

Spread Spectrum 방식을 이용한 전력선 통신 모델의 FPGA 구현

이원태* · 변우봉* · 원동선**
*한국전기연구원 · **주플레넷

FPGA Design of Spread Spectrum Powerline Communication Modem

Won-Tae Lee* · Woo-Bong Byun* · Dong-Sun Won**
*KERI · **PLANET System Co. Ltd.

Abstract - 전력선 통신기술은 추가 배선이 필요 없는 유용성에도 불구하고 전력선 채널에 대한 정확한 채널 모델링과 전력선 모델의 전송 신뢰성에 대하여 많은 문제점을 나타내고 있다. 본 논문에서는 전송선로의 주파수에 대한 잡음과 임피던스 특성을 분석하고, 이의 해결을 위하여 전력선 채널에 Spread Spectrum 기법을 적용한 신호를 전송하였을 때의 시뮬레이션 결과와 구현된 FPGA 보드를 비교분석 하였다. 채널 모델링은 잡음과 감쇄 특성을 고려하였으며, Spread Spectrum 변조 방식을 적용한 전력선 모델의 FPGA를 구현하여 성능을 분석하였다.

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].

$$\gamma = \alpha + j\beta \tag{2}$$

1. 서 론

전력선 통신(Power Line Communication : PLC)이란 가정이나 사무실에 설치되어 있는 전력선을 통하여 통신신호를 100KHz~30MHz의 고주파 신호로 바꿔 보내고 이를 고주파 필터를 이용하여 따로 신호를 분리해서 수신하는 방식을 말한다. 광범위하게 설치되어 있는 전력선을 이용해 저렴한 비용으로 초고속 인터넷, 디지털 전화, 홈 네트워크, 홈오디오이션, 원격 자동제어 등을 가능하게 하는 기술이다. 전력선 통신은 현재 모든 가구에 전력선이 보급되어 있어 현존하는 인프라 중 가장 광범위한 네트워크를 구성하고 있다는 평가를 받는다. 기존 네트워크의 사각지대에 인터넷 서비스를 제공할 수 있는 라스트마일(last-mile) 솔루션으로 기대를 받고 있다. PLC는 전력선을 매체로 통신하기 때문에 통신용 케이블이나 광섬유를 이용한 데이터 전송에 비해 구현이 어렵다. 특히 높은 부하와 간섭 현상, 잡음, 가변하는 임피던스와 신호 감쇄 현상 등의 특수한 환경을 극복하고 제한된 전송 전력을 통해 데이터를 전달해야 하는 어려움이 따른다.[1] 전력선을 통해 발생하는 노이즈는 전동 모터와 같이 비동기적으로 발생하는 노이즈, 60Hz의 정수배의 주파수에서 발생하는 고조파 노이즈(Harmonic Noise), 전자기기의 스위치를 연결하거나 끊을 때 발생하는 독립적인 임펄스 노이즈 등이 존재한다. 이러한 현상을 극복하기 위한 방안으로 본 논문에서는 전력선 통신에서 전송선로의 채널 상에 나타나는 여러 가지 특성을 분석하고, Spread Spectrum 변조방식을 적용한 전력선 통신 모델을 FPGA로 구현하고 성능을 분석하였다.

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

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

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

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

$$\alpha \approx \frac{R}{2Z_L} + \frac{GZ_L}{2} \tag{5}$$

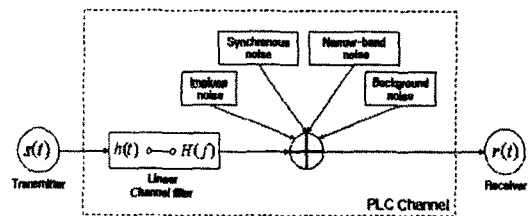
$$\beta \approx \omega\sqrt{LC} \tag{6}$$

그림 2는 전력선 통신 채널상의 잡음 구성도를 나타낸 것이며, 임펄스 잡음, 동기화 잡음, 협대역 잡음, 배경 잡음이 있다. 임펄스 잡음은 전력선의 모든 채널에서 나타나는 데 이것은 모든 채널에서 이산 임펄스 응답으로 유도되어 질 수 있다. 전력선에서 전송된 신호는 수신기에 직접적인 경로뿐만 아니라 다양한 경로를 통해서 도달한다. 각 경로는 지연 τ , 크기 $|q|$, 위상 Φ 로 묘사할 수 있으며, 식(7)과 같다.

2. 본 론

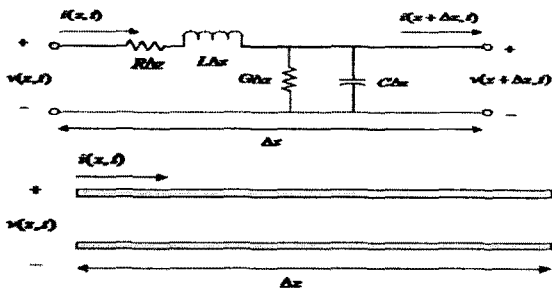
2.1 전력선의 채널 특성

전력선의 전송 선로에서는 정해진 주파수 범위에서 전달 특성의 근본적인 해석이 필요하다. 전력선에서의 전달함수는 고려되어진 주파수 범위내의 복합적인 파라미터 모델에 의해 표현되며, 전파선, 동축선, 광케이블 등과 같은 통신 시스템은 전력선 채널에 대립하는 특성들을 고려하여 전력선 통신 시스템의 설계를 위해서 전송선로의 전달 특성의 모델이 필요하다. 본 논문에서는 일반적으로 가정에서 사용되고 있는 220V용 저전압 전력선을 해석하였으며, 이에 대한 등가회로는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.



〈그림 2〉 전력선 채널에서의 잡음 구성도

$$h(\tau) = \sum_{n=1}^N |q_n| \cdot \exp[j \cdot \Phi_n] \cdot \delta(\tau - \tau_n) \tag{7}$$



〈그림 1〉 전력선 채널 파라미터

전송선로의 특성 임피던스는 식(1)과 같다.

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

채널 특성에 있어서 97% 이상을 차지하고 있는 배경 잡음은 주파수가 증가할수록 잡음의 레벨이 감소한다. 배경 잡음의 스펙트럼은 주파수에 함께 존재하고 이것은 단파 무선 대역으로 되거나 또는 협대역 간섭으로 나타난다. 배경 잡음은 선로에서 항상 나타나고, 이것은 잡음 전력 스펙트럼 밀도(PDS)가 주파수에 의존하는 것으로 보인다. 식(8)은 전력 스펙트럼 밀도 합수를 나타낸 것이다[5].

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

2.2 전력선 통신에서의 Spread Spectrum

Spread Spectrum 기술은 의도적인 간섭(interference)이나 제밍(jamming)에 대하여 정보를 보호하고 암호화하기 위해서 제안된 기술이며, 특히 전력

선을 이용한 통신에 가장 적합하여, 전력선에 발생하는 잡음, 간섭, 임피던스 변화 등 많은 문제에 대하여 강건한 통신을 가능하게 하는 방식이다. Spread Spectrum 신호는 디지털 신호에 자기 상관은 높고, 상호 상관은 낮은 PN(Pseudo random Noise) 부호열이라고 하는 특수한 신호를 곱하여 신호를 확산한다. 식(9)와 식(10)은 정보 신호 $a(t)$, PN 부호열 $c(t)$ 를 나타내며, 여기에서 a_n , p_n 은 ± 1 의 값을 가지고, $g_n(t)$ 는 T_b 구간의 직각 펄스, $p(t)$ 는 T_c 구간의 직각 펄스를 나타낸다.

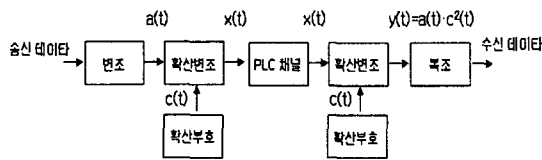
$$a(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n g_n(t - nT_b) \quad (9)$$

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

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

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

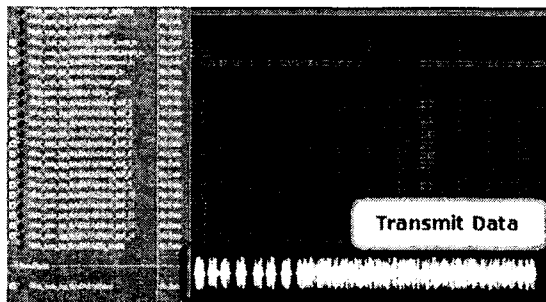
Spread Spectrum 방식의 송수신 시스템의 일반적인 구조는 변조, 확산변조, 확산부호, 복조로 이루어지며, 그림 3과 같은 구성도를 가진다.



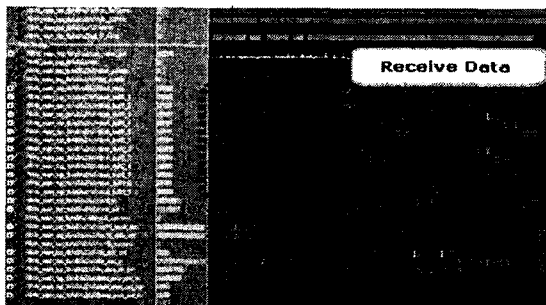
〈그림 3〉 Spread Spectrum 송수신 시스템

2.3 모의실험

본 논문에서는 모뎀을 구성하는 각 블록들을 ModelSim 시뮬레이터를 사용하여 VHDL로 회로를 설계하고 각 기능을 시뮬레이션 하였다. 기능 시뮬레이션 후 Synplify를 이용하여 Altera사의 Stratix EP1S25F672C7 FPGA 칩으로 synthesis 하였다. ModelSim 시뮬레이터를 사용하여 실제 FPGA가 가지고 있는 게이트 지연을 적용시켜 타이밍 시뮬레이션을 하고 검증하였다. 그리고 타이밍 시뮬레이션 후 테스트 보드를 제작하여 실제 모뎀 부분의 FPGA를 테스트 하였다. 보드 테스트 타이밍 시뮬레이션과 같은 방법으로 정보 데이터를 이진화 하여 FPGA의 입력으로 사용하였고, 송신 데이터와 수신 데이터는 Agilent사의 Mixed Signal Oscilloscope를 사용하여 아날로그 부분을 측정하였고, 디지털 부분은 QUARTUS에서 제공하는 Embedded Logic Analyzer인 Signatap을 사용하여 측정하였다. 그림 4와, 그림 5는 송수신부 전체 시뮬레이션 결과를 보이고 있다.

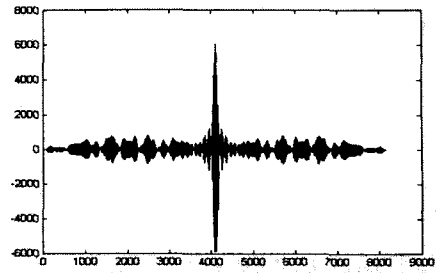


〈그림 4〉 송신부 전체 타이밍 시뮬레이션 결과



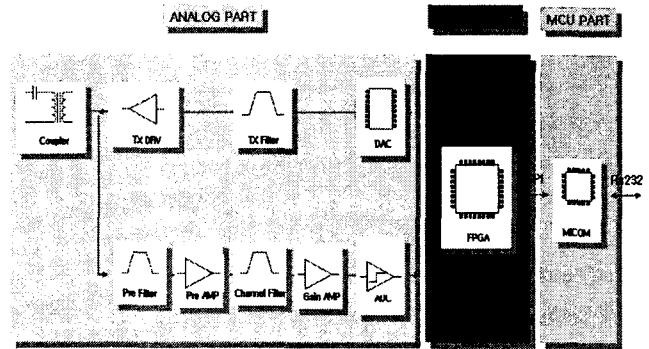
〈그림 5〉 수신부 전체 타이밍 시뮬레이션 결과

그림 6은 확산 부호열에 대한 자기 상관 특성을 Matlab을 이용하여 시뮬레이션 한 결과를 나타낸다.



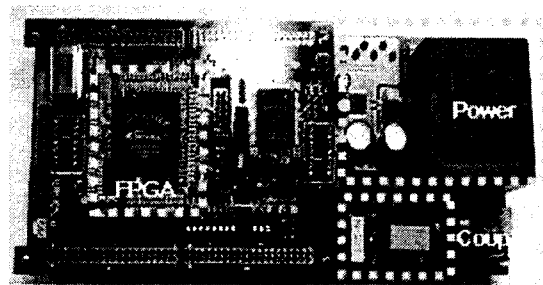
〈그림 6〉 확산 부호열의 자기 상관 특성

타이밍 시뮬레이션 후, 그림 7과 같은 블록도의 구성으로 실제 테스트 보드를 제작하여 모뎀 부분의 FPGA를 테스트 하였다.



〈그림 7〉 TEST 보드 구성도

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



〈그림 8〉 FPGA로 구현한 전력선 모뎀

3. 결 론

본 논문은 신호감쇄와 White Noise 및 Impulse Noise 성분이 많은 전력선 채널에 자기 상관 값은 높고, 상호 상관 값은 낮은 Chirp Spread Spectrum 방식에 ECC(Error Correction Code)를 적용한 결과 전력선에서 발생하는 잡음과 신호의 분별력이 높아 신호가 많이 감쇄가 일어나도 안정하게 수신 가능함을 확인할 수 있었으며, 실제로 아파트 33평, 49평 및 컴퓨터가 많은 사무실에서 신뢰성 테스트를 실시한 결과 안정된 수신 성능을 가짐을 확인할 수 있었다.

[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] O.G.Hooijen, "A Channel Model for the Low Voltage Power-Line Channel ; Measurement and Simulation Results", ISPLC '97, Essen, Germany, April 1997, pp.51-56.
- [4] Cht. Hensen, "Data Transmission Application via Low Voltage Power Lines using OFDM Technique", (ISPLC '99).
- [5] O.G.Hooijen, "A Channel Model for the Low Voltage Power-Line Channel; Measurement and Simulation Results", ISPLCA '97, Essen, Germany, pp.51-56, April 1997