

## 저속 PLC 모뎀에서의 Chirp 신호 방식과 시스템 구현에 관한 연구\*

정영화\*\* · 이상건\*\*\*

### 요 약

제어 목적으로 주로 사용되는 기존의 60bps급 저속 전력선 통신 모뎀에 적용된 대표적인 통신 방식은 단일 캐리어 방식이다. 단일 캐리어 방식은 전력선 통신 채널 환경에 매우 민감하다. 특히 채널의 notch 필터 특성에 따른 송신 신호의 극심한 감쇄는 통신 에러의 주 원인이 된다. 국내 전력선 채널 환경은 이러한 특징이 매우 강하다. 본 논문에서는 notch 특성 및 잡음 특성에 강한 Chirp 신호 방식을 이용한 저속 전력선 통신 시스템을 구현하였다. 본 연구에서는 1 비트에 대해 1ms 내에 100 $\mu$ s의 1 Unit 심볼 Chirp 신호 10개를 전송하는 방식을 제안하였다. 또한 오류 정정을 위한 Convolution 부호와 충돌 감지 및 에러 검출을 위한 맨체스터 부호를 적용하였으며, 수신부에서 신호 검출을 위해 비트 상관기를 이용한 방식을 사용하였다. 60bps급 저속 전력선 통신 시스템을 구현하여 실험한 결과 Chirp 방식의 통신 방식이 단일 캐리어 방식에 비해 뛰어난 성능을 가짐을 확인하였다.

## 1. 서론

최근 들어 전력선을 이용한 통신 시스템에 대한 많은 연구와 개발이 이루어져 왔으며, 특히 스마트 홈 분야에서의 상용화 노력은 상당부분 결실을 이루었다.[1-6] 전력선을 이용한 통신은 제한된 주파수 대역폭 및 송신 전력, 높은 부하 간섭, 배경잡음(Background noise), 협대역 고조파 잡음(Narrow band harmonic noise), 임펄스 잡음(impulse noise), 시간에 따른 임피던스 특성 변화, 가변하는 신호 감쇄(Attenuation) 등과 같은 문제로 인하여 그동안 상용화가 불가능한 기술로 알려져 왔으나, 최근에는 비로써 다양한 통신 방식과 신호처리 기술, 반도체 기술등으로 상

용화가 가능하게 되었다.[7-10] 현재는 스마트 홈 구축을 위한 효율적인 솔루션으로서 뿐만 아니라 AMR 이나 가로등 제어등과 같은 원격 제어 분야에서도 전력선 통신이 각광 받고 있다. 그동안 대부분의 전력선 통신 연구는 9.6Kbps, 500Kbps, 1Mbps, 2Mbps, 10Mbps, 54Mbps 등의 속도를 가지는 모뎀 연구에 집중되어 왔다. 그러나 콘센트나 스위치등과 같은 단순한 제어 목적의 전자기기에서는 60bps정도의 속도로도 충분하며, 스마트 홈 구축 사업이 범국가적으로 추진되고 있는 현 시점에서 보다 신뢰성 있는 제어용 저속 전력선 통신 모뎀에 대한 요구가 더욱 가중되고 있다.

전력선 채널은 Notch성 채널이며, 잡음이 심하고 감쇄가 심한 특성을 가진다. 따라서 전력선 통신 시스템 개발은 이들의 문제를 어떻게 해결하는냐에 달려 있다.

현재의 기술로는 Notch성 채널 문제는 변, 복조 방식으로, 잡음은 필터로, 감쇄는 LNA(Low Noise Amplifier)로 해결하고 있다. 특히 X-10과

\* 이 논문은 2003년도 남서울대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음

\*\* 남서울대학교 전자정보통신공학부

\*\*\* 남서울대학교 전자정보통신공학부

같은 60bps급 저속 전력선 통신 모뎀은 단일 캐리어 방식을 사용함으로써 Notch성 채널 특성이 많이 나타나는 국내 가정내 전력선 채널 환경에서는 그만큼 통신 성능 저하를 가져오게 된다. 따라서 9.6Kbps급 이상에 많이 널리 사용되고 있는 Chirp 신호 통신 방식을 60bps급 저속 전력선 통신 모뎀에 적용함으로써 Notch성 채널이나 잡음 영향이 심한 국내 전력선 통신 채널 환경 하에서의 성능 향상을 얻고자 한다.

본 논문은 2장에서 저속 전력선 통신 모뎀 개발에 있어서 잡음 및 감쇄가 심한 전력선 채널에 강한 Chirp 신호 방식을 설명하였고, 3장에서는 제안한 Chirp 신호 방식을 적용한 저속 전력선 통신 모뎀 구조를 기술하였다. 4장에서는 구현한 시스템에 대한 모의실험과 시스템 성능을 알아보기 위한 거리에 따른 용량성 부하 및 감쇄기 실험을 수행하였다. 또한 실험에 의해 얻어진 결과에 대한 분석과 성능 평가를 하였다. 5장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대해 기술하였다.

## II. Chirp 신호 통신 방식

### 2.1. Chirp 신호

Chirp 신호에 대한 식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = A(t) \cos \left[ 2\pi \left( ft + \frac{1}{2} at^2 \right) \right],$$

$$(-T_c < t < T_c)$$

where  $A(t)$ : chirpsignalenvelope ( $A(t) = 0, |t| > T_c$ )  
 $T_c$ : chirpduration  
 $T_s$ : symbolduration  
 $a$ : frequencysweepslope(chirprate)

(1)

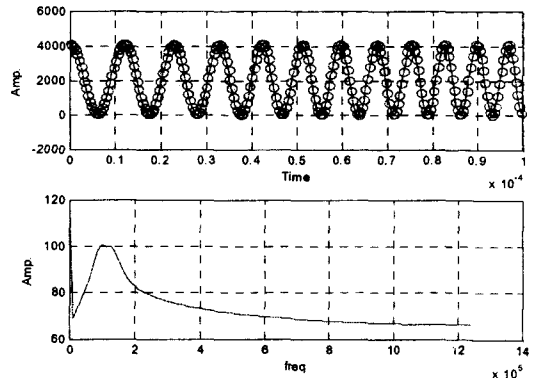
수신부에서 이러한 Chirp 신호를 검출하기 위해서는 matched 필터를 사용한다. matched 필터를 거친 출력 신호  $g(t)$ 는 식 (2)와 같다.

$$g(t) = \sqrt{BT_c} \frac{\sin \left\{ \pi Bt \left( 1 - \frac{|t|}{T} \right) \right\}}{\pi Bt} \cos(2\pi f_c t), \quad -T_c < t < T_c \quad (2)$$

여기서  $T$ 는 chirp 신호의 구간을 의미하고,  $B$ 는 chirp 대역폭을 의미한다.

$t=0$ 에서 포락선 값이 최대가 된다.

본 논문에서는 10KHz~450KHz의 사용가능한 주파수 대역중 실험을 통하여 전력선통신 채널에 가장 좋은 성능을 가지는 80KHz~150KHz의 밴드폭을 가지는 선형 가변형 Up-Chirp 신호를 사용하였다.



(그림 1) 100μs의 길이를 가지는 1 Unit 심볼 Chirp 신호와 스펙트럼

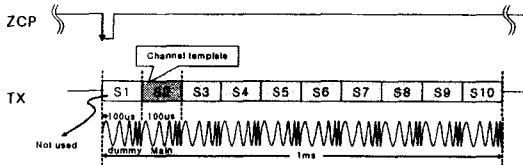
Matlab을 이용하여 2.5MHz로 샘플링된 100μs의 Unit Symbol Time(UST) 동안의 1 Unit 심볼 Chirp 신호를 생성하여 시스템에 적용하였다. 이때 샘플링 개수는 250개이다. 그림 1은 100μs

의 길이를 가지는 1 Unit 심볼 Chirp 신호와 스펙트럼을 보인다.

### 2.2. 송신 방식과 전체 심볼 구조

전력선에서 유기되는 대부분의 잡음 성분은 유도성 부하(dv/dt) 혹은 용량성 부하(di/dt)의 급격한 변화에 의해 발생하게 된다. 하지만 전원주파수의 영교차(Zero-Cross)점에서는 전압변화율 혹은 전류변화율이 없기 때문에 잡음 레벨이 최소가 된다. 따라서 본 저속 전력선 통신 모델에서도 X-10과 같이 영교차점에 전력선에 송신 신호를 실는 방식을 사용한다.

전력선에 실는 신호는 총 10개의 Unit 심볼 Chirp 신호로 구성된다. 맨 처음 심볼 Chirp은 더미(Dummy)이며, 두 번째 신호부터가 주 심볼 Chirp 신호들이다. 특히 두 번째 심볼 Chirp 신호는 수신부에서 수신 신호 검출을 위한 비트 상관기의 채널 기준 신호이다. 나머지 8개의 심볼 Chirp 신호들의 검출 유무에 따라 '0', '1' 이 결정된다. 그림 2는 전체 심볼 구조를 보인다. 영교차점이 검출되어 ZCP 신호가 'Low'가 되면 그때 1ms의 길이를 가지는 10개의 Unit 심볼 Chirp 신호가 전력선에 실리게 된다.

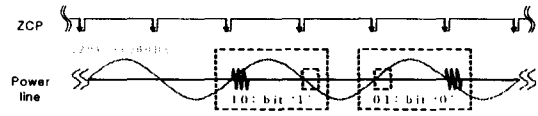


(그림 2) 전체 심볼 구조

특히 본 시스템에서는 연속되는 잡음 방지를 위하여 1 데이터 비트를 맨체스터 코드를 사용하여 1 사이클 내에 반송파를 '10', '01'상태로 만듦으로써 에러 검출 및 충돌 검출 및 회피(Collision

Avoidance)을 가능하게 하였다.

그림 3에서 충돌 회피를 위한 맨체스터 부호화 모습을 보인다.



(그림 3) 충돌 회피를 위한 맨체스터 부호화

## III. 저속 전력선 통신 모델 구현

표 1.과 같은 사양을 가지고 제안한 Chirp 신호 방식을 적용한 저속 전력선 통신 모델을 구현하였다. 속도는 60bps이고, 에러 정정을 위해 콘볼루션 부호와 비터비 복호 방식을 적용하였다.

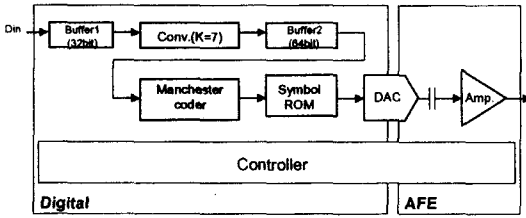
(표 1) 모델 사양

항목	내용
Speed	60bps
Carrier Frequency	Variable(80KHz~150KHz)
UST	100us
Collision det.	Manchester code
FEC	Convolution/Viterbi(K=7) H/D
Modulation	Burst Chirp-SS on ZCP
Demodulation	Maximum position detection using channel template. with ZCP.
Multiple Access	CSMA/CDCA
I/F	RS232(Modem to PC). I2C(Modem to MCU)

### 3.1. 송신부

송신부는 송신신호를 생성하는 디지털부와 전력선에 송신신호를 실기 위한 AFE단으로 구성된다. 디지털부는 32bit의 버퍼1과 64bit의 버퍼2, 제한길이가 7을 가지는 콘볼루션 부호화기, 맨체

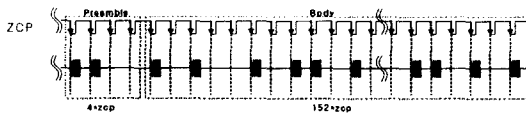
스터 부호화기, I Unit Chirp 신호 심볼에 대한 값을 가지는 Symbol ROM, 그리고 D/A 변환기 등으로 구성되어 있다.



(그림 4) 송신부 블록도

송신신호 구조는 그림 5와 같다.

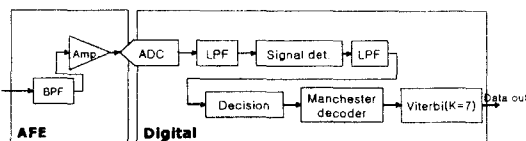
송신신호는 Preamble, Preamble\_EOF, Packet body와 CRC로 구성되며, Packet body는 8kbyte 까지의 데이터를 가변적으로 전송할 수 있는 구조로 설계하였다.



(그림 5) 송신신호 구조

### 3.2. 수신부 구조

수신부는 크게 80KHz~150KHz를 통과시키는 대역통과 필터와 LNA로 구성된 AFE단과 A/D 변환기, 저역통과 필터, 신호 검출기, 신호 결정기, 맨체스터 복호기, 그리고 비터비 복호기로 구성된 디지털부 2개의 구조로 되어있다. 그림 6은 수신부의 블록도를 보인다.



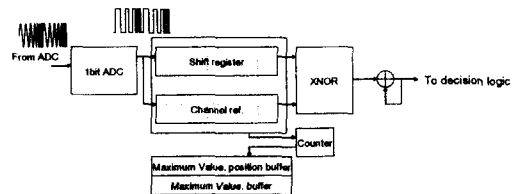
(그림 6) 수신부 블록도

#### 3.2.1. 신호 검출방법

Chirp 신호 검출을 위하여 비트 상관(bit correlation) 방식을 적용하였다.

1bit ADC를 통해서 '1' 또는 '0'로 변환된 수신 Chirp 신호는 1 UST 신호를 검출하기 위해 구성된 1 UST 검출기에 입력된다. 1 UST 검출기는 1 UST 신호에 대한 채널 기준 신호를 가지는데, 이 채널 기준 신호는 그림 2에서 전체 심볼 중 S2에 위치한 신호이다. 즉, 전체 심볼 신호 S1에서 S10중 S1은 더미(dummy) 신호이므로 건너뛰고, S2 신호부터 검출기에 들어오면 S2 신호는 채널 기준 레지스터에 저장된다. 그리고 S3 신호부터는 쉬프트 레지스터에 입력되어 채널 기준 신호와의 XNOR 연산을 행하게 된다. 연산 값을 매번 카운팅하여 최대 값과 그 위치를 최대 값과 최대 값 위치 버퍼에 저장한다.

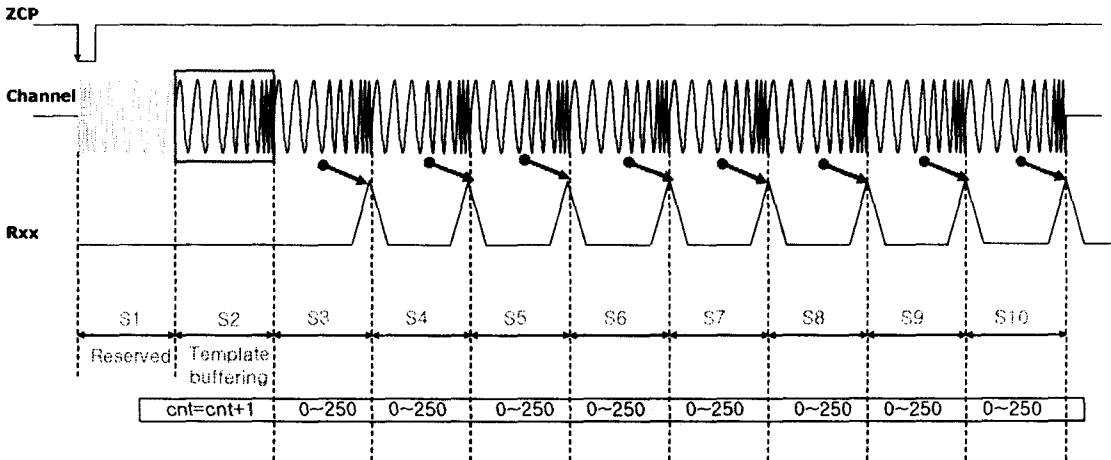
그림 7은 1 UST 신호 검출기 구성도를 보이며, 그림 8은 전체 심볼 신호에 대한 비트 상관 결과를 보인다. 그림 8에서 보듯이 Rxx는 상관 값을 나타내며, 채널 기준 신호와 검출신호 대상 신호가 일치 할 때 최대 250의 값을 가지게 된다. 그때 최대 값 위치는 1 UST의 끝 데이터 위치가 된다.



(그림 7) 1 UST 신호 검출기 구성도

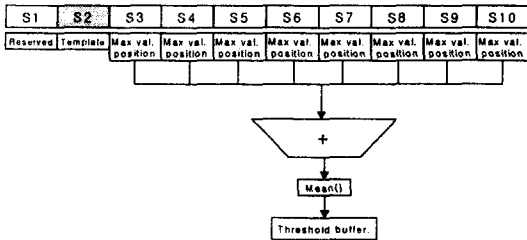
S10 UST 신호까지의 비트 상관 연산이 끝나면 신호 결정을 위한 신호 결정부로 넘어간다. 신호 결정부에서는 S3에서 S10까지 총 8개 UST 신호들에 대한 최대 값 위치의 평균 위치 값을 구한다. 그 값이 실험을 통해 얻은 어떤 임계 값

보다 큰가를 판단하여 크다면 신호 '1'로, 작다면 신호 '0'으로 결정한다. 본 논문에서는 임계 값을 5로 정하였다.



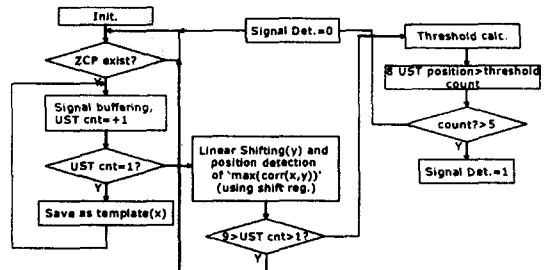
(그림 8) 전체 심볼 신호에 대한 비트 상관 결과

이러한 결정과정을 두는 이유는 실령 전송도 중 신호에 채널왜곡이나 잡음에 의한 영향이 있었다 하더라도 적어도 6개 이상의 UST 신호가 검출되어야만 '1'인 신호가 전송된 것으로 판단하겠다는 것이다.



(그림 9) 8개 UST에 대한 평균 최대값 위치를 구하는 구조

그림 9는 S3에서 S10까지의 8개 UST 신호에 대한 평균 최대 값 위치를 구하는 구조를 보인다. 그리고 그림 10은 신호 결정 과정에 대한 흐름도



(그림 10) 신호 결정 과정에 대한 흐름도

## IV. 실험 및 고찰

### 4.1. 저속 전력선 통신 모델의 실험

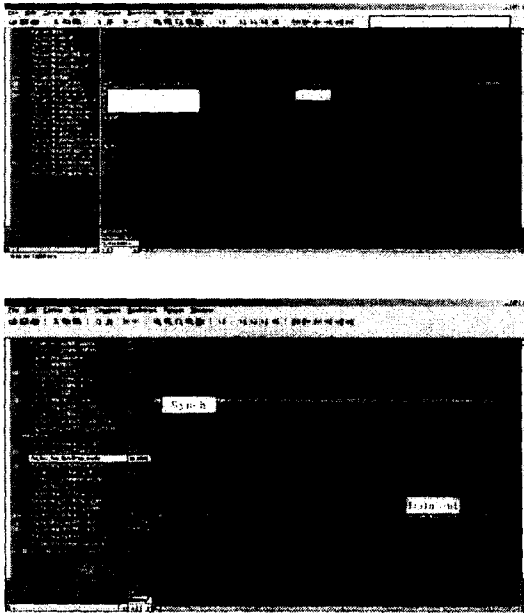
FPGA 형태로 구현한 저속 전력선 통신 모델에 대한 성능 실험을 수행하기 전에 다음과 같은

개발 툴을 사용하여 시스템이 정상적으로 동작하는가를 확인하였다.

simulation tool : Modelsim SE5.5f  
 Synthesis tool : Synplify Pro 7.3.1  
 P&R tool : Quartus-II 2.2

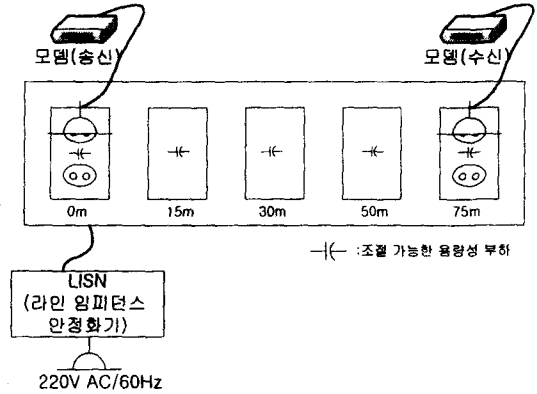
모의실험 결과 모뎀 송신부 및 수신부 모두 정상적으로 동작함을 확인하였다.

그림 11은 송신부에 대한 모의실험 결과 신호 파형들을 보이고, 그림 12는 수신부에 대한 결과 신호 파형을 보인다.



### 4.2. 거리에 따른 용량성 부하 실험

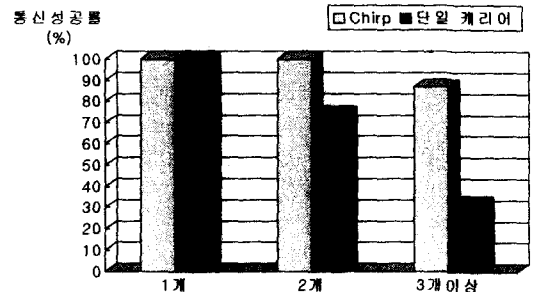
제안한 Chirp 신호 방식을 적용한 60bps의 저속 전력선 통신 모뎀의 성능을 알아보기 위하여 커패시터 로더를 이용하여 거리에 따른 용량성 부하 실험을 수행하였다. 그림 13에 용량성 부하 테스트 벤치를 이용한 실험 환경을 보인다.



(그림 13) 거리에 따른 용량성 부하 실험 구성도

용량성 부하가 트랜시버 사이 한 지점에 인가됐을 경우, 단일 캐리어 방식과 비교 대상인 Chirp 방식 모두 100% 통신 성공률 나타내었다. 하지만 각기 다른 두 지점에 용량성 부하가 발생했을 경우 단일 캐리어 방식은 74%, Chirp 방식은 100% 통신 성공률을 나타내었다. 다른 3지점 이상에서 용량성 부하가 인가될 경우에는 제안한 Chirp 방식이 87%, 단일 캐리어 방식이 32%의 통신 성공률을 나타내었다. 따라서 제안한 Chirp 방식이 단일 캐리어 방식보다 더 높은 통신 성공률을 가짐을 알 수 있었다. 표 2는 용량성 부하에 대한 통신 성공률 비교를 나타낸다.

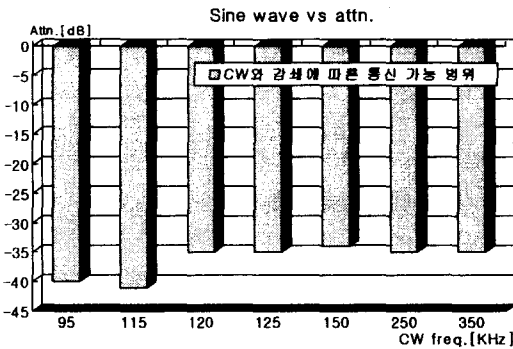
<표 2> 용량성 부하에 대한 통신 성공률 비교



### 4.3. 캐리어 잡음 실험

캐리어와 동일한 주파수를 가지는 잡음에 의한 간섭에 따른 통신 성능을 알아보기 위하여 350mVp-p 크기의 CW(Continuos Wave)를 전력선에 인가하고, 채널 감쇄를 함으로써 통신 가능 범위를 실험하였다. 실험 결과 -35dB 이하의 감쇄 특성을 가지는 채널에서 95KHz, 115KHz, 120KHz, 125KHz, 150KHz, 250KHz, 350KHz의 캐리어 잡음이 인가되어도 오류 없이 통신이 가능함을 확인하였다. 표 3은 CW와 감쇄에 따른 통신 가능 범위를 보인다.

<표 3> CW와 감쇄에 따른 통신 가능 범위



## V. 결론

본 논문은 Chirp 신호 방식을 이용한 60bps급 저속 전력선 통신 모델 구현에 관한 것이다. notch 필터 특성을 가지는 전력선 통신 채널 환경에 매우 민감한 단일 캐리어 방식 대신, notch 필터 특성 및 잡음 특성에 강한 Chirp 신호 방식을 적용하였으며, 특히 1 비트에 대해 1ms 내에 100µs의 1 Unit 심볼 Chirp 신호 10개를 전송하는 방식을 제안하였다. 통신 특성 향상을 위하여 오류

정정을 위한 Convolution 부호와 충돌 감지 및 에러 검출을 위한 맨체스터 부호를 적용하였으며, 수신부에서 신호 검출을 위해 비트 상관기를 이용한 방식을 사용하였다.

거리에 따른 용량성 부하 실험 결과, 용량성 부하가 트랜시버 사이 한 지점에 그리고 각기 다른 두 지점에 용량성 부하가 인가됐을 경우 100% 통신 성공률 나타내었다. 다른 3지점 이상에서 용량성 부하가 인가될 경우에는 제안한 Chirp 방식이 87%의 통신 성공률을 나타내었다.

또한 350mVp-p 크기의 CW(Continuos Wave)를 전력선에 인가하고, 채널 감쇄를 함으로써 통신 가능 범위를 실험한 결과, -35dB 이하의 감쇄 특성을 가지는 채널에서 95KHz, 115KHz, 120KHz, 125KHz, 150KHz, 250KHz, 350KHz의 캐리어 잡음이 인가되어도 오류 없이 통신이 가능함을 확인하였다. 본 연구를 통하여 Chirp 방식의 통신 방식을 60bps급 저속 전력선 통신 시스템에 적용하였을 때 기존 단일 캐리어 방식에 비해 뛰어난 성능을 가짐을 확인하였다. 향후 본 시스템의 산업 현장 적용을 위해서는 다양한 잡음원의 발생 환경에서의 실험과 필드 실험이 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

[1] Thierry Sartenaer, *Multiuser communications over frequency selective wired channels and applications to the power-line access network*, Ph.D. Thesis, Faculté des Sciences Appliquées, Université catholique de Louvain, N° 38/2004, September 2004.

- [2] Shwehdi, M.H. & Khan, A.Z., Power line data communication interface using spread spectrum technology in home automation, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11(3), July 1996, pp.1232-1237.
- [3] S. Hughes & D.J. Thorne, Broadband in-home networks, *BT Technol J.*, 16(4), October 1998, pp.71-79.
- [4] Yu-ju Lin, Haniph A. Latchman, Minkyu Lee & Srinivas Katar, Power line communication network infrastructure for smart home, *IEEE Wireless Communications*, 9(6), December 2002, pp.104-111.
- [5] M. Shwehdi, A power line data communications interface using spread spectrum technology in home automation, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11(3), July 1996, pp.1232-1237.
- [6] M.H Shwehdi & A.Z. Khan, A power line data communication interface using spread spectrum technology in home automation, *IEEE Trans. Power Delivery*, 11, July 1996, pp.1232-1237.
- [7] T. Waldect, M. Busser, & K. Dostert, Telecommunications applications over the low voltage power distribution grid, *Proc. Int'l Symp. Spread Spectrum Tech & Appl. (ISSSTA '98)*, 1, Sun City, South Africa, Sep. 1998, pp.73-77.
- [8] Hisaxhi NIWA, Osamu OONO, A spread spectrum system with dual processing gains designed for cyclic noise in power line communication, *IEICE trans. Fundamentals*, 1997.
- [9] H.C. Ferreira, H.M Grove, O. Hooijen, A.J. & Han Vinck Power line communications an overview, *IEEE AFRICON 4th*, 2, 1996, pp.558-563.
- [10] R.M. Vines, et al, Noise on residential power distribution circuits, *IEEE Trans. Electromag Compat*, 26, Nov. 1984, pp.161-168.



## A study for chirp signal method & system implementation in the PLC modem with low speed

Young-Hwa Jeong\* · Sang-Gun Lee\*\*

### Abstract

The representative communication method which is applied in the low-speed power line communication modem with 60bps is single carrier method. It has been used mainly for the control. The single carrier method is very sensitive to a power line communication channel environment. Specially, the severe attenuation of the transmission signal according to the notch characteristics of channel becomes the main cause of communication error. Domestic power line channel environment has this notable feature. In this paper, we implemented the low-speed power line communication system which used the chirp signal method to be strong in notch and noise characteristics.

In this research, we proposed the method which transmits 10 '1 Unit symbol Chirp signal' with a 100 $\mu$ s time within 1ms for 1 bit. Also it applied for the Convolution code for an error correction and the Manchester code for a collision perception and an error detection. It used the method which uses the bit correlator for signal detection in the receiver parts.

We confirmed that the communication method of the chirp method has a excellent performance compared to single carrier methods with a result of experiment of the low-speed power line communication system with the 60bps.

Key words : PLC modem, system implementation, communication modem

---

\* School of Electronics & Info. & Comm. Engineering, Namseoul University.

\*\* School of Electronics & Info. & Comm. Engineering, Namseoul University.