

# OFDM 이동통신 시스템의 Paging Indicator 전송 방식

정회원 김 영 준\*, 유 현 일\*, 우 경 수\*, 이 희 수\*\*, 종신회원 조 용 수\*

## A Transmission Technique for Paging Indicator in OFDM-based Cellular Systems

Yeong Jun Kim\*, Hyun Il Yoo\*, Kyung Soo Woo\*, Heesoo Lee\*\* *Regular Members*,  
Yong Soo Cho\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 OFDM 기반 이동통신시스템에서 idle mode 단말의 전력 소모를 감소시키기 위하여 기존의 프리앰블에 PI (Paging Indicator) 정보를 추가하여 전송하는 기법을 제안한다. L1/L2 제어채널을 사용하여 PI를 전송하는 기법과 비교하여, 프리앰블을 이용하여 PI를 전송하는 기법은 PI 전송을 위한 추가의 overhead가 필요하지 않을 뿐만 아니라 PI 검출을 위한 복잡도도 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 OFDM 기반 이동통신시스템, 특히 mobile WiMAX 시스템에 적합한 동기화 기법과 PI 검출기법에 대하여 기술한다. 모의실험을 통하여 mobile WiMAX 시스템에서 동기화 성능과 셀 탐색 성능을 크게 열화시키지 않으면서 프리앰블(또는 common synch symbol)을 사용하여 PI를 전송할 수 있음을 확인한다.

**Key Words :** OFDM, Preamble, Power Saving

### ABSTRACT

In this paper, a transmission technique of paging indicator (PI) on the existing preamble is proposed to reduce power consumption of the user equipment in idle mode for OFDM-based cellular systems. Compared with the PI transmission technique using the L1/L2 control channel, the PI transmission technique using preamble has advantages of not requiring additional overhead for PI transmission as well as reducing computational complexity for PI detection. Synchronization and PI detection techniques are described for OFDM-based cellular systems, especially for mobile WiMAX systems. It is shown by computer simulation that the PI can be transmitted using the preamble (or common synch symbol) without affecting performances of synchronization and cell searching in mobile WiMAX systems.

### 1. 서 론

OFDM은 차세대 이동통신 시스템의 유력한 전송 방식으로서 최근 활발히 연구되고 있다. IEEE 802.16에서는 OFDM 기반 이동통신시스템인 mobile WiMAX에 대한 규격을 완성한 후, 이를 바

탕으로 차세대 이동통신시스템인 IEEE 802.16m에 대한 연구를 진행하고 있으며, 3GPP2 LTE에서도 현재 OFDM 기반 이동통신시스템을 위한 규격 작성을 진행하고 있다. 이러한 OFDM 기반 이동통신 시스템의 연구 중에서 단말의 전력 소모를 줄이는 것은 단말의 한정적인 배터리 수명을 고려할 때 중

※본 연구는 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력 핵심기술개발사업 [2006-S-001-02 4세대 이동통신을 위한 적응무선접속 및 전송기술 지원과 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원 (R01-2008-000-10406-0)을 받아 수행된 연구입니다.

\* 중앙대학교 전자전기공학부 디지털통신연구실 (yscho@cau.ac.kr), \*\* 한국전자통신연구원

논문번호 : KICS2008-01-028, 접수일자 : 2008년 1월 14일, 최종논문접수일자 : 2008년 6월 27일

요한 연구 분야 중 하나이며, CDMA 기반 이동통신시스템에서도 단말의 전력 소모 감소를 위한 기법이 현재 사용되고 있다.

CDMA 기반의 이동통신시스템인 IS-95의 경우 단말의 전력 소모 감소를 위해 slotted mode 동작을 지원한다. Slotted mode 중에서는 단말이 기지국과 데이터 통신을 수행하지 않기 때문에 단말의 모뎀을 동작시키지 않는다. 단말의 network entry 이후 대부분의 시간은 기지국과 데이터 통신을 수행하지 않기 때문에 slotted mode의 지원은 단말의 전력 소모를 크게 감소시킬 수 있다. 여기서 단말과 기지국 간의 데이터 통신이 존재하지 않는 동안의 단말 동작 mode를 idle mode라 부르며, 단말과 기지국 간 데이터 통신이 존재하는 동안의 단말 동작 mode를 active mode라 부른다.

Idle mode 동안 단말의 전력 소모 효율은 idle mode 동안 단말이 기지국으로부터 송신된 active 전환 요청을 획득하기 위해 얼마나 자주 깨어나는 지에 달려있다. CDMA 2000과 WCDMA에서는 idle mode에서 각각 quick paging channel (QPCH)와 paging indicator (PI)를 적용하여 단말이 idle mode 동안 active mode 전환 요청 획득을 위해 깨어나는 시간을 최소화함으로써 보다 효율적으로 단말의 전력 소모를 감소시켰다<sup>[1][2]</sup>.

Mobile WiMAX는 단말의 전력 소모를 감소시키기 위해 sleep mode를 지원하며, 선택적으로 idle mode도 지원한다. Sleep mode와 idle mode의 경우 각각 unavailable interval과 paging unavailable interval (PUI) 동안 기지국과 데이터 통신을 하지 않으므로 단말의 전력을 감소시킬 수 있다. 하지만 앞의 두 가지 전력 감소 방법의 경우 단말은 자신의 위치 정보 획득 (handover, 또는 location update), broadcast 정보 갱신, 단말을 향한 데이터 존재 유무를 파악하기 위해 기지국과 협의 하에 정해진 시간에 깨어나 MAC control 정보를 복호해야 한다<sup>[3]</sup>. 즉, 단말은 위치 정보 획득 (handover, 또는 location update), broadcast 정보 갱신이 필요하지 않은 경우와 단말로 전달될 데이터가 존재하지 않은 경우에도 깨어나 MAC control 정보를 복호해야 하기 때문에 불필요하게 전력을 소모하게 된다.

[4]과 [5]에서는 이러한 불필요한 전력 소모를 감소시키기 위한 sleep mode 기법을 제안하였다. 하지만 [4], [5]에서 제안한 방식들의 경우에도 단말은 자신이 깨어난 시점에 DL traffic의 존재 유무를 알 수 없기 때문에 불필요한 전력소모에 대한 문제는

여전히 남아있다. 따라서 이러한 불필요한 전력 소모를 감소시키기 위해 깨어난 단말에게 MAC control 정보 복호 여부를 지시하는 PI가 필요하다.

본 논문에서는 OFDM 기반 이동통신시스템의 프리앰블에 PI 정보를 추가하여 전송하는 방식을 제안한다. OFDM 기반 이동통신시스템에서 프리앰블은 동기 성능을 결정짓는 중요한 부분이기 때문에 프리앰블을 이용하여 PI 전송할 경우 PI 정보 추가에 따른 프리앰블 동기 성능 열화를 최소화 하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 프리앰블을 이용하여 PI를 전송하는 경우의 동기 및 paging 절차를 제안하고, 모의 실험을 통해 mobile WiMAX 프리앰블을 이용한 PI 전송시 동기 성능 및 PI 검출 성능을 확인한다. 본 논문에서는 제안된 paging 절차를 설명하기 위해 편의상 mobile WiMAX의 idle mode의 용어 및 개념을 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 OFDM 기반 이동통신시스템에서 고려할 수 있는 PI 전송 기법들과 본 논문에서 제안하는 PI 전송 방식을 소개한다. III장에서는 OFDM 기반 이동통신시스템에서 PI 전송을 위한 프리앰블 구조와 PI 프리앰블을 이용할 경우 동기 및 paging 절차를 설명하고, IV장에서는 mobile WiMAX 시스템의 프리앰블을 이용하여 PI 전송용 프리앰블을 구성한 경우 동기화 과정 및 PI 검출 과정을 설명한다. V장에서는 IV장에서 구성한 PI 프리앰블의 동기 성능 및 PI 검출 성능을 모의 실험을 통해 확인하며, VI장에서는 결론을 맺는다.

## II. OFDM 기반 셀룰러 시스템에서 PI 전송 방식

PI를 도입할 경우 MS는 paging available interval (PAI)에서 paging 메시지 및 broadcast 정보를 복호하기 전에 PI를 획득한 후 PI의 정보에 따라서 PI의 정보 획득 여부를 결정한다. 각각의 PI 정보는 on/off 정보를 포함하며, PAI에서 idle mode MS는 자신에게 할당된 PI가 on인 경우 paging 메시지 및 broadcast 정보를 복호한다. 따라서 mobile WiMAX에서와 같은 idle mode 동작에서 발생하는 불필요한 전력 소모를 감소시킬 수 있다. 그림 1은 PI를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우 MS의 모뎀의 동작을 나타내는 블록도이다.

현재 OFDM기반 이동통신시스템에서 제안된 L1/L2 control channel을 이용한 PI 전송 방식에서는 PI를 위한 단말의 ID 외에 paging 메시지의 자

원 할당, paging 메시지의 길이, coding scheme 정보를 포함할 수 있다. 이 경우 PI 정보 획득시 paging 메시지 획득과 유사한 검출과 복호 과정을 수행해야 하기 때문에 PI 획득을 위한 전력 소모면에서 큰 이득을 얻기 힘들지만, PI의 길이가 paging 메시지의 길이에 비해 짧기 때문에 복호 시간 감소에 의한 전력 소모 감소 효과를 얻을 수 있다. 또한 channel coding 적용에 따른 PI 검출 정확도 향상을 기대할 수 있다<sup>6)</sup>. 그림 2는 L1/L2 control 정보를 이용한 PI 적용시 MS의 모뎀의 동작을 보여준다.

그 외의 방법으로 물리계층에서 PI 전송을 검출하는 방식이 있다. 이 경우 단말은 복호 과정 없이 PI를 검출하기 때문에 PI 획득시 전력 소모가 감소한다. 물리계층에서 PI 전송방식으로는 별도의 PI 심볼을 이용하거나 데이터 심볼의 부반송파 중 일정 부분을 PI 전송용 부반송파로 할당하는 방법을 고려할 수 있으며, 그 외의 방법으로는 본 논문에서 제안하는 바와 같이 OFDM 기반 이동통신시스템에서 동기 획득을 위해 사용중인 프리앰블에 PI 정보를 추가하여 전송하는 방법을 고려할 수 있다. 이 경우 PI가 사용중인 프리앰블에 추가되어 전송되기 때문에 PI 전송을 위해 추가적인 overhead가 필요하지 않을 뿐만 아니라 동기 획득 과정 중 PI 검출을 수행하기 때문에 PI 검출을 위한 별도의 FFT 수행이 필요하지 않으므로 최소한의 복잡도로 PI 검출을 수행할 수 있다. 그림 3는 프리앰블을 이용한 PI 적용시 MS의 모뎀 동작을 보여준다. 이후로부터 본 논문에서는 PI 정보를 포함하지 않은 경우를 프리앰블이라 명명하며, PI 정보를 포함한 프리앰블을 PI 프리앰블이라 명명한다.

### III. Paging Indicator를 고려한 프리앰블 설계

본 논문에서는 주파수영역 프리앰블 시퀀스에 PI 정보를 추가하여 PI 프리앰블을 생성하는 방법을 기술한다. 이 경우 PI 검출은 주파수 영역에서 수행된다. 식 (1)은 본 논문에서 제안하는 PI 프리앰블

시퀀스 구성을 보여준다.

식 (1)에서  $s$ ,  $N_{seq}$ ,  $A^s$ 는 송신 기지국의 프리앰블 인덱스, 프리앰블 시퀀스의 길이, 프리앰블 인덱스가  $s$ 인 경우의 프리앰블 시퀀스이며, 프리앰블 시퀀스의 원소는 실수 또는 복소수이다.  $C_{even}(d)/C_{odd}(d)$ 는  $d$  번째 PI 정보로서 프리앰블 시퀀스의 짝수/홀수 번째 원소에 곱해지며 on/off 구분을 위해 1bit 정보를 포함한다고 가정한다. 프리앰블 시퀀스의  $N_{seq}/2$  번째 인덱스의 원소는 프리앰블 부반송파 중 DC 부반송파에 실리는 원소이다.

식 (1)을 이용하여 PI 프리앰블 시퀀스를 생성한 경우, PI 프리앰블의 주파수 영역 표현은 다음과 같다.

$$X(p_k) = \begin{cases} B(k), & k \neq N_{seq}/2, 0 \leq k \leq N_{seq}/2-1 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

식 (1)에서  $N$ ,  $N/2$ ,  $k$ ,  $p_k$ 는 각각 FFT size, DC 반송파 주파수, PI 프리앰블 시퀀스의  $k$  번째 원소, PI 프리앰블 시퀀스의  $k$  번째 원소가 실리는 부반송파 인덱스이다. 그림 4는 식 (2)를 이용한 경우 주파수 영역 프리앰블 구조를 보여준다.

식 (2)를 이용하여 PI 프리앰블을 생성한 경우 동기화 절차는 다음과 같다. Idle mode 단말은 자신에게 할당된 PAI에 수신한 프레임에서 PI 프리앰블에 해당하는 심볼을 이용하여 프레임 검출 및 심볼 타이밍 획득을 수행한 후 소수배 carrier frequency offset (CFO)를 추정한다. PI 프리앰블을 이용하여 셀 탐색 또는 정수배 CFO 추정 과정을 수행해야 하는 경우 셀 탐색 또는 정수배 CFO 추정 과정이 PI 프리앰블의 동기 및 PI 검출 절차에 추가되지만, PI 프리앰블 생성에 사용된 프리앰블 시퀀스가 셀 탐색 용 시퀀스가 아닌 경우 별도의 셀 탐색 용 프리앰블을 이용하여 셀 탐색을 수행하기 때문에 PI 프리앰블의 동기 및 PI 검출 절차 상에서 고려되지 않는다. 셀 탐색 수행 결과를 이용하여 셀 변경 여부를 판단한 후 셀이 변경된 경우에는 idle 핸드오버 및 paging location update를 수행하

$$B(2u) = \begin{cases} A^s(2u), & u = 0 \text{ or } N_{seq}/2 \\ C_{even}(d)A^s(2u), & otherwise, 0 \leq d \leq N_{seq}/2-3 \end{cases}$$

$$B(2u+1) = \begin{cases} A^s(2u+1), & u = 0 \text{ or } N_{seq}/2 \\ C_{odd}(d)A^s(2u+1), & otherwise, 0 \leq d \leq N_{seq}/2-3 \end{cases} \quad (1)$$

$$0 \leq u \leq N_{seq}/2-1$$

$$d = \begin{cases} u-1, & 2 \leq u \leq N_{seq}/4-1 \\ u-2, & N_{seq}/4+1 \leq u \leq N_{seq}/2-1 \end{cases}$$

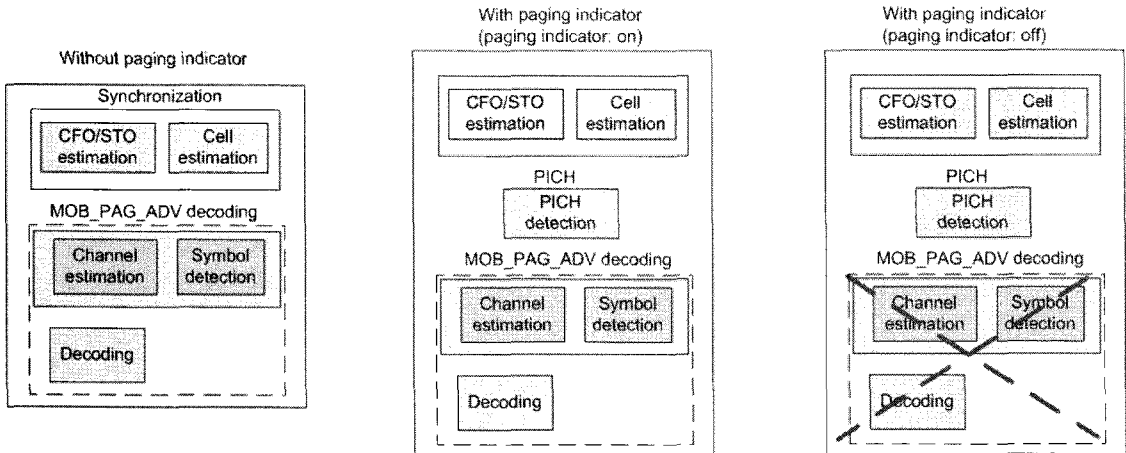


그림 1. PI 사용한 경우와 사용하지 않은 경우 MS의 동작을 보여주는 블록도

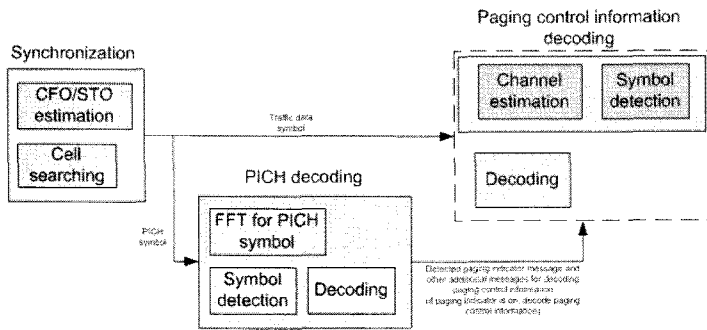


그림 2. L1/L2 control 정보를 이용한 PI 전송시 MS 모델의 동작

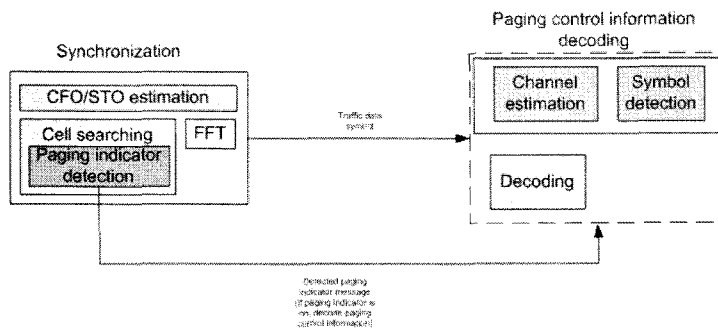


그림 3. 프리앰블을 이용하여 PI를 전송할 경우 MS의 동작

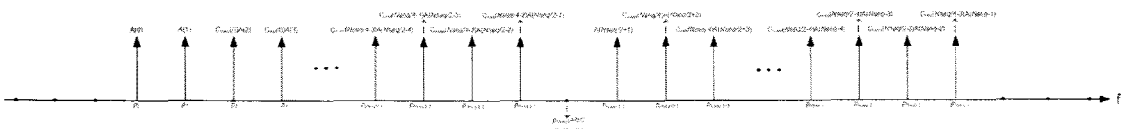


그림 4. PI 프리앰블의 주파수영역 구조

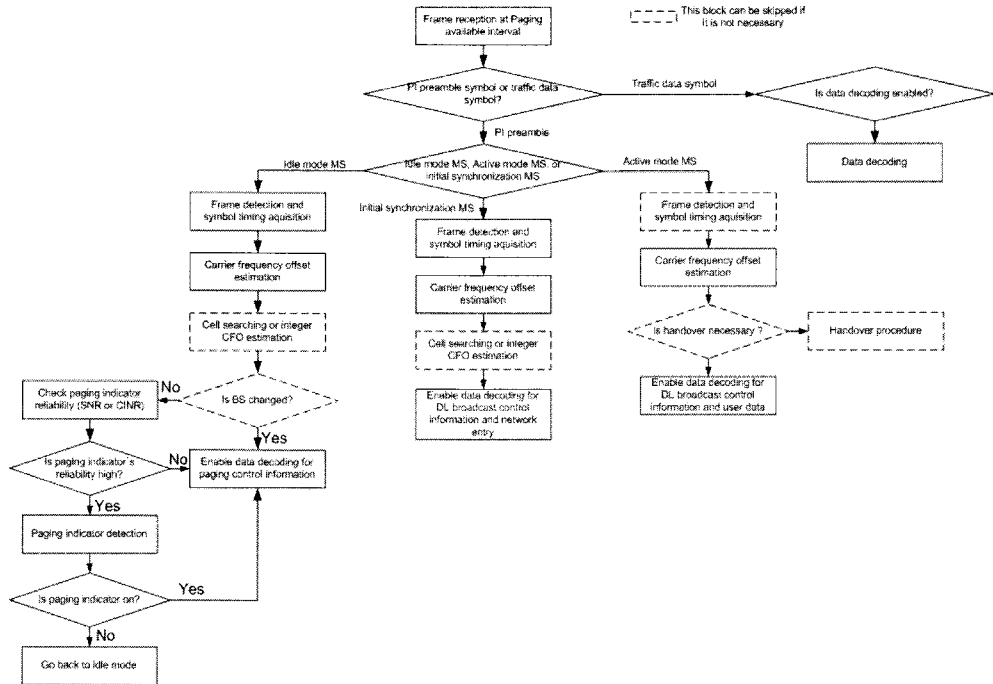


그림 5. PI 프리앰블을 이용할 경우 동기화 절차 및 paging 검출 절차

기 위해 paging 메시지 및 broadcast 정보를 획득한다. 타이밍 및 주파수 추적 과정은 paging 메시지 및 broadcast 정보 획득시 필요에 따라 수행된다.

동기화 과정 이후 paging 검출 절차를 수행한다. Paging 검출 절차 수행시 단말은 먼저 PI 검출 신뢰도를 검사한다. PI 검출 신뢰도가 낮을 경우 PI 검출 오차 때문에 paging response latency의 증가 또는 paging drop을 유발할 수 있기 때문에 PI 검출 신뢰도가 낮을 경우 paging 메시지 및 broadcast 정보를 복호한다. 여기서 paging response latency는 idle mode 단말이 자신에 대한 paging 정보를 포함하는 paging 메시지를 수신한 후 기지국에게 response 메시지를 전송하기까지의 지연 시간을 의미하고, paging drop은 기지국의 paging 요청에 대해 해당 단말이 응답하지 않는 경우를 의미한다. 그림 5는 앞서 기술한 PI 프리앰블을 이용할 경우 동기화 절차 및 paging 절차를 나타내며, PI 프리앰블이 전송되는 구간에서 idle mode 단말 외에 초기 동기화 과정과 active mode 단말의 동기화 과정도 포함하고 있다. 그림 5에서 타이밍 및 주파수 추적 과정은 편의상 생략하였다.

PI의 신뢰도 감소 요인은 CFO 및 symbol timing offset (STO) 동기화, 잡음, 인접 셀로부터의 간섭 등이다. 그림 4와 같이 PI 프리앰블을 구성한 경우 셀간 간섭의 영향은 인접한 기지국이 사용하는 부반

송파와 프리앰블 시퀀스 PI 정보에 따라 간섭 발생 여부가 달라진다. PI 프리앰블 구성시 인접한 기지국 간에 전송되는 PI 프리앰블이 같은 부반송파를 통해 전송될 경우 인접한 기지국이 서로 같은 프리앰블 시퀀스를 이용하고 동일한 PI 정보를 전송한다면 셀간 간섭이 발생하지 않는다. 하지만 프리앰블 시퀀스가 동일하더라도 각각의 기지국이 다른 PI 정보를 전송하는 경우 셀간 간섭이 발생한다. 인접한 기지국이 동일한 부반송파를 사용하지만 서로 다른 프리앰블 시퀀스를 사용하는 경우에는 PI 정보에 관계없이 인접한 기지국 간에 간섭이 발생한다. 인접 기지국들이 PI 프리앰블 전송을 위해 사용하는 부반송파가 겹치지 않는 경우에는 PI 프리앰블 생성을 위해 사용되는 프리앰블 시퀀스와 PI 정보가 서로 다를 지라도 셀간 간섭이 존재하지 않는다.

#### IV. Paging Indicator를 고려한 프리앰블 설계

본 장에서는 mobile WiMAX의 프리앰블에 식 (1)과 식 (2)의 PI 프리앰블 구성 방식을 적용한 경우 동기화 과정 및 PI 검출 방법에 대하여 설명한다.

프리앰블 인덱스, 프리앰블 시퀀스의 길이, 프리앰블 인덱스, FFT size, DC 반송파 주파수, PI 프리앰블 시퀀스 및 사용되는 부반송파의 인덱스는 mobile

WiMAX 파라미터를 따른다<sup>[3]</sup>.

Mobile WiMAX 프리앰블의 부반송파는 3개의 세그먼트 부반송파 집합으로 구분된다. 각각의 부반송파 집합은 comb type으로 할당되며 서로 간섭을 발생하지 않는다. 각각의 세그먼트는 색터 정보를 포함하며 인접한 색터들은 서로 다른 세그먼트를 이용한다. Mobile WiMAX에서 프리앰블이 3번 반복되는 특성을 갖기 때문에 프리앰블을 이용하여 대략적 프레임 검출, 셀 탐색, 정수배 CFO 추정, 타이밍을 추적하며, 소수배 CFO 추정은 데이터 심볼의 CP를 이용한다. 따라서 mobile WiMAX 프리앰블에 PI를 추가할 경우 앞서 기술한 동기화 요소의 성능 열화를 최소화 할 수 있어야 한다.

식 (1)과 같이 주파수 영역에서 mobile WiMAX 프리앰블 시퀀스와 PI 정보의 곱셈을 이용하여 프리앰블을 구성한 경우 시간 영역에서의 반복 패턴은 변하지 않는다. 따라서 시간 영역에서 프리앰블의 반복 패턴을 이용하는 coarse frame synchronization의 과정은 프리앰블을 이용한 경우와 동일하며 식 (3)과 같이 표현된다.

식 (3)에서,  $y(n)$ 은 수신된 신호의 시간영역 신호이고  $n$ 과  $N_{frame}$ 은 각각 수신된 심볼의 샘플 인덱스와 Mobile WiMAX의 프레임의 길이이며,  $\hat{\tau}_{tmp}$ 은 coarse frame synchronization을 통해 획득한 대략적인 프레임 시작점을 나타내는 인덱스이다. 위 식에서 사용한 상관 window의 크기는 810이다.

Mobile WiMAX의 셀 탐색은 주파수 영역에서 수행되며, 프리앰블 시퀀스 값을 이용하기 때문에 PI 프리앰블을 이용할 경우 이에 적합한 셀 탐색 절차가 필요하다. 셀 탐색에서 서빙 셀은 주파수 영역에서 수신된 프리앰블 심볼과 전송 가능한 모든 프리앰블 시퀀스 간의 상호 상관의 크기를 통해 획득된다. 식 (1)와 같이 PI 프리앰블 시퀀스를 구성한 PI 프리앰블에 포함된 PI 정보를 검출할 경우 프리앰블 인덱스 또는 정수배 CFO를 모른다면 검출된 PI를 신뢰할 수 없기 때문에 셀 탐색이 PI 검출 이전에 먼저 수행된다. 따라서 단말이 PI 정보를 모른다는 가정하에 PI 정보가 셀 탐색의 성능에 최소한의 영

향을 미치도록 PI 프리앰블을 구성해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 인접한 두 개의 부반송파에 하나의 PI를 반복적으로 곱하여 전송한다.

프리앰블 시퀀스가 실리는 부반송파간의 간격이 coherence bandwidth 이내인 경우 STO와 주파수 선택적 페이딩 채널은 상관 특성에 열화를 막기 위하여 AIDC (The Algorithm Using the Intercarrier Differential Correlation)를 이용하여 셀 탐색을 수행할 수 있다. PI 프리앰블을 이용하는 경우에도 프리앰블의 반송파 간의 간격은 프리앰블과 동일하기 때문에 두 부반송파에 실린 신호의 곱을 이용하여 채널 및 STO 영향을 최소화 하는 상관 기법을 적용할 수 있다. 하지만 AIDC에서와 같이 모든 부반송파를 이용할 경우 인접한 반송파 간의 PI 정보가 다를 수 있기 때문에 상호 상관 특성의 열화가 발생한다. 따라서 상호 상관 수행시 하나의 PI에 대해 할당된 인접한 두 부반송파 신호의 곱을 이용하여 상관을 수행해야 한다. 정수배 CFO의 추정은 셀 탐색과 동시에 수행된다. 식 (4)는 셀 탐색 및 정수배 CFO의 추정을 보여주는 식이다.

식 (4)에서  $Y, A^q$ 는 각각 수신된 프리앰블의 주파수영역 신호, 프리앰블 인덱스가  $q$ 인 프리앰블 시퀀스이고,  $p_{2n}, p_{2n+1}$ 는 각각 PI 프리앰블 시퀀스 중 짝수 번째와 홀수 번째 원소가 실리는 부반송파의 인덱스이다.  $m$ 의 범위는 정수배 주파수 오프셋 발생 범위와 같다.

식 (4)의 셀 탐색 과정은 PI 전송을 위해 프리앰블의 모든 부반송파를 사용한 경우이다. 이 경우 셀 탐색에서 상호 상관을 위해 사용되는 부반송파의 수는 PI를 전송하지 않은 경우의 1/2에 해당하기 때문에 상호 상관 과정에서 사용되는 부반송파의 수의 감소에 의한 상관 성능의 열화가 발생한다. 따라서 셀 탐색 성능을 고려하여 PI 전송을 위해 사용되는 부반송파 수를 결정해야 한다. Active mode의 단말의 경우 기지국으로부터 PI 프리앰블로 전송되는 PI 정보를 획득할 수 있다면 셀 탐색 과정에서 사용되는 부반송파 수의 감소에 의해 발생하는 성능 열화를 방지할 수 있다.

$$\hat{\tau}_{tmp} = \max_n (|R(n)|)$$

$$r(n) = \sum_{l=0}^{809} y^*(n+l)y^*(n+l+512), \quad n=0, 1, 2, \dots, N_{frame} - 1 \quad (3)$$

$$(\hat{m}, \hat{q}) = \max_{\hat{m}, \hat{q}} \arg \left| \sum_{u=0}^{N_{sc}/2-1} Y(p_{2n} + m)^* Y(p_{2n+1} + m) A^q(2u) A^q(2u+1)^* \right| \quad (4)$$

PI 정보 획득은 식 (4)의 셀 탐색 및 정수배 CFO 검출 결과를 이용한다. PI 검출을 위해 coherent 검출을 이용할 경우 채널 추정 및 보상 과정과 채널 추정을 위한 overhead가 필요하다. 채널 추정을 위한 overhead는 PI 프리엠블을 통해 전송할 수 있는 PI 수를 감소시켜 전력 소모 감소 효율의 열화를 야기한다. 따라서 본 논문에서는 DBPSK를 이용한 PI 전송을 고려한다. DBPSK를 이용하여 PI를 생성할 경우 PI는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 C_{even}(0) &= 1 \\
 C_{even}(d+1) &= C_{even}(d)Z_{d+1}, \quad d \geq 0 \\
 C_{even}(d) &= C_{odd}(d)
 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $Z_{d+1}$ 는 BPSK 변조된  $d+1$  번째 PI 정보이며,  $C_{even}(0)$ 는 DBPSK 신호를 복조하기 위한 기준 신호이다.

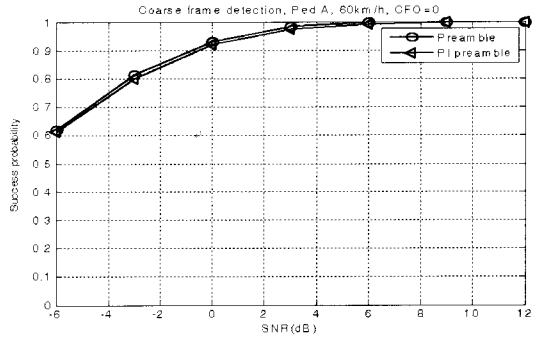
식 (1)와 식 (2)를 이용하여 PI 프리엠블을 구성한 경우 식 (4)의 셀 탐색 및 정수배 CFO 추정 이후 PI 검출은 식 (6)으로 표현된다.

식 (6)에서  $sign()$ ,  $Re()$ 은 각각 변수의 부호를 취하는 함수와 변수의 실수 값을 취하는 함수이다.

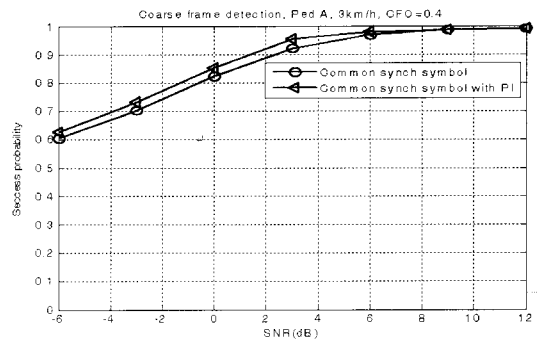
Mobile WiMAX에서는 단말의 동기획득을 위해 프리엠블 외에 common synch symbol을 선택적으로 지원하며, 이러한 common synch symbol을 이용하여 PI를 전송할 수도 있다. Common synch symbol은 시간영역에서 두 반복되는 형태이며, 모든 기지국이 동일한 부반송파와 시퀀스를 사용한다. 따라서 단말이 common synch symbol을 이용할 경우 타이밍 동기화 및 소수배 CFO 추정을 수행하나 셀 탐색 과정은 수행하지 않는다. Common synch symbol의 시퀀스를 이용하여 식 (1)에서와 같이 PI 프리엠블 시퀀스를 생성한 경우 프리엠블을 이용한 경우와 같이 시간영역의 반복 패턴이 유지되기 때문에 자기 상관을 이용한 common synch symbol의 프레임 검출 성능은 PI 정보를 포함한 경우에도 크게 열화되지 않는다. CFO 추정은 프레임 검출과 함께 수행된다. 간섭의 관점에서 보면 프리엠블과 달리 모든 기지국이 동일한 부반송파와 시퀀스를 사용하기 때문에 paging zone 내에서는 셀간의 간섭이 존재하지 않는다.

### V. 모의 실험

Mobile WiMAX 프리엠블을 이용하여 PI 프리엠블을 생성할 경우 대략적 심볼 타이밍과 셀 탐색 및



(a) 프리엠블을 이용한 PI 프리엠블



(b) Common synch 심볼을 이용한 PI 프리엠블

그림 6. 대략적 동기의 성공 확률

PI 검출 성능을 모의 실험을 통하여 확인한다. 모의 실험에서 고려한 채널 환경은 ITU-R Ped A [7]이며, 단말의 이동 속도는 3Km/h이다.

그림 6은 프리엠블과 common synch symbol을 이용하여 식 (1)에서와 같이 PI 프리엠블 시퀀스를 구성한 경우 대략적 프레임 검출 성능을 보여준다. 그림 6에서 PI 프리엠블을 이용한 경우 프레임 검출 성공 확률은 프리엠블 또는 common synch symbol을 이용한 경우와 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

그림 7은 common synch symbol을 이용한 PI 프리엠블의 소수배 CFO 추정 MSE이다. 그림 7에서 PI 프리엠블을 이용할 경우 common synch symbol을 사용할 경우에 비해 MSE가 증가하는 것을 볼 수 있지만 PI 프리엠블의 소수배 CFO 추정 MSE가 SNR이 -6dB 경우에도  $1e-4$  이하이기 때문에 시스템의 성능 열화를 발생시키지 않는 CFO 추정 정확도를 갖는다.

셀 탐색 성능을 확인하기 위해 3개의 기지국이 프리엠블을 송신한다고 가정하였으며, 그림 8는 셀 탐색 모의 실험을 위한 셀 배치를 보여준다. 그림 8에서 섹터 0은 프리엠블 인덱스가 5인 프리엠블, 섹

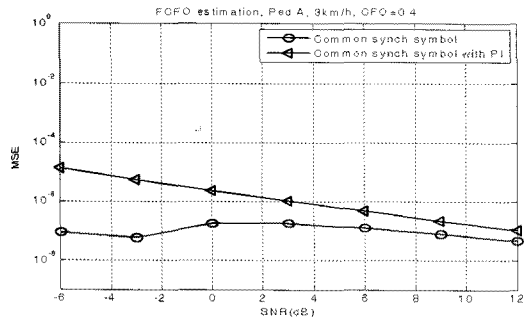


그림 7. Common synch symbol을 이용한 PI 프리앰블의 정수배 CFO 추정 MSE

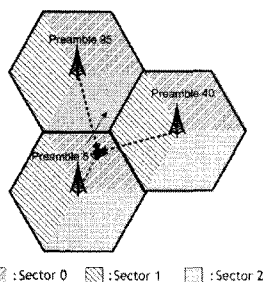


그림 8. 셀 탐색 모드의 실험에서 고려한 기지국 배치

터 1은 프리앰블 인덱스가 40인 프리앰블, 섹터 2는 프리앰블 인덱스가 95인 프리앰블을 사용한다고 가정한다. 그림 9는 PI 프리앰블 이용시 식 (4)에 주어진 셀 탐색 방법의 성능 및 정수배 CFO의 추정 성공 확률을 보여준다. 이 그림에서 preamble 뒤의 숫자는 모의실험에 사용된 프리앰블 인덱스를 나타낸다. 이 때 PI 프리앰블에서 사용되는 부반송파의 50%를 PI 전송을 위해 사용하였으며, 전체 성공 확률은 각각의 기지국이 전송한 프리앰블 중 하나를 찾을 확률이다. 50%의 부반송파를 PI 전송을 위해 사용한 경우 셀 탐색의 전체 성공 확률과 false alarm은 각각 0.98과 0.02이며, 정수배 CFO 추정 성공 확률은 0.986이다. 따라서 셀 경계에서 셀 탐색 성능을 고려할 때 PI 전송을 위해 사용되는 부반송파의 수는 전체의 50% 이하가 적절하며, 50%의 부반송파를 사용하는 경우 총 70 bit의 PI bit를 전송할 수 있다.

그림 10은 SNR에 대해 DBPSK 변조된 PI를 이용한 경우 SNR에 따른 PI 검출의 BER 성능을 보여준다. 그림 10에서 R은 성능 이득을 얻기 위하여 PI 프리앰블 내에서 PI 심볼을 반복하여 전송한 회

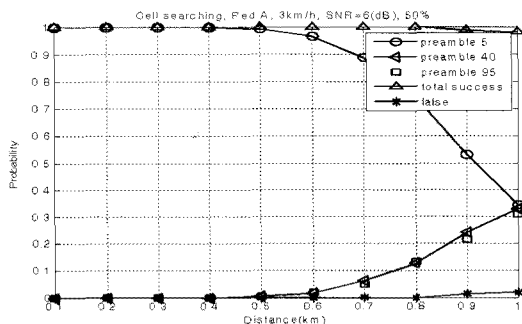


그림 9. PI 프리앰블 이용시 셀 탐색 성능

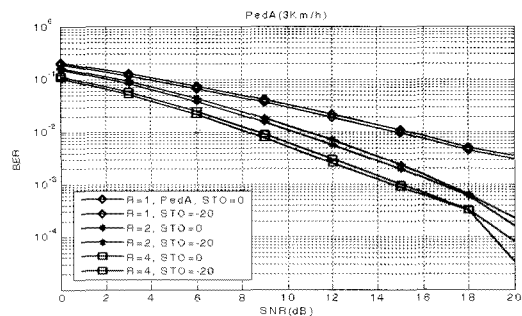


그림 10. DBPSK 변조된 PI의 BER

수이며, BER 곡선은 단말이 PI 검출 과정에서 반복되어 전송된 PI에 대하여 combining을 수행한 경우의 BER 곡선이다. Modifiable WiMAX 프리앰블에서 50%의 부반송파를 이용한 PI 전송시 반복 회수가 R이라고 가정한다면 (70/R) bit의 PI bit를 전송할 수 있다. 따라서 R이 증가 할수록 BER 성능이 증가하나 전송할 수 있는 PI bit의 수가 감소한다. PI 전송을 위해 50%의 부반송파를 이용할 경우 R=4일 때 17 bit의 PI를 전송할 수 있다. 이것은 80ms 동안 최대 144개의 PI bit 전송을 고려하는 WCDMA와 비교하였을 때 충분한 양이라 판단된다[2]. 또한 그림 10로부터 심볼 획득의 정확도가 유효 심볼 시작 점으로부터 -20 샘플인 경우에도 성능 열화가 크지 않은 것을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 OFDM 기반 이동통신시스템의 프리앰블을 이용하여 PI 정보를 전송하기 위한 프리앰블 설계 기법과 그에 따른 동기화 및 PI 검출 절차

$$\hat{C}(d) = \text{sign}(\text{Re}(G(d)))$$

$$G(d) = Y(p_{2d+1} + \hat{m})^* Y(p_{2d+1} - \hat{m}) A^{\hat{q}(2d+1)} A^{\hat{q}(2d+1)*} \quad (6)$$



를 제안하였으며, mobile WiMAX 프리앰블에 본 논문에서 제안한 방식을 적용하여 PI 프리앰블을 구성한 경우의 성능을 모의 실험을 통해 확인하였다. 본 논문에서 제안한 PI 프리앰블을 이용할 경우 추가적인 overhead가 필요하지 않으며, 동기화 과정에서 PI 검출을 수행하기 때문에 별도의 FFT 수행없이 PI 검출이 가능하므로 PI 검출시 소모 전력을 최소화 할 수 있다. Mobile WiMAX 시스템에서 프리앰블을 이용하여 PI를 전송하더라도 대략적 프레임 검출, 셀 탐색, 정수배 CFO 검출 성능에 큰 열화가 없음을 모의 실험을 통해 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] S. Sarkar, B. K. Butler, and E. G. Tiedemann "Phone Standby Time in cdma2000: The Quick Paging Channel in Soft Handoff," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 50, No. 5, Sep. 2001.

[2] V. Vanghi and S. Sarkar, "Performance of WCDMA Downlink Access and Paging Indicators in Multipath Rayleigh Fading Channels," International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceedings (PIMRC), Sept. 2003.

[3] IEEE Std. 802.16.e, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16, Feb 2006.

[4] N. H. Lee and S. Bahk, "MAC sleep mode control considering downlink traffic pattern and mobility," IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), May 2005.

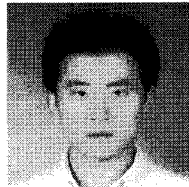
[5] V. O. Jha, R. Mayank, K. R. Kumar, P. Deepak, and D. Debabrata, "Adaptive Power Saving Algorithm for Mobile Subscriber Station in 802.16e," International Conference on Communication Systems Software and Middleware (COMSWARE), Jan. 2007.

[6] N. Ohkubo, Y. Kishiyama, K. Higuchi, and M. Sawahashi, "Efficient Synchronous Transmissions Using Soft-Combining for Paging Channel in OFDM-Based Evolved Downlink," IEEE Singapore International Conference on Communication Systems (ICCS), Oct. 2006.

[7] Recommendation ITR-R M.1225, "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000," 1997.

김 영 준 (Yeong Jun Kim)

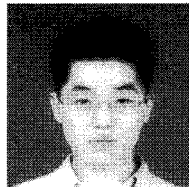
정회원



2005년 2월 중앙대학교 전자전기공학부 졸업(학사)  
 2007년 2월 중앙대학교 전자전기공학부 졸업(석사)  
 2007년 3월~현재 재 중앙대학교 전자전기공학부 박사과정  
 <관심분야> 디지털 신호처리, 무선모뎀, MMR 시스템

유 현 일 (Hyun Il Yoo)

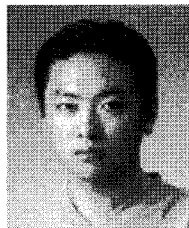
정회원



2005년 2월 중앙대학교 전자전기공학부 졸업(학사)  
 2007년 2월 중앙대학교 전자전기공학부 졸업(석사)  
 2007년 3월~현재 재 중앙대학교 전자전기공학부 박사과정  
 <관심분야> 디지털 신호처리, 무선모뎀, MMR 시스템

우 경 수 (Kyung Soo Woo)

정회원



2004년 2월 중앙대학교 전자전기공학부 졸업(학사)  
 2006년 2월 중앙대학교 전자전기공학부 졸업(석사)  
 2006년 3월~현재 재 중앙대학교 전자전기공학부 박사과정  
 <관심분야> 디지털통신, 무선모뎀, OFDM, MIMO

이 회 수 (Heesoo Lee)

정회원



1993년 2월 한국과학기술원(학사)  
1995년 2월 한국과학기술원(석사)  
2001년 2월 한국과학기술원(박사)  
2001년 3월~현재 한국전자통신  
연구원 선임연구원  
<관심분야> IMT-Advanced sys-  
tem, MIMO, 적응전송, 다중흡  
릴레이

조 용 수 (Yong Soo Cho)

종신회원



1984년 2월 중앙대학교 전자공학  
과 졸업(학사)  
1987년 2월 연세대학교 전자공학  
과 졸업(석사)  
1991년 2월 The University of  
Texas at Austin 공학박사  
1992년 3월~현재 중앙대학교 전  
자전기공학부 교수  
2003년 8월~현재 TTA 휴대인터넷 프로젝트 그룹  
(PG302) 무선접속 실무반 의장  
<관심분야> 디지털통신, OFDM 모뎀 설계, MIMO-  
OFDM 모뎀, MMR 시스템