

음영 지역을 위한 다중 중계기 기반의 주파수 공간 블록 부호화 OFDMA 전송 시스템[†]

(Space-Frequency Block Coded OFDMA Transmission
System using Multiple Relays for Shadow Area)

원 희 철¹⁾

(Hui-Chul Won)

요 약 음영 지역 해소 및 셀 커버리지 확대를 위하여 중계기를 활용하는 이동 통신 시스템이 널리 연구되고 있다. 본 논문에서는 중계기를 통해 다중 경로가 확보된 음영 지역에서 주파수 공간 블록 부호를 적용한 OFDMA(orthogonal frequency division multiple access) 전송 시스템을 제안한다. 다중 중계기에서 복원된 전송 신호에 대하여 주파수 공간 블록 부호를 적용하여 재전송함으로써 음영 지역 내 단말기의 수신 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 실험을 통해, 제안된 주파수 공간 블록 부호화 OFDMA 전송 시스템의 성능이 기존의 단일 경로 OFDMA 전송 시스템의 성능보다 우수함을 확인한다.

핵심주제어 : 중계기, OFDMA, 주파수 공간 블록 부호, 음영 지역, 다중 경로

Abstract In order to cope with shadow areas and to extend cell coverage, relay-assisted wireless communication systems have been widely studied. In this paper, we propose a space-frequency(SF) block coded orthogonal frequency division multiple access(OFDMA) transmission system in a relaying multi-path shadow area. The receiving performance of mobile station in a shadow area can be improved by applying SF block code to the recovered signals of multiple relays before re-transmitting them. The simulation result shows that the proposed SF block coded OFDMA transmission system considerably outperforms the conventional single-path OFDMA transmission system.

Key Words : OFDMA, SF Block code, Shadow Area, Multi-path

1. 서 론

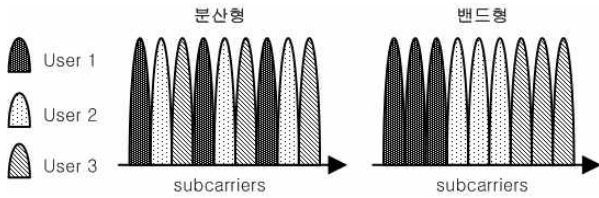
초고속 가입자 망(VDSL, very-high speed digital subscriber line) 서비스, 광-랜(FTTH, fiber to the home), 케이블 모뎀 등을 이용하여 초고속 인터넷 멀티미디어 서비스를 경험한 많은 사용자들을 위해 무

선 이동 환경에서 휴대폰 단말기를 사용하여 유선 네트워크에서와 같이 양질의 초고속 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [1-3].

OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 전송 방식은 송수신 구조가 간단하고 주파수 효율이 높으면서 주파수 선택적 페이딩 환경에서 우수한 성능을 갖는 다중 반송파 통신 방식으로, 무선-랜(Wi-Fi), 휴대 인터넷(WiBro, Mobile WiMAX) 기술의

[†] 이 논문은 2013학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

1) 대구대학교 정보통신연구소/컴퓨터·IT공학부

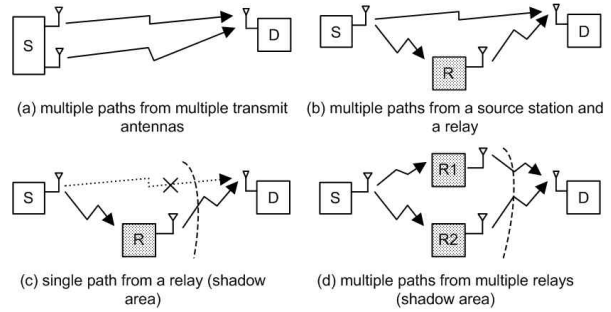


<Fig. 1> Subcarrier Allocation of OFDMA

기본 구조로 채택되었으며, 차세대 광대역 무선 이동 통신 시스템의 상하향 기본 구조로 널리 연구되고 있다[4-7].

OFDMA(orthogonal frequency division multiple access) 전송 시스템은 OFDM 다중 반송파 통신 방식의 기본 구조를 사용하되, OFDM 방식의 전체 N개 부채널을 다수의 사용자들에게 나눠 할당하여 동시 접속하는 다중 사용자 접속 시스템이다. 다수 사용자에게 부채널을 할당하는 방식은 <Fig. 1>과 같이, 분산형 방식과 밴드형 방식이 대표적이다. 분산형 할당 방식은 다수 사용자에게 분산된 부채널을 할당하는 방식으로 상태가 나쁜 주파수 대역이 한 사용자에게 몰리는 것을 방지할 수 있다. 이와 반대로, 밴드형 할당 방식은 각 사용자에게 이웃하는 부채널 묶음을 할당하는 방식으로, 사용자 별 최적의 주파수 밴드를 할당하여 전체 전송 효율을 높일 수 있다[4-8].

OFDM 및 OFDMA 시스템에서는 페이딩 채널에서의 성능을 향상시키기 위하여 다양한 형태의 다이버시티 기술을 적용할 수 있다. 특히, 다중 송신 안테나를 이용한 안테나 다이버시티 기술은 <Fig. 2(a)>와 같이, 여러 개의 송신 안테나를 이용하여 다중 경로를 생성한 후, 낮은 복잡도의 신호 처리를 통해 쉽게 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 시공간 블록 부호(space-time(ST) block code)와 주파수 공간 블록 부호(space-frequency(SF) block code)는 이론적으로 동일한 성능을 갖는 대표적인 다중 송신 안테나 다이버시티 기술로서, 각각 다중 송신 안테나와 연속적인 전송 심볼 간, 다중 송신 안테나와 이웃하는 부채널 간에 블록 부호를 적용함으로써 다이버시티 이득을 획득하여 성능을 개선할 수 있다[9-13]. 한편, 송신 안테나 간 일정 간격을 확보해야 하는 다중 송신 안테나 기술은 휴대폰과 같은 모바일 기기의 크기와 복잡도 제한에 의하여 적용이 쉽지 않을 수 있기에 <Fig. 2(b)>와 같이, 다중 송신 안테나 대신 중계기를 이용



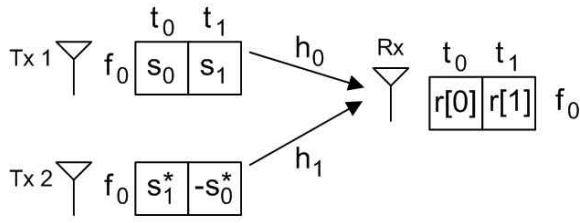
<Fig. 2> Multi-Path between Source and Destination Stations

하여 다중 경로를 생성하는 방법이 제안되었다[14-19]. 다만, 중계기는 셀 커버리지 확대와 음영 지역 해소를 위해 전송 신호를 받아 복원한 후 재전송하는 역할을 담당하기 위해 개발되었기에 수신 단말기가 셀 커버리지 밖이나 음영 지역에 존재하는 경우 <Fig. 2(c)>와 같이, 다중 경로 생성에 실패할 수 있다. 따라서, <Fig. 2(d)>와 같이, 다중 중계기를 통해 음영 지역 내 다중 경로를 확보하는 것이 안전하다. 본 논문에서는 <Fig. 2(d)>와 같이, 다중 중계기를 적용한 OFDMA 전송 시스템에서 다중 중계기와 이웃하는 부채널 간에 주파수 공간 블록 부호를 적용하여 음영 지역 내 단말기의 수신 성능을 개선하고자 한다.

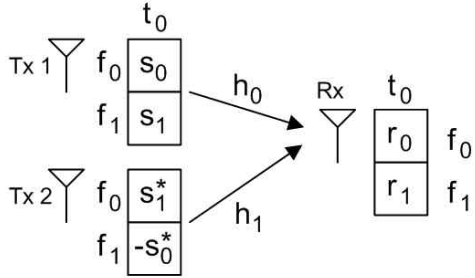
본 논문의 구성을 보면, 2장에서는 대표적인 송신 다이버시티 기술인 시공간 블록 부호 기술과 주파수 공간 블록 부호 기술에 대하여 설명한다. 3장에서는 주파수 공간 블록 부호를 적용한 다중 중계기 기반의 OFDMA 시스템 구조에 대하여 설명한다. 4장에서 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 송신 다이버시티 기술

다중 송신 안테나를 이용한 다이버시티 기술은 S. Alamouti[9]에 의해 최초로 제안되었다. 시공간 블록 부호라고 불리는 이 기법은 <Fig. 3(a)>와 같이, 특정 주파수 대역에서, 2개의 송신 안테나(Tx1, Tx2)와 연속적인 두 심볼 구간 t_0 과 t_1 에 걸쳐 2차 직교 행렬 S_2 를 적용하여 송신국에서 신호를 전송한다. 이 때, 2차 직교 행렬 S_2 는 아래와 같다.



(a) space-time block code



(b) space-frequency block code

<Fig. 3> Transmit Diversity Techniques

$$\begin{bmatrix} s_0 & s_1 \\ s_1^* & -s_0^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

수신국에서 연속적인 두 심볼 구간 t_0 과 t_1 에서 수신한 신호를 $r[0]$ 과 $r[1]$ 이라고 하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} r[0] &= s_0 h_0[0] + s_1^* h_1[0] + n[0] \\ r[1] &= s_1 h_0[1] - s_0^* h_1[1] + n[1] \end{aligned} \quad (2)$$

이 때, $h_i[j]$ 는 수신국과 i 번째 송신 안테나 간의 심볼 구간 t_j 에서의 주파수 대역 채널 값을 의미하고, $n[j]$ 는 심볼 구간 t_j 에서 발생한 백색 잡음을 뜻한다. 연속하는 두 심볼 구간 t_0 과 t_1 에서의 채널이 일정하다고 가정하면, 즉, $h_0 \equiv h_0[0] = h_0[1]$ 이고 $h_1 \equiv h_1[0] = h_1[1]$ 이면, 전송 신호 s_0 과 s_1 에 대한 추정 값은 아래와 같은 결정 과정을 통해 쉽게 얻을 수 있다.

한 편, 식 (3)에 식 (2)를 대입하여 추정 신호 s_0 과 \hat{s}_1 을 이론적으로 전개하면 다음과 같이 원 신호(s_0 과 s_1)와 변형된 잡음의 합으로 구성된다.

$$\begin{aligned} \hat{s}_0 &= \frac{h_0^* r[0] + h_1 r^*[1]}{|h_0|^2 + |h_1|^2} \\ \hat{s}_1 &= \frac{h_0^* r[1] - h_1 r^*[0]}{|h_0|^2 + |h_1|^2} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \hat{s}_0 &= s_0 + \frac{h_0^* n[0] + h_1 n^*[1]}{|h_0|^2 + |h_1|^2} \\ \hat{s}_1 &= s_1 + \frac{h_0^* n[1] - h_1 n^*[0]}{|h_0|^2 + |h_1|^2} \end{aligned} \quad (4)$$

연속적인 두 심볼 구간에 적용하는 시공간 블록 부호와 달리, 주파수 공간 블록 부호 기법은 <Fig. 3(b)>와 같이, 특정 심볼 구간 t_0 에서, 2개의 송신 안테나(Tx1, Tx2)와 이웃하는 두 주파수 대역 f_0 과 f_1 에 걸쳐 식 (1)의 2차 직교 행렬 S_2 를 적용하여 송신국에서 신호를 전송한다. 수신국의 이웃하는 두 주파수 대역 f_0 과 f_1 에서 수신한 신호를 r_0 과 r_1 이라고 하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} r_0 &= s_0 h_{0,0} + s_1^* h_{1,0} + n_0 \\ r_1 &= s_1 h_{0,1} - s_0^* h_{1,1} + n_1 \end{aligned} \quad (5)$$

이 때, $h_{i,j}$ 는 수신국과 i 번째 송신 안테나 간의 주파수 대역 f_j 에서의 채널 값을 의미하고, n_j 는 주파수 대역 f_j 에서의 발생한 백색 잡음을 뜻한다. 이웃하는 두 주파수 대역 f_0 과 f_1 에서의 채널이 일정하다고 가정하면, 즉, $h_i \equiv h_{i,0} = h_{i,1}$, $i = 0,1$ 이면 전송 신호 s_0 과 s_1 에 대한 추정 값은 아래와 같은 결정 과정을 통해 쉽게 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{s}_0 &= \frac{h_0^* r_0 + h_1 r_1}{|h_0|^2 + |h_1|^2} \\ \hat{s}_1 &= \frac{h_0^* r_1 - h_1 r_0}{|h_0|^2 + |h_1|^2} \end{aligned} \quad (6)$$

또한, 식 (6)에 식 (5)를 대입하면 추정 신호 \hat{s}_0 과 \hat{s}_1 은 아래와 같이 원 신호(s_0 과 s_1)와 변형된 잡음의 합으로 구성된다.

$$\begin{aligned}
 &= s_0 + \frac{h_0^* n_0 + h_1 n_1^*}{|h_0|^2 + |h_1|^2} \\
 \hat{s}_1 &= s_1 + \frac{h_0^* n_1 - h_1 n_0^*}{|h_0|^2 + |h_1|^2}
 \end{aligned} \tag{7}$$

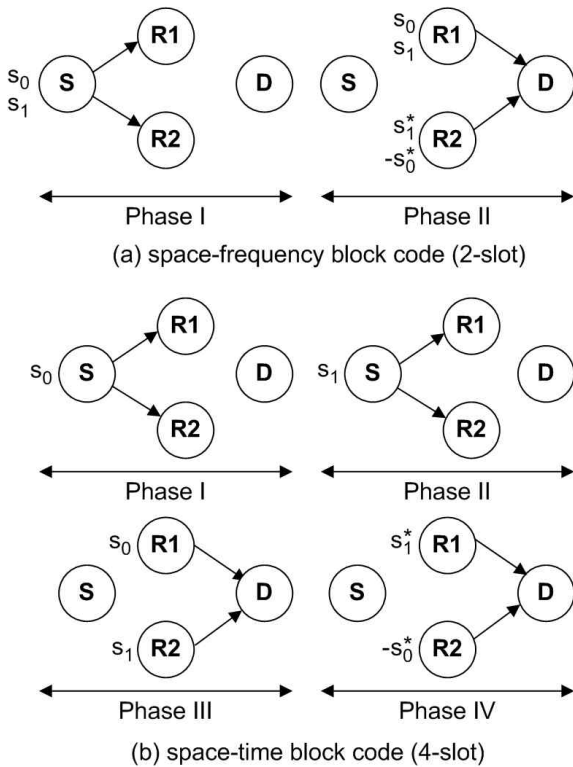
식 (3)과 식 (6)을 통해, 시공간 블록 부호와 주파수 공간 블록 부호의 수신 신호 결정 과정이 동일함을 확인할 수 있고, 식 (4)와 식 (7)을 통해 두 블록 부호의 성능이 이론적으로 같음을 확인할 수 있다. 다만, 시공간 블록 부호의 경우 연속하는 두 심볼 구간의 채널이 동일하다고 가정하였기에 페스트 페이딩(fast fading) 채널 환경에서, 주파수 공간 블록 부호의 경우 이웃하는 두 주파수 대역의 채널이 동일하다고 가정하였기 때문에 주파수 선택적(frequency-selective) 채널 환경에서 각각 성능 저하가 발생할 수 있다.

한편, 다중 송신 안테나 대신 다중 중계기를 이용하여 블록 부호를 적용할 경우, 주파수 공간 블록 부호는 이웃하는 두 부채널에 정보(s_0 과 s_1)를 전송하기 때문에 <Fig. 4(a)>와 같이, 2-슬롯 단위의 프로토콜

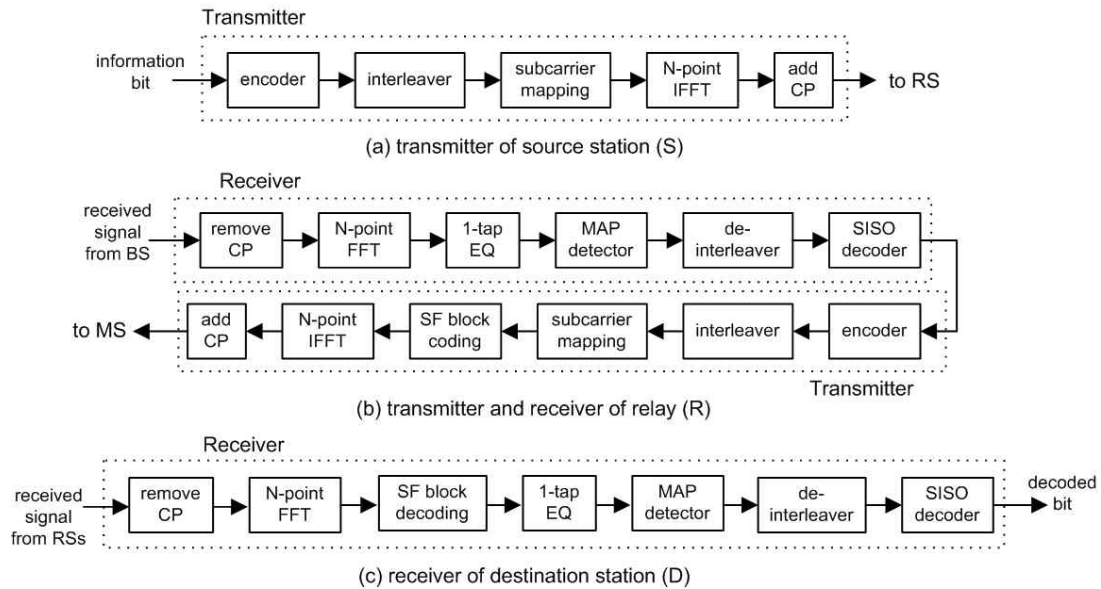
을 사용할 수 있지만, 시공간 블록 부호는 연속하는 두 심볼 구간을 통해 정보(s_0 과 s_1)를 전송하기 때문에 <Fig. 4(b)>와 같이 4-슬롯 단위의 프로토콜을 사용해야 한다. 즉, 전체 전송량과 수신 성능이 이론적으로 같더라도 4-슬롯 단위의 프로토콜을 처리하기 위한 추가적인 버퍼 등 운영 및 하드웨어 측면에서 시공간 블록 부호 기법이 주파수 공간 블록 부호 기법보다 다소 불리하다. 따라서, 본 논문에서는 시공간 블록 부호 대신 주파수 공간 블록 부호 기법을 적용하여 다중 중계기 기반의 OFDMA 전송 시스템을 살펴본다.

3. 주파수 공간 블록 부호화 중계기 기반의 OFDMA 전송 시스템

<Fig. 5>는 다중 중계기를 활용한 주파수 공간 블록 부호화 OFDMA 전송 시스템의 기본 구조를 보여 주고 있다. 기지국(송신국)에서는 <Fig. 5(a)>와 같이, 전송하고자 하는 비트 신호를 부호화와 인터리버를 통과시키고 부채널 맵핑한 후 N점 역 푸리에 변환(IFFT, inverse fast Fourier transform)한다. 심볼 간 간섭 신호(ISI, inter-symbol interference)와 채널 간 간섭 신호(ICI, inter-channel interference)를 방지하기 위해 사이클릭 프리픽스(CP, cyclic prefix) 신호를 추가하여 송신 안테나를 통해 발송한다. 중계기에서는 <Fig. 5(b)>와 같이, 송신국으로부터 신호를 수신하여 사이클릭 프리픽스를 제거하고, N점 푸리에 변환(FFT)을 수행한다. 각 주파수 대역의 부채널 신호에 대하여 등화 과정을 수행한 후 MAP(maximum a posteriori) 디텍터로 입력된다. MAP 디텍터로부터 계산된 신호 비트의 LLR(log-likelihood ratio) 값을 디인터리버와 디코더에 입력하여 원 신호를 복원하게 된다. 복원된 신호는 단말기(수신국)으로의 전송을 위하여 중계기 송신기로 전달된다. 중계기 송신기에서는 복원 신호를 받아 부호화, 인터리빙, 부채널 맵핑되고 송신 다이버시티 이득을 획득하기 위해 주파수 공간 블록 부호화된 후, N점 역 푸리에 변환기를 거쳐 송신된다. 수신국에서는 <Fig. 5(c)>와 같이, 중계기로부터 전송된 신호를 수신하여 N점 푸리에 변환한 후, 주파수 공간 블록 부호에 대한 디코딩 과정을 수행하



<Fig. 4> Relaying Protocol



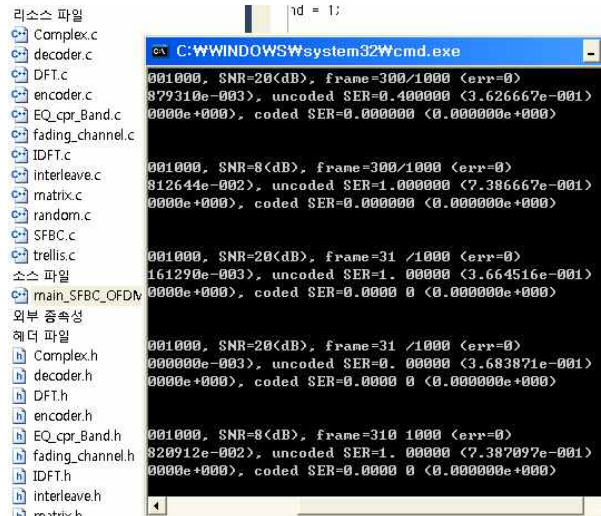
<Fig. 5> Overall Structure of OFDMA System

고, 등화기, MAP 디텍터, 디인터리버 및 디코더를 통과시켜 신호를 복원하게 된다.

4. 실험 결과

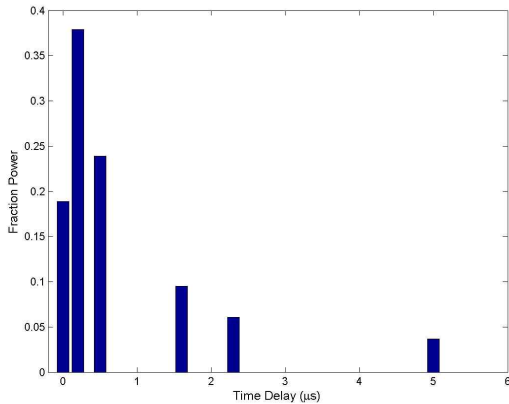
실험을 위하여 <Fig. 6>과 같이, Microsoft Visual Studio 2010 프로그램을 이용하여 <Fig. 5>에 기술된 OFDMA 시스템 전체 구조에 대한 C언어 기반 floating-point 시뮬레이터를 구축하였다. 총 256개 부채널(N=256)을 사용하고 64개 부채널(M=64)을 1개 밴드로 구성하여 사용자에게 할당하였다. 각 부채널은 QPSK (quadrature phase shift keying) 변조 방식을 적용하였고, 제한 길이 7을 갖는 1/2 비율의 길쌈 부호와 S=5로 설정된 S-랜덤 인터리버를 사용하여 이진 신호를 부호화하였다. 정규화된 도플러 주파수 값은 0.001로 설정하고 1개 프레임은 10개의 데이터 심볼 구간으로 구성하였다. 무선 채널은 6-탭 TU(typical urban) 채널 모형을 사용하였고, 채널 추정은 완벽하다고 가정하였다. <Fig. 7>은 6-탭 TU 채널 모형을 보여주고 있다[20].

<Fig. 8>은 중계기와 수신국 간의 신호 대 잡음비(SNR, signal-to-noise power ratio)를 기준으로, 음영 지역을 위한 OFDMA 시스템의 심볼 오류율(SER,

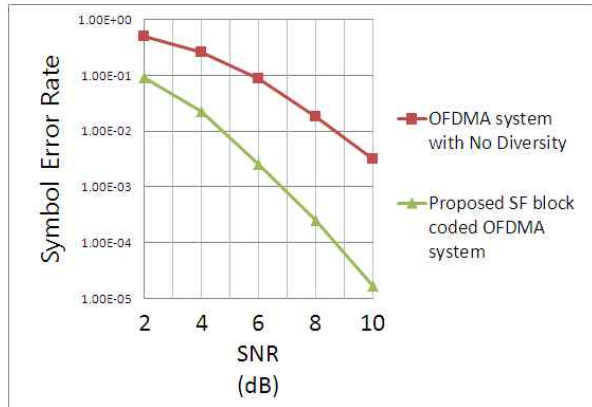


<Fig. 6> C-language Simulator

symbol error rate) 성능을 보여주고 있다. 이 때, 송신국과 중계기 간의 채널은 양호(SNR=20dB)하다고 설정하였다. <Fig. 8>에서 네모 모양의 실선은 송신국과 단일 중계기를 통해 다중 경로 형성을 시도하였지만 <Fig. 2(c)>와 같이, 송신국과 음영 지역의 수신국 사이의 경로 생성이 실패하여 중계기를 통한 단일 경로만이 형성된 OFDMA 시스템 성능을 보여주고 있다. 이 경우, 다중 경로 생성이 실패함에 따라 식 (5)의 수신 신호는 $= s_0 h_{0,0} + n_0$, $r_1 = s_1 h_{0,1} + n_1$ 과 같이



<Fig. 7> Typical Urban Channel



<Fig. 8> Symbol Error Rate Performance

변경되고 식 (7)의 추정 신호는 $\hat{s}_0 = s_0 + n_0/h_{0,0}$, $\hat{s}_1 = s_1 + n_1/h_{0,1}$ 과 같이 표현된다. 채널 페이딩 상황에 따라 채널 $h_{0,0}$ 또는 채널 $h_{0,1}$ 이 순간적으로 나빠지면 변형잡음 $n_0/h_{0,0}$ 또는 $n_1/h_{0,1}$ 의 파워가 커져서 원 신호(s_0 과 s_1)와 추정 신호(\hat{s}_0 과 \hat{s}_1)간에 오류가 발생할 확률이 높아진다. 또한, 이웃하는 두 주파수 대역의 채널이 유사($h_{0,0} \approx h_{0,1}$)하면 채널 페이딩 상황에 따라 추정신호 \hat{s}_0 과 \hat{s}_1 모두 오류가 발생할 수 있다. <Fig. 8>에서 세모 모양의 실선은 음영 지역 내 수신국과의 다중 경로 형성을 위하여 2개의 중계기를 사용하고 중계기 간 주파수 공간 블록 부호를 적용한 OFDMA 시스템 성능을 보여주고 있다. 이 경우, OFDMA 시스템의 수신국에서 추정된 신호는 2장에서 설명한 바와 같이 수식 (7)과 같다. 채널 페이딩 상황에 따라 첫 번째 중계기와 수신국 사이의 채널 h_0 이 순간적으로

나빠지더라도 두 번째 중계기와 수신국 사이의 채널 h_1 이 양호하면, 또는 채널 h_1 이 나빠지더라도 채널 h_0 이 양호하면 수식 (7)의 추정 신호에 포함되어 있는 변형 잡음의 분모($|h_0|^2 + |h_1|^2$)의 파워가 매우 작아지는 현상이 방지되기 때문에 단일 경로가 형성된 경우와 달리, 추정 신호(\hat{s}_0 과 \hat{s}_1)에 대한 오류 발생 확률이 높아지지 않는다. 채널 h_0 과 채널 h_1 은 서로 독립적인 채널 페이딩 현상을 겪게 되므로 결국 신호 복원에 있어 다이버시티 효과를 얻게 된다. <Fig. 8>을 통해 주파수 공간 블록 부호화된 OFDMA 전송 시스템은 단일 중계기 기반 OFDMA 전송 시스템과 비교하여, 10^{-2} SER 수준에서 3.5 dB 이상 성능이 향상되었고 다이버시티 이득으로 인해 성능 곡선의 기울기가 개선되어 낮은 SER 대역으로 갈수록 성능 향상 정도는 더욱 커짐을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 중계기를 통해 다중 경로가 확보된 음영 지역 내 수신국을 위한 주파수 공간 블록 부호화 OFDMA 전송 시스템을 제안하였다. 다중 중계기에서 복원된 전송 신호에 대하여 주파수 공간 블록 부호를 적용함으로써 독립적인 두 채널을 통해 다이버시티 효과를 얻어 음영 지역의 OFDMA 시스템 성능이 크게 향상됨을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 향후, OFDMA 시스템을 위한 기존의 다양한 채널 추정 기법을 본 시스템에 접목하여 통합하는 연구가 필요하리라 사료된다.

References

- [1] 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, March 2003.
- [2] Samsung 4G Forum, "Migration Paths Towards 4G Networks", Aug. 2004.
- [3] Y. Chung, "A study on radio resource

- management for multi-cell SC-FDMA systems”, *Journal of the Korea Industrial Information System Society*, Vol. 15, No. 4, pp. 7-15, Dec. 2010.
- [4] R. Van Nee and R. Prasad, “OFDM for Wireless Multimedia Communications”, Artech House Publishers, 2000.
- [5] Y. Li, J. Winters, and N. Sollenberger, “MIMO-OFDM for wireless communications: signal detection with enhanced channel estimation”, *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 50, Issue 9, pp. 1471-1477, Sep. 2002.
- [6] U. Kwon, D. Kim, and G. Im, “Amplitude clipping and iterative reconstruction of MIMO-OFDM signals with optimum equalization”, *IEEE Trans. Wireless Communications*, Vol. 8, Issue 1, pp. 268-277, Jan. 2009.
- [7] T. Cui and C. Tellambura, “Power delay profile and noise variance estimation for OFDM”, *IEEE Commun. Letters*, Vol. 10, Issue 1, pp. 25-27, Jan. 2006.
- [8] 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”, *Proc. IEEE PIMRC*, 2008.
- [9] S. Alamouti, “A simple transmit diversity technique for wireless communications”, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 16, No. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [10] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A.R. Calderband, “Space-time block codes from orthogonal designs”, *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 45, No. 5, pp. 1456-1467, July 1999.
- [11] H. Won and G. Im, “Iterative cyclic prefix reconstruction and channel estimation for a STBC OFDM system”, *IEEE Commun. Letters*, Vol. 9, Issue 4, pp. 307-309, April 2005.
- [12] N. Al-Dhahir, “Single-carrier frequency-domain equalization for space-time block-coded transmissions over frequency-selective fading channels”, *IEEE Communications Letters*, Vol. 5, No. 7, pp. 304-306, July 2001.
- [13] J.H. Jang, H.C. Won, and G.H. Im, “Cyclic prefixed single carrier transmission with SFBC over mobile wireless channels”, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 13, No. 5, pp. 261-264, May 2006.
- [14] 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, Sep. 2004.
- [15] J.N. Laneman, D.N.C. Tse, and G.W. Wornell, “Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior”, *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol. 50, No. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [16] D.Y. Seol, U.K. Kwon, G.H. Im, and E.S. Kim, “Relay-assisted SFBC single carrier transmission over uplink fast fading channels”, *IEEE GLOBECOM*, 2007.
- [17] T.W. Yune, J.B. Lim, Y.C. Cheong, and G.H. Im, “Iterative multiuser detection with spectral efficient protocol for relay-assisted SC-FDE”, *IEEE Communications Letters*, Vol. 12, No. 3, pp. 182-184, March 2008.
- [18] H. Won, “Channel selective relay-based transmission system for broadband wireless communications”, *Journal of the Korea Industrial Information System Society*, Vol. 14, No. 4, pp. 8-15, Dec. 2009.
- [19] 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, Dec. 2011.
- [20] TS 36.211, “Physical channels and modulation”, 3GPP TSG RAN, v.8.6.0, March 2009.



원 희 철 (Hui-Chul Won)

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

논 문 접 수 일 : 2014년 03월 24일
1 차 수 정 완 료 일 : 2014년 04월 25일
2 차 수 정 완 료 일 : 2014년 08월 01일
계 재 확 정 일 : 2014년 08월 04일