DBpia

직교주파수분할 멀티캐스트 환경에서의 피드백 감소 기법

정회원 류 영 준*, 고 수 민**, 종신회원 이 병 기**

Feedback Reduction Scheme in OFDMA Multicast Environment

Yung-Jun Yoo* , Soo-Min Ko** *Regular Members*, Byeong-Gi Lee** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 멀티캐스트 환경에서의 채널 정보 피드백 감소 기법을 제안한다. 멀티캐스트 환경에서는 기지국이 그룹 별로 같은 정보를 동시에 전송하기 때문에 그룹에서 가장 채널 상태가 나쁜 사용자에 맞추어서 전송률을 결정해야 한다. 따라서 그 그룹에서 가장 채널 상태가 나쁜 사용자의 채널 상태만 정확하게 알면, 그 외의 사용자들의 채널 상태에 관계없이 전송률을 결정할 수 있다. 이에 착안하여, 평균적으로 채널 상태가 좋은 사용자들의 피드백을 줄임으로써 성능의 큰 저하 없이 전체 피드백의 양을 줄이는 기법을 제안한다. 제안하는 기법이 모든 정보를 피드백 하는 기법과 비슷한 성능을 보이면서 필요로 하는 피드백의 양은 현저하게 떨어뜨렸음을 시뮬레이션 결과를 통해 확인한다.

Key Words : OFDMA, multi-cast, feedback reduction, bit-map based feedback, scheduling

ABSTRACT

In this paper we propose a feedback reduction scheme in OFDMA multicast environment. In a multicast environment, the base station sends same information to each group simultaneously. Service rate should be determined based on the user who has the worst channel condition in the group. Therefore, if we know the correct channel state of the user who has the worst channel, we can decide the transmission rate irrespective of other users' channel states. Based on this idea, we propose the method to abate the overall feedback with slight loss of performance by reducing the feedback of the users whose channel condition is statistically good. We can confirm by the simulation result that proposing scheme shows similar performance to the full feedback scheme and remarkably reduced the feedback.

Ⅰ. 서 론

직교 분할 주파수 접속(Orthogonal Frequency Division Multiple Access: OFDMA)은 대역폭과 전력을 효율적으로 이용할 수 있다는 장점 덕분에 고속의 데이터 전송이 필요한 4세대 이동 통신 시스템의 근간을 이루고 있으며 최근에는 이를 보다 효과적으로 사용하는 여러 가지 방법들에 대해 많은 연구가 있었다.

OFDMA시스템에서 기회적 스케쥴링을 하기 위해서는 기지국에 채널정보를 피드백 해야 한다. 피드백의 양은 채널 숫자에 비례하여 증가하므로, OFDMA 시스템에서 피드백 양을 줄이는 것이 중요한 연구 주제가 되어왔다. 그러나 대부분의 기존 연구들은 유니캐스트 환경에서 이루어졌으며 멀티캐스트 환경에서 피드백을 줄이는 연구는 미흡하다[1-3,5,6]. 멀티캐스트 환경에서는 각 사용자가 아니라 각 그룹별로 동일한 정보를 한꺼번에 받아야 하기 때문에, 전송율은 각 그

* KT IP/Platform 운용센터 (yjryu83@kt.com), ** 서울대학교 전기공학부 통신 및 신호처리 연구실(ryj@tsp.snu.ac.kr)
논문번호 : KICS2010-06-262, 접수일자 : 2010년 6월 10일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 17일

www.dbpia.co.kr

룹 내에서 가장 채널 상태가 안 좋은 사용자에 의해 결정된다. 이에 착안하여, 본 논문에서는 평균적으로 채널 상태가 좋은 사용자들의 피드백을 줄임으로써 성능의 큰 저하 없이 전체 피드백의 양을 줄이는 기법을 제안한다.

기존의 연구들은 피드백 양을 줄이는데 있어서 대체적으로 Best M 방식[1]과 비트맵 방식[2] 이렇게 2가지 방법을 사용한다. Best M 방식은 각 사용자가 가장 상태가 좋은 채널 M개 혹은 경우에 따라서 가장 상태가 나쁜 채널 M개의 정보만을 기지국에 알려주는 방법이고 비트맵 방식은 서비스 등급의 임계점을 정한 뒤 그 임계점을 넘으면 1, 넘지 못하면 0으로 표시하여 이를 기지국에 알리는 방법이다. 본 논문에서 고려하는 멀티캐스트 환경에서는 그룹 내에서 가장 채널 상태가 나쁜 사용자에 의해 전송률이 결정되기 때문에 채널 상태가 좋은 사용자들은 피드백을 정확하게 하지 않아도 성능에 큰 영향을 미치지 않는다. 따라서 좁고 깊게 피드백을 하는 Best M 방식 대신 얇고 넓게 피드백을 하는 비트맵 방식을 통하여 피드백을 줄이는 방식이 더 의미가 있다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 그룹 내에서 평균적으로 채널 상태가 좋은 사용자들로 하여금 비트맵 방식의 피드백을 사용하게 함으로서 피드백을 줄이는 방법을 채택하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 고려하고 있는OFDMA 멀티 캐스트 환경에 대한 시스템 모델을 설명하고 사용자들의 CMF(Cumulative Mass Function) 정보를 이용한 CS (CMF based Scheduling) 기법을 소개한다. 3장에서는 비트맵 방식을 2장에서 소개한 시스템 모델과 CS 기법에 적용하여 피드백을 줄이는 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 4장에서 검증하며, 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

Ⅱ. 시스템 모델

K 개의 그룹이 있고 각 그룹 당 N_k 명의 사용자가 L개의 채널을 이용하여 기지국과 통신하는 시스템을 고려한다. 같은 그룹에 속해 있는 사용자는 기지국으로부터 같은 채널을 통하여 동시에 같은 정보를 받는다. 그룹 내의 한 명의 사용자라도 수신에 실패하게 되면 그 그룹 전체의 사용자가 모두 수신에 실패한 것으로 간주한다. 기지국은 선택된 그룹에서 채널 상태가 가장 나쁜 사용자의 MCS (Modulation and Coding Scheme) 등급에 맞추어 그 그룹의 모든 사용자들에게 서비스를 하게 된다. 사용자들은 별도의 피드백 채널을 통해 자신의 채널 정보를 기지국에 피드백 한다. 이 때 사용자들은 해당 채널의 신호 대 잡음비 (SINR)에 따라 이산적인 MCS 등급 만을 피드백하며 기지국은 MCS 등급에 맞추어 피드백된 채널 정보를 바탕으로 매 순간 각 채널을 사용할 그룹을 결정한다. 채널 스케쥴링 기법은 누적 질량 함수 기반 스케쥴링 (CMF based scheduling: CS) 기법을[4] 채용한다. 각 그룹의 전송률은, 그 그룹에서 채널 상태가 가장 나쁜 사용자의 MCS 등급에 맞추어 결정된다. MCS 등급은 16가지의 다른 값을 가지고 있다.

2.1 비트맵 기반 피드백

상향링크의 피드백을 감소시키기 위한 수단으로서, 비트맵 기반 피드백 감소 기법이 제시되어 있다[2]. 이 기법에서, 기지국은 사용자에게 MCS 임계값을 알려주고, 사용자는 이를 기준으로 각 채널의 MCS 등급이 임계값 보다 크고 작은지를 1 비트로 피드백한다. 기지국은, 사용자가 1을 보내면 해당 채널의 MCS 등급을 임계값으로 간주하고 0을 보내면 그 것을 최하 등급으로 판단한다. 16개의 MCS 등급을 표시하기 위해서는 채널 당 4비트가 필요한데 비트맵 방식을 사용하게 되면 1 비트만 사용하면 되기 때문에 피드백 양을 1/4로 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 기지국이 모든 사용자들의 채널 분포를 알고 있다고 가정하고 평균적으로 채널 상태가 좋은 사용자에게 비트맵 피드백 방식을 사용하도록 함으로서 전체 피드백 양을 줄이는 방법을 제안한다.

비트맵 방식의 피드백을 사용하는 경우, 특정 채널의 MCS 등급이 임계값을 넘지 못하면 그 채널은 최하 등급으로 피드백을 한 것으로 간주되어 큰 성능 하락이 발생한다. 이를 개선하기 위해 채널 상태를 1비트로 표현한 비트맵 외에, 자신의 모든 채널 중에 가장 상태가 나쁜 채널의 MCS 등급을 별도로 피드백하는 방법이 있다[3]. 이 경우, 임계값을 넘지 못한 채널의 MCS 등급은, 별도 피드백 된 MCS 등급으로 간주된다. 본 논문에서는 이를 개선 비트맵(bitmap advanced)방식이라 부른다.

2.2 CS 기법

CS 기법은, 기지국이 모든 사용자들의 전송률의 CMF를 알고 있는 상황에서 전송률이 높아질 확률이 가장 작은 사용자, 즉 CMF의 값이 가장 큰 사용자에게 채널을 할당하는 방법이다. 사용자 k의 n 번째 채널에서의 전송률을 $R_k(n)$이라 하면 n번째 채널의

www.dbpia.co.kr

선택 사용자는 다음과 같이 주어진다.

$$k^*(n) = \arg\max_k F_{R_k}(R_k(n))^{1/\omega_k} \quad (1)$$

여기서 ω_k는 음수가 아닌 상수로서 이를 역수를 취하게 되면 시간 비율(time fraction)을 의미하며 $\sum_{k=1}^{K}\omega_k = 1$이다. $F_{R_k}(n)$은 확률변수 R_k의 CMF가 되며 시간 비율의 조절을 통해 각 사용자들의 다양한 QoS(Quality of Service)를 보장할 수 있다.

k사용자의 n번째 채널에서의 MCS 등급이 m일 때 CMF를 $q_{k,m_k(n)}$, 전송률을 r_m이라 하면 CS 기법을 통해 예측한 사용자 k의 평균 처리량은 다음과 같이 표현된다.

$$T_k = \omega_k \sum_{m=1}^{M} r_m (q_{k,m}{}^{1/\omega_k} - q_{k,m-1}{}^{1/\omega_k}) \quad (2)$$

위 식에 대한 증명은 [4]에 나와 있으므로 본 논문에서는 증명과정을 생략하도록 하겠다. CS 기법의 장점은 사용자 전송률의 CMF를 정확하게 알고 있다면 위 식을 통하여 성능의 예측이 가능하다는 점이다. 이를 통해 스케쥴러가 미리 성능을 예측하여 여러 가지 시스템 인수를 결정할 수 있게 된다

Ⅲ. OFDMA 멀티캐스트 시스템으로의 확장

멀티캐스트 환경에서 CS기법을 적용시키기 위해서는 각 사용자가 아니라 각 그룹 단위로 스케쥴링이 이루어져야 한다. 따라서 그룹을 이루는 사용자들의 전송률의 CMF를 기반으로 각 그룹 전송률의 CMF(이하, 대표 CMF)를 구한 후, 이를 이용하여 그룹 별로 스케쥴링 메트릭을 만들어야 한다. 본 논문에서는 각 그룹의 사용자 중에 매 순간 가장 MCS 등급이 낮은 사용자에 맞추어 전송률을 결정하기 때문에, 그룹 k의 대표 CMF는 N_k 개의 독립 확률 변수 중에 가장 작은 확률 변수의 CMF가 된다. 또한 그룹 단위로 스케줄링을 할 때 비트맵 사용자가 있는 경우에는 비트맵 사용자가 사용하는 임계점을 어떻게 잡느냐도 성능 분석을 하는 데 있어서 상당히 중요한 문제가 된다. 이번 장에서는 CS 기법에 기반한 성능 예측을 통해 최적의 임계점을 계산하는 방법을 제안한다.

각 사용자의 전송률의 CMF는, 전송률이 실제의 채널 상태가 아니라 피드백된 채널 상태에 따라 결정 되기 때문에, 그 사용자가 어떠한 피드백 방법을 사용하는지에 따라 달라진다. 따라서 그룹의 대표 CMF 역시 그 그룹에 속하는 사용자들의 피드백 기법에 따라 달라진다. 먼저 모든 사용자들이 전 피드백 기법을 사용하는 경우 그룹의 대표 CMF는 다음과 같이 구할 수 있다.

정리 1: 그룹 내의 사용자 n명이 모두 전 피드백을 사용하는 경우 그룹의 대표 CMF $F_{X_{1-m,full}}(x)$은

$$F_{X_{1\sim n,full}}(x) = 1 - \prod_{k=1}^{n}(1 - F_{X_k}(x)) \quad (3)$$

이다.

증명)

X라는 조건을 만족할 확률을 $prob(X)$라고 하면

$$\begin{aligned} F_{X_{1-n,full}}(x) &= prob(\min(x_1,x_2,\cdots,x_n) \le x) \\ &= 1 - prob(\min(x_1,x_2,\cdots,x_n) > x) \\ & 1 - prob(x_1 > x, x_2 > x, \cdots, x_n > x) \end{aligned}$$

여기서 모든 사용자들의 채널 상태가 서로 독립이라고 가정하면

$$\begin{aligned} & 1 - prob(x_1 > x, x_2 > x, \ldots, x_n > x) \\ &= 1 - prob(x_1 > x) prob(x_2 > x) \ldots prob(x_n > x) \\ &= 1 - (1 - F_{X_1}(x))(1 - F_{X_2}(x)) \ldots (1 - F_{X_n}(x)) \\ &= 1 - \prod_{k=1}^{n}(1 - F_{X_k}(x)) \end{aligned}$$

본 논문에서는 피드백의 양을 줄이기 위해, 채널 상태가 좋다고 판단되는 일부 사용자가 전 피드백 대신 비트맵 방식의 피드백을 사용한다. 이 때의 대표 CMF는 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다.

정리 2: n명의 사용자 중에서 인덱스가 1~m $(m < n)$의 사용자들이 임계값이 Λ인 비트맵 방식의 피드백을 사용하고 나머지 사용자들은 전 피드백을 사용할 때 대표 CMF $F_{X_{1-m,n,bit}}(x)$는

www.dbpia.co.kr

$$F_{X_{1-m,n,bit}}(x)=\begin{cases}F_{X_{m+1-n,full}}(x)\prod_{k=1}^{m}(1-F_{X_k}(\Lambda-1)) & (\Lambda\le x)\\ +1-\prod_{k=1}^{m}(1-F_{X_k}(\Lambda-1) & \\ 1 & (\Lambda>x)\end{cases} \quad (4)$$

이다.

증명)

x의 값이 Λ보다 작으면 비트맵 방식의 피드백 사용자들은 무조건 최하 등급인 1등급을 피드백 한다. 즉, 비트맵 피드백 사용자 중에서 단 한 명이라도 Λ보다 작은 MCS 등급을 가진다면 그 그룹 전체는 1등급의 서비스를 받게 된다. 따라서 그 그룹이 Λ보다 낮은 어떤 x등급 이하의 서비스를 받기 위해서는 비트맵 피드백 사용자 중 적어도 한 명이 Λ보다 낮은 MCS 등급을 가지고 있거나, 모든 비트맵 피드백 사용자들의 MCS 등급이 Λ보다 높고 전 피드백 사용자들 중에서 가장 채널 상태가 나쁜 사용자의 MCS 등급이 x등급 이하이면 된다. $x<\Lambda$인 경우 이를 수식으로 나타내면 다음과 같아진다. X라는 조건을 만족할 확률을 $prob(X)$라고 하면

$$\begin{aligned}&prob(\min(x_1,x_2,\cdots,x_m)<\Lambda)+\\&prob(\min(x_1,x_2,\cdots,x_m)\ge\Lambda)\\&prob(\min(x_{m+1},x_{m+2},\cdots,x_n)\le x)\\&=1-prob(x_1\ge\Lambda,x_2\ge\Lambda,\cdots,x_m\ge\Lambda)\\&+prob(x_1\ge\Lambda,x_2\ge\Lambda,\cdots,x_m\ge\Lambda)F_{X_{m+1-n,full}}(x)\end{aligned}$$

여기서 모든 사용자들의 채널 상태가 서로 독립이라 가정하면 위 식은 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned}&1-prob(x_1\ge\Lambda)prob(x_2\ge\Lambda)\\&\cdots prob(x_m\ge\Lambda)\\&+prob(x_1\ge\Lambda)prob(x_2\ge\Lambda)\\&\cdots prob(x_m\ge\Lambda)F_{m+1-n,full}(x)\\&=F_{X_{m+1-n,full}}(x)\prod_{k=1}^{m}(1-F_{X_k}(\Lambda-1))\\&+1-\prod_{k=1}^{m}(1-F_{X_k}(\Lambda-1))\end{aligned}$$

$x\ge\Lambda$인 경우에는 비트맵 피드백 사용자가 무조건 Λ 아니면 1을 피드백 하기 때문에 그룹의 최저 피드백 등급은 Λ보다 커질 수 없다. 따라서 이 경우 $F_{X_{1-m,n,bit}}(x)$ 값은 1이라는 것을 쉽게 알 수 있다.

비트맵 방식의 성능을 높이기 위해서 개선비트맵 방식을 사용할 수 도 있다. 이 방식을 사용할 경우의 대표 CMF는 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다.

정리3: n명의 사용자 중에서 인덱스가 1~m $(m\le n)$이 비트맵 피드백 방식을 사용하면서 자신의 최하위 등급을 피드백 하는 경우 대표 CMF $F_{X_{1-m,n,adv}}(x)$는

$$\begin{aligned}&\sum_{\Omega=1}^{k}prob(\min=\Omega)+\sum_{\Omega=k+1}^{M}prob(\min=\Omega)\\&(1-\prod_{i=m+1}^{n}(1-F_{X_i}(k))\end{aligned} \quad (5)$$

이다. 여기서 $\Omega=\min(x_1,x_2,\cdots,x_m)$ 이고 $prob(\min=\Omega)$는 사용자들의 MCS 등급 중에서 최저 등급이 Ω일 확률을 의미한다.

증명)

이 경우는 비트맵 사용자들의 MCS 등급들 중에서 최하 MCS 등급이 무엇이냐에 따라 CMF가 달라지게 된다. Ω가 k 등급보다 낮은 경우에 대해서는 무조건 대표 MCS 등급이 k 보다 낮아지기 때문에 그 때의 확률들을 모두 더해주면 되고 k값이 Ω보다 작은 경우는 전 피드백을 사용하는 사용자 중에서 k보다 작은 값을 갖는 MCS 등급을 가지는 사용자가 적어도 한 명 존재하면 된다. 따라서 이 두 가지 경우의 확률을 더해주면 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}&\sum_{\Omega=1}^{k}prob(\min=\Omega)+\\&\sum_{\Omega=k+1}^{M}prob(\min=\Omega)(1-\prod_{i=m+1}^{n}(1-F_{X_i}(k))\end{aligned}$$

위의 식을 통해 대표 CMF를 구하는 경우 실제로 시스템에서 작동을 하는 데서는 사용자들로부터 피드백을 받아서 Ω값을 자동으로 알 수 있기 때문에 큰 문제가 없다. 하지만 성능을 예측하기 위해서는 의 Ω 값에 따라서 대표 CMF 값이 달라져 버리기 때문에 해당 채널에서 비트맵 피드백 사용자들의 최저 채널 등급이 Ω일 경우에 대한 각각의 확률 값이 필요하다. 이것을 알면 위의 식을 이용하여 대표 CMF의 값을 계산해 낼 수 있는데 L개의 부채널을 사용할 때 비트

www.dbpia.co.kr

맵 피드백 사용자들의 최저 채널 등급이 Ω일 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$prob(\min=\Omega)=\begin{cases}1-a(\Omega) & (\Omega=1)\\ a(\Omega-1)-a(\Omega) & (1<\Omega<\Lambda)\\ a(\Omega-1)-b(\Omega) & (\Omega=\Lambda)\\ b(\Omega-1)-b(\Omega) & (\Lambda<\Omega<M)\\ b(\Omega-1) & (\Omega=M)\end{cases}$$

$$a(k)=\prod_{i=1}^{m}((1-(1-F_{X_i}(k))^{L-1}(1-F_{X_i}(\Lambda-1))+(1-F_{X_i}(k))^{L}))$$

$$b(k)=\prod_{i=1}^{m}(1-F_{X_i}(k))^{L} \quad (6)$$

위의 방법들을 통하여 대표 CMF를 구하면 성능을 예측할 수 있다. 그러나 그룹 내 비트맵 피드백 사용자가 있는 경우 대표 CMF를 계산하려면 임계점의 값을 미리 알고 있어야 한다. 스케줄러의 입장에서 임계점은 제어 인자(control parameter)로서 임계점을 어떻게 설정하느냐에 따라서 대표 CMF의 값이 달라지게 되고 따라서 성능도 달라진다. 게다가 그룹마다 사용자들의 채널 이득의 평균이 각각 다르기 때문에 매 그룹마다 최적의 성능을 내는 임계점이 다르다. 이러한 임계점은 스케줄러가 모든 채널에 대해서 각 그룹마다 최적의 값을 계산하여 각 그룹 비트맵 사용자들에게 알려주어야 하는데 이것은 CS 기법의 성능 예측을 통해서 가능하다. CS 스케줄링을 사용하는 경우 각 사용자들의 CMF를 알고 있기 때문에 주어진 MCS 등급이 있을 때 사용자의 평균 처리량을 예측할 수 있다. 본 논문에서는 스케줄러가 미리 알고 있는 CMF들을 이용하여 각 경우마다 모든 채널에 대해 식 (4), (5)를 적용하여 그룹의 대표 CMF를 구하고 임계값 Λ가 가질 수 있는 MCS 등급의 모든 값들에 대해서 식 (2)를 사용하여 성능을 예측한 후, 그 중에 최적의 성능을 내는 값을 해당 그룹의 비트맵 임계값으로 선택한다. 여기서 구해진 임계값을 스케줄러가 각 그룹에 알려주게 되고 각 그룹들의 비트맵 사용자들은 이 값을 통해 비트맵 방식의 피드백을 수행하게 된다.

Ⅳ. 성능 평가

본 장에서는 여러 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 제안하는 피드백 감소 기법의 성능을 검증하도록 한다. 먼저 전 피드백을 사용했을 때와 비트맵 피드백 그리고 개선 비트맵 피드백을 사용했을 때의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교해본다. 또 이것을 CS 기법을 통하여 예측한 결과와 비교하여 시뮬레이션 결과를 정당화 하도록 한다.

부채널의 총수가 50 개인 OFDMA 시스템에서 모의실험을 수행하였다. 각 사용자들은 0~10 dB사이에서 균일하게 선택된 고정 평균 채널이득을 가지고 있으며 채널의 특성은 레일리(Rayleigh) 분포를 따른다. 표 1은 실험에 사용한 채널 이득 별 MCS 등급과 전송률을 보여주고 있다. MCS 등급은 -12~16 dB 사이를16 등분하였고 전송률은 최소0bps/Hz에서 최대 5.3509bps/Hz까지 서비스를 받을 수 있다[5]. 그룹 당 피드백 감소량은 15%와 30%로 설정하였다. 한 명의 사용자가 전 피드백을 사용할 경우 필요한 피드백의 양은, 200비트이다. 이 사용자가 비트맵 피드백을 사용한다면, 전 피드백에 비해 피드백 양을 1/4로 줄이기 때문에 50비트가 필요하다. 만약 한 그룹이 5명의 사용자로 이루어져 있고 이들 중 1명이 비트맵 피드백을 사용하며 나머지 사용자는 전 피드백을 사용한다면, 이 그룹의 피드백 양은 850 비트가 된다. 이는 모든 사용자가 전 피드백을 사용하는 경우에 필요한 1000 비트 에 비해 15%만큼 줄어든 양이다. 비트맵 방식 대신 개선 비트맵 방식을 사용하는 경우에는 비트맵 피드백을 사용할 때의 50비트에 최저등급을 나타내는 4비트가 더해져 그룹의 피드백 양이 854비트

표 1. 실험에 사용한 MCS 등급 및 전송률

MCS 등급	SNR 임계점(dB)		전송률 (bps/Hz)
	초기값	끝 값	
1	- ∞	-12	0
2	-12	-10	0.0883
3	-10	-8	0.1375
4	-8	-6	0.2122
5	-6	-4	0.3233
6	-4	-2	0.4835
7	-2	0	0.7057
8	0	2	1.0000
9	2	4	1.3701
10	4	6	1.8122
11	6	8	2.3165
12	8	10	2.8698
13	10	12	3.4594
14	12	14	4.0746
15	14	16	4.7070
16	16	∞	5.3509

www.dbpia.co.kr

가 되는데 비트맵 방식과의 비교를 위해 이 경우 역시 피드백을 15%만큼 줄인 것으로 간주하였다. 반면 위와 같은 그룹에서 5명의 사용자 중 2명이 비트맵 피드백을 사용하고 나머지 사용자들이 전 피드백을 사용한다면, 이 그룹의 피드백은 600+100 비트가 되어 700비트가 필요하게 된다. 이 경우 30%의 피드백을 줄이는 효과를 기대할 수 있으며 비트맵 사용자가 개선 비트맵 방식을 사용하는 경우에는 708비트의 피드백이 필요하게 된다.

그림 1과 그림 2는, 그룹의 수에 따른 제안하는 피드백 기법의 성능을 보여준다. 그룹 1은 15%의 피드백을 줄였을 때의 결과이며 그룹 2는 30%의 피드백을 줄였을 때의 결과이다. 각 그룹을 이루는 사용자의 수는 5명이며, 평균 수율을 전 피드백 기법을 사용했을 때의 수율로 정규화하였다. 이 그림을 통해 다음의 3가지 결과를 관찰 할 수 있다.

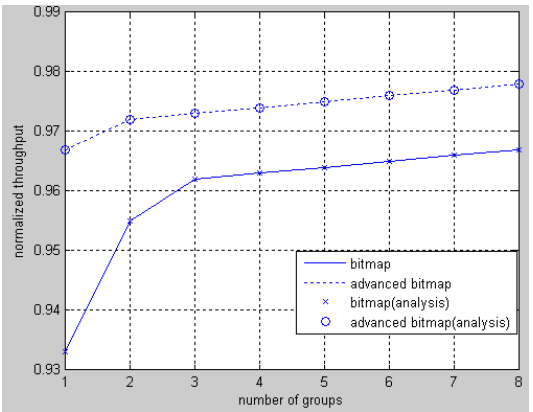


그림 1. 15% 피드백 감소 시 그룹 수에 따른 전 피드백 대비 수율

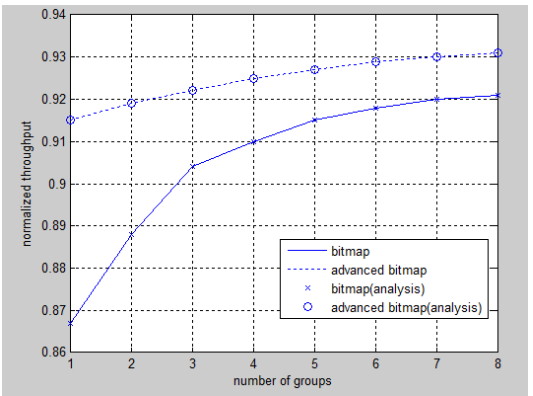


그림 2. 30% 피드백 감소 시 그룹 수에 따른 전 피드백 대비 수율

1. 제안하는 기법은, 비트맵 기법과 결합하거나 개선 비트맵 기법과 결합하였을 때, 전 피드백 기법을 사용한 경우에 거의 근접하는 성능을 낸다.
2. 그룹의 숫자가 늘어남에 따라, 전 피드백 기법과의 성능 차이는 줄어든다.
3. 성능분석을 통하여 예측한 값과 시뮬레이션을 통해 실험한 결과가 정확히 일치한다.

제안하는 기법이 그룹의 숫자가 늘어남에 따라 전 피드백 기법과 성능 차이가 점점 줄어드는 이유는 멀티유저 다이버시티 효과 때문이다. 그룹의 숫자가 많아지면 많아질수록 높은 CS 메트릭을 가지는 그룹이 선택될 확률 역시 높아지게 되어 있다. 이 말은 즉, 채널 상태가 좋은 사용자들이 많은 그룹이 선택될 확률이 높아진다는 말이다. 채널 상태가 좋은 사용자들이 많을 경우 비트맵 피드백 사용자가 임계점을 넘을 확률이 높아지게 되고 다른 사용자들의 채널 상태마저 마찬가지로 좋아 버리면 비트맵 피드백의 효과로 인한 성능저하가 줄어들게 된다. 따라서 그룹의 숫자가 많아지게 되면 이러한 멀티 유저 다이버시티 효과에 의해 전 피드백을 사용하는 경우와 사용자가 비트맵 방식의 피드백을 사용하는 경우의 성능 차이가 점점 감소하게 된다.

그림 3과 그림4는, 그룹을 이루는 사용자의 수에 따른 제안하는 피드백 기법의 성능을 보여준다. 그림 3에서는 5명 당 1명 꼴로 비트맵 피드백 기법을 사용하여 15%의 피드백 감소량을 유지하였고 그림 4에서는 5명 당 2명 꼴로 사용하여 30%의 피드백을 감소시켰다. 그룹의 수는 8개이다. 이 그림을 통해, 그룹을 이루는 사용자의 수가 늘어남에 따라 제안하는 기법의 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 이는, 그룹을 이루는 사용자의 수가 늘어날수록 채널 상태가 좋은 사용자와 나쁜 사용자 간의 차이가 심해지며, 따라서 채널 상태가 좋은 사용자의 피드백이 전체 성능에 보다 더 적은 영향을 미치게 되기 때문이다. 또 그림을 살펴보면 그룹 내의 사용자가 많아질수록 비트맵 피드백을 사용하는 경우와 개선된 비트맵 피드백을 사용하는 경우의 격차가 벌어지고 있다는 점을 살펴볼 수 있다.

그룹 내의 사용자 수가 많아지면 그만큼 평균적으로 채널 상태가 나쁜 사용자가 있을 확률이 높아지게 된다. 따라서 전 피드백 기법을 사용하더라도 MCS 최하 등급으로 서비스를 받을 확률이 높아지게 된다. 이런 상황에서 비트맵 사용자가 임계점을 넘지 못하면 그룹의 대표 등급이 최하 등급이 되어 버려서 서비스를 받지 못하는 경우가 더 많이 생기게 되어서 성능

www.dbpia.co.kr

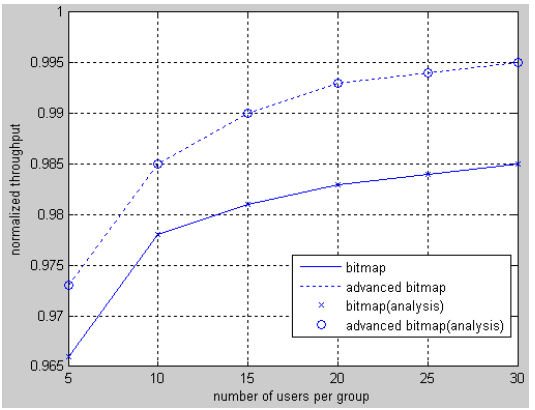


그림 3. 15% 피드백 감소 시 그룹 내 사용자 수에 따른 전 피드백 대비 수율

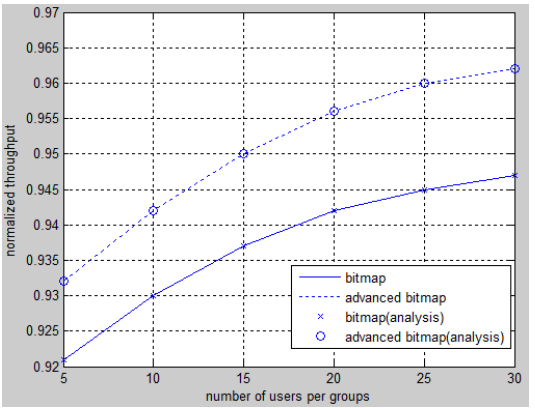


그림 4. 30% 피드백 감소 시 그룹 내 사용자 수에 따른 전 피드백 대비 수율

저하가 더 심해지게 된다. 반면 개선 비트맵 방식을 사용하는 경우에는 비트맵 사용자가 그 순간 채널의 등급이 임계점을 넘지 못한다 할지라도 자신이 가지고 있는 채널 중 최소등급의 서비스는 보장을 받기 때문에 상대적으로 그룹 내의 최하등급이 1등급이 되어서 서비스를 못 받게 되는 확률을 감소시켜주게 된다. 따라서 그룹 내의 사용자 수가 많아지면 많아질수록 개선 비트맵 방식을 사용하는 것이 유리하다는 점을 확인할 수 있다.

그림 5는 그룹 내의 사용자 수에 따른 시스템 처리량을 보여준다. 그림을 살펴보면 그룹 내의 사용자 수가 늘어나면 늘어날수록 처리량이 점점 감소하는 모습을 볼 수 있다. 이와 같은 모습은 전 피드백, 비트맵 피드백, 그리고 개선 비트맵 피드백을 사용하는 경우에 대해 모두 나타나는데, 그룹 내 사용자 수가 30명일 때가 5명일 때보다 20~35% 가량의 성능 밖에 보

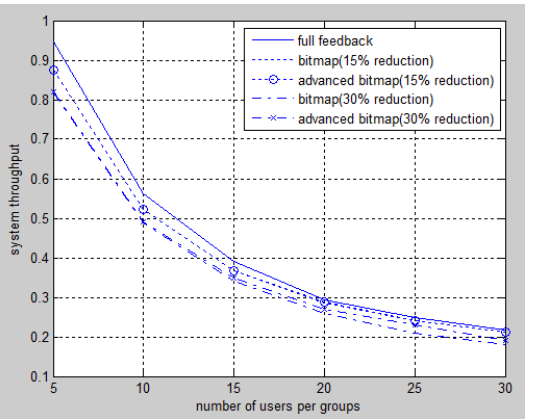


그림 5. 그룹 내 사용자 수에 따른 시스템 처리량

여주지 못하였다. 이는 사용자 수가 많아짐에 따라 나쁜 채널 이득을 가지게 되는 사용자가 생길 확률이 더 높아져서 그룹의 대표 MCS 레벨이 낮아지기 때문이라고 볼 수 있다.

이러한 현상이 나타나는 이유는 서비스 자체가 그룹 내에서 가장 채널 상태가 나쁜 사용자에게 맞추어서 전송이 되기 때문이다. 따라서 멀티캐스트 환경에서는 한 그룹의 사용자가 지나치게 많아지면 효율이 떨어지게 된다. 이런 점에서 처리량 측면에서는 한 그룹의 사용자를 적게 하면서 그룹 숫자는 늘려서 멀티유저 다이버시티 효과를 늘이는 것이 유리하다고 볼 수 있다. 그러나 그룹내의 사용자는 지나치게 적게 하면서 그룹 숫자는 너무 많이 늘려 버리면 평균적인 채널 이득이 좋지 않은 사용자들은 계속해서 서비스를 받지 못하는 공정성의 문제가 발생하게 되고 또 하나의 슬롯으로 여러 명의 사용자를 서비스할 수 있는 멀티캐스트의 장점도 활용가치가 떨어지게 된다. 따라서 좋은 성능을 내기 위해서는 그룹 내의 숫자를 적정하게 잘 조절해 주는 것이 상당히 중요하다.

V. 결 론

본 논문에서는, OFDMA 멀티캐스트 환경에서 평균적으로 채널 상태가 좋은 사용자에게 비트맵 방식의 피드백을 사용하게 하여 전체 피드백 양을 줄이는, 피드백 감소 기법을 제안하였다. 평균 채널 상태가 좋은 사용자를 비트맵 사용자로 정하고, 이들이 사용할 MCS 임계값을 결정하기 위해 각 MCS 임계값에 해당하는 성능을 예측했다. 최적의 성능을 내도록 임계값을 선정하여 각 사용자에게 알려주도록 했다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 피드백 감소 기법이 모든 정보를 피드

www.dbpia.co.kr

백 하는 기법과 비슷한 성능을 보이면서 필요로 하는 피드백의 양은 현저하게 떨어뜨렸음을 확인하였다.

또 멀티캐스트 환경에서 각 그룹 별 스케쥴링을 적용하기 위한 대표 CMF를 구하는 법을 제시함으로써 정확한 성능 분석을 수행하였다. 그룹 내의 사용자가 전 피드백을 사용하는 경우, 일부 사용자가 비트맵 피드백을 사용하는 경우, 그리고 일부 사용자가 개선 비트맵 피드백을 사용하는 경우에 대하여 대표 CMF를 계산하였고 실험을 통하여 측정을 한 값과 CS 기법을 통하여 예측을 한 성능 값이 정확하게 일치하는 모습을 확인하였다.

마지막으로 멀티캐스트 환경에서 피드백을 줄일 때는 얇고 넓게 피드백을 하는 비트맵 방식의 피드백을 사용하는 것이 효과적이며 그룹 내의 사용자가 많아지거나 그룹의 수가 많아질수록 사용자들 간의 채널 이득의 차이가 커지면서 그리고 멀티유저 다이버시티 효과에 의하여 전 피드백과의 성능 차이가 줄어드는 효과를 기대할 수 있다는 사실을 확인하였다

참 고 문 헌

〔1〕 Y. Sun, "*Multi-user Scheduling for OFDMA Downlink with Limited Feedback for Evolved UTRA.*" in Proc. Veh. Tech. Conf06Fall. pp.1878-1882. September 2006.

〔2〕 S. Sanayei, A. Nosratina, and N. Alhdahir, *"Opportunistic dynamic subchannel allocation in multiuser OFDM networks with limited feedback,"* in Proc. Information Theory Workshop 2004.

〔3〕 J. H. Kwon, D. Rhee, Y. Whang, and K. S. Kim, *"A pragmatic adaptive transmission scheme with low-rate feedback using two-step partial CQI for multiuser OFDMA systems,"* IEICE Trans. Commun., Vol.E90-B, No. 2, pp. 405-407, Feb. 2007.

〔4〕 D. Park and B. G Lee, *"QoS support by using CDF-based wireless packet scheduling in fading channels"* IEEE Trans. Commun., Vol. 54, No.11, pp.2051-2061, Nov. 2006.

〔5〕 S. Ko, S. Lee, H. Kwon, and B. G. Lee, *"Mode selection-based channel feedback reduction scheme for opportunistic scheduling in OFDMA systems,"* in Proc. IEEE Globecom, 2009.

〔6〕 S. Kwon, N. Lee, K. Lee, J. Kang, G. Gil and S.Park, *"A novel method of limited channel feedback for OFDMA Systems"*, in Proc. IEEE VTC, 2009.

류 영 준 (Yung-Jun Yoo) 정회원

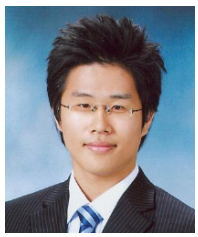
2008년 2월 서울대학교 전기공학부

2010년 2월 서울대학교 전기공학부 석사

2010년 1월~현재 KT 근무

<관심분야> 무선통신, IMS

고 수 민 (Soo-Min Ko) 정회원



2006년 2월 서울대학교 전기공학부

2006년 2월~현재 서울대학교 전기공학부 박사과정

<관심분야> 무선자원관리, 협동통신, 다중안테나

이 병 기 (Byeong-Gi Lee) 종신회원

1973년 2월 서울대학교 전자공학과

1975년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 석사

1974년~1979년 해군사관학교 교관

1982년 8월 UCLA 공학박사

1982년~1984년 Granger Associates, Santa Clara CA 연구원

1984년~1986년 AT&T Bell Lab MA 연구원

1986년~현재 서울대학교 전기공학부 교수

2002년~2004년 Journal of Communications and Networks (JCN) 편집장

2003년~2004년 한국공학교육학회 회장

2004년~2006년 한국공학교육인증원 부원장

2005년 바른 과학기술사회 실현을 위한 국민 연합 상임대표

2007년 한국통신학회장

2008년~2010년 방송통신위원회 상임위원

2009년~현재 IEEE Communication Society President

<관심분야> 광대역 네트워크, 무선 네트워크, 통신 시스템, 신호처리

www.dbpia.co.kr