# 레일리 페이딩 환경 하에서 CDMA 기반의 새로운 협력 신호전송 시스템

# A New Cooperative Signal Transmission System Based on CDMA under Rayleigh Fading Channel

최 정 호 · 공 형 윤

Jeong-Ho Choi · Hyung-Yun Kong

## 요 약

본 논문에서는 각 사용자가 전송하고자 하는 신호의 연속적인 겹침(overlapping)을 통하여 기존 협력 신호법이 가지는 2/3 스펙트럼 효율 및 낮은 다이버시티 이득을 동시에 극복할 수 있는 CDMA 기반의 협력 신호 구조를 제안한다. 제안하는 신호 구조는 기지국과 각 사용자에서 연속적인 데이터 복원이 가능하여 최대 다이버시티 이득을 가질 뿐만 아니라 다음 시간을 위한 데이터를 수신하여 거의 "1"의 스펙트럼 효율을 얻을 수 있다. 또한 CDMA의 직교 확산 코드는 사용자의 구분 및 사용자간 채널 상황을 완화시켜 최대화 복호기의 성능을 향상시킬 수 있다. 제안하는 시스템의 성능 분석을 위하여 레일리 페이딩 채널에 백색 잡음이 더해진 채널 환경을 설정하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다.

## Abstract

In this paper, we propose a new cooperative signaling structure based on CDMA to overcome both 2/3 spectrum efficiency and low diversity gain of conventional cooperative signaling through continuous overlapping of signal that each user wants to transmit. Proposed signal structure can achieve the spectrum efficiency nearly "1" by receiving additional data for next time as well as maximum diversity gain to detect data continuously at both base station and each user. The orthogonality of CDMA's spreading codes can improve performance of optimal detector by reducing inter-user channel environment and distinguishing each user. We perform the computer simulation to verify the proposed system through comparing cooperative mode and non-cooperative mode under Rayleigh fading channel plus AWGN (Additive White Gaussian Noise).

Key words : Cooperative Communication, DFP, CDMA, Rayleigh Fading, AWGN

## Ⅰ. 서 론

최근 이동 통신 서비스는 방송, 멀티미디어 영상, e-mail, 멀티미디어 메시지 등 다양한 서비스를 제공하기 위하여 정지시 2 Mbps 이상의 속도로 데이터를 전송하고 있지만 이것은 사용자의 QoS(Quality of Services)를 만족시키지 못하는 실정이다. 차세대 무선 이동 통신에서는 상대적으로 늘어난 다중 접속자들에 대해 대역폭을 효율적으로 사용하면서도 보다 빠른 데이터율을 지원하기 위한 새로운 변복조 기술에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다.

그러나 이동 통신 환경은 다양한 페이딩, 음영 효

「이 연구에 참여한 연구자는 「2단계 BK21사업」의 지원을 받았습니다.」
「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.」
울산대학교 전기전자정보시스템공학과(School of Electrical Engineering, University of Ulsan)
· 논 문 번 호 : 20061204-147
· 수정완료일자 : 2007년 1월 10일

과, 전파 감쇠, 잡음 및 간섭 등이 존재한다. 이중 다중 경로에 의한 페이딩 현상은 서로 다른 경로를 거쳐 수신되는 서로 다른 위상과 크기를 가지는 신호들의 합에 의한 심각한 신호 왜곡을 초래하게 된다[1]. 이것은 초고속 데이터 전송을 이루기 위해 극복해야 할 어려움 중의 하나이다. 이를 극복하기 위한 방법으로 다이버시티 기술이 많이 연구되고 있다[2].

MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템은 동일한 데이터를 여러 개의 안테나로 전송함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 기술로 알려져 왔다. 수신단에서 다양한 경로를 통해 수신되는 중복 데이터는 MRC(Maximum Ratio Combining)을 거쳐 처리되고 ML(Maximum Likelihood) 결정에 의해 쉽게 원 데이터를 복호할 수 있다. 이러한 장점에도 불구하고 MIMO 시스템은 하나의 모바일에 다수의 안테나를 배치해야 하는 점이 단점으로 지적되고 있다. 이는 무선 장비의 크기, 가격, 하드웨어의 복잡성 등을 증가시킨다[3]. 최근 이러한 제한 사항을 극복하기 위하여 단일 안테나 모바일들이 파트너쉽을 맺어 가상의 다중 안테나 환경을 구성하는 협력 통신(cooperative communication)이라는 기술이 이슈가 되고 있다[3],[4]. 본 기술은 단일 안테나 모바일이 MIMO 시스템과 유사한 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만 기존의 협력 통신을 위한 신호법은 두 번째 시간과 세 번째 시간 동안 파트너의 데이터를 함께 전송함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있지만 스펙트럼 효율은 2/3가 된다[4].

본 논문에서는 단일 안테나 모바일(Mobile Station: MS)이 전송하고자 하는 데이터의 연속적인 겹침(overlapping)을 통하여 스펙트럼 효율 향상 및 최대 다이버시티 이득을 동시에 가질 수 있는 CDMA 기반의 협력 신호 구조를 제안한다. 제안하는 협력 신호 구조는 기존의 신호법과 달리 첫 번째 시간부터 기지국(Base Station: BS)과 파트너로 동시에 신호를 전송한다. 두 번째 시간에는 첫 번째와 두 번째 시간에 발생한 자신의 데이터와 파트너로부터 수신한 데이터 모두를 기지국과 파트너로 전송하게 된다. 이때 두 번째 시간과 같은 전송 형태를 연속적으로 반복함으로써 파이프라인 구조 형태를 만들어낸다. 이를 통해 기지국과 각 사용자에서 연속적인 데이터 복원이 가능하여 최대 다이버시티 이득을 가질 수 있으며, 다음 데이터를 동시에 수신하게 되어 스펙트럼 효율을 향상시킬 수 있다. 또한 CDMA의 직교 확산 코드를 통한 사용자간 구분 및 사용자간 채널 상황 완화를 통하여 보다 신뢰성 있는 데이터 전송을 가능하게 한다. 제안하는 시스템은 레일리 페이딩 채널에 백색 잡음이 더해진 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능을 검증한다. 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 제안하는 새로운 협력 통신 시스템에 대해 제안하는 파이프라인 신호 구조, 협력 전송 시스템(협력 모드와 비협력 모드) 순으로 표현한다. 3장과 4장은 성능 분석 및 결론으로 마무리한다.

## Ⅱ. 제안하는 CDMA 기반의 협력 통신 시스템

### 2-1 협력 통신에 적합한 새로운 신호 전송구조

우선 협력 통신의 간략한 설명을 위하여 두 명의 사용자(MS 1 혹은 User 1, MS 2 혹은 User 2)와 하나의 기지국을 사용하는 무선 네트워크를 고려한다. 두 사용자는 모두 단일 안테나 모바일이며 사용자간의 파트너쉽을 통하여 MIMO 시스템과 유사한 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 이때 두 사용자들은 파트너쉽을 통하여 서로의 정보를 공유할 수 있다고 가정한다[3].

기존의 협력 통신 신호 구조는 각 사용자가 첫 번째 시간에 자신의 데이터를 단순히 기지국으로만 전송한다. 이것은 직접 전송과 동일하며 다이버시티 이득을 갖지 못한다. 두 번째 시간에서는 자신의 데이터를 기지국과 파트너에게 동시에 전송하고 세 번째 시간에 이전시간의 자신의 데이터와 파트너의 데이터를 함께 전송함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있다[4]. 이러한 신호 구조는 부분적인 협력 통신 신호법으로 MIMO 시스템과 같은 최대 다이버시티를 갖지 못할 뿐만 아니라 세 시간 동안 두 데이터를 전송하여 2/3 스펙트럼 효율을 가지는 단점이 있다. 하지만 기존 협력 통신의 최대화 복호기(optimal detector)는 기지국에 수신된 신호 중 세 가지 신호의 연산을 통하여 MRC보다 신뢰성이 높은 데이터 복호가 가능한 장점이 있다.

제안하는 협력 신호 구조는 표 1과 같다. 이때 사용자의 구분을 위한 요소로 CDMA의 직교 확산 코

표 1. 협력 사용자들의 신호 송수신(Tx: 송신 Rx: 수신)
Table 1. Transmit and receive signals of cooperative users(Tx: Transmit Rx: Receive).

| | MS 1(User 1) | | MS 2(User 2) | | BS |
|---|---|---|---|---|---|
| | Tx | Rx | Tx | Rx | Rx |
| 1 | $d_{11}C_1$ | $r_{11}$ | $d_{21}C_2$ | $r_{21}$ | $r_{BS1}$ |
| 2 | $d_{11}C_1+\overline{r_{11}}C_2+d_{12}C_3$ | $r_{12}$ | $\overline{r_{21}}C_1+d_{21}C_2+d_{22}C_4$ | $r_{22}$ | $r_{BS2}$ |
| 3 | $d_{12}C_1+\overline{r_{12}}C_2+d_{13}C_3$ | $r_{13}$ | $\overline{r_{22}}C_1+d_{22}C_2+d_{23}C_4$ | $r_{23}$ | $r_{BS3}$ |
| 4 | $d_{13}C_1+\overline{r_{13}}C_2$ | | $\overline{r_{23}}C_1+d_{23}C_2$ | | $r_{BS4}$ |

드를 사용하며 협력 통신의 신호법 중 복호 후 전송 방식(detect and forward protocol)을 채택하였다.

이러한 신호 구조는 자신의 데이터를 첫 번째 시간부터 파트너와 기지국으로 동시에 전송하며, 두 번째 시간 이후로 파트너에게서 수신한 데이터와 이전 시간에 전송한 자신의 데이터를 파트너와 기지국으로 함께 전송한다. 이러한 과정을 연속적으로 겹침으로써 각 사용자들은 전체 $(N+1)$ 시간 동안 $N$ 개의 데이터 전송이 가능하게 된다. 또한 최대화 복호기의 장점을 그대로 가지기 때문에 협력 통신 시스템의 성능향상 및 스펙트럼 효율을 "1"로 유지할 수 있다.

### 2-1-1 각 사용자의 경우

첫 번째 시간에서 사용자는 자신에게 할당된 직교 확산 코드를 사용하여 자신의 데이터를 파트너와 기지국으로 동시에 전송한다. 사용자 $j$가 $m$시간에 수신한 데이터는 다음과 같이 주어진다.

$$r_{11}=h_{21}d_{21}C_2+n_{11} \quad (1)$$

$$r_{21}=h_{12}d_{11}C_1+n_{21} \quad (2)$$

$r_{jm}$은 사용자 $j$의 수신 데이터, $d_{jm}$는 사용자 $j$에서 생성된 데이터를 말한다. $C_j$는 각 사용자에게 할당된 직교 확산 코드, $n_{jm}$는 백색 잡음이다. $h_{ij}$은 사용자 $i$와 사용자 $j$ 사이의 채널 이득이고 $j$가 1 혹은 2이면 각 사용자이고 3일 경우 기지국을 나타낸다. 이때 사용자간 채널 $h_{12}=h_{21}$은 동일하다고 가정한다.

두 번째 시간에 각 사용자들은 이전 시간에 생성한 자신의 정보와 파트너에게서 수신한 데이터를 함께 전송한다. 아래의 수식은 다이버시티 이득을 가질 수 있는 최소 단위이다.

$$r_{12}=h_{12}(\overline{r_{21}}C_1+d_{21}C_2)+n_{12}$$

$$r_{22}=h_{12}(d_{11}C_1+\overline{r_{11}}C_2)+n_{22}$$

이때 두 번째 시간에 생성된 자신의 데이터를 첨가하여 전송함으로써 데이터 흐름의 연속성을 가지게 한다. 사용자 $j$가 수신한 데이터는 다음과 같다.

$$r_{12}=h_{12}(\overline{r_{21}}C_1+d_{21}C_2+d_{22}C_4)+n_{12} \quad (3)$$

$$r_{22}=h_{12}(d_{11}C_1+\overline{r_{11}}C_2+d_{12}C_3)+n_{22} \quad (4)$$

$\overline{r_{jm}}$는 각 사용자가 파트너의 신호를 복호한 후의 신호를 말한다.

세 번째 시간부터는 식 (3), (4)과 같은 전송 형태를 따르며, 이때 $C_3$와 $C_4$에 의해 전송되는 데이터는 식 (1), (2)와 같은 효과를 발생시킨다.

### 2-1-2 기지국의 경우

기지국은 다이버시티 이득을 얻기 위하여 연속적인 두 시간을 기다린다. 기지국이 수신한 데이터는 사용자 1, 2와 백색 잡음이 결합된 형태로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{31}=h_{13}(d_{11}C_1)+h_{23}(d_{21}C_2)+n_{31} \quad (5)$$

$$r_{32}=h_{13}(d_{11}C_1+\overline{r_{11}}C_2+d_{12}C_3)+h_{23}(\overline{r_{21}}C_1+d_{21}C_2+d_{22}C_4)+n_{32} \quad (6)$$

위 식과 같이 기지국이 수신한 신호는 사용자에게 할당된 직교 확산코드에 의해 정확하게 복호될 수 있다.

#### 2-1-2-1 사용자 1의 경우

기지국은 사용자 1에 할당된 직교 확산 코드인 $C_1$

을 사용하여 다음과 같은 수신 데이터를 얻을 수 있다. 여기서 $y_{Djm}$은 기지국이 $r_{3m}$을 통해 복호한 사용자 $j$의 데이터, $L$은 직교 확산 코드의 길이를 말한다.

$$y_{D11} = \frac{r_{31} \cdot C_1}{L} = h_{13} d_{11} + n_{31} \tag{7}$$

$$y_{D12} = \frac{r_{32} \cdot C_1}{L} = h_{13} d_{11} + h_{23} \overline{r_{21}} + n_{32} \tag{8}$$

식 (7), (8)은 사용자 1의 세 가지 데이터 정보를 가지고 있으며, 최적화 복호기를 사용하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있다[4]. 최적화 복호기의 수식은 다음과 같다.

$$(1-P_{e12})A^{-1}e^{V_1^T y} + P_{e12}Ae^{V_2^T y} \underset{-1}{\overset{1}{\gtrless}} (1-P_{e12})A^{-1}e^{-V_1^T y} + P_{e12}Ae^{-V_2^T y} \tag{9}$$

여기서 $y=[y_{D11}\ y_{D12}]^T$, $V_1=[\alpha_{13}\ (\alpha_{13}+\alpha_{23})]^T$와 $A=\exp(\alpha_{13}\alpha_{23})$를 나타낸다.

만약 사용자간 채널이 이상적일 경우, $P_{e12}=0$이다. 이때 $y_{D11}$과 $y_{D12}$를 기반으로 한 최적화 복호기는 다음과 같다.

$$A^{-1}e^{V_1^T y} \underset{-1}{\overset{1}{\gtrless}} A^{-1}e^{-V_1^T y}$$

이러한 신호는 ML 결정을 통하여 쉽게 원 신호를 복구할 수 있으며 MRC에 비해 보다 신뢰성 있는 신호 복구가 가능하다.

### 2-1-2-2 사용자 2의 경우

사용자 2에 할당된 $C_2$ 직교 확산 코드를 사용하면 사용자 1과 유사한 형태의 식을 얻을 수 있다.

$$y_{D21} = \frac{r_{31} \cdot C_2}{L} = h_{23} d_{21} + n_{31} \tag{10}$$

$$y_{D22} = \frac{r_{32} \cdot C_2}{L} = h_{13} \overline{r_{11}} + h_{23} d_{21} + n_{32} \tag{11}$$

위 식은 사용자 1과 동일한 최적화 복호기를 사용한다.

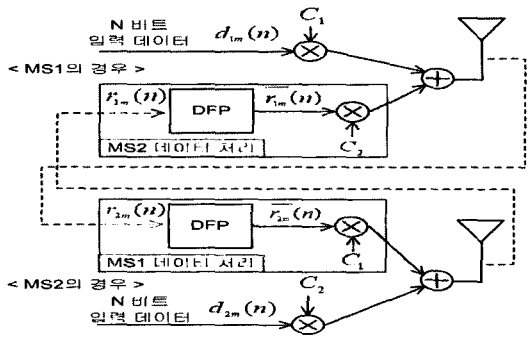
$$A^{-1}e^{V_1^T y} \underset{-1}{\overset{1}{\gtrless}} A^{-1}e^{-V_1^T y}$$

이러한 출력 결과는 ML 결정을 통하여 사용자 2의 원 신호를 쉽게 복구할 수 있다.

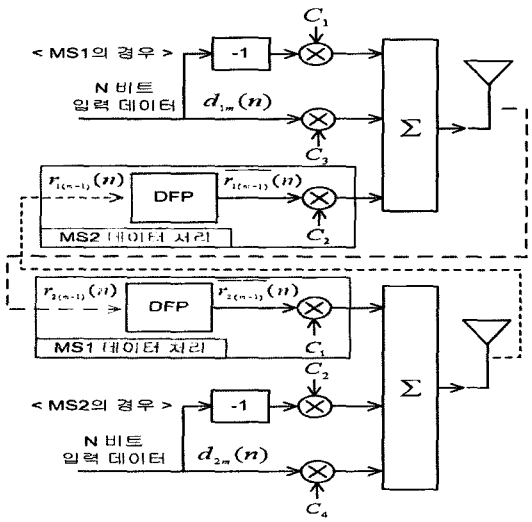
위와 같은 복호 과정은 표 1의 두 번째 시간과 세 번째 시간에 동일하게 적용되어 원 신호를 복구할 수 있다. 이때 두 번째 시간의 신호는 각 사용자에 할당된 $C_3$와 $C_4$를 사용하면 식 (7)과 식 (10)과 같은 형태를 얻을 수 있고, 세 번째 시간은 식 (8)과 식 (11)과 같은 형태를 얻을 수 있다. 이를 통해 제안하는 협력 신호 구조는 연속적인 데이터 전송 및 최대 다이버시티 이득을 가질 수 있다.

## 2-2 제안하는 협력 전송 시스템

그림 1은 제안하는 CDMA 기반의 협력 통신 시스




(a) $m$=0의 경우
(a) $m$=0 case




(b) $m\neq0$의 경우
(b) $m\neq0$ case

그림 1. 제안하는 협력 시스템 모델
Fig. 1. Proposed cooperative system model.

템이 사용자간 채널(사용자 1과 사용자 2 사이)상에서 전송하는 데이터의 흐름을 나타낸 것이다.

$N$개의 데이터를 전송하는 협력 모드의 경우, 각 사용자는 표 1의 첫 번째 시간($m$=0)과 같이 오직 자신의 데이터 $d_{jm}(n)$를 생성하여 사용자에게 할당된 직교 확산 코드($C_j$)를 사용하여 확산시킨다. 이 신호는 기지국과 파트너로 동시에 전송된다.

$$b(n)=C_j \cdot d_{jm}(n) \tag{12}$$

두 번째 시간($m \neq 0$)은 이전 시간에 생성된 자신의 데이터 $d_{j(m-1)}(n)$과 파트너에게서 복호한 데이터 $\overline{r_{j(m-1)}}(n)$를 각각의 직교 확산 코드로 확산시켜 전송함으로써 다이버시티 이득을 가질 수 있다. 이때 두 번째 시간에 생성된 데이터는 각 사용자에게 할당된 다른 직교 확산 코드 $C_i(C_3, C_4)$로 확산시킨다. 세 가지의 직교 확산 코드는 선형 결합을 한 후 기지국과 파트너로 동시에 전송된다.

$$b(n) = d_{j(m-1)}(n) \cdot C_j + \overline{r_{j(m-1)}}(n) \cdot C_j + d_{jm}(n) \cdot C_i \tag{13}$$

마지막 전송 시간은 $C_i$를 사용하지 않은 형태를 따른다.

$$b(n) = d_{j(m-1)}(n) \cdot C_j + \overline{r_{j(m-1)}}(n) \cdot C_j \tag{14}$$

위와 같은 전송 신호는 레일리 분포를 가지는 $h(k)$, $k$=0, …, $K-1$와 [0, $2\pi$]의 위상을 가지는 다중 경로를 통하여 전송된다. $K<N$이라고 가정하면 다중 경로 페이딩 채널은 식 (15)와 같이 나타난다.

$$H(n) = \sum_{k=0}^{K-1} h(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} = \alpha_n e^{j\theta_n} \tag{15}$$

여기서 $\alpha_n$은 채널의 진폭, $\theta_n$은 페이딩 때문에 $N$번째 생기는 위상을 나타낸다.

수신부에서는 각 사용자의 직교 확산 코드를 통하여 신호를 구분할 수 있다. 이때 이상적인 타이밍, 직교 확산 코드의 동기가 같다고 가정하면, 제안하는 신호 구조의 복조는 식 (16)과 같이 나타난다.

$$r(n)=b(n)H(n)+G(n), \quad n=0, \cdots, N-1 \tag{16}$$

$b(n)$은 직교 확산 코드에 의해 역 확산되고 적분을 통하여 원 신호를 복구하게 된다. 여기서 사용되는 사용자 직교 확산 코드는 일반적으로 하다마드 행렬에 의해 만들어지는 왈시 코드를 사용한다.

제안하는 협력 신호 구조는 연속적인 신호 겹침을 통하여 스펙트럼 효율을 향상시킬 수 있으며 다이버시티 이득을 극대화 시킬 수 있는 장점을 가질 수 있다. 또한 CDMA의 직교 확산 코드의 장점으로 인해 보다 신뢰성이 있는 데이터 전송이 가능하게 될 것이다.

만약 두 사용자가 파트너쉽을 통한 협력 통신을 결정하지 못한다면 각 사용자들은 기본적인 CDMA 시스템과 동일한 방식으로 동작한다. 이것은 각 사용자의 확산된 신호가 기지국으로 직접 전송되는 것을 의미하며 기지국은 다이버시티 이득 없이 원 신호를 복호하게 된다.

## Ⅲ. 성능 분석

제안한 시스템의 성능 평가 및 검증을 위한 시뮬레이션은 동일한 확산 이득(spreading gain=64)을 가지는 협력 모드와 비협력 모드를 비교하였고 $10^7$개의 데이터를 전송하였다. 제안하는 CDMA 기반의 협력 신호 구조는 전송 데이터의 연속적인 신호 겹침을 통하여 ($N$+1) 시간 동안 $N$ 프레임을 전송함으로써 스펙트럼 효율을 "1"로 유지하면서 최대 다이버시티 이득을 가질 수 있다. 각 사용자들에게 64×64 왈쉬 코드 중 2개의 직교 확산 코드를 할당하였고, 협력 모드시에는 총 3개의 직교 확산 코드가 선형 결합을 하여 전송되게 된다. 채널 환경은 레일리 페이딩 채널에 백색 잡음이 더해진 채널 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 수행하였다.

### 3-1 사용자간 채널상황이 이상적일 경우

우선 사용자 1, 2와 기지국 사이의 채널 상황을 동일하게 두고 제안하는 시스템의 협력 모드와 비협력 모드에 관한 시뮬레이션을 하였다. 이때 Single CDMA는 비협력 모드를 나타내고 USE 1(CDMA), USE 2(CDMA)는 각 사용자의 협력 모드를 나타내는 파라미터들이다.

사용자간 채널 상황이 이상적일 경우, 그림 2에서

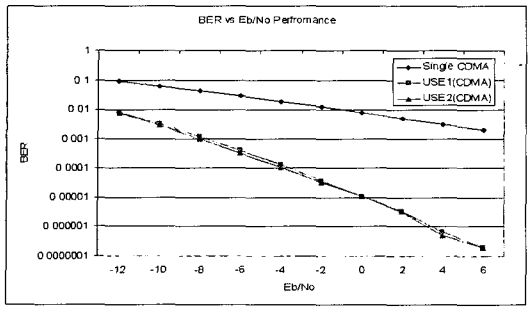



그림 2. 제안하는 협력 통신 시스템 성능 분석
Fig. 2. Performance analysis of proposed cooperative communication system.

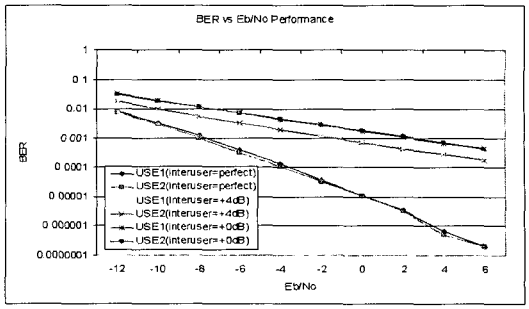



그림 3. 제안하는 협력 통신 시스템의 사용자간 채널 상황 변화에 따른 성능 분석
Fig. 3. Performance analysis of proposed cooperative communication system under different inter-user channel environment.

보듯이 제안하는 협력 통신 시스템은 BER $10^{-2}$에서 비협력 모드보다 협력 모드에서 10 dB 정도의 성능 향상을 보임을 알 수 있다. 또한 채널 상황이 좋아짐에 따라 보다 큰 성능 향상을 얻을 수 있다. 이러한 성능향상은 각 사용자가 전송하는 자신의 데이터와 파트너의 데이터의 정확한 구분 및 기지국과 사용자 사이의 채널 상황을 완화할 수 있는 CDMA의 직교 확산 코드에 의한 것이다. 또한 각 사용자들이 파트너의 데이터를 정확히 수신함으로써 기지국에서 사용하는 최적화 복호기의 성능을 극대화 시킬 수 있기 때문이다.

하지만 사용자간 채널 상황은 협력적인 신호 전송을 위해서 중요한 부분이다. 이는 파트너에게서 수신한 데이터의 신뢰성이 시스템의 성능에 영향을 미치기 때문이다.

### 3-2 사용자간 채널 상황이 변화하는 경우

그림 3은 사용자간 채널 상황이 이상적일 경우(USE 1(interuser=perfect), USE 2(interuser=perfect)), 사용자간 채널이 사용자 1, 2와 기지국 사이보다 +4 dB(USE 1(interuser=+4 dB), USE 2(interuser=+4 dB)), +0 dB(USE 1(interuser=+0 dB), USE 2(interuser=+0 dB)) 좋은 경우 제안하는 협력 통신 시스템의 성능을 비교 분석하였다.

BER $10^{-2}$에서 사용자간 채널 상황의 변화에 따라 약 2 dB의 차이를 보이며 채널 상황이 좋아짐에 따라 많은 차이를 보인다. BER $10^{-3}$에서 사용자간 채널이 이상적일 경우와 비교하여 사용자간 채널이 +4 dB, +0 dB인 경우, 약 6 dB, 8 dB의 성능 차이를 보인다. 이와 같은 결과는, 각 사용자들이 전송하는 신호가 사용자간 채널의 왜곡에 의해 파트너에게 정확하게 수신되지 않기 때문이다. 하지만 제안하는 협력 통신 시스템은 그림 2의 비협력 모드에 비해 약 6 dB 정도의 성능 향상을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 제안하는 협력 모드가 가지는 최대 다이버시티 이득과 더불어 정확한 사용자 구분과 사용자간 채널상황을 완화시킬 수 있는 직교 확산 코드의 이득에 의한 성능 향상임을 확인할 수 있다.

## Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 기존의 협력 통신 신호법이 가지는 낮은 스펙트럼 효율과 다이버시티 이득을 개선할 수 있는 CDMA 기반의 협력 신호구조를 제안하였다. 연속적인 신호 겹침이 가능한 제안하는 협력 신호 구조는 스펙트럼 효율 향상과 더불어 최대 다이버시티 이득을 동시에 가질 수 있다. 제안하는 협력 통신 시스템의 성능을 검증하기 위하여 협력 모드와 비협력 모드일 경우, 사용자간 채널이 변화하는 경우에 대하여 레일리 페이딩 채널에 백색 잡음이 더해진 채널 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다.

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 제안하는 협력 통신 시스템의 협력 모드가 사용자간 채널이 이상적일 경우 비협력 모드에 비해 10 dB 이상, 사용자간 채널 상황의 변화에 따라 +0 dB에서 6 dB, +4 dB에서 8 dB 이상의 성능 향상을 얻을 수 있었던 이유는 직교 확산 코드의 확산 이득을 통한 사용자간 채

널 안정성 강화 및 새로운 협력 신호 구조에 따른 최적화 복호기의 다이버시티 이득을 극대화 시킴으로써 얻어진 결과라고 사료된다.

## 참 고 문 헌


[1] M. K. Simon, M. S. Alouini, *Digital Communication over Fading Channels*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2005.

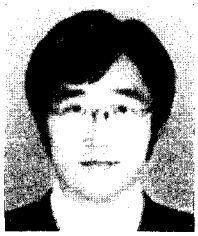
[2] Siavash M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", *IEEE Selected Areas in Communications*, vol. 16, Issue 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.

[3] A. Nosratinia, A. Hedayat, and T. E. Henter, "Cooperative communication in wireless networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, Issue 10, pp. 74-80, Oct. 2004.

[4] A. Sendoanris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part I-II", *IEEE Trans. on Communications*, vol. 51, Issue 11, pp. 1927-1948, Nov. 2003.



최 정 호



2005년 2월: 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (공학사)
2005년 2월~현재: 울산대학교 전기전자정보시스템공학과 석사과정
[주 관심분야] OFDM, MC-CDMA, QAM, 멀티코드, 협력 통신

공 형 윤

1989년: 미국 New York Institute of Technology 전자공학과 (공학사)
1991년: 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학석사)
1996년 1월: 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학박사)
1996년 1월~1996년 2월: LG전자 PCS 팀장
1996년 12월~1998년 2월: LG전자 회장실 전략사업단
1998년 2월~현재: 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교수
[주 관심분야] 코딩(LDPC, Turbo) 및 모듈레이션(OFDM, QAM), 멀티코드, Wireless Sensor Network 등