

OFDMA 시스템의 다중 사용자 스케줄링을 위한 순환지연 다이버시티의 지연값 결정

정희원 임민중*, 허성호**, 송현주*, 임대운*, 정병장***, 노태균***

Delay Determination of Cyclic Delay Diversity for Multi-user Scheduling in OFDMA Systems

Min-Joong Rim*, Seong-Ho Hur**, Hyun-joo Song*, Dae-Woon Lim*,
Byung-Jang Jeong***, Taegyun Noh*** *Regular Members*

요 약

OFDMA 시스템에서 주파수축에서의 다중사용자 스케줄링의 성능은 채널의 주파수 선택적 특성과 상관이 있다. 채널이 주파수축에서 평탄하면 다중사용자 스케줄링의 이득이 줄어들 수 있으며 반대로 주파수 선택적 특성이 너무 커서 할당 대역폭 내에서 채널의 변화가 심하게 일어난다면 충분한 스케줄링 이득을 얻기 어려워진다. 다중사용자 스케줄링 이득을 최대화하기 위해서는 순환지연 다이버시티를 적용하여 채널의 주파수 선택적 특성을 조절할 수 있다. 이 논문에서는 할당 대역폭과 채널 특성을 고려하여 순환지연 다이버시티를 적용할 때의 최적의 지연값을 결정하는 방법을 제안한다.

Key Words : Cyclic Delay Diversity, Scheduling, OFDMA, Frequency Selectivity, Cross-Layer Optimization

ABSTRACT

In an OFDMA system the performance of multi-user scheduling in the frequency domain is affected by the frequency selectivity of the channel. If the channel is too flat in the frequency domain, the multi-user scheduling gain might be degraded. On the contrary, if the frequency selectivity is too high and the magnitude of the frequency response severely fluctuates on the allocation bandwidth, it is also hard to get sufficient scheduling gain. For maximizing the multi-user scheduling gain, a cyclic delay diversity technique can be used to adjust the frequency selectivity of the channel. This paper proposes a method to determine the optimal delay value of cyclic delay diversity according to the allocation bandwidth and the channel characteristics.

I. 서 론

OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)는 OFDM(Orthogonal Frequency Division

Multiplexing) 시스템의 부반송파들을 다수의 사용자들이 분할하여 자원을 공유하는 개념으로, 차세대 이동통신을 위한 새로운 다중접속 방식으로 고려되고 있다^{[1][2][3][4]}. OFDMA 시스템에서 사용자에게 자

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2006-S-001-02, 4세대 이동통신을 위한 적응 무선접속 및 전송 기술 개발]

* 동국대학교 정보통신공학과 (minjoong@dongguk.edu, hjsong@dongguk.edu, dwlim01@dgu.edu)

** UCSD ECE (hursh42@gmail.com)

*** 한국전자통신원 (bjeong@etri.re.kr, taegyun@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2007-07-322, 접수일자 : 2007년 7월 23일, 최종논문접수일자 : 2008년 3월 6일

원을 할당하는 방법은 주파수축 다이버시티를 극대화하기 위한 분산 할당방식과 다중사용자 스케줄링 이득을 얻기 위한 연속 할당방식으로 나뉠 수 있다.

OFDMA 시스템에서 연속 할당방식을 적용하였을 때 다중사용자 다이버시티 이득은 사용자의 할당 대역폭 대비 채널의 주파수 선택적 특성과 상관이 있다. 주파수 특성이 너무 평탄할 경우 다중사용자 스케줄링에 의한 이득을 얻기 어려우며 할당 대역폭 내에서 채널의 변화가 너무 클 경우에도 다중사용자 다이버시티에 의한 이득을 얻기 어려워진다. 주파수 평탄적 채널에서 다중사용자 스케줄링의 효과를 극대화하기 위해서는 순환지연 다이버시티를 적용하여 주파수 선택적 특성을 증대시키는 것이 유리하다는 것이 알려져 있다^{[5][6][7][8][9][10]}. 그러나 주어진 채널에서 순환지연 다이버시티를 적용하는 것이 항상 이득이 있는 것인지 그리고 순환지연 다이버시티를 적용할 때 어떠한 지연값을 설정해야 하는지에 대한 연구는 아직 부족하다.

본 논문에서는 다중사용자 스케줄링의 성능을 향상시키기 위해 자원관리계층에서 결정된 할당 대역폭의 크기와 주어진 채널 상태에 따라 순환지연 다이버시티의 적절한 지연값을 결정하는 방법을 제안한다. 일반적인 교차계층 최적화 방법이 상위계층에서, 물리계층의 특성 및 물리계층에서 적용된 변수를 이용하여 최적화를 하는데 반해서 이 논문에서 제안하는 방법은 자원관리 계층의 성능을 향상시키기 위하여, 자원관리 계층에서 사용하는 변수를 이용해서 물리계층의 변수를 결정하는 특별한 형태의 교차계층 최적화 기술에 해당된다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 할당 대역폭이 한 개의 부반송파만을 가질 때를 가정하여 다중사용자 다이버시티 이득과 순환지연 다이버시티 기술에 대해서 설명하며 III장에서는 연속 할당방식을 사용하여 전송할 때의 순환지연 다이버시티의 지연값을 결정하는 방법에 대하여 논한다. IV장에서는 실험 결과를 보이며 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 스케줄링과 순환지연 다이버시티

2.1 다중사용자 다이버시티

만일 하나의 신호가 N 개의 페이딩 채널을 통과하여 전송될 수 있다고 할 때 송신신호를 X , N 개의 채널을 $H_n (n=1, \dots, N)$, 각 채널에 해당하는 수신신호를 $R_n (n=1, \dots, N)$, σ^2 의 분산을 가지는

잡음을 $W_n (n=1, \dots, N)$ 라고 하면 수신신호는 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$R_n = H_n X + W_n \quad (n=1, \dots, N) \quad (1)$$

위 식에서 n 번째 채널의 SNR(Signal to Noise Ratio)은 다음과 같다.

$$SNR_n = \frac{|H_n|^2}{\sigma^2} \quad (2)$$

다중사용자 다이버시티 효과를 이해하기 위하여 N 개의 경로 중 가장 좋은 경로 하나를 선택하여 데이터를 전송하는 시스템을 고려해보자. 이 때 선택된 채널의 SNR은 다음과 같이 표현된다.

$$SNR_{\max} = \max_{1 \leq n \leq N} \{SNR_n\} \quad (3)$$

SNR_{\max} 는 만일 N 개의 채널이 독립적이라면 N 이 클수록, 그리고 SNR_n 의 분산이 클수록 커지는 경향을 가진다. 독립적이지 않은 채널에서 다중사용자 다이버시티 효과를 최대화하기 위한 문제를 정의하기 위하여 다음과 같이 심벌 다이버시티 차수 M^{Symbol} 과 프레임 다이버시티 차수 M^{Frame} 를 정의해보자.

$$M^{Symbol} \equiv \frac{var\{|H|^2\}}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N var\{|H_n|^2\}} \quad (4)$$

$$M^{Frame} \equiv \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N var\{|H_n|^2\}}{var\left\{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |H_n|^2\right\}} \quad (5)$$

위 식에서 H 는 하나의 Rayleigh 페이딩 채널을 의미한다. 채널이 모두 독립일 경우 $M^{Frame} = N$ 이 되어 프레임 다이버시티 차수가 최대화되며 채널의 크기가 모두 같을 경우에는 $M^{Frame} = 1$ 이 되어 프레임 다이버시티 차수가 최소화된다. 다중사용자 다이버시티의 성능을 향상시키기 위해서는 각 채널 H_n 은 심벌 다이버시티 차수 M^{Symbol} 이 작아서 분산이 크게 유지되어야 하며, 프레임 다이버시티 차수 M^{Frame} 이 커서 각 채널들이 가능한 한 독립적이 되는 것이 필요하다. 주어진 채널의 심벌 및 프레임 다이버시티 차수가 M_{Od}^{Symbol} 및 M_{Od}^{Frame} 이며

다이버시티 기술을 적용하였을 때의 심벌 및 프레임 다이버시티 차수가 M_{New}^{Symbol} 및 M_{New}^{Frame} 라고 하자. 다중사용자 스케줄링 성능을 최대화하기 위하여 다이버시티 기술을 적용하는 문제는 다음과 같이 심벌 다이버시티는 증가시키지 않으면서 프레임 다이버시티만 증가시키는 문제로 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } M_{New}^{Frame} \\ & \text{with subject to } M_{New}^{Symbol} = M_{Old}^{Symbol} \end{aligned} \quad (6)$$

2.2 OFDM 시스템

크기 N 의 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용하는 OFDM 시스템에서, T 를 샘플 구간, L 을 다중경로의 수, p_l 를 l 번째 다중경로의 평균 채널값, h_l 를 l 번째 다중경로에 해당하는 $var\{|h_l|^2\} = var\{|H|^2\}$ 인 페이딩 채널이라고 할 때 시간축의 다중경로 채널이 다음과 같이 정의되어 있다고 하자.

$$channel(t) = \sum_{l=1}^L p_l h_l \delta(t-lT) \quad \left(\sum_{l=1}^L p_l^2 = 1 \right) \quad (7)$$

OFDM 시스템에서 다이버시티 기술이 적용되지 않았다면 심벌 다이버시티 차수 M_{Old}^{Symbol} 는 1이다. 각 경로의 채널이 독립적이라고 가정할 때 Parseval's Theorem을 적용하면 프레임 다이버시티 차수는 다음과 같다.

$$M_{Old}^{Frame} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N var\{|H_n|^2\}}{var\left\{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |H_n|^2\right\}} = \frac{var\{|H|^2\}}{var\left\{\sum_{l=1}^L P_l^2 |h_l|^2\right\}} = \frac{1}{\sum_{l=1}^L P_l^4} \quad (8)$$

OFDM 시스템에서 가장 좋은 부반송파 하나를 선택하여 데이터를 전송한다고 할 때 다중경로의 수가 증가할수록 우수한 성능을 얻을 수 있는 가능성이 높아진다.

2.3 순환지연 다이버시티

OFDM 시스템에서 다중안테나를 이용한 간단한 다이버시티 기술 중 하나는 순환지연 다이버시티(Cyclic Delay Diversity)이다. 두 개의 안테나를 사용한다고 할 때 T 를 샘플 구간, L 을 다중경로의 수, p_{1l} 및 p_{2l} 를 각 안테나의 l 번째 다중경로의 평균 채널값, h_{1l} 및 h_{2l} 를 각 안테나의 l 번째 다중경로에 해당하는 $var\{|h_l|^2\} = var\{|H|^2\}$ 인 페이딩 채널이라고 할 때 시간축의 다중경로 채널이 다음과 같

이 정의되어 있다고 하자.

$$\begin{aligned} channel_1(t) &= \sum_{l=1}^L p_{1l} h_{1l} \delta(t-lT) \\ channel_2(t) &= \sum_{l=1}^L p_{2l} h_{2l} \delta(t-lT) \\ & \left(\sum_{l=1}^L p_{1l}^2 = 1, \sum_{l=1}^L p_{2l}^2 = 1 \right) \end{aligned} \quad (9)$$

순환지연값 D 를 가지는 순환지연 다이버시티를 적용하면 시간축의 다중경로 채널은 다음과 같이 만들어진다.

$$\begin{aligned} channel_{CDD}(t) &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{l=1}^L p_{1l} h_{1l} \delta(t-lT) \\ &+ \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{l=D+1}^{D+L} p_{2(l-D)} h_{2(l-D)} \delta(t-lT) \end{aligned} \quad (10)$$

순환지연 다이버시티를 사용하며 단 하나의 부반송파만을 사용하여 전송한다고 할 때 다중 사용자 다이버시티 성능을 최대화하는 순환지연값 D 를 결정하는 문제는 다음과 같이 쓰여 질 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } M_{CDD}^{Frame} \\ & \text{with subject to } M_{CDD}^{Symbol} = M_{Old}^{Symbol} \end{aligned} \quad (11)$$

순환지연 다이버시티 기술을 적용하는 것은 채널의 다중경로만을 변화시키는 것이므로 $M_{CDD}^{Symbol} = M_{Old}^{Symbol}$ 이 성립한다. 따라서 순환지연값 D 는 M_{CDD}^{Frame} 를 최대화시키도록 결정하면 된다. 각 경로의 채널이 독립적이고 $p_{1l} = p_{2l} = p_l$ 이 성립하며 $D < L$ 이라면 프레임 다이버시티 차수는 다음과 같이 쓰여 질 수 있다.

$$\begin{aligned} M_{CDD}^{Frame} &= \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N var\{|H_n|^2\}}{var\left\{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |H_n|^2\right\}} \\ &= \frac{4}{\sum_{l=1}^D p_l^4 + \sum_{l=D+1}^L (p_l^2 + p_{l-D}^2)^2 + \sum_{l=L-D}^L p_l^4} \end{aligned} \quad (12)$$

$D < L$ 인 경우 순환지연값을 증가시킬수록 프레임 다이버시티 차수가 증가한다. $D \geq L$ 인 경우 프레임 다이버시티 차수는 다음과 같이 쓰여 질 수 있다.

$$M_{CDD}^{Frame} = \frac{4}{\sum_{l=1}^L p_{1l}^4 + \sum_{l=1}^L p_{2l}^4} = \frac{2}{\sum_{l=1}^L p_l^4} = 2M_{Old}^{Frame} \quad (13)$$

다중사용자 다이버시티 성능을 극대화하는 D 값은 L 보다 큰 값이며 L 에 대한 정확한 정보가 주어

지지 않았을 경우 큰 값을 선택하여 이용할 수 있다. 스케줄링을 할 때 할당 대역폭이 하나의 부반송파에 해당한다면 순환지연값을 크게 가져가는 것이 좋다. 그러나 일반적으로 할당 대역폭은 다수의 부반송파에 해당하며 순환지연값이 커질 경우 할당 대역폭 내에서 채널이 주파수 선택적이 됨으로 인해 성능 저하가 발생할 수 있다.

III. 순환지연 다이버시티의 지연값 결정

3.1 다수의 부반송파를 이용하여 전송하는 경우

N 의 FFT 크기를 사용하는 OFDM 시스템에서 N 개의 부반송파를 연속한 B_A 개의 부반송파씩 묶어서 N/B_A 개의 블록으로 나누었다고 하자. $k(k=1, \dots, N/B_A)$ 번째 블록의 평균 SNR은 다음과 같이 표현된다.

$$SNR_k = \frac{1}{B_A} \sum_{n=(k-1)B_A+1}^{kB_A} \frac{|H_n|^2}{\sigma^2} \quad (14)$$

데이터를 전송할 때 채널에 대한 정보를 이용하여 N/B_A 개의 블록 중 가장 SNR이 큰 블록을 선택하여 사용한다고 하자. 이때의 SNR은 다음과 같이 표현된다.

$$SNR_{\max} = \max_{1 \leq k \leq N/B_A} \{SNR_k\} \quad (15)$$

다중사용자 다이버시티의 성능은 SNR_k 들의 분산이 크면서 가능한 독립적인 값을 가질 때 커질 확률이 높아진다. B_A 가 1인 아닌 경우의 다중사용자 다이버시티 효과를 최대화하는 문제를 정의하기 위하여 다음과 같이 블록 다이버시티 차수 M^{Block} 및 프레임 다이버시티 차수 M^{Frame} 를 정의해보자.

$$M^{Block} \equiv \frac{\text{var}\{|H^2\}}{\frac{B_A}{N} \sum_{k=1}^{N/B_A} \text{var}\left\{\frac{1}{B_A} \sum_{n=(k-1)B_A+1}^{kB_A} |H_n|^2\right\}} \quad (16)$$

$$M^{Frame} \equiv \frac{\frac{B_A}{N} \sum_{k=1}^{N/B_A} \text{var}\left\{\frac{1}{B_A} \sum_{n=(k-1)B_A+1}^{kB_A} |H_n|^2\right\}}{\text{var}\left\{\frac{B_A}{N} \sum_{k=1}^{N/B_A} \frac{1}{B_A} \sum_{n=(k-1)B_A+1}^{kB_A} |H_n|^2\right\}} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{B_A}{N} \sum_{k=1}^{N/B_A} \text{var}\left\{\frac{1}{B_A} \sum_{n=(k-1)B_A+1}^{kB_A} |H_n|^2\right\}}{\text{var}\left\{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |H_n|^2\right\}} \\ &= \frac{M^{Frame} M^{Symbol}}{M^{Block}} \end{aligned}$$

다중사용자 다이버시티 성능을 최대화하기 위하여 순환지연 다이버시티 기술을 적용하는 문제는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } M_{CDD}^{Frame} \\ &\text{with subject to } M_{CDD}^{Block} = M_{Od}^{Block} \quad (18) \end{aligned}$$

위 식에 의해서 $M_{CDD}^{Block} = M_{Od}^{Block}$ 이어야 하고 $M_{CDD}^{Symbol} = M_{Od}^{Symbol}$ 이므로 식 (18)은 다음과 같이 써진다.

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } M_{CDD}^{Frame} \\ &\text{with subject to } M_{CDD}^{Block} = M_{Od}^{Block} \quad (19) \end{aligned}$$

블록 다이버시티 차수를 유지하기 위해서는 할당 대역폭에서 주파수 다이버시티가 증가하지 않고 주파수 평탄적 페이딩 채널을 유지하여야 하며 따라서 할당 대역폭보다 채널상관 대역폭이 크게 유지되어야 한다. 따라서 식 (19)는 다음과 같이 다시 써질 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } M_{CDD}^{Frame} \\ &\text{with subject to } B_C \geq B_A \quad (20) \end{aligned}$$

만일 채널이 주파수 선택적이어서 $B_C \geq B_A$ 이 이미 성립하지 않는다면 순환지연 다이버시티의 적용은 M_{CDD}^{Block} 을 증가시킴으로써 오히려 다중사용자 다이버시티 이득을 떨어뜨릴 수 있다. 만일 주어진 채널이 $B_C \geq B_A$ 를 만족한다면 적절한 지연값을 적용하여 다중사용자 다이버시티 성능을 향상시킬 수 있다. 프레임 다이버시티 차수 M_{CDD}^{Frame} 를 크게 하기 위해서는 $B_C \geq B_A$ 의 범위 내에서 순환지연값을 최대로 만들어 채널의 독립성을 증대시켜야 한다. 따라서 순환지연값은 다음 식을 만족하도록 설정할 수 있다.

$$B_C = B_A \quad (21)$$

3.2 순환지연 다이버시티를 적용하였을 때의 채널 특성

순환지연 다이버시티를 적용하였을 때 채널상관 대역폭이 어떻게 변화하는지 살펴보자. 순환지연 다이버시티를 적용하기 전의 채널의 시간축 에너지 분포를 $f(t)$ 라고 할 때, 평균과도지연(Mean Excess Delay) μ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\mu = \int t f(t) dt \quad (22)$$

이때의 RMS(Root Mean Square) 지연확산(Delay Spread)은 다음과 같이 정의된다.

$$\tau = \sqrt{\int (t-\mu)^2 f(t) dt} \quad (23)$$

채널 상관 대역폭 B_C 는 적절한 상수 K 를 이용하여 다음과 같이 써진다[11].

$$B_C \approx \frac{1}{K\tau} \quad (24)$$

채널의 시간축 에너지 분포를 $f(t)$ 라고 할 때, 지연값이 D 인 순환지연 다이버시티를 적용하면 채널의 에너지 분포는 다음과 같이 변한다.

$$f_{CDD}(t) = \frac{1}{2}f(t) + \frac{1}{2}f(t-D) \quad (25)$$

이때의 평균과도지연 μ_{CDD} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mu_{CDD} &= \int t f_{CDD}(t) dt = \frac{1}{2} \int t f(t) dt + \frac{1}{2} \int t f(t-D) dt \\ &= \mu + \frac{D}{2} \end{aligned} \quad (26)$$

따라서 순환지연 다이버시티 채널의 RMS 지연 확산은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \tau_{CDD} &= \sqrt{\int (t-\mu_{CDD})^2 f_{CDD}(t) dt} \\ &= \sqrt{\int \left(t - \left(\mu + \frac{D}{2}\right)\right)^2 \frac{1}{2}(f(t) + f(t-D)) dt} \\ &= \sqrt{\int \left(\left(t - \left(\mu + \frac{D}{2}\right)\right)^2 + \left(t - \left(\mu - \frac{D}{2}\right)\right)^2\right) \frac{1}{2} f(t) dt} \\ &= \sqrt{\int \left((t-\mu)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2\right) f(t) dt} \\ &= \sqrt{\tau^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2} \end{aligned} \quad (27)$$

따라서 순환지연 다이버시티를 적용하면 채널 상관 대역폭 B_C 는 다음과 같이 변하게 된다.

$$B_C \approx \frac{1}{K\tau_{CDD}} = \frac{1}{K\sqrt{\tau^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}} \quad (28)$$

3.3 순환지연 다이버시티의 지연값 결정

다중사용자 스케줄링 성능을 증대시키기 위해서 식 (21) 및 식 (28)을 이용하면 다음과 같은 관계식

을 가진다.

$$B_A = B_C \approx \frac{1}{K\sqrt{\tau^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}} \quad (29)$$

따라서 최적의 지연값 D 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D = 2\sqrt{\frac{1}{K^2 B_A^2} - \tau^2} \quad (30)$$

IV. 실험 및 토의

4.1 실험 환경

실험에서는 순환지연 다이버시티의 지연값에 따른 채널용량을 비교하였다. 실험을 위한 시스템 변수는 표 1과 같고 각 실험은 표 2의 실험 변수와 같이 시스템의 사용자의 수, 할당 대역폭의 크기, 지연확산의 크기를 다르게 하며 실험하였다. 실험은 각 할당 대역마다 사용자들의 채널용량을 구하여 가장 큰 채널용량을 가지는 사용자를 스케줄링 하였다. 하나의 OFDMA 심벌 내에서는 한 사용자는 최대 한번만 스케줄링 되도록 하였다. 실험을 통해 채널 용량을 가장 크게 하는 순환지연값을 확인하여 식 (30)를 통해 얻은 순환지연값과 비교하였으며 식 (30)에서 K 는 0.008을 사용하였다.

표 1. 시스템 변수

Parameter	Value
FFT Size	1024
Max Delay Spread	64 OFDM sample
SNR	10dB

표 2. 실험 변수

	Simulation1	Simulation2	Simulation3	Simulation4
Allocation Bandwidth (subcarriers)	256, 128, 64, 32	256, 128, 64, 32	256	64
Number of Allocation Band	4, 8, 16, 32	4, 8, 16, 32	4	16
Number of Users	4, 8, 16, 32	2, 4, 8, 16	4	16
Channel	exponential =0.2353	exponential =1.4142	exponential (variable)	exponential (variable)
Cyclic Delay	0, 1, ...,10	0, 1, ...,10	0, 1, ...,10	0, 1, ...,10

4.2 실험 결과

그림 1 및 표 3은 주파수축에서 비교적 평탄한 채널에서 할당 대역폭의 크기를 변화시키면서 채널 용량의 변화를 살펴본 것이다. 이 실험에서는 한 OFDMA 심볼에서 할당할 수 있는 대역의 수와 사용자의 수가 같도록 설정하였다. 실험결과에서 할당 대역폭의 크기가 작아질수록 (사용자의 수가 커질수록) 순환지연 다이버시티의 지연값을 크게 하여 채널을 주파수 선택적으로 만드는 것이 유리한 것을 알 수 있다. 주어진 채널에서 할당 대역폭에 따라 다른 주파수 선택적 특성을 요구하며 최적의 지연값은 할당 대역폭에 의해서 결정된다.

그림 2 및 표 4는 주파수 선택적 특성을 가지는 채널에서 할당 대역폭의 크기를 다르게 하였을 때 순환지연 다이버시티 지연값에 따른 채널용량의 변화를 본 것이다. 그림 2를 그림 1과 비교하면 채널의 지연 확산이 큰 환경을 가정하였기 때문에 순환지연을 사용하지 않을 때($D=0$)와 순환지연을 사용할 때의 용량 차이가 크지 않은 것을 확인 할 수 있다. 그러나 그림 1과 마찬가지로 할당 대역폭이 작을 때는 큰 지연값을, 할당 대역폭이 클 때에는 작은 지연값을 필요로 하는 것을 볼 수 있다.

그림 3 및 표 5, 그림 4 및 표 6은 할당 대역폭이 큰 경우($B_{Allocation}=256$)와 그림 4 및 표 6은 할

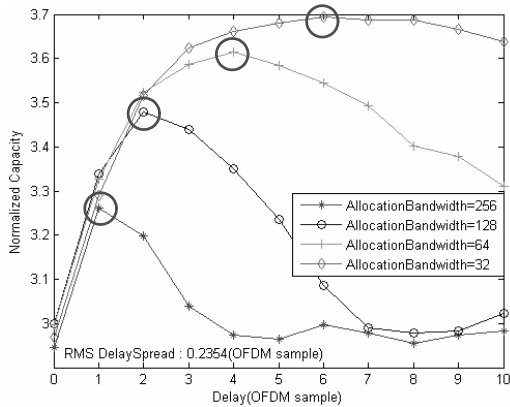


그림 1. 할당 대역폭 크기에 따른 채널 용량

표 3. 할당 대역폭 크기에 따른 최적의 지연값

Allocation Bandwidth	256	128	64	32
Number of Users	4	8	16	32
Optimal delay(Simulation)	1	2	4	6
Optimal delay(Equation)	1	2	4	8

당 대역폭이 작은 경우($B_{Allocation}=64$)에 대해서 고정된 할당 대역폭의 크기에서 채널의 지연확산 크기를 변화시키며 채널 용량을 확인하는 실험의 결과이다. 할당 대역폭이 큰 경우 주파수축의 변화가 많이 필요하지 않으므로 지연값을 크게 가져갈 필요가 없으며 할당 대역폭이 작은 경우 상대적으로 큰 지연값이 필요하다. 채널의 지연확산이 작은 경우 지연값을 증가시키는 것이 채널의 변화를 크게 하여 커다란 도움을 주지만 채널의 지연확산이 큰 경우에는 지연값을 증가시키는 것이 별 도움이 되

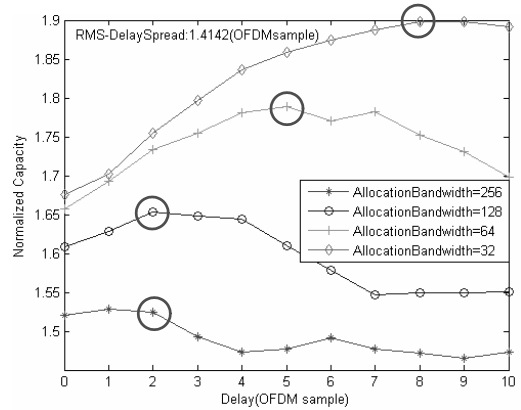


그림 2. 할당 대역폭 크기에 따른 채널 용량

표 4. 할당 대역폭 크기에 따른 최적의 지연값

Allocation Bandwidth	256	128	64	32
Number of Users	2	4	8	16
Optimal delay(Simulation)	1	2	5	8
Optimal delay(Equation)	0	0	3	7

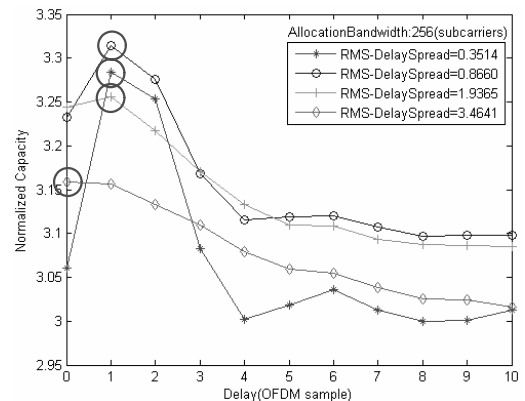


그림 3. 지연확산 크기에 따른 채널 용량

표 5. 지연확산 크기에 따른 최적의 지연값

RMS delay spread	0.3514	0.866	1.9365	3.4641
Optimal delay (Simulation)	1	1	1	0
Optimal delay (Equation)	1	0	0	0

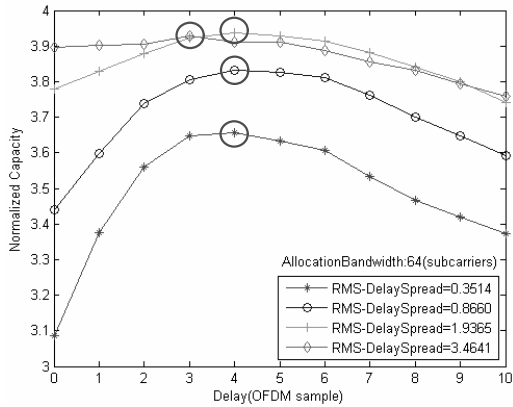


그림 4. 지연확산 크기에 따른 채널 용량

표 6. 지연확산 크기에 따른 최적의 지연값

RMS delay spread	0.3514	0.866	1.9365	3.4641
Optimal delay(Simulation)	4	4	4	3
Optimal delay(Equation)	4	4	1	0

지 않는다.

모든 실험 결과에서 식 (30)에 의해서 계산된 지연값과 실험에서 얻은 최적의 지연값은 큰 차이를 보이지 않으며 특히 식 (30)에 의해서 계산된 지연값을 적용하였을 때의 채널용량은 최적의 지연값을 적용하였을 때의 채널용량과 커다란 차이를 가지지 않음을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 다중사용자 스케줄링에 적합한 채널 상태를 만들어내기 위해서 순환지연 다이버시티의 지연값을 결정하는 방법을 소개하였다. 자원관리 계층에서 사용하는 할당 대역폭이 작고 채널의 지연확산이 작으면 주파수 선택적 채널을 만들기 위하여 비교적 큰 지연값이 필요하며 반대로 할당 대역폭이 크고 지연확산이 크면 작은 크기의 지연값을 할당해야 하거나 혹은 순환지연 다이버시티를 적용하지 않는 것이 유리하다. 따라서 순환지연 다이버시티를 적용할 때에는 순환지연 다이버시티가 필요한 것인지 그리고 필요하다면 어떠한 지연값을

선택해야 하는지 먼저 확인을 하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 스케줄링을 위해서 단순화된 모델을 사용하였으며 실험에서도 변조 및 부호화 방법의 선택에 대한 영향을 고려하지 않기 위하여 채널 용량을 측정하는 것으로 단순화시켰다. 또한 다중사용자 스케줄링의 성능을 향상시키기 위하여 사용될 수 있는 다른 형태의 다중안테나 기술인 시공간 부호화의 적용도 고려하지 않았다. 향후 좀 더 실제적이고 다양한 기술이 고려되었을 때의 최적화 방안이 연구되어야 할 것이며 또한 스케줄링 방법 및 채널 환경에 대한 영향에 대한 연구도 더 이루어져야 할 것이다.

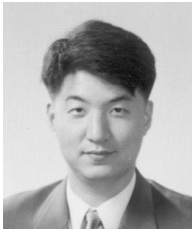
참 고 문 헌

- [1] H. Liu, G. Li, OFDM-Based Broadband Wireless Networks, John Wiley & Sons Inc. 2005.
- [2] IEEE P802.16e/D12: Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems: Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, October 2005.
- [3] IEEE802.20: QFDD and QTDD: Proposed Draft Air Interface Specification, Qualcomm, October 2005.
- [4] 3GPP TR 25.814: Technical Specification Group Radio Access Network; Physical Layer Aspects for Evolved UTRA, February 2006.
- [5] G. Bauch, J.S. Malik, "Orthogonal Frequency Division Multiple Access with Cyclic Delay Diversity," Smart Antennas, 2004. ITG Workshop, pp.17-24, March 2004
- [6] G. Bauch, and J. S. Malik, "Cyclic delay diversity with bit-interleaved coded modulation in orthogonal frequency division multiple access," IEEE Trans. Wireless Communications, vol.5, no.8, pp.2092-2100, Aug. 2006.
- [7] A. Huebner, F. Schuehlein, M. Bossert, E. Costa, H. Haas, "A Simple Space-Frequency Coding Scheme with Cyclic Delay Diversity for OFDM," Personal Mobile Communications Conference, 2003. 5th European, pp.106-110, April 2003.
- [8] R1-051046, Samsung, Further Details on Adaptive Cyclic Delay Diversity Scheme, San Diego,

USA, October 2005.

- [9] R1-050888, Samsung, Enhanced Frequency Diversity and Scheduling Performance in Evolved UTRA, London, UK, August-September 2005.
- [10] R1-061192, NTT DoCoMo, Channel Dependent Scheduling with Cyclic Delay Diversity, Shanghai, China, May 2006.
- [11] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications Principles and Practice, p.197-203, Prentice Hall, 2002.

임 민 중 (Min-Joong Rim) 정회원



1987년 서울대학교 전자공학과 학사
 1993년 University of Wisconsin-Madison, Electrical and Computer Engineering 박사
 1993년~2000년 삼성전자 선임연구원

2000년~현재 동국대학교 정보통신공학과 부교수
 <관심분야> 이동통신, 무선통신, 통신 VLSI, 통신 소프트웨어

허 성 호 (Seong-Ho Hur) 정회원



1996년 2월 서울대학교 전기 공학부 졸업
 1998년 2월 서울대학교 전기 공학부 석사
 1998년 3월~2006년 7월 삼성전자 통신연구소 재직
 2006년 7월~현재 UCSD ECE 박사과정 재학

<관심분야> 이동통신, 통신공학.

송 현 주 (Hyun-joo Song) 정회원



2006년 2월 동국대학교 정보통신공학과 학사
 2008년 2월 동국대학교 정보통신공학과 석사
 2008년 2월~현재 (주)에이로직스 기반기술연구소 연구원
 <관심분야> 이동통신, 무선통신

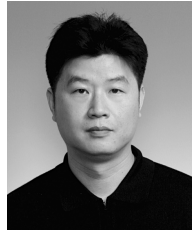
임 대 운 (Dae-Woon Lim) 정회원



1994년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
 1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 2006년 8월 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 박사
 1995년 9월~2002년 8월 LS 산전

(주) 중앙연구소 선임 연구원
 2006년 9월~현재 동국대학교 정보통신공학과 조교수
 <관심분야> OFDM, 부호 이론, 시공간 부호

정 병 장 (Byung-Jang Jeong) 정회원



1988년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
 1992년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
 1994년 5월~2003년 5월 삼성중

합기술원 전문연구원
 2003년 6월~현재 ETRI 이동통신연구단 선임연구원
 <관심분야> 통신신호처리, 무선통신, MIMO

노 태 균 (Taegyun Noh) 정회원



2003년 2월 고려대학교 전기전자전파공학부 학사
 2005년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 2005년 2월~현재 ETRI 이동통신연구단 연구원

<관심분야> 무선통신, 통신신호처리