

MIMO 프리코딩을 고려한 셀 탐색 기법

김 한 성*, 홍 태 환*, 조 용 수°

A Cell Selection Technique Considering MIMO Precoding

Han Seong Kim*, Tae Howan Hong*, Yong Soo Cho°

요 약

CS/CB(Coordinated Scheduling/Beamforming) 방식은 인접 기지국으로부터의 간섭신호를 최소화시키는 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 프리코더를 선택함으로써 셀 경계 사용자의 수율을 증가시킨다. 그러나 현재의 LTE(Long Term Evolution) 시스템에서는 안테나 한 개를 사용하여 주위 기지국으로부터 전송된 동기신호와 기준신호를 사용하여 초기화 단계에서 서빙 셀이 선택된다. 이와 같이 선택된 셀은 초기화 단계에서 MIMO 프리코더 이득을 고려하지 않고 선택되었기 때문에 데이터 전송시 최적의 선택이 아닐 수 있다. 본 논문에서는 MIMO 프리코더를 갖는 LTE 시스템을 위하여 초기화 단계에서 프리코더의 영향을 고려하여 셀을 선택하는 기법을 제안한다. 제안된 기법은 후보 기지국들에서 전송한 기준신호를 사용하여 획득한 정보(랭크, 유효 채널 용량, 유효 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio))를 사용하여 셀 경계의 단말이 서빙 기지국을 선택할 수 있도록 한다. 제안한 기법은 기존의 기법과 비교하여 다중 셀 환경하의 LTE 시스템에서 채널 용량을 크게 향상시킬 수 있음을 모의실험을 통하여 확인한다.

Key Words : Cell Search, CS/CB, MIMO Precoding, Channel Capacity, LTE

ABSTRACT

In the CS/CB(Coordinated Scheduling/Beamforming) scheme, the cell edge user throughput is increased by selecting MIMO (Multiple Input Multiple Output) precoders which can minimize the interferences from adjacent base stations (BSs). However, in current LTE(Long Term Evolution) systems, the serving cell is selected in the initialization stage by using the synchronization signals and cell specific reference signals transmitted by adjacent BSs with a single antenna. The selected BS in the initialization stage may not be the best one since the MIMO precoding gain has not been considered in the cell selection stage. In this paper, a new cell selection technique is proposed for LTE systems with MIMO precoder by taking into account the effect of the precoder in the initialization stage. The proposed technique enables a user equipment (UE) in the cell boundary to select the serving BS by using the information (channel rank, effective channel capacity, and effective SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)) acquired from cell specific reference signals of candidate BSs. It is verified by computer simulation that the proposed technique can increase the channel capacity significantly in the multi-cell environments, compared with the conventional CS/CB scheme.

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(NIPA-2012-H0301-12-4004)과 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초 연구사업 지원금 받아 수행된 것임(2012005603).

♦ 주저자 : School of Electric & Electronic Engineering, Chung-Ang University, KOREA, onestar1126@gmail.com, 준회원

° 교신저자 : School of Electric & Electronic Engineering, Chung-Ang University, KOREA, yscho@cau.ac.kr, 종신회원

* 회원정보 : School of Electric & Electronic Engineering, Chung-Ang University, KOREA

논문번호 : KICS2012-09-430, 접수일자 : 2012년 9월 12일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 30일

I. 서론

최근 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인해 기존의 텍스트 위주의 사용자 환경에서 벗어나 이미지, 그래픽, 오디오 및 비디오 데이터 등을 제공하는 멀티미디어 사용자 환경으로 변화하고 있다.

최근 스마트폰의 보급으로 어느 곳에서나 실시간으로 양질의 데이터 서비스를 받기 원하는 사용자들이 급증하고 있다. 이로 인해 셀 중심뿐만 아니라 셀 가장자리에서도 단말들에게 높은 데이터 전송 속도를 지원하는 기술의 필요성이 증가되고 있다. 셀 중심에서는 안테나 수를 늘려 전송 속도를 증가시키는 것이 가능하지만 셀 가장자리에 있는 단말들은 주변 셀의 간섭 신호로 인해 급격한 성능 저하를 경험하게 되어 셀 간 협력 없이 어느 한계점 이상으로는 데이터 전송 속도를 증가시키기 어렵다.

이러한 문제로 인해 전송지점 간에 간섭을 제어하는 기술이 현재 표준 및 학계의 주요 사안으로 대두되고 있으며, 특히 3GPP (3rd Generation Partnership Project)에서는 이러한 간섭 제어 기술을 CoMP (Coordinated Multi-Point Transmission)라 명명하고 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 하향 링크에서 CoMP는 JP (Joint Processing) 과 CS/CB (Coordinated Scheduling / Coordinated Beamforming) 방식으로 나뉜다^[1-4]. JP은 서빙 셀을 제외한 주변 셀들의 신호를 간섭 신호로 수신하는 것이 아니라 단말기 주변의 셀들 중에 협력할 셀을 구성하여 협력된 셀로부터 수신되는 신호를 모두 수신함으로써 간섭 신호 없이 셀 가장자리에서 전송 속도를 높이는 방식이며, CS/CB 방식은 JP와는 다르게 주변 셀로부터 수신되는 간섭 신호를 최소화하는 방법으로 전송 속도를 높이는 방식이다. 특히 CS/CB 방식에서는 기지국이 특정 단말에게만 빔을 형성함으로써 간섭을 줄이는 방법을 기본적으로 사용하게 되는데 이 과정에서 단말들은 각 단말기에 최적의 기지국을 선택하는 것이 가장 중요하다^[5].

여기서 CS/CB 방식을 사용할 때 서빙 셀을 한번 선택하면 셀 재 선택 과정이 있을 때까지는 초기에 선택한 셀과 통신을 해야 한다. 따라서 초기 선택 과정에서 CS/CB 방식에 적합한 셀 선택과정이 필요하다. 그러나 기존 동기 신호를 통해 동기화 및 셀 탐색을 할 때 단말은 일반적으로 단일 안테나를 이용하여 동기화 및 셀 선택 과정을 수행하

로 실제 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 채널 환경을 고려할 수 없다. 기지국과 단말은 실제 MIMO 프리코더를 적용하여 데이터를 송수신하게 되는데 초기 셀 선택 시에는 프리코더로 얻을 수 있는 이득을 고려할 수 없기 때문에 기존 동기화 과정에서 찾은 셀이 최적의 셀이라고 볼 수 없다.

본 논문은 CoMP 환경에서 단말이 최적의 셀을 효과적으로 탐색하고 선택할 수 있는 MIMO 프리코딩이 고려된 셀 탐색 기법을 제안한다. 제안하는 셀 탐색 기법은 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 초기에 기존 방법과 동일하게 동기 신호로 주변의 Cell ID를 탐색하며 두 번째 단계에서는 CRS(Cell Specific Reference Signal)을 사용하여 측정된 채널과 최적의 코드북을 통해 주변 기지국과 단말간의 실제 전송될 데이터 영역의 채널 랭크와 유효 SINR을 측정된 후 유효 채널 용량을 통해 최적의 성능을 지원할 수 있는 셀을 선택한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서 MIMO OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반 LTE 이동통신 시스템의 다중 셀 환경에서 기존 셀 탐색 기법과 이 경우의 문제점을 설명하고, III 장에서는 제안된 셀 탐색 및 선택 기법에 대하여 기술한다. IV 장에서는 기존 셀 탐색 기법과 제안된 셀 탐색 기법의 성능을 모의실험을 통하여 확인하고, V 장에서 결론을 맺는다.

II. LTE 시스템에서의 기존 셀 탐색 기법

본 논문에서는 MIMO OFDM 기반 LTE 이동통신 시스템의 다중 셀 환경을 고려한다. 주파수 재사용률은 1이기 때문에 서빙 셀을 제외한 다른 셀의 신호는 간섭으로 간주하며, 모든 셀의 송신 안테나 수와 송신 전력은 동일하다고 가정한다.

다중 셀 환경에서 단말이 기지국의 신호를 수신하는 경우에 단말의 기저대역 수신 신호는 주파수 영역에서 다음과 같이 표현한다.

$$Y_i[k] = H_i[k]X_i[k] + \sum_{j=1, j \neq i}^{N_{BS}-1} H_j[k]X_j[k] + N_w[k] \quad k=0, \dots, N-1, i=1, 2, \dots, N_{BS} \quad (1)$$

여기서 $X_i[k]$ 는 주파수 영역에서 i 번째 기지국에서 전송하는 k 번째 부반송파에 해당하는 $N_T \times 1$

송신 신호 벡터이고, $H_i[k]$ 는 주파수 영역에서 i 번째 기지국과 단말의 k 번째 부반송파에 해당하는 $N_R \times N_T$ MIMO 채널벡터를 나타낸다. 또한 N_{BS} 는 인접 기지국의 수를 나타내며, 식 (1)의 우변의 첫 번째 항은 서빙 셀로부터 수신되는 신호를 나타내며, 두 번째 항은 주변 기지국으로부터 수신되는 모든 간섭 신호를 나타낸다. 또한 $N_w[k]$ 는 평균이 0 이고, 분산이 σ^2 인 가산성 백색 잡음 (AWGN: Additive White Gaussian Noise)을 나타낸다.

다음은 식 (1)과 같이 다중 셀 환경에서 단말 주변에 여러 셀들이 존재할 때 기존의 셀 탐색 기법에 대하여 기술한다. 그림 1은 3GPP LTE에서 동기 신호로 후보 셀을 탐색하고 기준 신호를 통하여 서빙 셀을 선택하는 순서도를 보여준다. 그림 1에서 나타난 바와 같이 PSS (Primary Synchronization Signal) 과 SSS (Secondary Synchronization Signal) 그리고 CRS를 통해 초기 셀 탐색을 수행한다^[6-8].

먼저 첫 단계로 PSS를 사용하여 인덱스 0, 1, 2 세 개 중에 하나의 Cell ID를 찾는다. Zadoff-chu 시퀀스를 주파수 영역에서 할당하고 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 연산을 통하여 시간 영역의 시퀀스를 사용하게 되며, PSS는 3개의 루트 인덱스에 해당하는 시간 영역 시퀀스를 상호상관을 취하고 상호상관의 결과가 큰 루트 인덱스를 찾으려면 슬롯 타이밍과 Cell ID를 획득한다. Cell ID를 획득하는 과정은 수신된 OFDM 신호를 이용하여 수식 (2)와 같이 슬롯 타이밍과 Cell ID를 획득한다^[9].

$$(N_{ID}^{(2)}[u], m) = \arg \max_m \left| \sum_{n=0}^{N-1} y[n+m] s_{pss,u}^*[n] \right|^2 \quad (2)$$

여기서 $y[n]$ 은 시간 영역 수신 신호를 나타내고 $s_{pss,u}[n]$ 는 루트 인덱스 u 에 해당하는 PSS의 시간 영역 시퀀스를 나타낸다. 또한 u 는 25, 29, 34를 나타내고 순서대로 각각의 루트 인덱스의 따라 $N_{ID}^{(2)}$ 는 0, 1, 2로 나타낸다. 또한 N 은 PSS의 시간 영역 시퀀스의 샘플 수를 나타내고, m 은 타이밍 오프셋 샘플 수를 나타낸다.

두 번째 단계로 SSS를 통하여 $N_{ID}^{(1)}$ (Cell ID Group)을 찾는다^[10]. SSS는 두 개의 m-시퀀스 조합으로 시퀀스를 생성한다. SSS는 총 168개의 $N_{ID}^{(1)}$ 로

구성되어 있으며, SSS의 주파수영역 시퀀스의 상호상관을 이용하여 찾는다. $N_{ID}^{(1)}$ 를 탐색하는 수식은 다음과 같다.

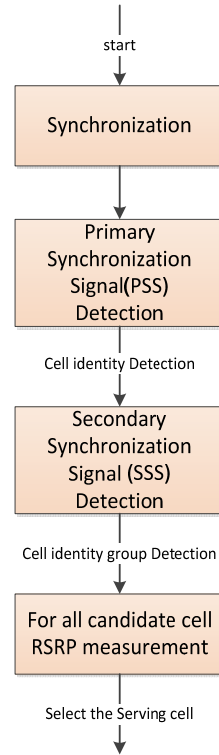


Fig. 1. A flowchart of the conventional cell selection technique

$$N_{ID}^{(1)}(\text{Cell ID Group}) = \arg \max_i \{D[i] | 0 \leq i \leq 167\} \quad (3)$$

$$D[i] = \begin{cases} \text{Re} \left(\sum_{k=0, k \neq 32}^{62} \widehat{Y}_{sss,i}[k] S_{sss,i}[k] \right) & \text{real value} \\ \sum_{k=0, k \neq 32}^{62} \widehat{Y}[k] S_{sss,i}[k] & \text{absolute value} \end{cases} \quad (4)$$

$$\widehat{Y}[k] = \begin{cases} Y[k] \widehat{H}^*[k] & \text{coherent} \\ Y[k] & \text{non-coherent} \end{cases} \quad (5)$$

여기서 $Y[k]$ 는 주파수 영역 수신 신호를 나타내고, $S_{sss,i}$ 는 168개 중 i 번째 SSS의 주파수영역 시퀀스를 나타내며, $\widehat{H}[k]$ 는 코히어런트 방식 적용 시 PSS에서 추정된 채널 값을 나타낸다. 또한 $D[i]$ 는 수신 신호와 i 번째 SSS 시퀀스와 상호 상관을 취한 결과를 나타낸다. PSS, SSS를 통하여 찾은 $N_{ID}^{(1)}$ 와 $N_{ID}^{(2)}$ 를 이용하여 N_{ID}^{Cell} 를 찾을 수 있다. N_{ID}^{Cell} 를 찾

는 수식은 다음과 같다.

$$N_{ID}^{Cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}$$

where $N_{ID}^{(1)} = 0, \dots, 167$ and $N_{ID}^{(2)} = 0, 1, 2$

(6)

3GPP LTE에서는 총 504 개의 서로 다른 Cell ID를 구분할 수 있다. PSS, SSS 신호를 통하여 주변 Cell들의 Cell ID를 탐색 후 후보 셀을 구성한다.

세 번째 단계로 후보 셀에 해당하는 CRS의 RSRP (Reference Signal Received Power)를 측정하고 RSRP를 기준으로 가장 적합한 셀을 찾고 셀 선택 과정을 마친다^[11].

위의 셀 탐색 과정은 동기 신호와 CRS의 세기를 기반으로 셀을 선택한다. 셀 탐색이 끝난 후 PDSCH(Physical Downlink Shared Channel) 영역을 통해 기지국과 단말은 데이터를 송수신하게 되며 성능을 높이기 위해 다양한 기술을 적용시킬 수 있다. 그 중 CoMP 기술의 하나인 CS/CB 방식을 사용함으로써 간섭 제어를 하여 셀 가장자리의 위치한 단말들의 성능을 높일 수 있다. CS/CB 방식은 초기에 단말들이 셀 탐색과정을 통해 서빙 셀에 접속한 이후에 주변 셀들 중 간섭이 큰 셀들을 협력 셀로 구성하고 서빙 셀 이외에 셀들의 간섭신호를 스케줄링과 빔포밍을 통해 제어한다. 이때 CS/CB 방식은 단말들이 초기에 서빙 셀을 결정하면 DCS (Dynamic Cell Selection) 방식^[12]과 같이 유연하게 셀을 선택할 수 없고 재 선택 과정을 수행해야지만 다른 셀에 다시 접속할 수 있다. 따라서 초기에 셀 선택 시 CS/CB 방식을 사용할 때 최적의 성능을 달성할 수 있는 셀을 선택하는 것이 중요하다. 전송한 바와 같이 CS/CB를 통해 서빙 셀의 신호를 최대화시키고 간섭 신호는 최소화시키면 단말의 SINR이 향상될 수 있다. 그러나 현재 방식에서는 기존 셀 탐색 방법인 동기 신호를 사용하여 서빙 셀을 선택한 후 선택된 서빙 셀을 기준으로 SINR을 높이는 방향으로 CS/CB 방식을 적용한다. 이 경우에 SINR이 개선되어 성능의 증가를 보이지만 협력된 셀들 중에 다른 셀을 서빙 셀로 보고 CS/CB 방식을 적용했을 때 현재 서빙 셀 보다 더 좋은 SINR 환경을 얻을 수도 있기 때문에 기존 셀 탐색 방식으로 찾은 셀이 최적이라고 보기는 어렵다.

또한 서빙 셀을 선택할 때 SINR만을 고려하고

채널의 랭크를 고려하지 않으면 채널 용량 측면에서는 최적의 셀이 아닐 수 있다. 그림 2는 기지국과 단말의 안테나는 각각 4개이며 채널의 랭크가 1과 4일 때 SNR(Signal to Noise Ratio)에 따른 채널 용량을 보여준다. 프리코딩을 적용하면 랭크 1일 때 어느 정도 증가하지만 특정 SNR 이상부터는 랭크가 높은 채널의 채널 용량의 증가가 더 크기 때문에 현재 기지국과 단말간의 SINR과 채널 용량을 같이 고려하면 셀을 선택할 때 좀 더 높은 성능을 낼 수 있다^[13,14].

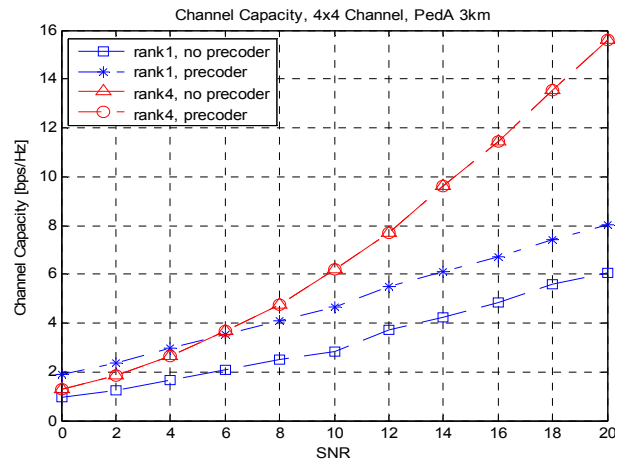


Fig. 2. Channel capacities depending on channel rank and precoder

따라서 다중 셀 환경에서 단말이 서빙 셀을 선택할 때 기존 셀 탐색 기법은 단지 후보 Cell ID에 해당하는 CRS의 신호 세기를 판단하여 셀을 선택하기 때문에 채널 용량 관점에서 효과적인 셀 선택 방법이 아니다. 또한 다중 셀 환경에서 간섭을 제거하기 위해 CoMP 기술 중 CS/CB가 적용될 때 데이터 영역에 적용될 프리코딩 행렬을 고려하지 않고 셀을 선택하는 기존 셀 탐색 기법은 효과적인 기법이 아니다. 이에 다음 절에서는 CS/CB 방식에 적합한 프리코딩 행렬이 고려된 셀 선택 기법을 제안한다.

III. LTE 시스템을 위한 제안된 셀 탐색 기법

본 절에서는 다중 셀 환경에서 단말이 데이터 영역에 적용될 프리코딩 행렬을 고려하여 채널 용량 관점에서 최적의 성능을 낼 수 있는 셀을 선택하는 기법을 제안한다. 그림 3은 제안된 셀 탐색 기법의 순서도이다.

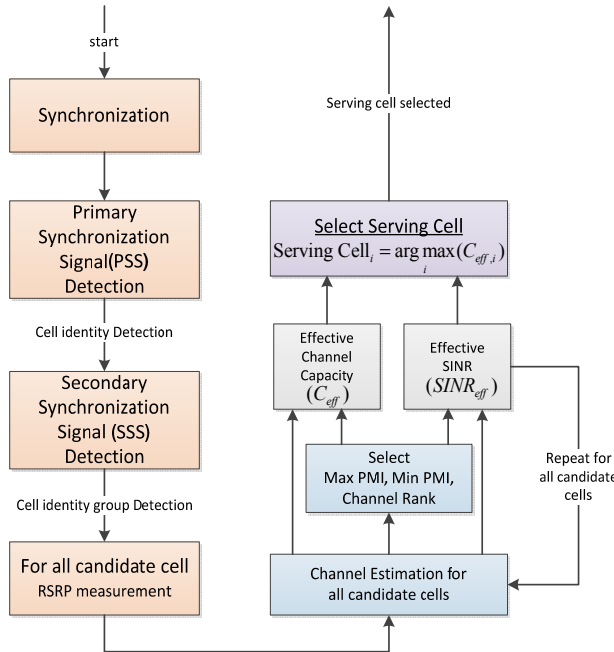


Fig. 3. A flowchart of the proposed cell selection technique

제안된 셀 탐색 기법은 3GPP LTE의 PSS, SSS 신호를 통하여 주변의 후보 Cell ID를 탐색하는 과정까지는 동일하다. 3GPP LTE에서는 Cell ID에 따라 고유한 CRS를 전송한다. 본 논문에서는 기준 신호를 사용하여 단말과 각 기지국의 채널을 완벽하게 추정하였다고 가정한다. 추정된 채널로 식 (7)을 이용하여 기지국과 단말 간의 채널 용량을 최대화 및 최소화시키는 프리코딩 행렬을 각각 구한다 [5,15-17].

$$PMI_{i, \max} = \operatorname{argmax}_{PMI} (C(W_{i, PMI}, H_i))$$

$$PMI_{i, \min} = \operatorname{argmin}_{PMI} (C(W_{i, PMI}, H_i))$$

(7)

$$C(W_{i, PMI}, H_i) = \log_2 \det \left(I_{N_{i,r}} + \frac{1}{N_0} W_{i, PMI}^H H_i^H H_i W_{i, PMI} \right)$$

(8)

여기서 $PMI_{i, \max}$ 와 $PMI_{i, \min}$ 는 각각 i 번째 기지국의 채널 용량을 최대화 및 최소화시키는 M 개 중 하나의 프리코딩 행렬 인덱스를 나타내고, H_i 는 모든 대역의 채널을 나타내며, $W_{i, PMI}$ 는 i 번째 기지국의 프리코딩 행렬 인덱스 (PMI)에 해당하는 $N_{i,T} \times N_{i,r}$ 프리코딩 행렬을 나타낸다. 또한 $N_{i,r}$ 과

$N_{i,T}$ 은 각각 i 번째 기지국 채널의 랭크와 송신 안테나의 수를 나타내며, C 는 채널 용량을 나타낸다.

채널 용량을 최대화시키는 PMI_{\max} 를 적용한 유효 채널의 채널 용량을 각 기지국에 대해 구한다. 각 기지국의 송신전력은 1이라고 가정하였고 유효 채널 용량을 구하는 식은 다음과 같다.

$$C_{eff,i} = \log_2 \det \left(I_{N_{i,r}} + \frac{W_{PMI_{i, \max}}^H H_i^H H_i W_{PMI_{i, \max}}}{N_{i,T}(N_0 + P_I)} \right) = \log_2 \det (I_{N_{i,r}} + SINR_{eff,i})$$

(9)

$$SINR_{eff,i} = \frac{W_{PMI_{i, \max}}^H H_i^H H_i W_{PMI_{i, \max}}}{N_{i,T}(N_0 + P_I)}$$

(10)

$$P_I = \sum_{j=1, j \neq i}^{N_{BS}} \frac{W_{PMI_{j, \min}}^H H_j^H H_j W_{PMI_{j, \min}}}{N_{j,T}}$$

(11)

$$\overline{C_{eff,i}} = E\{C_{eff,i}\}$$

(12)

여기서 N_0 는 i 번째 기지국의 잡음 PSD(Power Spectral Density)를 나타내고, P_I 는 주변의 모든 간섭 셀로부터 수신된 에너지를 나타낸다. 서빙 셀을 제외한 기지국들의 수신 전력은 단말에게 수신되는 간섭을 최소화시켜야하기 때문에 기지국들이 신호를 전송할 때 신호를 최소화시키는 프리코딩 행렬을 적용시킨 후 측정한다. $N_{i,T}$ 와 $N_{i,r}$ 은 i 번째 기지국의 송신 안테나의 수와 채널의 랭크를 나타낸다. 또한 H_i 는 랜덤 변수이므로 $C_{eff,i}$ 는 순시적인 채널 용량을 나타내며, 에르고딕 채널 용량을 구하면 식 (12)의 결과인 $\overline{C_{eff,i}}$ 가 된다.

각 기지국의 대하여 유효 채널 용량을 구할 때 주변에 있는 셀 중 한 셀을 서빙 셀로 선택하고 나머지 셀의 신호를 간섭으로 보고 유효 SINR을 측정하고 측정된 유효 SINR을 바탕으로 유효 채널 용량을 측정할 수 있다. 주변 기지국들 중에서 단말과 유효 채널 용량이 가장 우수한 기지국을 서빙 셀로 선택한다. 여기서 유효 채널 용량의 결과를 이용하여 서빙 셀을 선택하는 것과 유효 SINR을 통하여 서빙 셀을 선택하는 것이 동일하다는 것을 식 (9)를 통해 알 수 있다. 따라서 유효 SINR만을 가

지고 서빙 셀을 선택하면 연산 복잡도를 줄일 수 있다. 서빙 셀을 선택하는 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Serving Cell} &= \operatorname{argmax}_i (C_{eff,i}) \\ &= \operatorname{argmax}_i (\text{SINR}_{eff,i}) \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 $C_{eff,i}$ 는 i 번째 기지국의 유효 채널 용량을 나타낸다. $C_{eff,i}$ 는 SINR의 대한 수식으로 나타낼 수 있으며, $\text{SINR}_{eff,i}$ 은 i 번째 기지국의 유효 SINR을 나타낸다.

IV. 모의실험

그림 4에 나타난 바와 같이 단말 1개와 기지국 2개가 존재하고 안테나의 수는 각각 4개인 경우를 가정한다. 또한 주변 기지국으로부터 단말에게 수신되는 신호의 세기는 모두 동일하고, 단말과 기지국 사이의 주파수 동기와 타이밍 동기는 모두 맞춰져 있으며, 동기 신호를 통해 주변 기지국의 Cell ID는 모두 찾았다고 가정한다.

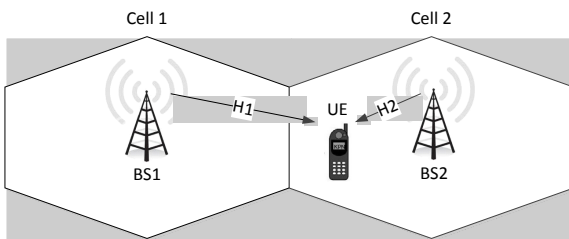


Fig. 4. Simulation environment for cell selection

Table 1. Simulation Parameters

Parameters	Value
Bandwidth	20MHz
FFT Size	2048
Number of BSs	2
Number of UEs	1
Precoding Method	LTE codebook based
Speed	3km/h

Channel estimation error	Ideal estimation
CoMP mode	CS/CB
Channel Power delay profile	
Average power [dB]	[0 -9.7 -19.2 -22.8]
delay	[0 110 190 410]*10 ⁻⁹ (s)

먼저 두 기지국의 채널 랭크가 동일한 환경에서 CRS의 프리코딩을 적용했을 때 (precoding on) 와 적용하지 않았을 때 (precoding off) 기지국 1을 선택할 확률을 모의실험 하였다. 그림 5를 보면 양쪽 기지국의 채널 랭크는 1이며 양쪽 기지국 모두 프리코딩을 적용하지 않았을 경우 SIR 이 0dB 일 때 단말이 기지국 1을 선택할 확률이 약 50% 인 것을 확인할 수 있다. 그러나 기지국 1에 프리코딩을 적용시킨 후 동일하게 기지국 1을 선택할 확률을 측정하면 SIR 이 0dB 일 때 약 90% 로 기지국 1을 선택하는 것을 볼 수 있다.

두 번째로 두 기지국의 채널 랭크가 모두 4인 환경에서 단말이 기지국 1을 선택할 확률을 측정하면 프리코딩을 적용했을 때와 적용하지 않았을 때 거의 동일한 결과가 나타남을 그림 6에서 확인할 수 있다.

세 번째로 두 기지국의 채널 랭크가 서로 다른 환경에서 기지국 1을 선택할 확률을 측정하면 그림 5와 그림 6의 결과에서 보인 바와 같이 채널의 랭크가 낮을수록 프리코딩 이득을 많이 얻었던 것에 근거하여 채널 랭크가 1인 기지국 1에 프리코딩을 적용하였을 때는 기지국 1을 선택할 확률이 증가하였지만 랭크가 4인 기지국 2에 프리코딩을 적용하였을 때는 거의 변화가 없는 것을 그림 7에서 확인할 수 있다. 이 결과들을 통해 프리코딩을 적용했을 때 채널의 랭크가 낮을수록 프리코딩 이득을 더 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러나 신호의 세기만을 가지고 기지국을 선택하게 되면 한계가 있다. 채널 랭크에 따라 채널 용량을 측정해보면 비록 프리코딩 이득은 채널 랭크가 1일 때가 크지만 특정 SNR 이상부터는 채널 랭크가 4일 때가 1일 때보다 커지는 것을 그림 2에서 확인할 수 있다.

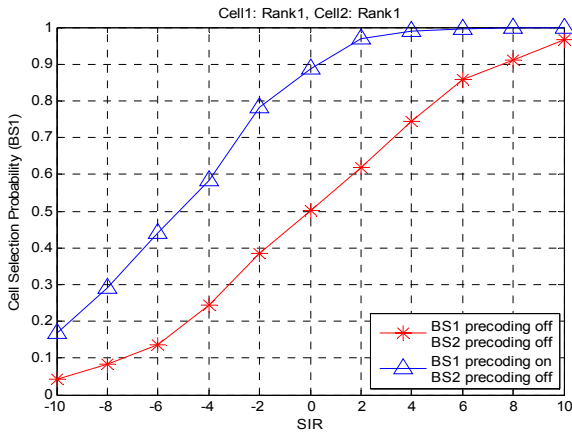


Fig. 5. Probability of cell selection depending on the presence of precoder (Cell 1: Rank 1, Cell 2: Rank 1)

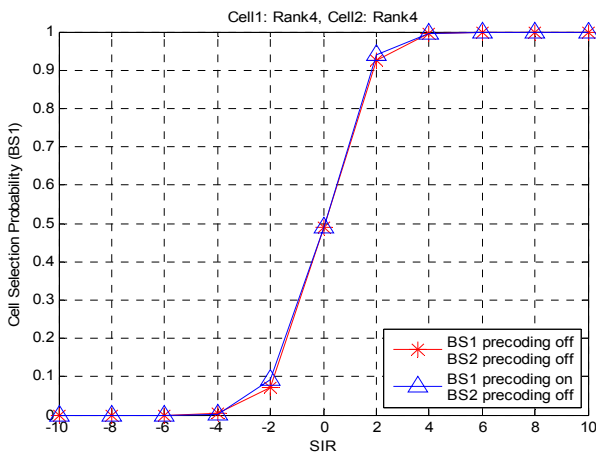


Fig. 6. Probability of cell selection depending on the presence of precoder (Cell 1: Rank 4, Cell 2: Rank 4)

따라서 단말이 초기에 기지국을 선택할 때 각 기지국과 단말 간의 유효 SINR과 유효 채널 용량까지 고려해야 한다. 그림 8에서는 기지국이 2개 단말이 1개 존재하고 SNR은 10dB, SIR은 0dB 환경에서 기존 방법인 CRS의 프리코딩이 적용 안 됐을 때의 SINR을 기준으로 기지국을 선택하고 그 때의 채널 상황에 대한 프리코딩을 적용했을 때 (Conventional Approach)의 유효 채널 용량과 단말이 초기에 채널 상황에 따라 프리코딩이 고려된 유효 SINR과 유효 채널 용량을 기준으로 기지국을 선택했을 때(Proposed Approach)의 유효 채널 용량을 서로 비교하였다.

그림 8의 결과에서 볼 수 있듯이 단말이 초기에 셀을 선택할 때부터 데이터 영역에 적용될 프리코딩 행렬을 고려하면 단말이 셀 가장 자리에 있을 때 기존 셀 선택 방식을 사용할 때보다 채널 용량 관점에서 성능이 좀 더 우수한 셀을 선택할 확률이 높아지는 것을 확인할 수 있다.

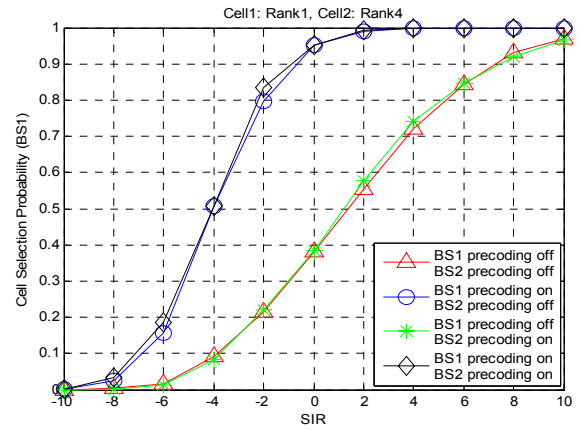


Fig. 7. Probability of cell selection depending on the presence of precoder (Cell 1: Rank 1, Cell 2: Rank 4)

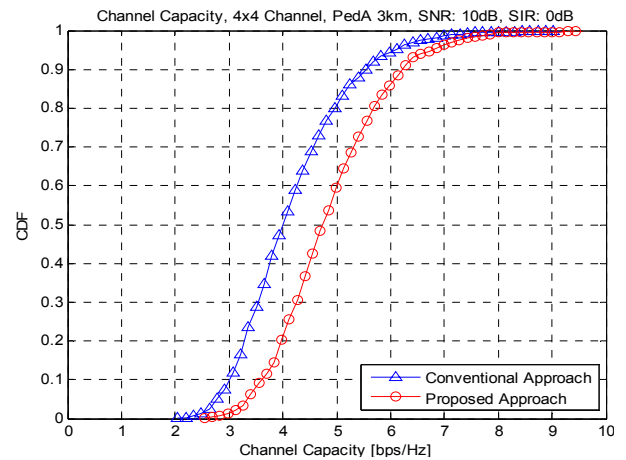


Fig. 8. Channel capacities when the conventional and proposed technique are applied in two-cell environment

V. 결론

본 논문에서는 단말이 MIMO OFDM LTE 이동통신 시스템의 다중 셀 환경에서 효과적으로 셀을 선택하는 기법을 제안하였다. 기존 셀 탐색 기법들은 동기 신호와 CRS의 수신 세기를 기준으로 서빙 셀을 선택하게 되는데 현재 SINR과 랭크를 모두 고려하지 않기 때문에 채널 용량의 관점에서 성능을 판단할 때 최적의 셀을 선택하는데 있어 한계가 있다. 또한 단말이 셀 가장 자리에서 CoMP 방식 중 CS/CB 방식으로 송수신을 한다고 가정하면 단말은 초기에 접속한 서빙 셀의 신호를 최대화시키도록 빔포밍 및 스케줄링을 할 것이다. 이 과정에서 서빙 셀을 제외한 나머지 간섭 셀들의 신호는 최소화되도록 빔포밍 및 스케줄링을 한다. 서빙 셀은 이미 결정되었기 때문에 다른 협력된 셀 중에 현재 서빙 셀 보다 더 좋은 성능을 낼 가능성이 있지만 현재 서빙 셀과만 송수신을 할 수 있다.

결과적으로 초기 셀 선택 시에 데이터 영역에 적용될 빔포밍을 고려하여 셀을 선택하게 되면 기존 동기 신호와 CRS의 세기만을 고려했을 때와는 다르게 랭크에 따른 프리코딩까지 고려하기 때문에 CS/CB 방식을 사용하였을 때 좀 더 좋은 성능을 얻을 수 있는 서빙 셀을 선택할 수 있다. 본 논문은 초기 셀 선택의 관점에서 작성이 되었지만 핸드오버시 셀 선택 방법으로도 그대로 적용될 수 있다. 또한 본 논문은 CS/CB의 관점에서 작성이 되었지만 CS/CB를 사용하지 않는 비협력통신의 경우에도 간섭 항을 무시하고 잡음항만 고려하면 초기 셀 선택 및 핸드오버시에 그대로 적용된다.

References

- [1] M. Sawahashi, Y. Kishiyama, A. Morimoto, D. Nishikawa, and M. Tanno, "Coordinated multipoint transmission/reception techniques for LTE-Advanced," *IEEE Wireless Commun.*, Jun. 2010.
- [2] R. Irmer, H. Droste, P. Marsch, M. Grieger, G. Fettweis, S. Brueck, H. P. Mayer, L. Thiele, and V. Jungnickel, "Coordinated multipoint: concepts, performance, and field trial results," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 2, pp. 102-111, Feb. 2011.
- [3] 3GPP, R1-083686, "Views on Coordinated Multipoint Transmission/Reception in LTE-Advanced," *NTT DoCoMo*, Sep. 2008.
- [4] 3GPP, R1-082469, "LTE-Advanced-Coordinated Multipoint Transmission/Reception," *Ericsson*, Jun. 2008.
- [5] L. Qiang, Y. Yang, F. Shu, and W. Gang, "Coordinated Beamforming in Downlink CoMP Transmission System," in *Proc. Int. ICST Conf. on Communications and Networking in China (CHINACOM)*, pp. 1-5, Aug. 2010.
- [6] Y. Tsai, G. Zhang, D. Grieco, and F. Ozluturk, "Cell search in 3GPP Long Term Evolution systems," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 2, no. 2, Jun. 2007.
- [7] K. Manolakis, D. M. G. Estevez, V. Jungnickel, W. Xu, and C. Drewes, "A closed concept for synchronization and cell search in 3GPP LTE systems," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Budapest, Hungary, Apr. 2009.
- [8] Jung-In Kim, Jun-Hee Jang, and Hyung-Jin Choi, "A CP Detection Based SSS Detection Method for Initial Cell Search in 3GPP LTE FDD/TDD Dual Mode Downlink Receiver," *J-KICS*, Vol. 35, No. 1, Jan. 2010.
- [9] A. Andreescu, A. Ghita, A. Enescu, and C. Anghel, "Long Term Evolution Primary Synchronization Algorithms," in *Proc. Int. Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)*, pp. 125-128, Jan. 2010.
- [10] J. I. Kim "SSS detection method for initial cell search in 3GPP LTE FDD/TDD dual mode receiver," in *Proc. Int. Symposium on Commun. and Inform. Technol.*, pp. 199-203, Sep. 2009.
- [11] S. Sesia, I. Toufic, and M. Baker, *LTE - the UMTS long term evolution*, John Wiley and Son Publication, Apr. 2009.
- [12] M. Feng, X. She, L. Chen, Kishiyama, and Y, "Enhanced dynamic cell selection with muting scheme for DL CoMP in LTE-A," in *Proc. IEEE VTC*, Taipei, Taiwan, May 2010.
- [13] M. Zhang, M. Shafi, P. J. Smith, and P. A. Dmochowski, "Precoding performance with codebook feedback in a MIMO-OFDM system," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (IEEE ICC)*, Jul. 2011.
- [14] M. Chandrasekaran and S. Subramanian, "Performance of precoding technique in LTE," in *Proc. IEEE Int. Conf. Recent Trends In Information Technology (ICRTIT)*, Apr. 2012. pp. 367-371.
- [15] 3GPP, R1-091490, "Multi-cell PMI coordination for downlink CoMP," *ETRI*, Mar. 2009.
- [16] 3GPP, R1-082886, "Inter-cell Interference Mitigation Through Limited Coordination," *Samsung*, Aug. 2008.

- [17] W. B. Lee, J. S. Kwak, B. C. Ihm, and S. Han, "Multi-BS MIMO cooperation: challenges and practical in 4G system," *IEEE Wireless Commun. Mag.*, vol. 19, no. 1, pp. 89-96. Feb. 2012.

김 한 성 (Han Seong Kim)



2011년 2월 중앙대학교 전자전기공학부 학사졸업
2011년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학과 석사과정
<관심분야> 이동 통신, 통신 모델, MIMO-OFDM, MIMO-OFDM 모델의 FPGA 설계

홍 태 환 (Tae Hwan Hong)



2012년 2월 중앙대학교 전자전기공학부 학사 졸업
2012년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학과 석사과정
<관심분야> 이동 통신, 통신 모델, MIMO-OFDM

조 용 수 (Yong Soo Cho)



1984년 2월 중앙대학교 전자공학과 공학사
1989년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
1991년 The University of Texas at Austin 공학박사
1984년 금성전자(주) 연구원
2001년 한국전자통신연구원 초빙연구원
1992년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수
<관심분야> 디지털 통신, OFDM 셀룰러/LAN 모델, OFDM 모델의 FPGA 설계