

# W-CDMA 시스템의 파일럿 패턴을 이용한 프레임 동기 성능 분석

## Performance Evaluation of Frame Synchronization Using Pilot Patterns in W-CDMA System

송 영 준 · 김 한 묵

Young-Joon Song · Han-Mook Kim

### 요 약

본 논문에서는 W-CDMA(Wide band Code Division Multiple Access) 시스템에서 채널 측정 및 프레임 동기 확인에 사용되는 파일럿 비트 패턴의 프레임 동기 단어(frame synchronization words) 성능을 분석한다. 또한 W-CDMA 시스템에서는 두 개의 수신 단말기를 갖지 않고도, 다른 주파수의 측정을 하기 위해 압축 모드(compressed mode)를 사용한다. 제안된 프레임 동기용 이원 부호의 우선 쌍 간의 보완 매핑(complementary mapping) 관계를 이용하면, 압축 모드에서도 프레임 동기 특성을 유지함을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인한다. 검출 확률과 오 경보 확률을 갖는 수신기 동작 특성(ROC: Reciever Operating Characteristic) 곡선은 LLRT(Log Likelihood Ratio Test), GLRT(Generalied Likelihood Ratio Test), 연관정(soft correlation test), 경관정(hard correlarion test) 과 같은 다양한 검출법(detection metrics)을 이용하여 레일리 페이딩 채널에서 제안된 프레임 동기 단어의 성능 분석에 사용된다. 이 논문의 파일럿 비트 패턴의 성능에 대한 연구 결과는 3세대 W-CDMA 시스템에서 프레임 동기의 설계 및 구현에 유용한 참고 자료가 될 수 있을 것이다.

### Abstract

In this paper, we evaluate the performance of frame synchronization words of pilot bit patterns which are used for the channel estimation and frame synchronization confirmation in W-CDMA(Wide band Code Division Multiple Access) system. W-CDMA system also uses compressed mode to make measurements from another frequency without a full dual receiver terminal. It is confirmed by using computer simulation that the proposed frame synchronization words also maintain the frame synchronization property in the compressed mode by using the complementary mapping relationship of preferred pair. ROC(Receiver Operating Characteristic) curves with probability of detection and false alarm are used to analized the performance of the proposed frame synchronization words by using the various detection metrics such as LLRT(Log Likelihood Ratio Test), GLRT(Generalied Likelihood Ratio Test), soft and hard correlation tests in AWGN and Rayleigh fading channels. It is expected that the research results for the performance of pilot bit patterns of this paper can be useful reference for the design and implementation of frame synchronization in 3rd generation W-CDMA system.

Key words : Detection Metrics, FSW, W-CDMA, Complementary Mapping, Compressed Mode

### I. 서 론

3세대 이동통신인 IMT-2000(International Mobile

「본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.」

금오공과대학교 전자공학부(Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20051227-146

· 수정완료일자 : 2006년 2월 14일

Telecommunications-2000) 기술의 하나인 3GPP(3rd Generation Partnership Project) W-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 시스템은 유럽의 2세대 TDMA(Time Division Multiple Access) 디지털 이동통신 시스템인 GSM(Global System for Mobile Communications)을 핵심망으로 하며 진화한다<sup>[1]</sup>.

본 논문은 이러한 3세대 이동통신인 W-CDMA 시스템에 사용되는 FSW의 원리와 성능을 분석을 통하여 제안된 FSW가 프레임 동기용으로 매우 적합함을 보인다. 제안된 FSW가 W-CDMA에 유일하게 적용된다는 것과 FSW의 효율적인 회로 구성 방법은 참고문헌 [2]~[4]에 자세히 설명되어 있으므로 본 논문에서는 이에 대한 중복적인 논의는 생략하고, 참고문헌 [2]~[4]에 논의된 프레임 동기 단어의 특성과 생성방법에 기반하여 W-CDMA 시스템의 규격<sup>[5]</sup>에 제안된 프레임 동기 단어의 성능을 분석한다. LLRT(Log-Likelihood Ratio Test), GLRT (General-Likelihood Ratio Test)<sup>[6]</sup>, 연관정(soft correlation test), 경관정(hard correlation test) 등의 검출법을 이용하여 레일레이 페이딩 채널에서 제안된 파일럿 패턴을 사용하면 이상적인 프레임 동기 특성을 유지함을 확인한다. 또한 W-CDMA 시스템에서는 두 개의 수신 단말기를 갖지 않고도, 다른 주파수의 측정을 가능하게 하기 위한 압축 모드(compressed mode)를 두고 있는데<sup>[7]</sup>, 이러한 압축 모드에서도 제안된 프레임 동기 단어의 우선 쌍 간의 보완 매핑(complementary mapping) 관계를 이용하면 프레임 동기 특성을 유지함을 컴퓨터 모의 실험에서 수신기 동작 특성(ROC: Receiver Operating Characteristic) 곡선을 통하여 확인한다.

## II. W-CDMA 물리 계층 규격 개요

### 2-1 물리 계층의 개요

물리 계층을 중심으로 상위 계층에서 발생된 데이터는 전달 채널들을 통하여 물리 계층 내의 다른 물리 채널들에 매핑되어 전송된다. W-CDMA 시스템에서는 상향 지정 물리 채널(Dedicated uplink Physical Channels: DPCH), 이차 공통 제어 채널(Secondary Common Control Physical Channel: S-CCPCH) 등에서 파일럿 비트의 프레임 동기 단어(Frame Syn-

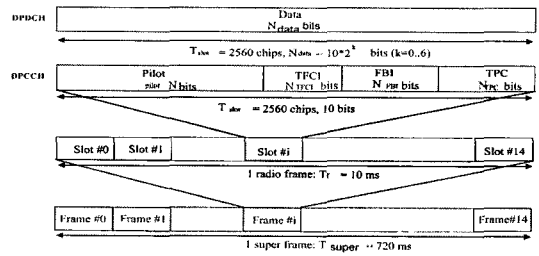


그림 1. 상향 DPCH의 프레임 구조

Fig. 1. Frame structure for uplink DPCH.

chronization Words: FSW)를 이용하여 프레임 동기 확인을 수행할 수 있다<sup>[2]~[5]</sup>. 각기 다른 채널에서도 동일한 파일럿 비트 패턴을 사용하므로, 그림 1의 DPCH를 예를 들어 설명한다.

### 2-2 세부 채널 구조

그림 1은 DPCH의 프레임 구조이다. DPCH에는 상향 지정 물리 데이터(uplink Dedicated Physical Data Channel: uplink DPDCH)와 상향 지정 물리 제어 채널(uplink Dedicated Physical Control Channel: uplink DPCCCH)의 두 가지 채널이 있다. 이 두 채널은 서로 다른 채널 분리 코드를 사용하여 I-Q 코드로 다중화 되어 전송된다. 사용자 데이터를 포함하는 상위 계층 정보는 DPDCH에 의하여 전송되고, DPCCCH는 물리 계층 제어 신호, 즉 파일럿 비트, 송신 전력 제어(TPC) 신호, 궤환 정보(FBI), 그리고 선택 사양인 TFCI의 4개의 필드로 구성된다<sup>[5]</sup>.

### 2-3 압축 모드

W-CDMA 이동 통신 시스템에서는 다른 시스템, 다른 주파수 대역의 신호를 송수신하고자 할 때 두 개의 주파수 합성기와 수신단 및 RF 전송단이 필요하게 된다. W-CDMA 시스템에서는 이러한 복잡도를 줄이기 위해서 압축 모드를 지원한다. 압축 모란 단말기가 다른 주파수 신호를 검색하기 위하여 수 msec 정도의 짧은 시간 동안 송수신이 일시 중지되는 기능을 의미한다. 이러한 방식에 의하여 다른 주파수 채널을 감시하는 동안 전송할 데이터를 유실하지 않고 시간 축 상에서 압축하여 전송하게 된다. 이 모드에서는 10 msec의 한 프레임 시간 동안에 최대 7 슬롯까지 전송이 중단될 수 있다<sup>[3],[5],[7]</sup>.

### Ⅲ. 프레임 동기 단어

#### 3-1 프레임 동기용 이원 부호

##### 3-1-1 기본 내용

유한체 GF(2)={0, 1}에 대한 n-tuple 이원 부호를  $C_i = (C_{i,0}, C_{i,1}, \dots, C_{i,n-1})$ 라 정의하며, 이원 부호의 자기 상관 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$R_i(\tau) = \sum_{t=0}^{n-1} (-1)^{C_{i,t} + C_{i,[(t+\tau) \bmod n]}} \quad (1)$$

여기서 mod n은 modulo n 연산을 나타내며,  $C_{i,t} + C_{i,[(t+\tau) \bmod n]}$ 는 modulo 2 계산된다.  $R(0)$ 은 지연이 "0"인 자기 상관함수 값이다.  $R(\tau)$ , ( $\tau \neq 0$ )는 지연이 "0"이 아닌 경우, 값이 모두 "-1"이다. 이러한 이원 부호는 이상적인 자기 상관 함수 특성을 갖는다고 정의한다. 이원 부호  $C_i = (C_{i,0}, C_{i,1}, \dots, C_{i,n-1})$ 와  $C_j = (C_{j,0}, C_{j,1}, \dots, C_{j,n-1})$  사이의 상호 상관 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$R_{i,j}(\tau) = \sum_{t=0}^{n-1} (-1)^{C_{i,t} + C_{j,[(t+\tau) \bmod n]}} \quad (2)$$

##### 3-1-2 제안된 프레임 동기용 이원 부호의 특성

표 1은 제안된 8개의 프레임 동기용 이원 부호를 나타낸다. 제안된 이원 부호의 길이는 W-CDMA의 한 프레임 당 슬롯 수와 동일하다. 이러한 8개의 이원 부호는  $E = \{C_1, C_2\}$ ,  $F = \{C_3, C_4\}$ ,  $G = \{C_5, C_6\}$ ,  $H = \{C_7, C_8\}$ 의 4가지 종류로 나눌 수 있으며, 동일 종류에 있는 두 부호를 "우선 쌍(preferred pair)"이라 칭한다. 우선 쌍 사이에는 지연이 중간에서 음의 최대치를 가지며, 그 이외의 지연에서는 최

표 1. 제안된 W-CDMA 시스템의 프레임 동기용 이원 부호

Table 1. Proposed binary sequences for frame synchronization in W-CDMA system.

Class	Binary sequences for frame synchronization
E	$C_1 = (100011110101100)$ $C_2 = (101001101110000)$
F	$C_3 = (110001001101011)$ $C_4 = (001010000111011)$
G	$C_5 = (111010110010001)$ $C_6 = (110111000010100)$
H	$C_7 = (100110101111000)$ $C_8 = (000011101100101)$

소값인 1의 상호 상관 특성을 가진다. 따라서 이러한 자기 상관 및 상호 상관 특성을 결합하면, 다음과 같은 지연이 "0"과 "7"에서 각각 양과 음의 최대치를 가지며, 그 이외의 지연에서는 부엽(side lobe)이 "0"인 이상적인 프레임 동기 특성을 얻을 수 있다<sup>[2]~[4]</sup>.

$$Z(\tau, \alpha) = \sum_{i=0}^{\alpha} R_i(\tau) + \sum_{i=0}^{\alpha/2} (R_{2i-1, 2i}(\tau) + R_{2i, 2i-1}(\tau+1))$$

$$= \begin{cases} \alpha \cdot 16, & \tau = 0 \\ -\alpha \cdot 16, & \tau = 7, \quad \alpha = 2, 4, 8, 6 \\ 0, & \tau \neq 0, 7 \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)의 이상적인 프레임 동기 상관 특성을 이용하면, 이상적인 프레임 동기의 이중 검사가 가능함을 알 수 있다<sup>[2]~[4]</sup>.

#### 3-2 프레임 동기 단어 생성

식 (1)의 이상적인 자기 상관 함수 특성을 갖기 위하여, 식 (4), (5)의 주기가 W-CDMA 시스템의 슬롯 수인 15와 같은 최대장부호(maximal length sequence)를 사용한다<sup>[2]~[4],[8]~[9]</sup>.

$$X(x) = x^4 + x^3 + 1 \quad (4)$$

$$Y(x) = x^4 X(x^{-1}) = x^4 + x + 1 \quad (5)$$

여기서  $Y(x)$ 는  $X(x)$ 의 상반다항식(reciprocal polynomial)이다<sup>[8]~[10]</sup>. Class E의 프레임 동기 단어  $C_1$ ,  $C_2$ 는 식 (4)의 생성 다항식을 사용하여 발생할 수 있다<sup>[2]~[4]</sup>.

#### 3-3 W-CDMA 시스템의 파일럿 패턴

상향 DPCCCH(Dedicated Physical Control Channel)의 파일럿 비트 패턴에는 이원 부호가 삽입되어 있다. 표 2는 상향 DPCCCH의 파일럿 패턴을 나타낸다. 예를 들어  $N_{pilot}$ (한 슬롯당 파일럿 비트의 수)=4인 경우 첫 번째, 두 번째의 비트 부분에 class E의  $C_1$ ,  $C_2$ 가 삽입되어 있고, 프레임 동기 단어를 제외한 파일럿 비트 패턴은 모두 "1"로 정해져 있다<sup>[5]</sup>. 이러한 프레임 동기 단어는 상향 DPCCCH 이외에도, 하향 DPCCCH, S-CCPCH(Secondary Common Control Phy-

표 2. 상향 DPCCH의 파일럿 패턴( $N_{pilot}=3, 4, 5, 6$ )  
 Table 2. Pilot bit patterns for uplink DPCCH( $N_{pilot}=3, 4, 5, 6$ ).

Bit #	$N_{pilot}=3$			$N_{pilot}=4$				$N_{pilot}=5$					$N_{pilot}=6$					
	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	5
Slot #0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
2	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
4	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
7	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
8	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
11	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
12	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
13	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
14	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
	$C_1$	$C_2$		$C_1$	$C_2$			$C_1$	$C_2$		$C_3$	$C_4$		$C_1$	$C_2$		$C_3$	$C_4$

sical Channel), RACH(Random Access Channel), CP-CH(Common Packet Channel)에도 사용된다<sup>[5]</sup>.

### 3.4 압축 모드를 위한 보완 매핑

2장에서 설명된 것과 같이 W-CDMA 시스템 압축 모드에서 프레임 동기 단어의 이상적인 상관 특성을 유지하기 위하여 다음과 같은 보완 매핑의 개념을 도입한다. 동일 종류  $E, F, G, H$ 에 속한 우선 쌍의 프레임 동기 단어 사이에는 다음과 같은 보완 매핑 관계가 성립한다<sup>[2]~[4]</sup>.

$$C_{i,j} = -C_{i+1, [(j+7) \bmod 15]} \quad (6)$$

$$C_{i+1,j} = -C_{i, [(j+8) \bmod 15]} \quad (7)$$

여기서  $i=1, 3, 5, 7$ 이고  $j=0, 1, 2, \dots, 14$ 이다. 그리고  $-C_{i,j}$ 는  $C_{i,j}$ 의 보수를 의미한다. 예를 들어, 프레임 동기 단어의 우선 쌍 간의 보완 매핑 관계를 살펴보면, 만약 압축 모드에서 슬롯 5번에서 11번까지 전송이 중단되었다면, 파일럿 비트 패턴의 첫 번째 열의 전송 중단된 7비트의 프레임 동기 단어  $C_{1,5} \sim C_{1,11}$ 는 두 번째 열의 프레임 동기 단어  $C_{2,12} \sim C_{2,14}$ 와  $C_{2,0} \sim C_{2,3}$ 으로부터 간단히 복구된다. 따라서 압축 모드에서 이상적인 프레임 동기 특성을 얻기 위하여는 식 (6), (7)의 보완 매핑

을 사용하여야 한다<sup>[2]~[4]</sup>.

## IV. 성능 분석

논문 [2], [3]에 논의된 프레임 동기 단어의 특성과 생성방법에 기반하여 W-CDMA 시스템의 규격에 제안된 프레임 동기 단어의 성능을 분석한다. 분석에 사용된 모델은 레일레이 페이딩 채널에 AWGN(Additive White Gaussian Noise)가 부가된 형태이며, C 언어를 사용하여 W-CDMA 규격인 W-CDMA 3GPP(3rd Generation Partnership Project) TS(Technical Specification) 25.211에 적용된 물리 채널을 구성한다. 우선 성능 분석에 사용된 검출법에 대하여 설명하고, 페이딩 채널에서 제안된 파일럿 패턴을 사용하면 이상적인 프레임 동기 특성을 유지함을 확인한다. 또한 W-CDMA 시스템에서는 두 개의 수신 단말기를 갖지 않고도, 다른 주파수의 측정을 가능하게 하기 위한 압축 모드(compressed mode)를 두고 있다<sup>[7]</sup>. 이러한 압축 모드에서도 제안된 프레임 동기 단어의 우선 쌍 간의 보완 매핑(complementary mapping) 관계를 이용하면 전송되지 않은 슬롯으로 인한 결손을 보상하여 프레임 동기 특성을 계속 유지할 수 있음을 컴퓨터 모의 실험에서 수신기 동작

특성(ROC: Receiver Operating Characteristic) 곡선을 통하여 확인한다.

#### 4-1 Detection Metrics 내용

본 논문에서는 여러 가지 방법으로 주기적으로 내장된 동기 단어에 대해 가설 시험의 통계적 이론을 통해 성능 분석에 적용하였다. 그 내용으로 먼저 FSW 한 주기의  $N=15$ 개의 샘플 열을 관찰하면서 동기 화기는 다음 두 가지의 가능한 가설을 선택하여야 한다.  $H_0$ 는 수신 샘플 신호  $r_i$ 와 수신기에 내장된 FSW인  $c_i$ 와 일치하지 않을 경우를 나타내고, 반대로  $H_1$ 은 수신 샘플 신호  $r_i$ 와 수신기에 내장된 FSW인  $c_i$ 가 일치함을 나타내는 경우이다. 그리고  $D_0, D_1$ 은 각각 가정  $H_0, H_1$ 에 대응되어 결정되어짐을 의미한다. 검출 실패 확률, 오경보 확률, 검출 확률은 다음과 같이 정의된다.

$$P_{MD}(\text{검출 실패 확률}) = \Pr\{D_0|H_1\}$$

$$P_{FA}(\text{오경보 확률}) = \Pr\{D_1|H_0\} \text{이므로,}$$

$$P_D(\text{검출 확률}) = 1 - P_{MD}$$

이라 할 수 있다<sup>[6]</sup>.

### 4-2 검출 방법의 종류

#### 4-2-1 LLRT(Log-Likelihood Ratio Test)

AWGN과 soft 값이 사용 가능할 때 LLRT는 최적의 검출 알고리즘이고 log 값으로 결정되는 수식은 다음과 같다.

$$\Lambda_L(r) = \sum_{i=1}^N \ln \left( 1 + e^{-\frac{2r_i c_i}{2\sigma^2}} \right) \begin{matrix} D_0 \\ > \\ < \\ D_1 \end{matrix} \lambda \quad (8)$$

여기서  $\sigma^2$ 는 AWGN의 분산 그리고  $\lambda$ 는 임계치를 나타내며  $N$ 은 FSW의 한 주기인 15이다. 식 (8)의 연산 결과가 임계치보다 크면  $H_0$ 에 대하여 수신 샘플 신호  $r_i$ 와 수신기에 내장된 FSW인  $c_i$ 와 일치하지 않는다고 판단한다. 그리고 그 반대이면  $H_1$ 인 경우가 되어, 수신 샘플 신호  $r_i$ 와 수신기에 내장된 FSW인  $c_i$ 가 일치한다고 판단한다. LLRT는 가장 좋은 성능을 가지는 검출 알고리즘이나 연산이 복잡한 단점을 갖고 있다<sup>[6]</sup>.

#### 4-2-2 GLRT

$$\Lambda_G(r) = \sum_{i=1}^N (|r_i| - r_i c_i) \begin{matrix} D_0 \\ > \\ < \\ D_1 \end{matrix} \lambda \quad (9)$$

여기에서  $|c_i| = 1$ 이므로 동기 단어 벡터  $c_i$ 와 수신된 샘플 벡터  $r_i$ 의 부호가 같으면 그 값을 버리고, 다르면 합해져서 시험에 평가되는 양이 된다. 이 방법은 성능은 LLRT보다 약간 열화되나 LLRT보다 구현이 간단한 장점을 갖는다<sup>[6]</sup>.

#### 4-2-3 경판정

한 프레임에서 송신 값과 수신 값의 부호와의 곱의 합을 임계치와 비교하여 판단하는 검출방법이다.

$$\Lambda_H(r) = \sum_{i=1}^N c_i \text{sign}(r_i) \begin{matrix} D_1 \\ > \\ < \\ D_0 \end{matrix} \lambda \quad (10)$$

여기서  $\text{sign}(r_i)$ 는 수신된 샘플의 부호를 나타낸다.

#### 4-2-4 연판정

한 프레임에서 송신 값과 수신 값의 곱을 임계치와 비교하여 판단하는 검출방법이다.

$$\Lambda_S(r) = \sum_{i=1}^N c_i r_i \begin{matrix} D_1 \\ > \\ < \\ D_0 \end{matrix} \lambda \quad (11)$$

### 4-3 시뮬레이션 결과

그림 2는 AWGN과 페이딩 채널을 통과한  $N_{pilot} = 3$ 인 경우의 DPCCCH 프레임의 ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선이고, 네 가지 검출 방법을 사용하여 측정된 결과를 보여준다. 시뮬레이션 환경은  $E_b/N_0 = 1/(2\sigma^2) = -3$  dB, 여기서  $E_b$ 는 비트당 에너지,  $N_0$ 는 열잡음 전력밀도 스펙트럼이고, 페이딩 채널에서 도플러 주파수는 30 Hz를 사용하였다. 그림에서 X축은  $P_{FA}$ , Y축은  $P_D$ 를 나타낸다.  $P_{FA}$ 는 0에 가깝고,  $P_D$ 는 1에 가까울수록 이상적인 성능을 갖는다. 시뮬레이션을 통하여 네 가지 검출 방법 중 LLRT가 가장 좋음을 알 수 있고 그 다음이 GLRT, 연판정 그리고 경판정의 순서로

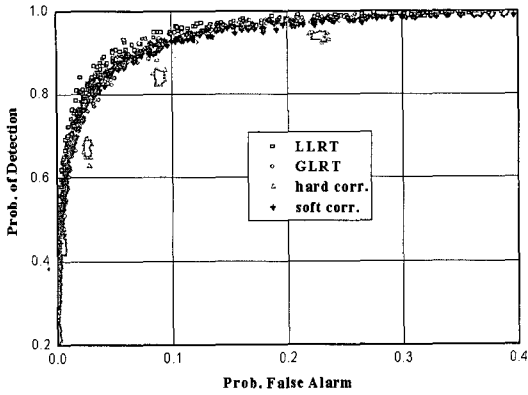


그림 2. 네 가지 검출법을 이용한 ROC 곡선  
Fig. 2. ROC curves using 4 detection metrics.

나타나나, LLRT, GLRT, 연판정 사이에는 거의 성능 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 앞으로의 성능분석 결과는 가장 일반적으로 많이 사용되는 연판정 방법을 이용한다.

그림 3은  $N_{pilot}=3, 5$ 의 두 가지 경우에서 각각 차량 속도 30, 120, 250 km/h의 경우에 대한 총 6가지의 ROC 곡선을 나타내고 있다. 차량속도에 따른 성능 변화의 차이가 거의 없는 현상을 발견할 수 있다. 이는 파일럿 비트가 이미 충분히 한 프레임에 걸쳐서 한 슬롯당 배치되어 충분히 인터리빙된 것에 기인하는 결과이다. 이는 제안된 파일럿 비트가 실제 이동 통신 환경이 페이딩 채널에 강한 특성을 가짐을 보여주는 증거이다.  $E_b/N_0 = -5$  dB이고  $f_0$ 이 1.95 GHz인 경우 차량 속도가 120 km/h이면 이때의 최고 도플러 주파수 천이는 120 Hz가 된다.  $N_{pilot}=3, 5$ 에는 각각 1, 2개의 다른 파일럿 패턴이 포함되어 있다.  $E_b/N_0 = -5$  dB이고 차량 속도가 120 km/h인 경우 오경보 확률이  $P_{FA}=0.05$ 일 때  $N_{pilot}=3, 5$  두 가지 경우에서의 검출 확률을 비교하면  $N_{pilot}=3$ 인 경우  $P_D=0.97$ ,  $N_{pilot}=5$ 일 경우 거의  $P_D$ 는 거의 1에 가까운 값을 갖는다. 위 결과를 통하여 파일럿 패턴의 수가 증가할수록 더 정확하게 검출을 결정한다는 점을 알 수 있다.

그림 4는  $N_{pilot}=3$ 에서는 압축 모드 사용으로 인하여 한 프레임에서 전송되지 않은 슬롯의 개수가 1~7로 증가한 경우 일반 모드와 비교하여 어느 정도의 성능 열화가 생기는 지를 확인하는 성능 곡선이다. 비록 전송되지 않은 슬롯의 개수가 증가하면

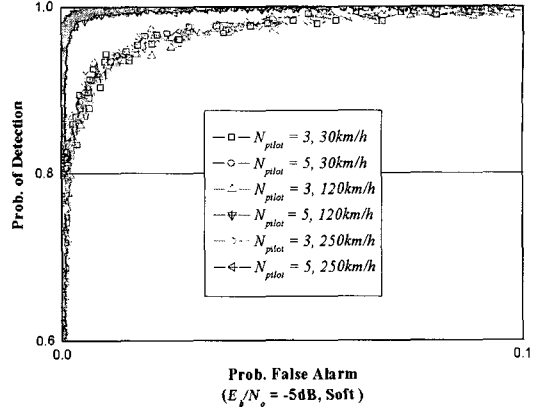


그림 3.  $N_{pilot}=3, 5$ 에 대한 파일럿 패턴의 ROC 곡선  
Fig. 3. ROC curves for pilot pattern with  $N_{pilot}=3, 5$ .

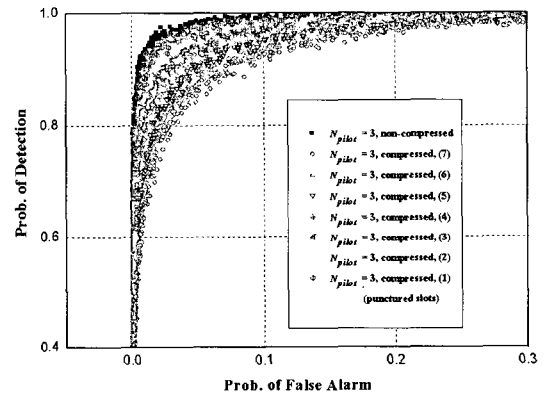


그림 4. 압축 모드에서 천공된 슬롯의 개수별 성능 비교( $N_{pilot}=3$ , 속도: 120 km/h)  
Fig. 4. Performance comparison with different punctured slots in compressed mode( $N_{pilot}=3$ , velocity: 120 km/h).

서 성능 저하가 약간씩 발생하지만, 압축 모드에서의 보완 매핑을 이용하므로 인하여 여전히 우수한 프레임 동기 특성을 유지함을 알 수 있다.

그림 5는  $N_{pilot}=3, 5$ 인 경우 일반 모드와 압축 모드에서의 성능 분석 곡선을 나타낸다. 여기서는 특히 7개의 슬롯이 전송되지 않는 가장 성능 열화가 많이 발생하는 경우의 압축 모드 성능 곡선을 일반 모드와 대비하여 보여주는 ROC 곡선이다. 이 경우  $N_{pilot}$ 이 5일 경우의 압축 모드에서의 성능은  $N_{pilot}$ 이 3인 일반 모드에서의 성능과 유사함을 알 수 있다. 이러한 결과는 압축 모드에서 제안된 프레임 동기용 이원 부호를 사용하면 성능 저하는 있지만 보완

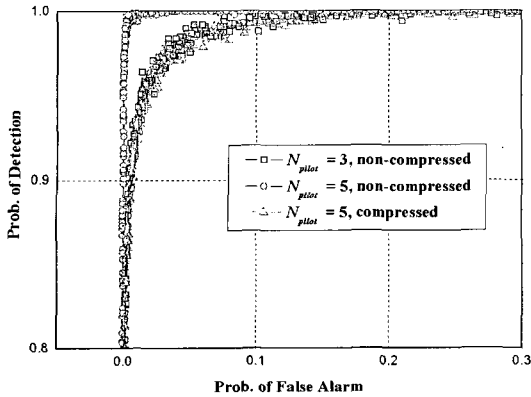


그림 5. 압축 모드를 사용할 때와 하지 않을 때의 성능 비교( $N_{pilot}=3, 5$ , 속도: 120 km/h)  
 Fig. 5. Performance comparison between compressed and non-compressed mode( $N_{pilot}=3, 5$ , velocity : 120 km/h).

매핑 관계를 이용하므로 인하여 프레임 동기 특성을 여전히 유지함을 확인할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문은 W-CDMA 시스템의 파일럿 비트 패턴의 프레임 동기 단어로 사용되는 이원 부호의 성능을 확인하였다. 시뮬레이션 결과를 종합하면  $E_b/N_0 = -5$  dB, 이동체의 속도는 120 km/h 환경에서 제안된 파일럿 비트 패턴을 사용하면  $P_{FA} = 0.05$  일 경우,  $N_{pilot} = 3$ 에서  $P_D = 0.97$ ,  $N_{pilot} = 5$ 에서  $P_D$ 는 거의 1에 가까운 우수한 ROC 곡선을 나타냄을 알 수 있었다. 그리고 여러 가지 검출법 중에서 LLRT, GLRT, 연판정, 경판정의 순으로 성능이 좋음을 알 수 있었지만 LLRT, GLRT, 연판정 사이에는 거의 성능 차이가 없음을 확인하였다. 이러한 결과를 통해 제안된 이원 부호의 자기 상관 및 상호 상관 특성을 이용하면 프레임 동기 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 프레임 동기용 이원 부호의 우선 쌍 사이의 보완 매핑 관계를 이용하면, 최대 7개의 슬롯까지 전송되지 않는 압축 모드에서도 일반 압축 모드와 비교하여 성능 저하는 발생하지만 여

전히 우수한 프레임 동기 특성을 유지함을 성능 분석을 통하여 확인하였다. 이러한 성능 분석 결과는 W-CDMA 시스템의 프레임 동기 구현에 유용한 참고자료로 사용될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] www.3gpp.org
- [2] Young-Joon Song, "Frame synchronization word in W-CDMA system", *IEEE Commun. Letters*, vol. 7, no. 11, Nov. 2003.
- [3] 송영준, "W-CDMA 시스템을 위한 프레임 동기 단어 발생에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 15(5), pp. 451-460, 2004년 5월.
- [4] Young Joon Song, "Pilot signals for frame synchronization", *UK Patent Office*, patent no. GB23-50760, Jul. 2002.
- [5] "3GPP technical specification 25.211 v5.2.0: physical channels and mapping of transportchannels onto physical channels(FDD)", *3GPP, Sophia Antipolis Valbonne, France*, Sep. 2002.
- [6] Marco Chiani, Maria G. Martini, "Practical frame synchronization for data with unknown distribution on AWGN channels", *IEEE Commun. Letters*, vol. 9, no. 5, May 2005.
- [7] 3GPP TSGR1#6(99)851, "Compressed mode impact on handover measurement complexity", *Source: Ericsson*.
- [8] S. W. Golomb, *Shift Register Sequences*, Holden-Day, Inc., 1967.
- [9] M. K. Simon, J. K. Omura, R. A. Scholtz, and B. K. Levitt, *Spread Spectrum Communications Handbook*, McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [10] R. E. Ziemer, R. L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*, Macmillan, Inc., 1985.

송 영 준



1987년 2월: 한양대학교 전자통신  
공학과 (공학사)  
1994년 2월: 한양대학교 전자통신  
공학과 (공학석사)  
1999년 2월: 한양대학교 전자통신  
공학과 (공학박사)  
1987년 1월~1988년 7월: (주)삼성

전자

1988년 7월~1992년 4월: (주)LG전자 주임연구원  
1994년 10월~2002년 2월: (주)LG전자 책임연구원  
2000년 10월~2001년 10월: 미국 샌디에고 LG Infocomm.  
주재원  
2002년 3월~현재: 금오공과대학교 전자공학부 조교수  
[주 관심분야] 이동통신 시스템, 대역확산통신, 부호이론,  
수열 설계

김 한 목



2003년 2월: 금오공과대학교 전자  
통신공학과 (공학사)  
2004년 3월~현재: 금오공과대학교  
전자통신공학과 석사과정  
[주 관심분야] 이동통신 시스템, 대  
역확산통신