

WCDMA 시스템에서 빠른 셀 탐색을 위한 극성 변조 셀 탐색 알고리즘의 성능 분석

정희원 배성오*, 임재성**

Performance Analysis of PCM Cell Search Algorithm for Fast Cell Search in WCDMA Systems

Sung-Oh Bae*, Jae-Sung Lim** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 비동기 WCDMA 시스템의 빠른 셀 탐색을 위해 제안된 극성변조(PCM: Polarization Code Modulation) 셀 탐색 기법의 성능을 분석하고자 한다. 극성변조 셀 탐색 기법은 비동기 WCDMA 시스템의 표준 셀 탐색 알고리즘의 셀 탐색 시간을 단축하고 또한 수신기의 복잡도를 줄일 수 있는 기법으로, 골드 코드를 이용하여 생성된 새로운 그룹 코드를 정의하고 이를 WCDMA P-SCH에 극성 변조하여, 기존 WCDMA의 2단계에서 사용되던 S-SCH의 그룹 코드(RS code)를 대체한다. 따라서 WCDMA 표준에 정의된 2개의 동기 채널을 하나로 줄일 수 있기 때문에 기존 WCDMA 셀 탐색 알고리즘에 비해 기저국 신호의 이득을 얻을 수 있는 기법이다. 본 논문에서는 극성변조 셀 탐색 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 수학적 모델을 정의하고, 이를 통해 셀 탐색 성공 확률과 평균 탐색 시간을 이론적으로 분석하였다. 그 결과 극성변조 셀 탐색 알고리즘은 WCDMA 표준 셀 탐색 알고리즘의 성능에 비해 수신기 복잡도 측면과 셀 탐색 시간 측면에서 장점을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

키워드 : WCDMA, 빠른 셀탐색, 극성변조

ABSTRACT

In this paper, we analyze the performance of the PCM cell search algorithm proposed for fast cell search of WCDMA systems. In order to improve both performance and complexity of the cell search algorithm standardized for WCDMA systems the PCM scheme uses a group of the polarization codes produced by a Gold code generator. The PCM scheme only uses one synchronization channel since the polarization codes modulated on P-SCH can replace the RS codes of S-SCH. Thus, the PCM reduces the BS's transmission power since only one synchronization channel can be used, and it can also reduce the complexity of receiver as compared with the conventional one. In this paper, by defining a numerical model, we analyze the performance of the PCM cell search algorithm in terms of detection probability and mean acquisition time. Consequently, we could demonstrate that the PCM cell search algorithm is superior to the standard WCDMA cell search algorithm.

Keyword : WCDMA, Fast cell search, Polarization code modulation

* Pantech 연구소 (sobae@pantech.co.kr), **아주대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학과 (jaslim@ajou.ac.kr)
논문번호: #030049-0203, 접수일자: 2003년 2월 3일

I. 서론

3세대 이동 통신 시스템의 하나인 WCDMA은 비 동기 방식으로 3GPP (3 Generation Partnership Project)에서 표준화를 주도하고 있다. 3GPP2 표준인 cdma2000 방식과 비교 시 WCDMA 방식의 가장 차별화되는 특징은 기지국간의 동기를 강제적으로 일치시키지 않기 때문에 GPS (Global Position System)와 같은 특정 외부 타이밍 정보를 필요로 하지 않는다는 것이다. 따라서 각 기지국들은 자체 타이밍 정보를 생성하여 독립적으로 동작하게 된다. 이와 같은 특징을 갖는 비동기 방식은 외부 타이밍 정보가 필요하지 않기 때문에 셀 설계 시에 유연성을 갖는 장점이 있다. 그러나 하나의 PN 코드의 윗셋 위치에 따라 기지국을 구분하는 동기식에 비해 서로 다른 512개의 스크램블링 코드를 사용하여 기지국을 구분해야 하기 때문에 셀 탐색 알고리즘의 복잡도와 셀 탐색 시간이 증가되는 단점을 갖는다. 이런 문제점들을 해결하기 위해 현재 3GPP에서는 3단계 셀 탐색 알고리즘을 표준으로 채택하고 있다 [1-6].

3GPP WCDMA 시스템의 3단계 셀 탐색 알고리즘은 P-SCH (Primary Synchronization Channel) 및 S-SCH (Secondary Synchronization Channel)의 서로 다른 2개의 동기 채널과 CPICH (Common Pilot Channel)를 이용하여 기지국을 식별하기 때문에 하나의 동기채널을 사용하는 방식에 비해 송신전력의 손실이 있으며 동시에 채널환경이 좋은 경우에도 기본적으로 셀탐색 시간이 길다는 단점을 갖는다. 또한 기지국 식별을 위해 이용되는 512개의 스크램블링 코드를 단말기에서 효율적으로 검출할 수 있도록 코드 그룹핑 개념을 도입하여 S-SCH에 그룹정보를 전송하기 때문에 S-SCH을 수신할 때 동시에 16개의 상관기를 필요로 하게 되고 따라서 단말기 구현 시 수신기의 복잡도가 증가하는 단점이 있다 [7-8].

최근에 이러한 3단계 셀탐색 기법의 문제점을 극복하면서 WCDMA 표준에 호환성 있게 적용될 수 있는 극성 변조 (PCM: Polarization Code Modulation) 셀 탐색 알고리즘이 제안되었다[9-10]. 극성변조 셀 탐색 알고리즘은 새롭게 정의된 극성변조 코드를 WCDMA P-SCH에 극성 변조하여 프레임 경계에 대한 정보와 스크램블링 코드 그룹에 대한 정보를 동시에 전송할 수 있기 때문에 S-SCH은 이용하지

않고 극성변조된 P-SCH 만을 필요로 한다. 따라서 기지국에서 송신신호의 이득을 얻을 수 있으며 동시에 수신기의 복잡도를 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 본 논문에서는 먼저 극성변조 셀 탐색 알고리즘의 수신기 복잡도를 분석한 후에 셀 탐색 과정의 수학적 모델을 통해 각 단계별 탐색 성공 확률과 오경보율을 분석하였다.

2장에서는 P-SCH에 극성변조를 적용한 셀 탐색 알고리즘을 설명하고, 3장에서는 극성변조 셀 탐색 알고리즘의 성능 분석을 위한 수학적 모델과 성능 측정 변수들을 설명한 후에 이론적 성능분석 결과와 시뮬레이션 결과를 비교한다. 그리고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. PCM을 이용한 셀 탐색 알고리즘

PCM을 이용한 셀 탐색 알고리즘의 가장 큰 특징은 기존 WCDMA 셀 탐색에서 사용되던 두 개의 동기채널을 하나의 동기채널로 대신한다는 것이다. 이것은 기존 S-SCH을 사용하여 전송되던 프레임의 타이밍 정보와 코드 그룹 정보를 새롭게 정의한 극성 변조 코드를 이용하여 전송하여 가능하게 된다.

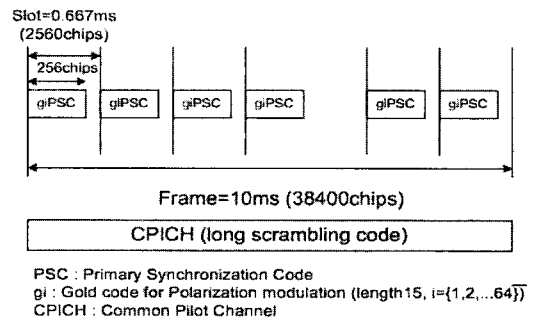


그림 1. PCM의 동기 채널 구조

PCM 방식에서 정의한 새로운 동기채널 구조는 그림 1과 같다. 그림을 보면, 기존의 WCDMA와 같이 PSC는 매 슬롯의 시작점에서 256칩 길이만큼 전송된다. 극성 변조를 이용한 셀 탐색 알고리즘은 미리 정의된 극성 코드[10]를 이용하여 공통 PSC에 극성 변조한다. 그 결과 그림 1과 같이 매 슬롯의 시작점에서 극성 변조된 PSC가 전송된다. 따라서 기본적인 구조는 [4]의 WCDMA시스템과 비슷하지만, 근본적으로 사용되는 동기채널의 수에서 차이가 있다. 그림에서 gi 는 코드 그룹 정보를 전달하기 위

해 정의한 골드 코드의 일종으로 6 Stage를 갖는 LFSR(Linear Feedback Shift Register) 2개를 이용하여 생성한 코드이다. 극성 변조 코드는 길이가 15인 이진 코드이고 그 종류는 64가지로 정의된다. 이것은 512가지의 스크램블링 코드를 64가지로 그룹핑하는데 사용된다. 또한 CPICH는 기존 WCDMA와 같이 실제 스크램블링 코드를 전송하게 된다.

극성 변조 셀 탐색 알고리즘은 기존 WCDMA와 같이 3단계의 셀 탐색 절차를 수행함으로써 기지국과의 동기를 획득한다. 그러나 실제 신호를 수신하는 단계는 1단계와 3단계이다. 따라서 2단계는 특정 신호의 수신없이 메모리에 저장된 정합필터의 출력을 이용하게 된다. 실제 표준 시스템과의 호환성을 유지하기 위해서 극성 변조 셀 탐색 알고리즘을 채택한 시스템에서는 S-SCH를 극성 변조된 P-SCH과 동시에 이용할 수도 있다. 따라서 극성 변조 셀 탐색 기법을 지원하는 단말기는 극성 변조된 P-SCH만을 수신하여 셀 탐색이 가능하며 기존 WCDMA 표준 셀 탐색 알고리즘을 사용하는 단말기는 극성 변조된 P-SCH과 S-SCH를 동시에 수신하여 셀 탐색을 수행할 수 있다.

1. 1단계 : 슬롯 동기

단말기는 1단계에서 기지국의 슬롯 시작점을 식별하기 위해 PSC 정합필터를 사용하여 신호의 에너지를 구하고 슬롯 단위로 논-코히어런트하게 누적한다. 이때 결정변수의 개수는 슬롯 주기를 기준으로 샘플 타임에 의해서 결정되며 슬롯의 시작점은 결정변수 중 가장 최대값을 갖는 위치를 시작점으로 간주한다. 그리고 극성 변조 셀 탐색 알고리즘에서는 기존 WCDMA의 1단계 셀 탐색 절차에 추가적으로 각 샘플 타임마다 정합필터의 출력을 메모리에 저장하는 과정이 요구된다. 정합필터의 출력들은 각 PSC에 적용된 극성 정보를 가지며, 극성 정보는 2단계에서 코드 그룹과 프레임 시작점을 결정할 때 파라미터로 사용된다. 위의 과정을 수식으로 표현하면 식(1)과 같다[17]. 수식을 보면, 정합 필터의 출력을 슬롯 단위로 누적시켜 결정변수가 특정 임계치 1 이상일 경우 슬롯의 시작점으로 간주하게 된다.

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

식(1)에서 y_j 는 샘플링된 복소 신호이고 T_1 은 1단계에서 누적되는 슬롯의 수를 나타낸다. 그리

고 T 는 한 슬롯의 길이인 2560칩이다. 그리고 u 는 슬롯의 시작점이 존재할 수 있는 위치를 나타내며 실제 슬롯 단위의 누적된 변수를 이용하여 슬롯의 시작점을 찾으므로 0과 2559 사이의 값을 갖는다.

극성 변조 셀 탐색 알고리즘은 P-SCH에 극성 변조를 하더라도 기존 WCDMA의 셀 탐색 알고리즘에는 영향을 주지 않는다. 한편 극성 변조 방식은 WCDMA 표준방식과 마찬가지로 슬롯 단위로 누적되는 슬롯의 개수에 따라 성능의 차이가 생길 수 있다. 만약 누적하는 슬롯의 수를 증가시키면 1단계에서 슬롯의 시작점을 찾을 확률은 증가하지만, 너무 많은 슬롯을 누적한다면 시스템에 부하를 증가시키는 결정적인 요인이 된다. 따라서 전체 셀 탐색 절차 중 1단계 셀 탐색이 가장 큰 비중을 차지한다. 따라서 1단계 셀 탐색을 얼마나 효율적으로 하느냐가 시스템의 성능을 좌우하게 된다.

2. 2단계 : 프레임 동기 및 코드 그룹 결정

2단계는 1단계에서 획득한 슬롯의 타이밍 정보와 정합필터의 출력을 이용하여 프레임의 동기화 및 스크램블링 코드 그룹 ID를 획득한다. 그러나 극성 변조 셀 탐색 알고리즘은 2단계에서 신호의 추가적인 수신 필요하지 않기 때문에 WCDMA 표준에서 사용되던 16개의 상관기가 필요하지 않다.

2단계 셀 탐색 절차를 보면, 앞에서 설명한 극성 코드, 즉 64가지의 그룹 코드와 1단계에서 결정된 슬롯 시작점에서 메모리에 저장된 정합필터 출력들과 벡터 곱셈을 실시한다. 이때 그룹 코드의 환형 천이(Cyclic Shift)를 고려하면 총 960개의 출력을 얻을 수 있다. 따라서 960개의 결정변수 중 최대가 되는 코드를 선택하여 실제 스크램블링 코드 그룹 ID로 결정하고, 선택된 코드 그룹 ID의 환형 천이에 따라 프레임의 시작점을 결정한다.

위와 같이 하나의 결정변수를 선택하게 되면 2단계에서 오경보율이 높아지게 된다. 따라서 시스템 성능을 향상시키기 위해 출력 중 최대값으로부터 순차적으로 여러 개의 복수 후보를 선택하여 극성 변조 알고리즘의 성능 향상을 꾀한다. 이렇게 복수 후보를 선택함으로써 후보들에 대해 확인 절차가 추가적으로 필요하게 된다.

확인 절차는 각 후보들의 프레임 시작점에서 식(6)과 같이 모든 환형 천이를 고려한 코드들과 1단계에서 메모리에 저장한 정합필터의 출력을 벡터 곱셈을 취한다. 그 후 한 후보에 대한 벡터 연산의 출력을 모두 합하여 결정 변수로 저장한다. 이렇게 각

후보들마다 결정변수를 계산한 후 모든 결정 변수들을 비교하여 그 중 최대값을 갖는 후보를 스크램블링 코드 그룹 ID로 선택하고 그때의 타이밍 정보를 이용하여 프레임의 시작점을 결정한다.

위에서 설명한 PCM 셀 탐색 알고리즘의 2단계 절차를 수식으로 표현하면 아래와 같다. 먼저 환영 천이 연산을 위하여 식(2), (3) 및 (4)을 정의할 수 있다. 수식에서 PC(Polarization Code)는 극성 코드로 G(64)가지이다. 또한 CPC (Cyclic Shift Polarization Code)는 [9-10]에서 정의한 극성 코드에 대한 환영 천이 연산을 수행한 결과로 전체 960 X 15 행렬을 의미한다. 따라서 식(5), (6)은 선결모드를 나타내고, 식(7), (8) 및 (9)는 확인모드를 나타낸다.

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

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

$$CPC = \begin{bmatrix} CPC^1 \\ CPC^2 \\ \vdots \\ CPC^{960} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [PC^1]^{Cyclic} \\ [PC^2]^{Cyclic} \\ \vdots \\ [PC^{960}]^{Cyclic} \end{bmatrix} \quad (4)$$

먼저 선결 모드에서 결정 변수들은 다음의 식으로 주어진다.

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

T_2 는 2단계에서 누적되는 슬롯 수를 의미하며 C는 환영 천이를 고려한 PC의 개수이다. 따라서 $C = n * G$ 이며 n은 PC의 개수로 15이다. 식(5)에서 결정 변수 D_k^c 는 정합필터의 출력과 극성 코드 사이에 곱셈으로 다음의 식으로 주어진다.

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

식(6)에서 Y_u 는 슬롯에 시작점이 u이고, 그 위치에서 메모리에 저장된 정합필터의 출력을 나타낸다.

한편 확인 모드는 다음의 식으로 표현된다.

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

$$Y_u = [Y_{u^1}, Y_{T+u^1}, Y_{2T+u^1}, \dots, Y_{(L-1)T+u^1}] \quad (8)$$

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

위 식에서 L은 선결 모드에서 선택되는 후보의 개수를 의미한다. 따라서 $L = n(m)$ 이며 $m \in 1, 2, \dots, C$ 이다. 또한 식(7)에서 Tr은 Trace 연산으로 행렬의 대각선 원소들의 합이다.

3. 3단계 : 스크램블링 코드 결정

2단계에서 식별한 그룹 코드에는 각 그룹당 8개의 스크램블링 코드들이 존재한다. 따라서 3단계에서는 2단계에서 결정된 프레임 시작점에서 CPICH를 통해 전송되는 심볼 단위로 수신신호와 심볼에 대한 상관연산을 통해 실제 스크램블링 코드를 식별한다. 전체 과정을 수식으로 표현하면 식(10)과 같다. 그리고 슬롯 당 10개의 심볼이 전송되므로 전체 누적되는 심볼의 수는 $d = 10 * T_3$ 로 구할 수 있다.

$$Y(G, w) = \sum_{f=0}^{d-1} \left| \sum_{j=0}^{255} y_{j+Si+f} * C_{j+Si}^{G,w} \right|^2 \quad (10)$$

식(10)에서 T_3 는 3단계에서 누적되는 슬롯 수를 의미하고, f는 2단계에서 선택된 프레임의 시작점으로 그 값은 0에서 38399칩 사이의 값이 가능하다. 그리고 S는 심볼 길이를 의미하며 256 칩이다

III. 극성 변조 기법 성능 분석

본 장에서는 앞장에서 설명한 극성변조를 이용한 셀 탐색 알고리즘의 성능 분석에 대한 내용으로 셀 탐색 알고리즘의 수신기 복잡도와 수학적 모델링을 통한 성능분석에 대하여 논한다.

1. 수신기 복잡도 및 연산량 비교

WCDMA 표준과 PCM 기법의 복잡도를 각 단계별 연산 횟수와 수신기의 구조관점에서 비교하였다. 특히 연산의 종류는 곱셈과 덧셈 연산에 한정하여 비교하였다. WCDMA 표준과 PCM 기법의 1단계 및 3단계의 연산량은 같으므로 2단계만을 비교하여 표 1에 나타내었다. 2단계를 수행하는데 필요한 연산량은 PCM 알고리즘이 곱셈 연산에서 WCDMA 표준에 비하여 70% 이상 줄이는 것을 알 수 있다. 이에 반해 덧셈연산은 비슷한 것을 볼 수 있다. 여기서 N은 연산 프레임 수이고, C는 상관기의 개수, M은 코드 그룹수이다. 또한 L은 PCM 알고리즘의 2단계에서 선택하는 후보의 개수이다.

PCM을 이용한 셀 탐색 알고리즘은 앞 장에서 설명한 것과 같이 S-SCH를 제거함으로써 2단계에서 16개의 상관기가 필요하지 않게 된다. 따라서 PCM 셀 탐색 알고리즘과 WCDMA간의 수신기의 구조를 비교해 보면, 표 2와 같다. 표를 보면 PCM 셀 탐색 알고리즘은 2단계에서 16개의 상관기를 필요하지 않은 반면에 1단계에서 정합필터의 출력의 저장을 위해 추가적인 메모리가 필요한 단점을 가지는 것을 알 수 있다.

표 1 PCM과 WCDMA와의 2단계 연산량 비교

WCDMA		PCM	
곱셈수	덧셈수	곱셈수	덧셈수
$256 \cdot 15 \cdot N$ (complex)	$15 \cdot N \cdot 15 \cdot M$	$(15 \cdot 15 \cdot M) + (L \cdot 15 \cdot 15)$ (real)	$(15 \cdot 15 \cdot M) + (L \cdot 15 \cdot 15)$
(N=1, M=64, C=16)		(N=1, M=64, L=5 or 10)	
61,440	14,400	15,525 (L=5, 25%) 16,650 (L=10, 27%)	15,525 16,650

표 2 PCM과 WCDMA의 수신기 구조 비교

	WCDMA	PCM
1단계	Matched filter (1개, 256칩) Accumulator (1개, 2560칩)	Matched filter (1개, 256칩) Accumulator (1개, 2560칩) Memory(38400샘플)
2단계	Correlator (16개, 256칩) Memory(96C샘플)	Correlator(2개, 15칩) Memory (960+L*15)샘플)
3단계	Correlator (8개, 256칩)	Correlator (8개, 256칩)

2. 수학적 모델을 통한 성능분석

본 절에서는 수학적 모델을 통해 PCM을 이용한 탐색 알고리즘의 성능을 분석한다. 성능 분석의 척도로는 오경보율과 평균 셀 탐색 시간을 이용하였다. 그림 2는 [17]를 참조하여 PCM 기법의 셀 탐색 과정을 상태 천이도로 나타낸 그림이다. 전체 셀 탐색 절차는 S1에서 시작하여 S4로 천이되면, 모든 셀 탐색 절차를 마치게 된다. 1단계(S1 상태)에서 P_d^1 의 확률로 2단계(S2a 상태)로 천이하게 되고, P_f^1 의 확률로 2단계(S2b 상태)로 천이하게 된다. 따라서

S2a 상태는 1단계를 성공적으로 수행한 후 2단계를 수행하는 상태이고, S2b 상태는 1단계를 실패한 상태를 의미한다. 2단계에서는 S2a에서 P_d^2 의 확률로 3단계의 S3a로 천이 하거나, P_f^2 의 확률로 S3b로 천이 하게 된다. S3b 상태는 2단계를 실패한 상태로 1단계를 다시 실행하게 된다. 그리고 S2b에서 S3b로의 천이 확률과 S3b에서 S1로의 상태 천이 확률은 1이며 S2b와 S3b 상태에서는 모든 경우 오경보가 발생하게 된다.

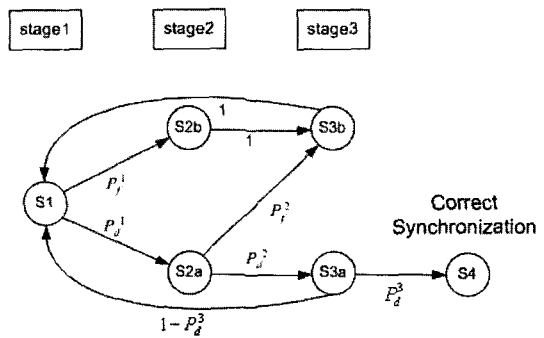


그림 2. PCM 알고리즘의 상태 천이도

따라서 PCM 기법에서의 오경보율과 평균 셀 탐색 시간은 식(11)과 (12)로 나타낼 수 있다. 식(12)는 수신기에서 셀 탐색 절차를 파이프로라인 처리로 가정하였기 때문에 전체 셀 탐색 절차에 대한 성공할 확률이 1 단계에만 적용되는 것을 볼 수 있다[17].

$$P[\text{false alarm}] = P_f^1 + (P_d^1 P_f^2) + (P_d^1 P_d^2 P_f^3) \quad (11)$$

$$E[T_{acq}] = \frac{T_1}{P_d^1 P_d^2 P_d^3} + T_3 \quad (12)$$

각 단계별 모델은 앞장에서 설명한 것과 같이 식(1), 식(7)과 식(10)에서의 정합필터 출력과 벡터의 곱셈에 대한 합 그리고 상관기의 출력을 변수로 한다. 따라서 각 단계별 성공할 확률과 실패할 확률을 아래와 같이 단계별로 분석할 수 있다.

1) 1 단계 성능분석

1단계는 식(1)에서 보는 것과 같이 정합 필터의 출력을 랜덤변수(Random Variable)로 정의할 수 있다. 따라서 식(13), (14)와 같이 정합필터의 출력을 정확한 가설과 부정확한 가설로 정의할 수 있다. 정확한 가설은 PSC에 대한 신호 성분과 잡음 성분이 모두 존재하는 조건이 되고, 부정확한 가설은 즉 슬

곳 타임이 정확하지 않는 환경에서 잡음 성분만이 존재하는 것이다. 따라서 전체 2560개의 가설이 존재한다. 그리고 본 논문에서 u 를 슬롯의 위치가 존재할 수 있는 변수로써 $u=0$ 인 곳을 정확한 PSC의 위치로 가정한다.

$$Y(0) \cong \sum_{i=0}^{T_1-1} |X_i + n_i|^2, u=0, (\text{correct Hypotheses}) \quad (13)$$

$$Y(u) \cong \sum_{i=0}^{T_1-1} |n_i|^2, u \neq 0, (\text{incorrect Hypotheses}) \quad (14)$$

위 식에서 X_i 는 신호 성분으로 i 번째 슬롯에서의 정합필터 출력이다. 그러므로 X_i 는 E_s/I_0 을 분산으로 갖는 랜덤변수로 가정할 수 있다. 여기서 E_s 는 SCH상의 평균 심볼의 에너지를 의미한다.

n_i 를 백색 잡음과 셀 내부의 MAI(Multiple Access Interference)를 더한 값으로 가정한다. 따라서 n_i 는 정규분포로 정의할 수 있고 각 슬롯에 대해서 독립적인 특성을 갖는다[17].

그림 2에서 P_d^1 을 정확한 가설이 선택될 확률이라 하고, P_f^1 를 부정확한 가설이 선택될 확률이라 가정한다. u^* 를 정합 필터의 출력이 최대가 되는 위치라면, 정합 필터의 출력 $Y(u)$ 는 $u \neq 0$ 경우에 카이제곱 분포를 따르며 자유도는 $2T_1$ 을 갖는다. 따라서 $u \neq 0$ 일 때 정합필터의 출력이 특정 임계치(τ)보다 클 확률을 식(15)와 같이 정의할 수 있다[8].

$$P\{Y(u) > \tau | u \neq 0\} = F_{T_1}(\tau) = e^{-\tau/2} \sum_{i=0}^{T_1-1} \frac{1}{i!} \left(\frac{\tau}{2}\right)^i \quad (15)$$

식(15)에서 $F_{T_1}(\tau)$ 는 자유도 $2T_1$ 를 갖는 카이제곱 분포의 누적 확률 밀도 함수이다. 이때 정합필터의 출력을 모두 독립적이라고 가정하면 정확한 가설이 성공할 확률을 아래와 같이 정의할 수 있다 [17].

$$P_d^1 = P\{Y(u^*) > \tau_1 | u^* = 0\} = \text{INT}_0^\infty (1 - F_{T_1}(\tau)^{2560} \cdot p_{Y(0)}(\tau) d\tau) \quad (16)$$

$$P_f^1 = 1 - P_d^1 \quad (17)$$

위 식에서 $P_{Y(0)}(\tau)$ 는 신호 성분이 존재할 때의 정합필터 출력에 대한 확률밀도 함수이므로 실제 신호 성분은 정규분포 ($X \sim N_c(0, 1 + E_s/I_0)$)를

가지고 서로 독립적이므로, $Y(0) \sim \chi^2$ 의 분포를 갖는다. 따라서 아래 식(18)과 같이 실제 1단계의 결정변수는 자유도 $2T_1$ 을 가지는 카이제곱 분포로 정의할 수 있다[17].

$$p_{Y(0)}(\tau) = \frac{\tau^{T_1-1} e^{-\tau/(1+E_s/I_0)}}{(1+E_s/I_0)^{T_1} (T_1-1)!} \quad (18)$$

2) 2 단계 성능분석

PCM을 이용한 셀 탐색 알고리즘의 2단계에서는 1단계에서 메모리에 저장한 정합필터의 출력과 정의된 극성 코드와 벡터 곱셈을 통해서 결정변수를 획득하게 된다. 그리고 2단계의 전체적인 절차는 선결 모드와 확인 모드로 구성된다.

1단계에서 정합필터 출력이 슬롯 단위로 에러가 날 확률은 각 슬롯에서 서로 독립적이므로, 하나의 슬롯에서 에러가 일어날 확률은 식(19)과 같이 정의할 수 있다.

$$P(e) = Q(x) = 1 - \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt \quad (19)$$

[9-10]에서 사용하고 있는 64가지 극성 코드는 Minimum Hamming Distance가 4인 코드이다. 따라서 전체 2단계를 성공할 확률은 이항분포 ($n = T_2$, 성공할 확률 = $1 - P(e)$)로 정의할 수 있다. 선결 모드에서 각 확률은 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$P_{d(x \geq i)} = \sum_{x=i}^n \binom{n}{x} P(e)^x (1 - P(e))^{n-x} \quad (20)$$

$$P_f = 1 - P_d \quad (21)$$

식(20)을 보면 각 시행이 독립적이라고 가정하여 이항분포에 의해 각 슬롯마다의 성공할 확률과 실패할 확률을 구할 수 있다.

확인 모드에서는 선결 모드에서 선택된 후보들에 대하여 수행하며 전체 2단계의 성공할 확률은 아래와 같이 정의 될 수 있다.

$$P_f^2 = (P_f)^L \quad (22)$$

$$P_d^2 = 1 - P_f^2 \quad (23)$$

식(22)에서 L 은 선결 모드에서 선택되는 후보의 개수를 의미한다. 이때 후보들에 대한 수행 결과가 서

로 독립적이라 가정하였으며 따라서 식(21)에서 얻은 실패 확률의 L승으로 표현되었다.

3). 3 단계 성능분석

3단계는 2단계에서 획득한 프레임의 타이밍 정보와 그룹 ID를 전달받아 실제 스크램블링 코드를 얻는다. 2단계에서 전달받은 정보를 이용해서 CPICH를 수신함으로써 전체 절차를 수행하는데 CPICH는 슬롯 당 10개의 심볼이 전송된다. 따라서 심볼 단위에 상관연산을 통해서 각 스크램블링 코드에 대한 상관기의 출력이 최대가 되는 스크램블링 코드를 선택하게 된다. 각 그룹 ID에는 8개의 스크램블링 코드가 존재하므로 성능향상을 위해 각 스크램블링 코드마다 병렬로 처리한다. 따라서 실제 1단계의 성능 분석 과정과 유사하다.

식(10)에서 보는 것과 같이 상관기의 출력을 랜덤 변수로 정의하면 각 그룹 ID당 스크램블링 코드에 따라 다음의 가설을 가정할 수 있다.

$$Y(w) \cong \sum_{i=0}^{d-1} |X_i + n_i|^2, w=0, (correct\ Hypotheses) \quad (24)$$

$$Y(w) \cong \sum_{i=0}^{d-1} |n_i|^2, w \neq 0, (incorrect\ Hypotheses) \quad (25)$$

위 수식은 1단계에서의 수식과 비슷하지만 누적되는 단위가 슬롯의 개수가 아닌 심볼의 개수이다. 여기서 심볼의 개수는 $d = 10 * T_3$ 로 계산할 수 있다. 누적되는 심볼의 숫자가 커짐으로써 3단계의 성공할 확률은 거의 1에 가까운 값을 갖는다. 이와 같은 이유로 3단계는 전체 셀 탐색 성능에 대해 큰 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다. 식에서 $F_{T_3}(\tau)$ 는 자유도 2d를 갖는 카이제곱 분포의 누적 확률 밀도 함수를 의미한다.

$$P(Y(w) > d | w \neq 0) = F_{T_3}(\tau) = e^{-\tau} \sum_{i=0}^{d-1} \frac{1}{i!} \left(\frac{\tau}{2}\right)^i \quad (26)$$

$$P_d^3 = P(Y(w) > \tau, |w^* = 0) = \int_{\tau}^{\infty} (1 - F_{T_3}(\tau))^{M-1} \cdot p_{T_3}(\tau) d\tau \quad (27)$$

$$P_f^3 = 1 - P_d^3 \quad (28)$$

3. 시뮬레이션 및 성능분석 결과 비교

시뮬레이션에서 이용한 시스템 모델은 그림 3과 같다. 3GPP의 경우 두개의 동기채널을 사용하고 PCM의 경우 하나의 동기채널만을 사용한다. 그러나 기존 알고리즘과 동일한 조건을 만들기 위해 PCM 기법에서도 S-SCH를 그대로 적용하여 호환성을 유

지하였다.

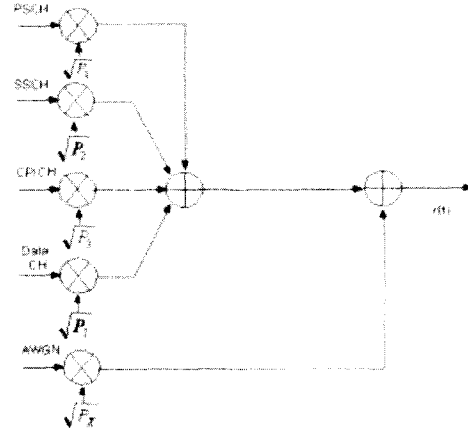


그림 3. 시뮬레이션 모델

그림 3과 같이 기지국 신호는 SCH, CPICH, 데이터 채널로 구성되며, 데이터 채널은 Spread Factor가 64인 16개의 채널을 고려하고 각 채널에 할당된 전력은 SCH의 경우 전체 기지국 전력에 10%를 할당한다. 전체 SCH 전력에 대하여 P-SCH의 전력비는 50%로 하며 CPICH의 전력은 전체 기지국 전력의 10%를 할당한다. 기지국의 나머지 전력은 16개의 데이터 채널에 공평하게 나뉘어 사용된다. 이와 같이 할당한 이유는 현재 WCDMA 표준에서 각 채널에 대한 전력비와 비슷한 수준을 유지하기 위함이다. 이렇게 생성된 채널들은 모두 합산되어 전송된다. 그리고 인접 셀들의 간섭은 수신단에서 AWGN으로 모델링 되었다.

시뮬레이션 모델에서 SNR은 전체 기지국 신호 대 잡음 비를 나타낸 것으로 기지국 신호는 SCH, CPICH 그리고 데이터 채널의 전력을 합산한 것이고 잡음은 AWGN의 전력을 의미한다.

$$SNR = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_x} \quad (29)$$

그림 4는 앞에서 설명한 수학적 모델을 통해 얻은 각 단계별 성공할 확률을 E_s/N_0 가 증가하는 환경에서 그림으로 표현한 것이다. E_s/N_0 는 CPICH 상의 심볼 에너지에 대한 잡음비이다. 그리고 2단계에서는 선택된 후보의 개수(L)에 따라 성공 확률이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 전체적으로 E_s/N_0 가 증가함에 따라 각 단계별 성공할 확률이 커지는 것을 볼 수 있다.

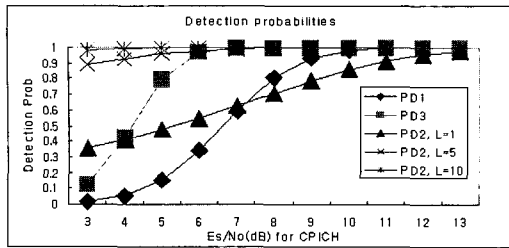


그림 4. 각 단계별 성공확률 ($T_1 = T_2 = 15$, $T_3 = 18$)

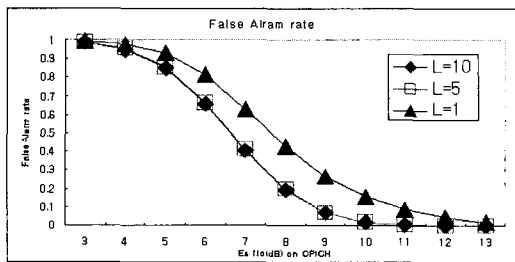


그림 5. ES/NO에 따른 오경보율

그림 5은 그림 4에서 도출한 각 단계별 성공확률을 이용하여 전체 오경보율을 도출한 결과이다. 2단계의 후보 수(L)에 따라 오경보율이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그리고 오경보율을 구하는 수식은 식(11)과 같다.

셀 탐색 알고리즘에서 가장 많이 사용되는 성능 분석의 척도인 평균 셀 탐색 시간을 수학적 모델을 통한 결과와 시뮬레이션의 결과를 비교해보면 그림 6과 같다. 이때의 시뮬레이션은 PCM과 WCDMA 모두 AWGN만이 존재하는 채널환경을 고려하였다. 그림에서 수학적 분석을 통한 결과와 시뮬레이션을 통한 결과를 보면 E_s/N_0 환경이 나빠짐으로써 서로 비슷한 결과를 갖는 것을 볼 수 있다. 또한 2단계의 후보 수(L)에 따라 평균 셀 탐색 시간이 줄어드는 것을 알 수 있다. 평균 셀 탐색 시간을 구하는 수식은 식(12)와 같고 이 수식은 파이프라인 처리를 가정한 셀 탐색시간을 도출한 것이다.

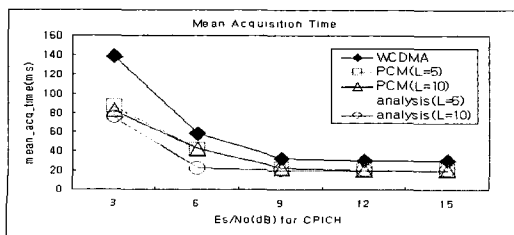


그림 6. 평균 셀 탐색 시간 비교

IV. 결론

본 논문에서는 WCDMA 시스템에서 표준으로 채택하고 있는 3단계 셀 탐색 알고리즘의 단점인 셀 탐색 시간과 수신기 복잡도를 줄이기 위해 제안된 PCM을 이용한 셀 탐색 알고리즘에 대한 성능을 분석하였다. PCM 기법의 셀 탐색 단계의 천이 상태를 근거로 AWGN 잡음만을 고려했을 때의 각 단계별 성공 확률과 오경보율을 이론적으로 분석하였다. 그 결과 PCM 알고리즘은 2단계의 선결 모드에서 선택하는 후보의 수를 증가함으로써 오경보율을 떨어뜨릴 수 있고 이론적 분석 및 시뮬레이션을 통해 특히 신호 환경이 좋지 않은 환경에서 셀 탐색 시간을 단축할 수 있음을 확인하였다.

그리고 PCM 기법은 WCDMA 표준 셀 탐색 알고리즘에 비해 2단계에서 16개의 상관기를 제거할 수 있기 때문에 단말기 수신기의 복잡도 및 연산량을 줄일 수 있는 것을 볼 수 있었다. 그러나 PCM 기법은 1단계에서 정합필터의 출력을 저장하기 위한 메모리가 추가적으로 요구되는 단점을 갖는다.

참고 문헌

- [1] 3GPP TS25.201, Ver3.1.0, Physical layer General Description, Release 1999
- [2] 3GPP TS25.211, Ver3.3.0, Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)
- [3] 3GPP TS25.212, Ver3.5.0, Multiplexing and channel coding (FDD), Release 1999
- [4] 3GPP TS25.213, Ver3.2.0, Spreading and modulation, Release 1999
- [5] 3GPP TS25.214, Ver3.2.0, Physical layer procedures (FDD), Release 2000
- [6] 3GPP TS25.215, Ver3.5.0, Physical layer-Measurements (FDD), Release 1999
- [7] Alex W. Lam and S. Tantaratana, Theory and Applications of Spread-Spectrum Systems, IEEE/EAB, May, 1994
- [8] J. G. Proakis, Digital communications. New York: McGraw-Hill, 1983
- [9] Sung-Oh Bae, Sung-Yun Yun, Jae-Sung Lim, "Fast cell search algorithm using Polarization Code Modulation(PCM) in WCDMA systems", IEEE VTC2002 spring, May 2002

- [10] 배성오, 임재성, "WCDMA 시스템에서 극성 변조를 이용한 빠른 셀 탐색 알고리즘," 한국통신학회 논문지, Vol 27, no 3A, 2002
- [11] J. S. Lee and L. E. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook, Artech House, Boston London, 1998
- [12] H. Holma and A. Toskala, WCDMA for UMTS, John Wiley & Sons, June. 2000
- [13] Yi-Pin Eric Wang, "Cell search in W-CDMA", *IEEE J SAC*. Vol.18, No.8 Aug. 2000
- [14] I. G. Kim, Y. G. Kim, B. W. Lim, and S. G. Lee, "Cell search algorithm using Code Position Modulation" *Proc. JCCI*, Apr. 1999
- [15] 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)*, June.1999
- [16] 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
- [17] 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 2. 2001
- [18] K. Higuchi and M. Sawahashi, "Fast cell search algorithm in inter-cell asynchronous DS-CDMA mobile radio", *IEICE Trans. Commun.*, June. 1998
- [19] J. Nystrom and K. Jamal, "Comparison of cell search methods for asynchronous Wideband CDMA cellular system", *Proc. ICUC*, vol.2, Oct.1998
- [20] S. Sriram and S. Hour, "An analysis of the 3 stage search process in W-CDMA", *Proc. Veh. Tech. Conf.* Sept. 2000.
- [21] B. H. Kim, D. S. Park, D. J. Oh, and C. S. Kim, "Analysis of cell search for W-CDMA System in Realistic Wideband Multipath channel", *CDMA Int. Con. & Exh.*, Nov. 2001
- [22] S. Sarkar, "Analysis Acquisition in WCDMA Systems", *ISIT 2000*, Jun. 2000
- [23] K. Higuchi, Y. Hanada, M. Sawahashi, and F. Adachi, "Experimental Evaluation of 3-step

cell Search Method in W-CDMA Mobile Radio", *IEEE VTC*, pp.303-307 May. 2000

배 성 오(Sung-Oh Bae)

정회원



2000년 2월 : 아주대학교
정보및컴퓨터공학부 졸업
2002년 2월 : 아주대학교
정보통신공학과 석사
2002년 5월 ~ 현재 : Pantech
연구소

<주관심분야> WCDMA, Cell Search,

임 재 성(Jae-Sung Lim)

정회원



1983년 2월 : 아주대학교
전자공학과 졸업
1985년 2월 : 한국과학기술원
전기및전자공학과 석사
1994년 8월 : 한국과학기술원
전기및전자공학과 박사

1985년~1988년 : 대우통신종합연구소 전임연구원
1988년~1995년 : 디지콤정보통신연구소 책임연구원
1995년~1998년 : SK텔레콤 중앙연구원 책임연구원
1998년~현재 : 아주대학교 정보통신전문대학원
부교수

<주관심 분야> 이동통신, 무선인터넷