

Zero Cross Point를 이용한 전력선 통신 모듈의 FPGA 설계

이원태* · 최성수* · 원동선** · 임자용** · 이영철***
*한국전기연구원 · **주)플레넷 · ***경남대학교

FPGA Design of Power Line Communication Modem using Zero Cross Point

Won-Tae Lee* · Sung-Soo Choi* · Dong-Sun Won** · Ja-Yong Lim** · Young-Chul Rhee***
*KERI · **PLANET System CO., Ltd. · ***Kyungnam University

Abstract - 전력선 통신(Power Line Communication)은 전력선과 연결되어 있는 디바이스들을 간단히 제어하기 위한 기술로 제안되었으며, 홈오트메이션, 원격 검침(AMR) 분야에서 많이 사용되고 있다. 최근에는 스마트 홈, 유비쿼터스와 관련해 다양한 홈 네트워크 시스템들이 제안되면서 이들 시스템을 효과적으로 구현할 수 있는 방안으로 전력선 통신 기술이 많이 제안되고 있다. 전력선 통신은 많은 유용성에도 불구하고 전력선 채널에 대한 정확한 채널 모델링과 전력선 모듈의 성능에 관해서는 많은 문제점을 나타내고 있다. 본 논문에서는 전력선 통신을 위한 전송선로의 주파수에 대한 잡음과 임피던스 특성 및 전력선 채널에 데이터 신호를 Chirp-SS(Spread Spectrum) 신호로 맵핑하여 채널의 Zero Cross Point 구간에 전송하였을 때의 시뮬레이션 결과와 설계된 FPGA 보드를 비교분석 하였다. 채널 모델은 배경 잡음과 할로겐 잡음, 전송선로의 감쇄 특성만을 고려하였으며, 전력선 채널 상에서의 Zero Cross Point를 이용한 전력선 통신 모듈의 성능을 분석하였다.

이와 같은 전송선로의 특성 임피던스는 식 (1)과 같다.

$$Z_L = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \quad (1)$$

특성 임피던스는 전력 발생과 시스템 분포에 대한 전송 선로의 임피던스를 의미한다. 특성 임피던스는 전력 시스템 설계자에게 시스템 임피던스 레벨의 추정을 가능하게 한다. 전력 시스템 임피던스 레벨은 효율적인 전압 배분을 위해서 매우 중요하다. 부하 쪽에서 소스 쪽으로 보면 소스 임피던스는 매우 작다.

그리고 전송 선로를 설계할 때 고려해야 할 다른 중요한 성분은 전달 상수로, 식 (2)와 같이 표현된다[2].

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (2)$$

1. 서 론

통신 서비스의 발달로 인하여, 초고속 정보통신망의 보급에 따라, 홈 네트워크 기술과 연동된 정보 활용 서비스에 대한 소비자의 욕구가 급속히 증가하게 되었다. 전력선(Power Line)을 매체로 한 디지털 가전기기의 네트워크는 Plug in 만으로 작동이 가능한 설치 및 사용의 용이성, 추가 기기의 설치가 Plug in 만으로 가능한 디지털 가전 네트워크의 확장성 그리고 추가 배선의 불필요로 인한 가격 경쟁력 확보 등을 바탕으로 홈 네트워크에 있어 최상의 솔루션으로 평가받고 있다. 차세대 기술의 집합체인 스마트 홈이나 유비쿼터스와 같은 시스템을 구현하기 위해서는 현존하는 통신 기술들을 적절히 융합해야 한다. 전력선은 광범위한 네트워크를 구성하고 있기 때문에, 유비쿼터스에 가장 근접한 개념을 선로 자체만으로도 지니고 있고, 이를 이용한 전력선 통신기술은 이들 시스템에서 가정 내 백색 가전을 제어할 수 있는 가장 적합한 방안으로 평가 된다.

전력선은 데이터 전송을 목적으로 만들어진 전송선로가 아니므로 데이터 손실, 회선과의 간섭, 잡음, 임피던스 부정합 등으로 인한 많은 변화가 발생한다.[1] 전력선은 선로의 다양한 부하에 따라서 채널의 임피던스 값이 변하게 되며 전력선을 통해 정보 전송을 위한 신호의 손실이 발생하게 된다. 전력선 통신에서는 주파수의 선택적 페이딩 현상과 랜덤하게 발생하는 임펄스 잡음, 60Hz 동기잡음 등이 존재한다. 이러한 현상을 극복하기 위한 방안으로 OFDM 변조방식과, Spread Spectrum 방식, BPSK 변조방식이 적용되고 있다. 본 논문에서는 전력선 통신에서 전송선로의 채널 상에 나타나는 여러 가지 특성을 분석하고, Chirp-SS 방식과 Zero Cross Point를 적용한 전력선 통신 모듈을 FPGA로 설계하고 성능을 분석하였다.

여기서 α 는 감쇄 상수이고 β 는 위상 상수이다. 감쇄 상수는 전송 선로의 신호감쇄 특성을 나타내고, 위상 상수는 전송 선로 길이를 통과하는 동안 신호에 발생하는 위상 변화의 양을 의미한다. 전달 상수는 간단한 항으로 식 (3)과 같이 표현된다[3].

$$\gamma = \sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)} \quad (3)$$

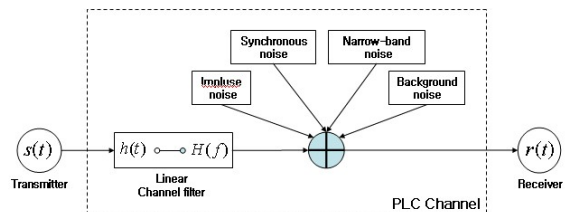
위의 방정식들을 이용하여 위상 상수와 감쇄 상수를 얻을 수 있다. 감쇄 상수와 위상 상수는 식 (4)의 관계를 고려하여 식 (5)와 식 (6)과 같이 간략화 된다.

$$\sqrt{1+x} = 1 + x/2, \quad x \ll 1 \quad (4)$$

$$\alpha \approx \frac{R}{2Z_L} + \frac{GZ_L}{2} \quad (5)$$

$$\beta \approx \omega \sqrt{LC} \quad (6)$$

그림 2는 전력선 통신에서 채널상의 잡음 구성도를 나타낸 것이며, 임펄스 잡음, 동기화 잡음, 협대역 잡음, 배경잡음이 있다. 임펄스 잡음은 전력선의 모든 채널에서 나타나는데 이것은 모든 채널에서 이산 임펄스 응답으로 유도되어 질 수 있다.



<그림 2> 전력선 채널에서의 잡음 구성도

전력선에서 전송된 신호는 수신기에 직접적인 경로뿐만 아니라 다양한 경로를 통해서 도달한다. 각 경로는 지연 τ , 크기 $|d|$, 위상 Φ 로 묘사할 수 있으며, 식 (7)과 같다.

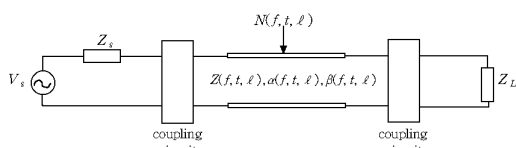
$$h(\tau) = \sum_{v=1}^N |d| \cdot \exp[j \cdot \Phi] \cdot \delta(\tau - \tau_v) \quad (7)$$

채널 특성에 있어서 97% 이상을 차지하고 있는 배경잡음은 주파수가 증가할수록 잡음의 레벨이 감소한다. 배경잡음의 스펙트럼은 주파수와

2. 본 론

2.1 전력선의 채널 특성

전력선은 전송 선로에 대한 가장 일반적인 행태로 모델링이 가능하다. 전송 선로의 특성은 저항 R, 인덕턴스 L, 컨덕턴스 G, 커패시턴스 C로 이루어지며 그림 1과 같이 표시된다.



<그림 1> 전력선의 채널 파라미터

함께 존재하고 이것은 단파 무선 대역으로 되거나 또는 협대역 간섭으로 나타난다. 배경잡음은 선로에서 항상 나타나고, 이것은 잡음 전력 스펙트럼 밀도(PDS)가 주파수에 의존하는 것으로 보인다. 식 (8)은 전력 스펙트럼 밀도 함수를 나타낸 것이다[5].

$$N(f) = 10^{(k - 3.95 \cdot 10^{-5} \cdot f)} \quad (8)$$

2.2 전력선 통신에서의 Spread Spectrum

Spread Spectrum 기술은 의도적인 간섭(Interference)이나 제밍(Jamming)에 대하여 정보를 보호하고 암호화하기 위해서 제안된 기술이며, 특히 전력선을 이용한 통신에 가장 적합한 방안으로 전력선에 발생하는 잡음, 간섭, 임피던스 변화 등에 대하여 강건한 통신을 가능하게 하는 방식이다. Spread Spectrum 신호는 디지털 신호에 자기 상관은 높고, 상호 상관은 낮은 PN(Pseudorandom Noise) 부호열이라고 하는 특수한 신호를 곱하여 신호를 확산한다. 식 (9)와 식 (10)은 정보 신호 $c(t)$ 를 나타내며 여기서 a_n, p_n 은 ± 1 의 값을 가지고, $g_t(t)$ 는 T_b 구간의 직각펄스, $p(t)$ 는 T_c 구간의 직각펄스를 나타낸다.

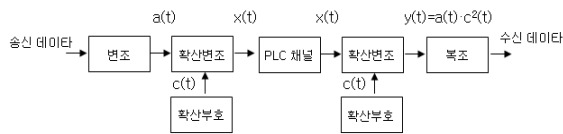
$$v(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n g_t(t - nT_b) \quad (9)$$

$$c(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n p(t - nT_c) \quad (10)$$

두 식의 곱의 출력으로 나타나는 확산 신호 $u(t)$ 는 식 (11)과 같다.

$$u(t) = A_c v(t)c(t)\cos(2\pi f_c t) \quad (11)$$

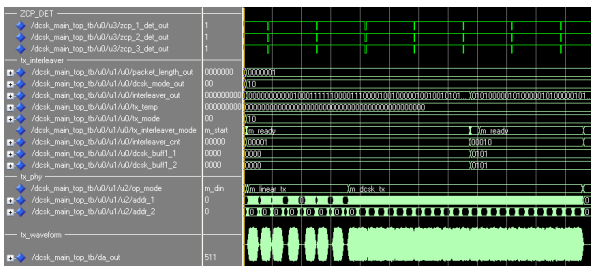
본 논문에서 제안한 Spread Spectrum 방식의 송수신 시스템 구조는 그림3과 같은 구성도를 가진다.



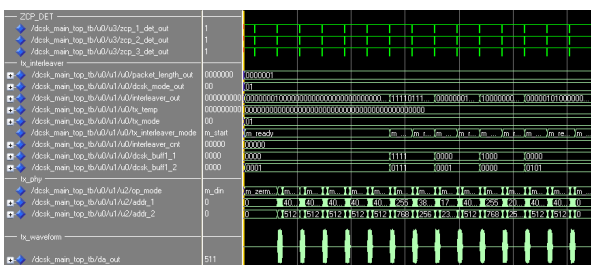
〈그림 3〉 Spread Spectrum 송수신 시스템

2.3 모의실험

본 논문에서는 모델을 구성하는 각 블록들을 Mentor사의 Modelsim을 이용하여 기능 시뮬레이션을 하였다. 기능 검증을 마친 후 Synplify Pro를 이용하여 Altera사의 Stratix EP1S25F672C7 FPGA 칩으로 합성하였고, 타이밍 시뮬레이션은 Altera사의 QUARTUS II를 이용하여 FPGA 칩이 가지고 있는 게이트 지연을 적용시켜 기능 시뮬레이션 결과와 비교하여 검증하였다. 그림 4와 그림 5는 전력선 채널의 ZCP 구간을 사용하지 않은 경우와 이용한 경우에 대한 데이터 송신 시뮬레이션 결과를 보이고 있다.

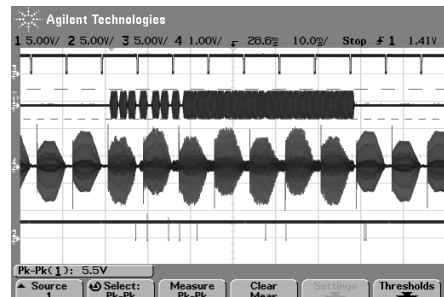


〈그림 4〉 ZCP 구간 적용하지 않은 시뮬레이션 결과

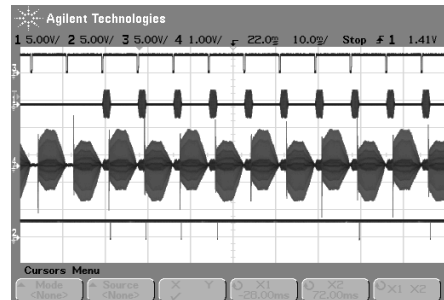


〈그림 5〉 ZCP 구간 적용한 시뮬레이션 결과

그림 6과 그림 7은 시뮬레이션 결과와 비교하기 위해 FPGA로 구현한 전력선 모델의 데이터 전송 결과를 오실로스코프로 측정된 것이다.

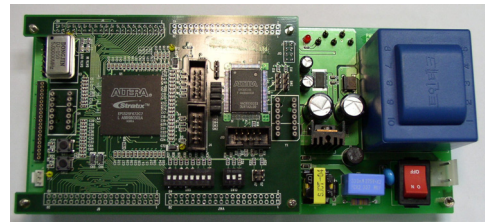


〈그림 6〉 할로겐 부하에서 ZCP 구간 적용하지 않은 송 수신 데이터



〈그림 7〉 할로겐 부하에서 ZCP 구간 적용한 송 수신 데이터

그림 8은 FPGA로 구현한 전력선 모델이다. 제작된 모델은 커플러부, 전원부, AFE부, RX부, TX부, MCU 인터페이스로 구성되어 있다.



〈그림 8〉 FPGA로 구현한 전력선 모델

3. 결 론

본 논문은 신호감쇄 및 배경 잡음, 할로겐 잡음 성분이 존재하는 전력선 채널에서 Zero Cross Point 구간의 이용에 따른 전력선 통신 모델의 통신 성능을 비교 분석하였다. 송신측과 수신측의 신호 감쇄 비를 100(dB)로 설정한 실험 환경에서는 Zero Cross Point 구간의 이용과 상관없이 100회 송신 시 에러발생 없이 100회 모두 수신함을 확인하였다. 앞선 환경에 할로겐 잡음 성분을 추가하면 Zero Cross Point 구간을 사용하지 않은 전력선 통신 모델은 전혀 통신이 되지 않으며, Zero Cross Point 구간을 이용하는 전력선 통신 모델의 경우 100회 송신 시 100회 모두 수신함을 확인하였다. 통신 테스트 결과 전송속도의 감소가 발생하지만 전력선 통신에서 중요시되는 통신의 신뢰성을 확보하였다. 향후 연구로는 전송속도의 감소 없이 통신의 신뢰성을 확보할 수 있는 전력선 통신 모델의 개발이 진행되어야 한다.

[참 고 문 헌]

[1] J. W. Lechleider, "Line analysis for digital subscriber lines", IEEE Com., May, pp.25-32, Sept. 1898.
 [2] Manfred Wimmermann, Klaus Dostert, "A Multi-Path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range"(ISPLC 2000).
 [3] Gotz, M. Rapp, "Power line channel characteristics and their effect on communication system design", IEEE Comm, PP. 78-86, Apr 2004
 [4] O.G.Hooijen, "A Channel Model for the Low Voltage Power-Line Channel; Measurement and Simulation Results", ISPLCA '97, Essen, Germany, pp51-56, April 1997