다. 이 때, 서비스 품질을 결정하는 중요 파라미터는 목표 패킷 손실률  $P_{loss}$ 과 허용하는 최대 시간 지연  $\tau_{max}$ 이다<sup>9)</sup>. 먼저 허용 최대 시간 지연으로부터 차단 HARQ의 최대 전송 횟수  $N_{max}$ 를 결정하고, 주어진  $N_{max}$ 에 대해 목표 패킷 손실률을 만족하는 변조및부호화 기법을 선택한다. 이 때, 변조및부호화 기법을 선택하는 기준을 닫힌 식으로 얻기 위해 다음을 가정한다.

- I) 데이터 패킷의 초기 전송과 재전송에서의 채널은 일정하며 변조및부호화 기법은 패킷 단위로 선택된다.
- ii) 수신단에서 채널 추정은 완벽하며 송신단에서 이용 가능한 채널상태정보는 오류가 없다.
- iii) CRC 검증으로 패킷 오류를 완벽하게 검출할 수 있다.

먼저 한 데이터 패킷을 멀티캐스트로 전송할 때  $m$ 째 변조및부호화 기법을 선택하였다고 하자. 만약 사용자 그룹의 수신 신호대잡음비 벡터가  $\gamma$ 이면 모든 사용자가 목표 패킷 손실률을 만족시키기 위한 조건은 다음과 같다.

$$\left[ \prod_{n=1}^{N_{max}} P_{m,n}^{gr}(\gamma) \right] P_{m,N_{max}+1}(\gamma_k) \leq P_{loss}, \text{ for all } k \quad (1)$$

여기서,  $P_{m,n}(\gamma)$ 는  $m$ 째 변조및부호화 기법으로  $n$ 번째 전송 시 수신 신호대잡음비가  $\gamma$ 인 사용자가 겪는 패킷오류율이고,  $P_{m,n}^{gr}(\gamma)$ 는  $m$ 째 변조및부호화 기법으로  $n$ 번째 전송 시 수신 신호대잡음비 벡터  $\gamma$ 인 사용자 그룹에 패킷 오류가 적어도 하나 발생할 확률이다. 앞으로  $P_{m,n}(\gamma)$ 는 사용자 패킷오류율,  $P_{m,n}^{gr}(\gamma)$ 는 그룹 패킷오류율로 부를 것이며, 이들의 관계는 다음과 같다.

$$P_{m,n}^{gr}(\gamma) = 1 - \prod_{k=1}^K [1 - P_{m,n}(\gamma_k)] \quad (2)$$

멀티캐스트는 유니캐스트와 다르게 그룹 내 사용자가 모두 패킷 오류가 없어야만 재전송이 중단된다. 따라서, 식 (1)에서 재전송 확률은 유니캐스트에서의 사용자 패킷오류율  $P_{m,n}(\gamma)$  대신, 그룹 내 오류가 존재할 확률인 그룹 패킷오류율  $P_{m,n}^{gr}(\gamma)$ 으로 결정된다.

그룹 내의 사용자 품질을 모두 채널 품질이 가장 나쁜 경우  $\gamma_{min} = \min \gamma_k$ 로 근사화하면, 그룹 패킷율은 다음의 상한을 갖는다.

$$P_{m,n}^{gr}(\gamma) \leq \max(KP_{m,n}(\gamma_{min}), 1) \quad (3)$$

이를 이용하면 식 (1)은 다음의 식을 쓸 수 있다.

$$K^{N_{max}+1-n_o} \prod_{n=n_o}^{N_{max}+1} P_{m,n}(\gamma_{min}) \leq P_{loss} \quad (4)$$

여기서,  $n_o$ 는  $P_{m,n}(\gamma_{min}) \leq 1/K$ 을 만족하는 정수  $n$  가운데 최솟값이다. 따라서, 본 논문에서는 식 (4)를 만족하는 최소  $\gamma_{min}$  값인  $\Gamma_m$ 를  $M$ 개의 변조부호화 기법에 대해 미리 얻고,  $\Gamma_m \leq \gamma_{min} \leq \Gamma_{m+1}$ 일 때 변조부호화 기법  $m$ 을 선택한다 (단,  $\Gamma_0 = -\infty$ ,  $\Gamma_{M+1} = \infty$ ). 여기서 주목할 점은 그룹 내 모든 사용자의 수신 SNR 벡터 대신  $\gamma_{min}$  만이 필요하다는 점과 SNR 문턱값  $\Gamma_m$ 이 그룹 내 사용자 수에 따라 바뀐다는 것이다.

한편, 문턱값  $\Gamma_m$ 을 닫힌 식으로 표현할 수 있도록 사용자 패킷오류율  $P_{m,n}(\gamma_k)$ 에 대한 근사식<sup>10)</sup>을

$$P_{m,n}(\gamma_k) = a_{m,n} e^{-g_{m,n} \gamma_k} \quad (5)$$

이용한다. 여기서,  $a_{m,n}$ 과  $g_{m,n}$ 은 변조 기법, 채널부호화 기법, HARQ 기법에 의해 결정되는 파라미터로,  $a_{m,1}$ 과  $g_{m,1}$ 은 변조부호화 기법  $m$ 의 채널 부호화 기법과 변조 방식 성능에 의해 결정된다. 반면,  $n \geq 2$ 일 때의  $a_{m,n}$ 과  $g_{m,n}$ 은 변조및부호화 기법뿐만 아니라 재전송 방식에 따라 다르다. 단순 ARQ 방식을 적용할 경우  $a_{m,n} = a_{m,1}$ ,  $g_{m,n} = g_{m,1}$ 이고<sup>9)</sup>, HARQ-I인 경우  $a_{m,n} = a_{m,1}$ ,  $g_{m,n} = ng_{m,1}$ 이며, HARQ-II인 경우 매 재전송에서의 성능을 식 (5)와 최소 제곱 곡선 맞춤으로  $a_{m,n}$ 과  $g_{m,n}$ 을 얻을 수 있다<sup>10)</sup>. 식 (5)를 식 (4)에 대입하면 SNR 문턱값은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\Gamma_m = \frac{1}{\sum_{n=n_o}^{N_{max}+1} g_{m,n}} \ln \left( \frac{K^{N_{max}+1-n_o} \prod_{n=n_o}^{N_{max}+1} a_{m,n}}{P_{loss}} \right) \quad (6)$$

#### IV. 주파수 효율 분석

이 장에서는 사용자 채널이 독립이고 분포가 같은 레일리 페이딩 채널일 때 멀티캐스트 전송 방법에 대해 평균 패킷오류율과 주파수 효율을 유도한다. 채널 모형에 따른 수신 신호대잡음비 벡터  $\gamma$ 의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f_\gamma(\gamma) = \prod_{k=1}^K f_{\gamma_k}(\gamma_k) \quad (7)$$

여기서,  $f_{\gamma_k}(\gamma_k) = \rho^{-1} e^{-\gamma/\rho}$ 는 특정 사용자의 신호대잡음비에 대한 확률밀도함수로,  $\rho$ 는 평균 신호대잡음비이다. 앞으로 성능은 위 채널 모형을 기반으로 도출한다.

멀티캐스트 송신에서 한 사용자가 단위 시간과 단위 주파수 당 수신하는 평균 데이터를  $S_c$  (bps/Hz)로 두면, 그룹 내  $K$  사용자가 공통 채널로 데이터를 동시에 수신하므로 시스템이 제공하는 평균 주파수 효율은 다음과 같다.

$$S_m = K \times S_c \quad (bps/Hz) \quad (8)$$

이 때, 차단 (H)ARQ 적용 시  $S_c$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다<sup>[9]</sup>.

$$S_c = \frac{\sum_{m=1}^M \pi_m R_m}{N} \quad (9)$$

여기서,  $\bar{N}$ 은 한 패킷당 평균 전송 횟수이고,  $\pi_m$ 은  $m$ 째 변조부호화 기법이 선택될 확률로 다음과 같

$$\overline{P_{m,n}^{gr}} = 1 - \frac{K}{\pi_m} \int_{\Gamma_m}^{\Gamma_{m+1}} [1 - P_{m,n}(\gamma_j)] \left\{ \prod_{k \neq j} \int_{\gamma_j}^{\infty} [1 - P_{m,n}(\gamma_j)] f_{\gamma_j}(\gamma_k) d\gamma_k \right\} f_{\gamma_j}(\gamma_j) d\gamma_j \quad (16)$$

$$\overline{P_{m,n}^{gr}} = 1 - \frac{K}{\pi_m} \left\{ \sum_{k=0}^{K-1} \binom{K-1}{k} \left( \frac{-a_{m,n}}{1 + \rho g_{m,n}} \right)^k \left[ \frac{a_{m,n} e^{-\left(\frac{K}{\rho} + (k+1)g_{m,n}\right)\Gamma_{m+1}} - a_{m,n} e^{-\left(\frac{K}{\rho} + (k+1)g_{m,n}\right)\Gamma_m}}{\frac{K}{\rho} + (k+1)g_{m,n}} + \frac{e^{-\left(\frac{K}{\rho} + kg_{m,n}\right)\Gamma_m} - e^{-\left(\frac{K}{\rho} + kg_{m,n}\right)\Gamma_{m+1}}}{\frac{K}{\rho} + (k+1)g_{m,n}} \right] \right\} \quad (17)$$

이 얻을 수 있다.

$$\pi_m = \int_{\Gamma_m}^{\Gamma_{m+1}} f_{\gamma_{min}}(x) dx \quad (10)$$

여기서, 순서 통계학에 의해<sup>[11]</sup>  $\gamma_{min}$ 의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f_{\gamma_{min}}(x) = K[1 - F_\gamma(x)]^{K-1} f_\gamma(x) = \frac{K}{\rho} e^{-Kx/\rho} \quad (11)$$

한편, 한 패킷 당 평균 전송 횟수는 다음과 같이 주어진다.

$$\bar{N} = 1 + \sum_{j=1}^{N_{max}} \prod_{n=1}^j \overline{P_n^{gr}} \quad (12)$$

여기서,

$$\overline{P_n^{gr}} = \frac{\sum_{m=1}^M \pi_m \overline{P_{m,n}^{gr}}}{\sum_{m=1}^M \pi_m} \quad (13)$$

는  $n$ 째 전송시의 그룹 패킷오류율의 평균이고,  $\overline{P_{m,n}^{gr}}$ 는  $m$ 째 변조부호화 기법이 선택되었을 때  $n$ 째 전송에서의 그룹 패킷오류율의 평균이다. 따라서,  $\overline{P_{m,n}^{gr}}$ 는  $P_{m,n}^{gr}(\gamma)$ 를  $m$ 째 변조부호화 기법이 선택되는  $\gamma$ 의 영역  $A_m$ 에서의 평균값

$$\overline{P_{m,n}^{gr}} = \int_{\gamma \in A_m} P_{m,n}^{gr}(\gamma) f_\gamma(\gamma/m) d\gamma \quad (14)$$

으로 표현되며, 여기서  $m$ 째 변조부호화 기법이 선택된 조건 하의 신호대잡음비 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다.

$$f_\gamma(\gamma/m) = \begin{cases} f_\gamma(\gamma) & \text{if } \gamma \in A_m \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (15)$$

식 (14)의 적분식을 얻도록  $A_m$ 을 상호 배타적 집합  $A_{m,j} = \{\gamma_j = \min_k \gamma_k, \Gamma_m \leq \gamma_j \leq \Gamma_{m+1}\}$ 으로 나누면,  $A_m = \bigcup_{j=1}^K A_{m,j}$ 이고 확률밀도함수  $f_\gamma(\gamma)$ 와  $\overline{P_{m,n}^{gr}}$ 은 영역  $\{A_{m,j}\}$ 에 대해 서로 대칭이므로, 식 (16)을 얻을 수 있다. 최종적으로 식 (16)의 순간 그룹 패킷오류율 대신 식 (5)를 쓰면 식 (17)의 결과를 얻을 수 있다.  $\overline{P_{m,n}^{gr}}$ 의 닫힌 해는 얻을 수 있다.

V. 모의 실험

제안 기법의 성능은 기존 유니캐스트 연구에서와 [10] 동일한 터보 부호화와 QAM 방식으로 구성된  $M=4$ 인 변조부호화 기법을 적용하여 얻었다. 이에 대한 변조및부호화 기법의 사양은 표 1과 같다. 이때 신호대잡음비 문턱 값  $\{\Gamma_m\}$ 의 설계 조건으로 최대 재전송 횟수는  $N_{max}=2$ 이고  $P_{loss}=10^{-3}$ 이다.

그림 3은 멀티캐스트 그룹 사용자 수에 따라 재전송 기법에 따라 HARQ-I과 HARQ-II를 적용할 때 변조부호화 기법의 전송 모드에 따라 문턱 값  $\Gamma_m$ 을 보인 것이다. 사용자 수가 증가할수록 문턱 값이 증가하나 충분히 큰 수에서는 특정 값으로 수렴한다. 따라서, 사용자 수가 증가함에 따라 SNR

표 1. AMC를 구성하는 변조및부호화 기법

$m$	1	2	3	4
변조	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM
부호율	1/2	2/3	1/2	2/3
$R_m$	1	4/3	2	8/3

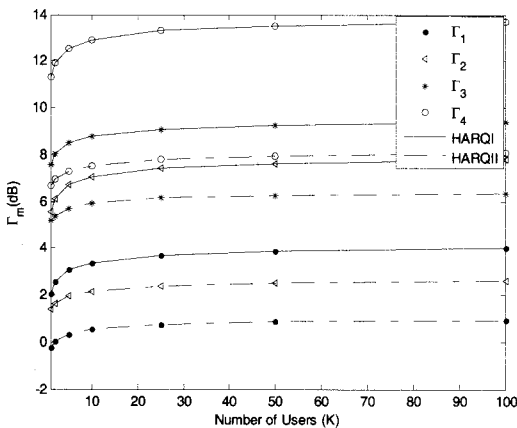


그림 3.  $N_{max}=2, P_{loss}=10^{-3}$ , 그리고 HARQ-I과 HARQ-II를 사용할 때 사용자 수에 따른 SNR 문턱값

문턱 값의 증가로 인한 성능 손실이 증가하나 손실 크기는 제한이 있다. 또한, 부호화 이득이 있는 HARQ-II가 HARQ-I보다 문턱 값이 더 적은 것을 볼 수 있는데, 따라서 HARQ-II가 HARQ-I보다 성능이 좋을 것을 기대할 수 있다.

그림 4는 그림 3의 문턱 값을 적용할 때 멀티캐스트 그룹에서 신호대잡음비가 가장 작은 단말이 겪은 실제 패킷 손실률을 보인 것이다. 신호대잡음비가 0 dB 미만 또는 25 dB 이상에서는 특정 변조 및부호화 기법을 선택될 확률이 높은 데 이 경우에는 HARQ-II보다는 HARQ-I를 적용할 때 또는 사용자 수가 증가할 때 패킷 손실률이 증가한다. 그러나, 신호대잡음비가 0 dB ~ 25 dB일 때는 순간 신호대잡음비에 따라 다른 변조및부호화 기법이 선택될 수 있고 그에 따른 패킷오류율도 다르게 되기 때문에 사용자 수와 재전송 방식에 따른 성능 우위를 쉽게 예측할 수 없다. 그러나, 사용자 수나 재전송 방식에 상관없이 SNR이 가장 작은 사용자의 실제 패킷 손실율이 목표 패킷 손실율  $P_{loss}=10^{-3}$ 보다 작으므로, 본 논문에서 설계한 SNR 문턱값이 멀티캐스트 그룹 모두의 서비스 품질을 만족시킬 것을 기대할 수 있다.

그림 5는  $K=2$ 일 때 제안하는 설계에서 AMC와 다양한 재전송 기법을 결합한 경우와 기존의 재전송 없이 AMC 기법만을 적용한 경우에 대해  $m$ 째 변조및부호화 기법이 (MCS) 선택될 확률을 나타낸다. 그림에서는 전송률이 가장 낮은 변조및부호화 기법(MCS 1)과 전송률이 가장 높은 변조및부호화 기법(MCS 4)에 대해 보였다. 그림에서 볼 수 있듯이 특정 변조및부호화 기법을 선택할 확률은

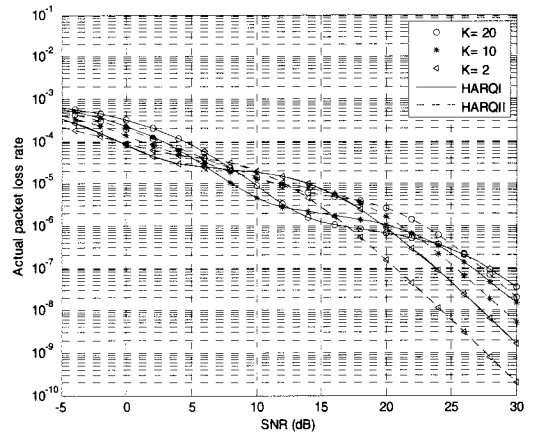


그림 4.  $N_{max}=2, P_{loss}=10^{-3}$ , 그리고 HARQ-I과 HARQ-II를 사용할 때 사용할 때 실제 패킷 손실률

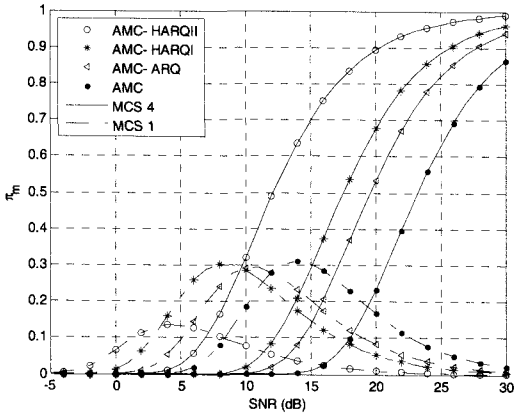


그림 5.  $K=2$ 이고  $P_{loss} = 10^{-3}$ 일 때, 여러 멀티캐스트 적응 전송 방법에 따른  $m$ 개 변조부호화 기법을 선택할 확률

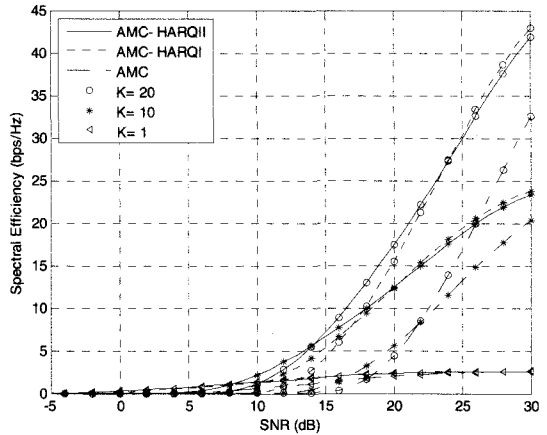


그림 7.  $N_{max}=2$  이고  $P_{loss} = 10^{-3}$ 일 때, 사용자 수에 대한 평균 주파수 효율

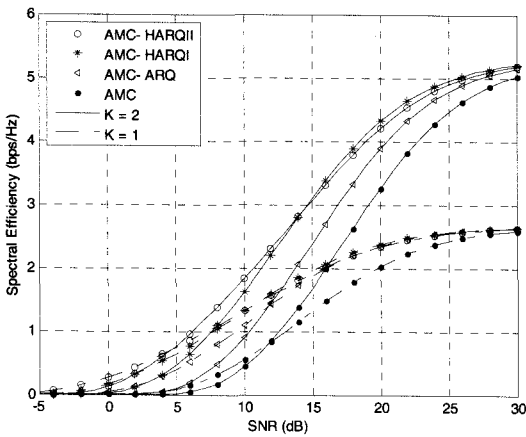


그림 6.  $N_{max}=2$ 이고  $P_{loss} = 10^{-3}$ 일 때 적응 멀티캐스트 전송의 평균 주파수 효율

HARQ-II를 적용한 제안 방식을 적용할 때 더 낮은 신호대잡음비에서 나타나며, 반대로 재전송을 하지 않은 경우에 더 높은 신호대잡음비에서 나타남을 알 수 있다. 이는 재전송을 하지 않으면 동일한 정보를 보내는 데 더 높은 전력이 필요함을 뜻한다. 또한 재전송 방식을 적용하는 것이, 재전송 방식 가운데 HARQ 방식을 적용하는 것이 높은 전송률을 갖는 변조부호화 기법을 선택할 확률이 높아짐을 볼 수 있다.

그림 6은  $K=1$ 이고  $K=2$ 일 때 여러 적응 멀티캐스트 전송 방식에 대한 평균 주파수 효율을 (bps/Hz) 보인 것이다.  $K=1$ 은 한 단말이 유니캐스트로 데이터를 수신한 경우에 해당한다. AMC 방식만을 적용한 경우보다 재전송을 함께 적용할 때 평균 주파수 효율이 증가하고, 신호대잡음비가 낮을수록 그 이득이 더 큼을 볼 수 있다. 한편, 각 적응

전송 기법에 대해  $K=1$ 일 때와  $K=2$ 일 때의 성능을 견주어 보면, 신호대잡음비가 낮은 영역에서는  $K=2$ 일 때의 전송률이 적으나 신호대잡음비가 비교적 높은 영역에서는  $K=2$ 일 때의 전송률이  $K=1$ 일 때보다 약 두 배가 될 수 있음을 볼 수 있다. 이 때 사용자 수에 따라 성능이 교차하는 신호대잡음비는 재전송 방식의 복잡도가 커짐에 따라 작아지는 것을 볼 수 있다.

마지막으로 사용자 수  $K$ 가 적응 멀티캐스트 전송 효율에 미치는 영향은 그림 7에 보였다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 신호대잡음비가 큰 영역에서는 멀티캐스트 전송에 의한 주파수 효율이 사용자 수 만큼 배로 증가함을 볼 수 있다. 멀티캐스트 전송에서 AMC를 적용할 때 재전송 없이 적용하는 것보다 HARQ를 함께 적용하는 것이 더욱 향상된 성능 이득을 제공하고 그 이득은 사용자 수가 증가할수록 더욱 커짐을 볼 수 있다. 특히, 적응 멀티캐스트 전송에서 HARQ-II를 적용함으로써 신호대잡음비가 낮은 영역에서의 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 즉, 전반적으로 계층간 설계가 멀티캐스트 전송에 더 효과적임을 볼 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 무선 멀티캐스트 전송을 위해 AMC와 차단 HARQ를 함께 고려한 계층간 무선 설계 기법을 제안하였다. 제안한 계층간 설계 기법은 재전송 횟수를 제한할 때 멀티캐스트 그룹 내의 모든 수신자가 요구하는 패킷 손실률을 만족시키도록 AMC의 변조부호화 기법을 선택한다. 이 때, 변조부호

호화 기법을 선택하는 기준으로 멀티캐스트 그룹 내의 최소 신호대잡음비를 사용자 수와 재전송 시의 패킷오류를 곡선에 의존하는 신호대잡음비 문턱값과 비교하는 방법을 제안하고 평균 패킷 손실률, 평균 전송 횟수, 그리고 주파수 효율을 분석적으로 유도하였다. 그 결과 제안하는 변조및부호화 기법 선택 기준이 목표 패킷오류율을 모두 만족시킴을 볼 수 있다. 또한 제안하는 멀티캐스트 기반의 계층간 설계는 유니캐스트 기반의 계층간 설계보다 신호대잡음비가 클 때의 전송 효율을 크게 하며, HARQ-II 재전송 기법을 적용함으로써 재전송이 없는 멀티캐스트 전송보다 성능 이득을 더욱 크게 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] P. Chaporkar and S. Sarkar, "Wireless multicast : theory and approaches," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 51, no. 6, pp. 1954-1972, June 2005.

[2] S. Parkvall, E. Englund, M. Lundevall, and J. Torsner, "Evolving 3G mobile systems: broadband and broadcast services in WCDMA," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 44, no. 2, pp. 68-74, Feb. 2006.

[3] J. Villóan, P. Cuenca, L. Orozco-Barbosa, Y. Seok, and T. Turetli, "Cross-layer architecture for adaptive video multicast streaming over multirate wireless LANs," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 25, no. 4, pp. 699-711, May 2007.

[4] Y. Sun and K. J. R. Liu, "Transmit diversity techniques for multicasting over wireless networks," *IEEE Wireless Commun. Network. Conf. (WCNC)*, Atlanta, USA, vol. 1, pp. 593-598, Mar. 2004.

[5] J. Wang, M. D. Zoltowski, and D. J. Love, "Improved space-time coding for multiple antenna multicasting," *IEEE Int. Waveform Diversity Design Conf.*, pp. 593-598, Kauai, USA, Jan. 2006.

[6] W. Ge, J. Zhang, and S. Shen, "A cross-layer design approach to multicast in wireless networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 3, pp. 1 - 9, Mar. 2007.

[7] A. J. Goldsmith and S. G. Chua, "Adaptive coded modulation for fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp. 595-602, May 1998.

[8] E. Malkamaki and H. Leib, "Performance of truncated type-II hybrid ARQ schemes with noisy feedback over block fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, pp. 1477- 1486, Sept. 2000.

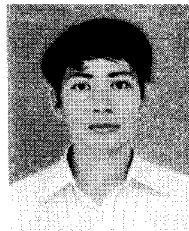
[9] Q. Liu, S. Zhou and G. B. Ginnakis, "Cross-layer combining of adaptive modulation and coding with truncated ARQ over wireless links," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 3, pp. 1746-1755, Sept. 2004.

[10] S. H. Park, J. W. Kim, and C. G. Kang, "Design of adaptive modulation and coding schemes for truncated HARQ," *ISWPC*, Feb. 2007.

[11] H.A. David, *Order Statistics*, 3rd ed., Wiley, New York, 1993.

도 탄 타이 (Tan Tai Do)

준회원



2007년 8월 호치민공과대학교 전기및통신공학과 공학사  
2008년 2월~현재 경희대학교 전자전파공학과 석사과정  
<관심분야> 이동/무선 통신, 무선 자원할당, MIMO-OFDM

박 재 철 (Jae Cheol Park)

준회원



2009년 2월 경희대학교 전자공학과 공학사  
2009년 3월~현재 경희대학교 전자전파공학과 석사과정  
<관심분야> 이동/무선 통신, 통신 이론

김 윤 희 (Yun Hee Kim)

종신회원



1995년 2월 한국과학기술원 전  
기및전자공학과 공학사

1997년 2월 한국과학기술원 전  
기및전자공학과 공학석사

2000년 1월~2000년 4월 UCSD  
방문 연구원

2000년 8월 한국과학기술원 전  
자전산학과 박사

2000년 9월~2004년 8월 한국전자통신연구원 선임  
연구원

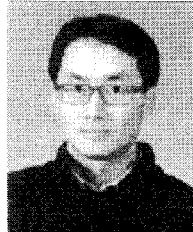
2004년 9월~현재 경희대학교 전자정보학부 조교수,  
부교수

2006년 1월~현재 IEEE 선임회원, 한국통신학회 논  
문지 편집위원

<관심분야> 이동통신, 통신이론, 통계학적 신호처리

송 의 호 (Iickho Song)

종신회원



1982년 2월, 1984년 2월 서울  
대학교 전자공학과 공학사  
(준최우등), 공학석사

1985년 8월, 1987년 5월 펜실  
베니아대학교 전기공학과공  
학 석사/박사

1987년 3월~1988년 2월 벨 통  
신 연구소 연구원

1988년 3월~현재 한국과학기술원 전자전산학과 조  
교수, 부교수, 교수

1995년 1월~현재 한국통신학회 논문지 편집위원

1991년 11월, 1996년 11월 한국통신학회 학술상

1993년 11월 한국음향학회 우수연구상

1998년 11월 한국통신학회 LG학술상

1999년 11월 대한전자공학회 해동논문상

2000년 3월 젊은 과학자상

2000년 11월 한국통신학회 모토롤라학술상

2006년 11월 한국통신학회 해동정보통신 학술상

2007년 1월 영국 공학기술학회 우수업적상

대한전자공학회, 한국음향학회, 한국통신학회 평생회  
원, IET 석학회원, IEEE 준석학회원

<관심분야> 통계학적 신호처리와 통신이론, 신호검파  
와 추정, 이동통신