

CCK 변조기법을 이용한 고속 PLC 시스템에 관한 연구

*박계홍, *최영관, **이복구, *김학만, **차재삼, *심명철
*성균관대학교, **명지전문대학, #한국전기연구소, ##서경대학교

High-Speed Power Line Communication System using CCK Modulation

*G.H. Park, *Y.G. Choi, **B.K. Lee, *H.M. Kim, **J.S. Cha, *M.C. Shin
Sungkyunkwan univ, Seokyeong univ, Myongji univ, Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 전력선 통신은 새로운 통신전용 선로나 별도의 추가 시설 없이, 기존의 전력 공급용 전력선로를 통신선로로 병용할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 하지만 이러한 전력선 통신은 다양한 부하의 운전과 빈번한 부하의 기동·정지로 인하여 잡음이 발생하며 이에 본 연구에서는 전력선 채널의 협대역 잡음에 대처하는 변조방식을 제시함과 동시에 최근 들어 고용량 데이터 전송이 빈번한 홈 네트워크분야에 응용될 수 있는 고속 전력선 통신 기법을 제안하고자 한다.

본 논문에서 제안한 전력선 통신의 변조기법은 현재 무선 LAN에서 보편화된 변조방식으로 적용되고 있는 IEEE 802.11b의 CCK(Complementary Code Keying) 변조 방식이다. 채널 모델링은 대내 전력선망을 기준으로 10kHz~30MHz 대역에서의 전력선로 및 가정용 부하 특성에 기초한 모델링을 하였고 전력 계통 과도해석 소프트웨어인 PSCAD로 채널 모델을 구성하여 홈네트워크 환경에서의 전력선 통신의 신호 특성을 분석하였다.

1. 서 론

전력선을 이용한 데이터 통신은 별도의 추가적인 선로가 필요 없이 기존에 구축되어 있는 전력선을 사용할 수 있다는 장점으로 인하여 오래전부터 연구되었다.[1] 그러나 전력선은 통신을 목적으로 설치된 것이 아니라 전력신호 전송을 위하여 구축된 것이므로, 임피던스의 시변특성, 특정 주파수에 대한 선택적 페이딩(Frequency selective fading), 고주파 잡음 등으로 데이터를 고속 전송하기에는 열악한 환경이다. 통신선로로 이용하기에 열악한 채널 환경과 함께 전력선 통신용 주파수 대역이 450kHz로 제한되어 있는 이유인해 1990년도 초까지 자동원격검침(AMR: Automatic Meter Reading), 가정 내 자동화(Home Automation), 공장 자동화(Factory Automation) 등의 저속 데이터 통신에 머물러 있었다. 이후 디지털 통신 기술의 발전과 함께 이를 전력선 통신에 적용함으로써 Mega bps 급의 고속 전력선 통신 기술이 연구되어왔고, "연내에 전력선 통신용 주파수 허용 범위를 30MHz로 확대한다"[2]는 정통부의 방침에 따라 광대역 고속 전력선 통신의 실용화가 가능할 것으로 예상된다.

그러나 전력선 통신의 구현시 열악한 통신 채널로 인해 많은 문제점이 도출된다. 전력선은 부하 또는 임피던스의 변동, 제한된 신호 레벨로 인해 신호레벨 유지에 어려움이 있다. 또한 저주파 대역에서는 감쇄는 작으나 잡음이 크고, 고주파 대역에서는 잡음은 작으나 감쇄가 큰 이유로 전자, 전기기기에 의한 잡음이 최소인 최적의 주파수 대역 선정의 어려움이 있다.

이처럼 전력선 통신의 열악한 채널환경에서 전력선을 매개체로 데이터를 주파수에 실으려면 반드시 다른 형태의 신호로 바뀌주는 과정이 필요하다. 즉 변조(Modulation)라고 불리는 일련의 주파수 변조 과정을 통해 주파수 형태를 바꾸어야 하는 것이다. 이에 열악한

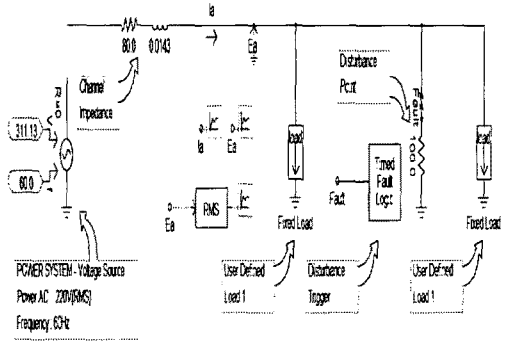
전력선 채널 특성을 극복하고 고속 데이터 전송을 위해 다양한 변조 기법이 사용되고 있는데 SS(Spread Spectrum), M-FSK (M-ary Frequency Shift Keying), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)등이 그것이다. SS 방식은 협대역 간섭(narrowband interference)에 강한 특성을 가지며, 다중 사용자 접속 환경에 적합하고, 낮은 전력 스펙트럼 밀도(power spectrum density)를 가지므로 EMC(electromagnetic compatibility)의 제약을 고려해야 하는 전력선 통신에서의 장점을 가진다. 그러나 이 방식은 고속의 데이터 전송을 위해서는 광대역을 필요로 하며, 이는 고주파 대역에서 다른 통신시스템을 위해 할당된 영역들이 존재하기 때문에 연속된 광대역 채널을 사용할 수 없는 전력선 채널 환경에서는 한계를 갖는다.[3]

따라서 본 연구에서는 SS 방식의 장점과 동시에 전력선 통신 주파수 대역 확대 방침에 따른 데이터 전송속도의 고속화라는 양대 측면을 모두 만족시킬 수 있는 DSSS(Direct sequence spread spectrum) 방식에서 기존의 무선 LAN환경에서만 이용되어 왔던 CCK 변조기법을 새롭게 전력선 통신시스템에 적용하고 시스템의 비트 오율 특성을 분석하였다.

본 연구에서 제시된 CCK 기반의 새로운 전력선 통신 시스템은 협대역 잡음특성에 대한 데이터의 전송오율을 감소시킴과 동시에 데이터를 11Mbps 이상으로 고속전송 하는 것이 가능하므로, 전력선 통신시스템의 성능개선에 크게 기여할 수 있는 해결방안으로서 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

2. 전력선 채널 모델링

제안된 CCK 변조기법의 통신 성능을 검증하기 위해 아래의 [그림1]과 같이 채널을 모델링 하였다.



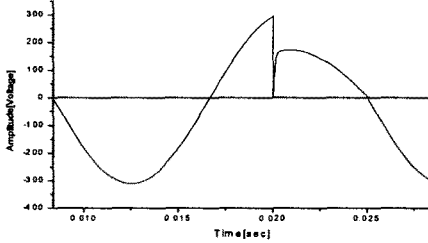
[그림1] 옥내 전력선 채널 모델링

통신 성능을 검증하기 위한 채널 모델링은 전력계통 과도해석 소프트웨어인 PSCAD/EMTDC 3.0을 사용하여 모의하였다.

모델링에 사용된 채널 환경은 아래의 [표1]과 같다.

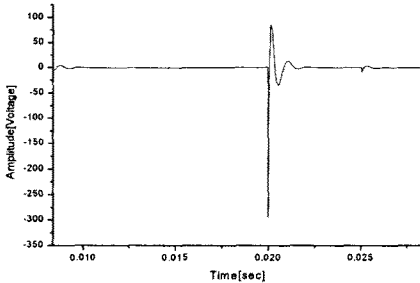
[표1] 채널 모델링 환경

소프트웨어	PSCAD/EMTDC 3.0
전원	단상 교류 220V, 60Hz
채널 임피던스	80.0-j5.4
부하량	5KW, 1.25VAR × 2
사코 임피던스	100 Ohm



[그림2] 왜란 발생시 전력선의 전압 신호

[그림2]는 가정 내에서 가전기기의 온/오프 동작시 부하 변동으로 인한 전력선의 왜곡된 전압신호를 나타내었다.



[그림3] 라인커플러 출력 신호

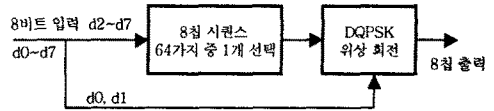
[그림3]은 통신 회로 구현시 전력선(채널)의 전력주파수와 데이터 신호(반송파)를 연계하는 커플러(Coupler)의 출력신호를 나타냈다. 커플러 수신 회로는 버터워스필터(Butterworth Filter) 4차, 차단 주파수(Cut-Off Frequency)가 1kHz인 고역필터(High-pass Filter)로 구성하여 60Hz 성분의 전력 신호를 비롯한 1kHz 이하의 노이즈 성분을 제거하였다.

3. CCK(Complementary Code Keying) 변·복조

CCK는 11Mcps(chip per second)의 칩 속도에서 8 칩 길이의 확산 코드를 갖는 I/Q 변조 아키텍처이다. 데이터 비트의 그룹인 각 심볼은 특정 CCK 확산 코드로 표현되며 확산코드의 각 칩은 2가지 이상의 위상성분을 갖는 복소수 형태이다. 확산코드는 Walsh/hadamard 함수에 기반하는 Complementary Code로 알려져 있다.[4]

또 CCK는 IEEE 802.11의 1Mbps와 2Mbps의 데이터

전송속도를 갖는 DSSS 방식의 채널 구조를 이용하기 때문에 2.4 GHz ISM 밴드에서 다중 채널을 사용한다.



[그림4] CCK 11Mbps 확산 변조 과정

[그림4]에 개략적으로 보인 CCK 11Mbps 확산 변조 과정의 경우, (d2~d7) 6비트에 의해 64개의 8칩 시퀀스 중 하나를 선택하고, d0, d1은 선택된 시퀀스의 위상을 회전시키는 역할을 한다. 8비트 입력이 8칩 출력이 되고, 칩 속도는 11Mcps이므로 데이터 속도는 11Mbps가 된다.[5]

다음은 CCK 변조방식에서 사용되는 8비트의 CCK 확산 코드를 결정하는 식이다.

$$c = \{ e^{j(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4)}, e^{j(\phi_1 + \phi_3 + \phi_4)}, e^{j(\phi_1 + \phi_2 + \phi_4)}, \dots, (1) \\ -e^{j(\phi_1 + \phi_4)}, e^{j(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)}, e^{j(\phi_1 + \phi_3)}, -e^{j(\phi_1 + \phi_2)}, e^{j(\phi_1)} \}$$

11Mbps 방식에서 데이터의 변복조는 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.

[표2] Phase Parameter Encoding Scheme

Data Bit	Phase Parameter
(d1, d0)	ϕ_1
(d3, d2)	ϕ_2
(d5, d4)	ϕ_3
(d7, d6)	ϕ_4

8비트의 데이터 비트열에서 첫 번째 비트 d0와 두 번째 비트 d1은 아래 [표3]에서 보여지는 것처럼 DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) 변조 방식에 의해 ϕ_1 로 표현된다.

[표3] DQPSK Encoding Table for CCK 11Mbps

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

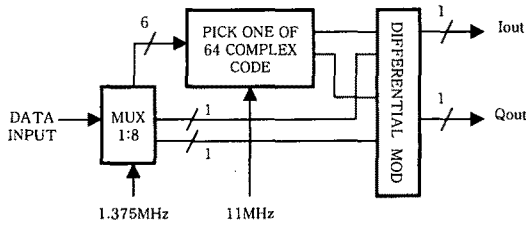
8비트로 이루어진 심볼이 짝수 번째 또는 홀수 번째에 따라 d0, d1이 [표3]에서 보는 것처럼 다른 값으로 표현된다. d2부터 d7까지 나머지 여섯개의 비트는 아래 [표4]에서 보는 것처럼 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조방식에 의해 ϕ_2, ϕ_3, ϕ_4 로 표현된다.

[표4] QPSK Encoding Table for CCK 11Mbps

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

d0, d1 2비트는 DQPSK, 나머지 6비트 d2~d7은 QPSK 변조 방식에 의해 $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ 로 표현되어 식(1)에 대입하여 확산 시퀀스가 결정되어 변조가 이루어진다.

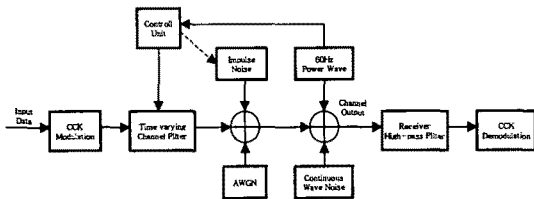
아래 [그림5]는 CCK11Mbps 변조 블록 다이어그램이다.



[그림5] CCK 11Mbps Modulator Block Diagram

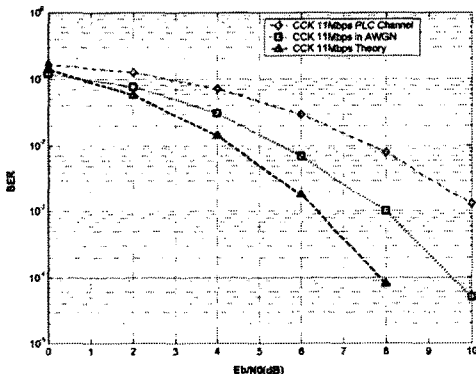
입력 데이터가 8비트 1심볼 단위로 8칩 시퀀스 신호로 변조가 이루어진 후 전력선 채널을 통과하여 수신단에 전송되면 수신단에서는 원래의 데이터를 복원하기 위해 복조과정이 필요하다. 복조과정은 수신단에 전송된 신호를 미리 알고있던 64개의 8칩 시퀀스 복조코드로 상관 검파하여 최대 값이 나오는 시퀀스를 입력 데이터로 결정한다.

4. 실험결과 및 고찰



[그림6] Block diagram of the PLC using CCK Modulation

[그림6]은 본 논문에서 구현한 CCK 11Mbps 변조기법을 이용한 전력선 통신의 블록 다이어그램이다.



[그림7] CCK 11Mbps Performance Curve

[그림7]은 CCK 11Mbps 변조기법을 이용한 전력선 통신의 비트오율특성을 나타낸 것이다. CCK 11Mbps 변조방식의 이론상의 비트오율특성, 배경잡음(AWGN : Additive White Gaussian Noise)에서의 비트오율특성과 임펄스잡음과 협대역 잡음이 포함된 전력선 채널에서의 비트오율특성을 나타낸 것이다. 이론상의 CCK 11Mbps의 비트오율특성은 QPSK 변조

방식의 비트오율특성과 거의 비슷한 곡선을 가졌으며, 비트오율 10⁻³을 기준으로 볼때 배경 잡음에서의 SNR (Signal-to-Noise Ratio : 신호 대 잡음비)값은 8dB 정도이고 임펄스잡음과 협대역 잡음이 포함된 전력선 채널에서의 SNR값이 10dB 정도로 배경잡음에서보다 약 2dB 정도로 열화 되었는데 이는 열악한 전력선 채널 환경을 고려해 볼 때 양호한 결과 값이라 볼 수 있다.

본 논문에서는 협대역 잡음에 강인하고 낮은 신호전력에서의 안정된 통신방식인 DSSS의 하나로 CCK 변조방식을 전력선 통신에 구현함에 초점을 맞추었고, 향후 채널 코딩 등의 오류 정정 기법의 적용과 실측 자료에 의거한 다양한 전력선 채널 모델링을 통하여 성능 개선의 효과를 거두고자 한다.

5. 결론

본 논문에서는 전력선이 갖는 협대역 잡음에 대한 내성을 가짐과 동시에 데이터의 고속전송이 가능한 변조방식으로서, IEEE 802.11b의 무선LAN에서만 활용되던 CCK(Complementary Code Keying)기법을 새롭게 PLC에 도입하였다. 또한, 본 논문에서는 배경 잡음과 더불어 전력선채널이 갖는 특수한 협대역 잡음을 전력 계통 과도해석 소프트웨어인 PSCAD를 이용하여 발생 시킨후, 링크레벨 시뮬레이터 상에서 전력선 통신 시스템의 성능지표인 비트오율특성을 측정하였다. 그 결과 본 논문에서 제안한 CCK기반의 전력선 통신 시스템이 AWGN 환경과 전력선 채널이 반영된 환경하에서 양호한 비트오율성능을 가지고 있다는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 PLC-CCK방식은 홈 네트워크용 고속 전력선 통신에 적합한 새로운 기법으로서 유용하게 활용하리라 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] J.Routine, "Powerline signaling electric meters", UK patent office, British patent No.244833, 1897
- [2] 한국경제신문 "전력선 이용 홈네트워크한다. [정통부, 주파수범위 확대]", 2003.4.10 기사
- [3] Klaus Dostert, "Powerline Communication, pp.293~297, Prentice hall, NJ, 2001
- [4] Carl Andren, "CCK Modulation Delivers 11Mbps for High Rate IEEE 802.11 Extension", Wireless Symposium, 1999
- [5] 황영상&김활, "IEEE 802.11을 중심으로한 무선 LAN 바이블", pp.117~118 세화출판사, 2002