

멀티캐스트 전송을 위한 공용 피드백 채널의 성능 분석 및 파라미터 최적화 설계 방법

정회원 정영호*, 준회원 김병건*

Performance Evaluation of Common Feedback Channels for Multicast Transmission and Optimization of System Parameters

Young-Ho Jung* *Regular Member*, Byung-gun Kim* *Associate Member*

요 약

최근 3GPP LTE 및 IEEE 802.16m 등 IMT-Advanced 시스템을 목표로 한 이동통신 표준화에서는 통신망을 이용하여 방송 및 멀티캐스트 (multicast) 데이터를 효율적으로 전송하기 위한 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 특히 멀티캐스트 전송에 대해서는 H-ARQ, 적응변조 등을 통해 그룹 내의 사용자 개개인의 요구 성능(QoS)을 보장해주는 기술이 적극 고려되고 있으나, 피드백 부담을 낮출 수 있는 기술 개발이 필수적으로 필요하다. 본 논문에서는 기존에 제안되었던 멀티캐스트 ACK/NACK 전송을 위한 OOK (On-Off Keying) 기반의 공용피드백 채널에 대한 이론적, 실험적 성능을 분석하고, 이를 바탕으로 원하는 성능을 얻기 위해 필요한 피드백 자원 오버헤드를 최소화 할 수 있는 효율적 공용 피드백 채널의 설계 파라미터 최적화 방법을 제시한다. 이를 통하여 제안하는 파라미터 최적화 방식에 따라 공용 피드백 채널을 설계하는 경우, 기존 3GPP LTE 등에서 사용된 사용자별 피드백 방식에 비하여, 적은 자원 량을 가지면서도 높은 신뢰도로 H-ARQ 전송을 위한 ACK/NACK 정보 전송이 가능함을 단위 자원 당 전송 효율을 비교하여 보였다.

Key Words : 공용피드백채널, 멀티캐스트, H-ARQ, MBMS, MBS

ABSTRACT

In the 3GPP LTE and IEEE 802.16m standardizations for IMT-Advanced, the efficient transmission of multicast and broadcast data is one of the important issues to improve system performance. Especially, to guarantee each user's QoS in the multicast group, H-ARQ or adaptive modulation are considered to be adoption, however, reduction of feedback overhead is one of the most important issues. In this paper, performance of the previously proposed OOK (On-Off Keying) based common ACK/NACK feedback channel is analyzed through theoretical analysis and simulation. Based on the results, system parameter optimization methods for common feedback channel are proposed. In addition, through computer simulation, it is shown that the common feedback method according to the proposed feedback parameter optimization can feedback ACK/NACK information for multicast H-ARQ transmission, more reliably than the conventional user dedicated feedback method in 3GPP LTE systems, and can reduce the feedback overhead as well.

* 본 연구는 경기도지역협력연구센터(GRRC) 프로그램에 따른 한국항공대학교 차세대방송미디어기술 연구센터의 지원과, 2007년도 한국항공대학교 교비지원 연구비에 의하여 지원된 연구의 결과임.

* 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부(yhjung@kau.ac.kr, guitarmania81@gmail.com)

논문번호 : KICS2009-02-069, 접수일자 : 2009년 2월 28일, 최종논문접수일자 : 2009년 4월 22일

1. 서 론

최근 이동상황에서도 고속 멀티미디어 서비스를 수신하고자 하는 수요가 증가함에 따라, IEEE 802.16e^[1] 및 3GPP (3rd generation partnership project) Release 7^[2] 등의 이동통신 시스템에서 통신망을 이용하여 다수의 사용자에게 방송 및 멀티캐스트 (multicast) 데이터를 효율적으로 전송하기 위한 기본 기능이 포함되었다. 이후 IEEE 802.16m^[3], 3GPP LTE (long term evolution)^[4] 등 IMT-Advanced 시스템을 목표로 한 표준화에서 이를 더 개선하여 사용자 별 요구 성능 (QoS: Quality of Service)을 만족시킬 수 있는 진화된 멀티캐스트/브로드캐스트 전송 기능을 주요한 차별화 기술로 개발 중에 있다.¹⁾ 이는 무선 IP-TV 등의 구현에 있어서 가장 중요한 요구 기능 중의 하나이다.

기본적으로 통신시스템의 경우 송신단과 수신단 사이에 point-to-point (p-t-p) 형태로 데이터를 전송하는 유니캐스트 전송이 기본이지만, 동일한 데이터를 수신하는 일정한 수 이상의 사용자가 동일한 셀에 존재할 경우, 동일한 통신 자원을 이용하여 여러 사용자가 동시에 수신하는 point-to-multipoint (p-t-m) 전송을 통하여 자원의 효율을 높이고 사용자는 이에 따라 멀티미디어 서비스를 값싸게 이용할 수 있도록 하는 통신 방송 융합기술이 멀티캐스트/브로드캐스트 기술이다.

이러한 멀티캐스트/브로드캐스트 기술은 멀티 셀 (multi-cell) 기반 기술과 단일 셀 (single-cell) 기반 기술로 구분할 수 있다⁵⁾. 이중 멀티 셀 기반 기술은 SFN (Single Frequency Network) 기반의 전송으로써, 복수의 기지국이 동일한 데이터를 전송하며 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심볼의 CP (Cyclic Prefix) 내로 수신되는 복수의 기지국 신호를 결합하여 수신함으로써 매크로 다이버시티 (macro diversity) 이득을 얻을 수 있다. 이러한 특징으로 인해 하향링크만을 필요로 하는 브로드캐스트 타입의 데이터 전송에 유리하다. 단일셀 기반의 기술은 하나의 기지국에서만 데이터를 전송하며, 동일한 데이터를 수신하는 그룹 내의 사용자 수가 상대적으로 작으므로, H-ARQ 및 적응 변조를 통해

개별 사용자의 QoS를 보장하기 유리한 방법으로서, 멀티캐스트 전송에 유리하다.

요구 성능 보장을 위해 H-ARQ 등의 적용을 위해서는 멀티캐스트 그룹 내 개개의 단말로부터 데이터의 성공적인 디코딩 여부를 ACK/NACK 피드백 (feedback)을 통해 송신단에서 알 수 있어야 한다. 따라서, 단말들에게 디코딩 성공 여부에 대한 피드백을 위한 추가적인 상향링크 지원 할당이 필요하고, 상향링크 피드백 채널 용량에 따라 하향링크 멀티캐스트 전송 용량이 제한되게 된다. 즉 멀티캐스트 전송을 위한 H-ARQ 기술을 실제 적용하기 위해서는 낮은 피드백 점유 자원을 이용하여, 높은 신뢰도로 각 단말로부터 ACK/ NACK 정보를 피드백 하는 기술이 필수적으로 필요하다.

3GPP LTE 시스템의 경우 멀티캐스트 전송의 경우에도 유니캐스트 전송과 마찬가지로 H-ARQ 적용을 위한 피드백 채널을 단말 별로 따로 할당한다⁴⁾. 이 경우 디코딩에 실패한 단말을 정확히 알 수 있는 장점이 있지만, 멀티캐스트 그룹 내의 사용자 수에 비례하여 피드백 오버헤드가 증가하므로, 멀티캐스트 전송으로 인한 자원 사용 효율 증가 효과가 미미하게 되고, 재전송 시 NACK을 전송한 사용자에게만 추가 피드백 자원을 적응적으로 할당해 주어야 하므로, 추가적인 제어정보 전송을 위한 하향링크 통신 자원 점유도 발생하게 된다.

이러한 문제점을 보완할 수 있는 방법으로 OOK (On-Off Keying) 기반 공용 피드백 기법이 3GPP LTE 표준화 과정에서 제안되었으며⁶⁾, IEEE 802.16m에서도 멀티캐스트 피드백 후보 방식으로 고려되고 있다⁷⁾. 멀티캐스트 전송의 경우 기지국에서는 개별 사용자 각각의 디코딩 성공 여부가 아니라, 멀티캐스트 그룹 내의 사용자 중 디코딩 실패한 사용자가 하나 이상 있는지 여부이다. 이전에 제안된 OOK 기반 공용 피드백 방법에서는 이러한 멀티캐스트 전송의 특징을 반영하여, 멀티캐스트 그룹 내의 모든 단말이 동일한 공용 피드백 자원을 이용하여 디코딩 성공 시에는 아무 신호를 전송하지 않고, NACK 발생 시에는 미리 정해진 패턴을 전송하는 피드백 방식이다. 이 경우 수신기에서는 에너지 검출 방식으로 NACK 신호의 존재 여부를 검출한다. OOK 기반 공용 피드백 채널은 non-coherent 검출 방식이므로, 하나의 단말만 NACK을 전송하는 경우, 개별 피드백 방식에 비해 전송 신뢰도가 떨어지는 문제가 있고, 이를 극복하기 위해서는 공용 피드백 채널은 coherent 전송 방식을 사용하는 개별 사

1) 3GPP LTE에서는 MBMS (multimedia broadcast and multicast service)라는 이름으로 표준화가 진행 중이고, IEEE 802.16m에서는 MBS (multicast and broadcast service)라는 이름으로 표준화가 진행 중이다. 본 논문에서는 멀티캐스트/브로드캐스트 기술로 두 기술을 통칭하도록 한다.

용자 피드백에 비해 많은 양의 자원 할당이 필요하다. [6]에서 제안된 OOK 기반 공용 피드백 방식은 아이디어 수준의 제안이었으며, OOK 기반 공용 피드백 방식의 성능 분석, 이러한 예상되는 단점을 최소화 할 수 있는 OOK 기반 공용 피드백 방식의 성능 최적화 설계 방법 연구 및 개별 피드백 대비 효율성 비교 등에 대한 연구는 아직 없었다.

본 논문에서는 기존에 제안된 OOK 기반 공용 피드백 전송 방법에 대한 검출 성능을 이론적으로 최초로 유도하고, 이를 바탕으로 원하는 성능 기준을 만족하면서 오버헤드를 최소화 할 수 있는 공용 피드백 채널 파라미터 최적화 설계 방법을 제시하였다. 또한 이론적 분석과 모의실험을 통하여, 제안하는 파라미터 최적화 설계 결과에 따른 공용 피드백 채널을 이용할 경우 사용자 별로 피드백 채널을 할당하는 기존 기술에 비해 멀티캐스트 전송률을 향상시킬 수 있음을 보였다.

논문의 구성은 2장에서 시스템 모델에 대해 설명하고, 3장에서는 OOK 기반 공용 피드백 채널의 검출 (detection) 성능을 이론적으로 유도 한다. 이어 4장에서는 목표 성능을 만족하기 위한 피드백 오버헤드를 최소화 할 수 있는 공용 피드백 채널 파라미터 최적화 설계 방법을 제시한다. 5장에서는 성능 평가를 통해 제안하는 공용 피드백 채널과 단말 별 개별 피드백 채널 할당 방식의 전송효율을 비교하여 제안하는 방법의 우수성을 보이도록 한다.

II. 시스템 모형

OOK 기반 공용피드백 방식에 따른 신호 전송 모델은 그림 1과 같다. 서론에서 언급한 바와 같이, 공용피드백 방식에서는 그룹 내의 사용자 중 하나 이상에서 NACK이 발생했는지의 여부를 수신기에서 검출해야 한다. 이를 위하여 그림 1에서와 같이 멀티캐스트 그룹 내의 K 개의 단말은 (1)과 같이 NACK 발생 시에만 임의의 정해진 값 a 를 전송하고, ACK 발생 시에는 아무 신호도 전송하지 않는다.2)

$$X_k = \begin{cases} a, & s_k : NACK \\ 0, & s_k : ACK \end{cases} \quad (1)$$

2) 셀간 구분을 위해서는 셀 별로 서로 다른 수열로 스크램블링 하여 송신되나, 수신기에서의 디스크램블링 과정을 거치면 전체 자원에서 동일하게 a 값을 송신하는 것으로 모델링 할 수 있다.

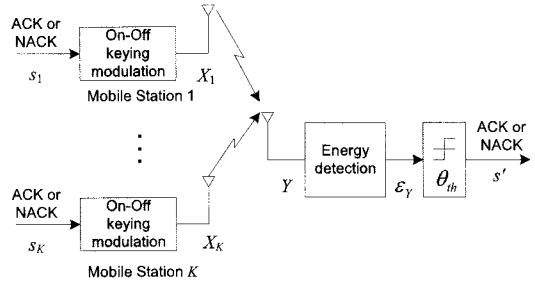


그림 1. OOK 기반 공용피드백 전송 시스템 모형

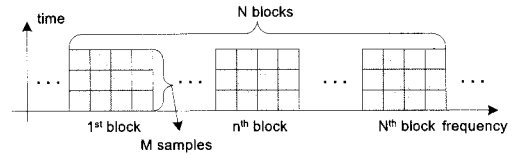


그림 2. 공용피드백 전송 자원 모형

그림 2는 공용피드백 신호 전송을 위한 자원 구조에 대한 모형이다.

OFDMA 기반 시스템을 가정하여, 주파수 영역으로 충분히 떨어져있는 N 개의 블록으로 구성되며, 각 블록은 M 개의 샘플로 구성되어 있다. n 번째 블록의 m 번째 샘플에 대응되는 수신 신호 $Y_{m,n}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_{m,n} = \sum_{k=1}^K \alpha_{k,m,n} \cdot X_k + w_{m,n} \quad (2)$$

여기서 k 는 단말의 인덱스이고, $\alpha_{k,m,n}$ 는 k 번째 단말의 채널응답, $w_{m,n}$ 는 평균이 0이고, 실수축과 허수축의 분산(variance)이 각각 σ_w^2 인 복소 백색 가우시안 잡음(complex white Gaussian noise)이다.

이러한 OOK 변조 방식에 대한 최적 수신방법은 신호의 유무를 판단할 수 있는 에너지 검출(energy detection) 방법이 최적의 수신 방법으로 알려져 있다^{[8],[9]}. 에너지 검출기에서는 블록내의 채널 응답은 동일하다는 가정하에, (3)과 같이 블록내의 수신신호는 더한 후 제공하여 에너지를 구한다.

$$\epsilon_y = \sum_{n=1}^N \left| \sum_{m=1}^M Y_{m,n} \right|^2 \quad (3)$$

이어서 (3)식의 ϵ_y 값과 미리 정해진 문턱값(threshold) θ_{th} 를 비교하여, NACK과 ACK을 결정한다.

$$s' = \begin{cases} NACK, & \text{if } \epsilon_y > \theta_{th} \\ ACK, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

만약 아무 단말도 NACK을 전송하지 않았는데도 잡음으로 인한 수신 에너지가 문턱값보다 큰 경우에는 NACK으로 잘못 판단되게 되는데, 이 확률을 False Alarm (FA) 확률이라고 한다. 반면 실제로는 NACK을 전송했는데도, 수신에너지가 문턱값보다 낮게 수신될 경우에는 ACK으로 잘못 판단하게 되고, 이 확률을 Miss Detection (MD) 확률이라고 한다.

III. OOK 기반 공용피드백채널의 이론적 성능 분석

이 장에서는 II장에서 살펴본 시스템 모형에 따른 OOK 기반 공용피드백 채널의 FA 확률과, MD 확률에 대한 이론적인 값을 유도하고, 모의실험 결과와의 일치 여부를 살펴보도록 한다.

그림 2의 각 블록내의 채널 응답은 동일하다고 가정하면 ($\alpha_{k,m,n} = \alpha_{k,n}$ for $1 \leq m \leq M$) (3)식은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\epsilon_y = \sum_{n=1}^N \left| \sum_{k=1}^K (M\alpha_{k,n} \cdot X_k) + w_n \right|^2 = \sum_{n=1}^N |y_n|^2.$$

위에서 $w_n = \sum_{m=1}^M w_{m,n}$ 으로서, 평균값은 0, 실수축과, 허수축의 분산이 각각 $M\sigma_w^2$ 이고, 각 n 값이 다르면 서로 독립 (independent)이다.

모든 단말이 디코딩에 성공하여 X_k 가 모두 0인 경우 (ACK) $\epsilon_y = \sum_{n=1}^N |w_n|^2$ 와 같고, 이에 따른 ϵ_y 의 PDF (Probability Density Function)는 식(5)와 같은 자유도 (degree of freedom)가 $2N$ 인 central Chi-square 분포를 따르게 된다.

$$f_{\epsilon_y}(y|ACK) = \begin{cases} \frac{1}{M\sigma_w^2} \frac{1}{2^N \Gamma(N)} \left(\frac{y}{M\sigma_w^2} \right)^{N-1} e^{-\frac{y}{2M\sigma_w^2}} & y > 0 \\ 0 & y < 0 \end{cases} \quad (5)$$

여기서 N 은 양의 정수이므로, 감마함수 $\Gamma(N) = (N-1)!$ 와 같다.

K 개의 단말 중 K_{NACK} 개의 단말이 NACK을

전송할 경우 y_n 은

$$y_n = \sum_{k=1}^K (M\alpha_{k,n} X_k) + w_n = M \sum_{i=1}^{K_{NACK}} (a\alpha_{k_i,n}) + w_n$$

와 같이 쓸 수 있으며 (여기서 k_i 는 NACK을 전송하는 i 번째 단말 인덱스), y_n 은 평균이 0이고, 실수축과 복소수 축 각각의 분산이 (6)식과 같이 나타나는 복소 가우시안 분포를 갖는다.

$$\beta^2 = M\sigma_w^2 + M^2 \sum_{k_i}^{K_{NACK}} \sigma_{k_i,s}^2 \quad (6)$$

여기서 $\sigma_{k_i,s}^2 = E[|a \cdot \alpha_{k_i,n}|^2] / 2 = \sigma_w^2 \cdot SNR$ 이다.

각 블록이 주파수 영역에서 충분히 떨어져 있어서 서로 다른 블록의 채널 $\{\alpha_{k,n}\}, (n=1, \dots, N)$ 을 독립으로 가정할 수 있고, 신호와 잡음이 서로 독립인 경우 ϵ_y 의 분포는 (7)과 같이 자유도 (degree of freedom)가 $2N$ 인 central Chi-square 분포를 따르게 된다.

$$f_{\epsilon_y}(y|NACK) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^2} \frac{1}{2^N \Gamma(N)} \left(\frac{y}{\beta^2} \right)^{N-1} e^{-\frac{y}{2\beta^2}} & y > 0 \\ 0 & y < 0 \end{cases} \quad (7)$$

(4)식과 같이 정해진 문턱값 θ_{th} 을 기준으로 ACK과 NACK을 구분하므로, FA 확률은 (8)식과 같이 $f_{\epsilon_y}(y|ACK)$ 의 오른쪽 꼬리 확률 (right tail probability)로 주어지고, MD 확률은 (9)식과 같이 $f_{\epsilon_y}(y|NACK)$ 의 왼쪽 꼬리확률 (left tail probability)로 주어진다^[9].

$$P_{FA}(\theta_{th}) = \int_{\theta_{th}}^{\infty} f_{\epsilon_y}(y|ACK) dy \quad (8)$$

$$P_{MD}(\theta_{th}) = \int_{-\infty}^{\theta_{th}} f_{\epsilon_y}(y|NACK) dy \quad (9)$$

(8)과 (9)식은 central Chi-square 분포의 특성에 따라 θ_{th} 에 대한 닫힌 식 (closed form)으로 다음과 같이 표현 가능하다^[9].

$$P_{FA}(\theta_{th}) = e^{-\frac{\theta_{th}}{2M \cdot \sigma_w^2}} \sum_{r=0}^{N-1} \frac{1}{r!} \left(\frac{\theta_{th}}{2M \cdot \sigma_w^2} \right)^r \quad (10)$$

$$P_{MD}(\theta_{th}) = 1 - e^{-\frac{\theta_{th}}{2\beta^2}} \sum_{r=0}^{N-1} \frac{1}{r!} \left(\frac{\theta_{th}}{2\beta^2} \right)^r \quad (11)$$

θ_{th} 값은 동작을 보장해야 하는 가장 나쁜 상황 (NACK 전송 단말 수, SNR)에서 원하는 MD 확률 또는 FA 확률을 얻을 수 있는 값으로 정한다. FA 값을 일정하게 하는 기준으로 θ_{th} 를 정한다고 가정할 경우, (11)식에서 N 값이 커지거나, β^2 이 커질수록 (NACK 전송 단말 수가 증가하거나, M 값이 커지거나, SNR이 증가할수록) MD 확률이 감소할 것을 예상할 수 있다. 또한 (10)식은 SNR 값이 변화하더라도 일정한 값을 가지므로 FA 확률에 대해서는 다음과 같은 관찰 결과를 얻을 수 있다.

Observation 1
 OOK 기반 공용 피드백 채널의 FA 성능은 SNR 값에 관계없이 일정한 값을 갖는다.

그림 3은 $K_{NACK}=1$ 또는 2, $M=12$, $N=6$ 인 경우 FA 확률을 10^{-2} 이 되도록 θ_{th} 를 정하고 구한 (11)식에 따른 이론적 MD 확률과, 실험적으로 구한 MD 확률을 비교한 결과이다. 기타 모의실험 환경은 IEEE 802.16e 시스템^[1]의 상향링크 파라미터를 따랐으며, 상향링크 ACK/NACK 피드백 자원 ($M=12$, $N=3$) 2개를 이용하여 공용 피드백을 전송하는 상황을 가정하였다. 각 피드백 블록은 주파수 영역에서 충분히 떨어져 있어 서로 독립인 페이딩을 겪는 상황을 가정하였으며 $K_{NACK}=2$ 인 경우 두 단말의 SNR은 동일하다고 가정하였다. 아래 그림에서 볼 수 있듯이 이론식과 실험치가 잘 일치함을 확인할 수 있다.

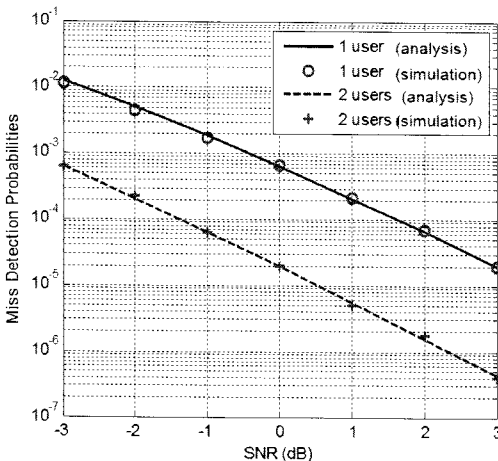


그림 3. 이론적으로 유도한 MD 확률과 실험으로 구한 MD 확률 비교 ($\theta_{th} = P_{FA}^{-1}(10^{-2})$, $M=12$, $N=6$)

IV. OOK 기반 공용피드백채널 설계 파라미터 최적화 방법

이 장에서는 III장에서 유도한 FA 확률과, MD 확률 결과를 이용하여 802.16m과 같이 새롭게 개발되는 규격에서 공용피드백 방식이 채택될 경우, 시스템에서 요구하는 피드백 정보에 대한 FA 및 MD 확률 요구사항을 만족하면서 오버헤드를 최소화 할 수 있는 파라미터 최적화 설계 방법을 제안하도록 한다. 구체적으로 규격에서 공용피드백을 위한 블록의 개수 (N)와 크기 (M)를 얼마로 정해야 오버헤드를 최소화 하면서 성능을 최적화 할 수 있는가가 중요한 이슈이다.

ACK/NACK 피드백 정보에 대한 FA 및 MD 확률은 각 표준에서 시스템 요구사항으로 주어지는 값이다. 예를 들어 3GPP LTE 시스템의 경우 stage 2 문서에서 상향링크 ACK/NACK에 대한 MD 확률을 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 으로 FA 확률을 10^{-2} 으로 제시하고 있다^[4]. MD 확률에 대해 FA 확률에 비해 강한 조건을 요구하는 이유는 FA (ACK → NACK miss)가 발생하는 경우 한번 더 재전송 하면 되지만, MD (NACK → ACK miss)가 발생하게 되면 곧바로 패킷 오류가 발생하기 때문이다. 공용 피드백 채널의 경우에는 NACK 전송 사용자가 증가할수록 MD 확률이 낮아지므로, 1명의 사용자만 NACK을 전송하고 ($K_{NACK}=1$), 동작 하고자 하는 가장 낮은 목표 SNR 값에서도 목표 성능을 만족하도록 채널을 설계해야 한다.

그림 4는 피드백 자원량은 IEEE 802.16e 시스템

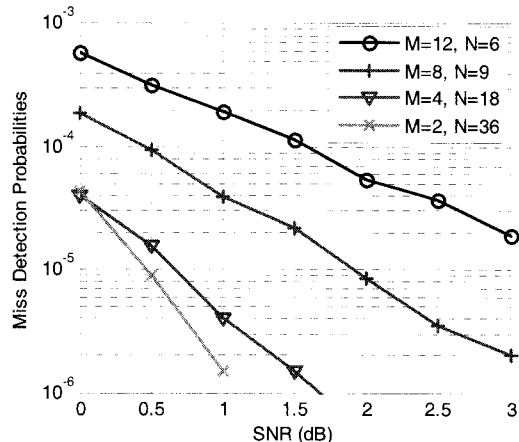


그림 4. 피드백 자원량을 고정하고, M과 N값을 변화할 때 MD 확률 비교 (블록간 채널 독립, FA 확률 = 10^{-2} 으로 고정)

의 상향링크 ACK/NACK 자원 ($M=12, N=3$)의 두 배인 $MN = 72$ 로 고정하고, FA 확률은 10^{-2} 로 유지하면서, $K_{NACK}=1$ 인 경우, 블록 크기와 블록 수를 ($M=12, N=6$), ($M=8, N=9$), ($M=6, N=12$), ($M=4, N=16$), ($M=2, N=32$)로 변화하면서 각 블록의 채널이 독립이라고 가정할 수 있는 이상적인 채널 환경에서, MD 확률을 실험적으로 구한 그림이다.

N 이 커지면 다이버시티 이득 증가로 인한 성능 향상 요인이 있고, M 이 작아져서 결합 이득이 줄어들어서 성능 감소 요인이 있다. 성능 비교를 통해 다음과 같은 관찰 결과를 확인할 수 있었다.

Observation 2

공용 피드백 채널의 자원량을 일정하게 유지할 경우, 블록의 크기를 줄이고, 블록의 수를 늘리는 것이 성능이 우수하다.

즉 자유도 증가로 인한 성능향상 효과가 결합이득 감소로 인한 성능 저하보다 더 크게 나타나는 것으로 확인하였다. N 의 증가로 자유도를 실제로 증가시키기 위해서는 각 블록의 채널이 서로 독립이라는 가정을 만족할 수 있어야 한다. 실제 이동통신 채널 환경의 경우 제한적인 주파수 선택적 페이딩을 겪으므로, 위의 관찰 결과가 다르게 나타날 수도 있다. 따라서 실제 채널 환경에서의 추세를 살펴 보기 위해 Ped. B 채널 환경과, WiBro 규격에 따른 모의실험 환경 (FFT size = 1024, CP size = 128, sampling rate = 10MHz) 에서 모의 실험한 결과는 그림 5와 같다.

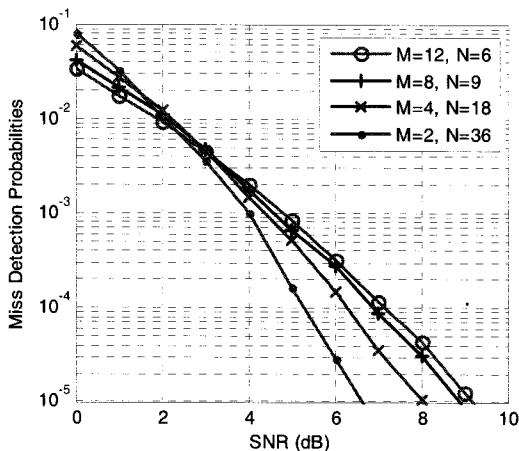


그림 5. 피드백 자원량을 고정하고, M 과 N 값을 변화할 때 MD 확률 비교 (WiBro 시스템 파라미터, Ped. B 환경, FA 확률 = 10^{-2} 으로 고정)

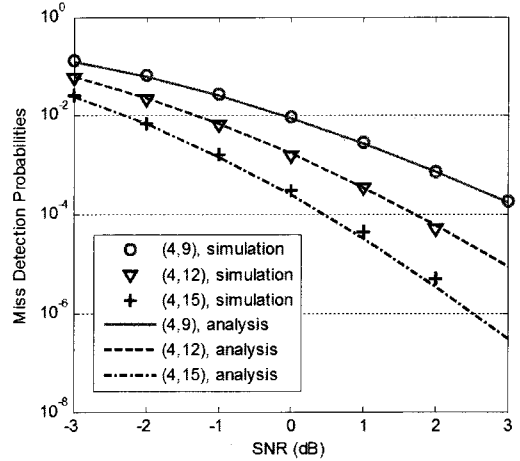


그림 6. $M=4$ 로 고정할 때 N 값의 변화에 따른 MD 확률 변화 (FA 확률 = 10^{-2} 으로 고정)

이상적인 페이딩 환경에서 보다는 성능 향상의 정도가 제한적이지만 모의실험 결과에서 볼 수 있듯이 실제 채널환경에서도, 위의 관찰 결과가 유지됨을 확인할 수 있다.

실제 시스템 설계에 있어서 공용피드백 채널의 파라미터를 최적화 하여 설계하는 방법을 예를 들어 설명하도록 하겠다. 기본적으로 M 값은 Observation 2 결과와 같이 최대한 작게 정해주는 것이 성능면에서 유리하나, 피드백 자원의 셀간 구분을 위한 스크램블링 수열의 주기를 고려하여 M 값을 4이상으로 정하는 것이 적절하다³⁾.

M 의 크기가 정해지면, N 의 크기는 목표 SNR에서 시스템에서 요구하는 MD 확률을 보장할 수 있는 최소의 값으로 정하면 된다. 그림 6은 각 블록의 채널이 서로 독립이라고 가정할 수 있는 이상적인 페이딩 환경에서 $M=4$ 로 고정하고, N 값을 변화시키며 MD 확률을 모의실험한 결과이다. 목표 성능을 SNR = 0dB 이상에서 10^{-3} 미만의 MD 확률을 $N=15$ 이상인 경우 만족 가능하므로 $N=15$ 이상이 되도록 공용 피드백 자원을 설계하면 된다.

V. OOK 기반 공용피드백채널과 개별피드백 방식의 용량 비교

서론에서 언급한 바와 같이 현재 3GPP LTE

3) M 크기가 작은 경우 간섭신호에 대한 랜덤화 효과가 떨어지므로, 인접셀 단말의 멀티캐스트 피드백으로 인한 간섭 때문에 해당 셀 내에서는 NACK 신호를 전송하지 않았음에도 인접셀에서 전송한 NACK 신호로 인한 FA 확률이 늘어날 수 있다.

에서는 멀티캐스트 전송 시 각각의 단말에게 전용 피드백 채널을 할당하며, IEEE 802.16m에서는 피드백 방식이 결정되지 않았다. 이 장에서는 개별 피드백 방식과 본 논문에서 제안하는 설계 방법에 따라 설계된 공용 피드백 채널을 이용하여 멀티캐스트 H-ARQ 적용 시 얻을 수 있는 용량 (throughput)을 모의실험을 통해 비교하도록 한다.

성능비교를 위해 단말별 개별 할당 방식의 피드백 채널 성능은 IEEE 802.16e 시스템에 따른 상향 링크 ACK/NACK 피드백 채널의 검출 성능을 이용하였다. IEEE 802.16e 상향링크 ACK/NACK 피드백 채널은 12개의 샘플로 구성된 ($M=12$) 3개의 PUSC 블록을 이용하며 ($N=3$), ACK, NACK에 대응되는 신호열을 송신하고, 블록내에 있는 파일럿을 이용하여 coherent 하게 두 신호열 중 하나를 검출한다. 수신방법은 유클리디안 거리 기반의 최대우도 검출기 (maximum likelihood detector)를 사용하므로 각 개별 단말에 대한 MD 확률과 FA 확률은 동일하게 나타난다. 멀티캐스트 전송에 개별 피드백을 이용할 경우 사용자 수가 증가하게 되면, 전체적인 FA 확률은 전체 ACK 사용자 중 하나라도 FA가 발생하면 안되므로, 개별 피드백 채널의 FA 확률을 $P_{FA,dedicated}$ 라고 하면 전체 FA 확률은 (12)와 같이 증가하게 된다.

$$P_{FA} = 1 - (1 - P_{FA,dedicated})^K \approx K \cdot P_{FA,dedicated} \quad (12)$$

한편 MD 확률의 경우는 K_{NACK} 개의 NACK 전송 단말 전체에서 MD가 발생하고, K_{ACK} 개의 ACK 전송 단말 모두가 FA이 발생하지 않는 경우에 한해 ACK으로 잘못 판별하게 되므로 (13)과 같이 MD 확률은 대폭 낮아지게 된다.

$$P_{MD} = (P_{MD,dedicated})^{K_{NACK}} (1 - P_{MD,dedicated})^{K - K_{NACK}} \approx (P_{MD,dedicated})^{K_{NACK}} \quad (13)$$

그림 7과 8은 각 PUSC 블록이 독립적인 페이딩을 겪는다는 가정 아래 실험적으로 구한 IEEE 802.16e 시스템의 개별 ACK/NACK 전송 채널을 이용한 멀티캐스트 피드백 FA 및 MD 확률이다. 그림 7은 K 의 변화에 따른 개별 피드백 방식에 따른 멀티캐스트 전체 FA 확률 성능 그림이고, 그림 8은 $K=10$ 인 경우 K_{NACK} 의 변화에 따른 멀티캐스트 전체 MD 확률 성능 그림이다. 성능 기준을 [4]에 따라 FA 확률 10^{-2} , MD 확률 10^{-3} (@SNR=0dB)

으로 정할 경우 개별 피드백 방식과, V장에서 살펴본 공용피드백 방식 모두 성능 기준을 만족함을 알 수 있다.

이어서 기존 개별 피드백 방식과 공용 피드백 방식을 이용한 경우의 H-ARQ 적용시의 전송효율을 비교하면 다음과 같다. 성능 평가는 총 N_{frame_total} 개의 패킷을 전송하고, 그때마다 디코딩을 성공하지 못한 단말들이 공용피드백 자원 또는 개별 피드백 자원을 이용하여 ACK/NACK을 전송하는 상황에서, $N_{frame_success}$ 개의 패킷이 성공적으로 전송된 경우, 데이터 및 피드백에 이용된 단위 sample 당 전송효율 상수(spectral efficiency coefficient) 값을 비교하였다. 전송효율 상수는 실제로 전송된 비트 수를 이를 전송하기 위해 소모한 전체 상향링크 자원량으로 나눈 값이다.

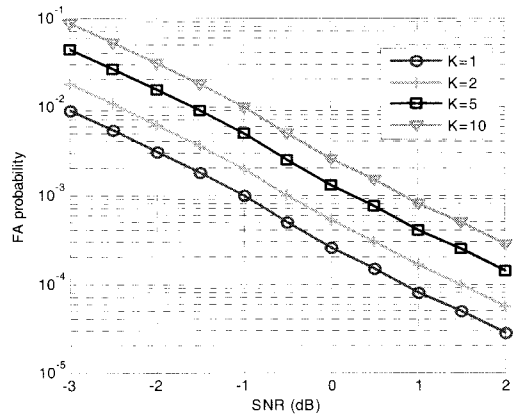


그림 7. IEEE 802.16e 시스템의 개별 피드백 채널을 이용한 멀티캐스트 ACK/NACK 피드백 FA 성능

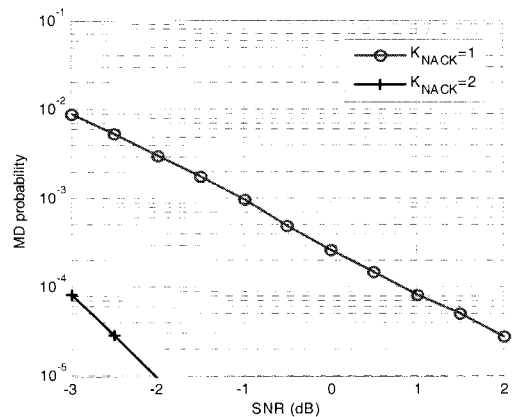


그림 8. NACK 전송 사용자 수 별 IEEE 802.16e 시스템의 개별 피드백 채널을 이용한 멀티캐스트 ACK/NACK 피드백 MD 성능

$$SEC_{common} = \frac{N_{frame_success} \cdot n_{RB_DL}}{N_{frame_total} \cdot (n_{RB_DL} + n_{RB_C})} \quad (14)$$

$$SEC_{dedicated} = \frac{N_{frame_success} \cdot n_{RB_UL}}{N_{frame_total} \cdot (n_{RB_UL} + \bar{K}_{feedback} \cdot n_{RB_D})} \quad (15)$$

여기서 $\bar{K}_{feedback}$ 는 피드백을 전송하는 평균 단말 수이고, n_{RB_UL} 는 하향링크 멀티캐스트 전송에 이용한 기본 자원 량으로서 성능평가에는 384 sample (IEEE 802.16e 기준 8 자원블록)을 이용하는 것을 가정하였다. 상향링크 피드백을 위한 자원은 사용자 별 개별 피드백 방식의 경우 단말당 피드백 량을 IEEE 802.16e 시스템을 기준으로 36샘플로 하고 ($n_{RB_D} = 36$),공용피드백 방식의 경우 V장의 결과를 반영하여 $M=4, N=15$ 인 경우를 기준으로 60 샘플로 가정하였다 ($n_{RB_C} = 60$).

그림 9와 10은 단말 별 FER (Frame Error Rate) 값과 멀티캐스트 그룹 내 단말 수 (K)를 바꾸어 가며 그런 공용피드백 채널과 개별피드백 채널의 전송효율 상수 값을 실험적으로 비교한 그림으로서 전 범위에서 공용피드백 방식의 전송효율이 개별 피드백 방식에 비해 우수함을 볼 수 있다. 전체적으로 볼 때 단말 수가 많을수록, FER 값이 낮을 수록 성능 이득이 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 개별 피드백 방식의 경우 초기 멀티캐스트 전송에 대한 피드백 시 다수의 전체 단말이 모두 피드백을 해야 하므로 과도한 상향링크 피드백 자원의 점유가 필요하기 때문이다. 위 비교에서는 시간에 따라 변하는 개별 피드백 채널 할당을 위한 하향링크 제어채널 오버헤드는 고려하지 않았으므로, 이를 고려하면 공용 피드백 채널 사용으로 보다 큰 전송 효율 향상을 얻을 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 멀티캐스트 전송을 위한 기존에 제안되었던 OOK 기반 공용 피드백 채널의 이론적인 성능을 유도하고, 이를 이용하여 피드백 오버헤드를 최소화 하면서 ACK/NACK 전송 신뢰도를 높일 수 있는 공용피드백 채널 파라미터 최적화 설계 방법을 제시하였다. 모의실험 결과 제안하는 파라미터 최적화 결과에 따른 공용 피드백 방법을 사용할 경우 기존 3GPP LTE 등에서 사용된 사용자 별 피

드백 방식에 비하여 모든 사용자 수 범위 및 FER 범위에서 전송효율 향상을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

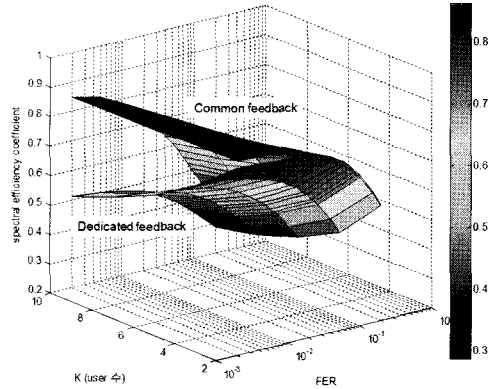


그림 9. 단말 수 및 FER 변화에 따른 멀티캐스트 전송효율 비교 (K=2~10)

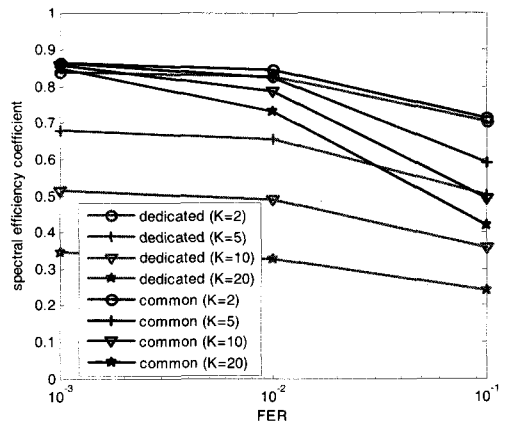


그림 10. 단말 수 및 FER 변화에 따른 멀티캐스트 전송효율 비교 (K=2~10)

참 고 문 헌

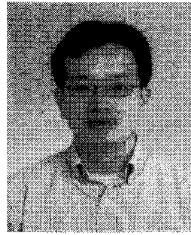
- [1] IEEE Std. 802.16e-2005, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems", Feb 2006
- [2] 3GPP TS 23.246, "Multimedia Broadcast / Multicast Service(MBMS); Architecture and Functional Description", Jun 2005
- [3] <http://www.ieee802.org/16/tgm>
- [4] 3GPP TS 36.300 v8.7.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access

Network(EUTRAN); Overall Description; Stage 2,” Jan 2009

- [5] A. M. C. Correia, J. C. M. Silva, N. M. B. Souto, “Multi-resolution Broadcast / Multicast Systems for MBMS”, *IEEE Trans on Broadcasting*, vol.53, No.1, pp. 224-234, Mar 2007
- [6] Nokia, “MBMS single-cell p-t-m related control signaling” in *3GPP WG1*, R1-080929, 2008
- [7] IEEE 802.16m-08/003r7, “IEEE 802.16m System Description Document (SDD),” Feb 2009
- [8] Y. Dallal, S. Shamai, “Performance bounds for noncoherent detection under Brownian phase noise”, *IEEE Trans. Inform.Theory*, vol.38, pp.362-379, 1992
- [9] Steven M. Kay, “Fundamentals of Statistical Signal Processing - detection Theory”, *Prentice Hall*, pp.24-28, 142-144, 1998

정 영 호 (Young-Ho Jung)

정회원



1998년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월 KAIST 전자전산학과 (공학석사)
 2004년 2월 KAIST 전자전산학과 (공학박사)
 2004년 2월~2006년 2월 삼성

종합기술원 전문연구원

2005년 1월~2005년 12월 Stanford University Visiting Scholar

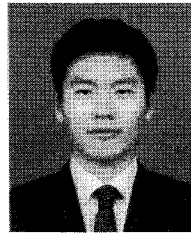
2006년 2월~2007년 8월 삼성전자 책임연구원

2007년 9월~현재 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부 전임강사

<관심분야> 통신시스템 설계, 이동통신, 통신 신호처리

김 병 건 (Byung-gun Kim)

준회원



2007년 2월 한국항공대학교 정보통신공학과(공학사)

2009년 2월 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2009년 2월~현재 삼성전자 통신연구소

<관심분야> 이동통신, 디지털 방송