

# OFDM 기반의 무선 협력 통신에서 STBC 기술을 적용한 선택적 릴레이 통신 기법

정희원 이 제 연\*, 양 모 찬\*\*, 준회원 유 성 철\*\*, 종신회원 신 요 안\*\*

## Relay Selection Schemes Using STBC Technique in OFDM-Based Cooperative Wireless Communications

Jeyeon Lee\*, Mochan Yang\*\* *Regular Members*, Sungcheol Yoo\*\* *Associate Member*  
Yoan Shin\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반의 STBC (Space Time Block Coding) 기술을 적용한 릴레이 선택 기법을 제안한다. 송신기에서 릴레이에 두 개의 안테나를 이용하여 신호를 전송하고 릴레이에서 역시 두 개의 안테나를 사용하여 수신기에 신호를 전송한다. 본 논문에서 제안하는 릴레이 선택 기준은 송신기와 릴레이, 릴레이와 수신기 사이의 순시적인 등가 채널 이득을 바탕으로 다수의 릴레이 중 최대 등가 채널 이득을 갖는 릴레이를 선택하여 전송하는 기법이다. 특히, 시스템의 오버헤드를 줄이기 위해 심벌을 그룹화 하여 릴레이 선택 기법을 수행하였다. 모의실험 결과, 제안된 릴레이 선택 기법은 선택 가능한 릴레이 후보 수가 증가함에 따라 선택적 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있고, 심벌 그룹화를 적용하는 경우 주파수 선택도가 낮은 페이딩 채널 환경에서 성능 열화 없이 시스템의 오버헤드를 줄일 수 있음을 확인할 수 있다.

**Key Words** : Cooperative communication, OFDM, Relay Selection, STBC, Symbol Grouping

### ABSTRACT

We propose relay selection schemes using STBC (Space Time Block Coding) technique in OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)-based wireless systems. The proposed schemes select the optimum relay having the maximum instantaneous equivalent channel gain among multiple candidate relays. Also, in order to reduce the system overhead, a symbol grouping method which groups some amount of symbols before selecting the optimum relay is proposed. The simulation results show that the proposed relay selection schemes can obtain more selection diversity gain as the number of selectable relay candidates increases. Furthermore, the proposed scheme with the symbol grouping can reduce system overhead without any degradation of the performance in fading channels with low frequency selectivity.

### I. 서 론

무선 멀티미디어 시대를 맞이하여 대용량의 데이터

를 고속으로 전송해야 할 필요성이 급격히 증가하고 있어, 차세대 무선 통신 시스템에서는 고속 데이터 전송을 위해서 시스템 용량 증가 및 안정적인 데이터 전

※ 이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2011-0000116).

\* (주)이노와이어리스 (lly1280@innowireless.co.kr), \*\* 숭실대학교 (yashin@ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-01-061, 접수일자 : 2011년 1월 27일, 최종논문접수일자 : 2011년 6월 17일

송을 필요로 한다. 협력 다이버시티 (Cooperative Diversity) 기법은 무선 통신 네트워크상의 단말기들이 안테나를 공유하여 공간 다이버시티 이득을 얻음으로 시스템의 용량 증가 및 안정적인 데이터 전송을 가능하게 한다. 사용자간에 서로 안테나를 공유하여 시스템 용량을 증대시키는 방법이 제안된 후, 릴레이 (Relay)의 협력 방식에 따른 다양한 방식과 성능이 제안되었다. 그러나 협력 통신 기법을 통해 다이버시티 이득을 얻기 위해서는 추가적인 자원 할당이 요구되고, 이로 인해 주파수 효율이 감소된다<sup>[1]</sup>. 계속해서, 릴레이 기반의 협력 통신 기법은 송신기와 수신기 사이의 릴레이를 이용하여 간단하고 적은 비용으로 시스템의 전송 범위 확대 및 전송 데이터량을 증가시킬 수 있고, 다수의 릴레이를 사용하는 다중 릴레이 채널에서는 사용 가능한 중계기의 수가 증가하면 전송 경로의 수가 증가되기 때문에 다이버시티 이득이 증가한다.

한편, 다중 안테나 기술을 이용하여 다이버시티 이득을 얻기 위해 고안된 시공간 블록 부호화 기법 (Space Time Block Code; STBC)은 시공간에서 부호화된 신호를 전송하는 방법으로 Alamouti에 의해 제안되었으며, 2개의 송신 안테나에만 적용 하였으나 이후 Tarokh에 의해 3개 또는 4개의 송신 안테나에 적용하도록 확장되었다<sup>[2,3]</sup>. 이러한 STBC 기법은 직교 코드 (Orthogonal Code)를 사용하여 간단한 선형 계산으로 신호 검출이 가능하지만, 안테나 수가 3개 이상 있을 경우 전송률이 감소하는 문제점이 있어 현재 까지 다양하게 연구되고 있는 분야이다<sup>[2,3]</sup>.

본 논문에서는 앞서 살펴본 릴레이에 STBC 기법을 이용한 환경에서 최적의 릴레이를 선택하는 기법을 제안하고자 한다. 제안 기법을 살펴보기에 앞서 현재까지의 릴레이 선택 기법을 살펴보면 다음과 같이 최적의 릴레이를 선택하는 기준이 크게 4가지로 정리 되는 것을 볼 수 있다<sup>[4]</sup>.

1. SNR 기반
2. 채널 이득 기반 (혹은 물리적인 거리)
3. Best Worst 채널 기반
4. Best Harmonic 평균 값 기반

계속해서, 릴레이 선택과 관련된 연구가 대부분 단일 안테나를 사용하는 송수신기를 고려하고 있다. 특히, 다수의 릴레이 중 최적의 릴레이를 선택하는 방법에서 다수의 안테나 환경을 고려하는 연구는 현재 양적, 질적으로 미흡한 단계에 있다<sup>[5]</sup>. 따라서, 본 논문에서는 다수 안테나를 사용하는 다수의 릴레이 협력 통신 환경에서 STBC 송수신 방식에 따라 얻어진 등가

채널 이득을 이용하여 최적의 릴레이 선택 기법을 제안하고자 한다. 또한, 본 논문에서는 릴레이 선택을 위하여 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술의 부반송파 (Sub-carrier)를 그룹화 (Grouping)하여 등가 채널 이득을 기준으로 하는 방법을 이용하였고, 선택적 릴레이 기법을 적용하여 수신기에서 처리하는 계산량을 줄일 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서는 크게 릴레이 동작 방식을 증폭후 재전송 (Amplify and Forward; AF)과 복호후 재전송 (Decode and Forward; DF)으로 나누어서 살펴보았다. 제안된 방식의 모의실험 결과, 릴레이의 두 가지 동작 방식에서 선택 가능한 후보 릴레이 수가 증가할 수록 선택적 릴레이 기법의 BLER (Block Error Rate) 성능이 향상됨을 확인할 수 있고, 주파수 선택도 (Frequency Selectivity)가 낮은 페이딩 환경에서 부반송파를 그룹화 하였을 경우에 시스템의 오버헤드를 줄이면서 성능의 열화는 거의 없음을 확인하였다.

본 논문의 구성을 살펴보면 다음과 같다. 2장에서는 OFDM 기반의 STBC 기법에 대하여 살펴보고, 3장에서는 제안하는 선택적 릴레이 기법에 대하여 설명한다. 이어 4장에서는 모의실험을 통해 선택적 릴레이 기법의 성능을 비교 분석하며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. OFDM 기반의 STBC 기법

무선 통신에서는 전송 과정 중 채널의 상태가 다양하게 변화하고 그에 따라 주파수 선택적 페이딩 현상을 겪게 되어 수신 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 감소 및 BER (Bit Error Rate) 성능을 떨어뜨린다. 이러한 페이딩 현상을 극복하기 위해 충분히 긴 CP (Cyclic Prefix)를 가지는 OFDM 기법을 사용하여 주파수 선택적 채널을 여러 개의 주파수 비선택적 플랫폼 페이딩 (Flat Fading) 채널로 변환하여 극복할 수 있고, 독립적인 경로를 통해 수신하는 다이버시티를 획득함으로써 극복할 수 있다. 그러므로 다중 송수신 안테나를 사용하는 다이버시티 기법은 페이딩을 극복하는 중요한 기법 중 하나이다<sup>[2,3,6,7]</sup>.

시공간 부호화 기법은 여러 개의 송신 안테나를 이용하여 송신 다이버시티 이득을 얻는 부호화 방법이다. 시공간 부호화는 크게 STBC 와 시공간 트렐리스 부호화 (Space Time Trellis Code; STTC)로 분류할 수 있다. STTC는 대체적으로 더 좋은 성능을 보이지만, 최대 다이버시티 차수를 얻기 위해서 ML

(Maximum Likelihood) 복호기의 복잡도가 송신 안테나의 개수와 전송률에 대하여 지수적으로 증가하므로 높은 차수의 변조 기법을 사용하는데 제약이 있다<sup>6,7)</sup>.

STBC 분야에서는 Alamouti가 2×1 복소 직교 설계를 이용한 송신 다이버시티 구조를 소개하였고, Tarokh은 이를 일반화하여 직교성을 가지는 시공간 블록 부호화를 제안하였다. STBC는 상대적으로 부호화 이득은 작지만, 최대 다이버시티 차수를 가지면서 수신기에서 선형 처리만으로 ML 복호를 가능하게 하기 때문에 낮은 복잡도의 수신기를 갖는 장점이 있다<sup>2,3)</sup>.

Alamouti는 2개의 안테나에 대한 복소 직교 설계를 이용한 송신 다이버시티 기법을 제안하였고 여기서 -ary 변조 방식을 가정하였다. 두 개의 송신 안테나를 통한 STBC 기법은 두 심벌  $s_0$ 과  $s_1$ 을 다음 식(1)과 같이 부호화 할 수 있다.

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

여기서 \*는 공액 복소 연산을 나타내고, 행은 시간 슬롯 인덱스, 열은 송신 안테나 인덱스를 의미한다.

수신기에 수신된 신호  $r_{ij}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$r_{11} = h_{11}s_0 + h_{21}s_1 + n_{11} \quad (2)$$

$$r_{21} = -h_{11}s_1^* + h_{21}s_0^* + n_{21} \quad (3)$$

$$r_{12} = h_{12}s_0 + h_{22}s_1 + n_{12} \quad (4)$$

$$r_{22} = -h_{12}s_1^* + h_{22}s_0^* + n_{22} \quad (5)$$

여기서  $r_{ij}$ 는  $i$ 번째 시간 슬롯에  $j$ 번째 수신 안테나로 전송된 신호이고,  $h_{ij}$ 는  $i$ 번째 송신 안테나에서  $j$ 번째 수신 안테나의 채널 계수이다.  $n_{ij}$ 는  $i$ 번째 시간 슬롯에  $j$ 번째 수신 안테나의 복소 가우시안 잡음 신호이다.

수신 신호  $r_{ij}$ 로부터 ML 검출기를 사용하여 다음과 같이 원 신호  $s_0$ 과  $s_1$ 을 검출할 수 있다.

$$\tilde{s}_0 = h_{11}^*r_{11} + h_{21}^*r_{21} + h_{12}^*r_{12} + h_{22}^*r_{22} \quad (6)$$

$$\tilde{s}_1 = h_{21}^*r_{11} - h_{11}^*r_{21} + h_{22}^*r_{12} - h_{12}^*r_{22} \quad (7)$$

이처럼 두 개의 송신 안테나와 두 개의 수신 안테나를 이용한 STBC 기술은 간단한 선형적인 계산을 통해 다이버시티 이득을 얻을 수 있다<sup>2)</sup>.

### III. 제안된 STBC 기반의 선택적 릴레이 협력 통신 시스템

릴레이 협력 통신은 동일한 기능의 2개 이상의 노드들에 의해 형성된 다수의 경로를 통해 신호를 전달하고 적어도 하나의 경로를 통하여 목적지까지 신호가 증계되며, 이들 경로들로부터 수신된 신호를 결합하거나 선택하여 전송된 정보를 추정하는 통신 방식이다. 이러한 릴레이 협력 통신에서는 송신기와 릴레이 혹은 릴레이 간에 상호 협력에 의해서 다수의 경로를 통해 신호를 수신기까지 전달한다. 이를 이용해 수신기에서는 다이버시티 이득을 높이거나 공간적 다중화 이득으로 대역 효율성을 높일 수 있다<sup>8)</sup>.

릴레이 노드에서의 신호처리 방식은 증계 과정에서 복조 및 부호화 여부에 따라 크게 AF 방식과 DF 방식으로 구분될 수 있다. AF 방식은 송신기로부터 수신된 신호를 복조 및 부호화 과정 없이 증폭시킨 후 수신기로 재전송하는 방식이다. DF 방식은 릴레이에서 송신기로부터 수신된 신호를 복조 및 부호화한 후 재변조를 수행하여 수신기로 전달한다. AF 방식은 구현이 간단하고 시스템의 부가적인 자원의 낭비가 거의 없으며 DF 방식보다 시스템 지연이 적은 장점이 있는 반면, 잡음까지 증폭되어 성능이 열화 되는 문제가 발생한다. DF 방식은 재전송되는 과정에서 잡음 신호가 포함되지는 않지만, 신호의 복조 및 부호화 과정에서 지연이 발생하여 ARQ (Automatic Repeat reQuest) 등으로 인한 자원의 낭비가 발생할 수 있다<sup>8,9)</sup>.

한편 다수의 후보 릴레이 중 최적의 성능을 가지는 한 개의 릴레이를 선택하는 선택적 릴레이 기법은, 다수의 릴레이를 사용하는 방식에서 나타나는 주파수 효율 감소 문제, 다수의 릴레이 전송으로 인한 비효율적 전력 사용, 전송에 참여하는 릴레이 간 동기화 문제 등을 해결할 수 있다<sup>9,10)</sup>.

본 논문에서 고려하는 2개의 송신 및 수신 안테나를 사용하여  $K$  개의 릴레이 중 하나를 선택하여 신호를 송수신하는 기법이 그림 1에 도시되어 있다. 제안된 선택적 릴레이 기법은 각각 두개의 송수신 안테나 구조를 가지고 OFDM 기반의 STBC 기술을 적용하여 신호를 송수신한다.

다음 세부 절에서는 릴레이 협력 통신 방식이 AF

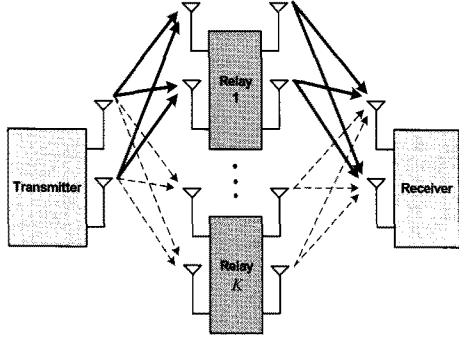


그림 1. 2개의 송수신 안테나를 사용하는 선택적 릴레이 기법

방식인 경우와 DF 방식인 경우에 본 논문에서 제안하는 릴레이를 선택하여 전송하는 기법에 대해 설명한다.

### 3.1 AF 방식에서의 선택적 릴레이 기법

제안된 AF 방식에서의 선택적 릴레이 기법은  $K$ 개의 후보 릴레이 중 송신기와 릴레이 사이의 채널과 릴레이와 수신기 사이의 채널에 대한 등가 채널을 계산해 최적의 릴레이를 선택한다.

그림 2는 제안된 AF 방식의 선택적 릴레이 기법에서 송수신되는 심벌에 대한 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 릴레이를 통과하는 송신기와 수신기 사이의 등가 채널을 계산하기 위한 릴레이에 수신된 STBC 신호는 식 (2)~(5)와 같으며, 수신기에 수신되는 릴레이에서의 STBC 번조 신호는 다음의 식 (8)~(11)과 같이 표현할 수 있다.

$$r'_{11} = \beta(h'_{11}r_{11} + h'_{21}r_{12}) + n'_{11} \quad (8)$$

$$r'_{21} = \beta(h'_{11}r_{21} + h'_{21}r_{22}) + n'_{21} \quad (9)$$

$$r'_{12} = \beta(h'_{12}r_{11} + h'_{22}r_{12}) + n'_{11} \quad (10)$$

$$r'_{22} = \beta(h'_{12}r_{21} + h'_{22}r_{22}) + n'_{22} \quad (11)$$

$$\beta = \sqrt{P_r / (P_s |h_{sr'}|^2 + N_0)} \quad (12)$$

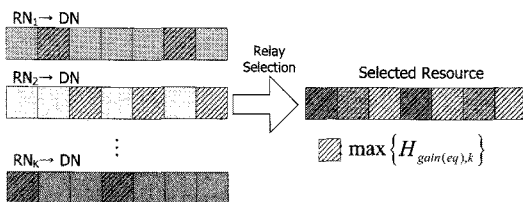


그림 2. AF 방식의 제안된 선택적 릴레이 기법의 개념도

여기서  $r'_{ij}$ 는  $i$ 번째 시간 슬롯에 수신기의  $j$ 번째 수신 안테나로 전송된 릴레이 신호,  $h'_{ij}$ 는 릴레이의  $i$ 번째 송신 안테나에서 수신기의  $j$ 번째 수신 안테나의 채널 계수,  $\beta$ 는 릴레이에서의 증폭 계수이다. 또한  $P_r$ ,  $P_s$ 는 각각 릴레이와 송신기에서의 전송 신호 전력이고  $n'_{ij}$ 는  $i$ 번째 시간 슬롯에 수신기의  $j$ 번째 수신 안테나에 대한 복소 가우시안 잡음 신호, 그리고  $N_0$ 는 잡음의 전력 스펙트럼 밀도이다.

앞의 식 (8)~(11)을 다시 정리하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} r'_{11} &= (h_{11}h'_{11} + h_{12}h'_{21})s_0 + (h_{21}h'_{11} + h_{22}h'_{21})s_1 + n_0 \\ &= H_{eq0}s_0 + H_{eq1}s_1 + n_0 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} r'_{21} &= (h_{21}h'_{11} + h_{22}h'_{21})s_0^* - (h_{11}h'_{11} + h_{12}h'_{21})s_1^* + n_1 \\ &= H_{eq1}s_0^* - H_{eq0}s_1^* + n_1 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} r'_{12} &= (h_{11}h'_{12} + h_{12}h'_{22})s_0 + (h_{21}h'_{12} + h_{22}h'_{22})s_1 + n_2 \\ &= H_{eq2}s_0 + H_{eq3}s_1 + n_2 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} r'_{22} &= (h_{21}h'_{12} + h_{22}h'_{22})s_0^* - (h_{11}h'_{12} + h_{12}h'_{22})s_1^* + n_3 \\ &= H_{eq3}s_0^* - H_{eq2}s_1^* + n_3 \end{aligned} \quad (16)$$

여기서, 위의 수신 신호로부터 ML 검출기를 사용하여 다음과 같이 원 신호  $s_0$ ,  $s_1$ 을 검출할 수 있다.

$$\hat{s}_0 = H_{eq0}^*r'_{11} + H_{eq1}r'_{21} + H_{eq2}^*r'_{12} + H_{eq3}r'_{22} \quad (17)$$

$$\hat{s}_1 = H_{eq1}^*r'_{11} - H_{eq0}r'_{21} + H_{eq3}^*r'_{12} - H_{eq2}r'_{22} \quad (18)$$

식 (13)~(16)을 이용하여 식 (17)과 (18)를 정리하면 식 (19)와 같이 간략하게 표현되며, 여기서 송신 신호가 릴레이를 통과하여 수신기에 수신되는 신호에 대한 등가 채널 이득  $H_{gain(eq)}$ 이 식 (20)과 같이 정리된다.

$$\hat{s}_j = (|H_{eq0}|^2 + |H_{eq1}|^2 + |H_{eq2}|^2 + |H_{eq3}|^2)s_j + n_j \quad (19)$$

$$H_{gain(eq)} = |H_{eq0}|^2 + |H_{eq1}|^2 + |H_{eq2}|^2 + |H_{eq3}|^2 \quad (20)$$

다수의 후보 릴레이에서 선택적 릴레이 기법을 수행하기 위해서는 다음의 식 (21)과 같이 최대의 등가 채널 이득을 갖는  $k_{AF}^*$  번째 릴레이를 선택하여 신호를 송신한다.

$$k_{AF}^* = \operatorname{argmax}_{k \in K} \{H_{gain}(eq).k\} \quad (21)$$

### 3.2 DF 방식에서의 선택적 릴레이 기법

먼저 송신기에서 각각의 릴레이에 신호를 전송한다. 여기서 각각의 릴레이에 수신된 신호는 ARQ 등을 통해서 완벽하게 복원된다고 가정한다. 릴레이에서는 수신된 신호를 복호화하고 다시 STBC 부호화 과정을 거쳐 수신기로 신호를 전송한다. 이 과정에서 식 (22)와 같이 다수의 후보 릴레이에서 최대의 채널 이득을 갖는 릴레이를 선택한 후, 선택된 릴레이에서만 신호를 수신기로 전송하고 수신기에서는 수신된 신호를 가지고 식 (2)~(7)의 과정을 통해 원하는 신호를 복원하게 된다. 제안된 DF 방식의 선택적 릴레이 기법의 블록 다이어그램이 그림 3에 도시되어 있다.

$$k_{DF}^* = \operatorname{argmax}_{k \in K} \{H_{gain.k}\} \quad (22)$$

여기서  $H_{gain.k}$ 는  $k$  번째 릴레이와 수신기 사이의 STBC 채널 이득이다.

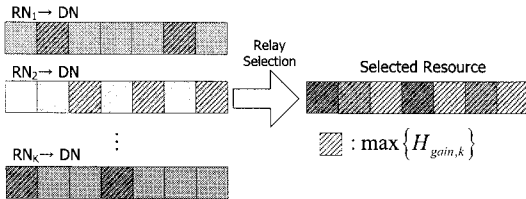


그림 3. DF 방식의 제안된 선택적 릴레이 기법의 예

### 3.3 심벌 그룹화를 통한 시스템 복잡도 감소 기법

위 3.1~3.2에서 STBC를 사용하는 선택적 릴레이 기법에서는 2개의 심벌 당 해당하는 채널 이득을 계산하여 최적의 릴레이를 선택하였다. 하지만, 이는 처리해야 하는 연산량이 증가하므로 시스템의 오버헤드가 증가하게 된다. 본 논문에서는 이러한 시스템 오버헤드를 줄이기 위해서, 심벌을 그룹화 하여 채널 이득을 계산한 후 릴레이를 선택하여 전송하는 방안을 제안한다. 제안된 심벌 그룹화 기법에 대한 블록 다이어그램은 그림 4에 도시되어 있다.

심벌을 그룹화 하여 채널 이득을 계산하는 방법은

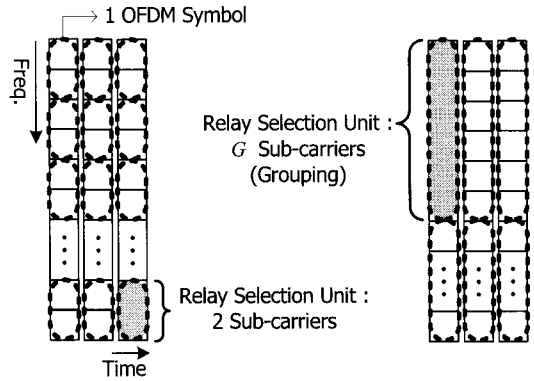


그림 4. 시스템 오버헤드를 줄이기 위해 제안된 심벌 그룹화 기법의 블록 다이어그램

다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\bar{H}_{gain.k} = \frac{1}{G} \sum_{n=1}^G H_{gain.k.n} \quad (23)$$

여기서  $\bar{H}_{gain.k}$ 는 해당 그룹에 대한  $k$  번째 릴레이의 평균 채널 이득 값,  $H_{gain.k.n}$ 는  $k$  번째 릴레이의 해당 그룹 안에서  $n$  번째 심벌의 채널 이득 값,  $G$ 는 하나의 그룹을 구성하는 심벌의 개수이다. 이렇게  $G$ 개의 심벌로 그룹화 하여 계산된 평균값을 가지고 최고의 이득을 갖는 릴레이를 선택하여 신호를 전송하게 되면, 채널 이득을 계산하기 위해 필요한 시스템의 오버헤드를 줄일 수 있다.

## IV. 모의실험 결과 및 분석

본 논문에서는 OFDM 기반의 STBC 기법을 적용한 환경에서 선택적 릴레이 기법에 따른 성능을 비교 분석하고자 링크 레벨 모의실험을 수행하였다.

표 1과 2는 본 논문에서 고려하는 OFDM 기반의

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

| 파라미터                  | 값  |
|-----------------------|--|
| 중심 주파수                | 2 GHz  |
| 채널 대역폭                | 10 MHz   |
| FFT 포인트 수             | 1,024  |
| Cyclic Prefix 포인트 수   | 128  |
| OFDM 심벌 당 사용되는 부반송파 수 | 600  |
| 페이딩 채널 모델             | ITU-R M.1225 <sup>[10]</sup><br>Pedestrian-A, Pedestrian-B |
| 그룹화 한 심벌 크기, $G$      | 12, 30, 50   |

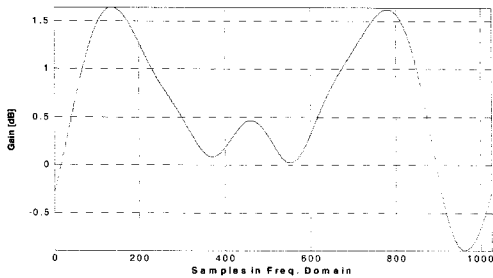
표 2. ITU-R M.1225 Pedestrian-A 및 B 채널 모델 파라미터

| Tap | Channel A           |                    | Channel B           |                    |
|-----|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|     | Relative Delay (ns) | Average Power (dB) | Relative Delay (ns) | Average Power (dB) |
| 1   | 0                   | 0                  | 0                   | 0                  |
| 2   | 110                 | -9.7               | 200                 | -0.9               |
| 3   | 190                 | -19.2              | 800                 | -4.9               |
| 4   | 410                 | 22.8               | 1200                | -8.0               |
| 5   | -                   | -                  | 2300                | -7.8               |
| 6   | -                   | -                  | 3700                | -23.9              |

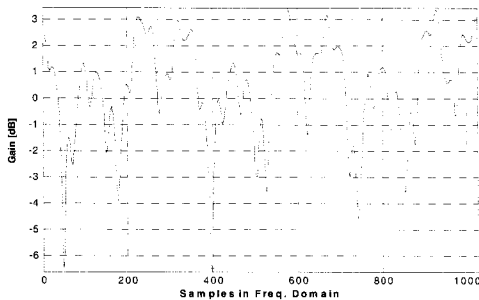
STBC 기법을 적용한 선택적 릴레이 기법의 BLER 성능을 도출하기 위한 모의실험 및 채널 파라미터를 보여주고 있다<sup>[11]</sup>. 후보 릴레이의 개수는 총  $K=4$ 개 이고 릴레이는 송신기와 수신기 사이의 중간 거리에 균등하게 분포하고 송신기에서 수신기까지의 직접적인 신호 전송은 없다고 가정하였다.

그림 5는 주파수 영역에서 Pedestrian-A와 Pedestrian-B 채널에서의 채널 선택도를 보여주고 있다. 그림을 보면 A 채널보다 B 채널이 더욱 빠르게 변화하는 것을 확인 할 수 있고 이를 통하여 주파수 선택도가 큰 것을 확인할 수 있다.

그림 6과 7은 SISO (Single Input Single Output) 상황에서 제안된 선택적 릴레이 기법을 적용한 경우

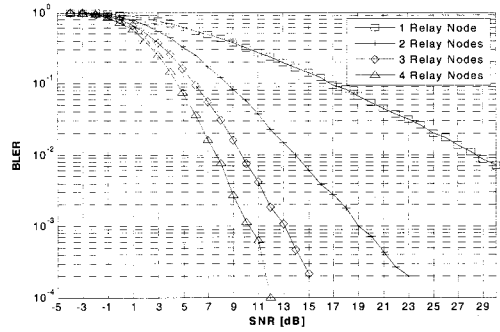


(a) Pedestrian-A channel model

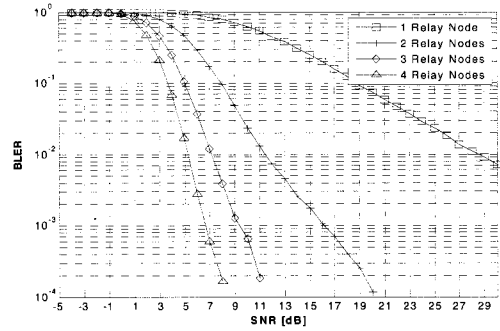


(b) Pedestrian-B channel model

그림 5. 페이딩 채널 모델에 EKfms 주파수 선택도 비교

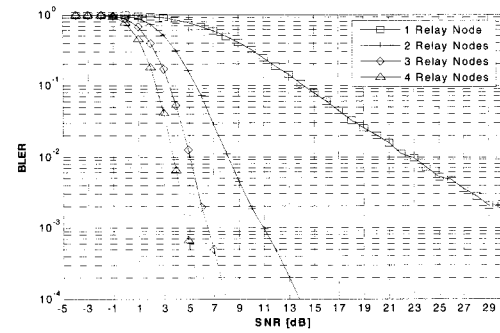


(a) Pedestrian-A channel model

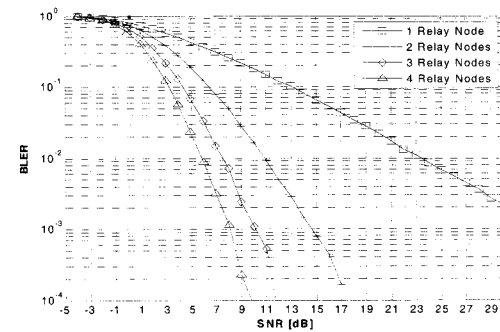


(b) Pedestrian-B channel model

그림 6. SISO 환경에서 제안된 기법의 후보 릴레이 수에 따른 BLER 성능 비교 (AF 방식)



(a) Pedestrian-A channel model



(b) Pedestrian-B channel model

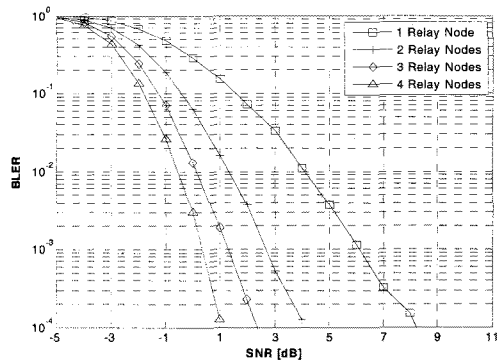
그림 7. SISO 환경에서 제안된 기법의 후보 릴레이 수에 따른 BLER 성능 비교 (DF 방식)

의 BLER 성능을 보여준다.

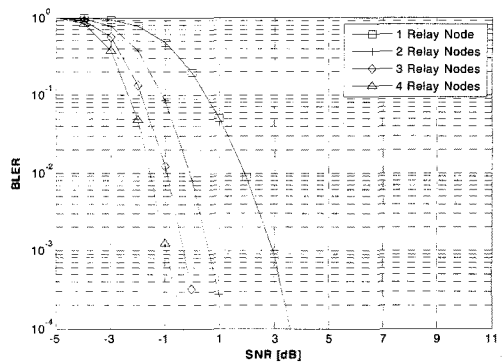
AF 방식을 사용할 때, 2개의 후보 릴레이를 적용한 경우 단일 릴레이를 사용한 경우와 비교하면 A 채널에서는  $10^{-2}$  BLER에서 약 15 dB의 성능 이득이 있고, B 채널에서는 약 17 dB의 성능 이득을 얻는 것을 확인할 수 있다.

또한 DF 방식을 사용한 경우에는 A 채널에서 약 12 dB의 성능 이득이 있고 B 채널에서는 약 15 dB의 성능 이득이 있음을 확인할 수 있다. 결과를 분석해보면 AF 방식과 DF 방식을 사용한 경우 모두 릴레이 수가 증가할수록 다이버시티 이득이 증가하여 BLER 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있고, AF 방식과 DF 방식 모두 B 채널의 높은 주파수 선택도로 인해 A 채널보다 높은 다이버시티 이득이 있음을 확인할 수 있다.

그림 8과 9는  $2 \times 2$  STBC 기법을 적용한 제안된 선택적 릴레이 기법을 사용한 경우에 A 채널과 B 채널에서의 BLER 성능을 각각 보여주고 있다. AF 방식에서 1개의 릴레이를 사용한 경우와 2개의 릴레이를 사용한 경우를 비교하면, A 채널에서는  $10^{-2}$  BLER에서 약 3.5 dB의 성능 이득이 있고, B 채널에서는 약 2.5



(a) Pedestrian-A channel model

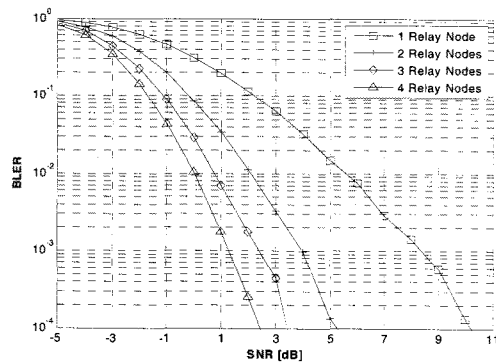


(b) Pedestrian-B channel model

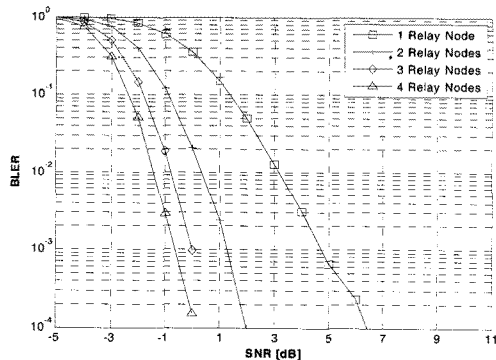
그림 9. STBC 방법을 적용한 제안된 기법의 후보 릴레이 수에 따른 BLER 성능 비교 (DF 방식)

dB의 성능 이득이 있음을 확인할 수 있다. 또한 DF 방식을 사용한 경우를 비교해 보면, A 채널에서는 약 2.5 dB의 성능 이득이 있고 B 채널에서는 약 2 dB의 성능 이득을 확인할 수 있다. 앞서의 SISO의 경우보다 STBC 다이버시티 이득을 얻어 단일의 릴레이를 사용하더라도 더 좋은 BLER 성능을 보이고 있고, 얻어지는 다이버시티 이득은 줄어들지만 후보 릴레이 수가 증가할수록 이득이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

그림 10과 11은 후보 릴레이 수가 4이고 부반송파를  $G=12, 30, 50, 100$ 개씩 그룹화 하여 시스템의 오버헤드를 줄인 경우에 A 채널과 B 채널에서의 BLER 성능을 보여주고 있다. 그룹화를 하지 않은 경우와 12, 30, 50, 100개의 부반송파로 그룹화하여 채널 이득을 계산하여 릴레이를 선택한 경우를 비교해 보면, 주파수 선택도가 상대적으로 적은 A 채널에서 AF 방식은 그룹화하지 않은 경우와 100개의 부반송파로 그룹화한 경우에  $10^{-2}$  BLER에서 약 0.5 dB의 성능 차이를 보이고 있고, DF 방식에서는 약 0.2 dB의 성능 차이만을 보이고 있다. 이와 같이 주파수 선택도가 낮은 채널 환경에서는 그룹화 하는 부반송파의 수가 증

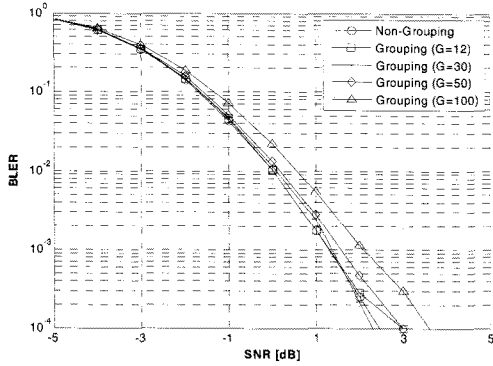


(a) Pedestrian-A channel model

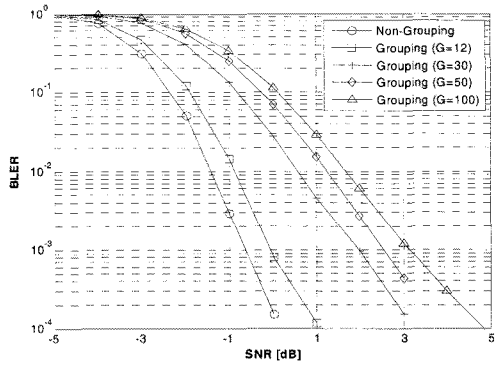


(b) Pedestrian-B channel model

그림 8. STBC 방법을 적용한 제안된 기법의 후보 릴레이 수에 따른 BLER 성능 비교 (AF 방식)

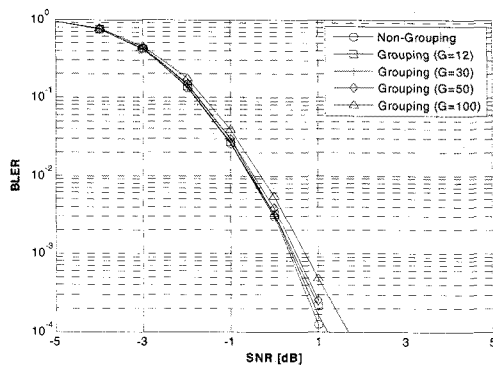


(a) Pedestrian-A channel model

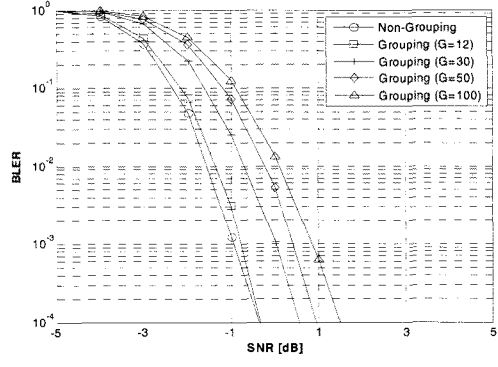


(b) Pedestrian-B channel model

그림 10. 심벌 그룹화를 적용한 제한된 기법의 BLER 성능 비교 (AF 방식)



(a) Pedestrian-A channel model



(b) Pedestrian-B channel model

그림 11. 심벌 그룹화를 적용한 제한된 기법의 BLER 성능 비교 (DF 방식)

가하더라도 큰 성능 차이는 보이지 않으면서 시스템의 오버헤드를 줄일 수 있는 것을 확인할 수 있다.

한편 높은 주파수 선택도 특성을 갖는 B 채널에서의 부반송파 그룹화에 의한 성능을 비교해보면, AF 방식은 그룹화하지 않은 경우와 100개의 부반송파로 그룹화한 경우에  $10^{-2}$  BLER에서 약 3 dB의 성능 차이를 보이고 있고, DF 방식에서는 약 2.5 dB의 성능 차이를 보이고 있다. 이처럼 부반송파 그룹화 기법은 주파수 선택도가 낮은 환경에서는 성능 저하 없이 시스템의 오버헤드를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있지만, 주파수 선택도가 높은 환경에서는 그룹화 되는 부반송파의 수가 증가할수록 성능이 저하되어 시스템에서 적절한 부반송파의 수를 결정할 필요가 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 OFDM 및 STBC 반복조 기술을 적용한 환경에서 등가 채널 이득을 기준으로 하는 선택적

적 릴레이 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 데이터 전송 전에 릴레이 선택이 이루어지고 분산된 방식으로 데이터 전송이 됨으로서 시스템의 부담이 감소한다. 릴레이 선택은 AF 방식에서는 송신기와 릴레이, 릴레이와 수신기 사이의 등가 채널 이득 값을 이용하여 릴레이를 선택하고, DF 방식에서는 릴레이와 수신기 사이의 최대 등가 채널 이득을 가지게 되는 경로를 선택하여 릴레이 선택이 이루어진다. 또한 본 논문에서는 릴레이 선택 시 필요한 채널 이득 값을 도출하기 위한 연산량을 줄이기 위해, 심벌을 그룹화 하여 채널 이득 값을 구하는 방안을 제시하였다.

모의실험 결과, AF 방식과 DF 방식을 사용한 선택적 릴레이 기법 모두 제안된 선택적 릴레이 기법을 적용하면 선택적 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며 후보 릴레이 수가 증가할수록 이의 성능 이득이 높아짐을 확인할 수 있었다. 또한, 채널의 주파수 선택도가 적은 환경에서 심벌을 그룹화 하여 릴레이 선택적 기법을 적용하여 성능 열화를 최소화 하면서 시스템의



오버헤드를 줄일 수 있음을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

[1] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol.50, No.12, pp.3062-3080, Dec. 2004.

[2] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE Jour. Selected Areas in Commun.*, Vol.16, No.8, pp.1451-1458, Oct. 1998.

[3] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block coding for wireless communications: Performance results," *IEEE Jour. Selected Areas in Commun.*, Vol. 17, No.3, pp.451-460, Mar. 1999.

[4] Y. Jing and H. Jafarkhani, "Single and multiple relay selection schemes and their achievable diversity orders," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.8, No.3, pp.1414-1423, Mar. 2009.

[5] W. Zhang and B. Letaief, "Opportunistic relaying for dual-hop wireless MIMO channels," *Proc. IEEE Globecom 2008*, pp.1-5, New Orleans, USA, Dec. 2008.

[6] D. Lin, P. Chiang, and H. Li, "Performance analysis of two-branch transmit diversity block-coded OFDM systems in time-varying multipath Rayleigh-fading channels," *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, Vol.54, No.1, pp.136-148, Jan. 2005.

[7] J. Kim, R. W. Heath, Jr., and E. J. Powers, "Receiver designs for Alamouti coded OFDM systems in fast fading channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.4, No.2, pp.550-559, Mar. 2005.

[8] A. Nosratiinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.42, No.10, pp.74-80, Oct. 2004.

[9] A. Bletsas, A. khisti, D. P. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," *IEEE*

*Jour. Selected Areas in Commun.*, Vol.24, No.3, pp.659-672, Mar. 2006.

[10] A. Bletsas, H. Shin, and M. Z. Win, "Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.6, No.9, pp.3450-3460, Sept. 2007.

[11] Recommendation ITU-R M.1225, *Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000*, 1997.

이 제 연 (Jeyeon Lee)

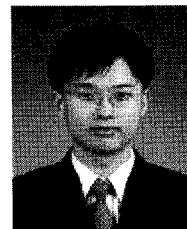
정회원



2008년 8월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
 2010년 8월 숭실대학교 정보통신공학과 석사  
 2010년 9월~현재 (주)이노와이 어리스 연구원  
 <관심분야> OFDM 시스템, 협력통신 시스템, LTE, LTE-A 시스템

양 모 찬 (Mochan Yang)

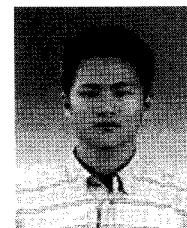
정회원



2005년 8월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
 2009년 2월 숭실대학교 정보통신공학과 석사  
 2009년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정  
 <관심분야> 협력통신 시스템, LTE-A 시스템, OFDM 시스템, 자원할당 기술, Cognitive Radio 기술

유 성 철 (Sungcheol Yoo)

준회원



2010년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
 2010년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정  
 <관심분야> 협력통신 시스템, LTE-A 시스템, 자원할당 기술

신 요 안 (Yoan Shin)

중신회원

한국통신학회논문지 Vol.34, No.1 참조