

복조후 전송 중계기를 이용한 협력통신 시스템에서 직교 전송 개념을 이용한 동일 채널 간섭 완화

Co-channel Interference Mitigation using Orthogonal Transmission Scheme for Cooperative Communication System with Decode-and-Forward Relays

김 은 철*
(Eun-Cheol Kim)

서 성 일**
(Sung-II Seo)

김 진 영***
(Jin-Young Kim)

요 약

본 논문에서는 복조후 전송 (DF: Decode-and-Forward) 중계기를 사용하는 협력통신 (Cooperative Communication) 시스템에서 동일 채널로 전송된 다른 신호에 의해 단말기에 발생할 수 있는 간섭 완화 방법에 대해 분석하고 실험하였다. 간섭 완화 방법은 동일 채널로 전송할 신호를 직교 부호를 이용하여 부호화한 후 전송하면, 수신기는 미리 알고 있는 직교 부호를 이용하여 자신이 원하는 신호만 수신하는 것이다. 본 논문에서 이용한 직교 부호는 직교 골드 부호 (Orthogonal Gold Code) 를 이용하였다. 하지만 직교 골드 부호 이외에 직교 성질을 가지는 다른 부호를 직교 부호로 사용할 수 있다. 또한 추가적인 배열 이득으로 인해 시스템 성능을 향상시키기 위해 시공간 블록 부호화 (STBC : Space Time Block Coding) 개념을 적용하였다.

Abstract

In this paper, we analyze and simulate co-channel interference (CCI) mitigation method for cooperative communication systems employing decode-and-forward relays. In co-channel interference mitigation method, A source transmits signals that are encoded by orthogonal code. Then, the receiver can distinguish its own signals from the received signals by using the orthogonal code which is already known to the receiver. The orthogonal codes applied to this paper are orthogonal Gold codes. However, we can employ other codes, which have orthogonality, as the orthogonal code. In addition, we utilize a space time block coding (STBC) scheme for enhancing the system performance by obtaining additional array gain.

Key words: Co-channel interference, cooperative communication, interference mitigation, orthogonal transmission, space time block code (STBC)

† 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2009-(C1090-0902-0005))

* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

*** 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 전파공학과 부교수

† 논문접수일 : 2009년 9월 23일

† 논문심사일 : 2009년 11월 3일(1차), 2010년 2월 7일(2차)

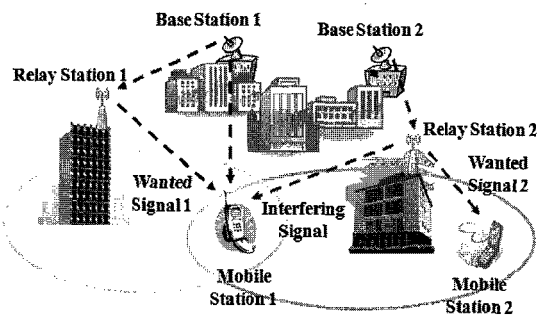
† 게재확정일 : 2010년 2월 9일

I. 서 론

무선통신 시스템에서 중계기는 기본적으로 기지국의 셀 영역을 확장하거나 음영지역 문제를 해결하여 서비스 품질을 향상시키기 위해 사용되었다. 하지만 근래에 들어서는 협력 프로토콜을 이용하여 기지국과 단말기 사이에서 통신을 지원하고 다이버시티 이득으로 인한 전체 시스템 성능 향상을 도모하기 위해서 사용되기도 한다 [1-3].

다수의 중계기를 이용하여 협력통신을 하는 경우 인접한 중계기의 서비스 영역이 서로 겹칠 수 있다. 그리고 <그림 1>에서 보는 바와 같이 단말기가 이동 중에 두 중계기의 서비스 영역이 겹치는 부분에 들어왔을 경우, 단말기는 자신이 원하는 신호뿐만 아니라 원하지 않는 간섭 신호 역시 수신하게 된다. 게다가 만약 간섭 신호와 원하는 신호의 주파수 대역이 동일하다면 단말기는 원하는 신호와 간섭 신호를 구별할 수 없게 된다. 따라서 이러한 경우 협력통신을 통한 다이버시티 이득을 얻을 수 없게 되고, 결국 시스템 성능은 저하된다.

이와 같이 협력통신에서 중계기간에 발생하는 간섭 문제를 해결하기 위해서, 다수의 기지국과 이동국이 있는 통신 네트워크에서 multiuser zero-forcing



<그림 1> 협력통신에서 다수 중계기의 중복된 서비스 영역에 단말기가 존재하여 간섭 신호와 원하는 신호를 모두 수신하는 간섭 시나리오

<Fig. 1> Interference scenario that a mobile station receives both wanted signals and interfering signals since it exists in the overlapped service region of several relays for cooperative communications

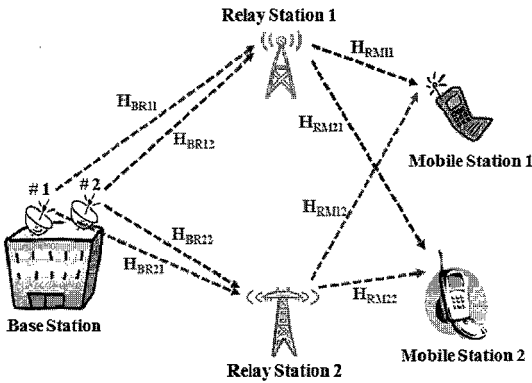
중계 기법 및 최적 중계기 이득 할당 기법이 제안되었다 [4,5]. 또한 [6]에서는 기지국과 각 중계기간의 채널 정보를 이용하여 적절한 사전부호화 벡터를 선택하여 다수의 중계기간에 발생하는 동일채널 간섭 문제를 해결하는 방법이 제안되었다.

본 논문에서는 다수의 사용자가 존재하는 환경에서 다수의 중계기를 이용하여 협력통신을 하는 경우 직교 전송 개념을 적용하여 동일채널 간섭문제를 해결하기 위한 방법을 제안하였다. 직교 전송은 직교 부호를 이용하여 송신 신호를 부호화한 후 송신하는 방식이다. 이 때 기지국에서 사용된 직교 부호에 대한 정보는 이동국이 사전에 알고 있다고 가정한다. 또한 기지국과 중계기 및 이동국간의 동기는 정확히 일치한다고 가정하였고, 중계기와 이동국은 각각의 채널 상태 정보를 알고 있다고 가정하였다. 본 논문에서 적용된 중계기는 복조후 전송 (DF : Decode-and-Forward) 방식의 중계기이다. 그리고 본 논문에서는 추가적인 배열 이득을 얻기 위해서 시공간 블록 부호 (STBC : Space Time Block Code)를 적용하였다. 본 논문에서 제안한 시스템의 성능은 비트 오류 확률 측면에서 평가하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장에서는 본 논문에서 고려한 협력통신 시스템 모델을 제시하였으며, 제 III장에서는 본 논문에서 제안한 직교 협력 시공간 블록 부호화 전송 개념에 대해서 상세히 기술하였다. 제 IV장에서는 제안한 시스템의 모의 실험 결과를 제시하였으며, 마지막으로 본 논문의 결론을 제 V장에서 언급하였다.

II. 협력통신 시스템 모델

<그림 2>는 본 논문에서 고려한 협력통신 시스템 모델을 나타낸다. 두 개의 안테나를 가진 하나의 기지국과, 각각 하나의 안테나를 가진 두 개의 중계기, 그리고 각각 하나의 안테나를 가진 두 개의 이동국을 고려하였다. 기지국과 이동국 사이에는 직선 경로가 존재하지 않기 때문에 기지국에서 송신한 신호는 반드시 중계기를 거쳐서 이동국에 수신된다. 기지국의 각 안테나로부터 송신된 신호 $S_1 = [s_1^1, s_1^2, \dots, s_1^N]^T$ 과



<그림 2> 본 논문에서 고려한 협력통신 시스템 모델
 <Fig. 2> Cooperative communication system model considered in this paper

$S_2 = [s_2^1, s_2^2, \dots, s_2^N]$ 는 중계기 1과 중계기 2에 모두 수신된다. 각 중계기는 수신된 신호에서 송신된 두 신호를 분리하여 복원한 후 두 신호를 다시 더하여 이 동국으로 재전송한다. 각 이동국은 중계기 1과 중계기 2로부터 송신된 신호를 수신하여 두 신호를 적절히 결합함으로써 다이버시티 이득을 얻고 협력통신을 수행한다. 본 논문에서는 Half-Duplex 중계기를 고려한다. 따라서 중계기는 송신과 수신을 동시에 수행할 수 없다. 그리고 기지국은 신호를 이동국에 전송하기 위해서 2 단계 과정이 필요하다. 첫 번째 단계는 기지국이 송신한 신호가 두 중계기에 수신되는 과정이고, 두 번째 단계는 중계기가 복호 후 재전송한 신호가 이동국에 수신되는 과정이다.

III. 직교 협력 시공간 블록 부호화 전송

기지국은 이동국 1과 이동국 2에 송신해야 할 신호 s_1 과 s_2 를 각각 직교 부호 $O_1 = [o_1^1, o_1^2, \dots, o_1^M]$ 과 $O_2 = [o_2^1, o_2^2, \dots, o_2^M]$ 를 이용하여 부호화한다. 직교 부호는 식 (1)의 조건을 만족한다.

$$O_j O_k^T = 0, \quad j \neq k \quad (1)$$

또한 직교 부호화에 의해 송신 신호의 전력이 바뀌지 않도록 하기 위해 직교 부호는 식 (2)의 조건을

만족해야 한다.

$$O_j O_k^T = 1, \quad j = k \quad (2)$$

부호화된 신호는 식 (3) 및 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$C_1 = (S_1)^T O_1 \quad (3)$$

$$= \begin{bmatrix} s_1^1 o_1^1 & s_1^1 o_1^2 & \dots & s_1^1 o_1^M \\ s_1^2 o_1^1 & s_1^2 o_1^2 & \dots & s_1^2 o_1^M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_1^N o_1^1 & s_1^N o_1^2 & \dots & s_1^N o_1^M \end{bmatrix}$$

$$C_2 = (S_2)^T O_2 \quad (4)$$

$$= \begin{bmatrix} s_2^1 o_2^1 & s_2^1 o_2^2 & \dots & s_2^1 o_2^M \\ s_2^2 o_2^1 & s_2^2 o_2^2 & \dots & s_2^2 o_2^M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_2^N o_2^1 & s_2^N o_2^2 & \dots & s_2^N o_2^M \end{bmatrix}$$

여기서 $C_1 = \begin{bmatrix} c_1^1 & c_1^2 & \dots & c_1^M \\ c_1^{M+1} & c_1^{M+2} & \dots & c_1^{N \times M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_1^{(N-1) \times M + 1} & c_1^{(N-1) \times M + 2} & \dots & c_1^{N \times M} \end{bmatrix}$ 과

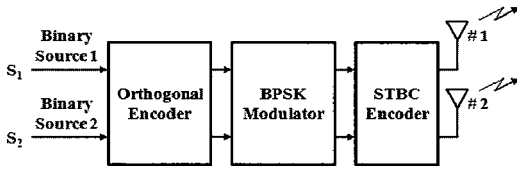
$$C_2 = \begin{bmatrix} c_2^1 & c_2^2 & \dots & c_2^M \\ c_2^{M+1} & c_2^{M+2} & \dots & c_2^{N \times M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_2^{(N-1) \times M + 1} & c_2^{(N-1) \times M + 2} & \dots & c_2^{N \times M} \end{bmatrix}$$

는 각각 s_1 및

s_2 를 직교 부호에 의해 부호화한 신호이고, $(\cdot)^T$ 는 전치행렬 연산을 나타낸다. 직교 부호화기 출력은 변조과정을 거친 후 시공간 블록 부호화된다. 본 논문에서 고려하는 시공간 블록 부호화 전송 행렬은 식 (5)과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} -(c_1^{2i} + c_2^{2i})^* & c_1^{2i-1} + c_2^{2i-1} \\ (c_1^{2i-1} + c_2^{2i-1})^* & c_1^{2i} + c_2^{2i} \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 $i = 1, 2, \dots, (N \times M) / 2$ 이다. 식 (5)에서 두 번째 열은 첫 번째 전송주기 동안 송신되는 신호를 나타내고, 첫 번째 열은 두 번째 전송주기 동안 송신되는 신호를 나타낸다. 그리고 첫 번째 행은 첫 번째 안테나로부터 송신되는 신호를 나타내고, 두 번째 행은 두 번째 안테나로부터 송신되는 신호를 나타낸



<그림 3> 기지국의 블록 다이어그램
<Fig. 3> Block diagram for base station

다. 시공간 블록 부호화기 출력은 반송파 주파수가 동일한 채널을 통하여 송신된다. <그림 3>은 기지국의 블록 다이어그램을 나타낸다.

여기서 두 개의 기지국 안테나 사이의 충분한 이격을 통하여 기지국 안테나 1과 중계기 1, 기지국 안테나 1과 중계기 2, 기지국 안테나 2와 중계기 1, 기지국 안테나 2와 중계기 2 사이의 채널은 각각 독립이라고 가정하고, 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$H_{BR11} = [h_{BR11}^1, h_{BR11}^2, \dots, h_{BR11}^{(N \times M)/2}] \quad (6)$$

$$H_{BR21} = [h_{BR21}^1, h_{BR21}^2, \dots, h_{BR21}^{(N \times M)/2}] \quad (7)$$

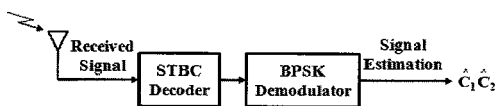
$$H_{BR12} = [h_{BR12}^1, h_{BR12}^2, \dots, h_{BR12}^{(N \times M)/2}] \quad (8)$$

$$H_{BR22} = [h_{BR22}^1, h_{BR22}^2, \dots, h_{BR22}^{(N \times M)/2}] \quad (9)$$

<그림 4>는 중계기 수신단의 블록 다이어그램을 나타낸다.

중계기 1에 첫 번째 비트 구간 및 두 번째 비트 구간동안 수신된 신호 $Y_{RS11} = [y_{RS11}^1, y_{RS11}^2, \dots, y_{RS11}^{(N \times M)/2}]$ 및 $Y_{RS12} = [y_{RS12}^1, y_{RS12}^2, \dots, y_{RS12}^{(N \times M)/2}]$ 는 식 (10) 및 식 (11)와 같이 표현할 수 있다.

$$y_{RS11}^i = h_{BR11}^i (c_1^{2i-1} + c_2^{2i-1}) + h_{BR12}^i (c_1^{2i} + c_2^{2i}) + n_{RS11}^i \quad (10)$$



<그림 4> 중계기 수신단의 블록 다이어그램
<Fig. 4> Block diagram for receiver part of relay

$$y_{RS12}^i = -h_{BR11}^i (c_1^{2i} + c_2^{2i})^* + h_{BR12}^i (c_1^{2i-1} + c_2^{2i-1})^* + n_{RS12}^i \quad (11)$$

여기서 $i = 1, 2, \dots, (N \times M)/2$ 이다. 그리고 $N_{R11} = [n_{R11}^1, n_{R11}^2, \dots, n_{R11}^{(N \times M)/2}]$ 과 $N_{R12} = [n_{R12}^1, n_{R12}^2, \dots, n_{R12}^{(N \times M)/2}]$ 는 평균이 0이고, 분산이 각각 σ_{R11}^2 과 σ_{R12}^2 인 부가 백색 가우시안 잡음 (AWGN : Additive White Gaussian Noise)을 나타낸다. 마찬가지로 중계기 2에서 첫 번째 비트 구간 및 두 번째 비트 구간동안 수신된 신호 $Y_{RS21} = [y_{RS21}^1, y_{RS21}^2, \dots, y_{RS21}^{(N \times M)/2}]$ 및 $Y_{RS22} = [y_{RS22}^1, y_{RS22}^2, \dots, y_{RS22}^{(N \times M)/2}]$ 는 식 (12) 및 식 (13)과 같이 표현할 수 있다.

$$y_{RS21}^i = h_{BR21}^i (c_1^{2i-1} + c_2^{2i-1}) + h_{BR22}^i (c_1^{2i} + c_2^{2i}) + n_{RS21}^i \quad (12)$$

$$y_{RS22}^i = -h_{BR21}^i (c_1^{2i} + c_2^{2i})^* + h_{BR22}^i (c_1^{2i-1} + c_2^{2i-1})^* + n_{RS22}^i \quad (13)$$

여기서 $i = 1, 2, \dots, (N \times M)/2$ 이다. 그리고 $N_{R21} = [n_{R21}^1, n_{R21}^2, \dots, n_{R21}^{(N \times M)/2}]$ 과 $N_{R22} = [n_{R22}^1, n_{R22}^2, \dots, n_{R22}^{(N \times M)/2}]$ 는 평균이 0이고, 분산이 각각 σ_{R21}^2 과 σ_{R22}^2 인 부가 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 중계기 1에서 추정된 신호는 식 (14) 및 식 (15)과 같이 표현할 수 있다.

$$\widehat{c}_{1,RS1}^{2i-1} + \widehat{c}_{2,RS1}^{2i-1} = y_{RS11}^i (h_{BR11}^i)^* + (y_{RS12}^i)^* h_{BR12}^i = (c_1^{2i-1} + c_2^{2i-1}) (|h_{BR11}^i|^2 + |h_{BR12}^i|^2) + n_{RS11}^i \quad (14)$$

$$\widehat{c}_{1,RS1}^{2i} + \widehat{c}_{2,RS1}^{2i} = y_{RS11}^i (h_{BR12}^i)^* - (y_{RS12}^i)^* h_{BR11}^i = (c_1^{2i} + c_2^{2i}) (|h_{BR11}^i|^2 + |h_{BR12}^i|^2) + n_{RS12}^i \quad (15)$$

여기서 $i = 1, 2, \dots, (N \times M)/2$ 이며, $\widehat{c}_{1,RS1}$ 와 $\widehat{c}_{2,RS1}$ 는 각각 원신호 c_1 과 c_2 를 중계기 1에서 추정한 신호이고 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\widehat{c}_{1,RS1} = [\widehat{c}_{1,RS1}^1, \widehat{c}_{1,RS1}^2, \dots, \widehat{c}_{1,RS1}^{N \times M}] \quad (16)$$

$$\widehat{c}_{2,RS1} = [\widehat{c}_{2,RS1}^1, \widehat{c}_{2,RS1}^2, \dots, \widehat{c}_{2,RS1}^{N \times M}] \quad (17)$$

또한 $N_{RS11} = [n_{RS11}^1, n_{RS11}^2, \dots, n_{RS11}^{(N \times M)/2}]$ 과 $N_{RS12} = [n_{RS12}^1, n_{RS12}^2, \dots, n_{RS12}^{(N \times M)/2}]$ 는 평균이 0이고, 분산이 각각 σ_{RS11}^2 과 σ_{RS12}^2 인 부가 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 그리고 중계기 2에서 추정된 신호는 식 (18) 및 식 (19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\widehat{c_{1,RS2}^{2i-1}} + \widehat{c_{2,RS2}^{2i-1}} = y_{RS21}^i (h_{BR21}^i)^* + (y_{RS22}^i)^* h_{BR22}^i \quad (18)$$

$$= (c_{1,RS2}^{2i-1} + c_{2,RS2}^{2i-1}) (|h_{BR21}^i|^2 + |h_{BR22}^i|^2) + n_{RS21}^i$$

$$\widehat{c_{1,RS2}^{2i}} + \widehat{c_{2,RS2}^{2i}} = y_{RS21}^i (h_{BR22}^i)^* - (y_{RS22}^i)^* h_{BR21}^i \quad (19)$$

$$= (c_{1,RS2}^{2i} + c_{2,RS2}^{2i}) (|h_{BR21}^i|^2 + |h_{BR22}^i|^2) + n_{RS22}^i$$

여기서 $i = 1, 2, \dots, (N \times M)/2$ 이며, $\widehat{c_{1,RS2}}$ 과 $\widehat{c_{2,RS2}}$ 는 각각 원신호 c_1 과 c_2 를 중계기 2에서 추정한 신호이고 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\widehat{c_{1,RS2}} = [\widehat{c_{1,RS2}^1}, \widehat{c_{1,RS2}^2}, \dots, \widehat{c_{1,RS2}^{N \times M}}] \quad (20)$$

$$\widehat{c_{2,RS2}} = [\widehat{c_{2,RS2}^1}, \widehat{c_{2,RS2}^2}, \dots, \widehat{c_{2,RS2}^{N \times M}}] \quad (21)$$

또한 $N_{RS21} = [n_{RS21}^1, n_{RS21}^2, \dots, n_{RS21}^{(N \times M)/2}]$ 과 $N_{RS22} = [n_{RS22}^1, n_{RS22}^2, \dots, n_{RS22}^{(N \times M)/2}]$ 는 평균이 0이고, 분산이 각각 σ_{RS21}^2 과 σ_{RS22}^2 인 부가 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 이와 같은 방법으로 각 중계기는 수신된 신호를 복호화하고 다시 부호화한 후 부호화된 두 신호를 더하여 이동국으로 재전송한다. <그림 5>는 중계기 송신단의 블록 다이어그램을 나타낸다.

중계기 1과 이동국 1, 중계기 1과 이동국 2, 중계기 2와 이동국 1, 중계기 2와 이동국 2 사이의 채널, H_{RM11} , H_{RM21} , H_{RM12} , H_{RM22} , 은 각각 독립이라고 가정하고, 다음 식과 같이 표현할 수 있다.



<그림 5> 중계기 송신단의 블록 다이어그램
<Fig. 5> Block diagram for transmitter part of relay

$$H_{RM11} = [h_{RM11}^1, h_{RM11}^2, \dots, h_{RM11}^{N \times M}] \quad (22)$$

$$H_{RM21} = [h_{RM21}^1, h_{RM21}^2, \dots, h_{RM21}^{N \times M}] \quad (23)$$

$$H_{RM12} = [h_{RM12}^1, h_{RM12}^2, \dots, h_{RM12}^{N \times M}] \quad (24)$$

$$H_{RM22} = [h_{RM22}^1, h_{RM22}^2, \dots, h_{RM22}^{N \times M}] \quad (25)$$

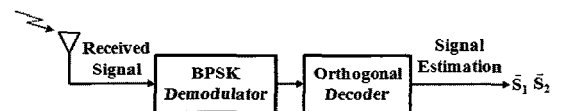
재전송된 신호가 이동국에 수신된 신호 Y_{MS1} 및 Y_{MS2} 는 식 (26) 및 식 (27)과 같이 표현할 수 있다.

$$y_{MS1}^i = h_{RM11}^i (\widehat{c_{1,RS2}^i} + \widehat{c_{2,RS2}^i}) + h_{RM12}^i (\widehat{c_{1,RS2}^i} + \widehat{c_{2,RS2}^i}) + n_{MS1}^i \quad (26)$$

$$y_{MS2}^i = h_{RM21}^i (\widehat{c_{1,RS2}^i} + \widehat{c_{2,RS2}^i}) + h_{RM22}^i (\widehat{c_{1,RS2}^i} + \widehat{c_{2,RS2}^i}) + n_{MS2}^i \quad (27)$$

여기서 $i = 1, 2, \dots, N \times M$ 이고, $Y_{MS1} = [y_{MS1}^1, y_{MS1}^2, \dots, y_{MS1}^{N \times M}]$, $Y_{MS2} = [y_{MS2}^1, y_{MS2}^2, \dots, y_{MS2}^{N \times M}]$ 이다. 그리고 $N_{MS1} = [n_{MS1}^1, n_{MS1}^2, \dots, n_{MS1}^{N \times M}]$ 과 $N_{MS2} = [n_{MS2}^1, n_{MS2}^2, \dots, n_{MS2}^{N \times M}]$ 는 평균이 0이고, 분산이 각각 σ_{MS1}^2 과 σ_{MS2}^2 인 부가 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. <그림 6>은 이동국의 블록 다이어그램을 나타낸다.

이동국 1과 이동국 2는 각각 원하는 신호뿐만 아니라 원하지 않는 간섭 신호까지 수신하게 된다. 하지만 기지국이 사용한 직교 부호에 대한 정보를 이동국도 알고 있다고 가정하였으므로, 각 이동국은 수신된 신호에서 직교 복호화를 이용하여 자신이 원하는 신호만을 구분해 낼 수 있다. 수신된 신호는 복조된 후, 직교 복호화기에 입력된다. 직교 복호화기에서 일어나는 과정은 다음과 같다. 복조된 신호가 M 비트씩 직교 복호화기로 입력되면, 복호화기에서



<그림 6> 이동국의 블록 다이어그램
<Fig. 6> Block diagram for mobile station

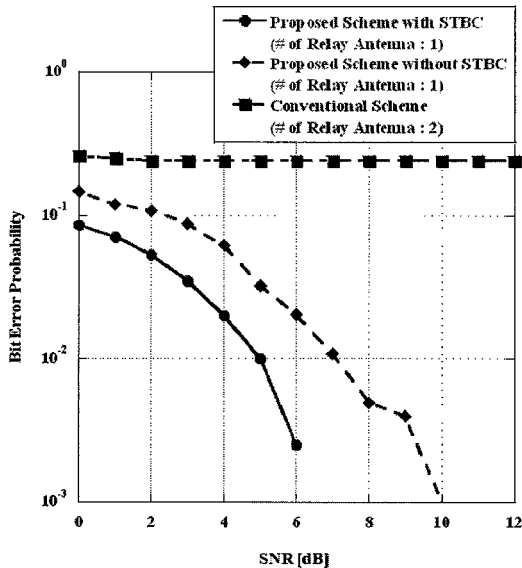
는 기지국에서 사용한 직교 부호와 복호화기에 입력된 신호의 상관값을 계산하여 원하는 신호를 구분해 낼 수 있다. 따라서 직교 부호를 이용하여 수신단에서 동일 채널 간섭을 제거하고, 각 이동국이 원하는 신호만을 적절히 결합함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있고, 전체 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

IV. 모의 실험 및 결과

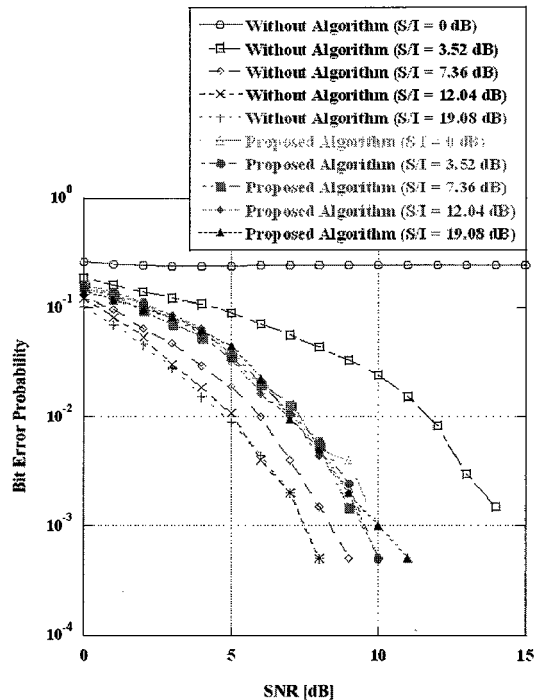
이번 장에서는 협력통신 시스템에 본 논문에서 제안한 간섭 회피 방법을 적용하였을 경우 성능을 분석하기 위한 모의 실험을 하였다. 실험에서 직교 부호는 길이 32 bits의 직교 골드 부호 2개를 사용하였으며, 부호화에 의한 신호 에너지 증가 효과를 제거하기 위해 직교 골드 부호의 크기는 $1/\sqrt{32}$ 로 정규화 하였다. 신호는 이진 위상 변조 키잉 (BPSK : Binary Phase Shift Keying)으로 변조된 신호를 사용하였으며, 채널은 AWGN 채널로 모델링하였다. 협력 통신에 의해 각 중계기로부터 수신기에 수신된 신호를 결합하는 방법은 동일 이득 결합 (EGC : Equal

Gain Combining) 방법을 사용하였다.

<그림 7>은 신호대 잡음비 (SNR : Signal to Noise Ratio)에 따른 비트 오류 확률 성능을 나타낸다. 수신단에서 신호를 구분하지 못하는 경우 (Conventional Scheme)는 신호대 잡음비가 증가할수록 간섭 신호의 에너지까지 같이 증가하기 때문에, 아무리 신호대 잡음비가 증가하여도 성능이 좋아지지 않는 것을 확인할 수 있다. 또한 제안한 직교 전송 기법에 시공간 블록 부호화를 적용하였을 경우 가장 뛰어난 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서 고려한 협력통신 시스템에서 중계기 안테나 개수는 1개이다. 기존의 중계기의 경우는 두 신호를 전송하기 위해 두 개의 안테나가 필요하지만, 본 논문에서 고려한 시스템은 복원된 두 신호를 더한 후 하나의 안테나를 이용하여 이동국에 재전송한다. 따라서 제안된 협력 시공간 블록 부호화 직교 전송 개념은 기존 시스템의 성능을 개선시키면서 중계기 복잡도를 줄일 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 또한 시공간 블록



<그림 7> 제안된 직교 전송 개념의 오류 확률 성능
<Fig. 7> Bit error probability performance of proposed orthogonal transmission scheme



<그림 8> 직교 전송과 빔 형성의 성능 비교
<Fig. 8> Performance comparison of orthogonal transmission with beamforming

부호화 과정에서 2가지 송신 신호를 더하여 부호화 하였으므로 기존의 1가지 신호만을 부호화하는 방법에 비하여 처리량 (Throughput)이 2배로 향상시킬 수 있음을 예상할 수 있다.

<그림 8>은 직교 전송과 빔 형성의 동일 채널 간섭 완화 성능을 나타낸 것이다. 실험 결과, 빔 형성을 하지 않거나 빔 형성을 하여도 신호대 간섭비 (S/I : Signal to Interference Ratio)가 작은 경우 (본 실험에서는 S/I = 1.76 dB), 수신기에서 직교 부호를 사용하지 않으면 중계기 1과 중계기 2로부터 송신된 신호 중에서 원하는 신호와 간섭 신호를 구분할 수 없기 때문에 시스템 성능이 매우 좋지 않은 것을 알 수 있다. 하지만 직교 부호를 사용한 경우는, 빔 형성 여부와 상관없이 간섭 신호가 존재하더라도 수신기에서 원하는 신호를 구별해 낼 수 있기 때문에 신호대 잡음비가 증가할수록 시스템 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 물론 빔 형성을 적절히 하여 S/I가 높은 경우 (본 실험에서는 S/I = 3.68 dB 이상), 직교 부호를 이용한 경우보다 더욱 성능이 좋은 것을 확인할 수 있다. 하지만 빔 형성을 위해서는 수신측으로부터 채널 정보를 feedback 받거나 송신단이 채널을 측정하여 채널 정보를 알아야 한다. 이것은 곧 feedback link를 사용함으로써 무선자원 손실을 발생하거나, 송신단이 송-수신 링크에 대한 정확한 정보를 알 수 없다는 단점을 가지고 있다. 반면에 제안한 알고리즘은 채널 추정이 필요없기 때문에 무선 자원의 손실 없이 간섭 신호를 제거하여 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

V. 결 론

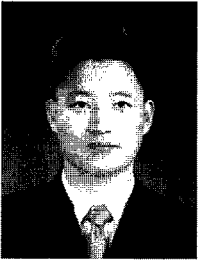
본 논문에서는 다수의 사용자가 존재하는 환경에서 다수의 중계기를 이용하여 협력통신을 하는 경우 발생할 수 있는 동일채널 간섭을 회피하기 위한 방안을 제안하였다. 제안된 간섭 회피 방법은 기지국에서 신호를 송신하기 전에 직교 부호를 이용하여

부호화하고, 이동국은 기지국에서 사용한 동일한 직교부호와 수신 신호의 상관값을 이용하여 간섭신호를 제거하는 것이다. 또한 추가적인 배열 이득을 얻기 위해 기지국에서 시공간 블록 부호로 부호화 하여 신호를 송신하였다. 실험 결과 제안한 방법은 동기가 정확히 일치하여 직교 부호간 오프셋이 존재하지 않는 경우 중계기 복잡도를 감소시키면서 전체 시스템 성능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 10, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [2] 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.
- [3] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 10, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [4] A. Wittneben and B. Rankov, "Distributed antenna systems and linear relaying for gigabit MIMO wireless," in *Proc. of IEEE VTC 2004*, vol. 5, pp. 3624-3630, Sep. 2004.
- [5] A. Wittneben and I. Hammerstroem, "Multiuser zero forcing relaying with noisy channel state information," in *Proc. of IEEE WCNC 2005*, vol. 2, pp. 1318-1023, Mar. 2005.
- [6] J. Zhao, M. Kuhn, A. Wittneben, and G. Bauch, "Cooperative transmission schemes for decode-and-forward relaying," in *Proc. of IEEE PIMRC 2007*, pp. 1-5, Sep. 2007.

저자소개



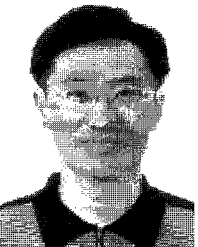
김 은 철 (Kim, Eun Cheol)

2003년 광운대학교 전파공학과 공학사 (전자공학전공)
2005년 광운대학교 전파공학과 공학석사 (전자공학전공)
2005년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정 (전자공학전공)



서 성 일 (Seo, Sung Il)

1992년 서울대학교 전자공학과 공학석사 (전자공학전공)
1992년 ~ 1997년 : 삼성전자, SOC사업부, Audio/Video SOC 개발
1998년 ~ 2007년 : 삼성전자, CDMA2000, WCDMA, WIBRO 통신모뎀 개발
2007년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정 (전자공학전공)



김 진 영 (Kim, Jin Young)

1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사 (전자공학전공)
2000년 미국 Princeton University, Research Associate
2001년 SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원
2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수
2009년 ~ 현재 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist