

# 3GPP LTE 하향링크 시스템을 위한 초기 셀 탐색기 설계

정희원 신 경 찬\*, 임 세 빈\*\*, 옥 광 만\*\*\*, 종신회원 최 형 진\*\*

## A Design of Initial Cell Searcher for 3GPP LTE Downlink System

Kyung-Chan Shin\*, Se-Bin Im\*\*, Kwang-Man Ok\*\*\* *Regular Members*,  
Hyung-Jin Choi\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

3GPP LTE 하향링크 시스템의 초기 셀 탐색은 이동국이 기지국에 접속하기 위해 필수적인 과정이다. 하향링크 신호에는 primary synchronization channel (PSC) 과 secondary synchronization channel (SSC) 이 정의되어 있으며, 이동국은 두 채널로부터 프레임 시작위치, 주파수 오차, 셀 ID (identification) 및 프레임 위치 정보 등을 검출하여 기지국 정보를 얻는다. 이 과정에는 다양한 검출 방식이 이용될 수 있다. 본 논문에서는 인접 셀 간섭, 주파수 오프셋 및 다중 경로 페이딩 환경에서 초기 셀 탐색에 적용 가능한 다양한 검출 알고리즘에 대해 분석하고 컴퓨터 모의 실험을 통해 초기 셀 탐색에 적합한 수신기 구조를 제안한다. 컴퓨터 모의 실험 결과 PSC 검출 시 부분 상관 방식의 성능이 가장 우수하며, SSC 검출 시 채널 보상에 간섭 제거 기법을 적용하였을 때 가장 우수한 성능이 나타난다. 두 가지 알고리즘을 적용한 수신기에서는 인접 셀 간섭 및 주파수 오프셋 환경에서 99%의 확률로 70ms 내의 초기 셀 탐색이 수행된다.

**Key Words :** OFDM, 3GPP LTE, Timing synchronization, Cell search

### ABSTRACT

In 3GPP LTE downlink system, initial cell search is essential for mobile station to connect to base station. In order to obtain information of the base station, the mobile station detects frame timing, frequency offset, and cell identification using primary synchronization channel (PSC) and secondary synchronization channel (SSC), which are defined in downlink OFDMA specification. In this paper, we analyze various detection algorithms in practical environment of inter-cell-interference, frequency offset, and multi-path fading channel and propose the optimal algorithm. Simulation results show that partial correlation method (for PSC acquisition) and interference cancellation method (for SSC detection) are the most superior algorithms among the applicable algorithms. Employ these two algorithms for receiver design, initial cell search is performed with 99% probability within 70 ms in the channel environment considered.

### I. 서 론

현재 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

의 3세대 이동통신 시스템은 WCDMA 무선 접속 기술을 기반으로 전세계에서 광범위하게 개발되고 있다. 그 중 첫 번째 진화 단계로 정의되는 High

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0803-0002)  
\* 삼성탈레스(sks101@hanmail.net), \*\* 성균관대학교 전자전기공학과, \*\*\* 삼성전자 통신연구소  
논문번호: KICS2008-03-148, 접수일자: 2008년 3월 31일, 최종논문접수일자: 2008년 7월 10일

Speed Downlink / Uplink Packet Access (HSDPA/HSUPA)는 중기적인 관점에서 높은 경쟁력을 가지는 무선 접속 기술을 제공하고 있으며, 다가오는 수 년 동안 높은 경쟁력을 가질 것으로 예측된다. 그러나 급속히 발전하는 정보통신 서비스를 효율적으로 제공하기 위해 3GPP에서는 Release 6 기술과 비교하여 사용자와 사업자의 비용을 줄이면서도 고품질의 다양한 서비스를 제공하는 새로운 이동통신 기술의 필요성을 인식하고, 낮은 전송 지연, 높은 전송률, 시스템 용량과 커버리지를 개선하기 위한 연구로서 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access (UTRAN), 즉 3G Long Term Evolution (LTE) 표준 기술 연구를 2004년 말부터 추진하기 시작하였다.

3GPP에서 수행중인 LTE 기술은 기존 5MHz로 한정되었던 대역폭을 20MHz까지 확장하면서 순방향 최대 100Mbps, 역방향 최대 50Mbps의 전송률 지원을 목표로 하고 있으며, Release 7 핵심 기술로써 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) 및 Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) 전송 방식을 새롭게 도입하는 등 전반적인 기술 변화를 추진하고 있다.

본 논문에서는 현재 3GPP에서 진행되고 있는 차세대 이동통신 기술 표준, 즉 LTE 시스템의 하향링크 모뎀 핵심기술 연구를 목적으로 초기 셀 탐색에 대한 연구를 수행한다. 초기 셀 탐색은 단말기에서 가장 먼저 수행되는 동기 과정으로써 단말이 셀에 접속하기 위한 초기 프레임 동기 및 주파수 동기, 셀 ID (identification) 검출, Cyclic Prefix (CP) 길이 검출 등의 단계를 모두 포함한다. 하향링크 프레임 내에는 초기 셀 탐색을 위한 primary synchronization channel (PSC) 및 secondary synchronization channel (SSC) 이 존재하며 수신기는 PSC 및 SSC를 이용하여 이동성을 고려한 다중 경로 페이딩 환경, 5ppm의 주파수 오프셋 환경 및 인접 셀 간섭 환경의 열화 등을 모두 고려하여 초기 셀 탐색을 수행해야 한다.

본 논문의 구성 및 주요 내용은 다음과 같다. II 장에서는 현재 표준화 과정에서 고려되고 있는 프레임 구조 및 PSC, SSC 신호 구조에 대해 분석한다. III장에서는 초기 셀 탐색 과정으로 1단계 셀 탐색 및 2단계 셀 탐색을 위한 알고리즘을 분석하고 수신기를 설계한다. IV장에서는 모의 실험을 통해 적합한 PSC 검출 알고리즘을 선택하고 SSC 검

출 성능 및 초기 셀 탐색의 연동 성능을 분석한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 도출한다.

## II. 신호 구조

### 2.1 프레임 구조

OFDM 하향링크 신호는 10ms의 무선 프레임으로 구성된다<sup>[1]</sup>. 프레임 구조에는 FDD (frequency division duplex) 와 TDD (time division duplex) 를 지원하는 타입 1 모드와 TDD 만을 지원하는 타입 2 모드가 존재하며 각각의 모드는 다시 사용하는 CP 길이에 따라 Short CP 타입 또는 Long CP 타입으로 구분된다. 그림 1은 타입 1 모드의 하향링크 무선 프레임 구조 예를 나타낸다. 각 무선 프레임은 1ms의 서브 프레임으로 구성되며 1번째와 6번째 서브 프레임 내에는 PSC와 SSC가 존재한다. PSC와 SSC 심벌 타이밍은 CP 길이에 따라 변경되지만 PSC의 유효 심벌 타이밍은 CP 길이에 무관하게 항상 동일하다. 타입 2 모드의 경우 또한 타입 1 모드와 동일한 PSC, SSC 구조를 가진다<sup>[2]</sup>.

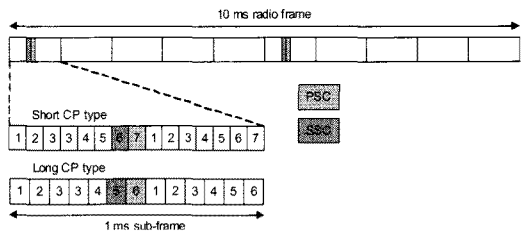


그림 1. Downlink FDD 모드의 프레임 구조 예시도

### 2.2 Primary synchronization channel (PSC)

PSC는 5 ms의 1/2 무선 프레임을 단위로 전송되며 수신기에서 프레임 동기와 셀 ID 정보를 구분하는데 이용된다. PSC에는 3종류의 셀 ID 정보를 구분하기 위해 루트 인덱스 (root index)  $i$  를 달리하는 Zadoff Chu (ZC) sequence가 할당된다.  $N_{zc}$ 의 길이를 가지는 ZC sequence는 식 (1) 과 같이 정의된다. 현재 표준에서의  $N_{zc}$ 의 값은 63으로 결정되었고 셀 ID를 구분하기 위한 인덱스  $i$  은 25, 29, 34로 결정되었다. 그림 2는 PSC의 부반송파 할당 구조를 나타낸다. 63 길이의 ZC sequence  $c[l]$  은 direct current (DC) 부반송파를 중심으로 63개의 부반송파에 할당되며 DC 부반송파에는 0의 값이 할당된다. 식 (2)는 ZC sequence의 부반송파 할당 식을 나타낸다.  $p_{PSC}[l]$ 은  $c[l]$ 의 부반송파 할당 index를 나타낸다. 이와 같이 할당된 PSC 주파수영



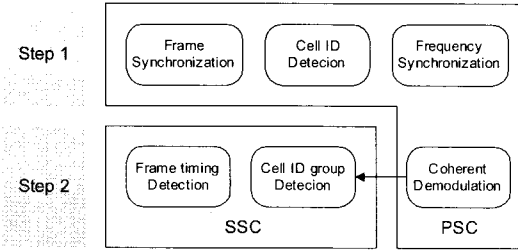


그림 4. 초기 셀 탐색 모식도

초기 셀 탐색 과정은 크게 PSC 검출 과정과 SSC 검출 과정이 있다. 그림 4는 PSC 및 SSC를 이용한 초기 셀 탐색의 모식도이다. 먼저, 1단계에서는 PSC 를 이용한 초기 프레임 동기화 수행되며 프레임 동기와 동시에 3종류의 PSC 로부터 현재 단말이 위치하고 있는 셀의 셀 ID 가 결정된다. 이어서 2단계에서는 PSC 바로 이전에 위치하는 SSC 의 검출을 통해 170종류의 셀 ID 그룹 및 5 ms 단위의 프레임 위치 정보를 획득한다. SSC 는 이진 코드를 기반으로 생성되며 SSC 검출 시에는 PSC를 이용한 동기 복조가 요구된다. 3.1절과 3.2절에서는 각각 1단계 셀 탐색과 2단계 셀 탐색에 대한 분석을 수행한다.

3.1 1단계 셀 탐색 알고리즘

1단계 셀 탐색은 각 셀에 할당된 3종류의 PSC를 이용하여 기지국에서 전송된 프레임의 수신 여부 및 시작 위치를 판단하고 수신된 PSC로부터 셀 ID 를 결정하는 과정이다. PSC 검출 과정은 단말에서 가장 먼저 이루어지기 때문에 정확한 주파수 정보 및 타이밍 정보를 이용할 수 없다. PSC 검출 알고리즘으로는 크게 두 가지 방식을 고려할 수 있다.

상호 상관 방식 (cross-correlation based)은 단말에 알려진 기준 신호와 수신 신호 사이의 상관 특성을 이용하는 동기 알고리즘이다<sup>[4]</sup>. 기준 신호와 수신 신호와의 타이밍이 일치할 때 명확한 상관 출력이 나타나기 때문에 낮은 SNR 환경에서의 수신 신호 검출에 적합하다. 그러나 주파수 오프셋이 발생할 경우 상관 출력의 피크가 감소되는 단점이 있다. 식 (9)는 상호 상관 방식을 실제 PSC 검출에 적용시켰을 때의 상관출력 식이다. 상관 출력  $z_{PSC}$ 은 수신신호  $r[n]$ 과 PSC 기준신호  $s_{PSC}[n]$ 와의 상관을 수행한 이후 절댓값을 취하여 얻어진다. 이후 임계값을 넘는 상관 출력이 발생할 경우 PSC index  $\hat{i}_{PSC}$ 가 검출 된다.

$$z_{PSC}[\tau] = \left| \sum_{n=0}^{N_{PSC}-1} s_{PSC}^*[n]r[\tau+n] \right| \quad (9)$$

부분 상관 방식 (partial correlation based)은 상호 상관 방식과 유사하나 상관 수행 구간을 분할하고 분할된 구간 각각의 상관 출력을 누적하는 방식으로써 주파수 오프셋에 의한 성능 열화를 감소시키는 동기 알고리즘이다<sup>[5]</sup>. 상관 수행 구간을 다수로 분할할수록 주파수 오프셋의 영향이 감소되는 반면 잡음의 영향이 증가한다. 그러므로 잡음과 주파수 오프셋의 발생 크기를 고려하여 적절한 분할 수를 결정해야 한다. 식 (10)은 부분 상관 방식의 상관출력 식을 나타낸다. 상관출력 값은 상관 수행 구간  $N_C$  의 상관출력이 분할된 구간 수  $N_p$  만큼 누적된 결과이다. 그림 5는 부분 상관 방식의 수신기 구조이다.

$$z_{PSC}[\tau] = \sum_{m=0}^{N_p-1} \left| \sum_{n=mN_C}^{(m+1)N_C-1} s_{PSC}^*[n]r[\tau+n] \right| \quad (10)$$

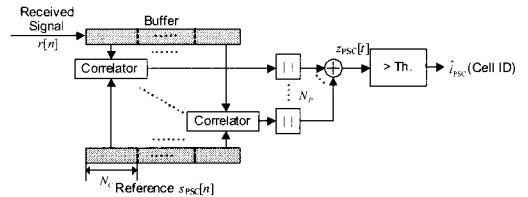
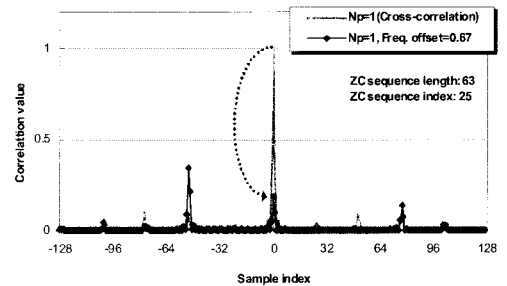
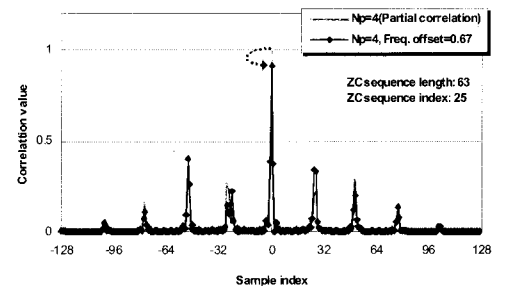


그림 5. 부분 상관 방식의 수신기 구조



(a) 상호 상관 방식의 상관 출력



(b) 부분 상관 방식의 상관 출력

그림 6. 주파수 오프셋 발생 환경에서의 상관 출력 열화

그림 6. (a), (b)는 각각 상호 상관 방식과 부분 상관 방식의 이상적인 상관 출력과 주파수오프셋 발생 시 상관 출력을 나타낸다. 3GPP LTE 표준화 과정에서 고려하고 있는 최대 발생 가능 주파수 오프셋인 5ppm 및 중심 주파수 2.0GHz를 적용할 경우 부반송파 간격 15kHz로 정규화된 주파수 오프셋은 0.67로 설정된다. 그림에서는 0.67의 주파수 오프셋이 발생할 때 상호 상관 방식 ( $N_p=1$ )의 경우 상관 피크의 크기가 1에서 약 0.2까지 감소하는 반면 부분 상관 방식 ( $N_p=4$ )을 적용할 경우 상관 피크의 크기가 1에서 0.9로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 반면 상호 상관 방식에 비해 상관 출력의 side lobe의 크기가 증가하게 된다. 즉 발생 가능한 최대 주파수 오프셋을 고려하여 최적의 상관 수행 구간 분할 수  $N_p$ 를 결정해야 한다.

### 3.2 다중 셀 환경을 고려한 수신기 구조

다중 셀 환경에서의 수신 신호는 2 개 이상의 Node B 신호로 중첩되어 있으며 각 Node B 신호는 인접 Node B 신호에 간섭으로 작용한다. 수신기에는 그림 7과 같이 최대 3종류의 PSC 신호가 수신될 수 있으며 다중 셀 환경에서의 초기 셀 탐색을 위해 그림 8과 같은 수신기를 고려해야만 한다. 수신기는 수신 신호와 3종류의 PSC 신호를 각각 기준으로 하는 상관기와의 상관을 수행하여 각

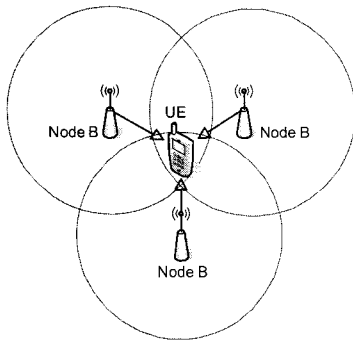


그림 7. 다중 셀 환경

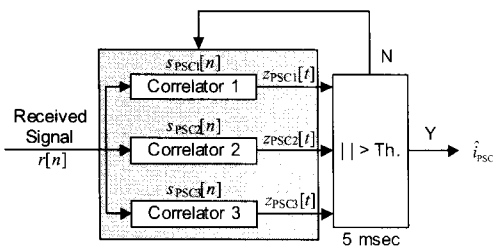


그림 8. 다중 셀을 고려한 PSC 검출 수신기 구조

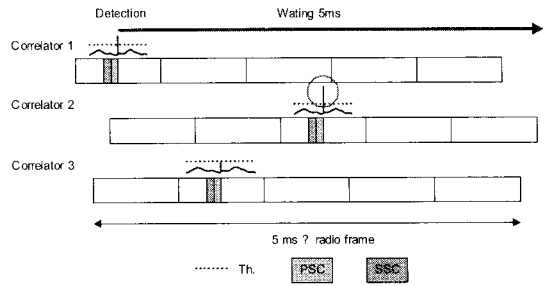


그림 9. PSC 검출기의 대기 상태

상관기의 상관 출력  $z_{PSC1}[l], z_{PSC2}[l], z_{PSC3}[l]$ 를 얻는다. 이 때 각 상관기에서는 상호 상관 방식 및 부분 상관 방식 등의 PSC 검출 알고리즘이 적용될 수 있다. 상관출력  $z_{PSC1}[l], z_{PSC2}[l], z_{PSC3}[l]$  중 어느 하나의 출력값이 특정 임계값을 초과하는 순간이 발생하면 P-SCH 주기인 5ms 동안 다른 두 상관기의 출력을 관찰한다. 그림 9와 같이 5ms의 대기 상태를 통해 만약 상관기 1에서 임계값을 초과하는 상관출력이 발생하더라도 가장 우수한 품질이 나타나는 상관기 2의 PSC 신호를 검출할 수 있다. 5ms 이후에는 PSC 신호가 결정되며 이와 동시에 해당 PSC의 셀 ID 검출이 이루어진다.

### 3.3 2단계 셀 탐색 알고리즘

2단계 셀 탐색은 PSC 검출 이후 SSC로부터 셀 ID 그룹 및 5ms 단위의 프레임 위치 정보를 획득하는 과정이다. 셀 ID 그룹 및 프레임 위치 정보 획득을 위한 수신기 구조는 그림 10과 같다.

1단계에서의 PSC 검출을 통해서 수신 신호로부터 시간영역 PSC 신호  $r_{PSC}[n]$  및 SSC 신호  $r_{SSC}[n]$ 을 얻을 수 있다. 여기서 PSC 신호는 SSC 신호의 동기 복조를 위한 채널 추정에 이용된다. 채널

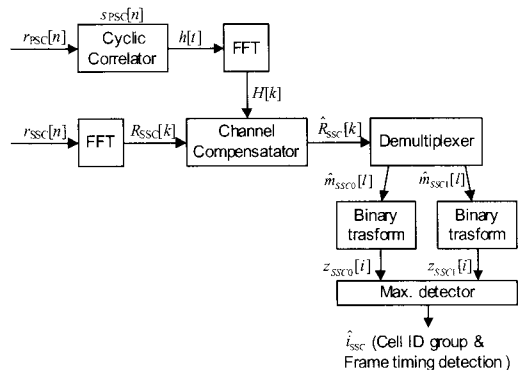


그림 10. SSC 검출 수신기 구조

널 임펄스 응답  $\hat{h}[\tau]$ 는 식 (11)과 같이 PSC 수신 신호  $r_{PSC}[n]$ 과 PSC 기준 신호  $s_{PSC}[n]$ 과의 순환상관 (cyclic correlation)에 의해 추정되며 채널 임펄스 응답에 식 (12)와 같은 FFT연산을 수행하여 채널의 주파수 응답  $\hat{H}[k]$ 를 얻는다.

$$\hat{h}[\tau] = \sum_{n=0}^{N_{FFT}-1} s_{PSC}^*[n] r_{PSC}[\tau + n]_{N_{FFT}} \quad (11)$$

$$\hat{H}[k] = FFT_{N_{FFT}}^k(\hat{h}[\tau]) \quad (12)$$

다중 셀 환경에서의 최적 채널 주파수 응답  $\hat{H}[k]$ 를 얻기 위해 FFT에 입력할 채널 임펄스 응답 구간을 결정해야 한다. 그림 11은 SIR=-3dB의 인접 셀 간섭 환경에서의 채널 응답 특성을 나타낸다. 채널 임펄스 응답 구간을 전체 FFT 크기와 동일하게 적용할 경우 인접 셀 간섭은 채널 응답 특성을 왜곡시켜 채널 추정 오류를 발생시킨다. 반면  $\pm$ 최대 채널 지연값을 채널 임펄스 응답 구간으로 적용할 경우 간섭의 영향이 줄어들어 채널 추정 오류를 최소화 할 수 있다.

채널 보상기 (channel compensator)에서는 식 (13)와 같이 PSC로부터 추정된  $\hat{H}[k]$ 로 주파수 영역 SSC 수신 신호  $R_{SSC}[k]$ 를 보상하여  $\hat{R}_{SSC}[k]$ 를 얻을 수 있다. 이후 역다중화기 (demultiplexer)에서는 그림 3의 부반송파 할당의 역 과정을 수행하며 식 (14)과 같이 부반송파에 할당되어있는 신호를 2개의 이진 코드로 역다중화 한다. 이 때 수신된 이진 코드에 식 (15)과 같은 이진 변환 (Binary transform)을 수행한 후 식 (16)과 같이 SSC의 셀 ID 그룹 및 5ms 단위의 프레임 위치 정보를 획득한다.

$$\hat{R}_{SSC}[k] = R_{SSC}[k] \cdot \hat{H}^*[k] \quad (13)$$

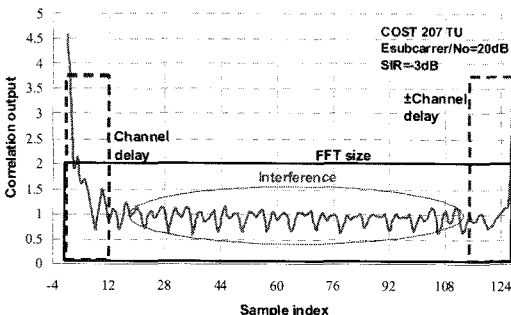


그림 11. 인접 셀 간섭 환경에서의 채널 응답 특성

$$\begin{aligned} \hat{m}_{SSC0}[l] &= \text{Re}(\hat{R}_{SSC}[k]), \text{ if } k = p_{SSC0}[l] \\ \hat{m}_{SSC1}[l] &= \text{Re}(\hat{R}_{SSC}[k]), \text{ if } k = p_{SSC1}[l] \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} z_{SSC0}[i] &= \sum_{l=0}^{30} \hat{m}_{SSC0}[l] \cdot m_l[l] \\ z_{SSC1}[i] &= \sum_{l=0}^{30} \hat{m}_{SSC1}[l] \cdot m_l[l] \end{aligned} \quad (15)$$

$$\hat{i}_{SSC} = \arg \max_i \{z_{SSC0}[i]\} + 31 \cdot \arg \max_i \{z_{SSC1}[i]\} \quad (16)$$

#### IV. 컴퓨터 모의 실험 및 결과

##### 4.1 1단계 셀 탐색

본 절에서는 앞서 제시한 상호 상관 방식, 부분 상관 방식에 대한 성능 분석을 수행한다. 성능 분석을 위한 모의 실험 파라미터는 표 1에 제시되어 있으며, 성능 분석에는 COST 207-TU(Typical Urban) 채널 모델 환경이 적용되었다<sup>6)</sup>. 모의 실험에서는 실제 셀룰러 환경을 고려하기 위해 해당 User Equipment (UE) 가 인접한 3개의 Node B 중심에 위치하는 상황을 가정하여 발생 가능한 최대 SIR=-3dB를 기준으로 수행한다. 본 시스템은 Non-synchronous network를 기반으로 하며 인접 Node B로부터 수신되는 OFDM 변조방식의 데이터 신호는 AWGN으로 모델링 될 수 있다. 초기에 기지국과 단말기 사이의 발생 가능한 최대 주파수 오프셋은 3GPP LTE에서 규정한 5ppm으로 고려한다. 이는 모의실험에서 고려하고 있는 중심주파수 2.0GHz를 고려할 때 13kHz에 해당하며 이를 부반

표 1. 성능 분석 기준

Parameter	Value
Center frequency	2.0GHz
Sampling Frequency	1.92MHz
Bandwidth	1.25MHz
P-SCH sequence (root index)	ZC sequences with length 63 (25, 29, 34)
S-SCH sequence	M based sequence with length 31+31 (Interleaved)
PSC, SSC boosting factor	1(0dB)
CP type	Short CP
Maximum frequency offset	5ppm
Channel model	COST 207 TU
Doppler frequency	111.11Hz(60km/h)
False alarm	0.05

송파 간격 15kHz로 정규화 할 경우 정규화된 최대 주파수 오프셋은 0.866이다. PSC 주기인 5ms 내에서 잡음 및 데이터 영역의 신호가 PSC 신호로 오인될 확률 (False alarm)은 0.05로 설정하였다.

그림 12는 주파수 오프셋에 따른 상호 상관 방식 ( $N_p=1$ ) 과 부분 상관 방식 ( $N_p=2, 4, 8$ )의 검출 확률 (detection probability) 을 나타낸다. 인접 셀 간섭 환경을 고려하기 위해 -3dB의 낮은 SNR을 고려하였다. 주파수 오프셋이 0인 환경에서는  $N_p=1$ 의 검출 확률이 약 0.5로 가장 우수한 것을 확인되나 주파수 오프셋이 증가함에 따라 급격한 성능 열화가 발생하여 주파수 오프셋 0.7에서는 PSC의 검출이 불가능한 것을 확인할 수 있다. 반면  $N_p$ 가 증가할수록 주파수 오프셋 0에서의 검출 성능은 열악하나 주파수 오프셋이 증가함에 따른 열화가 크지 않음을 확인할 수 있다. 발생 가능한 최대 주파수 오프셋이 0.67임을 감안할 때  $N_p=1$ 일 때 가장 안정적인 검출 확률을 확인할 수 있다.

그림 13은 SNR에 따른 상호 상관 방식 ( $N_p=1$ ) 과 부분 상관 방식 ( $N_p=2, 4, 8$ )의 검출 확률

(detection probability) 을 나타낸다. 단말기에서 발생할 수 있는 최악의 상황을 고려하기 위해 주파수 오프셋은 0.67로 설정되었다. 성능 분석 결과  $N_p=1$ 일 때는 SNR에 무관하게 PSC의 검출이 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있으며 이는 3.1절에서 분석한 상관 출력의 열화에 의해 설명된다.  $N_p=2, 4, 8$ 인 경우 유사한 검출 확률을 관찰할 수 있으며 이중  $N_p=4$ 일 때의 성능이 가장 우수하다. 그러나 높은 SNR에서도 검출 성능의 향상이 제한되는 현상이 발생된다. 이는 잡음과 수신신호의 상관 출력의 PDF를 관찰함으로써 분석할 수 있다. 그림 14는 잡음이 존재하지 않는 이상적인 환경에서 5ms동안의 임의의 데이터 영역 신호의 상관 출력 PDF와 PSC에 대한 상관 출력의 PDF를 나타낸다. COST 207 TU채널에 의해 PSC에 대한 상관 출력이 deep fading의 영향으로 인해 감소할 확률이 존재하며 이 때문에 PSC가 수신되었음에도 불구하고 설정된 임계값을 넘지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 즉 이러한 현상은 알고리즘에 의한 문제가 아닌 채널 특성에 의해 발생한다.

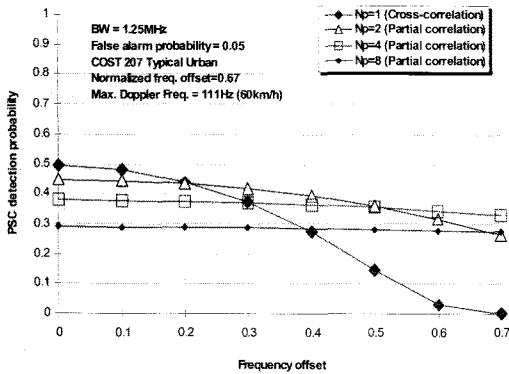


그림 12. 주파수 오프셋에 따른 PSC 검출 확률 비교

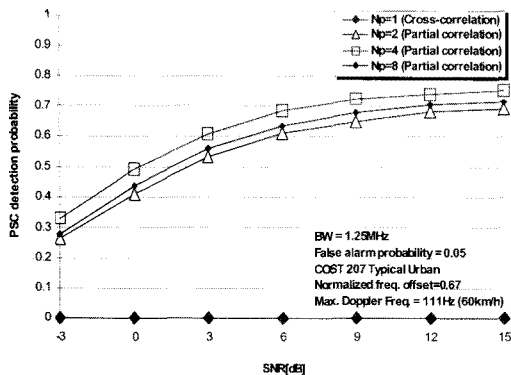


그림 13. SNR에 따른 PSC 검출 성능 비교

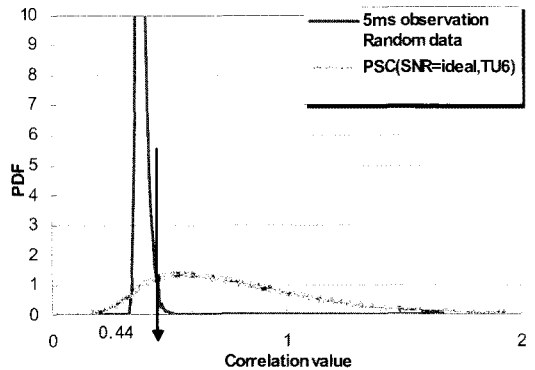


그림 14. 상관 출력의 PDF 분석

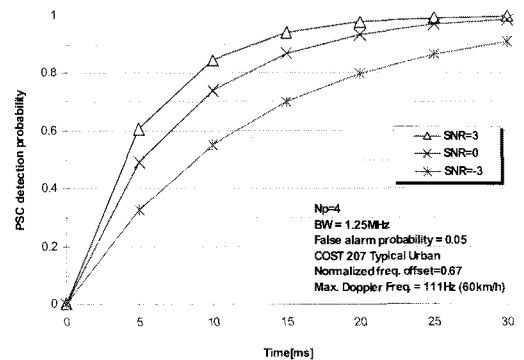


그림 15. 셀 탐색 시간에 따른 PSC 검출 확률 비교

성능 분석 결과 인접 셀 간섭 및 주파수 오프셋 환경에서 부분 상관 방식 ( $N_p=4$ )의 검출 성능이 가장 우수함을 확인할 수 있으며 본 알고리즘을 PSC 검출에 가장 적합한 알고리즘으로 선택할 수 있다. 그림 15는 부분 상관 방식 ( $N_p=4$ )을 적용하여 시간에 따른 PSC 검출 확률을 관찰한 결과이다. 약 30ms 구간의 관찰을 통해 SNR=-3dB 환경에서도 0.9 이상의 검출 확률을 얻을 수 있다.

4.2 2단계 셀 탐색

본 절에서는 SSC 수신신호를 이용한 셀 ID 그룹 및 5ms 단위의 프레임 위치 정보 검출 성능 분석을 수행한다. 성능 분석을 위한 모의 실험 파라미터는 표 1과 동일하다. 주파수 오프셋의 경우 SSC 검출 이전에 수행되는 초기 주파수 동기를 가정하며 잔류 주파수 오프셋 0.01을 고려한다.

그림 16은 PSC의 순환 상관 출력의 전체 구간을 채널 추정에 이용하는 경우 (FFT size)와 ±최대 채널 지연 구간 (±Channel delay)만을 채널 추정에 이용하는 경우에 대한 셀 ID 그룹 및 5ms 단위의 프레임 위치 정보 검출 확률 (detection rate)이다.

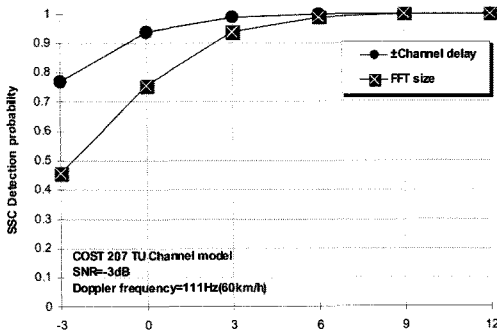


그림 16. SNR에 따른 SSC 검출 확률 비교

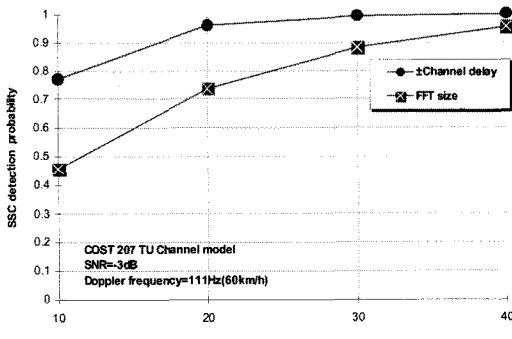


그림 17. 셀 탐색 시간에 따른 SSC 검출 확률 비교

그림 9에서 확인할 수 있듯이 ±최대 채널 지연 구간을 채널 추정에 이용할 경우 간섭 및 잡음 제거 효과가 발생하여 전체 FFT size를 채널 추정에 이용하는 경우에 비해 큰 폭의 성능 향상이 발생한다. -3dB의 SNR에서 전체 FFT 구간을 이용하는 경우 약 0.45의 검출 확률이 나타나는 반면 ±최대 채널 지연 구간을 이용할 경우 약 0.781의 검출 오류 확률이 나타난다.

각 방식의 성능을 실제 환경 관점에서 고려하기 위해 그림 17에서는 셀 탐색 시간에 따른 검출 확률을 나타낸다. 셀 탐색 시간에 따라 SSC의 binary transform은 10ms를 주기로 누적된다. 성능 분석 결과 누적횟수가 증가함에 따라 성능이 향상되며, 전체 FFT 구간을 채널 추정에 이용하는 경우 40ms에서 0.95의 검출 성능이 나타나는 반면 ±최대 채널 지연 구간을 채널 추정에 이용하는 경우 30ms의 누적 시 통해 0.9999 이상의 우수한 검출 성능이 나타난다. 성능 분석을 통해 인접 셀 간섭 및 주파수 오프셋 환경에서 ±최대 채널 지연 구간만을 채널 추정에 이용하는 방식의 성능이 가장 우수함을 확인할 수 있으며 본 알고리즘을 SSC 검출에 가장 적합한 알고리즘으로 선택할 수 있다.

4.3 초기 셀 탐색 연동 성능

본 절에서는 4.1 절, 4.2절에서 각각 분석한 PSC 검출 과정과 SSC 검출 과정을 결합하여 전체 시스템의 연동 성능 분석을 수행한다. 모의 실험은 SNR=-3dB 환경과 더불어 SNR=0dB 및 3dB 환경에서 수행되었다. 초기 발생 주파수 오프셋은 0.67로 설정하였으며 PSC 검출 이후에는 주파수 동기를 가정하여 0.01의 잔류 주파수 오프셋을 고려한다. 그림 18은 3 가지 SNR에 대한 셀 탐색 시간과 초기 셀 탐색 성공 확률의 관계를 나타낸다. SNR이 낮

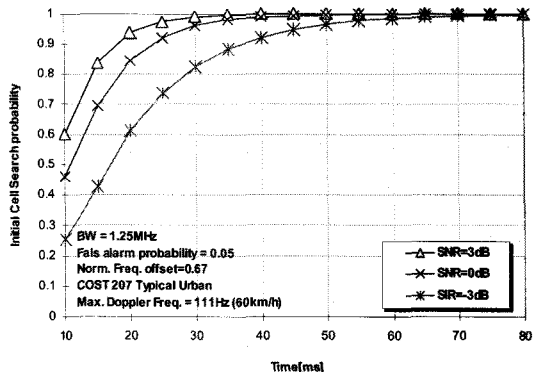


그림 18. 셀 탐색 시간에 따른 초기 셀 탐색 성공 확률



아질수록 셀 탐색 확률이 낮으며 일정 이상의 셀 탐색 확률을 얻기 위한 셀 탐색 시간이 증가한다. 99%의 셀 탐색 확률을 얻기 위한 셀 탐색 시간은 SNR=3dB, 0dB, -3dB에서 각각 30ms, 45ms, 70ms가 소요된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 3GPP LTE 하향링크 OFDM 시스템의 초기 셀 탐색을 위한 수신기 구조 및 설계 방안을 제안하였다. II장에서는 1단계 셀 탐색을 위한 PSC 검출 알고리즘으로는 상호 상관 방식 및 부분 상관 방식의 적용을 고려하였다. 또한 다중 셀 환경에 적합한 수신기 구조를 제안하고 그 동작과정을 분석하였다. 다중 셀 환경 및 주파수 오프셋을 고려한 성능 분석 결과 누적 구간을 2 개의 구간으로 분할한 부분 상관 방식의 PSC 검출 확률이 가장 우수하였으며 가장 적합한 PSC 검출 방식으로 판단되었다. IV장에서는 2단계 셀 탐색을 위해 SSC 검출 수신기 구조를 제안하였으며 인접 셀 간섭에 의한 채널 추정 왜곡을 개선시키기 위해  $\pm$ 최대 채널 지연값을 채널 임펄스 응답 구간으로 적용하는 방안을 모색하였다. 그 결과 전체 채널 임펄스 응답 구간을 이용하는 방식에 비해 검출 오류 확률의 향상을 확인하였다. V장에서는 1단계, 2단계 셀 탐색 성능과 더불어 최적의 PSC, SSC 검출 알고리즘을 적용하여 초기 셀 탐색의 연동 성능을 분석한 결과 SIR=-6dB 이상에서 40ms 이내의 빠른 셀 탐색 시간을 관찰하였으며 SIR=-9dB에서도 시스템의 적용 가능성을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 수신기 구조는 3GPP LTE OFDM 시스템의 초기 셀 탐색을 위해 적합하다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 3GPP TS 36.211 v0.2.2 (2006-12)
- [2] Draft Report of 3GPP TSG RAN WG1 #49b v0.1.0, Orlando, Florida-USA, 25 - 29 June, 2007.
- [3] R1-072727, "SSC sequence design" QUALCOMM Europe
- [4] Jan-Jaap van de Beek, Magnus Sandell, Mikael Isaksson and Per Ola Borjesson, "Low-Complex Frame Synchronizatin in OFDM System," Proc. of ICUPC'95,

pp.982-986, 1995.

- [5] R1-062308, "Structure for Cell Search in E-UTRA", LGE.
- [6] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice Second Edition*, Prentice Hall PTR, 2002.

### 신 경 찬 (Kyung-Chan Shin)

정회원



2006년 2월 성균관대학교 전자전  
기공학과 졸업  
2008년 2월 성균관대학교 전자전  
기컴퓨터공학과 석사  
2008년 3월~현재 삼성탈레스 기  
술연구소 연구원

<관심분야> 이동통신, OFDM 동기 및 채널추정 기술

### 임 세 빈 (Se-Bin Im)

정회원

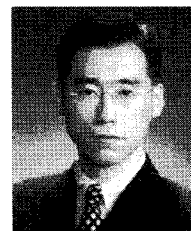


2003년 2월 성균관대학교 전자공  
학과 졸업  
2005년 2월 성균관대학교 전자전  
기공학과 석사  
2005년3월~현재 성균관대학교  
전자전기공학과 박사과정

<관심분야> 무선통신, 이동통신, MODEM 동기화 기  
술, OFDM 및 MIMO 기술

### 옥 광 만 (Kwang-Man Ok)

정회원



1993년 2월 서울대학교 전자공학  
과 졸업  
1995년 2월 서울대학교 전자전기  
공학과 석사  
1995년 2월~현재 삼성전자 통신  
연구소 책임연구원  
2002년 3월~현재 고려대학교 전  
과공학과 박사과정

<관심분야> OFDM, CDMA, Receiver algorithm for  
wireless communication

최형진 (Hyung-Jin Choi)

중신회원



1974년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업

1974년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 석사

1976년 3월~1979년 3월 (주)금성 중앙연구소 연구원

1979년 9월~1982년 12월 미국

University of Southern California 전기공학과 박사

1982년 10월~1989년 2월 미국 Lincom Corp. 연구원

1989년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 디지털 통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술