정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제19권 제4호, 2014년 7월 (JBE Vol. 19, No. 4, July 2014)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2014.19.4.491>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

재난방송용 대기모드 해제신호 검출을 위한 최적 부호 성능 분석

박 해 용^{a)}, 조 봉 균^{a)}, 김 흥 목^{b)}, 한 동 석^{a)†}

An Analysis of Optimal Sequences for the Detection of Wake-up Signal in Disaster-preventing Broadcast

Hae Yong Park^{a)}, Bonggyun Jo^{a)}, Heung Mook Kim^{a)}, and Dong Seog Han^{a)†}

요 약

최근 전 세계적으로 지진, 쓰나미와 같이 막대한 인명과 재산 피해를 야기시키는 자연재난이 증가함에 따라 재난에 효과적으로 대응하기 위한 방송 시스템에 대한 요구가 증가하고 있다. 재난 방송시스템에서는 재난 발생 시 재난정보를 보다 빠르고 효과적으로 전달하기 위하여, 단말을 깨워 재난 방송 채널로 자동 변환 시켜주는 대기모드해제(wake-up) 신호가 사용된다. 본 논문에서는, 재난 방송시스템을 위한 대기모드해제 검출 방법을 제안한다. 재난방송용 대기모드 해제신호는 기존 디지털TV 시스템과의 간섭을 줄이기 위하여 저전력/협대역에서 고려되어야 하며, 좋은 자기 상관 특성을 가져야한다. 우선, 본 논문에서의 자기상관특성이 우수한 단일 m-시퀀스와 상보부호(complementary code)를 이용한 대기모드해제의 적합성을 분석하고, 신호 대 잡음비에 따른 성능을 검증한다. 다음으로 대기모드 해제신호의 검출 성능을 향상시키기 위하여, 의사잡음 계열의 Barker 부호 및 Walsh-Hadamard 부호를 이용한 직접확산 방식의 신호 전송 포맷을 제안한다. 제안된 직접확산방식에 의한 대기모드 해제신호 검출 방법은 확산 이득으로 인하여 단일 m-시퀀스와 Golay 부호(이진 상보부호)를 이용한 방법보다 뛰어난 검출 성능을 나타낸다.

Abstract

Recently, the need for disaster-preventing broadcast has increased gradually to cope with natural disaster like earthquake and tsunami causing enormous losses of both life and property. In disaster-preventing broadcast system, the wake-up signal is used to alert user terminal and switch the current state of channel to the emergency channel, which is for the fast and efficient delivery of emergency information. In this paper, we propose the detection method of wake-up signal for disaster-preventing broadcast systems. The wake-up signals for disaster-preventing broadcast should have a good auto-correlation property in low power and narrow-band conditions that does not affect the existing digital television (DTV) system. The suitability of the m-sequence and complementary code (CC) is analyzed for wake-up signals according to signal to noise ratio. A wake-up signal is proposed by combining the direct sequence spread spectrum (DSSS) technique and pseudo noise (PN) sequences such as Barker and Walsh-Hadamard codes. By using the proposed method, a higher detecting performance can be achieved by the spreading gain compared to the single long m-sequence and the Golay code.

Keyword : DSSS, PN Sequence, CC, auto-correlation, wake-up signal, disaster-preventing broadcast.

1. 서론

전 세계적으로 지진, 태풍, 화산폭발, 해일 등 자연재해에 대한 경각심이 높아져가고 있다. 이러한 자연재해가 발생했을 때, 재해에 의한 피해를 줄이기 위하여 무엇보다 재난 정보를 신속 정확하게 전달하는 서비스 및 시스템이 필요하다. 일본의 NHK는 재난 발생 시 긴급경보방송(emergency warning broadcasting system, EWBS)과 긴급지진속보 시스템(earthquake early warning system, EEWS)과 같은 2개의 정보 시스템을 운영하고 있다. TV 및 라디오에 대기 모드 해제(wake-up) 기능을 추가하여 재난 발생 시 단말기를 자동으로 켜지게 하여 재난 방송을 수신하게 한다. 이와 더불어 NHK는 정부의 여러 기관이 재난 대처에 필요한 정보를 공유하여 다양한 매체로 제공하기 위한 TVCML(TeleVision Common Markup Language) 데이터 수집 시스템 구축을 진행하고 있다. 미국에서는 긴급 알람 시스템(emergency alert system, EAS)과 상용 모바일 경보 시스템(commercial mobile alert system, EMAS) 등의 지역단위 경보 시스템이 있다. 이 중, 상용 모바일 경보 시스템은 하나의 셀 기지국에서 다중 모바일 유저들에게 단문 메시지 서비스(short message service) 문자 정보를 전송하여 긴급 정보를 알리는 역할을 하고 있다. 이 시스템은 2011년 뉴욕에서 테스트를 거쳐 2012년 4월 상용되었다^[1].

국내에서는 긴급재난방송시스템을 2006년 도입 후, 현재 통합재난관리시스템으로 발전시켜 운영 중이며, 인터넷 망 손실대비 동시동보 팩스시스템도 함께 사용하고 있다. 국내 지상파 DMB(Digital Multimedia Broadcasting)에서는 DMB 자동재난경보 서비스 표준을 제정하여 전 국민을 대

상으로 재난정보전달 서비스를 시행하고 있다^[2]. 이러한 지상파 DMB 재난 경보 서비스 데이터는 DMB의 FIC(Fast Information Channel) 정보를 통하여 전송된다. 이 외에도 휴대폰에 특정 수신 ID를 입력, 기지국으로부터 데이터 정보를 수신할 수 있도록 한 이동통신기술 응용서비스로써 기본적으로 SMS(Short Message Service)를 기반으로 하는 기술인 CBS(Cell Broadcasting Service)는 기지국 내 모든 가입자에 대한 동시 송출로 사람의 수에 관계없이 실시간 정보서비스가 가능하다^[3].

그러나 국내외에서 진행되고 있는 연구는 여러 가지 많은 문제점들을 가지고 있다. 인밴드(in-band)를 이용한 대기 모드 해제신호 생성 기술은 DTV(Digital Television) 신호에 방해를 주지 않기 위하여 송출 출력 전력이 제한되며, 커버리지 확보에 어려움이 있고 수신대기 전력이 높은 문제가 존재한다. 그리고 보급된 TV 경보방송 수신기에서는 항상 TV 전파를 수신하기 때문에, 대기 소모 전력의 증가가 수반되는 단점이 있다. 결과적으로 각종 재난 정보를 체계적으로 수집하고 이를 국민들에게 가능한 모든 매체를 통하여 효과적으로 전파할 수 있는 긴급경보 기술이 부재한 실정이다. 그러므로 기존 DTV의 보호대역을 이용한 아웃밴드(out-band) 방식의 재난방송용 대기모드해제 신호 송수신 기술 연구가 필요하다. 아웃밴드를 이용한 대기 모드 해제신호는 기존 방송시스템에는 영향을 주지 않기 위한 저전력/협대역으로 설계되어야 하며, 저전력/협대역의 환경에서 올바른 신호검출을 위하여 대기모드 해제신호 송수신에 자기상관특성이 좋은 부호들이 사용되어야 한다.

M-시퀀스와 상보부호(complementary code, CC)는 일반적으로 자기상관특성이 좋은 부호로 알려져 있다. 그러나 이 두 개의 부호는 높은 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)에서와 달리 낮은 SNR에서 자기상관특성이 열화 됨으로 인하여 저전력/협대역 대기모드 해제신호로써 사용에 제한이 따른다^[4,5].

본 논문에서는 대기모드 해제신호로 사용될 수 있는 자기상관특성이 좋은 부호들에 대한 성능 테스트 및 확산 기법을 이용하여 신호 검출 성능이 향상된 대기모드 해제신호 전송 포맷에 대하여 제안한다. 그리고 저전력에서 이러한 부호들의 검출성능은 의사잡음 계열의 Barker 부호 및

a) 경북대학교 전자공학부(School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

b) 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 (Broadcasting Systems Research Department, ETRI)

‡ Corresponding Author : 한동석(Dong Seog Han)

E-mail: dshan@knu.ac.kr

Tel: +82-53-950-6609

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 ICT융합 고급인력 과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2014-H0401-14-1004).

본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2014년 정보통신·방송 (ICT) 연구 개발사업의 연구결과로 수행되었음.

Manuscript received May 12, 2014 Revised July 12, 2014 Accepted July 12, 2014

Walsh-Hadamard 부호에 의한 직접확산기법(direct sequence spread spectrum, DSSS)으로 향상 될 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 단일 m-시퀀스와 상보부호를 이용한 대기모드 해제신호 검출 성능에 대하여 검토한다. 3장에서는 짧은 길이의 m-시퀀스에 확산을 적용한 기법을 제안한다. 4장에서는 실험결과를 종합하여 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 대기모드 해제신호 검출 기법

1. 대기모드 해제 신호 시스템

저전력/협대역에 적합한 대기모드 해제신호는 DTV 채널의 보호 대역에 삽입되고, 기존 DTV 신호에 영향을 주지 않아야 한다. 국내 ATSC(Advanced Television Systems Committee)-DTV 시스템의 보호 대역폭은 620kHz의 협대역이며, 기존 DTV 신호와의 간섭을 줄이기 위하여 대기모드 해제신호는 저전력/협대역으로 설계되어야 한다. 이러한 대기모드 해제신호를 전송하는 개념도는 그림 1과 같다^[6].

국내에서 사용하고 있는 방송시스템인 ATSC의 셀 경계에서 DTV 신호의 수신감도는 -84dBm이며, 실내 수신 안

테나를 이용하여 대기모드 해제신호를 수신할 경우 약 45dB의 SNR 손실이 발생하게 된다^[6]. 대기모드 해제신호의 전송 대역폭이 넓어질수록 기존 DTV 신호와의 간섭이 커지므로, 대기모드는 620kHz 대역폭의 보호대역안에서 최소가 되는 것이 효과적이다.

셀 경계에서 기존 DTV 신호의 간섭을 주지 않는 대기모드 해제신호의 수신 SNR은 25kHz와 50kHz 대역폭에서 각각 -6.63dB와 -9.64dB이다^[6]. 수신기에서 대기모드 해제신호의 검출 시간을 1초 이내로 하고, 인접 DTV 채널과의 간섭을 최소화하기 위하여 25kHz와 50kHz 대역폭이 적합하다. 100kHz 이상의 대역폭에서는 25kHz 및 50kHz 대역폭과 비교하여 시퀀스 길이에 따른 신호 검출 계산량의 증가로 인하여 수신단에서 검출 시간이 2~4배 이상이 필요하다. 그러므로 대기모드 해제신호의 빠른 검출을 위하여 본 논문에서 대기모드 해제신호의 대역폭을 25kHz와 50kHz를 고려하였다.

본 논문에서는 대기모드 해제신호의 변조 방식으로 페이딩에 강인하고 검출에 용이한 비동기 BFSK(Binary Frequency Shift Keying)를 고려하였다. 그림 2는 BFSK 신호의 수신기를 나타낸다. 비동기 BFSK 신호를 검출하기 위하여 수신기는 크게 2개의 동상(I)과 직교(Q) 채널로 이뤄진다. 위쪽의 채널 1은 주파수 ω_0 를 갖는 신호를 검출하며, 기준 신호들은 I-채널 1에서 $\sqrt{2/T_s} \cos \omega_0 t$ 이고, Q-채널

ATSC DTV 시스템

- 수신감도: -84 dBm
- 전계강도: 40.8 dBuV/m (Cable loss고려)

그림 1. 대기모드 해제 시스템 개념도
Fig. 1. The concept of wake-up system

그림 2. 비동기 BFSK 수신기
Fig. 2. The receiver of asynchronous BFSK

1에서는 $\sqrt{2/T_s} \sin \omega_0 t$ 이다. 유사하게 채널 2에서는 주파수 ω_1 를 갖는 신호를 검출하며, 여기에서 기준 신호들은 아래 I-채널 2에서 $\sqrt{2/T_s} \cos \omega_1 t$ 이고, Q-채널 2에서 $\sqrt{2/T_s} \sin \omega_1 t$ 이다.

그림 2로 부터 수신 신호 $s_i(t)$ 는

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos(\omega_i t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos\{(\omega_c t + i\Delta\omega)t\}, \quad (1)$$

$$0 \leq t \leq T_s, i = 0, 1$$

이다. 여기서 L 은 FSK 변조 레벨이고, $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_0$ 는 주파수 사이의 간격, T_s 는 심볼 간격, E_s 는 심볼 에너지를 나타낸다. 송신 신호의 검출은 다음 식을 따른다^[7].

$$\max \left\{ \frac{\{\sqrt{E_s} \cos(\omega_i t) + n_c\}^2 + \{\sqrt{E_s} \sin(\omega_i t) + n_s\}^2}{n_c^2 + n_s^2} \right\} \quad (2)$$

수신된 신호 $\sqrt{2E_s/T_s} \cos(\omega_i t)$ 는 그림 2에서 음의

신호가 나타나는 것을 방지하기 위하여 곱 적분기 뒤에서 제곱 연산을 수행한다. 최종적으로 에너지 검출기의 어느 쌍이 최대의 출력을 나타내는가에 따라 송신 신호가 '0' 혹은 '1'임을 판단하게 된다.

비동기 BFSK 방식에서 FSK 신호의 직교성이 유지되는 최소 주파수 톤 간격은 $\Delta\omega = 2\pi/T_s$ 이다. 그러므로 25kHz 대역폭과 50kHz 대역폭에서 전송할 수 있는 최대 데이터 속도는 각각 12,500과 25,000[bps]가 된다.

2. 단일 이진 m-시퀀스와 상보부호를 이용한 대기모드 해제신호 검출

이 절에서는 단일 이진 m-시퀀스와 상보부호를 이용한 대기모드 해제신호 검출에 대하여 알아본다. 이진 m-시퀀스는 랜덤 특성으로 생성되지만 통계적 특성이 결정적인 디지털 파형이며 생성이 용이하다. 이로 인하여 이진 m-시퀀스는 통신시스템에서 동기, 변복조, 대역 확산 등의 역할을 수행한다. 이진 m-시퀀스는 주로 시프트 레지스터를 이용한 채환 방식을 통하여 쉽게 생성된다. 길이 $M = 2^n - 1$

인 이진 m-시퀀스 p 의 주기 자기상관특성은

$$\rho_m(n) = \sum_{i=0}^{M-1} p(i)p\{(n+i)_M\} = \begin{cases} M, & n=0 \\ -1, & n \neq 0 \end{cases}, n=0, \dots, M-1 \quad (1)$$

이다. $(\cdot)_M$ 은 모듈러 연산을 나타내며, 식 (3)으로부터 이진 m-시퀀스의 자기 상관 값은 측대파의 크기가 -1로써 이상적인 부호에 가까운 특성을 나타냄을 알 수 있다.

한편, 상보부호는 한 개의 짝을 이루는 두 개의 부호로 이루어져 있으며 각각 부호의 자기상관을 더하게 되면, 정확하게 부호 전체 길이만큼의 첨두치가 발생한다. 그리고 측대파 신호가 0으로 수렴하여 이상적인 비주기 자기 상관 특성을 가진다. 이는 이진 m-시퀀스 보다 좋은 자기상관특성을 나타낸다.

길이 L 을 갖는 하나의 시퀀스 열벡터 $\mathbf{a} = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{L-1})$ 를 가정하면, $\mathbf{a}$ 의 비주기 상관은 다음과 같다.

$$\rho_a(k) = \sum_{i=0}^{L-k-1} a_i a_{i+k}, 0 \leq k \leq L-1 \quad (4)$$

그리고 시퀀스 $\mathbf{a}$ 와 같은 길이의 유사 열벡터 $\mathbf{b} = (b_0, b_1, b_2, \dots, b_{L-1})$ 라 할 때, 시퀀스 $\mathbf{a}$ 와 $\mathbf{b}$ 가 다음 식의 관계를 만족하면, 시퀀스 $\mathbf{a}$ 와 $\mathbf{b}$ 는 한 쌍의 상보부호라고 정의한다.

$$\rho_a(k) + \rho_b(k) = \begin{cases} 2L, & k=0 \\ 0, & k \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

상보부호의 생성은 아래 생성식과 같이 재귀적으로 생성된다^[8].

$$\begin{aligned} a_0(k) &= b_0(k) = 1 \\ a_n(k) &= a_{n-1}(k) + W_n \cdot b_{n-1}(k-2^{n-1}), n=1, 2, \dots, \log_2 L \\ b_n(k) &= a_{n-1}(k) - W_n \cdot b_{n-1}(k-2^{n-1}), k=0, 1, 2, \dots, L-1 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 k 는 시간 인덱스, N 은 생성 다항식의 재귀 수를 나타낸다. 그리고 각각의 길이가 L 인 $a_n(k)$ 와 $b_n(k)$

는 하나의 상보부호를 생성한다. 만약 상보부호 생성계수 W_n 이 1 또는 -1이라면 Golay 부호(이진 CC)라고 부른다.

M-시퀀스와 상보부호를 이용한 대기모드 해제신호의 수신 여부는 각각의 부호를 가용 대역폭 안에서 길이를 가변시키고, BFSK 변조를 통하여 전송한 후 수신단에서 각 부호의 자기상관의 첨두치를 검출함으로써 판단할 수 있다.

III. 확산기법을 이용한 제안 대기모드 해제신호 검출

직접확산방식은 피 확산 신호(데이터)의 대역폭에 비하여 충분히 넓은 스펙트럼을 갖는 확산 부호를 직접 곱함으로써, 전송신호를 넓은 대역으로 분산하여 매우 작은 전력으로 송신하는 기술이다. 일반적으로 직접확산통신 방식은 정해진 대역폭 내에서 확산 부호의 칩 레이트를 결정하고, 칩 레이트를 고려하여 데이터 전송속도를 결정한다. 여기서 전송속도에 대한 칩 레이트 비율을 나타낸 것을 확산 이득이라고 하며, 확산 이득이 클수록 전송 신호를 주파수 영역에서 넓게 확장시킬 수 있게 된다. 이와 함께 채널로부터의 잡음을 분산시키는 효과를 얻게 된다^[9,10]. 그림 3은 의사잡음 부호를 이용한 직접확산방식의 개념도를 나타낸다.

그림 3에서는 송신 입력데이터 d_t 에 확산부호 p_t 를 곱한 확산된 신호 $x_t (= d_t \cdot p_t)$ 를 백색가우스잡음 채널을 통하여 송신한다. 대기모드 해제신호는 협대역 채널을 통하여 전송됨으로 페이딩에 의한 영향을 받지 않는다. 확산부호 p_t 는 기저대역신호 d_t 의 대역 $R_s = 1/T_s$ 를 $R_c = T_c$ 로 확산하는 역할을 한다. 여기서 T_s 와 T_c 는 기저대역 신호의 심볼 레이트와 칩 레이트를 각각 나타낸다. 수신기에서는 수신된 신호 r_t 를 이미 알고 있는 확산부호 p_r 과의 자기상관을 이용하여 역 확산한다. 그러므로 역 확산을 통한 데이터 검출의 정확성을 높이기 위하여 확산부호의 자기상관 특성이 매우 중요하다. 그림 4는 제안 시스템의 블록도를 나타낸다.

그림 3 의사잡음부호를 이용한 직접확산방식 개념도

Fig. 3. The autocorrelation of complementary code for the detection of wake-up signal

그림 4 wake-up 신호 검출 제안 기법 블록도

Fig. 4. The block diagram of proposed method for detection of wake-up signal

제안된 기법은 송신단에서 이진 m-시퀀스를 송신 데이터로 사용하고, 가용 대역폭 내에서 m-시퀀스를 확산 부호를 이용하여 확산 후 전송한다. 수신기에서는 비동기 FSK 복조를 통하여 신호를 복조하고, 복조된 신호를 수신단에서 알고 있는 확산 부호의 자기상관 성질을 이용하여 전송된 m-시퀀스를 찾는다. m-시퀀스의 각 요소들은 시간 지연(time lag)이 0이 되는 지점에서 확산 부호의 자기상관 첨두치가 양 또는 음 인가에 따라 1 또는 -1로 결정된다.

본 논문에서는 저전력/협대역에서의 PN 계열의 Barker 코드와 Walsh-Hadamard 부호를 확산 부호로 사용한 대기

모드 해제신호 포맷을 제안한다. Barker 부호는 자기상관 특성과 확산에 의한 이득이 큰 부호이다. 반면, Walsh-Hadamard 부호는 자기상관특성이 Barker 부호보다 좋지 않지만, 확산에 의한 이득이 크며 부호의 길이를 쉽게 가변할 수 있다는 장점을 갖는다.

Barker 부호는 길이가 짧은 고유 부호로써 좋은 비주기 자기 상관 특성으로 인하여 디지털 통신 시스템에서 프레임 동기를 위하여 일반적으로 사용된다. Barker 부호는 이진원소 $\{-1, 1\}$ 로 이뤄지며, 길이 l 을 갖는 Barker 부호 $s(t)$ 의 비주기 자기 상관 $\rho_s(\tau)$ 는 다음 식과 같다^[11].

$$|\rho_s(\tau)| \leq 1 \quad \forall \quad \tau, \quad -(l-1) \leq \tau \leq l-1 \quad (7)$$

여기서 τ 는 상관함수의 시간 지연을 나타낸다.

식(7)로부터 Barker 부호 자기상관 함수의 최대값 n 이 되고, 최소 측대파의 크기가 1이 됨을 알 수 있다. Barker 부호는 최대길이 13을 가지며 낮은 측대파 특성을 나타낸다. 표 2는 길이 별 Barker 부호 목록을 나타낸다. +와 -는 각각 1과 -1의 이진 값을 의미한다.

표 2. 길이별 Baker 부호
Table 2. Barker codes according to its length

길이	부호열
1	+
2	++ 또는 +-
3	++-
4	+++ 또는 ++-+
5	++++
7	++++-
11	++++-+-
13	+++++--+-

Walsh-Hadamard 부호는 Barker 부호와 비교하여 자기 상관특성은 좋지 않지만 확산 부호의 길이 가변되며 확산에 의한 이득이 큰 부호이다. 길이 $N = 2^n$ 의 Walsh-Hadamard 부호의 생성 알고리즘은 다음과 같다^[12].

$$H_N = \begin{bmatrix} H_{N/2} & H_{N/2} \\ H_{N/2} & -H_{N/2} \end{bmatrix} \text{ with } H_1 = 1 \quad (8)$$

다음 절에서는 저전력/협대역에 가장 적합한 부호와 성능을 살펴보기 위하여 기존 단일 m-시퀀스와 상보부호를 이용한 대기모드 해제신호 검출 성능을 검토한 후, 제안한 포맷의 수신 성능과 비교 분석한다.

IV. 실험 및 결과

본 장에서는 확산을 이용한 제안 기법의 성능을 비교 분석하기 위하여 우선 50kHz 대역폭에서 수신 SNR을 기준

으로 단일 m-시퀀스와 상보부호를 이용한 대기모드 해제신호 검출 성능을 분석한다. 25kHz 대역폭의 수신 SNR -7dB에서의 실험 결과는 뒤에서 추가로 설명한다.

50kHz 대역폭에서 실내 수신안테나를 이용하여 대기모드 해제신호를 수신할 경우, 수신 SNR은 앞서 설명한 것과 같이 약 -9.6dB가 되어야 한다. 그러므로 본 실험에서는 -9.6dB의 낮은 SNR에서 이진 m-시퀀스와 상보부호의 길이를 가변시켜 검출 성능을 검토하였다. 실험에서 사용한

그림 5. 이진 m-시퀀스의 자기상관(SNR=-9.6dB, bandwidth=50kHz) a) 길이-8191 b) 길이-16383

Fig. 5. The autocorrelation of binary m-sequence for the detection of wake-up signal(SNR=-9.6dB, bandwidth=50kHz) a) Length-8191 b) Length-16383

m-시퀀스의 길이는 8191, 16383이며, 상보부호는 길이 8192, 16384를 사용하였다. 그림 5는 -9.6dB에서 8191, 16383길이의 m-시퀀스를 수신단에서 비동기 FSK 복조 후 자기상관 결과를 나타낸다.

그림 5에서 대기모드 해제신호로써의 m-시퀀스 자기상관의 크기는 m-시퀀스의 길이로 정규화 되어 시간지연이 0일 때 1이 되어야 한다. 그러나 그림 5에서는 이진 m-시퀀스의 길이를 최대 16383까지 늘려도 그 크기는 커지지 않기 때문에, 측대파와 분리될 만한 충분한 자기 상관 이득을

그림 6. 상보부호의 자기상관(SNR=-9.6dB, bandwidth=50kHz) a) 길이-8192 b)길이-16384

Fig. 6. The autocorrelation of complementary code for the detection of wake-up signal(SNR=-9.6dB, bandwidth=50kHz)

a) Length-8192 b) Length-16384

얻지 못함을 알 수 있다. 그림 6은 길이 8192, 16384길이의 상보부호를 이용한 대기모드 해제신호로써의 검출 성능을 나타낸다.

그림 6의 상보부호를 이용한 대기모드 해제신호 검출 결과는 m-시퀀스와 비슷하게 상보부호의 길이를 16384까지 늘려도 충분한 자기 상관의 이득을 얻지 못함을 알 수 있다. 특히 상보부호의 검출 성능은 낮은 SNR에서 부호의 길이에 상관없이 없다는 것을 확인할 수 있다.

상보부호는 높은 SNR에서 이진 m-시퀀스와 비교하여 측대파와 신호의 크기가 작은 좋은 성능을 보여주지만 0dB 이하의 낮은 SNR에서는 오히려 이진 m-시퀀스보다 나쁜

그림 7. 대기모드 해제신호 검출(SNR=-7dB, bandwidth=25kHz) a) Barker 부호를 이용한 확산 기법 b) 단일 이진-m 시퀀스

Fig. 7. The detection of wake-up signal(SNR=-7dB, bandwidth=25kHz) using a) Barker spreading b) m-sequence

성능을 나타내었다. 특히 상보부호는 낮은 SNR에서 부호 길이를 늘려도 성능의 향상이 크게 나타나지 않았다. 이는 낮은 SNR에서 상보부호의 특성이 이진 m-시퀀스와 비교하여 더 쉽게 깨진다는 것을 증명한다. 그러므로 저전력 대기모드 해제신호의 목적으로써는 이진 m-시퀀스가 더 적합하다고 볼 수 있다. 그러나 이진 m-시퀀스를 가용 대역폭내의 최대 길이(16383)로 늘려도 수신 SNR -9.6dB를 만족하는 대기모드 해제신호로써 적합할 만큼의 좋은 성능을 나타내지는 못하였다. 다시 말해서, 단일 이진-m 시퀀스의 길이 증가에 따른 자기상관 이득만으로 낮은 수신 SNR에서의 충분한 검출 성능을 얻을 수 없다는 것을 알 수 있다.

다음으로 본 논문에서 제안한 Barker 부호와 Walsh-Hadamard 부호를 이용한 대기모드 해제신호 검출 성능에 대하여 살펴본다. 그림 7은 25kHz 대역폭에서 수신 SNR 기준인 -7dB에서 511의 m-시퀀스를 길이 13의 Barker 부호로 확산한 후 수신단에서의 검출 성능을 길이 8191의 단일 m-시퀀스의 성능과 비교한 결과이다.

그림 7에서는 단일 m-시퀀스를 사용한 방법보다 Barker 부호를 이용한 확산 기법이 약 1~2dB 정도의 높은 이득을 얻는 것을 알 수 있다. 이는 Barker 부호를 이용한 기법이 단일 m-시퀀스를 이용한 검출 방식과 비교하여 짧은 길이의 부호로써 보다 좋은 성능을 가질 수 있다는 것을 의미한다. 그림 8은 그림 7과 같은 조건에서 50kHz 대역폭의 수신

그림 8. Barker 부호를 이용한 확산 기법(SNR=-9.6dB, bandwidth=50kHz)
Fig. 8. The spreading method using Barker code(SNR=-9.6dB, bandwidth=50kHz)

SNR 기준인 -9.6dB로 낮춰 실험한 결과이다.

그림 8을 보면 자기 상관 값이 최대와 값보다 작기 때문에 이는 수신 측에서 대기모드 해제신호의 수신 여부를 판단하기에 충분하지 않음을 알 수 있다. -9.6dB에서 신호 검출을 위하여 확산이득을 높여야 하지만, Barker 부호는 최대 길이가 13으로 제한되므로 -9.6dB에서 안정적인 신호 검출을 할 수 없다. 그리고 최대 Barker부호에서 m-시퀀스의 길이를 1023, 2047과 같이 더 늘려도, 대기모드 해제신호로써의 충분한 검출 성능을 얻지 못하였다.

그러므로 확산에 의한 이득을 크게 하기 위하여 Barker 부호와 비슷한 성능을 가지면서 동시에 부호 길이를 좀 더

(a)

(b)

그림 9. Walsh-Hadamard 부호를 이용한 확산 기법(SNR=-9.6dB, bandwidth=50kHz) a) 길이 16352 b) 길이 16320

Fig. 9. The spreading method using Walsh-Hadamard code(SNR=-9.6dB, bandwidth=50kHz) a) SNR=-7dB b) SNR=-9.6dB

유동적으로 가변 할 수 있는 Walsh-Hadamard 부호를 고려하였다. 그림 9는 Walsh-Hadamard 부호를 이용한 대기모드 해제신호 검출 결과를 나타낸다.

그림 9에서는 -9.6dB에서 적합한 자기상관 값을 얻기 위하여 $16352(=511 \times 32)$, $16320(=255 \times 64)$ 경우에 대하여 실험하였다. 그림 5와 6의 단일 m-시퀀스와 상보부호를 이용한 실험결과와 비교하였을 때, $16352(=511 \times 32)$, $16320(=255 \times 64)$ 두 경우 모두 -9.6dB에서 안정적인 특성을 나타낸다. 그러므로 -9.6dB의 실험환경에서는 $16352(=511 \times 32)$, $16320(=255 \times 64)$ 두 경우의 조합이 가장 좋은 성능을 나타낸다고 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Barker 부호와 Walsh-Hadamard 부호를 확산 부호로 사용하여 대기모드 해제신호의 검출 기법을 제안하였다. Barker 부호와 Walsh-Hadamard 부호를 사용한 확산 기법은 단일 이진 m-시퀀스와 상보부호에 비하여 낮은 SNR에서 보다 높은 검출 성능을 나타낸다. 한편, Barker 부호의 경우 부호의 길이가 제한적이기 때문에, 50kHz 대역폭의 -9.6dB 환경에서 적절한 확산 조합을 찾기가 어려운 점이 있다. 그러나 Barker 부호는 25kHz 대역폭의 수신 SNR -6.63dB를 기준으로 m-시퀀스 계열 부호들 및 Walsh-Hadamard 부호와 비교하여 가장 높은 성능을 나타낸다. 그리고 50kHz 대역에서는 확산 부호로써 길이가 쉽게 가변되는 Walsh-Hadamard 부호를 사용한 확산 방법

이 가장 적합하다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] Handbook on Emergency Warning Broadcasting Systems, Kazuyoshi Shogen, 2009년 6월, ABU.
- [2] The current state of the service for DTV disaster broadcasting, TTA Journal No. 131.
- [3] KBS DMB disaster broadcast, KBS, D. P. Kwon, TTA.
- [4] M. Baldi, F. Chiaraluce, N. Boujnah, and R. Garelo, "On the Autocorrelation Properties of Truncated Maximum-Length Sequences and Their Effect on the Power Spectrum", IEEE Trans. Signal Processing., vol. 58, no. 12, pp. 6284-6297, Dec. 2010.
- [5] C. C. Tseng and C. L. Liu, "Complementary Sets of Sequences", IEEE Trans. Information Theory, vol. 18, no. 5, pp. 644-652, Sep. 1972.
- [6] W. Oh, Y. W. Lee, D. H. Kang, The research for transmission technology in low power and narrow band, Chungnam National University, 2013. 01. 31.
- [7] John G. Proakis and M. Salehi, Digital Communications, McGraw-Hill, 2008.
- [8] Golay, J. E. Marcel, "Complementary series", Information Theory., vol. 7, no. 2, pp. 82-87, Apr. 1961.
- [9] S. L. Miller, "An adaptive direct-sequence code-division multiple-access receiver for multiuser interference rejection", IEEE Trans. Communications., vol. 43, no. 234, pp. 1746-1755, Feb/Mar/Apr. 1995.
- [10] H. G. Zhang, L. Gan, H. S. Liao, P. Wei, and L. P. Li, "Estimating spreading waveform of long-code direct sequence spread spectrum signals at a low signal-to-noise ratio", IET Signal Processing., vol. 6, no. 4, pp. 358-363, Jun. 2012.
- [11] S. W. Golomb and R. A. Scholtz, "Generalized Barker sequences", IEEE Trans. Information Theory., vol. 11, no. 4, pp. 533-537, Oct. 1965.
- [12] V. M. Dasilva, "Multicarrier orthogonal CDMA signals for quasi-synchronous communication systems", IEEE Journal on Selected Areas in Communications., vol. 12, no. 5, pp. 842-852, Jun. 1994.

저 자 소 개

박 해 응

- 2011년 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 공학사
- 2012년 ~ 현재 : 경북대학교 모바일통신공학과 석사과정
- 주관심분야 : 디지털 방송통신 신호처리

저 자 소 개

조 봉 군

- 2008년 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 공학사
- 2011년 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 공학석사
- 2011년 ~ 현재 : 경북대학교 IT대학 대학원 박사과정
- 주관심분야 : MIMO, 디지털 방송/통신 신호처리

김 홍 목

- 1993년 : 포항공대 전자전기공학과 공학사
- 1995년 : 포항공대 전자전기공학과 공학석사
- 2013년 : KAIST 정보통신공학과 공학박사
- 1993년 ~ 2001년 : POSCO 기술연구소 연구원
- 2002년 ~ 2003년 : (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 지상파방송연구실 실장
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 방송/통신 신호처리

한 동 석

- 1987년 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1989년 : KAIST 전기 및 전자공학과 공학석사
- 1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과 공학박사
- 1987년 : 10월 ~ 1996년 8월 삼성전자 기술총괄신호처리 연구소 선임연구원
- 1996년 : 8월 ~ 현재 경북대학교 IT대학 교수
- 2006년 : 7월 ~ 2008년 7월 정보통신연구진흥원 디지털 TV/방송사업단 단장
- 2011년 ~ 현재 : 경북대학교 IT·자동차융합연구센터장
- 주관심분야 : 통신신호처리, 지능형 교통 시스템