

## 전력선 통신 채널의 비 가우시안 임펄스 잡음에 대한 멀티코드 CDMA 방식의 성능

나성주<sup>o</sup>, 신요안  
승실대학교 정보통신전자공학부

### Performance of Multi-Code CDMA Schemes on Non-Gaussian Impulse Noise in Power Line Communication Channels

Sung-Ju Na and Yoan Shin  
School of Electronic Engineering, Soongsil University  
(E-mail : juna@cip-snowwhite.soongsil.ac.kr)

#### 요 약

전력선은 백색 가우시안 배경 잡음뿐 아니라 임펄스 잡음, 고조파 잡음 등의 비 가우시안 잡음들로 인해 통신 채널로서 열악한 전송 특성을 나타낸다. 또한 좁은 가용 대역폭으로 인해, 광대역 특성이 요구되는 DS-CDMA 방식과 같은 대역 확산 시스템의 적용에 한계가 있다. 본 연구에서는 차세대 고속 이동 통신을 위한 다원접속/변조방식인 멀티코드 (multi-code) CDMA 방식과 이에 길쌈 부호와 인터리빙 등의 부호화 기능을 더한 시스템을 전력선 통신 시스템에 적용하고, 모의실험을 통해 전력선 채널의 비 가우시안 잡음의 영향을 매우 효과적으로 보상할 수 있음을 확인하였다.

#### 1. 서 론

최근 사무용 빌딩이나 공장용 건물뿐 아니라 가정 주택에도 수많은 센서와 계측기가 장치되어 있고, 이들로부터 얻어지는 각종 데이터의 처리, 교환 및 제어뿐만 아니라 컴퓨터 통신 등 여러 가지 응용을 위하여 국부적인 통신망에 대한 수요가 증가하고 있으며, 이를 위한 통신 채널의 확보가 중요하게 되었다 [1]. 통신 채널을 위해 일반적으로 유선 링크를 사용하게 되는데 설치 비용과 설치 시 외관상의 문제 및 설치 장소에 대한 제약성 등 여러 가지 문제점을 내포하고 있다. 이러한 유선 링크에 대한 대안으로서 무선이나 적외선 채널을 사용할 수 있지만, 무선의 경우 사용 허가, 주파수 자원의 한정 및 간섭 등의 문제가 있으며, 적외선 채널의 경우 데이터의 전송을 위해 가시선 (line-of-sight)을 확보해야 한다는 문제점이 존재한다 [2].

이러한 문제점을 극복하기 위해 최근 들어 전력선

을 이용한 통신 시스템이 활발히 연구되고 있다 [1].

전력선 통신 시스템은 이미 대부분 포설되어 있는 전력선을 통신 채널로 이용함으로써, 별도의 설치 작업 없이 선로의 확보가 가능하고 벽면의 소켓에 플러그를 접속함으로써 간단히 통신이 가능하다는 큰 장점이 있다. 하지만, 전력선 통신 채널은 가용 주파수 대역이 제한되어 있고, 임피던스, 감쇠, 잡음 레벨의 불확실성과 시변성 및 백색 가우시안 (white Gaussian) 배경 잡음뿐 아니라 임펄스 잡음, 고조파 잡음 등의 비 가우시안 (non-Gaussian) 잡음 등을 포함하는 매우 열악한 전송 특성을 나타낸다 [3,4,5].

최근 들어 대역 확산을 통해 잡음과 협대역 간섭에 대하여 강인한 특성을 보이는 DS-CDMA (direct sequence-code division multiple access) [6] 방식을 전력선 통신 시스템에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다 [2,7,8,9]. 하지만, 대역 확산 방식을 기반으로 한 전력선 통신 시스템의 가장 큰 문제점 가운데 하나는 전력선의 제한된 대역폭을 들 수 있다.

본 연구에서는 차세대 이동 통신 시스템인 IMT-2000에서 고속 멀티미디어 데이터 전송을 위한 멀티코드 (multi-code) CDMA [10,11] 방식을 전력선 통신 시스템에 적용하고자 한다. 특히 전력선 통신 채널의 비 가우시안 잡음의 영향을 보상하기 위해, 길쌈 부호 (convolutional code)와 인터리빙 (interleaving) 등의 부호화 기능을 더한 시스템을 제안한다. 멀티코드 CDMA 방식은 입력 데이터를 병렬 비트로 변환하고 이들 변환 신호를 Walsh 부호와 같은 직교 부호를 이용하여 구분하여 동시 전송하는 방법으로서, 병렬 변환에 의하여 협대역 채널에서도 DS-CDMA에 비해 처리 이득 (processing gain)을 크게 증가시킬 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다: 다음 절에서는 전력선 채널의 특성 및 제안된 멀티코드 CDMA 방식

을 설명하며, 3 절에서는 채널 모델링에 대한 토의와 모의실험을 통한 성능 평가 결과에 대하여 살펴봄, 마지막으로 4 절에서 결론을 맺는다.

## 2. 멀티코드 CDMA 방식을 이용한 전력선 통신 시스템

통신 채널로서의 전력선에는 백색 가우시안 배경 잡음 뿐만 아니라, 고조파 (harmonic) 협대역 잡음 및 임펄스 (impulse) 잡음이 발생하는 등 매우 열악한 특성을 지닌다. 고조파 잡음은 전원 공급 장치 같은 스위칭 장치에 의해 발생하며, 전원이 주기성을 가지고 있으므로 이러한 장치에서는 60 Hz나 이의 고조파에서 스위칭이 일어나고, 따라서 이들 주파수 성분의 고조파 잡음이 발생한다. 이러한 잡음은 모든 전원 배전 시스템에 존재한다. 한편 충격 잡음의 경우, 전력선에 연결되어 있는 전기 기기의 순간적인 접속과 단락에 의해 발생한다[4].

이러한 잡음 외에도 전력선을 통신 시스템으로 사용하는데 크게 제약이 되는 요인 가운데 하나가 제한된 주파수 대역폭 (예를 들어, 우리나라 및 일본의 경우 10 kHz - 450 kHz)을 들 수 있다[12]. 또한, 가용 전력의 전력의 제한, 건물 내 전력선의 위치와 시간에 따른 임피던스 감쇠의 변동이 심하다는 문제점 등을 들 수 있다.

위에서 살펴본 전력선의 열악한 특성을 극복하는 통신 방식으로서 최근 들어 DS-CDMA 방식에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. DS-CDMA 방식을 전력선 통신에 사용할 경우, 매우 빠른 PN (pseudo noise) 부호를 이용한 대역 확산을 통하여 잡음과 협대역 간섭에 대하여 매우 강한 특성을 보인다. 또한 DS-CDMA 방식을 사용하였을 경우, 피크 전력에 대한 제한이 존재하는 상황에서 정보 신호가 확산되기 때문에 전송 신호의 스펙트럼 크기가 저하되어 전력선에 연결되어 있는 여타 전기 기기에 미치는 영향도 감소시킬 수 있다.

DS-CDMA와 같은 대역 확산 방식에서, 비 가우시안 잡음이나 협대역 간섭에 대한 강인성은 확산 후의 대역폭과 원래 데이터의 대역폭 사이의 비인 처리이득에 의해 결정된다. 하지만 전력선과 같이 대역폭이 한정되어 있는 경우, 충분한 확산이 불가능해져 일정 기준 이상의 처리이득을 얻기가 매우 힘들어지게 되고, 따라서 잡음 및 간섭에 대하여 효과적으로 대처할 수 없게 된다. 본 논문에서는 DS-CDMA 방식의 이러한 문제점에 착안하여, 차세대 IMT-2000 고속 이동 통신 시스템을 위해 제안된 멀티코드 CDMA 방식을 전력선 통신에 적용하고자 한다.

멀티코드 CDMA 시스템은 사용자의 고속 데이터를 여러 개의 저속 데이터로 병렬 변환한 뒤 이들 저

속 데이터를 직교 Walsh 부호를 이용하여 변조, 구분하여 동시 전송하는 방식이다[10,11]. 이런 동시 전송을 위한 다중화 방법은 신호의 직교성에 기반을 두고 있으며, 직교성의 보장을 위하여  $M$ 개  $M$ -비트 시퀀스로 구성된  $M \times M$  Walsh 부호를 사용한다. Walsh 부호의  $j$ 번째  $M$ -비트 시퀀스  $w_j(t)$  ( $j = 0, \dots, M-1$ )는 각 비트가 +1 또는 -1이며, 비트 간격이  $T$  (sec)일 때  $MT$  (sec)동안 식 (1)의 완전 정규 직교 조건을 만족한다.

$$\frac{1}{MT} \int_0^{MT} w_j(t) w_k(t) dt = \begin{cases} 1, & j = k \\ 0, & j \neq k \end{cases} \quad (1)$$

$(j, k = 0, \dots, M-1)$

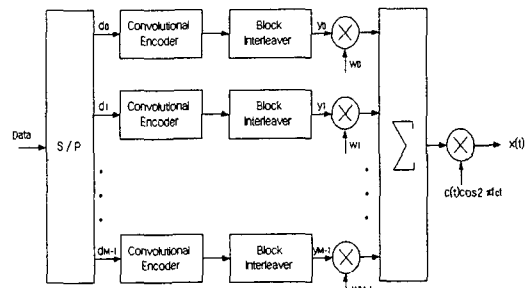


그림 1 : 제안된 멀티코드 CDMA 송신기.

그림 1은 제안된 멀티코드 CDMA 송신기 구조를 도시한다. 시스템 구성의 특이점으로서, 전력선 채널의 비 가우시안 잡음에 의한 성능 열화를 보상하기 위해, 길쌈 부호기(convolutional encoder)와 블록 인터리버 (block interleaver)[13]를 사용하는 점을 들 수 있다. 제안 방식 송신기에서 먼저 비트 간격  $T_b$  (sec)인  $M$ 개 입력 비트는 직렬/병렬 변환 (S/P)되어 비트 간격  $MT_b$ 인  $M$ 개 비트  $d_j$  ( $j = 0, \dots, M-1$ )로 변환된다. 이들은 부호율 (code rate)이  $r$  ( $0 < r < 1$ )인 길쌈 부호기와 블록 인터리버를 통과하여 비트 간격이  $rMT_b$ 인 신호  $y_j(t)$ 로 변환된 후, 비트 간격이  $rT_b$ 인  $M$ 개 Walsh 시퀀스  $w_j(t)$ 에 의해 각각 변조된다. 이들 변조 신호  $y_j(t)w_j(t)$ 들은 합해지고, 칩 간격이  $T_c \equiv rMT_b/N$ 인 주기- $N$ 의 PN 시퀀스  $c(t)$ 에 의해 확산된 후 반송 주파수가  $f_c$  (Hz)인 주반송파에 의해 상향 변조되어 전송된다. 결국,  $T_w \equiv rMT_b$  동안 송신 신호  $x(t)$ 는 식 (2)와 같다.

$$x(t) = \sum_{j=0}^{M-1} y_j(t)w_j(t) c(t) \cos 2\pi f_c t \quad (2)$$

$(t \in [0, T_w])$

여기서 PN 시퀀스  $c(t)$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$c(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \left[ \sum_{i=0}^{rMT_b/T_c-1} c_i \psi(t - mT_b - iT_c) \right] \quad (3)$$

$(t \in [0, T_w])$

이 식에서,  $c_i \in \{+1, -1\}$ 는 PN 부호의  $i$ 번째 칩, 그리고  $\psi(\cdot)$ 는 아래와 같은 단위 구형 펄스를 나타낸다.

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, T_c) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$M$ 개의 병렬 비트  $d_i$ 의 비트 간격은 입력 비트 간격  $T_b$ 에 비해  $M$ 배 증가되고, 따라서 대역폭이  $M$ 배 감소하므로 처리이득은

$$G_p \equiv \frac{MT_b}{T_c} = \frac{MN}{r} \quad (5)$$

이 되어, DS-CDMA 경우에 비해  $M$ 배 증가한다.

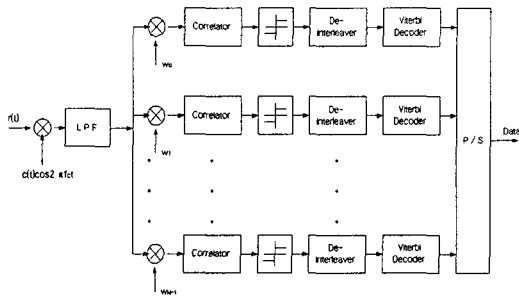


그림 2 : 제안된 멀티코드 CDMA 수신기.

그림 2는 제안하는 멀티코드 CDMA 수신기 구조를 보여주며, 블록 디인터리버 (de-interleaver)와 비터비 복호기 (Viterbi decoder)와 같은 송신기의 역과정을 수행함을 알 수 있다. 특히, 이 그림에서는 잡음들만을 고려하여 각 채널에 상관기 (correlator)와 이진 결정기만을 사용하는 구조를 도시하고 있으며, 실제 전력선 채널의 페이딩 특성을 고려할 경우 다이버시티를 수행하는 Rake 수신기[6] 등을 이용하게 된다. 표 1에서는 실제 본 연구에서 고려한 시스템의 사양을 정리하여 보여주며, 식 (6)과 (7)은 각각 사용된 길쌈 부호와 PN 부호의 생성 다항식을 나타낸다.

$$g_{\text{conv}}^{(1)}(x) = 1 + x + x^2 \quad (6-1)$$

$$g_{\text{conv}}^{(2)}(x) = 1 + x^2 \quad (6-2)$$

$$g_{\text{PN}}(x) = 1 + x + x^2 + x^5 + x^6 \quad (7)$$

### 3. 모의 실험 결과

모의 실험은 기저대역 등가 모델 (baseband equivalent model)을 통해 수행되었으며, 전력선 채널에서 배경 잡음과 임펄스 잡음을 고려하였다. 배경 잡음의 경우, 양방향 전력 스펙트럼 밀도가  $N_0/2$  (W/Hz)인 부가성 백색 가우시안 잡음 (additive white Gaussian noise; AWGN)을 고려하였다[3].

임펄스 잡음의 경우 참고 문헌 [3]의 모델링 방법을 적용하였다. 발생율의 경우 약 120 Hz을 나타내며 따라서 8.3 msec 마다 임펄스를 생성하여 첨가하였다. 한편, 임펄스 잡음의 지속 시간 (혹은 폭)의 경우 40  $\mu$ sec와 80  $\mu$ sec가 되며 이를 각 임펄스마다 랜덤하게 적용하였다. 또한, 임펄스의 크기는 대부분 해당 발생 시간의 배경 잡음의 크기의 5배 혹은 10배가 되며 발생 빈도가 거의 같다는 사실을 이용하여, 매 임펄스 생성 시 동일한 확률로 랜덤하게 크기가 결정되도록 하였다.

표 1 : 시스템의 사양.

	사양
변조 방식	BPSK
데이터 전송율	6.8 kbps ( $T_b = 0.147$ msec)
Walsh 부호	$8 \times 8$ ( $M = 8$ )
길쌈 부호기	부호율 $r = 1/2$ Constraint length $K = 3$
블록 인터리버	$24 \times 16$
PN 부호	주기 $N = 127$ 칩전송율 $\frac{N}{rMT_b} \approx 215.9$ kcps
반송파 주파수	230.04 kHz
실제 사용 가정 주파수	14.14 - 445.94 kHz
펄스 세이핑	고려 않함

그림 3은 배경 잡음인 AWGN만이 존재하는 경우와 AWGN과 임펄스 잡음이 동시에 존재하는 경우, 배경 잡음의 신호대잡음비  $E_b/N_0$ 에 따른 제안된 멀티코드 CDMA 방식의 비트오율 (bit error rate; BER) 성능을 도시한다. 여기서 길쌈 부호와 인터리빙과 같은 부호화를 적용하는 경우 ("Coded")와 그렇지 않은 경우 ("Uncoded")를 같이 도시하고 있다. 먼저 배경 잡음만이 존재하는 경우, 부호화의 유무와 관계없이 적정 수준의 비트오율 성능을 얻을 수 있으나 부호화 사용에 의해  $10^{-4}$ 의 비트오율에 대해 약 2 dB 가량의 성능 향상이 가능함을 알 수 있다. 하지만 배경 잡음과 임펄스 잡음이 동시에 존재하는 경우, 부호화를 사용하지 않은 시스템에서는 error floor 현상이 발생하는 매우 열악한 성능을 보이나, 부호화를 통해 월등한 비트오율 성능을 얻을 수 있음을 알 수

있다. 또한, 배경 잡음에 대한 부호화 없는 경우의 결과보다 임펄스 잡음이 있는 경우 부호화를 적용하였을 때 약 1.5 dB 가량의 성능 열화만이 발생하며, 따라서 이러한 결과는 전력선 통신 채널의 비 가우시안 잡음에 대해 제안된 부호화를 이용하는 멀티코드 CDMA 방식이 매우 성공적으로 적용될 수 있다는 사실을 나타낸다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 차세대 고속 이동 통신 시스템을 위한 멀티코드 CDMA 방식을 전력선 통신 시스템에 적용하였다. 특히 전력선 통신 채널의 비 가우시안 잡음의 영향을 보상하기 위해, 길쌈 부호와 인터리빙 등의 부호화 기능을 더한 시스템을 제안하였다. 멀티코드 CDMA 방식은 입력 데이터의 병렬 변환 및 직교 Walsh 부호를 통한 변조를 통해 높은 처리이득을 얻을 수 있어, 기존의 DS-CDMA와 같은 대역 확산 방식을 전력선에 적용할 때의 문제점인 충분한 처리이득 확보의 어려움을 개선할 수 있다. 모의 실험 결과, 전력선 채널의 가우시안 배경 잡음 및 비 가우시안 잡음이 있는 경우, 제안된 부호화를 이용하는 멀티코드 CDMA 방식을 적용함으로써 매우 효과적인 성능 향상이 가능함을 확인하였다.

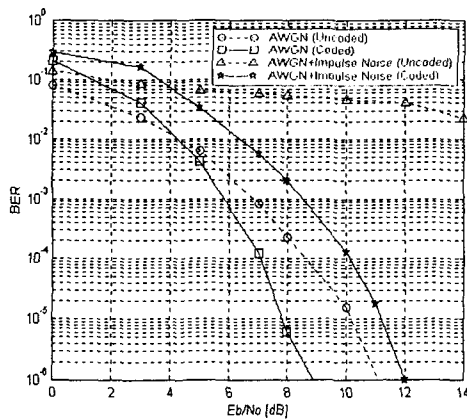


그림 3 : 배경 잡음과 비 가우시안 임펄스 잡음을 고려하는 경우, 부호화의 유무에 따른 멀티코드 CDMA 방식의 신호대잡음비에 따른 비트오율 성능.

“본 논문은 1998년도 기초전력공학공동연구소 전력 기술 기초연구과제 (#98-042)의 지원 결과임”

#### 참고 문헌

- [1] D. Radford, "Spread-spectrum data leap through AC power wiring", *IEEE Spectrum*, vol. 33, pp. 48-53, Nov. 1996.
- [2] 송문규, 김대우, 사공석진, 차균현, "직접대역 확산 기법을 적용한 전력선 모델의 구현", *한국통신학회논문지*, 제18권, 218-230쪽, 1993년 2월.
- [3] M. Chan and R. Donaldson, "Amplitude, width, and interarrival distributions for noise impulses on intrabuilding power line communication networks," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 31, pp. 320-323, Aug. 1989.
- [4] R. Vines, et al., "Noise on residential power distribution circuits," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 26, pp. 161-168, Nov. 1984.
- [5] J. O'Neal, "Substation noise at distribution-line communication frequencies," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 30, pp. 71-77, Feb. 1988.
- [6] A. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley, 1995.
- [7] R. Khono, et al., "An adaptive canceller of cochannel interference for spread-spectrum multiple-access communication networks in a power line", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 8, pp. 691-699, May 1990.
- [8] M. Nakagawa, "Consumer communications based on spread spectrum techniques," in *Code Division Multiple Access Communications* (S. G. Glisic and P. A. Leppanen, Eds.), pp. 283-297, Kluwer Academic Publisher, 1995.
- [9] C. Hensen, "High rate data communication via power distribution network using DS-CDMA technique," *Proc. Int'l Conf. Universal Personal Commun. (ICUPC '97)*, vol. 2, pp. 805-808, San Diego, USA, Oct. 1997.
- [10] F. Adachi, et al., "Coherent multicode DS-CDMA mobile radio access," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E79-B, pp. 1316-1325, Sep. 1996.
- [11] 김기범, 신요안, "길쌈 부호와 이원 직교 부호에 의한 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 개선," *한국통신학회논문지*, 제23권, 1659-1666쪽, 1998년 7월.
- [12] "스펙트럼 확산 전력선 통신 시스템의 적용에 관한 연구," 한국전력공사 기술연구원 과제 최종보고서, #KRC-89-J08, 1991.
- [13] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall, 1988.