

3GPP LTE 하향링크 시스템의 초기 셀 탐색기 SSS 검출 시 복잡도 최소화를 위한 CP 길이 선 결정 알고리즘

준회원 김 영 범*, 김 중 훈*, 종신회원 장 경 희*

Complexity Reduced CP Length Pre-decision Algorithm for SSS Detection at Initial Cell Searcher of 3GPP LTE Downlink System

YoungBum Kim*, JongHun Kim* Associate Members, KyungHi Chang* Lifelong Member

요 약

3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE (Long Term Evolution) 시스템의 하향링크에서는 초기 동기화 및 셀 탐색 과정을 수행하기 위해 PSS (primary synchronization signal) 와 SSS (secondary synchronization signal) 시퀀스를 사용한다. 단말기는 PSS 를 이용하여 슬롯 타이밍과 주파수 동기, 그리고 셀 ID 를 획득한 후 SSS 를 검출해야 하는데, 3GPP LTE 에서 지원되는 2 종류의 CP (Cyclic Prefix) 길이로 인해 2 번의 FFT 를 수행하여 SSS reference 신호와의 cross-correlation 을 이용해 무선 프레임 타이밍과 셀 그룹 ID 를 획득한다. 본 논문에서는 단말기의 셀 탐색기에서 SSS 검출 시 복잡도를 최소화하기 위해 extended CP 로 전송한 경우 CP 길이를 선 결정하여 FFT 와 cross-correlation 의 계산복잡도를 최대 50 % 까지 감소시키는 알고리즘을 제안한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 매우 작은 성능 열화를 가지면서, 복잡도는 크게 감소하는 결과를 확인할 수 있었다.

Key Words : 3GPP LTE, Cell Searcher, CP Length Pre-decision, Synchronization Signal, PSS, SSS

ABSTRACT

In 3GPP LTE system downlink, PSS (primary synchronization signal) and SSS (secondary synchronization signal) sequences are used for initial cell search and synchronization. UE (user equipment) detects slot timing, frequency offset, and cell ID by using PSS. After that it should detect frame timing, cell group ID, and CP length by using SSS. But in 3GPP LTE, there are two kinds of CP length, so we should operate FFT twice. In this paper, to minimize SSS detection complexity in cell searcher, we propose a CP length pre-decision algorithm that reduces the arithmetical complexity by half at most, with negligible performance degradation.

I. 서 론

전 세계적으로 4 세대 이동통신에 대한 관심이 높아지는 가운데 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 에서는 4 세대 이동통신의 강력한 후보 기술인 LTE (Long Term Evolution) 의 물리 계층 표준화를 최근에 끝마쳤다. 3GPP LTE 시스템의 하향링크

에서는 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 전송 방식을 채택했고, 상향링크에서는 OFDMA 의 높은 PAPR 로 인한 문제점을 보완하고자 SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) 전송 방식을 채택했다.

하향링크에서 사용하는 OFDMA 전송 방식은 단일 탭 등화기를 사용하여 채널로 인한 왜곡을 간단

* 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국과학기술재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-331-D00296(100048)).

* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실 (kimyb2000@hanmail.net, ma24u@hanmail.net, khchang@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-06-265, 접수일자 : 2009년 6월 29일, 최종논문접수일자 : 2009년 8월 31일

히 보상하고, 높은 전송 효율을 가지며, 고속 전송 시 심각한 인접 심볼간 간섭 문제를 CP (Cyclic Prefix) 를 사용하여 매우 쉽게 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다^[1]. 하지만, 부반송파간의 직교성이 유지되는 경우에만 이러한 장점을 가질 수 있으며, 직교성이 깨지는 경우에는 인접 반송파간 간섭 문제가 발생하여 시스템의 성능이 급격히 저하하게 된다. 따라서 3GPP LTE 의 OFDMA 전송 방식을 사용하는 하향링크에서의 시간, 주파수 동기화 및 초기 셀 탐색 과정은 매우 중요하다.

본 논문에서는 3GPP LTE 에서 지원하는 normal CP 와 extended CP 의 두 가지 CP 모드로 인한 초기 셀 탐색 시 두 번의 FFT 를 수행해야 하는 복잡도를 최소화하고자 CP 길이를 선 결정 하는 알고리즘을 제안한다. DVB-T OFDM 수신기에서 부반송파의 개수가 2K mode 와 8K mode 로 구성될 때 블라인드 검출을 하듯이^[2], 3GPP LTE 시스템에서 셀 탐색 시 두 가지 CP 모드로 인해 블라인드 검출을 하게 되는데, CP 길이를 선 결정 하게 되면 블라인드 검출로 인한 추가적인 복잡도를 감소시킬 수 있다. CP 길이를 선 결정 함으로서 FFT 와 그에 따른 cross-correlation 의 계산 량을 줄일 수 있다.

본 논문의 구성 및 주요 내용은 다음과 같다. 우선 2 장에서는 3GPP LTE 의 동기화 및 초기 셀 탐색을 위한 SS (Synchronization Signal) 을 분석하고, 3GPP LTE 시스템의 동기화 및 셀 탐색 방법에 대해 살펴본다. 3 장에서는 복잡도를 최소화하기 위해 제안된 CP 길이 선 결정 알고리즘을 소개한다. 4 장에서는 모의실험을 통해 기존 시스템과의 성능 및 복잡도를 비교하고, 5 장에서 결론을 맺는다.

II. 3GPP LTE 시스템의 동기화 및 초기 셀 탐색 신호 및 방법

2.1 Synchronization Signal (SS)

3GPP LTE 시스템은 10ms 의 무선 프레임으로 구성된다^[3]. 프레임 구조는 FDD 를 지원하는 type 1 모드와 TDD 를 지원하는 type 2 모드가 존재한다. 각각의 모드는 CP 의 길이에 따라 normal CP 와 extended CP 로 구분된다. 각 무선 프레임은 10 개의 서브 프레임으로 구성되고 각각의 서브 프레임은 2 개의 슬롯으로 구성된다.

SS 는 3GPP LTE 시스템에서 동기화 및 셀 탐색을 위한 신호로 PSS, SSS 로 구성된다. 그림 1 은 FDD 를 지원하는 type 1 모드의 무선 프레임

구조를 나타낸다. PSS 의 경우 슬롯의 마지막에 할당 되면서 CP 길이에 무관하게 검출하지만 SSS 의 경우 CP 길이에 따라 변경되므로 SSS 검출은 반드시 CP 길이의 검출과 함께 진행 되어야 한다.

셀은 총 504 종류의 SS 신호로 구분 지어지는데 PSS 신호가 3 종류의 셀 ID 를 구분하고 SSS 신호가 168 종류의 셀 그룹 ID 를 구분하게 되며 $N_{ID}^{cell} = 3 N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}$ 과 같이 결정된다. $N_{ID}^{(1)}$ 는 SSS 를 $N_{ID}^{(2)}$ 는 PSS 를 나타낸다.

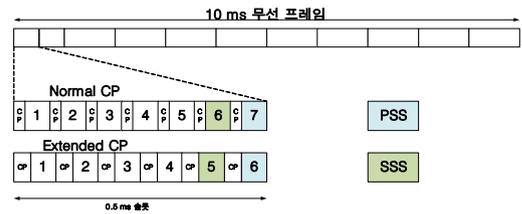


그림 1. 3GPP LTE 하향링크 프레임 type 1

2.1.1 Primary Synchronization Signal (PSS)

PSS는 1/2 무선 프레임의 주기로 전송되며 3 종류의 셀 ID 정보를 갖고 있어, 심볼 타이밍과 주파수 동기, 셀 ID 그룹을 추정하는데 사용된다. Zadoff-Chu 시퀀스를 사용하여 식 (1) 과 같이 생성된다.

$$d_u(n) = \begin{cases} e^{-j\frac{\pi u n(n+1)}{63}} & n = 0, 1, \dots, 30 \\ e^{-j\frac{\pi u (n+1)(n+2)}{63}} & n = 31, 32, \dots, 61 \end{cases} \quad (1)$$

여기서, u 값은 $N_{ID}^{(2)}$ 가 0, 1, 2 에 따라 25, 29, 34 의 값을 갖는다.

이렇게 생성된 PSS 는 프레임 type 1 모드의 경우 1 번 슬롯과, 11 번 슬롯의 마지막 심볼에 전송되며 DC 부반송파를 기준으로 양쪽에 31개씩 62개의 부반송파에 할당된다.

2.1.2 Secondary Synchronization Signal (SSS)

SSS는 무선 프레임의 주기로 전송된다. 프레임 type 1 모드의 경우 1번 슬롯과, 11번 슬롯의 PSS 바로 앞에 전송되는데 PSS 와는 달리 1번 슬롯과 11번 슬롯에 다른 신호를 전송하여 무선 프레임의 시작 타이밍을 추정하는데 사용한다. 또한 168종류의 셀 그룹 ID를 갖고 있어, PSS를 이용해 구한 셀 ID를 이용해 셀 그룹 ID를 검출할 수 있다.

SSS는 31길이를 갖는 2개의 이진 시퀀스를 결합하여 생성하는데 이 결합된 시퀀스는 PSS에 의해 만들어진 스크램블 시퀀스에 의해 스크램블 되며 식 (2) 와 같이 생성된다.

$$d(2n) = \begin{cases} s_0^{(m)}(n)c_0(n) & \text{in subframe 0} \\ s_1^{(m)}(n)c_0(n) & \text{in subframe 5} \end{cases} \quad (2)$$

$$d(2n+1) = \begin{cases} s_1^{(m)}(n)c_1(n)z_1^{(m)}(n) & \text{in subframe 0} \\ s_0^{(m)}(n)c_1(n)z_1^{(m)}(n) & \text{in subframe 5} \end{cases}$$

여기서, $s_0^{(m)}(n)$, $s_1^{(m)}(n)$, $z_1^{(m)}(n)$, $z_1^{(m)}(n)$ 은 각각 다른 M 시퀀스의 cyclic shift 에 의해 구분되며, $c_0(n)$, $c_1(n)$ 은 M 시퀀스의 cyclic shift와 PSS에 의해 정의된다.

이렇게 생성된 SSS는 PSS와 마찬가지로 DC 부반송파를 기준으로 양쪽의 62개의 부반송파에 할당되는데 주파수 다이버시티 효과를 얻기 위하여 인터리브(interleaved) 방식으로 할당된다⁴⁾.

2.2 3GPP LTE 의 동기화 및 셀 탐색 방법

3GPP LTE 시스템은 WCDMA 와 매우 비슷한 동기화 및 셀 탐색 과정을 거친다⁵⁾. LTE 에서의 동기화 및 셀 탐색은 PSS, SSS 그리고 BCH (Broadcast Channel) 을 사용하여 수행된다.

그림 2 는 3GPP LTE 의 동기화 및 셀 탐색 과정을 나타낸 순서도 이다. LTE 시스템은 3 개의 셀 ID 가 들어있는 168 개의 셀 그룹 ID 가 있어 총 504 개의 셀을 구별하게 된다. PSS 는 셀 ID 3 개를 구별하고, SSS 는 셀 그룹 ID 168 개를 구별하여 이 두 신호를 사용하여 동기 및 셀 탐색을 수행한다.

우선 한 프레임에 같은 신호를 두 번 전송하는 PSS 를 사용하여 심볼 타이밍과 주파수 동기를 추정하고, 셀 그룹 ID 내의 셀 ID 를 획득한다. 셀 ID 의 경우 세 가지 경우가 존재하기 때문에 알고 있는 PSS 와의 cross-correlation 을 이용하여 간단하게 획득할 수 있다.

심볼 타이밍과 셀 ID 를 획득한 이후에 한 프레임에 서로 다른 두 신호가 전송되는 SSS를 사용하여 프레임 경계와 셀 그룹 ID를 검출하게 된다. PSS는 슬롯의 마지막 심볼에 전송되므로 CP의 길이를 알지 못하더라도 PSS를 검출할 수 있지만, SSS를 검출하기 위해서는 CP 길이에 대한 정보가 필요하다. 따라서 CP 길이에 대한 블라인드 검출을

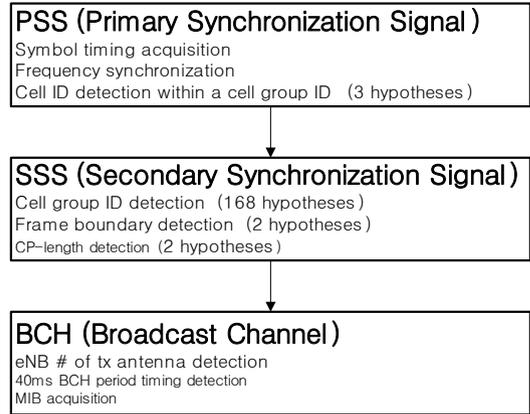


그림 2. 3GPP LTE 의 동기화 및 셀 탐색 순서도

위해 두 번의 FFT를 수행한다⁶⁾⁷⁾. 두 번의 FFT를 수행하고 각각의 결과에 168 번의 cross-correlation 을 사용하여 총 336 번의 cross-correlation 을 통해 CP 길이와 셀 그룹 ID 를 검출하게 된다.

마지막으로 BCH 를 이용하여 안테나의 개수와, 40ms의 타이밍, 시스템 정보 등을 획득하게 된다.

III. 복잡도 최소화를 위해 제안된 CP 길이 선 결정 알고리즘

2.2절에 설명한 기존의 3GPP LTE 동기화 및 초기 셀 탐색 방법은 PSS를 이용하여 심볼 타이밍과, 주파수 동기, 그리고 셀 ID를 얻은 후 두 번째 단계인 SSS를 수행하기 위해 2번의 FFT를 수행해야 한다⁶⁾⁷⁾. 두 가지 CP 길이 모두를 고려하여 FFT 를 수행한 후 각각 168개의 reference SSS와의 cross-correlation 을 수행하여 336개 중 가장 높은 값을 갖는 것을 찾아 CP 길이와 셀 그룹 ID를 획득하게 된다. 본 논문에서는 이러한 셀 탐색기의 복잡도를 최소화하기 위해 CP 길이 선 결정 알고리즘을 제안한다.

그림 3은 제안 된 알고리즘을 사용한 3GPP LTE 하향링크 시스템의 동기화 및 셀 탐색 과정을 나타낸 순서도이다.

PSS를 사용한 첫 단계 셀 탐색 과정을 수행한 뒤 SSS 검출 이전에 그림 6에서 보이는 각 CP 심볼 구조의 차이를 이용하여 CP를 선결정 하게 된다. 그림 6의 (a)는 이미 알고 있는 PSS의 reference 신호의 구조, (b)는 extended CP 인 경우, (c) 는 normal CP를 나타낸다. (b)와 (c)를 비교해 보면, extended CP는 A* 부분이 reference의 A와 동일한

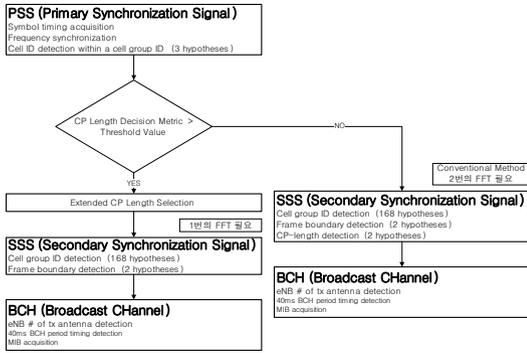


그림 3. 제안된 3GPP LTE 의 동기화 및 셀 탐색 순서도

신호가 채널을 거친 영역을 나타내며, normal CP는 B*까지만 CP가 되고 그 앞은 PSS의 바로 앞에 전송되는 SSS의 끝 부분에 해당된다. 이러한 두 CP 구조의 차이를 이용하여 CP length decision metric을 계산하고 그 값이 threshold 값 보다 큰 경우는 extended CP로 결정하고, 작은 경우는 기존의 방식대로 두 번의 FFT를 수행하도록 한다. 위에서 언급한 CP length decision metric은 식 (3)~(5)에 전개하였다.

$$C_A = \frac{\sum_{n=0}^{N_{CP}-N_{CP}-1} r(n)R^*(n + N_{FFT})}{\sum_{n=0}^{N_{CP}-N_{CP}-1} |r(n)|^2} \quad (3)$$

여기서, C_A 는 reference 신호의 A 부분과 대응하는 extended CP인 경우 A*영역, normal CP인 경우 SSS의 끝부분과 reference 신호 A와의 cross-correlation 값을 나타낸다. 또한, N_{eCP} , N_{rCP} , N_{FFT} 는 각각 extended CP 인 경우의 CP 길이, normal CP 인 경우 CP 길이, FFT 길이를 나타낸다.

$$C_B = \frac{\sum_{n=N_{eCP}-N_{eCP}}^{N_{CP}-1} r(n)R^*(n + N_{FFT})}{\sum_{n=N_{eCP}-N_{eCP}}^{N_{CP}-1} |r(n)|^2} \quad (4)$$

여기서, C_B 는 reference 신호의 B 부분과 대응하는 각 CP의 B* 영역과 reference 신호 B 영역과의 cross-correlation 값을 나타낸다.

$$M = \frac{C_A}{C_B} \quad (5)$$

여기서, M 은 우리가 최종적으로 구하고자 하는 CP length decision metric을 나타낸다.

Extended CP인 경우는 그림 4를 통해 C_A , C_B 모두 CP가 삽입되므로 높은 correlation의 비슷한 값을 갖는다. 이로 인해 CP length decision metric M 값은 1에 가까운 값을 갖게 된다. Normal CP인 경우 B* 구간은 extended CP와 마찬가지로 CP가 삽입되므로 C_B 는 높은 correlation 값을 갖는다. 하지만, C_A 의 경우는 extended CP의 A* 구간과는 다르게 CP가 삽입되지 않고 SSS 신호가 위치하고 있기 때문에 낮은 correlation을 갖게 되고, 따라서 CP length decision metric M 값 역시 낮은 값을 갖게 된다. 그러므로 CP length decision metric M 값에 대한 적절한 threshold 값을 정함으로써 CP 길이를 선 결정할 수 있다.

그림 5는 5MHz의 대역폭을 사용하는 3GPP LTE 시스템에서 AWGN 환경에서의 E_b/N_0 에 따른 normal CP와 extended CP인 경우의 CP length decision metric M 값을 나타낸 그래프이며, 그림 6은 같은 대역폭에서 Veh-A 60km/h 채널 환경에서의 CP length decision metric M 값을 나타낸 그래프이다.

그림 5의 AWGN 환경에서는 0dB부터 확실하게 각 CP의 M 값이 구별되는 것을 볼 수 있다. 하지만 Veh-A 채널에서는 normal CP 경우에는 0dB부터 일정한 값을 기준으로 낮은 값을 갖지만 extended CP 경우에는 M 값의 변화가 큰 것을 볼 수 있다. 따라서 threshold 값 보다 큰 M 값인 경우에는 extended CP로 결정하여도 normal CP로 전송하여 큰 M 값을 갖는 경우가 거의 없기 때문에 성능의 열화가 거의 없다. 하지만 threshold 값 보다 작은 M 값인 경우 normal CP로 결정하게 되면 extended CP로 전송하여 낮은 M 값을 갖는 경우가

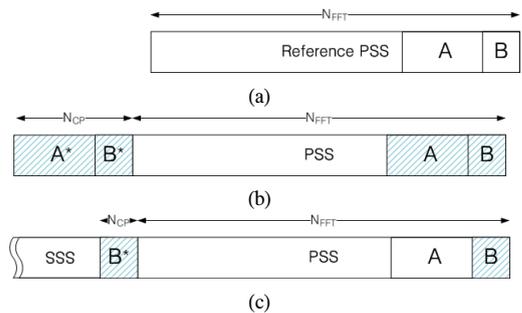


그림 4. 3GPP LTE 시스템의 각 CP 길이 별 심볼 구조도 (a)Reference PSS (b)Extended CP case (c)Normal CP case

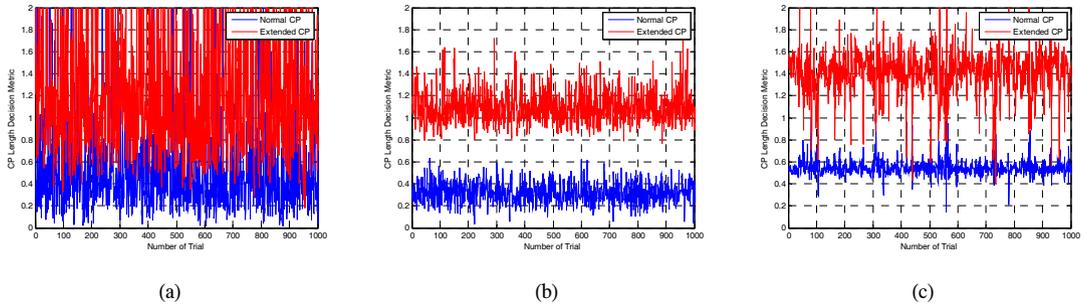


그림 5. 5 MHz bandwidth에서 Eb/N0에 따른 CP length decision metric (under AWGN) (a) -10dB (b) 0dB (c) 10dB

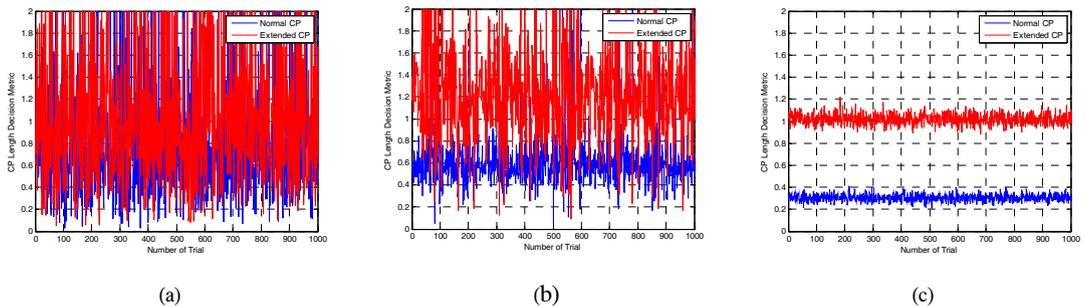


그림 6. 5 MHz bandwidth에서 Eb/N0에 따른 CP length decision metric (Veh-A 60km/h) (a) -10dB (b) 0dB (c) 10dB

많기 때문에 이에 따른 성능의 열화를 가져오게 된다. 따라서 본 논문에서는 threshold값 보다 큰 경우에는 extended CP로 결정하지만 threshold 값 보다 작은 경우에는 성능열화를 방지하기 위하여 기존의 방법대로 2번의 FFT 를 수행하는 것이다.

본 논문의 CP 선 결정 알고리즘을 적용할 때에는 threshold 값을 정하는 것이 매우 중요하다. Threshold 값을 높게 결정할수록 normal CP로 전송한 경우 오결정 될 확률이 낮아져서 성능열화는 줄어들지만, extended CP의 선 결정 확률 또한 낮아져서 복잡도의 감소 또한 줄어들게 된다. 반대로 threshold 값을 낮게 결정하면 normal CP로 전송한 경우 오결정 될 확률이 높아져서 성능열화가 증가하지만, extended CP의 선 결정 확률 또한 높아져서 복잡도의 감소가 증가하게 된다. 따라서 각 시스템의 요구사항에 맞는 적절한 threshold 값의 결정이 중요하다.

IV. 모의실험을 통한 성능 및 복잡도 분석

본 장에서는 제안된 CP 길이 선 결정 알고리즘을 사용한 방법과 기존 방법의 성능 및 복잡도를

비교 분석한다. 표 1은 본 모의실험에서 사용한 파라미터를 정리한 표이다.

4.1 모의실험을 통한 성능 분석

본 절에서는 제안된 알고리즘을 사용한 방법과 기존의 방법의 성능을 비교 분석한다. Extended CP로 전송한 경우에는 threshold 값 보다 크면 extended CP로 100% 결정이 되는 것이고, 작으면 기존의 방법을 사용하는 것이기 때문에 복잡도의

표 1. 모의실험 파라미터

Parameters	Value
Carrier Frequency	2.0 GHz
Bandwidth	5 MHz, 10 MHz, 20 MHz
PSS	셀 ID : 0 (0, 1, 2)
SSS	셀 그룹 ID : 0 (0 ~ 167)
CP Type	normal CP, extended CP
Channel	ITU-R M.1225 Veh-A
Mobility [km/h]	60
Threshold Value	AWGN : 0.7, 0.8, 0.9 Veh-A : 1.2, 1.3, 1.4

감소는 있지만 성능의 열화는 전혀 없다. 반면에 normal CP로 전송한 경우에는 threshold 값 보다 크면 extended CP로 오결정 되고, 작아야만 기존의 방법을 사용하는 것이기 때문에 오결정으로 인한 성능 열화가 발생한다. 따라서 본 절에서의 모의실험은 normal CP로 전송한 경우만을 고려한다.

그림 7 은 AWGN 환경에서의 SSS 검출 확률을 나타낸 그래프이다. (a), (b), (c)는 각각 5MHz, 10MHz, 20MHz의 bandwidth를 나타내고, threshold 값은 그림 5 를 고려하여 0.7, 0.8, 0.9 로 변경하며 모의실험을 하였다. 기존의 2 가지 CP 길이를 모두 고려하여 2번의 FFT와 336번의 cross-correlation을 수행하는 블라인드 검출 방식을 Conventional로 나타내어 비교하였다^{[6],[7]}. 3장에서 설명한 바와 같이 threshold 를 높게 결정할수록 성능의 열화가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 또한, bandwidth 가 넓을수록 CP length decision metric 값을 구할 때 사용되는 구간이 넓어짐에 따라 bandwidth 가 좁을 때보다 성능열화가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

그림 8은 60km/h 의 이동성을 갖는 ITU-R M.1225 Veh-A 채널에서의 SSS 검출 확률을 나타낸 그래프이다. 그림 7 과 마찬가지로 (a), (b), (c)

는 각각 5MHz, 10MHz, 20MHz 의 bandwidth를 나타낸다. Threshold 값은 그림 6을 고려하여 1.2, 1.3, 1.4로 변경하며 모의실험을 하였다. 마찬가지로 threshold 값이 높을수록, bandwidth가 넓을수록 성능열화가 낮아지는 것을 볼 수 있다.

그림 7과 8을 통해 높은 SNR 에서는 낮은 복잡도를 가지고 기존의 방식과 동일한 성능을 나타내지만, 낮은 SNR 에서는 상대적으로 큰 성능 열화를 갖는 것을 알 수 있다. 하지만, Synchronization Signal 은 UE 가 eNB 에 접속하기 위해 필요한 정보를 전달하기 때문에, eNB 는 3GPP LTE 표준에 정의된 최대 전력을 사용하여 Synchronization Signal 을 broadcasting 한다^[3]. 따라서, traffic 채널 수신지역에서 Synchronization Signal 은 일반적인 traffic 채널들에 비해 높은 수신 SNR 에 의하여 높은 검출 확률이 보장된다. 즉, traffic 채널의 경우 outage 확률이 그리 높지 않은 수신 지역에서는, UE 의 초기 접속을 위해 가장 중요한 단계인 동기화 및 셀 탐색 과정의 SNR 동작 영역은 높은 SNR 에서 형성된다.

이러한 동기화 및 셀 탐색 과정의 SNR 동작 영역에서 제안된 CP 길이 선 결정 알고리즘을 사용함

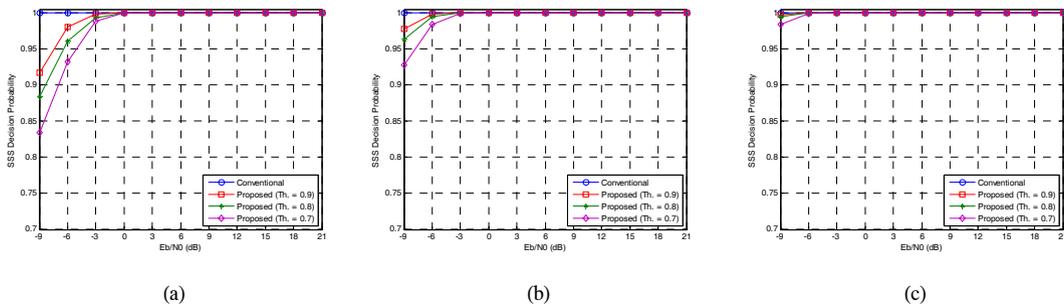


그림 7. 기존의 방법과 제안된 방법의 threshold 값에 따른 SSS 검출 확률 성능 분석 (under AWGN)
(a) 5MHz bandwidth (b) 10MHz bandwidth (c) 20MHz bandwidth

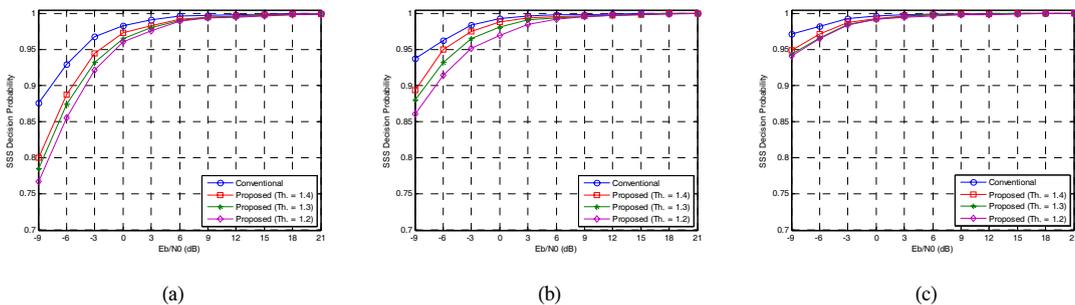


그림 8. 기존의 방법과 제안된 방법의 threshold 값에 따른 SSS 검출 확률 성능 분석 (Veh-A 60km/h)
(a) 5MHz bandwidth (b) 10MHz bandwidth (c) 20MHz bandwidth

으로써 복잡도 최소화를 통해 기존의 블라인드 검출 알고리즘과^{[6]-[7]} 동일한 성능을 얻을 수 있다.

4.2 모의실험을 통한 복잡도 분석

본 절에서는 제안된 알고리즘을 사용한 방법과 기존의 방법의 복잡도를 비교 분석한다. 그림 9는 AWGN 환경에서 extended CP 로 전송한 경우에 제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘의 복잡도를 비교 분석한 그래프이다. (a), (b), (c)는 각각 5MHz, 10MHz, 20MHz의 bandwidth를 나타내고, threshold 값은 그림 5 를 고려하여 0.7, 0.8, 0.9로 변경하며 모의실험을 하였다. Normal CP로 전송한 경우 선 결정할 수 없기 때문에 복잡도의 감소를 가져오지 못하지만 extended CP로 전송한 경우 선 결정으로 인해 복잡도를 최소화 할 수 있다. 기존의 방법은 CP를 선 결정하지 않고 2번의 FFT와 336번의 cross-correlation을 수행해야 하지만 제안된 방법의 경우 일정한 확률을 통해 FFT를 1번으로 줄이고 cross-correlation 또한 절반인 168번으로 줄일 수 있다. 3장에서 설명한 바와 같이 threshold 값이 낮을수록, 복잡도는 더욱 많이 감소하는 것을 볼 수 있다. 제안된 CP 길이 선 결정 metric 으로 인한

추가적인 계산량은 SSS를 검출하기 위한 336번의 cross-correlation 중 1번의 cross-correlation 에 비해 매우 낮은 복잡도를 갖기 때문에, 본 논문에서는 CP 길이 선 결정 metric으로 인한 복잡도는 무시하였다.

그림 10은 60km/h 의 이동성을 갖는 ITU-R M.1225 Veh-A 채널에서의 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 복잡도를 분석한 그래프이다. 그림 9 와 마찬가지로 (a), (b), (c)는 각각 5MHz, 10MHz, 20MHz 의 bandwidth 를 나타낸다. Threshold 값은 그림 6을 고려하여 1.2, 1.3, 1.4로 변경하며 모의실험을 하였다. 마찬가지로 threshold 값이 낮을수록, 더 많은 복잡도 감소의 효과를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 &P(M > th.) \times 168 + P(M < th.) \times 168 \times 2 \\
 &= P(M > th.) \times 168 + [1 - P(M > th.)] \times 168 \times 2 \quad (6) \\
 &= 168 \times [2 - P(M > th.)]
 \end{aligned}$$

그림 9, 그림 10에 나타낸 제안된 방법의 복잡도는 식 (6)을 이용해 나타냈다.

여기서, M 은 식 (5)에서의 CP length decision

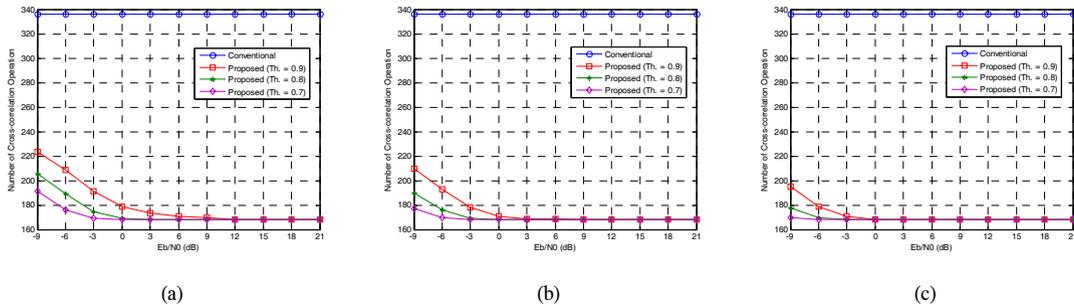


그림 9. 기존의 방법과 제안된 방법의 threshold 값에 따른 복잡도 분석 (under AWGN)
 (a) 5MHz bandwidth (b) 10MHz bandwidth (c) 20MHz bandwidth

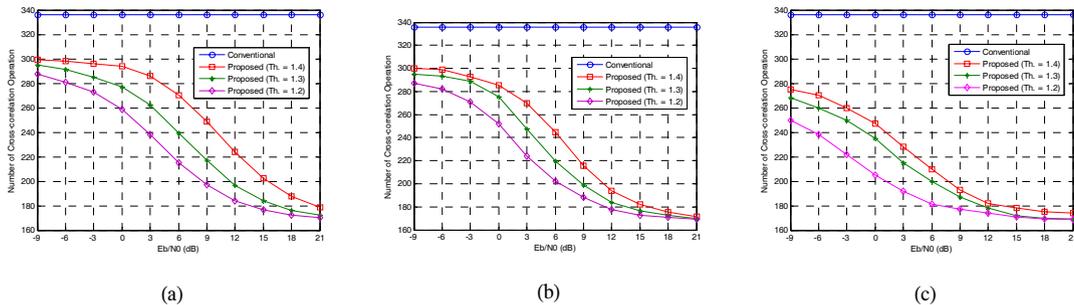


그림 10. 기존의 방법과 제안된 방법의 threshold 값에 따른 복잡도 분석 (Veh-A 60km/h)
 (a) 5MHz bandwidth (b) 10MHz bandwidth (c) 20MHz bandwidth

metric 값을 나타내고, $P(M>th.)$ 는 M 값이 threshold 보다 클 확률을 나타낸다.

V. 결 론

본 논문에서는 3GPP LTE 시스템의 하향링크에서 동기화 및 셀 탐색기의 복잡도 최소화를 위한 CP 길이 선 결정 알고리즘을 제안하였다. 제안한 CP length decision metric 을 구한 뒤, threshold 값과의 비교를 통해 60km/h의 이동성을 갖는 ITU-R M.1225 Veh-A 채널에서 extended CP 로 전송한 경우, CP 길이를 선 결정함으로써 낮은 성능열화를 가지고 최대 50%까지의 복잡도 감소를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안한 알고리즘의 사용 시에는, 채널의 환경과 시스템의 요구사항을 고려하여 최적의 threshold 값을 결정해야한다.

참 고 문 헌

- [1] 선태형, 강승원, 김규현, 장경희, "IEEE 802.16e OFDMA/TDD 이동국 모뎀의 링크 성능과 복잡도 최적화를 위한 부동 및 고정 소수점 설계," *전자공학회 논문지*, Vol. 43, No. 11, pp. 95-117, 2006. 11.
- [2] S.H. Chen, W.H. He, H.S. Chen, and Y.M. Lee, "Mode detection, synchronization, and channel estimation for DVB-T OFDM Receiver,"
- [3] 3GPP TS 36.211 v8.4.0 "Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Physical Channels and Modulation," Sep. 2008.
- [4] 신경찬, 임세빈, 옥광만, 최형진, "3GPP LTE 하향링크 시스템을 위한 초기 셀 탐색기 설계," *한국통신학회 논문지*, Vol. 33, No. 7, pp. 733-742, 2008. 07.
- [5] E. Dahlman, P. Beming, J. Knutsson, F. Ovesjo, M. Persson, and C. Roobol, "WCDMA the radio interface for future mobile multimedia communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 47, No. 4, pp. 1105-1118, Nov. 1998.
- [6] 윤영우, 노동욱, 서동연, 이정훈, 김은선, "LTE 하향 링크의 물리 계층 주요 요소 기술 소개," *한국통신학회지*, 25권 제 9호, pp. 9-23, 2008. 08.
- [7] Satoshi Nagata, Yoshihisa Kishiyama, Motohiro Tanno, Kenichi Higuchi, and Mamoru Sawahashi, "Investigations of synchronization

channel sequences in OFDM based evolved UTRA downlink," in *Proc. IEEE VTC*, Sept. 2007, pp. 1390-1395.

김 영 범 (YoungBum Kim)

준회원



2008년 2월 인하대학교 전자공학과 공학사
2008년 3월~현재 인하대학교 정보통신 대학원 석사과정
<관심분야> 4세대 이동통신 시스템, WiMAX 및 3GPP LTE 동기화 기술, Ad-hoc Network

김 종 훈 (JongHum Kim)

준회원



2007년 8월 남서울대학교 정보통신공학과 공학사
2007년 9월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
<관심분야> 4세대 이동통신 시스템, M-WiMAX 및 3GPP LTE 시스템 무선전송 규격

장 경 희 (KyungHi Chang)

종신회원



1985년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1987년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 8월 Texas A & M Univ., EE Dept. (Ph.D.)
1989년~1990년 삼성종합기술원 주임연구원

1992년~2003년 한국전자통신연구원, 이동통신연구소 무선전송방식연구팀장 (책임연구원)
2003년~현재 인하대학교 정보통신대학원 교수
<관심분야> 4세대 이동통신 및 3GPP LTE 무선전송방식, WMAN 및 DMB 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design, Cooperative Relaying System, RFID / USN Systems