

이기종 네트워크를 위한 다중 셀 검출 기법

조 용 호*, 고 학 림*, 임 태 호°

Multi-Cell Search Scheme for Heterogeneous Networks

Yong-Ho Cho*, Hak-lim Ko*, Tae-ho Im°

요 약

본 논문은 이기종 네트워크(heterogeneous networks: HetNet)를 위한 다중 셀 검출 방안을 제안한다. 이기종 네트워크에서 여러 셀을 동시에 검출 시 모든 셀로부터의 채널 정보를 획득하는 것은 어렵기 때문에 채널 정보를 필요로 하지 않는 비동기(non-coherent) 검출 방식이 선호된다. 본 논문에서는 가중치 벡터를 사용하는 비동기 기반 단일 셀 검출 기법을 제안하고, 이를 이용한 순차적 간섭 제거 기반 다중 셀 방안을 고안한다. 셀 검출 능력 향상을 위해 가중치 벡터는 무선 채널이 갖는 일반적 성질을 반영하여 설계되었다. 또한 제안된 단일 셀 검출 방안의 성능이 각 채널 환경별 최적 가중치 벡터 근처에서 둔감하게 변하는 성질을 바탕으로 다양한 채널 환경 및 신호 대 잡음비 영역에서 최적 성능에 근접한 universal 가중치 벡터도 제안되었다. 모의실험 결과 제안된 다중 셀 검출 방안은 향상된 단일 셀 검출 능력을 통해 기존 방식 대비 좀 더 정확히 셀을 검출할 수 있고, 검출된 셀로부터의 신호를 수신 신호에서 제거함으로써 나머지 셀을 효과적으로 검출할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : Cell Search, OFDM, LTE, HetNet, Cellular Network

ABSTRACT

This paper introduces a multi-cell search method for heterogeneous networks (HetNet), in which user equipments need to search multiple cells in its vicinity simultaneously. Due to the difficulty of acquiring channel informations for multiple cells, a non-coherent approach is preferred. In this paper, a non-coherent single-cell search scheme using a weighted vector is proposed, and the successive interference cancellation based multi-cell search algorithm is devised. In order to improve cell search performance, the weighted vector is designed in a way to exploit the general characteristic of wireless channel. Based on the fact that the performance of the proposed single-cell search scheme deviates slowly from the one using the optimal weighted vector, a universal weighted vector is also proposed, which shows the performance close to the optimal ones for various channel environments and signal-to-noise ratio regimes. Simulation results confirm that the proposed multi-cell search algorithm is capable of identifying cells more accurately with the help of the proposed single-cell search scheme, and can detect the remaining cells more effectively by removing the signals of the identified cells from the received signal.

※ 이 논문은 2016년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(분산형 수중관측·제어망 개발)

♦ First Author : Hoseo University Department of Oceanic IT Eng., yhcho@hoseo.edu, 정희원

° Corresponding Author : Hoseo University Department of Oceanic IT Eng., taehoi@hoseo.edu, 정희원

* Hoseo University Department of Information and Telecommunication Eng., 정희원

논문번호 : KICS2016-01-002, Received January 4, 2016; Revised April 5, 2016; Accepted April 6, 2016

I. 서 론

스마트폰의 보급으로 셀룰러 이동 통신 시스템에서 대용량, 고속 데이터 전송에 대한 요구가 크게 증가하고 있다. 특히 이러한 데이터 트래픽은 도심지역의 지하철역이나 시내 중심 등 사람들이 밀집한 곳에서 집중되는 경향이 있다. 이렇게 밀집된 지역에서의 데이터 트래픽 증가 문제를 해결하기 위해 3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE에서는 고출력과 넓은 커버리지를 갖는 매크로(Macro) 셀내에 저출력과 상대적으로 작은 커버리지를 갖는 스몰 셀이 혼재된 이기종 네트워크(heterogeneous networks: HetNet)에 대한 표준화가 진행되었다¹⁾. 이기종 네트워크에서는 매크로 셀의 트래픽이 스몰 셀로 분산되어 매크로 셀이 겪는 부하가 감소되고, 스몰 셀을 통해 고용량의 트래픽을 지원할 수 있기 때문에 시스템 전체 용량(capacity)이 크게 향상될 수 있다^{2,3)}.

최근 해양자원 확보를 위한 개발 탐사, 기후 관측, 재해 감시, 표적의 탐지 추적 등의 다양한 장시간 관측 및 추적을 수행할 수 있는 수중 통신망에 대한 요구가 증가하고 있다⁴⁾. 또한 다양한 수중 사물인터넷(internet of underwater things) 서비스에 대한 시나리오가 제안되면서 이를 위한 기반 기술로 수중 통신망에 대한 요구도 높아지고 있다. 이러한 수중에서의 다양한 요구를 만족시키기 위해 수중내 이동통신망 구축에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 더 나아가 수중기 지제어국, 수중기지국, 수중 노드들로 구성된 수중내 이기종 네트워크 연구 역시 활발히 진행되고 있다⁵⁾.

이기종 네트워크에서 단말은 셀 검출 과정을 통해 단말 주위의 스몰 셀을 검출하고 획득한 셀 정보를 매크로 셀에 알려주어 매크로 셀의 트래픽을 스몰 셀로 효과적으로 분산시킬 수 있도록 한다. 스몰 셀은 매크로 셀에 비해 낮은 출력과 작은 커버리지를 갖는 반면, 매크로 셀과 달리 다수의 스몰 셀이 단말 주변에 존재할 수 있다. 특히 스몰 셀의 낮은 출력으로 인해 이기종 네트워크에서의 셀 검출의 경우 기존 매크로 셀 검출보다 낮은 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio: SNR) 영역에서 다수의 스몰 셀을 검출해야 한다.

현재까지 이기종 네트워크에서 스몰 셀 검출을 위해 단말의 위치 정보 기반 방식, finger print 방식, 특수 신호 이용 방식 등 다양한 방법이 제안되었다^{6,7)}. 본 논문에서는 셀 검출을 위해 설계된 프리앰블(preamble)을 이용한 방식을 다루도록 한다. 기본적인 시스템은 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반 LTE를 고려하며, 프리앰블은

LTE에서 정의된 SSS(Secondary Synchronization Signal)를 가정한다. 본 논문에서 제안하는 방식은 LTE에 국한되지 않으며, OFDM을 기반으로 하는 IEEE 802.16e와 같은 셀룰러 시스템이나 수중광역 이동통신 시스템⁸⁾에서도 적용 가능하다.

LTE에는 총 504개의 셀 ID가 존재한다. 셀 ID는 168개의 셀 ID 그룹으로 나뉘며, 각 그룹은 3개의 ID를 포함한다. LTE에는 셀 검출을 위해 두 가지 프리앰블인 PSS(Primary Synchronization Signal)과 SSS가 제공되는데, 그룹내 ID와 셀 ID 그룹 정보는 각각 PSS와 SSS에 실려 전송된다. 일반적으로 LTE에서의 셀 검출은 PSS를 이용하여 그룹내 ID를 검출하고 검출된 그룹내 ID에 해당하는 셀로부터의 채널 응답을 추정한다. 그 다음으로, 추정된 채널 응답을 기반으로 동기(coherent) 검출 방식을 통해 수신 SSS로부터 셀 ID 그룹 정보를 검출한다⁹⁾.

매크로셀 환경에서는 계획적인 셀 배치를 통해 인접 셀이 서로 다른 그룹내 ID를 갖도록 한다. 즉 인접 셀간에 서로 다른 PSS가 송출되기 때문에 PSS의 상호 상관 성질을 이용하면 해당 셀의 채널 응답을 얻을 수 있다. 반면 이기종 네트워크에서는 단말 근처에 다수의 셀이 존재하게 되고 따라서 같은 그룹내 ID를 할당받은 셀, 즉 동일 PSS를 송출하는 셀이 필연적으로 증가하게 된다. 만일 여러 셀로부터 동일한 PSS를 수신한 경우, 해당 PSS를 이용하여 추정된 채널 응답은 각 셀의 채널 응답이 합쳐진 형태가 된다. 상기 채널 응답을 이용하여 동기(coherent) 검출 방식을 수행할 경우 셀 검출 성능이 심각하게 열화될 수 있다. 따라서 이기종 네트워크에서는 채널 응답 정보가 필요하지 않은 비동기(non-coherent) 기반 셀 검출 방식이 선호된다^{10,11)}.

하지만 비동기 검출 방식은 채널 정보를 이용하지 않기 때문에 동기 검출 방식에 비해 성능 열화를 보인다. 셀 검출 실패가 발생하게 되면 총 셀 검출에 소요되는 시간이 증가하기 때문에 그 만큼 셀 접속시 지연이 발생하며 단말 관점에서는 추가적인 전력 소모로 이어진다. 또한 이기종 네트워크에서 셀 검출 실패는 매크로셀 부하 증가 및 사용자의 QoS (Quality of Service) 감소로 이어진다.

본 논문에서는 이기종 네트워크를 위한 다중 셀 검출 기법을 제안한다. 우선 단일 셀 환경에서 비동기 기반 셀 검출 기법을 제안한다. 제안된 단일 셀 검출 방안은 무선 채널이 갖는 일반적인 특성을 반영함으로써 기존 비동기 기반 검출 기법에 비해 높은 셀 검출 성능을 보인다. 그 다음으로, 제안된 단일 셀 검출

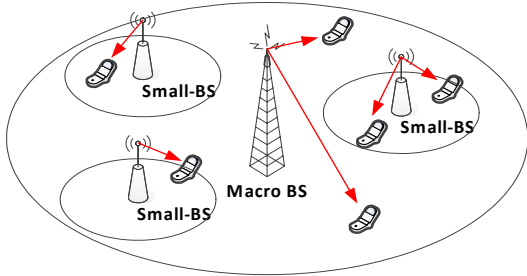


그림 1. 이기종 네트워크 구조
Fig. 1. Structure of Heterogeneous Networks

기법을 이용한 순차적 간섭 제거 (Successive Interference Cancellation: SIC) 기반 다중 셀 검출 방안을 제안한다. 제안된 다중 셀 검출 방안은 향상된 단일 셀 검출 능력을 통해 기존 방식 대비 좀 더 정확히 셀을 검출할 수 있고, 검출된 셀로부터의 신호를 수신 신호에서 제거함으로써 나머지 셀을 효과적으로 검출할 수 있게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 이기종 네트워크 환경에서 OFDM 기반 셀룰러 시스템의 수신 신호 모델을 정의한다. III장에서는 기존 비동기 기반 셀 검출 기법에 대해 알아본다. IV장에서는 제안하는 단일 셀과 다중 셀 검출 기법에 대해 각각 기술한다. V장에서는 모의실험을 통해 다양한 채널 환경에서 제안된 셀 검출 기법의 성능을 분석한다. 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 매크로셀과 스몰셀이 혼재된 이기종 네트워크를 고려하며, 통신 방식은 LTE와 같이 N_F -point FFT(Fast Fourier Transform)을 사용하는 OFDM을 가정한다. 그림 1은 이기종 네트워크의 구조를 보여준다. 이기종 네트워크에서는 매크로 셀과 스몰 셀이 다른 커버리지를 갖는다. 스몰 셀은 매크로 셀보다 상대적으로 작은 커버리지를 지원하기 때문에 매크로 셀보다 작은 파워로 신호를 송출한다.

각 셀은 총 N_c 개의 셀 ID 중 하나의 셀 ID를 부여 받고, 해당 셀 ID에 해당하는 프리앰블을 전송한다. 이 때 각 프리앰블은 길이 N_u 의 복소 (complex) 시퀀스로 구성되며, i 번째 셀의 프리앰블은 벡터 $\mathbf{p}^{(i)} = [p_0^{(i)}, p_1^{(i)}, \dots, p_{N_u-1}^{(i)}]^T$, $|p_k| = 1$ 로 표현된다.

단말이 주변 J 개의 셀로부터 프리앰블을 수신하는 경우 수신 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{y} = \sum_{i \in S_{BS}} \mathbf{P}^{(i)} \mathbf{B} \mathbf{h}^{(i)} + \mathbf{n} \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{P}^{(i)}$ 는 i 번째 셀의 프리앰블을 담고 있는 대각 행렬로써 다음과 같이 정의 된다.

$$\mathbf{P}^{(i)} = \text{diag}(\mathbf{p}^{(i)}) \quad (2)$$

행렬 \mathbf{B} 는 DFT (Discrete Fourier Transform) 행렬의 서브 행렬로써 다음과 같이 정의 된다.

$$[\mathbf{B}]_{n,k} = e^{-j \frac{2\pi}{N_F} nk}, 0 \leq n < N_u, 0 \leq k < L_{ch} \quad (3)$$

$\mathbf{h}^{(i)} = [h_0^{(i)}, h_1^{(i)}, \dots, h_{L_{ch}-1}^{(i)}]^T$ 는 i 번째 셀과 단말간의 채널 임펄스 응답으로써, 총 L_{ch} 개의 다중 경로 성분을 갖는다. 이 때 서로 다른 다중 경로 성분 및 서로 다른 셀간 다중 경로 성분은 비 상관(correlated)이고 독립적인 통계적 특징을 갖는다고 가정한다. l 번째 다중 경로는 평균이 0이고 분산이 σ_l^2 인 순환(circularly) 대칭 (symmetric) 복소 (complex) 가우시안 (Gaussian) 랜덤 변수로 모델링 되며, $\sum_{l=0}^{L_{ch}-1} \sigma_l^2 = 1$ 을 만족한다. 벡터 \mathbf{n} 는 평균이 0이고 공분산 행렬이 $\sigma_n^2 \mathbf{I}_{N_u}$ 인 대칭 복소 가우시안 랜덤 벡터이다. S_{BS} 는 단말 주변 J 개의 셀 ID를 담고 있는 집합을 나타낸다.

III. 기존 비동기 기반 셀 검출 기법

비동기 기반 셀 검출 기법은 채널 정보 없이 인접 셀로부터의 프리앰블 송출 여부를 검출한다. 본 논문에서는 최대 우도 (Maximum Likelihood: ML) 비동기 검출 방식과 차등 부호화 (differential encoding) 비동기 검출 방식을 고려한다.

우선 최대 우도 비동기 검출 방식에 대해 알아본다. LTE의 경우 SSS의 길이는 62이다. 따라서 셀 검출 과정에서 SSS를 총 64개의 부분송파로 이루어진 OFDM 신호로 간주할 수 있다. 이렇게 프리앰블의 길이가 총 부분송파의 개수와 비슷할 경우 ($N_u \approx N_F$), 최대 우도 비동기 검출 방식은 다음과 같이 표현된다^[11].

$$\tilde{\nu}_{ML} = \arg \min_{i \in S_{BS}} \|\bar{\mathbf{B}}^H(\mathbf{P}^{(i)})^H \mathbf{y}\|^2 \quad (4)$$

여기서 S_c 는 총 N_c 개의 셀 ID를 담고 있는 집합을 나타내며, $\bar{\mathbf{B}}$ 행렬은 DFT 행렬의 서브 행렬로써 다음과 같이 정의 된다.

$$[\bar{\mathbf{B}}]_{n,k} = e^{-j\frac{2\pi}{N_F}nk}, 0 \leq n < N_u, 0 \leq k < N_{CP} \quad (5)$$

여기서 N_{CP} 는 CP (Cyclic Prefix) 길이이다. 최대 우도 비동기 검출 방식은 채널 임펄스 응답의 길이가 CP (Cyclic Prefix)와 같다고 가정하기 때문에 식 (1)의 \mathbf{B} 행렬 대신에 $\bar{\mathbf{B}}$ 행렬을 사용한다.

차등 부호화 비동기 검출 방식은 다음과 같이 표현 된다¹¹⁾.

$$\tilde{y}_{\text{Diff}} = \arg \min_{i \in S_c} \left| \sum_{k=1}^{N_u} \left((p_{k-1}^{(i)})^* p_k^{(i)} \right) (y_{k-1}^* - y_k) \right|^2 \quad (6)$$

여기서 y_k 는 수신 신호 벡터 \mathbf{y} 의 k 번째 원소이다. 차등 부호화 비동기 검출 방식은 주파수 도메인 수신 신호와 후보 프리앰블간의 차등 부호화 상관 연산만 필요로 하기 때문에 앞서 소개한 최대 우도 비동기 검출 방식보다 적은 계산 연산량을 요구한다. 하지만 차등 부호화 과정에서의 잡음 증가 현상으로 인해 최대 우도 비동기 검출 방식에 비해 심한 성능 열화를 보인다. 또한 이기종 네트워크에서와 같이 다수의 셀로부터 프리앰블을 수신하는 환경에서는 잡음 증가 외에 타 셀 프리앰블에 의한 간섭 증가 현상으로 더욱 심한 성능 열화를 겪는다.

IV. 이기종 네트워크를 위한 제안된 셀 검출 기법

본 논문에서는 이기종 네트워크에서 다중 셀 검출을 위해 순차적 간섭 제거 기반 셀 검출 기법을 제안한다. 순차적 간섭 제거 기법은 검출된 셀에 해당하는 수신 프리앰블을 수신 신호에서 제거함으로써, 아직 검출되지 않은 수신 프리앰블의 신호 대 간섭 및 잡음 전력비(Signal-to-Interference and Noise Ratio: SINR)를 증가시켜 해당 셀들을 효과적으로 검출할 수 있게 한다. 만일 셀 검출 오류가 발생하여 실제 수신되지 않은 셀의 프리앰블을 이용하여 순차적 간섭 제거를 수행할 경우, 오류 전파 및 미검출 수신 프리앰블의 SINR 감소가 발생하여 전체 다중 셀 검출 성능이 크게 저하될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 기법에 비해 높은 정확도를 갖는 단일 셀 검출 기법을

제안하고, 이를 순차적 간섭 제거에 적용한 다중 셀 검출 방안을 고안한다.

4.1 제안된 단일 셀 검출 기법

이기종 네트워크의 다중 셀 검출 과정에서는 단말 주변 여러 셀의 채널 응답을 알기가 매우 어렵다. 따라서 제안된 단일 셀 검출 기법 역시 최대 우도 비동기 검출 방식과 마찬가지로 채널 임펄스 응답의 길이가 CP와 같다고 가정한다.

우선 단일 셀 환경에서 최대 우도 비동기 검출 방식을 살펴보자. 단말이 오직 k 번째 셀로부터 프리앰블을 수신하는 경우 수신 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{y} = \mathbf{P}^{(k)} \mathbf{B} \mathbf{h}^{(k)} + \mathbf{n} \quad (7)$$

최대 우도 비동기 검출 방식을 표현하는 수학적 식 (4)에서 k 번째 셀 검출을 위한 연산은 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} & \bar{\mathbf{B}}^H (\mathbf{P}^{(k)})^H \mathbf{y} \\ &= \bar{\mathbf{B}}^H (\mathbf{P}^{(k)})^H \mathbf{P}^{(k)} \mathbf{B} \mathbf{h}^{(k)} + \bar{\mathbf{B}}^H (\mathbf{P}^{(k)})^H \mathbf{n} \\ &= \bar{\mathbf{B}}^H \mathbf{B} \mathbf{h}^{(k)} + \bar{\mathbf{B}}^H (\mathbf{P}^{(k)})^H \mathbf{n} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{L_{ch}} \\ \mathbf{0}_{N_c} \end{bmatrix} \mathbf{h}^{(k)} + \bar{\mathbf{B}}^H \mathbf{P}^{(k)} \mathbf{n} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $N_a = N_{CP} - L_{ch}$ 이며, $(\mathbf{P}^{(k)})^H \mathbf{P}^{(k)} = \mathbf{I}$ 와 $\bar{\mathbf{B}}^H \bar{\mathbf{B}} = \mathbf{I}$ 인 성질을 이용하였다. 상기 수학적 식을 살펴보면 k 셀에 해당하는 채널 임펄스 응답과 잡음에 해당하는 항으로 나누어진다. 최대 우도 비동기 검출 방식은 채널 임펄스 응답의 길이가 CP와 같다고 가정하였기 때문에 잡음에 해당하는 항의 원소의 개수는 CP 길이와 동일하게 된다. 일반적으로 CP 길이는 채널 임펄스 응답의 길이보다 길기 때문에, 최대 우도 비동기 검출 방식에서는 채널 임펄스 응답의 다중 경로 개수보다 더 많은 수의 잡음 성분이 포함된다.

채널 임펄스 응답의 전력 프로파일은 지수적 감소 함수로 모델링 할 수 있으며, 대부분의 에너지가 임펄스 응답의 앞부분에 주로 집중된다. 따라서 채널 임펄스 응답의 뒷부분에 위치한 다중 경로 성분들은 앞부분의 다중 경로 성분들에 비해 열악한 신호 대 잡음비를 갖게 되고, 이러한 성분들이 검출 연산 과정에 포함됨에 따라 최대 우도 비동기 검출 방식의 성능이 저하된다.

본 논문에서는 최대 우도 비동기 검출 방식이 갖는 단점을 보완하고 검출 성능을 향상시키기 위해, 채널

임펄스 응답의 전력 특성을 고려한 채널 임펄스 응답의 다중 경로 성분간 가중치 합 방식을 제안한다. 제안된 검출 방식은 다음 수학식으로 표현된다.

$$\tilde{\nu}_{\text{Proposed}} = \arg \min_{i \in S_c} \| (\text{diag}(\mathbf{w}))^{1/2} \bar{\mathbf{B}}^H(\mathbf{P}^{(i)}) \mathbf{H}_y \|^2 \quad (9)$$

여기서 $\mathbf{w} = [w_0, w_1, \dots, w_{N_{CP}-1}]^T$ 는 가중치 벡터이다. 본 논문에서는 일반적인 채널 임펄스 응답의 전력 특성을 반영하기 위해 다음과 같이 지수적으로 감소하는 가중치 값을 제안한다.

$$w_k = C_\alpha e^{-\alpha k}, 0 \leq k < N_{CP}, \quad (10)$$

여기서 $C_\alpha = \sum_{k=0}^{N_{CP}-1} w_k = 1$ 을 만족시키게 하는 상수이다. 수학식 (10)에 따라 제안된 가중치 벡터 \mathbf{w} 의 원소들은 상수 α 에 의해 결정되는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 모의실험을 통해 다양한 채널 환경에서 α 에 따른 제안 방식의 성능을 분석하고 최적 상수 α 를 찾고자 한다. 기본적인 OFDM 관련 파라미터는 LTE의 파라미터($N_F = 64, N_u = 62, N_c = 168$)를 따르며, 채널 환경은 3GPP EPA (Extended Pedestrian A), EVA (Extended Vehicular A), ETU (Extended Typical Urban) 모델을 사용한다¹²⁾. EPA, EVA, ETU의 RMS (Root Mean Square) 지연 확산값은 각각 45 ns, 357 ns, 991 ns이다.

k 셀로부터 프리앰블을 수신하는 단일 셀 환경에서 셀 검출 실패 확률 P_e 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_e = \Pr(J(k) < \max_{i \in S_c, i \neq k} J(i) | \alpha, \mathbf{h}^{(k)}) \quad (11)$$

여기서 $J(i) = \| (\text{diag}(\mathbf{w}))^{1/2} \bar{\mathbf{B}}^H(\mathbf{P}^{(i)}) \mathbf{H}_y \|^2$ 이다.

그림 2는 여러 채널 환경에서 신호 대 잡음비별 상수 α 값에 따른 제안 방안의 셀 검출 실패 확률을 나타내었다. 각 채널과 신호 대 잡음비 별 최적 α 값은 표 1에 나타내었다. 그림 2와 표 1에서 보면 채널의 RMS 지연 확산값이 커질수록, 즉 EPA, EVA, ETU 순으로 동일 신호 대 잡음비에서 최적 α 값이 감소함을 알 수 있다. 그 이유는 채널의 RMS 지연 확산값이 커질수록 다중 경로의 전력이 지수적으로 천천히 감소하는 특징을 갖는데, 최적 가중치 벡터 역시 이러한 채널의 다중 경로 전력을 효과적으로 결합하도록 결

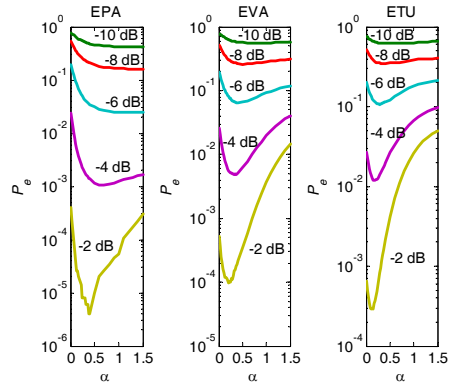


그림 2. 채널 환경별 상수 α 값에 따른 제안된 단일 셀 검출 기법의 셀 검출 실패 확률

Fig. 2. α versus cell search failure probability of the proposed single cell identification scheme for different channel environments

표 1. 다양한 채널과 신호 대 잡음비 별 최적 α 값
Table 1. Optimal α for different channel models and SNRs

SNR (dB)	Channel Model		
	EPA	EVA	ETU
-10 dB	1.52	0.89	0.54
-8 dB	1.48	0.47	0.32
-6 dB	1.22	0.38	0.28
-4 dB	0.61	0.32	0.16
-2 dB	0.38	0.22	0.13

정되기 때문이다. 또한 동일 채널 환경에서도 신호 대 잡음비가 증가할수록 최적 α 값이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 신호 대 잡음비가 작은 경우 잡음의 기여도를 최소화시키기 위해 최적 가중치 벡터가 지연 시간이 작은 다중 경로만 고려하는 반면, 신호 대 잡음비가 커질수록 최적 가중치 벡터가 모든 다중 경로를 고려하기 때문이다.

상기 실험을 통해 최적 가중치 벡터는 채널 환경과 신호 대 잡음비에 따라 달라짐을 알 수 있다. 단말은 다양한 방법을 통해 채널 환경과 신호 대 잡음비를 알 수 있다. 예를 들어 신호 대 잡음비의 경우 수신 PSS를 이용하여 추정할 수 있으며, 주변 채널 환경은 단말의 속도, 위치 정보 등을 이용하여 알아낼 수 있다. 하지만 채널 환경과 신호 대 잡음비마다 서로 다른 최적 가중치 벡터를 사용하는 것은 셀 검출 복잡도를 증가시킬 수 있다. 또한 상기 방법들이 항상 가능하지 않을 수 있다. 그림 2에서 보면 제안된 단일 셀 검출 기법의 성능이 최적 α 값 근처에서 천천히 변하는 것

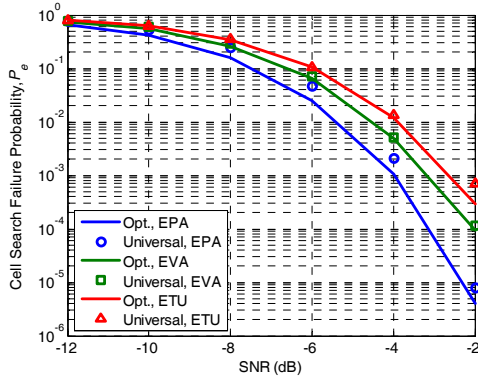


그림 3. 다양한 채널 환경별 최적 α 와 universal α 를 사용했을 때의 셀 검출 실패 확률
 Fig. 3. Cell search failure probability for the optimal α 's and universal α under diverse channel environments

을 알 수 있다. 따라서 한 가지 α 값을 선택하고 이에 해당하는 가중치 벡터를 모든 채널 환경과 신호 대 잡음비에서 사용하는 방식을 제안한다. 본 논문에서는 높은 신호 대 잡음비에서 성능 열화를 최소화하기 위해 표 1를 기반으로 $\alpha = 0.26$ 을 선택하고, 이 값을 universal 값이라고 칭한다.

그림 3은 각 채널과 신호 대 잡음비별 최적 α 와 universal α 를 사용했을 때의 제안 방안의 셀 검출 실패 확률을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 채널 환경과 신호 대 잡음비 영역에서 universal α 와 최적 α 의 셀 검출 실패 성능이 1 dB 이내임을 알 수 있다. 즉 제안된 단일 셀 검출 기법은 잘 선택된 가중치 벡터를 사용하더라도 최적 가중치 벡터를 사용한 경우와 매우 근접한 검출 성능을 보일 수 있음을 알 수 있다. 이 때 universal α 값은 목표로 하는 신호 대 잡음비나 채널 환경에 맞게 미리 정의되거나 단말이 수집한 여러 정보를 이용하여 상황에 맞게 결정될 수 있을 것이다.

4.2 순차적 간섭 제거 기반 다중 셀 검출 기법

본 절에서는 앞에서 제안된 가중치 합 기반 단일 셀 검출 방식을 순차적 간섭 제거에 적용한 다중 셀 검출 방안을 제안한다. 제안하는 순차적 간섭 제거 기반 다중 셀 검출 기법의 동작은 다음과 같다. 우선 제안한 단일 셀 검출 기법을 통해 한 개의 셀을 검출한 후, 해당 셀로부터 수신된 프리앰블을 재구성한다. 그 다음으로, 재구성된 수신 프리앰블을 수신 신호에서 제거한 후 단말 주변의 모든 셀을 검출할 때까지 앞의 과정을 반복한다. 이 때 k 번째 셀의 수신 프리앰블에

```

Step 1. set  $\mathbf{r}_0 = \mathbf{y}$ ,  $k = 1$ ,  $\tilde{S} = \emptyset$ ,
         $M = \text{Number of cells to be detected}$ 
Step 2. Find  $i_k$  such that,

$$i_k = \underset{i \in S \setminus \tilde{S}}{\text{argmin}} \left\| (\text{diag}(\mathbf{w}))^{1/2} \overline{\mathbf{B}}^H(\mathbf{P}^{(i)})^H \mathbf{r}_{k-1} \right\|^2$$

Step 3.  $\tilde{S} \leftarrow \tilde{S} \cup \{i_k\}$ 
Step 4.  $\mathbf{r}_k \leftarrow \mathbf{r}_{k-1} - \mathbf{P}^{(i_k)} \overline{\mathbf{B}} \overline{\mathbf{B}}^H(\mathbf{P}^{(i_k)})^H \mathbf{y}$ 
        and  $k \leftarrow k + 1$ 
Step 5. if  $k < M$ , goto Step 2
    
```

그림 4. 제안된 순차적 간섭 제거 기반 다중 셀 검출 기법의 알고리즘
 Fig. 4. Algorithm for the proposed SIC based multi-cell search scheme

대한 추정치는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_k &= \mathbf{P}^{(k)} \overline{\mathbf{B}} \tilde{\mathbf{h}}_k \\ &= \mathbf{P}^{(k)} \overline{\mathbf{B}} \overline{\mathbf{B}}^H(\mathbf{P}^{(k)})^H \mathbf{y} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 $\tilde{\mathbf{h}}_k = \overline{\mathbf{B}}^H(\mathbf{P}^{(k)})^H \mathbf{y}$ 는 k 번째 셀과 단말간 채널 임펄스 응답의 추정치이다. 제안된 순차적 간섭 제거 기법은 수신 신호에서 검출된 셀로부터의 수신 프리앰블에 대한 추정치를 제거함으로써 나머지 셀 검출을 용이하게 한다. 제안된 순차적 간섭 제거 기반 다중 셀 검출 기법의 알고리즘을 그림 4에 나타내었다.

V. 모의실험

본 장에서는 제안된 기법의 셀 검출 성능을 모의실험을 통해 확인한다. OFDM 관련 파라미터는 LTE의 파라미터와 동일하게 다음과 같이 $N_F = 64$, $N_u = 62$, $N_c = 168$ 로 설정하였다. 채널 환경은 앞서 사용한 EPA, EVA, ETU 모델을 사용한다. 모의실험은 단일 셀과 다중 셀 두 가지 경우에 대해 수행한다.

우선 단일 셀 환경에서의 성능 비교를 위해 III장에서 소개된 차등 부호화 비동기 검출 방식과 최대 우도 비동기 검출 방식을 고려하였으며, 각각 'DIFF'와 'ML'로 명명한다. 제안하는 방식의 경우 각 채널과 신호 대 잡음비별 최적 α 와 universal α 를 사용하는 방안을 고려하며, 각각 'Opt.'와 'Universal'로 명명한다.

그림 5는 단일 셀 환경에서 셀 검출 실패 확률을 나타낸 그림이다. 모든 채널 환경에서 차등 부호화 비동기 검출 방식, 최대 우도 비동기 검출 방식, 제안 방식 순으로 낮은 셀 검출 실패 확률을 나타내는 것을

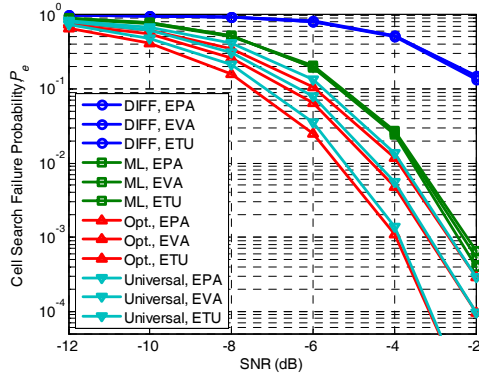


그림 5. 단일 셀 환경에서 다양한 채널 환경에서의 셀 검출 실패 확률
Fig. 5. Cell search failure probability for different channel environments under single cell case

볼 수 있다. 이는 제안된 단일 셀 검출 방식의 가중치 벡터가 채널 특성을 반영하여 추정 채널 임펄스 응답의 각 다중 경로 전력을 효과적으로 결합하기 때문이다. 특히 제안된 방식의 경우 채널의 RMS 지연 확산값이 작아질수록 낮은 셀 검출 실패 확률을 보여주는 반면 기존 방식의 경우 채널에 상관없이 비슷한 성능을 보임을 알 수 있다.

낮은 RMS 지연 확산값을 갖는 채널은 대부분의 채널 파워가 지연 시간이 짧은 다중 경로 성분에 몰려 있다. 제안 방식은 지연 시간이 짧은 다중 경로 성분에 큰 가중치를 두고 채널 임펄스 응답의 파워를 결합하는 반면 기존 방식의 경우 채널 특성에 상관없이 모든 다중 경로 성분을 동일 가중치를 두어 결합한다. 따라서 제안 방식의 경우 기존 방식에 비해 채널의 RMS 지연 확산값이 작아질수록 잡음 성분의 기여도가 감소하기 때문에 낮은 셀 검출 실패 확률을 보여지게 된다.

다음은 다중 셀 환경에서의 셀 검출 성능에 대해 알아본다. 이 때 총 6개의 다중 셀을 고려한다. 첫 번째 셀 대비 각 셀의 전력 오프셋은 다음의 두 가지 경우를 고려한다. 첫 번째 경우는 [0dB, -5dB, -5dB, -5dB, -5dB, -5dB]이고 두 번째 경우는 [0dB, -3dB, -5dB, -7dB, -9dB, -10dB]이다. 신호 대 잡음비에서 잡음 전력은 가장 큰 수신 신호를 기준으로 설정하였다. 다중 셀 환경에는 제안된 순차적 간섭 제거 기반 다중 셀 검출 기법과 최대 우도 비동기 검출 방식을 적용한 순차적 간섭 제거 기법의 성능을 살펴본다. 최대 우도 비동기 검출 방식을 적용한 순차적 간섭 제거 기법은 그림 4의 Step 2를 최대 우도 비동기 검출 방식을 나타내는 수학적 (4)로 대체함으로써 얻어진다.

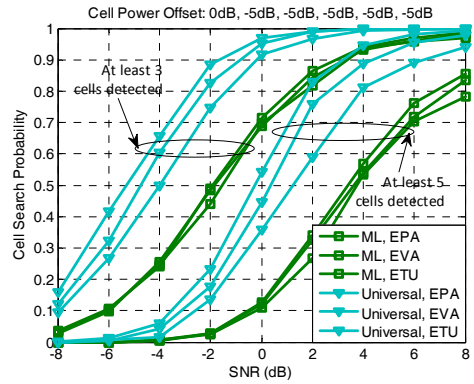


그림 6. 첫 번째 셀 대비 각 셀의 전력 오프셋이 0 dB, -5 dB, -5dB, -5dB, -5dB, -5dB인 다중 셀 환경에서 다양한 채널 환경에서의 셀 검출 확률
Fig. 6. Cell search probability for different channel environments under multi cell case: signal power offsets with respect to that of the first cell are given by 0 dB, -5 dB, -5dB, -5dB, -5dB, -5dB

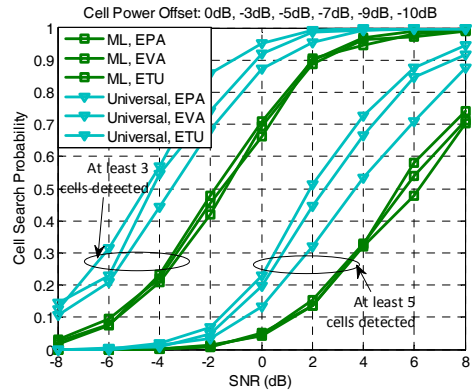


그림 7. 첫 번째 셀 대비 각 셀의 전력 오프셋이 0 dB, -3 dB, -5dB, -7dB, -9dB, -10dB인 다중 셀 환경에서 다양한 채널 환경에서의 셀 검출 확률
Fig. 7. Cell search probability for different channel environments under multi cell case: signal power offsets with respect to that of the first cell are given by 0 dB, -3 dB, -5dB, -7dB, -9dB, -10dB

제안 방식의 단일 셀 검출 기법의 경우 universal α 를 사용하는 경우를 고려한다. 성능 척도로는 총 6개의 셀 중 적어도 p 개의 셀을 검출할 확률을 사용한다. 예를 들어 p 가 4일 경우, 검출한 6개의 셀 중 정확히 검출한 셀의 개수가 4 이상이 되었을 때 셀 검출이 성공하였다고 정의한다.

그림 6과 7은 두 가지 전력 오프셋 경우에 대해 적어도 3개와 5개의 셀을 검출할 확률을 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 셀 검출 성능에 있어 제안된 방식이 최대 우도 비동기 검출 방식 기반 다중 셀

검출 방식보다 약 2dB에서 최대 5dB 신호 대 잡음비 이득이 있다. 이는 제안된 단일 셀 검출 방식이 최대 유도 비동기 검출 방식에 비해 높은 정확도를 갖고 있기 때문에 제안된 다중 셀 검출 방식이 큰 수신 신호 전력을 갖는 셀을 정확히 검출할 수 있고, 이를 수신 신호에서 제거함으로써 작은 수신 신호 전력을 갖는 셀 역시 기존 방식에 비해 높은 정확도로 검출 할 수 있기 때문이다.

VI. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 이기종 네트워크를 위한 다중 셀 검출 방안을 제시하였다. 셀 검출 성능 향상을 위해 가중치 벡터를 이용하는 단일 셀 검출 방안을 제안하고, 이를 이용하는 순차적 간섭 제거 기반 다중 셀 검출 방안을 고안하였다. 또한 제안된 단일 셀 검출 방안의 성능이 최적 가중치 벡터 근처에서 둔감하게 변하는 성질을 바탕으로 다양한 채널 환경 및 신호 대 잡음비 영역에서 최적 성능에 근접한 universal 가중치 벡터도 제안되었다.

모의실험 결과 제안된 단일 셀 검출 방안이 채널 특성을 반영한 가중치 벡터를 사용함으로써 기존 비동기 검출 방식에 비해 낮은 단일 셀 검출 실패 확률을 보임을 확인하였다. 다중 셀 환경에서도 제안 방안이 기존 기법을 이용한 다중 셀 검출 방식에 비해 크게 향상된 다중 셀 검출 성능을 보인다. 제안된 셀 검출 방안을 이용함으로써 스몰셀 오프로딩 기회 증가에 따른 전체 시스템 용량 증가 및 셀 검출 획득 시간 감소에 의한 단말의 소모 전력 감소를 기대할 수 있다.

본 논문에서 제안된 가중치 벡터는 주어진 채널 환경에 대해 모의실험을 통해 도출되었다. 따라서 추후 과제로는 최적 가중치 벡터를 이론적으로 유도하여 서로 다른 채널 환경에서 최적 가중치 벡터의 특징을 분석하고, 이를 통해 다양한 환경에서 가중치 벡터를 적응적으로 변화시키는 기법을 연구하고자 한다.

References

[1] 3GPP TR36.814 V9.0.0, *Further advancements for E-UTRA physical layer aspects* (Release 9), Mar. 2010.

[2] C. S. Yang and C. G. Kang, "QoS-oriented user association in HetNet with a backhaul constraint," *J. KICS*, vol. 39B, no. 10, pp. 654-663, Oct. 2014.

[3] Y. W. Blankenship, "Achieving high capacity with small cells in LTE-A," in *2012 50th Annu. Allerton Conf. Commun., Control, and Computing*, pp. 1680-1687, Oct. 2012.

[4] M. Stojanovic and L. Freitag, "Recent trends in underwater acoustic communications," *Marine Technol. Soc. J.*, vol. 47, no. 5, pp. 45-50, Oct. 2013.

[5] J. H. Kim, T. H. Im, K. Y. Kim, and H. L. Ko, "A study on the underwater base station based underwater acoustic communication systems," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2015 (KICS ICC 2015)*, pp. 353-205, Jeju Island, Korea, Jun. 2010.

[6] A. Prasad, O. Tirkkonen, P. Lunden, O. N. C. Yilmaz, L. Dalsgaard, and C. Wijting, "Energy-efficient inter-frequency small cell discovery techniques for LTE-advanced heterogeneous network deployments," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 5, pp. 72-81, May 2013.

[7] Y. J. Kim and Y. S. Cho, "Femtocell searching technique using synchronization signals for next-generation mobile communication systems," *J. KICS*, vol. 38A, no. 1, pp. 44-57, Jan. 2013.

[8] M. S. Kim, D. Y. Cho, H. L. Ko, D. K. Hong, S. G. Kim, and T. H. Im, "A study on the multi-carrier system for throughput enhancement in underwater channel environments," *J. KICS*, vol. 40, no. 06, pp. 1193-1199, Jun. 2015.

[9] H. S. Kim, T. H. Hong, and Y. S. Cho, "A cell selection technique considering MIMO precoding," *J. KICS*, vol. 37A, no. 12, pp. 1076-1084, Dec. 2012.

[10] Y. Shen, T. Luo, and M. Z. Win, "Neighboring cell search for LTE systems," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 11, no. 3, pp. 0908-919, Mar. 2012.

[11] W. Nam and Y. Lee, "Preamble-based cell identification for cellular OFDM systems," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 7, no. 12, pp. 5263-5267, Dec. 2008.

[12] 3GPP TR36.104 V13.1.0, *Base Station (BS) radio transmission and reception*, Sept. 2015.

조 용 호 (Yong-Ho Cho)



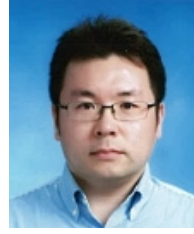
2004년 2월: 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 졸업
2006년 2월: 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 석사
2013년 8월: 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 박사
2013년 9월~2016년 2월: 삼성

전자 DMC연구소 책임연구원

2016년~현재: 호서대학교 해양IT융합기술연구소 조
교수

<관심분야> 이동통신, 수중통신, 해양통신, 사물인
터넷

임 태 호 (Tae-ho Im)



2006년 2월: 중앙대학교 전자
전기공학부 졸업
2008년 2월: 중앙대학교 전자
전기공학부 석사
2012년 8월: 중앙대학교 전자
전기공학부 박사
2012년 7월~2015년 2월: 삼성

전자 DMC연구소 책임연구원

2015년~현재: 호서대학교 해양IT융합기술연구소 조
교수

<관심분야> 이동통신, 수중통신, 해양통신

고 학 림 (Hak-lim Ko)



1983년 2월: 숭실대학교 전자
공학과 졸업
1986년 8월: Fairleigh Dickins
on Univ. 전기 및 컴퓨터
공학과 석사
1995년 8월: North Carolina
state Univ. 전기 및 컴퓨터
공학과 박사

1996년~현재: 호서대학교 정보통신 공학과 교수

<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 이동통신, 수중
통신, 해양통신