

WCDMA 시스템에서 극성 변조를 이용한 빠른 셀 탐색 알고리즘

정희원 배성오*, 임재성**

Fast Cell Search Algorithm using Polarization Code Modulation (PCM) in WCDMA Systems

Sung-oh Bae*, Jae-sung Lim** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 3GPP 표준인 WCDMA 시스템에 호환성을 유지하면서 적용될 수 있는 새로운 셀 탐색 알고리즘을 제안한다. 기존 WCDMA 시스템에서는 2개의 동기 채널(P-SCH 및 S-SCH)을 이용하여 셀 탐색을 수행하는데 반해 제안하는 셀 탐색 알고리즘은 하나의 동기 채널만을 이용하여 슬롯 동기와 프레임 동기 그리고 코드 그룹 아이디를 획득할 수 있다. 이를 위하여 제안하는 알고리즘에서는 기존 WCDMA의 P-SCH에 극성 코드를 이용한 극성 변조를 수행함으로써 스크램블링 코드의 그룹핑 정보를 전송한다.

제안하는 셀 탐색 알고리즘은 기존 WCDMA 셀 탐색 알고리즘에 비해 하나의 동기 채널만을 이용하기 때문에 기지국에서 송신 신호의 이득을 얻을 수 있으며 동시에 수신기의 복잡도를 줄일 수 있는 특징을 갖는다. 제안하는 알고리즘은 특히 SNR 좋지 못한 채널 환경에서 기존 셀 탐색 알고리즘에 비하여 셀 탐색 시간면에서 우수한 성능을 보임을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a fast cell search algorithm keeping compatible with the standard cell search algorithm of the WCDMA system. The proposed algorithm can acquire the synchronization of slot and frame times, and the code group identification using only one synchronization channel while the standard algorithm employs two synchronization channels called P-SCH and S-SCH. The proposed synchronization channel structure is the same as the P-SCH structure of the WCDMA system. However, the P-SCH is modulated with a specific polarization code, which is one element of new code group codes.

The proposed algorithm can reduce both the BS' transmission power and the complexity of receiver as compared with the conventional one since only one synchronization channel is used. It is shown through the computer simulation that the proposed algorithm yields a significant improvement in terms of cell search time compared with the standard especially in low SNR environments.

I. 서 론

IMT-2000 기술 방식은 크게 기지국간 시간 동기를 맞추는데 있어 외부 타이밍 소스인 GPS(Global Positioning System) 위성의 신호를 이용하는 동기

식과 자체적으로 생성한 디지털 클럭을 이용하는 비동기식으로 나눌 수 있다¹⁾. 동기식은 기존 IS-95 CDMA 방식에서 3GPP2 표준인 cdma2000으로 진화하고 비동기 방식은 GSM을 기반으로 하는 3GPP 표준인 WCDMA 방식으로 발전하여 왔다²⁻¹⁰⁾.

* (주)팬택연구소

논문번호 : 020065-0206, 접수일자 : 2002년 2월 6일

* 본 연구는 BK21 사업 지원으로 수행되었습니다.

** 아주대학교 정보통신전문대학원 (jaslim@madang.ajou.ac.kr)

비동기 방식인 WCDMA 시스템에서는 기지국간 기준시간을 일치시킬 필요가 없기 때문에 기지국 제어기 및 기지국들이 자신의 시간을 결정하여 독립적으로 동작한다. 따라서 비동기 방식은 지하철, 지하도 등 장소에 구애 받지 않고 기지국의 설치가 용이하다는 장점을 가지고 있다^[11]. 그러나 단말기가 초기(Power On) 기지국과의 동기를 획득하거나 또는 핸드오버로 다른 기지국과의 동기 획득을 위해서는 복잡한 알고리즘을 사용해야만 한다. 실제 WCDMA 시스템에서는 서로 다른 512개의 스크램블링 코드를 사용하여 기지국을 구별하기 때문에 기지국의 동기를 획득하는데 걸리는 시간이 동기 방식에 비하여 길어지게 되고 따라서 비동기 방식에서는 빠른 동기 획득의 여부가 아주 중요한 문제가 된다. 만약 셀 탐색 시간이 길어진다면, 단말기의 핸드오버 시 통화가 끊어지는 현상을 막을 수 없을 것이고, 뿐만 아니라 유휴 상태인 단말기의 전력 소모량도 동기방식보다 상대적으로 많아질 것이다. 따라서 이러한 비동기 방식의 단점을 극복하기 위해서 최근에 빠르게 동기 획득을 가능하게 하는 효율적인 셀 탐색 알고리즘들이 제안되어 왔다^[11, 11-16].

3GPP에서 표준으로 채택한 셀 탐색 알고리즘은 512가지의 스크램블링 코드에 그룹핑 개념을 도입하여 3단계 셀 탐색을 수행한다. 3단계 셀 탐색 알고리즘에서는 두개의 동기 채널을 사용하기 때문에 하나의 동기채널을 사용하는 방식에 비해 SNR 관점에서 손실이 있다^[11, 12]. 또한 두개의 동기채널은 특별한 물리채널을 가지지 않고 CCPCCH (Common Control Physical Channel)와 타임 멀티플렉싱되어 전송되기 때문에 다른 순방향 링크와 직교성을 만족하지 못한다. 그리고 실제 단말에서 수신할 때 오랜 시간동안 각 신호를 누적하여야 하는 단점이 있다^[1]. 또한 표준 방식은 3단계 셀 탐색을 수행함으로써 채널 환경이 좋은 경우에도 기본적인 셀 탐색 시간이 길다는 단점을 갖는다. 이와 같은 표준의 단점을 해결하기 위해 [11]과 [12]에서는 도약코드를 이용하여 동기 코드의 전송 위치를 변조하여 셀 탐색을 수행하는 알고리즘을 제안하였는데 이 기법은 하나의 동기 채널만을 이용하여 미리 정의된 RS 코드에 따라 전송 코드의 위치를 바꾸어주는 방식이다. 하지만 위의 방식은 표준 시스템에 호환성을 유지하면서 적용되기 어렵기 때문에 현재 표준 시스템에 적용하기 위해서는 여러 가지 사항을 변경해야 하는 단점을 갖는다.

본 논문에서 제안하는 셀 탐색 알고리즘은

WCDMA 표준 시스템에 호환성 있게 적용 가능한 구조로 하나의 동기 채널만을 이용하여 셀 탐색을 수행한다. 이러한 변형이 가능한 것은 새롭게 제안하는 그룹핑 코드를 WCDMA P-SCH에 극성 변조하여 프레임에 대한 정보와 스크램블링 코드 그룹에 대한 정보를 전송할 수 있기 때문이다. 제안하는 셀 탐색 알고리즘을 이하 PCM (Polarization Code Modulation)이라 하겠다. PCM 알고리즘은 하나의 동기 채널만을 이용하기 때문에 기지국에서 송신 신호의 이득을 얻을 수 있으며 동시에 수신기의 복잡도를 줄일 수 있는 특징을 갖는다. 제안하는 알고리즘의 셀 탐색 시간이 특히 SNR 좋지 못한 채널 환경에서 기존 셀 탐색 알고리즘에 비하여 우수한 성능을 보임을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

본 논문의 구성은 II장에서 3GPP 표준인 3단계 셀 탐색 알고리즘과 제안하는 PCM 셀 탐색 알고리즘에 대하여 설명하고, III장에서는 시뮬레이션 환경과 PCM과 표준 셀 탐색 알고리즘 (WCDMA)의 성능비교 결과를 설명한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. PCM를 이용한 셀 탐색 알고리즘

비동기 WCDMA에서는 시스템의 절대 시간이 존재하지 않기 때문에 동기식처럼 1개의 PN 코드만을 이용하여 기지국을 식별할 수 없으며 따라서 서로 다른 512개의 PN 시퀀스를 이용해 각 기지국을 구분한다. 만약 WCDMA 단말기가 기존의 IS-95 CDMA 단말기처럼 몇 개의 능동상관기만을 이용해 셀 탐색을 하게 될 경우에는 동기식에 비해 Uncertainty Region이 거의 512배가 되기 때문에 초기 셀 탐색 시간이 몇 분 이상 소요될 수도 있다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 WCDMA에서는 그룹핑 개념을 도입하고 순방향링크에 2개의 동기 채널을 둔다^[7]. 즉, 순방향링크에서 512개의 스크램블링 코드를 64개의 그룹으로 나눈 뒤 각 기지국은 긴 코드 그룹 정보를 S-SCH(Secondary Synchronization Channel)을 통해 단말기에 전송한다. 또한 P-SCH(Primary Synchronization Channel)은 현 기지국의 슬롯 경계에 대한 정보를 전송한다. WCDMA 동기 채널의 구조는 그림 1과 같다. 그림에서 동기 채널은 변조되지 않은 256칩 길이를 갖는 GHG(Generalized Hierarchical Golay)코드로 구성되며, 매 슬롯(0.667ms)마다 슬롯의 시작점에서 전체 슬롯길이의 10%동안 전송된다.

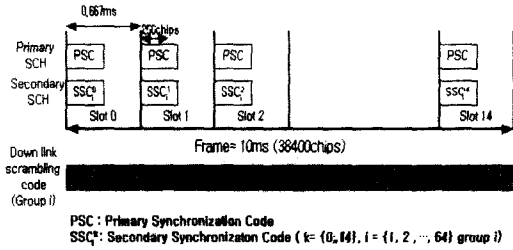


그림 1. 기존 WCDMA 동기채널 구조

그림에서 보면, PSC(Primary Synchronization Code)는 P-SCH로 프레임 당 15번 반복 전송되며 시스템의 모든 기지국은 동일한 공통 PSC를 사용한다. 따라서 셀 탐색 1단계에서 이동국은 PSC에 대한 정합필터를 이용하여 신속하게 슬롯 시작점을 찾아낼 수 있다. 한편 S-SCH의 SSC(Secondary Synchronization Code)도 256칩 길이를 가지는데 SSC는 매 슬롯마다 RS(Reed-Solomon) 코드에 따라 다른 코드가 전송된다. SSC는 일종의 도약(Hopping) 시퀀스를 사용하며 단말기는 셀 탐색 2단계에서 이를 이용하여 현 기지국이 사용하고 있는 코드가 속한 코드 그룹 정보 및 프레임 타이밍 정보를 획득한다. SSC은 RS(15,3)이고 GF(16)인 코드가 이용되며 15개의 코드 시퀀스 각각은 PSC의 전송 위치에 정렬된다. 그리고 각각의 SSC는 16개의 원소로 이루어진 Hardamard코드를 이용한 2진 직교 코드 집합으로부터 선택된다. 그리고 실제 기지국에서 사용하고 있는 스크램블링 코드는 CPICH(Common Pilot Channel)를 통하여 전송된다.

WCDMA 셀 탐색 알고리즘을 보면 1단계에서 P-SCH을 이용하여 슬롯 동기를 획득하고, 2단계에서는 S-SCH을 이용하여 64가지 코드 그룹 중에 하나의 코드 그룹정보와 프레임의 타이밍 정보를 획득한다. 그리고 3단계에서 CPICH에 전송되는 각 기지국에 대한 스크램블링 코드를 획득한다. 이렇게 동기를 획득한 후에 단말기는 BCH(Broadcast Channel)를 수신함으로써 실제 기지국 정보를 획득하게 된다. 이처럼 WCDMA의 셀 탐색 알고리즘은 두개의 동기채널을 사용하기 때문에 기지국의 송신 전력 낭비를 초래하고, 또한 수신기에서 3 종류의 채널을 수신해야 하므로 수신기의 복잡도가 증가한다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 표준 방식의 셀 탐색 알고리즘의 단점을 개선하기 위해 P-SCH에 극성 변조를 이용한 셀 탐색 알고리즘을 제안한다. PCM 셀 탐색 알고리즘의 가

장 큰 특징은 기존의 WCDMA에서 두개의 동기 채널을 사용하던 것을 하나의 동기 채널로 대신한다는 것과 기존 S-SCH을 사용하여 전송되던 프레임의 타이밍 정보와 코드 그룹 정보를 새롭게 정의한 극성 변조 코드를 이용하여 전송한다는 것이다.

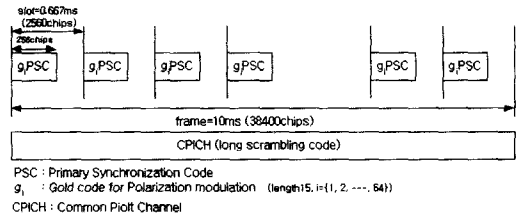


그림 2. PCM의 동기채널 구조

PCM 셀 탐색 알고리즘을 위해 정의한 새로운 동기 채널 구조는 그림 2와 같다. 그림을 보면, 기존의 WCDMA와 마찬가지로 PSC는 매 슬롯의 시작점에서 슬롯 길이의 10%동안 전송된다. 즉 2560 칩 중에 256칩 길이만큼 전송된다. 이때 공통 PSC는 극성 코드에 의해서 극성 변조되어 전송된다. 그림 2에서 g_i는 코드 그룹 정보를 전달하기 위해 정의한 골드 코드의 일종으로 6단 시프트 레지스터(Linear Feedback Shift Register) 2개로 구성된다. 그림 3은 길이가 15이고 그 종류는 64가지인 극성 변조 코드 생성기를 나타내고 있다. 이는 512가지의 스크램블링 코드를 64가지로 그룹핑하기 위해서 사용된다. 또한 PCM에서 CPICH는 그림 2와 같이 실제 스크램블링 코드를 전송하게 되고 이것은 기존 WCDMA 시스템의 구조와 같다.

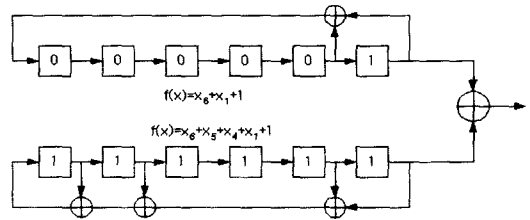


그림 3. 극성 코드 생성기

PCM 셀 탐색 알고리즘은 먼저 극성 변조된 P-SCH을 통해서 슬롯에 대한 정보와 스크램블링 코드 그룹 정보 그리고 프레임에 대한 정보를 동시에 전송한다. 1단계에서 단말기는 PSC를 수신함으로써 슬롯 동기를 획득하는 기능을 한다. 이때 단말기는 P-SCH를 수신을 위해 정합필터를 사용하는데

이 정합필터의 출력은 메모리에 저장되어 2단계 셀 탐색을 수행할 때 사용된다. 2단계는 선결 모드(Pre-determined mode)와 확인 모드(Verification mode)로 구성되는데 먼저 선결 모드에서 1단계를 수행한 결과 얻은 슬롯의 시작점에서의 정합필터 출력 값과 그룹 코드들 사이에 벡터 곱셈을 통해 프레임의 시작점과 스크램블링 코드 그룹을 결정하게 된다. 셀 탐색 결과의 신뢰도를 높이기 위하여 확인 모드에서는 선결 모드에서 선택된 몇 개의 후보들만을 대상으로 최적의 코드 그룹을 선택하게 된다. 그 후 3단계에서는 각 스크램블링 코드 그룹 별로 8개의 스크램블링 코드가 선택되고, 선택된 8개의 코드들은 CPICH을 수신하여 각 기지국에 대한 실제 스크램블링 코드를 획득하게 된다. 지금까지 설명한 3단계 PCM 셀 탐색 절차를 플로우 차트로 나타내면 그림 4와 같다.

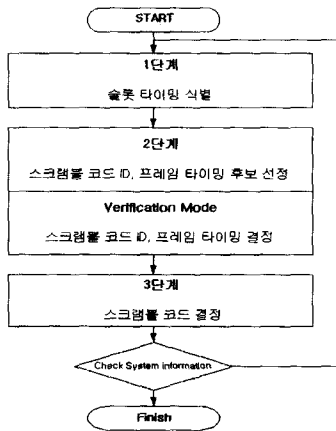


그림 4. PCM 기법의 셀 탐색 플로우 차트

PCM 셀 탐색 알고리즘은 기존 WCDMA와 동일하게 3단계의 셀 탐색 절차를 수행하나 단말기에서 실제 신호를 수신해야 하는 단계는 1단계와 3단계뿐이다. 한편 기존 표준방식과 호환성을 유지하기 위해서 PCM 알고리즘에서 S-SCH를 표준방식과 동일하게 이용할 수 있다. 이러한 경우에 기존 표준 단말은 PCM 변조된 P-SCH와 S-SCH를 이용하여 표준방식으로 셀 탐색이 가능하고 PCM 셀 탐색 기능을 갖는 단말은 P-SCH만을 이용하여 코드정보를 획득할 수 있다.

1. 1단계 : 슬롯 동기 획득

단말기는 기지국의 슬롯 동기를 획득하기 위해 그림 2에서 설명한 극성 변조된 P-SCH를 수신하여

야 한다. 단말기에서는 슬롯 시작점을 식별하기 위해 PSC 정합필터를 사용하고 정합 필터의 출력은 신호의 에너지를 구하여 슬롯 단위로 논코히어런트하게 누적한다. 만약 칩 당 1 샘플인 경우, 2560개 후보 출력 중 최대값을 선택하여 슬롯의 시작점으로 간주한다. 위의 과정은 기존 WCDMA의 셀 탐색 1단계 절차와 같다. 제안하는 PCM 알고리즘은 기존 WCDMA의 1단계 셀 탐색 절차에 추가적으로 각 샘플 타임마다 정합필터의 출력을 메모리에 저장한다. 이렇게 1단계를 수행한 결과로 얻어진 슬롯 타이밍과 메모리에 저장된 정합필터의 출력들은 2단계의 파라미터로 사용된다. 이와 같은 과정은 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 정합 필터의 출력들은 각 PSC에 적용된 극성 정보를 가진다. 따라서 극성 정보는 2단계에서 코드 그룹과 프레임 시작점을 결정할 때 파라미터로 이용된다. 위의 과정을 식으로 표현하면 식(1)과 같다^[14]. 식(1)을 보면, 정합 필터의 출력을 슬롯 단위로 누적 시켜서 결정변수가 특정 임계치 τ 이상일 경우 슬롯의 시작점으로 간주하게 된다.

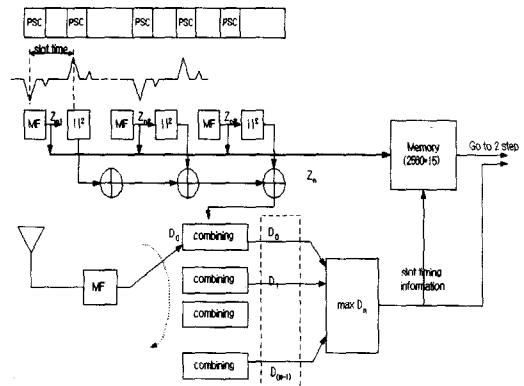


그림 5. PCM 기법의 1 단계 절차

$$\sum_{k=0}^{T_1-1} \left| \sum_{j=0}^{255} y_{j+Tk+u} * C_j \right|^2 > \tau_1 \quad (1)$$

식(1)에서 y_j 는 샘플링된 복소 신호이다. 그리고 T_1 은 1단계에서 논코히어런트하게 누적되는 슬롯의 수를 나타내며 파이프라인 처리를 하게 되면 15개를 가정할 수 있다. T 는 한 슬롯의 길이인 2560 칩이다. u 는 슬롯의 시작점이 존재할 수 있는 위치를 나타내며 실제 슬롯 단위의 누적된 변수를 이용하여 슬롯의 시작점을 찾으므로 0과 2559 사이의 값을 갖는다.

2. 2단계 : 프레임 동기 및 코드 그룹 결정

2단계에서는 WCDMA 표준 방식과 다르게 기지국의 신호를 수신할 필요 없이 1단계에서 획득한 슬롯의 타이밍 정보와 정합필터의 출력을 이용하여 프레임의 동기와 코드 그룹 아이디를 획득한다. 먼저 선결 모드에서는 미리 정의된 극성 코드 즉 64가지의 스크램블링 그룹 코드와 슬롯 시작점에서의 메모리에 저장된 정합필터 출력들 사이에 벡터 곱셈을 실시한다. 그 결과로 극성 코드의 환형 천이 (Cyclic Shift) 특성을 고려하여 총 960개의 출력을 얻을 수 있다. 그 중 최대가 되는 코드를 선택하여 실제 그룹 아이디로 결정한다. 또한 선택된 코드의 환형 천이를 이용하여 프레임의 시작점을 찾는다.

셀 탐색 성능을 향상시키기 위해 확인 모드에서는 선결 모드에서 결정된 결정변수 중 최대값으로부터 순차적으로 여러 개의 후보를 선택한다. 이렇게 선택된 후보들에 대해 확인 절차를 수행하게 된다. PCM 알고리즘에서 새롭게 제안하는 극성 코드는 골드 코드의 일종이므로 환형 천이된 코드들 사이에 자기상관특성이 좋은 특징을 갖는다. 따라서 각 후보들의 프레임 시작점에서 모든 환형 천이를 고려한 코드들과 환형 천이된 1단계에서 메모리에 저장한 정합필터의 출력 사이에 벡터 곱셈을 취한다. 그 후 한 후보에 대한 출력을 모두 합하여 결정 변수로 저장한다. 이렇게 각 후보들마다 결정 변수를 계산한 후 모든 결정 변수들을 비교하여 그 중 최대 값을 갖는 후보를 스크램블링 코드 그룹 아이디로 선택하고 그때의 타이밍 정보를 이용하여 프레임의 시작점을 결정한다. 그 과정은 그림 6과 같이 도식화할 수 있다.

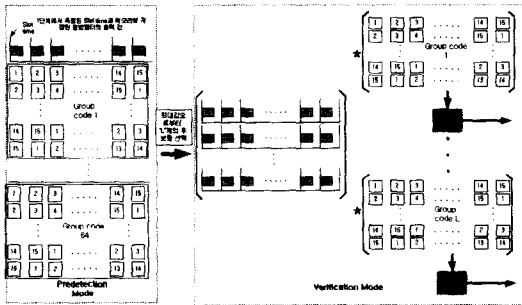


그림 6. PCM 기법의 2단계 셀 탐색 절차

위에서 설명한 PCM 셀 탐색 알고리즘의 2단계 절차를 수식으로 표현하면 아래와 같다. 먼저 환형

천이 연산을 위하여 식(2), (3) 및 (4)을 정의한다. 수식에서 PC(Polarization Code)는 극성 코드로 G(64)가지이다. 또한 CPC(Cyclic Shift Polarization Code)는 극성 코드에 대한 환형 천이 연산을 수행한 결과로 전체 960 X 15 행렬을 의미한다.

$$PC^g = [C_1^g \ C_2^g \ \dots \ C_{15}^g], \quad 1 \leq g \leq G, \quad \{C^g\} = \{1, \dots, 1\} \quad (2)$$

$$[PC^g]^{Cyclic} = \begin{bmatrix} C_1^g & C_2^g & \dots & C_{15}^g \\ C_{15}^g & C_1^g & \dots & C_{14}^g \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_2^g & C_3^g & \dots & C_1^g \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$CPC = \begin{bmatrix} CPC^1 \\ CPC^2 \\ \dots \\ CPC^{960} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} CPC_1^1 & CPC_2^1 & \dots & CPC_{15}^1 \\ CPC_1^2 & CPC_2^2 & \dots & CPC_{15}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ CPC_1^{960} & CPC_2^{960} & \dots & CPC_{15}^{960} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [PC^1]^{Cyclic} \\ [PC^2]^{Cyclic} \\ \dots \\ [PC^{64}]^{Cyclic} \end{bmatrix} \quad (4)$$

위에서 설명한 것과 같이 2단계는 크게 선결 모드와 확인 모드로 나눌 수 있다. 먼저 선결 모드에서 결정 변수들은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$\Lambda(D^c) = \sum_{k=1}^{T_2} D_k^c, \quad 1 \leq c \leq C = 960 \quad (5)$$

식(5)에서 결정변수 D_k^c 는 아래 식(6)과 같이 정합필터의 출력과 극성 코드 사이에 곱셈으로 표현할 수 있다.

$$D_k^c = Y_{T(k)+u}^* \cdot CPC_k^c, \quad 1 \leq k \leq 15 \quad (6)$$

식(6)에서 Y_u^* 는 슬롯에 시작점이 u 이고, 그 위치에서 메모리에 저장된 정합필터의 출력을 의미한다. T_2 는 2단계에서 누적되는 슬롯 수를 의미하며 파이프라인 처리를 위해 본 논문에서는 15개를 가정하였다. C 는 환형 천이를 고려한 PC의 개수이다. 따라서 $C = n \cdot G$ 이며 $n = PC$ 의 길이로 15이다. 한편 확인 모드는 다음의 식으로 표현된다.

$$Z^l = \text{Tr}([Y_u^*]^{Cyclic} \cdot [CPC^m]^{Cyclic}), \quad 1 \leq l \leq L \quad (7)$$

$$Y_u^* = [Y_{u^*}, Y_{T+u^*}, Y_{2T+u^*}, \dots, Y_{14T+u^*}] \quad (8)$$

$$CPC^m = [CPC_1^m, CPC_2^m, \dots, CPC_{15}^m] \quad (9)$$

위 식에서 L 은 선결 모드에서 선택되는 후보의 개수를 의미한다. 따라서 $L = n(m)$ 이며 $m \in \{1,$

2, . . . , C)이다. 또한 식(7)에서 T_r 은 Trace 연산으로 행렬의 대각선 원소들의 합을 의미한다.

3. 3단계 : 스크램블링 코드 결정

3단계에서는 2단계에서 식별한 그룹 코드에 할당된 8개의 스크램블링 코드들을 2단계에서 결정한 프레임 시작점에서 CPICH를 통해 전송되는 심볼 단위로 수신신호와 상관 연산을 통해 실제 스크램블링 코드를 식별한다. 한편 CPICH는 한 슬롯동안 10개의 심볼이 전송되는 구조를 갖는다^[7]. 그리고 셀 탐색 시간을 단축하기 위해 각 스크램블링 코드를 병렬적으로 처리하는 것을 가정한다. 따라서 이와 같은 과정을 수식으로 표현하면 식(10)과 같다. 이는 [14]에서 3단계에 대한 정의를 현재 표준에 맞게 새롭게 정의한 것으로 N 은 전체 스크램블링 코드 수인 512를 나타내고, G 는 극성 코드를 이용한 그룹 코드의 개수인 64를 의미한다. 따라서 식(10)에서 그룹당 코드수는 $W = N / G$ 이므로 8이 된다. 또한 슬롯 당 10개의 심볼이 전송되므로 전체 누적되는 심볼의 수는 $d = 10 * T_3$ 로 구할 수 있다. 이와 같은 과정은 기존 WCDMA의 3단계의 절차와 같다.

$$Y(G, w) = \sum_{f=0}^{T_3} \left| \sum_{j=0}^{W-1} y_{j+Sf+j} * C_{j+Sf}^{G,w} \right|^2 \quad (10)$$

식(10)에서 T_3 는 3단계에서 누적되는 슬롯 수를 의미하고, f 는 2단계에서 선택된 프레임에 시작점으로 그 값은 0 에서 38399칩 사이의 값이 가능하다. S 는 심볼 길이를 의미하며 256 칩 이다.

표 2. 다중 경로 페이딩 채널 환경

Case 1 (Indoor, 3km/h)		Case 2 (In/Outdoor, 3km/h)		Case 3 (Outdoor, 120km/h)	
Relative delay	Reative average power	Relative delay	Reative average power	Relative delay	Reative average power
0ns	0dB	0ns	0dB	0ns	0dB
976ns	-10dB	976ns	0dB	260ns	-3dB
		20000ns	0dB	521ns	-6dB
				781ns	-9dB

Ⅲ. 시뮬레이션 결과

제안하는 PCM 알고리즘의 성능 분석을 위해 WCDMA 표준 방식과 비교하였고, 컴퓨터 시뮬레

이션을 통해 결과를 도출하였다. 시뮬레이션에서 사용한 시스템 모델은 그림 7과 같다. WCDMA의 경우 두 개의 동기채널(P-SCH, S-SCH)을 사용하고 PCM의 경우 하나의 동기채널(P-SCH)만을 이용하였다. 호환성을 고려한 환경에서는 모두 PCM과 WCDMA는 두 개의 동기채널을 모두 사용한다.

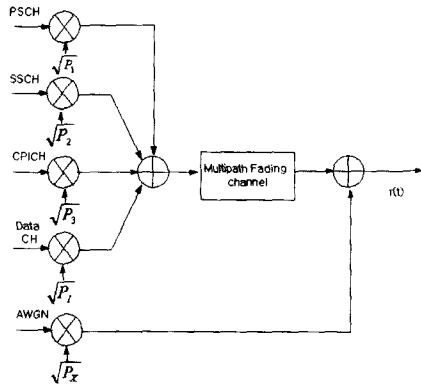


그림 7. 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 모델에서 기지국 송신 신호는 SCH와 CPICH 그리고 데이터 채널을 갖는다. 데이터 채널 수는 확산 계수가 64인 16개의 채널을 고려하였다. 기지국의 최대 전력에 대한 SCH의 전력비는 10%를 할당하였고 또한 SCH의 전력에서 P-SCH의 전력은 50%로 할당하였다. 그리고 CPICH의 전력은 전체 기지국 전력의 10%로 가정하였다. 기지국의 나머지 전력은 16개의 데이터 채널에 균일하게 나눠 사용된다. 이렇게 생성된 채널들은 모두 합산되어 전송되며 다중경로 페이딩 채널을 겪게 된다. 인접 셀들의 간섭은 수신단에서 AWGN으로 모델링되었다. 기본적인 파라미터들은 WCDMA 표준^[7]에 따라 표 1과 같이 가정하였다. 특별히 PCM에서 데이터 채널은 기존 WCDMA와 호환성을 고려한 경우는 16개의 데이터 채널을 가지며, 그렇지 않은 경우는 표준에서 S-SCH에 할당되었던 전력을 추가로 데이터 채널에 할당할 수 있다.

한편 시뮬레이션에서 이용한 다중경로 페이딩 채널은 표 2와 같이 실내 환경, 실내와 실외가 공존하는 환경 그리고 실외 환경을 이용하였다^[2]. 단말의 속도는 각각의 환경에 따라 3Km/H와 120Km/H을 고려하였다.

시뮬레이션 모델에서 SNR은 그림 7를 참조하여 식(11)로 정의할 수 있다. 식에서 SNR은 단말기의 위치를 의미한다. 만약 SNR이 좋다면 이때의 단말

표 3. 시물레이션 파라미터

파라미터	WCDMA	PCM
칩 레이트	3.84Mcps	3.84Mcps
스크램블링 코드 수	512	512
프레임 당 슬롯 수	15	15
그룹 코드 수	64	64
동기 채널 수	2	1
전체 기지국 전력에 대한 동기채널 전력비	-10dB	-13dB
데이터 채널 수	16	17 or 16

기는 셀 중심에 위치한 것을 의미하고, 만약 SNR이 좋지 않은 환경이면 단말기가 셀 가장자리에 위치한 것을 의미한다.

$$SNR = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_I}{P_r} \quad (11)$$

시물레이션 결과로는 WCDMA의 표준 셀 탐색 알고리즘과 제안하는 PCM 셀 탐색 알고리즘의 평균 셀 탐색 시간을 비교하였다. 셀 탐색 절차는 그림 8과같이 파이프라인 처리를 하였다 따라서 셀 탐색 시간은 WCDMA 경우에는 식(12)과 같이 정의되며, PCM 셀 탐색 알고리즘은 2단계를 생략하였으므로 식(12)에서 (K_3+1) 로 정의할 수 있다. 이때 K_3 는 셀 탐색 완료까지 3단계를 수행한 횟수를 의미한다. 따라서 표준방식은, 최소 3프레임을 수신하여야 하지만 PCM은 2프레임만을 수신해도 가능하며 각각 최소 30msec과 20msec 이상의 셀 탐색 시간이 소요된다.

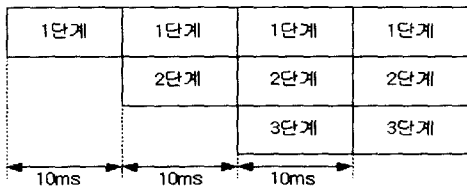


그림 8. 파이프라인 처리 절차

$$T_{acq} = (K_3 + 2)N_{slot/frame}T_{slot} \quad (12)$$

그림 9, 10 그리고 11은 WCDMA 표준 단말과의 호환성을 고려했을 때 평균 셀 탐색 시간의 비교 결과이고, 그림 12, 13 그리고 14는 호환성을 고려하지 않은 경우의 비교 결과이다. 그림 9에서 한 셀 내에 WCDMA 단말기와 PCM 단말기가 동

시에 존재하는 경우 기지국은 극성 변조된 P-SCH와 S-SCH, CPICH 및 여러 개의 데이터채널을 전송하게 된다. 시물레이션 결과, PCM 알고리즘은 셀 탐색 시간 측면에서 L 이 5인 경우에는 기존 WCDMA 시스템과 비슷한 성능을 보이지만 L 이 10으로 증가함에 따라 특히 SNR이 좋지 못한 환경에서 크게 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다. 물론 PCM 셀 탐색 알고리즘은 셀 탐색 주기를 줄임으로써 신호가 좋은 환경에서도 10ms 정도 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다.

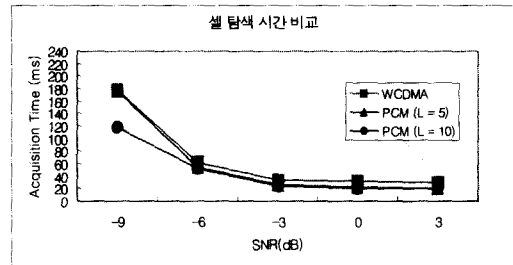


그림 9. 호환성을 고려한 실내 환경에서의 평균 셀 탐색 시간

그림 10과 11은 각각 그림 9의 경우와 같이 기존 WCDMA 시스템과 호환성을 고려한 경우로 실내/실외 환경과 실외 환경의 채널을 이용하여 얻은 결과이다. 두 경우 모두에서 역시 PCM 기법이 L 이 증가함에 따라 더 빠른 셀 탐색을 할 수 있음을 알 수 있다.

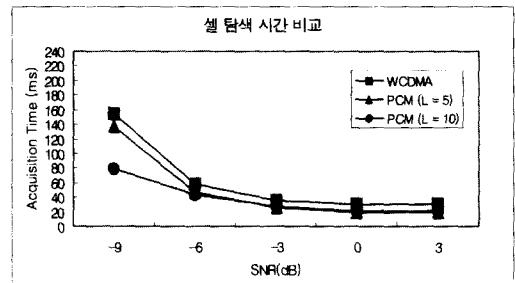


그림 10. 호환성을 고려한 실외/실외 환경에서의 평균 셀 탐색 시간

그림 12, 13 그리고 14는 호환성을 고려하지 않은 상황에서 얻은 결과이며 이 경우에 PCM 셀 탐색 알고리즘은 호환성을 고려했을 때 전송하던 S-SCH을 전송하지 않기 때문에 S-SCH에 할당되던 전력을 다른 데이터 채널에 할당하였다. 따라서 데

이더 채널 용량에서 기존 WCDMA 시스템보다 우수한 성능을 보인다.

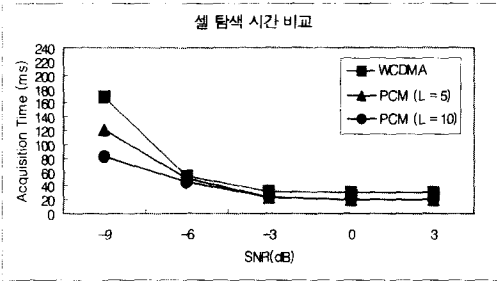


그림 11. 호환성을 고려한 실외 환경에서의 평균 셀 탐색 시간

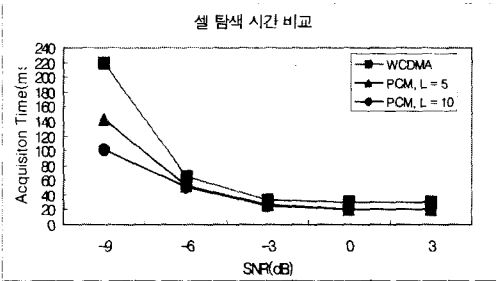


그림 12. 호환성을 고려하지 않은 실내 환경에서의 평균 셀 탐색 시간

그림 12는 호환성을 고려하지 않고 실내환경에서의 셀 탐색 시간을 도출한 것으로 제안하는 셀 탐색 알고리즘은 기존 WCDMA에 비해 성능이 크게 향상되는 것을 알 수 있다. 또한 그림 9과 비교해 보면, 호환성을 고려한 경우 극성 변조된 P-SCH를 적용함으로써 WCDMA 표준 셀 탐색 알고리즘에 비해 성능이 향상됨을 볼 수 있다.

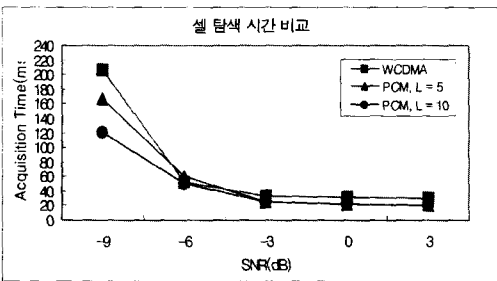


그림 13. 호환성을 고려하지 않은 실내/실외 환경에서의 평균 셀 탐색 시간

그림 13은 호환성을 고려하지 않고 실내/실외 환경에서 셀 탐색 시간을 구한 것으로 전체적인 신호

환경에 대해 제안하는 셀 탐색 알고리즘은 기존 WCDMA에 비해 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 그러나 -6dB에서는 제안하는 셀 탐색 알고리즘이 L이 5인 경우는 기존 WCDMA의 셀 탐색 알고리즘에 비해 성능이 좋지 못하다. 그러나 L을 10으로 증가 시킴으로써 성능을 유지 할 수 있음을 알 수 있다.

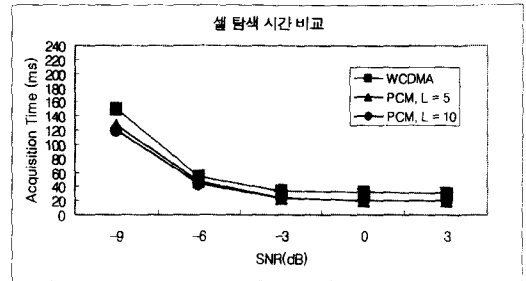


그림 14. 호환성을 고려하지 않은 실외 환경에서의 평균 셀 탐색 시간

그림 14는 호환성을 고려하지 않고 실외 환경에서 셀 탐색 시간을 구한 것으로 전체적인 신호 환경에 대해 제안하는 셀 탐색 알고리즘은 기존 WCDMA에 비해 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 그러나 다른 경우에서 제안하는 셀 탐색 알고리즘과 기존 WCDMA의 성능 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 실외환경에서 다중경로 페이딩 채널환경의 영향이 크기 때문이다.

위의 시뮬레이션에서 WCDMA의 셀 경계 지역의 신호 환경은 전체 기지국 전력 대 전체 잡음 비 (SNR)가 -9dB에서 -6dB 사이이다. 또한 L은 제안하는 알고리즘에서 2단계에서 선택되는 그룹 코드의 후보 개수를 의미한다. 모든 결과에서 L이 5에서 10으로 증가함에 따라 셀 탐색 시간이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 특히 WCDMA 알고리즘에 비해 제안하는 PCM 알고리즘은 신호 환경이 좋지 않은 상황에서 더욱 좋은 성능을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이것은 단말기가 핸드오버 영역에 존재할 경우 더욱 좋은 성능을 보이고 있음을 의미한다. 따라서 제안하는 알고리즘은 핸드오버시 호가 끊기는 확률을 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 또한 제안하는 알고리즘은 [11, 12]의 알고리즘처럼 표준과의 호환성에 관한 문제점을 야기하지 않고 WCDMA 표준에 적용할 수 있음을 보여주고 있다.

마지막으로 PCM 셀 탐색 알고리즘은 하나의 동기 채널만을 사용하므로 WCDMA 표준의 S-SCH에 할당되었던 전력을 추가적으로 P-SCH에 할당함

으로써 셀 탐색 시간 측면에서 이득을 얻을 수 있다. 그림 15는 P-SCH에 할당되는 전력을 전체 기지국 전력의 5%에서 7%까지로 증가시키면서 얻은 결과이다.

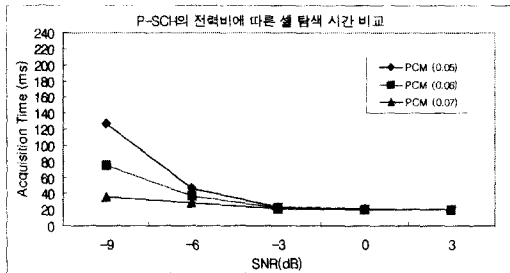


그림 15. P-SCH 할당 전력비의 증가에 따른 평균 셀 탐색 시간

IV. 결과

본 논문에서는 WCDMA 시스템에서 표준으로 채택하고 있는 3단계 셀 탐색 알고리즘의 성능을 개선하여 셀 탐색 시간과 수신기 복잡도를 줄일 수 있는 새로운 셀 탐색 알고리즘을 제안하였다. 제안한 셀 탐색 알고리즘은 S-SCH은 이용하지 않고 P-SCH에 새로운 극성 변조 코드를 정의하여 프레임의 타이밍 정보와 스크램블링 코드 그룹정보를 전송한다. 컴퓨터 시뮬레이션 통해서 제안하는 셀 탐색 알고리즘이 신호 환경이 좋지 않은 환경에서 2단계의 선결 모드에서 선택하는 후보의 수가 증가함에 따라서 셀 탐색 시간이 단축되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 기존 WCDMA 표준 셀 탐색 알고리즘에 비해 2단계에서 16개의 상관기를 제거함으로써 단말기 수신기의 복잡도를 줄일 수 있는 것을 볼 수 있었다. 이것은 2단계에서 기존 표준 알고리즘에 비하여 연산량 측면에서 70%이상 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 특히 제안하는 셀 탐색 알고리즘은 기존 셀 탐색 절차 중 2단계 절차를 메모리의 저장된 정합필터의 출력을 이용함으로써 실제 신호를 수신하는 단계를 1와 3단계로 한정한다. 따라서 셀 탐색 주기를 줄임으로써 신호가 좋은 환경에서도 셀 탐색 시간을 줄이는 장점을 갖는다.

참고 문헌

[1] Yi-Pin Eric Wang, "Cell search in W-CDMA", *IEEE J SAC*. Vol.18, No.8 Aug. 2000

[2] R. Prasad and T. Ojanpera, "An Overview of CDMA Evolution toward Wideband CDMA", *IEEE Comm. Surveys*, Vol. 1 No. 1, Fourth Quarter 1998

[3] M. Sawahashi, K. Higuchi and S. Tanaka, "Enhance Wireless Access Technologies and Experiments for W-CDMA Communications", *IEEE Personal Communications*, Dec. 2000

[4] 3GPP TS25.201, Ver3.1.0, Physical layer-General Description, Release 1999

[5] 3GPP TS25.211, Ver3.3.0, Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)

[6] 3GPP TS25.212, Ver3.5.0, Multiplexing and channel coding (FDD), Release 1999

[7] 3GPP TS25.213, Ver3.2.0, Spreading and modulation, Release 1999

[8] 3GPP TS25.214, Ver3.2.0, Physical layer procedures (FDD), Release 2000

[9] 3GPP TS25.215, Ver3.5.0, Physical layer-Measurements (FDD), Release 1999

[10] Alex W. Lam and S. Tantaratana, *Theory and Applications of Spread-Spectrum Systems*, IEEE/EAB, May. 1994

[11] I. G. Kim, Y. G. Kim, B. W. Lim and S. G. Lee, "Cell search algorithm using Code Position Modulation" *Proc. JCCI*, Apr. 1999

[12] I. G. Kim, "Performance and Complexity Comparison of Enhanced CPM and Current 3Gpp cell search scheme", *3Gpp TSG-RAN Working Group meeting #5 (TSGR#5(99)659)*, June1999

[13] I. G. Kim, J. Y. Koo and S. H. Won, "Neighbor cell search scheme using Partial Interference Cancellation of Primary Synchronization code", *The 5th CDMA Int. Con. & Exh.*, Nov. 2000

[14] S. Sriram and S. Hosour, "Cyclically permutable codes for rapid acquisition in DS-CDMA systems with asynchronous base station", *IEEE Journal on Selected area in Comm.* Vol.19, No.1 Feb. 2001

[15] K. Higuchi and M. Sawahashi, "Fast cell search algorithm in inter-cell asynchronous DS-CDMA mobile radio", *IEICE trans. Commun.*

