

W-CDMA 시스템을 위한 프레임 동기 단어 발생에 관한 연구

A Study on the Generation of Frame Synchronization Words for W-CDMA System

송 영 준

Young-Joon Song

요 약

W-CDMA 시스템의 파일럿 비트 패턴은 채널 측정 및 프레임 동기 확인에 사용된다. 본 논문은 이러한 파일럿 패턴의 프레임 동기용 이원부호를 제안한다. 프레임 동기 단어라고 불리는 이러한 이원부호의 자기 상관 및 상호 상관 특성을 이용하여 이상적인 프레임 동기 특성을 구할 수 있는 회로를 제안한다. W-CDMA 시스템에서는 두 개의 수신 단말기를 갖지 않고도, 다른 주파수의 측정을 가능하게 하기 위한 압축모드(compressed mode)를 두고 있다. 이 모드에서는 10 msec의 한 프레임 시간 동안에 7 슬롯까지 전송이 중단될 수 있는데, 이러한 경우에 제안된 프레임 동기용 이원부호의 우선 쌍 간의 보완 매핑(complementary mapping) 관계를 이용하면, 이상적인 프레임 동기 특성을 유지할 수 있음을 보인다. 그리고 우선 쌍 개념, 보완 매핑(complementary mapping) 관계, 최대장부호(maximal length sequence) 개념을 이용하여 제안된 프레임 동기 단어를 생성하는 회로에 관하여 논한다.

Abstract

The pilot bit pattern of W-CDMA system is used for the channel estimation and frame synchronization confirmation. This paper proposes the binary sequences for the frame synchronization for wideband code division multiple access (W-CDMA) system. We present the circuit for the generation of ideal frame synchronization property using the binary sequences called frame synchronization word(FSW).

W-CDMA system uses compressed mode where up to 7 slots per one 10 msec frame are not transmitted to make measurements from another frequency without a full dual receiver terminal. It is shown that the proposed frame synchronization words also maintain the optimal frame synchronization property in the compressed mode by using the complementary mapping relationship of preferred pair. And we discuss the realization circuit for the generation of frame synchronization words by using the concept of preferred pairs, complementary mapping relationship, and maximal length sequence.

Key words : FSW, W-CDMA, Preferred Pair, Complementary Mapping, Compressed Mode

I. 서 론

2 GHz 대역에서 하나의 단말기로 전세계 어디서나 누구와 어떤 형태의 통신을 가능하게 하기 위한 IMT-2000(International Mobile 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 핵심망

「본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.」

금오공과대학교 전자공학부(Dept. of Electronic Engineering, Kum-Oh Nat'l Institute of Tech.)

· 논문 번호 : 20040205-015

· 수정완료일자 : 2004년 4월 20일

으로 하며 진화한다. W-CDMA 시스템은 한국의 TTA(Telecommunication Technology Association), 일본의 ARIB(Association for Radio Industry and Business)/ TTC(Telecommunications Technology Committee), 유럽의 ETSI(European Telecommunications Standards Institute), 미국의 T1(Standardization Committee T1 Telecommunications), 중국의 CWTS(China Wireless Telecommunication Standard) 그룹들이 공동으로 표준화 작업을 진행해 왔으며, 현재도 계속 진행 중이다^{[1],[2]}.

ITU(International Telecommunication Union)에 제출된 각 W-CDMA, cdma2000 등의 기술들은 OHG(Operator Harmonization Group)의 조정과 권고를 거치게 되면서 ITU-TG8/1의 주도하에 IMT-2000의 목적에 부합되는 규격으로 만들어진다. OHG는 IMT-2000 규격을 단일화하기 위한 전세계 주요 이동통신 사업자들이 구성한 한시적인 기구이다.

이러한 OHG의 조정에 의하여 W-CDMA 시스템의 칩율은 4.096 MHz에서 3.84 MHz로, 슬롯 구조는 한 프레임 당 16에서 15 슬롯으로 구조가 변경되었다^[3]. 본 논문은 이러한 W-CDMA 시스템의 규격에 적합한 프레임 동기 확인에 사용되는 프레임 동기 단어의 특성, 설계원리, 회로 구현 방법 등에 관하여 논한다.

제안된 프레임 동기 단어의 주기는 W-CDMA 시스템의 한 프레임 당 슬롯 수와 동일하며, 최대장부호(maximal length sequence)에 기반하여 이상적인 자기 상관함수 특성을 갖는다. 제안된 동기 단어의 우선 쌍 간의 상호상관 함수는 지연이 중간에서 음의

최대치를 가지며, 나머지 지연에서는 최소의 상관함수 값인 "1"을 갖는다. 이러한 특성은 슬롯별 프레임 동기 연산과, 이중의 프레임 동기 검사에 용이하게 사용될 수 있다^{[4],[5]}.

W-CDMA 시스템에서는 두 개의 수신 단말기를 갖지 않고도, 다른 주파수의 측정을 가능하게 하기 위한 압축모드(compressed mode)를 두고 있다. 이 모드에서는 10 msec의 한 프레임 시간 동안에 7 슬롯까지 전송이 중단될 수 있는데^[6], 이러한 경우에 제안된 프레임 동기 단어는 우선 쌍 간의 보완 매핑(complementary mapping) 관계를 이용하여 최적의 프레임 동기 특성을 가짐을 보인다. 그리고 우선 쌍 개념, 보완 매핑(complementary mapping) 관계, 최대장부호(maximal length sequence) 개념을 이용하여 제안된 프레임 동기단어를 생성하는 회로에 관하여 논한다.

II. 채널 구조와 압축 모드

W-CDMA 시스템에서는 DPCH(Dedicated Physical Channel), S-CCPCH(Secondary Common Control Physical Channel) 등에서 파일럿 비트의 프레임 동기 단어를 이용하여 프레임 동기 확인을 수행할 수 있다^{[4]-[7]}. 각기 다른 채널에서도 동일한 파일럿 비트 패턴을 사용하므로, 본 논문에서는 그림 1의 상향 DPCH를 예를 들어 설명한다. 상향 DPCH에는 DPDCH와 DPCCH의 두 가지가 있으며 각각 I와 Q 채널에 전송된다. 표 1과 2는 이러한 상향 DPDCH과 DPCCH의 필드를 설명하고 있다. DPDCH는 Layer 2의 상위 계층 데이터를 전송하며, DPCCH는 물리 계층인 Layer 1의 채널 측정과 프레임 동기 확인에 사용되는 파일

표 1. 상향 DPDCH 필드
Table 1. DPDCH fields.

Slot Format #	Channel Bit Rate (kbps)	Channel Symbol Rate (ksps)	SF	Bits/ Frame	Bits/ Slot	N _{data}
0	15	15	256	150	10	10
1	30	30	128	300	20	20
2	60	60	64	600	40	40
3	120	120	32	1200	80	80
4	240	240	16	2400	160	160
5	480	480	8	4800	320	320
6	960	960	4	9600	640	640

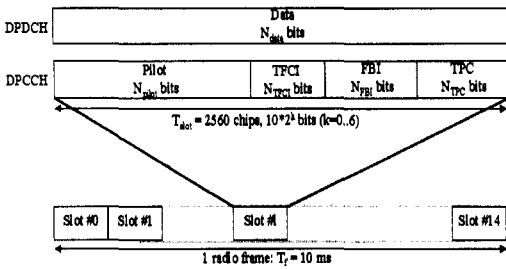


그림 1. 상향 DPDCH/DPCCH의 프레임 구조
Fig. 1. Frame structure for uplink DPDCH/DPCCH.

릿 비트, FBI 비트, TFCI 비트 등을 전송한다. 한 DPCH 프레임은 15개의 슬롯으로 구성되며, 한 슬롯 당 DPDCH에는 10~960 비트가 전송되며, DPCCH에는 10 비트가 전송된다^[5].

W-CDMA 이동통신 시스템에서는 다른 시스템, 다른 주파수 대역의 신호를 송수신하고자 할 때 두 개의 주파수 합성기, 두 개의 수신단을 가져야 할 뿐만 아니라, 두 개의 RF 전송단이 필요하게 된다. 이러한 예는 W-CDMA 시스템에서 GSM(Global System for Mobile Communications)으로, FDD 모드에서 TDD 모드로 또는 다른 주파수로의 하드 핸드오버(hard handover) 등과 같은 경우가 될 것이다. 이러한 복잡도의 증가는 단말기 입장에서는 심각한 문제를 야기 시키므로, W-CDMA 시스템에서는 압축 모드를 지

원한다^{[6],[8]}. 그림 2는 이러한 압축모드 전송의 예를 나타낸다^[9]. 압축모드에서는 다른 주파수, 시스템을 측정하기 위하여 최대 7슬롯까지 전송이 중단될 수 있다. 그림 2에 설명된 것과 같이 압축모드에서는 비트 에러율, 프레임 에러율 등과 같은 통화품질을 유지하기 위하여 송신전력을 증가한다. 이러한 압축 모드를 지원하기 위하여 표 2의 상향 DPCCH 필드에는 A, B의 두 가지의 슬롯 포맷을 지원한다. 모드 A, B는 압축모드에서 한 프레임당 전송되는 슬롯 수가 얼마인지에 따라서 다르게 분류된다. 예를 들어, 슬롯 포맷 0A에서는 한 프레임당 10~14개의 슬롯만을 전송하여야 하고, 슬롯 포맷 0B에서는 8~9개의 슬롯만을 전송하여야 한다. 표 2에서 한 프레임 당 최소한 8개 이상의 슬롯은 전송되어야 함을 알 수 있다. 이는 한 프레임당 최대 7 슬롯까지의 전송 중단이 있을 수 있음을 의미한다.

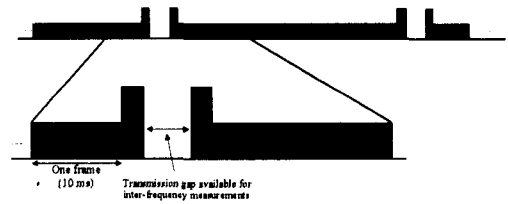


그림 2. 압축 모드 전송
Fig. 2. Compressed mode transmission.

표 2. 상향 DPCCH 필드
Table 2. DPCCH fields.

Slot Format #i	Channel Bit Rate(kbps)	Channel Symbol Rate(kspss)	SF	Bits/ Frame	Bits/ Slot	N _{pilot}	N _{TPC}	N _{TFCI}	N _{FBI}	Transmitted slots per radio frame
0	15	15	256	150	10	6	2	2	0	15
0A	15	15	256	150	10	5	2	3	0	10~14
0B	15	15	256	150	10	4	2	4	0	8~9
1	15	15	256	150	10	8	2	0	0	8~15
2	15	15	256	150	10	5	2	2	1	15
2A	15	15	256	150	10	4	2	3	1	10~14
2B	15	15	256	150	10	3	2	4	1	8~9
3	15	15	256	150	10	7	2	0	1	8~15
4	15	15	256	150	10	6	2	0	2	8~15
5	15	15	256	150	10	5	1	2	2	15
5A	15	15	256	150	10	4	1	3	2	10~14
5B	15	15	256	150	10	3	1	4	2	8~9

Ⅲ. 프레임 동기 단어

3-1 기본 정의

유한체 GF(2)={0,1}에 대한 n -tuple 이원부호를 $C_i = (C_{i,0}, C_{i,1}, \dots, C_{i,n-1})$ 라 정의하며, 이원부호의 자기 상관함수는 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 n 은 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 값이고, $R(\tau)$, ($\tau \neq 0$)는 지연이 "0"이 아닌 경우에서의 자기 상관 값이다. 만약에 지연이 "0"이 아닌 경우에 자기상관함수 값이 모두 "-1"이면, 이러한 이원부호는 이상적인 자기상관함수 특성을 갖는다고 정의한다. 이원부호 $C_i = (C_{i,0}, C_{i,1}, \dots, C_{i,n-1})$ 와 $C_j = (C_{j,0}, C_{j,1}, \dots, C_{j,n-1})$ 사이의 상호상관함수는 다음과 같이 정의된다.

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

3-2 제안 프레임 동기용 이원부호의 특성

표 3은 제안된 8개의 프레임 동기용 이원부호를 나타낸다. 제안된 이원부호의 길이는 W-CDMA의 한 프레임당 슬롯 수와 동일하며, 이러한 이원부호는 식 (3)의 이상적인 자기 상관 함수 특성을 갖는다.

$$R_i(\tau) = \begin{cases} 15, & \tau = 0 \\ -1, & \tau \neq 0 \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (3)$$

이러한 8개의 이원부호는 E={C₁, C₂}, F={C₃, C₄}, G={C₅, C₆}, H={C₇, C₈}의 4가지 종류로 나눌 수 있다.

표 3. 제안된 W-CDMA 시스템의 프레임 동기용 이원부호

Table 3. 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	$C_7 = (100110101111000)$ $C_8 = (000011101100101)$

으며, 동일 종류에 있는 두 부호를 "우선 쌍(preferred pair)"이라 칭한다. 식 (4), (5)는 이러한 우선 쌍 간의 상호 상관 특성을 나타낸다.

$$R_{i,j}(\tau) = \begin{cases} -15, & \tau = 7 \\ 1, & \tau \neq 7 \end{cases}, \quad i = 1, 3, 5, 7, j = 2, 4, 6, 8 \quad (4)$$

$$R_{j,i}(\tau+1) = \begin{cases} -15, & \tau = 7 \\ 1, & \tau \neq 7 \end{cases}, \quad i = 1, 3, 5, 7, j = 2, 4, 6, 8 \quad (5)$$

우선 쌍 사이에는 지연이 중간에서 음의 최대치를 가지며, 그 이외의 지연에서는 최소 값인 1의 상호 상관 특성을 가짐을 의미한다. 따라서 이러한 자기 상관 및 상호 상관 특성을 결합하면, 식 (6), (7)의 자기상관 및 상호상관 특성을 얻게 된다.

$$\sum_{i=1}^{\alpha} R_i(\tau) = \begin{cases} \alpha \cdot 15, & \tau = 0 \\ -\alpha, & \tau \neq 0 \end{cases}, \quad \alpha = 1, 2, \dots, 8 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{\alpha/2} (R_{2i-1,2i}(\tau) + R_{2i,2i-1}(\tau+1)) = \begin{cases} -\alpha \cdot 15, & \tau = 7 \\ \alpha, & \tau \neq 7 \end{cases}, \quad \alpha = 2, 4, 6, 8 \quad (7)$$

여기서 (6), (7)을 더하면 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.

$$Z(\tau; \alpha) = \sum_{i=1}^{\alpha} R_i(\tau) + \sum_{i=1}^{\alpha/2} (R_{2i-1,2i}(\tau) + R_{2i,2i-1}(\tau+1)) = \begin{cases} \alpha \cdot 16, & \tau = 0 \\ -\alpha \cdot 16, & \tau = 7 \\ 0, & \tau \neq 0, 7 \end{cases}, \quad \alpha = 2, 4, 6, 8 \quad (8)$$

식 (8)의 이상적인 프레임 동기 특성은 그림 3을 이용하면 얻을 수 있다. 그림 3의 상관기에서 T_{frame} 는 한 프레임 시간인 10 msec를 나타낸다. 그림 4는 $\alpha=2$ 인 경우의 이상적인 프레임 동기 특성을 나타내고 있다. 지연이 "0"과 중간인 "7"에서 각각 양과 음의 최대치인 "32", "-32"를 나타내며, 그 이외의 지연에서는 "0"의 값을 가짐을 알 수 있다. 이러한 상관 특성을 이용하면, 이상적인 프레임 동기의 이중검사가 가능함을 알 수 있다. 또한 이러한 개념은 그림 3의 상관기를 이용한 매우 간단한 수신단 구성을 가능하게 하므로, 제안된 8개의 이원부호는 현재 3GPP W-CDMA 시스템의 프레임 동기 단어로 현재

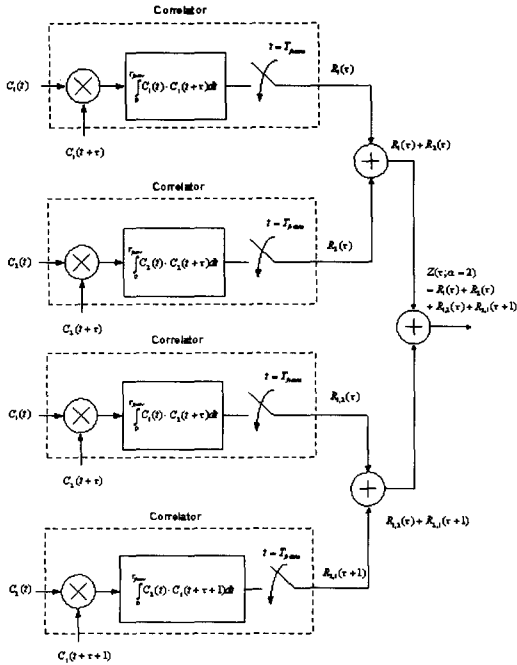


그림 3. 이상적인 프레임 동기 특성을 얻기 위한 회로($\alpha=2$)
 Fig. 3. Circuit for the generation of ideal frame synchronization property($\alpha=2$).

채택되어 있다.

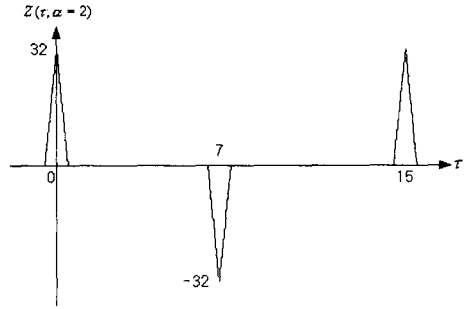


그림 4. 이상적인 프레임 동기 특성($\alpha=2$)
 Fig. 4. Ideal frame synchronization property($\alpha=2$).

3-3 W-CDMA 시스템의 파일럿 패턴

표 2는 $N_{\text{pilot}}=6$ 인 경우의 상향 DPCCCH(Dedicated Physical Control Channel)의 파일럿 비트 패턴을 나타낸다. 여기서 N_{pilot} 는 한 슬롯당 파일럿 비트의 수를 나타낸다. 파일럿 비트의 음영으로 표시된 부분에 제안된 표 3의 이원부호가 삽입되어 있음을 알 수 있다. 예를 들어 $N_{\text{pilot}}=4$ 인 경우 첫 번째, 두 번째의 음영으로 표시된 부분에 class E의 C_1, C_2 가 삽입되어 있다. 프레임 동기 단어를 제외한 파일럿 비트 패턴은 모두 "1"로 정해져 있다^{[4],[5]}. 이러한 프레임 동기 단어는 상향 DPCCCH 이외에도, 하향 DPCCCH, S-

표 4. 상향 DPCCCH의 파일럿 패턴($N_{\text{pilot}}=3, 4, 5, 6$)

Table 4. Pilot bit pattern for uplink DPCCCH with $N_{\text{pilot}}=3, 4, 5$ and 6.

	$N_{\text{pilot}}=3$			$N_{\text{pilot}}=4$				$N_{\text{pilot}}=5$					$N_{\text{pilot}}=6$					
Bit #	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	0	0	1	1	1	1	0	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

CCPCH(Secondary Common Control Physical Channel), RACH(Random Access Channel), CPCH(Common Packet Channel)에도 사용된다^[5].

3.4 압축 모드를 위한 보완 매핑

2장에서 설명된 것과 같이 W-CDMA 시스템에서는 한 개의 수신기로 다른 주파수의 측정을 가능하게 하기 위한 압축모드를 두고 있다. 이 경우 최대 7 슬롯까지의 전송 중단이 있을 수 있다. 이러한 압축 모드에서도 프레임 동기 단어의 이상적인 상관 특성을 유지하기 위하여 다음과 같은 보완 매핑의 개념을 도입한다. 동일 종류 E, F, G, H에 속한 우선 쌍의 프레임 동기 단어 사이에는 (9), (10)과 같은 보완 매핑 관계가 성립한다.

$$C_{i,j} = -C_{i+1, (j+7) \bmod 15} \quad (9)$$

$$C_{i+1,j} = -C_{i, (j+8) \bmod 15} \quad (10)$$

여기서 $i=1, 3, 5, 7$ 이고 $j=0, 1, 2, \dots, 14$ 이다. 그리고 $-C_{ij}$ 는 C_{ij} 의 보수를 의미한다. 예를 들어, 프레임 동기 단어의 우선 쌍 간의 보완 매핑 관계를 표 5의 상향 DPCCH의 파일럿 패턴($N_{\text{pilot}}=3$)을 살펴보자. 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. 유사한 방법으로 ping-pong된 두 번째 프레임 동기 단어 $C_{2,5} \sim C_{2,11}$ 도 첫 번째

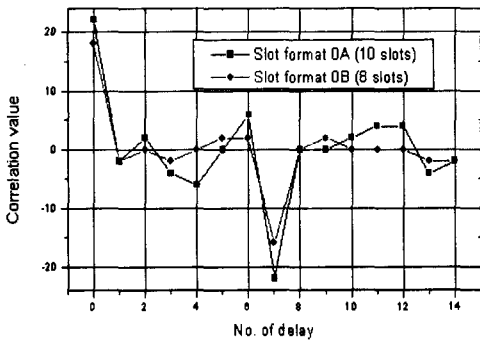


그림 5. 압축모드에서의 상관특성(slot format 0A, 0B) ($\alpha=2$)

Fig. 5. Correlation property in compressed mode(slot format 0A, 0B) ($\alpha=2$).

표 5. 보완 매핑 관계를 나타낸 Uplink DPCCH의 파일럿 패턴($N_{\text{pilot}}=3$)

Table 5. Pilot bit pattern for uplink DPCCH with complementary mapping($N_{\text{pilot}}=3$).

Bit #		$N_{\text{pilot}}=3$		
		0	1	2
Frame # K	Slot #0	$C_{1,0} = -C_{2,7}$	$C_{2,0} = -C_{1,8}$	1
	1	$C_{1,1} = -C_{2,8}$	$C_{2,1} = -C_{1,9}$	1
	2	$C_{1,2} = -C_{2,9}$	$C_{2,2} = -C_{1,10}$	1
	3	$C_{1,3} = -C_{2,10}$	$C_{2,3} = -C_{1,11}$	1
	4	$C_{1,4} = -C_{2,11}$	$C_{2,4} = -C_{1,12}$	1
	5	$C_{1,5} = -C_{2,12}$	$C_{2,5} = -C_{1,13}$	1
	6	$C_{1,6} = -C_{2,13}$	$C_{2,6} = -C_{1,14}$	1
	7	$C_{1,7} = -C_{2,14}$	$C_{2,7} = -C_{1,0}$	1
	8	$C_{1,8} = -C_{2,0}$	$C_{2,8} = -C_{1,1}$	1
	9	$C_{1,9} = -C_{2,1}$	$C_{2,9} = -C_{1,2}$	1
	10	$C_{1,10} = -C_{2,2}$	$C_{2,10} = -C_{1,3}$	1
	11	$C_{1,11} = -C_{2,3}$	$C_{2,11} = -C_{1,4}$	1
	12	$C_{1,12} = -C_{2,4}$	$C_{2,12} = -C_{1,5}$	1
	13	$C_{1,13} = -C_{2,5}$	$C_{2,13} = -C_{1,6}$	1
14	$C_{1,14} = -C_{2,6}$	$C_{2,14} = -C_{1,7}$	1	
Frame # K+1	Slot #0	$C_{1,0} = -C_{2,7}$	$C_{2,0} = -C_{1,8}$	1
	1	$C_{1,1} = -C_{2,8}$	$C_{2,1} = -C_{1,9}$	1
	2	$C_{1,2} = -C_{2,9}$	$C_{2,2} = -C_{1,10}$	1
	3	$C_{1,3} = -C_{2,10}$	$C_{2,3} = -C_{1,11}$	1
	4	$C_{1,4} = -C_{2,11}$	$C_{2,4} = -C_{1,12}$	1
	5	$C_{1,5} = -C_{2,12}$	$C_{2,5} = -C_{1,13}$	1
	6	$C_{1,6} = -C_{2,13}$	$C_{2,6} = -C_{1,14}$	1
	7	$C_{1,7} = -C_{2,14}$	$C_{2,7} = -C_{1,0}$	1
...	

의 프레임 동기 단어 $C_{1,13} \sim C_{1,14}$ 와 $C_{1,0} \sim C_{1,4}$ 를 이용하여 간단히 복구된다. 이러한 식 (9), (10)의 보완 매핑 관계를 이용하여 압축 모드에서도 그림 4의 이상적인 프레임 동기 특성을 유지할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어 표 2의 슬롯 slot format 0A, 0B에서 각각 10 슬롯, 8 슬롯의 전송이 이루어지는 압축모드에서는 그림 5와 같은 부엽이 크고, 지연이 영과 중간에서도 비대칭의 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 압축모드에서 이상적인 프레임 동기 특성을 얻기 위하여서는 식 (9), (10)의 보완 매핑을 사용하여야 한다.

IV. 프레임 동기 단어 생성 회로

식 (3)과 (6)의 이상적인 자기 상관 함수 특성을

갖기 위하여, 식 (11), (12)의 주기가 W-CDMA 시스템의 슬롯 수인 15와 같은 최대장 부호(maximal length sequence)를 사용한다^{[10],[12]}.

$$X(x) = x^4 + x^3 + 1 \quad (11)$$

$$Y(x) = x^4 X(x^{-1}) = x^4 + x + 1 \quad (12)$$

여기서 $Y(x)$ 는 $X(x)$ 의 상반다항식(reciprocal polynomial)이다^{[10]~[12]}. Class E의 프레임 동기 단어 C_1, C_2 는 식 (11)의 생성 다항식을 사용한 그림 6의 회로를 이용하여 발생할 수 있다. 이 경우, C_1, C_2 FSW 발생기의 시프트 레지스터 초기치는 각각 (0001), (1010)을 사용한다. 그리고 Class F의 프레임 동기 단어 C_3, C_4 는 식 (12)의 생성다항식을 이용한 그림 7의 회로를 사용하여 발생한다. 이때 C_3, C_4 발생기의 시프트 레지스터 초기치는 각각 (0011), (1011)로 정한다. 이러한 방법으로 C_5, C_6, C_7, C_8 의 프레임 동기 단어도 발생할 수 있다. 이러한 방법으로 8개의 프레임 동기 단어를 발생하는데는 8개의 발생기가 소요되므로 $4 \times 8 = 32$ 개의 시프트 레지스터가 소요됨을 알 수 있다.

하지만 최대장 부호(maximal length sequence)의 지연 및 더하기(shift and add) 특성^{[9]~[11]}과 식 (9), (10)의 보완 매핑관계를 이용하면 이러한 복잡도를 줄일 수 있다. 식 (11)을 이용하여 프레임 동기 단어 C_1, C_3 는 그림 8의 (a)와 (b)에서 시프트 레지스터의 초기치를 각각 (0,0,0,1)과 (0,0,1,1)로 하고 생성된다.

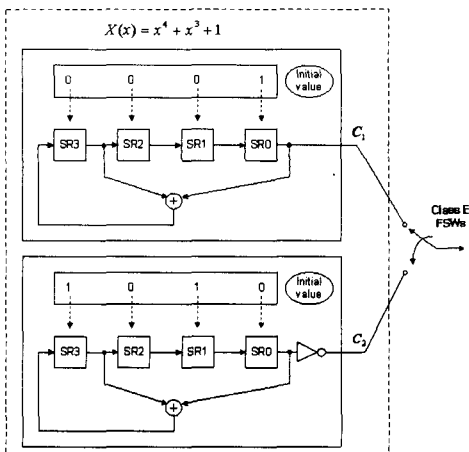


그림 6. 프레임 동기 단어의 생성 회로(E 종류)
Fig. 6. Generation circuits for FSWs in the classes E.

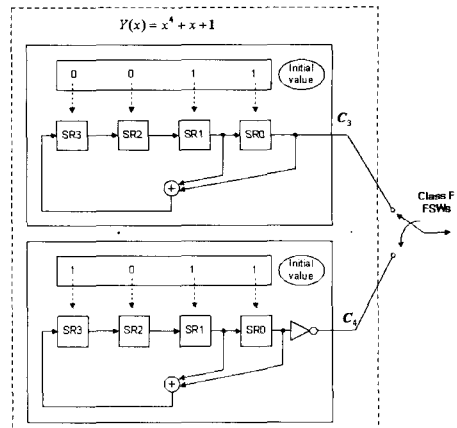


그림 7. 프레임 동기 단어의 생성 회로(F 종류)
Fig. 7. Generation circuits for FSWs in the classes F.

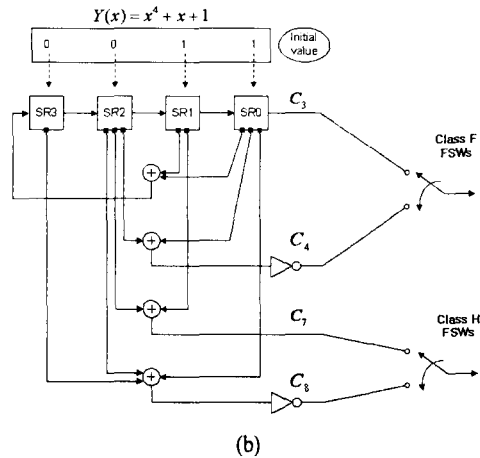
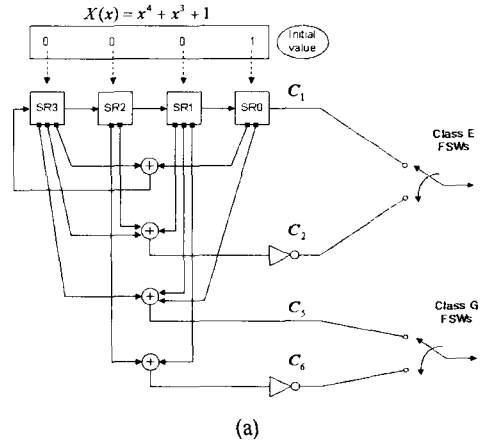


그림 8. 프레임 동기 단어의 생성 회로 (a) E, G 종류, (b) F, H 종류

Fig. 8. Generation circuits for FSWs in the classes (a) E, G and (b) F, H.

그리고 C_5, C_7 은 최대장 부호의 지연 및 더하기 (shift and add) 특성을 이용하여 C_1, C_3 으로부터 구한다. 동일 종류에 속한 우선 쌍 사이에는 식 (9)와 (10)의 보완 매핑관계가 성립하므로, 식 (9), (10)의 특성을 이용하여 C_2, C_4, C_6, C_8 는 그림 8에 나타난 것과 같이 C_1, C_3, C_5, C_7 를 8번 순회 지연시킨 후 반전시켜 구한다. 이러한 프레임 동기 단어의 우선 쌍 개념, 보완 매핑 관계, 최대장 부호의 특성을 이용하여 그림 7에 나타낸 것과 같이 8개의 프레임 동기 단어를 발생하는데, 단지 $2 \times 4 = 8$ 개의 시프트 레지스터만이 소요되는 회로를 구현할 수 있다. 이는 발생 회로의 복잡도를 1/4로 줄일 수 있음을 의미한다.

V. 성능분석

파일럿 패턴의 프레임 동기 단어는 프레임 동기 확인에 사용될 수 있으므로^[5], 먼저 성능분석을 위한 다음과 같은 사건과 파라미터를 정의한다. 우선 여기서 상관 출력 값은 그림 3의 이상적인 프레임 동기 특성을 얻기 위한 회로를 사용하여 구한다.

H_1 : 슬랏 지연이 "0" 또는 "7"에서 수신된 프레임 동기단어와 수신기에 내장된 해당 프레임 동기단어간의 상관 결과 값이 각각 정해진 양과 음의 임계치를 넘는 사건.

H_2 : 슬랏 지연이 "0", "7"이 아닌 경우 수신된 프레임 동기단어와 수신기에 내장된 해당 프레임 동기단어간의 상관 결과 값이 각각 정해진 양과 음의 임계치를 넘는 사건.

P_D : 검출 확률

P_{FA} : 오경보 확률

P_S : 프레임 동기 확인 성공 확률

P_D, P_{FA} 다음과 같은 식으로 구할 수 있으므로

$$P_D = \text{Prob}(H_1) \tag{13}$$

$$P_{FA} = \text{Prob}(H_2) \tag{14}$$

한 프레임 동안의 프레임 동기 확인 성공 확률은

$$P_S = P_D(1 - P_{FA})^{13} \tag{15}$$

으로 주어진다.

표 6. 성능분석을 위한 파라미터

Table 6. Parameters for performance evaluation.

Parameters	Uplink
Slot per frame	15
Number of bits in the DPCCH (Pilot/TPC/TFCI/FBI)	6/2/2/0
Number of bits in the DPDCH per each slot	10
Spreading factor(DPDCH)	256
Spreading factor(DPCCH)	256
Modulation	HPSK
3 dB bandwidth	3.84 MHz
Shaping filter	Root raised cosine (roll off 0.22)
Power amplifier	Ideal
Propagation channel	AWGN

표 6은 그림 9, 10의 오경보 확률, 프레임 동기 확인 성공 확률의 성능분석에 사용된 파라미터를 나타내고 있다. 이상적인 프레임 동기 특성에 의하여 무시 가능한 오경보 확률을 가짐을 알 수 있다. 그리고 그림 10의 성능분석을 살펴보면, 그림 3의 상관 결과 값에 이중의 임계치를 적용한 Double check인 경우는 한계의 임계치를 사용한 경우보다 우수한 성공확률을 나타냄을 알 수 있다. 예를 들어, $E_b/N_0 = 0$ dB에서는 Double check를 사용한 경우는 프레임 동기 확인 성공확률이 "1"이며, 단일 검사(single check)인 경우는 0.998임을 알 수 있다. 두 가지 모두 매우 우수

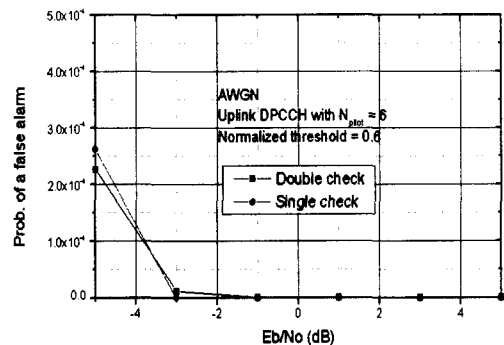


그림 9. $N_{\text{pilot}} = 6$ 인 경우 AWGN 채널에서 상향 DPCH에서의 오경보 확률

Fig. 9. Probability of false alarm on uplink DPCH with $N_{\text{pilot}} = 6$ over AWGN channel.

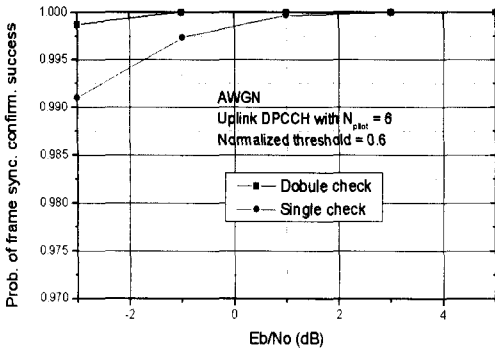


그림 10. $N_{\text{pilot}} = 6$ 인 경우 AWGN 채널에서 상향 DPCCH에서의 프레임 동기 확인 성공 확률

Fig. 10. Probability of a frame synchronization confirmation success on uplink DPCCH with $N_{\text{pilot}} = 6$ over AWGN channel.

한 성능을 나타내지만, 이중 검사(double check)인 경우가 좀 더 나은 성능을 가짐을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문은 W-CDMA 시스템의 파일럿 비트 패턴의 프레임 동기 단어로 사용될 수 있는 이원부호를 제안하였다. 제안된 이원부호의 자기 상관 및 상호 상관 특성을 이용하여 이상적인 프레임 동기 특성을 구할 수 있는 회로를 제안하였다. 이러한 상관 회로 구성을 하면, 지연이 영과 중간에서 각각 양과 음의 최대치를 가지면, 그 이외의 지연에서는 부엽이 없는 이상적인 프레임 동기 특성을 얻게 된다. 또한 제안된 프레임 동기용 이원부호의 우선 쌍(preferred pair) 사이에는 보완 매핑 관계가 있다. 이를 이용하면, 최대 7개의 프레임 동기 단어 비트가 전송되지 않는 압축모드에서도 이상적인 프레임 동기 특성을 유지할 수 있게 된다.

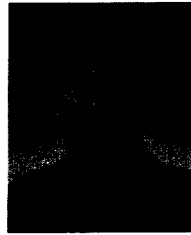
우선 쌍 개념, 보완 매핑(complementary mapping) 관계, 최대장부호(maximal length sequence) 개념을 이용하여 제안된 프레임 동기 단어를 효율적으로 생성할 수 있는 회로도 제안하였다. 또한 시뮬레이션을 이용한 성능분석을 통하여 이중 임계치를 사용한 이중 검사 방법과 한 개의 임계치 사용한 단일 임계치를 사용한 방법 모두 우수한 성능을 나타내지만,

이중 임계치를 사용한 방법이 좀 더 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 이러한 우수한 특성에 의하여 제안된 이원부호는 현재 3GPP W-CDMA 시스템의 파일럿 비트 패턴의 프레임 동기 단어로 채택되어 있다.

참 고 문 헌

- [1] www.3gpp.org
- [2] www.3gpp2.org
- [3] Open letter to Standards Organizations from Operators Harmonization Group on Global 3G CDMA Standard, Jun. 2nd, 1999.
- [4] Young Joon Song, "Pilot signals for frame synchronization", *UK patent office*, patent no. GB2350760, Jul. 2002.
- [5] "3GPP technical specification 25.211 v5.2.0: physical channels and mapping of transport channels onto physical channels(FDD)", *3GPP, Sophia Antipolis Valbonne, France*, Sep. 2002.
- [6] 3GPP TS 25 Series.
- [7] Young-Joon Song, "Frame synchronization confirmation technique using pilot pattern", *JCN (Journal of Communications and Networks)*, vol. 2, no. 1, Mar. 2000.
- [8] 3GPP TSGR1#6(99)851, "Compressed mode impact on handover measurement complexity", Source: Ericsson.
- [9] "3GPP Technical Specification 25.212 v5.2.0: Multiplexing and channel coding(FDD)", *3GPP, Sophia Antipolis Valbonne, France*, Sep. 2002.
- [10] S. W. Golomb, *Shift Register Sequences*, Holden-Day, Inc., 1967.
- [11] R. E. Ziemer, R. L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*, Macmillan, Inc., 1985.
- [12] M. K. Simon, J. K. Omura, R. A. Scholtz and B. K. Levitt, *Spread Spectrum Communications Handbook*, McGraw-Hill, Inc., 1994.

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(사원)

1988년 7월~1992년 4월: (주)LG전자 주임연구원

1994년 10월~2002년 2월: (주)LG전자 책임연구원

2000년 10월~2001년 10월: 미국 샌디에고 LGInfocomm.
주재원

2002년 3월~현재: 금오공과대학교 전자공학부 조교수
[주 관심분야] 이동통신 시스템, 대역확산통신, 부호이론,
수열 설계