DBpia

중첩 코딩 다중화를 이용한 다중 사용자 다이버시티 스케줄링 방법

준회원 이 민*, 종신회원 오 성 근*

Multi-user Diversity Scheduling Methods Using Superposition Coding Multiplexing

Min Lee* *Associate Member*, Seong Keun Oh* *Lifelong Member*

요 약

이 논문에서는 중첩 코딩 다중화를 이용하여 다중 사용자 신호를 동시에 전송하는 다중 사용자 다이버시티 스케줄링 방법들을 다룬다. 이 방법들은 다중 사용자 신호들을 동시에 전송함에 따른 제1순위 및 제1 순위 이후 사용자 우선 순위 선정 전략과 사용자 별 전력할당 전략을 결합하는 방식에 따라 다양한 스케줄링 방법들이 가능하도록 한다. 제1 순위 사용자 선정 전략으로는 1) 채널상태 우수 사용자 순서, 2) PFS(proportional fair scheduling) 사용자 순서, 3) 평균 제공 전송률 낮은 사용자 순서를 따르는 3가지 전략들을 고려한다. 제1 순위 이후 사용자 순서도 제1 순위 사용자와 동일한 전략을 고려한다. 그러나 다수의 사용자들이 선정되어야 하는 경우, 한번의 PFS 순서를 따르도록 하거나 매 추가 사용자마다 잔여전력과 사용자간 간섭을 고려하여 PFS 기준에 따라 하나의 사용자를 단계적으로 선정하도록 할 수 있다. 전력할당 전략으로는 우선적으로 사용자 별 최대 허용 전송률을 제공하는 전력을 할당하거나 사용자 별 최소 전송률을 제공하는 전력을 할당하고, 잔여전력을 각 사용자에게 재할당하는 두 가지 전략들을 고려한다. 스케줄링 목적으로는 전송률 합 최대화, 형평성 극대화, PFS 방법에 준하는 형평성 유지 및 전송률 합 최대화의 3가지를 고려한다. 또한 각각의 목적을 위하여 max CIR (carrier-to-interference power ratio), max-min fair, PF 스케줄링 방법들([1]과 해당 참고문헌들 참조)을 각각의 목적별 비교 기준으로 정하고, 전송률 합 또는 형평성 측면에서 기준 방법에 준하거나 우수하면서 나머지 척도인 형평성이나 전송률 합이 우수한 방법들을 후보 스케줄링 방법들로 선정한다. 모의실험을 통하여 다양한 스케줄링 방법의 사용자 수에 따른 전송률 합과 JFI(Jain's fairness index)에 따른 형평성을 분석한다.

Key Words : 중첩코딩 다중화, 스케줄링, 다중 사용자 다이버시티, max CIR, proportional fair, max-min fair

ABSTRACT

In this paper, we deal with multi-user diversity scheduling methods that transmit simultaneously signals from multiple users using superposition coding multiplexing. These methods can make various scheduling methods be obtained, according to strategies for user selection priority from the first user to the first-following users, strategies for per-user power allocation, and resulting combining strategies. For the first user selection, we consider three strategies such as 1) higher priority for a user with a better channel state, 2) following the proportional fair scheduling (PFS) priority, 3) higher priority for a user with a lower average serving rate. For

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2009-F-043-01, 사용자 중심 이동성 제어를 통한 중단 없는 이동성 제공 기술 개발]

* 아주대학교 전자공학부 통신시스템연구실 (minishow@ajou.ac.kr, oskn@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-01-031, 접수일자 : 2010년 1월 21일, 최종논문접수일자 : 2010년 3월 15일

www.dbpia.co.kr

selection of the first-following users, we consider the identical strategies for the first user selection. However, in the second strategy, we can decide user priorities according to the original PFS ordering, or only once an additional user for power allocation according to the PFS criterion by considering a residual power and inter-user interference. In the strategies for power allocation, we consider two strategies as follows. In the first strategy, it allocates a power to provide a permissible per-user maximum rate. In the second strategy, it allocates a power to provide a required per-user minimum rate, and then it reallocates the residual power to respective users with a rate greater than the required minimum and less than the permissible maximum. We consider three directions for scheduling such as maximizing the sum rate, maximizing the fairness, and maximizing the sum rate while maintaining the PFS fairness. We select the max CIR, max-min fair, and PF scheduling methods as their corresponding reference methods [1 and references therein], and then we choose candidate scheduling methods which performances are similar to or better than those of the corresponding reference methods in terms of the sum rate or the fairness while being better than their corresponding performances in terms of the alternative metric (fairness or sum rate). Through computer simulations, we evaluate the sum rate and Jain's fairness index (JFI) performances of various scheduling methods according to the number of users.

Ⅰ. 서 론

일반적인 통신 시스템에서는 하나의 통신 채널을 통하여 한 순간에 한 명의 사용자 신호를 전송한다. 그러나 채널 상태, 트래픽 종류, 시스템 특성 등에 따라 하나의 통신 채널을 통하여 전송할 수 있는 사용자별 전송률은 제한될 수 있다[2]. 특히, AMC(adaptive modulation and coding) 기술을 이용하면 가능한 MCS (modulation and coding scheme) 레벨의 제한으로 인하여 사용자당 제공 가능한 전송률의 범위는 제한된다[3]-[4]. 이 경우, 하나의 통신 채널로 한 명의 사용자 신호만을 전송하는 것은 매우 비효율적일 수 있다. 가능한 송신 전력 중에서 일부만을 이용하여 해당 사용자 신호를 신뢰성 있게 전송할 수 있는 경우, 해당 사용자 신호에는 송신 전력의 일부만을 할당하고, 남은 전력으로 추가의 다른 사용자 신호들을 중첩하여 동시에 전송한다면 자원을 더욱 효율적으로 이용할 수 있을 것이다. 이 논문에서는 중첩 전송을 위하여 중첩 코딩 다중화 방법[5]을 사용한다.

중첩 코딩 다중화 방법은 다수의 신호들을 하나의 통신 채널에 전력 분할을 통하여 중첩하여 전송하고, 각 수신기에서는 SIC(successive interference cancellation) & decoding을 통하여 수신되는 전력이 큰 신호부터 낮은 신호로 단계적으로 복호하며 제거하는 전력 분할에 기반을 둔 다중 사용자 전송 방법이다. 이 방법은 사용자 신호들 간 전력 분할을 통하여 통신 자원을 효율적으로 재사용함으로써 채널 용량 영역 경계에 도달하는 전송 효율을 얻을 수 있다고 알려져 있다[5]. 따라서, 중첩 코딩 다중화 전송 방법은 페이딩 방송 채널 및 다중 접속 채널에서 채널 용량 영역을 분석하는 주요한 도구로 이용되고 있다 ([6]과 해당 참고문헌들 참조). 효율적인 중첩 코딩 다중화를 위해서는 중첩 코딩을 통하여 동시에 전송할 사용자 집합을 선정하는 것이 중요하다. 즉 중첩 코딩 다중화를 통한 다중 사용자 신호들의 동시 전송을 위한 효율적인 스케줄링 방법이 필요하다.

이 논문에서는 사용자 별 최대 및 최소 전송률 제한들이 있는 경우, 중첩 코딩 다중화를 통하여 독립된 다중 사용자 신호들을 동시에 전송하는데 따른 다중 사용자 다이버시티 스케줄링 방법들을 제안한다. 제안하는 스케줄링 방법들은 제1순위 사용자 선정 전략 및 제1 순위 이후 사용자 우선 순위 선정 전략, 사용자 별 전력할당 전략으로 구성되며, 각각의 결합 방식에 따라 다양한 스케줄링이 가능하다. 스케줄링 목적으로는 전송률 합을 최대화 하거나 사용자 간 형평성을 극대화 하거나 PFS 방법에 준하는 형평성을 유지하면서 전송률 합이 최대가 되도록 절충하도록 3가지 중에서 하나를 선택하도록 한다. 또한 각각의 목적들에 따른 단일 사용자 신호의 전송을 위한 기준 스케줄링 방법으로서 max CIR 방법, max-min fair 방법, PFS 방법을 선정하고, 이들 기준 방법들과 성능을 비교한다. 모의실험을 통하여 다양한 스케줄링 방법들을 실험하고, 그 결과 사용자 선정 전략과 전력 할당 전략의 조합으로 구성 가능한 모든 스케줄링 방법들 중에서 전송률 합이나 형평성 측면에서 기준 방법에 준하거나 우수하면서 나머지 척도인 형평성이나 전송률이 기준 방법보다 우수한 스케줄링 방법들을 후보 스케줄링 방법으로 선정한다.

www.dbpia.co.kr

Ⅱ. 시스템 모델

이 논문에서는 한 개의 안테나를 가진 하나의 기지국과 각각 한 개의 안테나를 가진 K 개의 사용자 단말기들로 구성되는 페이딩 방송 채널에서 중첩 코딩 다중화를 이용하여 동일한 자원으로 하나의 전송구간에 다수의 독립된 사용자 신호들을 동시에 전송하는 다중 사용자 다이버시티 스케줄링 방법들을 다룬다. 이를 위하여 기지국과 각각의 사용자 단말기들 사이의 채널들은 독립적인 주파수 균일 레일레이 페이딩을 겪으며, 기지국은 K 개의 사용자 단말기들로부터 채널 품질 정보(CQI: channel quality information)를 지속적으로 제공받는다고 가정한다.

중첩 코딩 다중화를 이용하여 하나의 자원으로 다수의 사용자 신호들을 동시에 전송하는 다중 사용자 다이버시티 전송을 위해서는 제1 순위 사용자 및 제1 순위 이후 사용자들에 대한 전송 순서를 결정하는 우선 순위 선정 전략과 선정된 사용자들 각각에 전력을 할당하는 전력 할당 전략이 필요하다. 이때, 우선 순위 선정 전략에 따라 해당 전송구간에 동일한 자원으로 동시에 전송될 사용자 집합을 결정하고, 전력 할당 전략에 따라 선정된 각 사용자들에 대한 송신 전력을 할당한다. 다시 말하면, 기지국은 K 명의 모든 사용자들 각각의 CQI 및 평균 제공 전송률 정보를 이용하여 우선 순위 선정 전략에 따라 해당 전송구간에 신호들을 동시에 전송할 L 명의 사용자들의 집합을 선정하고, L 개의 독립된 신호들을 중첩 코딩 다중화하여 동시에 전송한다.

중첩 코딩 다중화를 이용하여 m 번째 전송구간에 동시에 전송하는 사용자 집합을 $S=\{1,2,\ldots,L\}$ 라고 하면, L 명 사용자 수신기들에서 수신신호 벡터는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} y_{1,m} \\ y_{2,m} \\ \vdots \\ y_{L,m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,m} \\ h_{2,m} \\ \vdots \\ h_{L,m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{p_{1,m}} & \sqrt{p_{2,m}} & \cdots & \sqrt{p_{L,m}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{1,m} \\ s_{2,m} \\ \vdots \\ s_{L,m} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{1,m} \\ w_{2,m} \\ \vdots \\ w_{L,m} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, $h_{i,m}$ 는 m 번째 전송구간에 기지국 송신기와 i 번째 사용자 수신기 사이의 채널이득으로서, $E\left[|h_{i,m}|^2\right]=1$ 인 독립적인 준정상 레일레이 페이딩 분포를 가지며, $w_{i,m}$ 은 m 번째 전송구간 동안 i 번째 사용자 수신기에서의 독립적인 동등 분포의 복소 가우시안 백색 잡음으로서, 평균이 0이고, 분산이 N_0 라고 가정한다. 또한, $s_{i,m}$ 은 m 번째 전송구간 동안 i 번째 사용자 수신기의 송신신호를 나타내고, $p_{i,m}$ 은 중첩 코딩 다중화 전송을 이용하여 m 번째 전송구간 동안 i 번째 사용자에게 최소 및 최대 제한 전송률 범위 내의 전송률을 제공하기 위하여 할당되는 송신전력을 나타낸다.

중첩 코딩 다중화 전송을 위한 송신전력 할당을 위하여 다음과 같이 사용자 index에 따라 사용자 별 채널상태가 나빠지는 순서로 정의되어 있다고 가정한다.

$$\frac{|h_{1,m}|^2}{N_0} \geq \frac{|h_{2,m}|^2}{N_0} \geq \cdots \geq \frac{|h_{L,m}|^2}{N_0} \quad (2)$$

이 경우 총 송신전력 P_T 하에서 채널상태가 좋은 사용자부터 나빠지는 순서로 해당 사용자 이전까지의 모든 사용자 신호들의 간섭전력을 고려하여 해당 사용자의 요구 전송률 $\tilde{R}_{i,m}$ 을 제공하기 위한 송신전력을 다음과 같이 할당한다[6]-[7].

$$p_{i,m} = \left(\frac{N_0}{|h_{i,m}|^2} + \sum_{j<i} p_{j,m} \right) \left(2^{\tilde{R}_{i,m}} - 1 \right), \quad \sum_{i=1}^{L} p_{i,m} \leq P_T \quad (3)$$

이때, 중첩 코딩 다중화된 신호를 수신한 각 사용자 수신기에서는 SIC & decoding을 통하여 송신전력이 큰 사용자 신호부터 자신보다 높은 상위 계층 사용자 신호(채널상태가 열악한 사용자 신호)들을 순차적으로 검출하여 제거함으로써 자신의 신호를 검출할 수 있다. 그러나, 자신보다 낮은 하위 계층 사용자 신호(채널상태가 우수한 사용자 신호)들은 제거하지 못하므로 하위 계층 사용자 신호들에 의한 간섭을 받게 된다. 따라서, m 번째 전송구간 동안 i 번째 사용자 수신기에서의 SINR (signal-to-interference-plus-noise power ratio)을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\lambda_{i,m} = \frac{p_{i,m} |h_{i,m}|^2}{N_0 + \sum_{j<i} p_{j,m}} \quad (4)$$

마지막으로 m 번째 전송구간 동안 기지국이 L 명의 사용자 신호들을 중첩 코딩 다중화를 통하여 동시에 전송하는 경우 총 전송률 합은 식 (4)에서 주어진 사용자 별 SINR의 로그함수로 표현되는 사용자 별 제

www.dbpia.co.kr

공 전송률들의 합으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{sum} = \sum_{i=1}^{L} \log_2 \left(1 + \lambda_{i,m}\right) \quad (5)$$

Ⅲ. 다중 사용자 다이버시티 전송을 위한 스케줄링 방법

이 절에서는 중첩 코딩 다중화를 이용한 다중 사용자 신호들의 동시 전송에 따른 다중 사용자 다이버시티 스케줄링 방법들을 설명한다. 제안되는 스케줄링 방법들은 사용자 우선 순위 선정 부분과 전력할당 부분으로 이루어지며, 우선 순위 선정 전략과 선정된 사용자 별 전력할당 전략에 따라 다양한 스케줄링을 할 수 있다. 다양한 전략들을 사용할 수 있지만 이 논문에서는 3가지 사용자 우선 순위 선정 전략들과 2가지 전력 할당 전략들만 고려한다.

제안되는 스케줄링 방법은 먼저 사용자 우선 순위 전략에 따라 제 1 순위 사용자를 선정하고, 제 1 순위 사용자 전력 할당 전략에 따라 제 1 순위 사용자에게 전력을 할당한다. 이때, 잔여전력을 구하고, 이 잔여전력으로 제 1 순위 이후 사용자 우선 순위 선정 전략에 따라 동시에 전송할 한 명의 사용자를 추가로 선정하고, 선정된 사용자에게 제 1 순위 사용자 신호의 간섭을 고려하여 해당 사용자에게 최소 제한 전송률 이상으로 전송률을 제공 가능할 경우 제 1 순위 이후 사용자 전력 할당 전략에 따라 해당 사용자에게 전력을 할당한다. 이와 같은 방법으로 잔여전력이 소진할 때까지 고려 중인 모든 대상자들에 대하여 제 1 순위 이후 사용자 우선 순위 선정 전략에 따라 스케줄링을 반복하여 수행한다. 이러한 1차적인 전력 할당 이후에도 잔여전력이 발생하면 제 1 순위 및/또는 제 1 순위 이후 사용자들에게 최소 제한 전송률 제공 전력이 할당된 경우에는 이미 전력을 할당 받은 사용자들에게 잔여전력 재할당을 위한 사용자 우선 순위 전략을 정하여 최대 제한 전송률 제공 전력 범위 내에서 추가로 전력을 할당한다. 또한 제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들에게 최대 제한 전송률 제공 전력이 할당된 경우에는 잔여전력으로 최소 제한 전송률 이상을 제공할 수 있는 추가 사용자를 수용한다. 이때, 잔여전력으로 최소 제한 전송률 제공이 가능한 추가 사용자가 없는 경우에는 잔여전력을 이용하지 못한다.

아래에서 중첩 코딩 다중화를 이용한 다중 사용자 다이버시티 스케줄링 방법의 사용자 우선 순위 선정 전략, 전력할당 전략, 잔여전력 재할당 전략에 대하여 자세히 기술한다.

3.1 사용자 우선 순위 선정 전략

제1순위 및 제1 순위 이후 사용자 우선 순위 선정 전략으로 다음과 같은 3가지 전략을 사용한다: *1) 채널상태가 우수한 사용자 순서*, *2) PFS 사용자 순서*, *3) 평균 제공 전송률이 낮은 사용자 순서*이다.

3.1.1 채널상태가 우수한 사용자 순서

총 전송률 합을 향상하기 위해서는 각 사용자의 채널 품질 정보에 따라 채널상태가 우수한 사용자 순서로 사용자 우선 순위를 결정한다. 즉, m 번째 전송구간에서 사용자 우선 순위는 다음과 같이 사용자의 SNR (signal-to-noise power ratio) $\gamma_i(m)$ 이 높은 순서로 결정한다.

$$\Pi = \left\{ \pi_1, \pi_2, \cdots, \pi_L : \gamma_{\pi_k}(m) \geq \gamma_{\pi_{k+1}}(m),\ \pi_k \in S \right\} \quad (6)$$

여기서, m 번째 전송구간 동안 i 번째 사용자의 SNR $\gamma_i(m)$ 은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\gamma_i(m) = \frac{|h_{i,m}|^2}{N_0} \quad (7)$$

3.1.2 PFS 사용자 순서

단일 사용자 신호의 다중 사용자 다이버시티 스케줄링 방법인 PFS 방법에 준하는 형평성을 유지하면서 전송률 합 성능을 최대화 하도록 하기 위하여 PFS 방법에 따라 사용자 순서를 선정한다. 즉, m 번째 전송구간에서 사용자 우선 순위는 다음과 같이 사용자의 전송 가능한 최대 전송률과 평균 제공 전송률의 비, $R_{i,m} / T_{i,m}$ 값이 큰 순서로 결정한다[8].

$$\Pi = \left\{ \pi_1, \pi_2, \cdots, \pi_L : \frac{R_{\pi_k,m}}{T_{\pi_k,m}} \geq \frac{R_{\pi_{k+1},m}}{T_{\pi_{k+1},m}},\ \pi_k \in S \right\} \quad (8)$$

이때, 각 사용자의 평균 제공 전송률 $T_{i,m}$ 는 다음과 같이 갱신된다[8].

$$T_{i,m} = \begin{cases} \left(1 - \frac{1}{n}\right) T_{i,m-1} & ,\ \tilde{R}_{i,m-1} = 0 \\ \left(1 - \frac{1}{n}\right) T_{i,m-1} + \frac{1}{n} \tilde{R}_{i,m-1} & ,\ \tilde{R}_{i,m-1} > 0 \end{cases} \quad (9)$$

www.dbpia.co.kr

여기서 n은 전송구간 단위의 윈도우 크기이고, $\tilde{R}_{i,m-1}$은 i 번째 사용자가 $(m-1)$번째 전송구간 동안 실제 제공받은 전송률이다.

PFS 방법으로 사용자 우선 순위를 선정하기 위하여 전송 가능한 최대 전송률 $R_{i,m}$ 을 다음과 같이 2가지로 정의한다.

a) 총 송신전력으로 해당 사용자에게 할당하여 신호 전송할 때, 전송 가능한 최대 전송률

b) 중첩 코딩 다중화에서 잔여전력으로 동시에 전송할 사용자를 추가적으로 선정할 때, 사용자간 미치는 간섭전력을 고려하여 얻을 수 있는 최대 전송률

a)의 정의는 하나의 채널에 한 명의 사용자를 전송하는 경우에서 전송 가능한 최대 전송률로서 이 정의를 따라 사용자 우선 순위를 선정하는 것을 '단순 PFS 사용자 순서'라고 하고, b)의 정의는 중첩 코딩 다중화를 고려하여 동시에 전송할 사용자를 선정할 때마다 잔여전력과 사용자간 미치는 간섭전력을 고려한 것으로서 이 정의를 따라 사용자 우선 순위를 선정하는 것을 '중첩 코딩 다중화 PFS 사용자 순서'라고 부른다.

3.1.3 평균 제공 전송률이 낮은 사용자 순서

최대의 형평성을 얻기 위해서는 평균 제공 전송률이 낮은 사용자 순서로 우선 순위를 결정한다. 즉, m 번째 전송구간에서 사용자 우선 순위는 다음과 같이 평균 제공 전송률 $T_{i,m}$이 낮은 사용자 순서로 결정한다.

$$\prod = \left\{ \pi_1, \pi_2, \cdots, \pi_L : T_{\pi_k,m} \le T_{\pi_{k+1},m},\ \pi_k \in S \right\} \quad (10)$$

3.2 전력할당 전략

제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들을 위한 2가지의 전력 할당 전략들은 전송률 제한에 따라 *1) 최대 제한 전송률 제공 전력 할당*, *2) 최소 제한 전송률 제공 전력 할당*이다.

3.2.1 최대 제한 전송률 제공 전력 할당

최대 제한 전송률 제공 전력 할당 전략은 선정된 사용자에게 우선적으로 전송률 제한 범위 내에서 잔여전력으로 제공할 수 있는 최대 전송률을 제공하도록 전력을 할당하는 전략이다.

3.2.2 최소 제한 전송률 제공 전력 할당

최소 제한 전송률 제공 전력 할당 전략은 선정된 사용자에게 우선적으로 잔여전력으로 최소 제한 전송률 제공을 위한 전력을 할당하는 전략이다.

3.3 잔여전력 재할당 전략

제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들에게 전력할당 전략에 따라 총 송신전력 하에서 수용 가능한 사용자들에게 최소 및/또는 최대 제한 전송률 제공을 위한 전력을 할당하고, 아직도 전력이 남는 경우 잔여전력 재할당을 위한 사용자 선정 전략은 제 1 순위 이후 사용자 선정 전략과 동일한 전략들을 이용할 수 있다.

제 1 순위 및/또는 제 1 순위 이후 사용자들에게 최소 제한 전송률 제공 전력 할당 전략을 이용하여 전력을 할당한 경우에는 잔여전력을 이용하여 최소 제한 전송률 제공 전력을 할당 받은 사용자들에게 잔여전력 재할당을 위한 사용자 선정 전략에 따라 사용자별 최대 제한 전송률 제공 전력 범위 내에서 추가 전력을 할당한다. 예를 들어, 잔여전력 재할당을 위한 사용자 선정 전략이 채널상태 우수 사용자 순서인 경우에는 제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들 중에서 최소 제한 전송률 제공 전력이 할당된 사용자들에 대하여 채널상태 우수 사용자 순서로 잔여전력을 이용하여 추가 전력을 할당한다. 만약, 잔여전력이 해당 사용자의 최대 제한 전송률 제공을 위한 전력보다 높은 경우에는 해당 사용자에게 최대 제한 전송률 제공을 위한 전력만을 할당하고, 차순위 사용자에게 남은 전력을 추가 할당한다.

제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들에게 최대 제한 전송률 제공 전력이 할당된 경우에는 잔여전력으로 최소 제한 전송률 이상을 제공할 수 있는 추가 사용자를 수용하여 최대 제한 전송률 제공 전력 범위 내

표 1. 제안하는 스케줄링 방법을 위한 사용자 우선 순위 선정 전략과 전력 할당 전략

사용자	부분	세부 전략
제 1 순위 사용자	사용자 선정 전략	1. 채널상태 우수 사용자 순서 2. PFS 사용자 순서 3. 평균 제공 전송률 낮은 사용자 순서
	전력 할당 전략	(max)최대 제한 전송률 제공 전력 할당 (min)최소 제한 전송률 제공 전력 할당
제 1 순위 이후 사용자	사용자 선정 전략	1. 채널상태 우수 사용자 순서 2. PFS 사용자 순서 3. 평균 제공 전송률 낮은 사용자 순서
	전력 할당 전략	(max)최대 제한 전송률 제공 전력 할당 (min)최소 제한 전송률 제공 전력 할당
잔여전력 재할당	사용자 선정 전략	1. 채널상태 우수 사용자 순서 2. PFS 사용자 순서 3. 평균 제공 전송률 낮은 사용자 순서

www.dbpia.co.kr

에서 전력을 할당한다. 이때, 잔여전력으로 최소 제한 전송률을 제공할 수 있는 추가 사용자가 없으면 잔여 전력은 이용하지 않는다.

표 1은 제안하는 스케줄링 방법을 위한 사용자 우선 순위를 선정하기 위한 전략과 선정된 사용자들에게 사용자 별 전력을 할당하기 위한 전략, 잔여전력을 재할당하기 위한 사용자 선정 전략들을 정리한 것이다.

Ⅳ. 모의실험 결과

이 절에서는 모의실험을 통하여 제안된 중첩 코딩 다중화를 이용한 다중 사용자 동시 전송에 따른 다중 사용자 다이버시티 스케줄링 방법의 성능을 분석한다. 전체 사용자들의 사용자 평균 SNR의 평균 값은 20dB로 설정하고, 각 사용자의 사용자 평균 SNR은 등간격으로 3dB 차이를 갖도록 설정하였다. 예를 들면, 사용자 수가 2명인 경우에는 각각의 평균 SNR은 18.5dB와 21.5dB로, 3명인 경우에는 각각 17dB, 20dB, 23dB로 설정하였다. 또한 사용자간 최대 평균 SNR과 최소 평균 SNR의 차이를 고려하여 사용자 수를 10명까지만 고려하였다. 또한, 사용자 별 최소 및 최대 제한 전송률은 각각 1.5bps/Hz, 4.5bps/Hz로 모든 사용자에게 동일하게 설정하였다[4]. 모의실험을 통한 각 사용자의 평균 전송률과 총 전송률 합의 평균을 구하기 위하여 10,000번의 독립적인 전송구간에 대하여 모의실험을 수행하였다. 각 사용자의 평균 제공 전송률을 갱신하기 위한 윈도우 크기 n은 1,000으로 설정하였고, 형평성을 측정하기 위한 지표로서 JFI를 사용하였다[9].

표 1에서 제시한 전략들을 결합하는 경우에 다양한 스케줄링이 가능하다. 그러나 모든 스케줄링 방법들이 만족할 만한 성능을 가지지는 못한다. 따라서 이 논문에서는 모의실험을 통하여 다양한 스케줄링 방법들을 실험하고, 그 결과 사용자 선정 전략과 전력 할당 전략의 조합으로 구성 가능한 모든 스케줄링 방법들 중에서 전송률 합이나 형평성 측면에서 3가지 기준 방법들 각각에 준하거나 우수하면서 나머지 척도인 형평성이나 전송률이 기준 방법보다 우수한 스케줄링 방법들을 후보 스케줄링 방법으로 선정하였다. 이 논문에서 수행된 모든 모의실험들에서는 잔여전력 재할당을 위한 사용자 선정 전략으로 제 1 순위 이후 사용자들의 사용자 선정 전략과 동일하게 선정하였다.

제안하는 스케줄링 방법들의 성능을 비교하기 위하여 사용자 별 전송률 제한을 고려하지 않고 단일 사용자 신호를 다중 사용자 다이버시티 전송하는 기준 방법들인 max CIR, PFS, max-min fair 스케줄링 방법들의 성능도 제시한다.

그림 1은 총 전송률 합을 추구하는 3가지 스케줄링 방법들의 JFI 형평성 성능과 총 전송률 합 성능을 max CIR 방법 및 PFS 방법의 성능과 비교하고 있다. 세 가지 스케줄링 방법을 각각 (1-max, 1-max) 방법, (1-max, 1-min) 방법, (1-max, 2-min) 방법이라고 부른다. 이 논문에서 (u1-aaa, u2-bbb) 방법은 제1순위 사용자 선정을 위한 전략(u1)으로 제1순위 사용자 선정 전략 1, 2, 3 중의 하나로 선정하고, 선정된 제1순위 사용자의 전력할당을 위한 전략(aaa)으로 제1순위 사용자 전력할당 전략 max, min 중의 하나로 선정하며, 제1순위 이후 사용자 선정을 위한 전략(u2)으로 제1순위 이후 사용자 선정 전략 1, 2, 3 중의 하나로 선정하고, 선정된 제1순위 이후 사용자의 전력할당을 위한 전략(bbb)으로 제1순위 이후 사용자 전력할당 전략 max, min 중의 하나로 선정하는 것을 의미한다. 따라서, (1-max, 1-max) 방법은 제1순위 사용자와 제1순위 이후 사용자들 모두를 채널상태가 가장 우수한 사용자 기준으로 선정하고, 제1순위 및 제1순위 이후 사용자들에게 최대 제한 전송률 제공을 위한 전력을 할당하는 전략을 채택하는 방법이다. (1-max, 1-min) 방법은 제1순위 사용자와 제1순위 이후 사용자들 모두를 채널상태가 가장 우수한 사용자 기준으로 선정하고, 제1순위 사용자에게는 최대 제한 전송률 제공을 위한 전력을 할당하고, 제1순위 이후 사용자들에게는 최소 전송률 제공을 위한 전력 할당하는 전략을 채택하는 방법이다. 또한, (1-max, 2-min) 방법은 제1순위 사용자는 채널상태가 가장 우수한 사용자 기준으로, 제1순위 이후 사용자들은 PFS 기준으로 선정하며, 제1순위 사용자에게는 최대 제한 전송률 제공을 위한 전력을 할당하고, 제1순위 이후 사용자들에게는 최소 전송률 제공을 위한 전력 할당하는 전략을 채택하는 방법이다. 그림 1을 참조하면, 총 전송률 합을 추구하는 세 가지 제안된 방법들은 기준 방법인 max CIR 방법에 비하여 총 전송률 합 성능은 거의 동일하게 유지하면서 형평성을 크게 향상시킬 수 있음을 보여준다. 세 가지 제안된 방법들은 총 전송률 합 성능을 추구하기 위하여 제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자 선정을 위하여 채널상태를 우선적으로 고려하였고, 채널상태가 가장 우수한 제 1 순위 사용자에게는 최대 제한 전송률 제공을 위한 전력을 할당한다. 또한, 중첩 코딩 다중화를 통하여 제 1 순위 이후 사용자들을 수용함으로써 형평성을 향상시킬 수 있다. 특히, (1-max, 2-min) 방법에서는 제 1 순위 이후 사용자 선정을

www.dbpia.co.kr

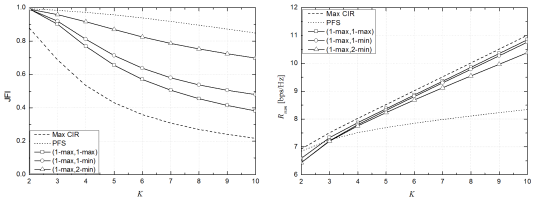

그림 1. 총 전송률 합을 추구하는 스케줄링 방법들의 형평성 및 총 전송률 합 성능

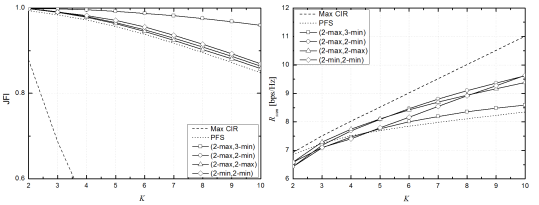

그림 2. PFS 방법에 준하는 형평성을 유지하면서 총 전송률 합을 추구하는 방법들의 형평성 및 총 전송률 합 성능

PFS 사용자 순서로 선정함으로써 총 전송률 합 성능은 다소 감소하지만 형평성을 크게 향상시킨다.

그림 2는 PFS 방법에 준하는 형평성을 유지하면서 총 전송률 합을 추구하는 4가지 스케줄링 방법들의 형평성 성능과 총 전송률 합 성능을 max CIR 및 PFS 방법들의 성능과 비교하고 있다. 그림 2를 참조하면 이 논문에서 선택된 4가지 방법들은 기준 방법인 PFS 방법과 비교하여 형평성도 우수하면서 전송률 합 또한 PFS 방법보다 우수하다는 것을 볼 수 있다. 4 가지 제안되는 방법들로는 (2-max, 3-min) 방법, (2-max, 2-min) 방법, (2-max, 2-max) 방법, (2-min, 2-min) 방법이며, 각각의 방법들에 대한 간단한 설명은 다음과 같다. 먼저 (2-max, 3-min) 방법은 제 1 순위 사용자를 PFS 순서로 선정하고, 제 1 순위 이후 사용자들은 평균 제공 전송률이 낮은 순서로 선정하며, 제 1 순위 사용자에게는 최대 제한 전송률 제공을 위한 전력을 할당하고, 제 1 순위 이후 사용자들에게는 최소 전송률 제공을 위한 전력 할당하는 전략을 채택하는 방법이다. 다음으로 (2-max, 2-min) 방법은 제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들을 모두 PFS 순서로 선정하고, 제 1 순위 사용자에게 최대 제한 전송률 제공을 위한 전력을 할당하고, 제 1 순위 이후 사용자에게는 최소 전송률 제공을 위한 전력 할당하는 전략을 채택하는 방법이다. (2-max, 2-max) 방법은 제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들을 모두 PFS 순서로 선정하고, 제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들 모두에게 최대 제한 전송률 제공을 위한 전력을 할당하는 전략을 채택하는 방법이다. 마지막으로, (2-min, 2-min) 방법은 제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들을 모두 PFS 순서로 선정하고, 제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들 모두에게 최소 제한 전송률 제공을 위한 전력을 할당하는 전략을 채택하는 방법이다. 제안하는 4 가지 방법들의 특징은 제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자 선정에 있어서 PFS 사용자 순서를 적용하고 있다는 것이다. 그러나 단순한 PFS 방법과 비교하는 경우, 4가지 방법들은 PFS 순서 선정으로 인하여 평균 SNR이 낮은 사용자의 선정 기회가 높아지므로 평균 SNR이 높은 사용자와 낮은 사용자간 평균 제공 전송률 비를 낮추고, 중첩 코딩 다중화로 인하여 동시에 다수의 사용자 신호들을 전송하므로 형평성이 향상된다. 또한, 동시에 다수의 사용자들을 선정하는 중첩 코딩 다중화로 인하여 제1순위 이후 사용자 선정에 있어서 채널상태가 우수한 사용자에 대하여 선정 기회가 높아지므로 전송률 합을 증가시키게 된다. 즉 중첩 코딩 다중화 전송을 위하여 PFS 사용자 순서의 스케줄링 방법을 이용하는 경우 동시에 다수의 사용자들을 선정하고, PFS 특성에 따라 채널상태가 우수하면서 평균 제공 전송률이 상대적으로 낮은 사용자들을 선정하므로 기존 PFS 방법에 비하여 자원을 효율적으로 분배함으로써 형평성과 전송률 합의 양 측면에서 기존 PFS 방법보다 우수하다. 특히, (2-max, 3-min) 방법은 제 1 순위 이후 사용자 선정에 있어서 평균 제공 전송률이 낮은 순서로 선정하고 최소 전송률 제공을 위한 전력 할당 전략을 채택하므로 사용자 선정에 평균 제공 전송률이 미치는 영향이 증가하면서 형평성이 매우 향상되는 것을 알 수 있다.

그림 3은 사용자간 평균 SNR이 3dB 간격으로 차이가 나는 환경에 대하여 형평성을 추구하는 (3-min, 3-min) 스케줄링 방법의 형평성 성능과 총 전송률 합 성능을 PFS 및 max-min fair 방법들의 성능과 비교하고 있다. 그림 3을 참조하면, 제안된 방법이 기준 방법인 max-min fair 방법과 유사한 형평성을 가지면서 전송률 합 성능은 기준 방법보다 크게 개선되며 PFS 방법의 성능에 접근해 감을 볼 수 있다. (3-min, 3-min) 방법은 제1순위 및 제 1 순위 이후 사용자들을 모두 평균 제공 전송률이 낮은 순서로 선정하며, 제1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들에게 모두 최소 전송률 제공을 위한 전력을 할당하는 전략을 채택하는 방법이다. 평균 제공 전송률이 가장 낮은 사용자를 선정하는 max-min fair 방법은 사용자간 평균 SNR이 상이한 환경에서도 형평성 성능은 최대가 되지만 전송률 합 성능은 매우 낮다. max-min fair 방법에 있어서

www.dbpia.co.kr

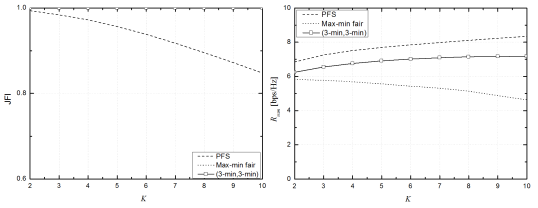

그림 3. 형평성을 추구하는 스케줄링 방법들의 형평성 및 총 전송률 합 성능.

평균 SNR이 낮은 사용자는 채널상태가 매우 열악하여 선정되더라도 제공 전송률이 낮기 때문에 선정 기회가 높아지므로 전송 효율이 크게 감소한다. 그러나, (3-min, 3-min) 방법은 중첩 코딩 다중화로 인하여 다수의 사용자들을 선정하므로 평균 SNR이 가장 낮은 사용자에게 선정 기회가 집중되는 것을 방지하고, 사용자 별 선정 기회를 분산시키므로 max-min fair 방법에 비하여 전송률 합이 향상되는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

이 논문에서는 중첩 코딩 다중화를 이용한 다중 사용자 동시 전송에 따른 다중 사용자 다이버시티 스케줄링 방법들을 제안하였다. 제안하는 스케줄링 방법은 제 1 순위 사용자 선정 전략 및 제 1 순위 이후 사용자 우선 순위 선정 전략, 사용자 별 전력할당 전략, 잔여전력 재할당 전략으로 구성된다. 스케줄링 목적으로는 총 전송률 합 최대화, 형평성 최대화, PFS 방법에 준하는 형평성 유지와 전송률 합 최대화를 추구하는 것으로 나누고, 각각의 목적에 따라 기준 방법으로 max CIR, PFS, max-min fair 방법들을 설정하고 이들과 비교를 통하여 후보 스케줄링 방법들을 선정하였다. 후보 스케줄링 방법들의 제 1 순위 사용자 우선 순위 선정 전략은 기준 방법의 사용자 우선 순위 선정 전략과 동일하게 유지하고 있으며, 그 이상의 형평성 또는 총 전송률 합을 얻기 위하여 제 1 순위 이후 사용자 또는 전력 재할당에서의 사용자 우선 순위 전략을 적절하게 변경하고 있다. 총 전송률 합을 추구하는 후보 스케줄링 방법으로 (1-max, 1-max) 방법, (1-max, 1-min) 방법, (1-max, 2-min) 방법을 고려하였고, PFS 방법에 준하는 형평성 유지와 전송률 합 최대화를 추구하는 후보 스케줄링 방법으로 (2-max, 3-min) 방법, (2-max, 2-min) 방법, (2-max, 2-max) 방법, (2-min, 2-min) 방법을 고려하였다. 또한, 형평성을 추구하는 후보 스케줄링 방법으로 (3-min, 3-min) 방법을 고려하였다. 모의 실험 결과를 통하여, 중첩 코딩 다중화 전송을 이용하여 동시에 다수의 사용자들을 선정하는 스케줄링 방법들은 효율적인 자원 분배를 통하여 기존 다중 사용자 다이버시티 전송을 위한 각각에 해당하는 기준 방법들, 즉 max CIR, PFS, max-min fair 스케줄링 방법들에 비하여 총 전송률 합에 있어서 큰 손실 없이 형평성이 크게 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한, 제 1 순위 및 제 1 순위 이후 사용자들을 위한 사용자 우선 순위 선정 전략과 전력 할당 전략에 따라 다양한 총 전송률 합 및 형평성 성능을 제공하는 스케줄링이 가능한 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

〔1〕 Y. Ofuji, S. Abeta, A. Morimoto, and M. Swahashi, “Comparison of packet scheduling algorithms focusing on user throughput in high speed downlink packet access,” *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E86 B, No.1, pp.132-139, Jan. 2003.

〔2〕 L. Liu, P. Parag, J. Tang, W. Chen, and J. Chamberland, “Resource allocation and quality of service evaluation for wireless communication systems using fluid models,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.53, No.5, pp.1767-1777, May 2007.

〔3〕 3GPP Tech. Spec. 25.308 ver. 9.0.0, High Speed Downlink Packet Access (HSDPA): Overall description, June 2009.

〔4〕 IEEE 802.16 WG, “IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems,” *IEEE STD 802.16e*, Dec. 2005.

〔5〕 T. M. Cover, “Broadcast channels,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.IT-18, No.1, pp.2-14, Jan. 1972.

〔6〕 N. Jindal and A. Goldsmith, “Capacity and optimal power allocation for fading broadcast channels with minimum rates,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.49, No.11, pp.2895-2909, Nov. 2003.

〔7〕 이민, 오성근, 정병장 “전송률 제한을 둔 페이딩 방송채널을 위한 중첩코딩 다중화,” *한국통신학회논문지*, Vol.33, No.11, pp.1072-1078, Nov.

www.dbpia.co.kr

2008.

[8] P. Viswanath, D. N. C. Tse, and R. Laroia, "Opportunistic beamforming using dumb antennas," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol.48, pp.1277-1294, June 2002.

[9] R. Elliott, "A measure of fairness of service for scheduling algorithms in multiuser systems," in *Proc. IEEE CCECE*, Winnipeg, MB, Canada, May 2002.

이 민 (Min Lee) 준회원

2006년 8월 아주대학교 전자공학부 (학사)

2006년 9월~현재 아주대학교 전자공학부 통합과정

<관심분야> MU-MIMO 프리코딩, 중첩코딩, 무선자원관리

오 성 근 (Seong Keun Oh) 종신회원

1983년 2월 경북대학교 전자공학과 학사

1985년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

1990년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사

1993년 9월~현재 아주대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 이동통신, 무선자원관리, 핸드오버

www.dbpia.co.kr