

저 간섭 전력선 통신에 적용 가능한 이진 ZCD 확산코드에 관한 연구

*차재삼, *신명철, **서희석, *최상열, **권기백, *최인혁, **김학만, *문경환
 *서경대학교, *성균관대학교, **두원공과대학, *인덕대학, **대덕대학, *전력연구원, **한국전기연구소

A Study of binary ZCD spreading codes for Interference-Cancelled Power Line Communication

*J.S. Cha, *M.C. Shin, **H.S. Seo, *S.Y. Choi, **G.B. Kweon, *I.H. Choi, **H.M. Kim and *K.H. Moon.
 *Seokyeong univ, *Sungkyunkwan univ, **Doowon univ, *Induk univ, **Daeduk univ, *KEPRI, **KERI.

Abstract - 전력선통신(PLC : Power Line Communication)은 쉽게 네트워크를 구성할 수 있는 이점은 있지만 이로 인해서 말단의 망 구성이 복잡해지고 여러 부하 장치들의 사용과 운용이 시간과 공간에 따라 전송 특성이 수시로 가변 하는 특성을 가지게 된다. 이러한 특성은 통신시스템 성능상의 다중 경로페이딩의 지연과 성분을 가지게 되므로, 열악한 통신 채널 환경 및 다중 사용자 간섭에 의한 원인이 된다. 본 논문에서는 이런 원인을 극복하기 위한 한 가지 방편으로서, 저간섭 전력선 통신에 적용 가능한 이진 ZCD 확산 코드를 제시하고, 상관 특성을 도출해 봄으로서, 그 유효성을 확인한다.

1. 서 론

전력선을 이용한 통신은 별도의 배선이 필요 없다는 장점 때문에 일찍부터 관심을 모았다[1]. 하지만 전력선은 원래 전력 신호의 전송을 목적으로 하였기 때문에 데이터 통신을 하기에는 열악한 채널 환경을 지니고 있다. 그러므로 최근에는 전송채널상의 협대역간섭에 강인한 SS(Spread Spectrum)기반의 전력선 통신시스템이 제시되고 있으며[2], 이들 SS기반 PLC시스템의 경우에는 다중화에 적용되는 확산코드들의 직교특성이 다중접속간섭에 대한 내성을 결정지으므로 상관특성이 우수한 확산코드의 개발 및 적용기술의 연구가 절실하다고 할 수 있다. 일반적으로 SS통신을 위한 확산코드중 직교성이 유지되는 확산코드로서는 하다마드-왈쉬코드(Hadamard-Walsh) 또는 하다마드-왈쉬코드의 변형형인 OVFS코드[3]등이 데이터 및 유저채널 구분용으로 사용되고 있으나, 이들 확산코드들의 직교특성은 코드간의 동기가 확립된 시점에서만 유지된다는 한계점을 가진다. 이러한 동기 확립상태에서만 직교가 유지되는 특성은 다중접속간섭(MAI; Multiple Access Interference)이나 멀티패스에 의한 지연파가 발생하는 실제적인 채널환경에서는 심각한 BER(bit error rate) 성능의 열화를 유발시킨다. 이들 BER 성능의 열화문제가 확산코드들의 직교성 붕괴현상에 기인함에도 불구하고 이러한 문제에 대한 해결방안으로서 지금까지는 주로 코드와는 관련 없는 MUD(Mult User Detection)기술과 같은 간섭제거기술[4]을 이용하려는 시도들이 많았으나, MUD기반의 간섭제거기술들은 하드웨어 구현상의 어려움이나 시스템의 복잡도를 증가시킨다는 면에서도 실용화상의 큰 부담을 주고 있는 실정이다. 그러므로 SS기반 전력선통신상에서의 확산코드의 직교성 상실에 따른 BER성능열화현상은 개선된 확산코딩기법을 이용하여 원천적으로 해결하는 것이 효율적이라는 사고의 토대위에서, 본 논문에서는 저간섭 전력선통신시스템을 구현가능하게 하는 2진의 ZCD(zero correlation duration)확산코드를 제시한다.

2. 본 론

2.1 PLC 채널상의 지연파에 의한 간섭특성

본 논문에서는 참고논문[5]에서 제안하였던 PLC 채널 모델을 파라미터들로 인용하였다. 참고논문에서 측정 한 결과 값 들은 전력선상에 발생하는 다양한 신호멀티패스영향에 대한 특성을 주파수영역으로 나타내었다. 전송되어지는 신호는 대부분 직선경로(Direct Path)로 수신기에 도달되어지지 않았고, 각각의 경로들은 에코들의 결과를 볼 때 많은 신호들이 지연되고, 감쇠되는 영향을 확인할 수 있었다.

이러한 에코들의 원인은 반사되어지는 임피던스의 불연속성과 다른 여러 부하들의 임피던스 때문이다. 이러한 에코모델의 각각의 경로의 지연을 τ 라 하고, 진폭을 $|A|$, 위상을 ϕ 라고 기술한다.

에코모델의 임펄스 응답 $h(k)$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다

$$h(k) = \sum_{k=0}^{N-1} |A| e^{j\phi} \delta(k - \tau_k) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k \delta(k - \tau_k) \quad (1)$$

이러한 경로는 세 개의 파라미터들의 집합으로 나타나며, N개의 경로들의 채널은, $3*N$ 파라미터들로 정의할 수 있다.

에코구조의 기본적인 전달함수채널 모델을 얻기 위해 소프트웨어 시뮬레이션이나 DSP(digital signal processing)를 이용한 FIR(finite impulse response)필터의 구조로부터 PLC 채널의 임펄스 응답의 값을 얻을 수 있다. 에코모델에서 사용하는 디지털 FIR 필터의 구조이고, 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \quad (2)$$

여기서 $h(k)$, $k=0, \dots, N-1$, 은 필터의 임펄스 응답의 계수이며, N은 필터의 길이를 말하며, 즉 필터계수의 수를 의미한다. 시간영역의 식과 비 순환 형식의 FIR 필터를 기술하면, FIR 필터로부터의 계수를 사용하여 에코 모델에 반영한 뒤 여러 패스로부터 표현되어진 세 개의 파라미터 집합들을 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} |A| e^{j\phi} \delta(k - \tau_k) x(n-k) \quad (3)$$

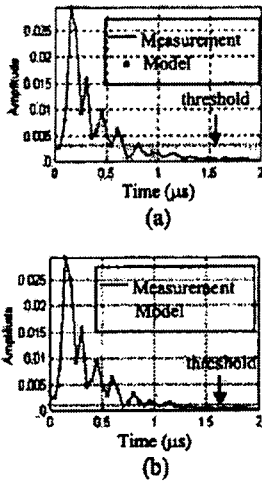


그림 1. 확대한 임펄스 응답의 Threshold Level (시간 영역) (a) 20 dB (b) 30 dB

그림 1은 FIR 필터로부터의 계수를 사용하여 임펄스 응답의 계수들의 값 중의 가장 좋은 경계레벨 (Threshold level)을 표시한 그림이다.

위의 결과를 종합하여 볼 때 PLC 채널 대부분의 주파수로부터 30dB의 경계레벨(threshold level)을 요구하며, 경로의 지연으로 인한 신호감쇠가 나타나는 것을 볼 수 있다. 본 논문에서는 이러한 경로지연 문제점에 우수한 이진 ZCD 알고리즘을 반영하여 저 간섭 전력선 통신을 도출하여 본다.

2.2 저간섭 PLC를 위한 ZCD특성 및 이진 ZCD확산코드의 정리

2.2.1 ZCD의 특성 및 잇점

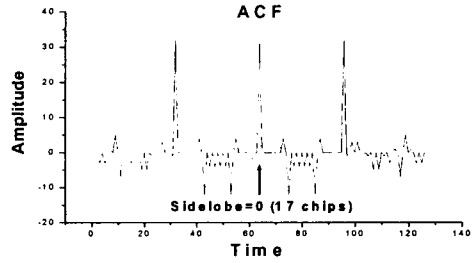
두 개의 확산코드 $S_N^{(x)} = (s_0^{(x)}, \dots, s_{N-1}^{(x)})$ 와 $S_N^{(y)} = (s_0^{(y)}, \dots, s_{N-1}^{(y)})$ 의 시간 τ 에 대한 주기 상관은 식(1)과 같이 정의된다.

$$\theta_{x,y}(\tau) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n^{(x)}(\tau) s_{n+\tau}^{(y)} \quad (4)$$

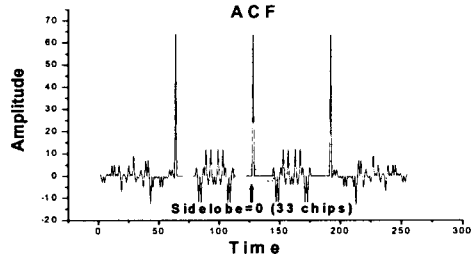
여기서 N 는 확산코드의 1주기이며, \oplus 는 modulo N 연산을 의미하고, $x=y$ 일 경우 이 수식은 자기상관함수(ACF)가 되며, $x \neq y$ 일 경우 상호상관함수(CCF)가 된다. ZCD(zero-correlation duration)[6]라는 것은 $\tau=0$ 주변의 특정시간 영역이내에서 연속적으로 $\theta_{x,x}$ 와 $\theta_{x,y}$ 가 0이 되는 시간구간을 의미한다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 ZCD특성을 갖는 확산코드를 이용한 ZCD-PLC시스템을 제시하고자 하는데, ZCD-PLC시스템의 경우에는 ZCD라는 일정시간 구간동안에서는 연속적으로 확산신호간의 직교성이 유지되므로, 종래의 전력선통신시스템의 고질적인 문제점인 신호 간 간섭이나 지연과 성분 등의 문제를 근본적으로 해결해줄 수 있다는 큰 잇점을 갖는다.

2.2.2 이진 ZCD확산코드

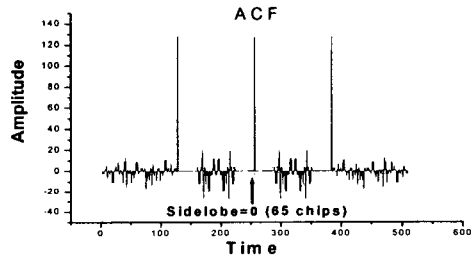
본 논문에서는 ZCD-PLC시스템을 구성하기 위한 ZCD확산코드로서 본 저자가 생성법[6]-[9]을 제시한 이진 ZCD확산코드의 생성법을 소개한다. 이진ZCD확산코드는 코드의 레벨이 이진으로서 코드발생기의 하드웨어적인 구현이 용이하면서도, $(0.5N+1)$ 칩이라는 최대ZCD구간을 갖는다는 특성을 가지고 있다.



(a) 주기 32 chip을 갖는 코드의 예



(b) 주기 64 chip을 갖는 코드의 예



(c) 주기 128 chip을 갖는 코드의 예

그림 2. 이진 ZCD 코드의 자기상관함수 특성

그림 2는 주기가 각각 32칩, 64칩, 128칩의 3주기 동안의 이진ZCD확산코드가 갖는 ZCD특성중 자기상관함수 특성을 도시하였다.

그림2에서 각 코드의 한 주기마다 자기상관 피크치가 연속적으로 나타나는 것을 볼 수 있는데, 그림 2의 (b)를 예로 들어 보면 $N=64$ 일 경우, $(0.5 \times 64 + 1)$ 에 해당하는 33칩 구간동안 ACF의 사이드러브가 연속적으로 0의 값이 유지되는 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 33칩구간은 서로 다른 ZCD코드간의 CCF값에도 동일하게 작용하는 특성을 갖는다. 만약 지연과 성분으로 인한 다중경로간섭(MPI ; Multi Path Interference)이나 다중접속간섭(MAI; Multiple Access Interference)이 생기면 0의 값을 갖는 구간에서는 간섭이 발생하지 않는 특성이 있다. 즉, 본 논문에서 제시하는 이진 ZCD확산코드를 이용하면, 하드웨어적으로 복잡한 MUD기술을 적용하지 않고, 종래의 확산코드모듈을 제로상관구간특성을 가지는 2진의 ZCD 코드로 치환하여 시스템이 간단하면서도 간섭완화능은 크게 향상될 수 있다는 장점을 갖는다. 이하에서는 다양한 이진 ZCD코드를 중에서 예로서, 본 논문에서 사용한 $S_{65}^{(a)}, S_{65}^{(b)}$ 의 주기 64칩의 이진ZCD코드 페어와, 6개의 코드로 이뤄진 주기 32칩의 이진ZCD코드세트를 나타냈다. 여기서 +는 1, -는 -1을 의미한다.

예1) 주기64칩의 이진ZCD코드 페어(pair)

$$\begin{cases} S_{64}^{(a)} & c \ d \ c \ -d \ c \ d \ -c \ d \ c \ d \ c \ -d \ -c \ -d \ c \ -d \\ S_{64}^{(b)} & u \ v \ u \ -v \ u \ v \ -u \ v \ u \ v \ u \ -v \ -u \ -v \ u \ -v \\ \text{여기서, } u & (- \ - \ - \ +), v \ (- \ - \ + \ -) \\ & c \ (- \ + \ - \ -), d \ (- \ + \ + \ +) \end{cases}$$

본 연구내용의 일부는 산업자원부의 지원에 의한 기초전력연구원주관의 수행 과제(R 2003 0-516)의 결과물임.

예2) 주기32칩의 이진ZCD코드 세트

$$\begin{aligned} M_1 &= (- \ + \ - \ - \ + \ + \ - \ + \ - \ + \ + \ + \ + \ - \\ &\ + \ + \ - \ - \ - \ - \ - \ + \ + \ - \ + \ + \ + \ -) \\ M_2 &= (- \ + \ + \ + \ - \ - \ + \ + \ - \ - \ - \ + \ - \ + \ + \\ &\ + \ - \ - \ - \ - \ + \ - \ - \ - \ - \ - \ + \ - \ + \ +) \\ M_3 &= (- \ + \ + \ - \ - \ + \ - \ + \ - \ + \ + \ + \ - \ + \ - \\ &\ + \ - \ - \ - \ + \ + \ - \ + \ + \ + \ - \ - \ - \ +) \\ M_4 &= (+ \ - \ - \ + \ + \ + \ - \ - \ - \ + \ - \ + \ + \ - \ - \\ &\ - \ - \ + \ - \ - \ + \ - \ - \ - \ + \ - \ + \ + \ - \ +) \\ M_5 &= (+ \ - \ + \ - \ - \ + \ + \ + \ - \ + \ + \ - \ - \ - \\ &\ - \ + \ + \ - \ + \ + \ + \ - \ - \ - \ + \ - \ + \ +) \\ M_6 &= (+ \ + \ + \ - \ - \ - \ + \ - \ + \ + \ - \ - \ - \ - \ + \\ &\ - \ - \ + \ - \ - \ - \ + \ - \ + \ + \ - \ - \ - \ +) \end{aligned}$$

3. 결 론

본 논문에서는 저 간섭 전력선통신에 이용될 수 있는 제로상관구간(ZCD)의 개념과 ZCD특성을 갖는 이진 ZCD확산코드를 소개하고 그 상관특성을 도출하였다. 본 논문에서 제시한 이진 ZCD 확산코드는 지연파에 의한 MPI 및 MAI와 같은 전력선통신에서의 다중접속 및 다중경로에 의한 간섭문제를 완화시켜줄 수 있다는 특성을 갖고 있다. 이진 ZCD 확산코드기반의 저간섭 전력선통신기술은 홈 네트워크 기반의 근거리 전력선 시스템에서 핵심기술로 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] J.Routine, "Powerline signaling electricity meters", UK patent office, British patent No.244833, 1897.
- [2] E.Del Re, R.Fantacci, S.Morosi, and R.Seravalle, "Comparison of CDMA and OFDM Techniques for Downstream Power Line Communications on Low Voltage Grid
- [3] Mun Geon Kyeong, Suwon park, Jae Kyun Kwon, Dan Keun Sung, and Jae-sang Cha, "3G Enhancements with a view towards 4G", Tutorial. CIC 2002, Seoul, Korea, Tutorial 3, pp.91~245,2002.
- [4] Sergio Verdu, Multiuser Detection, Cambridge university press, 1998
- [5] L.T.Tang, P.L.So, E.Gunawan, Y.L.Guan, S.Chen, and T.T.Lie, "Characterization and Modeling of In-Building Power Lines for High Speed Data Transmission", IEEE Transactions on power delivery, Vol.18,NO.1, pp. 74 76, January 2003
- [6] Cha, J.S., Kameda, S., Yokoyama, M., Nakase, H., Masu, K., and Tsubouchi, K.: 'New binary sequences with zero correlation duration for approximately synchronized CDMA '. Electron. Lett., 2000, Vol. 36, no.11, pp.99,1993
- [7] Cha,J.S.,Kameda,S.,Takahashi,K.,Yokoyama,M.,Suehiro,N., Masu,K. and Tsubouchi, K , "Proposal and Implementation of Approximately synchronized CDMA system using novel biphas sequences", Proc. ITC CICC 99, Vol. 1, pp.56-59, Sado Island, Japan, July13 15, 1999.
- [8] Cha,J.S. and Tsubouchi, K, "Novel binary ZCD sequences for approximately synchronized CDMA",Proc. IEEE 3G Wireless01, Sanfransisco, USA, Vol. 1, pp.810 813, May 29, 2001.
- [9] Cha,J.S, "Class of ternary spreading sequences with zero correlation duration", IEE Electronics Letters , Vol. 36, no.11, pp. 991 993, 2001.5.10