

상향링크 협력기지국 시스템을 위한 사용자 간 준동기 OFDMA 기법

김봉석* 학생회원, 최권휴* 정회원

Inter-user Quasi-synchronous OFDMA for Cooperative Base Stations Systems

Bong-Seok Kim* Student member, Kwonhue Choi* Regular Members

요 약

본 논문에서는 상향링크 협력 기지국 통신 시스템에서 사용자 간 시간 동기오차에 강한 OFDMA 기법을 제안한다. 상향링크에서는 하향링크와 달리 각 사용자 신호들의 신호가 각각 다른 타이밍으로 수신되어 간섭이 발생하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 각 사용자들의 신호의 송신 타이밍을 제어하는 과정이 필요하다. 하지만, 협력 기지국 통신에서는 각 기지국들에 대한 각 사용자의 상대적 위치가 각각 다르기 때문에 동기화 과정이 제대로 수행되기 어렵다. 즉, 한 기지국에 맞춰 각 사용자들의 동기화 과정을 수행하더라도 다른 기지국에서는 동기오차가 발생할 수밖에 없다. 본 논문에서는 한 칩의 시간 동기 오차가 존재하더라도 영상관도를 유지하는 ZCZ 부호를 시간축으로 스프레딩 하는 기법을 적용함으로써 상향링크 협력 시스템에서 모든 기지국에 대해 완벽한 동기화가 가능하게 한다. 제안하는 방식의 성능이 시간 동기 오차가 존재하지 않는 기존의 협력 기지국 OFDMA 기법의 성능에 도달함을 실험결과를 통해 보인다.

Key Words : uplink OFDMA, diversity, distributed antenna, CoMP, ZCZ, MAI

ABSTRACT

We propose a timing-offset resilient OFDMA with achieving full diversity for uplink cooperative base station (BS) systems. In uplink OFDMA, timing offset (TO) among multiple users destroys subcarrier orthogonality and thus, it degrades the performance. In order to avoid this performance degradation, the accurate processing, so called 'ranging', is required to synchronize. However, in cooperative BS systems, it is difficult to perform ranging scheme. This is because if the ranging scheme is performed for a specific BS, timing offset has to occur for other BSs. Thus, the conventional ranging method cannot achieve full diversity gain in cooperative BS systems. By employing TO resilient OFDMA, so called, 'ZCZ time-spread OFDMA'. we achieve full diversity gain even with TO among multiple users. We show that the proposed scheme achieves the same performance with case of no multiple access interference.

I. 서 론

최근 스마트폰을 비롯한 다수의 이동통신 기기들에 대한 사용량이 급격히 증가하면서 이동통신 시스템의 높은 전송 속도 및 서비스 품질이 요구되고 있다. 이를 위해 음영지역이나 셀 경계에 위치한 사용자에게도 양질의 데이터 서비스를 제공해야 한다. 하지만, 기지국에 가까운 사용자라 하더라도 음영지역에 위치할 경우 신호의 세기가 급격히 감소되는 문제가 있다. 또한, 셀 경계에 위치한 경우에도 인접 셀에서

오는 간섭으로 인해 심각한 성능저하가 발생할 수 있다. 셀 경계 또는 전파 음영지역에 위치한 사용자에게도 양질의 이동통신 서비스를 제공하기 위해 기지국 협력 통신의 다이버시티 이득을 이용하는 연구가 진행되고 있다[1-3].

일반적으로 상향링크에서는 하향링크에서와 달리 사용자 간 동기 오차를 최소화 하기 위해 별도의 동기화 과정 즉 레인징 기법을 필요로 한다. 즉, 하향링크에서는 기지국에서 모든 사용자에게 전달할 신호를 동기화한 후에 일괄 전송하기 때문에 각 사용자의 거리 및 수신 타이밍과 관계없이 각 사

* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2012R1A1A4A01015628)

*영남대학교 정보통신공학과 무선통신실험실 (hishope21@ynu.ac.kr, gonew@ynu.ac.kr) 교신저자 : 최권휴

접수일자 : 2014년 2월 14일, 수정완료일자 : 2014년 3월 7일, 최종 게재확정일자 : 2014년 3월 12일

용자들의 신호 간 직교성이 유지된다. 반면에 상향링크에서는 각 기지국으로부터 각각 다른 위치에 존재하는 사용자들의 신호가 각기 다른 타이밍에 수신된다. 이로 인해 사용자 간 신호의 직교성이 파괴되며, 이는 성능저하의 주요 원인이 된다. 이를 위해 상향링크에서는 각 사용자의 송신 타이밍을 적절히 조절함으로써 시간 동기 오차가 최소화되게 하는 과정 즉 레인징 과정을 수행한다[4-5]. 그런데 상향링크 협력 기지국 통신에서는 이러한 동기화 과정 또한 적용이 불가능하다. 한 기지국에서 각 사용자들의 거리를 고려하여 결정된 최적의 송신 타이밍이 다른 기지국에서도 최적의 송신 타이밍이 될 수 없다. 따라서, 어느 한 기지국에서는 사용자 간 시간 오차가 발생할 수밖에 없고, 이로 인해 협력 기지국 통신 시스템의 주요 목적인 협력 다이버시티 이득을 충분히 얻을 수 없게된다.

본 논문에서는 상향링크 협력 기지국 통신 시스템에서 사용자 간 시간 동기 오차가 존재하더라도 공간 다이버시티 이득을 얻게하는 OFDMA 방식을 제안한다. 사용자 간 한 칩 지연 범위 내에서 영상관도를 갖는 ZCZ (zero correlation zone) 부호[6]를 OFDM 신호에 적용함으로써 1 OFDM 심볼 이내의 시간 오차가 발생하더라도 사용자 간 간섭이 발생하지 않는 OFDMA 기법을 적용한다[7-8]. 따라서, 다중 사용자 간 시간 동기오차가 불가피하게 발생하는 상향링크 협력 기지국 통신시스템에서 다중 사용자 간 시간 동기 오차 문제를 효율적으로 해결함으로써 공간 다이버시티 이득을 최대화 한다. 더욱이, 레인징 과정을 위해 기지국에서 사용자들과의 거리를 매 번 판별하지 않아도 되기 때문에 복잡도 및 전력소모를 절감할 수 있다.

II. 시스템 모형

반지름 R -km인 M 개의 셀 안에, 총 P 명의 사용자가 균등한 분포로 존재한다고 가정하며, 셀 간의 간섭은 없다고 가정한다. 전체 부반송파를 N_c 로 표기하며, 한 사용자가 사용하는 부반송파의 수를 N 으로 표기한다. 이때 N 은 $N = \lfloor N_c/P \rfloor$ 로 나타낼 수 있으며, $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 가장 가까운 정수로 내림하는 연산자로서 N 을 정수로 만들기 위해 사용한다. 또한, p 번째 사용자의 하나의 프레임 가운데 u 번째 OFDM 심볼에서 k 번째 부반송파에 의해 전송되는 데이터 심볼을 $X_{u,k}^{(p)}$ 로 표기한다. 즉, $X_{u,k}^{(p)}$ N -point IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)의 입력이 되며, $X_{u,k}^{(p)}$ 를 OFDM 변환한 p 번째 사용자의 u 번째 송신 심볼 $x_u^{(p)}(t)$ 은 아래와 같이 나타낼 수 있다[8-9].

$$x_u^{(p)}(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{T_s}} \sum_{k \in C^{(p)}} X_{u,k}^{(p)} e^{j2\pi f_k(t-uT)} & \text{for } uT - T_g \leq t < uT + T_s, \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 T_g 는 보호구간의 길이이고, 보호구간을 포함하지 않은 OFDM 심볼의 길이를 T_s 로 표기한다. 즉, 보호구간을 포함한 OFDM 심볼의 길이를 T 이라하면, $T = T_s + T_g$ 가 된다. 또한, f_k 는 k 번째 부반송파의 주파수로서 $f_k = k/T_s$ 에 의해 계산된다. 또한, $C^{(p)}$ 는 사용자에게 정해진 부반송파 인덱스로서 셀 내의 사용자 수에 따라 부반송파 인덱스는 조절될 수 있다. 총 N_F 개의 OFDM 심볼이 연이어 구성된 p 번째 사용자의 OFDM심볼 $x^{(p)}(t)$ 는 다음과 같다.

$$x^{(p)}(t) = \sum_{u=0}^{N_F-1} x_u^{(p)}(t-u) \quad (2)$$

또한, i 번째 기지국과 p 번째 사용자 간의 거리를 $d^{(i,p)}$ 로 표기하고, $d^{(i,p)}$ 는 기지국의 중심으로부터 R -km 범위 내에서 독립적이고 균등한 분포를 갖는다. 여기서 전력제어를 이상적으로 수행함으로써 거리에 의해 감쇄되는 신호의 성분은 없고, 평탄 페이딩에 의한 감쇄만 존재한다고 가정한다. 따라서, i 번째 기지국과 p 번째 사용자 간의 채널함수 $H^{(i,p)}$ 을 겪은 후 각 기지국에 도달한다. 이때 i 번째 기지국에 도달한 수신신호 $r^{(i)}(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r^{(i)}(t) = \sum_{p=1}^P r^{(i,p)}(t-t^{(i,p)}) + w^{(i)}(t) \quad (3)$$

여기서, $r^{(i,p)}$ 는 i 번째 기지국에 수신된 p 번째 사용자의 신호로서, $r^{(i,p)} = H^{(i,p)}x^{(p)}(t)$ 이고, $w^{(i)}(t)$ 는 전력 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 i 번째 기지국에 더해진 복소 AWGN 신호이다. 또한 $t^{(i,p)}$ 는 i 번째 기지국 기준시간과 p 번째 사용자 간의 시간 차이이며, 광속 c 와 각 기지국과 사용자 간의 거리 및 각 사용자의 송신타이밍 $\tau^{(i,p)}$ 을 고려하여 결정된다. 즉, $t^{(i,p)} = d^{(i,p)}/c + \tau^{(i,p)}$ 로 계산된다. 여기서, $\tau^{(i,p)}$ 는 각 사용자들이 동시에 송신하지 않고 독립적으로 송신함으로써 발생하는 지연으로 $[0, T_s/10]$ 범위내에 균등한 분포를 갖고 랜덤하게 발생한다고 가정한다.

복조과정에서 i 번째 기지국의 p 번째 사용자의 수신신호의 u 번째 OFDM 심볼에서 k 번째 FFT 출력 $R_{u,k}^{(i,p)}$ 는 다음과 같다.

$$R_{u,k}^{(i,p)} = \frac{1}{\sqrt{T_s}} \int_{t^{(i,p)} + uT - T_s}^{t^{(i,p)} + uT} r^{(i)}(t) e^{-j2\pi f_k(t-t^{(i,p)})} dt \quad (4)$$

여기서 $R_{u,k}^{(i,p)}$ 를 i 번째 기지국과 p 번째 사용자의 주파수 채널 함수 $H^{(i,p)}$ 를 ZF 또는 MMSE를 이용하여 보상함으로써 다음과 같이 양자화 과정 이전의 검출신호 $\tilde{X}_{u,k}^{(i,p)}$ 를 얻을 수 있다.

$$\tilde{X}_{u,k}^{(i,p)} = R_{u,k}^{(i,p)} Z^{(i,p)} \quad (5)$$

여기서, $Z^{(i,p)}$ 는 ZF 또는 MMSE를 통해 $R_{u,k}^{(i,p)}$ 의 채널보상하기 위한 계수이다. 최종적으로, 각 기지국에서 검출한 신호 $\tilde{X}_{u,k}^{(i,p)}$ 를 평균한 후, 양자화 연산자 $Q(\cdot)$ 를 통해 최종검출 심볼 $\hat{X}_{u,k}^{(i,p)}$ 을 아래와 같이 얻을 수 있다.

$$\hat{X}_{u,k}^{(i,p)} = Q\left(\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \tilde{X}_{u,k}^{(i,p)}\right) \quad (6)$$

한편, 식 (3)에서 보인대로, 각 사용자들의 신호가 각각 다른 시간을 갖고 수신되므로 부반송파의 직교성이 파괴될 수 있다. 이를 방지하기 위해 기지국에서는 레인징 기법 즉, 각 사용자의 거리를 판별한 후 가장 멀리 떨어진 사용자의 신호를 가장 먼저 송신하게 하고, 가장 가까운 사용자의 신호를 늦게 송신하도록 하여 가능한 각 사용자들의 신호 간의 시간 오차를 최소화 하고자 한다. 단일 기지국 시스템에서는 이러한 과정이 어렵지 않게 수행될 수 있지만, 협력 기지국 시스템에서는 이와 같은 레인징 기법의 적용이 어렵다. 그림 1은 상향링크 협력 기지국 시스템에서 레인징 기법을 제대로 수행할 수 없는 예를 보인다. 그림 1에서 점선 위의 숫자는 각 기지국과 사용자의 거리를 고려할 경우 수행할 송신 순서를 의미한다. 그림 1에서 보인대로, 기지국 1(BS1)에서는 기지국 1로부터 가장 멀리 떨어진 사용자 1(user1)에게 가장 먼저 송신하도록 하고 가장 가까운 사용자 2(user2)는 가장 늦게 송신하도록 해야한다. 하지만, 각 사용자들이 이러한 송신 타이밍으로 송신할 경우 기지국 2에서는 더욱 심각한 시간 동기오차가 발생한다. 기지국 1로부터 가장 멀리 떨어져 있으므로 가장 먼저 송신해야할 사용자 1은 기지국 2에서 가장 가까운 거리에 위치해있다. 기지국 1의 관점에서 가장 늦게 송신해야할 사용자 2는 기지국 2로부터 가장 멀리 떨어져 있으므로 기지국 2를 고려할 때는 가장 먼저 송신해야 한다. 즉, 다수의 기지국이 동시에 만족하는 시간 동기화 과정을 수행할 수 없다. 따라서, 다른 기지국에서의 시간 동기화 과정은 포기하고, 하나의 기지국에 대한 시간 동기화 과정만 수행해야 한다. 이때, 동기화 과정을 수행하지 않은 기지국에 대해서는 사용자 간 간섭이 발생하여 협력 다이버시티의 이득이 감소하는 문제점이 존재한다. 또는, 다수의 기지국에서 각 사용자들의 위치를 동시에 고려하여 사용자 간 시간 오차가 최소화되게 하는 동기화 기법이 필요하다.

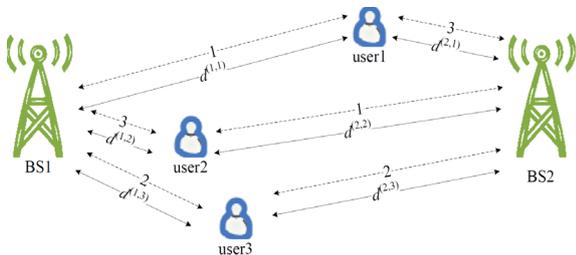


그림 1. 상향링크 협력 기지국 통신에서 다수의 사용자 간 접속 동기화 과정을 적용할 수 없는 예

III. 제안하는 상향링크 협력 기지국 OFDMA 기법

본 논문에서는 협력 기지국 통신에서 각 사용자들 간의

시간 동기 오차가 존재하더라도 사용자 간 간섭이 발생하지 않도록 함으로써 협력 다이버시티 이득을 최대화 시킨다. 제안하는 방식은 사용자 간 한 칩 지연 범위 내에서 영상관도를 갖는 ZCZ 부호를 OFDM 신호에 적용함으로써 ± 1 OFDM 심볼 이내의 시간 오차가 발생하더라도 사용자 간 간섭이 발생하지 않게 한 ZCZ time spread OFDMA 기법을 협력 기지국 통신에 적용한다[7-8]. 각 사용자의 데이터 심볼은 전체 부반송파 즉 N_c 개의 부반송파를 통해 OFDM 변조된 후 ZCZ 코드 길이 만큼 시간축에서 스프레딩된다. 앞서 언급한 기존 OFDMA와 동일한 자원을 사용하도록 하기 위해 ZCZ 코드의 길이(SF: Spreading Factor)를 N_F 로 설정한다. SF를 $2P'$ 로 설정하면 $P' = \lceil P \rceil_2$ 이고, $\lceil \cdot \rceil_2$ 는 가장 가까운 2의 멱승으로 올림해주는 연산으로, $P' = \lceil 3 \rceil_2 = 4$ 의 예를 들 수 있다.

이 기법에서 데이터 심볼은 N_F 개의 OFDM 심볼로 시간축에서 스프레딩되기 때문에 $X_{u,k}^{(p)}$ 는 u 에 상관없이 $0 \leq u < N_F - 1$ 에서 모두 동일하다. 즉, $X_{0,k}^{(p)} = X_{1,k}^{(p)} = \dots = X_{N_F-1,k}^{(p)}$ 이라 할 수 있으므로 $X_{u,k}^{(p)}$ 은 $X_k^{(p)}$ 로 표기한다. ZCZ code time-spread OFDMA 기법에서 p 번째 사용자의 k 번째 부반송파에 의해 전송될 심볼 즉, IFFT 입력이 될 신호는 아래와 같다.

$$X_{(ZCZ)u,k}^{(p)} = c_u^{(p)} X_k^{(p)} \quad (7)$$

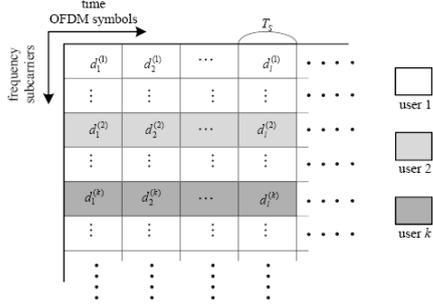
여기서 $c_u^{(p)}$ 는 p 번째 사용자의 ZCZ 코드의 u 번째 칩으로써 모든 부반송파에 동일하게 곱해진다. 앞서 시스템 모형에서 설명했던 (1)과 같이 IFFT의 출력인 $x_{(ZCZ)u}^{(p)}(t)$ 은 p 번째 사용자의 u 번째 칩에 의해 출력되고, 다음과 같이 표현된다.

$$x_{(ZCZ)u}^{(p)}(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{T_s}} \sum_{k=1}^{N_c} X_{(ZCZ)u,k}^{(p)} e^{j2\pi f_k(t-uT)} \\ \text{for } uT - T_g \leq t < uT + T_s, \\ 0 \text{ elsewhere} \end{cases} \quad (8)$$

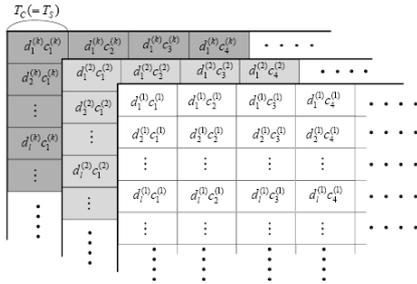
시간축에서 스프레딩된 OFDM 심볼 $x_{(ZCZ)}^{(p)}(t)$ 는 아래와 같다.

$$x_{(ZCZ)}^{(p)}(t) = \sum_{u=0}^{N_F-1} x_{(ZCZ)u}^{(p)}(t) \quad (9)$$

그림 2는 기존 OFDMA 방식과 ZCZ code time-spread OFDMA 방식의 OFDM 심볼의 구조를 시간과 주파수 영역에서 보인 것이다. 그림 2에서 $d_l^{(k)}$ 는 k 번째 사용자의 l 번째 데이터 심벌이고, $d_l^{(k)} c_u^{(k)}$ 는 k 번째 사용자의 길이가 N 인 ZCZ 부호의 u 번째 칩이다. 또한, ZCZ 부호 한 칩의 길이 (T_c)가 한 OFDM 심볼 길이(T_s)와 같다. 그림 2에서 보인대로, 기존 OFDMA 방식은 다수의 사용자들이 전체 부반송파를 주파수 축에서 나누어 사용한다. 반면에, ZCZ code time-spread OFDMA 방식은 각 사용자들이 전체 부반송파를 동시에 사용하고, 스프레딩 부호를 통해 각 사용자의 신호를 구분할 수 있게 한다.



(a) 기존 OFDMA 방식



(b) ZCZ time-spread OFDMA 방식

그림 2. 기존 OFDMA 방식과 ZCZ time-spread OFDMA 방식의 시간-주파수 축에서의 OFDM 심볼구조

복조과정은 위의 변조과정의 역순으로 수행된다. 즉, 복조 과정에서 ZCZ 부호를 이용하여 역확산 한 후, (4) ~ (6)에서 수행된 복조과정을 통해 최종 검출 심볼을 얻을 수 있다.

참고문헌[7]에서 보인대로, ZCZ code time-spread OFDMA의 동기오차에 강한 특성으로 인해 각 기지국에서는 각 사용자들에 대한 송신 시간을 추가적으로 적용하지 않더라도 사용자 간 간섭이 발생하지 않기 때문에 협력 기지국 시스템을 통한 공간 다이버시티 이득을 최대로 얻을 것을 기대할 수 있다. 또한, 기지국에서는 시간 동기화를 위해 필요한 사용자와의 거리를 매 번 측정하지 않아도 되기 때문에 불필요한 전력 소모를 막을 수 있다.

IV. 실험결과

이번 절에서는 제안하는 기법의 성능을 기존의 OFDMA 및 상향링크를 위해 제안한 방식과 비교한다. 실험을 위해 사용한 실험 값은 표 1과 같다. 또한, 제안하는 기법의 성능의 비교를 위해 상향링크에서 사용자 간 시간 동기오차에 강한 특성을 가진 sparse SC-FDMA 방식과 비교한다[10-11]. 참고문헌[10-11]은 전체 부반송파를 다수의 사용자가 나누어 사용하는 구조를 사용한다. 이때 사용자 간의 시간 오차가 존재하더라도 시간 오차로 인한 간섭에 강한 특성을 갖기 위해 다른 사용자의 부반송파와 인접한 부반송파를 통해서 데이터를 전송하지 않는다. 하지만, 절반의 대역폭 손실을 감수한다. 제안하는 방식 역시 총 8명의 사용자가 길이 16의 ZCZ 부호를 사용하므로 절반의 대역폭 손실이 존재하므로

데이터 전송율에 있어서는 동일한 조건을 만족한다. 각 사용자의 신호는 OFDM 심볼구간을 T_s 라 할 때 $[0, T_s/2]$ 범위 내에 균등한 분포를 갖고 도달한다고 가정한다.

표 1. 실험에 사용한 설정값

파라미터	값
총 부반송파 개수, N_c (개)	512
셀 개수, M (개)	2
셀 반경, R (km)	1
변조 방식	QPSK
최대사용자 수, P (명)	8
프레임 당 OFDM 심볼 수 (개)	16
ZCZ 부호 길이	16
OFDM 심볼 구간, T_s (μs)	3.3
CP 구간	$T_s/4$
사용자 간 최대 시간 동기오차	$T_s/2$

그림 3은 제안하는 방식과 다양한 경우의 sparse SC-FDMA 기법의 E_b/N_0 에 대한 성능을 보인다. 2개의 기지국을 사용한 sparse SC-FDMA 기법의 성능이 다이버시티 이득에 의해 하나의 기지국만 사용한 경우보다 개선된 성능을 가짐을 알 수 있다. 하지만, 사용자 간 시간 오차가 존재하지 않는 경우에 비해 sparse SC-FDMA의 시간 동기오차에 강한 특성에도 불구하고 E_b/N_0 가 높아질수록 성능차이가 발생한다. 반면에 제안하는 방식은 앞에서 예상한 바대로 사용자 간 시간 동기 오차가 존재하지 않는 경우, 즉 사용자 간 간섭이 존재하지 않는 경우의 성능과 거의 일치함을 알 수 있다.

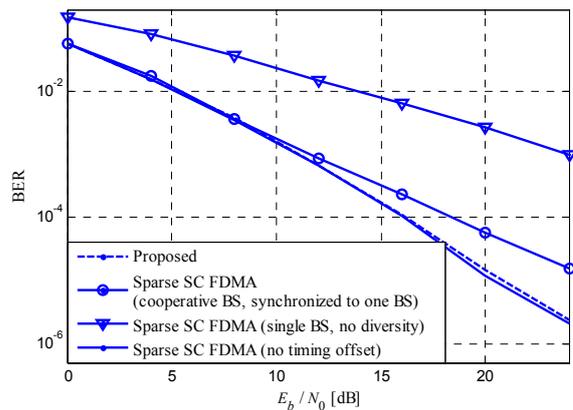


그림 3. E_b/N_0 에 따른 BER 결과 (QPSK, 사용자간 최대 시간 오차 $0.5 T_s$)

V. 결론

본 논문에서는 사용자 간 동기오차에 강한 OFDMA 기법

을 상향링크 협력 기 지구 통신 시스템에 도입함으로써 사용자 간 시간 동기 오차가 존재하는 환경에서도 공간 다이버시티 이득을 최대화되도록 하였다. 더욱이, 제안하는 기법은 동기화를 위한 레인징 절차를 수행하지 않더라도 시간 오차로 인한 사용자 간 간섭이 발생하지 않으므로 레인징에 필요한 복잡도 및 불필요한 전력사용을 감소할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] A. Sendonaris, E. Erkip and B. Aazhang, "User Cooperation Diversity - Part I system Description," IEEE Trans. on Commun., vol. 51, no. 11, pp.1927-1938, Nov 2003.

[2] MR Ramesh Kumar, S. Bhashyam and D. Jalihal, "Downlink performance of 2-cell cooperation schemes in a multi-cell environment," in Proc. WPMC'2008, Sep. 2008.

[3] 김지수, 김재현, "기 지구 협력 통신 네트워크 효율성 성능평가," 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집 (하계) 2010, 563-564쪽, 2010년 6월.

[4] K. Raghunath, and Ranjan K. Mallik, "BER analysis of uplink OFDMA in the presence of carrier frequency and timing offsets on Rician fading channels," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 60, no. 9, NOV. 2011.

[5] Man-on Pun, and Michele Morelli, and C.-C.jay Kuo, "Maximum-likelihood synchronization and channel estimation for OFDMA uplink transmission," IEEE Trans. on Commun., vol. 54, no. 4, April. 2006.

[6] K. Choi and H. Liu, "Quasi-synchronous CDMA using properly scrambled Walsh codes as user spreading sequences," IEEE Transc. on Vehicular. Tech., vol. 59, no. 7, pp.3609-3617, Sep. 2010.

[7] 김봉석, 최권휴 "액세스 타이밍 오차에 강한 위성 시스템 상향링크 OFDMA 기법," 통신위성우주산업연구회논문지, 제5권 2호, 92-96쪽, 2010년 12월.

[8] B. Kim and K. Choi, "Timing offsets-resilient OFDMA for asynchronous wireless Ad Hoc networks," in Proc. IEEE ICCCN 20121, Jul. 2011.

[9] H. Myung, J. Lim and D. Goodman, "Single carrier FDMA for uplink wireless transmission," IEEE vehicular tech. Mag., vol. 1, no. 3, pp.30-38, Sep. 2006.

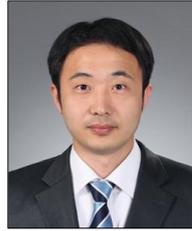
[10] M. Rim, "A random access scheme robust to timing offsets for uplink OFDMA systems," IEICE Trans. Commun., vol. E92-B, no. 10, pp.3274-3276, Oct. 2009.

[11] 송현주, 임대운, 정병장, 노태균, 임민중 "타이밍오차에 강건한 상향링크 OFDMA 시스템의 랜덤 액세스 기법," 한국통신학회논문지, 제33권 6호, 659-665쪽, 2008년 6월.

저자

김 봉 석 (Bong-Seok Kim)

학생회원



- 2005년 2월 : 영남대학교 전자공학과
- 2009년 2월 : 영남대학교 정보통신공학과 석사
- 2014년 2월 : 영남대학교 정보통신공학과 박사
- 2014년 3월~현재 : 영남대학교 박사 후과정

<관심분야> : 위성통신, MIMO, OFDM

최 권 휴 (Kwonhue Choi)

정회원



- 1994년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과
- 1996년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 석사
- 2000년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 박사

- 2000년 4월~2003년 2월 : 한국전자통신연구원 광대역 무선전송 연구부 광대역 무선전송 연구팀 선임연구원
- 2003년 2월~현재 : 영남대학교 전자정보공학부 정보통신공학전공 교수

<관심분야> : 위성통신, OFDM 기반 다중반송파 전송방식, MIMO detection 알고리즘, CDMA 시스템