

OFDM 기반 UWB 시스템의 신뢰도 향상을 위한 STCDD 협력 전송 기법

종신회원 송형규*, 준회원 송진혁*, 정회원 윤재선*

STCDD Cooperative Transmission Scheme for Improvement of Reliability in OFDM Based UWB System

Hyoung-Kyu Song* *Lifelong Member*, Jin-Hyuk Song* *Associate Member*,
Jae-Seon Yoon* *Regular Member*

요 약

UWB(Ultra-Wideband)는 낮은 전력으로 초고속 통신을 실현하는 근거리 무선 통신 기술로써 주파수 부족 현상을 넘어서서 신규 기술을 도입할 수 있는 획기적인 기술 방식이다. 본 논문에서는 UWB 전송방식 중 하나인 MB-OFDM(Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템을 기반으로 열악한 채널 환경을 극복할 수 있도록, 시공간 블록 부호(STBC, Space Time Block Code)와 순환 지연 다이버시티(CDD, Cyclic Delay Diversity)기법이 결합된 STCDD 협력 전송 기법 및 적응적 DF 중계 기술을 제안한다. 제안된 STCDD 협력 전송 기법은 기존의 STBC를 사용하는 수신기에서도 구조 변경 없이 바로 적용 가능하며 기존의 STBC 협력 전송 기법에 비해 향상된 성능을 보인다. 또한, 다중 홉 환경에서 순환 중복 검사를 통해 중계 채널의 상태를 파악하고, 중계 채널의 상태에 따라 적응적으로 DF 중계 기술을 선택함으로써 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

Key Words : Cooperative, Cooperation, Relay, MB-OFDM, MIMO

ABSTRACT

Recently, the multi-band orthogonal frequency division multiplexing(MB-OFDM) system, one of UWB system, can satisfy the requirement and can be applied to various wireless communication services because ultra-wideband(UWB) is a wireless communication technique that supports high data rate with low power.

In this paper, the method applying Alamouti's space time block code(STBC) and cyclic delay diversity(CDD) is proposed. The proposed method can be easily applied with arbitrary number of relays and only needs two time slots of quasi stationary assumption. And it is applied to the MB-OFDM system. Second, an optimal relaying scheme based on decode-and-forward(DF) method is proposed which is provides good error performance compared to conventional schemes.

I. 서 론

최근 들어 통신과 방송을 중심으로 한 다양한 신규 무선 기술이 서비스되고, 각종 산업에서 무선 서비스에

대한 수요가 급격히 증대됨에 따라 특정 주파수 대역 부족 현상이 나타나고 있다. 따라서 특정 주파수 대역의 초과 수요를 해소하고 아직 활용이 미진한 주파수 대역의 이용을 활성화시키기 위한 대안으로 초광대역

* 본 연구는 2009년도 세종대학교 교내연구비 지원에 의한 논문임.

* 세종대학교 정보통신공학과 uT통신연구소 (songhk@sejong.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-04-182, 접수일자 : 2010년 4월 21일, 최종논문접수일자 : 2010년 5월 25일

(UWB, Ultra Wideband) 무선 통신 시스템 시스템이 출현하였다.

UWB는 미연방 통신 위원회(FCC, Federal Communications Commission)에서 규정한 3.1~10.6 GHz 주파수 대역에서 -41.3 dBm/MHz 이하의 송신 출력으로 중심주파수의 20% 이상의 점유 대역폭을 수용하거나 500 MHz 이상의 대역폭을 보장하는 무선 통신이다[1], [2]. 하지만 UWB 시스템의 경우, 낮은 송신 출력과 넓은 대역폭 때문에 송수신 채널 환경이 매우 열악하다. 따라서 이를 개선하기 위해, MIMO(Multi-Input Multi- Output) 기법 및 협력 전송(Cooperative Transmission) 기법 등이 활발히 연구 되고 있다.

본 논문의 제 2 장과 3장에서는 UWB 시스템 중 하나인 MB-OFDM(Multi-band Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템과 기존의 다이버시티 기법들에 대해 알아보고, 제 4 장에서는 시공간 블록 부호(STBC, Space Time Block Code)와 순환 지연 다이버시티(CDD, Cyclic Delay Diversity)를 이용한 STCDD 협력 전송 기법을 제안한다. 또한, 제 5 장에서는 다중 홉 협력 전송 시스템에서 순환 중복 검사(CRC, Cyclic Redundancy Check)를 통한 적응적 DF 중계 기술을 제안하고, 마지막으로 제 6 장에서는 결론을 맺는다.

II. MB-OFDM 시스템 개요

UWB 시스템 중 하나인, MB-OFDM 시스템에서는 기본적으로 3.1 GHz에서 10.6 GHz까지의 전체 7.5 GHz의 UWB 대역을 그림 1에서와 같이 528MHz의 대역폭을 갖는 14개의 작은 대역으로 나누고 이를 6개의 그룹으로 분류하였다. 이들 Band group 중에서 첫 번째 Band group(BG) 1(3.1 GHz~4.8 GHz)을 기본으로 사용하는 것이 제안되었으며, BG 2~6은 선택적으로 사용된다. 이 중 5 GHz 비 면허 대역을 포함하는 BG 2는 WLAN과의 간섭 문제 때문에 사용하지 않을 수도 있다.

MB-OFDM 시스템은 여러 사용자들을 수용하기 위하여 매 심볼마다 528 MHz의 대역을 도약하는 TFC(Time Frequency Code)를 가지고 있고, 이를 구

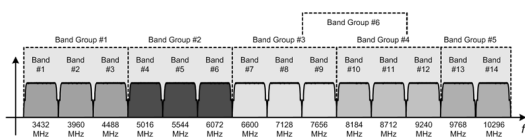


그림 1. MB-OFDM 주파수 할당

별하기 위해서 고유한 7개의 프리앰블을 갖는다. 또한, TFI(Time Frequency Interleaved)구조를 이용하여 주파수 영역에서 다이버시티 효과와 동시에 사용되는 여러 피코넷(piconet)간의 간섭을 최소화하는 구조로 이루어져 있다[2].

III. 협동 전송 기법 개요

이번 장에서는 UWB 시스템 환경과 같이 열악한 통신 채널에서 효율적으로 신뢰도를 향상시킬 수 있는 새로운 협력 전송 기법을 제안하기에 앞서, 기본적인 협력 전송 기법 개요와 기존의 시공간 다이버시티 기법을 살펴보고자 한다.

2.1 협동 전송 기법

최근 큰 관심을 받고 있는 협동 전송 기법은 송수신 다이버시티 기법의 여러 단점들을 극복하면서도 송수신 다이버시티 기법과 유사한 성능을 얻을 수 있는 매우 효과적인 방법이다[6].

기본적으로 협력 전송 기법은 주변의 단말이 소스 단말을 위해 중계 단말의 역할을 하여 신호 전송을 도와주게 된다. 이 때, 중계 단말에서 신호를 중계하는 방법은 총 3가지가 있다. 이들 중 첫 번째로 DF(Decode-and-forward) 방법이 있다. 중계 단말이 소스 단말로부터 수신된 신호를 비트레벨까지 검출한 후, 다시 변조 및 부호화하여 목적 단말로 전송해주는 방법이다.

두 번째 방법은, AF(Amplify-and-forward) 방식으로 단순히 중계 단말에서 수신한 신호를 검출하지 않고 수신 신호 자체를 증폭해서 기지국으로 재전송하는 방법이다. 이 방식은 별 다른 복잡한 과정 없이 단순한 증폭만 하므로 간단하면서도 효과적인 방법이라 할 수 있다.

세 번째로 CC(Coded cooperation)은 협력 전송과 채널 코딩을 통합한 방식이다. 이 기법은 독립적인 경로를 통하여 각 사용자들이 코딩한 정보들을 목적지로 전송하는 것이다. 이 방식은 사용자들 사이에 피드백을 필요로 하지 않으며, 사용자들이 각각 협력적 또는 비협력적 모드로 자동적으로 변환하는 것이 가능하다.

2.2 기존의 시공간 다이버시티 기법

시공간 다이버시티 기법은 다수의 전송 안테나를 사용하여 같은 신호를 여러 시공간으로 반복 전송하여 다이버시티 이득을 얻는다. 시공간 다이버시티 기법은 간단한 연산으로 송수신 다이버시티 이득을 얻을 수

있어, 최근까지 활발하게 연구되어 왔다. 시공간 다이버시티 기법의 대표적인 방법으로는 MRC(Maximum Ratio Combining), STBC, CDD가 있다.

이들 중, CDD 기법은 각 안테나에서 전송 되는 신호의 위상을 순환 지연을 시켜 다이버시티 이득을 얻는 기법으로써, 기존의 시스템의 복잡도 증가 없이 바로 적용 시킬 수 있는 장점이 있다. 또한, STBC와 같이 안테나 개수에 따라 특정 지어진 부호가 필요하지 않기 때문에, 중계 단말의 개수에 따라 성능 향상이 용이하다. 따라서 이 CDD를 기반으로 한 협력 전송 기법을 MB-OFDM 시스템에 적용하는 경우, 기존의 시공간 다이버시티 기법을 보다 송·수신단기의 구현 복잡도가 낮고 송신안테나의 수가 증가해도 표준화 되어 있는 수신기 구조를 유지할 수 있다는 장점이 있다⁵⁾.

IV. 신뢰도 향상을 위한 STCDD 협력 전송 기법

4.1 협력 전송 시스템 모델

시공간 협력 전송 시스템 모델으로써, 그림 2와 같이 M 개의 다중 홉 환경에서 하나의 소스 단말과 목적 단말, 그리고 $M \times N$ 개의 중계 단말이 존재한다. 여기서, 다중 홉에 의한 성능과 직접 전송에 의한 성능을 공정히 비교하기 위해서 거리에 따른 요소를 적용시켜 다음과 같이 채널을 모델링 할 수 있다⁸⁾.

$$\lambda_{i,j,m}^2 = \left(\frac{d_{sD}}{d_{m-hop}}\right)^\alpha, \quad (1)$$

여기서 d_{m-hop} 는 m 홉 사이의 거리를 나타내고, α 는 경로 손실 요소를 나타낸다. 그리고 $\lambda_{i,j,m}^2$ 는 채널 파워의 평균을 나타낸다. 쉬운 비교를 위해서 전체 전송 전력은 1로 정규화(Normalization)된다. 그리고 각각의 홉에서 중계 단말의 개수에 따라 공정히 비교하

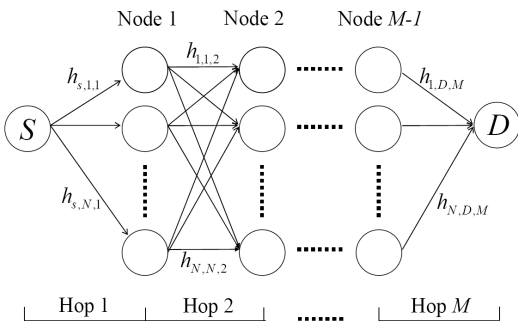


그림 2. 협력 전송 시스템 모델

기 위하여 각각의 중계 단말은 $1/M \times N$ 만큼의 전력이 제한된다. 여기서, 중계 단말들을 그룹화하기 위해서는 네트워크 레이어 프로토콜이 필요하지만 다중 홉 통신의 종단 간의 BER(Bit Error Rate) 성능 비교에 집중을 하기 때문에 고려하지 않는다.

4.2 STCDD 협력 전송 기법

이 절에서는 MB-OFDM 시스템에서 신뢰도 향상을 위해 STBC와 CDD를 결합한 STCDD(Space Time Codes with Cyclic Delay Diversity) 협력 전송 기법이 제안된다. 제안된 기법을 쉽게 설명하기 위해 먼저 앞선 언급된 협력 전송 모델에서 M 이 1인 $1 \times N$ 단일 홉 다중중계단말의 경우를 예를 들겠다. 여기서, 중계 단말의 개수가 3개일 때, 소스 단말로부터 두 개의 신호 S_1, S_2 가 전송된 후 중계 단말의 수신 신호는 다음과 같다.

$$Y_{R_i} = S_j G_i + N_{ji}, \quad j = 1, 2, i = 1, 2, 3, \quad (2)$$

여기서 G 는 소스단말과 중계단말 사이의 채널 주파수 응답이고, N 은 평균이 0이고, 분산이 $N_0/2$ 인 잡음이다. 이후, 각각의 중계 단말에서 다음과 같이 송신 신호를 추정한다.

$$C_j = Y_{R_i} / G_i, \quad j = 1, 2, i = 1, 2, 3 \quad (3)$$

추정된 신호 C_1, C_2 를 각각의 중계 단말에서 STBC와 CDD가 결합된 STCDD 부호를 이용하여 다음과 같이 부호화 한다.

$$M_3 = \begin{pmatrix} C_1 & C_2 & C_{2,\delta_1} \\ -C_2^* & C_1^* & C_{1,\delta_1} \end{pmatrix} \quad (4)$$

여기서 행은 시간을 나타내고, 열은 각각의 중계 단말에서 송신하는 신호를 나타낸다. 식 (4)의 $C_{1,\delta_1}^*, C_{2,\delta_1}$ 는 C_1^*, C_2 의 순환 지연된 신호를 나타내고 다음과 같이 표현된다.

$$C_{j,\delta_t}(t) = C_j((t - \delta_t) \bmod K), \quad j = 1, 2, t = 0, \dots, K-1, \quad (5)$$

여기서 K 는 부반송파의 개수를 나타내고 δ_t 는 순환 지연 요소이다.

목적 단말은 식 (4)와 같이 부호화된 신호를 각각의 중계 단말로부터 수신하게 되고 수신된 신호는 다음과 같다.

$$Y_D(t) = C_1 H_1 + C_2 H_2 + C_{2,\delta_1} H_3 + N(t),$$

$$Y_D(t+T) = -C_2^* H_1 + C_1^* H_2 + C_{1,\delta_1}^* H_3 + N(t+T), \quad (6)$$

여기서 T 는 하나의 OFDM 심볼 전송 기간이고, $H_i = \alpha_i \cdot e^{j\theta_i}$ 는 중계 단말과 목적 단말 사이의 채널 주파수 응답이다. 이 채널 H_i 는 두 번의 시간동안 동일한 slow-fading 채널이라고 가정한다.

세 번째 중계 단말에서 순환 지연된 신호는 순환 지연 다이버시티 기법에 의해 채널의 주파수 선택적 특성이 증가 된다. 따라서 두 번째 중계 단말과 세 번째 중계 단말에서 보낸 동일한 심볼은 합성된 하나의 채널을 통과하는 것처럼 보이게 되고 다음과 같이 표현할 수 있다⁹⁾.

$$H_i^e = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{l=0}^{L-1} H_l \cdot e^{-j2\pi k\delta_l / K}, \quad (7)$$

여기서 H_i^e 은 합성된 채널의 주파수 특성을 나타낸다. 그리고 L 은 동일하게 시공간 부호화된 심볼의 개수이고, $1/\sqrt{L}$ 는 공정한 비교를 위한 전송 전력 정규화 요소이다. 이 합성된 채널, H_i^e ,는 증가된 주파수 선택적 특성을 가지고 있기 때문에, 수신단에서 채널 부호를 통해 주파수 다이버시티를 얻게 된다. 식 (7)를 식 (6)의 채널을 이용하여 다시 표현하면 다음과 같다.

$$H_{23} = \frac{1}{\sqrt{2}}(H_2 + H_3 \cdot e^{-j2\pi k\delta_1 / K}) \quad (8)$$

여기서 식 (8)을 식 (6)에 대입하여 다음과 같이 간략하게 표현할 수 있다.

$$Y_D(t) = C_1 H_1 + C_2 H_{23} + N(t),$$

$$Y_D(t+T) = -C_2^* H_1 + C_1^* H_{23} + N(t+T) \quad (9)$$

위와 같이 목적 단말에 수신된 신호를 이용하여 추정된 신호에 대한 식은 다음과 같다.

$$\hat{C}_1 = Y_D(t)H_1^* + Y_D^*(t+T)H_{23},$$

$$= (\alpha_1^2 + \alpha_{23}^2)C_1 + N(t)H_1^* + N^*(t+T)H_{23} \quad (10)$$

$$\hat{C}_2 = Y_D(t)H_{23}^* - Y_D^*(t+T)H_1,$$

$$= (\alpha_1^2 + \alpha_{23}^2)C_2 + N(t)H_{23}^* - N^*(t+T)H_1 \quad (11)$$

식 (10)와 (11)는 기존의 (2x2) Alamouti 시공간 부호의 복호화가 같다. 따라서, 중계 단말의 개수가 늘어 나더라도 (이번의 예에서는 3개), 제안된 STCDD 협력 전송 기법은 기존의 Alamouti의 시공간 부호 수신기에서 적용할 수 있다.

예시를 바탕으로 그림 3에서는 일반화된 STCDD 부호를 보여준다. 제안된 STCDD 협력 전송 기법에서는 그림 3과 같이 중계 단말의 개수에 따라 각각의 중계 단말에서 자신이 전송할 순환지연에 따른 송신신호를 결정한다. 그림 3에서 나타난 그룹화 된 Alamouti의 시공간 신호의 개수에 대한 식은 다음과 같다.

$$W, R = \frac{I}{2}, \quad I = \text{even}$$

$$\begin{cases} W = \frac{I-1}{2} \\ R = \frac{I+1}{2} \end{cases}, \quad I = \text{odd}, \quad (12)$$

여기서 W, R 은 그룹화 된 Alamouti의 시공간 신호의 개수를 나타내며, I 는 중계기의 개수를 나타낸다.

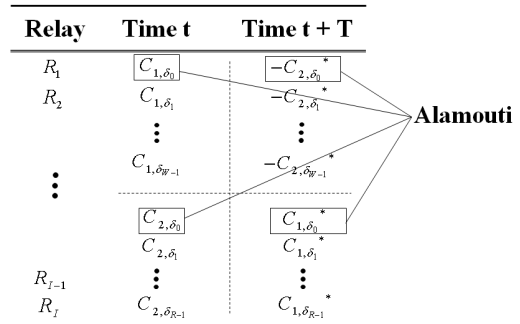


그림 3. 일반화된 STCDD의 코드

표 1. 협력 전송 기술의 간단한 비교

Relay 개수	협력 전송 기술	전체 전송률	채널 추정	요구되는 준 정적 시간
2	CDD	1/2	SISO	1
	STBC, STCDD	1/2	MISO	2
3, 4	CDD	1/2	SISO	1
	STBC	3/7, 1/3	MISO	4
5	STCDD	1/2	MISO	2
	CDD	1/2	SISO	1
	STBC	2/5	MISO	15
6	STCDD	1/2	MISO	2
	CDD	1/2	SISO	1
	STBC	2/5	MISO	30
	STCDD	1/2	MISO	2

그리고 최적의 성능을 얻기 위해 순환 지연 요소 δ 에 대한 식은 다음과 같다⁹⁾.

$$\begin{aligned} \delta_w &= \frac{K}{W} + \delta_{w-1}, \\ \delta_r &= \frac{K}{R} + \delta_{r-1} \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 첫 번째 순환 지연 요소 δ_0 는 항상 0이다. 즉 $C_{1,\delta_0} = C_1$ 이다. 표 1에서는 세 가지 협력 전송 기술에 대한 간단한 비교를 보여준다.

4.3 다중 홉 협력 전송 위한 적응적 DF 중계 기법

앞 절에서는 기본적인 단일 홉 협력 통신 환경에서 제안된 STCDD 협력 전송 기법을 살펴보았다. 이번 절에서는 그보다 확장된 다중 홉 협력 통신 환경에서 제안된 STCDD 협력 전송 기법을 살펴보고 환경 변화에 따른 성능 열화를 최소화하기 위한 적응적 DF 중계 기법을 제안한다.

기본적으로 협력 전송에서 많이 사용되는 고정된 DF 중계 기술(Fixed DF Relaying Method)은 소스 단말에서 신호를 전송하고 모든 중계 단말에서 수신한 신호를 모두 재전송하는 방법이다. 따라서 중계 채널의 상태가 좋을 경우, 가장 높은 성능 향상을 얻을 수 있는 중계 기술이다. 하지만 중계 채널의 상태가 열악하여 중계 단말에서 수신된 신호의 품질이 저하될 경우, 잘못 수신된 신호를 목적 단말에 전송하는 단점을 가지고 있다^{6,7)}.

반면에, 위의 단점을 개선하기 위한 중계 기술로는 선택적인 DF 중계 기술(Selective DF Relaying Method)이 있다. 즉, 각각의 중계 단말에서 순환 중복 검사를 통하여 성공하였을 경우에만 전송하고, 실패하였을 경우에는 수신한 신호를 보내 않는다. 이 선택적인 DF 중계 기술은 기존의 중계 기술에 비해 잘못 수신된 신호를 전송하는 확률이 감소하였기 때문에, 중계 단말에 따라 채널이 다소 열악하더라도 중계 채널이 좋은 상태의 고정적 DF 중계 기술과 유사한 성능을 얻을 수 있다. 하지만 단일 홉 환경이 아닌 다중 홉 환경에서는 고정된 DF 중계 기술에 비해 상대적으로 반복적인 CRC에 따른 전송률의 손실을 가져오기 때문에 이를 개선하기 위한 연구가 필요하다^{6), [7]}.

따라서, 위의 두 가지 기술의 장점을 취하고 다수의 중계 채널의 상태에 관계없이 최적의 성능을 가지는 적응적 DF 중계 기술(Adaptive DF Relaying Method)을 제안한다. 적응적 DF 중계 기법은 중계 채널의 상

태를 기반으로 고정된 DF 중계 기술과 선택적 DF 중계 기술이 스위칭 되는 만큼 채널의 특성을 파악하는 것이 중요하다.

하지만 채널을 정확하게 추정하는 것은 매우 어렵고 높은 계산량을 필요로 하기 때문에 복잡도가 증가한다. 하지만 중계 단말에서 선택적 DF 중계 기술의 CRC를 통해서 수신된 신호의 정확도를 파악하고, 다중 홉 환경에서 각각의 홉마다 발생하는 오류를 합산으로써 비교적 간단하게 전체 다중 홉 중계 채널의 평균적인 특성을 파악할 수 있다. 따라서 CRC 오류의 합의 크기에 따라 적응적으로 고정된 DF 중계 기술 혹은 선택적 DF 중계 기술을 변환함으로써, 다중 홉 환경에서 발생할 수 있는 신뢰도 및 전송률의 열화를 감소시킬 수 있다.

제안된 적응적 DF 중계 기술에서 중계 기술 스위칭 방법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Adaptive DF} = \begin{cases} \text{Fixed DF} & E_{\text{total}} > E_{\text{th}} \\ \text{Selective DF} & E_{\text{total}} \leq E_{\text{th}} \end{cases} \quad (14)$$

여기서 E_{total} 는 각각의 홉에서 발생한 오류의 합을 나타내고, E_{th} 는 중계 방법을 결정짓는 임계값이다. E_{total} 가 E_{th} 보다 크게 되면 고정된 중계 기술을 선택하게 되고, 그 반대의 경우에는 선택적인 중계 기술로 전송하게 된다. 즉, 오류의 합이 임계값보다 크다면, 다중 홉 중계 채널의 상태가 열악하다고 판단할 수 있고, 작다면 다중 홉 중계 채널의 상태가 좋다고 판단할 수 있다. 이 과정은 기존의 방법과 비교했을 때, 추가적인 복잡도 증가 없이 효과적으로 채널의 특성을 판단할 수 있음으로써, 앞 절에서 제안된 STCDD 협력 전송 기법에 쉽게 적용 가능하다. 이 논문에서 사용되는 적응적 DF 중계 기술의 임계값, E_{th} ,는 다음과 같이 표현된다.

$$E_{\text{th}} = \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor, \quad (15)$$

여기서 N 은 중계 단말에 수를 의미한다. UWB 시스템의 채널 모델은 일반적인 채널 모델과 달리 분석이 용이하지 않기 때문에, 식 (15)는 수많은 시뮬레이션을 통한 결과 값에서 도출되었으며, 사용자의 요구에 따라 변화 될 수 있다. 즉, 시스템 전체의 파워를 절약하는 시스템을 구성을 할 때에는 E_{th} 값이 커지게 된다. 그리고 식 (15)에서 알 수 있듯이, 적응적 DF 중계 기술

에서 사용되는 임계값은 다중 홉의 수와는 무관한 반면, 중계 단말의 수와는 밀접함을 알 수 있다. 따라서 다중 홉 환경에서도 기본적인 단일 홉 환경과 마찬가지로 중계 단말의 수에 따라 성능이 향상되므로 제안된 STCDD 협력 전송 기법과 적응적 DF 중계 기술의 적용으로 여러 환경에서 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

V. 모의실험 및 고찰

이 절에서는 제안된 STCDD 협력 전송 기법과 적응적 DF 중계 기법의 성능을 평가한다. 기본적으로 MB-OFDM 시스템의 시스 파라미터를 사용하였고, 스펙에 기준한 UWB 채널 모델을 사용하였다. 소스 단말과 중계 단말들 사이의 중계 채널의 상태인, SNR_{SR} 에 따라 성능 비교를 하였다. 여기서, SNR_{SR} 은 소스 단말과 중계 단말간의 중계 채널의 상대적인 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 값을 나타내며, 중계 단말과 목적 단말사이의 채널 SNR보다 좋은 정도를 나타낸다. 또한, 제안된 적응적 DF 중계 기술의 성능을 알아보기 위해 경로 손실 요소인 α 값은 도시환경에 적합한 '3'을 사용하였고 제안된 적응적 DF 중계 기술의 성능을 보다 명확하게 나타내기 위해 시스템의 시간 및 주파수 동기는 완벽하다고 가정하였다.

먼저, 그림 4는 MB-OFDM 시스템에서 전송률 480 Mbps일 때, 중계 단말의 수가 3개이고 UWB 채널 모델 CM1에서 SNR_{SR} (소스 단말과 중계 단말의 상대적

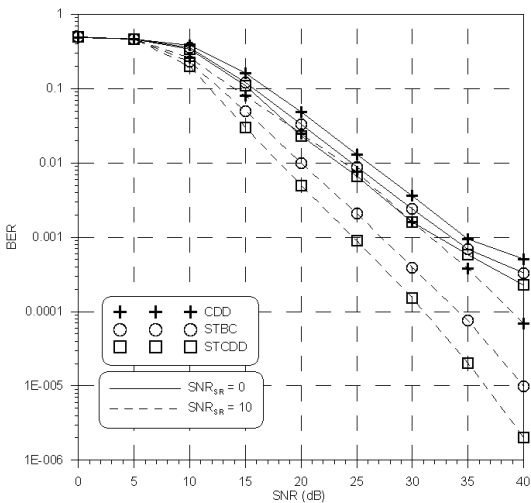


그림 4. 제안된 기법의 SNR_{SR} 에 따른 BER 성능 (CM1, 480Mbps)

인 차)의 값이 0, 10[dB]인 경우 나타내었다. 위 시뮬레이션 결과를 통해 BER에 영향을 미치는 요인은 전송 기법과 채널 상태 그리고 채널모델 임을 알 수 있다. 먼저 전송기법을 비교해보면, 제안된 STCDD 협력 전송 기법이 기존의 CDD와 STBC 협력 전송 기법에 비해 상대적으로 향상된 성능을 나타내고 있으며 세 가지 기법 중 가장 최적의 전송 기법임을 보여준다. 그리고 중계 채널의 상대적인 차에 따른 비교를 보면, SNR_{SR} 이 0, 10[dB]인 경우, SNR_{SR} 의 값이 높아질수록 BER 성능이 향상됨을 알 수 있고 특히, SNR_{SR} 의 값이 10[dB]인 경우에 그 향상 폭이 더욱더 커짐을 알 수 있다. 이는 소스 단말과 중계 단말 사이의 중계 채널 상태가 중계 단말과 목적 단말의 채널 상태에 비해 상대적으로 양호할수록, 중계 단말에서 보다 정확하게 신호를 수신 할 확률이 높아지고, 최종적으로는 목적 단말이 소스 단말에서 중계 단말을 거쳐 전송된 소스 신호를 보다 신뢰성 있게 수신할 수 있다.

그림 4에서는 중계 채널의 상대적인 상태에 따른 성능 평가를 보았다면, 그림 5는 중계 단말의 수에 따른 성능 평가를 보여준다. SNR_{SR} 의 값을 10[dB]으로 고정시키고, 중계 단말의 수를 3, 6으로 확장한 경우에 대해 비교한다. 전체 전송률을 동일하게 하기 위해 서 중계 단말의 수가 3일 경우, 4/9의 천공된 컨볼루션 코드를 사용하고, 6일 경우, 1/2의 천공된 컨볼루션 코드를 사용한다. 중계 단말의 수가 3에서 6으로 증가됨에 따라 다이버시티 오더가 높아짐을 알 수 있다.

그림 6과 7은 제안된 STCDD 협력 전송 기법과 제안된 적응적 DF 중계 기술을 결합하였을 때의 성능 향

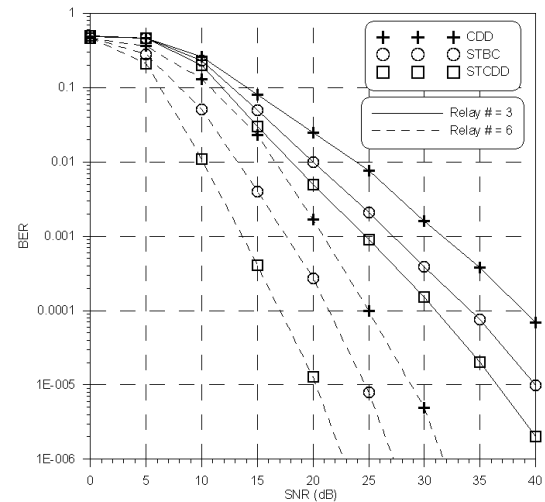


그림 5. 제안된 기법의 중계 단말 개수에 따른 BER 성능 (CM1, 480 Mbps)

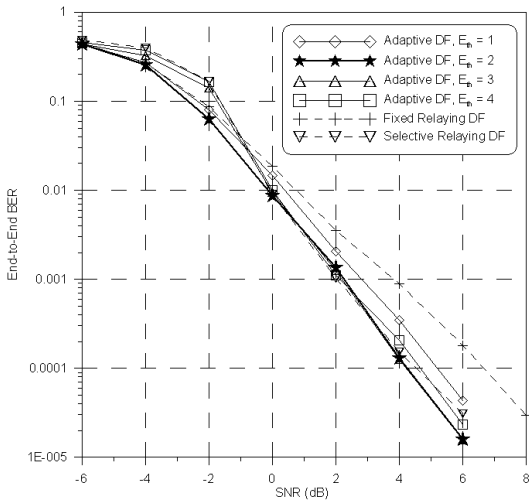


그림 6. 중계 단말의 개수가 5개 일 때, 기존 중계 기술과 제안된 중계 기술의 BER 성능 비교

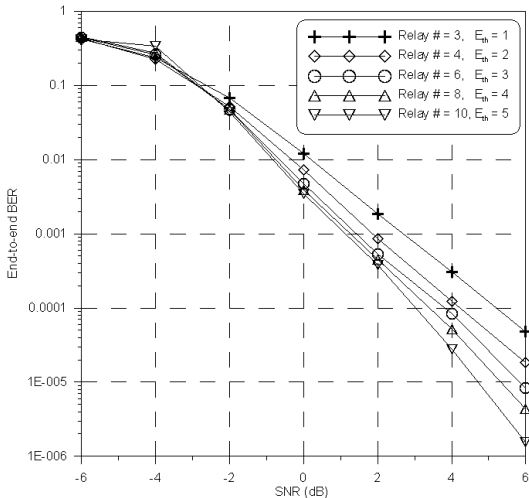


그림 7. 듀얼 홉 네트워크에서 중계 단말의 개수에 따른 BER 성능

상을 나타낸다. 먼저 그림 6에서는 중계 단말의 수가 5개 일 경우, 기존의 기본적인 고정된 중계 기술 혹은 선택적 중계 기술과 제안된 적응적 DF 중계 기술의 BER 성능을 비교하고 있다. 고정적 DF 중계 기술은 제안된 적응적 DF 중계 기술에 비해 0[dB]이상의 SNR에서 BER 성능의 열화를 가져오고 이와 반대로 선택적 DF 중계 기술은 제안된 적응적 DF 중계 기술에 비해 0[dB] SNR 이하에서 성능이 저하된다. 그리고 최적의 E_{th} 에 따라 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 다양한 E_{th} 를 적용하였다. 실험 결과에서 나타나듯이 제안된 적응적 DF 중계 기술은 식 (16)에 의해

도출된 $E_{th} = 2$ 일 경우 최적의 성능을 나타낸다. 그리고 그림 7은 듀얼 홉 협력 전송 환경에서 제안된 적응적 DF 중계 기술을 적용하였을 경우에도 협력하는 중계 단말 수가 증가할수록 다이버시티 오더가 증가됨을 보여준다.

따라서 그림 6과 7을 통해, 제안된 적응적 DF 중계 기술은 각각의 중계 기술 및 중계 단말의 수와 최적의 E_{th} 값이 시스템의 BER 성능에 가장 큰 영향을 미치는 요인임을 알 수 있다.

VII. 결 론

본 논문에서는 현재 UWB 전송 기술 중 하나인 MB-OFDM 시스템에서 하드웨어 복잡도의 증가 없이 성능을 향상시킬 수 있는 STCDD 협력 전송 기법 및 적응적 DF 중계 기술을 제안하고 모의실험을 통한 성능 평가를 진행하였다. 먼저, 기본적인 단일 홉 협력 환경에서 기존의 협력 전송 기법에 비해 MB-OFDM 시스템에서 중계 단말의 수에 따라 보다 효율적으로 적용되었고, 성능 향상 폭 또한 우수함을 알 수 있었다. 그리고 이를 확장한 다중 홉 협력 환경에서는 제안된 적응적 DF 중계 기술을 통해, STCDD 협력 전송 기법의 성능 열화를 최소화 하였다. 그러나 제안된 적응적 DF 중계 기술에서 중계 단말 선택이 완벽하고 선택과정에 따른 시간 지연 또한 없다고 가정하였기 때문에, 실제 다중 홉 협력 환경에서는 본 논문에서 보여진 실험 결과보다 성능 감쇄가 일어날 수 있겠다.

참 고 문 헌

- [1] 최은창, “WiMedia UWB 기반 무선 USB 응용 기술동향,” TTA Journal, No.124, pp.80-85, 2009년 7월.
- [2] MultiBand OFDM Alliance (MBOA) Special Interest Group (SIG)/Wimedia Alliance, Inc. (WiMedia), “Multi-Band OFDM Physical Layer Specification,” Release Candidate Version 1.5, March 2009.
- [3] S. M. Alamouti, “A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless communications,” IEEE J. Sel. Areas Commun., Vol.16, No.8, pp.1451-1458, October 1998.
- [4] A. Dammann, P. Lusina, and M. Bossert, “On the Equivalence of Space-time Block

Coding with Multipath Propagation and/or Cyclic Delay Diversity in OFDM,” in Proc. European Wireless 2002, Vol.2, pp.847-851, February 2002.

- [5] M. Bossert et al., “On Cyclic Delay Diversity in OFDM Based Transmission Schemes,” in proc. 7th International OFDM Workshop, Hamburg, Germany, September 2002.
- [6] 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, December 2004.
- [7] M. R. Souryal and B. R. Vojcic, “Performance of Amplify-and-Forward and Decode-and-Forward Relaying in Rayleigh Fading with Turbo Codes,” in ICASSP, Vol.4, pp.14-16, May 2006.
- [8] Y. Li and G. L. Stuber, “OFDM for Wireless Communications,” Springer, 2006.
- [9] Z. Hong and L. Thibault, “Bandwidth Efficient Space-Frequency Codes based on Cyclic Delay Diversity,” in VTC-2006, pp. 25-28, September 2006.

송진혁 (Jin-Hyuk Song)

준회원



2008년 2월 세종대학교 정보통신공학과 학사
 2010년 2월 세종대학교 정보통신공학과 석사
 <관심분야> MIMO, 협력 통신, MB-OFDM

윤재선 (Jae-Seon Yoon)

정회원



2005년 2월 세종대학교 정보통신공학과 학사
 2007년 2월 세종대학교 정보통신공학과 석사
 2007년 3월~현재 세종대학교 정보통신공학과 박사과정
 <관심분야> MIMO, 디지털 방송, 협력 통신, WPAN

송형규 (Hyoung-Kyu Song)

중신회원



1996년 2월 연세대학교 전자공학과 박사
 1996년 1월~2000년 2월 전자부품연구원 책임연구원
 2000년 3월~현재 세종대학교 정보통신공학과 교수
 <관심분야> 디지털통신, 방송통신, WPAN