

# 간단한 채널 주기성 복원이 포함된 다중 중계기 기반의 주파수 효율적인 OFDMA 전송 시스템

## (Multiple-Relay-Assisted Spectral Efficient OFDMA Transmission System with Simple Channel Cyclicity Restoration)

원 희 철<sup>1)\*</sup>

(Hui-Chul Won)

**요 약** 본 논문에서는 음영 지역을 위한 다중 중계기 기반의 주파수 효율적인 OFDMA(orthogonal frequency division multiple access) 전송 시스템을 제안한다. 본 논문에서는 다중 중계기를 통해 확보된 다중 경로에 주파수 공간 블록 부호를 적용하여 음영 지역의 시스템 성능을 향상시킨다. 또한, 주기적 프리픽스 부족으로 인해 발생하는 채널 주기성 손실을 복원하는 과정이 포함된 주기적 프리픽스를 사용하지 않는 OFDMA 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안된 주기적 프리픽스를 사용하지 않는 OFDMA 시스템의 성능이 충분한 주기적 프리픽스를 사용하는 기존 OFDMA 시스템의 성능과 거의 동일하여, 기존 시스템 대비 주파수 효율이 향상되는 것을 실험을 통해서 확인할 수 있다.

**핵심주제어** : OFDMA, 중계기, 주파수 공간 블록 부호, 주기적 프리픽스, 채널 주기성

**Abstract** In this paper, we propose a spectral efficient orthogonal frequency division multiple access(OFDMA) transmission system using multiple relays for a shadow area. The performance of the proposed OFDMA system in a shadow area can be improved by applying space-frequency(SF) block code over relaying multi-path channels. A simple channel cyclicity restoration method is also added in the proposed OFDMA system without cyclic prefix(CP) to recover the destruction of channel cyclicity due to the lack of CP. Simulation results show that the proposed OFDMA system without CP is almost same as that of the conventional OFDMA system with sufficient CP, which increases the spectral efficiency of the system.

**Key Words** : OFDMA, Relay, SFBC, Cyclic Prefix, Channel Cyclicity

### 1. 서 론

OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 다중 반송파 전송 방식은 다중 경로 페이딩 환경에서 우수한 성능을 갖고 송수신 구조가 간단하여 디지털 오디오 방송(DAB, digital audio broadcasting), 디지털 영상 방송(DVB-T, digital video broadcasting-terrestrial), 광대역 무선 랜

\* Corresponding Author : hwon@daegu.ac.kr

† 이 논문은 2015년 대구대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.  
Manuscript received November 28, 2015 / accepted December 27, 2015

1) 대구대학교 컴퓨터IT공학부

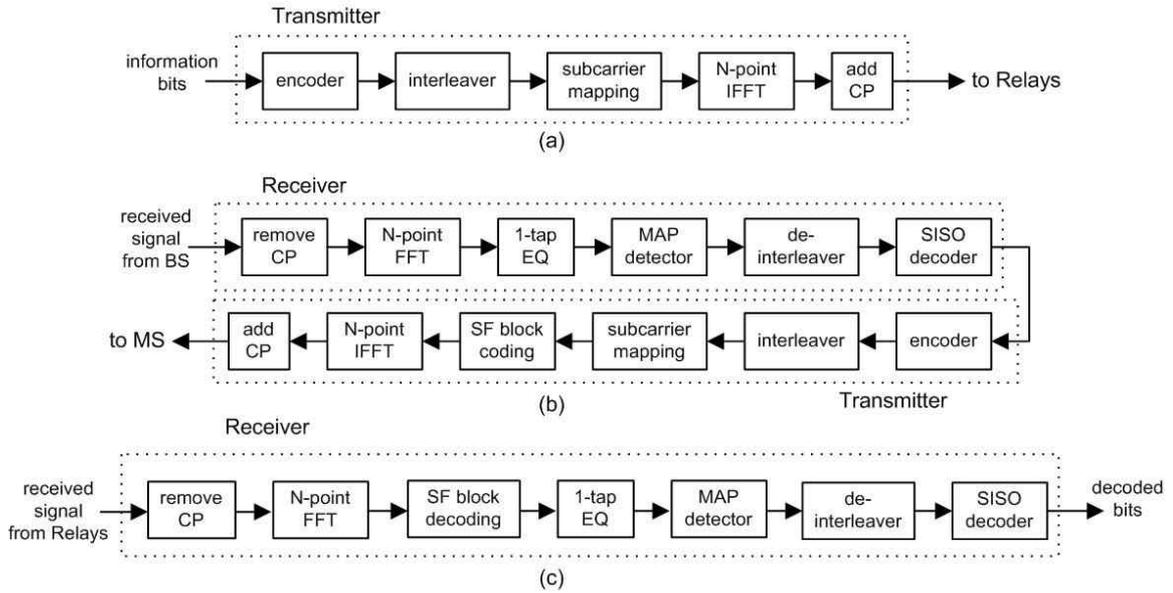


Fig. 1 Overall structure of OFDMA system with cyclic prefix (a) transmitter of base station (BS) (b) receiver and transmitter of relays (c) receiver of mobile station (MS)

(WLAN, wireless local area network), 모바일 와이맥스(WiMAX, worldwide interoperability for microwave access)의 기본 구조로 채택되었고, SC-FDE(single carrier-frequency domain equalization) 방식과 함께 차세대 광대역 이동통신 시스템의 상하향 기본 구조로 널리 연구되고 있다[1-7]. OFDMA(orthogonal frequency division multiple access) 전송 시스템은 OFDM 다중 반송파 통신 방식을 기본 구조로 사용하여 전체 부채널을 다수의 사용자에게 배분하여 동시 접속하는 다중 사용자 접속 시스템이다[5-10].

OFDMA 전송 시스템에서는 페이딩 채널에서의 성능을 향상시키기 위하여 다중 송신 안테나를 이용한 송신 안테나 다이버시티 기술을 사용할 수 있다. 시공간 블록 부호(STBC, space-time block code)와 주파수 공간 블록 부호(SFBC, space-frequency block code)는 이론적으로 동일한 성능을 갖는 대표적인 송신 안테나 다이버시티 기법이다[11-14]. 최근에는, 모바일 단말기의 작은 크기로 인해 송신 안테나 간 일정 거리를 확보하기 어렵다는 점을 고려하여 송신 안테나를 중계기로 대체하는 방법이 제안되었다[15-19]. 특히, [19]의 경우, 수신국이 셀 커버리

지 밖이나 음영 지역에 존재하는 경우를 고려하여 다중 중계기 간에 주파수 공간 블록 부호를 적용한 OFDMA 전송 시스템을 제안하였다.

OFDM 전송 방식과 SC-FDE 전송 방식, 그리고 OFDMA 전송 시스템은 매 심볼마다 채널 충격 응답(CIR, channel impulse response) 길이보다 긴 주기적 프리픽스(CP, cyclic prefix)를 삽입함으로써 채널의 지연 확산에 의해 발생하는 심볼 간 간섭 신호(ISI, inter-symbol interference)를 방지할 수 있고, 심볼 내 채널 주기성을 유지하여 부채널 간 간섭 신호(ICI, inter-carrier interference)를 차단할 수 있다. 한편, 주기적 프리픽스 삽입은 전송 시스템의 주파수 효율을 심각하게 감소시키기 때문에 주기적 프리픽스 삽입에 따른 주파수 효율 감소를 방지하기 위한 기법들이 OFDM 및 SC-FDE 방식을 대상으로 제안되었다[20-24]. 먼저, OFDM 전송 방식의 주파수 효율 증대를 위해 반복적인 잔재 간섭 신호 제거 기법이 제안되었고[20-22], 단일 중계기를 활용한 SC-FDE 전송 방식 및 다중 중계기를 활용한 SC-FDMA(frequency division multiple access) 전송 시스템에서 주파수 효율 증대를 위한 채널 주기성 복원 기법이 제안되었다[23-24]. 본 논문

에서는 OFDMA 전송 시스템에 채널 주기성 복원 기법을 적용하여 주기적 프리픽스를 사용하지 않고도 시스템 성능을 유지하고자 한다. 이때, OFDMA 전송 시스템은 [19]와 같이, 수신국이 셀 커버리지 밖이나 음영 지역에 존재하는 경우를 고려하여 다중 중계기를 기반으로 주파수 공간 블록 부호를 적용한다.

본 논문의 구성을 살펴보면, 2장에서는 다중 중계기 기반의 OFDMA 시스템에서의 주기적 프리픽스 삽입 효과에 대하여 설명한다. 3장에서는 주파수 효율 증대를 위해 주기적 프리픽스를 사용하지 않는 다중 중계기 기반의 OFDMA 송신기 구조에 대하여 제안한다. 4장에서 시뮬레이션을 통해 성능을 검증한 후, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 다중 중계기 기반의 OFDMA 시스템에서의 주기적 프리픽스 삽입 효과

‘Fig. 1’은 다중 중계기를 활용한 주파수 공간 블록 부호화 OFDMA 전송 시스템의 기본 구조이다[19]. OFDMA 시스템 기반의 기지국(BS, base station) 송신기에서는 ‘Fig. 1(a)’와 같이, 전송 데이터를 부호기와 인터리버를 거쳐 부채널 맵핑한 후  $N$ 점 역 푸리에 변환(IFFT, inverse fast Fourier transform)을 통해 송신 안테나를 통해 전송한다. 이때, 심볼 간 간섭 신호와 부채널 간 간섭 신호를 방지하기 위하여 주기적 프리픽스 샘플을 삽입한다. OFDMA 시스템 기반의 중계기 수신기에서는 ‘Fig. 1(b)’와 같이, 신호를 수신하여 주기적 프리픽스 샘플을 제거한 후,  $N$ 점 푸리에 변환하고 1-탭 등화기와 MAP(maximum a posteriori) 디텍터를 수행한다. MAP 디텍터로부터 계산된 신호 비트의 LLR(log-likelihood ratio) 값을 디인터리버와 SISO(soft input soft output) 디코더에 입력하여 기지국이 전송한 원 신호를 복원하게 된다. 복원된 신호는 단말기(MS, mobile station)로의 전송을 위해 중계기 송신기로 전달된다. 중계기 송신기에서는 복원 신호를 받아 부호화, 인터리빙, 부채널 맵핑,  $N$ 점 역 푸리에 변환기 등 기지국 송신기와 동일한

과정을 수행하되, 수신 성능 개선을 고려하여 주파수 공간 블록 부호화(SF block coding) 과정이 포함된다. 단말기 수신국에서는 ‘Fig. 1(c)’와 같이, 중계기 수신기와 동일한 과정을 수행하되, 주파수 공간 블록 부호에 대한 디코딩 과정을 통해 송신 다이버시티 이득을 획득하여 수신 성능이 향상된 사용자 원 신호를 복원하게 된다.

### 2.1 각 중계기 수신기(기지국과의 단일 경로)에서의 주기적 프리픽스 효과

기지국 송신기에서는 ‘Fig. 1(a)’의  $N$ 점 역 푸리에 변환기를 통해  $i$ 번째 전송 샘플 시퀀스  $\{x_k^i\}_{k=0}^{N-1}$  을 생성한 후, 길이  $G$ 의 주기적 프리픽스 샘플을 삽입하여 길이  $N+G$ 의  $i$ 번째 OFDMA 전송 심볼을 최종 생성한다. 최종 생성된  $i$ 번째 OFDMA 전송 심볼은 송신 안테나를

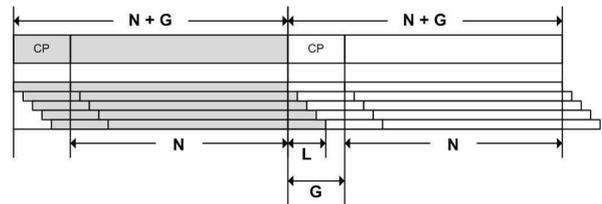


Fig. 2 No inter-symbol interference occurs when  $G \geq L$

통해 전송되어  $L$  차수를 갖는 무선 채널  $\{h_l\}_{l=0}^L$  을 통과한 후 각 중계기의 수신 안테나로 수신된다. ‘Fig. 1(b)’의 중계기 수신기로 수신되는  $i$ 번째 수신 심볼  $\{r_k^i\}_{k=-G}^{N-1}$  은 아래와 같다.

$$r_k^i = \sum_{l=0}^L h_l x_{(k-l)_N}^i + n_k^i \quad L-G \leq k < N \quad (1)$$

$$r_k^i = \sum_{l=0}^{G+k} h_l x_{(k-l)_N}^i + \sum_{l=G+k+1}^L h_l x_{(k-l+G)_N}^i + n_k^i \quad -G \leq k < L-G$$

이 때,  $(k)_N$ 은  $k$ 를  $N$ 으로 나눈 나머지 값을 의미하고  $n_k^i$ 는 백색 잡음이다. 중계기 수신기에서는 수신 심볼  $\{r_k^i\}_{k=-G}^{N-1}$  로부터 주기적 프리픽스

스 샘플 길이( $G$ )만큼의 앞 부분 샘플을 제거하는 과정을 거쳐 길이  $N$ 의 수신 샘플 시퀀스  $\{r_k^i\}_{k=0}^{N-1}$ 을 얻는다. 식 (1)을 통해 알 수 있듯이, 주기적 프리픽스 샘플 길이가 무선 채널 길이보다 길면, 즉,  $G \geq L$ 이면 심볼 간 간섭 신호가 존재하지 않는 깨끗한 수신 샘플  $\{r_k^i\}_{k=0}^{N-1}$ 을 확보할 수 있지만, 주기적 프리픽스 샘플 길이가 무선 채널 길이보다 짧으면, 즉  $G < L$ 이면 수신기가 받아들이는 뒷 부분  $N$ 개 샘플 중 처음  $(L - G)$ 개 샘플에는 직전  $(i - 1)$ 번째 전송 샘플 시퀀스  $\{x_k^{i-1}\}_{k=0}^{N-1}$ 에 의한 심볼 간 간섭 신호가 섞이게 되어 수신 성능이 저하된다. 'Fig. 2'는 주기적 프리픽스 샘플 길이가 충분히 길면 중계기 수신기가 받아들이는 뒷 부분  $N$ 개 샘플에는 심볼 간 간섭 신호가 존재하지 않음을 보여주고 있다.

## 2.2 단말기 수신기(중계기들과의 다중 경로)에서의 주기적 프리픽스 효과

각 중계기 송신기에서는 'Fig. 1(b)'와 같이 중계기 수신기로부터 복원된 원 신호를 전달받아 주파수 공간 블록 부호를 적용하여  $i$ 번째 전송 샘플 시퀀스  $\{x_k^{p,i}\}_{k=0}^{N-1}$ 을 생성한 후, 길이  $G$ 의 주기적 프리픽스 샘플을 삽입하여 송신 안테나를 통해 전송한다. 이 때,  $p$ 는 중계기 번호를 의미한다.  $p$ 번째 중계기와 단말기 수신기 간의  $L$  차수를 갖는 무선 채널  $\{h_l^p\}_{l=0}^L$ 을 통과한 후 단말기 수신기로 수신되는  $i$ 번째 수신 심볼  $\{r_k^i\}_{k=-G}^{N-1}$ 은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 r_k^i &= \sum_{l=0}^L (h_l^1 x_{(k-l)_N}^{1,i} + h_l^2 x_{(k-l)_N}^{2,i}) \\
 &+ n_k^i \quad L - G \leq k < N \\
 r_k^i &= \sum_{l=0}^{G+k} (h_l^1 x_{(k-l)_N}^{1,i} + h_l^2 x_{(k-l)_N}^{2,i}) \\
 &+ \sum_{l=G+k+1}^L (h_l^1 x_{(k-l+G)_N}^{1,i-1} + h_l^2 x_{(k-l+G)_N}^{2,i-1}) \\
 &+ n_k^i \quad -G \leq k < L - G
 \end{aligned} \quad (2)$$

단말기 수신기에서는 'Fig. 1(c)'의 주기적 프리픽스 제거 과정을 통해 수신 심볼  $\{r_k^i\}_{k=-G}^{N-1}$ 로부터 주기적 프리픽스 샘플 길이만큼의 앞 부분 샘플이 제거된 길이  $N$ 의 수신 샘플 시퀀스  $\{r_k^i\}_{k=0}^{N-1}$ 을 얻는다. 전송된 주기적 프리픽스 샘플 길이가 무선 채널 길이보다 길면 심볼 간 간섭 신호가 존재하지 않는 깨끗한 수신 샘플  $\{r_k^i\}_{k=0}^{N-1}$ 을 확보할 수 있지만, 주기적 프리픽스 샘플 길이가 무선 채널 길이보다 짧으면 각 중계기가 직전  $(i - 1)$ 번째 전송한 샘플 시퀀스  $\{x_k^{p,i-1}\}_{k=0}^{N-1}$ 에 의해 심볼 간 간섭 신호가 섞이게 됨을 식 (2)을 통해 확인할 수 있다.

## 3. 주기적 프리픽스를 사용하지 않는 다중 중계기 기반의 주파수 효율적인 OFDMA 시스템

2장에서 살펴본 바와 같이, 충분한 길이의 주기적 프리픽스 샘플 삽입은 심볼 간 간섭 신호를 방지하여 수신 성능 저하를 방지할 수 있지만, 샘플 시퀀스 길이  $N$ 과 비교하여 주기적 프리픽스 샘플 길이  $G$ 가 크면 클수록 주파수 전송 효율이 감소한다. 시스템 수신 성능과 주파수 전송 효율을 모두 고려할 경우 주기적 프리픽스를 삽입하지 않고 그로 인해 발생하는 간섭 신호가 섞인

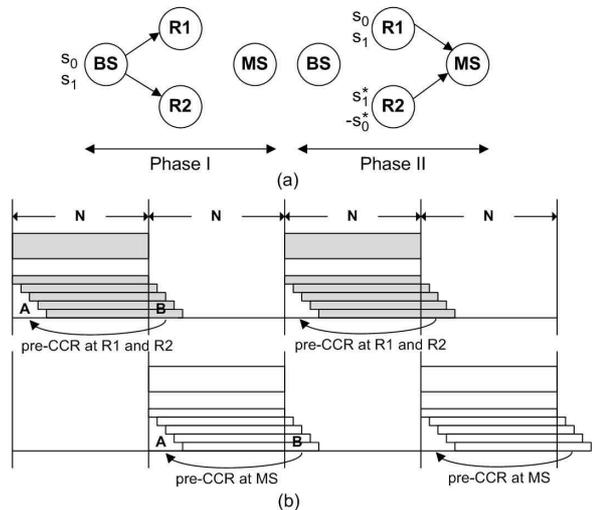


Fig. 3 (a) Relaying protocol (b) pre-CCR method

샘플을 깨끗하게 복원하는 과정이 필요하다. 간섭 신호가 섞인 샘플들을 복원하기 위하여 TC(tail cancellation) 과정과 CCR (channel cyclicity restoration) 과정으로 구성된 간섭 신호 제거 기법이 제안되었다[20-21]. 각 중계기 수신기에서 기지국 송신기와 동일 경로를 고려하여 두 과정을 식 (1)에 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{r}_k^i &= r_k^i \\ &- \sum_{l=G+k+1}^L h_l x_{(k-l+G)_N}^{i-1} \\ &+ \sum_{l=G+k+1}^L h_l x_{(k-l)_N}^i, \quad 0 \leq k < L-G \end{aligned} \quad (3)$$

첫 번째 TC 과정은 수신 샘플로부터 심볼 간 간섭 신호를 제거하는 과정으로, 식 (3)에서 두 번째 요소를 빼는 부분이다. 실제 구현 시에는 직전  $(i-1)$ 번째 심볼 구간에서 이미 검출된 샘플 시퀀스  $\{\hat{x}_k^{i-1}\}_{k=0}^{N-1}$ 을 사용하여 TC 과정을 수행한다. 두 번째 CCR 과정은 심볼 간 간섭 신호가 제거된 후 원 신호를 채워 넣어 채널 주기성을 복원하는 과정으로, 식 (3)에서 세 번째 요소를 더하는 부분이다. 실제 구현 시에는 현재  $(i$ 번째

심볼 구간의 샘플 시퀀스  $\{x_k^i\}_{k=0}^{N-1}$ 은 검출되지 않은 상태이기 때문에 최초에는 CCR 과정 없이  $\{x_k^i\}_{k=0}^{N-1}$ 에 대한 검출 과정을 먼저 수행하고, 이후 검출된 샘플 시퀀스  $\{\hat{x}_k^i\}_{k=0}^{N-1}$ 을 이용하여 CCR 과정을 수행한 후  $\{x_k^i\}_{k=0}^{N-1}$ 에 대한 검출 과정을 재수행하는 과정이 통합 반복되어야 한다. 또한, 단말기 수신기에서 다중 중계기 송신기들과의 다중 경로를 고려하여 식 (2)에 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{r}_k^i &= r_k^i \\ &- \sum_{l=G+k+1}^L (h_l^1 x_{(k-l+G)_N}^{1,i-1} + h_l^2 x_{(k-l+G)_N}^{2,i-1}) \\ &+ \sum_{l=G+k+1}^L (h_l^1 x_{(k-l)_N}^{1,i} + h_l^2 x_{(k-l)_N}^{2,i}) \\ &0 \leq k < L-G \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)과 마찬가지로, 식 (4)에서 두 번째 요소를 빼는 부분이 TC 과정으로, 실제 구현 시에는 직전  $(i-1)$ 번째 심볼 구간에서 이미 검출된 각 중계기의 샘플 시퀀스  $\{\hat{x}_k^{1,i-1}\}_{k=0}^{N-1}$ 과  $\{\hat{x}_k^{2,i-1}\}_{k=0}^{N-1}$ 을

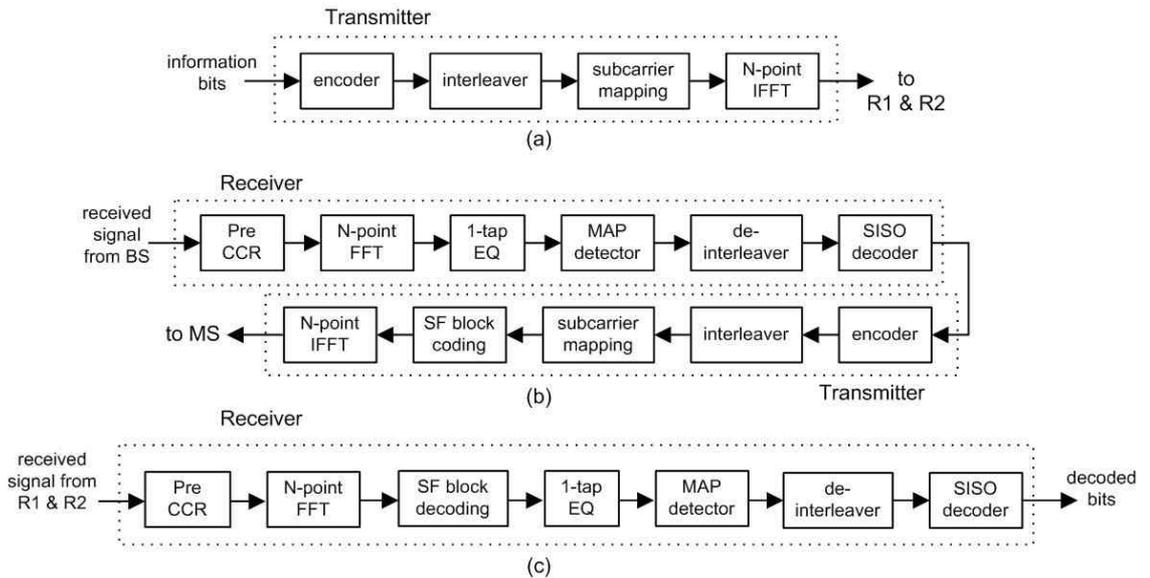


Fig. 4 Proposed OFDMA system without cyclic prefix (a) transmitter of base station (BS) (b) receiver and transmitter of relays (c) receiver of mobile station (MS)

사용한다. 두 번째 CCR 과정은 식 (4)에서 세 번째 요소를 더하는 부분이다. 실제 구현 시에는 최초에 CCR 과정 없이 주파수 공간 블록 부호 복호 과정을 적용하여  $\{\hat{x}_k^{1,i}\}_{k=0}^{N-1}$  과  $\{\hat{x}_k^{2,i}\}_{k=0}^{N-1}$  을 먼저 검출하고, 이후 검출된 샘플 시퀀스를 이용하여 CCR 과정을 수행한 후 주파수 공간 블록 부호 복호 과정이 적용된  $\{\hat{x}_k^{1,i}\}_{k=0}^{N-1}$  과  $\{\hat{x}_k^{2,i}\}_{k=0}^{N-1}$  에 대한 검출 과정을 재수행하는 과정이 통합 반복되어야 한다.

한편, 'Fig. 3(a)'의 다중 중계기 전송 프로토콜을 살펴보면, 홀수 번째 전송 구간에서는 기지국이 독립적으로 다중 중계기로 전송하고 짝수 번째 전송 구간에서는 주파수 공간 블록 부호를 적용하여 다중 중계기들이 독립적으로 단말기에게 신호를 전송한다. 2-슬롯 기반으로 전송 구간을 번갈아 사용하기 때문에 'Fig. 3(b)'와 같이, 주기적 프리픽스를 삽입하지 않아도 각 중계기 수신 신호(그림 내 짙은 신호)와 단말기 수신 신호(그림 내 옅은 신호)에는 심볼 간 간섭 신호가 섞이지 않는 특징을 발견할 수 있다. 또한, 'Fig. 3(b)'에서 B 부분의 수신 샘플을 이용하여 A 부분을 채울 수 있어 채널 주기성을 쉽게 복원할 수 있다. 이 과정을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\bar{r}_k^i = r_k^i + r_{N+k}^i, \quad 0 \leq k < G \quad (5)$$

식 (5)는 단일 경로를 갖는 각 중계기 수신기와 다중 경로를 갖는 단말기 수신기에서 동일하게 적용할 수 있다. 식 (3)과 식 (4)를 식 (5)와 비교해 보면, 식 (3)과 식 (4)에서는 직전 ( $i-1$ ) 번째 전송 샘플 시퀀스 검출 신호와 추정 채널을 이용하여 복잡한 곱셈 연산의 TC 과정을 수행하지만 식 (5)에서는 TC 과정이 필요하지 않기 때문에 별도로 수행하지 않는다. 또한, 식 (3)과 식 (4)에서는  $i$  번째 전송 샘플 시퀀스의 검출 과정과 복잡한 CCR 과정이 수차례 반복 수행되어야 하지만, 식 (5)에서는 전송 샘플 시퀀스 검출 과정이 필요하지 않고 수신 샘플 간의 간단한 덧셈을 통해 CCR 과정을 간단히 수행할 수 있다. 본 논문에서는 수신기 앞단에서 수신 샘플을 이용하여 CCR 과정이 수행되기 때문에 pre-CCR 방법

이라고 한다.

'Fig. 4'는 본 논문에서 제안하는 다중 중계기 기반의 주파수 효율적인 OFDMA 전송 시스템 구조이다. 제안된 시스템에서는 주파수 효율 증대를 위하여 주기적 프리픽스 샘플을 사용하지 않기 때문에 'Fig. 1'과 달리, 기지국 송신기와

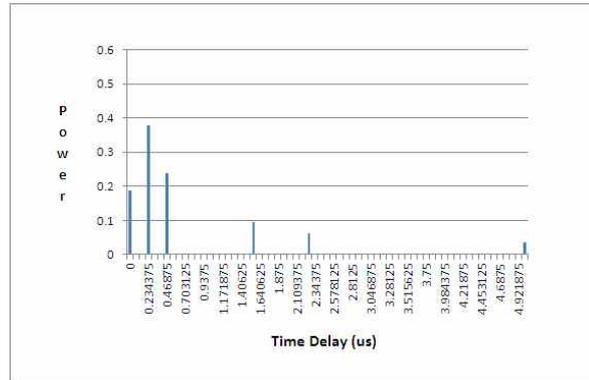


Fig. 5 6-tap typical urban channel (CH1)

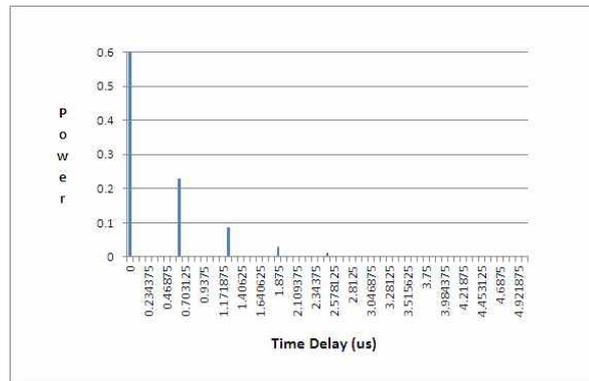


Fig. 6 Exponentially power-decaying 8-path Rayleigh fading channel (CH2)

중계기 송신기 구조에 주기적 프리픽스 삽입 블록이 없고 중계기 수신기와 단말기 수신기 구조에 주기적 프리픽스 제거 블록이 없다. 또한, 주기적 프리픽스를 사용하지 않음에 따라 발생하는 성능 저하를 간단한 덧셈 연산을 통해 방지하기 위하여 중계기 수신기와 단말기 수신기 맨 앞에 pre-CCR 수행 블록이 포함되어 있다.

#### 4. 실험 결과

성능 비교 실험을 위해 'Fig. 1'과 'Fig. 4'에 기술된 다중 중계기 기반의 OFDMA 시스템 전체 구조에 대한 floating-point 시뮬레이터를 구축하였다. Microsoft Visual Studio 2010 프로그램을 통해 C언어로 작성되었고 다중 중계기 개수는 2개로, 전체 부채널 개수( $N$ )은 256개로, 정규화된 도플러 주파수( $fdTs$ )는 0.001로 각각 설정하였다. 1개 프레임은 10개의 데이터 심볼 구간으로 구성하고, 심볼 구간 내 각 부채널은 QPSK(quadrature phase shift keying) 방식으로 변조하였으며, 1/2 비율의 길쌈 부호(제한 길이  $K=7$ )과  $S$ -랜덤 인터리버( $S=5$ )를 채택하였다.

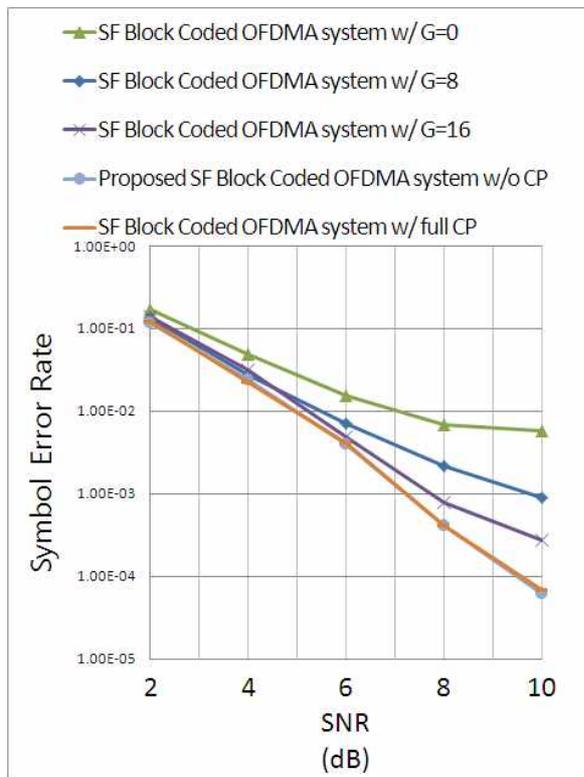


Fig. 7 Symbol error rate performance of the proposed OFDMA system without cyclic prefix over CH1 channel

채널 추정은 완벽하다고 가정하였고, 최대 지연 시간  $5\mu s$ 를 갖는 두 개의 무선 채널 모형(임펄스 응답 6개로 구성된 6-탭 TU(typical urban) 채널 모형(CH1), 임펄스 응답 8개가 지수적으로 파위가 감소하는 레일레이 페이딩 채널 모형

(CH2))를 사용하였다[25]. 'Fig. 5'와 'Fig. 6'은 실험에서 사용한 두 채널 모형(CH1, CH2)를 각각 보여주고 있다.

'Fig. 7'은 중계기와 단말기 간의 신호 대 잡음비(SNR, signal-to-noise power ratio)를 기준으로 6-탭 TU 채널 모형(CH1)에 대한 OFDMA 전송 시스템의 심볼 오류율(SER, symbol error rate) 성능을 보여주고 있다. 이 때, 기지국과 중계기 간의 채널 상태는 양호(SNR=20dB)하다고 설정하였다. 그림에서 세모 모양의 실선은 주기적 프리픽스 샘플을 전혀 삽입하지 않은 OFDMA 시스템의 성능을 보여주고 있다. 'Fig. 3(a)'의 중계 프로토콜을 사용하므로 심볼 간 간섭 신호는 발생하지 않으나, 채널 주기성이 훼손되어 심각한 성능 저하가 발생함을 확인할 수 있다. 그림에서 마름모 모양의 실선과 엑스 모양의 실선은 각각  $G=8$ 과  $G=16$ 만큼 길이를 갖는 주기적 프리픽스 샘플을 삽입한 OFDMA 시스템의 성능을 보여주고 있다. 주기적 프리픽스 샘플

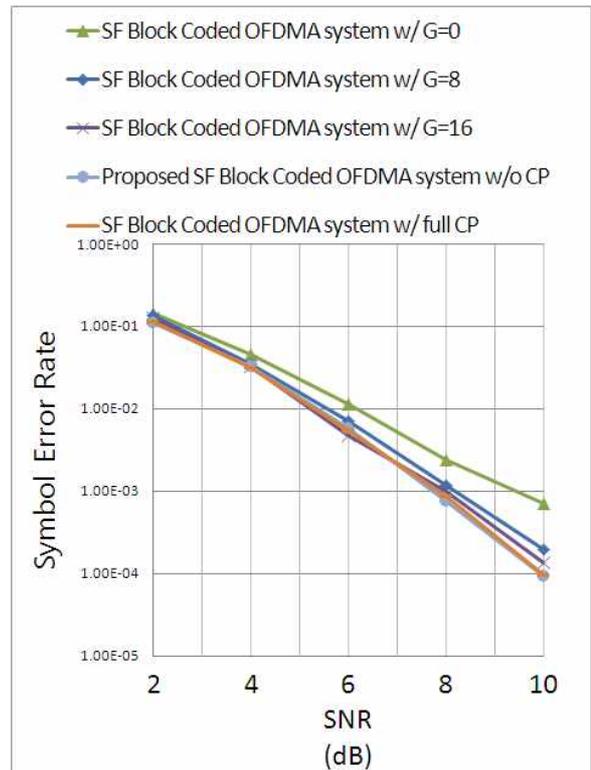


Fig. 8 Symbol error rate performance of the proposed OFDMA system without cyclic prefix over CH2 channel

길이 부족하여 채널 주기성 훼손이 여전히 발생하기 때문에 성능 저하가 발생하고, 주기적 프리픽스 샘플 길이가 부족할수록 성능 저하가 더 심각함을 확인할 수 있다. 그림에서 모양 없는 실선은 충분한 길이( $G \geq 32$ )의 주기적 프리픽스 샘플을 삽입한 OFDMA 시스템의 성능을 보여주고 있다. 그림에서 원 모양의 실선은 본 논문에서 제안한 pre-CCR 과정을 포함한 OFDMA 전송 시스템의 성능을 보여주고 있다. 주기적 프리픽스 샘플을 전혀 삽입하지 않았음에도 pre-CCR 과정을 통해 채널 주기성을 복원하였기에, 충분한 길이의 주기적 프리픽스 샘플을 삽입한 기존 OFDMA 시스템 성능과 거의 동일함을 확인할 수 있다. 'Fig. 8'은 임펄스 응답 8개가 지수적으로 파워가 감소하는 레일레이 페이딩 채널 모형(CH2)에 대한 OFDMA 전송 시스템의 심볼 오류율 성능을 보여주고 있다. 'Fig. 7'과 같이, 주기적 프리픽스 샘플을 전혀 사용하지 않고 pre-CCR 과정을 수행한 OFDMA 전송 시스템의 성능(원 모양의 실선)이 충분한 길이의 주기적 프리픽스 샘플을 삽입한 기존의 OFDMA 전송 시스템의 성능(모양 없는 실선)과 거의 동일함을 확인할 수 있다. 다만, 주기적 프리픽스 샘플 길이가 부족한 경우(세모 모양, 마름모 모양, 엑스 모양의 실선들)의 성능 저하가 'Fig. 7'에서의 성능 저하보다는 덜 심각함을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 시간 지연된 채널 값이 상대적으로 큰 파워를 갖고 있는 CH1 채널 모형(Fig. 5)와 달리, CH2 채널 모형(Fig. 6)은 시간 지연된 채널의 파워가 시간 지연이 클수록 지수적으로 급격히 감소하여 그 영향이 상대적으로 덜하기 때문이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 음영 지역 내 단말기의 수신 성능을 향상시킬 수 있는 다중 중계기 기반의 주파수 효율적인 OFDMA 전송 시스템을 제안하였다. 제안된 다중 중계기 기반 OFDMA 전송 시스템은 주파수 효율을 고려하여 주기적 프리픽스 샘플을 삽입하지 않지만, 2-슬롯 중계 프로토콜

에서 적용 가능한 간단한 채널 주기성 복원 과정을 선행함으로써 주기적 프리픽스 샘플 부족에 의해 발생하는 채널 주기성 훼손을 방지하여 전체 시스템의 성능을 유지할 수 있었다.

## References

- [1] R. V. Nee and R. Prasad, "OFDM for wireless multimedia communications", Artech House Publishers, 2000.
- [2] ETSI ETS 300 401, "Radio broadcasting systems: digital audio broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers", ETSI Tech. Rep., 1995.
- [3] ETSI ETS 300 744, "Digital video broadcasting (DVB): frame structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T)", ETSI Tech. Rep., 1997.
- [4] R. V. Nee, G. Awater, M. Morikura, H. Takanashi, M. Webster and K. W. Halford, "New high-rate wireless LAN standards", IEEE Communications Magazine, Vol. 37, Issue 12, pp. 82-88, 1999.
- [5] Y. S. Kim, B. J. Jeong, J. H. Chung, C. S. Hwang, J. S. Ryu, K. H. Kim, and Y. K. Kim, "Beyond 3G: vision, requirement, and enabling technologies", IEEE Communications Magazine, vol. 41, Issue 3, pp. 120-124, 2003.
- [6] Samsung 4G Forum, "Migration paths towards 4G networks", 2004.
- [7] A. Ghosh, D. Wolter, J. Andrews and R. Chen, "Broadband wireless access with WiMax/802.16: current performance benchmarks and future potential", IEEE Communications Magazine, Vol. 43, Issue 2, pp. 129-136, 2005.
- [8] T. Kwon, H. Lee, S. Choi, J. Kim, D. Cho, S. Cho, S. Yun, W. Park and K. Kim, "Design and implementation of a simulator based on a cross-layer protocol between MAC and PHY layers in a WiBro compatible

- IEEE 802.16e OFDMA system”, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 43, Issue 12, pp. 136-146, 2005.
- [9] S. Omar, A. Ancora, and D. Slock, “Performance analysis of general pilot-aided linear channel estimation in LTE OFDMA systems with application to simplified MMSE schemes”, *19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, IEEE Press, 2008.
- [10] H. Won and S. Kim, “Channel selective relay-based multiple-input SC-FDMA/OFDMA transmission system”, *Journal of the Korea Industrial Information System Society*, Vol. 14, No. 5, pp. 1-9, 2009.
- [11] S. Alamouti, “A simple transmit diversity technique for wireless communications”, *IEEE J. Select. Areas Communications*, vol. 16, Issue 8, pp. 1451-1458, 1998.
- [12] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderband, “Space-time block codes from orthogonal designs”, *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 45, Issue 5, pp. 1456-1467, 1999.
- [13] G. Bauch, “Space-time block codes versus space-frequency block codes”, *58th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference*, May 2003, Jeju, Korea, Vol. 1, pp. 567-571, IEEE Press.
- [14] J. Jang, H. Won, and G. Im, “Cyclic prefixed single carrier transmission with SFBC over mobile wireless channels”, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 13, Issue 5, pp. 261-264, 2006.
- [15] R. Pabst, B. H. Walke, D. C. Schultz, P. Herhold, H. Yanikomeroglu, S. Mukherjee, H. Viswanathan, M. Lott, W. Zirwas, M. Dohler, H. Aghvami, D. Falconer, and G. P. Fettweis, “Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband radio”, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 42, Issue 9, pp. 80-89, 2004.
- [16] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, “Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior”, *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 50, Issue 12, pp. 3062-3080, 2004.
- [17] H. Mheidat, M. Uysal and N. Al-Dhahir, “Equalization techniques for distributed space-time block codes with amplify-and-forward relaying”, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 55, Issue 5, pp. 1839-1852, 2007.
- [18] H. Won, “MRC MMSE equalization for SC-FDE in amplify-and-forward relaying networks”, *Journal of the Korea Industrial Information System Society*, Vol. 16, No. 4, pp. 19-26, 2011.
- [19] H. Won, “Space-frequency block coded OFDMA transmission system using multiple relays for shadow area”, *Journal of the Korea Industrial Information System Society*, Vol. 19, No. 4, pp. 1-8, 2014.
- [20] D. Kim and G. Stuber, “Residual ISI cancellation for OFDM with application to HDTV broadcasting”, *IEEE J. Select. Areas Communications*, Vol. 16, Issue 8, pp. 1590-1599, 1998.
- [21] H. Won and G. Im, “Iterative cyclic prefix reconstruction and channel estimation for a STBC OFDM system”, *IEEE Communications Letters*, Vol. 9, Issue 4, pp. 307-309, 2005.
- [22] J. Lim, C. Choi and G. Im, “MIMO-OFDM with insufficient cyclic prefix”, *IEEE Communications Letters*, Vol. 10, Issue 5, pp. 356-358, 2006.
- [23] U. Kwon, D. Seol and G. Im, “Spectral efficient transmit diversity techniques without cyclic prefix for fading relay channels”, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 58, Issue 2, pp. 568-577, 2010.
- [24] H. Won, “Spectral efficient SF block coded

relay transmission system without cyclic prefix for a shadow area”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 11, pp. 7456-7462, 2015.

[25] TS 36.211, “Physical channels and modulation”, Vol.8.6.0, 3GPP TSG RAN, 2009.



원 희 철 (Hui-Chul Won)

- 종신회원
- 포항공대 전자전기공학과 공학사
- 포항공대 전자전기공학과 공학 석사
- 포항공대 전자컴퓨터공학부 공학박사
- 대구대학교 컴퓨터·IT공학부 부교수
- 관심분야: 차세대 이동통신시스템