

Complementary code를 이용한 전력선 통신 시스템에 관한 연구

\*허남영, \*신명철, \*\*서희석, \*최인혁, \*\*최상열, #이종주, ##박계홍, ###차재삼  
\*성균관대학교, \*\*두원대학, \*전력연구원, \*\*인덕대학, #새턴정보통신, ##현대건설, ###서경대학교

A Study of PLC System using Complementary code

\*N.Y. Hur, \*M.C. Shin, \*\*H.S. Seo, \*I.H. Choi, \*\*S.Y. Choi, #J.J. Lee, ##G.H. Park and ###J.S. Cha  
\*Sungkyunkwan univ, \*\*Doowon univ, \*KEPRI, \*\*Induk univ, #Saturn, ##Hyundai Co, ###Seokyeong univ

**Abstract** - 최근의 전력선통신은 대용량 정보를 고속으로 전송하기 위한 개발이 활발히 진행되어지고 있으며, 이러한 통신시스템 기술의 구현을 위해서는 새로운 통신방식을 제안하여야 한다. 본 논문에서는 직교특성이 탁월한 Complementary Code를 기반으로, 저간섭 특성 및 고속 정보전송이 가능한 전력선 통신시스템을 제시하고 BER(Bit Error Rate)성능분석을 통하여 제안 시스템의 유용성을 확인하였다.

1. 서 론

전력선 통신은 기존에 구축된 전력선을 통하여 음성이나 데이터 통신을 할 수 있게 해주는 기술이다. 현재 서비스 되고 있는 광케이블이나 전화선을 통한 통신과는 달리 별도의 구축비용이 들지 않으며 콘센트의 연결만으로 통신이 가능하여 장비의 추가적인 설치가 필요 없다. 또한 현존하는 인프라 중 가장 광범위한 네트워크를 구성하고 있어 기존 네트워크의 사각지대에 인터넷 서비스를 제공할 수 있는 라스트마일(last-mile) 솔루션으로 기대받고 있다. 이와 같은 장점을 가진 전력선 통신은 이미 오래전부터 연구가 진행되어왔으나 전력선 자체가 통신선으로 이용하기에 열악한 채널 환경과 함께 전력선 통신용 주파수 대역이 450kHz로 제한되어 있는 이유로 인해 지금까지도 자동원격검침(AMR : Automatic Meter Reading), 가정내 자동화(Home Automation), 공장 자동화(Factory Automation) 등의 저속 통신의 서비스만을 실시하고 있는 상황이다.

많은 사용자들과 다양한 고용량 멀티미디어 콘텐츠들의 수요를 충족시키기 위해 고속 통신 방식에 관한 연구가 빠르게 진행된 결과, 무선 통신시스템에서는 고속의 데이터 전송이 가능하게 되었다. 이런 고속 통신을 가능하게 하는 변조(Modulation) 기법에는 SS(Spread Spectrum), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing), M-FSK(M-ary Frequency Shift Key) 등이 있다. SS방식은 확산코드를 이용해서 대역확산을 하므로 비화 특성이 매우 우수하고 확산과 역확산 과정을 거치기 때문에 외부의 협대역 간섭(narrowband interference)에 매우 강인하며 낮은 전력 스펙트럼밀도(power spectrum density)를 가진다. 따라서 SS 변조방식은 부하들의 스위칭(switcing) 현상에 의해 랜덤으로 발생하는 임펄스 잡음과 EMC(electromagnetic compatibility)의 제약을 고려해야 하는 전력선 통신에 적합한 변조방식으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 전력선 채널 환경에 고속 통신을 가능하게 할 수 있는 DSSS(Direct sequence spread spectrum)방식인 complementary code 기반의 CCK 변조 기법에 대해 알아보고 임펄스 채널환경에서의 비트 오류 특성을 분석하여 전력선 통신에서 11Mbps 이상의 고속 데이터 전송이 가능하다는 것을 보이고자 한다.

2. 본 론

2.1 Complementary code

Complementary code는 적외선 멀티슬릿 분광계(Infrared multislit spectrometry)를 위해 M. J. E. Golay에 의해 만들어졌다[2]. 따라서 이 코드는 radar 응용[3]과 OFDM 통신[4]에 좋은 특성을 가지며 다중 접속과 M-ary 통신에도 적용될 수 있다[5]. 이 절에서는 CCK 변복조 기법에서 사용할 complementary code의 배경에 대해 설명하고자 한다.

$k^{\text{th}}$  code word를  $s^k = [s_1^k, s_2^k, \dots, s_N^k]^T$ 로 표현할 때, N은 code word의 길이를 말하며  $k=[1, 2, \dots, K]$ 의 범위를 갖는다. code words의 주기 상관(aperiodic autocorrelation)은 다음과 같다.

$$R_{kk}[j] = \sum_{i=1}^{N-j} s_i^k \cdot s_{i+j}^{k*} \quad (1)$$

그리고 code word의 Complementary pair는 식(2)와 같은 속성을 가진다.

$$\sum_{k=1}^2 R_{kk}[j] = \begin{cases} 0 & \text{for } j \neq 0. \\ 2N & \text{for } j = 0. \end{cases} \quad (2)$$

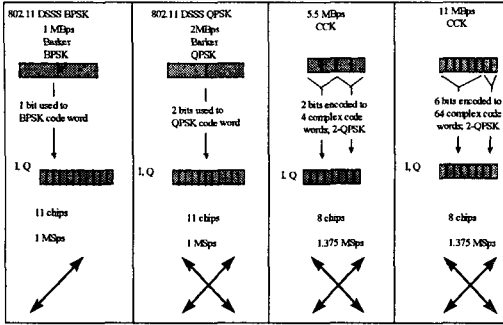
Goray는 단지 이진 complementary code들의 pair들에 대해서만 언급하였으나 Tseng과 Liuf[6]는 complementary sequence들을 "sets" 개념으로 확대하였다. 이에 따라 K code의 set은 상보성이 고려되어졌으며 다음 식을 만족한다.

$$\sum_{k=1}^K R_{kk}[j] = \begin{cases} 0 & \text{for } j \neq 0. \\ KN & \text{for } j = 0. \end{cases} \quad (3)$$

따라서 우리는 단지 이진 complementary code만을 고려하면 된다. Polyphase code를 역시 상보성의 [7]과 [8]을 가진다. 이 code들은 단위 크기를 가진 complex elements로 구성되어있으며  $s_i^k = e^{j\phi_i}$ 로 표현된다. 그러므로 complementary polyphase code는 식(3)을 만족해야 한다. 참고논문 [7]과 [8]에는 이러한 polyphase complementary code의 구성에 관한 설명이 기술되어 있다.

2.2 CCK(complementary code keying) 변·복조

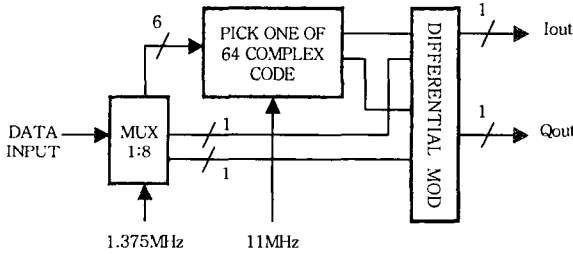
CCK는 5.5 및 11Mbps 속도의 IEEE 802.11b 무선 랜 표준에서 사용되는 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 변조 방식으로 11Mcps(chip per second)의 칩 속도에서 8칩 길이의 확산 코드를 갖는다. DSSS 1~2Mbps 통신 방식이 Barker 코드를 사용하여 오직 한 개의 코딩 패턴을 제공하는데 비해 CCK는 최대 64개를 제공한다.



[그림 1] IEEE 802.11b 무선 랜 통신 방식

CCK는 그림1과 같이 전송하고자 하는 입력 데이터 한 심볼의 구성이 4칩으로 구성되었는지 또는 8칩으로 구성되었는지에 따라 전송속도가 5.5Mbps 와 11Mbps로 구분된다.

본 논문에서는 CCK 변조기법을 적용한 초고속 전력선 통신 구현을 위해 dual mode의 11Mbps의 전송속도를 갖는 CCK 변·복조 기법에 초점을 맞추고자 한다.



[그림 2] CCK 11Mbps Modulator Block Diagram

그림 2의 CCK 11Mbps 변조기의 블록도에서 보는 것과 같이 8비트의 입력 데이터(d0~d7)가 1심볼로 입력되면 6개의 비트(d2~d6)는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조 과정에 의해 8칩 길이를 가진 64개의 Complementary Code중 하나로 변조되고 2개의 비트(d0~d1)는 DQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying) 변조 과정에 의해 선택된 시퀀스의 위상을 회전시키는 역할을 한다. 입력 비트 8비트가 8칩 길이를 가진 출력이 되고, 칩 속도는 11Mcps이므로 데이터의 전송 속도는 11Mbps가 된다 [9].

8비트의 CCK 확산 코드를 결정하는 식은 다음과 같다.

$$c = \begin{pmatrix} e^{j(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4)}, & e^{j(\theta_1 + \theta_3 + \theta_4)}, & e^{j(\theta_1 + \theta_2 + \theta_4)}, & -e^{j(\theta_1 + \theta_4)} \\ e^{j(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)}, & e^{j(\theta_1 + \theta_3)}, & -e^{j(\theta_1 + \theta_2)}, & e^{j(\theta_1)} \end{pmatrix} \quad (4)$$

11Mbps 방식에서 데이터의 변·복조는 심볼 단위로 이루어지므로 8개의 비트열 (d7, d6, d5, ..., d0)이 전송되면 이 8개의 비트열은 아래 표에 의해  $\Phi_1 \sim \Phi_4$  라는 복소수 형태를 가진 4개의 위상성분으로 표현된다. 8비트의 데이터 비트열에서 첫 번째 비트 d0와 두 번째 비트 d1은 아래 [표1]에서 보여지는 것처럼 DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) 변조 방식에 의해  $\Phi_1$ 으로 표현된다.

[표1] DQPSK Encoding Table for CCK 11Mbps

d0,d1	Even Symbols	Odd Symbols
00	0	$\pi$
01	$\pi/2$	$3\pi/2$
11	$\pi$	0
10	$3\pi/2$	$\pi/2$

8비트로 이루어진 심볼이 짝수 번째 또는 홀수 번째에 따라 d0, d1이 [표1]에서 보는 것처럼 다른 값으로 표현된다. d2부터 d7까지 나머지 여섯 개의 비트는 아래 [표2]에서 보는 것처럼 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조방식에 의해  $\Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ 로 표현된다.

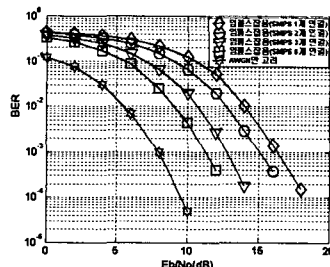
[표2] QPSK Encoding Table for CCK 11Mbps

di,d(i+1)	Phase
00	0
01	$\pi/2$
10	$\pi$
11	$3\pi/2$

d0, d1의 2비트는 DQPSK, 나머지 6비트 d2~d7은 QPSK 변조 방식에 의해  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ 로 표현되어 식(4)에 대입하면 확산 시퀀스가 결정되어 변조가 이루어진다. 이런 방식을 거쳐 변조된 신호는 전력선 채널을 통과하여 수신단에 전송되어 복조된다. 복조과정은 수신단에 전송된 신호를 미리 알고 있던 64개의 8칩 시퀀스 복조코드로 상관 검파하여 최대 값이 나오는 시퀀스를 입력 데이터로 결정한다.

### 2.3 CCK기반 PLC시스템의 임펄스 잡음하에서의 BER성능분석

CCK 변·복조를 적용할 전력선 통신의 채널은 진공 청소기나 믹서, 드릴등의 부하에 의해 발생하는 배경잡음이나 TV나 컴퓨터 모니터의 수평주사선에 의해 발생하는 비동기된 주기적 잡음, 그리고 컴퓨터 및 사무용 기기 등의 전원장치로 이용되는 SMPS(Switch Mode Power Supply) 등에 의한 스위칭 작용에 의해서 발생하는 임펄스 잡음 등이 존재한다[10]. 임펄스 잡음은 시간 영역에서는 임펄스의 형태를 띠지만 주파수 영역에서는 넓은 주파수 영역에서 강한 잡음 성분을 야기시킴으로 통신할 때에 많은 영향을 주며 전력선 통신의 잡음 중에서 가장 중요한 잡음원이다. 따라서 본 논문에서는 전력선 자체에 존재하는 배경잡음과 더불어 위에서 기술한 임펄스 잡음의 변동에 따른 통신의 비트오율 성능을 분석하였다.



[그림. 3] SMPS 변동에 따른 비트오율 특성

그림3은 SMPS의 변동에 따른 CCK 11Mbps 변조 방식을 이용한 전력선 통신 성능을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 SMPS 1개 연결시의 채널은 비트오율  $10^{-3}$ 일 때, 약 16dB에서 수렴하므로 통신시에 요구되

는 신호대 잡음비를 확보할 경우에 데이터 전송에는 큰 문제가 없음을 알 수 있다. 또한 SMPS를 추가할수록 통신성능은 향상되는 것을 알 수 있는데, 6개의 SMPS를 연결했을 때, Eb/No는 비트오율  $10^{-3}$ 을 기준으로 약 11dB로서, 1개의 SMPS를 연결했을 경우에 비하여 약 5dB의 성능 향상이 되었음을 보여준다. 본 모의실험을 통해서 SMPS가 증가할수록 임펄스 잡음들이 서로 상쇄되어 통신 성능에 대한 영향이 줄어든다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 다양한 임펄스 잡음을 발생시키는 부하들이 존재하는 전력선 통신에서 CCK방식의 변조 기법을 적용할 경우, 그림3에서 도출된 결과에서 나타난 바와 같이 임펄스 잡음에 의한 영향에도 불구하고, 적정치의 Eb/No가 확보된다면 고속의 데이터 통신이 가능할 것으로 예상된다. 본 논문에서는 제안하는 CCK 변조기법에 대한 데이터의 전송속도는 인가하는 PLC 전송채널의 대역폭에 의존하며, 전송채널의 대역폭이 11MHz인 경우를 가정하면, 전송신호에 대한 대역제한 필터를 적용할 경우 최대 11Mbps의 고속 데이터 전송까지 가능하다고 할 수 있다.

본 연구내용의 일부는 산업자원부의 지원에 의한 기초전력연구원주관의 수행 과제(R-2003 B 289)의 결과물임.

### 3. 결 론

본 논문에서는 현재 활발히 전개되는 홈 네트워크 통신방식의 핵심기술 표준안의 하나로써 제시될 수 있는 고속 전력선 통신 시스템의 효율적인 전송기술에 관해 연구하였다. 전력선 통신은 다양한 장점을 바탕으로 그동안 수많은 연구가 진행되어 왔음에도 불구하고, 전송채널의 심각한 잡음특성을 극복하기 위한 저 간섭기술이 미비함과 동시에, 미약한 전송 속도로 인하여 다양한 대용량 전송기술의 개발이 절실한 시점이다. 따라서 본 논문에서는 전력선 통신용 선로가 갖는 잡음특성인 임펄스 잡음에 강인하면서 고속 데이터 전송까지 가능한 CCK 변조기반의 전력선 통신방식을 제시하였다.

#### [참 고 문 헌]

[1] Klaus Dostert, "Powerline Communication, Prentice hall, pp.293~297, NJ, 2001.  
 [2] Golay, Marcel J. E.; "Complementary Series", IRE Transactions on Information Theory, pp. 82-87, April 1961.  
 [3] Kreschmer, F. and Gerlach, K., "Radar Waveforms Derived from Othogonal Matrices", NRL Report 9080, Feb. 1989.  
 [4] van Nee, Richard, "OFDM Codes for Peak-to-Average Power Reduction and Error Correction", IEEE Global Telecommunications Conference, pp.740-744, Nov 18-22, 1996.  
 [5] Halford, K., Halford, S., Webster, M. and Andren, C., "Complementary code keying for RAKE-based indoor wireless communication", ISCAS '99. Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on, vol 4., pp. 427-430, May 1999.  
 [6] Tseng, C.-C. and Liu, C. L. "Complementary Sets of Sequences", IEEE Transactions on Information Theory, pp. 644-652, September 1972.  
 [7] Sivaswamy, R., "Multiphase Complementary Codes", IEEE Transactions on Information Theory, pp. 546-552, September 1978.  
 [8] Frank, Robert L., "Polyphase Complementary Codes", IEEE Transactions on Information Theory, pp. 641-647, November 1980.  
 [9] Jim Geier, "Wireless LANs (Implementing High Performance IEEE 802.11 Networks", Second Edition, SAMS.  
 [10] G. H. Park, Y. G. Choi, B. K. Lee, H. M. Kim, J. S. Cha and M. C. Shin, "CCK 변조기법을 이용한 고속 PLC 시스템에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회, vol. A, pp. 274-276, July 2003.